

別添

東海第二発電所

確率論的リスク評価（P R A）について

目 次

1. P R A実施の目的
2. 事故シーケンスグループ等の選定に係る P R Aの実施範囲・評価対象・実施手法
3. レベル 1 P R A
 - 3.1 内部事象 P R A
 - 3.1.1 出力運転時 P R A
 - 3.1.1.1 対象プラント
 - 3.1.1.2 起因事象
 - 3.1.1.3 成功基準
 - 3.1.1.4 事故シーケンス
 - 3.1.1.5 システム信頼性
 - 3.1.1.6 信頼性パラメータ
 - 3.1.1.7 人的過誤
 - 3.1.1.8 炉心損傷頻度
 - 3.1.2 停止時 P R A
 - 3.1.2.1 対象プラント
 - 3.1.2.2 起因事象
 - 3.1.2.3 成功基準
 - 3.1.2.4 事故シーケンス
 - 3.1.2.5 システム信頼性
 - 3.1.2.6 信頼性パラメータ

- 3.1.2.7 人的過誤
- 3.1.2.8 炉心損傷頻度
- 3.2 外部事象 P R A
 - 3.2.1 地震 P R A
 - 3.2.1.1 対象プラントと事故シナリオ
 - 3.2.1.2 確率論的地震ハザード
 - 3.2.1.3-1 建屋のフラジリティ
 - 3.2.1.3-2 屋外重要土木構造物のフラジリティ
 - 3.2.1.3-3 機器のフラジリティ
 - 3.2.1.4 事故シーケンス
 - 3.2.2 津波 P R A
 - 3.2.2.1 対象プラントと事故シナリオ
 - 3.2.2.2 確率論的津波ハザード
 - 3.2.2.3 建屋・機器フラジリティ
 - 3.2.2.4 事故シーケンス
- 4. レベル 1 . 5 P R A
 - 4.1 内部事象 P R A
 - 4.1.1 出力運転時 P R A
 - 4.1.1.1 プラントの構成・特性
 - 4.1.1.2 プラント損傷状態の分類及び発生頻度
 - 4.1.1.3 格納容器破損モード
 - 4.1.1.4 事故シーケンス
 - 4.1.1.5 事故進展解析
 - 4.1.1.6 格納容器破損頻度

4.1.1.7 不確実さ解析及び感度解析

4.1.1.8 M a r k－Ⅱ型格納容器の破損モードの特徴に係る分析

1. P R A 実施の目的

本 P R A は，「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日）（以下「解釈」という。）第 3 章第 37 条に基づいて実施したものである。

本 P R A の結果は，解釈第 3 章第 37 条において炉心損傷防止対策等の有効性評価の対象として定められている，必ず想定する事故シーケンスグループ等に追加して評価すべき事故シーケンスグループ等の抽出及び重要事故シーケンス等の選定に活用する。

2. 事故シーケンスグループ等の選定に係る P R A の実施範囲・評価対象・実施手法

P R A の実施範囲は，日本原子力学会において実施基準が標準化されている等，現段階で実施可能な内部事象レベル 1 P R A（出力運転時，停止時），内部事象レベル 1．5 P R A（出力運転時），外部事象として地震レベル 1 P R A 及び津波レベル 1 P R A とした。

評価の対象とするプラント状態は，通商産業省「原子力発電所内におけるアクシデントマネジメントの整備について」（平成 4 年 7 月）（以下「A M 要請」という。）以前の状態とした。

これは，今回の P R A の目的が，設計基準事象を超えた重大事故に対する有効性評価を行うための事故シーケンスグループ等の抽出及び重要事故シーケンス等の選定であることに鑑み，設計基準事故対処設備による対応を基本とし，A M 要請以前から整備しているアクシデントマネジメント策には期待しないことを前提に評価を行うこととした。

ただし，E C C S 手動起動等の A M 要請以前から整備している設計基準事故対処設備を作動させるための操作については，重大事故対応を目的として特別に整備したものではないことから，評価対象として含めることとした。

3. レベル 1 P R A

3.1 内部事象 P R A

3.1.1 出力運転時 P R A

出力運転時レベル 1 P R A は日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2008」に基づき実施した（添付資料 3.1.1-1）。評価フロー図を第 3.1.1-1 図に示す。

3.1.1.1 対象プラント

(1) 対象とするプラントの説明

a. プラント情報の収集・分析

東海第二発電所の内部事象出力運転時レベル 1 P R A 実施に当たり必要とされる以下の情報を収集した。

- ・ P R A 実施に当たり必要とされる基本的な情報（設計情報，運転・保守管理情報等）
- ・ 定量化に当たり必要とされる情報（起因事象発生に関する運転経験等）

レベル 1 P R A 実施のための情報収集に使用したリストを第 3.1.1.1-1 表に示す。

b. 東海第二発電所の概要

- ・ 出力
熱出力 3,293MW
電気出力 1,100MW
- ・ プラント型式 沸騰水型軽水炉（B W R - 5）
- ・ 格納容器型式 圧力抑制形（M a r k - II）

c. P R A において考慮する緩和設備（系統）の概要

P R A において考慮する緩和設備（系統）を第 3.1.1.1-2

表に示す。また，東海第二発電所の系統構成の概要を第 3.1.1.1-1 図に，各系統設備概要を第 3.1.1.1-3 表に示す。

(a) 原子炉停止機能に関する系統

通常運転時は，原子炉再循環流量制御系とあいまって，制御棒及び制御棒駆動系からなる反応度制御系により，原子炉の出力調整を行う。原子炉の起動時・停止時にも，反応度制御系を利用する。異常時には，以下の系統により原子炉を停止する。

i) スクラム系（第 3.1.1.1-2 図，第 3.1.1.1-3 図）

原子炉水位低（レベル 3）等の信号により異常を検知して，急速かつ自動的に制御棒を炉心に挿入し，原子炉を停止させる。本系統は，各制御棒にスクラム信号を発する原子炉緊急停止系，スクラム排出容器及び制御棒駆動水压系から構成される。

(b) 炉心冷却機能に関する系統

通常運転時は，給水系より原子炉へ冷却材を給水し，炉心で発生する蒸気を原子炉から主蒸気系を通して取り出し，タービン発電機を駆動する。タービンを出た低圧の蒸気は復水器にて凝縮され，再び復水系を経て給水系により原子炉へ冷却材として供給される。原子炉停止時には，残留熱除去系により原子炉の崩壊熱を除去する。異常時には，以下の系統により原子炉を冷却する。

i) 高圧炉心スプレイ系（H P C S）（第 3.1.1.1-4 図）

H P C S は，原子炉水位異常低下（レベル 2）又はドライウエル圧力高の信号で自動起動し，復水貯蔵タンク水

(第 1 水源) 又はサブプレッション・プール (S / P) 水 (第 2 水源) を炉心上部に設けられたスパージャ・ヘッダのノズルから燃料集合体にスプレーして炉心を冷却する。

ii) 原子炉隔離時冷却系 (R C I C) (第 3.1.1.1-5 図)

R C I C は、原子炉水位異常低下 (レベル 2) の信号で自動起動し、復水貯蔵タンク水 (第 1 水源) 又は S / P 水 (第 2 水源) を原子炉圧力容器頂部ノズルより注水して炉心を冷却する。本系統は、原子炉で生じる蒸気で駆動する蒸気タービンの回転をポンプの動力源としている。また、制御用電源及び機器駆動用電源には直流電源 (蓄電池含む) を用いており、全交流動力電源喪失時にも蓄電池が枯渇するまでの一定の時間は炉心を冷却することができる。

iii) 自動減圧系 (A D S) (第 3.1.1.1-1 図)

A D S は、逃がし安全弁 (S / R 弁) 18 弁のうち 7 弁からなり、低圧炉心スプレー系又は低圧注水系と連携して炉心を冷却する機能を持つ。本系統は、原子炉水位異常低下 (レベル 1) 及びドライウエル圧力高の両信号を受けて作動し、原子炉圧力を低下させる。

iv) 低圧炉心スプレー系 (L P C S) (第 3.1.1.1-6 図)

L P C S は、原子炉水位異常低下 (レベル 1) 又はドライウエル圧力高の信号で自動起動し、S / P 水を炉心上部に設けられたスパージャ・ヘッダのノズルから燃料集合体にスプレーして炉心を冷却する。

v) 低圧注水系 (L P C I) (第 3.1.1.1-7 図)

L P C I は、残留熱除去系 (R H R) の 1 つの機能であ

り，原子炉水位異常低下（レベル1）又はドライウェル圧力高の信号で自動起動し，S／P水を原子炉圧力容器シェラウド内へ直接注水して炉心を冷却する。本プラントでは，L P C I を3系統設けている。

(c) 格納容器からの除熱機能に関する系統

通常運転時は，格納容器内雰囲気は窒素により不活性化されている。また，ドライウェル内ガス冷却装置により格納容器内は循環冷却されている。異常時においては，以下の系統により格納容器の機能を維持する。

i) 格納容器（P C V）（第3.1.1.1-8図）

P C Vは，円錐フラスタム形をしたドライウェルと円筒形のサプレッション・チェンバ，及び両者を仕切るダイヤフラムフロアとこれを貫通するベント管等から構成されている。原子炉冷却材喪失時に原子炉から放出される蒸気は，このベント管を通してS／Pに導かれて凝縮される。

ii) 残留熱除去系（R H R）（第3.1.1.1-7図）

① 格納容器スプレイ冷却系

格納容器スプレイ冷却系はR H Rの機能の1つであり，S／P水をR H Rの熱交換器で冷却し，ドライウェル内及びサプレッション・チェンバ内にスプレイすることで格納容器内の温度，圧力を低減させるとともに，事故時に格納容器内に浮遊しているよう素を除去することにより，放射性物質が漏えいするのを抑制する。

② S／P冷却系

S／P冷却系はR H Rの機能の1つであり，S／P水

を R H R の熱交換器で冷却し、再びサブプレッション・チェンバへ戻すことにより S / P の温度を低減させる。

(d) 安全機能のサポート機能に関する系統

通常運転時に使用する補機の冷却は、原子炉補機冷却系 (R C W) , タービン補機冷却系 (T C W) 及び補機冷却系海水系 (A S W) (以下「常用補機冷却系」という。) により行う。また、電源については、通常運転時に使用する補機へは発電機から所内変圧器を通して給電し、プラント停止時に使用する補機へは起動変圧器から給電する。

異常時においては、残留熱除去系海水系 (R H R S) , 非常用ディーゼル発電機海水系 (D G S W) 及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系 (H P C S - D G S W) (以下「非常用補機冷却系」という。) により非常用の補機を冷却し、非常用電源を供給する。

なお、常用補機冷却系、非常用補機冷却系の区分 I , II , III は、それぞれ独立している。常用及び非常用補機冷却系の概要図を第 3.1.1.1-9 図に、所内用単線結線図を第 3.1.1.1-10 図に、電源系統の概要図を第 3.1.1.1-11 図に示す。

i) 残留熱除去系海水系 (R H R S)

R H R S は、L P C S 及び R H R の補機に直接海水を供給することで、これらを冷却する。

ii) 非常用ディーゼル発電機海水系 (D G S W)

D G S W は、非常用ディーゼル発電機 (D G - 2 C / 2 D) の補機に直接海水を供給することで、これらを冷却する。

iii) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系（H P C S
－ D G S W）

H P C S － D G S Wは，H P C S 及びH P C S ディーゼル発電機（H P C S － D G）の補機に直接海水を供給することで，これらを冷却する。

iv) 電源系（第3.1.1.1－10図，第3.1.1.1－11図）

主発電機トリップ等により所内電源が失われると，常用母線への給電は自動的に起動変圧器（275kV系）からの受電に切り替わる。また，起動変圧器からの受電に失敗した場合，非常用母線2 D（区分Ⅱ）及びH P C S 母線（区分Ⅲ）は予備変圧器（154kV系）からの受電に切り替わる。なお，非常用母線2 C（区分Ⅰ）はD G － 2 Cからの受電が優先され，必要に応じ，手動操作にて予備変圧器からの受電に切り替える。さらに，常用母線から非常用母線への給電がない場合には，非常用母線の電圧低下を検知して2台の非常用D G とH P C S － D G が自動起動し，非常用母線を介して非常用機器に給電する。

直流電源系は，125V，250V，24V系に分離され，それぞれ充電器，予備充電器及び蓄電池を備えている。本P R Aにおいて考慮している125V系は，A系（区分Ⅰ），B系（区分Ⅱ）及び高圧炉心スプレイ系（区分Ⅲ）があり，遮断器の開閉に必要な制御電源の供給やD G の起動等に用いられる。

3.1.1.2 起因事象

通常の運転状態を妨げる事象であって、炉心損傷に至る可能性のある起因事象を選定し、その発生頻度を評価した。

(1) 評価対象とした起因事象について

a. 起因事象の選定

プラントに適用する起因事象について、既往のPRAを参考に、次のとおり選定した。

- (a) 過渡事象
- (b) 手動停止／サポート系喪失
- (c) LOCA
- (d) 格納容器バイパス

また、上記(a)～(d)の起因事象区分のそれぞれにおいて、同一のイベントツリー及びフォールトツリーで評価できる起因事象グループに細分化を行った（添付資料 3.1.1.2-1）。選定した起因事象区分及び起因事象グループを第 3.1.1.2-1 表に示す。また、起因事象区分ごとに選定した起因事象グループを以下に示す。

(a-1) 過渡事象

機器の故障や人的過誤によりプラントパラメータが変動し、スクラム信号が発生して自動スクラムに至る事象である。これらの事象については、事象進展の類似性等を考慮し、以下のとおりグループ化している。ただし、緩和設備が従属して機能喪失に至る起因事象（以下「従属性を有する起因事象」という。）については、プラントへの影響の観点から別途グループ化している。

i) 非隔離事象

タービントリップ等により原子炉が自動スクラムする事象であり，原子炉とタービン側が隔離されない事象であるため，給復水系は事象発生後も継続して利用可能である。

ii) 隔離事象

主蒸気隔離弁の閉鎖等により原子炉が自動スクラムする事象であり，原子炉とタービン側が互いに隔離される事象である。給復水系を利用するためには主蒸気隔離弁等の開操作が必要となる。

iii) 全給水喪失

給水系の故障等により給水流量が全喪失する事象であり，原子炉水位の低下により原子炉が自動スクラムする事象である。起因事象の発生により給水系が全喪失するため，事象発生初期は給復水系が利用できない。

iv) 水位低下事象

給水系の故障等により給水流量が減少する事象であり，原子炉水位の低下により原子炉が自動スクラムする事象である。給水流量の全喪失には至らないため，給復水系は機能低下するものの，利用可能である。

v) 原子炉緊急停止系誤動作等

安全保護系の誤動作や制御棒の誤引き抜き等により原子炉出力が減少又は増加する事象である。事象発生初期に原子炉が隔離されないため，給復水系は利用可能である。

vi) 逃がし安全弁誤開放

原子炉運転中に S / R 弁が誤開放することにより，冷却

材（蒸気）が流出し，原子炉を手動でスクラムさせる事象である。本事象は，給水系が正常であれば原子炉が自動スクラムする事象ではないが，給水系が喪失した場合は，原子炉水位の低下により原子炉が自動スクラムする。本事象では，R C I C は利用できない。

(a-2) 外部電源喪失

外部電源が喪失し原子炉が自動スクラムする事象である。事象の発生により非常用電源の確保が必要になる等，他の事象とはプラント応答が異なるため，1つの起因事象グループとしている。

(b-1) 手動停止／サポート系喪失（手動停止）

原子炉停止機能，炉心冷却機能又は格納容器からの除熱機能を有する緩和設備の機能異常による計画外の手動停止及びサポート系の故障に伴う原子炉の手動停止を以下のとおりグループ化している。

i) 計画外停止

原子炉停止機能，炉心冷却機能又は格納容器からの除熱機能を有する緩和設備の機能異常が原因で原子炉を計画外に停止する事象である。

ii) 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅰ，Ⅱ）

残留熱除去系海水系の故障により原子炉を手動停止する事象である。本事象は従属性を有する起因事象であり，当該区分の系統が機能喪失する。

iii) 交流電源故障（区分Ⅰ）

区分Ⅰの交流電源の故障により原子炉を手動停止する事

象である。本事象は従属性を有する起因事象であり，当該区分の系統が機能喪失する。

(b-2) サポート系喪失（自動停止）

原子炉が自動停止に至るサポート系の故障を以下のとおりグループ化している。

i) 交流電源故障（区分Ⅱ）

区分Ⅱの交流電源の故障により120V計装用母線の電源が喪失することで給復水系の制御機能等が喪失し，原子炉が自動スクラムする事象である。本事象は従属性を有する起因事象であり，当該区分の系統が機能喪失する。

ii) タービン・サポート系故障

補機冷却海水系，タービン補機冷却系，計装用圧縮空気系等のタービン設備のサポート系の故障により，タービン設備に期待できない状態で原子炉を手動でスクラムさせる事象である。本事象は原子炉が自動スクラムする事象ではないが，事象進展の類似性から自動停止に至るサポート系喪失として分類する。

(b-3) サポート系喪失（直流電源故障）

直流電源故障時は他のサポート系喪失事象とはプラント応答が異なるため，1つの起因事象グループとしている。

i) 直流電源故障（区分Ⅰ）

区分Ⅰの直流電源の故障により高圧復水ポンプB及びCがトリップするため給水流量が低下し，原子炉水位の低下により原子炉が自動スクラムする事象である。原子炉スクラム後，区分Ⅰの直流電源喪失に伴い所内電源自動切替信

号が発信しないため、外部電源喪失と同様の事象進展となる。本事象は従属性を有する起因事象であり、当該区分の系統は機能喪失する。

ii) 直流電源故障（区分Ⅱ）

区分Ⅱの直流電源の故障によりタービンが自動トリップし、タービン主蒸気止め弁等が閉止し原子炉が自動スクラムする事象である。原子炉スクラム後、区分Ⅱの直流電源喪失により外部電源からの受電遮断器が操作不能となり、外部電源喪失と同様の事象進展となる。本事象は従属性を有する起因事象であり、当該区分の系統は機能喪失する。

(c) L O C A

冷却材流出によりプラントパラメータが変動し、スクラム信号が発生して自動スクラムに至る事象である。流出規模に応じて期待できる緩和設備が異なることから、以下のとおりグループ化している。

i) 大破断 L O C A

再循環系配管の両端破断のように、事象初期に急激な原子炉減圧を伴う規模の冷却材が流出する事象であり、S/R弁による原子炉減圧なしにLPCS又はLPCIにより炉心冷却が可能である。

ii) 中破断 L O C A

大破断L O C Aよりも破断口が小さく、減圧が緩やかな冷却材の流出規模であるため、LPCS又はLPCI系による炉心冷却のためにはS/R弁による原子炉減圧が必要である。また、RCICのみでは原子炉水位確保は困難で

ある。

iii) 小破断 L O C A

中破断 L O C A よりも破断口が小さく， R C I C のみで原子炉水位確保が可能であるが，制御棒駆動水压系のみでは原子炉水位確保が困難である。また，減圧が緩やかなため， L P C S 又は L P C I による炉心冷却のためには S / R 弁による原子炉減圧が必要である。

(d) 格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）

原子炉冷却材圧力バウンダリと接続された系統の配管が，高圧設計部分と低圧設計部分を分離するための隔離弁の誤開等により，低圧設計部分が過圧され破断する事象である。他の事象とはプラント応答が異なるため，1 つの起因事象グループとしている。

b. 国内外の評価事例の分析

選定した起因事象グループと，安全評価審査指針（原子炉設置変更許可申請書）及び E P R I N P - 2 2 3 0 で考慮している過渡事象及び事故との比較を行い，選定した起因事象の網羅性を確認した。原子炉設置変更許可申請書添付書類十及び E P R I N P - 2 2 3 0 で考慮されている過渡事象及び事故との比較結果を第3.1.1.2-2表に示す。

また，本プラント及び他の国内原子炉においてプラントの停止に至ったトラブル事例について，原子炉施設運転管理年報等により調査を行い，選定したいずれかの起因事象に含まれることを確認している。なお，東海第二発電所における過去のトラブル事象は第3.1.1.2-3表に示すとおりである。

c. 評価対象外とした起回事象

以下の事象は，発生頻度やプラントへの影響等の観点から，リスク評価上の重要性は低いと考え，評価対象から除外した。

- (a) 出力運転中の制御棒引き抜き，原子炉冷却材流量の部分喪失及び原子炉冷却材系の停止ループの誤起動

起回事象が発生した場合においても自動スクラムに至らず，炉心冷却機能への影響が軽微であるため，本事象は対象外とした。

- (b) 放射性気体廃棄物処理施設の破損

炉心損傷の観点からは考慮不要であるため，本事象は対象外とした。

- (c) 燃料集合体の落下事象

運転中では使用済燃料集合体の移送作業中における落下が考えられるが，落下した場合でも原子炉の運転状態を妨げることはなく，炉心損傷に至るような事象ではないため，本事象は対象外とした。

- (d) 制御棒落下

制御棒及び制御棒駆動機構の接続部は，十分に信頼性の高い構造とし，必要な場合以外に分離することがない設計となっている。万一，制御棒が駆動部から分離し落下した場合には，制御棒落下速度リミッタによって，落下速度を抑える設計になっている。

また，原子炉設置変更許可申請書の事故評価の中で，原子炉が臨界又は臨界近傍（冷温時，高温待機時）にあるときに制御棒が落下する事故を評価しているが，原子炉冷却材圧力

バウンダリにかかる圧力，燃料エンタルピーの最大値及びピーク出力部燃料エンタルピーの結果より，原子炉停止能力，原子炉冷却材圧力バウンダリ等の健全性は損なわれず炉心損傷に至ることはないことが確認されていることから，本事象は対象外とした。

(e) 主蒸気管破断

主蒸気管破断後に主蒸気隔離弁閉鎖に成功した場合は「隔離事象」と同様の事故進展となるが，発生頻度は $1\text{E-}5$ ／炉年程度であり，「隔離事象」に比べて十分小さいことから，評価対象外とした。

主蒸気隔離弁閉鎖に失敗した場合は「格納容器バイパス」が発生するが，発生頻度が極めて小さい値となることから，評価対象外とした（添付資料 3.1.1.2-2）。

(f) 原子炉圧力容器破損（DBA超過LOCA）

NUREG-1829では，DBAを超える範囲のLOCAの発生頻度は $1\text{E-}8$ ／炉年以下と評価されている。本事象に対して炉心損傷は防止できないものの，格納容器破損頻度の観点であっても十分低い値となっているため，本事象は対象外とした。

(g) 通常停止

定期検査のための停止や漏えい等の微小な故障によるプラント停止であり，原子炉停止機能，炉心冷却機能，格納容器からの除熱機能及び安全機能のサポート機能に影響がなく，緩和設備を十分有している状態での手動停止でありプラントへの影響は限定されるため，本事象は対象外とした（添付資

料 3.1.1.2-3)。

d. 起因事象発生頻度の評価

(a) 起因事象発生頻度の評価に用いたデータベース

国内 BWR プラントの起因事象発生頻度は、次の情報に基づいて、定期的に更新している。

- ・原子力施設運転管理年報（独立行政法人 原子力安全基盤機構）
- ・NUCIAで公開されているトラブル情報
- ・電気事業者によるプレスリリース

本 PRA では、起因事象発生頻度は、平成20年度末までの国内 BWR プラントの実績に基づいて算出したものを使用している（添付資料3.1.1.2-4）。

(b) 起因事象発生頻度の評価

選定した各起因事象について、発生頻度を評価した結果を第3.1.1.2-4表に示す。発生頻度の評価に当たっては、LOCA 及びインターフェイスシステム LOCA 以外の起因事象については、(a)の国内 BWR 全32基の運転実績に基づき、次の式により起因事象発生頻度を算出している。

$$\lambda_{IE} = X_{IE} / T_{OP}$$

λ_{IE} : 起因事象発生頻度（／炉年）

X_{IE} : 起因事象発生件数

T_{OP} : 総運転炉年又は営業運転開始からの総年数（暦年）

各起因事象発生頻度の評価方法は以下のとおり。

i) 過渡事象の発生頻度

過渡事象は、発生件数を総運転炉年で除して算出した。

運転実績には，利用可能な最新のデータである平成20年度（平成21年3月）末までのデータを用いることとし，発生件数のない起因事象に関しては，発生件数を0.5件と仮定して発生頻度を算出した。エラーファクタはW A S H - 1 4 0 0 を参考に工学的判断により設定した（添付資料 3.1.1.2-9）。

① 非隔離事象

$$81 / 488.1 = 1.7E-1 / \text{炉年}$$

非隔離事象の発生件数 : 81件

国内 B W R 全32基の総運転炉年 : 488.1年

② 隔離事象

$$13 / 488.1 = 2.7E-2 / \text{炉年}$$

隔離事象の発生件数 : 13件

国内 B W R 全32基の総運転炉年 : 488.1年

③ 全給水喪失

$$5 / 488.1 = 1.0E-2 / \text{炉年}$$

全給水喪失の発生件数 : 5件

国内 B W R 全32基の総運転炉年 : 488.1年

④ 水位低下事象

$$13 / 488.1 = 2.7E-2 / \text{炉年}$$

水位低下事象の発生件数 : 13件

国内 B W R 全32基の総運転炉年 : 488.1年

⑤ 原子炉緊急停止系誤動作等

$$27 / 488.1 = 5.5E-2 / \text{炉年}$$

原子炉緊急停止系誤動作等の発生件数 : 27件

国内 B W R 全32基の総運転炉年 : 488.1年

⑥ 逃がし安全弁誤開放

$$0.5 / 488.1 = 1.0E-3 / \text{炉年}$$

S / R 弁誤開放の発生件数※ : 0.5件

国内 B W R 全32基の総運転炉年 : 488.1年

※ : 発生経験がないため、発生件数を0.5件と仮定。

ii) 外部電源喪失の発生頻度

外部電源喪失の発生頻度は、発生件数を暦年で除して算出した。運転実績には、利用可能な最新のデータである平成20年度（平成21年3月）末までのデータを用いた。なお、外部電源喪失の発生件数は、運転時に発生した2件と停止中に発生した1件を加えた3件とし、エラーファクタはW A S H - 1 4 0 0 を参考に工学的判断により設定した（添付資料3.1.1.2-5）。

① 外部電源喪失

$$3 / 706.1 = 4.2E-3 / \text{炉年}$$

外部電源喪失の発生件数 : 3件

国内 B W R 全32基の営業運転開始

からの総年数（暦年） : 706.1年

iii) 手動停止／サポート系喪失（手動停止）の発生頻度

手動停止の発生頻度は、発生件数を総運転炉年で除して算出した。サポート系喪失（手動停止）の発生頻度は、発生件数を対象の系統数を考慮した総運転炉年で除して1系統当たりの発生頻度を算出した。運転実績には、利用可能な最新のデータである平成20年度（平成21年3月）末まで

のデータを用いることとし，発生経験のない起因事象に関しては，発生件数を0.5件と仮定して発生頻度を算出した。エラーファクタはW A S H－1 4 0 0を参考に工学的判断により設定した。

① 計画外停止

$$21 / 488.1 = 4.3\text{E-}2 / \text{炉年}$$

計画外停止の発生件数 : 21件

国内BWR全32基の総運転炉年 : 488.1年

② 残留熱除去系海水系故障

$$0.5 / 693.6 = 7.2\text{E-}4 / \text{炉年}$$

補機冷却系故障の発生件数※ : 0.5件

国内BWR全32基の補機冷却系の

系統数を考慮した総運転炉年 : 693.6年

※：発生経験がないため，発生件数を0.5件と仮定。

③ 交流電源故障（区分Ⅰ）

$$0.5 / 3366.2 = 1.5\text{E-}4 / \text{炉年}$$

交流電源故障の発生件数※ : 0.5件

国内BWR全32基の交流電源の母

線数を考慮した総運転炉年 : 3366.2年

※：発生経験がないため，発生件数を0.5件と仮定。

iv) サポート系喪失（自動停止）の発生頻度

サポート系喪失（自動停止）の発生頻度は，発生件数を対象の系統数を考慮した総運転炉年で除して1系統当たりの発生頻度を算出した。運転実績には，利用可能な最新のデータである平成20年度（平成21年3月）末までのデータ

を用いることとし，発生経験のない起因事象に関しては，発生件数を0.5件と仮定して発生頻度を算出した。エラーファクタはW A S H－1 4 0 0を参考に工学的判断により設定した。

① 交流電源故障（区分Ⅱ）

$$0.5 / 3366.2 = 1.5E-4 / \text{炉年}$$

交流電源故障の発生件数※ : 0.5件

国内BWR全32基の交流電源の母

線数を考慮した総運転炉年 : 3366.2年

※：発生経験がないため，発生件数を0.5件と仮定。

② タービン・サポート系故障

$$0.5 / 693.6 = 7.2E-4 / \text{炉年}$$

タービン・サポート系故障の発生件数※ : 0.5件

国内BWR全32基のタービン・サポー

ト系の系統数を考慮した総運転炉年 : 693.6年

※：発生経験がないため，発生件数を0.5件と仮定。

v) サポート系喪失（直流電源故障）の発生頻度

サポート系喪失（直流電源故障）の発生頻度は，発生件数を対象の系統数を考慮した総運転炉年で除して1系統当たりの発生頻度を算出した。運転実績には，利用可能な最新のデータである平成20年度（平成21年3月）末までのデータを用いることとし，発生経験のない起因事象に関しては，発生件数を0.5件と仮定して発生頻度を算出した。エラーファクタはW A S H－1 4 0 0を参考に工学的判断により設定した。

① 直流電源故障

$$0.5 / 1763.3 = 2.8\text{E-}4 / \text{炉年}$$

直流電源故障の発生件数※ : 0.5件

国内BWR全32基の直流電源の母線

数を考慮した総運転炉年 : 1763.3年

※：発生経験がないため，発生件数を0.5件と仮定。

vi) L O C A の発生頻度

L O C A については，国内外で発生した経験がないため，N U R E G / C R - 5 7 5 0 及びN U R E G - 1 8 2 9 のデータに基づき，大破断 L O C A ，中破断 L O C A ，小破断 L O C A の発生頻度及びエラーファクタを設定した（添付資料3.1.1.2-6）。

① 大破断 L O C A

$$2.0\text{E-}5 / \text{炉年}$$

② 中破断 L O C A

$$2.0\text{E-}4 / \text{炉年}$$

③ 小破断 L O C A

$$3.0\text{E-}4 / \text{炉年}$$

なお，本PRAでは，特定の緩和系の配管破断に伴うL O C A が発生した場合に，その緩和系を使用できなくなることについては考慮していないが，これを考慮した場合の影響についても確認した（添付資料3.1.1.2-7）。

vii) 格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A ）の発生頻度

インターフェイスシステム L O C A については，国内外

で発生した経験がないため、インターフェイスシステム L O C A となり得る配管を同定し、フォールトツリーによるシステム信頼性解析を使用する方法に基づき発生頻度及びエラーファクタを算出した（添付資料 3.1.1.2-8）。

① インターフェイスシステム L O C A

4.8E-10／炉年

3.1.1.3 成功基準

炉心損傷を防止するために必要とされる緩和設備及び緩和操作の組合せ，及びそれらの機能を達成するために必要な条件を定めた。

(1) 成功基準について

a. 炉心損傷判定条件

炉心損傷の判定条件を次のとおり設定した。

- ・ 燃料被覆管表面温度が 1,200℃を超えると評価される状態
- ・ 燃料被覆管の酸化量が，酸化反応が著しくなる前の被覆管厚さの 15%を超えると評価される状態

b. 起因事象ごとの成功基準の一覧表

上記を踏まえ，S A F E R コードによる成功基準解析結果（添付資料 3.1.1.3-1）を用いて，起因事象ごとに整理した成功基準の一覧を第 3.1.1.3-1 表に示す。また，低圧炉心冷却時の S / R 弁の必要弁数を第 3.1.1.3-2 表に，R H R S の成功基準を第 3.1.1.3-3 表に，E C C S ポンプ室等の空調機の成功基準を第 3.1.1.3-4 表に示す。

c. 対処設備作動までの余裕時間及び使命時間

(a) 余裕時間

運転員による緩和操作を対象として，それらを遂行するまでの余裕時間を M A A P コードによる事故進展解析（添付資料 3.1.1.3-1）結果等に基づき設定した。事故進展解析結果を第 3.1.1.3-5 表に示す。また，設定した余裕時間を以下に示す。

i) 炉心冷却に対する余裕時間

対象操作：原子炉注水に関する手動バックアップ

自動起動信号（高圧 E C C S，自動減圧，低圧 E C C S 等）に失敗した場合に，運転員の手動操作によるバックアップに期待する。

余裕時間：30 分（大中破断 L O C A 除く）

設定根拠：事故進展解析における高圧・低圧注水機能喪失シーケンスの炉心損傷に至る時間 0.9 時間に余裕を見込み 30 分とした。また，設定した余裕時間で炉心損傷を防止できることを，許認可での使用実績のある S A F E R コードを用いて確認した（添付資料 3.1.1.3-2）。ただし，小破断 L O C A を除く L O C A（大破断 L O C A 及び中破断 L O C A）における余裕時間については，事象進展が早く，30 分の余裕時間では炉心損傷を防止することは困難であるため極めて短い時間として別途考慮する。

ii) 格納容器除熱に対する余裕時間

対象操作：原子炉注水成功時の R H R による格納容器除熱操作

原子炉注水成功時，崩壊熱による格納容器破損を防ぐために，R H R を起動する必要がある。

余裕時間：1 時間

設定根拠：事故進展解析における崩壊熱除去機能喪失シーケンスの格納容器破損（格納容器圧力が最

高使用圧力の 2 倍) に至る時間 21.4 時間に対して, サプレッション・プール水温の上昇による注水設備への影響を考慮し, 保守的に 1 時間とした。

(b) 使命時間

緩和設備が要求される安全機能を果たすために必要な運転時間である使命時間については, 以下の観点から 24 時間を適用している。

- ・ 24 時間あれば, プラントを安定した状態に移行させることが可能であり, 機能喪失した設備の復旧や追加の運転員操作に期待できる。

d. 解析コードの検証性

成功基準解析に使用した S A F E R コードは, 許認可解析で十分な実績を有しており, 十分な検証が行われている。また, 事故進展解析に使用した M A A P コードの検証性については, 重大事故等防止対策の有効性評価の内容説明と併せて提示する。

3.1.1.4 事故シーケンス

事故シーケンスとは、炉心損傷等に至るまでの、起因事象の発生及び各種安全機能喪失の組合せのことである。また、炉心損傷に至る事故シーケンスを網羅的に展開するための体系的な分析と定量化が可能である手法として、イベントツリー法を用いる。

(1) イベントツリー

各起因事象に対して、炉心損傷を防止するために必要な緩和設備又は緩和操作を検討し、炉心損傷に至る事故シーケンスを展開した。また、展開した事故シーケンスの最終状態を炉心損傷状態又は成功状態のいずれかに分類した。

各起因事象のイベントツリーの概要を第3.1.1.4-1(a)図～第3.1.1.4-1(g)図に示す。また、各起因事象のイベントツリーの詳細を添付資料3.1.1.4-1に示す。展開した事故シーケンスの炉心損傷状態の分類を第3.1.1.4-1表に示す。

(2) 事故シーケンスの分類

イベントツリーによって展開した事故シーケンスの最終状態を炉心損傷状態又は成功状態のいずれかに分類している。炉心損傷状態については、「原子炉停止機能」、「炉心冷却機能」、「格納容器からの除熱機能」の各安全機能に着目し、起因事象及び緩和設備の成否等によって以下のように分類した(添付資料3.1.1.4-4)。

a. 原子炉停止機能

原子炉を臨界状態から未臨界状態にし、原子炉を安全な状態に移行する。この機能が喪失した場合、原子炉を未臨界状態にできず炉心損傷(格納容器先行破損)に至る場合を「原子炉停

止機能喪失」(TC)の事故シーケンスグループとして分類する。

b. 炉心冷却機能

原子炉の停止に成功した場合でも、炉心からの崩壊熱を除去しなければ炉心損傷に至る。炉心冷却機能は、高圧炉心冷却機能、原子炉減圧機能及び低圧炉心冷却機能からなり、これらの冷却機能の状況に応じて以下の事故シーケンスグループに分類する。

- ・ 事象発生後、高圧注水機能及び低圧注水機能が喪失し、炉心の冷却が十分に行われずに炉心損傷に至る場合を「高圧・低圧注水機能喪失」(TQUV)の事故シーケンスグループとして分類する。
- ・ 事象発生後、高圧注水機能及び原子炉減圧機能が喪失し、炉心の冷却が十分に行われずに炉心損傷に至る場合を「高圧注水・減圧機能喪失」(TQUX)の事故シーケンスグループとして分類する。
- ・ LOCA発生後、高圧注水機能及び低圧注水機能が喪失し、炉心の冷却が十分に行われずに炉心損傷に至る場合を「LOCA時注水機能喪失」の事故シーケンスグループとして分類する。

なお、バウンダリの破損規模等に応じてプラントの状態が異なることから以下のグループに細分化する。

- ・ 大破断LOCA後の炉心冷却失敗(AE)
- ・ 中破断LOCA後の炉心冷却失敗(S1E)
- ・ 小破断LOCA後の炉心冷却失敗(S2E)

- ・ 冷却材が格納容器外に漏えいする格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）については，漏えい箇所を隔離した上で炉心冷却が必要であるが，この隔離機能が喪失し，漏えいの継続により炉心損傷に至る場合を「格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）」（I S L O C A）の事故シーケンスグループとして分類する。

c．格納容器からの除熱機能

原子炉の注水に成功した場合においても，格納容器からの除熱機能が喪失した場合には，炉心損傷前に格納容器が過圧により破損し，その後，炉心損傷に至る場合があることから，「崩壊熱除去機能喪失」の事故シーケンスグループとして分類する。なお，崩壊熱除去機能喪失については，電源の状態に応じて以下のグループに細分化する。

- ・ 交流電源（区分Ⅰ又は区分Ⅱ）確保時の崩壊熱除去機能喪失（T W）
- ・ 交流電源（区分Ⅰ及び区分Ⅱ）確保失敗時の崩壊熱除去機能喪失（T B W）（添付資料 3.1.1.4-2）

d．安全機能のサポート機能

安全機能に必要な電源が喪失し，炉心損傷に至る場合を「全交流動力電源喪失」の事故シーケンスグループとして分類する。なお，本 P R A では，区分Ⅰ及び区分Ⅱの非常用 D G による交流電源の確保に失敗し，かつ高圧炉心スプレイ系による炉心冷却に失敗した場合を全交流動力電源喪失と定義している。

また，全交流動力電源喪失は，事故進展速度，原子炉圧力状

態等を考慮して以下のグループに細分化する。

- ・ 外部電源喪失後，非常用 D G 2 台が機能喪失した状態で，H P C S 及び R C I C が機能喪失（T B U）
- ・ 外部電源喪失後，非常用 D G 2 台が機能喪失した状態で，H P C S が機能喪失し，S / R 弁再閉鎖失敗によって R C I C が機能喪失（T B P）
- ・ 外部電源喪失後，直流電源故障による非常用 D G 2 台の起動に失敗し，H P C S 及び R C I C が機能喪失（T B D）
- ・ 外部電源喪失後，非常用 D G 2 台が機能喪失した状態で，H P C S が機能喪失し，R C I C による原子炉注水継続中に蓄電池が枯渇し R C I C が機能喪失（長期 T B）（添付資料 3.1.1.4-3）

3.1.1.5 システム信頼性

イベントツリーの定量化においては、展開したイベントツリーの各分岐に対して成功・失敗確率を決めるため、システム信頼性解析を実施する必要がある。この各分岐のシステム信頼性解析にはフォールトツリー法を用いた。本評価では、イベントツリーのヘディングに対応する緩和設備について、その機能遂行に必要なサポート系を含めたフォールトツリーを作成し定量化を実施した。

(1) 評価対象としたシステムとその説明

評価対象とした主要な緩和設備の一覧を以下に示す。それぞれの緩和設備ごとに概要、機能、系統図、必要とするサポート系、試験及びシステム信頼性評価上の主要な仮定を整理した。また、フロントライン系とサポート系の依存性を第3.1.1.5-1表に、サポート系同士の依存性を第3.1.1.5-2表に示す。システム間従属性は、イベントツリー、フォールトツリー及び両者の組合せによってモデル化した。

<原子炉停止機能>

- ・スクラム系

<炉心冷却機能>

- ・高圧炉心スプレイ系（H P C S）
- ・原子炉隔離時冷却系（R C I C）
- ・自動減圧系（A D S）
- ・低圧炉心スプレイ系（L P C S）
- ・低圧注水系（L P C I - A, B, C）

<格納容器熱除去機能>

- ・残留熱除去系（R H R - A, B）

<その他>

- ・メンテナンス

なお、「メンテナンス」のフォールトツリーは，保安規定上許容されない複数の緩和設備を同時に待機除外にするカットセットの組合せをイベントツリー上で評価から除外するために使用する（添付資料 3.1.1.5-3）。

(2) システム信頼性評価手法

システム信頼性解析では，フロントライン系とサポート系についてフォールトツリーを作成し，信頼性評価を行った（添付資料 3.1.1.5-1）。

フォールトツリーの作成に当たっては，対象範囲を示す系統図を作成するとともに，その範囲内にある機器でモデル化する故障モードを基事象リストの形で整理した。また，これらの情報に基づき(1)に示した緩和設備についてフォールトツリーを作成し，定量化を実施した。システム信頼性評価の例を第3.1.1.5-1図に示す。また，フォールトツリーの中でモデル化した機器タイプ及び故障モード一覧を第3.1.1.5-3表に示す。

(3) システム信頼性評価の結果

各緩和設備の代表的なフォールトツリーの評価結果を第3.1.1.5-4表に示す。また，過渡事象における各緩和設備の主要なミニマルカットセットを第3.1.1.5-5(a)表～第3.1.1.5-5(j)表に示す。

(4) システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度とその根拠

システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度とその根拠を第3.1.1.5-6表に示す（添付資料3.1.1.5-2）。

3.1.1.6 信頼性パラメータ

システム信頼性解析や事故シーケンスの定量化のために必要となる機器故障率，共通要因故障パラメータ，試験又は保守作業による待機除外確率等を評価するために必要となるパラメータを整備した。

(1) 非信頼度を構成する要素と評価式

非信頼度を構成する要素としては，機器故障，共通要因故障，試験による待機除外，保守作業による待機除外，人的過誤（3.1.1.7項）等があり，それぞれの評価式に基づき非信頼度を評価した。

(2) 機器故障率

機器故障率は，原則として，NUCIAで公開されている国内プラントの故障実績（1982年度～2002年度21ヵ年49基データ）を基にした「故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定（平成21年5月公表）」（以下「21ヵ年データ」という。）に記載されているデータを使用する。また，NUCIAで公開されている国内プラントの故障実績は，「原子力発電所に関する確率論的安全評価用の機器故障率の算出（1982年度～1997年度16ヵ年49基データ改訂版）（平成13年2月），電中研報告P00001，（財）電力中央研究所」で定義した機器バウンダリに従っている（添付資料3.1.1.6-1）。

なお，21ヵ年データに記載のない機器の故障率については，類似性を考慮した工学的判断に基づき，21ヵ年データに記載された他の機器の故障率を使用した（添付資料3.1.1.6-2，添付資料3.1.1.6-5）。

上記の機器故障率を使用して以下の評価式により基事象発生確

率を算出した。

- ・ 状態変更失敗確率

$$Q = Q_d$$

Q_d : デマンド故障率

又は

$$Q = \lambda_s \times T_s / 2$$

λ_s : 起動（又は状態変更）失敗率（／時間）

T_s : 平均試験間隔（時間）

- ・ 機能維持失敗確率

$$Q = \lambda_r \times T_m$$

λ_r : 機能維持失敗率（／時間）

T_m : 使命時間（時間）

(3) 機器復帰の取扱い方法及び機器復帰失敗確率

本評価では、故障した機器や外部電源の使命時間中の復旧には期待していない。

(4) 待機除外確率

a. 試験による待機除外確率

本評価でモデル化対象とした緩和設備について、試験による待機除外のモデル化の可否を検討した。その結果、試験の実施のために待機中とは異なる系統構成とする場合でも、試験中に作動要求信号が発信すれば試験状態が自動的に解除されることから、試験による待機除外のモデル化は不要であることを確認した。

b. 保守作業による待機除外確率

本評価でモデル化対象とした緩和設備の保守作業による待機

除外のモデル化の要否を検討し、モデル化が必要な場合は機器の平均修復時間と機器故障率データを用いて待機除外確率を、次の式により算出した。

$$P_{SYS} = \sum_i (\lambda_i \cdot T r_i)$$

λ_i : 定期試験等によって異常の発見可能な機器 i の異常発生率 (／時間)

$T r_i$: 機器 i の平均修復時間 (時間)

ここで、 λ_i は、N U R E G / C R - 2 8 1 5 を参考に、対象機器の異常が検知されれば機器が機能喪失する前に予防保全として保守作業を実施することを考慮して、定期試験等によって異常の発見が可能な機器の故障モードの機器故障率の10倍としている (添付資料3.1.1.6-3)。

(5) 共通要因故障の評価方法と共通要因故障パラメータ

同一又は異なるシステムにおいて多重性を持たせるために用いられる機器については、共通要因故障を考慮する。共通要因故障同定のフロー図を第3.1.1.6-1図に示す。フロー図に従い、以下の3つの条件を同時に満たす場合に、共通要因故障を考慮した。

- a. 冗長の機能を有する同種機器
- b. 起因事象発生前の運転状態が同一
- c. 同一故障モード

動的機器と静的機器及びそれらの故障モードによって、共通要因故障の起こりやすさの程度は異なると考えられる。動的機器の動的故障モードについては、共通要因故障が発生する可能性が比較的高いと考えられることから、上記条件を満たすものに対しては共通要因故障を考慮している。また、動的機器の静的故障モー

ド及び静的機器の各故障モードについては、動的機器の動的故障モードと同程度の故障率であるものに対して共通要因故障を考慮した。フロー図に従って同定した、同一システム内で共通要因故障を考慮した機器及び故障モードを第3.1.1.6-1表、システム間で共通要因故障を考慮した機器及び故障モードを第3.1.1.6-2表に示す。

なお、本評価では、M G L (Multiple Greek Letter) 法を用いて共通要因故障を考慮した（添付資料3.1.1.6-4）。共通要因故障パラメータとしては、米国で公開され、あるいはP R Aでの使用実績がある文献等から、妥当と考えられる β 、 γ ファクタを使用した。本評価で使用した共通要因故障パラメータの一覧を第3.1.1.6-3表に示す。

3.1.1.7 人的過誤

人的過誤は人間信頼性解析により評価する。人間信頼性解析とは、炉心損傷頻度に有意な影響を及ぼし得る人間行動（タスク）に対して、起こり得る人的過誤を同定してそのタスクの成功又は失敗の確率を評価するものである。

本作業では、起因事象発生前の作業及び発生後の緩和操作を対象として、それらを遂行する過程で起こり得る人的過誤を同定し、その発生確率を算出した。

(1) 評価対象とした人的過誤及び評価結果

人間信頼性解析は、ヒューマンエラーハンドブック（N U R E G / C R - 1 2 7 8）の T H E R P 手法（Technique for Human Error Rate Prediction）を使用して評価した。なお、本評価では過誤回復として、評価対象となる人的過誤の特徴を考慮し、他の運転員によるバックアップをモデル化している。本評価で同定した人的過誤及び過誤確率の評価結果の例を第3.1.1.7-1表に示す（添付資料3.1.1.7-1，添付資料3.1.1.7-4）。

a．起因事象発生前の人的過誤

起因事象発生前に考慮すべき人的過誤として、試験・保守作業の終了後、対象系統あるいは機器の通常状態への復旧忘れを考慮した。具体的には、手動弁の開閉忘れ等を評価した（添付資料3.1.1.7-2，添付資料3.1.1.7-3）。

b．起因事象発生後の人的過誤

プラントで事故が発生した場合、運転員は所定の運転手順書に記載されている手順に従って、原子炉を安全に停止させるために必要な措置をとる。P R Aにおいては、運転員が行う行為

を人的過誤の評価対象とする。具体的には、起因事象発生後の各人的過誤の評価に対して、認知失敗と操作失敗に分けて評価している。

(a) 認知失敗

認知失敗では、警報等により異常を検知して適切な運転手順を選択することに失敗することをモデル化する。認知失敗確率は、THERP手法に基づき、時間信頼性曲線を用いており、対象とする人的過誤の特徴を考慮したストレスレベル等の補正係数を乗じて算出している。なお、時間信頼性曲線を用いる際に必要な余裕時間は、3.1.1.3項で設定した余裕時間を用いる（添付資料3.1.1.7-6，添付資料3.1.1.7-7）。

(b) 操作失敗

操作失敗では、認知成功後の対応操作に失敗することをモデル化する。操作失敗確率は、THERP手法に基づき、運転員のストレスレベルや操作の複雑性を考慮して算出する（添付資料3.1.1.7-5）。

3.1.1.8 炉心損傷頻度

炉心損傷に至る事故シーケンスの発生頻度を算出して全炉心損傷頻度を算出するとともに、主要な結果を分析した。

(1) 炉心損傷頻度の算出に用いた方法

本評価では、計算コード *S a f e t y W a t c h e r* を用いて、フォールトツリー結合法により事故シーケンスを定量化し、炉心損傷頻度を算出した（添付資料3.1.1.8-1）。

(2) 炉心損傷頻度（点推定値）

事故シーケンスの定量化を行った結果、全炉心損傷頻度は $6.1\text{E-}5$ ／炉年となった。起因事象別の炉心損傷頻度を第3.1.1.8-1表に示す。また、各事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度を第3.1.1.8-2表に、事故シーケンスグループに対する分析結果を第3.1.1.8-3表に示す（添付資料3.1.1.8-2）。

起因事象別の全炉心損傷頻度に対する寄与割合を第3.1.1.8-1図に示す。起因事象別の炉心損傷頻度は、「過渡事象」が71.3%を占める。次いで、「手動停止／サポート系喪失（手動停止）」が16.5%、「サポート系喪失（直流電源故障）」が8.9%を占める。また、過渡事象のうち非隔離事象を起因とする炉心損傷頻度が全炉心損傷頻度の41.8%を占める結果となった。「過渡事象」の炉心損傷頻度が比較的高い理由は、起因事象発生頻度が高いことによるものである。また、「手動停止／サポート系喪失（手動停止）」及び「サポート系喪失（直流電源故障）」については、起因事象発生頻度は比較的低いが、その発生により当該区分の緩和設備が機能喪失することにより、期待できる緩和設備が限定されることによるものである。

事故シーケンスグループ別の全炉心損傷頻度に対する寄与割合を第3.1.1.8-2図に示す。事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度は「崩壊熱除去機能喪失」が99.8%を占め、支配的となった。これは、本評価で期待している崩壊熱除去機能を有する設備が残留熱除去系のみであり、炉心冷却機能に比べて期待できる緩和設備が少ないことによる。

(3) 重要度解析，不確かさ解析及び感度解析

a. 重要度解析

全炉心損傷頻度への寄与が大きい因子を分析するため、Fussell-Vesely (F V) 重要度及びRisk Achievement Worth (R A W)を評価した。

○ F V 重要度

対象とする事象の発生確率を0とした場合にリスクがどれだけ低下するかを示す指標

$$F V \text{重要度} = \frac{C D F - C D F (A = 0)}{C D F}$$

$C D F (A = 0)$: 事象 A の発生確率が0の場合の
全炉心損傷頻度

$C D F$: 全炉心損傷頻度

○ R A W

対象とする事象が必ず発生すると仮定した場合にリスクがどれだけ増加するかを示す指標

$$R A W = \frac{C D F (A = 1)}{C D F}$$

$C D F (A = 1)$: 事象 A の発生確率が1の場合の

全炉心損傷頻度

重要度解析は，起因事象及び緩和系の基事象に対して実施した。

【起因事象】

起因事象の F V 重要度の評価結果を第3.1.1.8－4表に示す。起因事象の F V 重要度は，全炉心損傷頻度に対する寄与割合と同じであり，過渡事象の「非隔離事象」の F V 重要度が最も高く， $4.2E-1$ となる。次いで，過渡事象の「原子炉緊急停止系誤動作等」が $1.4E-1$ となる。

起因事象の R A W の評価結果を第3.1.1.8－5表に示す。起因事象の R A W は，起因事象発生頻度が低いもの，及び条件付炉心損傷確率が高いものが高くなることから，起因事象発生頻度が低く，かつ条件付炉心損傷確率が1である「インターフェイスシステム L O C A」の R A W が最も高く， $1.6E+4$ となる。次いで，サポート系喪失（直流電源故障）の「直流電源故障（区分Ⅰ）」，「直流電源故障（区分Ⅱ）」がそれぞれ $1.6E+2$ ， $1.6E+2$ となる。

起因事象に対する F V 重要度と R A W の相関を第3.1.1.8－3図に示す。「直流電源故障（区分Ⅰ）」及び「直流電源故障（区分Ⅱ）」の起因事象は，F V 重要度と R A W がともに高い結果となった。

【緩和設備の基事象】

緩和設備の基事象（人的過誤の基事象を含む）のF V重要度の評価結果（上位10位）を第3.1.1.8－6表に示す。緩和設備の基事象のF V重要度は、「R H R系操作失敗」が6.2E-1と最も高くなった。また、残留熱除去系、残留熱除去系海水系、及び非常用D Gに関する基事象のF V重要度が高い結果となった。これらはいずれも残留熱除去系のフロントライン系又はサポート系の基事象である。全炉心損傷頻度に対する寄与割合が99%以上を占める事故シーケンスグループが崩壊熱除去機能喪失（T W／T B W）であることから、崩壊熱除去機能に影響する基事象が高いF V重要度を示した。

緩和設備の基事象のR A Wの評価結果（上位10位）を第3.1.1.8－7表に示す。緩和設備の基事象のR A WはR H R及びR H R Sの共通要因故障に関する基事象が上位を占める結果となった。本評価では崩壊熱除去機能として期待している系統はR H Rのみであることから、これらの基事象の発生確率を1とした場合に崩壊熱除去機能が喪失し炉心損傷に至るため、R A Wが高くなっている。

緩和設備の基事象に対するF V重要度とR A Wの相関を第3.1.1.8－4図に示す。「R H R系操作失敗」及び「R H R S－A／B海水ストレーナ閉塞共通要因故障」の基事象は、F V重要度とR A Wがともに高い結果となった。

b. 不確実さ解析

全炉心損傷頻度及び事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度の5%値，中央値，平均値，及び95%値を評価した。評価結果を第3.1.1.8－8表及び第3.1.1.8－5図に示す（添付資料

3.1.1.8-3)。

全炉心損傷頻度の平均値は $6.4\text{E-}5$ ／炉年となり，点推定値と概ね一致した。また，全炉心損傷頻度のエラーファクタは3.8となった。これは，各パラメータの不確実さの影響により，95％値と5％値の間に14倍の不確実さ幅があることを意味する。

$$E F = \sqrt{\frac{95\% \text{値}}{5\% \text{値}}}$$

c．感度解析

(a) プラント固有データの反映

東海第二発電所のプラント固有の運転実績を考慮した起因事象発生頻度及び機器故障率を①頻度論統計及び②ベイズ統計により算出し，全炉心損傷頻度を評価した（添付資料3.1.1.8-4）。

対象とする起因事象は，平成20年度（平成21年3月）末までに東海第二発電所で発生経験のある「非隔離事象」，「水位低下事象」，「原子炉緊急停止系誤動作等」及び「計画外停止」を選定した。一般パラメータ（平成20年度末までの国内プラントの実績）を用いた起因事象発生頻度のベースケースとの比較を第3.1.1.8－9表に示す。

また，対象とする機器故障率は，内部事象出力運転時レベル1 P R Aでモデル化している機器のうち，東海第二発電所で故障実績があり重要度が比較的高い「電動弁（淡水）作動失敗（開／閉失敗）」及び「逆止弁開失敗」を選定した。一般パラメータを用いた機器故障率のベースケースとの比較を第3.1.1.8－10表に示す。

東海第二発電所のプラント固有の運転実績を考慮した感度解析結果を第3.1.1.8－11表，第3.1.1.8－6図，及び第3.1.1.8－7図に示す。全炉心損傷頻度は，頻度論統計の場合はベースケースの1.6倍である $9.8\text{E-}5$ ／炉年，ベイズ統計の場合はベースケースの1.3倍である $7.7\text{E-}5$ ／炉年となり，共にベースケースの不確実さの幅の中に収まっていることを確認した。また，全炉心損傷頻度への寄与割合が大きな事故シーケンスグループは，ベースケースと同様，崩壊熱除去機能喪失となった。以上より，東海第二発電所のプラント固有データを用いて評価した結果について，一般パラメータを用いて評価した場合と同様の傾向を示していることを確認した。

(b) 給復水系のモデル化

本PRAでは炉心冷却機能及び格納容器除熱機能として給復水系に期待していないが，起因事象の発生により原子炉が隔離されない事象のうち，継続して給復水系が使用可能である以下の起因事象を対象に，給復水系に期待した場合の炉心損傷頻度を評価した。

- ・ 非隔離事象
- ・ 水位低下事象
- ・ 原子炉緊急停止系誤動作等
- ・ 計画外停止
- ・ 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅰ）
- ・ 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅱ）

給復水系をモデル化したイベントツリーの例として非隔離事象のイベントツリーを第3.1.1.8－8図に示す。また，給水

系のモデル化に関する感度解析結果を第3.1.1.8－12表，第3.1.1.8－9図及び第3.1.1.8－10図に示す。原子炉が隔離されない起因事象に対して，給復水系に期待した場合の全炉心損傷頻度は $1.4\text{E-}5$ ／炉年となり，ベースケースと比較して0.23倍となった。

事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度は，給復水系による高圧炉心冷却機能に期待することにより，T Q U V及びT Q U Xの炉心損傷頻度が低下し，給復水系による格納容器除熱機能に期待することにより，T Wの炉心損傷頻度が低下した。なお，全炉心損傷頻度に対する寄与割合については，「崩壊熱除去機能喪失」が99.0%を占め，ベースケースと同様に支配的となった。

(4) まとめ

東海第二発電所の内部事象出力運転時レベル1 P R Aを実施した。その結果，全炉心損傷頻度の点推定値は $6.1\text{E-}5$ ／炉年となった。また，不確かさ解析の結果得られた全炉心損傷頻度の平均値は $6.4\text{E-}5$ ／炉年，エラーファクタは3.8であった。

また，炉心損傷に至る支配的な要因を確認する観点で重要度解析を，全炉心損傷頻度への潜在的な影響を確認する観点で感度解析を実施した。

重要度解析においては，F V重要度及びR A Wの2つの重要度指標を用いて起因事象及び緩和設備の基事象の重要度を把握した。その結果，起因事象では「直流電源故障（区分Ⅰ）」及び「直流電源故障（区分Ⅱ）」，緩和設備では残留熱除去系，残留熱除去系海水系及び非常用D Gの重要度が高いことを確認した。なお，

残留熱除去系の共通要因故障については、代替除熱手段である耐圧強化ベント系又は格納容器圧力逃がし装置により炉心損傷頻度の低減が可能である。また、残留熱除去系海水系の共通要因故障については、緊急用海水系により炉心損傷頻度の低減が可能である。さらに、非常用 D G の故障については、常設代替高圧電源装置により炉心損傷頻度の低減が可能である。

感度解析においては、東海第二発電所の運転実績を反映した起因事象発生頻度及び機器故障率データを用いて全炉心損傷頻度を評価した。その結果、全炉心損傷頻度はベースケースの不確実さの幅の中に収まっていることを確認し、一般パラメータを用いて評価した場合と同様の傾向を示していることを確認した。

第3.1.1.1-1 表 レベル1 PRA実施のために収集した情報及びその主な情報源 (1/2)

| P R Aの作業 | 収集すべき情報 | | 主な情報源 |
|---------------------|-------------------------|---------------------|---|
| 1. プラントの構成・特性の調査 | P R A実施に当たり必要とされる基本的な情報 | a) 設計情報 | 1) 原子炉設置変更許可申請書 2) 基本図面集 (P & I D) 3) 展開接続図 (CWD) |
| | | b) 運転・保守管理情報 | 1) 設備別運転手順書 2) 起動停止手順書 3) 定期試験手順書 4) 警報処置手順書 5) 故障時運転手順書 6) 巡視点検手順書 7) 非常時運転手順書 8) 非常時運転手順書Ⅱ 9) 非常時運転手順書Ⅲ 10) 原子炉施設保安規定 11) 定期事業者検査要領書 12) アクシデントマネジメントガイド 13) アクシデントマネジメント故障機器復旧手順ガイドライン 14) 定期試験実施取扱書 15) 直定例業務・定期機器切替実施取扱書 16) 点検計画 17) 保全計画 |
| 2. 起因事象の選定及び発生頻度の評価 | 定量化に当たり必要とされる情報 | 過渡事象, 外部電源喪失等に関する事例 | 1) 上記1の情報源 2) 既往P R A報告書 3) 原子力施設運転管理年報 4) 過渡事象に関する報告書 ・ EPRI NP-2230 ^{※1} 5) L O C Aの発生頻度の評価に関する報告書 ・ NUREG/CR-5750 ^{※2} ・ NUREG-1829 ^{※3} |

※1 EPRI NP-2230, 「ATWS:A Reappraisal Part3:Frequency of Anticipated Transients」, 1982

※2 NUREG/CR-5750, 「Rates of Initiating Events at U.S. Nuclear Power Plants:1987-1995」, 1998

※3 NUREG-1829, 「Estimating Loss of Coolant Accident (LOCA) Frequencies Through the Elicitation Process」, 1999

第3.1.1.1-1 表 レベル1 PRA実施のために収集した情報及びその主な情報源 (2/2)

| PRAの作業 | 収集すべき情報 | | 主な情報源 |
|---------------|-----------------|--|--|
| 3. 成功基準の設定 | 定量化に当たり必要とされる情報 | <ul style="list-style-type: none"> ・安全系等のシステム使用条件 ・システムの現実的な性能 | 1) 上記1の情報源 2) 既往PRA報告書 3) 成功基準に係る報告書 |
| 4. 事故シーケンスの分析 | | | |
| 5. システム信頼性解析 | | 対象プラントに即した機器故障モード | 1) 上記1の情報源 2) 下記6, 7の情報源 |
| 6. パラメータの作成 | | 対象プラントに即したデータ | 1) 上記1の情報源 2) 国内機器故障率データ <ul style="list-style-type: none"> ・故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定^{※4} 3) 保守作業による待機除外確率 <ul style="list-style-type: none"> ・NUREG/CR-2815^{※5} 4) 共通要因故障パラメータ <ul style="list-style-type: none"> ・NUREG/CR-1205 Rev.1^{※6} ・NUREG/CR-1363 Rev.1^{※7} ・NUREG/CR-4550^{※8} ・NUREG-1150^{※9} ・NUREG/CR-2771^{※10} ・SECY-83-293^{※11} ・NUREG-0666^{※12} ・NUREG/CR-5497^{※13} |
| 7. 人間性信頼性解析 | | <ul style="list-style-type: none"> ・運転員による緩和操作等 ・各種操作・作業等に係る体制 | 1) 上記1の情報源 2) 人間信頼性解析に関する報告書 <ul style="list-style-type: none"> ・NUREG/CR-1278^{※14} |

※4 2009年5月, 有限責任中間法人 日本原子力技術協会

※5 NUREG/CR-2815 Rev.1, 「Probabilistic Safety Analysis Procedures Guide」,1985

※6 NUREG/CR-1205 Rev.1, 「Data Summaries of Licensee Event Reports of Pumps at U.S. Commercial Nuclear Power Plants」,1982

※7 NUREG/CR-1363 Rev.1, 「Data Summaries of Licensee Event Reports of Valves at U.S. Commercial Nuclear Power Plants, January 1976 to December 31, 1978」,1982

※8 NUREG/CR-4550, 「Analysis of Core Damage Frequency」,1987

※9 NUREG-1150, 「Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants」,1990

※10 NUREG/CR-2771, 「Common Cause Fault Rates for Instrumentation and Control Assemblies」,1983

※11 SECY-83-293, 「Amendments to 10 CFR 50 Related to Anticipated Transients Without Scram (ATWS) Events」,1983

※12 NUREG-0666, 「A Probabilistic Safety Analysis of DC Power Supply Requirements for Nuclear Power Plants」,1981

※13 NUREG/CR-5497, 「Common-Cause Failure Parameter Estimations」,1998

※14 NUREG/CR-1278, 「Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications Final Report」,1983

第 3.1.1.1-2 表 P R Aで考慮する主な設備

| 機能及び系統名※ ¹ | | 系統の説明 |
|---|--|---|
| 原子炉停止機能 ※ ² | | |
| スクラム系 (原子炉緊急停止系, スクラム排出容器, 制御棒駆動水压系) | | 原子炉水位低 (レベル 3) 等の信号により異常を検知して, 急速かつ自動的に制御棒を炉心に挿入し, 原子炉を停止させる。信号を発する原子炉緊急停止系, スクラム排出容器及び制御棒駆動水压系から構成される。 |
| 炉心冷却機能※ ³ | | |
| 高圧炉心スプレイ系 (HPCS) | | 原子炉水位異常低下 (レベル 2) 又はドライウエル圧力高の信号で自動起動し, 電動駆動のポンプにより, 高圧～低圧状態の原子炉に注水する。 |
| 原子炉隔離時冷却系 (RCIC) | | 原子炉水位異常低下 (レベル 2) の信号で自動起動し, 蒸気タービン駆動のポンプにより, 原子炉に注水する。 |
| 自動減圧系 (ADS) | | 原子炉水位異常低下 (レベル 1) 及びドライウエル圧力高の信号により, ADS機能を有する逃がし安全弁を自動開放して原子炉圧力を低下させる。 |
| 低圧炉心スプレイ系 (LPCS) | | 原子炉水位異常低下 (レベル 1) 又はドライウエル圧力高の信号で自動起動し, 電動駆動のポンプにより, 低圧状態の原子炉に注水する。 |
| 低圧注水系 (LPCI) (残留熱除去系 (RHR)) | | 低圧注水系はRHRの機能の 1 つであり, 原子炉水位異常低下 (レベル 1) 又はドライウエル圧力高の信号で自動起動し, 電動駆動のポンプにより, 低圧状態の原子炉に注水する。 |
| 格納容器除熱機能 | | |
| 残留熱除去系 (RHR) (格納容器スプレイ冷却系／サブプレッション・プール冷却系) | | 格納容器スプレイ冷却系はRHRの機能の 1 つであり, サプレッション・プール水をRHRの熱交換器で冷却し, ドライウエル内及びサブプレッション・チェンバ内にスプレイすることで格納容器内の温度, 圧力を低減させる。 サブプレッション・プール冷却系はRHRの機能の 1 つであり, サプレッション・プール水をRHRの熱交換器で冷却し, 再びサブプレッション・チェンバへ戻すことによりサブプレッション・プールの温度を低減させる。 |
| 安全機能のサポート機能 | | |
| 残留熱除去系海水系 (RHRS) 非常用ディーゼル発電機海水系 (DGSW) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系 (HPCS-DGSW) | | 直接海水を供給することで, 各々の補機を冷却する。 RHRS: LPCS, RHR 等 DGSW: DG-2C/2D HPCS-DGSW: HPCS, HPCS-DG |
| 非常用ディーゼル発電機 (DG) | | 外部電源の喪失等を受けて自動起動し, 非常用機器に給電する。 |
| 直流電源 (DC) | | RCICやDGの起動, 逃がし安全弁の電磁弁や遮断器の開閉等の非常用機器の制御に用いる。 |

※¹ 外部電源が喪失した場合の復旧及び故障した機器の復旧は考慮していない。

※² 全制御棒挿入失敗時のほう酸水注入系については, AM操作を伴うことから原子炉停止機能として考慮していない。

※³ 給復水系による注水機能及び除熱機能は考慮していない。

第 3.1.1.1-3 表 系統設備概要

| 系統設備 | 概要 |
|-----------------------------|--|
| 制御棒及び制御棒駆動水压系 (スクラム系) | 原子炉緊急停止系 1 out of 2 ×2 の論理回路 制御棒本数：185 本 スクラム水排出容器：2 組 |
| 高圧炉心スプレイ系 (H P C S) | 電動ポンプ台数：1 台 ポンプ容量：約 1,440t/h |
| 原子炉隔離時冷却系 (R C I C) | タービン駆動ポンプ台数：1 台 ポンプ容量：約 142m ³ /h |
| 自動減圧系 (A D S) | 弁個数：7 個 弁容量：約 360t/h (1 個当たり) (7.76MPa [gage] において) |
| 低圧炉心スプレイ系 (L P C S) | 電動ポンプ台数：1 台 ポンプ容量：約 1,440t/h |
| 残留熱除去系 (R H R) | 電動ポンプ台数：3 台, 熱交換器台数：2 台 ・低圧注水系 (L P C I) : 3 系統 ・格納容器スプレイ冷却系/ サブプレッション・プール冷却系：2 系統 ポンプ容量：約 1,690m ³ /h (1 台当たり) |
| 残留熱除去系海水系 (R H R S) | 電動ポンプ台数：4 台 ポンプ容量：約 886m ³ /h (1 台当たり) |
| 非常用ディーゼル発電機海水系 (D G S W) | 非常用ディーゼル発電機用電動ポンプ台数：2 台 ポンプ容量：約 273m ³ /h (1 台当たり) H P C Sディーゼル発電機用電動ポンプ台数：1 台 ポンプ容量：約 233m ³ /h |
| 非常用ディーゼル発電機 (D G) | 非常用ディーゼル発電機台数：2 台 定格容量：約 6,500kVA/台 H P C Sディーゼル発電機台数：1 台 定格容量：約 3,500kVA |
| 直流電源 (D C) | 所内蓄電池：2 組 容量：A—約 3,500Ah, B—約 2,500Ah H P C S系用蓄電池組数：1 組 容量：約 900Ah |

第 3.1.1.2-1 表 既往の P R A を基に選定した起回事象

| | Peach Bottom (WASH-1400) | Peach Bottom (NUREG - 1150) | Grand Gulf (NUREG - 1150) | 国内 BWR 5 プラント (共通懇 P S A レビュー 検討 W G) | 東海第二発電所の 起回事象グループ |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|---|------------------------|
| 過渡事象 | ・ 過渡事象 | ・ PCS が使用可能でない過渡事象 | ・ PCS が使用可能でない過渡事象 | ・ MSIV 閉 | ・ 隔離事象 |
| | | ・ PCS が使用可能な過渡事象 | ・ PCS が使用可能な過渡事象 | ・ 復水器真空喪失 | ・ 非隔離事象 |
| | | ・ 給水喪失 | ・ 給水喪失 | ・ タービントリップ | ・ 水位低下事象 |
| | | ・ 逃がし安全弁誤開放 | ・ 逃がし安全弁誤開放 | ・ その他の過渡変化 | ・ 原子炉緊急停止系誤動作等 |
| | | ・ 外部電源喪失 | ・ 外部電源喪失 | ・ 給水喪失 | ・ 全給水喪失 |
| L O C A | — | ・ 逃がし安全弁誤開放 | ・ 逃がし安全弁誤開放 | ・ 逃がし安全弁誤開放 | ・ 逃がし安全弁誤開放 |
| | | ・ 外部電源喪失 | ・ 外部電源喪失 | ・ 外部電源喪失 | ・ 外部電源喪失※3 |
| | | ・ 交流電源故障 | ・ 計装用圧縮空気系故障 | — | ・ 計画外停止※4 |
| | | ・ 直流電源故障 | — | — | ・ 残留熱除去系海水系故障※4 |
| | | — | — | — | ・ 交流電源故障※4, 5 |
| 手動停止／サポート系喪失 | — | ・ 原子炉圧力容器破損※1 | ・ 大破断 L O C A | ・ 大破断 L O C A | ・ タービン・サポート系故障※5 |
| | | ・ 大破断 L O C A | ・ 中破断 L O C A | ・ 中破断 L O C A | ・ 直流電源故障※6 |
| | | ・ 中破断 L O C A | ・ 小破断 L O C A | ・ 小破断 L O C A | — |
| | | ・ 小破断 L O C A | ・ 極小 L O C A※2 | — | — |
| | | — | — | — | — |
| 器 格 パ バ ス ナ イ 容 | — | ・ インターフェイスシステム L O C A | ・ インターフェイスシステム L O C A | — | ・ インターフェイスシステム L O C A |
| | | — | — | — | — |
| | | — | — | — | — |
| | | — | — | — | — |
| | | — | — | — | — |

※1 原子炉圧力容器破損は、「3.1.1.2(1) c. 評価対象外とした起回事象」に述べる理由により評価対象から除外した。

※2 極小 L O C A は、重大な原子炉への外乱に発展する可能性は小さいため通常停止に含まれる。なお、通常停止については「3.1.1.2(1) c. 評価対象外とした起回事象」に述べる理由により評価対象から除外した。

※3 非常用電源の確保が必要になる等、他の事象とはプラント応答が異なるため、単独の起回事象区分とした。

※4～※6 同じイベントツリーで取り扱える範囲のグループを同じ区分とした。(※4：手動停止／サポート系喪失（手動停止）、※5：サポート系喪失（自動停止）、※6：サポート系喪失（直流電源故障）)

第 3.1.1.2-2 表 原子炉設置変更許可申請書添付書類十及び
E P R I N P - 2 2 3 0 の起因事象との比較結果

| | 東海第二発電所 | E P R I N P - 2 2 3 0 による過渡事象 | 事象分類 |
|---|---|---|--------------|
| | 原子炉設置変更許可申請書 添付書類十における 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故 | | |
| 運 転 時 の 異 常 な 過 渡 変 化 | 原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き | 起動時における制御棒引き抜き | 原子炉緊急停止系誤動作等 |
| | 出力運転中の制御棒の異常な引き抜き | 出力運転中の制御棒引き抜き | |
| | 原子炉冷却材流量の部分喪失 | 再循環ポンプ 1 台トリップ 再循環流量制御系の誤動作（再循環流量減少） | 起因事象対象外 |
| | 原子炉冷却材系の停止ループの誤起動 | 再循環停止ループ誤起動 | |
| | 外部電源喪失 | 外部電源喪失 | 外部電源喪失 |
| | | 補助電源喪失 | |
| | | 復水器真空度喪失 | 隔離事象 |
| | 給水加熱喪失 | 給水加熱喪失 | 非隔離事象 |
| | 原子炉冷却材流量制御系の誤動作 | 再循環流量制御系の誤動作（再循環流量増加） | |
| | 負荷の喪失 | 発電機負荷遮断 タービントリップ 圧力制御装置の故障（蒸気流量減少） バイパス弁または主蒸気加減弁の誤閉鎖 | 非隔離事象 |
| | | 発電機負荷遮断バイパス弁不作動 タービントリップバイパス弁不作動 | 隔離事象 |
| | 主蒸気隔離弁の誤閉止 | 主蒸気隔離弁の閉鎖 主蒸気隔離弁の部分閉鎖 | 隔離事象 |
| | | 主蒸気隔離弁の 1 弁閉鎖 | 非隔離事象 |
| | | | |
| | 給水制御系の故障 | 給水制御系の故障（流量増加，出力運転時） 給水制御系の故障（流量増加，起動・停止時） | 非隔離事象 |
| | 原子炉圧力制御系の故障 | 圧力制御装置の故障（蒸気流量増加） タービンバイパス弁誤開放 | 隔離事象 |
| | 給水流量の全喪失 | 全給水流量喪失 | 全給水喪失 |
| | | 給水または復水ポンプ 1 台トリップ 給水制御系の故障（流量減少，出力運転時） 給水制御系の故障（流量減少，起動・停止時） | 水位低下事象 |
| | | | |
| | — | H P C I / H P C S の誤起動 | 非隔離事象 |
| | | 逃がし安全弁誤開放／開固着 | 逃がし安全弁誤開放 |
| | | 原子炉保護系故障によるスクラム プラント異常によるスクラム 原子炉保護系計装の故障によるスクラム | 原子炉緊急停止系誤動作等 |
| | | | |
| | | | |
| 設 計 基 準 事 故 | 原子炉冷却材喪失 | — | 原子炉冷却材喪失 |
| | 原子炉冷却材流量の喪失 | 全再循環ポンプトリップ | 非隔離事象 |
| | 原子炉冷却材ポンプの軸固着 | 再循環ポンプ軸固着 | |
| | 放射性気体廃棄物処理施設の破損 | — | 起因事象対象外 |
| | 主蒸気管破断 | — | 隔離事象 |
| | 燃料集合体の落下 | — | 起因事象対象外 |
| | 原子炉冷却材喪失 | — | 原子炉冷却材喪失 |
| | 制御棒落下 | — | 起因事象対象外 |
| | 原子炉冷却材喪失（P C V 解析） | — | 原子炉冷却材喪失 |
| | 可燃性ガスの発生 | — | |

第 3.1.1.2-3 表 東海第二発電所における過去のトラブル事象一覧 (1/2)

| 事象発生日 | トラブル件名 | 起因事象 |
|------------|---|--------------|
| 1979/1/26 | 再循環系ポンプ (A) のフレーム振動上昇と、モータ下部軸受温度上昇のため再循環系ポンプ (A) が停止。調査のため、原子炉手動停止。 | 通常停止※ |
| 1979/2/2 | 再循環系ポンプ (B) の軸受油冷却用配管からの水漏れのため再循環系ポンプ (B) が停止。調査のため、原子炉手動停止。 | 通常停止※ |
| 1979/7/22 | 蒸気管の予備計装配管弁のフランジ部分からの蒸気漏れを発見。調査のため、原子炉手動停止。 | 通常停止※ |
| 1980/4/3 | タービン軸受磨耗検出装置の定期試験中、試験用回路のリレーの不具合により原子炉自動停止。 | 非隔離事象 |
| 1980/9/6 | 給水流量の変動により給水制御系に誤信号が発生したため、原子炉自動停止。 | 水位低下事象 |
| 1981/3/25 | タービンスピード検出回路の周波数・電圧変換器の不調のため、原子炉自動停止。 | 非隔離事象 |
| 1981/7/22 | タービン主塞止弁作動試験を行っていたが、同弁リミットスイッチの動作不良による誤信号で主蒸気加減弁が急閉したため、原子炉自動停止。 | 非隔離事象 |
| 1981/8/10 | 給水管に取り付けられている試験用計装配管の溶接部からの水漏れを発見。調査のため、原子炉手動停止。 | 通常停止※ |
| 1981/9/12 | 原子炉ウェル水位計校正作業時、不手際により、原子炉水位検出系に変動を与えたため、原子炉自動停止。 | 原子炉緊急停止系誤動作等 |
| 1981/12/13 | 中間領域核計装の応答不調のため、原子炉手動停止。 | 通常停止※ |
| 1981/12/20 | タービン組合せ中間弁開閉試験時、制御油圧系の油圧低下により主蒸気加減弁が急速閉したため、原子炉自動停止。 | 非隔離事象 |
| 1983/1/30 | 格納容器内ドレン量の増加に伴う原子炉手動停止。 | 通常停止※ |
| 1983/2/18 | 落雷により給水制御系の電源系統に異常が発生したため、「原子炉水位高」によりタービンが停止し、原子炉自動停止。 | 非隔離事象 |
| 1983/12/26 | 巡視点検により低圧給水加熱器 (2 A) への抽気管のドレン系配管フランジ部からの漏えいを発見。補修のため原子炉手動停止。 | 通常停止※ |
| 1984/10/4 | 給水制御系の装置端子部の接触不良のため給水流量が減少し、「原子炉水位低」により原子炉自動停止。 | 水位低下事象 |
| 1985/7/30 | 格納容器内床ドレン量の増加に伴う原子炉手動停止。 | 通常停止※ |

※ 本評価では対象外とした。

第 3. 1. 1. 2－3 表 東海第二発電所における過去のトラブル事象一覧（2／2）

| 事象発生日 | トラブル件名 | 起因事象 |
|------------|---|-------|
| 1990/11/29 | 床ドレンサンプピットへの流入量の増加に伴う原子炉手動停止。 | 通常停止※ |
| 1993/4/3 | 格納容器冷却器ドレン量の増加に伴う原子炉手動停止。 | 通常停止※ |
| 1996/8/10 | 「タービン制御油タンクレベル高／低」警報が発報し、点検の結果タービン中間塞止弁付近からタービン制御油の漏えいが認められたため、原子炉手動停止。 | 計画外停止 |
| 1997/7/12 | 軽油貯蔵タンク修理に伴う原子炉手動停止。 | 通常停止※ |
| 2000/8/8 | 送電線への落雷に伴う東海原子力線トリップによる原子炉自動停止。 | 非隔離事象 |
| 2000/12/26 | 再循環系ポンプ（A）のメカニカルシール点検に伴う原子炉手動停止。 | 通常停止※ |
| 2002/3/31 | 275kV 系母線トリップに伴う原子炉自動停止。 | 非隔離事象 |
| 2002/4/3 | 原子炉給水系（B）点検のため、原子炉手動停止。 | 通常停止※ |
| 2003/3/15 | 原子炉冷却材再循環系流量制御弁開度検出器取替のため、原子炉手動停止。 | 通常停止※ |
| 2007/3/25 | タービン駆動原子炉給水ポンプ（A）の修理のため、原子炉手動停止。 | 通常停止※ |

※ 本評価では対象外とした。

第 3.1.1.2-4 表 起回事象の発生頻度

| 起回事象 | | 発生頻度 [／炉年] | E F | 評価方法 |
|----------------------------|------------------|---------------|------|---|
| 過渡事象 | 非隔離事象 | 1.7E-01 | 3.0 | ・国内BWR実績データ（平成21年3月末時点） ・発生件数に対して、総運転炉年 ^{※1} より算出 |
| | 隔離事象 | 2.7E-02 | 3.0 | |
| | 全給水喪失 | 1.0E-02 | 3.0 | |
| | 水位低下事象 | 2.7E-02 | 3.0 | |
| | 原子炉緊急停止系誤動作等 | 5.5E-02 | 3.0 | |
| | 逃がし安全弁誤開放 | 1.0E-03 | 3.0 | ・発生経験はないため、発生件数 0.5 件として、総運転炉年 ^{※1} より算出 |
| 外部電源喪失 | 外部電源喪失 | 4.2E-03 | 3.0 | ・国内BWR実績データ（平成21年3月末時点） ・発生件数に対して、暦年 ^{※2} より算出 |
| 手動停止／ サポート系喪失 （手動停止） | 計画外停止 | 4.3E-02 | 3.0 | ・国内BWR実績データ（平成21年3月末時点） ・発生件数に対して、総運転炉年 ^{※1} より算出 |
| | 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅰ） | 7.2E-04 | 3.0 | ・発生経験はないため、発生件数 0.5 件として、総運転炉年 ^{※1} より算出（発生頻度は系統あるいは母線当たり） |
| | 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅱ） | 7.2E-04 | 3.0 | |
| | 交流電源故障（区分Ⅰ） | 1.5E-04 | 3.0 | |
| サポート系喪失 （自動停止） | 交流電源故障（区分Ⅱ） | 1.5E-04 | 3.0 | |
| | タービン・サポート系故障 | 7.2E-04 | 3.0 | |
| サポート系喪失 （直流電源故障） | 直流電源故障（区分Ⅰ） | 2.8E-04 | 3.0 | |
| | 直流電源故障（区分Ⅱ） | 2.8E-04 | 3.0 | |
| LOCA | 大破断LOCA | 2.0E-05 | 20.0 | ・発生経験はないため、NUREG／CR-5750 ^{※3} 及びNUREG-1829 ^{※4} のデータに基づき算出 |
| | 中破断LOCA | 2.0E-04 | 20.0 | |
| | 小破断LOCA | 3.0E-04 | 10.0 | |
| 格納容器バイパス | インターフェイスシステムLOCA | 4.8E-10 | 19.6 | ・システム信頼性解析により、隔離弁等の故障により低圧設計箇所が破損する頻度として算出 |

※1 国内BWR全32基の総運転炉年：約488.1炉年

※2 国内BWR全32基の営業運転開始からの総年数（暦年）：約706.1炉年

※3 配管の貫通クラックの発生経験から破断に至る確率を評価した文献

※4 設計基準LOCA見直しのため、NRCがLOCA発生頻度を評価した文献

第 3.1.1.3-1 表 成功基準の一覧

| 起因事象※ | | 原子炉停止機能 | 炉心冷却機能 | 格納容器除熱機能 |
|--|----------------------|--|---|----------|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 過渡事象 ・ 外部電源喪失 ・ サポート系喪失 (自動停止) ・ サポート系喪失 (直流電源故障) | 逃がし安全弁 正常作動時 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉緊急停止系 + スクラム排出容器 + 制御棒駆動水圧系 | <ul style="list-style-type: none"> ・ HPCS ・ RCIC ・ 手動減圧+LPCS ・ 手動減圧+1/3LPCI | ・ 1/2RHR |
| | 逃がし安全弁 (1 個) 開固着時 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉緊急停止系 + スクラム排出容器 + 制御棒駆動水圧系 | <ul style="list-style-type: none"> ・ HPCS ・ LPCS ・ 1/3LPCI | ・ 1/2RHR |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 手動停止／サポート系喪失 (手動停止) | 逃がし安全弁 正常作動時 | — | <ul style="list-style-type: none"> ・ HPCS ・ RCIC ・ 手動減圧+LPCS ・ 手動減圧+1/3LPCI | ・ 1/2RHR |
| | 逃がし安全弁 (1 個) 開固着時 | — | <ul style="list-style-type: none"> ・ HPCS ・ LPCS ・ 1/3LPCI | ・ 1/2RHR |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ LOCA | 大破断 LOCA | <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉緊急停止系 + スクラム排出容器 + 制御棒駆動水圧系 | <ul style="list-style-type: none"> ・ HPCS ・ LPCS ・ 1/3LPCI | ・ 1/2RHR |
| | 中破断 LOCA | <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉緊急停止系 + スクラム排出容器 + 制御棒駆動水圧系 | <ul style="list-style-type: none"> ・ HPCS ・ ADS+LPCS ・ ADS+1/3LPCI | ・ 1/2RHR |
| | 小破断 LOCA | <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉緊急停止系 + スクラム排出容器 + 制御棒駆動水圧系 | <ul style="list-style-type: none"> ・ HPCS ・ RCIC ・ ADS+LPCS ・ ADS+1/3LPCI | ・ 1/2RHR |

※ インターフェイスシステム LOCA は、設計基準事故対処設備のみでは炉心損傷を防止できないため、直接炉心損傷に至る事象として整理し、成功基準は設定しない。

第 3.1.1.3-2 表 低圧炉心冷却時の逃がし安全弁の必要弁数

| 系統名 | 過渡事象 | | 中破断 L O C A | 小破断 L O C A |
|------------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 逃がし安全弁 正常動作時 | 逃がし安全弁 誤開放時 | | |
| L P C S 又は 1/3 L P C I | 1 個 | — | 1 個 | 1 個 |

第 3.1.1.3-3 表 R H R S (A系, B系) の成功基準

| 機器名 | R H R S の成功基準 |
|-------------|---------------|
| R H R S ポンプ | 1/2 |
| R H R 熱交換器 | 1/1 |

第 3.1.1.3-4 表 空調機の成功基準

| 系統名 | 空調機の成功基準 |
|---------------|----------|
| H P C S | 2/2 |
| L P C S | 1/1 |
| R H R - A | 1/1 |
| R H R - B | 1/1 |
| R H R - C | 1/1 |
| D G - 2 C | 2/2 |
| D G - 2 D | 2/2 |
| H P C S - D G | 2/2 |

第 3.1.1.3-5 表 M A A P による事故進展解析結果

| 事故シーケンス 事象進展 | 高圧・低圧注水機能 喪失 (T Q U V) | 高圧注水・減圧機能 喪失 (T Q U X) | 全交流動力電源喪失 (長期 T B) | 原子炉停止機能喪失 (T C) | 崩壊熱除去機能喪失 (T W) | L O C A 時注水機能 喪失 (A E) |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| 炉心露出 | 0.6h | 0.6h | 9.5h | 1.4h | 23.6h | 0.01h |
| 燃料被覆管破損 (1,000K) | 0.7h | 0.9h | 10.1h | 1.6h | 24.5h | 0.1h |
| 炉心損傷 (1,500K) | 0.9h | 1.1h | 10.4h | 1.8h | 24.8h | 0.2h |
| 炉心溶融 (2,500K) | 1.2h | 1.3h | 10.8h | 2.1h | 25.2h | 0.5h |
| 炉心支持板破損 | 2.6h | 2.7h | 13.9h | 3.9h | 31.5h | 1.6h |
| 圧力容器破損 | 5.4h | 3.3h | 14.4h | 4.5h | 32.3h | 4.0h |
| ペデスタル (ドライウエル部) 床貫通 | 8.4h | —※1 | —※1 | —※1 | —※1 | 7.6h |
| 格納容器最高使用圧力 到達時刻 | 7.7h | 3.3h | 13.9h | 1.0h※2 | 15.9h※2 | 1.6h |
| 格納容器破損 | 15.9h (過圧破損) | 3.3h (過温破損) | 14.4h (過温破損) | 1.4h (過圧破損) | 21.4h (過圧破損) | 1.6h (過温破損) |

※1 24 時間以内にペデスタル (ドライウエル部) 床貫通せず

※2 格納容器先行破損

第 3.1.1.4-1 表 炉心損傷状態の分類

| 事故シーケンスグループ | | 事故シーケンスの特徴 |
|------------------------------------|-------------|--|
| 高圧・低圧注水機能喪失 | T Q U V | 事象発生後，高圧系及び低圧系による炉心冷却に失敗 |
| 高圧注水・減圧機能喪失 | T Q U X | 事象発生後，高圧系による炉心冷却に失敗し，かつ原子炉の減圧に失敗 |
| 全交流動力電源喪失 | T B | 全交流動力電源喪失 |
| | T B U | 外部電源喪失後，非常用 D G 2 台が機能喪失した状態で，H P C S 及び R C I C が機能喪失 |
| | T B P | 外部電源喪失後，非常用 D G 2 台が機能喪失した状態で，H P C S が機能喪失し，S / R 弁再閉鎖失敗によって R C I C が機能喪失 |
| | T B D | 外部電源喪失後，直流電源の故障による非常用 D G 2 台の起動に失敗し，H P C S 及び R C I C が機能喪失 |
| | 長期 T B | 外部電源喪失後，非常用 D G 2 台が機能喪失した状態で，H P C S が機能喪失し，R C I C による原子炉注水継続中に蓄電池が枯渇し R C I C が機能喪失 |
| 原子炉停止機能喪失 | T C | 事象発生後，原子炉停止（未臨界確保）に失敗 |
| 崩壊熱除去機能喪失 | T W | 事象発生後，原子炉格納容器からの崩壊熱除去に失敗 |
| | T B W | 外部電源喪失後，非常用 D G 2 台が機能喪失した状態で，H P C S による炉心冷却は継続しているが，格納容器からの崩壊熱除去に失敗 |
| L O C A 時注水機能喪失 | L O C A | 原子炉冷却材喪失の場合において原子炉への注水に失敗 |
| | A E | 大破断 L O C A 後の炉心冷却失敗 |
| | S 1 E | 中破断 L O C A 後の炉心冷却失敗 |
| | S 2 E | 小破断 L O C A 後の炉心冷却失敗 |
| 格納容器バイパス (インターフェイスシステム L O C A) | I S L O C A | 格納容器バイパス (インターフェイスシステム L O C A) |

第 3.1.1.5-1 表 フロントライン系とサポート系の依存性

| | | | フロントライン系 (従属故障の可能性のある系統) | | | | | | | | | | | |
|------------------|--------------|----------------------|-----------------------------|------------|------|-------|-----|--------|------|------|---|--------|------|---|
| | | | 原子炉 停止 | 高圧炉心 冷却 | | 原子炉減圧 | | 低圧炉心冷却 | | | | 格納容器除熱 | | |
| | | | | スクラム 系 | HPCS | RCIC | ADS | | LPCS | LPCI | | | RIIR | |
| | | | | | | | 自動 | 手動 | | A | B | C | A | B |
| (故障 サポート系・機器) | 交流電源 | 区分Ⅰ | — | — | — | — | — | ◎ | ◎ | — | — | ◎ | — | |
| | | 区分Ⅱ | — | — | — | — | — | — | — | ◎ | ◎ | — | ◎ | |
| | | 区分Ⅲ | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | 直流電源 | 区分Ⅰ | — | — | ◎ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | — | — | ◎ | — | |
| | | 区分Ⅱ | — | — | — | ○ | ○ | — | — | ◎ | ◎ | — | ◎ | |
| | | 区分Ⅲ | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | 非常用補機 冷却系 | RHRS-A | — | — | — | — | — | ◎ | ◎ | — | — | ◎ | — | |
| | | RHRS-B | — | — | — | — | — | — | — | ◎ | ◎ | — | ◎ | |
| | | HPCS-DGSW | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | 空調機 | IIPCSポンプ室 | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | | LPCSポンプ室 | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | |
| | | LPCI-A (RHR-A) ポンプ室 | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | ◎ | — | |
| | | LPCI-B (RIIR-B) ポンプ室 | — | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | ◎ | |
| | | LPCT-Cポンプ室 | — | — | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | |
| | | DG-2C室 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| DG-2D室 | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | | |
| IIPCS-DG室 | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | | |

◎ システムの機能維持に必須であり、故障によりシステムの機能喪失となる。

○ 起因事象により必要になるケースがあり、事象によってはシステム機能喪失となる。

第 3.1.1.5－2 表 サポート系同士の依存性

| | | | 従属故障の可能性のある系統 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---------------|-------------------|---------------|------|------|-----|-----|----------|---|------|------|---|---|------|-----|-----|--------------|--------------|---------------------------|---------------------------|----------------|------------|------------|--------------|
| | | | 残留熱除去系 海水系 | | 交流電源 | | | 交流電源関連設備 | | | | | | 直流電源 | | | 空調機 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | RHRS | | 区分Ⅰ | 区分Ⅱ | 区分Ⅲ | DG | | | DGSW | | | 区分Ⅰ | 区分Ⅱ | 区分Ⅲ | HPCS ポンプ室 | LPCS ポンプ室 | LPCI-A (RHR-A) ポンプ室 | LPCI-B (RHR-B) ポンプ室 | LPCI-C ポンプ室 | DG-2C 室 | DG-2D 室 | HPCS-DG 室 |
| A | B | 2C | 2D | HPCS | | | | A | B | HPCS | | | | | | | | | | | | | | |
| 故障系統・機器 | 残留熱除去系 海水系 | RHRS-A | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | ◎ | ◎ | — | — | — | — | — |
| | | RHRS-B | — | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | ◎ | ◎ | — | — | — | — |
| | 交流電源 | 区分Ⅰ | ◎ | — | | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | △ | — | — | — | ◎ | ◎ | — | — | ◎ | — | — |
| | | 区分Ⅱ | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | △ | — | — | — | ◎ | ◎ | — | ◎ | — | — |
| | | 区分Ⅲ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | △ | ◎ | — | — | — | — | — | — | ◎ |
| | 交流電源 関連設備 | DG-2C | ○ | — | ○ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | DG-2D | — | ○ | — | ○ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | HPCS-DG | — | — | — | — | ○ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | DGSW-A | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | DGSW-B | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | HPCS- DGSW | — | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — |
| | | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 直流電源 | 区分Ⅰ | ◎ | — | — | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 区分Ⅱ | — | ◎ | — | — | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 区分Ⅲ | — | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 空調機 | HPCSポンプ室 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | LPCSポンプ室 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | LPCI-A（RHR-A）ポンプ室 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | LPCI-B（RHR-B）ポンプ室 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | LPCI-Cポンプ室 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | DG-2C室 | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | DG-2D室 | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | HPCS-DG室 | — | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

◎：系統の機能に必須であり，故障により系統の機能喪失となる。

○：起因事象により必要になるケースがあり，事象によっては系統機能喪失となる。

△：故障により，冗長性のある機器等が一部不動作となるため，系統のモデルで考慮する。

第 3.1.1.5-3 表 機器タイプ及び故障モード一覧 (1/3)

| 機器タイプ | 故障モード |
|------------|--------|
| 電動ポンプ (淡水) | 起動失敗 |
| | 運転継続失敗 |
| | 制御部故障 |
| 電動ポンプ (海水) | 起動失敗 |
| | 運転継続失敗 |
| | 制御部故障 |
| タービン動ポンプ | 起動失敗 |
| | 運転継続失敗 |
| ディーゼル発電機 | 起動失敗 |
| | 運転継続失敗 |
| ファン | 起動失敗 |
| | 運転継続失敗 |
| | 制御部故障 |
| 電動弁 (淡水) | 作動失敗 |
| | 開失敗 |
| | 閉失敗 |
| | 誤開 |
| | 誤閉 |
| | 閉塞 |
| | 内部リーク |
| | 制御部故障 |
| 電動弁 (海水) | 開失敗 |
| | 閉塞 |
| | 制御部故障 |
| 空気作動弁 | 誤閉 |
| | 閉塞 |
| 逆止弁 | 開失敗 |
| | 閉失敗 |
| | 内部リーク |
| 手動弁 | 閉塞 |
| 安全弁 | 誤開 |

第 3.1.1.5-3 表 機器タイプ及び故障モード一覧 (2/3)

| 機器タイプ | 故障モード |
|----------------|-------|
| 真空逃がし弁 | 作動失敗 |
| 逃がし安全弁 | 開失敗 |
| 配管 (3 インチ未満) | 閉塞 |
| 熱交換器, 冷却器 | 故障 |
| | 閉塞 |
| オリフィス | 閉塞 |
| ストレーナ (淡水/オイル) | 閉塞等 |
| ストレーナ (海水) | 閉塞等 |
| フィルタ (淡水) | 閉塞等 |
| ダンパ | 開失敗 |
| | 閉塞 |
| | 制御部故障 |
| タンク | 破損 |
| | 閉塞 |
| リレー | 作動失敗 |
| | 誤動作 |
| 遅延リレー | 作動失敗 |
| | 誤動作 |
| 遮断器 | 開失敗 |
| | 閉失敗 |
| | 誤開 |
| リミットスイッチ | 作動失敗 |
| | 誤動作 |
| スイッチ | 開失敗 |
| | 閉失敗 |
| | 誤開 |
| | 誤閉 |
| 水位スイッチ | 作動失敗 |
| 圧力スイッチ | 作動失敗 |
| | 誤動作 |
| 温度スイッチ | 誤動作 |

第 3.1.1.5-3 表 機器タイプ及び故障モード一覧 (3/3)

| 機器タイプ | 故障モード |
|------------------|-------|
| 充電器 | 故障 |
| 蓄電池 | 給電失敗 |
| 動力用変圧器 制御用変圧器 | 故障 |
| 母線 | 故障 |
| トリップユニット | 作動失敗 |
| | 誤動作 |
| 警報設定器 | 不動作 |
| 流量トランスミッタ | 作動失敗 |
| | 誤高出力 |
| | 誤低出力 |
| 水位トランスミッタ | 作動失敗 |
| | 誤高出力 |
| | 誤低出力 |
| 圧力トランスミッタ | 作動失敗 |
| | 誤高出力 |
| | 誤低出力 |
| 速度検出器 | 作動失敗 |
| | 誤高出力 |
| | 誤低出力 |
| 温度検出器 | 誤高出力 |
| 中性子束検出器 | 作動失敗 |
| | 誤低出力 |
| 制御器 | 故障 |
| 端子 | 短絡／地絡 |
| 電線 | 短絡／地絡 |
| ヒューズ | 故障 |

第 3.1.1.5-4 表 代表的なフォールトツリーの評価結果

| システム（系統） | 非信頼度（平均値） [／要求時] | |
|-------------|---------------------|-------------|
| | 過渡事象 | 小破断 L O C A |
| H P C S | 2. 5E-03 | 3. 0E-03 |
| R C I C | 3. 3E-03 | 6. 6E-03 |
| A D S（手動減圧） | 3. 5E-03 | 2. 9E-06 |
| L P C S | 2. 0E-03 | 1. 9E-03 |
| L P C I - A | 2. 2E-03 | 2. 1E-03 |
| L P C I - B | 2. 2E-03 | 2. 1E-03 |
| L P C I - C | 2. 1E-03 | 2. 0E-03 |
| R H R - A | 2. 3E-03 | 2. 3E-03 |
| R H R - B | 2. 2E-03 | 2. 2E-03 |
| スクラム系 | 1. 2E-07 | 1. 2E-07 |

第 3.1.1.5-5(a)表 スクラム系フォールトツリーの
主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|---------------------------|--------|
| 1 | スクラムコンタクター A/C 作動失敗共通要因故障 | 25 |
| 1 | スクラムコンタクター B/D 作動失敗共通要因故障 | 25 |
| 1 | スクラムコンタクター E/G 作動失敗共通要因故障 | 25 |
| 1 | スクラムコンタクター F/H 作動失敗共通要因故障 | 25 |

第 3.1.1.5-5(b)表 HPCS フォールトツリーの
主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|-------------------------------|--------|
| 1 | HPCS-DG SWメンテナンスによる待機除外 | 10.8 |
| 2 | HPCS-DG SW海水ストレーナ閉塞 | 5.2 |
| 3 | HPCS-DG SWポンプ起動失敗 | 4.1 |
| 4 | HPCSメンテナンスによる待機除外 | 3.9 |
| 5 | HPCS ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 1 開け忘れ | 3.3 |
| 5 | HPCS ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 2 開け忘れ | 3.3 |
| 5 | HPCS ポンプ軸受シールクーラ海水出口弁開け忘れ | 3.3 |
| 5 | HPCS ポンプ室空調 1 冷却器入口弁開け忘れ | 3.3 |
| 5 | HPCS ポンプ室空調 1 冷却器出口弁開け忘れ | 3.3 |
| 5 | HPCS ポンプ室空調 2 冷却器入口弁開け忘れ | 3.3 |
| 5 | HPCS ポンプ室空調 2 冷却器出口弁開け忘れ | 3.3 |
| 5 | HPCS ポンプ/ポンプ室空調冷却器元弁開け忘れ | 3.3 |
| 5 | HPCS-DG SWポンプ出口弁開け忘れ | 3.3 |
| 5 | HPCS-DG SW放出ライン隔離弁開け忘れ | 3.3 |
| 5 | HPCS-DG SW放出ライン排水弁(放水口 B)開け忘れ | 3.3 |
| 5 | HPCS-DG SW放出ライン排水弁(放水口 C)開け忘れ | 3.3 |
| 5 | HPCS-DG SWエンジンエアクーラ入口弁 1 開け忘れ | 3.3 |
| 5 | HPCS-DG SWエンジンエアクーラ入口弁 2 開け忘れ | 3.3 |
| 5 | HPCS-DG SW系統出口隔離弁開け忘れ | 3.3 |
| 20 | HPCS ポンプ起動失敗 | 1.9 |
| 20 | HPCS ポンプ室空調 1 ファン起動失敗 | 1.9 |
| 20 | HPCS ポンプ室空調 2 ファン起動失敗 | 1.9 |

第 3.1.1.5-5(c)表 R C I C フォールトツリーの
主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|------------------------------|--------|
| 1 | R C I C ポンプ起動失敗 | 43.5 |
| 2 | R C I C メンテナンスによる待機除外 | 28.0 |
| 3 | R C I C 流量制御器故障 | 4.7 |
| 4 | R C I C ポンプ入口弁開け忘れ | 2.4 |
| 4 | R C I C バキュームタンク復水ポンプ出口弁開け忘れ | 2.4 |
| 6 | R C I C ポンプ運転継続失敗 | 2.0 |
| 7 | R C I C バキュームポンプ起動失敗 | 1.4 |
| 7 | R C I C 復水ポンプ起動失敗 | 1.4 |
| 9 | R C I C 原子炉注入弁閉塞 | 1.3 |

第 3.1.1.5-5(d)表 A D S (手動減圧) フォールトツリーの
主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|---------------|--------|
| 1 | 原子炉手動減圧操作失敗 | 71.4 |
| 2 | 注水不能認知失敗 | 28.6 |

第 3.1.1.5-5(e) 表 L P C S フォールトツリーの
主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|--|--------|
| 1 | R H R S - A メンテナンスによる待機除外 | 18.7 |
| 2 | R H R S - A 海水ストレーナ閉塞 | 6.4 |
| 3 | L P C S ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 1 開け忘れ | 4.1 |
| 3 | L P C S ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 2 開け忘れ | 4.1 |
| 3 | L P C S ポンプ軸受シールクーラ海水出口弁開け忘れ | 4.1 |
| 3 | L P C S ミニフロー元弁開け忘れ | 4.1 |
| 3 | R H R S - A 熱交換器入口弁開け忘れ | 4.1 |
| 3 | R H R S - A 熱交換器出口弁開け忘れ | 4.1 |
| 3 | R H R S - A 放出ライン隔離弁開け忘れ | 4.1 |
| 3 | R H R S - A 放出ライン排水弁(放水口 B)開け忘れ | 4.1 |
| 3 | L P C S ポンプ室空調冷却器入口弁開け忘れ | 4.1 |
| 3 | L P C S ポンプ室空調冷却器出口弁開け忘れ | 4.1 |
| 13 | L P C S ・ L P C I - A 共通起動信号故障+低圧系起動操作失敗 | 3.4 |
| 14 | L P C S メンテナンスによる待機除外 | 3.0 |
| 15 | L P C S ポンプ起動失敗 | 2.3 |
| 15 | L P C S ポンプ室空調ファン起動失敗 | 2.3 |
| 17 | L P C S 注入弁閉塞 | 2.1 |
| 18 | L P C S 保修用隔離弁閉塞 | 1.8 |
| 19 | R H R S - A 流量制御弁開失敗 | 1.4 |
| 19 | R H R S - A 流量制御弁閉塞 | 1.4 |

第 3.1.1.5-5(f) 表 L P C I - A フォールトツリーの
主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|--|--------|
| 1 | R H R S - A メンテナンスによる待機除外 | 17.2 |
| 2 | R H R S - A 海水ストレーナ閉塞 | 5.9 |
| 3 | R H R - A メンテナンスによる待機除外 | 5.4 |
| 4 | R H R - A ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 1 開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R - A ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 2 開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R - A ポンプ軸受シールクーラ海水出口弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R - A ポンプ出口手動弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R - A ミニフローライン手動弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R - A ポンプ室空調冷却器入口弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R - A ポンプ室空調冷却器出口弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R S - A 熱交換器 A 入口弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R S - A 熱交換器 A 出口弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R S - A 放出ライン隔離弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R S - A 放出ライン排水弁(放水口 B) 開け忘れ | 3.8 |
| 15 | L P C S ・ L P C I - A 共通起動信号故障 + 低圧系起動操作失敗 | 3.1 |
| 16 | R H R - A ポンプ起動失敗 | 2.1 |
| 16 | R H R - A ポンプ室空調ファン起動失敗 | 2.1 |
| 18 | R H R - A インジェクション弁閉塞 | 1.9 |
| 19 | R H R - A インジェクションライン手動弁閉塞 | 1.7 |
| 20 | R H R S - A 流量制御弁開失敗 | 1.3 |
| 20 | R H R S - A 流量制御弁閉塞 | 1.3 |

第 3.1.1.5-5(g) 表 L P C I - B フォールトツリーの
 主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|--|--------|
| 1 | R H R S - B メンテナンスによる待機除外 | 17.2 |
| 2 | R H R S - B 海水ストレーナ閉塞 | 5.9 |
| 3 | R H R - B メンテナンスによる待機除外 | 5.4 |
| 4 | R H R - B ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 1 開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R - B ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 2 開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R - B ポンプ軸受シールクーラ海水出口弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R - B ポンプ出口手動弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R - B ミニフローライン手動弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R - B ポンプ室空調冷却器入口弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R - B ポンプ室空調冷却器出口弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R S - B 熱交換器入口弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R S - B 熱交換器出口弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R S - B 放出ライン隔離弁開け忘れ | 3.8 |
| 4 | R H R S - B 放出ライン排水弁(放水口 B) 開け忘れ | 3.8 |
| 15 | L P C I - B ・ L P C I - C 共通起動信号故障 + 低圧系起動操作 失敗 | 3.1 |
| 16 | R H R - B ポンプ起動失敗 | 2.1 |
| 16 | R H R - B ポンプ室空調ファン起動失敗 | 2.1 |
| 18 | R H R - B インジェクション弁閉塞 | 1.9 |
| 19 | R H R - B インジェクションライン手動弁閉塞 | 1.7 |
| 20 | R H R S - B 流量制御弁開失敗 | 1.3 |
| 20 | R H R S - B 流量制御弁閉塞 | 1.3 |

第 3.1.1.5-5(h) 表 L P C I - C フォールトツリーの
主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|--|--------|
| 1 | R H R S - B メンテナンスによる待機除外 | 17.8 |
| 2 | R H R S - B 海水ストレーナ閉塞 | 6.1 |
| 3 | R H R - C ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 1 開け忘れ | 3.9 |
| 3 | R H R - C ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 2 開け忘れ | 3.9 |
| 3 | R H R - C ポンプ軸受シールクーラ海水出口弁開け忘れ | 3.9 |
| 3 | R H R - C ポンプ出口手動弁開け忘れ | 3.9 |
| 3 | R H R - C ミニフローライン手動弁開け忘れ | 3.9 |
| 3 | R H R - C ポンプ室空調冷却器入口弁開け忘れ | 3.9 |
| 3 | R H R - C ポンプ室空調冷却器出口弁開け忘れ | 3.9 |
| 3 | R H R S - B 熱交換器入口弁開け忘れ | 3.9 |
| 3 | R H R S - B 熱交換器出口弁開け忘れ | 3.9 |
| 3 | R H R S - B 放出ライン隔離弁開け忘れ | 3.9 |
| 3 | R H R S - B 放出ライン排水弁 (放水口 B) 開け忘れ | 3.9 |
| 14 | L P C I - B ・ L P C I - C 共通起動信号故障 + 低圧系起動操作失敗 | 3.2 |
| 15 | R H R - C メンテナンスによる待機除外 | 2.5 |
| 16 | R H R - C ポンプ起動失敗 | 2.2 |
| 16 | R H R - C ポンプ室空調ファン起動失敗 | 2.2 |
| 18 | R H R - C インジェクション弁閉塞 | 2.0 |
| 19 | R H R - C インジェクションライン手動弁閉塞 | 1.7 |
| 20 | R H R S - B 流量制御弁開失敗 | 1.3 |
| 20 | R H R S - B 流量制御弁閉塞 | 1.3 |

第 3. 1. 1. 5－5(i)表 RHR－Aフォールトツリーの
主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|------------------------------|--------|
| 1 | RHR S－Aメンテナンスによる待機除外 | 16. 6 |
| 2 | RHR S－A海水ストレーナ閉塞 | 5. 6 |
| 3 | RHR－Aメンテナンスによる待機除外 | 5. 2 |
| 4 | RHR系操作失敗 | 4. 8 |
| 5 | RHR－Aポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 1 開け忘れ | 3. 6 |
| 5 | RHR－Aポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 2 開け忘れ | 3. 6 |
| 5 | RHR－Aポンプ軸受シールクーラ海水出口弁開け忘れ | 3. 6 |
| 5 | RHR－Aポンプ出口手動弁開け忘れ | 3. 6 |
| 5 | RHR－Aミニフローライン手動弁開け忘れ | 3. 6 |
| 5 | RHR－Aポンプ室空調冷却器入口弁開け忘れ | 3. 6 |
| 5 | RHR－Aポンプ室空調冷却器出口弁開け忘れ | 3. 6 |
| 5 | RHR S－A熱交換器A入口弁開け忘れ | 3. 6 |
| 5 | RHR S－A熱交換器A出口弁開け忘れ | 3. 6 |
| 5 | RHR S－A放出ライン隔離弁開け忘れ | 3. 6 |
| 5 | RHR S－A放出ライン排水弁(放水口B)開け忘れ | 3. 6 |
| 16 | RHR－Aポンプ起動失敗 | 2. 0 |
| 16 | RHR－Aポンプ室空調ファン起動失敗 | 2. 0 |
| 18 | RHR S－A流量制御弁開失敗 | 1. 3 |
| 18 | RHR S－A流量制御弁閉塞 | 1. 3 |
| 20 | RHR－Aポンプ運転継続失敗 | 1. 2 |

第 3. 1. 1. 5－5(j) 表 RHR－B フォールトツリーの
主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|-------------------------------|--------|
| 1 | RHR S－B メンテナンスによる待機除外 | 16. 8 |
| 2 | RHR S－B 海水ストレーナ閉塞 | 5. 7 |
| 3 | RHR－B メンテナンスによる待機除外 | 5. 3 |
| 4 | RHR 系操作失敗 | 4. 9 |
| 5 | RHR－B ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 1 開け忘れ | 3. 7 |
| 5 | RHR－B ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 2 開け忘れ | 3. 7 |
| 5 | RHR－B ポンプ軸受シールクーラ海水出口弁開け忘れ | 3. 7 |
| 5 | RHR－B ポンプ出口手動弁開け忘れ | 3. 7 |
| 5 | RHR－B ミニフローライン手動弁開け忘れ | 3. 7 |
| 5 | RHR－B ポンプ室空調冷却器入口弁開け忘れ | 3. 7 |
| 5 | RHR－B ポンプ室空調冷却器出口弁開け忘れ | 3. 7 |
| 5 | RHR S－B 熱交換器入口弁開け忘れ | 3. 7 |
| 5 | RHR S－B 熱交換器出口弁開け忘れ | 3. 7 |
| 5 | RHR S－B 放出ライン隔離弁開け忘れ | 3. 7 |
| 5 | RHR S－B 放出ライン排水弁(放水口 B) 開け忘れ | 3. 7 |
| 16 | RHR－B ポンプ起動失敗 | 2. 1 |
| 16 | RHR－B ポンプ室空調ファン起動失敗 | 2. 1 |
| 18 | RHR S－B 流量制御弁開失敗 | 1. 3 |
| 18 | RHR S－B 流量制御弁閉塞 | 1. 3 |
| 20 | RHR－B ポンプ運転継続失敗 | 1. 2 |

第 3.1.1.5-6 表 システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度とその根拠

| 項目 | 内容 | 非信頼度 (1/d) | エラー ファクタ | 設定根拠 |
|----------------------------|----------------------------|---------------|-------------|---|
| イベントツリー ヘディング 「圧力制御」 | 逃がし安全弁開放失敗の分岐で設定 | 1.0E-20 | 13.3 | 逃がし安全弁は全部で 18 個あり，それぞれが逃がし弁機能と安全弁機能を有しているため，この機能喪失確率は非常に小さく，他の機能の喪失確率に比べて無視できる。このため，分岐確率として 1.0E-20 を適用する。なお，エラーファクタについては逃がし安全弁の開失敗確率（デマンド）の E F 値 13.3 を用いる。 |
| | A T W S 時の逃がし安全弁開放失敗の分岐で設定 | 4.9E-03 | 13.3 | A T W S 時には，原子炉圧力が急激に上昇するため，全弁が開放する必要があるとして，1 個当たりの開失敗確率（2.7E-4/d，E F 13.3）に全弁数 18 個を乗じた。 |
| | 逃がし安全弁再閉鎖失敗の分岐で設定 | 5.2E-03 | 13.2 | 保守的に全逃がし安全弁が開放後，逃がし安全弁 1 個以上が再閉鎖失敗する確率とした。1 個当たりの閉失敗確率（2.9E-4/d，E F 13.2）に全弁数 18 個を乗じた。 |
| フォールトツリー 「スクラム系」 | 制御棒挿入失敗に係る基事象 | | | |

第 3.1.1.6-1 表 同一システム内で共通要因故障を考慮した機器及び故障モード

| 系統 | 機器タイプ | 故障モード |
|--------------|----------------|----------------|
| R H R S | ポンプ | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | 逆止弁 | 開失敗 |
| D G 室空調 | ダンパ | 開失敗 |
| E C C S 起動信号 | 検出器 | 作動失敗 |
| | トリップ設定器 | 作動失敗 |
| R P S | リレー（スクラムコンタクタ） | 作動失敗 |

第 3.1.1.6-2 表 システム間で共通要因故障を考慮した機器及び故障モード

| 系統 | 機器タイプ | 故障モード |
|--|-------------|----------------|
| E C C S 起動信号 | 検出器 | 作動失敗 |
| | トリップ設定器 | 作動失敗 |
| L P C I - A / B / C (R H R - A / B) | ポンプ | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | ファン | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | 弁（手動弁は除く） | 開失敗 閉失敗 |
| R H R S - A / B | ポンプ | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | 弁（手動弁は除く） | 開失敗 |
| | ストレーナ | 閉塞（内部破損含む） |
| 交流電源（区分Ⅰ，Ⅱ） (D G - 2 C / 2 D) | 非常用ディーゼル発電機 | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | ポンプ | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | ファン | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | 弁（手動弁は除く） | 開失敗 |
| | ストレーナ | 閉塞（内部破損含む） |
| D G S W - A / B | ポンプ | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | ストレーナ | 閉塞（内部破損含む） |
| 直流電源（区分Ⅰ，Ⅱ） | 蓄電池 | 給電失敗 |

第 3.1.1.6-3 表 共通要因故障パラメータの一覧

| 機器タイプ | β ファクタ※ ¹ | γ ファクタ※ ² | 備考 |
|-----------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| ポンプ, ファン | 0.039 | 0.520 | NUREG/CR-1205 Rev. 1 |
| 弁, ダンパ | 0.130 | 0.565 | NUREG/CR-1363 Rev. 1 |
| DG | 0.021 | — | NUREG-1150 |
| 検出器, トリップ設定器 | 0.082 | — | NUREG/CR-2771 |
| リレー (スクラムコンタクタ) | 0.050 | — | SECY-83-293 |
| 蓄電池 | 0.008 | — | NUREG-0666 |
| ストレーナ | 0.133 | — | NUREG/CR-5497 |

※1 多重故障 (2 重以上) が発生する確率

※2 多重故障が発生した場合, それが 3 重以上の故障である条件付確率

NUREG/CR-4550に基づき γ ファクタを算出

第 3.1.1.7-1 表 人的過誤確率の評価結果

| 人的過誤 | | 過誤確率 (平均値) [／d] | エラー ファク タ |
|------------------|---|-----------------------|-----------------|
| 起 因 事 象 発 生 前 | 弁の開け忘れ・閉め忘れ | 8.3E-05 | 4.8 |
| | D G 試験時ガバナ操作後の復旧失敗 | 3.9E-03 | 6.8 |
| | 弁の通常状態への復旧失敗 (I S L O C A) | 2.0E-03 | 3.5 |
| 起 因 事 象 発 生 後 | 原子炉水位制御操作失敗 | 2.5E-03 | 6.5 |
| | 水源切替操作失敗 (C S T → サ プ レ ッ シ ョ ン ・ チ ェ ン バ , 大 中 L O C A 以 外) | 2.5E-03 | 6.5 |
| | 水源切替操作失敗 (C S T → サ プ レ ッ シ ョ ン ・ チ ェ ン バ , 中 L O C A) | 1.8E-01 | 6.7 |
| | 注水不能認知失敗 (大 中 L O C A 以 外) | 1.0E-03 | 13.8 |
| | 注水不能認知失敗 (大 中 L O C A) | 4.0E-01 | 5.0 |
| | 高圧注水系起動操作失敗 | 2.5E-03 | 3.0 |
| | 原子炉手動減圧失敗 (L O C A 以 外) | 1.9E-01 | 3.5 |
| | 原子炉手動減圧失敗 (L O C A) | 2.5E-03 | 6.5 |
| | 低圧注水系起動操作失敗 | 1.9E-01 | 3.5 |
| | R H R 系操作失敗 | 1.1E-04 | 35.6 |
| | D G 燃料油補給操作失敗 | 1.1E-04 | 35.6 |

第 3.1.1.8-1 表 起回事象別炉心損傷頻度

| 起回事象 | | | 起回事象 発生頻度 (／炉年) | 条件付 炉心損傷確率 (C C D P) | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 (%) |
|------------------------|----------------------|---------|-----------------------|----------------------------|-----------------|-------------|
| 過渡事象 | 非隔離事象 | | 1.7E-01 | 1.5E-04 | 2.5E-05 | 41.8 |
| | 隔離事象 | | 2.7E-02 | 1.5E-04 | 4.0E-06 | 6.6 |
| | 全給水喪失 | | 1.0E-02 | 1.5E-04 | 1.5E-06 | 2.5 |
| | 水位低下事象 | | 2.7E-02 | 1.5E-04 | 4.0E-06 | 6.6 |
| | 原子炉緊急停止系誤動作等 | | 5.5E-02 | 1.5E-04 | 8.2E-06 | 13.5 |
| | 逃がし安全弁誤開放 | | 1.0E-03 | 1.5E-04 | 1.5E-07 | 0.2 |
| 外部電源喪失 | 外部電源喪失 | | 4.2E-03 | 3.6E-04 | 1.5E-06 | 2.5 |
| 手動停止／サポート系喪失 (手動停止) | 計画外停止 | | 4.3E-02 | 1.5E-04 | 6.4E-06 | 10.6 |
| | 残留熱除去系海水系故障 | 区分Ⅰ | 7.2E-04 | 2.2E-03 | 1.6E-06 | 2.7 |
| | | 区分Ⅱ | 7.2E-04 | 2.3E-03 | 1.6E-06 | 2.7 |
| | サポート系喪失 (自動停止) | 交流電源故障 | 区分Ⅰ | 1.5E-04 | 2.3E-03 | 3.4E-07 |
| 区分Ⅱ | | | 1.5E-04 | 2.3E-03 | 3.4E-07 | 0.6 |
| タービン・サポート系故障 | | 7.2E-04 | 1.5E-04 | 1.1E-07 | 0.2 | |
| サポート系喪失 (直流電源故障) | 直流電源故障 | 区分Ⅰ | 2.8E-04 | 9.6E-03 | 2.7E-06 | 4.4 |
| | | 区分Ⅱ | 2.8E-04 | 9.6E-03 | 2.7E-06 | 4.4 |
| L O C A | 大破断 L O C A | | 2.0E-05 | 1.5E-04 | 3.0E-09 | < 0.1 |
| | 中破断 L O C A | | 2.0E-04 | 1.5E-04 | 3.0E-08 | < 0.1 |
| | 小破断 L O C A | | 3.0E-04 | 1.5E-04 | 4.5E-08 | < 0.1 |
| 格納容器バイパス | インターフェイスシステム L O C A | | 4.8E-10 | 1.0E+00 | 4.8E-10 | < 0.1 |
| 合計 | | | | | 6.1E-05 | 100 |

第 3.1.1.8-2 表 事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度

| 事故シーケンスグループ | | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 (%) |
|---------------------------------------|-------------|-----------------|-------------|
| 高圧・低圧注水機能喪失 | T Q U V | 3.5E-09 | <0.1 |
| 高圧注水・減圧機能喪失 | T Q U X | 2.0E-08 | <0.1 |
| 全交流動力電源喪失 | 長期 T B | 7.7E-08 | 0.1 |
| | T B U | 2.1E-08 | <0.1 |
| | T B P | 5.3E-10 | <0.1 |
| | T B D | 6.0E-12 | <0.1 |
| 崩壊熱除去機能喪失 | T W | 5.6E-05 | 91.9 |
| | T B W | 4.8E-06 | 7.9 |
| 原子炉停止機能喪失 | T C | 2.5E-08 | <0.1 |
| L O C A 時注水機能喪失 | A E | 1.4E-12 | <0.1 |
| | S 1 E | 2.0E-11 | <0.1 |
| | S 2 E | 1.6E-13 | <0.1 |
| 格納容器バイパス (インターフェイスシステム L O C A) | I S L O C A | 4.8E-10 | <0.1 |
| 合計 | | 6.1E-05 | 100.0 |

第 3.1.1.8-3 表 事故シーケンスグループの分析結果 (1/8)

| 事故シーケンス | | 炉心損傷頻度 (/炉年) | 寄与割合 ^{※1} (%) | 主要なカットセット (上位3位) | 炉心損傷頻度 (/炉年) | 寄与割合 ^{※2} (%) |
|-------------|---|-----------------|---------------------------|--|-----------------|---------------------------|
| 高圧・低圧注水機能喪失 | 過渡事象 + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 | 3.2E-10 | 9.0 | ①外部電源喪失 + HPCS-DG運転継続失敗 + DG-2C運転継続失敗 + RHR S-Bメンテナンスによる待機除外 ②外部電源喪失 + HPCS-DG運転継続失敗 + DG-2C起動失敗 + RHR S-Bメンテナンスによる待機除外 ③外部電源喪失 + HPCS-DG起動失敗 + DG-2C運転継続失敗 + RHR S-Bメンテナンスによる待機除外 | 8.2E-12 | 2.6 |
| | 過渡事象 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 | 2.0E-10 | 5.7 | ①逃がし安全弁誤開放 + HPCS入口逆止弁(S/P側)開失敗 + RHR S-A/B海水ストレーナ閉塞共通原因故障 ②非隔離事象 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + HPCS入口逆止弁(S/P側)開失敗 + RHR S-A/B海水ストレーナ閉塞共通原因故障 ③逃がし安全弁誤開放 + HPCS-DGSWMメンテナンスによる待機除外 + RHR S-A/B海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 5.7E-12 | 2.9 |
| | | | | | 5.1E-12 | 2.6 |
| | | | | | 4.7E-12 | 2.3 |
| | 手動停止/サポート系喪失(手動停止) + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 | 4.2E-10 | 12.0 | ①交流電源故障(区分Ⅰ) + HPCS-DGSWMメンテナンスによる待機除外 + RHR S-Bメンテナンスによる待機除外 ②交流電源故障(区分Ⅰ) + HPCS-DGSWM海水ストレーナ閉塞 + RHR S-Bメンテナンスによる待機除外 ③交流電源故障(区分Ⅰ) + HPCS-DGSWBポンプ起動失敗 + RHR S-Bメンテナンスによる待機除外 | 1.5E-11 | 3.6 |
| | | | | | 7.3E-12 | 1.7 |
| | | | | | 5.7E-12 | 1.4 |
| | 手動停止/サポート系喪失(手動停止) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 | 4.3E-11 | 1.2 | ①計画外停止 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + HPCS入口逆止弁(S/P側)開失敗 + RHR S-A/B海水ストレーナ閉塞共通原因故障 ②計画外停止 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + HPCS-DGSWMメンテナンスによる待機除外 + RHR S-A/B海水ストレーナ閉塞共通原因故障 ③計画外停止 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + HPCS-DGSWM海水ストレーナ閉塞 + RHR S-A/B海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 1.3E-12 | 3.0 |
| | | | | | 1.0E-12 | 2.4 |
| | | | | | 5.0E-13 | 1.2 |
| | サポート系喪失(自動停止) + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 | 2.5E-09 | 71.2 | ①直流電源故障(区分Ⅰ) + HPCS-DG運転継続失敗 + RHR S-Bメンテナンスによる待機除外 ②直流電源故障(区分Ⅰ) + HPCS-DG起動失敗 + RHR S-Bメンテナンスによる待機除外 ③直流電源故障(区分Ⅰ) + HPCS-DGメンテナンスによる待機除外 + RHR S-Bメンテナンスによる待機除外 | 2.4E-10 | 9.6 |
| | | | | | 1.6E-10 | 6.5 |
| | | | | | 1.0E-10 | 4.2 |
| | サポート系喪失(自動停止) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 | 3.0E-11 | 0.9 | ①直流電源故障(区分Ⅰ) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + HPCS-DG運転継続失敗 + RHR S-Bメンテナンスによる待機除外 ①直流電源故障(区分Ⅱ) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + HPCS-DG運転継続失敗 + RHR S-Aメンテナンスによる待機除外 ③直流電源故障(区分Ⅰ) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + HPCS-DG起動失敗 + RHR S-Bメンテナンスによる待機除外 ③直流電源故障(区分Ⅱ) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + HPCS-DG起動失敗 + RHR S-Aメンテナンスによる待機除外 | 1.3E-12 | 4.2 |
| | | | | | 1.3E-12 | 4.2 |
| | | | | | 8.5E-13 | 2.8 |
| | | | | | 8.5E-13 | 2.8 |

※1 事故シーケンスグループに対する寄与割合 ※2 事故シーケンスに対する寄与割合

第 3.1.1.8-3 表 事故シーケンスグループの分析結果 (2/8)

| 事故シーケンス | | 炉心損傷頻度 (/炉年) | 寄与割合 ^{※1} (%) | 主要なカットセット (上位3位) | 炉心損傷頻度 (/炉年) | 寄与割合 ^{※2} (%) |
|-------------|--|-----------------|---------------------------|---|-----------------|---------------------------|
| 高圧注水・減圧機能喪失 | 過渡事象 + 高圧炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗 | 9.4E-09 | 46.5 | ①非隔離事象 + HPCS-DG SWメンテナンスによる待機除外 + RCICポンプ起動失敗 + 原子炉手動減圧失敗 | 1.7E-10 | 1.8 |
| | | | | ②非隔離事象 + HPCS-DG SWストレーナ閉塞 + RCICポンプ起動失敗 + 原子炉手動減圧失敗 | 8.1E-11 | 0.9 |
| | | | | ③非隔離事象 + HPCS-DG SWメンテナンスによる待機除外 + RCICポンプ起動失敗 + 注水不能認知失敗 | 6.7E-11 | 0.7 |
| | 手動停止/サポート系喪失 (手動停止) + 高圧炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗 | 2.6E-09 | 12.6 | ①交流電源故障 (区分Ⅰ) + HPCS-DG SWメンテナンスによる待機除外 + 原子炉手動減圧失敗 | 1.0E-10 | 3.9 |
| | | | | ②交流電源故障 (区分Ⅰ) + HPCS-DG SW海水ストレーナ閉塞 + 原子炉手動減圧失敗 | 4.8E-11 | 1.9 |
| | | | | ③計画外停止 + HPCS-DG SWメンテナンスによる待機除外 + RCICポンプ起動失敗 + 原子炉手動減圧失敗 | 4.3E-11 | 1.7 |
| | サポート系喪失 (自動停止) + 高圧炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗 | 8.3E-09 | 40.9 | ①直流電源故障 (区分Ⅰ) + HPCS-DG 運転継続失敗 + 原子炉手動減圧失敗 | 1.6E-09 | 19.0 |
| | | | | ②直流電源故障 (区分Ⅰ) + HPCS-DG 起動失敗 + 原子炉手動減圧失敗 | 1.1E-09 | 12.9 |
| | | | | ③直流電源故障 (区分Ⅰ) + HPCS-DG メンテナンスによる待機除外 + 原子炉手動減圧失敗 | 6.8E-10 | 8.2 |

※1 事故シーケンスグループに対する寄与割合 ※2 事故シーケンスに対する寄与割合

第 3.1.1.8-3 表 事故シーケンスグループの分析結果 (3/8)

| 事故シーケンス | | 炉心損傷頻度 (/炉年) | 寄与割合 ^{※1} (%) | 主要なカットセット (上位3位) | 炉心損傷頻度 (/炉年) | 寄与割合 ^{※2} (%) |
|-----------|---|-----------------|---------------------------|--|-----------------|---------------------------|
| 全交流動力電源喪失 | 外部電源喪失 + D G 失敗 + H P C S 失敗 (蓄電池枯渇後 R C I C 停止) | 5.7E-08 | 57.6 | ①外部電源喪失 + 軽油貯蔵タンク閉塞 | 4.8E-08 | 84.1 |
| | | | | ②外部電源喪失 + 軽油貯蔵タンク破損 | 3.2E-09 | 5.6 |
| | | | | ③外部電源喪失 + D G - 2 C / 2 D 運転継続失敗共通原因故障 + H P C S - D G 運転継続失敗 | 4.6E-10 | 0.8 |
| | サポート系喪失 (直流電源故障) (外部電源喪失) + D G 失敗 + H P C S 失敗 (蓄電池枯渇後 R C I C 停止) | 2.0E-08 | 20.7 | ①直流電源故障 (区分Ⅱ) + 軽油貯蔵タンク閉塞 | 3.2E-09 | 15.6 |
| | | | | ②直流電源故障 (区分Ⅱ) + D G - 2 C 運転継続失敗 + H P C S - D G 運転継続失敗 | 1.4E-09 | 7.1 |
| | | | | ③直流電源故障 (区分Ⅱ) + D G - 2 C 運転継続失敗 + H P C S - D G 起動失敗 | 9.8E-10 | 4.8 |
| | | | | ④直流電源故障 (区分Ⅱ) + D G - 2 C 起動失敗 + H P C S - D G 運転継続失敗 | 9.8E-10 | 4.8 |
| | 外部電源喪失 + 直流電源失敗 + H P C S 失敗 | 6.0E-12 | < 0.1 | ①外部電源喪失 + 蓄電池 - A / B 給電失敗共通原因故障 + H P C S - D G 運転継続失敗 | 1.6E-12 | 26.5 |
| | | | | ②外部電源喪失 + 蓄電池 - A / B 給電失敗共通原因故障 + H P C S - D G 起動失敗 | 1.1E-12 | 18.0 |
| | | | | ③外部電源喪失 + 蓄電池 - A / B 給電失敗共通原因故障 + H P C S - D G メンテナンスによる待機除外 | 6.8E-13 | 11.5 |
| | 外部電源喪失 + D G 失敗 + 高圧炉心冷却失敗 | 2.0E-10 | 0.2 | ①外部電源喪失 + 軽油貯蔵タンク閉塞 + R C I C ポンプ起動失敗 | 7.1E-11 | 35.5 |
| | | | | ②外部電源喪失 + 軽油貯蔵タンク閉塞 + R C I C メンテナンスによる待機除外 | 4.6E-11 | 22.8 |
| | | | | ③外部電源喪失 + 軽油貯蔵タンク閉塞 + R C I C 流量制御器故障 | 7.7E-12 | 3.8 |
| | サポート系喪失 (直流電源故障) (外部電源喪失) + D G 失敗 + 高圧炉心冷却失敗 | 2.1E-08 | 20.9 | ①直流電源故障 (区分Ⅰ) + 軽油貯蔵タンク閉塞 | 3.2E-09 | 15.5 |
| | | | | ②直流電源故障 (区分Ⅰ) + D G - 2 D 運転継続失敗 + H P C S - D G 運転継続失敗 | 1.4E-09 | 7.0 |
| | | | | ③直流電源故障 (区分Ⅰ) + D G - 2 D 運転継続失敗 + H P C S - D G 起動失敗 | 9.8E-10 | 4.7 |
| | | | | ④直流電源故障 (区分Ⅰ) + D G - 2 D 起動失敗 + H P C S - D G 運転継続失敗 | 9.8E-10 | 4.7 |
| | 外部電源喪失 + D G 失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S 失敗 | 3.0E-10 | 0.3 | ①外部電源喪失 + 軽油貯蔵タンク閉塞 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 2.5E-10 | 83.6 |
| | | | | ②外部電源喪失 + 軽油貯蔵タンク破損 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 1.7E-11 | 5.6 |
| | | | | ③外部電源喪失 + D G - 2 C / 2 D 運転継続失敗共通原因故障 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S - D G 運転継続失敗 | 2.4E-12 | 0.8 |
| | サポート系喪失 (直流電源故障) (外部電源喪失) + D G 失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S 失敗 | 2.3E-10 | 0.2 | ①直流電源故障 (区分Ⅰ) + 軽油貯蔵タンク閉塞 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 1.7E-11 | 7.4 |
| | | | | ①直流電源故障 (区分Ⅱ) + 軽油貯蔵タンク閉塞 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 1.7E-11 | 7.4 |
| | | | | ③直流電源故障 (区分Ⅰ) + D G - 2 D 運転継続失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S - D G 運転継続失敗 | 7.6E-12 | 3.4 |
| | | | | ③直流電源故障 (区分Ⅱ) + D G - 2 C 運転継続失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S - D G 運転継続失敗 | 7.6E-12 | 3.4 |

※1 事故シーケンスグループに対する寄与割合 ※2 事故シーケンスに対する寄与割合

第 3.1.1.8-3 表 事故シーケンスグループの分析結果 (4/8)

| 事故シーケンス | | 炉心損傷頻度 (/炉年) | 寄与割合 ^{※1} (%) | 主要なカットセット (上位3位) | 炉心損傷頻度 (/炉年) | 寄与割合 ^{※2} (%) |
|-----------|--|-----------------|---------------------------|--|-----------------|---------------------------|
| 崩壊熱除去機能喪失 | 過渡事象 + RHR 失敗 | 4.4E-05 | 72.0 | ①非隔離事象 + RHR 系操作失敗 | 1.9E-05 | 42.6 |
| | | | | ②原子炉緊急停止系誤動作等 + RHR 系操作失敗 | 6.0E-06 | 13.8 |
| | | | | ③隔離事象 + RHR 系操作失敗 | 2.9E-06 | 6.8 |
| | | | | ④水位低下事象 + RHR 系操作失敗 | 2.9E-06 | 6.8 |
| | 過渡事象 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR 失敗 | 3.8E-07 | 0.6 | ①逃がし安全弁誤開放 + RHR 系操作失敗 | 1.1E-07 | 29.1 |
| | | | | ②非隔離事象 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR 系操作失敗 | 9.7E-08 | 25.7 |
| | | | | ③逃がし安全弁誤開放 + RHR S-A/B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 1.7E-08 | 4.6 |
| | 手動停止/サポート系喪失 (手動停止) + RHR 失敗 | 9.9E-06 | 16.4 | ①計画外停止 + RHR 系操作失敗 | 4.7E-06 | 47.2 |
| | | | | ②計画外停止 + RHR S-A/B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 7.4E-07 | 7.4 |
| | | | | ③残留熱除去系海水系故障 (区分Ⅰ) + RHR S-B メンテナンスによる待機除外 | 2.7E-07 | 2.7 |
| | | | | ④残留熱除去系海水系故障 (区分Ⅱ) + RHR S-A メンテナンスによる待機除外 | 2.7E-07 | 2.7 |
| | 手動停止/サポート系喪失 (手動停止) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR 失敗 | 5.2E-08 | <0.1 | ①計画外停止 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR 系操作失敗 | 2.5E-08 | 47.2 |
| | | | | ②計画外停止 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR S-A/B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 3.9E-09 | 7.4 |
| | | | | ③残留熱除去系海水系故障 (区分Ⅰ) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR S-B メンテナンスによる待機除外 | 1.4E-09 | 2.7 |
| | | | | ④残留熱除去系海水系故障 (区分Ⅱ) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR S-A メンテナンスによる待機除外 | 1.4E-09 | 2.7 |
| | サポート系喪失 (自動停止) + RHR 失敗 | 1.7E-06 | 2.8 | ①直流電源故障 (区分Ⅰ) + RHR S-B メンテナンスによる待機除外 | 1.0E-07 | 6.1 |
| | | | | ②直流電源故障 (区分Ⅱ) + RHR S-A メンテナンスによる待機除外 | 1.0E-07 | 6.1 |
| | | | | ③交流電源故障 (区分Ⅱ) + RHR S-A メンテナンスによる待機除外 | 5.7E-08 | 3.3 |
| | サポート系喪失 (自動停止) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR 失敗 | 8.9E-09 | <0.1 | ①直流電源故障 (区分Ⅰ) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR S-B メンテナンスによる待機除外 | 5.4E-10 | 6.1 |
| | | | | ②直流電源故障 (区分Ⅱ) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR S-A メンテナンスによる待機除外 | 5.4E-10 | 6.1 |
| | | | | ③交流電源故障 (区分Ⅱ) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR S-A メンテナンスによる待機除外 | 3.0E-10 | 3.3 |
| | 小破断 LOCA + RHR 失敗 | 4.5E-08 | <0.1 | ①小破断 LOCA + RHR 系操作失敗 | 3.3E-08 | 73.6 |
| | | | | ②小破断 LOCA + RHR S-A/B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 5.2E-09 | 11.6 |
| | | | | ③小破断 LOCA + RHR S-A/B 流量調整弁開失敗共通原因故障 | 1.1E-09 | 2.4 |
| | 中破断 LOCA + RHR 失敗 | 3.0E-08 | <0.1 | ①中破断 LOCA + RHR 系操作失敗 | 2.2E-08 | 73.6 |
| | | | | ②中破断 LOCA + RHR S-A/B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 3.4E-09 | 11.6 |
| | | | | ③中破断 LOCA + RHR S-A/B 流量調整弁開失敗共通原因故障 | 7.2E-10 | 2.4 |
| | 大破断 LOCA + RHR 失敗 | 3.0E-09 | <0.1 | ①大破断 LOCA + RHR 系操作失敗 | 2.2E-09 | 73.6 |
| | | | | ②大破断 LOCA + RHR S-A/B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 3.4E-10 | 11.6 |
| | | | | ③大破断 LOCA + RHR S-A/B 流量調整弁開失敗共通原因故障 | 7.2E-11 | 2.4 |

※1 事故シーケンスグループに対する寄与割合 ※2 事故シーケンスに対する寄与割合

第 3.1.1.8-3 表 事故シーケンスグループの分析結果 (5/8)

| 事故シーケンス | | 炉心損傷頻度 (/炉年) | 寄与割合 ^{※1} (%) | 主要なカットセット (上位3位) | 炉心損傷頻度 (/炉年) | 寄与割合 ^{※2} (%) |
|-----------|---|-----------------|---------------------------|---|-----------------|---------------------------|
| 崩壊熱除去機能喪失 | 外部電源喪失 + D G 失敗 (H P C S 成功) | 6.9E-07 | 1.1 | ①外部電源喪失 + D G - 2 C / 2 D 運転継続失敗共通原因故障 | 2.0E-07 | 28.8 |
| | | | | ②外部電源喪失 + D G - 2 C / 2 D 起動失敗共通原因故障 | 1.3E-07 | 19.4 |
| | | | | ③外部電源喪失 + D G S W - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 7.2E-08 | 10.4 |
| | 外部電源喪失 + D G 失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 (H P C S 成功) | 3.6E-09 | < 0.1 | ①外部電源喪失 + D G - 2 C / 2 D 運転継続失敗共通原因故障 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 1.0E-09 | 28.8 |
| | | | | ②外部電源喪失 + D G - 2 C / 2 D 起動失敗共通原因故障 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 7.0E-10 | 19.4 |
| | | | | ③外部電源喪失 + D G S W - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 3.7E-10 | 10.4 |
| | 外部電源喪失 + 直流電源失敗 (H P C S 成功) | 6.9E-10 | < 0.1 | ①外部電源喪失 + 蓄電池 - A / B 給電失敗共通原因故障 | 6.9E-10 | 99.2 |
| | | | | ②外部電源喪失 + 蓄電池 - A / B 給電失敗共通原因故障 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 3.6E-12 | 0.5 |
| | | | | ③外部電源喪失 + 蓄電池 - A 給電失敗 + 蓄電池 - B 給電失敗 | 1.7E-12 | 0.3 |
| | | | | | | |
| | サポート系喪失 (直流電源故障) (外部電源喪失) + D G 失敗 (H P C S 成功) | 4.1E-06 | 6.7 | ①直流電源故障 (区分Ⅰ) + D G - 2 D 運転継続失敗 | 6.3E-07 | 15.5 |
| | | | | ①直流電源故障 (区分Ⅱ) + D G - 2 C 運転継続失敗 | 6.3E-07 | 15.5 |
| | | | | ③直流電源故障 (区分Ⅰ) + D G - 2 D 起動失敗 | 4.3E-07 | 10.6 |
| | | | | ③直流電源故障 (区分Ⅱ) + D G - 2 C 起動失敗 | 4.3E-07 | 10.6 |
| | サポート系喪失 (直流電源故障) (外部電源喪失) + D G 失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 (H P C S 成功) | 2.1E-08 | < 0.1 | ①直流電源故障 (区分Ⅰ) + D G - 2 D 運転継続失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 3.3E-09 | 15.5 |
| | | | | ①直流電源故障 (区分Ⅱ) + D G - 2 C 運転継続失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 3.3E-09 | 15.5 |
| | | | | ③直流電源故障 (区分Ⅰ) + D G - 2 D 起動失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 2.2E-09 | 10.6 |
| | | | | ③直流電源故障 (区分Ⅱ) + D G - 2 C 起動失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 2.2E-09 | 10.6 |
| | | | | | | |

※1 事故シーケンスグループに対する寄与割合 ※2 事故シーケンスに対する寄与割合

第 3.1.1.8-3 表 事故シーケンスグループの分析結果 (6/8)

| 事故シーケンス | | 炉心損傷頻度 (/炉年) | 寄与割合 ^{※1} (%) | 主要なカットセット (上位3位) | 炉心損傷頻度 (/炉年) | 寄与割合 ^{※2} (%) |
|-----------|-----------------------------|-----------------|---------------------------|--|-----------------|---------------------------|
| 原子炉停止機能喪失 | 過渡事象 + 原子炉停止失敗 | 2.5E-08 | 99.6 | ①非隔離事象 + スクラムコンタクター A / C 作動失敗共通原因故障 | 4.6E-09 | 18.1 |
| | | | | ①非隔離事象 + スクラムコンタクター B / D 作動失敗共通原因故障 | 4.6E-09 | 18.1 |
| | | | | ①非隔離事象 + スクラムコンタクター E / G 作動失敗共通原因故障 | 4.6E-09 | 18.1 |
| | | | | ①非隔離事象 + スクラムコンタクター F / H 作動失敗共通原因故障 | 4.6E-09 | 18.1 |
| | サポート系喪失 (自動停止) + 原子炉停止失敗 | 3.8E-11 | 0.2 | ①直流電源故障 (区分Ⅰ) + スクラムコンタクター B / D 作動失敗共通原因故障 | 7.6E-12 | 19.7 |
| | | | | ①直流電源故障 (区分Ⅰ) + スクラムコンタクター F / H 作動失敗共通原因故障 | 7.6E-12 | 19.7 |
| | | | | ①直流電源故障 (区分Ⅱ) + スクラムコンタクター A / C 作動失敗共通原因故障 | 7.6E-12 | 19.7 |
| | | | | ①直流電源故障 (区分Ⅱ) + スクラムコンタクター E / G 作動失敗共通原因故障 | 7.6E-12 | 19.7 |
| | 小破断 L O C A + 原子炉停止失敗 | 3.2E-11 | 0.1 | ①小破断 L O C A + スクラムコンタクター A / C 作動失敗共通原因故障 | 8.1E-12 | 25.0 |
| | | | | ①小破断 L O C A + スクラムコンタクター B / D 作動失敗共通原因故障 | 8.1E-12 | 25.0 |
| | | | | ①小破断 L O C A + スクラムコンタクター E / G 作動失敗共通原因故障 | 8.1E-12 | 25.0 |
| | | | | ①小破断 L O C A + スクラムコンタクター F / H 作動失敗共通原因故障 | 8.1E-12 | 25.0 |
| | 中破断 L O C A + 原子炉停止失敗 | 2.2E-11 | < 0.1 | ①中破断 L O C A + スクラムコンタクター A / C 作動失敗共通原因故障 | 5.4E-12 | 25.0 |
| | | | | ①中破断 L O C A + スクラムコンタクター B / D 作動失敗共通原因故障 | 5.4E-12 | 25.0 |
| | | | | ①中破断 L O C A + スクラムコンタクター E / G 作動失敗共通原因故障 | 5.4E-12 | 25.0 |
| | | | | ①中破断 L O C A + スクラムコンタクター F / H 作動失敗共通原因故障 | 5.4E-12 | 25.0 |
| | 大破断 L O C A + 原子炉停止失敗 | 2.2E-12 | < 0.1 | ①大破断 L O C A + スクラムコンタクター A / C 作動失敗共通原因故障 | 5.4E-13 | 25.0 |
| | | | | ①大破断 L O C A + スクラムコンタクター B / D 作動失敗共通原因故障 | 5.4E-13 | 25.0 |
| | | | | ①大破断 L O C A + スクラムコンタクター E / G 作動失敗共通原因故障 | 5.4E-13 | 25.0 |
| | | | | ①大破断 L O C A + スクラムコンタクター F / H 作動失敗共通原因故障 | 5.4E-13 | 25.0 |

※1 事故シーケンスグループに対する寄与割合 ※2 事故シーケンスに対する寄与割合

第 3.1.1.8-3 表 事故シーケンスグループの分析結果 (7/8)

| 事故シーケンス | | 炉心損傷頻度 (/炉年) | 寄与割合 ^{※1} (%) | 主要なカットセット (上位3位) | 炉心損傷頻度 (/炉年) | 寄与割合 ^{※2} (%) |
|---|---|-----------------|---------------------------|---|-----------------|---------------------------|
| L O C A 時 注 水 機 能 喪 失 | 小破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 | 1.4E-13 | 0.6 | ①小破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S/P 側) 開失敗 + R C I C 水源切替操作失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 4.3E-15 | 3.1 |
| | | | | ②小破断 L O C A + H P C S - D G S W メンテナンスによる待機除外 + R C I C 水源切替操作失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 3.5E-15 | 2.5 |
| | | | | ③小破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S/P 側) 開失敗 + R C I C ポンプ起動失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2.5E-15 | 1.8 |
| | 小破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗 | 2.2E-14 | 0.1 | ①小破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S/P 側) 開失敗 + 原子炉水位トランスミッタ (L-1) - A / B / C / D 作動失敗 共通原因故障 + 注水不能認知失敗 | 4.8E-16 | 2.2 |
| | | | | ②小破断 L O C A + H P C S - D G S W メンテナンスによる待機除外 + 原子炉水位トランスミッタ (L-1) - A / B / C / D 作動失敗 共通原因故障 + 注水不能認知失敗 | 3.9E-16 | 1.8 |
| | | | | ③小破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S/P 側) 開失敗 + 原子炉水位トランスミッタ (L-1) - A / B / C / D 作動失敗 共通原因故障 + R C I C 起動操作失敗 + 原子炉手動減圧失敗 | 2.3E-16 | 1.1 |
| | 中破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 | 1.5E-11 | 71.3 | ①中破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S/P 側) 開失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 1.1E-12 | 7.5 |
| | | | | ②中破断 L O C A + H P C S - D G S W メンテナンスによる待機除外 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 9.3E-13 | 6.1 |
| | | | | ③中破断 L O C A + H P C S - D G S W 海水ストレーナ閉塞 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 4.5E-13 | 2.9 |
| | 中破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗 | 4.6E-12 | 21.4 | ①中破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S/P 側) 開失敗 + 原子炉水位トランスミッタ (L-1) - A / B / C / D 作動失敗 共通原因故障 + 注水不能認知失敗 | 1.3E-13 | 2.8 |
| | | | | ②中破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S/P 側) 開失敗 + 原子炉水位トランスミッタ (L-3) - A / B 作動失敗共通原因 故障 + 注水不能認知失敗 | 1.3E-13 | 2.8 |
| | | | | ③中破断 L O C A + H P C S - D G S W メンテナンスによる待機除外 + 原子炉水位トランスミッタ (L-1) - A / B / C / D 作動失敗 共通原因故障 + 注水不能認知失敗 | 1.0E-13 | 2.3 |
| | 大破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 | 1.4E-12 | 6.6 | ①大破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S/P 側) 開失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 1.1E-13 | 8.1 |
| | | | | ②大破断 L O C A + H P C S - D G S W メンテナンスによる待機除外 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 9.3E-14 | 6.6 |
| | | | | ③大破断 L O C A + H P C S - D G S W 海水ストレーナ閉塞 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 4.5E-14 | 3.2 |

※1 事故シーケンスグループに対する寄与割合 ※2 事故シーケンスに対する寄与割合

第 3. 1. 1. 8－3 表 事故シーケンスグループの分析結果 (8／8)

| 事故シーケンス | | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 ^{※1} (%) | 主要なカットセット (上位3位) | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 ^{※2} (%) |
|--------------|----------------------|-----------------|---------------------------|--|-----------------|---------------------------|
| 格納容器 バイパス | インターフェイスシステム L O C A | 4. 8E-10 | 100. 0 | ① R H R－A テスタブル逆止弁定期試験 ＋ R H R－A 注入弁定期試験時の通常状態への復旧失敗 ＋ R H R－A テスタブル逆止弁閉失敗 ＋ R H R－A 吐出配管破断 | 1. 5E-10 | 30. 4 |
| | | | | ① R H R－B テスタブル逆止弁定期試験 ＋ R H R－B 注入弁定期試験時の通常状態への復旧失敗 ＋ R H R－B テスタブル逆止弁閉失敗 ＋ R H R－B 吐出配管破断 | 1. 5E-10 | 30. 4 |
| | | | | ③ R H R－C テスタブル逆止弁定期試験 ＋ R H R－C 注入弁定期試験時の通常状態への復旧失敗 ＋ R H R－C テスタブル逆止弁閉失敗 ＋ R H R－C 吐出配管破断 | 5. 9E-11 | 12. 1 |

※1 事故シーケンスグループに対する寄与割合 ※2 事故シーケンスに対する寄与割合

第 3.1.1.8-4 表 起因事象の F V 重要度評価結果

| 起因事象 | F V 重要度 |
|----------------------|----------|
| 非隔離事象 | 4. 2E-01 |
| 原子炉緊急停止系誤動作等 | 1. 4E-01 |
| 計画外停止 | 1. 1E-01 |
| 隔離事象 | 6. 6E-02 |
| 水位低下事象 | 6. 6E-02 |
| 直流電源故障（区分Ⅱ） | 4. 4E-02 |
| 直流電源故障（区分Ⅰ） | 4. 4E-02 |
| 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅱ） | 2. 7E-02 |
| 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅰ） | 2. 7E-02 |
| 外部電源喪失 | 2. 5E-02 |
| 全給水喪失 | 2. 5E-02 |
| 交流電源故障（区分Ⅱ） | 5. 7E-03 |
| 交流電源故障（区分Ⅰ） | 5. 6E-03 |
| 逃がし安全弁誤開放 | 2. 5E-03 |
| タービン・サポート系故障 | 1. 8E-03 |
| 小破断 L O C A | 7. 4E-04 |
| 中破断 L O C A | 4. 9E-04 |
| 大破断 L O C A | 4. 9E-05 |
| インターフェイスシステム L O C A | 8. 0E-06 |

第 3.1.1.8-5 表 起因事象の R A W 評価結果

| 起因事象 | R A W |
|----------------------|----------|
| インターフェイスシステム L O C A | 1. 6E+04 |
| 直流電源故障（区分Ⅱ） | 1. 6E+02 |
| 直流電源故障（区分Ⅰ） | 1. 6E+02 |
| 交流電源故障（区分Ⅱ） | 3. 9E+01 |
| 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅱ） | 3. 8E+01 |
| 交流電源故障（区分Ⅰ） | 3. 8E+01 |
| 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅰ） | 3. 8E+01 |
| 外部電源喪失 | 6. 9E+00 |
| 中破断 L O C A | 3. 5E+00 |
| 大破断 L O C A | 3. 5E+00 |
| 小破断 L O C A | 3. 5E+00 |
| 逃がし安全弁誤開放 | 3. 5E+00 |
| タービン・サポート系故障 | 3. 5E+00 |
| 全給水喪失 | 3. 4E+00 |
| 隔離事象 | 3. 4E+00 |
| 水位低下事象 | 3. 4E+00 |
| 計画外停止 | 3. 4E+00 |
| 原子炉緊急停止系誤動作等 | 3. 3E+00 |
| 非隔離事象 | 3. 0E+00 |

第 3.1.1.8-6 表 緩和設備の基事象の F V 重要度評価結果

| No | 系統 | 基事象 | F V 重要度 |
|----|------|------------------------------|---------|
| 1 | RHR | RHR 系操作失敗 | 6.2E-01 |
| 2 | RHRS | RHRS-A/B 海水ストレーナ閉塞共通要因故障 | 9.7E-02 |
| 3 | RHRS | RHRS-A/B 流量制御弁開失敗共通要因故障 | 2.0E-02 |
| 4 | RHR | RHR-A/B 熱交換器バイパス弁閉失敗共通要因故障 | 1.3E-02 |
| 5 | DG | DG-2D 運転継続失敗 | 1.2E-02 |
| 6 | DG | DG-2C 運転継続失敗 | 1.2E-02 |
| 7 | RHRS | RHRS-A/B/C/D 海水ポンプ起動失敗共通要因故障 | 1.1E-02 |
| 8 | RHRS | RHRS-B メンテナンスによる待機除外 | 1.1E-02 |
| 9 | RHRS | RHRS-A メンテナンスによる待機除外 | 1.1E-02 |
| 10 | RHR | RHR-A/B ポンプ室空調ファン起動失敗共通要因故障 | 1.0E-02 |
| 10 | RHR | RHR-A/B ポンプ起動失敗共通要因故障 | 1.0E-02 |

第 3.1.1.8-7 表 緩和設備の基事象の R A W 評価結果

| No | 系統 | 基事象 | R A W |
|----|---------|---|----------|
| 1 | R H R | R H R 系操作失敗 | 5. 6E+03 |
| 1 | R H R | R H R - A / B 熱交換器バイパス弁閉失敗共通要因故障 | 5. 6E+03 |
| 1 | R H R | R H R - A / B ポンプ起動失敗共通要因故障 | 5. 6E+03 |
| 1 | R H R | R H R - A / B ポンプ室空調ファン起動失敗共通要因故障 | 5. 6E+03 |
| 1 | R H R | R H R - A / B ポンプ運転継続失敗共通要因故障 | 5. 6E+03 |
| 1 | R H R | R H R - A / B / C ポンプ起動失敗共通要因故障 | 5. 6E+03 |
| 1 | R H R | R H R - A / B / C ポンプ室空調ファン起動失敗共通要因故障 | 5. 6E+03 |
| 1 | R H R | R H R - A / B ポンプ室空調ファン運転継続失敗共通要因故障 | 5. 6E+03 |
| 1 | R H R | R H R - A / B / C ポンプ運転継続失敗共通要因故障 | 5. 6E+03 |
| 1 | R H R S | R H R S - A / B / C / D ポンプ運転継続失敗共通要因故障 | 5. 6E+03 |
| 1 | R H R | R H R - A / B ポンプ出口逆止弁開失敗共通要因故障 | 5. 6E+03 |
| 1 | R H R | R H R - A / B ミニフローライン逆止弁開失敗共通要因故障 | 5. 6E+03 |
| 1 | R H R | R H R - A / B / C ポンプ室空調ファン運転継続失敗共通要因故障 | 5. 6E+03 |
| 1 | R H R | R H R - A / B / C ポンプ出口逆止弁開失敗共通要因故障 | 5. 6E+03 |
| 1 | R H R | R H R - A / B / C ミニフローライン逆止弁開失敗共通要因故障 | 5. 6E+03 |

第 3.1.1.8-8 表 不確実さ解析の評価結果

| 事故シーケンスグループ | 点推定値 (／炉年) | 平均値 (／炉年) | 中央値 (／炉年) | 5%下限値 (／炉年) | 95%上限値 (／炉年) | E F |
|--------------------------------|---------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-------|
| 高圧・低圧注水機能喪失 | 3. 5E-09 | 4. 0E-09 | 1. 8E-09 | 3. 8E-10 | 1. 3E-08 | 5. 8 |
| T Q U V | | | | | | |
| 高圧注水・減圧機能喪失 | 2. 0E-08 | 2. 1E-08 | 7. 4E-09 | 1. 1E-09 | 6. 3E-08 | 7. 7 |
| T Q U X | | | | | | |
| 全交流動力電源喪失※ | 9. 9E-08 | 1. 1E-07 | — | — | — | — |
| 長期 T B | 7. 7E-08 | 8. 6E-08 | 4. 0E-08 | 9. 2E-09 | 2. 8E-07 | 5. 5 |
| T B U | 2. 1E-08 | 2. 4E-08 | 1. 3E-08 | 2. 8E-09 | 7. 4E-08 | 5. 2 |
| T B P | 5. 3E-10 | 6. 3E-10 | 9. 9E-11 | 5. 1E-12 | 2. 2E-09 | 20. 7 |
| T B D | 6. 0E-12 | 6. 9E-12 | 1. 7E-12 | 1. 2E-13 | 2. 3E-11 | 13. 8 |
| 崩壊熱除去機能喪失※ | 6. 0E-05 | 6. 4E-05 | — | — | — | — |
| T W | 5. 6E-05 | 5. 9E-05 | 2. 0E-05 | 7. 2E-06 | 1. 5E-04 | 4. 5 |
| T B W | 4. 8E-06 | 4. 8E-06 | 3. 9E-06 | 1. 5E-06 | 1. 1E-05 | 2. 7 |
| 原子炉停止機能喪失 | 2. 5E-08 | 3. 1E-08 | 1. 7E-09 | 5. 1E-11 | 7. 3E-08 | 38. 0 |
| T C | | | | | | |
| L O C A 時注水機能喪失※ | 2. 2E-11 | 1. 8E-11 | — | — | — | — |
| A E | 1. 4E-12 | 1. 2E-12 | 1. 3E-13 | 3. 5E-15 | 4. 3E-12 | 35. 0 |
| S 1 E | 2. 0E-11 | 1. 7E-11 | 2. 1E-12 | 7. 5E-14 | 6. 9E-11 | 30. 3 |
| S 2 E | 1. 6E-13 | 1. 8E-13 | 2. 1E-14 | 1. 0E-15 | 5. 5E-13 | 23. 0 |
| 格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A） | 4. 8E-10 | 8. 3E-10 | 1. 0E-10 | 6. 9E-12 | 2. 7E-09 | 19. 6 |
| I S L O C A | | | | | | |
| 合計 | 6. 1E-05 | 6. 4E-05 | 2. 6E-05 | 1. 0E-05 | 1. 5E-04 | 3. 8 |

※点推定値, 平均値の積算値を記載

第 3.1.1.8-9 表 ベースケースとの起因事象発生頻度の比較（プラント固有データ反映）

| 起因事象 | ベースケース | 感度解析① (頻度論統計) | ①／ベースケース | 感度解析② (ベイズ統計) | ②／ベースケース |
|--------------|------------|------------------|----------|------------------|----------|
| 非隔離事象 | 1.7E-01／炉年 | 3.1E-01／炉年 | 1.8 | 2.8E-01／炉年 | 1.6 |
| 水位低下事象 | 2.7E-02／炉年 | 8.8E-02／炉年 | 3.3 | 4.9E-02／炉年 | 1.8 |
| 原子炉緊急停止系誤動作等 | 5.5E-02／炉年 | 4.4E-02／炉年 | 0.8 | 5.4E-02／炉年 | 1.0 |
| 計画外停止 | 4.3E-02／炉年 | 4.4E-02／炉年 | 1.0 | 4.5E-02／炉年 | 1.0 |

第 3.1.1.8-10 表 ベースケースとの機器故障率の比較（プラント固有データ反映）

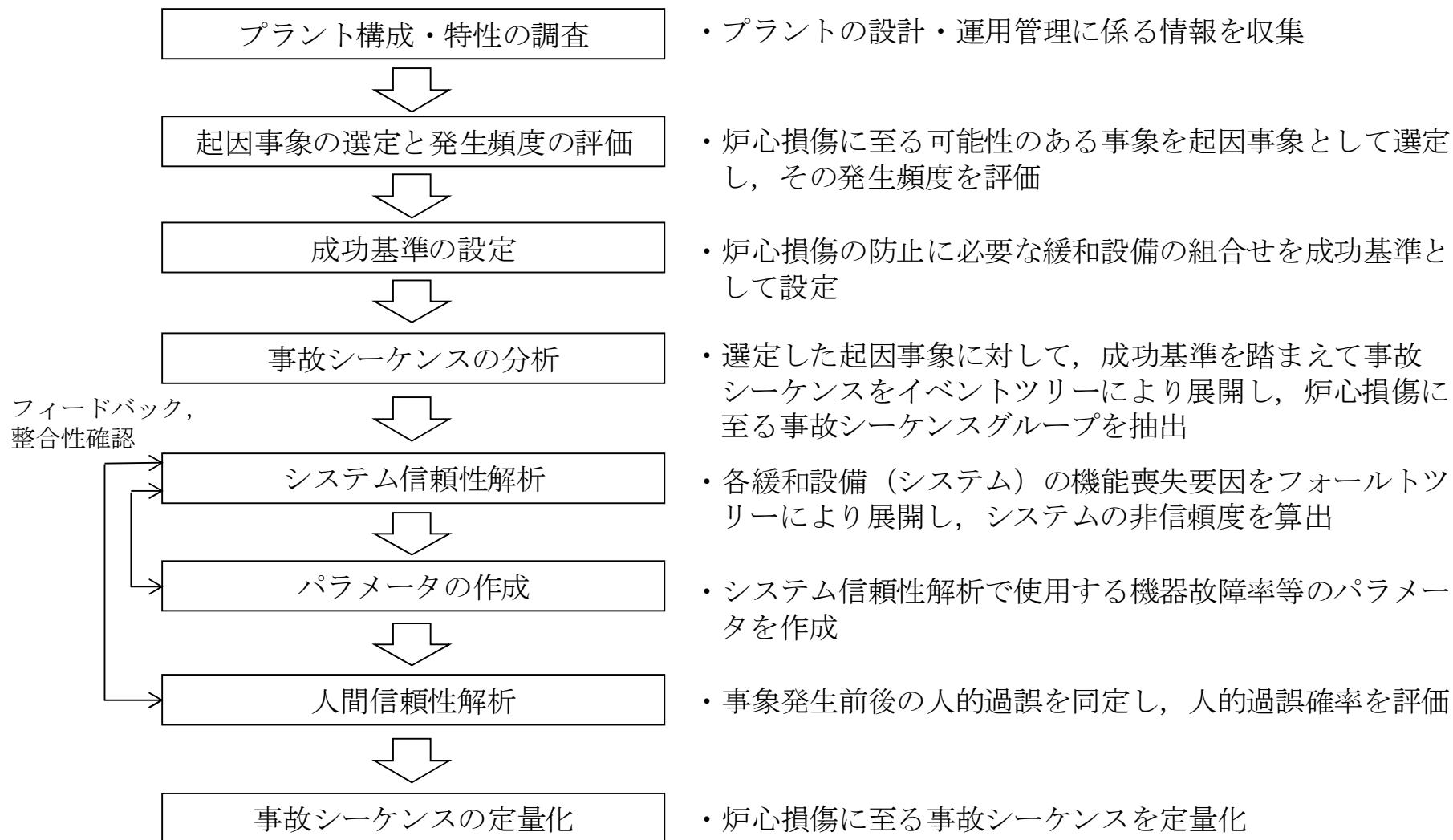
| 故障モード | ベースケース | 感度解析① (頻度論統計) | ①／ベースケース | 感度解析② (ベイズ統計) | ②／ベースケース |
|-------------|-----------|------------------|----------|------------------|----------|
| 電動弁（淡水）作動失敗 | 4.8E-08／h | 1.4E-07／h | 2.9 | 1.2E-07／h | 2.5 |
| 逆止弁開失敗 | 7.1E-09／h | 7.1E-08／h | 10.0 | 2.4E-08／h | 3.4 |

第 3.1.1.8－11 表 プラント固有の運転実績を考慮した感度解析結果

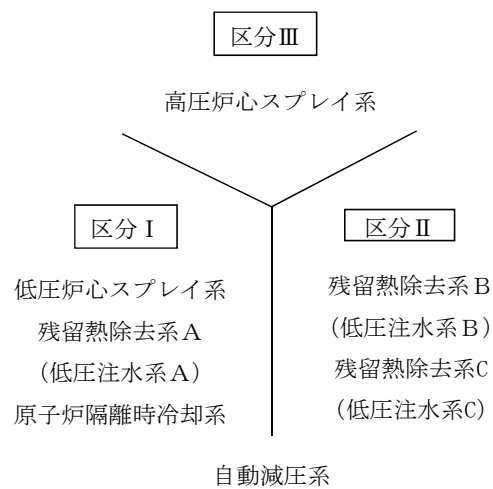
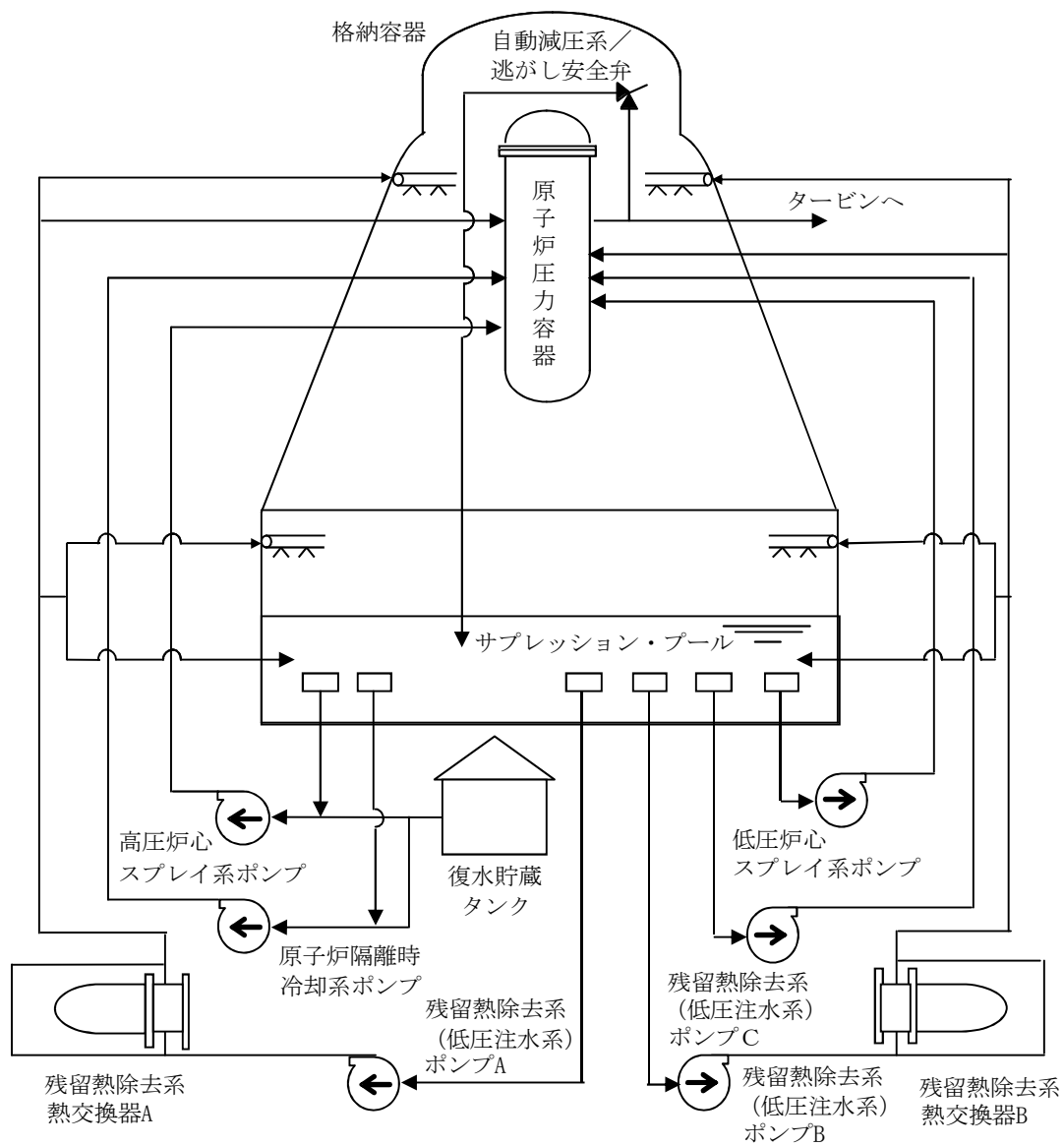
| 事故シーケンスグループ | | ベースケース (／炉年) | 感度解析① (頻度論統計) (／炉年) | 感度解析② (ベイズ統計) (／炉年) |
|--|-------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| 高圧・低圧注水機能喪失 | T Q U V | 3. 5E-09 | 4. 2E-09 | 3. 6E-09 |
| 高圧注水・減圧機能喪失 | T Q U X | 2. 0E-08 | 2. 9E-08 | 2. 3E-08 |
| 全交流動力電源喪失 | 長期 T B | 7. 7E-08 | 7. 8E-08 | 7. 7E-08 |
| | T B U | 2. 1E-08 | 2. 1E-08 | 2. 1E-08 |
| | T B P | 5. 3E-10 | 6. 1E-10 | 5. 3E-10 |
| | T B D | 6. 0E-12 | 6. 1E-12 | 6. 0E-12 |
| 崩壊熱除去機能喪失 | T W | 5. 6E-05 | 9. 3E-05 | 7. 2E-05 |
| | T B W | 4. 8E-06 | 4. 8E-06 | 4. 8E-06 |
| 原子炉停止機能喪失 | T C | 2. 5E-08 | 4. 7E-08 | 3. 7E-08 |
| L O C A 時注水機能喪失 | A E | 1. 4E-12 | 3. 2E-12 | 1. 4E-12 |
| | S 1 E | 2. 0E-11 | 4. 2E-11 | 2. 0E-11 |
| | S 2 E | 1. 6E-13 | 5. 3E-13 | 1. 6E-13 |
| 格納容器バイパス (インターフェイス システム L O C A) | I S L O C A | 4. 8E-10 | 4. 8E-10 | 4. 8E-10 |
| 合計 | | 6. 1E-05 | 9. 8E-05 | 7. 7E-05 |

第 3.1.1.8－12 表 給水系のモデル化に関する感度解析結果

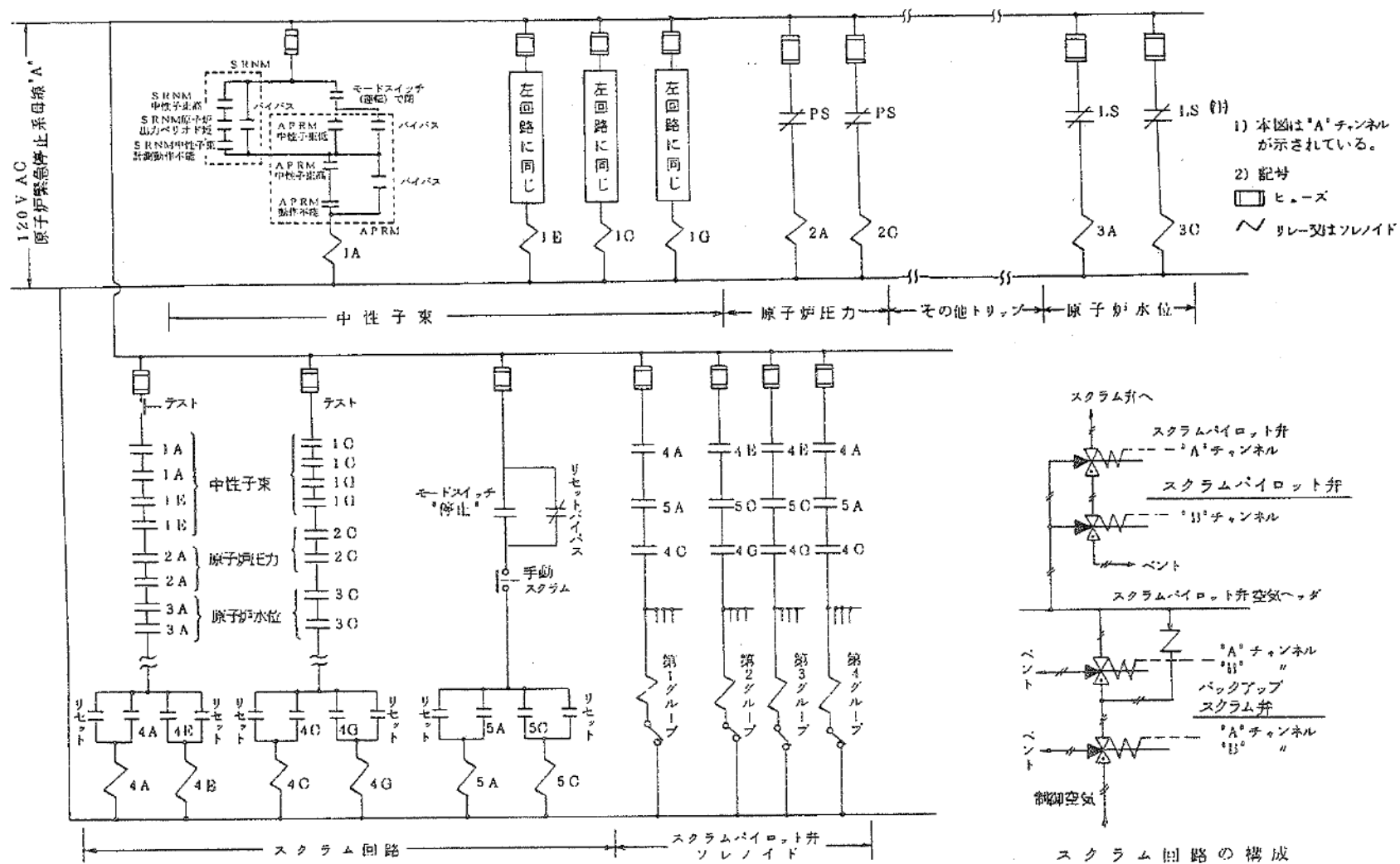
| 事故シーケンスグループ | | ベースケース (／炉年) | 感度解析結果 (／炉年) |
|---------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 高圧・低圧注水機能喪失 | T Q U V | 3. 5E-09 | 3. 4E-09 |
| 高圧注水・減圧機能喪失 | T Q U X | 2. 0E-08 | 1. 2E-08 |
| 全交流動力電源喪失 | 長期 T B | 7. 7E-08 | 7. 7E-08 |
| | T B U | 2. 1E-08 | 2. 1E-08 |
| | T B P | 5. 3E-10 | 5. 3E-10 |
| | T B D | 6. 0E-12 | 6. 0E-12 |
| 崩壊熱除去機能喪失 | T W | 5. 6E-05 | 9. 1E-06 |
| | T B W | 4. 8E-06 | 4. 8E-06 |
| 原子炉停止機能喪失 | T C | 2. 5E-08 | 2. 5E-08 |
| L O C A 時注水機能喪失 | A E | 1. 4E-12 | 1. 4E-12 |
| | S 1 E | 2. 0E-11 | 2. 0E-11 |
| | S 2 E | 1. 6E-13 | 1. 6E-13 |
| 格納容器バイパス (インターフェイスシステム L O C A) | I S L O C A | 4. 8E-10 | 4. 8E-10 |
| 合計 | | 6. 1E-05 | 1. 4E-05 |



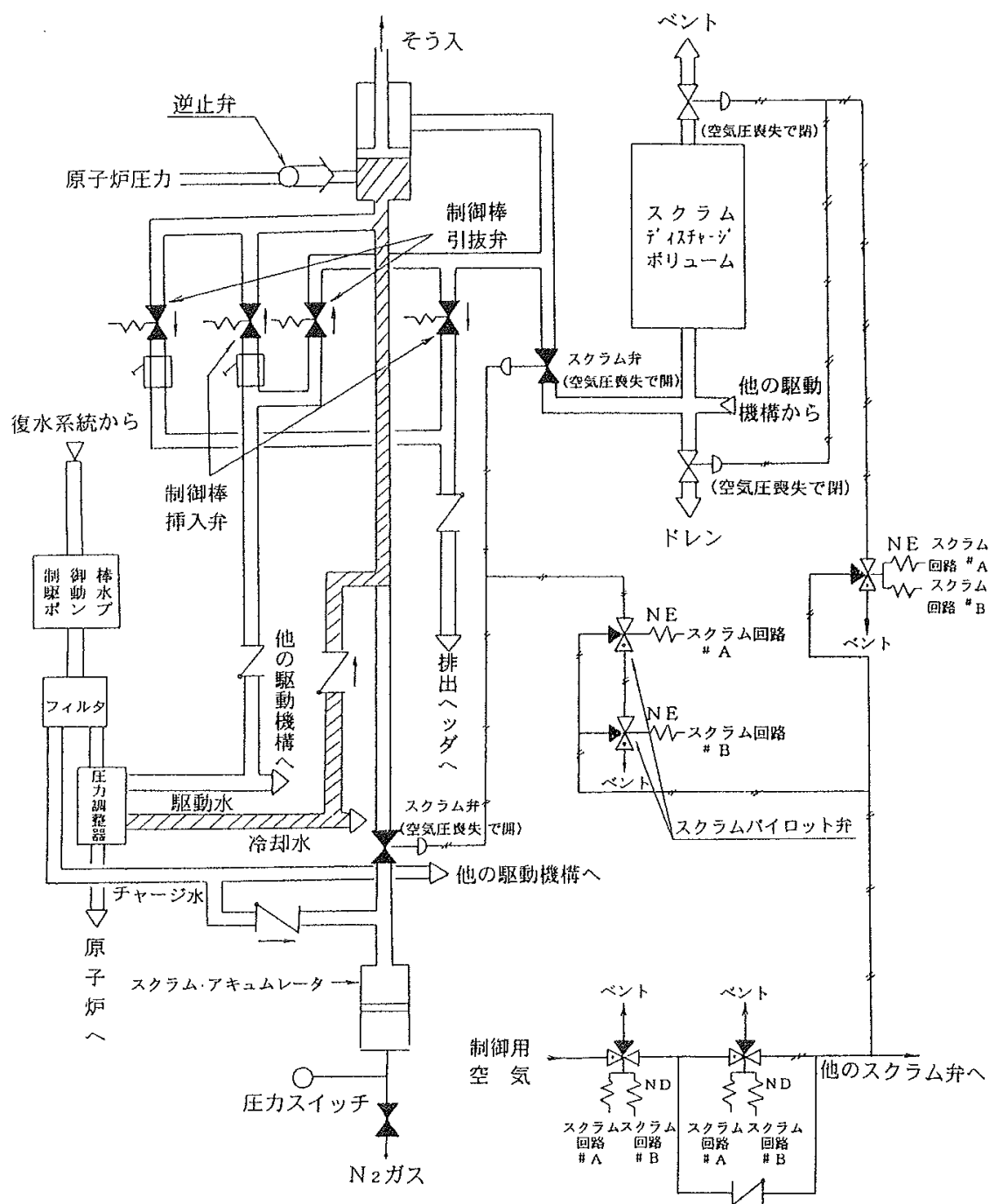
第 3.1.1-1 図 内部事象出力運転時レベル 1 PRA の評価フロー図



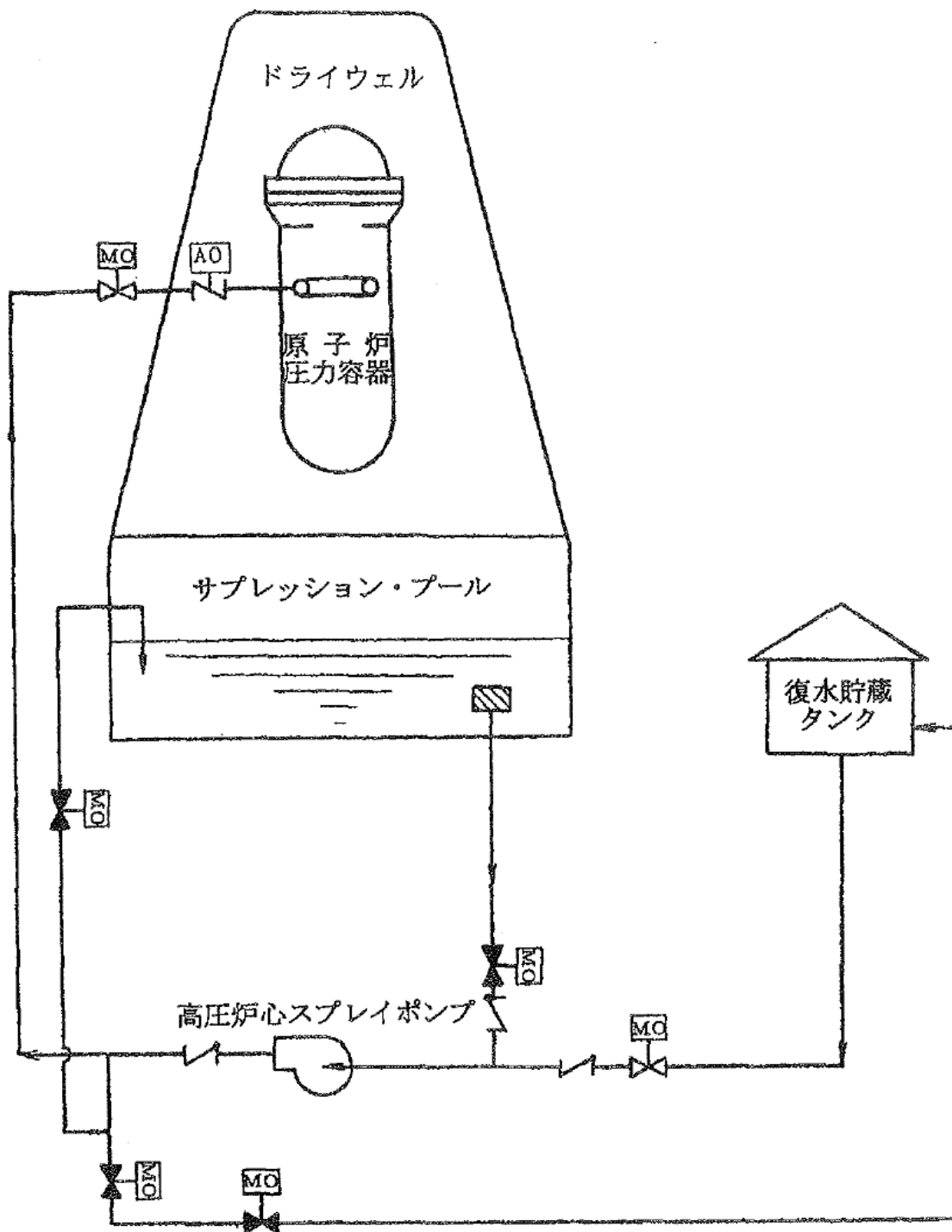
第 3. 1. 1. 1－1 図 東海第二発電所の主要な系統・設備の概要図



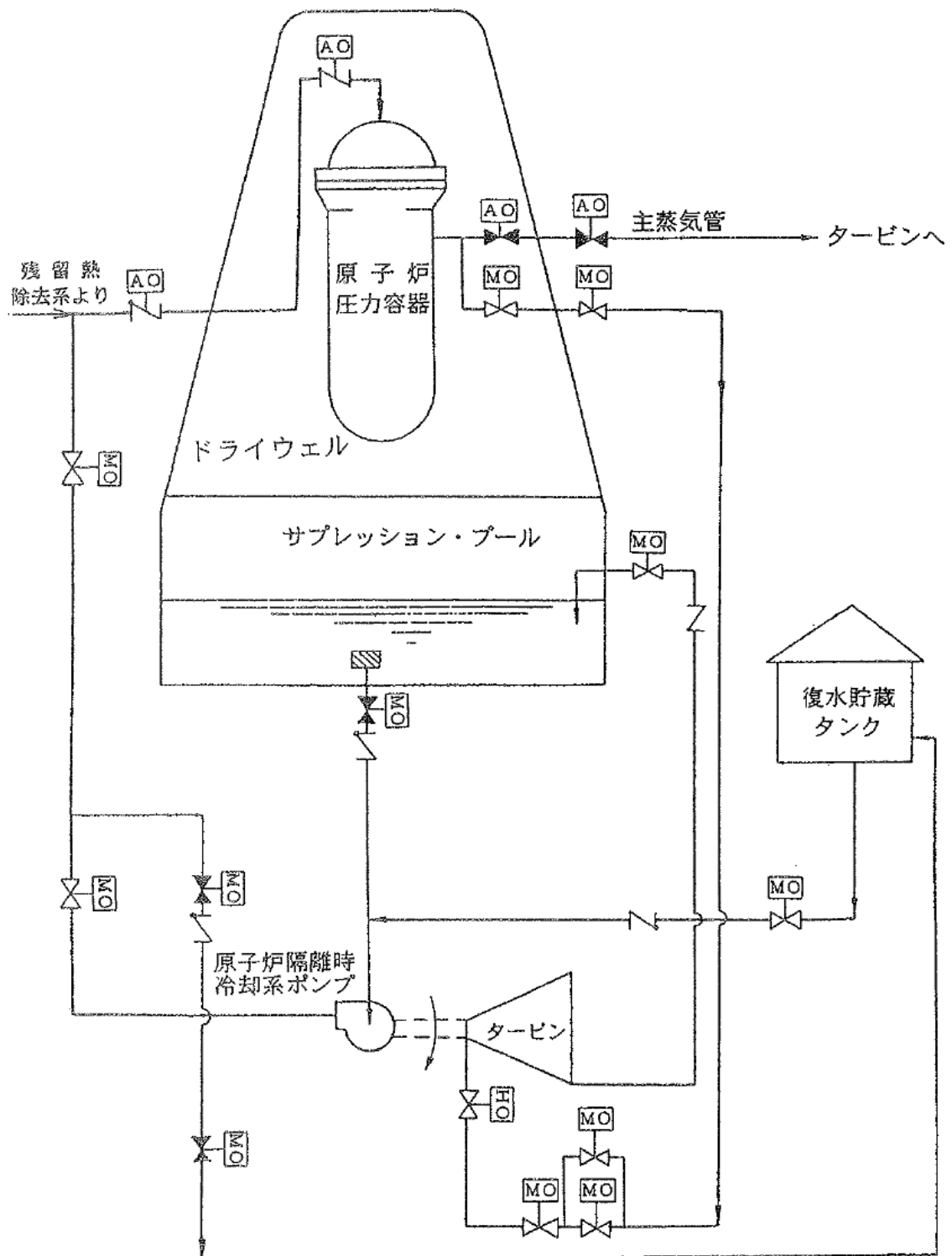
第 3.1.1.1-2 図 原子炉緊急停止系の系統説明図



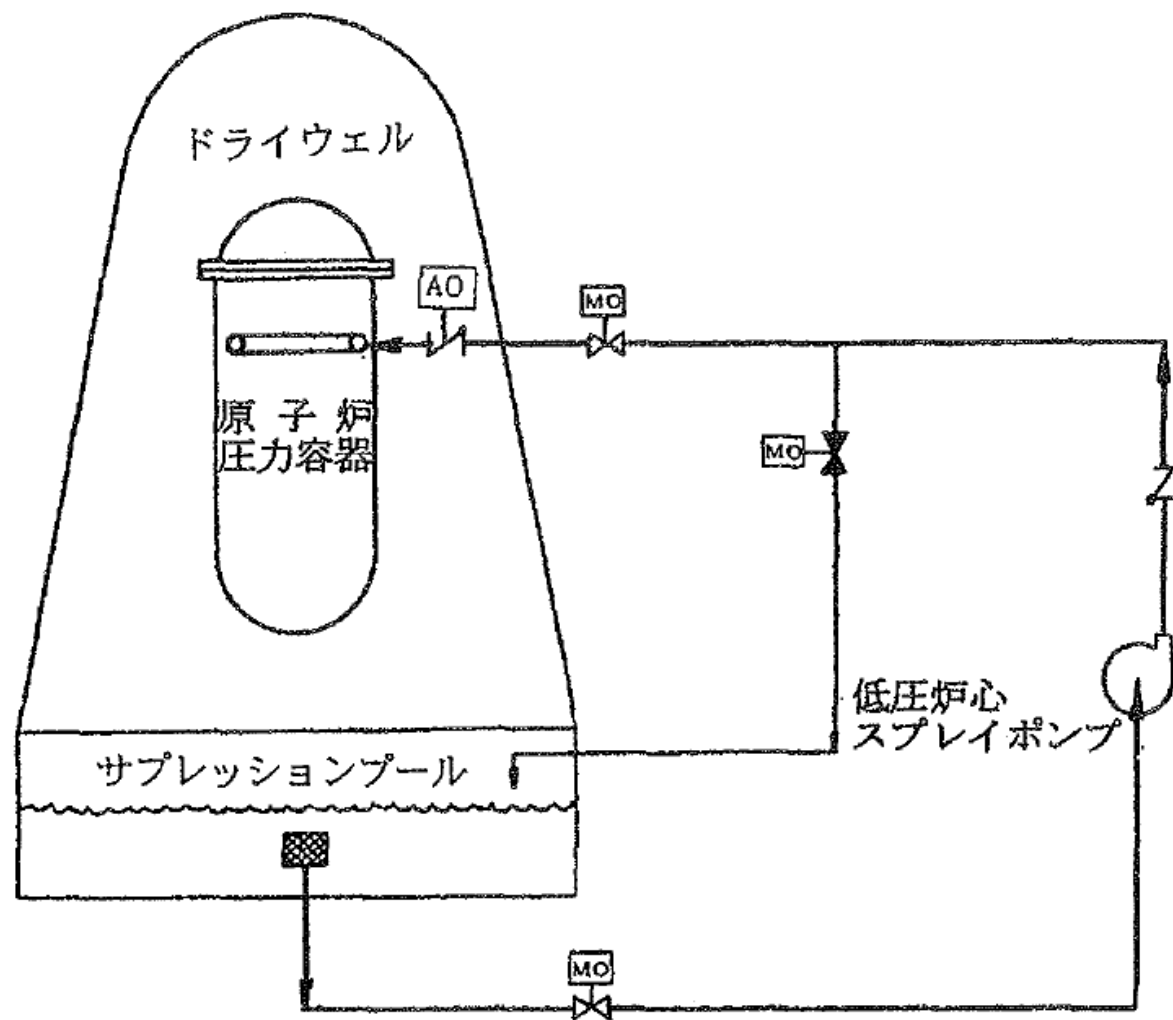
第 3.1.1.1-3 図 制御棒駆動水圧系の系統説明図



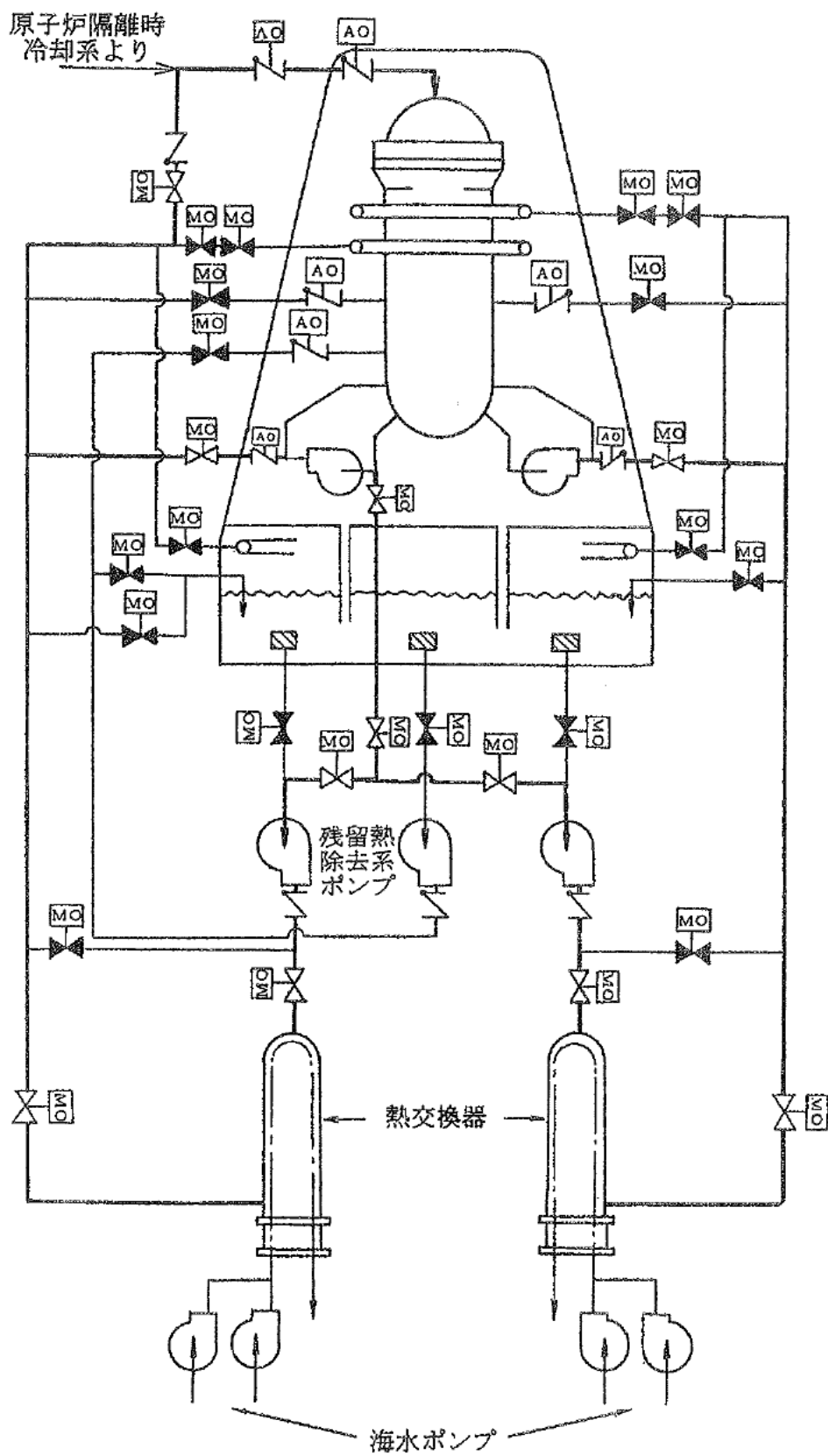
第 3.1.1.1-4 図 高圧炉心スプレイ系の系統説明図



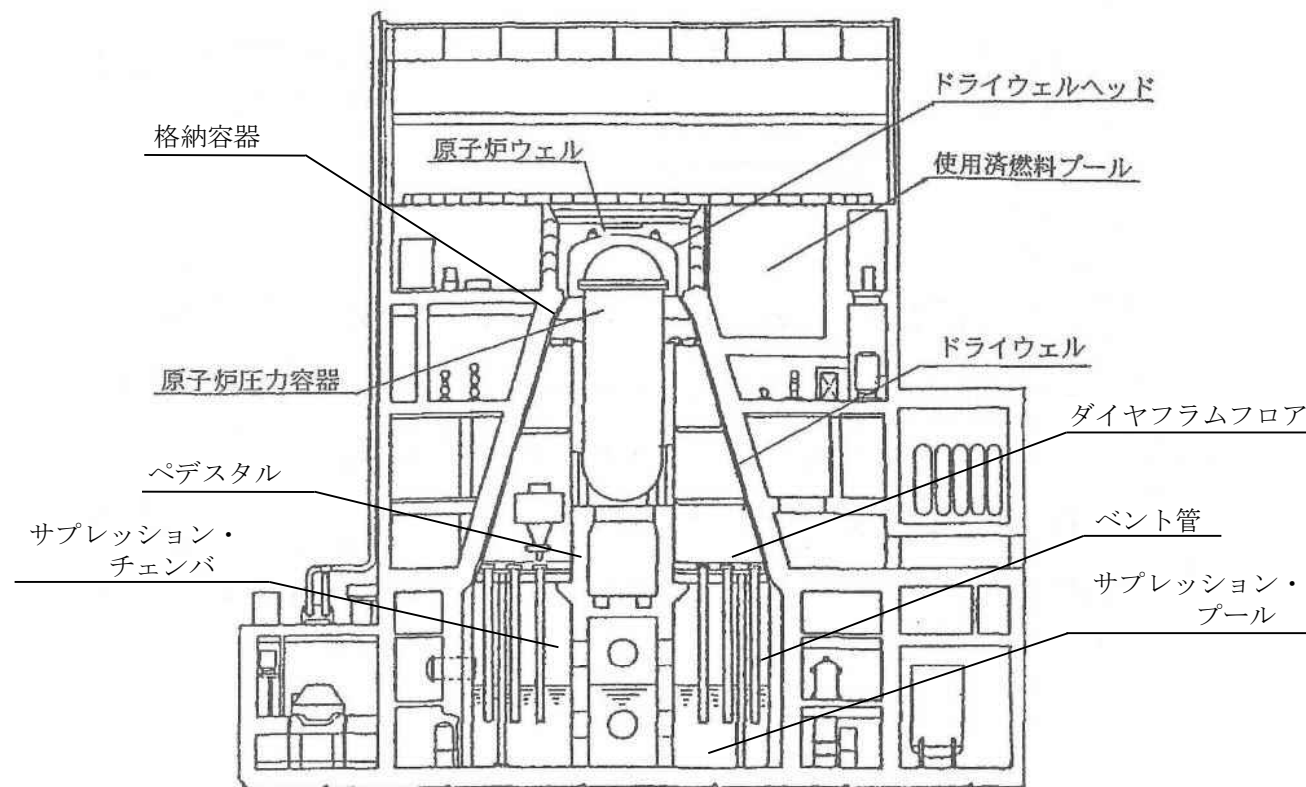
第 3.1.1.1-5 図 原子炉隔離時冷却系の系統説明図



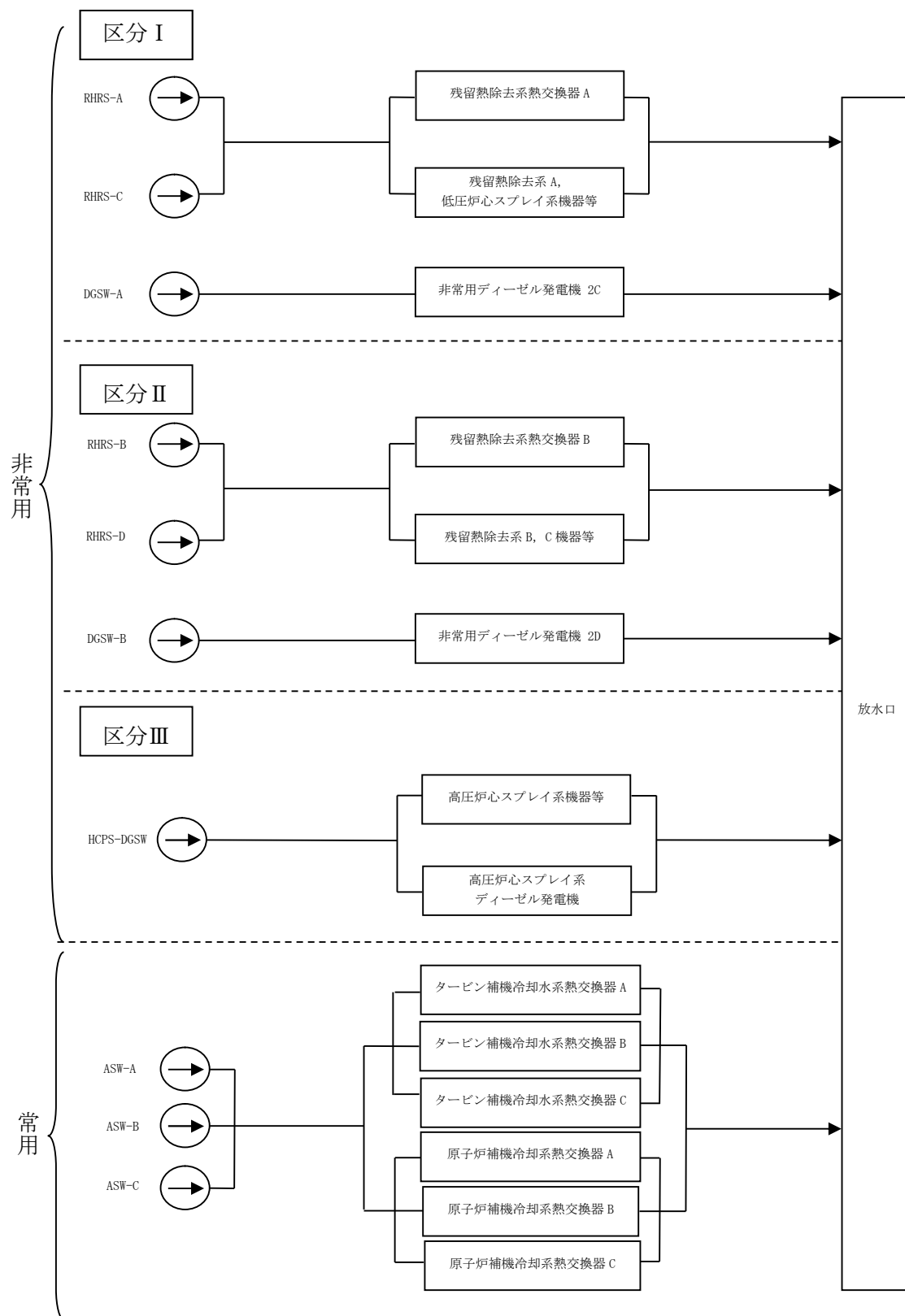
第 3.1.1.1-6 図 低圧炉心スプレイ系の系統説明図



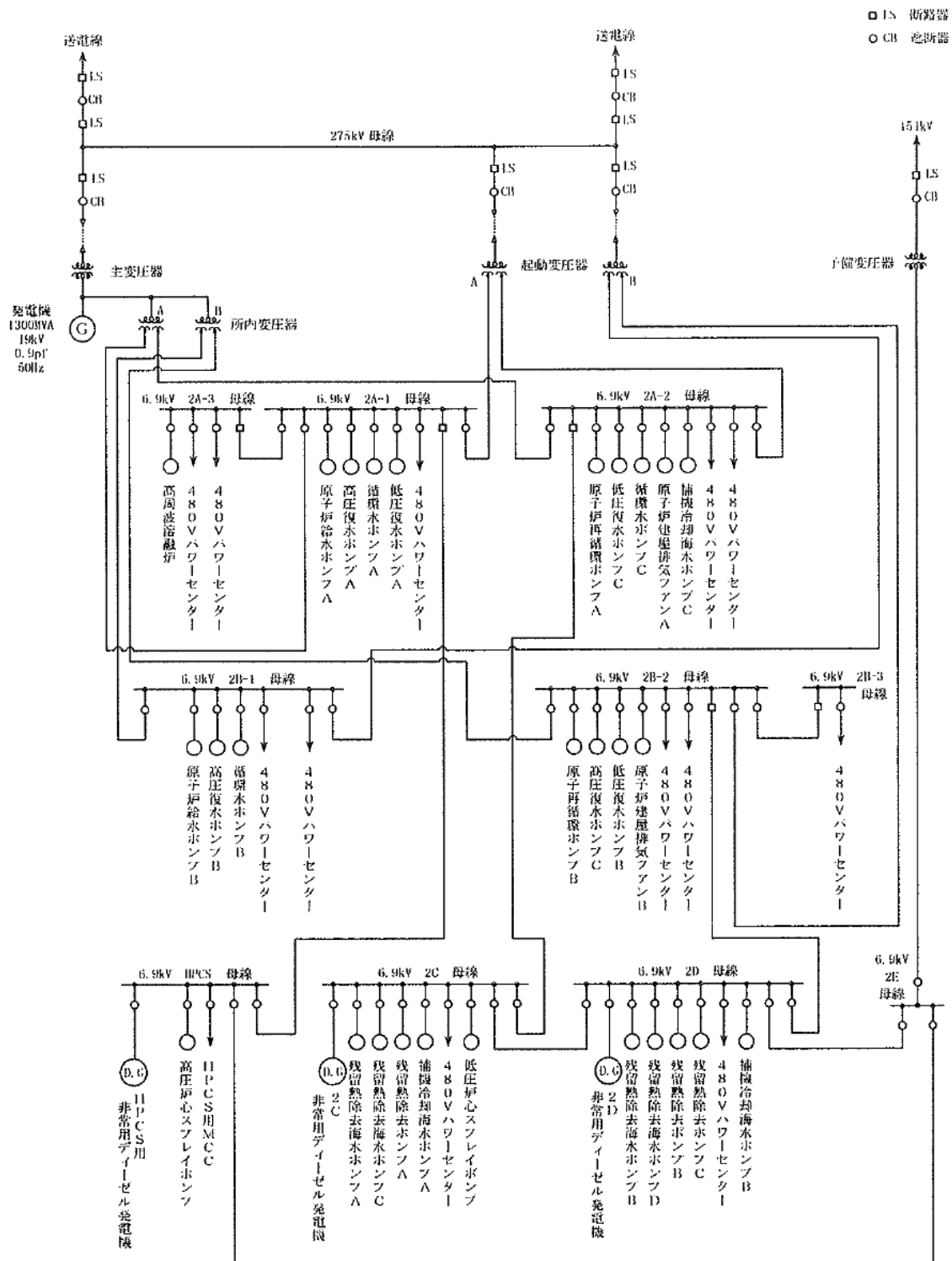
第 3.1.1.1-7 図 残留熱除去系の系統説明図



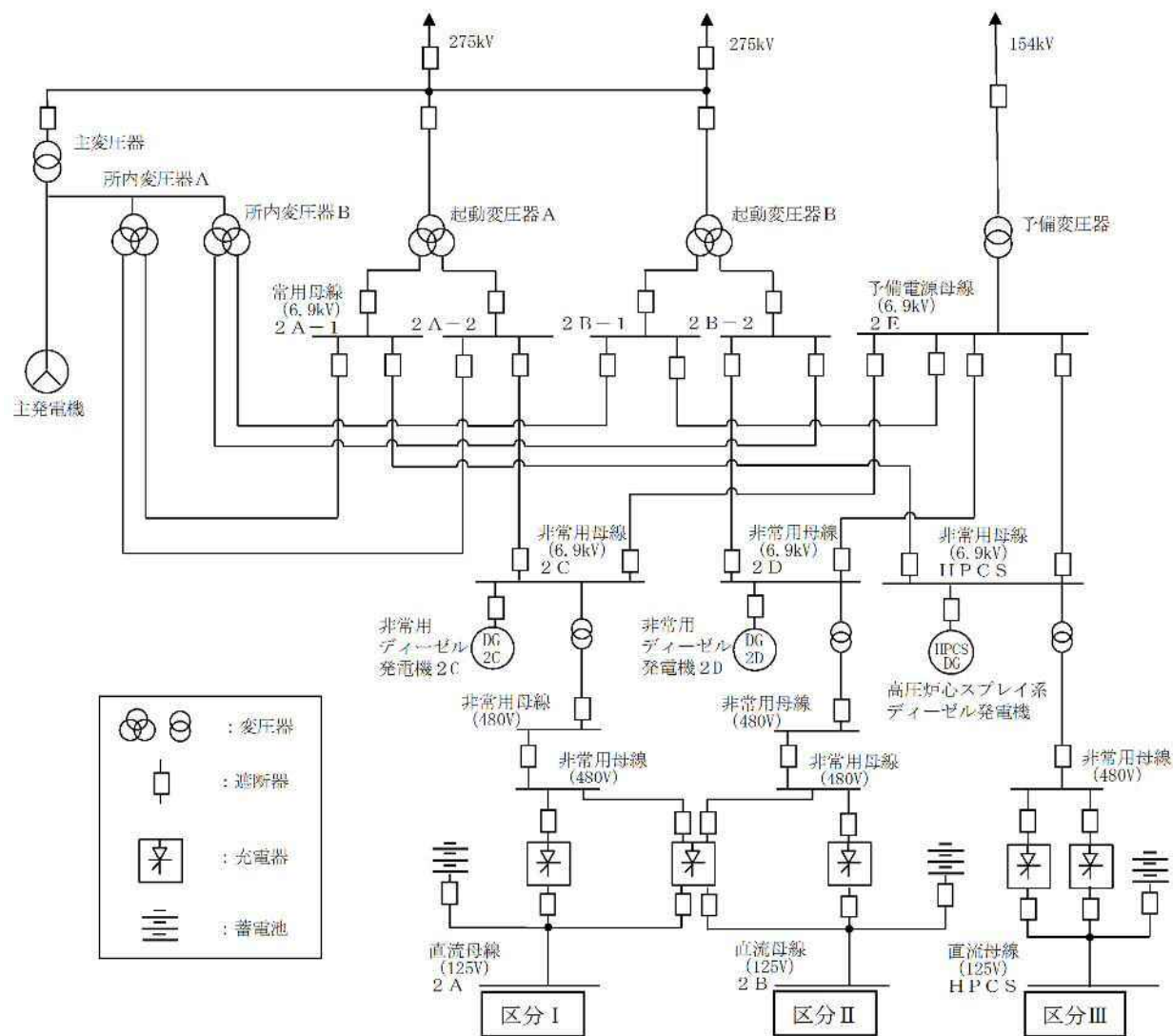
第 3.1.1.1-8 図 格納容器の概要図



第 3. 1. 1. 1－9 図 常用及び非常用補機冷却系の概要図



第 3.1.1.1-10 図 所内単線結線図



第 3.1.1.1-11 図 電源系統の概要図

| 外部電源喪失 | 原子炉停止 | 直流電源 | 交流電源 | 圧力バウンダリ健全性 | 高圧炉心冷却 | | 事故シーケンス | 事故シーケンスグループ |
|--------|-------|------|------|------------|--------|------|-----------------------------------|------------------|
| | | | | | HPCS | RCIC | | |
| 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 過渡事象へ | 過渡事象へ |
| | | | | | | | 外部電源喪失+DG失敗 (HPCS成功) | 崩壊熱除去機能喪失 (TBW) |
| | | | | | | | 外部電源喪失+DG失敗+HPCS失敗 (蓄電池枯渇後RCIC停止) | 全交流動力電源喪失 (長期TB) |
| | | | | | | | 外部電源喪失+DG失敗+高圧炉心冷却失敗 | 全交流動力電源喪失 (TBU) |
| | | | | | | | 外部電源喪失+DG失敗+逃がし安全弁再閉鎖失敗 (HPCS成功) | 崩壊熱除去機能喪失 (TBW) |
| | | | | | | | 外部電源喪失+DG失敗+逃がし安全弁再閉鎖失敗+HPCS失敗 | 全交流動力電源喪失 (TBP) |
| | | | | | | | 外部電源喪失+直流電源失敗 (HPCS成功) | 崩壊熱除去機能喪失 (TBW) |
| | | | | | | | 外部電源喪失+直流電源失敗+HPCS失敗 | 全交流動力電源喪失 (TBD) |
| | | | | | | | 過渡事象+原子炉停止失敗 | 原子炉停止機能喪失 |
| | | | | | | | | |
| 失敗 | 失敗 | 失敗 | 失敗 | 失敗 | 成功 | 失敗 | 外部電源喪失+直流電源失敗 (HPCS成功) | 崩壊熱除去機能喪失 (TBW) |
| | | | | | | | 外部電源喪失+直流電源失敗+HPCS失敗 | 全交流動力電源喪失 (TBD) |

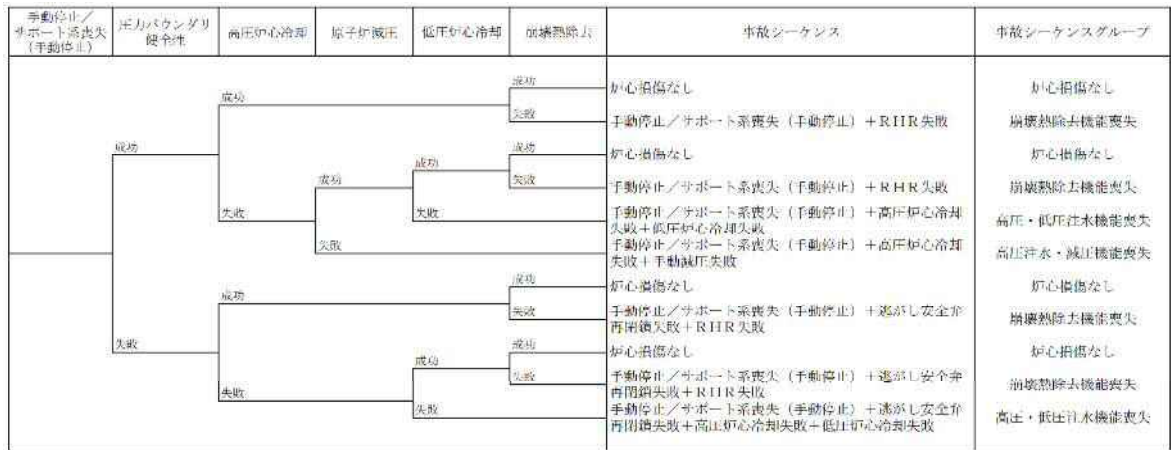
第 3. 1. 1. 4－1(b)図 外部電源喪失に対するイベントツリー

【仮定条件】

- ・送電系統の故障等により常用／非常用母線への外部からの電源供給が停止し，非常用母線への非常用ディーゼル発電機からの電源供給が必要となる事象を考慮する。
- ・非常用ディーゼル発電機による非常用交流電源確保のためには，直流電源が必要である。
- ・直流電源及び交流電源のヘディングは区分Ⅰ，Ⅱ電源のことを意味し，区分Ⅲ電源は含めない。これは，区分Ⅰの交流電源及び直流電源，又は区分Ⅱの交流電源及び直流電源の確保に成功した場合は崩壊熱除去機能に期待できるため，その後のイベントツリーは過渡事象と同様であるが，区分Ⅲの電源のみ成功した場合は崩壊熱除去機能が喪失した状態となることを考慮したものである。なお，区分Ⅲの交流電源及び直流電源の成功／失敗については，HPCSのヘディングに対応する分岐で考慮している。

【イベントツリーの説明】

- ・起因事象発生後，原子炉停止に成功し，区分Ⅰの直流電源及び交流電源，又は区分Ⅱの直流電源及び交流電源の確保に成功した場合は，過渡事象と同様の事象進展となる。
- ・原子炉停止に失敗した場合は，「原子炉停止機能喪失」に分類する。
- ・直流電源（区分Ⅰ及び区分Ⅱ）に失敗し，高圧炉心スプレイ系に成功した場合は「崩壊熱除去機能喪失 (TBW)」，高圧炉心スプレイ系に失敗した場合は「全交流動力電源喪失 (TBD)」に分類する。
- ・直流電源（区分Ⅰ又は区分Ⅱ）に成功し，交流電源（区分Ⅰ及び区分Ⅱ）に失敗した場合は，高圧炉心冷却（高圧炉心スプレイ系，原子炉隔離時冷却系）に期待する。
- ・逃がし安全弁の再閉鎖に失敗した場合には，原子炉隔離時冷却系は駆動蒸気の喪失により機能喪失する。そのため，高圧炉心スプレイ系に成功した場合は「崩壊熱除去機能喪失 (TBW)」，高圧炉心スプレイ系に失敗した場合は「全交流動力電源喪失 (TBP)」に分類する。
- ・逃がし安全弁の再閉鎖に成功し，高圧炉心冷却に失敗した場合は，「全交流動力電源喪失 (TBU)」に，高圧炉心スプレイ系に成功した場合は「崩壊熱除去機能喪失 (TBW)」，高圧炉心スプレイ系に失敗し，原子炉隔離時冷却系に成功した場合は「全交流動力電源喪失 (長期TB)」に分類する。



第 3. 1. 1. 4－1(c) 図 手動停止に対するイベントツリー

【仮定条件】

- ・手動停止（計画外停止）及び手動停止に至るサポ-ト系喪失（残留熱除去系海水系故障，交流電源故障（区分Ⅰ））を起因事象とする。
- ・サポ-ト系喪失では，当該区分の緩和設備には期待できない。
- ・手動停止のため，原子炉停止のヘディングは対象外とする。

【イベントツリーの説明】

- ・原子炉停止のヘディングがないことを除き，過渡事象と同様の事象進展となる。



※ サポート系喪失において、原子炉自動停止に係る事象のうち、減圧電線故障については別途評価

第 3. 1. 1. 4－1(d)図 サポート系喪失（自動停止）に対するイベントツリー

【仮定条件】

- ・自動停止に至るサポート系喪失（交流電源故障（区分Ⅱ））及び手動スクラムへと移行するサポート系喪失（タービン・サポート系故障（補機冷却海水系故障））を起因事象とする。（直流電源故障は事象進展が異なるため、別途評価する。）
- ・タービン・サポート系故障（補機冷却海水系故障）では直接はスクラムに至らないが、運転継続は不可能であり、手動スクラムに移行する。
- ・交流電源故障（区分Ⅱ）では、当該区分の緩和設備には期待できない。

【イベントツリーの説明】

- ・過渡事象と同様の事象進展となる。

| サポート系喪失 (直流電源故障) | 原子炉停止 | 交流電源 | 圧力バウンダリ 健全性 | 高圧炉心冷却 | | 事故シーケンス | 事故シーケンスグループ |
|---------------------|-------|------|----------------|--------|------|---|--|
| | | | | HPCS | RCIC | | |
| 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | サポート系喪失（自動停止）へ | サポート系喪失（自動停止）へ 崩壊熱除去機能喪失（TBW） 全交流動力電源喪失（長期TB） 全交流動力電源喪失（TBU） 崩壊熱除去機能喪失（TBW） 全交流動力電源喪失（TBP） 原子炉停止機能喪失 |
| | | | | | | サポート系喪失（直流電源故障）+DG失敗（HPCS成功） | |
| | | | | | | サポート系喪失（直流電源故障）+DG失敗+HPCS失敗 （蓄電池枯渇後RCIC停止） | |
| | | | | | | サポート系喪失（直流電源故障）+DG失敗+高圧炉心冷却 失敗 | |
| 失敗 | 失敗 | 失敗 | 失敗 | 失敗 | 失敗 | サポート系喪失（直流電源故障）+DG失敗+逃がし安全弁 再閉鎖失敗（HPCS成功） | 崩壊熱除去機能喪失（TBW） 全交流動力電源喪失（TBP） 原子炉停止機能喪失 |
| | | | | | | サポート系喪失（直流電源故障）+DG失敗+逃がし安全弁 再閉鎖失敗+HPCS失敗 | |
| | | | | | | サポート系喪失（自動停止）+原子炉停止失敗 | |
| | | | | | | | |

第 3. 1. 1. 4－1(e)図 サポート系喪失（直流電源喪失）に対するイベントツリー

【仮定条件】

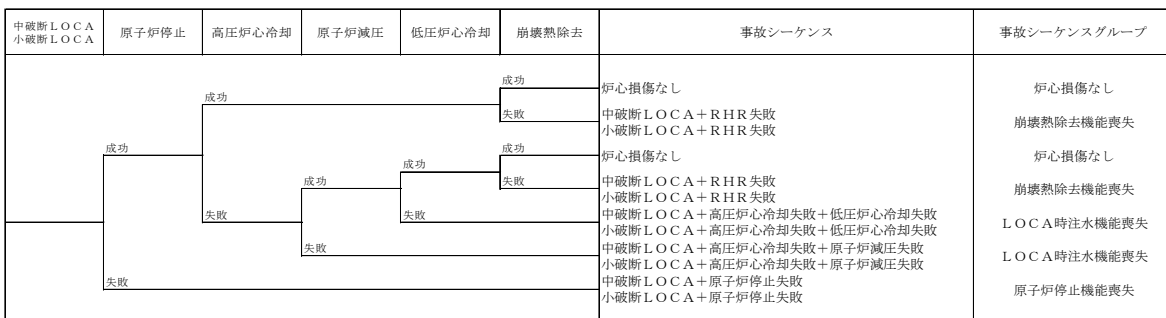
- ・自動停止に至るサポート系喪失（直流電源故障（区分Ⅰ，Ⅱ））を起因事象とする。
- ・片区分の直流電源の喪失により，所内電源の主変圧器から起動変圧器への自動切替に失敗し，外部電源喪失に至るため，健全側区分の非常用ディーゼル発電機による交流電源の確保が必要となる。
- ・区分Ⅰ又は区分Ⅱの直流電源の喪失により，当該区分の緩和設備には期待できない。
- ・交流電源のヘディングは区分Ⅰ，Ⅱ電源のことを意味し，区分Ⅲ電源は含めない。これは，区分Ⅰの直流電源及び交流電源，又は区分Ⅱの直流電源及び交流電源の確保に成功した場合は崩壊熱除去機能に期待できるため，その後のイベントツリーは過渡事象と同様であるが，区分Ⅲの電源のみ成功した場合は崩壊熱除去機能が喪失した状態となることを考慮したものである。なお，区分Ⅲの交流電源及び直流電源の成功／失敗については，HPCSのヘディングに対応する分岐で考慮している。

【イベントツリーの説明】

- ・起因事象発生後，原子炉停止に成功し，区分Ⅰの直流電源及び交流電源，又は区分Ⅱの直流電源及び交流電源の確保に成功した場合は，過渡事象と同様の事象進展となる。
- ・原子炉停止に失敗した場合は，「原子炉停止機能喪失」に分類する。
- ・直流電源（区分Ⅰ及び区分Ⅱ）に失敗し，高圧炉心スプレイ系に成功した場合は「崩壊熱除去機能喪失（TBW）」，高圧炉心スプレイ系に失敗した場合は「全交流動力電源喪失（TBD）」に分類する。
- ・直流電源（区分Ⅰ又は区分Ⅱ）に成功し，交流電源（区分Ⅰ及び区分Ⅱ）に失敗した場合は，高圧炉心冷却（高圧炉心スプレイ系，原子炉隔離時冷却系）に期待する。
- ・逃がし安全弁の再閉鎖に失敗した場合は，原子炉隔離時冷却系は駆動蒸気の喪失により機能喪失する。そのため，高圧炉心スプレイ系に成功した場合は「崩壊熱除去機能喪失（TBW）」，高圧炉心スプレイ系に失敗した場合は「全交流動力電源喪失（TBP）」に分類する。
- ・逃がし安全弁の再閉鎖に成功し，高圧炉心冷却に失敗した場合は，「全交流動力電源喪失（TBU）」に，高圧炉心スプレイ系に成功した場合は「崩壊熱除去機能喪失（TBW）」，高圧炉心スプレイ系に失敗し，原子炉隔離時冷却系に成功した場合は「全交流動力電源喪失（長期TB）」に分類する。



第 3. 1. 1. 4－1 (f)－1 図 大破断LOCAに対するイベントツリー



第 3. 1. 1. 4－1 (f)－2 図 中破断LOCA及び小破断LOCAに対するイベントツリー

【仮定条件】

- ・大破断LOCAは、事象初期に急激な原子炉減圧を伴うもので、原子炉減圧なしに低圧炉心冷却系により炉心冷却が可能である。
- ・中破断LOCA及び小破断LOCAは、いずれも大破断LOCAと比較して破断口が小さく、原子炉減圧が緩やかなもので、低圧炉心冷却には原子炉減圧が必要であることから、同一のイベントツリーとしている。

【イベントツリーの説明】

- ・起因事象発生後、原子炉停止・炉心冷却・崩壊熱除去の成功により事象が収束する。
- ・原子炉停止に失敗した場合は、「原子炉停止機能喪失」に分類する。
- ・高圧炉心冷却及び原子炉減圧に失敗した場合と高圧炉心冷却及び低圧炉心冷却に失敗した場合は、「LOCA時注水機能喪失」に分類する。
- ・炉心冷却に成功した後、崩壊熱除去に失敗した場合は、「崩壊熱除去機能喪失」に分類する。

| インターフェイスシステムLOCA | 事故シーケンス | 事故シーケンスグループ |
|------------------|------------------|--------------------------------|
| | インターフェイスシステムLOCA | 格納容器バイパス (インターフェイスシステムLOCA) |
| | | |

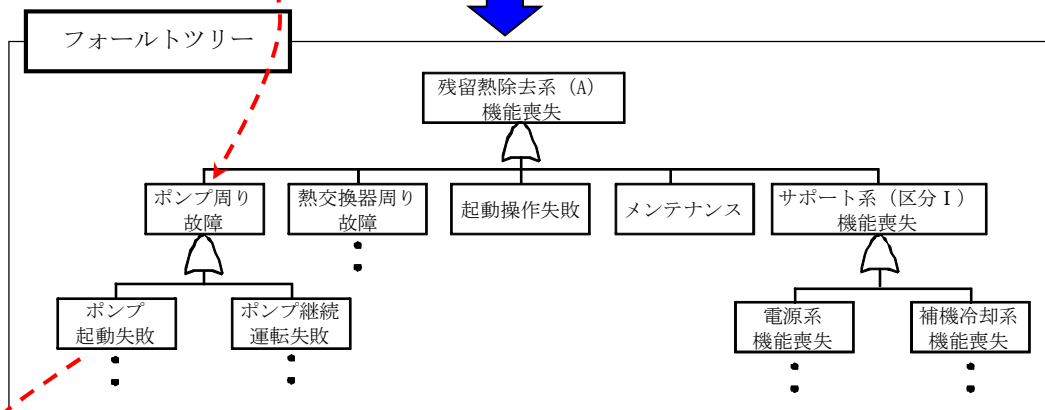
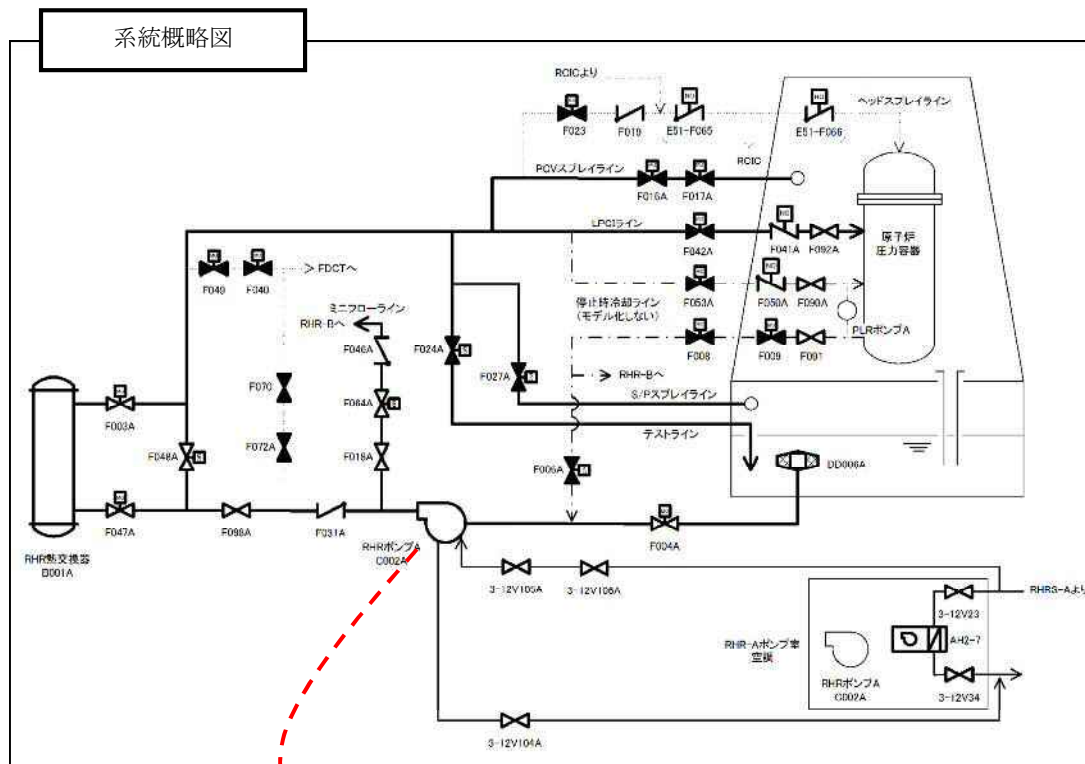
第 3. 1. 1. 4－1(g) 図 インターフェイスシステムLOCAに対するイベントツリー

【仮定条件】

- ・インターフェイスシステムLOCAは、原子炉冷却材圧力バウンダリの隔離弁の故障等により格納容器外の低圧設計部に原子炉圧力がかかることで、格納容器外の配管等が破損する事象を想定する。
- ・インターフェイスシステムLOCAが発生する可能性のある系統として、高圧炉心スプレイ系、原子炉隔離時冷却系、低圧炉心スプレイ系及び残留熱除去系を考慮する。
- ・インターフェイスシステムLOCAの発生により、原子炉冷却材の格納容器外への流出が継続し、水源の枯渇により注水不能となるため、本評価では緩和設備に期待しないものとする。

【イベントツリーの説明】

- ・インターフェイスシステムLOCAが発生した場合、格納容器外への冷却材の流出が続くため、「格納容器バイパス（インターフェイスシステムLOCA）」に分類する。



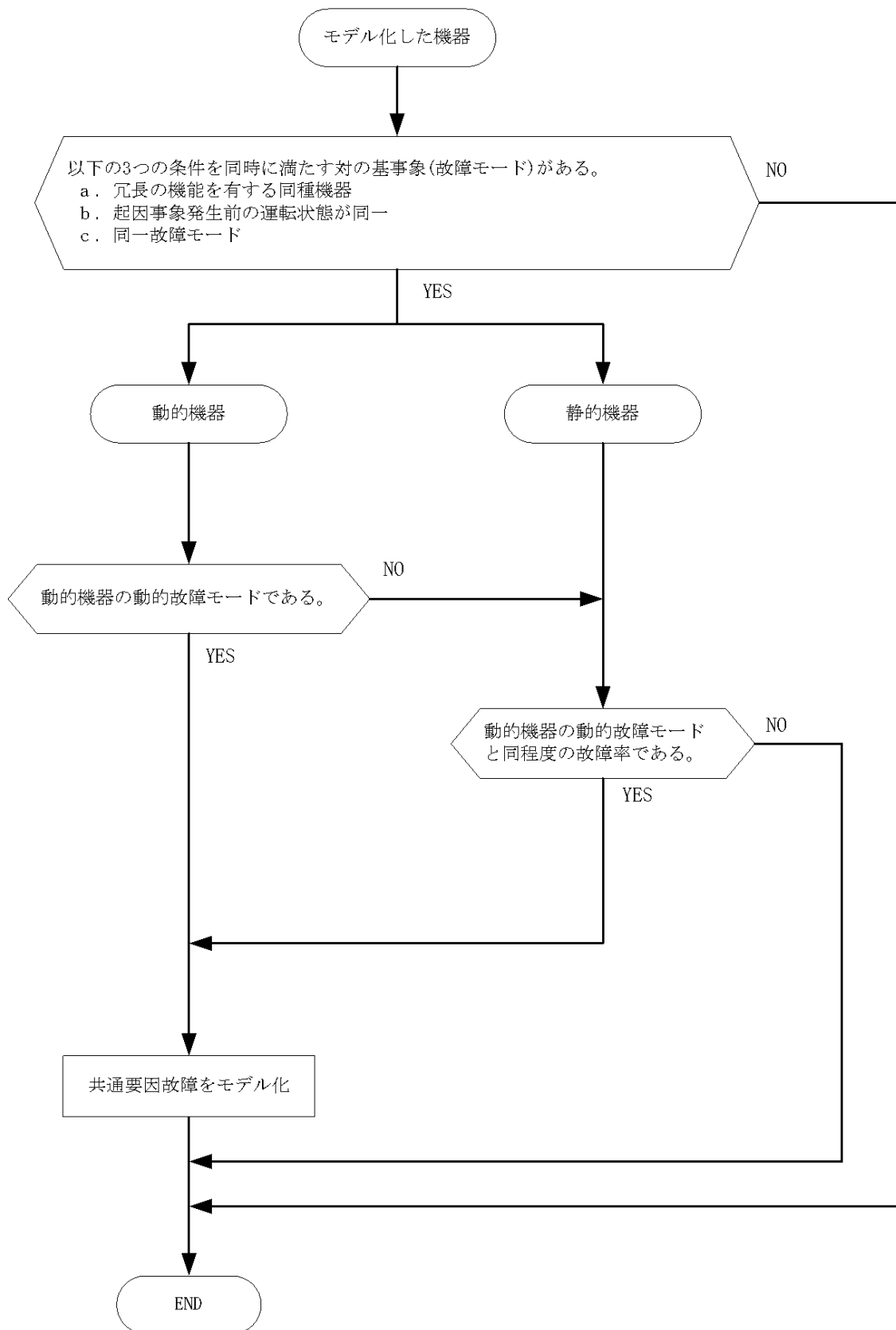
RHRポンプ起動失敗確率 = $\lambda_s \times T_s / 2$

【基事象リスト】

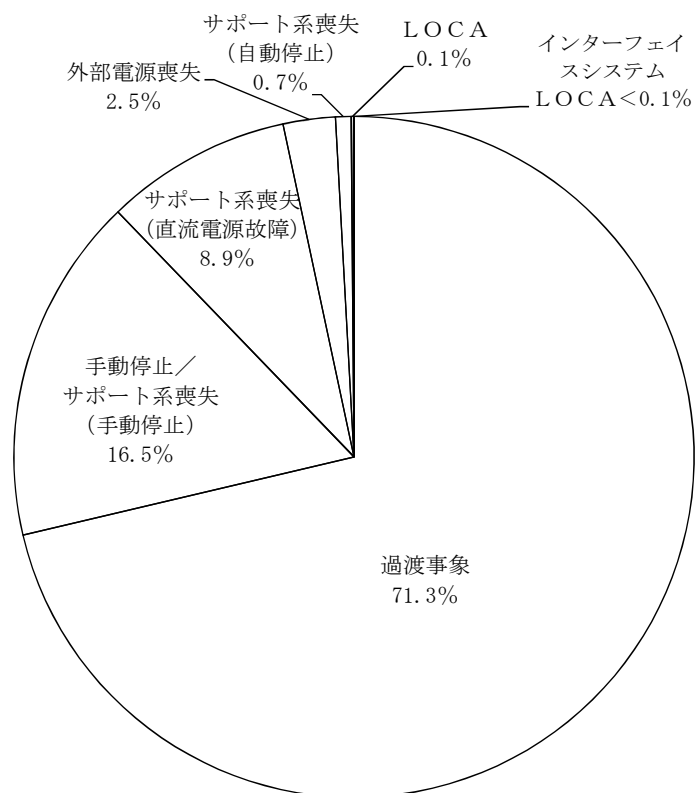
| 機器番号 | 機器名称 | 故障モード | 基事象ID | P&ID | EWD/CWD | 故障率 | EF | 電源 | 試験間隔 | 使命時間 | 試験名称 |
|-----------|--------|--------------------|----------------|-----------|-----------|----------|------|-----------|------|------|--------|
| E12_C002A | RHRポンプ | 電動ポンプ運転継続失敗 (淡水) | CMMPE12_C002AR | R-15 (27) | 1330 (23) | 1.10E-06 | 11.8 | MC 2C_2 | 720 | 24 | RHRポンプ |
| | | 電動ポンプ起動失敗 (淡水-非常用) | CMMPE12_C002AS | | | 1.30E-07 | 17.3 | DC125V 2A | | | 手動起動試験 |

試験頻度：1回/月 (720 時間)

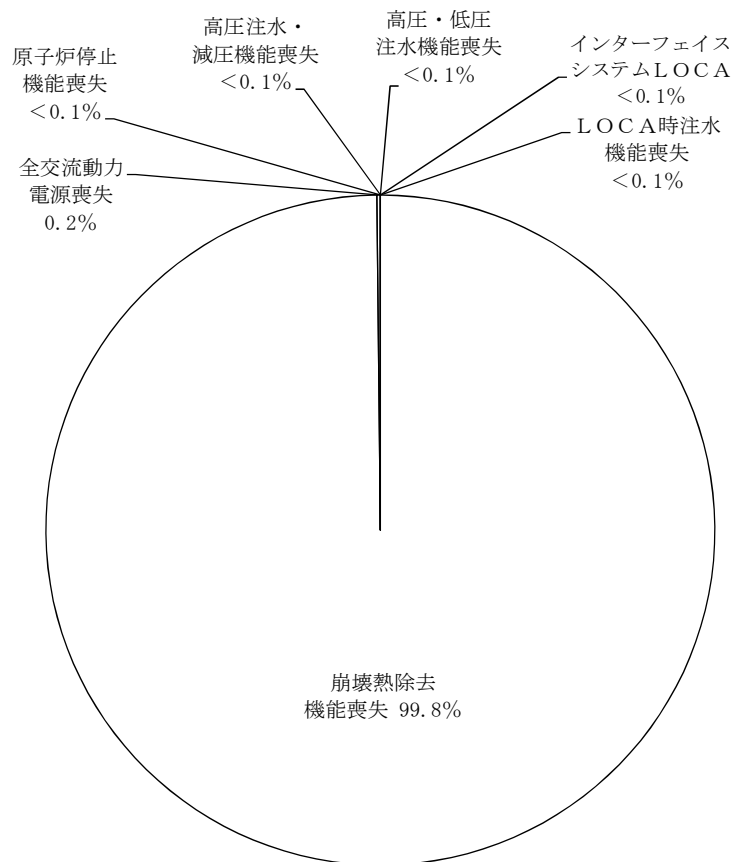
第 3.1.1.5-1 図 システム信頼性評価の例



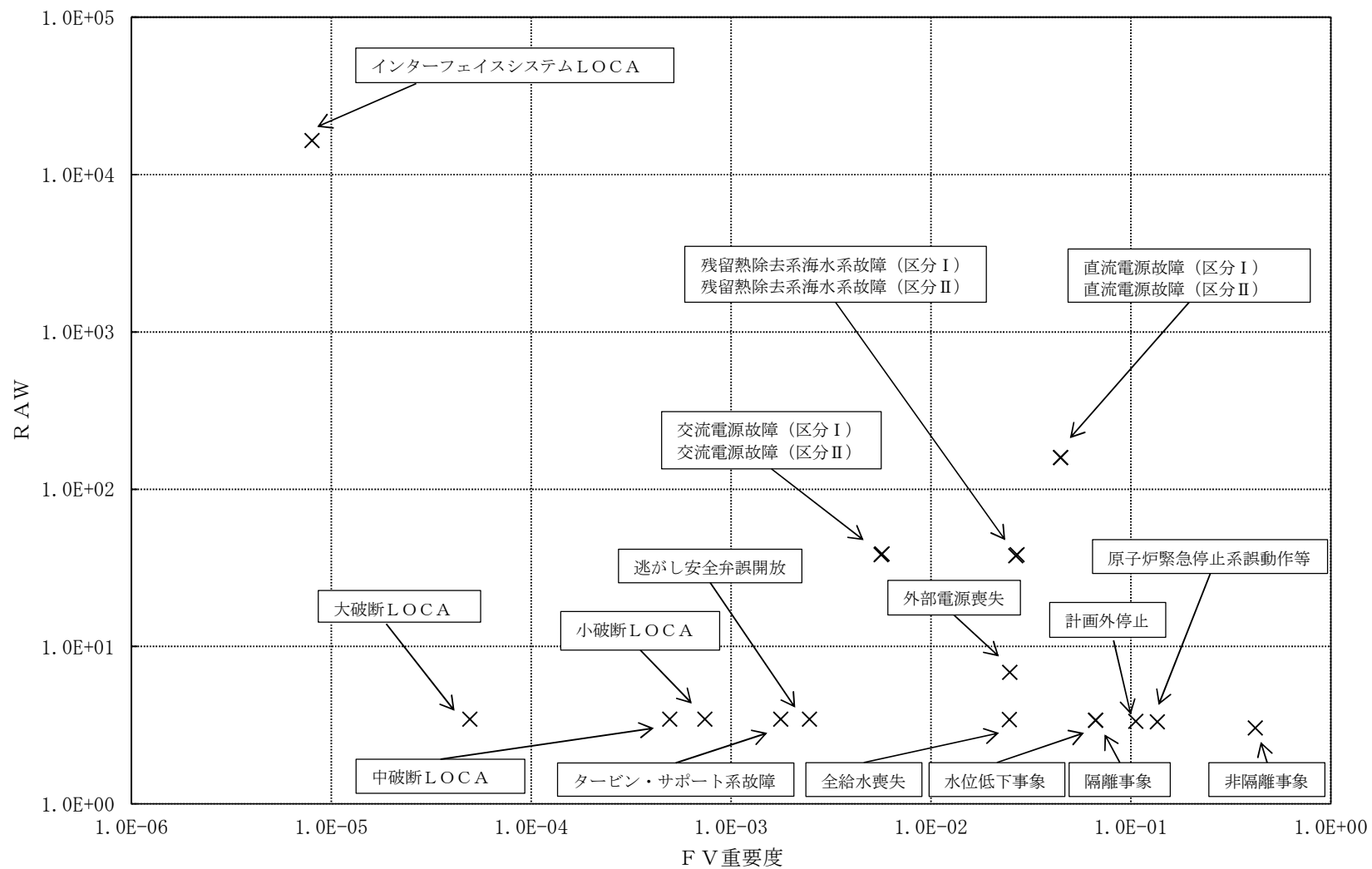
第 3. 1. 1. 6－1 図 共通要因故障同定のフロー



第 3.1.1.8－1 図 起因事象別の炉心損傷頻度寄与割合

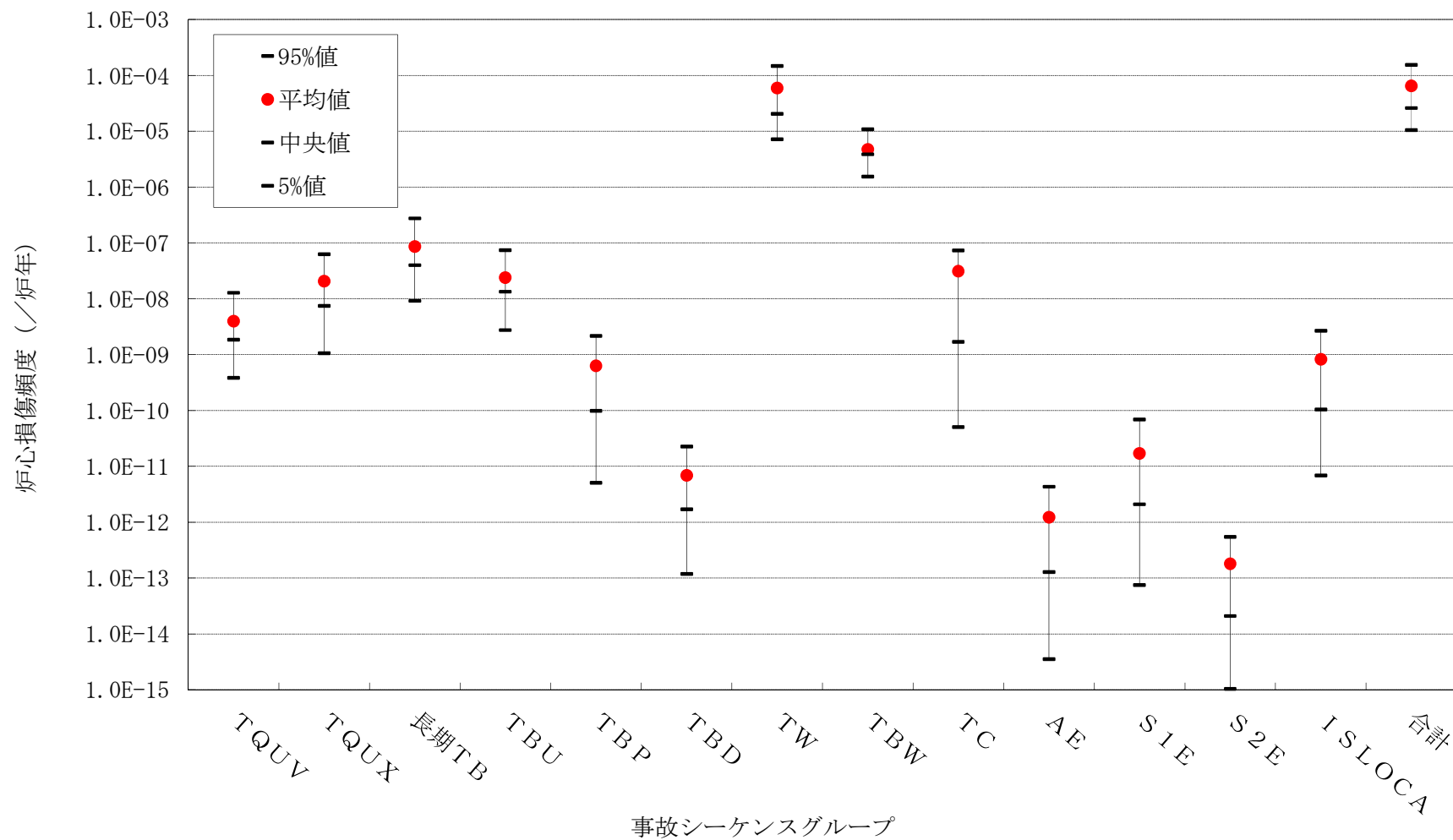


第 3.1.1.8－2 図 事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度寄与割合

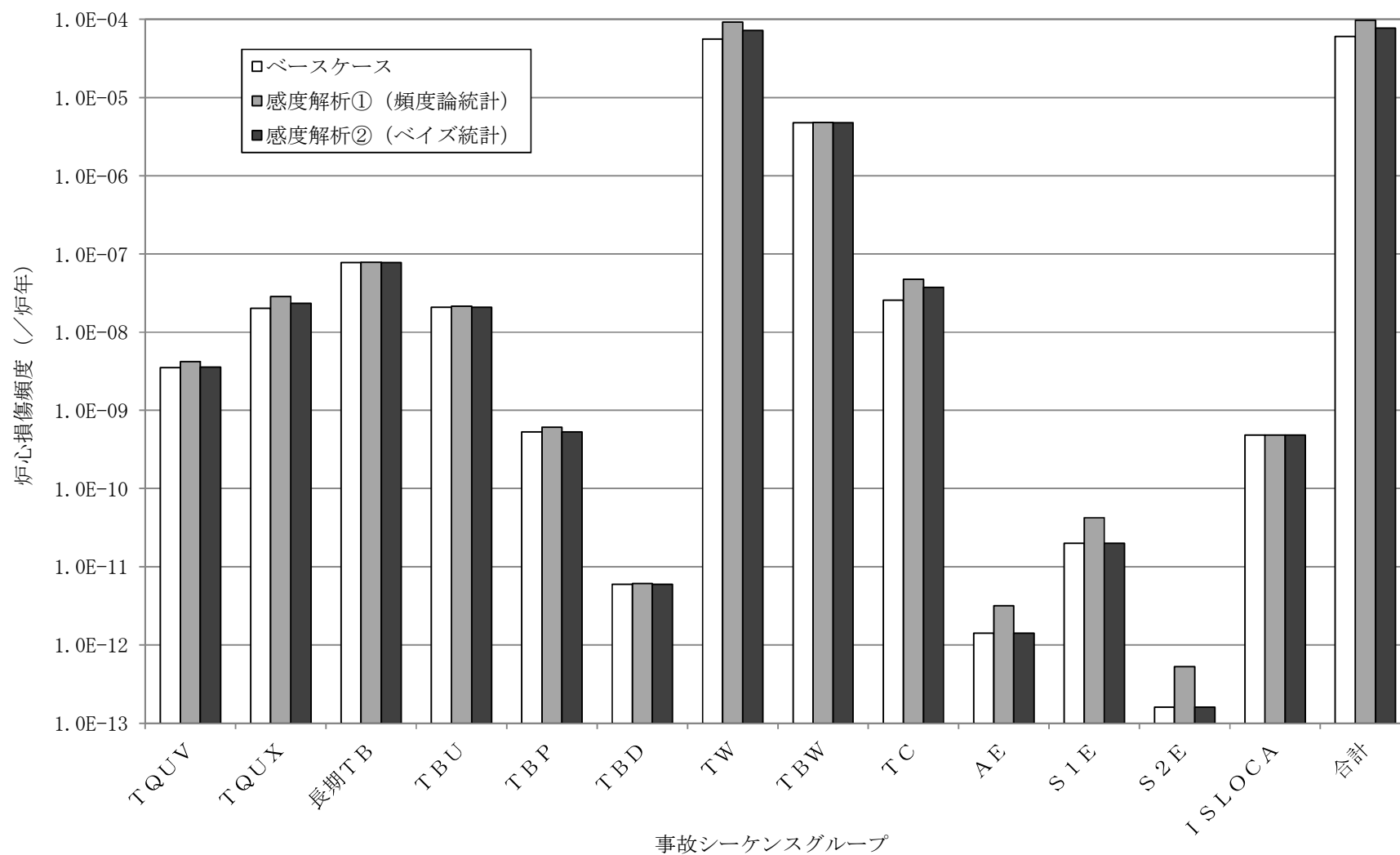


第 3.1.1.8-3 図 起因事象の重要度解析結果

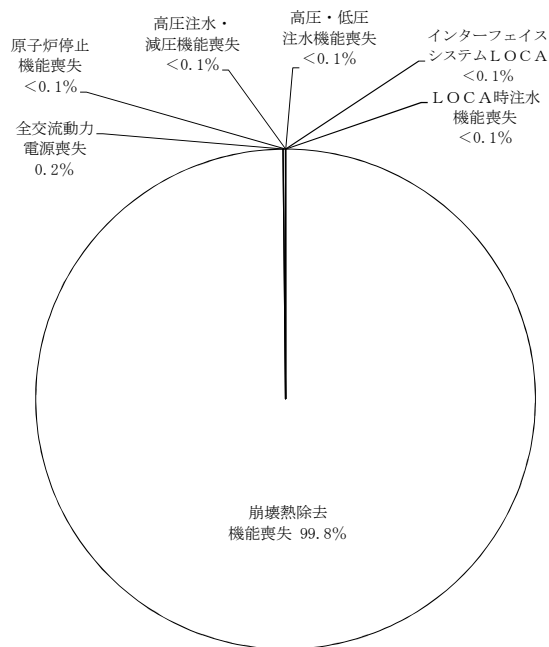
第 3.1.1.8-4 図 緩和設備の基事象の重要度解析結果



第 3.1.1.8-5 図 事故シーケンスグループ別の不確実さ解析の結果

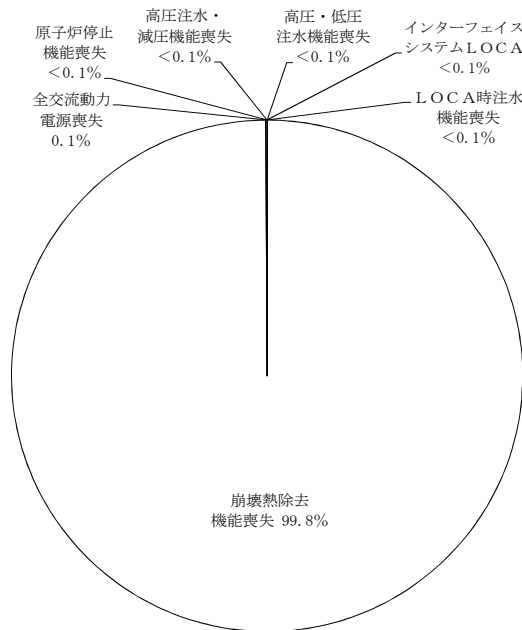


第 3.1.1.8-6 図 プラント固有の運転実績を考慮した感度解析結果 (炉心損傷頻度の比較)



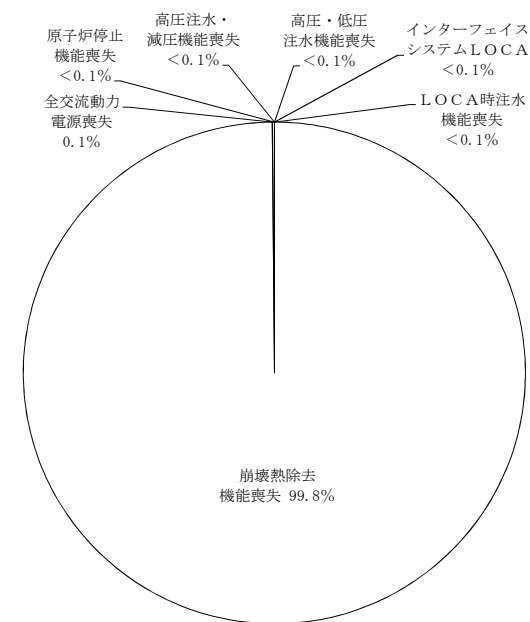
炉心損傷頻度： $6.1\text{E-}5$ （／炉年）

【ベースケース】



炉心損傷頻度： $9.8\text{E-}5$ （／炉年）

【感度解析①（頻度論統計）】



炉心損傷頻度： $7.7\text{E-}5$ （／炉年）

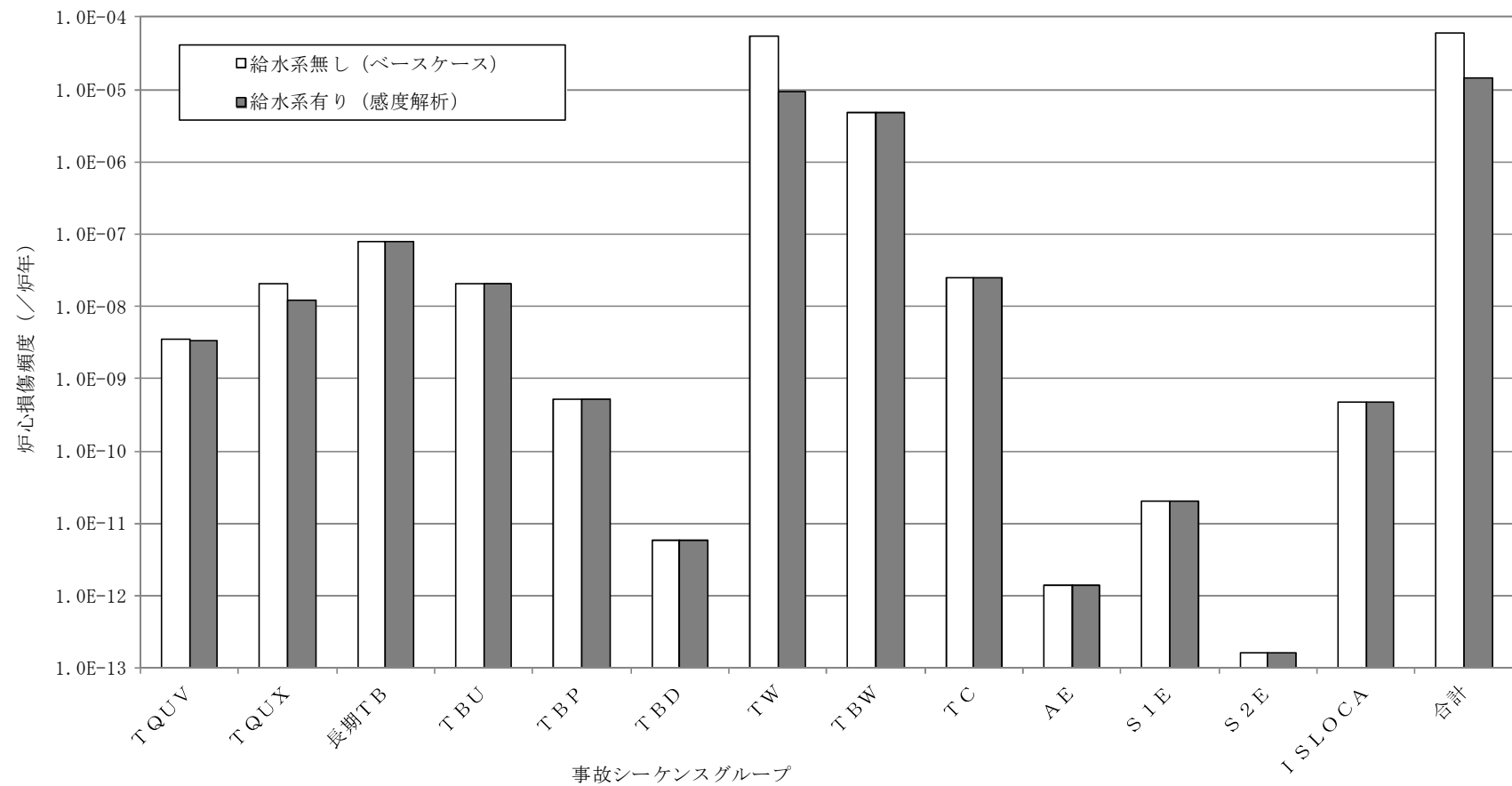
【感度解析②（ベイズ統計）】

第 3.1.1.8-7 図 プラント固有の運転実績を考慮した感度解析結果（事故シーケンスグループ別の寄与割合）

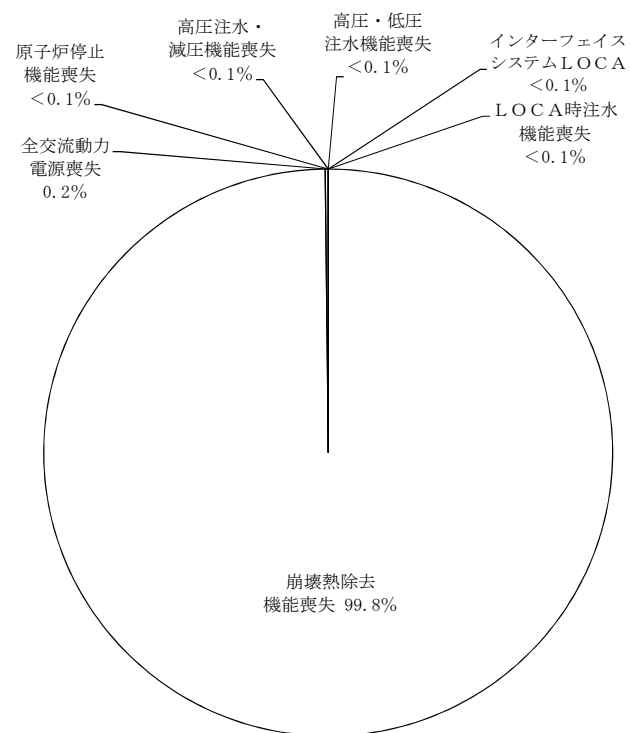
| 非隔離事象 | メンテナンス | スクラム系 | S/R弁開放 | S/R弁再閉鎖 | 給水系※ | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-A | RHR-B | No. | 最終状態 |
|-------|--------|-------|--------|---------|------|------|------|-------|--------|------|--------|--------|-------|-------|-----|------|
| T1 | MN | C | M | P | Q | UH | UR | X1 | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 1 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 2 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 3 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 4 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | | 5 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 6 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 7 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | | 8 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 9 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 10 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | | 11 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 12 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 13 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | | 14 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 15 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 16 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | | 17 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 18 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 19 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | | 20 | TQUV |
| | | | | | | | | | | | | | | | 21 | TQUX |
| | | | | | | | | | | | | | | | 22 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 23 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 24 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | | 25 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 26 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 27 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | | 28 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 29 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 30 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | | 31 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 32 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 33 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | | 34 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 35 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 36 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | | 37 | TQUV |
| | | | | | | | | | | | | | | | 38 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 39 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | 40 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 合計値 |

※ 給水系は復水系を含めてモデル化

第 3.1.1.8-8 図 給復水系をモデル化したイベントツリーの例（非隔離事象）

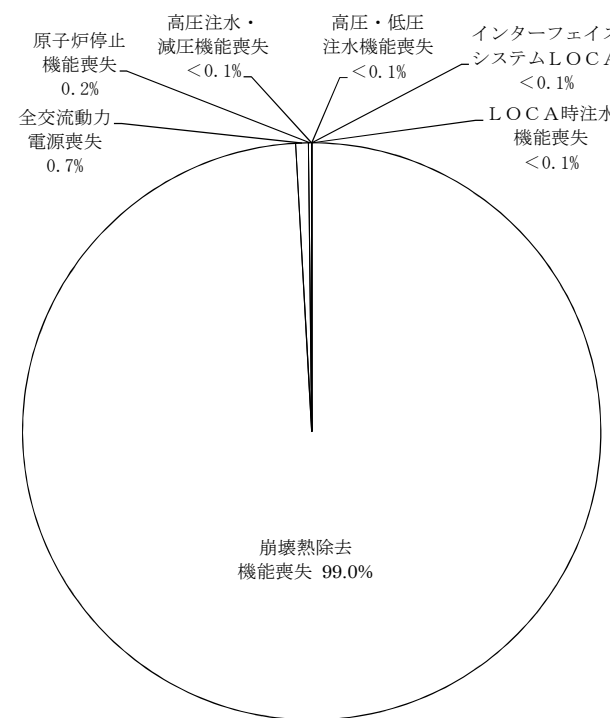


第 3.1.1.8-9 図 給水系のモデル化に関する感度解析結果 (炉心損傷頻度の比較)



炉心損傷頻度： $6.1\text{E-}5$ （／炉年）

【給水系無し（ベースケース）】



炉心損傷頻度： $1.4\text{E-}5$ （／炉年）

【給水系有り（感度解析）】

第 3.1.1.8-10 図 給水系のモデル化に関する感度解析結果（事故シーケンスグループ別の寄与割合）

出力運転時 P R A の対象範囲について

BWR プラントの出力運転時を対象とした P R A の対象範囲は、社団法人日本原子力学会が発行している日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1 P S A 編）：2008」において、「C R 引抜開始」から「復水器真空破壊」までとされている。BWR プラントの出力運転時 P R A 及び停止時 P R A の対象範囲を図 1 に示す。

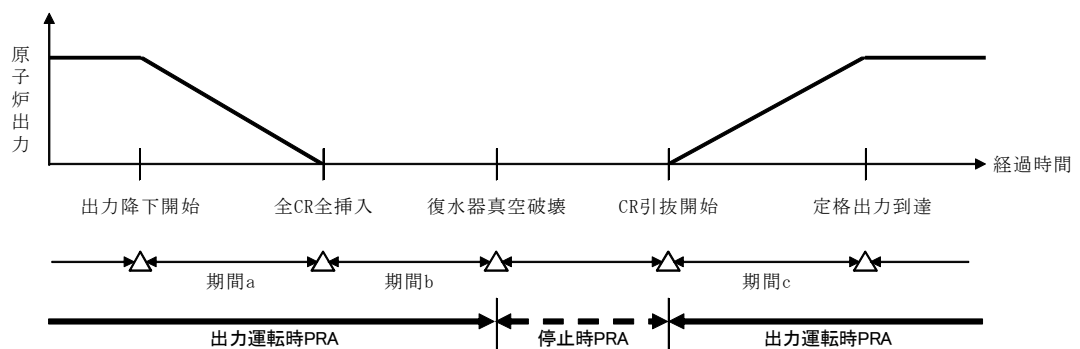


図 1 出力運転時 P R A 及び停止時 P R A の対象範囲（BWR）

図 1 において、「出力降下開始～全 C R 全挿入」、「全 C R 全挿入～復水器真空破壊」、及び「C R 引抜開始～定格出力到達」の各期間は、次の理由により出力運転時 P R A で取り扱うことは妥当であると判断している。

(1) 出力降下開始～全 C R 全挿入

緩和設備は、給水系を除いて、定格出力運転時とほぼ同等の構成である。給復水系は原子炉出力降下に伴う給水流量の低下に応じてポンプを切り替えるが、運転中の機器の故障による給水喪失に至らないよう定格出力運転時と同様に待機させる機器が設けられている。このため、出力レベルの変化に伴

う種々のパラメータの変化は、異常発生時の事象進展の緩急の差となっても、起因事象の発生頻度も大きく影響を受けるものではない。また、使用可能な緩和設備、あるいは緩和設備の信頼性の観点からは大きな相違はない。

また、原子炉圧力／出力が低下した状態では、プラント運用のため次のスクラム信号がバイパスされるが、これは燃料健全性を確保する上で、次のインターロックによる原子炉スクラムの必要がない状態に移行したことによるものである。

- ・原子炉圧力の低下に伴う「主蒸気隔離弁閉」によるスクラム
- ・原子炉出力の低下に伴う「主蒸気止め弁閉」及び「タービン加減弁急速閉」によるスクラム

なお、本プラントのPRAモデルでは、上記のスクラム信号による原子炉スクラムに期待していないため、これらのスクラム信号の有無は本プラントのPRA結果に影響を与えるものではない。

(2) 全CR全挿入～復水器真空破壊

緩和設備は、給水系を除いて、定格出力運転時とほぼ同等の構成である。復水系は、運転中の機器の故障による給水喪失に至らないよう定格出力運転時と同様に待機させる機器が設けられている。このため、異常事象発生時のパラメータの変化は、事象進展の緩急の差となっても、使用可能な緩和設備、あるいは緩和設備の信頼性の観点からは大きな相違をもたらすものではない。

したがって、全CR全挿入から真空破壊までの期間で発生する過渡事象を手動停止の起因事象に含めることで、出力運転時PRAとして扱う。

(3) CR引抜開始～定格出力到達

緩和設備は、給水系を除いて、定格出力運転時とほぼ同等の構成であることから、出力運転状態を対象としたPRAに含める。

なお、原子炉停止後の時間経過及び新燃料の装荷による崩壊熱の低下を考

慮すると,当該期間のリスクは定格出力運転中に比べて小さいと考えられる。

起因事象のグループ化について

(1) 起因事象の同定

選定した起因事象の具体的な同定は、以下のとおりである。

a. 過渡事象及び事故に係る起因事象の同定

原子炉設置変更許可申請書添付書類十に評価されている運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故に関して、過渡事象を分析している E P R I N P - 2 2 3 0 における事象分類との対応を確認し、起因事象として考慮すべき事象を相互に確認する。また、過渡事象については、機器の故障及び人的過誤によるプラントの応答の特徴を把握するために、起因事象発生時の主要な状況（原子炉冷却材圧力バウンダリの状態、外部電源の有無、主蒸気隔離の有無）と緩和設備の主要な状況（初期給復水系の使用可否等、主なスクラム信号）について整理する。過渡事象及び事故に係る起因事象の同定結果を表1に示す。

起因事象発生時の主要な状況と緩和設備の主要な状況が同様な事象については、同じ事象分類とし、起因事象のグループ化を検討する。また、起因事象対象外とする事象については、その理由を表1に示す。

b. 従属性を有する起因事象等の同定（手動停止／サポート系喪失）

原子炉設置変更許可申請書添付書類八等に基づき、原子炉の運転に係わる設備ごとに機能喪失時の影響を検討し、従属性を有する起因事象等进行分析・同定した。整理した結果を表2に示す。

当該設備が機能喪失した場合に、広範な緩和設備が同時に機能喪失に至るサポート系故障等を、従属性を有する起因事象であるサポート系故障として摘出した。一方、緩和設備への影響範囲が限定的な事象は、従属性を有する起因事象ではなく、計画外停止として考慮する。

c. 原子炉冷却材圧力バウンダリに係る起因事象の同定（L O C A及び格納容器バイパス）

原子炉冷却材圧力バウンダリに該当する容器・配管等の設備を摘出し、想定される破損モードを整理した。また、想定される破損モードに基づき起因事象を分析・同定を行った。整理した結果を表3に示す。

格納容器内での破損はL O C Aとして、格納容器外での破損のうち破損部位が隔離できない場合は格納容器バイパスとして検討した。なお、格納容器外での破損のうち破損部位が隔離できる場合は、隔離成功の時点で原子炉への影響は収束するため、溢水事象に分類し対象外とする。

L O C Aでは、原子炉冷却材圧力バウンダリからの冷却材の流出規模によりプラント応答や成功基準が異なるため、流出規模に応じて、漏えい、小破断L O C A、中破断L O C A、大破断L O C A及び設計基準事故超過L O C A（以下「D B A超過L O C A」という。）に分類する。

また、機器故障に起因する事象（P L Rポンプメカニカルシールのリーク、A D S／過渡時自動減圧回路の誤動作）については、配管等の破損と状況が異なるため別途検討する。これらの事象に関する検討と起因事象としての取扱い結果を表3に示す。L O C Aは発生経験のない稀有事象であり、プラントの運転実績に基づいた統計による発生頻度評価は困難であるため、発生頻度についても併せて検討する。

格納容器バイパスには、格納容器隔離弁の多重故障、弁試験時の隔離失敗等により原子炉圧力が低圧設計部等にかかることでこれが破損し、原子炉冷却材が格納容器外で流出するインターフェイスシステムL O C A（I S L O C A）と、常時開状態等の格納容器隔離弁に接続している配管が格納容器外で破損し、これに重ねて格納容器隔離弁の閉鎖に失敗することにより原子炉冷却材が格納容器外で流出する事象（格納容器バ

イパス破断) が考えられる。両事象に該当する設備について、事象の発生頻度、影響程度を検討する。これらの検討と起因事象としての取扱い結果を表3に併せて示す。概略評価の結果、格納容器バイパス破断は発生頻度が小さいことから、評価対象外とする。

なお、原子炉冷却材圧力バウンダリに係る検討においては、従属性を有する起因事象は特に摘出されなかった。

(2) 起因事象のグループ化

同定された起因事象（事象分類）において、プラント応答や必要となる緩和設備等が同等であり、同一のイベントツリー及びフォールトツリーで扱える事象をグループ化する。

起因事象は過渡事象、手動停止／サポート系喪失、L O C A及び格納容器バイパス（インターフェイスシステムL O C A）に大きく区分されるため、これらの区分ごとに、起因事象のグループ化の検討結果を示す。起因事象グループと事象の定義並びに事象と緩和設備の主要な状況を表4にまとめて示す。

a. 過渡事象等のグループ化

過渡事象等は、表1に示すとおり事象発生 of プラントの応答に応じて事象分類Aから事象分類Jまでに分類しているが、各事象分類において、同一のイベントツリー及びフォールトツリーで扱える事象にグループ化する。各起因事象グループ内での事象の定義は、具体的な事象が設定されているE P R I N P - 2 2 3 0 の事象定義に基づくものとする。

- (a) 事象分類A（タービントリップ等）、B 1（主蒸気隔離弁の1弁閉鎖）及びB 2（給水加熱喪失等）

事象分類Aは、負荷の喪失に伴い、蒸気加減弁急速閉信号又は主蒸気止め弁閉信号により、原子炉が自動スクラムする事象である。また、事象分類B 1 及びB 2 は、原子炉出力の上昇に伴い、中性子束高信号により原子炉が自動スクラムする事象である。

これらの事象分類では、原子炉スクラム信号は異なるが、いずれもタービンバイパス弁が作動することにより主蒸気が隔離されず、事象発生初期から給復水系が利用できることから、1つの起因事象グループ「非隔離事象」としてグループ化する。

- (b) 事象分類 C（主蒸気隔離弁の閉鎖等）、D（発電機負荷遮断バイパス弁不作動等）、E（復水器真空度喪失）

事象分類 C は、主蒸気隔離弁の閉鎖に伴い、主蒸気隔離弁閉信号により原子炉が自動スクラムする事象である。事象分類 D は、発電機負荷遮断及びタービンバイパス弁不作動に伴い、蒸気加減弁急速閉信号又は主蒸気止め弁閉信号により原子炉が自動スクラムする事象である。また、事象分類 E は、復水器真空度の喪失によるタービントリップに伴い、主蒸気止め弁閉信号により原子炉が自動スクラムする事象である。

事象分類 C 及び D では、原子炉スクラム信号は異なるが、いずれも主蒸気隔離弁閉鎖等により、原子炉がタービン側から隔離されることで、原子炉で発生した蒸気を復水器に排出できず、ホットウェル水位が低下すると、給復水系の継続利用に障害が生じる。また、事象分類 E では、復水器の真空度が喪失しているため、初期に給復水系が利用できる場合でも、ホットウェル水位の低下に伴い、いずれ給復水系を利用できなくなり、その後原子炉水位の低下により主蒸気隔離弁が閉鎖する。そのため、これらの事象分類は、いずれも原子炉がタービン側と隔離される事象であることから、1つの起因事象グループ「隔離事象」としてグループ化する。

- (c) 事象分類 F（全給水流量喪失）

本事象分類は、原子炉への給水流量の全喪失に伴い、原子炉水位低（レベル 3）信号により原子炉が自動スクラムする事象である。

本事象分類では、事象発生初期から給復水系が利用できないため、単独で1つの起因事象グループ「全給水喪失」としてグループ化する。

- (d) 事象分類 G（給水又は復水ポンプ1台トリップ等）

本事象分類は、原子炉への給水流量の減少に伴い、原子炉水位低（レベル 3）信号により原子炉が自動スクラムする事象である。

本事象分類では、事象発生初期から給復水系が利用可能であるが、給復水系の機能が低下していることから、単独で1つの起因事象グループ「水位低下事象」としてグループ化する。

- (e) 事象分類 H 1（起動時における制御棒引き抜き）、H 2（原子炉保護系故障によるスクラム等）

事象分類 H 1 は、起動時における制御棒の異常な引き抜きに伴い、原子炉出力ペリオド短（起動領域計装）信号により原子炉が自動スクラムする事象である。また、事象分類 H 2 は、原子炉緊急停止系誤信号等により原子炉が自動スクラムする事象である。

これらの事象分類では、原子炉スクラム信号は異なるが、いずれも主蒸気が隔離されず、事象発生初期から給復水系が利用できること及び起因事象グループ「非隔離事象」のように原子炉圧力、水位等に大幅な変動を伴わないことから、1つの起因事象グループ「原子炉緊急停止系誤動作等」としてグループ化する。

- (f) 事象分類 J（逃がし安全弁誤開放）

本事象分類は、原子炉運転中に逃がし安全弁の誤開放に伴い、原子炉冷却材（蒸気）の一部がサプレッション・プールに流出し、原子炉を手動でスクラムさせる事象である。

本事象分類では、原子炉冷却材が流出する事象であること及び原子炉が減圧されることで原子炉隔離時冷却系が機能喪失することから、単独で1つの起因事象グループ「逃がし安全弁誤開放」としてグループ化する。

- (g) 事象分類 I（外部電源喪失等）

本事象分類は、外部電源の喪失に伴い、蒸気加減弁急速閉信号により原子炉が自動スクラムする事象である。

本事象分類では、事象の発生により非常用電源の確保が必要になることから、プラント応答が他とは異なることを考慮し、単独で1つの起因事象グループ「外部電源喪失」としてグループ化する。

b. 手動停止／サポート系喪失

従属性を有する起因事象であるサポート系故障は、原則としてグループ化を行わない。このため、以下に示す各事象分類を、単独で1つの起因事象グループとする。また、安全機能を有する緩和設備に何らかの不具合、故障が生じ、当該設備が待機除外となった状態での手動停止を「計画外停止」とし、単独で1つの起因事象グループとする。

(a) 手動停止／サポート系喪失（手動停止）

「計画外停止」

「残留熱除去系海水系故障（区分Ⅰ）」

「残留熱除去系海水系故障（区分Ⅱ）」

「交流電源故障（区分Ⅰ）」

(b) サポート系喪失（自動停止）

「交流電源故障（区分Ⅱ）」

「タービン・サポート系故障」

(c) サポート系喪失（直流電源故障）

「直流電源故障（区分Ⅰ）」

「直流電源故障（区分Ⅱ）」

c. L O C Aでのグループ化

L O C Aは、表3に示すとおり、評価対象とする事象分類として大破断 L O C A、中破断 L O C A及び小破断 L O C Aを同定している。各事象

分類のグループ化は以下のとおりである。

なお、学会標準ではポンプシール L O C A を起因事象グループとして挙げている。BWR では P L R ポンプシール L O C A がこれに該当すると考えられるが、同事象における原子炉冷却材流出の影響は小さいと考えられるため、単独でのグループ化は行わず、「漏えい」に含むものとした。

(a) 大破断 L O C A

事象発生により、原子炉が減圧された状態になる範囲の L O C A 事象である。原子炉が減圧状態になるため、低圧注水を行うための原子炉減圧は不要である。他の事象分類とはプラント応答が異なるため、単独で1つの起因事象グループ「大破断 L O C A」とする。

(b) 中破断 L O C A

小破断 L O C A と大破断 L O C A の中間範囲の L O C A 事象である。プラント応答については、事象発生後短期間では原子炉が減圧状態に至らないが、長期間では減圧するとして扱う。このため、他の事象分類とはプラント応答が異なることから、単独で1つの起因事象グループ「中破断 L O C A」とする。

(c) 小破断 L O C A

タービン駆動の R C I C で注水により水位維持が可能な範囲の L O C A 事象である。注水に利用できる系統等が他の事象分類とは異なるため、単独で1つの起因事象グループ「小破断 L O C A」とする。

d. 格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）

格納容器バイパスとして、インターフェイスシステム L O C A（I S L O C A）を同定している。I S L O C A は、単独で1つの起因事象グループとする。

表 1 過渡事象及び設計基準事故に係る起因事象の同定結果

| 添付書類十における 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故 | | E P R I N P－２２３０による過渡事象 ^{（注１）} | 起因事象の状況 | | | 緩和設備の状況 | | 事象分類 | |
|---|-----------------------|---|---|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------|----------|---------|
| | | | 原子炉冷却材 圧力バウンダリ | 外部電源の有無 | 主蒸気隔離 | 初期給復水系の 使用可否等 | 主なスクラム信号 | | |
| 運 転 時 の 異 常 な 過 渡 変 化 | 原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き | 28. 起動時における制御棒引き抜き | | | | 継続可能 | 原子炉出力ベリオド短（起動領域計装） | （H1） | |
| | 出力運転中の制御棒の異常な引き抜き | 27. 出力運転中の制御棒引き抜き | 制御棒を引き抜いていくと、引抜制御棒近傍の出力が上昇するが、定格出力の105%のところで制御棒引抜阻止信号が出され、制御棒の引き抜きは阻止される。その結果、原子炉スクラムには至らない。 | | | | | | 起因事象対象外 |
| | 原子炉冷却材流量の部分喪失 | 16. 再循環ポンプ１台トリップ 15. 再循環流量制御系の誤動作（再循環流量減少） | 炉心流量が急速に減少し、ボイドが急増する。ボイドの増加によって原子炉水位は上昇するが、原子炉水位高（レベル8）によるタービントリップには至らず、また、原子炉スクラムにも至らない。 | | | | | | 起因事象対象外 |
| | 原子炉冷却材系の停止ループの誤起動 | 18. 再循環停止ループ誤起動 | 炉心流量が急激に増加する。このため、ボイドが減少し中性子束が増加するが、中性子束高信号発信には至らず、原子炉スクラムには至らない。 | | | | | | 起因事象対象外 |
| | 外部電源喪失 | 31. 外部電源喪失 32. 補助電源喪失 | | 外部電源なし | タービン側・主蒸気隔離弁共隔離 | 不可 （電源なし） | 蒸気加減弁急速閉 | （I） | |
| | | 8. 復水器真空度喪失 | | | 主蒸気隔離弁で隔離 | 可／継続に障害 （ホットウェル水位低下） | 主蒸気止め弁閉 | （E） | |
| | 給水加熱喪失 | 21. 給水加熱喪失 | | | | 継続可能 | 中性子束高（熱流束相当） | （B2） | |
| | 原子炉冷却材流量制御系の誤動作 | 14. 再循環流量制御系の誤動作（再循環流量増加） | | | | 継続可能 | 中性子束高（中性子束） | （B2） | |
| | 負荷の喪失 | 1. 発電機負荷遮断 3. タービントリップ 10. 圧力制御装置の故障（蒸気流量減少） 13. バイパス弁又は主蒸気加減弁の誤閉鎖 | | | | 継続可能 | 蒸気加減弁急速閉又は主蒸気止め弁閉 | （A） | |
| | | 2. 発電機負荷遮断バイパス弁不作動 4. タービントリップバイパス弁不作動 | | | タービン側で隔離 | 可／継続に障害 （ホットウェル水位低下） | 蒸気加減弁急速閉又は主蒸気止め弁閉 | （D） | |
| | 主蒸気隔離弁の誤閉止 | 5. 主蒸気隔離弁の閉鎖 7. 主蒸気隔離弁の部分閉鎖 | | | 主蒸気隔離弁で隔離 | 可／継続に障害 （ホットウェル水位低下） | 主蒸気隔離弁閉 | （C） | |
| | | 6. 主蒸気隔離弁の１弁閉鎖 | | | | 継続可能 | 中性子束高 | （B1） | |
| | 給水制御系の故障 | 20. 給水制御系の故障（流量増加，出力運転時） 26. 給水制御系の故障（流量増加，起動・停止時） | | | | 継続可能 | 主蒸気止め弁閉 | （A） | |
| | 原子炉圧力制御系の故障 | 9. 圧力制御装置の故障（蒸気流量増加） 12. タービンバイパス弁誤開放 | | | 主蒸気隔離弁で隔離 | 可／継続に障害 （ホットウェル水位低下） | 主蒸気隔離弁閉 | （C） | |
| | 給水流量の全喪失 | 22. 全給水流量喪失 23. 給水又は復水ポンプ１台トリップ 24. 給水制御系の故障（流量減少，出力運転時） 25. 給水制御系の故障（流量減少，起動・停止時） | | | 主蒸気隔離弁で隔離 | 不可（起因事象） | 原子炉水位低（レベル3） | （F） | |
| | | | | | | 継続可能（機能低下） | 原子炉水位低（レベル3） | （G） | |
| | — | 33. H P C I／H P C S の誤起動 | | | | 継続可能 | 主蒸気止め弁閉 | （A） | |
| | | 11. 逃がし安全弁誤開放／開固着 | 冷却材流出あり | | | 可／継続に障害 （冷却材流出） | 手動スクラム | （J） | |
| | | 30. 原子炉保護系故障によるスクラム 34. プラント異常によるスクラム | | | | 継続可能 ^{（注３）} | 原子炉緊急停止系誤信号 | （H2） | |
| | | 35. 原子炉保護系計装の故障によるスクラム | | | | | | | |
| 設 計 基 準 事 故 | 原子炉冷却材喪失 | — | 冷却材流出あり | | 主蒸気隔離弁で隔離 ^{（注２）} | 可／継続に障害 （冷却材流出） （ホットウェル水位低下） | 原子炉水位低（レベル3） | 原子炉冷却材喪失 | |
| | 原子炉冷却材流量の喪失 | 17. 全再循環ポンプトリップ | | | | 継続可能 | 主蒸気止め弁閉 | （A） | |
| | 原子炉冷却材ポンプの軸固着 | 19. 再循環ポンプ軸固着 | | | | 継続可能 | 主蒸気止め弁閉 | （A） | |
| | 放射性気体廃棄物処理施設の破損 | — | 炉心損傷の観点からは考慮不要であるため、本事象は対象外とした。 | | | | | | 起因事象対象外 |
| | 主蒸気管破断 | — | 事象発生により主蒸気隔離弁が閉鎖することで、初期の原子炉への影響は「主蒸気隔離弁の閉鎖」と同様となる。主蒸気隔離弁閉鎖に失敗した場合は、格納容器をバイパスした状態での原子炉冷却材（蒸気）の喪失となるが、発生頻度が極めて小さい値となることから、対象外とした。（添付資料3.1.1.2-2） | | | | | | 起因事象対象外 |
| | 燃料集合体の落下 | — | 使用済燃料プールにおける燃料集合体の取扱い作業中に、燃料集合体が落下した場合でも原子炉の運転状態に影響することはないことから、対象外とした。 | | | | | | 起因事象対象外 |
| | 制御棒落下 | — | 事象発生により、瞬間的な出力上昇で一部の燃料の破損が考えられるが、主蒸気隔離弁が自動閉止する設計となっており、「主蒸気隔離弁の閉鎖」とプラント挙動が同様であるため、この事象に包絡されるとし、対象外とした。 | | | | | | 起因事象対象外 |
| | 原子炉冷却材喪失（P C V解析） | — | 冷却材流出あり | | 主蒸気隔離弁で隔離 ^{（注２）} | 可／継続に障害 （冷却材流出） （ホットウェル水位低下） | 原子炉水位低（レベル3） | 原子炉冷却材喪失 | |
| 可燃性ガスの発生 | — | 冷却材流出あり | | 主蒸気隔離弁で隔離 ^{（注２）} | 可／継続に障害 （冷却材流出） （ホットウェル水位低下） | 原子炉水位低（レベル3） | 原子炉冷却材喪失 | | |

（注 1） 29. 制御棒の異常な挿入， 36. 手動スクラム， 37. 原因不明については対象外とした。

（注 2） 破断面積が小さい場合，原子炉水位が低下せず，隔離されないこともある。

（注 3） 給復水系に影響を及ぼす信号が発信していない場合。

表 2 従属性を有する起因事象の同定（1／4）

| 項目 （添付書類八） | 設備（添付書類八） | 設備概要 （添付書類八等） | 機能喪失時の影響 | 従属性を有する起因事象 及び計画外停止の同定 |
|---------------|-------------|---|---|---------------------------|
| 原子炉及び炉心 | 燃料 | 燃料棒・燃料集合体 | この設備が機能喪失する場合には、異常徴候を検知して原子炉をスクラムする可能性はあるものの、緩和設備への影響は考え難い。 | - |
| | 制御棒及び駆動機構 | 制御棒・制御棒駆動機構・制御棒駆動水圧系（制御棒駆動水ポンプ・スクラムディスチャージボリューム）・水圧制御ユニット | この設備が機能喪失する場合に、直接原子炉スクラムに至ることはない。なお、他の要因による起因事象が発生した場合には、原子炉スクラムに失敗する可能性がある。一方、誤動作等が発生した場合には、原子炉スクラムに至る可能性はあるが、緩和設備への影響は考え難い。 | - |
| | 圧力容器内部支持構造物 | 炉心シェラウド・上部炉心格子・制御棒案内管・炉心支持板・給水スパージャ・炉心スプレイ用ノズル（高圧・低圧）・炉心スプレイスパージャ・頂部冷却スプレイノズル・計装用ノズル・核計装検出器 | この設備が機能喪失する場合には、異常徴候を検知して原子炉をスクラムする可能性はあるものの、緩和設備への影響は考え難い。 | - |
| | 原子炉圧力容器 | 原子炉圧力容器 | この設備が機能喪失する場合には、原子炉冷却材喪失となる。 | - |
| | 気水分離器及び乾燥器 | 気水分離器・乾燥器 | この設備が機能喪失する場合には、異常徴候を検知して原子炉をスクラムする可能性はあるものの、緩和設備への影響は考え難い。 | - |
| | ジェット・ポンプ | ジェット・ポンプ | | |
| 燃料の貯蔵設備及び取扱設備 | 燃料取替機 | ブリッジ・トロリ・燃料つかみ具・インターロック | この設備が機能喪失する場合には、使用済燃料の貯蔵等に支障が発生する可能性があるが、直接原子炉の運転状態に影響を与えるものではないことから、炉心損傷頻度を評価するための起因事象としては対象外とする。 | - |
| | 原子炉建屋クレーン | クレーン・インターロック | | |
| | 新燃料貯蔵庫 | 新燃料貯蔵ラック | | |
| | 使用済燃料プール | 使用済燃料貯蔵ラック・キャスクピット | | |
| | キャスク洗浄ピット | キャスク洗浄ピット | | |
| | 燃料プール浄化冷却系 | ポンプ・ろ過脱塩装置・熱交換器・スキマサージタンク・配管弁 | | |
| | 破損燃料検出装置 | シッピング | | |
| 再循環系及び主蒸気系 | 再循環系 | ポンプ・配管・弁 | 再循環系の運転状態に異常が発生した場合には、原子炉スクラムする可能性がある。配管破損等の原子炉冷却材圧力バウンダリ異常の場合には、原子炉冷却材喪失の起因事象の同定にて検討する。 | - |
| | 主蒸気系 | 主蒸気管・主蒸気隔離弁・逃がし安全弁・主蒸気隔離弁漏えい抑制系 | この設備が機能喪失する場合には、原子炉スクラムに至る可能性がある。主蒸気隔離弁の閉止の場合は隔離事象、逃がし安全弁の誤動作等の場合には逃がし安全弁誤開放として考慮する。 | - |
| 原子炉補助系 | 原子炉冷却材浄化系 | ポンプ・熱交換器・フィルタ脱塩装置・配管・弁 | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至ることはない。 | - |
| | 原子炉隔離時冷却系 | ポンプ・蒸気駆動タービン・配管・弁 | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至ることはない。一方、機能喪失に伴い原子炉停止操作を行う場合は、計画外停止として扱う。なお、当該設備に期待できないことを、アンアベイラビリティとしてフォールトツリー（F T）で考慮している。 | 計画外停止 |
| | 残留熱除去系 | 原子炉停止時冷却系、低圧注水系、格納容器スプレイ冷却系（ポンプ・熱交換器・配管・弁） | | |
| | | 残留熱除去系海水系 | この設備が機能喪失する場合には、残留熱除去系及び低圧炉心スプレイ系が機能喪失するため、従属性を有する起因事象とする。 | 従属性を有する起因事象 |
| | 低圧炉心スプレイ系 | ポンプ・配管・弁 | この設備が機能喪失する場合には、直ちに原子炉スクラムに至る可能性はない。一方、機能喪失に伴い原子炉停止操作を行う場合は、計画外停止として扱う。なお、当該設備に期待できないことを、アンアベイラビリティとしてフォールトツリー（F T）で考慮している。 | 計画外停止 |
| | 低圧注水系 | 残留熱除去系に同じ | | |
| | 高圧炉心スプレイ系 | ポンプ・配管・弁 | | |
| | 自動減圧系 | 逃がし安全弁 | | |
| | ほう酸水注入系 | ほう酸水貯蔵タンク・ポンプ・配管・弁 | | |
| | 原子炉補機冷却系 | 原子炉補機冷却系 | この設備が機能喪失する場合には、復水器からの排ガス系が機能喪失するため、原子炉スクラムに至る可能性がある。このため、従属性を有する起因事象として考慮する。 | 従属性を有する起因事象 |
| | | 補機冷却海水系（タービン補機冷却系と共用の設備） | この設備が機能喪失する場合には、タービン補機冷却系が機能喪失する。このため、従属性を有する起因事象として考慮する。 | 従属性を有する起因事象 |
| | 試料採取系 | 試料採取系 | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至ることはない。 | - |

表 2 従属性を有する起因事象の同定 (2／4)

| 項目 (添付書類八) | 設備(添付書類八) | 設備概要 (添付書類八等) | 機能喪失時の影響 | 従属性を有する起因事象 及び計画外停止の同定 |
|---------------|----------------|---|--|---------------------------|
| タービン設備 | タービン | 蒸気タービン・湿分分離器・タービングランドシール・タービンバイパス系 | この設備が機能喪失する場合には、タービントリップ、復水器真空度喪失、給水喪失等の過渡事象が発生し、原子炉スクラムに至る。このため、非隔離事象等の起因事象として考慮する。 | - |
| | 復水器および空気抽出器 | 復水器・空気抽出器 | | |
| | 復水ポンプ | 低圧復水ポンプ・高圧復水ポンプ | | |
| | 復水脱塩装置 | 復水脱塩装置 | | |
| | 給水加熱器 | 給水加熱器 | | |
| | 給水ポンプ | 給水ポンプ | | |
| | 循環水系 | 循環水系 | | |
| | タービン補機冷却系 | 冷却水ポンプ・熱交換器・配管弁 | この設備が機能喪失する場合には、主要なタービン設備が機能喪失し、原子炉スクラムに至る。このため、従属性を有する起因事象として考慮する。 | 従属性を有する起因事象 |
| | | 補機冷却海水系（原子炉補機冷却系と共用の設備） | | |
| 計装及び制御 | 中央制御室 | 制御盤・計測制御装置・通信連絡設備及び照明設備・中央制御室外原子炉停止装置 | 通信連絡設備等を除き、計測制御設備の機能喪失により、過渡事象が発生し原子炉スクラムに至る。このため、原子炉緊急停止系誤動作等の起因事象として考慮する。 タービン制御系については、故障等によりタービン関係機器の制御に支障をきたす可能性がある。このため、従属性を有する起因事象として考慮する。 | - |
| | 原子炉出力制御系 | 反応度制御系・タービン制御系 | | 従属性を有する起因事象 |
| | 安全保護系 | 原子炉緊急停止系・後備緊急停止系 | | - |
| | 核計装 | 起動領域計装・出力領域計装・制御棒引き抜き監視装置・中性子計装電源回路 | | |
| | 原子炉プラント・プロセス系統 | 原子炉圧力容器計装・再循環回路計装・原子炉給水系および蒸気系計装・制御棒駆動系計装 | | |
| | 運転監視補助装置 | 制御棒引き抜き阻止回路・監視計算装置・制御棒価値ミニマイザ（RBM） | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至ることはない。 | - |
| 電気系 | 送電線 | 275kV送電線2回線，154kV送電線 | 発電機故障など単体故障については、負荷遮断等によって、原子炉スクラムに至る。このため、非隔離事象等として考慮する。 送電線，変圧器，開閉所の故障については、外部電源が喪失する場合には、外部電源喪失として考慮する。 | - |
| | 発電機及び励磁装置 | 横軸円筒回転界磁3相同期発電機 固定子（水及び水素冷却）・回転子（水素冷却） | | |
| | 変圧器 | 主要変圧器・所内変圧器・起動変圧器 | | |
| | 開閉所 | 275kV超高压開閉所 | | |
| | 所内高压母線 | 常用母線・非常用母線・HPCSM母線 | この設備（母線下流の低圧母線を含む。）が機能喪失する場合には、当該区分の母線に接続する設備が機能喪失し、原子炉スクラム又は計画外停止等に至る。このため、従属性を有する起因事象として考慮する。 区分Ⅰの非常用母線喪失の場合、直ちに原子炉スクラムに至ることはないが、区分Ⅰの設備が機能喪失した状態で手動停止に至る。 区分Ⅱの非常用母線喪失の場合、計装用の共通母線の電源が喪失するため、給復水系の制御弁が全開となり、給復水ポンプがトリップすることにより原子炉スクラムに至る。 HPCSM母線喪失の場合、直ちに原子炉スクラムに至ることはないが、計画外停止に至る可能性がある。 | 従属性を有する起因事象 計画外停止 |
| | ディーゼル発電機設備 | 非常用ディーゼル発電機 HPCSDディーゼル発電機 | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至る可能性はない。一方、機能喪失に伴い原子炉停止操作を行う場合は、計画外停止として扱い、この場合、当該設備に期待できないことを、アンアベイラビリティとしてフォールトツリー（FT）で考慮している。 | 計画外停止 |
| | 直流母線 | 125V非常用電源母線・125VHPCSM用母線 250V常用電源母線・±24V中性子モニター用母線 | この設備（母線下流の低圧母線を含む。）が機能喪失する場合には、当該区分の母線に接続する設備が機能喪失し、原子炉スクラム又は計画外停止に至る。このため、従属性を有する起因事象として考慮する。 区分Ⅰの直流電源喪失の場合、高圧復水ポンプ-B及びCがトリップするため給水流量が低下し、原子炉水位が低下することにより原子炉スクラムに至る。また、所内電源自動切替信号が発信しないため、外部電源喪失に至る。 区分Ⅱの直流電源喪失の場合、タービンが自動トリップし、タービン主蒸気止め弁等が閉止することにより原子炉スクラムに至る。また、外部電源からの受電しゃ断器が操作不能となり、外部電源喪失に至る。 HPCSM母線喪失時には、直ちに原子炉スクラムに至ることはないが、計画外停止に至る可能性がある。 | 従属性を有する起因事象 計画外停止 |
| | 安全保護系母線 | 原子炉保護系母線・バイタル交流電源母線・計装用母線 | この設備が機能喪失する場合には、過渡事象が発生し原子炉スクラムに至る。このため、非隔離事象等の起因事象として考慮する。 | - |
| | 通信連絡設備及び照明設備 | 所内通話設備・加入電話・電力保安通信用電話・所内非常灯 | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至ることはない。 | - |
| | | | | |
| | | | | |

表 2 従属性を有する起因事象の同定 (3／4)

| 項目 (添付書類八) | 設備(添付書類八) | 設備概要 (添付書類八等) | 機能喪失時の影響 | 従属性を有する起因事象 及び計画外停止の同定 |
|-----------------|-------------------|--|--|---------------------------|
| 放射性廃棄物の 廃棄施設 | 気体廃棄物処理施設 | 排ガス予熱器・排ガス再結合器・排ガス復水器・空気抽出器排ガス減衰管・空気抽出器排ガス系フィルター・活性炭式希ガスホールドアップ装置・真空ポンプ・排気筒 | この設備が機能喪失する場合には、放射性廃棄物の処理等に支障が発生する可能性があるが、直接原子炉の運転状態に影響を与えるものではないことから、炉心損傷頻度を評価するための起因事象としては対象外とする。 | - |
| | 液体廃棄物処理系 | 機器ドレン処理系・床ドレン処理系・再生廃液処理系・洗濯廃液処理系・排ガス洗浄廃液処理系等 | | |
| | 固体廃棄物処理系 | 濃縮廃液系・使用済樹脂系・雑固体系・固体廃棄物貯蔵所 | | |
| 放射線管理施設 | 遮蔽設備 | 1次遮蔽・2次遮蔽・燃料取扱遮蔽・補助遮蔽 | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至ることはない。 | - |
| | 放射線管理施設 | 出入管理室・汚染管理関係施設・試料分析関係設備 | | |
| | 放射線計測器 | 発電所内の放射線監視設備及び測定機器・放出放射性廃棄物及び系統内の放射線監視設備並びに測定機器・発電所外の放射線監視設備・個人管理用測定設備及び測定機器 | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至ることはない。ただし、プロセス放射線モニタの主蒸気管放射能高信号については、誤信号により原子炉スクラム及び主蒸気隔離弁閉鎖に至ることから、隔離事象として考慮している。 | - |
| 原子炉格納施設 | 圧力抑制形格納容器（1次格納施設） | 原子炉格納容器本体・ベント管・ベントヘッド及びダウンカマ | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至る可能性はない。一方、機能喪失に伴い原子炉停止操作を行う場合は、計画外停止として考慮する。 | 計画外停止 |
| | 圧力抑制形格納容器貫通部 | 格納容器貫通部・エアロック・機器搬入ハッチ | | |
| | 隔離弁 | 隔離弁 | | |
| | 真空破壊装置 | 真空破壊装置 | | |
| | 格納容器内ガス濃度制御系 | 可燃性ガス濃度制御系・原子炉格納容器調気系 | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至る可能性はない。 | - |
| | ドライウェル内ガス冷却装置 | ファン・冷却コイル | この設備が機能喪失する場合には、ドライウェル内の空間温度が上昇することから、原子炉再循環ポンプなどの機器への影響が考えられるが、温度上昇は比較的緩やかであり、影響が生じる前に手動停止等の対応が可能である。 | - |
| | 格納容器スプレイ冷却系 | 残留熱除去系に同じ | 残留熱除去系に同じ | 計画外停止 |
| | 原子炉建屋（2次格納施設） | 建物・扉・エアロック | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至る可能性はない。 | - |
| | 常用換気系及び空気冷却装置 | 常用換気系・空気冷却装置 | この設備が機能喪失する場合には、空間温度が上昇し、冷却対象機器への影響が考えられるが、温度上昇は比較的緩やかであり、影響が生じる前に手動停止等の対応が可能である。 | - |
| | 原子炉建屋ガス処理系 | 湿分除去装置・排気ファン・フィルタ装置（高性能粒子フィルタ・チャコールフィルタ等）・排気筒 | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至る可能性はない。 | - |
| 発電所補助系 | 給水処理系 | 給水処理系 (前処理装置・ろ過水タンク・純水造水装置・純水タンク) | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至る可能性はない。 | - |
| | 補給水系 | 補給水系(復水貯蔵タンク等) | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至る可能性はない。 | - |
| | 換気系 | 換気空調設備 | この設備が機能喪失する場合に、直ちに原子炉スクラムに至る可能性はない。 | - |
| | 消火装置 | 消火栓設備（ろ過水タンク・消火ポンプ） | | |
| | 圧縮空気系 | 計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系 | 計装用圧縮空気系が機能喪失する場合には、計装用圧縮空気系の圧力が規定値まで低下すると原子炉スクラムに至るが、緩和機能への影響はない。一方、タービン設備では計装用圧縮空気系に依存している機器があるため、原子炉スクラムに至らないまでも重大な支障が生じた場合を想定し、従属性を有する起因事象として考慮する。 | 従属性を有する起因事象 |
| | 所内ボイラ | 所内用ボイラ | この設備が機能喪失する場合には、ブラント起動停止時に復水器からの空気抽出ができなくなる場合がある。このため、非隔離事象等として考慮している。 | - |

表 2 従属性を有する起因事象の同定（4／4）

| 同定結果 | 起因事象グループ | 事象の概要 | 事象の定義 | 起因事象区分 |
|-------------|------------------|--|--|--------------------|
| 計画外停止 | 計画外停止 | 緩和設備の機能異常が原因で原子炉を計画外に停止する事象 | 原子炉停止機能，炉心冷却機能又は格納容器からの除熱機能を有する緩和設備の機能異常による計画外の手動停止 | 手動停止／サポート系喪失（手動停止） |
| 従属性を有する起因事象 | 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅰ） | 残留熱除去系海水系（区分Ⅰ）機能喪失時の手動停止 | 区分Ⅰの残留熱除去系海水系が機能喪失し，当該安全区分の設備に期待できない状態での原子炉手動停止 | |
| | 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅱ） | 残留熱除去系海水系（区分Ⅱ）機能喪失時の手動停止 | 区分Ⅱの残留熱除去系海水系が機能喪失し，当該安全区分の設備に期待できない状態での原子炉手動停止 | |
| | 交流電源故障（区分Ⅰ） | 交流電源（区分Ⅰ）機能喪失時の手動停止 | 交流母線や下流の電源設備（非常用ディーゼル発電機を除く）が機能喪失し，当該安全区分の設備に期待できない状態での原子炉手動停止 | |
| | 交流電源故障（区分Ⅱ） | 交流電源（区分Ⅱ）機能喪失時の自動停止 | 交流母線や下流の電源設備（非常用ディーゼル発電機を除く）が機能喪失し，当該安全区分の設備に期待できない状態での原子炉自動停止 | サポート系喪失（自動停止） |
| | タービン・サポート系故障 | タービン・サポート系（EHC，IA，補機冷却海水系）機能喪失時の手動スクラム | タービン設備のサポート系が機能喪失し，タービン設備に期待できない状態での原子炉手動スクラム | |
| | 直流電源故障（区分Ⅰ） | 直流電源（区分Ⅰ）機能喪失時の自動停止 | 区分Ⅰの直流母線や下流の電源設備が機能喪失し，当該安全区分の設備に期待できない状態での原子炉自動停止 | サポート系喪失（直流電源故障） |
| | 直流電源故障（区分Ⅱ） | 直流電源（区分Ⅱ）機能喪失時の自動停止 | 区分Ⅱの直流母線や下流の電源設備が機能喪失し，当該安全区分の設備に期待できない状態での原子炉自動停止 | |

表3 原子炉冷却材圧力バウンダリに係る起因事象の同定（冷却材流出）

This image shows a completely blank white rectangular area enclosed within a thin black border. There are no markings, text, or illustrations present on the page.

表 4 起因事象のグループ化の結果と事象の定義及び事象と緩和設備の主要な状況

| 起因事象 | | | 事象の定義 | 事象分類 | 起因事象の状況 | | | 緩和設備の状況 | |
|--------------|--------------------|------------------|--|---|----------------------|-------------|---------------|--------------------------------|----------------------|
| | | | | | 原子炉冷却材 圧力バウンダリの状態 | 外部電源の状態 | 主蒸気隔離 | 初期給復水系の使用 | 主なスクラム信号 |
| 過渡事象 | 過渡事象 | 非隔離事象 | 1. 発電機負荷遮断 2. タービントリップ 3. 圧力制御装置の故障（蒸気流量減少） 4. バイパス弁又は主蒸気加減弁の誤閉鎖 | 事象分類A | | | | 継続可能 | 蒸気加減弁急速閉又は主蒸気止め弁閉 |
| | | | 5. 全再循環ポンプトリップ 6. 再循環ポンプ軸固着 | | | | | 継続可能 | 主蒸気止め弁閉 |
| | | | 7. 給水制御系の故障（流量増加，出力運転時） 8. 給水制御系の故障（流量増加，起動・停止時） | | | | | 継続可能 | 主蒸気止め弁閉 |
| | | | 9. HPCI／HPCSの誤起動 | | | | | 継続可能 | 主蒸気止め弁閉 |
| | | 隔離事象 | 10. 主蒸気隔離弁の1弁閉鎖 | 事象分類B1 | | | 中性子束高 | 継続可能 | 中性子束高（中性子束） |
| | | | 11. 再循環流量制御系の誤動作（再循環流量増加） | 事象分類B2 | | | | 継続可能 | 中性子束高（熱流束相当） |
| | | | 1. 主蒸気隔離弁の閉鎖 2. 主蒸気隔離弁の部分閉鎖 3. 圧力制御装置の故障（蒸気流量増加） 4. タービンバイパス弁誤開放 | 事象分類C | | | 主蒸気隔離弁で隔離 | 可／継続に障害 （ホットウェル水位低下） | 主蒸気隔離弁閉 |
| | | | 5. 発電機負荷遮断バイパス弁不作動 6. タービントリップバイパス弁不作動 | 事象分類D | | | タービン側で隔離 | 可／継続に障害 （ホットウェル水位低下） | 蒸気加減弁急速閉又は主蒸気止め弁閉 |
| | | | 7. 復水器真空度喪失 | 事象分類E | | | 主蒸気隔離弁で隔離 | 可／継続に障害 （ホットウェル水位低下） | 主蒸気止め弁閉 |
| | | | 1. 全給水流量喪失 | 事象分類F | | | 主蒸気隔離弁で隔離 | 不可（起因事象） | 原子炉水位低（レベル3） |
| | | | 1. 給水又は復水ポンプ1台トリップ 2. 給水制御系の故障（流量減少，出力運転時） 3. 給水制御系の故障（流量減少，起動・停止時） | 事象分類G | | | | 継続可能（機能低下） | 原子炉水位低（レベル3） |
| | | | 1. 起動時における制御棒引き抜き 2. 原子炉保護系故障によるスクラム 3. プラント異常によるスクラム 4. 原子炉保護系計装の故障によるスクラム | 事象分類H1 事象分類H2 | | | 継続可能 | 原子炉出力ベリオド短（起動領域計装） | 原子炉緊急停止系誤信号 |
| | | | 1. 逃がし安全弁誤開放 | 事象分類J | 冷却材流出あり | | | 可／継続に障害 （冷却材流出） | 手動スクラム |
| | | 外部電源喪失 | | 1. 外部電源喪失（所内電源が非常用電源以外にない状態） 2. 補助電源喪失 | 事象分類I | | 外部電源なし | タービン側・主蒸気隔離弁共隔離 | 不可（電源なし） 蒸気加減弁急速閉 |
| 手動停止／サポート系喪失 | 手動停止／サポート系喪失（手動停止） | 計画外停止 | 比較的小規模な故障を含む，原子炉停止機能，炉心冷却機能又は格納容器からの除熱機能を有する緩和設備の機能異常が原因で原子炉停止に手動停止する事象 | | | 継続可能 | | 手動停止 | |
| | | 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅰ） | 残留熱除去系海水系が機能喪失し，当該安全区分の設備に期待できない状態での手動停止 | 残留熱除去系海水系故障 | | | | 継続可能 | 手動停止 |
| | | 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅱ） | | | | | | | 手動停止 |
| | | 交流電源故障（区分Ⅰ） | 交流母線や下流の電源設備（非常用ディーゼル発電機を除く）が機能喪失し，当該安全区分の設備に期待できない状態での手動停止 | 交流電源故障（区分Ⅰ） | | | | 主蒸気隔離弁で隔離 | 不可（給復水ポンプトリップ） |
| | サポート系喪失（自動停止） | 交流電源故障（区分Ⅱ） | | 交流電源故障（区分Ⅱ） | | | | | 原子炉水位低（レベル3） |
| | | タービン・サポート系故障 | タービン設備のサポート系の機能が喪失し，タービン設備に期待できない状態での手動スクラム | サポート系故障 | | | 不可（サポート系なし） | 手動スクラム | |
| | サポート系喪失（直流電源喪失） | 直流電源故障（区分Ⅰ） | 直流母線や下流の電源設備が機能喪失し，当該安全区分の設備に期待できない状態での自動停止 | 直流電源故障（区分Ⅰ） | | 外部電源からの受電不可 | 主蒸気隔離弁で隔離 | 不可（電源なし） | 原子炉水位低（レベル3） |
| | | 直流電源故障（区分Ⅱ） | | 直流電源故障（区分Ⅱ） | | | | | 主蒸気止め弁閉 |
| LOCA | 大破断LOCA | | 事象発生により原子炉が減圧状態になる範囲 | 大破断LOCA | 冷却材流出あり | | 主蒸気隔離弁で隔離（注1） | 可／継続に障害（冷却材流出） （ホットウェル水位低下） | 原子炉水位低（レベル3） |
| | 中破断LOCA | | 小LOCAと大LOCAの中間範囲 | 中破断LOCA | | | | | |
| | 小破断LOCA | | 原子炉隔離時冷却系で注水可能な範囲 | 小破断LOCA | | | | | |
| 格納容器バイパス | インターフェイスシステムLOCA | | 隔離弁の多重故障や弁試験時の隔離失敗等により低圧設計部等が原子炉圧力にさらされることでこれが破損し，原子炉冷却材が格納容器外で流出する事象 | インターフェイスシステムLOCA | 冷却材流出あり | | 主蒸気隔離弁で隔離（注1） | 可／継続に障害（冷却材流出） （ホットウェル水位低下） | 原子炉水位低（レベル3） |

（注1）破断面積が小さい場合，原子炉水位は低下せず，隔離されないこともある。
（注2）給復水系に影響を及ぼす信号が発信していない場合。

主蒸気管破断の分類の考え方について

主蒸気管破断後に主蒸気隔離弁閉鎖に成功した場合は「隔離事象」と同様の事故進展となるが、発生頻度は $1\text{E}-5$ ／炉年程度であり、「隔離事象」に比べて十分小さいことから、評価対象外としている。また、主蒸気管破断後に主蒸気隔離弁閉鎖に失敗した場合、「格納容器バイパス」が発生するが、発生頻度が極めて小さい値となることから、評価対象外としている。

以下では、主蒸気管破断の発生頻度及び主蒸気隔離弁による隔離失敗確率の評価を行い、それらを踏まえて主蒸気管破断が発生したときの起因事象の分類の考え方について示した。

(1) 主蒸気管破断の発生頻度及び隔離失敗確率

a. 主蒸気管破断の発生頻度

今回の PRA における LOCA の発生頻度は、海外の文献を参考に、破断口径の大きさに応じた発生頻度（ある口径以上の破断が生じる頻度）を評価している（添付 3.1.1.2-6）。主蒸気配管（口径：650A）についてもこの考え方で評価すると、その発生頻度は $1\text{E}-5$ ／炉年を下回るものと考えられるが、本評価では主蒸気管 4 本で $1\text{E}-5$ ／炉年とする。

b. 主蒸気隔離弁による隔離失敗確率

主蒸気管には漏えい検出（主蒸気管トンネル温度、主蒸気管流量等）による自動隔離機能がある。また、運転員の手動隔離操作にも期待できることから、隔離弁の隔離信号故障による機能喪失は十分小さいと考えられる。よって、主蒸気管破断の隔離失敗確率は隔離弁の「閉失敗」の機械故障率（ $3.2\text{E}-4$ ／要求時）のみを考慮する。なお、隔離弁は 2 個あるが、「閉失

敗」の共通要因故障は考慮していない。これは、各々の隔離弁が格納容器内外の異なる環境に設置されているためである。

(2) 主蒸気管破断が発生したときの起因事象の分類の考え方

主蒸気管破断は発生箇所（図 1）及び隔離の成否に着目すると以下の 3 つに分けることができる。

- ①隔離に成功した場合
- ②隔離に失敗した場合（格納容器外の破断）
- ③隔離に失敗した場合（格納容器内の破断）

各々についての起因事象の分類の考え方を以下に示す。

①隔離に成功した場合

図 1 の a, b, c のいずれかで破断が発生して隔離に成功した場合は主蒸気管からの漏えいが停止するため、起因事象としては隔離事象に整理され、期待する緩和機能についても今回の P R A の隔離事象と同等である。また、発生頻度は(1)のとおり $1\text{E-}5$ /炉年であり、今回の P R A で用いている隔離事象の発生頻度 ($2.7\text{E-}2$ /炉年) に比べて十分小さいことから評価対象外とする。

②隔離に失敗した場合（格納容器外の破断）

図 1 の a, b のいずれかで破断が発生して隔離に失敗した場合は、格納容器外に主蒸気が放出されるため、起因事象としては格納容器バイパスに整理される。図 1 の b で破断が発生し隔離に失敗する頻度は、(1)の検討を元に評価すると $3.2\text{E-}9$ /炉年であり、発生頻度が極めて小さい値となる。また、図 1 の a で破断が発生した場合は外側隔離弁の閉止にも期待できるため、 $1.0\text{E-}12$ /炉年となる。いずれの場合も発生頻度が

極めて小さいことから評価対象外とする。

③隔離に失敗した場合（格納容器内の破断）

図1のcで破断が発生して隔離に失敗した場合、又は図1のdで破断が発生した場合は、格納容器内に主蒸気が放出される。また、主蒸気配管の口径（650A）は、今回のPRAにおける大破断LOCAで考慮している口径（125Aよりも大きな破断）に含まれており、期待する緩和機能についても今回のPRAの大破断LOCAと同等であるため、この場合は今回のPRAにおける大破断LOCAの評価に含まれていることとなる。

以上より、主蒸気管破断がいずれの箇所で発生した場合も、今回のPRAからは発生頻度の観点で評価対象外、又は大破断LOCAに含まれる結果となった。

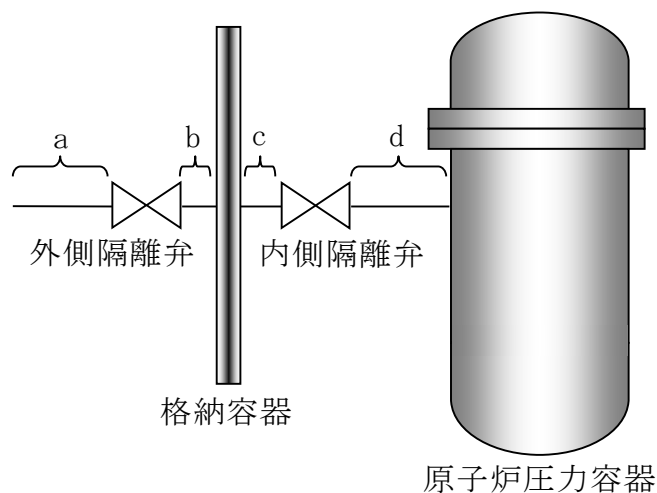


図1 破断箇所の場合分けのイメージ

手動による原子炉停止事象のモデル化について

1. はじめに

本PRAでは、外乱事象そのものではない「手動による原子炉停止事象」を起因事象として取り扱っている。この事象の取扱いについて以下に説明する。

2. 手動による原子炉停止事象の定義と考慮すべき期間

手動による原子炉停止事象の定義は以下のとおりである。

- ・通常停止：定期検査のための計画停止及び緩和設備に影響しない軽微な事象発生による計画外の停止
- ・計画外停止：緩和設備に影響する事象発生による計画外の停止
- ・サポート系故障（手動停止）：緩和設備のサポート系に影響する事象発生による計画外の停止

出力運転時PRAの対象範囲において、これらの事象を考慮すべき期間は図1のとおり、期間AとBに区分される。

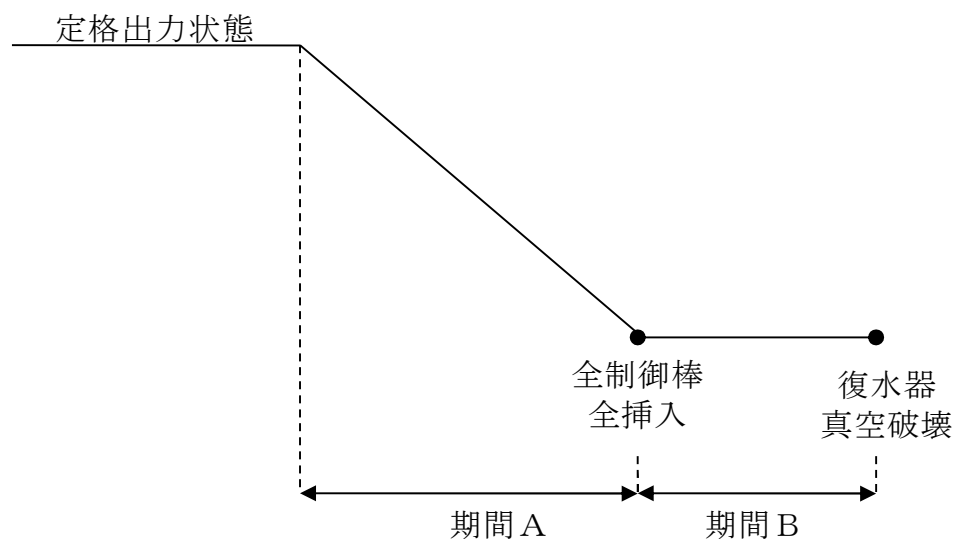


図1 手動による原子炉停止事象を考慮すべき期間

(1) 期間 A（出力降下開始～全制御棒全挿入）

この期間に発生する緩和設備の作動を必要とする外乱事象（自動スクラム事象）は、以下の理由により自動スクラムとなる過渡事象として取り扱う。

- ・この期間に発生する自動スクラム事象は、過渡事象等の発生頻度の算出に含めている（表 1）こと（実績による発生頻度の算出は、出力運転状態を対象）
- ・出力が低下していることにより、外乱の影響の程度は、定格出力運転状態より緩和されること（定格出力運転状態を仮定した緩和設備の成功基準より緩和される）
- ・過渡事象等のモデルにおいて、緩和設備及びそのサポート系の待機除外確率が考慮されていること（非常用電源系の待機除外確率はモデル化されていないが、非常用電源系の許容待機除外時間は保安規定により短時間に制限されていること、その待機除外確率が小さいことから、過渡事象等との重畳は考慮していない。）

(2) 期間 B（全制御棒全挿入～復水器真空破壊）

この期間に発生する緩和設備の作動を必要とする外乱事象は、自動スクラムとなる過渡事象等の発生頻度の算出に含まれない。したがって、この期間に発生する緩和設備の作動を必要とする外乱事象を、原則、評価対象事象とする必要があり、以下のとおり取り扱う。

- ・外乱事象としては、給復水系の機器故障に起因した給復水系機能喪失を考慮する。
- ・起因事象として手動による原子炉停止事象を考慮し、その発生頻度として年当たりの停止回数を与える。
- ・給復水系機能喪失はイベントツリーのヘディングとしてモデル化し、

上記の起回事象の発生頻度と給復水系の機能喪失確率をもって、外乱事象の発生頻度を表現する。

- ・ここで、計画外停止及びサポート系故障（手動停止）については、緩和設備との依存性があるため、従属性を有する起回事象として選定しているが、通常停止については、緩和設備との依存性がないことを考慮し、起回事象から除外する。

以上のとおり、手動による原子炉停止事象は外乱事象そのものではないが、緩和設備との依存性を有する計画外停止／サポート系故障（手動停止）について、炉心損傷頻度に有意な影響を与える可能性を考慮して起回事象として選定し、全制御棒全挿入から復水器真空破壊までの期間で発生する外乱事象をモデル化している。

3. 通常停止を起回事象として選定した場合の炉心損傷頻度への影響

上記 2. のとおり、通常停止は外乱事象そのものではなく、期間 A（出力降下開始から全制御棒全挿入まで）に緩和設備の作動が必要とする外乱事象（自動スクラム事象）が発生した場合は過渡事象として取り扱われる。

このため、期間 B（全制御棒全挿入～復水器真空破壊）を対象に、給復水系の機能喪失確率を考慮して感度解析を実施し、通常停止を起回事象として選定した場合の炉心損傷頻度への影響を確認した。

その結果、全炉心損傷頻度は $6.3\text{E-}5$ ／炉年となり、ベースケースの $6.1\text{E-}5$ ／炉年に対して同程度となることを確認した。感度解析結果を表 2 及び表 3 に示す。

表 1 出力降下中のスクラム事象

| プラント名 | 発生日時 | スクラムの理由 | 起因事象の分類 |
|-----------------------------|------------------|---|------------------|
| 東京電力 福島第一原子力 発電所 2 号機 | 1984 年 10 月 21 日 | 中間領域モニタ高高による 原子炉スクラム | 原子炉緊急停止系 誤動作等 |
| 東京電力 福島第二原子力 発電所 1 号機 | 1985 年 11 月 21 日 | 中間領域モニタ高高による 原子炉スクラム | 原子炉緊急停止系 誤動作等 |
| 東京電力 柏崎刈羽原子力 発電所 1 号機 | 1992 年 2 月 28 日 | タービンバイパス弁急閉後の給 水ポンプトリップによる 原子炉水位低スクラム | 非隔離事象 |
| 東北電力 女川原子力 発電所 1 号機 | 1998 年 6 月 11 日 | 中間領域モニタ高高による 原子炉スクラム | 原子炉緊急停止系 誤動作等 |

表 2 通常停止を考慮した場合の炉心損傷頻度評価結果

| 解析ケース | 通常停止の起因事象 発生頻度（／炉年） | 通常停止の炉心損傷 頻度（／炉年） | 全炉心損傷頻度 （／炉年） |
|--------|------------------------|----------------------|------------------|
| ベースケース | — | — | 6.1E-5 |
| 感度解析 | 1.6 ^{※1} | 2.3E-6 | 6.3E-5 |

※ 1：通常停止の発生件数（786 件）を国内 BWR 全 32 基の総運転炉年（488.1 年）で除して算出。

表 3 通常停止を考慮した場合の事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度

| 事故シーケンスグループ | | 炉心損傷頻度（／炉年） | |
|--------------------------------|-------------|-------------|----------|
| | | ベースケース | 感度解析 |
| 高圧・低圧注水機能喪失 | T Q U V | 3. 5E-09 | 3. 5E-09 |
| 高圧注水・減圧機能喪失 | T Q U X | 2. 0E-08 | 2. 1E-08 |
| 全交流動力電源喪失 | 長期 T B | 7. 7E-08 | 7. 7E-08 |
| | T B U | 2. 1E-08 | 2. 1E-08 |
| | T B P | 5. 3E-10 | 5. 3E-10 |
| | T B D | 6. 0E-12 | 6. 0E-12 |
| 崩壊熱除去機能喪失 | T W | 5. 6E-05 | 5. 8E-05 |
| | T B W | 4. 8E-06 | 4. 8E-06 |
| 原子炉停止機能喪失 | T C | 2. 5E-08 | 2. 5E-08 |
| L O C A 時注水機能喪失 | A E | 1. 4E-12 | 1. 4E-12 |
| | S 1 E | 2. 0E-11 | 2. 0E-11 |
| | S 2 E | 1. 6E-13 | 1. 6E-13 |
| 格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A） | I S L O C A | 4. 8E-10 | 4. 8E-10 |
| 合計 | | 6. 1E-05 | 6. 3E-05 |

起因事象の発生頻度評価に用いるデータベースの適用性について

起因事象発生頻度のデータベースは、メーカー及びエンジニアリング会社によって、以下の情報を対象に起因事象発生件数を調査し、その結果を事業者が確認する枠組みで、定期的に更新している。

- ・ 原子力施設運転管理年報（独立行政法人 原子力安全基盤機構）
- ・ N U C I A で公開されているトラブル情報
- ・ 電気事業者によるプレスリリース

平成20年度末までの起因事象発生頻度データは上記の枠組みによるデータベースの更新が完了している。一方、現在は平成21年度から平成23年度末までの実績を反映したデータベースの更新を実施中である。

以上の状況を踏まえ、本 P R A 評価時において利用可能な最新データとして、平成20年度末までの原子力プラントの運転状況を反映した起因事象発生頻度のデータを使用した。

外部電源喪失の発生頻度について

本評価においては、「外部電源喪失」を含む過渡事象及び従属性を有する起因事象の発生頻度は、国内 B W R の運転実績に基づいて設定しており、運転実績には、利用可能なデータである平成 20 年度（平成 21 年 3 月）までのデータを用い、発生した事象を各起因事象に分類し、その件数を運転炉年で除して起因事象発生頻度を算出している。

なお、外部電源喪失の発生頻度について、B W R、P W R、B W R 及び P W R の各ケースで計算した結果を表 1 に示すが、ほぼ同等の値となっている。

表 1 出力運転時 P R A 「外部電源喪失」の発生頻度

| 計算ケース | B W R | P W R ※ | B W R + P W R |
|---------------|----------|---------|---------------|
| 発生件数 | 3 | 3 | 6 |
| 暦年 | 706.1 炉年 | 621 炉年 | 1327.1 炉年 |
| 発生頻度 (／炉年) | 4.2E-3 | 4.8E-3 | 4.5E-3 |

※平成 25 年 10 月 11 日「川内原子力発電所 1 号炉及び 2 号炉 P R A について」参照

東海第二発電所の P R A における、外部電源喪失を起因とした場合の炉心損傷頻度（C D F）は $1.5\text{E-}6$ ／炉年であるため、B W R と P W R の運転実績を合計した場合、C D F は、 $1.5\text{E-}6 \times (4.5\text{E-}3 / 4.2\text{E-}3) = 1.6\text{E-}6$ ／炉年となり、C D F の増加分は $1\text{E-}7$ ／炉年となる。

BWR と PWR の運転実績に基づく外部電源喪失の発生頻度を用いる場合、外部電源喪失を起因とする事故シーケンスの C D F が一様に 1 割程度増加するものの、起因事象別の C D F における外部電源喪失の寄与割合は全体（全 C D F : $6.1\text{E-}5$ / 炉年）の 2.5% であることから、全体の結果に与える影響は極めて小さい。

LOCAの起因事象発生頻度について

(1) 事象の分類定義

LOCAでは、原子炉冷却材圧力バウンダリからの冷却材の流出規模によりプラント応答や成功基準が異なるため、流出規模に応じて事象分類を定義する。NUREG-1150の定義と同様に「漏えい」、「小破断LOCA」、「中破断LOCA」、「大破断LOCA」及び「設計基準事故（DBA）超過LOCA」に事象进行分类した。各事象の分類定義や等価破断径、流出流量を表1に示す。

「漏えい」については常用系のポンプによる冷却材の補給可能範囲であり、事象が発生しても重大な原子炉への外乱に発展する可能性は小さいことから、起因事象から除外した。

「DBA超過LOCA」については、NUREG-1829によると、原子炉圧力容器破損の発生頻度は $1\text{E}-8$ /炉年以下となっており、他の起因事象に比べて十分に低い発生頻度となっている。そのため、本評価では起因事象から除外した。

表 1 L O C A 関連事象の分類定義

| 事象分類 | 状態定義 | 等価破断径 | 流出流量 (運転圧) |
|---------------------|-----------------------------------|-------|---------------|
| 漏えい | 常用系（C R D ポンプ等） で補給可能な範囲 | | |
| 小破断 L O C A | R C I C で注水可能な範囲 | | |
| 中破断 L O C A | 小破断 L O C A と大破断 L O C A の中間範囲 | | |
| 大破断 L O C A | 事象発生により原子炉が 減圧状態になる範囲 | | |
| D B A 超過 L O C A | 設計基準事象での L O C A を超える範囲 | | |

(2) 発生頻度の設定

L O C A は日米ともに発生経験がなく，かつ原子炉冷却材バウンダリの設計及び運転管理において日米で大きな差異がないため，L O C A の起因事象発生頻度の評価には，N U R E G / C R - 5 7 5 0 と N U R E G - 1 8 2 9 の文献データを用いた。調査に用いた文献の概要について以下に示す。

a. N U R E G / C R - 5 7 5 0

Rates of Initiating Events at U.S. Nuclear Power Plants

:1987-1995/February 1999

- ・米国原子力発電所の起因事象発生頻度を評価したもの
- ・L O C A 関係は 1969 年から 1997 年の実績で検討
- ・L O C A の発生経験はないため，配管の貫通クラックの発生経験から破断に進展する確率を乗じて評価，小破断 L O C A を除きエラーファクタ（E F）は 10 を設定
- ・L O C A の分類定義は N U R E G - 1 1 5 0 と同様の 大，中，小 3

段階

- ・経年変化 (Trend) は一定とし、プラント間の相違もないとの位置づけ
- ・配管以外の寄与については評価対象外

b. NUREG-1829 (Draft Report for Comment)

Estimating Loss of Coolant Accident (LOCA) Frequencies Through the Elicitation Process/June 2005

- ・リスク情報活用規制の一環としての設計基準LOCA見直しのため、NRCがLOCA発生頻度を評価したもの
- ・専門家パネル (Expert Elicitation) により不確定性を含めた検討を実施
- ・配管からの寄与のほか、非配管からの寄与として、原子炉压力容器や蒸気発生器などの機器も考慮
- ・LOCA時の流出流量 (等価破断径) により 6 段階に分類
- ・25 年運転想定での発生頻度と 40 年運転想定での発生頻度の評価を実施し、BWRでは両者にほとんど差はない結果
- ・原子炉压力容器については、確率論的破壊力学 (PFM) による評価も参照しつつ、破損頻度を検討
- ・NUREG/CR-5750 との比較結果あり、中破断LOCA部分を除き概ね一致


以上の両文献より、プラント間や経年変化での差異は小さいと考えられることから、これらのデータはプラントによらず使用できると考えられる。なお、不確実さが比較的大きいデータであることから、基本的に有効数字 1 桁として扱う。以下の算出方法に従い、LOCAの発生頻度を検討したものを

表 2 に示す。

- ・NUREG/CR-5750 及び NUREG-1829 の両文献データ(超過頻度，暦年ベース) を使用

- ・ 事象の分類定義に従い，各分類境界での 5% 下限値と 95% 上限値を以下のように設定
 - －5% 下限値については，両文献値よりいずれか小さい方を採用
 - －95% 上限値については，両文献値よりいずれか大きい方を採用
- ・ 設定した超過頻度の上下限値より，対数正規分布に基づく平均値，エラーファクタを算出
- ・ このように算出した各分類境界での超過頻度から，各 LOCA 事象の発生頻度（超過頻度の差分）を算出
- ・ エラーファクタについては，超過頻度の上下限値により算出したエラーファクタを参考に設定

以上より，LOCA 事象分類と発生頻度を検討した結果を図 1 にまとめる。



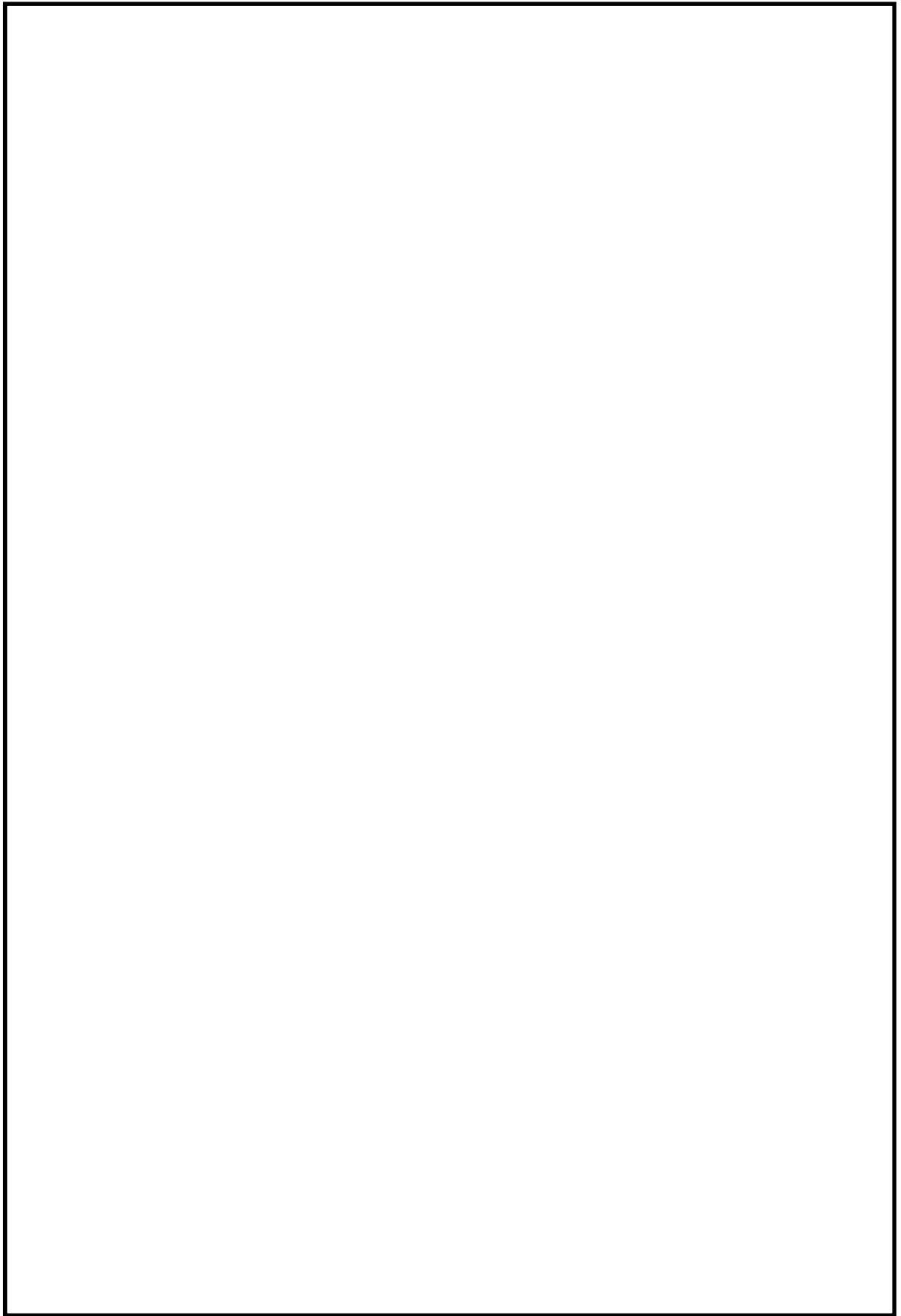


図 1 L O C A 事象分類と発生頻度検討のまとめ

E C C S 配管破断を考慮した L O C A の炉心損傷頻度評価について

本 P R A で評価している L O C A は、具体的な破断箇所は設定していない。また、L O C A の発生頻度は、海外の文献を参考に、大破断 L O C A、中破断 L O C A、小破断 L O C A それぞれに相当する大きさの破断の発生頻度を設定している。

これに対して、本評価では、原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管のうち、E C C S 等の配管が破断して L O C A が発生することを想定し、当該系統が緩和設備として期待できない場合の炉心損傷頻度を評価した。その結果、本評価の炉心損傷頻度は、ベースケースにおける L O C A の炉心損傷頻度と比較して同程度であることを確認した。

(1) E C C S 及びその他の系統での L O C A 発生頻度の算出

本 P R A において期待している緩和設備のうち、高圧炉心スプレイ系（H P C S）、原子炉隔離時冷却系（R C I C）、低圧炉心スプレイ系（L P C S）及び低圧注水系（L P C I - A / B / C）を対象に、原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管の溶接線で L O C A が発生すると仮定した。また、本 P R A では、破断口径が 125A 以上を大破断 L O C A、25A 以上 125A 未満を中破断 L O C A、25A 未満を小破断 L O C A としているが、本評価では、配管口径が 100A 以上を大破断 L O C A、100A 未満を中破断 L O C A とし、R C I C は緩和設備として期待しないものとした。

系統別の L O C A の発生頻度は、下記の①式に基づき算出した。各系統の配管口径別の溶接線数と配管破断の頻度の算出結果を表

1 に示す。

$$\begin{aligned} & \text{着目する系統の配管破断発生頻度} \\ &= \frac{\text{着目する系統の溶接線数}}{\text{原子炉冷却材圧力バウンダリでの全溶接線数}} \times \text{L O C A 発生頻度} \end{aligned}$$

・・・①式

(2) L O C A 発生時の炉心損傷頻度

E C C S 等の配管破断を想定した場合の L O C A の炉心損傷頻度は下記の②式で算出した。算出に用いた値と算出結果を表 2 に示す。

$$\begin{aligned} & \text{L O C A 時の炉心損傷頻度} \\ &= \sum_i \left(\begin{array}{l} \text{系統} i \text{での} \\ \text{L O C A 発生頻度} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{l} \text{系統} i \text{に期待できない場合の条件付} \\ \text{炉心損傷確率} \end{array} \right) \end{aligned}$$

・・・②式

本評価とベースケースにおける L O C A の炉心損傷頻度の評価結果の比較を表 3 に示す。評価結果の比較から、ベースケースでの L O C A の炉心損傷頻度に大きな相違がないことを確認した。

表 1 各系統の配管口径別の溶接線数と系統当たりの L O C A 発生頻度

| | 溶接線数※ 1 | | 配管破断発生頻度 (／炉年) | |
|-----------------------|---------|---------|-------------------|----------------|
| | 100A 以上 | 100A 未満 | 大破断 L O C A | 中破断 L O C A |
| R C I C | 33 | 0 | 9.5E-07 | 0 |
| H P C S | 19 | 0 | 5.4E-07 | 0 |
| L P C S | 19 | 0 | 5.4E-07 | 0 |
| R H R - A | 21 | 0 | 6.0E-07 | 0 |
| R H R - B | 21 | 0 | 6.0E-07 | 0 |
| R H R - C | 21 | 0 | 6.0E-07 | 0 |
| その他の原子炉冷却 材圧力バウンダリ | 564 | 89 | 1.6E-05 | 2.0E-04 |
| 合計 | 698 | 89 | 2.0E-05 | 2.0E-04 |

※ 1：溶接線数は，クラス 1 機器の検査カテゴリ B－F 及び B－J から抽出

表 2 各系統での L O C A 発生時の条件付炉心損傷確率と炉心損傷頻度

| | 条件付炉心損傷確率 | | 炉心損傷頻度（／炉年） | |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 大破断 L O C A | 中破断 L O C A | 大破断 L O C A | 中破断 L O C A |
| R C I C | 1.5E-04 | 1.5E-04 | 1.4E-10 | 0 |
| H P C S | 1.5E-04 | 1.6E-04 | 8.1E-11 | 0 |
| L P C S | 1.5E-04 | 1.5E-04 | 8.0E-11 | 0 |
| R H R - A | 2.3E-03 | 2.3E-03 | 1.4E-09 | 0 |
| R H R - B | 2.3E-03 | 2.3E-03 | 1.4E-09 | 0 |
| R H R - C | 1.5E-04 | 1.5E-04 | 8.9E-11 | 0 |
| その他の原子炉冷却 材圧力バウンダリ | 1.5E-04 | 1.5E-04 | 2.4E-09 | 3.0E-08 |
| 合計 | | | 5.5E-09 | 3.0E-08 |

表 3 本評価結果と本 P R A 評価結果の比較

| 起 因 事 象 | 事 故 シ ー ケ ンス | 本 評 価 (／ 炉 年) | ベ ー ス ケ ー ス (／ 炉 年) |
|------------------|-----------------------|------------------|------------------------|
| 大 破 断 L O C A | 原 子 炉 停 止 機 能 喪 失 | 2. 2E-12 | 2. 2E-12 |
| | L O C A 時 注 水 機 能 喪 失 | 1. 5E-11 | 1. 4E-12 |
| | 崩 壊 熱 除 去 機 能 喪 失 | 5. 5E-09 | 3. 0E-09 |
| | 合 計 | 5. 5E-09 | 3. 0E-09 |
| 中 破 断 L O C A | 原 子 炉 停 止 機 能 喪 失 | 2. 2E-11 | 2. 2E-11 |
| | L O C A 時 注 水 機 能 喪 失 | 2. 0E-11 | 2. 0E-11 |
| | 崩 壊 熱 除 去 機 能 喪 失 | 3. 0E-08 | 3. 0E-08 |
| | 合 計 | 3. 0E-08 | 3. 0E-08 |

インターフェイスシステム L O C A の起因事象発生頻度について

(1) はじめに

インターフェイスシステム L O C A（以下「I S L O C A」という。）の発生頻度は、フォールトツリーを用いたシステム信頼性解析により評価した。システム信頼性解析の実施に当たっては、I S L O C A の発生の可能性のある系統及びシナリオを選定するとともに、機器故障率、人的過誤確率及び配管破損確率を用いて定量化した。

(2) 評価対象系統及び発生シナリオの選定

I S L O C A の評価対象は、原子炉冷却材圧力バウンダリに接続し格納容器外に敷設された配管を有する系統のうち、以下の条件を基に選定した。原子炉冷却材圧力バウンダリに接続し格納容器外に敷設された配管を図 1 に、選定結果を表 1 に示す。

①出力運転中に高圧設計部と低圧設計部とを分離する隔離弁が閉止されており、隔離弁の誤開放等により低圧設計部が過圧されることで I S L O C A 発生の可能性のある系統

②出力運転中に高圧設計部と低圧設計部とを分離する隔離弁が 2 弁以下の系統※

※ 原子炉冷却材圧力バウンダリと接続し格納容器外に敷設された配管を有する系統において、高圧設計部分と低圧設計部分する隔離弁は直列に 2 弁以上設置されている。このため、最小で直列 2 弁の誤開、内部リーク等が発生した場合は I S L O C A が発生する可能性があるが、1 弁当たりの誤開、内部リーク等の発生確率は 1E-4 未満であることを考慮すると、閉状態の弁が直列 3 弁以上の場合には、I

S L O C Aにより系統の過圧が発生する頻度は、直列 2 弁の場合に比べて 4 桁以上低くなり、無視し得る程度となる。ただし、P R Aでは、I S L O C Aの発生シナリオ及びその発生頻度を幅広く確認する観点から、直列 3 弁の閉状態の弁を有する高圧炉心スプレイ系及び原子炉隔離時冷却系を含めて I S L O C Aの発生頻度を評価対象としている。

以上を踏まえて選定した系統及びシナリオを表 2 に示す。

(3) 発生頻度の評価

a. モデル化の仮定

本評価における主な仮定を以下に示す。

- I S L O C A発生後の隔離操作には期待しない。
- I S L O C Aの発生箇所は配管（熱交換器含む）とする。
- ドレン・ベントラインは、配管径が小さいため除外する。

b. 評価に用いたパラメータ

(a) 機器故障率

電動弁の誤開及び内部リークなどの機器故障率には、国内故障率データ（「故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定」、2009 年 5 月 日本原子力技術協会）を使用した。

(b) 人的過誤確率

人的過誤は、弁の誤操作及び試験後の通常状態復旧失敗をモデル化しており、弁の誤操作は、N U R E G / C R - 5 9 2 8 と同様に $1.0\text{E-}3/\text{d}$ を使用し、試験後の通常状態復旧失敗は N U R E G / C R - 1 2 7 8 （T H E R P 手法）を基に $2.0\text{E-}3/\text{d}$ と評価した。

(c) 配管破損確率

配管破損確率は、N U R E G / C R - 5 9 2 8 が参照している N U R E G / C R - 5 8 6 2 に基づく破損確率算出方法を用い、配管の口径や肉厚などを考慮し、各評価対象配管に対し表 3 のとおり設定した。また、熱交換器の破損確率は、N U R E G / C R - 5 9 2 8 より表 4 のとおり設定した。

c. 評価結果

フォールトツリーを用いたシステム信頼性解析により評価した結果、I S L O C A の発生頻度は $4.8\text{E}-10$ / 炉年（エラーファクタ：19.6）となった。I S L O C A のカットセット（上位 20 位）を表 5 に示す。

I S L O C A の発生頻度が最も高いと評価された系統は R H R であり、テストブル逆止弁の定期試験時に電動弁の定期試験終了後の通常状態への復旧失敗及びテストブル逆止弁の閉失敗により R H R ポンプの吐出圧で設計された配管が破損する場合となった。

(4) I S L O C A 発生頻度の評価結果における海外との差について

上記(3)のとおり、本プラントにおける I S L O C A 発生頻度は $4.8\text{E}-10$ / 炉年と評価した。一方、N U R E G / C R - 5 1 2 4 に記載されている海外プラントにおける I S L O C A 発生頻度は、本プラントと比較して $1\text{E}+3 \sim 1\text{E}+4$ 倍程度高い（表 6）。これについて、海外プラントとの評価方法の違いを以下に整理する。

a. 比較方法

海外プラントは、いずれも B W R プラントであり評価結果はそれぞれ異なるが、本プラントと同じ型式（B W R - 5 M a r

k－Ⅱ) の Nine Mile Point-2 (以下「NMP 2」という。)
を比較対象に選定した。

b. 比較結果

NMP 2 及び本プラントにおける系統別の ISLOCA 発生頻度の評価結果を表 7 に示す。表 7 から、NMP 2 と本プラントとの差は、NMP 2 が発生頻度の高い Steam Condensing の ISLOCA 発生を考慮しているためである (本プラントは Steam Condensing を撤去済み)。

一方、NMP 2 の評価において評価対象としており、本プラントのドミナントとなる LPCI の ISLOCA に対する評価内容の比較について、表 8 のとおり行った。表 8 の結果は以下のとおりである。

- ・ 本プラントは人的過誤として定期試験時の電動弁の通常状態復旧失敗、機器故障として定期試験時の逆止弁の閉失敗を想定し、これらの同時発生により ISLOCA が起こる事象がドミナントシナリオとなる。
- ・ NMP 2 は運転時に LPCI の定期試験を行わないため、複数の機器故障の同時発生のみを想定しており、ドミナントシナリオとなる。

上記のとおり、ISLOCA のドミナントシナリオの想定は異なるが、発生頻度の評価に用いている機器故障率の違いにより、NMP 2 は本プラントの 発生頻度となっていることを確認した。

表 1 I S L O C A の評価対象の選定結果

| 系統名 | 原子炉冷却材圧力バウンダリに接続されている配管 | 選定結果 | 備考 |
|------------------|--------------------------|------|--|
| 給水系 | 給水系注入配管 | 対象外 | 通常運転時に隔離弁が開状態となっており、隔離弁の誤開放等により発生する I S L O C A 評価の対象外 |
| 高圧炉心スプレイ系 | 高圧炉心スプレイ注入配管 | 評価対象 | 直列 3 弁の開状態の弁を有するが、I S L O C A の発生シナリオ及びその発生頻度を幅広く確認する観点から、発生頻度の評価対象とする |
| 原子炉隔離時冷却系 | 原子炉隔離時冷却系原子炉圧力容器頂部スプレイ配管 | 評価対象 | |
| | 原子炉隔離時冷却系蒸気供給配管 | 対象外 | |
| 低圧炉心スプレイ系 | 低圧炉心スプレイ系注入配管 | 評価対象 | - |
| 残留熱除去系 (A, B, C) | 残留熱除去系原子炉注入配管 | 評価対象 | - |
| 残留熱除去系 (A, B) | 残留熱除去系停止時冷却系吸込配管 | 評価対象 | - |
| | 残留熱除去系停止時冷却系原子炉圧力容器戻り配管 | 評価対象 | - |
| 残留熱除去系 (A) | 残留熱除去系原子炉圧力容器頂部スプレイ配管 | 対象外 | 閉状態の弁が直列に 4 弁設置されており I S L O C A の発生頻度が十分低いため対象外 |
| 制御棒駆動水圧系 | 制御棒駆動水圧系制御棒挿入側配管 | 対象外 | 通常運転時に隔離弁が開状態となっており、隔離弁の誤開放等により発生する I S L O C A 評価の対象外 |
| | 制御棒駆動水圧系制御棒引抜側配管 | 対象外 | |
| ほう酸水注入系 | ほう酸水注入系注入配管 | 対象外 | 閉状態の弁が直列に 4 弁設置されており I S L O C A の発生頻度が十分低いため対象外 |
| 原子炉冷却材浄化系 | 原子炉冷却材浄化系入口配管 | 対象外 | 通常運転時に隔離弁が開状態となっており、隔離弁の誤開放等により発生する I S L O C A 評価の対象外 |
| 主蒸気系 | 主蒸気系配管 | 対象外 | |
| 原子炉圧力容器計装系 | 原子炉圧力容器計装系配管 | 対象外 | |
| 試料採取系 | 試料採取系サンプリング配管 | 対象外 | |

表 2 I S L O C A の発生を想定する系統及びシナリオの一覧表

| 系統 | ケース | 発生シナリオ |
|----------------------------|-----|---|
| 高圧炉心ス プレイ系 (図 2) | — | 電動弁 F004, 逆止弁 F005, F024 の故障, 誤動作及び定期試験の組合せによって同時に開状態となり, ポンプ吸込部の低圧設計配管が破損 |
| 原子炉隔離 時冷却系 (図 3) | — | 電動弁 F013, 逆止弁 F065, F066 の故障, 誤動作及び定期試験の組合せによって同時に開状態となり, ポンプ吸込部の低圧設計配管が破損 |
| 低圧炉心ス プレイ系 (図 4) | ① | 電動弁 F005, 逆止弁 F006 の故障, 誤動作及び定期試験の組合せによって同時に開状態となり, ポンプ吐出圧設計配管が破損 |
| | ② | 電動弁 F005, 逆止弁 F003, F006 の故障, 誤動作及び定期試験の組合せによって同時に開状態となり, ポンプ吸込部の低圧設計配管が破損 |
| 残留熱除去 系 (A, B) (図 5) | ① | 電動弁 F042A/B, 逆止弁 F041A/B の故障, 誤動作及び定期試験の組合せによって同時に開状態となり, ポンプ吐出圧設計配管又は熱交換器が破損 |
| | ② | 電動弁 F042A/B, 逆止弁 F031A/B, F041A/B の故障, 誤動作及び定期試験の組合せによって同時に開状態となり, ポンプ吸込部の低圧設計配管が破損 |
| | ③ | 電動弁 F008, F009 の故障の組合せによって同時に開状態となり, 低圧設計配管が破損 |
| 残留熱除去 系 (C) (図 6) | ① | 電動弁 F042C, 逆止弁 F041C の故障, 誤動作及び定期試験の組合せによって同時に開状態となり, ポンプ吐出圧設計配管が破損 |
| | ② | 電動弁 F042C, 逆止弁 F031C, F0041C の故障, 誤動作及び定期試験の組合せによって同時に開状態となり, ポンプ吸込部の低圧設計配管が破損 |

表 3 各系統の配管破損確率

| 対象 | 配管破損確率（／d） |
|-----------------|------------|
| R H R－A／B 吐出圧配管 | |
| R H R－C 吐出圧配管 | |
| L P C S 吐出圧配管 | |
| H P C S 低圧配管 | |
| L P C S 低圧配管 | |
| R H R 低圧配管 | |
| R C I C 低圧配管 | |

表 4 熱交換器破損確率

| 対象 | 破損確率（／d） |
|------------|----------|
| R H R 熱交換器 | |

表5 東海第二発電所のI S L O C Aカットセット（上位20位）

| 順位 | 系統 | 起因となる故障 | 故障の組み合わせ① | 故障組み合わせ② | 破損箇所 | 発生頻度（／炉年） |
|----|----------|---------------|--------------------------|--------------|---------|-----------|
| 1 | RHR-A | 逆止弁F041A定期試験 | 電動弁F042A定期試験時の通常状態への復旧失敗 | 逆止弁F041A閉失敗 | 吐出圧設計配管 | |
| 1 | RHR-B | 逆止弁F041B定期試験 | 電動弁F042B定期試験時の通常状態への復旧失敗 | 逆止弁F041B閉失敗 | 吐出圧設計配管 | |
| 3 | RHR-C | 逆止弁F041C定期試験 | 電動弁F042C定期試験時の通常状態への復旧失敗 | 逆止弁F041C閉失敗 | 吐出圧設計配管 | |
| 4 | RHR（SDC） | 電動弁F008内部リーク | 電動弁F009内部リーク | | 低圧設計配管 | |
| 4 | RHR（SDC） | 電動弁F009内部リーク | 電動弁F008内部リーク | | 低圧設計配管 | |
| 6 | RHR（SDC） | 電動弁F008内部リーク | 電動弁F009誤開 | | 低圧設計配管 | |
| 6 | RHR（SDC） | 電動弁F008誤開 | 電動弁F009内部リーク | | 低圧設計配管 | |
| 6 | RHR（SDC） | 電動弁F009内部リーク | 電動弁F008誤開 | | 低圧設計配管 | |
| 6 | RHR（SDC） | 電動弁F009誤開 | 電動弁F008内部リーク | | 低圧設計配管 | |
| 10 | HPCS | 電動弁F004定期試験 | 逆止弁F005内部リーク | 逆止弁F024内部リーク | 低圧設計配管 | |
| 11 | RHR-A | 逆止弁F041A定期試験 | 電動弁F042A定期試験時の通常状態への復旧失敗 | 逆止弁スイッチ開失敗 | 吐出圧設計配管 | |
| 11 | RHR-B | 逆止弁F041B定期試験 | 電動弁F042B定期試験時の通常状態への復旧失敗 | 逆止弁スイッチ開失敗 | 吐出圧設計配管 | |
| 13 | RHR（SDC） | 電動弁F008誤開 | 電動弁F009誤開 | | 低圧設計配管 | |
| 13 | RHR（SDC） | 電動弁F009誤開 | 電動弁F008誤開 | | 低圧設計配管 | |
| 15 | RHR-A | 逆止弁F041A定期試験 | 電動弁F042A定期試験時の通常状態への復旧失敗 | 逆止弁F041A閉失敗 | 熱交換器 | |
| 15 | RHR-B | 逆止弁F041B定期試験 | 電動弁F042B定期試験時の通常状態への復旧失敗 | 逆止弁F041B閉失敗 | 熱交換器 | |
| 17 | RHR-C | 逆止弁F041C定期試験 | 電動弁F042C定期試験時の通常状態への復旧失敗 | 逆止弁スイッチ開失敗 | 吐出圧設計配管 | |
| 18 | RHR-A | 電動弁F042A内部リーク | 逆止弁F041A内部リーク | | 吐出圧設計配管 | |
| 18 | RHR-B | 電動弁F042B内部リーク | 逆止弁F041B内部リーク | | 吐出圧設計配管 | |
| 18 | RHR-A | 逆止弁F041A内部リーク | 電動弁F042A内部リーク | | 吐出圧設計配管 | |
| 18 | RHR-B | 逆止弁F041B内部リーク | 電動弁F042B内部リーク | | 吐出圧設計配管 | |

表 6 海外プラント及び東海第二発電所における
I S L O C A発生頻度の評価結果

| 海外 プラント | I S L O C A 発生頻度 (／炉年) | 東海第二発電所 との比較※ ^{1, 2} | I S L O C Aに よる炉心損傷頻 度 (／炉年) | 東海第二発電所 との比較※ ^{1, 2} |
|----------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Peach Bottom | 4. 8E-06 | 1. 0E+04 | 1. 0E-06 | 2. 1E+03 |
| Nine Mile Point-2 | 9. 8E-06 | 2. 0E+04 | 8. 8E-06 | 1. 8E+04 |
| Quad Cities | 1. 1E-05 | 2. 3E+04 | 9. 3E-07 | 1. 9E+03 |

※1 海外プラント／東海第二発電所

※2 東海第二発電所は I S L O C A発生＝炉心損傷と定義している。海外プラントは
系統によっては I S L O C A発生後の隔離操作を考慮するため結果が異なる。

表 7 Nine Mile Point-2 及び東海第二発電所における
系統別の I S L O C A 発生頻度の評価結果

| Nine Mile Point-2 | | | |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------------------|
| 系統 | 配管過圧頻度 (／炉年) | 配管破損確率 (／d) | ISLOCA 発生頻度 (／炉年) |
| HPCS | 2.7E-07 | 2.7E-02 | 8.6E-14 |
| RCIC | － | － | － |
| LPCS | 3.7E-06 | 4.0E-03 | 2.9E-11 |
| LPCI | 1.3E-05 | 4.0E-03 | 8.8E-09 |
| RHR (suction) | 7.7E-07 | 1.6E-02 | 4.1E-09 |
| Vessel Head Spray | 4.4E-06 | 1.7E-03 | 9.3E-13 |
| Feedwater | 1.0E-03 | 1.0E-03 | 1.0E-06 |
| Steam Condensing | 8.9E-03 | 4.0E-03 | 8.8E-06 |
| 合計 | － | － | 9.8E-06 |
| 東海第二発電所 | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| 合計 | － | － | 4.8E-10 |

表 8 Nine Mile Point-2 及び東海第二発電所における
L P C I の I S L O C A 発生頻度の評価内容

| 評価項目 | | Nine Mile Point-2 | 東海第二発電所 |
|---------------------|--------|--|--|
| ドミナントシナリオ | | ・ R H R－A／B のバウンダリ弁（電動弁及び逆止弁）の内部リーク又は破損が重なることにより，バウンダリ弁が同時に開状態となり，ポンプ吐出圧設計配管が破損 | ・ R H R－A／B のバウンダリ弁（逆止弁）の定期試験時に，バウンダリ弁（電動弁）の閉状態復旧失敗と，逆止弁の閉失敗が重なることにより，バウンダリ弁が同時に開状態となり，ポンプ吐出圧設計配管が破損 |
| モデル化の仮定 | | ・ I S L O C A 発生後の隔離操作に期待しない ・ I S L O C A の発生箇所は配管 ・ ドレンライン及びベントラインは配管径が小さいため除外 | ・ I S L O C A 発生後の隔離操作に期待しない ・ I S L O C A の発生箇所は配管 ・ ドレンライン及びベントラインは配管径が小さいため除外 |
| パラメータ | 機器故障確率 | 逆止弁内部リーク　：①7.3E-04 | 逆止弁の開失敗　：⑤2.4E-05 |
| | | 電動弁内部リーク　：②6.0E-04 | |
| | | 電動弁誤操作　　：③4.0E-04 | |
| | 人的過誤確率 | — （L P C I での人的過誤は発生しないとし，人的過誤確率は設定無し） | ⑥2.0E-03 （定期試験時の電動弁の閉状態への復旧失敗） |
| | 配管破損確率 | ④4.0E-03（L P C I－A／B／C） | ⑦3.1E-03（L P C I－A／B） |
| ⑧1.2E-03（L P C I－C） | | | |
| 評価結果 | | 8.8E-09／炉年 { ①×（②＋③）×④ } ×3 | 3.6E-10／炉年 { ⑤×⑥×⑦ } ×2 ＋{ ⑤×⑥×⑧ } |

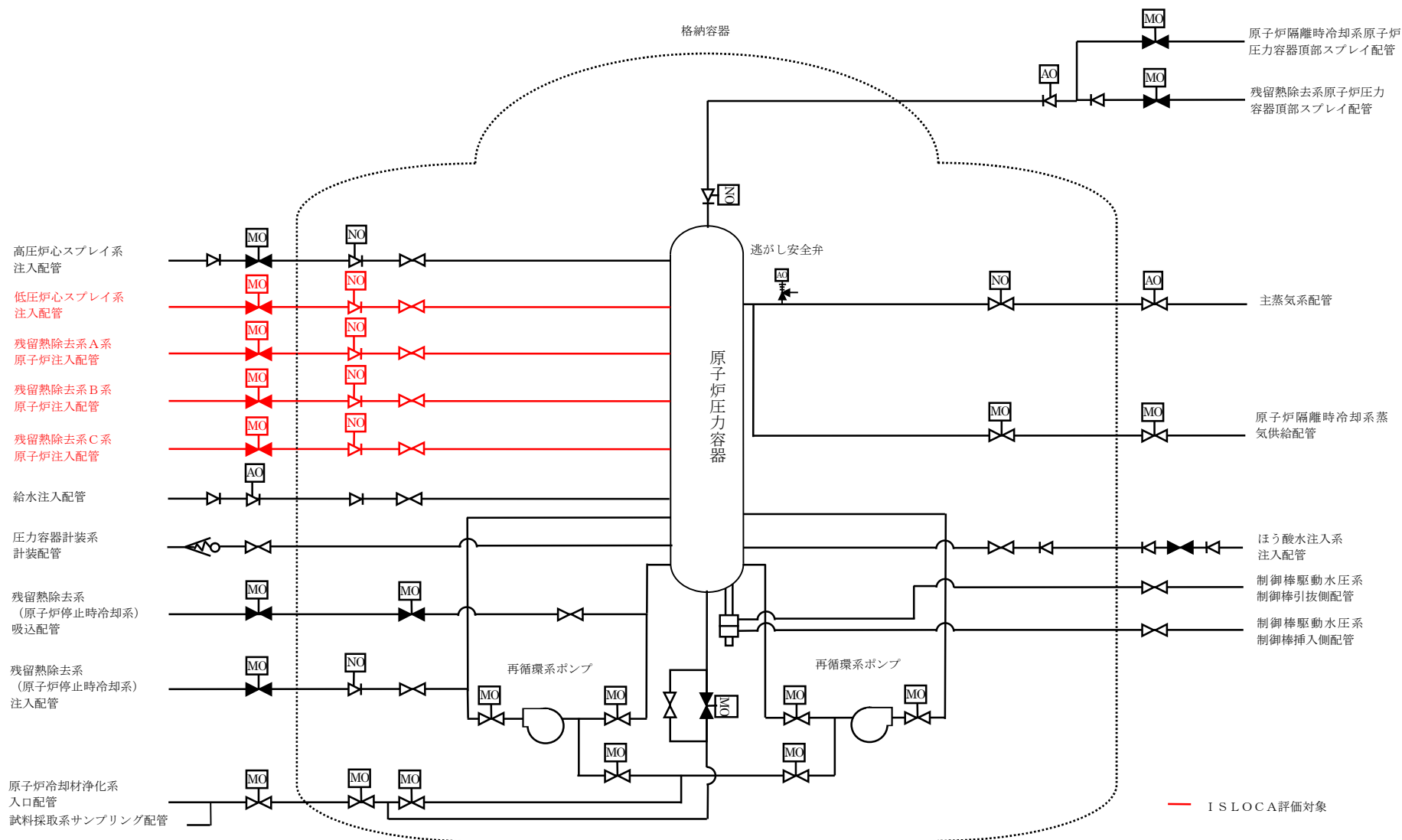


図1 原子炉冷却材圧力バウンダリに接続し格納容器外に敷設されている配管

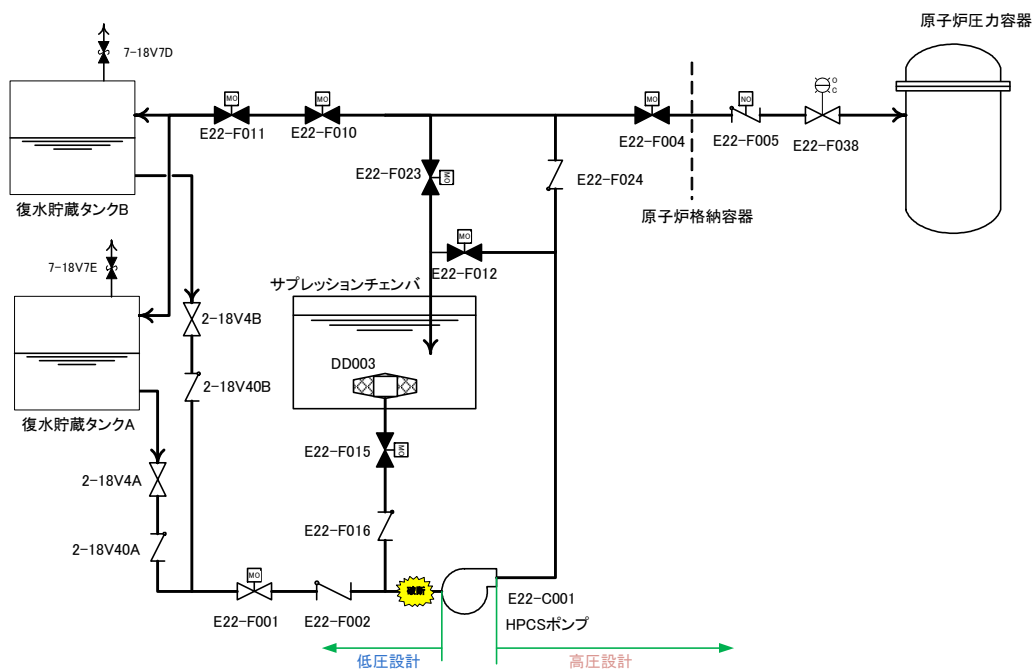


図2 HPCSのISLOCA発生箇所

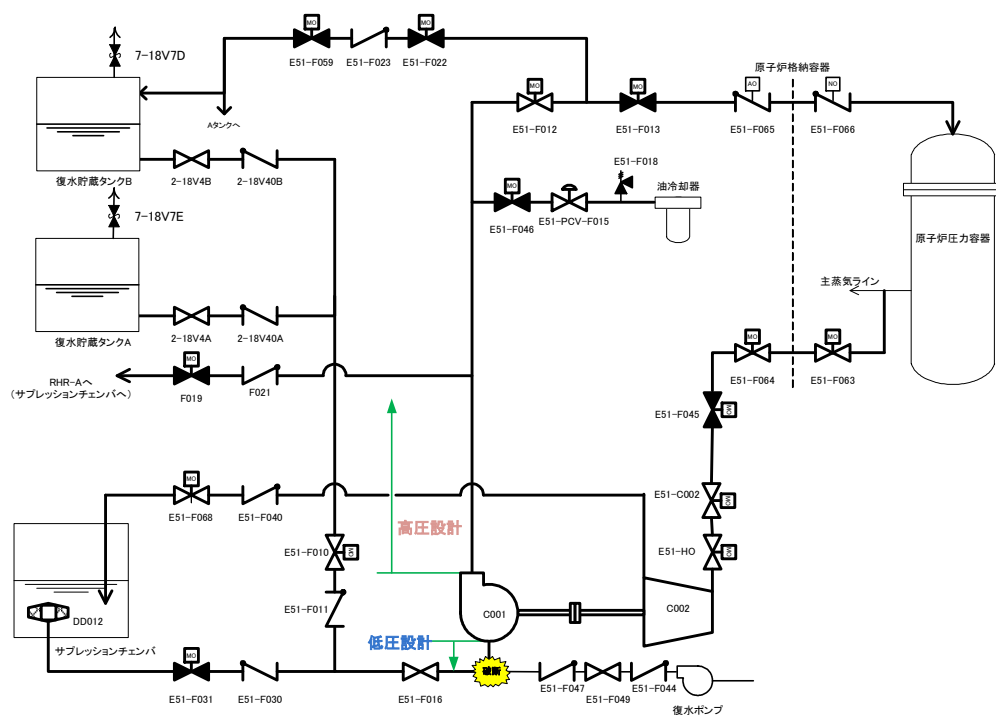


図3 RCICのISLOCA発生箇所

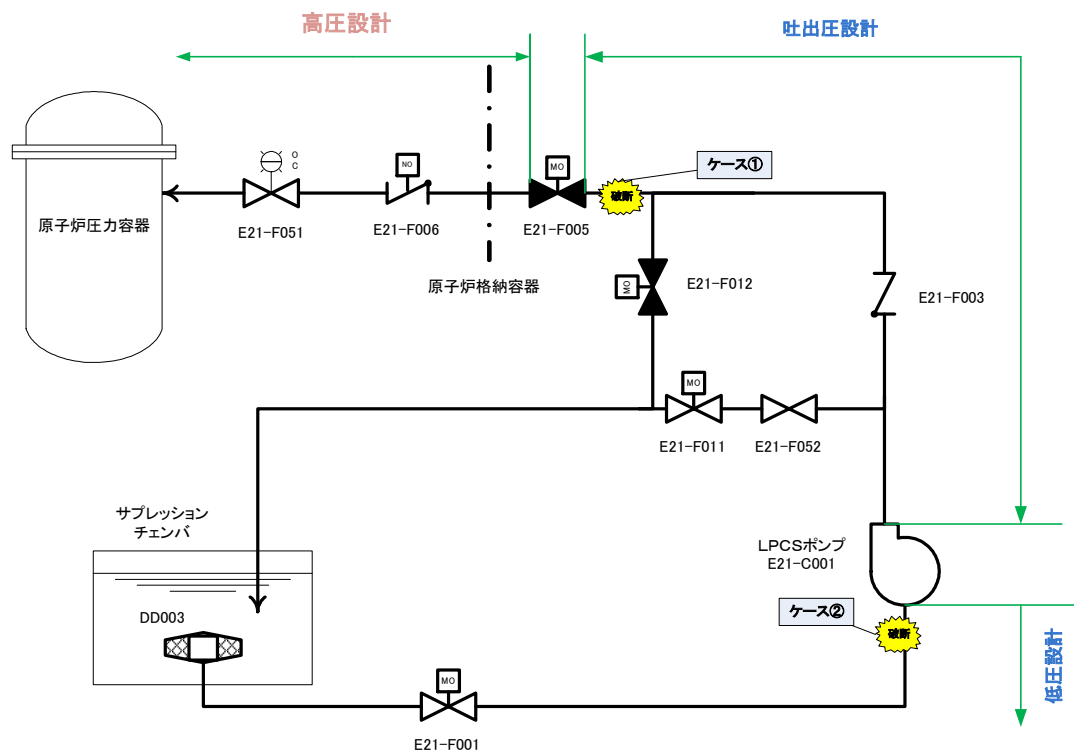


図4 LPCSのISLOCA発生箇所

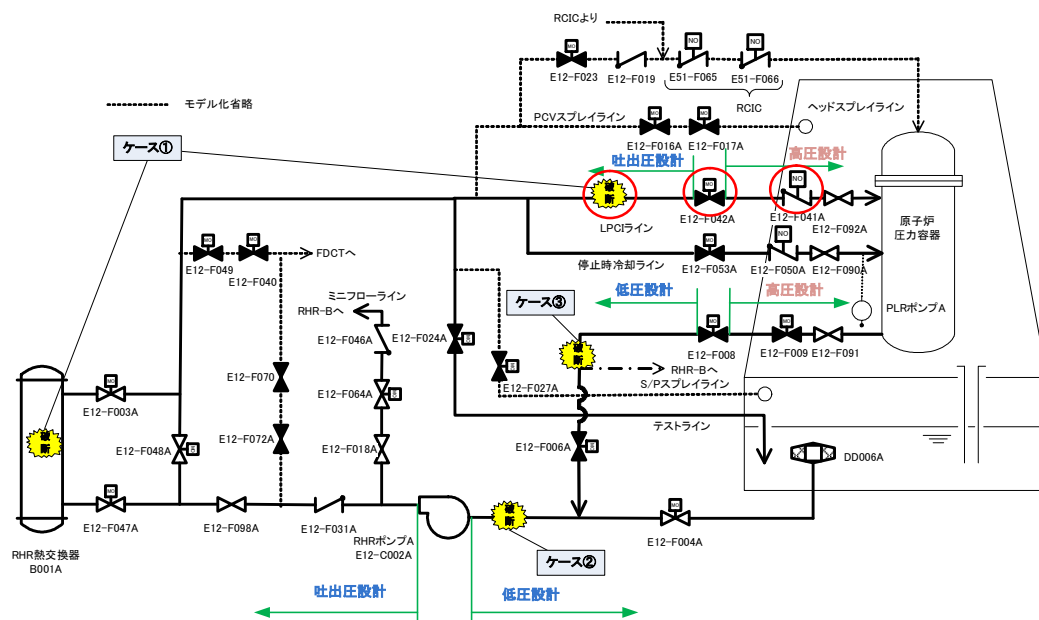


図5 RHR-A(B)のISLOCA発生箇所

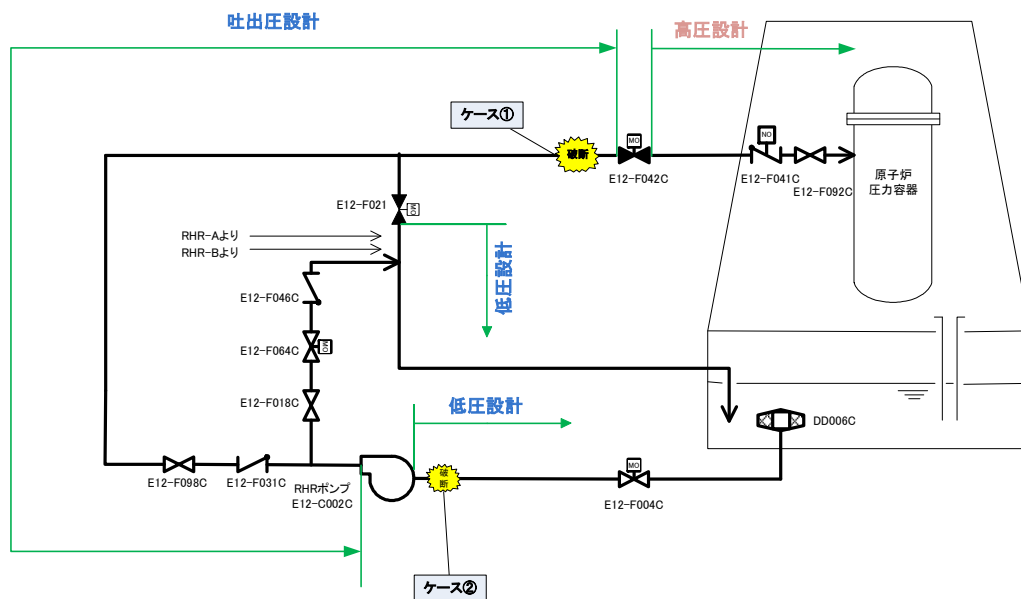


図 6 RHR-CのISLOCA発生箇所

起因事象発生頻度のエラーファクタの設定について

エラーファクタ（E F）を設定するパラメータは，起因事象発生頻度，機器故障率，ヒューマンエラー発生頻度などがある。そのうち，LOCAとISLOCAを除いた起因事象の発生頻度については，先行PRAの知見を参考に一律でE F = 3と設定している。本PRAにおける起因事象発生頻度のE Fの設定の考え方を以下に示す。

(1) 先行PRAの知見

① WASH-1400

WASH-1400では，起因事象発生頻度のE Fの考え方については言及されていないが，機器故障率に対する不確かさの因子（上限値と下限値のバラツキの桁数）として10（E F = 3 相当）又は100（E F = 10 相当），特に不確かさの大きいと考えられるものについては1,000（E F = 30 相当）を使用すると記載されている。

② NUREG/CR-4550

NUREG/CR-4550^[1]では，起因事象の種別や発生頻度の大きさに係らず，全ての起因事象についてE F = 3 と設定されている（表1）。

(2) 感度解析の実施

上記のとおり，本PRAにおいては基本的にE F = 3 と設定しているが，発生実績の無い起因事象については，不確かさが大きいことも考えられることから，E F を変更した場合の感度解析を実施し，影響を確認した。

① 対象とした起因事象

発生実績が無く，発生件数を0.5件と仮定している以下の起因事象を対象とす

る。

- ・ 逃がし安全弁誤開放
- ・ 残留熱除去系海水系故障
- ・ 交流電源故障
- ・ タービン・サポート系故障
- ・ 直流電源故障

② 感度解析結果

E F = 10 とした場合の感度解析結果を表 2 に示す。E F を変更した起因事象について C D F 平均値に大きな変化はなく、結果として全 C D F の平均値について変化はない。また、全 C D F の E F についても大きな変化はない。

この結果は、今回の P R A では発生実績のある発生頻度が高い非隔離事象の寄与が支配的になっていることによるものである。

参考文献

- [1] Analysis of Core Damage Frequency From Internal Events: Methodology Guidelines (NUREG/CR-4550)

表 1 NUREG/CR-4550 TableⅧ. 1-1 抜粋

| 起因事象 | 起因事象 発生頻度(／年) | A S E P※の 平均値(／年) | E F |
|--------------------------|------------------|--------------------------|-----|
| 直流母線喪失による過渡事象 | 5E-4 to 6E-2 | 5E-3 | 3 |
| 交流母線喪失による過渡事象 | 9E-4 to 6E-2 | 5E-3 | 3 |
| オフサイト電源喪失による過渡事象 | 0.1 to 0.3 | 0.1 | 3 |
| 電力変換系の喪失以外を起因とする 過渡事象 | 3.7 to 7.1 | 4.77(FW 有) 0.56(FW 無) | 3 |
| 電力変換系の喪失を起因とする 過渡事象 | 1.8 to 5.2 | 1.56 | 3 |
| 極小 L O C A | 2E-2 | 3E-2 | 3 |
| 小破断 L O C A | 1.4E-3 | 3E-3 | 3 |
| 中破断 L O C A | 6.7E-4 | 3E-4 | 3 |
| 大破断 L O C A | 2.1E-3 | 1E-4 | 3 |
| 不注意による逃がし弁の開操作 | 0.21 | 1.4E-1 | 3 |

※A S E P : Accident Sequence Evaluation Program

表 2 感度解析結果

| 起因事象 | | 起因事象 発生頻度 (／年) | ベースケース | | | | 感度解析ケース | | | | |
|---|-------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|---------|------|------------------------|-----------------------|---------|------|------|
| | | | 炉心損傷頻度 点推定値 (／年) | 炉心損傷頻度 平均値 (／年) | 寄与割合 | E F | 炉心損傷頻度 点推定値 (／年) | 炉心損傷頻度 平均値 (／年) | 寄与割合 | E F | |
| 過渡事象 | 非隔離事象 | 1.7E-01 | 2.5E-05 | 2.6E-05 | 40.4% | 7.3 | 2.5E-05 | 2.6E-05 | 40.5% | 7.3 | |
| | 隔離事象 | 2.7E-02 | 4.0E-06 | 4.3E-06 | 6.6% | 7.4 | 4.0E-06 | 4.3E-06 | 6.7% | 7.4 | |
| | 全給水喪失 | 1.0E-02 | 1.5E-06 | 1.7E-06 | 2.6% | 7.3 | 1.5E-06 | 1.7E-06 | 2.7% | 7.3 | |
| | 水位低下事象 | 2.7E-02 | 4.0E-06 | 4.6E-06 | 7.1% | 7.4 | 4.0E-06 | 4.6E-06 | 7.1% | 7.4 | |
| | 原子炉緊急停止系誤動作等 | 5.5E-02 | 8.2E-06 | 9.5E-06 | 14.8% | 7.3 | 8.2E-06 | 9.5E-06 | 14.9% | 7.3 | |
| | 逃がし安全弁誤開放 | 1.0E-03 | 1.5E-07 | 1.6E-07 | 0.2% | 7.2 | 1.5E-07 | 1.5E-07 | 0.2% | 17.6 | |
| 外部電源喪失 | 外部電源喪失 | 4.2E-03 | 1.5E-06 | 1.6E-06 | 2.5% | 4.2 | 1.5E-06 | 1.6E-06 | 2.5% | 4.2 | |
| | 計画外停止 | 4.3E-02 | 6.4E-06 | 7.1E-06 | 11.0% | 7.5 | 6.4E-06 | 7.1E-06 | 11.1% | 7.5 | |
| 手動停止／ サポート系喪失（手動停止） | 残留熱除去系海水系故障 | 区分Ⅰ | 7.2E-04 | 1.6E-06 | 1.6E-06 | 2.5% | 4.3 | 1.6E-06 | 1.5E-06 | 2.4% | 11.1 |
| | | 区分Ⅱ | 7.2E-04 | 1.6E-06 | 1.6E-06 | 2.6% | 4.4 | 1.6E-06 | 1.6E-06 | 2.5% | 13.1 |
| サポート系喪失 （自動停止） | 交流電源故障 | 区分Ⅰ | 1.5E-04 | 3.4E-07 | 3.4E-07 | 0.5% | 4.4 | 3.4E-07 | 3.5E-07 | 0.5% | 12.2 |
| | | 区分Ⅱ | 1.5E-04 | 3.4E-07 | 3.6E-07 | 0.6% | 4.4 | 3.4E-07 | 4.1E-07 | 0.6% | 12.7 |
| サポート系喪失 （直流電源故障） | タービン・サポート系故障 | 区分Ⅰ | 7.2E-04 | 1.1E-07 | 1.1E-07 | 0.2% | 7.4 | 1.1E-07 | 1.0E-07 | 0.2% | 17.1 |
| | | 区分Ⅱ | 2.8E-04 | 2.7E-06 | 2.6E-06 | 4.0% | 3.6 | 2.7E-06 | 2.5E-06 | 3.8% | 10.2 |
| L O C A | 大破断 L O C A | 2.0E-05 | 3.0E-09 | 2.4E-09 | <0.1% | 31.2 | 3.0E-09 | 2.4E-09 | <0.1% | 31.2 | |
| | 中破断 L O C A | 2.0E-04 | 3.0E-08 | 2.3E-08 | <0.1% | 28.8 | 3.0E-08 | 2.3E-08 | <0.1% | 28.8 | |
| | 小破断 L O C A | 3.0E-04 | 4.5E-08 | 4.4E-08 | <0.1% | 16.8 | 4.5E-08 | 4.4E-08 | <0.1% | 16.8 | |
| インターフェイスシステム L O C A | インターフェイスシステム L O C A | 8.3E-10 | 4.8E-10 | 8.3E-10 | <0.1% | 19.6 | 4.8E-10 | 8.3E-10 | <0.1% | 19.6 | |
| | 合計 | | 6.1E-05 | 6.4E-05 | 100.0% | 3.8 | 6.1E-05 | 6.4E-05 | 100.0% | 4.2 | |
| ：発生実績が無く、発生件数を0.5件と仮定している起因事象として、EFを10に変更したもの | | | | | | | | | | | |

※発生実績が無く、発生件数を0.5件と仮定している起因事象として、EFを10に変更したものの

成功基準解析及び事故進展解析について

(1) 成功基準解析及び事故進展解析の解析条件

成功基準解析の要件として、一般社団法人 日本原子力学会が発行した「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2008」（以下「レベル 1 標準」という。）において、次のとおり記載されている。

6.1.4 熱水力解析・構造解析による成功基準の同定

起因事象のグループ化と事故シーケンスのモデル化との詳細さのバランスを考慮し、熱水力解析又は構造解析を用いて成功基準を同定する。成功基準の設定に用いる熱水力解析や構造解析では、対象とする事故シナリオを精度よく解析することが確証・検証されている解析コードによって、当該プラントの状態に対応したモデルや入力データを用いて実施する。熱水力解析又は構造解析は最確推定を原則とする。ただし、PSAの目的によっては保守的なモデルやデータを用いた解析を用いることもできる。原子炉設置許可申請書や同型プラントに関するPSAにおいて、当該プラントに適用することが可能な成功基準がある場合にはこれを用いてもよい。

本PRAでは、炉心冷却機能に係る成功基準は、SAFERコードを用いて実施した成功基準解析結果を踏まえて設定している。この成功基準解析条件と、原子炉設置変更許可申請書の添付書類十において同コードを用いて実施している原子炉冷却材喪失に関する解析条件との比較を表1に示す。

表1に示すとおり、成功基準解析では、プラント初期パラメータについては定格値又は定格値の105%、ECCS等の流量については安全解析使用値を用いており、レベル1標準の要件を満足している。

また、事故進展解析については、表 2 に示すとおり、最確値の解析条件により M A A P コードを用いて解析を行っており、レベル 1 標準の要件を満足している。

(2) 成功基準解析結果

L O C A 時の炉心冷却機能に係る成功基準解析結果を表 3～5 に示す。なお、小破断 L O C A を対象とした成功基準解析については、E C C S については中破断 L O C A の解析結果で包含できるため、原子炉隔離時冷却系に対してのみ実施している。

成功基準解析の結果、大破断 L O C A 及び中破断 L O C A については、E C C S が自動起動して炉心を冷却することにより、燃料被覆管の最高温度が 1,200℃未満であり、かつ燃料被覆管の酸化割合は 15%を下回っていることを確認した。

小破断 L O C A については、原子炉水位の低下により原子炉隔離時冷却系が自動起動し、燃料は冠水が維持されることから、燃料被覆管の最高温度は初期温度、かつ燃料被覆管の酸化割合は増加しないことを確認した。また、事象発生後 30 分で原子炉隔離時冷却系を手動起動した場合においては、燃料被覆管の最高温度が 1,200℃未満であり、かつ燃料被覆管の酸化割合は 15%を下回っていることを確認した。

過渡事象については、原子炉水位低下の観点から事象進展が厳しくなる「給水流量の全喪失」を起因とし、事象発生後 30 分で逃がし安全弁数 1 個を手動開とした場合に、低圧炉心スプレイ系又は低圧注水系のいずれか 1 系統による原子炉注水を実施した場合の成功基準解析を実施した。その結果を表 6 及び図 1 に示す。成功基準解析の結果、燃料被覆管の最高温度が 1,200℃未満であり、かつ燃料被覆管の酸化割合は 15%を下回っていることを確認した。

表 1 成功基準解析条件と設置変更許可申請書添付資料十の解析条件の比較

| 項 目 | 成功基準解析条件 | 添付書類十における原子炉冷却材喪失に関する解析条件 |
|-----------------|--|---|
| 原子炉熱出力 | 3,458MW (定格出力の約 105%) | 3,440MW (主蒸気流量約 105%時の出力) |
| 原子炉ドーム圧力 | 6.93MPa[gage] (定格出力時の原子炉ドーム圧力) | 7.17MPa[gage] (主蒸気流量約 105%時の原子炉ドーム圧力) |
| 炉心流量 | $48.3 \times 10^3 \text{ t/h}$ (定格流量) | $50.7 \times 10^3 \text{ t/h}$ (定格流量の約 105%) |
| 原子炉初期水位 | 通常運転水位 | スクラム水位 |
| スクラム信号 | 原子炉水位低 (L3) スクラム | 同左 |
| 崩壊熱 | ANSI/ANS-5.1-1979 (平均) | G E (平均) + 3 σ |
| 燃料 | 9×9 燃料 (A 型) | 同左 |
| 燃料棒最大線出力密度 | 44.0kW/m (通常運転時の制限値) | 44.0kW/m×1.02 |
| 逃がし安全弁設定圧 | 逃がし弁機能を仮定 第 1 段 7.37MPa[gage]×2 個 第 2 段 7.44MPa[gage]×4 個 第 3 段 7.51MPa[gage]×4 個 第 4 段 7.58MPa[gage]×4 個 第 5 段 7.65MPa[gage]×4 個 | 安全弁機能を仮定 第 1 段 7.79MPa[gage]×2 個 第 2 段 8.10MPa[gage]×4 個 第 3 段 8.17MPa[gage]×4 個 第 4 段 8.24MPa[gage]×4 個 第 5 段 8.31MPa[gage]×4 個 |
| 逃がし安全弁, 自動減圧系容量 | 390t/h (1 個当たり) (7.37MPa[gage]において) | 426t/h (1 個当たり) (7.79MPa[gage]において) |
| 高圧炉心スプレイ系流量 | $1,419 \text{ m}^3/\text{h}$ (1.38MPa[gage]において) | 同左 |
| 低圧炉心スプレイ系流量 | $1,419 \text{ m}^3/\text{h}$ (0.84MPa[gage]において) | 同左 |
| 低圧注水系流量 | $1,605 \text{ m}^3/\text{h}$ (ポンプ 1 台当たり, 0.14MPa[gage]において) | 同左 |
| 原子炉隔離時冷却系流量 | $136 \text{ m}^3/\text{h}$ (7.86 MPa[gage]～1.04MPa[gage]において) | 考慮していない |

表 2 事故進展解析の主要解析条件

| 項 目 | 解析条件 | 備 考 |
|---------------|---|-------------|
| 原子炉熱出力 | 3,293MW | 定格出力 |
| 原子炉ドーム圧力 | 6.93MPa[gage] | 定格圧力 |
| 原子炉初期水位 | 通常運転水位 | |
| 格納容器空間容積 | ドライウェル：5,700m ³ ウェットウェル：4,100m ³ | |
| サプレッション・プール水量 | 3,400m ³ | |
| コンクリート組成 | 珪酸系コンクリート | 融点は 1,500K |
| 崩壊熱 | ANSI/ANS-5.1-1979（平均） | |
| 炉心損傷温度 | 1,500K | |
| 炉心溶融温度 | 2,500K | |
| 格納容器破損圧力 | 0.62MPa[gage] | 最高使用圧力の 2 倍 |

表 3 大破断 L O C A 時の成功基準解析結果（破断面積：約 0.29m²）

| 炉心冷却機能に係る緩和設備※ ¹ | 燃料被覆管の 表面温度 | 燃料被覆管の 酸化割合 |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| 高压炉心スプレイ系 | 532℃ | 0.1% |
| 低压炉心スプレイ系 | 530℃ | 0.1% |
| 低压注水系 | 599℃ | 0.1% |

※ 1：自動起動を仮定

表 4 中破断 L O C A 時の成功基準解析結果（破断面積：約 93cm²）

| 炉心冷却機能に係る緩和設備※ ¹ | 燃料被覆管の 表面温度 | 燃料被覆管の 酸化割合 |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| 高压炉心スプレイ系 | 402℃ | 0.1% |
| 自動減圧系＋低压炉心スプレイ系 | 421℃ | 0.1% |
| 自動減圧系＋低压注水系 | 525℃ | 0.1% |

※ 1：自動起動を仮定

表 5 小破断 L O C A 時の成功基準解析結果（破断面積：約 9.3cm²）

| 炉心冷却機能に係る緩和設備 | 燃料被覆管の 表面温度 | 燃料被覆管の 酸化割合 |
|-------------------------|----------------|----------------|
| 原子炉隔離時冷却系※ ¹ | 初期温度 | 増加なし |
| 原子炉隔離時冷却系※ ² | 1,038℃ | 3% |

※ 1：自動起動を仮定 ※ 2：事象発生後 30 分での手動起動を仮定

表 6 過渡事象に対する成功基準解析結果（給水流量の全喪失）

| 炉心冷却機能に係る緩和設備※ ¹ | 燃料被覆管の 表面温度 | 燃料被覆管の 酸化割合 |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| 逃がし安全弁（1 個） ＋低压炉心スプレイ系 | 1,032℃ | 8% |
| 逃がし安全弁（1 個） ＋低压注水系 | 1,149℃ | 11% |

※ 1：事象発生後 30 分での手動起動を仮定

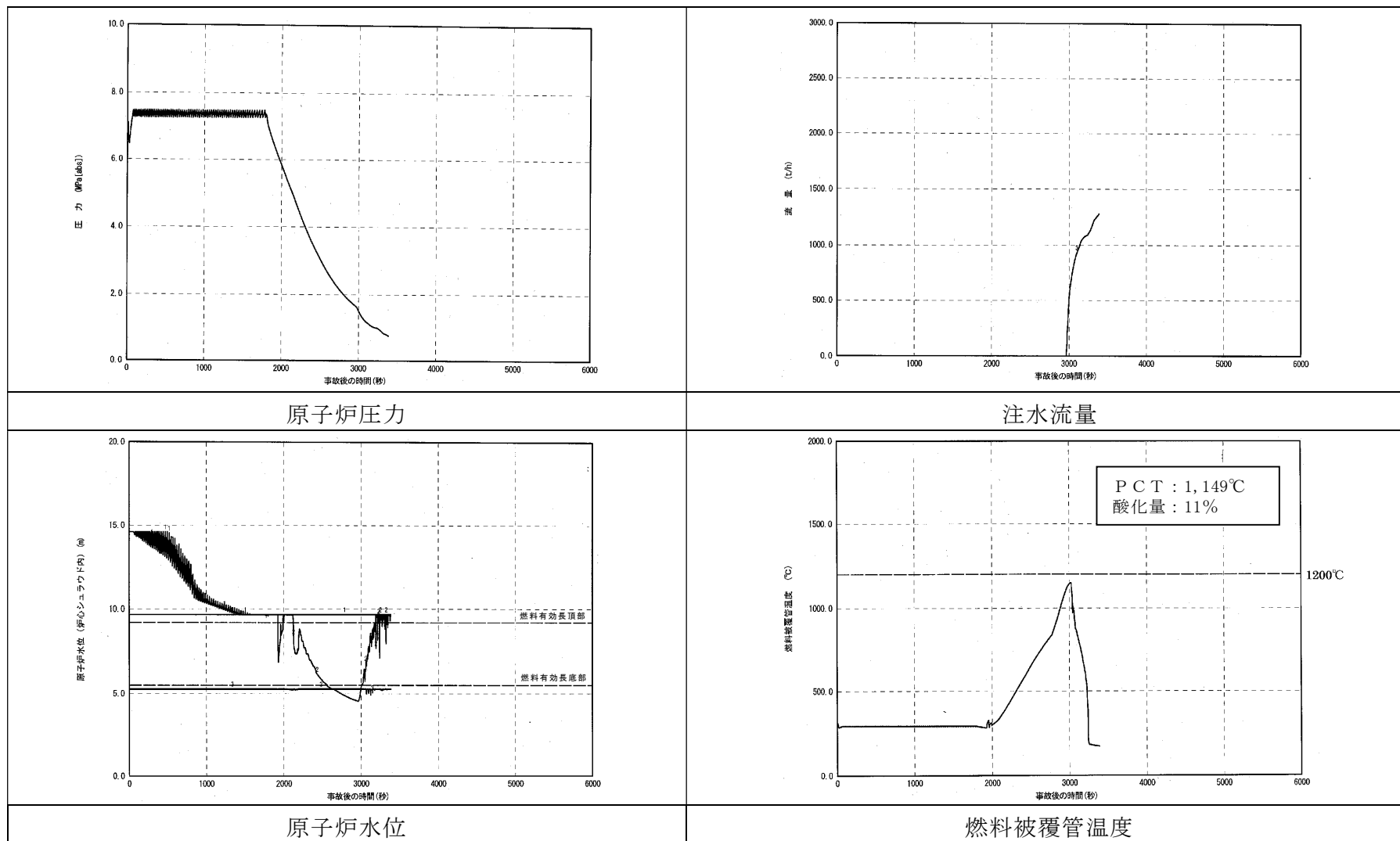


図1 成功基準解析の評価結果（全給水喪失，事象発生 30 分後 逃がし安全弁（1 個）＋低压注水系）

成功基準における余裕時間の設定について

(1) 本PRAで使用する解析コードについて

本PRAでは、MAAPコード及びSAFERコードを用いた事故進展解析及び成功基準解析を実施している。

MAAPコードは、格納容器応答も含めたシビアアクシデント時の事故進展を総合的に評価することができる解析コードである。一方、SAFERコードは、従来から許認可において使用実績のある保守的な解析コードであるが、燃料被覆管温度、酸化量等の評価に特化したコードであり、格納容器応答を評価する機能を持たない。

(2) MAAPコードとSAFERコードの使い分けについて

今回のPRAにおいてはレベル1.5PRAも含めた評価を実施するため、格納容器応答も含めた事故進展解析をMAAPコードにより実施している。一方、それぞれのコードの特徴を踏まえ、炉心冷却に対する成功基準における余裕時間は、MAAPコードによる事故進展解析における炉心損傷時間に余裕をみた時間で設定し、その時間で原子炉注水を実施した場合に炉心損傷を防止できることをSAFERコードにより確認している。炉心冷却に対する成功基準における余裕時間設定の流れを図1に示す。

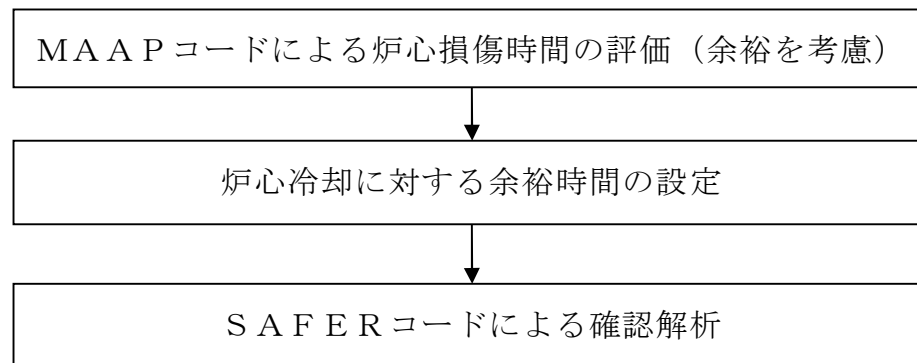


図1 炉心冷却に対する成功基準における余裕時間設定の流れ

内部事象出力運転時レベル 1 P R A

イベントツリー集

目 次

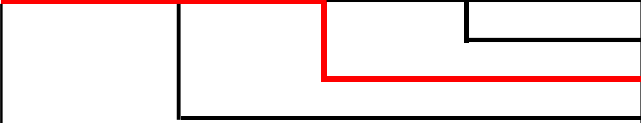
- 図 1-1 非隔離事象に対するイベントツリー
- 図 1-2 非隔離事象 A T W S に対するイベントツリー
- 図 2-1 隔離事象に対するイベントツリー
- 図 2-2 隔離事象 A T W S に対するイベントツリー
- 図 3-1 全給水喪失事象に対するイベントツリー
- 図 3-2 全給水喪失事象 A T W S に対するイベントツリー
- 図 4-1 水位低下事象に対するイベントツリー
- 図 4-2 水位低下事象 A T W S に対するイベントツリー
- 図 5 原子炉緊急停止系誤動作等に対するイベントツリー
- 図 6-1 外部電源喪失事象に対するイベントツリー
- 図 6-2 外部電源喪失事象（D G - 2 C， 2 D 成功）に対するイベントツリー
- 図 6-3 外部電源喪失事象（D G - 2 C 成功， 2 D 失敗）に対する
イベントツリー
- 図 6-4 外部電源喪失事象（D G - 2 C 失敗， 2 D 成功）に対する
イベントツリー
- 図 6-5 外部電源喪失事象（D G - 2 C， 2 D 失敗）に対する
イベントツリー
- 図 6-6 外部電源喪失事象（直流電源喪失）に対するイベントツリー
- 図 6-7 外部電源喪失事象 A T W S に対するイベントツリー
- 図 7-1 逃がし安全弁誤開放に対するイベントツリー
- 図 7-2 逃がし安全弁誤開放 A T W S に対するイベントツリー
- 図 8-1 大破断 L O C A に対するイベントツリー

- 図 8-2 大破断 L O C A A T W S に対するイベントツリー
- 図 9-1 中破断 L O C A に対するイベントツリー
- 図 9-2 中破断 L O C A A T W S に対するイベントツリー
- 図 10-1 小破断 L O C A に対するイベントツリー
- 図 10-2 小破断 L O C A A T W S に対するイベントツリー
- 図 11 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅰ）に対するイベントツリー
- 図 12 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅱ）に対するイベントツリー
- 図 13 交流電源故障（区分Ⅰ）に対するイベントツリー
- 図 14-1 交流電源故障（区分Ⅱ）に対するイベントツリー
- 図 14-2 交流電源故障（区分Ⅱ） A T W S に対するイベントツリー
- 図 15-1 直流電源故障（区分Ⅰ）に対するイベントツリー
- 図 15-2 直流電源故障（区分Ⅰ） A T W S に対するイベントツリー
- 図 16-1 直流電源故障（区分Ⅱ）に対するイベントツリー
- 図 16-2 直流電源故障（区分Ⅱ） A T W S に対するイベントツリー
- 図 17-1 タービン・サポート系故障に対するイベントツリー
- 図 17-2 タービン・サポート系故障 A T W S に対するイベントツリー
- 図 18 計画外停止に対するイベントツリー
- 図 19 インターフェイスシステム L O C A に対するイベントツリー

| 非隔離事象 | メンテナンス | スクラム系 | S/R弁開放 | S/R弁再閉鎖 | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-A | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (/炉年) | 備考 |
|-------|--------|-------|--------|---------|------|------|-------|--------|------|--------|--------|-------|-------|-----|------|---------------|----|
| T1 | MN | C | M | P | UH | UR | X1 | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 1 | - | 1.7E-01 | ※1 |
| | | | | | | | | | | | | | | 2 | - | 3.9E-04 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 3 | TW | 2.5E-05 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 4 | - | 4.2E-04 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 5 | - | 9.6E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 6 | TW | 6.2E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 7 | - | 1.4E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 8 | - | 3.3E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 9 | TW | 1.5E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 10 | - | 3.1E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 11 | - | 7.1E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 12 | TW | 1.5E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 13 | - | 6.3E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 14 | - | 1.5E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 15 | TW | 7.8E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 16 | - | 1.4E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 17 | - | 3.2E-17 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 18 | TW | 2.3E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 19 | TQUV | 3.7E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 20 | TQUX | 4.8E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 21 | - | 8.8E-04 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 22 | - | 2.0E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 23 | TW | 1.3E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 24 | - | 2.6E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 25 | - | 6.1E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 26 | TW | 3.0E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 27 | - | 5.8E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 28 | - | 1.3E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 29 | TW | 2.9E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 30 | - | 1.2E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 31 | - | 2.7E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 32 | TW | 8.3E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 33 | - | 2.6E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 34 | - | 5.9E-17 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 35 | TW | 2.4E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 36 | TQUV | 6.7E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 37 | - | 1.7E-21 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 38 | - | 1.7E-21 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 39 | - | 1.4E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 合計値 | 2.5E-05 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス及び事故シーケンスグループ別のドミナントシーケンス

図 1-1 非隔離事象に対するイベントツリー

| 非隔離事象 ATWS | メンテナ ス | 電気系 | 機械系 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|--|-----------|-----|-----|-----|------|---------------|----|
| T1 | MN | CE | CM | | | | |
|  | | | | 1 | - | 1.7E-01 | ※1 |
| | | | | 2 | TC | 5.8E-12 | |
| | | | | 3 | TC | 1.8E-08 | |
| | | | | 4 | - | 1.4E-06 | |
| | | | | | 合計値 | 1.8E-08 | |

※1 事故シーケンスグループ別のドミナントシーケンス

図 1-2 非隔離事象 A T W S に対するイベントツリー

| 隔離事象 | メンテナンス | スクラム系 | S/R弁開放 | S/R弁再閉鎖 | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-A | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／年) | 備考 |
|------|--------|-------|--------|---------|------|------|-------|--------|------|--------|--------|-------|-------|-----|------|--------------|----|
| T2 | MN | C | M | P | UH | UR | X1 | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 1 | - | 2.7E-02 | ※1 |
| | | | | | | | | | | | | | | 2 | - | 6.1E-05 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 3 | TW | 4.0E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 4 | - | 6.6E-05 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 5 | - | 1.5E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 6 | TW | 9.9E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 7 | - | 2.2E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 8 | - | 5.3E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 9 | TW | 2.4E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 10 | - | 4.9E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 11 | - | 1.1E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 12 | TW | 2.4E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 13 | - | 1.0E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 14 | - | 2.3E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 15 | TW | 1.2E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 16 | - | 2.2E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 17 | - | 5.1E-18 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 18 | TW | 3.6E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 19 | TQUV | 5.9E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 20 | TQUX | 7.6E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 21 | - | 1.4E-04 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 22 | - | 3.2E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 23 | TW | 2.1E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 24 | - | 4.2E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 25 | - | 9.7E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 26 | TW | 4.7E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 27 | - | 9.2E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 28 | - | 2.1E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 29 | TW | 4.6E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 30 | - | 1.9E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 31 | - | 4.3E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 32 | TW | 1.3E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 33 | - | 4.1E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 34 | - | 9.4E-18 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 35 | TW | 3.8E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 36 | TQUV | 1.1E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 37 | - | 2.7E-22 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 38 | - | 2.7E-22 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 39 | - | 2.3E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 合計値 | 4.0E-06 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

図 2-1 隔離事象に対するイベントツリー

| 隔離事象 ATWS | メンテナ ンス | 電気系 | 機械系 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|--------------|------------|-----|-----|-----|------|---------------|----|
| T2 | MN | CE | CM | | | | |
| | | | | 1 | － | 2.7E-02 | |
| | | | | 2 | TC | 9.2E-13 | |
| | | | | 3 | TC | 2.9E-09 | |
| | | | | 4 | － | 2.3E-07 | |
| | | | | | 合計値 | 2.9E-09 | |

図 2-2 隔離事象ATWSに対するイベントツリー

| 全給水喪失事象 | メンテナンス | スクラム系 | S/R弁開放 | S/R弁再閉鎖 | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-A | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|---------|--------|-------|--------|---------|------|------|-------|--------|------|--------|--------|-------|-------|-----|------|---------------|----|
| T3 | MN | C | M | P | UH | UR | X1 | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 1 | - | 9.9E-03 | ※1 |
| | | | | | | | | | | | | | | 2 | - | 2.3E-05 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 3 | TW | 1.5E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 4 | - | 2.5E-05 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 5 | - | 5.6E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 6 | TW | 3.7E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 7 | - | 8.3E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 8 | - | 1.9E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 9 | TW | 9.0E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 10 | - | 1.8E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 11 | - | 4.2E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 12 | TW | 8.9E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 13 | - | 3.7E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 14 | - | 8.5E-16 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 15 | TW | 4.6E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 16 | - | 8.2E-16 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 17 | - | 1.9E-18 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 18 | TW | 1.3E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 19 | TQUV | 2.2E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 20 | TQUX | 2.8E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 21 | - | 5.2E-05 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 22 | - | 1.2E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 23 | TW | 7.7E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 24 | - | 1.5E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 25 | - | 3.6E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 26 | TW | 1.7E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 27 | - | 3.4E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 28 | - | 7.8E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 29 | TW | 1.7E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 30 | - | 6.9E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 31 | - | 1.6E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 32 | TW | 4.9E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 33 | - | 1.5E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 34 | - | 3.5E-18 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 35 | TW | 1.4E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 36 | TQUV | 4.0E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 37 | - | 1.0E-22 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 38 | - | 1.0E-22 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 39 | - | 8.4E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 合計値 | 1.5E-06 | |

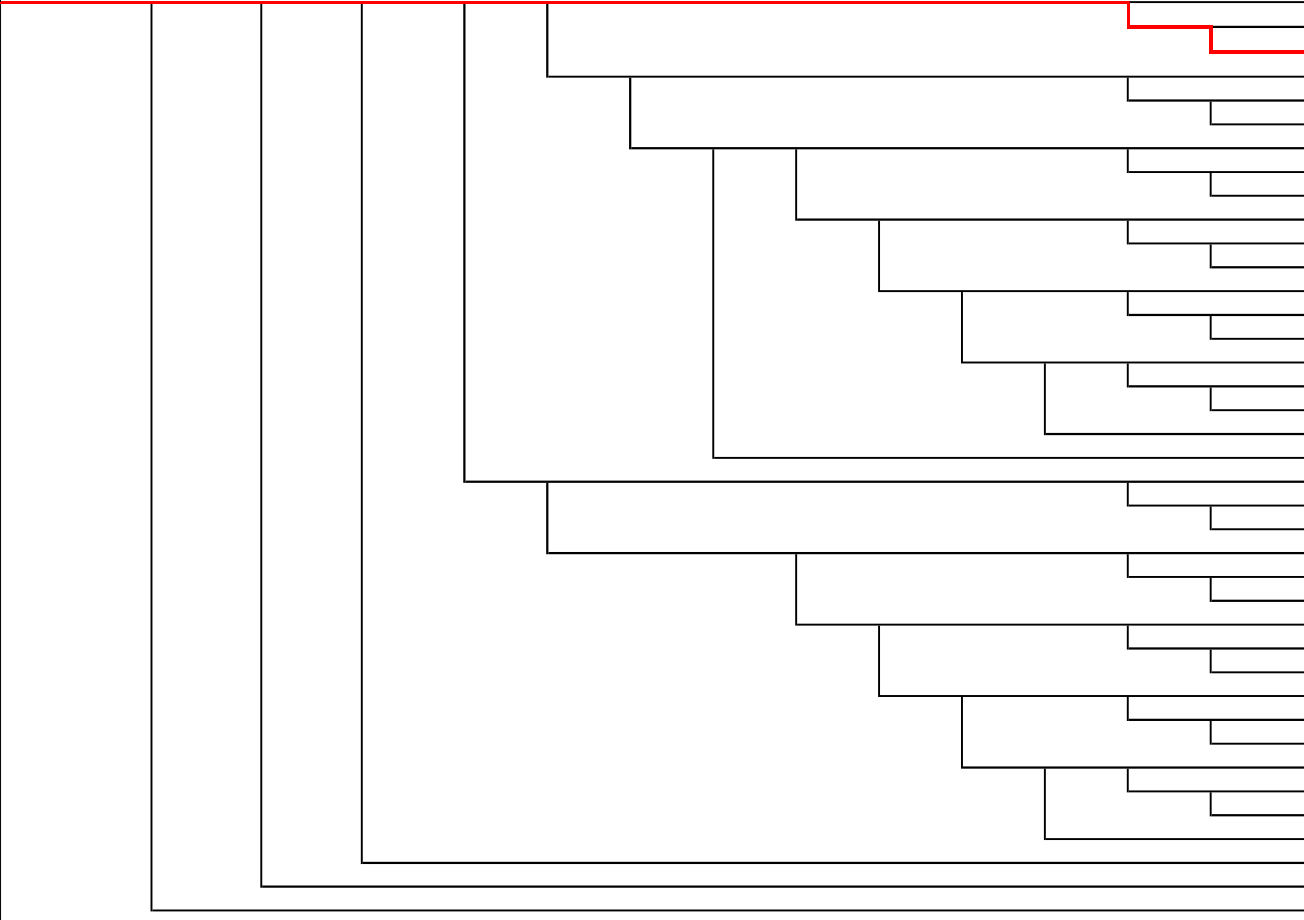
※1 起回事象別のドミナントシーケンス

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

図 3-1 全給水喪失事象に対するイベントツリー

| 全給水喪失 ATWS | メンテナンス | 電気系 | 機械系 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|---------------|--------|-----|-----|-----|------|---------------|----|
| T3 | MN | CE | CM | | | | |
| | | | | 1 | － | 1.0E-02 | |
| | | | | 2 | TC | 3.4E-13 | |
| | | | | 3 | TC | 1.1E-09 | |
| | | | | 4 | － | 8.4E-08 | |
| | | | | | 合計値 | 1.1E-09 | |

図 3-2 全給水喪失事象 A T W S に対するイベントツリー

| 水位低下事象 | メンテナンス | スクラム系 | S/R弁開放 | S/R弁再閉鎖 | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-A | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|---|--------|-------|--------|---------|------|------|-------|--------|------|--------|--------|-------|-------|-----|------|---------------|----|
| T4 | MN | C | M | P | UH | UR | X1 | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | 1 | - | 2.7E-02 | ※1 |
| | | | | | | | | | | | | | | 2 | - | 6.1E-05 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 3 | TW | 4.0E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 4 | - | 6.6E-05 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 5 | - | 1.5E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 6 | TW | 9.9E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 7 | - | 2.2E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 8 | - | 5.3E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 9 | TW | 2.4E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 10 | - | 4.9E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 11 | - | 1.1E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 12 | TW | 2.4E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 13 | - | 1.0E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 14 | - | 2.3E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 15 | TW | 1.2E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 16 | - | 2.2E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 17 | - | 5.1E-18 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 18 | TW | 3.6E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 19 | TQUV | 5.9E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 20 | TQUX | 7.6E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 21 | - | 1.4E-04 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 22 | - | 3.2E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 23 | TW | 2.1E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 24 | - | 4.2E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 25 | - | 9.7E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 26 | TW | 4.7E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 27 | - | 9.2E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 28 | - | 2.1E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 29 | TW | 4.6E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 30 | - | 1.9E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 31 | - | 4.3E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 32 | TW | 1.3E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 33 | - | 4.1E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 34 | - | 9.4E-18 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 35 | TW | 3.8E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 36 | TQUV | 1.1E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 37 | - | 2.7E-22 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 38 | - | 2.7E-22 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 39 | - | 2.3E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 合計値 | 4.0E-06 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

図 4-1 水位低下事象に対するイベントツリー

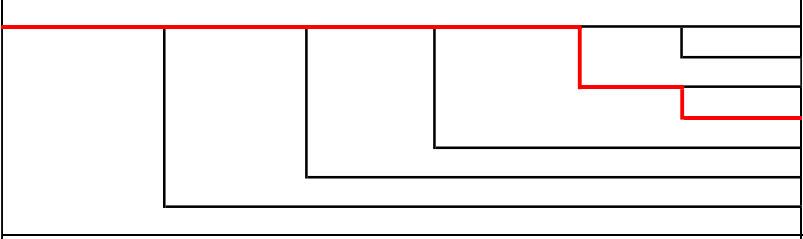
| 水位低下 ATWS | メンテナンス | 電気系 | 機械系 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|--------------|--------|-----|-----|-----|------|---------------|----|
| T4 | MN | CE | CM | | | | |
| | | | | 1 | － | 2.7E-02 | |
| | | | | 2 | TC | 9.2E-13 | |
| | | | | 3 | TC | 2.9E-09 | |
| | | | | 4 | － | 2.3E-07 | |
| | | | | | 合計値 | 2.9E-09 | |

図 4-2 水位低下事象ATWSに対するイベントツリー

| RPS誤動作等 | メンテナンス | S/R弁開放 | S/R弁閉鎖 | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-A | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (/炉年) | 備考 |
|---------|--------|--------|--------|------|------|-------|--------|------|--------|--------|-------|-------|-----|------|---------------|----|
| T5 | MN | M | P | UH | UR | X1 | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 1 | - | 5.4E-02 | ※1 |
| | | | | | | | | | | | | | 2 | - | 1.2E-04 | |
| | | | | | | | | | | | | | 3 | TW | 8.1E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | | 4 | - | 1.4E-04 | |
| | | | | | | | | | | | | | 5 | - | 3.1E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | 6 | TW | 2.0E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | | 7 | - | 4.6E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | 8 | - | 1.1E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | 9 | TW | 5.0E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | 10 | - | 1.0E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | 11 | - | 2.3E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | 12 | TW | 4.9E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | 13 | - | 2.0E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | 14 | - | 4.7E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | 15 | TW | 2.5E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | 16 | - | 4.5E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | 17 | - | 1.0E-17 | |
| | | | | | | | | | | | | | 18 | TW | 7.4E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | 19 | TQUV | 1.2E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | 20 | TQUX | 1.6E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | 21 | - | 2.8E-04 | |
| | | | | | | | | | | | | | 22 | - | 6.5E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | 23 | TW | 4.2E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | | 24 | - | 8.5E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | 25 | - | 2.0E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | 26 | TW | 9.6E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | 27 | - | 1.9E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | 28 | - | 4.3E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | 29 | TW | 9.4E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | 30 | - | 3.8E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | 31 | - | 8.7E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | 32 | TW | 2.7E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | 33 | - | 8.4E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | 34 | - | 1.9E-17 | |
| | | | | | | | | | | | | | 35 | TW | 7.6E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | 36 | TQUV | 2.2E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | 37 | - | 5.5E-22 | |
| | | | | | | | | | | | | | 38 | - | 4.6E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 合計値 | 8.2E-06 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

図 5 原子炉緊急停止系誤動作等に対するイベントツリー

| 外部電源喪失 | メンテナンス | スクラム系 | 直流125V 電源喪失 | D/G-2C | D/G-2D | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|--|--------|-------|----------------|--------|--------|---------|---------------------|---------------|----|
| T6 | MN | C | DC | B1 | B2 | | | | |
|  | | | | | | 1 - 37 | TE1(D/G-2C,2D成功)へ | - | ※1 |
| | | | | | | 38 - 55 | TE2(D/G-2C成功,2D失敗)へ | - | |
| | | | | | | 56 - 71 | TE3(D/G-2C失敗,2D成功)へ | - | |
| | | | | | | 72 - 77 | TE4(D/G-2C,2D失敗)へ | - | |
| | | | | | | 78 - 82 | TE5(直流125V電源喪失)へ | - | |
| | | | | | | 83 | - | 4.2E-23 | |
| | | | | | | 84 | - | 3.5E-08 | |
| | | | | | | | 合計値 | - | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス及び事故シーケンスグループ別のドミナントシーケンス

図 6-1 外部電源喪失事象に対するイベントツリー

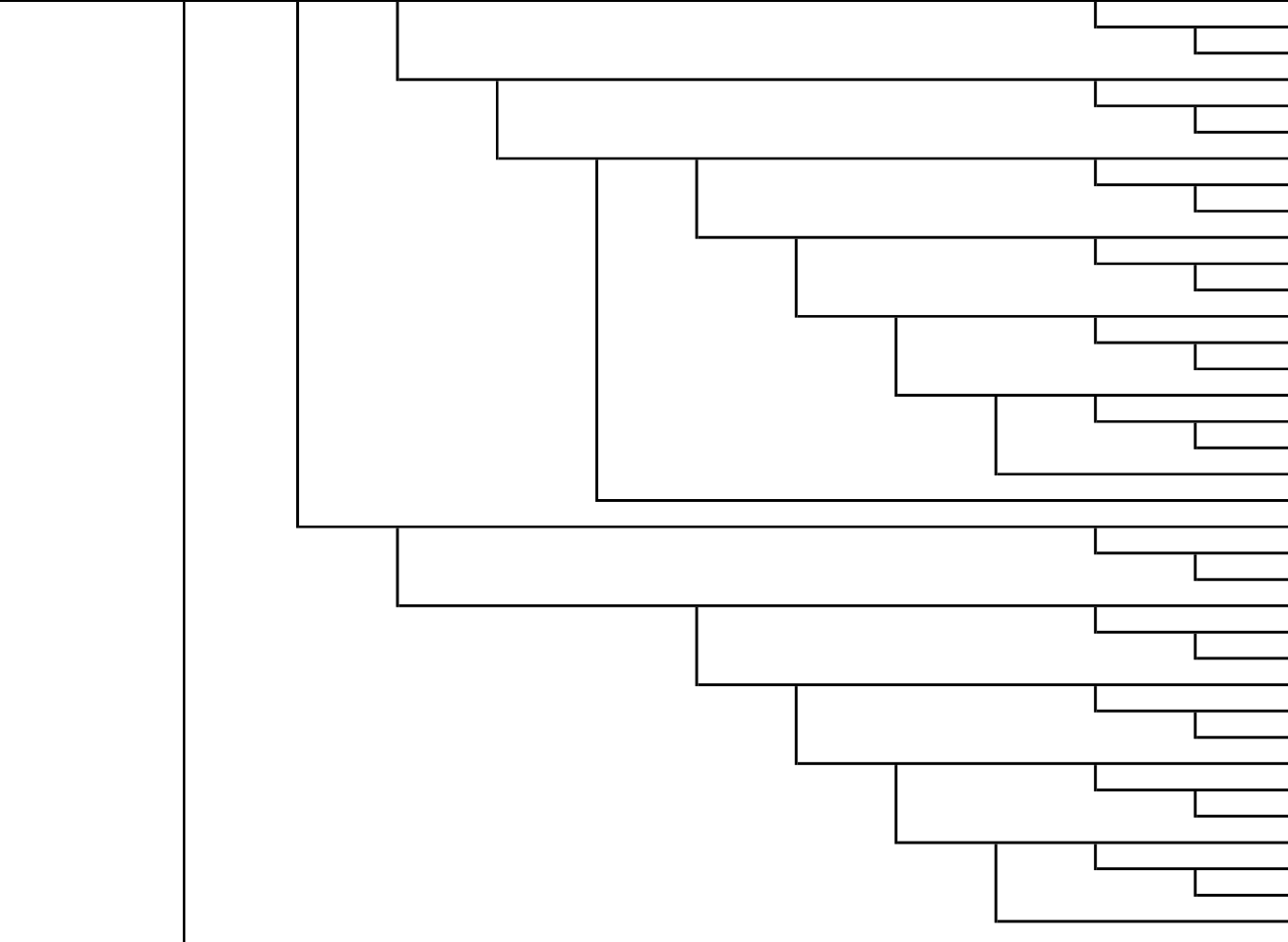
| 外部電源喪失 (D/G-2C,2D成功) | S/R弁開放 | S/R弁再 閉鎖 | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-A | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|---|--------|-------------|------|------|-------|--------|------|--------|--------|-------|-------|-----|------|---------------|----|
| TE1 | M | P | UH | UR | X1 | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | 1 | - | 4.1E-03 | |
| | | | | | | | | | | | | 2 | - | 9.3E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | 3 | TW | 6.1E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | 4 | - | 3.5E-05 | |
| | | | | | | | | | | | | 5 | - | 8.0E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | 6 | TW | 5.2E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | 7 | - | 1.2E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | 8 | - | 2.8E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | 9 | TW | 1.3E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | 10 | - | 2.6E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | 11 | - | 6.0E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | 12 | TW | 1.3E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | 13 | - | 5.3E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | 14 | - | 1.2E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | 15 | TW | 3.5E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | 16 | - | 1.2E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | 17 | - | 2.7E-18 | |
| | | | | | | | | | | | | 18 | TW | 1.0E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | 19 | TQUV | 3.0E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | 20 | TQUX | 4.0E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | 21 | - | 2.1E-05 | |
| | | | | | | | | | | | | 22 | - | 4.9E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | 23 | TW | 3.2E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | 24 | - | 1.9E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | 25 | - | 4.5E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | 26 | TW | 2.2E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | 27 | - | 4.3E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | 28 | - | 9.8E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | 29 | TW | 2.2E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | 30 | - | 8.7E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | 31 | - | 2.0E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | 32 | TW | 6.1E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | 33 | - | 1.9E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | 34 | - | 4.4E-18 | |
| | | | | | | | | | | | | 35 | TW | 1.7E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | 36 | TQUV | 5.0E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | 37 | - | 4.1E-23 | |
| | | | | | | | | | | | | | 合計値 | 6.2E-07 | |

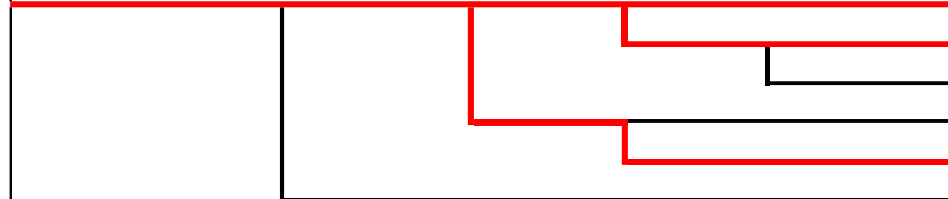
図 6-2 外部電源喪失事象（D G - 2 C , 2 D 成功）に対するイベントツリー

| 外部電源喪失 (D/G-2C成功, 2D失敗) | S/R弁開放 | S/R弁再 閉鎖 | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-A | LPCS | RHR-A | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|-------------------------------|--------|-------------|------|------|-------|--------|------|-------|-----|------|---------------|----|
| TE2 | M | P | UH | UR | X1 | VA | VS | WA | | | | |
| | | | | | | | | | 38 | － | 3.0E-05 | |
| | | | | | | | | | 39 | TW | 6.5E-08 | |
| | | | | | | | | | 40 | － | 2.6E-07 | |
| | | | | | | | | | 41 | TW | 5.5E-10 | |
| | | | | | | | | | 42 | － | 8.8E-10 | |
| | | | | | | | | | 43 | TW | 2.8E-13 | |
| | | | | | | | | | 44 | － | 1.9E-12 | |
| | | | | | | | | | 45 | TW | 7.6E-13 | |
| | | | | | | | | | 46 | TQUV | 7.8E-13 | |
| | | | | | | | | | 47 | TQUX | 2.8E-12 | |
| | | | | | | | | | 48 | － | 1.6E-07 | |
| | | | | | | | | | 49 | TW | 3.4E-10 | |
| | | | | | | | | | 50 | － | 1.4E-09 | |
| | | | | | | | | | 51 | TW | 4.9E-13 | |
| | | | | | | | | | 52 | － | 3.2E-12 | |
| | | | | | | | | | 53 | TW | 1.3E-12 | |
| | | | | | | | | | 54 | TQUV | 1.4E-12 | |
| | | | | | | | | | 55 | － | 3.1E-25 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 6.6E-08 | |

図 6-3 外部電源喪失事象（D G - 2 C 成功， 2 D 失敗）に対するイベントツリー

| 外部電源喪失 (D/G-2C失敗, 2D成功) | S/R弁開放 | S/R弁再 閉鎖 | HPCS | 手動ADS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|-------------------------------|--------|-------------|---------|-------|--------|--------|-------|-----|------|---------------|----|
| TE3 | M | P | UH | X1 | VB | VC | WB | | | | |
| | 56 | - | 3.0E-05 | | | | | | | | |
| | 57 | TW | 6.4E-08 | | | | | | | | |
| | 58 | - | 2.6E-07 | | | | | | | | |
| | 59 | TW | 8.0E-11 | | | | | | | | |
| | 60 | - | 5.7E-10 | | | | | | | | |
| | 61 | TW | 2.4E-10 | | | | | | | | |
| | 62 | TQUV | 2.5E-10 | | | | | | | | |
| | 63 | TQUX | 8.8E-10 | | | | | | | | |
| | 64 | - | 1.6E-07 | | | | | | | | |
| | 65 | TW | 3.3E-10 | | | | | | | | |
| | 66 | - | 1.4E-09 | | | | | | | | |
| | 67 | TW | 4.5E-13 | | | | | | | | |
| | 68 | - | 3.2E-12 | | | | | | | | |
| | 69 | TW | 1.3E-12 | | | | | | | | |
| | 70 | TQUV | 1.4E-12 | | | | | | | | |
| | 71 | - | 3.1E-25 | | | | | | | | |
| | | 合計値 | 6.6E-08 | | | | | | | | |

図 6-4 外部電源喪失事象（D G - 2 C 失敗， 2 D 成功）に対するイベントツリー

| 外部電源喪失 (D/G-2C,2D失敗) | S/R弁開放 | S/R弁 再閉鎖 | HPCS | RCIC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|--|--------|-------------|------|------|-----|---------|---------------|----|
| TE4 | M | P | UH | UR | | | | |
|  | | | | 72 | TBW | 6.9E-07 | ※1 | |
| | | | | 73 | TB | 5.7E-08 | ※2 | |
| | | | | 74 | TBU | 2.0E-10 | | |
| | | | | 75 | TBW | 3.6E-09 | | |
| | | | | 76 | TBP | 3.0E-10 | ※2 | |
| | | | | 77 | - | 2.3E-27 | | |
| | | | | | | 合計値 | 7.5E-07 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

※2 事故シーケンスグループ別のドミナントシーケンス

図 6-5 外部電源喪失事象（D G－2 C， 2 D 失敗）に対するイベントツリー

| 外部電源喪失 (直流125V電源喪失) | S/R弁開放 | S/R弁再閉鎖 | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|------------------------|--------|---------|------|-----|------|---------------|----|
| TE5 | M | P | UH | | | | |
| | | | | 78 | TBW | 6.9E-10 | ※1 |
| | | | | 79 | TBD | 5.9E-12 | |
| | | | | 80 | TBW | 3.6E-12 | |
| | | | | 81 | TBD | 3.3E-14 | |
| | | | | 82 | - | 7.0E-30 | |
| | | | | | 合計値 | 7.0E-10 | |

※1 事故シーケンスグループ別のドミナントシーケンス

図 6-6 外部電源喪失事象（直流電源喪失）に対するイベントツリー

| 外部電源喪失 ATWS | メンテナンス | 機械系 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|----------------|--------|-----|-----|------|---------------|----|
| T6 | MN | CM | | | | |
| | | | 1 | － | 4.2E-03 | |
| | | | 2 | TC | 1.4E-13 | |
| | | | 3 | － | 3.5E-08 | |
| | | | | 合計値 | 1.4E-13 | |

図 6-7 外部電源喪失事象ATWSに対するイベントツリー

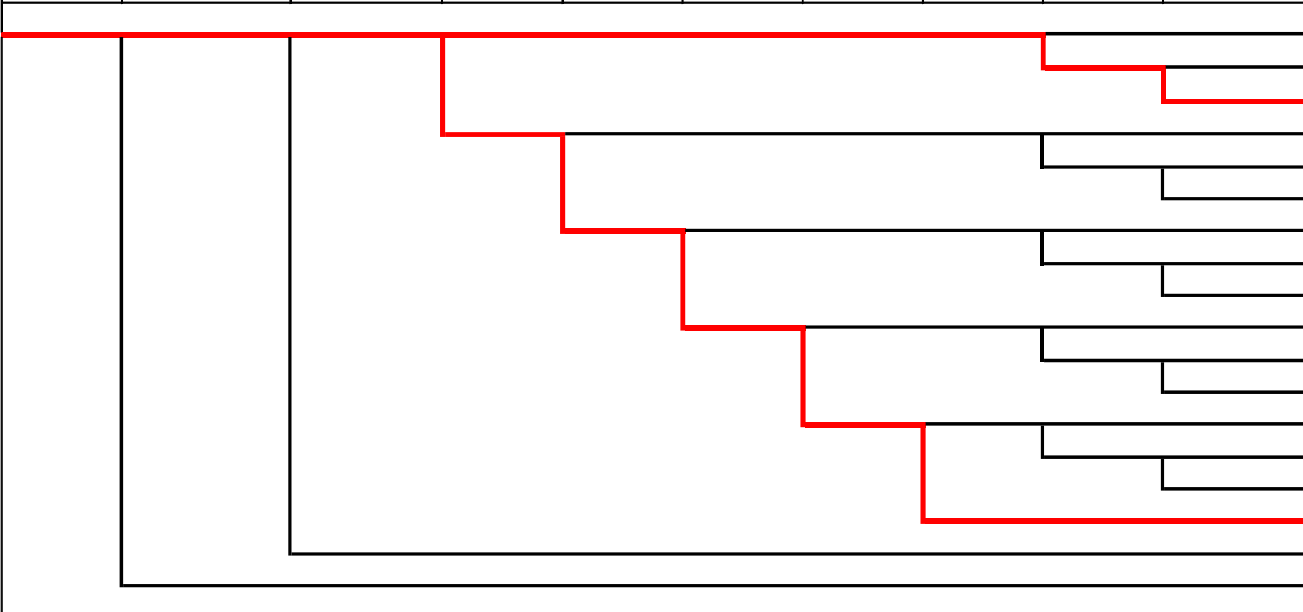
| S/R弁誤開放 | メンテナンス | スクラム系 | HPCS | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-A | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|---------|--------|-------|------|--------|------|--------|--------|-------|-------|-----|------|---------------|----|
| T7 | MN | C | UH | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | | | |
| | | | | | | | | | | 1 | - | 9.9E-04 | ※1 |
| | | | | | | | | | | 2 | - | 2.3E-06 | |
| | | | | | | | | | | 3 | TW | 1.5E-07 | |
| | | | | | | | | | | 4 | - | 3.0E-06 | |
| | | | | | | | | | | 5 | - | 6.9E-09 | |
| | | | | | | | | | | 6 | TW | 3.4E-10 | |
| | | | | | | | | | | 7 | - | 6.5E-09 | |
| | | | | | | | | | | 8 | - | 1.5E-11 | |
| | | | | | | | | | | 9 | TW | 3.3E-11 | |
| | | | | | | | | | | 10 | - | 1.3E-11 | |
| | | | | | | | | | | 11 | - | 3.0E-14 | |
| | | | | | | | | | | 12 | TW | 9.4E-13 | |
| | | | | | | | | | | 13 | - | 2.9E-14 | |
| | | | | | | | | | | 14 | - | 6.7E-17 | |
| | | | | | | | | | | 15 | TW | 2.7E-12 | |
| | | | | | | | | | | 16 | TQUV | 7.6E-11 | |
| | | | | | | | | | | 17 | - | 1.0E-23 | |
| | | | | | | | | | | 18 | - | 8.4E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 合計値 | 1.5E-07 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

図 7-1 逃がし安全弁誤開放に対するイベントツリー

| S/R弁誤開放 ATWS | メンテナンス | 電気系 | 機械系 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|-----------------|--------|-----|-----|-----|------|---------------|----|
| T7 | MN | CE | CM | | | | |
| | | | | 1 | － | 1.0E-03 | |
| | | | | 2 | TC | 3.4E-14 | |
| | | | | 3 | TC | 1.1E-10 | |
| | | | | 4 | － | 8.4E-09 | |
| | | | | | 合計値 | 1.1E-10 | |

図 7-2 逃がし安全弁誤開放 A T W S に対するイベントツリー

| 大破断 LOCA | メンテナンス | スクラム系 | HPCS | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-A | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|--|--------|----------|---------|--------|------|--------|--------|-------|-------|-----|------|---------------|----|
| A | MN | C | UH | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | | | |
|  | 1 | － | 2.0E-05 | ※1 | | | | | | | | | |
| | 2 | － | 4.6E-08 | | | | | | | | | | |
| | 3 | TW | 3.0E-09 | | | | | | | | | | |
| | 4 | － | 5.8E-08 | | | | | | | | | | |
| | 5 | － | 1.4E-10 | | | | | | | | | | |
| | 6 | TW | 6.6E-12 | | | | | | | | | | |
| | 7 | － | 1.3E-10 | | | | | | | | | | |
| | 8 | － | 2.9E-13 | | | | | | | | | | |
| | 9 | TW | 6.5E-13 | | | | | | | | | | |
| | 10 | － | 2.5E-13 | | | | | | | | | | |
| | 11 | － | 5.7E-16 | | | | | | | | | | |
| | 12 | TW | 1.8E-14 | | | | | | | | | | |
| | 13 | － | 5.4E-16 | ※2 | | | | | | | | | |
| | 14 | － | 1.2E-18 | | | | | | | | | | |
| | 15 | TW AE | 5.2E-14 | | | | | | | | | | |
| | 16 | AE | 1.4E-12 | | | | | | | | | | |
| | 17 | － | 2.0E-25 | | | | | | | | | | |
| | 18 | － | 1.7E-10 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | 合計値 | 3.0E-09 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

※2 事故シーケンスグループ別のドミナントシーケンス

図 8-1 大破断 L O C A に対するイベントツリー

| 大破断 LOCA ATWS | メンテナンス | 電気系 | 機械系 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|---------------------|--------|-----|-----|-----|------|---------------|----|
| A | MN | CE | CM | | | | |
| | | | | 1 | － | 2.0E-05 | |
| | | | | 2 | TC | 6.8E-16 | |
| | | | | 3 | TC | 2.2E-12 | |
| | | | | 4 | － | 1.7E-10 | |
| | | | | | 合計値 | 2.2E-12 | |

図 8-2 大破断LOCA ATWSに対するイベントツリー

| 中破断 LOCA | メンテナンス | スクラム系 | HPCS | 原子炉減 圧系 | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-A | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 | |
|-------------|--------|-------|------|------------|--------|------|--------|--------|-------|-------|-----|------|---------------|---------|--|
| S1 | MN | C | UH | X | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | | | | |
| | | | | | | | | | | | 1 | - | 2.0E-04 | ※1 | |
| | | | | | | | | | | | 2 | - | 4.6E-07 | | |
| | | | | | | | | | | | 3 | TW | 3.0E-08 | | |
| | | | | | | | | | | | 4 | - | 6.3E-07 | | |
| | | | | | | | | | | | 5 | - | 1.5E-09 | | |
| | | | | | | | | | | | 6 | TW | 7.1E-11 | | |
| | | | | | | | | | | | 7 | - | 1.4E-09 | | |
| | | | | | | | | | | | 8 | - | 3.1E-12 | | |
| | | | | | | | | | | | 9 | TW | 7.0E-12 | | |
| | | | | | | | | | | | 10 | - | 2.7E-12 | | |
| | | | | | | | | | | | 11 | - | 6.2E-15 | | |
| | | | | | | | | | | | 12 | TW | 1.9E-13 | | |
| | | | | | | | | | | | 13 | - | 5.8E-15 | | |
| | | | | | | | | | | | 14 | - | 1.3E-17 | | |
| | | | | | | | | | | | 15 | TW | 5.6E-13 | | |
| | | | | | | | | | | | 16 | S1E | 1.5E-11 | | |
| | | | | | | | | | | | 17 | S1E | 4.6E-12 | | |
| | | | | | | | | | | | 18 | - | 2.0E-24 | | |
| | | | | | | | | | | | 19 | - | 1.7E-09 | | |
| | | | | | | | | | | | | | 合計値 | 3.0E-08 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

※2 事故シーケンスグループ別のドミナントシーケンス

図 9-1 中破断 L O C A に対するイベントツリー

| 中破断 LOCA ATWS | メンテナンス | 電気系 | 機械系 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|---------------------|--------|-----|-----|-----|------|---------------|----|
| S1 | MN | CE | CM | | | | |
| | | | | 1 | - | 2.0E-04 | |
| | | | | 2 | TC | 6.8E-15 | |
| | | | | 3 | TC | 2.2E-11 | |
| | | | | 4 | - | 1.7E-09 | |
| | | | | | 合計値 | 2.2E-11 | |

図 9-2 中破断LOCA ATWSに対するイベントツリー

| 小破断 LOCA | メンテナンス | スクラム系 | HPCS | RCIC | 原子炉減 圧系 | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-A | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|-------------|--------|-------|------|------|------------|--------|------|--------|--------|-------|-------|-----|------|---------------|----|
| S2 | MN | C | UH | UR | X | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 1 | - | 3.0E-04 | ※1 |
| | | | | | | | | | | | | 2 | - | 6.8E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | 3 | TW | 4.5E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | 4 | - | 8.9E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | 5 | - | 2.0E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | 6 | TW | 1.3E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | 7 | - | 5.7E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | 8 | - | 1.3E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | 9 | TW | 6.3E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | 10 | - | 1.2E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | 11 | - | 2.8E-14 | ※2 |
| | | | | | | | | | | | | 12 | TW | 6.2E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | 13 | - | 2.4E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | 14 | - | 5.4E-17 | |
| | | | | | | | | | | | | 15 | TW | 2.5E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | 16 | - | 5.1E-17 | |
| | | | | | | | | | | | | 17 | - | 1.2E-19 | |
| | | | | | | | | | | | | 18 | TW | 7.3E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | 19 | S2E | 1.4E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | 20 | S2E | 2.2E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | 21 | - | 3.0E-24 | |
| | | | | | | | | | | | | 22 | - | 2.5E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | 合計値 | 4.5E-08 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

※2 事故シーケンスグループ別のドミナントシーケンス

図 10-1 小破断 L O C A に対するイベントツリー

| 小破断 LOCA ATWS | メンテナンス | 電気系 | 機械系 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|---------------------|--------|-----|-----|-----|------|---------------|----|
| S2 | MN | CE | CM | | | | |
| | | | | 1 | － | 3.0E-04 | |
| | | | | 2 | TC | 1.0E-14 | |
| | | | | 3 | TC | 3.2E-11 | |
| | | | | 4 | － | 2.5E-09 | |
| | | | | | 合計値 | 3.2E-11 | |

図 10-2 小破断LOCA ATWSに対するイベントツリー

| 手動停止 (RHRS-A故障) | RHRS- CCF削除 | メンテナンス | S/R弁開放 | S/R弁再 閉鎖 | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|--------------------|----------------|--------|--------|-------------|------|------|-------|--------|--------|-------|-----|------|---------------|----|
| MD1 | CCF | MN | M | P | UH | UR | X1 | VB | VC | WB | | | | |
| | | | | | | | | | | | 1 | - | 7.1E-04 | ※1 |
| | | | | | | | | | | | 2 | TW | 1.6E-06 | |
| | | | | | | | | | | | 3 | - | 1.8E-06 | |
| | | | | | | | | | | | 4 | TW | 4.0E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 5 | - | 6.0E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 6 | TW | 1.8E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 7 | - | 1.3E-11 | |
| | | | | | | | | | | | 8 | TW | 5.6E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 9 | TQUV | 6.0E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 10 | TQUX | 2.0E-11 | |
| | | | | | | | | | | | 11 | - | 3.7E-06 | |
| | | | | | | | | | | | 12 | TW | 8.3E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 13 | - | 1.1E-08 | |
| | | | | | | | | | | | 14 | TW | 3.6E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 15 | - | 2.4E-11 | |
| | | | | | | | | | | | 16 | TW | 1.1E-11 | |
| | | | | | | | | | | | 17 | TQUV | 1.2E-11 | |
| | | | | | | | | | | | 18 | - | 7.2E-24 | |
| | | | | | | | | | | | 19 | - | 6.1E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 20 | - | 1.7E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | 合計値 | 1.6E-06 | |

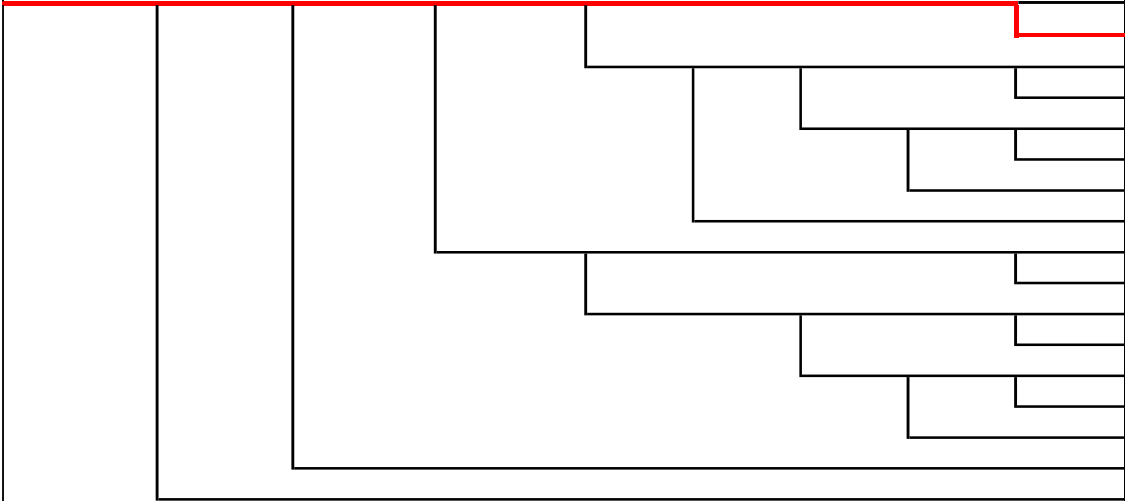
※1 起因事象別のドミナントシーケンス

図 11 残留熱除去系海水系故障（区分 I）に対するイベントツリー

| 手動停止 (RHRS-B故障) | RHRS- CCF削除 | メンテナンス | S/R弁開放 | S/R弁再 閉鎖 | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-A | LPCS | RHR-A | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|--------------------|----------------|--------|--------|-------------|------|------|-------|--------|------|-------|-----|------|---------------|----|
| MD2 | CCF | MN | M | P | UH | UR | X1 | VA | VS | WA | | | | |
| | | | | | | | | | | | 1 | - | 7.1E-04 | ※1 |
| | | | | | | | | | | | 2 | TW | 1.6E-06 | |
| | | | | | | | | | | | 3 | - | 1.8E-06 | |
| | | | | | | | | | | | 4 | TW | 4.0E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 5 | - | 6.0E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 6 | TW | 2.0E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 7 | - | 1.3E-11 | |
| | | | | | | | | | | | 8 | TW | 5.7E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 9 | TQUV | 1.1E-11 | |
| | | | | | | | | | | | 10 | TQUX | 2.0E-11 | |
| | | | | | | | | | | | 11 | - | 3.7E-06 | |
| | | | | | | | | | | | 12 | TW | 8.5E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 13 | - | 1.1E-08 | |
| | | | | | | | | | | | 14 | TW | 3.9E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 15 | - | 2.4E-11 | |
| | | | | | | | | | | | 16 | TW | 1.1E-11 | |
| | | | | | | | | | | | 17 | TQUV | 1.2E-11 | |
| | | | | | | | | | | | 18 | - | 7.2E-24 | |
| | | | | | | | | | | | 19 | - | 6.1E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 20 | - | 1.7E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | 合計値 | 1.6E-06 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

図 12 残留熱除去系海水系故障（区分Ⅱ）に対するイベントツリー

| 手動停止 (M/C 2C喪失) | メンテナンス | S/R弁開放 | S/R弁再閉鎖 | HPCS | 手動ADS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|--|--------|--------|---------|------|-------|--------|--------|-------|-----|------|---------------|----|
| MD3 | MN | M | P | UH | X1 | VB | VC | WB | | | | |
|  | | | | | | | | | 1 | - | 1.5E-04 | ※1 |
| | | | | | | | | | 2 | TW | 3.4E-07 | |
| | | | | | | | | | 3 | - | 3.7E-07 | |
| | | | | | | | | | 4 | TW | 1.2E-10 | |
| | | | | | | | | | 5 | - | 8.1E-10 | |
| | | | | | | | | | 6 | TW | 3.6E-10 | |
| | | | | | | | | | 7 | TQUV | 4.0E-10 | |
| | | | | | | | | | 8 | TQUX | 1.3E-09 | |
| | | | | | | | | | 9 | - | 7.8E-07 | |
| | | | | | | | | | 10 | TW | 1.8E-09 | |
| | | | | | | | | | 11 | - | 2.3E-09 | |
| | | | | | | | | | 12 | TW | 7.4E-13 | |
| | | | | | | | | | 13 | - | 5.1E-12 | |
| | | | | | | | | | 14 | TW | 2.3E-12 | |
| | | | | | | | | | 15 | TQUV | 2.5E-12 | |
| | | | | | | | | | 16 | - | 1.5E-24 | |
| | | | | | | | | | 17 | - | 1.3E-09 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 3.4E-07 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

図 13 交流電源故障（区分Ⅰ）に対するイベントツリー

| M/C 2D喪失 | メンテナンス | スクラム系 | S/R弁開放 | S/R弁再閉鎖 | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-A | LPCS | RHR-A | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|----------|--------|-------|--------|---------|------|------|-------|--------|------|-------|-----|------|---------------|----|
| MD4 | MN | C | M | P | UH | UR | X1 | VA | VS | WA | | | | |
| | | | | | | | | | | | 1 | - | 1.5E-04 | ※1 |
| | | | | | | | | | | | 2 | TW | 3.4E-07 | |
| | | | | | | | | | | | 3 | - | 3.7E-07 | |
| | | | | | | | | | | | 4 | TW | 8.5E-10 | |
| | | | | | | | | | | | 5 | - | 1.2E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 6 | TW | 4.3E-13 | |
| | | | | | | | | | | | 7 | - | 2.7E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 8 | TW | 1.2E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 9 | TQUV | 2.2E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 10 | TQUX | 4.2E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 11 | - | 7.8E-07 | |
| | | | | | | | | | | | 12 | TW | 1.8E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 13 | - | 2.3E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 14 | TW | 8.2E-13 | |
| | | | | | | | | | | | 15 | - | 5.1E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 16 | TW | 2.3E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 17 | TQUV | 2.5E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 18 | - | 1.5E-24 | |
| | | | | | | | | | | | 19 | - | 1.5E-24 | |
| | | | | | | | | | | | 20 | - | 1.3E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | 合計値 | 3.4E-07 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

図 14-1 交流電源故障（区分Ⅱ）に対するイベントツリー

| M/C 2D喪失 ATWS | メンテナンス | 電気系 | 機械系 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／年) | 備考 |
|------------------|--------|-----|-----|-----|------|--------------|----|
| MD4 | MN | CE | CM | | | | |
| | | | | 1 | － | 1.5E-04 | |
| | | | | 2 | TC | 5.1E-15 | |
| | | | | 3 | TC | 8.1E-12 | |
| | | | | 4 | － | 1.3E-09 | |
| | | | | | 合計値 | 8.1E-12 | |

図 14-2 交流電源故障（区分Ⅱ）A T W S に対するイベントツリー

| 区分1DC喪失 | メンテナンス | スクラム系 | MC-2D | S/R弁開放 | S/R弁再閉鎖 | HPCS | 手動ADS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|---------|--------|-------|-------|--------|---------|------|-------|--------|--------|-------|-----|------|---------------|--------------|
| MD5 | MN | C | B2 | M | P | UH | X1 | VB | VC | WB | | | | |
| | | | | | | | | | | | 1 | - | 2.7E-04 | ※2 ※2 |
| | | | | | | | | | | | 2 | TW | 6.2E-07 | |
| | | | | | | | | | | | 3 | - | 2.3E-06 | |
| | | | | | | | | | | | 4 | TW | 7.5E-10 | |
| | | | | | | | | | | | 5 | - | 5.1E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 6 | TW | 2.3E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 7 | TQUV | 2.5E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 8 | TQUX | 8.3E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 9 | - | 1.4E-06 | |
| | | | | | | | | | | | 10 | TW | 3.2E-09 | |
| | | | | | | | | | | | 11 | - | 1.3E-08 | |
| | | | | | | | | | | | 12 | TW | 4.2E-12 | |
| | | | | | | | | | | | 13 | - | 2.9E-11 | |
| | | | | | | | | | | | 14 | TW | 1.3E-11 | |
| | | | | | | | | | | | 15 | TQUV | 1.4E-11 | |
| | | | | | | | | | | | 16 | - | 2.8E-24 | |
| | | | | | | | | | | | 17 | TBW | 2.0E-06 | ※1, ※2 ※2 |
| | | | | | | | | | | | 18 | TBU | 2.1E-08 | |
| | | | | | | | | | | | 19 | TBW | 1.1E-08 | |
| | | | | | | | | | | | 20 | TBP | 1.1E-10 | |
| | | | | | | | | | | | 21 | - | 2.1E-26 | |
| | | | | | | | | | | | 22 | - | 2.8E-24 | |
| | | | | | | | | | | | 23 | - | 2.4E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | 合計値 | 2.7E-06 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

※2 事故シーケンスグループ別のドミナントシーケンス

図 15-1 直流電源故障（区分 I）に対するイベントツリー

| 区分1DC喪失 ATWS | メンテナンス | 電気系 | 機械系 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|-----------------|--------|-----|-----|-----|------|---------------|----|
| MD5 | MN | CE | CM | | | | |
| | | | | 1 | － | 2.8E-04 | |
| | | | | 2 | TC | 9.6E-15 | |
| | | | | 3 | TC | 1.5E-11 | |
| | | | | 4 | － | 2.4E-09 | |
| | | | | | 合計値 | 1.5E-11 | |

図 15-2 直流電源故障（区分Ⅰ）ATWSに対するイベントツリー

| 区分2DC喪失 | メンテナンス | スクラム系 | D/G-2C | S/R弁開放 | S/R弁再閉鎖 | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-A | LPCS | RHR-A | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|---------|--------|-------|--------|--------|---------|------|------|-------|--------|------|-------|-----|------|---------------|----|
| MD6 | MN | C | B1 | M | P | UH | UR | X1 | VA | VS | WA | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 1 | - | 2.7E-04 | ※1 |
| | | | | | | | | | | | | 2 | TW | 6.2E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | 3 | - | 2.4E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | 4 | TW | 5.4E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | 5 | - | 8.0E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | 6 | TW | 2.7E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | 7 | - | 1.7E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | 8 | TW | 7.5E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | 9 | TQUV | 8.0E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | 10 | TQUX | 2.8E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | 11 | - | 1.4E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | 12 | TW | 3.3E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | 13 | - | 1.3E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | 14 | TW | 4.6E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | 15 | - | 2.9E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | 16 | TW | 1.3E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | 17 | TQUV | 1.4E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | 18 | - | 2.8E-24 | |
| | | | | | | | | | | | | 19 | TBW | 2.0E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | 20 | TB | 2.0E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | 21 | TBU | 1.2E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | 22 | TBW | 1.1E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | 23 | TBP | 1.1E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | 24 | - | 2.1E-26 | |
| | | | | | | | | | | | | 25 | - | 2.8E-24 | |
| | | | | | | | | | | | | 26 | - | 2.4E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | 合計値 | 2.7E-06 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス及び事故シーケンスグループ別のドミナントシーケンス

図 16-1 直流電源故障（区分Ⅱ）に対するイベントツリー

| 区分2DC喪失 ATWS | メンテナンス | 電気系 | 機械系 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|-----------------|--------|-----|-----|-----|------|---------------|----|
| MD6 | MN | CE | CM | | | | |
| | | | | 1 | - | 2.8E-04 | |
| | | | | 2 | TC | 9.6E-15 | |
| | | | | 3 | TC | 1.5E-11 | |
| | | | | 4 | - | 2.4E-09 | |
| | | | | | 合計値 | 1.5E-11 | |

図 16-2 直流電源故障（区分Ⅱ）A T W S に対するイベントツリー

| ASW故障 | メンテナ ンス | スクラム 系 | S/R弁開 放 | S/R弁再 閉鎖 | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-A | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度(／ 炉年) | 備考 |
|-------|------------|-----------|------------|-------------|------|------|-------|--------|------|--------|--------|-------|-------|-----|------|---------------|----|
| MD7 | MN | C | M | P | UH | UR | X1 | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 1 | - | 7.1E-04 | ※1 |
| | | | | | | | | | | | | | | 2 | - | 1.6E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 3 | TW | 1.1E-07 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 4 | - | 1.8E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 5 | - | 4.1E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 6 | TW | 2.6E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 7 | - | 6.0E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 8 | - | 1.4E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 9 | TW | 6.5E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 10 | - | 1.3E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 11 | - | 3.0E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 12 | TW | 6.4E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 13 | - | 2.7E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 14 | - | 6.1E-17 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 15 | TW | 3.3E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 16 | - | 5.9E-17 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 17 | - | 1.4E-19 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 18 | TW | 9.7E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 19 | TQUV | 1.6E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 20 | TQUX | 2.0E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 21 | - | 3.7E-06 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 22 | - | 8.5E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 23 | TW | 5.6E-10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 24 | - | 1.1E-08 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 25 | - | 2.6E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 26 | TW | 1.3E-12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 27 | - | 2.4E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 28 | - | 5.6E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 29 | TW | 1.2E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 30 | - | 5.0E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 31 | - | 1.1E-16 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 32 | TW | 3.5E-15 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 33 | - | 1.1E-16 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 34 | - | 2.5E-19 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 35 | TW | 1.0E-14 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 36 | TQUV | 2.9E-13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 37 | - | 7.2E-24 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 38 | - | 7.2E-24 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 39 | - | 6.1E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 合計値 | 1.1E-07 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

図 17-1 タービン・サポート系故障に対するイベントツリー

| ASW故障 ATWS | メンテナンス | 機械系 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|---------------|--------|-----|-----|------|---------------|----|
| MD7 | MN | CM | | | | |
| | | | 1 | － | 7.2E-04 | |
| | | | 2 | TC | 2.5E-14 | |
| | | | 3 | － | 6.1E-09 | |
| | | | | 合計値 | 2.5E-14 | |

図 17-2 タービン・サポート系故障A T W S に対するイベントツリー

| 計画外停止 | メンテナンス | S/R弁開放 | S/R弁再閉鎖 | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR_A | RHR_B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|-------|--------|--------|---------|------|------|-------|--------|------|--------|--------|-------|-------|------|---------|---------------|----|
| N | MN | M | P | UH | UR | X1 | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 1 | - | 4.3E-02 | ※1 | |
| | | | | | | | | | | | | 2 | - | 9.8E-05 | | |
| | | | | | | | | | | | | 3 | TW | 6.4E-06 | | |
| | | | | | | | | | | | | 4 | - | 1.1E-04 | | |
| | | | | | | | | | | | | 5 | - | 2.4E-07 | | |
| | | | | | | | | | | | | 6 | TW | 1.6E-08 | | |
| | | | | | | | | | | | | 7 | - | 3.6E-07 | | |
| | | | | | | | | | | | | 8 | - | 8.4E-10 | | |
| | | | | | | | | | | | | 9 | TW | 3.9E-11 | | |
| | | | | | | | | | | | | 10 | - | 7.9E-10 | | |
| | | | | | | | | | | | | 11 | - | 1.8E-12 | | |
| | | | | | | | | | | | | 12 | TW | 3.8E-12 | | |
| | | | | | | | | | | | | 13 | - | 1.6E-12 | | |
| | | | | | | | | | | | | 14 | - | 3.7E-15 | | |
| | | | | | | | | | | | | 15 | TW | 2.0E-13 | | |
| | | | | | | | | | | | | 16 | - | 3.5E-15 | | |
| | | | | | | | | | | | | 17 | - | 8.1E-18 | | |
| | | | | | | | | | | | | 18 | TW | 5.8E-13 | | |
| | | | | | | | | | | | | 19 | TQUV | 9.4E-12 | | |
| | | | | | | | | | | | | 20 | TQUX | 1.2E-09 | | |
| | | | | | | | | | | | | 21 | - | 2.2E-04 | | |
| | | | | | | | | | | | | 22 | - | 5.1E-07 | | |
| | | | | | | | | | | | | 23 | TW | 3.3E-08 | | |
| | | | | | | | | | | | | 24 | - | 6.6E-07 | | |
| | | | | | | | | | | | | 25 | - | 1.6E-09 | | |
| | | | | | | | | | | | | 26 | TW | 7.5E-11 | | |
| | | | | | | | | | | | | 27 | - | 1.5E-09 | | |
| | | | | | | | | | | | | 28 | - | 3.3E-12 | | |
| | | | | | | | | | | | | 29 | TW | 7.4E-12 | | |
| | | | | | | | | | | | | 30 | - | 3.0E-12 | | |
| | | | | | | | | | | | | 31 | - | 6.8E-15 | | |
| | | | | | | | | | | | | 32 | TW | 2.1E-13 | | |
| | | | | | | | | | | | | 33 | - | 6.5E-15 | | |
| | | | | | | | | | | | | 34 | - | 1.5E-17 | | |
| | | | | | | | | | | | | 35 | TW | 6.0E-13 | | |
| | | | | | | | | | | | | 36 | TQUV | 1.7E-11 | | |
| | | | | | | | | | | | | 37 | - | 4.3E-22 | | |
| | | | | | | | | | | | | 38 | - | 3.6E-07 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 合計値 | 6.4E-06 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス

図 18 計画外停止に対するイベントツリー

| ISLOCA | ISLOCA発生(隔離不能) | ISLOCA発生(隔離可能) | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) | 備考 |
|--------|----------------|----------------|-----|--------|---------------|----|
| T8 | IE_IS | IE_IS2 | | | | |
| | | | 1 | - | 1.0E+00 | ※1 |
| | | | 2 | ISLOCA | 3.9E-10 | |
| | | | 3 | ISLOCA | 9.2E-11 | |
| | | | | 合計値 | 4.8E-10 | |

※1 起因事象別のドミナントシーケンス及び事故シーケンスグループ別のドミナントシーケンス

図 19 インターフェイスシステム L O C A に対するイベントツリー

サブプレッション・プール水温が上昇した場合の
H P C S の機能維持の考え方について

本 P R A における S / P 水温が上昇した場合の H P C S 機能維持の考え方について以下に示す。

(1) 事故シーケンスグループ上の整理

H P C S を用いた原子炉注水には成功するが、格納容器除熱に失敗し、S / P 水温の上昇が考えられるシーケンスとしては、T W (H P C S 成功時) 及び T B W がある。本 P R A では、どちらのシーケンスについても崩壊熱除去機能喪失の事故シーケンスグループとして整理している。

(2) 格納容器除熱失敗時における H P C S の機能維持

格納容器除熱に失敗するシーケンスである T B W における S / P 水位及び水温を図 1 に示す。図 1 のとおり、T B W においては、事象発生後約 12 分後に S / P 水位高により、H P C S の水源が C S T からサブプレッション・チェンバに切り替わる。その後、S / P 水温が上昇するが、最高使用温度の 104℃に到達する約 8.9 時間後までに水源を切り替えるため、H P C S の機能は維持される。この S / P 水位高による C S T からサブプレッション・チェンバへの水源切り替えは、L O C A 時のサブプレッション・チェンバ空間体積を確保するためのインターロックであるが、L O C A ではない本シーケンスにおいては W / W ベント水没回避のための外部水源注水制限に対して余裕があるので、C S T に切り替えることは問題ない (C S T 水源に切り替えた後に注水を継続した場合、外

部水源注水制限に達するまでの時間は約 24 時間以降となる。) 。

(3) 事故シーケンスグループの整理を変更した場合の感度解析

(2) のとおり格納容器除熱失敗時には、S / P 水温が最高使用温度に到達する前に水源を C S T へ切り替えるため、H P C S が機能喪失することはないが、参考に格納容器除熱失敗時は H P C S が機能喪失すると仮定し、T B W を全交流動力電源喪失に変更した結果を表 1 及び図 2 に示す。なお、T W については H P C S による原子炉注水に失敗した場合においても、後段の R C I C 及び低圧 E C C S による原子炉注水に期待できるため、事故シーケンスとしてはほぼ変わらず崩壊熱除去機能喪失のシーケンスに整理されることを確認している。

感度解析の結果、S / P 水温の上昇による H P C S 機能喪失により、T B W の事故シーケンスグループが崩壊熱除去機能喪失から全交流動力電源喪失に変わるため、全交流動力電源喪失による炉心損傷頻度は 2 桁程度増加し、事故シーケンスグループ別の炉心損傷割合も増加することを確認した。

表 1 T B W を全交流動力電源喪失に変更した場合の炉心損傷頻度

| 事故シーケンス グループ | 炉心損傷頻度 (/ 炉年) | |
|-----------------|------------------------|------------------------|
| | T B W を崩壊熱除去機能喪失に含める場合 | T B W を全交流動力電源喪失に含める場合 |
| 崩壊熱除去機能喪失 | 6. 0E-05 | 5. 6E-05 |
| 全交流動力電源喪失 | 9. 9E-08 | 4. 9E-06 |

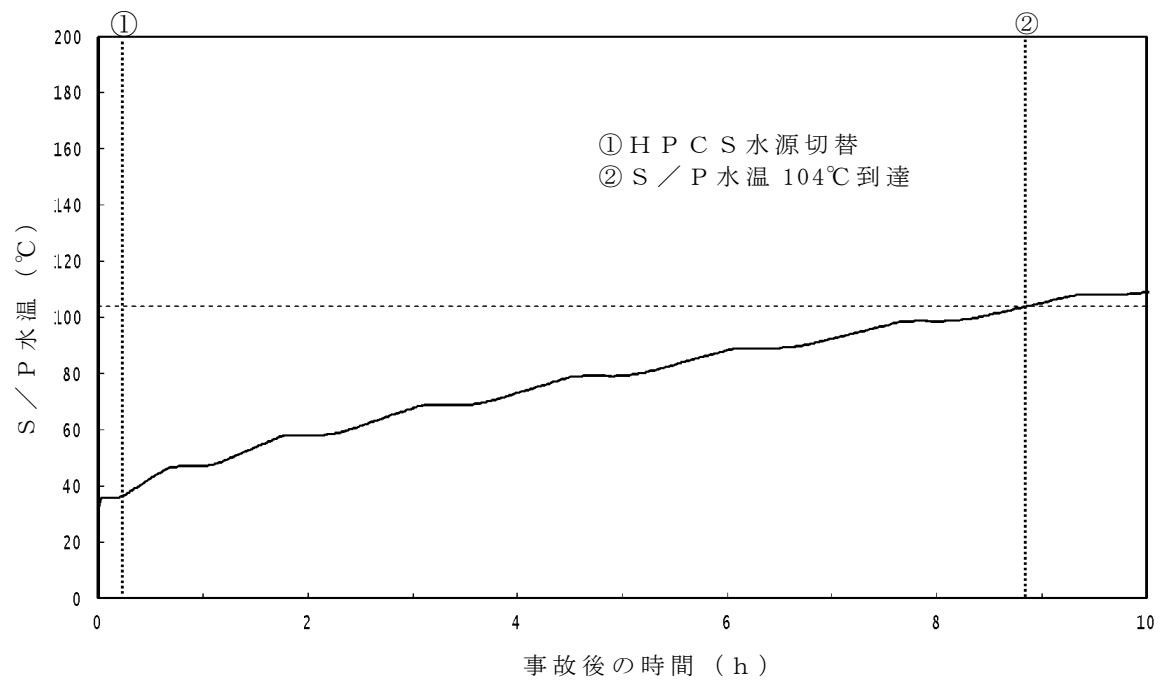
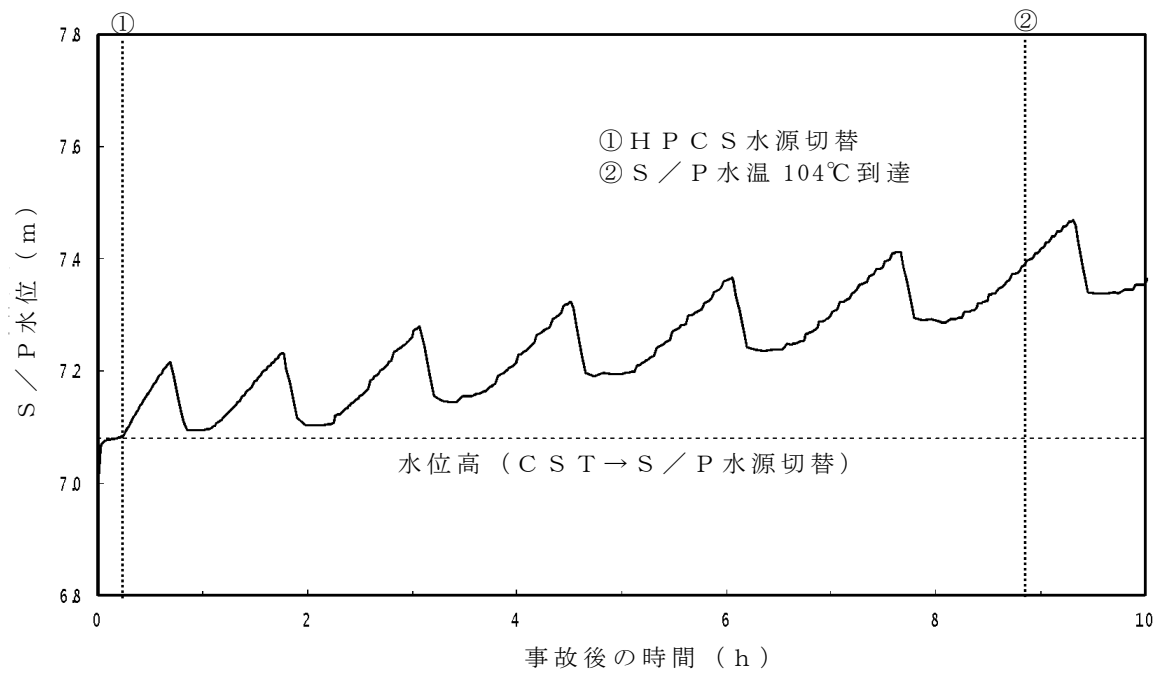
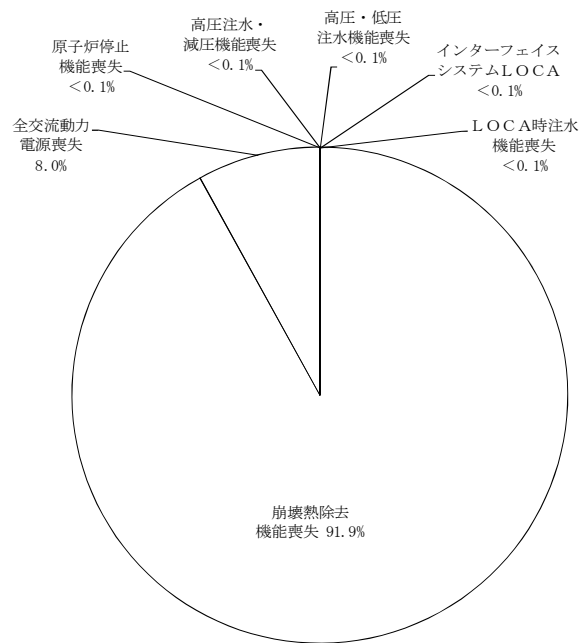
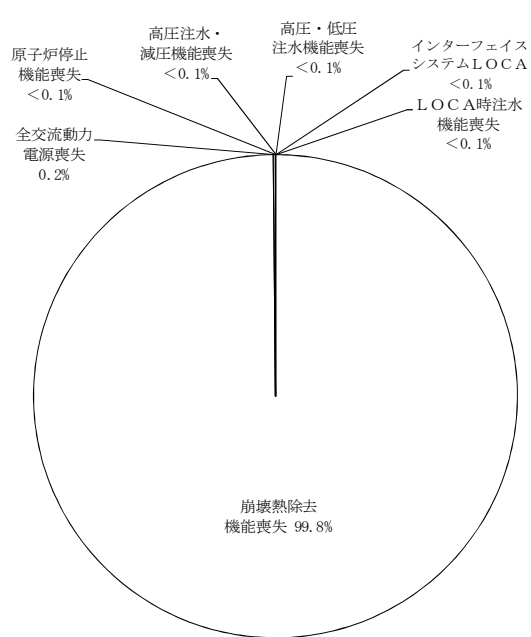


図 1 T B Wにおける S / P 水位及び S / P 水温



T B W を崩壊熱除去機能喪失に含めた場合
(ベースケース)

T B W を全交流動力電源喪失に含めた場合

図 2 T B W を全交流動力電源喪失に変更した場合の事故シーケンス

グループ別の炉心損傷割合

原子炉隔離時冷却系の運転継続時間 8 時間の妥当性について

本 P R A では、全交流動力電源喪失時においても、原子炉隔離時冷却系（以下「R C I C」という。サポート系を含めた R C I C の系統概略図を図 1 に示す。）は直流電源が枯渇するまでの 8 時間は運転継続が可能であると想定している。

全交流動力電源喪失時には、残留熱除去系が機能喪失するため、格納容器内の温度、圧力が上昇することにより、R C I C ポンプの有効吸込み水頭圧（N P S H）が確保できなくなる可能性、及び R C I C が排気圧高によりトリップする可能性がある。また、R C I C ポンプ室や中央制御室の換気空調系も機能喪失するため、R C I C ポンプ室や中央制御室の室温が上昇することにより、R C I C が機能維持できない可能性がある。このため、全交流動力電源喪失時を対象に、次の観点から R C I C の 8 時間運転継続への影響について整理した。

- ・ サプレッション・プール水の温度上昇
- ・ サプレッション・プール水の圧力上昇
- ・ R C I C ポンプ室の室温上昇（補足資料参照）
- ・ 中央制御室の室温上昇（補足資料参照）

上記 4 点の評価結果を表 1 に示す。表 1 のとおり、上記のいずれについても R C I C の 8 時間運転継続の妨げにならないことを確認した。

また、全交流動力電源喪失時の R C I C の運転制御に必要な設備への電源を供給する 125V 系蓄電池 A 系の負荷内訳を表 2 に示す。表 2 では 8 時間までの負荷を考慮しているが、その場合においても必要となる電源容量は 1,444Ah であり、125V 系蓄電池 A 系の電源容量 2,000Ah を下回る。これにより、R C I C の 8 時間運転継続に必要な直流電源を蓄電池から給電できることを確認した。なお、必要な電源容量は、電池工業会規格 S B A S 0601「据置蓄電池の容量算出法」

に従い、以下の式を用いて評価した。

$$C = \frac{1}{L} [K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1) + K_3 (I_3 - I_2) + \cdots + K_n (I_n - I_{n-1})]$$

C : +10℃における定格放電率換算容量 (Ah)

L : 保守率 (0.8)

K : 放電時間、蓄電池の最低温度 (+10℃) 及び許容できる最低電圧 (1.8V /セル) によって決められる容量換算時間

I : 放電電流 (A)

サフィックス 1, 2, 3, ..., n : 放電電流の変化の順に付番

以上により、全交流動力電源喪失時においても、R C I C の運転制御に必要な直流電源を蓄電池から給電可能な 8 時間は、R C I C を運転継続することが可能である。

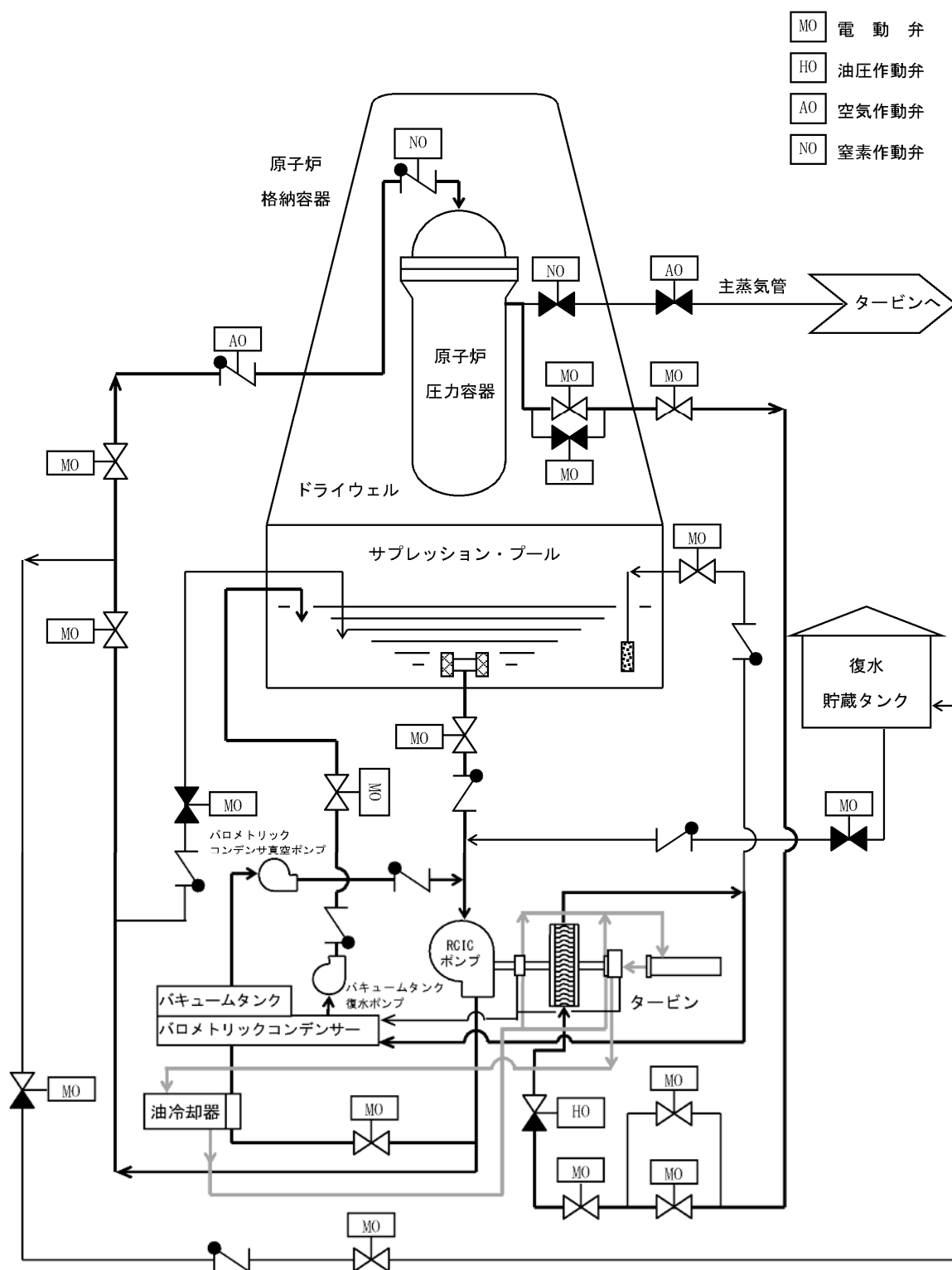


図1 RCICの系統概略図

表 1 原子炉隔離時冷却系の運転継続に係る評価結果

| 評価項目 | 概 要 | 評 価 |
|-------------------|---|---|
| サプレッション・プール水温の上昇 | サプレッション・プール水の温度が上昇すると、R C I C ポンプのキャビテーションやポンプ軸受潤滑油冷却機能を阻害する場合、R C I C ポンプの運転に影響を与える可能性がある。 | R C I C ポンプの第一水源は復水貯蔵タンクであり、自動でサプレッション・チェンバに水源が切り替わることはないため、サプレッション・プール水の温度上昇が R C I C ポンプの運転に影響を与えることはない。また、第二水源であるサプレッション・チェンバを水源とした場合、事象発生後 8 時間での水温は約 100℃となる。この時の R C I C ポンプの有効 N P S H は約 6.4m まで低下するが、R C I C ポンプの必要 N P S H である約 5.8m に対して十分余裕があるため、キャビテーションは発生しない。また、ポンプ軸受の潤滑油温度は、冷却器の設計上、潤滑油の冷却に使用しているサプレッション・プール水温より約 6℃高くなるが、潤滑油の許容温度である 120℃未満となるため、軸受の冷却が阻害されることはない。したがって、サプレッション・プールの温度上昇による R C I C の 8 時間運転継続への影響はない。 |
| サプレッション・チェンバの圧力上昇 | R C I C タービン排気圧高トリップインターロックの設定圧力は 0.172MPa[gage] である。全交流動力電源喪失時は残留熱除去系によるサプレッション・プール水の冷却ができないため、サプレッション・チェンバの圧力が上昇し、R C I C タービン排気圧高トリップインターロックが動作して R C I C が停止する可能性がある。 | 全交流動力電源喪失時に R C I C による原子炉注水を継続した場合のサプレッション・チェンバ圧力を評価した結果、事象発生から 8 時間後のサプレッション・チェンバの圧力は約 0.07MPa[gage] であり、R C I C タービン排気圧高トリップインターロック設定圧力を下回っている。したがって、サプレッション・チェンバの圧力上昇による R C I C の 8 時間運転継続への影響はない。 |
| R C I C ポンプ室の室温上昇 | R C I C の機器設計において、ポンプ構成部品の許容温度と、部品同士の材質の違いからくる金属熱膨張差による干渉を考慮して、R C I C ポンプの最大周囲温度を 66℃と設定している。全交流動力電源喪失時は換気空調系が停止しているため、R C I C ポンプ室の室温が最高温度を超過して R C I C が停止する可能性がある。 | 全交流動力電源喪失時の R C I C ポンプ室の室温を評価した結果、8 時間後の室温は約 63.6℃（初期温度 40℃）であり、設計上考慮している最高周囲温度 66℃を下回る。したがって、R C I C ポンプ室の室温上昇による R C I C の 8 時間運転継続への影響はない。 |
| 中央制御室の室温上昇 | 中央制御室の環境条件として想定している最高温度は、制御盤の設計上の最高温度から、40℃と設定している。全交流動力電源喪失時は換気空調系が停止しているため、中央制御室の室温が最高温度を超過して R C I C が停止する可能性がある。 | 全交流動力電源喪失時の中央制御室の室温を評価した結果、8 時間後の室温は約 37.3℃（初期温度 26℃）であり、設計上考慮している最高温度 40℃を下回る。したがって、中央制御室の室温上昇による R C I C の 8 時間運転継続への影響はない。 |

表 2 125V 系蓄電池 A 系の負荷内訳

| 負荷名称 | 負荷電流と運転時間 | | 備考 |
|---------------------|-----------|-------|--|
| | 1 分以内 | 480 分 | |
| 原子炉隔離時冷却系復水ポンプ | 69A | 23A | |
| 原子炉隔離時冷却系真空ポンプ | 66A | 22A | |
| M／C， P／C 遮断器の制御電源 | 271A | — | No. 3， 4 については，同時運転はしないため，負荷電流 が大きい方で積上げることとする。 よって，No. 4 の（ ）内は積算しない。 |
| 2 C 非常用ディーゼル発電機初期励磁 | (200A) | — | |
| その他の負荷（電動弁，計装制御設備等） | 1, 344A | 67A | |
| 合 計 | 1, 750A | 112A | |

全交流動力電源喪失時における原子炉隔離時冷却系ポンプ室
及び中央制御室の室温評価について

1. 原子炉隔離時冷却系ポンプ室の温度上昇の評価方法

(1) 評価の流れ

全交流動力電源喪失時には換気空調系による除熱が行われなため、評価対象室の温度変化は、盤や照明などの室内の熱源から受ける熱量（室内熱負荷）と隣室や躯体への放熱（躯体放熱）のバランスによって決定される（図 1 参照）。評価手順としては、まず定常計算により定常時（全交流動力電源喪失発生前）の躯体コンクリート壁の温度分布を求め、全交流動力電源喪失発生時刻を 0 秒とした過渡計算を行う。過渡計算では、評価対象のエリアと隣接室とのコンクリート熱容量を考慮し、室温とコンクリート内温度分布の過渡変化から室温を求める。

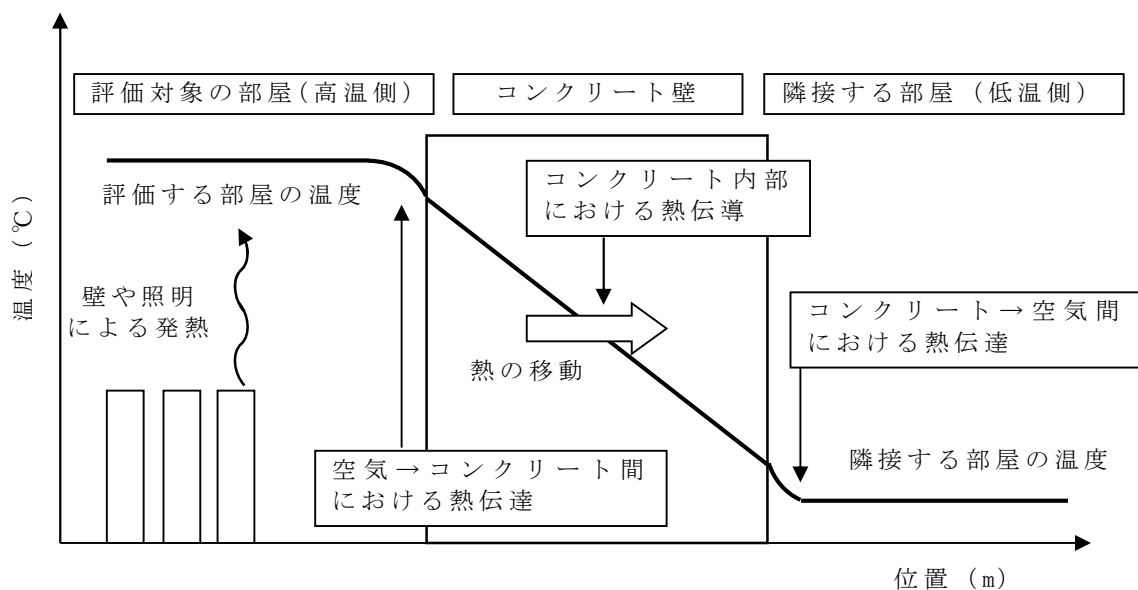


図 1 評価モデルの概要

(2) 評価条件

評価条件を以下にまとめる。

・評価対象室の評価条件

| | |
|----------------------|-------------------|
| | 原子炉隔離時冷却系 ポンプ室 |
| 容 積[m ³] | |
| 空気熱容量[kJ/K] | |
| 初期温度[°C] | 40 |

発熱負荷

| | | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 時間 (h) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 発熱量 (kW) | 14.6 | 14.6 | 14.6 | 14.7 | 15.7 | 16.7 | 17.7 | 18.4 | 19.5 |

・評価対象の部屋に隣接する部屋の温度

周辺エリア 40°C（夏期設計室温の最大値）

地中 15°C（夏期設計外気温度（35°C）と冬期設計外気
温度（-8°C）の平均（13.5°C）を丸めて設定）

サプレッション・プール水温

| | | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 時間 (h) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 温度 (°C) | 32 | 48 | 59 | 67 | 74 | 81 | 88 | 93 | 100 |

・コンクリート壁－空気の熱伝達率

| | |
|-----------|-----------------------------------|
| 評価壁面 | 熱伝達率 (W/m ² ・°C) ※1 |
| 鉛直壁面 | 2 |
| 水平壁面（上向き） | 3 |
| 水平壁面（下向き） | 0.5 |

※1 伝熱工学資料第5版に基づき、温度差 5°C、代表長さ 5m に
て算出した値

・コンクリートの物性値

| 評価壁面 | 物性値 ^{※2} |
|------|-----------------------------|
| 熱伝導率 | 1.6 (W/m・℃) |
| 熱拡散率 | 5.3E-07 (m ² /s) |

※2 伝熱工学資料第5版に基づく

(3) 評価結果

全交流動力電源喪失時において、事象発生8時後の原子炉隔離時冷却系ポンプ室の温度は約63.6℃となり、設計上考慮している温度（66℃）を超過しないため、原子炉隔離時冷却系の運転継続に与える影響はない。

2. 中央制御室の温度上昇の評価方法

(1) 評価の流れ

原子炉隔離時冷却系ポンプ室の評価と同様の流れで評価を行った。

(2) 評価条件

評価条件を以下にまとめる。

・評価対象室の評価条件

| | 中央制御室 |
|----------------------|-------|
| 発熱負荷[W] | |
| 容 積[m ³] | |
| 空気熱容量[kJ/K] | |
| 初期温度[℃] | 26 |

- ・評価対象の部屋に隣接する部屋の温度

周辺エリア 40℃（夏期設計室温）

M S トンネル室 60℃（同上）

空調機械室 35℃（夏期設計温度）

ケーブル処置室 35℃（同上）

屋外 35℃（外気設計温度 夏期）

- ・コンクリート壁－空気の熱伝達率

| 評価壁面 | 熱伝達率 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) |
|-----------|--|
| 鉛直壁面 | $2^{\ast 3}$ |
| 水平壁面（上向き） | $3^{\ast 3}$ |
| 水平壁面（下向き） | $0.5^{\ast 3}$ |
| 屋外 | $2^{\ast 4}$ |

※3 伝熱工学資料第5版に基づき、温度差 5℃，代表長さ 5m にて
算出した値

※4 空気調和衛生工学便覧第14版に基づく

- ・コンクリートの物性値

| 評価壁面 | 物性値 ^{※5} |
|------|--|
| 熱伝導率 | 1.6 ($\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$) |
| 熱拡散率 | $5.3\text{E}-07$ (m^2/s) |

※5：伝熱工学資料第5版に基づく

(3) 評価結果

全交流動力電源喪失時において、事象発生 8 時後の中央制御室の温度は約 37.3℃となり、設計上考慮している温度（40℃）を超過しないため、原子炉隔離時冷却系の運転継続に与える影響はない。

事故シーケンスの分類について

事故シーケンスの最終状態を、喪失する基本的安全機能（停止機能，炉心冷却機能，格納容器からの除熱機能）及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（以下「規則解釈」という。）の第 37 条に記載されている事故シーケンスグループに従い，表 1 のとおり分類している。

規則解釈にて与えられた事故シーケンスグループは，表 1 のとおり 3 つの基本的安全機能のいずれかが喪失するカテゴリとして整理し，全交流動力電源喪失の事故シーケンスグループについては，炉心冷却機能喪失のカテゴリに位置付けることとした。したがって，全交流動力電源喪失後に炉心冷却に失敗する長期 T B，T B U，T B P 及び T B D については，炉心冷却機能喪失に分類される全交流動力電源喪失として整理する。ただし，T B W については，除熱機能喪失により格納容器先行破損に至るシーケンスであることから，格納容器からの除熱機能喪失に分類される崩壊熱除去機能喪失として整理する。

表 1 事故シーケンスの分類

| 喪失する基本的安全機能 | 事故シーケンスグループ | |
|---------------|---------------------------------------|---|
| 原子炉停止機能喪失 | 原子炉停止機能喪失 | ・ T C |
| 炉心冷却機能喪失 | 高圧・低圧注水機能喪失 | ・ T Q U V |
| | 高圧注水・減圧機能喪失 | ・ T Q U X |
| | 全交流動力電源喪失 | ・ 長期 T B ・ T B U ・ T B P ・ T B D |
| | L O C A 時注水機能喪失 | ・ L O C A (A E , S 1 E , S 2 E) |
| | 格納容器バイパス (インターフェイスシステム L O C A) | ・ I S L O C A |
| 格納容器からの除熱機能喪失 | 崩壊熱除去機能喪失 | ・ T W ・ T B W |

サポート系が一部故障している場合の評価について

フロントライン系とサポート系の依存性を表 1 に示す。また、サポート系が一部故障した場合にフロントライン系へ与える影響について、以下に例示する。

(1) サポート系の一部故障により機能喪失する例

高圧炉心スプレイ系（H P C S）機能喪失に係るフォールトツリーの概略図を図 1 に示す。H P C S の動作には、サポート系として駆動電源の区分Ⅲ交流電源、制御用電源の区分Ⅲ直流電源、及び非常用補機冷却系として H P C S ディーゼル発電機海水系（H P C S - D G S W）を必要とする。

H P C S は、これらのサポート系のうち 1 つでも機能喪失すると機能喪失に至る。

(2) サポート系の一部故障により機能喪失しない例

自動減圧系（A D S）の機能喪失に係るフォールトツリーの概略図を図 2 に示す。自動減圧系の動作には、サポート系として区分Ⅰ直流電源、区分Ⅱ直流電源のいずれかの電源を必要とする。

A D S は、両区分の直流電源が機能喪失した場合には機能喪失するが、いずれか一方が機能維持していれば動作可能である。

表1 フロントライン系とサポート系の依存性

| | | | フロントライン系 (従属故障の可能性のある系統) | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------|---------------------|-----------------------------|------------|------|-------|---|--------|-----|---|---|--------|---|
| | | | 原子炉 停止 | 高圧炉心 冷却 | | 原子炉減圧 | | 低圧炉心冷却 | | | | 格納容器除熱 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| スクラム 系 | HPCS | RCIC | ADS | | LPCS | LPCI | | | RHR | | | | |
| | | | 自動 | 手動 | | A | B | C | A | B | | | |
| (故障系統・機器) サポート系 | 交流電源 | 区分Ⅰ | — | — | — | — | — | ◎ | ◎ | — | — | ◎ | — |
| | | 区分Ⅱ | — | — | — | — | — | — | ◎ | ◎ | — | ◎ | |
| | | 区分Ⅲ | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | 直流電源 | 区分Ⅰ | — | — | ◎ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | — | — | ◎ | — |
| | | 区分Ⅱ | — | — | — | ○ | ○ | — | — | ◎ | ◎ | — | ◎ |
| | | 区分Ⅲ | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 非常用補機 冷却系 | RHRS-A | — | — | — | — | — | ◎ | ◎ | — | — | ◎ | — |
| | | RHRS-B | — | — | — | — | — | — | — | ◎ | ◎ | — | ◎ |
| | | HPCS-DGSW | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 空調機 | HPCSポンプ室 | — | ◎ | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | LPCSポンプ室 | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | — | — | — |
| | | LPCI-A (RHR-A) ポンプ室 | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | ◎ | — |
| | | LPCI-B (RHR-B) ポンプ室 | — | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | ◎ |
| | | LPCI-Cポンプ室 | — | — | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — |
| | | DG-2C室 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| DG-2D室 | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| HPCS-DG室 | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |

◎： 系統の機能維持に必須であり，故障により系統の機能喪失となる。

○： 起因事象により必要になるケースがあり，事象によっては系統機能喪失となる。

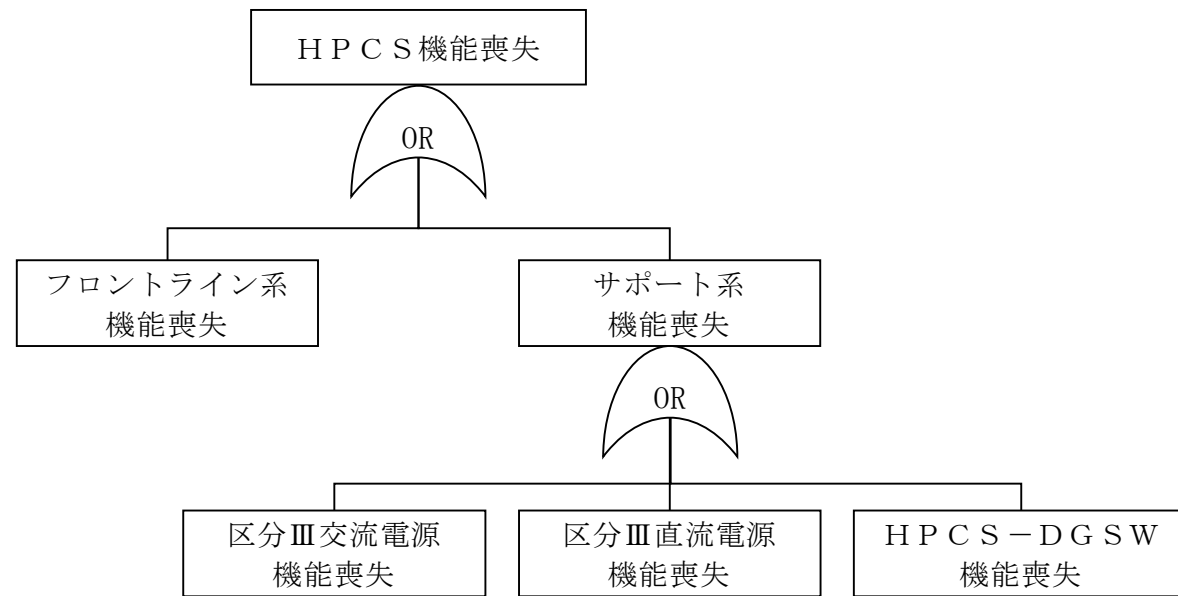


図 1 H P C S のフォールトツリー概略図

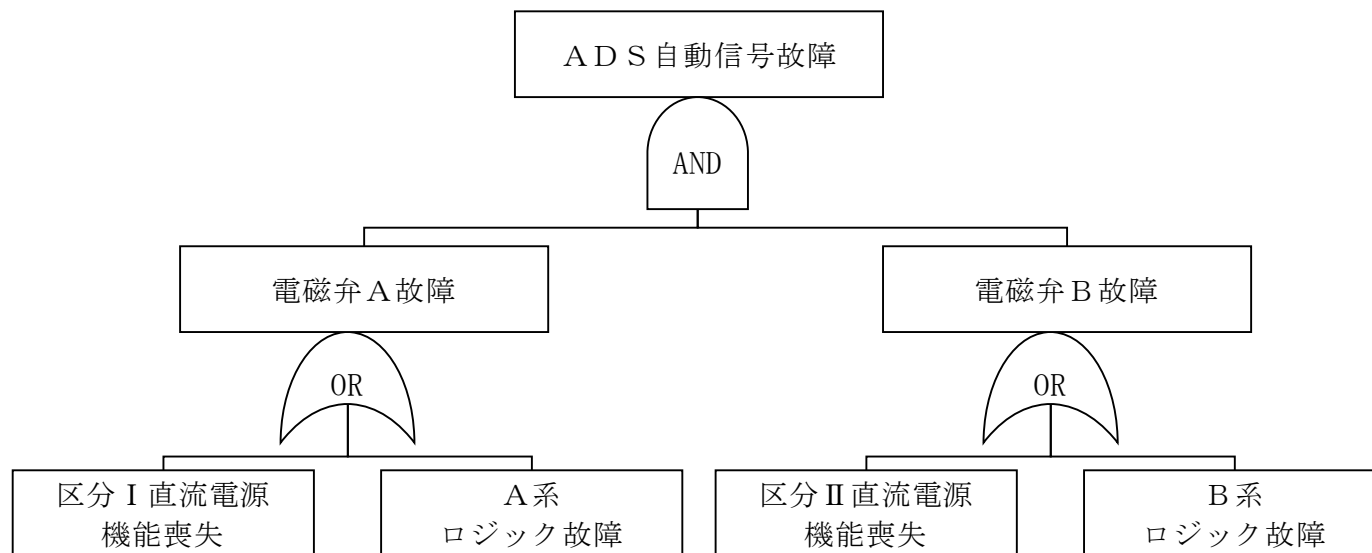


図 2 ADS 自動信号故障のフォールトツリー概略図

制御棒挿入失敗確率の算出方法について

(1) はじめに

本PRAでは、スクラム機械系故障の定義を「原子炉を未臨界状態にできないこと」としている。そのため、制御棒挿入の失敗については、の制御棒の挿入に失敗すると未臨界を確保できないという過去の知見に基づき、の制御棒の挿入に失敗する確率としている。の制御棒挿入失敗確率については、以下に示す方法により算出している。

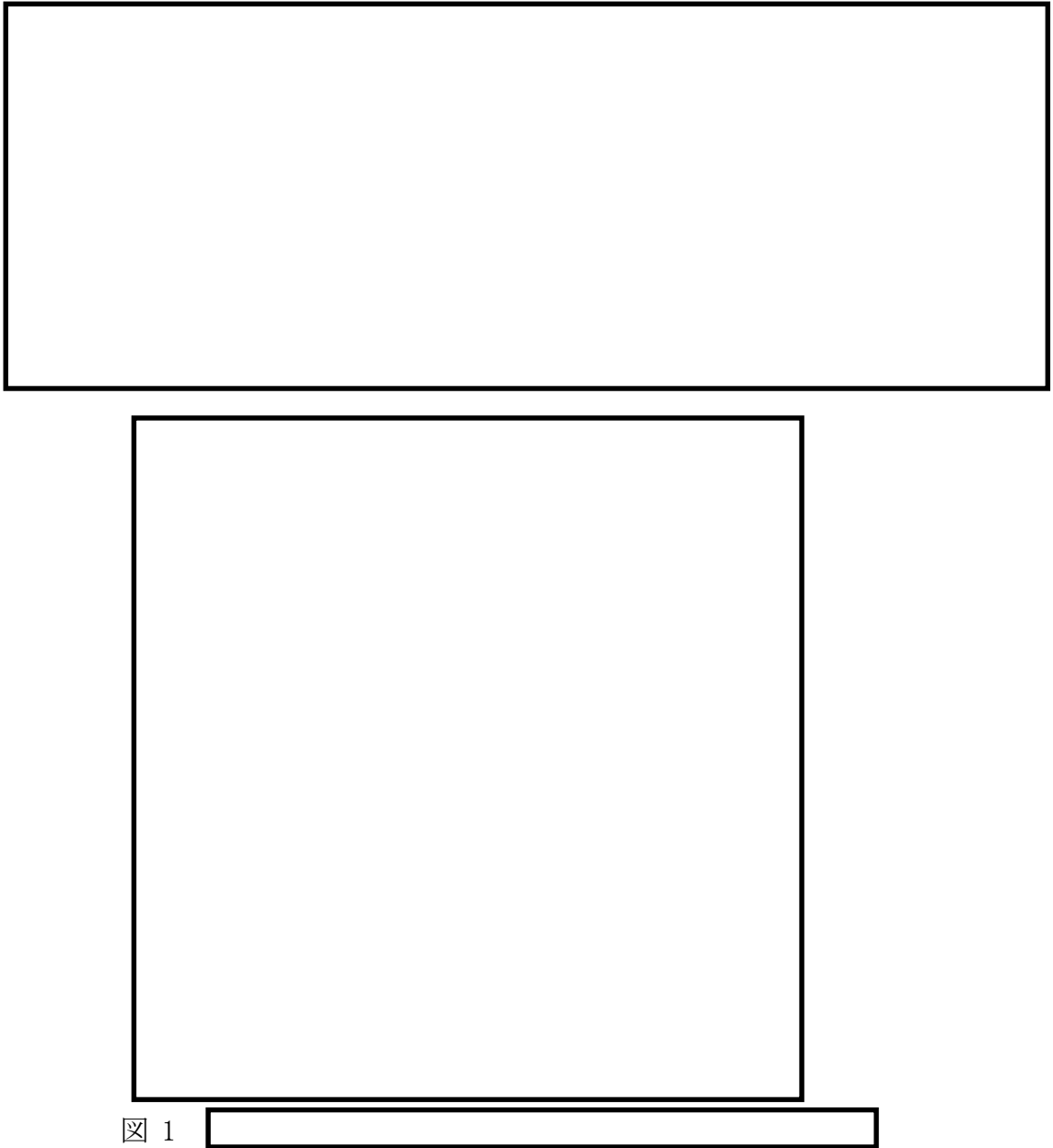
(3) 制御棒挿入失敗確率の算出方法

a. 制御棒挿入失敗確率の算出式

b．制御棒 1 本当たりの故障確率 P_{CRD} の算出式

c．共通要因故障

d．組合せ数



4. 参考文献

- [1] “故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定”，
日本原子力技術協会，平成21年5月．
- [2] WASH-1400, “REACTOR SAFETY STUDY” ,U.S NUCLEAR REGULATORY
COMMISSION, OCTOBER 1975.
- [3] NUREG/CR-4550, “Analysis of Core Damage Frequency : Internal
Events Methodology” , JANUARY 1990.

保安規定上許容されない複数の緩和設備の待機除外を評価上除外するモデル化方法について

緩和設備のフォールトツリーでは、メンテナンスによる待機除外確率をモデル化しているため、事故シーケンスの定量化の際、保安規定上許容されない複数の緩和設備を同時に待機除外にする組合せのカットセットが含まれることになる。これらのカットセットを評価上除外するため、保安規定上許容されない複数の緩和設備の待機除外の組合せをモデル化したフォールトツリーを作成し、イベントツリーの最初のヘディングにこのフォールトツリーをリンクングさせ、このヘディングの成功パスを定量化対象としている。

保安規定上許容されない複数の緩和設備の待機除外を評価上除外するためのイベントツリー及びフォールトツリーの概念図を図1に示す。

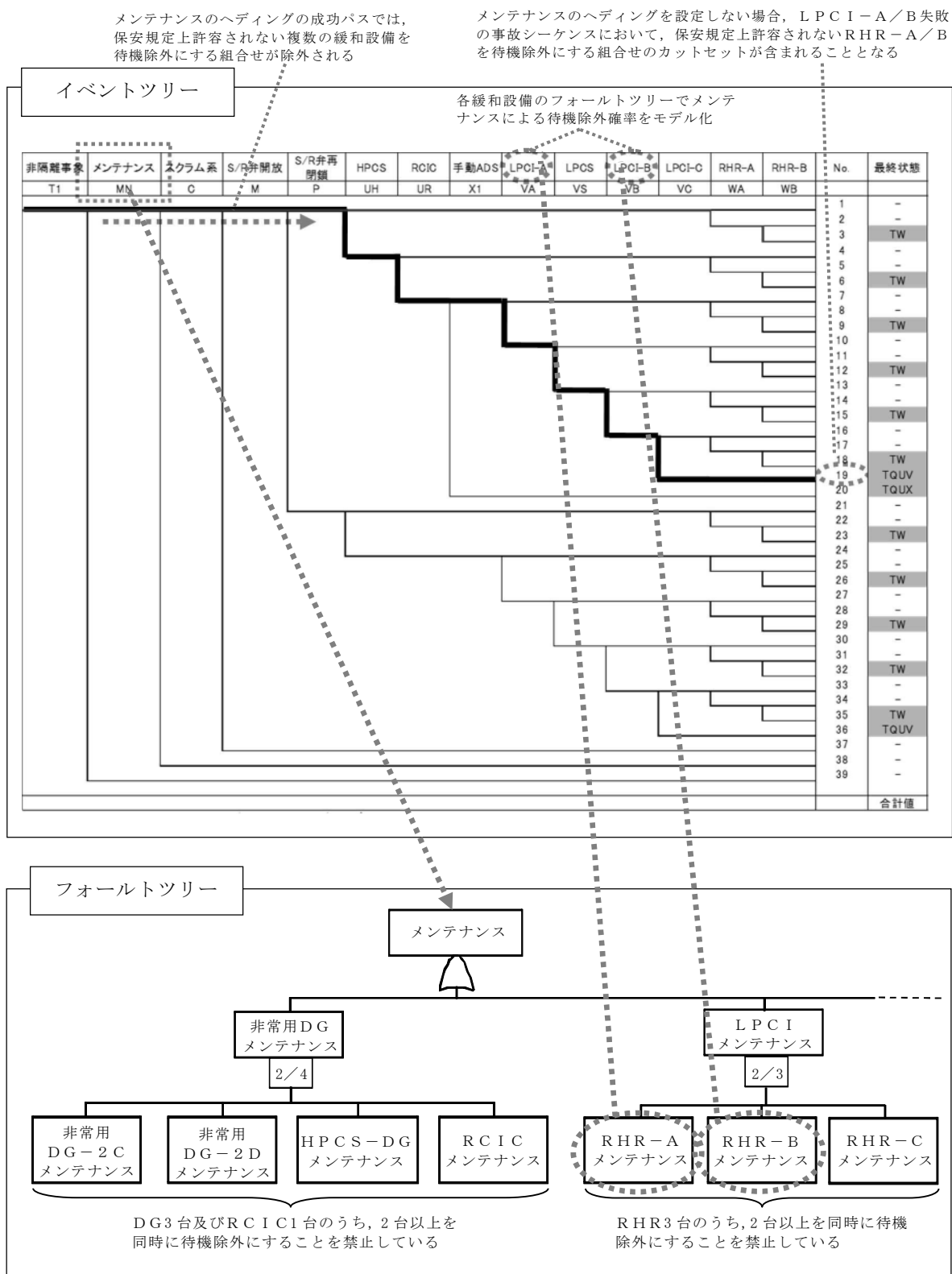


図1 保安規定上許容されない複数の緩和設備の待機除外を評価上除外するためのイベントツリー及びフォールトツリーの概念図

熱交換器の故障率における淡水／海水の考慮について

東海第二発電所の非常用の補機冷却系である残留熱除去系海水系は、海水を直接残留熱除去系の熱交換器に通水する設計となっている。

淡水と海水の違いによる熱交換器の故障率の取扱いについて、国内一般機器故障率（以下「国内 21 ヶ年データ」という）では、淡水と海水の区別はなく、国内で発生した全ての故障件数を基に算出されている。また、海外故障率^[1]においても、国内 21 ヶ年データと同様に、淡水と海水の区別がなされていない。

国内 21 ヶ年データで故障件数に挙げられている国内プラントの熱交換器の故障実績を表 1 に示す。熱交換器の故障モードとして最も支配的となるのは伝熱管閉塞であり、海水系の故障モードとなることから、適用性に問題はない。

表 1 国内プラントの熱交換器の故障実績

| 故障モード | 事象の概要 | 淡水／海水 | 国内 21 ヶ年データ平均値 (1/h) |
|-------|---|-------|-------------------------|
| 伝熱管破損 | 東海第二発電所 第 5 給水加熱器 (C) の伝熱管の破断 (2000 年 02 月 23 日) 原因：施工不完全による化学腐食 | 淡水 | 2.6E-8 |
| 伝熱管閉塞 | 福島第一原子力発電所 1 号機 格納容器スプレイ熱交換器 (A) 点検 (1982 年 04 月 22 日) 原因：自然劣化 | 海水 | 7.1E-8 |
| | 福島第一原子力発電所 1 号機 格納容器スプレイ熱交換器 (B) 点検 (1982 年 04 月 22 日) 原因：自然劣化 | 海水 | |
| 外部リーク | － (実績なし) | － | 8.8E-9※ |

※ベイズ統計に基づく

参考文献

- [1] Industry-Average Performance for Components and Initiating Events at U.S. Commercial Nuclear Power Plants (NUREG/CR-6928)

故障率データがない機器の既存データの代用について

本PRAでモデル化している機器のうち、国内21ヵ年データ「故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定」において故障率が整備されていない機器については、別の機器の故障率で代用している。国内21ヵ年データから代用した理由は、国内原子力発電所における運転・保守に依存する機器の運転期間、点検頻度等の違い等の特殊性から、他のデータベースの適用が困難と考えているためである。

(1) 国内21ヵ年データ以外のデータベース

国内一般機器故障率から故障率を代用した機器について、他のデータベースを調査し、故障率の有無及び故障率が掲載されている場合は、その代用の可能性について検討した。代用している機器に関する他のデータベースにおける記載について表1に示す。

本PRAにおいて代用した機器故障率と他のデータベースにおける該当機器の故障率を比較すると、他のデータベースの方が数桁高い値となっている。また、同じ機器を比較した場合においても、該当する機器の故障率は他のデータベースの方が高い傾向があることから、国内21ヵ年データに故障率データがない機器のみ、他のデータベースの値を使用することは、全体的なリスクの傾向を把握する上でバランスを欠いた評価となる可能性があることから、適切ではないと考えられる。

機器故障率を代用しているものについては、本来、他の機器故障率データと同様に、国内プラントの実績に基づくデータを使用することが適切である。現在、機器故障率が整備されていないデータの収集・評価については、電力中央研究所において検討がなされていることから、その結果につ

いて適応性を検討していく。

(2) 機器故障率を代用した機器

本 P R A において機器故障率を代用している機器及び代用機器の選定理由を表 2 に示す。

a. 制御弁

制御弁については、図 1 に示すとおり、系統圧力で弁開度を調整する機器構造の類似性により「空気作動弁」を代用し、「制御弁誤閉」の故障率を、故障モードの類似性により「空気作動弁誤開又は誤閉」の故障率で代用している。

b. 冷却器

冷却器については、図 2 に示すとおり、熱エネルギー差のある流体間で細管による熱交換を行う機器構造の類似性により「熱交換器」で代用し、「冷却器故障」及び「冷却器閉塞」の故障率を、それぞれ故障モードの類似性により「熱交換器伝熱管破損」及び「熱交換器伝熱管閉塞」の故障率で代用している。

c. 速度検出器

速度検出器については、検出した情報を電気信号に変換する機器構造の類似性により「水位トランスミッタ」及び「圧力トランスミッタ」で代用し、「速度検出器作動失敗」及び「速度検出器誤高出力／誤低出力」の故障率を、それぞれ故障モードの類似性により「水位トランスミッタ不動作」及び「圧力トランスミッタ高出力／低出力」のそれぞれ高い方の故障率で代用している。

d. 中性子束検出器

中性子束検出器については、放射線によるガスの電離作用を電気信号

として検出する機器構造の類似性により「放射線検出器」を代用し、「中性子束検出器不動作」及び「中性子束検出器誤低出力」の故障率を、それぞれ故障モードの類似性により「放射線検出器不動作」及び「放射線検出器高出力／低出力」の故障率で代用している（添付資料 3.1.1.6－5）。

表 1 代用している機器に関する他のデータベースの記載

| 機器及び故障モード (代用している機器及び故障モード) | | NUREG/CR-6928 (／時間) | IEEE-Std. 500 (／時間) | T-Book 6 th edition (／時間) | 国内 21 ヲ年データ (／時間) |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------------|---|----------------------|
| 制御弁 (空気作動弁) | 誤閉 (誤開又は誤閉) | － (1.8E-07) | 5.5E-06 (5.3E-07) | － (2.0E-06／1.7E-06) | － (2.7E-08) |
| 冷却器 (熱交換器) | 故障 (伝熱管破損) | － (－) | 3.4E-06 (－) | － (－) | － (2.6E-08) |
| | 閉塞 (伝熱管閉塞) | － (6.5E-07) | － (－) | － (3.2E-07) | － (7.1E-08) |
| 速度検出器 (水位トランスミッタ) | 作動失敗 (不動作) | － (1.0E-07) | 9.0E-08 (4.6E-07) | － (3.7E-06) | － (1.4E-08) |
| 速度検出器 (圧力トランスミッタ) | 誤高出力／誤低出力 (誤高出力／誤低出力) | － (8.2E-07) | 1.9E-07／6.5E-07 (6.9E-07／5.3E-07) | － (1.4E-06) | － (3.5E-08) |
| 中性子束検出器 (放射線検出器) | 作動失敗 (不動作) | － (－) | 6.0E-06 (1.8E-06) | － (－) | － (3.4E-08) |
| | 誤低出力 (高出力／低出力) | － (－) | － (2.4E-06／2.3E-06) | － (－) | － (7.3E-08) |

表 2 機器故障率を代用している機器一覧

| 故障率が整備されていない機器 | | 代用機器 | | 代用機器の選定理由 |
|----------------|------|-----------|---------|-------------------------|
| 制御弁 | 誤閉 | 空気作動弁 | 誤開又は誤閉 | 機器構成要素の類似性 故障モードの類似性 |
| 冷却器 | 故障 | 熱交換器 | 伝熱管破損 | 機器構成要素の類似性 |
| | 閉塞 | | 伝熱管閉塞 | 故障モードの類似性 |
| 速度検出器 | 作動失敗 | 水位トランスミッタ | 不動作 | 機器構成要素の類似性 故障モードの類似性 |
| | 誤高出力 | 圧力トランスミッタ | 高出力／低出力 | 機器構成要素の類似性 故障モードの類似性 |
| | 誤低出力 | | | |
| 中性子束検出器 | 作動失敗 | 放射線検出器 | 不動作 | 機器構成要素の類似性 |
| | 誤低出力 | | 高出力／低出力 | 故障モードの類似性 |

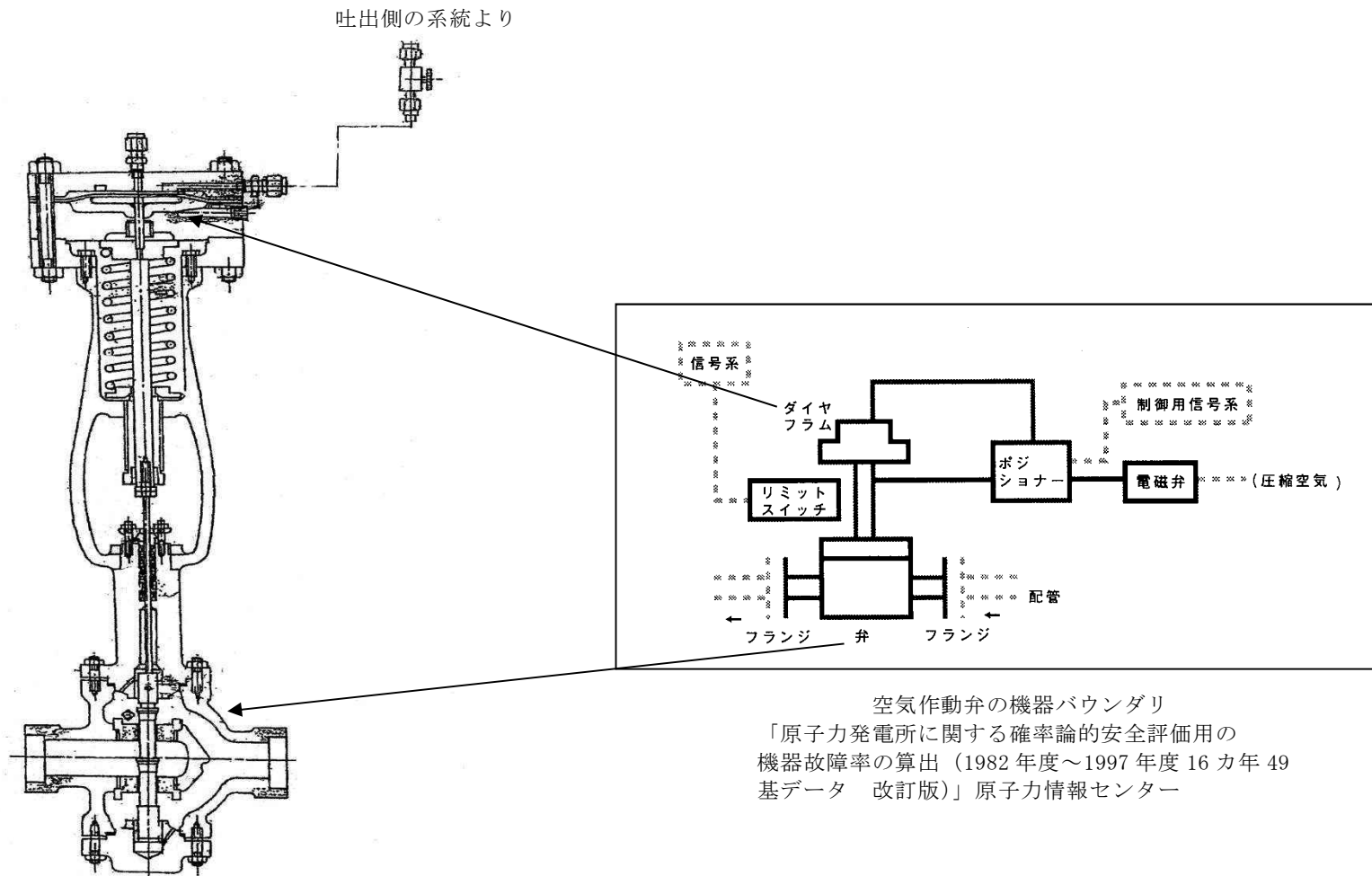


図1 構造の比較（制御弁と空気作動弁の例）

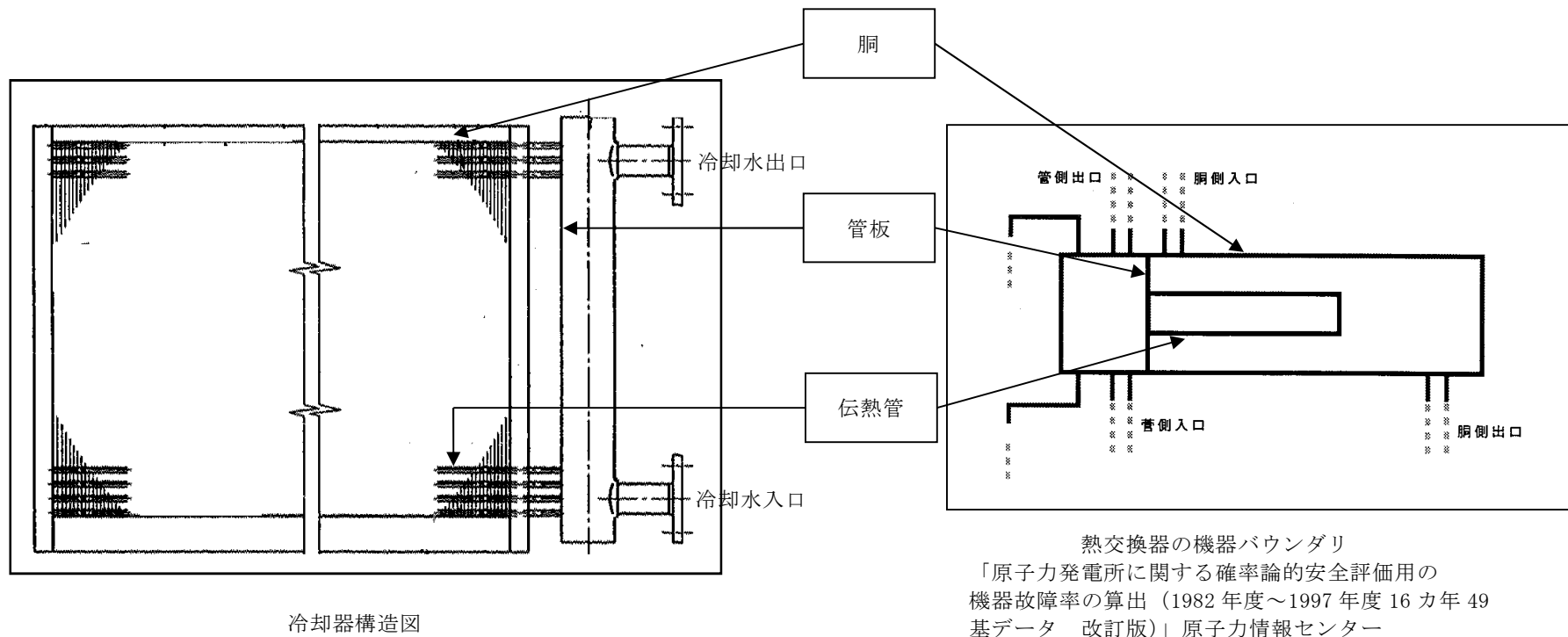


図2 構造の比較（冷却器と熱交換器の例）

メンテナンスによる待機除外確率の実績データとの比較について

(1) メンテナンスによる待機除外確率の算出方法

メンテナンスによる待機除外確率は、本評価でモデル化対象とした系統毎にメンテナンスによる待機除外の可能性のある機器を選定し、機器の故障率と平均修復時間を用いて、次の式により算出している。

$$P_{SYS} = \sum_i (\lambda_i \cdot T r_i)$$

λ_i : 定期試験等によって異常の発見可能な機器 i の異常発生率 (／時間)

$T r_i$: 機器 i の平均修復時間 (時間)

ここで、 λ_i は、NUREG／CR-2815を参考に、対象機器の異常が検知されれば機器が機能喪失する前に予防保全として保守作業を実施することを考慮して、定期試験等によって異常の発見が可能な機器の故障モードの機器故障率の10倍としている。

また、平均修復時間 $T r_i$ については、表1に示す時間を使用している。

表1 平均修復時間データ

| 機器 | 平均修復時間 | 出典 | 備考 |
|----------|--------|-----------|----------------------------|
| ポンプ、ファン | 19時間 | WASH-1400 | 残留熱除去系など安全系に対する値 |
| 弁 | 7時間 | WASH-1400 | 残留熱除去系など安全系に対する値 |
| ディーゼル発電機 | 20時間 | 国内実績 | 1979年6月から1986年3月までのデータに基づく |

(2) 待機除外の評価対象機器の考え方

メンテナンスによる待機除外確率を考慮する機器については、以下の条件を満たすものを評価対象とした。

- ・ サーベランス試験等により故障が発見可能であること
- ・ プラント停止することなくメンテナンスを行えること
- ・ メンテナンスにより系統が機能喪失に至ること

メンテナンスによる待機除外確率の評価例として、低圧炉心スプレイ系の待機除外確率の評価を表 2 に示す。低圧炉心スプレイ系の構成機器のうち、上記の条件を満たすものとして、電動ポンプ 1 台、電動弁 2 弁、逆止弁 1 弁、手動弁 5 弁、ファン 1 台を抽出した。これらの機器の故障モードについては、各機器の考慮すべき故障モードのうち、最も寄与が大きいと考えられる故障モードを代表して適用している。

表 2 メンテナンス確率算出例（低圧炉心スプレイ系）

| 機器タイプ | 故障モード | 機器数 | 故障率 (／h) | 平均修復時間 (h) | 計算値※ |
|-------|-------|-----|-------------|---------------|---------|
| 電動ポンプ | 起動失敗 | 1 | 1.3E-07 | 19 | 2.5E-05 |
| 電動弁 | 作動失敗 | 2 | 4.8E-08 | 7 | 6.7E-06 |
| 逆止弁 | 開失敗 | 1 | 7.1E-09 | 7 | 5.0E-07 |
| 手動弁 | 閉塞 | 5 | 8.5E-09 | 7 | 3.0E-06 |
| ファン | 起動失敗 | 1 | 1.3E-07 | 19 | 2.5E-05 |
| 合計 | | | | | 6.0E-05 |

※：計算値＝10×機器数×故障率×平均修復時間

(3) メンテナンスによる待機除外確率と実績データの比較

(1)の方法により算出した、系統ごとのメンテナンスによる待機除外確率と、国内BWRプラントの待機除外実績データを用いて評価した待機除外確率（以下「国内BWRプラントの待機除外確率」という。）を表3に示す。国内BWRプラントの待機除外確率は、NUCIAに登録されている1998年～2007年までの国内BWRプラントの系統の待機除外の回数、総待機除外時間、延べプラント運転時間から算出されている。なお、非常用ディーゼル発電機については、国内PWRプラントの実績を含んでいる。

表3に示すとおり、本PRAで用いた待機除外確率は、国内BWRプラントの待機除外確率と同程度であることから、本PRAで用いた待機除外確率は妥当であると考えられる。

表3 メンテナンスによる待機除外確率の比較

| 系統 | 本PRAで用いた 待機除外確率 | 国内BWRプラントの 待機除外確率※ |
|--------------------------|--------------------|-----------------------|
| 高圧炉心スプレイ系 | 9.7E-05 | — |
| 原子炉隔離時冷却系 | 9.5E-04 | 7.4E-04 |
| 低圧炉心スプレイ系 | 6.0E-05 | 1.5E-04 |
| 残留熱除去系－A／B | 1.2E-04 | 3.1E-05 |
| 残留熱除去系－C | 5.4E-05 | 3.8E-05 |
| 残留熱除去系海水系 | 3.8E-04 | — |
| 非常用ディーゼル発電機 | 9.9E-04 | 5.6E-04 |
| 高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 | 9.9E-04 | — |
| 非常用ディーゼル発電機 海水系 | 2.7E-04 | — |
| 高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機海水系 | 2.7E-04 | — |

※：「ベイズ統計学に基づくアンアベイラビリティ推定方法の開発－新しい推定理論と国内BWR待機除外データを用いた推定例－研究報告：L08009」（平成21年5月，（財）電力中央研究所）

(4) 非常用ディーゼル発電機の平均修復時間に係る最新のデータについて

NUCIAに登録されている 1998 年～2007 年までの国内データから整理された非常用ディーゼル発電機の待機除外データは，延べプラント運転時間（国内PWRとBWRの合計値）2,740,393.4h に対し，待機除外回数 32 回，総待機除外時間 1,525.1h とされている。ここから計算される待機除外 1 回あたりの待機除外時間は約 48h となり，本PRAで用いた平均修復時間 20h の 2 倍以上となっている。しかし，本PRAでは，(1)で述べたとおり予防保全を考慮して 10 倍した値を待機除外確率と使用しているため，本PRAで用いている非常用ディーゼル発電機の待機除外確率 $9.9\text{E-}4$ は，国内BWRプラントの待機除外確率 $5.6\text{E-}4$ より大きい値となり，保守性を有していると考えられる。

共通要因故障に関する M G L パラメータ適用の考え方

(1) 共通要因故障を考慮する機器の同定

本 P R A では同一又は異なるシステムにおいて、多重性を持たせるために用いられる機器については、共通要因故障を考慮している。共通要因故障を考慮する機器の同定フローを図 1 に示す。

a. 共通要因故障を考慮する機器の候補の同定

以下の 3 つの条件を同時に満たす機器について、共通要因故障を考慮する機器の候補として同定し、

(a) 冗長の機能を有する同種機器

(b) 起因事象発生前の運転状態が同一

(c) 同一故障モード

共通要因故障を考慮する機器については上記の条件に基づき分類しており、製作メーカーの異なる機器についても同様の方法で同定することになる。なお、本 P R A では共通要因故障を考慮する機器としてメーカーの相違する機器は抽出されていない。

b. 動的機器、静的機器及びそれらの故障モード

動的機器と静的機器及びそれらの故障モードによって、共通要因故障の起こりやすさの程度は異なると考えられる。したがって、これらを区別して共通要因故障の適用性を検討した。

ポンプの起動失敗、弁の開失敗等の動的機器の動的故障モードについては、上記 a. の条件を満たすものに対しては共通要因故障を考慮する。

動的機器の静的故障モード及び静的機器の各故障モードについては、上記 a. の条件を満たし、動的機器の動的故障モード

と同程度の故障率であるものに対して共通要因故障を考慮することとし、ストレーナの閉塞（内部破損含む）を抽出した。

(2) 本 P R A で用いた共通要因故障パラメータ

本 P R A では、共通要因故障のモデル化は M G L モデルとして
いる。M G L モデルは、冗長性が高い系の解析に対応しており、
原子力プラントにおいて広く使用実績がある。

本 P R A に用いた共通要因故障パラメータを表1に示す。これらの
パラメータは N U R E G 等の文献を基に設定している。なお、
ファン、ダンパ等の一部の機器については、機器の構造を考慮し
たうえで、他の機器で代用している。

共通要因故障パラメータは、機器故障率と同様に、本来は国内
プラント実績に基づくべきと考えられるが、現時点では、データ
ベースが整備されていない状況にある。そのため、本 P R A では
国内外で使用実績のある海外文献等のデータを使用しており、故
障モードに依らず機器の共通要因故障パラメータを設定している。

例としてポンプの β ファクタの算出方法を示す。ポンプにおけ
る機能喪失の要因分析結果は表 2 のとおりである。コマンドに関
する失敗事例を除く機器の故障 259 件のうち、共通要因による故
障が 10 件であるため、共通要因による故障件数を機器の故障件数
で除して 0.039 と設定した。

なお、N U R E G / C R - 1 2 0 5 (Rev. 1) で共通要因故障に
分類されている事例は、故障要因から判断したものであり、実際
に多重故障が発生したものとは限らない。したがって、この β フ
ァクタは保守的な値である。

(3) 共通要因故障パラメータの適用における故障モードの考慮

共通要因故障パラメータについて、本 P R A では従前より適用実績のある海外文献に基づくデータを用いた。一方で故障モード毎の共通要因故障パラメータをまとめた文献としては、N U R E G / C R - 5 4 9 7 の改訂版である CCF Parameter Estimations 2010 がある。

本 P R A で使用している共通要因故障パラメータと CCF Parameter Estimations 2010 の共通要因故障パラメータを表 3 に示す。表 3 のとおり、ポンプの継続運転失敗の共通要因故障のパラメータについては、CCF Parameter Estimations 2010 と本 P R A で用いた値がほぼ同等であるものの、他のパラメータは CCF Parameter Estimations 2010 の方が低い値を示している。これらのパラメータを用いた場合の感度解析結果を表 4 及び図 2 に示す。

感度解析の結果、全炉心損傷頻度は $5.0\text{E-}5$ / 炉年となり、ベースケースの全炉心損傷頻度 $6.1\text{E-}5$ / 炉年と比較して 0.8 倍となった。これは、崩壊熱除去機能喪失における上位のカットセットに、F V 重要度 2 位である「R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞の共通要因故障」があり、その共通要因故障パラメータが、感度解析ケースでは $3.9\text{E-}3$ となり、ベースケース ($1.3\text{E-}1$) の $1/30$ に低下したことに起因する。

表 1 共通要因故障パラメータの一覧

| 機器タイプ | β ファクタ※ ¹ | γ ファクタ※ ² | 備考 |
|--------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| ポンプ, ファン | 0.039 | 0.520 | NUREG/CR-1205 Rev. 1 |
| 弁, ダンパ | 0.130 | 0.565 | NUREG/CR-1363 Rev. 1 |
| D G | 0.021 | — | NUREG - 1150 |
| 検出器, トリップ設定器 | 0.082 | — | NUREG/CR-2771 |
| リレー (スクラムコンタクタ) | 0.050 | — | SECY-83-293 |
| 蓄電池 | 0.008 | — | NUREG - 0666 |
| ストレーナ | 0.133 | — | NUREG/CR-5497 |

※1: 多重故障 (2 重以上) が発生する確率

※2: 多重故障が発生した場合, それが 3 重以上の故障である条件付確率

NUREG/CR-4550 に基づき γ ファクタを算出

表 2 イベントごとのポンプ故障件数 (NUREG/CR-1205 Table10)

TABLE 10. SUMMARY OF PUMP FAULTS BY TYPE OF EVENT, PUMP CATEGORY, AND PRIME-MOVER

| Type of Event | Category | | | | | | | | | | | | Total | | % | | | |
|---------------------------------------|--------------|----|--------------|----|--------------|----|----------------|----|---------------|----|----------|----|--------|----|---|--|--|--|
| | Running | | Alternating | | Standby | | | | | | Subtotal | | | | | | | |
| | Motor-Driven | | Motor-Driven | | Motor-Driven | | Turbine-Driven | | Diesel-Driven | | | | | | | | | |
| | Faults | % | Faults | % | Faults | % | Faults | % | Faults | % | Faults | % | Faults | % | | | | |
| Random | 19 | 17 | 91 | 26 | 90 | 32 | 93 | 27 | 4 | 25 | 187 | 29 | 297 | 27 | | | | |
| Recurring | 15 | 14 | 121 | 35 | 12 | 4 | 50 | 14 | -- | -- | 62 | 10 | 198 | 18 | | | | |
| Common Cause | 6 | 5 | 5 | 1 | 3 | 1 | 6 | 2 | -- | -- | 9 | 1 | 20 | 2 | | | | |
| Recurring Common Cause | -- | -- | 36 | 10 | 1 | <1 | -- | -- | -- | -- | 1 | <1 | 37 | 3 | | | | |
| Command Faults | 37 | 34 | 64 | 18 | 91 | 33 | 106 | 30 | 4 | 25 | 201 | 31 | 302 | 27 | | | | |
| Recurring Command Faults | 9 | 8 | 16 | 5 | 40 | 14 | 65 | 19 | 7 | 44 | 112 | 17 | 117 | 12 | | | | |
| Common Cause Command Faults | 20 | 18 | 13 | 4 | 31 | 11 | 21 | 6 | 1 | 6 | 53 | 8 | 86 | 8 | | | | |
| Recurring Common Cause Command Faults | 4 | 4 | 4 | 1 | 11 | 4 | 7 | 2 | -- | -- | 18 | 3 | 26 | 2 | | | | |
| Total | 110 | | 350 | | 279 | | 348 | | 16 | | 643 | | 1,103 | | | | | |

$$\begin{aligned}
 \text{ポンプの } \beta \text{ ファクタ} &= (9+1) / (187+62+9+1) \\
 &= 10/259 \\
 &\div 0.039
 \end{aligned}$$

表 3 抽出した故障モード及び共通要因故障パラメータ

| 機器 | 共通要因故障パラメータの参照元等 | | | β | γ | δ |
|-------------------------|-----------------------------------|--------|---------|----------|----------|----------|
| ポンプ (ファンもポンプ で代用) | 現状モデル | | | 3.90E-02 | 5.20E-01 | 1.00E+00 |
| | CCF Parameter Estimations 2010 | 継続運転失敗 | CCCG-2※ | 3.36E-02 | — | — |
| | | | CCCG-3 | 4.14E-02 | 1.83E-01 | — |
| | | | CCCG-4 | 4.30E-02 | 3.43E-01 | 1.56E-01 |
| | | 起動失敗 | CCCG-2 | 2.45E-02 | — | — |
| | | | CCCG-3 | 2.31E-02 | 4.18E-01 | — |
| | | | CCCG-4 | 2.27E-02 | 4.49E-01 | 3.56E-01 |
| 電動弁 | 現状モデル | | | 1.30E-01 | 5.65E-01 | 1.00E-00 |
| | CCF Parameter Estimations 2010 | 開閉失敗 | CCCG-2 | 9.46E-03 | — | — |
| | | | CCCG-3 | 1.05E-02 | 2.12E-01 | — |
| 逆止弁 | 現状モデル | | | 1.30E-01 | 5.65E-01 | 1.00E-00 |
| | CCF Parameter Estimations 2010 | 開失敗 | CCCG-2 | 0.00E+00 | — | — |
| | | | CCCG-3 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | — |
| D G | 現状モデル | | | 2.10E-02 | — | — |
| | CCF Parameter Estimations 2010 | 起動失敗 | CCCG-2 | 1.08E-02 | — | — |
| | | 継続運転失敗 | CCCG-2 | 2.24E-03 | — | — |
| ストレーナ | 現状モデル | | | 1.33E-01 | — | — |
| | CCF Parameter Estimations 2010 | 閉塞 | CCCG-2 | 3.90E-03 | — | — |

※ C C C G : 共通要因故障機器グループのことで、共通要因故障の対象となる系統又は機器の組合せである。

数値は共通要因故障を考慮する機器総数を示す。

表 4 事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度比較

| 事故シーケンスグループ | 炉心損傷頻度（／炉年） | |
|--|-------------|---------|
| | ベースケース | 感度解析ケース |
| 高圧・低圧注水機能喪失 | 3.5E-09 | 3.2E-09 |
| 高圧注水・減圧機能喪失 | 2.0E-08 | 2.0E-08 |
| 全交流動力電源喪失 | 9.9E-08 | 9.6E-08 |
| 崩壊熱除去機能喪失 | 6.0E-05 | 5.0E-05 |
| 原子炉停止機能喪失 | 2.5E-08 | 2.5E-08 |
| L O C A時注水機能喪失 | 2.2E-11 | 6.2E-12 |
| 格納容器バイパス （インターフェイス システム L O C A） | 4.8E-10 | 4.8E-10 |
| 合計 | 6.1E-05 | 5.0E-05 |

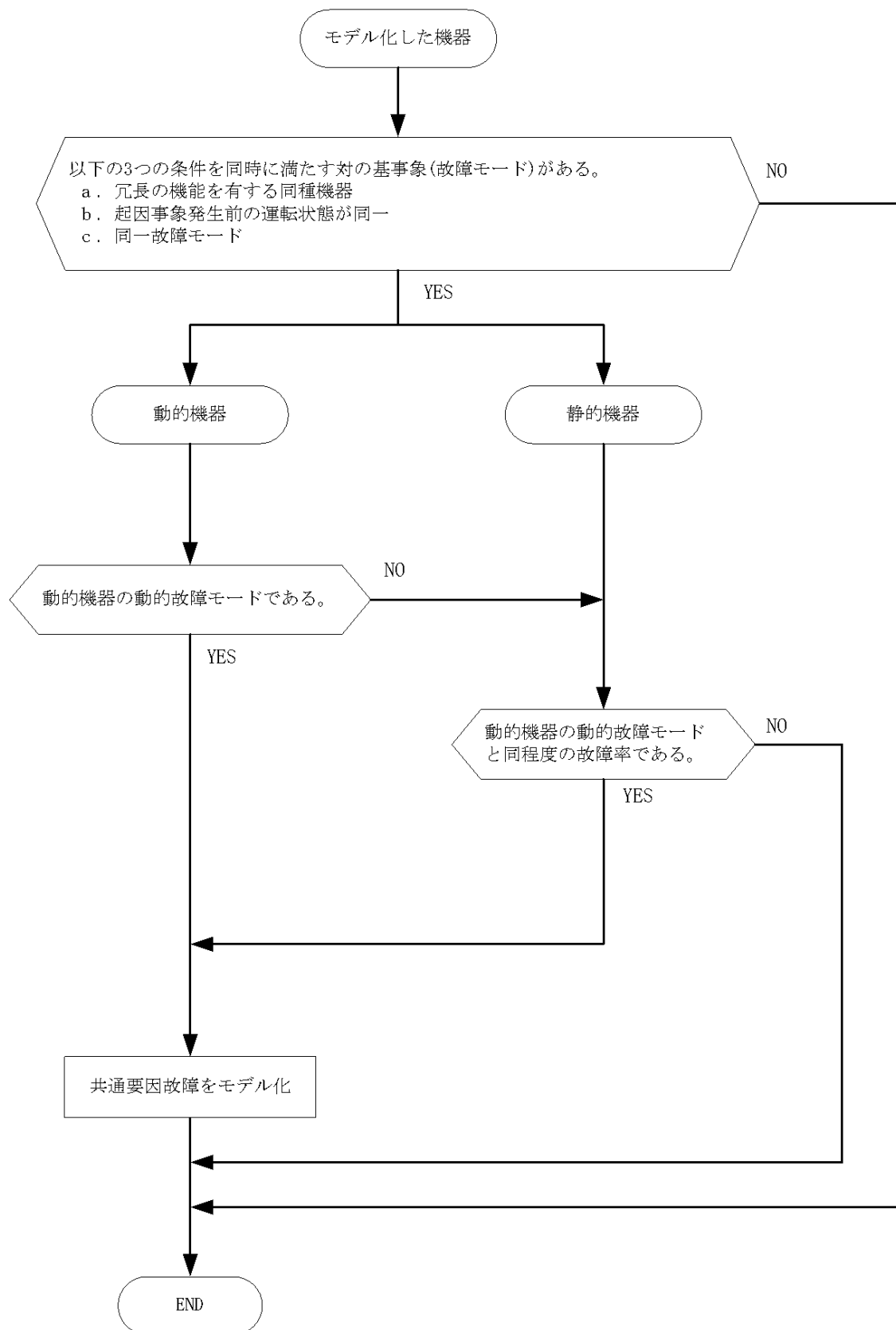


図 1 共通要因故障同定のフロー

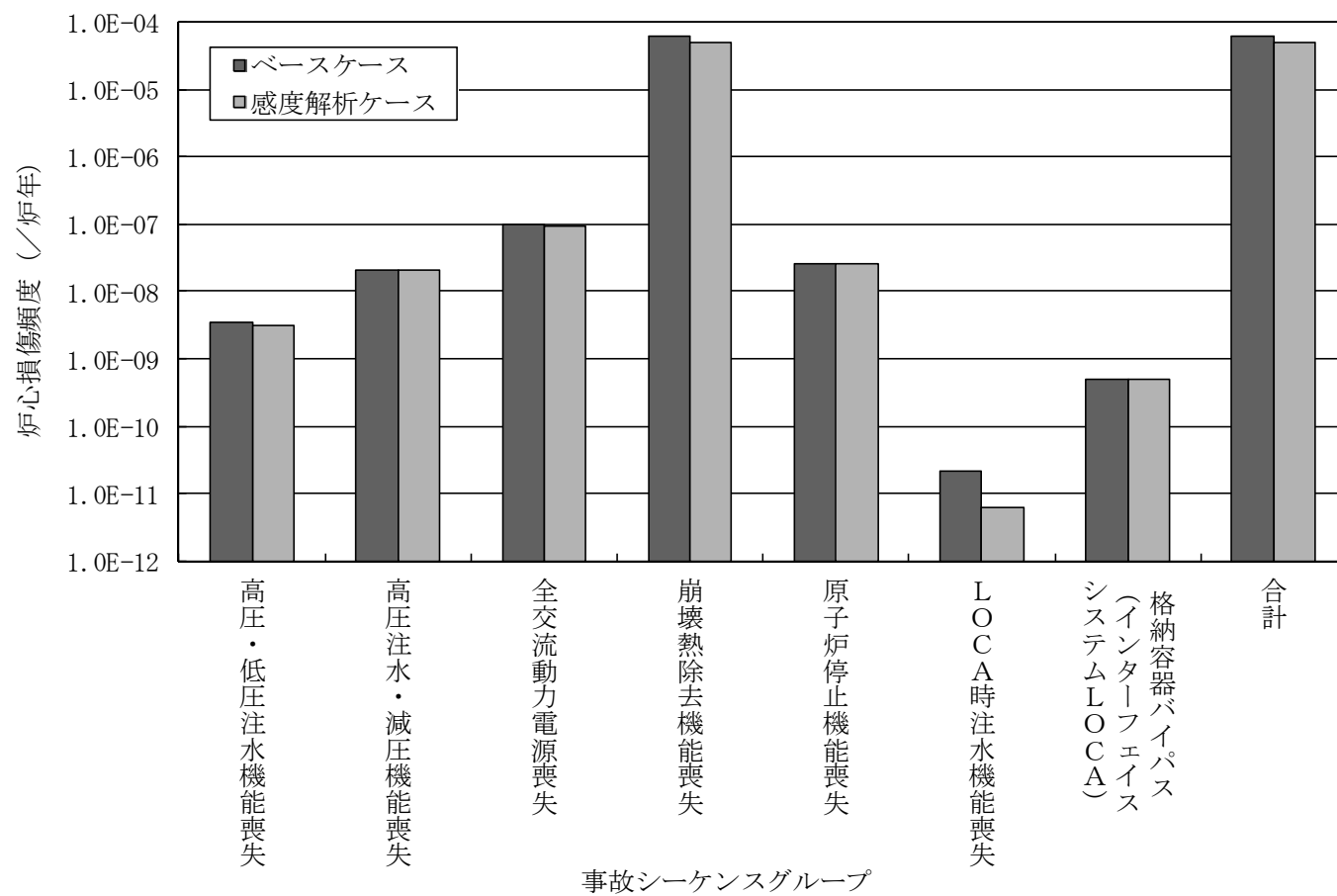


図 2 事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度比較

中性子束検出器のモデル化について

スクラム信号を発信する信号の一つとして、図 1 に示す中性子束高高信号によるトリップロジックの信号があり、局部出力領域計装（以下「L P R M」という。）検出器、カード及び演算装置から構成される平均出力領域計装（以下「A P R M」という。）、中性子計装系リレー並びにスクラムコンタクタから構成されている。

図 1 に示す A P R M の範囲については、21 個又は 22 個の L P R M 検出器及びカード、並びに演算装置で構成されており、本 P R A では 1 つの中性子束検出器としてモデル化している。また、その故障率及び故障モードは以下のとおりとしている（添付資料 3.1.1.6-2）。

- ・ 中性子束検出器の故障率については、放射線によるガスの電離作用を電気信号として検出する機器構造の類似性により「放射線検出器」を代用
- ・ 故障モードとしては、「中性子束検出器不動作」及び「中性子束検出器誤低出力」を、それぞれ故障モードの類似性により「放射線検出器不動作」及び「放射線検出器高出力／低出力」で代用

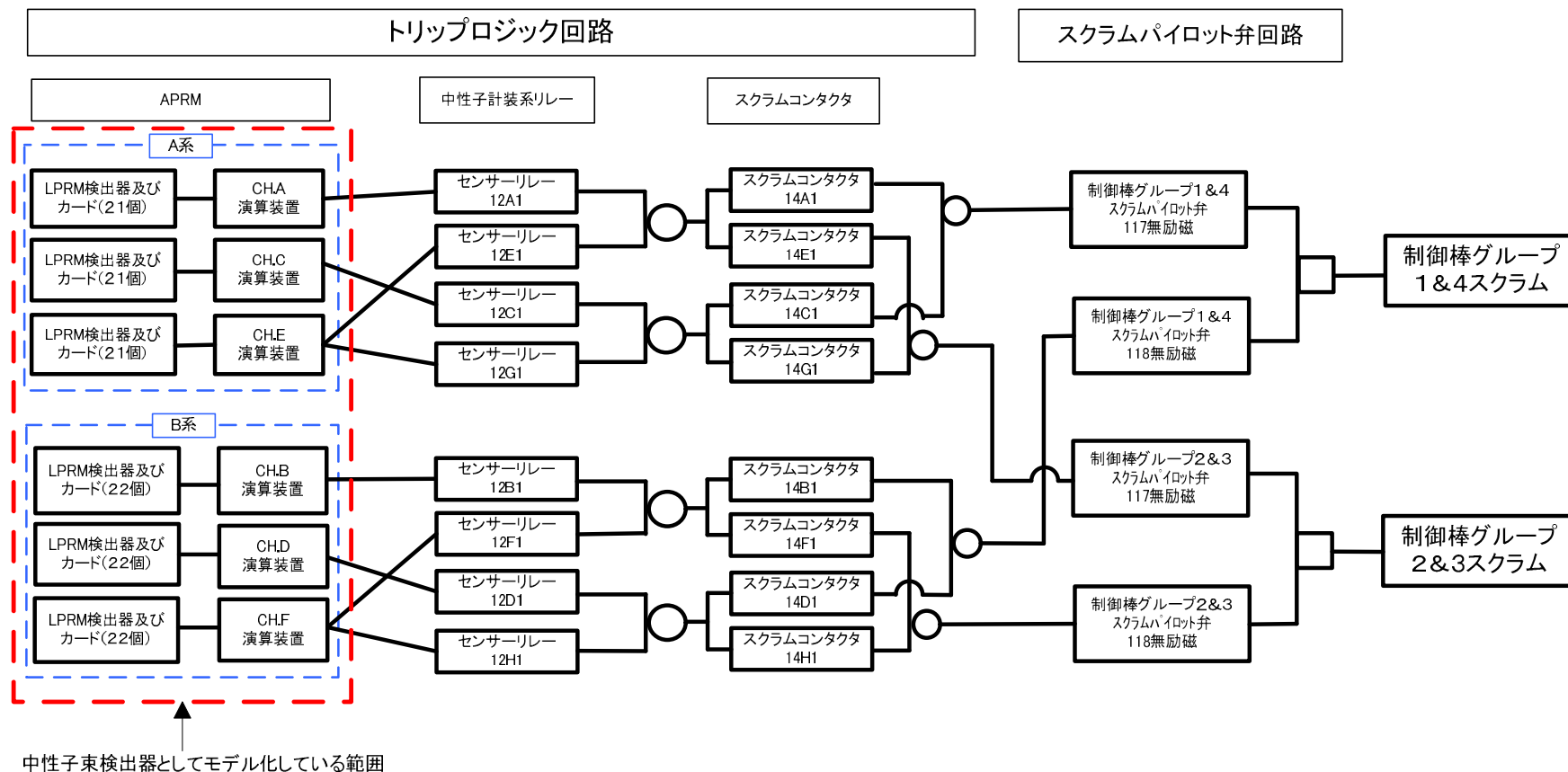


図1 中性子束高高信号によるトリップロジック及びスクラムパイロット弁回路

人的過誤率の評価方法について

本 P R A にてモデル化した人的過誤「事象発生前の弁の開け忘れ・閉め忘れ」及び「事象発生後の格納容器除熱操作失敗」を代表例とし、H R A (Human Reliability Analysis) イベントツリーによる人的過誤確率の算出について以下に説明する。

1. 事象発生前の人的過誤（弁の開け忘れ・閉め忘れ）

人的過誤の内容、H R A イベントツリーを図 1 に示す。また、過誤確率計算シートを表 1-1～1-4 に示す。

2. 事象発生後の人的過誤（格納容器除熱操作失敗）

人的過誤の内容、H R A イベントツリーを図 2 に示す。また、過誤確率計算シートを表 2-1～2-4 に示す。評価に当たって、想定した人的過誤の内容について以下に示す。

(1) 操作内容

原子炉への注水に成功した後の R H R による格納容器からの除熱操作に失敗する。

操作に使用する R H R の系統構成を図 3 に示す。

(2) 操作に使用する手順書及び操作手順

非常時運転手順書（徴候ベース）及び原子炉設備運転手順書に基づき、以下の認知・操作を実施する。

認知（RHRによる格納容器除熱の認知_表 2-1）

①格納容器圧力高（LOCA信号）

②ドライウェル空間温度

↓
操作（RHRによる格納容器除熱操作_表 2-2）

①RHR Sポンプを（2台）起動

②RHRポンプ室空調機を起動

③RHRポンプを起動

④RHR熱交バイパス弁を全開

⑤格納容器スプレイ弁を（2弁）全開

⑥サブレーション・プールスプレイ弁を全開

(3) 余裕時間

余裕時間はTW時の事象進展解析結果より1時間とする。格納容器除熱操作において考慮している格納容器スプレイ冷却系及びサブレーション・プール冷却系は15分程度で実施できることから比較的短時間で完了できる。

(4) 追加の指示や過誤回復の可能性

業務の連携は良好であり、担当運転員以外にも指導的な立場等の他の運転員からの指示や過誤回復に期待できる。また、事象進展に伴い後段に発報される複数の警報により、認知失敗の過誤回復に期待できる。

3. 評価に使用したデータベース

人的過誤確率の算出にあたっては、NUREG/CR-1278に記載されている人的過誤確率データを使用した。人的過誤確率データの例を表3-1～3-7に示す。

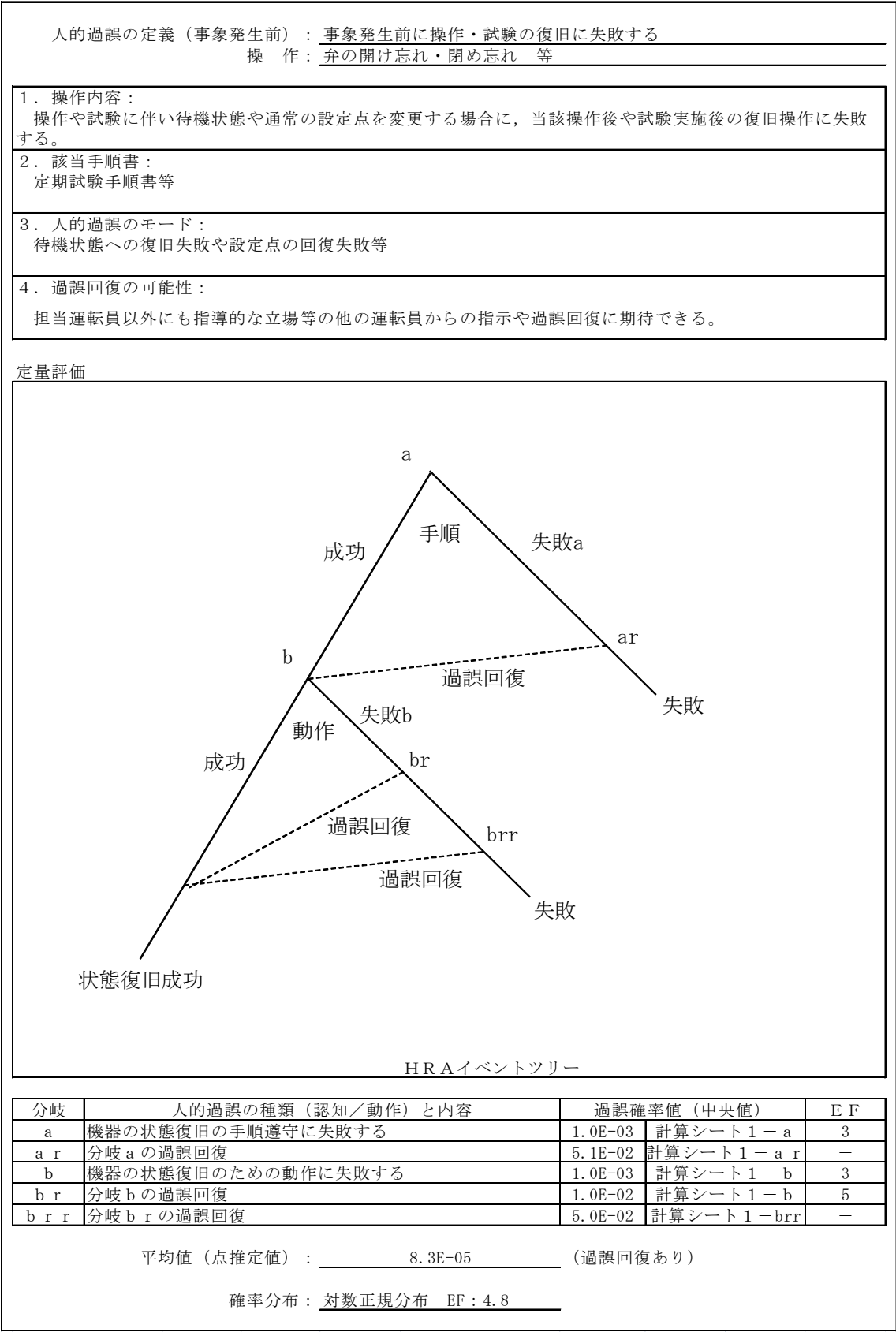


表 1-1 過誤確率計算シート（弁の開け忘れ・閉め忘れ：分岐 a）

| 過誤確率計算シート 1-a | | |
|-----------------------------|---|--|
| 動作に失敗する確率：機器の状態復旧の手順遵守に失敗する | | |
| 行動形成因子及び過誤確率 | | 当該過誤確率での設定 |
| 1. 利用可能な時間 | 利用可能な時間による ストレス要因として考慮 学会標準解説表23-4 | 2. ストレス要因で考慮 |
| 2. ストレス要因 | 作業負荷と運転員の熟練度によるストレスの影響 学会標準解説表23-4 | 解説表23-4No.2 起因事象発生前の操作であるため、ファクタ1とする |
| 3. 操作の複雑さ | 5. 操作の手順で考慮 | |
| 4. 訓練と経験 | 運転員の熟練度による ストレスの相違 学会標準解説表23-4 | 2. ストレス要因で考慮 |
| 5. 操作の手順 | オMISSIONエラーの場合に、手順数の影響等による過誤確率値で考慮 学会標準解説表23-3 | 解説表23-3No.1 該当手順は特段長くはなく、記載も明確である（中央値0.001 EF3） |
| 6. 人間工学要因 | COMMISSIONエラーの場合に、個別状況による過誤確率値で考慮 学会標準解説表23-2等 | COMMISSIONエラーで考慮 |
| 7. 健康状態 | 運転員の健康管理は十分なされていることから、影響は小さい | |
| 8. 業務の連携 | 運転員間・運転直間の業務の連携は十分実施されていることから、影響は小さい | |

表 1-2 過誤確率計算シート（弁の開け忘れ・閉め忘れ：分岐 b）

| 過誤確率計算シート 1-b | | |
|------------------------------|--|--|
| 動作に失敗する確率：機器の状態復旧のための動作に失敗する | | |
| 行動形成因子及び過誤確率 | | 当該過誤確率での設定 |
| 1. 利用可能な時間 | 利用可能な時間によるストレス要因として考慮 学会標準解説表23-4 | 2. ストレス要因で考慮 |
| 2. ストレス要因 | 作業負荷と運転員の熟練度によるストレスの影響 学会標準解説表23-4 | 解説表23-4No. 2 起因事象発生前の操作であるため、ファクタ1とする |
| 3. 操作の複雑さ | 6. 人間工学要因で考慮 | |
| 4. 訓練と経験 | 運転員の熟練度によるストレスの相違 学会標準解説表23-4 | 2. ストレス要因で考慮 |
| 5. 操作の手順 | オMISSIONエラーの場合に、手順数の影響等による過誤確率値で考慮 学会標準解説表23-3 | オMISSIONエラーで考慮 |
| 6. 人間工学要因 | コミMISSIONエラーの場合に、個別状況による過誤確率値で考慮 学会標準解説表23-2等 | 解説表23-2No. 3 復旧の失敗であり、同様なコントロールを持つパネルで選択誤りの過誤確率で代表する （中央値0.001 EF3） |
| 7. 健康状態 | 運転員の健康管理は十分なされていることから、影響は小さい | |
| 8. 業務の連携 | 運転員間・運転直間の業務の連携は十分実施されていることから、影響は小さい | |
| 操作に対する確認・回復 | 本操作では、十分な時間余裕があるため、担当運転員による再チェックに期待できるとし、運転員による操作に対しての確認・回復を考慮する | NUREG/CR-1278 (THERP) 表20-22No. 4 計測・操作等の活動に対する確認の失敗確率を用いる （中央値0.01 EF5） |

表 1-3 過誤確率計算シート（弁の開け忘れ・閉め忘れ：分岐 ar）

| 過誤確率計算シート 1-a-r | | |
|---|-----------|--|
| 従属性を有する場合の過誤確率 | | |
| 手順遵守又は動作に失敗する確率 | 1.0E-03 | (計算シート 1-a) |
| 従属性を考慮する動作失敗確率 | — | (計算シート 1-b) |
| 合 計 | 1.0E-03 | (従属考慮前値) |
| <p>従属性の設定（学会標準解説表24）：</p> <p>事象発生前であり，時間余裕は十分長く，担当運転員以外の当直長等の 上位の運転員による過誤回復に期待できる。十分大きな余裕を有するため 低従属とする。</p> | | |
| (学会標準解説表23-5) | | |
| <input type="checkbox"/> 完全従属 | 当該過誤確率値 = | <input type="text" value="1.0E+00"/> |
| <input type="checkbox"/> 高従属 | 当該過誤確率値 = | $(1 + \text{従属考慮前値}) / 2$ <input type="text" value="5.0E-01"/> |
| <input type="checkbox"/> 中従属 | 当該過誤確率値 = | $(1 + 6 \times \text{従属考慮前値}) / 7$ <input type="text" value="1.4E-01"/> |
| <input type="radio"/> 低従属 | 当該過誤確率値 = | $(1 + 19 \times \text{従属考慮前値}) / 20$ <input type="text" value="5.1E-02"/> |
| <input type="checkbox"/> 従属性なし | 当該過誤確率値 = | 従属考慮前値 <input type="text" value="1.0E-03"/> |

表 1-4 過誤確率計算シート（弁の開け忘れ・閉め忘れ：分岐 brr）

| 過誤確率計算シート 1 - b r r | |
|--------------------------------------|---|
| 従属性を有する場合の過誤確率 | |
| 手順遵守又は動作に失敗する確率 | 1.0E-05 (計算シート 1 - a) |
| 従属性を考慮する動作失敗確率 | - (計算シート 1 - b) |
| 合 計 | 1.0E-05 (従属考慮前値) |
| 従属性の設定（学会標準解説表24）： | |
| 事象発生前であり、時間余裕は十分長く、担当運転員以外の当直長等の | |
| 上位の運転員による過誤回復に期待できる。十分大きな余裕を有するため | |
| 低従属とする。 | |
| (学会標準解説表23-5) | |
| <input type="checkbox"/> 完全従属 | 当該過誤確率値 = 1.0E+00 |
| <input type="checkbox"/> 高従属 | 当該過誤確率値 = $(1 + \text{従属考慮前値}) / 2$ 5.0E-01 |
| <input type="checkbox"/> 中従属 | 当該過誤確率値 = $(1 + 6 \times \text{従属考慮前値}) / 7$ 1.4E-01 |
| <input checked="" type="radio"/> 低従属 | 当該過誤確率値 = $(1 + 19 \times \text{従属考慮前値}) / 20$ 5.0E-02 |
| <input type="checkbox"/> 従属性なし | 当該過誤確率値 = 従属考慮前値 1.0E-05 |

データシート 7 (A T W S 時以外)

人的過誤の定義（事象発生後）： 原子炉注水後の R H R による格納容器除熱操作に失敗する

1. 操作内容：

原子炉への注水に成功した後の R H R による格納容器から除熱操作に失敗する
 本操作の具体的な手順は以下のとおり（ただし， R H R が既に低圧注水系として起動している場合は，
 低圧注水系から格納容器スプレイ冷却系への切替のために弁操作のみを行う）

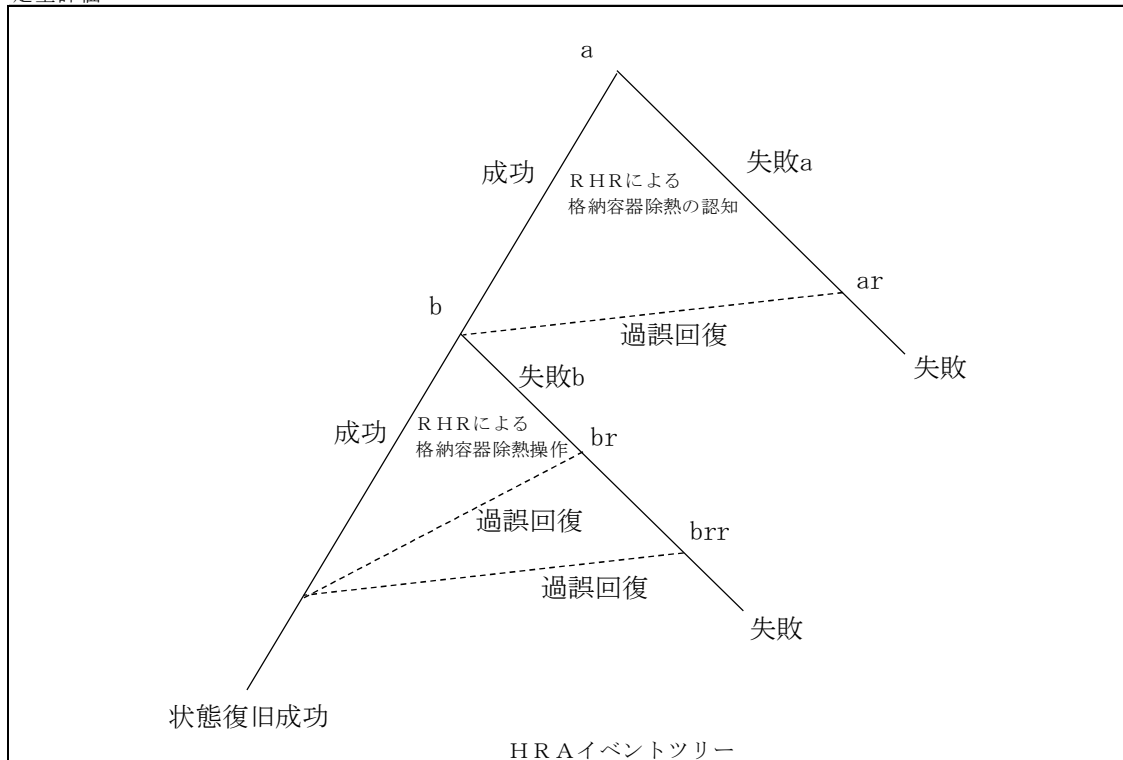
 - (1) R H R S ポンプの起動
 - (2) R H R ポンプ室空調機起動
 - (3) R H R ポンプ起動
 - (4) R H R 熱交バイパス弁開操作
 - (5) 格納容器スプレイ弁開操作
 - (6) サプレッションプールスプレイ弁の開操作
2. 該当手順書：

非常時運転手順書（徴候ベース）， 設備別運転手順書
3. 余裕時間

余裕時間は格納容器除熱に対する余裕時間1時間とする
 格納容器スプレイ冷却系等は15分程度で実施できることから比較的短時間で完了できる
4. 追加の指示や過誤回復の可能性：

担当運転員以外にも指導的な立場等の他の運転員からの指示や過誤回復に期待できる

定量評価



| 分岐 | 人的過誤の種類（認知／動作）と内容 | 過誤確率値（中央値） | | E F |
|-------|----------------------|------------|---------------|-----|
| a | RHRによる格納容器除熱の認知に失敗する | 2.0E-04 | 計算シート 7 - a | 30 |
| a r | 分岐 a の過誤回復 | 5.0E-02 | 計算シート 7 - a r | - |
| b | RHRによる格納容器除熱の操作に失敗する | 2.0E-03 | 計算シート 7 - b | 3 |
| b r | 分岐 b の過誤回復 | 1.0E-02 | — | 5 |
| b r r | 分岐 b r の過誤回復 | 5.0E-02 | 計算シート 7 - brr | - |

平均値（点推定値）： 1.1E-04

確率分布： 対数正規分布 EF：35.6

図 2 H R A イベントツリー（格納容器除熱操作失敗）

表 2-1 過誤確率計算シート（格納容器除熱操作失敗：分岐 a）

| 過誤確率計算シート 7-a | | |
|--------------------------------|---|--|
| 認知に失敗する確率：RHRによる格納容器除熱の認知に失敗する | | |
| 行動形成因子及び過誤確率 | | 当該過誤確率での設定 |
| 1. 利用可能な時間 | 利用可能な時間による認知の過誤確率で考慮 学会標準解説表23-1 | 解説表23-1No.5 余裕時間1時間での初基事象の運転員による認知失敗確率で代表する (中央値0.0001 EF30) |
| 2. ストレス要因 | 作業負荷と運転員の熟練度によるストレスの影響 学会標準解説表23-4 | 解説表23-4No.4 訓練内容と同等レベルであるが、事象発生前より事象発生後の方がストレスレベルが高くなると考えられるため、ファクタ2とする |
| 3. 操作の複雑さ | 認知に失敗する確率であり、対象外 | |
| 4. 訓練と経験 | 運転員の熟練度によるストレスの相違 学会標準解説表23-4 | 2. ストレス要因で考慮 |
| 5. 操作の手順 | オMISSIONエラーの場合に、手順数の影響等による過誤確率値で考慮 学会標準解説表23-3 | 認知に失敗する確率であり、対象外 |
| 6. 人間工学要因 | COMMISSIONエラーの場合に、個別状況による過誤確率値で考慮 学会標準解説表23-2等 | 認知に失敗する確率であり、対象外 |
| 7. 健康状態 | 運転員の健康管理は十分なされていることから、影響は小さい | |
| 8. 業務の連携 | 運転員間・運転直間の業務の連携は十分実施されていることから、影響は小さい | |

表 2-2 過誤確率計算シート（格納容器除熱操作失敗：分岐 b）

| 過誤確率計算シート 7-b | | |
|--------------------------------|--|---|
| 動作に失敗する確率：RHRによる格納容器除熱の操作に失敗する | | |
| 行動形成因子及び過誤確率 | | 当該過誤確率での設定 |
| 1. 利用可能な時間 | 利用可能な時間によるストレス要因として考慮 学会標準解説表23-4 | 2. ストレス要因で考慮 |
| 2. ストレス要因 | 作業負荷と運転員の熟練度によるストレスの影響 学会標準解説表23-4 | 解説表23-4No. 4 訓練内容と同等レベルであるが、事象発生前より事象発生後の方がストレスレベルが高くなると考えられるため、ファクタ2とする |
| 3. 操作の複雑さ | 6. 人間工学要因で考慮 | |
| 4. 訓練と経験 | 運転員の熟練度によるストレスの相違 学会標準解説表23-4 | 2. ストレス要因で考慮 |
| 5. 操作の手順 | オMISSIONエラーの場合に、手順数の影響等による過誤確率値で考慮 学会標準解説表23-3 | 該当手順書から明確に理解できること、また、操作手順は複雑でなく、訓練されている操作であることから、オMISSIONエラーの寄与は十分小さい |
| 6. 人間工学要因 | コミッションエラーの場合に、個別状況による過誤確率値で考慮 学会標準解説表23-2等 | 解説表23-2No. 3 操作方法は訓練されており、操作器具は機能別に分類されるため、同様なコントロールを持つパネルで選択誤り（機能別に良く分類された配置）の過誤確率で代表する （中央値0.001 EF3） |
| 7. 健康状態 | 運転員の健康管理は十分なされていることから、影響は小さい | |
| 8. 業務の連携 | 運転員間・運転直間の業務の連携は十分実施されていることから、影響は小さい | |
| 操作に対する確認・回復 | 本操作では、十分な時間余裕があるため、担当運転員の再チェックに期待できるとし、運転員による操作に対しての確認・回復を考慮する | NUREG/CR-1278(THERP)表20-22No. 4 計測・操作等の活動に対する確認の失敗確率を用いる （中央値0.01 EF5） |

表 2-3 過誤確率計算シート（格納容器除熱操作失敗：分岐 ar）

| 過誤確率計算シート 7-a r | |
|---|---|
| 従属性を有する場合の過誤確率 | |
| 従属性を考慮する認知失敗確率 | 2.0E-04 |
| 従属性を考慮する動作失敗確率 | — (計算シート 7-b) |
| 合 計 | 2.0E-04 (従属考慮前値) |
| <p>従属性の設定（学会標準解説表24）：</p> <p>事象発生からの時間余裕は十分長く、担当運転員以外の当直長等の上位の運転員による過誤回復に期待できる。十分大きな余裕を有するため低従属とする。</p> | |
| (学会標準解説表23-5) | |
| <input type="checkbox"/> 完全従属 | 当該過誤確率値 = 1.0E-00 |
| <input type="checkbox"/> 高従属 | 当該過誤確率値 = $(1 + \text{従属考慮前値}) / 2$ 5.0E-01 |
| <input type="checkbox"/> 中従属 | 当該過誤確率値 = $(1 + 6 \times \text{従属考慮前値}) / 7$ 1.4E-01 |
| <input type="radio"/> 低従属 | 当該過誤確率値 = $(1 + 1.9 \times \text{従属考慮前値}) / 2.0$ 5.0E-02 |
| <input type="checkbox"/> 従属性なし | 当該過誤確率値 = 従属考慮前値 2.0E-04 |

表 2-4 過誤確率計算シート（格納容器除熱操作失敗：分岐 br）

| 過誤確率計算シート 7-br | |
|--|---|
| 従属性を有する場合の過誤確率 | |
| 従属性を考慮する認知失敗確率 | — (計算シート 7-a) |
| 従属性を考慮する動作失敗確率 | 2.0E-05 (計算シート 7-b) |
| 合 計 | 2.0E-05 (従属考慮前値) |
| 従属性の設定（学会標準解説表24）： 事象発生からの時間余裕は十分長く、担当運転員以外の当直長等の上位の 運転員による過誤回復に期待できる。十分大きな余裕を有するため低従属 とする。 | |
| (学会標準解説表23-5) | |
| <input type="checkbox"/> 完全従属 | 当該過誤確率値 = 1.0E+00 |
| <input type="checkbox"/> 高従属 | 当該過誤確率値 = $(1 + \text{従属考慮前値}) / 2$ 5.0E-01 |
| <input type="checkbox"/> 中従属 | 当該過誤確率値 = $(1 + 6 \times \text{従属考慮前値}) / 7$ 1.4E-01 |
| <input checked="" type="radio"/> 低従属 | 当該過誤確率値 = $(1 + 1.9 \times \text{従属考慮前値}) / 2.0$ 5.0E-02 |
| <input type="checkbox"/> 従属性なし | 当該過誤確率値 = 従属考慮前値 2.0E-05 |

表 3-1 THERP の標準診断曲線 (NUREG/CR-1278 から抜粋)

| 区間 | T (To 後の 時間) [分] | 運転員全員 による診断 失敗確率 (初期事象に 対して) [メディアン] | EF | 区間 | T (To 後の 時間) [分] | 運転員全員 による診断 失敗確率 (2 次事象に 対して) [メディアン] | EF | 区間 | T (To 後の 時間) [分] | 運転員全員 による診断 失敗確率 (3 次事象に 対して) [メディアン] | EF |
|----|---------------------------|---|----|-----|---------------------------|--|----|-----|---------------------------|--|----|
| 1. | 1 | 1.0 | -- | 7. | 1 | 1.0 | -- | 14. | 1 | 1.0 | -- |
| 2. | 10 | .1 | 10 | 8. | 10 | 1.0 | -- | 15. | 10 | 1.0 | -- |
| 3. | 20 | .01 | 10 | 9. | 20 | .1 | 10 | 16. | 20 | 1.0 | -- |
| 4. | 30 | .001 | 10 | 10. | 30 | .01 | 10 | 17. | 30 | .1 | 10 |
| | | | | 11. | 40 | .001 | 10 | 18. | 40 | .01 | 10 |
| | | | | | | | | 19. | 50 | .001 | 10 |
| 5. | 60 | .0001 | 30 | 12. | 70 | .0001 | 30 | | | | |
| | | | | | | | | 20. | 80 | .0001 | 30 |
| 6. | 1500 | .00001 | 30 | 13. | 1510 | .00001 | 30 | | | | |
| | | | | | | | | 21. | 1520 | .00001 | 30 |

- (注)
- ・ 2 次事象や 3 次事象は、運転員が初期事象の診断や対応の最中に発生する事象を意味する。
 - ・ To：異常発生を示すシグナルが出た時刻
 - ・ ここでは曲線を数値で示している。

注：日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2008」の解説表 23-1 から転記

表 3-2 手動操作のコミッショエラー確率の例（NUREG/CR-1278 から抜粋）

| 項目 | エラーのポテンシャル | HEP | EF |
|-----|---|-----------|----|
| 1. | 1 個のコントロールの不注意な操作 | プラントに完全依存 | |
| 2. | 同様なコントロールを持つパネルで選択誤り (ラベルで区別) | .003 | 3 |
| 3. | 同様なコントロールを持つパネルで選択誤り (機能別に良く分類された配置) | .001 | 3 |
| 4. | 同様なコントロールを持つパネルで選択誤り (系統を模擬した表示) | .0005 | 10 |
| 5. | スイッチの誤った方向への操作 (固定観念に従う場合) | .0005 | 10 |
| 6. | スイッチの誤った方向への操作 (通常の運転状態で固定観念を損う場合) | .05 | 5 |
| 7. | スイッチの誤った方向への操作 (高ストレス状態で固定観念を損う場合) | .5 | 5 |
| 8. | 2 状態スイッチの誤った方向への操作, 又は, 誤った レベルへの設定 | (注) | |
| 9. | 回転式コントローラの誤った設定 (2 状態スイッチ) | .001 | 10 |
| 10. | 完全な操作の完了に対する失敗 | .003 | 3 |
| 11. | グループ内のサーキットブレーカ選択誤り (ラベルで区別) | .005 | 3 |
| 12. | グループ内のサーキットブレーカ選択誤り | .003 | 3 |
| 13. | 不適切なコネクタの配備 (不完全な装着や, コネクタのロック機構のテスト失敗 も含む) | .003 | 3 |

(注) 項目 5, 6, 7 の対応する HEP, EF の 1/5 の値

注：日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2008」の解説表 23-2 から転記

表 3-3 手順書を使うときのオMISSIONエラー確率の例
(NUREG/CR-1278 から抜粋)

| 項目 | オMISSIONの項目 | HEP | EF |
|----|--|------|----|
| 1. | チェック表が正しく用いられている場合 短い操作 (<10 項目) | .001 | 3 |
| 2. | 長い操作 (>10 項目) | .003 | 3 |
| 3. | チェック表を用いていないか、又は正しく用いられていない場合 短い操作 (<10 項目) | .003 | 3 |
| 4. | 長い操作 (>10 項目) | .01 | 3 |
| 5. | 文書化した手順書を用いるべきであるが、用いていない場合 | .05 | 5 |

注：日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2008」の解説表 23-3 から転記

表 3-4 ストレスと熟練度による人的過誤確率への補正係数
(NUREG/CR-1278 から抜粋)

| 項目 | ストレスレベル | HEPs の増倍係数 | |
|----|----------------------------|---|----------------|
| | | 熟練者 | 熟練度の低い者 |
| 1. | 作業負荷が大変低い | ×2 | ×2 |
| 2. | 作業負荷が適度 (段階的操作) | ×1 | ×1 |
| 3. | 作業負荷が適度 (動的操作) | ×1 | ×2 |
| 4. | 作業負荷がやや高い (段階的操作) | ×2 | ×4 |
| 5. | 作業負荷がやや高い (動的操作) | ×5 | ×10 |
| 6. | 作業負荷が極度に高い (段階的操作) | ×5 | ×10 |
| 7. | 作業負荷が極度に高い (動的操作又は診断操作) | .25 (EF = 5) | .50 (EF = 5) |
| | | 極度にストレス・レベルが高い場合は、増倍係数ではなく、複数のクルーを対象とした固定値を用いる。 | |

注：日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2008」の解説表 23-4 から転記

表 3-5 先行するサブタスク” N-1” が成功又は失敗したときの、
サブタスク” N” の成功又は失敗の条件付き確率の求め方：従属レベルの関数
(NUREG/CR-1278 から抜粋)

| 従属性の レベル | 条件付き成功確率 | 条件付き失敗確率 |
|-------------|--|--|
| ZD | $\Pr [S_{\text{“N”}} S_{\text{“N-1”}} \text{ZD}] = n$ | $\Pr [F_{\text{“N”}} F_{\text{“N-1”}} \text{ZD}] = N$ |
| LD | $\Pr [S_{\text{“N”}} S_{\text{“N-1”}} \text{LD}] = \frac{1 + 19n}{20}$ | $\Pr [F_{\text{“N”}} F_{\text{“N-1”}} \text{LD}] = \frac{1 + 19N}{20}$ |
| MD | $\Pr [S_{\text{“N”}} S_{\text{“N-1”}} \text{MD}] = \frac{1 + 6n}{7}$ | $\Pr [F_{\text{“N”}} F_{\text{“N-1”}} \text{MD}] = \frac{1 + 6N}{7}$ |
| HD | $\Pr [S_{\text{“N”}} S_{\text{“N-1”}} \text{HD}] = \frac{1 + n}{2}$ | $\Pr [F_{\text{“N”}} F_{\text{“N-1”}} \text{HD}] = \frac{1 + N}{2}$ |
| CD | $\Pr [S_{\text{“N”}} S_{\text{“N-1”}} \text{CD}] = 1.0$ | $\Pr [F_{\text{“N”}} F_{\text{“N-1”}} \text{CD}] = 1.0$ |

- (注) n：サブタスクの成功確率
 N：サブタスクの失敗確率
 ZD：Zero Dependence 従属度ゼロ
 LD：Low Dependence 従属度低
 MD：Moderate Dependence 従属度中
 HD：High Dependence 従属度高
 CD：Complete Dependence 完全従属

注：日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2008」の解説表 23-5 から転記

表 3-6 エラーファクタ推定ガイドライン (NUREG/CR-1278 から抜粋)

Table 7-2

Table 7-2 General guidelines for estimating uncertainty bounds for estimated HEPs*

| Item | Task and HEP Guidelines** | EF [†] |
|------|---|-----------------|
| | Task consists of performance of step-by-step procedure ^{††} conducted under routine circumstances (e.g., a test, maintenance, or calibration task); stress level is optimal: | |
| (1) | Estimated HEP < .001 | 10 |
| (2) | Estimated HEP .001 to .01 | 3 |
| (3) | Estimated HEP > .01 | 5 |
| | Task consists of performance of step-by-step procedure ^{††} but carried out in nonroutine circumstances such as those involving a potential turbine/reactor trip; stress level is moderately high: | |
| (4) | Estimated HEP < .001 | 10 |
| (5) | Estimated HEP > .001 | 5 |
| | Task consists of relatively dynamic ^{††} interplay between operator and system indications, under routine conditions, e.g., increasing or reducing power; stress level is optimal | |
| (6) | Estimated HEP < .001 | 10 |
| (7) | Estimated HEP > .001 | 5 |
| (8) | Task consists of relatively dynamic ^{††} interplay between operator and system indications but carried out in nonroutine circumstances; stress level is moderately high | 10 |
| (9) | Any task performed under extremely high stress conditions, e.g., large LOCA; conditions in which the status of ESFs is not perfectly clear; or conditions in which the initial operator responses have proved to be inadequate and now severe time pressure is felt (see text for rationale for EF = 5) | 5 |

* The estimates in this table apply to experienced personnel. The performance of novices is discussed in Chapter 18.

** For UCBs for HEPs based on the dependence model, see Table 7-3.

[†] The highest upper UCB is 1.0.

See Appendix A to calculate the UCBs for $Pr[F_T]$, the total-failure term of an HRA event tree.

^{††} See Table 18-1 for definitions of step-by-step and dynamic procedures.

表 3-7 計測・操作などの活動に対する確認の失敗 (NUREG/CR-1278 から抜粋)

Table 20-22 Estimated probabilities that a checker will fail to detect errors made by others* (from Table 19-1)

| Item | Checking Operation | HEP | EF |
|------|---|----------------------|----|
| (1) | Checking routine tasks, checker using written materials (includes over-the-shoulder inspections, verifying position of locally operated valves, switches, circuit breakers, connectors, etc., and checking written lists, tags, or procedures for accuracy) | .1 | 5 |
| (2) | Same as above, but without written materials | .2 | 5 |
| (3) | Special short-term, one-of-a-kind checking with alerting factors | .05 | 5 |
| (4) | Checking that involves active participation, such as special measurements | .01 | 5 |
| | Given that the position of a locally operated valve is checked (item 1 above), noticing that it is not completely opened or closed: | .5 | 5 |
| (5) | Position indicator** only | .1 | 5 |
| (6) | Position indicator** and a rising stem | .5 | 5 |
| (7) | Neither a position indicator** nor a rising stem | .9 | 5 |
| (8) | Checking by reader/checker of the task performer in a two-man team, <u>or</u> checking by a <u>second</u> checker, routine task (no credit for more than 2 checkers) | .5 | 5 |
| (9) | Checking the status of equipment if that status affects one's safety when performing his tasks | .001 | 5 |
| (10) | An operator checks change or restoration tasks performed by a maintainer | Above HEPs ÷ 2 | 5 |

* This table applies to cases during normal operating conditions in which a person is directed to check the work performed by others either as the work is being performed or after its completion.

** A position indicator incorporates a scale that indicates the position of the valve relative to a fully opened or fully closed position. A rising stem qualifies as a position indicator if there is a scale associated with it.

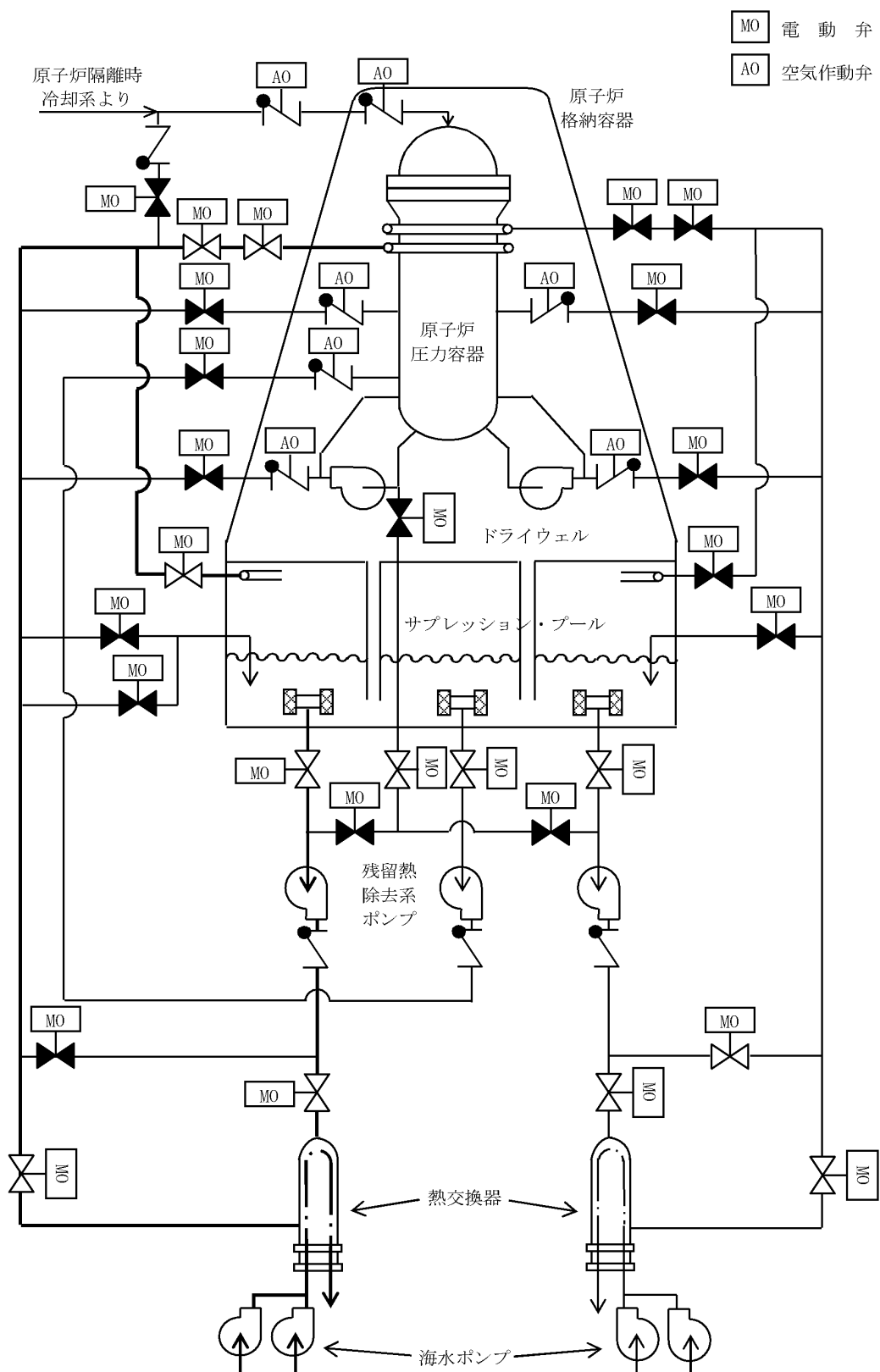


図 3 RHRによる格納容器スプレイ冷却系及びサプレッション・プール冷却系の系統構成

起因事象発生前の人的過誤として評価した事象の抽出について

本 P R A で評価対象とした起因事象発生前の人的過誤の抽出過程を以下に示す。ここで、起因事象発生前の人的過誤は運転員による試験・操作及びその後の状態復旧を対象としており、保守員による保全作業時の人的過誤（計装機器の校正エラーを含む。）については機器故障率に含まれているとして、ここでは取り扱っていない。

(1) 操作・作業の同定

フォールトツリーでモデル化している全ての機器を対象に、プラント運転中及び停止中における操作・作業等を手順書類（定期試験手順書、設備別運転手順書等）から抽出する。

(2) スクリーニング

抽出した操作・作業等に対し、日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1 P S A 編）：2008」（以下「学会標準」という。）に基づき、以下に示すスクリーニング基準を設け、スクリーニングできない操作・作業等について、起因事象発生前の人的過誤として定義する。

- a. 系統の要求に対して機器の調整が自動的に行われるもの。
- b. 中央制御室にて機器の状態表示が確認でき、その状態が日常的に確認されており、かつ調整が可能なもの。
- c. 実施されている保守後の機能試験により、誤調整が明らかになるもの。
- d. 当初の操作の後、チェックリストに基づく独立した機器の状態確認があるもの（N U R E G - 1 7 9 2 を参考に設定*）。

※：学会標準に本スクリーニング基準に関する記載はないが、

N U R E G - 1 7 9 2 を参考に、従属性のない独立した確

認が別途実施されている場合においては，起因事象発生前の人的過誤を除外できるものとして設定している。

e．機器の状態確認が頻繁に実施されているもの。

本PRAで評価対象とした全ての系統について検討した結果，抽出された起因事象発生前の人的過誤は以下のとおりである。なお，スクリーニング基準d．のみで除外した起因事象発生前の人的過誤はなかった。

- ・手動弁に対する開け忘れ／閉め忘れ
- ・定期試験において非常用ディーゼル発電機を母線に並列させる際に手動でガバナ類の調整を行うが，試験後の待機状態（自動投入可能な設定）への復旧に失敗する。

起因事象発生前の人的過誤の抽出結果のうち，非常用ディーゼル発電機の例を表1に示す。

表 1 起因事象発生前の人的過誤の抽出結果（非常用ディーゼル発電機の例）

| 起因事象発生前の人的過誤の抽出結果 | | 対象とした操作・作業等とスクリーニング結果 | | | | モデル化の 要否 |
|--------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|-------------|
| | | 運転中の試験等に伴う操作等に起因 （定期試験手順等） | | プラント停止中の操作等に起因 （設備別手順書，定期試験手順等） | | |
| 機器種類 | 人的過誤のモード | 操作・作業等 | 除外理由 | 操作・作業等 | 除外理由 | |
| 非常用ディーゼル発電機 本体 | 待機（自動）への復 旧失敗 | 試験時の運転操作 | 除外ルール b . | 試験時の運転操作 | 除外ルール b . | 否 |
| 非常用ディーゼル発電機 ガバナ | 通常状態への復旧 失敗 | 試験時の手動操作 | 除外ルールに 該当しない | 試験時の手動操作 | 除外ルールに 該当しない | 要 |
| 非常用ディーゼル発電機 燃料油移送ポンプ | 待機への復旧失敗 | 試験時の運転操作 | 除外ルール b . | 試験時の運転操作 | 除外ルール b . | 否 |
| 非常用ディーゼル発電機 空調機 | 待機への復旧失敗 | 試験時の運転操作 | 除外ルール b . | 試験時の運転操作 | 除外ルール b . | 否 |
| 非常用ディーゼル発電機 冷却水ライン手動弁 | 待機（弁開）への復 旧失敗 | なし | － | 点検後の待機状態 への復旧操作 | 除外ルールに 該当しない | 要 |

校正ミスの取扱いについて

本 P R A では、保修員による機器の校正ミスについては、人的過誤としてモデル化していない。その理由を以下に示す。

(1) 21 ヶ年データにおける校正ミスの取扱い

本 P R A で使用している機器故障率データは、「故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定(平成 21 年 5 月公表)」(以下「21 ヶ年データ」という。)に記載されているデータを使用している。21 ヶ年データは国内プラントの機器の故障実績を基に整備されたデータベースであるが、計装機器等の故障件数には、機器の機械的故障以外に、保修員の校正ミスが原因で機器が故障した場合が含まれている。21 ヶ年データに記載されているデータのうち、保修員の校正ミスを含む機器故障率の例を表 1 に示す。また、表 1 に示す機器及び故障モードのうち、温度スイッチの誤動作としてカウントされている事象の概要を表 2 に示す。表 1 及び表 2 に示すとおり、21 ヶ年データには、保修員による校正ミスが原因の故障事象が含まれているため、本 P R A では、校正ミスを人的過誤としてはモデル化していない。

(2) 校正ミスに係る共通要因故障の取扱い

冗長化された検出器においては、同じ保修員が連続して校正作業を実施すると考えられるため、校正ミスが共通の要因となり複数の検出器が故障する可能性がある。しかし、この校正ミスによる共通要因故障についても、21 ヶ年データではそれぞれ単独の機器故障として取り扱われているため、本 P R A においては校正ミスに係る共通要因故障のみを独立して人的過誤としてはモデル化

していない。

ここで、検出器の校正ミスに係る共通要因故障を人的過誤としてモデル化した場合の非信頼度と炉心損傷頻度への影響を検討した。校正ミスに係る人的過誤確率の評価結果を表 3 に示す。検出器の校正ミスに係る共通要因故障の人的過誤確率は $1.0\text{E-}5$ のオーダーとなり、表 4 に示すとおり、本 P R A でモデル化している検出器及びトリップユニットの機械的故障の共通要因故障と同程度の非信頼度となった。ただし、本 P R A では、検出器の共通要因故障の中で F V 重要度が最も高い、「原子炉水位（L－1）トランスミッタ作動失敗共通要因故障」の場合でも、F V 重要度は $3.4\text{E-}07$ であり、この共通要因故障の炉心損傷頻度に対する寄与割合（ $3.4\text{E-}05\%$ ）は十分小さいため、検出器の校正ミスに係る共通要因故障の人的過誤をモデル化した場合でも、炉心損傷頻度への影響は限定的である。

表 1 保修員の校正ミスを含む機器故障率の例

| 機器 | 故障モード | 故障件数 (校正ミス件数) | 機器故障率 平均値 [1/h] |
|-----------|---------|------------------|--------------------|
| 温度スイッチ | 誤動作 | 2 (2) | $2.5\text{E-}08$ |
| 圧力トランスミッタ | 高出力／低出力 | 8 (1) | $3.5\text{E-}08$ |
| リミットスイッチ | 不動作 | 3 (1) | $5.5\text{E-}09$ |

表 2 温度スイッチに係る保修員の校正ミス事象の概要

| | |
|----------|--|
| 発生日時 | 1988 年 12 月 15 日 16 時 10 分 (B-C U W ポンプ) 1988 年 12 月 16 日 11 時 33 分 (A-C U W ポンプ) |
| 事象発生時の状況 | <p>定格出力 (460MWe) で運転中のところ、昭和 63 年 12 月 15 日 16 時 10 分、「ポンプ出口温度高」警報発生と同時に B-原子炉冷却材浄化系循環ポンプ (B-C U W ポンプ) がトリップした。原因調査の結果、B-C U W ポンプ出口温度スイッチに設定値のずれが確認されたため、当該温度スイッチの校正を実施した。</p> <p>B-C U W ポンプの試運転のため、12 月 16 日 11 時 33 分、同ポンプを起動したところ、「ポンプ出口温度高」警報発生と同時に A-C U W ポンプがトリップした。なお、B-C U W ポンプの運転状況に異常はなかった。</p> <p>A-C U W ポンプの原因調査の結果、B-C U W ポンプと同様に、ポンプ出口温度スイッチに設定値のずれが確認されたため、当該温度スイッチの校正を実施し、16 時 33 分に A-C U W ポンプの試運転を行い運転状況に異常のないことを確認して、通常運転に復帰した。</p> <p>この間、発電機出力の変動はなかった。</p> |
| 原因調査の概要 | <p>C U W ポンプ出口温度スイッチに設定値ずれが発生する要因について検討した結果は、以下のとおりである。</p> <p>(1) C U W ポンプ出口温度スイッチの不良 当該温度スイッチの内部点検において、異常は認められなかった。</p> <p>(2) 衝撃による設定値ずれ 工場において当該温度スイッチの衝撃試験を実施した結果、設定値ずれは発生しなかった。</p> <p>(3) 定期検査時の校正ミス 設定値 60℃に対し、A, B-C U W ポンプとも約 53℃とほぼ同様な設定値ずれであり、当該温度スイッチの点検校正作業は C U W 補助ポンプ冷却水温度スイッチ (設定値 66℃) の点検校正に引き続いて同一メンバーで実施していたことから、作業者の勘違いによる校正ミスの可能性が大きいと考えられる。</p> |
| 事象の原因 | <p>調査結果から、事象の発生原因は、定期検査時の当該温度スイッチの点検校正において、作業者が当該温度スイッチの設定値は、先に点検校正を行った同型の温度スイッチの設定値 (66℃) と同じだと勘違いして設定指針を取り付け、その後誤りに気付く、調整ネジにより設定指針を正規の設定値に調整した結果、温度スイッチの設定値が約 53℃となった可能性が大きいと考えられる。</p> |

表 3 検出器の校正ミスの共通要因故障に係る人的過誤確率評価結果

| No. | 項目 | 中央値 (／要求時) | EF | 備考 |
|-----|--------------------------------|---------------|----|--|
| ① | チェックリストを適切に使用した場合に手順書中の作業項目を省く | 1.0E-03 | 3 | NUREG/CR-1278 表 20-7(1) |
| ② | 管理者のチェック失敗 | 5.1E-02 | — | NUREG/CR-1278 表 20-17 (低従属) |
| ③ | 検出器単体の校正ミス | 5.1E-05 | 3 | ①×② |
| ④ | 複数の検出器の校正ミス (共通要因故障) | 2.6E-06 | 3 | ③に対して低従属を仮定 NUREG/CR-1278 表 20-17 (低従属) |

④の平均値：3.2E-06 (／要求時)

表 4 検出器及びトリップユニットに係る共通要因故障の

非信頼度及び重要度評価結果（F V 重要度上位 10 位）

| 関連系統 | 機器及び故障モード | 非信頼度 (／要求時) | F V 重要度 |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------|---------|
| RCIC ADS LPCS LPCI-A/B/C | 原子炉水位（L－1）トランスミッタ作動失敗共通要因故障 | 4.8E-06 | 3.4E-07 |
| HPCS | 原子炉水位（L－2）トランスミッタ作動失敗共通要因故障 | 4.8E-06 | 1.3E-07 |
| ADS LPCS LPCI-A/B/C | 原子炉水位（L－1）トリップユニット作動失敗共通要因故障 | 8.3E-07 | 4.1E-08 |
| ADS | 原子炉水位（L－3）トランスミッタ作動失敗共通要因故障 | 4.8E-06 | 2.6E-08 |
| ADS LPCS LPCI-A/B/C | ドライウェル圧力高トランスミッタ作動失敗共通要因故障 | 1.1E-06 | 2.2E-08 |
| HPCS | 原子炉水位（L－2）トリップユニット作動失敗共通要因故障 | 8.3E-07 | 2.2E-08 |
| ADS LPCS LPCI-A/B/C | ドライウェルトリップユニット作動失敗共通要因故障 | 8.3E-07 | 1.7E-08 |
| RCIC | 原子炉水位（L－2）トリップユニット作動失敗共通要因故障 | 8.3E-07 | 1.2E-08 |
| ADS | 原子炉水位（L－3）トリップユニット作動失敗共通要因故障 | 8.3E-07 | 4.5E-09 |
| LPCI-A/B/C | 弁間差圧力トランスミッタ作動失敗共通要因故障 | 8.6E-08 | 4.3E-09 |

人的過誤に係わるストレスレベル及びストレスファクタの
考え方について

本 P R A で用いている起因事象発生前後の人的過誤確率をストレスレベル，ストレスファクタ及び余裕時間とともに表 1 及び表 2 に示す。

運転員のタスク遂行の成功又は失敗の確率は，運転員にとっての外的環境（温度，照明等の作業環境，タスクの特性，マンマシンインターフェイス等），内的状態（経験，訓練等によって形成される知識及びスキル）又はストレス等の行動形成因子によって大きく影響される。

本 P R A における人的過誤のストレスレベル及びストレスファクタの設定の考え方について，以下に示す。

(1) ストレスレベルの分類

本 P R A では、ヒューマンエラーハンドブック（N U R E G / C R - 1 2 7 8）の T H E R P 手法（Technique for Human Error Rate Prediction）を使用しており，作業負荷等に応じて 7 つのストレスレベルを分類し、それらに対応した補正係数（ストレスファクタ）を評価している。その詳細については，表 3 に示す。

作業負荷が低い場合は注意力が散漫になり，逆に作業負荷が高い場合には人間の通常業務遂行能力の限界に近づいている又は超えているため，タスク遂行の妨害となることから，その作業に対する増倍係数を設定している。また，極端にストレスレベルが高い場合は，情緒的反応が生じる等タスク遂行に非常に妨害となる

ことから、固定値を用いて評価する。

なお、本 P R A では、運転員による異常時の事象の認知や操作方法は訓練されているため、補正係数は「熟練者」の値を選択する。また、運転員の操作内容は手順書に従った段階的操作であることから、各ストレスレベルの「段階的操作」を選択する。

(2) ストレスファクタの設定の考え方

a. 起因事象発生前（表 1，表 3）

○認知失敗及び操作失敗

事故が発生していないときの操作であり、特に高いストレスには至らないため、ストレスレベル「【No. 2】作業負荷が適度（段階的操作）」のストレスファクタ 1 を設定した。

b. 起因事象発生後（表 2，表 3）

○認知失敗

期待する緩和設備に対しては手順書の整備及び訓練の十分な実施が行われているが、起因事象発生後は起因事象発生前に比べて運転員のストレスレベルが高いと考えられるため、ストレスレベル「【No. 4】作業負荷がやや高い（段階的操作）」のストレスファクタ 2 を設定した。

○操作失敗

認知と同様の理由により、ストレスレベル「【No. 4】作業負荷がやや高い（段階的操作）」のストレスファクタ 2 を設定した。

基本的に上記の考え方にに基づき、起因事象発生後の人的過誤

について、ストレスレベル及びストレスファクタを設定しているが、以下の人的過誤については、別途ストレスレベル及びストレスファクタを設定した。

- ・ 「水源切替操作失敗（C S T→サプレッション・チェンバ，中破断 L O C A）」，「注水不能認知失敗（大中破断 L O C A）」

○認知失敗

余裕時間が極めて短い時間であり，操作員のストレスが非常に高いと考えられるため，ストレスレベル「【No. 7】作業負荷が極度に高い（動的操作又は診断操作）」の固定値を用いて評価した。

表 1 起因事象発生前の人的過誤のストレスレベル及びストレスファクタ

| 人的過誤 | ストレスレベル (ストレスファクタ) | 過誤確率 (平均値) | EF | ストレスレベル，ストレスファクタの 選定理由 |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------|-----|--|
| 弁の開け忘れ・閉め忘れ | 適度 【No. 2】 ----- (×1) | 8.3E-05 | 4.8 | 事故が発生していないときの操作で あり，特に高いストレスには至らない ため，ストレスレベル「【No. 2】作業 負荷が適度（段階的操作）」のストレ スファクタ 1 を設定した。 |
| D G 試験時ガバナ操作後の 復旧失敗 | 適度 【No. 2】 ----- (×1) | 3.9E-03 | 6.8 | |
| 弁の開け忘れ・閉め忘れ (I S L O C A) | 適度 【No. 2】 ----- (×1) | 2.0E-03 | 3.5 | |

表 2 起因事象発生後の人的過誤のストレスファクタと余裕時間 (1/2)

| 人的過誤 | ストレスレベル (ストレスファクタ) | | 余裕時間 | 過誤確率 (平均値) | EF | ストレスレベル, ストレスファクタの選定理由 |
|--|----------------------------------|----------------------------------|-------------|---------------|-------|---|
| | 認知失敗 | 操作失敗 | | | | |
| 原子炉水位制御 操作失敗 | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | 30 分 | 2. 5E-03 | 6. 5 | ○認知失敗及び操作失敗 期待する緩和設備に対しては手順書の整備及び訓練の十分な実施が行われているが、起因事象発生後は起因事象発生前に比べて運転員のストレスレベルが高いと考えられるため、ストレスレベル「【No. 4】作業負荷がやや高い（段階的操作）」のストレスファクタ 2 を設定した。 |
| 水源切替操作失敗 (C S T→サプレッション・チェンバ、 大中破断 L O C A 以外) | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | 30 分 | 2. 5E-03 | 6. 5 | |
| 原子炉手動減圧失敗 (L O C A 以外) | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | 30 分 | 2. 5E-03 | 6. 5 | |
| D G 燃料油補給 操作失敗 | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | 60 分 | 1. 1E-04 | 35. 6 | |
| 水源切替操作失敗 (C S T→サプレッション・チェンバ、 中破断 L O C A) | 極度に高い 【No. 7】 (固定値) | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | 極めて 短い時間 | 1. 8E-01 | 6. 7 | ○認知失敗 時間的余裕が極めて短い時間であり、操作員のストレスが非常に高いと考えられるため、ストレスレベル「【No. 7】作業負荷が極度に高い（動的操作又は診断操作）」の固定値を用いて評価した。 ○操作失敗 「原子炉水位制御操作失敗」と同様。 |
| R H R 系操作失敗 | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | 60 分 | 1. 1E-04 | 35. 6 | ○認知失敗及び操作失敗 「原子炉水位制御操作失敗」と同様。 |

表 2 起因事象発生後の人的過誤のストレスファクタと余裕時間 (2/2)

| 人的過誤 | ストレスレベル (ストレスファクタ) | | 余裕時間 | 過誤確率 (平均値) | EF | ストレスレベル, ストレスファクタの選定理由 |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------|---------------|------|--|
| | 認知失敗 | 操作失敗 | | | | |
| 起動信号の共通原因故障時 | | | | | | |
| 注水不能認知失敗 (大中破断 L O C A 以外) | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | — | 30 分 | 1.0E-03 | 13.8 | ○認知失敗 「原子炉水位制御操作失敗」と同様。 |
| 注水不能認知失敗 (大中破断 L O C A) | 極度に高い 【No. 7】 (固定値) | — | 極めて 短い時間 | 4.0E-01 | 5.0 | ○認知失敗 時間的余裕が極めて短い時間であり、操作員のストレスが非常に高いと考えられるため、ストレスレベル「【No. 7】作業負荷が極度に高い（動的操作又は診断操作）」の固定値を用いて評価した。 |
| 高圧注水系起動 操作失敗 | — | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | — | 2.5E-03 | 3.0 | ○操作失敗 「原子炉水位制御操作失敗」と同様。 |
| 原子炉手動減圧失敗 (L O C A) | — | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | — | 1.9E-01 | 3.5 | |
| 低圧注水系起動 操作失敗 | — | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | — | 1.9E-01 | 3.5 | ○操作失敗 「原子炉水位制御操作失敗」と同様。 |

表3 ストレス及び熟練度による人的過誤率（HEP）への補正係数

| 項目 | ストレスレベル | HEPs の増倍係数 | |
|----|--------------|---|-----------------|
| | | 熟練者 | 熟練度の低い者 |
| 1. | 作業負荷が大変低い | ×2 | ×2 |
| 2. | 作業負荷が適度 | ×1 | ×1 |
| | (段階的操作) | | |
| 3. | 作業負荷が適度 | ×1 | ×2 |
| | (動的操作) | | |
| 4. | 作業負荷がやや高い | ×2 | ×4 |
| | (段階的操作) | | |
| 5. | 作業負荷がやや高い | ×5 | ×10 |
| | (動的操作) | | |
| 6. | 作業負荷が極度に高い | ×5 | ×10 |
| | (段階的操作) | | |
| 7. | 作業負荷が極度に高い | . 25 (EF = 5) | . 50 (EF = 5) |
| | (動的操作又は診断操作) | | |
| | | 極度にストレス・レベルが高い場合は、増倍係数ではなく、複数のクルーを対象とした固定値を用いる。 | |

注：日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2008」の解説表 23-4 から転記

オMISSIONエラーを考慮していない理由について

本PRAでは、起因事象発生後の緩和操作に係る人的過誤の評価においてオMISSIONエラーの寄与は十分小さいとして考慮していない。これは以下の理由によるものである。

(1) オMISSIONエラーが発生する前提

PRAで考慮する緩和操作に係る人的過誤は、THERP手法を定めるNUREG/CR-1278に従って認知失敗と操作失敗の2つに分類している。NUREG/CR-1278では、認知失敗はTHERP標準診断曲線に基づき評価しており、一方、操作失敗は、オMISSIONエラーとコミMISSIONエラーに分類され、オMISSIONエラーの発生に際して、使用する手順書は「原子力発電所の（1983年当時の）典型的な手順書」であることを前提としている。

(2) 典型的な手順書とコラム式の手順書

a. 典型的な手順書

典型的な手順書とは以下のような特徴を持ち、図1に具体例を示す。

- ・ 必要な情報を伝えるには過度の字数である物語調 (narrative) の様式。
- ・ 必要な情報量に比べて不要な情報量が多い。
- ・ 一つの段落に複数の実施項目が含まれている。
- ・ 操作者が手順書に従って「計器を見て設定値を確認する」等を実施した後、手順書を再度参照する際に誤った箇所を参照する事がある。

FTM パネルの前面にて，DC 測定ボタンを下に押す。ランプが点灯する。
RMS 測定ボタンを押し続ける。RMS VM を読み取り，A から C は 0.055 と 0.056
の間であることを，D から G は 0.049 と 0.050 の間であることを読み取る。
読み取る記録計は A から C は 3.4A，D から G は 3.4B である。

図 1 典型的な物語調の手順書の例（出典：NUREG/CR-1278）

b. コラム式の手順書

コラム式の手順書とは以下のような特徴を持ち，図 2 に具体例を示す。

- ・ 表形式で手順及び確認事項（機器状態等）が記載されている。
- ・ 必要な情報量に比べて不要な情報量が少ない
- ・ 各項目が単一の手順に対応する。
- ・ 各手順にチェック欄が有る。
- ・ チェック欄は手順の隣に記載されている。

| 対象機器 | 手順 | 確認事項 | 備考 |
|--------------|------------------|---------------------------|-------------|
| FTM panel | DC 測定ボタンを下に押す。 | ランプが点灯する 事 | |
| | RMS 測定ボタンを押し続ける。 | | |
| | RMS VM を読み取る。 | | |
| | A から C | 0.055 から 0.056 の 間である事 | 記録計 3.4A |
| | D から G | 0.049 から 0.050 の 間である事 | 記録計 3.4B |

図 2 コラム式の手順書の例（出典：NUREG/CR-1278）

c. 本PRAにおけるオMISSIONエラーの考慮について

NUREG/CR-1278によれば、物語調の手順書を使い慣れている運転員が簡単な訓練を行った後、コラム式の手順書を使用して試験をするという実験を参照しており、その結果から運転員がコラム式の手順書を使い慣れていないとしても、オMISSIONエラーの発生率が三分の一に減少すると評価されている^[1]。

東海第二発電所の運転操作手順書は既にコラム式を採用しており、表1に示す熟練度による人的過誤確率への補正係数の影響を考慮すると、熟練した運転員が操作することにより過誤確率はさらに半減すると考えられる。

代表的なオMISSIONエラーとして表2の「1. 短い項目（10項目未満）」を想定とした場合、その過誤確率はコラム式の手順書の採用及び熟練度を考慮することにより、 $1.7E-04$ まで低減できるものと考えられる。これは、本PRAにおいて起因事象発生後のコミッションエラーとして考慮している表3の「3. 同様なコントロールを持つパネルで選択誤り」の人的過誤確率 $1.0E-03$ と比較して一桁小さい。また、以下の東海第二発電所の手順書の記載内容を考慮することにより、オMISSIONエラーによる寄与はコミッションエラーと比較して十分に小さくなると考えられる。

- ・ 発電長から副発電長への指示、副発電長から発電長への報告及び運転員への指示、副発電長の指示による原子炉側操作員、タービン・電気側操作員、現場操作員の運転操作及び確認事項が明確に記載されている。
- ・ 兆候ベースの非常時運転手順書中では、操作の流れが把握できるようフローチャートを記載しており、オMISSIONエラーの発生を低減できる手順書となっている。

上記により，起因事象発生後におけるオMISSIONエラーの過誤確率はコミ
SSIONエラーと比較してその寄与は十分に小さいと考えられるため，本PR
AにおいてオMISSIONエラーは考慮していない。

表1 ストレスと熟練度による人的過誤確率への補正係数
(NUREG/CR-1278 から抜粋)

| 項目 | ストレスレベル | HEPs の増倍係数 | |
|----|--------------|---|----------------|
| | | 熟練者 | 熟練度の低い者 |
| 1. | 作業負荷が大変低い | ×2 | ×2 |
| 2. | 作業負荷が適度 | ×1 | ×1 |
| 3. | (段階的操作) | | |
| 3. | 作業負荷が適度 | ×1 | ×2 |
| 4. | (動的操作) | | |
| 4. | 作業負荷がやや高い | ×2 | ×4 |
| 5. | (段階的操作) | | |
| 5. | 作業負荷がやや高い | ×5 | ×10 |
| 6. | (動的操作) | | |
| 6. | 作業負荷が極度に高い | ×5 | ×10 |
| 7. | (段階的操作) | | |
| 7. | 作業負荷が極度に高い | .25 (EF = 5) | .50 (EF = 5) |
| | (動的操作又は診断操作) | | |
| | | 極度にストレス・レベルが高い場合は、増倍係数ではなく、複数のクルーを対象とした固定値を用いる。 | |

注：日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2008」の解説表 23-4 から転記

表2 手順書を使うときのオMISSIONエラー確率の例
(NUREG/CR-1278 から抜粋)

| 項目 | オMISSIONの項目 | HEP | EF |
|----|-------------------------------|------|----|
| | チェック表が正しく用いられている場合 | | |
| 1. | 短い操作 (<10 項目) | .001 | 3 |
| 2. | 長い操作 (>10 項目) | .003 | 3 |
| | チェック表を用いていないか、又は正しく用いられていない場合 | | |
| 3. | 短い操作 (<10 項目) | .003 | 3 |
| 4. | 長い操作 (>10 項目) | .01 | 3 |
| 5. | 文書化した手順書を用いるべきであるが、用いていない場合 | .05 | 5 |

注：日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2008」の解説表 23-3 から転記

表 3 手動操作のコミッションエラー確率の例
(NUREG/CR-1278 から抜粋)

| 項目 | エラーのポテンシャル | HEP | EF |
|-----|---|-----------|----|
| 1. | 1 個のコントロールの不注意な操作 | プラントに完全依存 | |
| 2. | 同様なコントロールを持つパネルで選択誤り (ラベルで区別) | .003 | 3 |
| 3. | 同様なコントロールを持つパネルで選択誤り (機能別に良く分類された配置) | .001 | 3 |
| 4. | 同様なコントロールを持つパネルで選択誤り (システムを模擬した表示) | .0005 | 10 |
| 5. | スイッチの誤った方向への操作 (固定観念に従う場合) | .0005 | 10 |
| 6. | スイッチの誤った方向への操作 (通常の運転状態で固定観念を損う場合) | .05 | 5 |
| 7. | スイッチの誤った方向への操作 (高ストレス状態で固定観念を損う場合) | .5 | 5 |
| 8. | 2 状態スイッチの誤った方向への操作, 又は, 誤った レベルへの設定 | (注) | |
| 9. | 回転式コントローラの誤った設定 (2 状態スイッチ) | .001 | 10 |
| 10. | 完全な操作の完了に対する失敗 | .003 | 3 |
| 11. | グループ内のサーキットブレーカ選択誤り (ラベルで区別) | .005 | 3 |
| 12. | グループ内のサーキットブレーカ選択誤り | .003 | 3 |
| 13. | 不適切なコネクタの配備 (不完全な装着や, コネクタのロック機構のテスト失敗 も含む) | .003 | 3 |

(注) 項目 5, 6, 7 の対応する HEP, EF の 1/5 の値

注：日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2008」の解説表 23-2 から転記

(3) 参考文献

[1] Haney. R. W , “An in-plant experiment” , November 1969.

認知失敗確率におけるストレスファクタの考慮について

本PRAでは、ヒューマンエラーハンドブック（NUREG／CR－1278）のTHERP手法（Technique for Human Error Rate Prediction）を使用している。以下にTHERP手法及び本PRAでの認知失敗確率におけるストレスファクタの考え方を示す。

1. THERP手法での認知失敗確率におけるストレスファクタの考え方

THERP手法では、人間が入力された情報から行動を行うまでに、感覚器官に情報が入力されるプロセス(A)、認知プロセス(B)、処理プロセス(C)、行動判断プロセス(D)、及び行動プロセス(E)という5つのプロセスを経るとしており、認知プロセス(B)及び処理プロセス(C)における失敗を認知失敗としている。

また、認知失敗・操作失敗に係る心理的なストレスとして、以下のようなものがあるとされている。

- ・突発的な開始、ストレスの継続
- ・単調さ、品位の低さ、無意味さ
- ・作業スピード、作業負荷
- ・長期の警戒時間
- ・高い危険
- ・成績に対する軋轢
- ・脅威（失敗、仕事をなくすこと）
- ・否定的な強制力

以下に示すように、THERP手法では認知プロセス(B)及び処理プロセス(C)において、ストレスの影響によって認知失敗の発生率が上昇するため、ストレスファクタを考慮する必要があると記載されている。

(1) 認知プロセス(B)における認知失敗

認知プロセス(B)では、ストレスによって、十分に注意することができなくなることで、認知失敗に繋がる。

(2) 処理プロセス(C)における認知失敗

処理プロセス(C)では、ストレスによって、運転状態を正しく認知することが難しくなることで、認知失敗に繋がる。

2. 本PRAでの認知失敗確率におけるストレスファクタの考え方

上記に示すように、THERP手法では認知失敗確率においてもストレスファクタを考慮することとしており、本PRAにおいても、その考え方に基づいてストレスファクタを設定している。

認知失敗における過誤回復の考慮について

本PRAでは、ヒューマンエラーハンドブック（NUREG／CR－1278）のTHERP手法を使用している。以下に本PRAでの認知失敗における過誤回復の考え方について示す。

(1) THERP手法での認知失敗の考え方

THERP手法では、表1に示す標準診断曲線を用いて診断失敗を評価しており、評価に使用する余裕時間の起点については異常発生を示す警報が出た時刻としている。また、初期の異常事象を示す警報に対する診断や対応の最中に発生する2次事象や3次事象に対しても診断失敗を考慮しており、その診断に対する余裕時間は、前段事象の余裕時間に対して10分余分に時間がかかると想定し、診断失敗確率を標準診断曲線により設定している。

なお、表1に示す診断失敗確率は、同じ班の運転員全員による診断失敗確率である。

(2) 本PRAでの認知失敗における過誤回復の考え方

本PRAにおいては、初期事象の警報に対する認知失敗の過誤回復（表2）として、後段に発報する複数の警報に対する認知を考慮している。起因事象やその後の事象進展により、発報する警報数やそのタイミングが異なるが、過誤回復の失敗確率は下表のとおり余裕時間に基づき、従属性のレベルを分けて考慮している。

| 余裕時間 | 過誤回復の失敗確率 |
|------|--------------------------|
| 30 分 | 余裕時間 30 分の認知失敗確率に中従属性を考慮 |
| 60 分 | 余裕時間 60 分の認知失敗確率に低従属性を考慮 |

表 1 THERP の標準診断曲線 (NUREG/CR-1278 から抜粋)

| 区間 | T (To 後の 時間) [分] | 運転員全員 による診断 失敗確率 (初期事象に 対して) [メディアン] | EF | 区間 | T (To 後の 時間) [分] | 運転員全員 による診断 失敗確率 (2次事象に 対して) [メディアン] | EF | 区間 | T (To 後の 時間) [分] | 運転員全員 による診断 失敗確率 (3次事象に 対して) [メディアン] | EF |
|----|---------------------------|---|----|-----|---------------------------|---|----|-----|---------------------------|---|----|
| 1. | 1 | 1.0 | -- | 7. | 1 | 1.0 | -- | 14. | 1 | 1.0 | -- |
| 2. | 10 | .1 | 10 | 8. | 10 | 1.0 | -- | 15. | 10 | 1.0 | -- |
| 3. | 20 | .01 | 10 | 9. | 20 | .1 | 10 | 16. | 20 | 1.0 | -- |
| 4. | 30 | .001 | 10 | 10. | 30 | .01 | 10 | 17. | 30 | .1 | 10 |
| | | | | 11. | 40 | .001 | 10 | 18. | 40 | .01 | 10 |
| | | | | | | | | 19. | 50 | .001 | 10 |
| 5. | 60 | .0001 | 30 | 12. | 70 | .0001 | 30 | | | | |
| | | | | | | | | 20. | 80 | .0001 | 30 |
| 6. | 1500 | .00001 | 30 | 13. | 1510 | .00001 | 30 | | | | |
| | | | | | | | | 21. | 1520 | .00001 | 30 |

- (注)
- ・ 2次事象や3次事象は、運転員が初期事象の診断や対応の最中に発生する事象を意味する。
 - ・ To：異常発生を示すシグナルが出た時刻
 - ・ ここでは曲線を数値で示している。

注：日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2008」の解説表 23-1 から転記

表2 先行するサブタスク”N-1”が成功又は失敗したときの、
サブタスク”N”の成功又は失敗の条件付き確率の求め方：従属レベルの関数
(NUREG/CR-1278 から抜粋)

| 従属性の レベル | 条件付き成功確率 | 条件付き失敗確率 |
|-------------|---|---|
| ZD | $\Pr [S_{“N”} S_{“N-1”} ZD] = n$ | $\Pr [F_{“N”} F_{“N-1”} ZD] = N$ |
| LD | $\Pr [S_{“N”} S_{“N-1”} LD] = \frac{1 + 19n}{20}$ | $\Pr [F_{“N”} F_{“N-1”} LD] = \frac{1 + 19N}{20}$ |
| MD | $\Pr [S_{“N”} S_{“N-1”} MD] = \frac{1 + 6n}{7}$ | $\Pr [F_{“N”} F_{“N-1”} MD] = \frac{1 + 6N}{7}$ |
| HD | $\Pr [S_{“N”} S_{“N-1”} HD] = \frac{1 + n}{2}$ | $\Pr [F_{“N”} F_{“N-1”} HD] = \frac{1 + N}{2}$ |
| CD | $\Pr [S_{“N”} S_{“N-1”} CD] = 1.0$ | $\Pr [F_{“N”} F_{“N-1”} CD] = 1.0$ |

(注) n：サブタスクの成功確率

N：サブタスクの失敗確率

ZD：Zero Dependence 従属度ゼロ

LD：Low Dependence 従属度低

MD：Moderate Dependence 従属度中

HD：High Dependence 従属度高

CD：Complete Dependence 完全従属

注：日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2008」の解説表 23-5 から転記

P R A 使用コードの検証について

内部事象における炉心損傷頻度の定量化に際しては、解析コードとして、株式会社テプコシステムズが開発した Safety Watcher を使用している。以下に解析コードの概要及び検証について示す。

(1) 解析コードの概要

Safety Watcher は、イベントツリー及びフォールトツリー等の定量化のために必要な情報の入力ファイルを作成する機能、及びフォールトツリーや事故シーケンスの定量化（点推定値計算、不確実さ解析、重要度解析及びミニマルカットセットの抽出）を行う機能を有している。

また、Safety Watcher では二分決定図(Binary Decision Diagram, BDD) を用いた定量化方法が採用されており、稀有事象近似を行わない定量化が可能である。

(2) 解析コードの検証

Safety Watcher の検証は、海外にて十分に使用実績のある Risk Spectrum PSA とのベンチマークによる妥当性確認を行っている。表 1 にベンチマークの結果を示す。また、図 1 にベンチマークに用いたイベントツリーを示す。

ベンチマークの結果、両者に大きな差異は見られなかった。

表 1 事故シーケンスの定量化の比較によるベンチマーク結果

| Sq No. ※ | ①RiskSpectrum の解析結果 (／炉年) | ②SafetyWatcher の解析結果 (／炉年) | ①／② | 事故シーケンス グループ |
|----------|---------------------------------|----------------------------------|------|-----------------|
| 3 | | | 1.01 | T W |
| 6 | | | 1.01 | T W |
| 9 | | | 1.01 | T W |
| 12 | | | 1.01 | T W |
| 15 | | | 1.01 | T W |
| 18 | | | 1.01 | T W |
| 19 | | | 1.01 | T Q U V |
| 20 | | | 1.01 | T Q U X |
| 23 | | | 1.00 | T W |
| 26 | | | 1.00 | T W |
| 29 | | | 1.00 | T W |
| 32 | | | 1.00 | T W |
| 35 | | | 1.00 | T W |
| 36 | | | 1.00 | T Q U V |
| 合計 | | | 1.01 | — |

※：Sq No. は，図 1 中の「No.」に対応する。

| 非隔離事 象 | メンテナ ンス | スクラム系 | S/R弁開 放 | S/R弁再 閉鎖 | HPCS | RCIC | 手動ADS | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-A | RHR-B | No. | 最終状態 |
|-----------|------------|-------|------------|-------------|------|------|-------|--------|------|--------|--------|-------|-------|-----|------|
| T1 | MN | C | M | P | UH | UR | X1 | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 1 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 2 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 3 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | 4 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 5 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 6 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | 7 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 8 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 9 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | 10 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 11 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 12 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | 13 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 14 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 15 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | 16 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 17 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 18 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | 19 | TQUV |
| | | | | | | | | | | | | | | 20 | TQUX |
| | | | | | | | | | | | | | | 21 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 22 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 23 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | 24 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 25 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 26 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | 27 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 28 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 29 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | 30 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 31 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 32 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | 33 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 34 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 35 | TW |
| | | | | | | | | | | | | | | 36 | TQUV |
| | | | | | | | | | | | | | | 37 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 38 | - |
| | | | | | | | | | | | | | | 39 | - |

図 1 ベンチマークに用いたイベントツリー

イベントツリーにおけるドミナントシーケンスについて

起因事象別の炉心損傷頻度と主要な事故シーケンスを表 1 に示す。
また、事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度と主要な事故シーケンスを表 2 に示す。

なお、起因事象別及び事故シーケンスグループ別のドミナントシーケンスについては、イベントツリー集（添付資料 3.1.1.4-1）において示す。

表 1 起因事象別の炉心損傷頻度と主要な事故シーケンス

| 起因事象 | | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 主要な事故シーケンス |
|------------------------|----------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 過渡事象 | 非隔離事象 | 2. 5E-05 | 非隔離事象＋崩壊熱除去失敗 |
| | 隔離事象 | 4. 0E-06 | 隔離事象＋崩壊熱除去失敗 |
| | 全給水喪失 | 1. 5E-06 | 全給水喪失＋崩壊熱除去失敗 |
| | 水位低下事象 | 4. 0E-06 | 水位低下事象＋崩壊熱除去失敗 |
| | 原子炉緊急停止系誤動作等 | 8. 2E-06 | 原子炉緊急停止系誤動作等＋崩壊熱除去失敗 |
| | 逃がし安全弁誤開放 | 1. 5E-07 | 逃がし安全弁誤開放＋崩壊熱除去失敗 |
| 外部電源喪失 | 外部電源喪失 | 1. 5E-06 | 外部電源喪失＋D G 失敗 (H P C S 成功) |
| 手動停止／サポート系喪失 (手動停止) | 計画外停止 | 6. 4E-06 | 計画外停止＋崩壊熱除去失敗 |
| | 残留熱除去系海水系故障 (区分Ⅰ) | 1. 6E-06 | 残留熱除去系海水系故障 (区分Ⅰ) ＋崩壊熱除去失敗 |
| | 残留熱除去系海水系故障 (区分Ⅱ) | 1. 6E-06 | 残留熱除去系海水系故障 (区分Ⅱ) ＋崩壊熱除去失敗 |
| | 交流電源故障 (区分Ⅰ) | 3. 4E-07 | 交流電源故障 (区分Ⅰ) ＋崩壊熱除去失敗 |
| サポート系喪失 (自動停止) | 交流電源故障 (区分Ⅱ) | 3. 4E-07 | 交流電源故障 (区分Ⅱ) ＋崩壊熱除去失敗 |
| | タービン・サポート系故障 | 1. 1E-07 | タービン・サポート系故障＋崩壊熱除去失敗 |
| サポート系喪失 (直流電源故障) | 直流電源故障 (区分Ⅰ) | 2. 7E-06 | 直流電源故障 (区分Ⅰ) ＋D G 失敗 (H P C S 成功) |
| | 直流電源故障 (区分Ⅱ) | 2. 7E-06 | 直流電源故障 (区分Ⅱ) ＋D G 失敗 (H P C S 成功) |
| L O C A | 大破断 L O C A | 3. 0E-09 | 大破断 L O C A ＋崩壊熱除去失敗 |
| | 中破断 L O C A | 3. 0E-08 | 中破断 L O C A ＋崩壊熱除去失敗 |
| | 小破断 L O C A | 4. 5E-08 | 小破断 L O C A ＋崩壊熱除去失敗 |
| 格納容器バイパス | インターフェイスシステム L O C A | 4. 8E-10 | インターフェイスシステム L O C A |

表 2 事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度と主要な事故シーケンス

| 事故シーケンスグループ | | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 主要な事故シーケンス |
|---|-------------|-----------------|--|
| 高圧注水・減圧 失敗 | T Q U X | 2. 0E-08 | 直流電源故障（区分Ⅰ）＋高圧炉 心冷却失敗＋手動減圧失敗 |
| 高圧・低圧注水 失敗 | T Q U V | 3. 5E-09 | 直流電源故障（区分Ⅰ）＋高圧炉 心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 |
| 全交流動力電源 喪失 | 長期 T B | 7. 7E-08 | 外部電源喪失＋D G 失敗＋高圧炉 心冷却失敗 |
| | T B U | 2. 1E-08 | 直流電源故障（区分Ⅰ）＋交流電 源喪失＋高圧炉心冷却失敗 |
| | T B P | 5. 3E-10 | 外部電源喪失＋D G 失敗＋逃がし 安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却 失敗 |
| | T B D | 6. 0E-12 | 外部電源喪失＋直流電源喪失＋高 圧炉心冷却失敗 |
| 崩壊熱除去機能 喪失 | T W | 5. 6E-05 | 非隔離事象＋崩壊熱除去失敗 |
| | T B W | 4. 8E-06 | 直流電源故障（区分Ⅱ）＋D G 失 敗（H P C S 成功） |
| 原子炉停止機能 喪失 | T C | 2. 5E-08 | 非隔離事象（A T W S）＋原子炉 停止失敗 |
| L O C A 時注水 機能喪失 | A E | 1. 4E-12 | 大破断 L O C A ＋高圧炉心冷却失 敗＋低圧炉心冷却失敗 |
| | S 1 E | 2. 0E-11 | 中破断 L O C A ＋高圧炉心冷却失 敗＋低圧炉心冷却失敗 |
| | S 2 E | 1. 6E-13 | 小破断 L O C A ＋高圧炉心冷却失 敗＋低圧炉心冷却失敗 |
| 格納容器バイパ ス（インターフ ェイスシステム L O C A） | I S L O C A | 4. 8E-10 | インターフェイスシステム L O C A |

不確実さ解析における計算回数について

本 P R A では、モンテカルロ法の試行回数を 3,000 回として不確実さ解析を行っている（図 1）。

試行回数の増加に伴う評価値の遷移より，評価結果の収束について確認を行った結果，図 2 に示すとおり，試行回数 3,000 回で各評価値はほぼ収束している。

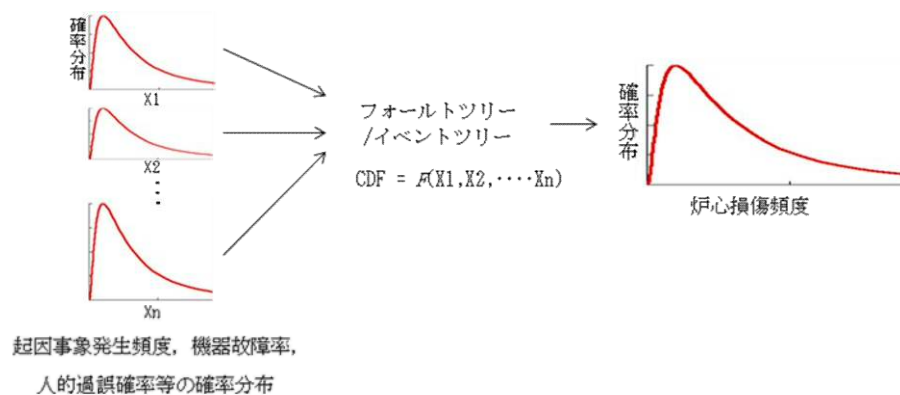


図 1 不確実さ解析（イメージ図）

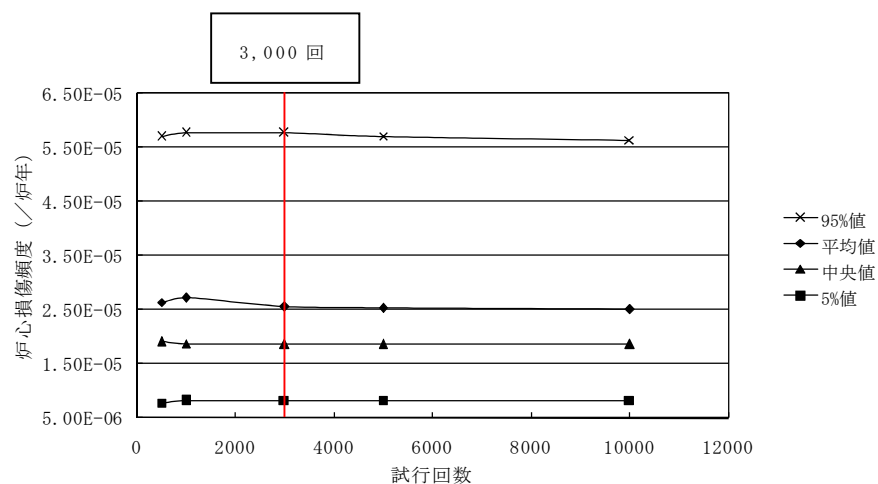


図 2 不確実さ解析結果の遷移

ベイズ統計による個別プラントパラメータの算出について

東海第二発電所固有のプラントパラメータを反映した感度解析を実施するため、ベイズ統計によりプラント固有の運転実績を考慮した起因事象発生頻度及び機器故障率を算出した。その算出手順を以下に述べる。

(1) 起因事象発生頻度について

個別プラントの起因事象発生頻度の算出フローを図 1 に示す。

個別プラントの起因事象発生頻度は、事前分布として国内一般起因事象発生頻度を使用し、東海第二発電所実績データを用いて経験ベイズ更新を実施することで得られる。以下にその内容を示す。

a. 事前分布

a-1) 平成 20 年度末までの国内 BWR 実績データを起因事象データとして用いる。

a-2) 平成 20 年度末までの国内 BWR 実績データを用いて階層ベイズ^{※1}処理を実施する。この場合の事前分布を対数正規分布とし、各 BWR プラントにおける実績データはポアソン過程で発生するものとする。また、評価コードはマルコフ連鎖モンテカルロ用ソフト WinBUGS を使用する。

a-3) 階層ベイズ処理によって得られた事後分布（国内一般起因事象発生頻度）を対数正規分布と仮定し、経験ベイズ更新の事前分布として使用している。

b. 東海第二発電所実績データ

東海第二発電所における，運転開始から平成 20 年度末までの
起因事象実績データとする。

c．事後分布

上記 b．の東海第二発電所の実績データがポアソン過程で発生するとして，a．の事前分布を用いて経験ベイズ^{※2}更新を実施し，個別プラントパラメータである事後分布を得る。また，評価コードは一般財団法人電力中央研究所が開発した Budda を使用する。

なお，プラント固有データを考慮した感度解析では得られた事後分布を対数正規分布と仮定する。

- ※1 階層ベイズとは事前分布のパラメータを事前情報から求めず，それぞれ異なるハイパー事前分布より決定したパラメータを使用した分布を事前分布とし，それを個別プラントデータでベイズ更新して事後分布を求める手法である。ハイパー事前分布とは，ハイパーパラメータ μ （平均）及び σ （分散）の分布である。
- ※2 経験ベイズとは事前分布のパラメータを観測されている事前情報から求め，これを個別プラントデータでベイズ更新して事後分布を求める手法である。

(2) 機器故障率について

個別プラントの機器故障率の算出フローを図 2 に示す。

個別プラントの機器故障率は，事前分布として 21 ヶ年国内一般機器故障率データ（2009 年日本原子力技術協会発行）を使用し，東海第二発電所実績データを用いて経験ベイズ更新を実施することで得られる。以下にその内容を示す。

a．事前分布

事前分布として 21 ヶ年国内一般機器故障率データ（対数正規

分布) を使用する。

21 ヲ年国内一般機器故障率データは、国内原子力発電所における機器故障の実績を階層ベイズ処理することで得られたものである。この階層ベイズ処理では、時間故障率データをポアソン過程、デマンド故障率を二項過程として評価している。また、評価コードは WinBUGS を使用して求めたものである。

b. 東海第二発電所実績データ

東海第二発電所における、昭和 57 年度から平成 14 年度末までの故障率実績データとする。

c. 事後分布

上記 b. の東海第二発電所の実績データがポアソン過程で発生するとして、a. の事前分布を用いて経験ベイズ更新を実施し、個別プラントパラメータである事後分布を得る。また、評価コードは Budda を使用する。

なお、プラント固有データを考慮した感度解析では、得られた事後分布を対数正規分布と仮定する。

(3) 算出結果

上記(1)及び(2)のベイズ統計にて算出した起因事象発生頻度と機器故障率を表 1 及び表 2 に示す。

表 1 ベイズ統計による個別プラントの起因事象発生頻度

| 起因事象 | ① ベースケース | ② 感度解析ケース (ベイズ統計) | ② / ① |
|--------------|--------------|----------------------|-------|
| 非隔離事象 | 1.7E-01 / 炉年 | 2.8E-01 / 炉年 | 1.6 |
| 水位低下事象 | 2.7E-02 / 炉年 | 4.9E-02 / 炉年 | 1.8 |
| 原子炉緊急停止系誤動作等 | 5.5E-02 / 炉年 | 5.4E-02 / 炉年 | 1.0 |
| 計画外停止 | 4.3E-02 / 炉年 | 4.5E-02 / 炉年 | 1.0 |

表 2 ベイズ統計による個別プラントの機器故障率

| 機器 | ① ベースケース | ② 感度解析ケース (ベイズ統計) | ② / ① |
|-------------|-------------|----------------------|-------|
| 電動弁（淡水）作動失敗 | 4.8E-08 / h | 1.2E-07 / h | 2.5 |
| 逆止弁開失敗 | 7.1E-09 / h | 2.4E-08 / h | 3.4 |

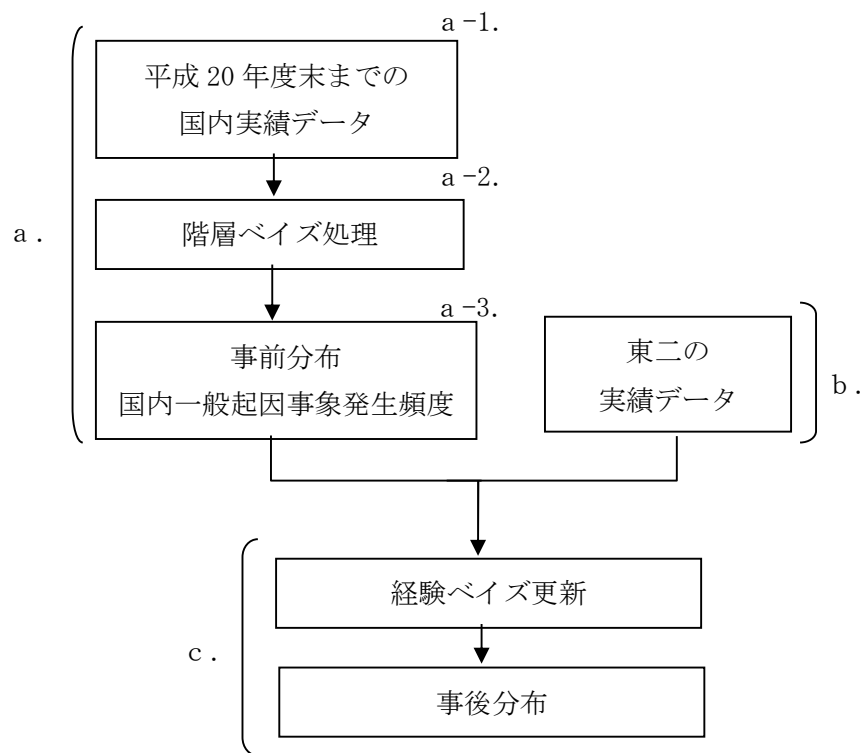


図 1 個別プラントの起因事象発生頻度の算出フロー

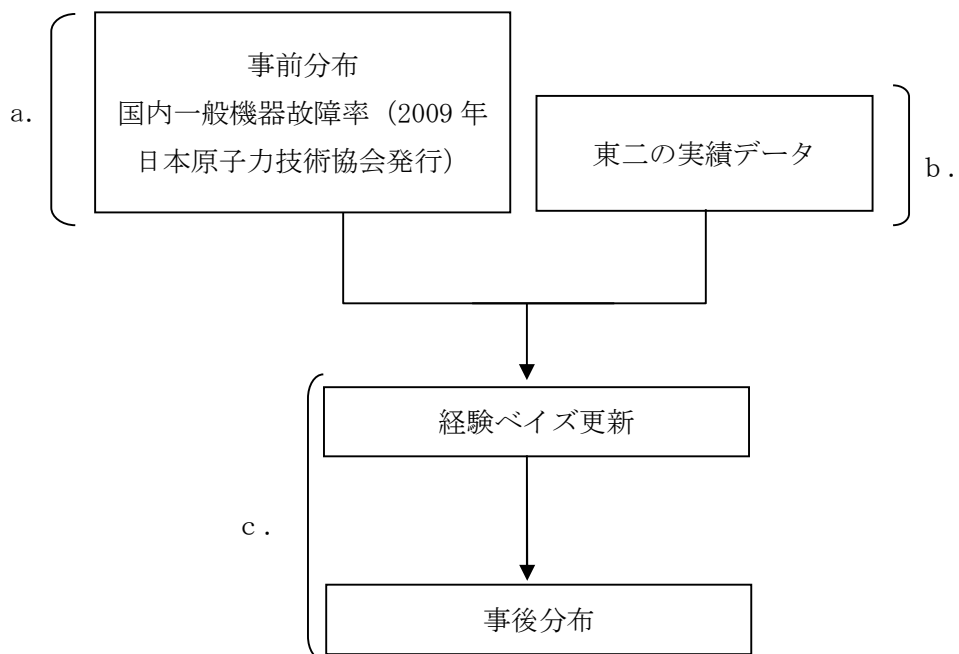


図 2 個別プラントの機器故障率の算出フロー

3.1.2 停止時 P R A

停止時 P R A は一般社団法人日本原子力学会が発行した「原子力発電所の停止状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1 P S A 編）：2010」に基づいて評価を実施した。評価フロー図を第 3.1.2-1 図に示す。

3.1.2.1 対象プラント

(1) 対象とするプラントの説明

a. 東海第二発電所の概要

- | | | |
|----------|---------------------|---------|
| ・ 出力 | 熱出力 | 3,293MW |
| | 電気出力 | 1,100MW |
| ・ プラント型式 | 沸騰水型軽水炉（B W R - 5） | |
| ・ 格納容器型式 | 圧力抑制形（M a r k - II） | |

b. P R A において考慮する緩和設備（系統）の概要

P R A において考慮する緩和設備（系統）を第 3.1.2.1-1 表に示す。また、東海第二発電所の系統構成の概要を第 3.1.2.1-1 図に、各系統設備概要を第 3.1.2.1-2 表に示す（添付資料 3.1.2.1-1）。

(a) 原子炉停止機能に関する系統

プラント停止時には、試験時や点検時を除き原則として制御棒（C R）が挿入状態にあり、また反応度投入事象を起因事象から除外したことから、原子炉停止機能に関する系統は考慮しない。

(b) 炉心冷却機能に関する系統

プラント停止時には、残留熱除去系（R H R）等により原子炉の崩壊熱を除去する。異常時にあつては、非常用炉心冷

却系（E C C S）の注水機能等を用いて原子炉を冷却する。
なお、原子炉隔離時冷却系（R C I C）及び自動減圧系（A D S）は、原子炉が低圧状態であることから、これらの系統は考慮しない。

i) 残留熱除去系（R H R）（原子炉停止時冷却系）

（第 3.1.1.1-7 図）

残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）は R H R の 1 つの機能であり、原子炉停止後の崩壊熱を原子炉から除去する。
残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）は、原子炉冷却材を再循環系ポンプ入口側から R H R ポンプ及び熱交換器を経由させ、再循環系ポンプ出口側に戻し、炉心を冷却する。

ii) 非常用炉心冷却系（E C C S）

プラント停止時には、E C C S として高圧炉心スプレイ系（H P C S）（第 3.1.1.1-4 図）、低圧炉心スプレイ系（L P C S）（第 3.1.1.1-6 図）及び低圧注水系（L P C I）（第 3.1.1.1-7 図）に期待できる。ただし、プラント停止時には、自動起動信号に期待せず手動操作にて起動し、原子炉へ注水する。なお、系統構成等については、運転時と同じである。

iii) 復水移送系（C S T）

C S T は、プラント停止時に通常使用する系統であり、E C C S 水張りライン等から原子炉への注水が可能である。

(c) 安全機能のサポートに関する機能

事故時に基本的な安全機能を果たす系統をサポートする系統である。本 P R A では、サポート系として補機冷却系と電

源系を考慮している。なお、本 P R A では、タイラインによるサポート系の融通については期待していない。非常用補機冷却系の系統概要図を第 3.1.1.1-9 図に示す。また、所内単線結線図を第 3.1.1.1-10 図に、電源系統の概要図を第 3.1.1.1-11 図に示す。

i) 残留熱除去系海水系 (R H R S)

R H R S は、L P C S 及び R H R の補機に直接海水を供給することで、これらを冷却する。

ii) 非常用ディーゼル発電機海水系 (D G S W)

D G S W は、D G - 2 C / 2 D の補機に直接海水を供給することで、これらを冷却する。

iii) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系 (H P C S - D G S W)

H P C S - D G S W は、H P C S 及び H P C S - D G の補機に直接海水を供給することで、これらを冷却する。

iv) 電源系

プラント停止中は、起動変圧器から外部電源を受電する。外部電源 (275kV系) 喪失時、非常用母線 2 D 及び H P C S 母線は予備変圧器 (154kV系) からの受電に切り替わる。なお、非常用母線 2 C は後述の D G - 2 C からの受電が優先されるため、必要に応じ、手動操作にて予備変圧器からの受電に切り替える。常用母線から非常用母線への給電がない場合には、非常用母線の電圧低下を検知して D G - 2 C / 2 D 及び H P C S - D G が自動起動し、非常用母線を介して非常用機器に給電する。

直流電源系は、125V、250V、24V系に分離され、それぞれ充電器、予備充電器及び蓄電池を備えている。本PRAにおいて考慮している125V系は、A系、B系及びHPCS系があり、遮断器の開閉に必要な制御電源の供給やDGの起動等にも用いられる。

(2) 停止時のプラント状態の推移

a. 評価対象期間

原子炉停止過程においては、全制御棒全挿入後に復水器真空破壊が行われ、この時点で給復水系が使用できなくなる等、設備構成が大きく変化する。一方、原子炉起動過程における全制御棒引抜開始の直前に復水器の真空度が上昇し、出力運転時とほぼ同等の設備構成となる。以上のことから、停止時PRAの評価対象期間は、原子炉停止過程における「復水器真空破壊」の時点から原子炉起動過程における「CR引抜開始」の時点までとする。

b. 停止時のプラント状態の推移

プラント停止中は、プラントの状態の変化に伴って、崩壊熱除去等に対する成功基準、余裕時間、及び使用可能な設備の組み合わせが変化するため、停止時PRAにおいては、このようなプラント状態（POS：Plant Operational State）を適切に分類して評価を行う必要がある。BWRプラントの代表的なPOSの推移は、上述の観点から第3.1.2.1-2図に示すとおり、次の5つに大きく分類できる。

(a) 原子炉冷温停止への移行状態

(b) PCV／原子炉圧力容器（RPV）開放への移行状態

- (c) 原子炉ウェル満水状態
- (d) P C V / R P V 閉鎖への移行状態
- (e) 起動準備状態

各 P O S の考え方を以下に示す。

- (a) 原子炉冷温停止への移行状態 (P O S - S)

通常のプラント停止では、残留熱除去系（原子炉停止時冷却）で除熱可能な圧力に減圧するまでは、主蒸気系を介して、復水器により原子炉は除熱される。残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）の運転による除熱を開始した後、復水器の真空を破壊し、復水器による除熱を停止する。プラント停止直後は崩壊熱が大きく、原子炉冷却材インベントリも運転中と変わらない。この期間は、運転中の R H R 1 系統のほかに、残りの R H R 1 系統が待機状態にある。復水器真空破壊から R P V 開放工程へ移行するまでの期間を「原子炉冷温停止への移行状態」として分類する。

- (b) P C V / R P V 開放への移行状態 (P O S - A)

R P V の開放開始から原子炉ウェル水張りまでの期間は、崩壊熱が比較的高く、原子炉冷却材インベントリも運転中と大きく変わらない。この期間中は、運転中の R H R 1 系統のほかに、残りの R H R 1 系統が待機状態にある。R P V 開放工程開始から原子炉ウェル水張り完了までの期間を「P C V / R P V 開放への移行状態」として分類する。

- (c) 原子炉ウェル満水状態 (P O S - B)

R P V 開放完了から原子炉ウェル水抜き開始までの期間は、原子炉ウェルが満水の状態にある。この期間は、原子炉冷却

材インベントリが多く，RHRによる除熱が喪失しても原子炉冷却材の温度が短時間に上昇することはない。原子炉ウェルが満水の期間を「原子炉ウェル満水状態」として分類する。

(d) PCV/RPV閉鎖への移行状態（POS-C）

原子炉ウェル水抜き開始から起動準備に入るまでの期間は，系統の保守点検は継続中であるが，原子炉冷却材インベントリは運転中とほぼ同じである。しかし，崩壊熱は，プラント停止直後の1/10程度に低下している。原子炉ウェル水抜き開始から起動準備に入るまでの期間を「PCV/RPV復旧への移行状態」として分類する。

(e) 起動準備状態（POS-D）

PCV/RPV復旧が終了後，プラントの再起動までに系統の機能確認等の起動準備が実施される。この期間中は，系統の保守点検が終了しており，緩和系統の多くが待機状態となっている。PCV/RPV復旧終了からCR引抜開始までの期間を「起動準備状態」として分類する。

(3) プラント状態分類

a. 評価対象工程の選定

評価対象とする施設定期検査工程は，過去の運転実績を代表するものである必要があるため，過去の施設定期検査のうち，以下の観点に基づいて選定した。

- ・ 通常の施設定期検査で実施される作業が含まれる標準的な施設定期検査を選定する。
- ・ 大規模な工事やトラブル等による点検工程を含まない施設定期検査を選定する。

- ・平成 13 年 1 月の保安規定全面改正以降の施設定期検査を選定する。

東海第二発電所の平成 13 年 1 月の保安規定全面改正以降の施設定期検査の実績概要を第 3.1.2.1-3 表に示す。抽出の結果、特殊工程が含まれていない標準的な施設定期検査工程である第 19 回施設定期検査を選定した（添付資料 3.1.2.1-2，添付資料 3.1.2.1-3）。

b. プラント状態分類

上記 a. で選定した評価対象工程について、「(2) 停止時のプラント状態の推移」に基づき P O S を分類した。また、施設定期検査工程の進捗に伴う使用可能な緩和設備の組合せの変化を考慮し、P O S - B 及び P O S - C を、それぞれ P O S - B 1 ~ B 6 及び P O S - C 1, C 2 に細分化した。P O S の分類結果を第 3.1.2.1-3 図に示す（添付資料 3.1.2.1-4）。

3.1.2.2 起因事象

炉心損傷へ至る可能性のある事象を選定し、その発生頻度を評価した。

(1) 起因事象の選定

本プラントに適用する起因事象について、以下の手法により、検討し選定を行った。

a. マスターロジックダイアグラムに基づく分析

発生する可能性のある起因事象を網羅的に同定するため、マスターロジックダイアグラムを用いて分析・抽出を行った。抽出結果については第 3.1.2.2-1 図に示す。

炉心損傷に至る可能性のある異常事象の要因は、大別して「燃料の熱的損傷」及び「燃料の機械的損傷」が考えられる。このうち、「燃料の熱的損傷」に至る要因としては、「燃料の過出力」及び「燃料の冷却不良」が考えられる。また、「燃料の冷却不良」は、「崩壊熱除去失敗」に起因した冷却材蒸発による燃料の露出及び「原子炉冷却材の流出」による燃料の露出が考えられる。

(a) 崩壊熱除去失敗

崩壊熱除去失敗に係る起因事象として「残留熱除去系の故障」及び「外部電源喪失」を選定した。なお、「残留熱除去系の故障」としては、フロントライン系の故障による「RHR喪失」及びRHRのサポート系であるRHR Sの故障による「RHR S喪失」を起因事象として選定した。

(b) 原子炉冷却材の流出

原子炉冷却材の流出に係る起因事象は、運転操作や保守点検の作業中に発生する操作ミス等の人的過誤に起因する原子炉冷

却材の流出事象と，配管や機器の破損等に起因する原子炉冷却材の流出事象がある。配管や機器の破損等に起因する原子炉冷却材の流出事象として「インターフェイスシステム L O C A」及び「配管破断 L O C A」が考えられるが，これらの事象については後述する理由により評価対象から除外したため，停止時 P R Aにおける原子炉冷却材の流出事象として，運転操作や保守点検の作業中の人的過誤に起因する事象を対象とした。

停止中の作業を調査した結果，運転操作中の人的過誤に起因する原子炉冷却材の流出事象として，「R H R 系統切替時の L O C A」及び「C U W ブロー（原子炉冷却材浄化系による原子炉水位の下降操作）時の L O C A」を，保守点検中の人的過誤に起因する原子炉冷却材の流出事象として，「制御棒駆動機構（C R D）点検時の L O C A」及び「局部出力領域計装（L P R M）点検時の L O C A」を起因事象として選定した。

(c) 燃料の機械的損傷及び燃料の過出力

燃料の機械的損傷として「燃料集合体の落下事象」及び燃料の過出力として「反応度投入事象」が考えられるが，後述する理由により評価対象から除外した。

b. 原子力施設運転管理年報等による，本プラント及び他の国内原子炉のトラブル事例のレビュー

本プラント及び他の国内原子炉のトラブル事例について，原子炉施設運転管理年報等により調査を行い，選定したいずれかの起因事象に含まれることを確認している。

c. 国内外での既往の P R A による知見の活用

既往の P R A で選定された起因事象について調査を実施した。

調査結果を第 3.1.2.2-1 表に示す。

(2) 評価対象外とした起回事象

以下の事象は、発生頻度やプラントへの影響等の観点から、リスク評価上の重要性は低いと考え、評価対象から除外した。

a. インターフェイスシステム L O C A

この事象は、R P V に接続する配管の高圧設計部分と低圧設計部分のインターフェイスにおいて、隔離機能が喪失することによって、低圧設計部分に設計圧を超える圧力がかかり機器破損を引き起こし、原子炉冷却材が P C V 外に流出する事象である。停止時 P R A の評価対象期間においては、長時間にわたり R P V が開放されている。また、R P V が開放されていない期間においても、原子炉冷却材圧力バウンダリ漏えい検査時を除いて、原子炉圧力が高圧になることはなく、インターフェイスシステム L O C A が発生する確率は通常運転時と比べ非常に小さい。検査時には、原子炉圧力を通常運転圧力以上まで上昇させてこれを保持する。検査の性質上、原子炉冷却材バウンダリを構成する隔離弁を閉鎖し加圧すること、また、その場合、隔離弁の多重故障を伴わないと発生しないインターフェイスシステム L O C A が発生する確率は非常に小さい。さらに、検査において原子炉が高圧に保持される時間は数時間程度と短い。以上を考慮し、本事象は対象外とした。

b. 配管破断 L O C A

停止時 P R A の評価対象期間においては、長時間にわたり R P V が開放されている。また、R P V が開放されていない期間においても、原子炉冷却材圧力バウンダリ漏えい検査時を除いて、原子炉圧力が高圧になることはなく、原子炉冷却材圧力バウンダリ

配管は出力運転時の圧力等も考慮した設計であることから、原子炉圧力が低い状態で配管が破断する確率は十分小さい。検査時には、原子炉圧力を通常運転圧力以上まで上昇させてこれを保持するが、原子炉が高压に保持される時間は数時間程度と短い。以上を考慮し、本事象は対象外とした。

c. 燃料集合体の落下事象

燃料取扱機器は、燃料集合体の総重量を十分に上回る強度に設計されており、さらに、燃料取替作業中の燃料集合体落下防止対策として、燃料つかみ機のワイヤの2重化を行っている。燃料つかみ機は空気作動式であり、作動空気が供給されなければ燃料集合体を外せないフェイル・セーフ設計になっている。こうした設計上の配慮から、燃料取替中に燃料集合体が落下する確率は非常に小さいと考えられる。

また、設置変更許可申請書添付書類十の事故解析において、燃料集合体の落下事象について評価が行われており、燃料取替作業中に、燃料集合体（1体）が炉心上に落下することが仮定されているが、破損した燃料棒から放出される核分裂生成物による外部への影響は、小さいものとなっている。以上を考慮し、本事象は対象外とした。

d. 反応度投入事象

プラント停止時には試験時や点検時を除き、原則として制御棒が挿入されており、制御棒又は燃料に係る作業等においては、複数の人的過誤又は機器故障が重畳しない限り反応度が投入されることがないため、この事象が発生する可能性は十分に小さい。

また、万一反応度が投入される事象が発生した場合でも、作業

は制御棒又は燃料 1 体ごとに実施しており，影響は限定されるため，本事象は対象外とした。

また，近年，BWR プラントにおいて停止中に制御棒が誤って引き抜けた事象が発生したが，本件への対応として，冷却水ヘッダ圧力上昇時に制御棒駆動水ポンプを停止するインターロックの設置等により，同様の事象発生は防止されている（添付資料 3.1.2.2-1）。

e. RHR 運転中の LOCA

本事象は，運転中の RHR から，弁の故障を要因として冷却材が流出する事象が考えられるが，人的過誤が主な要因となる RHR 系統切替時の LOCA と比較して，発生頻度は十分小さくなる。また，RHR 運転中の LOCA は，RHR 系統切替時の LOCA と同様に緩和設備の待機／待機除外状態によらず，運転員の認知失敗が炉心損傷に至る主要な要因となるため，炉心損傷頻度についても RHR 系統切替時の LOCA と比較して十分小さい値となる。以上より，本事象は対象外とした（添付資料 3.1.2.2-2）。

(3) 起因事象のグループ化

起因事象については，事象の類似した起因事象をグループ化して評価を実施することも可能である。起因事象をグループ化する際には，事象シナリオの展開が類似しており，同一の緩和機能が必要とされるグループに分類する。つまり，同一グループについては必要とされる緩和設備等が類似する起因事象であるため，同一のイベントツリー及びフォールトツリーを用いることのできる起因事象をグループ化することとしている。

本 PRA で評価対象とした起因事象のうち，RHR S 喪失及び外部

電源喪失については、従属性を有する起因事象であり、他の起因事象と同一のグループとしない。また、原子炉冷却材流出の各起因事象についても、必ずしも同じPOSで実施される作業ではないことから、他の起因事象と同一のグループとしない。そのため、選定した起因事象については、それぞれ単独で炉心損傷の評価を実施することとし、グループ化はしない。

以上により、本PRAで評価対象として選定した起因事象を第3.1.2.2-2表に示す。

(4) 起因事象発生頻度の評価

選定した各起因事象の発生頻度を第3.1.2.2-3表に示す。また、POS別の起因事象発生頻度を第3.1.2.2-4表に示す。各起因事象発生頻度の評価方法は以下のとおり。

a. 残留熱除去系の故障の発生頻度

RHR喪失及びRHR S喪失の発生頻度は、利用可能な最新のデータである平成20年度末までの国内BWRプラントの停止時運転実績から得られた起因事象の発生件数を総施設定期検査日数で除して算出した。なお、RHR S喪失については、発生件数がないため、発生件数を0.5件として算出した。

(a) RHR喪失の発生頻度

$$4 / 70,822 = 5.6E-5 / \text{日}$$

RHR喪失の発生件数 : 4件

総施設定期検査日数 : 70,822日

(b) RHR S喪失の発生頻度

$$0.5 / 70,822 = 7.1E-6 / \text{日}$$

RHR S喪失の発生件数※ : 0.5件

総施設定期検査日数 : 70,822日

※：発生件数がないため，発生件数を0.5件と仮定。

b．外部電源喪失の発生頻度

外部電源喪失の発生頻度は，出力運転時と停止時に発生した3件を暦年で除したものと，停止時特有（外部電源が1系列のみ利用可能な状態）の外部電源喪失事象1件を総施設定期検査日数で除したものを足し合わせて算出した。運転実績には，利用可能な最新のデータである平成20年度末までの実績を用いている。

$$(3/706.1/365.25) + (1/70,822) = 2.6E-5/\text{日}$$

| | |
|------------------------------|-----------|
| 外部電源喪失の発生件数 （停止時特有の事象を除く） | : 3件 |
| 外部電源喪失の発生件数 （停止時特有の事象） | : 1件 |
| 暦年 | : 706.1炉年 |
| 1年の平均日数 | : 365.25日 |
| 総施設定期検査日数 | : 70,822日 |

c．原子炉冷却材の流出の発生頻度

原子炉冷却材の流出の起因事象発生頻度は，保守点検や運転操作の作業中の人的過誤確率を人間信頼性解析により算出した（添付資料3.1.2.2-3，添付資料3.1.2.2-4）。

(a) RHR系統切替時のLOCAの発生頻度

RHR系統切替時に，停止時冷却ライン調整弁の開操作失敗の人的過誤によって，最低流量が確保されずミニフロー弁が開となり，LOCAが発生すると想定した。人的過誤確率を評価した結果，発生頻度は $2.3E-4$ /回となった。評価に用いた人的過誤確率を第3.1.2.2-5表に示す。

(b) C U Wブロー時の L O C A の発生頻度

C U Wによる原子炉水位の下降操作時に, C U Wブロー弁の閉め忘れの人的過誤により, L O C Aが発生すると想定した。人的過誤確率を評価した結果, 発生頻度は $9.7\text{E-}5$ ／回となった。評価に用いた人的過誤確率を第3.1.2.2-6表に示す。

(c) C R D点検時の L O C A の発生頻度

原子炉ウェル満水時に実施されるC R Dの点検作業における人的過誤により, L O C Aが発生すると想定した。原子炉冷却材の流出が発生する可能性のある事象についてイベントツリーを作成し評価した結果, C R D1本当たりの起因事象発生頻度は $1.1\text{E-}6$ ／本となった。

(d) L P R M点検時の L O C A の発生頻度

原子炉ウェル満水時に実施されるL P R Mの点検作業における人的過誤により, L O C Aが発生すると想定した。原子炉冷却材の流出が発生する可能性のある事象についてイベントツリーを作成し評価した結果, L P R M1本当たりの起因事象発生頻度は $5.4\text{E-}7$ ／本となった。

3.1.2.3 成功基準

炉心損傷（燃料損傷）を防止するために必要とされる緩和設備又は緩和操作の組合せ，及びそれらの機能を達成するために必要な条件を以下に定めた。

(1) 炉心損傷判定条件

炉心損傷の判定条件を次のとおり設定した。

- ・炉心燃料の有効燃料長頂部（T A F）が露出した状態（添付資料 3.1.2.3－1）

(2) 起因事象ごとの成功基準の一覧表

各 P O S に対して想定した起因事象ごとに，炉心損傷防止に必要な緩和設備を設定した。設定した成功基準の一覧を第 3.1.2.3－1 表に示す。また，R H R S の成功基準を第 3.1.2.3－2 表に，E C C S ポンプ室等の空調機の成功基準を第 3.1.2.3－3 表に示す。

成功基準の設定に当たって使用した崩壊熱については，May－Witt の式を用いて評価した。なお，崩壊熱は時間とともに減少するため，P O S 区間においても成功基準が変わることが考えられるが，評価上は崩壊熱がその P O S 区間の初期で一定と仮定し，成功基準を設定する。

a．除熱機能に対する成功基準

除熱機能に対する各緩和設備の成功基準は，熱交換器の除熱能力が崩壊熱量を上回ることとする。

除熱能力と崩壊熱量の評価結果を第 3.1.2.3－1 図に示す。評価結果より，全 P O S にわたり，R H R 1 系統にて，崩壊熱量を上回る除熱能力がある。

b．注水機能（残留熱除去系の故障時）に対する成功基準

残留熱除去系の故障時の注水機能に対する各緩和設備の成功基準は、崩壊熱による蒸発量以上の注水能力を有することとする。

注水機能による注水量と崩壊熱による蒸発量の評価結果を第 3.1.2.3-2 図に示す。評価結果より、全 P O S にわたり、L P C S、L P C I、H P C S 及び C S T のいずれにおいても 1 系統で、崩壊熱による蒸発量を上回る注水能力がある。

c. 注水機能（原子炉冷却材の流出時）に対する成功基準

原子炉冷却材の流出時の注水機能に対する各緩和設備の成功基準は、原子炉冷却材の流出量以上の注水能力を有することとする。

L P C S、L P C I 及び H P C S にて、全ての原子炉冷却材の流出の起因事象に対して、流出量を上回る注水能力がある。また、C S T においては、「C R D 点検時の L O C A」の大規模流出時以外の原子炉冷却材流出の起因事象に対して、流出量を上回る注水能力がある。

(3) 対処設備作動までの余裕時間及び使命時間

a. 余裕時間

本評価では、起因事象ごとに各 P O S における余裕時間を以下のとおり評価した。評価に使用した冷却材の保有水量を第 3.1.2.3-3 図に示す。また、冷却材の初期水温は燃料交換作業や原子炉周りの機器の保守が行える最高温度である 52℃と仮定した。

(a) 残留熱除去系の故障，外部電源喪失

原子炉水位が T A F に到達するまでに、除熱系緩和設備及

び注水系緩和設備の作動が必要となるため、T A F に到達するまでの余裕時間を以下の式を使用して評価する。評価には以下の式を使用した。各 P O S における余裕時間を第 3.1.2.3-4 表に示す（添付資料 3.1.2.3-2）。

なお、第 3.1.2.3-4 表に示すとおり、各 P O S における余裕時間は最も短い P O S - S でも約 4 時間であり、T A F に到達までに崩壊熱除去機能が喪失していることの認知に失敗することは想定し難いため、本 P R A では認知失敗を考慮しないこととする。

i) 冷却材温度が 100℃ に到達するまでの余裕時間

$$T_1 = \frac{\Delta T \times M_1 \times C}{Q}$$

T_1 : 冷却材温度が 100℃ に到達するまでの余裕時間 (h)

ΔT : 差温 (100℃ - 初期水温) (℃)

M_1 : 保有水量 (m^3)

C : 比熱 ($J/m^3/^\circ C$)

Q : 崩壊熱量 (J/h)

ii) 原子炉水位が T A F に到達するまでの余裕時間

$$T_2 = T_1 + \frac{M_2 \times H_v}{Q}$$

T_2 : T A F 到達までの余裕時間 (h)

M_2 : T A F までの水量 (m^3)

H_v : 蒸発潜熱 (J/m^3)

Q : 崩壊熱量 (J/h)

(b) 原子炉冷却材の流出

原子炉冷却材の流出時の余裕時間は、原子炉水位が通常水位の場合と原子炉ウェル満水の場合に分けて設定する（添付資料 3.1.2.3-3）。

i) 通常水位の場合

通常水位の場合で考慮する原子炉冷却材の流出の起因事象は「RHR 系統切替時の LOCA」及び「CUW ブロー時の LOCA」がある。事象発生後の緩和操作を遂行するまでの余裕時間として、流出量と TAF までの保有水量から 3 時間と設定した。

ii) 原子炉ウェル満水の場合

原子炉ウェル満水の場合で考慮する原子炉冷却材の流出の起因事象は「CRD 点検時の LOCA」, 「LPRM 点検時の LOCA」及び「RHR 系統切替時の LOCA」がある。CRD 点検及び LPRM 点検は現場作業に伴う人的過誤で発生する事象であるため作業員が必ず気づくことを考慮し、本 PRA では認知失敗を考慮しないこととする。また、原子炉ウェル満水時の RHR 系統切替時の LOCA は、TAF 到達までに冷却材の流出を認知するには十分な時間があり、認知に失敗することは想定し難いため、本 PRA では認知失敗を考慮しないこととする。

b. 使命時間

緩和設備が要求される安全機能を果たすために必要な運転時間である使命時間については、以下の観点から 24 時間を適用している。

- ・ 24 時間あれば、プラントを安定した状態に移行させるこ

とが可能であり，機能喪失した設備の復旧や追加の運転員
操作に期待できる。

(4) 熱水力解析等の解析結果及び解析コードの検証性

本評価において，熱水力解析等は実施していない。

3.1.2.4 事故シーケンス

事故シーケンスとは、炉心損傷等に至るまでの、起因事象の発生及び各種安全機能喪失の組合せのことである。また、炉心損傷に至る事故シーケンスを網羅的に展開するための体系的な分析と定量化が可能である手法として、イベントツリー法を用いる。

(1) イベントツリー

各起因事象に対して、炉心損傷を防止するために必要な緩和設備又は緩和操作を検討し、炉心損傷に至る事故シーケンスを展開した。また、展開した事故シーケンスの最終状態を炉心損傷状態又は成功状態のいずれかに分類した。

各起因事象のイベントツリーの概要を第3.1.2.4-1(a)図～第3.1.2.4-1(c)図に示す。

(2) 事故シーケンスの分類

事故シーケンスの最終状態については、炉心損傷に至る主要因の観点から区別するために以下の事故シーケンスに分類している。

a. 崩壊熱除去機能喪失

- ・ 起因事象「残留熱除去系の故障」に対して、崩壊熱除去・炉心冷却に失敗し炉心損傷に至る事故シーケンス
- ・ 起因事象「外部電源喪失」に対して、非常用D Gによる交流電源の確保に成功したが、崩壊熱除去・炉心冷却に失敗し炉心損傷に至る事故シーケンス

b. 全交流動力電源喪失

本P R Aでは、区分Ⅰ及び区分Ⅱの非常用D Gによる交流電源の確保に失敗した場合を全交流動力電源喪失と定義している。

- ・ 起因事象「外部電源喪失」に対して，非常用 D G による交流電源の確保に失敗し，後段の H P C S による崩壊熱除去・炉心冷却にも失敗することで炉心損傷に至る事故シーケンス
- ・ 起因事象「外部電源喪失」に対して，直流電源の確保に失敗し，後段の H P C S による崩壊熱除去・炉心冷却にも失敗することで炉心損傷に至る事故シーケンス

c . 原子炉冷却材の流出

- ・ 起因事象「原子炉冷却材の流出」に対して，崩壊熱除去・炉心冷却に失敗し炉心損傷に至る事故シーケンス

3.1.2.5 システム信頼性

イベントツリーの定量化においては、展開したイベントツリーの各分岐に対して成功・失敗確率を決めるため、システム信頼性解析を実施する必要がある。この各分岐のシステム信頼性解析にはフォールトツリー法を用いた。本評価では、イベントツリーのヘディングに対応する緩和設備について、その機能遂行に必要なサポート系を含めたフォールトツリーを作成し定量化を実施した。

(1) 評価対象としたシステムとその説明

評価対象とした主要な緩和設備の一覧を以下に示す。それぞれの緩和設備ごとに概要、機能、系統図、必要とするサポート系、試験及びシステム信頼性解析上の主要な仮定を整理した。また、フロントライン系とサポート系の依存性を第3.1.2.5-1表に、サポート系同士の依存性を第3.1.2.5-2表に示す。システム間従属性は、イベントツリー、フォールトツリー及び両者の組合せによってモデル化した。

< 除熱機能 >

- ・ 残留熱除去系 (R H R)

< 注水機能 >

- ・ 高圧炉心スプレイ系 (H P C S)
- ・ 低圧炉心スプレイ系 (L P C S)
- ・ 低圧注水系 (L P C I)
- ・ 復水移送系 (C S T)

なお、プラント停止時は、原子炉は冷温停止状態にあること、余裕時間が運転中に比べ長くなる等の停止時特有の特徴を考慮し、

システム信頼性評価においては下記の a . ～ d . を仮定している。

a . 信号

機器の自動起動に対する信号系は点検等により期待できないことも考えられるため，ポンプや電動弁等については，自動起動信号はモデル化せず，手動操作のみモデル化する。なお，待機中の非常用 D G については，施設定期検査中においても自動起動できる状態で待機しているため，自動起動信号及び手動操作をモデル化する。

b . ポンプ室空調機，D G 室空調機

運転時と同様にポンプ室空調機及び D G 室空調機をモデル化する。

c . 現場操作

電動弁や手動弁の現場での手動開閉操作には期待できないこととし，モデル化していない。

d . メンテナンス

停止時 P R A では，機器の待機除外状態はプラント状態分類の中で直接考慮しているため，メンテナンスはモデル化していない。

(2) システム信頼性評価手法

システム信頼性解析では，フロントライン系とサポート系についてフォールトツリーを作成し，信頼性評価を行った。

フォールトツリーの作成に当たっては，対象範囲を示す系統図を作成するとともに，その範囲内にある機器でモデル化すべき故障モードを基事象リストの形で整理した。また，これらの情報に基づき (1) に示した緩和設備についてフォールトツリーを作成し，

定量化を実施した。

(3) システム信頼性評価の結果

各緩和設備の代表的なフォールトツリーの評価結果を第3.1.2.5-3表に示す。また，起因事象「残留熱除去系の故障」における各緩和設備の主要なミニマルカットセットを第3.1.2.5-4(a)表～第3.1.2.5-4(i)表に示す（添付資料3.1.2.5-1）。

(4) システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度とその根拠

停止時PRAの評価に当たって，システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度はない。

3.1.2.6 信頼性パラメータ

システム信頼性解析や事故シーケンスの定量化のために必要となる機器故障率，共通要因故障パラメータ，試験又は保守作業による待機除外確率等を評価するために必要となるパラメータを整備した。

(1) 非信頼度を構成する要素と評価式

非信頼度を構成する要素としては，機器故障，共通要因故障，試験による待機除外，保守作業による待機除外，人的過誤（3.1.2.7項）等があり，それぞれの評価式に基づき非信頼度を評価した。

(2) 機器故障率

機器故障率は，原則として，NUCIAで公開されている国内プラントの故障実績（1982年度～2002年度21ヵ年49基データ）を基にした「故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定（平成21年5月公表）」（以下「21ヵ年データ」という。）に記載されているデータを使用する。また，NUCIAで公開されている国内プラントの故障実績は，「原子力発電所に関する確率論的安全評価用の機器故障率の算出（1982年度～1997年度16ヵ年49基データ改訂版）（平成13年2月），電中研報告P00001，（財）電力中央研究所」で定義した機器バウンダリに従っている。

なお，21ヵ年データに記載のない機器の故障率については，類似性を考慮した工学的判断に基づき，21ヵ年データに記載された他の機器の故障率を使用した。

上記の機器故障率を使用して以下の評価式により基事象発生確率を算出した。

- ・ 状態変更失敗確率

$$Q = Q_d$$

Q_d : デマンド故障確率

又は

$$Q = \lambda_s \times T_s / 2$$

λ_s : 起動（又は状態変更）失敗率（／時間）

T_s : 平均試験間隔（時間）

・機能維持失敗確率

$$Q = \lambda_r \times T_m$$

λ_r : 機能維持失敗率（／時間）

T_m : 使命時間（時間）

(3) 機器復帰の取扱い方法及び機器復帰失敗確率

本評価では、故障した機器や外部電源の使命時間中の復旧には期待していない。

(4) 待機除外確率

本評価では、機器の待機除外状態はPOS分類の中で直接考慮しているため使用しない。

(5) 共通要因故障の評価方法と共通要因故障パラメータ

同一又は異なるシステムにおいて多重性を持たせるために用いられる機器については、共通要因故障を考慮する。共通要因故障を考慮する機器と故障モードの同定フロー図を第3.1.2.6-1図に示す。フロー図に従い、以下の3つの条件を同時に満たす場合に、共通要因故障を考慮した。

a . 冗長の機能を有する同種機器

b . 起因事象発生前の運転状態が同一

c . 同一故障モード

動的機器と静的機器及びそれらの故障モードによって、共通要

因故障の起こりやすさの程度は異なると考えられる。動的機器の動的故障モードについては、共通要因故障が発生する可能性が比較的高いと考えられることから、上記条件を満たすものに対しては共通要因故障を考慮している。また、動的機器の静的故障モード及び静的機器の各故障モードについては、全炉心損傷頻度への影響が大きいと想定されるものに対して共通要因故障を考慮した。フロー図に従って同定した共通要因故障の対象機器と故障モードを第3.1.2.6-1表及び第3.1.2.6-2表に示す。

なお、本評価では、M G L (Multiple Greek Letter) 法を用いて共通要因故障を考慮した。共通要因故障パラメータとしては、米国で公開され、あるいはP R Aでの使用実績がある文献等から、妥当と考えられる β 、 γ ファクタを使用した。本評価で利用した共通要因故障パラメータの一覧を第3.1.2.6-3表に示す。

3.1.2.7 人的過誤

人的過誤は人間信頼性解析により評価する。人間信頼性解析とは、炉心損傷頻度に有意な影響を及ぼし得る人間行動（タスク）に対して、起こり得る人的過誤を同定してそのタスクの成功又は失敗の確率を評価するものである。

本作業では、起因事象発生前の作業及び発生後の緩和操作を対象として、それらを遂行する過程で起こり得る人的過誤を同定し、その発生確率を算出した。

(1) 評価対象とした人的過誤及び評価結果

人間信頼性解析は、ヒューマンエラーハンドブック（N U R E G / C R - 1 2 7 8）の T H E R P 手法（Technique for Human Error Rate Prediction）を使用して評価した。なお、本評価では過誤回復として、評価対象となる人的過誤の特徴を考慮し、他の運転員によるバックアップをモデル化している。本評価で同定した人的過誤及び過誤確率の評価結果を第3.1.2.7-1表に示す（添付資料3.1.2.7-1）。

a. 起因事象発生前の人的過誤

起因事象発生前に考慮すべき人的過誤として、試験・保守作業の終了後、対象系統あるいは機器の通常状態への復旧忘れを考慮した。具体的には、手動弁の開閉忘れ等を評価した（添付資料3.1.2.7-2）。

b. 起因事象発生後の人的過誤

起因事象発生後の人的過誤としては、非常時運転手順書や事象発生時に必要とされる緩和設備を調査・分析することにより、運転員によって行われる緩和操作を同定している。具体的には、

起因事象発生後の各人的過誤の評価に対して，認知失敗と操作失敗に分けて評価している。

(a) 認知失敗

認知失敗では，警報等により異常を検知して適切な運転手順を選択することに失敗することをモデル化する。認知失敗確率は，THERP手法に基づき，時間信頼性曲線を用いており，対象とする人的過誤の特徴を考慮したストレスレベル等の補正係数を乗じて算出している。なお，時間信頼性曲線を用いる際に必要な余裕時間は，3.1.2.3項で設定した余裕時間を用いる。ただし，残留熱除去系の故障及び外部電源喪失が発生した場合の認知失敗については，TAFが露出するまでの時間を考慮し，認知失敗は考慮しない（添付資料3.1.2.7－3）。

(b) 操作失敗

操作失敗では，認知成功後の対応操作に失敗することをモデル化する。操作失敗確率は，THERP手法に基づき，運転員のストレスレベルや操作の複雑性を考慮して算出する。

3.1.2.8 炉心損傷頻度

炉心損傷に至る事故シーケンスの発生頻度を算出して全炉心損傷頻度を算出するとともに、主要な結果を分析した。停止時 P R A における炉心損傷頻度は、分類された各 P O S の炉心損傷頻度を合算することによって 1 回の停止当たりの炉心損傷頻度を算出しておりその単位は「(／施設定期検査)」となる。また、P O S 当たりの炉心損傷頻度の単位は「(／P O S)」とする。

(1) 炉心損傷頻度の算出に用いた方法

本評価では、計算コード S a f e t y W a t c h e r を用いて、フォールトツリー結合法により事故シーケンスを定量化し、炉心損傷頻度を算出した。

(2) 炉心損傷頻度（点推定値）

事故シーケンスの定量化を行った結果、全炉心損傷頻度は $5.0\text{E-}6$ ／施設定期検査となった。起因事象別及び P O S 別の炉心損傷頻度の内訳を第3.1.2.8-1表に、事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度の内訳を第3.1.2.8-2表に、一日当たりの炉心損傷頻度の変化を第3.1.2.8-1図に示す。また、起因事象別の炉心損傷頻度への寄与割合について第3.1.2.8-2図に、P O S 別の炉心損傷頻度への寄与割合について第3.1.2.8-3図に、事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度への寄与割合について第3.1.2.8-4図に示す。

事故シーケンスグループに対する分析結果について第3.1.2.8-3表に示す。

a. 評価結果の分析

起因事象別の炉心損傷頻度は、外部電源喪失の寄与割合が

77.4%と最も大きく、次いで残留熱除去系の故障の寄与割合が22.6%と大きくなった。また、POS別の炉心損傷頻度は、POS-B3が58.8%と最も寄与割合が大きく、次いでPOS-B1が21.1%、POS-B2が18.9%となった。また、事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度は、全交流動力電源喪失が71.1%、崩壊熱除去機能喪失が28.8%と寄与割合が大きくなった。POS-B1～B3の炉心損傷頻度が大きくなる理由は以下のとおり。

【外部電源喪失】

POS-B1～B3においては待機状態の非常用DGが1台のみであり、起因事象「外部電源喪失」発生後、待機状態の非常DG1台が機能喪失した場合、全交流動力電源喪失となるため。

【残留熱除去系の故障】

POS-B1～B3においては使用可能である除熱・注水設備がRHR1系統及びCST1系統のみであり、起因事象「残留熱除去系の故障」発生後、CSTが機能喪失した場合、崩壊熱除去機能喪失となるため。

なお、特にPOS-B3の炉心損傷頻度の寄与割合が大きいのは、POSの日数が長いことによるものである。

(3) 重要度解析，不確実さ解析及び感度解析

a. 重要度解析

全炉心損傷頻度への寄与が大きい因子を分析するため、Fussell - Vesely (FV) 重要度及びRisk Achievement Worth (RAW) を評価した。それぞれの評価結果を第3.1.2.8-4表，第

3.1.2.8-5表及び第3.1.2.8-5図に示す。

F V 重要度では，非常 D G 及び C S T に関する機器が上位を占める結果となった。F V 重要度において非常用 D G 及び C S T に関する基事象が上位となったのは，上記(2)における評価結果の分析と同じく，P O S - B 1 ~ B 3 において，待機状態の非常用 D G が1台のみであること，及び残留熱除去系の故障が発生した場合に，使用可能である除熱・注水設備が C S T 1 系統のみであることによる。

R A W の上位は軽油貯蔵タンク関連となっている。これは，軽油貯蔵タンクが D G - 2 C ， 2 D ， H P C S - D G それぞれのデイトンクへ燃料を供給する共通のタンクであること，また軽油貯蔵タンクは静的機器であり信頼度が高いことによる。

b．不確実さ解析

全炉心損傷頻度の 5% 値，中央値，平均値，及び 95% 値を評価した。評価結果を第 3.1.2.8-6 表に示す。

全炉心損傷頻度の点推定値と平均値は概ね一致した。また，全炉心損傷頻度のエラーファクタは2.7となった。これは，各パラメータの不確実さの影響により，95% 値と5% 値の間に7倍の不確実さ幅があることを意味する。

c．感度解析

停止時 P R A の炉心損傷頻度は，緩和設備（の保守点検に伴う待機除外の有無）に強く依存する。本 P R A で評価対象とした第19回施設定期検査工程では，P O S - B 1 ~ B 3 において待機状態の非常用 D G が1台のみであること，及び残留熱除去系の故障が発生した場合に使用可能な除熱・注水設備が C S T 1 系統

のみであることにより、この期間の炉心損傷頻度が支配的となった。しかしながら、現在の保安規定では、プラント停止期間中において、2台以上の非常用発電設備が動作可能であることを運転上の制限としていることから、POS-B1～B3の期間において非常用DGが2台待機状態を仮定した場合の感度解析を実施した。なお、非常用DG2台の待機に合わせ、除熱・注水設備としてCST2系統が使用可能であると仮定した。感度解析の結果を第3.1.2.8-7表に示す。また、ベースケースとの比較を第3.1.2.8-6図に示す。

感度解析の結果、全炉心損傷頻度の値は75%低減し、全炉心損傷頻度に対する寄与が最も大きい起因事象が「外部電源喪失」から「残留熱除去系の故障」に変わる結果となった。

第 3.1.2.1-1 表 P R Aで考慮する主な設備

| 機能及び系統名※ | 系統の説明 |
|---|---|
| 炉心冷却機能 | |
| 残留熱除去系（RHR） （原子炉停止時冷却系） | 残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）はRHRの機能の1つであり、電動駆動のポンプを手動起動し、原子炉冷却材中の保有熱を除去して原子炉の冷却を行う。 |
| 高圧炉心スプレイ系（HPCS） | 電動駆動のポンプを手動起動し、高圧～低圧状態の炉心に注水する。 |
| 低圧炉心スプレイ系（LPCS） | 電動駆動のポンプを手動起動し、低圧状態の炉心に注水する。 |
| 低圧注水系（LPCI） （残留熱除去系（RHR）） | 電動駆動のポンプを手動起動し、低圧状態の炉心に注水する。 |
| 復水移送系（CST） | 電動駆動のポンプを手動起動し、低圧状態の炉心に注水する。 |
| 安全機能のサポート機能 | |
| 残留熱除去系海水系（RHR S） 非常用ディーゼル発電機海水系 （DG SW） 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系 （HPCS-DG SW） | 直接海水を供給することで、各々の補機を冷却する。 RHR S：LPCS，RHR DG SW：DG-2C/2D HPCS-DG SW：HPCS，HPCS-DG |
| 非常用ディーゼル発電機（DG） | 外部電源の喪失を受けて自動起動し、非常用機器に給電する。 |
| 直流電源（DC） | DGの起動等に用いる。 |

※ 外部電源が喪失した場合の復旧及び故障した機器の復旧は考慮していない。

第 3.1.2.1-2 表 系統設備概要

| 系統設備 | 概要 |
|-----------------------|--|
| 残留熱除去系 (RHR) | <p>電動ポンプ台数：3 台，熱交換器基数：2 台</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉停止時冷却系：2 系統 ・低圧注水系 (LPCI)：3 系統 <p>ポンプ容量：約 1,690m³/h (1 台当たり)</p> |
| 高圧炉心スプレイ系 (HPCS) | <p>電動ポンプ台数：1 台</p> <p>ポンプ容量：約 1,440t/h</p> |
| 低圧炉心スプレイ系 (LPCS) | <p>電動ポンプ台数：1 台</p> <p>ポンプ容量：約 1,440t/h</p> |
| 復水移送系 (CST) | <p>電動ポンプ台数：2 台</p> <p>ポンプ容量：約 143m³/h (1 台当たり)</p> |
| 残留熱除去系海水系 (RHRS) | <p>電動ポンプ台数：4 台</p> <p>ポンプ容量：約 886m³/h (1 台当たり)</p> |
| 非常用ディーゼル発電機海水系 (DGSW) | <p>非常用ディーゼル発電機用電動ポンプ台数：2 台</p> <p>ポンプ容量：約 273m³/h (1 台当たり)</p> <p>HPCSディーゼル発電機用電動ポンプ台数：1 台</p> <p>ポンプ容量：約 233m³/h</p> |
| 非常用ディーゼル発電機 (DG) | <p>非常用ディーゼル発電機台数：2 台</p> <p>定格容量：約 6,500KVA/台</p> <p>HPCSディーゼル発電機台数：1 台</p> <p>定格容量：約 3,500KVA</p> |
| 直流電源 (DC) | <p>所内蓄電池組数：2 組</p> <p>容量：A—約 3,500Ah, B—約 2,500Ah</p> <p>HPCS系用蓄電池組数：1 組</p> <p>容量：約 900Ah</p> |

第 3.1.2.1-3 表 東海第二発電所の施設定期検査の実績概要

| 施設定期検査 | 解列日～併列日 | 施設定期検査日数 | 燃料取出方法 | 備考（大規模な工事やトラブル等） |
|--------|----------------------------|----------|--------|--|
| 第 18 回 | H13. 3. 26～ H13. 7. 23 | 119 | 全燃料取出 | ・ 中性子計測ハウジング取替 |
| 第 19 回 | H14. 9. 16～ H14. 12. 9 | 85 | 部分燃料取出 | |
| 第 20 回 | H16. 2. 1～ H16. 4. 26 | 86 | 全燃料取出 | ・ ルースパーツ（H P C S デフレクタ）探査 |
| 第 21 回 | H17. 4. 23～ H17. 9. 30 | 161 | 全燃料取出 | ・ 再循環系流量制御弁取替 |
| 第 22 回 | H18. 11. 18～ H19. 2. 12 | 87 | 全燃料取出 | ・ 炉内点検（ジェットポンプ流量計測管点検） |
| 第 23 回 | H20. 3. 18～ H20. 7. 9 | 114 | 全燃料取出 | ・ R P V バウンダリ弁点検（R P V 水抜き） ・ E C C S ストレーナ改造 |
| 第 24 回 | H21. 9. 7～ H22. 3. 31 | 206 | 全燃料取出 | ・ 再循環系ポンプ分解点検 |

□□ 本評価において選定した施設定期検査工程

第 3.1.2.2-1 表 既往の停止時 P R A における起因事象との比較

| | Grand Gulf (NUREG/CR-6143※ ¹) | JNES※ ² | 本評価 |
|------------------------|--|--------------------|-----|
| R H R 喪失 (フロントライン系) | ○ | ○ | ○ |
| R H R S 喪失 (サポート系) | ○ | ○ | ○ |
| 外部電源喪失 | ○ | ○ | ○ |
| 配管破断 L O C A | ○ | ○ | — |
| C U W ブロー時の L O C A | — | — | ○ |
| R H R 運転中の L O C A | ○ | ○ | — |
| R H R 系統切替時の L O C A | ○ | ○ | ○ |
| C R D 点検時の L O C A | — | — | ○ |
| L P R M 点検時の L O C A | — | — | ○ |

※1 NUREG／CR-6143, 「Evaluation of Potential Severe Accidents During Low Power and Shutdown Operations at Grand Gulf, Unit 1」 1994,

※2 P S A 評価手法の標準化に係る整備＝停止時内の事象レベル 1 P S A／地震 P S A＝別冊 1, 平成 23 年 1 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構

第 3.1.2.2-2 表 停止時 P R A の評価対象とする起因事象

| 起因事象 | | 内容 |
|-----------|----------------------|---|
| 残留熱除去系の故障 | R H R 喪失 | R H R の弁やポンプの故障により運転中の R H R が機能喪失する事象 |
| | R H R S 喪失 | R H R S の弁やポンプの故障により運転中の R H R S が機能喪失する事象 |
| 外部電源喪失 | | 外部電源が喪失する事象 |
| 原子炉冷却材の流出 | C U W ブロー時の L O C A | 原子炉水位の下降調整操作において、人的過誤により原子炉冷却材が系統外に流出する事象 |
| | R H R 系統切替時の L O C A | R H R の系統切替え操作において、人的過誤により原子炉冷却材が系統外に流出する事象 |
| | C R D 点検時の L O C A | C R D 点検作業時の人的過誤により原子炉冷却材が系統外に流出する事象 なお、C R D 点検時の L O C A は流出規模に応じ、大規模流出と小規模流出に分類している |
| | L P R M 点検時の L O C A | L P R M 点検作業時の人的過誤により原子炉冷却材が系統外に流出する事象 |

第 3.1.2.2-3 表 起因事象発生頻度一覧

| 起因事象 | | 発生頻度 | | 評価方法 |
|-----------|-----------------|---------|------|---|
| 崩壊熱除去機能喪失 | | | | <ul style="list-style-type: none"> ・国内BWRプラント実績データ（平成 21 年 3 月末時点） ・RHR S 喪失は発生実績がないため 0.5 回の発生を仮定 ・POS ごとの起因事象発生頻度は 1 日当たりの発生頻度に POS 日数を乗じて算出 |
| | RHR 喪失 | 5.6E-05 | (／日) | |
| | RHR S 喪失 | 7.1E-06 | (／日) | |
| 外部電源喪失 | | | | <ul style="list-style-type: none"> ・国内BWR実績データ（平成 21 年 3 月末時点） ・POS ごとの起因事象発生頻度は 1 日当たりの発生頻度に POS 日数を乗じて算出 |
| | 外部電源喪失 | 2.6E-05 | (／日) | |
| 原子炉冷却材の流出 | | | | <ul style="list-style-type: none"> ・人間信頼性解析により算出 ・POS ごとの起因事象発生頻度は 1 回（本）当たりの発生頻度に POS の期間中の操作回数（点検本数）を乗じて算出 |
| | RHR 系統切替時の LOCA | 2.3E-04 | (／回) | |
| | CUW ブロー時の LOCA | 9.7E-05 | (／回) | |
| | CRD 点検時の LOCA | 1.1E-06 | (／本) | |
| | LPRM 点検時の LOCA | 5.4E-07 | (／本) | |

第 3.1.2.2-4 表 P O S 別の起因事象発生頻度

| | S 1 日間 | A 2 日間 | B1 5 日間 | B2 3 日間 | B3 14 日間 | B4 8 日間 | B5 12 日間 | B6 13 日間 | C1 8 日間 | C2 9 日間 | D 7 日間 |
|--------------------|-----------|-----------|------------|-------------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-----------|
| RHR 喪失 | 5.6E-05 | 1.1E-04 | 2.8E-04 | 1.7E-04 | 7.9E-04 | 4.5E-04 | 6.8E-04 | 7.3E-04 | 4.5E-04 | 5.1E-04 | 4.0E-04 |
| RHR S 喪失 | 7.1E-06 | 1.4E-05 | 3.5E-05 | 2.1E-05 | 9.9E-05 | 5.6E-05 | 8.5E-05 | 9.2E-05 | 5.6E-05 | 6.4E-05 | 4.9E-05 |
| 外部電源喪失 | 2.6E-05 | 5.2E-05 | 1.3E-04 | 7.7E-05 | 3.6E-04 | 2.1E-04 | 3.1E-04 | 3.3E-04 | 2.1E-04 | 2.3E-04 | 1.8E-04 |
| RHR 系統切替時の LOCA | — | — | — | 2.3E-04 | — | — | 2.3E-04 | — | — | 2.3E-04 | 2.3E-04 |
| CUW ブロー時の LOCA | — | — | — | — | — | — | — | — | 9.7E-05 | — | 9.7E-05 |
| CRD 点検時の LOCA | — | — | — | 2.9E-05 (27 本) | — | — | — | — | — | — | — |
| LPRM 点検時の LOCA | — | — | — | 5.4E-07 (1 本) | — | — | — | — | — | — | — |

(／P O S)

第3.1.2.2-5表 RHR系統切替時のLOCAの発生頻度

| 項目 | 中央値 | 平均値 | E F | 備考 |
|----------------|---------|---------|-----|--|
| ①運転員の弁開操作忘れ | 1.0E-03 | － | 3.0 | NUREG/CR-1278 Table20-7(1) |
| ②管理者の開操作チェック失敗 | 1.5E-01 | － | 5.0 | NUREG/CR-1278 Table20-22(1) 低従属を考慮 |
| | | 2.3E-04 | 4.9 | |

①運転員の弁開操作忘れ

手順書（10項目以下）中の1項目を省いてしまう人的過誤確率

②管理者の開操作チェック失敗

手順書を用いて行う慣例的な点検（作業）の作業ミスを発見し損なう人的過誤確率を用い、これに低従属を考慮し評価

第3.1.2.2-6表 CUWブロー時のLOCAの発生頻度

| 項目 | 中央値 | 平均値 | E F | 備考 |
|----------------|---------|---------|------|--|
| ①運転員の弁閉操作忘れ | 1.0E-04 | － | 30.0 | NUREG/CR-1278 を基に 工学的判断により設定 |
| ②管理者の閉操作チェック失敗 | 9.8E-02 | － | 5.0 | NUREG/CR-1278 Table20-22(3) 低従属を考慮 |
| | | 9.7E-05 | 33.9 | |

①運転員の弁閉操作忘れ

高度な管理下で実施される作業として、NUREG/CR-1278 を基に工学的判断により設定

②管理者の閉操作チェック失敗

日常的なものではなく特に要求された点検（作業）の作業ミスを発見し損なう人的過誤確率を用い、これに低従属を考慮し評価

第 3.1.2.3-1 表 各起因事象及び各プラント状態における成功基準

| POS 起因事象 | S | A | B 1 | B 2 | B 3 | B 4 | B 5 | B 6 | C 1 | C 2 | D |
|-----------------------|--|--|--------------------------|------------------|-----------------|--|---|--|--|---|--|
| RHR喪失 | RHR-B HPCS LPCS LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | RHR-B HPCS LPCS LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | CST-A | CST-A | CST-B | RHR-A HPCS LPCS LPCI-A CST-A CST-B | HPCS LPCS CST-A CST-B | RHR-B HPCS LPCS LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | RHR-B HPCS LPCS LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | HPCS LPCS LPCI-C CST-A CST-B | RHR-B HPCS LPCS LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B |
| RHR S 喪失 | RHR-B HPCS LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | RHR-B HPCS LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | CST-A | CST-A | CST-B | RHR-A HPCS LPCS LPCI-A CST-A CST-B | HPCS CST-A CST-B | RHR-B HPCS LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | RHR-B HPCS LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | HPCS LPCS CST-A CST-B | RHR-B HPCS LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B |
| 外部電源 喪失 | RHR-A RHR-B HPCS LPCS LPCI-A LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | RHR-A RHR-B HPCS LPCS LPCI-A LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | RHR-A LPCI-A CST-A | LPCI-B | LPCI-B CST-B | RHR-A RHR-B HPCS LPCS LPCI-A LPCI-B CST-A CST-B | RHR-A HPCS LPCS LPCI-A CST-A CST-B | RHR-A RHR-B HPCS LPCS LPCI-A LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | RHR-A RHR-B HPCS LPCS LPCI-A LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | RHR-B LPCS LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | RHR-A RHR-B HPCS LPCS LPCI-A LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B |
| RHR系統 切替時の LOCA | | | | LPCI-B CST-A | | | HPCS LPCS LPCI-A CST-A CST-B | | | HPCS LPCS LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | HPCS LPCS LPCI-A LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B |
| CUW ブロー時の LOCA | | | | | | | | | HPCS LPCS LPCI-A LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B | | HPCS LPCS LPCI-A LPCI-B LPCI-C CST-A CST-B |
| CRD 点検時の LOCA | | | | LPCI-B CST-A* | | | | | | | |
| LPRM 点検時の LOCA | | | | LPCI-B CST-A | | | | | | | |

※ CRD点検時のLOCAのうち、大規模流出時はCSTに期待できない。

第 3.1.2.3-2 表 R H R S （A系，B系）の成功基準

| 機器名 | R H R S の成功基準 |
|-------------|---------------|
| R H R S ポンプ | 1／2 |
| R H R 熱交換器 | 1／1 |

第 3.1.2.3-3 表 空調機の成功基準

| 系統名 | 空調機の成功基準 |
|---------------|----------|
| H P C S | 2／2 |
| L P C S | 1／1 |
| R H R - A | 1／1 |
| R H R - B | 1／1 |
| R H R - C | 1／1 |
| D G - 2 C | 2／2 |
| D G - 2 D | 2／2 |
| H P C S - D G | 2／2 |

第 3.1.2.3-4 表 各 P O S における余裕時間（除熱機能及び注水機能）

| 起因事象 | P O S | P O S 別の 代表時間 | 余裕時間 (h) |
|----------------------------------|-------|------------------|-------------|
| R H R 喪失 R H R S 喪失 外部電源喪失 | S | 6 時間後 | 3. 9 |
| | A | 1 日後 | 5. 7 |
| | B 1 | 3 日後 | 53. 8 |
| | B 2 | 8 日後 | 90. 9 |
| | B 3 | 11 日後 | 107. 6 |
| | B 4 | 25 日後 | 155. 2 |
| | B 5 | 33 日後 | 174. 5 |
| | B 6 | 45 日後 | 199. 7 |
| | C 1 | 58 日後 | 35. 8 |
| | C 2 | 66 日後 | 38. 3 |
| | D | 75 日後 | 40. 8 |

第 3.1.2.5-1 表 フロントライン系とサポート系の依存性

| | | | フロントライン系 (従属故障の可能性のある系統) | | | | | | | | |
|--------------------|--------------|---------------------|-----------------------------|---|------|------|------|---|---|-----|---|
| | | | RHR | | HPCS | LPCS | LPCI | | | CST | |
| | | | A | B | | | A | B | C | A | B |
| (故障系統・機器) サポート系 | 交流電源 | 区分Ⅰ | ◎ | ◎ | — | ◎ | ◎ | — | — | ◎ | — |
| | | 区分Ⅱ | — | ◎ | — | — | — | ◎ | ◎ | — | ◎ |
| | | 区分Ⅲ | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | — |
| | 直流電源 | 区分Ⅰ | ◎ | ◎ | — | ◎ | ◎ | — | — | — | — |
| | | 区分Ⅱ | ◎ | ◎ | — | — | — | ◎ | ◎ | — | — |
| | | 区分Ⅲ | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | — |
| | 非常用補機 冷却系 | RHRS-A | ◎ | — | — | ◎ | ◎ | — | — | — | — |
| | | RHRS-B | — | ◎ | — | — | — | ◎ | ◎ | — | — |
| | | HPCS-DGSW | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | — |
| | 空調機 | HPCSポンプ室 | — | — | ◎ | — | — | — | — | — | — |
| | | LPCSポンプ室 | — | — | — | ◎ | — | — | — | — | — |
| | | LPCI-A (RHR-A) ポンプ室 | ◎ | — | — | — | ◎ | — | — | — | — |
| | | LPCI-B (RHR-B) ポンプ室 | — | ◎ | — | — | — | ◎ | — | — | — |
| LPCI-Cポンプ室 | | — | — | — | — | — | — | ◎ | — | — | |
| DG-2C室 | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| DG-2D室 | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| HPCS-DG室 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | | |

◎ 系統の機能維持に必須であり，故障により系統の機能喪失となる。

第 3.1.2.5-2 表 サポート系同士の依存性

| | | | 従属故障の可能性のある系統 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--------------|-------------------|---------------|---|---------|-----|-----|-----------------|----|------|--------------------|---|------|------|-----|-----|--------------|--------------|---------------------------|---------------------------|----------------|------------|------------|--------------|
| | | | 残留熱除去系 海水系 | | 非常用交流電源 | | | 非常用ディーゼル 発電機 | | | 非常用ディーゼル 発電機海水系 | | | 直流電源 | | | 空調機 | | | | | | | |
| | | | RHRS | | 区分Ⅰ | 区分Ⅱ | 区分Ⅲ | DG | | | DGSW | | | 区分Ⅰ | 区分Ⅱ | 区分Ⅲ | HPCS ポンプ室 | LPCS ポンプ室 | LPCI-A (RHR-A) ポンプ室 | LPCI-B (RHR-B) ポンプ室 | LPCI-C ポンプ室 | DG-2C 室 | DG-2D 室 | HPCS-DG 室 |
| | | | A | B | | | | 2C | 2D | HPCS | A | B | HPCS | | | | | | | | | | | |
| 故障系統・機器 | 非常用 補機冷却系 | RHRS-A | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ◎ | ◎ | - | - | - | - | - |
| | | RHRS-B | - | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ◎ | ◎ | - | - | - | - |
| | 非常用 交流電源 | 区分Ⅰ | ◎ | - | | - | - | - | - | ◎ | - | - | △ | - | - | - | - | ◎ | ◎ | - | - | ◎ | - | - |
| | | 区分Ⅱ | - | ◎ | - | | - | - | - | - | ◎ | - | - | △ | - | - | - | - | - | ◎ | ◎ | - | ◎ | - |
| | | 区分Ⅲ | - | - | - | | - | - | - | - | - | ◎ | - | - | △ | ◎ | - | - | - | - | - | - | - | ◎ |
| | 交流電源 関連設備 | DG-2C | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | DG-2D | - | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | HPCS-DG | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | DGSW-A | - | - | - | - | - | ◎ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | DGSW-B | - | - | - | - | - | - | ◎ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | HPCS-DGSW | - | - | - | - | - | - | - | ◎ | - | - | - | - | - | - | ◎ | - | - | - | - | - | - | - |
| | 直流電源 | 区分Ⅰ | ◎ | - | - | - | - | ◎ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 区分Ⅱ | - | ◎ | - | - | - | - | ◎ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 区分Ⅲ | - | - | - | - | - | - | - | ◎ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 空調機 | HPCSポンプ室 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | LPCSポンプ室 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | LPCI-A（RHR-A）ポンプ室 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | LPCI-B（RHR-B）ポンプ室 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | LPCI-Cポンプ室 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | DG-2C室 | - | - | - | - | - | ◎ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | DG-2D室 | - | - | - | - | - | - | ◎ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | HPCS-DG室 | - | - | - | - | - | - | - | ◎ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

- ◎ 系統の機能維持に必須であり、故障により系統の機能喪失となる。
 ○ 起因事象により必須になるケースがあり、事象によっては系統機能喪失となる。
 △ 故障により、冗長性のある機器等が一部不動作となるため、系統のモデルで考慮する。

第 3.1.2.5-3 表 代表的なフォールトツリーの評価結果

| 系統 | 非信頼度 [平均] (／d) | |
|--------|------------------------|---------|
| | 残留熱除去系の故障 原子炉冷却材の流出 | 外部電源喪失 |
| HPCS | 6.8E-03 | 1.2E-02 |
| LPCS | 3.6E-03 | 3.6E-03 |
| LPCI-A | 3.7E-03 | 3.8E-03 |
| LPCI-B | 3.7E-03 | 3.8E-03 |
| LPCI-C | 3.7E-03 | 3.7E-03 |
| CST-A | 2.5E-03 | 2.4E-03 |
| CST-B | 2.5E-03 | 2.5E-03 |
| RHR-A | 8.7E-03※ | 1.1E-02 |
| RHR-B | 8.9E-03※ | 1.1E-02 |

※ 起因事象「原子炉冷却材の流出」では期待しない。

第 3. 1. 2. 5－4(a) 表 H P C S フォールトツリーの主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|-------------------------------------|--------|
| 1 | H P C S 原子炉水位制御操作失敗 | 36. 6 |
| 2 | H P C S インジェクション弁手動操作失敗 | 16. 1 |
| 2 | H P C S ポンプ手動操作失敗 | 16. 1 |
| 4 | H P C S－D G S W 海水ストレーナ閉塞 | 1. 9 |
| 5 | H P C S－D G S W ポンプ起動失敗 | 1. 5 |
| 6 | H P C S ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 1 開け忘れ | 1. 2 |
| 6 | H P C S ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 2 開け忘れ | 1. 2 |
| 6 | H P C S ポンプ軸受シールクーラ海水出口弁開け忘れ | 1. 2 |
| 6 | H P C S ポンプ室空調 1 冷却器入口弁開け忘れ | 1. 2 |
| 6 | H P C S ポンプ室空調 1 冷却器出口弁開け忘れ | 1. 2 |
| 6 | H P C S ポンプ室空調 2 冷却器入口弁開け忘れ | 1. 2 |
| 6 | H P C S ポンプ室空調 2 冷却器出口弁開け忘れ | 1. 2 |
| 6 | H P C S ポンプ／ポンプ室空調冷却器元弁開け忘れ | 1. 2 |
| 6 | H P C S－D G S W ポンプ出口弁開け忘れ | 1. 2 |
| 6 | H P C S－D G S W 放出ライン隔離弁開け忘れ | 1. 2 |
| 6 | H P C S－D G S W 放出ライン排水弁（放水口 B）開け忘れ | 1. 2 |
| 6 | H P C S－D G S W 放出ライン排水弁（放水口 C）開け忘れ | 1. 2 |
| 6 | H P C S－D G S W エンジンエアクーラ入口弁 1 開け忘れ | 1. 2 |
| 6 | H P C S－D G S W エンジンエアクーラ入口弁 2 開け忘れ | 1. 2 |
| 6 | H P C S－D G S W 系統出口隔離弁開け忘れ | 1. 2 |

第 3. 1. 2. 5－4(b) 表 L P C S フォールトツリーの主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|-----------------------------------|--------|
| 1 | L P C S ポンプ手動操作失敗 | 30. 6 |
| 1 | L P C S インジェクション弁手動操作失敗 | 30. 6 |
| 3 | R H R S － A 海水ストレーナ閉塞 | 3. 6 |
| 4 | L P C S ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 1 開け忘れ | 2. 3 |
| 4 | L P C S ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 2 開け忘れ | 2. 3 |
| 4 | L P C S ポンプ軸受シールクーラ海水出口弁開け忘れ | 2. 3 |
| 4 | R H R S － A 熱交換器入口弁開け忘れ | 2. 3 |
| 4 | R H R S － A 熱交換器出口弁開け忘れ | 2. 3 |
| 4 | R H R S － A 放出ライン隔離弁開け忘れ | 2. 3 |
| 4 | R H R S － A 放出ライン排水弁 (放水口 B) 開け忘れ | 2. 3 |
| 4 | L P C S ポンプ室空調冷却器入口弁開け忘れ | 2. 3 |
| 4 | L P C S ポンプ室空調冷却器出口弁開け忘れ | 2. 3 |
| 13 | L P C S ポンプ起動失敗 | 1. 3 |
| 13 | L P C S ポンプ室空調ファン起動失敗 | 1. 3 |
| 15 | L P C S インジェクション弁閉塞 | 1. 2 |
| 16 | L P C S 保修用隔離弁閉塞 | 1. 0 |
| 17 | R H R S － A 流量制御弁開失敗 | 0. 8 |
| 17 | R H R S － A 流量制御弁閉塞 | 0. 8 |
| 19 | L P C S ポンプ運転継続失敗 | 0. 7 |
| 19 | L P C S ポンプ室空調冷却器閉塞 | 0. 7 |

第 3. 1. 2. 5-4(c) 表 L P C I - A フォールトツリーの主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|-----------------------------------|--------|
| 1 | R H R - A ポンプ手動操作失敗 | 29. 7 |
| 1 | L P C I - A インジェクション弁手動操作失敗 | 29. 7 |
| 3 | R H R S - A 海水ストレーナ閉塞 | 3. 5 |
| 4 | R H R S - A 熱交換器入口弁開け忘れ | 2. 2 |
| 4 | R H R S - A 熱交換器出口弁開け忘れ | 2. 2 |
| 4 | R H R S - A 放出ライン隔離弁開け忘れ | 2. 2 |
| 4 | R H R S - A 放出ライン排水弁 (放水口 B) 開け忘れ | 2. 2 |
| 4 | R H R - A ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 1 開け忘れ | 2. 2 |
| 4 | R H R - A ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 2 開け忘れ | 2. 2 |
| 4 | R H R - A ポンプ軸受シールクーラ海水出口弁開け忘れ | 2. 2 |
| 4 | R H R - A ポンプ出口手動弁開け忘れ | 2. 2 |
| 4 | R H R - A ポンプ室空調冷却器入口弁開け忘れ | 2. 2 |
| 4 | R H R - A ポンプ室空調冷却器出口弁開け忘れ | 2. 2 |
| 14 | R H R - A ポンプ起動失敗 | 1. 3 |
| 14 | R H R - A ポンプ室空調ファン起動失敗 | 1. 3 |
| 16 | R H R - A インジェクション弁閉塞 | 1. 1 |
| 17 | R H R - A インジェクションライン手動弁閉塞 | 1. 0 |
| 18 | R H R S - A 流量制御弁開失敗 | 0. 8 |
| 18 | R H R S - A 流量制御弁閉塞 | 0. 8 |
| 20 | R H R - A ポンプ運転継続失敗 | 0. 7 |

第 3.1.2.5-4(d) 表 L P C I - B フォールトツリーの主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|-----------------------------------|--------|
| 1 | R H R - B ポンプ手動操作失敗 | 29.7 |
| 1 | L P C I - B インジェクション弁手動操作失敗 | 29.7 |
| 3 | R H R S - B 海水ストレーナ閉塞 | 3.5 |
| 4 | R H R S - B 熱交換器入口弁開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R S - B 熱交換器出口弁開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R S - B 放出ライン隔離弁開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R S - B 放出ライン排水弁（放水口 B）開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R - B ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 1 開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R - B ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 2 開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R - B ポンプ軸受シールクーラ海水出口弁開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R - B ポンプ出口手動弁開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R - B ポンプ室空調冷却器入口弁開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R - B ポンプ室空調冷却器出口弁開け忘れ | 2.2 |
| 14 | R H R - B ポンプ起動失敗 | 1.3 |
| 14 | R H R - B ポンプ室空調ファン起動失敗 | 1.3 |
| 16 | R H R - B インジェクション弁閉塞 | 1.1 |
| 17 | R H R - B インジェクションライン手動弁閉塞 | 1.0 |
| 18 | R H R S - B 流量制御弁開失敗 | 0.8 |
| 18 | R H R S - B 流量制御弁閉塞 | 0.8 |
| 20 | R H R - B ポンプ運転継続失敗 | 0.7 |

第 3.1.2.5-4(e) 表 L P C I - C フォールトツリーの主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|-----------------------------------|--------|
| 1 | R H R - C ポンプ手動操作失敗 | 29.7 |
| 1 | L P C I - C インジェクション弁手動操作失敗 | 29.7 |
| 3 | R H R S - B 海水ストレーナ閉塞 | 3.5 |
| 4 | R H R S - B 熱交換器入口弁開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R S - B 熱交換器出口弁開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R S - B 放出ライン隔離弁開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R S - B 放出ライン排水弁（放水口 B）開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R - C ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 1 開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R - C ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 2 開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R - C ポンプ軸受シールクーラ海水出口弁開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R - C ポンプ出口手動弁開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R - C ポンプ室空調冷却器入口弁開け忘れ | 2.2 |
| 4 | R H R - C ポンプ室空調冷却器出口弁開け忘れ | 2.2 |
| 14 | R H R - C ポンプ起動失敗 | 1.3 |
| 14 | R H R - C ポンプ室空調ファン起動失敗 | 1.3 |
| 16 | R H R - C インジェクション弁閉塞 | 1.1 |
| 17 | R H R - C インジェクションライン手動弁閉塞 | 1.0 |
| 18 | R H R S - B 流量制御弁開失敗 | 0.8 |
| 18 | R H R S - B 流量制御弁閉塞 | 0.8 |
| 20 | R H R - C ポンプ運転継続失敗 | 0.7 |

第 3.1.2.5-4(f) 表 C S T-A フォールトツリーの主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|----------------------|--------|
| 1 | C S T-A ポンプ手動操作失敗 | 43.3 |
| 2 | 復水貯蔵タンク A 真空逃がし弁作動失敗 | 14.8 |
| 2 | 復水貯蔵タンク B 真空逃がし弁作動失敗 | 14.8 |
| 4 | C S T-A ポンプ起動失敗 | 14.7 |
| 5 | C S T-A ポンプ入口弁開け忘れ | 3.3 |
| 5 | C S T-A ポンプ出口弁開け忘れ | 3.3 |
| 7 | C S T-A ポンプ制御部故障 | 2.7 |
| 8 | C S T-A ポンプ運転継続失敗 | 1.0 |

第 3.1.2.5-4(g) 表 C S T-B フォールトツリーの主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|----------------------|--------|
| 1 | C S T-B ポンプ手動操作失敗 | 43.3 |
| 2 | 復水貯蔵タンク A 真空逃がし弁作動失敗 | 14.8 |
| 2 | 復水貯蔵タンク B 真空逃がし弁作動失敗 | 14.8 |
| 4 | C S T-B ポンプ起動失敗 | 14.7 |
| 5 | C S T-B ポンプ入口弁開け忘れ | 3.3 |
| 5 | C S T-B ポンプ出口弁開け忘れ | 3.3 |
| 7 | C S T-B ポンプ制御部故障 | 2.7 |
| 8 | C S T-B ポンプ運転継続失敗 | 1.0 |

第 3.1.2.5-4(h) 表 RHR-A フォールトツリーの主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|----------------------------------|--------|
| 1 | 残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）Aライン調整弁手動操作失敗 | 12.6 |
| 1 | RHR-A ミニフローライン電動弁手動操作失敗 | 12.6 |
| 1 | RHR-A ポンプ入口弁（原子炉停止時冷却系）手動操作失敗 | 12.6 |
| 1 | RHR-A ポンプ入口弁（サブプレッション・プール）手動操作失敗 | 12.6 |
| 1 | RHR-A ポンプ手動操作失敗 | 12.6 |
| 6 | 残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）Aライン調整弁開失敗 | 2.4 |
| 6 | 残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）Aライン調整弁制御部故障 | 2.4 |
| 6 | RHR-A ポンプ入口弁（原子炉停止時冷却系）開失敗 | 2.4 |
| 6 | RHR-A ポンプ入口弁（原子炉停止時冷却系）制御部故障 | 2.4 |
| 10 | 内側隔離弁（原子炉停止時冷却系）隔離誤信号 | 2.1 |
| 10 | 外側隔離弁（原子炉停止時冷却系）隔離誤信号 | 2.1 |
| 12 | RHR S-A 海水ストレーナ閉塞 | 1.5 |
| 13 | RHR S-A 熱交換器入口弁開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR S-A 熱交換器出口弁開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR S-A 放出ライン隔離弁開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR S-A 放出ライン排水弁（放水口 B）開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-A ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 1 開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-A ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 2 開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-A ポンプ軸受シールクーラ海水出口弁開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-A ポンプ出口手動弁開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-A ポンプ室空調冷却器入口弁開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-A ポンプ室空調冷却器出口弁開け忘れ | 1.0 |

第 3.1.2.5-4(i) 表 RHR-B フォールトツリーの主要なミニマルカットセット

| No. | 主要なミニマルカットセット | 割合 (%) |
|-----|----------------------------------|--------|
| 1 | 残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）Bライン調整弁手動操作失敗 | 12.6 |
| 1 | RHR-B ミニフローライン電動弁手動操作失敗 | 12.6 |
| 1 | RHR-B ポンプ入口弁（原子炉停止時冷却系）手動操作失敗 | 12.6 |
| 1 | RHR-B ポンプ入口弁（サブプレッション・プール）手動操作失敗 | 12.6 |
| 1 | RHR-B ポンプ手動操作失敗 | 12.6 |
| 6 | 残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）Bライン調整弁開失敗 | 2.4 |
| 6 | 残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）Bライン調整弁制御部故障 | 2.4 |
| 6 | RHR-B ポンプ入口弁（原子炉停止時冷却系）開失敗 | 2.4 |
| 6 | RHR-B ポンプ入口弁（原子炉停止時冷却系）制御部故障 | 2.4 |
| 10 | 内側隔離弁（原子炉停止時冷却系）隔離誤信号 | 2.1 |
| 10 | 外側隔離弁（原子炉停止時冷却系）隔離誤信号 | 2.1 |
| 12 | RHR-S-B 海水ストレーナ閉塞 | 1.5 |
| 13 | RHR-S-B 熱交換器入口弁開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-S-B 熱交換器出口弁開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-S-B 放出ライン隔離弁開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-S-B 放出ライン排水弁（放水口B）開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-B ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 1 開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-B ポンプ軸受シールクーラ海水入口弁 2 開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-B ポンプ軸受シールクーラ海水出口弁開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-B ポンプ出口手動弁開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-B ポンプ室空調冷却器入口弁開け忘れ | 1.0 |
| 13 | RHR-B ポンプ室空調冷却器出口弁開け忘れ | 1.0 |

第 3.1.2.6-1 表 同一システム内で共通要因故障を考慮した機器及び故障モード

| 系統 | 機器タイプ | 故障モード |
|---------|-------|----------------|
| R H R S | ポンプ | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | 逆止弁 | 開失敗 |
| D G 室空調 | ダンパ | 開失敗 |

第 3.1.2.6-2 表 システム間で共通要因故障を考慮した機器及び故障モード

| 系統 | 機器タイプ | 故障モード |
|--|-------------|----------------|
| E C C S 起動信号 (手動起動に必要な信号) | 検出器 | 作動失敗 |
| | トリップユニット | 作動失敗 |
| C S T - A / B | ポンプ | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | 弁 (手動弁は除く) | 開失敗 |
| L P C I - A / B / C (R H R - A / B) | ポンプ | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | ファン | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | 弁 (手動弁は除く) | 開失敗 閉失敗 |
| R H R S - A / B | ポンプ | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | 弁 (手動弁は除く) | 開失敗 |
| | ストレーナ | 閉塞 (内部破損含む) |
| 交流電源 (区分 I, II) (D G - 2 C / 2 D) | 非常用ディーゼル発電機 | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | ポンプ | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | ファン | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | 弁 (手動弁は除く) | 開失敗 |
| | ストレーナ | 閉塞 (内部破損含む) |
| D G S W - A / B | ポンプ | 起動失敗 運転継続失敗 |
| | ストレーナ | 閉塞 (内部破損含む) |
| 直流電源 (区分 I, II) | 蓄電池 | 給電失敗 |

第 3.1.2.6-3 表 共通要因故障パラメータの一覧

| 機器タイプ | β ファクタ※1 | γ ファクタ※2 | 備考 |
|---------------|----------------|-----------------|----------------------|
| ポンプ, ファン | 0.039 | 0.520 | NUREG/CR-1205 Rev. 1 |
| 弁, ダンパ | 0.130 | 0.565 | NUREG/CR-1363 Rev. 1 |
| DG | 0.021 | — | NUREG-1150 |
| 検出器, トリップユニット | 0.082 | — | NUREG/CR-2771 |
| 蓄電池 | 0.008 | — | NUREG-0666 |
| ストレーナ | 0.133 | — | NUREG/CR-5497 |

※1 多重故障（2 重以上）が発生する確率

※2 多重故障が発生した場合、それが 3 重以上の故障である条件付確率

NUREG/CR-4550に基づき γ ファクタを算出

第 3. 1. 2. 7－1 表 人的過誤の評価結果

| 人的過誤 | | 過誤確率 (平均値) [／d] | エラー ファクタ |
|-------------|--|-----------------------|-------------|
| 起因事象 発生前 | 弁の開け忘れ・閉め忘れ | 8. 3E-05 | 4. 8 |
| | D G 試験時ガバナ操作後の復旧失敗 | 3. 9E-03 | 6. 8 |
| 起因事象 発生後 | 手動操作失敗 | 1. 1E-03 | 3. 5 |
| | 水源切替操作失敗 (C S T→サプレッション・チェンバ) | 2. 5E-03 | 6. 5 |
| | 原子炉水位制御操作失敗 | 2. 5E-03 | 6. 5 |
| | D G 燃料油補給操作失敗 | 1. 1E-04 | 35. 6 |
| | 運転員の認知失敗 (R H R 系統切替時の L O C A) | 1. 8E-07 | 42. 7 |
| | 運転員の認知失敗 (C U W ブロー時の L O C A) | 3. 0E-07 | 122. 7 |
| | 隔離失敗 (C R D, L P R M 点検時の L O C A) | 5. 3E-02 | 10. 0 |
| | 隔離失敗 (R H R 系統切替時, C U W ブロー時の L O C A) | 5. 3E-04 | 10. 0 |

第 3.1.2.8-1 表 起因事象別・POS 別炉心損傷頻度内訳表

| POS | S | A | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | C1 | C2 | D | 合計 (／施設定期検査) | 寄与割合 (%) |
|--|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-------------|
| 日数 | 1 日間 | 2 日間 | 5 日間 | 3 日間 | 14 日間 | 8 日間 | 12 日間 | 13 日間 | 8 日間 | 9 日間 | 7 日間 | | |
| 崩壊熱除去機能喪失 | 5.7E-14 (5.7E-14) | 3.1E-13 (1.5E-13) | 2.5E-07 (5.0E-08) | 1.6E-07 (5.3E-08) | 7.1E-07 (5.1E-08) | 2.5E-12 (3.1E-13) | 6.4E-10 (5.4E-11) | 7.4E-13 (5.7E-14) | 4.5E-13 (5.6E-14) | 4.2E-12 (4.7E-13) | 4.0E-13 (5.8E-14) | 1.1E-06 | 22.6 |
| | RHR 喪失 (2.1E-14) | 4.7E-14 (2.3E-14) | 2.2E-07 (4.5E-08) | 1.4E-07 (4.7E-08) | 6.3E-07 (4.5E-08) | 2.2E-12 (2.8E-13) | 1.5E-11 (1.3E-12) | 2.8E-13 (2.2E-14) | 1.7E-13 (2.2E-14) | 2.2E-12 (2.5E-13) | 1.5E-13 (2.2E-14) | 9.9E-07 | 20.0 |
| | RHR S 喪失 (3.5E-14) | 2.6E-13 (1.3E-13) | 2.8E-08 (5.6E-09) | 1.7E-08 (5.8E-09) | 7.9E-08 (5.6E-09) | 2.8E-13 (3.5E-14) | 6.3E-10 (5.2E-11) | 4.6E-13 (3.5E-14) | 2.8E-13 (3.5E-14) | 2.0E-12 (2.2E-13) | 2.5E-13 (3.6E-14) | 1.2E-07 | 2.5 |
| 外部電源喪失 | 3.7E-10 (3.7E-10) | 7.3E-10 (3.7E-10) | 8.0E-07 (1.6E-07) | 7.8E-07 (2.6E-07) | 2.2E-06 (1.6E-07) | 3.0E-09 (3.7E-10) | 4.4E-09 (3.7E-10) | 4.7E-09 (3.6E-10) | 3.0E-09 (3.7E-10) | 3.8E-08 (4.2E-09) | 2.5E-09 (3.6E-10) | 3.8E-06 | 77.4 |
| 原子炉冷却材の流出 | — | — | — | 4.6E-11 | — | — | 7.3E-17 | — | 2.9E-11 | 4.1E-11 | 7.1E-11 | 1.9E-10 | <0.1 |
| RHR 系統切替 CUW ブロー CRD 点検 LPRM 点検 | — | — | — | 4.2E-13 | — | — | 7.3E-17 | — | — | 4.1E-11 | 4.1E-11 | 8.3E-11 | <0.1 |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | 2.9E-11 | — | 2.9E-11 | 5.8E-11 | <0.1 |
| | — | — | — | 4.5E-11 | — | — | — | — | — | — | — | 4.5E-11 | <0.1 |
| | — | — | — | 9.8E-14 | — | — | — | — | — | — | — | 9.8E-14 | <0.1 |
| 合計 (／POS) | 3.7E-10 | 7.3E-10 | 1.0E-06 | 9.4E-07 | 2.9E-06 | 3.0E-09 | 5.1E-09 | 4.7E-09 | 3.0E-09 | 3.8E-08 | 2.6E-09 | 5.0E-06 | — |
| 寄与割合 (%) | <0.1 | <0.1 | 21.1 | 18.9 | 58.8 | <0.1 | 0.1 | <0.1 | <0.1 | 0.8 | <0.1 | — | 100.0 |

上段：／POS，下段（ ）内：／日

第 3.1.2.8-2 表 事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度の内訳と寄与割合

| 事故シーケンスグループ | 事故シーケンス | 炉心損傷頻度 (／施設定期検査) | 寄与割合 (%) | 事故シーケンス グループ別 炉心損傷頻度 (／施設定期検査) | 寄与割合 (%) |
|-------------|----------------------------|---------------------|-------------|---|-------------|
| 崩壊熱除去機能喪失 | 残留熱除去系の故障＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 1.1E-06 | 22.6 | 1.4E-06 | 28.8 |
| | 外部電源喪失＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 3.1E-07 | 6.3 | | |
| 全交流動力電源喪失 | 外部電源喪失＋交流電源失敗＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 3.5E-06 | 71.1 | 3.5E-06 | 71.1 |
| | 外部電源喪失＋直流電源失敗＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 1.3E-10 | <0.1 | | |
| 原子炉冷却材の流出 | 原子炉冷却材の流出＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 1.9E-10 | <0.1 | 1.9E-10 | <0.1 |
| 合計 | | 5.0E-06 | — | 5.0E-06 | — |

第 3.1.2.8-3 表 事故シーケンスグループの分析結果

| 事故シーケンス | | 炉心損傷頻度 (／施設定期検査) | 寄与割合※ ¹ (%) | 主要なカットセット (上位3位) | POS | 炉心損傷頻度 (／POS) | 寄与割合※ ² (%) |
|-----------|------------------------------------|---------------------|---------------------------|--|-----|------------------|---------------------------|
| 崩壊熱除去機能喪失 | 残留熱除去系の故障 ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 1.1E-06 | 78.2 | ①RHR喪失＋復水貯蔵タンクA真空逃がし弁作動失敗 | B 3 | 3.0E-07 | 26.6 |
| | | | | ①RHR喪失＋復水貯蔵タンクB真空逃がし弁作動失敗 | B 3 | 3.0E-07 | 26.6 |
| | | | | ③RHR喪失＋復水貯蔵タンクA真空逃がし弁作動失敗 | B 1 | 1.1E-07 | 9.4 |
| | | | | ③RHR喪失＋復水貯蔵タンクB真空逃がし弁作動失敗 | B 1 | 1.1E-07 | 9.4 |
| | 外部電源喪失 ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 3.1E-07 | 21.8 | ①外部電源喪失＋RHR－Bポンプ手動操作失敗 | B 2 | 8.4E-08 | 27.1 |
| | | | | ①外部電源喪失＋LPCI－B注入弁手動操作失敗 | B 2 | 8.4E-08 | 27.1 |
| | | | | ①外部電源喪失＋RHR－Bポンプ入口弁（サブ レクション・チェンバ側）手動操作失敗 | B 2 | 8.4E-08 | 27.1 |
| 全交流動力電源喪失 | 外部電源喪失 ＋交流電源失敗 ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 3.5E-06 | 100.0 | ①外部電源喪失＋DG－2D運転継続失敗 | B 3 | 8.2E-07 | 23.3 |
| | | | | ②外部電源喪失＋DG－2D起動失敗 | B 3 | 5.6E-07 | 15.8 |
| | | | | ③外部電源喪失＋DG－2C運転継続失敗 | B 1 | 3.0E-07 | 8.4 |
| | 外部電源喪失 ＋直流電源失敗 ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 1.3E-10 | <0.1 | ①外部電源喪失＋蓄電池－A／B給電失敗共通要因 故障 | B 3 | 6.0E-11 | 44.2 |
| | | | | ②外部電源喪失＋蓄電池－A／B給電失敗共通要因 故障 | C 2 | 3.8E-11 | 28.2 |
| | | | | ③外部電源喪失＋蓄電池－A／B給電失敗共通要因 故障 | B 1 | 2.2E-11 | 15.9 |
| 原子炉冷却材の流出 | 原子炉冷却材の流出 ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 1.9E-10 | 100.0 | ①RHR系統切替時のLOCA＋運転員の認知失敗 | C 2 | 4.1E-11 | 22.2 |
| | | | | ①RHR系統切替時のLOCA＋運転員の認知失敗 | D | 4.1E-11 | 22.2 |
| | | | | ③CUWブロー時のLOCA＋運転員の認知失敗 | C 1 | 2.9E-11 | 15.6 |
| | | | | ③CUWブロー時のLOCA＋運転員の認知失敗 | D | 2.9E-11 | 15.6 |

※1 事故シーケンスグループに対する寄与割合 ※2 事故シーケンスに対する寄与割合

第 3.1.2.8-4 表 緩和設備の基事象の F V 重要度評価結果

| No. | 基事象名 | F V 重要度 |
|-----|---------------------------------------|----------|
| 1 | D G - 2 D 運転継続失敗 | 2. 0E-01 |
| 2 | D G - 2 D 起動失敗 | 1. 4E-01 |
| 3 | 復水貯蔵タンク A 真空逃がし弁作動失敗 | 1. 1E-01 |
| 3 | 復水貯蔵タンク B 真空逃がし弁作動失敗 | 1. 1E-01 |
| 5 | D G - 2 C 運転継続失敗 | 6. 0E-02 |
| 6 | D G - 2 C 起動失敗 | 4. 1E-02 |
| 7 | D G - 2 D 起動信号故障 | 1. 9E-02 |
| 8 | D G - 2 D 受電遮断器開失敗 | 1. 8E-02 |
| 9 | R H R - B ポンプ手動操作失敗 | 1. 7E-02 |
| 9 | R H R - B ポンプ入口弁（サプレッション・チェンバ側）手動操作失敗 | 1. 7E-02 |
| 9 | L P C I - B 注入ライン弁手動操作失敗 | 1. 7E-02 |

第 3.1.2.8-5 表 緩和設備の基事象の R A W 評価結果

| No. | 基事象名 | R A W |
|-----|-------------------------------|----------|
| 1 | 軽油貯蔵タンク閉塞 | 4. 3E+02 |
| 1 | 軽油貯蔵タンク破損 | 4. 3E+02 |
| 3 | 復水貯蔵タンク A 真空逃がし弁作動失敗 | 2. 8E+02 |
| 3 | 復水貯蔵タンク B 真空逃がし弁作動失敗 | 2. 8E+02 |
| 3 | 復水貯蔵タンク A 破損 | 2. 8E+02 |
| 3 | 復水貯蔵タンク A 閉塞 | 2. 8E+02 |
| 3 | 復水貯蔵タンク B 破損 | 2. 8E+02 |
| 3 | 復水貯蔵タンク B 閉塞 | 2. 8E+02 |
| 9 | C S T - A / B ポンプ運転継続失敗共通要因故障 | 2. 8E+02 |
| 9 | 復水貯蔵タンク A C S T ポンプ取出し元弁の閉塞 | 2. 8E+02 |
| 9 | 復水貯蔵タンク B C S T ポンプ取出し元弁の閉塞 | 2. 8E+02 |

第 3. 1. 2. 8－6 表 不確実さ解析結果

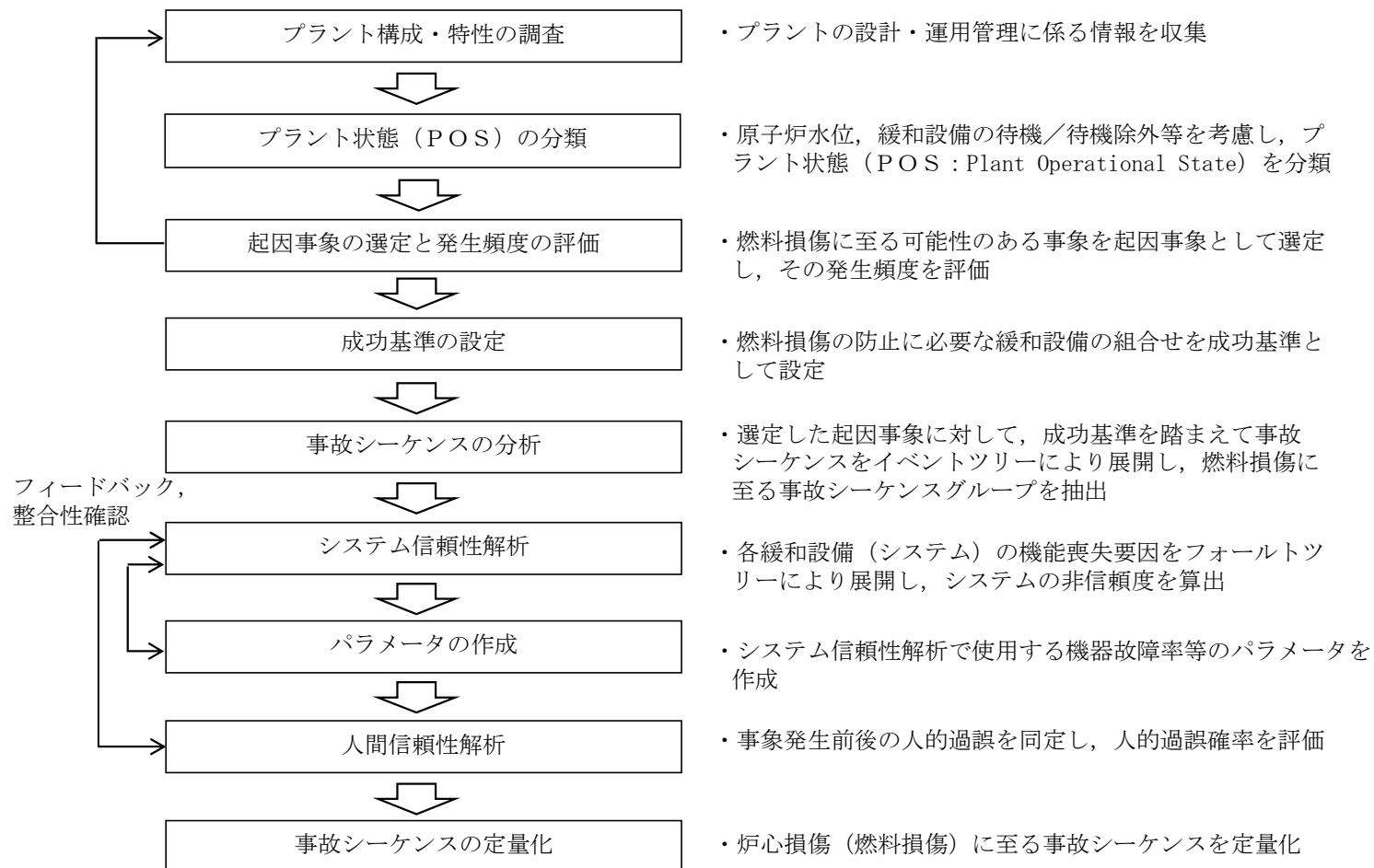
| | | 全炉心損傷頻度（／施設定期検査） |
|--------|-------------|------------------|
| 点推定値 | | 5. 0E-06 |
| 不確実さ解析 | 平均値 | 5. 0E-06 |
| | 95%値 | 1. 2E-05 |
| | 中央値 | 3. 9E-06 |
| | 5%値 | 1. 6E-06 |
| | エラー ファクタ | 2. 7 |

第 3.1.2.8－7 表 起回事象別・POS 別炉心損傷頻度内訳表（感度解析）

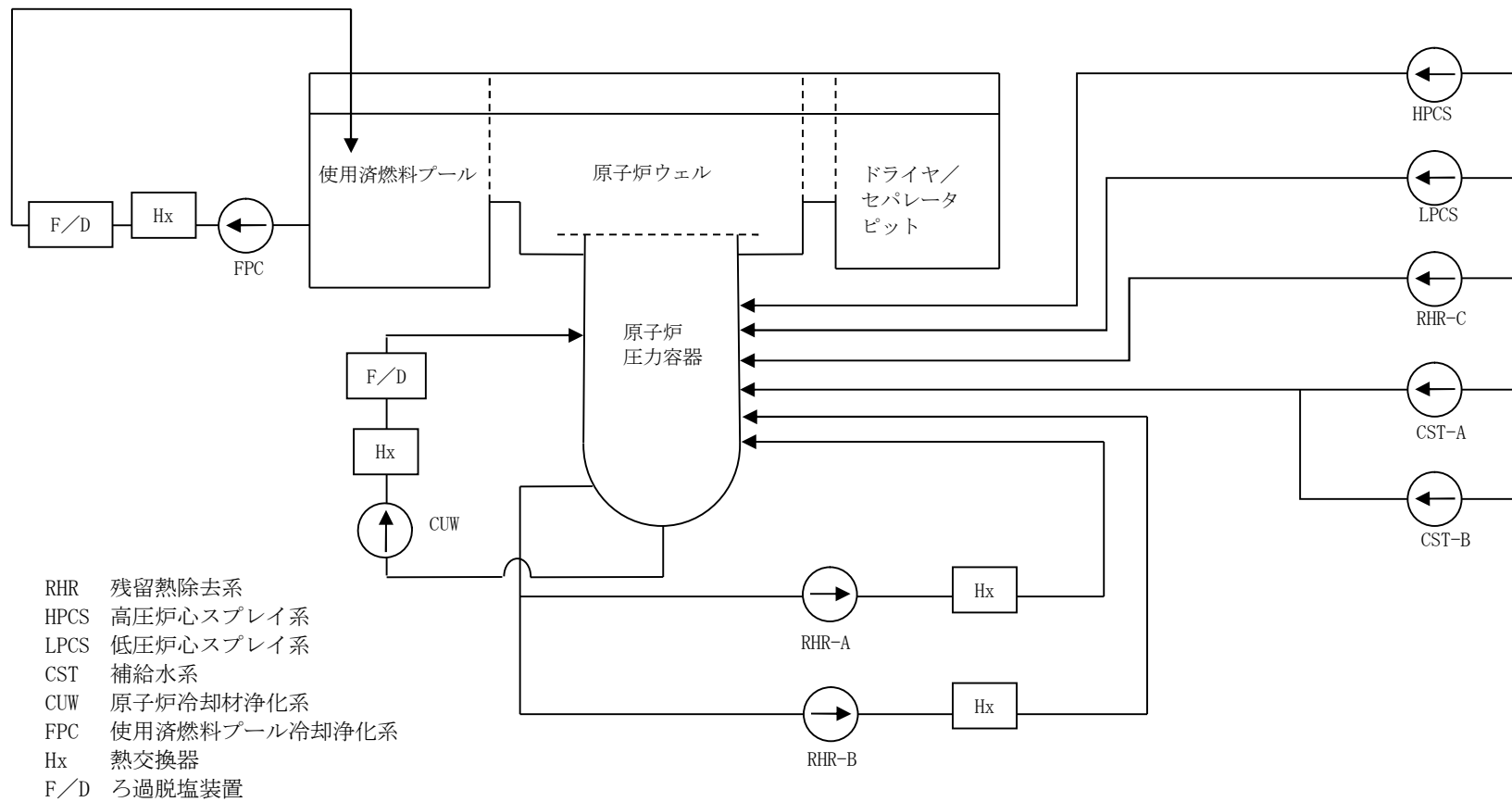
感度解析実施範囲

| POS | S | A | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | C1 | C2 | D | 合計 (／施設定期 検査) | 寄与割合 (%) |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------|
| 日数 | 1 日間 | 2 日間 | 5 日間 | 3 日間 | 14 日間 | 8 日間 | 12 日間 | 13 日間 | 8 日間 | 9 日間 | 7 日間 | | |
| 崩壊熱除去機能喪失 | 5.7E-14 (5.7E-14) | 3.1E-13 (1.5E-13) | 2.4E-07 (4.8E-08) | 1.4E-07 (4.8E-08) | 6.7E-07 (4.8E-08) | 2.5E-12 (3.1E-13) | 6.4E-10 (5.4E-11) | 7.4E-13 (5.7E-14) | 4.5E-13 (5.6E-14) | 4.2E-12 (4.7E-13) | 4.0E-13 (5.8E-14) | 1.1E-06 | 86.9 |
| RHR 喪失 | 2.1E-14 (2.1E-14) | 4.7E-14 (2.3E-14) | 2.1E-07 (4.2E-08) | 1.3E-07 (4.3E-08) | 6.0E-07 (4.3E-08) | 2.2E-12 (2.8E-13) | 1.5E-11 (1.3E-12) | 2.8E-13 (2.2E-14) | 1.7E-13 (2.2E-14) | 2.2E-12 (2.5E-13) | 1.5E-13 (2.2E-14) | 9.4E-07 | 77.2 |
| RHRS 喪失 | 3.5E-14 (3.5E-14) | 2.6E-13 (1.3E-13) | 2.7E-08 (5.3E-09) | 1.6E-08 (5.3E-09) | 7.5E-08 (5.4E-09) | 2.8E-13 (3.5E-14) | 6.3E-10 (5.2E-11) | 4.6E-13 (3.5E-14) | 2.8E-13 (3.5E-14) | 2.0E-12 (2.2E-13) | 2.5E-13 (3.6E-14) | 1.2E-07 | 9.7 |
| 外部電源喪失 | 3.7E-10 (3.7E-10) | 7.3E-10 (3.7E-10) | 2.3E-08 (4.7E-09) | 1.4E-08 (4.6E-09) | 6.5E-08 (4.6E-09) | 3.0E-09 (3.7E-10) | 4.4E-09 (3.7E-10) | 4.7E-09 (3.6E-10) | 3.0E-09 (3.7E-10) | 3.8E-08 (4.2E-09) | 2.5E-09 (3.6E-10) | 1.6E-07 | 13.1 |
| 原子炉冷却材の流出 | — | — | — | 4.5E-11 | — | — | 7.3E-17 | — | 2.9E-11 | 4.1E-11 | 7.1E-11 | 1.9E-10 | <0.1 |
| RHR 系統切替 | — | — | — | 3.6E-13 | — | — | 7.3E-17 | — | — | 4.1E-11 | 4.1E-11 | 8.3E-11 | <0.1 |
| C UWブロー | — | — | — | — | — | — | — | — | 2.9E-11 | — | 2.9E-11 | 5.8E-11 | <0.1 |
| CRD 点検 | — | — | — | 4.5E-11 | — | — | — | — | — | — | — | 4.5E-11 | <0.1 |
| L PRM 点検 | — | — | — | 8.6E-14 | — | — | — | — | — | — | — | 8.6E-14 | <0.1 |
| 合計 (／POS) | 3.7E-10 | 7.3E-10 | 2.6E-07 | 1.6E-07 | 7.4E-07 | 3.0E-09 | 5.1E-09 | 4.7E-09 | 3.0E-09 | 3.8E-08 | 2.6E-09 | 1.2E-06 | — |
| 寄与割合 (%) | <0.1 | <0.1 | 21.5 | 13.0 | 60.7 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0.2 | 3.1 | 0.2 | — | 100.0 |

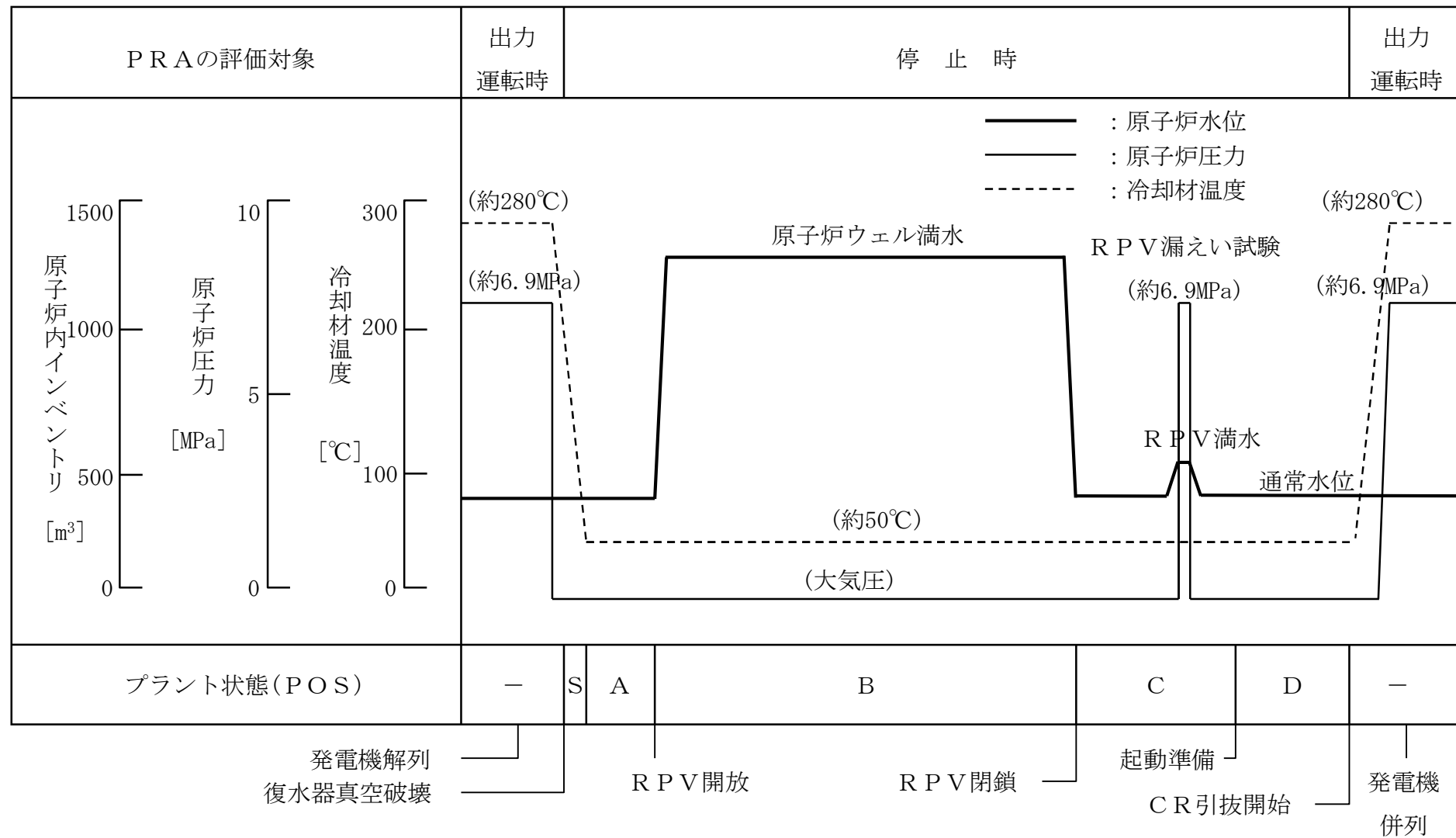
上段：／POS，下段（ ）内：／日



第 3.1.2-1 図 内部事象停止時レベル 1 P R A の評価フロー図



第 3.1.2.1-1 図 東海第二発電所の主要な系統・設備の概要図



第 3.1.2.1-2 図 プラント状態・主要パラメータと POS 分類

| P O S | | S | A | B 1 | B 2 | B 3 | B 4 | B 5 | B 6 | C 1 | C 2 | D |
|-----------|---------------|------|---|-----|----------|-----|-----|-----|-----|------|-----|---|
| 日数 | | 1 | 2 | 5 | 3 | 14 | 8 | 12 | 13 | 8 | 9 | 7 |
| 代表水位 | | 通常水位 | | | 原子炉ウエル満水 | | | | | 通常水位 | | |
| C R D点検 | | | | | | | | | | | | |
| L P R M点検 | | | | | | | | | | | | |
| 除熱系 | R H R - A | | | | | | | | | | | |
| | R H R - B | | | | | | | | | | ※ 2 | |
| 注水系 | C S T - A | | | | | | | | | | | |
| | C S T - B | | | | | | | | | | | |
| | H P C S | | | | | | | | | | | |
| | L P C S | | | | | | | | | | | |
| | L P C I - A | | | | | | | | | | ※ 2 | |
| | L P C I - B | | | | | | | | | | | |
| | L P C I - C | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 補機冷却系 | R H R S - A | | | | | | | | | | | |
| | R H R S - B | | | | | | | | | | | |
| 電源系 | D G - 2 C | | | | | | | | | | | |
| | D G - 2 D | | | | | | | | | | | |
| | H P C S - D G | | | | | | | | | | ※ 3 | |

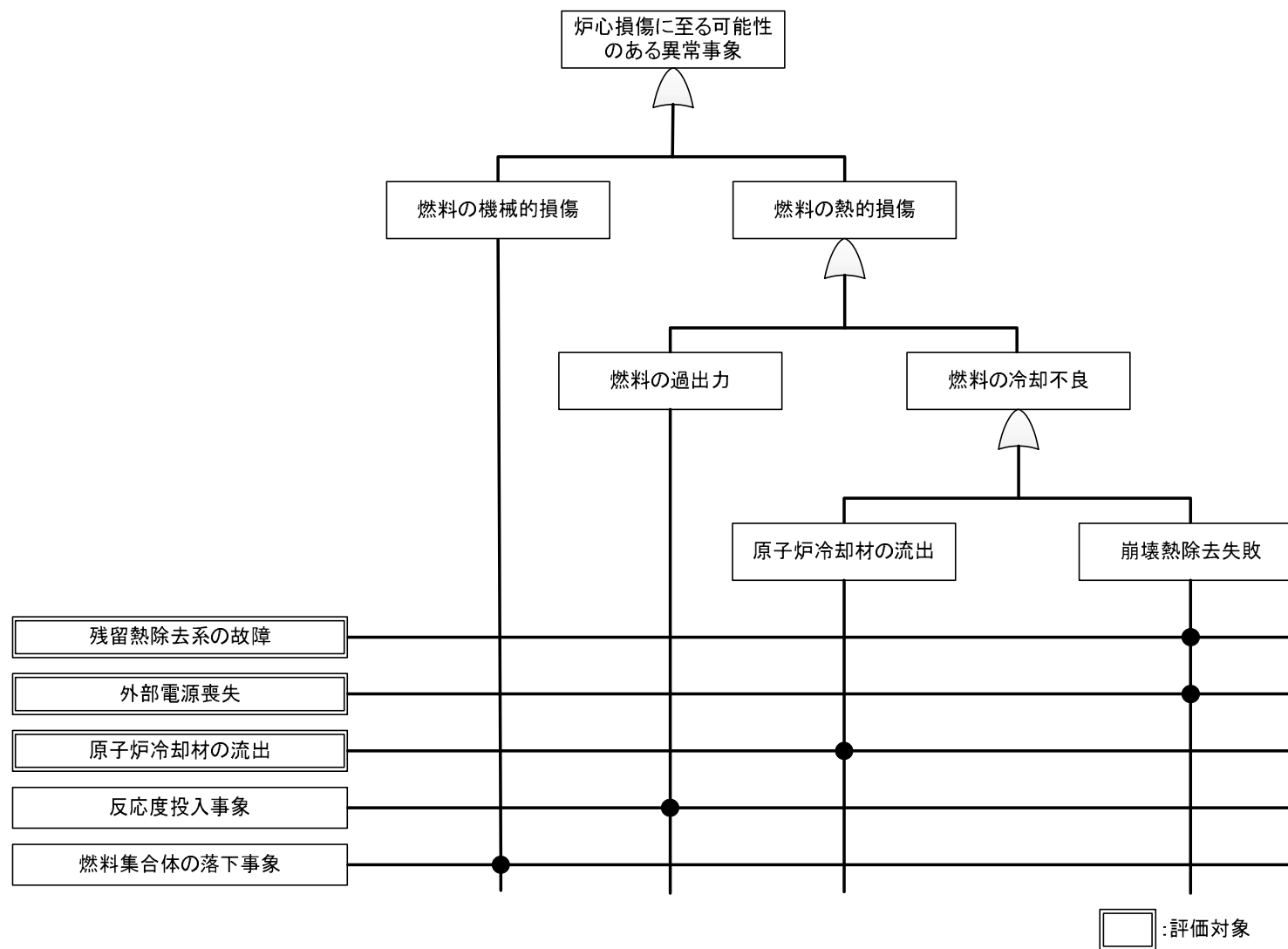
※1 RHR蒸気凝縮配管撤去のため、RHR-B待機除外

※2 RHR-A系統圧力上昇による点検のため、RHR-A待機除外

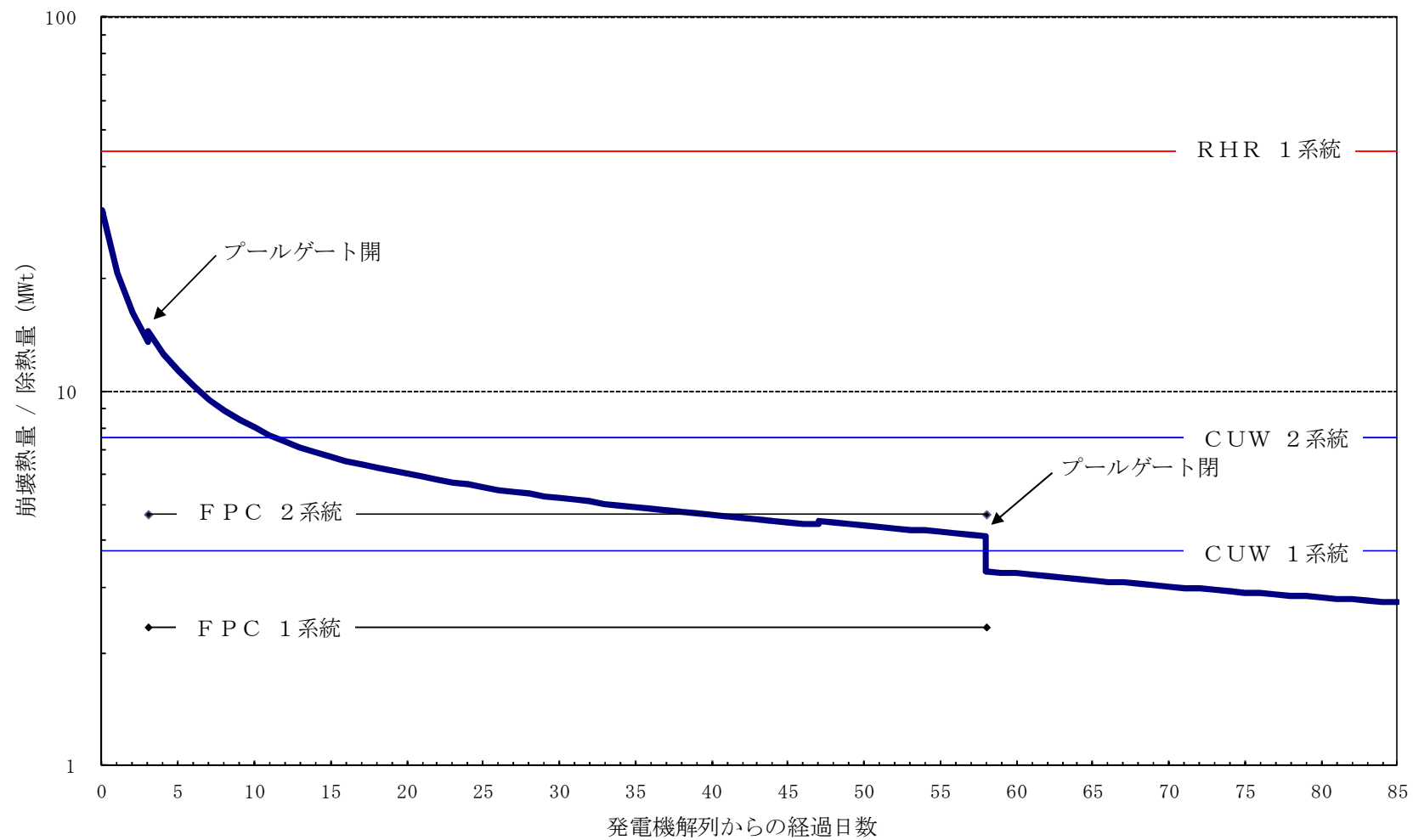
※3 HPCS-DGの潤滑油プライミングポンプの点検のため、HPCS-DG待機除外

■ : 運転 ■ : 待機 □ : 待機除外

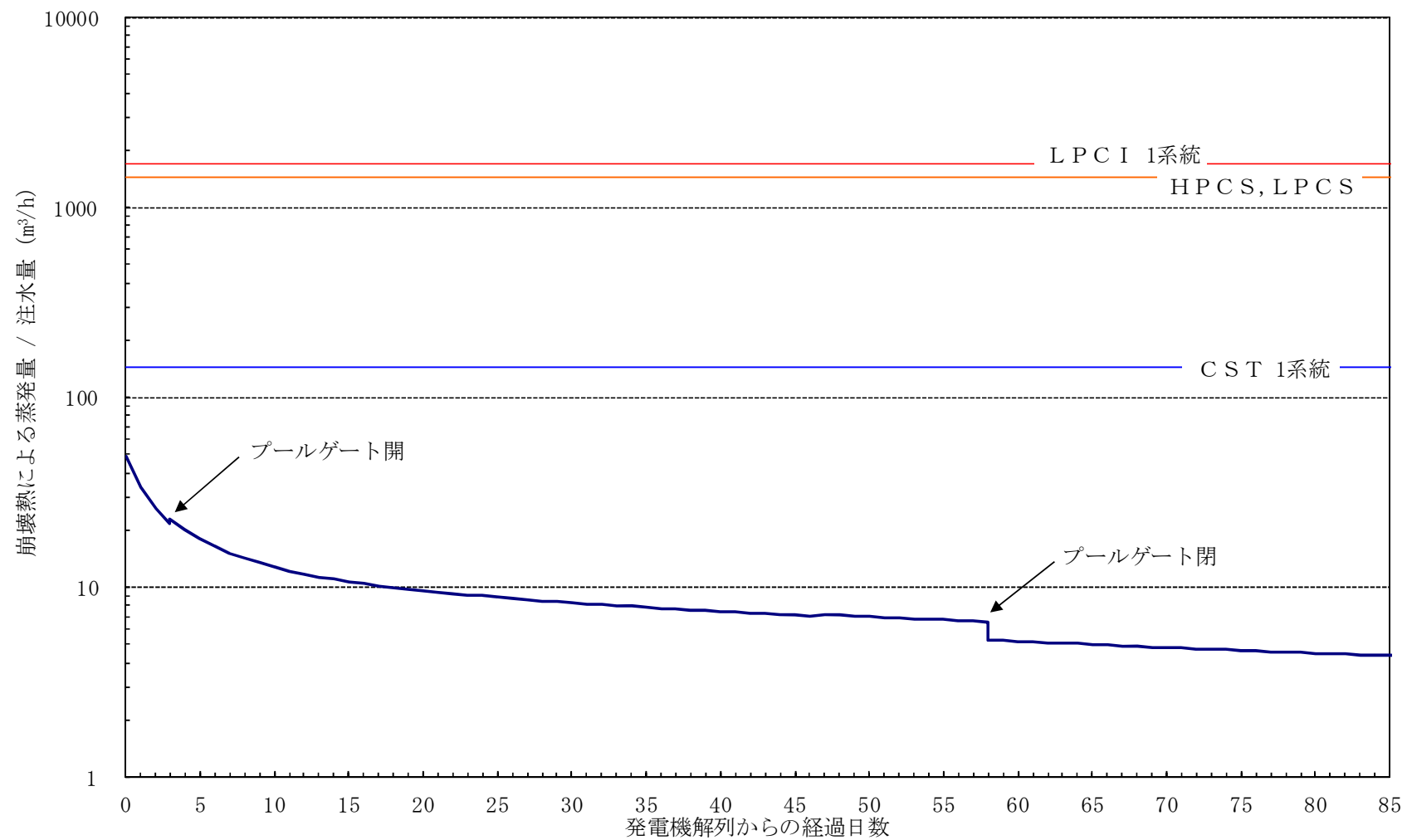
第 3.1.2.1-3 図 第 19 回施設定期検査工程の P O S 分類結果



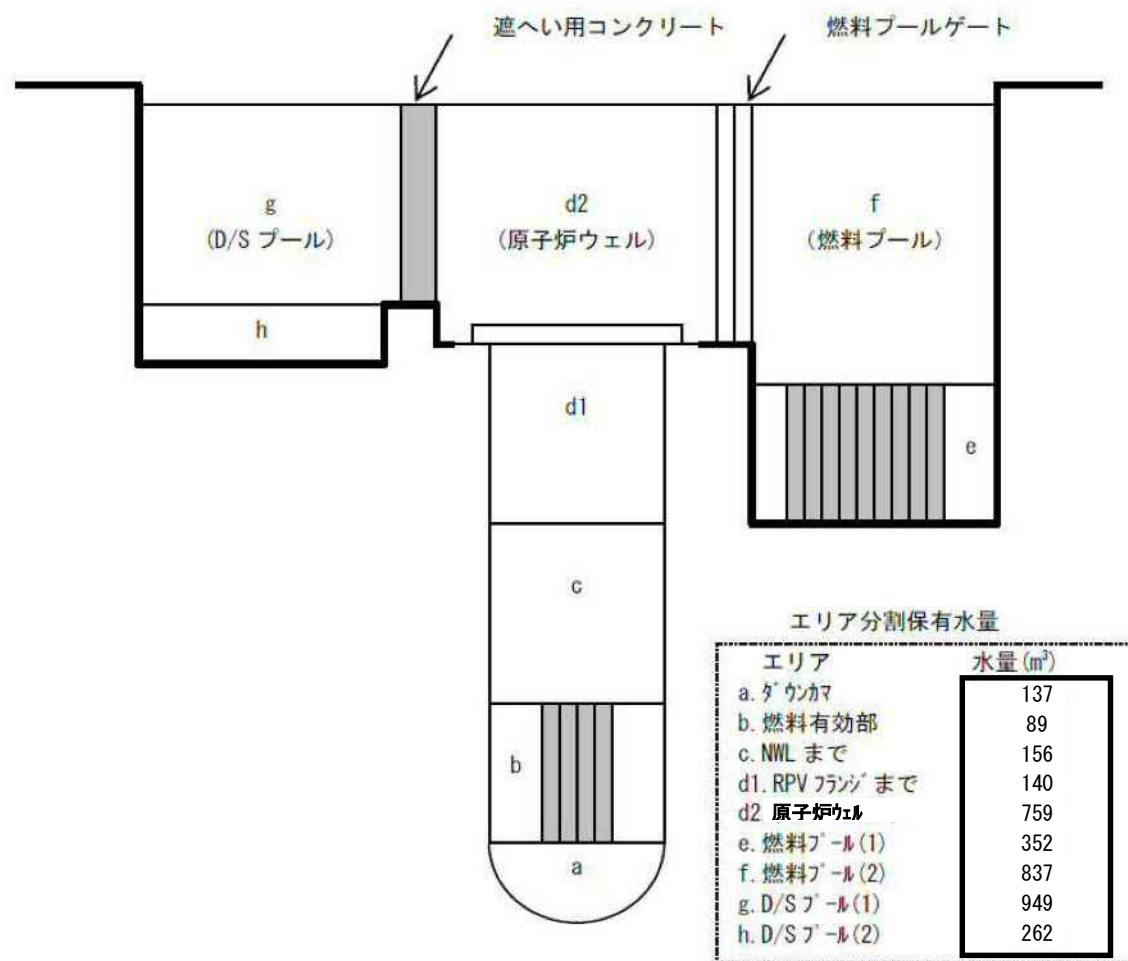
第 3. 1. 2. 2-1 図 マスターロジックダイアグラム抽出結果



第 3.1.2.3-1 図 除熱能力と崩壊熱量の評価結果



第 3.1.2.3-2 図 注水機能による注水量と崩壊熱による蒸発量の評価結果



第 3.1.2.3-3 図 冷却材の保有水量

| 残留熱除去系の故障 | 崩壊熱除去・炉心冷却 | 事故シーケンスグループ |
|-----------|------------|-------------|
| | 成功 | 燃料損傷なし |
| | 失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 |

第 3.1.2.4-1 (a) 図 残留熱除去系の故障に対するイベントツリー

【仮定条件】

- ・運転中の RHR 又は RHR S が機能喪失する場合を起因事象とする。

【イベントツリーの説明】

- ・崩壊熱除去及び炉心冷却に失敗する場合、「崩壊熱除去機能喪失」により燃料損傷に至る。

| 外部電源喪失 | 直流電源 | 交流電源 | 崩壊熱除去・炉心冷却 | 事故シーケンスグループ |
|--------|------|------|------------|-------------|
| | 成功 | 成功 | 成功 | 燃料損傷なし |
| | | | 失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 |
| | | 失敗 | 成功 | 燃料損傷なし |
| | | | 失敗 | 全交流動力電源喪失 |
| | 失敗 | | 成功 | 燃料損傷なし |
| | | | 失敗 | 全交流動力電源喪失 |

第 3.1.2.4-1 (b) 図 外部電源喪失に対するイベントツリー

【仮定条件】

- ・外部電源喪失の発生により所内電源が喪失するため，崩壊熱除去及び炉心冷却系の起動に必要な非常用電源の確保が必要となる。
- ・非常用 D G による非常用交流電源確保のためには，直流電源が必要である。
- ・本ヘディングでの直流電源及び交流電源は，区分Ⅰ及びⅡを表す。

【イベントツリーの説明】

- ・起因事象発生後，直流電源確保及び交流電源確保に成功した場合は，崩壊熱除去機能喪失のイベントツリーと同様の事象進展となる。
- ・直流電源又は交流電源の確保に失敗し，H P C S による崩壊熱除去・炉心冷却に失敗した場合，「全交流動力電源喪失」により炉心損傷に至る。ただし，H P C S による崩壊熱除去・炉心冷却に成功した場合は，炉心損傷に至らない。

| 原子炉冷却材の流出 | 崩壊熱除去・炉心冷却 | 事故シーケンス グループ |
|-----------|------------|-------------------------|
| | 成功 | 燃料損傷なし 原子炉冷却材の流出 |
| | 失敗 | |

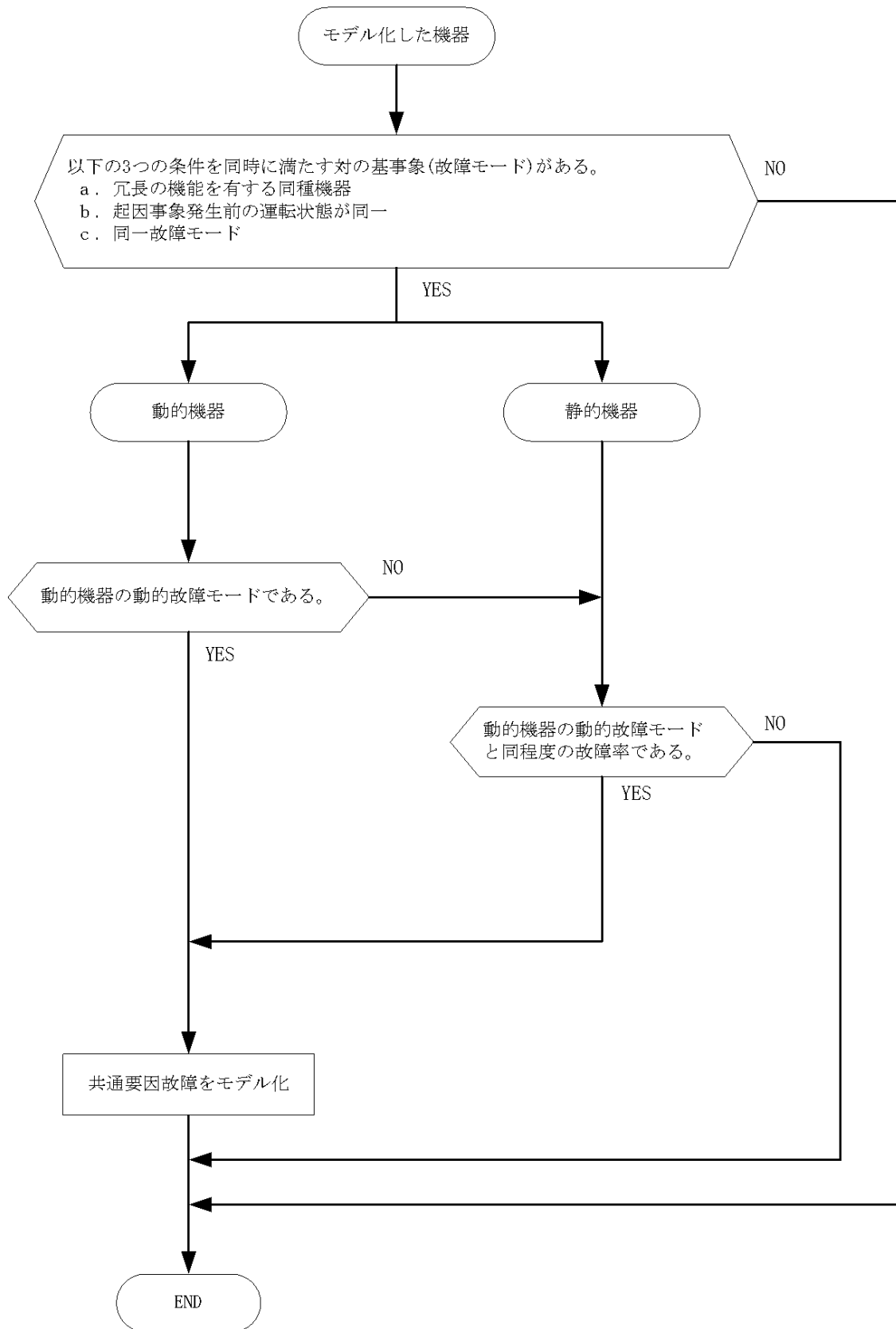
第 3.1.2.4-1 (c) 図 原子炉冷却材の流出に対するイベントツリー

【仮定条件】

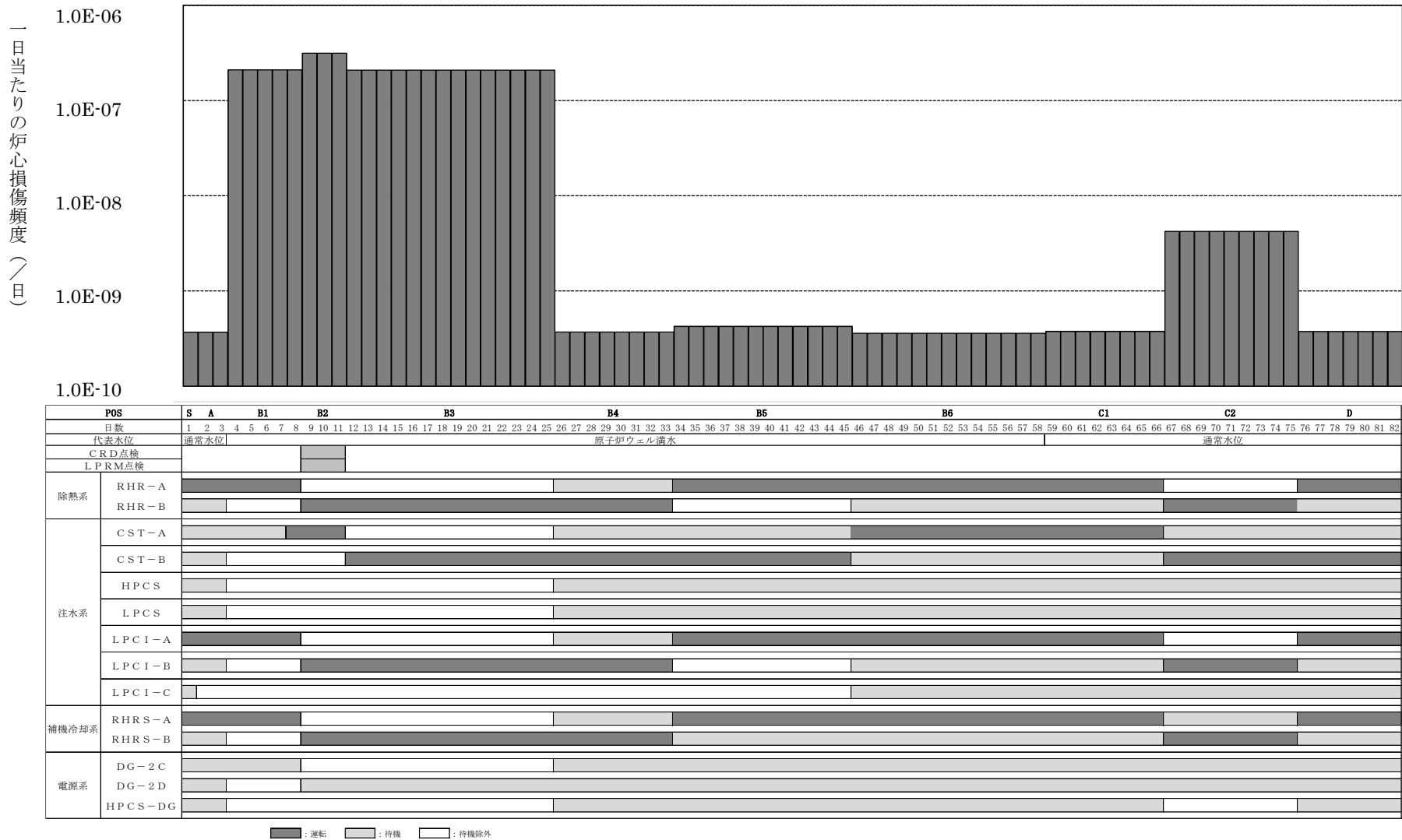
- ・原子炉冷却材の流出（RHR 系統切替時の LOCA, CUW ブロー時の LOCA, CRD 点検時の LOCA, LPRM 点検時の LOCA）が発生する場合を起因事象とする。

【イベントツリーの説明】

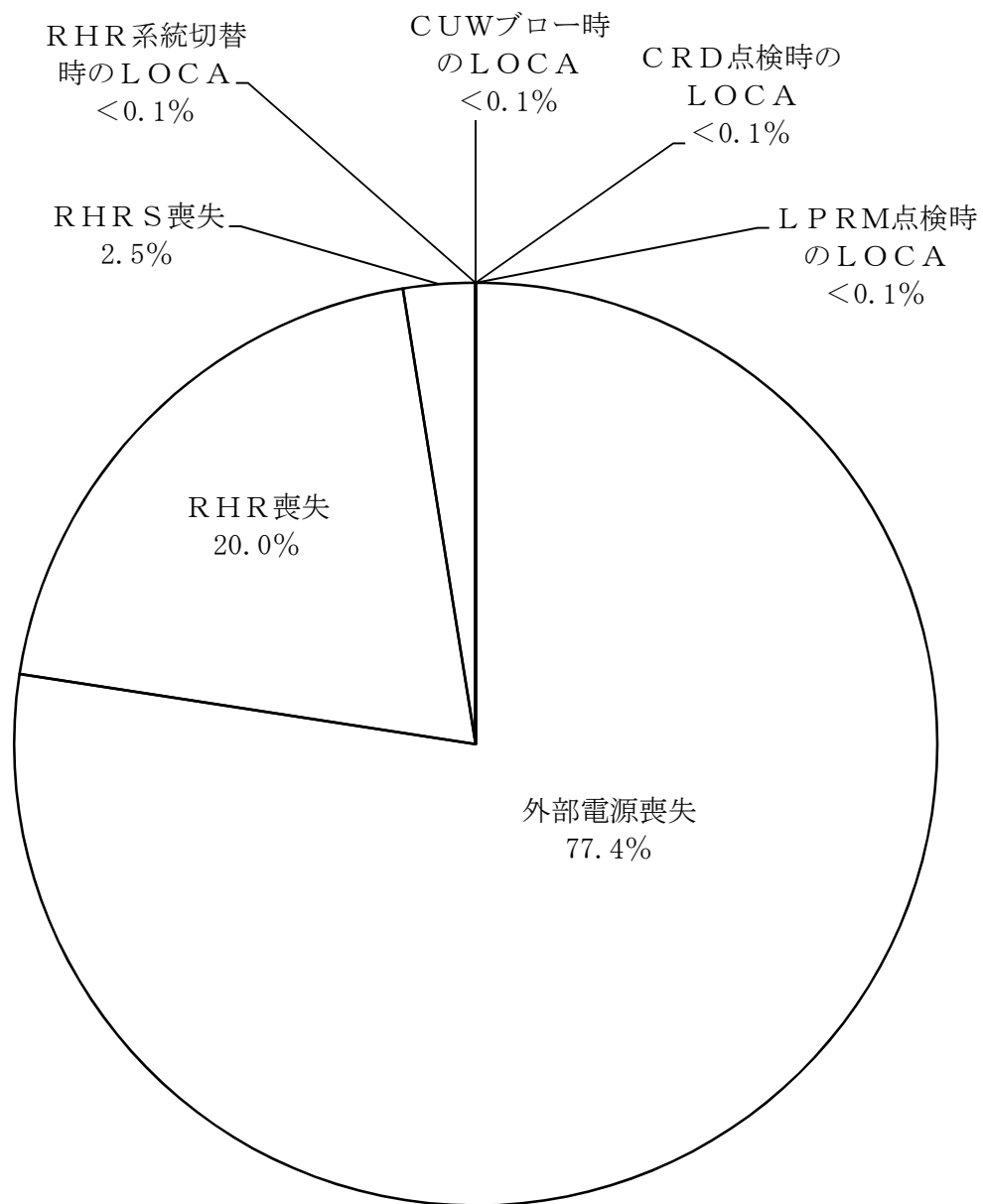
- ・起因事象発生後，冷却材流出の隔離又は注水系による崩壊熱除去・炉心冷却に成功すれば，事象が収束する。
- ・崩壊熱除去及び炉心冷却に失敗する場合，「原子炉冷却材の流出」により炉心損傷に至る。



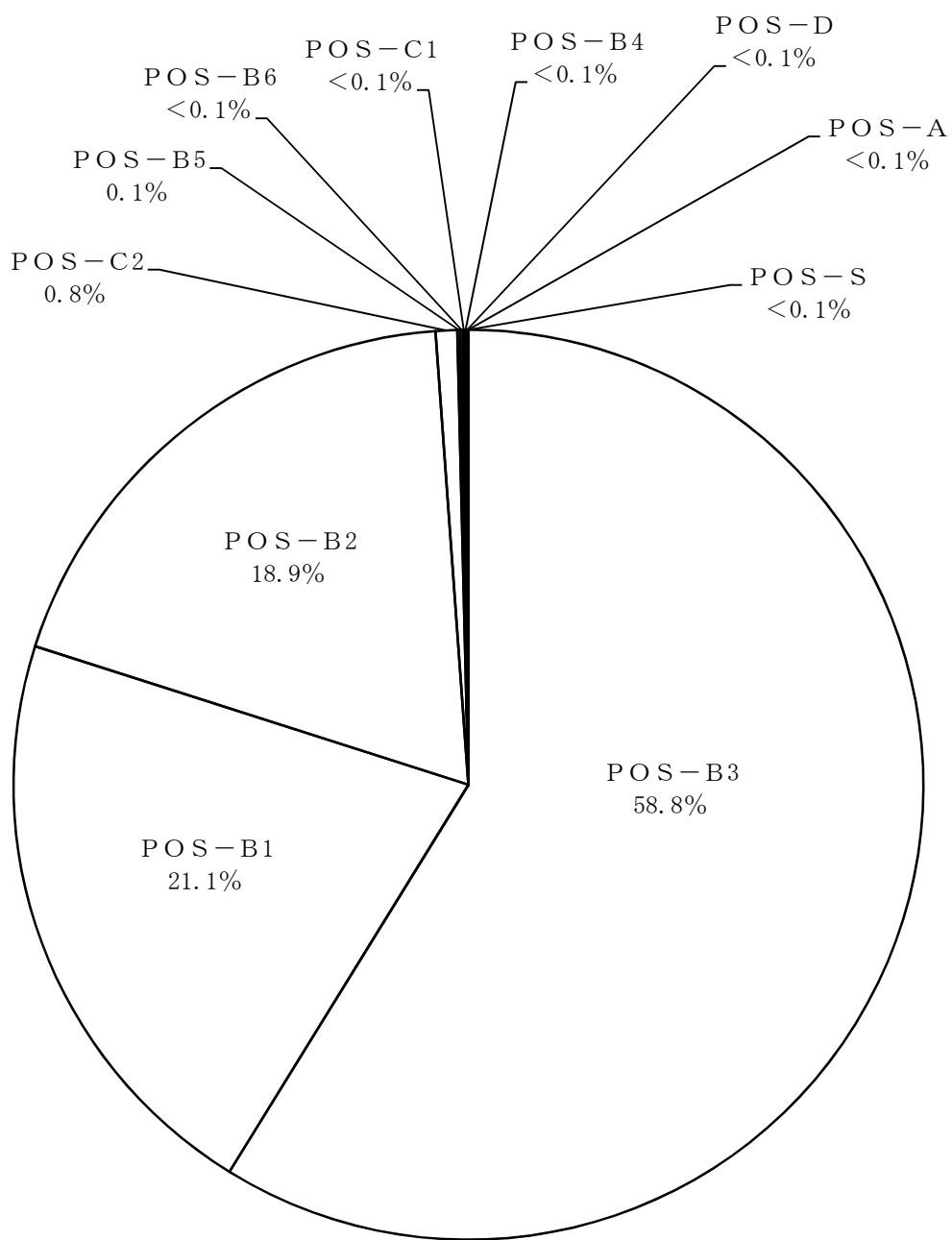
第 3. 1. 2. 6－1 図 共通要因故障同定のフロー



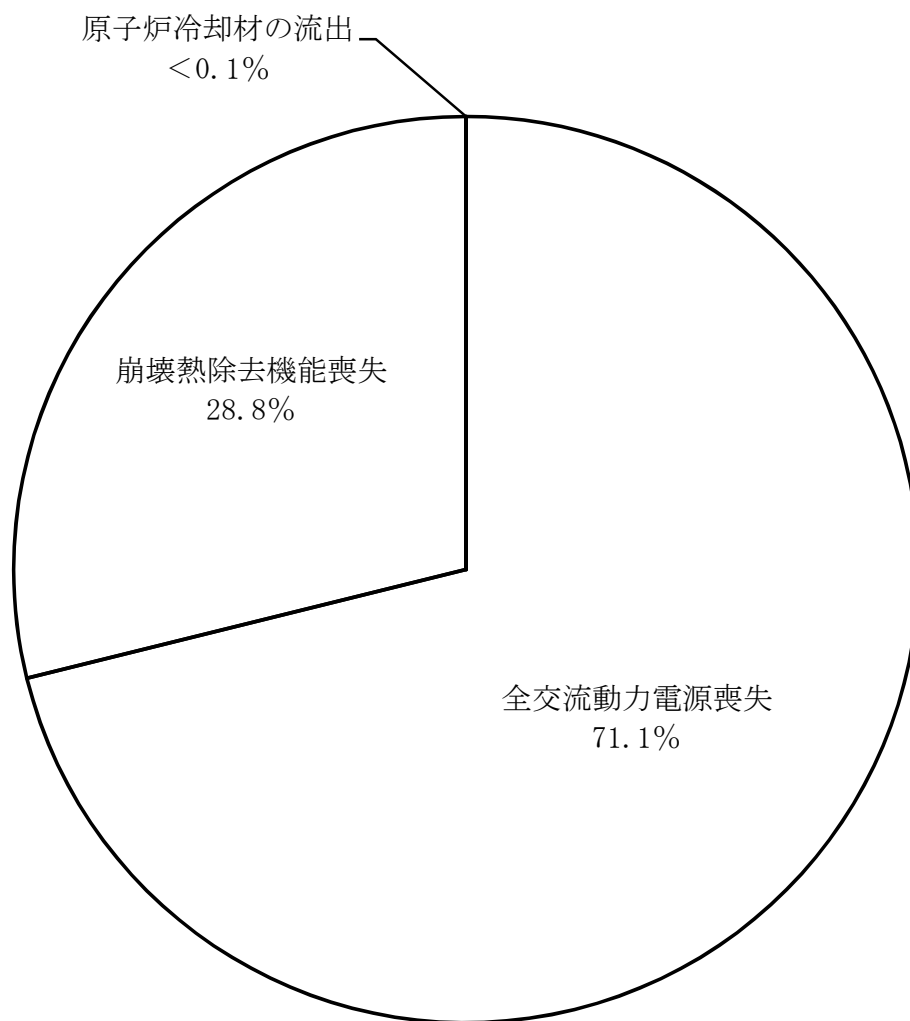
第 3.1.2.8-1 図 一日当たりの炉心損傷頻度の変化



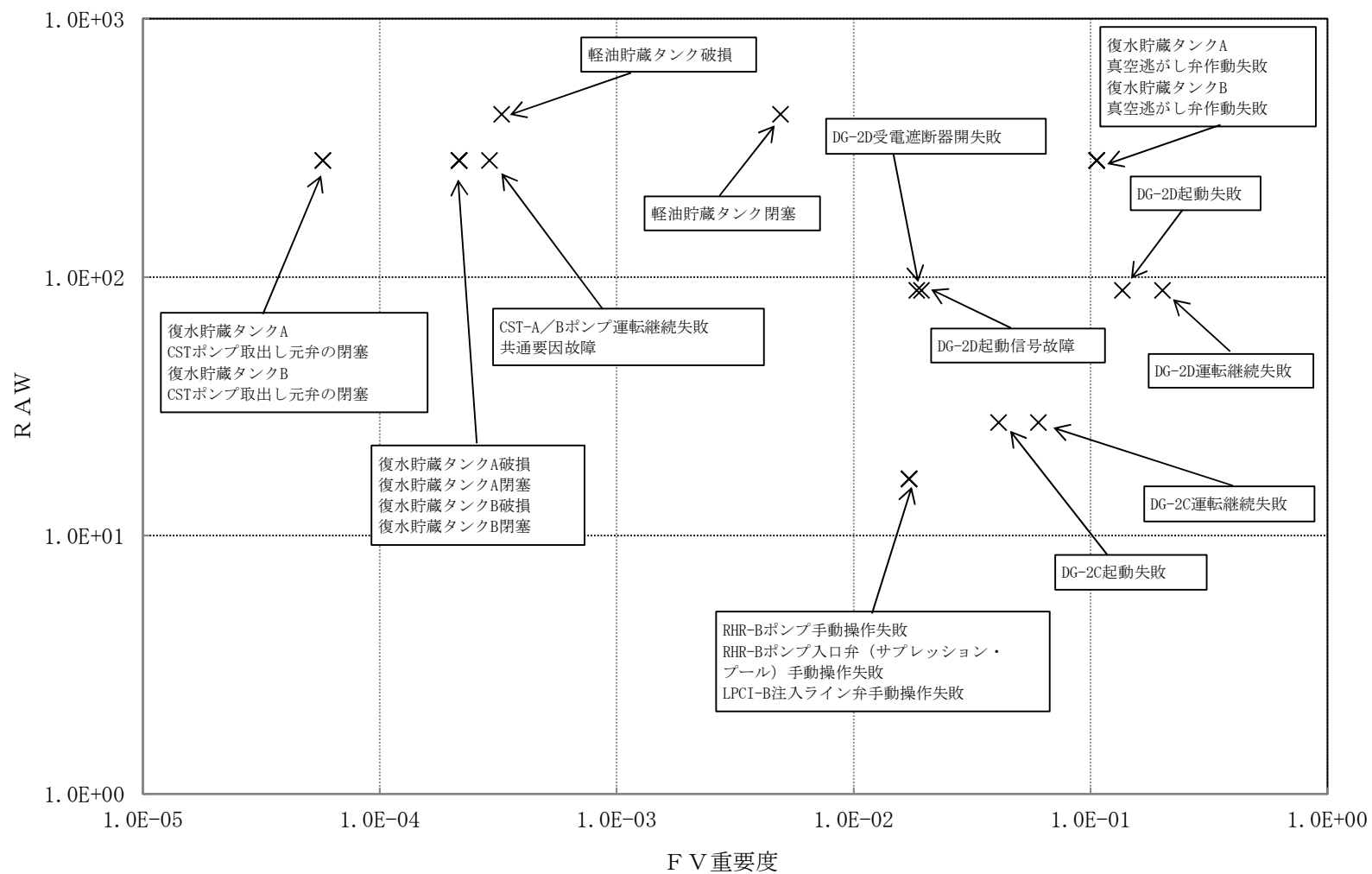
第 3.1.2.8-2 図 起因事象別の全炉心損傷頻度への寄与割合



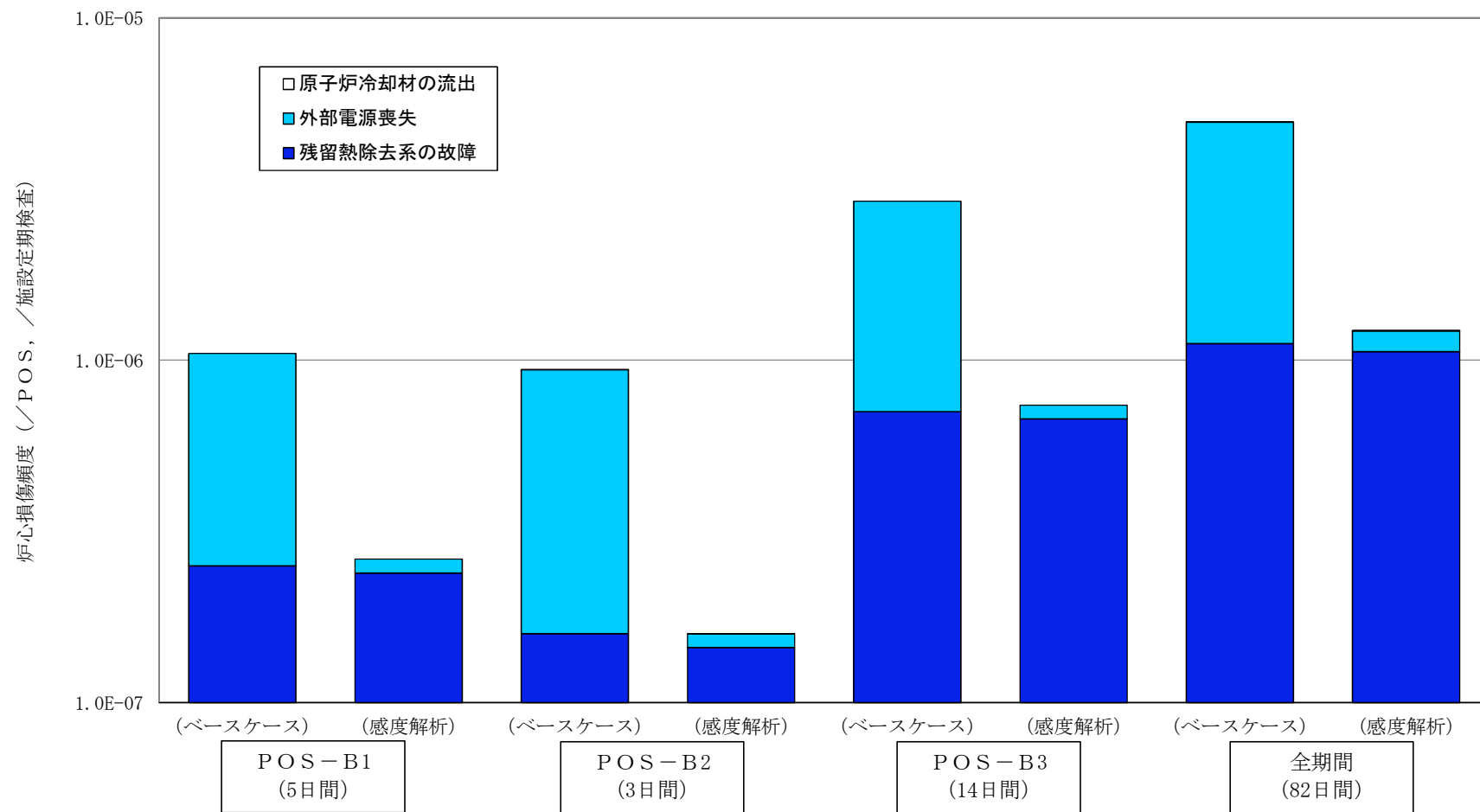
第 3.1.2.8-3 図 POS 別の全炉心損傷頻度への寄与割合



第 3.1.2.8-4 図 事故シーケンスグループ別の全炉心損傷頻度の寄与割合



第 3.1.2.8-5 図 重要度解析結果



第 3.1.2.8-6 図 感度解析とベースケースの比較結果

P R A において期待する緩和設備の選定の考え方について

停止時 P R A において期待する緩和設備については，出力運転時と同様に以下の考えに基づき選定した。

- ・設計基準事故対処設備による対応を基本とし，これまでに整備したアクシデントマネジメント（A M）策には期待しない
- ・ただし，「E C C S 手動起動」，「原子炉手動減圧」，「残留熱除去系の手動起動」等の設計基準事故対処設備の機能を作動させるための操作については考慮する

停止時 P R A において評価対象とする緩和設備の設定の考え方について，表 1 に示す。

表 1 評価対象とする緩和設備の設定の考え方

| 緩和設備 | 評価対象 | 設定の考え方 |
|---|------|--|
| 残留熱除去系 (原子炉停止時冷却系) (R H R) | ○ | 設計基準事故対処設備 |
| 燃料プール冷却浄化系 (F P C) | × | 除熱能力の観点から崩壊熱除去に期待できるのは、原子炉ウエル満水の一部期間のみであるため、考慮しない |
| 原子炉冷却材浄化系 (C U W) | × | 再生熱交換器のバイパス操作により原子炉の除熱機能に期待できるが、バイパス操作は一般に出力運転時のAM策として位置付けられる操作のため、考慮しない |
| 高圧炉心スプレイ系 (H P C S) | ○ | 設計基準事故対処設備 |
| 原子炉隔離時冷却系 (R C I C) | × | 停止時は駆動源である炉蒸気がないため、考慮しない |
| 低圧炉心スプレイ系 (L P C S) | ○ | 設計基準事故対処設備 |
| 残留熱除去系（低圧注水系） (L P C I) | ○ | 設計基準事故対処設備 |
| 復水移送系 (C S T) | ○ | 保安規定において非常用炉心冷却系として位置づけられているため、考慮する |
| 消火系 (F P) | × | AM策として整備されている注水操作のため、考慮しない |
| 制御棒駆動水压系 (C R D) | × | 注水能力不足のため、考慮しない |
| 残留熱除去系海水系 (R H R S) | ○ | 設計基準事故対処設備 |
| 非常用ディーゼル発電機 (D G) | ○ | 設計基準事故対処設備 |
| 高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 (H P C S－D G) | ○ | 設計基準事故対処設備 |
| 非常用ディーゼル発電機 海水系 (D G S W) | ○ | 設計基準事故対処設備 |
| 高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機海水系 (H P C S－D G S W) | ○ | 設計基準事故対処設備 |

評価対象とした施設定期検査工程の代表性について

本 P R A で評価対象とする施設定期検査工程は、過去の施設定期検査のうち、次の事項に該当する標準的な施設定期検査とした。

- ・ 通常の施設定期検査で実施される作業（燃料交換，緩和設備の点検に伴う待機除外，冷却材流出の可能性のある操作・点検）が含まれる施設定期検査
- ・ 原子炉内に燃料が配置された状態での冷却材流出の可能性のある操作・点検が含まれる施設定期検査（例えば，部分燃料取出時に制御棒駆動水圧系の点検を実施する施設定期検査）
- ・ 大規模な工事やトラブル等による点検工程（以下「特殊工程」という。）が含まれない施設定期検査
- ・ 平成 13 年 1 月の保安規定全面改正以降の施設定期検査

(1) 特殊工程の除外理由

上記の特殊工程とは，例えば，再循環系ポンプ分解点検や流量制御弁の点検等，通常の施設定期検査では実施されない工程であり，実施される場合は比較的長期間の施設定期検査となる。このため，停止時のリスク変動の要因となる緩和設備の点検工程については，相対的に通常の施設定期検査より多く待機状態に維持できる工程となる可能性がある。したがって，特殊工程を含まない施設定期検査を代表工程の候補対象とした。

(2) 平成 13 年 1 月の保安規定改正以降の施設定期検査について

平成 12 年 7 月 1 日の改正原子炉等規制法の施行，平成 12 年 6 月

16日の原子力災害対策特別措置法の施行に伴い、標準保安規定の全体見直しが実施され、本プラントの保安規定を平成13年1月に改正した。

この改正により、「停止時を含む運転状態ごとの点検要求、運転上の制限、その逸脱時の措置と許容回復時間の追加」（米国技術仕様書を参考）の内容が追加されたため、停止時における機器の管理基準が変更されたことに伴い、保安規定改正前後で施設定期検査の工程管理が変更された。

このため、停止時PRAを実施するに当たっては、平成13年1月以降の施設定期検査を代表工程の候補対象とした。

当該保安規定改正により追加された停止時の運転上の制限について表1に示す。

(3) 評価対象とする施設定期検査

東海第二発電所の施設定期検査の実績を表2に示す。平成13年1月の保安規定全面改正以降の施設定期検査では、第19回施設定期検査を除いて、いずれも特殊工程が含まれている。

以上より、本PRAで評価対象とする施設定期検査は、第19回施設定期検査を選定した。

なお、本PRAでは特殊工程を含む施設定期検査を対象としていないため、特殊工程そのものによるリスクを評価していない。しかしながら、このような工程がある場合においても、保安規定で要求される緩和設備が維持されること、また、特殊工程に起因した異常事象の発生を防止するための措置を実施すること、さらには、その影響を受けないよう全燃料を使用済燃料プールに取り出した状態（プールゲート閉）とするなど

のリスク管理上の措置が講じられるため、特殊工程によるリスク増加は抑制されていると考えられる。

表 1 保安規定改正により追加された停止時の運転上の制限

| 条番号 | 内容 |
|----------------------------|--|
| 第 3 5 条 原子炉停止時冷却系その 2 | 原子炉の状態が冷温停止において、 (1) 1 系列が運転中であること及び原子炉で発生する崩壊熱が原子炉停止時冷却系以外の手段で除去できると判断するまで、さらに 1 系列の原子炉停止時冷却系が動作可能であること 又は (2) 原子炉停止時冷却系が停止した場合においても、原子炉冷却材温度を 100℃未満に保つことができること |
| 第 3 6 条 原子炉停止時冷却系その 3 | 原子炉の状態が燃料交換において、 (1) 1 系列が運転中であること及び原子炉水位がオーバーフロー水位となるまでの期間は、さらに 1 系列の原子炉停止時冷却系が動作可能であること 又は (2) 原子炉停止時冷却系が停止した場合においても、原子炉冷却材温度を 65℃以下に保つことができること |
| 第 4 0 条 非常用炉心冷却系その 2 | 原子炉の状態が冷温停止及び燃料交換において、 (1) 非常用炉心冷却系（自動減圧系を除く。）2 系列 又は (2) 非常用炉心冷却系（自動減圧系を除く。）1 系列及び復水移送系 1 系列が動作可能であること |
| 第 6 1 条 非常用ディーゼル発電機その 2 | 原子炉の状態が冷温停止及び燃料交換において (1) 計測及び制御設備、原子炉停止時冷却系及び非常用炉心冷却系で要求される設備の維持に必要な非常用交流高圧電源母線に接続する非常用ディーゼル発電機を含め 2 台の非常用発電設備が動作可能であること※ |
| 第 6 4 条 直流電源その 2 | 原子炉の状態が冷温停止及び燃料交換において (1) 計測及び制御設備、原子炉停止時冷却系及び非常用炉心冷却系で要求される設備の維持に必要な直流電源が動作可能であること |
| 第 6 6 条 所内電源系統その 2 | 原子炉の状態が冷温停止及び燃料交換において (1) 計測及び制御設備、原子炉停止時冷却系及び非常用炉心冷却系で要求される設備の維持に必要な非常用交流高圧電源母線、直流電源母線及び原子炉保護系母線が受電されていること |

上記、記載内容は、現行の保安規定に基づく（※については、平成 13 年 1 月時点から改正された内容になっている。）

表 2 東海第二発電所の施設定期検査の実績概要 (1/2)

| 施設定期検査 | 施設定期検査日数 (日) (解列日～併入日) | 燃料取出方法 | 備考 (特殊工程) |
|--------|----------------------------------|--------|---|
| 第 1 回 | 114 (S54. 9. 6～S54. 12. 28) | 部分燃料取出 | |
| 第 2 回 | 82 (S55. 9. 6～S55. 11. 26) | 部分燃料取出 | |
| 第 3 回 | 97 (S56. 9. 12～S56. 12. 17) | 部分燃料取出 | |
| 第 4 回 | 131 (S57. 6. 23*～S57. 10. 31) | 全燃料取出 | ・再循環系ポンプ出口弁修繕 |
| 第 5 回 | 94 (S58. 9. 17～S58. 12. 19) | 部分燃料取出 | |
| 第 6 回 | 103 (S59. 12. 12～S60. 3. 24) | 部分燃料取出 | |
| 第 7 回 | 136 (S61. 1. 20～S61. 6. 4) | 部分燃料取出 | |
| 第 8 回 | 81 (S62. 4. 9～S62. 6. 28) | 部分燃料取出 | |
| 第 9 回 | 122 (S63. 8. 1～S63. 11. 30) | 全燃料取出 | ・炉内点検 ・ルースパーツ (燃料チャンネルファスナ・ワッシャー) 探査 |
| 第 10 回 | 97 (H1. 11. 30～H2. 3. 6) | 部分燃料取出 | |
| 第 11 回 | 87 (H3. 4. 20～H3. 7. 15) | 部分燃料取出 | |
| 第 12 回 | 129 (H4. 9. 6～H5. 1. 12) | 全燃料取出 | ・炉内点検 |
| 第 13 回 | 77 (H6. 2. 19～H6. 5. 6) | 部分燃料取出 | |
| 第 14 回 | 96 (H7. 4. 14～H7. 7. 18) | 全燃料取出 | ・炉内点検 |
| 第 15 回 | 65 (H8. 9. 10～H8. 11. 13) | 部分燃料取出 | |
| 第 16 回 | 89 (H10. 1. 8～H10. 4. 6) | 全燃料取出 | ・炉内点検 |
| 第 17 回 | 353 (H11. 4. 4～H12. 3. 22) | 全燃料取出 | ・中性子計測ハウジング S C C 対策 |
| 第 18 回 | 119 (H13. 3. 26～H13. 7. 23) | 全燃料取出 | ・中性子計測ハウジング 取替 |
| 第 19 回 | 85 (H14. 9. 16～H14. 12. 9) | 部分燃料取出 | |

表 2 東海第二発電所の施設定期検査の実績概要 (2/2)

| 施設定期検査 | 施設定期検査日数 (日) (解列日～併入日) | 燃料取出方法 | 備考 (特殊工程) |
|--------|--------------------------------|--------|---|
| 第 20 回 | 86 (H16. 2. 1～H16. 4. 26) | 全燃料取出 | ・ ルースパーツ (H P C S デフレクタ) 探査 |
| 第 21 回 | 161 (H17. 4. 23～H17. 9. 30) | 全燃料取出 | ・ 原子炉再循環流量制御弁取替 |
| 第 22 回 | 87 (H18. 11. 18～H19. 2. 12) | 全燃料取出 | ・ 炉内点検 (ジェットポンプ流量計測管点検) |
| 第 23 回 | 114 (H20. 3. 18～H20. 7. 9) | 全燃料取出 | ・ R P V バウンダリ弁点検 (R P V 水抜き) ・ E C C S ストレーナ改造 |
| 第 24 回 | 206 (H21. 9. 7～H22. 3. 31) | 全燃料取出 | ・ 再循環系ポンプ分解点検 |



: 本評価において対象とする施設定期検査工程

※ 中間停止 (S57. 6. 11 解列) 時に再循環系ポンプ出口弁の不具合が発見されたため、引き続き S57. 6. 23 より施設定期検査入りした。

評価対象施設定期検査における特別な工程について

本 P R A で評価対象施設定期検査として選定した第 19 回施設定期検査では、P O S - B 5 において R H R - B を、P O S - C 2 において R H R - A 及び H P C S - D G S W を待機除外としている。これらの理由を以下に示す。

(1) P O S - B 5 における R H R - B の待機除外

浜岡原子力発電所 1 号炉の R H R 蒸気凝縮配管の水素爆発対応として、R H R の機能の 1 つである蒸気凝縮系配管を撤去するため、R H R - B を待機除外とした。

この R H R - B の待機除外は、施設定期検査開始前から計画されていた工程であるが、待機除外期間が比較的短期間であることから、特殊工程とはみなしていない。

(2) P O S - C 2 における R H R - A の待機除外

原子炉圧力容器の耐圧検査時において、R H R - A の系統圧力上昇が確認されたため、R H R - A を待機除外として点検を行った。

この R H R - A の待機除外は当初の計画から予定されていた工程ではないこと、R H R - A の待機除外期間は長期にわたるものではないことを考慮すると、他の緩和設備の待機除外工程への影響が小さいと考えられることから、この R H R - A の待機除外は特殊工程とはみなしていない。

(3) P O S - C 2 における H P C S - D G の待機除外

H P C S - D G の潤滑油プライミングポンプ・モータの絶縁抵抗が低下したことにより、当該ポンプがトリップした。そのため、H P C S - D G を待機除外とし、当該ポンプ・モータのコイルの巻き

直しを実施した。

このH P C S－D Gの待機除外は当初の計画から予定されていた工程ではないこと, H P C S－D Gの待機除外期間は長期にわたるものではないことを考慮すると, 他の緩和設備の待機除外工程への影響が小さいと考えられることから, このH P C S－D Gの待機除外は特殊工程とはみなしていない。

プラント状態の分類の考え方について

プラント停止中は、プラントの状態の変化に伴って、崩壊熱除去等に対する成功基準、余裕時間及び使用可能な設備の組合せが変化するため、停止時 P R A においては、このような P O S を適切に分類して評価を行う必要がある。B W R プラントの代表的な P O S の推移は、上述の観点から次の 5 つに大きく分類できる。

- (1) 原子炉冷温停止への移行状態 (P O S - S)
- (2) P C V / R P V 開放への移行状態 (P O S - A)
- (3) 原子炉ウェル満水状態 (P O S - B)
- (4) P C V / R P V 閉鎖への移行状態 (P O S - C)
- (5) 起動準備状態 (P O S - D)

東海第二発電所において評価対象とする施設定期検査工程を P O S ごとに分類した結果を図 1 に示す。P O S の分類に当たっては、上記 5 つの分類から、本 P R A で期待している緩和設備のフロントライン (R H R, H P C S, L P C S, L P C I, C S T) 及びそのサポート系 (R H R S, 非常用 D G / D G S W) の運転／待機状態が変化する期間について、P O S を細分化している。なお、東海第二発電所では、非常用補機冷却系のタイラインがないため、タイライン運用を考慮した P O S の細分化はする必要はない。

以下に、上記の考え方に基づき実施した P O S 分類結果について述べる。

(1) 原子炉冷温停止への移行状態（POS－S）

プラント停止直後は崩壊熱が大きく，原子炉冷却材インベントリも運転中と変わらない。この期間は，運転中のRHR1系統のほかに，残りのRHR1系統が待機状態にある。復水器真空破壊からRPV開放工程へ移行するまでの期間を「原子炉冷温停止への移行状態」として分類する。

本PRAでは，全ての緩和設備が待機している施設定期検査初日をPOS－Sと設定した。

(2) PCV／RPV開放への移行状態（POS－A）

RPVの開放開始から原子炉ウェル水張りまでの期間は，崩壊熱が比較的高く，原子炉冷却材インベントリも運転中と大きく変わらない。この期間中は，運転中のRHR1系統のほかに，残りのRHR1系統が待機状態にある。RPV開放工程開始から原子炉ウェル水張り完了までの期間を「PCV／RPV開放への移行状態」として分類する。

本PRAでは，施設定期検査2日目から原子炉ウェル満水到達までの2日間をPOS－Aと設定した。この期間において緩和設備の状態に変化はないため，POSの細分化は実施していない。

(3) 原子炉ウェル満水状態（POS－B）

RPV開放完了から原子炉ウェル水抜き開始までの期間は，原子炉ウェルが満水の状態にある。この期間は，原子炉冷却材インベントリが多く，RHRによる除熱が喪失しても原子炉冷却材の温度が短時間に上昇することはない。原子炉ウェルが満水の期間を「原子炉ウェル満水状態」として分類する。

本PRAでは，原子炉ウェル満水期間の施設定期検査4日目～58

日目の 55 日間を P O S - B と設定した。P O S - B の期間においては、保守点検に伴い使用可能な緩和設備等が変化するため、以下のとおり 6 つの P O S に細分化した。

a . P O S - B 1 (4 日目～8 日目)

R H R - B , R H R S - B 及び D G - 2 D が待機除外の期間 (5 日間) を P O S - B 1 と設定した。

b . P O S - B 2 (9 日目～11 日目)

R H R - A , R H R S - A 及び D G - 2 C が待機除外となり、かつ C R D 点検及び L P R M 点検を実施している期間 (3 日間) を P O S - B 2 と設定した。

c . P O S - B 3 (12 日目～25 日目)

L P C I - C を除く緩和設備の待機除外が終了するまでの期間 (14 日間) を P O S - B 3 と設定した。

d . P O S - B 4 (26 日目～33 日目)

R H R の蒸気凝縮配管廃止工事のため、R H R - B が待機除外となるまでの期間 (8 日間) を P O S - B 4 と設定した。

e . P O S - B 5 (34 日目～45 日目)

R H R - B 及び L P C I - C の待機除外が終了するまでの期間 (12 日間) を P O S - B 5 と設定した。

f . P O S - B 6 (46 日目～58 日目)

R H R - B 及び L P C I - C の待機除外終了後、原子炉ウェル水抜き開始までの期間 (13 日間) を P O S - B 6 と設定した。

(4) P C V / R P V 閉鎖への移行状態 (P O S - C)

原子炉ウェル水抜き開始から起動準備に入るまでの期間は、系統の保守点検は継続中であるが、原子炉冷却材インベントリは運転中

とほぼ同じである。しかし、崩壊熱は、プラント停止直後の 1/10 程度に低下している。原子炉ウェル水抜き開始から起動準備に入るまでの期間を「PCV/RPV復旧への移行状態」として分類する。

本PRAでは、原子炉ウェル水抜き開始から全ての緩和設備の点検が終了する 59 日目～75 日目の 17 日間を POS-C と設定した。POS-C の期間においては、保守点検に伴い使用可能な緩和設備が変化するため、以下のとおり 2 つの POS に細分化した。

a. POS-C 1 (59 日目～66 日目)

原子炉ウェル水抜き開始から、RHR-A (系統圧力上昇のため、インジェクション弁の分解点検を実施) 及び HPCS-DG (潤滑油プライミングポンプトリップのため、モータコイルの巻き直しを実施) が待機除外となるまでの期間 (8 日間) を POS-C 1 と設定した。

b. POS-C 2 (67 日目～75 日目)

RHR-A 及び HPCS-DG の待機除外期間 (9 日間) を POS-C 2 と設定する。

(5) 起動準備状態 (POS-D)

PCV/RPV復旧が終了後、プラントの再起動までに系統の機能確認等の起動準備が実施される。この期間中は、系統の保守点検が終了しており、緩和設備の多くが待機状態となっている。PCV/RPV復旧終了からCR引抜開始までの期間を「起動準備状態」として分類する。

本PRAでは、76 日目～82 日目の 7 日間を POS-D と設定した。この期間において緩和設備の状態に変化はないため、POSの細分化は実施していない。

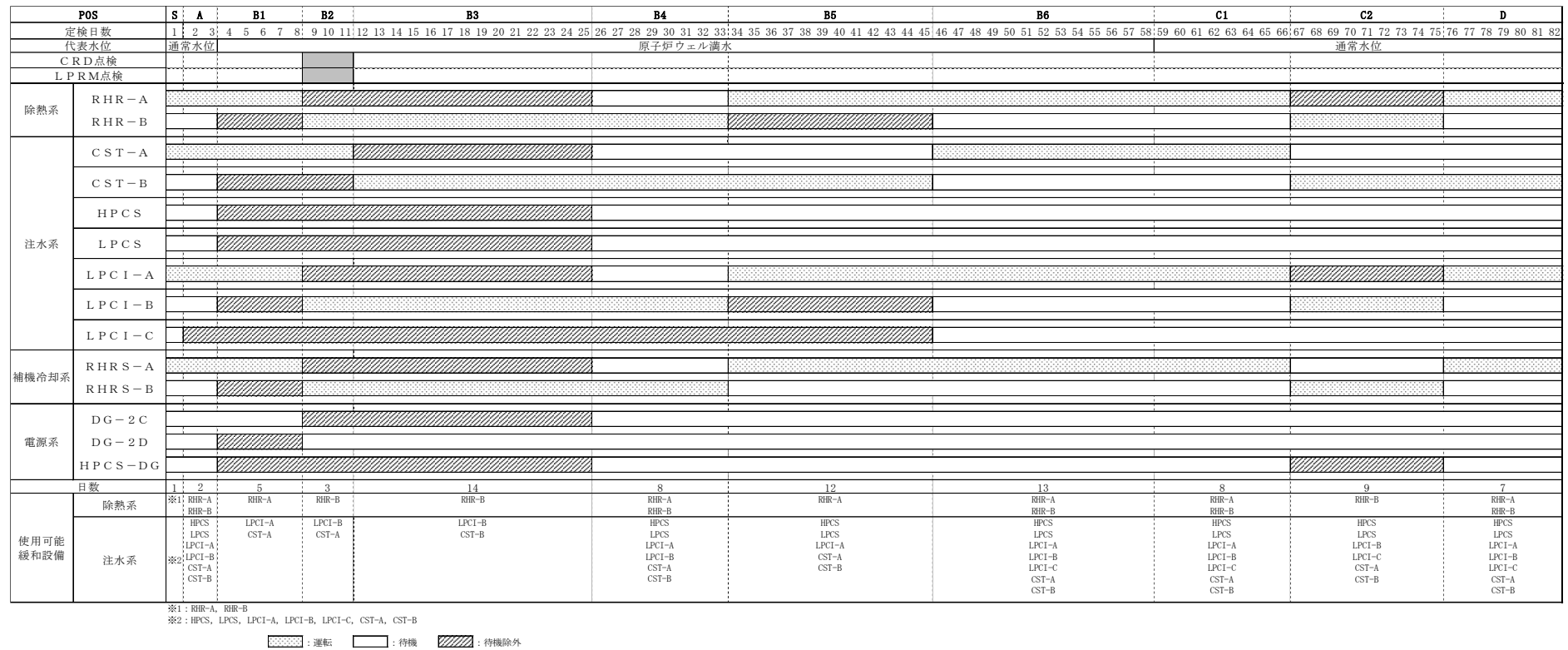


図 1 評価対象施設定期検査工程

制御棒誤引き抜け事象の除外理由について

プラント停止時は、原則として、全制御棒が全挿入されており、厳格な管理等により制御棒引き抜きは 1 本ごとにしか行えない。臨界近傍において、万一、制御棒が何らかの原因で誤って一本引き抜かれた場合でも、その影響は誤引き抜きされた制御棒周辺のみに限られ、過大な炉心損傷には至らない。

近年、BWR プラントにおいて、停止中に制御棒が誤引き抜けした事象が発生した。この事象の発生防止対策として、制御棒駆動水圧系（以下「CRD」という。）ノンリターン運転時の水圧制御ユニット（以下「HCU」という。）の隔離を行わない等の実効的な再発防止対策がとられている。

本 PRA において上記の制御棒誤引き抜け事象を起因事象から除外した理由を以下に示す。

1. 制御棒誤引き抜け事象の防止対策

東海第二発電所では、BWR プラントで発生した制御棒誤引き抜け事象の防止対策として、次の対策を講じている（図 1 参照）。

- ・ HCU 隔離時の CRD リターンライン運転手順の整備
- ・ 原子炉－CRD 冷却水ヘッダ間差圧上昇時の CRD ポンプ自動トリップインターロックの設置（図 2 参照）

2. 制御棒誤引き抜け事象の発生頻度

(1) 制御棒誤引き抜きに至るシナリオ

HCU 隔離時において、制御棒の誤引き抜きが発生するシナリオを以下のとおり想定した。

- ① リターン運転を実施せず H C U を全数隔離
 - ② 原子炉－冷却水ヘッダ間の差圧上昇時の C R D ポンプ自動トリップ失敗
 - ③ 運転員による対応操作失敗
- (2) 制御棒誤引き抜け事象発生頻度算出モデル及び算出結果

上記シナリオに対して、制御棒誤引き抜け事象が発生する頻度をイベントツリー及びフォールトツリーにより算出した（図 3 参照）。その結果、H C U 隔離操作 1 回当たりの制御棒誤引き抜け事象の発生頻度は $2.2\text{E-}10$ ／回となった。

施設定期検査中において、H C U 隔離操作が 2 回実施されるため、施設定期検査当たりの制御棒誤引き抜け事象の発生頻度は、 $4.5\text{E-}10$ ／施設定期検査となった。

以上より、制御棒誤引き抜け事象の発生頻度は十分小さいことから、本 P R A では起因事象から除外した。

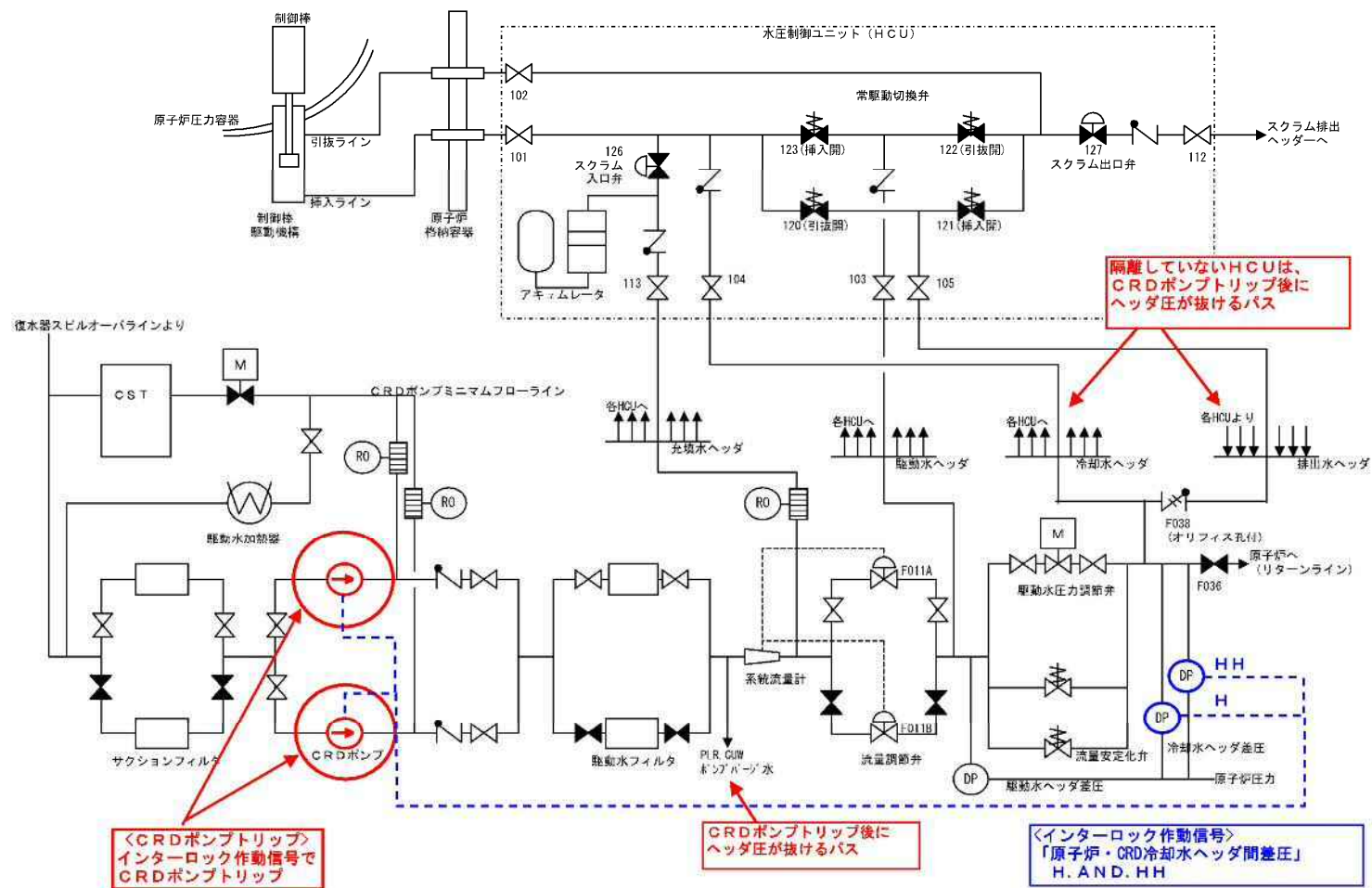
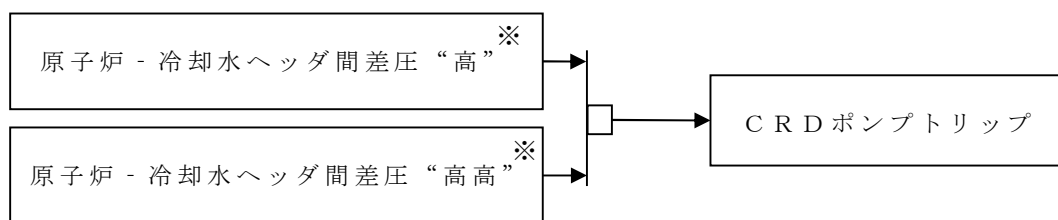


図 1 制御棒誤引き抜け防止対策 (CRDポンプ自動トリップ)



※ いずれも警報有

図 2 制御棒駆動水圧系ポンプの自動トリップインターロック

| HCU隔離 | リターン 運転 | 高警報 発報 | 高警報発報時 の操作 | 高高警報 発報 | CRDポンプ 自動トリップ | 高高警報発報 時の操作 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／回) |
|-------|------------|-----------|---------------|------------|------------------|----------------|-----|---------|--------------|
| HCU | RE | ANN_HI | OPE_HI | ANN_HIHI | TRIP | OPE_HIHI | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 1.0E+00 |
| | | | | | | | 2 | － | 1.3E-04 |
| | | | | | | | 3 | － | 3.2E-07 |
| | | | | | | | 4 | － | 1.4E-10 |
| | | | | | | | 5 | CR誤引き抜け | 6.5E-12 |
| | | | | | | | 6 | CR誤引き抜け | 5.9E-11 |
| | | | | | | | 7 | － | 2.4E-08 |
| | | | | | | | 8 | CR誤引き抜け | 1.8E-11 |
| | | | | | | | 9 | CR誤引き抜け | 1.4E-10 |
| | | | | | | | | 合計値 | 2.2E-10 |

| ヘディング名 | | 分岐確率 | 説 明 |
|--------------------|--------------|---------|---|
| リターン運転 | | 1.3E-04 | リターン運転失敗の人的過誤を評価し，分岐確率を設定 |
| 高警報発報 | | 1.8E-04 | 差圧高 ^{※1} 警報発報失敗確率をフォールトツリーにてモデル化 |
| 高警報発報時の操作 | | 2.5E-03 | 差圧高 ^{※1} 警報発報時の対応操作失敗の人的過誤を評価し，分岐確率を設定 |
| 高高警報発報 | | 1.8E-04 | 差圧高高 ^{※2} 警報発報失敗をフォールトツリーにてモデル化 |
| CRDポンプ 自動トリップ | | 5.0E-04 | 差圧高 ^{※1} 信号及び差圧高高 ^{※2} 信号によるCRDポンプ自動トリップ失敗をフォールトツリーにてモデル化 |
| 高高警報 発報時の 操作 | 高警報発報 成功時 | 1.5E-01 | 差圧高 ^{※1} 警報時の操作失敗との従属性（中従属）を考慮した人的過誤確率を設定 |
| | 高警報発報 失敗時 | 7.4E-04 | 差圧高高 ^{※2} 警報発報時の対応操作失敗の人的過誤により分岐確率を設定 |

※1 高警報：原子炉－冷却水ヘッダ間差圧高，※2 高高警報：原子炉－冷却水ヘッダ間差圧高高警報

図 3 制御棒誤引き抜け事象発生頻度算出用イベントツリー

R H R 運転中の L O C A を起因事象から除外する考え方について

本 P R A において， R H R 運転中の L O C A を起因事象から除外した理由を以下に示す。

(1) 冷却材流出経路及び要因の特定

残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）－ A の系統概要図を図 1 に示す。冷却材流出経路の特定に際しては，以下の選定条件を設定した。

- ・ R H R 運転中に冷却材バウンダリを構成する弁の故障を対象とする。
- ・ 流出先が原子炉となる弁の故障を除く。
- ・ 発生頻度の観点から，1 弁の故障により冷却材の流出が発生するものを対象とする。
- ・ 弁の故障モードは誤開及び内部リークを対象とする。

上記の選定条件より，次の 4 事象を運転中 R H R からの冷却材流出経路として選定した。

- ・ ミニフロー弁（F064A）の故障による S / C への流出
- ・ S / P 側吸込弁（F004A）の故障による S / C への流出
- ・ テストライン弁（F024A）の故障による S / C への流出
- ・ S / P スプレイライン弁（F027A）の故障による S / C への流出

(2) 発生頻度の算出

対象とした事象により， R H R 運転中の L O C A が発生する確率について，1 日当たりの R H R 運転中の L O C A の発生頻度を

算出した。

$$\begin{aligned} & \text{R H R 運転中の L O C A の発生頻度 (／日)} \\ & = 4 \times (\text{電動弁誤開の発生確率} + \text{電動弁内部リークの発生確率}) \\ & = 4 \times (2.5\text{E-}9 \times 24 + 4.1\text{E-}9 \times 24) \\ & = 6.3\text{E-}7 \text{／日} \end{aligned}$$

電動弁誤開の故障率^{※1} : $2.5\text{E-}9 \text{／h}$

電動弁内部リークの故障率^{※1} : $4.1\text{E-}9 \text{／h}$

※1 国内 21 ヶ年機器故障率データ「故障件数の不確実さを考慮し

た国内一般機器故障率の推定（平成 21 年 5 月公表）」

よって，P R A で評価対象とした期間（82 日間）における R H R 運転中の L O C A 発生頻度は以下により算出される。

$$\begin{aligned} & \text{R H R 運転中の L O C A の発生頻度 (／施設定期検査)} \\ & = 6.3\text{E-}7 \text{／日} \times 82 \text{ 日} \\ & = 5.2\text{E-}5 \text{／施設定期検査} \end{aligned}$$

R H R 運転中の L O C A の発生頻度は $5.2\text{E-}5 \text{／施設定期検査}$ となり，R H R 系統切替時の L O C A の発生頻度 $9.2\text{E-}4 \text{／施設定期検査}$ と比較して十分小さい値となった。また，R H R 運転中の L O C A は，R H R 系統切替時の L O C A と同様に緩和設備の待機／待機除外状態に依らず，運転員の認知失敗が炉心損傷に至る主要な要因となる。したがって，R H R 運転中の L O C A の炉心損傷頻度についても R H R 系統切替時の L O C A と比較して十分小さい値となる。

以上より，R H R 運転中の L O C A は起因事象から除外した。

停止時の L O C A の発生頻度算出方法について

停止時 P R A 起因事象で評価対象とした冷却材流出事象（R H R 系統切替時の L O C A，C U W ブロー時の L O C A，C R D 点検時の L O C A，L P R M 点検時の L O C A）の発生頻度については，実績等を用いた算出が困難であるため論理モデルにより算出している。以下にその算出方法を示す。

1. R H R 系統切替時の L O C A の発生頻度

R H R 系統切替時の L O C A として，R H R 系統切替操作時におけるミニフロー弁（F064A／B）からの冷却材流出を想定する（図 1）。R H R を原子炉停止時冷却系で運転する場合は，ミニフロー弁は閉の状態で停止時冷却ライン調整弁（F053A／B）を開として R H R ポンプを起動する。この際，停止時冷却ライン調整弁の開操作失敗により，最低流量が確保されない場合，インターロックによりミニフロー弁が自動開となり冷却材流出が発生する。よって，R H R 系統切替時の L O C A の起因事象発生頻度は，停止時冷却ライン調整弁に係る以下の人的過誤確率を用いて評価する。

- ・ 運転員の弁開操作忘れ

手順書（10 項以下）中の 1 項目を省いてしまう人的過誤確率

- ・ 管理者の開操作チェック失敗

手順書を用いて行う慣例的な点検（作業）の作業ミスを発見し
そこなう人的過誤確率を用い，これに低従属を考慮し評価

表 1 R H R 系統切替時の L O C A の発生頻度

| 項目 | 平均値 | 中央値 | 備考 |
|-------------------------------------|---------|---------|--|
| 運転員の弁開操作忘れ | — | 1.0E-03 | N U R E G / C R - 1 2 7 8 T a b l e 2 0 - 7 (1) |
| 管理者の開操作チェック失敗 | — | 1.5E-01 | N U R E G / C R - 1 2 7 8 T a b l e 2 0 - 2 2 (1) の人 的過誤確率 0.1 に低従属を考慮 |
| R H R 系統切替 1 回 当たりの冷却材流出 発生頻度 | 2.3E-04 | — | エラーファクタ (E F) : 4.9 |

以上より，RHR 系統切替 1 回当たりの LOCA の発生頻度は $2.3\text{E-}4$ / 回となる。

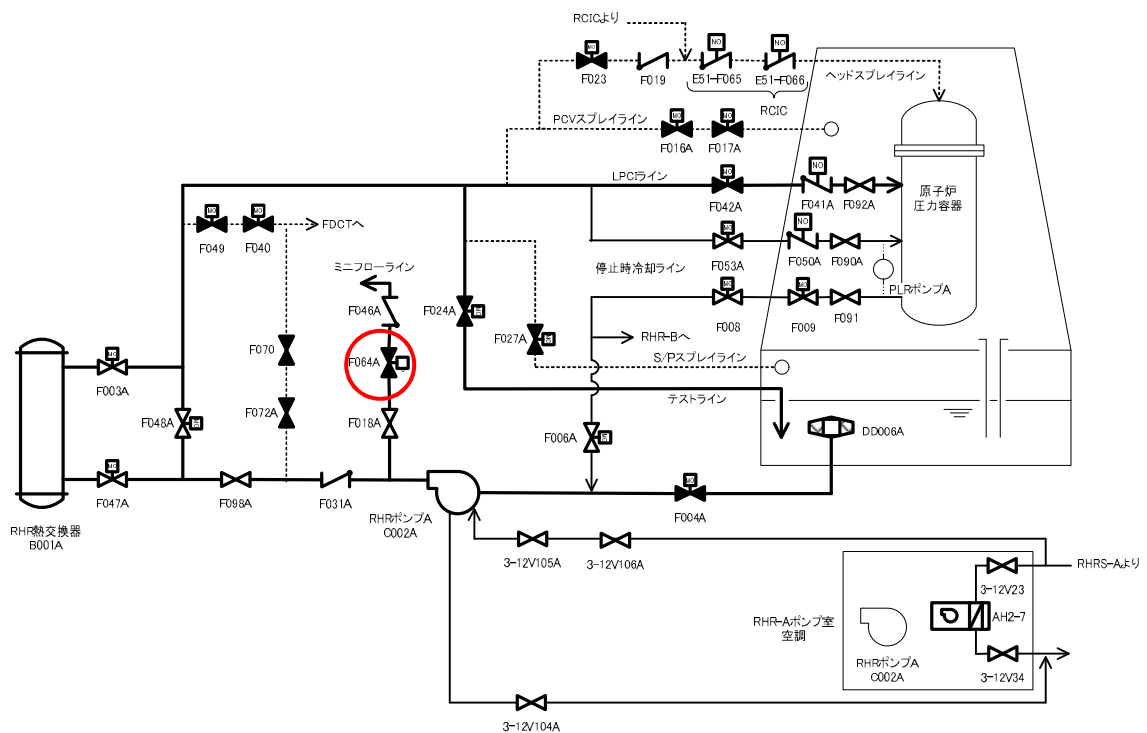


図 1 残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）－A の系統概略図

2. C U Wブロー時の L O C A の発生頻度

C U Wブロー時の L O C A として，C U Wによる水位低下操作時のC U Wブロー弁（F033）の閉め忘れを想定する（図 2）。起因事象発生頻度は，以下に示す人的過誤確率を用いて評価する。

- ・ 運転員の弁の閉操作忘れ

C U Wブローは厳重な管理の下で実施される作業であり，その作業過誤は，表 3 に示す「厳重な管理の下にある機器復旧に対する過誤」に分類されるが，弁閉止操作はブロー開始から時間が経過した後で実施される作業のため，保守的に「機器組立／計器校正に対する過誤」の人的過誤確率を使用して評価

- ・ 管理者の閉操作チェック失敗

日常的なものではなく，特に要求された点検（作業）の作業ミスを発見し損なう人的過誤確率を用い，これに低従属を考慮して評価

表 2 C U Wブロー時の L O C A の発生頻度

| 項目 | 平均値 | 中央値 | 備考 |
|------------------------|---------|---------|---|
| 運転員の弁の閉操作忘れ | — | 1.0E-04 | 機器組立／計器校正に対する過誤確率 |
| 管理者の閉操作チェック失敗 | — | 9.8E-02 | N U R E G / C R - 1 2 7 8 T a b l e 2 0 - 2 2 (1) の人的過誤確率 0.05 に低従属を考慮 |
| ブロー操作 1 回当たりの冷却材流出発生頻度 | 9.7E-05 | — | エラーファクタ（E F）：33.9 |

以上より，C U Wブロー1 回当たりの L O C A の発生頻度は 9.7E-5／回となる。

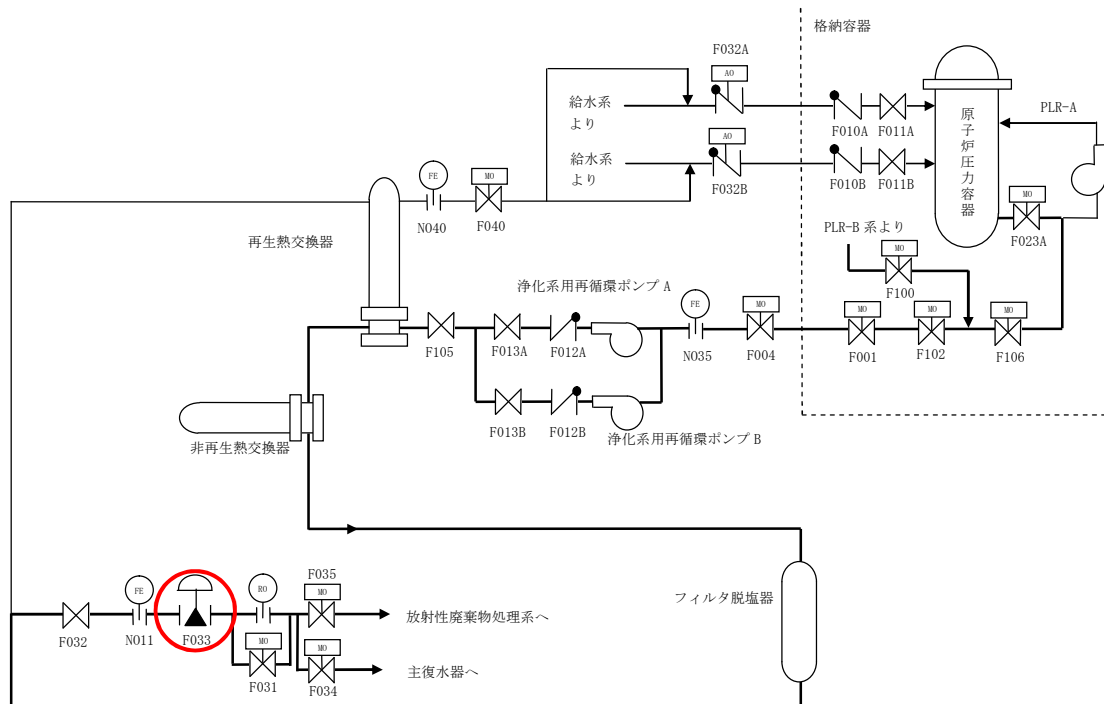


図 2 C U W 系統概略図

3. C R D 点検時の L O C A の発生頻度

C R D 点検時の L O C A の発生頻度は、以下の人的過誤を考慮したイベントツリーを作成し、人的過誤確率を分岐確率として与えて評価する。

a. C R D 取り外し時

- ・制御棒によるシール確保失敗
- ・シール確保失敗時の漏えい認知失敗
- ・漏えい認知成功時の復旧失敗

b. C R D 取り外し状態

- ・オペフロ側の操作誤りによる当該 C R の誤取り外し

c. C R D 取り付け時

- ・フランジ取り付け忘れ

- ・フランジ取り付け忘れ時のオペフロ側の操作誤りによる当該
C R の誤取外し
- ・フランジ取り付け不十分

d. C R D 取り付け完了時

- ・フランジ取り付けが不十分な場合の漏えい認知失敗
- ・漏えい認知成功時の復旧失敗

C R D 取り外し状態において、当該C R を誤って取り外す（オペフロ側操作誤り）場合等、C R とC R D を同時に取り外した時に漏えい量は大規模となる。それ以外の場合の漏えい量は小規模となる。

これらの冷却材流出流量の違いにより緩和設備の成功基準が異なるため、大規模漏えいと小規模漏えいを区別して評価する。C R D 点検時のL O C Aの発生頻度を算出するためのイベントツリーを図 3 に示す。

図 3 より、C R D 点検時のL O C Aの 1 本当たりの発生頻度は
1.1E-6／本（小規模：1.1E-06／本，大規模：7.1E-09／本）となる。

| CRD点検 | CRD取外し | | | CRD取外し状態 | CRD取り付け時 | | | CRD取り付け完了時 | | No | 状態 | 発生頻度 (／本) | 備考 |
|-------|-------------|-------------|------|---------------|----------------|---------------|-----------------|-------------|------|----|---------|--------------------|------------|
| | シール確保 失敗 | 漏えい認知 失敗 | 復旧失敗 | オペフロ側 操作誤り | フランジ 取り付け忘れ | オペフロ側 操作誤り | フランジ取り 付け不十分 | 漏えい 認知失敗 | 復旧失敗 | | | | |
| | | | | | | | | | | 1 | － | 7.1E-08 7.1E-07 | 小規模 小規模 |
| | | | | | | | | | | 2 | － | | |
| | | | | | | | | | | 3 | 漏えい | | |
| | | | | | | | | | | 4 | 漏えい | 7.1E-09 1.0E-20 | 大規模 大規模 |
| | | | | | | | | | | 5 | － | | |
| | | | | | | | | | | 6 | 漏えい | | |
| | | | | | | | | | | 7 | 漏えい | 7.1E-12 7.1E-11 | 小規模 小規模 |
| | | | | | | | | | | 8 | － | | |
| | | | | | | | | | | 9 | － | | |
| | | | | | | | | | | 10 | 漏えい | 7.1E-13 1.0E-24 | 大規模 大規模 |
| | | | | | | | | | | 11 | 漏えい | | |
| | | | | | | | | | | 12 | － | | |
| | | | | | | | | | | 13 | 漏えい | 2.7E-08 2.7E-07 | 小規模 小規模 |
| | | | | | | | | | | 14 | 漏えい | | |
| | | | | | | | | | | 15 | 漏えい | | |
| | | | | | | | | | | 16 | 漏えい | | |
| | | | | | | | | | | 合計 | 1.1E-06 | | |

図 3 C R D 点検時のL O C A発生頻度算出用イベントツリー

4. L P R M点検時の L O C Aの発生頻度

L P R M点検時の L O C Aの発生頻度は，以下の人的過誤を考慮したイベントツリーを作成し，人的過誤確率を分岐確率として与えて評価する。

a. L P R M取り外し時

- ・ドライチューブシール確保失敗
- ・ドライチューブシール確保失敗時の漏えい認知失敗

b. ドレンライン取り付け失敗

c. L P R M装荷時

- ・ドライチューブシール確保失敗
- ・ドライチューブシール確保失敗時の漏えい認知失敗

d. オペフロ側操作誤り

L P R M点検時の L O C Aの発生頻度を算出するためのイベントツリーを図4に示す。

図4より，L P R M点検時の L O C Aの1本当たりの発生頻度は $5.4\text{E-}7$ ／本となる。

| L P R M交換 | L P R M取外し | | ドレンライ ン 取り 付け | L P R M装荷 | | オペフロ側 操作誤り | No | 状態 | 発生頻度 (／本) |
|-----------|----------------------|--------------|---------------------|----------------------|--------------|---------------|----|-----|--------------|
| | ドライ チューブ シール確保 | シール 漏えい認知 | | ドライ チューブ シール確保 | シール 漏えい認知 | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | |
| | | | | | | | 2 | － | |
| | | | | | | | 3 | 漏えい | 2.7E-07 |
| | | | | | | | 4 | － | |
| | | | | | | | 5 | 漏えい | 7.1E-09 |
| | | | | | | | 6 | － | |
| | | | | | | | 7 | － | |
| | | | | | | | 8 | 漏えい | 2.7E-11 |
| | | | | | | | 9 | － | |
| | | | | | | | 10 | 漏えい | 7.1E-13 |
| | | | | | | | 11 | 漏えい | 2.7E-07 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 合計 | 5.4E-07 |

図4 L P R M点検時の L O C A発生頻度算出用イベントツリー

5. L O C A の発生頻度算出に使用する人的過誤

L O C A の発生頻度算出に使用する人的過誤の考え方及び人的過誤確率を表 3 に示す。

冷却材流出の発生頻度算出に使用する人的過誤は、定検時の作業員の点検・検査時に特徴的な過誤で、実績データは少ない。このため、現在までの経験や知見を工学的に判断し、作業員の過誤確率を設定した。

表3 LOC Aの発生頻度算出に使用する人的過誤の考え方及び人的過誤確率

| 人的過誤 No | 人的過誤の 項目 | 人的過誤の特徴 | 人的過誤確率[／d] | | | | | | 適用例 |
|--|----------------------|--|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--|
| | | | 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 10 ⁻³ | 10 ⁻⁴ | 10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁶ | |
| 1 | 安全措置／安全対策に対する過誤 | 故障や誤操作との組合せでトラブルに至るために、過誤が抽出されにくい。 | <div><div><div>A</div><div>M</div></div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> <div>M : 1.0E-02 A : 2.7E-02 E F : 10</div> | | | | | | M C C 電源の遮断失敗 電動弁のラインナップ失敗 |
| 2 | 点検／確認／試験に対する過誤 | トラブルの抽出を念頭に実施される作業であるために、過誤が見逃される可能性がある。 | <div><div><div>A</div><div>M</div></div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> <div>M : 1.0E-03 A : 2.7E-03 E F : 10</div> | | | | | | 機器漏えいの認知失敗 漏えい試験の確認失敗 |
| 3 | 機器組立／計器構成に対する過誤 | 系統や機器の機能回復に係るために、過誤は発生しにくい。 | <div>M : 1.0E-04 A : 2.7E-04 E F : 10</div> <div><div><div>A</div><div>M</div></div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | | | | | | 隔離弁の復旧失敗 流出部の隔離失敗 安全弁の設定ミス |
| 4 | 厳重な管理の下にある機器復旧に対する過誤 | 復旧作業の失敗が直接過大なトラブルに至るために、過誤が発生しないよう十分注意されている。 | <div>M : 1.0E-05 A : 2.7E-05 E F : 10</div> <div><div><div>A</div><div>M</div></div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | | | | | | 隔離弁の開閉操作忘れ リフトの復旧忘れ ポンプの復旧失敗 C R D／L P R Mの復旧失敗 |
| M : メディアン値 A : 平均値 E F : エラーファクタ | | | | | | | | | |

停止時の L O C A 発生頻度算出時の人的過誤の設定について

停止時の L O C A 発生頻度算出において対象となる人的過誤の確率については，T H E R P 手法（N U R E G / C R - 1 2 7 8）を参考にして以下のとおり設定した。

(1) 対象となる人的過誤の分類

停止時の L O C A 発生頻度算出において対象となる人的過誤を，人的過誤の特徴により以下の 4 つに分類した。

a．安全措置／安全対策に対する過誤

当該作業の失敗のみではトラブルに至らない作業における過誤であり，下記の b．～ d．に比べて過誤が見逃される可能性が高いと考えられる。

例：M C C 電源の遮断失敗，電動弁のラインナップ失敗

b．点検／確認／試験に対する過誤

トラブルや不具合を確認する作業における過誤であり，下記の c．及び d．に比べて過誤が見逃される可能性が高いと考えられる。

例：機器漏えいの認知失敗，漏えい試験の確認失敗

c．機器組立／計器校正に対する過誤

系統や機器の機能回復を確認する作業における過誤であり，上記の a．及び b．に比べて機器の状態確認が注意深く行われる。

例：隔離弁の復旧失敗，安全弁の設定ミス

d．厳重な管理下における機器復旧に対する過誤

復旧作業の失敗が直接過大なトラブルに至る作業における過誤であり、厳重に管理されている。

例：隔離弁の開閉操作忘れ，リフトの復旧忘れ，ポンプの復旧失敗，C R D / L P R M の復旧失敗

(2) 人的過誤確率の設定

a. 厳重な管理下における機器復旧に対する人的過誤確率

人的過誤が直接トラブルに至る作業での(1) d. 「厳重な管理下における機器復旧に対する過誤」に対して，T H E R P 手法を参考とし，表 1 に示すとおり人的過誤確率を設定した。

作業者の人的過誤確率については，(1) d. の作業は厳重な管理体制とした上での作業となるため，N U R E G / C R - 1 2 7 8 の Table20-6 (表 3) における(2)「特別な定期的なチェック又は検査機能を開始した状態」の人的過誤確率 1×10^{-3} を適用した。

チェック者による作業者のミスの検出失敗確率については，N U R E G / C R - 1 2 7 8 の Table20-22 (表 4) における(4)「計器による測定等の，積極的な関与を伴うチェック」のチェック者のミス検出失敗確率 1×10^{-2} を適用した。

b. その他の人的過誤確率

(1) a. ～ c. については，(1) d. で厳重な管理がなされるとして設定した表 3 における(2)の人的過誤確率 1×10^{-3} に対して，表 3 における(1)「定期的な試験や点検を実施する場合」の人的過誤確率 1×10^{-2} が 1 桁高くなっていることを参考に，それぞれ 1 桁ずつ高い人的過誤確率を設定した。

c. エラーファクタ

エラーファクタについては，これらの人的過誤確率の持つ不確実性を考慮し，10を設定した。

上記のとおり評価した結果を表2に示す。

表1 厳重な管理下における機器復旧に対する過誤

| No | 項目 | 中央値 | 備考 |
|----|------------------------|---------------------------------|--|
| a | 特別な管理方法における作業者の人的過誤 | 1.0×10^{-3} (a) | 表3における(2)「特別な定期的なチェック又は検査機能を開始した状態」の人的過誤確率を設定 |
| b | チェック者による作業者のミスの検出失敗 | 1.0×10^{-2} (b) | 表4における(4)「計器による測定等の，積極的な関与を伴うチェック」のチェック者のミス検出失敗確率を設定 |
| c | 厳重な管理下における機器復旧に対する過誤確率 | 1.0×10^{-5} (a × b) | a及びbより算出 |

表2 停止時のLOCA時に適用する人的過誤

| No. | 人的過誤の項目 | 人的過誤の特徴 | 中央値 | E F | 適用例 |
|-----|----------------------|---|----------------------|-----|--|
| a | 安全措置／安全対策に対する過誤 | 当該作業の失敗のみではトラブルに至らない作業における過誤であり，下記のb．～d．に比べて過誤が見逃される可能性が高いと考えられる。 | 1.0×10^{-2} | 10 | M C C 電源の遮断失敗 電動弁のラインナップ失敗 |
| b | 点検／確認／試験に対する過誤 | トラブルや不具合を確認する作業における過誤であり，下記のc．及びd．に比べて過誤が見逃される可能性が高いと考えられる。 | 1.0×10^{-3} | 10 | 機器漏えいの認知失敗 漏えい試験の確認失敗 |
| c | 機器組立／計器校正に対する過誤 | 系統や機器の機能回復を確認する作業における過誤であり，上記のa．及びb．に比べて機器の状態確認が注意深く行われる。 | 1.0×10^{-4} | 10 | 隔離弁の復旧失敗 安全弁の設定ミス |
| d | 厳重な管理下における機器復旧に対する過誤 | 復旧作業の失敗が直接過大なトラブルに至る作業における過誤であり，厳重に管理されている。 | 1.0×10^{-5} | 10 | 隔離弁の開閉操作忘れ リフトの復旧忘れ ポンプの復旧失敗 C R D／L P R Mの復旧失敗 |

表 3 NUREG/CR-1278 Table20-6

Table 20-6 Estimated HEPs related to failure of administrative control (from Table 16-1)

| Item | Task | HEP | EF |
|------|---|------|----|
| (1) | Carry out a plant policy or scheduled tasks such as periodic tests or maintenance performed weekly, monthly, or at longer intervals | .01 | 5 |
| (2) | Initiate a scheduled shiftly checking or inspection function* | .001 | 3 |
| | Use written operations procedures under | | |
| (3) | normal operating conditions | .01 | 3 |
| (4) | abnormal operating conditions | .005 | 10 |
| (5) | Use a valve change or restoration list | .01 | 3 |
| (6) | Use written test or calibration procedures | .05 | 5 |
| (7) | Use written maintenance procedures | .3 | 5 |
| (8) | Use a checklist properly** | .5 | 5 |

* Assumptions for the periodicity and type of control room scans are discussed in Chapter 11 in the section, "A General Display Scanning Model." Assumptions for the periodicity of the basic walk-around inspection are discussed in Chapter 19 in the section, "Basic Walk-Around Inspection."

** Read a single item, perform the task, check off the item on the list. For any item in which a display reading or other entry must be written, assume correct use of the checklist for that item.

表 4 NUREG/CR-1278 Table20-22

Table 20-22 Estimated probabilities that a checker will fail to detect errors made by others* (from Table 19-1)

| Item | Checking Operation | HEP | EP |
|------|---|----------------------|----|
| (1) | Checking routine tasks, checker using written materials (includes over-the-shoulder inspections, verifying position of locally operated valves, switches, circuit breakers, connectors, etc., and checking written lists, tags, or procedures for accuracy) | .1 | 5 |
| (2) | Same as above, but without written materials | .2 | 5 |
| (3) | Special short-term, one-of-a-kind checking with alerting factors | .05 | 5 |
| (4) | Checking that involves active participation, such as special measurements | .01 | 5 |
| | Given that the position of a locally operated valve is checked (item 1 above), noticing that it is not completely opened or closed: | .5 | 5 |
| (5) | Position indicator** only | .1 | 5 |
| (6) | Position indicator** and a rising stem | .5 | 5 |
| (7) | Neither a position indicator** nor a rising stem | .9 | 5 |
| (8) | Checking by reader/checker of the task performer in a two-man team, or checking by a <u>second</u> checker, routine task (no credit for more than 2 checkers) | .5 | 5 |
| (9) | Checking the status of equipment if that status affects one's safety when performing his tasks | .001 | 5 |
| (10) | An operator checks change or restoration tasks performed by a maintainer | Above HEPs + 2 | 5 |

* This table applies to cases during normal operating conditions in which a person is directed to check the work performed by others either as the work is being performed or after its completion.

** A position indicator incorporates a scale that indicates the position of the valve relative to a fully opened or fully closed position. A rising stem qualifies as a position indicator if there is a scale associated with it.

炉心損傷条件について

1. 炉心損傷の判定条件及び評価条件

(1) 炉心損傷の判定条件

本評価では炉心損傷の判定条件を次のとおり設定した。

- ・炉心燃料の燃料有効長頂部（T A F）が露出した状態

(2) 炉心損傷までの余裕時間評価における評価条件

炉心損傷の判定条件となる T A F の露出までの余裕時間は、保有水量や崩壊熱に依存する。P O S ごとの評価条件について、表 1 に示す。

表 1 炉心損傷判定の評価条件

| P O S | 原子炉水位 | プールゲート | 保有水量 | 評価対象燃料 | 崩壊熱を考慮する燃料 |
|-------------------------------------|----------|--------|------|--------|--------------------------------|
| P O S - S , A , C 1 , C 2 , D | 原子炉通常水位 | 閉 | | 炉心燃料 | 炉心燃料 |
| P O S - B 1 ～ B 6 | 原子炉ウェル満水 | 開 | | 炉心燃料 | 炉心燃料 + S F P 内の 使用済燃料 |

2. 冷却材の保有水量

1. の評価条件における保有水量は、以下のとおり設定した。なお、保有水量の設定に使用した保有水量のエリア分割の概要は図 1 に示すとおりである。

(1) 原子炉通常水位（P O S - S , A , C 1 , C 2 , D）

通常水位の場合の保有水量は、原子炉圧力容器底部から原子炉通常水位までの水量（a+b+c）とした。また、崩壊熱により蒸発する水量は T A F から通常水位までの水量（c）を考慮した。

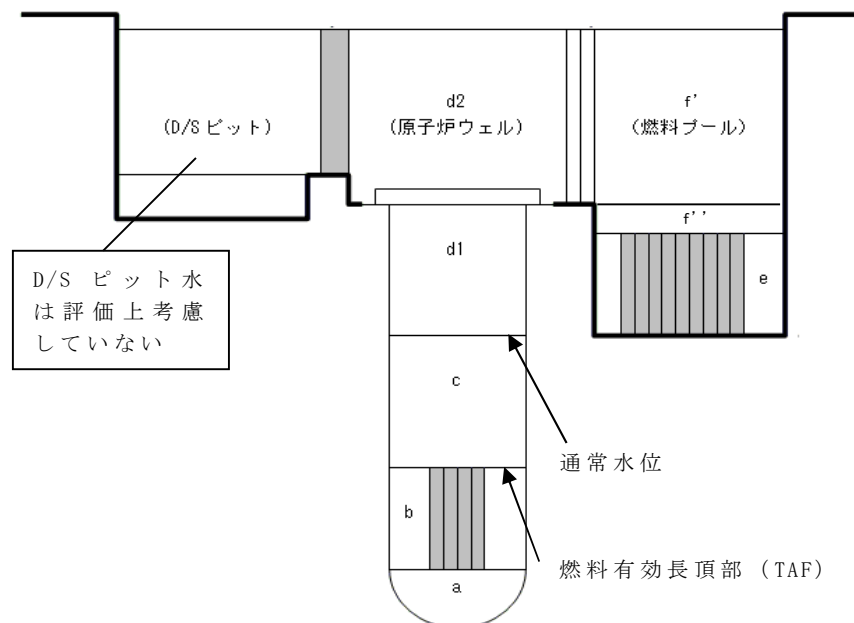
(2) 原子炉ウェル満水（P O S－B 1～B 6）

原子炉ウェル満水時の場合の保有水量は，原子炉圧力容器底部から原子炉ウェル満水までの水量（a+b+c+d1+d2）とした。また，崩壊熱により蒸発する水量はT A Fから原子炉ウェル満水までの水量（c+d1+d2）を考慮した。

上記の水量の設定は，評価対象を炉心又はS F Pいずれの燃料とした場合にも，表2に示すとおり保守的な条件となっている。

表2 設定した保有水量

| 原子炉 水位 | ブール ゲート | 評価に使用する 水量の範囲 | 評価に使用する水量 | | 現実的な水量 | |
|------------------|------------|---------------------|-----------|------------------|-------------|------------------|
| | | | 対象 燃料 | 保有水量 （保有水エリア） | 対象 燃料 | 保有水量 （保有水エリア） |
| 通常 水位 | 閉 | 崩壊熱により水温が上昇する範囲 | 炉心 | | 炉心 | |
| | | 崩壊熱により冷却材が蒸発・流出する範囲 | 炉心 | | 炉心 | |
| 原子炉 ウェル 満水 | 開 | 崩壊熱により水温が上昇する範囲 | 炉心 | | 炉心 S F P | |
| | | 崩壊熱により冷却材が蒸発・流出する範囲 | 炉心 | | 炉心 | |
| | | | | | S F P | |



| エリア分割保有水量 | | 水量 (m ³) |
|-----------|---------------------------|----------------------|
| エリア | | |
| a | 原子炉圧力容器底部から燃料有効長底部まで | |
| b | 燃料有効長底部から燃料有効長頂部まで | |
| c | 燃料有効長頂部から通常水位まで | |
| d1 | 通常水位から原子炉圧力容器フランジまで | |
| d2 | 原子炉圧力容器フランジから原子炉ウェル満水水位まで | |
| e | 燃料プール底部から燃料有効長頂部まで | |
| f' | 燃料有効長頂部から燃料プール通常水位まで | |
| f' , | | |

図 1 保有水のエリア分割概要図

崩壊熱除去機能喪失時の緩和操作のための余裕時間評価の
前提条件について

崩壊熱除去機能喪失時の緩和操作のための余裕時間は、炉心及び使用済燃料プールで発生する崩壊熱及び冷却材の保有水量を基に評価している。余裕時間評価の前提条件を以下に示す。

(1) 崩壊熱

炉心及び使用済燃料プールで発生する崩壊熱は、「原子力発電所の停止状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2010」指定の May-Witt の式を使用し評価した。各 P O S における崩壊熱は、各 P O S の開始時点を代表時間として評価し、P O S 期間中における崩壊熱の減衰は考慮していない。各 P O S の代表時間における崩壊熱の評価結果を表 1 に示す。また、崩壊熱の評価においては、炉心及び使用済燃料プール内の燃料を以下のとおり想定している。

a. 炉心

炉心の燃料 764 体（100%炉心）は、通常 1 回の定検で約 20～25%炉心の燃料が交換され、発電機解列時点では照射時間約 1 年～4 年の燃料がそれぞれ約 20～25%炉心ずつ装荷されているが、本 P R A では、保守的に全ての炉心燃料の照射時間を 4 年としている。また、燃料取替による照射燃料の燃料プールへの取出し及び新燃料の装荷は考慮していない。

b. 使用済燃料プール

使用済燃料プールの使用済燃料貯蔵容量は 295%炉心（2250 体）

である。本 P R A では、1 炉心分の燃料を除いた 195% 炉心分の燃料が使用済燃料プールに保管されているものとしている。また、施設定期検査ごとに約 20～25% 炉心分の燃料が交換されることを考慮し、使用済燃料プールには冷却期間の異なる 25% 炉心ずつの使用済燃料（照射時間 4 年）が保管されているとする（冷却期間 1 年～7 年：各 25% 炉心、冷却期間 8 年：20% 炉心）。

(2) 冷却材初期温度

冷却材の初期水温は、燃料交換作業や原子炉周りの機器の保守が行える最高温度である 52℃としている。

(3) 冷却材の保有水量

冷却材の保有水量は、添付資料 3.1.2.3-1 に示すとおりである。

表 1 各 P O S の代表時間における崩壊熱

| P O S | 崩壊熱評価の 代表時間 | 崩壊熱 (MW) |
|-------|----------------|-------------|
| S | 6 時間後 | 30.5 |
| A | 1 日後 | 20.8 |
| B 1 | 3 日後 | 14.4 |
| B 2 | 8 日後 | 8.9 |
| B 3 | 11 日後 | 7.7 |
| B 4 | 25 日後 | 5.6 |
| B 5 | 33 日後 | 5.0 |
| B 6 | 45 日後 | 4.5 |
| C 1 | 58 日後 | 3.3 |
| C 2 | 66 日後 | 3.1 |
| D | 75 日後 | 2.9 |

LOCAにおける余裕時間の評価について

本PRAでは、冷却材流出に係る起因事象としてRHR系統切替時のLOCA、CUWブロー時のLOCA、CRD点検時のLOCA及びLPRM点検時のLOCAを選定している。このうち、CRD点検時のLOCA及びLPRM点検時のLOCAについては、現場作業に伴う人的過誤により発生する事象であるため、作業員が冷却材流出の認知に失敗することは想定し難いことから、認知失敗を評価するための余裕時間は設定していない。

RHR系統切替時のLOCA及びCUWブロー時のLOCA各事象における余裕時間を表1に示す。停止時のLOCAにおける余裕時間は、冷却材の流出流量及び保有水量から、炉心内の燃料が露出するまでの時間としている。

表1より、原子炉水位が通常水位の場合のRHR系統切替時のLOCA及びCUWブロー時のLOCAについては、燃料が露出するまでの時間は3.5時間あることから、緩和設備作動までの余裕時間を3時間としている。

また、原子炉水位がウェル満水の場合のRHR系統切替時のLOCAについては、原子炉ウェル満水状態では保有水量が多いため、燃料露出までの時間は22.7時間と長い。このため、冷却材流出の認知に失敗することは想像し難いことから、認知失敗を評価するための余裕時間は設定していない。

表 1 冷却材流出時の燃料露出までの時間

| 起 因 事 象 | T A F ま での保有水量 (m^3) | 冷却材流出 流量 (m^3/h) | 燃料露出ま での時間 (h) | 備 考 |
|------------------------------|------------------------------------|--|----------------------|----------|
| R H R 系 統 切 替 時 の L O C A | | | 3.5 | 通常水位 |
| | | | 22.7 | 原子炉ウエル満水 |
| C U W ブ ロ ー 時 の L O C A | | | 3.5 | 通常水位 |

炉心損傷防止に必要な安全機能の考え方について

(1) 炉心損傷の判定条件

本 P R A では、炉心損傷の判定条件を次のとおり設定している。

- ・炉心燃料の燃料有効長頂部（T A F）が露出した状態

(2) 炉心損傷防止に必要な安全機能

各起因事象において炉心損傷防止に必要な安全機能は以下のとおりである。

a. 崩壊熱除去失敗（残留熱除去系の故障及び外部電源喪失）

崩壊熱除去失敗に係る起因事象に対して、炉心損傷防止に必要な安全機能を表 1 に示す。

表 1 炉心損傷防止に必要な安全機能（崩壊熱除去失敗）

| P O S | S | A | B | C | D |
|-------------|--------------|----------------------------|------|----------------------------|--------------------------------|
| R P V の状態 | 閉鎖 | 閉鎖～開放 | 開放 | 開放～閉鎖 | 閉鎖 |
| P C V の状態 | 開放 | 開放 | 開放 | 開放※ ¹ | 閉鎖 |
| 必要な 安全機能 | 除熱機能 | 除熱機能 | 除熱機能 | 除熱機能 | 除熱機能 |
| | 注水機能 減圧機能 | 注水機能 減圧機能※ ² | 注水機能 | 注水機能 減圧機能※ ² | 注水機能 減圧機能 P C V 除熱 機能 |

※1 格納容器漏えい率検査のため、P C V は一時的に閉鎖されるが、この期間は短期間であり、崩壊熱量も小さいため、P C V 開放状態で代表させた。

※2 R P V が閉鎖されている期間のみ。

R P V が閉鎖されている状態（P O S－S，P O S－A，P O S－C 及び P O S－D）においては、崩壊熱除去失敗時に冷却材温度が 100℃ に到達後、水蒸気により R P V が加圧されると、原子炉減圧が必要となる。

原子炉減圧に失敗する要因として、SRVの機械的故障と運転員によるSRV開操作失敗があるが、SRVの機械的故障については18弁の全弁が作動に失敗する確率は無視できるほど小さい。また、原子炉水位がTAFに到達するまでの余裕時間が出力運転時に比べて十分長い（POS-Sの大気圧条件におけるTAF到達までの余裕時間は3.9時間）ことを踏まえると、運転員によるSRV開操作失敗確率は十分小さい。

そのため、本PRAでは、RPVが閉鎖されている期間においても、減圧機能はモデル化していない。

また、PCVが閉鎖されている状態（POS-D）においては、崩壊熱除去失敗時にSRVを介してS/Cに流入した蒸気によりS/P温度が上昇する。

しかし、POS-Dでは崩壊熱が停止直後の1/10以下まで低下しており、S/P水温の上昇が緩やかであるため、除熱操作までの時間余裕は十分長いことから、運転員による操作失敗確率は十分小さい。

そのため、本PRAではPCVが閉鎖されている期間においても、PCV除熱機能はモデル化していない。

以上より、崩壊熱除去失敗時の炉心損傷防止に必要な安全機能として、除熱機能又は注水機能のみをモデル化している。

b. 原子炉冷却材の流出

原子炉冷却材喪失に係る起因事象に対して、炉心損傷防止に必要な安全機能を表2に示す。

表 2 炉心損傷防止に必要な安全機能（原子炉冷却材喪失）

| P O S | S | A | B | C | D |
|-------------|------|-------|------|------------------|--------------|
| R P V の状態 | 閉鎖 | 閉鎖～開放 | 開放 | 開放～閉鎖 | 閉鎖 |
| P C V の状態 | 開放 | 開放 | 開放 | 開放※ ¹ | 閉鎖 |
| 必要な 安全機能 | 注水機能 | 注水機能 | 注水機能 | 注水機能 | 注水機能 除熱機能 |

※1 格納容器漏えい率検査のため、P C Vは一時的に閉鎖されるが、この期間は短期間であり、崩壊熱量も小さいため、P C V開放状態で代表させた。

プラント停止期間においては、原子炉冷却材の圧力・温度は低いため、P C Vが閉鎖されている期間においても、原子炉冷却材の流出によるP C V圧力・温度の上昇は限定的である。そのため、本P R Aでは原子炉冷却材流出時の炉心損傷防止に必要な安全機能として、注水機能のみをモデル化している。

内部事象停止時レベル1 P R A

イベントツリー集

目 次

1. RHR 喪失に対するイベントツリー

- 図 1-1 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-S)
- 図 1-2 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-A)
- 図 1-3 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-B 1)
- 図 1-4 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-B 2)
- 図 1-5 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-B 3)
- 図 1-6 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-B 4)
- 図 1-7 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-B 5)
- 図 1-8 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-B 6)
- 図 1-9 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-C 1)
- 図 1-10 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-C 2)
- 図 1-11 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-D)

2. RHR S 喪失に対するイベントツリー

- 図 2-1 RHR S 喪失に対するイベントツリー (POS-S)
- 図 2-2 RHR S 喪失に対するイベントツリー (POS-A)
- 図 2-3 RHR S 喪失に対するイベントツリー (POS-B 1)
- 図 2-4 RHR S 喪失に対するイベントツリー (POS-B 2)
- 図 2-5 RHR S 喪失に対するイベントツリー (POS-B 3)
- 図 2-6 RHR S 喪失に対するイベントツリー (POS-B 4)
- 図 2-7 RHR S 喪失に対するイベントツリー (POS-B 5)
- 図 2-8 RHR S 喪失に対するイベントツリー (POS-B 6)

図 2-9 R H R S 喪失に対するイベントツリー (P O S - C 1)

図 2-10 R H R S 喪失に対するイベントツリー (P O S - C 2)

図 2-11 R H R S 喪失に対するイベントツリー (P O S - D)

3. 外部電源喪失に対するイベントツリー

3.1 外部電源喪失に対するイベントツリー (P O S - S)

図 3.1-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (P O S - S)

図 3.1-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (P O S - S (D G - 2
C, 2 D 確保))

図 3.1-3 外部電源喪失に対するイベントツリー (P O S - S (D G - 2
C 確保, 2 D 失敗))

図 3.1-4 外部電源喪失に対するイベントツリー (P O S - S (D G - 2
C 失敗, 2 D 確保))

図 3.1-5 外部電源喪失に対するイベントツリー (P O S - S (D G - 2
C, 2 D 失敗))

図 3.1-6 外部電源喪失に対するイベントツリー (P O S - S (直流電源
喪失))

3.2 外部電源喪失に対するイベントツリー (P O S - A)

図 3.2-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (P O S - A)

図 3.2-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (P O S - A (D G - 2
C, 2 D 確保))

図 3.2-3 外部電源喪失に対するイベントツリー (P O S - A (D G - 2
C 確保, 2 D 失敗))

図 3.2-4 外部電源喪失に対するイベントツリー (P O S - A (D G - 2
C 失敗, 2 D 確保))

図 3.2-5 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-A (DG-2 C, 2D 失敗))

図 3.2-6 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-A (直流電源喪失))

3.3 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B1)

図 3.3-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B1)

図 3.3-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B1 (DG-2 C, 2D 確保))

図 3.3-3 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B1 (DG-2 C 確保, 2D 失敗))

図 3.3-4 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B1 (DG-2 C 失敗, 2D 確保))

図 3.3-5 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B1 (DG-2 C, 2D 失敗))

図 3.3-6 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B1 (直流電源喪失))

3.4 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B2)

図 3.4-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B2)

図 3.4-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B2 (DG-2 C, 2D 確保))

図 3.4-3 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B2 (DG-2 C 確保, 2D 失敗))

図 3.4-4 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B2 (DG-2 C 失敗, 2D 確保))

図 3.4-5 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B2 (DG-

2 C, 2 D 失敗))

図 3.4-6 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 2 (直流電源喪失))

3.5 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 3)

図 3.5-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 3)

図 3.5-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 3 (DG-2 C, 2 D 確保))

図 3.5-3 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 3 (DG-2 C 確保, 2 D 失敗))

図 3.5-4 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 3 (DG-2 C 失敗, 2 D 確保))

図 3.5-5 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 3 (DG-2 C, 2 D 失敗))

図 3.5-6 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 3 (直流電源喪失))

3.6 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 4)

図 3.6-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 4)

図 3.6-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 4 (DG-2 C, 2 D 確保))

図 3.6-3 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 4 (DG-2 C 確保, 2 D 失敗))

図 3.6-4 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 4 (DG-2 C 失敗, 2 D 確保))

図 3.6-5 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 4 (DG-2 C, 2 D 失敗))

図 3.6-6 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 4 (直流電源喪失))

3.7 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 5)

図 3.7-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 5)

図 3.7-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 5 (DG-2 C, 2 D 確保))

図 3.7-3 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 5 (DG-2 C 確保, 2 D 失敗))

図 3.7-4 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 5 (DG-2 C 失敗, 2 D 確保))

図 3.7-5 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 5 (DG-2 C, 2 D 失敗))

図 3.7-6 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 5 (直流電源喪失))

3.8 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 6)

図 3.8-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 6)

図 3.8-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 6 (DG-2 C, 2 D 確保))

図 3.8-3 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 6 (DG-2 C 確保, 2 D 失敗))

図 3.8-4 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 6 (DG-2 C 失敗, 2 D 確保))

図 3.8-5 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 6 (DG-2 C, 2 D 失敗))

図 3.8-6 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B 6 (直流電

源喪失))

3.9 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C1)

図 3.9-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C1)

図 3.9-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C1 (DG-2C, 2D確保))

図 3.9-3 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C1 (DG-2C確保, 2D失敗))

図 3.9-4 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C1 (DG-2C失敗, 2D確保))

図 3.9-5 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C1 (DG-2C, 2D失敗))

図 3.9-6 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C1 (直流電源喪失))

3.10 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C2)

図 3.10-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C2)

図 3.10-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C2 (DG-2C, 2D確保))

図 3.10-3 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C2 (DG-2C確保, 2D失敗))

図 3.10-4 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C2 (DG-2C失敗, 2D確保))

図 3.10-5 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C2 (DG-2C, 2D失敗))

図 3.10-6 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C2 (直流電源喪失))

3.11 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-D)

図 3.11-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-D)

図 3.11-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-D (DG-2C, 2D確保))

図 3.11-3 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-D (DG-2C確保, 2D失敗))

図 3.11-4 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-D (DG-2C失敗, 2D確保))

図 3.11-5 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-D (DG-2C, 2D失敗))

図 3.11-6 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-D (直流電源喪失))

4. 原子炉冷却材の喪失に対するイベントツリー

図 4-1 RHR系統切替時のLOCA (POS-B2)

図 4-2 RHR系統切替時のLOCA (POS-B5)

図 4-3 RHR系統切替時のLOCA (POS-C2)

図 4-4 RHR系統切替時のLOCA (POS-D)

図 4-5 CUWブロー時のLOCA (POS-C1)

図 4-6 CUWブロー時のLOCA (POS-D)

図 4-7 CRD点検時のLOCA (POS-B2)

図 4-8 LPRM点検時のLOCA (POS-B2)

| RHR喪失 (POS-S) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERH | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 5.6E-05 | |
| | | | | | | | 2 | － | 4.9E-07 | |
| | | | | | | | 3 | － | 1.8E-09 | |
| | | | | | | | 4 | － | 5.4E-12 | |
| | | | | | | | 5 | － | 2.0E-14 | |
| | | | | | | | 6 | － | 1.4E-16 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 2.1E-14 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 2.1E-14 | |

図 1-1 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-S)

| RHR喪失 (POS-A) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERH | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 1.1E-04 | |
| | | | | | | | 2 | － | 9.5E-07 | |
| | | | | | | | 3 | － | 3.5E-09 | |
| | | | | | | | 4 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 5 | － | 1.1E-11 | |
| | | | | | | | 6 | － | 7.2E-14 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 4.7E-14 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 4.7E-14 | |

図 1-2 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-A)

| RHR喪失 (POS-B1) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERH | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 2 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 4 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 5 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 6 | － | 2.8E-04 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 2.2E-07 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 2.2E-07 | |

図 1－3 RHR 喪失に対するイベントツリー（POS－B 1）

| RHR喪失 (POS-B2) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERH | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 2 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 4 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 5 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 6 | － | 1.7E-04 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 1.4E-07 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 1.4E-07 | |

図 1－4 RHR 喪失に対するイベントツリー（POS－B 2）

| RHR喪失 (POS-B3) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERH | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 2 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 4 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 5 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 6 | － | 7.9E-04 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 6.3E-07 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 6.3E-07 | |

図 1-5 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-B3)

| RHR喪失 (POS-B4) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERH | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 4.5E-04 | |
| | | | | | | | 2 | － | 3.9E-06 | |
| | | | | | | | 3 | － | 1.4E-08 | |
| | | | | | | | 4 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 5 | － | 5.2E-11 | |
| | | | | | | | 6 | － | 3.5E-13 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 2.2E-12 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 2.2E-12 | |

図 1-6 RHR 喪失に対するイベントツリー (POS-B4)

| RHR喪失 (POS-B5) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERH | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 2 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 3 | － | 6.8E-04 | |
| | | | | | | | 4 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 5 | － | 2.0E-06 | |
| | | | | | | | 6 | － | 1.4E-08 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 1.5E-11 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 1.5E-11 | |

図 1-7 RHR 喪失に対するイベントツリー（POS-B5）

| RHR喪失 (POS-B6) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERH | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 7.2E-04 | |
| | | | | | | | 2 | － | 6.3E-06 | |
| | | | | | | | 3 | － | 2.3E-08 | |
| | | | | | | | 4 | － | 7.0E-11 | |
| | | | | | | | 5 | － | 2.6E-13 | |
| | | | | | | | 6 | － | 1.8E-15 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 2.8E-13 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 2.8E-13 | |

図 1-8 RHR 喪失に対するイベントツリー（POS-B6）

| RHR喪失 (POS-C1) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERH | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 4.5E-04 | |
| | | | | | | | 2 | － | 3.9E-06 | |
| | | | | | | | 3 | － | 1.4E-08 | |
| | | | | | | | 4 | － | 4.3E-11 | |
| | | | | | | | 5 | － | 1.6E-13 | |
| | | | | | | | 6 | － | 1.1E-15 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 1.7E-13 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 1.7E-13 | |

図 1-9 RHR喪失に対するイベントツリー (POS-C1)

| RHR喪失 (POS-C2) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERH | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 2 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 3 | － | 5.1E-04 | |
| | | | | | | | 4 | － | 1.8E-06 | |
| | | | | | | | 5 | － | 5.7E-09 | |
| | | | | | | | 6 | － | 3.9E-11 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 2.2E-12 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 2.2E-12 | |

図 1-10 RHR喪失に対するイベントツリー (POS-C2)

| RHR喪失 (POS-D) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERH | RHR | LPCI | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 4.0E-04 | |
| | | | | | | | 2 | － | 3.5E-06 | |
| | | | | | | | 3 | － | 1.3E-08 | |
| | | | | | | | 4 | － | 3.9E-11 | |
| | | | | | | | 5 | － | 1.4E-13 | |
| | | | | | | | 6 | － | 9.8E-16 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 1.5E-13 | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 合計値 | 1.5E-13 | |

図 1-11 RHR喪失に対するイベントツリー（POS-D）

| RHRS喪失 (POS-S) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERS | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 7.0E-06 | |
| | | | | | | | 2 | － | 6.2E-08 | |
| | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 4 | － | 2.3E-10 | |
| | | | | | | | 5 | － | 8.4E-13 | |
| | | | | | | | 6 | － | 5.8E-15 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 3.5E-14 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 3.5E-14 | |

図 2-1 RHRS 喪失に対するイベントツリー (POS-S)

| RHRS喪失 (POS-A) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERS | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 1.4E-05 | |
| | | | | | | | 2 | － | 1.2E-07 | |
| | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 4 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 5 | － | 4.5E-10 | |
| | | | | | | | 6 | － | 3.1E-12 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 2.6E-13 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 2.6E-13 | |

図 2-2 RHRS 喪失に対するイベントツリー (POS-A)

| RHRS喪失 (POS-B1) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERS | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 2 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 4 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 5 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 6 | － | 3.5E-05 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 2.8E-08 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 2.8E-08 | |

図 2-3 RHRS 喪失に対するイベントツリー (POS-B1)

| RHRS喪失 (POS-B2) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERS | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 2 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 4 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 5 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 6 | － | 2.1E-05 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 1.7E-08 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 1.7E-08 | |

図 2-4 RHRS 喪失に対するイベントツリー (POS-B2)

| RHRS喪失 (POS-B3) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERS | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 2 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 4 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 5 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 6 | － | 9.9E-05 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 7.9E-08 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 7.9E-08 | |

図 2-5 RHRS 喪失に対するイベントツリー (POS-B3)

| RHRS喪失 (POS-B4) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERS | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 5.6E-05 | |
| | | | | | | | 2 | － | 4.9E-07 | |
| | | | | | | | 3 | － | 1.8E-09 | |
| | | | | | | | 4 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 5 | － | 6.4E-12 | |
| | | | | | | | 6 | － | 4.4E-14 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 2.8E-13 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 2.8E-13 | |

図 2-6 RHRS 喪失に対するイベントツリー (POS-B4)

| RHRS喪失 (POS-B5) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERS | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 2 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 4 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 5 | － | 8.4E-05 | |
| | | | | | | | 6 | － | 5.8E-07 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 6.3E-10 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 6.3E-10 | |

図 2-7 RHRS 喪失に対するイベントツリー (POS-B5)

| RHRS喪失 (POS-B6) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERS | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 9.1E-05 | |
| | | | | | | | 2 | － | 8.0E-07 | |
| | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 4 | － | 3.0E-09 | |
| | | | | | | | 5 | － | 1.1E-11 | |
| | | | | | | | 6 | － | 7.5E-14 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 4.6E-13 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 4.6E-13 | |

図 2-8 RHRS 喪失に対するイベントツリー (POS-B6)

| RHRS喪失 (POS-C1) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERS | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 5.6E-05 | |
| | | | | | | | 2 | － | 4.9E-07 | |
| | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 4 | － | 1.8E-09 | |
| | | | | | | | 5 | － | 6.6E-12 | |
| | | | | | | | 6 | － | 4.5E-14 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 2.8E-13 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 2.8E-13 | |

図 2-9 RHRS 喪失に対するイベントツリー (POS-C1)

| RHRS喪失 (POS-C2) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERS | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 2 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 3 | － | 6.4E-05 | |
| | | | | | | | 4 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 5 | － | 2.3E-07 | |
| | | | | | | | 6 | － | 1.6E-09 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 2.0E-12 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 2.0E-12 | |

図 2-10 RHRS 喪失に対するイベントツリー (POS-C2)

| RHRS喪失 (POS-D) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------|---------|----------|------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ERS | RHR | LPCI | LPCS | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | 1 | － | 4.9E-05 | |
| | | | | | | | 2 | － | 4.3E-07 | |
| | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 4 | － | 1.6E-09 | |
| | | | | | | | 5 | － | 5.8E-12 | |
| | | | | | | | 6 | － | 4.0E-14 | |
| | | | | | | | 7 | TW | 2.5E-13 | |
| | | | | | | | | 合計値 | 2.5E-13 | |

図 2-11 RHRS 喪失に対するイベントツリー (POS-D)

| 外部電源喪失 (POS-S) | DC喪失 BT- CCF | DG-HPCSから の受電失敗 | D/G-2C起動 | D/G-2D起動 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (/POS) | 備考 |
|-------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|---------|------|----------------|----|
| ELOP | DC | DGH | DGC | DGD | | | | |
| | | | | | 1 - 9 | TE2へ | - | |
| | | | | | 10 - 15 | TE3へ | - | |
| | | | | | 16 - 21 | TE4へ | - | |
| | | | | | 22 - 23 | TE5へ | - | |
| | | | | | 24 - 25 | TE6へ | - | |
| | | | | | 26 | TB | 2.6E-14 | |
| | | | | | | 合計値 | 2.6E-14 | |

図 3.1-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-S)

| DG-2C及び DG-2D確保 (POS-S) | RHR-A | RHR-B | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (/POS) | 備考 |
|-------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE2 | WAPD | WBPD | LPCSPD | LPCIA | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | - | 2.5E-05 | |
| | | | | | | | | | 2 | - | 2.1E-07 | |
| | | | | | | | | | 3 | - | 2.5E-09 | |
| | | | | | | | | | 4 | - | 8.0E-12 | |
| | | | | | | | | | 5 | - | 3.2E-14 | |
| | | | | | | | | | 6 | - | 1.2E-16 | |
| | | | | | | | | | 7 | - | 4.3E-19 | |
| | | | | | | | | | 8 | - | 5.2E-21 | |
| | | | | | | | | | 9 | TW | 6.9E-15 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 6.9E-15 | |

図 3.1-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-S) (DG-2C, 2D確保)

| DG-2C確保 (POS-S) | RHR-A | LPCS | LPCI-A | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|-------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE3 | WAPD | LPCSPD | LPCIA | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 10 | － | 1.6E-07 | |
| | | | | | | 11 | － | 1.0E-09 | |
| | | | | | | 12 | － | 3.3E-12 | |
| | | | | | | 13 | － | 1.3E-14 | |
| | | | | | | 14 | － | 1.6E-16 | |
| | | | | | | 15 | TW | 1.3E-15 | |
| | | | | | | | 合計値 | 1.3E-15 | |

図 3.1-3 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-S）（DG-2C確保，2D失敗）

| DG-2D確保 (POS-S) | RHR-B | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|-------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE4 | WBPD | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 16 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 17 | － | 1.6E-07 | |
| | | | | | | 18 | － | 5.8E-10 | |
| | | | | | | 19 | － | 2.1E-12 | |
| | | | | | | 20 | － | 2.6E-14 | |
| | | | | | | 21 | TW | 3.1E-15 | |
| | | | | | | | 合計値 | 3.1E-15 | |

図 3.1-4 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-S）（DG-2C失敗，2D確保）

| ACなし (POS-S) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-----------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE5 | HPCS | | | | |
| | | 22 | - | 9.6E-10 | |
| | | 23 | TB | 3.7E-10 | |
| | | | 合計値 | 3.7E-10 | |

図 3.1-5 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-S）（DG-2C，2D失敗）

| AC及びDCなし (POS-S) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE6 | HPCS | | | | |
| | | 24 | - | 4.2E-12 | |
| | | 25 | TB | 2.5E-14 | |
| | | | 合計値 | 2.5E-14 | |

図 3.1-6 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-S）（直流電源喪失）

| 外部電源喪失 (POS-A) | DC喪失 BT- CCF | DG-HPCSから の受電失敗 | D/G-2C起動 | D/G-2D起動 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|---------|------|----------------|----|
| ELOP | DC | DGH | DGC | DGD | | | | |
| | | | | | 1 - 9 | TE2へ | - | |
| | | | | | 10 - 15 | TE3へ | - | |
| | | | | | 16 - 21 | TE4へ | - | |
| | | | | | 22 - 23 | TE5へ | - | |
| | | | | | 24 - 25 | TE6へ | - | |
| | | | | | 26 | TB | 5.2E-14 | |
| | | | | | | 合計値 | 5.2E-14 | |

図 3.2-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-A)

| DG-2C及び DG-2D確保 (POS-A) | RHR-A | RHR-B | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE2 | WAPD | WBPD | LPCSPD | LPCIA | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | - | 5.1E-05 | |
| | | | | | | | | | 2 | - | 4.2E-07 | |
| | | | | | | | | | 3 | - | 4.9E-09 | |
| | | | | | | | | | 4 | - | 1.6E-11 | |
| | | | | | | | | | 5 | - | 6.4E-14 | |
| | | | | | | | | | 6 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 7 | - | 2.4E-16 | |
| | | | | | | | | | 8 | - | 2.8E-18 | |
| | | | | | | | | | 9 | TW | 1.4E-14 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 1.4E-14 | |

図 3.2-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-A) (DG-2C, 2D確保)

| DG-2C確保 (POS-A) | RHR-A | LPCS | LPCI-A | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|-------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE3 | WAPD | LPCSPD | LPCIA | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 10 | - | 3.1E-07 | |
| | | | | | | 11 | - | 2.1E-09 | |
| | | | | | | 12 | - | 6.7E-12 | |
| | | | | | | 13 | - | 2.7E-14 | |
| | | | | | | 14 | - | 3.2E-16 | |
| | | | | | | 15 | TW | 2.5E-15 | |
| | | | | | | | 合計値 | 2.5E-15 | |

図 3.2-3 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-A) (DG-2C確保, 2D失敗)

| DG-2D確保 (POS-A) | RHR-B | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|-------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE4 | WBPD | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 16 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 17 | - | 3.2E-07 | |
| | | | | | | 18 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 19 | - | 1.2E-09 | |
| | | | | | | 20 | - | 1.4E-11 | |
| | | | | | | 21 | TW | 3.7E-14 | |
| | | | | | | | 合計値 | 3.7E-14 | |

図 3.2-4 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-A) (DG-2C失敗, 2D確保)

| ACなし (POS-A) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-----------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE5 | HPCS | | | | |
| | | 22 | - | 1.9E-09 | |
| | | 23 | TB | 7.3E-10 | |
| | | | 合計値 | 7.3E-10 | |

図 3.2-5 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-A）（DG-2C，2D失敗）

| AC及びDCなし (POS-A) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE6 | HPCS | | | | |
| | | 24 | - | 8.5E-12 | |
| | | 25 | TB | 5.1E-14 | |
| | | | 合計値 | 5.1E-14 | |

図 3.2-6 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-A）（直流電源喪失）

| 外部電源喪失 (POS-B1) | DC喪失 BT- CCF | DG-HPCSから の受電失敗 | D/G-2C起動 | D/G-2D起動 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|---------|------|----------------|----|
| ELOP | DC | DGH | DGC | DGD | | | | |
| | | | | | 1 - 9 | TE2へ | - | |
| | | | | | 10 - 15 | TE3へ | - | |
| | | | | | 16 - 21 | TE4へ | - | |
| | | | | | 22 - 23 | TE5へ | - | |
| | | | | | 24 - 25 | TE6へ | - | |
| | | | | | 26 | TB | 2.2E-11 | |
| | | | | | | 合計値 | 2.2E-11 | |

図 3.3-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B1)

| DG-2C及び DG-2D確保 (POS-B1) | RHR-A | RHR-B | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE2 | WAPD | WBPD | LPCSPD | LPCIA | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 2 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 3 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 4 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 5 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 6 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 7 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 8 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 9 | TW | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 0.0E+00 | |

図 3.3-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B1) (DG-2C, 2D確保)

| DG-2C確保 (POS-B1) | RHR-A | LPCS | LPCI-A | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE3 | WAPD | LPCSPD | LPCIA | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 10 | － | 1.3E-04 | |
| | | | | | | 11 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 12 | － | 8.4E-07 | |
| | | | | | | 13 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 14 | － | 3.4E-09 | |
| | | | | | | 15 | TW | 4.9E-10 | |
| | | | | | | | 合計値 | 4.9E-10 | |

図 3.3-3 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B1）（DG-2C確保，2D失敗）

| DG-2D確保 (POS-B1) | RHR-B | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE4 | WBPD | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 16 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 17 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 18 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 19 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 20 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 21 | TW | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 合計値 | 0.0E+00 | |

図 3.3-4 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B1）（DG-2C失敗，2D確保）

| ACなし (POS-B1) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE5 | HPCS | | | | |
| | | 22 | - | 0.0E+00 | |
| | | 23 | TB | 8.0E-07 | |
| | | | 合計値 | 8.0E-07 | |

図 3.3-5 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B1）（DG-2C，2D失敗）

| AC及びDCなし (POS-B1) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|----------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE6 | HPCS | | | | |
| | | 24 | - | 0.0E+00 | |
| | | 25 | TB | 0.0E+00 | |
| | | | 合計値 | 0.0E+00 | |

図 3.3-6 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B1）（直流電源喪失）

| 外部電源喪失 (POS-B2) | DC喪失 BT- CCF | DG-HPCSから の受電失敗 | D/G-2C起動 | D/G-2D起動 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|---------|------|----------------|----|
| ELOP | DC | DGH | DGC | DGD | | | | |
| | | | | | 1 - 9 | TE2へ | - | |
| | | | | | 10 - 15 | TE3へ | - | |
| | | | | | 16 - 21 | TE4へ | - | |
| | | | | | 22 - 23 | TE5へ | - | |
| | | | | | 24 - 25 | TE6へ | - | |
| | | | | | 26 | TB | 1.3E-11 | |
| | | | | | | 合計値 | 1.3E-11 | |

図 3.4-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B2)

| DG-2C及び DG-2D確保 (POS-B2) | RHR-A | RHR-B | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE2 | WAPD | WBPD | LPCSPD | LPCIA | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 2 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 3 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 4 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 5 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 6 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 7 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 8 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 9 | TW | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 0.0E+00 | |

図 3.4-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B2) (DG-2C, 2D確保)

| DG-2C確保 (POS-B2) | RHR-A | LPCS | LPCI-A | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE3 | WAPD | LPCSPD | LPCIA | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 10 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 11 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 12 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 13 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 14 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 15 | TW | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 合計値 | 0.0E+00 | |

図 3.4-3 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B2) (DG-2C確保, 2D失敗)

| DG-2D確保 (POS-B2) | RHR-B | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE4 | WBPD | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 16 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 17 | － | 7.6E-05 | |
| | | | | | | 18 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 19 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 20 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 21 | TW | 3.1E-07 | |
| | | | | | | | 合計値 | 3.1E-07 | |

図 3.4-4 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B2) (DG-2C失敗, 2D確保)

| ACなし (POS-B2) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE5 | HPCS | | | | |
| | | 22 | - | 0.0E+00 | |
| | | 23 | TB | 4.7E-07 | |
| | | | 合計値 | 4.7E-07 | |

図 3.4-5 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B2）（DG-2C，2D失敗）

| AC及びDCなし (POS-B2) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|----------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE6 | HPCS | | | | |
| | | 24 | - | 0.0E+00 | |
| | | 25 | TB | 0.0E+00 | |
| | | | 合計値 | 0.0E+00 | |

図 3.4-6 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B2）（直流電源喪失）

| 外部電源喪失 (POS-3B) | DC喪失 BT- CCF | DG-HPCSから の受電失敗 | D/G-2C起動 | D/G-2D起動 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|---------|------|----------------|----|
| ELOP | DC | DGH | DGC | DGD | | | | |
| | | | | | 1 - 9 | TE2へ | - | |
| | | | | | 10 - 15 | TE3へ | - | |
| | | | | | 16 - 21 | TE4へ | - | |
| | | | | | 22 - 23 | TE5へ | - | |
| | | | | | 24 - 25 | TE6へ | - | |
| | | | | | 26 | TB | 6.0E-11 | |
| | | | | | | 合計値 | 6.0E-11 | |

図 3.5-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B3)

| DG-2C及び DG-2D確保 (POS-B3) | RHR-A | RHR-B | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE2 | WAPD | WBPD | LPCSPD | LPCIA | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 2 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 3 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 4 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 5 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 6 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 7 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 8 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 9 | TW | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 0.0E+00 | |

図 3.5-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B3) (DG-2C, 2D確保)

| DG-2C確保 (POS-B3) | RHR-A | LPCS | LPCI-A | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE3 | WAPD | LPCSPD | LPCIA | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 10 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 11 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 12 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 13 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 14 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 15 | TW | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | 合計値 | 0.0E+00 | |

図 3.5-3 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B3）（DG-2C確保，2D失敗）

| DG-2D確保 (POS-B3) | RHR-B | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE4 | WBPD | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 16 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 17 | － | 3.6E-04 | |
| | | | | | | 18 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 19 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 20 | － | 1.4E-06 | |
| | | | | | | 21 | TW | 3.4E-09 | |
| | | | | | | | 合計値 | 3.4E-09 | |

図 3.5-4 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B3）（DG-2C失敗，2D確保）

| ACなし (POS-B3) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE5 | HPCS | | | | |
| | | 22 | - | 0.0E+00 | |
| | | 23 | TB | 2.2E-06 | |
| | | | 合計値 | 2.2E-06 | |

図 3.5-5 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B3）（DG-2C，2D失敗）

| AC及びDCなし (POS-B3) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|----------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE6 | HPCS | | | | |
| | | 24 | - | 0.0E+00 | |
| | | 25 | TB | 0.0E+00 | |
| | | | 合計値 | 0.0E+00 | |

図 3.5-6 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B3）（直流電源喪失）

| 外部電源喪失 (POS-B4) | DC喪失 BT- CCF | DG-HPCSから の受電失敗 | D/G-2C起動 | D/G-2D起動 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|---------|------|----------------|----|
| ELOP | DC | DGH | DGC | DGD | | | | |
| | | | | | 1 - 9 | TE2へ | - | |
| | | | | | 10 - 15 | TE3へ | - | |
| | | | | | 16 - 21 | TE4へ | - | |
| | | | | | 22 - 23 | TE5へ | - | |
| | | | | | 24 - 25 | TE6へ | - | |
| | | | | | 26 | TB | 2.1E-13 | |
| | | | | | | 合計値 | 2.1E-13 | |

図 3.6-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B4)

| DG-2C及び DG-2D確保 (POS-B4) | RHR-A | RHR-B | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE2 | WAPD | WBPD | LPCSPD | LPCIA | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | - | 2.1E-04 | |
| | | | | | | | | | 2 | - | 2.4E-06 | |
| | | | | | | | | | 3 | - | 2.0E-08 | |
| | | | | | | | | | 4 | - | 7.1E-11 | |
| | | | | | | | | | 5 | - | 2.6E-13 | |
| | | | | | | | | | 6 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 7 | - | 1.0E-15 | |
| | | | | | | | | | 8 | - | 1.3E-17 | |
| | | | | | | | | | 9 | TW | 5.8E-14 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 5.8E-14 | |

図 3.6-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B4) (DG-2C, 2D確保)

| DG-2C確保 (POS-B4) | RHR-A | LPCS | LPCI-A | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE3 | WAPD | LPCSPD | LPCIA | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 10 | － | 1.3E-06 | |
| | | | | | | 11 | － | 1.3E-08 | |
| | | | | | | 12 | － | 4.6E-11 | |
| | | | | | | 13 | － | 1.7E-13 | |
| | | | | | | 14 | － | 2.0E-15 | |
| | | | | | | 15 | TW | 2.4E-14 | |
| | | | | | | | 合計値 | 2.4E-14 | |

図 3.6-3 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B4）（DG-2C確保，2D失敗）

| DG-2D確保 (POS-B4) | RHR-B | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE4 | WBPD | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 16 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 17 | － | 1.3E-06 | |
| | | | | | | 18 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 19 | － | 5.1E-09 | |
| | | | | | | 20 | － | 6.1E-11 | |
| | | | | | | 21 | TW | 1.5E-13 | |
| | | | | | | | 合計値 | 1.5E-13 | |

図 3.6-4 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B4）（DG-2C失敗，2D確保）

| ACなし (POS-B4) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE5 | HPCS | | | | |
| | | 22 | - | 7.8E-09 | |
| | | 23 | TB | 3.0E-09 | |
| | | | 合計値 | 3.0E-09 | |

図 3.6-5 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B4）（DG-2C，2D失敗）

| AC及びDCなし (POS-B4) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|----------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE6 | HPCS | | | | |
| | | 24 | - | 3.4E-11 | |
| | | 25 | TB | 2.1E-13 | |
| | | | 合計値 | 2.1E-13 | |

図 3.6-6 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B4）（直流電源喪失）

| 外部電源喪失 (POS-B5) | DC喪失 BT- CCF | DG-HPCSか らの受電失敗 | D/G-2C起動 | D/G-2D起動 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|---------|------|----------------|----|
| ELOP | DC | DGH | DGC | DGD | | | | |
| | | | | | 1 - 9 | TE2へ | - | |
| | | | | | 10 - 15 | TE3へ | - | |
| | | | | | 16 - 21 | TE4へ | - | |
| | | | | | 22 - 23 | TE5へ | - | |
| | | | | | 24 - 25 | TE6へ | - | |
| | | | | | 26 | TB | 3.1E-13 | |
| | | | | | | 合計値 | 3.1E-13 | |

図 3.7-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B5)

| DG-2C及び DG-2D確保 (POS-B5) | RHR-A | RHR-B | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------------------|-------|-------|------------|--------|--------|-------------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE2 | WAPD | WBPD | LPCSP D | LPCIA | LPCIB | LPCICP D | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | - | 3.0E-04 | |
| | | | | | | | | | 2 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 3 | - | 2.5E-06 | |
| | | | | | | | | | 4 | - | 8.1E-09 | |
| | | | | | | | | | 5 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 6 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 7 | - | 3.2E-11 | |
| | | | | | | | | | 8 | - | 3.9E-13 | |
| | | | | | | | | | 9 | TW | 9.3E-13 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 9.3E-13 | |

図 3.7-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B5) (DG-2C, 2D確保)

| DG-2C確保 (POS-B5) | RHR-A | LPCS | LPCI-A | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE3 | WAPD | LPCSPD | LPCIA | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 10 | － | 1.9E-06 | |
| | | | | | | 11 | － | 1.2E-08 | |
| | | | | | | 12 | － | 4.0E-11 | |
| | | | | | | 13 | － | 1.6E-13 | |
| | | | | | | 14 | － | 1.9E-15 | |
| | | | | | | 15 | TW | 1.6E-14 | |
| | | | | | | | 合計値 | 1.6E-14 | |

図 3.7-3 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B5）（DG-2C確保，2D失敗）

| DG-2D確保 (POS-B5) | RHR-B | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE4 | WBPD | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 16 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 17 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 18 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 19 | － | 1.9E-06 | |
| | | | | | | 20 | － | 2.2E-08 | |
| | | | | | | 21 | TW | 5.6E-11 | |
| | | | | | | | 合計値 | 5.6E-11 | |

図 3.7-4 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B5）（DG-2C失敗，2D確保）

| ACなし (POS-B5) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE5 | HPCS | | | | |
| | | 22 | - | 1.1E-08 | |
| | | 23 | TB | 4.4E-09 | |
| | | | 合計値 | 4.4E-09 | |

図 3.7-5 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B5）（DG-2C，2D失敗）

| AC及びDCなし (POS-B5) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|----------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE6 | HPCS | | | | |
| | | 24 | - | 5.1E-11 | |
| | | 25 | TB | 3.0E-13 | |
| | | | 合計値 | 3.0E-13 | |

図 3.7-6 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B5）（直流電源喪失）

| 外部電源喪失 (POS-B6) | DC喪失 BT- CCF | DG-HPCSから の受電失敗 | D/G-2C起動 | D/G-2D起動 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|---------|------|----------------|----|
| ELOP | DC | DGH | DGC | DGD | | | | |
| | | | | | 1 - 9 | TE2へ | - | |
| | | | | | 10 - 15 | TE3へ | - | |
| | | | | | 16 - 21 | TE4へ | - | |
| | | | | | 22 - 23 | TE5へ | - | |
| | | | | | 24 - 25 | TE6へ | - | |
| | | | | | 26 | TB | 3.3E-13 | |
| | | | | | | 合計値 | 3.3E-13 | |

図 3.8-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B6)

| DG-2C及び DG-2D確保 (POS-B6) | RHR-A | RHR-B | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE2 | WAPD | WBPD | LPCSPD | LPCIA | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | - | 3.2E-04 | |
| | | | | | | | | | 2 | - | 2.6E-06 | |
| | | | | | | | | | 3 | - | 3.1E-08 | |
| | | | | | | | | | 4 | - | 1.0E-10 | |
| | | | | | | | | | 5 | - | 4.1E-13 | |
| | | | | | | | | | 6 | - | 1.5E-15 | |
| | | | | | | | | | 7 | - | 5.5E-18 | |
| | | | | | | | | | 8 | - | 6.6E-20 | |
| | | | | | | | | | 9 | TW | 8.8E-14 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 8.8E-14 | |

図 3.8-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-B6) (DG-2C, 2D確保)

| DG-2C確保 (POS-B6) | RHR-A | LPCS | LPCI-A | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE3 | WAPD | LPCSPD | LPCIA | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 10 | － | 2.0E-06 | |
| | | | | | | 11 | － | 1.3E-08 | |
| | | | | | | 12 | － | 4.2E-11 | |
| | | | | | | 13 | － | 1.7E-13 | |
| | | | | | | 14 | － | 2.0E-15 | |
| | | | | | | 15 | TW | 1.6E-14 | |
| | | | | | | | 合計値 | 1.6E-14 | |

図 3.8-3 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B6）（DG-2C確保，2D失敗）

| DG-2D確保 (POS-B6) | RHR-B | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE4 | WBPD | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 16 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 17 | － | 2.0E-06 | |
| | | | | | | 18 | － | 7.4E-09 | |
| | | | | | | 19 | － | 2.7E-11 | |
| | | | | | | 20 | － | 3.2E-13 | |
| | | | | | | 21 | TW | 3.9E-14 | |
| | | | | | | | 合計値 | 3.9E-14 | |

図 3.8-4 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B6）（DG-2C失敗，2D確保）

| ACなし (POS-B6) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE5 | HPCS | | | | |
| | | 22 | - | 1.2E-08 | |
| | | 23 | TB | 4.7E-09 | |
| | | | 合計値 | 4.7E-09 | |

図 3.8-5 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B6）（DG-2C，2D失敗）

| AC及びDCなし (POS-B6) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|----------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE6 | HPCS | | | | |
| | | 24 | - | 5.4E-11 | |
| | | 25 | TB | 3.2E-13 | |
| | | | 合計値 | 3.2E-13 | |

図 3.8-6 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-B6）（直流電源喪失）

| 外部電源喪失 (POS-C1) | DC喪失 BT- CCF | DG-HPCSから の受電失敗 | D/G-2C起動 | D/G-2D起動 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|---------|------|----------------|----|
| ELOP | DC | DGH | DGC | DGD | | | | |
| | | | | | 1 - 9 | TE2へ | - | |
| | | | | | 10 - 15 | TE3へ | - | |
| | | | | | 16 - 21 | TE4へ | - | |
| | | | | | 22 - 23 | TE5へ | - | |
| | | | | | 24 - 25 | TE6へ | - | |
| | | | | | 26 | TB | 2.1E-13 | |
| | | | | | | 合計値 | 2.1E-13 | |

図 3.9-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C1)

| DG-2C及び DG-2D確保 (POS-C1) | RHR-A | RHR-B | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE2 | WAPD | WBPD | LPCSP | LPCIA | LPCIB | LPCICP | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | - | 2.1E-04 | |
| | | | | | | | | | 2 | - | 1.7E-06 | |
| | | | | | | | | | 3 | - | 2.0E-08 | |
| | | | | | | | | | 4 | - | 6.5E-11 | |
| | | | | | | | | | 5 | - | 2.6E-13 | |
| | | | | | | | | | 6 | - | 9.6E-16 | |
| | | | | | | | | | 7 | - | 3.5E-18 | |
| | | | | | | | | | 8 | - | 4.2E-20 | |
| | | | | | | | | | 9 | TW | 5.6E-14 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 5.6E-14 | |

図 3.9-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C1) (DG-2C, 2D確保)

| DG-2C確保 (POSC-1) | RHR-A | LPCS | LPCI-A | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE3 | WAPD | LPCSPD | LPCIA | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 10 | － | 1.3E-06 | |
| | | | | | | 11 | － | 8.3E-09 | |
| | | | | | | 12 | － | 2.7E-11 | |
| | | | | | | 13 | － | 1.1E-13 | |
| | | | | | | 14 | － | 1.3E-15 | |
| | | | | | | 15 | TW | 1.0E-14 | |
| | | | | | | | 合計値 | 1.0E-14 | |

図 3.9-3 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-C1）（DG-2C確保，2D失敗）

| DG-2D確保 (POS-C1) | RHR-B | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE4 | WBPD | LPCIB | LPCICP | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 16 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 17 | － | 1.3E-06 | |
| | | | | | | 18 | － | 4.7E-09 | |
| | | | | | | 19 | － | 1.7E-11 | |
| | | | | | | 20 | － | 2.1E-13 | |
| | | | | | | 21 | TW | 2.5E-14 | |
| | | | | | | | 合計値 | 2.5E-14 | |

図 3.9-4 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-C1）（DG-2C失敗，2D確保）

| ACなし (POS-C1) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE5 | HPCS | | | | |
| | | 22 | - | 7.8E-09 | |
| | | 23 | TB | 3.0E-09 | |
| | | | 合計値 | 3.0E-09 | |

図 3.9-5 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-C1）（DG-2C，2D失敗）

| AC及びDCなし (POS-C1) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|----------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE6 | HPCS | | | | |
| | | 24 | - | 3.4E-11 | |
| | | 25 | TB | 2.1E-13 | |
| | | | 合計値 | 2.1E-13 | |

図 3.9-6 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-C1）（直流電源喪失）

| 外部電源喪失 (POS-C2) | DC喪失 BT- CCF | DG-HPCSから の受電失敗 | D/G-2C起動 | D/G-2D起動 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (/POS) | 備考 |
|--------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|---------|------|----------------|----|
| ELOP | DC | DGH | DGC | DGD | | | | |
| | | | | | 1 - 9 | TE2へ | - | |
| | | | | | 10 - 15 | TE3へ | - | |
| | | | | | 16 - 21 | TE4へ | - | |
| | | | | | 22 - 23 | TE5へ | - | |
| | | | | | 24 - 25 | TE6へ | - | |
| | | | | | 26 | TB | 3.8E-11 | |
| | | | | | | 合計値 | 3.8E-11 | |

図 3.10-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C2)

| DG-2C及び DG-2D確保 (POS-C2) | RHR-A | RHR-B | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (/POS) | 備考 |
|--------------------------------|-------|-------|------------|--------|--------|-------------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE2 | WAPD | WBPD | LPCSP D | LPCIA | LPCIB | LPCICP D | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 2 | - | 2.3E-04 | |
| | | | | | | | | | 3 | - | 1.9E-06 | |
| | | | | | | | | | 4 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 5 | - | 6.7E-09 | |
| | | | | | | | | | 6 | - | 2.7E-11 | |
| | | | | | | | | | 7 | - | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 8 | - | 9.0E-14 | |
| | | | | | | | | | 9 | TW | 4.3E-12 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 4.3E-12 | |

図 3.10-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-C2) (DG-2C, 2D確保)

| DG-2C確保 (POS-C2) | RHR-A | LPCS | LPCI-A | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|-------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE3 | WAPD | LPCSP | LPCIA | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 10 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 11 | － | 1.4E-06 | |
| | | | | | | 12 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 13 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 14 | － | 5.0E-09 | |
| | | | | | | 15 | TW | 1.2E-11 | |
| | | | | | | | 合計値 | 1.2E-11 | |

図 3.10-3 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-C2）（DG-2C確保，2D失敗）

| DG-2D確保 (POS-C2) | RHR-B | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|-------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE4 | WBPD | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 16 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 17 | － | 1.4E-06 | |
| | | | | | | 18 | － | 5.6E-09 | |
| | | | | | | 19 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 20 | － | 1.9E-11 | |
| | | | | | | 21 | TW | 9.3E-13 | |
| | | | | | | | 合計値 | 9.3E-13 | |

図 3.10-4 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-C2）（DG-2C失敗，2D確保）

| ACなし (POS-C2) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE5 | HPCS | | | | |
| | | 22 | - | 0.0E+00 | |
| | | 23 | TB | 3.8E-08 | |
| | | | 合計値 | 3.8E-08 | |

図 3.10-5 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-C2）（DG-2C，2D失敗）

| AC及びDCなし (POS-C2) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|----------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE6 | HPCS | | | | |
| | | 24 | - | 0.0E+00 | |
| | | 25 | TB | 0.0E+00 | |
| | | | 合計値 | 0.0E+00 | |

図 3.10-6 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-C2）（直流電源喪失）

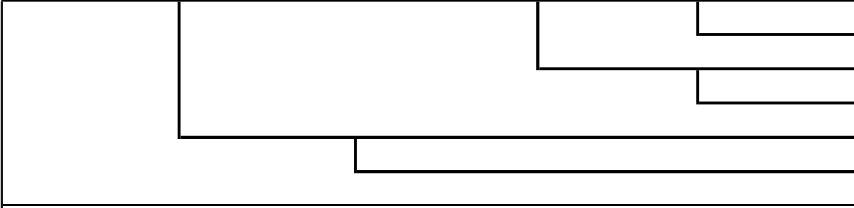
| 外部電源喪失 (POS-D) | DC喪失 BT- CCF | DG-HPCSから の受電失敗 | D/G-2C起動 | D/G-2D起動 | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--|-----------------|--------------------|----------|----------|---------|------|----------------|----|
| ELOP | DC | DGH | DGC | DGD | | | | |
|  | | | | | 1 - 9 | TE2へ | - | |
| | | | | | 10 - 15 | TE3へ | - | |
| | | | | | 16 - 21 | TE4へ | - | |
| | | | | | 22 - 23 | TE5へ | - | |
| | | | | | 24 - 25 | TE6へ | - | |
| | | | | | 26 | TB | 1.8E-13 | |
| | | | | | | 合計値 | 1.8E-13 | |

図 3.11-1 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-D)

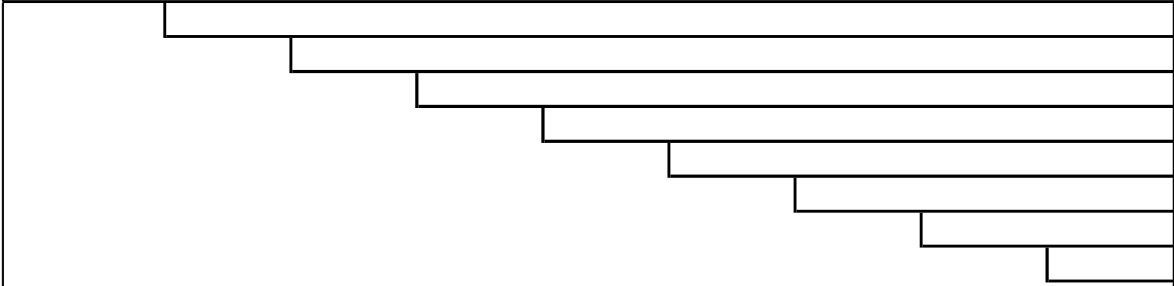
| DG-2C及び DG-2D確保 (POS-D) | RHR-A | RHR-B | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---|-------|-------|--------|--------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE2 | WAPD | WBPD | LPCSPD | LPCIA | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
|  | | | | | | | | | 1 | - | 1.8E-04 | |
| | | | | | | | | | 2 | - | 1.4E-06 | |
| | | | | | | | | | 3 | - | 1.7E-08 | |
| | | | | | | | | | 4 | - | 5.5E-11 | |
| | | | | | | | | | 5 | - | 2.2E-13 | |
| | | | | | | | | | 6 | - | 8.2E-16 | |
| | | | | | | | | | 7 | - | 3.0E-18 | |
| | | | | | | | | | 8 | - | 3.6E-20 | |
| | | | | | | | | | 9 | TW | 4.8E-14 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 4.8E-14 | |

図 3.11-2 外部電源喪失に対するイベントツリー (POS-D) (DG-2C, 2D確保)

| DG-2C確保 (POS-D) | RHR-A | LPCS | LPCI-A | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|-------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE3 | WAPD | LPCSPD | LPCIA | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 10 | － | 1.1E-06 | |
| | | | | | | 11 | － | 7.1E-09 | |
| | | | | | | 12 | － | 2.3E-11 | |
| | | | | | | 13 | － | 9.2E-14 | |
| | | | | | | 14 | － | 1.1E-15 | |
| | | | | | | 15 | TW | 9.3E-15 | |
| | | | | | | | 合計値 | 9.3E-15 | |

図 3.11-3 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-D）（DG-2C確保，2D失敗）

| DG-2D確保 (POS-D) | RHR-B | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------|-------|--------|---------|------|------|-----|------|----------------|----|
| TE4 | WBPD | LPCIB | LPCICPD | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | 16 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | 17 | － | 1.1E-06 | |
| | | | | | | 18 | － | 4.0E-09 | |
| | | | | | | 19 | － | 1.5E-11 | |
| | | | | | | 20 | － | 1.8E-13 | |
| | | | | | | 21 | TW | 2.0E-14 | |
| | | | | | | | 合計値 | 2.0E-14 | |

図 3.11-4 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-D）（DG-2C失敗，2D確保）

| ACなし (POS-D) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-----------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE5 | HPCS | | | | |
| | | 22 | - | 6.7E-09 | |
| | | 23 | TB | 2.5E-09 | |
| | | | 合計値 | 2.5E-09 | |

図 3.11-5 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-D）（DG-2C，2D失敗）

| AC及びDCなし (POS-D) | HPCS | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|---------------------|------|-----|------|----------------|----|
| TE6 | HPCS | | | | |
| | | 24 | - | 2.9E-11 | |
| | | 25 | TB | 1.8E-13 | |
| | | | 合計値 | 1.8E-13 | |

図 3.11-6 外部電源喪失に対するイベントツリー（POS-D）（直流電源喪失）

| RHR系統切替時の 冷却材流出 (POS-B2) | 水位降下 認知 | 漏洩箇所 隔離 | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------------------|------------|------------|------|--------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ELCR | HB | IS | LPCS | LPCIA | LPCIB | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | － | 2.3E-04 | |
| | | | | | | | | | 2 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 4 | － | 1.2E-07 | |
| | | | | | | | | | 5 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 6 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 7 | － | 4.8E-10 | |
| | | | | | | | | | 8 | LOCA | 4.2E-13 | |
| | | | | | | | | | 9 | LOCA | 2.3E-24 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 4.2E-13 | |

図 4-1 RHR 系統切替時の LOCA (POS-B2)

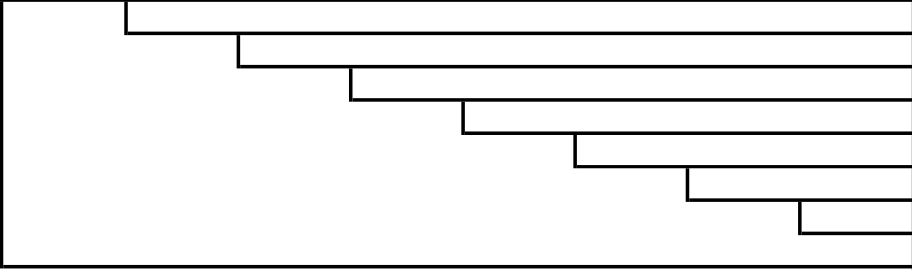
| RHR系統切替時の 冷却材流出 (POS-B5) | 水位降下 認知 | 漏洩箇 所隔離 | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--|------------|------------|------|--------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ELCR | HB | IS | LPCS | LPCIA | LPCIB | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
|  | | | | | | | | | 1 | － | 2.3E-04 | |
| | | | | | | | | | 2 | － | 1.2E-07 | |
| | | | | | | | | | 3 | － | 3.6E-10 | |
| | | | | | | | | | 4 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 5 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 6 | － | 1.4E-12 | |
| | | | | | | | | | 7 | － | 9.8E-15 | |
| | | | | | | | | | 8 | LOCA | 7.3E-17 | |
| | | | | | | | | | 9 | LOCA | 2.3E-24 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 7.3E-17 | |

図 4－2 RHR 系統切替時の L O C A （ P O S － B 5 ）

| RHR系統切替時の 冷却材流出 (POS-C2) | 水位降下 認知 | 漏洩箇所 隔離 | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|--------------------------------|------------|------------|------|--------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ELCR | HB | IS | LPCS | LPCIA | LPCIB | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | － | 2.3E-04 | |
| | | | | | | | | | 2 | － | 1.2E-07 | |
| | | | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 4 | － | 4.4E-10 | |
| | | | | | | | | | 5 | － | 1.7E-12 | |
| | | | | | | | | | 6 | － | 5.3E-15 | |
| | | | | | | | | | 7 | － | 3.7E-17 | |
| | | | | | | | | | 8 | LOCA | 5.2E-16 | |
| | | | | | | | | | 9 | LOCA | 4.1E-11 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 4.1E-11 | |

図 4-3 RHR 系統切替時の LOCA (POS-C2)

| RHR系統切替時の 冷却材流出 (POS-D) | 水位降下 認知 | 漏洩箇所 隔離 | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------------------|------------|------------|------|--------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ELCR | HB | IS | LPCS | LPCIA | LPCIB | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | － | 2.3E-04 | |
| | | | | | | | | | 2 | － | 1.2E-07 | |
| | | | | | | | | | 3 | － | 3.6E-10 | |
| | | | | | | | | | 4 | － | 1.4E-12 | |
| | | | | | | | | | 5 | － | 5.3E-15 | |
| | | | | | | | | | 6 | － | 2.0E-17 | |
| | | | | | | | | | 7 | － | 1.3E-19 | |
| | | | | | | | | | 8 | LOCA | 4.5E-17 | |
| | | | | | | | | | 9 | LOCA | 4.1E-11 | |
| | | | | | | | | | | | | |

図 4-4 RHR 系統切替時の L O C A （ P O S - D ）

| CUWブロー時の 冷却材流出 (POS-C1) | 水位降下 認知 | 漏洩箇所 隔離 | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------------------|------------|------------|------|--------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ELCU | HB | IS | LPCS | LPCIA | LPCIB | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | － | 9.7E-05 | |
| | | | | | | | | | 2 | － | 5.1E-08 | |
| | | | | | | | | | 3 | － | 1.5E-10 | |
| | | | | | | | | | 4 | － | 6.1E-13 | |
| | | | | | | | | | 5 | － | 2.2E-15 | |
| | | | | | | | | | 6 | － | 8.3E-18 | |
| | | | | | | | | | 7 | － | 5.7E-20 | |
| | | | | | | | | | 8 | LOCA | 1.9E-17 | |
| | | | | | | | | | 9 | LOCA | 2.9E-11 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 2.9E-11 | |

図 4-5 CUWブロー時のLOCA (POS-C1)

| CUWブロー時の 冷却材流出 (POS-D) | 水位降下 認知 | 漏洩箇所 隔離 | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|------------------------------|------------|------------|------|--------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ELCU | HB | IS | LPCS | LPCIA | LPCIB | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | － | 9.7E-05 | |
| | | | | | | | | | 2 | － | 5.1E-08 | |
| | | | | | | | | | 3 | － | 1.5E-10 | |
| | | | | | | | | | 4 | － | 6.1E-13 | |
| | | | | | | | | | 5 | － | 2.2E-15 | |
| | | | | | | | | | 6 | － | 8.3E-18 | |
| | | | | | | | | | 7 | － | 5.7E-20 | |
| | | | | | | | | | 8 | LOCA | 1.9E-17 | |
| | | | | | | | | | 9 | LOCA | 2.9E-11 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 2.9E-11 | |

図 4-6 CUWブロー時のLOCA (POS-D)

| CRD点検時の 冷却材流出 (POS-B2) | 流出規模 | 水位降下 認知 | 漏洩箇所 隔離 | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 | |
|------------------------------|------|------------|------------|------|--------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|---------|
| ELCC | SI | HB | IS | LPCS | LPCIA | LPCIB | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | | |
| | | | | | | | | | | 1 | － | 2.7E-05 | | |
| | | | | | | | | | | 2 | － | 0.0E+00 | | |
| | | | | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | | |
| | | | | | | | | | | 4 | － | 1.5E-06 | | |
| | | | | | | | | | | 5 | － | 0.0E+00 | | |
| | | | | | | | | | | 6 | － | 0.0E+00 | | |
| | | | | | | | | | | 7 | － | 6.0E-09 | | |
| | | | | | | | | | | 8 | LOCA | 5.3E-12 | | |
| | | | | | | | | | | | 9 | LOCA | | 2.9E-25 |
| | | | | | | | | | | | 10 | － | | 1.8E-07 |
| | | | | | | | | | | | 11 | － | | 0.0E+00 |
| | | | | | | | | | | | 12 | － | | 0.0E+00 |
| | | | | | | | | | | | 13 | － | | 1.0E-08 |
| | | | | | | | | | | | 14 | － | | 0.0E+00 |
| | | | | | | | | | | | 15 | － | | 0.0E+00 |
| | | | | | | | | | | | 16 | LOCA | | 4.0E-11 |
| | | | | | | | | | | | 17 | LOCA | | 1.9E-27 |
| | | | | | | | | | | | 合計値 | 4.5E-11 | | |

図 4-7 CRD点検時のLOCA (POS-B2)

| LPRM点検時の 冷却材流出 (POS-B2) | 水位降下 認知 | 漏洩箇所 隔離 | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／POS) | 備考 |
|-------------------------------|------------|------------|------|--------|--------|--------|------|------|-----|------|----------------|----|
| ELCL | HB | IS | LPCS | LPCIA | LPCIB | LPCIC | HPCS | MUWC | | | | |
| | | | | | | | | | 1 | － | 5.1E-07 | |
| | | | | | | | | | 2 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 3 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 4 | － | 2.9E-08 | |
| | | | | | | | | | 5 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 6 | － | 0.0E+00 | |
| | | | | | | | | | 7 | － | 1.1E-10 | |
| | | | | | | | | | 8 | LOCA | 9.8E-14 | |
| | | | | | | | | | 9 | LOCA | 5.4E-27 | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | 9.8E-14 | |

図 4-8 LPRM点検時のLOCA (POS-B2)

システム信頼性解析の結果について

各緩和設備の代表的なフォールトツリー（F T）のモデル化内容を表 1～表 5 に示す。また，各緩和設備のシステム信頼性解析結果を表 6 に示す。

(1) H P C S

①「残留熱除去系の故障」，「原子炉冷却材の流出」

外部電源が健全であるため，外部電源及び H P C S - D G からの受電失敗をモデル化している。

②「外部電源喪失」

外部電源喪失により，H P C S - D G からの受電失敗のみをモデル化している。

H P C S の電源として，②では H P C S - D G のみに期待することになるため，電源の喪失により H P C S が機能喪失に至る確率が高くなり，①と比較して②の場合の非信頼度は高くなる。

(2) L P C S，L P C I - A / B / C

①「残留熱除去系の故障」，「原子炉冷却材の流出」

外部電源が健全であるため，外部電源及び非常用 D G からの受電失敗をモデル化している。

②「外部電源喪失」

外部電源喪失後の非常用 D G からの受電失敗は，別途イベントツリー上で考慮しているため，F T では非常用 D G から

の受電成功時を想定し，受電失敗による機能喪失はモデル化していない。

②では受電失敗をモデル化していないが，①においても外部電源及び非常用 D G 両方からの受電に失敗する確率は小さく，非信頼度に対する寄与が小さいため，非信頼度の点推定値に差は現れなかった。なお，上記の電源に対する想定については，「(3) R H R - A / B」も同様の想定としている。

(3) R H R - A / B

①「残留熱除去系の故障」

起因事象発生により，運転中の R H R が機能喪失した際の待機中 R H R の起動失敗をモデル化しており，ポンプの起動や必要な弁操作を考慮している。

②「外部電源喪失」

待機中 R H R の起動失敗をモデル化している点では①と同様だが，外部電源喪失により，当該系統の格納容器隔離弁が閉止されるため，格納容器隔離弁の開操作が必要となる。

②では①の操作に加えて格納容器隔離弁の開操作が必要となるため，①と比較して②の場合の非信頼度は高くなる。

(4) C S T - A / B

①「残留熱除去系の故障」，「原子炉冷却材の流出」

待機中 C S T の起動失敗をモデル化しており，ポンプの起動や必要な弁操作を考慮している。

②「外部電源喪失」

電源の状態については，事故シーケンスの定量化時に別途イベントツリー内で考慮しているため，①と同じ F T を用いて評価している。

表 1 H P C S の代表的な F T のモデル化範囲

| 起 因 事 象 | フ ロ ン ト ラ イ ン | サ ポ ー ト 系 | | | |
|------------------------|------------------|-----------|--------------------------|-----------------|---------|
| | | 空 調 機 | 補 機 冷 却 系 (HPCS-DGSW) | 交 流 電 源 | 直 流 電 源 |
| 残留熱除去系の故障 原子炉冷却材の流出 | ○ | ○ | ○ | ○※ ¹ | ○ |
| 外部電源喪失 | ○ | ○ | ○ | ○※ ² | ○ |

※¹ 外部電源及びH P C S - D G からの受電失敗をモデル化

※² H P C S - D G からの受電失敗のみをモデル化

表 2 L P C S の代表的な F T のモデル化範囲

| 起 因 事 象 | フ ロ ン ト ラ イ ン | サ ポ ー ト 系 | | | |
|------------------------|------------------|-----------|----------------------------|-----------------|-----------------|
| | | 空 調 機 | 補 機 冷 却 系 (RHRS) | 交 流 電 源 | 直 流 電 源 |
| 残留熱除去系の故障 原子炉冷却材の流出 | ○ | ○ | ○※ ¹ (起動モード) | ○※ ² | ○ |
| 外部電源喪失 | ○ | ○ | ○※ ¹ (起動モード) | —※ ³ | —※ ³ |

※¹ 待機中 R H R S の起動失敗をモデル化

※² 外部電源及び非常用 D G からの受電失敗をモデル化

※³ 非常用 D G からの受電成功時を想定しているため、モデル化していない

表 3 L P C I - A / B / C の代表的な F T のモデル化範囲

| 起 因 事 象 | フ ロ ン ト ラ イ ン | サ ポ ー ト 系 | | | |
|------------------------|------------------|-----------|----------------------------|-----------------|-----------------|
| | | 空 調 機 | 補 機 冷 却 系 (RHRS) | 交 流 電 源 | 直 流 電 源 |
| 残留熱除去系の故障 原子炉冷却材の流出 | ○ | ○ | ○※ ¹ (起動モード) | ○※ ² | ○ |
| 外部電源喪失 | ○ | ○ | ○※ ¹ (起動モード) | —※ ³ | —※ ³ |

※¹ 待機中 R H R S の起動失敗をモデル化

※² 外部電源及び非常用 D G からの受電失敗をモデル化

※³ 非常用 D G からの受電成功時を想定しているため、モデル化していない

表 4 R H R－A／B の代表的な F T のモデル化範囲

| 起 因 事 象 | フ ロ ン ト ラ イ ン | サ ポ ー ト 系 | | | |
|------------------------|--------------------------|-----------|----------------------|---------|---------|
| | | 空 調 機 | 補 機 冷 却 系 (RHRS) | 交 流 電 源 | 直 流 電 源 |
| 残留熱除去系の故障 原子炉冷却材の流出 | ○ ※ 1 (起 動 モ ー ド) | ○ | ○ ※ 3 (起 動 モ ー ド) | ○ ※ 4 | ○ |
| 外部電源喪失 | ○ ※ 1 ※ 2 (起 動 モ ー ド) | ○ | ○ ※ 3 (起 動 モ ー ド) | — ※ 5 | — ※ 5 |

※1 待機中 R H R の起動失敗をモデル化

※2 外部電源喪失により P C V 隔離弁が閉止するため、PCV 隔離弁開操作をモデル化

※3 待機中 R H R S の起動失敗をモデル化

※4 外部電源及び非常用 D G からの受電失敗をモデル化

※5 非常用 D G からの受電成功時を想定しているため、モデル化していない

表 5 C S T－A／B の代表的な F T のモデル化範囲

| 起 因 事 象 | フ ロ ン ト ラ イ ン | サ ポ ー ト 系 |
|------------------------|----------------------|-----------|
| | | 交 流 電 源 |
| 残留熱除去系の故障 原子炉冷却材の流出 | ○ ※ 1 (起 動 モ ー ド) | ○ ※ 2 |
| 外部電源喪失 | ○ ※ 1 (起 動 モ ー ド) | ○ ※ 2 |

※1 待機中 C S T の起動失敗をモデル化

※2 外部電源及び非常用 D G からの受電失敗をモデル化

表 6 停止時 P R A における代表的なシステム信頼性評価結果

| 起因事象 | 緩和設備 | 非信頼度 点推定値 (／d) | 非信頼度 平均値 (／d) | 備考 |
|------------------------|-------------|----------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 残留熱除去系の故障 原子炉冷却材の流出 | H P C S | 6.8E-3 | 6.8E-3 | 電源として外部電源及び HPCS-DG に期待 |
| | L P C S | 3.6E-3 | 3.6E-3 | |
| | L P C I - A | 3.7E-3 | 3.7E-3 | |
| | L P C I - B | 3.7E-3 | 3.7E-3 | |
| | L P C I - C | 3.7E-3 | 3.7E-3 | |
| | C S T - A | 2.5E-3 | 2.5E-3 | |
| | C S T - B | 2.5E-3 | 2.5E-3 | |
| | R H R - A ※ | 8.7E-3 | 8.7E-3 | |
| | R H R - B ※ | 8.7E-3 | 8.9E-3 | |
| 外部電源喪失 | H P C S | 1.2E-2 | 1.2E-2 | 電源として HPCS-DG のみに期待 |
| | L P C S | 3.6E-3 | 3.6E-3 | |
| | L P C I - A | 3.7E-3 | 3.8E-3 | |
| | L P C I - B | 3.7E-3 | 3.8E-3 | |
| | L P C I - C | 3.7E-3 | 3.7E-3 | |
| | C S T - A | 2.4E-3 | 2.4E-3 | |
| | C S T - B | 2.4E-3 | 2.5E-3 | |
| | R H R - A | 1.2E-2 | 1.1E-2 | 外部電源喪失により，閉止した当該系統の PCV 隔離弁の開操作が必要 |
| | R H R - B | 1.2E-2 | 1.1E-2 | |

※ 起因事象「原子炉冷却材の流出」では期待しない

人的過誤に係わるストレスレベル及びストレスファクタの
考え方について

停止時 P R A における起因事象発生前後の人的過誤確率をストレスレベル及びストレスファクタとともに表 1 及び表 2 に示す。

停止時 P R A におけるストレスレベル及びストレスファクタについては、出力運転時と同様の考え方に基づき以下のとおり設定している。

(1) ストレスレベルの分類

本 P R A では、ヒューマンエラーハンドブック（N U R E G / C R - 1 2 7 8）の T H E R P 手法（Technique for Human Error Rate Prediction）を使用しており、作業負荷等に応じて 7 つのストレスレベルを分類し、それらに対応した補正係数（ストレスファクタ）を評価している。その詳細については、表 3 に示す。

作業負荷が低い場合は注意力が散漫になり、逆に作業負荷が高い場合には人間の通常業務遂行能力の限界に近づいている又は超えているため、タスク遂行の妨害となることから、その作業に対する増倍係数を設定している。また、極端にストレスレベルが高い場合は、情緒的反応が生じる等タスク遂行に非常に妨害となることから、固定値を用いて評価する。

なお、本 P R A では、運転員による異常時の事象の認知や操作方法は訓練されているため、補正係数は「熟練者」の値を選択する。また、運転員の操作内容は手順書に従った段階的操作である

ことから、各ストレスレベルの「段階的操作」を選択する。

(2) ストレスレベルの設定の考え方

a. 起回事象発生前（表1，表3）

事故が発生していないときの操作であり，特に高いストレスには至らないため，ストレスレベル「【No. 2】作業負荷が適度（段階的操作）」のストレスファクタ 1 を設定した。

b. 起回事象発生後（表2，表3）

○認知失敗

期待する緩和設備に対しては手順書の整備及び訓練の十分な実施が行われているが，起回事象発生後は起回事象発生前に比べて運転員のストレスレベルが高いと考えられるため，ストレスレベル「【No. 4】作業負荷がやや高い（段階的操作）」のストレスファクタ 2 を設定した。

○操作失敗

認知と同様の理由により，ストレスレベル「【No. 4】作業負荷がやや高い（段階的操作）」のストレスファクタ 2 を設定した。

表 1 起因事象発生前の人的過誤のストレスレベル及びストレスファクタ

| 人的過誤 | ストレスレベル (ストレスファクタ) | 過誤確率 (平均値) | EF | 選定理由 |
|------------------------|--------------------------------|---------------|------|--|
| 弁の開け忘れ・閉め忘れ | 適度 【No. 2】 ----- (×1) | 8. 3E-05 | 4. 8 | 事故が発生していないときの操作であり，特に高いストレスには至らないため，ストレスレベル「【No. 2】作業負荷が適度（段階的操作）」のストレスファクタ 1 を設定した。 |
| D G 試験時ガバナ操作後の 復旧失敗 | 適度 【No. 2】 ----- (×1) | 3. 9E-03 | 6. 8 | |

表 2 起因事象発生後の人的過誤のストレスレベル及びストレスファクタ

| 人的過誤 | ストレスレベル (ストレスファクタ) | | 過誤確率 (平均値) | EF | ストレスレベル, ストレスファクタの選定理由 |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------|-------|---|
| | 認知失敗 | 操作失敗 | | | |
| 運転員の認知失敗 (RHR系統切替時のLOCA) | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | — | 1.8E-07 | 42.7 | ○認知失敗及び操作失敗 期待する緩和設備に対しては手順書の整備及び訓練の十分な実施が行われているが、起因事象発生後は起因事象発生前に比べて運転員のストレスレベルが高いと考えられるため、ストレスレベル「【No. 4】作業負荷がやや高い（段階的操作）」のストレスファクタ2を設定した。 |
| 運転員の認知失敗 (CUWブロー時のLOCA) | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | — | 3.0E-07 | 122.7 | |
| 隔離失敗 (CRD, LPRM点検時のLOCA) | — | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | 5.3E-02 | 10.0 | |
| 隔離失敗 (RHR系統切替時, CUWブロー時のLOCA) | — | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | 5.3E-04 | 10.0 | |
| 手動操作失敗 | — | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | 1.1E-03 | 3.5 | |
| 原子炉水位制御操作失敗 | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | 2.5E-03 | 6.5 | |
| 水源切替操作失敗 | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | 2.5E-03 | 6.5 | |
| DG燃料油補給操作失敗 | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | やや高い 【No. 4】 ----- (×2) | 1.1E-04 | 35.6 | |

表3 ストレス及び熟練度による人的過誤率（HEP）への補正係数

| 項目 | ストレスレベル | HEPsの増倍係数 | |
|----|----------------------------|---|-------------|
| | | 熟練者 | 熟練度の低い者 |
| 1. | 作業負荷が大変低い | ×2 | ×2 |
| 2. | 作業負荷が適度 | ×1 | ×1 |
| 3. | 作業負荷が適度 (段階的操作) | ×1 | ×2 |
| 4. | 作業負荷がやや高い | ×2 | ×4 |
| 5. | 作業負荷がやや高い (動的操作) | ×5 | ×10 |
| 6. | 作業負荷が極度に高い | ×5 | ×10 |
| 7. | 作業負荷が極度に高い (動的操作又は診断操作) | 0.25 (EF=5) | 0.50 (EF=5) |
| | | 極度にストレスレベルが高い場合は、増倍係数ではなく、複数のクルーを対象とした固定値を用いる | |

注：日本原子力学会標準「原子力発電所の停止時を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2010」の表 L.4 から転記

起因事象発生前の人的過誤として評価した事象の抽出について

停止時 P R A における起因事象発生前の人的過誤は、出力運転時と同様の方法で抽出している。本 P R A で評価対象とした起因事象発生前の人的過誤の抽出過程を以下に示す。ここで、起因事象発生前の人的過誤は運転員による試験・操作及びその後の状態復旧を対象としており、保守員による保全作業時の人的過誤（計装機器の校正エラーを含む。）については機器故障率に含まれているとして、ここでは取り扱っていない。

(1) 操作・作業の同定

フォールトツリーでモデル化している全ての機器を対象に、プラント運転中及び停止中における操作・作業等を手順書類（定期試験手順書、設備別運転手順書等）から抽出する。なお、プラント停止中の作業として、緩和設備の点検作業があるが、点検作業終了前にプラント運転中の定期試験と同様の試運転を実施し、系統・機器の健全性を確認している。

(2) スクリーニング

抽出した操作・作業等に対し、日本原子力学会標準「原子力発電所の停止状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 1PSA 編）：2010」（以下「学会標準」という。）に基づき、以下に示すスクリーニング基準を設け、スクリーニングできない操作・作業等について、起因事象発生前の人的過誤として定義する。

- a. 系統の要求に対して機器の調整が自動的に行われるもの。
- b. 中央制御室にて機器の状態表示が確認でき、その状態が日常的に確認されており、かつ調整が可能なもの。
- c. 実施されている保守後の機能試験により、誤調整が明らかにな

るもの。

- d. 当初の操作の後，チェックリストに基づく独立した機器の状態確認があるもの（N U R E G－1 7 9 2を参考に設定※）。

※：学会標準に本スクリーニング基準に関する記載はないが，
N U R E G－1 7 9 2を参考に，従属性のない独立した確認が別途実施されている場合においては，起因事象発生前の人的過誤を除外できるものとして設定している。

- e. 機器の状態確認が頻繁に実施されているもの。

本P R Aで評価対象とした全ての系統について検討した結果，停止時特有の起因事象発生前の人的過誤は抽出されず，出力運転時と同様に以下の人的過誤が抽出された。なお，スクリーニング基準d.のみで除外した起因事象発生前の人的過誤はなかった。

- ・手動弁に対する開け忘れ／閉め忘れ
- ・定期試験において非常用D Gを母線に並列させる際に手動でガバナ類の調整を行うが，試験後の待機状態（自動投入可能な設定）への復旧に失敗する。

起因事象発生前の人的過誤の抽出結果のうち，非常用D Gの例を表1に示す。

表 1 起因事象発生前の人的過誤の抽出結果（非常用 D G の例）

| 起因事象発生前の人的過誤の抽出結果 | | 対象とした操作・作業等とスクリーニング結果 | | | | モデル化の 要否 |
|----------------------|--------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------------|-------------|-------------|
| | | 運転中の試験等に伴う操作等に起因 (定期試験手順等) | | プラント停止中の操作等に起因 (設備別手順書, 定期試験手順等) | | |
| 機器種類 | 人的過誤のモード | 操作・作業等 | 除外理由 | 操作・作業等 | 除外理由 | |
| 非常用 D G 本体 | 待機（自動）への復旧失敗 | 試験時の運転操作 | 除外ルール b . | 試験時の運転操作 | 除外ルール b . | 否 |
| 非常用 D G ガバナ | 通常状態への復旧失敗 | 試験時の手動操作 | 除外ルールに該当しない | 試験時の手動操作 | 除外ルールに該当しない | 要 |
| 非常用 D G 燃料油移送ポンプ | 待機への復旧失敗 | 試験時の運転操作 | 除外ルール b . | 試験時の運転操作 | 除外ルール b . | 否 |
| 非常用 D G 空調機 | 待機への復旧失敗 | 試験時の運転操作 | 除外ルール b . | 試験時の運転操作 | 除外ルール b . | 否 |
| 非常用 D G 冷却水ライン手動弁 | 待機（弁開）への復旧失敗 | なし | － | 点検後の待機状態への復旧操作 | 除外ルールに該当しない | 要 |

人的過誤に係わる認知失敗の考え方について

(1) 本 P R A における認知失敗の設定の考え方について

a. 残留熱除去系の故障，外部電源喪失

残留熱除去系の故障及び外部電源喪失が発生した場合の認知失敗については，T A F が露出するまでの余裕時間が最も短い P O S - S でも約4時間であり，崩壊熱除去機能が喪失していることの認知に失敗することは想定し難いため，認知失敗は考慮していない。

b. 原子炉冷却材の流出

(a) R H R 系統切替時の L O C A

R H R 系統切替は原子炉水位がウェル満水時に実施される場合と通常水位で実施される場合が考えられる。原子炉水位がウェル満水時の場合は，T A F 露出までの余裕時間が長く，冷却材流出の認知に失敗する可能性は極めて低いと考えられることから，冷却材流出の認知失敗は考慮していない。また，原子炉水位が通常水位の場合は，余裕時間を T A F 到達までの3時間として，以下の人的過誤を考慮し，認知失敗確率を $1.8\text{E-}7/d$ と設定した（表 1）。

・ R H R 系統切替操作時のプラント状態の確認失敗

手順書（10 項目以下）中の 1 項目を省いてしまう人的過誤確率

・ 管理者のプラント状態チェック失敗

手順書を用いて行う慣例的な点検（作業）の作業ミスを発見しそこなう人的過誤確率を用い，これに低従属を考慮し

評価

- ・原子炉水位認知失敗（3 時間）

運転員が 3 時間以内に原子炉水位低下の認知に失敗する確率

表 1 R H R 系統切替時の L O C A の認知失敗確率

| 項目 | 平均値 | 中央値 | 備考 |
|------------------------------------|---------|---------|--|
| R H R 系統切替操作時のプラント状態の確認失敗 | — | 2.0E-03 | N U R E G / C R - 1 2 7 8 T a b l e 2 0 - 7 (1) |
| 管理者のプラント状態チェック失敗 | — | 1.5E-01 | N U R E G / C R - 1 2 7 8 T a b l e 2 0 - 2 2 (1) の人的過誤確率 0.1 に低従属を考慮 |
| 原子炉水位認知失敗（3 時間） | — | 4.6E-05 | N U R E G / C R - 1 2 7 8 T a b l e 2 0 - 3 |
| R H R 系統切替時の L O C A における運転員認知失敗確率 | 1.8E-07 | — | エラーファクタ（E F）：42.7 |

(b) C U W ブロー時の L O C A

C U W ブロー時の L O C A が発生した場合の認知失敗については、中央制御室の運転員による原子炉水位低下の認知失敗の他に、ブロー先である廃棄物処理設備（R / W）制御室の運転員による認知失敗をモデル化している。C U W ブロー時の認知に対する余裕時間を T A F 到達までの 3 時間として、以下の人的過誤を考慮し、認知失敗確率を 3.0E-7 / d と設定した（表 2）。

- ・中央制御室運転員認知失敗（3 時間）

中央制御室運転員が 3 時間以内に原子炉水位低下の認知に

失敗する確率

- ・ R / W 制御室運転員認知失敗（3 時間）

R / W 制御室運転員が 3 時間以内に廃液収集タンク等の水位高の認知に失敗する確率

表 2 C U W ブロー時の認知失敗確率

| 項目 | 平均値 | 中央値 | 備考 |
|--|---------|---------|--|
| 中央制御室 運転員認知失敗 (3 時間) | — | 9.2E-05 | N U R E G / C R - 1 2 7 8 T a b l e 2 0 - 3 |
| N R / W 制御室運転 員認知失敗 (3 時間) | — | 4.6E-05 | N U R E G / C R - 1 2 7 8 T a b l e 2 0 - 3 |
| C U W ブロー時の L O C A における運転 員認知失敗確率 | 3.0E-07 | — | エラーファクタ (E F) : 122.7 |

(c) C R D 点検時の L O C A , L P R M 点検時の L O C A

C R D 点検時の L O C A 及び L P R M 点検時の L O C A が発生した場合の認知失敗については、現場作業に伴う人的過誤で発生する事象であるため作業員が必ず気づくことを考慮し、本 P R A では認知失敗を考慮していない。

(2) 認知失敗確率に対する感度解析

a . 残留熱除去系の故障，外部電源喪失

(1) で述べたとおり，本 P R A においては，残留熱除去系の故障及び外部電源喪失が発生した場合の認知失敗については，T A F 到達までとした余裕時間が十分長いことから考慮していない。この認知失敗について，除熱系緩和設備に対する余裕時間を

100℃到達までの時間とし、注水系緩和設備に対する余裕時間を T A F 到達までの時間として評価した結果を表 1 に示す。なお、表 1 における注水認知失敗確率は除熱認知に失敗する条件付き確率として設定している。また、余裕時間が 1500 分を超える認知失敗については、多数の警報、定時のパラメータチェック、巡視点検、直交代等の過誤回復手段があるため、必ず認知できるとした。

b. 原子炉冷却材の流出

(a) R H R 系統切替時の L O C A

(1)で述べたとおり、本 P R A においては、R H R 系統切替時の L O C A が発生した場合の認知失敗については、R H R 系統切替操作後の確認段階における操作運転員による認知及び管理者の過誤回復、その後の余裕時間内における運転員認知について期待できるものとして評価している。ただし、前者の操作後の認知及びその過誤回復については、起因事象発生頻度を評価する際に考慮した人的過誤との従属性に対する不確かさが考えられるため、保守的に期待しないとして評価した場合、認知失敗確率は $7.8\text{E-}04/\text{d}$ となった（表 3）。

表 3 R H R 系統切替時の L O C A の認知失敗確率（感度（通常水位））

| 項目 | 平均値 | 中央値 | 備考 |
|------------------------------------|------------------|------------------|--|
| 原子炉水位認知失敗（3 時間） | — | $9.2\text{E-}05$ | N U R E G / C R - 1 2 7 8 T a b l e 2 0 - 3 |
| R H R 系統切替時の L O C A における運転員認知失敗確率 | $7.8\text{E-}04$ | — | エラーファクタ（E F）を 30 と設定 |

また，ウェル満水時の R H R 系統切替時の L O C A の認知失敗確率についても同様に評価した場合，T A F 到達までの余裕時間（22 時間）内における認知失敗確率は $1.9\text{E-}04/\text{d}$ となった（表 4）。

表 4 R H R 系統切替時の L O C A の認知失敗確率（感度（ウェル満水））

| 項目 | 平均値 | 中央値 | 備考 |
|---|------------------|------------------|--|
| 原子炉水位認知失敗 （22 時間） | — | $2.2\text{E-}05$ | N U R E G / C R - 1 2 7 8 T a b l e 2 0 - 3 |
| R H R 系統切替時の L O C A における運 転員認知失敗確率 | $1.9\text{E-}04$ | | エラーファクタ（E F）を 30 と 設定 |

(3) 感度解析ケースの炉心損傷頻度

(2) で算出した各認知失敗確率を用いて炉心損傷頻度を評価した結果を表 2，図 1 及び図 2 に示す。また，ベースケースの炉心損傷頻度を表 3 に示す。感度解析ケースの全炉心損傷頻度は， $5.6\text{E-}6/\text{施設定期検査}$ であり，ベースケースの 1.1 倍となった。これは主に，R H R 系統切替時の L O C A の認知失敗確率が増加したことの影響によるもので，全炉心損傷頻度に対する R H R 系統切替時の L O C A の寄与割合も 0.1% 未満から 8.0% へ増加した。なお，本 P R A ではモデル化していないが，冷却材流出時の R H R 自動隔離信号に期待できる期間もあることから，本信号を考慮することで R H R 系統切替時の L O C A の炉心損傷頻度の低減が期待できる。

残留熱除去系の故障及び外部電源喪失が発生した場合の除熱認知失敗及び注水認知失敗を考慮した影響は、崩壊熱除去機能喪失（「R H R 喪失」，「R H R S 喪失」）及び外部電源喪失の炉心損傷頻度が微増した程度であり，全炉心損傷頻度に対する大きな影響はなかった。

表 1 余裕時間の評価結果（「残留熱除去系の故障」及び「外部電源喪失」）

| P O S | 余裕時間 | | 除熱の必要性に対する 認知失敗確率 | | 注水の必要性に対する 認知失敗確率※ ² | |
|-------|--------------------------|--|----------------------|----|------------------------------------|----|
| | 除熱認知 (100℃到達) [/h] | 注水認知※ ¹ (T A F 到達) [/h] | 平均値 [/d] | EF | 平均値 [/d] | EF |
| S | 0.5 | 3 | 5.3E-03 | 10 | 1.5E-01 | 1 |
| A | 1 | 5 | 1.7E-03 | 30 | 3.2E-01 | 1 |
| B 1 | 1 | 53 | 1.7E-03 | 30 | —※ ³ | |
| B 2 | 2 | 90 | 1.0E-03 | 30 | —※ ³ | |
| B 3 | 3 | 107 | 7.8E-04 | 30 | —※ ³ | |
| B 4 | 4 | 155 | 6.3E-04 | 30 | —※ ³ | |
| B 5 | 5 | 174 | 5.4E-04 | 30 | —※ ³ | |
| B 6 | 5 | 199 | 5.4E-04 | 30 | —※ ³ | |
| C 1 | 6 | 35 | 4.7E-04 | 30 | —※ ³ | |
| C 2 | 6 | 38 | 4.7E-04 | 30 | —※ ³ | |
| D | 7 | 40 | 4.2E-04 | 30 | —※ ³ | |

※1 操作時間 30 分を考慮

※2 除熱認知に失敗する条件付き確率

※3 25 時間以上の時間余裕がある場合は、多数の警報、定時のパラメーターチェック、巡視点検、直交代等の過誤回復が手段あるため、認知失敗を考慮しない

表 2 起因事象別・POS別炉心損傷頻度内訳表（感度解析）

| POS | | S | A | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | C1 | C2 | D | 合計 （／施設定期検査） | 寄与割合 |
|--------------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|--------|
| 日数 | | 1 日間 | 2 日間 | 5 日間 | 3 日間 | 14 日間 | 8 日間 | 12 日間 | 13 日間 | 8 日間 | 9 日間 | 7 日間 | | |
| 崩壊熱除去機能喪失 | | 5.0E-08 (5.0E-08) | 6.7E-08 (3.4E-08) | 2.5E-07 (5.0E-08) | 1.6E-07 (5.3E-08) | 7.1E-07 (5.1E-08) | 2.5E-12 (3.1E-13) | 6.4E-10 (5.4E-11) | 7.4E-13 (5.7E-14) | 4.5E-13 (5.6E-14) | 4.2E-12 (4.7E-13) | 4.0E-13 (5.8E-14) | 1.2E-06 | 22.2% |
| | | 4.5E-08 (4.5E-08) | 6.0E-08 (3.0E-08) | 2.2E-07 (4.5E-08) | 1.4E-07 (4.7E-08) | 6.3E-07 (4.5E-08) | 2.2E-12 (2.8E-13) | 1.5E-11 (1.3E-12) | 2.8E-13 (2.2E-14) | 1.7E-13 (2.2E-14) | 2.2E-12 (2.5E-13) | 1.5E-13 (2.2E-14) | 1.1E-06 | 19.7% |
| | | 5.6E-09 (5.6E-09) | 7.6E-09 (3.8E-09) | 2.8E-08 (5.6E-09) | 1.7E-08 (5.8E-09) | 7.9E-08 (5.6E-09) | 2.8E-13 (3.5E-14) | 6.3E-10 (5.2E-11) | 4.6E-13 (3.5E-14) | 2.8E-13 (3.5E-14) | 2.0E-12 (2.2E-13) | 2.5E-13 (3.6E-14) | 1.4E-07 | 2.5% |
| 外部電源喪失 | | 2.1E-08 (2.1E-08) | 2.9E-08 (1.5E-08) | 8.0E-07 (1.6E-07) | 7.8E-07 (2.6E-07) | 2.2E-06 (1.6E-07) | 3.0E-09 (3.7E-10) | 4.4E-09 (3.7E-10) | 4.7E-09 (3.6E-10) | 3.0E-09 (3.7E-10) | 3.8E-08 (4.2E-09) | 2.5E-09 (3.6E-10) | 3.9E-06 | 69.8% |
| 原子炉冷却材の流出 | | — | — | — | 4.4E-08 | — | — | 4.4E-08 | — | 2.9E-11 | 1.8E-07 | 1.8E-07 | 4.5E-07 | 8.0% |
| | RHR系統切替 | — | — | — | 4.4E-08 | — | — | 4.4E-08 | — | — | 1.8E-07 | 1.8E-07 | 4.5E-07 | 8.0% |
| | C UWブロー | — | — | — | — | — | — | — | — | 2.9E-11 | — | 2.9E-11 | 5.8E-11 | <0.1% |
| | C RD点検 | — | — | — | 4.5E-11 | — | — | — | — | — | — | — | 4.5E-11 | <0.1% |
| | L PRM点検 | — | — | — | 9.8E-14 | — | — | — | — | — | — | — | 9.8E-14 | <0.1% |
| 合計 （／POS） | | 7.1E-08 | 9.6E-08 | 1.0E-06 | 9.8E-07 | 2.9E-06 | 3.0E-09 | 4.9E-08 | 4.7E-09 | 3.0E-09 | 2.2E-07 | 1.8E-07 | 5.6E-06 | — |
| 寄与割合 | | 1.3% | 1.7% | 18.8% | 17.6% | 52.3% | <0.1% | 0.9% | <0.1% | <0.1% | 3.9% | 3.3% | — | 100.0% |

上段：／POS，下段（ ）内：／日

表 3 起因事象別・POS別炉心損傷頻度内訳表（ベースケース）

| POS | | S | A | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | C1 | C2 | D | 合計 （／施設定期検査） | 寄与割合 |
|--------------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|---------|
| 日数 | | 1 日間 | 2 日間 | 5 日間 | 3 日間 | 14 日間 | 8 日間 | 12 日間 | 13 日間 | 8 日間 | 9 日間 | 7 日間 | | |
| 崩壊熱除去機能喪失 | | 5. 7E-14 (5. 7E-14) | 3. 1E-13 (1. 5E-13) | 2. 5E-07 (5. 0E-08) | 1. 6E-07 (5. 3E-08) | 7. 1E-07 (5. 1E-08) | 2. 5E-12 (3. 1E-13) | 6. 4E-10 (5. 4E-11) | 7. 4E-13 (5. 7E-14) | 4. 5E-13 (5. 6E-14) | 4. 2E-12 (4. 7E-13) | 4. 0E-13 (5. 8E-14) | 1. 1E-06 | 22. 6% |
| | RHR 喪失 | 2. 1E-14 (2. 1E-14) | 4. 7E-14 (2. 3E-14) | 2. 2E-07 (4. 5E-08) | 1. 4E-07 (4. 7E-08) | 6. 3E-07 (4. 5E-08) | 2. 2E-12 (2. 8E-13) | 1. 5E-11 (1. 3E-12) | 2. 8E-13 (2. 2E-14) | 1. 7E-13 (2. 2E-14) | 2. 2E-12 (2. 5E-13) | 1. 5E-13 (2. 2E-14) | 9. 9E-07 | 20. 0% |
| | RHR S 喪失 | 3. 5E-14 (3. 5E-14) | 2. 6E-13 (1. 3E-13) | 2. 8E-08 (5. 6E-09) | 1. 7E-08 (5. 8E-09) | 7. 9E-08 (5. 6E-09) | 2. 8E-13 (3. 5E-14) | 6. 3E-10 (5. 2E-11) | 4. 6E-13 (3. 5E-14) | 2. 8E-13 (3. 5E-14) | 2. 0E-12 (2. 2E-13) | 2. 5E-13 (3. 6E-14) | 1. 2E-07 | 2. 5% |
| 外部電源喪失 | | 3. 7E-10 (3. 7E-10) | 7. 3E-10 (3. 7E-10) | 8. 0E-07 (1. 6E-07) | 7. 8E-07 (2. 6E-07) | 2. 2E-06 (1. 6E-07) | 3. 0E-09 (3. 7E-10) | 4. 4E-09 (3. 7E-10) | 4. 7E-09 (3. 6E-10) | 3. 0E-09 (3. 7E-10) | 3. 8E-08 (4. 2E-09) | 2. 5E-09 (3. 6E-10) | 3. 8E-06 | 77. 4% |
| 原子炉冷却材の流出 | | — | — | — | 4. 6E-11 | — | — | 7. 3E-17 | — | 2. 9E-11 | 4. 1E-11 | 7. 1E-11 | 1. 9E-10 | <0. 1% |
| | RHR 系統切替 | — | — | — | 4. 2E-13 | — | — | 7. 3E-17 | — | — | 4. 1E-11 | 4. 1E-11 | 8. 3E-11 | <0. 1% |
| | C UWブロー | — | — | — | — | — | — | — | — | 2. 9E-11 | — | 2. 9E-11 | 5. 8E-11 | <0. 1% |
| | CRD 点検 | — | — | — | 4. 5E-11 | — | — | — | — | — | — | — | 4. 5E-11 | <0. 1% |
| | L PRM 点検 | — | — | — | 9. 8E-14 | — | — | — | — | — | — | — | 9. 8E-14 | <0. 1% |
| 合計 （／POS） | | 3. 7E-10 | 7. 3E-10 | 1. 0E-06 | 9. 4E-07 | 2. 9E-06 | 3. 0E-09 | 5. 1E-09 | 4. 7E-09 | 3. 0E-09 | 3. 8E-08 | 2. 6E-09 | 5. 0E-06 | — |
| 寄与割合 | | <0. 1% | <0. 1% | 21. 1% | 18. 9% | 58. 8% | <0. 1% | 0. 1% | <0. 1% | <0. 1% | 0. 8% | <0. 1% | — | 100. 0% |

上段：／POS，下段（ ）内：／日

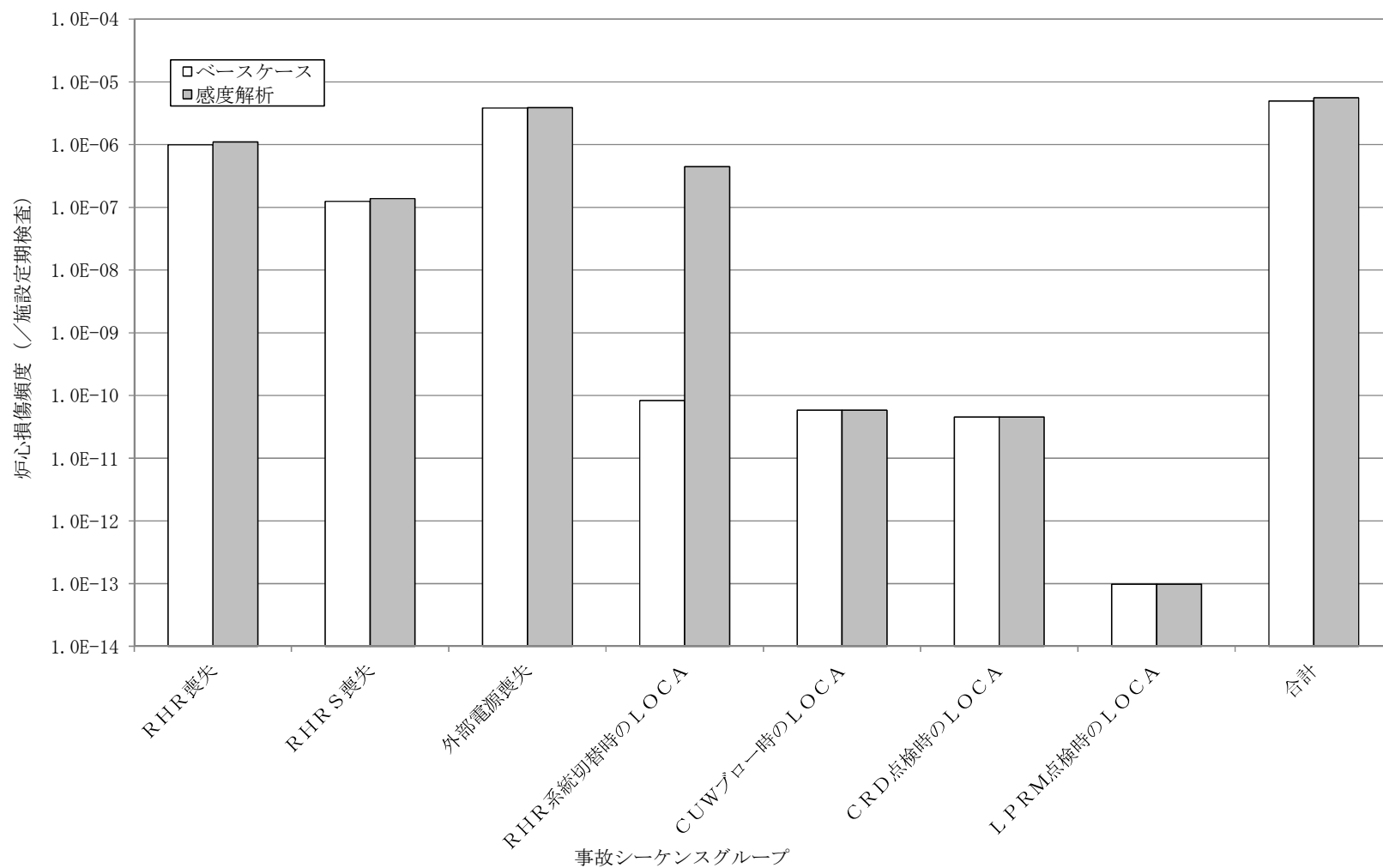
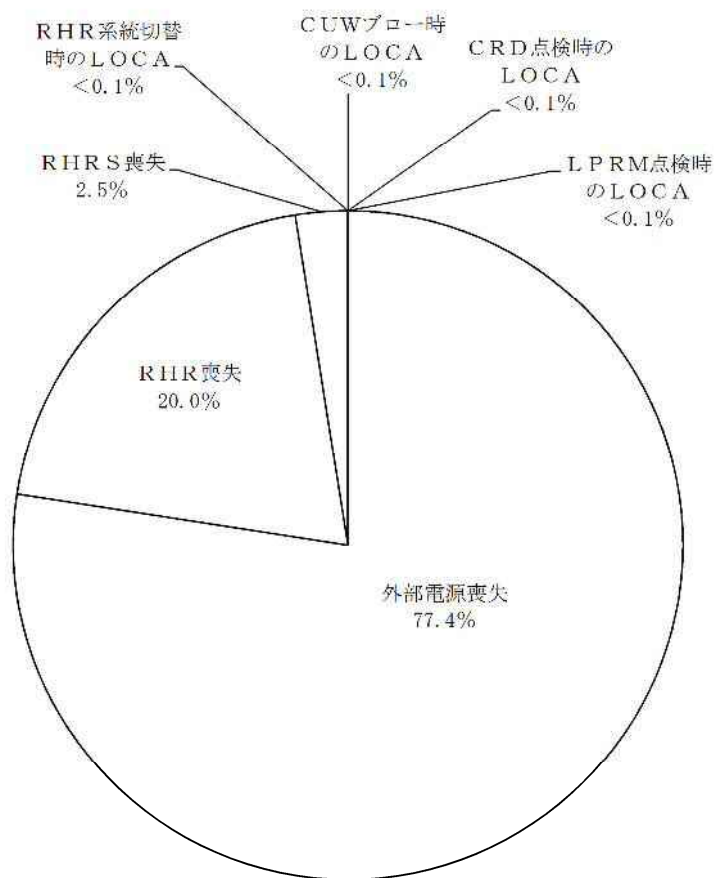
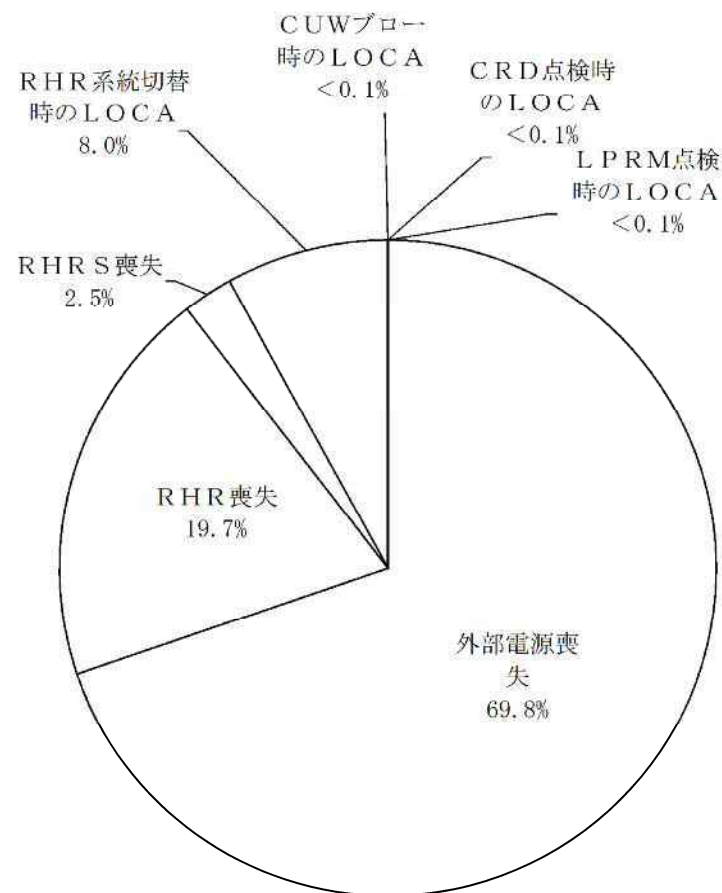


図 1 感度解析結果（炉心損傷頻度の比較）



ベースケース



感度解析

図 2 感度解析結果（事故シーケンスグループ別の寄与割合）

3.2 外部事象P R A

3.2.1 地震P R A

地震P R Aは、一般社団法人日本原子力学会が発行した「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007」（以下「地震P S A学会標準」という。）を参考に評価を実施し、各実施項目については「P R Aの説明における参照事項」（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載事項への適合性を確認した。地震P R Aの評価フローを第 3.2.1-1 図に示す。

なお、今回の地震P R Aでは、地震単独の影響のみを評価しており、地震に随伴する津波（重畳事象）等は対象としていない。

3.2.1.1 対象プラントと事故シナリオ

(1) 対象とするプラントの説明

a. サイト・プラント情報の収集・分析

内部事象出力運転時レベル 1 P R Aにおいて収集した設計、運転・保守管理の情報に加え、地震P R Aを実施するために、プラントの耐震設計やプラント配置の特徴等を踏まえて、地震固有に考慮すべき関連情報を追加で収集・分析した。収集した情報及び情報源を第 3.2.1.1-1 表に示す。なお、関連設計図書等で確認できない事項についてはプラントウォークダウンにて確認した。

b. 機器・系統の配置及び形状・設備容量

主要な機器・系統の配置及び形状・設備容量は 3.1.1 出力運転時 P R Aにて記載した内容と同様である。

c. プラントウォークダウン

(a) プラントウォークダウンの実施手順

机上検討では確認が難しいプラント情報を取得すること及び検討した事故シナリオの妥当性を確認することを目的として、以下の観点からプラントウォークダウンを実施した。（添付資料 3.2.1.1-1）

i) 耐震安全性の確認

ii) 二次的影響の確認

(b) プラントウォークダウン対象の建屋・構築物，機器選定

プラントウォークダウンの対象設備は，基本的に地震 P R A の評価対象設備の全てとしている。ただし，以下を考慮している。

i) 重要事故シーケンス選定を目的とした地震 P R A の評価作業を行う上で調査対象とすべき設備であるかの観点

ii) プラントウォークダウンが有効かつ可能な設備であるかの観点

- ・配管系，ケーブルトレイは，耐震設計法，据付方法が同様であることから，耐震安全性の確認においては以下による代表箇所を対象とする。

- ー配管系は，プラントウォークダウン対象弁付近の配管を対象とする。

- ーケーブルトレイは，プラントウォークダウン対象電気品付近のものを対象とする。

- ・アクセスが困難な以下の設備（例えば，炉内構造物や格納容器内設備であり，机上検討で信頼できる情報が得られる設備等）は除外する。

- ー高線量エリア，汚染の程度が著しいエリアにある設備

- ー確認する場合に通電部位へ接触するおそれがある設備

ー高所・狭隘部にある設備

プラントウォークダウン評価対象設備の選定フローを第 3.2.1.1-1 図に示す。

(c) プラントウォークダウンの実施結果

プラントウォークダウン用チェックシートに基づき、上記(b)で選定した設備を対象に調査を実施した。その結果、調査対象に対する耐震安全性や二次的影響に関して問題はなく、フラジリティ評価及びシステム評価において新たに考慮する事項がないことを確認した。プラントウォークダウンの実施結果の例を第 3.2.1.1-2 図に示す。

d. 今回実施した地震 P R A の前提条件等について

今回実施した地震 P R A について、主に留意すべき点について以下に示す。

(a) 評価の前提条件について

- ・ 起因事象に対する対応は、設計基準対象施設による対応を基本とし、これまでに整備した AM 策及び緊急安全対策並びに重大事故等対処設備については、期待しないものとする。
- ・ 耐震重要度 B 又は C クラスの機器は基本的には期待しない。ただし、安全設備の使命時間内の機能維持に必要となる燃料移送系設備は評価対象とする。（添付資料 3.2.1.1-2）
- ・ 外部電源喪失は、開閉所設備の碍子部の損傷により発生するものとする。
- ・ 地震時には、機器及び電源の復旧は不可能とし、外部電源喪失時の外部電源復旧に期待しない。
- ・ 評価地震動範囲は 0.16G～3.00G（解放基盤面上の加速度）とす

る。

- ・津波及び地震随伴の火災，溢水が建屋，機器及び緩和機能に及ぼす影響は考慮せず，地震の影響のみ評価する。

(b) 地震の影響について

- ・相関性が考えられる設備は，地震の影響により同時に損傷する（完全相関）と仮定する。

(2) 地震により炉心損傷に至る事故シナリオと分析

a. 事故シナリオの概括的な分析・設定

収集したプラント関連情報及びプラントウォークダウンによって得られた情報を用いて，事故シナリオを広範に分析し，事故シナリオを設定した。事故シナリオの設定に当たっては，地震起因による安全機能を有する建屋・構築物，機器の損傷が炉心損傷事故に直接つながりうる事故シナリオだけでなく，安全機能への間接的影響，余震による地震動の安全機能への影響及び経年変化を考慮した場合の影響を考慮した。

なお，地震PRAの評価地震動範囲は，原子炉自動停止となる信号の設定点（スクラム設定値）を目安に0.16G以上とした。

上記の事故シナリオのうち，安全機能への間接的影響，余震による地震動の安全機能への影響及び経年変化を考慮した場合の影響を考慮した事故シナリオについてはスクリーニングを行った。

事故シナリオに対するスクリーニング結果を第3.2.1.1-2表に示す。

b. 起因事象の選定

地震時特有の影響及び内部事象出力運転時レベル1PRAで考慮している起因事象との関係を考慮し，事故シーケンス評価の対象となる起因

事象を第 3.2.1.1-3 図に示すフローを用いて、以下のとおり抽出した。

(添付資料 3.2.1.1-5)

- ・ 原子炉建屋損傷
- ・ 格納容器損傷
- ・ 原子炉圧力容器損傷
- ・ 格納容器バイパス
- ・ 原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失 (E x c e s s i v e L O C A)
- ・ 計装・制御系喪失
- ・ 直流電源喪失
- ・ 交流電源喪失
- ・ 外部電源喪失
- ・ 過渡事象

c. 建屋・機器リストの作成

選定した起因事象の要因となる建屋・構築物，機器及び起因事象が発生した場合の緩和設備に係る建屋・構築物，機器を抽出し，地震 P R A で対象となる建屋・機器リストを作成した。第 3.2.1.1-3 表に建屋・機器リストを示す。

3.2.1.2 確率論的地震ハザード

(1) 確率論的地震ハザード評価の方法

地震 P S A 学会標準の方法に基づき評価を行う。

(2) 確率論的地震ハザード評価に当たっての主要な仮定

a. 震源モデルの設定

震源モデルは、以下のとおり特定震源モデルと領域震源モデルを設定する。それぞれの震源モデルにおいて、当社の調査結果等に基づき設定した震源モデル（以下「調査モデル」という。）の他、地震調査研究推進本部（2012）の知見を参考に設定した震源モデル（以下「推本参考モデル」という。）をロジックツリーで考慮する。

(a) 特定震源モデル

i) 内陸地殻内地震

調査モデルについては、敷地周辺の震源として考慮する活断層等の他、活断層研究会編（1991）に掲載されている活断層に基づいて評価する。推本参考モデルについては、地震調査研究推進本部（2012）で考慮されている活断層を評価対象とする。敷地周辺の考慮する活断層の分布及び諸元をそれぞれ第 3.2.1.2-1 図、第 3.2.1.2-2 図及び第 3.2.1.2-1 表、第 3.2.1.2-2 表に示す。

ii) 海溝型地震

調査モデルでは、関東地震及び 2011 年東北地方太平洋沖型地震を、推本参考モデルでは関東地震、茨城県沖で発生する地震（繰り返し発生する地震）及び 2011 年東北地方太平洋沖型地震を特定震源として扱う。調査モデル及び推本参考モデルで考慮する震源位置及び諸元を第 3.2.1.2-3 図、第 3.2.1.2-4 図及び第 3.2.1.2

－3 表，第 3.2.1.2－4 表に示す。

(b) 領域震源モデル

領域震源モデルについては，内陸地殻内地震及び海溝型地震を考慮する。調査モデルについては，垣見他（2003）を参照して領域区分し，各領域の最大マグニチュードを領域内の過去の地震の最大値を基に設定する。推本参考モデルについては，地震調査研究推進本部（2012）に基づいて領域区分及び各領域の最大マグニチュードを設定する。内陸地殻内地震及び海溝型地震の領域区分を第 3.2.1.2－5 図～第 3.2.1.2－9 図に示す。

b. 地震動伝播モデル

2011 年東北地方太平洋沖型地震については，断層モデルを用いた手法を用いる。それ以外の震源については，Noda et al.（2002）の方法を用い，第 3.2.1.2－10 図～第 3.2.1.2－12 図に示す領域については，地震観測記録を用いた補正係数を考慮する。

c. ロジックツリーの作成

ロジックツリーは，震源モデル及び地震動伝播モデルの設定において，地震ハザード評価に大きな影響を及ぼす要因に基づいて作成する。震源モデルについては前述のとおり，調査モデルと推本参考モデルをロジックツリーで考慮する。作成したロジックツリーを第 3.2.1.2－13 図に，ロジックツリーの分岐及び重みの考え方を第 3.2.1.2－5 表に示す。

(3) 確率論的地震ハザード評価結果

a. 地震ハザード曲線

上記により評価した平均地震ハザード曲線を第 3.2.1.2-14 図に、フラクタイル地震ハザード曲線を第 3.2.1.2-15 図に示す。また、震源別平均ハザード曲線を第 3.2.1.2-16 図に示す。

b. 一様ハザードスペクトル

一様ハザードスペクトルと応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_s-D1 及び断層モデルを用いた手法による基準地震動 $S_s-11 \sim S_s-22$ との比較を第 3.2.1.2-17 図に示す。基準地震動 S_s-D1 の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度である。基準地震動 S_s-11 から S_s-22 の年超過確率は基準地震動 S_s-D1 を超過する周期帯で $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度である。また、内陸地殻内地震の領域震源モデルによる一様ハザードスペクトルと震源を特定せず策定する地震動に基づく基準地震動 S_s-31 との比較を第 3.2.1.2-18 図に示す。基準地震動 S_s-31 の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度である。

一様ハザードスペクトルの算出のもととなる周期ごとの平均ハザード曲線を第 3.2.1.2-19 図に示す。

c. フラジリティ評価用地震動

フラジリティ評価用地震動は、年超過確率 10^{-5} の一様ハザードスペクトルに適合する模擬波とし、経時特性は Noda et al. (2002) に基づき地震規模 M 及び等価震源距離 X_{eq} で与え、それぞれ $M7.6$, $X_{eq} = 25.7\text{km}$ とした。模擬地震波を第 3.2.1.2-20 図に示す。

3.2.1.3-1 建屋のフラジリティ

(1) 評価対象と損傷モードの設定

a. 評価対象物

建屋のフラジリティ評価の対象は、第 3.2.1.1-3 表の建屋・機器リストに記載されたものとし、原子炉建屋とした。原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図をそれぞれ第 3.2.1.3-1-1 図及び第 3.2.1.3-1-2 図に示す。

b. 損傷モード及び部位の設定

建屋の要求機能喪失につながる支配的な構造損傷モード及び部位として、建屋の崩壊シーケンスを踏まえ、層崩壊を伴う耐震壁のせん断破壊を選定した。

(2) フラジリティの評価方法の選択

フラジリティの評価方法として、「現実的耐力と現実的応答による方法（応答解析に基づく方法）」を選択した。評価手法は地震 P S A 学会標準に準拠した手法とする。

(3) フラジリティの評価上の主要な仮定

a. 考慮する不確かさ要因

現実的耐力及び現実的応答の偶然的不確かさ（以下「 β_R 」という。）と認識論的不確かさ（以下「 β_U 」という。）については、地震 P S A 学会標準に基づき評価した。考慮する不確かさ要因の例を第 3.2.1.3-1-1 表に示す。

b. 損傷評価の指標

損傷評価の指標については、耐震壁のせん断破壊の程度を表すことができる指標として、せん断ひずみを選定した。

(4) フラジリティの評価における耐力情報

現実的耐力である損傷限界時のせん断ひずみの平均値と変動係数は地震 P S A 学会標準に示されたボックス壁の実験結果に基づく値を用いることとし、対数正規分布を仮定した。損傷限界点の現実的な値を第 3.2.1.3-1-2 表に示す。

(5) フラジリティの評価における応答情報

現実的応答については、現実的な物性値に基づく地震応答解析を入力レベルごとに実施することにより評価を行った。現実的な物性値は地震 P S A 学会標準に基づき算出し、対数正規分布を仮定した。損傷評価の指標である耐震壁のせん断破壊に対しては水平動が支配的であることから、水平動による評価を行うこととした。

a. 入力地震動

入力地震動は第 3.2.1.2-20 図に示す模擬地震波を入力レベルごとに係数倍したものとした。（最大 $1,500\text{cm/s}^2$ ）

b. 現実的な物性値と応答解析モデル

東海第二発電所の地盤物性値を第 3.2.1.3-1-3 表に、原子炉建屋の物性値を第 3.2.1.3-1-4 表にそれぞれ示す。応答解析に用いる現実的な物性は、地震 P S A 学会標準に示された評価方法に基づき算出した。評価方法を第 3.2.1.3-1-5 表に示す。

原子炉建屋の解析モデル及び解析モデル諸元を第 3.2.1.3-1-3 図及び第 3.2.1.3-1-6 表に，地盤ばね定数と減衰係数を第 3.2.1.3-1-7 表に示す。

c. 現実的応答

現実的応答は，地震 P S A 学会標準に準拠してコンクリート強度，支持地盤のせん断波速度及び建屋の減衰定数を変動パラメータとし，対数正規分布を仮定して 2 点推定法による応答解析を行い，最大応答せん断ひずみの中央値と対数標準偏差を算出した。

(6) 建屋のフラジリティ評価結果

現実的耐力と現実的応答よりフラジリティ曲線と H C L P F（低い損傷確率（5%損傷確率）であることが高い信頼度（95%信頼度）で推定できる地震加速度）を算出した。フラジリティ曲線は，原子炉建屋を構成する全要素のうち，H C L P F が最小となる要素で代表させることとした。ここに，損傷確率は，現実的応答が現実的耐力を上回る確率である。選定した要素の各入力レベルでの損傷確率は，対数正規累積分布関数により近似し，信頼度ごとの連続的なフラジリティ曲線を算出した。

原子炉建屋のフラジリティ曲線を第 3.2.1.3-1-4 図に示す。また H C L P F については第 3.2.1.1-3 表の建屋・機器リストに示す。

3.2.1.3-2 屋外重要土木構造物のフラジリティ

(1) 評価対象と損傷モードの設定

a. 評価対象物

屋外重要土木構造物のフラジリティ評価の対象は、第 3.2.1.1-3 表の建屋・機器リストに記載されたものとし、海水ポンプ室とした。海水ポンプ室の平面図及び断面図をそれぞれ第 3.2.1.3-2-1 図及び第 3.2.1.3-2-2 図に示す。

b. 損傷モード及び部位の設定

海水ポンプ室の要求機能喪失につながる支配的な構造損傷モードとして、非線形時刻歴応答解析による耐震評価に基づき、構造部材の曲げ破壊及びせん断破壊のうち、耐震裕度の観点からせん断破壊を損傷モードとして選定した。対象とする損傷部材は最も耐震性の低い構造部材とした。

(2) フラジリティの評価方法の選択

フラジリティの評価方法として、「現実的耐力と現実的応答による方法（応答解析に基づく方法）」を選択した。評価手法は地震 P S A 学会標準に準拠した手法とした。

(3) フラジリティの評価上の主要な仮定

a. 考慮する不確かさ要因

現実的耐力及び現実的応答の偶然的不確かさ β_R と認識論的不確かさ β_U については、地震 P S A 学会標準に基づき評価した。考慮する不確かさ要因の例を第 3.2.1.3-2-1 表に示す。

b. 損傷評価の指標

損傷評価の指標については、構造部材のせん断破壊の程度を表すことができる指標として、せん断力を選定した。

(4) フラジリティの評価における耐力情報

現実的耐力は、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005）」のせん断破壊に対する照査（材料非線形解析を用いる方法）による評価値を適用した。現実的耐力に含まれる不確実さ要因は、地震 P S A 学会標準を参考に、コンクリートの圧縮強度と鉄筋の降伏強度を考慮し、それぞれ実強度の調査結果、建設時の試験結果から対数正規分布を仮定した。現実的耐力に含まれるコンクリートの圧縮強度及び鉄筋の降伏強度の現実的な値を第 3.2.1.3-2-2 表に示す。

(5) フラジリティの評価における応答情報

現実的応答については、現実的な物性値に基づく地震応答解析を入力レベルごとに実施することにより評価を行った。現実的な物性値は地震 P S A 学会標準に基づき算出し、対数正規分布を仮定した。地震応答解析は地盤及び構造物の非線形を考慮した有限要素法解析手法を用い、水平・鉛直地震動を同時に入力した。

a. 入力地震動

入力地震動は第 3.2.1.2-20 図に示す模擬地震波を入力レベルごとに係数倍したものとした（最大 $1,579\text{cm/s}^2$ （水平）， $1,001\text{cm/s}^2$ （鉛直））。

b. 現実的な物性値と応答解析モデル

東海第二発電所の地盤物性値を第 3.2.1.3-2-3 表に、海水ポンプ室の物性値を第 3.2.1.3-2-4 表にそれぞれ示す。また、鋼管杭の断面諸元を第 3.2.1.3-2-5 表に示す。応答解析に用いる現実的な物性は、応答への影響度が高い地盤物性を対象に地震 P S A 学会標準に示された評価方法に基づき算出した。評価方法を第 3.2.1.3-2-6 表に示す。海水ポンプ室の解析モデルを第 3.2.1.3-2-3 図に示す。

c. 現実的応答

現実的応答は、地震 P S A 学会標準に準拠して、第四紀層のせん断波速度を変動パラメータとし、対数正規分布を仮定して 2 点推定法による応答解析を行い、これらの応答解析結果に基づき算出した。

(6) 屋外重要土木構造物のフラジリティ評価結果

現実的耐力と現実的応答よりフラジリティ曲線と H C L P F を算出した。ここに、損傷確率は、現実的応答が現実的耐力を上回る確率である。選定した要素の各入力レベルでの損傷確率は、対数正規累積分布関数により近似し、信頼度ごとの連続的なフラジリティ曲線を算出した。H C L P F は信頼度 95% のフラジリティ曲線をもとに算出した。

海水ポンプ室のフラジリティ曲線を第 3.2.1.3-2-4 図に示す。また、H C L P F については第 3.2.1.1-3 表の建屋・機器リストに示す。

3.2.1.3-3 機器のフラジリティ

(1) 評価対象と損傷モードの設定

機器のフラジリティ評価の対象を、第 3.2.1.1-3 表の建屋・機器リストに示す。損傷モードは評価対象機器の要求機能に応じ、構造損傷と機能損傷に分類し適切に設定する。

機器のフラジリティ評価のうち、タンク、熱交換器等の静的機器は、要求機能の喪失につながる延性破壊や脆性破壊等の構造損傷の観点からフラジリティ評価を実施する。また、電気盤類及びポンプ・弁等の動的機器は、事故シーケンス評価上の要求機能に応じて構造損傷、動的機能限界や電氣的機能維持限界等の機能損傷の観点からフラジリティ評価を実施し、当該機器のフラジリティとして用いることとする。

なお、構造強度に関する評価では、機器の本体・支持脚・基礎ボルト等の主要部位について耐震評価が実施されるが、部位間で裕度（例えば、設計許容値／発生応力）が異なり、また、同一部位でも評価応力の種類（引張応力、曲げ応力、組合せ応力等）によって裕度が異なる。構造損傷に関するフラジリティ評価では、これらの中から、最も裕度が低かった部位・評価応力に着目して強度に関する係数等を設定する。

(2) フラジリティの評価方法の選択

フラジリティの評価方法として「現実的耐力と現実的応答による方法（以下「応答解析に基づく方法」という。）」、「現実的耐力と応答係数による方法（以下「原研法に基づく方法」という。）」及び「耐力係数と応答係数による方法（以下「安全係数法」という。）」の中から「安全係数法」を選択した。

「安全係数法」は後述のとおり、地震応答解析結果、耐力係数及び応答

係数により評価する。

耐力係数の評価で用いる現実的耐力は、構造損傷については材料強度の規格値等をもとに、機能損傷については試験結果又は解析結果をもとに、地震P S A学会標準等のフラジリティ評価で実績のある既往知見に基づき中央値や不確実さを設定し、算定している。この現実的耐力の評価法は、「応答解析に基づく方法」、「原研法に基づく方法」及び「安全係数法」は本質的に同じであり、同等の精度を有している。また、耐力係数の評価で用いる設計応答値は、既工認等で実績のある応答値（耐震バックチェックベース）、若しくは、当該応答値を一様ハザードスペクトルによる耐震評価結果となるよう補正した応答値（裕度向上ベース）を用いている。

応答係数は、既工認等で実績のある機器の決定論的評価である応答解析結果に基づき評価しているが、決定論的評価は保守性を有する線形範囲の評価を行っている。また、この応答解析に含まれる余裕や不確実さを、地震P S A学会標準等のフラジリティ評価で実績のある既往知見に基づき設定していることから、「応答解析に基づく方法」と比較しても、遜色のない精度で現実的な応答を求めることができる。

なお、「安全係数法」は米国において、評価手法として提案され⁽¹⁾、約40プラントでの評価実績がある^(2～4)。

以上より、米国での評価実績もあり、既往の応答評価結果がそのまま使用できる「安全係数法」を用いることとする。

評価手法は地震P S A学会標準に準拠した手法とする。

(3) フラジリティ評価上の主要な仮定（不確実さの設定、応答係数等）

機器フラジリティ評価とは、地震動の入力が増大し、評価対象機器が損傷に至る時点における最大地動加速度を評価尺度として表示するものであ

る。このとき、最大地動加速度 A を fragility 加速度と称し、機器 fragility 評価ではこれを確率量として扱い、以下の式で表す。

$$A = A_m \times \varepsilon_R \times \varepsilon_U$$

ここで、

A_m : fragility 加速度中央値 (50% 損傷確率に対する最大加速度の中央値)

ε_R : 中央値に対する偶然的な不確かさを示す確率密度分布。中央値を 1.0 として対数標準偏差 β_R である対数正規分布を仮定する。

ε_U : 中央値に対する認識論的な不確かさを示す確率密度分布。中央値を 1.0 として対数標準偏差 β_U である対数正規分布を仮定する。

fragility 加速度 A を対数正規累積分布関数で示したものが機器 fragility 曲線である。

なお、fragility 評価では、直接 A_m , ε_R , ε_U から fragility 加速度を算定せず、一般に安全係数の概念を用いて下式の様に算定する。

$$A_m = F \times A_d \quad (\text{式 3.2.1-1})$$

ここで、

A_m : fragility 加速度中央値

F : 安全係数 (裕度)

A_d : 基準地震動 S_s の最大地動加速度、もしくは、一様ハザードスペクトルに適合する模擬地震波の最大地動加速度

(式 3.2.1-1) の安全係数 (裕度) は、(式 3.2.1-2) のように基準とする地震動による現実的な応答に対する機器の現実的な耐力の割合で定義されるが、(式 3.2.1-3) のように評価対象機器の設計応答値に対する現実的な応答の割合 (応答に関する安全係数) と現実的な耐力に対する

設計応答値の割合（耐力に関する安全係数）に分離して評価する。

ただし，入力地震動に対する機器の応答には，機器自身の応答に加えて建屋の応答が影響することから，応答に関する係数は機器応答係数と建屋応答係数に分割して評価する。

$$F = \frac{\text{現実的な耐力}}{\text{現実的な応答}} \quad (\text{式 3.2.1-2})$$

$$= \underbrace{\frac{\text{設計応答値}}{\text{現実的な応答}}}_{\text{応答に関する係数}} \times \underbrace{\frac{\text{現実的な耐力}}{\text{設計応答値}}}_{\text{耐力に関する係数}}$$

$$\therefore F = F_C \times F_{RE} \times F_{RS} \quad (\text{式 3.2.1-3})$$

ここで，

F_C ：耐力係数

F_{RE} ：機器応答係数

F_{RS} ：建屋応答係数

耐力係数 F_C ，機器応答係数 F_{RE} 及び建屋応答係数 F_{RS} は，それぞれ以下に示す係数に分離して評価する。これらの係数は，フラジリティ評価上に存在する各種の不確実さ要因を評価したものであり，全て対数正規分布する確率量と仮定する。不確実さ要因の整理結果を第 3.2.1.3-3-1 表に示す。

$$F_C = F_S \times F_\mu$$

ここで，

F_S ：強度係数

F_μ ：塑性エネルギー吸収係数

$$F_{RE} = F_{SA} \times F_D \times F_M \times F_{MC}$$

ここで,

F_{SA} : スペクトル形状係数

F_D : 減衰係数

F_M : モデル化係数

F_{MC} : モード合成係数

$$F_{RS} = F_1 \times F_2 \times F_3$$

ここで,

F_1 : 解放基盤表面の地震動に関する係数

F_2 : 建屋への入力地震動に関する係数

F_3 : 建屋の地震応答に関する係数

(4) フラジリティ評価における耐力情報

耐力値は、その評価部位に使われる部材の JSME「発電用原子力設備規格設計・建設規格（2005 年版）」（JSME S NC1-2005）に記載されている許容値を適用した。確率分布については、中央値に関する不確実さの要素について、加振試験結果や文献値、工学的判断等によって評価し、 β_R 、 β_U として定量化した。

(5) フラジリティ評価における応答情報

設計応答値は、建屋・構築物の非線形地震応答解析及び機器の線形地震応答解析による機器評価部位における発生応答等を設定した。地震動は耐震バックチェック評価用地震動（600Gal）を基本とするが、地盤、建屋・構築物の非線形応答を精度よく評価する場合は、第 3.2.1.2-20 図に示す

一様ハザードスペクトルに適合する模擬地震波を，年超過確率 10^{-6} の入力レベルとなるよう係数倍した地震動（1,579Gal）を用いる。確率分布については，中央値に関する不確実さの要素について，加振試験結果や文献値，工学的判断等によって評価し， β_R ， β_U として定量化した。

(6) 機器のフラジリティ評価結果

機器フラジリティ評価結果を第 3.2.1.1-3 表に示す。

機器フラジリティ評価は，その評価上の特徴を踏まえ，「大型機器」，「静的機器」，「動的機器」，「電気盤・計装」及び「配管」の 5 グループに分類した。また，グループごとに代表機器を抽出し，その評価の具体例を以下に示す。各グループの代表機器は F V 重要度を参照し，抽出した。なお，5 グループの分類の考え方については以下のとおりである。

大型機器：原子炉圧力容器等で，多質点時刻歴解析評価が主となる機器の構造損傷

静的機器：上記大型機器以外で，スペクトルモーダル解析又は静的評価が主となる機器の構造損傷

動的機器：ポンプ，内燃機関，電動弁等の動的機器の機能損傷

電気盤・計装：電気盤，計装品等の電氣的機器の機能損傷

配管：配管・サポート等の構造損傷

a. 大型機器（原子炉圧力容器）

評価対象機器の耐震評価条件を以下に示す。

- ・評価対象機器：原子炉圧力容器
- ・設置位置：原子炉建屋
- ・耐震重要度クラス：S

- ・固有振動数：20Hz 以上
- ・各部位の耐震バックチェック評価用地震動 S_s （600Gal）に対する発生応力
- ・評価対象部位：蒸気乾燥器支持ブラケット付根部
- ・評価応力：一次膜応力＋一次曲げ応力

下表に、原子炉压力容器の蒸気乾燥器支持ブラケットの耐震評価結果を示す。これを基にフラジリティを算出した。

表 原子炉压力容器の蒸気乾燥器支持ブラケットの耐震評価結果

| 評価部位 | 材 料 | 評価応力 | 許容値 (MPa) | 発生応力 (MPa) | 裕度 |
|---------------------|---------|------------------|--------------|---------------|------|
| 蒸気乾燥器支持 ブラケット付根部 | SUSF304 | 一次膜応力＋ 一次曲げ応力 | 391 | 105 | 3.72 |

(a) 耐力係数 F_c の評価

i) 強度係数 F_s の評価

本係数は、次式により評価する。

$$F_s = \frac{\sigma_c - \sigma_N}{\sigma_T - \sigma_N}$$

ここで、

σ_c ：限界応力の中央値

σ_T ：地震時発生応力

σ_N ：通常運転時応力

蒸気乾燥器支持ブラケットの材質は SUSF304 であることから、限界応力として J S M E 「発電用原子力設備規格設計・建設規格（2005 年度版）」第 I 編付録図表 Part5 の引張応力 $S_u = 391\text{MPa}$

(評価温度 302℃) を採用する。

上記規格値に含まれる余裕 (S_u 値の 1.13 倍) を考慮して限界応力の中央値とする。(添付資料 3.2.1.3-3-1)

したがって,

$$\sigma_c = 1.13 \times S_u = 1.13 \times 391 = 442 \text{MPa}$$

地震時発生応力は、表の耐震バックチェックの評価結果を、一様ハザードスペクトルによる耐震評価結果に補正して用いることとする。このため、表の発生応力に、以下の計算式より求めた比率の最大値 3.24 を掛け合せた値を計算に用いることとする。(添付資料 3.2.1.3-3-2)

$$\text{比率} = \frac{\text{一様ハザードスペクトルによる} \\ \text{大型機器連成解析より求めた荷重}}{\text{耐震バックチェック評価用地震動による} \\ \text{大型機器連成解析より求めた荷重}}$$

$$\sigma_T = 105 \times 3.24 = 340 \text{MPa}$$

通常運転時応力は、耐震評価において地震時応力を分離して評価していないため 0MPa とする。

$$\sigma_N = 0 \text{MPa}$$

以上より、強度係数 F_s は、以下のとおりとなる。

$$F_s = \frac{\sigma_c}{\sigma_T} = \frac{442}{340} = 1.30$$

不確実さとして、限界応力の中央値 $1.13 \times S_u$ に対して、規格値 S_u が 99%信頼下限に相当すると考え、全て β_U として評価する。

$$\beta_U = \frac{1}{2.33} \ln \left(\frac{1.13 \times S_u}{S_u} \right) = 0.05$$

以上により、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_s = 1.30, \quad \beta_R = 0.00, \quad \beta_U = 0.05$$

ii) 塑性エネルギー吸収係数 F_μ の評価

本係数は、塑性変形によるエネルギー吸収に関する裕度を評価するものである。

強度係数 F_s の評価において、限界応力の中央値として $1.13 \times S_u$ を用いているため、塑性変形によるエネルギー吸収効果は考慮しない。

以上により、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_\mu = 1.00, \quad \beta_R = \beta_U = 0.00$$

(b) 機器応答係数 F_{RE} の評価

i) スペクトル形状係数 F_{SA} の評価

本係数は、設計で用いられる床応答スペクトルの拡張に含まれる裕度を評価するものであり、次式により評価する。なお、スペクトル形状係数の概念図を第 3.2.1.3-3-1 図に示す。

$$F_{SA} = \frac{\text{拡張後の床応答スペクトルによる応答加速度}}{\text{拡張前の床応答スペクトルによる応答加速度}}$$

ただし、蒸気乾燥器支持ブラケットは、時刻歴応答解析により評価した原子炉圧力容器の応答加速度を用いて耐震評価を実施しており、床応答スペクトルを用いないことから、本係数は考慮しない。

以上より、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_{SA} = 1.00, \quad \beta_R = \beta_U = 0.00$$

ii) 減衰係数 F_D の評価

本係数は、機器の現実的減衰定数の中央値に対する設計用減衰定数が持つ裕度を評価するものであり、次式により評価する。なお、

減衰係数の概念図を第 3. 2. 1. 3-3-2 図に示す。

$$F_D = \frac{\text{設計用減衰定数による 応答値}}{\text{減衰定数の中央値による 応答値}}$$

蒸気乾燥器支持ブラケットは原子炉圧力容器の応答加速度を用いて耐震評価を実施しており，原子炉圧力容器の設計用減衰定数は 1%，減衰定数の中央値 3%⁽⁵⁾として，係数を算出する。

設計用減衰定数による応答値と減衰定数の中央値での応答値の比は，下記の Newmark の応答倍率式⁽⁶⁾を用いる。

$$\text{応答値} = 3.21 - 0.68 \times \ln(h)$$

ここで，

h：減衰定数（%）

不確実さについては，設計用減衰定数が振動試験による減衰データの下限值として用いられているため，設計用減衰定数による応答値を減衰定数の中央値による応答の 99%上限値と考え算定する。

また， β_R と β_U が等しいとして評価する。

したがって，

$$F_D = \frac{3.21 - 0.68 \times \ln(1)}{3.21 - 0.68 \times \ln(3)} = 1.30$$

$$\beta_R = \beta_U = \frac{1}{2.33 \times \sqrt{2}} \ln \left[\frac{3.21 - 0.68 \times \ln(1)}{3.21 - 0.68 \times \ln(3)} \right] = 0.08$$

以上より，本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_D = 1.30, \quad \beta_R = \beta_U = 0.08$$

iii) モデル化係数 F_M の評価

本係数は，機器の解析モデル化におけるモデル形状・諸元等の実機との差などに起因する裕度を評価するものであり，次式により評

価する。

$$F_M = \frac{\text{設計解析モデルによる 応答加速度}}{\text{現実的解析モデルによる 応答加速度}}$$

ただし、評価対象の解析モデル化は妥当であり、解析モデルから得られる応答は中央値に相当すると考える。

機器の耐震評価は、建屋連成解析モデルを用いて行われているため、モデル化に関する不確実さ β_U は海外文献⁽¹⁾より 0.15 とする。

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_M = 1.00, \quad \beta_R = 0.00, \quad \beta_U = 0.15$$

iv) モード合成係数 F_{MC} の評価

本係数は、機器の地震応答がモーダル解析により評価されている場合に、モード合成に起因する裕度を評価するものである。

ただし、蒸気乾燥器支持ブラケットは原子炉压力容器の応答加速度を用いて耐震評価を実施しており、原子炉压力容器は時刻歴応答解析を実施しているため、本係数は考慮しない。

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_{MC} = 1.00, \quad \beta_R = \beta_U = 0$$

(c) 建屋応答係数 F_{RS} の評価

建屋応答に関する各係数は、第 3.2.1.3-3-2 表に示す原子炉建屋の応答係数を用いる。

i) 解放基盤表面の地震動に関する係数 F_1 の評価

本係数は、基準とする地震動のスペクトルが持つ裕度を評価するものである。本評価では、解放基盤表面における地震動のスペクトル形状係数を考慮する。第 3.2.1.3-3-3 図にスペクトル形状係数

の概念図を示す。

なお、スペクトル形状係数は、基準とする地震動のスペクトルと一様ハザードスペクトルの建屋又は機器の固有周期における比を、次式により評価する。

$$\text{スペクトル形状係数} = \frac{\text{基準地震動の応答加速度}}{\text{一様ハザードスペクトルの応答加速度}}$$

ただし、蒸気乾燥器支持ブラケットは、一様ハザードスペクトルにより評価していることから、スペクトル形状係数は 1.00 とする。

また、不確実さは、確率論的地震ハザード評価における距離減衰式等のばらつきに考慮されるため、本係数では考慮しない。

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_1 = 1.00, \quad \beta_R = \beta_U = 0.00$$

ii) 建屋への入力地震動に関する係数 F_2 の評価

本係数は、地盤モデルに関する設計上の裕度及び基礎による入力損失に関する設計上の裕度を評価するものである。

本評価では、設計地盤モデルは中央値を与えるとみなし、また、基礎が地盤を拘束することによる入力損失は考慮しないことから、中央値を 1.00 とする。

不確実さは、建屋の地震応答に関する係数 F_3 の不確実さと合わせて評価する。

β_R は、地震 P S A 学会標準解説 103 で示される代表プラントにおける床応答スペクトルの不確実さが、おおむね 0.2 程度であることから、0.20 とする。

β_U は、解析モデル化誤差等によるものであり、国内文献⁽⁷⁾に基づき 0.15 とする。

以上より，本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_2 = 1.00, \quad \beta_R = 0.20, \quad \beta_U = 0.15$$

(β_R 及び β_U は F_3 と共通)

iii) 建屋の地震応答に関する係数 F_3 の評価

本係数は，建屋の地震応答モデルに関する設計上の裕度を評価するものである。

本評価では，建屋振動モデルは過去の地震観測記録との整合を考慮した諸元を使用しているため，中央値を与えるものとみなし，また，一般的に建屋の非線形挙動により線形時よりも応答加速度が低減される傾向にあることから，中央値を 1.00 とする。

不確実さは，建屋への入力地震動に関する係数 F_2 の不確実さと合わせて評価する。

以上より，本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_3 = 1.00, \quad \beta_R = 0.20, \quad \beta_U = 0.15$$

(β_R 及び β_U は F_2 と共通)

(d) 評価結果のまとめ

各係数の評価結果を下表に示す。これらの結果より，原子炉圧力容器（蒸気乾燥器支持ブラケット）のフラジリティ加速度の中央値 A_m ，その不確実さ β_R ， β_U 及び $HCLPF$ は，以下のとおりとなる。

また，フラジリティ曲線を第 3.2.1.3-3-4 図に示す。

$$A_m = 2.72 \text{ (G)}$$

$$\beta_R = 0.22, \quad \beta_U = 0.23$$

$$\begin{aligned} HCLPF &= A_m \times \exp[-1.65 \times (\beta_R + \beta_U)] \\ &= 2.72 \times \exp[-1.65 \times (0.22 + 0.23)] \end{aligned}$$

$$=1.29(\text{G})$$

表 原子炉压力容器（蒸気乾燥器支持ブラケット） 安全係数評価結果の一覧

| | | F_C | | F_{RE} | | | | F_{RS} | | | 合計 |
|------|-----------|-------|---------|----------|-------|-------|----------|----------|-------|-------|------|
| | | F_S | F_μ | F_{SA} | F_D | F_M | F_{MC} | F_1 | F_2 | F_3 | |
| 中央値 | | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | | 1.69 |
| 不確かさ | β_R | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | | 0.22 |
| | β_U | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | | 0.23 |

b. 静的機器（残留熱除去系熱交換器）

評価対象機器の耐震評価条件を以下に示す。

- ・ 評価対象機器：残留熱除去系熱交換器
- ・ 設置位置：原子炉建屋 EL. +2.00m
- ・ 耐震重要度クラス：S
- ・ 固有振動数：10.4Hz（1次）
- ・ 各部位の耐震バックチェック評価用地震動 S_s （600Gal）に対する発生応力
- ・ 評価対象部位：アンカボルト
- ・ 評価応力：引張応力及びせん断応力

下表に、残留熱除去系熱交換器の耐震評価結果を示す。各評価部位・各評価応力のうち、裕度が最小であるアンカボルトが、残留熱除去系熱交換器の地震時の損傷に支配的であると考えられることから、アンカボルトに着目して評価する。

表 残留熱除去系熱交換器の耐震評価結果

| 評価部位 | 材 料 | 評価応力 | 許容値 (MPa) | 発生応力 (MPa) | 裕 度 |
|--------|--------|-------|--------------|---------------|------|
| 胴板 | SB410 | 一次応力 | 351 | 108 | 3.25 |
| 架台（脚） | SS400 | 組合せ応力 | 280 | 159 | 1.76 |
| アンカボルト | SCM435 | 引張応力 | 488 | 433 | 1.12 |
| | | せん断応力 | 375 | 109 | 3.44 |

(a) 耐力係数 F_c の評価

i) 強度係数 F_s の評価

ボルトの強度係数は，引張応力及びせん断応力に対して次式により評価する。

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_c}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_c}\right)^2 = \left(\frac{1}{F_\sigma}\right)^2 + \left(\frac{1}{F_\tau}\right)^2 = \lambda^2 \leq 1$$

ここで，

λ : ボルトの応力比

σ : ボルトの引張応力

τ : ボルトのせん断応力

σ_c : ボルトの限界引張応力の中央値

τ_c : ボルトの限界せん断応力の中央値

F_σ : 引張に対する余裕度

F_τ : せん断に対する余裕度

以上により，強度係数 F_s は次式により評価する。

$$F_s = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{F_\sigma}\right)^2 + \left(\frac{1}{F_\tau}\right)^2}}$$

アンカボルトの材質は SCM435 であることから、限界応力として J S M E 「発電用原子力設備規格設計・建設規格（2005 年度版）」第 I 編付録図表 Part5 の引張応力 $S_u = 930\text{MPa}$ （評価温度 40°C ）を採用する。なお、上記規格値に含まれる余裕（ S_u 値の 1.17 倍）（添付資料 3.2.1.3-3-1）を考慮するとともに、限界引張応力は谷径断面積と呼び径断面積の比（0.75）を乗じ、限界せん断応力は $S_u / \sqrt{3}$ を用いる。

$$\sigma_c = 1.17 \times 0.75 \times S_u = 1.17 \times 0.75 \times 930 = 816\text{MPa}$$

$$\tau_c = 1.17 \times S_u / \sqrt{3} = 1.17 \times 930 / \sqrt{3} = 628\text{MPa}$$

地震時発生応力は、表の耐震バックチェックの評価結果を、一様ハザードスペクトルによる耐震評価結果に補正して用いることとする。このため、表の発生応力に、以下の計算式より求めた比率（本評価対象の固有周期における比率）1.47 を掛け合せた値を計算に用いることとする。（添付資料 3.2.1.3-3-2）

$$\text{比率} = \frac{\begin{array}{c} \text{一様ハザードスペクトルによる} \\ \text{原子炉建屋応答解析により求めた} \\ \text{EL. + 2.00m の床応答加速度} \end{array}}{\begin{array}{c} \text{耐震バックチェック評価用地震動による} \\ \text{原子炉建屋応答解析により求めた} \\ \text{EL. + 2.00m の床応答加速度} \end{array}}$$

$$F_\sigma = \sigma_c / \sigma = 816 / (433 \times 1.47) = 1.28$$

$$F_\tau = \tau_c / \tau = 628 / (109 \times 1.47) = 3.92$$

以上より、強度係数 F_s は、以下のとおりとなる。

$$F_s = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{F_\sigma}\right)^2 + \left(\frac{1}{F_\tau}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{1.28}\right)^2 + \left(\frac{1}{3.92}\right)^2}} = 1.22$$

不確実さは、限界応力の中央値 $1.17 \times S_u$ に対して、規格値

S_u が 99%信頼下限に相当すると考え、全て β_U として評価する。

$$\beta_U = \frac{1}{2.33} \ln \left(\frac{1.17 \times S_u}{S_u} \right) = 0.07$$

以上より、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_S = 1.22, \quad \beta_R = 0.00, \quad \beta_U = 0.07$$

ii) 塑性エネルギー吸収係数 F_μ の評価

本係数は、塑性変形によるエネルギー吸収に関する裕度を評価するものである。

強度係数 F_S の評価については、限界応力の中央値として $1.17 \times S_u$ を用いているため、塑性変形によるエネルギー吸収係数効果は考慮しない。

以上より、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_\mu = 1.00, \quad \beta_R = \beta_U = 0.00$$

(b) 機器応答係数 F_{RE} の評価

i) スペクトル形状係数 F_{SA} の評価

本係数は、設計で用いられる床応答スペクトルの拡張に含まれる裕度を評価するものであり、次式により評価する。なお、スペクトル形状係数の概念図を第 3.2.1.3-3-1 図に示す。

$$F_{SA} = \frac{\text{拡張後の床応答スペクトルによる応答加速度}}{\text{拡張前の床応答スペクトルによる応答加速度}}$$

拡張前後の応答スペクトル比（拡張後／拡張前）は、サイト・プラントによらず有意な差はないと考えられるため、国内の代表プラントで評価した値を用いる。

国内の代表プラントでの拡張前後の応答スペクトル比は、機器系

の主要周期帯である 0.05～0.1 秒に対して 1.1～1.4 であり，この知見から中央値 F_{SA} を算定する。

不確実さは，最小値と最大値がそれぞれ中央値に対し－95%下限値と＋95%上限値に相当するものとみなし算定する。なお，不確実さは，本係数を各機器に対して一般値として適用するため，すべて β_U とする。

$$F_{SA} = \sqrt{1.1 \times 1.4} = 1.24$$

$$\beta_U = \frac{1}{1.65 \times 2} \ln \left(\frac{1.4}{1.1} \right) = 0.07$$

以上より，本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_{SA} = 1.24, \quad \beta_R = 0.00, \quad \beta_U = 0.07$$

ii) 減衰係数 F_D の評価

本係数は，機器の現実的減衰定数の中央値に対する設計用減衰定数が持つ裕度を評価するものであり，次式により評価する。なお，減衰係数の概念図を第 3.2.1.3－3－2 図に示す。

$$F_D = \frac{\text{設計用減衰定数による 応答値}}{\text{減衰定数の中央値による 応答値}}$$

ボルトの設計用減衰定数は 1%，減衰定数の中央値 3%⁽⁵⁾として，係数を算出する。

設計用減衰定数と減衰定数の中央値での応答値の比は，下記の Newmark の応答倍率式⁽⁶⁾を用いる。

$$\text{応答値} = 3.21 - 0.68 \times \ln(h)$$

ここで，

h : 減衰定数 (%)

不確実さについては，設計用減衰定数が振動試験による減衰デー

タの下限値として用いられているため、設計用減衰定数による応答値を減衰定数の中央値による応答の 99% 上限値と考え算定する。

また、 β_R と β_U が等しいとして評価する。

したがって、

$$F_D = \frac{3.21 - 0.68 \times \ln(1)}{3.21 - 0.68 \times \ln(3)} = 1.30$$

$$\beta_R = \beta_U = \frac{1}{2.33 \times \sqrt{2}} \ln \left[\frac{3.21 - 0.68 \times \ln(1)}{3.21 - 0.68 \times \ln(3)} \right] = 0.08$$

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_D = 1.30, \quad \beta_R = \beta_U = 0.08$$

iii) モデル化係数 F_M の評価

本係数は、機器の解析モデル化におけるモデル形状・諸元等の実機との差などに起因する裕度を評価するものであり、次式により評価する。

$$F_M = \frac{\text{設計解析モデルによる 応答加速度}}{\text{現実的解析モデルによる 応答加速度}}$$

ただし、評価対象の解析モデル化は妥当であり、解析モデルから得られる応答は中央値に相当すると考える。

機器の耐震評価は、建屋連成解析モデルを用いて行われているため、モデル化に関する不確実さ β_U は海外文献⁽¹⁾より 0.15 とする。

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_M = 1.00, \quad \beta_R = 0.00, \quad \beta_U = 0.15$$

iv) モード合成係数 F_{MC} の評価

本係数は、機器の地震応答がモーダル解析により評価されている場合に、モード合成に起因する裕度を評価するものである。本機器

はスペクトルモーダル解析を行っているため、モード合成法に含まれる余裕としては、地震P S A学会標準解説 98 に基づき、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_{MC}=1.03, \quad \beta_R=0.13, \quad \beta_U=0.00$$

(c) 建屋応答係数 F_{RS} の評価

建屋応答に関する各係数は、第 3.2.1.3-3-2 表に示す原子炉建屋の応答係数を用いる。

i) 解放基盤表面の地震動に関する係数 F_1 の評価

本係数は、基準とする地震動のスペクトルが持つ裕度を評価するものである。本評価では、解放基盤表面における地震動のスペクトル形状係数を考慮する。第 3.2.1.3-3-3 図にスペクトル形状係数の概念図を示す。

なお、スペクトル形状係数は、基準とする地震動のスペクトルと一様ハザードスペクトルの建屋又は機器の固有周期における比を、次式により評価する。

$$\text{スペクトル形状係数} = \frac{\text{基準地震動の応答加速度}}{\text{一様ハザードスペクトルの応答加速度}}$$

なお、本機器は、一様ハザードスペクトルにより評価していることから、スペクトル形状係数は 1.00 とする。

また、不確実さは、確率論的地震ハザード評価における距離減衰式等のばらつきに考慮されるため、本係数では考慮しない。

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_1=1.00, \quad \beta_R=\beta_U=0.00$$

ii) 建屋への入力地震動に関する係数 F_2 の評価

本係数は、地盤モデルに関する設計上の裕度及び基礎による入力損失に関する設計上の裕度を評価するものである。

本評価では、設計地盤モデルは中央値を与えるとみなし、また基礎が地盤を拘束することによる入力損失は考慮しないことから、中央値を 1.00 とする。

不確実さは、建屋の地震応答に関する係数 F_3 の不確実さと合わせて評価する。

β_R は、地震 P S A 学会標準解説 103 で示される代表プラントにおける床応答スペクトルの不確実さが、おおむね 0.2 程度であることから、0.20 とする。

β_U は、解析モデル化誤差等によるものであり、国内文献⁽⁷⁾に基づき 0.15 とする。

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_2 = 1.00, \quad \beta_R = 0.20, \quad \beta_U = 0.15$$

(β_R 及び β_U は F_3 と共通)

iii) 建屋の地震応答に関する係数 F_3 の評価

本係数は、建屋の地震応答モデルに関する設計上の裕度を評価するものである。

本評価では、建屋振動モデルは過去の地震観測記録との整合を考慮した諸元を使用しているため、中央値を与えるものとみなし、また、一般的に建屋の非線形挙動により線形時よりも応答加速度が低減される傾向にあることから、中央値を 1.00 とする。

不確実さは、建屋への入力地震動に関する係数 F_2 の不確実さと合わせて評価する。

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_3 = 1.00, \quad \beta_R = 0.20, \quad \beta_U = 0.15$$

(β_R 及び β_U は F_2 と共通)

(d) 評価結果のまとめ

各係数の評価結果を下表に示す。これらの結果より、残留熱除去系熱交換器（アンカボルト）のフラジリティ加速度の中央値 A_m ，その不確かさ β_R ， β_U 及びHCLPFは，以下のとおりとなる。

また，フラジリティ曲線を第3.2.1.3-3-5図に示す。

$$A_m = 3.27 \text{ (G)}$$

$$\beta_R = 0.25, \quad \beta_U = 0.25$$

$$\begin{aligned} \text{HCLPF} &= A_m \times \exp[-1.65 \times (\beta_R + \beta_U)] \\ &= 3.27 \times \exp[-1.65 \times (0.25 + 0.25)] \\ &= 1.43 \text{ (G)} \end{aligned}$$

表 残留熱除去系熱交換器（アンカボルト） 安全係数評価結果の一覧

| | | F_C | | F_{RE} | | | | F_{RS} | | | 合計 |
|------|-----------|-------|---------|----------|-------|-------|----------|----------|-------|-------|------|
| | | F_S | F_μ | F_{SA} | F_D | F_M | F_{MC} | F_1 | F_2 | F_3 | |
| 中央値 | | 1.22 | 1.00 | 1.24 | 1.30 | 1.00 | 1.03 | 1.00 | 1.00 | | 2.03 |
| 不確かさ | β_R | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.13 | 0.00 | 0.20 | | 0.25 |
| | β_U | 0.07 | 0.00 | 0.07 | 0.08 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | | 0.25 |

c. 動的機器（残留熱除去系海水系ポンプ）

評価対象機器の耐震評価条件を以下に示す。

- ・評価対象機器：残留熱除去系海水系ポンプ
- ・設置位置：海水ポンプ室 EL. +0.8m

- ・耐震重要度クラス：S
- ・固有振動数：水平 15.2Hz，鉛直 20Hz 以上
- ・各部位の耐震バックチェック評価用地震動 S_s （水平 600Gal，鉛直 400Gal）に対する設計応答加速度：水平方向 0.04G，鉛直方向 0.49G
- ・機能維持確認済加速度：水平方向 14.6G⁽⁸⁾，鉛直方向 2.0G

水平方向と鉛直方向の応答加速度に対して動的機能維持評価を行うが，ここでは耐震裕度が小さい鉛直方向についての評価を示す。（添付資料 3.2.1.3-3-3）

(a) 耐力係数 F_c の評価

i) 強度係数 F_s の評価

本係数は下記の式にて算出する。

$$F_s = \frac{\text{損傷加速度中央値}}{\text{機器応答加速度}}$$

・損傷加速度中央値について

ポンプ類のように，構造強度に加え動的機能維持が必要な機器については，試験加速度（機能維持確認済加速度等）に基づきフラジリティ評価を行う。

ここで，フラジリティ評価における試験加速度は，既往の検討結果より以下の値を用いる。

鉛直：2.0G

フラジリティ評価のベースとする試験加速度レベルでは誤動作・損傷が見られないことから，試験加速度が HCLPF に相当すると考え，地震 PSA 学会標準解説 85 に基づき，誤動作・損傷に対す

る加速度の中央値 A_m を以下のように推定する。

$$A_m = HCLPF / 0.9$$

不確かさは、 A_m と $HCLPF$ より求める。 A_m と $HCLPF$ の関係は下記のとおりである。

$$A_m = HCLPF \times \exp[1.65 \times (\beta_R + \beta_U)]$$

β_R と β_U は同程度と考え、 $\beta_R = \beta_U$ とする。

したがって、強度係数 F_s 及びその不確かさは、以下のとおりとなる。

$$F_s = \frac{\text{損傷加速度の中央値}}{\text{応答加速度}} = \frac{HCLPF / 0.9}{\text{応答加速度}}$$
$$= \frac{2.0 / 0.9}{0.49} = 4.53$$

$$\beta_R = \beta_U = \frac{1}{1.65 \times 2} \ln \left(\frac{HCLPF / 0.9}{HCLPF} \right)$$
$$= \frac{1}{1.65 \times 2} \ln \left(\frac{2.0 / 0.9}{2.0} \right) = 0.03$$

ii) 塑性エネルギー吸収係数 F_μ の評価

本係数は、塑性変形によるエネルギー吸収に関する裕度を評価するものである。

残留熱除去系海水系ポンプについては、変形が大きくなると機能喪失につながるため、本係数は考慮しない。

以上より、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_\mu = 1.00, \quad \beta_R = \beta_U = 0.00$$

(b) 機器応答係数 F_{RE} の評価

i) スペクトル形状係数 F_{SA} の評価

本係数は、設計で用いられる床応答スペクトルの拡幅に含まれる裕度を評価するものであり、次式により評価する。なお、スペクトル形状係数の概念図を第 3.2.1.3-3-1 図に示す。

$$F_{SA} = \frac{\text{拡幅後の床応答スペクトルによる応答加速度}}{\text{拡幅前の床応答スペクトルによる応答加速度}}$$

ただし、本機器は剛構造であるため、本係数は考慮しない。

以上より、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_{SA} = 1.00, \quad \beta_R = \beta_U = 0.00$$

ii) 減衰係数 F_D の評価

本係数は、機器の現実的減衰定数の中央値に対する設計用減衰定数が持つ裕度を評価するものであり、次式により評価する。なお、減衰係数の概念図を第 3.2.1.3-3-2 図に示す。

$$F_D = \frac{\text{設計用減衰定数による 応答値}}{\text{減衰定数の中央値による 応答値}}$$

ただし、本機器は剛構造であるため、本係数は考慮しない。

以上より、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_D = 1.00, \quad \beta_R = \beta_U = 0.00$$

iii) モデル化係数 F_M の評価

本係数は、機器の解析モデル化におけるモデル形状・諸元等の実機との差などに起因する裕度を評価するものであり、次式により評価する。

$$F_M = \frac{\text{設計解析モデルによる 応答加速度}}{\text{現実的解析モデルによる 応答加速度}}$$

ただし，本機器の機能損傷による評価は試験加速度値を採用しており，解析モデル等を構築した評価ではないことから，本係数は考慮しない。

以上より，本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_M=1.00, \beta_R=\beta_U=0.00$$

iv) モード合成係数 F_{MC} の評価

本係数は，機器の地震応答がモーダル解析により評価されている場合に，モード合成に起因する裕度を評価するものである。

ただし，本機器は剛構造であり，モーダル解析による評価ではないことから，本係数は考慮しない。

以上より，本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_{MC}=1.00, \beta_R=\beta_U=0.00$$

(c) 建屋応答係数 F_{RS} の評価

建屋応答に関する各係数は，第 3.2.1.3-3-2 表に示す海水ポンプ室の応答係数を用いる。

i) 解放基盤表面の地震動に関する係数 F_1 の評価

本係数は，基準とする地震動のスペクトルが持つ裕度を評価するものである。本評価では，解放基盤表面における地震動のスペクトル形状係数を考慮する。第 3.2.1.3-3-3 図にスペクトル形状係数の概念図を示す。

なお，スペクトル形状係数は，基準とする地震動のスペクトルと一様ハザードスペクトルの建屋又は機器の固有周期における比を，次式により評価する。

$$\text{スペクトル形状係数} = \frac{\text{基準地震動の応答加速 度}}{\text{一様ハザードスペクトル ーの応答加速度}}$$

本機器は剛構造であることを考慮して、機器・配管系の固有周期のある 1.0 秒以下範囲における応答スペクトル比の最も保守的な値を適用する。

また、不確実さは、確率論的地震ハザード評価における距離減衰式等のばらつきに考慮されるため、本係数では考慮しない。

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_1 = 0.68, \quad \beta_R = \beta_U = 0.00$$

ii) 建屋への入力地震動に関する係数 F_2 の評価

本係数は、地盤モデルに関する設計上の裕度及び基礎による入力損失に関する設計上の裕度を評価するものである。

本評価では、設計地盤モデルは中央値を与えるとみなし、また、基礎が地盤を拘束することによる入力損失は考慮しないことから、中央値を 1.00 とする。

不確実さは、建屋の地震応答に関する係数 F_3 の不確実さと合わせて評価する。

β_R は、地震 P S A 学会標準解説 67 で示される代表プラントにおける床応答スペクトルの不確実さが、0.1 以内であることから、0.10 とする。

β_U は、解析モデル化誤差等によるものであり、国内文献⁽⁷⁾に基づき 0.15 とする。

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_2 = 1.00, \quad \beta_R = 0.10, \quad \beta_U = 0.15$$

(β_R 及び β_U は F_3 と共通)

iii) 建屋の地震応答に関する係数 F_3 の評価

本係数は、建屋の地震応答モデルに関する設計上の裕度を評価するものである。

本評価では、建屋振動モデルは過去の地震観測記録との整合を考慮した諸元を使用しているため、中央値を与えるものとみなし、また、一般的に建屋の非線形挙動により線形時よりも応答加速度が低減される傾向にあることから、中央値を 1.00 とする。

不確かさは、建屋への入力地震動に関する係数 F_2 の不確かさと合わせて評価する。

以上より、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_3 = 1.00, \quad \beta_R = 0.10, \quad \beta_U = 0.15$$

(β_R 及び β_U は F_2 と共通)

(d) 評価結果のまとめ

各係数の評価結果を下表に示す。これらの結果より、残留熱除去系海水系ポンプのフラジリティ加速度の中央値 A_m 、その不確かさ β_R 、 β_U 及び $HCLPF$ は、以下のとおりとなる。

また、フラジリティ曲線を第 3.2.1.3-3-6 図に示す。

$$A_m = 1.25 \text{ (G)}$$

$$\beta_R = 0.10, \quad \beta_U = 0.15$$

$$\begin{aligned} HCLPF &= A_m \times \exp[-1.65 \times (\beta_R + \beta_U)] \\ &= 1.25 \times \exp[-1.65 \times (0.10 + 0.15)] \\ &= 0.83 \text{ (G)} \end{aligned}$$

表 残留熱除去系海水系ポンプ 安全係数評価結果の一覧

| | | F_C | | F_{RE} | | | | F_{RS} | | | 合計 |
|----------|-----------|-------|---------|----------|-------|-------|----------|----------|-------|-------|------|
| | | F_S | F_μ | F_{SA} | F_D | F_M | F_{MC} | F_1 | F_2 | F_3 | |
| 中央値 | | 4.53 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.68 | 1.00 | | 3.06 |
| 不確 実さ | β_R | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | | 0.10 |
| | β_U | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | | 0.15 |

d. 電気盤・計装（非常用パワーセンタ）

評価対象機器の耐震評価条件を以下に示す。

- ・評価対象機器：非常用パワーセンタ
- ・設置位置：原子炉建屋 EL. +2.56m
- ・耐震重要度クラス：S
- ・固有振動数：水平，鉛直とも 20Hz 以上
- ・各部位の耐震バックチェック評価用地震動 S_s （水平 600Gal，鉛直 400Gal）に対する盤の設計応答加速度：水平方向 0.62G，鉛直方向 0.48G
- ・機能維持確認済加速度：水平方向 1.10G，鉛直方向 1.00G

水平方向と鉛直方向の応答加速度に対して動的機能維持評価を行うが，ここでは耐震裕度が小さい水平方向についての評価を示す。（添付資料 3.2.1.3－3－3）

(a) 耐力係数 F_C の評価

i) 強度係数 F_S の評価

本係数は下記の式にて算出する。

$$F_s = \frac{\text{損傷加速度中央値}}{\text{盤応答加速度}}$$

・ 損傷加速度中央値について

電気盤類のように、構造強度に加え電氣的機能維持が必要な機器については、試験加速度（機能維持確認済加速度等）に基づきフラジリティ評価を行う。

フラジリティ評価のベースとする試験加速度レベルでは誤動作・損傷が見られないことから、以下に示す方法（ここでは「 β 設定法」という。）により誤動作・損傷に対する加速度の中央値を推定する。

[β 設定法の概要]

フラジリティ評価において、HCLPFは次式により評価される。

$$HCLPF = Am \times \exp[-1.65 \times (\beta_R + \beta_U)]$$

上式より、

$$Am = HCLPF \times \exp[1.65 \times (\beta_R + \beta_U)]$$

これと同様に、加振試験における損傷加速度の中央値とHCLPFの関係は次式により表される。

損傷加速度の中央値

$$= \text{損傷加速度のHCLPF} \times \exp[1.65 \times (\beta_R + \beta_U)]$$

したがって，“損傷加速度のHCLPF＝試験加速度”とし、不確かさ β_R 及び β_U を与えることにより、損傷加速度の中央値を推定できる。

なお、既往の電気品の試験結果⁽⁹⁾より、電気品の誤動作に関する不確かさは $\beta_R=0.10$ 、 $\beta_U=0.20$ 程度と考えられる。

したがって、非常用パワーセンタの損傷加速度の中央値は、 β 設定法に基づき以下のとおりとなる。

損傷加速度の中央値

$$\begin{aligned} &= \text{試験加速度} \times \exp[1.65 \times (\beta_R + \beta_U)] \\ &= 1.10 \times \exp[1.65 \times (0.10 + 0.20)] \\ &= 1.81 \end{aligned}$$

盤の設計応答加速度は、耐震バックチェックの評価結果を、一様ハザードスペクトルによる耐震評価結果に補正して用いることとする。このため、盤の設計応答加速度に、以下の計算式より求めた比率の最大値 1.77 を掛け合せた値を計算に用いることとする。(添付資料 3.2.1.3-3-2)

$$\text{比率} = \frac{\begin{array}{c} \text{一様ハザードスペクトルによる} \\ \text{原子炉建屋応答解析により求めた} \\ \text{床面の最大震度 (1.0ZPA)} \end{array}}{\begin{array}{c} \text{耐震バックチェック評価用地震動による} \\ \text{原子炉建屋応答解析により求めた} \\ \text{床面の最大震度 (1.0ZPA)} \end{array}}$$

したがって、強度係数 F_s 及びその不確かさは、以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} F_s &= \text{損傷加速度の中央値} / \text{床応答加速度} \\ &= 1.81 / (0.62 \times 1.77) \\ &= 1.65 \\ \beta_R &= 0.10, \quad \beta_U = 0.20 \end{aligned}$$

ii) 塑性エネルギー吸収係数 F_μ の評価

本係数は、塑性変形によるエネルギー吸収に関する裕度を評価するものである。

電気盤類については、変形が大きくなると機能喪失につながるため、本係数は考慮しない。

以上より，本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_{\mu}=1.00, \quad \beta_R=\beta_U=0.00$$

(b) 機器応答係数 F_{RE} の評価

i) スペクトル形状係数 F_{SA} の評価

本係数は，設計で用いられる床応答スペクトルの拡幅に含まれる裕度を評価するものであり，次式により評価する。なお，スペクトル形状係数の概念図を第 3.2.1.3-3-1 図に示す。

$$F_{SA} = \frac{\text{拡幅後の床応答スペクトルによる応答加速度}}{\text{拡幅前の床応答スペクトルによる応答加速度}}$$

ただし，本機器は剛構造であるため，本係数は考慮しない。

以上より，本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_{SA}=1.00, \quad \beta_R=\beta_U=0.00$$

ii) 減衰定数に関する係数 F_D の評価

本係数は，機器の現実的減衰定数の中央値に対する設計用減衰定数が持つ裕度を評価するものであり，次式により評価する。なお，減衰係数の概念図を第 3.2.1.3-3-2 図に示す。

$$F_D = \frac{\text{設計用減衰定数による 応答値}}{\text{減衰定数の中央値による 応答値}}$$

ただし，本機器は剛構造であるため，本係数は考慮しない。

以上より，本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_D=1.00, \quad \beta_R=\beta_U=0.00$$

iii) モデル化に関する係数 F_M の評価

本係数は，機器の解析モデル化におけるモデル形状・諸元等の実機との差などに起因する裕度を評価するものであり，次式により評

価する。

$$F_M = \frac{\text{設計解析モデルによる 応答加速度}}{\text{現実的解析モデルによる 応答加速度}}$$

ただし、本機器の機能損傷による評価は試験加速度値を採用しており、解析モデル等を構築した評価ではないことから、本係数は考慮しない。

以上より、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_M = 1.00, \quad \beta_R = \beta_U = 0.00$$

iv) モード合成法に関する係数 F_{MC} の評価

本係数は、機器の地震応答がモーダル解析により評価されている場合に、モード合成に起因する裕度を評価するものである。

ただし、本機器は剛構造であり、モーダル解析による評価ではないことから、本係数は考慮しない。

以上より、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_{MC} = 1.00, \quad \beta_R = \beta_U = 0.00$$

(c) 建屋応答係数 F_{RS} の評価

建屋応答に関する各係数は、第 3.2.1.3-3-2 表に示す原子炉建屋の応答係数を用いる。

i) 解放基盤表面の地震動に関する係数 F_1 の評価

本係数は、基準とする地震動のスペクトルが持つ裕度を評価するものである。本評価では、解放基盤表面における地震動のスペクトル形状係数を考慮する。第 3.2.1.3-3-3 図にスペクトル形状係数の概念図を示す。

なお、スペクトル形状係数は、基準とする地震動のスペクトルと

一様ハザードスペクトルの建屋又は機器の固有周期における比を、次式により評価する。

$$\text{スペクトル形状係数} = \frac{\text{基準地震動の応答加速度}}{\text{一様ハザードスペクトルの応答加速度}}$$

なお、本機器は、一様ハザードスペクトルにより評価していることから、スペクトル形状係数は 1.00 とする。

また、不確実さは、確率論的地震ハザード評価における距離減衰式等のばらつきに考慮されるため、本係数では考慮しない。

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_1 = 1.00, \quad \beta_R = \beta_U = 0.00$$

ii) 建屋への入力地震動に関する係数 F_2 の評価

本係数は、地盤モデルに関する設計上の裕度及び基礎による入力損失に関する設計上の裕度を評価するものである。

本評価では、設計地盤モデルは中央値を与えるとみなし、また基礎が地盤を拘束することによる入力損失は考慮しないことから、中央値を 1.00 とする。

不確実さは、建屋の地震応答に関する係数 F_3 の不確実さと合わせて評価する。

β_R は、地震 P S A 学会標準解説 103 で示される代表プラントにおける床応答スペクトルの不確実さが、おおむね 0.2 程度であることから、0.20 とする。

β_U は、解析モデル化誤差等によるものであり、国内文献⁽⁷⁾に基づき 0.15 とする。

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_2 = 1.00, \quad \beta_R = 0.20, \quad \beta_U = 0.15$$

(β_R 及び β_U は F_3 と共通)

iii) 建屋の地震応答に関する係数 F_3 の評価

本係数は、建屋の地震応答モデルに関する設計上の裕度を評価するものである。

本評価では、建屋振動モデルは過去の地震観測記録との整合を考慮した諸元を使用しているため、中央値を与えるものとみなし、また、一般的に建屋の非線形挙動により線形時よりも応答加速度が低減される傾向にあることから、中央値を 1.00 とする。

不確実さは、建屋への入力地震動に関する係数 F_2 の不確実さと合わせて評価する。

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_3 = 1.00, \quad \beta_R = 0.20, \quad \beta_U = 0.15$$

(β_R 及び β_U は F_2 と共通)

(d) 評価結果のまとめ

各係数の評価結果を下表に示す。これらの結果より、非常用パワーセンタのフラジリティ加速度の中央値 A_m 、その不確実さ β_R 、 β_U 及び $HCLPF$ は、以下のとおりとなる。

また、フラジリティ曲線を第 3.2.1.3-3-7 図に示す。

$$A_m = 2.66 \text{ (G)}$$

$$\beta_R = 0.22, \quad \beta_U = 0.25$$

$$\begin{aligned} HCLPF &= A_m \times \exp[-1.65 \times (\beta_R + \beta_U)] \\ &= 2.66 \times \exp[-1.65 \times (0.22 + 0.25)] \\ &= 1.22 \text{ (G)} \end{aligned}$$

表 非常用パワーセンタ 安全係数評価結果の一覧

| | | F_C | | F_{RE} | | | | F_{RS} | | | 合計 |
|----------|-----------|-------|---------|----------|-------|-------|----------|----------|-------|-------|------|
| | | F_S | F_μ | F_{SA} | F_D | F_M | F_{MC} | F_1 | F_2 | F_3 | |
| 中央値 | | 1.65 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | | 1.65 |
| 不確 実さ | β_R | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | | 0.22 |
| | β_U | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | | 0.25 |

e. 配管（残留熱除去系海水系配管）

評価対象機器の耐震評価条件を以下に示す。

- ・ 評価対象機器：残留熱除去系海水系配管
- ・ 設置位置：原子炉建屋 EL. +2.00m
- ・ 耐震重要度クラス：S
- ・ 固有振動数：2.84Hz（配管系1次）
- ・ 各部位の耐震バックチェック評価用地震動 S_s （600Gal）に対する発生応力
- ・ 評価対象部位：配管本体
- ・ 評価応力：一次応力

下表に、残留熱除去系海水系配管の耐震評価結果を示す。これを基にフラジリティを算出した。

表 残留熱除去系海水系配管の耐震評価結果

| 評価部位 | 材 料 | 評価応力 | 許容値 (MPa) | 発生応力 (MPa) | 裕度 |
|------|--------|------|--------------|---------------|------|
| 配管本体 | STPT42 | 一次応力 | 410 | 153 | 2.67 |

(a) 機器耐力係数 F_c の評価

i) 強度係数 F_s

本係数は、次式により評価する。

$$F_s = \frac{\sigma_c - \sigma_N}{\sigma_T - \sigma_N}$$

ここで、

σ_c : 限界応力の中央値

σ_T : 地震時発生応力

σ_N : 通常運転時応力

配管本体の材質は STPT42 であることから、限界応力として J S ME 「発電用原子力設備規格設計・建設規格（2005 年度版）」第 I 編付録図表 Part5 の引張応力 $S_u = 410\text{MPa}$ （評価温度 38°C ）を採用する。

上記規格値に含まれる余裕（ S_u 値の 1.17 倍）を考慮して限界応力の中央値とする。（添付資料 3.2.1.3-3-1）

したがって、

$$\sigma_c = 1.17 \times S_u = 1.17 \times 410 = 479\text{MPa}$$

地震時発生応力は、表の耐震バックチェックの評価結果を、一様ハザードスペクトルによる耐震評価結果に補正して用いることとする。このため、表の発生応力に、以下の計算式より求めた比率の最大値 3.15 を掛け合せた値を計算に用いることとする。（添付資料 3.2.1.3-3-2）

$$\text{比率} = \frac{\begin{array}{c} \text{一様ハザードスペクトルによる} \\ \text{原子炉建屋応答解析により求めた} \\ \text{床応答加速度} \end{array}}{\begin{array}{c} \text{耐震バックチェック評価用地震動による} \\ \text{原子炉建屋応答解析により求めた} \\ \text{床応答加速度} \end{array}}$$

$$\sigma_T = 153 \times 3.15 = 481 \text{MPa}$$

通常運転時応力は、耐震評価において地震時応力を分離して評価していないため 0MPa とする。

$$\sigma_N = 0 \text{MPa}$$

以上より、強度に関する係数 F_S は、以下のとおりとなる。

$$F_S = \frac{\sigma_C}{\sigma_T} = \frac{479}{481} = 0.99$$

不確かさとして、限界応力の中央値 $1.17 \times S_u$ に対して、規格値 S_u が 99%信頼下限に相当すると考え、全て β_U として評価する。

$$\beta_U = \frac{1}{2.33} \ln \left(\frac{1.17 \times S_u}{S_u} \right) = 0.07$$

以上より、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_S = 0.99, \quad \beta_R = 0.00, \quad \beta_U = 0.07$$

ii) 塑性エネルギー吸収係数 F_μ の評価

本係数は、塑性変形によるエネルギー吸収に関する裕度を評価するものである。

強度係数 F_S の評価において、限界応力の中央値として $1.17 \times S_u$ を用いているため、塑性変形によるエネルギー吸収効果は考慮しない。

以上より、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_\mu = 1.00, \quad \beta_R = \beta_U = 0.00$$

(b) 機器応答係数 F_{RE} の評価

i) スペクトル形状係数 F_{SA} の評価

本係数は、設計で用いられる床応答スペクトルの拡幅に含まれる

裕度を評価するものであり，次式により評価する。なお，スペクトル形状係数の概念図を第 3.2.1.3-3-1 図に示す。

$$F_{SA} = \frac{\text{拡張後の床応答スペクトルによる応答加速度}}{\text{拡張前の床応答スペクトルによる応答加速度}}$$

応答スペクトル比（拡張後／拡張前）は，サイト・プラントによらず有意な差はないと考えられるため，代表プラントで評価した値を用いる。

代表プラントでの応答スペクトル比は，機器系の主要周期帯である 0.05 秒～0.1 秒に対して 1.1～1.4 であり，この知見から中央値 F_{SA} を算定する。

不確かさは，最小値と最大値がそれぞれ中央値に対し－95％下限値と＋95％上限値に相当するものとみなし算定する。なお，不確かさは，本係数を各機器に対して一般値として適用するため，すべて β_U とする。

$$F_{SA} = \sqrt{1.1 \times 1.4} = 1.24$$

$$\beta_U = \frac{1}{1.65 \times 2} \ln\left(\frac{1.4}{1.1}\right) = 0.07$$

以上より，本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_{SA} = 1.24, \quad \beta_R = 0.00, \quad \beta_U = 0.07$$

ii) 減衰係数 F_D の評価

本係数は，機器の現実的減衰定数の中央値に対する設計用減衰定数が持つ裕度を評価するものであり，次式により評価する。なお，減衰係数の概念図を第 3.2.1.3-3-2 図に示す。

$$F_D = \frac{\text{設計用減衰定数による 応答値}}{\text{減衰定数の中央値による 応答値}}$$

配管の設計用減衰定数は 0.5%，減衰定数の中央値 2.9%として，係数を算出する。

設計用減衰定数と減衰定数の中央値での応答値の比は，下記の Newmark の応答倍率式⁽⁶⁾を用いる。

$$\text{応答値} = 3.21 - 0.68 \times \ln(h)$$

ここで，

h ：減衰定数（%）

不確実さについては，設計用減衰定数が振動試験による減衰データの下限值として用いられているため，設計用減衰定数による応答値を減衰定数の中央値による応答の 99%上限値と考え，算定する。また， β_R と β_U が等しいとして評価する。

したがって，

$$F_D = \frac{3.21 - 0.68 \times \ln(0.5)}{3.21 - 0.68 \times \ln(2.9)} = 1.48$$

$$\beta_R = \beta_U = \frac{1}{2.33 \times \sqrt{2}} \ln \left[\frac{3.21 - 0.68 \times \ln(0.5)}{3.21 - 0.68 \times \ln(2.9)} \right] = 0.12$$

以上より，本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_D = 1.48, \quad \beta_R = \beta_U = 0.12$$

iii) モデル化に関する係数 F_M の評価

本係数は，機器の解析モデル化におけるモデル形状・諸元等の実機との差などに起因する裕度を評価するものであり，次式により評価する。

$$F_M = \frac{\text{設計解析モデルによる 応答加速度}}{\text{現実的解析モデルによる 応答加速度}}$$

ただし，本機器の解析モデル化は妥当であり，中央値に相当する

と考える。本機器の耐震評価は、多質点系モデルを用いて行われているため、モデル化に関する不確かさ β_U は海外文献⁽¹⁾より 0.15 とする。

以上より、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_M = 1.00, \quad \beta_R = 0.00, \quad \beta_U = 0.15$$

iv) モード合成法に関する係数 F_{MC} の評価

本係数は、機器の地震応答がモーダル解析により評価されている場合に、モード合成に起因する裕度を評価するものである。本機器はスペクトルモーダル解析を行っているため、モード合成法に含まれる余裕としては、地震 P S A 学会標準解説 98 に基づき、本係数及び不確かさは以下の値とする。

以上より、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_{MC} = 1.03, \quad \beta_R = 0.13, \quad \beta_U = 0.00$$

(c) 建屋応答係数 F_{RS} の評価

建屋応答に関する各係数は、第 3.2.1.3-3-2 表に示す原子炉建屋の応答係数を用いる。

i) 解放基盤表面の地震動に関する係数 F_1 の評価

本係数は、基準とする地震動のスペクトルが持つ裕度を評価するものである。本評価では、解放基盤表面における地震動のスペクトル形状係数を考慮する。第 3.2.1.3-3-3 図にスペクトル形状係数の概念図を示す。

なお、スペクトル形状係数は、基準とする地震動のスペクトルと一様ハザードスペクトルの建屋又は機器の固有周期における比を、次式により評価する。

$$\text{スペクトル形状係数} = \frac{\text{基準地震動の応答加速 度}}{\text{一様ハザードスペクトルの応答加速度}}$$

なお、本機器は、一様ハザードスペクトルにより評価していることから、スペクトル形状係数は 1.00 とする。

また、不確実さは、確率論的地震ハザード評価における距離減衰式等のばらつきに考慮されるため、本係数では考慮しない。

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_1 = 1.00, \quad \beta_R = \beta_U = 0.00$$

ii) 建屋への入力地震動に関する係数 F_2 の評価

本係数は、地盤モデルに関する設計上の裕度及び基礎による入力損失に関する設計上の裕度を評価するものである。

本評価では、設計地盤モデルは中央値を与えるとみなし、また基礎が地盤を拘束することによる入力損失は考慮しないことから、中央値を 1.00 とする。

不確実さは、建屋の地震応答に関する係数 F_3 の不確実さと合わせて評価する。

β_R は、地震 P S A 学会標準解説 103 で示される代表プラントにおける床応答スペクトルの不確実さが、おおむね 0.2 程度であることから、0.20 とする。

β_U は、解析モデル化誤差等によるものであり、国内文献⁽⁷⁾に基づき 0.15 とする。

以上より、本係数及び不確実さは以下の値とする。

$$F_2 = 1.00, \quad \beta_R = 0.20, \quad \beta_U = 0.15$$

(β_R 及び β_U は F_3 と共通)

iii) 建屋の地震応答に関する係数 F_3 の評価

本係数は、建屋の地震応答モデルに関する設計上の裕度を評価するものである。

本評価では、建屋振動モデルは過去の地震観測記録との整合を考慮した諸元を使用しているため、中央値を与えるものとみなし、また、一般的に建屋の非線形挙動により線形時よりも応答加速度が低減される傾向にあることから、中央値を 1.00 とする。

不確かさは、建屋への入力地震動に関する係数 F_2 の不確かさと合わせて評価する。

以上より、本係数及び不確かさは以下の値とする。

$$F_3 = 1.00, \quad \beta_R = 0.20, \quad \beta_U = 0.15$$

(β_R 及び β_U は F_2 と共通)

(d) 評価結果のまとめ

各係数の評価結果を下表に示す。これらの結果より、残留熱除去系海水系配管のフラジリティ加速度の中央値 A_m 、その不確かさ β_R 、 β_U 及び $HCLPF$ は、以下のとおりとなる。

また、フラジリティ曲線を第 3.2.1.3-3-8 図に示す。

$$A_m = 3.01 \text{ (G)}$$

$$\beta_R = 0.27, \quad \beta_U = 0.26$$

$$\begin{aligned} HCLPF &= A_m \times \exp[-1.65 \times (\beta_R + \beta_U)] \\ &= 3.01 \times \exp[-1.65 \times (0.27 + 0.26)] \\ &= 1.26 \text{ (G)} \end{aligned}$$

表 残留熱除去系海水系配管 安全係数評価結果の一覧

| | | F_C | | F_{RE} | | | | F_{RS} | | | 合計 |
|----------|-----------|-------|---------|----------|-------|-------|----------|----------|-------|-------|------|
| | | F_S | F_μ | F_{SA} | F_D | F_M | F_{MC} | F_1 | F_2 | F_3 | |
| 中央値 | | 0.99 | 1.00 | 1.24 | 1.48 | 1.00 | 1.03 | 1.00 | 1.00 | | 1.87 |
| 不確 実さ | β_R | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.12 | 0.00 | 0.13 | 0.00 | 0.20 | | 0.27 |
| | β_U | 0.07 | 0.00 | 0.07 | 0.12 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | | 0.26 |

(参考資料)

- (1) R.P.Kennedy and M.K.Ravindra, “Seismic Fragilities for Nuclear Power Plant Risk Studies,” Nuclear Engineering and Design, Vol. 79, No. 1, (1984)
- (2) R.Kassawara, EPRI Report 1003121, “Methodology for Probabilistic Risk Assessment Applications of Seismic Margin Evaluations”, Electric Power Research Institute, December 2001
- (3) Westinghouse Electric Company, “AP1000 Design Control Document”, December 2011 (年・月は、AP1000標準設計認証修正版のNRC認可時期を示す)
- (4) General Electric (GE) Nuclear Energy, “ABWR Design Control Document”, March 1997 (年・月は、ABWR標準設計認証のNRC認可時期を示す)
- (5) Regulatory Guide 1.61, “Damping Values for Seismic Design of Nuclear Power Plants”
- (6) N.M.Newmark and W.J.Hall, “Development of Criteria for Seismic Review of Selected Nuclear Power Plants”, NUREG/CR-0098
- (7) 美原他, “原子力発電所建屋のフラジリティ評価における認識的不確実

さに関する研究（その３）まとめ”，日本建築学会大会学術講演梗概集
（九州）2007年8月

- (8) 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その３
（総合評価）に係る報告書，平成18年8月，独立行政法人 原子力安全基
盤機構

- (9) K. K. Bandyopadhyay, C. H. Hofmayer, M. K. Kassir, S. Shteyngart
“Seismic Fragility of Nuclear Power Plant Components (Phase
II)” , NUREG/CR-4659, BNL-NUREG-52007 Vol. 4

3.2.1.4 事故シーケンス

(1) 起因事象

a. 評価対象とした起因事象のリスト，説明及び発生頻度

(a) 評価対象とした起因事象について

地震時特有の要因による分類を踏まえた地震PRAにおける起因事象及びその説明を以下に示す。

i) 原子炉建屋損傷

原子炉建屋の損傷により，建屋内の格納容器，原子炉圧力容器等の構造物及び機器が広範囲にわたり損傷する可能性がある。本事象は原子炉建屋損傷が発生した場合の損傷程度の特定が難しく，どの程度緩和設備に期待できるか厳密に特定することは困難であるため，保守的に直接炉心損傷に至る起因事象として整理した。

ii) 格納容器損傷

格納容器の損傷により，格納容器内の機器及び原子炉圧力容器等の構造物が広範囲にわたり損傷する可能性がある。本事象は格納容器損傷が発生した場合の損傷程度の特定が難しく，どの程度緩和設備に期待できるか厳密に特定することは困難であるため，保守的に直接炉心損傷に至る起因事象として整理した。

iii) 原子炉圧力容器損傷

原子炉圧力容器の支持機能喪失等により，原子炉圧力容器に接続されている原子炉冷却材圧力バウンダリ配管の損傷や，原子炉冷却材の流路閉塞が発生することにより，非常用炉心冷却系による炉心冷却効果が期待できなくなる可能性がある。本事象は原子炉圧力容器損傷が発生した場合の損傷程度の特定が難しく，どの程度緩和設備に期待できるか厳密に特定することは困難であるため，保守的に

直接炉心損傷に至る起因事象として整理した。

iv) 格納容器バイパス

主蒸気隔離弁，原子炉冷却材浄化系隔離弁，給水系隔離弁等の損傷と接続している格納容器外配管の破損が同時に発生することにより，高温・高圧の原子炉冷却材が隔離不能な状態で格納容器外（原子炉建屋）へ流出し，原子炉建屋内の他の機器への悪影響を及ぼす可能性がある。本事象は格納容器バイパスが発生した場合の損傷程度及び流出量の特定が難しく，どの程度緩和設備に期待できるか厳密に特定することは困難であるため，保守的に直接炉心損傷に至る起因事象として整理した。

v) 原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失 (E x c e s s i v e L O C A)

格納容器内配管の破断等により格納容器内に原子炉冷却材が流出する事象である。本事象は原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失が発生した場合の損傷程度及び流出量の特定が難しいため，保守的に E C C S の注水容量を超える大規模な L O C A (E x c e s s i v e L O C A) の発生を想定し，直接炉心損傷に至る起因事象として整理した。

なお，E x c e s s i v e L O C A 発生 の 要 因 と な る 配 管 に つ い て は ， 計 装 系 等 の 口 径 の 小 さ い 配 管 を 除 く 格 納 容 器 内 配 管 を 対 象 と し ， 系 統 ご と に 地 震 荷 重 に 対 し て 裕 度 が 小 さ い 部 位 を 評 価 部 位 と し て 選 定 し た 。

vi) 計装・制御系喪失

計装・制御系が損傷することにより，プラントの監視及び各種制御が広範に不能に陥る可能性がある。本事象は計装・制御系喪失が発生した場合の損傷程度の特定が難しく，どの程度緩和設備に期待

できるか厳密に特定することは困難であるため、保守的に直接炉心損傷に至る起因事象として整理した。

vii) 直流電源喪失

直流電源設備の損傷により、非常用交流電源の制御機能等が喪失するため、全交流動力電源喪失となる。事象の緩和に必要な機能が広範に喪失するため、起因事象として整理した。

viii) 交流電源喪失

非常用交流母線、非常用ディーゼル発電機及び補機冷却海水系機器等の交流電源設備の損傷により、非常用交流電源が喪失する事象である。本事象発生時は、地震耐力の小さい外部電源設備についても同時に損傷するものとして仮定しているため、全交流動力電源喪失となる。事象の緩和に必要な機能が広範に喪失するため、起因事象として整理した。

ix) 外部電源喪失

開閉所設備等の外部電源設備の損傷により、プラントへの外部からの電源供給が途絶える事象である。プラントに外乱を発生させる過渡事象であり、事象の緩和に必要な機能が広範に喪失するため、起因事象として整理した。

x) 過渡事象

i)～ix)の起因事象が発生しない場合においても、地震動を検知した原子炉停止信号により原子炉停止に至り、「過渡事象」が発生するものとして整理した。内部事象出力運転時レベル1 P R Aでは、「過渡事象」を給復水系の使用可否等により分類しているが、地震時には耐震クラスの低い給復水系は使用不可能であるものとし、全給水喪失として扱う。

b. 階層イベントツリーとその説明

事故シーケンスの定量化では、第 3.2.1.4-1 図に示す階層イベントツリーにより、地震により発生する起因事象の発生確率の和が 1.0 を超えないように取り扱う。階層イベントツリーのヘディングは、起因事象発生時の影響の大きい順に配列しており、各起因事象の発生頻度は、起因事象発生の対象となる建屋・構築物、機器等のフラジリティを評価することで算出した。また、後続のヘディングの分岐確率は、先行のヘディングで考慮している事象が発生しないという条件付確率として評価した。評価した各起因事象の発生頻度を第 3.2.1.4-1 表に示す。

(2) 成功基準

a. 成功基準の一覧

炉心損傷を防止するための緩和設備の設備能力及び余裕時間は、地震時においても内部事象出力運転時レベル 1 P R A と相違ない。ただし、直接炉心損傷に至る事象については、緩和手段がないため成功基準を設定していない。

使命時間については、内部事象出力運転時レベル 1 P R A と同様に 24 時間とした。また、機器や外部電源の復旧には期待していない。

(3) 事故シーケンス

第 3.2.1.4-1 図に示した階層イベントツリー及び直接炉心損傷に至る事象以外の起因事象に対する緩和設備の状態を表すイベントツリーを作成した。第 3.2.1.4-2 図～第 3.2.1.4-5 図に「過渡事象」，「外部電源喪失」，「交流電源喪失」，「直流電源喪失」の起因事象に対するイベント

ツリーを示す。

各イベントツリーは小イベントツリー／大フォールトツリー法に基づいて作成し、イベントツリーのヘディングには、炉心損傷の防止に関わる緩和設備のフロントライン系、事象の進展に影響する重要な設備状態を選定した。また、炉心損傷防止の観点から、「原子炉停止機能」、「炉心冷却機能」、「格納容器からの除熱機能」の各安全機能に着目し、炉心損傷に至る事故シーケンスの分類を行った。分類した事故シーケンスを第 3.2.1.4-2 表に示す。

(4) システム信頼性

a. 評価対象としたシステムとその説明

評価対象とした緩和機能及びその依存性については、内部事象出力運転時レベル 1 P R A と同様であるが、内部事象で考慮しているランダム故障等に加えて、地震の影響による損傷を考慮して評価している。また、地震時特有の影響として建屋・構築物、機器の地震による損傷についても考慮している。評価対象としたシステムの一覧を第 3.2.1.4-3 表に示す。

b. 機器損傷に関する機器間の相関の取扱い

冗長設備は基本的に同一の耐震設計がなされた上で同一フロアに設置されるため、同様の系統間及び機器間で完全相関（完全従属）を仮定した。また、高圧炉心スプレイ系の関連設備のうち、ケーブルトレイ（区分Ⅲ）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系については、区分Ⅰ／Ⅱの同種設備と構造上の差異がほぼなく、これらの設備と同一のフロアに設置しているため完全相関を仮定した。それ以外の機器につい

ては完全独立を仮定した。機器損傷に関する機器間の相関の取扱いを第 3.2.1.4-4 表に示す。（添付資料 3.2.1.4-1）

c．システム信頼性

イベントツリーのヘディングに対応する起因事象及び緩和機能（フロントライン系，サポート系）について，フォールトツリーを作成し評価した。

d．システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度とその根拠

内部事象出力運転時レベル 1 P R A で設定した項目を除き，地震 P R A で新たにシステム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度はない。

(5) 人的過誤

a．起因事象発生前の人的過誤

事象発生前における設備の試験・保守作業終了後の復旧忘れ等であり，地震による影響を考慮する必要がないため，内部事象出力運転時レベル 1 P R A と同様の評価を用いた。

b．起因事象発生後の人的過誤

事象発生後における対応操作に対する過誤であり，内部事象出力運転時レベル 1 P R A と同様の対応操作の過誤を想定している。ただし，過誤確率の評価においては，地震後に対応する作業であることを考慮し，内部事象出力運転時レベル 1 P R A と比較して高いストレスレベルを仮定した。起因事象発生後の人的過誤確率を第 3.2.1.4-5 表に示す。

(6) 炉心損傷頻度

a. 炉心損傷頻度の算出に用いた方法

地震 P R A では、計算コード RiskSpectrum®PSA を用いて、フォールトツリー結合法により事故シーケンスを定量化し、炉心損傷頻度を算出した。

なお、地震 P R A の評価地震動範囲は、下限を原子炉自動停止となる信号の設定点（スクラム設定値）、上限を発生頻度の観点から全炉心損傷頻度への寄与が十分小さくなる規模の地震動として 0.16G～3.0G と設定している。

b. 炉心損傷頻度評価結果

上記のとおりの手順で定量化を行った結果、全炉心損傷頻度は 1.0E-05／炉年となった。起因事象別の炉心損傷頻度を第 3.2.1.4-6 表、第 3.2.1.4-6 図に示す。起因事象別の結果では、過渡事象を起因とする炉心損傷頻度が最も高く約 41%を占め、次いで外部電源喪失が約 30%、直流電源喪失が約 21%を占め支配的である。起因事象別炉心損傷頻度に対する主要な事故シーケンス及びカットセットを第 3.2.1.4-7 表に示す。

また、事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度を第 3.2.1.4-8 表、第 3.2.1.4-7 図に示す。事故シーケンスグループ別の結果では、崩壊熱除去機能喪失（T W）の炉心損傷頻度が最も高く約 52%を占め、次いで全交流動力電源喪失（T B D）が約 20%を占め支配的である。事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度に対する主要な事故シーケンス及びカットセットを第 3.2.1.4-9 表に示す。

さらに、地震加速度区分別の炉心損傷頻度を第 3.2.1.4-10 表、第

3.2.1.4-8 図に、地震加速度一起因事象別の炉心損傷頻度を第 3.2.1.4-11 表に示す。低加速度領域では、地震により起因事象又は緩和設備に係る機器等が損傷する確率が低いことから、加速度の増加による地震発生頻度の低下とともに炉心損傷頻度は低下している。更に加速度が大きくなると、地震による機器等の損傷が発生することから炉心損傷頻度は増加し、0.8G 付近で最大となるが、各地震加速度区分の炉心損傷頻度は $1.0\text{E-}06$ / 炉年を下回る。これらの領域では緩和設備に係る機器等の損傷による影響が大きい、地震加速度の増大に伴い、原子炉建屋損傷等の直接炉心損傷に至るシーケンスが増大し、1.8G 以上では支配的となっている。

c. 重要度解析、不確実さ解析及び感度解析

(a) 重要度解析

全炉心損傷頻度への寄与が大きい因子を分析するため、Fussell-Vesely (F V) 重要度を評価した。

地震で損傷する建屋・構築物、機器の F V 重要度評価結果を第 3.2.1.4-12 表に示す。F V 重要度は、炉心損傷頻度に寄与する相対的な割合を表すものである。

(b) 不確実さ解析

確率論的地震ハザード、機器フラジリティ、ランダム故障の不確かさに着目した全炉心損傷頻度の不確実さ解析として、全炉心損傷頻度の 5% 値、中央値、平均値、95% 値を評価した。評価結果を第 3.2.1.4-9 図に示す。

平均値は点推定値とほぼ同値の $9.9\text{E-}06$ / 炉年となった。また、エラーファクタは 4.7 と評価され、22 倍の不確実さがあるという結果

となった。

(c) 感度解析

本評価において設定した解析上の仮定が評価結果に与える影響を確認するため、相関性及び使命時間の設定に係る感度解析を実施した。

i) 相関性

本評価では、相関性が考えられる機器について、完全相関を仮定して評価を実施しているが、この仮定が炉心損傷頻度に与える影響の感度を確認するため、完全相関を仮定した機器のうちF V重要度が高い機器の相関性を完全独立と仮定した感度解析を実施した。相関性を完全独立とする機器については、リスク上重要な建屋・構築物、機器を対象にするものとし、F V重要度が 0.01 以上の機器を対象として選定した。

相関性を変更した場合の事故シーケンスグループ別の評価結果を第 3.2.1.4-10 図に、地震加速度区分別の評価結果を第 3.2.1.4-11 図に示す。感度解析の結果、炉心損傷頻度は $7.0\text{E-}06$ / 炉年となり、ベースケースでの炉心損傷頻度である $1.0\text{E-}05$ / 炉年と比較して、33%低減する結果となった。加速度区分ごとの結果を分析すると、中程度の加速度領域で炉心損傷頻度低減の影響が確認できる。これは低加速度領域ではランダム故障による寄与が大きく、また、高加速度領域では原子炉建屋損傷等の炉心損傷に直結する事象による寄与が支配的となるため、相関性による影響が小さいことによる。

ii) 使命時間

本評価では、使命時間について内部事象出力運転時レベル 1 P R Aと同様に 24 時間としているが、この使命時間の設定が炉心損傷頻度に与える影響の感度を確認するため、使命時間を変更した感度

解析を実施した。感度解析における使命時間の設定については、外部からの支援に期待できる時間として 2011 年東北地方太平洋沖地震における福島第一原子力発電所による実績を参考に 72 時間と設定した。

使命時間を 72 時間とした場合の事故シーケンスグループ別の評価結果を第 3.2.1.4-12 図に、地震加速度区分別の評価結果を第 3.2.1.4-13 図に示す。感度解析の結果、炉心損傷頻度は $1.1\text{E-}05$ / 炉年となり、ベースケースでの炉心損傷頻度である $1.0\text{E-}05$ / 炉年と比較して、同等の結果となった。加速度区分ごとの結果を分析すると、ランダム故障による寄与が大きい低加速度領域において、炉心損傷頻度増加の影響が確認できる。

第 3.2.1.1-1 表 地震 P R A で収集した情報及び情報源 (1/3)

| 項目 | P R A 評価作業 | | 収集した情報 | 情報源 |
|----|---------------|---|--|--|
| 1 | 対象プラントと事故シナリオ | | <ul style="list-style-type: none"> 地震 P R A の実施に当たり必要とされる設計・運転管理に関する基本的な情報 | <ul style="list-style-type: none"> 内部事象出力運転時レベル 1 P R A で収集した図書（原子炉設置許可申請書，工事計画認可申請書，保安規定等） 全体配置図，機器配置図，耐震計算書，配管計装線図，電気系統図（所内単線結線図等），系統設計仕様書，機器設計仕様書 ストレステストに関する報告書 プラントウォークダウン報告書 |
| 2 | 確率論的地震ハザード | | <ul style="list-style-type: none"> 敷地周辺地域における地震発生様式を考慮し，震源モデルの設定に係る震源特性や，地震動伝播モデルの設定に係わる地震動伝播特性に関する情報 | <ul style="list-style-type: none"> 原子炉設置許可申請書 気象庁地震カタログ 文献調査結果（次ページ参照） 地質調査結果 |
| 3 | 建屋・機器フラジリティ | | <ul style="list-style-type: none"> プラント固有の建屋・機器の耐力評価及び応答評価に関する情報 | <ul style="list-style-type: none"> 上記項目 1 の情報源 文献調査結果（次々ページ参照） |
| 4 | 事故シーケンス | a) 事故シナリオ及び起因事象の分析 | <ul style="list-style-type: none"> 大規模地震時に想定されるプラント状態での必要な情報 | <ul style="list-style-type: none"> 上記項目 1 の情報源 |
| | | b) 事故シーケンスの分析 <ul style="list-style-type: none"> 成功基準の設定 イベントツリーの作成 | <ul style="list-style-type: none"> 安全系などのシステム使用条件 システムの現実的な性能 運転員による緩和操作 | <ul style="list-style-type: none"> 上記項目 1 の情報源 既往の P R A 情報 |
| | | c) システムのモデル化 | <ul style="list-style-type: none"> 評価対象プラントに即した機器故障モード，運転状態 | |
| | | d) 事故シーケンスの定量化 | <ul style="list-style-type: none"> 評価結果の妥当性を確認できる情報 | |

第3.2.1.1-1表 地震PRAで収集した情報及び情報源 (2/3)

| | 参考文献 |
|------------------|--|
| 確率論的地震 ハザード評価 | <p>1) 活断層研究会編 (1991) : [新編] 日本の活断層－分布と資料, 東京大学出版会</p> <p>2) 地震調査研究推進本部 (2012) : 今後の地震動ハザード評価に関する検討～2011 年・2012 年における検討結果～, 平成 24 年 12 月 21 日</p> <p>3) 松田 (1975) : 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震 第2輯, 第28巻 (1975) 269-283 頁</p> <p>4) 武村 (1998) : 日本列島における地殻内地震のスケーリング則－地表断層の影響および地震被害との関連－, 地震第2輯, 第51巻 (1998) 211-228 頁</p> <p>5) 佐藤良輔 (1989) : 日本の地震断層パラメータハンドブック, 鹿島出版会</p> <p>6) 宇佐美龍夫, 石井寿, 今村隆正, 武村雅之, 松浦律子 (2013) : 日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会</p> <p>7) 地震調査研究推進本部 (2009a) : 全国地震動予測地図－地図を見て 私の街の 揺れを知る－技術報告書 (2009) , 平成 21 年 12 月</p> <p>8) 地震調査研究推進本部 (2009b) : 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価 (一部改訂) , 平成 21 年 3 月 9 日</p> <p>9) 垣見俊弘, 松田時彦, 相田勇, 衣笠善博 (2003) : 日本列島と周辺海域の地震地体構造区分, 地震 第2輯, 第55巻 (2003) 389-406 頁</p> <p>10) Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide Watanabe (2002) : RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis, Oct. 16-18, Istanbul</p> |

第3.2.1.1-1表 地震PRAで収集した情報及び情報源 (3/3)

| | 参考文献 |
|-----------------------|--|
| 建屋・機器 フラジリティ 評価 | <p>1) R.P.Kennedy and M.K.Ravindra, “Seismic Fragilities for Nuclear Power Plant Risk Studies” , Nuclear Engineering and Design, Vol. 79, No. 1, (1984)</p> <p>2) R.Kassawara, EPRI Report 1003121, “Methodology for Probabilistic Risk Assessment Applications of Seismic Margin Evaluations” , Electric Power Research Institute, December 2001</p> <p>3) Westinghouse Electric Company, “AP1000 Design Control Document” , December 2011 (年・月は, AP1000 標準設計認証修正版のNRC認可時期を示す)</p> <p>4) General Electric (GE) Nuclear Energy, “ABWR Design Control Document” , March 1997 (年・月は, ABWR標準設計認証のNRC認可時期を示す)</p> <p>5) Regulatory Guide 1.61, “Damping Values for Seismic Design of Nuclear Power Plants”</p> <p>6) N.M.Newmark and W.J.Hall, “Development of Criteria for Seismic Review of Selected Nuclear Power Plants” , NUREG/CR-0098</p> <p>7) 美原他, “原子力発電所建屋のフラジリティ評価における認識的不確実さに関する研究(その3)まとめ” , 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) 2007年8月</p> <p>8) 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その3 (総合評価) に係る報告書, 平成18年8月, 独立行政法人 原子力安全基盤機構</p> <p>9) K.K.Bandyopadhyay, C.H.Hofmayer, M.K.Kassir, S.Shteyngart “Seismic Fragility of Nuclear Power Plant Components (Phase II)” , NUREG/CR-4659, BNL-NUREG-52007 Vol.4</p> |

第 3.2.1.1-2 表 地震による事故シナリオ及びスクリーニング結果 (1/4)

| 事故シナリオ | 分 析 | スクリーニング結果 |
|--|---|-----------|
| 1. 本震による炉心損傷事故に間接的に繋がりうる事故シナリオ | | |
| 1.1 安全機能を有する建屋・構築物、機器以外の屋内設備の損傷 | | |
| 天井クレーンの転倒・落下による原子炉圧力容器、格納容器への影響 | <ul style="list-style-type: none"> ・天井クレーンは地震時に落下しないよう転倒・落下防止装置を有する構造となっている。 ・天井クレーンは原子炉圧力容器、格納容器の直上に待機させない運用としている。また、天井クレーンの使用時に原子炉圧力容器、格納容器の上部に落下した場合でもシールドウォールがあるため、原子炉圧力容器、格納容器が直接損傷することはない。 ・なお、他プラントの天井クレーンにおいて地震によりクレーン駆動部の軸継手部に破損が確認されているが、走行機能を目的とした部品が損傷したものであり、落下防止装置は健全であったことが確認されている。 | 除外 |
| 耐震重要度 B, C クラスの損傷に伴う S クラス機器の損傷 | <ul style="list-style-type: none"> ・耐震重要度 S クラスの機器は、下位の分類に属する施設の破損により波及的影響が生じないように設計段階で要求されており、耐震設計において建屋内又は建屋外における下位クラス施設の損傷・転倒・落下等による影響がないことを確認している。 ・プラントウォークダウンにより耐震重要度 S クラスの機器が波及的影響を受けないことを確認している。 | 除外 |
| 主タービンの軸受けなどの損傷に伴うタービンミサイルによる隣接原子炉建屋内関連設備への影響 | <ul style="list-style-type: none"> ・「東海第二発電所における定格熱出力一定運転実施に伴う発電設備の健全性評価書」（平成 14 年 8 月）において、タービンミサイルによる原子炉施設への影響の可能性は極めて低いことを確認している。 | 除外 |

第 3.2.1.1-2 表 地震による事故シナリオ及びスクリーニング結果 (2/4)

| 事故シナリオ | 分 析 | スクリーニング結果 |
|--|---|--------------|
| 1. 本震による炉心損傷事故に間接的に繋がりうる事故シナリオ | | |
| 1.2 安全機能を有する建屋・構築物、機器以外の屋外設備の損傷 | | |
| 排気筒の転倒による原子炉建屋又は周辺構造物への影響 | <ul style="list-style-type: none"> ・排気筒は、一様ハザードスペクトル 2,000Gal 相当の地震に対する耐震評価において、耐震性を有することを確認しており、当該地震動はプラント fragility の条件付炉心損傷確率が 1.0 となる加速度に相当することから、炉心損傷頻度に与える影響が小さいことを確認している。 ・なお、他プラントにおいて地震により排気筒と排気ダクトを接続しているベローズに亀裂が確認されているが、排気筒は健全であったことが確認されている。 | 除外 |
| 斜面崩壊による原子炉建屋又は周辺構造物への影響 | <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋又は周辺構造物の周辺に斜面はないことを確認している。 | 除外 |
| 送電網の鉄塔などの損傷に伴う外部電源喪失への影響 | <ul style="list-style-type: none"> ・外部電源に関連する機器の fragility については、送電網を含めたシステム全体として評価し、開閉所設備の碍子部で代表させている。(添付資料 3.2.1.1-3) | 地震 P R A で考慮 |
| 安全上重要な設備の冷却に使用可能な工業用水などの原水供給停止に伴う冷却水の枯渇の影響 | <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉注水～除熱を含めた長期冷却のための水源については、サプレッション・チェンバと海水冷却系の海水に期待している。このため、工業用水などの外部水源に期待しない。 | 除外 |

第 3.2.1.1-2 表 地震による事故シナリオ及びスクリーニング結果 (3/4)

| 事故シナリオ | 分 析 | スクリーニング結果 |
|---|---|--------------|
| 1. 本震による炉心損傷事故に間接的に繋がりを有する事故シナリオ | | |
| 1.3 地震時特有の現象による運転操作の阻害及び地震時の安全機能への人的過誤の影響 | | |
| 施設の計画、設計、材料選定、製作、組立、完成検査までのミス | <ul style="list-style-type: none"> 原子炉施設の安全性、信頼性及び点検保守上の要求を満足するため、設計、製作、据付等の各段階において適切な品質保証活動が実施されている。 万一、これらのミスがあったとしても、多重性を備えた設備の全てに同様のミスを犯す可能性は小さい。 | 除外 |
| 地震時、地震後の操作員、構内勤務者、周辺関係者（送電関係など）のミスオペレーション | <ul style="list-style-type: none"> 地震時に必要となる操作には期待していない。 地震後の混乱に伴う高ストレス状態は、操作員の操作の阻害要因となるため、人的過誤評価で考慮している。 | 地震 P R A で考慮 |
| 変圧器などの碍子類の損傷によるサイト電源の停電に伴うバックアップ操作の支障 | <ul style="list-style-type: none"> 現場での復旧操作には期待しないため、停電の影響はない。 中央制御室での運転員操作の影響については、非常用照明、ヘッドライト、懐中電灯が備えられているため、小さいと考えられる。 | 除外 |
| 地盤液状化、よう壁損傷による構内通行支障 | <ul style="list-style-type: none"> 地震発生後に発電所構内の道路に陥没、段差、亀裂等の損傷が発生し、構内通行に支障が出る可能性があるが、本評価では現場での復旧操作には期待しない。 | 除外 |
| 二次部材損傷による運転員等従業員への影響 | <ul style="list-style-type: none"> 施設内の損壊物や地震動による飛来物が操作員等を傷付け、操作を妨げる可能性があるが、中央制御室付近において、運転員操作を著しく妨げるような物体は基本的にない。 | 除外 |

第 3.2.1.1-2 表 地震による事故シナリオ及びスクリーニング結果 (4/4)

| 事故シナリオ | 分 析 | スクリーニング結果 |
|----------------------|--|-----------|
| 2. 余震に係わる事故シナリオ | | |
| 余震による炉心損傷への影響 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 本震と比較して、余震のハザード又は建屋・構築物及び機器・配管系の損傷に対する影響が無視できない場合、本震と余震の地震動を連続して受けた場合の事故シナリオを分析して炉心損傷頻度を評価する必要がある。 ・ これらの評価技術は研究段階にあり、評価方法の詳細及び評価例などに関する情報が非常に少ないため、余震による炉心損傷への影響評価方法を体系的に示すには至っていない。（添付資料 3.2.1.1-4） | 除外（今後の課題） |
| 3. 経年変化に係わる事故シナリオ | | |
| 経年変化を考慮した場合の炉心損傷への影響 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 建屋・構築物については、原子炉施設の供用期間中のコンクリートの強度低下や鋼材腐食の可能性は小さい。 ・ 機器・配管系については、点検、機器の取替えを実施していることから、直接大きな影響を及ぼす可能性は小さい。 ・ 「東海第二発電所 高経年化対策に関する報告書」（平成 19 年 11 月）において、経年劣化事象の技術評価を行い設備の健全性が維持されていることを確認している。 | 除外 |

第 3.2.1.1-3 表 建屋・機器リストとフラジリティデータ (1/7)

| 起回事象／ 影響緩和機能 | 設 備 | 損傷モード | 評価部位 | 中央値 (G) | H C L P F (G) | フラジリティの 参照元 |
|-----------------|----------------|-------|------------------------------|-----------|------------------|----------------|
| | | | | β_R | | |
| | | | | β_u | | |
| 原子炉建屋損傷 | 原子炉建屋 | 構造損傷 | 耐震壁 | 2.23 | 1.38 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.14 | | |
| | | | | 0.15 | | |
| 格納容器損傷 | 格納容器 | 構造損傷 | ドライウエル 下部シアラグ (シアプレート) | 3.72 | 2.02 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.17 | | |
| 格納容器損傷 | 格納容器スタビライザ | 構造損傷 | ドライウエル 下部シアラグ (シアプレート) | 3.72 | 2.02 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.17 | | |
| 原子炉圧力容器損傷 | 原子炉圧力容器 | 構造損傷 | 蒸気乾燥器 支持ブラケット 付根部 | 2.72 | 1.29 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.22 | | |
| | | | | 0.23 | | |
| 原子炉圧力容器損傷 | 原子炉遮へい壁 | 構造損傷 | 開口集中部 | 3.33 | 1.81 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.17 | | |
| 原子炉圧力容器損傷 | 原子炉圧力容器スタビライザ | 構造損傷 | ロッド | 2.93 | 1.59 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.17 | | |
| 格納容器バイパス | 主蒸気隔離弁 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 6.49 | 2.99 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.23 | | |
| | | | | 0.24 | | |
| 格納容器バイパス | 主蒸気系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 8.71 | 3.75 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.26 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 格納容器バイパス | 主蒸気ドレン弁 (内側) | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 12.01 | 5.35 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.24 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 格納容器バイパス | 主蒸気ドレン弁 (外側) | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 2.58 | 1.15 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.24 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 格納容器バイパス | 主蒸気ドレン配管 (内側) | 構造損傷 | 配管本体 | 16.78 | 7.00 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.27 | | |
| | | | | 0.26 | | |
| 格納容器バイパス | 原子炉隔離時冷却系蒸気隔離弁 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 7.42 | 3.96 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.14 | | |
| | | | | 0.24 | | |
| 格納容器バイパス | 原子炉隔離時冷却系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 6.10 | 2.63 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.26 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 格納容器バイパス | 原子炉冷却材浄化系隔離弁 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 14.31 | 6.81 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.22 | | |
| | | | | 0.23 | | |
| 格納容器バイパス | 原子炉冷却材浄化系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 8.31 | 3.58 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.26 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 格納容器バイパス | 給水系逆止弁 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 2.67 | 1.47 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.13 | | |
| | | | | 0.23 | | |

第 3.2.1.1-3 表 建屋・機器リストとフラジリティデータ (2/7)

| 起回事象／ 影響緩和機能 | 設 備 | 損傷モード | 評価部位 | 中央値 (G) | H C L P F (G) | フラジリティの 参照元 |
|-------------------|---------------------|-------|---------------|-----------|------------------|----------------|
| | | | | β_R | | |
| | | | | β_u | | |
| 格納容器バイパス | 給水系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 12.49 | 5.47 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.25 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| Excessive LOCA | 再循環系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 8.29 | 3.69 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.25 | | |
| | | | | 0.24 | | |
| Excessive LOCA | 原子炉冷却材浄化系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 8.31 | 3.58 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.26 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| Excessive LOCA | 主蒸気系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 8.71 | 3.75 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.26 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| Excessive LOCA | 給水系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 12.49 | 5.47 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.25 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| Excessive LOCA | 原子炉隔離時冷却系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 6.10 | 2.63 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.26 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| Excessive LOCA | 主蒸気ドレン配管 (内側) | 構造損傷 | 配管本体 | 16.78 | 7.00 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.27 | | |
| | | | | 0.26 | | |
| Excessive LOCA | 逃がし安全弁 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 6.25 | 2.88 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.23 | | |
| | | | | 0.24 | | |
| 計装・制御系喪失 | 制御盤 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 2.93 | 1.54 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.14 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 計装・制御系喪失 | 計装ラック | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 3.11 | 1.63 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.14 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 直流電源喪失 | ケーブルトレイ | 構造損傷 | サポート | 2.01 | 0.91 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.24 | | |
| | | | | 0.24 | | |
| 直流電源喪失 | 直流母線盤 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 3.11 | 1.63 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.14 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 直流電源喪失 | 蓄電池 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 3.61 | 1.66 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.22 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 直流電源喪失 | 充電器盤 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 3.61 | 1.66 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.22 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 交流電源喪失 | 非常用ディーゼル発電機 室空調機 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 4.12 | 2.73 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |
| 交流電源喪失 | 非常用ディーゼル発電機 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 2.14 | 1.42 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |

第 3.2.1.1-3 表 建屋・機器リストとフラジリティデータ (3/7)

| 起回事象／ 影響緩和機能 | 設 備 | 損傷モード | 評価部位 | 中央値 (G) | H C L P F (G) | フラジリティの 参照元 |
|-----------------|-------------------------|-------|---------------|-----------|------------------|------------------|
| | | | | β_R | | |
| | | | | β_u | | |
| | | | | | | |
| 交流電源喪失 | 非常用メタクラ | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 3.11 | 1.63 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.14 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 交流電源喪失 | 非常用モータコントロールセンタ | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 2.77 | 1.46 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.14 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 交流電源喪失 | 非常用パワーセンタ | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 2.66 | 1.22 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.22 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 交流電源喪失 | 非常用動力用変圧器 | 構造損傷 | ボルト | 6.65 | 3.61 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.17 | | |
| 交流電源喪失 | 軽油貯蔵タンク | 構造損傷 | 胴 | 3.41 | 1.73 | 耐震バックチェック ベース |
| | | | | 0.21 | | |
| | | | | 0.20 | | |
| 交流電源喪失 | 非常用ディーゼル発電機 始動空気溜 | 構造損傷 | 基礎ボルト | 31.95 | 17.35 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.17 | | |
| 交流電源喪失 | 非常用ディーゼル発電機 燃料デイトンク | 構造損傷 | 基礎ボルト | 8.81 | 4.78 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.17 | | |
| 交流電源喪失 | 非常用ディーゼル発電機 用海水ポンプ | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 1.25 | 0.83 | 耐震バックチェック ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |
| 交流電源喪失 | 非常用ディーゼル発電機 用海水系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 5.31 | 2.29 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.26 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 交流電源喪失 | 非常用ディーゼル発電機 用海水系逆止弁 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 3.34 | 1.70 | 耐震バックチェック ベース |
| | | | | 0.16 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 交流電源喪失 | 非常用ディーゼル発電機 用海水ストレーナ | 構造損傷 | 基礎ボルト | 10.52 | 5.71 | 耐震バックチェック ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.17 | | |
| 交流電源喪失 | 海水ポンプ室 | 構造損傷 | 構造部材 | 3.26 | 1.92 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.09 | | |
| | | | | 0.23 | | |
| 外部電源喪失 | 開閉所設備 | 構造損傷 | 碍子部 | 0.65 | 0.24 | 耐震バックチェック ベース |
| | | | | 0.32 | | |
| | | | | 0.29 | | |
| スクラム系 | 炉心支持板 | 構造損傷 | 補強ビーム | 6.59 | 3.64 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.16 | | |
| スクラム系 | 燃料集合体 | 機能損傷 | 制御棒挿入性 | 11.43 | 5.09 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.24 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| スクラム系 | 燃料支持金具 | 構造損傷 | 周辺燃料支持 金具 | 27.34 | 15.09 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.16 | | |

第 3.2.1.1-3 表 建屋・機器リストとフラジリティデータ (4/7)

| 起回事象／ 影響緩和機能 | 設 備 | 損傷モード | 評価部位 | 中央値 (G) | H C L P F (G) | フラジリティの 参照元 |
|-----------------|--------------------------|-------|---------------|-----------|------------------|----------------|
| | | | | β_R | | |
| | | | | β_u | | |
| スクラム系 | 制御棒案内管 | 構造損傷 | 下部溶接部 | 27.40 | 15.13 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.16 | | |
| スクラム系 | 制御棒駆動水圧系制御ユニット | 構造損傷 | フレーム | 3.41 | 1.85 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.17 | | |
| スクラム系 | 制御棒駆動水圧系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 19.82 | 8.27 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.27 | | |
| | | | | 0.26 | | |
| スクラム系 | 制御棒駆動機構ハウジング | 構造損傷 | 貫通孔 | 3.70 | 2.04 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.16 | | |
| スクラム系 | シュラウド | 構造損傷 | 下部胴 | 7.26 | 4.01 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.16 | | |
| スクラム系 | シュラウドサポート | 構造損傷 | シリンダ | 2.50 | 1.38 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.16 | | |
| スクラム系 | 上部格子板 | 構造損傷 | グリッド プレート | 6.78 | 3.74 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.16 | | |
| スクラム系 | 制御棒駆動機構ハウジング支持金具 | 構造損傷 | レストレント ビーム | 5.65 | 2.92 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.22 | | |
| | | | | 0.18 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系逆止弁 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 19.71 | 9.38 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.22 | | |
| | | | | 0.23 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系ゲート弁 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 2.58 | 1.15 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.24 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系グローブ弁 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 6.38 | 2.94 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.23 | | |
| | | | | 0.24 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室空調機 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 4.12 | 2.73 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 2.14 | 1.42 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機始動空気溜 | 構造損傷 | 基礎ボルト | 31.95 | 17.35 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.17 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料デイトンク | 構造損傷 | 基礎ボルト | 10.21 | 5.54 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.17 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系動力用変圧器 | 構造損傷 | ボルト | 6.65 | 3.61 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.17 | | |

第 3.2.1.1-3 表 建屋・機器リストとフラジリティデータ (5/7)

| 起回事象／ 影響緩和機能 | 設 備 | 損傷モード | 評価部位 | 中央値 (G) | H C L P F (G) | フラジリティの 参照元 |
|-----------------|-----------------------------------|-------|---------------|-----------|------------------|------------------|
| | | | | β_R | | |
| | | | | β_u | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系メタ クラ | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 3.11 | 1.63 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.14 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系モー タコントロールセンタ | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 2.77 | 1.46 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.14 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系ポン プ室空調機 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 4.30 | 2.85 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系ポン プ | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 2.03 | 1.34 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 7.66 | 3.30 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.26 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| H P C S | ケーブルトレイ | 構造損傷 | サポート | 2.01 | 0.91 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.24 | | |
| | | | | 0.24 | | |
| H P C S | 直流母線盤 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 3.11 | 1.63 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.14 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| H P C S | 蓄電池 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 3.61 | 1.66 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.22 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| H P C S | 充電器盤 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 3.61 | 1.66 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.22 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| H P C S | 軽油貯蔵タンク | 構造損傷 | 胴 | 3.41 | 1.73 | 耐震バックチェック ベース |
| | | | | 0.21 | | |
| | | | | 0.20 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系ディ ーゼル発電機用海水ポン プ | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 1.25 | 0.83 | 耐震バックチェック ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系ディ ーゼル発電機用海水系配 管 | 構造損傷 | 配管本体 | 5.31 | 2.29 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.26 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系ディ ーゼル発電機用海水系逆 止弁 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 3.34 | 1.70 | 耐震バックチェック ベース |
| | | | | 0.16 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系ディ ーゼル発電機用海水スト レーナ | 構造損傷 | 基礎ボルト | 10.52 | 5.71 | 耐震バックチェック ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.17 | | |
| H P C S | 海水ポンプ室 | 構造損傷 | 構造部材 | 3.26 | 1.92 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.09 | | |
| | | | | 0.23 | | |
| R C I C | 原子炉隔離時冷却系逆止 弁 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 2.19 | 1.21 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.13 | | |
| | | | | 0.23 | | |

第 3.2.1.1-3 表 建屋・機器リストとフラジリティデータ (6/7)

| 起回事象／ 影響緩和機能 | 設 備 | 損傷モード | 評価部位 | 中央値 (G) | H C L P F (G) | フラジリティの 参照元 |
|------------------|----------------------------|-------|---------------|-----------|------------------|----------------|
| | | | | β_R | | |
| | | | | β_u | | |
| | | | | | | |
| R C I C | 原子炉隔離時冷却系ゲート弁 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 2.58 | 1.15 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.24 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| R C I C | 原子炉隔離時冷却系グループ弁 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 6.38 | 2.94 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.23 | | |
| | | | | 0.24 | | |
| R C I C | 原子炉隔離時冷却系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 6.10 | 2.63 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.26 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| R C I C | 原子炉隔離時冷却系ポンプ | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 3.61 | 2.39 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |
| R C I C | 原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービン | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 1.80 | 1.19 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |
| R C I C | 充電器盤 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 3.61 | 1.66 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.22 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| R C I C | 原子炉隔離時冷却系直流モータコントロールセンタ | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 2.77 | 1.46 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.14 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| 原子炉減圧 | 窒素供給系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 37.34 | 15.57 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.27 | | |
| | | | | 0.26 | | |
| 原子炉減圧 | 逃がし安全弁制御用アキュムレータ (逃がし弁機能用) | 構造損傷 | 胴板 | 7.55 | 4.17 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.16 | | |
| L P C S | 低圧炉心スプレイ系ポンプ室空調機 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 4.30 | 2.85 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |
| L P C S | 低圧炉心スプレイ系逆止弁 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 2.19 | 1.21 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.13 | | |
| | | | | 0.23 | | |
| L P C S | 低圧炉心スプレイ系ゲート弁 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 2.58 | 1.15 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.24 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| L P C S | 低圧炉心スプレイ系グループ弁 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 6.38 | 2.94 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.23 | | |
| | | | | 0.24 | | |
| L P C S | 低圧炉心スプレイ系ポンプ | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 2.03 | 1.34 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |
| L P C S | 低圧炉心スプレイ系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 5.28 | 2.28 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.26 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| L P C I R H R | 残留熱除去系ポンプ室空調機 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 4.30 | 2.85 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |

第 3.2.1.1-3 表 建屋・機器リストとフラジリティデータ (7/7)

| 起回事象／ 影響緩和機能 | 設 備 | 損傷モード | 評価部位 | 中央値 (G) | HCLPF (G) | フラジリティの 参照元 |
|------------------|--------------------|-------|---------------|-----------|--------------|------------------|
| | | | | β_R | | |
| | | | | β_u | | |
| | | | | | | |
| L P C I R H R | 残留熱除去系逆止弁 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 5.25 | 2.90 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.13 | | |
| | | | | 0.23 | | |
| L P C I R H R | 残留熱除去系ゲート弁 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 2.58 | 1.15 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.24 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| L P C I R H R | 残留熱除去系グローブ弁 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 6.38 | 2.94 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.23 | | |
| | | | | 0.24 | | |
| L P C I R H R | 残留熱除去系熱交換器 | 構造損傷 | アンカボルト | 3.27 | 1.43 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.25 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| L P C I R H R | 残留熱除去系ポンプ | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 2.03 | 1.34 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |
| L P C I R H R | 残留熱除去系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 5.28 | 2.28 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.26 | | |
| | | | | 0.25 | | |
| L P C I R H R | 残留熱除去系海水系ポン プ | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 1.25 | 0.83 | 耐震バックチェック ベース |
| | | | | 0.10 | | |
| | | | | 0.15 | | |
| L P C I R H R | 残留熱除去系海水系逆止 弁 | 機能損傷 | — (鉛直方向評価) | 5.21 | 2.78 | 耐震バックチェック ベース |
| | | | | 0.14 | | |
| | | | | 0.24 | | |
| L P C I R H R | 残留熱除去系海水系グロ ーブ弁 | 機能損傷 | — (水平方向評価) | 6.38 | 2.94 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.23 | | |
| | | | | 0.24 | | |
| L P C I R H R | 残留熱除去系海水系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 3.01 | 1.26 | 裕度向上ベース |
| | | | | 0.27 | | |
| | | | | 0.26 | | |
| L P C I R H R | 残留熱除去系海水系スト レーナ | 構造損傷 | 基礎ボルト | 4.99 | 2.71 | 耐震バックチェック ベース |
| | | | | 0.20 | | |
| | | | | 0.17 | | |

第 3.2.1.2-1 表 活断層のリスト（調査モデル）

| 断層 番号 | 断層名 | 断層 長さ (km) | 等価震源 距離 (km) | M ^{※1} (松田式) | M ^{※2} (武村式) | 活動度 | 再来期間 (年) |
|----------|------------------------|------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|-----|----------------------|
| 1 | 関谷断層 | 40 | 92 | 7.5 | 7.6 | — | 3,350 ^{※4} |
| 2 | 三郡森付近 | 18 | 106 | 6.9 | 7.0 | B | 5,600 |
| 3 | 大阪—足沢 | 7 | 91 | 6.8 | 6.9 | B | 4,800 |
| 4 | 二ッ箭断層 | 8 | 82 | 6.8 | 6.9 | B | 4,800 |
| 5 | 赤井断層 | 5 | 73 | 6.8 | 6.9 | C | 25,600 |
| 6 | 湯ノ岳断層 | 5 | 64 | 6.8 | 6.9 | B | 4,800 ^{※4} |
| 7 | 江花—虫笠 | 9 | 94 | 6.8 | 6.9 | B | 4,800 |
| 8 | 那須湯本北 | 9 | 94 | 6.8 | 6.9 | B | 4,800 |
| 9 | 那須湯本北東 | 4 | 89 | 6.8 | 6.9 | B | 4,800 |
| 10 | 湯本塩原断層群 | 3 | 92 | 6.8 | 6.9 | B | 4,800 |
| 11 | 深谷断層帯・綾瀬川断層 | 103 | 128 | 8.2 | 8.3 | — | 58,000 ^{※4} |
| 12 | 新編日活海域 ^{※3} | 11 | 102 | 6.8 | 6.9 | C | 25,600 |
| 13 | 新編日活海域 ^{※3} | 23 | 110 | 7.1 | 7.2 | C | 38,000 |
| 14 | 新編日活海域 ^{※3} | 22 | 98 | 7.1 | 7.2 | C | 36,700 |
| 15 | 新編日活海域 ^{※3} | 12 | 99 | 6.8 | 6.9 | C | 25,600 |
| 16 | 新編日活海域 ^{※3} | 15 | 109 | 6.8 | 6.9 | C | 26,000 |
| 17 | 新編日活海域 ^{※3} | 17 | 93 | 6.9 | 7.0 | C | 28,900 |
| 18 | 新編日活海域 ^{※3} | 30 | 83 | 7.3 | 7.4 | C | 50,200 |
| 19 | 新編日活海域 ^{※3} | 12 | 90 | 6.8 | 6.9 | C | 25,600 |
| 20 | 新編日活海域 ^{※3} | 12 | 87 | 6.8 | 6.9 | C | 25,600 |
| 21 | 新編日活海域 ^{※3} | 12 | 72 | 6.8 | 6.9 | C | 25,600 |
| 22 | 新編日活海域 ^{※3} | 13 | 112 | 6.8 | 6.9 | C | 25,600 |
| 23 | 新編日活海域 ^{※3} | 32 | 106 | 7.3 | 7.5 | C | 53,600 |
| 24 | F 3 断層～F 4 断層 | 16 | 22 | 6.8 | 7.0 | B | 5,100 |
| 25 | 棚倉破砕帯西縁断層～同東縁付近の推定活断層 | 42 | 37 | 7.5 | 7.7 | B | 13,300 |
| 26 | F 1 断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層 | 58 | 31 | 7.8 | 7.9 | B | 18,400 ^{※5} |
| | F 1 断層～北方陸域の断層 | 44 | 28 | 7.6 | 7.7 | B | 13,900 |
| 27 | F 8 断層 | 26 | 26 | 7.2 | 7.3 | B | 8,300 |
| 28 | F 1 6 断層 | 26 | 30 | 7.2 | 7.3 | B | 8,300 |
| 29 | A—1 背斜 | 20 | 22 | 7.0 | 7.1 | B | 6,400 |
| 30 | 関口—米平リニアメント | 6 | 27 | 6.8 | 7.0 | B | 5,400 |
| 31 | 宮田町リニアメント | 1 | 21 | 6.8 | 7.0 | B | 5,400 |
| 32 | 堅破山リニアメント | 4 | 25 | 6.8 | 7.0 | B | 5,400 |
| 33 | F 1 1 断層 | 5 | 38 | 6.8 | 7.0 | B | 5,400 |

※1 松田（1975）に基づき算定。ただし下限はM6.8とする。

※2 武村（1998）に基づき算定。ただし下限はM6.8とする。

※3 活断層研究会編（1991）に記載されている活断層

※4 更新過程に基づき評価

※5 2011年4月に活動した塩ノ平地震断層の地震調査研究推進本部の手法による今後50年発生確率はほぼ0%であることから、F 1 断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の全長が破壊する場合の確率は更に低くなる。

第 3.2.1.2-2 表 活断層のリスト（推本参考モデル）

| 断層番号 | 断層名 | 断層長さ (km) | 等価震源 距離 (km) | M | 再来期間 (年) ※1 |
|------|-------------|--------------|-----------------|-----|-------------|
| 1 | 関谷断層 | 38 | 97 | 7.5 | 3,350※2 |
| 2 | 関東平野北西縁断層主部 | 82 | 132 | 8.0 | 21,500※2 |
| 3 | 平井－櫛挽断層帯 | 23 | 138 | 7.1 | 7,000 |
| 4 | 大阪－足沢断層帯 | 16 | 88 | 6.8 | 12,700 |
| 5 | 二ツ箭断層 | 10 | 81 | 6.5 | 3,200 |
| 6 | 三郡森断層帯 | 18 | 105 | 6.9 | 5,700 |
| 7 | 湯ノ岳断層 | 12 | 65 | 6.6 | 3,800 |
| 8 | 井戸沢断層 | 19 | 56 | 7.0 | 62,900 |
| 9 | 高萩付近推定 | 17 | 34 | 6.9 | 56,300 |
| 10 | 棚倉破碎帯西縁断層 | 20 | 40 | 7.0 | 66,200 |
| 11 | 白河西方断層帯 | 18 | 94 | 6.9 | 59,600 |
| 12 | 越生断層 | 13 | 132 | 6.7 | 22,000 |

※1 地震調査研究推進本部(2012)に基づき算定。地震発生については地震調査研究推進本部（2012）に基づき、断層番号 1，2 は更新過程，それ以外はポアソン過程とする。

※2 地震調査研究推進本部（2012）で示されている 50 年発生確率 0%より，年発生確率を算出する。

第 3.2.1.2-3 表 海溝型地震で考慮している特定震源モデル（調査モデル）

| 断層名 | 断層長さ及び 断層幅 (km) | 等価震源 距離 (km) | M | 平均発生 間隔 (年) ※1 |
|-------------------|--------------------|-----------------|---------|-------------------|
| 関東地震※2 | 22×45 63×55 | 162 | 7.9～8.2 | 220※3 |
| 2011 年東北地方太平洋沖型地震 | 500×200 | — | Mw9.0 | 600※4 |

※1 地震調査研究推進本部（2012）に基づく。

※2 巨視的断層は佐藤（1989）に、Mは宇佐美（2013）に基づく。

※3 地震調査研究推進本部（2009a），（2012）に基づき更新過程として扱い、示されている 50 年発生確率 1%より，年発生確率を算出する。

※4 地震調査研究推進本部（2012）に基づき更新過程として扱い、示されている 50 年発生確率 0%より，年発生確率を算出する。

第 3.2.1.2-4 表 海溝型地震で考慮している特定震源モデル(推本参考モデル)

| 断層名 | 断層長さ及び 断層幅 (km) | 等価震源距 離 (km) | M | 平均発生 間隔 (年) ※1 |
|----------------------------|--------------------|-----------------|---------|-------------------|
| 関東地震※2 | 22×45 63×55 | 162 | 7.9～8.2 | 220※3 |
| 茨城県沖の地震 (繰り返し発生する地震) ※4 | 60 ×60 | 103 | 7.0 | 21※5 |
| 2011 年東北地方太平洋沖型地震 | 500×200 | — | Mw9.0 | 600※6 |

※1 地震調査研究推進本部（2009a），（2009b），（2012）に基づく。

※2 巨視的断層は佐藤（1989）に、Mは宇佐美（2013）に基づく。

※3 地震調査研究推進本部（2009a），（2012）に基づき更新過程として扱い、示されている 50 年発生確率 1%より，年発生確率を算出する。

※4 巨視的断層及びMは地震調査研究推進本部（2009a）に基づく。

※5 ポアソン過程で評価する。

※6 地震調査研究推進本部（2012）に基づき更新過程として扱い、示されている 50 年発生確率 0%より，年発生確率を算出する。

第 3.2.1.2-5 表 ロジックツリーの分岐及び重み付けの考え方

| 項目 | | 分岐 | 重みの配分 | 重み付けの考え方 |
|----------|----------------------|------------------------------------|-------|--|
| モデル | | 調査モデル | 0.5 | 複数のモデルを設定し、重みは等配分とする。 |
| | | 推本参考モデル | 0.5 | |
| 特定震源 | F 1 断層の連動 (調査モデル) | F 1 断層～北方陸域の断層の連動 | 0.9 | 2011 年 4 月に活動した直後である塩ノ平地震断層を含んだ全長破壊は当面起こりにくいと考えられることから、重みを低く設定する。 |
| | | F 1 断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の連動 | 0.1 | |
| | 活断層のマグニチュード (調査モデル) | 松田式 | 0.5 | 複数の計算式を設定し、重みは等配分とする。 |
| | | 武村式 | 0.5 | |
| 領域震源 | 領域最大 M (調査モデル) | 既往最大値の中央値 | 0.5 | 中央値の重みを高く設定する。 |
| | | ばらつきの下限値 | 0.25 | |
| | | ばらつきの上限値 | 0.25 | |
| | 領域②最大 M (調査モデル) | 7.6 | 0.67 | 領域内で最大の M7.6 (2011 年) と、領域外であるが同一の地震地体構造区内で最大の M8.0 (1667 年) を設定、M8.0 は津波地震である可能性を踏まえ、M7.6 の重みを高く設定する。 |
| | | 8.0 | 0.33 | |
| | 領域④最大 M (調査モデル) | 7.2 | 0.5 | 既往最大の M7.2 と「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち海洋プレート内地震」における茨城県南部の地震の不確かさケースの M7.4 を設定し、重みを当配分とする。 |
| | | 7.4 | 0.5 | |
| | 領域最大 M (推本参考モデル) | 「モデル 1」による最大 M | 0.5 | 地震調査研究推進本部 (2012) による「モデル 1」及び「モデル 2」を設定し、重みは等配分とする。 |
| | | 「モデル 2」による最大 M | 0.5 | |
| | 鹿島灘の補正の適用範囲 | 東経 141.0～141.2 度 北緯 36.3～36.6 度 | 0.5 | 補正を適用する領域の範囲を複数設定し、重みは等配分とする。 |
| | | 東経 140.9～141.3 度 北緯 36.2～36.7 度 | 0.5 | |
| | 内陸補正 | なし | 0.5 | 内陸地殻内地震に対する Noda et al. (2002) の補正を行う場合と行わない場合を設定し、重みは等配分とする。 |
| | | あり | 0.5 | |
| 地震動伝播モデル | 断層モデル手法におけるばらつき | 0.5 | 0.5 | Noda et al. (2002) の方法で用いている対数標準偏差 0.5 を適用する場合と観測記録に基づく場合を設定し、重みは等配分とする。 |
| | | 観測記録 | 0.5 | |

第 3.2.1.3-1-1 表 考慮する不確かさ要因の例

| 評価方法 | | 偶然的な不確かさ (β_R) | 認識論的な不確かさ (β_U) |
|------------|-------|--|---|
| 建屋・ 構築物 | 現実的耐力 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 構造材料定数 ・ 損傷限界時ひずみ | <ul style="list-style-type: none"> ・ 施工精度 ・ 実験データの統計的精度 ・ 耐力評価式の誤差 |
| | 現実的応答 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 構造材料定数 ・ 地盤材料定数 | <ul style="list-style-type: none"> ・ モデル形態 ・ 剛性評価の仮定 ・ 復元力特性のモデル化 ・ 耐震要素の評価範囲 |

第 3.2.1.3-1-2 表 損傷限界点の現実的な値（地震 P S A 学会標準）

| 損傷限界点の指標 | 平均値 | 変動係数 |
|----------|-----------------------|------|
| せん断ひずみ | 5.36×10^{-3} | 0.24 |

第 3. 2. 1. 3－1－3 表 地盤物性値

| 地層 EL. (m) | 地盤せん断波 速度 V _s (m/s) | 密度 ρ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G (N/mm ²) | ヤング係数 E (N/mm ²) |
|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| 8.0 | 210 | 17.85 | 0.385 | 80.3 | 222 |
| 3.2 | 240 | 18.53 | 0.286 | 109 | 280 |
| 2.0 | 240 | 19.71 | 0.491 | 116 | 345 |
| -3.3 | 500 | 21.08 | 0.462 | 537 | 1570 |
| -14.6 | 453 | 16.87 | 0.460 | 353 | 1031 |
| -37.2 | 471 | 16.97 | 0.458 | 384 | 1119 |
| -60.8 | 489 | 16.97 | 0.455 | 414 | 1200 |
| -85.2 | 509 | 16.97 | 0.453 | 448 | 1300 |
| -110.7 | 529 | 16.97 | 0.450 | 484 | 1400 |
| -137.1 | 547 | 17.06 | 0.448 | 521 | 1510 |
| -157.6 | 563 | 17.06 | 0.446 | 551 | 1590 |
| -178.7 | 579 | 17.06 | 0.443 | 583 | 1680 |
| -200.4 | 596 | 17.06 | 0.441 | 618 | 1780 |
| -222.8 | 614 | 17.06 | 0.439 | 656 | 1890 |
| -245.8 | 632 | 17.16 | 0.436 | 699 | 2010 |
| -269.4 | 650 | 17.16 | 0.434 | 739 | 2120 |
| -293.8 | 669 | 17.16 | 0.431 | 783 | 2240 |
| -318.9 | 689 | 17.16 | 0.429 | 831 | 2370 |
| -344.8 | 709 | 17.26 | 0.426 | 885 | 2520 |
| -370.0 | 741 | 17.26 | 0.422 | 966 | 2750 |

第 3.2.1.3-1-4 表 原子炉建屋物性値

| 部位 | 使用材料 | ヤング係数 E (N/mm ²) | せん断 弾性係数 G (N/mm ²) | 減衰定数 h (%) |
|------|--|---------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| 建屋部 | コンクリート : Fc=22.1 (N/mm ²) (225kgf/cm ²) 鉄筋 : SD35 (SD345 相当) | 2.21×10 ⁴ | 9.19×10 ³ | 5 |
| 人工岩盤 | コンクリート : Fc=13.7 (N/mm ²) (140kgf/cm ²) | 1.88×10 ⁴ | 7.84×10 ³ | 5 |

第 3.2.1.3-1-5 表 現実的な物性値の評価方法

| 物性値 | | 現実的な物性値の評価方法 |
|--------|---------------|---------------------------------|
| 構造材料定数 | コンクリート強度 Fc | 平均値 : 1.4×設計基準強度 変動係数 : 0.13 |
| | コンクリートの減衰定数 h | 平均値 : 5% 変動係数 : 0.25 |
| 地盤材料定数 | 地盤のせん断波速度 Vs | 平均値 : 設計値 変動係数 : 0.10 |

第 3. 2. 1. 3－1－6 表 (1/2) 解析モデル諸元 (水平 NS 方向)

| 質点 番号 | 高さ EL. (m) | 質点重量 W (kN) | 回転慣性 重量 I_G ($\times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$) | 要素 番号 | せん断 断面積 A_S (m^2) | 断面 2 次 モーメント I (m^4) |
|----------|------------------|----------------|---|----------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 63.65 | 20,700 | 44.19 | 1 | 27.3 | 20,400 |
| 2 | 57.00 | 16,480 | 45.60 | 2 | 27.3 | 20,400 |
| 3 | 46.50 | 68,930 | 123.16 | 3 | 212 | 64,400 |
| 4 | 38.80 | 99,760 | 165.98 | 4 | 133 | 45,000 |
| 5 | 34.70 | 85,760 | 116.83 | 5 | 143 | 45,400 |
| 6 | 29.00 | 124,220 | 355.13 | 6 | 218 | 77,600 |
| 7 | 20.30 | 165,460 | 499.60 | 7 | 242 | 86,300 |
| 8 | 14.00 | 239,600 | 735.56 | 8 | 394 | 178,500 |
| 9 | 8.20 | 203,670 | 911.80 | 9 | 464 | 218,400 |
| 10 | 2.00 | 225,520 | 849.66 | 10 | 464 | 218,800 |
| 11 | -4.00 | 412,170 | 1,614.56 | 11 | 4,675 | 1,828,100 |
| 12 | -9.00 | 729,320 | 2,881.57 | 12 | 4,675 | 1,828,100 |
| 13 | -17.00 | 448,810 | 1,778.89 | | | |

第 3.2.1.3-1-6 表 (2/2) 解析モデル諸元 (水平 EW 方向)

| 質点 番号 | 高さ EL. (m) | 質点重量 W (kN) | 回転慣性 重量 I_G ($\times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$) | 要素 番号 | せん断 断面積 A_s (m^2) | 断面 2 次 モーメント I (m^4) |
|----------|------------------|----------------|---|----------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 63.65 | 20,700 | 38.98 | 1 | 25.5 | 18,400 |
| 2 | 57.00 | 16,480 | 52.17 | 2 | 25.5 | 18,400 |
| 3 | 46.50 | 68,930 | 107.21 | 3 | 154 | 34,700 |
| 4 | 38.80 | 99,760 | 102.86 | 4 | 141 | 37,300 |
| 5 | 34.70 | 85,760 | 71.41 | 5 | 156 | 38,700 |
| 6 | 29.00 | 124,220 | 254.97 | 6 | 237 | 72,900 |
| 7 | 20.30 | 165,460 | 555.73 | 7 | 224 | 77,600 |
| 8 | 14.00 | 239,600 | 795.41 | 8 | 345 | 147,400 |
| 9 | 8.20 | 203,670 | 905.27 | 9 | 454 | 208,500 |
| 10 | 2.00 | 225,520 | 847.80 | 10 | 454 | 208,900 |
| 11 | -4.00 | 412,170 | 1,602.51 | 11 | 4,675 | 1,814,800 |
| 12 | -9.00 | 729,320 | 2,860.80 | 12 | 4,675 | 1,814,800 |
| 13 | -17.00 | 448,810 | 1,766.10 | | | |

第 3.2.1.3-1-7 表 (1/2) 地盤ばね定数と減衰係数 (1,500cm/s² 規準化
入力中央値 NS 方向)

| | ばね番号 | ばね定数※ ¹ | 減衰係数※ ² |
|------------|------|------------------------|---------------------|
| 側面 水平ばね | K1 | 6.078×10^5 | 3.614×10^5 |
| | K3 | 7.828×10^5 | 7.636×10^5 |
| | K5 | 3.818×10^6 | 1.474×10^6 |
| | K7 | 7.841×10^6 | 2.343×10^6 |
| | K9 | 4.659×10^6 | 1.323×10^6 |
| 側面 回転ばね | K2 | 6.731×10^8 | 1.549×10^8 |
| | K4 | 9.234×10^8 | 2.581×10^8 |
| | K6 | 4.326×10^9 | 4.607×10^8 |
| | K8 | 8.413×10^9 | 7.786×10^8 |
| | K10 | 5.005×10^9 | 4.364×10^8 |
| 底面水平ばね | K11 | 5.176×10^7 | 2.701×10^6 |
| 底面回転ばね | K12 | 6.965×10^{10} | 1.047×10^9 |

※1 ばね定数の単位は, kN/m (水平), kN・m/rad (回転)

※2 減衰係数の単位は, kN・s/m (水平), kN・s・m/rad (回転)

第 3.2.1.3-1-7 表 (2/2) 地盤ばね定数と減衰係数 (1,500cm/s² 規準化
入力中央値 EW 方向)

| | ばね番号 | ばね定数※ ¹ | 減衰係数※ ² |
|------------|------|------------------------|---------------------|
| 側面 水平ばね | K1 | 6.078×10^5 | 3.614×10^5 |
| | K3 | 7.828×10^5 | 7.630×10^5 |
| | K5 | 3.818×10^6 | 1.473×10^6 |
| | K7 | 7.841×10^6 | 2.343×10^6 |
| | K9 | 4.659×10^6 | 1.323×10^6 |
| 側面 回転ばね | K2 | 6.731×10^8 | 1.549×10^8 |
| | K4 | 9.234×10^8 | 2.581×10^8 |
| | K6 | 4.326×10^9 | 4.605×10^8 |
| | K8 | 8.413×10^9 | 7.782×10^8 |
| | K10 | 5.005×10^9 | 4.361×10^8 |
| 底面水平ばね | K11 | 5.179×10^7 | 2.703×10^6 |
| 底面回転ばね | K12 | 6.928×10^{10} | 1.035×10^9 |

※1 ばね定数の単位は, kN/m (水平), kN・m/rad (回転)

※2 減衰係数の単位は, kN・s/m (水平), kN・s・m/rad (回転)

第 3.2.1.3-2-1 表 考慮する不確かさ要因の例

| 評価方法 | 偶然的不確かさ (β_R) | 認識論的不確かさ (β_U) |
|-------|-----------------------|-------------------------------------|
| 現実的耐力 | ・ 構造材料定数 | ・ 施工精度 ・ 実験データの統計的精度 |
| 現実的応答 | ・ 地盤材料定数 | ・ モデル形態 ・ 動的地盤定数の評価法 ・ 解析手法 等 |

第 3.2.1.3-2-2 表 現実的耐力に含まれるコンクリートの圧縮強度及び鉄筋の降伏強度の現実的な値

| 損傷限界点の指標 | 平均値 | 変動係数 |
|-------------|-----------------------|------|
| コンクリートの圧縮強度 | 39.9N/mm ² | 0.13 |
| 鉄筋の降伏強度 | 374N/mm ² | 0.05 |

第 3.2.1.3-2-3 表 地盤物性値

| 地層名 | せん断波速度※ ² V_s (m/s) | 密度※ ¹ ※ ² ρ_t (g/cm ³) | 初期せん断 弾性係数※ ¹ (N/mm ²) | 動ポアソン比※ ¹ ※ ² ν_d | 動せん断弾性係数 のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$ | 減衰定数 $h \sim \gamma$ |
|---------|-------------------------------------|--|---|--|--|--|
| bk 層 | 210 | 1.82 | 80.3 | 0.385 | $\frac{1}{1+1540 \cdot \gamma^{1.04}}$ | $\frac{\gamma}{(4.27 \cdot \gamma + 0.00580)} + 0.0102$ |
| du 層 | | 1.98 | 87.3 | 0.493 | | |
| Ac 層 | $163-1.54 \cdot Z$ | 1.65 | $\rho_{sat}/1000$ $\times V_s^2$ | 0.486 | $\frac{1}{1+269 \cdot \gamma^{0.909}}$ | $\frac{\gamma}{(6.65 \cdot \gamma + 0.0104)} + 0.0222$ |
| As 層 | $211-1.19 \cdot Z$ | 1.74 | $\rho_{sat}/1000$ $\times V_s^2$ | 0.484 | $\frac{1}{1+422 \cdot \gamma^{0.951}}$ | $\frac{\gamma}{(4.40 \cdot \gamma + 0.0122)} + 0.0144$ |
| Ag2 層 | 240 | 1.89 2.01 | 109 116 | 0.491 | $\frac{1}{1+2520 \cdot \gamma^{1.14}}$ | $\frac{\gamma}{(4.10 \cdot \gamma + 0.00577)} + 0.00413$ |
| Ag1 層 | 350 | 2.01 | 246 | 0.483 | $\frac{1}{1+1730 \cdot \gamma^{1.11}}$ | $\frac{\gamma}{(3.73 \cdot \gamma + 0.0102)} + 0.00791$ |
| D2c-3 層 | 270 | 1.77 | 129 | 0.488 | $\frac{1}{1+269 \cdot \gamma^{0.862}}$ | $\frac{\gamma}{(6.62 \cdot \gamma + 0.00949)} + 0.0205$ |
| D2g-3 層 | 500 | 2.15 | 538 | 0.462 | $\frac{1}{1+237 \cdot \gamma^{0.732}}$ | $\frac{\gamma}{(9.70 \cdot \gamma + 0.00754)} + 0.0233$ |
| Km 層 | $433-0.771 \cdot Z$ | $1.72-1.03$ $\times 10^{-4} \cdot Z$ | $\rho_t/1000$ $\times V_s^2$ | $0.463+1.03$ $\times 10^{-4} \cdot Z$ | $\frac{1}{1+107 \cdot \gamma^{0.824}}$ | $\frac{\gamma}{(4.41 \cdot \gamma + 0.0494)} + 0.0184$ |
| 地盤改良 | 758 | 2.04 | 1180 | 0.387 | — | — |

※1 上段は地下水位以浅，下段は地下水位以深に対する値を示す。

※2 Zは標高(m)を示す。

第 3.2.1.3-2-4 表 海水ポンプ室物性値

| 項目 | 構造材料定数 |
|---|--------|
| コンクリート強度 (N/mm^2) | 39.9 |
| コンクリートの静弾性係数 (kN/mm^2) | 31.0 |
| 鉄筋コンクリートの単位体積重量 (kN/m^3) | 24 |
| 鉄筋コンクリートのポアソン比 | 0.2 |
| 鉄筋強度 (SD295) (N/mm^2) | 374 |
| 鉄筋の静弾性係数 (kN/mm^2) | 200 |
| 杭の引張強度 (N/mm^2) | 287 |
| 杭の静弾性係数 (kN/mm^2) | 200 |
| 杭の単位体積重量 (kN/m^3) | 77 |

第 3.2.1.3-2-5 表 鋼管杭の断面諸元

| 杭径 ϕ (mm) | 断面積 A (m^2) | 断面二次モーメント I (m^4) | 断面係数 Z (m^3) |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 1014 | 4.70×10^{-2} | 5.87×10^{-3} | 1.16×10^{-2} |

第 3. 2. 1. 3－2－6 表 現実的な物性値の評価方法

| 地層名 | 物性値 | 現実的な物性値の評価方法 |
|---------|-----------------|----------------------|
| bk 層 | 地盤のせん断波速度 V_s | 平均値：設計値 変動係数：0.10 |
| du 層 | 地盤のせん断波速度 V_s | 平均値：設計値 変動係数：0.10 |
| Ac 層 | 地盤のせん断波速度 V_s | 平均値：設計値 変動係数：0.10 |
| As 層 | 地盤のせん断波速度 V_s | 平均値：設計値 変動係数：0.10 |
| Ag2 層 | 地盤のせん断波速度 V_s | 平均値：設計値 変動係数：0.10 |
| Ag1 層 | 地盤のせん断波速度 V_s | 平均値：設計値 変動係数：0.10 |
| D2c-3 層 | 地盤のせん断波速度 V_s | 平均値：設計値 変動係数：0.10 |
| D2g-3 層 | 地盤のせん断波速度 V_s | 平均値：設計値 変動係数：0.10 |
| 地盤改良 | 地盤のせん断波速度 V_s | 平均値：設計値 変動係数：0.10 |

第 3.2.1.3－3－1 表 現実的耐力及び現実的応答の不確かさ要因例

| 評価方法 | 偶然的不確かさ (β_R) | 認識論的不確かさ (β_U) |
|-------|--|--|
| 現実的耐力 | <ul style="list-style-type: none"> 機能試験データの統計的精度 | <ul style="list-style-type: none"> 機能試験データの統計的精度 材料物性値 |
| 現実的応答 | <ul style="list-style-type: none"> 減衰定数 モード合成法 | <ul style="list-style-type: none"> 減衰定数 床応答スペクトル 解析モデル化 |

第 3.2.1.3-3-2 表 建屋の応答係数 (1/2)

| 建屋 | 方向 | 係数 | | | | 中央値 | β_R | β_U |
|-------|----|----------------|------------------|-----------------------|------|------|-----------|-----------|
| 原子炉建屋 | 水平 | F ₁ | 解放基盤表面の地震動に関する係数 | スペクトル形状係数 | | ※ | 0.00 | 0.00 |
| | | F ₂ | 建屋への入力地震動に関する係数 | 地盤モデルに関するサブ応答係数 | | 1.00 | 0.20 | 0.15 |
| | | | | 基礎による入力損失に関するサブ応答係数 | | 1.00 | | |
| | | F ₃ | 建屋の地震応答に関する係数 | 建屋振動モデルに関するサブ応答係数 | 建屋減衰 | 1.00 | | |
| | | | | | 建屋剛性 | 1.00 | | |
| | | | | 地盤—建屋連成系モデルに関するサブ応答係数 | | 1.00 | | |
| | | | | 非線形応答に関するサブ応答係数 | | 1.00 | | |
| | | | | 地震応答解析手法に関するサブ応答係数 | | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 鉛直 | F ₁ | 解放基盤表面の地震動に関する係数 | スペクトル形状係数 | | ※ | 0.00 | 0.00 |
| | | F ₂ | 建屋への入力地震動に関する係数 | 地盤モデルに関するサブ応答係数 | | 1.00 | 0.10 | 0.15 |
| | | | | 基礎による入力損失に関するサブ応答係数 | | 1.00 | | |
| | | F ₃ | 建屋の地震応答に関する係数 | 建屋振動モデルに関するサブ応答係数 | 建屋減衰 | 1.00 | | |
| | | | | | 建屋剛性 | 1.00 | | |
| | | | | 地盤—建屋連成系モデルに関するサブ応答係数 | | 1.00 | | |
| | | | | 非線形応答に関するサブ応答係数 | | 1.00 | | |
| | | | | 地震応答解析手法に関するサブ応答係数 | | 1.00 | 0.00 | 0.00 |

※ 建屋のスペクトル形状係数は、対象設備に応じ個別に算定する。

第 3.2.1.3-3-2 表 建屋の応答係数(2/2)

| 建屋 | 方向 | 係数 | | | | 中央値 | β_R | β_U |
|--------|----|----------------|------------------|-----------------------|------|------|-----------|-----------|
| 海水ポンプ室 | 水平 | F ₁ | 解放基盤表面の地震動に関する係数 | スペクトル形状係数 | | ※ | 0.00 | 0.00 |
| | | F ₂ | 建屋への入力地震動に関する係数 | 地盤モデルに関するサブ応答係数 | | 1.00 | 0.20 | 0.15 |
| | | | | 基礎による入力損失に関するサブ応答係数 | | 1.00 | | |
| | | F ₃ | 建屋の地震応答に関する係数 | 建屋振動モデルに関するサブ応答係数 | 建屋減衰 | 1.00 | | |
| | | | | | 建屋剛性 | 1.00 | | |
| | | | | 地盤—建屋連成系モデルに関するサブ応答係数 | | 1.00 | | |
| | | | | 非線形応答に関するサブ応答係数 | | 1.00 | | |
| | | | | 地震応答解析手法に関するサブ応答係数 | | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 鉛直 | F ₁ | 解放基盤表面の地震動に関する係数 | スペクトル形状係数 | | ※ | 0.00 | 0.00 |
| | | F ₂ | 建屋への入力地震動に関する係数 | 地盤モデルに関するサブ応答係数 | | 1.00 | 0.10 | 0.15 |
| | | | | 基礎による入力損失に関するサブ応答係数 | | 1.00 | | |
| | | F ₃ | 建屋の地震応答に関する係数 | 建屋振動モデルに関するサブ応答係数 | 建屋減衰 | 1.00 | | |
| | | | | | 建屋剛性 | 1.00 | | |
| | | | | 地盤—建屋連成系モデルに関するサブ応答係数 | | 1.00 | | |
| | | | | 非線形応答に関するサブ応答係数 | | 1.00 | | |
| | | | | 地震応答解析手法に関するサブ応答係数 | | 1.00 | 0.00 | 0.00 |

※ 建屋のスペクトル形状係数は、対象設備に応じ個別に算定する。

第 3.2.1.4－1 表 起因事象発生頻度

| 起因事象 | 発生頻度 (／炉年) |
|---|---------------|
| i) 原子炉建屋損傷 | 1.5E-07 |
| ii) 格納容器損傷 | 4.1E-09 |
| iii) 原子炉圧力容器損傷 | 2.2E-07 |
| iv) 格納容器バイパス | 3.2E-08 |
| v) 原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失 (E x c e s s i v e L O C A) | 3.0E-10 |
| vi) 計装・制御系喪失 | 3.7E-10 |
| vii) 直流電源喪失 | 2.2E-06 |
| viii) 交流電源喪失 | 4.4E-07 |
| ix) 外部電源喪失 | 4.9E-04 |
| x) 過渡事象 | 1.2E-02 |

第 3.2.1.4－2 表 事故シーケンスグループ分類一覧

| 事故シーケンスグループ | | 事故シーケンスの特徴 |
|--|---------|---|
| 高圧・低圧注水機能喪失 | T Q U V | 事象発生後、高圧系及び低圧系による炉心冷却に失敗 |
| 高圧注水・減圧機能喪失 | T Q U X | 事象発生後、高圧系による炉心冷却に失敗し、かつ原子炉の減圧に失敗 |
| 全交流動力電源喪失 | T B | 全交流動力電源喪失 |
| | 長期 T B | 非常用ディーゼル発電機 2 台機能喪失、H P C S 機能喪失及び蓄電池枯渇に伴う R C I C 機能喪失 |
| | T B U | 非常用ディーゼル発電機 2 台機能喪失、H P C S 機能喪失及び R C I C 機能喪失 |
| | T B P | 非常用ディーゼル発電機 2 台機能喪失、H P C S 機能喪失及び逃がし安全弁再閉失敗による R C I C 機能喪失 |
| | T B D | 直流電源の故障による非常用ディーゼル発電機 2 台の起動失敗、H P C S 機能喪失及び R C I C 機能喪失 |
| 崩壊熱除去機能喪失 | T W | 事象発生後、原子炉格納容器からの崩壊熱除去に失敗 |
| | T B W | 外部電源喪失後、非常用 D G 2 台が機能喪失した状態で、H P C S による炉心冷却は継続しているが、格納容器からの崩壊熱除去に失敗 |
| 原子炉停止機能喪失 | T C | 事象発生後、原子炉停止（未臨界確保）に失敗 |
| 原子炉建屋損傷 | | 原子炉建屋損傷 |
| 格納容器損傷 | | 格納容器損傷 |
| 原子炉圧力容器損傷 | | 原子炉圧力容器損傷 |
| 格納容器バイパス | | 格納容器バイパス |
| 原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失 (E x c e s s i v e L O C A) | | E C C S の注水容量を上回る原子炉冷却材の流出 |
| 計装・制御系喪失 | | 計装・制御系喪失 |

第 3.2.1.4－3 表 評価対象システム一覧

| 分類 | 評価対象システム |
|------|--|
| 起因事象 | 原子炉建屋 |
| | 格納容器 |
| | 原子炉圧力容器 |
| | 格納容器バイパス |
| | 原子炉冷却材圧力バウンダリ (E x c e s s i v e L O C A) |
| | 計装・制御系 |
| | 直流電源 |
| | 交流電源 |
| | 外部電源 |
| | |
| 緩和機能 | 原子炉停止（スクラム系） |
| | 逃がし安全弁開放 |
| | 原子炉冷却材圧力バウンダリ健全性 |
| | 高圧炉心冷却（H P C S，R C I C） |
| | 原子炉減圧（A D S） |
| | 低圧炉心冷却（L P C S，L P C I） |
| | 崩壊熱除去（R H R） |

第 3.2.1.4-4 表 機器損傷に関する機器間の相関の取扱い

| 系統名 | | 完全独立／ 完全相関 | 設備 |
|---|------------------------------|--------------------|--|
| 高圧炉心冷却 | H P C S | 完全独立 | — |
| | R C I C | 完全独立 | — |
| 低圧炉心冷却／ 崩壊熱除去 | L P C S | 完全独立 | — |
| | R H R - A (L P C I - A) | 完全相関 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 残留熱除去系ポンプ ・ 残留熱除去系ゲート弁 ・ 残留熱除去系逆止弁 ・ 残留熱除去系グローブ弁 ・ 残留熱除去系配管 ・ 残留熱除去系ポンプ室空調機 |
| | R H R - B (L P C I - B) | | |
| | L P C I - C | | |
| 残留熱除去系 海水系 | R H R S - A | 完全相関 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 残留熱除去系海水系ポンプ ・ 残留熱除去系海水系グローブ弁 ・ 残留熱除去系海水系逆止弁 ・ 残留熱除去系海水系ストレーナ ・ 残留熱除去系熱交換器 ・ 残留熱除去系海水系配管 |
| | R H R S - B | | |
| 直流電源系 (ケーブル トレイ除く) | 区分Ⅰ | 完全相関 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 蓄電池 ・ 充電器盤 ・ 直流母線盤 |
| | 区分Ⅱ | | |
| | 区分Ⅲ | 完全独立 | — |
| 直流電源系 (ケーブル トレイ) | 区分Ⅰ | 完全相関※ ¹ | ・ ケーブルトレイ |
| | 区分Ⅱ | | |
| | 区分Ⅲ | | |
| 交流電源系 | 区分Ⅰ | 完全相関 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 非常用ディーゼル発電機 ・ 非常用ディーゼル発電機燃料デイトンク ・ 非常用ディーゼル発電機始動空気溜 ・ 非常用ディーゼル発電機空調機 ・ 非常用メタクラ ・ 非常用パワーセンタ ・ 非常用モータコントロールセンタ ・ 非常用動力用変圧器 |
| | 区分Ⅱ | | |
| | 区分Ⅲ | 完全独立 | — |
| 非常用ディーゼル 発電機海水系 ／ 高圧炉心スプレ イ系ディーゼル 発電機海水系 | D G S W - A | 完全相関※ ² | <ul style="list-style-type: none"> ・ 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ／高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ ・ 非常用ディーゼル発電機用海水系逆止弁／高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系逆止弁 ・ 非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ／高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ ・ 非常用ディーゼル発電機用海水系配管／高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系配管 |
| | D G S W - B | | |
| | H P C S - D G S W | | |

※¹ 区分Ⅲのケーブルトレイは、区分Ⅰ／Ⅱのケーブルトレイと構造上の差異がほぼなく、同一フロアに設置していることから完全相関を仮定

※² H P C S - D G S W 関連機器は、D G S W 関連機器と構造上の差異がほぼなく、同一フロアに設置していることから完全相関を仮定

第 3.2.1.4-5 表 起因事象発生後の人的過誤

| 起因事象発生後の人的過誤 | | 余裕 時間 | ストレス ファクタ※ ¹ | | 過誤確率 (平均値) [／d] | エラー ファクタ |
|--------------------------|-----------------|----------|----------------------------|----|-----------------------|-------------|
| | | | 認知 | 操作 | | |
| 原子炉水位制御操作失敗 | | 30 分 | 5 | 5 | 6.6E-03 | 6.4 |
| 水源切替操作失敗※ ² | | 30 分 | 5 | 5 | 6.6E-03 | 6.4 |
| 起動信 号共通 原因故 障時 | 注水不能認知失敗 | 30 分 | 5 | － | 2.6E-03 | 13.8 |
| | 高圧注水系起動 操作失敗 | － | － | 5 | 6.2E-03 | 3.0 |
| | 低圧注水系起動 操作失敗 | － | － | 5 | 2.0E-01 | 3.5 |
| 原子炉手動減圧失敗 | | － | 5 | 5 | 6.6E-03 | 6.4 |
| R H R 系操作失敗 | | 60 分 | 5 | 5 | 2.8E-04 | 35.6 |
| 非常用ディーゼル発電機燃 料油補給操作失敗 | | 60 分 | 5 | 5 | 2.8E-04 | 35.6 |

※¹ 内部事象出力運転時レベル 1 P R Aと比較して 1 段階高いストレスレベルのストレスファクタを設定した。

※² 高加速度領域においては、地震により復水貯蔵タンク・出口配管が損傷し、サプレッション・チェンバへの水源切替操作前に H P C S ポンプ及び R C I C ポンプが吸込圧力の低下により機能喪失する可能性がある。そのため、0.7G 以上では、水源切替操作に必ず失敗するもの（過誤確率＝1）として保守的に評価した。（添付資料 3.2.1.1-2）

第 3.2.1.4－6 表 起因事象別炉心損傷頻度

| 起因事象 | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 |
|--|-----------------|--------|
| 原子炉建屋損傷 | 1.5E-07 | 1.5% |
| 格納容器損傷 | 4.1E-09 | <0.1% |
| 原子炉圧力容器損傷 | 2.2E-07 | 2.1% |
| 格納容器バイパス | 3.2E-08 | 0.3% |
| 原子炉冷却材圧力バウンダリ 喪失 (E x c e s s i v e L O C A) | 3.0E-10 | <0.1% |
| 計装・制御系喪失 | 3.7E-10 | <0.1% |
| 直流電源喪失 | 2.2E-06 | 20.7% |
| 交流電源喪失 | 4.4E-07 | 4.3% |
| 外部電源喪失 | 3.1E-06 | 29.7% |
| 過渡事象 | 4.3E-06 | 41.4% |
| 合計 | 1.0E-05 | 100.0% |

第 3.2.1.4－7 表 起回事象別炉心損傷頻度に対する主要な事故シーケンス及びカットセット

| 起回事象 | 主要な事故シーケンス | 炉心損傷頻度（／炉年） （起回事象別炉心損傷頻度（／炉年）） | 主要なカットセット |
|-----------|-----------------|-----------------------------------|---|
| 外部電源喪失 | 外部電源喪失＋崩壊熱除去失敗 | 1. 6E-06 (3. 1E-06) | ・ 開閉所設備の損傷＋RHR系ゲート弁の損傷 |
| 直流電源喪失 | 直流電源喪失＋高圧炉心冷却失敗 | 2. 1E-06 (2. 2E-06) | ・ ケーブルトレイの損傷 |
| 過渡事象 | 過渡事象＋崩壊熱除去失敗 | 3. 9E-06 (4. 3E-06) | ・ RHR系操作失敗 |
| 交流動力電源喪失 | 交流電源喪失＋高圧炉心冷却失敗 | 4. 3E-07 (4. 4E-07) | ・ 非常用ディーゼル発電機冷却海水ポンプの損傷 ＋水源切替操作失敗 ・ 非常用パワーセンタの損傷＋水源切替操作失敗 |
| 原子炉圧力容器損傷 | 原子炉圧力容器損傷 | 2. 2E-07 (2. 2E-07) | ・ 原子炉圧力容器の損傷 |
| 原子炉建屋損傷 | 原子炉建屋損傷 | 1. 5E-07 (1. 5E-07) | ・ 原子炉建屋の損傷 |

第 3.2.1.4－8 表 事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度

| 事故シーケンスグループ | | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 |
|--|---------|-----------------|---------|
| 高圧・低圧注水機能喪失 | T Q U V | 4. 6E-07 | 4. 5% |
| 高圧注水・減圧機能喪失 | T Q U X | 1. 3E-06 | 12. 5% |
| 全交流動力電源喪失 | 長期 T B | 5. 6E-09 | < 0. 1% |
| | T B U | 4. 4E-07 | 4. 3% |
| | T B P | 2. 4E-09 | < 0. 1% |
| | T B D | 2. 1E-06 | 20. 5% |
| 崩壊熱除去機能喪失 | T W | 5. 5E-06 | 52. 5% |
| | T B W | 6. 4E-08 | 0. 6% |
| 原子炉停止機能喪失 | T C | 1. 2E-07 | 1. 1% |
| 原子炉建屋損傷 | | 1. 5E-07 | 1. 5% |
| 格納容器損傷 | | 4. 1E-09 | < 0. 1% |
| 原子炉圧力容器損傷 | | 2. 2E-07 | 2. 1% |
| 格納容器バイパス | | 3. 2E-08 | 0. 3% |
| 原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失 (E x c e s s i v e L O C A) | | 3. 0E-10 | < 0. 1% |
| 計装・制御系喪失 | | 3. 7E-10 | < 0. 1% |
| 合計 | | 1. 0E-05 | 100. 0% |

第 3.2.1.4－9 表 事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度に対する主要な事故シーケンス及びカットセット

| 事故シーケンスグループ | 主要な事故シーケンス | 炉心損傷頻度（／炉年） （事故シーケンスグループ別 全炉心損傷頻度（／炉年）） | 主要なカットセット |
|--------------------------|------------------------------|---|---|
| 崩壊熱除去喪失 （T W） | 過渡事象+崩壊熱除去失敗 | 3.9E-06 (5.5E-06) | ・ R H R 系操作失敗 |
| | 外部電源喪失+崩壊熱除去失敗 | 1.6E-06 (5.5E-06) | ・ 開閉所設備の損傷＋R H R 系ゲート弁の損傷 |
| 直流電源喪失 （T B D） | 直流電源喪失+高圧炉心冷却失敗 | 2.1E-06 (2.1E-06) | ・ ケーブルトレイの損傷 |
| 高圧注水・減圧機能失敗 （T Q U X） | 外部電源喪失+高圧炉心冷却失敗 +原子炉減圧失敗 | 9.1E-07 (1.3E-06) | ・ 開閉所設備の損傷＋水源切替操作失敗 ＋原子炉手動減圧失敗 ・ 開閉所設備の損傷＋水源切替操作失敗 ＋注水不能認知失敗 |
| 高圧・低圧注水機能喪失 （T Q U V） | 外部電源喪失+高圧炉心冷却失敗 +低圧炉心冷却失敗 | 4.2E-07 (4.6E-07) | ・ 開閉所設備の損傷＋水源切替操作失敗 ＋残留熱除去系海水系ポンプの損傷 ・ 開閉所設備の損傷＋水源切替操作失敗 ＋残留熱除去系海水系配管の損傷 |
| 全交流動力電源喪失 （T B U） | 交流電源喪失+高圧炉心冷却失敗 | 4.3E-07 (4.4E-07) | ・ 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプの損傷 ＋水源切替操作失敗 ・ 非常用パワーセンタの損傷＋水源切替操作失敗 |
| 原子炉圧力容器損傷 | 原子炉圧力容器損傷 | 2.2E-07 (2.2E-07) | ・ 原子炉圧力容器の損傷 |
| 原子炉建屋損傷 | 原子炉建屋損傷 | 1.5E-07 (1.5E-07) | ・ 原子炉建屋の損傷 |
| 原子炉停止機能喪失 （T C） | 外部電源喪失+原子炉停止失敗 | 7.4E-08 (1.2E-07) | ・ 開閉所設備の損傷＋シュラウドサポートの損傷 |

第 3.2.1.4－10 表 地震加速度区分別炉心損傷頻度

| 加速度区分 | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 |
|-----------------|-----------------|--------|
| 1 (0.16～0.20G) | 2.0E-06 | 18.8% |
| 2 (0.20～0.30G) | 1.2E-06 | 12.0% |
| 3 (0.30～0.40G) | 4.0E-07 | 3.8% |
| 4 (0.40～0.50G) | 1.9E-07 | 1.8% |
| 5 (0.50～0.60G) | 1.2E-07 | 1.1% |
| 6 (0.60～0.70G) | 1.3E-07 | 1.2% |
| 7 (0.70～0.80G) | 8.0E-07 | 7.6% |
| 8 (0.80～0.90G) | 6.8E-07 | 6.5% |
| 9 (0.90～1.00G) | 6.7E-07 | 6.5% |
| 10 (1.00～1.10G) | 7.1E-07 | 6.8% |
| 11 (1.10～1.20G) | 7.4E-07 | 7.1% |
| 12 (1.20～1.30G) | 6.4E-07 | 6.2% |
| 13 (1.30～1.40G) | 6.5E-07 | 6.2% |
| 14 (1.40～1.50G) | 5.2E-07 | 5.0% |
| 15 (1.50～1.60G) | 4.0E-07 | 3.8% |
| 16 (1.60～1.70G) | 2.6E-07 | 2.5% |
| 17 (1.70～1.80G) | 1.4E-07 | 1.4% |
| 18 (1.80～1.90G) | 8.2E-08 | 0.8% |
| 19 (1.90～2.00G) | 4.6E-08 | 0.4% |
| 20 (2.00～3.00G) | 3.7E-08 | 0.4% |
| 合計 | 1.0E-05 | 100.0% |

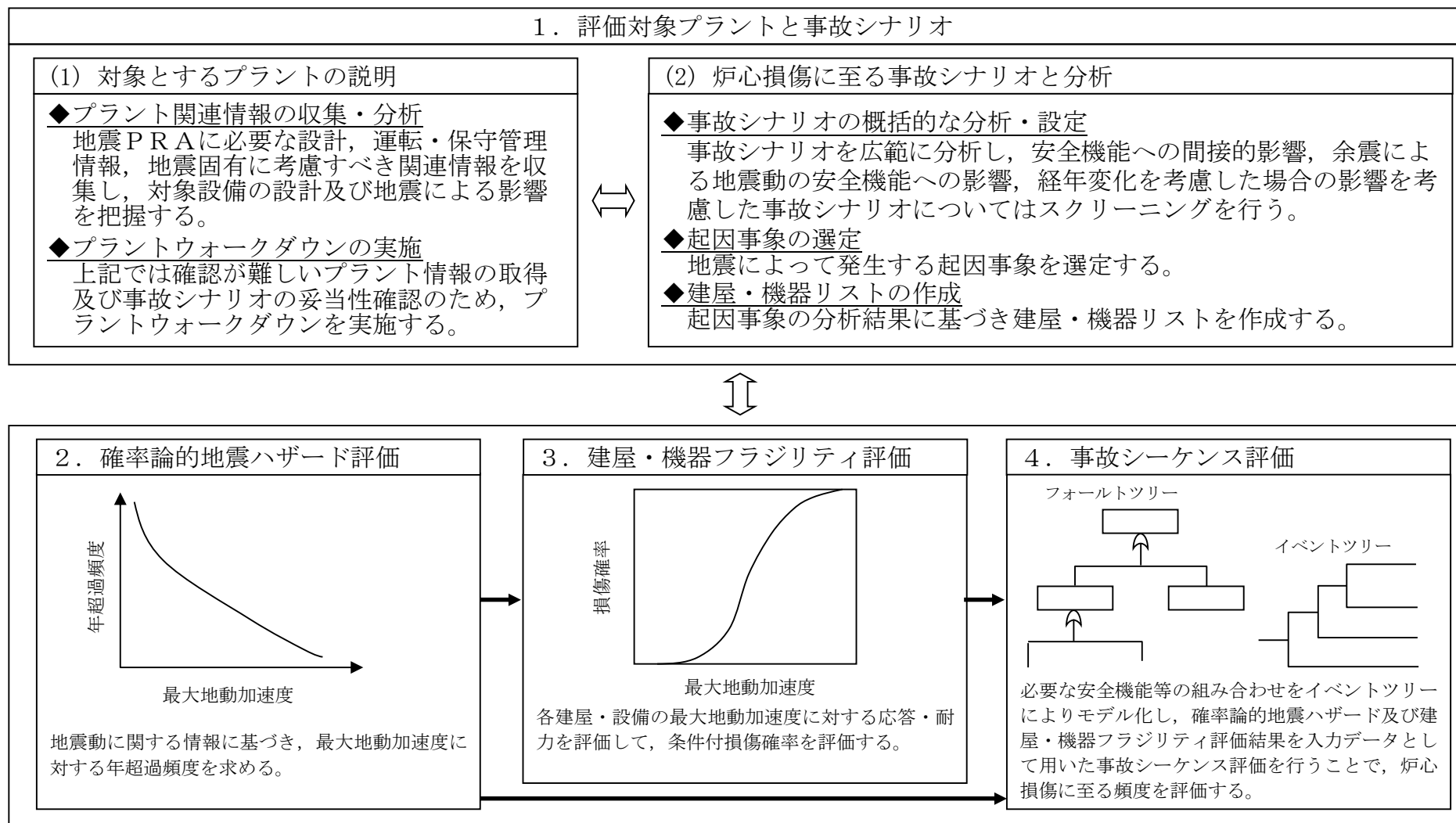
第 3.2.1.4－11 表 地震加速度一起因事象別の炉心損傷頻度

単位：／毎年

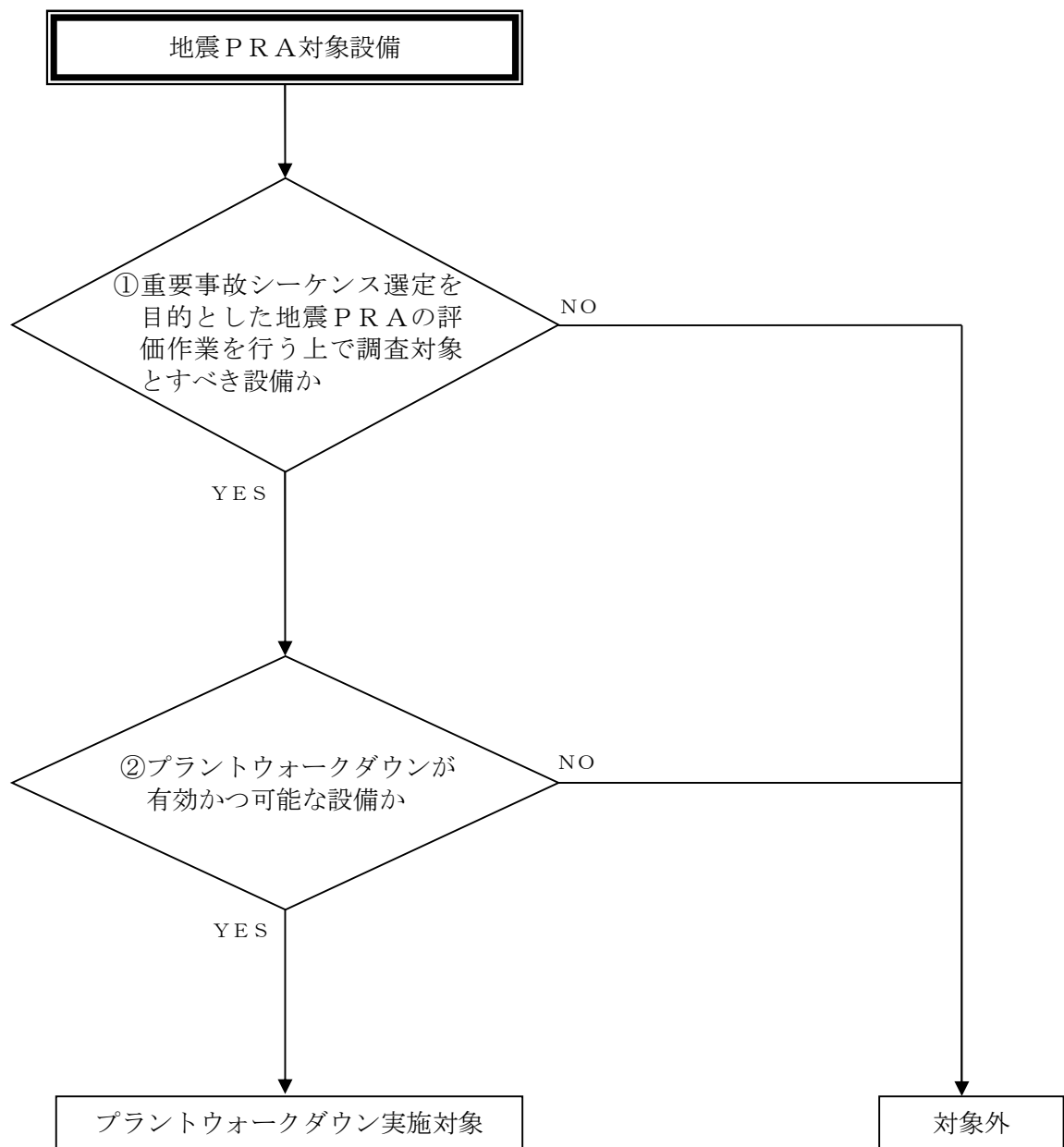
| 起因事象 加速度区分 | 原子炉建屋損傷 | 格納容器損傷 | 原子炉圧力容器損傷 | 格納容器バイパス | 原子炉冷却材圧力 バウナダリ喪失 (Excessive LOCA) | 計装・制御系喪失 | 直流電源喪失 | 交流電源喪失 | 外部電源喪失 | 過渡事象 | 合 計 |
|-----------------|---------|---------|-----------|----------|---|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 (0.16～0.20G) | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 1.6E-22 | 1.6E-08 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 1.4E-15 | 1.7E-22 | 4.9E-09 | 1.9E-06 | 2.0E-06 |
| 2 (0.20～0.30G) | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 3.8E-18 | 9.8E-09 | 1.3E-23 | 0.0E+00 | 1.3E-12 | 2.6E-16 | 2.6E-08 | 1.2E-06 | 1.2E-06 |
| 3 (0.30～0.40G) | 8.8E-25 | 1.5E-24 | 3.9E-14 | 3.0E-09 | 1.3E-19 | 0.0E+00 | 2.8E-10 | 4.6E-13 | 4.5E-08 | 3.5E-07 | 4.0E-07 |
| 4 (0.40～0.50G) | 4.4E-20 | 5.9E-20 | 3.4E-12 | 1.3E-09 | 1.6E-18 | 0.0E+00 | 3.2E-09 | 2.2E-11 | 5.0E-08 | 1.3E-07 | 1.9E-07 |
| 5 (0.50～0.60G) | 3.6E-16 | 1.6E-17 | 2.6E-11 | 6.3E-10 | 4.7E-16 | 5.7E-24 | 1.4E-08 | 1.5E-10 | 4.7E-08 | 5.5E-08 | 1.2E-07 |
| 6 (0.60～0.70G) | 1.1E-13 | 6.6E-16 | 2.1E-10 | 3.3E-10 | 1.6E-14 | 1.4E-22 | 4.9E-08 | 1.1E-09 | 4.5E-08 | 3.4E-08 | 1.3E-07 |
| 7 (0.70～0.80G) | 1.8E-12 | 6.3E-14 | 3.8E-09 | 1.9E-10 | 8.2E-14 | 7.6E-19 | 9.5E-08 | 3.7E-09 | 4.3E-07 | 2.6E-07 | 8.0E-07 |
| 8 (0.80～0.90G) | 4.0E-11 | 4.8E-13 | 3.3E-09 | 1.4E-10 | 2.5E-13 | 9.8E-16 | 2.1E-07 | 1.2E-08 | 3.3E-07 | 1.2E-07 | 6.8E-07 |
| 9 (0.90～1.00G) | 2.5E-10 | 3.3E-12 | 9.0E-09 | 1.4E-10 | 2.1E-12 | 1.4E-14 | 2.5E-07 | 1.5E-08 | 3.3E-07 | 7.7E-08 | 6.7E-07 |
| 10 (1.00～1.10G) | 1.2E-09 | 1.1E-11 | 1.3E-08 | 1.4E-10 | 6.6E-12 | 2.0E-14 | 2.9E-07 | 3.2E-08 | 3.2E-07 | 5.1E-08 | 7.1E-07 |
| 11 (1.10～1.20G) | 3.1E-09 | 4.1E-11 | 2.0E-08 | 1.5E-10 | 1.0E-11 | 3.7E-13 | 3.0E-07 | 3.8E-08 | 3.4E-07 | 3.4E-08 | 7.4E-07 |
| 12 (1.20～1.30G) | 6.9E-09 | 6.9E-11 | 2.3E-08 | 1.3E-10 | 1.3E-11 | 2.4E-12 | 2.5E-07 | 5.0E-08 | 2.9E-07 | 2.1E-08 | 6.4E-07 |
| 13 (1.30～1.40G) | 1.5E-08 | 1.9E-10 | 3.0E-08 | 1.5E-10 | 1.5E-11 | 1.1E-11 | 2.3E-07 | 6.5E-08 | 3.0E-07 | 1.5E-08 | 6.5E-07 |
| 14 (1.40～1.50G) | 2.0E-08 | 3.7E-10 | 2.9E-08 | 1.3E-10 | 2.5E-11 | 1.0E-11 | 1.7E-07 | 6.7E-08 | 2.3E-07 | 7.8E-09 | 5.2E-07 |
| 15 (1.50～1.60G) | 2.4E-08 | 4.9E-10 | 2.6E-08 | 1.2E-10 | 4.3E-11 | 4.1E-11 | 1.3E-07 | 6.0E-08 | 1.5E-07 | 3.6E-09 | 4.0E-07 |
| 16 (1.60～1.70G) | 2.3E-08 | 5.7E-10 | 2.3E-08 | 1.1E-10 | 4.6E-11 | 5.8E-11 | 7.9E-08 | 4.4E-08 | 8.8E-08 | 1.4E-09 | 2.6E-07 |
| 17 (1.70～1.80G) | 1.9E-08 | 5.7E-10 | 1.5E-08 | 7.4E-11 | 4.2E-11 | 5.3E-11 | 4.3E-08 | 2.7E-08 | 3.8E-08 | 4.1E-10 | 1.4E-07 |
| 18 (1.80～1.90G) | 1.6E-08 | 5.2E-10 | 1.1E-08 | 8.2E-11 | 3.2E-11 | 6.8E-11 | 2.4E-08 | 1.6E-08 | 1.5E-08 | 1.2E-10 | 8.2E-08 |
| 19 (1.90～2.00G) | 1.2E-08 | 4.4E-10 | 7.3E-09 | 6.7E-11 | 3.0E-11 | 4.0E-11 | 1.3E-08 | 8.3E-09 | 5.1E-09 | 2.9E-11 | 4.6E-08 |
| 20 (2.00～3.00G) | 1.5E-08 | 8.1E-10 | 7.4E-09 | 7.2E-11 | 3.6E-11 | 8.5E-11 | 7.9E-09 | 4.3E-09 | 1.3E-09 | 4.8E-12 | 3.7E-08 |
| 合 計 | 1.5E-07 | 4.1E-09 | 2.2E-07 | 3.2E-08 | 3.0E-10 | 3.7E-10 | 2.2E-06 | 4.4E-07 | 3.1E-06 | 4.3E-06 | 1.0E-05 |
| 寄与割合 (%) | 1.5% | <0.1% | 2.5% | 0.3% | <0.1% | <0.1% | 20.7% | 4.3% | 29.5% | 41.5% | |

第 3.2.1.4－12 表 F V 重要度評価結果

| 建屋・機器・操作 | 中央値 (G) | H C L P F (G) | F V 重要度 | 建屋・機器の損傷及び人的過誤が影響を与える主な事故シーケンス |
|--|------------|------------------|---------|--|
| H P C S 水源切替操作失敗 (C S T → サプレッション・チェンバ) | - | - | 5.7E-01 | T Q U V, T Q U X, T W, T B U, T B P, T B D |
| R C I C 水源切替操作失敗 (C S T → サプレッション・チェンバ) | - | - | 3.6E-01 | T Q U V, T Q U X, T W, T B U |
| R H R 系操作失敗 | - | - | 3.3E-01 | T W |
| ケーブルトレイ | 2.01 | 0.91 | 1.7E-01 | T B D |
| 原子炉手動減圧失敗 | - | - | 8.9E-02 | T Q U X |
| 注水不能認知失敗 | - | - | 3.5E-02 | T Q U V, T Q U X |
| 残留熱除去系ゲート弁 (サプレッション・チェンバ R H R ポンプ入口弁) | 2.58 | 1.15 | 3.0E-02 | T W |
| 残留熱除去系ゲート弁 (ミニフロー弁) | 2.58 | 1.15 | 3.0E-02 | T W |
| 残留熱除去系ゲート弁 (インジェクション弁) | 2.58 | 1.15 | 3.0E-02 | T W |
| 残留熱除去系ゲート弁 (熱交換器入口弁) | 2.58 | 1.15 | 3.0E-02 | T W |
| 残留熱除去系ゲート弁 (熱交換器出口弁) | 2.58 | 1.15 | 3.0E-02 | T W |
| ストレーナ閉塞等(海水) C C F | - | - | 2.0E-02 | T Q U V, T W |
| 非常用パワーセンタ | 2.66 | 1.22 | 1.7E-02 | T B U, T B P |
| 残留熱除去系海水系配管 | 3.01 | 1.26 | 1.6E-02 | T Q U V, T W |
| 残留熱除去系海水系ポンプ | 1.25 | 0.83 | 1.2E-02 | T Q U V, T W |
| 非常用ディーゼル発電機 冷却海水ポンプ | 1.25 | 0.83 | 1.1E-02 | T B U, T B P |
| 原子炉圧力容器 | 2.72 | 1.29 | 1.0E-02 | 原子炉圧力容器損傷 |
| 開閉所設備 | 0.65 | 0.24 | 9.5E-03 | 外部電源喪失 |



第 3.2.1-1 図 地震PRAの評価フロー



第 3.2.1.1-1 図 プラントウォークダウン評価対象設備選定フロー

東海第二発電所 プラントウォークダウンチェックシート

機器名称 : 2C非常用ディーゼル発電機海水ストレーナ
 機器ID : 3_13D1
 耐震クラス : S
 建屋 : Y/O
 系統図書番号 : R-17
 機器配置図番号 : S-5

【チェック対象項目】

- 1) 耐震安全性の確認 ■
 2) 二次的影響について ■

実施日 : 08/25/2014
 実施者 : [Redacted]

1) 耐震安全性の確認
対象機器本体の評価

| | Y | N | U | N/A |
|--------------------------------------|---|---|---|-----|
| 1. 対象機器の図面(外形図・耐震計算書等)と外見上相違点は無い | ■ | □ | □ | □ |
| 2. 対象機器と支持構造物との接合部に外見上の異常(腐食・亀裂等)は無い | ■ | □ | □ | □ |
| 3. 配管接合部と図面に外見上の相違点は無い | ■ | □ | □ | □ |
| 4. 配管接合部に外見上の異常(腐食・亀裂等)は無い | ■ | □ | □ | □ |

アンカーボルト評価

| | Y | N | U | N/A |
|-----------------------------|---|---|---|-----|
| 1. 図面(外形図・耐震計算書)と外見上の相違は無い | ■ | □ | □ | □ |
| 2. 外見上の異常(腐食・亀裂等)は無い | ■ | □ | □ | □ |
| 3. 締め付け強度は適切に管理されている | ■ | □ | □ | □ |
| 4. アンカーボルト付近のコンクリートに部に異常がない | ■ | □ | □ | □ |

2) 二次的影響について

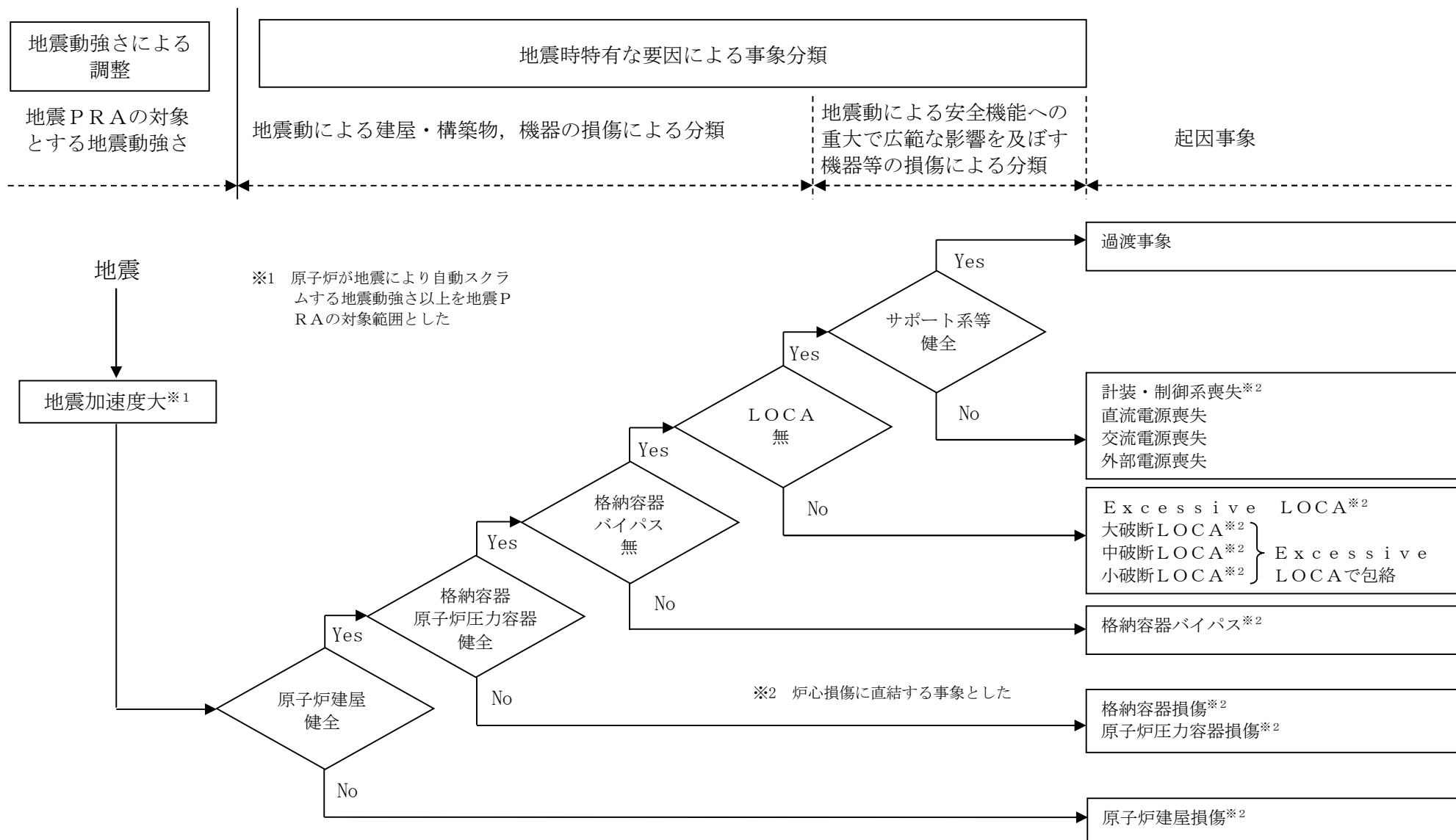
| | Y | N | U | N/A |
|---|---|---|---|-----|
| 1. 周辺の耐震クラスが低い機器の倒壊により被害を受けない | ■ | □ | □ | □ |
| 2. 被害を与える周辺の機器の耐震は問題ない(対象設備への波及的機器があるか) | ■ | □ | □ | □ |
| 3. 無筋のブロック壁が近傍にない | ■ | □ | □ | □ |

Y : 問題なし, N : 問題あり, U : 調査不可, N/A : 対象外

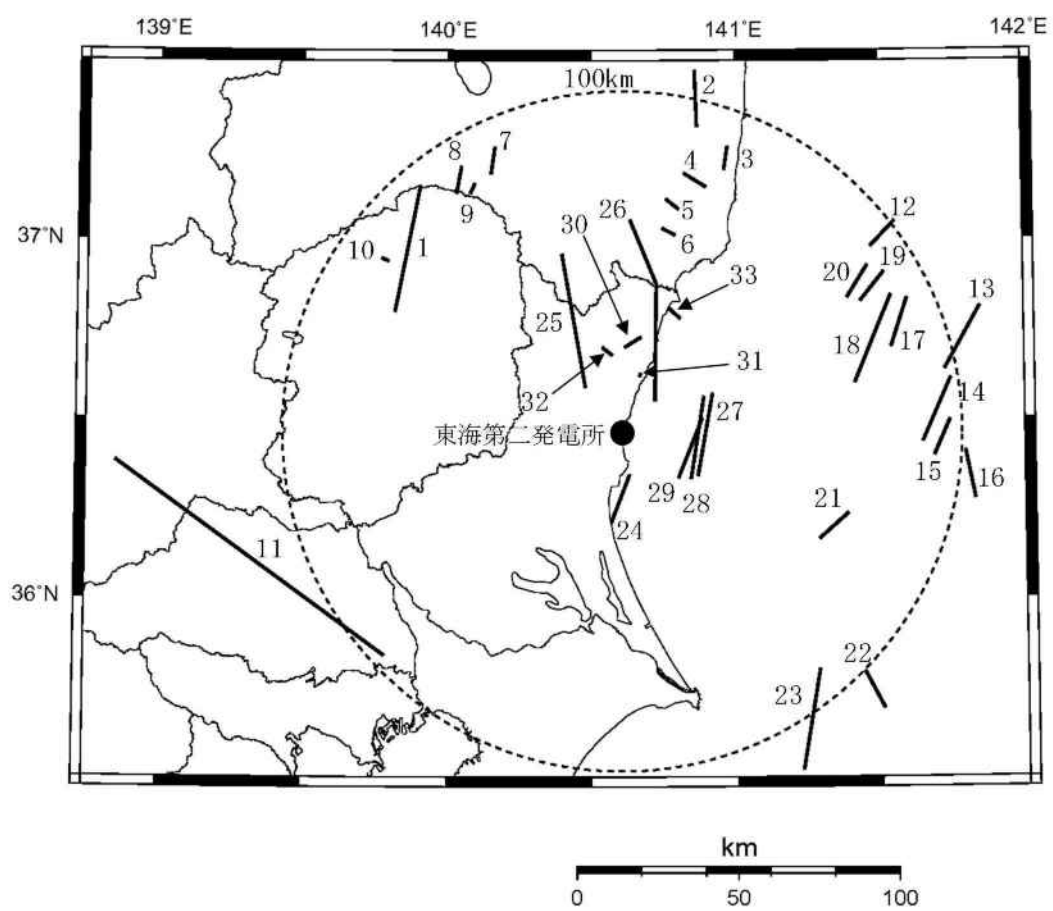
第 3.2.1.1-2 図 プラントウォークダウン結果 (1/2)



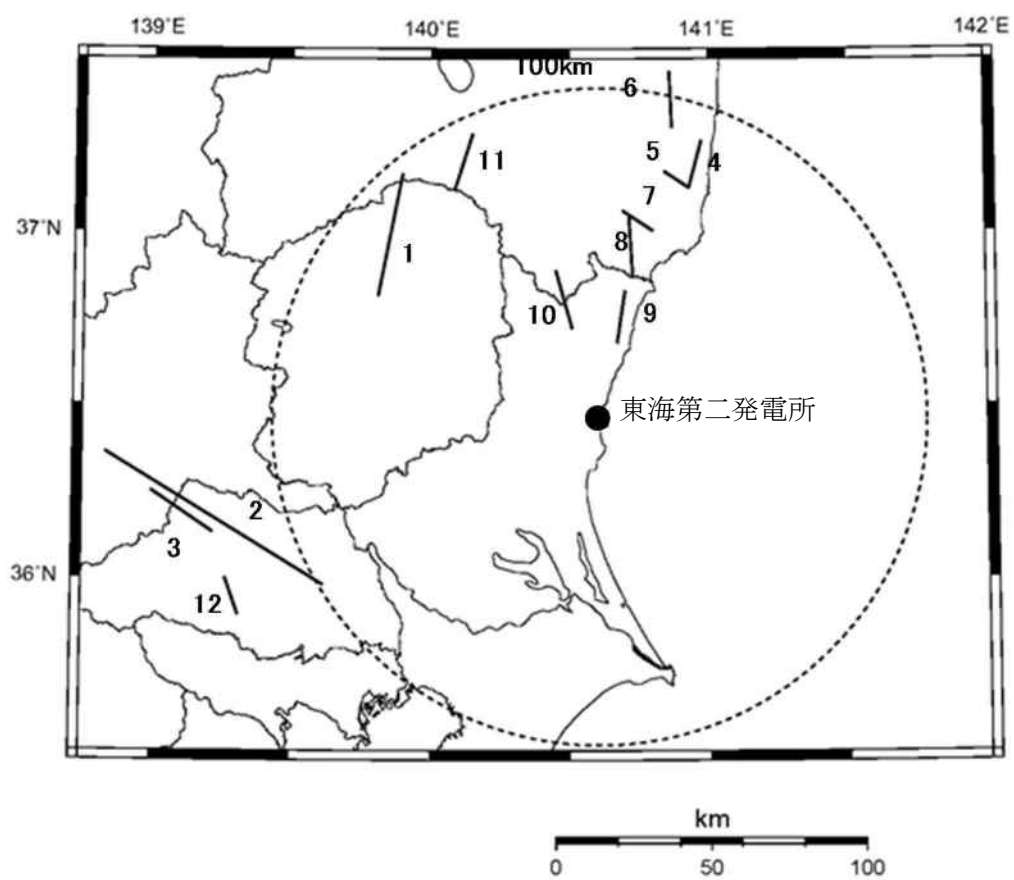
第 3.2.1.1-2 図 プラントウォークダウン結果 (2/2)



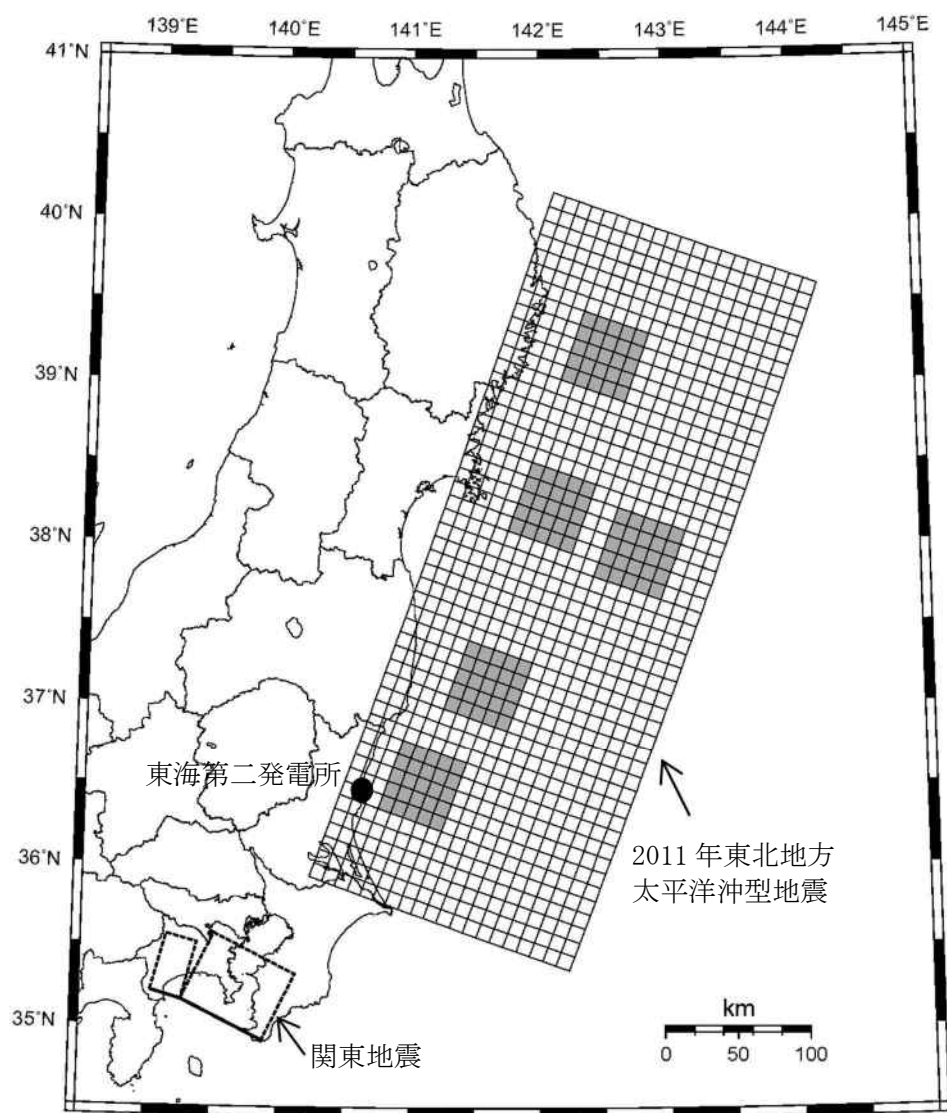
第 3.2.1.1-3 図 起因事象の抽出フロー



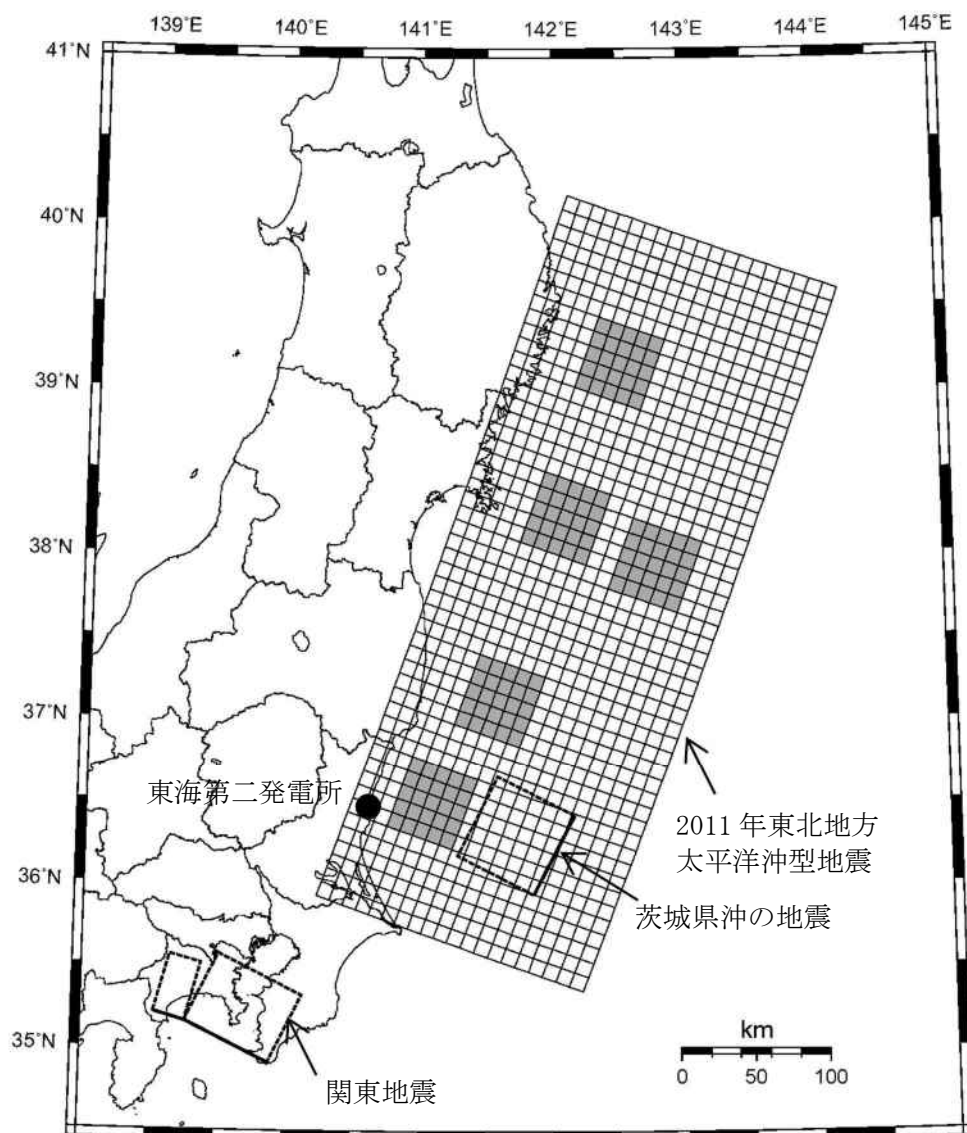
第 3. 2. 1. 2-1 図 活断層の分布（調査モデル）



第 3. 2. 1. 2-2 図 活断層の分布（推本参考モデル）



第 3. 2. 1. 2-3 図 海溝型地震で考慮している特定震源モデル（調査モデル）



第 3. 2. 1. 2-4 図 海溝型地震で考慮している特定震源モデル（推本参考モデル）

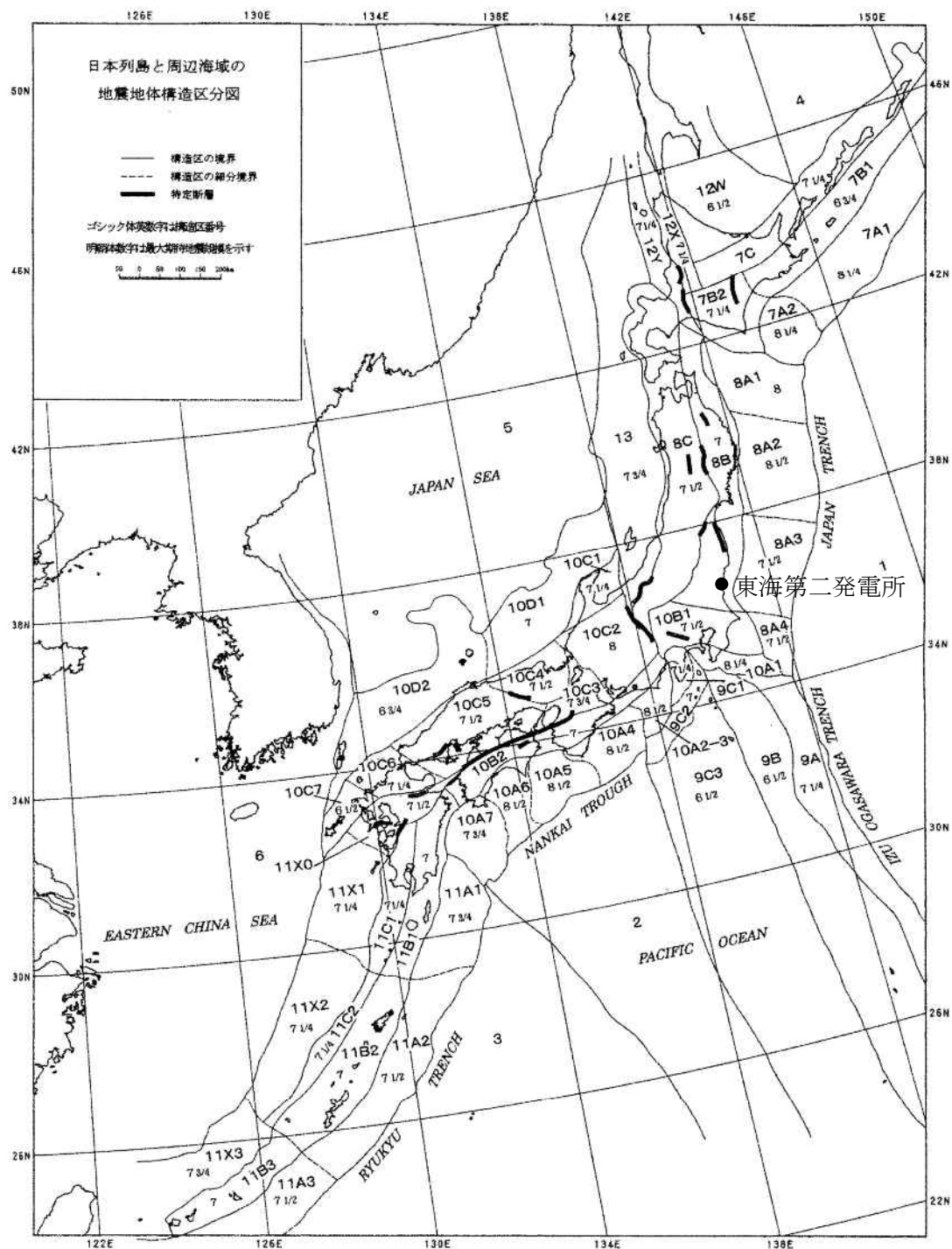
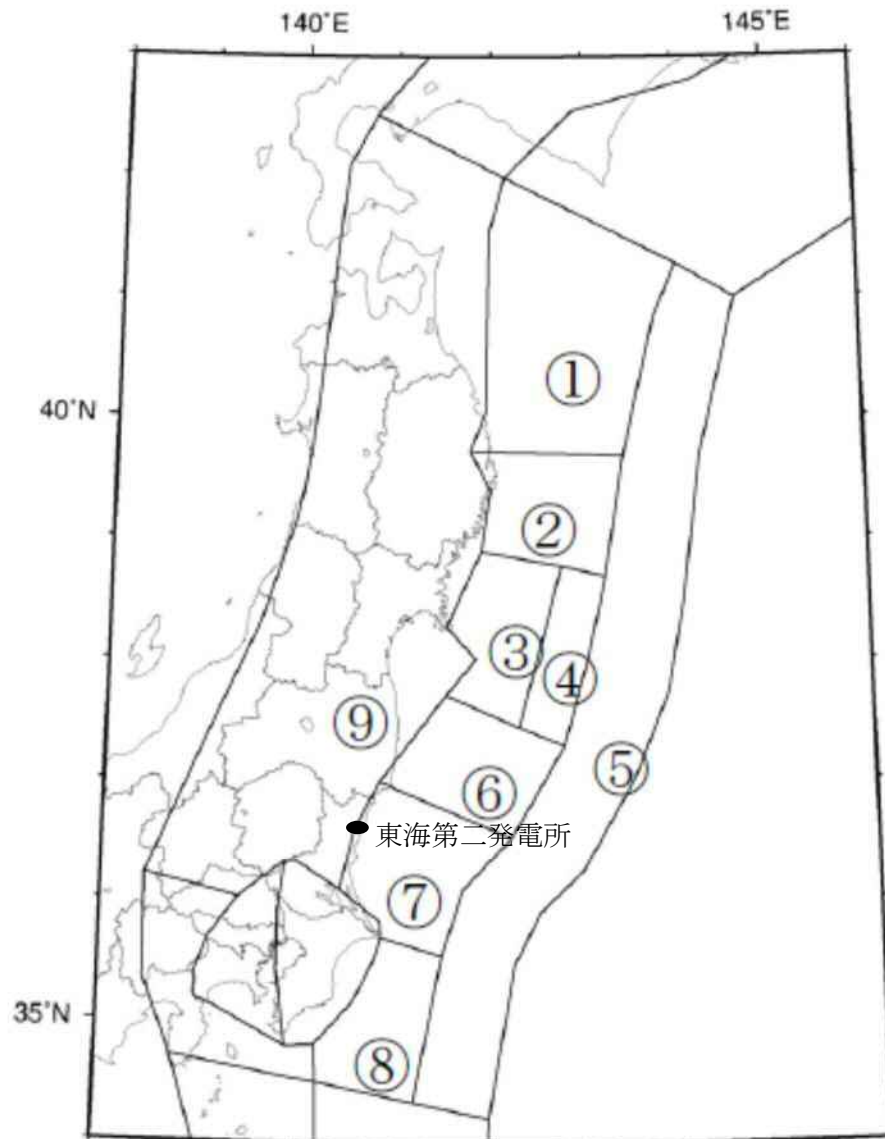


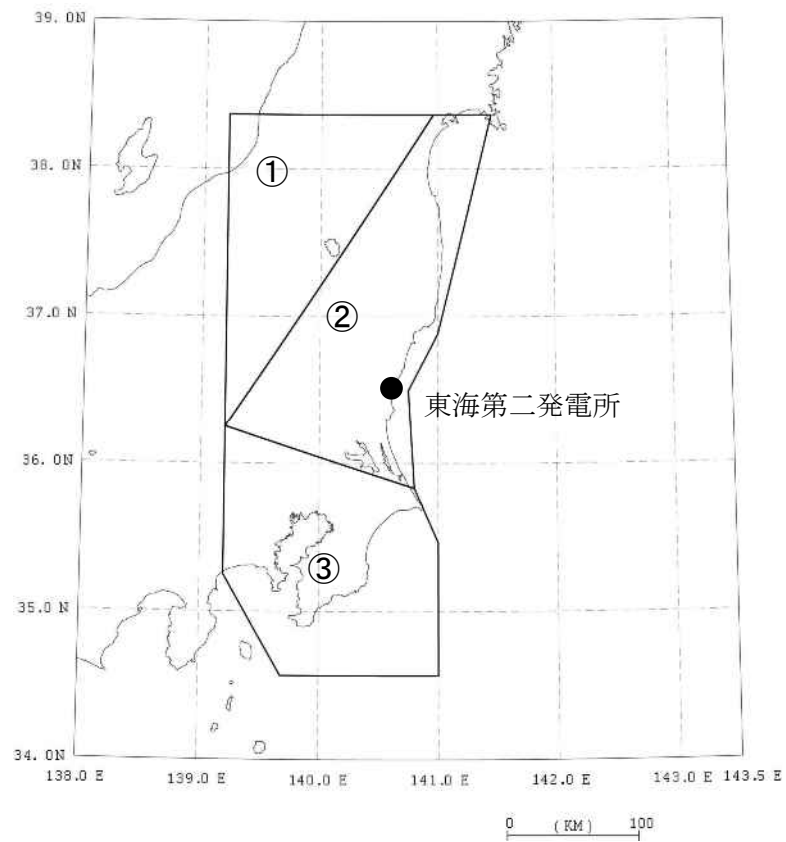
Fig. 1. Seismotectonic province map in and around the Japanese islands. Boldfaced sign is the symbol of province. Roman-type numeral represents the expected maximum earthquake magnitude (M_{\max}) assigned to each province. Solid line: boundary between provinces. Broken line: boundary between subprovinces. Bar: the designated fault.

第 3.2.1.2-5 図 垣見他 (2003) による領域区分



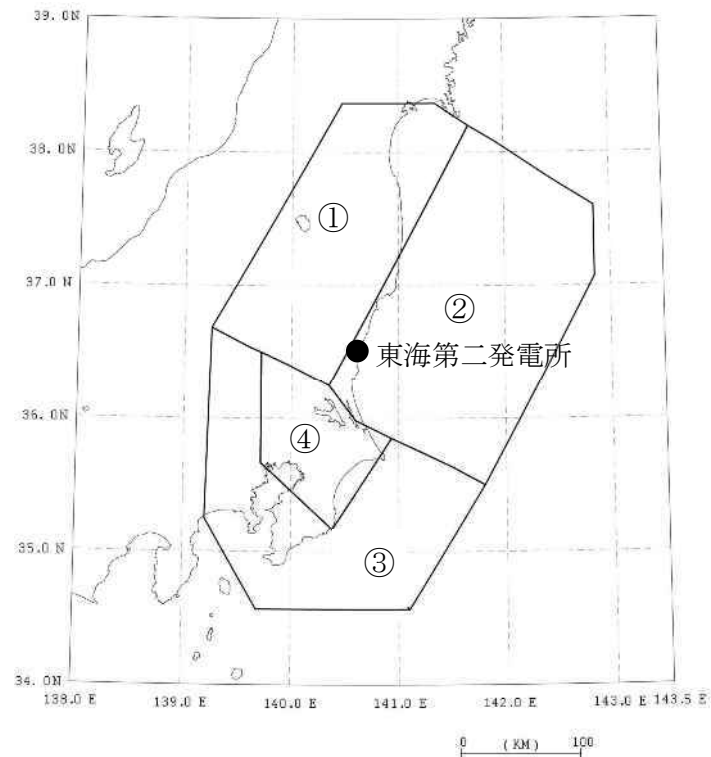
地震調査研究推進本部(2012)「震源断層を予め特定しにくい地震」の領域区分に基づき作成。番号は領域番号を示す。

第 3.2.1.2-6 図 地震調査研究推進本部(2012)による領域区分



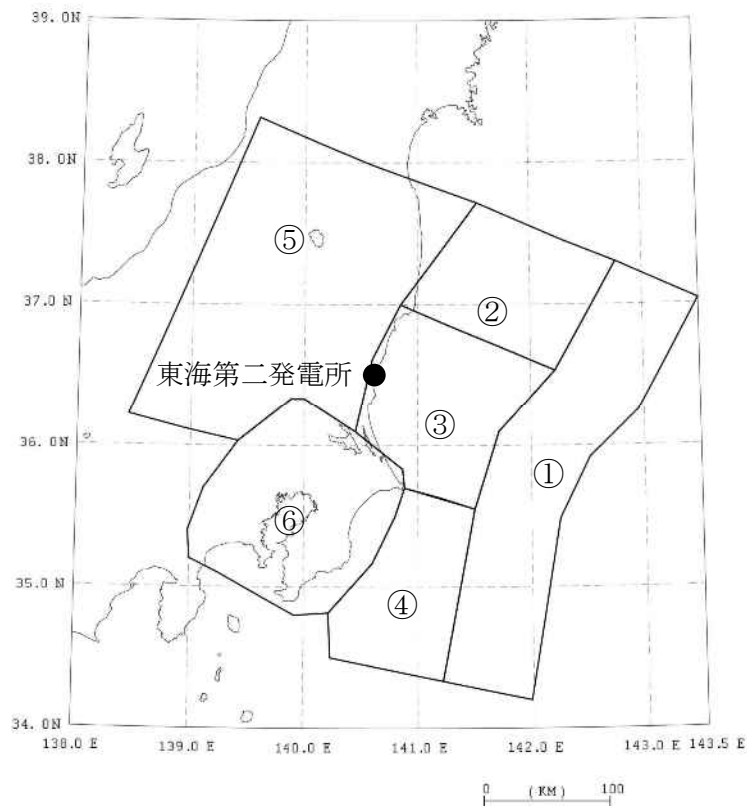
- ①垣見他(2003)の8Cに対応する領域
- ②垣見他(2003)の8Bに対応する領域
- ③垣見他(2003)の10A1と10B1の領域を合わせた領域

第3.2.1.2-7図 領域区分（内陸地殻内地震（調査モデル，推本参考モデル共通））



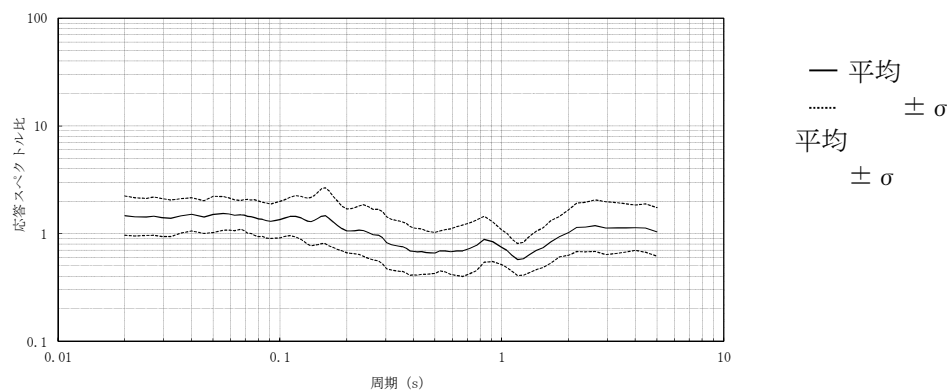
- ①太平洋プレートの上面深度が 60km よりも深い領域
- ②垣見他 (2003) の 8A3 に対応し、太平洋プレートの上面深度が 60km よりも浅い領域
(東側の境界以东では、地震数が減少するため境界線を設定)
- ③主にフィリピン海プレートに関する地震活動が見られる領域
- ④茨城県南西部から千葉県北部にかけて中小地震の活動が活発な領域
(太平洋プレートとフィリピン海プレートの地震が混在している領域)

第 3.2.1.2-8 図 領域区分 (海溝型地震 (調査モデル))



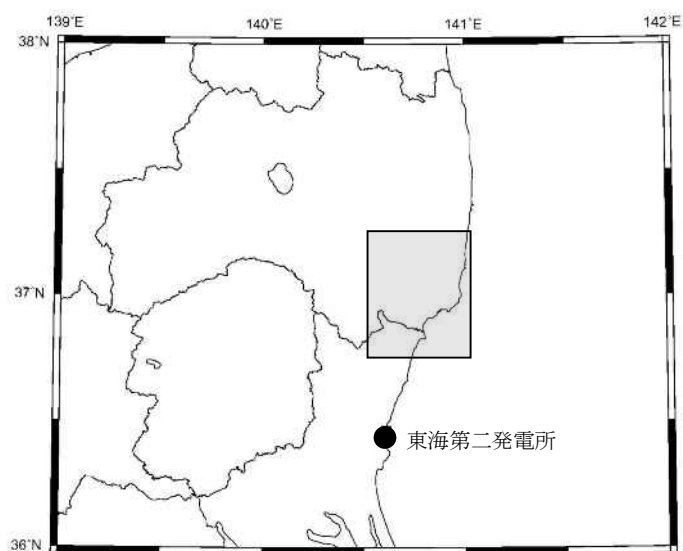
- ①地震調査研究推進本部の地震活動の長期評価における「三陸沖北部から房総沖の海溝寄り」の領域
- ②地震調査研究推進本部の地震活動の長期評価における「福島県沖のプレート間地震」の領域
- ③地震調査研究推進本部の地震活動の長期評価における「茨城県沖のプレート間地震」の領域
- ④地震調査研究推進本部の地震活動の長期評価における「房総沖」の領域
- ⑤地震調査研究推進本部の確率論的地震動予測地図における太平洋プレートの上面が60kmよりも深い領域
- ⑥地震調査研究推進本部の地震活動の長期評価における「その他の南関東で発生するM7程度の地震」の領域

第 3. 2. 1. 2－9 図 領域区分（海溝型地震（推本参考モデル））



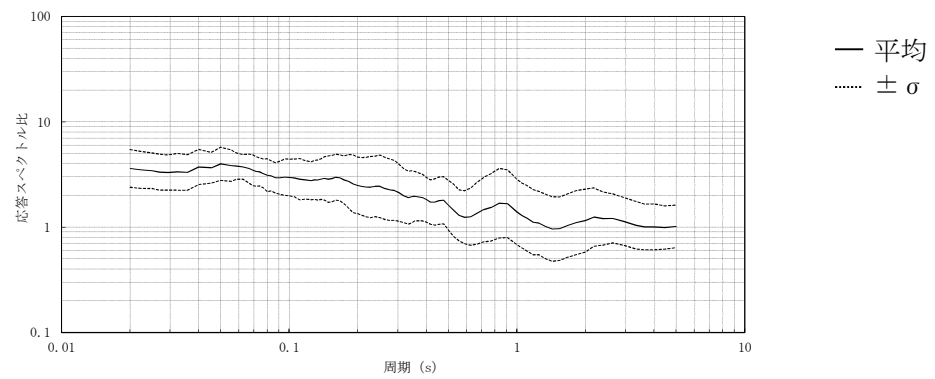
補正係数は観測記録の平均値を用いる。また、その時に用いる距離減衰式のばらつきは、観測記録から算定する。

観測記録の応答スペクトル比



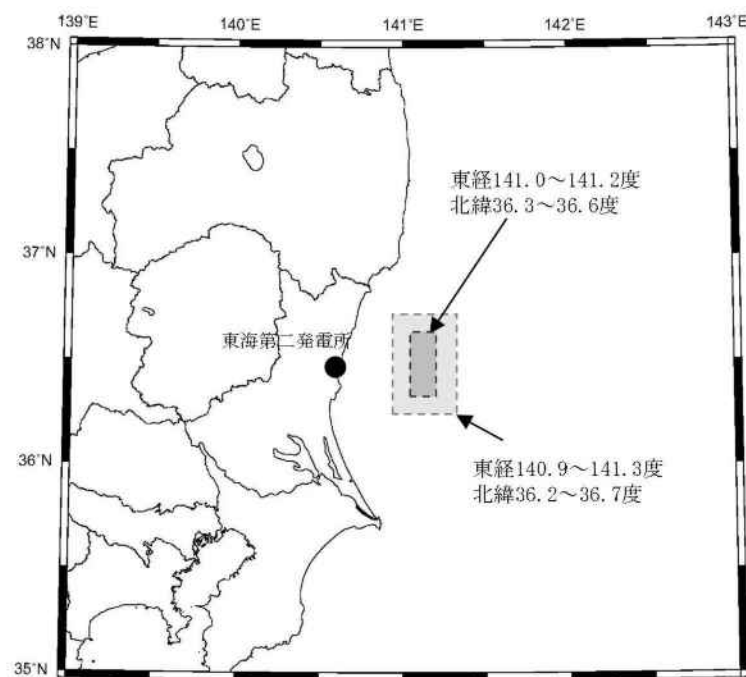
補正係数を考慮する領域（網掛け部）

第 3. 2. 1. 2-10 図 地震観測記録による補正係数
(内陸地殻内地震のうち福島県と茨城県の県境付近で発生する地震)



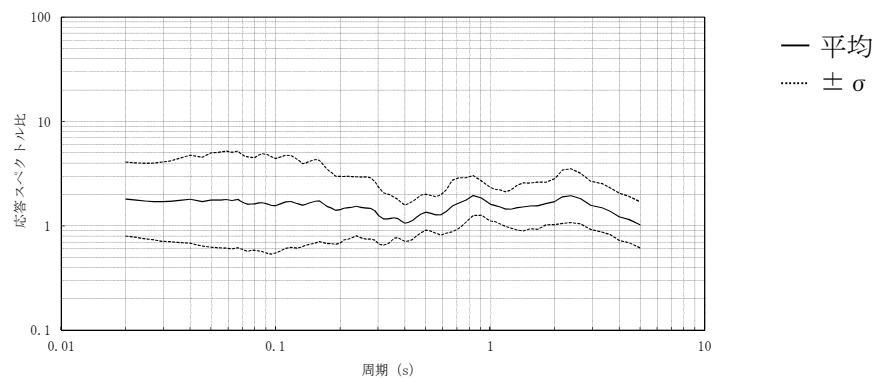
補正係数は観測記録の平均値を用いる。また、その時に用いる距離減衰式のばらつきは、観測記録から算定する。

観測記録の応答スペクトル比



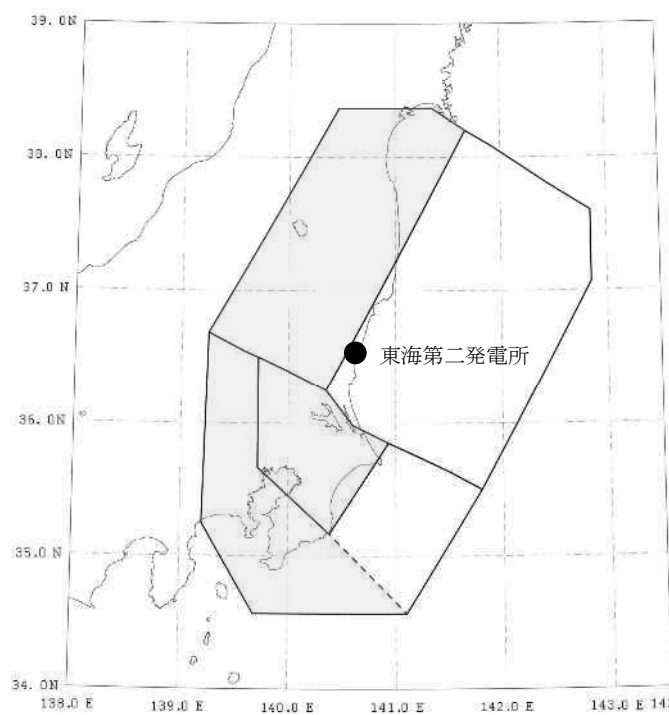
補正係数を適用する領域（網掛け部）
（領域大，小の2つをロジックツリーで考慮）

第 3.2.1.2-11 図 地震観測記録による補正係数
（海溝型地震のうち鹿島灘周辺で発生する地震）

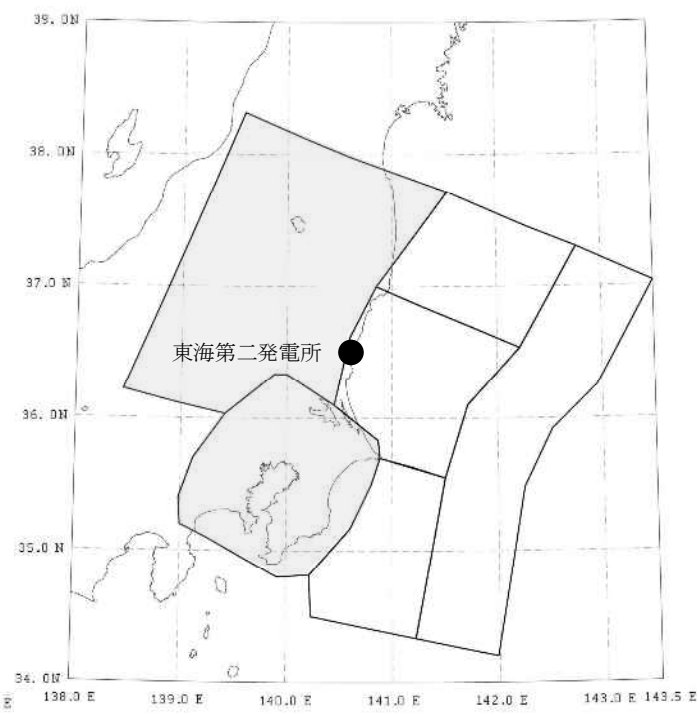


〔補正係数は観測記録の平均値を用いる。また、その時に用いる距離減衰式のばらつきは、観測記録から算定する。〕

観測記録の応答スペクトル比



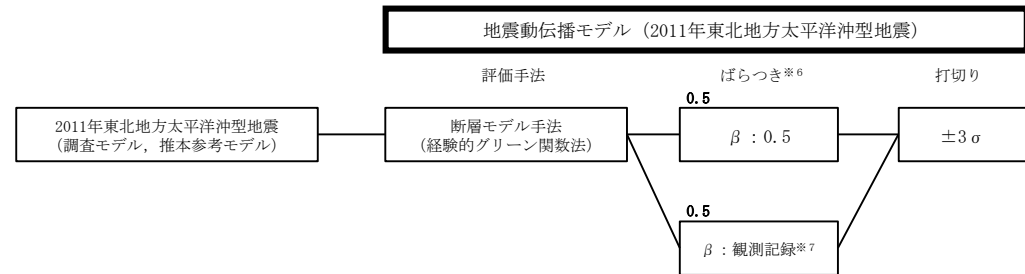
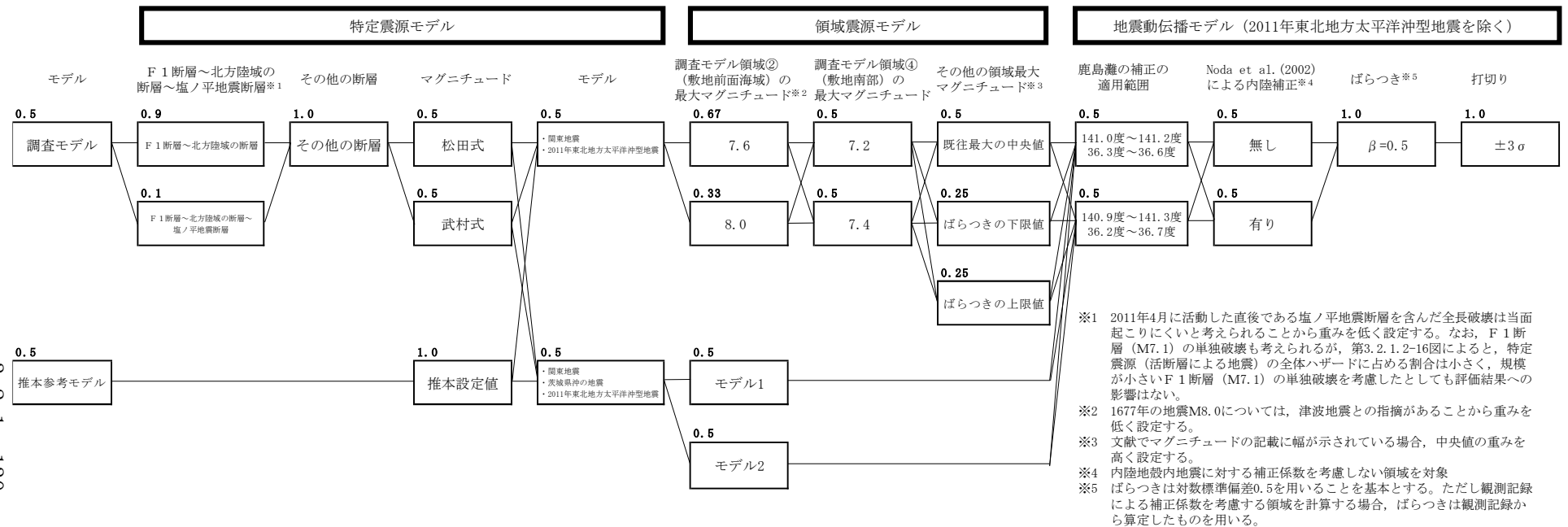
調査モデル



推本参考モデル

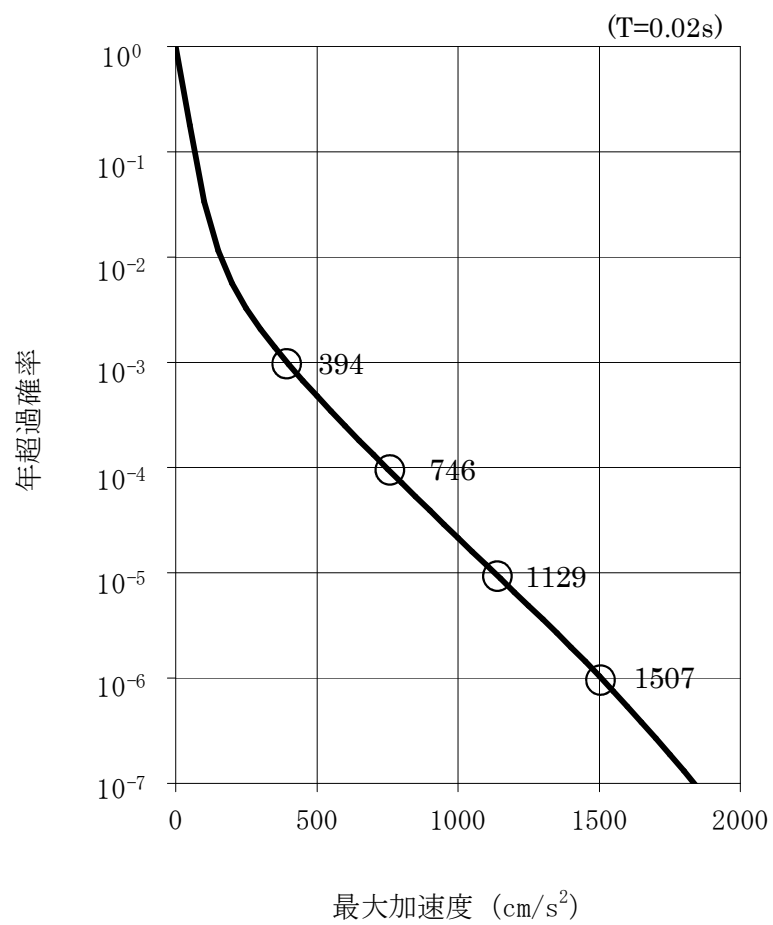
補正係数を適用する領域（網掛け部）

第 3.2.1.2-12 図 地震観測記録による補正係数
(海溝型地震のうち深い場所で発生する地震)

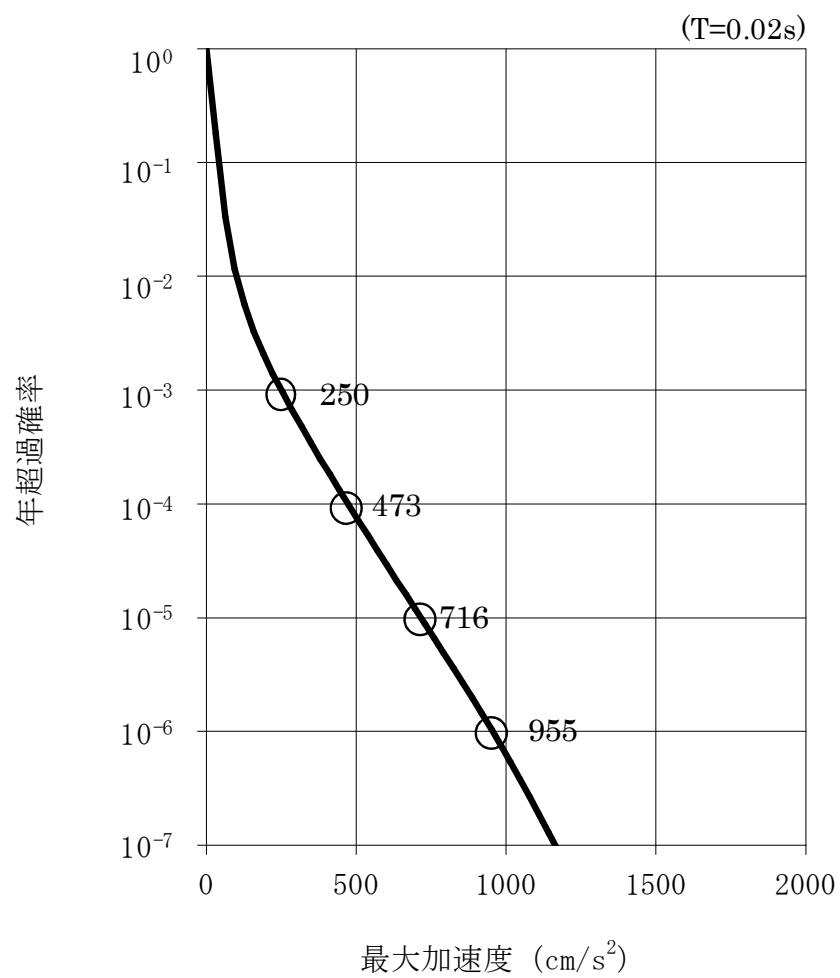


- ※6 β=0.5を用いる場合と観測記録による値を用いる場合をロジックツリーで考慮する。
- ※7 敷地への影響は敷地前面の鹿島灘の位置にあるSMGAの影響が大きいため、海溝型地震のうち鹿島灘周辺で発生する地震で考慮するばらつきを用いる。

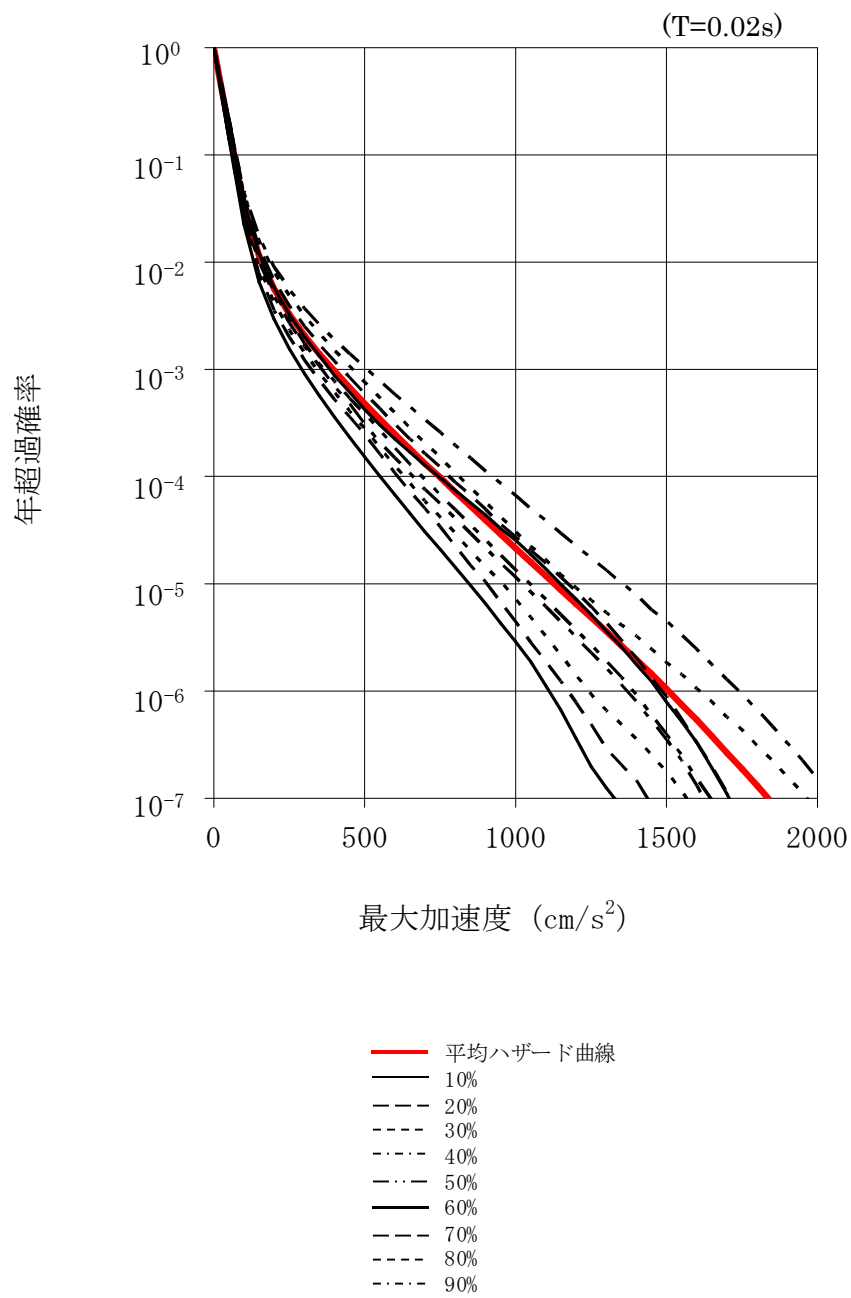
第3.2.1.2-13 図 ロジックツリー



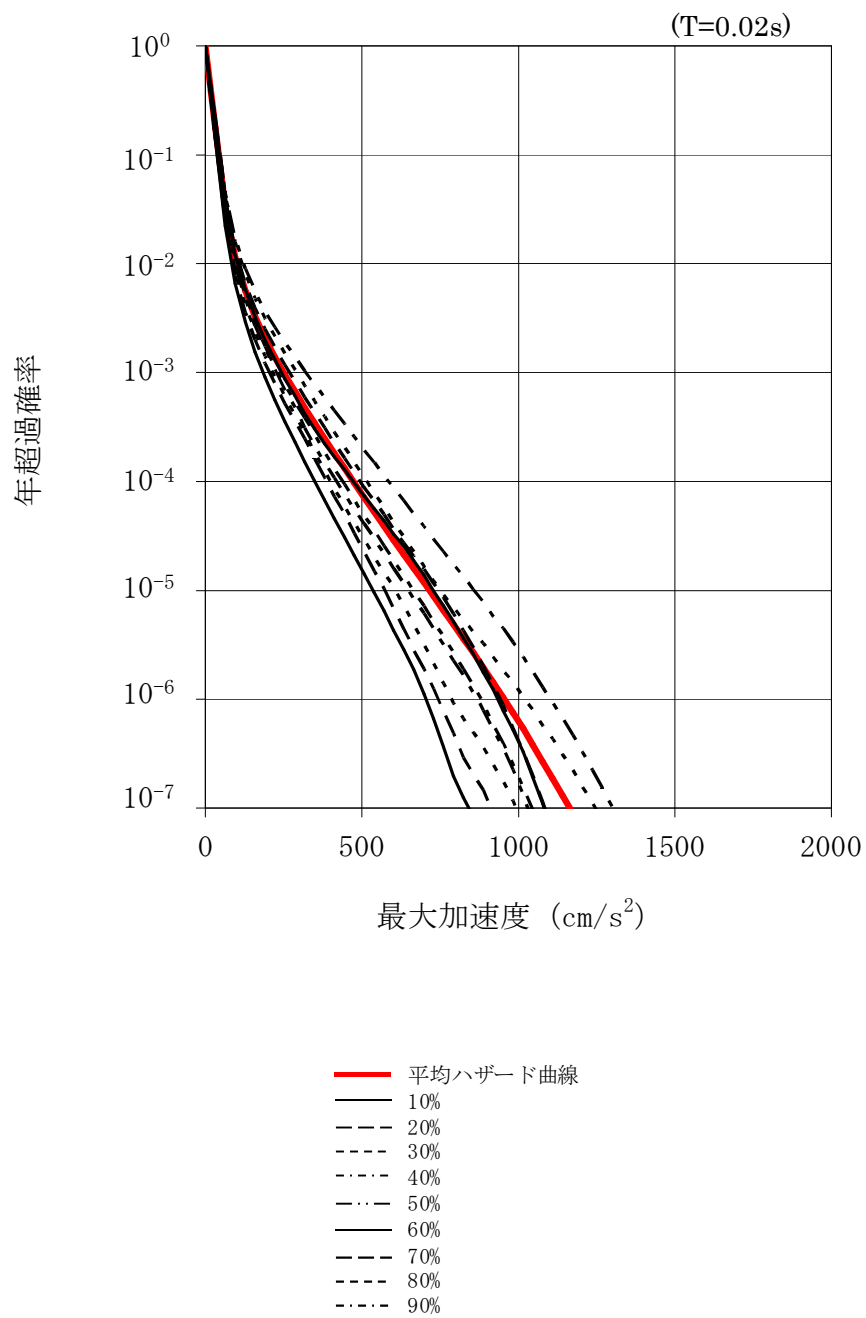
第 3. 2. 1. 2-14 図 (1/2) 平均地震ハザード曲線 (水平方向)



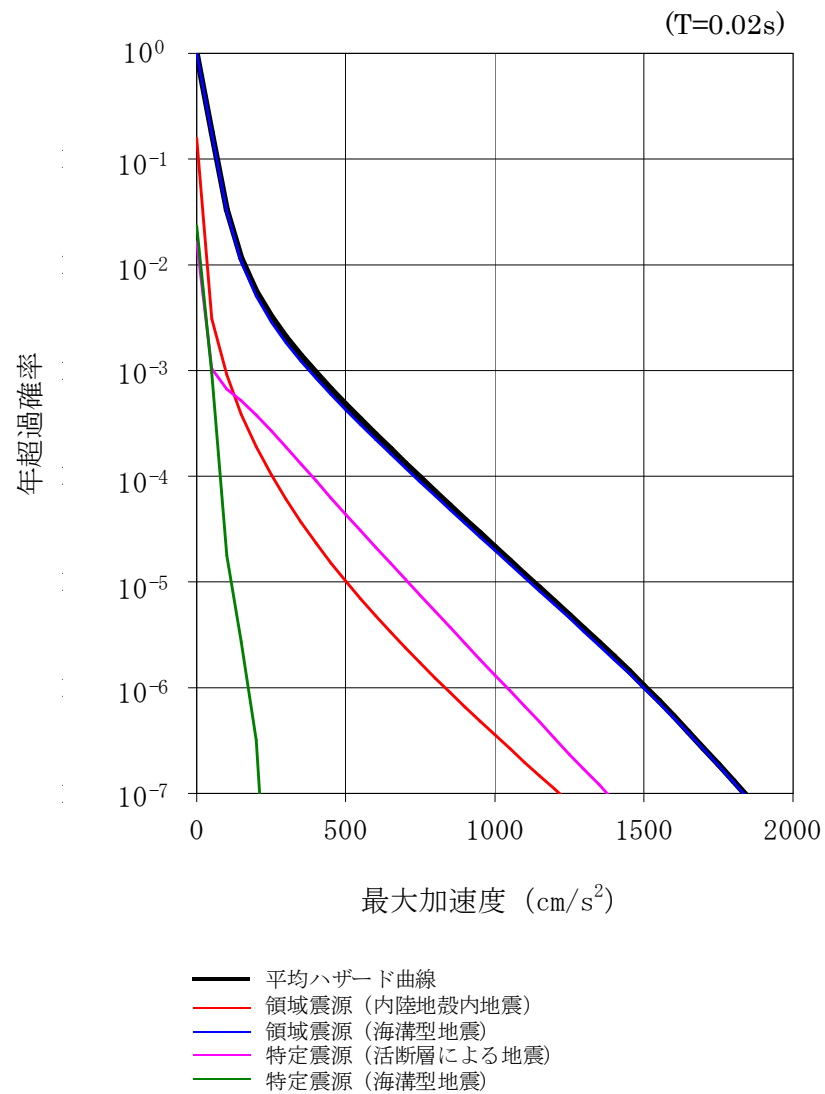
第 3. 2. 1. 2－14 図 (2／2) 平均地震ハザード曲線 (鉛直方向)



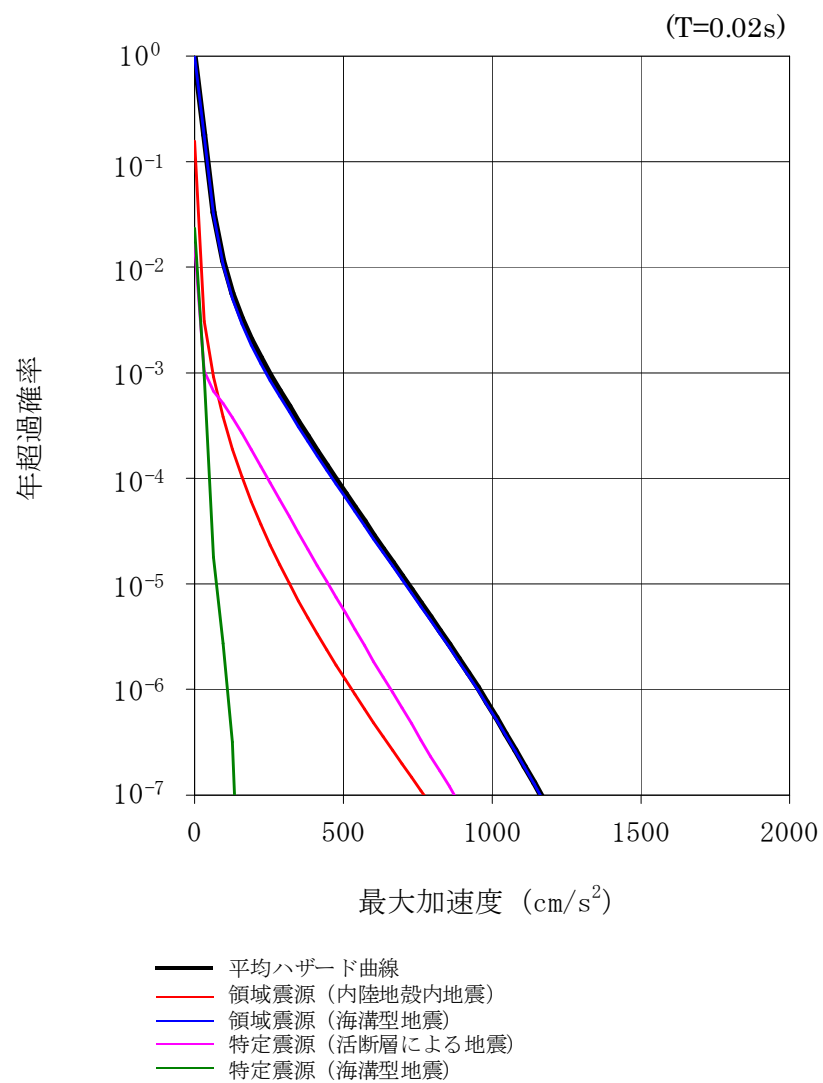
第 3. 2. 1. 2-15 図 (1/2) フラクタイル地震ハザード曲線 (水平方向)



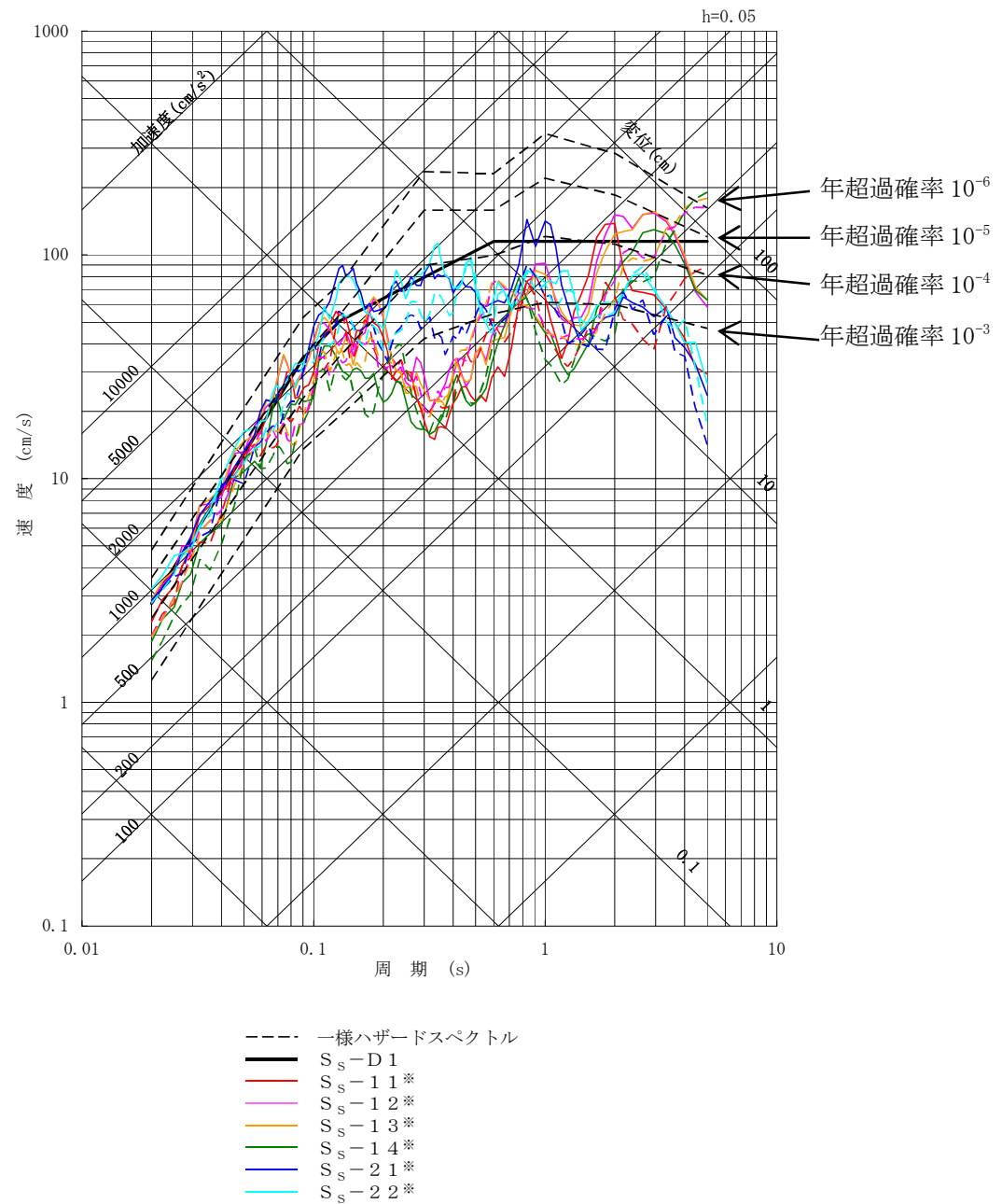
第 3. 2. 1. 2-15 図 (2/2) フラクタイル地震ハザード曲線 (鉛直方向)



第 3. 2. 1. 2－16 図 (1／2) 震源別平均ハザード曲線 (水平方向)

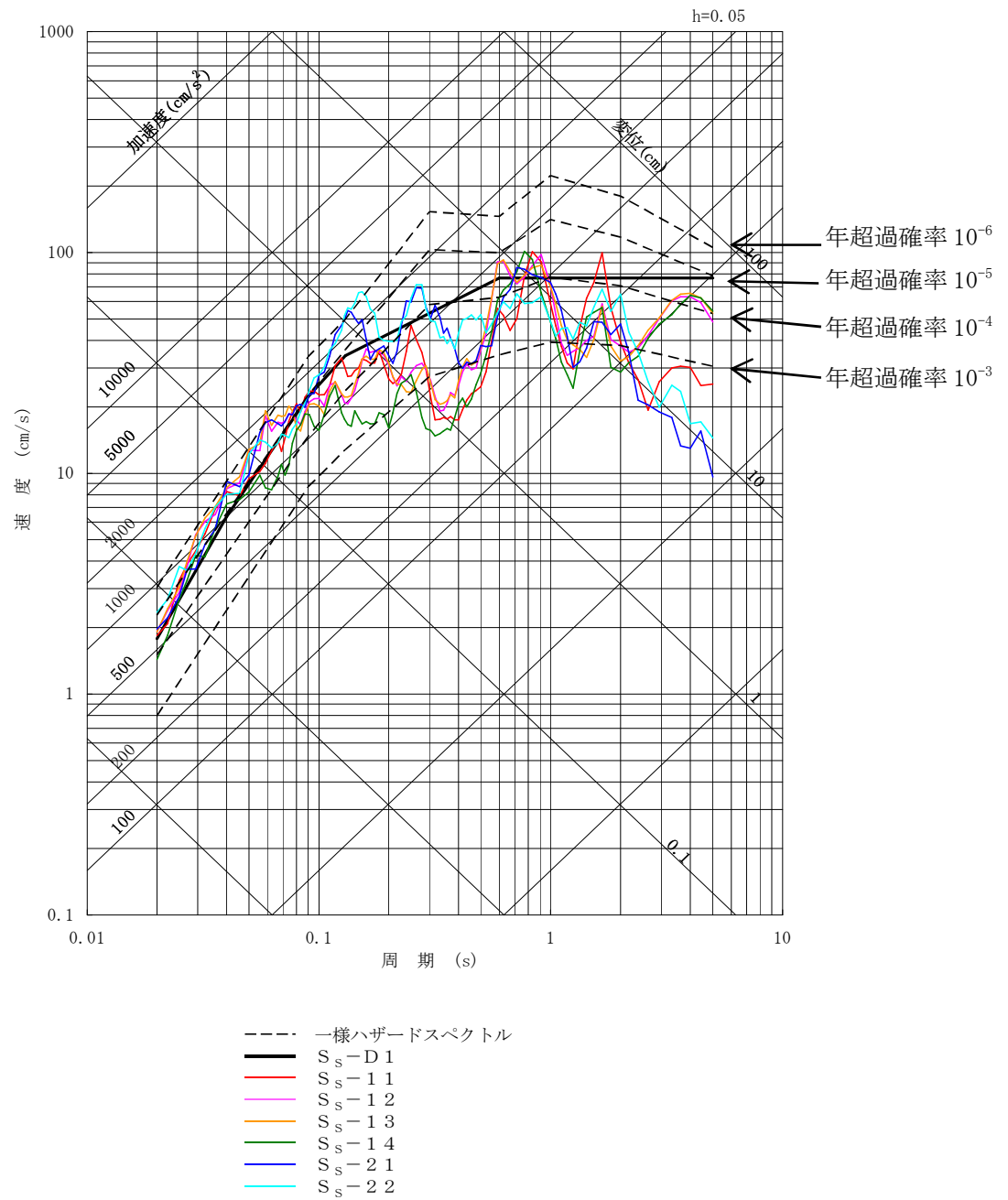


第 3. 2. 1. 2－16 図 (2/2) 震源別平均ハザード曲線 (鉛直方向)

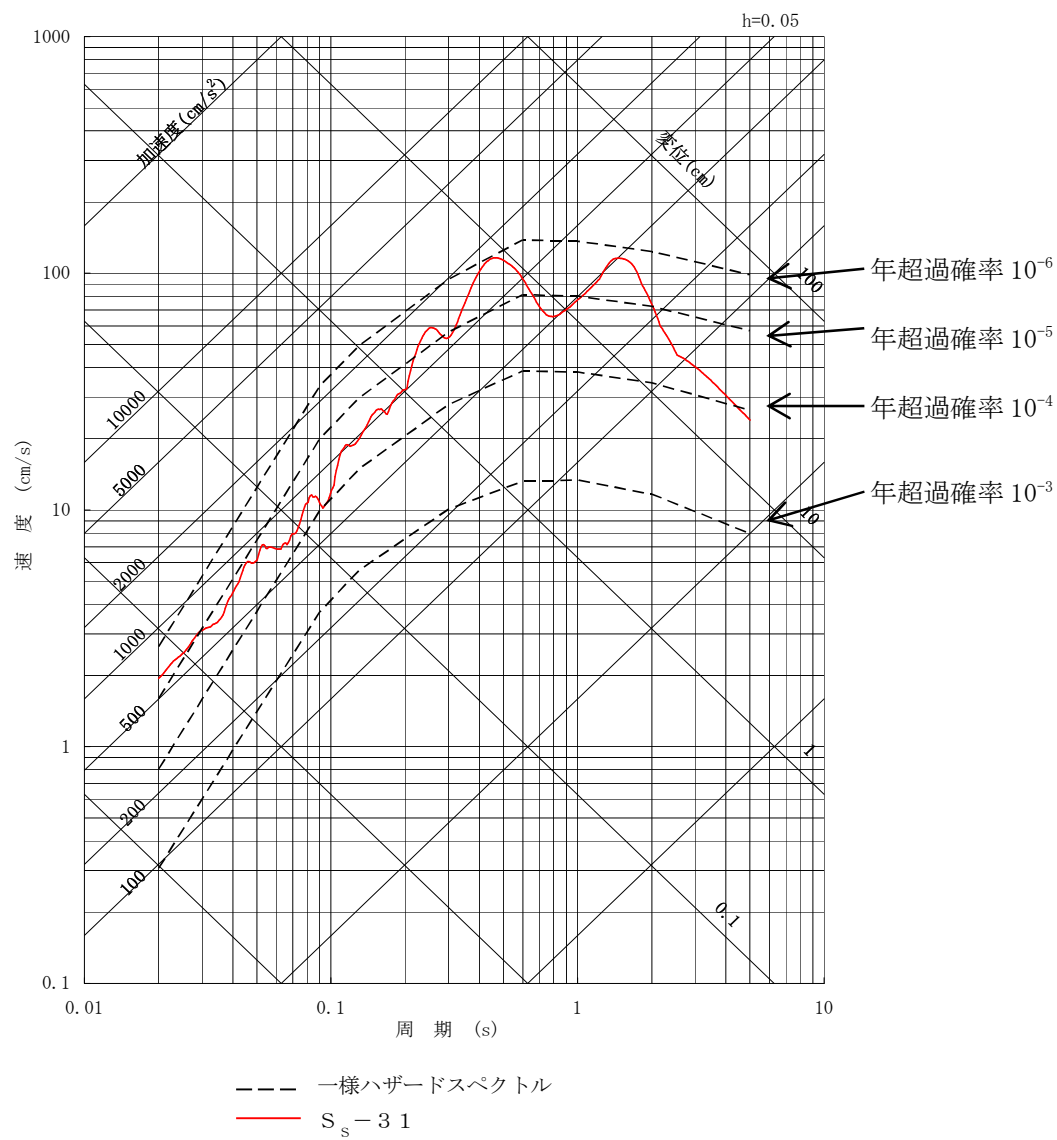


※実線はNS方向，破線はEW方向

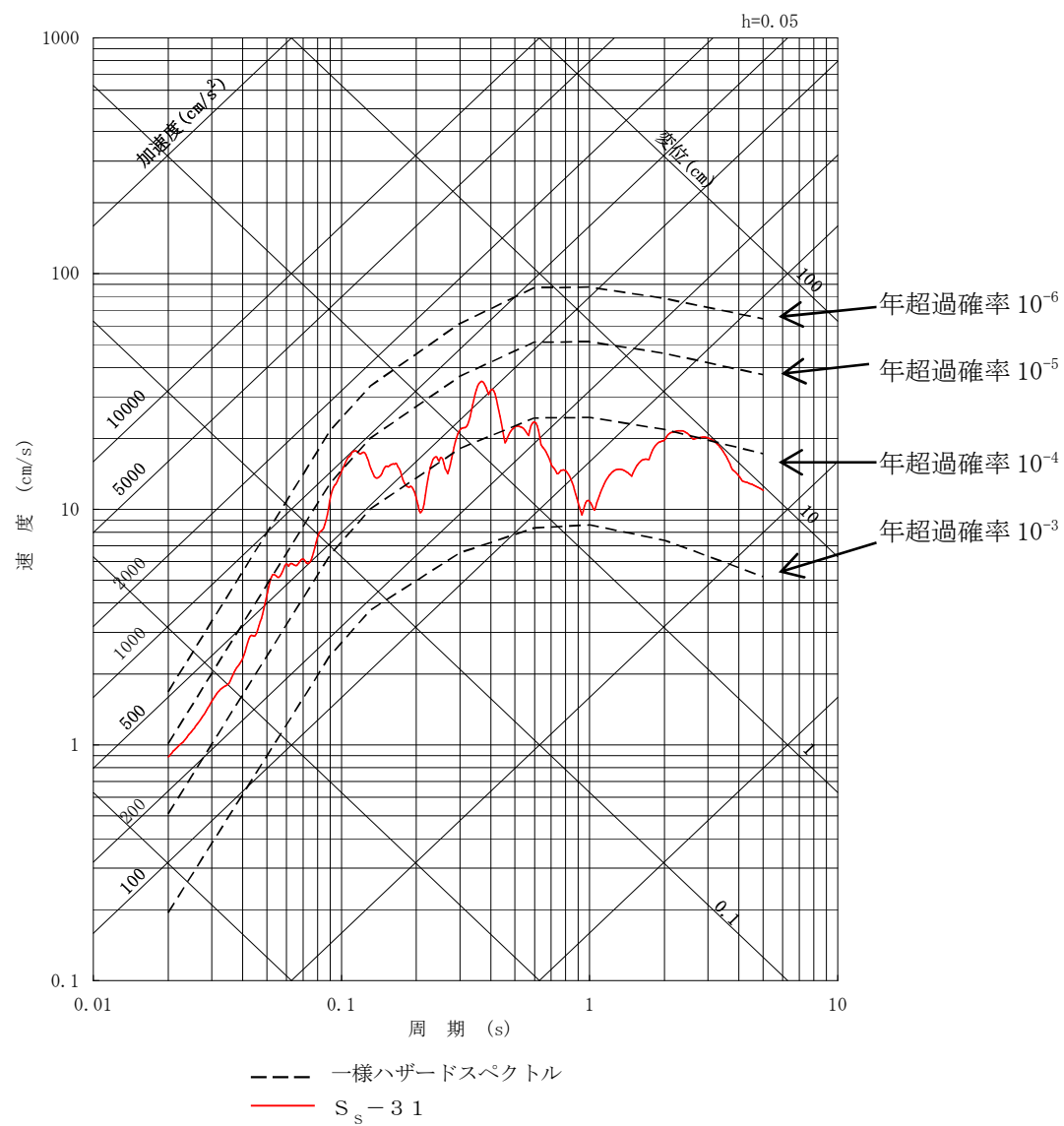
第 3.2.1.2-17 図 (1/2) 一様ハザードスペクトルと基準地震動 $S_s-D 1$ ， $S_s-1 1 \sim S_s-2 2$ の応答スペクトルの比較 (水平方向)



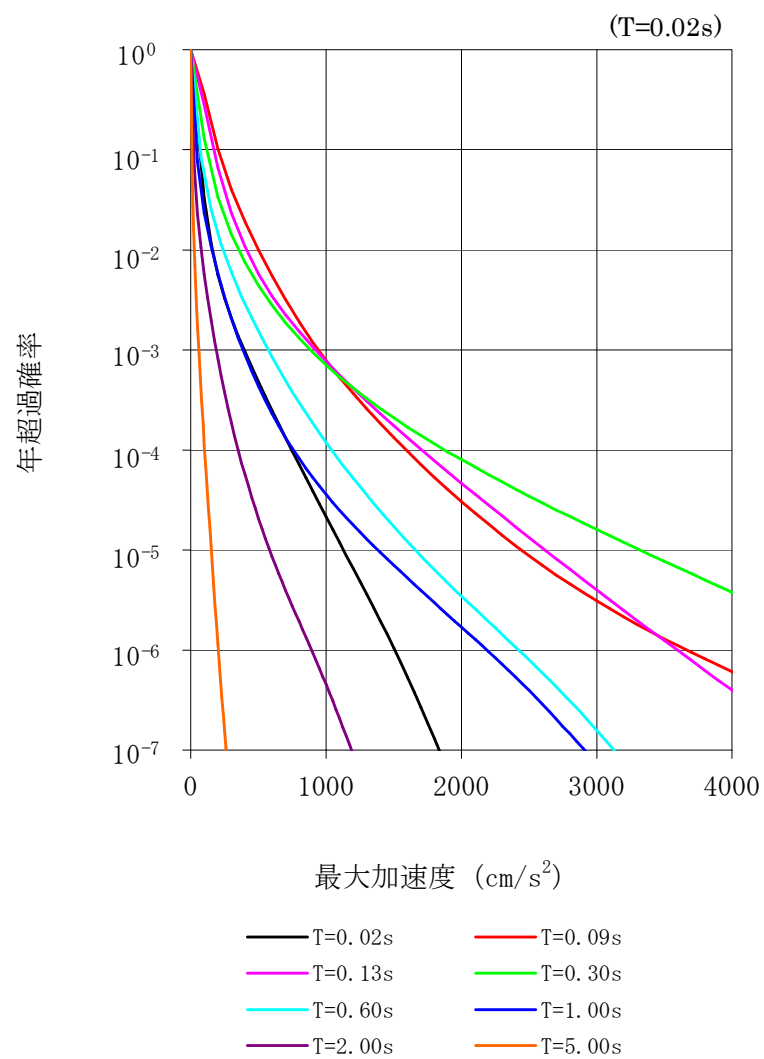
第 3.2.1.2-17 図 (2/2) 一様ハザードスペクトルと基準地震動 S_s-D1 , $S_s-11 \sim S_s-22$ の応答スペクトルの比較 (鉛直方向)



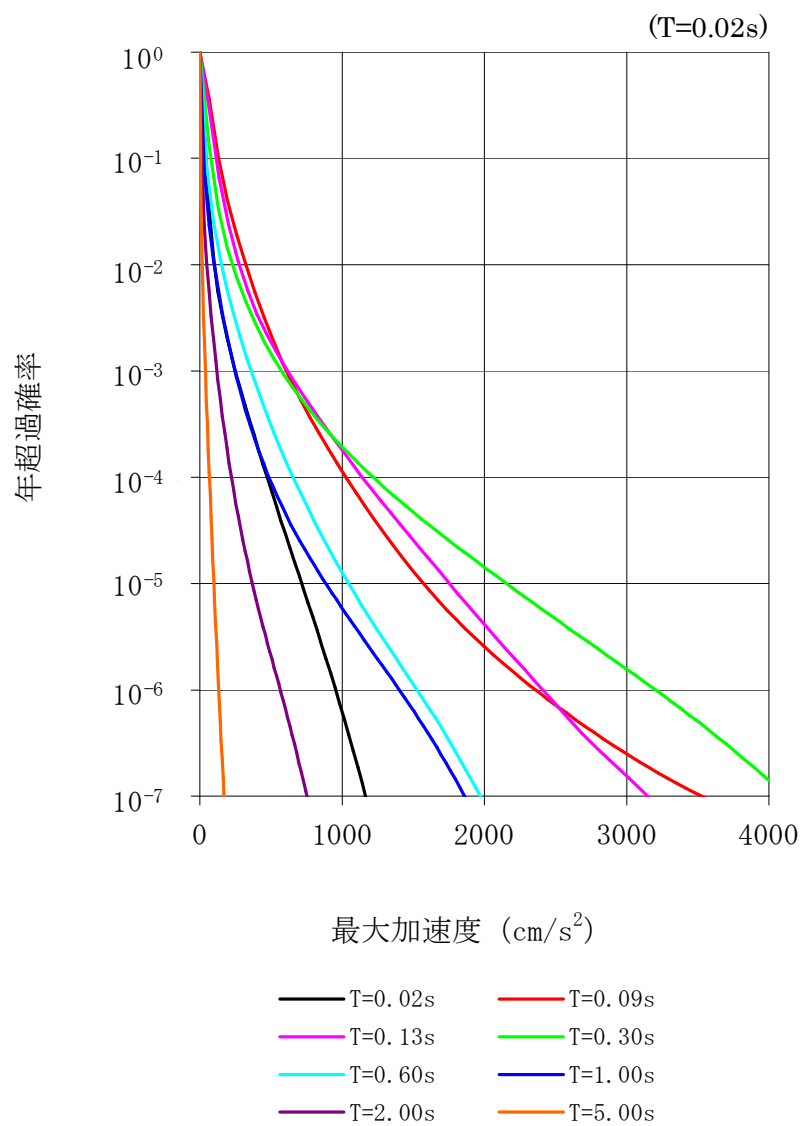
第 3.2.1.2-18 図 (1/2) 内陸地殻内地震の領域震源モデルによる一様ハザードスペクトルと基準地震動 $S_s - 3 1$ の応答スペクトルの比較 (水平方向)



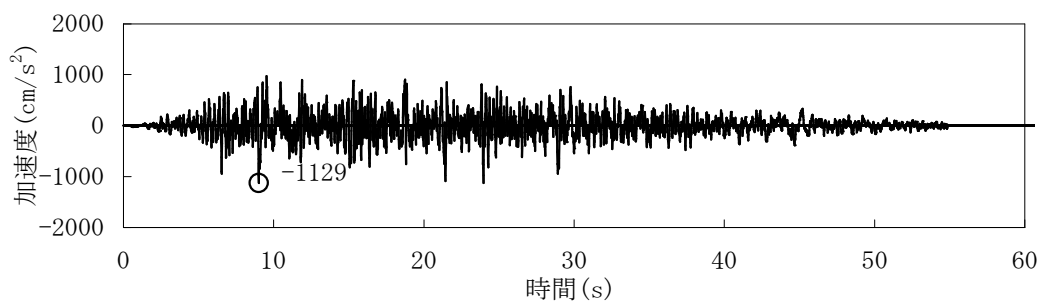
第 3. 2. 1. 2-18 図 (2/2) 内陸地殻内地震の領域震源モデルによる一様ハザードスペクトルと基準地震動 S_s-31 の応答スペクトルの比較 (鉛直方向)



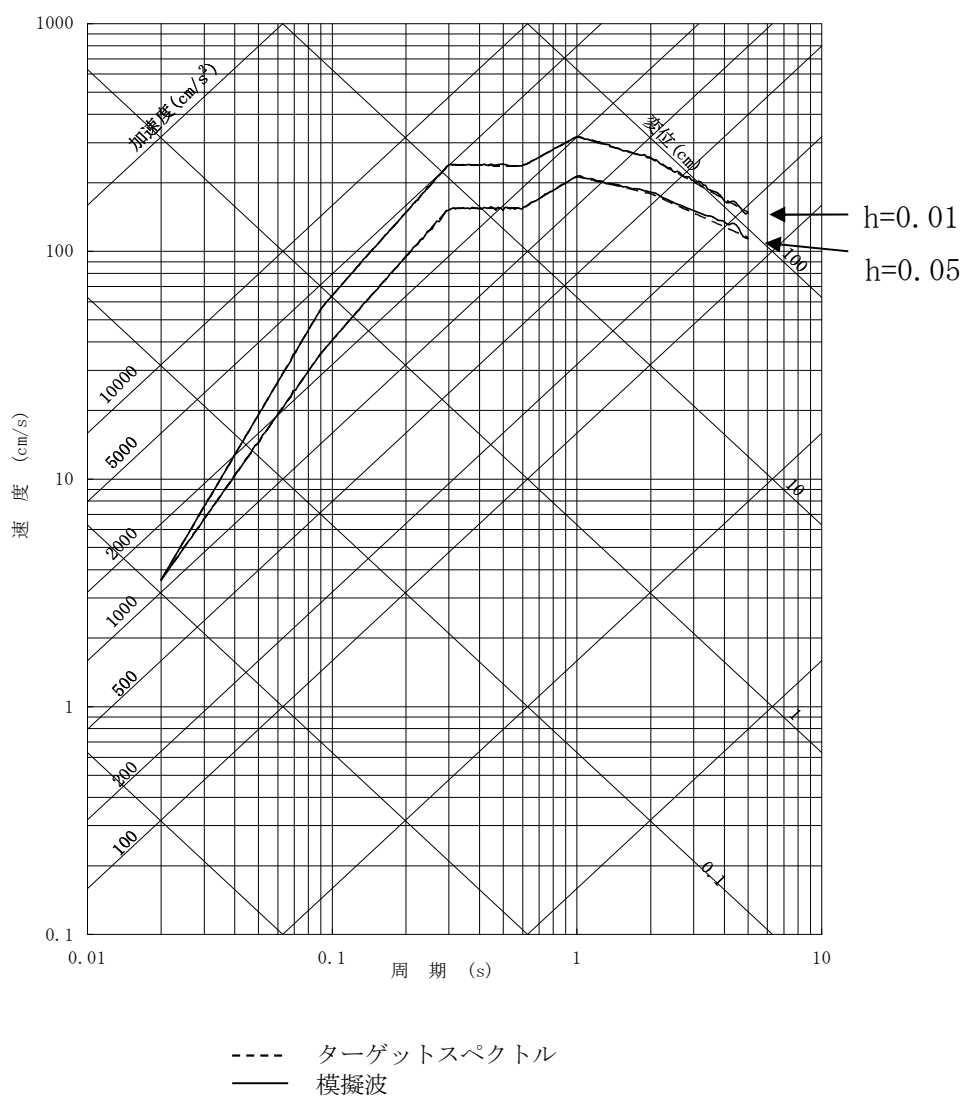
第 3.2.1.2-19 図 (1/2) 周期ごとの平均ハザード曲線 (水平方向)



第 3.2.1.2-19 図 (2/2) 周期ごとの平均ハザード曲線 (鉛直方向)

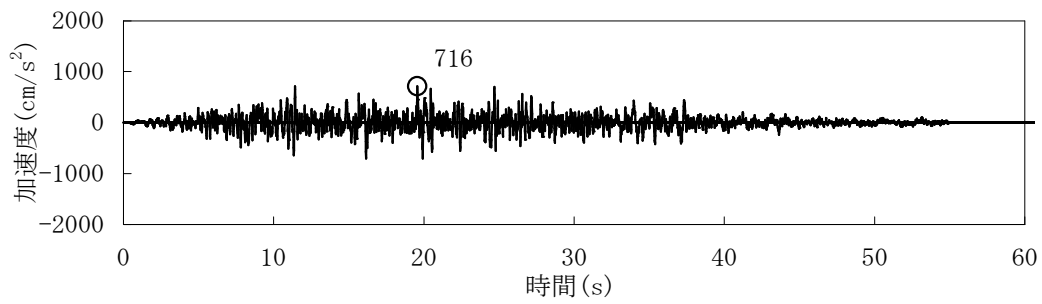


加速度時刻歴波形

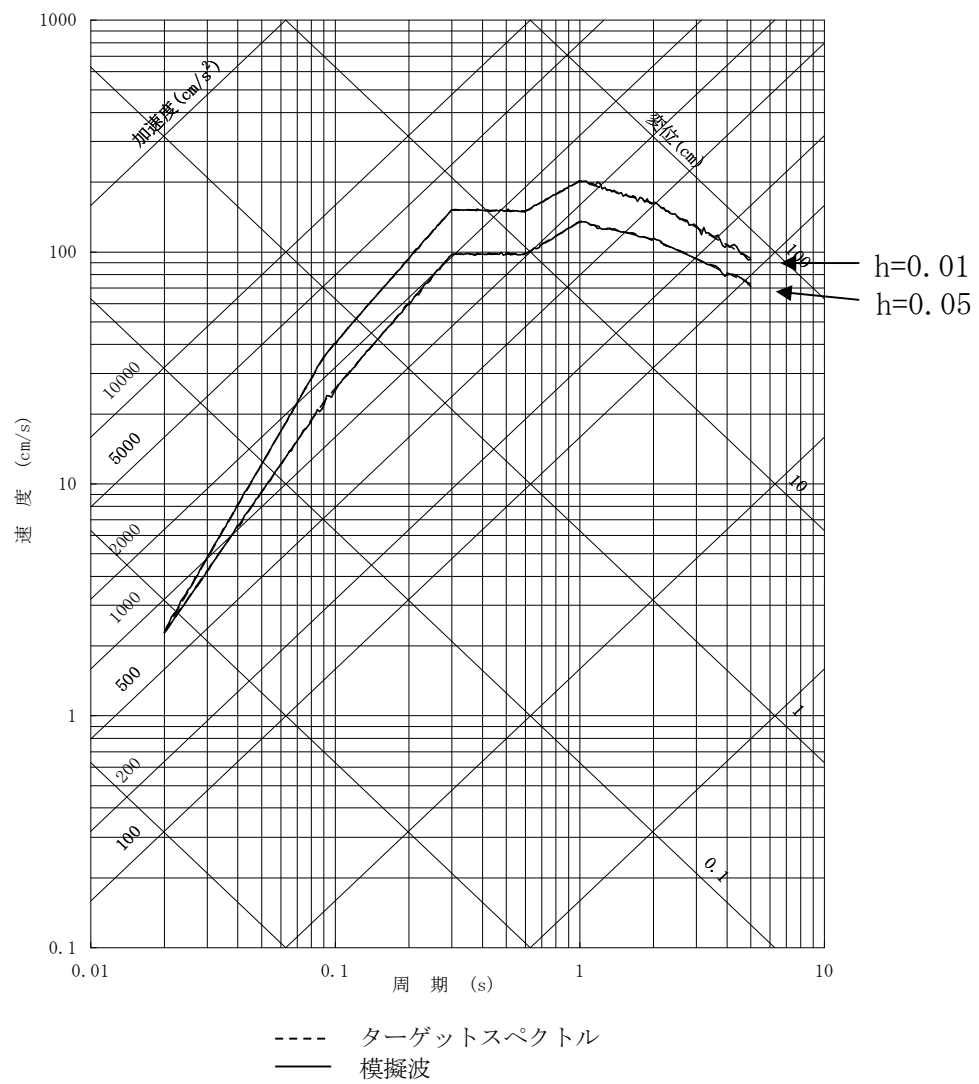


応答スペクトル

第 3.2.1.2-20 図 (1/2) 年超過確率 10^{-5} の一様ハザードスペクトルに適合する模擬地震波 (水平方向)

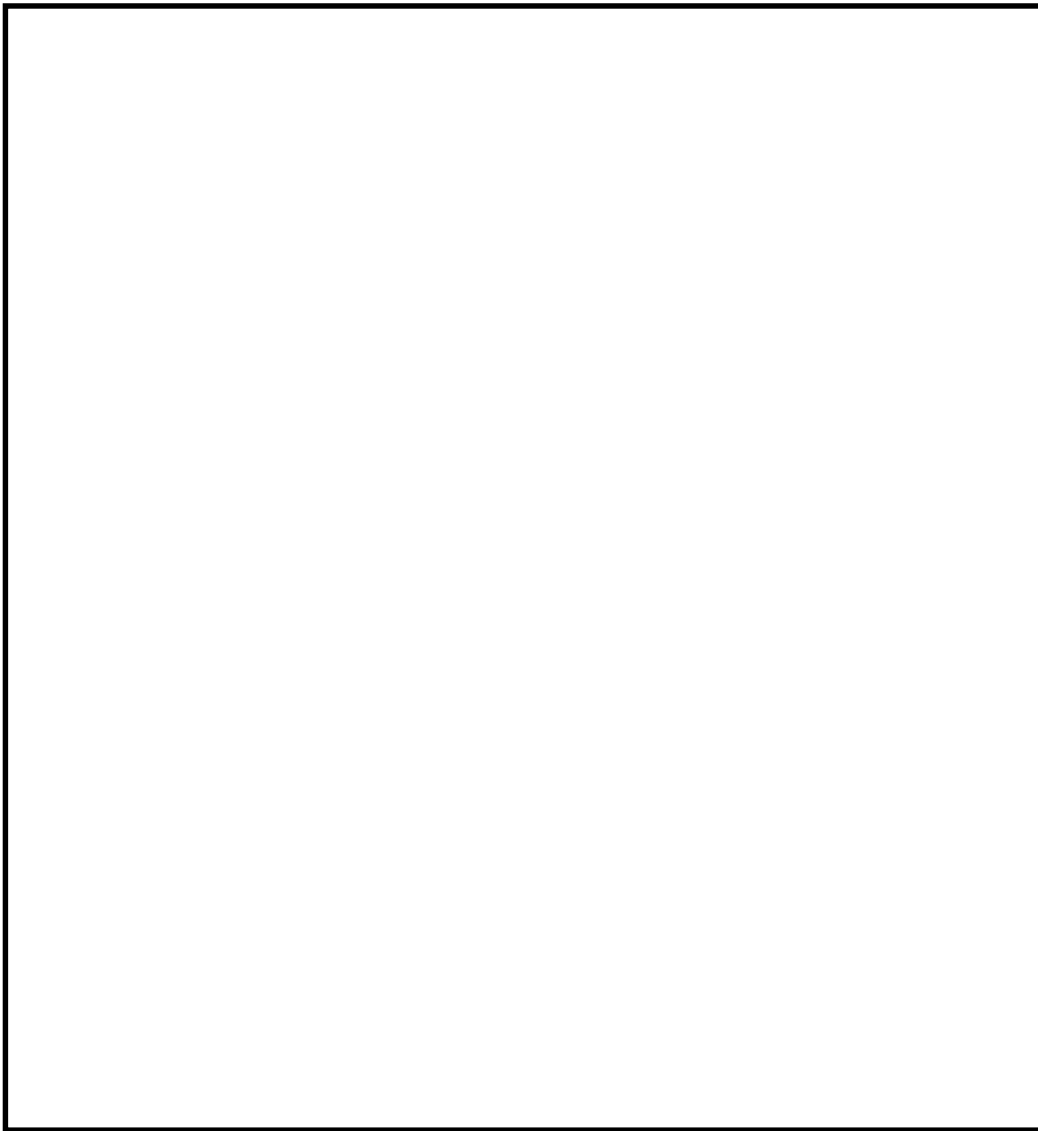


加速度時刻歴波形

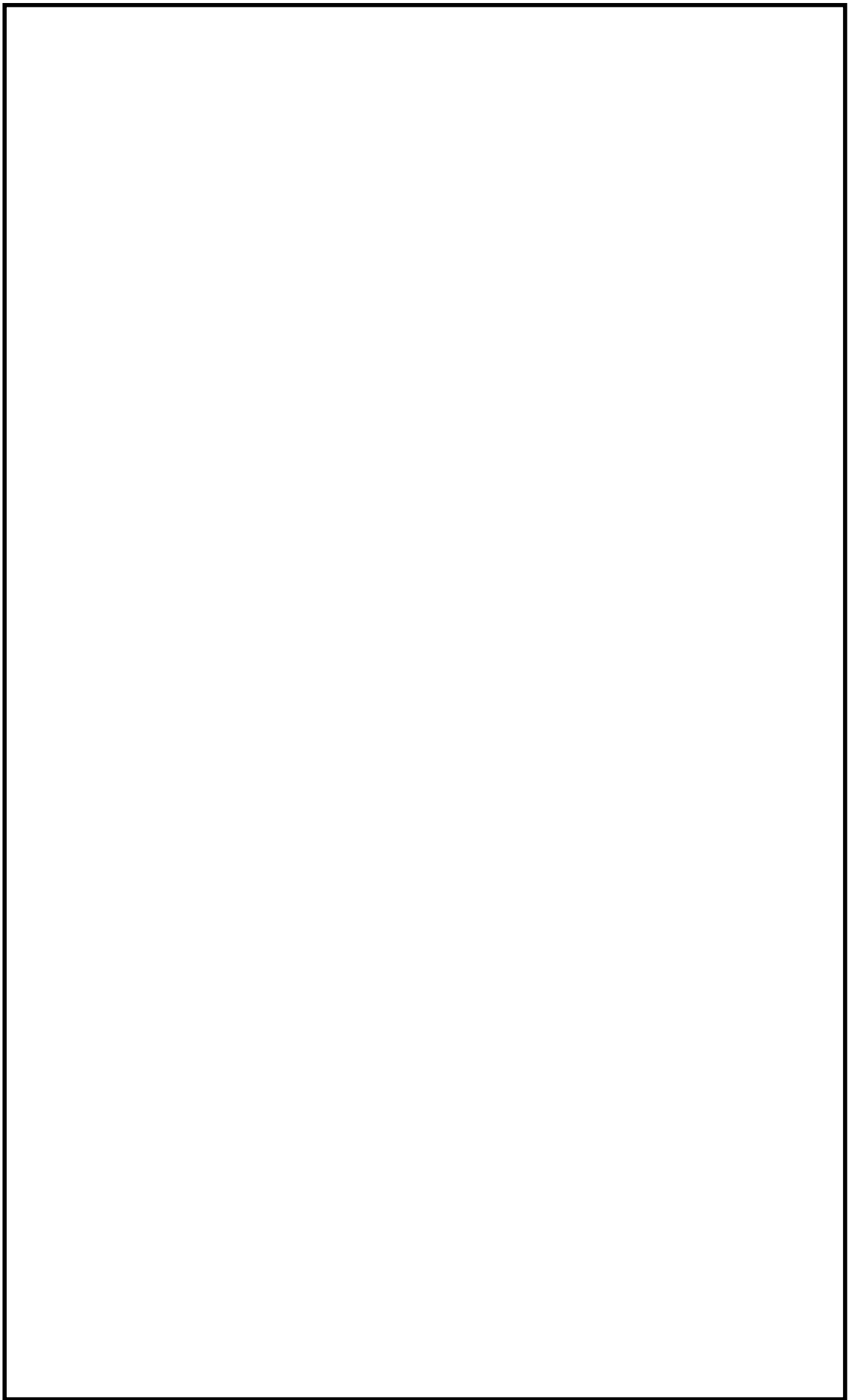


応答スペクトル

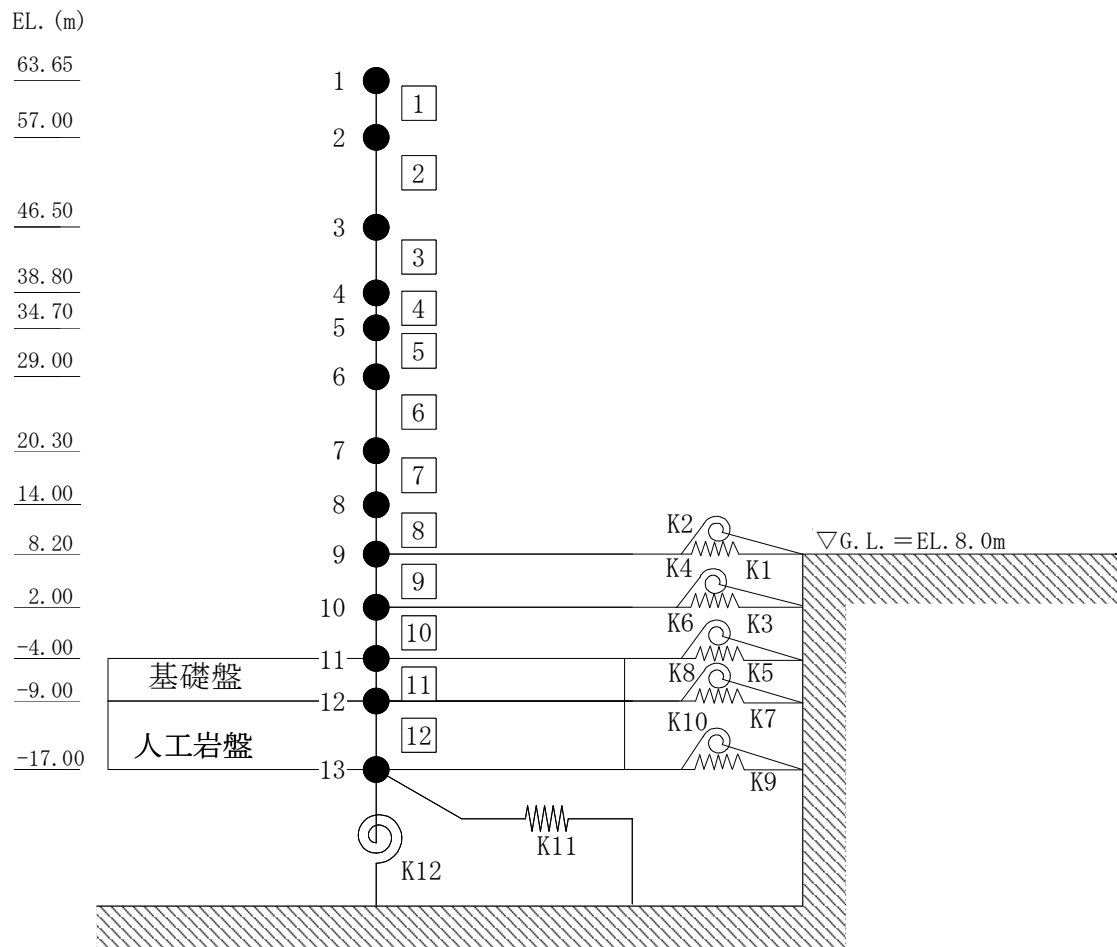
第 3.2.1.2-20 図 (2/2) 年超過確率 10^{-5} の一様ハザードスペクトルに適合する模擬地震波 (鉛直方向)



第 3.2.1.3-1-1 図 原子炉建屋の概略平面図 (EL. -4.0m)

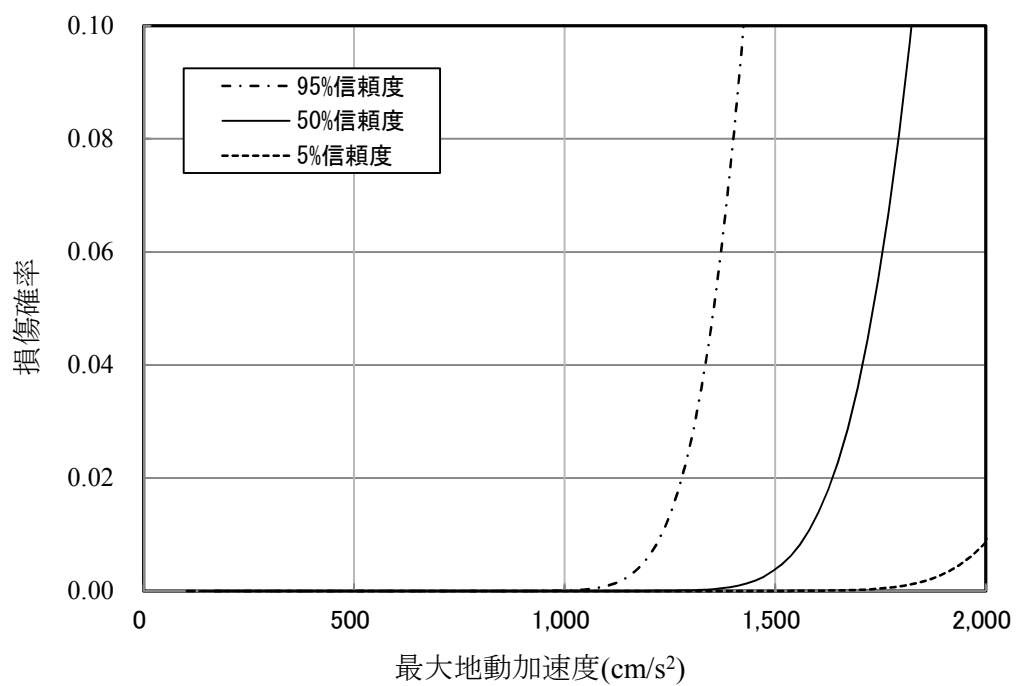


第 3. 2. 1. 3－1－2 図 原子炉建屋の概略断面図

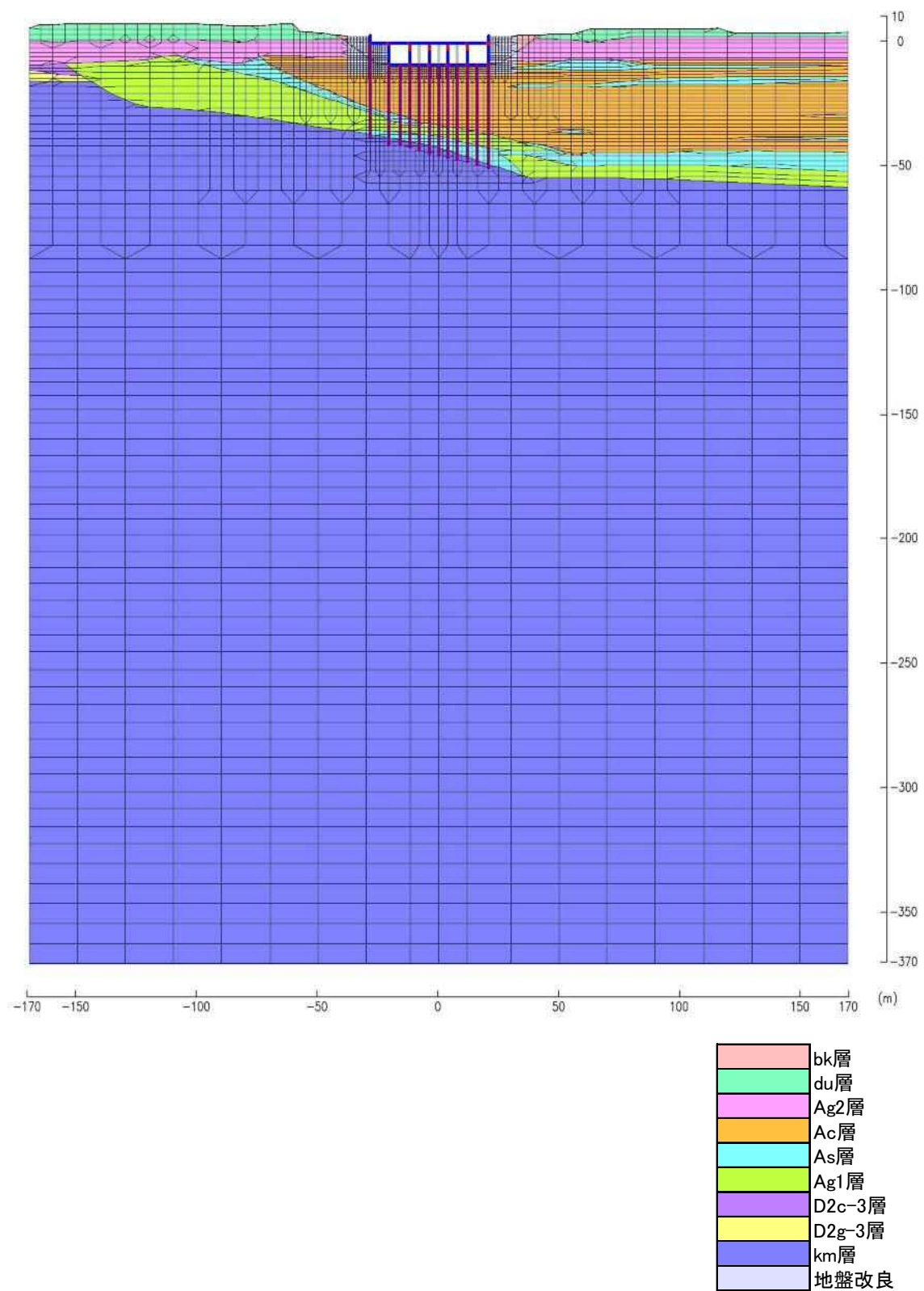


- ・ 数字は質点番号を示す。
- ・ □内は要素番号を示す。

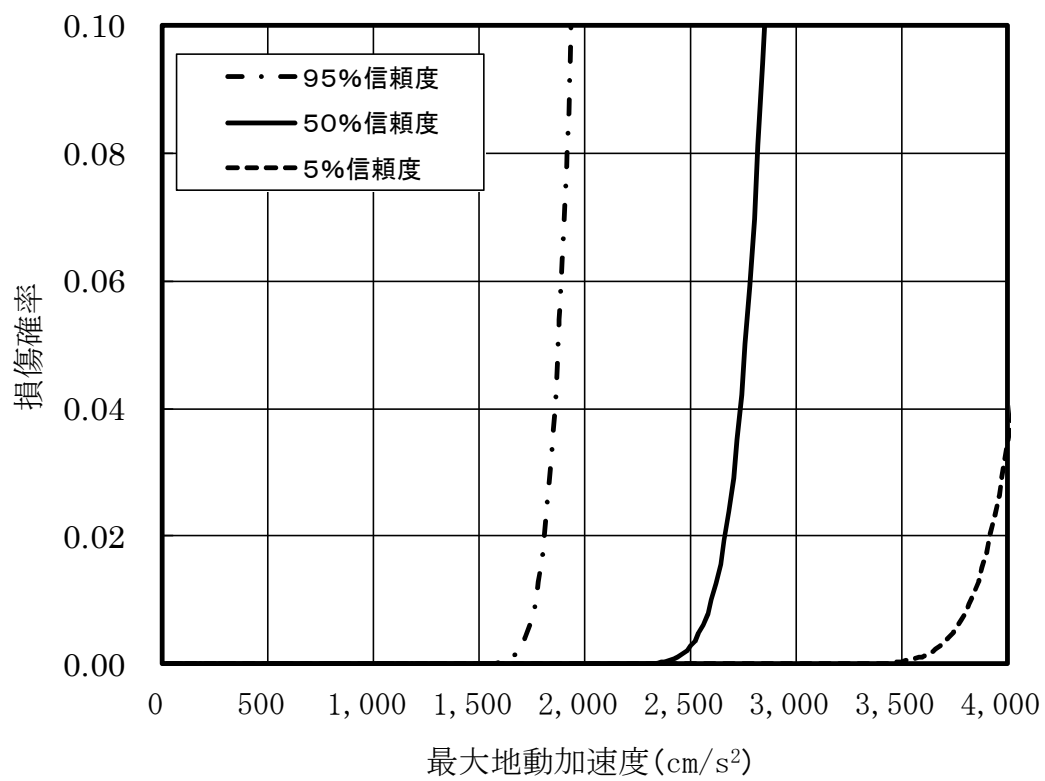
第 3. 2. 1. 3－1－3 図 解析モデル（水平）



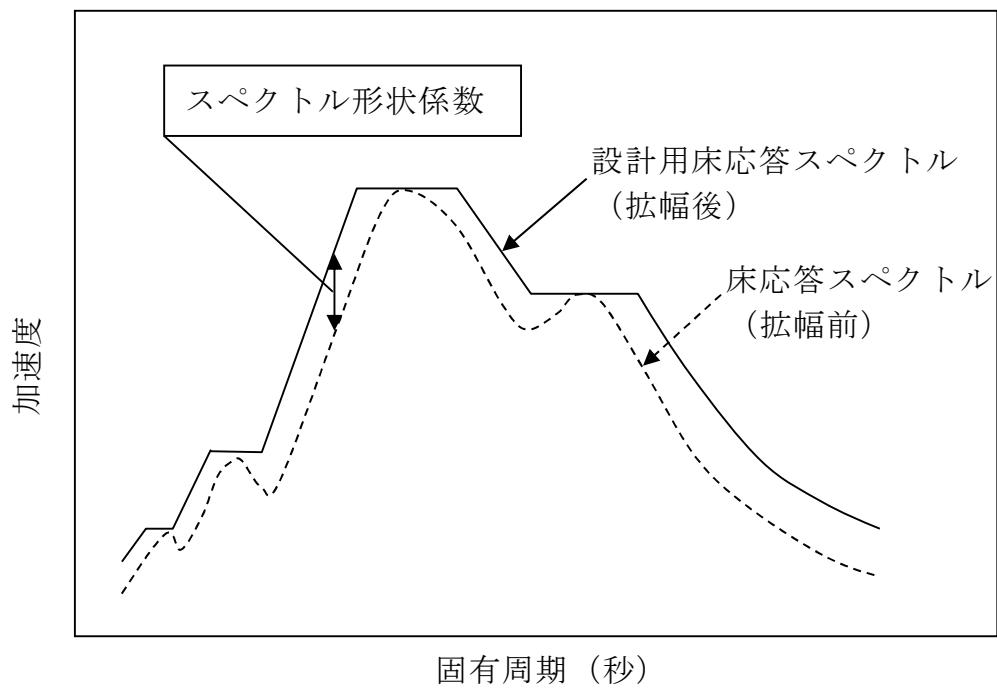
第 3. 2. 1. 3－1－4 図 原子炉建屋のフラジリティ曲線



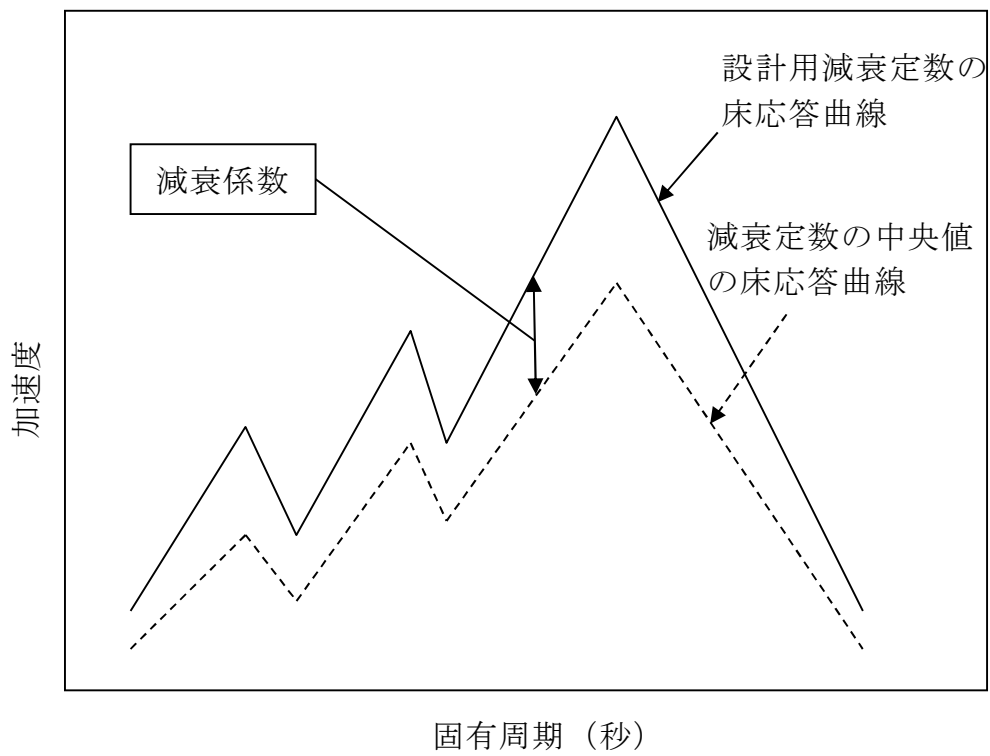
第 3. 2. 1. 3-2-3 図 解析モデル



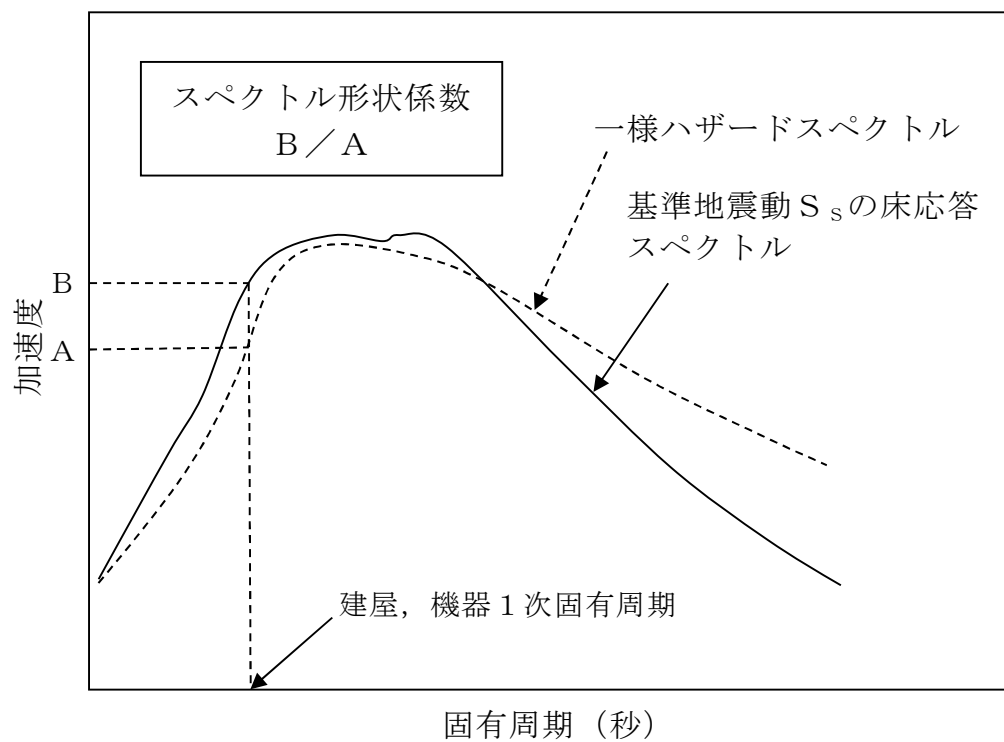
第 3.2.1.3-2-4 図 海水ポンプ室のフラジリティ曲線



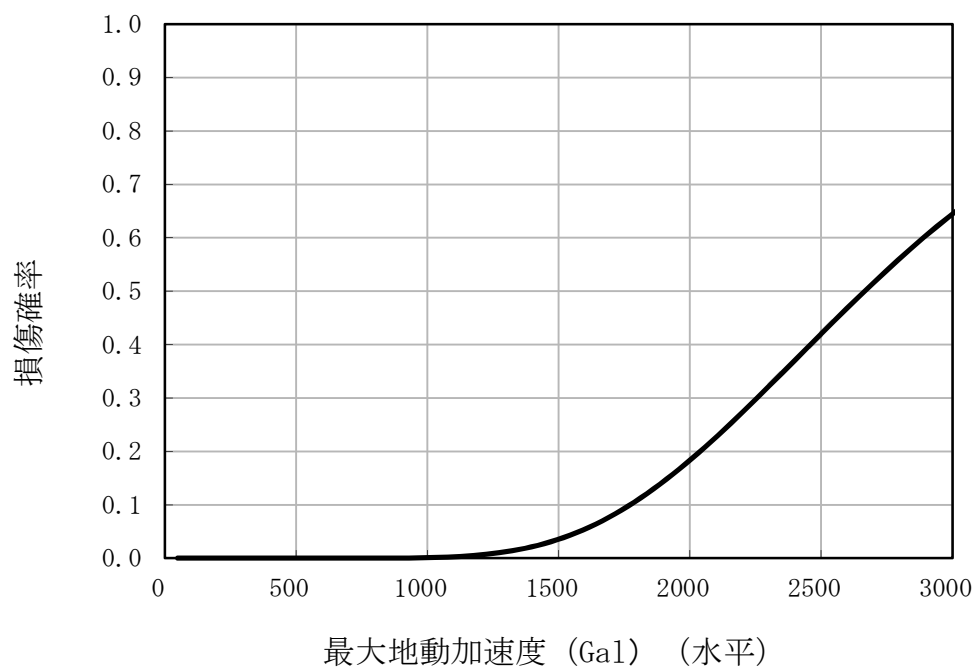
第 3. 2. 1. 3-3-1 図 スペクトル形状係数の概念図



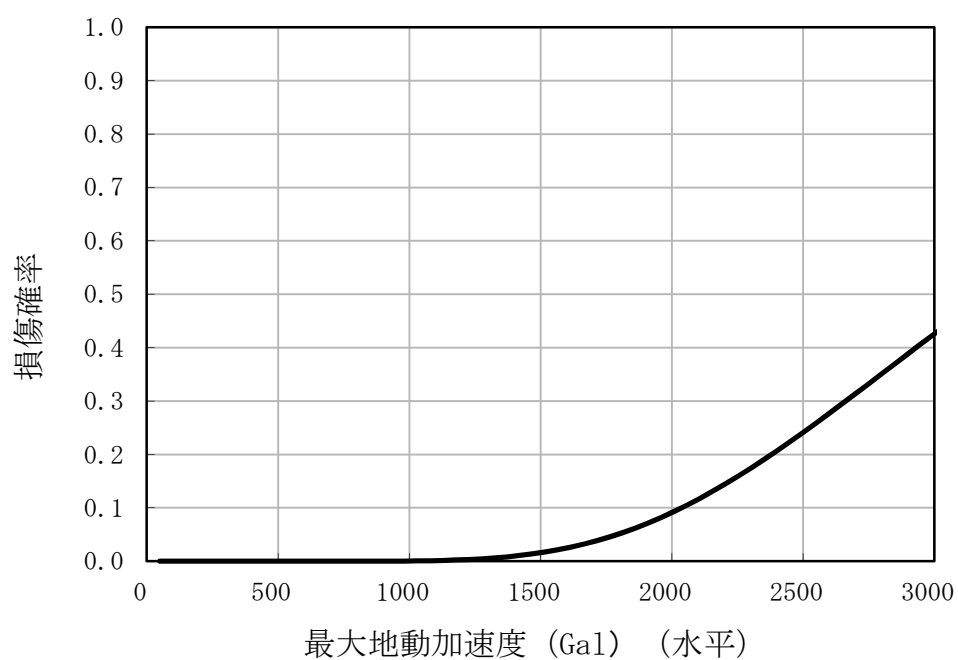
第 3. 2. 1. 3-3-2 図 減衰係数の概念図



第 3.2.1.3-3-3 図 解放基盤表面における地震動のスペクトル形状係数の概念図

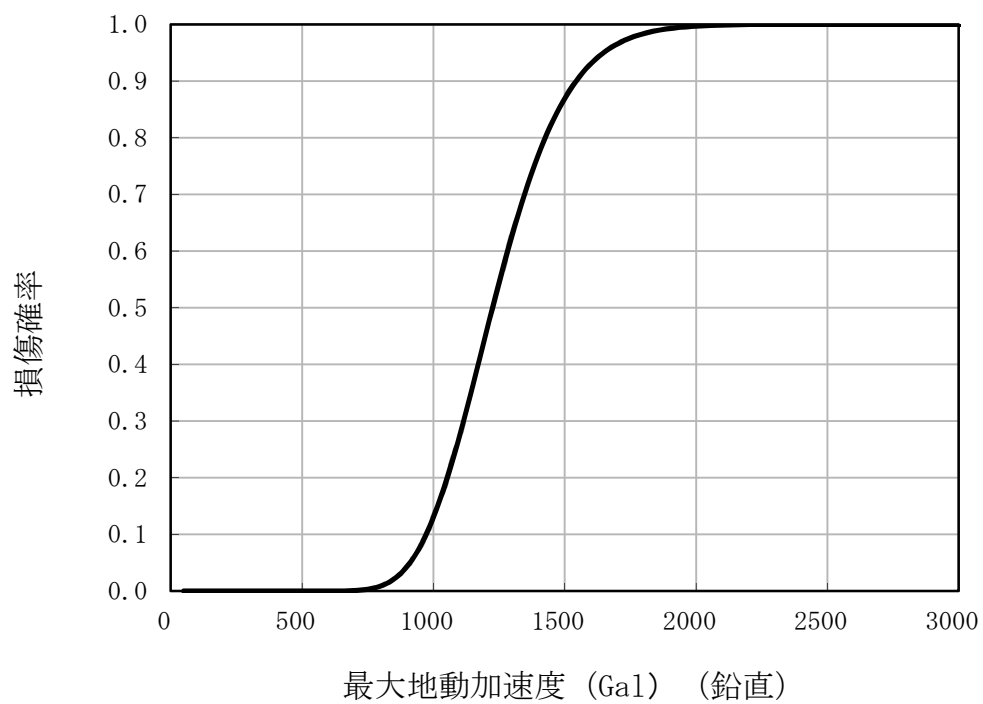


第 3.2.1.3-3-4 図 原子炉压力容器 (蒸気乾燥器支持ブラケット)
平均フラジリティ曲線

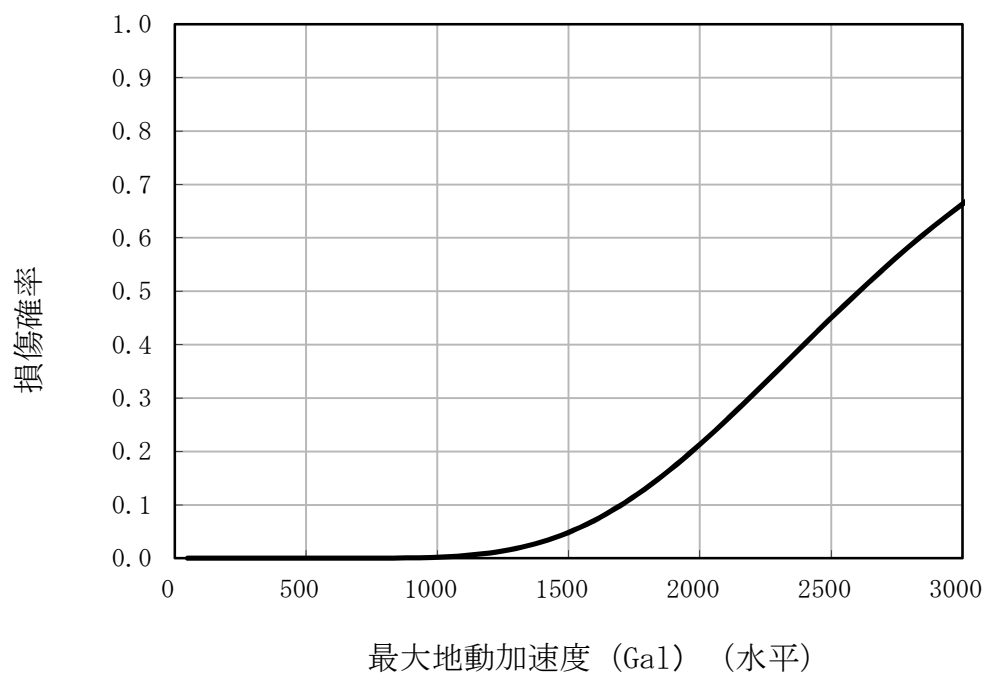


第 3. 2. 1. 3－3－5 図 残留熱除去系熱交換器（アンカボルト）

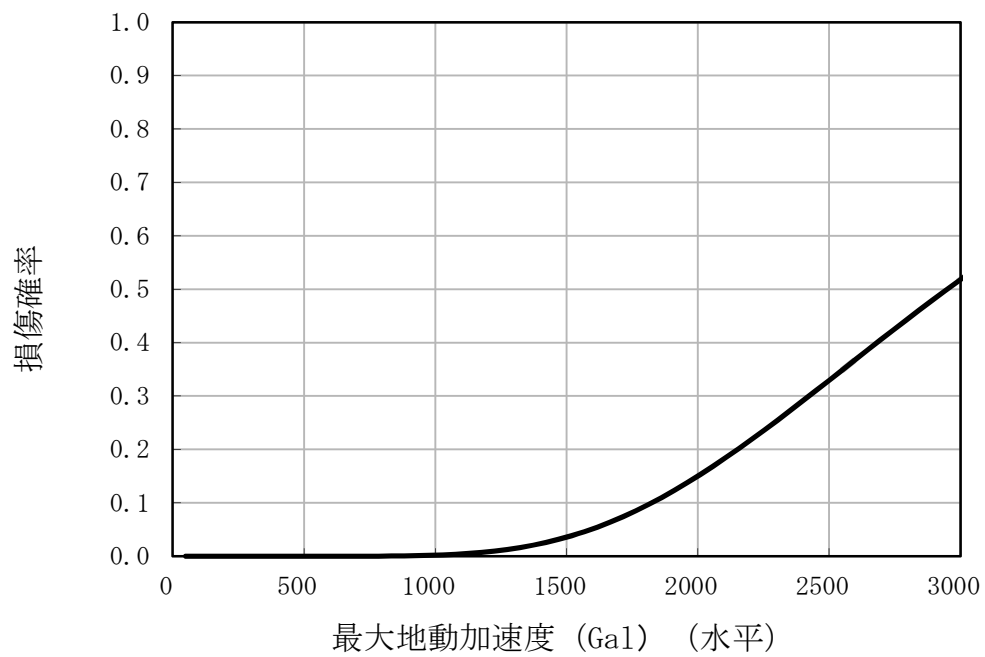
平均フラジリティ曲線



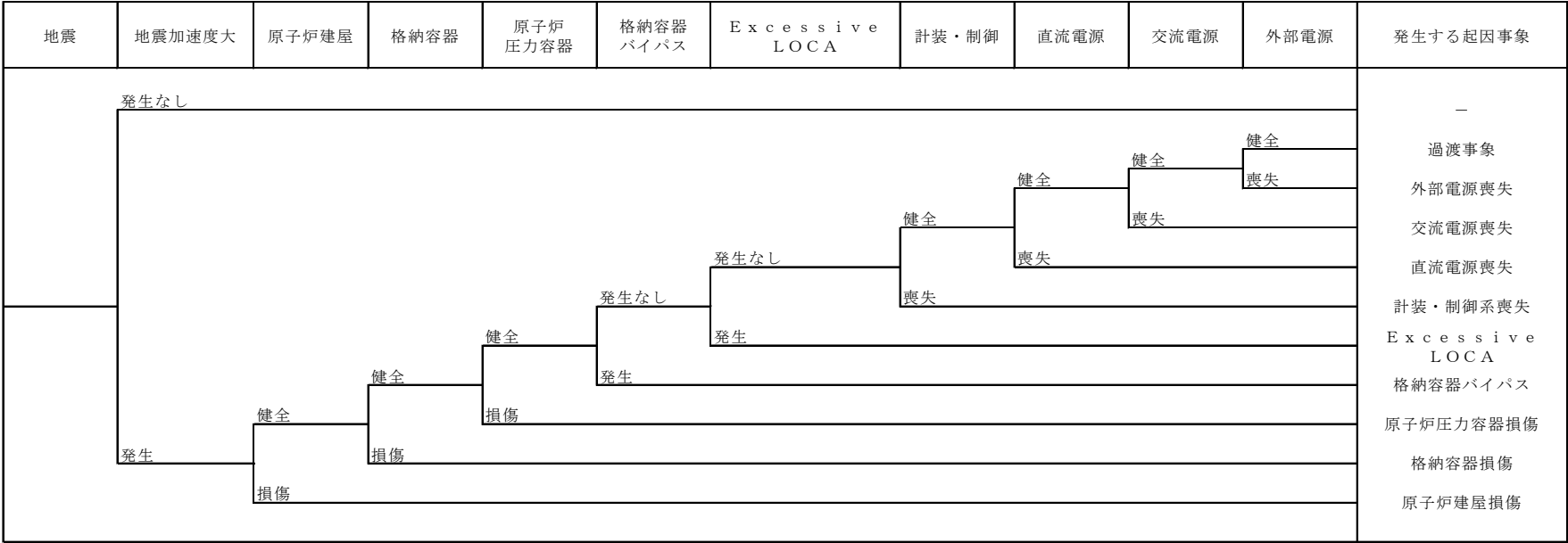
第 3. 2. 1. 3－3－6 図 残留熱除去系海水系ポンプ 平均フラジリティ曲線



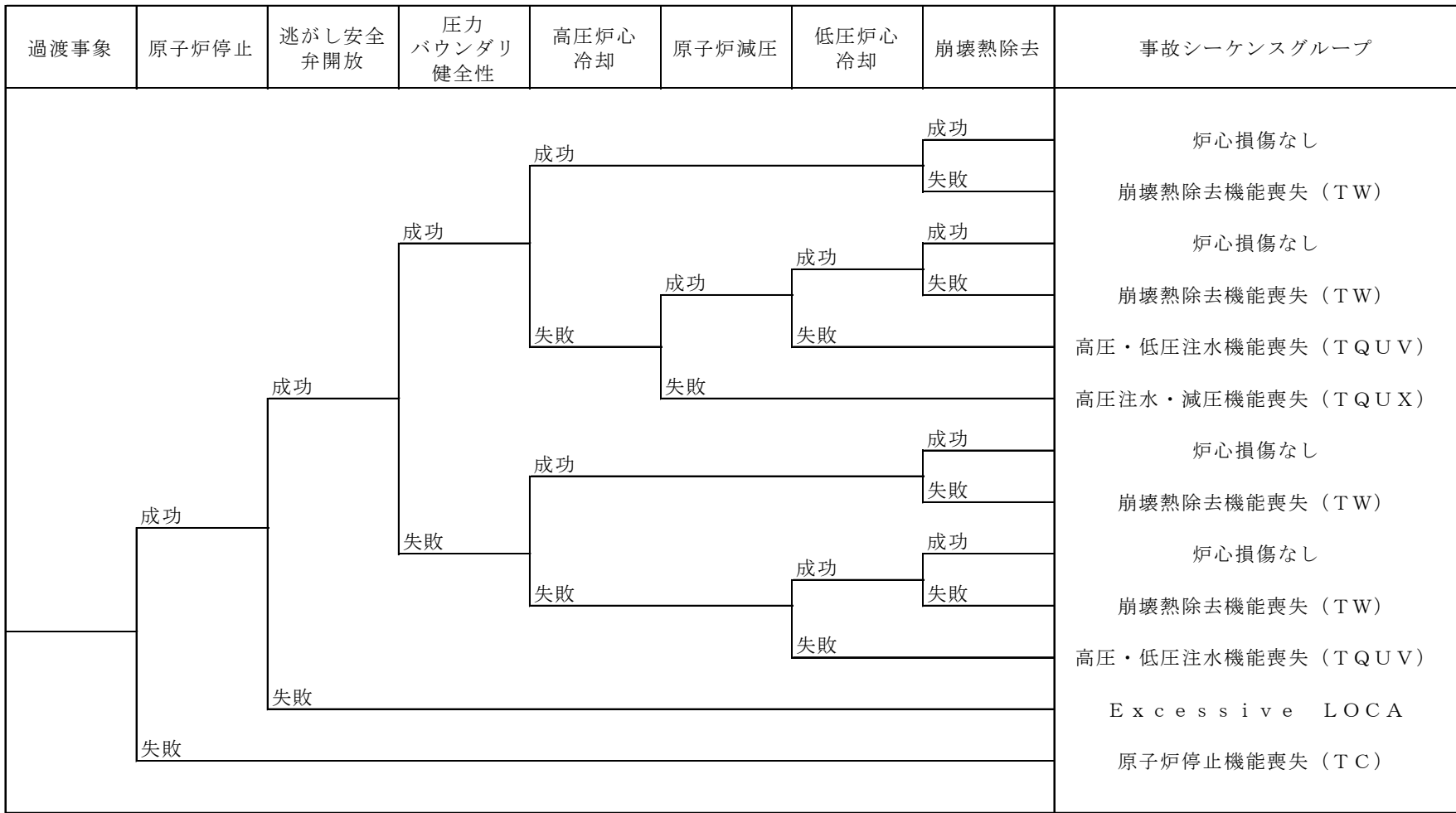
第 3. 2. 1. 3－3－7 図 非常用パワーセンタ 平均フラジリティ曲線



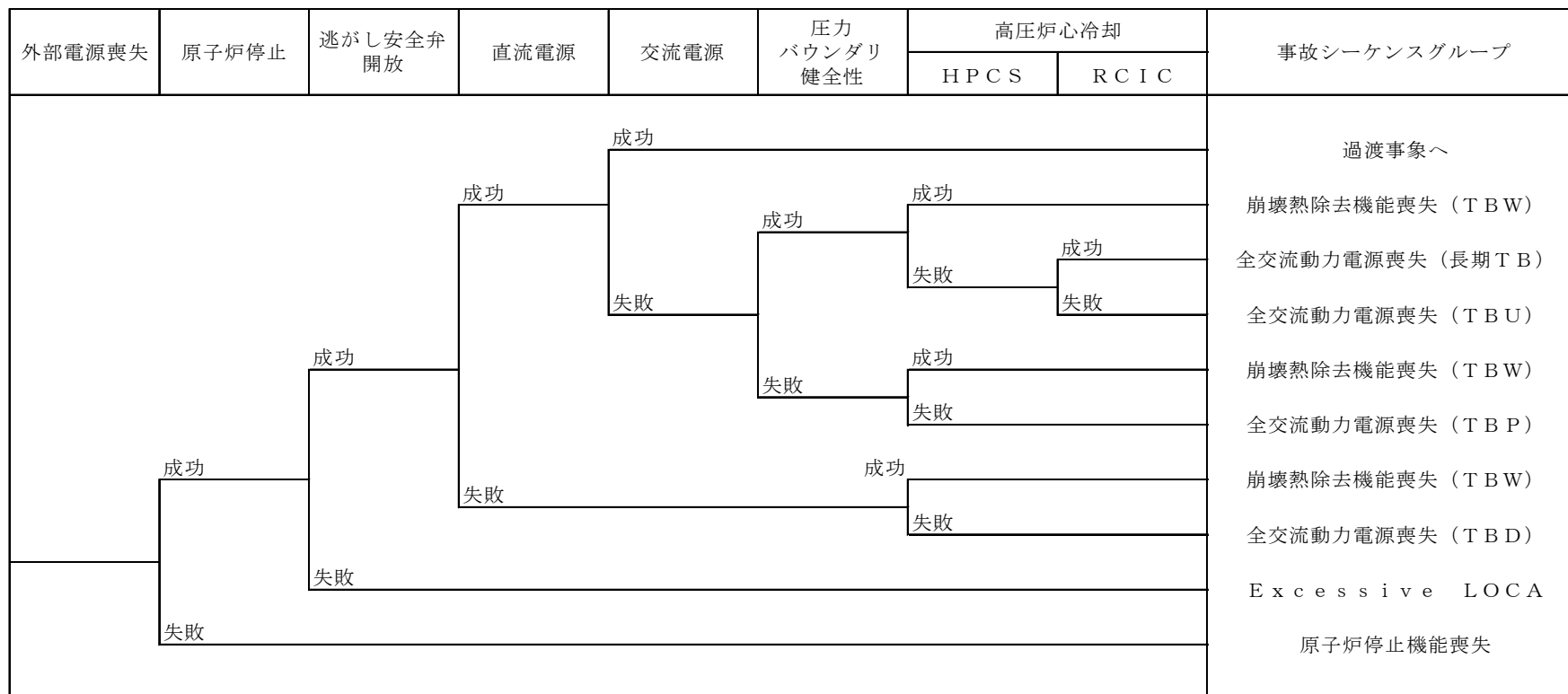
第 3. 2. 1. 3－3－8 図 残留熱除去系海水系配管 平均フラジリティ曲線



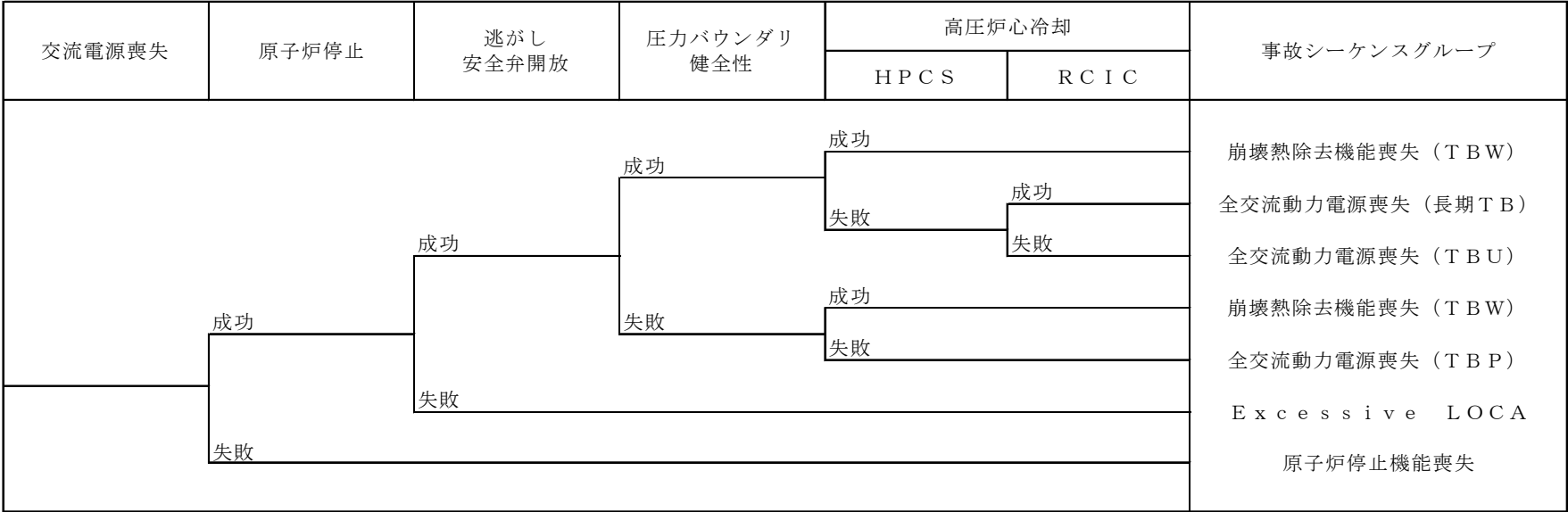
第 3.2.1.4－1 図 地震 P R A 階層イベントツリー



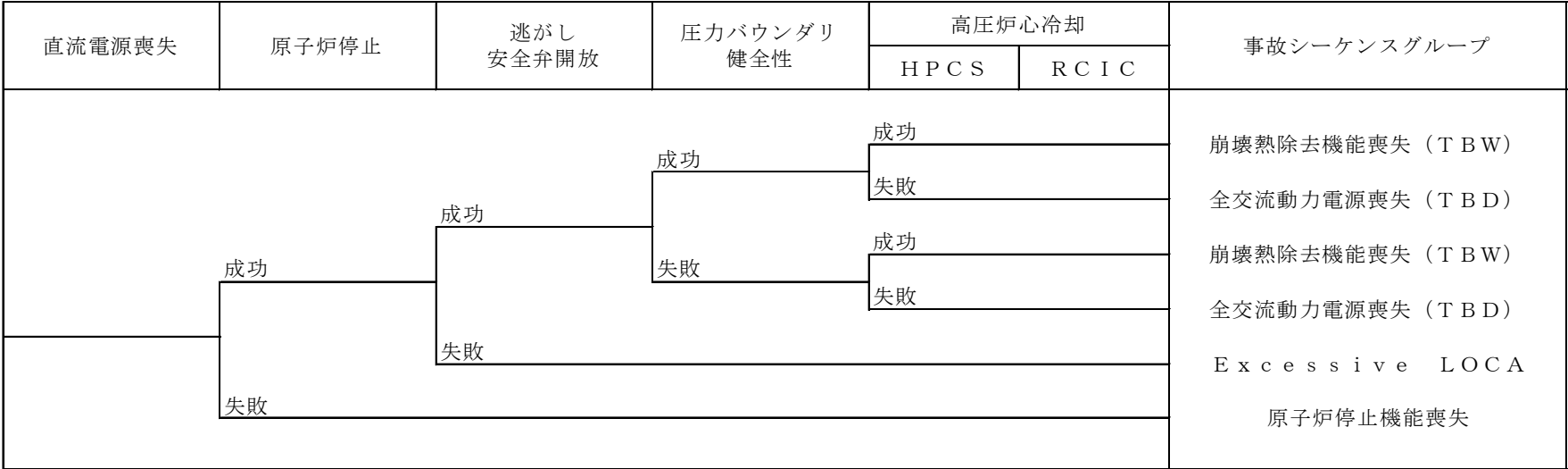
第 3.2.1.4-2 図 過渡事象イベントツリー



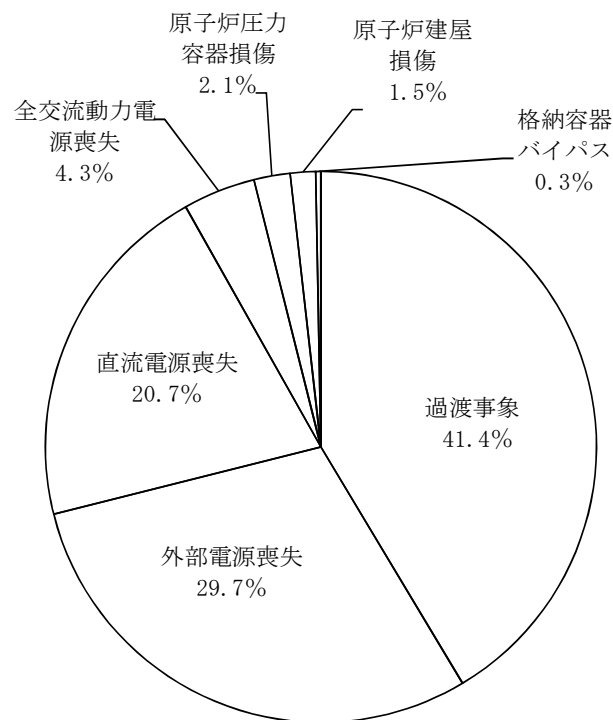
第 3.2.1.4-3 図 外部電源喪失イベントツリー



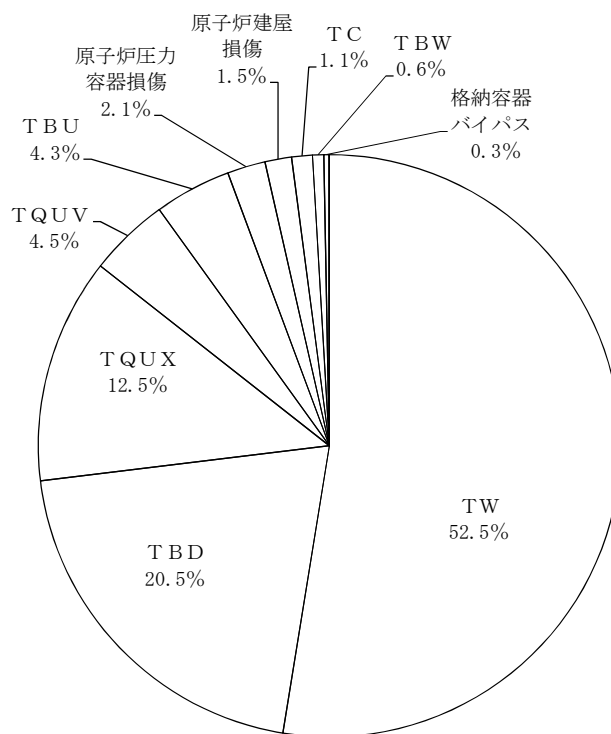
第 3.2.1.4-4 図 交流電源喪失イベントツリー



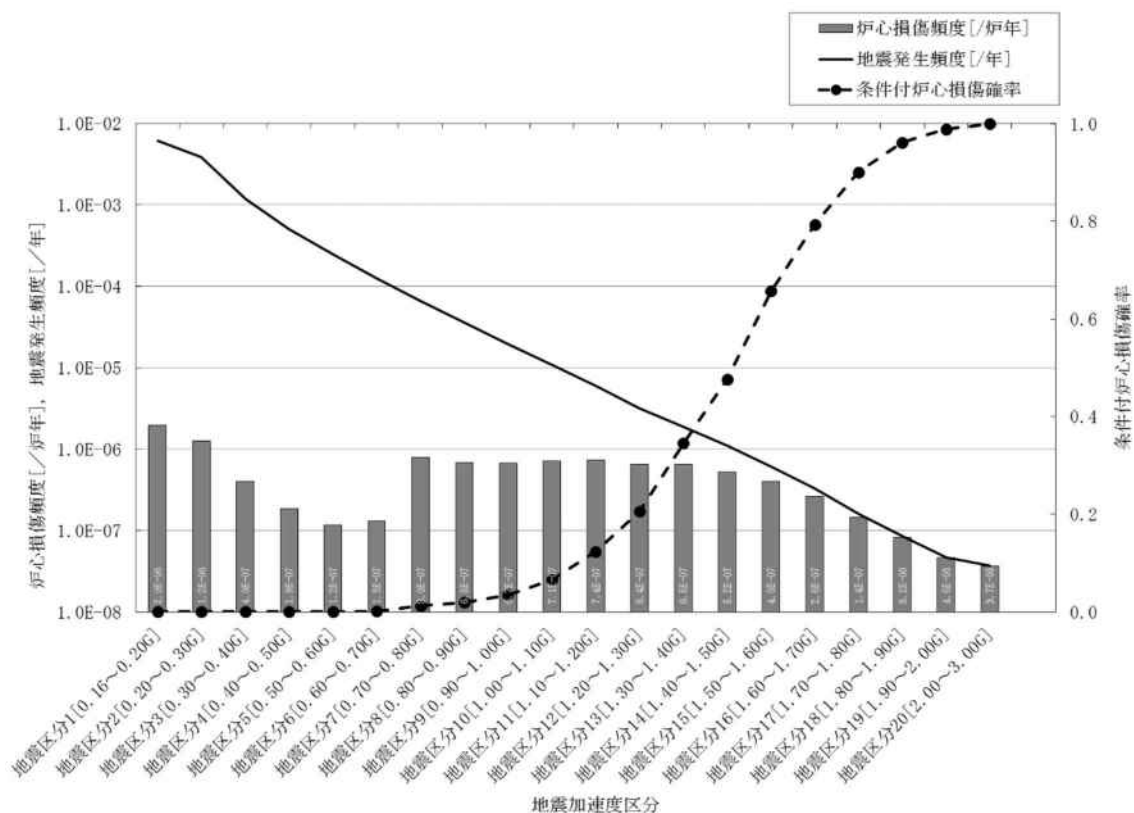
第 3.2.1.4－5 図 直流電源喪失イベントツリー



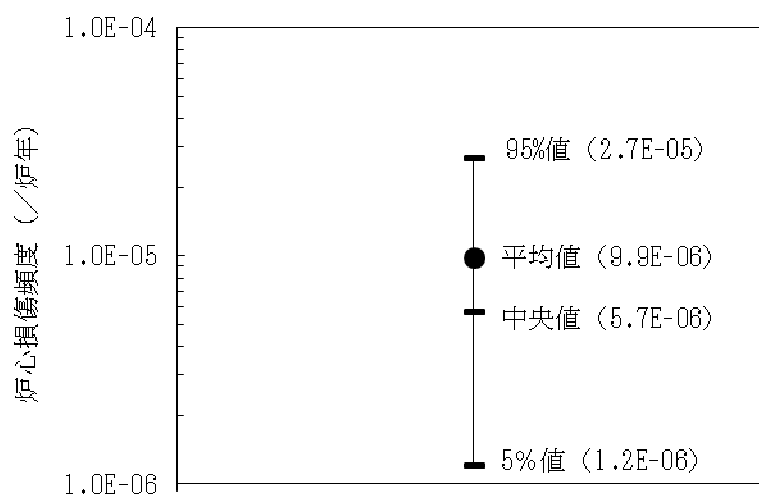
第 3.2.1.4-6 図 起因事象別炉心損傷頻度寄与割合



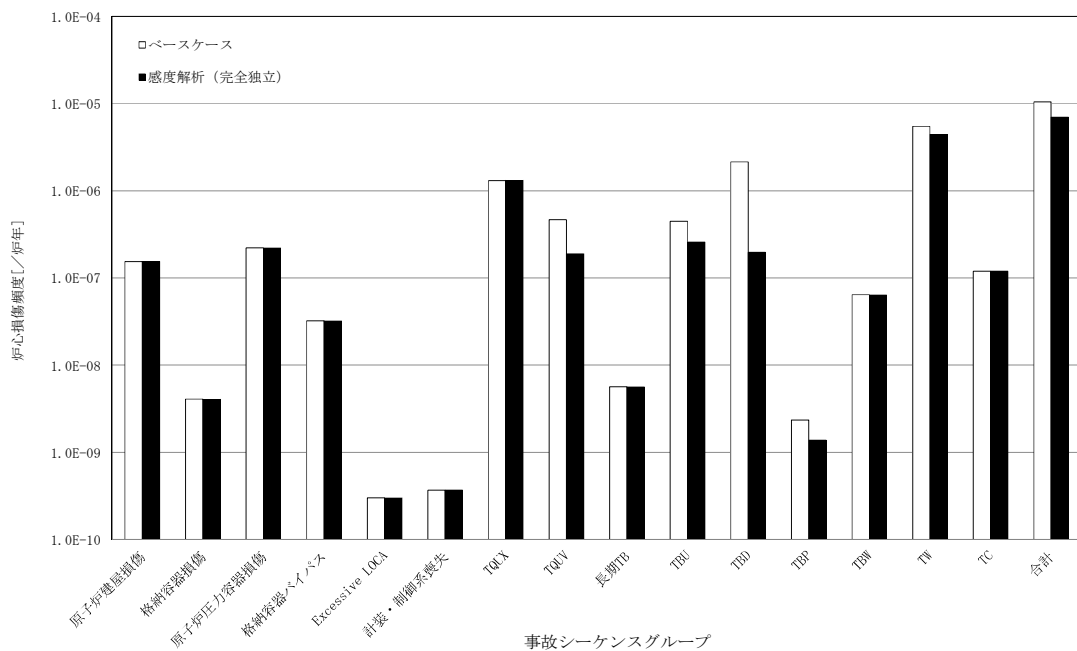
第 3.2.1.4-7 図 事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度寄与割合



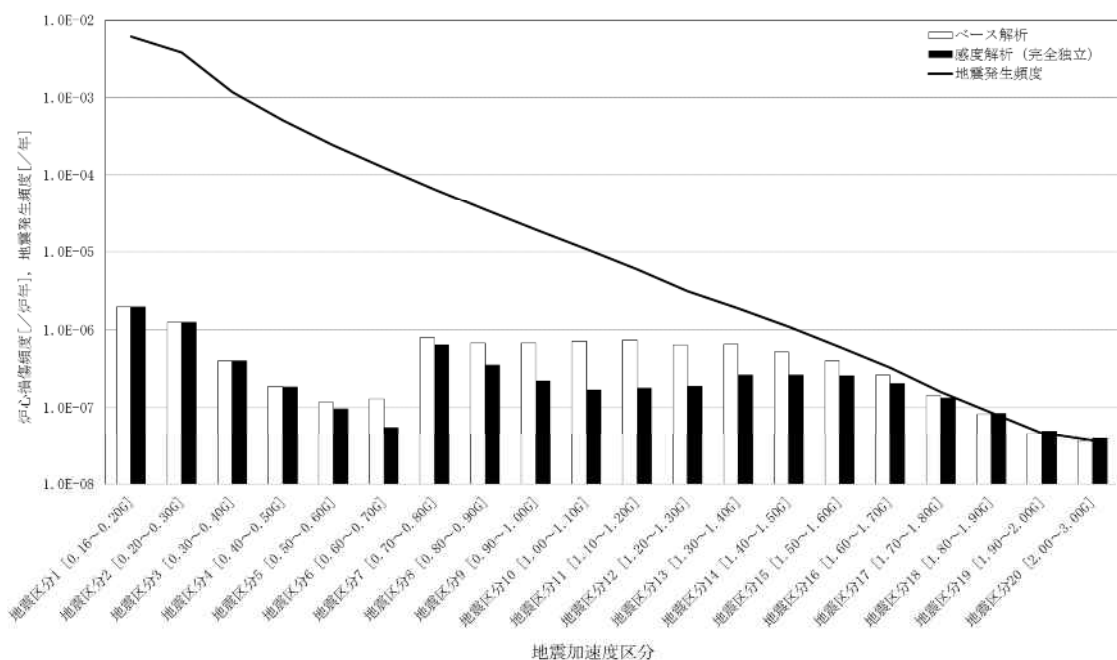
第 3.2.1.4－8 図 地震加速度区分別炉心損傷頻度



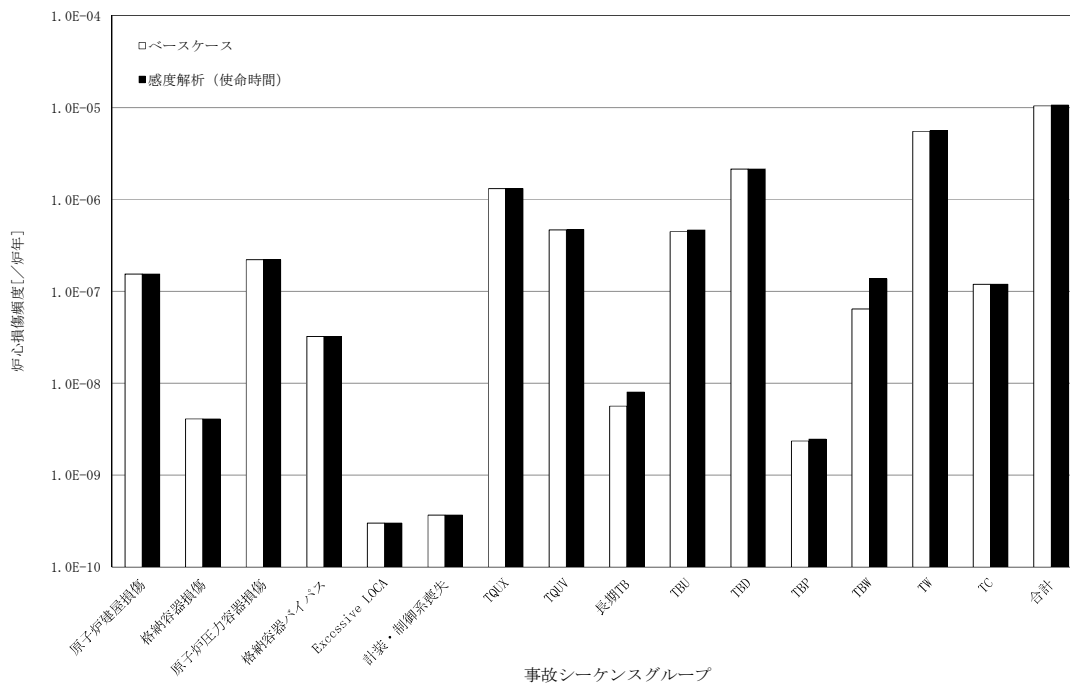
第 3.2.1.4－9 図 不確実さ評価結果



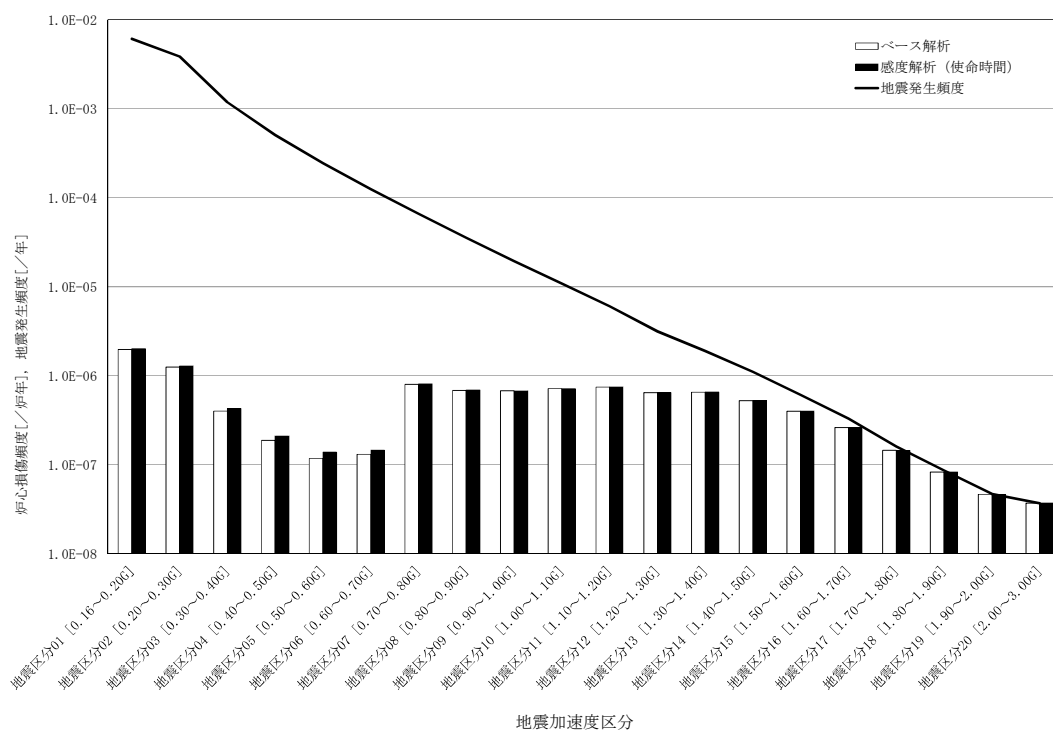
第 3.2.1.4－10 図 相関性を変更した場合の評価結果
(事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度)



第 3.2.1.4－11 図 相関性を変更した場合の評価結果
(地震加速度区分別炉心損傷頻度)



第 3.2.1.4－12 図 使命時間を 72 時間とした場合の評価結果
(事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度)



第 3.2.1.4－13 図 使命時間を 72 時間とした場合の評価結果
(地震加速度区分別炉心損傷頻度)

地震 P R A におけるプラントウォークダウンのチェック項目について

地震 P R A におけるプラントウォークダウンで確認すべきチェック項目の具体的内容について、以下に示す。これらの項目をチェックシートに整理し、プラントウォークダウンを実施した。

1. 耐震安全性の確認

(1) 対象機器本体に対するチェック項目

耐震バックチェック等における耐震計算では、各機器が図面どおりに設置されており、機器の各部位に耐力を低下させるような要因がないことが前提になっている。このため本項目では、各機器について図面との相違や、腐食・亀裂等の地震に対する耐力の低下につながる要因はないかについて点検し、耐震計算の前提に問題がないことを確認する。

- a. 対象機器の図面（外形図・耐震計算書等）と外見上相違点は無い
- b. 対象機器と支持構造物との接合部に外見上の異常（腐食・亀裂等）は無い
- c. 配管接合部と図面に外見上の相違点は無い
- d. 配管接合部に外見上の異常（腐食・亀裂等）は無い

(2) アンカーボルトに対するチェック項目

前項と同様に、耐震計算の前提となっているアンカーボルトの設置本数・配置状況や健全性について点検し、耐震計算に与える影響はないかを確認する。

- a. 図面（外形図・耐震計算書等）と外見上の相違は無い
- b. 外見上の異常（腐食・亀裂等）は無い

c. 締め付け強度は適切に管理されている

- ・ボルトの締め付け強度の管理に関しては、以下の点をチェックすることで確認する。

- ボルトに引かれている合いマークがずれていない
- ボルトに塗られているペンキに割れや剥がれがない
- スプリングワッシャーやダブルナットによるゆるみ止めがされている
- ボルトを緩ませるような振動が発生する機器ではない
- 定検等の点検において構造に係るトラブルが発生したことがない

d. アンカーボルト付近のコンクリート部に異常がない

2. 二次的影響に対するチェック項目

a. 周辺の耐震クラスが低い機器の倒壊により被害を受けない

- ・調査対象機器の周辺に、それが損傷することにより対象機器を破損させる耐震クラスの低い機器類（特に照明、電線管、小口径配管等及び仮設設備）がないかを確認する。なお、現場調査時に耐震クラス等が不明であった場合には、写真等で状況を記録した後に、系統図・配管ルート図等で確認する。

b. 被害を与えうる周辺の機器の耐震性は問題ない（対象設備への波及的機器があるか）

- ・損傷した場合に調査対象機器に衝突するなどして被害を与えうる機器について、その機器の支持構造物・定着部等を点検することで耐震性に問題がないかを確認する。

c. 無筋のブロック壁が近傍にない

- ・調査対象機器の周辺にブロックを積み上げただけのような，仮設の壁面がないかを確認する。

耐震 B，C クラスの評価対象設備の取扱いについて

1. 耐震 B，C クラスの評価対象設備の取扱い

耐震 B，C クラスの設備について，地震 P R A の評価上期待している設備は以下のとおりであり，評価におけるモデル化の方法を示す。

- ・ 外部電源系：耐震 C クラス

外部電源に関連する機器のフラジリティについては，送電網を含めたシステム全体として評価し，開閉所設備の碍子部で代表させていることから，地震 P R A のモデルに開閉所設備（碍子部）のフラジリティを入力している。

- ・ 燃料移送系：耐震 C クラス

使命時間内（24 時間）の非常用ディーゼル発電機への燃料移送機能に期待しているため，地震 P R A のモデルに軽油貯蔵タンクのフラジリティを入力している。

- ・ 復水移送系^{※1}：耐震 B クラス

高圧炉心スプレイ系及び原子炉隔離時冷却系（以下「高圧注水系」という。）の初期水源を復水貯蔵タンクとしており，水源切替に失敗すると，高圧注水系の機能損傷につながることから，水源切替の人的過誤についてモデル化を行い，フラジリティの入力が行っていない。高圧注水系の水源切替のモデル化の方法について，次項に示す。

※1 復水移送系とは，復水貯蔵タンク，高圧炉心スプレイ系及び原子炉隔離時冷却系への移送配管を含む設備系統をいう。

2. 高圧注水系の水源切替のモデル化方法

2.1 高圧注水系の水源の構成について

東海第二発電所の高圧注水系は、初期水源を復水貯蔵タンクとし、復水貯蔵タンクの水位が低下した場合又はサプレッション・チェンバの水位が上昇した場合に自動又は手動でサプレッション・チェンバに水源を切り替える設計としている。高圧炉心スプレイ系及び原子炉隔離時冷却系の系統概要図を図 1 及び図 2 に示す。

2.2 地震 P R Aにおける高圧注水系の水源のモデル化方法について

東海第二発電所の復水貯蔵タンクの耐震クラスが B クラスであることを考慮し、地震 P R Aにおいては、高圧注水系の水源は次のとおりモデル化している。

- 0.7G^{※2}未満の地震加速度区分においては、復水貯蔵タンクからの取水ラインが地震により損傷する可能性はあるものの、高圧注水系の吸込み圧力が確保できなくなるような配管破断は考えにくいため、運転員による水源切替操作に成功した場合は高圧注水系の機能が維持できると想定し、運転員によるサプレッション・チェンバへの水源切替操作失敗及び水源切替弁等の機械的故障（地震による損傷を含む）をモデル化している。
- 0.7G^{※2}を超過する地震加速度区分においては、復水貯蔵タンクからの取水ラインが地震により損傷し、高圧注水系の吸込み圧力が確保できなくなるような配管破断が発生する可能性があることから、保守的に運転員による水源切替操作に必ず失敗すると仮定し、高圧注

※2 「東海第二発電所発電用原子炉設置変更許可申請書（発電用原子炉施設の変更）」（平成 26 年 5 月 20 日申請）における基準地震動 S_s の最大加速度。

水系に期待しないモデルとしている。

上記のモデル化により、 $0.7G^{※2}$ を超過する地震加速度区分では高圧注水系に期待していないため、 $0.7G^{※2}$ 未満の地震加速度区分に比べて炉心損傷頻度が増加する。

3. 高圧注水系の水源切替操作のモデル化方法に関する感度解析

ベースケースでは、加速度区分 7 ($0.70G\sim0.80G$) 以降は高圧注水系の水源切替操作に必ず失敗するものとして評価しているが、この高圧注水系の水源切替操作のモデル化方法が全炉心損傷頻度に与える影響を確認するため、高圧注水系の水源切替操作に全加速度区分で成功とした場合の感度解析を実施した。その結果、全炉心損傷頻度は $9.2E-06$ /炉年であり、ベースケースの $1.0E-05$ /炉年から有意な変化はなかった。地震加速度区分別の炉心損傷頻度を図 3 に示す。

感度解析ケースでは、加速度区分 7 ($0.70G\sim0.80G$) から加速度区分 14 ($1.40G\sim1.50G$) の中加速度領域の炉心損傷頻度が低減するものの、全炉心損傷頻度に対して支配的な加速度区分はいずれのケースも加速度区分 1 ($0.16G\sim0.20G$) 及び加速度区分 2 ($0.20G\sim0.30G$) であるため、高圧注水系の水源切替操作のモデル化方法は全炉心損傷頻度に対して有意な影響を与えるものではない。

したがって、地震発生時の復水貯蔵タンクからの取水ラインの損傷の程度及び運転員による高圧注水系の水源切替操作には不確かさがあると考えられるものの、加速度区分 7 ($0.70G\sim0.80G$) 以上の地震動に対する高圧注水系の水源切替操作における仮定は、評価結果に有意な影響を与えない。

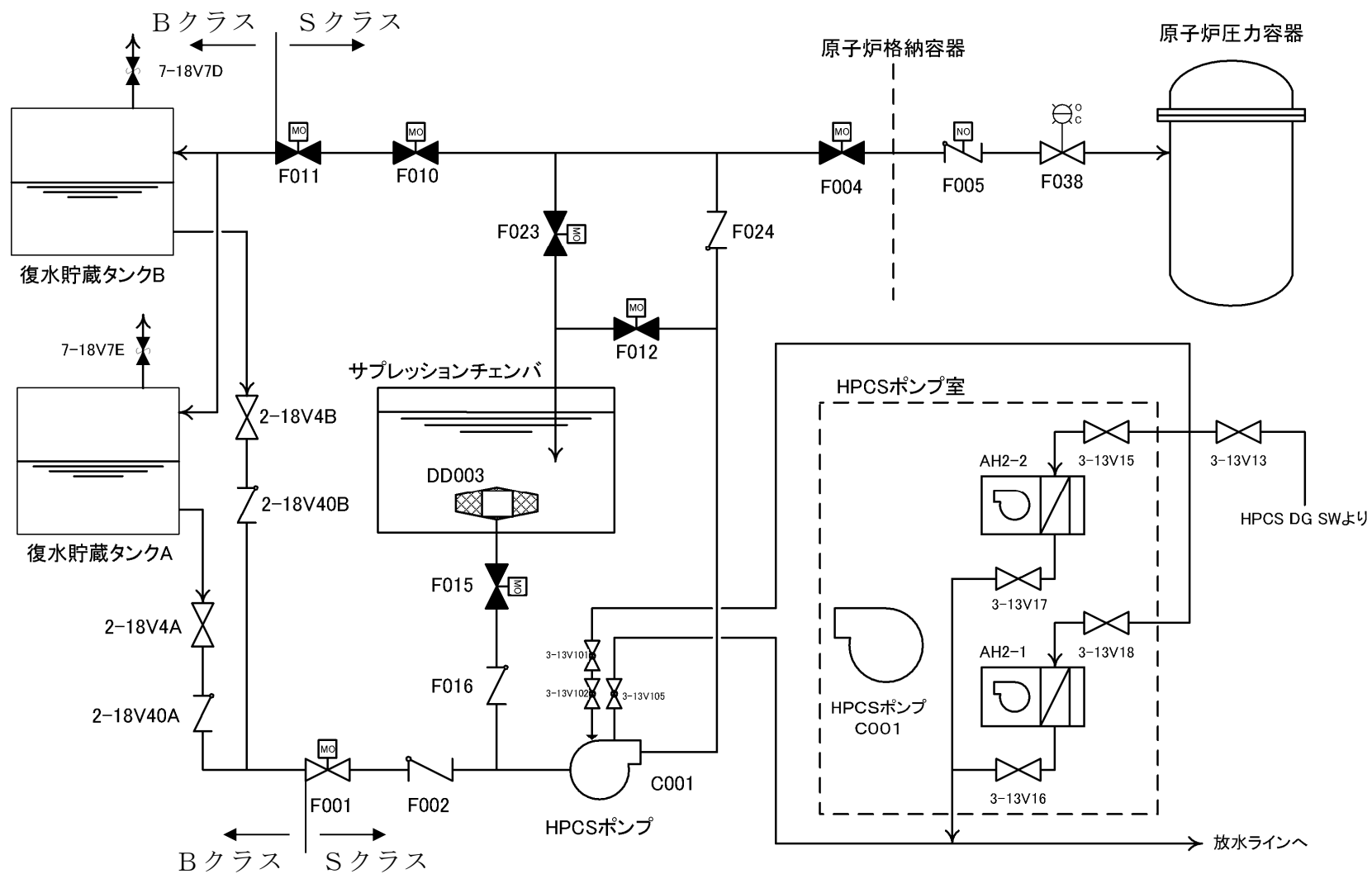


図 1 高圧炉心スプレイ系の系統概要図

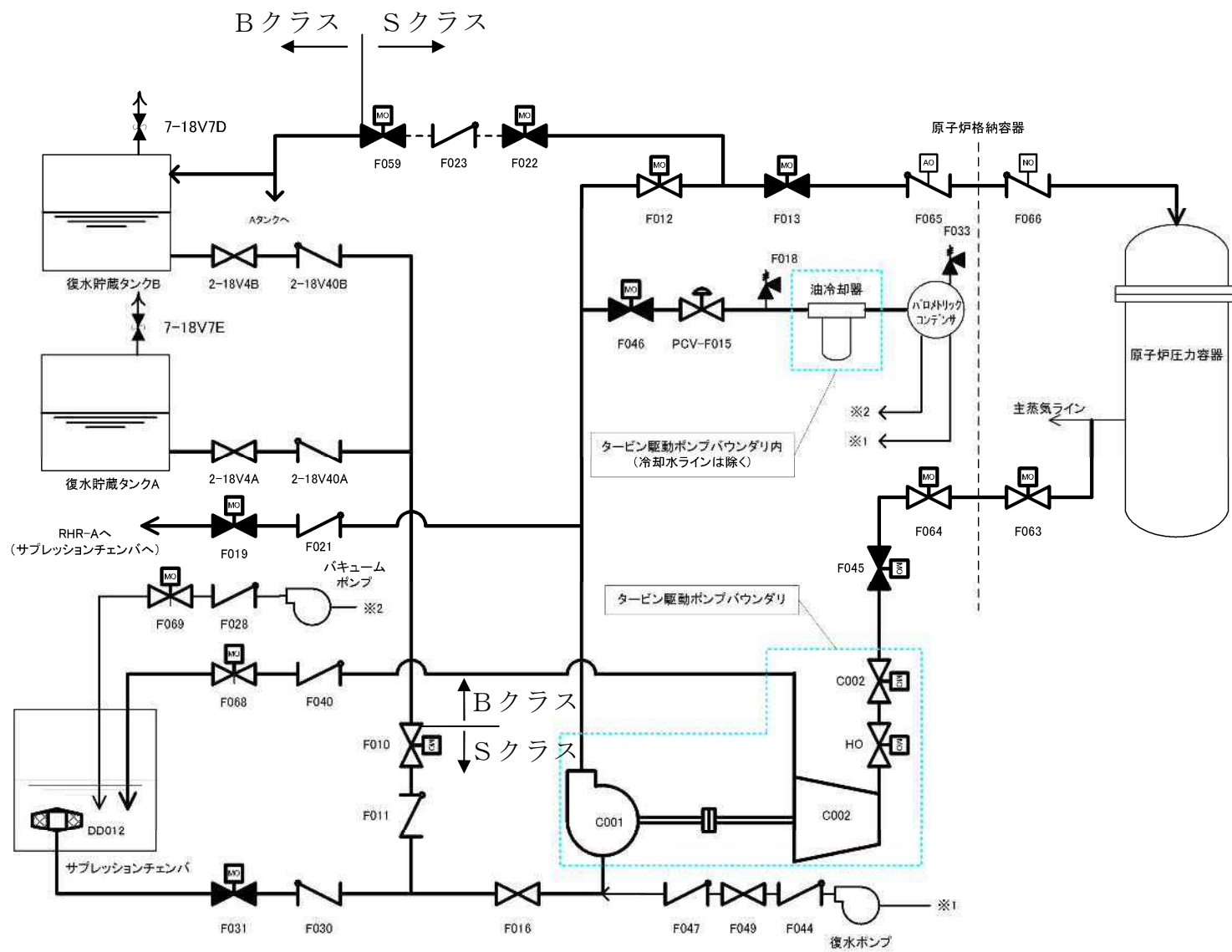


図 2 原子炉隔離時冷却系の系統概要図

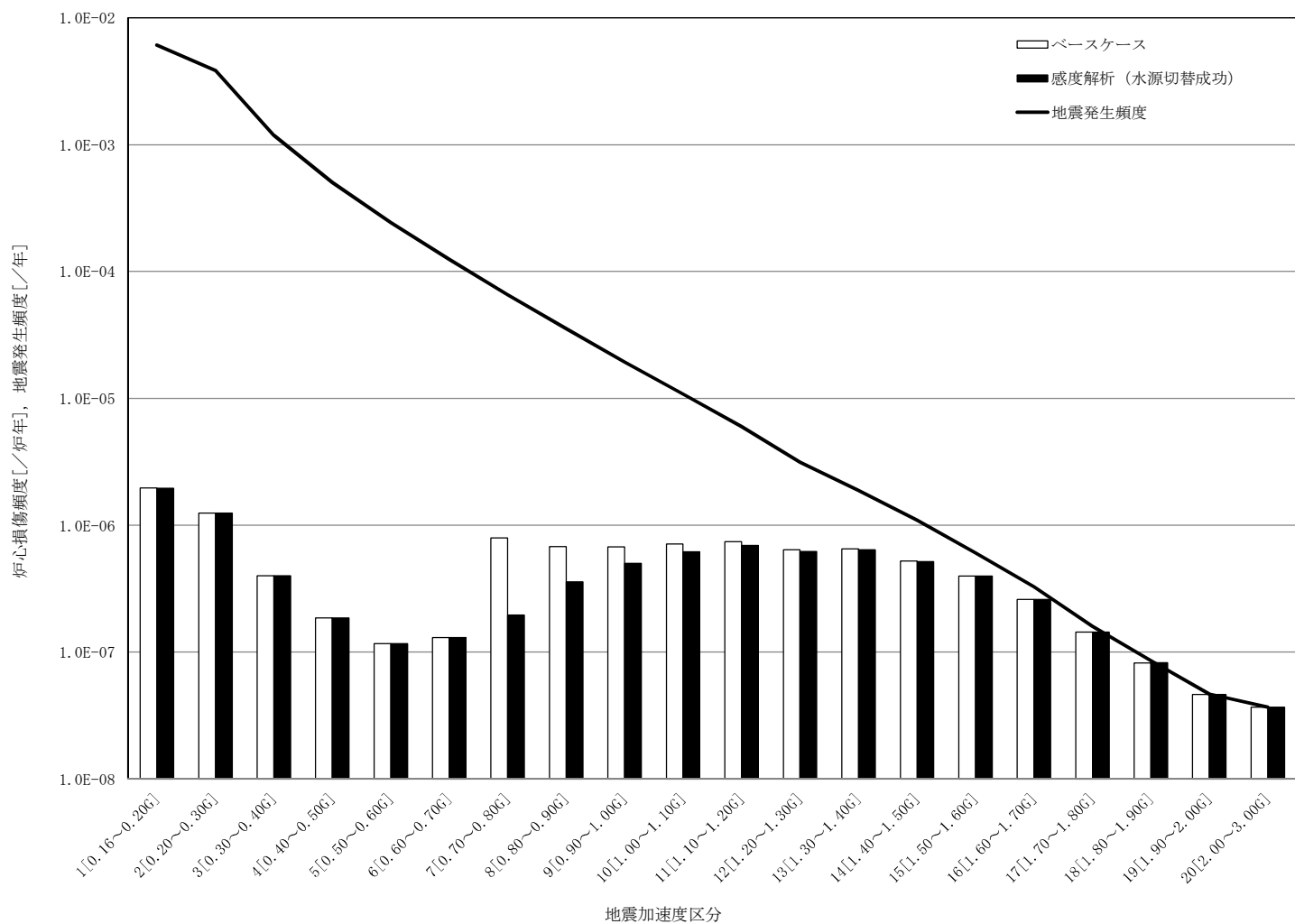


図3 地震加速度区分別炉心損傷頻度（高圧注水系の水源切替のモデル化方法に関する感度解析）

建屋・機器リストとフラジリティデータの外部電源喪失において、開閉所設備の碍子部を評価部位の代表箇所とする妥当性について

1. はじめに

東海第二発電所の地震PRAでは、送電網の鉄塔などの損傷に伴う外部電源喪失への影響を開閉所設備の碍子部の損傷で代表して評価する手法を取っている。この仮定の置き方が、シーケンス選定の目的に照らして、妥当であるとする理由について以下に記載する。

2. 開閉所設備の碍子部を評価部位の代表箇所とする妥当性

「第3.2.1.1-2表 地震による事故シナリオ及びスクリーニング結果」のうち、「送電網の鉄塔などの損傷に伴う外部電源喪失への影響」において、「外部電源に関連する機器のフラジリティについては、送電網を含めたシステム全体として評価し、開閉所設備の碍子部で代表させている」としている。

これは、東北地方太平洋沖地震における送電網の鉄塔の耐震性を示した報告書として、「原子力発電所及び再処理施設の外部電源の信頼性確保について」（平成23年5月16日、東京電力株式会社）があり、「4. 電源線鉄塔の耐震性」において、地震により倒壊した鉄塔はないが、支持碍子の折損が発生していることが示されており、送電網の碍子の耐力が小さいことが確認されているからである。（補足資料1）

なお、東海第二発電所の開閉所設備については、信頼性向上対策として気中絶縁開閉装置と比べて重心が低く耐震性の高いガス絶縁開閉装置に変更することとしている。これにより、開閉所設備の耐力は向上するものの、開閉所設備のフラジリティに送電網を含めたシステム全体としての影響を包含さ

せるため、フラジリティ評価において開閉所設備の耐力の向上は考慮しないこととした。

3. 外部電源喪失を仮定した場合の感度解析

東海第二発電所の地震P R Aにおいて、外部電源が必ず喪失すると仮定した場合の感度解析を実施し、全炉心損傷頻度への影響は限定的であることを確認した。(補足資料 2)

原子力発電所及び再処理施設の外部電源の信頼性確保について

平成 23 年 5 月 16 日

東京電力株式会社

4. 電源線鉄塔の耐震性（指示事項3）

4. 1 送電設備の耐震性について

「防災基本計画」（平成7年7月 中央防災会議決定）に基づき、「電気設備防災対策検討会」（資源エネルギー庁長官の私的検討会）の報告書（平成7年11月24日）において、下記の通り各電気設備の耐震性確保に関する基本的考え方が示されている。

(1) 一般的な地震動に際し、

個々の設備毎に機能に重大な支障が生じないこと。

(2) 高レベルの地震動に際しても、

著しい（長期的かつ広範囲）供給支障が生じないよう、代替性の確保、多重化等により総合的にシステムの機能が確保されること。

また、報告書では、兵庫県南部地震における地震動や被害の程度が設計で想定した範囲内かどうかの分析を行うとともに、被害実態を踏まえた実証的な検討を併せて行い、現行耐震基準の妥当性に関する検討が行われた。

この検討の結果、現行耐震基準は、各電気設備が確保すべき耐震性を規定するものとして妥当であると評価された。すなわち、各電気設備の現行耐震基準は、一般的な地震動に際して機能に重大な支障が生じない耐震性を確保するとともに、高レベルの地震動に際しても著しい（長期的かつ広範囲）供給支障が生じることのないよう、代替性の確保、多重化等により、総合的にシステムの機能を確保するものであることを確認し、現行耐震基準は妥当であると評価された。

そこで、上記評価に加えて、東北地方太平洋沖地震（以下、今回の地震という）における被害実態を踏まえ、原子力発電所に外部電源供給系統として直接接続している送電設備 7 線路（510 基）を対象に耐震性の評価を行った。

【耐震性評価対象送電設備】

| 電圧 | 線路名 | 基数 |
|-------|--------|-------|
| 500kV | 新新潟幹線 | 214 基 |
| 500kV | 南新潟幹線 | 201 基 |
| 275kV | 東海原子力線 | 44 基 |
| 275kV | 原研那珂線 | 4 基 |
| 154kV | 原子力線 | 8 基 |
| 154kV | 村松線 | 38 基 |
| 154kV | 村松北線 | 1 基 |

4. 2 送電鉄塔の耐震性について

(1) 今回の地震での被害実態と推定原因

【被害実態】

- ・原子力発電所の電源線およびそれ以外の送電線を含め、鉄塔倒壊は 1 基。
- ・送電鉄塔に設置されている支持がいしの折損が多数発生し、送電線によっては、絶縁距離不足による送電不能事象が発生。

【推定原因】

- ・鉄塔倒壊の原因は、隣接地の大規模な盛土が地震動により崩壊し、鉄塔敷地になだれ込み、その土圧により倒壊したものと現時点では推定。
- ・支持がいしの折損は、地震動によるものと推定。

(2) 耐震性の評価

【鉄 塔】

- ・今回の地震においても、当社および東北電力ともに、地震動が直接原因となり倒壊した鉄塔は無い。
- ・今回の地震を含め、過去の大規模地震（兵庫県南部地震、中越地震）で倒壊した鉄塔は 3 基であるが、その原因は、全て地震による鉄塔敷地周辺の影響による被害（以下、二次的被害という）であり、地震動による鉄塔倒壊は無い。
- ・従って、今回の地震においても、平成 7 年の報告書どおり、鉄塔は十分な耐震性を有していると評価できる。
- ・ただし、今回の地震では、隣接地の大規模盛土の崩壊による鉄塔倒壊が 1 基発生しているため、鉄塔敷地周辺の影響による基礎の安定性について検討する必要がある。

【支持がいし】

- ・地震動による折損が多数発生しているため、耐震性が確保されているとは言い難い。
- ・従って、より耐震性に優れたものに取り替えるなどの対応が必要である。
- ・今回、電気事故の原因は、長幹支持がいしを用いたジャンパー支持がいしの破損によることから、原子力電源線における類似設備の抽出を行った。
- ・対策方法としては、長幹支持がいしを懸垂がいしや有機がいしに変更する方法を検討する。

【評価対象線路と類似設備箇所数】

| 対策線路名 | 対策基数 | 対策期間 |
|--------------------------|------|--------------------------------|
| 500kV 新新潟幹線 (全 214 基) | 0 基 | 暫定対策：－ 本 対 策：－ |
| 500kV 南新潟幹線 (全 201 基) | 0 基 | 暫定対策：－ 本 対 策：－ |
| 275kV 東海原子力線 (全 44 基) | 16 基 | 暫定対策：－ 本 対 策：H23.5 ～ H23.12 |
| 275kV 原研那珂線 (全 4 基) | 0 基 | 暫定対策：－ 本 対 策：－ |
| 154kV 原子力線 (全 8 基) | 0 基 | 暫定対策：－ 本 対 策：－ |
| 154kV 村松線 (全 38 基) | 1 基 | 暫定対策：－ 本 対 策：H23.5 ～ H23.12 |
| 154kV 村松北線 (全 1 基) | 0 基 | 暫定対策：－ 本 対 策：－ |

【対策スケジュール】

| 項 目 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 耐震設計 | ■ | | | | | | | |
| 性能確認 試験 | | ■ | ■ | ■ | | | | |
| 製 造 | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| 改修工事 | | | | | | | | ■ |

外部電源喪失を前提とした場合の炉心損傷頻度について

1. はじめに

東海第二発電所の地震 P R A では、評価上、開閉所設備の碍子部のフラジリティを用いて外部電源喪失の発生の有無を評価しているが、実際には、地震により送電系統等が損傷した場合は、開閉所設備の碍子部が健全であっても外部電源が喪失する。そのため、地震により外部電源が必ず喪失すると仮定した場合の感度解析を実施し、炉心損傷頻度への影響を評価した。

2. 感度解析結果

地震により外部電源が必ず喪失すると仮定したため、感度解析ケースの全炉心損傷頻度は $1.3\text{E-}05$ /炉年となり、ベースケースの $1.0\text{E-}05$ /炉年に比べて増加したものの、有意な変化ではなかった。地震加速度区分別の炉心損傷頻度の比較を表 1 及び図 1 に、事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度の比較を表 2 及び図 2 示す。

炉心損傷頻度は加速度区分 1 ($0.16\text{G}\sim 0.20\text{G}$) から加速度区分 8 ($0.80\text{G}\sim 0.90\text{G}$) の低加速度領域のみで増加している。この理由は、ベースケースにおいて外部電源喪失の確率を与えている開閉所設備の碍子の耐力が小さく、外部電源が必ず喪失するとの仮定は、低加速度領域のみに影響を与えるためである。

なお、長期 T B 及び T B W の事故シーケンスグループの炉心損傷頻度が有意に増加しているが、これらの事故シーケンスグループは低加速度領域の炉心損傷頻度が支配的であることによるものである。

3. まとめ

東海第二発電所の地震P R Aにおいて，外部電源が必ず喪失すると仮定した場合の感度解析を実施した。

その結果，全炉心損傷頻度への影響は有意なものではないことを確認した。

表 1 地震加速度区分別の炉心損傷頻度の比較

| 加速度区分 | 感度解析ケース (外部電源なし) | | ベースケース | | 感度解析ケース／ベースケース |
|-----------------|---------------------|-------|-----------------|--------|----------------|
| | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 | |
| 1 (0.16～0.20G) | 3.2E-06 | 25.2% | 2.0E-06 | 18.8% | 1.65 |
| 2 (0.20～0.30G) | 2.0E-06 | 15.8% | 1.2E-06 | 12.0% | 1.64 |
| 3 (0.30～0.40G) | 6.3E-07 | 4.9% | 4.0E-07 | 3.8% | 1.57 |
| 4 (0.40～0.50G) | 2.7E-07 | 2.1% | 1.9E-07 | 1.8% | 1.46 |
| 5 (0.50～0.60G) | 1.5E-07 | 1.2% | 1.2E-07 | 1.1% | 1.29 |
| 6 (0.60～0.70G) | 1.4E-07 | 1.1% | 1.3E-07 | 1.2% | 1.10 |
| 7 (0.70～0.80G) | 8.0E-07 | 6.2% | 8.0E-07 | 7.6% | 1.01 |
| 8 (0.80～0.90G) | 6.8E-07 | 5.3% | 6.8E-07 | 6.5% | 1.00 |
| 9 (0.90～1.00G) | 6.8E-07 | 5.2% | 6.7E-07 | 6.5% | 1.00 |
| 10 (1.00～1.10G) | 7.1E-07 | 5.5% | 7.1E-07 | 6.8% | 1.00 |
| 11 (1.10～1.20G) | 7.4E-07 | 5.8% | 7.4E-07 | 7.1% | 1.00 |
| 12 (1.20～1.30G) | 6.4E-07 | 5.0% | 6.4E-07 | 6.2% | 1.00 |
| 13 (1.30～1.40G) | 6.5E-07 | 5.1% | 6.5E-07 | 6.2% | 1.00 |
| 14 (1.40～1.50G) | 5.2E-07 | 4.1% | 5.2E-07 | 5.0% | 1.00 |
| 15 (1.50～1.60G) | 4.0E-07 | 3.1% | 4.0E-07 | 3.8% | 1.00 |
| 16 (1.60～1.70G) | 2.6E-07 | 2.0% | 2.6E-07 | 2.5% | 1.00 |
| 17 (1.70～1.80G) | 1.4E-07 | 1.1% | 1.4E-07 | 1.4% | 1.00 |
| 18 (1.80～1.90G) | 8.2E-08 | 0.6% | 8.2E-08 | 0.8% | 1.00 |
| 19 (1.90～2.00G) | 4.6E-08 | 0.4% | 4.6E-08 | 0.4% | 1.00 |
| 20 (2.00～3.00G) | 3.7E-08 | 0.3% | 3.7E-08 | 0.4% | 1.00 |
| 合計 | 1.3E-05 | 100% | 1.0E-05 | 100.0% | 1.23 |

表 2 事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度評価結果の比較

| 事故シーケンスグループ | | 感度解析ケース (外部電源なし) | | ベースケース | | 感度解析ケース／ベースケース |
|--|---------|---------------------|-------|-----------------|--------|----------------|
| | | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 | |
| 高圧・低圧注水機能喪失 | T Q U V | 4.7E-07 | 3.6% | 4.6E-07 | 4.5% | 1.01 |
| 高圧注水・減圧機能喪失 | T Q U X | 1.3E-06 | 10.3% | 1.3E-06 | 12.5% | 1.01 |
| 全交流動力電源喪失 | 長期 T B | 1.8E-07 | 1.4% | 5.6E-09 | <0.1% | 31.1 |
| | T B U | 4.5E-07 | 3.5% | 4.4E-07 | 4.3% | 1.02 |
| | T B P | 3.3E-09 | <0.1% | 2.4E-09 | <0.1% | 1.40 |
| | T B D | 2.1E-06 | 16.6% | 2.1E-06 | 20.5% | 1.00 |
| 崩壊熱除去機能喪失 | T W | 5.8E-06 | 45.2% | 5.5E-06 | 52.5% | 1.06 |
| | T B W | 2.0E-06 | 15.3% | 6.4E-08 | 0.6% | 30.6 |
| 原子炉停止機能喪失 | T C | 1.2E-07 | 0.9% | 1.2E-07 | 1.1% | 0.99 |
| 原子炉建屋破損 | | 1.5E-07 | 1.2% | 1.5E-07 | 1.5% | 1.00 |
| 格納容器破損 | | 4.1E-09 | <0.1% | 4.1E-09 | <0.1% | 1.00 |
| 原子炉圧力容器破損 | | 2.2E-07 | 1.7% | 2.2E-07 | 2.1% | 1.00 |
| 格納容器バイパス | | 3.2E-08 | 0.3% | 3.2E-08 | 0.3% | 1.00 |
| 原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失 (E x c e s s i v e L O C A) | | 3.0E-10 | <0.1% | 3.0E-10 | <0.1% | 1.00 |
| 計装・制御喪失 | | 3.7E-10 | <0.1% | 3.7E-10 | <0.1% | 1.00 |
| 合計 | | 1.3E-05 | 100% | 1.0E-05 | 100.0% | 1.23 |

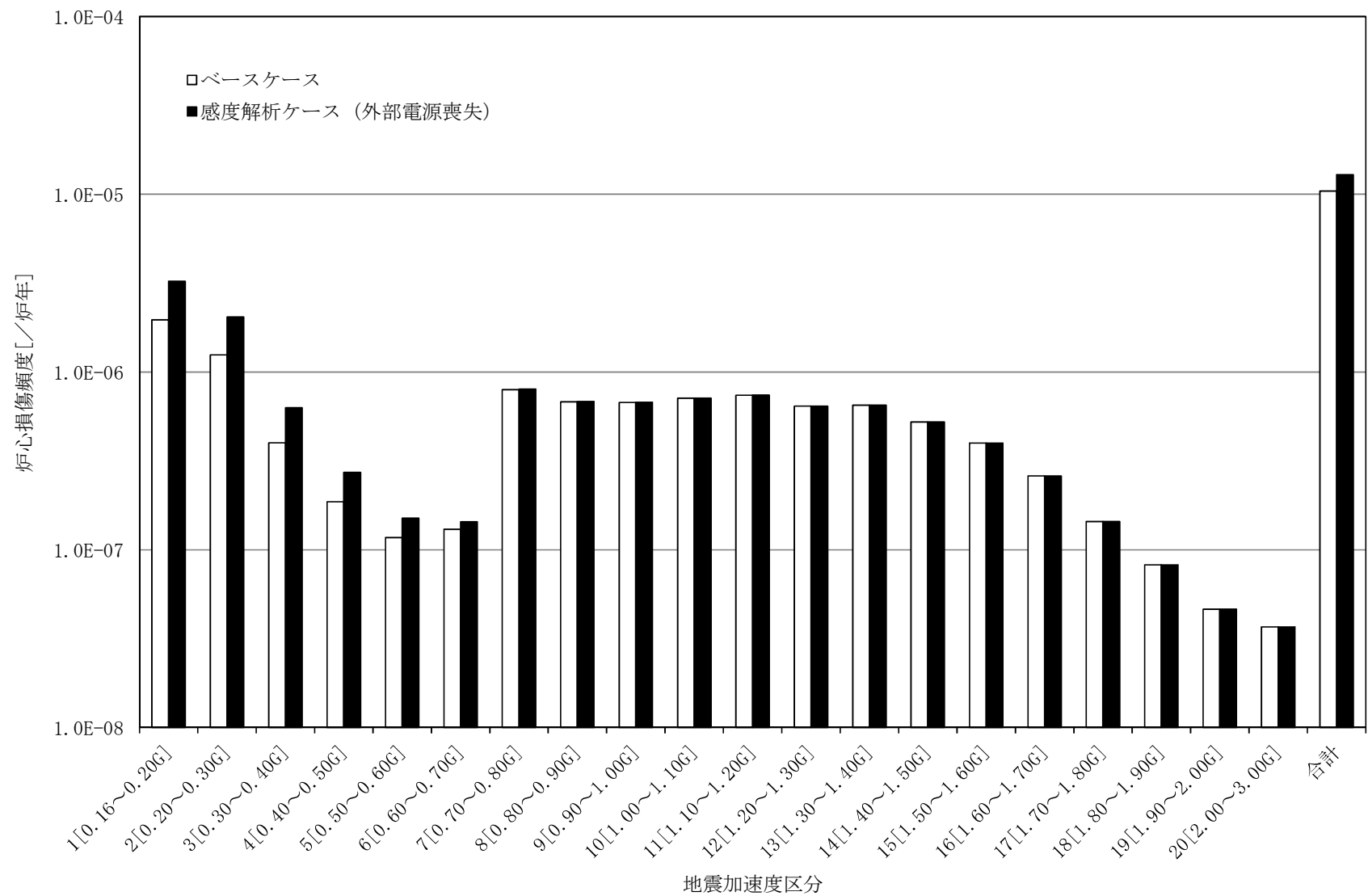


図1 地震加速度区分別の炉心損傷頻度評価結果の比較

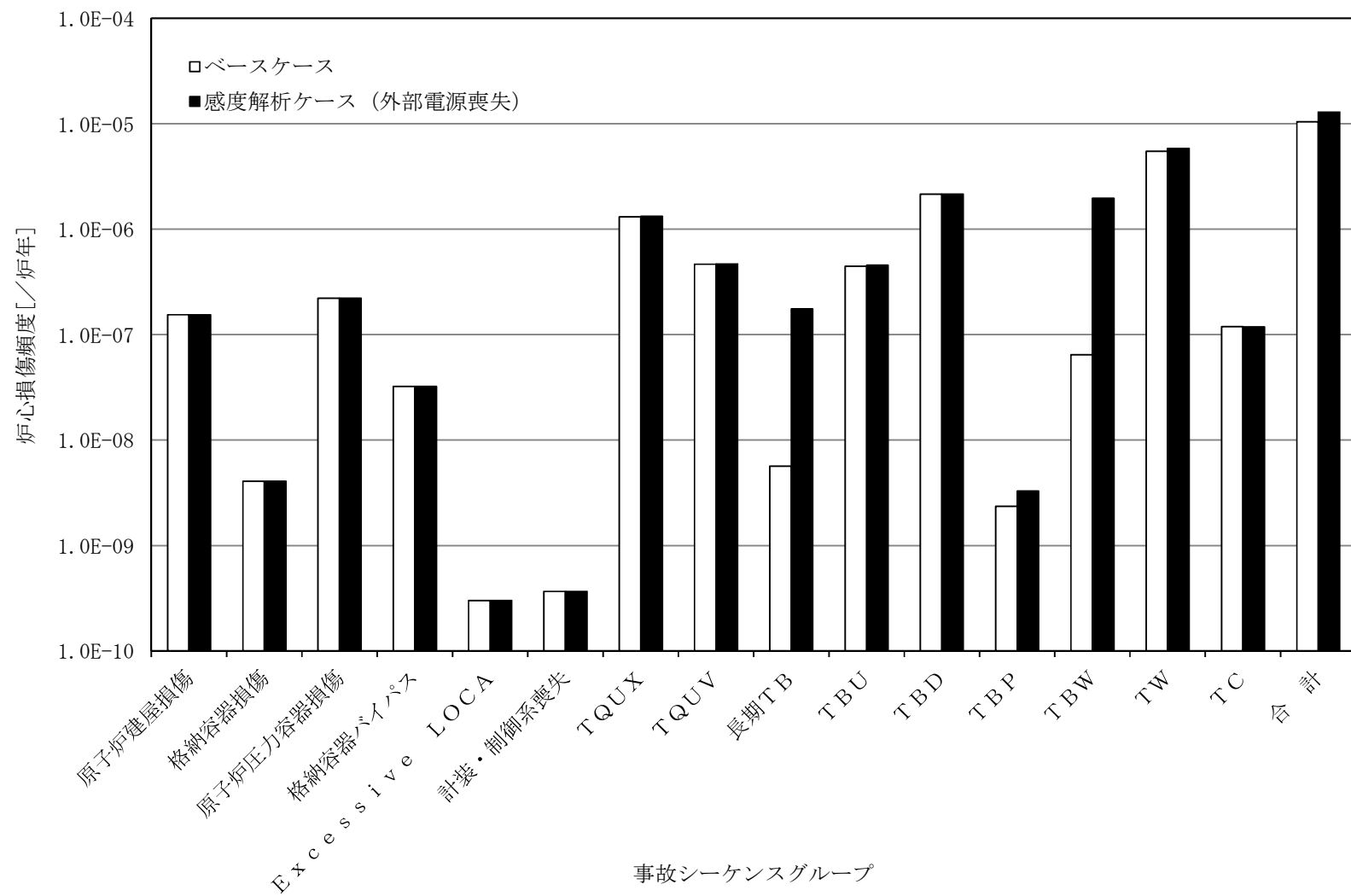


図2 事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度評価結果の比較

「余震による炉心損傷への影響」に関する整理について

1. 建屋

学会標準の【解説 10】において、原子炉建屋の主要耐震要素である R C 造耐震壁、R C C V 及び P C C V について、最大耐力あるいは耐力低下後の破壊に至るまでの静的試験、振動台等による動的試験がこれまで数多く実施されており、JEAG 4601 - 追補版にはそれらの復元力特性の評価法が纏められている。静的試験の結果から、荷重の繰り返しに対して、各振幅の最大荷重はほぼスケルトンカーブに一致し、繰り返しによる劣化は認められない。さらに、地震時の耐震壁等の挙動を確認するための動的試験又は仮動的試験で R C 造耐震壁の耐力に相当するせん断変形角 $4 \sim 5 \times 10^{-3}$ 程度までは、地震力の繰り返しに対して最大点を示す復元力特性が維持され、スケルトンカーブの低下が見られないことが確認されている。したがって、「本震あるいは余震による応答が、耐力以下であれば、本震と余震の地震動の大きさに係わらず、原子炉建屋は健全性を保つことができる。」との記載に従い、余震による建屋 fragility 評価は、本震による建屋 fragility 評価に含まれているものと考えられることができる。

具体的には【解説 10】の記載内容に基づき、本震による地震動と同等の余震による地震動を数回想定しても耐震壁の最大応答値及び現実的耐力評価にはほとんど影響を与えないこと、並びに、fragility 評価用地震動の設定に際しては、【解説 57】に基づき、以下に示すとおり継続時間が長くなるように配慮していることを踏まえて、余震による建屋 fragility 評価は本震による建屋 fragility 評価に含まれているものと判断している。

【解説 57】模擬地震波作成の経時特性を設定するための地震規模及び震源距離は、確率論的地震ハザード評価において支配的な震源に対応したものを

用いれば十分であると考えられる。支配的な震源の評価方法としては、対象サイト周辺震源の中で地震動が最も大きくなると予想されるものを用いるか、確率論的地震ハザード評価より求まる平均的な地震規模及び震源距離の組合せを用いる方法などがある。東海第二発電所の評価では、前者の方法により評価を行っており、この評価によると地震動が長くなり最大振幅が複数回存在していることとなるため、余震の影響をある程度加味した評価となっている。

R C造耐震壁の仮動的試験で、終局せん断ひずみを上回るせん断変形角 2×10^{-3} ~ 7×10^{-3} 程度までの 3 レベルの試験を実施。
各試験では、ほぼ同じ振幅レベルを 2~3 回程度繰り返した応答を示しているが、履歴特性及びスケルトンカーブの劣化は見られない。

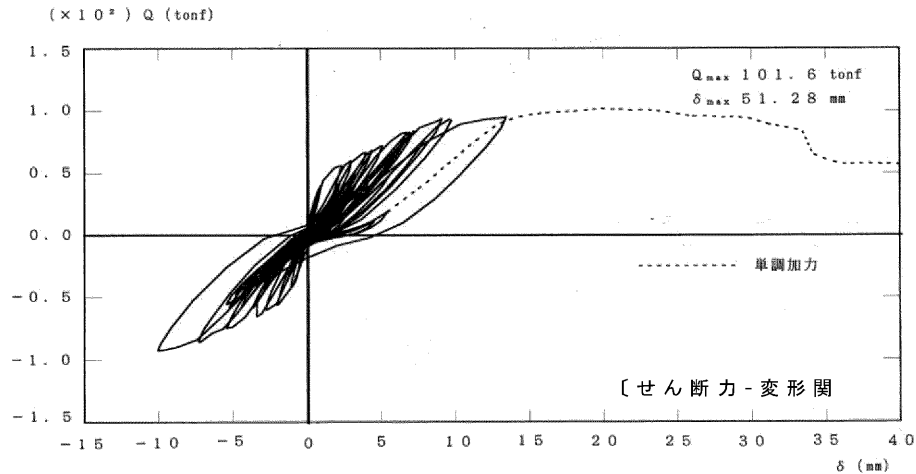


図1 I型耐震壁の仮動的試験例

RCCVについて S_2 の9倍の地震動レベルまで振動試験を実施。正側で S_2 の4倍（最大耐力時 $R=8\times 10^{-3}$ 程度），負側で3倍（最大耐力時 $R=5\times 10^{-3}$ 程度）まで履歴特性及びスケルトンカーブの劣化は見られない。

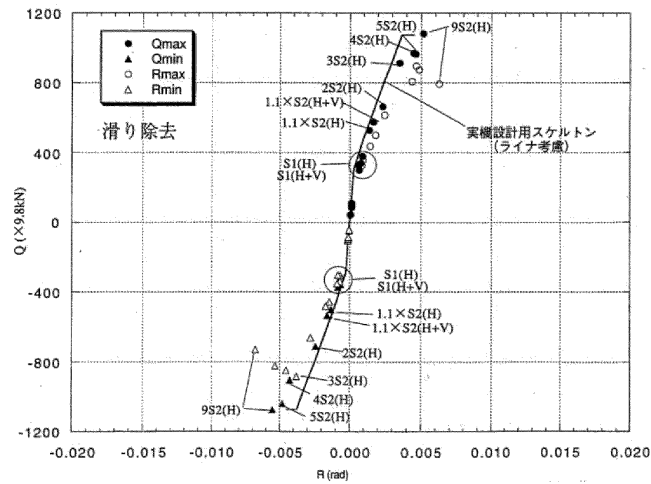


図2 RCCVの振動試験例

PCCVについて S_2 の5倍の地震動レベルまで振動試験を実施。 S_2 の4倍で最大耐力に達しているが，履歴特性及びスケルトンカーブの劣化は見られない。

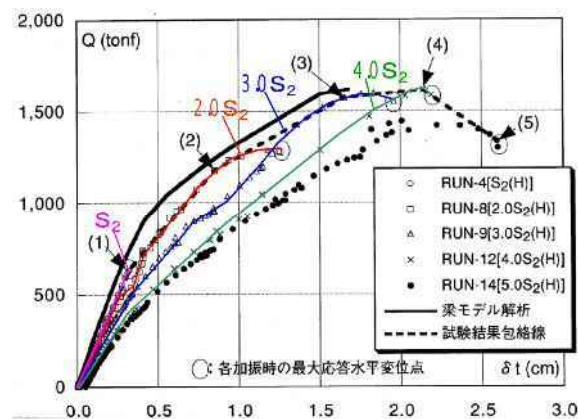


図3 PCCVの振動試験例

2. 機器・配管系

学会標準の【解説 10】において配管及び動的機器の余裕が記載されている。各サイトの機器・配管系の設計用繰り返し回数の余裕を評価し、設計想定レベル以上の地震が繰り返し生じていても問題ないとしている。

具体的には以下のとおりである。

(1) 静的機器に対する余震の影響

静的機器に対する余震の影響について配管系を例に説明する。

原子力発電技術機構では、現行の耐震設計法で設計された一般的な配管系の弾塑性応答挙動及び終局強度を把握し、許容応力に対する安全裕度を把握するための試験及び解析を実施している。安全裕度の確認では、特に設計許容応力を超えた弾塑性領域での配管の応答挙動で問題となるラチェット変形を伴う低サイクル疲労に着目して評価を実施しており、本震と余震による地震動を繰り返し受けた場合の配管系への影響を検討する上で有用な知見が得られている。

それらの結果によれば、現行耐震設計法によって設計された配管系は、設計用基準地震動 S_2 に対する許容応力 ($3S_m$) の 10 倍以上の応力強さにおいても塑性崩壊又は疲労による破損は生じないこと、低サイクル疲労強度は設計疲れ線図を上回る強度を有している等が確認されている。したがって、配管系は破損に対して非常に大きな安全裕度を保有しており、余震による地震動の影響は小さいものとする。

また、プラントの耐震設計で用いる地震の等価繰り返し回数は一律に保守的な回数を設定しており、実際の繰り返し回数に比べ多めになっている。

これらのことから、現状の静的機器の構造強度に対する耐震設計手法は、疲労損傷に対して十分な余裕を含んでおり、余震による地震動の影響は小さいといえる。

(2) 動的機器および電気品に対する余震の影響

動的機器の地震時機能については、加振試験等により動的機能に係る各部位が弾性範囲内であることで、その機能維持が確認される。また、電気品も同様であり、例えば加振時にリレーの誤動作やチャタリングが起きた場合でも、加振終了後は元の状態に復帰し、物理的な損傷はみられない場合が多い。フラジリティ評価上は、炉心損傷への影響をみた上で、これらを損傷とみなしている。

このことから、動的機器及び電気品は、機能維持が確認された範囲内であれば、各部位は弾性範囲内であり、余震による繰り返し荷重の影響は受けないものと考えている。

また、動的機能に関する加振試験結果から以下のことがいえる。

原子力安全基盤機構では、地震PRA上の重要度が高い横型ポンプ及び電気品の耐力を把握することを目的として、部分品及び実機に対して設計条件を大きく超える加速度を入力した加振実験を実施している。

実機試験では、試験横型ポンプの代表機種として原子炉補機冷却ポンプ（RCWポンプ）を対象に最大約 $6 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ の加速度による振動試験を行い、ポンプの運転状態、外観等に異常が見られないことを確認している。

また、電気品の実機試験では、原子炉補助盤、中央制御盤、計装ラック、論理回路制御盤等について最大約 $6 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ の振動試験を行い、電氣的に異常がないことが確認されている。

これらの振動試験では、1 試験体に対して加振レベルを上げながら繰り返し加振試験を実施して、最終的に機能維持が確認された最大加速度を地震PRAにおける現実的耐力値として採用している。したがって、これらの耐力評価結果において、余震による地震動の繰り返しの影響はないものと考えられる（あるいは繰り返しの影響を含めた耐力評価結果となってい



添付 3.2.1.1-4-6

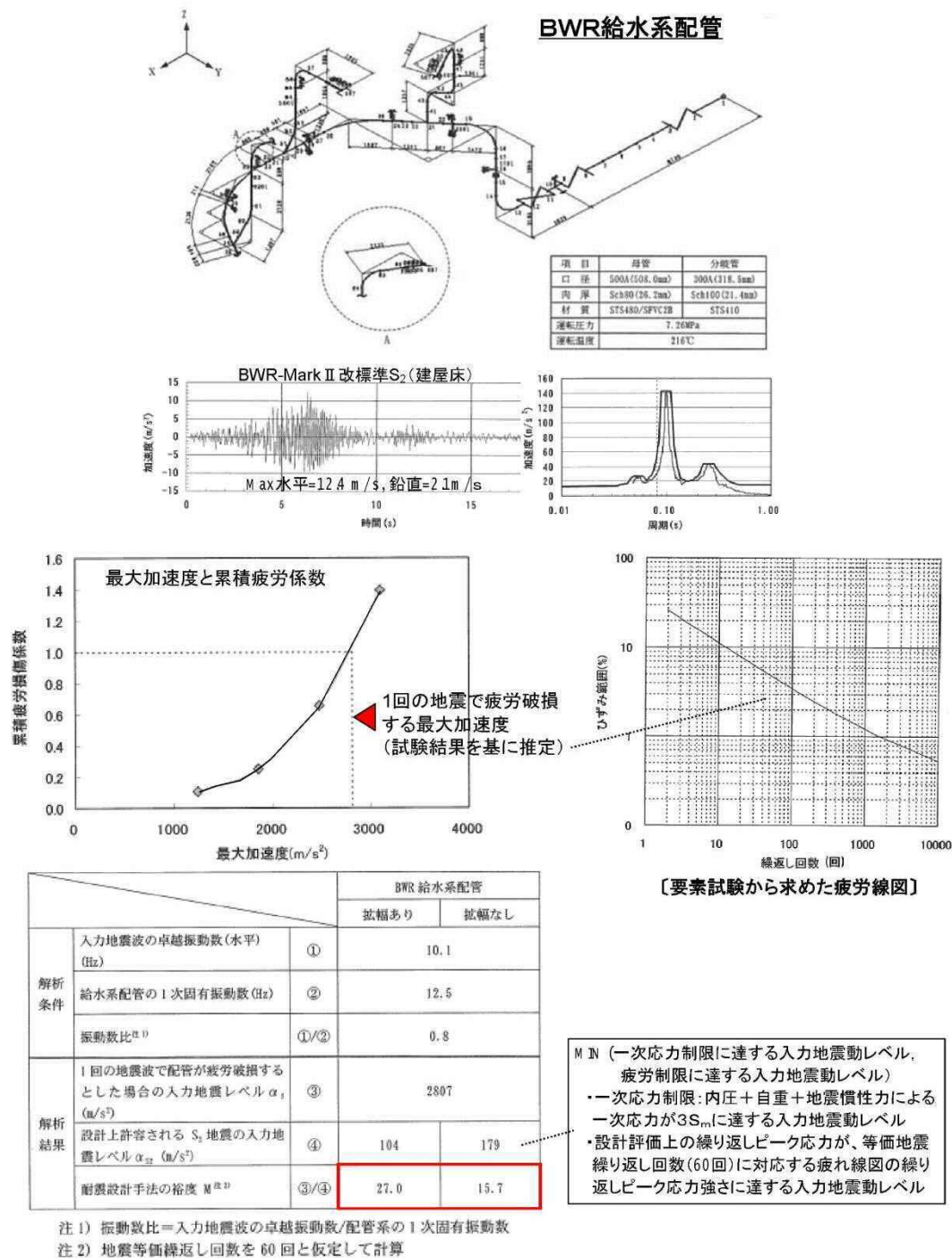


図 5 実機配管系の安全裕度の評価例 (BWR 給水系配管)

起因事象の抽出に対する網羅性について

1. 概要

起因事象の抽出に関しては地震 P S A 学会標準で挙げられている事象を考慮したほか、国内で発生した地震による発電所への影響事例の調査（原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2015 附属書 D（参考）国内の震害事例の抜粋），及び海外文献調査を実施し、抽出結果の網羅性を確認した。

2. 国内で発生した地震による発電所への影響事例調査

2.1 概要

国内で発生した地震による発電所への影響として、次に挙げる地震に対し、施設に影響した地震規模、安全上重要な設備への影響（AM設備への影響及び波及的影響を含む），外部電源への影響及び復旧操作へのアクセス性の観点で事例を抽出した。

- － 宮城県沖地震（2005 年 8 月）による女川原子力発電所に対する影響
- － 能登半島地震（2007 年 3 月）による志賀原子力発電所に対する影響
- － 新潟県中越沖地震（2007 年 7 月）による柏崎刈羽原子力発電所に対する影響
- － 駿河湾の地震（2009 年 8 月）による浜岡原子力発電所に対する影響
- － 東北地方太平洋沖地震（2011 年 3 月）による福島第一原子力発電所，福島第二原子力発電所，東通原子力発電所，女川原子力発電所，及び東海第二発電所に対する影響

上記の震害事例を調査した結果、一部の地震において、地震観測記録が発電所設計時に設定された基準地震動 S_2 若しくは耐震安全性評価で設定された基準地震動 S_3 を上回ることが確認されたが、安全上重要な設備に対する地震による直接的な異常は確認されなかった。また、波及的影響の可能性としては、点検及び仮置き中の重量物の移動又は遮へいブロック崩れによる安全上重要な設備への接触、低耐震クラス配管の損傷又は津波による溢水事象、並びに、電気盤火災による波及的影響が確認された。

地震随伴溢水及び火災については、今回の評価では評価技術の成熟度から随件事象の影響評価は困難であると判断し、評価対象外としている。

2.2 震害事例調査結果

2.2.1 宮城県沖地震（2005 年 8 月）による女川原子力発電所に対する影響

地震発生時に運転中であった 1 号機、2 号機及び 3 号機は、地震に伴い自動停止。発電所敷地内で観測した地震データを解析した結果、一部の周期で発電所設計時に設定された基準地震動 S_2 を上回ることが確認されたが、耐震安全性の評価によって健全性が確保されていることが確認されており、安全上重要な設備に対する影響はなかった。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 1 に示す。

2.2.2 能登半島地震（2007 年 3 月）による志賀原子力発電所に対する影響

敷地地盤や 1 号機、2 号機原子炉建屋において観測された地震記録を分析した結果、観測した地震動の応答スペクトルが基準地震動 S_2 を長周期側の一部の周期帯において超えている部分があったが、耐震安全性の評価によって健全性が確保されていることが確認されており、安全上重

要な設備に対する影響はなかった。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 2 に示す。

2.2.3 新潟県中越沖地震（2007 年 7 月）による柏崎刈羽原子力発電所に対する影響

地震発生時に運転中又は起動中であつた 2 号機，3 号機，4 号機及び 7 号機は，地震に伴い自動停止。（1 号機，5 号機及び 6 号機は定期検査のため停止中）発電所敷地内で観測した地震データを解析した結果，耐震設計上考慮すべき地震による地震動の周期帯のほぼ全域にわたって発電所設計時に設定された基準地震動 S_2 を上回ることが確認され，機器によっては構造強度や機能維持に影響を与えると考えられる異常が確認されているものの，重大な損傷をもたらしたものではなく，原子炉の安全性を阻害する可能性のない軽微な事象であつた。

安全上重要な設備への影響については，点検及び仮置き中であつた重量物の移動又は遮へいブロック崩れによる安全上重要な設備への接触事例や，地震に伴う消火系配管の損傷による一部 AM 設備の浸水事例が確認されたものの，地震による直接的な異常は確認されなかった。なお，3 号機の所内変圧器のダクトの基礎が不等沈下したことによって火災が発生した。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 3 に示す。

2.2.4 駿河湾の地震（2009 年 8 月）による浜岡原子力発電所に対する影響

地震発生時に運転中であつた 4 号機及び 5 号機は，地震に伴い自動停

止。（3号機は定期検査のため停止中。1号機及び2号機は廃止措置準備中。）発電所敷地内で観測した地震データを解析した結果、3号機及び4号機については、発電所設計時に設定された基準地震動 S_2 による床応答スペクトルを超えるものではなく、設備の健全性が確保されていることが確認されている。5号機については、観測された地震データによる床応答スペクトルが一部の周期帯において基準地震動 S_1 による床応答スペクトルを上回っていたが、主要な耐震設計上重要な機器及び配管の固有周期では下回っていたこと、また床応答スペクトルの一部が超えたことについては観測記録による地震応答解析結果によって全ての設備が弾性状態にあったことから、設備の健全性が確保されていることが確認されている。以上のことから、安全上重要な設備に対する影響はなかった。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 4 に示す。

2.2.5 東北地方太平洋沖地震（2011 年 3 月）による原子力発電所に対する影響

(1) 福島第一原子力発電所に対する影響

地震時、運転中であった1号機、2号機、3号機は、地震に伴い自動停止（4号機、5号機、6号機は定期検査中）。原子炉建屋及び原子炉建屋に設置されている安全上重要な設備（原子炉格納容器、残留熱除去系配管など）について、地震観測記録及び基準地震動 S_s それぞれによる応答解析を比較した結果、基準地震動による地震荷重より耐力の方が大きく、地震直後、各安全機能は保持されていたものと評価されている。

しかし、1～5号機については、地震後の津波によって、非常用ディー

ゼル発電設備，電源設備などが被水，機能喪失したことで全交流電源喪失に至り，１～３号機については最終的に炉心損傷に至った。５号機及び６号機については，原子炉に燃料が装荷されている状態で，１～３号機同様，津波による影響によって海水系が機能喪失に至ったものの，６号機の空冷式ディーゼル発電設備による電源確保（５号機については，６号機から電源融通実施）を行うとともに，仮設海水系ポンプによる冷却機能確保などの復旧措置によって冷温停止状態への移行及び維持が図られた。

また，全燃料が使用済燃料プールへ取り出されていた４号機をはじめとする，各号機の使用済燃料プール内燃料については，注水又は冷却によって使用済燃料プール水位を確保し，燃料損傷防止が図られた。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表５に示す。

(2) 福島第二原子力発電所に対する影響

地震時，１～４号機は運転中であつたが，地震に伴い全号機自動停止。原子炉建屋及び原子炉建屋に設置されている安全上重要な設備（原子炉格納容器，残留熱除去系配管など）について，地震観測記録及び基準地震動 S_s それぞれによる応答解析を比較した結果，基準地震動 S_s による地震荷重より耐力の方が大きく，地震後，各安全機能は保持されていたものと評価されている。

３号機を除く，１号機，２号機及び４号機については，地震後の津波によって，海水系設備が被水することでヒートシンク喪失に至ったものの，外部電源及び３号機非常用ディーゼル発電設備，電源車による電源確保，海水系ポンプのモータ取り替えなどの復旧措置によって，除熱機能を確保することで，各号機とも冷温停止状態への移行，維持が図られた。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 6 に示す。

(3) 東通原子力発電所に対する影響

地震時において 1 号機は定期検査のため停止中。発電所敷地内で観測された地震加速度は 17Gal であり，地震による設備への影響はなかった。また，地震後に外部電源が全て喪失したが，非常用ディーゼル発電機が自動起動し全交流電源喪失には至らなかった。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 7 に示す。

(4) 女川原子力発電所に対する影響

地震時に運転中又は起動中であった 1 号機，2 号機及び 3 号機は，地震に伴い自動停止。発電所敷地内で観測した地震データを解析した結果，観測された地震データによる床応答スペクトルが一部の周期帯において発電所設計用の基準地震動 S_s による床応答スペクトルを上回っていたが，地震観測結果に基づく原子炉建屋及び耐震安全上重要な主要設備の地震時における機能を概略評価（建屋については最大応答せん断ひずみ及び層せん断力，設備については影響構造強度評価及び動的機能維持評価）した結果，機能維持の評価基準を下回っていることが確認されている。今後は詳細なシミュレーション解析によって健全性を確認するとともに主要設備以外の耐震安全上重要な設備を含め設備の健全性を確認することとしている。

安全上重要な設備への影響については次のとおりである。1 号機において常用系の高圧電源盤火災によって地絡した同期検定器の出力回路ケーブルから非常用母線と予備変圧器の連絡しゃ断器投入コイルに電圧が印加さ

れ、非常用母線電圧が瞬時低下したため、同母線から受電していた残留熱除去系ポンプ 2 台の自動停止が確認された。2 号機において海水ポンプ室に流入した海水が地下トレンチを通じて原子炉建屋の一部に流入し、原子炉補機冷却水系の 1 系統及び高圧炉心スプレイ補機冷却水系の機能喪失が確認された。同冷却水系の喪失によって非常用ディーゼル発電機 1 系統及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の自動停止が確認された。さらに、常用系の高圧電源盤火災の影響により、非常用ディーゼル発電機が起動していない状態でしゃ断器投入が発生し、非常用ディーゼル発電機界磁回路損傷が確認されたものの、地震による直接的な異常は確認されなかった。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 8 に示す。

(5) 東海第二発電所に対する影響

地震時に運転中であった東海第二発電所は、地震に伴い自動停止。発電所敷地内で観測した地震データを解析した結果、観測された地震データによる原子炉建屋の最大応答加速度は、設計時に用いた最大応答加速度及び新耐震指針に基づく耐震安全性評価で設定した基準地震動 S_s の最大応答加速度以下であった。また、観測された地震データによる原子炉建屋の床応答スペクトルが一部の周期帯において発電所設計時に用いた床応答スペクトルを上回っていたが、主要な周期帯で観測地震記録が下回っていることが確認されている。安全上重要な設備への影響については、津波対策工事が完了していなかった一部の海水ポンプ室に海水が浸水し 3 台ある非常用ディーゼル発電機用海水ポンプのうち 1 台が停止したこと、並びに、125V 蓄電池 2 B 室のドレンファンネルからの逆流によって床面に 3cm の深さで溢水が確認されたものの、地震による直接的な異常は確認されなかった。

施設に影響した地震規模及び原子力発電所に対する影響について表 9 に示す。

表 1 2005 年 8 月に発生した宮城県沖地震による女川原子力発電所に対する影響

| 確認項目 | 確認結果 |
|---------------------------------------|---|
| ①施設に影響した地震規模 (地震観測記録と基準地震動の 関係) | <p>女川原子力発電所 1 号機, 2 号機, 3 号機は, 定格熱出力運転中のところ平成 17 年 8 月 16 日に発生した宮城県沖を震源とするマグニチュード 7.2 (震源深さ 72km, 震央距離 73km, 震源距離 84km) の地震の影響によって, 11 時 46 分に 1 号機, 2 号機, 3 号機は地震加速度大信号によって原子炉自動停止した。なお, 観測された保安確認用地震動は, 最大で 251.2Gal であった。</p> <p>1 号機, 2 号機, 3 号機の原子炉建屋で観測された地震動から求めた加速度応答スペクトル (周期ごとの加速度の最大値) は, 機器が設置されていない屋上を除き, 全ての周期において基準地震動 S_2 による応答スペクトルを下回っていることを確認した。また, 岩盤上で観測された地震データから上部地盤の影響を取り除いたデータを解析したところ, 一部周期において基準地震動 S_2 を超えている部分があることを確認した。この地震で, 一部の周期において基準地震動の応答スペクトルを超えることとなった要因分析及び評価を行った結果, 宮城県沖近海のプレート境界に発生する地震の地域的な特性によるものと考えられるとの結論が得られた。</p> |
| ②-1 安全上重要な設備への影響 (波及影響も含む) | <p>無し</p> <p>今回観測された地震データを用いて, 安全上重要な設備 (建屋及び機器) の耐震安全性の評価を実施し, 耐震安全性が確保されていることを確認した。</p> |
| ②-2 既存の AM 設備への影響 (波及影響も含む) | 無し |
| ③-1 外部電源への影響 | 無し |
| ③-2 D/G への影響 | 無し |
| ③-3 補機冷却系への影響 | 無し |
| ③-4 電源融通の可能性 | 可能 |
| ③-5 復旧操作へのアクセス性 | <p>重大な影響は無し。ただし, 構内道路アスファルト亀裂, 波うち及び段差が発生した。</p> |
| ④その他 (安全機能には影響しないもの, 留意しておく必要のある事項) | 無し |

表 2 2007 年 3 月に発生した能登半島地震による志賀原子力発電所に対する影響

| 確認項目 | 確認結果 |
|---------------------------------------|--|
| ①施設に影響した地震規模 (地震観測記録と基準地震動の 関係) | <p>【志賀 1 号機, 2 号機】</p> <p>敷地地盤や 1 号機, 2 号機原子炉建屋において観測された地震記録を分析した結果, 観測した地震動の応答スペクトルが基準地震動 S_2 を長周期側の一部の周期帯において超えている部分があったが, この周期帯に関して, 安全上重要な施設に影響がないことを確認した。</p> <p>また, 1 号機, 2 号機の原子炉建屋で観測された地震記録に基づいて原子炉建屋及び同建屋内の安全上重要な機器について検討した結果, 各施設とも弾性範囲内に収まっており, 施設の健全性が確保されていることを確認した。</p> <p>タービン建屋内及び海水熱交換器建屋内の安全上重要な機器及び配管, 並びに排気筒について, 敷地地盤で観測された地震記録に基づいて検討した結果, 各施設とも弾性範囲内に収まっており, 施設の健全性が確保されていることを確認した。</p> <p>さらに, 今回の地震において長周期側の一部の周期帯で基準地震動 S_2 を上回ったことから, 長周期側で今回の地震動を上回る地震動(検討に用いた地震動)を想定し, 長周期側の主要施設であるタービン建屋基礎版上の原子炉補機冷却水系配管及び排気筒の耐震安全性について確認した結果, 耐震安全余裕を有していることを確認した。</p> <p>以上, 安全上重要な施設や長周期側の主要施設に関する一連の耐震安全性確認結果から, 能登半島地震を踏まえても耐震安全性は確保されていることが確認できたと考えられる。</p> |
| ②-1 安全上重要な設備への影響 (波及影響も含む) | 【志賀 1, 2 号機】無し |
| ②-2 既存の AM 設備への影響 (波及影響も含む) | 【志賀 1, 2 号機】無し |
| ③-1 外部電源への影響 | <p>【志賀 1, 2 号機】</p> <p>供用中の 3 回線すべてが喪失し外部電源喪失となったが, 事象発生 of 6 分後に復旧した。</p> |
| ③-2 D/G への影響 | 【志賀 1, 2 号機】無し |
| ③-3 補機冷却系への影響 | 【志賀 1, 2 号機】無し |
| ③-4 電源融通の可能性 | 【志賀 1, 2 号機】可能 |
| ③-5 復旧操作へのアクセス性 | 【志賀 1, 2 号機】影響は無し |
| ④その他(安全機能には影響しないもの, 留意しておく必要のある事項) | <p>■水銀灯の落下</p> <p>1 号機タービン建屋運転階の水銀灯が 7 個, また 2 号機原子炉建屋運転階の水銀灯が 2 個落下した。</p> <p>また, 2 号機で落下した水銀灯の破片は, 約 97% を運転階床上から回収したが, 残りの破片については使用済燃料貯蔵プールなどへ落下した可能性があったため, これらの箇所での点検及び清掃を行った。</p> |

| 確認項目 | 確認結果 |
|--|---|
| ④その他（安全機能には影響しないもの，留意しておく必要のある事項）（つづき） | <p>■ 2号機低圧タービン組み立て中のタービンロータの位置ずれ</p> <p>組み立て中の低圧タービンロータを仮止めしていた治具が変形し，わずかな位置ずれが生じた。低圧タービンを開放し点検を実施したところ，動翼に微小な接触痕が複数確認された。</p> |
| | <p>■ 1号機使用済燃料貯蔵プールからの水飛散</p> <p>使用済燃料貯蔵プールの水約 45 リットル（放射エネルギー約 750 万ベクレル）が使用済燃料貯蔵プール周辺に飛散した。そのうち，養生シート外には約 8 リットル（放射エネルギー約 130 万ベクレル）の水が飛散した。飛散した水については速やかに拭き取った。外部への放射能の影響は無し。</p> |

表 3 2007 年 7 月に発生した中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所に対する影響

| 確認項目 | 確認結果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-------|----|--|----|----|----|----|----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| ①施設に影響した地震規模 （地震観測記録と基準地震動の 関係） | <p>【柏崎刈羽 1 ～ 7 号機】</p> <p>新潟県中越沖においてマグニチュード 6.8 の地震が発生、震央距離 16km、震源距離 23km に位置している柏崎刈羽においては、全号機（1 ～ 7 号機）にて基準地震動を超える加速度を確認、原子炉建屋基礎版上での最大加速度のものは、1 号機での 680Gal（設計時の最大加速度応答値 273Gal）であった。各号機で原子炉建屋基礎版上での最大加速度（観測値、設計時応答値）は下表の通り。</p> <table><tr><th colspan="2" rowspan="2">観測値</th><th colspan="2">南北</th><th colspan="2">東西</th><th colspan="2">上下</th></tr><tr><th>観測</th><th>設計</th><th>観測</th><th>設計</th><th>観測</th><th>設計※</th></tr><tr><td>1 号機</td><td>最下階</td><td>311</td><td>274</td><td>680</td><td>273</td><td>408</td><td>(235)</td></tr><tr><td>2 号機</td><td>最下階</td><td>304</td><td>167</td><td>606</td><td>167</td><td>282</td><td>(235)</td></tr><tr><td>3 号機</td><td>最下階</td><td>308</td><td>192</td><td>384</td><td>193</td><td>311</td><td>(235)</td></tr><tr><td>4 号機</td><td>最下階</td><td>310</td><td>193</td><td>492</td><td>194</td><td>337</td><td>(235)</td></tr><tr><td>5 号機</td><td>最下階</td><td>277</td><td>249</td><td>442</td><td>254</td><td>205</td><td>(235)</td></tr><tr><td>6 号機</td><td>最下階</td><td>271</td><td>263</td><td>322</td><td>263</td><td>488</td><td>(235)</td></tr><tr><td>7 号機</td><td>最下階</td><td>267</td><td>263</td><td>356</td><td>263</td><td>355</td><td>(235)</td></tr></table> <p>※上下方向については、（ ）内の値を静的設計で使用</p> <p>1 ～ 7 号機で観測された地震観測記録に基づき、設計時の解放基盤表面と原子炉建屋基礎版上の関係を参照し、解放基盤表面における地震動を推定したところ、基準地震動 S_2（450Gal）に対して 1 ～ 4 号機で約 2.3 ～ 3.8 倍、5 ～ 7 号機で 1.2 ～ 1.7 倍の結果であった。</p> <p>設備点検の結果、地震の影響による構造強度や機能維持に影響を与えと考えられる異常が確認されているが、機器の重大な損傷をもたらしたものではなく、原子炉の安全性を阻害する可能性のない軽微な事象であった。</p> <p>安全上重要な設備については、1 号機において異常が数例確認されているが、点検、仮置き中だったために転倒、損傷に至ったこと、地震に伴う消火系配管の建屋接続部の損傷に伴う浸水によって機能喪失に至ったことが原因であり、地震による直接的な異常は確認されていない。</p> | 観測値 | | 南北 | | 東西 | | 上下 | | 観測 | 設計 | 観測 | 設計 | 観測 | 設計※ | 1 号機 | 最下階 | 311 | 274 | 680 | 273 | 408 | (235) | 2 号機 | 最下階 | 304 | 167 | 606 | 167 | 282 | (235) | 3 号機 | 最下階 | 308 | 192 | 384 | 193 | 311 | (235) | 4 号機 | 最下階 | 310 | 193 | 492 | 194 | 337 | (235) | 5 号機 | 最下階 | 277 | 249 | 442 | 254 | 205 | (235) | 6 号機 | 最下階 | 271 | 263 | 322 | 263 | 488 | (235) | 7 号機 | 最下階 | 267 | 263 | 356 | 263 | 355 | (235) |
| 観測値 | | | | 南北 | | 東西 | | 上下 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 観測 | 設計 | 観測 | 設計 | 観測 | 設計※ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 号機 | 最下階 | 311 | 274 | 680 | 273 | 408 | (235) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 号機 | 最下階 | 304 | 167 | 606 | 167 | 282 | (235) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 号機 | 最下階 | 308 | 192 | 384 | 193 | 311 | (235) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 号機 | 最下階 | 310 | 193 | 492 | 194 | 337 | (235) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 号機 | 最下階 | 277 | 249 | 442 | 254 | 205 | (235) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 号機 | 最下階 | 271 | 263 | 322 | 263 | 488 | (235) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 号機 | 最下階 | 267 | 263 | 356 | 263 | 355 | (235) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ②－1 安全上重要な設備への影響（波及影響も含む） | 【柏崎刈羽 1 ～ 7 号機】 無し | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ②－2 既存の AM 設備への影響（波及影響も含む） | 【柏崎刈羽 1 ～ 7 号機】 無し | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ③－1 外部電源への影響 | 【柏崎刈羽 1 ～ 7 号機】 4 回線中、2 回線が機能喪失 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ③－2 D／G への影響 | 【柏崎刈羽 1 ～ 7 号機】 無し | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ③－3 補機冷却系への影響 | 【柏崎刈羽 1 ～ 7 号機】 無し | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ③－4 電源融通の可能性 | 【柏崎刈羽 1 ～ 7 号機】 無し | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ③－5 復旧操作へのアクセス性 | 土捨て場北側斜面の一部が崩落（復旧操作のためのアクセス性への影響は無し） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 確認項目 | 確認結果 |
|-----------------------------------|---|
| ④その他（安全機能には影響しないもの、留意しておく必要のある事項） | <p>■ 3号機</p> <p>原子炉建屋地下 2 階にある S L C 系注入ライン配管（格納容器外側貫通部）の近傍に置いてあった I S I 用 R P V 模擬ノズルが地震によって移動し、配管の板金保温材に衝突したと思われるへこみを確認。配管及びサポートには損傷は無かったものの、安全上重要な設備に影響が及ぶ可能性があったことを踏まえ、室内にて床に固定されていない重量物を固定及び固縛する対策を講じた。</p> <p>なお、所内変圧器のダクトの基礎が不等沈下したことによって火災が発生した。</p> |
| | <p>■ 1号機</p> <p>不等沈下によって消火配管が破断し、漏水及び消火系の機能喪失に至ったものと推定。</p> <p>地震による建屋周辺の地盤沈下などのため、消火系配管が破断（消火系の機能喪失）。</p> <p>さらに、原子炉複合建屋とモニタ建屋（屋外）間のトレンチの沈下によって生じた接続部の隙間及びトレンチ本体のひび割れ損傷部を通じ、消火系から漏れた水が原子炉複合建屋内に流入。</p> <p>その結果、機能要求は無かったものの主蒸気放射線モニタ検出器が浸水によって損傷するとともに、復水補給水ポンプ（AM設備）についても浸水による被害を受けた。</p> |

表 4 2009 年 8 月に発生した駿河湾の地震による浜岡原子力発電所に対する影響

| 確認項目 | 確認結果 |
|---------------------------------------|--|
| ①施設に影響した地震規模 (地震観測記録と基準地震動の 関係) | <p>【浜岡 3 号機, 4 号機】</p> <p>地震観測記録と基準地震動 S_1 による応答を比較した結果, 地震観測記録は基準地震動 S_1 による応答を十分下回っており, 地震時に耐震設計上重要な設備が弾性状態にあったことから, 設備の健全性が確保されていることを確認した。</p> <p>【浜岡 5 号機】</p> <p>耐震設計上重要な設備について, 地震観測記録と基準地震動 S_1 による応答を比較し, 原子炉建屋の一部の階において地震観測記録における最大加速度が基準地震動 S_1 による最大応答加速度をわずかに上回っている以外は, 地震観測記録における最大加速度が基準地震動 S_1 による最大応答加速度を下回っていることを確認した。</p> <p>原子炉建屋の地震観測記録の床応答スペクトルは, 一部の周期帯において基準地震動 S_1 の床応答スペクトルを上回っているが, 主な耐震設計上重要な機器及び配管系の固有周期では下回っており, 地震時に弾性状態にあったことから, これらの機器及び配管系の健全性が確保されていることを確認した。</p> <p>5 号機については, 主要な設備は弾性状態にあり, 健全性は確保されていることを確認していたが, 一部の観測記録で基準地震動 S_1 による応答加速度を超えたことから, 地震観測記録を入力とした地震応答解析を行い, 設備の健全性評価の結果は, 全ての設備が弾性状態にあったことから, 設備の健全性が確保されていることを確認した。</p> |
| ②-1 安全上重要な設備への影響 (波及影響も含む) | 【浜岡 3～5 号機】 無し |
| ②-2 既存の AM 設備への影響 (波及影響も含む) | 【浜岡 3～5 号機】 無し |
| ③-1 外部電源への影響 | <p>【浜岡 3～5 号機】</p> <p>3, 4 号機: 3 ルート 6 回線すべてが健全 5 号機: 2 ルート 4 回線すべてが健全</p> |
| ③-2 D/G への影響 | 【浜岡 3～5 号機】 無し |
| ③-3 補機冷却系への影響 | 【浜岡 3～5 号機】 無し |
| ③-4 電源融通の可能性 | 【浜岡 3～5 号機】 可能 |
| ③-5 復旧操作へのアクセス性 | <p>【浜岡 5 号機】</p> <p>タービン建屋の東側屋外エリアの地盤沈下 (15m×15m, 10cm 程度) を確認した。</p> |
| ④その他 (安全機能には影響しないもの, 留意しておく必要のある事項) | <p>■ 5 号機 “補助変圧器過電流トリップ” (常用系): 地震の振動でトリップ接点の接触による保護継電器の誤動作 (リレーチャター発生) ⇒ より強い耐震性を有する保護継電器への取替を検討した結果, 水平 3G, 上下 1G 程度の実力のある保護継電器に取替え。</p> |

| 確認項目 | 確認結果 |
|--|---|
| ④その他（安全機能には影響しないもの、留意しておく必要のある事項）（つづき） | ■ 5号機制御棒駆動機構モータ制御ユニットの故障警報点灯：5号機“補助変圧器過電流トリップ”（常用系）との従属性。 |
| | ■ 原子炉建屋管理区域区分の変更, 原子炉建屋5階(放射線管理区域内) 燃料交換エリア換気放射線モニタ指示の一時的な上昇：地震の揺れによって、燃料集合体表面の放射性物質を含んだ鉄錆びなどが、プール水に遊離し、プール表面からの放射線線量率が上昇したものと推定。 |
| | ■ 主タービンスラスト軸受摩耗トリップ警報点灯及びタービン開放点検：各種接触痕，変形，ネジ損傷などが見られた。 |

表 5 2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所に対する影響

| 確認項目 | 確認結果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|----|--|----|----|----|----|----|----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| ①施設に影響した地震規模 (地震観測記録と基準地震動の関係) | <p>【福島第一 1～6 号機】</p> <p>平成 23 年 3 月 11 日、東北地方太平洋沖地震が発生、福島第一原子力発電所 1～6 号機の原子炉建屋基礎版上において観測された最大加速度と基準地震動 S_s から求めた基礎版上の最大応答加速度を比較した結果、2 号機、3 号機、5 号機の東西方向の観測記録が、基準地震動 S_s による最大応答加速度を上回っていた。各号機で原子炉建屋基礎版上での最大加速度(観測値、設計時応答値)は下表の通り。</p> <table><tr><th rowspan="2">観測値</th><th colspan="2">南北</th><th colspan="2">東西</th><th colspan="2">上下</th></tr><tr><th>観測</th><th>設計</th><th>観測</th><th>設計</th><th>観測</th><th>設計</th></tr><tr><td>1 号機</td><td>460*</td><td>487</td><td>447</td><td>489</td><td>258</td><td>412</td></tr><tr><td>2 号機</td><td>348*</td><td>441</td><td>550</td><td>438</td><td>302</td><td>420</td></tr><tr><td>3 号機</td><td>322*</td><td>449</td><td>507</td><td>441</td><td>231</td><td>429</td></tr><tr><td>4 号機</td><td>281*</td><td>447</td><td>319</td><td>445</td><td>200</td><td>422</td></tr><tr><td>5 号機</td><td>311*</td><td>452</td><td>548</td><td>452</td><td>258</td><td>427</td></tr><tr><td>6 号機</td><td>288*</td><td>445</td><td>444</td><td>448</td><td>244</td><td>415</td></tr></table> <p>※記録開始から 130 秒～150 秒程度で記録は中断</p> <p>原子炉建屋及び原子炉建屋に設置される安全上重要な機能及び配管系(主蒸気系配管、原子炉格納容器、残留熱除去系配管、炉心支持構造物及び制御棒(挿入性)など)に加え、1 号機については非常用復水器系配管、原子炉再循環系配管などについて、地震観測記録を用いた応答解析と基準地震動を用いた応答解析で得られた地震荷重を比較した結果、ほとんどの機器及び配管系において基準地震動 S_s による地震荷重の方が大きく、それらについては地震直後に安全機能は保持可能な状態であったと評価されている。</p> <p>一部、地震観測記録を用いた応答解析による地震荷重の方が大きかった機器及び配管系についても、適切な応答値を評価するため実物の構造を考慮するなどの解析モデルの見直しを行った結果、基準地震動を用いた応答解析による地震荷重の方が大きく評価された。加えて、現場確認が可能な 5 号機については、目視によって、可能な範囲で損傷の有無など、現場状況の確認を実施し、主要な弁、ポンプなどの機器及びその周辺の配管などに有意な損傷などは認められなかったことから、地震時及び地震直後においても安全機能を保持可能な状態にあったものと評価されている。</p> | 観測値 | 南北 | | 東西 | | 上下 | | 観測 | 設計 | 観測 | 設計 | 観測 | 設計 | 1 号機 | 460* | 487 | 447 | 489 | 258 | 412 | 2 号機 | 348* | 441 | 550 | 438 | 302 | 420 | 3 号機 | 322* | 449 | 507 | 441 | 231 | 429 | 4 号機 | 281* | 447 | 319 | 445 | 200 | 422 | 5 号機 | 311* | 452 | 548 | 452 | 258 | 427 | 6 号機 | 288* | 445 | 444 | 448 | 244 | 415 |
| 観測値 | 南北 | | 東西 | | 上下 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 観測 | 設計 | 観測 | 設計 | 観測 | 設計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 号機 | 460* | 487 | 447 | 489 | 258 | 412 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 号機 | 348* | 441 | 550 | 438 | 302 | 420 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 号機 | 322* | 449 | 507 | 441 | 231 | 429 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 号機 | 281* | 447 | 319 | 445 | 200 | 422 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 号機 | 311* | 452 | 548 | 452 | 258 | 427 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 号機 | 288* | 445 | 444 | 448 | 244 | 415 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ②-1 安全上重要な設備への影響 (波及影響も含む) | 【福島第一 1～6 号機】 無し(推定) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ②-2 既存の AM 設備への影響 (波及影響も含む) | 【福島第一 1～6 号機】 不明(消火系配管に損傷が確認されているが、津波(漂流物含む)による影響と考えられる。) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 確認項目 | 確認結果 |
|---|--|
| ③－1 外部電源への影響 | 【福島第一 1～6 号機】 全 6 回線中，5 回線機能喪失 ※1 回線は，工事のため受電停止中 |
| ③－2 D／G への影響 | 【福島第一 1～6 号機】 影響は無し（津波によって喪失。ただし，一部空 冷式 D／G については，津波襲来後も機能維持） |
| ③－3 補機冷却系への影響 | 【福島第一 1～6 号機】 影響無し（津波によって喪失） |
| ③－4 電源融通の可能性 | 【福島第一 1～6 号機】 ・影響は無し（津波によって喪失）・ 5－6 号機間 については，仮設ケーブル敷設によって電源融通実施 |
| ③－5 復旧操作へのアクセス性 | ・道路に割れ，段差など有り。 ・防災道路ではないが斜面崩落による道路閉鎖箇所 有り。 |
| ④その他（安全機能には影響し ないもの，留意しておく必要の ある事項） | 【福島第一 1～6 号機】 詳細確認不可 |

表 6 2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震による福島第二原子力発電所に対する影響

| 確認項目 | 確認結果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|-----|------|-----|------|-----|----|--|----|----|----|----|----|----|------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|-----|------|-----|------|-----|
| ①施設に影響した地震規模 （地震観測記録と基準地震動の 関係） | <p>【福島第二 1 ～ 4 号機】</p> <p>平成 23 年 3 月 11 日，東北地方太平洋沖地震が発生，福島第二原子力発電所 1 ～ 4 号機の原子炉建屋基礎版上において観測された最大加速度と基準地震動 S_s から求めた原子炉建基礎版上の最大応答加速度は下表の通り。全号機，原子炉基礎版上（最地下階）で得られた最大加速度は，基準地震動 S_s に対する最大応答加速度を下回っていることが確認されている。</p> <table><tr><th rowspan="2">観測値</th><th colspan="2">南北</th><th colspan="2">東西</th><th colspan="2">上下</th></tr><tr><th>観測</th><th>設計</th><th>観測</th><th>設計</th><th>観測</th><th>設計</th></tr><tr><td>1 号機</td><td>254</td><td>434</td><td>230※</td><td>434</td><td>305※</td><td>512</td></tr><tr><td>2 号機</td><td>243</td><td>428</td><td>196※</td><td>429</td><td>232※</td><td>504</td></tr><tr><td>3 号機</td><td>277※</td><td>428</td><td>216※</td><td>430</td><td>208※</td><td>504</td></tr><tr><td>4 号機</td><td>210※</td><td>415</td><td>205※</td><td>415</td><td>288※</td><td>504</td></tr></table> <p>※記録開始から 130 秒～150 秒程度で記録は中断</p> <p>原子炉建屋及び原子炉建屋に設置される安全上重要な機能及び配管系（主蒸気系配管，原子炉格納容器，残留熱除去系配管，炉心支持構造物及び制御棒（挿入性）など）について地震観測記録を用いた応答解析と基準地震動 S_s を用いた応答解析で得られた地震荷重を比較した結果，一部の機器及び配管系を除き基準地震動 S_s による地震荷重の方が大きく，それらについては地震後に安全機能は保持可能な状態であったと評価されている。一部，地震観測記録を用いた応答解析による地震荷重の方が大きかった機器及び配管系についても，適切な応答値を評価するため実物の構造を考慮するなどの解析モデルの見直しを行った結果，基準地震動を用いた応答解析による地震荷重の方が大きいことが確認されており，地震後に安全機能は保持可能な状態であったと評価されている。</p> | 観測値 | 南北 | | 東西 | | 上下 | | 観測 | 設計 | 観測 | 設計 | 観測 | 設計 | 1 号機 | 254 | 434 | 230※ | 434 | 305※ | 512 | 2 号機 | 243 | 428 | 196※ | 429 | 232※ | 504 | 3 号機 | 277※ | 428 | 216※ | 430 | 208※ | 504 | 4 号機 | 210※ | 415 | 205※ | 415 | 288※ | 504 |
| 観測値 | 南北 | | 東西 | | 上下 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 観測 | 設計 | 観測 | 設計 | 観測 | 設計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 号機 | 254 | 434 | 230※ | 434 | 305※ | 512 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 号機 | 243 | 428 | 196※ | 429 | 232※ | 504 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 号機 | 277※ | 428 | 216※ | 430 | 208※ | 504 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 号機 | 210※ | 415 | 205※ | 415 | 288※ | 504 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ②－1 安全上重要な設備への影響（波及影響も含む） | 【福島第二 1 ～ 4 号機】無し | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ②－2 既存の AM 設備への影響（波及影響も含む） | 【福島第二 1 ～ 4 号機】 影響は無し（消火系配管に損傷が確認されているが，津波（漂流物含む）による影響と考えられる。） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ③－1 外部電源への影響 | 【福島第二 1 ～ 4 号機】 4 回線中，1 回線機能停止 ※1 回線は停止点検中。さらに 1 回線は，避雷器の損傷が確認されたため，被害拡大防止を目的として受電停止の上，復旧作業を実施。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ③－2 D／G への影響 | 【福島第二 1 ～ 4 号機】 影響は無し（3 号機を除き，津波によって機能喪失） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ③－3 補機冷却系への影響 | 【福島第二 1 ～ 4 号機】 影響は無し（3 号機を除き，津波によって機能喪失） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 確認項目 | 確認結果 |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| ③－４ 電源融通の可能性 | 【福島第二 1～4 号機】 影響は無し（津波によって喪失） |
| ③－５ 復旧操作へのアクセス性 | 道路に割れ，段差など生じるも影響無し。 |
| ④その他（安全機能には影響しないもの，留意しておく必要のある事項） | 【福島第二 1～4 号機】 特に影響は無し |

表 7 2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震による東通原子力発電所に対する影響

| 確認項目 | 確認結果 |
|------------------------------------|--|
| ①施設に影響した地震規模 (地震観測記録と基準地震動の関係) | 発電所において観測した地震加速度は 17Gal であり、設備への影響はなかった。 |
| ②-1 安全上重要な設備への影響 (波及影響も含む) | 無し |
| ②-2 既存の AM 設備への影響 (波及影響も含む) | 無し |
| ③-1 外部電源への影響 | むつ幹線 (2 回線) , 東北白糠線の停止に伴い、外部電源が喪失した。 同日 23 時 59 分に東北白糠線が復旧した。 |
| ③-2 D / G への影響 | 外部電源喪失に伴い、非常用ディーゼル発電機が自動起動した。 |
| ③-3 補機冷却系への影響 | 無し |
| ③-4 電源融通の可能性 | 可能 |
| ③-5 復旧操作へのアクセス性 | 無し |
| ④その他 (安全機能には影響しないもの、留意しておく必要のある事項) | ■ 8 台あるモニタリングポストのうち 4 台がバッテリー切れによって停止した。 |

表 8 2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震による女川原子力発電所に対する影響

| 確認項目 | | 確認結果 | | | | | |
|---------------------------------------|-----------|---|------|------|--------------|------|------|
| ①施設に影響した地震規模 （地震観測記録と基準地震動の 関係） | | 女川原子力発電所は、1号機及び3号機が定格熱出力一定運転中、また、2号機が原子炉起動中のところ、3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震によって全号機において原子炉が自動停止した。観測された地震加速度は567.5Gal（保安確認用地震計：1号機原子炉建屋地下2階）であり、全号機とも、原子炉保護系が設計どおり作動したことによって自動停止した。 最大応答加速度について基準地震動と観測記録の関係は次の通り。 | | | | | |
| 原子炉建屋の最大加速度値 | | | | | | | |
| 観測位置 | | 観測記録 | | | 基準地震動Ssに対する | | |
| | | 最大加速度値（ガル） | | | 最大応答加速度値（ガル） | | |
| | | NS方向 | EW方向 | UD方向 | NS方向 | EW方向 | UD方向 |
| 1号機 | 屋上 | 2000 ^{※1} | 1636 | 1389 | 2202 | 2200 | 1388 |
| | 燃料取扱床（5階） | 1303 | 998 | 1183 | 1281 | 1443 | 1061 |
| | 1階 | 573 | 574 | 510 | 660 | 717 | 527 |
| | 基礎版上 | 540 | 587 | 439 | 532 | 529 | 451 |
| 2号機 | 屋上 | 1755 | 1617 | 1093 | 3023 | 2634 | 1091 |
| | 燃料取扱床（3階） | 1270 | 830 | 743 | 1220 | 1110 | 968 |
| | 1階 | 605 | 569 | 330 | 724 | 658 | 768 |
| | 基礎版上 | 607 | 461 | 389 | 594 | 572 | 490 |
| 3号機 | 屋上 | 1868 | 1578 | 1004 | 2258 | 2342 | 1064 |
| | 燃料取扱床（3階） | 956 | 917 | 888 | 1201 | 1200 | 938 |
| | 1階 | 657 | 692 | 547 | 792 | 872 | 777 |
| | 基礎版上 | 573 | 458 | 321 | 512 | 497 | 476 |
| ※1 当該地震計の最大設定値（2000ガル）を上回っているため参考値 | | | | | | | |
| ※2 網掛けは基準地震動Ssに対する最大応答加速度値を超えていることを示す | | | | | | | |
| ②－1 安全上重要な設備への影響 （波及影響も含む） | | 【女川1号】 ●タービン建屋地下1階高圧電源盤火災 タービン建屋地下1階において高圧電源盤6-1Aからの発煙が発生した。また、高圧電源盤6-1Aの火災の影響によって、S／P水冷却のために手動起動したRHRポンプ（A）及び（C）号機が自動停止した。 | | | | | |
| ②－2 既存のAM設備への影響 （波及影響も含む） | | 無し | | | | | |

| 確認項目 | 確認結果 |
|-----------------|--|
| ③－１ 外部電源への影響 | <p>５回線中４回線が機能喪失</p> <p>女川原子力発電所には、外部電源として５回線（牡鹿幹線１，２号線（２７５ｋＶ系），松島幹線１，２号線（２７５ｋＶ系），塚浜支線（６６ｋＶ系））が接続されている。地震直後は、当社管内の送電線事故に伴う系統保護回路の動作によって、松島幹線２号１回線のみとなったが、３月１２日２０時１２分に牡鹿幹線１号、同日２０時１５分に牡鹿幹線２号、３月１７日１０時４７分に松島幹線１号、３月２６日１５時４１分に塚浜支線がそれぞれ復旧している。</p> <p>【牡鹿１，２号線避雷器の損傷】</p> <p>地震の揺れによると思われる影響によって、避雷器内部に部分放電が発生した。（地震に伴う牡鹿幹線１，２号線停止の原因は、避雷器の損傷によるものと考えられる。）</p> |
| ③－２Ｄ／Ｇへの影響 | <p>【女川１号】</p> <p>●非常用ＤＧ（Ａ）界磁回路の損傷</p> <p>ＤＧ（Ａ）の同期検定器が動作せず、しゃ断器を手動で投入することができなかった。また、ＤＧ（Ａ）が起動していない状態でＤＧ（Ａ）のしゃ断器が自動投入される事象が発生した。</p> <p>⇒メタクラ６－１Ａで発生した火災の影響によって制御ケーブルに溶損などが生じ、地絡が発生した。</p> <p>【女川２号】</p> <p>●浸水によるＤＧ（Ｂ）及びＤＧ（Ｈ）の停止</p> <p>海水ポンプ室の取水路側から流入した海水が地下トレンチを通じて原子炉建屋内の一部に浸水し、ＲＣＷ（Ｂ）系及びＨＰＣＷの２系統が機能喪失したことによって、ＤＧ（Ｂ）、並びにＤＧ（Ｈ）が自動停止となった。（ＤＧ（Ａ）は健全）</p> |
| ③－３ 補機冷却系への影響 | <p>【女川２号】</p> <p>●浸水によるＤＧ（Ｂ）及びＤＧ（Ｈ）の停止</p> <p>海水ポンプ室の取水路側から流入した海水が地下トレンチを通じて原子炉建屋内の一部に浸水し、ＲＣＷ（Ｂ）系及びＨＰＣＷの２系統が機能喪失した。</p> |
| ③－４ 電源融通の可能性 | <p>女川１号にて、地震又は火災の影響によって一部しゃ断器に不具合が生じた。</p> |
| ③－５ 復旧操作へのアクセス性 | 無し |

| 確認項目 | 確認結果 |
|-----------------------------------|--|
| ④その他（安全機能には影響しないもの、留意しておく必要のある事項） | <p>【女川 1 号】</p> <p>●高圧電源盤しゃ断器の投入不可 主に定検時に使用する高圧電源盤（1 号機所内電源を 2 号機から受電する際に使用）において、電源盤内に設置しているしゃ断器が地震の振動によって傾き、投入スイッチを入切するためのインターロックローラーが正常位置から外れた。</p> <p>●母連しゃ断器制御電源喪失 火災が発生した高圧電源盤の制御電源回路の溶損による地絡や短絡の影響によって、制御電源回路が接続されているしゃ断器用制御電源回路の電圧が変動し、“制御電源喪失”警報が発生した。</p> <p>●125V 直流主母線盤の地絡（計 2 件） 高圧電源盤の火災によって、配線に地絡が発生し、地絡警報が発生した。</p> <p>【女川 2 号】 特に無し</p> <p>【女川 3 号】</p> <p>●使用済燃料プールゲート押さえ脱落 使用済燃料プールと原子炉ウエル間の通路部に設置している使用済燃料プールゲート（No. 1 及び No. 2）を固定しているゲート押さえ金具計 4 個のうち 3 個のスイングボルトが外れていた。</p> <p>●H P C S 圧力抑制室吸込弁自動での全開動作不能 4 月 7 日の余震の揺れによる影響と推定される圧力抑制室の水位変動時に、本来全開するはずの H P C S 圧力抑制室吸込弁が、地震による弁の開閉指示を行うスイッチなどの誤動作（推定）によって、全開にならなかった。（手動での全開は可能）</p> <p>【各号機共通】</p> <p>●制御棒駆動系ハウジング支持金具サポートバーのずれ 制御棒駆動機構ハウジングのハウジング支持金具（グリッド）が、1 号機で 1 カ所、2 号機で 2 カ所、3 号機で 1 カ所ずれていることを確認した。これによる制御棒駆動機構ハウジングの落下防止機能への影響はなかった。</p> |

表 9 2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震による東海第二発電所に対する影響

| 確認項目 | 確認結果 |
|-----------------------------------|--|
| ①施設に影響した地震規模 (地震観測記録と基準地震動の関係) | 観測記録に基づく各階の最大応答加速度は、建設時の当初設計時に用いた最大応答加速度及び新耐震設計審査指針に基づく耐震安全性評価で設定した基準地震動 S_s の最大応答加速度以下であることを確認した。 原子炉建屋の地震観測記録による床応答スペクトルは、一部の周期帯(約 0.65 秒から約 0.90 秒)で建設時の設計に用いた床応答スペクトルを上回っているが、耐震設計上重要な機器及び配管系のうち主要な設備の固有周期では、地震観測記録が工認設計波による床応答スペクトル以下であることを確認した。 |
| ②-1 安全上重要な設備への影響(波及影響も含む) | 地震による影響は無し |
| ②-2 既存の AM 設備への影響(波及影響も含む) | 地震による影響は無し |
| ③-1 外部電源への影響 | 3 回線中 3 回線が機能喪失 (13 日 12:32 154kV 系東海原子力線復旧) |
| ③-2 D/G への影響 | 地震による影響は無し(津波によって DGSW-2C が水没したため、DG-2C は手動停止) |
| ③-3 補機冷却系への影響 | 地震による影響は無し |
| ③-4 電源融通の可能性 | 可能(HPCS-DG から 6.9kV の交流電源融通、予備充電器を介して直流電源融通) |
| ③-5 復旧操作へのアクセス性 | 地震による影響は無し |
| ④その他(安全機能には影響しないもの、留意しておく必要のある事項) | タービン設備などの一部で、耐震クラス B、C クラスの設備が損傷を受けた。 【蒸気タービン】 低圧タービン及び高圧タービンの動翼と隔板の一部に接触による摺動痕 高圧タービンと低圧タービンの中間軸受け基礎グラウト部の割れ、基礎ボルトの緩み(10 本中 3 本) 【主発電機関係】 主発電機軸受及び励磁機及び副励磁機廻りに接触痕、間隙拡大などの損傷 |

3. 海外の P R A 関連文献調査

海外文献についての調査結果をまとめたものを表 10 に示す。海外の地震 P R A 関連文献を調査した結果、他にモデル化すべき起因事象は存在しなかった。

海外文献では原子炉冷却材喪失（L O C A）についてサイズや場所を分類した評価を例示している文献があったが、今回の評価では L O C A を 1 つの起因事象として選定した。これは次の 2 つの理由による。1 つは、同一の地震動による複数の配管損傷の相関性を考慮すると、事故シナリオを詳細に分析すること（緩和系にどの程度期待できるか判断すること）が困難で、破断の規模による分類が厳密には難しいこと、もう 1 つは、相関を持つ配管を同定し、損傷の相関係数を全ての配管に対して適切に算定することは現状の評価技術では困難が伴うことである。このため、地震 P S A 学会標準に許容されている取り扱いとして、これらの事象はより厳しい条件となる起因事象に包含させ、この起因事象は格納容器内にある一次系配管の大規模な破断により E C C S 性能を上回る大規模な原子炉冷却材喪失（E x c e s s i v e L O C A）が発生するものと想定し、緩和系によって事象の進展を抑制することができずに炉心損傷に至る可能性があるため、保守的に直接炉心損傷に至る起因事象で代表させた。

地震随伴溢水については、今回の評価では評価技術の成熟度から随件事象の影響評価は困難であると判断し、評価対象外としている。

表 10 海外文献調査結果 (1/2)

| | 文献名 | 記載内容 | 確認結果 |
|---|---|--|--|
| 1 | A S M E 標準 ⁽ⁱ⁾ (239 ページ) | 地震 P R A で考慮される起因事象は例えば以下を含める。 (a) R P V やその他の大型機器 (steam generator, recirculation pump, pressurizer) の損傷 (b) 様々なサイズと場所での L O C A (c) トランジェント (L O P A は特に重要) P C S やヒートシンクが地震要因で使用できない場合 (例えば, L O P A) と使用できる場合の両方のトランジェントを考慮すべきである。 また, 他のトランジェントの例として, service water のような重要なサポート系の喪失や直流電源の喪失がある。 | 左記の例は, すべて評価上考慮していることを確認した ^{※1} 。 |
| 2 | I A E A Safety Guide (SSG-3) ⁽ⁱⁱ⁾ (108 ページ) | 特に, 以下のタイプのシナリオに至る起因事象はモデル化すべきである。 (a) 大型機器の損傷 (例: reactor pressure vessel, steam generators, pressurizer) (b) 様々なサイズと場所の L O C A。極小 L O C A も考慮すべき。 (c) L O P A (d) 様々なサポートシステムの喪失を含むトランジェント (P C S が失敗するシナリオと失敗しないシナリオ) | 左記の例は, すべて評価上考慮していることを確認した ^{※1} 。 |
| 3 | E P R I 地震 P R A 実 施ガイド ⁽ⁱⁱⁱ⁾ (5~7 ページ) | “initiator” は例えば以下を含める。 (a) R P V やその他の大型機器 (steam generator, recirculation pump, pressurizer 等) の損傷 (b) 様々なサイズと場所の L O C A (c) サポートシステム故障 (service water や直流電源) (d) トランジェント (L O P A は特に重要) P C S やヒートシンクが地震要因で使用できない場合 (例えば, L O P A) と使用できる場合の両方のトランジェントを考慮すべきである。外電が使用可能だが他の地震要因損傷があるシーケンスも考慮しなければならない。(なぜなら, L E R F を考えた場合, 外電や I A が必ず喪失すると仮定することが, 必ず保守的とは限らないからである。例えば格納容器隔離弁が外電喪失や I A 喪失で安全側に閉動作となる。) E x c e s s i v e L O C A やリレーチャタリングも考慮しなければならない。 | 左記の例は, すべて評価上考慮していることを確認した ^{※1} 。 |

※1 様々なサイズと場所の L O C A (極小 L O C A を含む) については, 本評価においては完全相関を仮定しているため, 保守的に極大 L

O C Aとしてまとめて評価している。

表 10 海外文献調査結果 (2/2)

| | 文献名 | 記載内容 | 確認結果 |
|---|---|---|--|
| 4 | スイス連邦原子力安全検査局 (E N S I) P S Aガイド ^(iv) (25 ページ) | 以下のように起因事象を定義しなければならない。 ・最小のH C L P F 値とスクリーニング値の間の地震加速度範囲に、少なくとも 7 つの起因事象が含まれないといけない。 ・スクリーニング値を超える地震加速度で、1 つの起因事象を定義しないといけない。 | 左記の起因事象数を、評価において満足していることを確認した。また、スクリーニング値を超える地震加速度では、起因事象「原子炉建屋損傷」「格納容器損傷」が支配的である。 |
| | | | |

< 調査対象文献一覧 >

- (i ASME/ANS RA-Sa-2009, “Addenda to ASME/ANS RA-S-2008: Standard for Level1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications, an American National Standard.” American Society of Mechanical Engineers, New York, NY. 2009.
- (ii IAEA Safety Guide SSG-3, “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants.” International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2010.
- (iii Seismic Probabilistic Risk Assessment Implementation Guide. EPRI, Palo Alto, CA:2003. 1002989.
- (iv Probabilistic Safety Assessment (PSA) : Quality and Scope, Guideline for Swiss Nuclear Installations. Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (ENSI) , Brugg, Switzerland: 2009. ENSI-A05/e.



機器フラジリティの設定における「規格値に含まれる余裕」の考え方について

1. はじめに

機器フラジリティ評価における強度係数 F_s は、「規格値に含まれる余裕」を考慮して限界応力の中央値を算出している。この「規格値に含まれる余裕」の考え方を以下に示す。

2. 規格値に含まれる余裕の考え方

地震 P S A 学会標準の解説 80「機器材料の限界強度データに基づく現実的耐力の中央値の設定例」に以下の記載がある。

【解説 80】 機器材料の限界強度データに基づく現実的耐力の中央値の設定例 ここでは、設計・建設規格に記載の引張強さ及び降伏応力に対する限界強度データに基づく現実的な耐力の中央値の求め方の例を示す。下記の考え方は工学的判断に基づく一例であり、他の考え方、又は試験結果を用いた現実的な耐力の設定を行うこともできる。

a) **引張強さ** 引張強さに対する現実的な耐力の中央値は、**【解説 81】** 機器の材料強度に関する文献を参考に、設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 9 に記載の S_u 値を用いて、 $\alpha \times S_u$ と設定することができる。係数“ α ”は、材料に応じて、1.1～1.2 解説 81-1)などの適切な現実的な値を設定する。

b) **引張降伏点** 引張降伏点に対する現実的な耐力の中央値は、**【解説 81】** 機器の材料強度に関する文献を参考に、設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 に記載の S_y 値を用いて、 $\beta \times S_y$ と設定することができる。係数“ β ”は、材料に応じて、1.1～1.25 解説 81-2)などの適切な現実的な値を設定する。

なお、現実的耐力の設定に関しては、“発電用原子炉設備に関する構造などの技術基準（通商産業省告示第 501 号）”（以下、“告示 501 号”という。）解説 81-3)別表 9, 10 の備考“この表に規定されていない材料の値は、引張試験結果を行い耐力に次の値を乗じる。ステンレス鋼及び高ニッケル合金においては 0.885, 上記以外の材料においては 0.856…”の記載内容を参考に、設計・建設規格の規定値に基づき、材料に応じて 1.13 ($=1/0.885$), 又は 1.17 ($=1/0.856$) を乗じて現実的耐力を設定することもできる。

【本体 6.4.2.2】

機器フラジリティ評価においては、ステンレス鋼及び高ニッケル合金の場合 1.13, それ以外の材料の場合 1.17 を、「規格値に含まれる余裕」と

している。

審査資料の中で，機器フラジリティ評価の例として取り上げた設備の規格値に含まれる余裕は下記のとおりである。

大型機器（原子炉圧力容器） SUSF304 : 1.13

静的機器（残留熱除去系熱交換器） SCM435 : 1.17

配管（残留熱除去系海水系配管） STPT42 : 1.17

機器フラジリティ評価に用いる比率補正の考え方について

1. はじめに

機器フラジリティ評価における強度係数 F_s の評価において、耐震バックチェックの耐震評価結果を一様ハザードスペクトルの耐震評価結果に補正するために、比率補正を行っている。比率の算出方法及び比率補正の適用の考え方を以下に示す。

2. 比率の算出方法

(1) 応答解析

一様ハザードスペクトル及び耐震バックチェック評価用地震動を用いて原子炉建屋応答解析又は大型機器連成解析を行い、震度、荷重、応答加速度、相対変位を算出する。

(2) 比率の算出

原子炉建屋応答解析又は大型機器連成解析毎の比率の算出方法を以下に示す。

a. 原子炉建屋応答解析による比率算出方法

原子炉建屋応答解析により求めた震度、応答加速度に対して以下の計算式より比率を算出する。

$$\text{比率} = \frac{\begin{array}{c} \text{一様ハザードスペクトルによる} \\ \text{原子炉建屋応答解析により求めた} \\ \text{震度、応答加速度} \end{array}}{\begin{array}{c} \text{耐震バックチェック評価用地震動による} \\ \text{原子炉建屋応答解析により求めた} \\ \text{震度、応答加速度} \end{array}}$$

b. 大型機器連成解析による比率算出方法

大型機器連成解析により求めた震度，荷重，応答加速度，相対変位に対して以下の計算式より比率を算出する。

$$\text{比率} = \frac{\begin{array}{c} \text{一様ハザードスペクトルによる} \\ \text{大型機器連成解析により求めた} \\ \text{震度，荷重，応答加速度，相対変位} \end{array}}{\begin{array}{c} \text{耐震バックチェック評価用地震動による} \\ \text{大型機器連成解析により求めた} \\ \text{震度，荷重，応答加速度，相対変位} \end{array}}$$

3. 比率補正の適用の考え方

比率補正に用いる比率には，個別比率と代表比率があり，それぞれについて適用の考え方を以下に示す。

(1) 個別比率

2. (2)で求めた質点毎の震度，荷重，応答加速度，相対変位の比率の算出結果を，個別機器に特化した評価に適用できるように，機器の設置レベル，固有周期等を特定した比率を個別比率として算出する。

個別比率は，代表比率を用いてフラジリティ評価を行った結果を用いて，事故シーケンス評価を行った際に，F V重要度が高く，過度に保守性を含むような場合に，より現実的な評価となるようにフラジリティの向上を図る目的で使用する。フラジリティ評価において，個別比率を適用した設備を表1に示す。

(2) 代表比率

2. (2)で求めた質点毎の震度，荷重，応答加速度，相対変位の比率の算出結果から，フラジリティ評価の結果が最も厳しくなる比率を各々選定し，

代表比率とする。代表比率は、同じ応答（評価手法）を用いて評価する設備の比率補正に対して、一律適用できる値であり、炉心損傷頻度への寄与が小さい設備に対してフラジリティ評価を効率良く実施することができる。代表比率の算出結果を表 2 に示す。

なお、ケーブルトレイについては全炉心損傷頻度への寄与が高い設備であるが、ケーブルトレイのフラジリティは、ケーブルトレイを支持しているサポートの集合体として、最も耐震裕度の小さいサポートを代表箇所として選定して評価している。ケーブルトレイのサポートは、原子炉建屋の各階層に設置されており、幅広い固有周期を有していることから、機器の設置レベルや固有周期を特定した個別比率ではなく、代表比率での評価が適している。

表 1 個別比率でフラジリティ評価した設備 (1/2)

| 起因事象／ 影響緩和機能 | 設 備 | 個別比率 | 解析モデル |
|------------------------------|----------------|-------|-----------|
| 格納容器損傷 | 格納容器 | 1. 83 | 大型機器連成解析 |
| 格納容器損傷 | 格納容器スタビライザ | 1. 83 | 大型機器連成解析 |
| 原子炉圧力容器損傷 | 原子炉遮へい壁 | 1. 75 | 大型機器連成解析 |
| 原子炉圧力容器損傷 | 原子炉圧力容器スタビライザ | 1. 52 | 大型機器連成解析 |
| 格納容器バイパス | 主蒸気隔離弁 | 0. 93 | 大型機器連成解析 |
| 格納容器バイパス | 主蒸気系配管 | 0. 72 | 大型機器連成解析 |
| 格納容器バイパス | 主蒸気ドレン弁（内側） | 0. 49 | 大型機器連成解析 |
| 格納容器バイパス | 主蒸気ドレン配管（内側） | 0. 49 | 大型機器連成解析 |
| 格納容器バイパス | 原子炉隔離時冷却系蒸気隔離弁 | 1. 25 | 大型機器連成解析 |
| 格納容器バイパス | 原子炉隔離時冷却系配管 | 1. 59 | 原子炉建屋応答解析 |
| 格納容器バイパス | 原子炉冷却材浄化系隔離弁 | 1. 78 | 原子炉建屋応答解析 |
| 格納容器バイパス | 原子炉冷却材浄化系配管 | 1. 51 | 大型機器連成解析 |
| 格納容器バイパス | 給水系逆止弁 | 1. 47 | 大型機器連成解析 |
| 格納容器バイパス | 給水系配管 | 0. 97 | 大型機器連成解析 |
| E x c e s s i v e L O C A | 再循環系配管 | 1. 01 | 大型機器連成解析 |
| E x c e s s i v e L O C A | 原子炉冷却材浄化系配管 | 1. 51 | 大型機器連成解析 |
| E x c e s s i v e L O C A | 主蒸気系配管 | 0. 72 | 大型機器連成解析 |
| E x c e s s i v e L O C A | 給水系配管 | 0. 97 | 大型機器連成解析 |
| E x c e s s i v e L O C A | 原子炉隔離時冷却系配管 | 1. 59 | 原子炉建屋応答解析 |
| E x c e s s i v e L O C A | 主蒸気ドレン配管（内側） | 0. 49 | 大型機器連成解析 |
| E x c e s s i v e L O C A | 逃がし安全弁 | 0. 93 | 大型機器連成解析 |

表 1 個別比率でフラジリティ評価した設備 (2/2)

| 起因事象／ 影響緩和機能 | 設 備 | 個別比率 | 解析モデル |
|------------------|--------------|------|-----------|
| スクラム系 | 制御棒駆動水圧系配管 | 0.63 | 大型機器連成解析 |
| スクラム系 | 制御棒駆動機構ハウジング | 1.71 | 大型機器連成解析 |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系逆止弁 | 0.85 | 大型機器連成解析 |
| H P C S | 高圧炉心スプレイ系配管 | 1.63 | 原子炉建屋応答解析 |
| R C I C | 原子炉隔離時冷却系配管 | 1.59 | 原子炉建屋応答解析 |
| L P C S | 低圧炉心スプレイ系配管 | 1.00 | 原子炉建屋応答解析 |
| L P C I R H R | 残留熱除去系逆止弁 | 0.97 | 大型機器連成解析 |
| L P C I R H R | 残留熱除去系熱交換器 | 1.47 | 原子炉建屋応答解析 |
| L P C I R H R | 残留熱除去系配管 | 1.00 | 原子炉建屋応答解析 |

表 2 代表比率の算出結果

| 算出条件 | | 代表比率 | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|------|------------------------------|
| 原子炉建屋応答解析 震度 | | 1.77 | 原子炉建屋内設備の震度で評価する設備の代表比率として設定 |
| 大型機器連成解析 震度 | | 1.84 | 炉内構造物の震度で評価する設備の代表比率として設定 |
| 大型機器連成解析 荷重 | せん断力, モーメント, 軸力 | 3.24 | 炉内構造物の荷重で評価する設備の代表比率として設定 |
| | ばね反力 | 1.83 | 炉内構造物の荷重で評価する設備の代表比率として設定 |
| | グリット反力 | 1.61 | 炉内構造物の荷重で評価する設備の代表比率として設定 |
| 原子炉建屋応答解析, 大型機器連成解析 応答加速度 | | 3.15 | 床応答スペクトルにて計算する設備の代表比率として設定 |
| 大型機器連成解析 相対変位 | | 1.72 | 燃料集合体のみ使用 |

機能損傷に対するフラジリティ評価で片方向の評価を採用する理由について

1. はじめに

地震P S A学会標準の解説 68「機器の損傷モードの例」において、「上下地震動によって損傷する可能性のある設備については、水平地震動と同様に上下地震動による損傷にも注意して損傷モードを選定する必要がある。」と記載されている。

一方、「第 3.2.1.1-3 表 建屋・機器リストとフラジリティデータ」には、水平方向と鉛直方向の評価結果うち片方の評価結果を記載していることから、本理由について以下に示す。

2. 水平方向と鉛直方向のうち、片方の評価結果を採用する理由

機能損傷に対するフラジリティ評価は、地震P S A学会標準の記載に従い、水平方向及び鉛直方向の耐震評価結果のうち、裕度の小さい方向の評価結果を用いて評価を行っている。事故シーケンス評価において機器をモデル化する際には、機器に対して1つのフラジリティの値を入力するため、水平方向及び鉛直方向の厳しい方向のフラジリティを選定して建屋・機器リストに記載している。

なお、「第 3.2.1.1-3 表 建屋・機器リストとフラジリティデータ」において、機能損傷を評価している機器に対しては、評価した方向を識別できるように、評価部位の列に「水平方向評価」と「鉛直方向評価」を記載した。

高圧炉心スプレイ系の相関の取扱いについて

1. はじめに

高圧炉心スプレイ系の関連設備のうち、ケーブルトレイ（区分Ⅲ）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系については、区分Ⅰ／Ⅱの同種設備と完全相関を仮定している。この考え方を以下に示す。

2. ケーブルトレイ

ケーブルトレイ（電線管含む）のフラジリティは、ケーブルトレイを支えているサポート部を代表部位として評価している。ケーブルトレイのサポートは、区分Ⅰ／Ⅱ／Ⅲに関わらず構造がほぼ同じであり、フラジリティ評価における機器の耐力がほぼ同じであること、また、ケーブルトレイは原子炉建屋内の広範囲に渡り張り巡らされており、同一フロア（建屋応答が同じフロア（図1））内に区分Ⅰ／Ⅱ／Ⅲのケーブルトレイが設置されていることから、設置場所の応答が同じであることを踏まえ、完全相関を仮定した。

3. 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系

D G S W関連機器とH P C S－D G S W関連機器は、ポンプや電動機の構造がほぼ同じであり、フラジリティ評価における機器の耐力がほぼ同じであること、また、設置場所も海水ポンプ室の同一高さに設置されており設置床面の応答が同じであることから、完全相関を仮定した。逆止弁やストレーナ、配管についても同様の考えを適用している。海水ポンプ室内におけるポンプの配置を図2及び図3に示す。

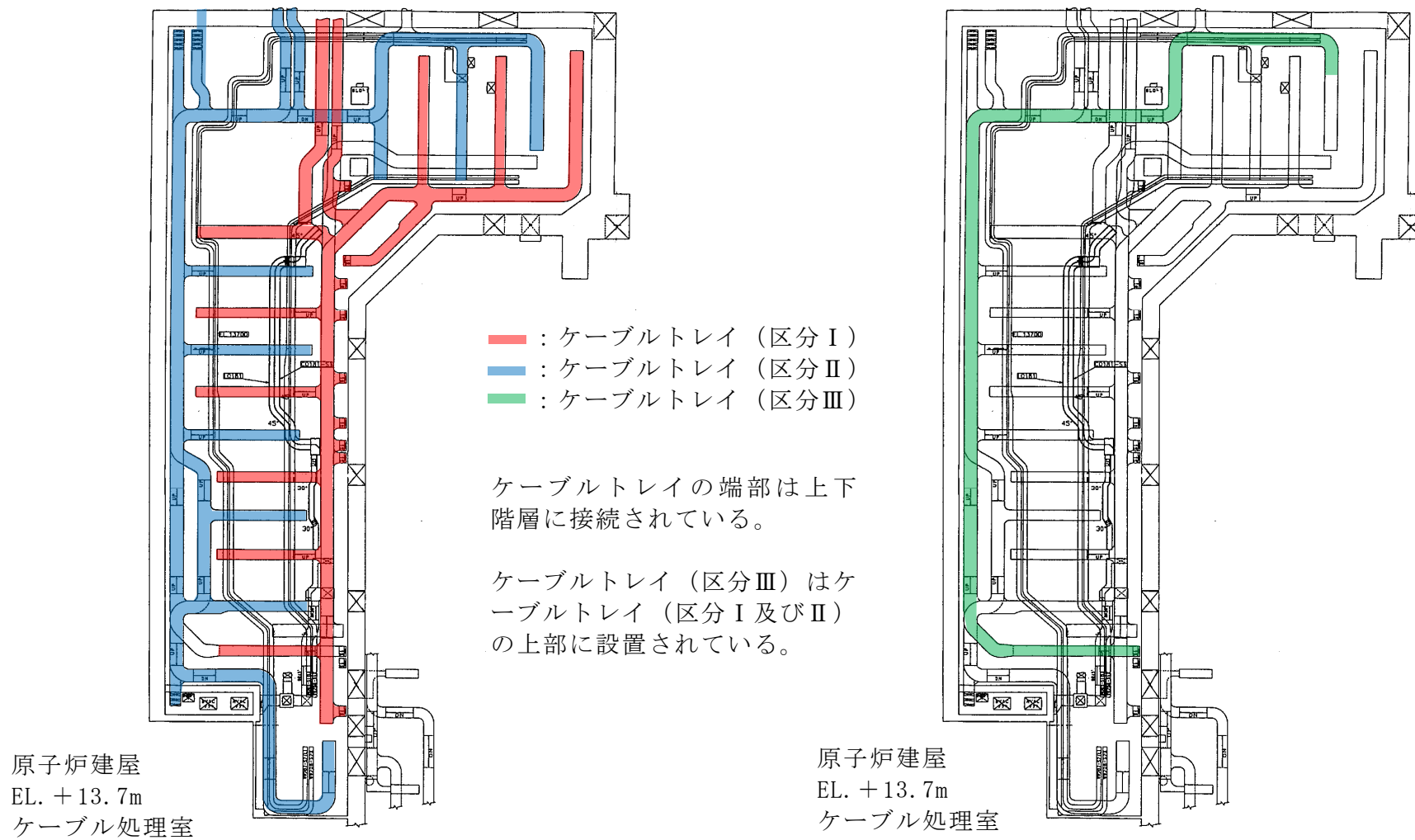


図 1 直流電源系ケーブルトレイ配置図

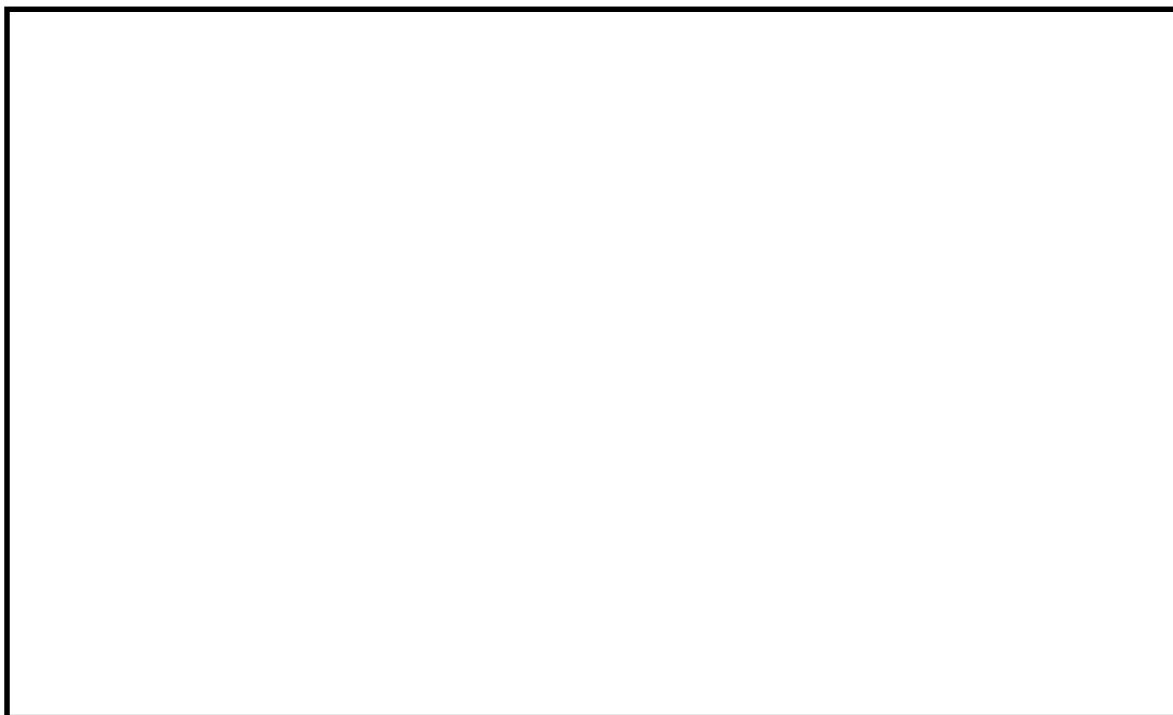


図 2 海水ポンプ室平面図

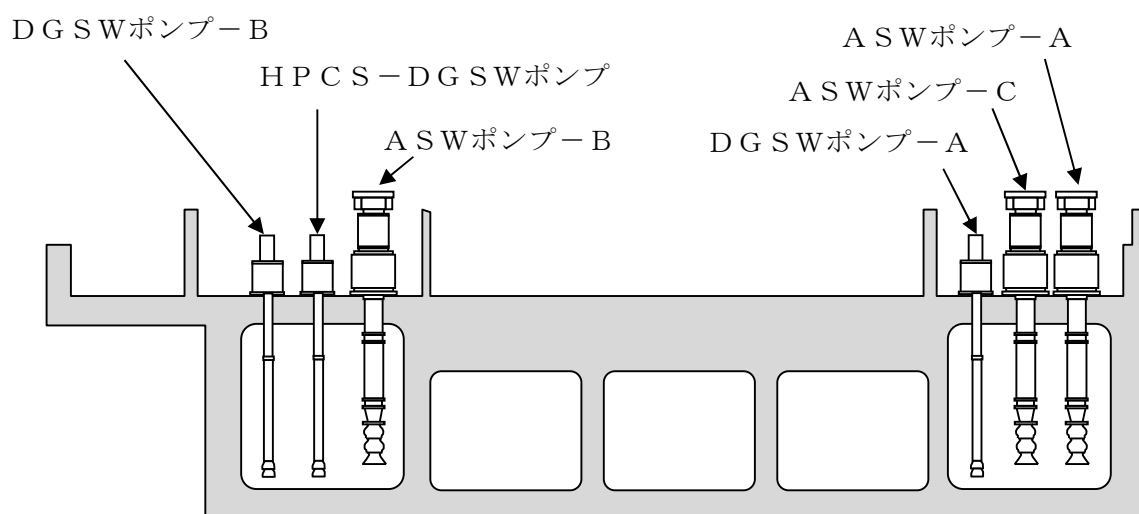


図 3 海水ポンプ室断面図（A－A矢視）

3.2.2 津波PRA

津波PRAは、一般社団法人日本原子力学会が発行した「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2011」（以下「津波PRA学会標準」という。）を参考に評価を実施し、各実施項目については「PRAの説明における参照事項」（原子力規制庁 平成25年9月）の記載事項への適合性を確認した。津波PRAの評価フローを第3.2.2-1図に示す。

なお、今回の津波PRAでは、津波単独の影響のみを評価しており、地震と津波等の重畳事象は対象としていない。

3.2.2.1 対象プラントと事故シナリオ

(1) 対象とするプラントの説明

a. 機器・システムの配置及び形状・設備容量

津波PRAの実施に当たり、内部事象出力運転時レベル1PRAにおいて収集した設計、運転・保守管理の情報に加え、耐津波設計やプラント配置の特徴等を踏まえて、津波固有に考慮すべき関連情報を配置関連設計図書等により収集・分析した。津波PRAで収集した情報及び情報源を第3.2.2.1-1表に示す。

収集したプラント情報に基づき、津波PRAの評価対象設備として、内部事象出力運転時レベル1PRAの評価対象とした設備のほか、耐津波設計としての設計基準対象施設である津波防護施設及び浸水防止設備を選定した。

プラントの設備配置の概略図を第3.2.2.1-1図に示す。また、津波防護施設及び浸水防止設備の概要を以下に示す。

- (a) 基準津波による遡上波が設計基準対象施設の設置された敷地に到達及び流入することを防止するために、発電所を取り囲む形で高さ T. P. + 20m^{※1}（敷地前面東側）～T. P. + 18m（敷地側面北側・南側）の防潮堤を設置
- (b) 海と接続する取水路及び放水路等の経路並びに海水ポンプ室及び原子炉建屋への浸水の可能性がある経路（扉、開口部、貫通口等）からの津波の流入を防止するため、浸水対策を実施

b. プラントウォークダウン

(a) プラントウォークダウンの実施手順

津波 P R A では、上記 a. において第 3. 2. 2. 1-1 表に示した情報をもとにシナリオを想定しているが、机上検討では確認が難しいプラント情報の取得及び検討した事故シナリオの妥当性を確認するため、以下に示す観点からプラントウォークダウン実施要領書及びチェックシートを作成し、プラントウォークダウンを実施した。（添付資料 3. 2. 2. 1-1）

- i) 津波影響の確認
- ii) 間接的被害の可能性の確認

(b) プラントウォークダウン対象機器の選定

プラントウォークダウンの実施に当たっては、上記(a)に示した観点を考慮して、プラントウォークダウン対象機器の選定フローを作成し、以下に示す機器を調査対象として選定した。プラントウォークダウン

※1 本資料中の T. P. と EL. の記載について

T. P. は Tokyo Peil の略で東京湾中等潮位（平均潮位）を示すもので、EL. は Elevation の略で地盤の標高を示すものである。EL. は T. P. ±0m を基準としているため T. P. = EL. となる。これらの資料中における記載は、原則、津波の水位等に関する数値には T. P. を使用し、地盤高さ等に関する数値には EL. を使用している。ただし、防潮堤高さなど津波の水位と比較する場合には、T. P. で記載している。

対象機器の選定フローを第 3.2.2.1-2 図に示す。

i) 津波影響の確認

- ・津波が原子炉建屋の 1 階床面高さである EL. +8.2m に到達した場合、建屋内浸水が生じ、建屋内の機器が没水、被水により機能喪失するものと仮定している。このため、後述(2) c. に示す建屋・機器リスト（事故シナリオの明確化及び起因事象の分析結果に基づき抽出した、津波防護施設、浸水防止設備、起因事象を引き起こす設備及び起因事象を緩和する設備のリスト）に記載されているもののうち、原子炉建屋外の機器、原子炉建屋外壁の貫通部等を調査対象とした。
- ・原子炉建屋内の機器を津波の影響から防護するため、建屋外壁（地下トレンチ取り合い部及び隣接する建屋境界含む。）は建屋バウンダリとしての機能が要求される。このため、原子炉建屋の 1 階床面高さである EL. +8.2m 以下の範囲に存在する建屋外壁の貫通部等を調査対象とした。

ii) 間接的被害の可能性の確認

- ・津波襲来時に屋外に設置されている機器の津波の波力による離脱、移動等に起因して生じる干渉及び衝突等の間接的な被害の影響を確認するため、漂流物となる可能性のある機器等を調査対象とした。

(c) プラントウォークダウン結果

プラントウォークダウン用チェックシートに基づき、上記(b)で選定した機器を対象に調査を実施した。調査結果の例として、残留熱除去系海水系ポンプを対象としたチェックシートを第 3.2.2.1-3 図に示す。また、プラントウォークダウン結果を第 3.2.2.1-2 表に示す。第

3.2.2.1-2 表に示したとおり、プラントウォークダウンによって、津波 P R A の評価上特に問題となる箇所は見当たらなかった。

c. 今回実施した津波 P R A の前提条件等について

今回実施した津波 P R A について、主に留意すべき点について以下に示す。(添付資料 3.2.2.1-2)

- (a) 原子炉は、津波襲来前に地震により自動停止する可能性が高く、自動停止しない場合においても、地震発生から津波襲来までの時間余裕の間に原子炉を手動停止することから、津波襲来時には原子炉は停止しているものとする。(添付資料 3.2.2.1-3)
- (b) 地震が安全上重要な設備に及ぼす影響は考慮せず、津波による影響のみを評価する。
- (c) 起因事象に対する対応は、設計基準事故対象設備による対応を基本とし、これまでに整備した AM 策及び緊急安全対策並びに重大事故等対処設備については、期待しないものとする。
- (d) 原子炉建屋の 1 階床面高さである EL. +8.2m に津波が到達した場合は、津波が建屋内に浸水し、建屋内の機器が没水、被水により機能喪失するものと仮定した。

(2) 津波により炉心損傷に至る事故シナリオと分析

a. 事故シナリオの広範な分析・選定及び事故シナリオのスクリーニング

津波特有の事故シナリオを広範に分析・選定するため、津波 P R A 学会標準を参考に、考慮すべき影響として以下に示す直接的影響及び間接的影響を抽出した。

(a) 直接的影響

- i) 浸水による設備の没水，被水
- ii) 津波波力，流体力，浮力
- iii) 海底砂移動
- iv) 引き波による水位低下

(b) 間接的影響

- i) 洗掘
- ii) 漂流物の衝突
- iii) 津波による高ストレス
- iv) 作業環境の悪化

その上で、直接的影響又は間接的影響ごとに、影響を受ける可能性のある設備と、考えられる事故シナリオを抽出した。津波による事故シナリオの抽出結果を第 3.2.2.1-3 表に示す。

なお、直接的影響のうち、海底砂移動及び引き波による水位低下、間接的影響のうち、津波による高ストレス及び作業環境の悪化については、以下の理由から事故シナリオの対象外とした。

・海底砂移動

海底砂移動に関して事故シナリオを検討するためには、取水口が閉塞する津波高さの評価結果が必要となるが、現状では定量的な評価をする手法が整備されていないことから、津波 P R A 学会標準^{※2}に従い、今回の津波 P R A においては評価の対象外とした。なお、基準津波に伴う砂移動については評価を行っており、取水口の開口高さに比べて取水口前面における砂の堆積厚が小さいこと、最大堆

※2 「炉心損傷に至るまでの事故進展が不明確、あるいは評価技術が十分でないと判断される事故シナリオについては、定量的なスクリーニングに比重をおいて判断せざるを得ないことに留意する。スクリーニングで除外されない事故シナリオを、事故シーケンス評価の対象とするか、又は、留意事項として報告書等に記載する等、評価技術の成熟度を考慮した取扱いとする。」（津波 P R A 学会標準 6.2 項より抜粋）

積量分布から取水口前面の砂の堆積は局所的であることから、閉塞することはないことを確認している。(添付資料 3.2.2.1-4)

- ・引き波による水位低下

海水の潮位が低下して、海水を水源とするポンプ（非常用海水ポンプ※³及び常用海水ポンプ※⁴）の取水障害が発生し、キャビテーションでポンプが機能喪失することとなる。その後の事象進展は、押し波により非常用海水ポンプ又は常用海水ポンプが損傷して発生するシナリオと同じであり、新たな事故シーケンスを発生させるものではないため、対象外とした。(添付資料 3.2.2.1-5)

- ・津波による高ストレス

緩和設備の操作失敗に係る人的過誤確率の評価において考慮するため対象外とした。

- ・作業環境の悪化

事象発生後の作業環境悪化を考慮しなければならない設備（可搬型設備等）には期待していないため、対象外とした。

b. 事故シナリオの明確化及び起因事象の分析

上記 a. における事故シナリオの抽出結果に基づき、津波特有の原因によって炉心損傷に至る事故シナリオを明確化するとともに、明確化した事故シナリオを対象に津波を起因として炉心損傷に至る起因事象を分析した。事故シナリオの明確化及び起因事象の分析結果を第 3.2.2.1-4 表及び第 3.2.2.1-4 図に示す。

また、抽出した起因事象のスクリーニングの過程を以下に示す。

※3 残留熱除去系海水系ポンプ（RHRS ポンプ）、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ（DG SW ポンプ）、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（HPCS-DG SW ポンプ）

※4 循環水ポンプ、補機冷却系海水ポンプ

○津波の遡上高さ：～EL. +8.2m

津波の敷地内浸水の影響等により海水ポンプ室への浸水が生じ、以下の事象が発生する。

- ・ 循環水ポンプの機能喪失による「①復水器真空度喪失」
- ・ 非常用海水ポンプの機能喪失による「②最終ヒートシンク喪失」
- ・ 補機冷却系海水ポンプの機能喪失による「⑤タービン・サポート系故障」

これらの事象は、海水ポンプ室への浸水に伴い同時に発生するが、津波襲来前に原子炉は既に停止しており、津波 P R A の評価では①、⑤の事象に伴い機能喪失する給・復水系に期待していないことから、緩和設備の機能喪失の要因となる「最終ヒートシンク喪失」を想定して評価する。

○津波の遡上高さ： EL. +8.2m～

敷地内へ浸水した津波が EL. +8.2m 以上の高さに到達した場合、上記の事象に加え、以下の事象が発生する。

- ・ 変圧器機能喪失による外部電源喪失及び最終ヒートシンク喪失の重畳による「③全交流動力電源喪失」
- ・ 「④ 復水貯蔵タンクの機能喪失，燃料移送系機能喪失」
- ・ タービン建屋内機器機能喪失による「⑤タービン・サポート系故障」
- ・ 「⑥原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失）」

これらの事象は、津波が EL. +8.2m 以上の敷地高さまで到達するような場合に発生するが、津波 P R A の評価では、原子炉建屋内浸水に伴う原子炉建屋内機器が機能喪失し、全交流動力電源喪失及び

全緩和設備の機能喪失により直接的に炉心損傷に至る「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失）」を想定して評価する。

なお，防潮堤が損傷する場合，上記事象に加え，以下の事象が発生する。

・「⑦防潮堤損傷」

この事象は，津波による防潮堤の損傷により敷地内に多量の津波が流入することで，屋内外の施設が広範囲にわたり浸水し機能喪失する事象である。しかし，屋内外の津波による影響の程度の不確かさが大きく，どの程度の緩和設備に期待できるか厳密に特定することが困難であることから，他の事象と区別して「防潮堤損傷」を想定して評価する。

この結果，スクリーニングで除外されずに残った事故シナリオによる起因事象としては，「最終ヒートシンク喪失」，「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失）」及び「防潮堤損傷」の3事象が選定された。

また，「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失）」は，津波が原子炉建屋1階床面の高さである EL. +8.2m に達した場合に建屋内浸水が生じるものとしている。

選定された起因事象の説明を以下に示す。

(a) 最終ヒートシンク喪失

- i) 津波の敷地内浸水の影響（防潮堤越流），津波波力の影響（防潮堤及び防潮扉の損傷，放水路止水機能喪失，取水路止水機能喪失等）により，海水ポンプ室浸水が生じ，非常用海水ポンプの機能喪失による最終ヒートシンク喪失に至る。

(b) 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失）

i) 津波の敷地内浸水の影響（防潮堤越流）、津波波力の影響（防潮堤及び防潮扉の損傷、放水路止水機能喪失、取水路止水機能喪失並びに取水路止水機能喪失に引き続く原子炉建屋外壁部止水機能喪失）により、原子炉建屋内浸水が生じ、複数の緩和機能喪失に至る。

ii) 津波波力の影響、漂流物の衝突の影響（原子炉建屋損傷、排気筒損傷に引き続く原子炉建屋損傷）により、原子炉建屋内浸水が生じ、複数の緩和機能喪失に至る。

(c) 防潮堤損傷

i) 津波波力の影響（防潮堤及び防潮扉の損傷）により、防潮堤が大規模に損傷し、防潮堤損傷に至る。

c. 建屋・機器リストの作成

上記 b. における起因事象の分析結果に基づき、津波 P R A の評価対象として、津波防護施設、浸水防止設備、起因事象を引き起こす設備及び起因事象を緩和する設備を選定して、建屋・機器リストを作成した。

建屋・機器リストを第 3.2.2.1-5 表に示す。（添付資料 3.2.2.1-6, 添付資料 3.2.2.1-7）

3.2.2.2 確率論的津波ハザード

(1) 確率論的津波ハザード評価の方法

基準津波の年超過確率の算出に用いた確率論的津波ハザード評価については、津波 P R A 学会標準，土木学会（2009，2011，2016），原子力安全基

盤機構（2014）（以下「J N E S（2014）」という。），地震調査研究推進本部（2012，2014）等を踏まえて実施した。また，2011 年東北地方太平洋沖地震の発生に伴い，当該地震の発生領域に蓄積していたひずみはほぼ解消し，今後数百年オーダーの期間に，プレート境界部で 2011 年東北地方太平洋沖地震と同程度の規模のすべりの発生が起こる可能性は小さいことも考慮した。

（2） 確率論的津波ハザード評価に当たっての主要な仮定

評価対象とする津波発生領域は，敷地に与える津波の影響が大きい日本海溝沿いの海域とした。津波発生領域は，津波 P R A 学会標準，土木学会（2009）等に示される領域を参考に，以下のように設定した。なお，三陸沖北部から房総沖の領域については，2011 年東北地方太平洋沖地震から得られた知見を踏まえ，プレート間地震と津波地震の連動型地震も考慮した。

a．プレート間地震と津波地震の連動型地震（茨城県沖～房総沖）

b．津波地震（J T T）

c．海洋プレート内の正断層地震（J T N R）

なお，上記 a．～c．以外の領域については，土木学会（2016）に示されるスクリーニング式により，年超過確率に与える影響が微小であることを確認したため，ロジックツリーに含めないこととした。

津波発生領域を第 3.2.2.2-1 図に，ロジックツリーを第 3.2.2.2-2 図，第 3.2.2.2-3 図に示す。

（3） 確率論的津波ハザード評価結果

防潮堤前面における波源別のハザード曲線及びフラクタイルハザード曲線をそれぞれ第 3.2.2.2-4 図，第 3.2.2.2-5 図に示す。

なお、津波 P R A の設置高さや事故シナリオを検討した結果、防潮堤を越流する津波によって発生する起因事象のみを評価対象とすることから、評価位置として防潮堤前面でのハザードを選定した。

3.2.2.3 建屋・機器フラジリティ

(1) 評価対象と損傷モードの設定

3.2.2.1(2) b. における起因事象の分析結果（第 3.2.2.1-4 図）及び 3.2.2.1(2) c. で作成した建屋・機器リスト（第 3.2.2.1-4 表）に基づき、評価対象設備の考慮すべき影響（損傷モード）ごとにフラジリティを検討した。なお、事故シナリオのスクリーニングにおいて対象外とした、海底砂移動及び引き波による水位低下については除外している。建屋・機器のフラジリティ評価結果を第 3.2.2.3-1 表に示す。（添付資料 3.2.2.3-1, 添付資料 3.2.2.3-2, 添付資料 3.2.2.3-3）

評価対象設備のフラジリティ検討の結果、津波防護施設及び浸水防止設備については波力を、また、起因事象を引き起こす設備及び起因事象を緩和する設備については没水、被水を津波による支配的な損傷モードとして抽出した。

(2) フラジリティ評価結果

抽出した評価対象設備に対する波力、没水、被水の損傷モードについては、津波が評価対象設備を損傷又は評価対象設備に到達する津波高さに達した時点で、当該設備が確率 1.0 で損傷すると仮定し、フラジリティ曲線は、第 3.2.2.3-1 図に示すステップ状とした。

上記を踏まえた建屋・機器のフラジリティ評価結果について、津波高さの区分ごとに整理した。

- a. 非常用海水ポンプは、津波高さが防潮堤高さである T.P. +20m を超えた時点で没水、被水により機能喪失する。
- b. 原子炉建屋内機器は、津波高さが T.P. +22m を超えた時点で原子炉建屋内浸水が生じ、没水、被水により機能喪失する。(添付資料 3.2.2.3-4)
- c. 防潮堤は、津波高さが T.P. +24m を超えた時点で損傷する。(添付資料 3.2.2.3-2)

3.2.2.4 事故シーケンス

(1) 起因事象

a. 津波高さごとのシナリオ分類

津波高さに応じたプラントへの影響を識別するため、津波高さと敷地内浸水深の関係及び建屋・機器フラジリティを考慮し、プラントへの影響が同等となる津波高さを分類した。分類した津波区分において発生する起因事象及び事故シナリオについて、第 3.2.2.4-1 表及び第 3.2.2.4-1 図に示す。また、以下に各区分の特徴を示す。

なお、津波高さ T.P. +20m 以下の津波については、プラントへの影響がないため、津波を起因として炉心損傷に至る事故シーケンスはない。

(a) 津波区分 1 (津波高さ T.P. +20m～T.P. +22m)

防潮堤位置における津波高さが T.P. +20m を超過する場合、津波が防潮堤を越流し、敷地内浸水が発生する。本津波区分では、R H R S ポンプ、D G S W ポンプ及び H P C S - D G S W ポンプが没水、被水して、起因事象「最終ヒートシンク喪失」が発生する。

(b) 津波区分 2 (津波高さ T.P. +22m～T.P. +24m)

防潮堤位置における津波高さが T.P. +22m を超過する場合、防潮堤

を越流して敷地内の浸水した津波が原子炉建屋1階床面高さであるEL. +8.2mまで到達し、原子炉建屋内への浸水が発生する。本津波区分では、防潮堤の健全性は維持されるものの、起因事象「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失）」が発生し、直接炉心損傷に至る。

(c) 津波区分3（津波高さ T.P. +24m～）

防潮堤位置における津波高さが T.P. +24m を超過する場合、防潮堤の損傷に伴い多量の海水が敷地内及び原子炉建屋内に浸水する。防潮堤の損傷の有無によりプラントの状況は大きく変化すると考えられることから、本津波区分では、防潮堤耐力を超える津波高さを対象としており、起因事象「防潮堤損傷」の発生により、直接炉心損傷に至る。

b. 階層イベントツリーについて

選定した起因事象及び津波区分をもとに、津波により発生する起因事象の影響の大きさを考慮することで階層イベントツリーを作成し、評価を行った。

津波 P R A の階層イベントツリーを第 3.2.2.4-2 図に示す。階層イベントツリーの各ヘディング及び分岐構造に関する考え方は以下のとおりである。

(a) 防潮堤損傷

津波波力による防潮堤損傷の有無を分岐として設定した。津波波力により防潮堤が損傷し、多量の津波が敷地内に浸水することで、屋内外の施設が広範囲にわたり機能喪失する。防潮堤が損傷した場合、津波の影響の程度を特定することが困難であるため、防潮堤の損傷の有無で事故シーケンスを分類することとした。本事象の発生により、屋

内外の施設が広範囲にわたり喪失するため、イベントツリー上では防潮堤損傷後のヘディングの分岐は設けず、直接炉心損傷に至るものとした。

(b) 原子炉建屋内浸水

防潮堤が健全な場合における、防潮堤を越流した津波による原子炉建屋への浸水の有無を分岐として設定した。津波 P R A では、原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策に期待していないため、津波が原子炉建屋 1 階床面高さである EL. +8.2m に到達した時点で建屋内への浸水が発生し、建屋内の複数の緩和機能が喪失すると仮定している。このため、イベントツリー上では原子炉建屋内浸水後のヘディングの分岐は設けず、直接炉心損傷に至るものとした。

(c) 最終ヒートシンク喪失

防潮堤を越流した津波による非常用海水ポンプの機能喪失の有無を分岐として設定した。

(2) 成功基準

炉心損傷防止の成功基準は、内部事象出力運転時レベル 1 P R A と津波 P R A で相違ないため、内部事象出力運転時レベル 1 P R A で設定した成功基準を用いることができる。ただし、津波襲来までに原子炉は停止していることから、原子炉停止機能については評価対象とはせず考慮しない。

使命時間については、内部事象出力運転時レベル 1 P R A と同様に 24 時間とし、機器や外部電源の復旧には期待していない。

(3) 事故シーケンス

津波により発生する起因事象「最終ヒートシンク喪失」のイベントツリ

一を第 3.2.2.4-3 図に示す。「最終ヒートシンク喪失」については、いずれのシーケンスも炉心損傷に至るが、高圧炉心冷却系である R C I C の成否により事故シーケンスが異なるため、圧力バウンダリ健全性（逃がし安全弁再閉鎖）及び高圧炉心冷却をヘディングとしてイベントツリーを展開している。なお、圧力バウンダリ健全性（逃がし安全弁再閉鎖）のヘディングについては、逃がし安全弁再閉鎖失敗により R C I C の駆動蒸気が喪失し、R C I C が機能喪失することを考慮して設定したものである。

(4) システム信頼性解析

システムの非信頼度は、内部事象出力運転時レベル 1 P R A と同様の評価を用いた。

(5) 人的過誤

a. 起因事象発生前の人的過誤

事象発生前における設備の試験・保守作業終了後の復旧忘れ等であり、津波による影響を考慮する必要がないため、内部事象出力運転時レベル 1 P R A と同様の評価を用いた。

b. 起因事象発生後の人的過誤

事象発生後における対応操作に対する過誤であり、内部事象出力運転時レベル 1 P R A と同様の対応操作の過誤を想定している。ただし、過誤確率の評価においては、津波襲来後に対応する作業であることを考慮し、内部事象出力運転時レベル 1 P R A と比較して高いストレスレベルを仮定した。起因事象発生後の人的過誤確率を第 3.2.2.4-2 表に示す。

(6) 炉心損傷頻度

a. 炉心損傷頻度の算出に用いた方法

津波 P R A では、計算コード RiskSpectrum®PSA を用いて、フォールトツリー結合法により事故シーケンスを定量化し、炉心損傷頻度を算出した。

b. 炉心損傷頻度評価結果

上記のとおりの手順で定量化を行った結果、津波の影響による全炉心損傷頻度（点推定値）は $4.3\text{E-}06$ ／炉年となった。津波区分ごとの評価結果及び全炉心損傷頻度に対する寄与割合を第 3.2.2.4-3 表及び第 3.2.2.4-4 図に示す。津波区分別の結果では、津波区分 1（津波高さ T.P. +20m～T.P. +22m）の炉心損傷頻度が最も高く約 75%を占め、次いで津波区分 2（津波高さ T.P. +22m～T.P. +24m）が約 18%、津波区分 3（津波高さ T.P. +24m～）が約 8%となった。

また、事故シーケンスごとの炉心損傷頻度及び全炉心損傷頻度に対する寄与割合を第 3.2.2.4-4 表及び第 3.2.2.4-5 図に示す。事故シーケンスごとの炉心損傷頻度は「最終ヒートシンク喪失（蓄電池枯渇後 R C I C 停止）」の寄与割合が約 74%と最も大きく、次いで「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失）」の寄与割合が約 18%、「防潮堤損傷」の寄与割合が約 8%となった。

c. 重要度解析，不確実さ解析，感度解析

(a) 重要度解析

津波 P R A の重要度解析については、評価対象となる津波高さ以上（T.P. +20m～）では、必ず炉心損傷に至るため、重要度解析を実施し

でも有用な情報は得られないと判断し、実施していない。

(b) 不確実さ解析

確率論的津波ハザードの不確かさを考慮し、不確実さ解析を実施した。不確実さ解析の結果を第 3.2.2.4-6 図に示す。全炉心損傷頻度の平均値は $4.3\text{E-}06$ /炉年となり、点推定値と同値となった。また、T.P. +20m を超える津波高さでは、確率論的津波ハザードの不確かさが非常に大きいものとなっている。

(c) 感度解析

ベースケースでは地震による直接的影響がないものとして評価しているが、大規模な地震時には地震耐力の小さい外部電源設備が損傷している可能性があることから、津波襲来前に地震により外部電源が喪失すると仮定した感度解析を実施した。(添付資料 3.2.2.4-1)

感度解析結果を第 3.2.2.4-5 表及び第 3.2.2.4-7 図に示す。評価対象となる津波高さ (T.P. +20m～) では「最終ヒートシンク喪失」が発生し、崩壊熱除去機能喪失により必ず炉心損傷に至るため、全炉心損傷頻度は変わらない。一方、事故シーケンスごとの評価結果については、地震による外部電源喪失を仮定したことにより津波区分 1 (津波高さ T.P. +20m～T.P. +22m) の範囲における、「外部電源喪失+最終ヒートシンク喪失 (蓄電池枯渇後 R C I C 停止)」の事故シーケンスが全炉心損傷頻度の約 74% を占め、支配的となった。

d. まとめ

東海第二発電所の津波 P R A を実施した結果、全炉心損傷頻度の点推定値は、 $4.3\text{E-}06$ /炉年となった。事故シーケンスとしては、「最終ヒートシンク喪失」が発生し、崩壊熱除去機能喪失により炉心損傷に至るシ

一ケンス「最終ヒートシンク喪失（蓄電池枯渇後 R C I C 停止）」が最も寄与割合が多く、次いで津波が原子炉建屋内に浸水し、「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失）」により炉心損傷に至るシーケンスの寄与割合が大きくなった。

また、感度解析として地震により外部電源が喪失していると仮定した場合の評価を行った。その結果、外部電源の有無の違いはあるものの、各事故シーケンスの炉心損傷頻度及び全炉心損傷頻度は変わらないことを確認した。

なお、海底砂移動による海水取水機能障害の影響については、事故シナリオの検討で現時点では評価技術が十分でないことから評価対象外としているが、リスク要因となり得ることに留意する必要がある。

第 3.2.2.1-1 表 津波 P R A で収集した情報及び主な情報源

| 項目 | P R A 評価作業 | | 収集すべき情報 | 主な情報源 |
|----|---------------|--|--|---|
| 1 | 対象プラントと事故シナリオ | | ・ 津波 P R A の実施に当たり必要とされる設計・運転管理に関する基本的な情報 | ・ 内部事象出力運転時レベル 1 P R A で収集した図書（原子炉設置許可申請書，工事計画認可申請書，保安規定等） ・ 津波固有に考慮すべき関連図書（配管施工図，据付図，外形図，配置図，原子炉建屋一般配置図等） ・ プラントウォークダウン報告書 |
| 2 | 確率論的津波ハザード | | ・ 評価対象サイトに影響を与え得る津波を発生させる地震発生様式に関する情報 | ・ 下記の参考文献※ |
| 3 | 建屋・機器フラジリティ | | ・ プラント固有の建屋・機器の耐力評価及び応答評価に関する情報 ・ 浸水解析結果 | ・ 上記項目 1 の情報源 |
| 4 | 事故シーケンス | a) 事故シナリオ及び起因事象の分析 | ・ 津波時に想定されるプラント状態での必要な情報 | ・ 上記項目 1 の情報源 |
| | | b) 事故シーケンスの分析 ・ 成功基準の設定 ・ イベントツリーの作成 | ・ 安全系等のシステム使用条件 ・ システムの現実的な性能 ・ 運転員による緩和操作 | ・ 上記項目 1 の情報源 ・ 既往の P R A 情報 |
| | | c) システムのモデル化 | ・ 評価対象プラントに即した機器故障モード，運転状態 | |
| | | d) 事故シーケンスの定量化 | ・ 評価結果の妥当性を確認できる情報 | |

- ※
- ・ 土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002)：原子力発電所の津波評価技術
 - ・ 土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2009)：確率論的津波ハザード解析の方法（案）
 - ・ 土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2011)：確率論的津波ハザード解析の方法
 - ・ 原子力安全基盤機構(2014)：確率論的手法に基づく基準津波策定手引き
 - ・ 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2012)：三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価（第二版）について
 - ・ 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2014)：全国地震動予測地図 2014 年版～全国の地震動ハザードを概観して～付録 1

第 3.2.2.1-2 表 プラントウォークダウン結果

| No. | 機器名称等※ ¹ | 津波影響の確認 | | | | | 間接的な被害の可能性の確認 | 総合評価 |
|-----|--|--|--|---|------------------------------|---|--|------|
| | | 対象機器の図面（配置図・構造図等）との相違※ ² | | 屋外の構築物、機器の波力に対する耐力の低減要因の確認（周辺環境含む）※ ² | | | 津波襲来時に建物外部にある設備の津波による離脱，移動等に起因して生じる干渉及び衝突の間接的な被害の可能性はないか | |
| | | 図面から想定した設置高さ（フロア）と相違無いか 損傷部位の高さより低い位置に損傷要因となる部位は無いか | 対象建屋貫通部が、図面等から想定した状況（貫通孔の有無，水密化処理の有無，設置高さ）と相違無いか | 基礎ボルト（又は設置面溶接部）及び支持構造物に外観上の異常（腐食・亀裂等）はないか（ボルトの場合は締め付けについても確認） | 対象機器周辺の配管に外観上の異常（腐食・亀裂等）は無いか | 海水ポンプ室開口部・貫通部及び原子炉建屋貫通部の開口部・貫通部の止水状態に外観上の異常はないか | | |
| 1 | 残留熱除去系海水系※ ³ | Y | N／A | Y | Y | N／A | N／A※ ⁶ | 問題なし |
| 2 | 非常用ディーゼル発電機用海水系※ ² | Y | N／A | Y | Y | N／A | N／A※ ⁶ | 問題なし |
| 3 | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系※ ³ | Y | N／A | Y | Y | N／A | N／A※ ⁶ | 問題なし |
| 4 | 循環水ポンプ | Y | N／A | Y | Y | N／A | N／A※ ⁶ | 問題なし |
| 5 | 補機冷却系海水ポンプ | Y | N／A | Y | Y | N／A | N／A※ ⁶ | 問題なし |
| 6 | 海水ポンプ室開口部・貫通部 | N／A | Y | N／A | N／A | Y | N／A※ ⁷ | 問題なし |
| 7 | 原子炉建屋外壁貫通部（原子炉建屋，タービン建屋）※ ⁴ | N／A | Y | N／A | N／A | Y | N／A※ ⁷ | 問題なし |
| 8 | 起動変圧器，予備変圧器 | Y | N／A | N／A※ ⁵ | N／A※ ⁵ | N／A | N／A※ ⁸ | 問題なし |
| 9 | 復水貯蔵タンク | Y | N／A | N／A※ ⁵ | N／A※ ⁵ | N／A | N／A※ ⁸ | 問題なし |
| 10 | 燃料移送系 | Y | N／A | N／A※ ⁵ | N／A※ ⁵ | N／A | N／A※ ⁸ | 問題なし |
| 11 | 排気筒 | Y | N／A | N／A※ ⁵ | N／A※ ⁵ | N／A | N／A※ ⁸ | 問題なし |

【凡例】 Y：YES N：NO U：調査不可 N/A：対象外

※¹ 第 3.2.2.1-2 図のプラントウォークダウン対象機器の選定フローにより抽出される新規設置設備（防潮堤、防潮扉及び放水路止水対策）は、プラントウォークダウンの対象外とする。※² 津波が、原子炉建屋 1 階床面高さである EL. + 8.2m に到達した時点で、原子炉建屋内浸水が生じ、建屋内の機器が没水、被水により機能喪失すると仮定しているため、高さ EL. + 8.2m までの範囲について確認した。※³ 海水ポンプ及び海水ポンプ室内の関連機器を含む。※⁴ 地下トレンチ取り合い部及び隣接する建屋境界含む。※⁵ 津波が、EL. + 8.2m に到達した時点で、原子炉建屋内浸水が生じ、建屋内の機器が没水、被水により機能喪失するため調査対象外とした。※⁶ 漂流物の衝突等による間接的な被害が生じる前に、没水、被水により当該機器は機能喪失するため調査対象外とした。※⁷ 漂流物の衝突等による間接的な被害が生じる可能性がないため、調査対象外とした。※⁸ 漂流物の衝突等による間接的な被害が生じる前に、原子炉建屋内浸水が生じ、建屋内機器の没水、被水により機能喪失するため、調査対象外とした。

第 3.2.2.1-3 表 津波による事故シナリオの抽出結果 (1/5)

| 津波の影響 | 影響の種類 | 建屋・構築物，機器・配管系への影響 | 影響を受ける可能性のある設備 | 考えられるシナリオ |
|-------|------------------|-----------------------------|--------------------------|---|
| 直接的 | 1. 浸水による設備の没水，被水 | 設備の動的機能喪失 電気設備の発電／送電機能喪失 | (1) 循環水ポンプ | ① 津波の防潮堤越流により海水ポンプ室浸水が生じ，循環水ポンプの機能喪失による復水器真空度喪失が発生する。 |
| | | | (2) 補機冷却系海水ポンプ | ① 津波の防潮堤越流により海水ポンプ室浸水が生じ，補機冷却系海水ポンプの機能喪失によるタービン・サポート系故障が発生する。 |
| | | | (3) 非常用海水系 ※ 1 | ① 津波の防潮堤越流により海水ポンプ室浸水が生じ，非常用海水ポンプの機能喪失による最終ヒートシンク喪失が発生する。 |
| | | | (4) 起動変圧器， 予備変圧器 | ① 津波の防潮堤越流により敷地内浸水が生じ，起動変圧器及び予備変圧器の機能喪失による外部電源喪失が発生する。 |
| | | | (5) 燃料移送ポンプ | ① 津波の防潮堤越流により敷地内浸水が生じ，燃料移送ポンプの機能喪失による燃料移送系機能喪失が発生する。 |
| | | | (6) タービン建屋内機器 | ① 津波の防潮堤越流によりタービン建屋内浸水が生じ，タービン建屋内機器の機能喪失によるタービン・サポート系故障が発生する。 |
| | | | (7) 原子炉建屋内機器 | ① 津波の防潮堤越流により原子炉建屋内浸水が生じ，複数の緩和系機器の機能喪失が発生する。 |
| | 2. 津波波力，流体力，浮力 | 建屋・構築物，機器・配管系の構造的損傷 | (8) 防潮堤及び防潮扉 | ① 津波波力により防潮堤及び防潮扉が損傷する。 ② ①により海水ポンプ室浸水，タービン建屋内浸水及び原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水と同じ。 ③ 津波波力により防潮堤が損傷し，敷地内に多量の津波が流入することで，屋外内の施設が広範囲にわたり浸水し機能喪失する防潮堤損傷が発生する。 |
| | | | (9) 放水路止水対策（構内排水路止水対策含む） | ① 津波波力により放水路止水機能が喪失する。 ② ①により海水ポンプ室浸水，敷地浸水，タービン建屋内浸水及び原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水と同じ。 |

※1 非常用海水系とは，残留熱除去系海水系ポンプ（R H R S ポンプ），非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ（D G S W ポンプ），高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（H P C S - D G S W ポンプ）及び海水ポンプ室内の関連機器を含む。以下，同じ。

第 3.2.2.1-3 表 津波による事故シナリオの抽出結果 (2/5)

| 津波の 影響 | 影響の 種類 | 建屋・構築物，機器 ・配管系への影響 | 影響を受ける可 能性のある設備 | 考えられるシナリオ |
|-----------|-------------------------------------|----------------------------------|---|---|
| 直接的 | 2. 津波波 力，流 体力， 浮力 (つづき) | 建屋・構築物，機器・ 配管系の構造的損傷 (つづき) | (10) 取水路止水 対策（海水取 水ピット止 水対策含む） | ① 津波波力により取水路止水機能が喪失する。 ② ①により海水ポンプ室浸水，敷地浸水，タービン建屋内浸水及び原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水と同じ。 |
| | | | (11) 原子炉建屋 外壁部止水 対策 | ① 津波波力により取水路止水機能が喪失し，引き続き原子炉建屋外壁部止水対策の機能が喪失する。 ② ①により原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水の(7)原子炉建屋内機器と同じ。 |
| | | | (12) 起動変圧器， 予備変圧器 | ① 津波波力により起動変圧器及び予備変圧器が損傷する。 ② ①により，変圧器機能喪失が生じ，外部電源喪失が発生する。 |
| | | | (13) 復水貯蔵タ ンク | ① 津波波力により復水貯蔵タンクが損傷する。 ② ①により，復水貯蔵タンク機能喪失が生じ，これを水源とする機器の機能喪失が発生する。 |
| | | | (14) 燃料移送系 ※ 2 | ① 津波波力により燃料移送ポンプが損傷する。 ② ①により，燃料移送系機能喪失が生じ，非常用ディーゼル発電機の機能喪失が発生する。 |
| | | | (15) タービン建 屋 | ① 津波波力によりタービン建屋が損傷する。 ② ①によりタービン建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水の(6)タービン建屋内機器と同じ。 |
| | | | (16) 原子炉建屋 | ① 津波波力により原子炉建屋が損傷する。 ② ①により原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水の(7)原子炉建屋内機器と同じ。 |

※2 燃料移送系とは，燃料移送ポンプ及び関連設備を含む。以下，同じ。

第 3.2.2.1-3 表 津波による事故シナリオの抽出結果 (3/5)

| 津波の影響 | 影響の種類 | 建屋・構築物，機器・配管系への影響 | 影響を受ける可能性のある設備 | 考えられるシナリオ |
|-------|-----------------------------|--------------------------|-----------------|---|
| 直接的 | 2. 津波波力，流体力，浮力（つづき） | 建屋・構築物，機器・配管系の構造的損傷（つづき） | (17) 排気筒 | ① 津波波力により排気筒が損傷する。 ② ①によりタービン建屋が損傷し，タービン建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水の(6)タービン建屋内機器と同じ。 ③ ①により原子炉建屋が損傷し，原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水の(7)原子炉建屋内機器と同じ。 |
| | | | (18) 循環水ポンプ | ① 海底砂移動により海水取水機能障害が生じ，循環水ポンプの機能喪失による復水器真空度喪失が発生する。 |
| | 3. 海底砂移動※ ³ | 海水取水設備の機能喪失 | (19) 補機冷却系海水ポンプ | ① 海底砂移動により海水取水機能障害が生じ，補機冷却系海水ポンプの機能喪失によるタービン・サポート系故障が発生する。 |
| | | | (20) 非常用海水ポンプ | ① 海底砂移動による海水取水機能障害が生じ，非常用海水ポンプの機能喪失による最終ヒートシンク喪失が発生する。 |
| | 4. 引き波による水位低下※ ⁴ | 海水取水設備の機能喪失 | (21) 循環水ポンプ | ① 引き波による水位低下により海水取水機能障害が生じ，循環水ポンプの機能喪失による復水器真空度喪失が発生する。 |
| | | | (22) 補機冷却系海水ポンプ | ① 引き波による水位低下により海水取水機能障害が生じ，補機冷却系海水ポンプの機能喪失によるタービン・サポート系故障が発生する。 |
| | | | (23) 非常用海水ポンプ | ① 引き波による水位低下により海水取水機能障害が生じ，非常用海水ポンプの機能喪失による最終ヒートシンク喪失が発生する。 |

※3 海底砂移動は，現時点では評価技術が十分でないため，津波PRA学会標準に従い，今回の津波PRAにおいては評価の対象外とした。

※4 引き波による水位低下は，押し波により非常用海水ポンプ又は常用海水ポンプが損傷して発生するシナリオと同じであり，新たな事故シーケンスを発生させるものではないため，対象外とした。

第 3.2.2.1－3 表 津波による事故シナリオの抽出結果（4／5）

| 津波の 影響 | 影響の 種類 | 建屋・構築物，機器 ・配管系への影響 | 影響を受ける可 能性のある設備 | 考えられるシナリオ |
|-----------|---------------|-------------------------|----------------------|---|
| 間接的 | 5. 洗掘 | 建屋・構築物，機器・ 配管系の構造的損傷 | (24) 防潮堤及び 防潮扉 | ① 洗掘により防潮堤・防潮扉が損傷する。 ② ①により海水ポンプ室浸水，タービン建屋内浸水及び原子炉建 屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1．浸水による設備 の没水，被水と同じ。 ③ 洗掘により防潮堤が損傷し，敷地内に多量の津波が流入するこ とで，屋外内の施設が広範囲にわたり浸水し機能喪失する防潮 堤損傷が発生する。 |
| | 6. 漂流物 の衝突 | 建屋・構築物，機器・ 配管系の構造的損傷 | (25) 防潮堤・防潮 扉 | ① 漂流物の衝突により防潮堤・防潮扉が損傷する。 ② ①により海水ポンプ室浸水，タービン建屋内浸水及び原子炉建 屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1．浸水による設備 の没水，被水と同じ。 ③ 漂流物の衝突により防潮堤が損傷し，敷地内に多量の津波が流 入することで，屋外内の施設が広範囲にわたり浸水し機能喪失 する防潮堤損傷が発生する。 |
| | | | (26) 起動変圧器， 予備変圧器 | ① 漂流物の衝突により起動変圧器及び予備変圧器が損傷する。 ② ①により，変圧器機能喪失が生じ，外部電源喪失が発生する。 |
| | | | (27) 復水貯蔵タ ンク | ① 津波波力により復水貯蔵タンクが損傷する。 ② ①により，復水貯蔵タンク機能喪失が生じ，これを水源とする 機器の機能喪失が発生する。 |
| | | | (28) 燃料移送系 ※ 2 | ① 漂流物の衝突により燃料移送ポンプが損傷する。 ② ①により，燃料移送系機能喪失が生じ，非常用ディーゼル発電 機の機能喪失が発生する。 |
| | | | (29) タービン建 屋 | ① 漂流物の衝突によりタービン建屋が損傷する。 ② ①によりタービン建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは， 1．浸水による設備の没水，被水の(6)タービン建屋内機器と 同じ。 |
| | | | (30) 原子炉建屋 | ① 漂流物の衝突により原子炉建屋が損傷する。 ② ①により原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1． 浸水による設備の没水，被水の(7)原子炉建屋内機器と同じ。 |

第 3.2.2.1-3 表 津波による事故シナリオの抽出結果 (5/5)

| 津波の 影響 | 影響の 種類 | 建屋・構築物，機器 ・配管系への影響 | 影響を受ける可 能性のある設備 | 考えられるシナリオ |
|-----------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--|
| 間接的 | 6. 漂流物の衝突 (つづき) | 建屋・構築物，機器・ 配管系の構造的損傷 (つづき) | (31)排気筒 | ①漂流物の衝突により排気筒が損傷する。 ②①によりタービン建屋が損傷し，タービン建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1．浸水による設備の没水，被水の(6)タービン建屋内機器と同じ。 ③①により原子炉建屋が損傷し，原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1．浸水による設備の没水，被水の(7)原子炉建屋内機器と同じ。 |
| | 7. 津波による高 ストレス | 運転員等の操作失敗 | — | ①津波による高ストレスは，緩和設備の操作失敗に係る人的過誤確率の評価において考慮するため，シナリオから除外する。 |
| | 8. 作業環境の悪 化 | 運転員等の回復操作 失敗 | — | ①事象発生後の作業環境悪化を考慮しなければならない設備(可搬型設備等)については期待していないため，シナリオから除外する。 |

第 3.2.2.1-4 表 津波による影響を受ける建屋・機器及び発生する起因事象

| 津波の遡上高さ | 津波による影響を受ける建屋・機器 | 起因事象※ |
|-------------|--|---|
| ～EL. + 8.2m | <ul style="list-style-type: none"> ・ 循環水ポンプ ・ 非常用海水ポンプ (R H R S, D G S W, H P C S - D G S W) ・ 補機冷却系海水ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>(① 復水器真空度喪失)</u> ・ <u>② 最終ヒートシンク喪失</u> ・ <u>(⑤ タービン・サポート系喪失)</u> |
| EL. + 8.2m～ | <ul style="list-style-type: none"> ・ 起動変圧器, 予備変圧器 ・ 燃料移送系 ・ 復水貯蔵タンク ・ タービン建屋 ・ 原子炉建屋 | <ul style="list-style-type: none"> ・ (① 復水器真空度喪失) ・ (② 最終ヒートシンク喪失) ・ (⑤ タービン・サポート系喪失) ・ <u>(③ 全交流動力電源喪失)</u> <u>(外部電源喪失+最終ヒートシンク喪失)</u> ・ <u>(④ -)</u> <u>(燃料移送系, 復水貯蔵タンク損傷に伴う緩和設備の機能喪失)</u> ・ <u>⑥ 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失 (最終ヒートシンク喪失)</u> ・ <u>⑦ 防潮堤損傷</u> |

※ 下線の起因事象は、津波の遡上高さが高くなることにより新たに発生する起因事象となる。
また、() 内の起因事象は、同時に発生する可能性があるが、他の起因事象で発生する影響に包含される起因事象となる。

第 3.2.2.1-5 表 建屋・機器リスト (1/2)

| 区 分 | | No. | 建屋・機器（系統）名称 | | 設置場所※ ¹ | 設置場所 の高さ※ ¹ （EL.） |
|----------------|----------|-----|--------------------------------------|---------------------|--------------------|------------------------------------|
| 津波防護施設及び浸水防止設備 | | 1 | 防潮堤及び防潮扉 | — | 屋外 | — |
| | | 2 | 放水路止水対策（構内排水路止水対策含む） | — | 屋外 | — |
| | | 3 | 取水路止水対策（海水引込み管，緊急用海水取水管止水対策含む） | — | 海水ポンプ室及び屋外 | — |
| | | 4 | 原子炉建屋外壁部（地下部分）止水対策（隣接する建屋境界部含む） | — | 原子炉建屋及び屋外 | — |
| 起因事象を引き起こす設備 | | 5 | 残留熱除去系海水系（海水ポンプ及び関連機器含む） | ポンプ | 海水ポンプ室 | +0.8m |
| | | 6 | 非常用ディーゼル発電機用海水系（海水ポンプ及び関連機器含む） | ポンプ | 海水ポンプ室 | +0.8m |
| | | 7 | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系（海水ポンプ及び関連機器含む） | ポンプ | 海水ポンプ室 | +0.8m |
| | | 8 | 循環水ポンプ | ポンプ | 海水ポンプ室 | +0.8m |
| | | 9 | 補機冷却系海水ポンプ | ポンプ | 海水ポンプ室 | +0.8m |
| | | 10 | 起動変圧器，予備変圧器 | 変圧器 | 屋外 | +8.2m |
| | | 11 | 原子炉建屋 | 1階床面 | — | +8.2m |
| | | 12 | タービン建屋 | 1階床面 | — | +8.2m |
| | | 13 | 排気筒 | 排気筒 | 屋外 | +8.5m |
| 起因事象を緩和する設備 | フロントライン系 | 14 | 高圧炉心スプレイ系 | ポンプ，電動弁，空調機 | 原子炉建屋（地下2階） | -4.0m |
| | | 15 | 原子炉隔離時冷却系 | ポンプ，タービン，電動弁，器具，分電盤 | 原子炉建屋（地下2階） | -4.0m |
| | | 16 | 低圧炉心スプレイ系 | ポンプ，電動弁，空調機 | 原子炉建屋（地下2階） | -4.0m |
| | | 17 | 低圧注水系（残留熱除去系） | ポンプ，電動弁，空調機 | 原子炉建屋（地下2階） | -4.0m |
| | | 18 | 自動減圧系 | 制御盤 | 原子炉建屋（2階） | +18.0m |
| | サポート系 | 19 | 復水貯蔵タンク | タンク | 屋外 | +3.0m |
| | | 20 | 燃料移送系 | タンク，ポンプ | 屋外 | +8.3m |
| | | 21 | 直流電源系 | 分電盤 | 原子炉建屋（地下2階） | -4.0m |
| | | 22 | 非常用交流電源系 | ディーゼル発電設備 | 原子炉建屋（地下2階） | -4.0m |

第 3.2.2.1-5 表 建屋・機器リスト (2/2)

| 区 分 | | No. | 建屋・機器（系統）名称 | | 設置場所※ ¹ | 設置場所 の高さ※ ¹ (EL.) |
|---------------------|-----------------------|-----|--------------------------------------|------|--------------------|------------------------------------|
| 起因事象 を緩和す る設備 | サ ポ ー ト 系 | 23 | 残留熱除去系海水系（海水ポンプ及び関連機器含む） | ポンプ | 海水ポンプ室 | +0.8m |
| | | 24 | 残留熱除去系海水系（原子炉建屋内設置機器） | 熱交換器 | 原子炉建屋 (地下2階) | -4.0m |
| | | 25 | 非常用ディーゼル発電機用海水系（海水ポンプ及び関連機器含む） | ポンプ | 海水ポンプ室 | +0.8m |
| | | 26 | 非常用ディーゼル発電機用海水系（原子炉建屋付属棟内設置機器） | 熱交換器 | 原子炉建屋 (地下2階) | -4.0m |
| | | 27 | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系（海水ポンプ及び関連機器含む） | ポンプ | 海水ポンプ室 | +0.8m |
| | | 28 | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系（原子炉建屋内設置機器） | 熱交換器 | 原子炉建屋 (地下2階) | -4.0m |

※1 設置場所の高さは、工事計画認可申請書、配管施工図、配置図、据付図等を元に調査し、没水、被水による機能喪失に着目して、当該機器の設置床面の高さを記載している。（添付資料 3.2.2.1-7）

なお、複数の機器が異なる高さに設置されている場合は、今回の津波 P R A の評価の前提条件を踏まえ、以下の方針で記載している。

<海水ポンプ室>

防潮堤越流により、海水ポンプ室内の機器が没水、被水するため、複数の機器が異なる高さに設置されている場合は、最も低い位置に設置されている設備の設置床面の高さを記載している。

<原子炉建屋>

原子炉建屋の1階床面高さである EL.+8.2m に津波が到達した場合は、津波が建屋内に浸水し、建屋内の機器が没水、被水により機能喪失するものと仮定していることから、複数の機器が異なる高さに設置されている場合は、最も低い位置に設置されている設備の設置床面の高さを記載している。

<建屋本体>

原子炉建屋及びタービン建屋については、地上1階の床面高さとしている。

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (1/11)

| 区分 | No. | 設備名称 | 津波損傷モード | | 建屋・機器フラジリティ | 備考 |
|----------------|-----|----------------------|-----------|-----|--|----|
| 津波防護施設及び浸水防止設備 | 1 | 防潮堤及び防潮扉 | 没水，被水 | — | 津波の敷地内浸水を防止するものであり，没水，被水では機能喪失しないため，評価対象外とした。 | |
| | | | 波力，流体力，浮力 | ○ | 防潮堤については，防潮堤位置における津波高さ T.P. + 24m までの耐力を確保する設計としているため，原子炉建屋が浸水する津波高さ T.P. + 22m に対しても健全性を確保できる。なお，本損傷モードの発生前に津波の防潮堤越流による没水，被水により，起因事象を引き起こす設備及び起因事象を緩和する設備が機能喪失する。 | ※1 |
| | | | 洗掘 | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが，洗掘防止対策を講じる設計としているため，支配的な損傷モードとならない。 | |
| | | | 漂流物 | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが，漂流物の衝突を考慮した設計としているため，支配的な損傷モードとならない。 | ※1 |
| | 2 | 放水路止水対策（構内排水路止水対策含む） | 没水，被水 | — | 津波の敷地内浸水を防止するものであり，没水，被水では機能喪失しないため，評価対象外とした。 | |
| | | | 波力，流体力，浮力 | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが，防潮堤耐力を超える津波を考慮した設計としている。なお，本損傷モードの発生前に津波の防潮堤越流による没水，被水により，起因事象を引き起こす設備及び起因事象を緩和する設備が機能喪失する。 | ※1 |
| | | | 洗掘 | — | 放水ピット及び構内排水路には，洗掘は生じないため，評価対象外とした。 | |
| | | | 漂流物 | — | 放水ピット及び構内排水路には，漂流物は衝突しないため，評価対象外とした。 | |

※1 添付資料 3.2.2.3-1「防潮堤に対する漂流物の衝突影響評価に用いる漂流物の選定について」及び添付資料 3.2.2.3-2「防潮堤及び津波流入経路止水対策の耐力について」参照。

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (2/11)

| 区分 | No. | 設備名称 | 津波損傷モード | | 建屋・機器フラジリティ | 備考 |
|-------------------------|-----|---------------------------------|-----------|-----|--|----|
| 津波防護施設及び浸水防止設備 (つづき) | 3 | 取水路止水対策（海水取水ピット止水対策含む） | 没水，被水 | — | 津波の海水ポンプ室及び敷地内浸水を防止するものであり，没水，被水では機能喪失しないため，評価対象外とした。 | |
| | | | 波力，流体力，浮力 | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが，防潮堤耐力を超える津波を考慮した設計としている。なお，本損傷モードの発生前に津波の防潮堤越流による没水，被水により，起因事象を引き起こす設備及び起因事象を緩和する設備が機能喪失する。 | ※1 |
| | | | 洗掘 | — | 海水ポンプ室及び海水取水ピットには，洗掘は生じないため，評価対象外とした。 | |
| | | | 漂流物 | — | 海水ポンプ室及び海水取水ピットには，漂流物は衝突しないため，評価対象外とした。 | |
| | 4 | 原子炉建屋外壁部（地下部分）止水対策（隣接する建屋境界部含む） | 没水，被水 | — | 津波の原子炉建屋内浸水を防止するものであり，没水，被水では機能喪失しないため，評価対象外とした。 | |
| | | | 波力，流体力，浮力 | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが，取水路止水対策が損傷した場合に生じるものであるため，可能性は小さいと想定した。 | |
| | | | 洗掘 | — | 原子炉建屋地下部であり，洗掘の影響は生じないため，評価対象外とした。 | |
| | | | 漂流物 | — | 原子炉建屋地下トレンチ取り合い部及び隣接建屋境界に対する止水対策であり，漂流物は衝突しないため，評価対象外とした。 | |
| 起因事象を引き起こす設備 | 5 | 残留熱除去系海水系（海水ポンプ及び海水ポンプ室内関連機器含む） | 没水，被水 | ○ | 防潮堤高さ T.P. +20m を超える津波の越流により，海水ポンプ室浸水が生じ，機能喪失する。 | |
| | | | 波力，流体力，浮力 | — | 本損傷モードの発生前に没水，被水により残留熱除去系海水系は機能喪失するため，評価対象外とした。 | |
| | | | 洗掘 | — | 海水ポンプ室内であり，洗掘は生じないため，評価対象外とした。 | |
| | | | 漂流物 | — | 海水ポンプ室内であり，漂流物は衝突しないため，評価対象外とした。 | |

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (3/11)

| 区分 | No. | 設備名称 | 津波損傷モード | | 建屋・機器フラジリティ | 備考 |
|--|-----|---|----------------------|---|---|----|
| 起 因 事 象 を 引 き 起 こ す 設 備 (つ づ き) | 6 | 非 常 用 デ ィ ー ゼ ル 発 電 機 用 海 水 系 (海 水 ポ ン プ 及 び 海 水 ポ ン プ 室 内 関 連 機 器 含 む) | 没 水 , 被 水 | ○ | 防 潮 堤 高 さ T.P. + 20m を 超 え る 津 波 の 越 流 に よ り , 海 水 ポ ン プ 室 浸 水 が 生 じ , 機 能 喪 失 す る 。 | |
| | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | — | 本 損 傷 モ ー ド の 発 生 前 に 没 水 , 被 水 に よ り 非 常 用 デ ィ ー ゼ ル 発 電 機 用 海 水 系 は 機 能 喪 失 す る た め , 評 価 対 象 外 と し た 。 | |
| | | | 洗 掘 | — | 海 水 ポ ン プ 室 内 で あ り , 洗 掘 は 生 じ な い た め , 評 価 対 象 外 と し た 。 | |
| | | | 漂 流 物 | — | 海 水 ポ ン プ 室 内 で あ り , 漂 流 物 は 衝 突 し な い た め , 評 価 対 象 外 と し た 。 | |
| | 7 | 高 圧 炉 心 ス プ レ イ 系 デ ィ ー ゼ ル 発 電 機 用 海 水 系 (海 水 ポ ン プ 及 び 海 水 ポ ン プ 室 内 関 連 機 器 含 む) | 没 水 , 被 水 | ○ | 防 潮 堤 高 さ T.P. + 20m を 超 え る 津 波 の 越 流 に よ り , 海 水 ポ ン プ 室 浸 水 が 生 じ , 機 能 喪 失 す る 。 | |
| | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | — | 本 損 傷 モ ー ド の 発 生 前 に 没 水 , 被 水 に よ り 高 圧 炉 心 ス プ レ イ 系 デ ィ ー ゼ ル 発 電 機 用 海 水 系 は 機 能 喪 失 す る た め , 評 価 対 象 外 と し た 。 | |
| | | | 洗 掘 | — | 海 水 ポ ン プ 室 内 で あ り , 洗 掘 は 生 じ な い た め , 評 価 対 象 外 と し た 。 | |
| | | | 漂 流 物 | — | 海 水 ポ ン プ 室 内 で あ り , 漂 流 物 は 衝 突 し な い た め , 評 価 対 象 外 と し た 。 | |
| | 8 | 循 環 水 ポ ン プ | 没 水 , 被 水 | ○ | 防 潮 堤 高 さ T.P. + 20m を 超 え る 津 波 の 越 流 に よ り , 海 水 ポ ン プ 室 浸 水 が 生 じ , 機 能 喪 失 す る 。 | |
| | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | — | 本 損 傷 モ ー ド の 発 生 前 に 没 水 , 被 水 に よ り 循 環 水 ポ ン プ は 機 能 喪 失 す る た め , 評 価 対 象 外 と し た 。 | |
| | | | 洗 掘 | — | 海 水 ポ ン プ 室 内 で あ り , 洗 掘 は 生 じ な い た め , 評 価 対 象 外 と し た 。 | |
| | | | 漂 流 物 | — | 海 水 ポ ン プ 室 内 で あ り , 漂 流 物 は 衝 突 し な い た め , 評 価 対 象 外 と し た 。 | |

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果（4／11）

| 区分 | No. | 設備名称 | 津波損傷モード | | 建屋・機器フラジリティ | 備考 |
|--|-----|-----------------------------|----------------------|-----|--|----|
| 起 因 事 象 を 引 き 起 こ す 設 備 (つ づ き) | 9 | 補 機 冷 却 系 海 水 ポ ン プ | 没 水 , 被 水 | ○ | 防潮堤高さ T.P. + 20m を超える津波の越流により, 海水ポンプ室浸水が生じ, 機能喪失する。 | |
| | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | — | 本損傷モードの発生前に没水, 被水により補機冷却系海水ポンプは機能喪失するため, 評価対象外とした。 | |
| | | | 洗 掘 | — | 海水ポンプ室内であり, 洗掘は生じないため, 評価対象外とした。 | |
| | | | 漂 流 物 | — | 海水ポンプ室内であり, 漂流物は衝突しないため, 評価対象外とした。 | |
| | 10 | 起 動 変 圧 器 , 予 備 変 圧 器 | 没 水 , 被 水 | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが, 本損傷モードが発生する津波高さで没水, 被水により原子炉建屋内浸水が生じ, 原子炉建屋内機器が機能喪失する。 | |
| | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが, 本損傷モードの発生前に没水, 被水により原子炉建屋内浸水が生じ, 原子炉建屋内機器が機能喪失する。 | |
| | | | 洗 掘 | (○) | 同上 | |
| | | | 漂 流 物 | (○) | 同上 | |

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (5/11)

| 区分 | No. | 設備名称 | 津波損傷モード | | 建屋・機器フラジリティ | 備考 |
|--|-----|--------|---------------|-----|--|----|
| 起 因 事 象 を 引 き 起 こ す 設 備 (つ づ き) | 11 | 原子炉建屋 | 没水，被水 (浸水) | ○ | 防潮堤位置における津波高さ T.P. +22m を超える津波により，原子炉建屋 1 階床面高さである EL. +8.2m まで津波が到達した場合，原子炉建屋内浸水が生じ，原子炉建屋内機器の機能喪失が発生する。 | ※2 |
| | | | 波力，流体力，浮力 | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが，本損傷モードの発生前に没水，被水により原子炉建屋内浸水が生じ，原子炉建屋内機器が機能喪失する。 | |
| | | | 洗掘 | — | 原子炉建屋は岩盤上に設置されているため，支配的な損傷モードとならない。 | |
| | | | 漂流物 | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが，本損傷モード発生前に没水，被水により機能喪失が発生する。 | |
| | 12 | タービン建屋 | 没水，被水 (浸水) | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが，本損傷モードが発生する津波高さで没水，被水により原子炉建屋内浸水が生じ，原子炉建屋内機器が機能喪失する。 | ※2 |
| | | | 波力，流体力，浮力 | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが，本損傷モードの発生前に没水，被水により原子炉建屋内浸水が生じ，原子炉建屋内機器が機能喪失する。 | |
| | | | 洗掘 | — | タービン建屋は岩盤上に設置されているため，支配的な損傷モードとならない。 | |
| | | | 漂流物 | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが，本損傷モード発生前に没水，被水により機能喪失が発生する。 | |

※2 添付資料 3.2.2.3-3「津波による敷地内浸水解析について」参照。以下，同じ。

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (6/11)

| 区分 | | No. | 設備名称 | 津波損傷モード | | 建屋・機器フラジリティ | 備考 |
|--|--------------------------------------|-----|---------------|-------------|-----|---|----|
| 起 因 事 象 を 引 き 起 こ す 設 備 (つ づ き) | | 13 | 排気筒 | 没水, 被水 | — | 鋼製部材より構成されるものであり, 没水, 被水では機能喪失しないため, 評価対象外とした。 | |
| | | | | 波力, 流体力, 浮力 | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが, 本損傷モード発生前に没水, 被水により原子炉建屋内浸水が生じ, 原子炉建屋内機器が機能喪失する。 | |
| | | | | 洗掘 | (○) | 同上 | |
| | | | | 漂流物 | (○) | 同上 | |
| 起 因 事 象 を 緩 和 する 設 備 | フ ロ ン ト ラ イ ン 系 | 14 | 高圧炉心ス プレイ系 | 没水, 被水 | ○ | 防潮堤位置における津波高さ T.P. + 22m を超える津波により, 原子炉建屋 1 階床面高さである EL. + 8.2m まで津波が到達すると, 建屋内浸水により機能喪失する。 | ※2 |
| | | | | 波力, 流体力, 浮力 | — | 原子炉建屋内に設置されているため, 評価対象外とした。 | |
| | | | | 洗掘 | — | 同上 | |
| | | | | 漂流物 | — | 同上 | |
| | | 15 | 原子炉隔離 時冷却系 | 没水, 被水 | ○ | 防潮堤位置における津波高さ T.P. + 22m を超える津波により, 原子炉建屋 1 階床面高さである EL. + 8.2m まで津波が到達すると, 建屋内浸水により機能喪失する。 | ※2 |
| | | | | 波力, 流体力, 浮力 | — | 原子炉建屋内に設置されているため, 評価対象外とした。 | |
| | | | | 洗掘 | — | 同上 | |
| | | | | 漂流物 | — | 同上 | |

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果（7／11）

| 区分 | | No. | 設備名称 | 津波損傷モード | | 建屋・機器フラジリティ | 備考 |
|---|--------------------------------------|-----|---------------------------------|----------------------|---|---|----|
| 起 因 事 象 を 緩 和 す る 設 備 (つ づ き) | フ ロ ン ト ラ イ ン 系 | 16 | 低 圧 炉 心 ス プ レ イ 系 | 没 水 , 被 水 | ○ | 防潮堤位置における津波高さ T.P. +22m を超える津波により, 原子炉建屋 1 階床面高さである EL. +8.2m まで津波が到達すると, 建屋内浸水により機能喪失する。 | ※2 |
| | | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | — | 原子炉建屋内に設置されているため, 評価対象外とした。 | |
| | | | | 洗 掘 | — | 同上 | |
| | | | | 漂 流 物 | — | 同上 | |
| | | 17 | 低 圧 注 水 系 (残 留 熱 除 去 系) | 没 水 , 被 水 | ○ | 防潮堤位置における津波高さ T.P. +22m を超える津波により, 原子炉建屋 1 階床面高さである EL. +8.2m まで津波が到達すると, 建屋内浸水により機能喪失する。 | ※2 |
| | | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | — | 原子炉建屋内に設置されているため, 評価対象外とした。 | |
| | | | | 洗 掘 | — | 同上 | |
| | | | | 漂 流 物 | — | 同上 | |
| | | 18 | 自 動 減 圧 系 | 没 水 , 被 水 | ○ | 防潮堤位置における津波高さ T.P. +22m を超える津波により, 原子炉建屋 1 階床面高さである EL. +8.2m まで津波が到達すると, 建屋内浸水により機能喪失する。 | ※2 |
| | | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | — | 原子炉建屋内に設置されているため, 評価対象外とした。 | |
| | | | | 洗 掘 | — | 同上 | |
| | | | | 漂 流 物 | — | 同上 | |

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果（8／11）

| 区分 | | No. | 設備名称 | 津波損傷モード | | 建屋・機器フラジリティ | 備考 |
|--|-----------------------|-----|------------------|----------------------|-------|---|----|
| 起 因 事 象 を 緩 和 す る 設 備 (つ づ き) | サ ポ ー ト 系 | 19 | 復 水 貯 蔵 タ ン ク | 没 水 , 被 水 | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが, 本損傷モードの発生前に没 水, 被水により原子炉建屋内浸水が生じ, 原子炉建屋内機器が機 能喪失する。 | |
| | | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | (○) | 同上 | |
| | | | | 洗 掘 | (○) | 同上 | |
| | | | | 漂 流 物 | (○) | 同上 | |
| | | 20 | 燃 料 移 送 系 | 没 水 , 被 水 | (○) | 機能喪失要因となる可能性があるが, 本損傷モードの発生前に没 水, 被水により原子炉建屋内浸水が生じ, 原子炉建屋内機器が機 能喪失する。 | |
| | | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | (○) | 同上 | |
| | | | | 洗 掘 | (○) | 同上 | |
| | | | | 漂 流 物 | (○) | 同上 | |

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (9/11)

| 区分 | | No. | 設備名称 | 津波損傷モード | | 建屋・機器フラジリティ | 備考 |
|--|-----------------------|-----|--|---------------|---|---|----|
| 起 因 事 象 を 緩 和 す る 設 備 (つ づ き) | サ ポ ー ト 系 | 21 | 直 流 電 源 系 | 没水，被水 | ○ | 防潮堤位置における津波高さ T.P. + 22m を超える津波により，原子炉建屋 1 階床面高さである EL. + 8.2m まで津波が到達すると，建屋内浸水により機能喪失する。 | ※2 |
| | | | | 波力，流体 力，浮力 | — | 原子炉建屋内に設置されているため，評価対象外とした。 | |
| | | | | 洗掘 | — | 同上 | |
| | | | | 漂流物 | — | 同上 | |
| | | 22 | 非 常 用 交 流 電 源 系 | 没水，被水 | ○ | 防潮堤位置における津波高さ T.P. + 22m を超える津波により，原子炉建屋 1 階床面高さである EL. + 8.2m まで津波が到達すると，建屋内浸水により機能喪失する。 | ※2 |
| | | | | 波力，流体 力，浮力 | — | 原子炉建屋内に設置されているため，評価対象外とした。 | |
| | | | | 洗掘 | — | 同上 | |
| | | | | 漂流物 | — | 同上 | |
| | | 23 | 残 留 熱 除 去 系（海水ポン プ及び海水ポン プ室内関連機器 含む） | 没水，被水 | ○ | 防潮堤高さ T.P. + 20m を超える津波の越流により，海水ポンプ室浸水が生じ，機能喪失する。 | |
| | | | | 波力，流体 力，浮力 | — | 本損傷モードの発生前に没水，被水により残留熱除去系は機能喪失するため，評価対象外とした。 | |
| | | | | 洗掘 | — | 海水ポンプ室内であり，洗掘は生じないため，評価対象外とした。 | |
| | | | | 漂流物 | — | 海水ポンプ室内であり，漂流物は衝突しないため，評価対象外とした。 | |

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (10/11)

| 区分 | | No. | 設備名称 | 津波損傷モード | | 建屋・機器フラジリティ | 備考 |
|--|-----------------------|-----|---|----------------------|---|---|----|
| 起 因 事 象 を 緩 和 す る 設 備 (つ づ き) | サ ポ ー ト 系 | 24 | 残 留 熱 除 去 系 (原 子 炉 建 屋 内 機 器) | 没 水 , 被 水 | ○ | 防潮堤位置における津波高さ T.P. +22m を超える津波により, 原 子 炉 建 屋 1 階 床 面 高 さ で あ る E.L. +8.2m ま で 津 波 が 到 達 す る と , 建 屋 内 浸 水 に よ り 機 能 喪 失 す る 。 | ※2 |
| | | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | — | 原子炉建屋内に設置されているため, 評価対象外とした。 | |
| | | | | 洗 掘 | — | 同上 | |
| | | | | 漂 流 物 | — | 同上 | |
| | | 25 | 非 常 用 デ ィ ーゼ ル 発 電 機 用 海 水 系 (海 水 ポ ン プ 及 び 海 水 ポ ン プ 室 内 関 連 機 器 含 む) | 没 水 , 被 水 | ○ | 防潮堤高さ T.P. +20m を超える津波の越流により, 海水ポンプ室 浸水が生じ, 機能喪失する。 | |
| | | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | — | 本損傷モードの発生前に没水, 被水により非常用ディーゼル発電 機 用 海 水 系 は 機 能 喪 失 す る た め , 評 価 対 象 外 と し た 。 | |
| | | | | 洗 掘 | — | 海水ポンプ室内であり, 洗掘は生じないため, 評価対象外とした。 | |
| | | | | 漂 流 物 | — | 海水ポンプ室内であり, 漂流物は衝突しないため, 評価対象外と した。 | |
| | | 26 | 非 常 用 デ ィ ーゼ ル 発 電 機 用 海 水 系 (原 子 炉 建 屋 付 属 棟 内 機 器) | 没 水 , 被 水 | ○ | 防潮堤位置における津波高さ T.P. +22m を超える津波により, 原 子 炉 建 屋 1 階 床 面 高 さ で あ る E.L. +8.2m ま で 津 波 が 到 達 す る と , 建 屋 内 浸 水 に よ り 機 能 喪 失 す る 。 | ※2 |
| | | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | — | 原子炉建屋内に設置されているため, 評価対象外とした。 | |
| | | | | 洗 掘 | — | 同上 | |
| | | | | 漂 流 物 | — | 同上 | |

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (11/11)

| 区分 | | No. | 設備名称 | 津波損傷モード | | 建屋・機器フラジリティ | 備考 |
|--|-----------------------|-----|---|----------------------|---|--|----|
| 起 因 事 象 を 緩 和 す る 設 備 (つ づ き) | サ ポ ー ト 系 | 27 | 高 圧 炉 心 ス プ レ イ 系 デ ィ ー ゼ ル 発 電 機 用 海 水 系 (海 水 ポ ン プ 及 び 海 水 ポ ン プ 室 内 関 連 機 器 含 む) | 没 水 , 被 水 | ○ | 防潮堤高さ T.P. + 20m を超える津波の越流により, 海水ポンプ室 浸水が生じ, 機能喪失する。 | |
| | | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | — | 本損傷モードの発生前に没水, 被水により機能喪失するため, 評 価対象外とした。 | |
| | | | | 洗 掘 | — | 海水ポンプ室内であり, 洗掘は生じないため, 評価対象外とした。 | |
| | | | | 漂 流 物 | — | 海水ポンプ室内であり, 漂流物は衝突しないため, 評価対象外と した。 | |
| | | 28 | 高 圧 炉 心 ス プ レ イ 系 デ ィ ー ゼ ル 発 電 機 用 海 水 系 (原 子 炉 建 屋 内 機 器) | 没 水 , 被 水 | ○ | 防潮堤位置における津波高さ T.P. + 22m を超える津波により, 原 子炉建屋 1 階床面高さである EL. + 8.2m まで津波が到達すると, 建屋内浸水により機能喪失する。 | ※2 |
| | | | | 波 力 , 流 体 力 , 浮 力 | — | 原子炉建屋内に設置されているため, 評価対象外とした。 | |
| | | | | 洗 掘 | — | 同上 | |
| | | | | 漂 流 物 | — | 同上 | |

＜津波損傷モードにおける記号凡例＞

- 当該損傷モードが機器の機能喪失の支配的な要因になる。
- (○) 当該損傷モードは機器の機能喪失要因となる可能性があるが, 当該損傷モード発生前に他の損傷モードにより機能喪失する又は支配的な損傷モードとならないあるいは可能性が小さい。
- 当該損傷モードにより機器は機能喪失しない又は対象外。

第 3.2.2.4-1 表 津波高さによるシナリオ分類

| 津波区分 | 津波高さ | 津波による影響を受ける建屋・機器 | 起因事象 |
|--------|-----------------------|--|--|
| 津波区分 1 | T. P. +20m～T. P. +22m | ・ 非常用海水ポンプ機能喪失 | ・ 最終ヒートシンク喪失 |
| 津波区分 2 | T. P. +22m～T. P. +24m | ・ 非常用海水ポンプ機能喪失 ・ 起動変圧器，予備変圧器機能喪失 ・ 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失） | ・ 原子炉建屋内浸水による 複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失） |
| 津波区分 3 | T. P. +24m～ | ・ 非常用海水ポンプ機能喪失 ・ 起動変圧器，予備変圧器機能喪失 ・ 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失） ・ 防潮堤損傷 | ・ 防潮堤損傷 |

第 3.2.2.4-2 表 起因事象発生後の人的過誤

| 起因事象発生後の人的過誤 | | 余裕時間 | ストレスファクタ※ | | 過誤確率 (平均値) [／d] | エラー ファクタ |
|--------------|-------------|------|-----------|----|-----------------------|-------------|
| | | | 認知 | 操作 | | |
| 原子炉水位制御操作失敗 | | 30 分 | 5 | 5 | 6.6E-03 | 6.4 |
| 水源切替操作失敗 | | 30 分 | 5 | 5 | 6.6E-03 | 6.4 |
| 起動信号共通原因故障時 | 注水不能認知失敗 | 30 分 | 5 | － | 2.6E-03 | 13.8 |
| | 高圧注水系起動操作失敗 | － | － | 5 | 6.2E-03 | 3.0 |

※ 内部事象出力運転時レベル 1 P R A と比較して 1 段階高いストレスレベルのストレスファクタを設定。

第 3.2.2.4-3 表 津波区分ごとの炉心損傷頻度

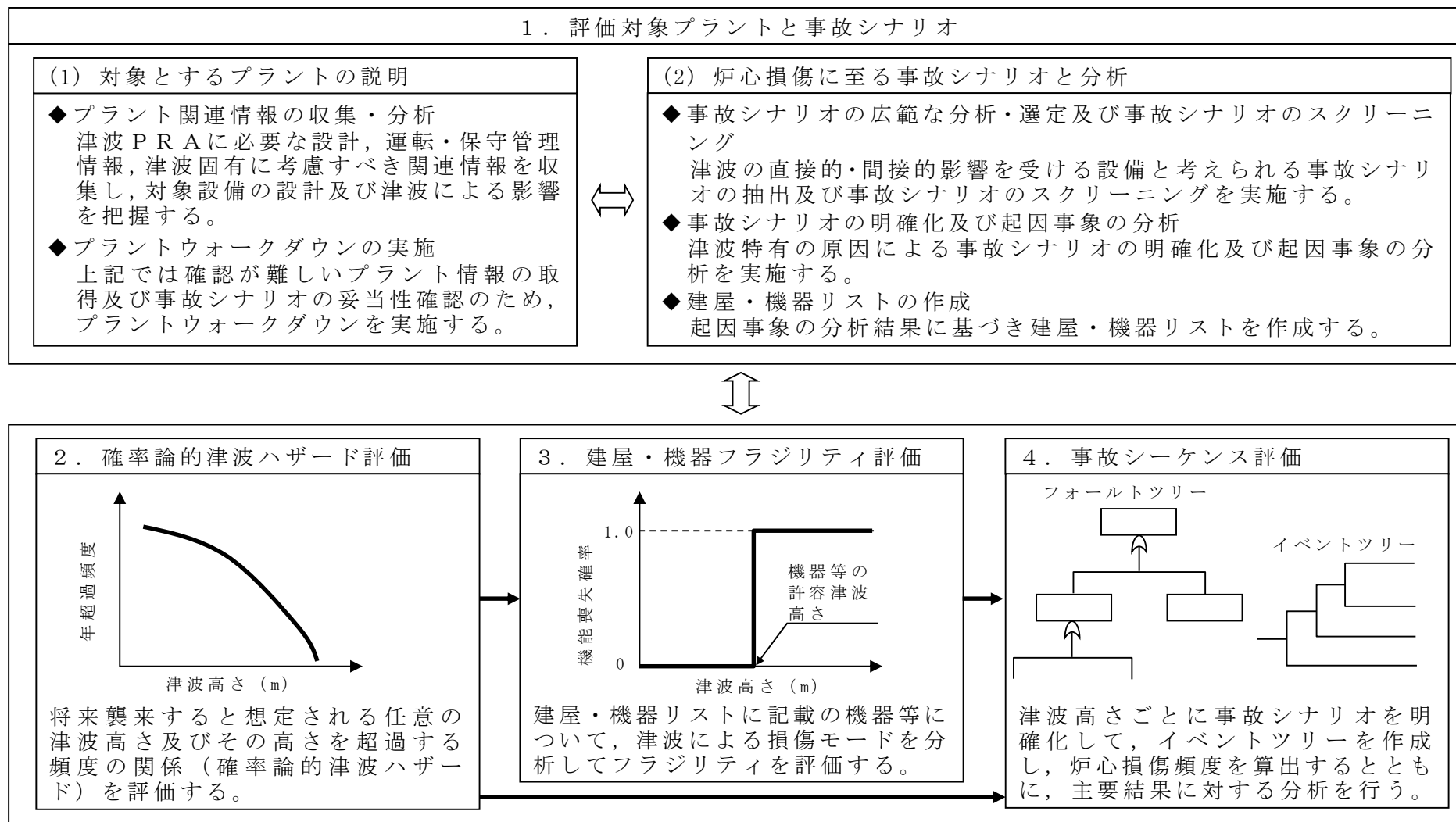
| 津波区分 | 津波高さ | 津波発生頻度 (／年) | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 |
|---------|-----------------------|----------------|-----------------|---------|
| 津波区分 1 | T. P. +20m～T. P. +22m | 3. 2E-06 | 3. 2E-06 | 74. 6% |
| 津波区分 2 | T. P. +22m～T. P. +24m | 7. 6E-07 | 7. 6E-07 | 17. 7% |
| 津波区分 3 | T. P. +24m～ | 3. 3E-07 | 3. 3E-07 | 7. 7% |
| 全炉心損傷頻度 | | | 4. 3E-06 | 100. 0% |

第 3.2.2.4-4 表 事故シーケンスごとの炉心損傷頻度

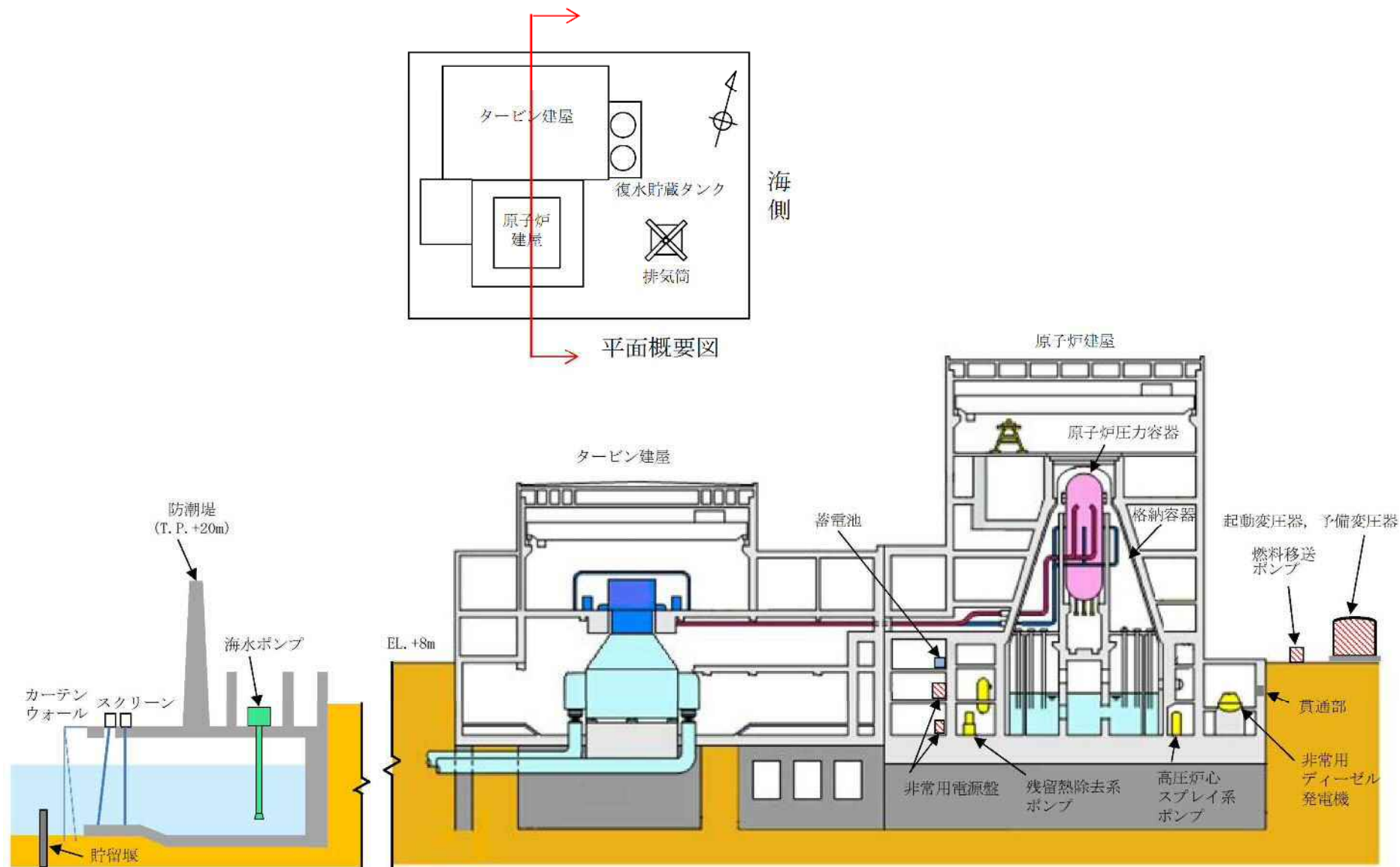
| 事故シーケンス | 津波区分 | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 |
|----------------------------------|--------|-----------------|---------|
| 最終ヒートシンク喪失（蓄電池枯渇後 R C I C 停止） | 津波区分 1 | 3. 2E-06 | 73. 9% |
| 最終ヒートシンク喪失＋高圧炉心冷却失敗 | 津波区分 1 | 1. 1E-08 | 0. 3% |
| 最終ヒートシンク喪失＋逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 津波区分 1 | 1. 7E-08 | 0. 4% |
| 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失） | 津波区分 2 | 7. 6E-07 | 17. 7% |
| 防潮堤損傷 | 津波区分 3 | 3. 3E-07 | 7. 7% |
| 全炉心損傷頻度 | | 4. 3E-06 | 100. 0% |

第 3.2.2.4－5 表 感度解析結果

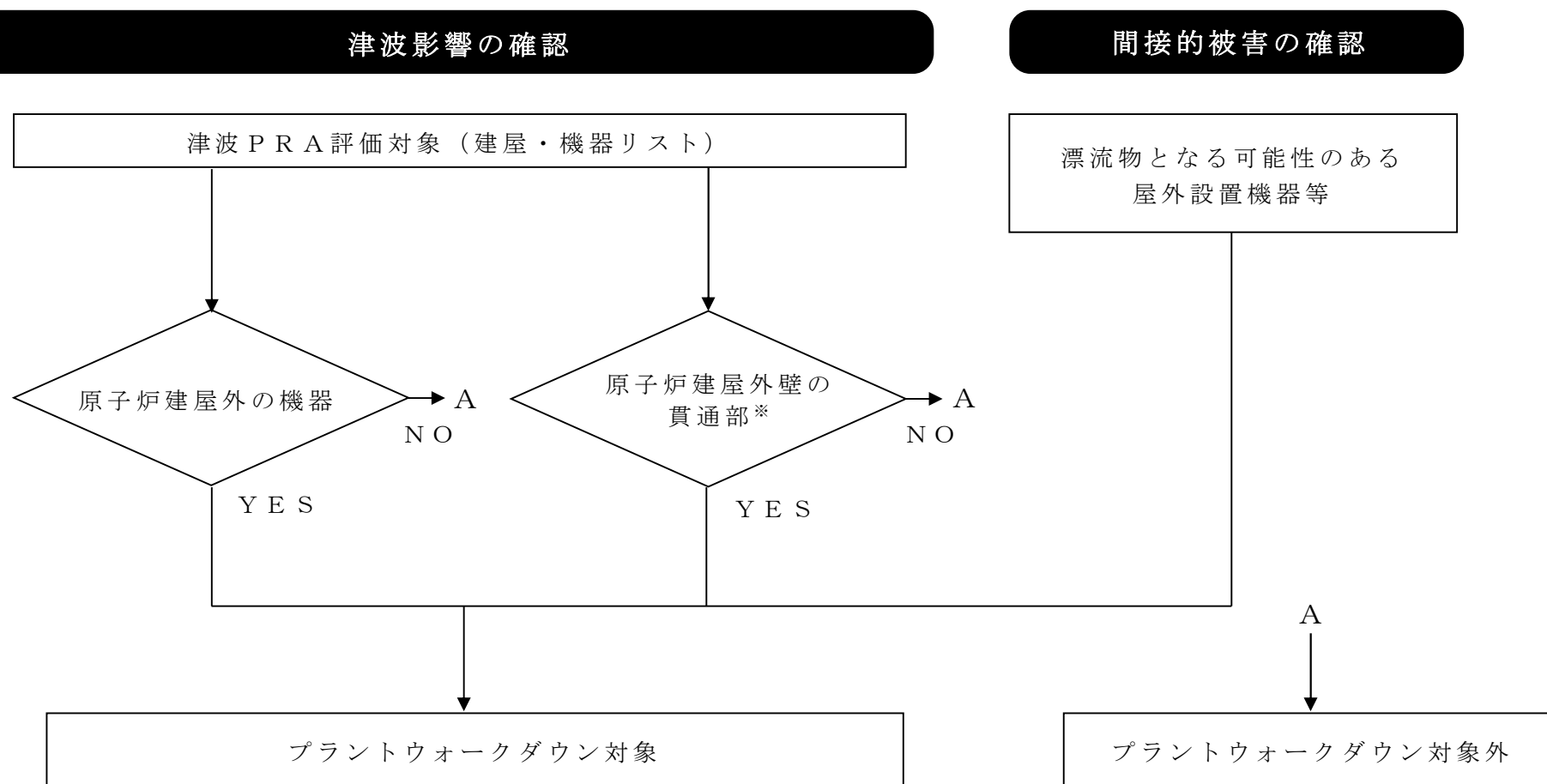
| 事故シーケンス | 津波区分 | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 |
|--------------------------------------|--------|-----------------|--------|
| 外部電源喪失＋最終ヒートシンク喪失（蓄電池枯渇後 R C I C 停止） | 津波区分 1 | 3.2E-06 | 73.9% |
| 外部電源喪失＋最終ヒートシンク喪失＋高圧炉心冷却失敗 | 津波区分 1 | 1.1E-08 | 0.3% |
| 外部電源喪失＋最終ヒートシンク喪失＋逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 津波区分 1 | 1.7E-08 | 0.4% |
| 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失） | 津波区分 2 | 7.6E-07 | 17.7% |
| 防潮堤損傷 | 津波区分 3 | 3.3E-07 | 7.7% |
| 全炉心損傷頻度 | | 4.3E-06 | 100.0% |



第 3.2.2-1 図 津波PRAの評価フロー



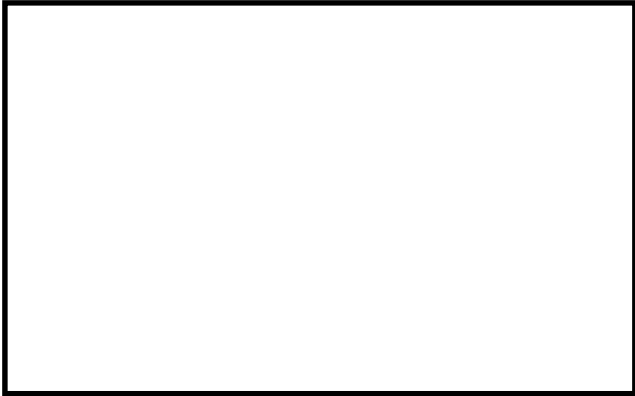

第 3.2.2.1-1 図 プラントの設備配置の概略図



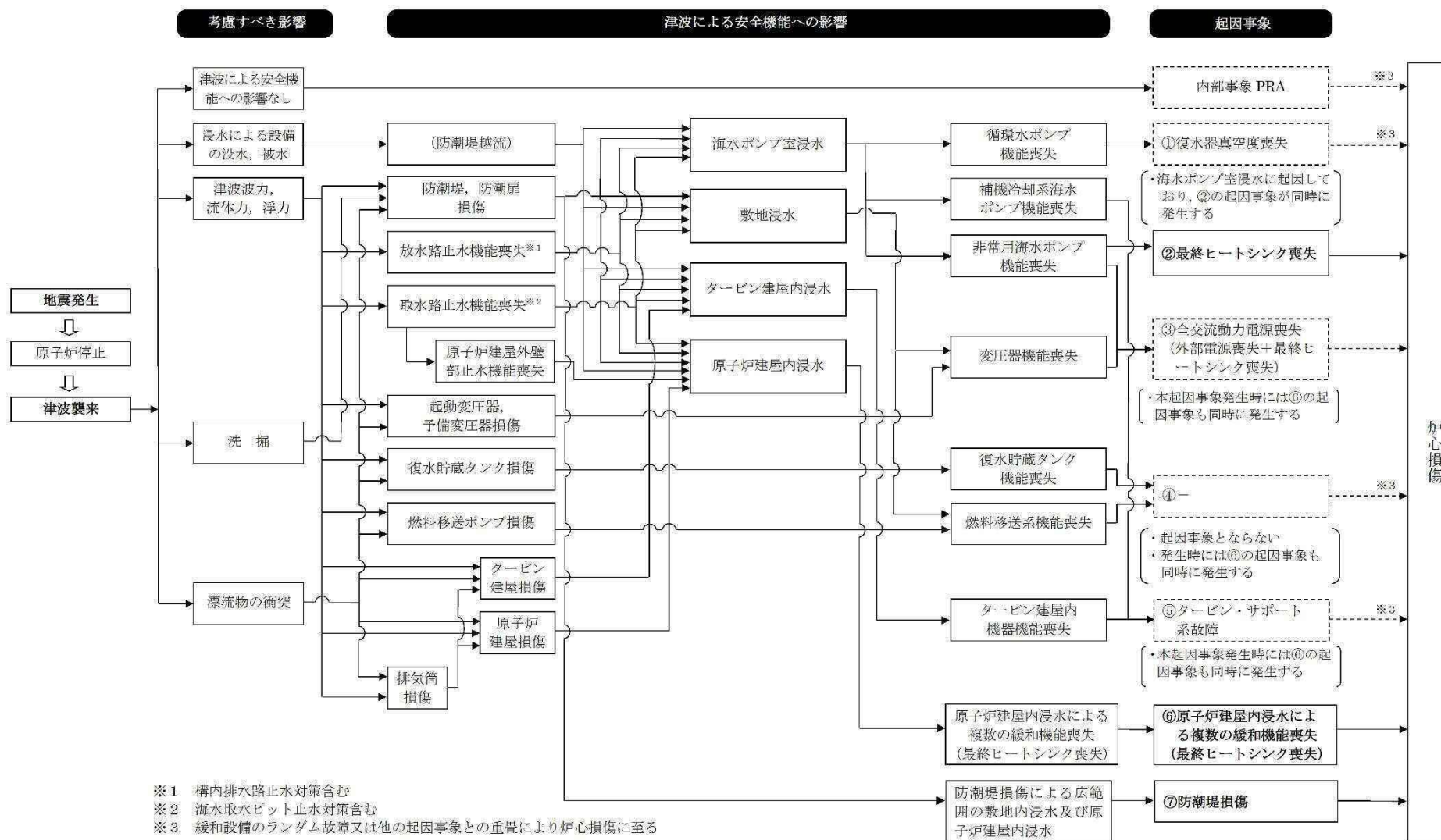
※ 原子炉建屋 1 階床面高さ EL. + 8.2m 以下の範囲

第 3.2.2.1-2 図 プラントウォークダウン対象機器の選定フロー

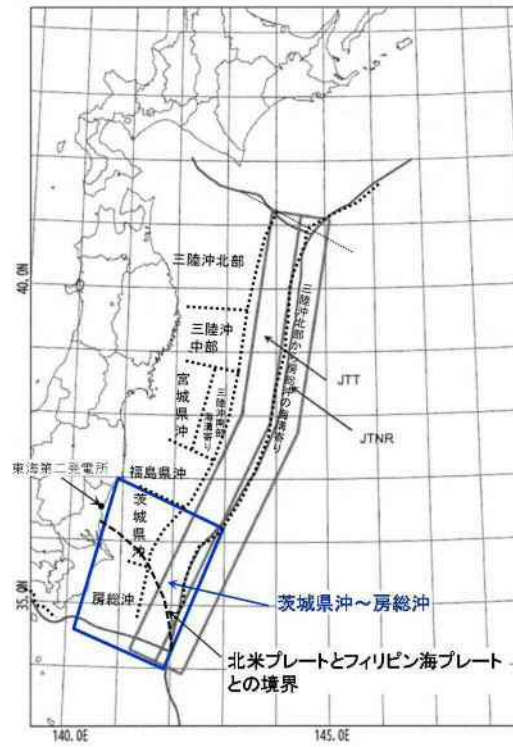
現地調査表（調査日 2014/8/25）

| | | | | |
|--|---|---|------|--|
| 【東海第二発電所】屋外 | | | | No. 1 |
| ウォークダウン対象機器名称 | | 残留熱除去系海水系ポンプ A | | |
| 調査対象の設置場所 | | 海水ポンプ室 | | |
| | | PP：内・外 | | |
|  | |  | | |
| No | 確認内容 | 評価 | 備考 | 考察 |
| 1 | 対象機器の図面（配置図・構造図等）と相違点は無いか | 問題なし | | ・設置位置は防潮堤設置予定位置に隣接している。ポンプの上部は大気開放状態であるため、防潮堤を越流した海水が流れ込むと考えられる。 ・基礎ボルトの状態に問題はなく、津波による機器の離脱及び移動の可能性は低い。 ・間接的な影響を及ぼす対象物はなし。 |
| 2 | 屋外の構築物・機器については、その周辺環境も含め、潜在的に波力に対する耐力を大きく低減させるような問題点は無いか。 a. 基礎ボルト（又は設置面溶接部）、及び支持構造物に概観上の異常（腐食・亀裂等）は無いか（ボルトの場合は締め付けについても確認） b. 対象機器周辺の配管に概観上の異常（腐食・亀裂等）は無いか | 問題なし | | |
| 3 | 津波襲来時に建物外部にある設備の津波による離脱、移動等起因して生じる干渉及び衝突の間接的な被害の可能性はないか。 | 問題なし | | |
| | | 評価 | 問題なし | 備考 |

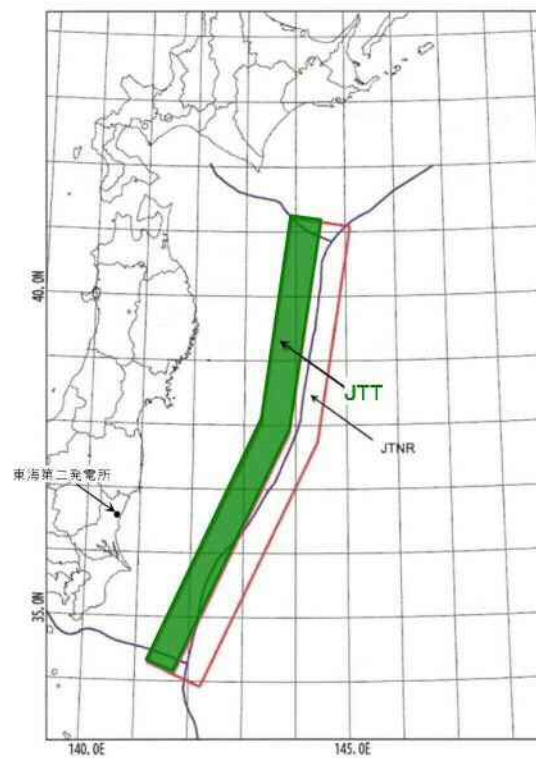
第 3.2.2.1-3 図 プラントウォークダウン用チェックシート（残留熱除去系海水系ポンプの例）



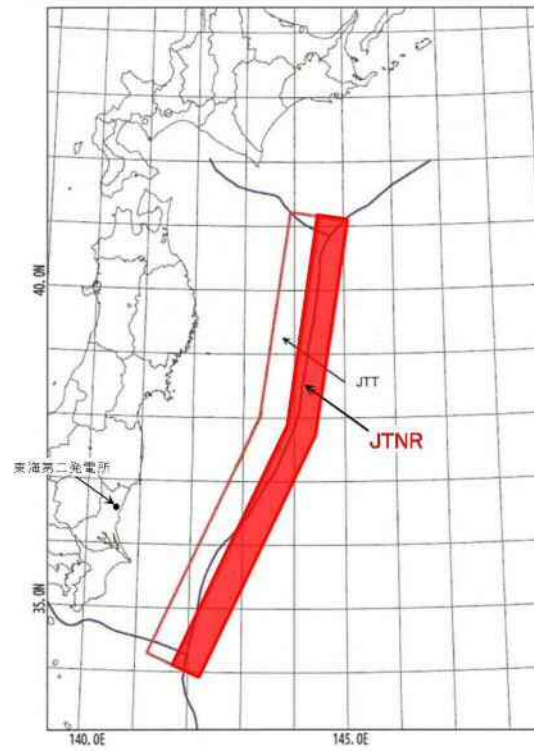
第 3.2.2.1-4 図 事故シナリオの明確化及び起因事象の分析結果



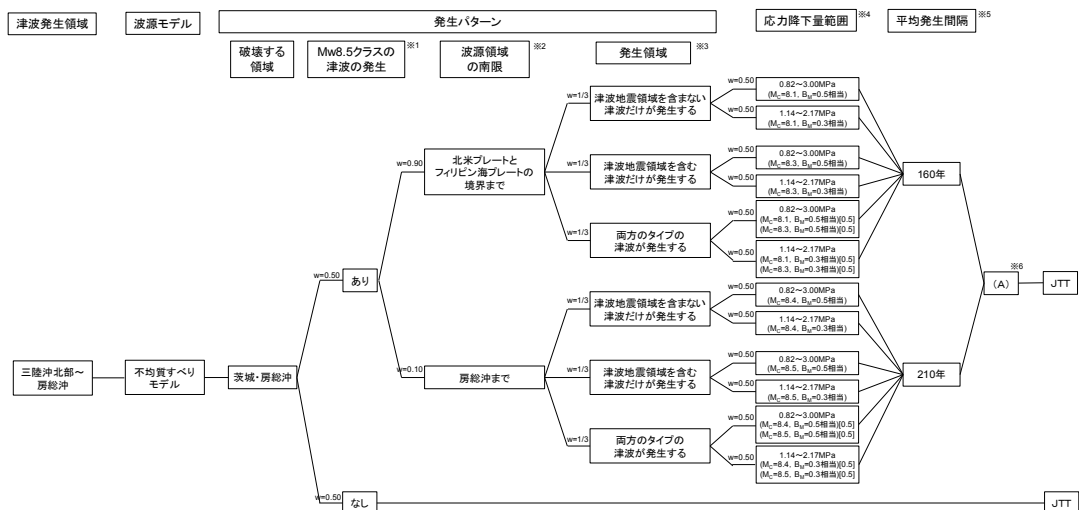
第 3.2.2.2-1 図(1) 津波発生領域(茨城県沖～房総沖)



第 3.2.2.2-1 図(2) 津波発生領域 (J T T)



第 3.2.2.2-1 図(3) 津波発生領域 (J T N R)



※1 過去に発生したという知見はないが、今後起きることを考慮して分岐及び重みを設定

※2 2011年東北地方太平洋沖地震の特徴と関連する知見を考慮して設定

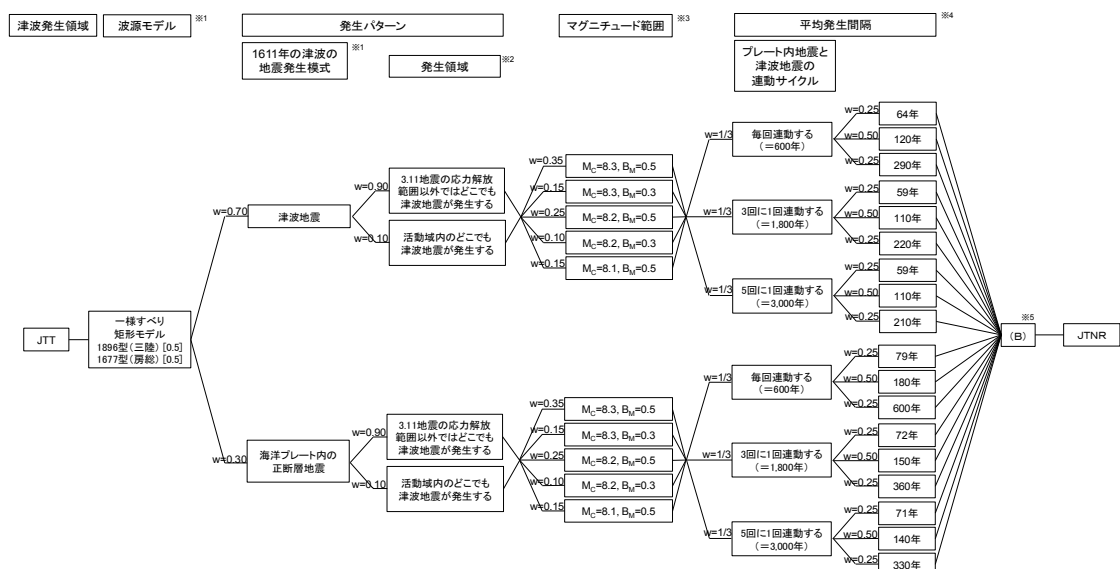
※3 貞観地震は2011年東北地方太平洋沖地震と同様に津波地震領域が連動しているという考え方と連動していないという考え方があるため、分岐として設定

※4 土木学会（2016）等を参考に分岐及び重みを設定

※5 Gutenberg-Richter式を参考に、分岐及び重みを設定

※6 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー（偶然的不確実さの考慮）

第 3.2.2.2-2 図(1) 津波発生モデルのロジックツリー (プレート間地震と津波地震の連動型地震)



※1 土木学会（2016）等を参考に分岐及び重みを設定

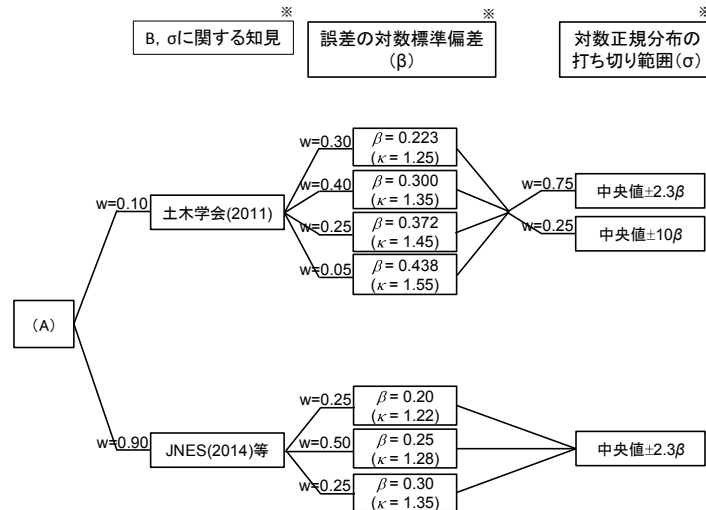
※2 2011年東北地方太平洋沖地震の応力解放範囲で津波地震が発生する可能性については、2011年東北地方太平洋沖地震の発生により、同地震で活動した領域に蓄積していた歪みはほぼ解消したため、発電所の供用期間には同領域で巨大地震は発生しないと考えられる。しかしながら、津波地震については、単独で活動する際に必要な歪みは相対的に小さいことを踏まえ、分岐及び重みを設定

※3 土木学会（2009）等を参考に分岐及び重みを設定

※4 津波地震の平均発生間隔については、土木学会（2011）を参考に、プレート間地震と津波地震の連動型地震である東北地方太平洋沖型の地震のうち津波地震領域を含む地震の発生間隔を除いて分岐及び重みを設定

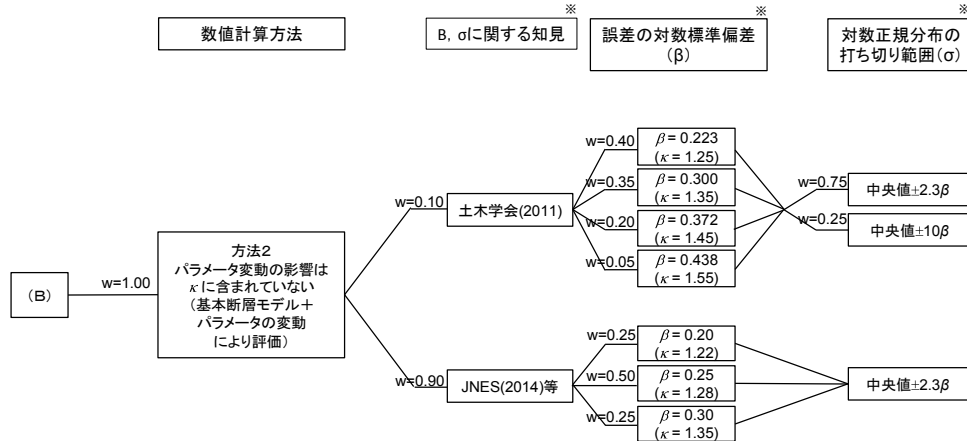
※5 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー（偶然的不確実さの考慮）

第 3.2.2.2-2 図(2) 津波発生モデルのロジックツリー（J T T）



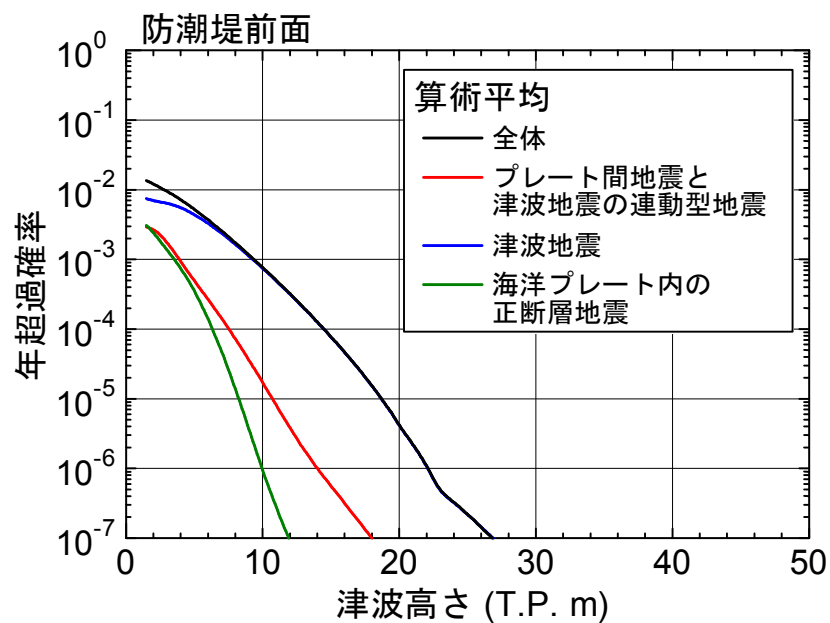
※ 土木学会（2011），原子力安全基盤機構（2014）等を参考に分岐及び重みを設定

第 3.2.2.2-3 図(1) 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー (不均質すべりモデル)

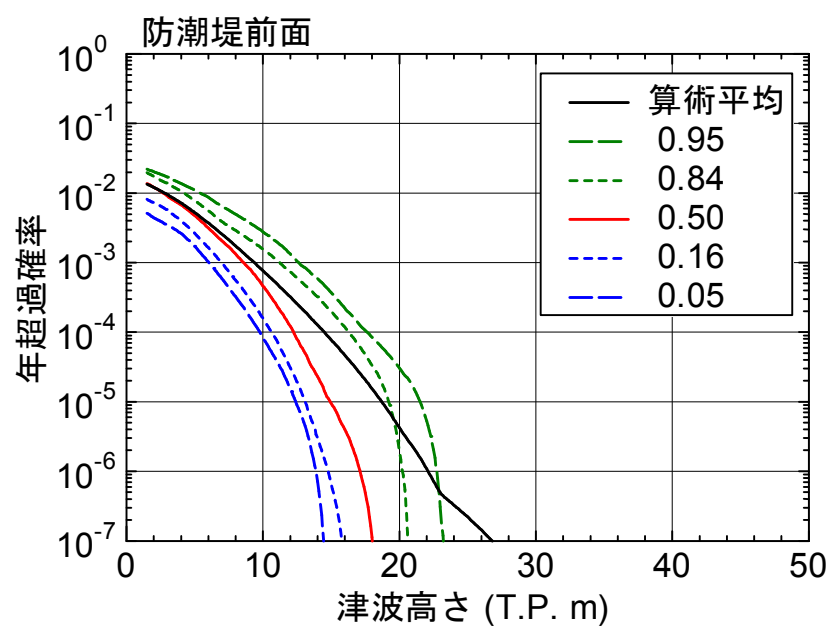


※ 土木学会（2011），原子力安全基盤機構（2014）等を参考に分岐及び重みを設定

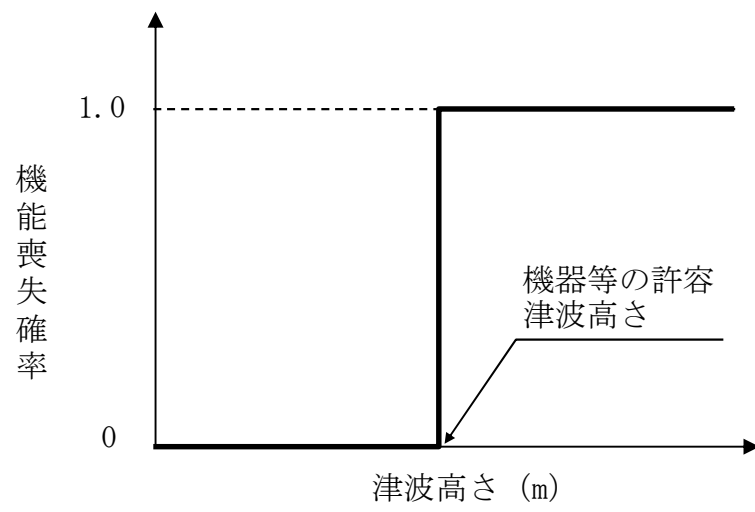
第 3.2.2.2-3 図(2) 津波推定値のばらつきに関するロジックツリー (一様すべり矩形モデル)



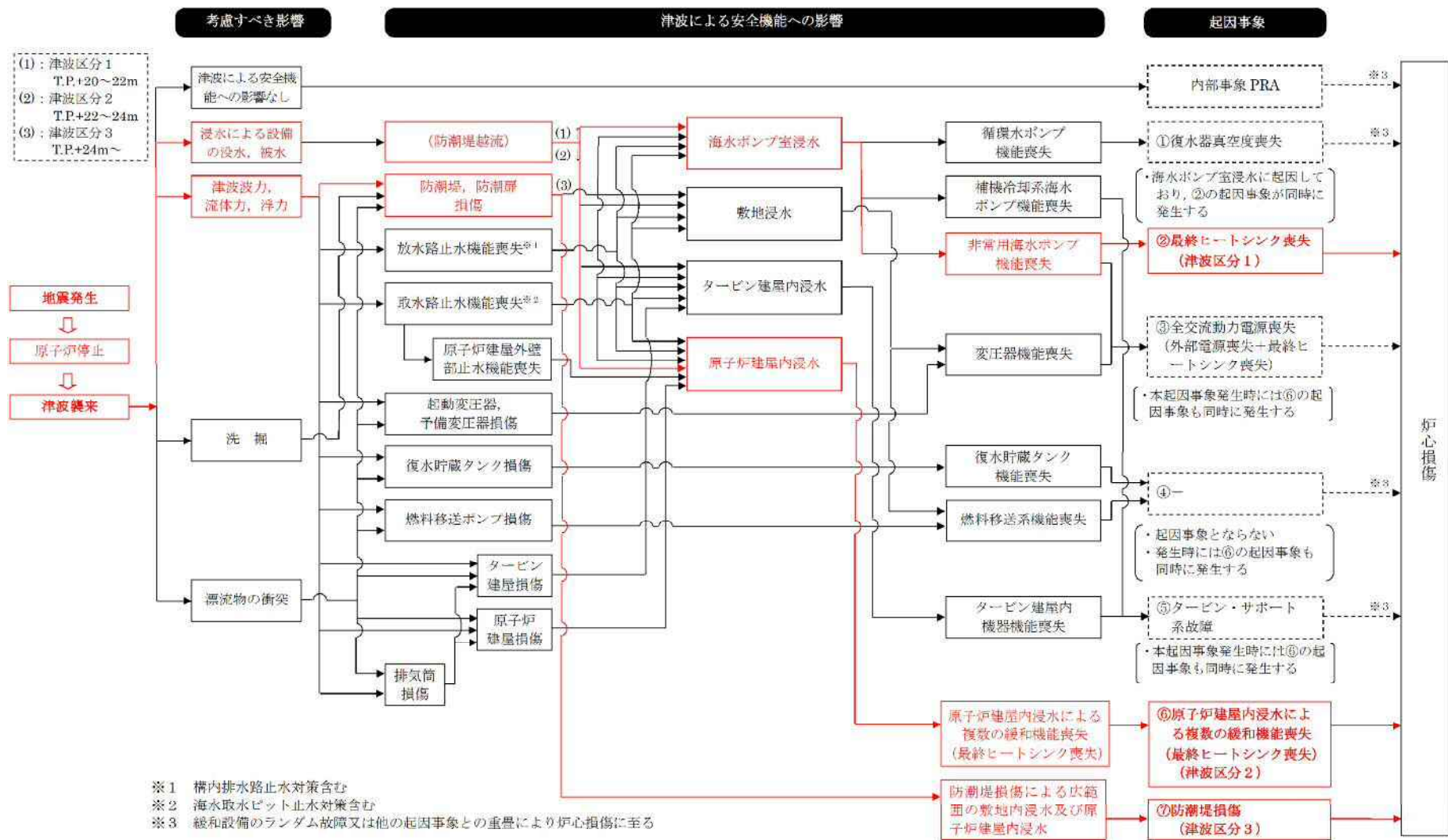
第 3. 2. 2. 2－4 図 波源別のハザード曲線(上昇側，防潮堤前面)



第 3. 2. 2. 2－5 図 フラクタイルハザード曲線(上昇側，防潮堤前面)



第 3.2.2.3-1 図 機器等のフラジリティ曲線（波力，没水，被水）



第 3.2.2.4-1 図 評価対象となる事故シナリオと起因事象

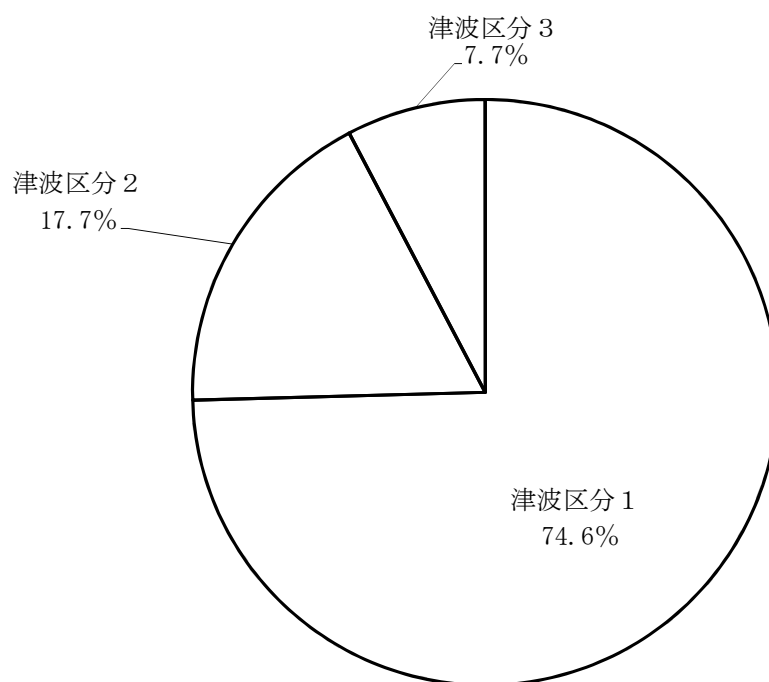
| 津波 (津波高さ) | 防潮堤損傷 (T. P. + 24m～) | 原子炉建屋内浸水 (T. P. + 22m～24m) | 最終ヒートシンク喪失 (T. P. + 20m～22m) | 発生する起因事象 | 事故シーケンス |
|--------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---|---|
| | | | 発生なし | 最終ヒートシンク喪失 (T. P. + 20m～22m) 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失 (最終ヒートシンク喪失) ※ (T. P. + 22m～24m) 防潮堤損傷※ (T. P. + 24m～) | 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失 (最終ヒートシンク喪失) 防潮堤損傷 |
| | | 発生なし | | | |
| | 発生なし | | 発生 | | |
| | 発生 | 発生 | | | |

※ 炉心損傷直結のためイベントツリーは展開しない。

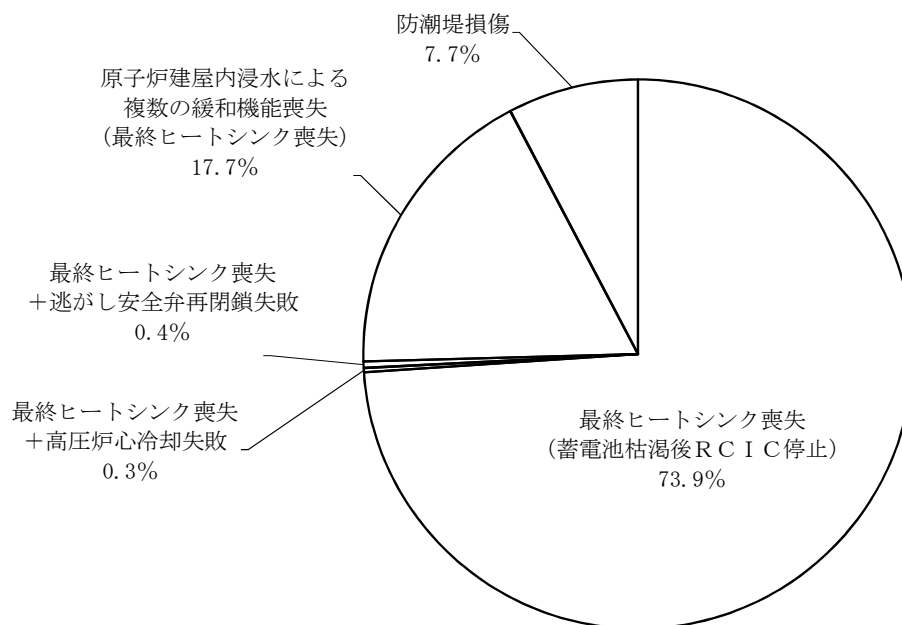
第 3.2.2.4-2 図 階層イベントツリー

| 最終ヒートシンク喪失 | 圧力バウンダリ健全性 | 高圧炉心冷却 | 事故シーケンス |
|------------|------------|--------|-------------------------------|
| | | 成功 | 最終ヒートシンク喪失（蓄電池枯渇後 R C I C 停止） |
| | 成功 | 失敗 | |
| | 失敗 | | 最終ヒートシンク喪失 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 |

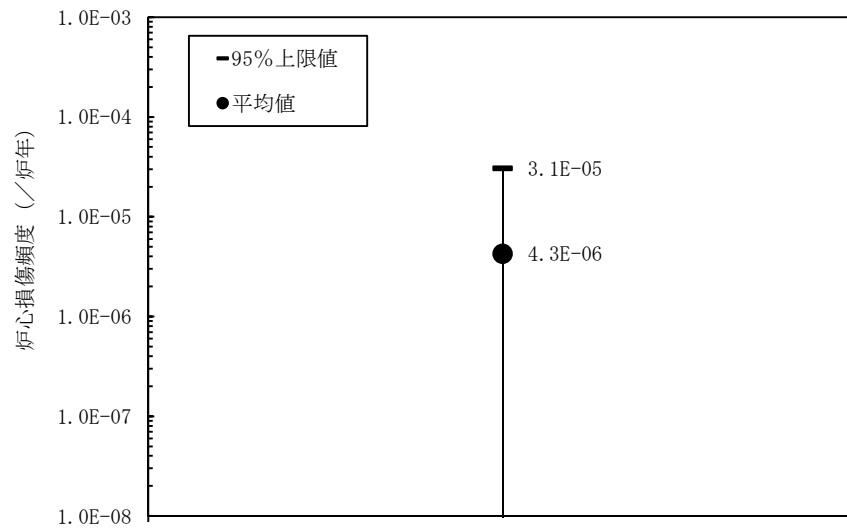
第 3.2.2.4-3 図 最終ヒートシンク喪失のイベントツリー



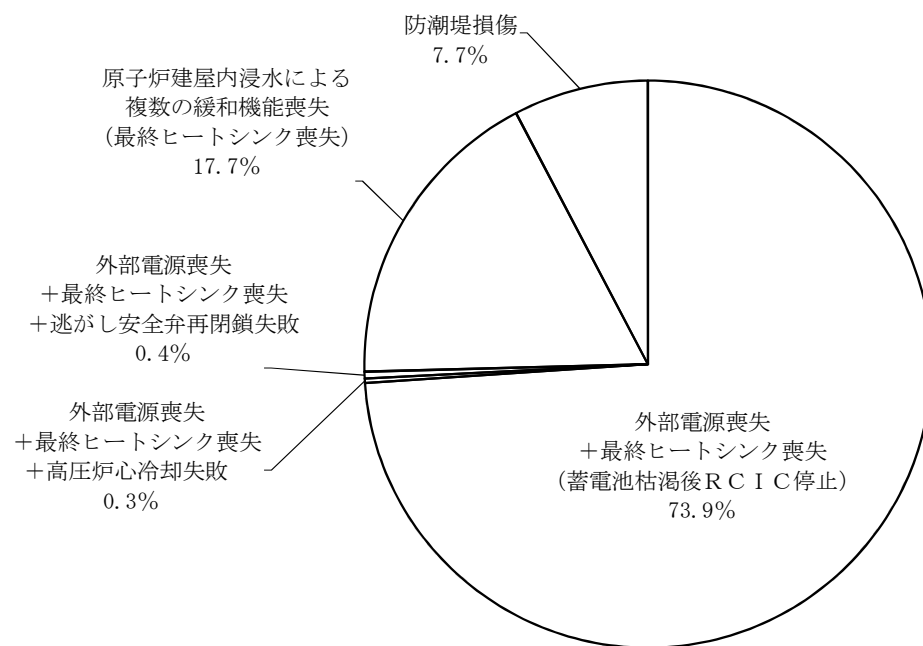
第 3.2.2.4-4 図 津波区分ごとの炉心損傷頻度への寄与割合



第 3.2.2.4-5 図 事故シーケンスごとの炉心損傷頻度への寄与割合



第 3.2.2.4-6 図 不確実さ解析結果



第 3.2.2.4-7 図 感度解析

(事故シーケンスごとの全炉心損傷頻度への寄与割合)

プラントウォークダウンのチェックの観点について

1. はじめに

津波 P R A におけるプラントウォークダウンで確認すべきチェック項目の具体的内容について、以下に示す。これらの項目をチェックシートに整理し、プラントウォークダウンを実施した。

2. 調査対象機器

プラントウォークダウンの調査対象機器は、以下の種類に分類されることから、これらの種類毎にチェックの観点を整理した。

- ・ 津波の影響を受ける可能性のある屋外設置機器
- ・ 建屋外壁開口部・貫通部（海水ポンプ室含む）

3. チェックの観点

3.1 津波の影響を受ける可能性のある屋外設置機器

(1) 対象機器の図面（配置図・構造図等）と相違点は無いか

- 対象機器が、図面等から想定した設置高さ（フロア）と相違無いかチェックを行い、相違無ければチェックシートにチェックする。合わせて、対象機器の損傷部位の高さ（浸水口高さ）より低い位置に損傷要因となる部位は無いかをチェックする。
- 必要に応じて、対象機器や当該部位の写真を撮影し、エビデンスを残す。

(2) 屋外の構築物・機器については、その周辺環境も含め、潜在的に波力に対する耐力を大きく低減させるような問題点はないか。

a. 基礎ボルト（又は設置面溶接部），及び支持構造物に外観上の異常（腐食・亀裂等）は無いか（ボルトの場合は締め付けについても確認）

➤以下の点に合致していることが目視にて確認できれば，ボルトの締め付けは妥当であると判断し，チェックシートにチェックする。

- ーボルトに引かれている合いマークがずれていない
- ーボルトに塗られているペンキに割れや剥がれがない
- ースプリングワッシャーやダブルナットによるゆるみ止めがされている

- ーボルトを緩ませるような振動が発生する機器ではない

➤海水ポンプのように，海水に浸水している箇所がある設備について，防潮堤を越流する前に海水ポンプの基礎ボルトに緩みがあった場合，海水ポンプのフランジ部からの漏えいにより，海水ポンプの没水・被水が発生する可能性があることから，基礎ボルトの外観上を確認する。

➤起動変圧器，予備変圧器，復水貯蔵タンク，燃料移送系，排気筒のように敷地に設置されている設備に関しては，設置高さに津波高さが到達した場合には没水・被水することとしていることから基礎ボルトの外観上の確認は対象外とする。

➤必要に応じて，基礎ボルト（又は設置面溶接部），及び支持構造物（ボルトの締め付け含む）が確認できる写真を撮影し，エビデンスとして残す。

b. 対象機器周辺の配管に外観上の異常（腐食・亀裂等）は無い
か

- 海水ポンプ周辺の海水配管において、外観上の異常（フランジ部からの漏えい、配管本体の腐食、亀裂等）があった場合には、想定される津波高さ以下で対象設備の没水・被水が発生するため、外観上の異常の有無を確認し、チェックシートにチェックする。
- 起動変圧器，予備変圧器，復水貯蔵タンク，燃料移送系，排気筒のように敷地に設置されている設備に関しては、設置高さに津波高さが到達した場合には没水・被水することとしていることから配管の外観上の確認は対象外とする。
- 必要に応じて、当該配管の写真を撮影し、エビデンスとして残す。

(3) 津波襲来時に建物外部にある設備の津波による離脱，移動等に
起因して生じる干渉及び衝突の間接的な被害の可能性はないか。

- プラントウォークダウンの対象とした機器は、漂流物の衝突等による間接的な被害が生じる前に、没水、被水により当該機器以外の機器が機能喪失するか、建屋内機器で漂流物による被害が生じる可能性がない機器であるため、本観点からの調査は対象外とする。なお、防潮堤の機能に関わる漂流物に関しては別途検討する。

3.2 建屋外壁開口部・貫通部（海水ポンプ室含む）

(1) 対象建屋貫通部の図面（配置図等）に対し，貫通孔の有無，水

密処理の有無，高さをチェックする。

- 対象建屋貫通部が，図面等から想定した状況（貫通孔の有無，水密処理の有無，設置高さ）と相違無いかチェックを行い，相違無ければチェックシートにチェックする。
- 必要に応じて，対象の建屋貫通部，写真を撮影し，エビデンスとして残す。

(2) 対象建屋貫通部の止水状態に外観上の異常は無いか

- (1)において，水密処理の有無を確認しているが，経年劣化を考慮したときの止水状態に外観上の異常は無いかを確認する。

今回実施した津波 P R A の前提条件について

1. はじめに

東海第二発電所の津波 P R A では、敷地に遡上する津波を想定して評価を行っている。この前提に基づいた、東海第二発電所の津波 P R A のモデル化の方法について、以下に詳細を記載する。

2. 津波 P R A の前提条件

今回の津波 P R A における前提条件については、以下の前提条件に基づき実施している。この前提条件については、審査資料「3.2.2.1 (1) c. 今回実施した津波 P R A の前提条件について」に記載しているものである。

- (a) 原子炉は、津波襲来前に地震により自動停止する可能性が高く、自動停止しない場合においても、地震発生から津波襲来までの時間余裕の間に原子炉を手動停止することから、津波襲来時には原子炉は停止しているものとする。
- (b) 地震が安全上重要な設備に及ぼす影響は考慮せず、津波による影響のみを評価する。
- (c) 起因事象に対する対応は、設計基準事故対処設備による対応を基本とし、これまでに整備した A M 策及び緊急安全対策並びに重大事故等対処設備については、期待しないものとする。
- (d) 原子炉建屋の 1 階床面高さである EL. +8.2m に津波が到達した場合は、津波が建屋内に浸水し、建屋内の機器が没水、被水により機能喪失するものと仮定した。

上述の前提条件のうち、(c)と(d)の条件について、次項で説明を補足する。

3. 前提条件の補足説明

(1) 津波 P R A において期待する設備

津波 P R A の実施に当たっては、「P R A の説明における参照事項」（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）を参照し、設計基準事故対処設備による対応を基本とした条件で実施している。津波 P R A で期待する設備については、「第 3.2.2.1-5 表 建屋・機器リスト」に整理している。

東海第二発電所の津波 P R A において特徴的な設計基準事故対処設備として、津波防護施設及び浸水防止設備（防潮堤やその他敷地内への流入経路に対する止水対策）があり、防潮堤前面位置で T.P. +20m の津波に対して浸水を防護できる条件としている。このため、防潮堤前面位置での津波高さが T.P. +20m を超えるまでは、津波を起因とした炉心損傷は発生しない。

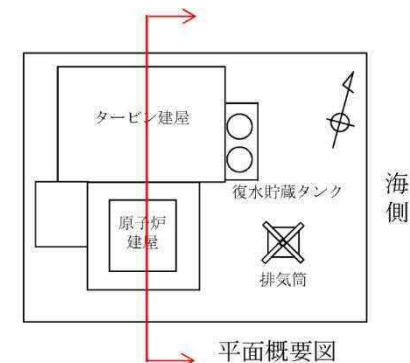
(2) 原子炉建屋の水密化の扱い

原子炉建屋外壁の水密化については、緊急安全対策として EL. +15m までの水密化対策を実施しているものの、設計基準事故対処設備としては位置付けていないため、今回の津波 P R A では期待していない。このため、敷地を遡上し原子炉建屋の 1 階床面 EL. +8.2m を超える津波に対しては、原子炉建屋内浸水が生じる。敷地内浸水解析の結果、防潮堤前面位置での津波高さが T.P. +22m～+23m の津波により、原子炉建屋内への浸水が生じることを確認しており、本評価では、T.P. +22m で建屋内浸水が生じるものとしている。

東海第二発電所の敷地配置図と津波高さの関係を図 1 に、防潮堤前面位置で T.P. +22m 及び T.P. +23m の津波による敷地内浸水解析の結果を、図 2 に示す。

◆津波高さ区分

- 津波PRAでは、防潮堤を超える領域における炉心損傷頻度を評価
- 津波区分1（EL. +8m以下の敷地浸水、津波高さT.P. +20m～T.P. +22m）
本区分では、RHRSPンプ、DGSWポンプ及びHPCS-DGSWポンプが没水、被水して、起因事象「最終ヒートシンク喪失」が発生
- 津波区分2（EL. +8m以上の敷地浸水、津波高さT.P. +22m～T.P. +24m）
原子炉建屋1階床面高さまで津波が到達し、原子炉建屋内への浸水が発生することにより、起因事象「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失）」が発生
また、本区分では変圧器の機能喪失により全交流電源喪失も発生
- 津波区分3（防潮堤損傷、津波高さT.P. +24m～）
防潮堤の損傷に伴い多量の海水が敷地内及び原子炉建屋内に浸水することにより、起因事象「防潮堤損傷」が発生



添付3.2.2.1-2-3

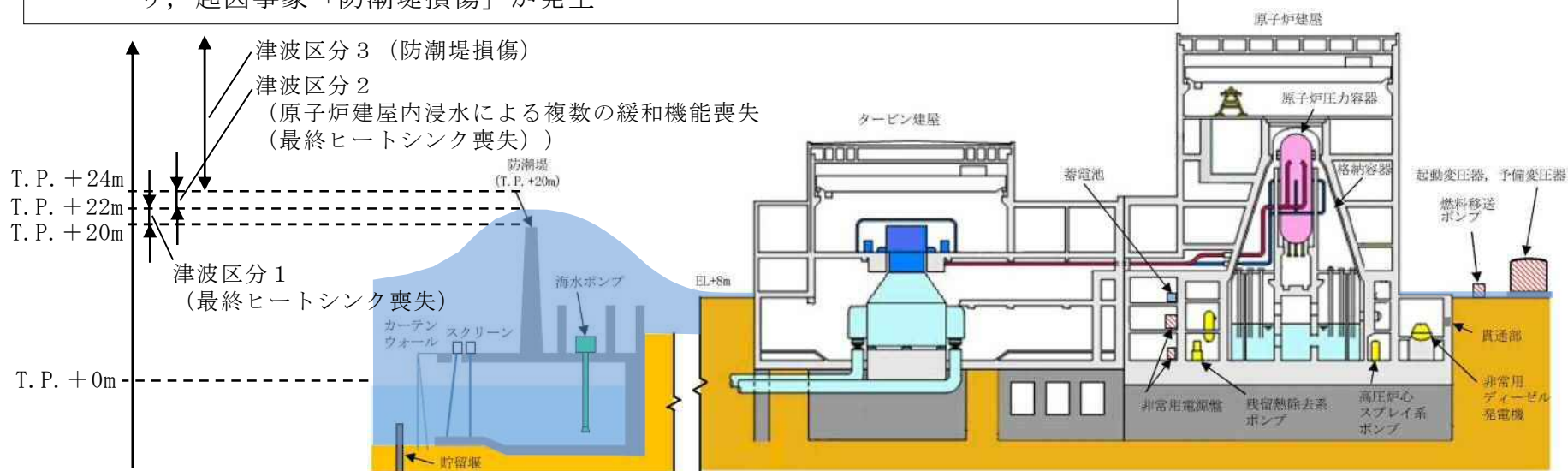


図1 東海第二発電所の敷地配置図と津波高さの関係

◆敷地内浸水解析結果

- 津波の影響を確認するため、防潮堤位置で T.P. +22m 津波と T.P. +23m 津波の敷地内浸水解析を実施
- 防潮堤位置で T.P. +22m 津波の場合、原子炉建屋 1 階床面高さ T.P. +8.2m には到達せず、T.P. +23m 津波の場合、原子炉建屋 1 階床面高さ T.P. +8.2m に到達すると評価
- 本評価結果を踏まえ、T.P. +22m 津波で原子炉建屋内浸水が生じると仮定し、T.P. +22m 津波を境にフラジリティや津波区分を設定

添付 3.2.2.1-2-4

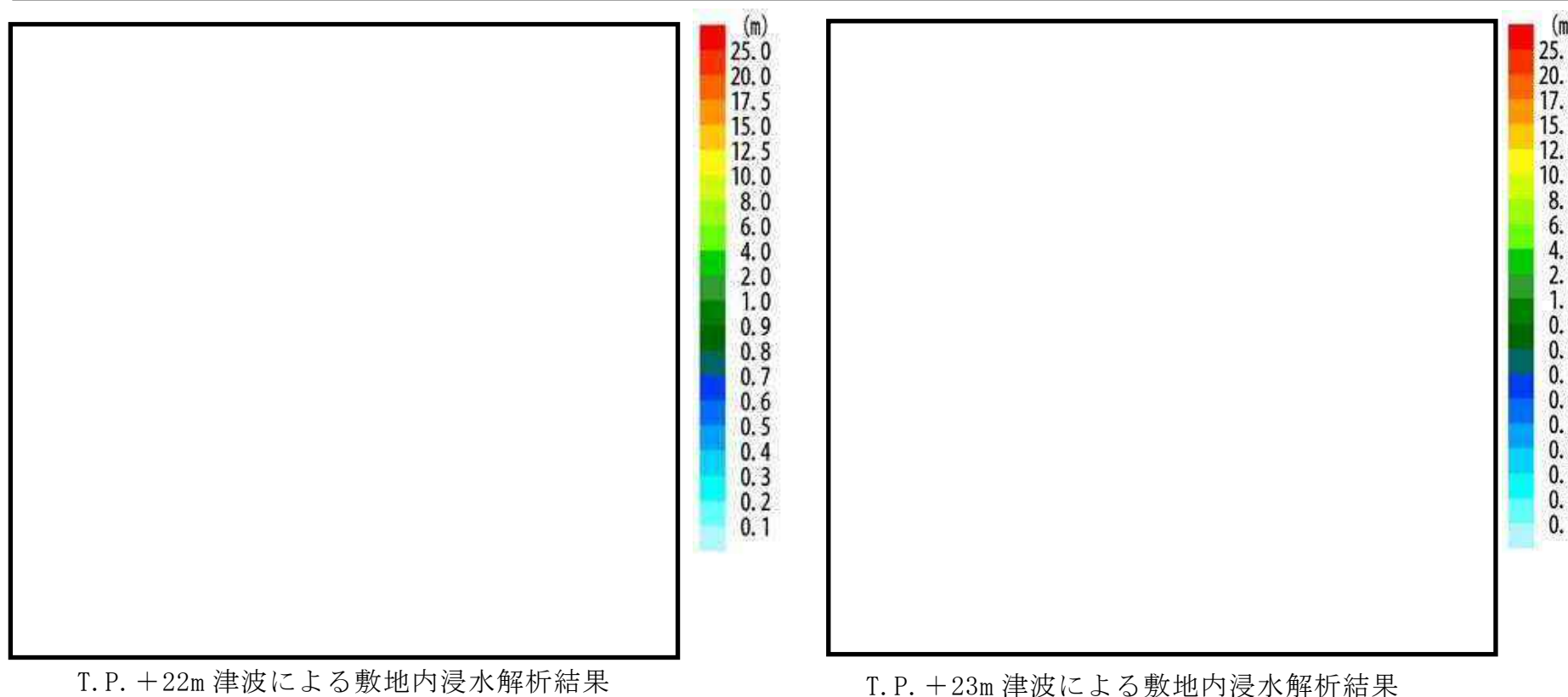


図 2 防潮堤前面位置で T.P. +22m 及び T.P. +23m の津波による敷地内浸水解析の結果

4. 原子炉建屋の水密化対策に期待した場合の評価

緊急安全対策で実施した原子炉建屋水密化対策（T. P. +15m）に期待した場合の感度解析を実施した。津波区分ごとの炉心損傷頻度の比較を表 1 に示す。

設計基準対処設備のみに期待した津波 P R A では、防潮堤高さを超える津波においては非常用海水ポンプが喪失し、炉心損傷防止ができないことから、原子炉建屋水密化対策に期待した場合においても、全炉心損傷頻度はベースケースと変わらない。

なお、本評価では重大事故等対処設備に期待していないが、これに期待した場合は津波区分 1（T. P. +20m～T. P. +22m）及び津波区分 2（T. P. +22m～T. P. +24m）の炉心損傷頻度が低減することにより、全炉心損傷頻度も低減する。

表 1 緊急安全対策で実施した原子炉建屋水密化対策に期待した場合の津波区分ごとの炉心損傷頻度

| ベースケース（水密化に期待しない） | | | | 感度解析ケース（水密化に期待する） | | | |
|----------------------------|--|-----------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------------------------|
| 津波区分 (津波高さ) | 事故シーケンス | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 全炉心損傷頻度 に対する寄与割合 (%) | 津波区分 (津波高さ) | 事故シーケンス | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 全炉心損傷頻度 に対する寄与割合 (%) |
| 津波区分 1 (T. P. +20～+22m) | 最終ヒートシンク喪失 (蓄電池枯渇後 R C I C 停止) | 3. 2E-06 | 73. 9 | 津波区分 1 (T. P. +20～+22m) | 最終ヒートシンク喪失 (蓄電池枯渇後 R C I C 停止) | 3. 2E-06 | 73. 9 |
| | 最終ヒートシンク喪失 + 高圧炉心冷却失敗 | 1. 1E-08 | 0. 3 | | 最終ヒートシンク喪失 + 高圧炉心冷却失敗 | 1. 1E-08 | 0. 3 |
| | 最終ヒートシンク喪失 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 1. 7E-08 | 0. 4 | | 最終ヒートシンク喪失 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 1. 7E-08 | 0. 4 |
| 津波区分 2 (T. P. +22～+24m) | 原子炉建屋内浸水による 複数の緩和機能喪失 (最終ヒートシンク喪失) | 7. 6E-07 | 17. 7 | 津波区分 2 (T. P. +22～+24m) | 最終ヒートシンク喪失 (蓄電池枯渇後 R C I C 停止) | 7. 5E-07 | 17. 6 |
| | | | | | 最終ヒートシンク喪失 + 高圧炉心冷却失敗 | 2. 6E-09 | <0. 1 |
| | | | | | 最終ヒートシンク喪失+逃がし 安全弁再閉鎖失敗 | 3. 9E-09 | <0. 1 |
| 津波区分 3 (T. P. +24m～) | 防潮堤損傷 | 3. 3E-07 | 7. 7 | 津波区分 3 (T. P. +24m～) | 防潮堤損傷 | 3. 3E-07 | 7. 7 |
| 合計 | | 4. 3E-06 | | 合計 | | 4. 3E-06 | |

津波襲来時の原子炉停止手順について

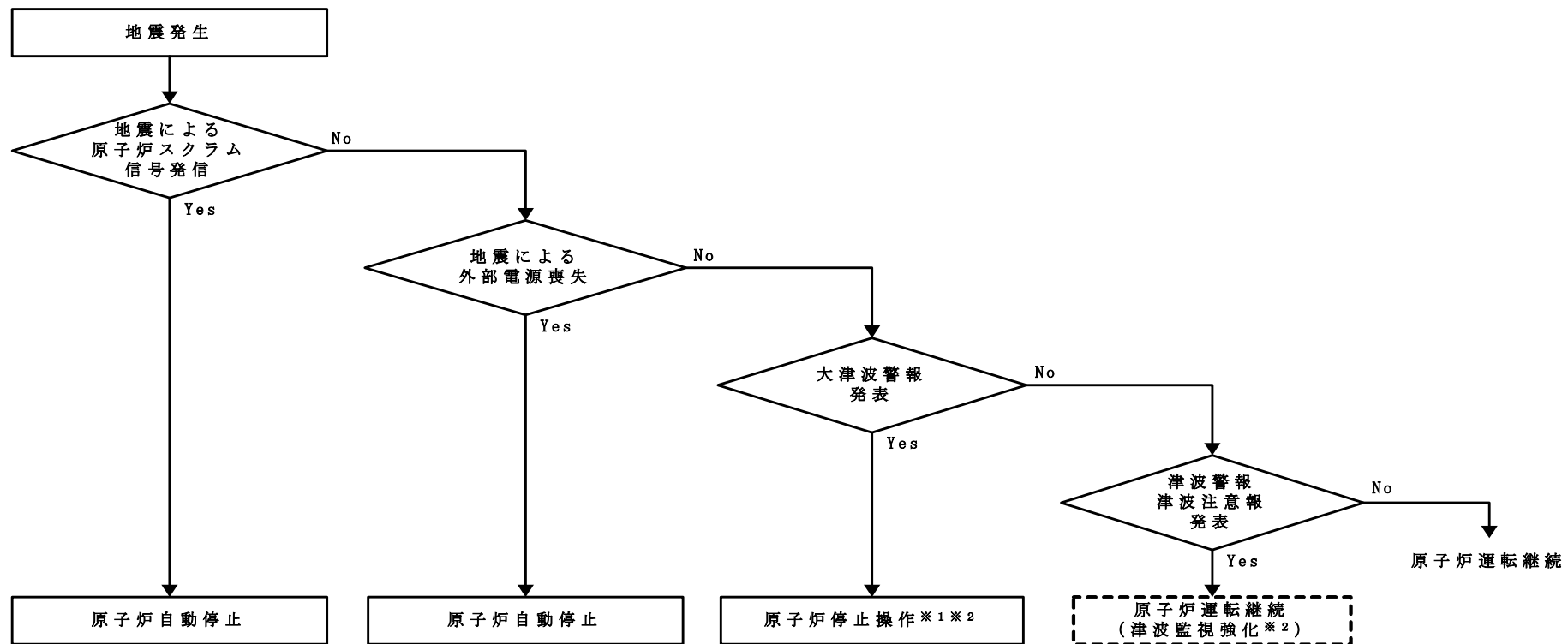
東海第二発電所近傍で大きな地震が発生した場合、当該地震を検知して原子炉は自動スクラムする。また、地震により外部電源が喪失した場合、原子炉は自動スクラムする。そのため、震源が近い地震により津波が発生するような場合は、津波襲来時までに原子炉は既に停止していると考えられる。

また、震源が遠い地震の場合等、地震によって原子炉が自動停止に至らずに津波が襲来する場合を想定し、以下の手順を整備する。

- ・ 大津波警報が発表された場合は、原則として原子炉停止操作を開始する^{注)}。
- ・ 津波警報又は津波注意報が発表された場合は、取水ピット水位計や津波監視カメラ等により津波監視を強化する。
- ・ 引き波により海水取水ピット水位が循環水ポンプの取水可能下限水位（T.P. - 1.59m：設計値）まで低下した場合等、原子炉の運転継続に支障がある場合に、原子炉を手動停止する。

注) 大津波警報が誤報であった場合、及び震源が遠い地震に伴う津波であって到達津波が到達するまでの間に大津波警報が解除又は見直された場合を除く

上記手順に則った津波襲来時の原子炉停止手順のフローを図 1 に示す。



※1：大津波警報が誤報であった場合及び震源が遠い地震に伴う津波であって、到達津波が到達するまでの間大津波警報が解除又は見直された場合を除く

※2：取水ピット水位が循環水ポンプの取水可能下限水位（T.P.-1.59m（設計値））まで低下した場合等、原子炉の運転継続に支障がある場合は、原子炉を手動停止する

図1 津波襲来時の原子炉停止手順のフロー

東海第二発電所 津波評価について (基準津波に対する安全性評価)

平成29年2月3日
日本原子力発電株式会社



1

目 次

第439回審査会合
資料2-1 再掲

| | |
|-----------------------------|----|
| 1. 基準津波に対する安全性評価 | |
| 1.1 評価概要 | 3 |
| 1.2 砂移動評価(地形変化) | 5 |
| 1.3 砂移動評価(海水ポンプ室における砂の堆積厚さ) | 28 |
| 2. 参考文献 | 35 |

補足説明資料

| | |
|-------------------------------|----|
| 1. 高橋他(1999)の手法に関する補足資料 | 37 |
| 2. 高橋他(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価 | |
| 2.1 評価概要 | 40 |
| 2.2 砂移動評価(地形変化) | 42 |
| 2.3 砂移動評価(海水ポンプ室における砂の堆積厚さ) | 54 |
| 3. 参考文献 | 57 |



2

目 次

第439回審査会合
資料2-1 再掲

1. 基準津波に対する安全性評価

1.1 評価概要

1.2 砂移動評価(地形変化)

1.3 砂移動評価(海水ポンプ室における砂の堆積厚さ)

2. 参考文献

補足説明資料

1. 高橋他(1999)の手法に関する補足資料

2. 高橋他(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

2.1 評価概要

2.2 砂移動評価(地形変化)

2.3 砂移動評価(海水ポンプ室における砂の堆積厚さ)

3. 参考文献



3

1. 基準津波に対する安全性評価

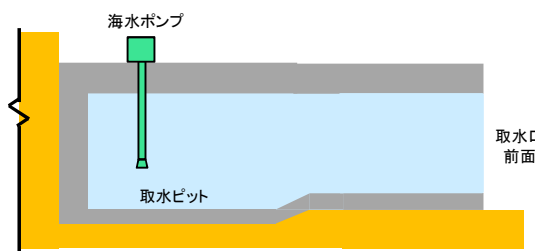
1.1 評価概要

第439回審査会合
資料2-1 再掲

- 基準津波に対する安全性の評価に関して、以下を確認する。
 - ✓ 基準津波に伴う砂移動(地形変化)について評価を実施し、取水口が閉塞しないことを確認する。
 - ✓ 海水ポンプ室(取水ピット)における砂の堆積厚さを評価し、非常用海水ポンプの取水に影響がないことを確認する。



敷地平面図



概念図



4

目次

第439回審査会合
資料2-1 再掲

1. 基準津波に対する安全性評価

1.1 評価概要

1.2 砂移動評価(地形変化)

1.3 砂移動評価(海水ポンプ室における砂の堆積厚さ)

2. 参考文献

補足説明資料

1. 高橋他(1999)の手法に関する補足資料

2. 高橋他(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

2.1 評価概要

2.2 砂移動評価(地形変化)

2.3 砂移動評価(海水ポンプ室における砂の堆積厚さ)

3. 参考文献



5

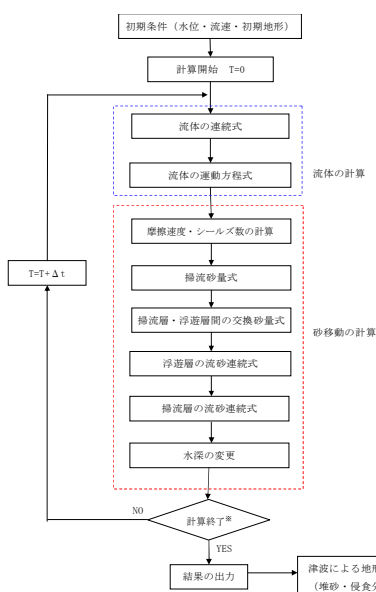
1. 基準津波に対する安全性評価 1.2 砂移動評価(地形変化)

解析概要

第439回審査会合
資料2-1 再掲

- 基準津波に伴う砂移動について評価を実施し、取水口が閉塞しないことを確認する。
- 藤井他(1998)及び高橋他(1999)の手法に基づき砂移動の数値シミュレーションを実施した。

【数値シミュレーションのフロー】



| | 藤井他 (1998) の手法 | 高橋他 (1999) の手法 |
|-----------|---|---|
| 地盤高の連続式 | $\frac{\partial Z}{\partial t} + \alpha \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{E-S}{\sigma(1-\lambda)} = 0$ | $\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{E-S}{\sigma} \right) = 0$ |
| 浮遊砂濃度連続式 | $\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} - \frac{E-S}{D} = 0$ | $\frac{\partial(C_s D)}{\partial t} + \frac{\partial(MC_s)}{\partial x} - \frac{E-S}{\sigma} = 0$ |
| 流砂量式 | 小林他 (1996) の実験式 $Q = 80\tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$ | 高橋他 (1999) の実験式 $Q = 21\tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$ |
| 巻き上げ量の算定式 | $E = \frac{(1-\alpha)Qw^2\sigma(1-\lambda)}{Uk_z \left[1 - \exp\left\{ \frac{-wD}{k_z} \right\} \right]}$ | $E = 0.012\tau_*^2 \sqrt{sgd} \cdot \sigma$ |
| 沈降量の算定式 | $S = wC_b$ | $S = wC_s \cdot \sigma$ |
| 摩擦速度の計算式 | log-wake 則 ($u_*'/U = \kappa / \{ \ln(h/Z_0) - 1 \}$ に wake 関数を付加した式) を鉛直方向に積分した式より算出 | マニング則より算出 $u_*' = \sqrt{gn^2 U U / D^{1/3}}$ |

ここで、表中の記号は以下の意味を示す。

Z : 水深変化量(m) t : 時間(s) x : 平面距離 Q : 単位幅、単位時間当たりの掃流砂量(m³/s/m) σ : シールドズ数
 w : 砂の粗度 α : $\sigma/\mu - 1$ d : 砂の粒径 g : 重力加速度(m/s²) ρ : 海水の密度(kg/m³) U : 流速(m/s)
 D : 全水深(m) U : $U \times D$ (m²/s) λ : 空率率 n : Manning の粗度係数
 m : 局所的な外力のみで移動を支配される成分が全流砂量に占める比率 (0.1 藤井他(1998)より)
 w : 土粒子の沈降速度(Hubert 式より算出)(m/s) Z_0 : 粗度高さ($k_s/30$) (m)
 k_z : 鉛直拡散係数(0.2< k_z <0.5 藤井他(1998)より) (m²/s) k_s : 相当粗度(=17.66 $m^{1/3}$) (m)
 κ : カルマン定数(0.4, 藤井他(1998)より) h : 水深(m)
 C, C_s : 浮遊砂濃度、底面浮遊砂濃度(浮遊砂濃度連続式より算出) (kg/m³) C_b : 浮遊砂体積濃度(浮遊砂濃度連続式より算出)
 log-wake 則: 対数則 $u_*'/U = \kappa / \{ \ln(h/Z_0) - 1 \}$ に wake 関数(藤井他(1998)より)を付加した式。

※計算終了は浮遊砂濃度の変動が収束するまでとする。



6

解析条件

主な解析条件

| | 設定値 | 備考 |
|-----------|---|------------|
| 砂移動モデル | ・藤井他(1998)によるモデル ・高橋他(1999)によるモデル | |
| 空間格子間隔 | 沖合4320m→2160m→720m→沿岸域240m→ 敷地周辺80m→40m→20m→10m→5mへ順次細分化 | |
| 計算時間間隔 | 0.05秒 | |
| マニングの粗度係数 | 0.03 $m^{-1/3} \cdot s$ | 土木学会(2002) |
| 浮遊砂上限濃度 | ・藤井他(1998)の手法 1%, 5% ・高橋他(1999)の手法 1% | |
| 砂の粒径 | 0.15mm | 底質調査より設定 |
| 砂粒の密度 | 2.72 g/cm^3 | 底質調査より設定 |
| 空隙率 | 0.4 | 高橋他(1992) |
| 海水の密度 | 1.03 g/cm^3 | 理科年表より設定 |
| 潮位条件※ | 水位上昇側:T.P.+0.81m 水位下降側:T.P.-0.61m | |
| 計算時間 | 地震発生後240分間(4時間) | |
| 初期砂層厚 | 無限 | |

※ 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動量を考慮



7

解析条件(浮遊砂上限濃度)

- ・高橋他(1999)の浮遊砂上限濃度について、砂移動評価に関する論文を整理した。
- ・検証の結果、浮遊砂上限濃度5%は過大評価となっている。
- ・検証の結果、浮遊砂上限濃度1%は再現性が良好である。

高橋他(1999)の検証事例

| 実規模検証 | 文献 | 計算使用 砂粒径 | 計算格子 間隔 | 浮遊砂上限濃度 | 浮遊砂上限濃度に関する評価 |
|---------------------------------|---------------|-------------|------------|---|---|
| 気仙沼湾 (1960年チリ地震津波) | 玉田他 (2009) | 0.001~1mm | 25m, 5m | 1%, 5% | ・計算格子間隔5mの場合、浮遊砂上限濃度5%では実績値より 侵食深を過大に評価 |
| 八戸港 (1960年チリ地震津波) | 藤田他 (2010) | 0.26mm | 10.3m | 1%, 2%, 5% | ・浮遊砂上限濃度5%は過大に評価 ・浮遊砂上限濃度1~2%の場合の再現性が良好 |
| 宮古港 (2011年東北地方太平洋沖 地震津波) | 近藤他 (2012) | 0.08mm | 10m | 1% | ・土砂移動の全体的な傾向は良く一致 ・防波堤堤頭部の最大洗掘深や断面地形も定量的に概ね良く 一致 |
| 気仙沼湾 (2011年東北地方太平洋沖 地震津波) | 森下他 (2014) | 0.3mm | 10m | 1% $C_{sed} = \alpha \times \sqrt{U^2 \times V^2}$ | ・砂移動評価に影響を及ぼす因子として、無次元掃流力、流砂 量式係数、飽和浮遊砂濃度の3つを抽出 ・上記の3つの因子を同時に変えたモデルにより、再現性が向 上する可能性を示唆 ・飽和浮遊砂濃度については、摩擦速度の関数とすることで再 現性向上につながることを示唆 |

 C_{sed} :飽和浮遊砂濃度 U , V :断面平均流速分布 α :係数(0.01)

- ・以上より、高橋他(1999)の浮遊砂上限濃度を1%に設定する。

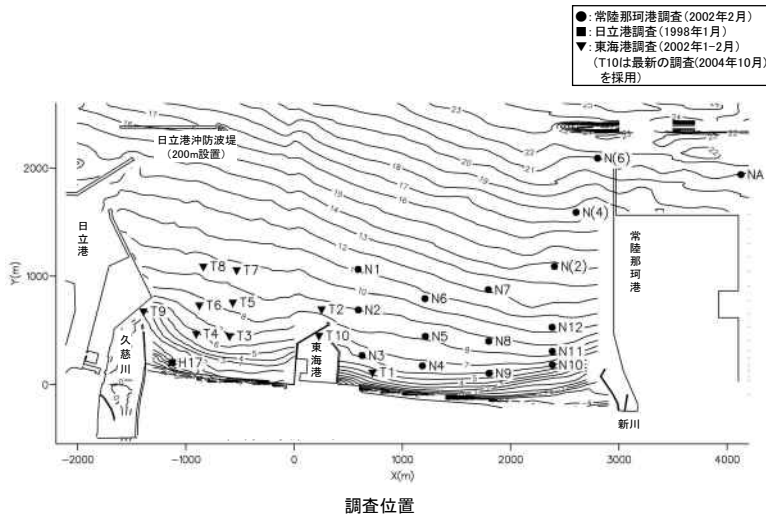


8

1. 基準津波に対する安全性評価 1.2 砂移動評価(地形変化)
解析条件(粒径, 密度)

第439回審査会合
資料2-1 再掲

- ・ 砂の諸元については、茨城県(2005)を参考に設定した。
- ・ 中央粒径については、全26地点の平均値で0.18mmとなり、本解析で用いる中央粒径の設定値は保守的に0.15mmとした。
- ・ 密度については、全26地点の平均値である2.72g/cm³を設定値とした。



| 試料採取位置 | 密度(g/cm ³) | 中央粒径(mm) |
|--------|------------------------|----------|
| H17 | 2.69 | 0.48 |
| N1 | 2.76 | 0.11 |
| N2 | 2.76 | 0.12 |
| N3 | 2.76 | 0.13 |
| N4 | 2.82 | 0.14 |
| N5 | 2.81 | 0.13 |
| N6 | 2.73 | 0.12 |
| N7 | 2.79 | 0.13 |
| N8 | 2.75 | 0.11 |
| N9 | 2.73 | 0.14 |
| N10 | 2.70 | 0.16 |
| N11 | 2.68 | 0.11 |
| N12 | 2.70 | 0.11 |
| N(2) | 2.76 | 0.13 |
| N(4) | 2.66 | 0.89 |
| N(6) | 2.58 | 0.01 |
| T1 | 2.72 | 0.15 |
| T2 | 2.73 | 0.16 |
| T3 | 2.70 | 0.15 |
| T4 | 2.68 | 0.18 |
| T5 | 2.69 | 0.17 |
| T6 | 2.69 | 0.14 |
| T7 | 2.70 | 0.13 |
| T8 | 2.67 | 0.31 |
| T9 | 2.68 | 0.16 |
| T10 | 2.67 | 0.18 |
| 平均値 | 2.72 | 0.18 |
| 設定値 | 2.72 | 0.15 |



9

1. 基準津波に対する安全性評価 1.2 砂移動評価(地形変化)
評価結果

第439回審査会合
資料2-1 再掲

- ・ 取水口前面における砂の堆積厚さは、最大で0.4m程度であり、取水口は閉塞しない。
- ・ 以上から、非常用海水ポンプの取水への影響はないことを確認した。

評価結果

| 基準津波 | 砂移動モデル | 浮遊砂上限濃度 | 取水口前面における砂の堆積厚さ |
|-------|-----------|---------|-----------------|
| 水位上昇側 | 藤井他(1998) | 1% | 0.01 m |
| | | 5% | 0.01 m |
| | 高橋他(1999) | 1% | 0.33 m |
| 水位下降側 | 藤井他(1998) | 1% | 0.01 m |
| | | 5% | 0.01 m |
| | 高橋他(1999) | 1% | 0.19 m |



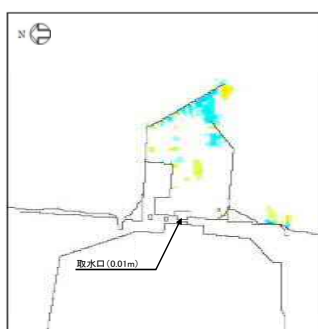
取水口概念図



10

■地形変化量分布(地震発生4時間後), 最大堆積量分布

| |
|-----------------|
| 取水口前面における砂の堆積厚さ |
| 0.01 m |



地形変化量分布(地震発生4時間後)

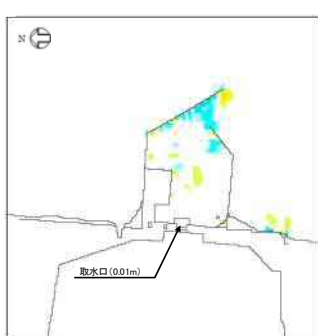


最大堆積量分布



■地形変化量分布(地震発生4時間後), 最大堆積量分布

| |
|-----------------|
| 取水口前面における砂の堆積厚さ |
| 0.01 m |



地形変化量分布(地震発生4時間後)



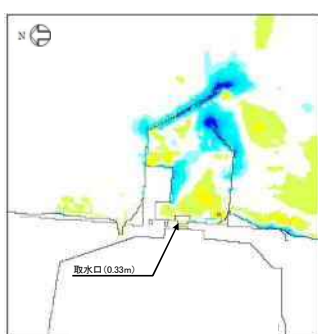
最大堆積量分布



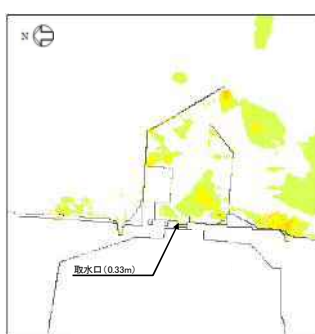
■地形変化量分布(地震発生4時間後), 最大堆積量分布, 最大シールズ数分布

取水口前面における砂の堆積厚さ

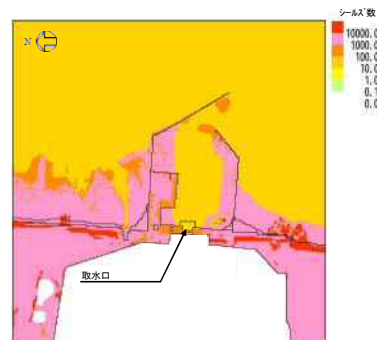
0.33 m



地形変化量分布(地震発生4時間後)



最大堆積量分布

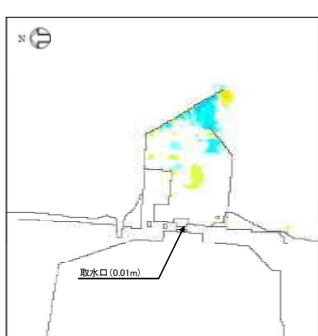


最大シールズ数分布

■地形変化量分布(地震発生4時間後), 最大堆積量分布

取水口前面における砂の堆積厚さ

0.01 m



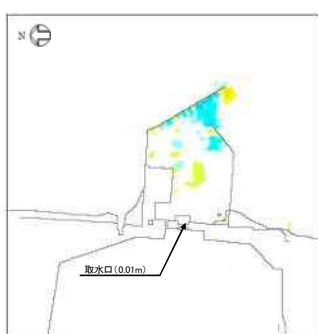
地形変化量分布(地震発生4時間後)



最大堆積量分布

■地形変化量分布(地震発生4時間後), 最大堆積量分布

| |
|-----------------|
| 取水口前面における砂の堆積厚さ |
| 0.01 m |



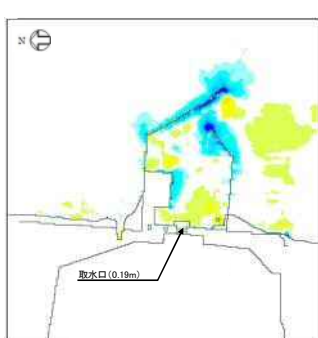
地形変化量分布(地震発生4時間後)



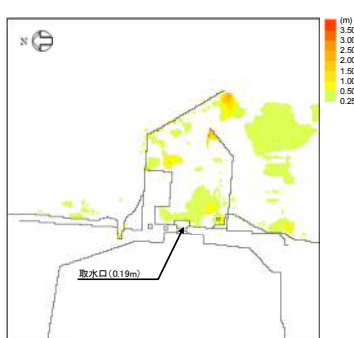
最大堆積量分布

■地形変化量分布(地震発生4時間後), 最大堆積量分布, 最大シールズ数分布

| |
|-----------------|
| 取水口前面における砂の堆積厚さ |
| 0.19 m |



地形変化量分布(地震発生4時間後)



最大堆積量分布



最大シールズ数分布

目次

第439回審査会合
資料2-1 再掲

1. 基準津波に対する安全性評価

1.1 評価概要

1.2 砂移動評価(地形変化)

1.3 砂移動評価(海水ポンプ室における砂の堆積厚さ)

2. 参考文献

補足説明資料

1. 高橋他(1999)の手法に関する補足資料

2. 高橋他(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価

2.1 評価概要

2.2 砂移動評価(地形変化)

2.3 砂移動評価(海水ポンプ室における砂の堆積厚さ)

3. 参考文献



28

1. 基準津波に対する安全性評価 1.3 砂移動評価(海水ポンプ室における砂の堆積厚さ)

第439回審査会合
資料2-1 再掲

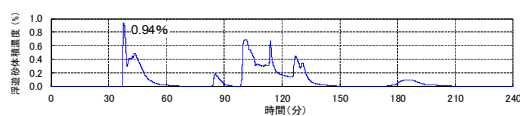
解析概要

- 海水ポンプ室(取水ピット)における砂の堆積厚さを評価し、非常用海水ポンプの取水に影響がないことを確認する。
- 取水設備を一次元でモデル化し、地形変化の評価から得られる取水口前面の浮遊砂濃度を境界条件として、取水設備内の浮遊砂濃度を算定し、非常用海水ポンプ位置における砂の堆積厚さを算定した。
- 取水路及び海水ポンプ室内の流量及び流速は、当該解析モデルで計算される管路解析結果を使用した。
- 水路内の砂移動評価については、地形変化の検討において取水口前面における砂の堆積厚さが最も大きくなるケースを対象に、高橋他(1999)の手法に基づき数値シミュレーションを実施した。

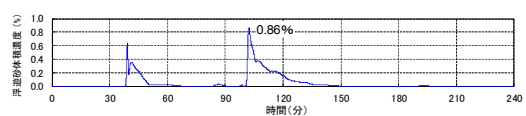
評価結果(地形変化)

| 基準津波 | 砂移動モデル | 浮遊砂上限濃度 | 取水口前面における砂の堆積厚さ | 備考 |
|-------|-----------|---------|-----------------|-------|
| 水位上昇側 | 藤井他(1998) | 1% | 0.01 m | |
| | | 5% | 0.01 m | |
| | 高橋他(1999) | 1% | 0.33 m | 検討ケース |
| 水位下降側 | 藤井他(1998) | 1% | 0.01 m | |
| | | 5% | 0.01 m | |
| | 高橋他(1999) | 1% | 0.19 m | 検討ケース |

■取水口前面における浮遊砂体積濃度の時刻歴波形(高橋他(1999), 浮遊砂上限濃度:1%)



水位上昇側



水位下降側



29

解析条件(設定項目)

| 項目 | 設定内容 |
|------------------|--|
| 計算領域 | 取水口～取水路～取水ピット |
| 基礎方程式 | 非定常開水路流及び管路流の連続式・運動方程式※1 |
| 非常用海水ポンプ 取水条件 | 流量: 2,549.4 (m ³ /hr) ・残留熱除去系海水ポンプ: 885.7 (m ³ /hr/台) × 2 台 ・非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ: 272.6 (m ³ /hr/台) × 2 台 ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ: 232.8 (m ³ /hr/台) × 1 台 |
| マンニングの粗度係数 | n=0.020m ^{-1/3} ・s |
| 貝の付着代 | 貝代10cmを考慮 |
| 局所損失係数 | 電力土木技術協会(1995): 火力・原子力発電所土木構造物の設計—増補改訂版— 千秋信一(1967): 発電水力演習 土木学会(1999): 水理公式集[平成11年版] |
| 入射条件 | 基準津波: 水位上昇側, 水位下降側 |
| 計算時間間隔 | Δt=0.01秒 |
| 計算時間 | 地震発生後240分間(4時間) |
| 潮位条件※2 | 水位上昇側: T.P.+0.81m 水位下降側: T.P.-0.61m |

※1 基礎方程式

<開水路>

$$a) \text{運動方程式} \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v| v}{2g} \right) = 0$$

$$b) \text{連続式} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

ここに、 t : 時間 Q : 流量 v : 流速 x : 管底に沿った座標 A : 流水断面積 H : 圧力水頭+位置水頭(管路の場合)/位置水頭(開水路の場合)
 z : 管底高 g : 重力加速度 n : マンニングの粗度係数 R : 径深 Δx : 管路の流れ方向の長さ f : 局所損失係数

<管路>

$$a) \text{運動方程式} \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v| v}{2g} \right) = 0$$

$$b) \text{連続式} \quad \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

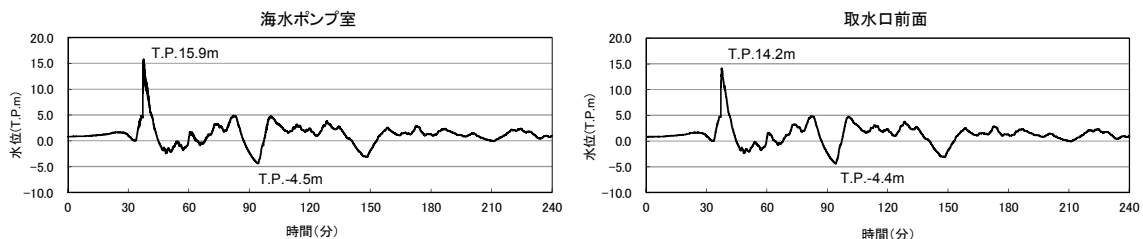
※2 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動量を考慮



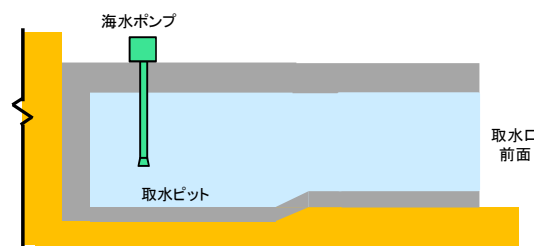
30

解析条件(取水設備の水理特性を考慮した水変動解析結果: 基準津波(水位上昇側))

- 基準津波(水位上昇側)による取水口前面の水位時刻歴波形を用いて算定した海水ポンプ室の水位時刻歴波形を以下に示す。



水位の時刻歴波形(水位上昇側)



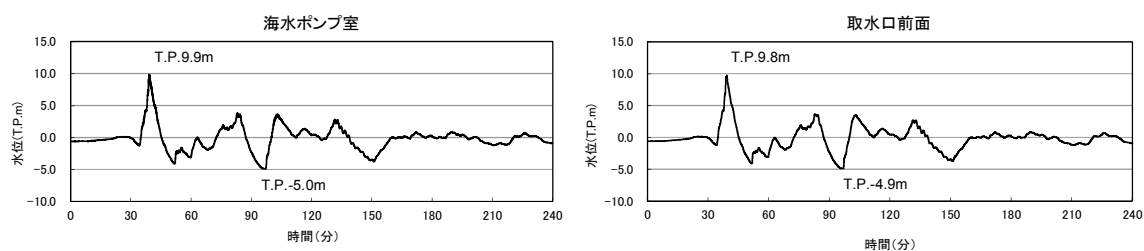
取水口概念図



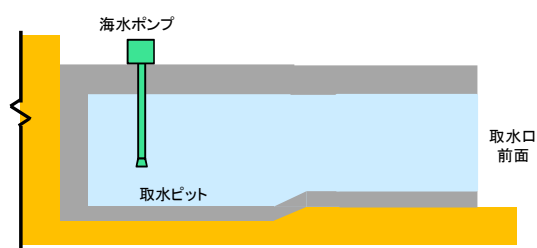
32

解析条件(取水設備の水理特性を考慮した水変動解析結果:基準津波(水位下降側))

- 基準津波(水位下降側)による取水口前面の水位時刻歴波形を用いて算定した海水ポンプ室の水位時刻歴波形を以下に示す。



水位の時刻歴波形(水位下降側)



取水口概念図

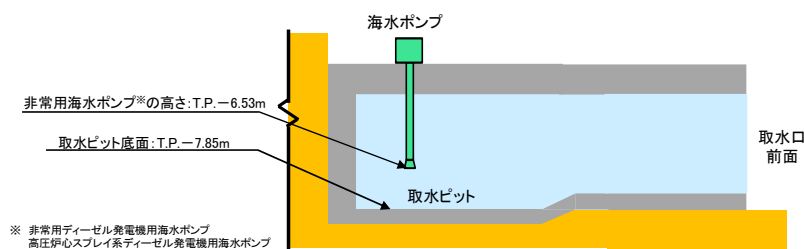


評価結果

- 海水ポンプ室(取水ビット)における砂の堆積厚さは最大で0.01m程度であり、非常用海水ポンプの高さを上回らない。
- 以上から、非常用海水ポンプの取水への影響はないことを確認した。

評価結果

| 基準津波 | 砂移動モデル | 浮遊砂上限濃度 | 海水ポンプ室における砂の堆積厚さ |
|-------|-----------|---------|------------------|
| 水位上昇側 | 高橋他(1999) | 1% | 0.01 m |
| 水位下降側 | 高橋他(1999) | 1% | 0.01 m |



※ 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ
高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機用海水ポンプ

取水口概念図



1. 基準津波に対する安全性評価
 - 1.1 評価概要
 - 1.2 砂移動評価(地形変化)
 - 1.3 砂移動評価(海水ポンプ室における砂の堆積厚さ)
2. 参考文献

補足説明資料

1. 高橋他(1999)の手法に関する補足資料
2. 高橋他(1999)の手法における浮遊砂濃度の影響評価
 - 2.1 評価概要
 - 2.2 砂移動評価(地形変化)
 - 2.3 砂移動評価(海水ポンプ室における砂の堆積厚さ)
3. 参考文献



35

2. 参考文献

第439回審査会合
資料2-1 再掲

- ・ 藤井直樹・大森政則・高尾誠・金山進・大谷英夫(1998):津波による海底地形変化に関する研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.376-380
- ・ 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔(1999):掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.606-610
- ・ 小林昭男・織田幸伸・東江隆夫・高尾 誠・藤井直樹(1996):津波による砂移動に関する研究, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.691-695
- ・ 土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002):原子力発電所の津波評価技術
- ・ 高橋智幸・今村文彦・首藤伸夫(1992):土砂移動を伴う津波計算法の開発, 海岸工学論文集, 第39巻, pp.231-235
- ・ 玉田崇・田村保・高橋智幸・佐々木元(2009):河川での津波防災検討における津波移動床モデルの適用性に関する研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp.301-305
- ・ 藤田尚毅・稲垣和男・藤井直樹・高尾誠・金戸俊道(2010):津波による海底地形変化評価モデルの現地適用性に関する研究, 海洋開発論文集, 第26巻, pp.213-216
- ・ 近藤武司・森本徹・藤本典子・殿最浩司・志方建仁(2012):港湾での津波による土砂移動計算の再現性評価, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, I_396-I_400
- ・ 森下祐・高橋智幸(2014):2011年東北地方太平洋沖地震津波襲来時の気仙沼湾を対象とした津波移動床モデルの再現性向上, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.2, I_491-I_495
- ・ 茨城県東海地区海岸保全対策研究会(2005):茨城県東海地区海岸の保全に関する技術検討資料
- ・ 電力土木技術協会(1995):火力・原子力発電所土木構造物の設計—増補改訂版—, pp826-833
- ・ 千秋信一(1967):発電水力演習, pp76-89
- ・ 土木学会(1999):水理公式集[平成11年版], pp373-377
- ・ 高橋智幸・黒川貴博・藤田将孝・島田広昭(2011):津波による土砂移動の粒径依存性に関する水理実験, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.67, No.2, I_231-I_235



36

事故シナリオの分析で引き波を除外する考え方について

1. 目的

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第5条（津波による損傷の防止）の解釈別記3において、水位変動に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響を防止するため、非常用海水冷却系については、基準津波による水位の低下に対して海水ポンプが機能保持でき、かつ、冷却に必要な海水が確保できる設計であることを要求している。

本規制要求を満足させるため、東海第二発電所では、引き波時においても非常用海水ポンプ※¹の運転が継続可能なように、設計基準事故対処設備として、取水口前面の海中に貯留堰を設置する計画としている。貯留堰の概略構造を図1に示す。貯留堰については、天端高さをT.P. -4.9mとすることで、引き波時においても非常用海水ポンプ全台が30分間程度の運転が継続可能なように、有効貯留量として約2,370m³の海水が貯留できる容量を有する設計としている。

このため、設計基準の引き波に対する非常用海水ポンプの健全性は維持されるものと言える。以下では、津波PRAの評価において、設計基準の引き波を下回る津波を想定した場合に対しても、貯留堰の設計を踏まえて、非常用海水ポンプの取水性が確保できる設計であることを確認することにより、事故シナリオの分析で引き波を除外可能であることを示す。

※1 非常用海水ポンプ：残留熱除去系海水系ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ

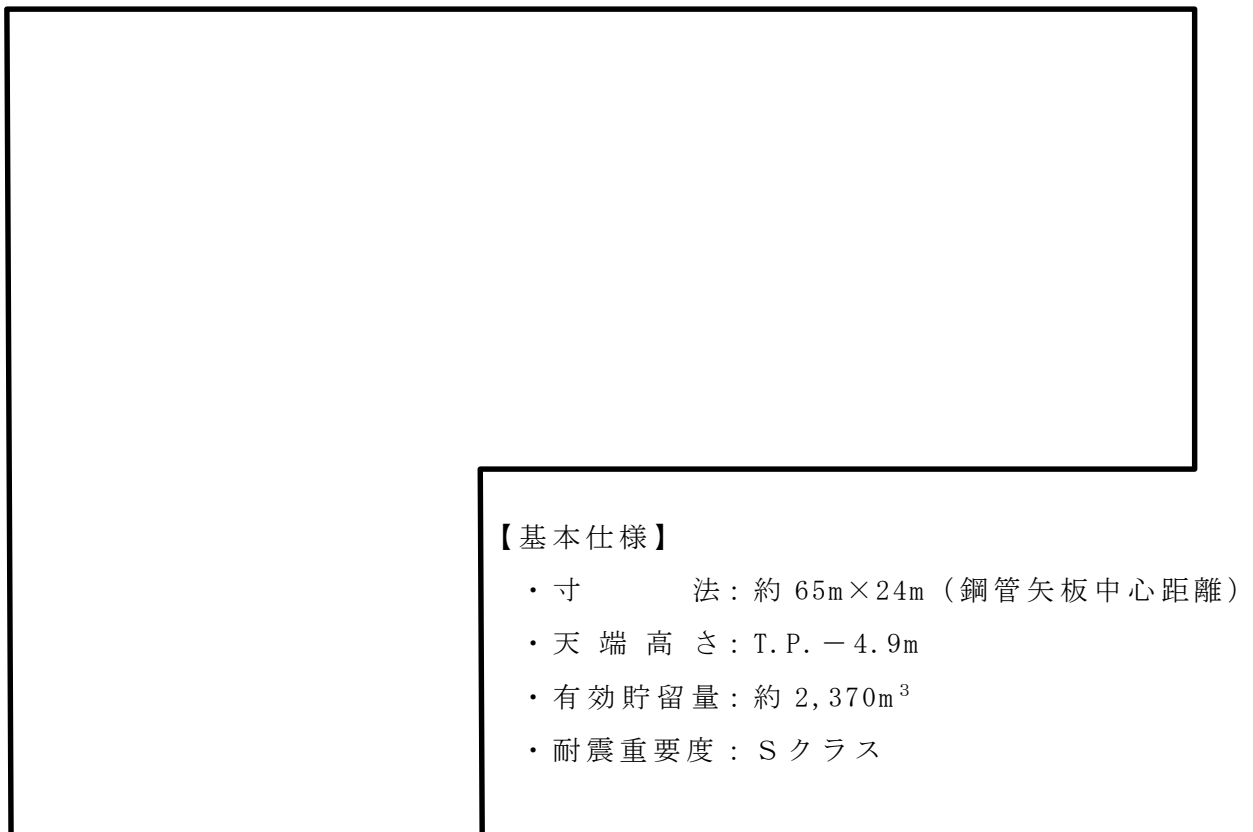


図 1 貯留堰の概略構造

2. 引き波時の最低水位と低下時間

一般に想定する津波の高さを高くするほど引き波の水位も低くなることから，本評価では，基準津波高さを上回る津波として，添付資料 3.2.2.3-2 において防潮堤の耐力を確保することとしている T.P. + 24m 津波の水位挙動に着目して評価を行う。T.P. + 24m 津波は，防潮堤前面高さ T.P. + 20m を上回ることから，そもそも押し波が防潮堤を越流して非常用海水ポンプが没水，被水して機能喪失することになるものの，ここでは保守性を確保した評価として，取水継続性を検討することとする。

T.P. + 24m 津波の防潮堤取水口前面における水位の時刻歴波形を図 2 に示す。図 2 において引き波の最低水位は T.P. - 6.8m となっており，最低水位の近傍で水位が貯留堰天端高さ（T.P. - 4.9m）を下

回る時間は約 7.5 分間となっている。

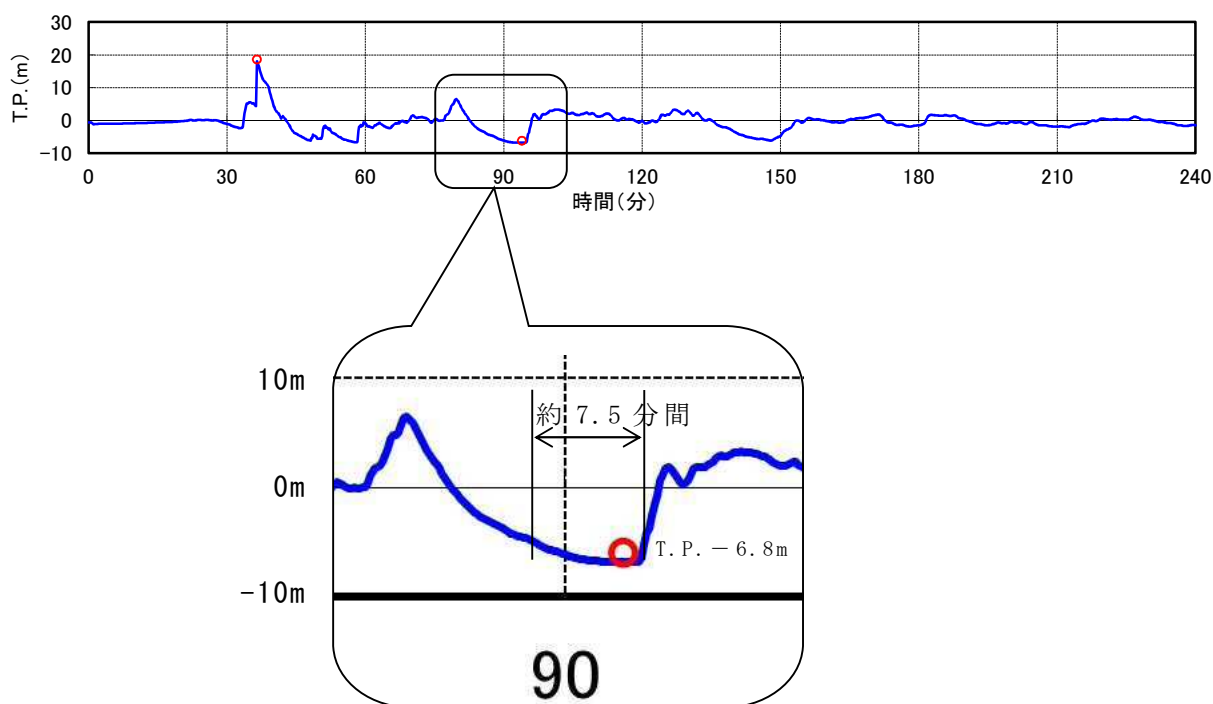


図 2 T.P. +24m 津波の水位の時刻歴波形と最低水位時拡大図

(取水口前面)

3. 貯留堰による非常用海水ポンプの運転継続可能時間の評価

(1) 評価内容及び方法

取水ピットは、非常用海水ポンプと常用海水ポンプ※²で共用している。このため、引き波により取水ピットの水位が停止警報設定値に達した場合には、常用系の循環水ポンプ及び補機冷却系海水ポンプを停止する運用としているが、ここでは、非常用海水ポンプ全台が運転状態の場合の運転継続可能時間とともに、常用海水ポンプの停止に失敗したことを想定した状態、つまり、非常用及び常用海水ポンプ全台が運転状態の場合における非常用海水ポンプの運転継続可能時間を評価した。

※²：常用海水ポンプ：循環水ポンプ及び補機冷却系海水ポンプ

(2) 評価条件

非常用海水ポンプの運転継続可能時間の評価に当たり，非常用海水ポンプ及び常用海水ポンプの取水量は，各々のポンプの定格容量とした。非常用海水ポンプ及び常用海水ポンプの取水量を表 1 に示す。

また，安全側の評価となるよう常用海水ポンプは，ポンプ呑口下端まで取水可能とし，水位がポンプ呑口下端を下回った時点で停止するものとした。海水ポンプの取水可能水位を表 2 に示す。

表 1 非常用海水ポンプ及び常用海水ポンプの取水量

| 海水ポンプ | 区分 | 台数 | 取水量 (m ³ /h) | |
|-------------------------|-----|---------------------------|-------------------------|---------|
| | | | 1 台 当たり | 合計 |
| 残留熱除去系海水系ポンプ | 非常用 | 4 (2 系統) | 886 | 3,544 |
| 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ | | 2 (2 系統) | 273 | 546 |
| 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ | | 1 (1 系統) | 233 | 233 |
| 循環水ポンプ | 常用 | 3 (3 系統) | 74,200 | 222,600 |
| 補機冷却系海水ポンプ | | 3 ^{※3} (3 系統) | 2,838 | 5,676 |

※3：1 台は予備機。このため，取水量の合計は 2 台分の値としている。

表 2 海水ポンプの取水可能水位

| 海水ポンプ | 区分 | 取水可能水位 (呑口部水位) |
|-------------------------|-----|--|
| 残留熱除去系海水系ポンプ | 非常用 | T.P. - 5.42m ^{※4} |
| | | T.P. - 5.66m ^{※5} |
| 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ | | T.P. - 6.08m ^{※4} |
| 高圧炉心スプレー系ディーゼル発電機用海水ポンプ | | T.P. - 6.08m ^{※4} |
| 循環水ポンプ | 常用 | T.P. - 1.59m (T.P. - 5.20m) |
| 補機冷却系海水ポンプ | | T.P. - 5.08m ^{※4} (T.P. - 6.51m) |

※4：日本機械学会標準「ポンプの吸込水槽の模型試験法」(JSME S 004-1984)

吸込水槽の標準形状に対する最小没水深さによる値

※5：実機ポンプを用いた水理実験結果に基づく値

(3) 評価結果

評価の結果、非常用海水ポンプは、常用海水ポンプが停止かつ非常用海水ポンプ全台が運転状態の場合で約 30 分間、非常用及び常用海水ポンプ全台が運転状態の場合で約 8 分間、運転継続可能であることを確認した。これらの時間は、いずれも引き波の水位が貯留堰の天端高さ (T.P. - 4.9m) を下回る時間である約 7.5 分間を上回っている。

a. 常用海水ポンプ停止条件での評価

①貯留堰内に貯留される有効貯留量：約 2,370m³

②非常用海水ポンプ全台の取水量：4,323m³/h

③非常用海水ポンプの運転継続時間：約 30 分

$$\cdot \text{約 } 2,370\text{m}^3 \text{ (①)} \div 4,323\text{m}^3/\text{h} \text{ (②)} = 32.8 \text{ 分}$$

b. 常用海水ポンプ運転継続条件での評価

①循環水ポンプ停止までに取水される貯留堰内の水量

: 約 940m^3

②非常用及び常用海水ポンプ全台の合計取水量

: $232,599\text{m}^3/\text{h}$

③循環水ポンプ停止までの時間: 0 分 13 秒

・ 約 940m^3 (①) / $232,599\text{m}^3/\text{h}$ (②) = 0 分 13 秒

④循環ポンプ停止後に貯留堰に貯留されている有効貯留量

: $1,430\text{m}^3$

⑤非常用及び常用海水ポンプ（循環水ポンプ除く）全台の

取水量: $9,999\text{m}^3/\text{h}$

⑥非常用海水ポンプの運転継続時間: 約 8 分

・ $1,430\text{m}^3$ (④) / $9,999\text{m}^3/\text{h}$ (⑤) = 約 8.58 分

3. 事故シナリオの分析で引き波を除外する考え方

上述の検討により，敷地内浸水解析により原子炉建屋に到達すると評価した T.P. + 24m 津波の引き波の水位が貯留堰の天端高さ(T.P. - 4.9m)を下回る約 7.5 分間に対し，非常用海水ポンプの取水継続時間が十分長いことから，基準津波高さを上回る津波の引き波に対しても非常用海水ポンプの取水性が確保できることを確認した。

また，押し波が T.P. + 20m を超えた時点で，防潮堤を越流し，非常用海水ポンプが機能喪失することから，引き波により非常用海水ポンプが機能喪失する事故シナリオは，押し波による事故シナリオに包含されると考えられるため考慮は不要である。

以上を踏まえ，事故シナリオの分析において引き波を除外した。

建屋・機器リストの抽出の考え方について

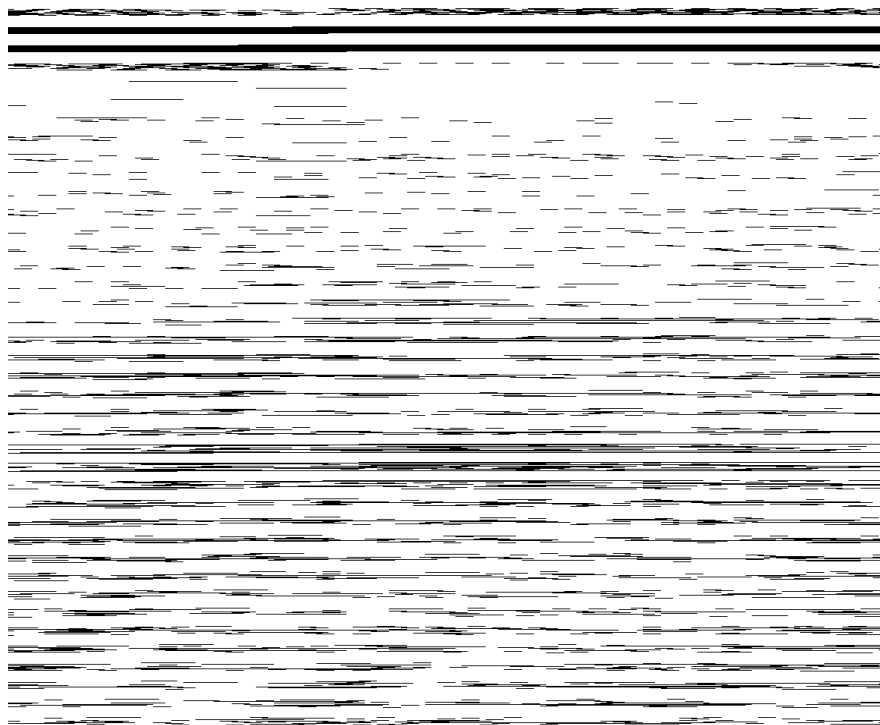
1. 津波 P R A 学会標準の規定

津波 P R A 学会標準には、建屋・機器リストの作成に関する以下の規定があり、東海第二発電所の建屋・機器リストについても、当該規定に基づき作成を行っている。

(津波 P R A 学会標準 6.5 項抜粋部)

6.5 建屋・機器リストの作成

6.3 事故シナリオの明確化と 6.4 起因事象の分析に基づき、9. 事故シーケンス評価に必要な建屋・機器リストを作成する。このリストは、図 6.5-1 に示す津波 P R A の一連の作業の中で調整・利用される。建屋・機器リストの作成に関連する作業項目には、5. プラント構成・特性及びサイト状況の調査、6. 事故シナリオの同定、8. 建屋・機器フラジリティ評価、9. 事故シーケンス評価がある。



2. 建屋・機器リストの作成手順

津波 P R A 学会標準の評価の流れに従い、「6.1 事故シナリオの広範な分析・選定」及び「6.2 広範な事故シナリオのスクリーニング」を行い、「6.3 事故シナリオの明確化」及び「6.4 起因事象の分析」の結果に基づき、津波 P R A の評価対象として、津波防護施設、浸水防止設備、起因事象を引き起こす設備及び起因事象を緩和する設備を選定して、「6.5 建屋・機器リストの作成」を行った。各設備区分に該当する設備の抽出の考え方を以下に示す。

(1) 津波防護施設及び浸水防止設備

設計基準事故対処設備である、防潮堤、防潮扉、放水路止水対策、取水路止水対策及び原子炉建屋外壁部止水対策（EL. +8.2m 以下^{※3}）を抽出した。

(2) 起因事象を引き起こす設備

事故シナリオの明確化及び起因事象の分析結果（図 1）に基づき、起因事象を引き起こす設備を抽出した。

(3) 起因事象を緩和する設備

設計基準事故対処設備である緩和設備を抽出対象とし、内部事象出力運転時レベル 1 P R A において考慮する緩和設備（表 1）を抽出した。ただし、津波到達前に原子炉が停止していることから、緩和設備のうちスクラム系は対象外とした。

3. 建屋・機器リスト

※3 原子炉建屋外壁部止水対策のうち、EL. +8.2m 以下の地下部については、屋外タンク破損や降雨等による水の原子炉建屋内への流入を防止するため、設計基準事故対処設備として止水対策を行っている。なお、EL. +8.2m 以上の地上部については、緊急安全対策で設置した止水対策であり、設計基準事故対処設備として位置付けていない。

2. の作成手順に基づき作成した建屋・機器リストを表 2 に示す。

4. プラントウォークダウンへの活用

津波 P R A 学会標準には，建屋・機器リストのプラントウォークダウンへの利用に関して以下の規定があり，東海第二発電所のプラントウォークダウン対象機器の選定の際にも活用している。

(津波 P R A 学会標準 6.5 項抜粋部)

作成した建屋・機器リストは，8. 建屋・機器 fragility 評価，9. 事故シーケンス評価に利用する他，5. プラント構成・特性及びサイト状況の調査のサイト・プラントウォークダウンへの利用も有用であり，評価手順に拘らず，一連の作業の中で相互に調整し利用すべきものであることに留意し，必要に応じてフィードバックを行う。

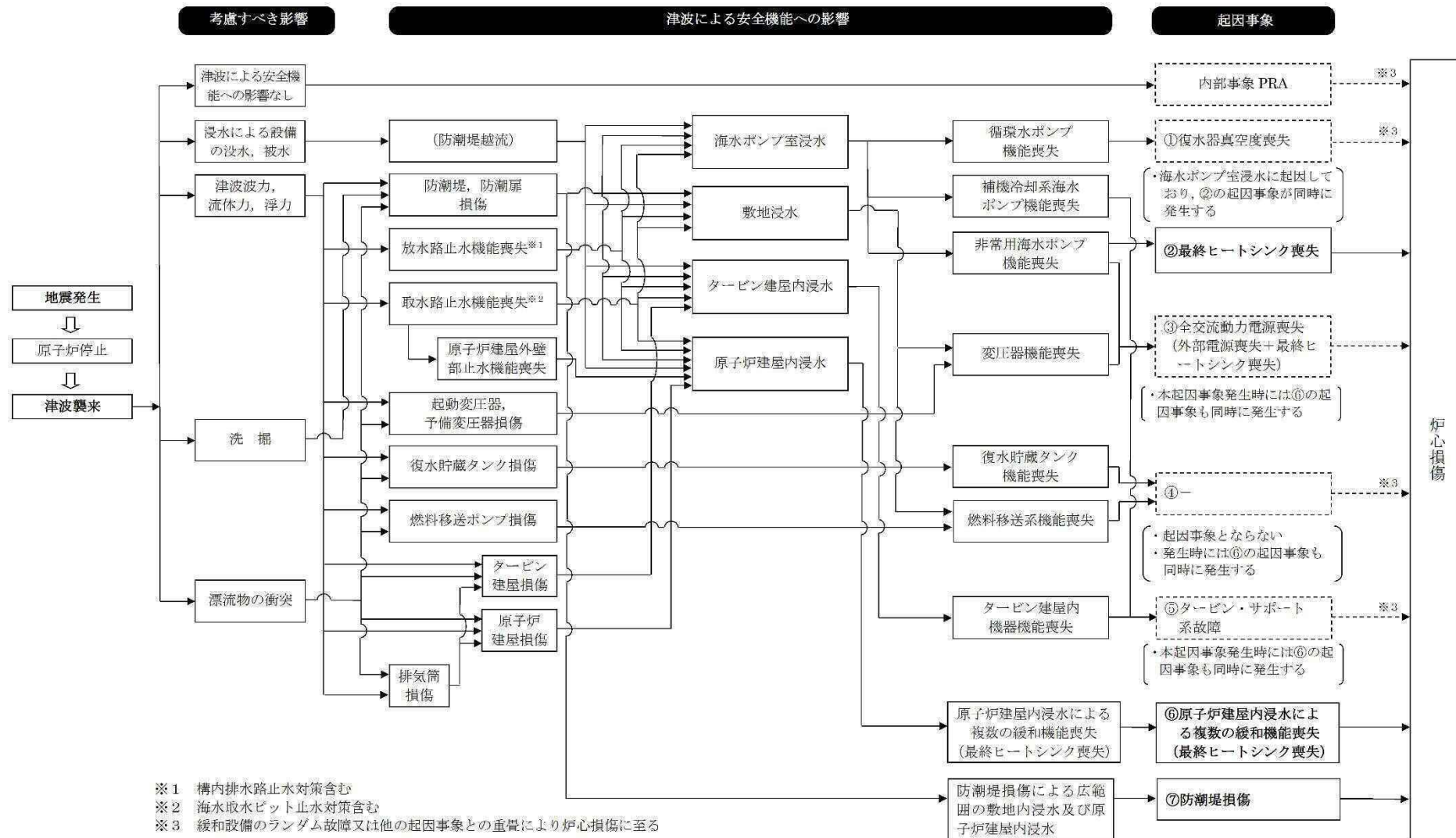


図1 (第3.2.2.1-4図) 事故シナリオの明確化及び起因事象の分析結果

表 1 内部事象出力運転時レベル 1 P R A で考慮する代表的な緩和設備

| 機能及び系統名 | 系統の概要 |
|--|--|
| 炉心冷却機能 | |
| 高圧炉心スプレイ系（H P C S） | 原子炉水位異常低下（レベル 2）又はドライウェル圧力高の信号で自動起動し、電動駆動のポンプにより、復水貯蔵タンク又はサブプレッション・チェンバを水源にして高圧～低圧状態の原子炉に注水する。 |
| 原子炉隔離時冷却系（R C I C） | 原子炉水位異常低下（レベル 2）の信号で自動起動し、蒸気タービン駆動のポンプにより、復水貯蔵タンク又はサブプレッション・チェンバを水源にして原子炉に注水する。 |
| 低圧炉心スプレイ系（L P C S） | 原子炉水位異常低下（レベル 1）又はドライウェル圧力高の信号で自動起動し、電動駆動のポンプにより、サブプレッション・チェンバを水源にして低圧状態の原子炉に注水する。 |
| 低圧注水系（L P C I） （残留熱除去系（R H R）） | L P C I は R H R の機能の 1 つであり、原子炉水位異常低下（L 1）又はドライウェル圧力高の信号で自動起動し、電動駆動のポンプにより、サブプレッション・チェンバを水源にして低圧状態の原子炉に注水する。 |
| 自動減圧系（逃がし安全弁）（A D S） | 原子炉水位異常低下（L 1）及びドライウェル圧力高の信号により、A D S 機能を有する逃がし安全弁を自動開放して原子炉圧力を低下させる。 |
| 格納容器除熱機能 | |
| 残留熱除去系（R H R） （格納容器スプレイ冷却系／サブプレッション・プール冷却系） | 格納容器スプレイ冷却モードは R H R の機能の 1 つであり、サブプレッション・プール水を R H R の熱交換器で冷却し、ドライウェル内及びサブプレッション・チェンバ内にスプレイすることで格納容器内の温度、圧力を低減させる。 サブプレッション・プール冷却モードは R H R の機能の 1 つであり、サブプレッション・プール水を R H R の熱交換器で冷却し、再びサブプレッション・チェンバへ戻すことによりサブプレッション・プールの温度を低減させる。 |
| 安全機能のサポート機能 | |
| 残留熱除去系海水系（R H R S） 非常用ディーゼル発電機海水系（D G S W） 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系（H P C S－D G S W） | 直接海水を供給することで、各々の補機を冷却する。 R H R S：L P C S，R H R 等 D G S W：D G－2 C／2 D H P C S－D G S W：H P C S，H P C S－D G |
| [交流電源] 非常用ディーゼル発電機（D G） 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機（H P C S－D G） 燃料移送系 | 外部電源の喪失等を受けて自動起動し、非常用機器に給電する。 |
| 直流電源（D C） | R C I C やディーゼル発電機の起動、逃がし安全弁の電磁弁や遮断器の開閉等の非常用機器の制御に用いる。 |

表 2 (第 3.2.2.1-5 表) 建屋・機器リスト (1/2)

| 区 分 | | No. | 建屋・機器（系統）名称 | | 設置場所※ ¹ | 設置場所 の高さ※ ¹ (EL.) | |
|----------------|--|----------|--------------------------------------|---------------|---------------------|------------------------------------|--------|
| 津波防護施設及び浸水防止設備 | | 1 | 防潮堤及び防潮扉 | － | 屋外 | － | |
| | | 2 | 放水路止水対策（構内排水路止水対策含む） | － | 屋外 | － | |
| | | 3 | 取水路止水対策（海水引込み管，緊急用海水取水管止水対策含む） | － | 海水ポンプ室及び屋外 | － | |
| | | 4 | 原子炉建屋外壁部（地下部分）止水対策（隣接する建屋境界部含む） | － | 原子炉建屋及び屋外 | － | |
| 起因事象を引き起こす設備 | | 5 | 残留熱除去系海水系（海水ポンプ及び関連機器含む） | ポンプ | 海水ポンプ室 | ＋0.8m | |
| | | 6 | 非常用ディーゼル発電機用海水系（海水ポンプ及び関連機器含む） | ポンプ | 海水ポンプ室 | ＋0.8m | |
| | | 7 | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系（海水ポンプ及び関連機器含む） | ポンプ | 海水ポンプ室 | ＋0.8m | |
| | | 8 | 循環水ポンプ | ポンプ | 海水ポンプ室 | ＋0.8m | |
| | | 9 | 補機冷却系海水ポンプ | ポンプ | 海水ポンプ室 | ＋0.8m | |
| | | 10 | 起動変圧器，予備変圧器 | 変圧器 | 屋外 | ＋8.2m | |
| | | 11 | 原子炉建屋 | 1階床面 | － | ＋8.2m | |
| | | 12 | タービン建屋 | 1階床面 | － | ＋8.2m | |
| | | 13 | 排気筒 | 排気筒 | 屋外 | ＋8.5m | |
| 起因事象を緩和する設備 | | フロントライン系 | 14 | 高圧炉心スプレイ系 | ポンプ，電動弁，空調機 | 原子炉建屋（地下2階） | －4.0m |
| | | | 15 | 原子炉隔離時冷却系 | ポンプ，タービン，電動弁，器具，分電盤 | 原子炉建屋（地下2階） | －4.0m |
| | | | 16 | 低圧炉心スプレイ系 | ポンプ，電動弁，空調機 | 原子炉建屋（地下2階） | －4.0m |
| | | | 17 | 低圧注水系（残留熱除去系） | ポンプ，電動弁，空調機 | 原子炉建屋（地下2階） | －4.0m |
| | | | 18 | 自動減圧系 | 制御盤 | 原子炉建屋（2階） | ＋18.0m |
| | | サポート | 19 | 復水貯蔵タンク | タンク | 屋外 | ＋3.0m |
| | | | 20 | 燃料移送系 | タンク，ポンプ | 屋外 | ＋8.3m |
| | | | 21 | 直流電源系 | 分電盤 | 原子炉建屋（地下2階） | －4.0m |
| | | | 22 | 非常用交流電源系 | ディーゼル発電設備 | 原子炉建屋（地下2階） | －4.0m |

表 2 (第 3.2.2.1-5 表) 建屋・機器リスト (2/2)

| 区 分 | | No. | 建屋・機器（系統）名称 | | 設置場所※ ¹ | 設置場所 の高さ※ ¹ (EL.) |
|-----------------------------|-----------------------|-----|--|------|--------------------|------------------------------------|
| 起 因 事 象 を 緩 和 す る 設 備 | サ ポ ー ト 系 | 23 | 残留熱除去系海水系（海水ポン プ及び関連機器含む） | ポンプ | 海水ポンプ室 | + 0.8m |
| | | 24 | 残留熱除去系海水系（原子炉建 屋内設置機器） | 熱交換器 | 原子炉建屋 （地下 2 階） | － 4.0m |
| | | 25 | 非常用ディーゼル発電機用海水 系（海水ポンプ及び関連機器含 む） | ポンプ | 海水ポンプ室 | + 0.8m |
| | | 26 | 非常用ディーゼル発電機用海水 系（原子炉建屋付属棟内設置機 器） | 熱交換器 | 原子炉建屋 （地下 2 階） | － 4.0m |
| | | 27 | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル 発電機用海水系（海水ポンプ及 び関連機器含む） | ポンプ | 海水ポンプ室 | + 0.8m |
| | | 28 | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル 発電機用海水系（原子炉建屋内 設置機器） | 熱交換器 | 原子炉建屋 （地下 2 階） | － 4.0m |

※1: 設置場所の高さは、工事計画認可申請書、配管施工図、配置図、据付図等を元に調査し、没水、被水による機能喪失に着目して、当該機器の設置床面の高さを記載している。(添付資料 3.2.2.1-7)

なお、複数の機器が異なる高さに設置されている場合は、今回の津波 P R A の評価の前提条件を踏まえ、以下の方針で記載している。

< 海水ポンプ室 >

防潮堤越流により、海水ポンプ室内の機器が没水、被水するため、複数の機器が異なる高さに設置されている場合は、最も低い位置に設置されている設備の設置床面の高さを記載している。

< 原子炉建屋 >

原子炉建屋の1階床面高さである EL.+8.2m に津波が到達した場合は、津波が建屋内に浸水し、建屋内の機器が没水、被水により機能喪失するものと仮定していることから、複数の機器が異なる高さに設置されている場合は、最も低い位置に設置されている設備の設置床面の高さを記載している。

< 建屋本体 >

原子炉建屋及びタービン建屋については、地上1階の床面高さとしている。

建屋・機器リストの設備の設置高さの根拠について

1. はじめに

建屋・機器リストに記載している設置場所の高さの設定の考え方について，原子炉隔離時冷却系（以下「R C I C」という。）を例に以下で説明する。

2. 設置場所の高さの設定方法

(1) R C I C 関連機器の抽出

基本系統図及び電気計装図を元に，R C I C の機能維持に必要な機器を抽出しリスト化する。R C I C の機器リストを表 1 に示す。

(2) 各機器の設置場所の高さの調査

工事計画認可申請書，配管施工図，据付図，外形図，配置図，原子炉建屋一般配置図等を用いて，各機器が設置されている原子炉建屋の階層を特定し，当該階層の床面高さを設置場所の高さとする。各機器の設置場所の高さを表 1 に，R C I C ポンプ／タービンの設置高さを示した機器配置図を図 1 に示す。

(3) R C I C の設置場所の高さの特定

R C I C は複数の階層に設置されていることから，最も低い階層である原子炉建屋地下 2 階の床面高さ EL. -4.0m を，R C I C の設置場所の高さと設定する。

表1 R C I C 関連機器リスト

| 総称名 | 機器名称 | 設置場所 | 設置場所の 高さ (EL.) |
|----------|--------------------------------------|------------|-------------------|
| ポンプ | R C I C ポンプ | 原子炉棟地下 2 階 | − 4. 0m |
| タービン | R C I C タービン | 原子炉棟地下 2 階 | − 4. 0m |
| 弁 | R C I C 原子炉注入弁 | 原子炉棟 4 階 | + 29. 0m |
| | R C I C 外側隔離弁 | 原子炉棟 3 階 | + 20. 3m |
| | R C I C タービン排気弁 | 原子炉棟地下 1 階 | + 2. 0m |
| | R C I C 蒸気供給弁 | 原子炉棟地下 2 階 | − 4. 0m |
| | ： | ： | ： |
| 器具 | R C I C DIV-I 計装ラック | 原子炉棟地下 1 階 | + 2. 0m |
| | R C I C PUMP DISCHARGE FLOW (伝送器) | 原子炉棟地下 2 階 | − 4. 0m |
| | R C I C TURBINE CONTROL BOX | 電気室上部 3 階 | + 23. 0m |
| | ： | ： | ： |
| 直流 M C C | 直流 125V MCC 2A-2 | 原子炉棟 4 階 | + 29. 0m |
| | 直流 125V MCC 2A-1 | 原子炉棟地下 1 階 | + 2. 0m |
| 蓄電池 | 直流 125V 蓄電池 (2A) | 電気室 1 階 | + 8. 2m |
| 充電器盤 | 直流 125V 充電器盤 (2A) | 電気室 1 階 | + 8. 2m |
| 直流母線盤 | 直流 125V 直流母線盤 (2A) | 電気室 1 階 | + 8. 2m |
| 分電盤 | 直流 125V 分電盤 (2A-1) | 電気室 1 階 | + 8. 2m |
| | 直流 125V 分電盤 (2A-2-1) | 電気室地下 2 階 | − 4. 0m |

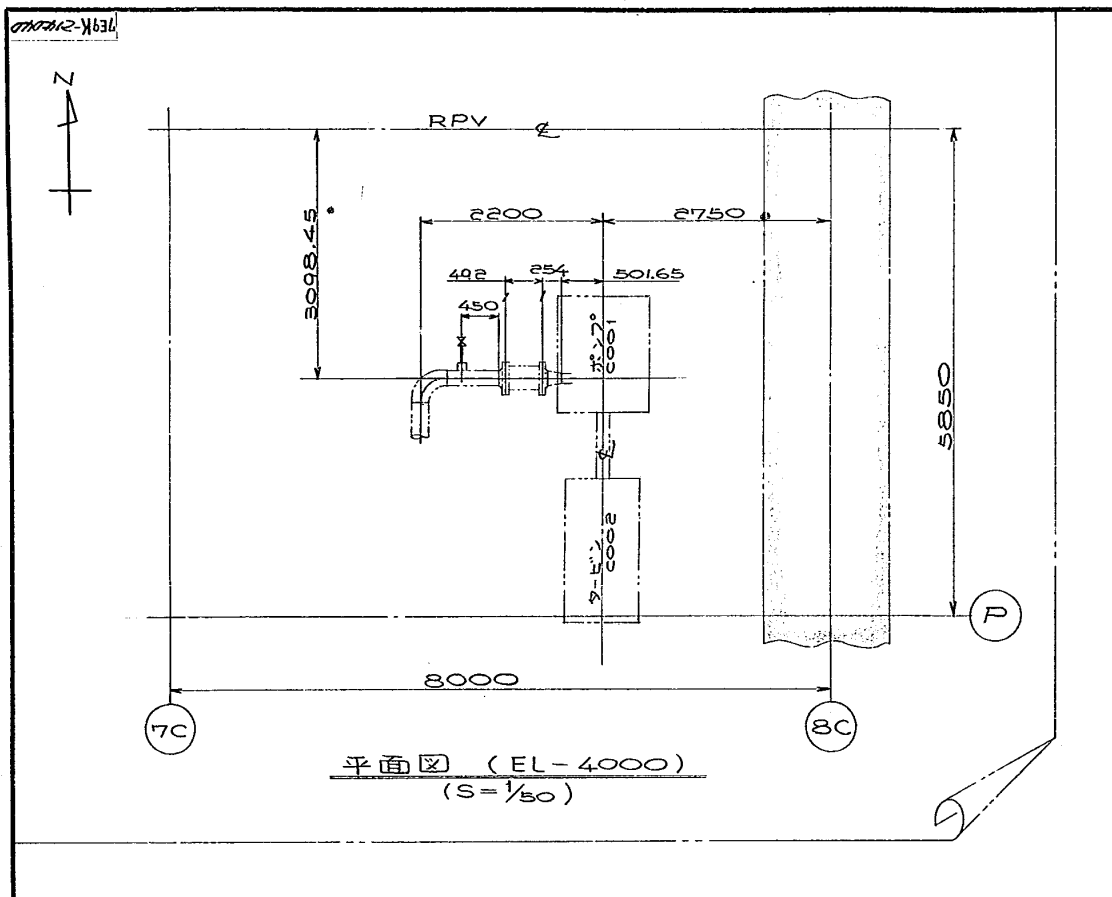


図1 RCICポンプ／タービンの機器配置図

防潮堤に対する漂流物の衝突影響評価に用いる漂流物の選定について

1. はじめに

起因事象の分析結果に基づく機器フラジリティ評価に当たり、防潮堤の漂流物の衝突による影響を評価するため、考慮すべき漂流物を選定する必要がある。このため、発電所敷地内及び発電所敷地外を対象に、漂流物となる可能性のある施設・設備（発電所港湾施設に接岸する船舶含む。以下同じ。）について広範な調査を実施し、漂流物の衝突による影響評価において考慮する漂流物を選定した。

なお、漂流物に関する調査結果は、以下の審査資料に詳細を記載していることから、本資料においては、当該資料の要点を記載することとする。

- ・「東海第二発電所 津波による損傷の防止 2.5.2(4)基準津波に伴う津波防護施設等の健全性確保及び取水口付近の漂流物に対する取水性確保」
- ・「東海第二発電所 重大事故等対処設備について 別添資料-1 基準津波を超え敷地に遡上する津波に対する津波防護方針について 2.5.2 [漂流物の影響]」

2. 漂流物調査範囲の設定

防潮堤外側の漂流物評価については、設置許可基準規則第5条に「設計基準対象施設は、基準津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。」と規定されていることから、基準津波に伴う防潮堤外側の漂流物を漂流物評価フローに基づき適切に評価し、防潮堤に対する漂流物の衝突影響がないことを確認し

ている。

基準津波（津波高さT.P. + 17.7m（防波堤なし））による漂流物調査範囲については、東海第二発電所の取水口から半径5kmの範囲としており、基準津波による敷地前面海域の流向及び流速を考慮し、想定する漂流物の最大移動量の算出結果が約3.6kmであることを設定根拠としている。この漂流物調査範囲は、最大約3.6kmの移動量に保守性を考慮した半径5kmの範囲を漂流物調査範囲と設定していることから、津波P R Aで想定する津波高さT.P. + 24mに対しても適用できるものとする。

基準津波による漂流物調査範囲の設定については「東海第二発電所 津波による損傷の防止2.5.2(4) b. 漂流物調査範囲の設定」参照。

3. 漂流物となる可能性のある施設・設備の抽出

漂流物となる可能性のある施設・設備を漂流物評価フローに基づき抽出する。図1に防潮堤外側における漂流物評価フローを示す。

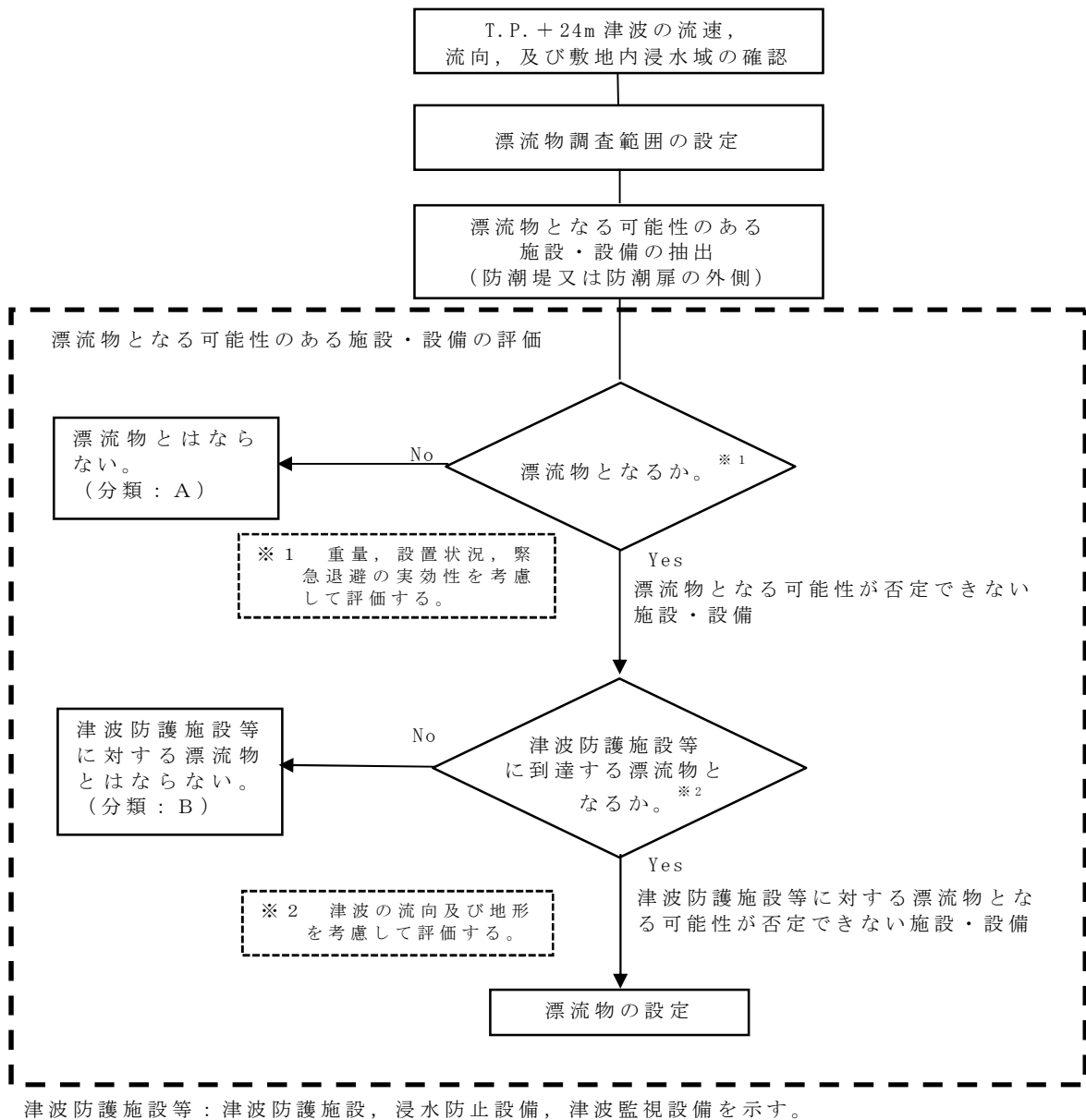


図 1 防潮堤外側における漂流物評価フロー

4. 漂流物となる可能性のある施設・設備の抽出結果

防潮堤外側における抽出結果については、「東海第二発電所 重大事故等対処設備について 別添資料-1 基準津波を超え敷地に遡上する津波に対する津波防護方針について 2.5.2 [漂流物の影響] d. 漂流物となる可能性のある施設・設備の抽出結果」参照。主な抽出結果を以下に示す。

- ・ 発電所敷地内（防潮堤外側）：

コンクリート片，外装板，車両等

- ・ 発電所敷地外：

5t 級漁船，コンクリート片，外装板，プラント設備の一部，防砂林等

5. 漂流物の衝突影響において考慮する漂流物の選定

防潮堤の漂流物衝突影響評価の際に用いる漂流物として，上述の抽出結果のうち最も重量の大きい総トン数 5t（排水トン数 15t）の漁船を対象漂流物とし，漂流物衝突荷重の設定において考慮する。

津波防護対策の設計耐力について

1. 防潮堤の耐力

(1) 防潮堤の概要

防潮堤は、基準津波による遡上波が設計基準対象施設の津波防護対象設備の設置された敷地に到達・流入することを防止するため、敷地を取り囲む形で設置する津波防護施設であり、天端高さは敷地前面東側で T.P. +20m、敷地側面北側及び南側で T.P. +18m である。

海水ポンプエリアの防潮堤は、鉄筋コンクリート造の地中連続壁を基礎構造とし、上部工は鋼製防護壁及び鉄筋コンクリート防潮壁に大別される。また、敷地周辺エリアについては、鋼管杭を基礎構造とし、上部工は鋼管杭鉄筋コンクリート壁の構造である。

防潮堤の配置図を図 1 に示す。

(2) 防潮堤の設計耐力

防潮堤の設計耐力については、敷地に遡上する津波（防潮堤位置における津波高さ T.P. +24.0m の津波）に対して耐力を確保する設計とする。なお、防潮堤の設計においては、以下のとおり、常時荷重、地震荷重、敷地に遡上する津波荷重及び余震荷重、漂流物衝突荷重を適切に組み合わせた条件で評価を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重
- ・ 常時荷重＋敷地に遡上する津波荷重
- ・ 常時荷重＋敷地に遡上する津波荷重＋余震荷重
- ・ 常時荷重＋敷地に遡上する津波荷重＋漂流物衝突荷重

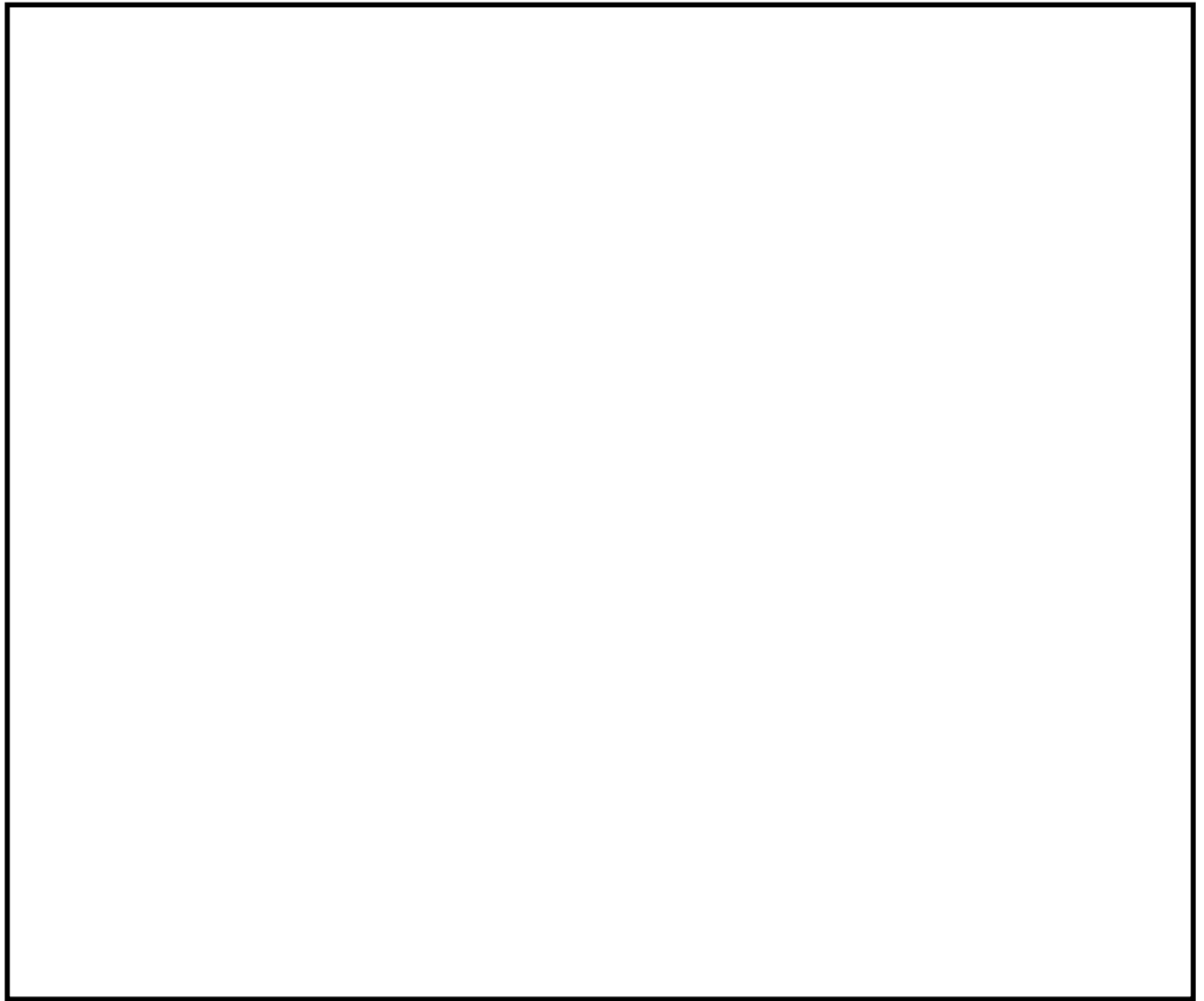


図 1 防潮堤配置図

2. 防潮堤以外の津波防護対策の耐力

(1) 防潮堤以外の津波防護対策の概要

防護対象設備の設置された敷地への津波の流入経路に対して，津波の流入を防止するため，津波防護対策を実施する。表 1 に各津波防護対策の設備分類と設置目的を，図 2 に敷地の特性に応じた津波防護の概要を示す。

(2) 防潮堤以外の津波防護対策の設計耐力

津波防護対策の設計耐力に際しては，防潮堤の設計耐力に合わせて，敷地に遡上する津波（防潮堤位置における津波高さ T.P. +24.0m の津波）に対して耐力を確保する設計とする。なお，防潮堤以外の津波防護対策の設計においては，以下のとおり，常時荷重，地震荷重，敷地に遡上する津波荷重及び余震荷重を適切に組み合わせた条件で評価を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重
- ・ 常時荷重＋敷地に遡上する津波荷重
- ・ 常時荷重＋敷地に遡上する津波荷重＋余震荷重

表 1 各津波防護対策の設備分類と設置目的 (1/2)

| 津波防護対策 | | 設備分類 | 設置目的 |
|-------------|------------------------|--------|---|
| 防潮堤及び防潮扉 | | 津波防護施設 | ・基準津波による遡上波が設計基準対象施設の津波防護対象設備の設置された敷地に到達・流入することを防止する。 |
| 放水路ゲート | | | ・放水路からの流入津波が放水路ゲート及び放水ピットの点検用開口部（上流側）、放水ピット並びに放水ピット及び放水路に接続される配管貫通部を経由し、設計基準対象施設の津波防護対象設備の設置された敷地に流入することを防止する。 |
| 構内排水路逆流防止設備 | | | ・構内排水路からの流入津波が集水枡及び排水管を経由し、設計基準対象施設の津波防護対象設備の設置された敷地に流入することを防止する。 |
| 貯留堰 | | | ・引き波時において、非常用海水ポンプによる補機冷却に必要な海水を確保し、非常用海水ポンプの機能を保持する。 |
| 取水路 | 取水路点検用開口部浸水防止蓋 | 浸水防止設備 | ・取水路からの流入津波が取水路の点検用開口部を経由し、海水ポンプ室側壁外側に流入することを防止することにより、隣接する海水ポンプ室への浸水を防止する。 |
| 海水ポンプ室 | 海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁 | | ・取水路からの流入津波が海水ポンプグランドドレン排出口を経由し、海水ポンプ室に流入することを防止する。 |
| | 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋 | | ・地震による非常用海水系配管（戻り管）の損傷及び屋外タンクからの溢水がケーブル点検口を経由し、海水ポンプ室に流入することを防止する。 |
| | 貫通部止水処置 | | ・地震による循環水ポンプ内の循環水系等配管の損傷に伴う溢水が、貫通部を経由して隣接する海水ポンプ室に流入することを防止する。 |
| 循環水ポンプ室 | 取水ピット空気抜き配管逆止弁 | | ・取水路からの流入津波が取水ピット空気抜き配管を経由し、循環水ポンプ室に流入することを防止することにより、隣接する海水ポンプ室への浸水を防止する。 |
| 放水路 | 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋 | | ・放水路からの流入津波が放水路ゲートの点検用開口部（下流側）を経由し、設計基準対象施設の津波防護対象設備の設置された敷地に流入することを防止する。 |
| S A用海水ピット | S A用海水ピット開口部浸水防止蓋 | | ・海水取水路からの流入津波が S A用海水ピット開口部を経由し、設計基準対象施設の津波防護対象設備の設置された敷地に流入することを防止する。 |
| 緊急用海水ポンプ室 | 緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋 | | ・緊急用海水取水管及び海水取水路からの流入津波が緊急用海水ポンプのグランドドレン排出口、緊急用海水ポンプ室の床ドレン排出口、点検用開口部を経由し、設計基準対象施設の津波防護対象設備の設置された敷地に流入することを防止する。 |
| | 緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁 | | |
| | 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁 | | |

表 1 各津波防護対策の設備分類と設置目的 (2/2)

| 津波防護対策 | | 設備分類 | 設置目的 |
|------------------|---------------------------|--------|---|
| 防潮堤, 防潮扉 | 貫通部止水処置 | 浸水防止設備 | ・ 防潮堤及び防潮扉を取り付けるコンクリート躯体下部の貫通部から設計基準対象施設の津波防護対象設備の設置された敷地に津波が流入することを防止する。 |
| 原子炉建屋境界 | 貫通部止水処置 | | ・ 地震によるタービン建屋内及び非常用海水系配管カルバート等の循環水系等機器・配管の損傷に伴う溢水が、浸水防護重点化範囲に流入することを防止する。 |
| 常設代替高压電源装置用カルバート | 常設代替高压電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉 | | ・ 地震による非常用海水系配管（戻り管）の損傷及び屋外タンクからの溢水並びに津波が、浸水防護重点化範囲に流入することを防止する。 |
| | 貫通部止水処置 | | |
| 津波・構内監視カメラ | | 津波監視設備 | ・ 地震発生後、津波が発生した場合に、その影響を俯瞰的に把握する。 |
| 取水ピット水位計 | | | |
| 潮位計 | | | |

【凡例】

- T. P. + 3. 0m ~ T. P. + 8. 0m
- T. P. + 8. 0m ~ T. P. + 11. 0m
- T. P. + 11. 0m 以上

- 津波防護施設
- 浸水防止設備
- 津波監視設備
- 設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する
建屋及び区画

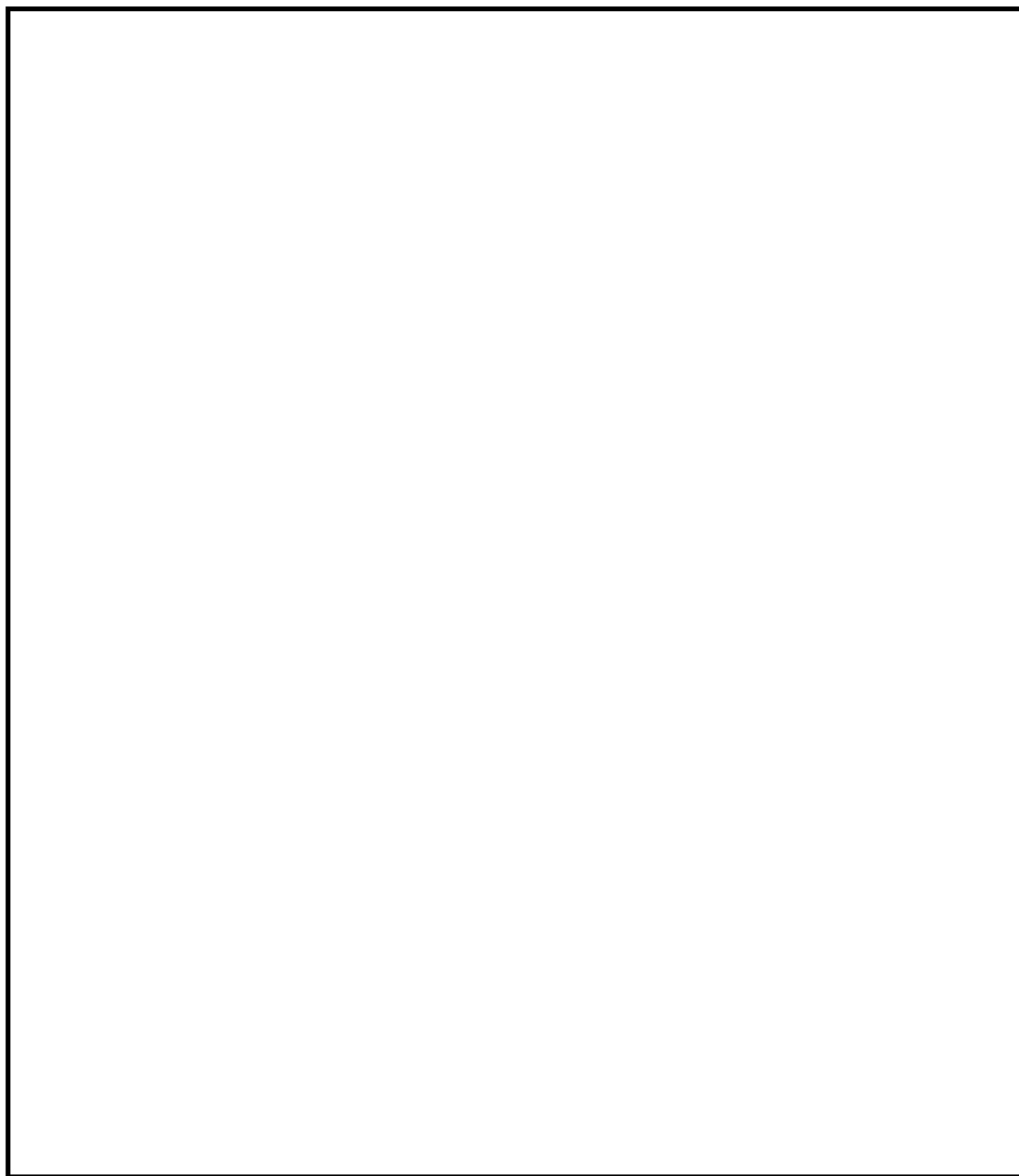






図 2 敷地の特性に応じた津波防護の概要 (1/4)

【凡例】

-  津波防護施設
 浸水防止設備
 津波監視設備
 設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する
 建屋及び区画

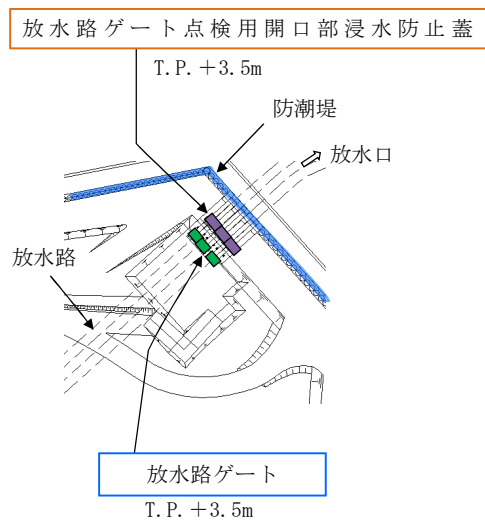


図 1 (放水口周辺拡大図)

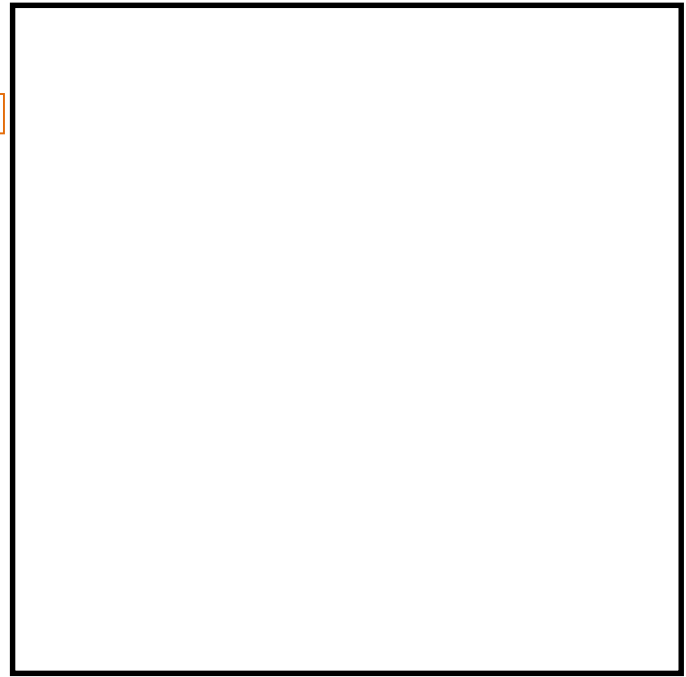
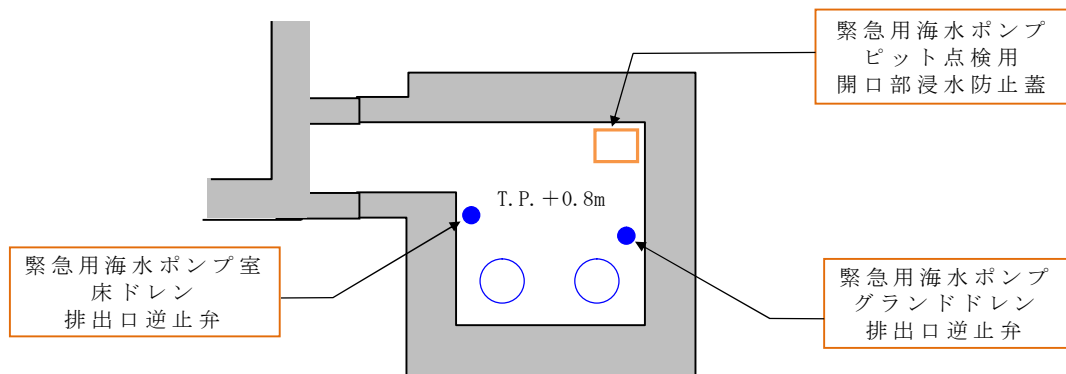



図 2 (海水ポンプエリア周辺拡大図)

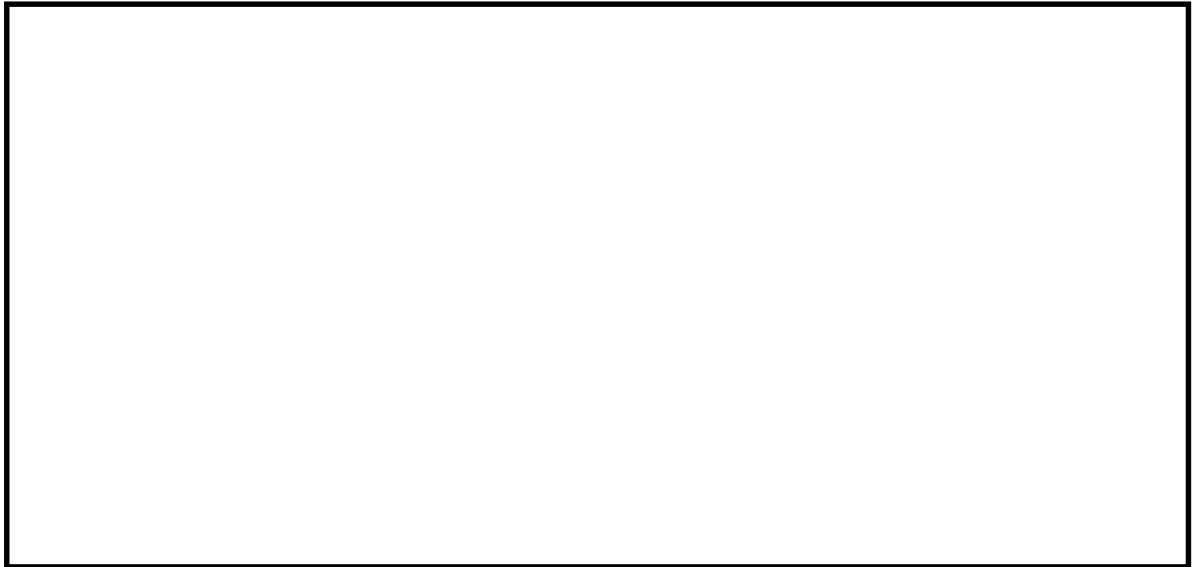


図③（緊急用海水ポンプエリア周辺拡大図）

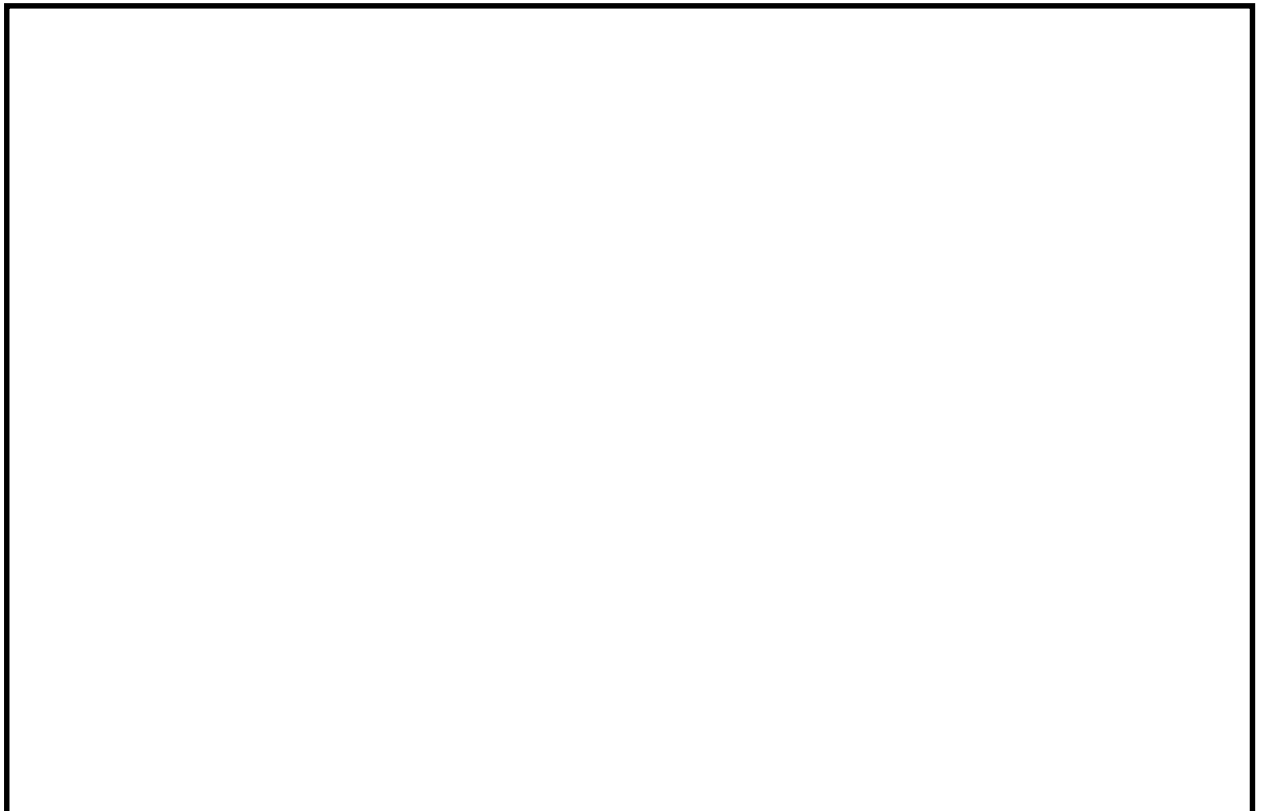
図 2 敷地の特性に応じた津波防護の概要 (2/4)

【凡例】

 設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する
建屋及び区画



(常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）拡大図)



(常設代替高圧電源装置置場拡大図)

図④ (常設代替高圧電源装置置場及び常設代替高圧電源装置用カルバート拡大図) 1/2

図 2 敷地の特性に応じた津波防護の概要 (3/4)

【凡例】

□ 浸水防止設備

▨ 設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する
建屋及び区画



(B-B 断面)

(常設代替高圧電源装置用カルバート (立坑部及びカルバート部) 拡大図)

図 ④ (常設代替高圧電源装置置場及び常設代替高圧電源装置用カルバート拡大図) 2/2

図 2 敷地の特性に応じた津波防護の概要 (4/4)

津波による敷地内浸水解析について

1. はじめに

基準津波による遡上波の敷地内への到達又は流入を防止するため、津波防護施設として敷地を取り囲む形で防潮堤を設置する計画である。また、海と接続する取水路、放水路等からの津波の浸水を防止するため、津波防護施設として放水ピット開口部に放水ピット逆流防止設備を設置するとともに、浸水防止設備として海水ポンプエリア等、敷地への津波の流入の可能性のある経路を特定して、貫通部等に対して止水措置等を講じることとしている。

このため、基準津波が地上部又は地下部から敷地内に到達又は流入することはないが、防潮堤高さを超える津波が襲来した場合には、敷地内への浸水が生じることから、基準津波を超える津波の襲来を想定した敷地内浸水解析を実施した。

2. 浸水解析条件

(1) 防潮堤高さ

基準津波による防潮堤位置における最高水位は、海水ポンプエリア近傍で T.P. + 17.1m である。このため、防潮堤高さは、海岸側防潮堤で T.P. + 20m、敷地側面及び背面で T.P. + 18m としている。

(2) 敷地内浸水想定

上記(1)のとおり、海岸側の防潮堤高さは T.P. + 20m であるため、津波の遡上波を含む津波高さが T.P. + 20m までは、敷地内に津波が流入することはない。

しかし，防潮堤高さ T.P. +20m を超える津波の襲来を想定すると，津波は防潮堤を越流し始め，まず，海水ポンプ室内に津波が流入し，非常用海水ポンプの機能喪失を引き起こす。さらに，津波高さが高くなると，原子炉建屋が設置されている EL. +8m 盤の敷地まで津波が到達し，原子炉建屋地上 1 階の床面高さ EL. +8.2m を超えると原子炉建屋内への流入が生じる。

原子炉建屋地上 1 階の床面高さ EL. +8.2m に到達する津波高さを確認するため，T.P. +23m 及び T.P. +22m の津波の襲来を想定した場合の敷地内の浸水解析を実施した。

なお，防潮堤は添付資料 3.2.2.3-2 に示すとおり T.P. +24m 津波に対する耐力を有している。また，海と接続する取水路，放水路等からの津波の浸水対策については，T.P. +24m の津波に対しても，機能保持できる設計とするため，取水路，放水路等からの津波の浸水は生じない。

(3) 入力津波の作成

日本海溝沿いのプレート間地震 (Mw8.7) による津波の波源を，防潮堤位置において T.P. +23m 程度となるように，津波波源モデルのすべり量 (1.415 倍) を調整させたものを T.P. +23m 津波とした。防潮堤位置の最高水位地点を図 1 に，防潮堤位置の最高水位地点の時刻歴波形を図 2 に示す。

また，T.P. +22m 津波に対しても，同様の手順により作成した。

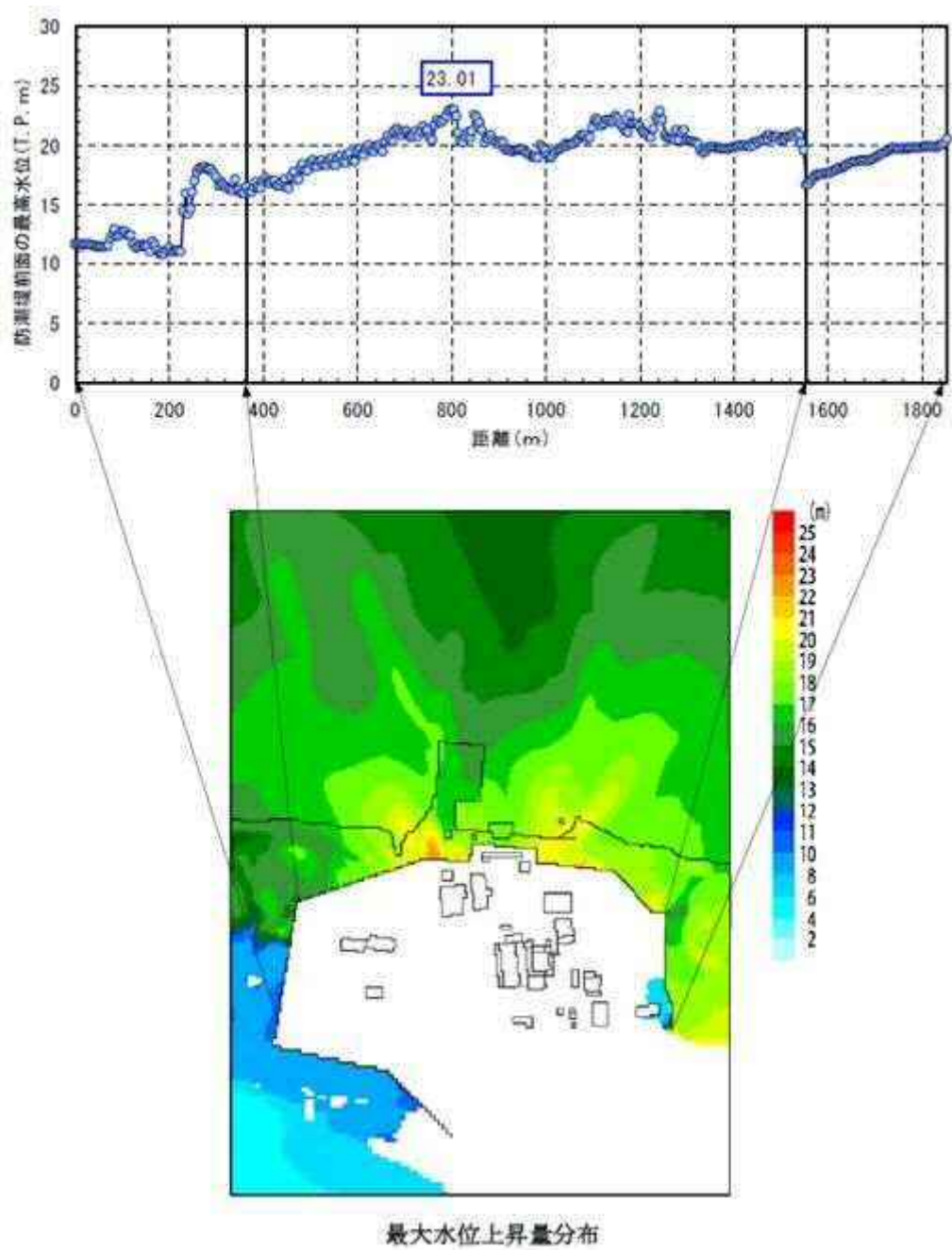


図 1 防潮堤位置の最高水位地点

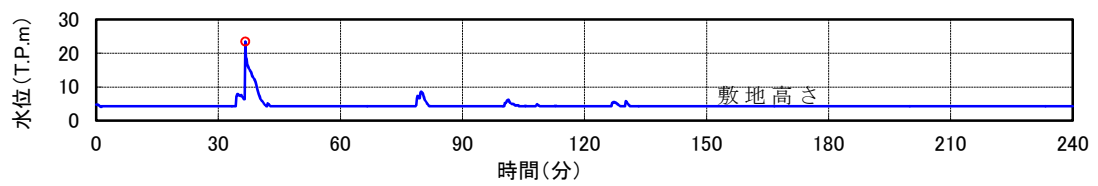


図 2 防潮堤位置の最高水位地点の時刻歴波形

(4) 敷地内浸水の検討

上記(3)で作成した T.P. + 23m 津波及び T.P. + 22m 津波を用いて、敷地内への浸水解析を実施した。

敷地内浸水解析に当たっては、敷地内に存在する建物・構築物等をモデル化し、原子炉建屋が設置されている EL. + 8m 盤の敷地における津波の最大浸水深を求めた。なお、最大浸水深の算定に当たっては、安全側の評価となるように防潮堤を越流した津波は全量敷地内に留まるものとし、排出施設等からの排出は考慮しないこととした。

3. 敷地内浸水解析結果

(1) T.P. + 23m 津波による敷地内浸水解析結果

T.P. + 23m 津波の襲来を想定し、敷地内浸水解析を実施した。T.P. + 23m 津波による敷地内における最大浸水深分布を図 3 に示す。

解析の結果、原子炉建屋周辺の津波の遡上高さは T.P. + 8.25m となった。これに対し、原子炉建屋地上 1 階の床面高さは EL. + 8.2m であるため、T.P. + 23m 津波の襲来を想定した場合には、原子炉建屋の入口扉から建屋内への津波の流入が生じ、建屋内の設備の機能喪失が生じる。

なお、原子炉建屋周辺への津波の浸水は、防潮堤前面東側で最高水位となる位置からの越流によるものではなく、敷地側面南側からの越流が支配的である。これは、敷地前面東側の防潮堤高さが T.P. + 20m に対し、敷地側面南側の防潮堤高さが T.P. + 18m であることに加え、津波の波源が敷地の南東側に位置しているため、南側からの越流が発生しやすい状況にあるためと考えられる。

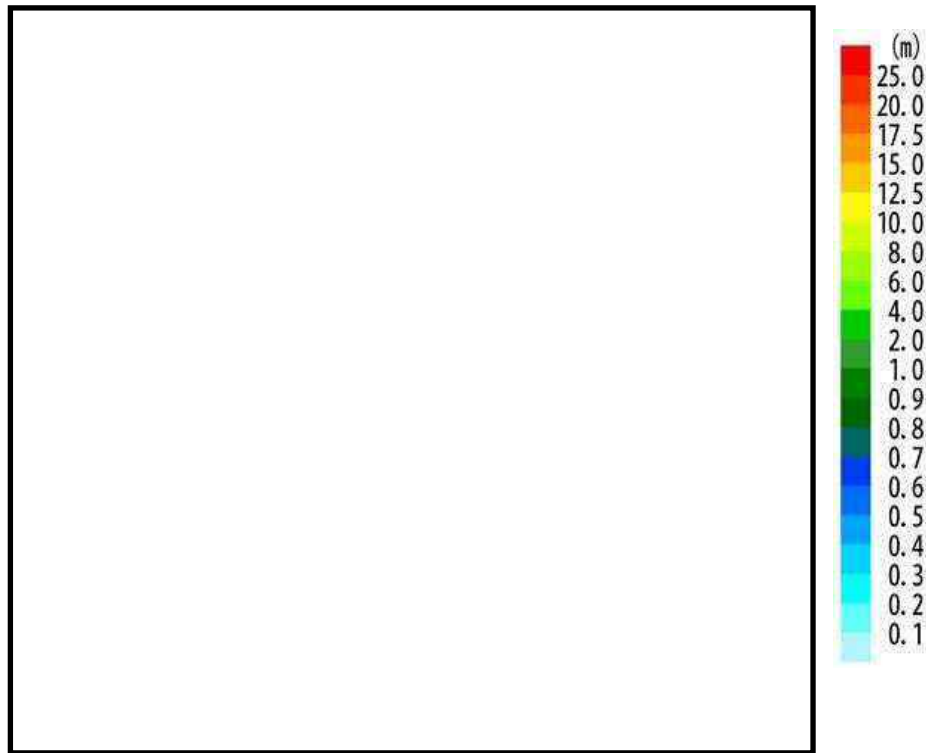


図 3 T.P. + 23m 津波による敷地内における最大浸水深分布

(2) T.P. + 22m 津波による敷地内浸水解析結果

上記(1)の T.P. + 23m 津波による敷地内浸水解析の結果，EL. + 8m 盤の敷地における津波の遡上高さは T.P. + 8.25m であったため，T.P. + 22m 津波の襲来を想定した敷地内浸水解析を実施した。

この結果，T.P. + 22m 津波では原子炉建屋周辺の津波の遡上高さは T.P. + 8.16m となり，原子炉建屋 1 階床面高さ EL. + 8.2m を超えないことを確認した。T.P. + 22m 津波による敷地内における最大浸水深分布を図 4 に示す。



図 4 T.P. + 22m 津波による敷地内における最大浸水深分布

4. まとめ

防潮堤高さ T.P. + 20m を超える津波の襲来を想定した敷地内浸水解析を実施した。解析結果は以下のとおりである。

- ・ T.P. + 22m までの津波では，原子炉建屋周辺の津波の遡上高さは T.P. + 8.16m までであり，原子炉建屋 1 階床面（EL. + 8.2m）まで津波が到達しないため，建屋内の設備は機能喪失しない。
- ・ T.P. + 22m～T.P. + 23m 未満の津波では，原子炉建屋内への津波の流入が生じ，建屋内の設備が機能喪失する可能性がある。
- ・ T.P. + 23m 以上の津波では，原子炉建屋 1 階床面（EL. + 8.2m）まで津波が到達するため，原子炉建屋の入口扉から津波が流入し，建屋内の設備が機能喪失する。

以上の解析結果を踏まえ，津波 P R A の評価においては，T.P.

+22m 津波により原子炉建屋への流入が生じ，建屋内の設備が機能喪失するものとして，津波区分を設定することとした。

建屋内浸水評価について

津波 P R A の評価では、原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等に期待しない条件で評価を行っている。そのため、津波が防潮堤を越流し、原子炉建屋 1 階床面高さである EL. + 8.2m に到達すると、原子炉建屋内への浸水が生じ、「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失」により直接炉心損傷に至るものとして評価している。

以下に、直接炉心損傷に至るものとして評価した事象について、建屋内浸水を考慮した場合のシナリオを分析した結果を示す。

1. 建屋内浸水評価対象設備の選定

敷地内浸水により、建屋内浸水前に下記の設備及びこれらをサポート系として用いる設備が機能喪失しているため、「最終ヒートシンク喪失」及び「全交流動力電源喪失」状態となっていることから、建屋内浸水評価の対象は原子炉隔離時冷却系（以下「R C I C」という。）のみとなる。

< 建屋内浸水前に津波により機能喪失している設備等 >

- ・ 非常用海水ポンプ（残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ）
- ・ 起動変圧器，予備変圧器

このため、評価対象機器を R C I C の機能維持に必要な設備とし、機能維持に必要な設備とその設置場所を表1に示す。

これらの評価対象設備が設置されている区画のうち、津波浸水を考慮する箇所は、原子炉棟の地下 1 階共通エリア，地下 2 階 R C I

Cポンプ室，電気室の1階，地下1階，地下2階となるため，この区画に着目して評価を実施する。

表1 R C I C系機能維持に必要な設備の配置

| 設置場所 | | 主な設備 |
|---------------------------|-------------|-----------------------------------|
| 原子炉棟 4階 | EL. + 29.0m | R C I C 原子炉注入弁 |
| | | 直流 125V MCC (2A-2) |
| | | : |
| 原子炉棟 3階 | EL. + 20.3m | R C I C 外側隔離弁 |
| 原子炉棟 地下1階 共通エリア | EL. + 2.0m | R C I C タービン排気弁 |
| | | R C I C DIV-I 計装ラック |
| | | 直流 125V MCC (2A-1) |
| | | : |
| 原子炉棟 地下2階 R C I C ポンプ室 | EL. - 4.0m | R C I C ポンプ |
| | | R C I C タービン |
| | | R C I C 蒸気供給弁 |
| | | R C I C PUMP DISCHARGE FLOW (伝送器) |
| | | : |
| 電気室上部 3階 空調機械室 | EL. + 23.0m | R C I C TURBINE CONTROL BOX |
| 電気室 1階 | EL. + 8.2m | 直流 125V 蓄電池 (2A) |
| | | 直流 125V 充電器盤 (2A) |
| | | 直流 125V 直流母線盤 (2A) |
| | | 直流 125V 分電盤 (2A-1) |
| 電気室 地下2階 | EL. - 4.0m | 直流 125V 分電盤 (2A-2-1) |

2. 原子炉建屋への浸水経路の特定

(1) 原子炉棟

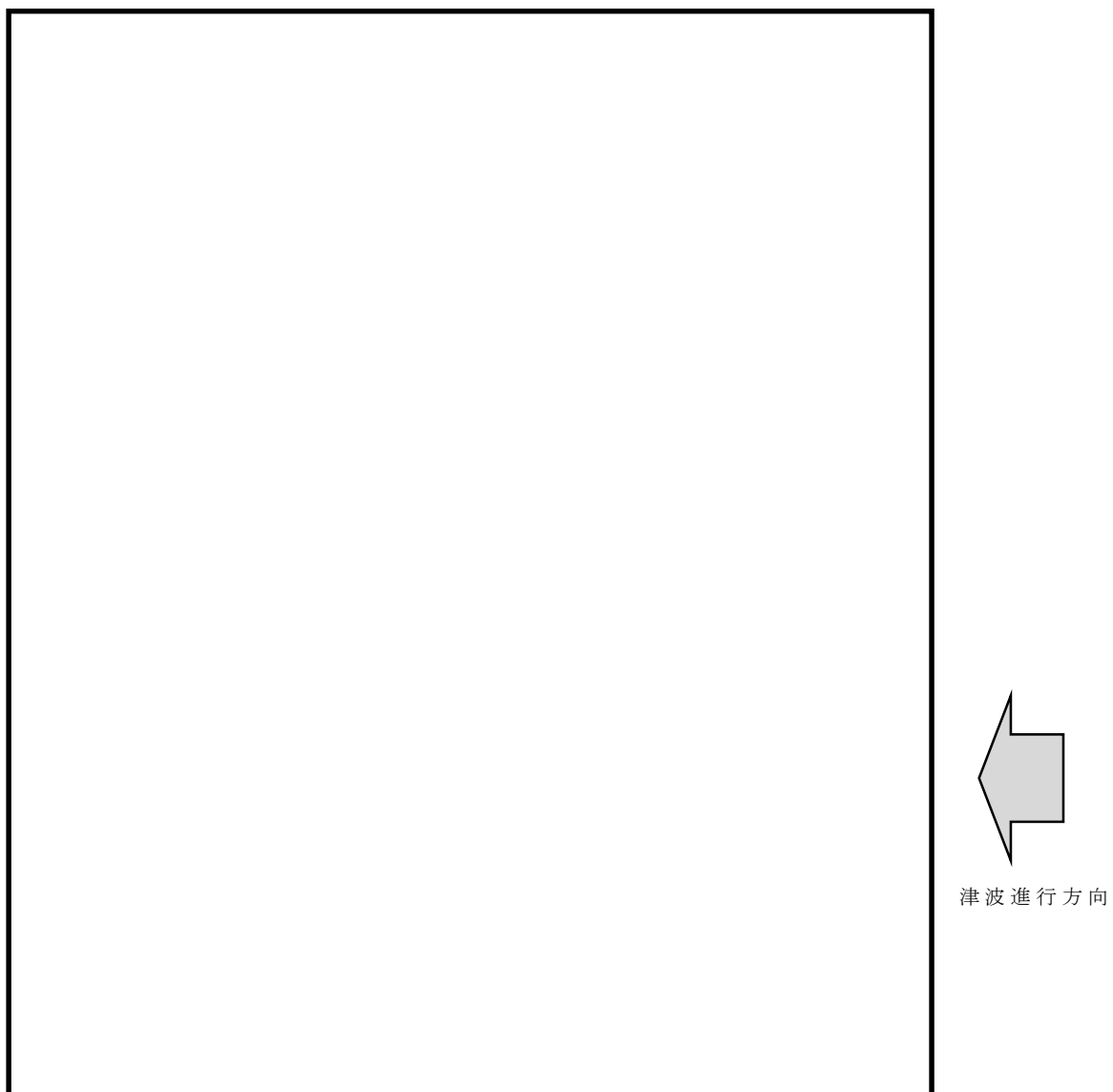
原子炉棟への浸水経路としては、直接の浸水経路として、原子炉建屋大物搬入口からの浸水を考慮する。また、隣接する建屋からの浸水として、廃棄物処理棟を経由した浸水を考慮する。廃棄物処理棟への浸水経路は、建屋外壁部からの直接浸水とタービン建屋経由の経路がある（図 1 参照）。

原子炉棟へ浸水した海水は、階段やエレベータ部からの流下経路を伝い、原子炉棟の地下 1 階共通エリア、地下 2 階 R C I C ポンプ室へと浸水するため、当該エリアに設置されている R C I C の機能維持に必要な設備の没水・被水により、R C I C の機能喪失に至る（図 2 から図 4 参照）。

(2) 電気室

電気室への浸水経路としては、建屋外壁部からの浸水として、直接の浸水経路となる電気室機器搬入口（EL. +9.0m）がある。また、隣接する建屋からの浸水として、サービス建屋とディーゼル発電機室から連絡扉を経由した浸水を考慮する（図 1 参照）。

電気室へ浸水した海水は、階段からの流下経路を伝い、電気室の地下 1 階、地下 2 階へと浸水するため、当該エリアに設置されている R C I C の機能維持に必要な設備の没水・被水により、R C I C の機能喪失に至る（図 2 から図 4 参照）。



：評価対象設備が設置されているエリア



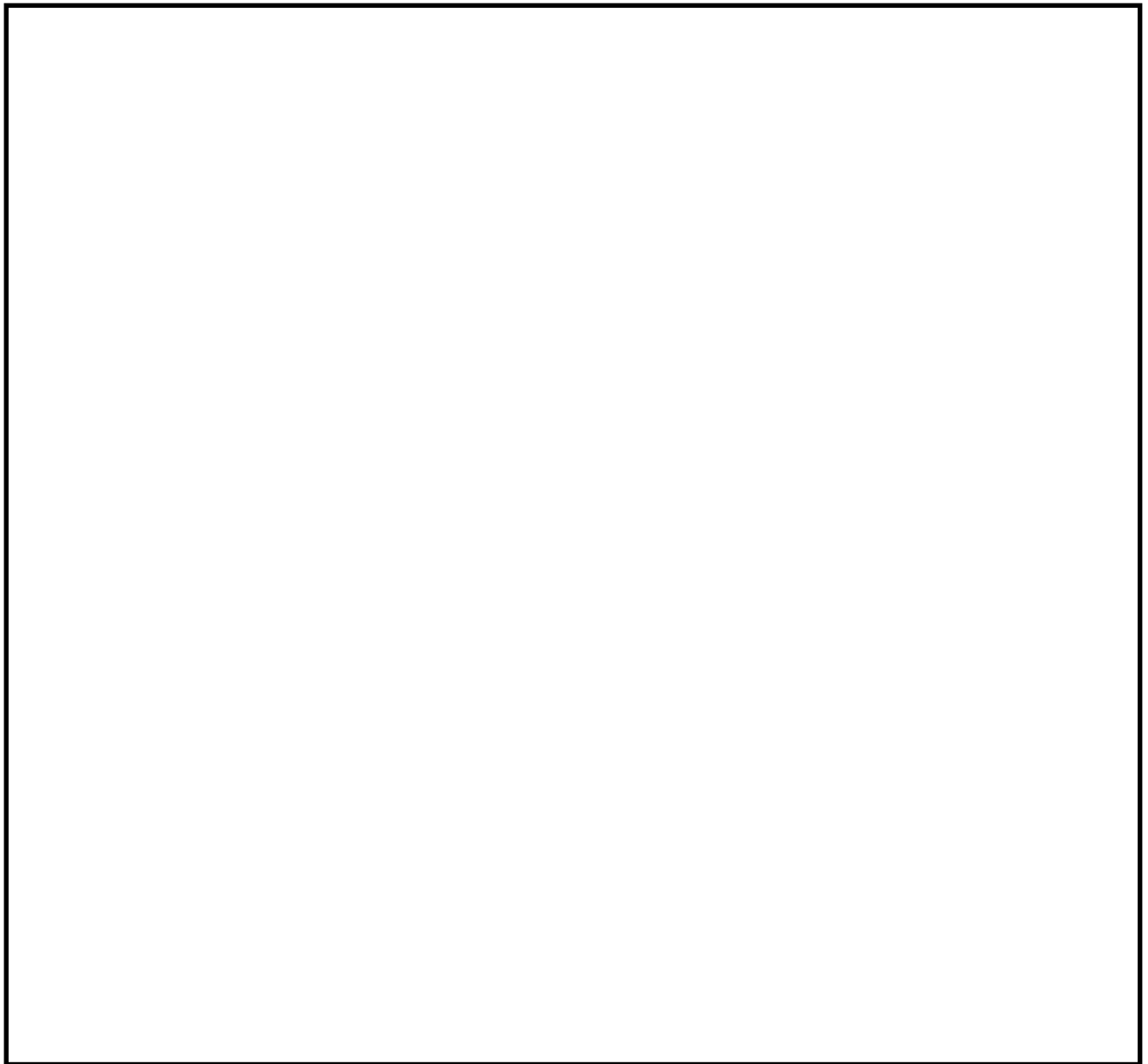
：津波により浸水するエリア



：大物搬入口，人員用扉等からの浸水経路

＊原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等は考慮しない。

図 1 東海第二発電所 原子炉建屋配置



：評価対象設備が設置されているエリア



：大物搬入口，人員用扉等からの浸水経路



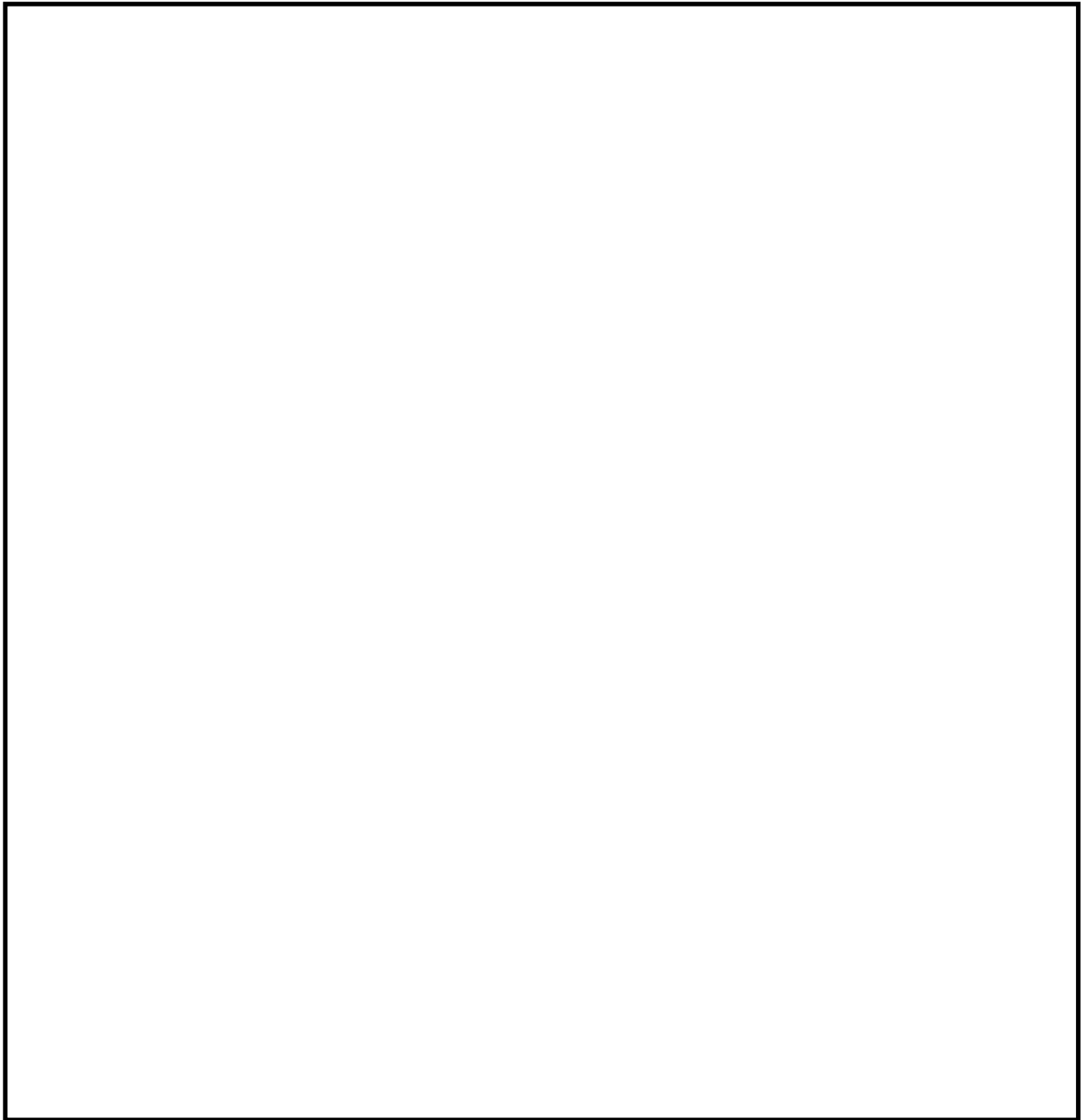
：階段・エレベータ部等からの流下経路



：津波により浸水するエリア

* 原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等は考慮しない。

図 2 東海第二発電所 原子炉建屋地上 1 階 (EL. +8.2m)



：評価対象設備が設置されているエリア



：大物搬入口，人員用扉等からの浸水経路



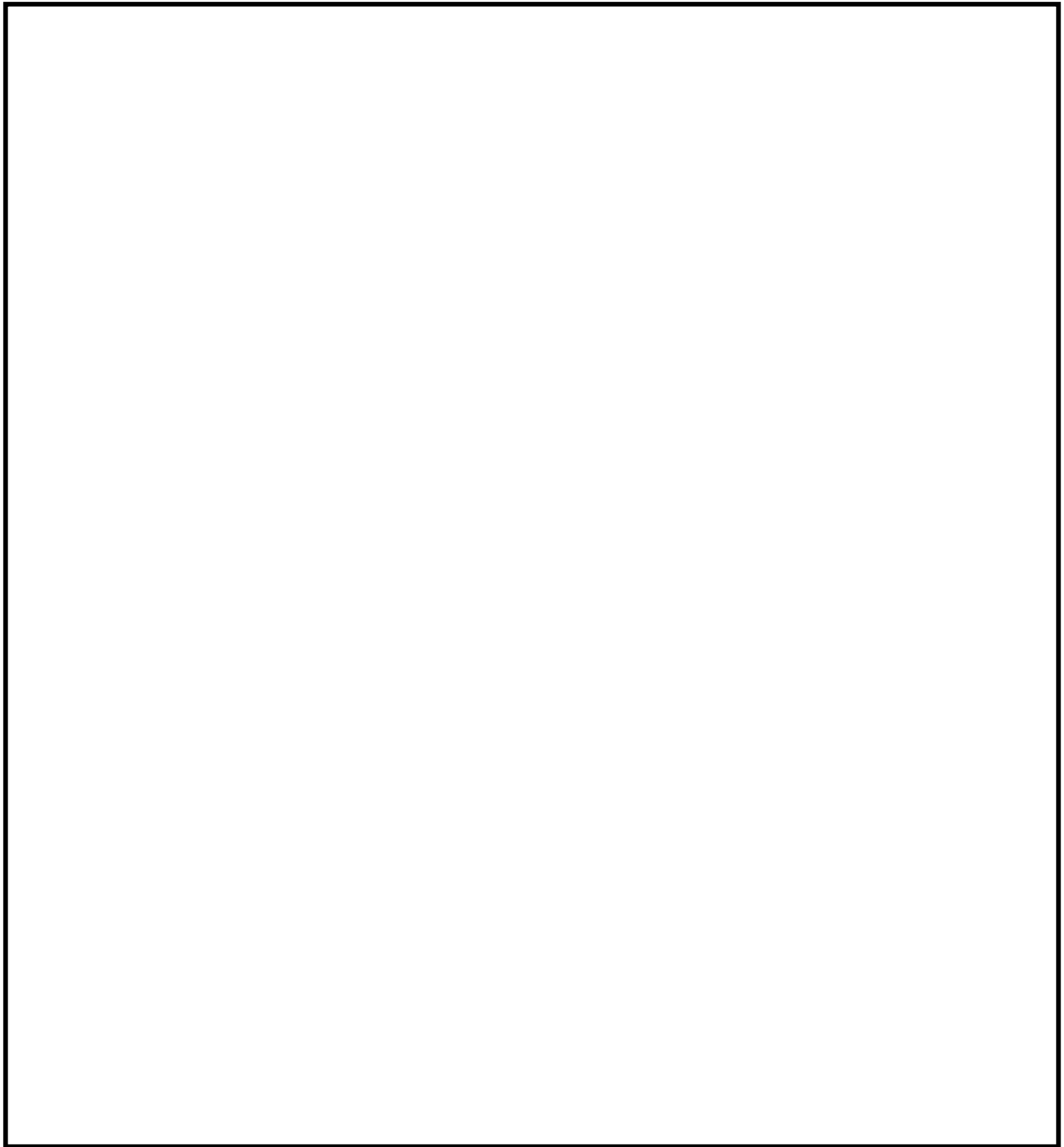
：階段・エレベータ部等からの流下経路



：津波により浸水するエリア

＊原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等は考慮しない。

図 3 東海第二発電所 原子炉建屋地下 1 階（EL. + 2.0m）



：評価対象設備が設置されているエリア



：大物搬入口，人員用扉等からの浸水経路



：津波により浸水するエリア

* 原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等は考慮しない。

図 4 東海第二発電所 原子炉建屋地下 2 階 (EL. - 4.0m)

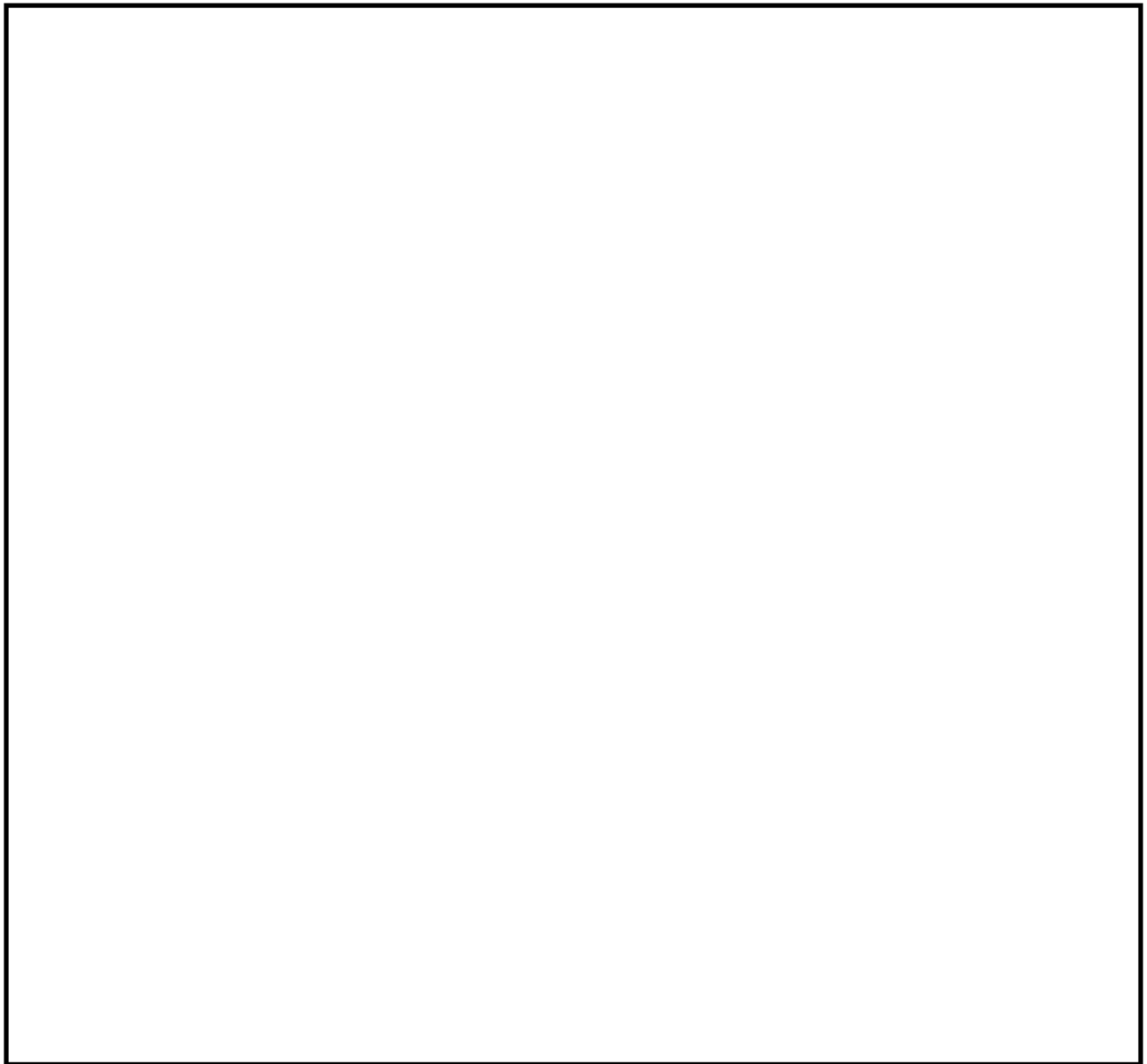
3. 内部溢水対策の考慮







原子炉建屋における内部溢水に対する設計基準事故対処設備として期待している水密扉の配置を、図 5 から図 7 に示す。

また、隣接する建屋からの浸水については、内部溢水対策として水密扉を設置しているが、大物搬入口からの原子炉建屋への浸水に対しては、原子炉建屋 1 階床面高さ (EL. + 8.2m) が、敷地高さ (EL. + 8.0m) に比べ 0.2m 高く、建屋外からの流入を防止できることから、堰等は設けていない。このため、原子炉建屋の 1 階床面高さ (EL. + 8.2m) に津波が到達する場合、大物搬入口より、原子炉建屋内に海水が浸水する。

原子炉建屋内の浸水経路については、水密扉により R C I C ポンプ室等は防護されるが、大物搬入口から浸水した海水が、原子炉棟地下 1 階の共通エリアに浸水するため、当該エリアに設置されている R C I C の機能維持に必要な設備の没水・被水により、R C I C の機能喪失に至る。

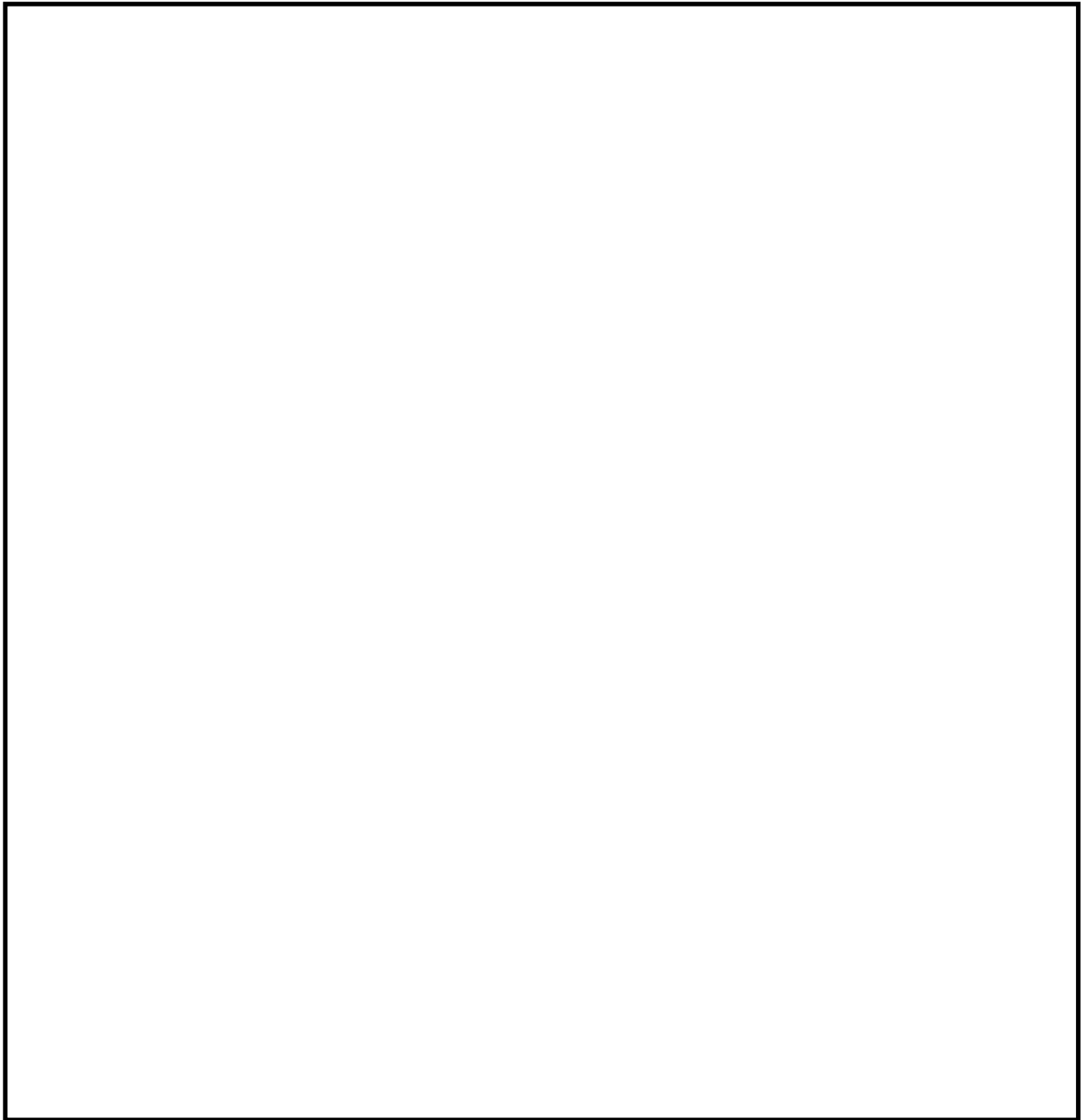
内部溢水評価において設計基準事故対処設備としている水密扉を期待した場合の浸水範囲を、図 5 から図 7 に示す。なお、電気室については、津波が電気室機器搬入口の高さ (EL. + 9.0m) に到達した時点から浸水する。



-  : 評価対象設備が設置されているエリア
-  : 大物搬入口，人員用扉等からの浸水経路
-  : 内部溢水評価で設計基準事故対処設備としている水密扉
-  : 水密扉で浸水が防止される浸水経路
-  : 階段・エレベータ部等からの流下経路
-  : 津波により浸水するエリア

* 原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等は考慮しない。

図 5 東海第二発電所 原子炉建屋地上 1 階 (EL. + 8.2m)



：評価対象設備が設置されているエリア



：大物搬入口，人員用扉等からの浸水経路



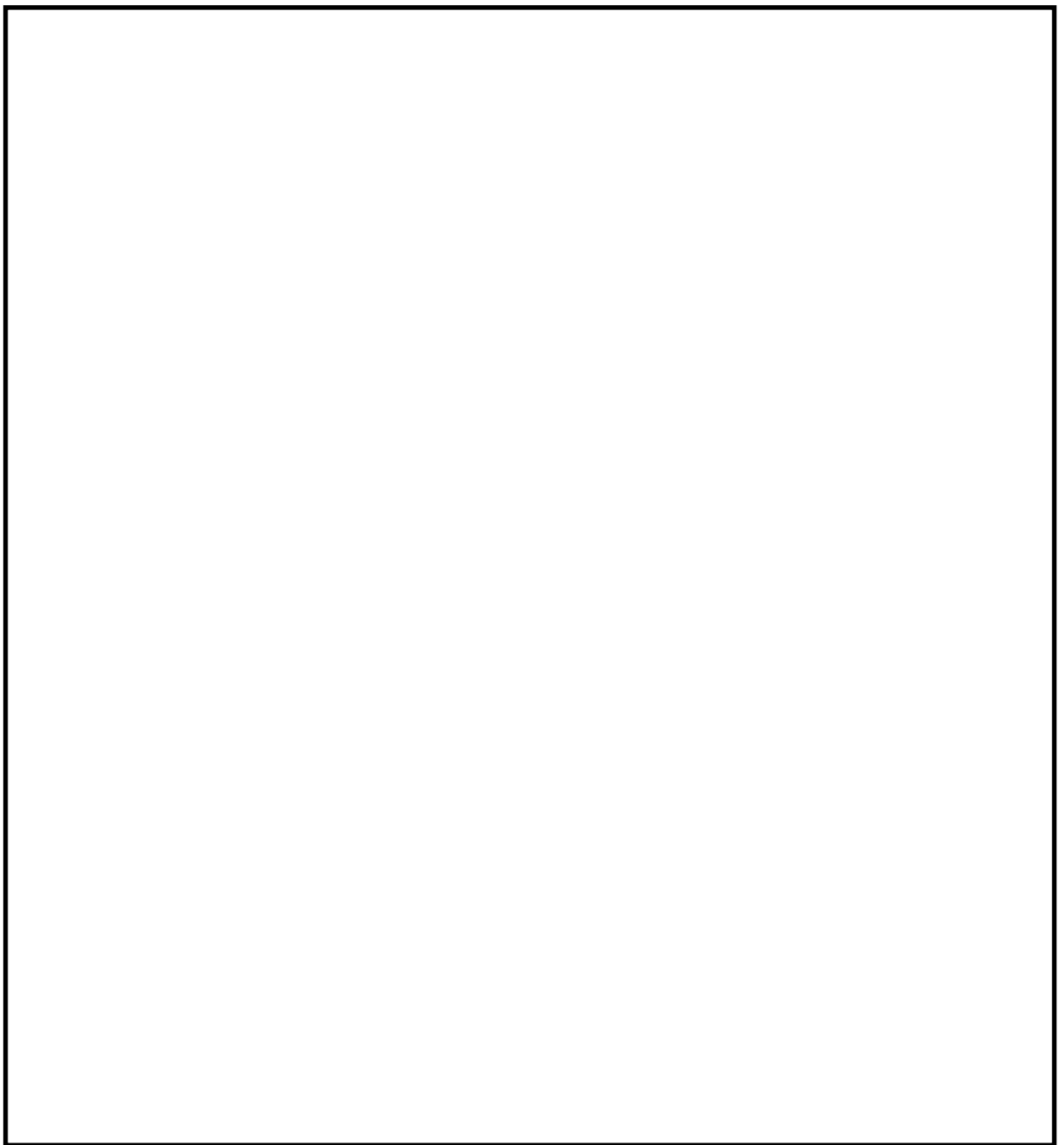
：階段・エレベータ部等からの流下経路



：津波により浸水するエリア

＊原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等は考慮しない。

図 6 東海第二発電所 原子炉建屋地下 1 階（EL. + 2.0m）



：評価対象設備が設置されているエリア



：大物搬入口，人員用扉等からの浸水経路



：内部溢水評価で設計基準事故対処設備としている水密扉



：水密扉で浸水が防止される浸水経路



：津波により浸水するエリア

* 原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等は考慮しない。

図 7 東海第二発電所 原子炉建屋地下 2 階（EL. -4.0m）

4. 建屋内浸水を考慮した場合のシナリオ

直接炉心損傷に至るものとして評価している津波高さT.P. + 23mを超過する事象について，建屋内浸水を考慮したシナリオの分析をした場合，全交流動力電源喪失時に原子炉建屋内への浸水によりR C I Cの機能喪失に至ることから，事故シーケンスグループとしては，「T B U」によって炉心損傷に至るものとして分類される。

外部電源の取扱いについて

1. 東海第二発電所の外部電源系統の概要

275kV 送電線 2 回線は，約 17km 離れた東京電力パワーグリッド株式会社那珂変電所（以下「那珂変電所」という。）に接続している。また，154kV 送電線 1 回線は，約 9km 離れた東京電力パワーグリッド株式会社茨城変電所（以下「茨城変電所」という。）に接続している。送電系統図を図 1 に示す。

上記 2 ルート 3 回線の送電線により，万一，那珂変電所が停止した場合でも，東京電力パワーグリッド株式会社 154kV 原子力 1 号線を経由するルートで東海第二発電所に電力を供給することが可能である。また，茨城変電所が停止した場合には，那珂変電所を経由するルートで，東海第二発電所に電力を供給することが可能である。

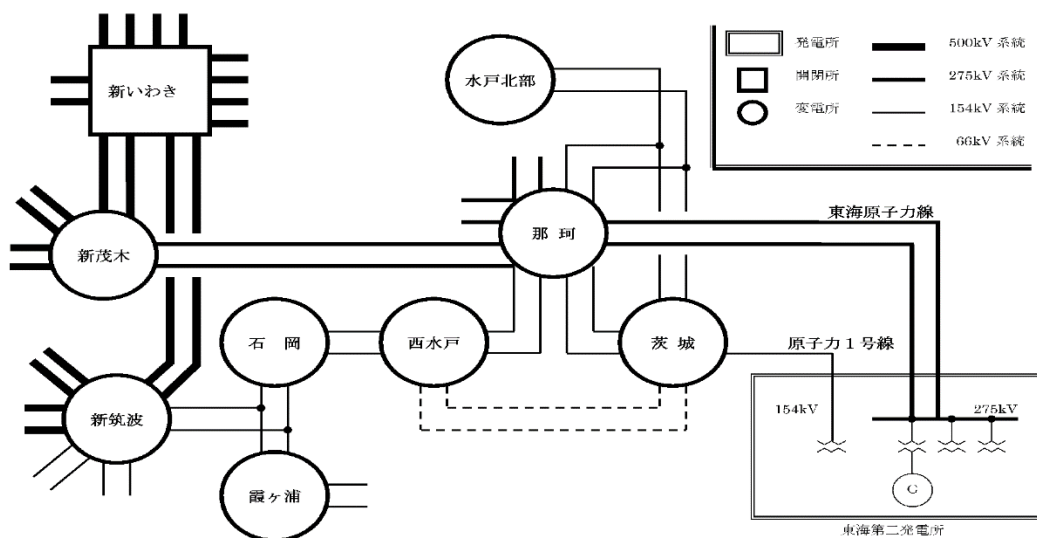


図 1 送電系統図

2. 津波 P R A における外部電源の取扱い

(1) 津波 P R A 学会標準における外部電源の取扱い

外部電源の取扱いについて、津波 P R A 学会標準では次のように記載されている。

1. 適用範囲

(略)

軽水型原子力発電所は地震発生前には出力運転状態にあるとする。地震によって安全上重要な機器・システム、建物の機能喪失につながる損傷はない、すなわち、地震による直接的影響はないとする。(略) ただし、外部電源についてはその喪失も考慮する。**【解説 1.2 外部電源喪失の考慮 参照】**地震によって外部電源喪失以外の直接的影響がある場合の津波に起因するリスク評価については適用範囲外とする。(略)

解説 1 適用範囲について

1.2 外部電源喪失の考慮

大規模の地震時には、外部電源系統が損傷する可能性が小さくはない。従って、地震による直接的な影響がないことを前提として津波 P R A を実施するとしても、外部電源が利用できない場合のリスクとの比較によってその影響を評価しておくことが期待されるであろう。地震に起因するリスク評価において、外部電源の脆弱性を地震パラメータに関して評価している。それを津波 P R A において、外部電源喪失確率として用いるべきとの意見もあるが、津波 P R A ではリスク評価パラメータは津波高さであり、地震の規模と津波の規模は一対一に対応しない。従って、外部電源の地震時脆弱性を津波 P R A にて用いることはできない。よって、地震によって外部電源が既に喪失している条件でのリスク評価を、別途実施することを求めた。

(2) 東海第二発電所の津波 P R A における外部電源の取扱い

a. 発電所内部の外部電源設備に対する津波影響

東海第二発電所の津波 P R A では、防潮堤高さ T.P. + 20m を超え敷地内浸水が発生する津波高さを評価対象としている。

外部電源からの受電設備である起動変圧器 (275kV) 及び予備変圧器 (154kV) は屋外に設置されている機器であるが、防潮堤位置で T.P. + 22m の高さまでの津波（以下「津波高さ T.P. + 22m の津波」という。）では没水・被水しないことを敷地内浸水解析により確認している。（添付資料 3.2.2.3-3 参照）

b. 発電所外部の外部電源設備に対する津波影響

東海第二発電所外部の送電設備に対する津波の影響については、那珂変電所、茨城変電所は津波高さ T.P. + 22m の津波を考慮した場合でも影響のない高所に位置していることから、津波による影響はないものとする。

また、東海第二発電所周辺の送電ルートへの影響については、154kV 送電線 1 回線は津波による影響はないと考えられるものの、275kV 送電線 2 回線は津波高さ T.P. + 22m の津波により浸水する箇所に送電鉄塔が設置されているため、275kV 送電線 2 回線からの外部電源は喪失する可能性がある（図 2）。

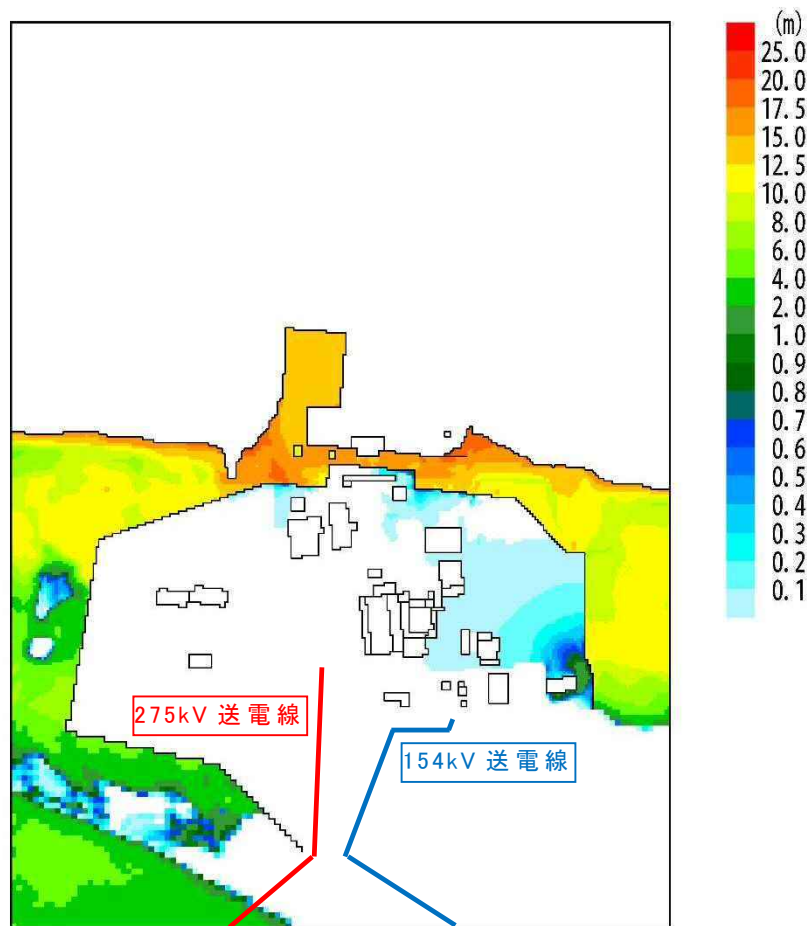


図 2 津波高さ T.P. + 22m の津波による東海第二発電所周辺への影響

c. 外部電源の有無に関する感度解析

a. 及び b. に示したとおり，津波高さ T.P. + 22m の津波を考慮した場合においても，154kV 送電線及び予備変圧器を介した外部電源に期待できるものと考えられることから，ベースケースにおいては，津波区分 1（T.P. + 20m～T.P. + 22m）では外部電源に期待し，津波区分 2（T.P. + 22m～+ 24m）を超える津波高さでは外部電源が喪失するものとして評価している。

また，津波 P R A 学会標準の記載を踏まえ，津波襲来前の地震により外部電源が喪失すると仮定した場合の感度解析を実施している。その結果，外部電源の有無により事故シーケンスは

異なるものの、評価対象となる津波高さ（T.P. + 20m～）では緩和設備がなくなり必ず炉心損傷に至るため、全炉心損傷頻度は変わらないことを確認している。

なお、津波 P R A より抽出した事故シーケンスに対する対策については、地震及び津波の影響により外部電源が喪失する可能性があることを考慮し、外部電源に依存しない対策（常設代替高圧電源装置から重大事故等対処設備への給電が可能な設計）としている。

防潮堤設置ルートの変更が敷地内浸水解析等に与える影響について

1. はじめに

敷地北側における防潮堤設置ルートを, 図1に示す通り変更する必要が生じたことから, 津波 P R A で使用する以下の解析結果に対する影響について確認を行った。

- ・ T. P. + 22m津波及びT. P. + 23m津波の敷地内浸水解析結果
- ・ T. P. + 24m津波の取水口前面における水位の時刻歴波形

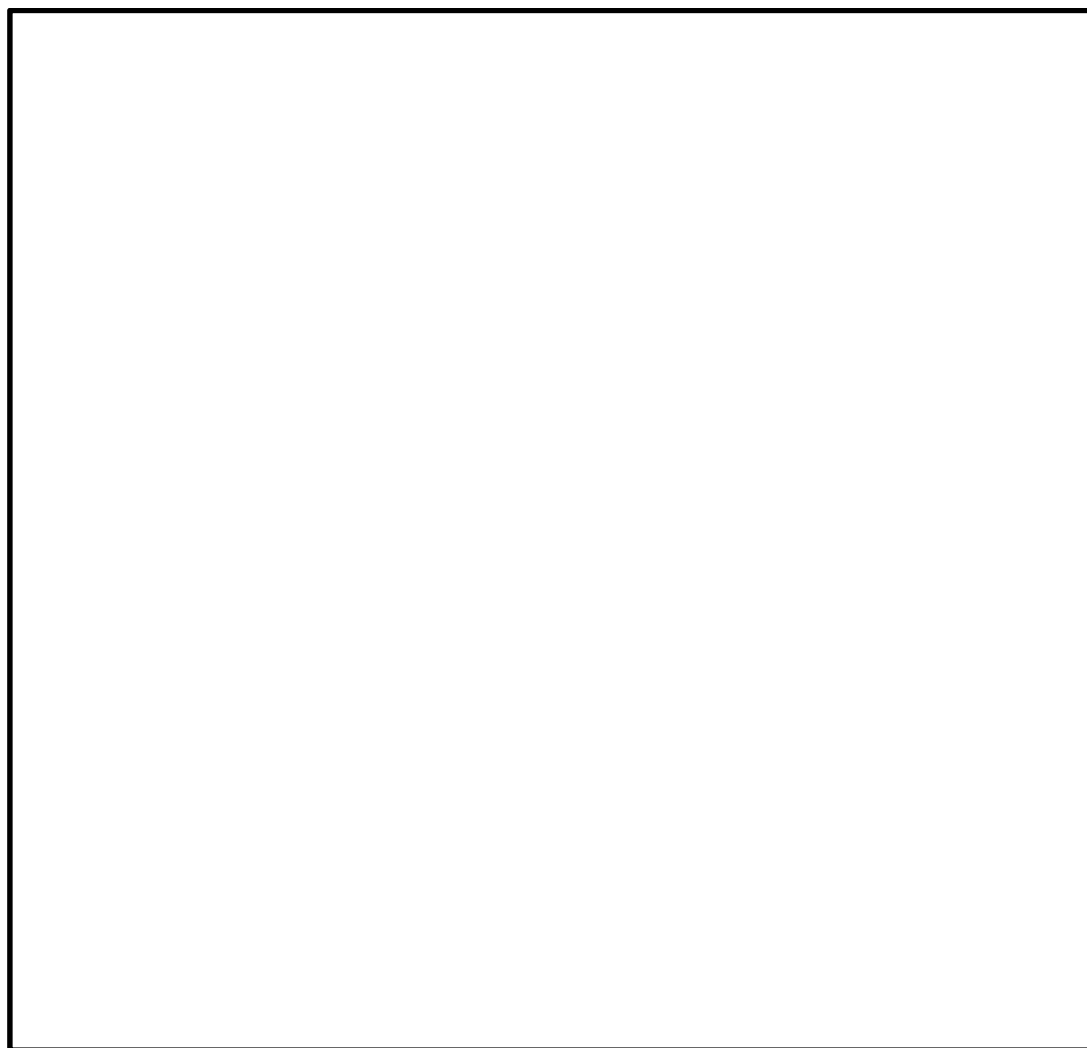


図 1 敷地北側における防潮堤設置ルートの変更

2. 基準津波による解析結果への影響確認

2.1 基準津波による遡上解析結果への影響確認

(1) 遡上解析結果の比較

防潮堤設置ルートの変更による影響を確認するため、防潮堤設置ルート変更前後における基準津波の遡上解析結果の比較を行った。遡上解析結果の比較を図2に示す。

(2) 遡上解析への影響確認結果

a. 基準津波による防潮堤前面の最高水位

基準津波による防潮堤前面の最高水位は、防潮堤設置ルートの変更前後において、いずれもT.P. +17.1mであり変化はなく、その最高水位を示す位置も同一である。

b. 基準津波による敷地側面南側～敷地前面東側の水位

図2に示す「敷地側面南側～敷地前面東側」は、防潮堤設置ルートの変更を行っていない範囲である。この範囲における津波の最高水位は、ルート変更前後でほぼ変化が見られない。

c. 基準津波による敷地側面北側の水位

図2に示す「敷地側面北側」は、防潮堤設置ルートの変更を行った範囲である。この範囲における津波の最高水位は、ルート変更前のT.P. +15.2mからルート変更後のT.P. +11.8mへ低下している。

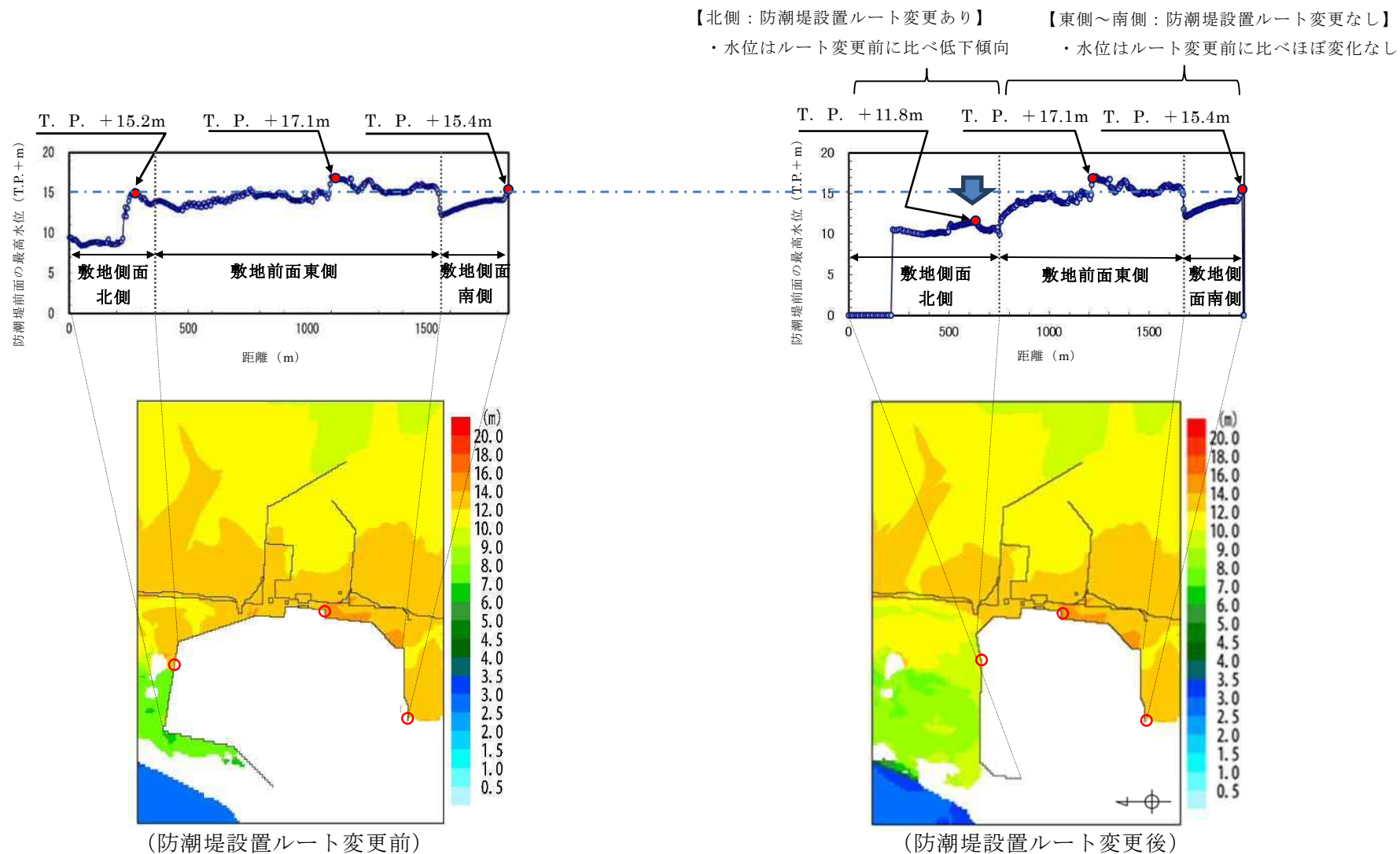


図2 基準津波による防潮堤前面における津波水位の評価結果

2.2 基準津波による取水口前面の水位の時刻歴波形への影響確認

(1) 取水口前面の水位の時刻歴波形の比較

防潮堤設置ルートの変更による影響を確認するため、防潮堤設置ルート変更前後における基準津波による取水口前面の水位の時刻歴波形の比較を行った。取水口前面の水位の時刻歴波形の比較を図3に示す。

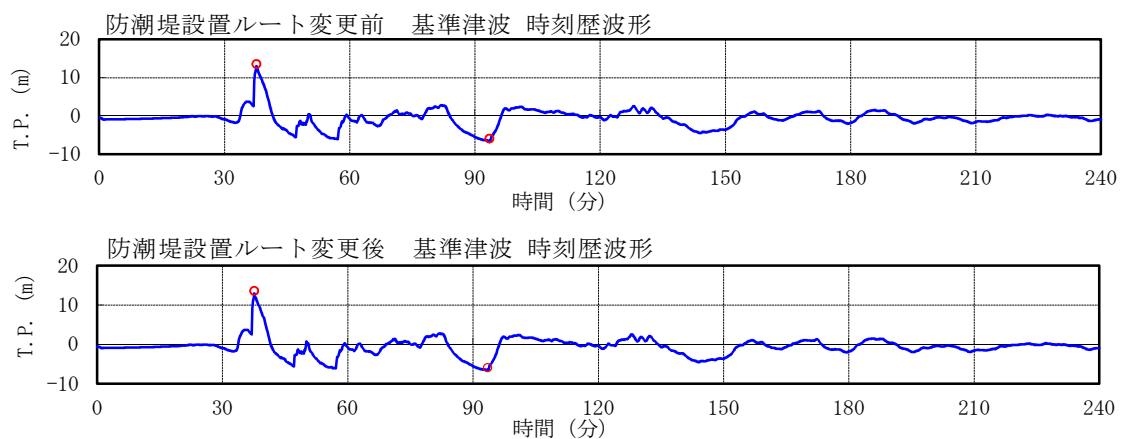


図3 防潮堤形状変更前後の基準津波による取水口前面の水位の時刻歴波形

(2) 取水口前面の水位の時刻歴波形への影響確認結果

図3より、防潮堤設置ルート変更前後による取水口前面の水位の時刻歴波形を比較すると、ほぼ変化がみられない。これより、基準津波による取水口前面の水位の時刻歴波形への影響はないものとする。

3. 津波PRAで使用する解析結果への影響確認

3.1 影響確認対象

津波PRAでは、以下の解析結果を使用して評価を行っている。

① T.P. +22m津波及びT.P. +23m津波の敷地内浸水解析結果

原子炉建屋1階床面への津波の到達する津波高さを決定する目的で使用している。

② T. P. + 24m津波の取水口前面における水位の時刻歴波形

引き波に対する事故シナリオをスクリーニングアウトするための根拠を整理する目的で使用している。

3.1 影響確認結果

(1) T. P. + 22m津波及びT. P. + 23m津波の敷地内浸水解析結果への影響確認

既往のT. P. + 22m津波及びT. P. + 23m津波の敷地内浸水解析の結果から、原子炉建屋周辺への津波の浸水は、防潮堤前面東側で最高水位となる位置からの越流によるものではなく、敷地側面南側からの越流が支配的であることが分かっている。これは、敷地前面東側の防潮堤高さがT. P. + 20mに対し、敷地側面南側の防潮堤高さがT. P. + 18mであることに加え、津波の波源が敷地の南東側に位置しているため、南側からの越流が発生しやすい状況にあるためと考えられる。

一方、2.1で考察したとおり、基準津波による遡上解析結果では、防潮堤設置ルートを変更していない敷地側面南側から敷地前面東側の領域では、津波高さの値はほぼ変化がみられない。

以上の状況を踏まえると、防潮堤設置ルートの変更は、T. P. + 22m津波及びT. P. + 23m津波の敷地内浸水解析に対して、影響の小さい領域での変更であり、当該評価結果には影響を与えるものではないと考える。

(2) T. P. + 24m 津波による取水口前面の水位の時刻歴波形への影響確認

2.2で考察したとおり、防潮堤設置ルートを変更しても、基準津波による取水口前面の水位の時刻歴波形には影響しないものとする。

また、基準津波と T.P. +24m 津波の取水口前面における水位の時刻歴波形は、図 3 に示すとおりほぼ相似形となっていることから、T.P. +24m 津波に対する時刻歴波形についても影響の無いものとする。

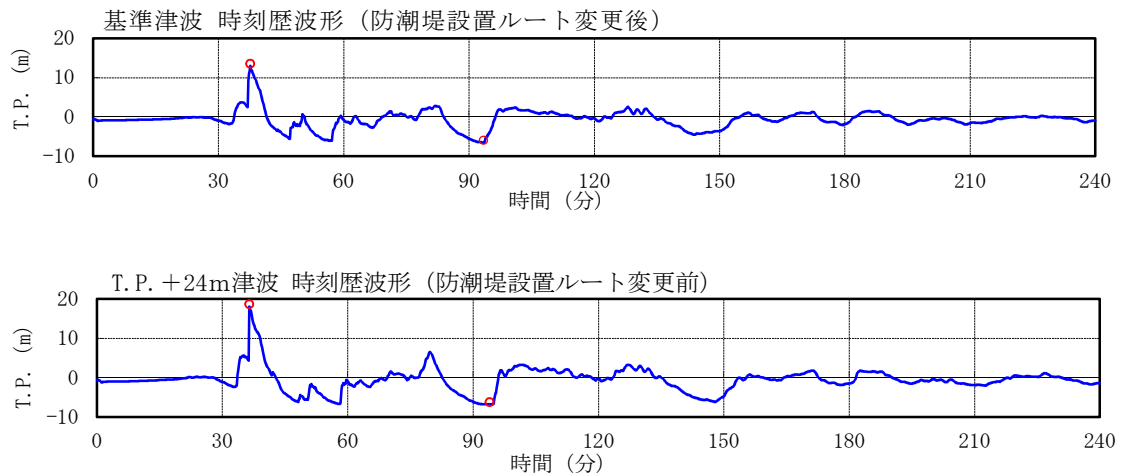


図 3 取水口前面における水位の時刻歴波形

4. まとめ

防潮堤設置ルートの変更による津波 P R A で使用する解析結果への影響について評価するため、基準津波の遡上解析結果及び水位の時刻歴波形を比較した結果、当該評価結果への影響がないものと考えられることを確認した。

4. レベル 1 . 5 P R A

4.1 内部事象 P R A

4.1.1 出力運転時 P R A

出力運転時レベル 1 . 5 P R A は一般社団法人日本原子力学会が発行した「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準（レベル 2PSA 編）：2008」に基づいて評価を実施した。評価フロー図を第 4.1.1-1 図に示す。

4.1.1.1 プラントの構成・特性

(1) 対象プラントに関する説明

a . 機器・系統の配置及び形状・設備容量

格納容器の主要仕様を第 4.1.1.1-1 表に示す。

M a r k - II 格納容器は、第 3.1.1.1-8 図に示したように、円錐フラスタム形をしたドライウェルとその下部に配置した円筒系のサブプレッション・チェンバにより構成され、ドライウェルとサブプレッション・チェンバはダイヤフラムフロアにて仕切られている。また、ペデスタルは、ベースマットコンクリート上からダイヤフラムフロアを貫通して原子炉圧力容器を支持する構造となっている。

その他の主要な機器・系統の配置及び形状・設備容量は「3. レベル 1 P R A」に示すとおりである。

b . 事故の緩和操作

本 P R A では、プラント運転開始時より備えている手段・設備による事故の緩和操作として以下を考慮する。

- ・ 原子炉手動減圧
- ・ 低圧炉心スプレイ系（L P C S）手動起動

- ・ 低圧注水系（L P C I）手動起動
- ・ 残留熱除去系（R H R）（格納容器スプレイ冷却系）手動起動

c． 燃料及びデブリの移動経路

事故時の燃料及びデブリなどの熱源の移動は，水素発生，熔融炉心・コンクリート相互作用（M C C I）及び格納容器内の熱水力挙動，核分裂生成物（F P）移行挙動に影響する。燃料及びデブリの格納容器内での挙動を第 4.1.1.1-1 図に示す。また，燃料及びデブリの移動経路並びにそれに係る挙動を第 4.1.1.1-2 表に示す（添付資料 4.1.1.1-1）。ペデスタル（ドライウェル部）床からサブプレッション・チェンバへの移動経路は，M a r k - II 格納容器の構造上の特徴である。

4.1.1.2 プラント損傷状態の分類及び発生頻度

内部事象レベル 1 P R A（出力運転時）で得られた炉心損傷に至る全ての事故シーケンスに対して，事故の進展及び緩和操作の類似性からプラント損傷状態（P D S）を定義し，P D S の分類及び発生頻度の評価をする。

(1) P D S の一覧

a . P D S の考え方，定義

B W R の P R A において用いる事故シーケンスの識別子を第 4.1.1.2-1 表に，レベル 1 P R A で得られた炉心損傷に至る事故シーケンスを第 4.1.1.2-2 表に示す。P D S の分類は，レベル 1 P R A で得られた炉心損傷に至る事故シーケンスを，熱水力挙動の類似性及び事故後の緩和設備・緩和操作の類似性から，以下の 4 項目に着目して実施する。

(a) 格納容器破損時期

炉心損傷後に格納容器破損が生じる場合と格納容器破損後に炉心損傷が生じる場合で分類する。この前後関係によって，事故の防止手段及び緩和手段の種類が大きく異なる。

(b) 原子炉圧力

炉心損傷後，原子炉圧力容器破損に至るまでに，原子炉圧力容器内が高圧状態か低圧状態で分類する（添付資料 4.1.1.2-2）。この圧力状態の違いによって，原子炉圧力容器破損時の格納容器雰囲気の圧力上昇の程度，デブリの飛散の程度等，原子炉圧力容器破損後の事故進展が異なる。

(c) 炉心損傷時期

炉心損傷時期が早期か後期かで分類する。この時期の違い

によって、原子炉圧力容器破損時期、格納容器雰囲気の圧力及び温度上昇の時期が大きく変化し、格納容器破損の時期が影響を受けるため、事故の緩和操作の余裕時間が大きく異なる（添付資料 4.1.1.2-1）。

(d) 電源確保

交流電源及び直流電源の有無により分類する。電源が確保されている場合は緩和操作に期待できる。

b. レベル 1 P R A の事故シーケンスの P D S への分類結果

炉心損傷に至る事故シーケンスを上記 a. の考え方に基づいて P D S として分類した結果を第 4.1.1.2-1 図に示す。なお、第 4.1.1.2-1 図の分類結果のうち、次の (a) から (c) の事故シーケンスについては、P D S の分類方法を個別に検討した。

(a) T Q U V と L O C A

T Q U V と L O C A については、L O C A は原子炉圧力容器破損前に破断口からの放出蒸気により格納容器の圧力・温度が上昇する等、T Q U V と事象進展が大きく異なるため、異なる P D S とした。なお、L O C A (A E, S 1 E, S 2 E) については、炉心損傷後のプラント挙動の類似性を考慮して、1 つの P D S とした。

(b) T W と T B W

T W と T B W は電源の状態が異なるが、いずれも除熱機能が喪失して格納容器が先行破損する事故シーケンスであり、レベル 1. 5 P R A の範囲では緩和操作に期待できず、事象進展に差異がないため、T W / T B W として 1 つの P D S とした。

(c) T C と I S L O C A

T C と I S L O C A については，T C は格納容器先行破損のシーケンスであることに対して，I S L O C A は格納容器バイパス事象であることから，異なる P D S とした。

(2) P D S 別の炉心損傷頻度

P D S 別の炉心損傷頻度を整理した結果を第 4.1.1.2-3 表に示す。P D S 別の炉心損傷頻度は，格納容器先行破損の P D S である T W / T B W が 99.8% と支配的である。

4.1.1.3 格納容器破損モード

(1) 格納容器破損モードの一覧と各破損モードに関する説明

炉心損傷から格納容器破損に至るまでの事故シーケンスは、次章 4.1.1.4 でイベントツリーによって分析するが、このイベントツリーの最終状態となる格納容器破損モードは、炉心損傷後の格納容器内の物理化学的挙動を分析することで抽出する。本章では格納容器破損モードを網羅的に抽出し、本 P R A でイベントツリーの最終状態として設定すべき格納容器破損モードを選定する。

本プラントにおけるシビアアクシデントで考えられる事故進展を第 4.1.1.3-1 図に示す。また、事故進展に伴い生じる格納容器の健全性に影響を与える負荷を抽出した結果を第 4.1.1.3-1 表に、これらの負荷を発生時期に着目し、以下に示す事故進展フェーズに整理したものを第 4.1.1.3-2 表に示す。

- ・ 炉心損傷前
- ・ T 1 : 原子炉圧力容器破損前
- ・ T 2 : 原子炉圧力容器破損直後
- ・ T 3 : 事故後期

事故進展に伴い生じる格納容器の健全性に影響する負荷から整理される物理的破損事象を考慮し、選定した格納容器破損モードは以下のとおりである。

a. 格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）

インターフェイスシステム L O C A の発生後、原子炉冷却材の流出が継続して炉心損傷に至り、格納容器をバイパスして放射性物質等が原子炉建屋内に放出される格納容器破損モードである。

b. 格納容器バイパス（格納容器隔離失敗）

炉心損傷時点で、格納容器の隔離に失敗しており、隔離失敗箇所から放射性物質等が原子炉建屋内に放出される格納容器破損モードである。

c. 早期過圧破損（未臨界確保失敗）

原子炉の未臨界確保に失敗した場合に、炉心で発生する大量の水蒸気により格納容器圧力が上昇し、格納容器が早期に過圧されて破損する格納容器破損モードである。

d. 過圧破損（崩壊熱除去失敗）

炉心冷却に成功し崩壊熱除去に失敗した場合に、崩壊熱によって炉心で発生する水蒸気により格納容器圧力が徐々に上昇し、格納容器が過圧されて破損する格納容器破損モードである。

e. 過圧破損（長期冷却失敗）

炉心損傷後に、デブリの崩壊熱によって発生する水蒸気、及び熔融炉心・コンクリート相互作用によって発生する非凝縮性ガスにより格納容器圧力が徐々に上昇し、格納容器が過圧されて破損する格納容器破損モードである。

f. 過温破損

炉心損傷後に、デブリからの崩壊熱によって格納容器雰囲気が加熱され、格納容器貫通部の取付部、又はフランジシール部などが熱的に損傷し、格納容器が破損する格納容器破損モードである。

g. 格納容器雰囲気直接加熱

原子炉圧力容器が高压状態で破損した場合に、微粒子化したデブリが格納容器空間部に飛散し、格納容器雰囲気が直接加熱

されて急速な圧力上昇が生じることにより格納容器が破損する格納容器破損モードである。

h. 水蒸気爆発

デブリがペDESTAL（ドライウェル部）の冷却水中又はサブプレッション・プール水中に落下した場合，若しくは格納容器内に放出されたデブリに対して注水を実施した場合に，デブリと水の接触に伴い，デブリの持つ熱エネルギーが爆発的な機械エネルギーに変換され，格納容器への荷重が生じることで格納容器が破損する格納容器破損モードである。

i. 溶融炉心・コンクリート相互作用

原子炉圧力容器破損後，格納容器内に放出されたデブリによりペDESTAL（ドライウェル部）床のコンクリートが侵食され，デブリはペDESTAL（ドライウェル部）床を貫通してサブプレッション・プールに落下する。その後，サブプレッション・プールにおける溶融炉心・コンクリート相互作用が継続し，ベースマット溶融貫通に先行してペDESTAL（ドライウェル部）壁面の侵食に伴う原子炉圧力容器支持機能の喪失により格納容器が破損する格納容器破損モードである。

以上の格納容器破損モードについて，炉心損傷前の格納容器先行破損と，炉心損傷後の格納容器破損に分類して整理したものを第 4.1.1.3-3 表に示す。なお，以下の格納容器破損モードは，分析により除外した。

j. 炉内溶融燃料－冷却材相互作用

溶融炉心が下部プレナム内の残存水中に落下し，高温の溶融

炉心と冷却材が接触することで水蒸気爆発が発生する。このときに発生したエネルギーにより、水塊が原子炉圧力容器上部に衝突し、さらに原子炉圧力容器ヘッド部が破損し格納容器に衝突して破損する格納容器破損モードである。

ただし、これまでの炉内溶融燃料－冷却材相互作用に係る研究等の知見から、炉内溶融燃料－冷却材相互作用により格納容器が破損する可能性は十分低いため、本 P R A では格納容器破損モードとして設定していない（添付資料 4.1.1.3－1）。

k．水素燃焼

ジルコニウム－水反応、水の放射線分解等により発生した水素が格納容器雰囲気中の酸素と反応して燃焼し、熱エネルギーを放出して格納容器を過圧・過熱することで格納容器が破損する格納容器破損モードである。

ただし、B W R では格納容器内を窒素置換により酸素濃度を低く管理しており、水素が可燃限界に至る可能性が十分低いため、本 P R A では格納容器破損モードとして設定していない。

1．溶融物直接接触

原子炉圧力容器破損後にペDESTAL（ドライウエル部）へ落下したデブリが、ペDESTAL（ドライウエル部）床からドライウエル床に拡がり、ドライウエル壁に直接接触してドライウエル壁の一部が溶融貫通することにより格納容器が破損する格納容器破損モードである。

ただし、M a r k－Ⅱ型格納容器においては、ペDESTAL（ドライウエル部）内に蓄積したデブリがドライウエル床には拡がらない格納容器構造となっているため、格納容器破損モードと

して設定してしない（添付資料 4.1.1.3－2）。

4.1.1.4 事故シーケンス

(1) 格納容器イベントツリー構築の考え方及びプロセス

シビアアクシデントでは、事故進展の各フェーズにおいて格納容器の健全性を脅かす物理化学現象が異なるため、事故進展フェーズごとに重要な物理化学現象、緩和設備の作動状況及び運転員操作の因果関係を分析して、これらの組合せから事故の進展を分類するために格納容器イベントツリーを構築する。

なお、格納容器先行破損である P D S (T W / T B W 及び T C) 及び格納容器バイパスである P D S (I S L O C A) については、炉心損傷時点で既に格納容器の閉じ込め機能が喪失しているため、格納容器イベントツリーは構築しない。

(2) 格納容器イベントツリー

a . 格納容器イベントツリー構築に当たって検討した重要な物理化学現象、対処設備の作動・不作動、運転員操作及びヘディング間の従属性

(a) 重要な物理化学現象、対処設備の作動・不作動及び運転員操作

格納容器イベントツリーの構築に際し、炉心損傷から格納容器破損に至るまでの事故進展の途上で発生する重要な物理化学現象について、その発生条件及び発生後の事故進展を第 4.1.1.4-1 表のとおり整理した。また、格納容器破損モードに関する物理化学現象、対処設備及び運転員操作を第 4.1.1.4-2 表のとおり整理した。

第 4.1.1.4-2 表に示す検討結果に基づき、対処設備の作動状態及び物理化学現象の発生状態を分析することにより、格

格納容器イベントツリーのヘディングとその定義を第 4.1.1.4-3 表のとおり設定した。

(b) ヘディング間の従属性

第 4.1.1.4-3 表で定義したヘディングの状態が発生する確率は、他の複数のヘディングの状態に従属して決定される場合があるため、ヘディングの順序及び分岐確率の設定に際してヘディング間の従属性を整理した。結果を第 4.1.1.4-4 表に示す。

b. 格納容器イベントツリー

選定したヘディングについてヘディング間の従属性を考慮し順序付けして、格納容器イベントツリーを作成した。作成した格納容器イベントツリーを第 4.1.1.4-1 図に示す。第 4.1.1.4-1 図の格納容器破損モードは、4.1.1.3 (1)で定義した格納容器破損モードを「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」が指定する事故シナリオグループに集約した形となっている。

4.1.1.5 事故進展解析

格納容器破損頻度を評価するための事故進展解析の目的は、以下の2つがある。

- ・緩和設備の復旧操作等のための余裕時間の評価
- ・物理化学現象の発生の有無と格納容器への負荷

このうち後者の物理化学現象の発生と格納容器への負荷については、現象の不確定性等を考慮した分岐確率を評価しているため、ここでは緩和設備の復旧操作等のための余裕時間を評価することを目的とする。したがって、緩和設備が機能しない状態で物理化学現象が発生せずに、格納容器が過圧又は過温破損に至る事故シーケンスを評価する。

(1) 解析対象とした事故シーケンスと対象事故シーケンスの説明

プラントの熱水力的挙動及び炉心損傷、原子炉圧力容器破損等の事故の発生時期、シビアアクシデント現象による格納容器負荷を解析するとともに、格納容器イベントツリーのヘディングの分岐確率の計算に必要なデータを得ることを目的として、各PDSを代表する事故進展解析を実施する。

a. 解析対象事故シーケンスの選定

解析対象事故シーケンスの選定に当たっては、事故進展の類似性、緩和設備の機能喪失状態の類似性を基に選定する。

事故進展の類似性の観点では、第4.1.1.2-1図に示すPDSの分類の考え方において、事故進展の類似性を考慮した分類を実施している。ここで、事故進展解析において緩和設備が機能しない状態を想定すること、及び過渡事象とLOCAでは事故進展が大きく異なると考えられることを踏まえて、事故シーケ

ンスを分類した結果を第 4.1.1.5-1 図に示す。

T Q U X, T B U 及び T B D は、いずれも高圧注水及び減圧ができないまま炉心損傷に至るシーケンスであり、事故進展解析上の相違は見られないと考えられることから、解析については T Q U X で代表することとした。

T Q U V と T B P はそれぞれ解析対象とした。これは、いずれも原子炉は減圧され、高圧及び低圧注水ができないまま炉心損傷に至るシーケンスであるが、T Q U V は緩和操作としての A D S による逃がし安全弁 7 個での減圧に対し、T B P では事象発生初期からの逃がし安全弁 1 個の再閉鎖失敗による減圧であるため、減圧の挙動が異なり、その後の事象進展に影響を与えることを考慮したためである。

L O C A については、操作余裕時間の観点から事故進展が早い A E で代表することとした。

格納容器先行破損（レベル 1 P R A の評価の範囲）である T C, T W / T B W 及び I S L O C A については、炉心損傷の前に格納容器が破損しているモードであり、レベル 1.5 P R A における緩和手段が存在しないことから、イベントツリーの作成対象から除外した。これは、T C, T W / T B W 及び I S L O C A については、レベル 1 P R A 側で格納容器破損防止対策を講じなければならないということを意味している。

以上の検討の結果、第 4.1.1.5-1 表のとおり以下の事故シーケンスを解析対象として選定した。

- ・ T Q U V
- ・ T Q U X

- ・ 長期 T B
- ・ T B P
- ・ A E

b. 事故進展解析の解析条件

プラント構成・特性の調査により設定した，全ての事故シーケンスに対し共通するプラント構成・特性に依存した基本解析条件を第 4.1.1.5-2 表に示す。

また，解析対象の各事故シーケンスの事故状態及び対処設備作動状況に関する事故進展解析条件を第 4.1.1.5-3 表に示す。

なお，事故進展解析には，事故シーケンスに含まれる物理化学現象，機器・系統の動作を模擬することができる M A A P コードを使用した。

(2) 事故シーケンスの解析結果

選定した各事故シーケンスについてプラントの熱水力挙動を解析した結果を第 4.1.1.5-2(a) 図～第 4.1.1.5-2(e) 図に示す。原子炉圧力容器内及び格納容器内の熱水力挙動の事故進展を表す主要事象発生時刻を第 4.1.1.5-4 表に示す。また，各事故シーケンスの解析結果における特徴的な事故進展を以下に示す（添付資料 4.1.1.5-1，添付資料 4.1.1.5-2）。

a. T Q U V

本事故シーケンスでは，給水喪失後，原子炉減圧には成功するが，原子炉注水機能が作動しないため，炉心損傷に至る。その後，原子炉圧力容器は低圧状態で破損する。デブリは原子炉圧力容器からペDESTAL（ドライウェル部）内に放出され，熔融炉心・コンクリート相互作用によりペDESTAL（ドライウェル部）

床を貫通する。格納容器は、デブリがサプレッション・プールへ落下することにより発生する蒸気によって過圧され、過圧破損に至る。

b. T Q U X

本事故シーケンスでは、給水喪失後、R C I C及びH P C Sによる原子炉注水に失敗し、原子炉減圧に失敗するため炉心損傷に至る。その後、原子炉圧力容器は高圧状態で破損する。格納容器は、原子炉圧力容器が破損した際に噴出される高温のガス流によって過熱され、過温破損に至る。

c. 長期 T B

本事故シーケンスは、外部電源喪失後、区分Ⅰ及び区分Ⅱの非常用ディーゼル発電機による給電に失敗して全交流動力電源喪失に至る。また、高圧炉心スプレイ系による原子炉注水に失敗するが、事象発生後 8 時間までは蒸気駆動の R C I Cによって原子炉水位は維持される。その間、逃がし安全弁からの放出蒸気により、格納容器の温度、圧力は徐々に上昇する。蓄電池枯渇により R C I Cが機能喪失し、炉心損傷に至る。その後、原子炉圧力容器は高圧状態で破損する。格納容器は、原子炉圧力容器が破損した際に噴出される高温のガス流によって過熱され、過温破損に至る。

d. T B P

本事故シーケンスは、外部電源喪失後、区分Ⅰ及び区分Ⅱの非常用ディーゼル発電機による給電に失敗して全交流動力電源喪失に至る。また、高圧炉心スプレイ系による原子炉注水に失敗するとともに、逃がし安全弁の再閉鎖失敗により原子炉が減

圧され、R C I Cによる原子炉注水に失敗し、炉心損傷に至る。
その後、原子炉圧力容器は低圧状態で破損する。格納容器は、原子炉圧力容器外に放出されたデブリの崩壊熱により過熱され、過温破損に至る。

e . A E

本事故シーケンスでは、大破断 L O C A 発生後、E C C S の作動に失敗して炉心損傷に至る。その後、炉心支持板破損によって、デブリと原子炉圧力容器下部プレナムに溜まっていた冷却材が接触することで発生する過熱蒸気が破断口から放出されることによって格納容器が過熱され、過温破損に至る。

4.1.1.6 格納容器破損頻度

(1) 格納容器破損頻度の評価方法

格納容器破損頻度の定量化では、内部事象出力運転時レベル 1 P R A の評価に用いている計算コードと同じ S a f e t y W a t c h e r を使用し、炉心損傷頻度、格納容器イベントツリーのヘディングに対する分岐確率を入力条件として、P D S ごとの条件付き格納容器破損確率（C C F P）及び格納容器破損頻度（C F F）を算出する。

(2) 格納容器イベントツリーヘディングの分岐確率

格納容器イベントツリーの各ヘディングの分岐確率については、次のとおり設定した。格納容器イベントツリーのヘディングの設定を第 4.1.1.6-1 表に示す。

a. 物理化学現象に関する分岐確率の設定

シビアアクシデント現象のヘディングにおいて、不確実さが大きい現象に対しては、当該現象の支配要因、不確実さ幅及び格納容器の構造健全性への影響の因果関係を明らかにし、分解イベントツリー（D E T）手法等を用いて、分岐確率を設定した（添付資料 4.1.1.6-1，添付資料 4.1.1.6-3）。

なお、今回の評価で設定した物理化学現象のヘディングの分岐確率は、評価の対象とした物理化学現象が不確実さの大きな現象であることを認識しつつも、現状有している知見をもとに、可能な限りの評価を実施して設定したものであり、今回設定した値には依然大きな不確実さを含んでいるものと認識している。

この内 I V R は、その成立によって事象が緩和される側に寄与する点が他の物理化学現象と異なるが、今回の評価ではヘディン

グとして設定した。これは、格納容器イベントツリーで考慮する物理化学現象の選定にあたっては、格納容器に与える影響が厳しいか、あるいは緩和されるかという観点では無く、考えられる物理化学現象の可能性を排除しないという観点で選定したためである。

このため、今回の評価で設定した物理化学現象のヘディングの分岐確率の多寡は、有効性評価の対象となる評価事故シーケンスを選定する際には影響しない。

b. 緩和設備に関する分岐確率の設定

緩和設備に関する分岐確率は、緩和操作までの余裕時間を考慮して作成したフォールトツリーを格納容器イベントツリーにリンクすることで設定した。

緩和操作実施までの余裕時間の検討結果を第 4.1.1.6-2 表に示す。

また、格納容器隔離の分岐確率は過去の文献を基に設定した（添付資料 4.1.1.6-2）。

(3) 格納容器破損頻度の評価結果（点推定値）

格納容器破損頻度の評価結果を第 4.1.1.6-3 表，第 4.1.1.6-4 表及び第 4.1.1.6-1～3 図に示す。全 C F F は $6.1\text{E-}5$ /炉年，C C F P は 1.0 であった。

P D S 別の C F F では，C F F の 99.8% が格納容器先行破損の P D S である T W / T B W であった。本 P R A ではアクシデントマネジメント (A M) 策を考慮していないことから，炉心損傷後に低圧 E C C S による原子炉注水に期待できる T Q U X 以外の C C F P は 0.95～1.0 となる。T Q U X の P D S については，炉心損

傷後の原子炉手動減圧に成功した場合は低圧E C C Sによる原子炉注水及びR H Rによるドライウェルスプレイに期待できるため、C C F Pは0.46となった。ただし、上述のとおり、P D S別のC F FではT W／T B WのP D Sが支配的であるため、全体のC C F Pは1.0となっている。

格納容器破損モード別のC F Fは、「過圧破損（崩壊熱除去失敗）」の寄与が99.8%を占める。以下、「過温破損」、「早期過圧破損（未臨界確保失敗）」、「格納容器雰囲気直接加熱」、「過圧破損（長期冷却失敗）」、「水蒸気爆発」、「格納容器隔離失敗」、「インターフェースシステムL O C A」、「溶融炉心・コンクリート相互作用」が続き、これらの寄与は全て1%未満であった。

格納容器先行破損及び格納容器バイパスを除いた格納容器破損モード別の格納容器破損頻度を第4.1.1.6－4図に示す。格納容器先行破損及び格納容器バイパスを除いた場合、「過温破損（原子炉压力容器高压破損）」の寄与割合が71.3%を占め支配的である。これは、レベル1 P R Aにおいて、格納容器先行破損を除いた場合に炉心損傷頻度に対して寄与割合が大きな長期T Bは、原子炉圧力が高压状態で維持されたまま原子炉压力容器が破損することから、「格納容器雰囲気直接加熱」が発生しない場合は格納容器が過温破損に至ることによる。

(4) 重要度評価について

レベル1 P R Aでは格納容器先行破損の事故シーケンスグループが支配的であることを考慮すると、レベル1.5 P R Aにおいても、レベル1 P R Aにおける重要度評価結果と同様、崩壊熱除去機能に係る系統である残留熱除去系、残留熱除去系海水系及び

非常用ディーゼル発電機の重要度が高くなることは明らかであることから、重要度評価は実施しないこととする。

なお、残留熱除去系の機能喪失については、代替除熱手段である耐圧強化ベント系又は格納容器圧力逃がし装置、残留熱除去系海水系の機能喪失については緊急用海水系、非常用ディーゼル発電機の故障については常設代替高圧電源装置により、格納容器破損頻度の低減が可能である。

4.1.1.7 不確実さ解析及び感度解析

(1) 不確実さ解析

格納容器破損モード別の C F F の不確実さ解析結果を第 4.1.1.7-1 表及び第 4.1.1.7-1 図に示す。

不確実さ解析の結果、全 C F F の平均値は、 $6.1\text{E-}5$ ／炉年、エラーファクタは 4.1 となった。また、格納容器破損モード別の点推定値は不確実さ分布内にあり、点推定値と不確実さ解析結果の傾向に大きな差はなく、「過圧破損（崩壊熱除去失敗）」が支配的であることを確認した。

(2) 感度解析

4.1.1.6 で説明した評価結果（以下「ベースケース」という。）では、A M 策に期待していない評価としているため、全 C F F に対しては格納容器先行破損の P D S である T W／T B W が支配的となっている。このため、格納容器イベントツリーを展開した炉心損傷後に格納容器破損に至る P D S の寄与は小さく、上記(1)のとおり物理化学現象の分岐確率等の不確実さも有意な影響を与えていないが、重大事故等に対する対策を講じる上で M a r k - II 型格納容器の特徴を把握するため、これらの P D S の事故シーケンスの定量化に当たってのモデル上の不確実さの要因等の影響について、以下の感度解析を実施した。

・モデル上の仮定に係る感度解析

デブリによるペデスタル（ドライウェル部）床のサンブドレン配管破損及びサプレッション・プールへ落下したデブリによる残留熱除去系吸込ストレーナ閉塞等を考慮（添付資料 4.1.1.7-1）

- ・ 物理化学現象による格納容器破損確率（以下「C F P」という。）に係る感度解析

他研究機関等において B W R 5 , M a r k - II 型格納容器プラントを対象に実施された物理化学現象による C F P 評価結果を考慮

a . モデル上の仮定に係る感度解析（感度解析ケース 1）

ベースケースでは，原子炉圧力容器が低圧状態で破損するシーケンスにおいて，ペデスタル（ドライウエル部）床面に落下したデブリ冷却が不十分な場合には，デブリはペデスタル（ドライウエル部）床のコンクリートを侵食しサプレッション・プールに落下するとしている。また，サプレッション・プール落下時に水蒸気爆発が発生しない場合は，発生蒸気による圧力上昇を残留熱除去系にて抑制できるとしている。

一方，M a r k - II 型格納容器の原子炉圧力容器外のデブリ挙動及び格納容器破損モード等を評価した N U R E G / C R - 5 6 2 3 , 5 5 2 8 においては，ペデスタル（ドライウエル部）床面に落下したデブリによるペデスタル（ドライウエル部）床サンプドレン配管の破損並びにデブリがサプレッション・プールに落下した場合の残留熱除去系等の吸込ストレーナ閉塞及び N P S H 喪失の可能性が指摘されている。

以上を踏まえ，原子炉圧力容器が低圧状態で破損するシーケンスにおいて，以下の条件を仮定した感度解析を実施した。

- ・ ペデスタル（ドライウエル部）注水の有無に係らず，原子炉圧力容器破損直後にデブリによりペデスタル（ドライウエル部）

床サンプドレン配管が破損し、デブリがサプレッション・プールに落下する。

- ・サプレッション・プールに落下したデブリにより残留熱除去系は使用不能とし、水蒸気爆発又は発生蒸気による過圧による格納容器破損の可能性を考慮する。

感度解析結果を第 4.1.1.7-2 表及び第 4.1.1.7-2 図に示す。感度解析結果とベースケースを比較すると、過温破損（原子炉圧力容器低圧破損）による C F F が低下し、溶融炉心・コンクリート相互作用、過圧破損（長期冷却失敗）及び水蒸気爆発（サプレッション・プール）による C F F が増加しているが、炉心損傷後の支配的な格納容器破損モードが過温破損（原子炉圧力容器高圧破損）であることに変わりはなく、また、全 C F F に対しても有意な感度を持っていない。

しかしながら、重大事故等に対する対策を講じる上では、原子炉圧力容器が低圧状態で破損する事故シーケンスにおいて、ペデスタル（ドライウェル部）床サンプドレン配管破損等の発生の可能性についても留意する必要がある。

b. C F P に係る感度解析

ベースケースでは、物理化学現象等による C F P の不確実さ幅を考慮した不確実さ解析を実施している。ここでは、不確実さの大きな物理化学現象に対して、他研究機関等が国内 B W R 5, M a r k - II 型格納容器プラントを対象として評価した C F P を適用した場合の感度解析を実施した。調査した他研究機関等の評価結果を第 4.1.1.7-3 表に示す。この結果に基づき実施した解析は以下のとおりである。

- ・ 格納容器雰囲気直接加熱による C F P（感度解析ケース 2）
- ・ 水蒸気爆発による C F P（感度解析ケース 3）

感度解析結果を第 4.1.1.7-4 表及び第 4.1.1.7-3 図に示す。
いずれの感度解析ケースにおいても、各格納容器破損モードの C F F はベースケースの不確かさの幅の中に納まっており、M a r k - II 型格納容器の特徴を把握する上で、有意な影響がないことを確認した。

4.1.1.8 M a r k－Ⅱ型格納容器の破損モードの特徴に係る分析

4.1.1.6 及び 4.1.1.7 の評価結果を踏まえ、主として重大事故等に対する対策を講じる上で考慮すべきM a r k－Ⅱ型格納容器の破損モードの特徴に係る分析を行った。なお、原子炉压力容器が高压状態で破損する場合と低压状態で破損する場合では、その後の事故進展が相違するため、それぞれのシーケンスについて以下に説明する。

(1) 原子炉压力容器高压シーケンス

a．炉心損傷後に格納容器破損に至る事故シーケンスのC F Fにおいて、原子炉压力容器高压シーケンスの寄与は 77.7%である。

b．原子炉压力容器高压シーケンスでの格納容器破損は、原子炉压力容器高压破損直後の高温ガス流の噴出により発生する過温破損モードの寄与が支配的となっており、重大事故等に対する対策を講じる上で特に着目すべき破損モードである。

- ・過温破損モードに至る主要なP D Sは長期T B，T B U及びT Q U Xであり、これらのP D Sは、全交流動力電源喪失時に直流電源が枯渇又は高压注水機能が喪失し、炉心注水機能の全喪失から炉心損傷となる事故シーケンスである。

- ・したがって、重大事故等に対する対策を講じる上では、電源機能の強化及び全交流動力電源喪失時の高压注水機能の強化による炉心損傷防止対策、炉心損傷後の減圧機能の強化による格納容器破損防止対策がリスク低減に寄与すると考えられる。

(2) 原子炉压力容器低压シーケンス

a．炉心損傷後に格納容器破損に至る事故シーケンスのC F Fにお

いて、原子炉圧力容器低圧シーケンスの寄与は 22.3%である。

b. 原子炉圧力容器低圧シーケンスでの格納容器破損は、ペデスタル（ドライウエル部）床破損後の水蒸気等の発生による格納容器圧力の上昇により発生する過圧破損（長期冷却失敗）モードの寄与が支配的となっている。

- ・ 過圧破損モード（長期冷却失敗）に至る主要な P D S は T B U 及び T Q U V であり、これらの P D S は、全交流動力電源喪失時には高圧注水機能が喪失し、炉心注水機能の全喪失（炉心損傷後に減圧成功）、過渡時炉心注水機能の全喪失から炉心損傷となる事故シーケンスである。

- ・ したがって、重大事故等に対する対策を講じる上では、電源機能の強化及び全交流動力電源喪失時の高圧注水機能の強化による炉心損傷防止対策、格納容器圧力上昇を抑制する格納容器除熱機能及び電源機能の確保による格納容器破損防止対策がリスク低減に寄与すると考えられる。

c. M a r k - II 型格納容器は、ドライウエル下部にサプレッション・チェンバを配置する構造上の特徴から、ペデスタル（ドライウエル部）床面に落下したデブリの冷却が不十分な事故シーケンスに対しても、ペデスタル（ドライウエル部）床破損後に、サプレッション・プール水により、デブリを冷却する後備手段を有している。この構造上の特徴が C F F に与える影響を確認した。

- ・ 上記影響を確認するため、仮想的にデブリの冷却が不十分な事故シーケンスについては、ペデスタル（ドライウエル部）床面での熔融炉心・コンクリート相互作用により、格納容器破損（原子炉圧力容器支持機能喪失）に至るとした場合の感度

解析（感度解析ケース４）を実施した。

- ・感度解析結果を第 4.1.1.8－1 表及び第 4.1.1.8－1 図に示す。

ベースケースと感度解析結果の原子炉圧力容器低圧シーケンスの C F F は同等であるが，ベースケースは過圧破損（長期冷却失敗）の寄与が大きく，溶融炉心・コンクリート相互作用（ペデスタル（ドライウエル部）床）の寄与が小さい結果となっている。

- ・この結果は，サプレッション・プールをドライウエル下部に配置した構造が，格納容器の圧力上昇を抑制する格納容器除熱機能の強化に伴い，デブリの冷却が不十分な事故シーケンスによる C F F を低減する効果を有していることを示している。この低減効果の程度は，水蒸気爆発（サプレッション・プール）による C F P に依存しており，ベースケースでは 1 桁，水蒸気爆発による C F P を小さく評価している感度解析ケース 3 では 2 桁程度の低減効果となる。

d．上記のとおり，M a r k－Ⅱ型格納容器は，その構造上の特徴から，格納容器除熱機能の強化に伴いペデスタル（ドライウエル部）床面に落下したデブリの冷却が不十分な事故シーケンスによる C F F を有意に低減することが可能であるが，この事故シーケンスに対する重大事故等に対する対策を講じる上では，以下の観点から，ペデスタル（ドライウエル部）床上でのデブリ冷却機能の確保による格納容器破損防止対策が重要と考える。

- ・ペデスタル（ドライウエル部）床破損によるサプレッション・プールバイパスの回避

溶融炉心・コンクリート相互作用によるペデスタル（ドラ

イウエル部) 床破損及びNUREG／CR－5623，5528において指摘されているペデスタル（ドライウエル部）床サンプドレン配管破損は，ドライウエルとサブプレッション・チェンバ空間部間にサブプレッション・プールを介さない流路を形成する。このため，格納容器破損やウェットウエル・ベント時の放射性物質のスクラビング機能の喪失となる。

- ・サブプレッション・プール水源機能喪失の回避

NUREG／CR－5528において指摘されているデブリの落下による吸込ストレーナ閉塞，NPSH喪失の可能性を回避し，サブプレッション・プールを水源とする注水系等の機能を維持する。

第 4. 1. 1. 1－1 表 格納容器の主要仕様

| 項目 | | 仕様 |
|------------|-----------------------|----------------------------------|
| 型式 | | 圧力抑制形 (M a r k－Ⅱ) |
| 容積 | ドライウエル空間部 (ベント管含む) | 約 5, 700m ³ |
| | サプレッション・チェンバ空間部 | 約 4, 100m ³ |
| | サプレッション・プール水量 | 約 3, 400m ³ |
| 最高使用 圧力 | ドライウエル | 0. 31MPa [gage] |
| | サプレッション・チェンバ | 0. 31MPa [gage] |
| 最高使用 温度 | ドライウエル | 171℃ |
| | サプレッション・チェンバ | 104℃ |
| 限界圧力 | | 0. 62MPa [gage] (最高使用圧力の 2 倍) |
| 限界温度 | | 200℃ |

第 4. 1. 1. 1－2 表 燃料及びデブリの格納容器内での挙動

| | 放出先 | 移動経路 | 移動先区画 |
|----------------|--|-----------------------------|--------------|
| 重力による 移動 | 【原子炉圧力容器破損時】 ペDESTAL (ドライウエル部) 内 | ペDESTAL (ドライウエル部) 床 溶融貫通 | サプレッション・チェンバ |
| | 【ペDESTAL (ドライウエル部) 床貫通後】 サプレッション・チェンバ | 最下区画のため移動なし | なし |
| 高速ガス流 による噴出 | 【原子炉圧力容器破損時】 ペDESTAL (ドライウエル部) 内 | ペDESTAL (ドライウエル部) 内 開口部 | ドライウエル |

第 4. 1. 1. 2－1 表 事故シーケンスの識別子

| 識別子 | 内容 |
|-----|-----------------------|
| A | 大破断 L O C A |
| B | 工学的安全施設に対する電源の故障状態 |
| C | 原子炉緊急停止系の故障状態 |
| D | 工学的安全施設に対する直流電源の故障状態 |
| E | E C C S による注水の故障状態 |
| P | 逃がし安全弁の再閉鎖失敗 |
| Q | 給水系による注水の故障状態 |
| S 1 | 中破断 L O C A |
| S 2 | 小破断 L O C A |
| T | 過渡事象 |
| U | 高圧注水系による注水の故障状態 |
| V | 低圧 E C C S による注水の故障状態 |
| W | 残留熱除去の失敗状態 |
| X | 原子炉の急速減圧の失敗状態 |

第 4.1.1.2-2 表 炉心損傷に至る事故シーケンス (1/2)

| 事故シーケンス | 特徴 |
|---------|---|
| T Q U V | 高圧系及び低圧系による炉心冷却に失敗して炉心損傷に至る事故シーケンスである。本シーケンスにおいては、原子炉は低圧状態であり、炉心損傷時期は早期に分類される。 |
| T Q U X | 高圧系による炉心冷却に失敗し、かつ、原子炉の減圧に失敗して炉心損傷に至る事故シーケンスである。本シーケンスにおいては、原子炉は高圧状態であり、炉心損傷時期は早期に分類される。 |
| 長期 T B | 外部電源喪失後、区分Ⅰ及び区分Ⅱの非常用ディーゼル発電機による給電に失敗して全交流動力電源喪失に至る。その後、H P C Sによる炉心冷却に失敗し、R C I Cの作動には成功するが、直流電源の枯渇により R C I Cが機能喪失し、炉心損傷に至る事故シーケンスである。原子炉は高圧状態であり、炉心損傷時期は後期に分類される。 |
| T B U | 外部電源喪失後、区分Ⅰ及び区分Ⅱの非常用ディーゼル発電機による給電に失敗して全交流動力電源喪失に至る。H P C S及びR C I Cによる炉心冷却に失敗し、炉心損傷に至る事故シーケンスである。原子炉は高圧状態であり、炉心損傷時期は早期に分類される。 |
| T B P | 外部電源喪失後、区分Ⅰ及び区分Ⅱの非常用ディーゼル発電機による給電に失敗して全交流動力電源喪失に至る。逃がし安全弁の再閉鎖失敗により R C I Cが機能喪失し、H P C Sによる炉心冷却に失敗して炉心損傷に至る事故シーケンスである。原子炉は低圧状態であり、炉心損傷時期は早期に分類される。 |
| T B D | 外部電源喪失後、直流電源系の故障により非常用ディーゼル発電機の起動に失敗し、H P C Sによる炉心冷却に失敗して炉心損傷に至る事故シーケンスである。原子炉は高圧状態であり、炉心損傷時期は早期に分類される。 |
| T W | 事故後、炉心冷却には成功するが、崩壊熱の除去に失敗する事故シーケンスである。崩壊熱により発生する水蒸気によって格納容器が過圧破損する。その後、炉心冷却機能が喪失して炉心損傷に至る。炉心損傷時期は後期に分類される。 |
| T B W | 外部電源喪失後、区分Ⅰ及び区分Ⅱの非常用ディーゼル発電機による給電に失敗した状態で、H P C Sによる炉心冷却は継続しているが、崩壊熱の除去に失敗する事故シーケンスである。崩壊熱により発生する水蒸気によって格納容器が過圧破損する。その後、炉心冷却機能が喪失して炉心損傷に至る。炉心損傷時期は後期に分類される。 |
| T C | 事故後、原子炉の未臨界確保に失敗する事故シーケンスである。T Wシーケンスと同様、崩壊熱により発生する水蒸気によって格納容器が炉心損傷前に過圧破損する。その後、炉心冷却機能が喪失して炉心損傷に至る。炉心損傷時期は早期に分類される。 |

第 4.1.1.2-2 表 炉心損傷に至る事故シーケンス (2/2)

| 事故シーケンス | | 特徴 |
|-------------|-------|--|
| L O C A | A E | 大破断 L O C A 後，炉心冷却機能が喪失する事故シーケンスである。原子炉冷却材圧力バウンダリが破損しているため，原子炉は低圧状態であり，炉心損傷時期は早期に分類される。 |
| | S 1 E | 中破断 L O C A 後，炉心冷却機能が喪失する事故シーケンスである。原子炉冷却材圧力バウンダリが破損しているため，原子炉は低圧状態であり，炉心損傷時期は早期に分類される。 |
| | S 2 E | 小破断 L O C A 後，炉心冷却機能が喪失する事故シーケンスである。原子炉冷却材圧力バウンダリが破損しているため，原子炉は低圧状態であり，炉心損傷時期は早期に分類される。 |
| I S L O C A | | 原子炉冷却材圧力バウンダリと接続された系統の配管が高圧設計部分と低圧設計部分を分離するための隔離弁の誤開等により，低圧設計部分が過圧され破断し，原子炉冷却材の原子炉建屋への流出が継続し炉心損傷に至る事故シーケンスである。炉心損傷時期は早期に分類される。 |

第 4.1.1.2-3 表 プラント損傷状態別の炉心損傷頻度

| プラント損傷状態 | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 (%) |
|-------------|-----------------|-------------|
| T Q U V | 3.5E-09 | <0.1 |
| T Q U X | 2.0E-08 | <0.1 |
| 長期 T B | 7.7E-08 | 0.1 |
| T B U | 2.1E-08 | <0.1 |
| T B P | 5.3E-10 | <0.1 |
| T B D | 6.0E-12 | <0.1 |
| T W／T B W | 6.0E-05 | 99.8 |
| T C | 2.5E-08 | <0.1 |
| L O C A | 2.2E-11 | <0.1 |
| I S L O C A | 4.8E-10 | <0.1 |
| 合計 | 6.1E-05 | 100.0 |

第 4. 1. 1. 3－1 表 格納容器の健全性に影響を与える負荷の種類抽出

| 破損状態 | 破損形態 | 破損形態の解説 |
|--------------|-------------------------------|---|
| 格納容器 バイパス | インターフェイス システム L O C A | インターフェイスシステム L O C A の発生後、原子炉冷却材の流出が継続して炉心損傷に至り、格納容器をバイパスして放射性物質等が原子炉建屋内に放出される。 |
| | 格納容器隔離失敗 | 炉心損傷時点で、格納容器の隔離に失敗しており、隔離失敗箇所から放射性物質等が原子炉建屋内に放出される。 |
| 格納容器 破損 | 早期過圧破損 (未臨界確保失敗) | 原子炉の未臨界達成に失敗した場合に、炉心で発生する大量の水蒸気により格納容器の圧力が上昇し、早期に格納容器の過圧破損に至る。 |
| | 過圧破損 (崩壊熱除去失敗) | 炉心冷却に成功し崩壊熱除去に失敗した場合に、崩壊熱によって炉心で発生する水蒸気により格納容器圧力が徐々に上昇し、格納容器の過圧破損に至る。 |
| | 過圧破損 (長期冷却失敗) | 炉心損傷後に、デブリの崩壊熱によって発生する水蒸気、及び溶融炉心・コンクリート相互作用によって発生する非凝縮性ガスにより格納容器圧力が徐々に上昇し、格納容器の過圧破損に至る。 |
| | 過温破損 | 原子炉圧力容器破損後、デブリからの崩壊熱によって格納容器雰囲気が加熱され、格納容器貫通部の取付部又はフランジ部などが熱的に損傷し、格納容器破損に至る。 |
| | 格納容器雰囲気直接加熱 (D C H) | 原子炉圧力容器が高圧状態で破損した場合に、微粒子化したデブリが格納容器空間部に飛散し、格納容器雰囲気が直接加熱されて急速な圧力上昇が生じることにより格納容器破損に至る。 |
| | 水蒸気爆発 (F C I) | デブリと水が接触した場合に、デブリの持つ熱エネルギーが爆発的な機械エネルギーに変換され、格納容器への荷重が生じることにより格納容器破損に至る。 |
| | 溶融炉心・コンクリート 相互作用 (M C C I) | 原子炉圧力容器破損後、格納容器内に放出されたデブリによりペDESTAL (ドライウェル部) 床のコンクリートが侵食され、デブリはペDESTAL (ドライウェル部) 床を貫通してサブプレッション・プールに落下する。その後、サブプレッション・プールにおける溶融炉心・コンクリート相互作用が継続し、原子炉圧力容器支持機能の喪失により格納容器破損に至る。 |

第 4.1.1.3-2 表 プラント損傷状態と負荷の対応

| プラント損傷状態 | 炉心損傷前 | T 1 | T 2 | T 3 |
|--|-------------------------|----------|---|---|
| T Q U V T Q U X 長期 T B T B U T B P T B D L O C A | — | 格納容器隔離失敗 | 格納容器雰囲気直接加熱 (D C H) 水蒸気爆発 (F C I) | 過圧破損 (長期冷却失 敗) 過温破損 溶融炉心・コンクリート 相互作用 (M C C I) 水蒸気爆発 (F C I) |
| T W / T B W | 過圧破損 (崩壊熱除去失敗) | — | — | — |
| T C | 早期過圧破損 (未臨界確保失敗) | — | — | — |
| I S L O C A | インターフェイスシステム L O C A | — | — | — |

T 1 原子炉圧力容器破損前

T 2 原子炉圧力容器破損直後

T 3 事故後期

第 4.1.1.3-3 表 格納容器破損モードの選定

| 格納容器の状態 | | 格納容器破損モード | 格納容器破損モードの概要 |
|---------------|------------------|-------------------------|---|
| 格納容器バイパス | | インターフェイスシステム L O C A | インターフェイスシステム L O C A 後の格納容器バイパス |
| 格納容器隔離失敗 | | 格納容器隔離失敗 | 事故後に格納容器の隔離に失敗 |
| 格納容器 物理的破損 | 格納容器 先行破損 | 早期過圧破損 (未臨界確保失敗) | 未臨界確保に失敗し、水蒸気発生に伴う過圧による格納容器先行破損 |
| | | 過圧破損 (崩壊熱除去失敗) | 崩壊熱除去に失敗し、水蒸気発生に伴う過圧による格納容器先行破損 |
| | 炉心損傷後の 格納容器破損 | 過圧破損 (長期冷却失敗) | 水蒸気・非凝縮性ガス蓄積に伴う過圧による格納容器破損 |
| | | 過温破損 | 格納容器貫通部等が過温により破損 |
| | | 格納容器雰囲気直接加熱 | 格納容器雰囲気直接加熱による格納容器破損 |
| | | 水蒸気爆発 | 水蒸気爆発による格納容器破損 |
| | | 熔融炉心・コンクリート相互作用 | 熔融炉心・コンクリート相互作用が継続し、原子炉圧力容器支持機能の喪失による格納容器破損 |

第 4.1.1.4-1 表 シビアアクシデント時の物理化学現象の整理

| 物理化学現象 | 発生条件 | 発生後の事故進展 |
|------------------------|---|---|
| 原子炉圧力容器破損 | <ul style="list-style-type: none"> ・炉心への注水による炉心溶融進展の停止失敗 | <ul style="list-style-type: none"> ・デブリの原子炉圧力容器外への放出に至る。 |
| 過圧破損 (長期冷却失敗) | <ul style="list-style-type: none"> ・崩壊熱による水蒸気発生 ・デブリが冷却できない場合の溶融炉心・コンクリート相互作用による非凝縮性ガスの発生 | <ul style="list-style-type: none"> ・水蒸気により過圧され格納容器破損に至る。 ・溶融炉心・コンクリート相互作用による非凝縮性ガスの発生が継続し、格納容器内が過圧され格納容器破損に至る。 |
| 過温破損 | <ul style="list-style-type: none"> ・デブリへの注水失敗 | <ul style="list-style-type: none"> ・格納容器貫通部あるいはフランジ部が熱的に損傷し、格納容器破損に至る。 |
| 格納容器雰囲気直接加熱 (DCH) | <ul style="list-style-type: none"> ・高圧状態で原子炉圧力容器が破損 | <ul style="list-style-type: none"> ・微粒子化したデブリが格納容器空間部に飛散し、格納容器雰囲気が直接加熱されて急速に格納容器が過圧され格納容器破損に至る。 |
| 水蒸気爆発 (FCI) | <ul style="list-style-type: none"> ・水中へのデブリの落下 ・デブリへの注水 | <ul style="list-style-type: none"> ・デブリと水の接触に伴い、デブリの持つ熱エネルギーが爆発的な機械エネルギーに変換され、格納容器への荷重が生じることにより格納容器破損に至る。 |
| 溶融炉心・コンクリート相互作用 (MCCI) | <ul style="list-style-type: none"> ・格納容器内に放出されたデブリの冷却失敗 | <ul style="list-style-type: none"> ・格納容器内に放出されたデブリにより、ペデスタル(ドライウェル部)床面のコンクリートが侵食され、その後、ペデスタル(ドライウェル部)床の溶融貫通により、デブリはサブレーション・プールに落下する。落下したデブリにより、溶融炉心・コンクリート相互作用が継続し、原子炉圧力容器支持機能の喪失により格納容器破損に至る。 |

第 4.1.1.4-2 表 格納容器破損モードと物理化学現象，対処設備及び運転員操作の対応整理

| 格納容器破損モード | 物理化学現象 | 対処設備 | 運転員操作 |
|------------------------------|----------------------------------|-------------------------|--|
| 過圧破損 (長期冷却失敗) | ・ 過圧破損 | ・ R H R (格納容器スプレイ冷却) | ・ R H R 手動起動 |
| 過温破損 | ・ 原子炉圧力容器破損 ・ 熔融炉心・コンクリート相互作用 | ・ E C C S | ・ 損傷炉心への注水（原子炉圧力容器の破損回避） |
| 格納容器雰囲気直接加熱 (D C H) | ・ 原子炉圧力容器破損 ・ 格納容器雰囲気直接加熱 | ・ 逃がし安全弁 ・ E C C S | ・ 原子炉減圧（原子炉圧力容器の高圧破損回避） ・ 損傷炉心への注水（原子炉圧力容器の破損回避） |
| 水蒸気爆発（F C I） | ・ 原子炉圧力容器破損 ・ 水蒸気爆発 | ・ E C C S | ・ 損傷炉心への注水（原子炉圧力容器の破損回避） ・ デブリへの注水（原子炉圧力容器の破損口経由） |
| 熔融炉心・コンクリート 相互作用（M C C I） | ・ 原子炉圧力容器破損 ・ 熔融炉心・コンクリート相互作用 | ・ E C C S | ・ 損傷炉心への注水（原子炉圧力容器の破損回避） ・ デブリへの注水（原子炉圧力容器の破損口経由） |

第 4.1.1.4-3 表 ヘディングの選定及び定義

| | ヘディング | | 定義 |
|-----|-----------|------------------|--|
| T 1 | 格納容器隔離 | | 炉心が損傷した状態での格納容器隔離が正常に実施されない場合、失敗とする。 |
| | 原子炉減圧 | | 炉心損傷後、原子炉減圧ができない場合、失敗とする。 |
| | 原子炉圧力容器注水 | | 低圧 E C C S による注水ができない場合、失敗とする。 |
| | 原子炉圧力容器破損 | | 低圧 E C C S による注水により、デブリが下部プレナムにて冷却できず、原子炉圧力容器内に保持できない場合、有とする。 |
| T 2 | F C I | | ペDESTAL（ドライウエル部）内の水プールに落下したデブリにより、水蒸気爆発が発生し、格納容器が破損する場合、有とする。 |
| | D C H | | 原子炉圧力容器の高圧破損時にデブリが微粒子化し、雰囲気ガスとの直接的な熱伝達及び金属成分の酸化・発熱反応が発生し、格納容器が破損する場合、有とする。 |
| T 3 | 格納容器注水 | ペDESTAL（ドライウエル部） | 低圧 E C C S による注水（原子炉圧力容器の破損口経由）ができない場合、失敗とする。 |
| | | ドライウエル | 格納容器冷却スプレイモードによるスプレイができない場合、失敗とする。 |
| | F C I | ペDESTAL（ドライウエル部） | 低圧 E C C S により、原子炉圧力容器の破損口経由でペDESTAL（ドライウエル部）のデブリに注水した際、水蒸気爆発が発生し、格納容器が破損する場合、有とする。 |
| | デブリ冷却 | | 低圧 E C C S による注水（原子炉圧力容器の破損口経由）に成功するものの、デブリ冷却ができずに熔融炉心・コンクリート相互作用が継続し、ペDESTAL（ドライウエル部）床が熔融貫通する場合、失敗とする。 |
| | F C I | サプレッション・プール | ペDESTAL（ドライウエル部）床貫通に伴い、デブリがサプレッション・プールに落下することにより、水蒸気爆発が発生し、格納容器が破損する場合、有とする。 |
| | デブリ冷却 | | ペDESTAL（ドライウエル部）床貫通により落下したデブリが、サプレッション・プールで冷却できずに熔融炉心・コンクリート相互作用が継続し、原子炉圧力容器支持機能の喪失により格納容器が破損する場合、失敗とする。 |

第 4.1.1.4-4 表 ヘディングの従属性

| ヘディング (影響を受ける側) ヘディング (影響を与える側) | | T 1 | | | | T 2 | | T 3 | | | | | |
|--|--------------------|---------------------|-------|---------------|---------------|-------|-------|---------------------|--------|--------------------|-----------|--------------|-----------|
| | | 格納容器 隔離 | 原子炉減圧 | 原子炉圧力容 器注水 | 原子炉圧力容 器破損 | F C I | D C H | 格納容器注水 | | ベデスタル (ドライウエル部) | | サブプレッション・プール | |
| | | | | | | | | ベデスタル (ド ライウエル部) | ドライウエル | F C I | デブリ 冷却 | F C I | デブリ 冷却 |
| T 1 | 格納容器隔離 | | | | | | | | | | | | |
| | 原子炉減圧 | | | | | | | | | | | | |
| | 原子炉圧力容器注水 | | ○※1 | | | | | | | | | | |
| | 原子炉圧力容器破損 | | ○※2 | ○※4 | | | | | | | | | |
| T 2 | F C I | | | ○※5 | ○※5 | | | | | | | | |
| | D C H | | ○※3 | | ○※3 | | | | | | | | |
| T 3 | 格納容器 注水 | ベデスタル (ドライ ウエル部) | | | ○※6 | ○※7 | | | | | | | |
| | | ドライウエル | | | ○※6 | | | ○※6 | | | | | |
| | ベデスタル (ドライウエル部) | F C I | | | | ○※7 | | ○※8 | | | | | |
| | | デブリ冷却 | | | | ○※7 | | ○※9 | | | | | |
| | サブプレッション ・プール | F C I | | | | ○※7 | | ○※9 | | | ○※10 | | |
| | | デブリ冷却 | | | | ○※7 | | ○※9 | | | ○※10 | | |

○ 前段のヘディングにおける緩和設備の成功／失敗状態又は物理化学現象の発生により、当該ヘディングに影響を及ぼすもの

※1 低圧 E C C S による原子炉圧力容器注水を実施するためには原子炉減圧が必要

※2 原子炉圧力容器破損回避のための低圧 E C C S による原子炉圧力容器注水を実施するためには原子炉減圧が必要

※3 原子炉減圧に失敗し原子炉圧力容器が高圧で破損する場合、D C H の可能性あり

※4 低圧 E C C S による原子炉圧力容器への注水に成功した場合、原子炉圧力容器破損の回避に期待可能

※5 低圧 E C C S による原子炉圧力容器への注水に成功し、原子炉圧力容器が破損する場合、F C I の可能性あり

※6 一部同じ系統であるため従属性あり

※7 原子炉圧力容器破損時の F C I 及び D C H を回避できた場合に、緩和設備又は物理化学現象を考慮

※8 ベデスタル (ドライウエル部) への注水時に F C I の可能性あり

※9 ベデスタル (ドライウエル部) への注水が成功した場合、デブリのベデスタル (ドライウエル部) 床貫通の回避に期待

※10 ベデスタル (ドライウエル部) におけるデブリ冷却に失敗した場合、サブプレッション・プールにおける物理化学現象を考慮

第 4.1.1.5-1 表 事故進展解析の対象とした代表事故シーケンス

| P D S | 代表事故シーケンス | |
|---------------------------|-----------|--|
| T Q U V | T Q U V | 全給水喪失を起因事象とし、その後の高圧E C C Sの注水に失敗し、自動減圧系の作動には成功するものの、低圧E C C Sの注水に失敗すると仮定する。 |
| T Q U X T B U T B D | T Q U X | 全給水喪失を起因事象とし、主蒸気隔離弁の閉鎖には成功するものの、その後の高圧E C C Sの注水に失敗し、自動減圧系の作動に失敗すると仮定する。 |
| 長期T B | 長期T B | 外部電源喪失を起因事象とし、非常用D G 2 台が機能喪失した状態で、主蒸気隔離弁の閉鎖には成功するものの、H P C Sによる注水に失敗すると仮定する。その後、直流電源蓄電池が枯渇するまでの8時間はR C I Cによる炉心冷却が継続すると仮定する。 |
| T B P | T B P | 外部電源喪失を起因事象とし、非常用D G 2 台が機能喪失した状態で、主蒸気隔離弁の閉鎖には成功するものの、H P C Sによる注水に失敗すると仮定する。その後、逃がし安全弁の再開鎖に失敗し、原子炉が減圧されるため、R C I Cによる炉心冷却にも失敗すると仮定する。 |
| L O C A | A E | 再循環系配管の両端破断を想定した原子炉冷却材喪失を起因事象とし、その後の高圧E C C S及び低圧E C C Sの注水に失敗すると仮定する。 |

第 4. 1. 1. 5－2 表 基本解析条件

| 項 目 | 解析条件 | 備 考 |
|-----------------|---|---------------------|
| 原子炉熱出力 | 3, 293MW | 定格出力 |
| 原子炉ドーム圧力 | 6. 93MPa[gage] | 定格圧力 |
| 原子炉初期水位 | 通常運転水位 | |
| 格納容器空間容積 | ドライウエル：5, 700m ³ ウェットウエル：4, 100m ³ | |
| サプレッション・プール水量 | 3, 400m ³ | |
| コンクリート組成 | 珪酸系コンクリート | 融点は 1, 500K |
| 崩壊熱 | ANSI／ANS-5. 1-1979（平均） | |
| サプレッション・プール初期水位 | 約 7. 0m | 通常水位 |
| 格納容器初期圧力 | 5kPa[gage] | 通常運転時圧力 |
| 格納容器初期温度 | ドライウエル：57℃ | 通常運転中のドライウエル内平均温度 |
| | サプレッション・プール：32℃ | 通常運転中の上限値 |
| 炉心損傷温度 | 1, 500K | |
| 炉心溶融温度 | 2, 500K | |
| 格納容器破損圧力 | 0. 62MPa[gage] (過圧破損条件) | 格納容器の健全性が保てる範囲として設定 |
| 格納容器破損温度 | 200℃ (過温破損条件) | |

第 4.1.1.5-3 表 各事故シーケンスの事故進展解析条件

| 事故シー ケンス | 起因事象 | スクラム 系 | R C I C | H P C S | 原子炉 減圧 | L P C S | L P C I | 格納容器 スプレイ |
|-------------|-------------------------------|-----------|------------------|---------|-----------|---------|---------|--------------|
| T Q U V | 過渡事象 (全給水喪失) | 作動 | 不作動 | 不作動 | 作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 |
| T Q U X | 過渡事象 (全給水喪失) | 作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 |
| 長期 T B | 外部電源喪失 | 作動 | 作動 (8 時間後に停止) | 不作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 |
| T B P | 外部電源喪失 | 作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 |
| A E | 原子炉冷却材喪失 (再循環系配管の両端破 断) | 作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 | 不作動 |

第 4.1.1.5-4 表 事故進展解析結果（主要事象発生時刻）

| 事故シーケンス 事象進展 | T Q U V | T Q U X | 長期 T B | T B P | A E |
|-------------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| 炉心露出 | 0. 6h | 0. 6h | 9. 5h | 2. 1h | 0. 01h |
| 燃料被覆管破損（1, 000K） | 0. 7h | 0. 9h | 10. 1h | 2. 5h | 0. 1h |
| 炉心損傷（1, 500K） | 0. 9h | 1. 1h | 10. 4h | 2. 7h | 0. 2h |
| 炉心溶融（2, 500K） | 1. 2h | 1. 3h | 10. 8h | 3. 1h | 0. 5h |
| 炉心支持板破損 | 2. 6h | 2. 7h | 13. 9h | 4. 9h | 1. 6h |
| 原子炉圧力容器破損 | 5. 4h | 3. 3h | 14. 4h | 10. 7h | 4. 0h |
| ペDESTAL （ドライウェル部）床貫通 | 8. 4h | —※ | —※ | 14. 6h | 7. 6h |
| 格納容器最高使用圧力 到達時刻 | 7. 7h | 3. 3h | 13. 9h | 12. 7h | 1. 6h |
| 格納容器破損 | 15. 9h (過圧破損) | 3. 3h (過温破損) | 14. 4h (過温破損) | 14. 6h (過温破損) | 1. 6h (過温破損) |

※ 24 時間以内にペDESTAL（ドライウェル部）床貫通せず

OMAA P 上の判定基準について

| 項目 | 条件 | 備考 |
|----------------------------|--------------------------------------|---|
| 炉心損傷の判断 | 燃料被覆管の最高温度が 1, 500K 到達 | 炉心損傷が始まる温度 |
| 炉心溶融の判断 | 炉心最高温度が 2, 500K 到達 | 炉心構成物質の代表的な融点 |
| 炉心支持板破損の判断 | 炉心支持板ノードにおいて累積破損割合が 1 となった時点 | 炉心支持板のクリープ破損を Larson-Miller のパラメータによって判定 |
| 原子炉圧力容器破損の判断 | C R D チューブ逸出判定到達 | 原子炉圧力容器破損モードのうち、最も早い破損形態として、C R D チューブ逸出を設定 |
| ペDESTAL（ドライウェル部） 床貫通の判断 | コンクリートの侵食深さが <input type="text"/> 到達 | ペDESTAL（ドライウェル部）床面サンプル部厚さを設定 |

第 4.1.1.6-1 表 格納容器イベントツリーの分岐確率の設定

| | 分岐 | | PDS | 分岐確率 | EF | 分岐確率の評価方法 |
|-----------------------------|----------------------------|----------|---|---------------|-----|---|
| T 1 | 格納容器隔離 | | TQUX TQUV LOCA TBU TBP TBD 長期TB | 5.0E-03 | 5.0 | NUREG/CR-4220で評価された値を設定。 |
| | 原子炉減圧 | | TQUX TBU | フォールトツリーにより設定 | | 炉心支持板破損までの余裕時間における、原子炉減圧に関する人的過誤確率及び機器故障確率等をフォールトツリーにてモデル化。 |
| | 原子炉圧力容器注水 | | TQUX | フォールトツリーにより設定 | | 炉心支持板破損までの余裕時間における、原子炉圧力容器注水に関する人的過誤確率及び機器故障確率等をフォールトツリーにてモデル化。また、炉心損傷後のため、LOCA信号による自動起動に期待する。 |
| | 原子炉圧力容器破損 (IVR) | | TQUX | | | IVRに係る支配的なパラメータの不確かさを考慮し、IVRの失敗確率を設定 (添付資料 4.1.1.6-3)。 |
| T 2 | FCI | | TQUX LOCA | | | FCIに係る支配的なパラメータの不確かさを考慮し、FCIによる格納容器破損確率を設定。なお、TQUX及びLOCAにおいて、原子炉圧力容器破損時にペDESTAL (ドライウェル部) に水が存在している想定については、以下のとおり。 【TQUX】 原子炉圧力容器破損前に原子炉圧力容器注水に成功するが、IVRに失敗した場合、原子炉圧力容器内に注水した水がデブリとともにペDESTAL (ドライウェル部) に放出される可能性を想定。 【LOCA】 LOCAの発生により、格納容器に流出した原子炉冷却材によってペDESTAL (ドライウェル部) に水が存在する可能性を想定。 |
| | DCH | | TQUX TBU TBD 長期TB | | | DCHに係る支配的なパラメータの不確かさを考慮し、DCHによる格納容器破損確率を設定。 |
| T 3 (原子炉 圧力容器 健全時) | 格納容器注水 | | TQUX | フォールトツリーにより設定 | | 損傷炉心冷却成功のため、TQUV時の格納容器破損までの余裕時間での格納容器注水に関する人的過誤確率及び機器故障確率等をフォールトツリーにてモデル化。 |
| T 3 (原子炉 圧力容器 破損時) | 格納容器注水 (ペDESTAL (ドライウェル部)) | 原子炉減圧成功時 | TQUX | フォールトツリーにより設定 | | 原子炉圧力容器の低圧破損後のため、TQUV時の原子炉圧力容器破損までの余裕時間におけるペDESTAL (ドライウェル部) への注水 (原子炉圧力容器の破損口経由) に関する人的過誤確率及び機器故障確率等をフォールトツリーにてモデル化。 |
| | 格納容器注水 (ドライウェル) | 原子炉減圧成功時 | TQUX TQUV | フォールトツリーにより設定 | | 原子炉圧力容器の低圧破損後のため、TQUV時の格納容器破損までの余裕時間における格納容器注水に関する人的過誤確率及び機器故障確率等をフォールトツリーにてモデル化。 |
| | | LOCA時 | LOCA | フォールトツリーにより設定 | | LOCA時の格納容器破損までの余裕時間における格納容器注水に関する人的過誤確率及び機器故障確率等をフォールトツリーにてモデル化。 |
| | FCI (ペDESTAL (ドライウェル部)) | | TQUX | | | FCIに係る支配的なパラメータの不確かさを考慮し、FCIによる格納容器破損確率を設定。 |
| | デブリ冷却 (ペDESTAL (ドライウェル部)) | | TQUX | | | MCCIに係る支配的なパラメータの不確かさを考慮し、MCCIによる格納容器破損確率を設定。 |
| | FCI (サブプレッション・プール) | | TQUX TQUV LOCA | | | FCIに係る過去の試験結果を踏まえ、トリガリングの発生確率をFCIによる格納容器破損確率として設定。 |
| | デブリ冷却 (サブプレッション・プール) | | TQUX TQUV LOCA | | | MCCIに係る支配的なパラメータの不確かさを考慮し、MCCIによる格納容器破損確率を設定。 |

第 4.1.1.6-2 表 緩和操作に対する余裕時間の検討結果

| 緩和操作 | ヘディング | タイミング | | 適用 シーケンス | 事故進展解析との関連 | 余裕時間 |
|-------------------------|----------------------------------|--------|---|--------------|---|-------|
| 炉心冷却 | 原子炉減圧 | 事象発生から | 炉心支持板破損までに原子炉減圧ができれば、原子炉圧力容器注水により原子炉圧力容器破損を回避できる可能性がある。また、原子炉圧力容器注水ができない場合でも、DCHを回避できる可能性がある。 | TQUX TBU | TQUV及びTQUXの事故進展解析により、炉心支持板破損まで 2.6h 及び 2.7h であるため、余裕をとり 2h とする。 | 2 時間 |
| | 原子炉圧力容器注水 | 事象発生から | 炉心支持板破損までに原子炉減圧及び原子炉圧力容器注水ができれば、原子炉圧力容器破損を回避できる可能性がある。 | TQUX | | |
| ペDESTAL (ドライウェル部) 注水 | 格納容器注水 (ペDESTAL (ドライウェル部)) | 事象発生から | 原子炉圧力容器の減圧成功後、原子炉圧力容器破損までに原子炉圧力容器注水ができれば、原子炉圧力容器破損時にデブリとともに水が落下するため、ペDESTAL (ドライウェル部) 注水に成功し、ペDESTAL (ドライウェル部) 床貫通を回避できる可能性がある。 | TQUX | TQUVの事故進展解析により、原子炉圧力容器破損は 5.4h であるため、余裕をとり 4h とする。 | 4 時間 |
| 格納容器除熱 (RHR) | 格納容器注水 (ドライウェル) | 事象発生から | 格納容器破損までにドライウェル注水ができれば、格納容器破損を回避できる可能性がある。 | TQUV TQUX | TQUVの事故進展解析により、格納容器破損は 15.9h であるため、余裕をとり 15h とする。 | 15 時間 |
| | | | | LOCA | AEの事故進展解析により、格納容器破損は 1.6h であるため、余裕をとり 1h とする。 | 1 時間 |

第 4.1.1.6-3 表 プラント損傷状態別の格納容器破損頻度

| プラント損傷状態 | 炉心損傷頻度 (／炉年) | 寄与割合 (%) | 条件付格納容器 破損確率 | 格納容器破損頻度 (／炉年) | 寄与割合 (%) |
|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------------|-------------|
| T Q U V | 3. 5E-09 | < 0. 1 | 9. 5E-01 | 3. 3E-09 | < 0. 1 |
| T Q U X | 2. 0E-08 | < 0. 1 | 4. 6E-01 | 9. 3E-09 | < 0. 1 |
| L O C A | 2. 2E-11 | < 0. 1 | 1. 0E+00 | 2. 2E-11 | < 0. 1 |
| T B U | 2. 1E-08 | < 0. 1 | 1. 0E+00 | 2. 1E-08 | < 0. 1 |
| T B P | 5. 3E-10 | < 0. 1 | 1. 0E+00 | 5. 3E-10 | < 0. 1 |
| T B D | 6. 0E-12 | < 0. 1 | 1. 0E+00 | 6. 0E-12 | < 0. 1 |
| 長期 T B | 7. 7E-08 | 0. 1 | 1. 0E+00 | 7. 7E-08 | 0. 1 |
| T W／T B W | 6. 0E-05 | 99. 8 | 1. 0E+00 | 6. 0E-05 | 99. 8 |
| T C | 2. 5E-08 | < 0. 1 | 1. 0E+00 | 2. 5E-08 | < 0. 1 |
| I S L O C A | 4. 8E-10 | < 0. 1 | 1. 0E+00 | 4. 8E-10 | < 0. 1 |
| 全格納容器破損頻度 | 6. 1E-05 | 100. 0 | 1. 0E+00 | 6. 1E-05 | 100. 0 |

第 4.1.1.6-4 表 格納容器破損モード別の格納容器破損頻度

| 格納容器破損モード | 格納容器破損頻度 (／炉年) | 寄与割合 (%) |
|-----------------------|-------------------|-------------|
| インターフェイスシステム L O C A | 4.8E-10 | <0.1 |
| 格納容器隔離失敗 | 6.1E-10 | <0.1 |
| 過圧破損（未臨界確保失敗） | 2.5E-08 | <0.1 |
| 過圧破損（崩壊熱除去失敗） | 6.0E-05 | 99.8 |
| 過圧破損（長期冷却失敗） | 2.0E-08 | <0.1 |
| 過温破損（R P V 高圧破損） | 7.9E-08 | 0.1 |
| 過温破損（R P V 低圧破損） | 4.9E-10 | <0.1 |
| 格納容器雰囲気直接加熱 | 8.5E-09 | <0.1 |
| 水蒸気爆発（ペデスタル（ドライウェル部）） | 2.2E-14 | <0.1 |
| 水蒸気爆発（サプレッション・プール） | 2.5E-09 | <0.1 |
| 溶融炉心・コンクリート相互作用 | 1.3E-10 | <0.1 |
| 全格納容器破損頻度 | 6.1E-05 | 100.0 |

第 4.1.1.7-1 表 格納容器破損モード別の格納容器破損頻度（不確実さ解析）

| 格納容器破損モード | 点推定値 (／炉年) | 平均値 (／炉年) | 寄与割合 (%) | 中央値 (／炉年) | 5%値 (／炉年) | 95%値 (／炉年) | E F |
|-----------------------|---------------|--------------|-------------|--------------|--------------|---------------|------|
| インターフェイスシステム L O C A | 4.8E-10 | 6.4E-10 | <0.1 | 1.0E-10 | 7.3E-12 | 2.0E-09 | 16.4 |
| 格納容器隔離失敗 | 6.1E-10 | 6.2E-10 | <0.1 | 2.4E-10 | 3.3E-11 | 2.1E-09 | 8.0 |
| 過圧破損（未臨界確保失敗） | 2.5E-08 | 5.6E-08 | <0.1 | 1.5E-09 | 4.2E-11 | 6.9E-08 | 40.5 |
| 過圧破損（崩壊熱除去失敗） | 6.0E-05 | 6.1E-05 | 99.7 | 2.7E-05 | 1.0E-05 | 1.7E-04 | 4.1 |
| 過温破損（R P V 高圧破損） | 7.9E-08 | 8.2E-08 | 0.1 | 4.5E-08 | 1.1E-08 | 2.5E-07 | 4.9 |
| 格納容器雰囲気直接加熱 | 8.5E-09 | 8.4E-09 | <0.1 | 2.6E-09 | 2.7E-10 | 3.0E-08 | 10.5 |
| 過温破損（R P V 低圧破損） | 4.9E-10 | 5.0E-10 | <0.1 | 9.9E-11 | 7.9E-12 | 1.7E-09 | 14.6 |
| 過圧破損（長期冷却失敗） | 2.0E-08 | 2.4E-08 | <0.1 | 1.3E-08 | 2.6E-09 | 7.5E-08 | 5.4 |
| 水蒸気爆発（ペデスタル（ドライウェル部）） | 2.2E-14 | 1.7E-14 | <0.1 | 5.4E-16 | 6.0E-18 | 4.1E-14 | 82.0 |
| 水蒸気爆発（サプレッション・プール） | 2.5E-09 | 2.9E-09 | <0.1 | 1.0E-09 | 1.1E-10 | 9.8E-09 | 9.6 |
| 溶融炉心・コンクリート相互作用 | 1.3E-10 | 2.0E-10 | <0.1 | 7.4E-12 | 1.3E-13 | 4.4E-10 | 57.6 |
| 全格納容器破損頻度 | 6.1E-05 | 6.1E-05 | 100.0 | 2.7E-05 | 1.0E-05 | 1.7E-04 | 4.1 |

第 4.1.1.7-2 表 モデル上の仮定に係る感度解析結果

(格納容器先行破損，格納容器バイパス及び格納容器隔離失敗を除く) ※

| 格納容器破損モード | | ベースケース | | 感度解析ケース 1 | |
|----------------|------------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
| | | 点推定値 (／炉年) | 寄与割合 (%) | 点推定値 (／炉年) | 寄与割合 (%) |
| 原子炉圧力容器高圧シーケンス | | 8.8E-08 | 79.0 | 8.8E-08 | 77.2 |
| | 過温破損 (R P V 高圧破損) | 7.9E-08 | 71.3 | 7.9E-08 | 69.7 |
| | 格納容器雰囲気直接加熱 | 8.5E-09 | 7.7 | 8.5E-09 | 7.5 |
| 原子炉圧力容器低圧シーケンス | | 2.3E-08 | 21.0 | 2.6E-08 | 22.8 |
| | 過温破損 (R P V 低圧破損) | 4.9E-10 | 0.4 | 2.1E-11 | < 0.1 |
| | 過圧破損 (長期冷却失敗) | 2.0E-08 | 18.2 | 2.3E-08 | 20.3 |
| | 水蒸気爆発 (ペデスタル(ドライウエル部)) | 2.2E-14 | < 0.1 | 2.2E-14 | < 0.1 |
| | 水蒸気爆発 (サプレッション・プール) | 2.5E-09 | 2.3 | 2.6E-09 | 2.3 |
| | 熔融炉心・コンクリート相互作用 | 1.3E-10 | 0.1 | 1.4E-10 | 0.1 |
| 格納容器破損頻度 | | 1.1E-07 | 100.0 | 1.1E-07 | 100.0 |

※ 網掛け部はベースケースと感度解析の格納容器破損頻度が異なる箇所

第 4.1.1.7-3 表 他研究機関等による格納容器破損確率

| 格納容器破損モード | | 格納容器破損確率（平均値） | | 備考 |
|-----------|-------------------------|---------------|---------------------------------------|---|
| | | ベースケース | 他研究機関 | |
| D C H | 早期 R P V 破損 | | 2.3E-03 ^{〔1〕} (感度解析ケース 2) | J N E S 評価では、M E L C O R コードによる溶融炉心等初期条件の設定、デブリ伝熱及び圧力抑制プールへの輸送に係る伝熱・輸送方程式による圧力ピーク算出を実施している。 |
| | 後期 R P V 破損 | | 3.7E-02 ^{〔1〕} (感度解析ケース 2) | |
| M C C I | ペDESTAL (ドライウエル部) ※1 | | 5.0E-01 ^{〔1〕} | J N E S 評価では、ペDESTAL (ドライウエル部) M C C I は、同程度に生じ得ると判断される現象として設定している。S / P M C C I は、ペDESTAL (ドライウエル部) 床破損前に格納容器過圧破損に至るため設定していない。 |
| | サプレッション・プール | | — | |
| F C I | ペDESTAL (ドライウエル部) | | 2.2E-03※2, 〔2〕 | J A E A 評価では、T H A L E S 2 コード等による溶融炉心等初期条件の設定、J A S M I N E コードによる粗混合、爆発解析及び A U T O D Y N - 2 D コードによるペDESTAL 構造解析を実施している。 |
| | サプレッション・プール | | 6.4E-02※2, 〔2〕 (感度解析ケース 3) | |

※1 ペDESTAL (ドライウエル部) 床での M C C I 継続確率

※2 トリガリング発生当たりの格納容器破損確率

参考文献

- 〔1〕 原子力発電技術機構，原子力安全解析書「PWR及びBWRプラントのCVイベントツリー重要度評価に関する報告書」，INS/M01-40（平成14年3月）
- 〔2〕 日本原子力研究開発機構，安全研究センター，熱水力安全評価研究グループ「軽水炉シビアアクシデント時の炉外水蒸気爆発による格納容器破損確率の評価」2007-072（2007年11月）

第 4.1.1.7-4 表 物理化学現象による格納容器破損確率を変更した感度解析結果

(格納容器先行破損，格納容器バイパス及び格納容器隔離失敗を除く) ※

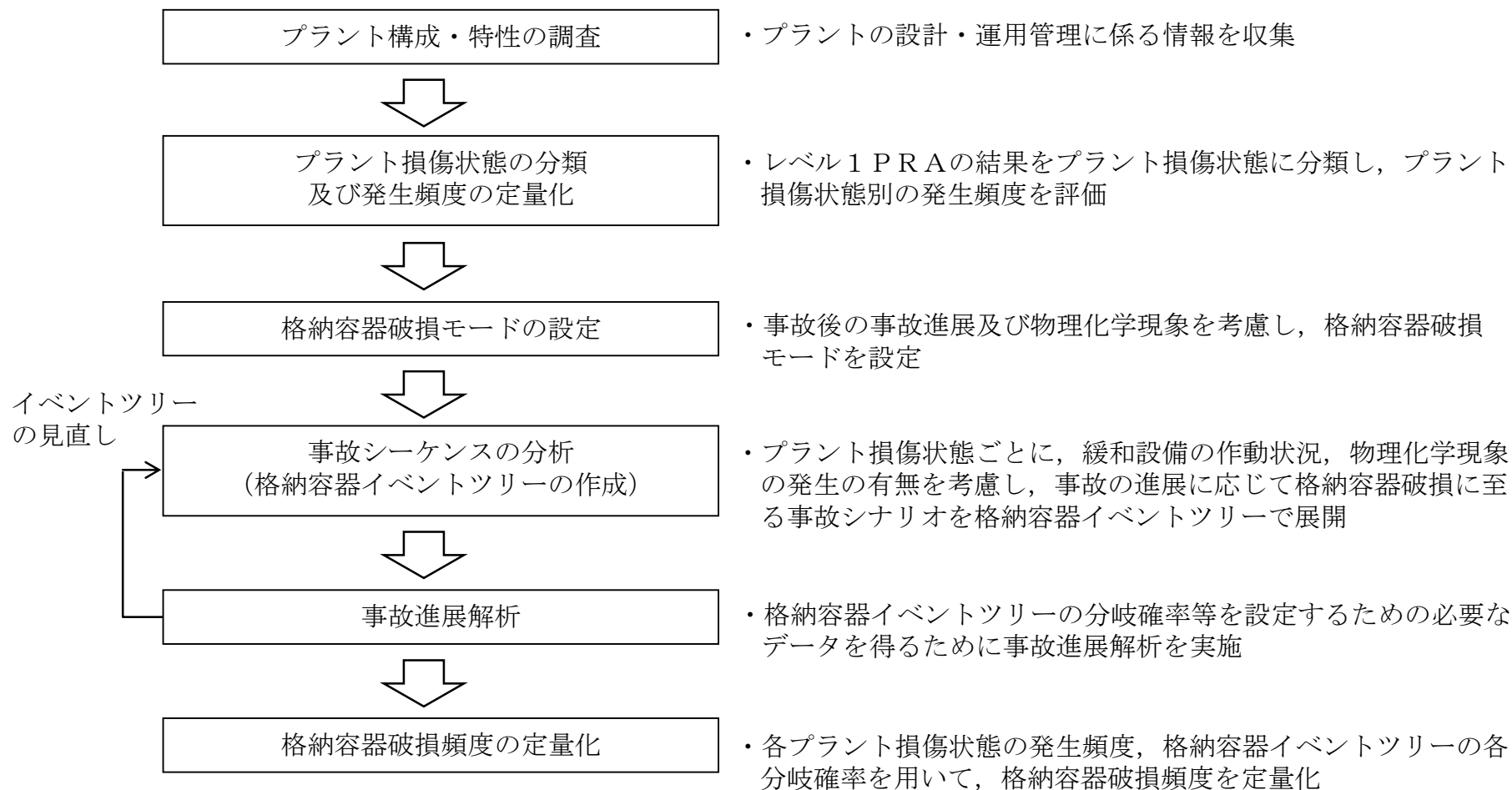
| 格納容器破損モード | | ベースケース | | 感度解析ケース 2 (D C H) | | 感度解析ケース 3 (F C I) | |
|----------------|------------------------|---------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | | 点推定値 (／炉年) | 寄与割合 (%) | 点推定値 (／炉年) | 寄与割合 (%) | 点推定値 (／炉年) | 寄与割合 (%) |
| 原子炉圧力容器高圧シーケンス | | 8.8E-08 | 79.0 | 8.8E-08 | 79.0 | 8.8E-08 | 79.1 |
| | 過温破損 (R P V 高圧破損) | 7.9E-08 | 71.3 | 8.5E-08 | 76.4 | 7.9E-08 | 71.5 |
| | 格納容器雰囲気直接加熱 | 8.5E-09 | 7.7 | 2.9E-09 | 2.6 | 8.5E-09 | 7.7 |
| 原子炉圧力容器低圧シーケンス | | 2.3E-08 | 21.0 | 2.3E-08 | 21.0 | 2.3E-08 | 20.9 |
| | 過温破損 (R P V 低圧破損) | 4.9E-10 | 0.4 | 4.9E-10 | 0.4 | 5.4E-10 | 0.5 |
| | 過圧破損 (長期冷却失敗) | 2.0E-08 | 18.2 | 2.0E-08 | 18.2 | 2.2E-08 | 20.1 |
| | 水蒸気爆発 (ペデスタル(ドライウェル部)) | 2.2E-14 | < 0.1 | 2.2E-14 | < 0.1 | 2.2E-14 | < 0.1 |
| | 水蒸気爆発 (サプレッション・プール) | 2.5E-09 | 2.3 | 2.5E-09 | 2.3 | 1.6E-10 | 0.1 |
| | 熔融炉心・コンクリート相互作用 | 1.3E-10 | 0.1 | 1.3E-10 | 0.1 | 1.5E-10 | 0.1 |
| 格納容器破損頻度 | | 1.1E-07 | 100.0 | 1.1E-07 | 100.0 | 1.1E-07 | 100.0 |

※ 網掛け部はベースケースと感度解析の格納容器破損頻度が異なる箇所

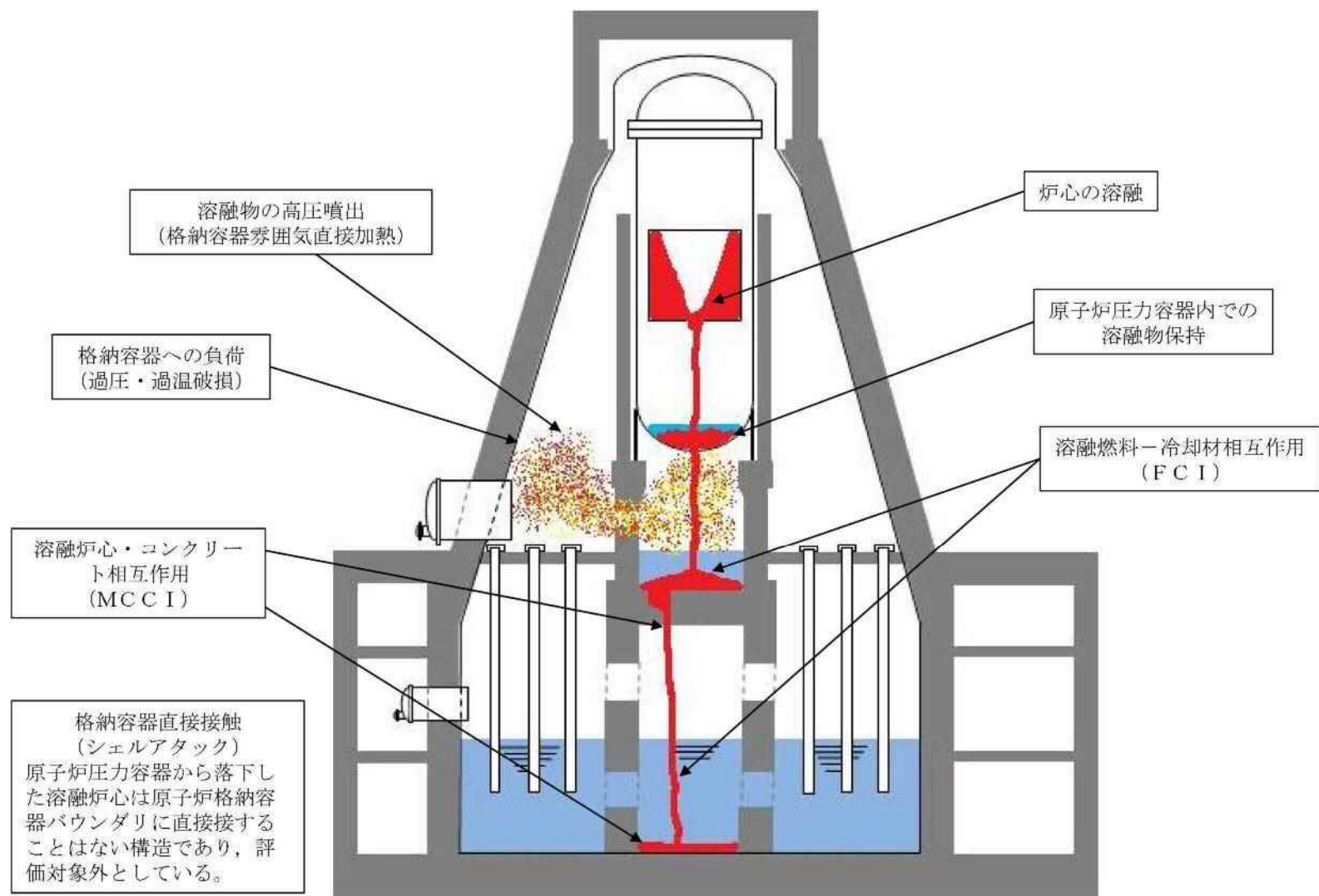
第 4.1.1.8-1 表 M a r k - II 型格納容器の構造上の特徴に係る感度解析結果
(格納容器先行破損, 格納容器バイパス及び格納容器隔離失敗を除く) ※

| 格納容器破損モード | ベースケース | | 感度解析ケース 4 (M C C I) | |
|--------------------------|---------------|-------------|------------------------|-------------|
| | 点推定値 (／炉年) | 寄与割合 (%) | 点推定値 (／炉年) | 寄与割合 (%) |
| 原子炉圧力容器高圧シーケンス | 8.8E-08 | 79.0 | 8.8E-08 | 77.7 |
| 過温破損 (R P V 高圧破損) | 7.9E-08 | 71.3 | 7.9E-08 | 70.1 |
| 格納容器雰囲気直接加熱 | 8.5E-09 | 7.7 | 8.5E-09 | 7.5 |
| 原子炉圧力容器低圧シーケンス | 2.3E-08 | 21.0 | 2.5E-08 | 22.3 |
| 過温破損 (R P V 低圧破損) | 4.9E-10 | 0.4 | 2.1E-11 | <0.1 |
| 過圧破損 (長期冷却失敗) | 2.0E-08 | 18.2 | 2.2E-09 | 1.9 |
| 水蒸気爆発 (ペDESTAL(ドライウエル部)) | 2.2E-14 | <0.1 | 2.2E-14 | <0.1 |
| 水蒸気爆発 (サプレッション・プール) | 2.5E-09 | 2.3 | — | — |
| 溶融炉心・コンクリート相互作用 | 1.3E-10 | 0.1 | 2.3E-08 | 20.4 |
| 格納容器破損頻度 | 1.1E-07 | 100.0 | 1.1E-07 | 100.0 |

※ 網掛け部はベースケースと感度解析の格納容器破損頻度が異なる箇所



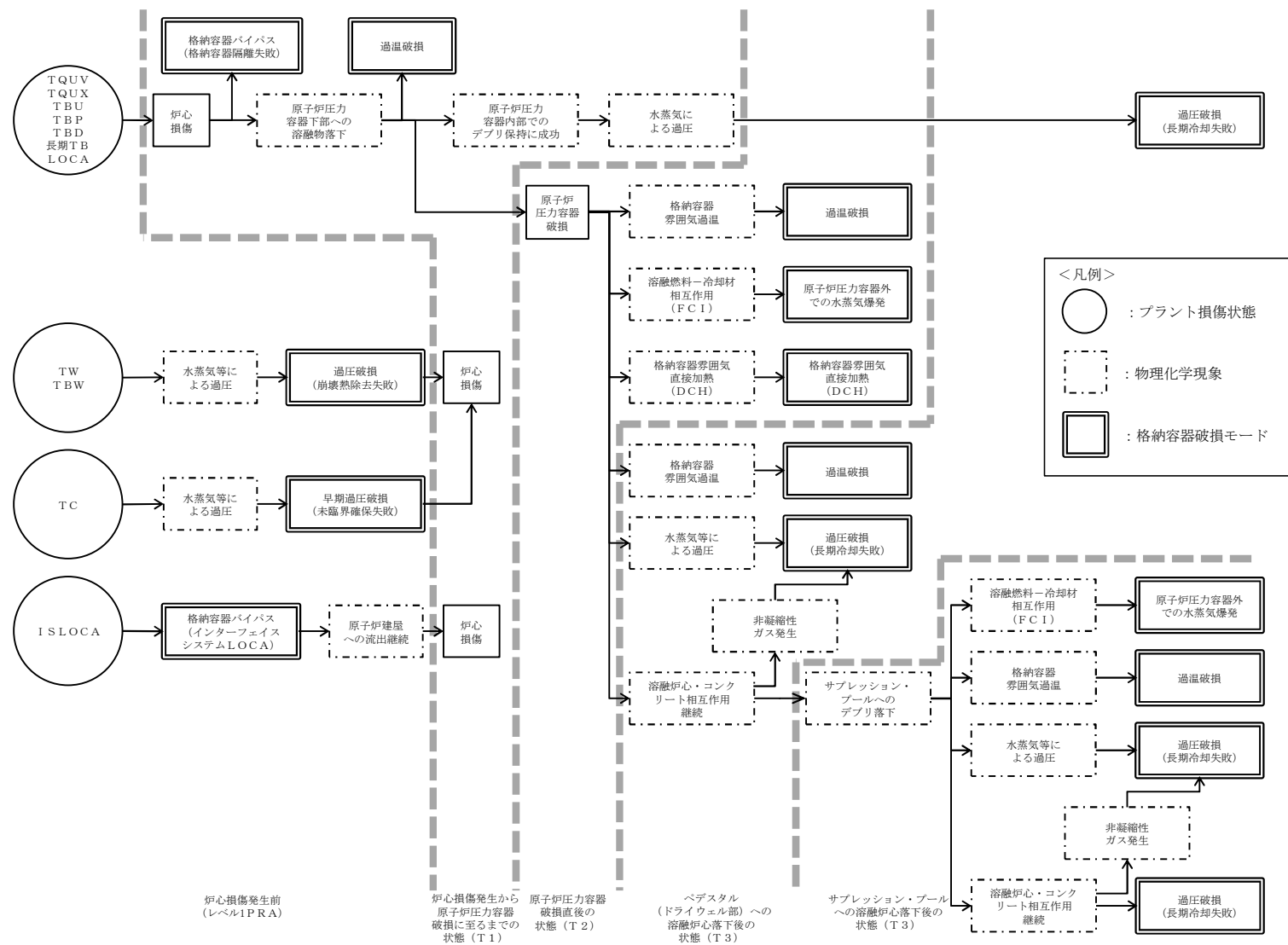
第 4.1.1-1 図 内部事象出力運転時レベル1．5 P R Aの評価フロー図



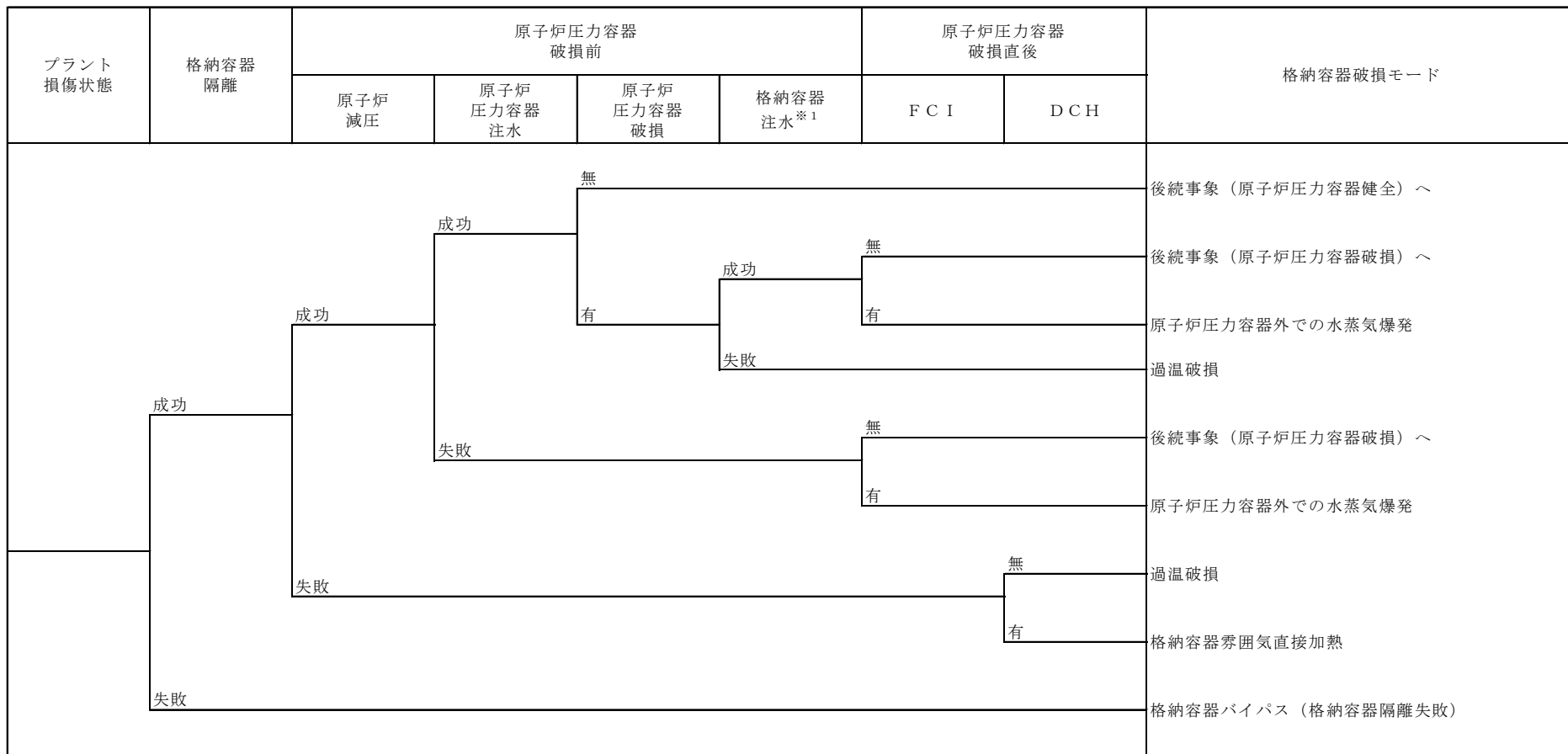
第 4.1.1.1-1 図 格納容器の形状及び溶融デブリの移動経路の概略

| 事故シーケンス | 格納容器 破損時期 | 原子炉圧力 | 炉心損傷時期 | 電源の状態 | プラント損傷状態 |
|--|---|--|---------------------------------|--|--|
| T Q U V T Q U X T B U T B P T B D 長期 T B T C T W T B W A E S 1 E S 2 E I S L O C A | 炉心損傷後 T Q U V T Q U X T B U T B P T B D 長期 T B A E S 1 E S 2 E | 高圧 T Q U X T B U T B D 長期 T B 低圧 T Q U V T B P A E S 1 E S 2 E | 後期 長期 T B | 電源あり T Q U X | 長期 T B T Q U X |
| | | | 早期 T Q U X T B U T B D | 交流電源なし，直流電源あり T B U 交流電源なし，直流電源なし T B D | T B U T B D |
| | | | | 電源あり T Q U V A E S 1 E S 2 E | T Q U V L O C A (A E, S 1 E, S 2 E) |
| | | | | 交流電源なし，直流電源あり T B P | T B P |
| | | | | 電源あり T W | T W |
| | | | 後期 T W T B W | 電源なし T B W | T B W |
| | | | 早期 T C I S L O C A | | T C I S L O C A |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

第 4.1.1.2-1 図 プラント損傷状態の分類



第 4.1.1.3-1 図 本プラントのシビアアクシデントで考えられる事故進展



F C I 原子炉压力容器外の熔融燃料-冷却材相互作用

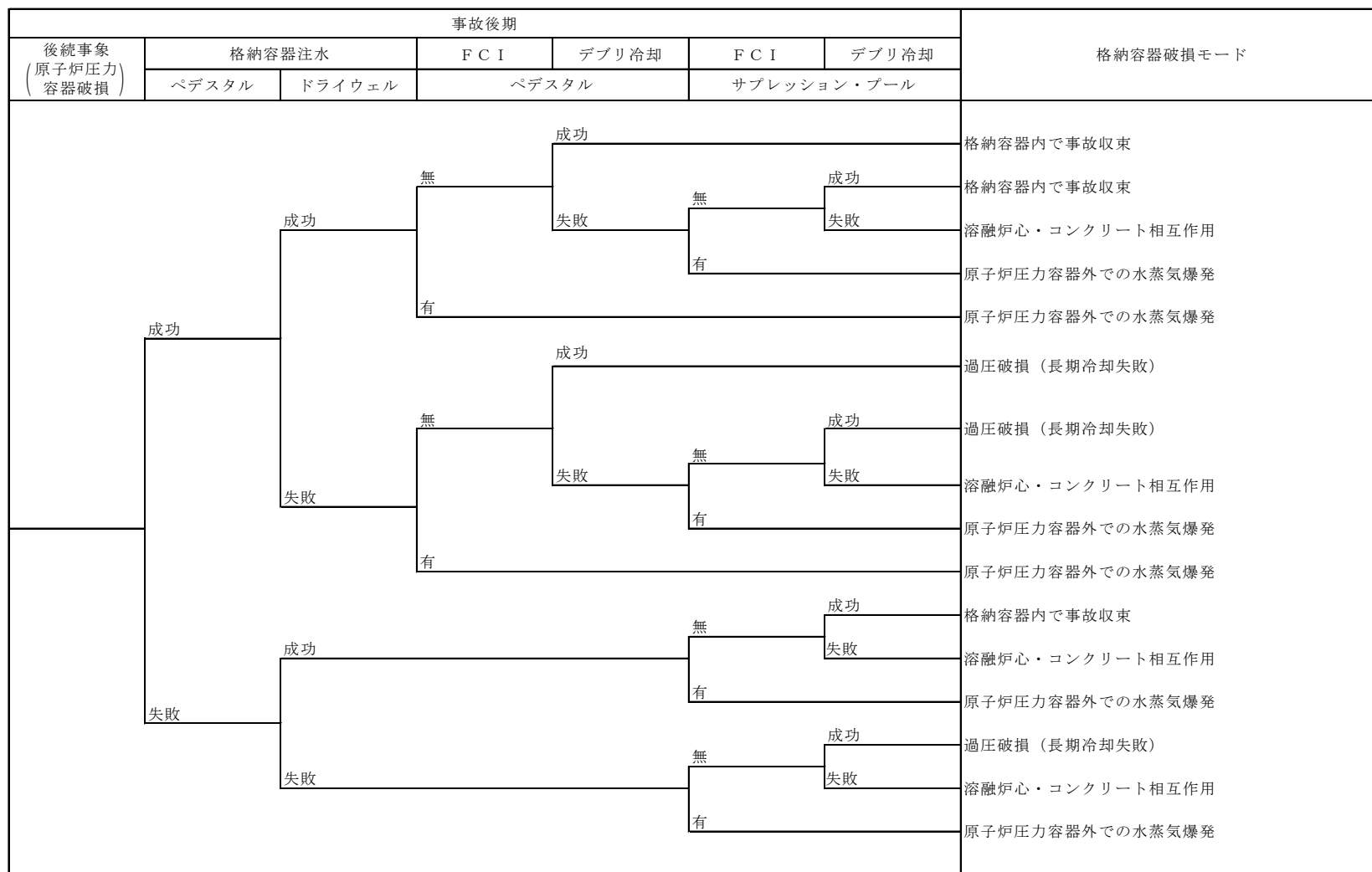
D C H 格納容器雰囲氣直接加熱

※1 LOCAシーケンスは、格納容器注水に失敗した場合、原子炉圧力容器破損前に過温破損に至るため、本ヘディングの成功/失敗を原子炉圧力容器破損前に考慮する。

第 4.1.1.4-1 図 格納容器イベントツリー (1/3)

| 事故後期 | | 格納容器破損モード |
|---------------------|--------|---------------|
| 後続事象 (原子炉圧力容器健全) | 格納容器注水 | |
| | 成功 | 原子炉圧力容器内で事故収束 |
| | 失敗 | |
| | | 過圧破損（長期冷却失敗） |

第 4. 1. 1. 4－1 図 格納容器イベントツリー（2／3）



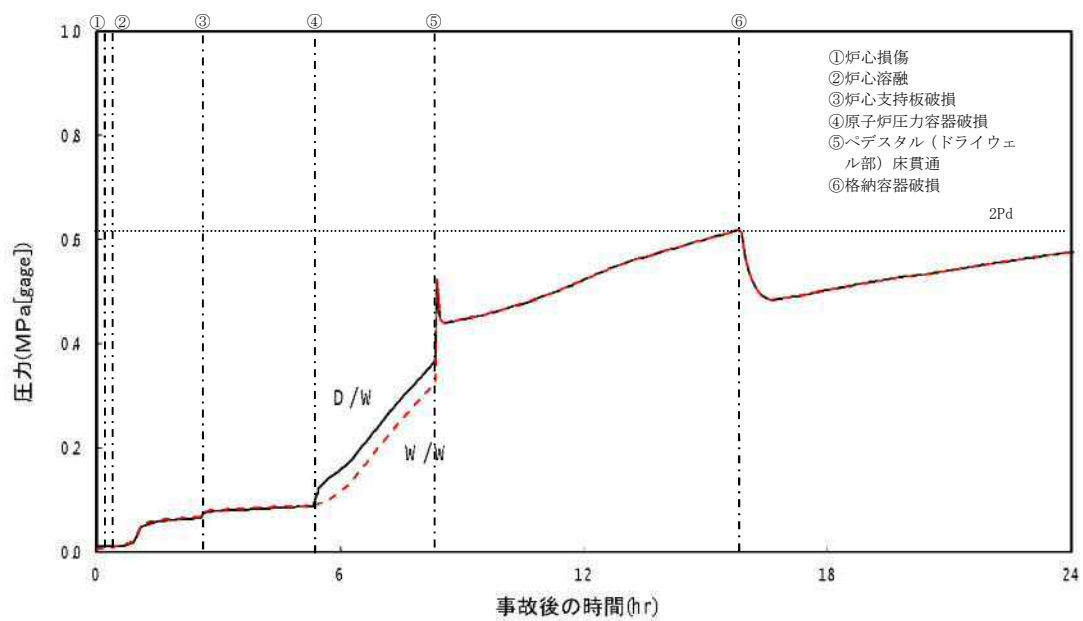
F C I 原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用

第 4.1.1.4-1 図 格納容器イベントツリー (3/3)

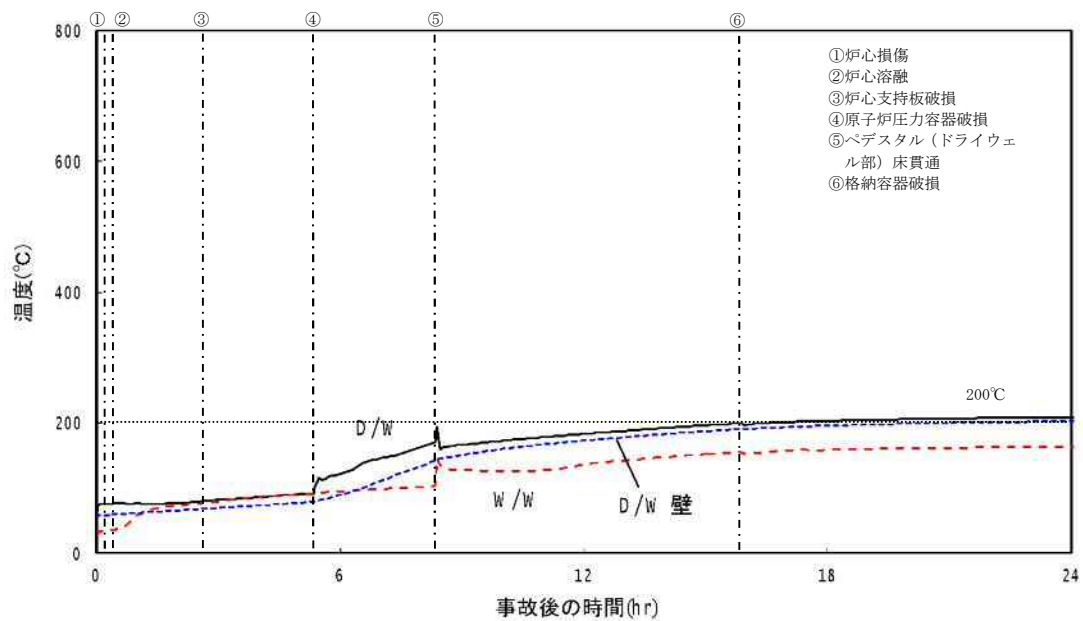
| 事故シーケンス | 格納容器 破損時期 | 原子炉圧力 | 炉心損傷時期 | 起因事象 | 事故シーケンス グループ化結果 |
|--|---|---|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| | | | 後期 長期 T B | | 長期 T B |
| | | 高圧 T Q U X T B U T B D 長期 T B | | | |
| | 炉心損傷後 T Q U X T Q U V T B U T B P T B D 長期 T B A E S 1 E S 2 E | | 早期 T Q U X T B U T B D | | T Q U X T B U T B D |
| | | | | 過渡 T Q U V T B P | T Q U V T B P |
| | | 低圧 T Q U V T B P A E S 1 E S 2 E | | L O C A A E S 1 E S 2 E | A E S 1 E S 2 E |
| T Q U X T Q U V T B U T B P T B D 長期 T B A E S 1 E S 2 E (T C) (T W) (T B W) (I S L O C A) | 炉心損傷前 (T C) (T W) (T B W) (I S L O C A) | | 後期 (T W) (T B W) | | (T W) (T B W) |
| | | | 早期 (T C) (I S L O C A) | | (T C) (I S L O C A) |

() は格納容器先行破損又は格納容器バイパスの事故シーケンスを示す

第 4.1.1.5-1 図 解析対象とする事故シーケンス分類

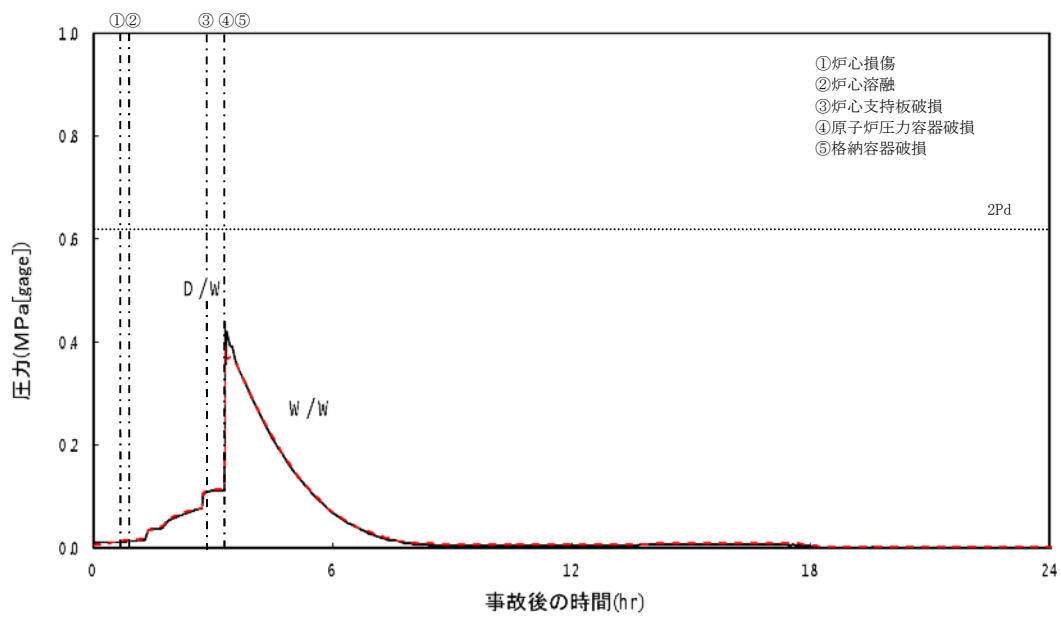


格納容器圧力

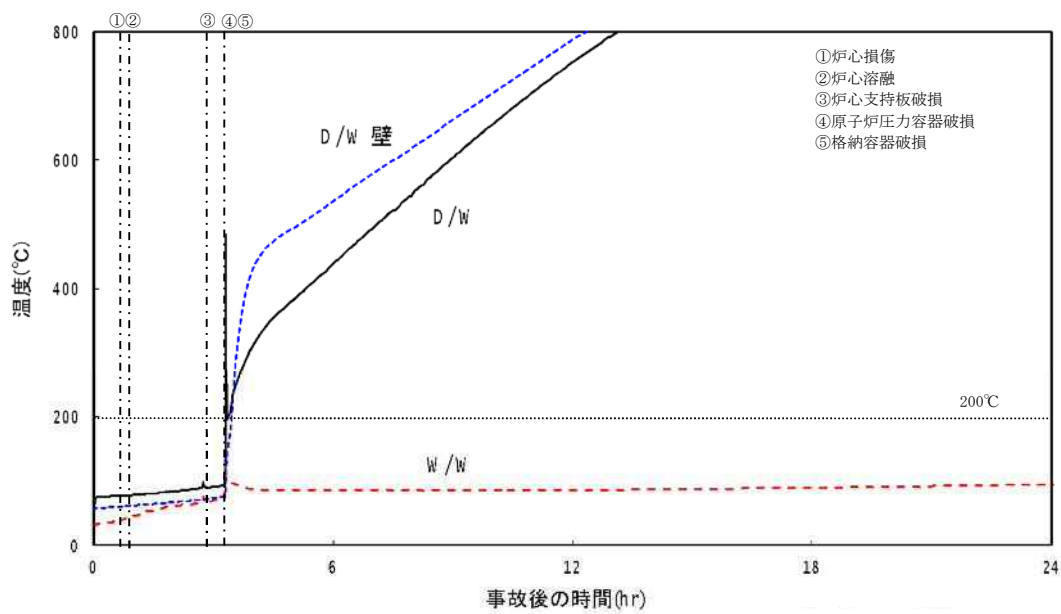


格納容器温度

第 4.1.1.5-2(a) 図 代表事故シーケンスの事故進展 (TQUV)

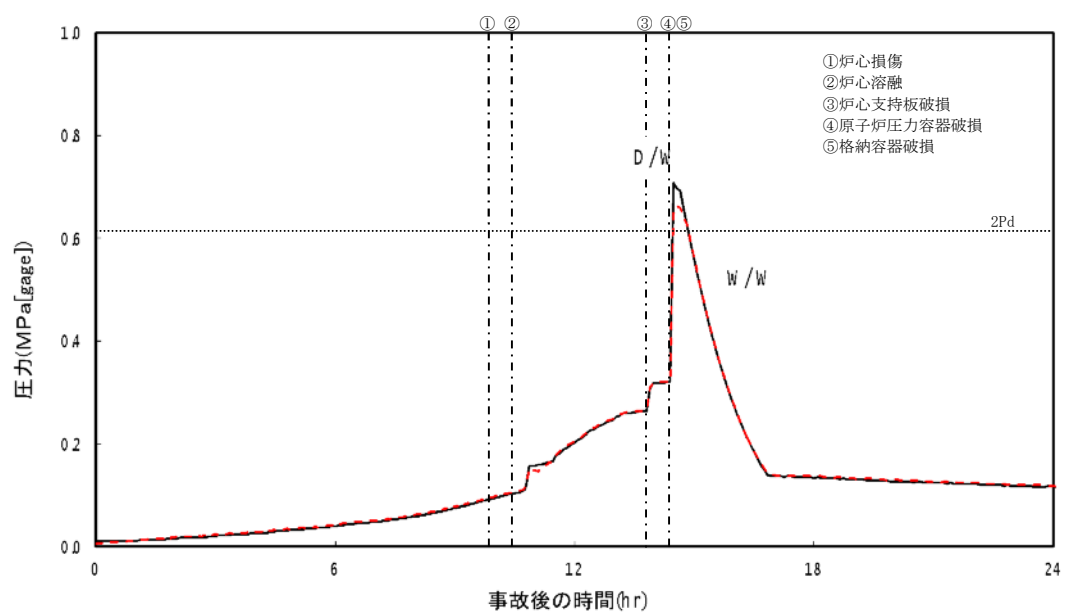


格納容器圧力

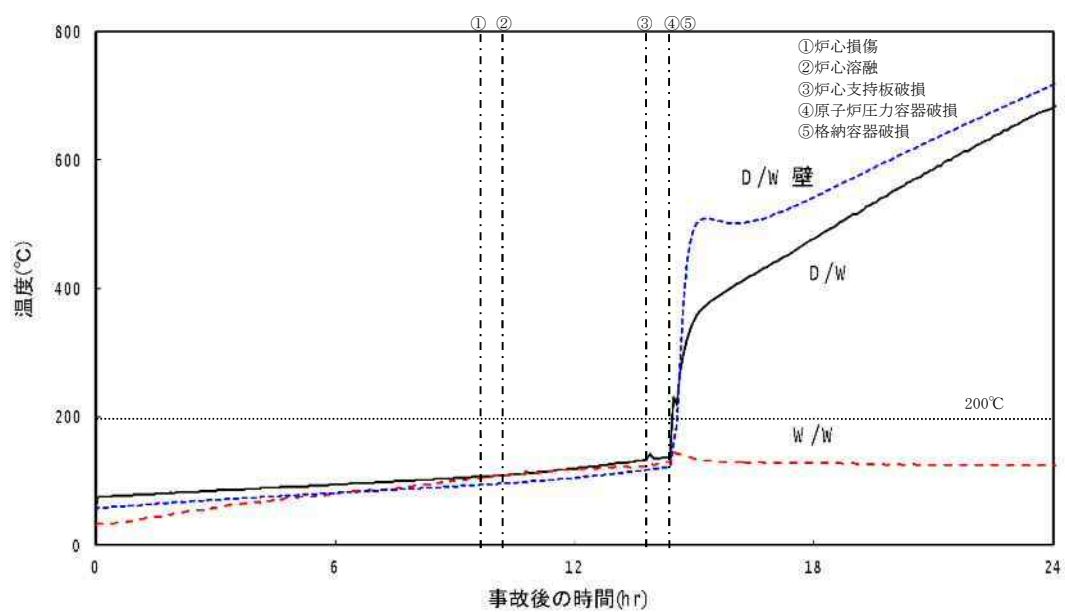


格納容器温度

第 4.1.1.5-2(b) 図 代表事故シーケンスの事故進展 (TQUX)

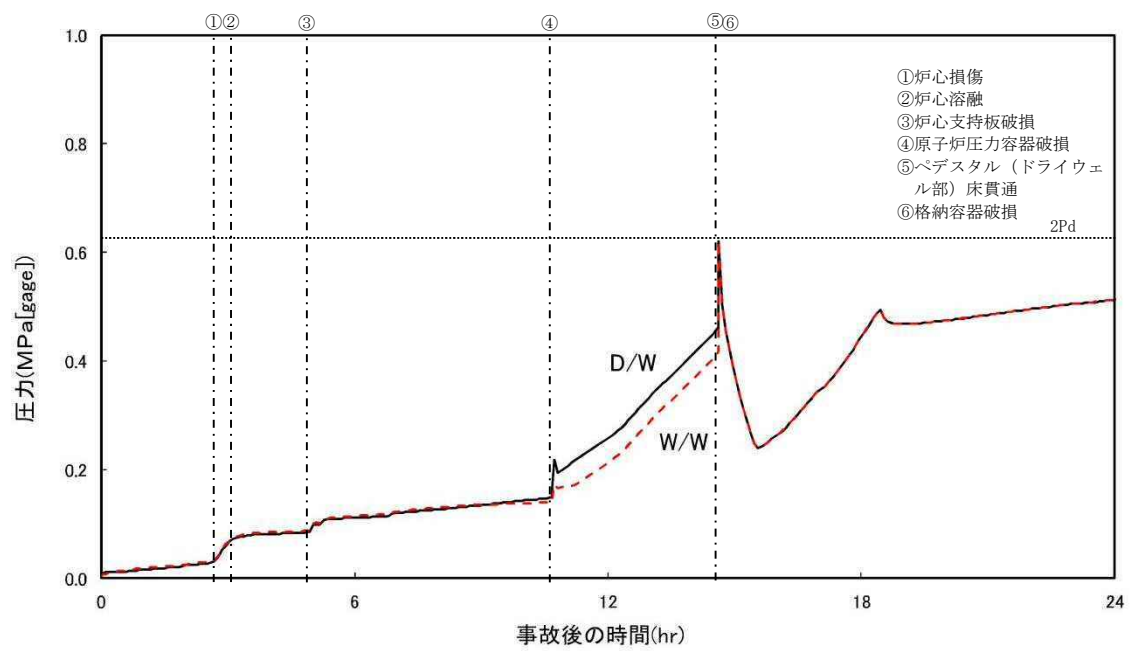


格納容器圧力

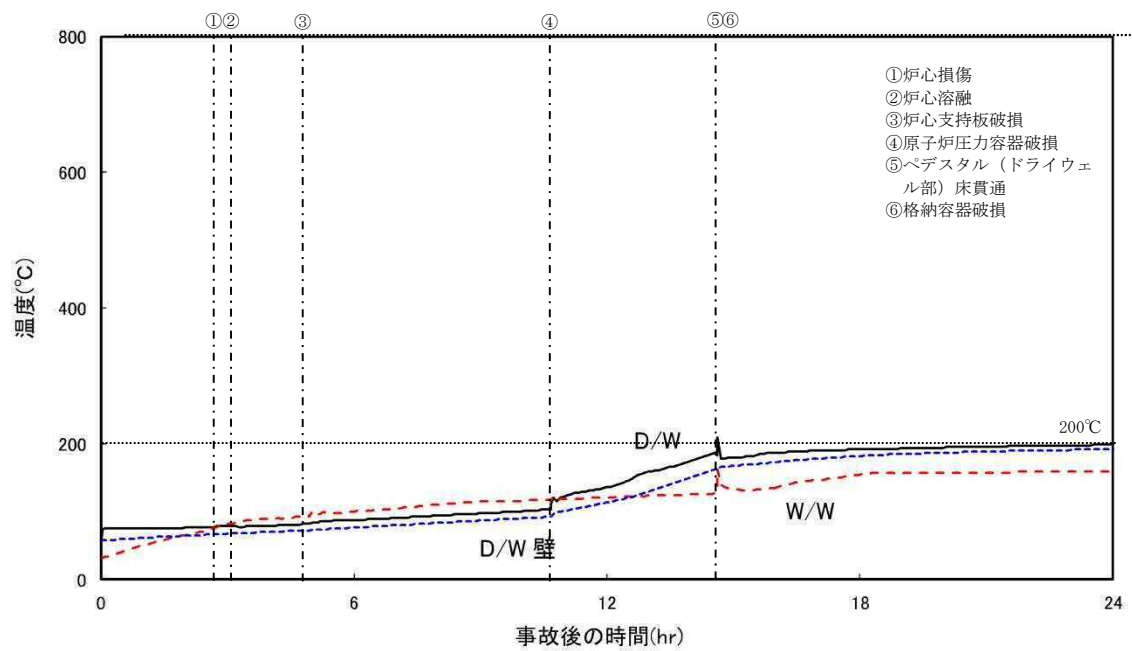


格納容器温度

第 4.1.1.5-2(c) 図 代表事故シーケンスの事故進展（長期 T B）

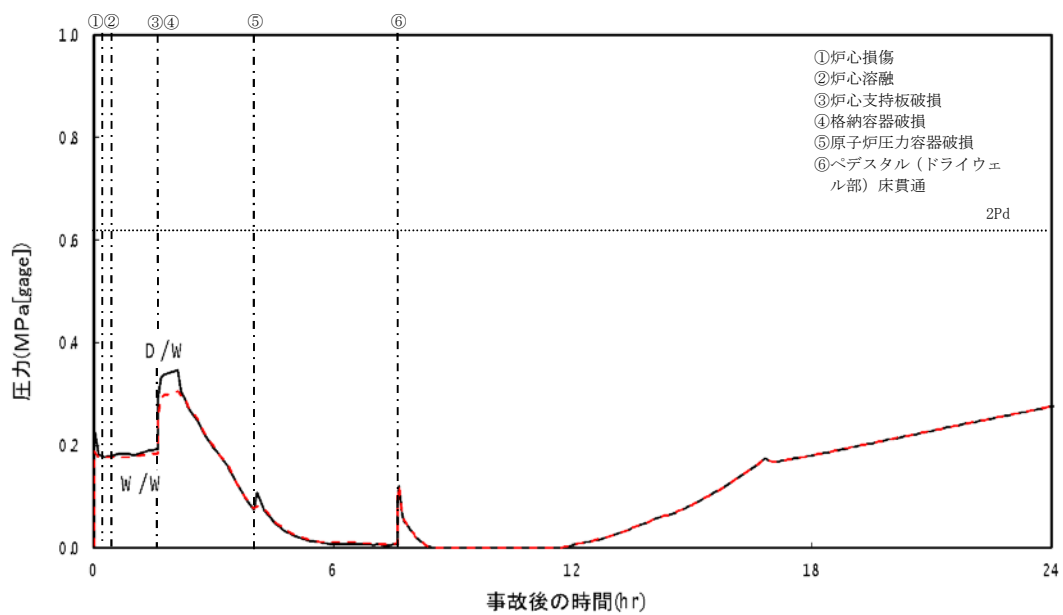


格納容器圧力

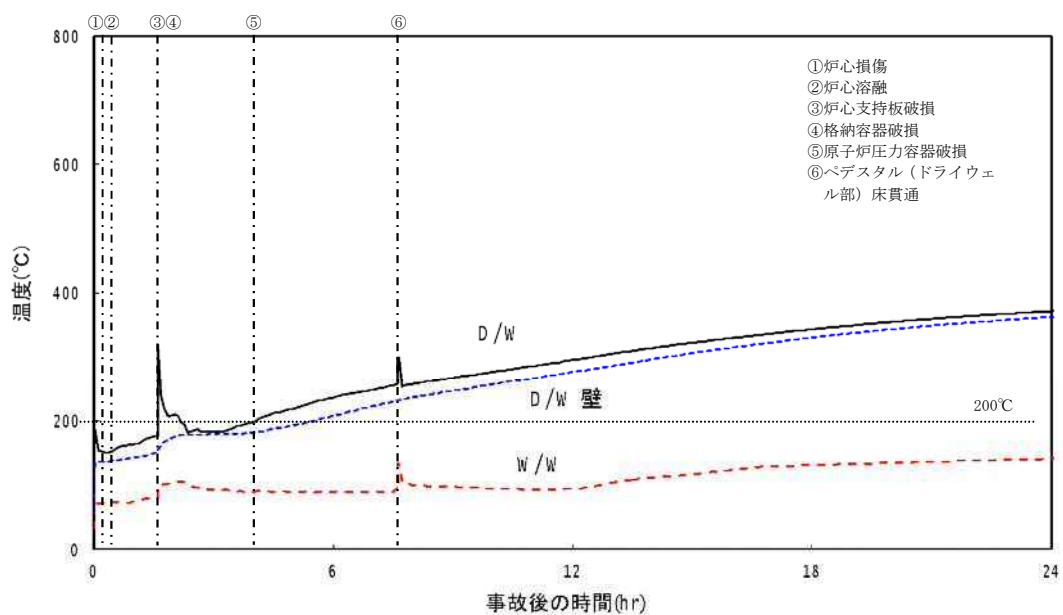


格納容器温度

第 4.1.1.5-2(d) 図 代表事故シーケンスの事故進展 (T B P)

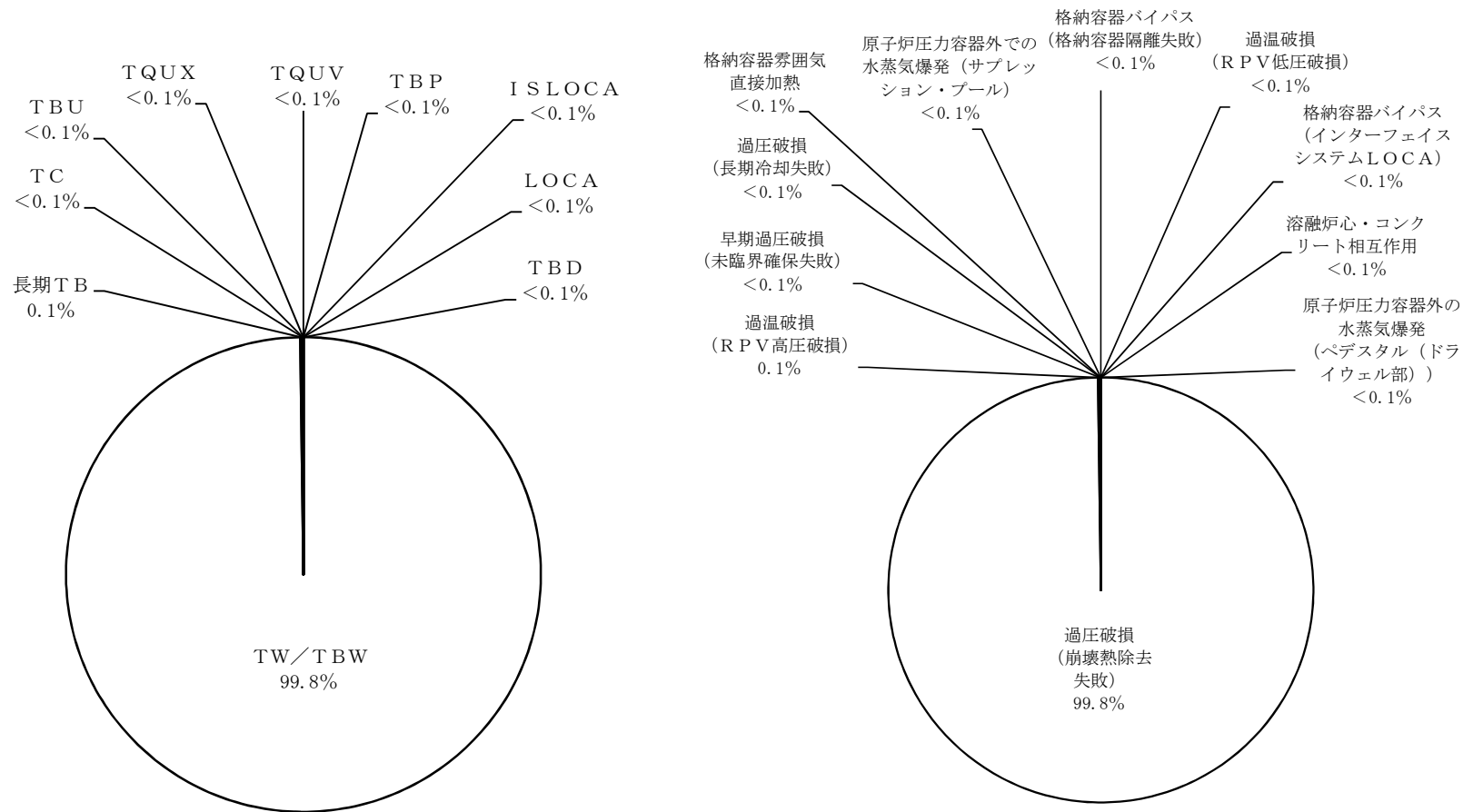


格納容器圧力

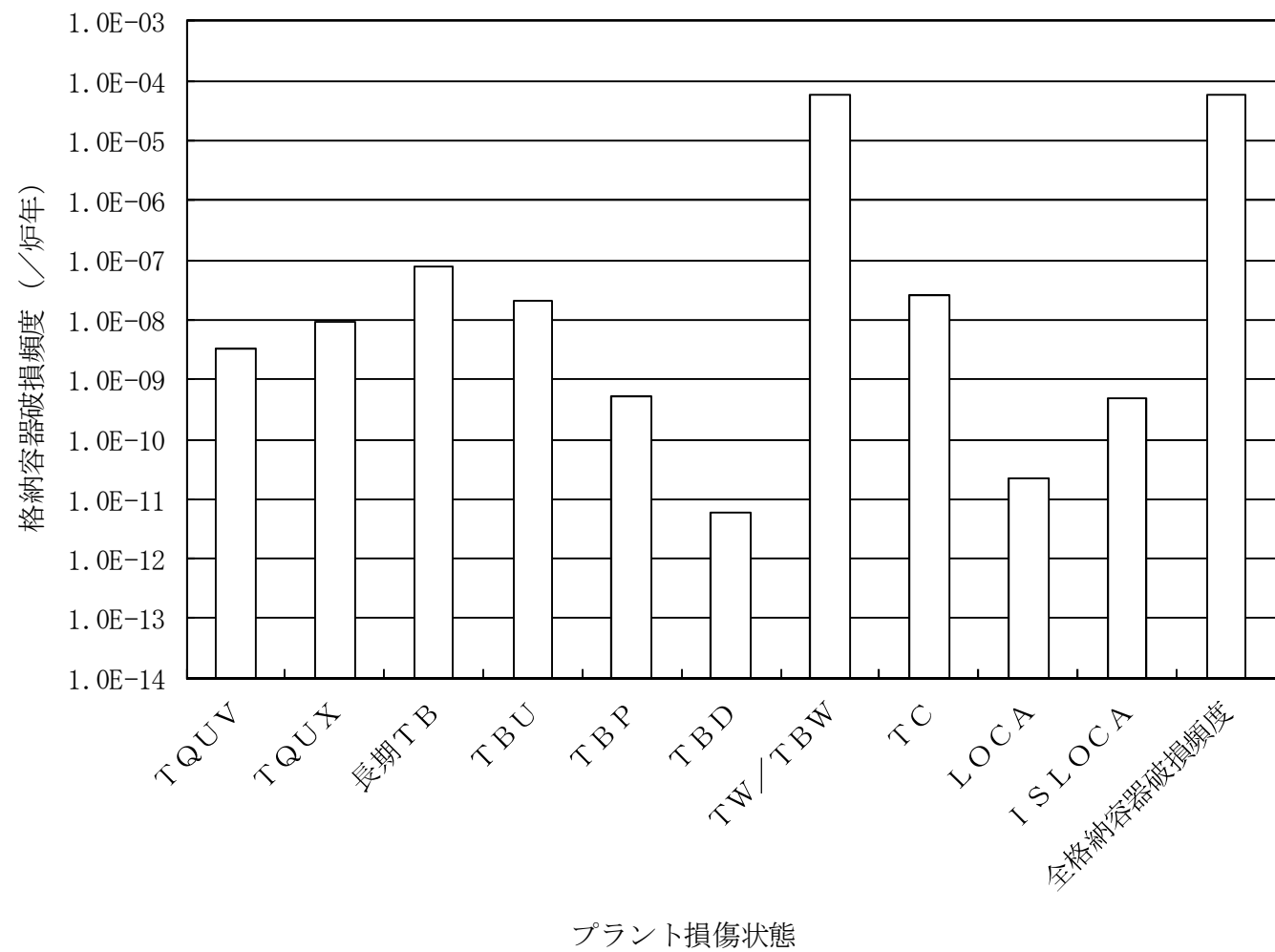


格納容器温度

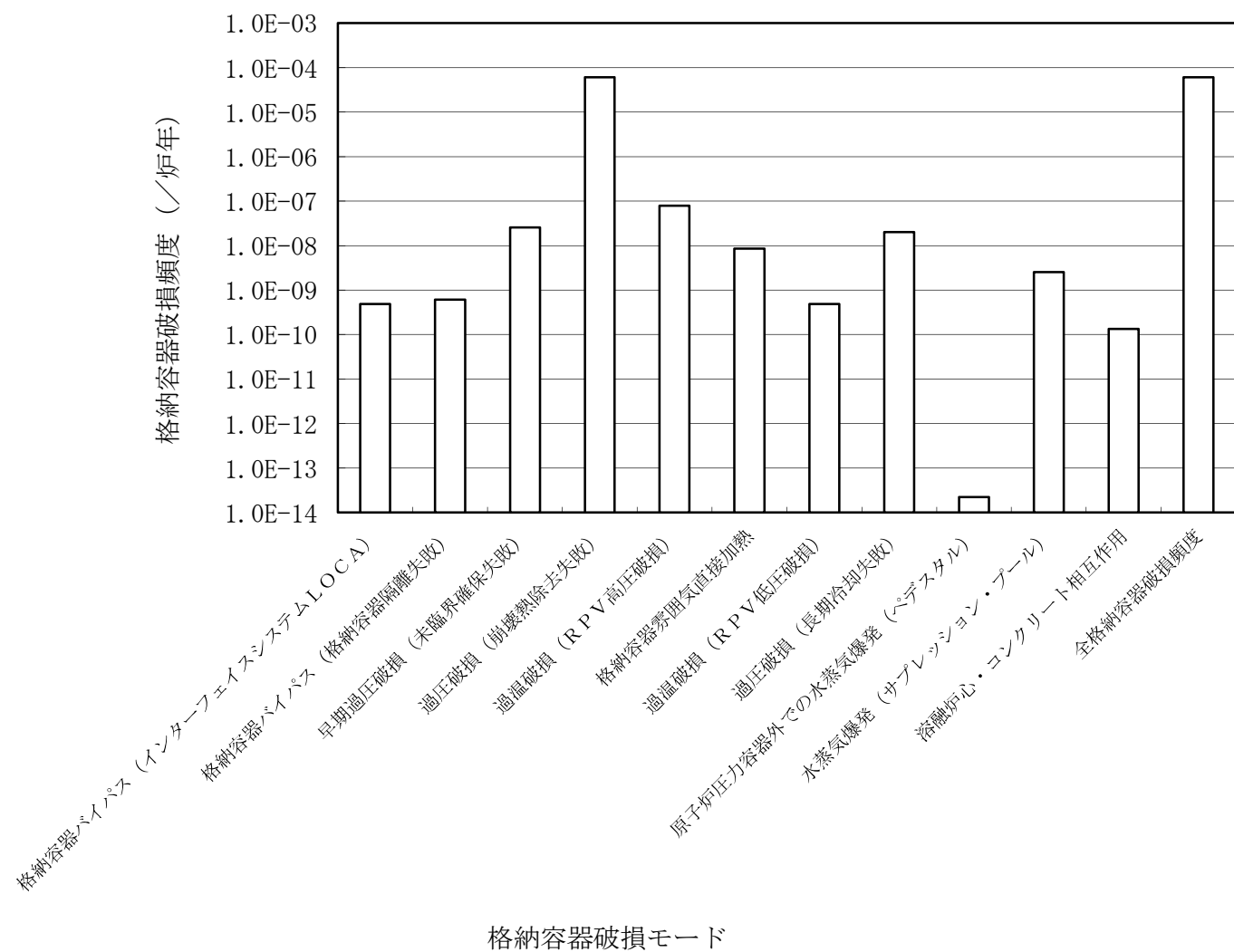
第 4.1.1.5-2(e) 図 代表事故シーケンスの事故進展 (A E)



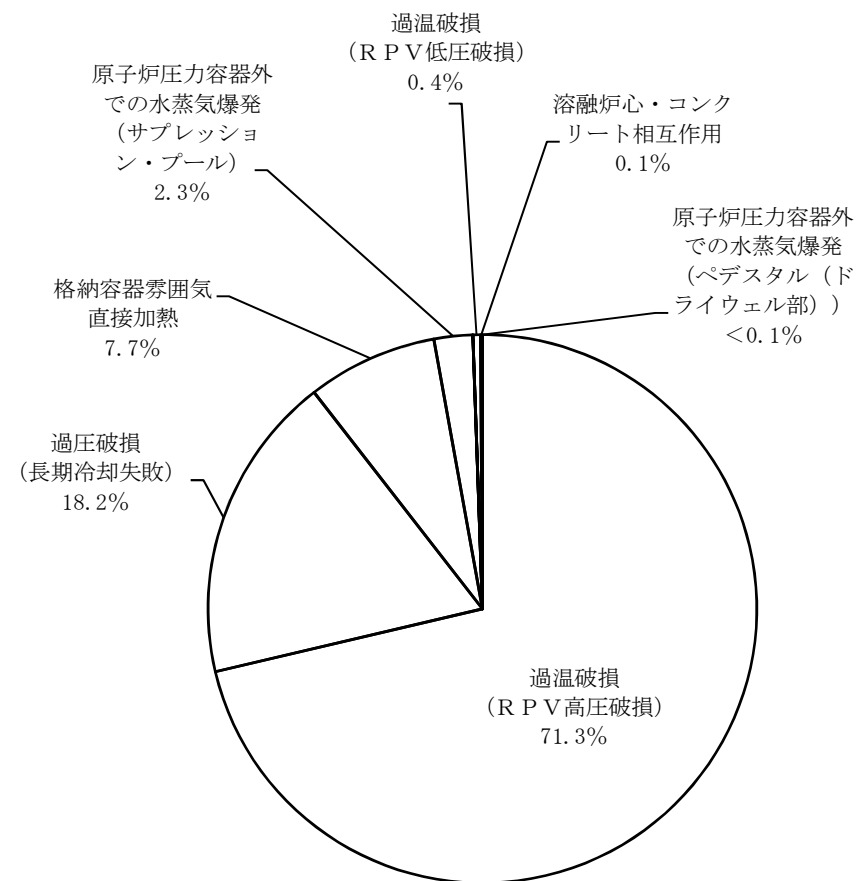
第 4.1.1.6-1 図 プラント損傷状態別及び格納容器破損モード別の格納容器破損頻度寄与割合



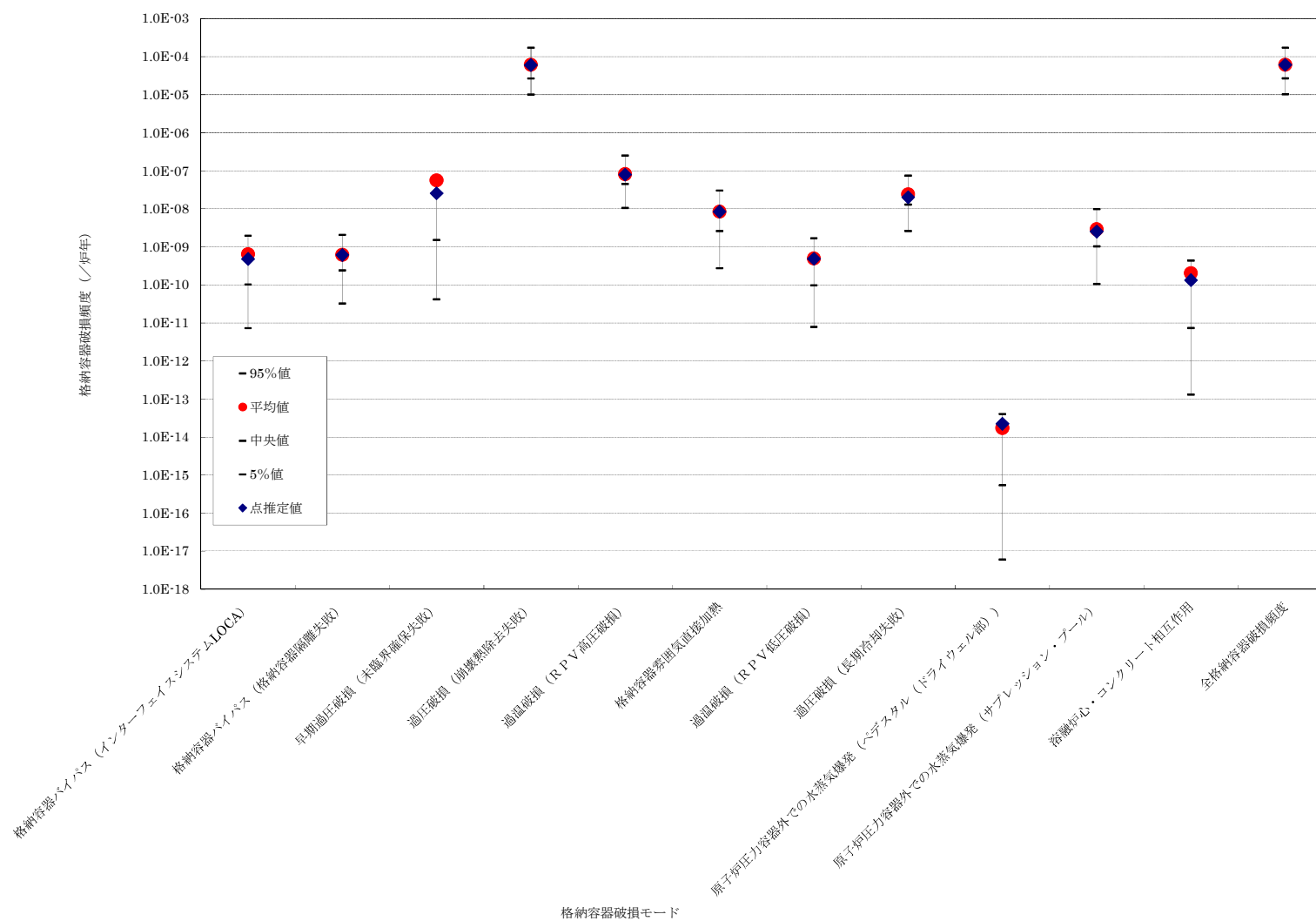
第 4.1.1.6-2 図 プラント損傷状態別の格納容器破損頻度



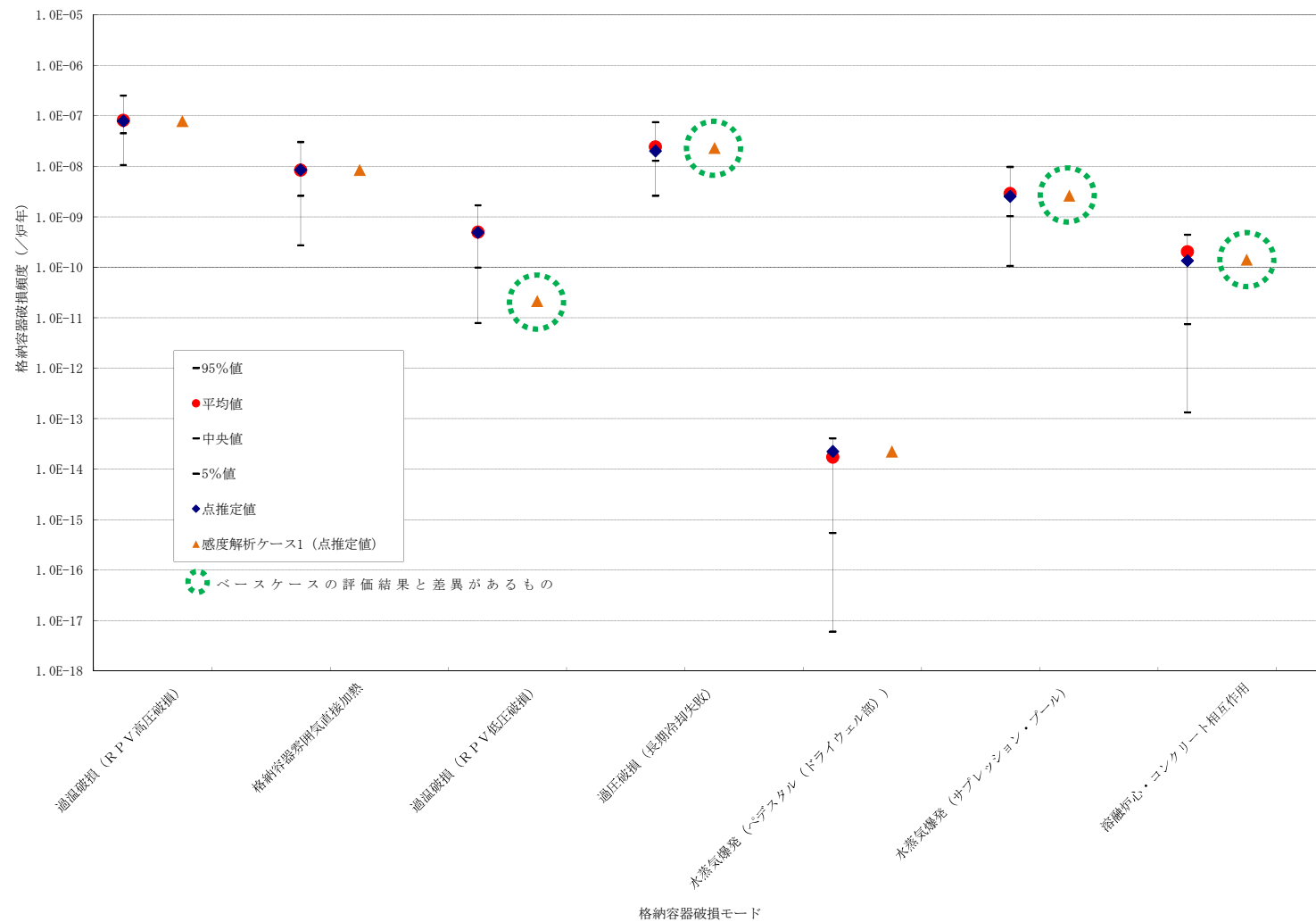
第 4.1.1.6-3 図 格納容器破損モード別の格納容器破損頻度



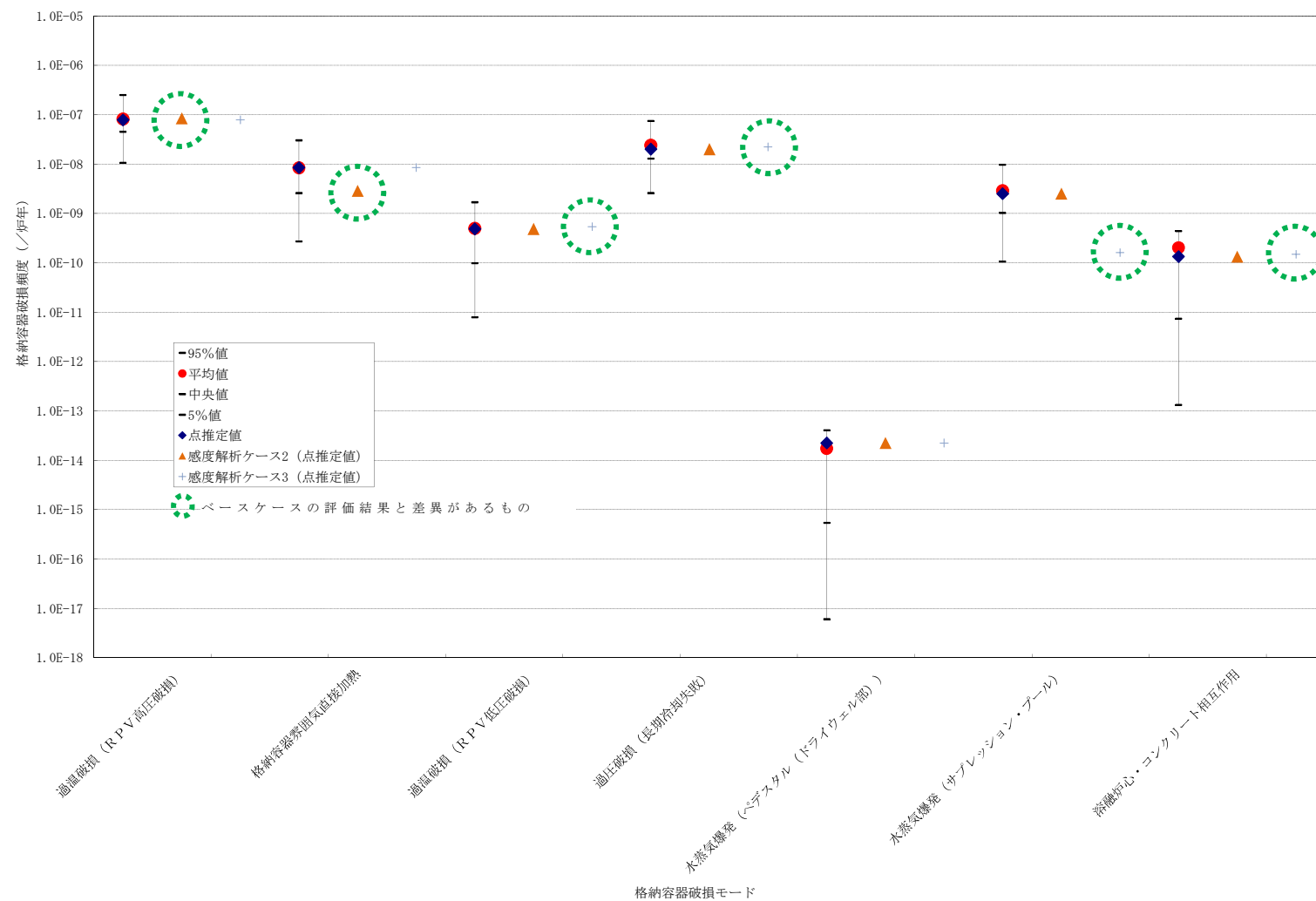
第 4.1.1.6-4 図 格納容器破損モード別の格納容器破損頻度寄与割合（格納容器先行破損及び格納容器バイパス除外）



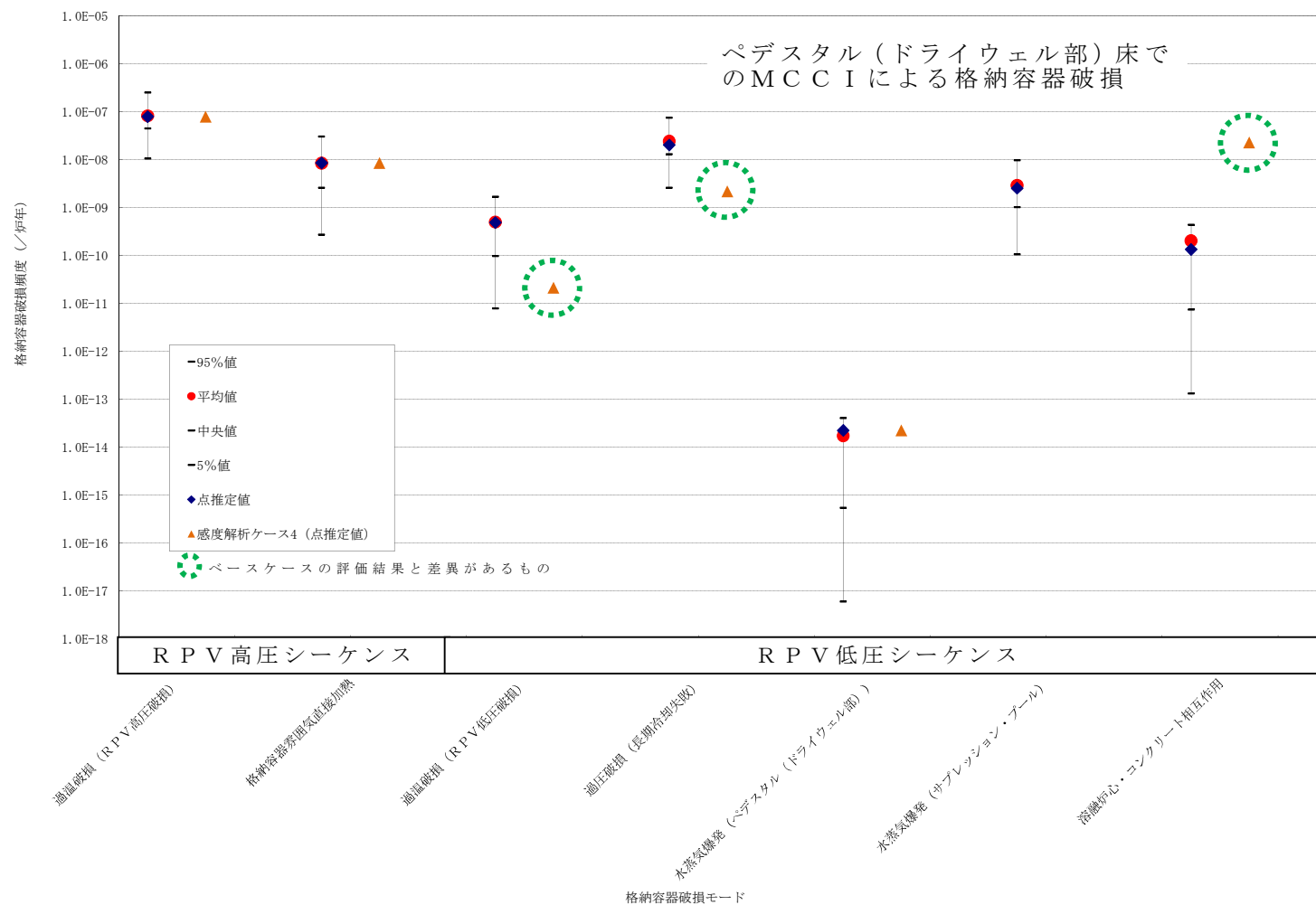
第 4.1.1.7-1 図 格納容器破損モード別の格納容器破損頻度（不確実さ解析）



第 4.1.1.7-2 図 モデル上の仮定に係る感度解析結果
 (格納容器先行破損, 格納容器バイパス及び格納容器隔離失敗を除く)



第 4.1.1.7-3 図 物理化学現象による C F P に係る感度解析結果
(格納容器先行破損, 格納容器バイパス及び格納容器隔離失敗を除く)



第 4.1.1.8-1 図 M a r k - II 型格納容器の構造上の特徴に係る感度解析結果
(格納容器先行破損, 格納容器バイパス及び格納容器隔離失敗を除く)

デブリの移動経路について

原子炉圧力容器破損後にペDESTAL（ドライウエル部）床面に堆積する溶融デブリ体積は100%炉心落下を想定しても約36m³であり、ペDESTAL（ドライウエル部）床面積は約□であるため、ペDESTAL（ドライウエル部）床のサンプを考慮しない場合のデブリ高さは約□となる。

ペDESTAL（ドライウエル部）床からペDESTAL（ドライウエル部）開口部までの高さは約□であるため、ドライウエル床に溶融デブリが広がることはない。また、ペDESTAL（ドライウエル部）床のサンプを考慮するとデブリ高さはさらに低くなる。

なお、ペDESTAL（ドライウエル部）注水配管はペDESTAL（ドライウエル部）床面から約□であるため、ペDESTAL（ドライウエル部）注水配管までデブリが到達することはない。

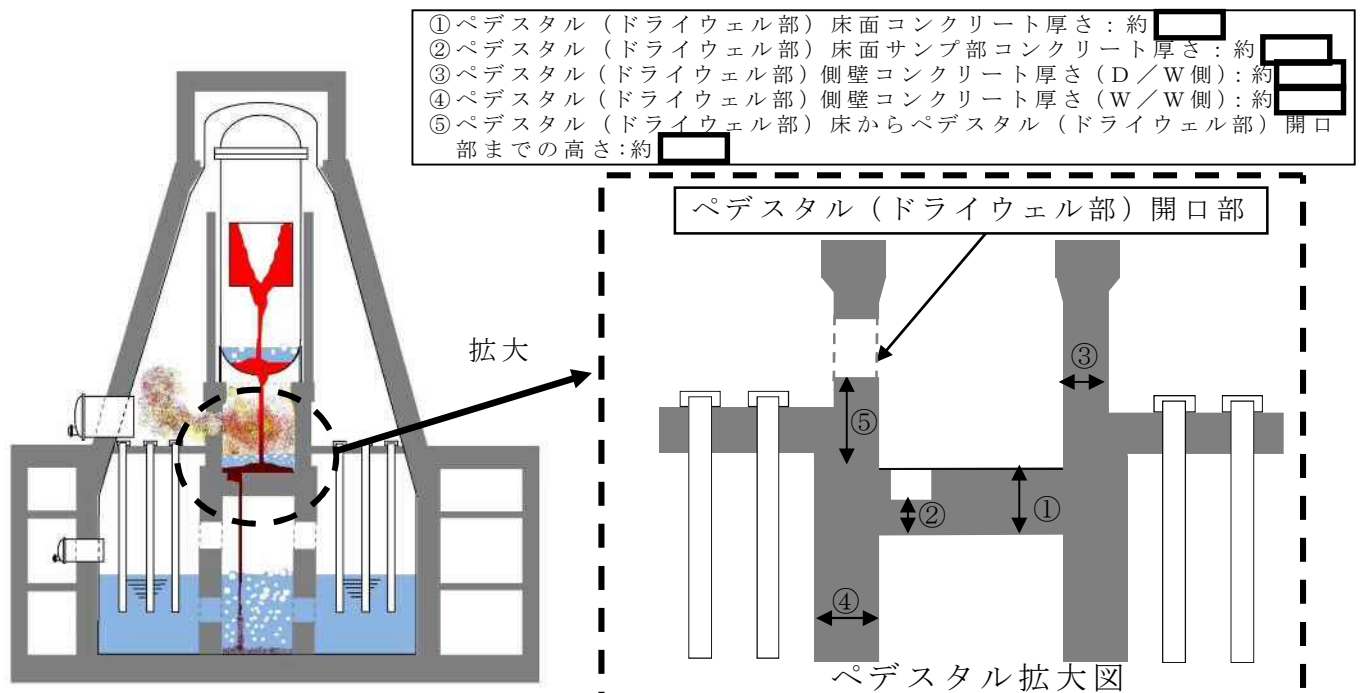


図1 デブリの移動経路

炉心損傷時期を分類する基準について

炉心損傷時期の早期／後期の分類は、事象発生後の原子炉への注水の成功／失敗を考慮したものであり、結果として長期 T B、T W 及び T B W が後期として分類される（図 1）。

事象発生後に注水に成功する長期 T B、T W 及び T B W、事象発生が即ち格納容器の機能喪失（破損）となる I S L O C A、事象発生後速やかに格納容器先行破損に至る T C を除き、他の事故シーケンスは全て注水に失敗するシーケンスであり、おおむね 1 時間前後で炉心損傷に至る。

長期 T B は、全交流動力電源喪失後、R C I C の運転に成功している事故シーケンスである。本 P R A では、蓄電池が 8 時間で枯渇することを想定しているため、その後 R C I C が機能喪失し、炉心損傷に至る。

T W 及び T B W は、電源の確保状態が異なるものの、いずれも原子炉への注水に成功後、格納容器からの除熱機能の喪失により格納容器が先行破損する事故シーケンスである。格納容器が過圧破損に至るのは事象発生後 20 時間以上経過後であり、その後炉心損傷に至る。

以上より、炉心損傷時期の分類に当たっては、事象発生後の原子炉注水に成功している事故シーケンスのうち、全交流動力電源喪失時の R C I C 運転継続に期待できる蓄電池枯渇までの時間を参考に、事象発生後 8 時間以降に炉心損傷に至る事故シーケンスを後期とした。

| 事故シーケンス | 格納容器 破損時期 | 原子炉圧力 | 炉心損傷時期 | 電源の状態 | プラント損傷状態 | |
|---------|--|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------|
| | 炉心損傷後 TQUV TQUX TBU TBP TBD 長期TB AE S1E S2E | 高圧 TQUX TBU TBD 長期TB | 後期 長期TB | | 長期TB | |
| | | | 早期 TQUX TBU TBD | 電源あり TQUX | TQUX | |
| | | | | 交流電源なし，直流電源あり | TBU | |
| | | | | 交流電源なし，直流電源なし TBD | TBD | |
| | | | | 電源あり TQUV AE S1E S2E | TQUV LOCA (AE, S1E, S2E) | |
| | | 低圧 TQUV TBP AE S1E S2E | 交流電源なし，直流電源あり TBP | TBP | | |
| | | | 電源あり TW | TW | | |
| | | | | 電源なし TBW | TBW | |
| | | | 炉心損傷前 TC TW TBW ISLOCA | 後期 TW TBW | | TC ISLOCA |
| | | | | 早期 TC ISLOCA | | TC ISLOCA |

図 1 プラント損傷状態の分類

T B P 及び S 2 E シーケンスのプラント損傷状態について

本 P R A では、炉心損傷に至る事故シーケンスのうち、T B P（全交流動力電源喪失後の逃がし安全弁再閉鎖失敗及び高圧炉心スプレイ系失敗）及び S 2 E（小破断 L O C A 後の注水失敗）について、いずれも低圧の炉心損傷シーケンスとしている。その考え方を以下に示す。

1. 高圧／低圧シーケンスの分類の考え方

格納容器イベントツリーを展開するためのプラント損傷状態の分類に当たっては、格納容器雰囲気直接加熱の発生の有無の観点から、原子炉圧力容器破損時の原子炉圧力（2MPa[gage]）を判断基準として、高圧／低圧シーケンスを分類した。

2. T B P シーケンス

緩和設備に期待できない場合の T B P シーケンスについて、M A A P による事故進展解析結果を図 1 に示す。

図 1 より、原子炉圧力容器破損時（事故後約 10.7 時間後）の原子炉圧力は 2MPa[gage] 以下であるため、低圧シーケンスとして分類した。

なお、レベル 1 P R A のイベントツリーの展開に当たっては、高圧／低圧の分類により期待する緩和操作が異なる（原子炉圧力が約 2MPa[gage] 以下で、低圧の注水系により注水可能）ことから、炉心損傷開始時の原子炉圧力により高圧／低圧を分類し、それぞれツリーを展開している。T B P シーケンスでは、炉心損傷開始時（事故後約 2.5 時間後）の原子炉圧力は 2MPa[gage] 以下であることから、

低圧状態としてイベントツリーを展開している。

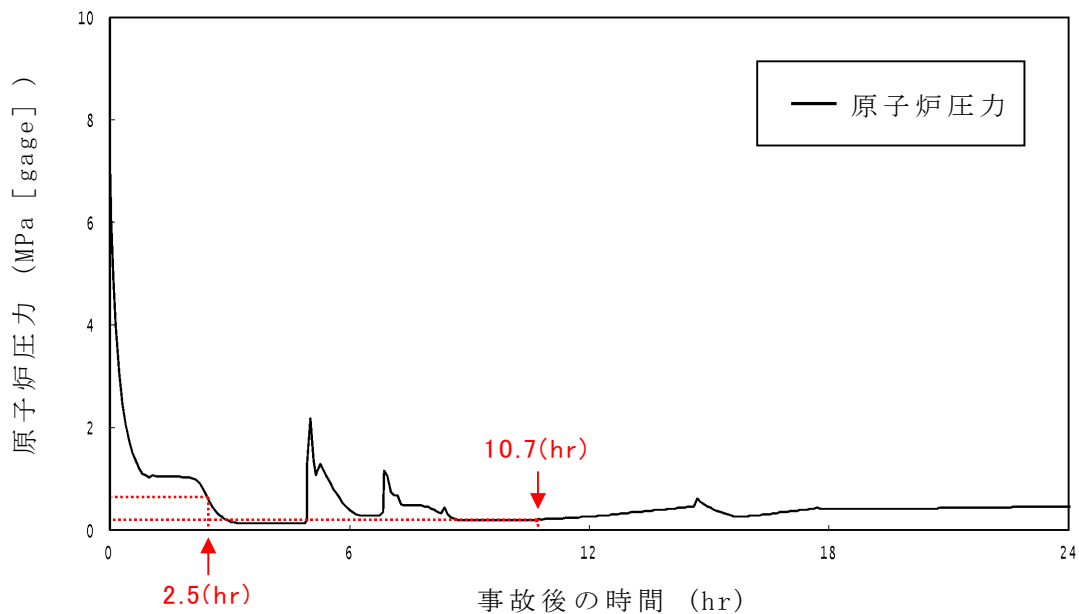


図 1 T B P シーケンスの事故進展解析結果（原子炉圧力）

3. S 2 E シーケンス

緩和設備に期待できない（減圧に失敗する）場合の S 2 E シーケンスについて，M A A P による事故進展解析結果を図 2 に示す。

図 2 より，原子炉圧力容器破損時（事故後約 3.3 時間後）の原子炉圧力は 2MPa[gage]以上であり，高圧状態となっている。しかしながら，図 3（「添付資料 3.1.1.4-1 内部事象出力運転時レベル 1 P R A イベントツリー集」の図 10-1）のとおり，小破断 L O C A に対するイベントツリーにおいて，最終状態が S 2 E となる No.19 及び 20 のシーケンスの炉心損傷頻度は以下のとおりであり，低圧シーケンスの炉心損傷頻度が高圧シーケンスに対して 1 桁程度高くなっている。

- ・原子炉減圧に成功して低圧シーケンスとなる No.19 シーケンス：
炉心損傷頻度は 1.4×10^{-13} （／炉年）

- ・原子炉減圧に失敗して高圧シーケンスとなる No.20 シーケンス：
炉心損傷頻度は 2.2×10^{-14} （／炉年）

このように，S 2 E シーケンスは，炉心損傷頻度に対して低圧シーケンスが支配的であるため，低圧シーケンスとして分類した。

なお，S 2 E シーケンスでは，炉心損傷開始時（事故後約 0.7 時間後）の原子炉圧力は 2MPa[gage]以上であり，高圧状態となっていることから，レベル 1 P R A のイベントツリーの展開に当たっては，原子炉減圧系に期待し，高圧／低圧を分類している。

S 2 E シーケンスと同様に，S 1 E シーケンスについても，中破断 L O C A に対するイベントツリーにおいて低圧シーケンスの炉心損傷頻度が高圧シーケンスに対して数倍程度高く支配的であるため，低圧シーケンスとして分類した。

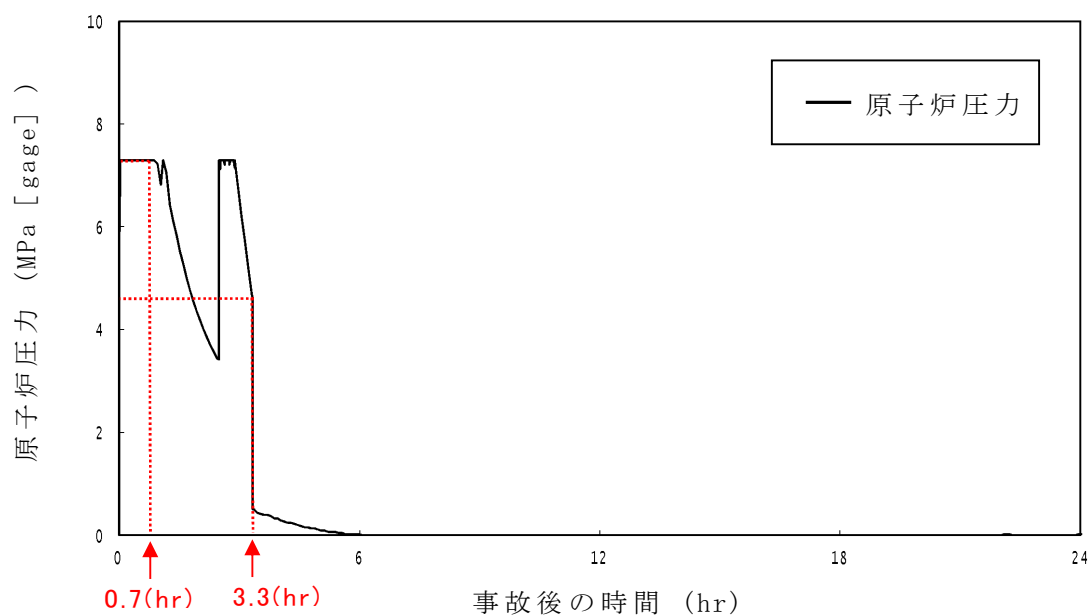


図 2 S 2 E シーケンスの事故進展解析結果（原子炉圧力）

| 小破断 LOCA | メンテナンス | スクラム系 | HPCS | RCIC | 原子炉減 圧系 | LPCI-A | LPCS | LPCI-B | LPCI-C | RHR-A | RHR-B | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|-------------|--------|-------|------|------|------------|--------|------|--------|--------|-------|-------|-----|------|---------------|
| S2 | MN | C | UH | UR | X | VA | VS | VB | VC | WA | WB | | | |
| | | | | | | | | | | | | 1 | - | 3.0E-04 |
| | | | | | | | | | | | | 2 | - | 6.8E-07 |
| | | | | | | | | | | | | 3 | TW | 4.5E-08 |
| | | | | | | | | | | | | 4 | - | 8.9E-07 |
| | | | | | | | | | | | | 5 | - | 2.0E-09 |
| | | | | | | | | | | | | 6 | TW | 1.3E-10 |
| | | | | | | | | | | | | 7 | - | 5.7E-09 |
| | | | | | | | | | | | | 8 | - | 1.3E-11 |
| | | | | | | | | | | | | 9 | TW | 6.3E-13 |
| | | | | | | | | | | | | 10 | - | 1.2E-11 |
| | | | | | | | | | | | | 11 | - | 2.8E-14 |
| | | | | | | | | | | | | 12 | TW | 6.2E-14 |
| | | | | | | | | | | | | 13 | - | 2.4E-14 |
| | | | | | | | | | | | | 14 | - | 5.4E-17 |
| | | | | | | | | | | | | 15 | TW | 2.5E-15 |
| | | | | | | | | | | | | 16 | - | 5.1E-17 |
| | | | | | | | | | | | | 17 | - | 1.2E-19 |
| | | | | | | | | | | | | 18 | TW | 7.3E-15 |
| | | | | | | | | | | | | 19 | S2E | 1.4E-13 |
| | | | | | | | | | | | | 20 | S2E | 2.2E-14 |
| | | | | | | | | | | | | 21 | - | 3.0E-24 |
| | | | | | | | | | | | | 22 | - | 2.5E-09 |
| | | | | | | | | | | | | | 合計値 | 4.5E-08 |

図 3 小破断 L O C A に対するイベントツリー

炉内溶融燃料－冷却材相互作用（F C I）に関する知見の整理

溶融燃料－冷却材相互作用（以下「F C I」という。）は、高温のデブリと水が接触して生じる水蒸気爆発によって、格納容器健全性が脅かされる現象である。F C I は原子炉圧力容器内又は原子炉圧力容器外で発生する可能性があるが、原子炉圧力容器内における水蒸気爆発は、BWR 体系では、下部プレナム内の冷却水は飽和状態であるとともに多数の制御棒駆動機構の構造物が存在するため、トリガリング（粗混合状態から発生した膜沸騰が破壊され微粒子化、衝撃波が伝播）が制約されることで、水蒸気爆発は発生しないと考えられる。

ここでは、これまでに国内外で実施された F C I に関する試験の結果等を整理した。

1. 炉内 F C I において想定される現象の概要

炉内 F C I による格納容器破損は α モード破損と呼ばれ、これまでに多くの現象論の研究、試験が行われてきた。この現象は、溶融炉心が下部プレナム内の残存水中に落下し、高温の溶融炉心と冷却材が接触することで水蒸気爆発が発生する。このときの発生したエネルギーにより、水塊が原子炉圧力容器上部に衝突し、さらに原子炉圧力容器ヘッド部が破損し格納容器に衝突して破損に至るモードである。炉内 F C I は、以下のようなメカニズムであると考えられている。

- a. 炉内の冷却材が喪失し、炉心が溶融してその溶融炉心が下部プレナム残存水に落下する。水と接触した溶融炉心は、その界面の不安定性により、溶融炉心の一部若しくは大部分が分裂し、

膜沸騰を伴う水との混合状態となる（粗混合）。さらに、自発的若しくは外部からの圧力パルスにより、膜沸騰が不安定化し（トリガリング）、二液が直接接触する。

b. 下部プレナムにおける二液の直接接触により、急速な熱の移動が発生し、急速な蒸気発生・熔融炉心の微細化により、さらに液体同士の接触を促進し（伝播）、蒸気発生を促進する。この蒸気発生により圧力波が発生する。

c. 発生した圧力波が通過した後の高温高圧領域（元々は粗混合領域）の膨張により運動エネルギーが発生し、上部ヘッドを破壊する。この結果、上部ヘッドはミサイルとなって格納容器に衝突する。

2. 過去の知見の整理

a. F A R O 試験^[1]

F A R O 試験は、イタリアの J R C（Joint Research Centre）のイスプラ研究所で実施された、原子炉圧力容器内での F C I を調べることを主な目的として実施された試験である。多くの試験は高圧・飽和水条件で実施されているが、原子炉圧力容器外を対象とした低圧・サブクール水条件の実験も実施されている。

試験装置の概要図を図 2-1 に示す。また、試験条件及び結果の一覧を表 2-1 に示す。

試験は、酸化物コリウム（80wt% UO_2 + 20wt% ZrO_2 ）及び金属コリウム（77wt% UO_2 + 19wt% ZrO_2 + 4wt% Zr ）を用いて実施された。F A R O 試験で得られた主な知見は以下のとおりである。

- ・ 高圧・飽和水試験，低圧・サブクール試験のいずれにおいても水蒸気爆発は発生していない。
- ・ 高圧・飽和水の酸化物コリウム試験の場合は一部が粒子化し，一部はパンケーキ状でプール底部に堆積した。高圧・飽和水コリウムに金属 Z r 成分を含んだ試験及び低圧・サブクール試験では全てのコリウムは粒子化した。
- ・ 粒子の質量中央径は比較的大きかったが，試験条件（初期圧力，水深，コリウム落下速度，サブクール度）に依存していない。

b. K R O T O S 試験^[1]

K R O T O S 試験は，F A R O プログラムの一部としてイスプラ研究所で実施された試験である。F A R O 試験に比べて小規模ではあるが，低圧・サブクール水を主として試験を実施していることに特徴がある。

実験装置の概要図を図 2-2 に示す。また，試験条件及び結果の一覧を表 2-2 に示す。

試験では，模擬コリウムとしてアルミナ又は UO_2 混合物（80wt% UO_2 + 20wt% ZrO_2 ）を用いた試験を実施している。また，外部トリガリング装置によりトリガリングを与えることで，水蒸気爆発を誘発させる実験も実施されている。K R O T O S 試験により得られた主な知見は以下のとおりである。

- ・ アルミナを用いた試験では，圧力が 0.1～0.37MPa の範囲でサブクール水の場合は，外部トリガリング無しで水蒸気爆発が発生した。また，飽和水の場合には外部トリガリング無しでは水蒸気爆発は発生しなかったが，外部トリガリングを与えた場合には水蒸気爆発が発生した。

- ・ UO_2 混合物を用いた試験では、圧力 0.1～0.2MPa、サブクール度 4～102K の範囲で、外部トリガリング無しでは水蒸気爆発は発生せず、外部トリガリングを与えた場合でも大規模な水蒸気爆発は発生しなかった。
- ・ 粗混合時において、 UO_2 混合物はアルミナに比べて粒子径が小さいため、粒子化後の表面積が大きくなることでプールが高ボイドとなり、トリガリングの伝播を阻害した可能性がある。
- ・ UO_2 混合物試験の方が一般的に熔融物の過熱度が小さく、また、ブレイクアップ後の粒径も小さい。 UO_2 混合物粒子表面が水と接触した直後に表面が固化した可能性があり、これが水蒸気爆発の発生を抑制した可能性がある。
- ・ UO_2 混合物試験では、水素の発生により粗混合時の蒸気膜の崩壊による水蒸気爆発の発生を抑制した可能性がある。

c. COTEL S 計画^[1]

COTEL S 計画は、(財)原子力発電技術機構が実施した試験であり、原子炉圧力容器外のデブリ冷却特性を調べることを目的として実施された試験である。

試験装置の概要図を図 2-3 に示す。また、試験条件及び結果の一覧を表 2-3 に示す。

試験では、シビアアクシデント時の熔融コリウム成分を模擬するため、原子炉圧力容器下部ヘッド内の構造物の成分を考慮した模擬熔融物 (55wt% UO_2 + 25wt% Zr + 5wt% ZrO_2 + 15wt% SUS) を用いている。COTEL S 計画で得られた主な知見は以下のとおりである。

- ・ サブクール度が大きいケースも含め、全ての試験で水蒸気爆発

は発生しなかった。

- ・落下直後の圧力上昇は，コリウム落下速度に最も大きな影響を受け，コリウム落下速度が大きいほど圧力上昇速度及び圧力上昇量が大きい。また，プール水深が深くなるほど，水蒸気爆発が生じていないため，プールのサブクール度が大きくなるほど初期圧力上昇量は小さくなる。
- ・プールに落下した熔融コリウムは，40cm の水深においても，約 90% 以上がプール水中で粒子化した。
- ・粒子径は，コリウム落下速度の大きいケースを除いて，質量中央径で 6mm 程度である。コリウム落下速度の大きいケースの粒子径は小さくなっている。

d. A L P H A 実験^[1]

A L P H A 実験は，旧日本原子力研究所で実施された実験であり，シビアアクシデント時の格納容器内の諸現象を明らかにし，格納容器の耐性やアクシデントマネジメント策の有効性を評価することを目的として実施された。

試験装置の概要図を図 2-4 に示す。また，試験条件及び結果の一覧を表 2-4 に示す。

テルミット反応により生成した酸化アルミニウムと鉄からなる高温熔融物，又は高周波誘導加熱により生成した熔融ステンレス鋼を，模擬格納容器内に設置した冷却水プールに落下させる実験を実施することにより，水蒸気爆発の発生及び規模に及ぼす種々のパラメータの影響を明らかにするとともに，発生圧力，微細化粒子径，衝撃波伝播速度，エネルギー変換効率等，水蒸気爆発に関連する特性を把握することを目的としている。A L P H A 実験

で得られた主な知見は以下のとおりである。

- ・高雰囲気圧力又は高冷却水温度の場合に、水蒸気爆発の発生が抑制される。
- ・熔融ステンレス鋼を用いた実験では、冷却水のサブクール度が大きい条件においても水蒸気爆発は発生しなかった。
- ・熔融物分散板を用いた実験では、水蒸気爆発の発生及び規模が抑制される場合と水蒸気爆発の規模が増大する場合の両方が観測された。この結果は、熔融物と冷却水との粗混合状態が、その後の熔融炉心と冷却水の相互作用の進展に大きな影響を及ぼすことを示唆するものである。

e. T R O I 試験^[2]

T R O I 試験は、韓国原子力研究所（K A E R I）で 2001 年から実施された試験であり、2007 年から 2012 年までは、K R O T O S 試験とともに、O E C D / N E A の S E R E N A プロジェクトとして実施された試験である。

試験装置の概要図を図 2-5 に示す。また、試験条件及び結果の一覧を表 2-5 に示す。

Z r O₂を用いた試験では外部トリガリングを与えていないが、圧力スパイクや水蒸気爆発が発生した試験がある。一方、U O₂ - Z r O₂の混合物を用いた試験では、異なった条件による内部トリガリングを発生させるため又は外部トリガリングによる水蒸気爆発時の発生エネルギーを変えるため、混合物の割合、水深及び混合物量等の様々な条件により試験を実施し、数ケースでは水蒸気爆発が発生している。T R O I 試験で得られた主な知見は以下のとおりである。

- ・自発的な水蒸気爆発が生じた試験は、融点を大きく上回る過熱度を溶融物に対して与えるなどの実機と異なる条件であり、その他の試験では自発的な水蒸気爆発は生じていない。なお、水深が深い場合（130cm）には、内部トリガリングによる水蒸気爆発は発生していない。

f. 知見のまとめ

上記で示した実験等の結果から得られた主な知見を以下にまとめる。

- ・実機条件における UO_2 混合物を用いた代表的なFCI実験（外部トリガリング無し）では、水蒸気爆発は確認されていない（FARO試験，KROTOS試験，COTELS計画，TROI実験）。
- ・高圧力条件，または低サブクール水条件は，水蒸気爆発を抑制する傾向がある（KROTOS試験，ALPHA実験）。
- ・粒子化割合は，サブクール度に依存し，サブクール度が大きいと粒子化割合は高くなる。金属成分が含まれていると粒子化が促進される（FARO試験）。
- ・粒子化割合は，デブリ落下速度に依存し，落下速度が大きいと粒子化が促進される（COTELS計画）。
- ・ UO_2 混合物は（融点が高いため）過熱度が小さく，水プール落下直後に粒子化した粒子表面が固化すると考えられることが示唆される（KROTOS試験）。
- ・デブリ落下後の水プールが高ボイド率状態になると，トリガリングの伝播を阻害する可能性がある（KROTOS試験）。
- ・水深が深い場合には，内部トリガリングによる水蒸気爆発が発

生していない（TRO I 試験）。

- ・ジルコニウム－水反応により発生した水素が蒸気膜に混入し、蒸気膜の安定化に寄与すると考えられることが示唆される（KROTOS 試験）。

3. 専門家会議等の知見^[3]

α モード破損の発生確率については、これまで専門家会議（SERG）等で議論がなされてきており、BWR についての議論の結果を表 3 に示す。BWR 体系では下部プレナムに制御棒案内管等が密に存在しており、これらは大規模な水蒸気爆発の発生を制限すると考えられるため、 α モード破損の発生確率は、プラント全体でみた際に他の要因による格納容器破損頻度に比べて十分小さく無視できると結論付けられている。

4. まとめ

これまでに実施された各種試験結果及び専門家による工学的議論から、BWR 体系における炉内 FCI の発生の可能性は十分低いと考えられる（表 4）。

したがって、BWR における格納容器破損モードとして、炉内 FCI の考慮は不要である。

5. 参考文献

[1] 「シビアアクシデント熱流動現象評価」（社団法人 日本原子力学会，平成 12 年 3 月）

[2] Institute de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg

Laboratoire d'Essais pour la Maîtrise des Accidents Graves,
CEA Cadarache

- [3]「シビアアクシデント対策評価のための格納容器イベントツリーに関する検討」（財団法人原子力安全研究協会，平成 13 年 7 月）

表 2-1 F A R O 試験条件及び試験結果

| No. | 溶融コリウム の組成* | 溶融物質質量 (kg) | 溶融物温度 (K) | 溶融物粒径 (mm) | 圧力 (MPa) | 水深 (m) | サブクール度 (K) | 水蒸気爆発の 発生の有無 |
|------|----------------|----------------|--------------|---------------|-------------|-----------|---------------|-----------------|
| L-06 | A | 18 | 2,923 | 100 | 5 | 0.87 | 0 | 無 |
| L-08 | A | 44 | 3,023 | 100 | 5.8 | 1.00 | 12 | 無 |
| L-11 | B | 151 | 2,823 | 100 | 5 | 2.00 | 2 | 無 |
| L-14 | A | 125 | 3,123 | 100 | 5 | 2.05 | 0 | 無 |
| L-19 | A | 157 | 3,073 | 100 | 5 | 1.10 | 1 | 無 |
| L-20 | A | 96 | 3,173 | 100 | 2 | 1.97 | 0 | 無 |
| L-24 | A | 177 | 3,023 | 100 | 0.5 | 2.02 | 0 | 無 |
| L-27 | A | 129 | 3,023 | 100 | 0.5 | 1.47 | 1 | 無 |
| L-28 | A | 175 | 3,052 | 50 | 0.5 | 1.44 | 1 | 無 |
| L-29 | A | 39 | 3,070 | 50 | 0.2 | 1.48 | 97 | 無 |
| L-31 | A | 92 | 2,990 | 50 | 0.2 | 1.45 | 104 | 無 |
| L-33 | A | 100 | 3,070 | 50 | 0.4 | 1.60 | 124 | 無 |

*A : 80wt% U O₂ + 20wt% Z r O₂B : 77wt% U O₂ + 19wt% Z r O₂ + 4wt% Z r

表 2-2 K R O T O S 試験条件及び試験結果

| No. | 熔融物組成 | 熔融物質量 (kg) | 熔融物温度 (K) | 圧力 (MPa) | 水深 (m) | サブクール度 (K) | 外部トリガの有無 | 水蒸気爆発の発生の有無 |
|-----|-------|---------------|--------------|-------------|-----------|---------------|----------|-------------|
| 38 | アルミナ | 1.533 | 2,665 | 0.10 | 1.11 | 79 | 無 | 有 |
| 40 | アルミナ | 1.470 | 3,073 | 0.10 | 1.11 | 83 | 無 | 有 |
| 41 | アルミナ | 1.430 | 3,073 | 0.10 | 1.11 | 5 | 無 | 無 |
| 42 | アルミナ | 1.539 | 2,465 | 0.10 | 1.11 | 80 | 無 | 有 |
| 43 | アルミナ | 1.500 | 2,625 | 0.21 | 1.11 | 100 | 無 | 有 |
| 44 | アルミナ | 1.500 | 2,673 | 0.10 | 1.11 | 10 | 有 | 有 |
| 49 | アルミナ | 1.470 | 2,688 | 0.37 | 1.11 | 120 | 無 | 有 |
| 50 | アルミナ | 1.700 | 2,473 | 0.10 | 1.11 | 13 | 無 | 無 |
| 51 | アルミナ | 1.794 | 2,748 | 0.10 | 1.11 | 5 | 無 | 無 |
| 37 | コリウム* | 3.222 | 3,018 | 0.10 | 1.1 | 77 | 有 | 無 |
| 45 | コリウム* | 3.085 | 3,106 | 0.10 | 1.14 | 4 | 有 | 無 |
| 47 | コリウム* | 5.431 | 3,023 | 0.10 | 1.1 | 82 | 有 | 無 |
| 52 | コリウム* | 2.627 | 3,023 | 0.20 | 1.1 | 102 | 有 | 有 |

* : 80wt% UO_2 + 20wt% ZrO_2

表 2-3 C O T E L S 計画の試験条件及び試験結果

| No. | 溶融コリウム の組成* | 溶融物質 量 (kg) | 圧力 (MPa) | 水深 (m) | サブクール度 (K) | 水蒸気爆発の 発生の有無 |
|-----|----------------|----------------|-------------|-----------|---------------|-----------------|
| A1 | C | 56.3 | 0.20 | 0.4 | 0 | 無 |
| A4 | C | 27.0 | 0.30 | 0.4 | 8 | 無 |
| A5 | C | 55.4 | 0.25 | 0.4 | 12 | 無 |
| A6 | C | 53.1 | 0.21 | 0.4 | 21 | 無 |
| A8 | C | 47.7 | 0.45 | 0.4 | 24 | 無 |
| A9 | C | 57.1 | 0.21 | 0.9 | 0 | 無 |
| A10 | C | 55.0 | 0.47 | 0.4 | 21 | 無 |
| A11 | C | 53.0 | 0.27 | 0.8 | 86 | 無 |

*C : 55wt% U O₂ + 25wt% Z_r + 5wt% Z_r O₂ + 15wt% S U S

表 2-4 A L P H A 実験の試験条件及び試験結果

| No. | 溶融物組成 | 溶融物質量 (kg) | 雰囲気圧力 (MPa) | 水温 (K) | 水深 (m) | 水蒸気爆発の 発生の有無 |
|--------|------------|---------------|----------------|-----------|-----------|-----------------|
| STX002 | 酸化アルミニウム+鉄 | 20 | 0.1 | 289 | 1.0 | 有 |
| STX003 | | 20 | 0.1 | 292 | 1.0 | 有 |
| STX005 | | 20 | 0.1 | 300 | 1.0 | 有 |
| STX009 | | 20 | 0.1 | 289 | 1.0 | 有 |
| STX016 | | 20 | 0.1 | 295 | 0.9 | 有 |
| STX017 | | 20 | 0.1 | 286 | 0.9 | 有 |
| STX018 | | 20 | 0.1 | 283 | 0.9 | 有 |
| STX001 | | 10 | 0.1 | 293 | 1.0 | 無 |
| STX010 | | 10 | 0.1 | 297 | 1.0 | 有 |
| STX013 | | 10 | 0.1 | 284 | 1.0 | 無 |
| STX014 | | 20 | 0.1 | 372 | 1.0 | 無 |
| STX008 | | 20 | 1.6 | 288 | 1.0 | 無 |
| STX012 | | 20 | 1.6 | 290 | 1.0 | 無 |
| STX015 | | 20 | 1.0 | 282 | 1.0 | 無 |
| STX025 | | 20 | 0.5 | 280 | 0.9 | 有 |
| STX006 | | 20 | 0.1 | 298 | 1.0 | 無 |
| STX011 | | 20 | 0.1 | 290 | 1.0 | 有 |
| STX019 | | 20 | 0.1 | 281 | 0.9 | 有 |
| STX020 | | 20 | 0.1 | 281 | 1.0 | 無 |
| STX021 | | 20 | 0.1 | 281 | 0.9 | 有 |
| STX022 | | 20 | 0.1 | 286 | 0.8 | 無 |
| STX023 | | 20 | 0.1 | 285 | 0.3 | 有 |
| STX024 | | 20 | 0.1 | 280 | 0.8 | 有 |
| STX102 | ステンレス鋼 | 20 | 0.1 | 282 | 0.8 | 無 |
| STX103 | | 20 | 0.1 | 373 | 0.8 | 無 |
| STX104 | | 20 | 0.1 | 333 | 0.8 | 無 |

表 2-5 T R O I 試験条件及び試験結果 (1/3)

| | No | - | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------|------------------------|-----|---------|---------|---------|---------|------------------|----------|----------|----------|----------|
| INPUT | Material | - | ZrO2/Zr | ZrO2/Zr | ZrO2/Zr | ZrO2/Zr | ZrO2/Zr | UO2/ZrO2 | UO2/ZrO2 | UO2/ZrO2 | UO2/ZrO2 |
| | | % | 99/1 | 99/1 | 99/1 | 99/1 | 98.5/1.5 | 70/30 | 70/30 | 70/30 | 70/30 |
| | Melt Temp | K | >3373 | >3373 | >3373 | >3373 | 3373 | 3200 | 3800 | >3800 | 3800 |
| | Melt amount in FCI | kg | 5 | 5.5 | 4.88 | 4.2 | 2.9 | 4.3 | 8.7 | 9.2 | 8.4 |
| | Initial Jet diameter | cm | | | | | | | | | |
| | Water Temp | K | 365 | 365 | 323 | 292 | 337 | 296 | 298 | 296 | 293 |
| | Water mass | kg | 283 | 283 | 283 | 283 | 283 | - | - | - | - |
| | Water height (initial) | cm | 67 | 67 | 67 | 67 | 67 | 90 | 67 | 67 | 67 |
| | initial pressure | MPa | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.117 | 0.111 | 0.11 |
| | Vessel Free Volume | m3 | | | | | | | | | |
| | Trigger | - | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | | sec | | | | | | | | | |
| OUTPUT | Steam Explosion | - | Spike | x | x | ○ | Double Explosion | x | ○ | x | ○ |
| | Max PV Press | MPa | | | | | | | | | |
| | Dyn Press | MPa | | | | | | - | - | - | |
| | Water height (final) | cm | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

表 2-5 T R O I 試験条件及び試験結果 (2/3)

| | No | - | 13 | 14 | 17 | 18 | 23 | 29 | 32 | 34 | 35 |
|--------|------------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| INPUT | Material | - | UO ₂ /ZrO ₂ | UO ₂ /ZrO ₂ | UO ₂ /ZrO ₂ | UO ₂ /ZrO ₂ | UO ₂ /ZrO ₂ | UO ₂ /ZrO ₂ | UO ₂ /ZrO ₂ | UO ₂ /ZrO ₂ | UO ₂ /ZrO ₂ |
| | | % | 70/30 | 70/30 | 70/30 | 78/22 | 78/22 | 50/50 | 87/13 | 70/30 | 70/30 |
| | Melt Temp | K | 2600 | 3000 | | | | | | ~3000 | ~3000 |
| | Melt amount in FCI | kg | 7.7 | 6.5 | | 9.1 | | 11.5 | | 10.5 | 8 |
| | Initial Jet diameter | cm | | | | | | | | | |
| | Water Temp | K | 292 | 285 | | | | | | 341 | 334 |
| | Water mass | kg | - | - | | | | | | 189 | 367 |
| | Water height (initial) | cm | 67 | 67 | | | | | | 67 | 130 |
| | initial pressure | MPa | 0.108 | 0.105 | | | | | | | 0.11 |
| | Vessel Free Volume | m ³ | | | | | | | | | |
| | Trigger | - | x | x | x | x | x | x | x | ○ | ○ |
| | | sec | | | | | | | | | |
| OUTPUT | Steam Explosion | - | ○ | ○ | x | | x | x | x | ○ | ○ |
| | Max PV Press | MPa | | | | | | | | | |
| | Dyn Press | MPa | | | | | | | | | |
| | Water height (final) | cm | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

表 2-5 T R O I 試験条件及び試験結果 (3/3)

| | No | - | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 49 | 50 | 51 | 52 |
|--------|---------------------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------|
| INPUT | Material | - | UO2/ZrO2 | UO2/ZrO2 | UO2/ZrO2 | UO2/ZrO2 | UO2/ZrO2 | UO2/ZrO2 /Zr/Fe | UO2/ZrO2 /Zr/Fe | UO2/ZrO2 /Zr/Fe | UO2/ZrO2 /Zr/Fe |
| | | % | 70/30 | 78/22 | 78/22 | 78/22 | 70/30 | 62.3/15 /11.7/11 | 59.5/18 /11.9/10.6 | 60.5/16.7 /12.1/10.7 | 61/16 /12/11 |
| | Melt Temp | K | ~3000 | ~3000 | ~3000 | ~3000 | ~3000 | 2730 (3360) | | 2695 (3420) | 2650 |
| | Melt amount in FCI | kg | 5.3 | 8.1 | 5.3 | 3.4 | 11.1 | 15.96 | 14.46 | 6.3 (14.2 load) | 8.6 (14.1 load) |
| | Initial Jet diameter | cm | | | | | | | | 10 | 5 |
| | Water Temp | K | 305 | 313 | 288 | 285 | 287 | | | 294 | 285 |
| | Water mass | kg | 269 | 269 | 92 | 92 | 92 | | | 367 | 367 |
| | Water height (initial) | cm | 95 | 95 | 130 | 130 | 130 | | | 130 | 130 |
| | initial pressure | MPa | | 0.104 | 0.105 | 0.106 | 0.312 | | | 0.115 | 0.116 |
| | Vessel Free Volume | m3 | | | | | | | | 8.023 | 8.023 |
| | Trigger | - | ○ | ○ | × | × | × | × | × | ○ | ○ |
| | | sec | | | | | | | | 1.35 | 1.67 |
| OUTPUT | Steam Explosion | - | ○ | ○ | × | × | × | - | - | ○ | × |
| | Max PV Press | MPa | | | | | | | | 0.053 | 0.07 |
| | Dyn Press | MPa | | | | | | | | 32 (SE) | 11 (ET) |
| | Water height (final) | cm | | | | | | | | 1.02 | 1.23 |
| | | | | | | | | | | | |

表 3 BWR 体系における炉内 FCI 現象の発生確率に関する

議論の整理

| 著者 | 会議及び文献 | 議論 |
|------------------------|--|---|
| Okkonen 等 (1993) | OECD/CSNI FCI 専門家会議 (1993) | BWR の原子炉圧力容器下部プレナムは、制御棒案内管で密に占められている。そして、炉心の広範囲でのコヒーレントなリロケーションは、炉心支持板の存在により起こりにくいと考えられる。これらの特徴は、燃料-冷却材の粗混合のポテンシャルを制限し、水蒸気爆発に起因する水-熔融物スラグの運動エネルギーを消失させる可能性がある。したがって、スラグにより破壊された原子炉圧力容器ヘッドのミサイルに伴う格納容器破損は、PWR よりも BWR の方が起こりにくいと評価される。 |
| Theofanous 等 (1994) | NUREG/CR-5960 (1994) | 下部プレナムには、密に詰められた制御棒案内管があるため、炉内水蒸気爆発問題の対象とならない。 |
| Corradini (1996) | SERG-2 ワークシ ョップ (1996) NUREG-1524 | 物理的なジオメトリは爆発的事象の発生に寄与しないため、BWR の α モード格納容器破損確率は、おそらく PWR より小さい。 |
| Zuchuat 等 (1997) | OECD/CSNI FCI 専門家会議 (1997) JAERI-Conf 97-011 | 下部プレナム構造物の存在により、水蒸気爆発の影響を緩和する。一般に、BWR の現在の知見は、炉内水蒸気爆発は格納容器への脅威とならない (NUREG/CR-5960 を参考文献としている。) |

表 4 BWR 実機体系を踏まえた炉内 F C I の分析結果

| 炉内 FCI に影響する因子 | BWR 実機体系の条件 | 実験・専門家会議等による知見 | 炉内 FCI への影響 |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 熔融物組成 | 熔融落下物は、金属成分を含む UO_2 混合物 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 実機条件において、模擬熔融物に UO_2 を用いた代表的な FCI 試験（FARO 試験，COTELS 試験，KROTOS 試験，TROI 試験）では、トリガリング無しで水蒸気爆発は確認されていない。 ・ 熔融物に金属成分を含む場合は、粒子化が促進される。（FARO 試験） ・ UO_2 混合物では（融点が高いため）過熱度が小さく、水プール落下直後に粒子化した粒子表面が固化することが考えられる。（KROTOS 試験の考察） ・ ジルコニウム－水反応により発生した水素が蒸気膜に混入し、蒸気膜の安定化に寄与すると考えられる。（KROTOS 試験の考察） | 金属成分により粒子化が促進される可能性があるが、粒子表面の固化、水蒸気爆発の発生は抑制される。 |
| 下部プレナム水温度 | 熔融物が下部プレナムに落下する状況では、下部プレナム残存水は飽和温度に近い | <ul style="list-style-type: none"> ・ 低サブクール水条件では、水蒸気爆発は抑制される可能性がある。（ALPHA 試験，KROTOS 試験） ・ 粒子化割合は、サブクール度に依存し、サブクール度が大きいと粒子化割合は高くなる。（FARO 試験） ・ 下部プレナム水が低サブクール条件の場合、デブリ落下維持のボイド発生が多くなり、トリガリングの伝播を阻害する可能性がある。（KROTOS 試験の考察） | 低サブクール条件では、粒子化を抑制し、ボイド発生が多くなるため、水蒸気爆発の発生を抑制する。 |
| 下部プレナム部構造材 | 下部プレナム部には多数の制御棒案内管等の構造物が存在 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 下部プレナム内の制御棒案内管等の多くの構造物が水蒸気爆発のエネルギーを吸収するため、格納容器破損に至るような大規模なエネルギーは発生しない。（専門家会議等の知見） | 水蒸気爆発が発生しても、構造物により水蒸気爆発のエネルギーが制限される。 |

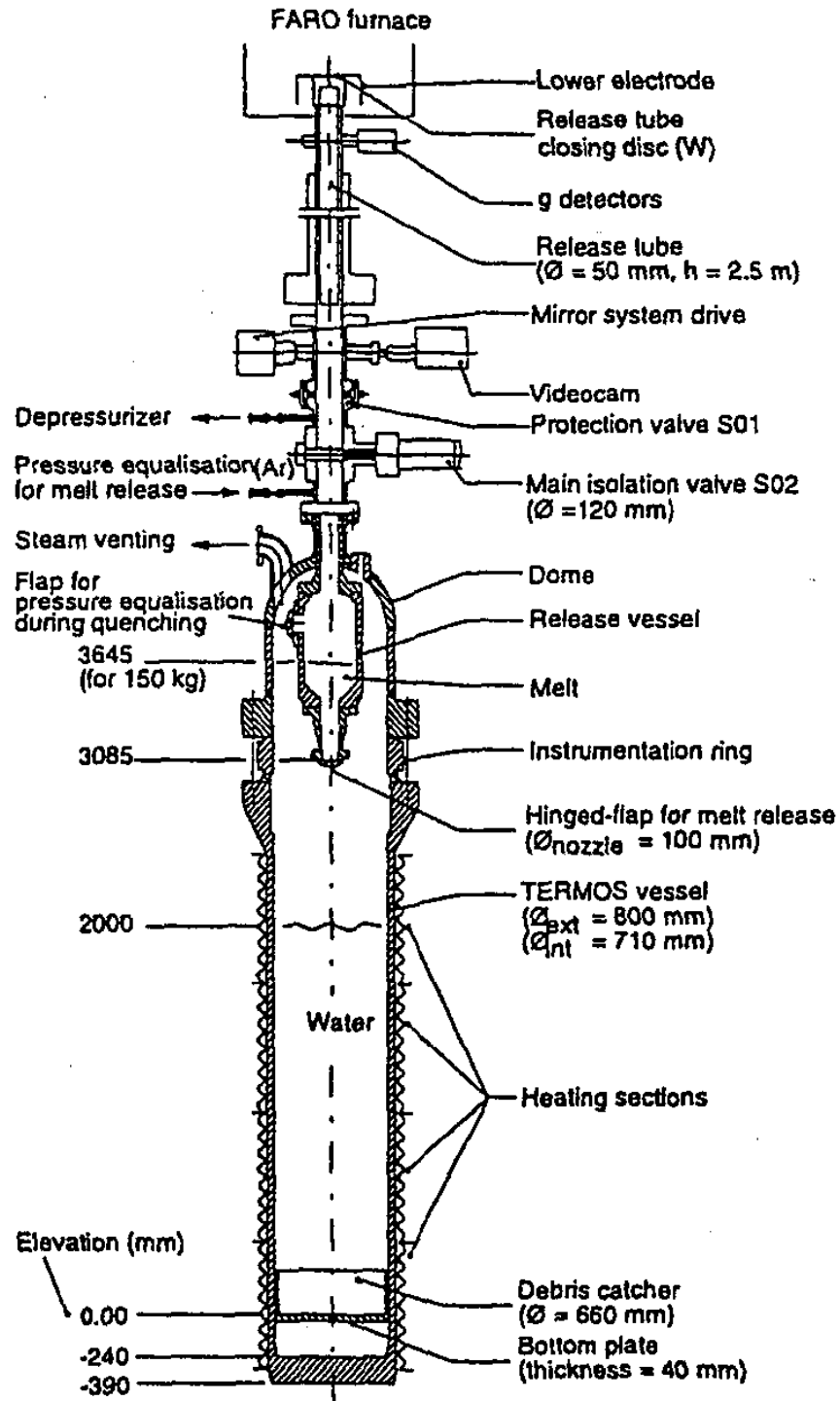


図 2-1 FARO 試験装置の概要

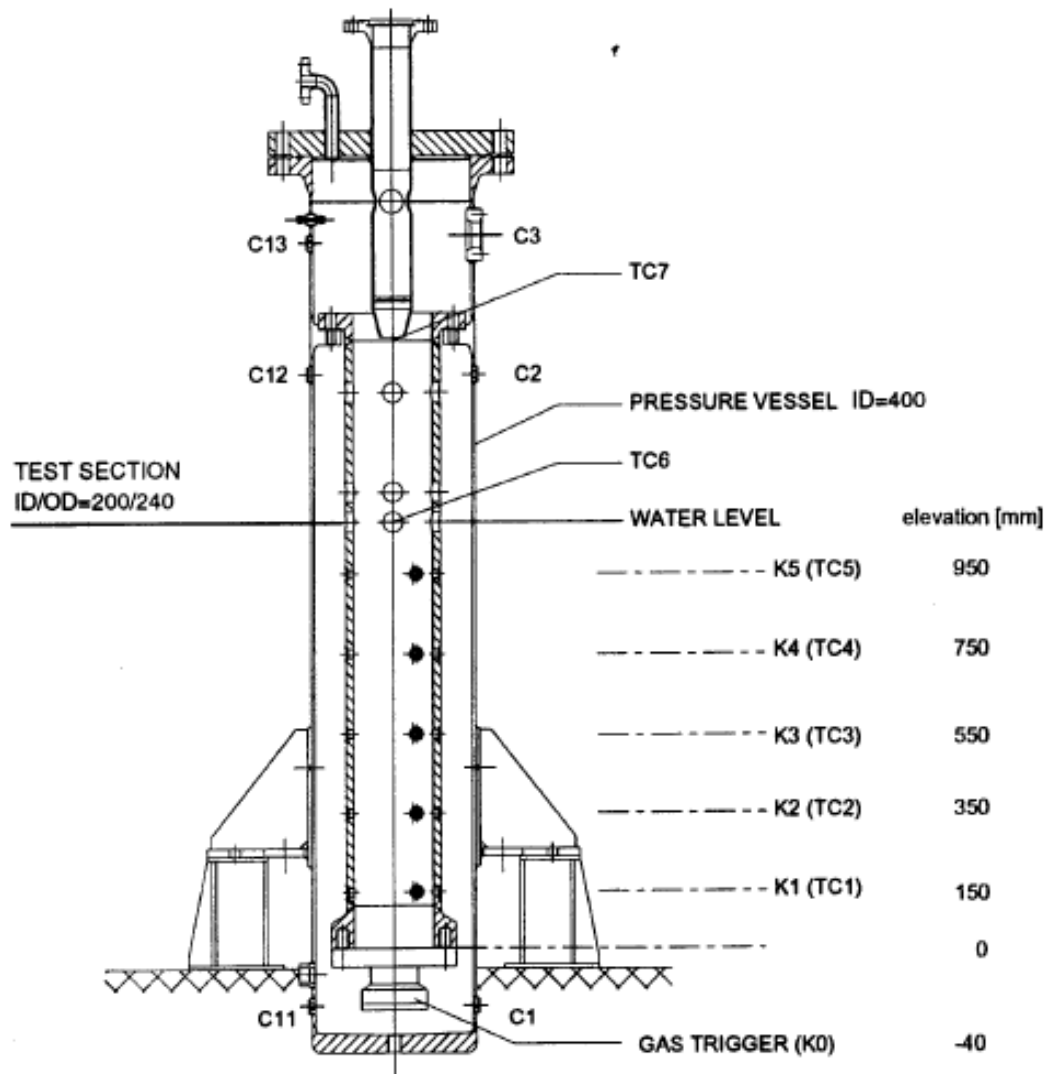


図 2-2 KROTOS 試験装置の概要

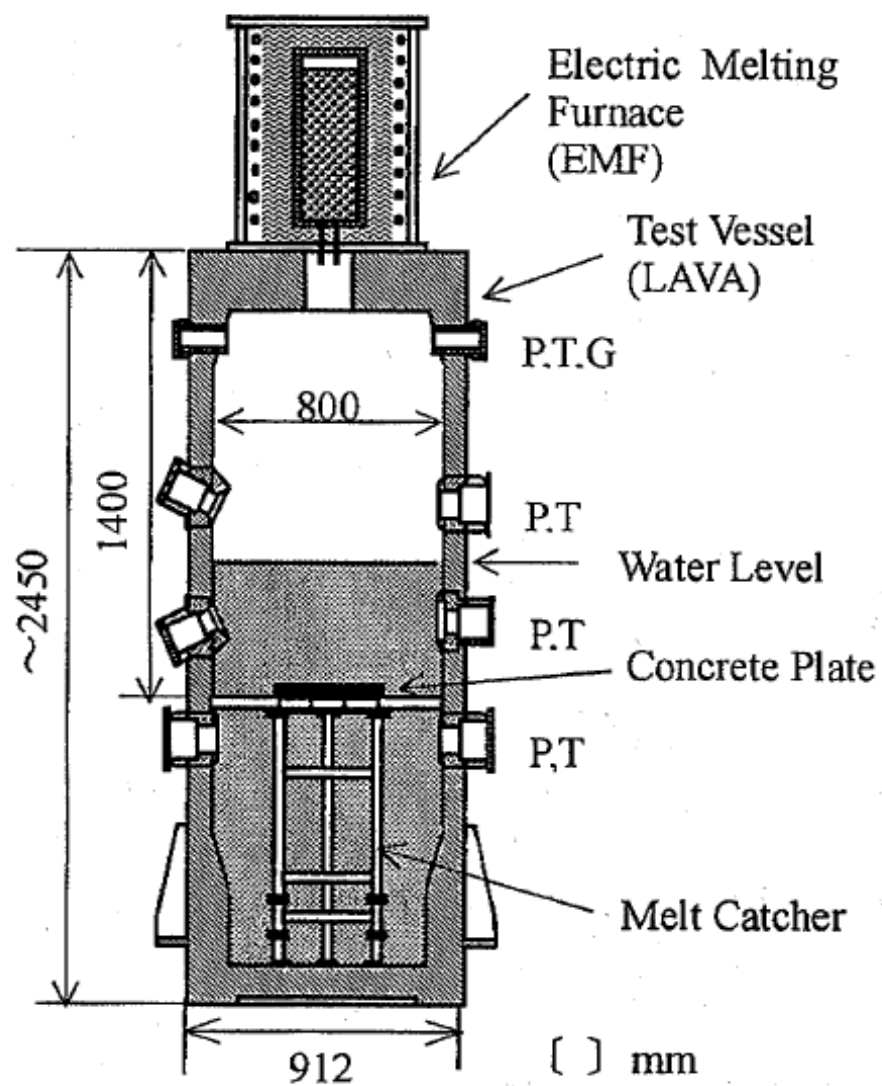


図 2-3 COTELS 計画の試験装置の概要

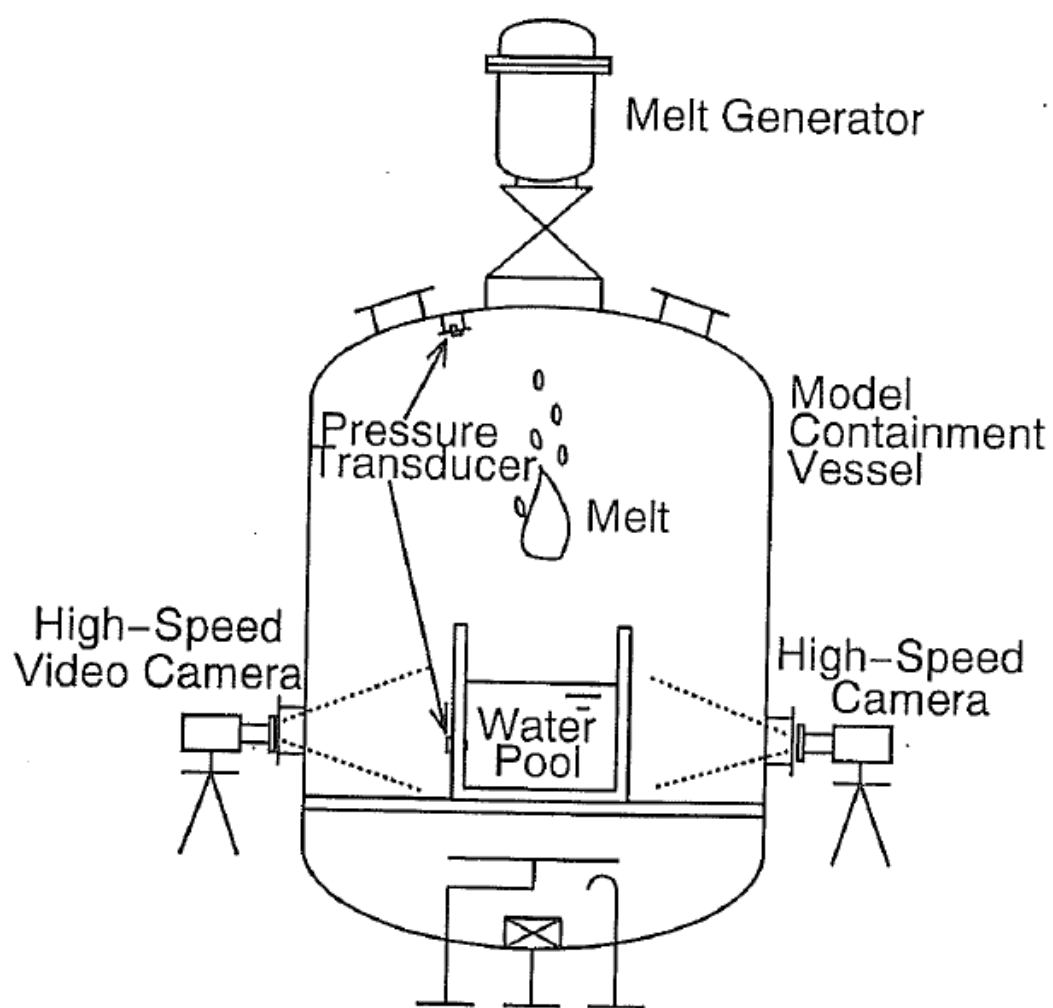


図 2-4 ALPHA実験の試験装置の概要

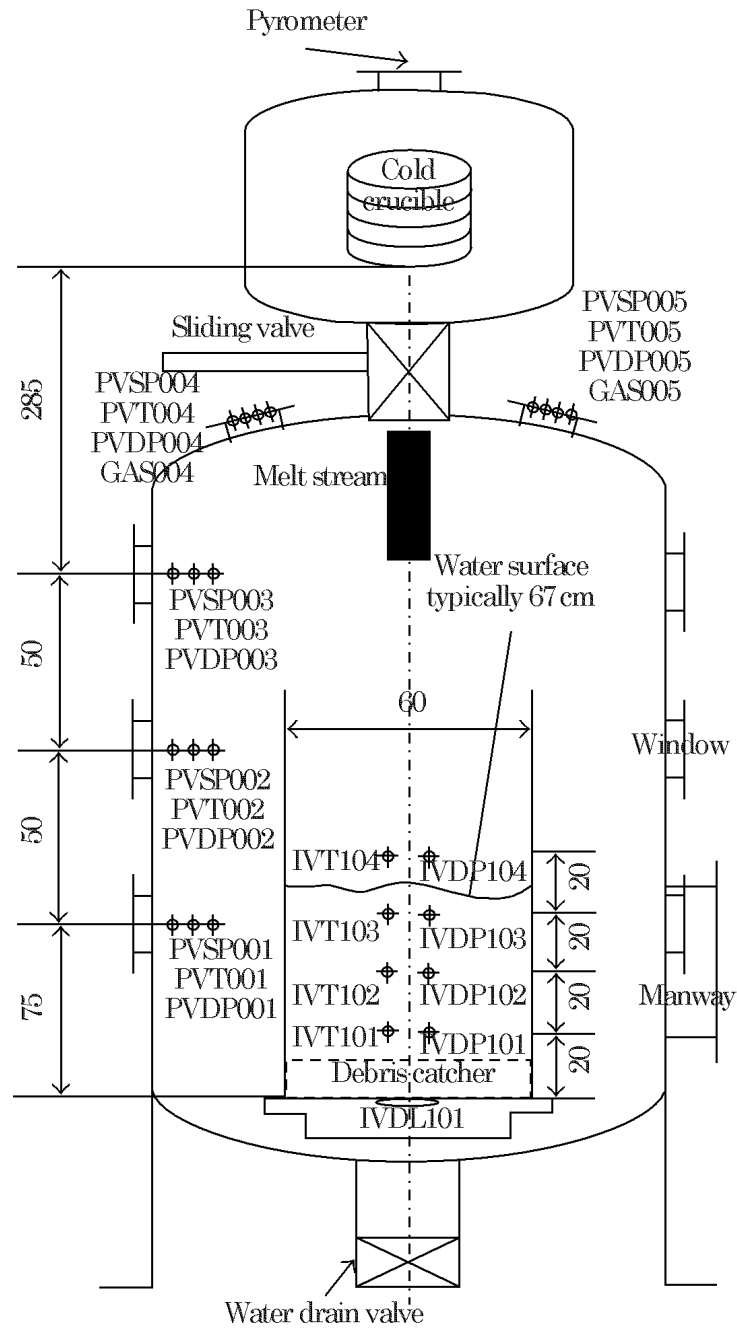


図 2-5 TROI 試験装置の概要

サプレッション・プールに落下した溶融物による格納容器破損モード について

サプレッション・プール床に落下した溶融物の冷却が不十分な場合の格納容器破損モードの取扱いは、以下のとおりである。

- ・ W A S H - 1 4 0 0 ^[1], N U R E G - 1 1 5 0 ^[2]においては、格納容器への溶融物の接触による格納容器破損メカニズムとして、
①「鋼製ライナーの溶融貫通」(シェルアタック)と②「コンクリートベースマット溶融貫通」の2種類が考慮されている。

①「鋼製ライナーの溶融貫通」(シェルアタック)は、原子炉圧力容器破損により放出された溶融物が直接ドライウェル鋼製ライナーに接触する構造となっている M a r k - I 型格納容器に特有の現象であり、ライナーが溶融貫通するとライナーとコンクリート間のギャップを通した大規模な放射性物質の放出経路が形成される可能性がある破損モードである(図1参照)。この現象は原子炉圧力容器破損直後に発生することから、事故後早期の破損モードに分類されている。なお、東海第二発電所の M a r k - II 型格納容器は、ペデスタル(ドライウェル部)床面の高さが、ダイヤフラムフロアより低く、溶融物が直接ドライウェル壁面に接触しない構造となっている(図2参照)。

②「コンクリートベースマット溶融貫通」は、大型ドライ型格納容器の P W R において、ベースマット上に広がった溶融物とコン

クリートの相互作用によりコンクリートが侵食され貫通することで、周辺の土壌への放射性物質の放出経路を形成する破損モードである。ライナーの溶融貫通が起こった場合でも厚いベースマットが存在することや、格納容器雰囲気内の放射性物質が、溶融物及びその上層水でシールされてライナーの貫通部に移行しないため、大規模な放射性物質の放出経路とはならない。この現象はベースマット溶融貫通に相当の時間があることから、事故後後期の破損モードに分類されている。なお、東海第二発電所において、サプレッション・プール床ライナーの溶融貫通が起こった場合でも同様に大規模な放射性物質の経路とはならない。

- ・一方、NUREG-1150、NUREG/CR-5623^[3]等においては、溶融物とコンクリートの相互作用による別の格納容器破損モードとして、BWRの原子炉圧力容器支持構造部（ペDESTAL側壁）のコンクリート侵食により原子炉圧力容器が倒壊し、格納容器シェル又は貫通部が破損するモードが摘出されている。これは大規模な放出経路となり得る格納容器破損モードである。

これらの先行PRA研究での知見より、東海第二発電所のPRAでは、サプレッション・プールへ落下したデブリの冷却が不十分な場合は、以下の理由により、ペDESTAL（ドライウェル部）壁面侵食に伴う原子炉圧力容器支持機能喪失を格納容器破損モード（溶融物・コンクリート相互作用）として分類している。

- ・サプレッション・プール床ライナーの破損後に発生するペDESTAL（ドライウェル部）壁面侵食に伴う原子炉圧力容器支持機能喪失

失による格納容器破損は，大規模な放射性物質の放出を伴うものであり，環境への放射性物質の放出カテゴリーの分類を行う上で，影響の大きな破損モードとなり得ること

- ・ サプレッション・プール床ライナーは，格納容器バウンダリを形成するものであるが，仮にサプレッション・プール床ライナーの破損を格納容器破損モードとして取り扱った場合にも，新たな対策が抽出されないこと

参考文献

- [1] U. S. NRC, “Reactor Safety Study: AN ASSESSMENT OF ACCIDENT RISKS IN U. S. COMMERCIAL NUCLEAR POWER PLANTS” WASH-1400 (NUREG75/014), OCTOBER 1975
- [2] U. S. NRC, “Severe Accident Risks: An Assessment for five U. S. Nuclear Power Plants” NUREG-1150, December 1989
- [3] U. S. NRC, “BWR Mark II Ex-Vessel Corium Interaction Analysis” NUREG/CR-5623, November 1991
- [4] U. S. NRC, “The Probability of Mark-I Containment Failure by Melt-Attack of the Liner” NUREG/CR-6025, November 1993

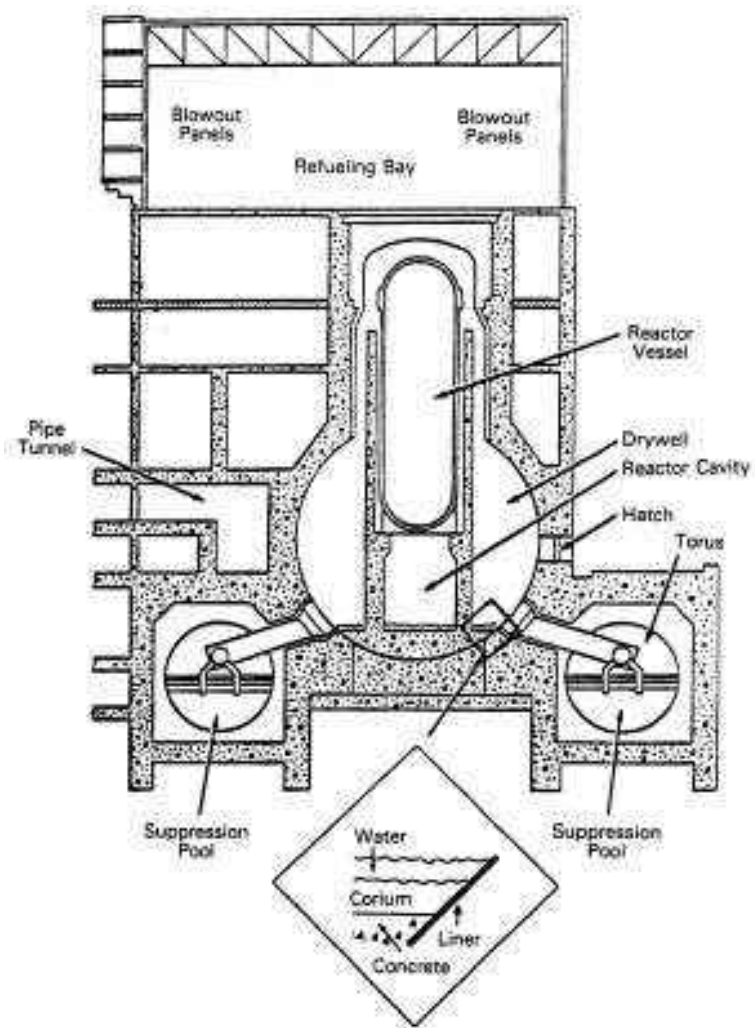


図 1 M a r k - I 型格納容器概略図（N U R E G / C R - 6 0 2 5^{〔4〕}より）

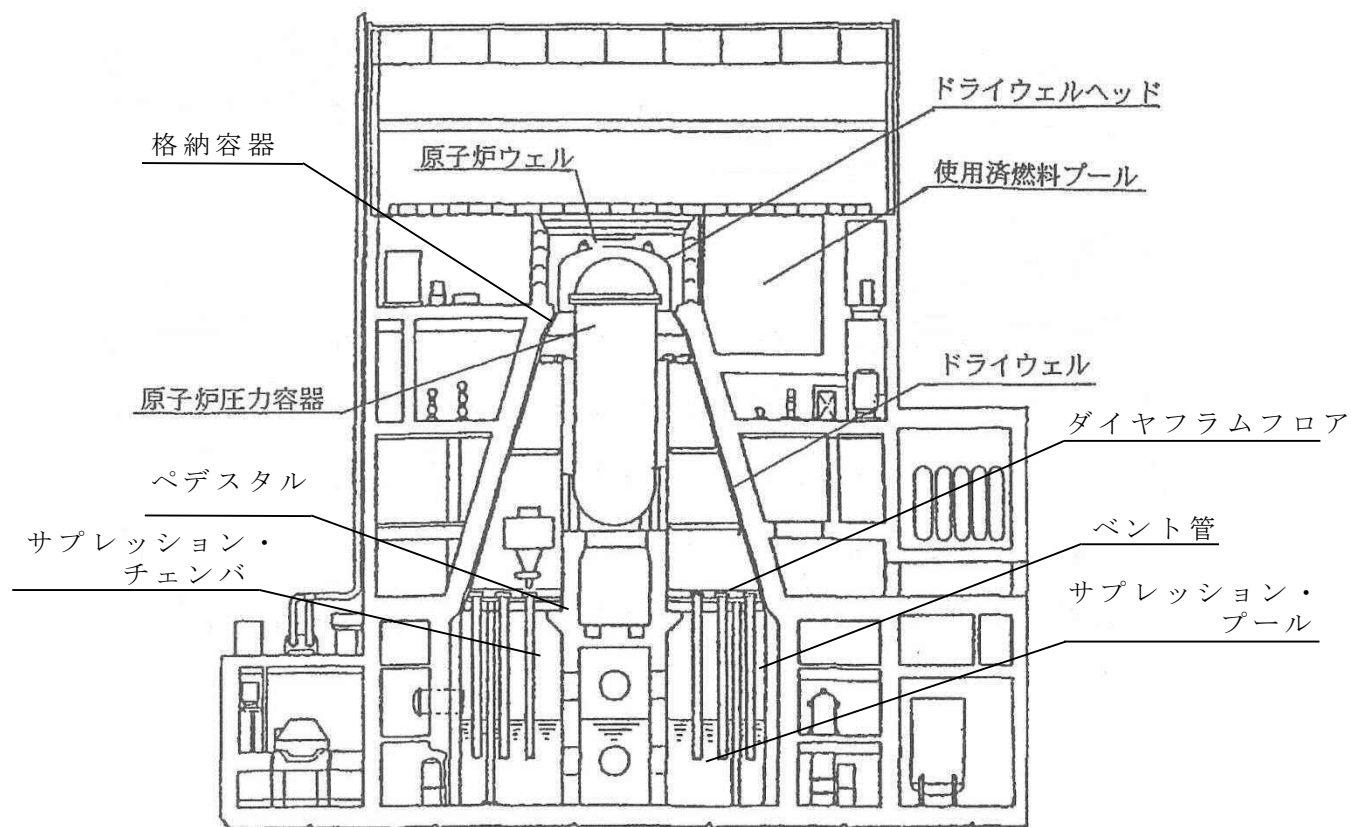


図 2 M a r k - II 型格納容器概略図（東海第二発電所）

内部事象出力運転時レベル 1 . 5 P R A

イベントツリー集

目 次

- 図 1-1 T Q U Vに対するイベントツリー (T 1 / T 2)
- 図 1-2 T Q U Vに対するイベントツリー (T 3 D)
- 図 2-1 T Q U Xに対するイベントツリー (T 1 / T 2)
- 図 2-2 T Q U Xに対するイベントツリー (T 3 A)
- 図 2-3 T Q U Xに対するイベントツリー (T 3 B - 1)
- 図 2-4 T Q U Xに対するイベントツリー (T 3 B - 2)
- 図 2-5 T Q U Xに対するイベントツリー (T 3 C)
- 図 3-1 長期 T Bに対するイベントツリー (T 1 / T 2)
- 図 3-2 長期 T Bに対するイベントツリー (T 3 F)
- 図 4-1 T B Uに対するイベントツリー (T 1 / T 2)
- 図 4-2 T B Uに対するイベントツリー (T 3 D)
- 図 4-3 T B Uに対するイベントツリー (T 3 E)
- 図 5-1 T B Pに対するイベントツリー (T 1 / T 2)
- 図 5-2 T B Pに対するイベントツリー (T 3 D)
- 図 6-1 T B Dに対するイベントツリー (T 1 / T 2)
- 図 6-2 T B Dに対するイベントツリー (T 3 F)
- 図 7-1 L O C Aに対するイベントツリー (T 1 / T 2)
- 図 7-2 L O C Aに対するイベントツリー (T 3 B)

○格納容器イベントツリーの最終状態について

各格納容器イベントツリーの最終状態には、以下の格納容器破損モードの I D を割り付けた。なお、格納容器の健全性が維持される事故シーケンス（原子炉圧力容器内で事故収束、格納容器内で事故収束）についても格納容器破損モードの I D を割り付けた。

- OKV : 原子炉圧力容器内で事故収束
- OKP : 格納容器内で事故収束
- FOP : 過圧破損
- FOTL : 過温破損（原子炉圧力容器低圧）
- FOTH : 過温破損（原子炉圧力容器高圧）
- FPE : 水蒸気爆発（ペデスタル側）
- FPDE : 水蒸気爆発（サブプレッション・プール側）
- FCCI : 熔融炉心・コンクリート相互作用
- FDCH : 格納容器雰囲気直接加熱
- PBYP : 格納容器隔離失敗

| プラント 損傷状態 TQUV | T1 | | | | T2 | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|----------------------|-------|-------|--------|------------------|-------------------|-----------------|-----------|-----------------|---------------|
| | PCV隔離 | RPV減圧 | 低圧ECCS | RPV破損なし (IVR) | RPV破損時 水蒸気爆発なし | DCHによる PCV破損 | | | |
| | | | | | | | 4－9 10 | T3DのETへ PBYP | － 1.8E-11 |
| | | | | | | | | 合計値 | 3.3E-09 |

図 1－1 T Q U Vに対するイベントツリー（T 1／T 2）

| T1/T2の 後続事象 | T3D | | | | | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|----------------|---------------------|----------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|-----|------|---------------|
| | ペDESTAL注水 低圧ECCS | PCV注水 RHRDW | PCV注水時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却PED | ペDESTAL破損時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却SP | | | |
| | | | | | | | 4 | OKP | 1.7E-10 |
| | | | | | | | 5 | FCCI | 1.2E-12 |
| | | | | | | | 6 | FPDE | 2.2E-11 |
| | | | | | | | 7 | FOP | 2.9E-09 |
| | | | | | | | 8 | FCCI | 2.0E-11 |
| | | | | | | | 9 | FPDE | 3.6E-10 |

図 1－2 T Q U Vに対するイベントツリー（T 3 D）

| プラント 損傷状態 TQUX | T1 | | | | T2 | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|----------------------|-------|-------|--------|------------------|-------------------|-----------------|---------|-----------|---------------|
| | PCV隔離 | RPV減圧 | 低圧ECCS | RPV破損なし (IVR) | RPV破損時 水蒸気爆発なし | DCHによる PCV破損 | | | |
| | | | | | | | 3 - 4 | T3AのETへ | — |
| | | | | | | | 5 - 20 | T3B-1のETへ | — |
| | | | | | | | 21 | FPE | 1.5E-14 |
| | | | | | | | 22 - 37 | T3B-2のETへ | — |
| | | | | | | | 38 | T3CのETへ | — |
| | | | | | | | 39 | FDCH | 2.4E-11 |
| | | | | | | | 40 | PBYP | 1.0E-10 |
| | | | | | | | | 合計値 | 9.3E-09 |

図 2-1 T Q U Xに対するイベントツリー (T 1／T 2)

| T1/T2の 後続事象 | T3A | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|----------------|-----------------------|-----|------|---------------|
| | PCV注水 (D/Wスプレイ)RHR | | | |
| | | 3 | OKV | 8.6E-09 |
| | | 4 | FOP | 2.0E-09 |

図 2-2 T Q U Xに対するイベントツリー (T 3 A)

| T1/T2の 後続事象 | T3B | | | | | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|----------------|---------------------|----------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|-----|------|---------------|
| | ペDESTAL注水 低圧ECCS | PCV注水 RHRDW | PCV注水時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却PED | ペDESTAL破損時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却SP | | | |
| | | | | | | | 5 | OKP | 6.3E-10 |
| | | | | | | | 6 | OKP | 5.8E-10 |
| | | | | | | | 7 | FCCI | 3.9E-12 |
| | | | | | | | 8 | FPDE | 7.2E-11 |
| | | | | | | | 9 | FPE | 6.0E-15 |
| | | | | | | | 10 | FOP | 1.5E-10 |
| | | | | | | | 11 | FOP | 1.4E-10 |
| | | | | | | | 12 | FCCI | 9.2E-13 |
| | | | | | | | 13 | FPDE | 1.7E-11 |
| | | | | | | | 14 | FPE | 1.4E-15 |
| | | | | | | | 15 | OKP | 1.1E-09 |
| | | | | | | | 16 | FCCI | 7.7E-12 |
| | | | | | | | 17 | FPDE | 1.4E-10 |
| | | | | | | | 18 | FOP | 2.7E-10 |
| | | | | | | | 19 | FCCI | 1.8E-12 |
| | | | | | | | 20 | FPDE | 3.3E-11 |

図 2-3 T Q U Xに対するイベントツリー (T 3 B - 1)

| T1/T2の 後続事象 | T3B | | | | | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|----------------|---------------------|----------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|-----|------|---------------|
| | ペDESTAL注水 低圧ECCS | PCV注水 RHRDW | PCV注水時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却PED | ペDESTAL破損時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却SP | | | |
| | | | | | | | 22 | OKP | 7.9E-17 |
| | | | | | | | 23 | OKP | 7.3E-17 |
| | | | | | | | 24 | FCCI | 4.9E-19 |
| | | | | | | | 25 | FPDE | 9.1E-18 |
| | | | | | | | 26 | FPE | 7.6E-22 |
| | | | | | | | 27 | FOP | 6.5E-17 |
| | | | | | | | 28 | FOP | 5.9E-17 |
| | | | | | | | 29 | FCCI | 4.0E-19 |
| | | | | | | | 30 | FPDE | 7.4E-18 |
| | | | | | | | 31 | FPE | 6.2E-22 |
| | | | | | | | 32 | OKP | 4.5E-14 |
| | | | | | | | 33 | FCCI | 3.1E-16 |
| | | | | | | | 34 | FPDE | 5.7E-15 |
| | | | | | | | 35 | FOP | 1.2E-11 |
| | | | | | | | 36 | FCCI | 8.1E-14 |
| | | | | | | | 37 | FPDE | 1.5E-12 |

図 2-4 T Q U Xに対するイベントツリー (T 3 B - 2)

| T1/T2の後 続事象 | T3C | | | | | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------|---------------------|---------|-----|------|---------------|
| | ペデスタル注水 低圧ECCS | PCV注水 RHRDW | PCV注水時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却PED | ペデスタル破損時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却SP | | | |
| | | | | | | | 38 | FOTH | 6.3E-09 |
| | | | | | | | | | |

図 2-5 T Q U Xに対するイベントツリー (T 3 C)

| プラント 損傷状態 TB | T1 | | | | T2 | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|--------------------|-------|-------|--------|------------------|-------------------|-----------------|-----|---------|---------------|
| | PCV隔離 | RPV減圧 | 低圧ECCS | RPV破損なし (IVR) | RPV破損時 水蒸気爆発なし | DCHによる PCV破損 | | | |
| | | | | | | | 4 | T3FのETへ | — |
| | | | | | | | 5 | FDCH | 8.5E-09 |
| | | | | | | | 6 | PBYP | 3.9E-10 |
| | | | | | | | | 合計値 | 7.7E-08 |

図 3-1 長期 T B に対するイベントツリー (T 1 ／ T 2)

| T1/T2の 後続事象 | T3F | | | | | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|----------------|---------------------|------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|-----|------|---------------|
| | ペDESTAL注水 低圧ECCS | PCV注水RHRDW | PCV注水時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却PED | ペDESTAL破損時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却SP | | | |
| | | | | | | | 4 | FOTH | 6.9E-08 |

図 3-2 長期 T B に対するイベントツリー (T 3 F)

| プラント 損傷状態 TBU | T1 | | | | T2 | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|---------------------|-------|-------|--------|------------------|-------------------|-----------------|-----|---------|---------------|
| | PCV隔離 | RPV減圧 | 低圧ECCS | RPV破損なし (IVR) | RPV破損時 水蒸気爆発なし | DCHによる PCV破損 | | | |
| | | | | | | | 3－5 | T3DのETへ | － |
| | | | | | | | 6 | T3EのETへ | － |
| | | | | | | | 7 | FDCH | 1.6E-11 |
| | | | | | | | 8 | PBYP | 1.0E-10 |
| | | | | | | | | 合計値 | 2.1E-08 |

図 4－1 T B Uに対するイベントツリー (T 1 ／ T 2)

| T1/T2の後 続事象 | T3D | | | | | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|----------------|---------------------|----------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|-----|------|---------------|
| | ペDESTAL注水 低圧ECCS | PCV注水 RHRDW | PCV注水時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却PED | ペDESTAL破損時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却SP | | | |
| | | | | | | | 3 | FOP | 1.5E-08 |
| | | | | | | | 4 | FCCI | 9.9E-11 |
| | | | | | | | 5 | FPDE | 1.8E-09 |
| | | | | | | | | | |

図 4－2 T B Uに対するイベントツリー (T 3 D)

| T1/T2の 後続事象 | T3E | | | | | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|----------------|---------------------|----------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|-----|------|---------------|
| | ペDESTAL注水 低圧ECCS | PCV注水 RHRDW | PCV注水時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却PED | ペDESTAL破損時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却SP | | | |
| | | | | | | | 6 | FOTH | 4.2E-09 |
| | | | | | | | | | |

図 4－3 T B Uに対するイベントツリー（T 3 E）

| プラント 損傷状態 TBP | T1 | | | T2 | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|---------------------|-------|-------|--------|------------------|-------------------|-------|---------|---------------|
| | PCV隔離 | RPV減圧 | 低圧ECCS | RPV破損なし (IVR) | RPV破損時 水蒸気爆発なし | | | |
| | | | | | | 5 - 6 | T3DのETへ | － |
| | | | | | | 7 | PBYP | 2.6E-12 |
| | | | | | | | 合計値 | 5.3E-10 |

図 5－1 T B P に対するイベントツリー (T 1 ／ T 2)

| T1/T2の後続 事象 | T3D | | | | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|----------------|---------------------|----------------|-------------------|----------|-----------------------|-----|------|---------------|
| | ペDESTAL注水 低圧ECCS | PCV注水 RHRDW | PCV注水時水 蒸気爆発なし | デブリ冷却PED | ペDESTAL破損時 水蒸気爆発なし | | | |
| | | | | | | 5 | FOTL | 4.7E-10 |
| | | | | | | 6 | FPDE | 5.8E-11 |

図 5－2 T B P に対するイベントツリー (T 3 D)

| プラント 損傷状態 TBD | T1 | | | | T2 | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|---------------------|-------|-------|--------|------------------|-------------------|-----------------|-----|---------|---------------|
| | PCV隔離 | RPV減圧 | 低圧ECCS | RPV破損なし (IVR) | RPV破損時 水蒸気爆発なし | DCHによる PCV破損 | | | |
| | | | | | | | 3 | T3FのETへ | － |
| | | | | | | | 4 | FDCH | 2.2E-14 |
| | | | | | | | 5 | PBYP | 3.0E-14 |
| | | | | | | | | 合計値 | 6.0E-12 |

図 6－1 T B Dに対するイベントツリー（T 1 ／ T 2）

| T1/T2の 後続事象 | T3F | | | | | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|----------------|---------------------|----------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|-----|------|---------------|
| | ペDESTAL注水 低圧ECCS | PCV注水 RHRDW | PCV注水時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却PED | ペDESTAL破損時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却SP | | | |
| | | | | | | | 3 | FOTH | 5.9E-12 |
| | | | | | | | | | |

図 6－2 T B Dに対するイベントツリー（T 3 F）

| プラント 損傷状態 LOCA | T1 | | | | | T2 | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|----------------------|-------|-------|--------|----------------|------------------|-------------------|-----------------|------|---------|---------------|
| | PCV隔離 | RPV減圧 | 低圧ECCS | PCV注水 RHRDW | RPV破損なし (IVR) | RPV破損時 水蒸気爆発なし | DCHによる PCV破損 | | | |
| | | | | | | | | 6－8 | T3BのETへ | － |
| | | | | | | | 9 | FPE | 2.8E-20 | |
| | | | | | | | 10 | FOTL | 2.1E-11 | |
| | | | | | | | 11 | PBYP | 1.1E-13 | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 合計値 | 2.2E-11 |

図 7－1 L O C A に対するイベントツリー（T 1 ／ T 2 ）

| T1/T2の 後続事象 | T3B | | | | | | No. | 最終状態 | 発生頻度 (／炉年) |
|----------------|---------------------|----------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|-----|------|---------------|
| | ペDESTAL注水 低圧ECCS | PCV注水 RHRDW | PCV注水時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却PED | ペDESTAL破損時 水蒸気爆発なし | デブリ冷却SP | | | |
| | | | | | | | 6 | OKP | 5.2E-15 |
| | | | | | | | 7 | FCCI | 3.5E-17 |
| | | | | | | | 8 | FPDE | 6.5E-16 |
| | | | | | | | | | |

図 7－2 L O C A に対するイベントツリー（T 3 B ）

原子炉圧力容器破損等のM A A P 上の判定条件

M A A P コードによる事故進展解析において、炉心損傷、炉心溶融、炉心支持板破損、原子炉圧力容器破損、ペデスタル（ドライウェル部）床貫通の判定条件については、表 1 に示す条件を満足する場合に破損したと判断している。

各項目の判断の根拠については、以下に示すとおりである。

1. 炉心損傷の判断

炉心損傷に至ると評価されている、燃料被覆管の最高温度が 1,500K に到達した時点をも炉心損傷開始と判断している。

2. 炉心溶融の判断

炉心構成物質の代表的な共晶温度として、炉心最高温度が 2,500K に到達した時点をも溶融開始と判断している。

3. 炉心支持板破損の判断

下部プレナムへのリロケーションの発生を炉心支持板の破損と定義している。リロケーションの発生は、以下の判断のうちいずれか早い方で判断している。

- ・ 炉心支持板ノードに溶融物が存在する場合
- ・ Larson-Miller のパラメータにより炉心支持板のクリープ破損と判断された場合

4. 原子炉圧力容器破損の判断

貫通部への浸入による貫通部過熱、溶接部過熱による貫通部逸出、

金属層による過熱，ジェットによる侵食，クリープ破損のうち，最も早い破損モードを原子炉圧力容器破損と定義している。

5. ペデスタル（ドライウェル部）床貫通の判断

MCCIによるコンクリート侵食量が，ペデスタル（ドライウェル部）床面サンプ部厚さに到達した時点をもペデスタル（ドライウェル部）床貫通と判断している。

表 1 事故進展解析における各項目の判定条件

| 項目 | 条件 | 備考 |
|----------------------|--------------------------------------|--|
| 炉心損傷の判断 | 燃料被覆管の最高温度が 1,500K 到達 | 炉心損傷が始まる温度 |
| 炉心溶融の判断 | 炉心最高温度が 2,500K 到達 | 炉心構成物質の代表的な融点 |
| 炉心支持板破損の判断 | 下部プレナムへのリロケーション発生時 | リロケーション発生の判断として，より早い炉心支持板ノードに溶融物が存在する場合を設定 |
| 原子炉圧力容器破損の判断 | CRDチューブ逸出判定到達 | 原子炉圧力容器破損モードのうち，最も早い破損形態として，CRDチューブ逸出を設定 |
| ペデスタル（ドライウェル部）床貫通の判断 | コンクリートの侵食深さが <input type="text"/> 到達 | ペデスタル（ドライウェル部）床サンプ部厚さを設定 |

福島第一原子力発電所事故の知見を踏まえた

格納容器破損の判定条件について

1. はじめに

格納容器破損頻度を評価するレベル 1.5 PRA では、格納容器破損の判定条件として、格納容器雰囲気の限界温度を 200℃、格納容器雰囲気の限界圧力を格納容器最高使用圧力の 2 倍（2Pd）と設定している。

この判定条件の適用に当たっては、福島第一原子力発電所事故の知見を考慮しており、以下に知見の内容、その知見を踏まえた影響確認方法及び結果について記載する。

2. 格納容器破損に係る福島第一原子力発電所事故の知見

東京電力福島第一原子力発電所の事故の調査状況は、未解明問題に係る進捗報告^{[1]~[4]}（以下「報告書」という。）に取りまとめられている。ここでは、格納容器破損に係る情報として、漏えい経路、格納容器圧力挙動及び格納容器温度挙動に着目し、以下のとおり知見を整理した。

(1) 漏えい経路

原子炉建屋での水素爆発が発生しておらず、原子炉建屋オペレーティングフロアの形状が維持されているため、他号機に比べて格納容器からの漏えい経路が推定しやすい 2 号機を対象とする。2 号機では以下が確認されており、トップヘッドフランジ等の格納容器気相部より漏えいした可能性があると考えられる。

- ・ 格納容器圧力の低下が確認された 3 月 15 日の朝方に、プロ

ーアウトパネルから蒸気が放出されており、格納容器のオペフロに繋がる格納容器の比較的高い箇所からの漏えいが推定されること

- ・シールドプラグの隙間から蒸気が放出されていること
- ・オペフロにおける空間線量率の調査の結果、シールドプラグの近傍における線量率が他の測定点に比べて高いこと

(2) 格納容器圧力挙動

1号機では、3月12日2時30分頃から14時30分頃のベント操作による圧力減少まで、ドライウェル圧力の測定値は0.7MPa[abs]～0.8MPa[abs]程度で推移している。この間、注水による蒸気発生、格納容器温度の上昇、溶融炉心・コンクリート相互作用による非凝縮性ガスの発生等により、格納容器圧力は上昇傾向になると考えられるが、測定値では上昇傾向を示していないことから、格納容器の気相部からの漏えいが示唆されている。

2号機では、原子炉隔離時冷却系（RCIC）運転期間中に格納容器圧力が徐々に上昇し、RCIC停止後は炉心損傷に伴う水素発生や逃がし安全弁（SRV）の開放等により、3月14日23時頃の測定では約0.75MPa[abs]程度まで上昇し、その後3月15日7時20分頃まではほぼ一定の圧力で推移している。そのため、3月14日23時頃から3月15日の7時20分頃までの間に、漏えいが発生した可能性がある。

3号機では、3月13日9時24分に格納容器ベントが実施された後、原子炉注水やベント操作等に応じてドライウェル圧力の増加・減少を繰り返し、3月21日に一時的に上昇した後、ほぼ大気圧で変動を示さなくなった。MAAPの解析においては格納容

器の漏えいは仮定していないが、3号機の原子炉建屋で水素爆発が発生したことや、原子炉建屋上部の原子炉ウェル周辺で蒸気放出が観察されていたこと、3月21日以降のドライウェル圧力は大気圧で変動がないことなどから、格納容器からの気相漏えいが発生しているものと考えられる。

(3) 格納容器温度挙動

炉心損傷後の格納容器温度の測定データは得られていないが、1号機のM A A P解析結果では、地震発生から3月12日12時頃のドライウェル温度は約300℃以上となっている。過去の研究^[5]によれば、このような過温条件ではガスケットが損傷する可能性があることから、過温によるガスケット損傷により格納容器からの漏えいが発生した可能性がある。

2号機のM A A P解析結果では、格納容器からの漏えいを仮定した3月15日7時20分頃のドライウェル温度は170℃程度と評価されているが、過温破損の可能性には言及されていない。(1)に示した漏えい経路となっている可能性がある格納容器では、熔融炉心により過熱された原子炉圧力容器の熱が格納容器内の気体に伝えられ、その気体の対流により過熱される可能性や、過熱された原子炉圧力容器からの熱伝導・輻射により過熱される可能性があると考えられる。また、M a r k - I 格納容器の上部円筒部は熱がこもりやすい構造であり、熔融炉心により過熱された原子炉圧力容器の熱が格納容器頂部の温度を上昇させた可能性もある。

3号機については、格納容器温度の挙動や過温破損の可能性は報告書では言及されていない。M A A P解析結果によれば、格納

容器スプレイを実施している間並びに淡水及び海水を注入している間は格納容器温度が比較的低温で推移しているが、3月14日11時頃に発生した3号機の水素爆発直後から急激に上昇しており、3月15日朝方の海水注入再開時点では格納容器温度は300℃程度まで上昇している。そのため、解析の不確かさはあるものの、ガスケット損傷により格納容器からの漏えいが発生した可能性がある。

(4) まとめ

格納容器破損に係る福島第一原子力発電所事故の知見を以下にまとめる。

- ・漏えい経路に係る調査結果、及びM A A P解析による格納容器圧力・温度の挙動から、格納容器トップヘッドフランジ等のシール部から漏えいが発生した可能性がある。
- ・格納容器温度は局所的に高くなることが考えられ、溶融炉心により加熱された原子炉圧力容器の熱が格納容器頂部の温度を上昇させたことにより格納容器頂部の過温破損の可能性はある。
- ・特に、2号機では、格納容器の過温破損の可能性には言及されていないものの、M A A P解析では格納容器温度170℃にて漏えい開始を仮定している。

3. 福島第一原子力発電所事故の知見を踏まえた影響確認方法

上述のとおり、福島第一原子力発電所事故では、特に、2号機のM A A P解析において格納容器温度170℃にて気相部からの漏えい開始を仮定している等、局所的な格納容器頂部の温度上昇による過

温破損の可能性が考えられる。しかしながら，2号機のMAAP解析で仮定した格納容器温度 170℃での気相部漏えいについては，次の2点から分かるように直接的な証拠は得られていない。^{〔2〕}

- ・実際の格納容器圧力の計測値に合わせるための解析上の仮定であること
- ・実際に格納容器気相部から漏えいがあったのか，計測器の問題により格納容器圧力が正しく表示されなかったのかは，現時点では不明であること

そこで，ここでは局所的な格納容器頂部の温度上昇が本PRAに与える影響を確認するために，感度解析を実施することとした。具体的には，MAAPコードを用いたレベル1.5PRAの事故進展解析において，ベースケースでは1ノードでドライウエルを模擬しているところ，局所的な格納容器頂部の温度上昇を考慮するため，ドライウエルを3ノード（格納容器頂部ヘッド，ドライウエル空間，アニュラス部）で扱うモデル（図1参照）にて解析を実施し，PRAへの影響を確認した。

ここで，格納容器破損は，本来，格納容器本体（構造材）の温度が限界温度として設定した 200℃に到達した場合であるため，感度解析では上記を格納容器破損条件として設定したが，ベースケースでは保守的に「ドライウエルの気相部が 200℃に到達した場合」を格納容器破損条件として設定している。

なお，今後，2号機の格納容器挙動が明らかになった場合は，その知見を踏まえ必要に応じPRAへ反映する予定である。

4. 福島第一原子力発電所事故の知見を踏まえた影響確認結果

原子炉圧力容器が高压状態で破損する T Q U X シーケンス及び低压状態で破損する T Q U V シーケンスの 3 ノードモデルによる事故進展解析結果を, 1 ノードモデルにおけるドライウェル気相部温度と比較して図 2 及び図 3 に示す。

図 2 より, T Q U X シーケンスでは局所的な格納容器頂部フランジ部の温度よりも 1 ノードによるドライウェル気相部温度の方が 200℃に到達するタイミングが早いことが分かる。一方, 図 3 の T Q U V シーケンスでは, 局所的な格納容器頂部フランジ部の温度の方が 200℃に到達するタイミングが早くなっている。

このドライウェルの 3 ノードモデルによる解析結果を踏まえ, レベル 1. 5 P R A の感度解析を実施した。表 1 に, 代表的なシーケンスの格納容器破損時刻及び破損モードを示す。結果は表 2 及び図 4 のとおりであり, 原子炉圧力容器が低压状態で破損する T Q U V 等のシーケンスが過圧破損から過温破損モードに変更になったため, 過圧破損 (長期冷却失敗) の C F F が減少し, 過温破損 (R P V 低压破損) の C F F が増加している。しかし, 全 C F F は両ケースともに $6.1\text{E-}5$ /炉年であり, 全 C F F に対する過温破損 (R P V 低压破損) 及び過圧破損 (長期冷却失敗) モードの寄与割合は, 両ケースともに 0.1%未満である。

以上のように, 福島第一原子力発電事故の知見を踏まえ, 局所的な格納容器頂部の温度上昇を考慮した結果, 東海第二発電所のレベル 1. 5 P R A への影響はほとんど無いことを確認した。

参考文献：

- [1] 「福島第一原子力発電所 1～3 号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討 第 1 回進捗報告」(平成 25 年 12 月 13 日，東京電力株式会社)
- [2] 「福島第一原子力発電所 1～3 号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討 第 2 回進捗報告」(平成 26 年 8 月 6 日，東京電力株式会社)
- [3] 「福島第一原子力発電所 1～3 号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討 第 3 回進捗報告」(平成 27 年 5 月 20 日，東京電力株式会社)
- [4] 「福島第一原子力発電所 1～3 号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討 第 4 回進捗報告」(平成 27 年 12 月 17 日，東京電力株式会社)
- [5] K. Hirao, T. Zama, M. Goto et al., “High-temperature leak-characteristics of PCV hatch flange gasket,” Nuclear Engineering and Design, Vol.145, 375-386, 1993.

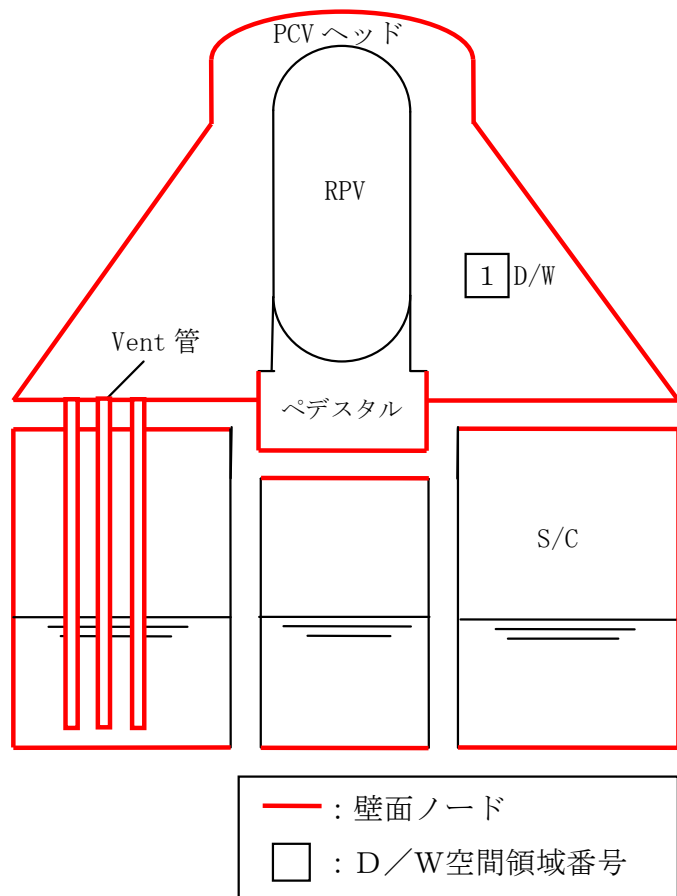
表 1 代表的なシーケンスの格納容器破損モード及び破損時刻

| 事故シーケンス | | ベースケース | | 感度解析ケース | |
|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|
| | | 格納容器破損時刻 | 格納容器破損モード | 格納容器破損時刻 | 格納容器破損モード |
| 高圧 | T Q U X | 3.3h | 過温破損 | 3.6h | 過温破損 |
| | 長期 T B | 14.4h | 過温破損 | 14.4h | 過温破損 |
| 低圧 | T Q U V | 15.9h | 過圧破損 | 13.5h | 過温破損 |
| | A E | 1.6h | 過温破損 | 5.6h | 過温破損 |

表 2 格納容器破損モード別の C F F 比較表

| 格納容器破損モード | ①感度解析ケース | | ②ベースケース | | ①／② |
|-------------------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|------|
| | 格納容器破損頻度 (／炉年) | 寄与割合 (%) | 格納容器破損頻度 (／炉年) | 寄与割合 (%) | 割合 |
| インターフェイスシステム L O C A | 4.8E-10 | <0.1 | 4.8E-10 | <0.1 | 1.0 |
| 格納容器隔離失敗 | 6.1E-10 | <0.1 | 6.1E-10 | <0.1 | 1.0 |
| 早期過圧破損（未臨界確保失敗） | 2.5E-08 | <0.1 | 2.5E-08 | <0.1 | 1.0 |
| 過圧破損（崩壊熱除去失敗） | 6.0E-05 | 99.8 | 6.0E-05 | 99.8 | 1.0 |
| 過圧破損（長期冷却失敗） | 2.3E-09 | <0.1 | 2.0E-08 | <0.1 | 0.1 |
| 過温破損（P R V 高圧破損） | 7.9E-08 | 0.1 | 7.9E-08 | 0.1 | 1.0 |
| 過温破損（P R V 低圧破損） | 1.8E-08 | <0.1 | 4.9E-10 | <0.1 | 37.6 |
| 格納容器雰囲気直接加熱 | 8.5E-09 | <0.1 | 8.5E-09 | <0.1 | 1.0 |
| 水蒸気爆発（ペDESTAL（ドライウエル部）） | 2.3E-14 | <0.1 | 2.2E-14 | <0.1 | 1.0 |
| 水蒸気爆発（サプレッション・プール） | 2.5E-09 | <0.1 | 2.5E-09 | <0.1 | 1.0 |
| 溶融炉心・コンクリート相互作用 | 1.3E-10 | <0.1 | 1.3E-10 | <0.1 | 1.0 |
| 全格納容器破損頻度 | 6.1E-05 | 100.0 | 6.1E-05 | 100.0 | 1.0 |

ベースケース



感度解析ケース

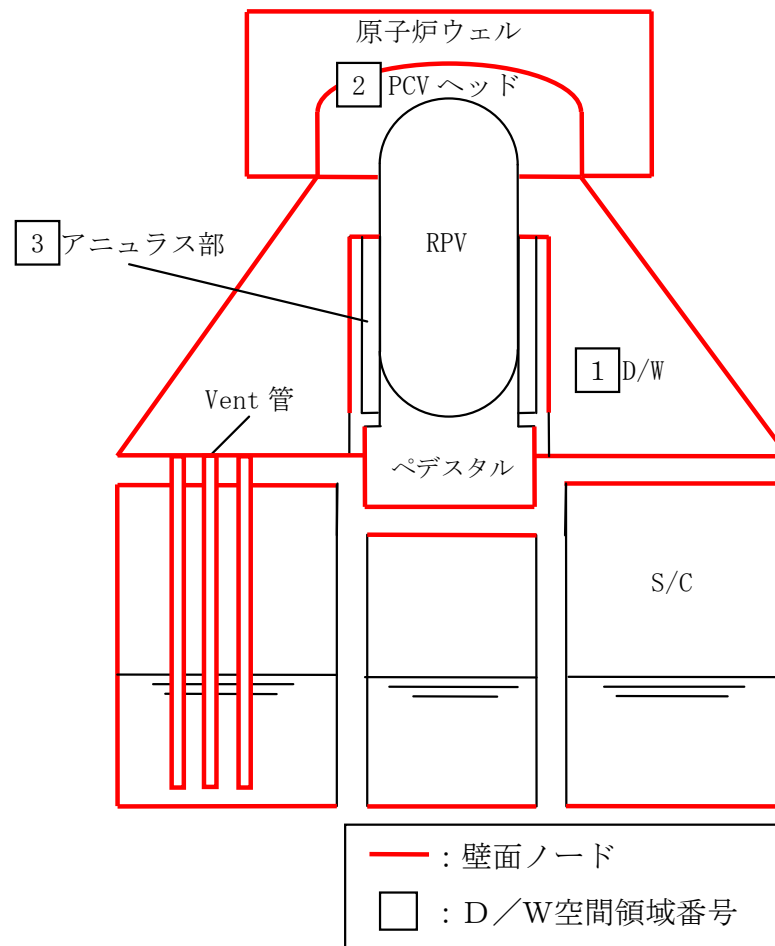


図 1 格納容器ノード図（ベースケース及び感度解析ケース）

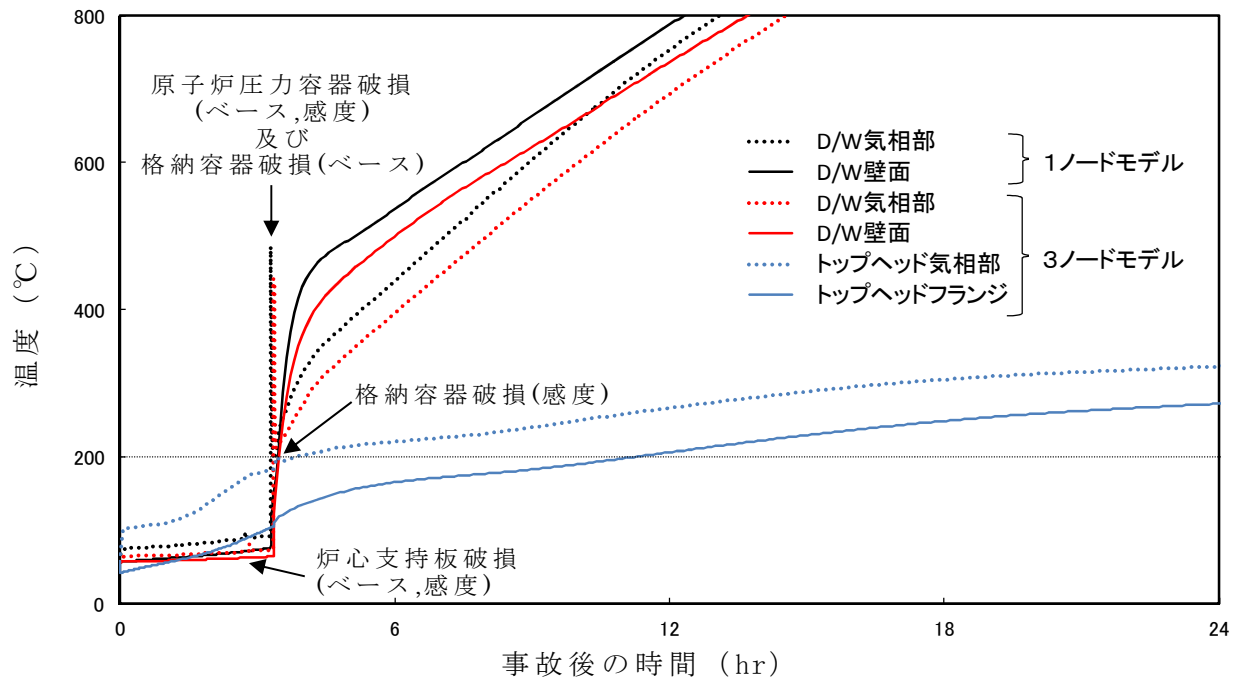


図 2 T Q U Xシーケンスの事故進展解析結果

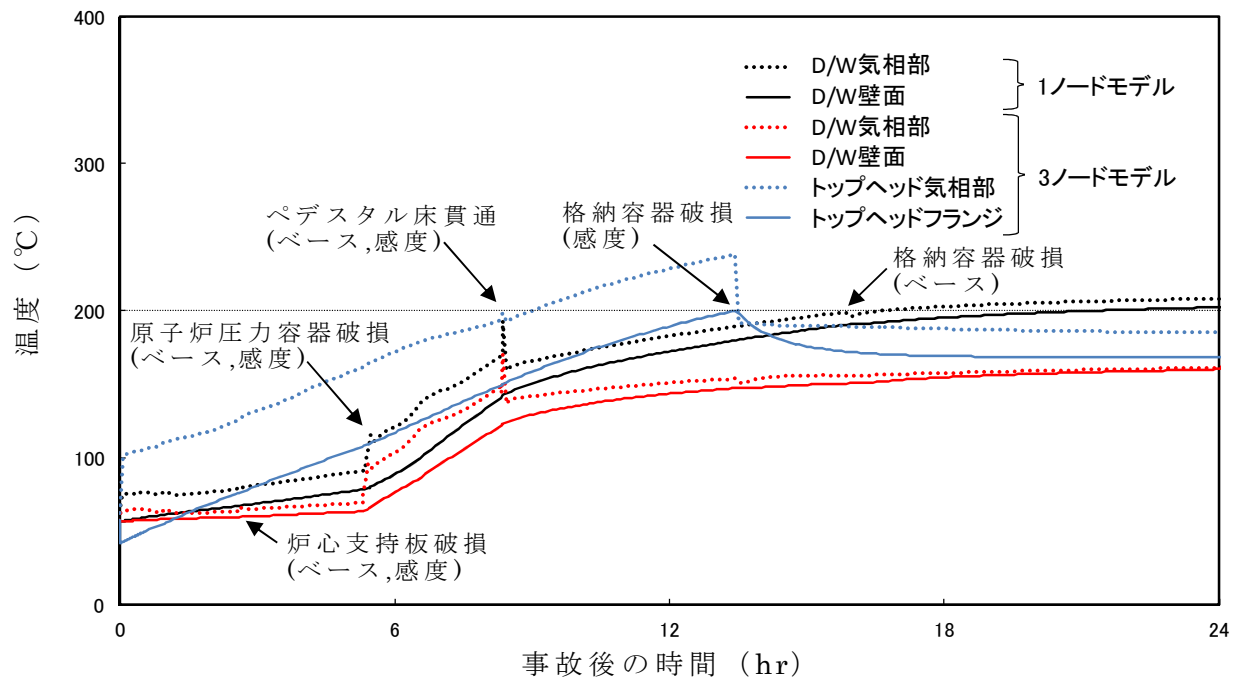


図 3 T Q U Vシーケンスの事故進展解析結果

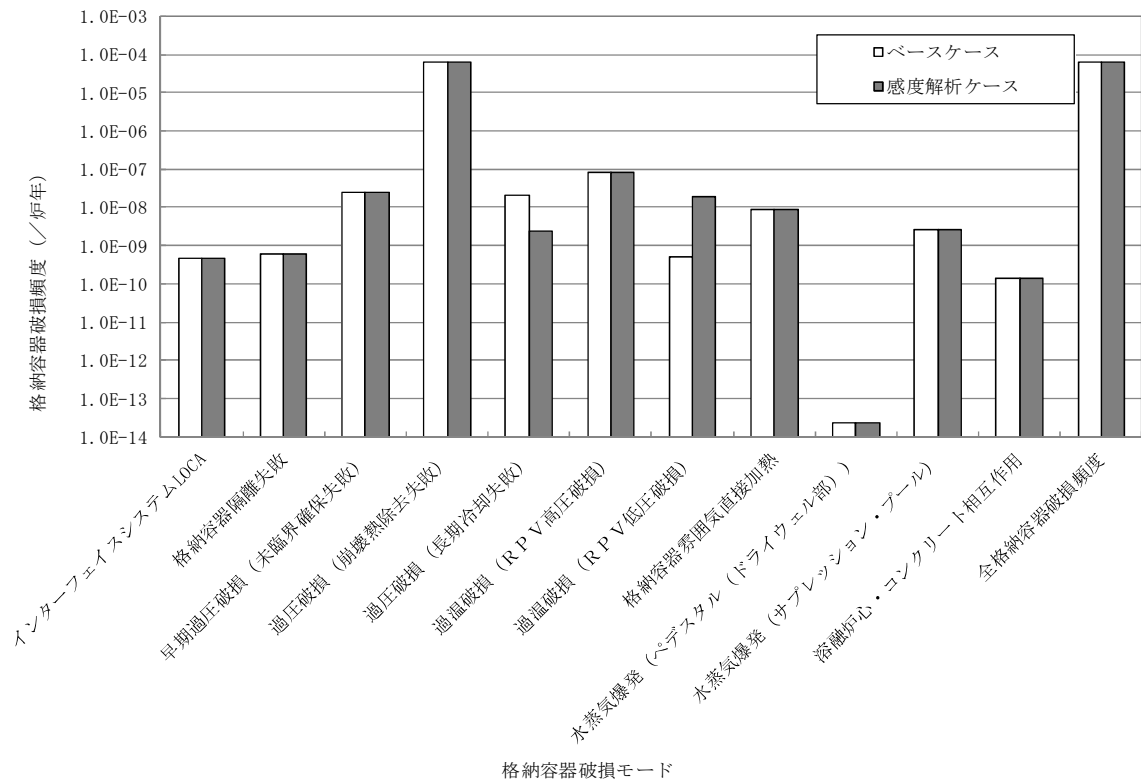


図 4 格納容器破損モード別のCFF比較図

物理化学現象に係る分岐確率の設定方法

格納容器イベントツリーにおける
物理化学現象による格納容器破損確率の設定方法

1. 圧力容器内溶融物保持（I V R）
2. 格納容器雰囲気直接加熱（D C H）
3. 炉外水蒸気爆発（F C I）
4. 溶融炉心・コンクリート相互作用（M C C I）

1. 压力容器内溶融物保持（I V R）

1.1 現象の概要

圧力容器内熔融物保持（以下「I V R」という。）は，炉心損傷後に熔融炉心が下部プレナム部へ落下して下鏡の上に堆積したとしても，下部プレナムの残存水によって原子炉圧力容器下部が早期に破損することなく，その後の注水系復旧等により熔融炉心が原子炉圧力容器内に冷却・保持される現象である。

1.2 I V R 分岐確率の評価方法について

D E T（Decomposition Event Tree）上の不確かさ評価により，I V R 失敗確率の確率分布を以下のとおり評価する。I V R 現象の確率論的評価の枠組みを図 1-1 に示す。

- (1) I V R 現象の支配パラメータについて D E T ヘディングの条件を設定する。
- (2) 支配パラメータを基に D E T を作成する。
- (3) I V R 現象を解析する評価コードを用いて，D E T 上の各パスの条件で I V R 解析を実施し，I V R 達成の有無を評価する。
- (4) D E T 上の各分岐に対して，確率値又は確率密度関数を与え，モンテカルロサンプリングにより，不確かさを考慮した I V R 失敗確率の確率分布を評価する。

以上の評価により得られた I V R 失敗確率の確率分布の平均値を I V R 分岐確率として設定する。

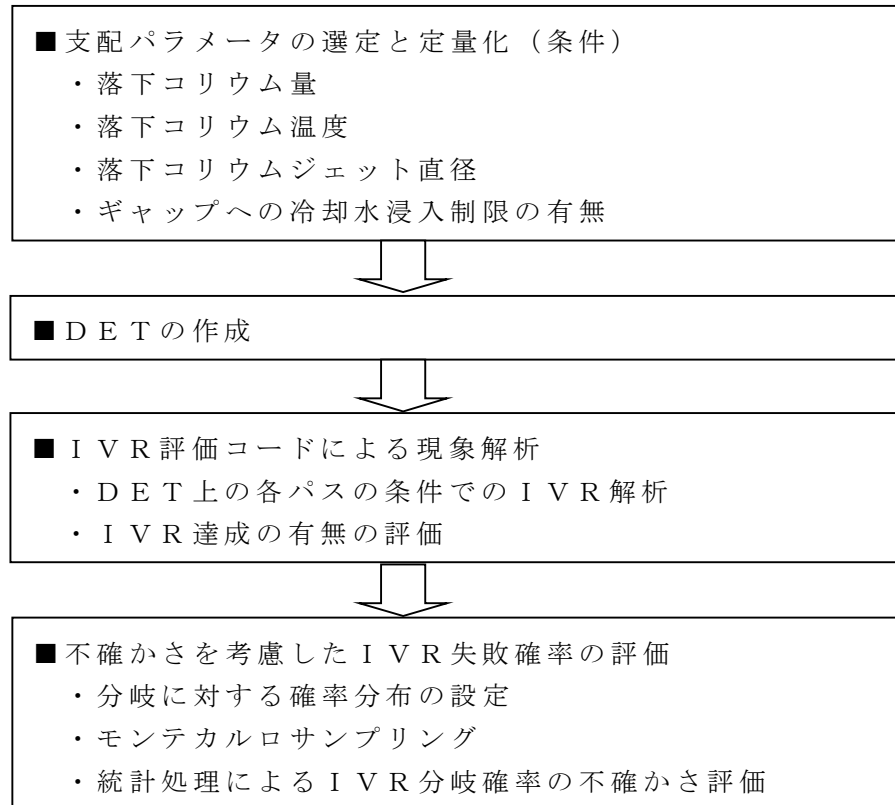


図1－1 I V R 現象の確率論的評価の枠組み

1.3 I V R 分岐確率の評価結果

1.3.1 支配パラメータのD E Tヘディングの条件設定

I V R 現象の発生に関連して，不確かさを考慮する支配パラメータとして，以下のパラメータを選定した。

- ・ 落下コリウム量
- ・ 落下コリウム温度
- ・ 落下コリウムジェット直径
- ・ ギャップへの冷却水浸入制限の有無

（補足資料1.1）

選定した支配パラメータについて，表1－1に示すとおりD E Tヘディングの条件を設定した。

表 1-1 支配パラメータの D E T ヘディングの条件設定

| 支配パラメータ | D E T ヘディングの条件 | 設定の考え方 |
|------------------|---|--|
| 落下コリウム量 | 以下の 2 条件を設定 ・ 70% 炉心 ・ 100% 炉心 | コリウム量は，M A A P で評価した結果（70% 炉心）及び不確かさを考慮して保守的に大量落下した場合（100% 炉心）を設定 （補足資料 1.2） |
| 落下コリウム温度 | 以下の 2 条件を設定 ・ 2,500K ・ 2,800K | 炉心構成物質の共晶反応により熔融温度には幅があると考え，M A A P の事故進展解析における炉心熔融判定温度（2,500K）及び酸化物系の共晶温度に相当する温度（2,800K）を設定 |
| 落下コリウムジェット直径 | 以下の 3 条件を設定 ・ 直径 0.05m ・ 直径 0.10m ・ 直径 0.15m | ・ 熔融コリウムは，C R チューブ間（最大およそ 0.15m）を液柱状で落下することを想定 ・ ジェット直径は最小値 0.01m から最大値 0.15m の範囲で分布し，かつ，M A A P のデフォルト値 0.10m の確率密度が最も高い（最尤値）ものとして仮定した三角分布から，代表的な 3 点を設定 |
| ギャップへの冷却水浸入制限の有無 | 以下の 2 条件を設定 ・ 浸入制限無し ・ 浸入制限有り | ギャップへの冷却水浸入に関して，ギャップ位置にかかわらず常に冷却水がギャップに浸入する場合（浸入制限無し）及びギャップへの水の浸入が水蒸気の上昇流によって制限される場合（浸入制限有り）を想定 |

1.3.2 D E T の作成

選定した支配パラメータに分岐を設定した D E T を図 1-2 に示すとおり作成した。

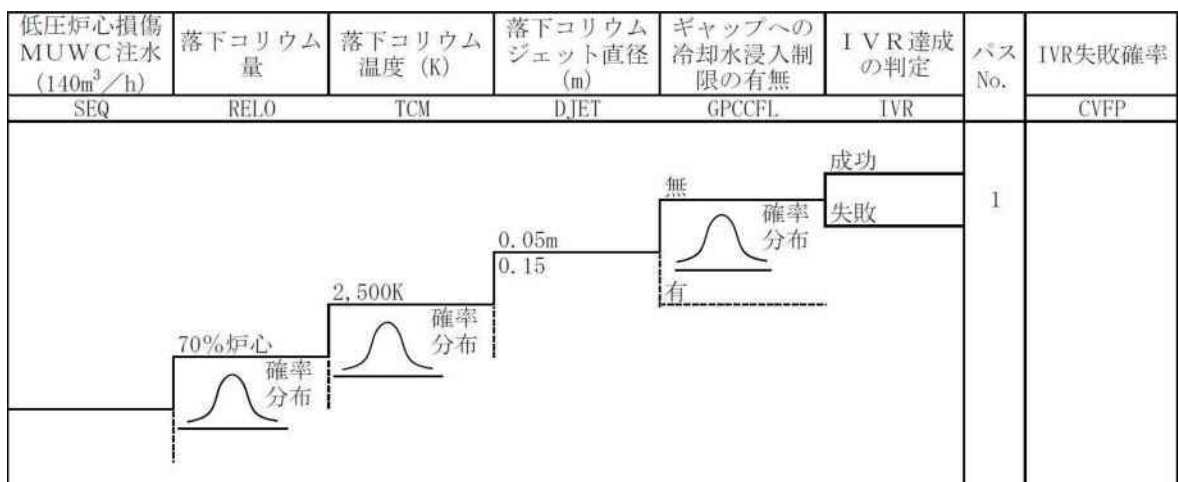


図 1-2 I V R 評価の D E T 構造の一部

1.3.3 I V R 現象を解析する評価コードによる現象解析

I V R 現象を解析する評価コードを用いて，D E T 上の各パスの条件で I V R 解析を実施し，I V R 達成の有無を評価した。

(補足資料 1.3)

対象とするシナリオは，低圧シーケンス（T Q U V）において，溶融炉心の落下開始と同時（＝炉心支持板破損と同時）に復水補給水系（以下「M U W C」という。）による復旧注水（ $140\text{m}^3/\text{h}$ ）を実施する場合を想定した。

初期条件は，M A A P コードによる炉心支持板破損時点の結果を用いて，溶融炉心の落下開始から計算を開始し，D E T 上の各パスについて現象解析を実施した。

評価対象シーケンスの初期条件を表1－2に，I V R 現象を解析する評価コードによる現象解析結果を表1－3に，それぞれ示す。

(補足資料1.4)

表1－2 評価対象シーケンスの初期条件

| 項 目 | 低圧シーケンス（T Q U V） |
|--------|--------------------------|
| | 注水遅延後 M U W C 復旧注水 |
| 解析開始時刻 | 事象発生後 1.5h |
| 初期圧力 | 0.46MPa |
| 初期水量 | 93t |
| 注水流量 | $140\text{m}^3/\text{h}$ |

表 1－3 I V R 現象を解析する評価コードによる現象解析結果

| 落下コリウム量 | 落下コリウム温度 (K) | 落下コリウムジェット直径 (m) | ギャップへの冷却水浸入制限の有無 | 下部プレナムドライアウト | 下部ヘッド破損時刻 (h) | 下部ヘッド破損形態 |
|---------|--------------|------------------|------------------|--------------|---------------|-----------|
| | | | | | | |

1.3.4 不確かさを考慮した I V R 分岐確率の評価

D E T ヘディング上の各分岐に対して，確率値又は確率密度関数を表 1－4 に示すとおり与え，モンテカルロサンプリングにより統計処理を行うことで，不確かさを考慮した I V R 失敗確率の確率分布を評価し，その平均値を I V R 分岐確率として表 1－5 に示すとおり設定した。

表 1-4 D E T 分岐に与えた確率値又は確率密度関数

| D E T 分岐 | 確率値又は確率密度関数 | 設定の考え方 | | | | | | | | |
|------------------|---|--|-------|-------|------|-------|------|-------|------|--|
| | | | | | | | | | | |
| 落下コリウム温度 | 2,500K の分岐に対して以下の確率密度関数を設定し，残りの確率値(1-p)を 2800K の分岐に対して設定 分布形：三角分布 最小値：0.0 最尤値：0.5 最大値：1.0 | 確率 0.5 を最尤値とし，0.0 から 1.0 の範囲で三角分布を設定 | | | | | | | | |
| 落下コリウムジェット直径 | 3 つの分岐に対してそれぞれ以下の確率値を設定 <table><tr><th>直 径</th><th>確 率 値</th></tr><tr><td>0.05m</td><td>0.15</td></tr><tr><td>0.10m</td><td>0.50</td></tr><tr><td>0.15m</td><td>0.35</td></tr></table> | 直 径 | 確 率 値 | 0.05m | 0.15 | 0.10m | 0.50 | 0.15m | 0.35 | 先に述べたジェット直径の確率分布（最小値 0.01m，最尤値 0.10m，最大値 0.15m の三角分布）上における 3 つの代表点の確率値 (補足資料 1.5) |
| 直 径 | 確 率 値 | | | | | | | | | |
| 0.05m | 0.15 | | | | | | | | | |
| 0.10m | 0.50 | | | | | | | | | |
| 0.15m | 0.35 | | | | | | | | | |
| ギャップへの冷却水浸入制限の有無 | 浸入制限無しの分岐に対して以下の確率密度関数を設定し，残りの確率値(1-p)を浸入制限有りの分岐に対して設定 分布形：三角分布 最小値：0.0 最尤値：0.5 最大値：1.0 | 実炉スケールの大量デブリ堆積の場合，下鏡底部のギャップまで冷却水が浸入するか否かは不確かさが大きいと考え，0.5 の確率密度が最も高いものとし，0.0 から 1.0 の範囲で三角分布を設定 | | | | | | | | |
| I V R 達成の判定 | (a) I V R 評価結果が「成功」の場合，成功の分岐に対して 1.0 を設定，失敗の分岐に対して 0.0 を設定 (b) I V R 評価結果が「失敗」の場合，成功の分岐に対して 0.0 を設定，失敗の分岐に対して 1.0 を設定 | I V R 現象を解析する評価コードによる現象解析結果の反映 | | | | | | | | |

表 1－5 I V R 分岐確率

| | |
|--|--|
| <p>I V R 分岐確率 (I V R 失敗確率の確率分布の平均値)</p> | |
|--|--|

D E Tにより不確かさを考慮する

支配パラメータの選定について（I V R）

I V R現象は，炉心損傷後に熔融炉心が下部プレナム部へ落下して下鏡の上に堆積したとしても，下部プレナムの残存水によって原子炉圧力容器下部が早期に破損することなく，その後の注水により熔融炉心が原子炉圧力容器内で冷却・保持される現象である。

これまでの知見より，I V R現象の主要過程は以下のように分けられる。

- ・ 下部プレナムへの熔融物移行（リロケーション）
- ・ 水中での落下熔融物の分散及び冷却
- ・ 落下・堆積デブリと貫通部との熱的相互作用
- ・ 堆積デブリ上面からのプール水による冷却
- ・ 連続デブリ層表面でのクラスト形成と熔融プール内自然対流熱伝達
- ・ 連続デブリ層と下鏡との狭隘ギャップ形成及びギャップ沸騰冷却
- ・ 原子炉圧力容器下鏡破損

これらの各過程に対する現状の知見及びI V R現象に支配的なパラメータについて，以下に整理する。

a. 下部プレナムへの溶融物移行（リロケーション）

炉心溶融進展に伴う下部プレナムへのコリウムリロケーション量（流量と落下総量）は，下部プレナム残存水との相互作用の結果，下部プレナムに堆積するデブリの性状，すなわち後述する粒子状デブリベッドと連続デブリ層との存在割合に大きく影響を与える。

一般に，後期炉心溶融過程については不確かさが大きい，事故シナリオ（低圧炉心損傷か高圧炉心損傷か，あるいは原子炉圧力容器内部注水の条件）によって，下部プレナムへのコリウム落下挙動は異なると考えられる。また，落下コリウムの温度は，下部プレナム残存水との相互作用による冷却水インベントリ減少の速さや下鏡の熱負荷の大きさに影響するが，炉心構成物質（ UO_2 ， Zr ， ZrO_2 及びステンレススチール）によって不確かさ幅を有すると考えられる。

b. 水中での落下溶融物の分散及び冷却

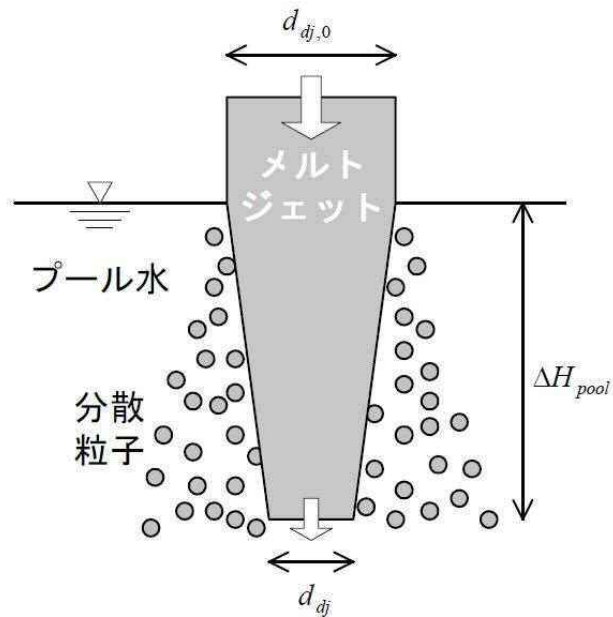
下部プレナムへ炉心溶融物が落下を開始する時点では下部プレナムに残存水があり，水中に溶融物が落下する場合には，ジェットブレイクアップにより一部が粒子化することが，実験的に確認されている（FARO実験やCOTELS実験）。粒子化する割合が大きいほどデブリは冷却されやすく，IVR達成の可能性が大きくなると考えられる。一方，粒子化によってデブリ冷却が促進されるほど，下部プレナム残存水の減少は速く，注水系の復旧タイミングや注水流量が重要となる。

落下コリウムの粒子化割合は，MAAPコードにも組み込まれている Ricou-Spalding の相関式をコリウムのジェットブレイクア

ップに応用することによって，下図のように評価が可能である。

$$\text{水深 } \Delta H_{pool} \text{ でのジェット直径: } d_{dj} = d_{dj,0} - 2E_0 \left(\frac{\rho_w}{\rho_{dj}} \right)^{1/2} \Delta H_{pool}$$

$$\text{粒子化割合: } \Phi_{ent} = \frac{d_{dj,0}^2 - d_{dj}^2}{d_{dj,0}^2}$$



図補足 1.1-1 水中での落下溶融物の分散及び冷却

この粒子化割合 Φ_{ent} は，初期ジェット直径 $d_{dj,0}$ とプール水深 ΔH_{pool} に大きく影響される。ここで，プール水深（プール水量）は事故シナリオに依存するが，初期ジェット直径については不確かさが大きいと考えられる。また， E_0 はエントレインメント係数と呼ばれる定数項であり，電共研の実験から CRD ガイドチューブの存在によって空間的に拘束がある場合には 0.045 であることが確認されている。

c. 落下・堆積デブリと貫通部との熱的相互作用

I V R 成立のためには，堆積デブリによって貫通配管部が損傷しないこと（早期の原子炉圧力容器破損無し）が必要条件である。

これまでの実験的知見として、某社 PWR の計装配管（二重管）を模擬した E P R I / F A I 実験によれば、熔融物（アルミナ）がペネ部に浸入しても凝固し、圧力バウンダリとしての破損は生じなかったことが報告されている。また、C O R V I S 実験（スイス P S I）でも同様に、ドライ条件で BWR ドレン配管に熔融物（アルミナ）が浸入しても凝固し、健全性を維持したことが報告されている。これらの実験的知見から、落下・堆積デブリと貫通部との熱的相互作用によって、コリウム落下直後に貫通部の早期破損が生じる可能性は小さいと考えられる。

d. 堆積デブリ上面からのプール水による冷却

水中での落下熔融物の分散によって生じた粒子が堆積して粒子状デブリベッドが生じることは、F A R O 実験（J R C I S P R A）や C O T E L S 実験（N U P E C）において確認されている。粒子状デブリベッドの下部プレナム残存水による冷却性については、既往研究に基づき Lipinski のドライアウトヒートフラックスモデルによって除熱量が評価可能である。本モデル（相関式）による除熱量は主としてデブリ粒子径に依存するが、水中で分散した粒子径については幾つかの相関式や T M I - 2 事故分析からおおむね 1～5mm と考えられ、この粒子範囲では粒子状デブリベッドの崩壊熱を十分に除去可能と評価される。

また、粒子化せず連続層として堆積したデブリからの除熱は、平板での Kutateladze タイプの限界熱流束相関式（最大除熱量）や膜沸騰熱伝達相関式による評価が可能であり、連続デブリ層の崩壊熱が除去可能か否かは連続デブリ層の堆積量（厚さ）に依存する。

e. 連続デブリ層表面のクラスト形成と熔融プール内自然対流熱伝達

連続デブリ層の表面は、下部プレナム残存水や下鏡との接触により凝固点以下となってクラストを形成し、内部は発熱を伴う自然対流が生じると考えられる。内部発熱を伴う自然対流熱伝達については、方位角に依存した実験相関式により評価が可能である。

f. 連続デブリ層と下鏡の狭隘ギャップ形成及びギャップ沸騰冷却

下部ヘッドに堆積した連続デブリ層は、下鏡を加熱するものの完全には固着せずにギャップを形成し、下鏡のクリープ変形によるギャップ拡大によって冷却水が浸入したことが、TMI-2事故での下部ヘッド急冷メカニズムと考えられている。ギャップ形成と容器壁の冷却はIVC実験（FAI社）及びALPHA実験（JAERI）によって確認されている。また、狭隘ギャップでの沸騰除熱特性については、傾斜角度の効果を考慮した電共研実験相関式より評価が可能である。

ただし、実炉スケールでの堆積デブリ量は、炉心全量落下（110万kWe級プラント）条件では200t以上にもなり、TMI-2事故における20tに比べて著しく大きい場合が想定される。現時点では、大量の連続デブリ層が堆積した場合にも下部プレナム底部のギャップまで冷却水が浸入するか否かは不確かさが大きいと考えられる。

g. 原子炉圧力容器下鏡破損

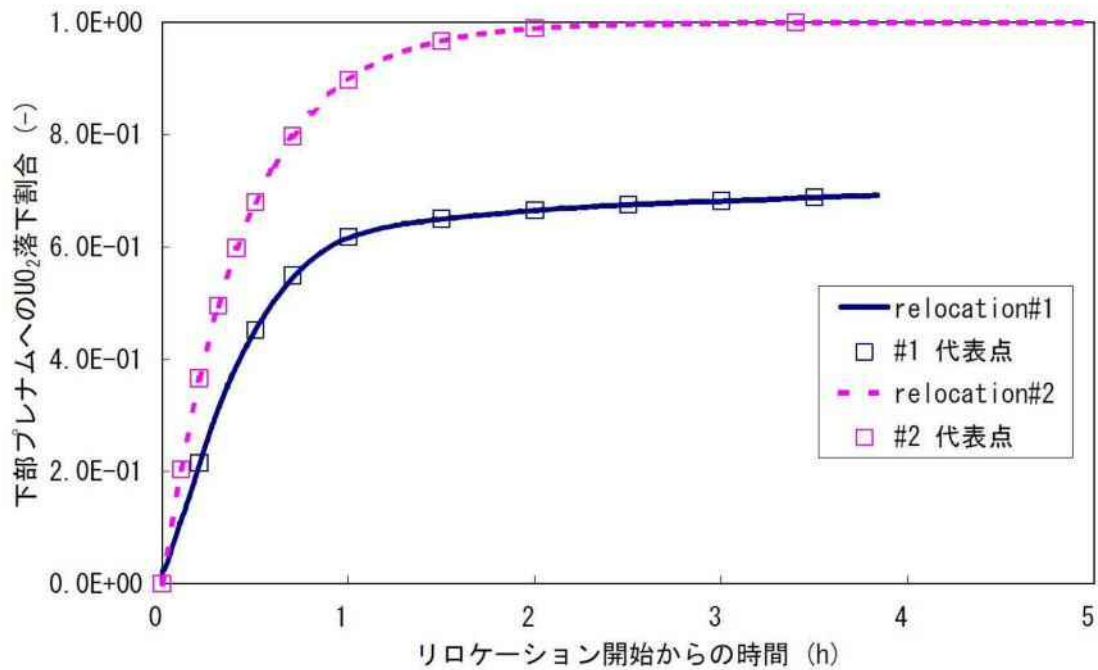
原子炉圧力容器下鏡破損のメカニズムとしては、堆積デブリによって下鏡が加熱された結果、CRDチューブや計装管を接続する溶接部分の健全性が失われてチューブが逸出するいわゆる“チ

ューブイジェクション”あるいは“下鏡クリープ破断”が想定される。“チューブイジェクション”は，溶接部でのせん断応力と温度上昇による強度低下から評価することができる。また，“下鏡クリープ破断”については，過渡的な下鏡応力及び下鏡温度を評価することによって判定することができる。

落下コリウム量のM A A P 解析について

図補足 1.2-1 にM A A P による低圧シーケンス (T Q U V) の解析結果を示す。

解析の結果, 70% 炉心が落下する結果となる (relocation#1)。なお, relocation#2 は, 100% 炉心が落下する場合を想定した UO_2 落下割合の時間変化である。



図補足 1.2-1 下部プレナムへの UO_2 落下割合

I V R 現象を解析する評価コードについて

I V R 現象を解析する評価コードの全体モデル概要を図補足 1.3-1 に示す。

本コードは、解析体系を 1 ボリュームで表し、その底部にコリウムが落下する下部プレナム領域を想定し、原子炉压力容器下鏡と内部構造物（C R D）をモデル化している。境界条件には、落下コリウム条件（コリウム温度、落下流量、落下継続時間）及び注水条件（注水方法：C R D 注水又は炉内注水、注水流量等）を設定し、これらの様々な条件での I V R 評価を行う。

考慮される現象は、水中での溶融コリウム落下挙動から、コリウム堆積後のプール水及び原子炉压力容器下鏡／内部構造物との熱的相互作用に関わるもので、次のような要素モデルである。

(1) プール水中落下時の溶融物の分散冷却

a. 水中での落下溶融物の分散・冷却モデル

- ・粒子化割合算出に Ricou-Spalding の相関式を応用
- ・粒子径は Henry 他の相関式による

b. 分散粒子の Z r - 水反応モデル

- ・水中での粒子滞留時間を考慮し、Baker-Just の実験データに基づく Z r 酸化割合を入力

(2) 堆積コリウムからの熱移行

c. 粒子状コリウムベッドの冷却モデル

- ・Lipinski のドライアウト熱流束相関式

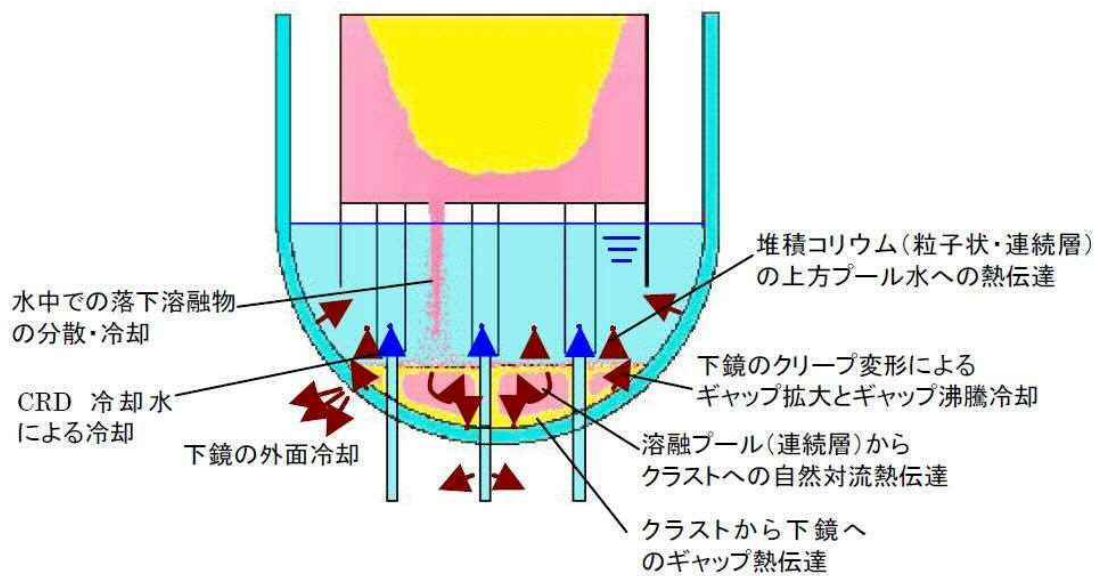
d. 連続コリウム層表面でのクラスト形成と溶融プール内自然対

流熱伝達モデル

- ・ 準定常を仮定したクラストエネルギーバランス
- ・ Jahn-Reineke の発熱を伴う自然対流相関式
- e. 連続コリウム層上面での冷却モデル
 - ・ プール沸騰曲線に依存した熱伝達相関式（核沸騰：Rohsenow, 膜沸騰：Berenson）
 - ・ あるいは，限界熱流束相関式
- f. 原子炉圧力容器下鏡との間でのギャップ沸騰冷却モデル
 - ・ 狭隘ギャップの最大熱流束相関式を用いる Suh 他の評価モデル
- g. C R D 冷却水による冷却モデル
 - ・ 沸騰曲線に依存したプール沸騰熱伝達相関式

(3) 原子炉圧力容器下鏡挙動

- h. 原子炉圧力容器下鏡のクリープ変形モデル
 - ・ ラーソンミラパラメータ相関式を用い，クリープ破断モデルを適用した Suh 他の評価モデル
- i. 原子炉圧力容器外部冷却モデル
 - ・ 沸騰曲線に依存したプール沸騰熱伝達相関式



(a) 評価コードの要素モデル

図補足 1.3-1 評価コードの全体モデル概要

I V R 失敗の判断基準について

I V R 失敗の判断基準は， I V R 現象を解析する評価コードによる現象解析に基づき，下鏡貫通配管（C R D チューブ）の逸出あるいは下鏡のクリープ破断に至った場合とする。

下鏡貫通配管の逸出は，下鏡との溶接部が過温状態となって健全性が失われ，チューブが逸出する「チューブイジェクション」を想定したものである。

下鏡のクリープ破断については，

及び

から，破断時間 t_r を求め，評価する。

過渡計算では，が変化するため，破断時間 t_r も変化する。このため，

のクリープ変形による [] を定義し、 [] において、評価開始からの [] を求め、 [] となる時点でクリープ破断と判定する。



落下コリウムジェット直径の
D E T 分岐確率の設定の与え方について

落下コリウムジェット直径の確率分布図を図補足1.5-1に示す。D E T 分岐として設定した3点（0.05m, 0.10m, 0.15m）の確率の与え方は以下のとおり。

(1) ジェット直径が0.05mのとき

累積確率は0.15であり，確率は0.15となる。

(2) ジェット直径が0.10mのとき

累積確率は0.65であり，確率は $0.65 - 0.15 = 0.50$ となる。

(3) ジェット直径が0.15mのとき

累積確率は1.00であり，確率は $1.00 - 0.65 = 0.35$ となる。



図補足 1.5-1 落下コリウムジェット直径の確率分布

2. 格納容器雰囲気直接加熱（D C H）

2.1 現象の概要

格納容器雰囲気直接加熱（以下「DCH」という。）は，原子炉圧力容器が高圧状態で破損することにより，破損口から高速のガス流によって微粒子化したデブリがドライウエル空間部へ移行し，デブリの保有熱及び金属成分と水との反応熱によりドライウエル雰囲気を直接加熱する現象である。DCHが発生した場合，ドライウエル雰囲気の直接加熱による非凝縮性ガスの膨張等により格納容器圧力が急激に上昇し，格納容器過圧破損に至る可能性がある。

2.2 DCHによる格納容器破損の分岐確率の評価方法について

ROAM手法により，DCHによる格納容器破損確率の確率分布を以下のとおり評価する。ROAM手法による評価の流れを図2-1に示す。

- (1) DCH現象の支配パラメータについて確率密度関数（pdf）を設定する。
- (2) 支配パラメータと格納容器ピーク圧力との因果関係（CR）を評価する。
- (3) 格納容器圧力に対する格納容器フラジリティカーブを設定する。
- (4) 支配パラメータと格納容器ピーク圧力との因果関係及び格納容器フラジリティカーブを基にモンテカルロサンプリングにより，格納容器破損確率の確率分布を評価する。

以上の評価により得られた格納容器破損確率の確率分布の平均値をDCHによる格納容器破損の分岐確率として設定する。

: 不確かさ要因

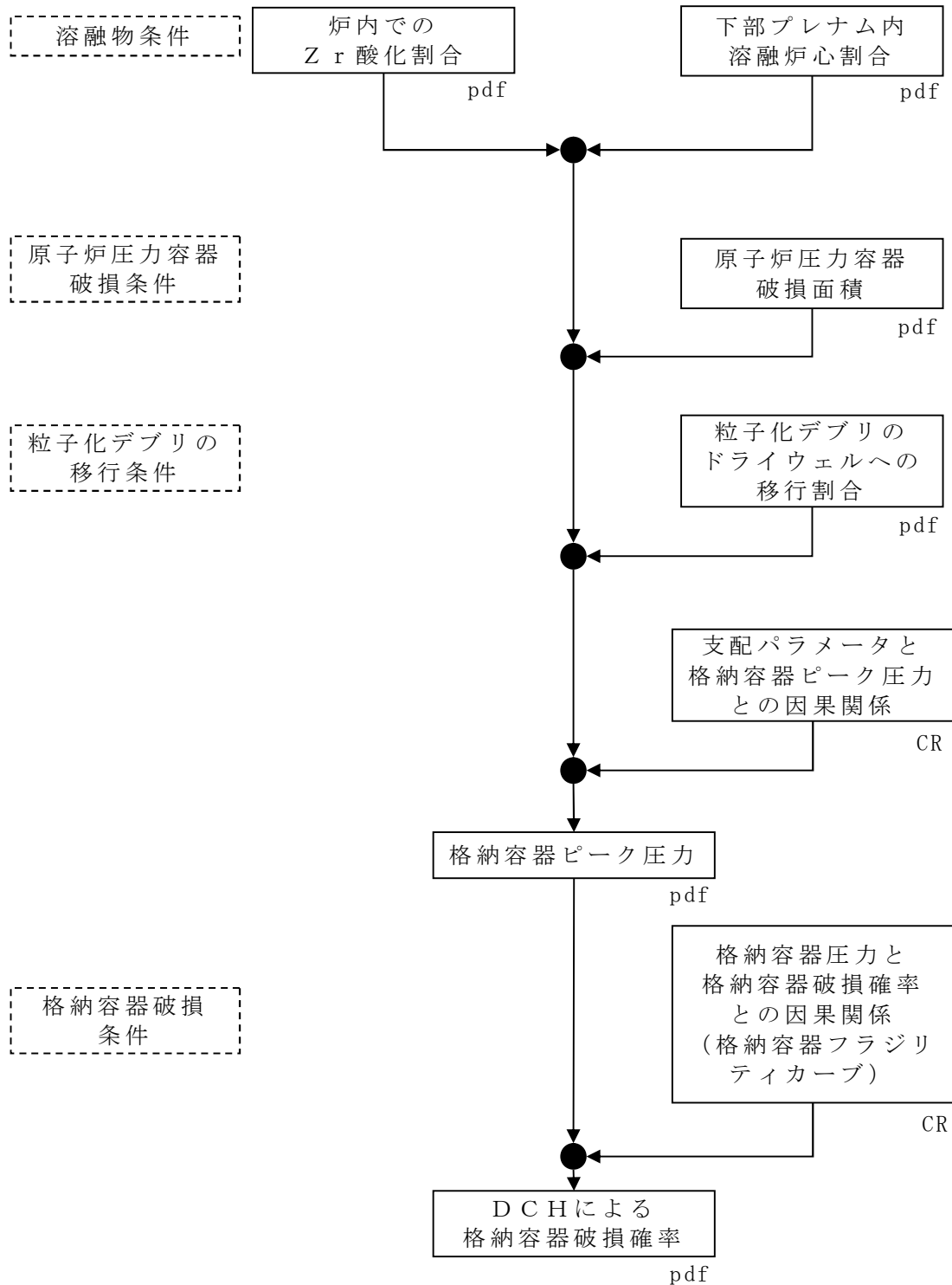


図 2-1 DCHによる格納容器破損確率の評価フロー

2.3 DCHによる格納容器破損の分岐確率の評価結果

2.3.1 支配パラメータの確率密度関数の設定

DCH現象の発生に関連して不確かさを考慮する支配パラメータとして以下のパラメータを選定した。

- ・ 炉内でのジルコニウム酸化割合
- ・ 下部プレナム内熔融炉心割合
- ・ 原子炉圧力容器破損面積
- ・ 粒子化デブリのドライウェルへの移行割合

(補足資料 2.1)

選定した支配パラメータについて，表 2-1 に示すとおり確率密度関数を設定した。

表 2-1 支配パラメータの確率密度関数の設定

| 支配パラメータ | 確率密度関数 | 設定の考え方 |
|-----------------------------|--|---|
| 炉内での Zr 酸化割合 | 分布形：三角分布 最小値：0.01 最尤値：0.24 最大値：0.53 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 先行 PRA^[2-1]における複数の専門家による確率密度関数の評価の平均値を基に設定 ・ ただし、最小値は DBA-LOCA の上限値に設定 |
| 下部プレナム内 溶融炉心割合 | 分布形：三角分布 最小値：0.1 最尤値： <input type="text"/> 最大値：1.0 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 最小値は、溶融物落下の早期に下部ヘッドが破損したとして 10 % 炉心量を設定 ・ 最尤値は、MAAP 解析に基づき 60 % 炉心量を設定 ・ 最大値は、全量の溶融物が落下するとして 100 % 炉心量を設定 |
| 原子炉圧力容器 破損面積 | 分布形：三角分布 最小値：0.002 m ² 最尤値： <input type="text"/> 最大値：2.0 m ² | <ul style="list-style-type: none"> ・ 最小値は、下部ヘッドに接続されている中で最も細い計装配管相当として設定 ・ 最尤値は、CRD 貫通部 1 本の破損相当として設定 ・ 最大値はクリープ破断相当として設定 |
| 粒子化デブリの ドライウエルへの 移行割合 | <p>以下の評価式に基づきパラメータサンプリング計算により確率密度関数を設定</p> $F_{frag} = F_{ent} \times F_{p d-out} \times F_{no-impact}$ <ul style="list-style-type: none"> ・ $F_{ent} = 1$ ・ $F_{p d-out}$ 分布形：一様分布 最小値：<input type="text"/> 最大値：<input type="text"/> ・ $F_{no-impact}$ 分布形：一様分布 最小値：0.8 最大値：1.0 | <ul style="list-style-type: none"> ・ ドライウエルへ移行する粒子化デブリの割合 (F_{frag}) は、ペデスタル床上の溶融コリウムがガス流によりエントレインされる割合 (F_{ent})、エントレインされた粒子がペデスタルから開口部へ流出する割合 ($F_{p d-out}$) 及びペデスタル開口部で付着しない割合 ($F_{no-impact}$) を考慮し、それぞれのパラメータのサンプリング計算により以下の式で確率密度関数を設定 $F_{frag} = F_{ent} \times F_{p d-out} \times F_{no-impact}$ ・ F_{ent} は、保守的に全量がエントレインされるとして 1 を設定 ・ $F_{p d-out}$ は、ペデスタル内粒子移行解析結果により 0～0.007 の範囲で一様分布を設定 ・ $F_{no-impact}$ は、粒子移行解析結果により 0.8～1.0 の範囲で一様分布を設定 |

2.3.2 支配パラメータと格納容器ピーク圧力との因果関係評価

支配パラメータと格納容器ピーク圧力との因果関係を評価するため、それぞれの支配パラメータを最大値と最小値との間で変化させた組合

せをインプットパラメータとしたM A A P 解析を実施し，それぞれの組み合わせのときの原子炉压力容器破損前の格納容器圧力（ P_0 ）及びD C H発生時の格納容器圧力の上昇幅（ ΔP ）を評価し，表 2-2 に示すように整理した。

その結果，それぞれの支配パラメータと原子炉压力容器破損前の格納容器圧力及びD C H発生時の格納容器圧力の上昇幅には，以下の因果関係があると分析した。

- ・炉内でのZ r 酸化割合（X）は，図 2-2 に示すとおり，原子炉压力容器破損前の格納容器圧力に対して線形の関係がある。また，評価範囲ではD C H発生時の格納容器圧力の上昇幅にはほとんど感度がない。
- ・原子炉压力容器の破損面積（A）は，図 2-3 に示すとおり，D C H発生時の格納容器圧力の上昇幅に対してほぼ指数関数近似が可能である。
- ・下部プレナム内溶融炉心割合に粒子化デブリのドライウェルへの移行割合を乗じた，全炉心量に対するドライウェルへのデブリ移行割合（F）は，図 2-3 に示すとおり，D C H発生時の格納容器圧力上昇幅に対してほぼ指数関数近似が可能である。

以上により，支配パラメータと格納容器ピーク圧力との因果関係は以下の関数として示すことができる。また，定数 $c_1 \sim c_5$ は，最小二乗法によるフィッティング計算により，表 2-3 のとおりとなる。

| |
|--|
| |
|--|

c1, c2, c3, c4, c5 : 定数

| |
|--|
| |
|--|

表 2－2 D C H時の格納容器圧力評価結果例

| |
|--|
| |
|--|

表 2－3 定数の評価結果

| 対象シーケンス | c 1 | c 2 | c 3 | c 4 | c 5 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| T Q U X | | | | | |
| 長期 T B | | | | | |

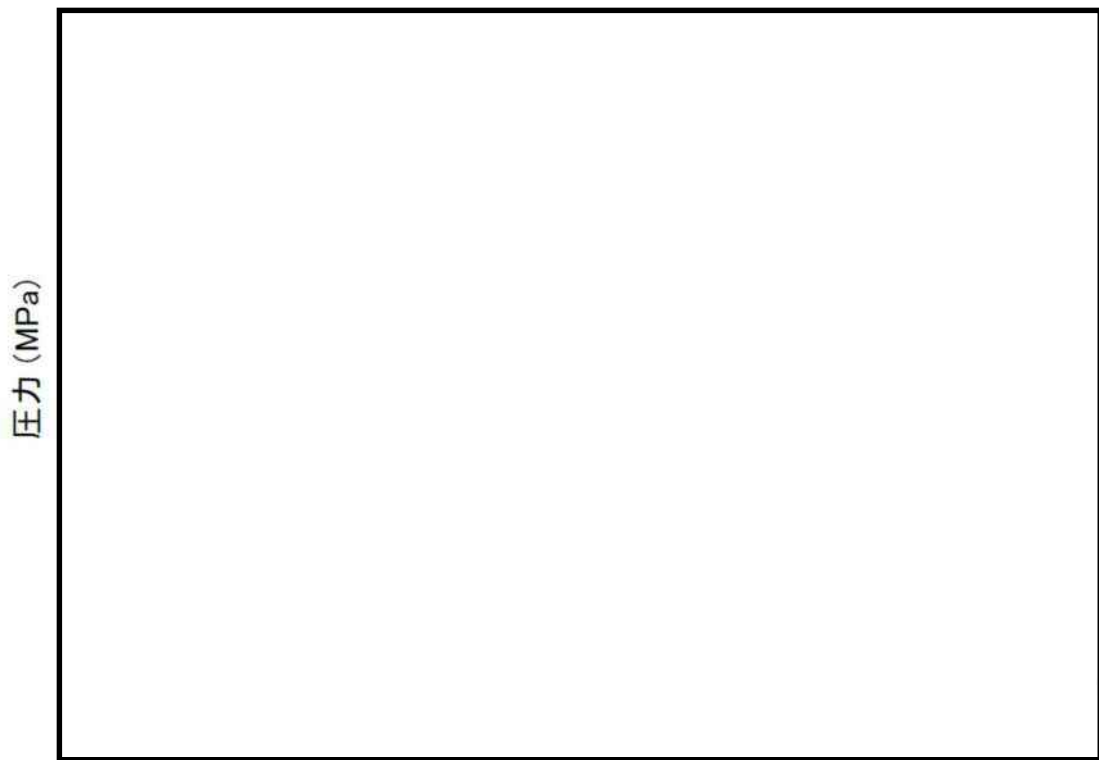


図 2-2 最小二乗法によるフィッティング計算の例



図 2-3 最小二乗法によるフィッティング計算の例

2.3.3 格納容器フラジリティカーブの設定

格納容器圧力と格納容器破損確率の相関（格納容器フラジリティカーブ）を図2-4に示す。格納容器フラジリティカーブは、代表的Mark-II型格納容器耐性評価線図（図2-5）において

と仮定し、不

確かさを考慮して、

とした。

（補足資料2.2）

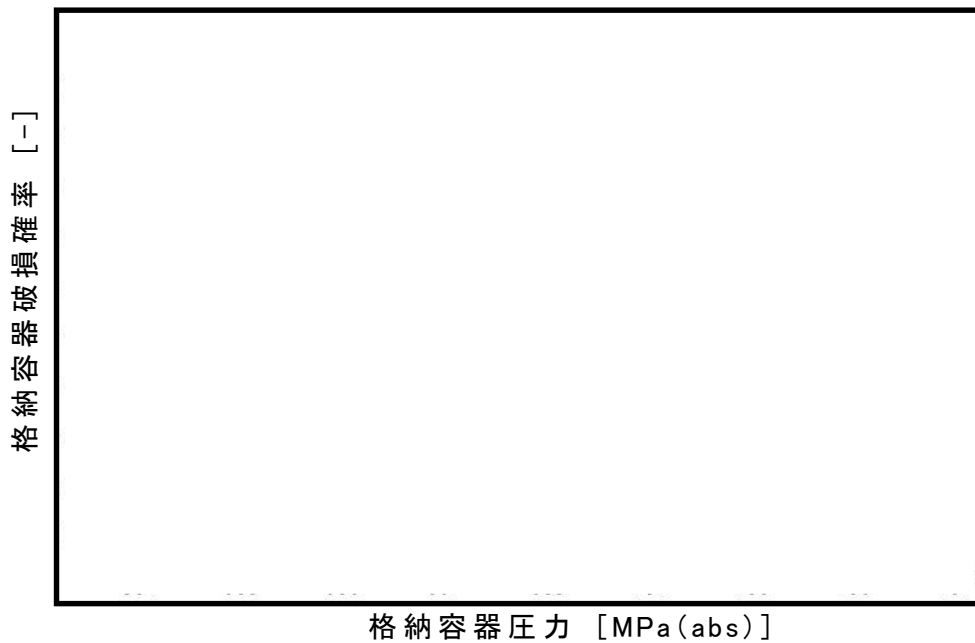


図 2-4 格納容器フラジリティ

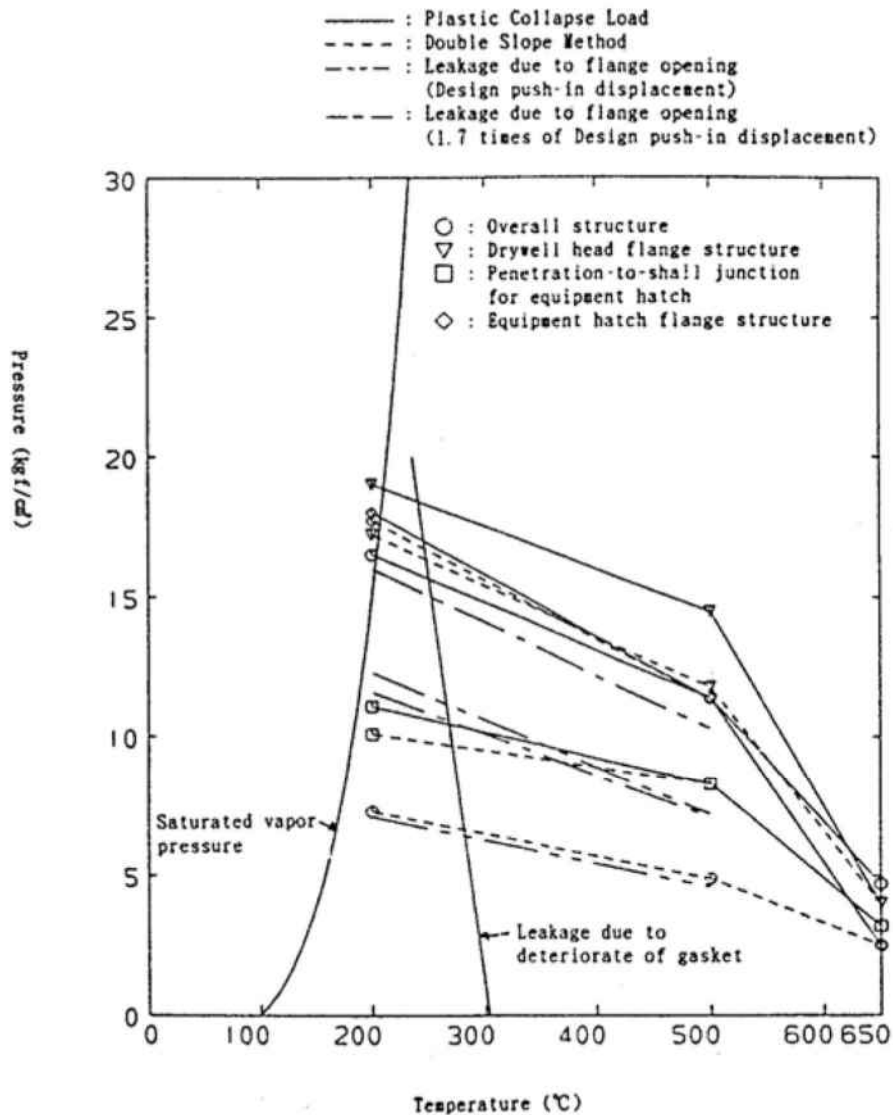


Fig. 15 Endurance Evaluation Diagram (Mark I model)

図 2-5 代表的 Mark-II 型格納容器耐性評価線図^[2-2]

2.3.4 DCHによる格納容器破損の分岐確率の評価

支配パラメータと格納容器ピーク圧力との因果関係及び格納容器フラジリティカーブに基づき、モンテカルロサンプリングにより格納容器破損確率の確率分布を評価し、その平均値をDCHによる格納容器破損の分岐確率として設定した。

表 2-4 D C H による格納容器破損の分岐確率

| | 早期 R P V 破損シナリオ (T Q U X シーケンス) | 後期 R P V 破損シナリオ (長期 T B シーケンス) |
|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| D C H による 格納容器破損確率 | | |



図 2-6 格納容器破損確率の確率分布評価結果 (T Q U X シーケンス)

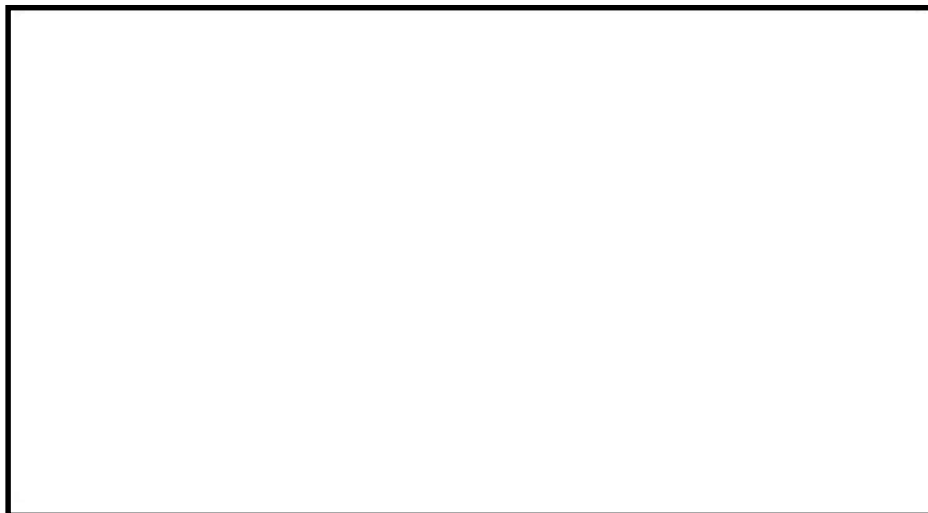


図 2-7 格納容器破損確率の確率分布評価結果 (長期 T B シーケンス)

2.4 参考文献

- [2-1] E. D. Gorham. et. al., "Severe Accident Risk: Methodology for the Containment Source Term, Consequence, and Risk Integration Analyses", NUREG/CR-4551, 1993
- [2-2] M. Goto, et al., "Study for Ultimate Capacity of Typical BWR Containment Vessel in Japan", ICONE-3, 1995
- [2-3] L. G. Greimann, et al., "Reliability Analysis of Steel Containment Strength", NUREG/CR-2442, 1982

ROAAM手法で不確かさを考慮する支配パラメータの選定について (DCH)

DCHは、シビアアクシデント時において、炉心溶融物が高圧状態で原子炉圧力容器から噴出した際に、高速のガス流により微粒子化した炉心溶融物がドライウェル空間に流出し、溶融物の保有熱や溶融物中の Zr と水蒸気との化学反応による発熱により、格納容器雰囲気が直接加熱されることで格納容器圧力の急激な上昇を引き起こす現象である。また、 Zr と水蒸気との化学反応に伴い発生する水素ガスによっても格納容器の加圧が促進される。DCH現象の概要を図補足 2.1-1 に示す。

これまでの知見により、DCH現象の主要過程は下記 3 つに分けられる。

(1) 原子炉圧力容器からの炉心溶融物放出及びガスブローダウン過程

(2) ペDESTAL（ドライウェル部）からの溶融物の分散と移行過程

(3) 格納容器雰囲気中での粒子化デブリの熱伝達及び酸化反応過程

これらの過程において影響を与えるパラメータ及びそれらのパラメータのうちROAAM手法による評価において不確かさを考慮する支配パラメータの選定の考え方について、以下に説明する。

(1) 原子炉圧力容器からの炉心溶融物放出及びガスブローダウン過程

① 下部プレナム内溶融炉心割合（原子炉圧力容器破損時）

支配パラメータとして不確かさを考慮する。原子炉圧力容器破損時に下部プレナムに存在する熔融炉心がペデスタル（ドライウェル部）床面に落下し，ブローダウンガスによりエントレインされドライウェルに流出することで，格納容器加温及び加圧に影響する支配パラメータとして不確かさを考慮する。

②原子炉圧力容器破損面積

支配パラメータとして不確かさを考慮する。原子炉圧力容器の破損面積は，ブローダウンガス流量及びその継続時間並びに原子炉圧力容器内に蓄積したガスによる格納容器加圧に影響する。ブローダウンガス流量及びその継続時間については，デブリの粒子化割合及び粒子化デブリのドライウェルへの移行割合に影響するが，デブリ粒子化割合については，保守的にペデスタル（ドライウェル部）床面に落下したデブリ全量が粒子化するものとし，粒子化デブリのドライウェルへの移行割合については，当該パラメータの中で不確かさを考慮する。よって，原子炉圧力容器破損面積は，原子炉圧力容器内に蓄積したガスによる格納容器加圧に影響する支配パラメータとして不確かさを考慮する。

③原子炉圧力容器破損時の 1 次系圧力

支配パラメータとして不確かさを考慮しない。原子炉圧力容器破損時の 1 次系圧力は，ブローダウンガス流量に影響するが，ブローダウンガス流量は粒子化デブリのドライウェルへの移行割合の中で不確かさを考慮する。

④溶融物放出量とガスブローダウン流量

支配パラメータとして不確かさを考慮しない。溶融物放出量は，保守的に下部プレナム内の熔融炉心の全量が放出するとし，ガス

ブローダウン流量は粒子化デブリのドライウェルへの移行割合に影響するが、当該パラメータの中で不確かさを考慮する。

(2) ペデスタルからの溶融物の分散と移行過程

⑤ デブリの粒子化割合

支配パラメータとして不確かさを考慮しない。保守的にペデスタル（ドライウェル部）に落下したデブリ全量が粒子化するものとして設定する。

⑥ 粒子化デブリのドライウェルへの移行割合

支配パラメータとして不確かさを考慮する。粒子化デブリのドライウェル（ドライウェル部）床面への移行割合は、格納容器雰囲気直接加熱することにより格納容器加温及び加圧に影響するとともに、 Z_r と水蒸気との反応による反応熱及び水素発生により格納容器加温及び加圧に影響する支配パラメータとして不確かさを考慮する。

(3) 格納容器雰囲気中での粒子化デブリの熱伝達及び酸化反応過程

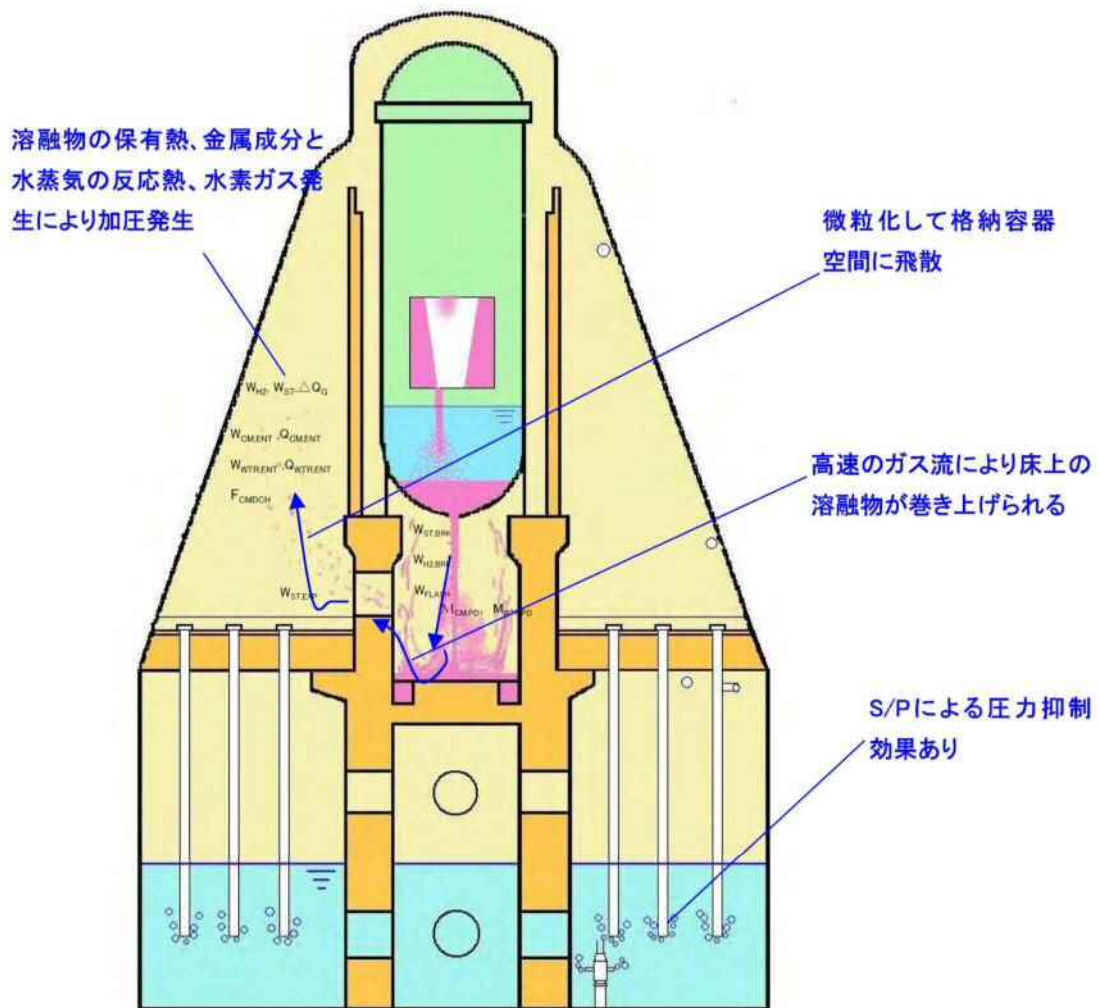
⑦ デブリ粒子径

支配パラメータとして不確かさを考慮しない。デブリ粒子径によりデブリの表面積が決定する。デブリ表面積は、粒子化デブリと格納容器雰囲気との熱伝達及び粒子化デブリと水蒸気との反応に影響するが、保守的にドライウェルに流出した粒子化デブリの保有熱は全て格納容器雰囲気に移行することとし、未酸化 Z_r は全て水蒸気と反応するものとする。

⑧ 炉内での Z_r 酸化割合

支配パラメータとして不確かさを考慮する。炉内での Z_r 酸化割合、下部プレナム内容融炉心割合及び粒子化デブリのドライウ

エルへの移行割合により，ドライウェルに移行する未酸化 Zr 量が決定される。ドライウェルに移行する未酸化 Zr 量は， Zr と水蒸気との反応による反応熱及び水素発生により格納容器加温及び加圧に影響する支配パラメータとして不確かさを考慮する。



図補足 2.1-1 DCH現象の概要

格納容器イベントツリーにおけるDCHの取扱いについて

DCHに対する格納容器フラジリティは、格納容器圧力に対して設定する。

Mark-II 格納容器に対するDCHが発生した場合の、格納容器の圧力、雰囲気温度及び構造材の温度の挙動評価の例について図補足 2.2-1 に示す。これによると、DCHによる格納容器の負荷としては以下のものが考えられる。

- ①ドライウエルに拡散した粒子化デブリによるドライウエル雰囲気の急激な加温及び加圧（格納容器過圧破損）
- ②ドライウエル雰囲気からの熱伝達によるドライウエル構造材の比較的緩やかな加温（格納容器過温破損）

また、MAAPによる事故進展解析（第 4.1.1.5-4 表参照）の結果によれば、Mark-II 格納容器では、原子炉圧力容器が高压で破損した際にDCHが発生しなかった場合においても、原子炉圧力容器が破損した際に噴出される高温のガス流によって加熱され、過温破損に至る。

DCHは数分以内の短時間の現象であり、格納容器の負荷としては圧力が重要である。よって、今回のPRAにおいては、DCHに関して図補足 2.2-2 のようなイベントツリーを設定し、短期間で過圧破損が発生しない場合は、必ず過温破損に至るとした（DCHによる過圧破損が発生しなかった場合の過温破損の確率を 1 とした）。

D C Hによる格納容器過温破損については，不確かさは存在するものの，イベントツリーにおいてD C Hにより過圧破損に至らなかった場合は必ず過温破損に至ると設定することで，評価結果に与える影響はないと考える。

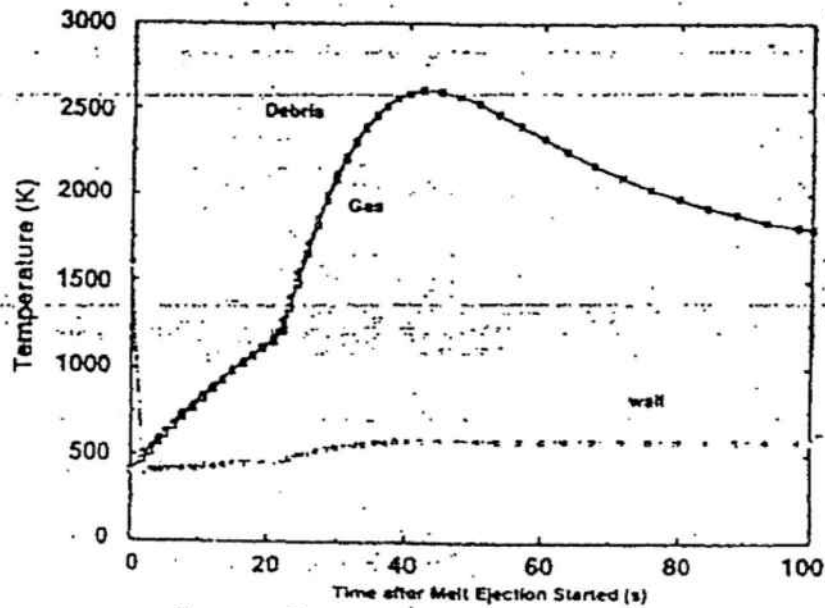


Figure 4. Temperature History of Drywell during DCH

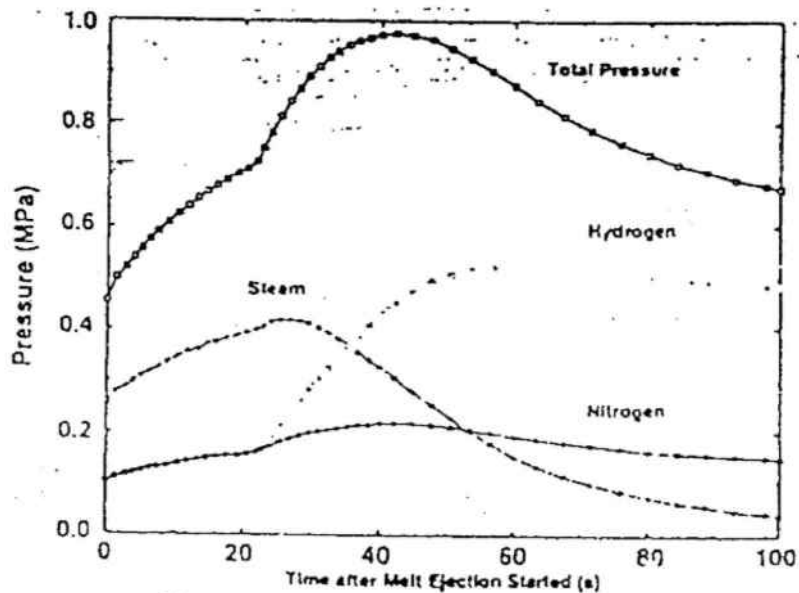
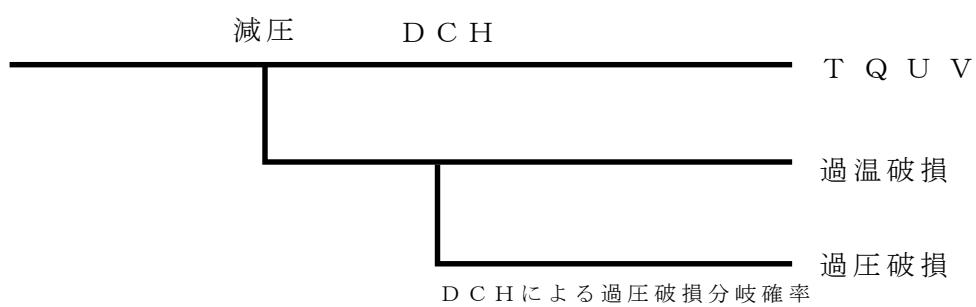


Figure 5. Pressure History of Drywell during DCH

- ・ BWR-5 / Mark-II (3,293MW) のTBシーケンスに対する解析
- ・ ドライウェル空間体積 5400m^3
- ・ デブリ初期温度 $1,600\text{K}$
- ・ デブリ主要組成 UO_2 ; $1.5 \times 10^5 \text{kg}$, Zr ; $8.8 \times 10^4 \text{kg}$,
 ZrO_2 ; $3.0 \times 10^4 \text{kg}$
- ・ ドライウェル初期圧力 0.47MPa
- ・ ドライウェル初期温度 400K

図補足 2.2-1 DCH発生時の格納容器挙動

(出典 ; Analysis of Direct Containment Heating in a BWR Mark-II Containment, JAERI-memo 05-139)



図補足 2.2-2 D C Hのイベントツリー

3. 炉外水蒸气爆発（F C I）

3.1 現象の概要

炉外水蒸気爆発（以下「F C I」という。）は、原子炉压力容器破損後に熔融炉心が放出された際に、高温の熔融炉心が原子炉压力容器下部の冷却材に落下すること等により水蒸気爆発が発生し、熔融炉心の持つ熱エネルギーが機械エネルギーに変換される現象である。なお、水蒸気爆発とは、蒸発速度が大きく蒸気圧力の増加速度が周囲の液体中での圧力緩和速度より大きい場合に起きる爆発的な反応である。F C Iが発生した場合、爆発による衝撃波等が格納容器の構造物にかかり、格納容器破損に至る可能性がある。

3.2 ペDESTAL（ドライウェル部）内でのF C Iによる格納容器破損の分岐確率の評価方法について

R O A A M手法により、ペDESTAL（ドライウェル部）内でのF C Iによる格納容器破損確率の確率分布を以下のとおり評価する。

R O A A M手法による評価の流れを図3-1に示す。

- (1) F C I現象の支配パラメータについて確率密度関数（pdf）を設定する。
- (2) F C I発生エネルギーと格納容器破損確率の因果関係（ペDESTALフラジリティ）（CR）を設定する。
- (3) 支配パラメータのモンテカルロサンプリングを実施し、F C I時に発生する機械エネルギーからペDESTAL破損確率の確率分布を設定する。また、ペDESTAL破損は格納容器破損と仮定して、格納容器破損確率の確率分布を評価する。

以上の評価により得られた格納容器破損確率の確率分布の平均値を、ペDESTAL（ドライウェル部）内でのFCIによる格納容器破損の分岐確率として設定する。

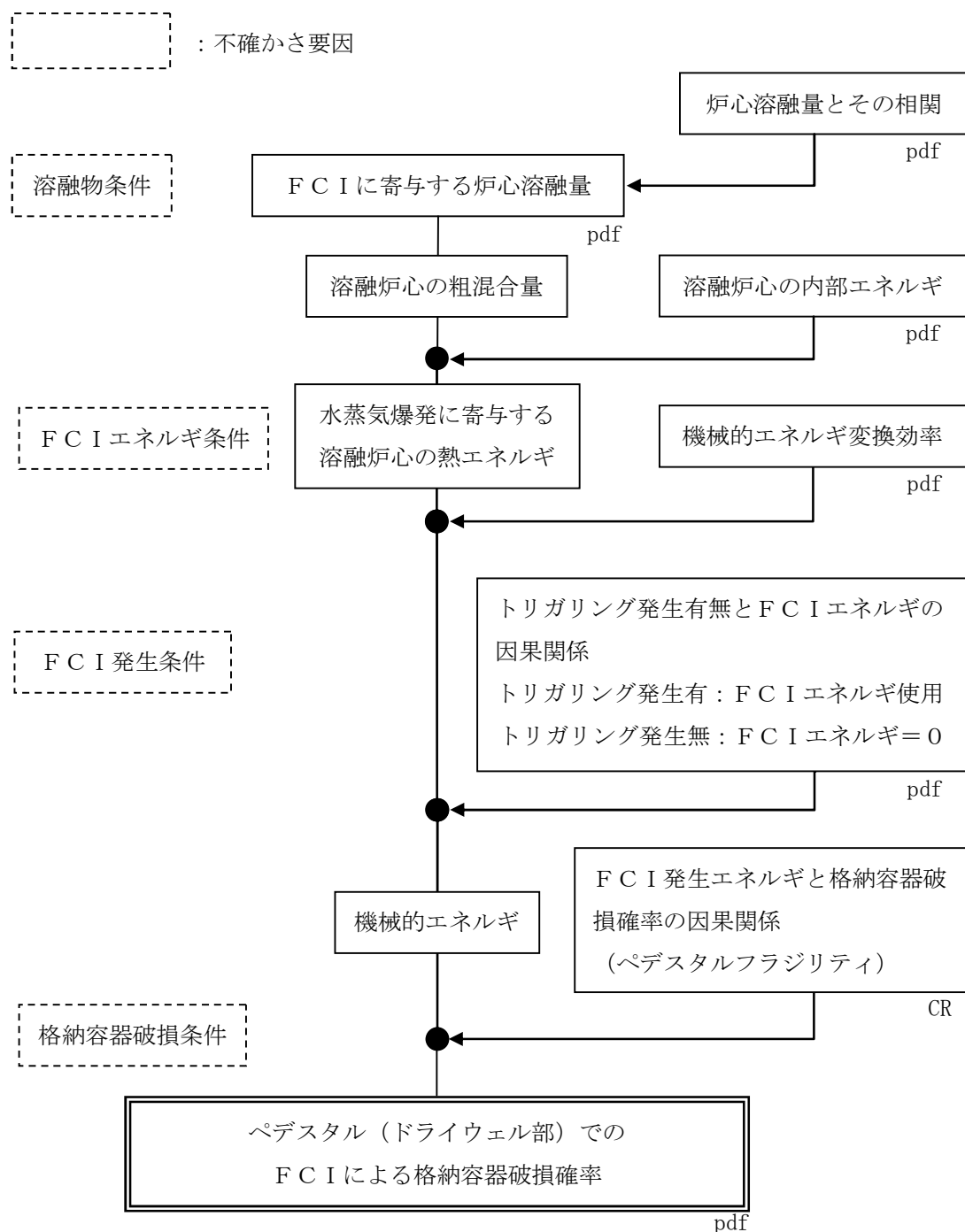


図 3-1 ペDESTAL（ドライウェル部）内でのFCIによる格納容器破損確率の評価フロー

3.3 ペデスタル内での F C I による格納容器破損の分岐確率の評価結果

3.3.1 支配パラメータの確率密度関数の設定

ペデスタル（ドライウエル部）内での F C I 現象の発生に関連して不確かさを考慮する支配パラメータとして以下のパラメータを選定した。

- ・ F C I に寄与する炉心溶融量（以下「粗混合量」という。）
- ・ 溶融炉心の内部エネルギー
- ・ 機械的エネルギー変換効率
- ・ トリガリング発生確率

（補足資料 3.1）

選定した支配パラメータについて、表 3-1 に示すとおり確率密度関数を設定した。

表 3-1 支配パラメータの確率密度関数の設定

| 支配パラメータ | 確率密度関数 | 設定の考え方 |
|--------------|---|---|
| 粗混合量 | <ul style="list-style-type: none"> 炉心溶融量に以下の分布を設定 分布形：三角分布 最小値：<input type="text"/> 最尤値：<input type="text"/> 最大値：<input type="text"/> 上記の分布と，炉心溶融量と粗混合量との因果関係から設定 | <ul style="list-style-type: none"> 代表的な 8 つのシーケンスの BWR 5, Mark-II 型格納容器プラントにおける MAA P 解析結果に基づき，炉心溶融量の分布及び炉心溶融量と粗混合量の因果関係を設定 炉心溶融量の分布の最大値，最尤値は，<input type="text"/> <input type="text"/>を設定 炉心溶融量の分布の最小値は，<input type="text"/> <input type="text"/> |
| 溶融炉心の内部エネルギー | <ul style="list-style-type: none"> 分布形：三角分布 最小値：1.3 MJ/kg 最尤値：1.4 MJ/kg 最大値：1.5 MJ/kg | <ul style="list-style-type: none"> MAA P 解析結果に基づく溶融炉心の組成，先行研究で設定している溶融炉心の融点及び過熱度により，保有熱エネルギーに対する累積確率を評価した結果に基づき設定 <p>(補足資料 3.2)</p> |
| 機械的エネルギー変換効率 | <ul style="list-style-type: none"> 分布形：三角分布 最小値：0.002 最尤値：0.01 最大値：0.03 | <ul style="list-style-type: none"> KROTOS 試験^[3-1, 2, 3]の知見（変換効率は，アルミナ試験では<input type="text"/> <input type="text"/>，コリウム試験では極めて小さい<input type="text"/> <input type="text"/>を参考に設定 |
| トリガリング発生確率 | <ul style="list-style-type: none"> 発生確率 0.1 の二項分布 | <ul style="list-style-type: none"> 実機の炉心溶融物に組成に近い U-Zr-SUS 混合物から成る溶融物を用いた，水蒸気爆発が発生しやすいと考えられる低圧，高サブクール条件での FCI 試験結果^[3-4~8]（10 回のうち 1 回 FCI が発生）から設定 |

3.3.2 []と粗混合量との因果関係評価

[]と粗混合量の因果関係は、以下のように評価した。

- ① T E X A S コードの実機解析^[3-9]では、水蒸気爆発による発生エネルギーが最大となるタイミングが原子炉圧力容器破損後[]秒後であることを踏まえ、代表的なシーケンスのM A A P 解析結果（図 3-2）から、最初の[]秒間にペデスタルに落下した[] []を粗混合量として評価（表 3-2）。

（補足資料 3.3）

- ② 表 3-2 の[]と粗混合量の関係をプロットし、近似曲線を導出（図 3-3）。

表 3-2 代表的なシーケンスにおける[]と粗混合量

| ケース番号 | 事故シーケンス | [] | 粗混合量(kg) |
|-------|---------|-----|----------|
| 1 | AE-1 | | |
| 2 | AE-2 | | |
| 3 | TQUX-1 | | |
| 4 | TQUX-2 | | |
| 5 | TQUV-1 | | |
| 6 | TQUV-2 | | |
| 7 | TC-1 | | |
| 8 | TC-2 | | |

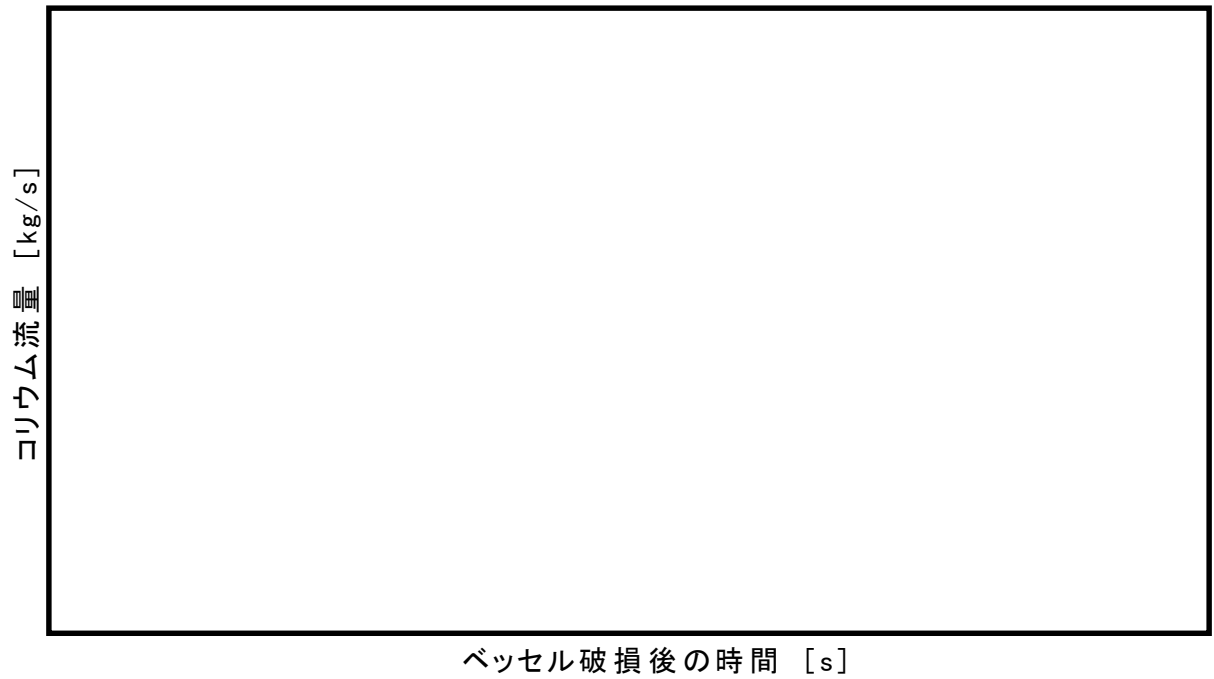


図 3-2 代表的なシーケンスにおけるセシウム流量の変化

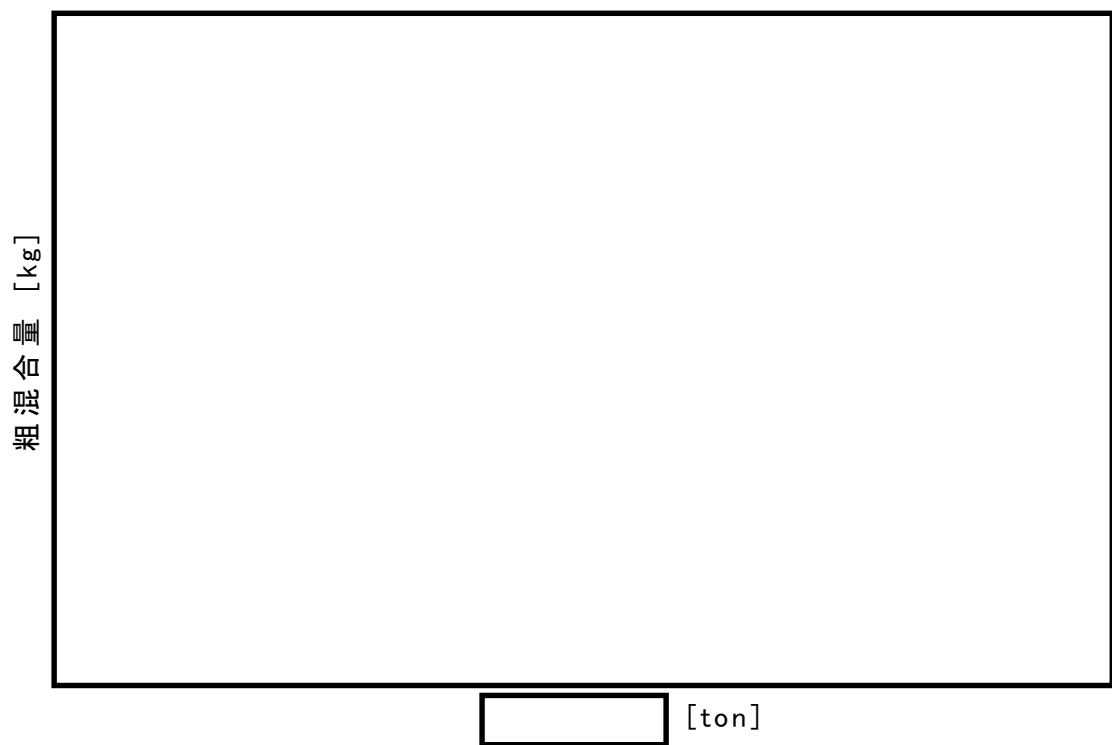


図 3-3 [] と粗混合量の因果関係

3.3.3 F C I 発生エネルギーとペDESTAL破損確率の因果関係（ペDESTALフラジリティ）について

F C I 発生エネルギー（機械エネルギー）とペDESTAL破損確率の因果関係（ペDESTALフラジリティ）は、以下のように設定した。

（補足資料 3.4）

- ① F C I 発生時の機械エネルギーによる鉄筋に発生する塑性ひずみを $\boxed{}^{[3-10]}$ により解析。
- ② 鉄筋の最大引張強さ相当の塑性ひずみが発生する場合のペDESTAL破損確率を $\boxed{}$ ，鉄筋に塑性ひずみが発生しない場合はペDESTAL破損確率を $\boxed{}$ と仮定。
- ③ ペDESTAL破損確率が $\boxed{}$ の場合の機械エネルギーを算出し， $\boxed{}$ の最尤値と仮定。また，ペDESTAL破損確率が $\boxed{}$ ， $\boxed{}$ の場合の機械エネルギーを，それぞれ $\boxed{}$ の最大値，最小値と仮定。
- ④ ③にて仮定した $\boxed{}$ により累積のペDESTAL破損確率分布を求め，ペDESTALフラジリティを設定（図 3-4）。

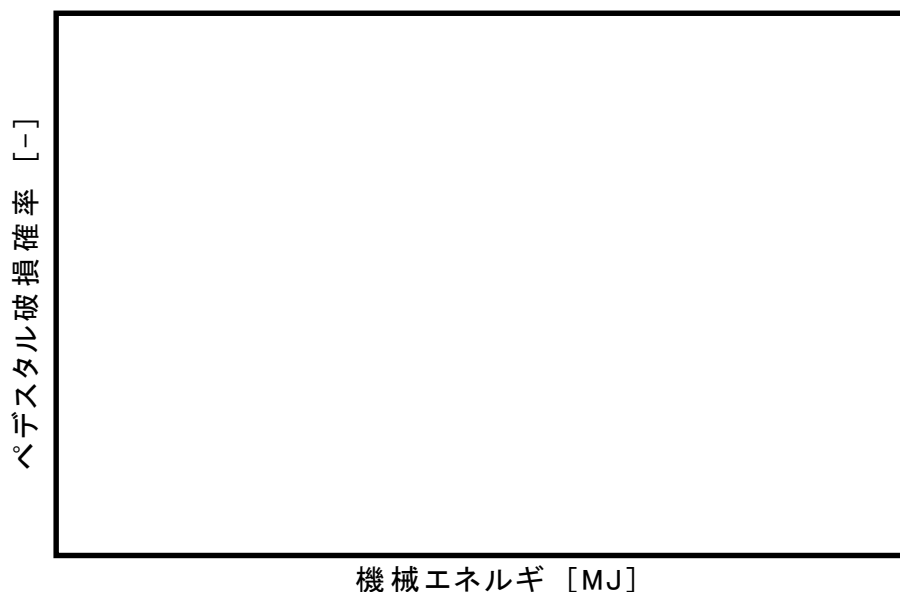


図 3-4 ペDESTALフラジリティ

3.3.4 ペデスタル（ドライウェル部）内での F C I による格納容器破損の分岐確率の評価

支配パラメータのモンテカルロサンプリングを実施することにより評価した F C I 時に発生する機械エネルギーと、ペデスタルフラジリティにより、ペデスタル破損確率の確率分布を評価した（図 3－5）。その平均値として、ペデスタル（ドライウェル部）内での F C I による格納容器破損確率の分岐確率を表 3－3 に示すとおり評価した。

表 3－3 ペデスタル（ドライウェル部）内での F C I による格納容器破損の分岐確率

| | |
|-----------------------|-------|
| | ペデスタル |
| F C I による 格納容器破損確率 | |

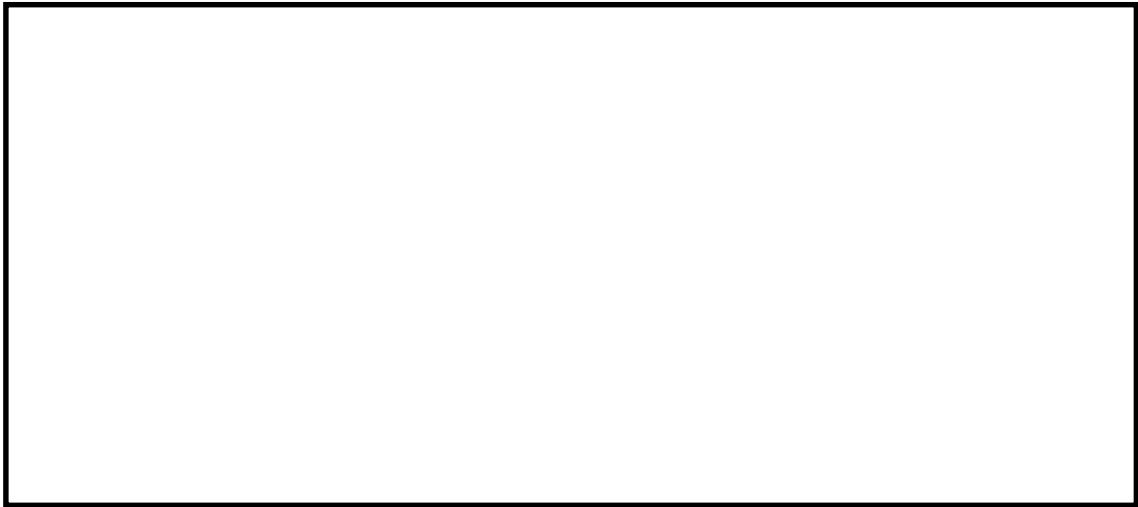


図 3－5 格納容器破損確率の確率分布評価結果

3.4 サプレッション・プールでの F C I による格納容器破損の分岐確率について

サプレッション・プールでの F C I による格納容器破損の分岐確率については、実機の炉心溶融物に組成に近い [] から成る溶融物を用いた [] での F C I 試験^[3-4~8, 11]におけるトリガリング発生確率 [] を考慮して設定した（表 3-4）。溶融炉心はサプレッション・プールに大量に落下すると考えられ、F C I により発生する荷重とペデスタル（ドライウェル部）床面が破損した状態におけるペデスタル（ドライウェル部）壁面強度の関係について不確かさが大きいと考えられることから、確率値としてはトリガリング発生確率のみを用いた。

なお、表 3-1 のとおり、ペデスタル（ドライウェル部）でのトリガリング発生確率は、[] での F C I 試験結果から設定している。一方、サプレッション・プールでの F C I による格納容器破損の分岐確率設定に当たっては、溶融炉心落下時にサプレッション・プールが飽和状態になっていることも考えられることから、[] での F C I 試験も考慮して設定した。

表 3-4 サプレッション・プールでの F C I による
格納容器破損の分岐確率

| | |
|-----------------------|-------------|
| | サプレッション・プール |
| F C I による 格納容器破損確率 | |

3.5 参考文献

- [3-1] I. Huhtiniemi, et al., "Results of recent KROTOS FCI tests: alumina versus corium melts," Nucl. Eng. Des. 189 379-389, 1999.
- [3-2] D. Magallon, "Characteristics of corium debris bed generated in large-scale fuel-coolant interaction experiments," Nucl. Eng. Des. 236 1998-2009, 2006.
- [3-3] H. S. Park, et al., "Vapor Explosions in One-Dimensional Large Scale Geometry with Simulant Melts", NUREG/CR-6623, 1999
- [3-4] D.F.Fletcher, "A Review of the Available Information on the Triggering Stage of a Steam Explosion", Nuclear Safety. Vol. 35, No. 1, 1994.
- [3-5] H. S. Park et al., "Vapor Explosions in a One-Dimensional Large Scale Geometry With Simulant Melts", NUREG/CR-6623, 1999.
- [3-6] M.F.Young et al., "Hydrogen Generation During Fuel/Coolant Interactions", Nucl. Sci. Eng., Vol. 98, 1989.
- [3-7] I. Huhtiniemi et al., "Results of Recent KROTOS FCI Tests : Alumina vs. Corium Melts", JAERI-Conf 97-011, 1997.
- [3-8] M. Kato et al., "COTELS Project (2) : Fuel Coolant Interaction Tests under Ex-Vessel Conditions", OECD Workshop on Ex-Vessel Debris Coolability. Karlsruhe. Nov. 1999.
- [3-9] Nishiura. H. et al. "Assessment of Ex-Vessel Steam Explosion Energy Using TEXAS-V". Proc. Second Japan-Korea Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety, Fukuoka, October

15-18, 2000.



[3-11] M.Kato et al., "Fuel Coolant Interaction Tests using UO₂ Corium under Ex-Vessel Conditions", JAERI-Conf 99-005, 1999.

R O A A M手法で不確かさを考慮する支配パラメータの選定について
(F C I)

F C I は，原子炉圧力容器破損後に熔融炉心が放出された際に，高温の熔融炉心が原子炉圧力容器下部の冷却材に落下すること等により，熔融炉心の持つ熱エネルギーが爆発的な機械エネルギーに変換され，水蒸気爆発が発生する現象である。

これまでの知見により，F C I 現象は以下に示すような過程を経て進行していくものと提唱されている。

- ①高温高沸点液体（熔融金属）と低温低沸点液体（水等）の接触
- ②粗混合：熔融金属の固まりが水中で細くなり分散
- ③膜沸騰：細かく分散した金属液滴の周りを蒸気の膜が覆う
- ④蒸気膜の一部が崩壊
- ⑤金属と水の直接接触
- ⑥高温液滴の細粒化
- ⑦急激な熱移動
- ⑧圧力波の発生
- ⑨圧力波の伝播
- ⑩大規模な水蒸気爆発

特に，機械的エネルギーへの変換効率が発生する条件としては，下記の4過程が必要であると考えられている。

- (1) 粗混合状態（適度な大きさに細粒化した高温融体と水とが蒸気膜を介して粗混合）

(2) トリガリング（蒸気膜が崩壊して高温融体と水との直接接触を引き起こす）

(3) 伝播及び膨張（直接接触と高温伝播・沸騰，高温融体の微粒化が高速に進み，体系全体へ機械的エネルギーを放出）

これらの過程における影響を与えるパラメータ及びそれらのパラメータのうちROAM手法による評価において不確かさを考慮する支配パラメータについて選定した。この選定の考え方について，以下に説明する。

(1) 粗混合状態

①炉心溶融量（原子炉圧力容器破損前に下部プレナムに落下する溶融デブリ量）

粗混合量に直接影響するため，不確かさを考慮する。ただし，粗混合状態の過程における支配パラメータである粗混合量の中で炉心溶融量の不確かさを考慮する。

②原子炉圧力容器から放出されるコリウムの特性（流量，組成）

支配パラメータとして不確かさを考慮しない。原子炉圧力容器から放出されるコリウムの特性（流量，組成）は，原子炉圧力容器破損モード・原子炉圧力容器破損時の原子炉圧力により決まり，溶融炉心の細粒化量に影響する。溶融炉心の細粒化量は粗混合量に影響するため，粗混合量の中で不確かさを考慮する。なお，原子炉圧力容器の破断口の拡がりについては，粗混合量を評価するMAAP解析において考慮されている。

③ペDESTAL水中における粗混合領域

支配パラメータとして不確かさを考慮しない。ペデスタル（ドライウエル部）水中における粗混合領域は，落下した熔融炉心のジェットからの離脱の態様と水中の落下挙動により決まり，ジェットから離脱した場合，熱伝達によって固化することで，粗混合量は減少する。したがって，本パラメータは粗混合量に影響するため，粗混合量の中で不確かさを考慮する。

④粗混合量

支配パラメータとして不確かさを考慮する。粗混合量は，「炉心溶融量（原子炉圧力容器破損前に下部プレナムに落下する溶融デブリ量）」，「原子炉圧力容器から放出されるコリウムの特性（流量，組成）」及び「ペデスタル（ドライウエル部）水中における粗混合領域」等により異なり，FCIにより発生する機械エネルギーに直接影響するため，支配パラメータとして不確かさを考慮する。

(2) トリガリング

⑤熔融炉心の過熱度

支配パラメータとして不確かさを考慮しない。熔融炉心の過熱度が小さい場合，熔融炉心周りの蒸気膜崩壊時に接触界面温度が固化温度以下に低下してトリガリングが起きないと考えられており，トリガリング発生の有無に対して影響するため，トリガリング発生の有無の中で不確かさを考慮する。

⑥ペデスタルの水温

支配パラメータとして不確かさを考慮しない。飽和水に熔融物が落下する場合には，サブクール度によって自発的トリガリングの発生に影響するため，トリガリング発生の有無の中で不確かさを考慮する。

⑦トリガリング発生の有無

支配パラメータとして不確かさを考慮する。トリガリング発生の有無は、「溶融炉心の過熱度」,「ペデスタルの水温」等により影響を受け、機械エネルギーを発生するかどうかが決まる。したがって、支配パラメータとして不確かさを考慮する。

(3) 伝播及び膨張

⑧トリガリングのタイミング

支配パラメータとして不確かさを考慮しない。トリガリングのタイミングが早い場合、粗混合状態を形成して水蒸気爆発に寄与する溶融炉心の量が少ないために発生エネルギーは低下し、一方でタイミングが遅い場合は、細粒化した溶融炉心の固化が進む上、冷却材ボイド率が高まり発生エネルギーは低下するため、本パラメータは F C I により発生する機械エネルギーに影響する。ただし、本評価では、補足資料 3.3 に記載のとおり、T E X A S コードでの実機解析の知見を踏まえて、トリガリングタイミングは最も発生エネルギーが高いと考えられる をトリガリングタイミングとしており、支配パラメータとして選定しない。

⑨溶融炉心の内部エネルギー

支配パラメータとして不確かさを考慮する。溶融炉心の内部エネルギーは溶融炉心の金属（特に Z r）の酸化割合、溶融炉心の融点及び溶融炉心の過熱度により決まり、F C I により発生する機械エネルギーに直接影響するため、支配パラメータとして不確かさを考慮する。

⑩粗混合領域のボイド率

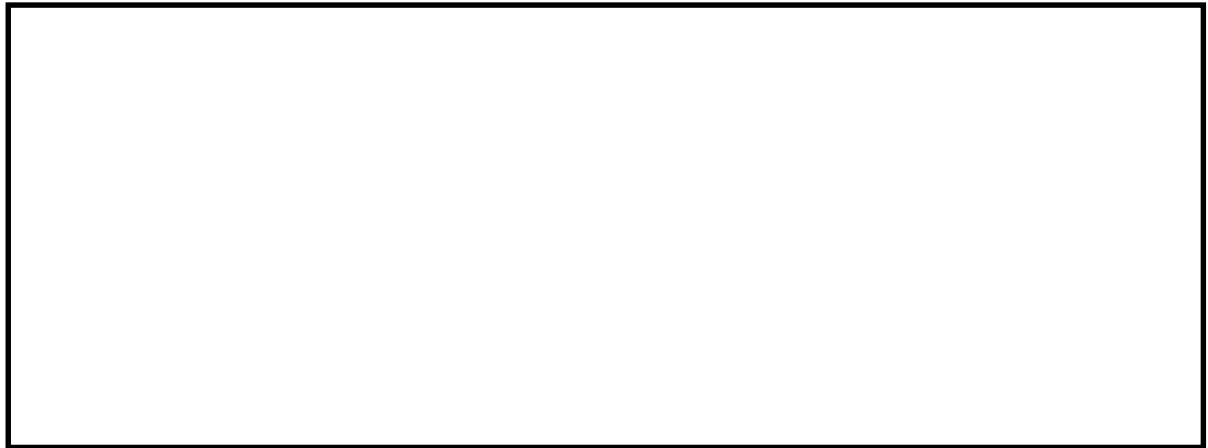
支配パラメータとして不確かさを考慮しない。粗混合領域のボイド率が高いと、水の運動エネルギーが蒸気相に吸収されてしまうため、機械的エネルギー変換効率が低下する。したがって、本パラメータは機械的エネルギー変換効率に影響するため、機械的エネルギー変換効率の中で不確かさを考慮する。

⑪機械的エネルギー変換効率

支配パラメータとして不確かさを考慮する。機械的エネルギー変換効率は粗混合領域のボイド率等により異なり、FCIにより発生する機械エネルギーに直接影響するため、支配パラメータとして不確かさを考慮する。

溶融炉心の単位質量当たりの保有熱エネルギーの評価について

溶融物の持つ単位質量当たりの保有熱エネルギー E_t (J/kg) (以下「単位質量保有熱エネルギー」という。) は、次式で定義される。 E_t に機械的エネルギーの変換効率を掛けることにより、水蒸気爆発による発生エネルギーが評価できる。



表補足 3.2-1 に、溶融物の物性値をまとめて示す。本表より、 ZrO_2 の液体状態での比熱及び溶融潜熱が比較的大きいことが分かる。

そこで、MAAP 解析^[1]に基づき、表補足 3.2-2 のとおり ZrO_2 の質量割合の異なる 2 ケースの組成を設定し、さらにコリウム温度に係る文献^[2, 3]を参考に以下のとおりコリウムの融点、相互作用後のコリウム温度及び溶融炉心の過熱度を仮定し、保有熱エネルギーに対する累積確率を評価した。その結果を図補足 3.2-1 に示す。



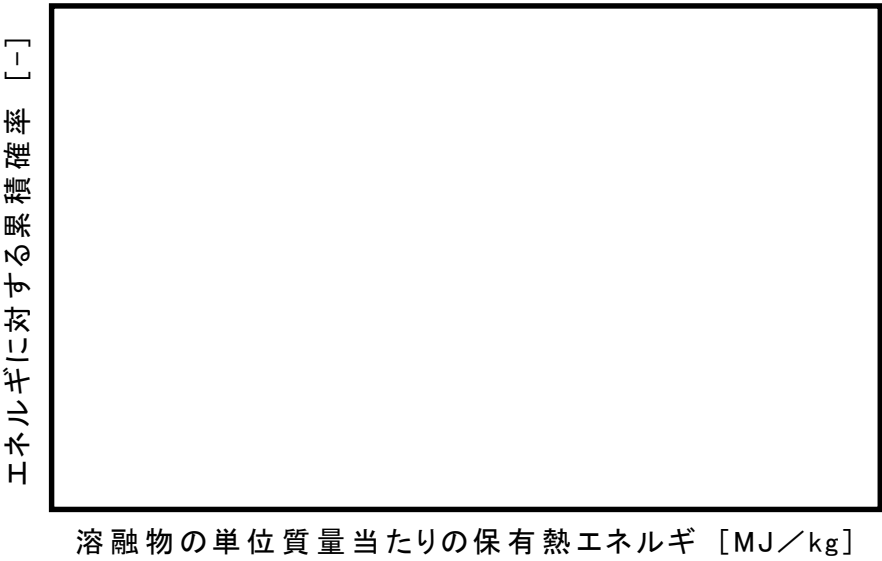
図補足 3.2-1 から分かるように、 ZrO_2 の質量割合が大きい組成 1 のケースの保有熱エネルギーが高いことから、組成 1 における保有熱エネルギーに対する累積確率が [] の場合の単位質量保有熱エネルギーである [] を、それぞれ最小値、最尤値、最大値とし、分布は [] と仮定した。

表補足 3.2-1 物性値のまとめ^[2]

| | 固体の比熱 | 液体の比熱 | 溶融潜熱 |
|-----------------|----------|----------|----------|
| UO_2 | 332J/kgK | 503J/kgK | 274J/kgK |
| ZrO_2 | 604J/kgK | 815J/kgK | 706J/kgK |
| Zr | 356J/kgK | 356J/kgK | 225J/kgK |
| Stainless Steel | 558J/kgK | 558J/kgK | 280J/kgK |

表補足 3.2-2 溶融炉心の組成

| | 組成 1 | 組成 2 |
|--|------|------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |



図補足 3.2-1 溶融物の保有熱エネルギーに対する累積確率評価結果

参考文献

- [1] 「溶接部等熱影響部信頼性実証試験（原子炉格納容器）に関する報告書」財団法人 原子力発電技術機構 平成 10 年度
- [2] D. T. Hargman, "SCDAP/RELAP5/MOD3.1 Code Manual, MATPRO-A Library of Materials Properties for Light-Water-Reactor Accident Analysis", NUREG/CR-6150, 1995.
- [3] O. Zuchuat, et al., "Steam Explosions-Induced Containment Filure Studies for SWISS Nuclear Power Plants", OECD/CSNI Specialist Meeting, JAERI, Japan, May 1997.

TEXASコードでの実機解析について

TEXASコードでの実機解析では、トリガリングのタイミングに対する発生エネルギーにはピークがある結果となっている。これは、トリガリングが早いと水中の溶融物量が少ないこと、トリガリングが遅いと粒子が固化したりボイド率が増大して爆発に寄与する溶融物量が少なくなるためである。

したがって、TEXASコードでの実機解析の知見を踏まえて、本評価におけるトリガリングの最適条件を とし、それまでに落下した溶融物落下量を粗混合量とすることとした。

F C I におけるペDESTALフラジリティ評価方法について

F C I におけるペDESTALフラジリティは、「3.3.3 F C I 発生エネルギーと格納容器破損確率の因果関係（ペDESTALフラジリティ）について」に記載のとおり、コードにより F C I 発生時の機械エネルギーによる鉄筋に発生する塑性ひずみを評価し、塑性ひずみの評価結果からペDESTAL破損確率に変換し、を仮定することでペDESTALフラジリティを設定している。

以下では、コードの概要、コードによる解析条件及び結果並びにペDESTAL破損確率の評価方法について記載する。

1. コードの概要

コードは、
コードで、時間とともに
に接触条件や構造物形状が変化するような非線形解析が可能である。

2. コードによる解析条件及び結果

(1) 解析条件

コードを用いた評価モデル概念図を図補足 3.4-1
に示す。体系は B W R 5，M a r k - II 型格納容器プラントを対象
としており、解析範囲は圧力波の伝播による構造物への影響を考慮
して、
その間の及び
とした。

解析では，下部ドライウェル冷却材中での水蒸気爆発による圧力波が冷却材あるいは蒸気層部を伝播した結果，構造物に生じる荷重・変形の評価を行う。

(2) 解析結果

機械エネルギーに対するペデスタル鉄筋に発生する塑性ひずみの評価結果の一例を，図補足 3.4-2 に示す。

解析では，ペデスタル（ドライウェル部）内表面から外側表面に向かって評価点を複数設定しているが，ペデスタル破損確率を評価する際は、最も塑性ひずみが大きくなっているペデスタル（ドライウェル部）内表面から厚み方向に□の位置の解析結果を使用している。

3. ペデスタル破損確率の評価方法

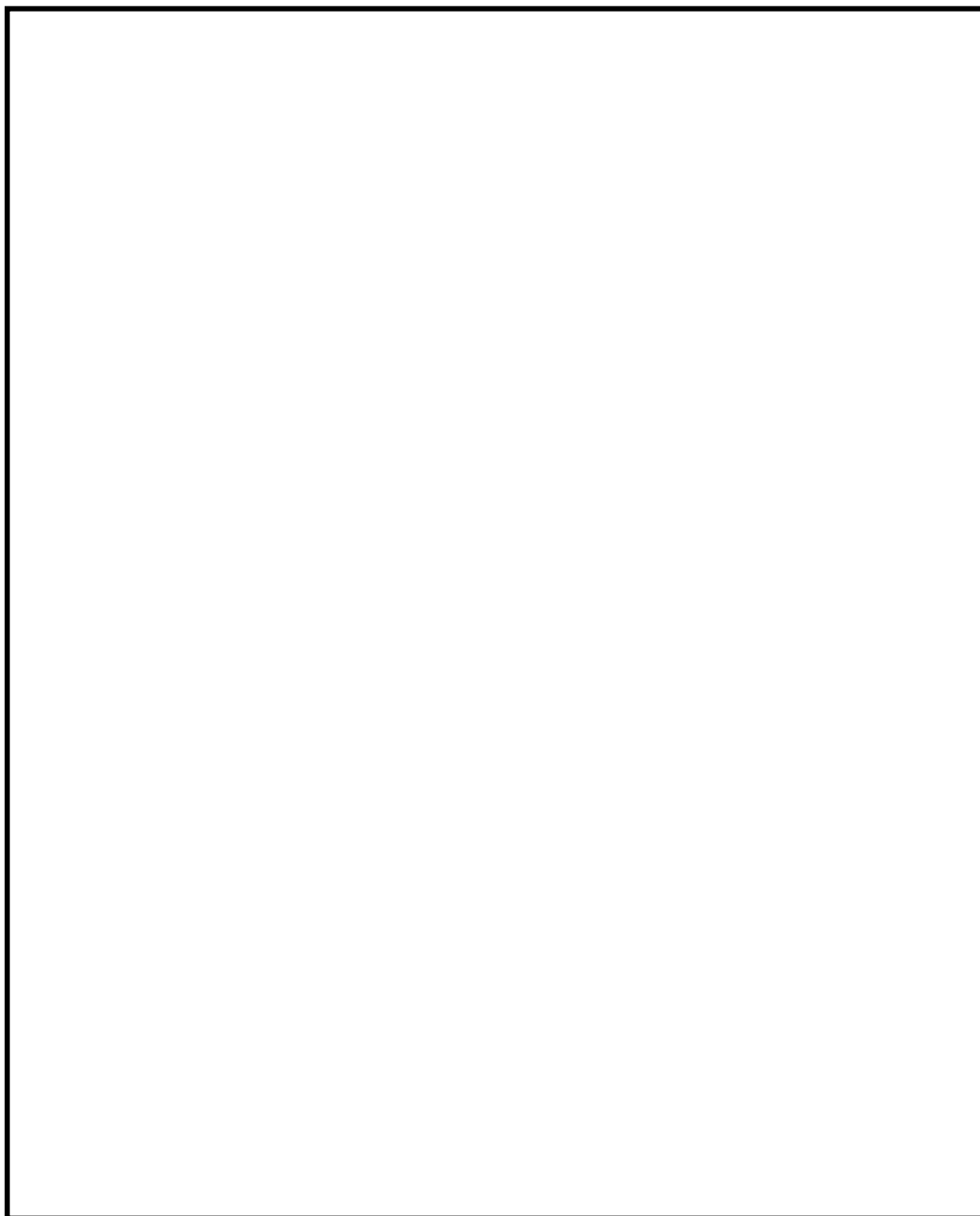
① ペデスタルが破損する塑性ひずみは，鉄筋の最大引張強さ時の塑性ひずみ □ に不確定要素 □ を考慮した塑性ひずみ □ とする。すなわち，鉄筋の塑性ひずみ □ を発生させるのに必要な機械エネルギーは □ であり（図補足 3.4-3），この場合ペデスタルが破損するとして破損確率を 100% と仮定。

② 機械エネルギー □ により鉄筋に発生する塑性ひずみは □ であり（図補足 3.4-3），以下の式よりペデスタル破損確率は □ と評価されることから，機械エネルギー □ を破損確率 50% と設定。



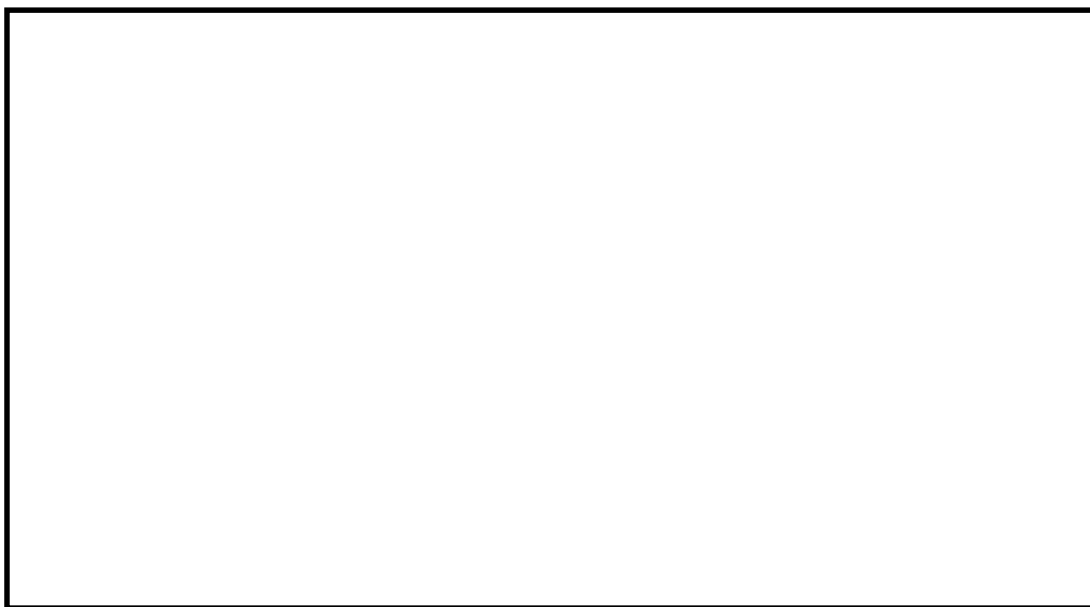
③ 機械エネルギーが □ を越えた領域で鉄筋に塑性ひずみが発生することから，□ はペデスタル破損確率を 0% と仮定。

- ④ 機械エネルギーの最大値，最尤値，最小値を、それぞれ とし，分布は を仮定し，累積のペDESTAL 破損確率分布を求め，ペDESTAL フラジリティを設定。



図補足 3.4-1 コードを用いた評価モデル概念図
(BWR5, Mark-II 型格納容器プラント)

塑性ひずみ [-]



図補足 3.4-2 ペデスタル鉄筋に発生する塑性ひずみの評価結果
(機械エネルギー)

塑性ひずみ [-]



機械エネルギー [MJ]

図補足 3.4-3 機械エネルギーと鉄筋に発生する塑性ひずみの関係

4. 溶融炉心・コンクリート相互作用（M C C I）

4.1 現象の概要

熔融炉心・コンクリート相互作用（以下「MCCI」という。）は、炉心が熔融し原子炉圧力容器下部ヘッドを熔融貫通してペデスタル（ドライウェル部）床面に落下した場合に発生し、ペデスタル内に堆積した高温の熔融炉心によってコンクリートが熱せられ、熱分解し侵食される現象である。

コンクリートの分解により発生する水蒸気及び二酸化炭素が熔融炉心内を通過する際、未酸化金属成分と反応して水素や一酸化炭素等の非凝縮性の可燃性ガスが発生する。これらのガス発生による格納容器内の加圧が格納容器の閉じ込め機能維持に悪影響を与える可能性がある。

また、堆積熔融物の冷却が不十分で侵食が継続した場合、ペデスタル（ドライウェル部）床が貫通し、熔融炉心がサプレッション・プールに落下する可能性がある。さらに、サプレッション・プールに落下し堆積した熔融物の冷却が不十分であり、コンクリートの侵食が発生し継続した場合には、放射性物質の地中放出が起きる可能性や、原子炉圧力容器支持構造の強度が低下し、格納容器破損に至る可能性がある。

4.2 MCCIによる格納容器破損の分岐確率の評価方法について

ROAM手法により、MCCIによる格納容器破損確率の確率分布を以下のとおり評価する。ROAM手法による評価の流れを図4-1、図4-2に示す。

- (1) MCCI現象の支配パラメータについて、確率密度関数(pdf)を設定する。

- (2) 支配パラメータを基に，デブリからの除熱量の確率分布を評価する。
 - (3) デブリからの除熱量とM C C I 継続確率の因果関係（CR）を評価する。
 - (4) デブリからの除熱量とM C C I 継続確率の因果関係（CR），及び支配パラメータを基に，モンテカルロサンプリングにより，M C C I 継続による格納容器破損確率の確率分布を評価する。
- 以上の評価により得られた格納容器破損確率の確率分布の平均値を，M C C I による格納容器破損の分岐確率として設定する。

: 不確かさ要因

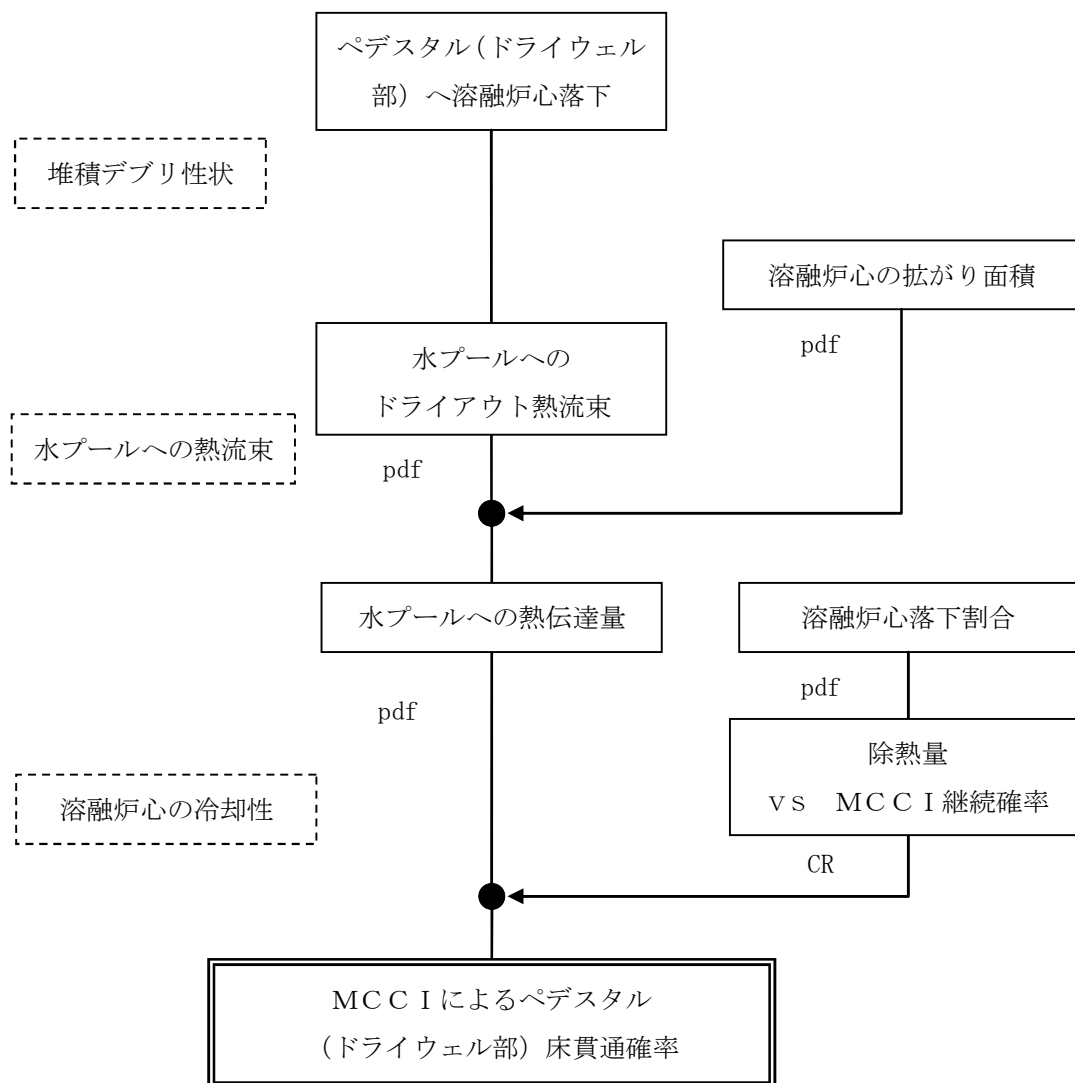


図 4-1 MCC I による格納容器破損確率の評価フロー
(ペデスタル (ドライウェル部) 床貫通確率評価まで)

: 不確かさ要因

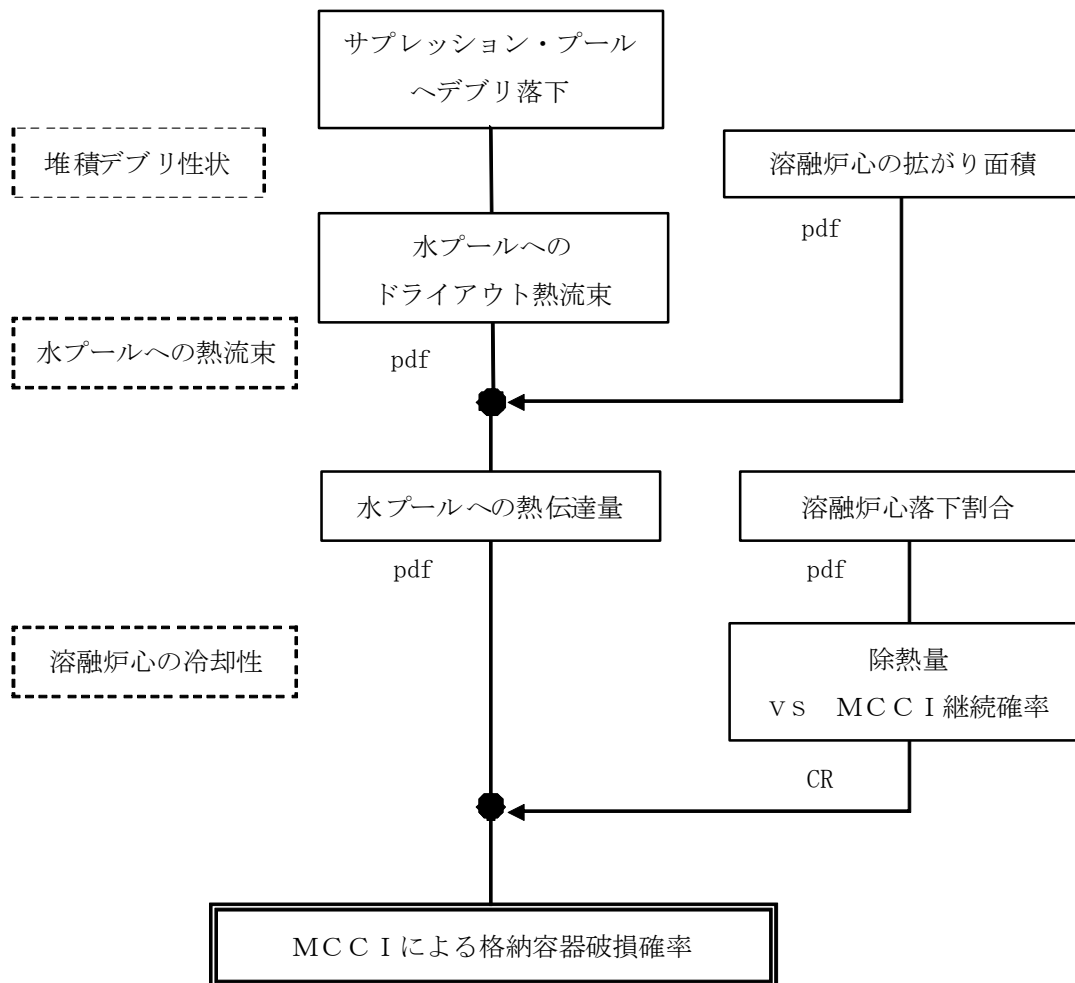


図 4-2 MCC I による格納容器破損確率の評価フロー
(サプレッション・プールヘデブリ落下後)

4.3 M C C I による格納容器破損の分岐確率の評価結果

4.3.1 支配パラメータの確率密度関数の設定

M C C I 現象の発生に関連して不確かさを考慮する支配パラメータとして以下のパラメータを選定した。

- ・ 溶融炉心落下割合
- ・ 溶融炉心の広がり面積
- ・ 水プールへのドライアウト熱流束

(補足資料 4.1)

選定したパラメータについて、表 4-1、表 4-2 に示すとおり確率密度関数を設定した。

表 4-1 支配パラメータの確率密度関数の設定

(ペDESTAL)

| 支配パラメータ | 確率密度関数 | 設定の考え方 |
|-----------------|---|--|
| 溶融炉心落下割合 | 分布形：一様分布 上限値： <input type="text"/> 下限値： <input type="text"/> | ・ M A A P 解析結果によると全炉心の <input type="text"/> がペDESTAL（ドライウエル部）に落下するが、 <input type="text"/> 落下まで想定し設定 |
| 溶融炉心の広がり面積 | 分布形：三角分布 最小値：ペDESTAL（ドライウエル部）面積の 90% 最尤値：ペDESTAL（ドライウエル部）面積 最大値：ペDESTAL（ドライウエル部）面積 | ・ ドライ条件での広がり面積として設定 ・ 最小値は、ペDESTAL（ドライウエル部）床面面積の大部分に広がるものとして工学的判断に基づき設定 ・ 最尤値は、ペDESTAL（ドライウエル部）床面全面に広がる可能性が高いことを考慮し設定 |
| 水プールへのドライアウト熱流束 | 分布形：三角分布 最小値： <input type="text"/> MW/m ² 最尤値： <input type="text"/> MW/m ² 最大値： <input type="text"/> MW/m ² | ・ S S W I C S 試験を参考に設定 ・ 最小値は、クラスト浸水時のドライアウト熱流束を想定し、ハードクラストにおいて水が浸入しない場合の熱流束としても <input type="text"/> MW/m ² 程度の熱流束となることから、浸水による改善を考慮し設定 |

(補足資料 4.2)

表 4-2 支配パラメータの確率密度関数の設定
(サブプレッション・プール)

| 支配パラメータ | 確率密度関数 | 設定の考え方 |
|-----------------|--|---|
| 溶融炉心落下割合 | 分布形：一様分布 上限値： <input type="text"/> 下限値： <input type="text"/> | ・ペDESTAL内の全ての溶融炉心がサブプレッション・プールに落下すると想定して設定。 |
| 溶融炉心の広がり面積 | 分布形：三角分布 最小値：サブプレッション・プール床面積*の 50% 最尤値：サブプレッション・プール床面積の 80% 最大値：サブプレッション・プール床面積 | ・最小値及び最尤値については、サブプレッション・プール水により溶融炉心の広がりが増害されること、セルフレベルリング効果による広がりを考慮し、工学的判断に基づき設定 ※サブプレッション・プール床面積はペDESTAL部に相当する面積 |
| 水プールへのドライアウト熱流束 | (粒子径の分布) 分布形：三角分布 最小値： <input type="text"/> m 最尤値： <input type="text"/> m 最大値： <input type="text"/> m (ポロシティの分布) 分布形：三角分布 最小値： <input type="text"/> 最尤値： <input type="text"/> 最大値： <input type="text"/> | ・プール水中で大部分が粒子化されるため、Lipinski モデルにより、粒子径、ポロシティからドライアウト熱流束を設定 (補足資料 4.2) (補足資料 4.3) ・粒子径の確率分布は、COTEL S 試験を参考に設定 ・ポロシティの確率分布は、種々の粒子堆積状態を考慮して設定 |

4.3.2 デブリからの除熱量とMCCI継続確率との因果関係

単位時間当たりのデブリからの除熱量が与えられた場合のMCCI継続確率を次のような考え方で設定し、デブリからの除熱量とMCCI継続確率との関係式とする（図 4-3 及び図 4-4）。

- ・ 図 4-5 のMAAP 解析に基づき、溶融炉心からの除熱量が崩壊熱を除去できれば、その時点でMCCIが停止する。
- ・ 溶融炉心からの除熱量が、表 4-3 に示すペDESTAL（ドライウェル部）床面又はサブプレッション・プールへ溶融炉心が落下した直後の崩壊熱 Q_1 以上である場合、MCCIは進行しないと想定されるため、MCCI継続確率としてを設定。

- ・ 溶融炉心からの除熱量が，表 4－3 に示すコンクリート侵食が許容限界まで進行した時点の崩壊熱 Q_2 以下である場合，許容限界以上に侵食されると想定されるため，M C C I 継続確率として を設定。

(補足資料 4.4)

- ・ 溶融炉心からの除熱量が， Q_1 と Q_2 の中間である場合は，許容範囲内である程度コンクリート侵食が継続した後，M C C I が停止すると想定されるため，除熱量で直線内挿して M C C I 継続率を設定。

表 4－3 デブリからの除熱量の想定

| | Q_1 | Q_2 |
|--------------------|---|--|
| ペデスタル (ドライウエル部) | <u>定格出力の 1%</u> $\times 0.8^{※}$ \times 溶融炉心落下割合 (溶融炉心がペデスタル (ドライウエル部) へ落下すると想定される事故後 3 時間の崩壊熱を想定) | <u>定格出力の 0.66%</u> $\times 0.8$ \times 溶融炉心落下割合 (コンクリート侵食が，許容限界となると想定される事故後 15 時間の崩壊熱を想定) |
| サプレッション・プール | <u>定格出力の 0.8%</u> $\times 0.8$ \times 溶融炉心落下割合 (溶融炉心がサプレッション・プールへ落下すると想定される事故後 8 時間の崩壊熱を想定) | <u>定格出力の 0.61%</u> $\times 0.8$ \times 溶融炉心落下割合 (コンクリート侵食が許容限界となると想定される事故後 20 時間の崩壊熱を想定) |

※ 燃料損傷時に高揮発性核種（希ガス，ヨウ素，セシウム等）が燃料外へ放出され，発熱に係る核分裂生成物が 80% に減衰する。



図 4-3 デブリからの除熱量とM C C I 継続確率の関係
(ペデスタル)



図 4-4 デブリからの除熱量とM C C I 継続確率の関係
(サプレッション・プール)

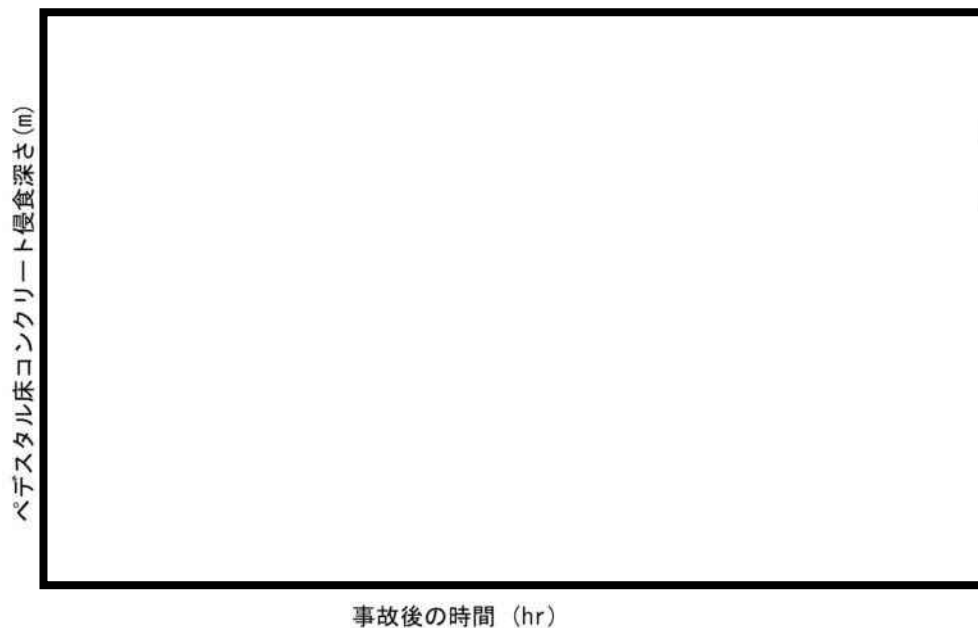


図 4-5 M A A P 解析結果

4.4.3 M C C I による格納容器破損の分岐確率の評価

支配パラメータのモンテカルロサンプリング結果として得られたデブリからの除熱量の確率分布とM C C I 継続確率との因果関係により，M C C I 継続による格納容器破損確率の確率分布を評価し，その平均値をM C C I 継続による格納容器破損の分岐確率として設定した。

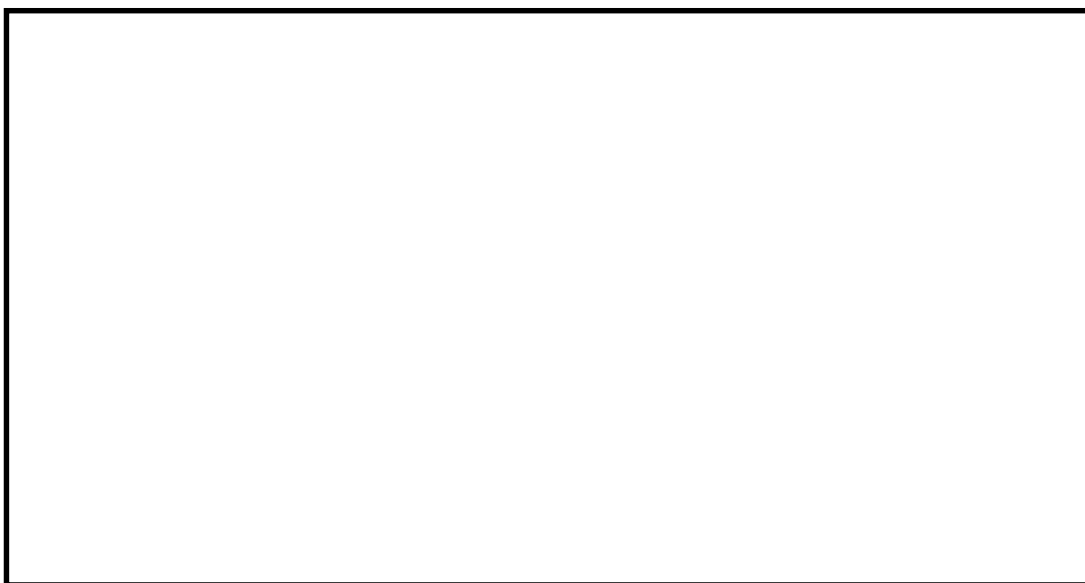
格納容器破損確率の確率分布を図 4-6 に，分岐確率を表 4-4 に示す。

表 4-4 M C C I による格納容器破損の分岐確率

| | ペデスタル (ペデスタル(ドライ ウェル部)床貫通) | サプレッション・プール (格納容器破損) |
|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| M C C I による格納 容器破損確率 | | |



a) ペデスタル（ドライウェル部）（床貫通）



b) サプレッション・プール（格納容器破損）

図 4-6 格納容器破損確率の確率分布

M C C I 現象の支配パラメータの選定について

M C C I は、炉心損傷進展が抑制されない場合、熔融炉心が格納容器下部ヘッドを熔融貫通してペデスタルに落下し、落下した熔融炉心が十分に冷却されない場合に、高温の熔融炉心からの熱の移行により、コンクリートが熱分解し侵食される事象である。また、コンクリート侵食が継続すると、ペデスタル（ドライウェル部）床を貫通してサブプレッション・プールに落下する。さらに、サブプレッション・プールで M C C I が発生し継続した場合、ベースマット貫通による放射性物質の地中放出や原子炉圧力容器支持構造の強度低下による格納容器破損に至る可能性がある。

これまでの知見により、M C C I の主要過程は下記 2 つに分けられる。

- (1) 熔融炉心落下
- (2) 熔融炉心から水プールへの熱伝達

これらの過程における影響を与えるパラメータ及びそれらのパラメータのうち R O A A M 手法による評価において不確かさを考慮する支配パラメータについて選定した。この選定の考え方について、以下に説明する。

- (1) 熔融炉心の落下
 - ① 熔融炉心落下割合

支配パラメータとして不確かさを考慮する。熔融炉心落下割合により、床上の熔融炉心堆積高さが異なるため、熔融炉心落下割

合は堆積溶融炉心の冷却性に直接影響する支配パラメータとして不確かさを考慮する。

② 溶融炉心の広がり

支配パラメータとして不確かさを考慮する。溶融炉心の広がり面積が小さい場合、堆積高さは増え、冷却性を悪くするため、溶融炉心の広がり、堆積溶融炉心の冷却性に直接影響する支配パラメータとして不確かさを考慮する。

③ 溶融炉心落下時の水深

支配パラメータとして不確かさを考慮しない。水張りの有無は、溶融炉心の広がり及び水プールへのドライアウト熱流束の設定に影響があるため、これらの支配パラメータにおいて不確かさを考慮する。

④ 粒子化割合（水張り有）

支配パラメータとして不確かさを考慮しない。Lipinski モデルにおいて粒子状コリウムベッド高さが考慮されており、粒子化割合は粒子状コリウムベッド高さに影響を与えるが、本事象として取り得る値の範囲においては熱流束への感度が無いことから、不確かさを考慮しない。

⑤ 塊状溶融炉心高さ（水張り無）

支配パラメータとして不確かさを考慮しない。塊状溶融炉心への浸水により十分な熱流束が得られるとの知見から、水プールへのドライアウト熱流束の中で不確かさを考慮する。

(2) 溶融炉心から水プールへの熱伝達

① 水プールへのドライアウト熱流束（水張り無し）

支配パラメータとして不確かさを考慮する。事前水張り無し時

の水プールへのドライアウト熱流束は、溶融炉心落下後の注水におけるクラスト浸水時のドライアウト熱流束として設定する。

② 粒子径（水張り有）

支配パラメータとして不確かさを考慮する。水プールヘデブリが落下した場合、水プールへのドライアウト熱流束は Lipinski モデルにより計算されるため、Lipinski モデルのパラメータである粒子径を考慮する。

③ ポロシティ（水張り有）

支配パラメータとして不確かさを考慮する。水プールヘデブリが落下した場合、水プールへのドライアウト熱流束は Lipinski モデルにより計算されるため、Lipinski モデルのパラメータであるポロシティを考慮する。

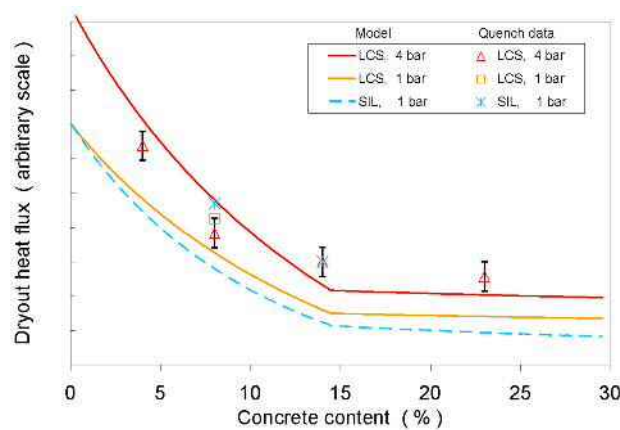
プール水へのドライアウト熱流束の確率分布の設定方法について

(1) ペデスタル（ドライウェル部）

事前水張り無しを想定し、溶融炉心落下後に注水する条件にて設定。

最小値は、クラスト浸水時の除熱量として設定し、S S W I C S 試験^[1]において、ハードクラストが生成した場合における熱流束として $0.15\text{MW}/\text{m}^2$ が与えられている。実際には、クラストへの浸水により熱流束は更に高くなると考えられるため、 $0.2\text{MW}/\text{m}^2$ を設定。

最尤値及び最大値については、コンクリート取り込み時のドライアウト熱流束（図補足 4.2-1）を基に設定。



図補足 4.2-1 コンクリート取り込み時のドライアウト熱流束

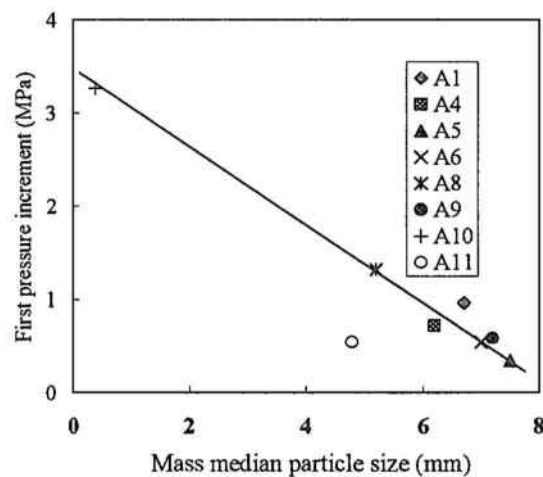
最尤値は、玄武岩系（S I L）のうち、比較的コンクリート含有量が少ない領域（5%付近）の代表値から $0.3\text{MW}/\text{m}^2$ と設定。

最大値は、コンクリート含有率 0% の値に、圧力上昇による熱伝達促進を加味して $0.5\text{MW}/\text{m}^2$ と設定。

(2) サプレッション・プール

a. 粒子径

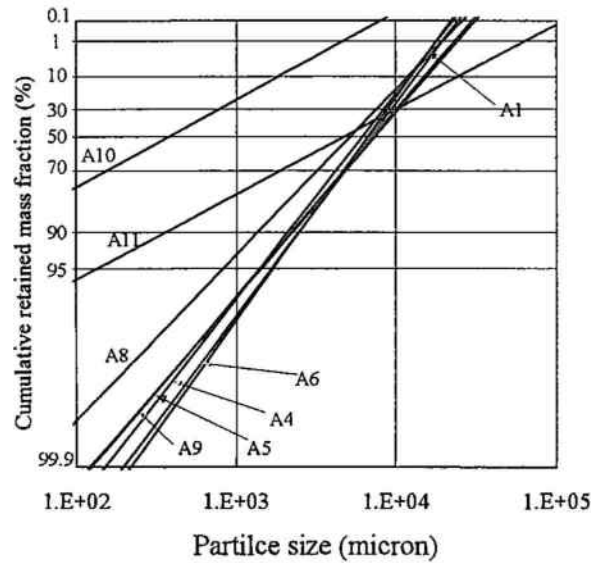
COTEL S 試験^[2]において、水中に溶融炉心を落下させた場合の粒子径（図補足 4.2-2）を基に設定。



図補足 4.2-2 質量平均粒径

図補足 4.2-2 では、粒径の平均値は約 5mm であることから、最尤値として 0.005m を設定。

最小値及び最大値については、粒子径が桁の範囲でばらつくこと（図補足 4.2-3）を考慮し、それぞれ 0.0005m, 0.05m を設定。



図補足 4.2-3 粒径と累積保持質量割合

b. ポロシティ

最小値は，面心立方格子で最稠密で堆積し，その隙間に小径粒子が入ることを考慮して工学的判断において 0.2 を設定。

最大値が，単一粒径の単純立方格子相当として 0.5 を設定。

最尤値は，粒子状ベッドのポロシティ測定値（表補足 4.2-1）を基に設定。

表補足 4.2-1 Miyazaki 他の混合粒子径^[3]

| | 1 mm | 2 mm | 3 mm | $d_{eq}(\text{mm})$ | ϵ |
|---|---------|---------|------|---------------------|------------|
| A | 66.7(%) | 33.3(%) | — | 1.2 | 0.364 |
| B | 33.3 | 66.7 | — | 1.5 | 0.360 |
| C | 11.1 | 88.9 | — | 1.8 | 0.368 |
| D | 50 | — | 50 | 1.5 | 0.337 |
| E | 25 | — | 75 | 2.0 | 0.327 |
| F | 10 | — | 90 | 2.5 | 0.357 |

$$d_{eq} = (\sum m_i / d_i)^{-1}$$

参考文献

- [1]Farmer ,M.T., Lomperski ,S. (ANL) and Basu ,S. (NRC),” Status of the Melt Coolability and Concrete Interaction (MCCI) Program at Argonne National Laboratoryy, Paper 5644, Proc. of ICAPP’ 05, Seoul, Korea, May 15-19, 2005
- [2]Kato,M. et al. “COTELS Project (2): Fuel Coolant Interaction Tests under Ex-Vessel Conditions” . OECD Workshop on Ex-Vessel Debris Coolability, Karlsruhe Germany, November 1999.
- [3]Miyazaki. Et al. “Dryout Heat Flux for Core Debris Bed, (Ⅱ) Effects of Particle size Mixing and Coolant Flow” . Journal of Nuclear Science and technology, 23[9], pp.769-778, Sep.1986.

Lipinski モデルについて

コリウム粒子が堆積して形成される粒子状コリウムベッドの冷却については次式で与えられる Lipinski モデルを用いて除熱量を評価している。

$$q_{dry} = \frac{h_{hg} [\rho_g (\rho_w - \rho_g) g \eta_{pb} (1 + \gamma_{pb} / z_{pb})]^{1/2}}{[1 + (\rho_g / \rho_w)^{1/4}]^2}$$

$$\gamma_{pb} = \frac{\sigma_{pb} (\varepsilon_{pb} / \kappa_{pb})^{1/2}}{\sqrt{5} (\rho_w - \rho_g) g} \quad \kappa_{pb} = \frac{d_{pb}^2}{180} \frac{\varepsilon_{pb}^3}{(1 - \varepsilon_{pb})^2}$$

$$\eta_{pb} = \frac{d_{pb}}{1.75} \frac{\varepsilon_{pb}^3}{1 - \varepsilon_{pb}}$$

$$d_{pb} : \text{コリウム粒子径} \text{ [m]} \quad g : \text{重力加速度, } 9.807 [\text{m/s}^2]$$

$$h_{hg} : \text{蒸発潜熱} \text{ [kJ/kg]} \quad z_{pb} : \text{粒子状コリウムベッド高さ} \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{pb} : \text{粒子状コリウムベッド空隙率} [-] \quad \rho_g : \text{蒸気密度} \text{ [kg/m}^3]$$

$$\rho_w : \text{水密度} \text{ [kg/m}^3] \quad \sigma_{pb} : \text{表面張力} \text{ [N/m]}$$

M C C I による侵食量の許容限界について

M C C I による侵食量の許容限界について、格納容器破損形態を考慮し、ペDESTAL（ドライウェル部）及びサプレッション・プールについて、それぞれ以下のとおり設定する。

(1) ペDESTAL（ドライウェル部）

ペDESTAL（ドライウェル部）においてM C C I が発生した場合、壁面及び床面のコンクリートが侵食される。壁面が侵食された場合には、原子炉圧力容器支持構造の強度が低下し、原子炉圧力容器の転倒による格納容器破損等が考えられる。床面が侵食された場合には、ペDESTAL床（ドライウェル部）を貫通し、溶融炉心がサプレッション・プールに落下し堆積することが考えられる。

代表M a r k - II 型格納容器プラントでは、床面の厚さは最も薄いサンプ部で約 m であり、壁面の厚さは約 m であることから、床面の貫通が先行して発生するものと考えられる。

以上から、ペDESTAL（ドライウェル部）におけるM C C I については、直接格納容器破損には至らず、床面が m 侵食された場合にペDESTAL床を貫通し、溶融炉心がサプレッション・プールに落下し堆積することとする。

(2) サプレッション・プール

サプレッション・プールにおいてM C C I が発生した場合、ペDESTAL（ドライウェル部）と同様に壁面及び床面（ベースマッ

ト) のコンクリートが侵食される。壁面が侵食された場合には、原子炉圧力容器支持構造の強度が低下し、原子炉圧力容器の転倒による格納容器破損等が考えられる。また、ベースマットが侵食された場合には、ベースマットを溶融貫通し、放射性物質の地中放出が起きる可能性がある。ただし、ベースマット溶融貫通までの過程で、壁面の侵食により原子炉圧力容器支持機能が喪失し格納容器が破損すると考えられる。

以上から、サプレッション・プールにおけるMCCIについては、壁面が□m侵食された場合に原子炉圧力容器支持構造の強度が低下し、原子炉圧力容器の転倒等により格納容器が破損するものとする。

なお、サプレッション・プール側面の侵食量については原子炉圧力容器支持構造の強度に影響を与える量ではないが、保守的な設定として、ペDESTAL床貫通相当の侵食量において、原子炉圧力容器支持構造の強度が低下し格納容器破損に至るものとして設定している。

以上から、ペDESTAL（ドライウェル部）、サプレッション・プールともに、MCCIによる侵食量の許容限界として、□mを設定する。

格納容器隔離の分岐確率の妥当性について

1. 格納容器隔離の参考文献（N U R E G / C R - 4 2 2 0^[1]）

内部事象レベル 1. 5 P R A における格納容器隔離失敗の分岐確率は、格納容器隔離失敗による大規模な漏えいを想定しており、N U R E G / C R - 4 2 2 0 を基に $5.0E-3/d$ として設定している。N U R E G / C R - 4 2 2 0 では、米国の L E R (Licensee Event Reports) (1965 年～1984 年) を分析し、表 1 に示すとおり大規模漏えい事象 4 件を抽出、発生件数 4 件を運転炉年 (740 炉年) で除すことにより、格納容器隔離失敗の発生頻度を算出している。

なお、抽出された 4 件以外にもエアロック開放に関する事象が 75 件発生しているが、これらの事象は数時間以内の短時間であり、大規模な漏えい事象には至っていない。

表 1 大規模漏えいとして抽出された事象

| Reactor | Year | Event |
|--------------|------|-----------------------|
| Oconee 1 | 1973 | Isolation Valves Open |
| San Onofre 1 | 1977 | Holes in Containment |
| Palisades | 1979 | By-pass Valves Open |
| Surry 1 | 1980 | Holes in Containment |

なお、上記の大規模漏えい事象はいずれも P W R で発生した事象であり、B W R においては、出力運転中は格納容器内を窒素置換し管理しているため、格納容器からの漏えいが存在する場合は、格納容器圧

力の低下等により速やかに検知できる可能性が高いと考えられる。

2. 東海第二発電所で想定される格納容器隔離失敗の経路

東海第二発電所で想定される格納容器隔離失敗は、機械的破損及び人的過誤による隔離機能喪失であり、以下に示すとおりである。

(1) 機械的破損による隔離機能喪失

a. 格納容器貫通部からの漏えい

格納容器の電気配線貫通部のシール材の劣化や配管貫通部の管台の割れ等がある場合には、格納容器内雰囲気は漏えいする可能性がある。

b. 格納容器アクセス部からの漏えい

ドライウェル主フランジ、機器搬入用ハッチ、所員用エアロック等のアクセス部のシール部又は溶接部が破損している場合には、格納容器内雰囲気は漏えいする可能性がある。

c. 格納容器バウンダリからの漏えい

格納容器スプレイ配管、不活性ガス系、可燃性ガス濃度制御系等は格納容器雰囲気と連通しており、これらのバウンダリが破損している場合には、格納容器内雰囲気は漏えいする可能性がある。

(2) 人的過誤による隔離機能喪失

a. 漏えい試験配管からの漏えい

定期点検時の格納容器漏えい試験の後に、試験配管隔離弁の復旧忘れ等がある場合には、格納容器内雰囲気は漏えいする可能性がある。

3. 最近の米国の格納容器隔離失敗実績に関する参考文献

レベル 1. 5 P R A では、1984 年までのデータを用いた N U R E G / C R - 4 2 2 0 を基に格納容器隔離失敗の分岐確率を設定している。最近の格納容器隔離失敗に関する報告としては、E P R I 報告書^[2]がある。E P R I 報告書では、米国における 2007 年時点までの総合漏えい率試験（I L R T : Integrated Leak Rate Test）の実績が整理されており、大規模漏えいに至る事象としては設計漏えい率の 35 倍を基準としているが、発生実績は 0 件となっている。

大規模漏えいに至る事象実績 0 件（計算上 0.5 件としている）を I L R T 試験数 217 件で除して隔離機能喪失を以下のとおり算出した。

$$0.5 / 217 = 2.3E-3$$

大規模漏えいに至る事象実績※ : 0.5 件

I L R T 試験数 : 217 件

※ 発生経験がないため、発生実績を 0.5 件と仮定。

この値は、N U R E G / C R - 4 2 2 0 で評価された格納容器隔離失敗確率の $5.0E-3/d$ よりも小さい値となっており、E P R I 報告書の結果を考慮しても N U R E G / C R - 4 2 2 0 の評価結果を適用することは妥当であると考えられる。

4. 参考文献

[1] NUREG/CR-4220, Reliability Analysis of Containment Isolation Systems, U.S. NRC,

[2] Risk Impact Assessment of Extended Integrated Leak Rate Testing Intervals, Revision 2-A of 1009325, Final Report, EPRI, October 2008

原子炉圧力容器内溶融物保持（I V R）の取扱いについて

1. はじめに

原子炉圧力容器内溶融物保持（I V R : In-Vessel Retention）は、炉心支持板が破損した後に、溶融炉心が原子炉圧力容器下部プレナム部において冷却されることにより、原子炉圧力容器内に保持される現象である。

本 P R A では、1979 年に発生した米国スリーマイルアイランド原子力発電所 2 号機の事故において I V R が達成されたことや I V R に関する実験結果を勘案し、イベントツリーに I V R のヘディングを設け、その達成に分岐確率を与えている。補足資料 1 に I V R に関する知見を整理する。

シビアアクシデント時において I V R が達成された場合、溶融炉心が原子炉圧力容器内に保持されることから、原子炉圧力容器外で発生する物理化学現象（溶融炉心 - 冷却材相互作用、格納容器雰囲気直接加熱、溶融炉心・コンクリート相互作用等）の発生を回避することができ、格納容器破損に至る脅威を大幅に低減することができる。このため、I V R 現象は、シビアアクシデント時の事故進展に大きな影響があるため、本 P R A における I V R の取扱いについて以下に述べる。

2. 本 P R A における I V R の取扱いについて

T Q U X の事故進展解析において、事象発生から 2 時間後に原子炉注水を実施した場合に、炉心支持板の破損を回避できることを M A A P コードにより確認している（図 1）が、本 P R A においては、

炉心支持板が破損するものと仮定し，下部プレナム部での I V R の成否 を考慮している。

しかしながら，下部プレナム部での I V R 現象には大きな不確かさがあることを踏まえ，炉心支持板が破損する仮定に加え，下部プレナムでの I V R にも必ず失敗すると仮定した感度解析を実施した。

3. 感度解析

I V R に必ず失敗するとした場合（分岐確率 1）の感度解析を実施し，その影響を評価した。感度解析の結果を図 2 及び表 1 に示す。

これらの結果より I V R に必ず失敗するとした場合には，過圧破損（長期冷却失敗）が僅かに減少し，水蒸気爆発（ペデスタル（ドライウェル部）及びサプレッション・プール）及び熔融炉心・コンクリート相互作用が僅かに増加するが，全格納容器破損頻度に対しては，有意な感度がないことがわかる。以上により，I V R 現象考慮の有／無による支配的な格納容器破損モードに対して影響はないことを確認した。

表 1 I V R を考慮しない場合の感度解析結果

| 格納容器破損モード | 格納容器破損頻度（／炉年） | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| | ベースケース | 感度解析ケース |
| インターフェイス システム LOCA | 4.8E-10 | 4.8E-10 |
| 格納容器隔離失敗 | 6.1E-10 | 6.1E-10 |
| 過圧破損 （未臨界確保失敗） | 2.5E-08 | 2.5E-08 |
| 過圧破損 （崩壊熱除去失敗） | 6.0E-05 | 6.0E-05 |
| 過圧破損 （長期冷却失敗） | <u>2.0E-08</u> | <u>2.0E-08</u> |
| 過温破損（RPV 高圧破損） | 7.9E-08 | 7.9E-08 |
| 過温破損（RPV 低圧破損） | 4.9E-10 | 4.9E-10 |
| 格納容器雰囲気 直接加熱 | 8.5E-09 | 8.5E-09 |
| 水蒸気爆発 （ペDESTAL（ドライウェル部）） | <u>2.2E-14</u> | <u>9.8E-14</u> |
| 水蒸気爆発 （サプレッション・プール） | <u>2.5E-09</u> | <u>3.4E-09</u> |
| 溶融炉心・コンクリート 相互作用 | <u>1.3E-10</u> | <u>1.8E-10</u> |
| 全格納容器破損頻度 | 6.1E-05 | 6.1E-05 |

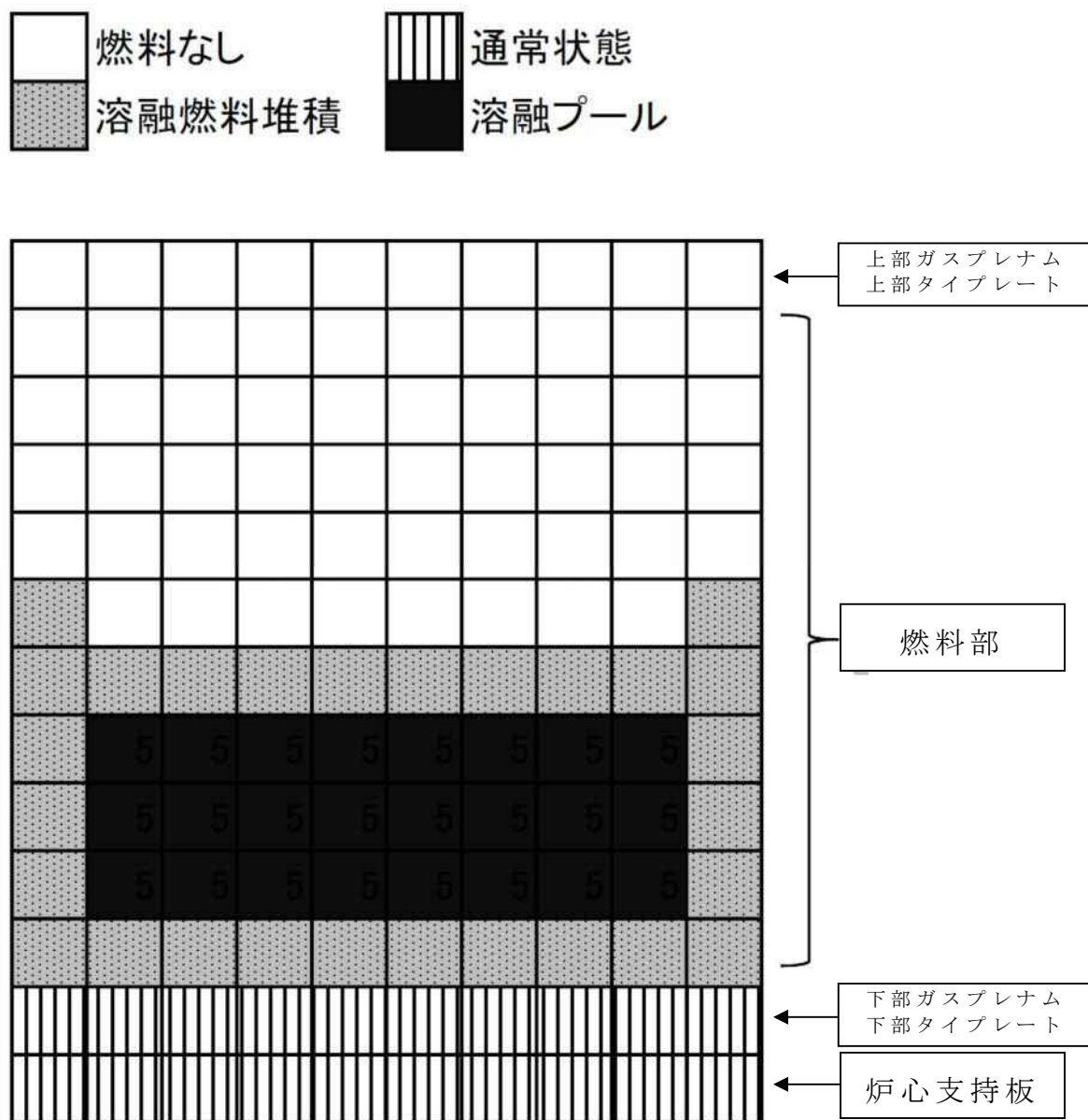


図 1 事象発生から 2 時間で原子炉注水した場合の炉心状態

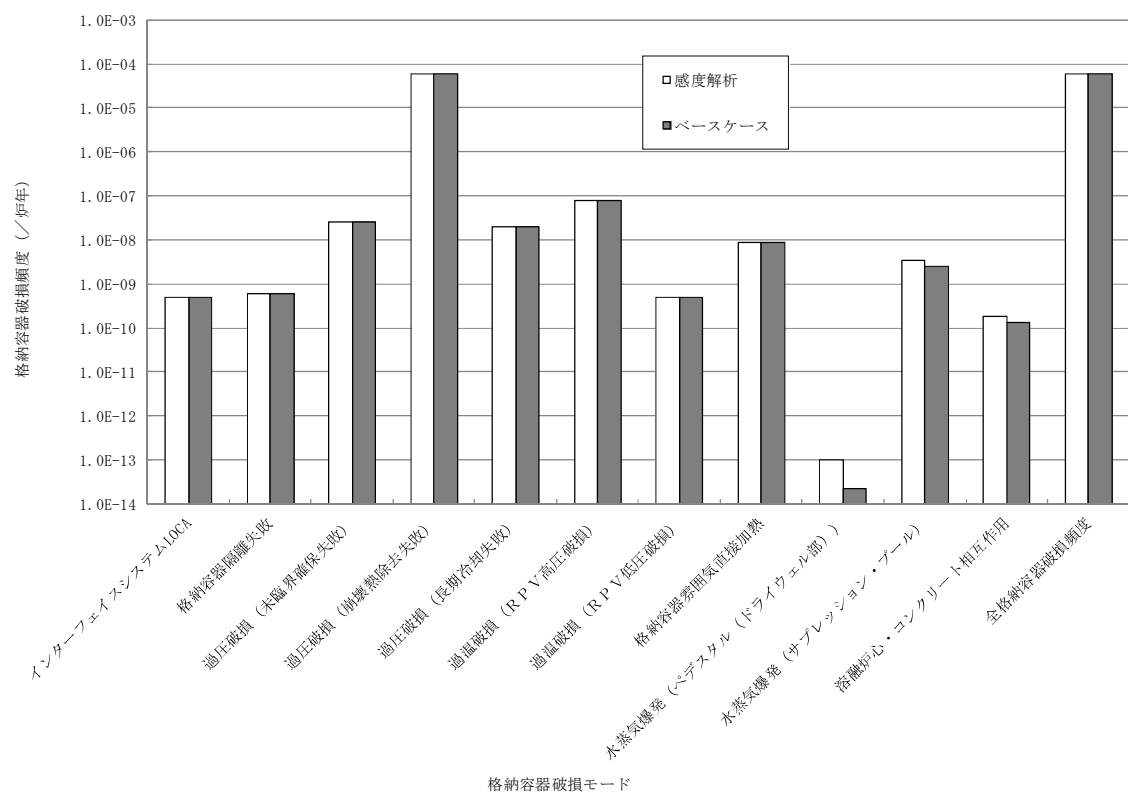


図 2 I V R を考慮しない場合の感度解析結果

原子炉圧力容器内溶融物保持（I V R）に関する知見の整理

1. はじめに

ここでは，I V R 現象並びに T M I - 2 事故及びこれまでに国内外で実施された I V R に関する試験の結果等の知見を整理した。

2. I V R 現象の概要^[1]

(1) 原子炉圧力容器下部ヘッ드의破損挙動

原子炉圧力容器下部ヘッ드의破損モードとその概要を図 1 に示す。下部ヘッ드의破損モードとして，貫通部過温破損，貫通部溶融逸出，下部ヘッド全体破損及び下部ヘッド局所破損が想定される。これらの破損は，下部ヘッド及び制御棒駆動機構案内管などの貫通部における溶融炉心による加熱に伴う温度上昇や原子炉圧力容器の内圧上昇時における下部ヘッ드의弾塑性挙動やクリープ挙動によって支配される。また，下部ヘッド構造材と溶融炉心との材料的な相互作用も下部ヘッドの健全性に影響を与える。

(2) 原子炉圧力容器下部プレナム部での炉心溶融物の挙動

原子炉圧力容器下部プレナム部での溶融炉心の挙動を図 2 に示す。原子炉圧力容器下部プレナム部での溶融炉心の挙動は，炉心溶融物落下時の過程と溶融プール形成時の伝熱流動（成層化）の過程に分けられる。

原子炉圧力容器下部プレナム部での溶融物の挙動は，冷却水の有無に大きく影響される。すなわち，溶融物落下時に下部プレナム部に冷却水が存在する場合は，粒子状デブリの生成，溶融物の

下部クラストと原子炉圧力容器壁間の間隙（ギャップ）や熔融物中の亀裂（クラック）の生成の促進が期待できる。また，熔融物落下以降における冷却水注水が存在する場合は，粒子状デブリ層，熔融プール層及び金属層の除熱が促進され，下部ヘッド過熱の抑制が期待できる。

3. 知見の整理^{[1]~[3]}

(1) T M I - 2 事故

1979 年に発生した米国 T M I - 2 の事故では，炉心冷却機能が喪失したことにより，炉心の一部が熔融したが，事象発生から約 3 時間半後に運転員が高圧 E C C S を起動し，その後炉心は再冠水した。T M I - 2 事故では，約 19 トンの熔融炉心（全炉心の約 16%）が原子炉圧力容器下部に落下したが，下部ヘッドの顕著な破損はなく，熔融炉心が原子炉圧力容器内部に保持された。T M I - 2 の事故後の炉心状態^[2]を図 3 に示す。

(2) A L P H A 実験

a . 実験の概要

日本原子力研究所では，事故時格納容器挙動試験（A L P H A）計画において，原子炉圧力容器下部プレナム内における熔融炉心の冷却性に関する実験が実施された。

実験では，テルミット反応により生成したアルミナを模擬熔融炉心として用い，実験ごとに投入アルミナ重量を変えて，冷却水が存在する下部ヘッド実験容器に落下させている。

なお，自発的な水蒸気爆発の発生を抑制するために，実験設備を設置した A L P H A 装置の模擬格納容器内を約 1.3MPa まで加圧

している。

b．実験装置の概要

実験装置の概念と下部ヘッド実験容器の構造を図 4 及び図 5 に示す。

c．実験の結果

実験の結果，アルミナと容器壁とが密着せず両者の境界に隙間が形成され，固化したアルミナと容器壁との境界に幅 1mm～2mm 程度の隙間を確認した。また，隙間への冷却水侵入が，下部プレナム内における熔融炉心の冷却に関与するかの確認のため，熔融炉心の自然対流により生じる固化体外壁における熱流束と狭隘流路内の限界熱流束を比較評価した。その評価結果を図 6 に示す。図中の曲線の交点に対応する下部プレナム内熔融炉心深さが，その隙間幅で冷却できる最大深さに相当する。よって，下部プレナムに形成される熔融炉心深さが 0.5m 程度（TMI-2 事故程度）であり，1mm～2mm の隙間が形成されれば冷却可能であるが，大量の熔融炉心が下部プレナム移行する状況では，隙間への冷却水侵入だけでは不十分である可能性が高いことが判明した。

(3) L A V A 実験

a．実験の概要

韓国原子力研究所（KAERI）において，L A V A 実験が実施された。実験では，テルミット反応により生成した熔融アルミナのみ又は熔融アルミナと熔融鉄の両方を模擬熔融炉心として用い，冷却水を満たした下部ヘッド模擬実験容器に落下させている。

b．実験装置の概要

実験装置の概要を図 7 に示す。実験容器は炭素鋼製の半球部と円筒部であり，半径 0.25m 及び肉厚 0.025m となっている。

c．実験の結果

実験の結果，熱膨張による容器の膨張とともに，大きさの異なる永久歪みが残っていることが示された。また，アルミナのみを模擬熔融炉心として用いた場合，ALPHA 実験と同様に容器壁温度の急激な低下が観測された。この現象は，実験容器壁と固化熔融物との境界における隙間形成と隙間内への冷却水の侵入が関連し，冷却水の沸騰で発生する水蒸気が多孔質のアルミナ固化体内部を通過して排出されるため，冷却水の侵入が容易になるとの考察がされている。また，アルミナと鉄の混合熔融物の場合は，アルミナのみに比べて実験容器壁の温度低下速度が小さくなる結果となっている。

(4) FOREVER 実験

a．実験の概要

スウェーデン王立工科大学（RIT）において実施されている FOREVER 実験は，下部プレナム内における熔融炉心の自然対流，下部ヘッドのクリープ変形及び熔融炉心と下部ヘッド境界におけるギャップ形成とギャップ冷却に関連する実験である。

なお，熔融物の自然対流による容器への熱負荷及び容器のクリープ変形に関する知見を得ることを目的としているため，冷却水を用いていない。

b．実験装置の概要

実験装置の概要を図 8 に示す。実験容器は，実炉の 1/10 規

模（直径 0.4m 及び肉厚 0.015m）の炭素鋼製の下部ヘッド模擬容器となっている。

c. 実験の結果

実験の結果，初期に熱膨張が見られ，容器を加圧した後にクリープによる容器の変形（膨張）が生じた。クリープ歪み速度は 0.125%/hr 程度である。変位計測の結果から，径方向ではなく軸方向の変位が生じていることが示された。溶融物から容器への局所熱流束の分布を図 9 に示す。容器中心軸から約 70 度の位置において最大熱流束を示した。この傾向は，これまでに多くの研究機関等で実施された内部発熱を伴う自然対流実験の結果と定性的に一致するものであった。

(5) 米国 F A I における実験

a. 実験の概要

米国の F A I 社（Fauske and Associates, Inc.）において，N R C，E P R I，日本産業界等の出資による国際的な協力プログラムとして炉心溶融物冷却試験が実施された。

また，T M I - 2 炉容器調査計画（V I P）では，下部ヘッドの温度が約 1,100℃まで上昇し，その後冷却されることがわかったが，冷却に至るメカニズムは特定できなかったため，原子炉圧力容器の内壁が高温にさらされた状態において，酸化物溶融物と密着しないことにより冷却される点に着目して実験が実施されている。

実験は，2 つのフェーズからなり，いずれも内径 30cm の模擬原子炉圧力容器下部ヘッドに，高温の模擬溶融物質を落下させている。フェーズ 1 では，模擬下部ヘッドの中に，テルミット

反応により溶融させた溶融二酸化アルミニウムと溶融鉄との混合物約 40kg を流入させる。フェーズ 2 では、テルミット反応によって溶融させた溶融二酸化アルミニウムと溶融鉄の混合物から二酸化アルミニウムのみ約 20kg を分離して模擬下部ヘッドに落下させている。

b. 実験装置の概要

実験装置の概要を図 10 に示す。

c. 実験の結果

実験の結果、模擬下部ヘッド内に水が存在する場合に、溶融鉄と溶融二酸化アルミニウムの混合物の場合及び溶融二酸化アルミニウム単独でも、溶融物は容器に密着することなく容器壁は、浸食されないことを確認した。また、フェーズ 2 では貫通部を設置したが、この溶接部にも、溶融物は密着しなかった。

溶融物の表面に形成されたクラストと模擬圧力容器の内壁面にギャップが確認され、それは容器下端で最も大きいことがわかった。また、このギャップと容器壁の間において、二相流による冷却現象が確認された。

溶融物の上面の水が存在することで、下部ヘッドの冷却が促進されるデータが得られたが、冷却率はギャップへの水の侵入に依存すると考えられている。

実験では、約 1MPa 以上の条件で実施したが、水蒸気爆発は発生しなかった。

(6) M A S C A 計画

a. 試験の概要

M A S C A 試験は、経済協力開発機構国際協力プロジェクト

において実施され、I V Rに関する実コリウムを用いた試験である。

M A S C A 計画はスウェーデンのR I Tの試験において、成層化により原子炉圧力容器への熱流束が3倍程度変化することが確認され、さらに、核分裂生成物及び崩壊熱の発生分布も非均質に分布する可能性がわかったことから、実コリウムの化学的挙動を把握することを目的に、フェーズ1、フェーズ2が実施され、逆成層化（金属層が酸化物層の下に成層化する現象）等の新たな知見が得られた。

b．試験装置の概要

試験装置の概要を図11に示す。

c．試験の結果

フェーズ1試験の結果は、炭素のデブリの成層化への影響が定量的に把握された。さらに、デブリに鉄が含まれると、鉄にウラン金属が移行して密度が高くなり、酸化物層の下に成層化する逆成層化が確認された。既存のシビアアクシデント解析コードで想定されていた原子炉圧力容器下部ヘッド内の成層化とM A S C A計画の結果を図12及び図13に示す。図13に示すように、金属層にUやZrが移行して密度が高くなり酸化物の下に成層化し、遅れて落下してくるスチールが上部に残る可能性が示された。また、制御材の B_4C が成層化に影響することがわかった。

フェーズ2試験では、鉄割合30wt%まで含むコリウムの成層化状態を把握する実験が実施され、 B_4C の成層化は鉄割合が高くなると B_4C の影響がほとんどなくなることがわかった。また、

酸化雰囲気における試験では、逆成層化した鉄を含む未飽和酸化コリウムを高温のまま酸化雰囲気にすると、UやZrの酸化が進み、金属層の密度が低下し、酸化物層の下に成層化する結果が得られた。

(7) MA試験及びB₄C試験

MASCA試験で最も重要な成果となったスチールを含むデブリの逆成層化に関する試験の概要及び結果（MA試験及びB₄C試験）を以下に説明する。

a. MA試験

MA試験は、約2kgのコリウムを溶融・保持するもので、MASCA計画で中規模試験として位置づけられている。試験装置にコールドルーシブル手法を用いることで、チューブと溶融物との相互作用を防止し、スーパーヒート状態の酸化物と金属の混合溶融物を保持することができる。

MASCA計画では、MA試験を6ケース（MA-1～MA-6）実施している。

分析の結果、装填時にUO₂、ZrO₂、Zr及びFeの混合物であったものが溶融すると、UO₂がZrによって還元されU金属となり、このUと残りのZrがFeとともに金属層を形成していることが示された。U金属の密度が高いことにより金属層の密度が高くなり、酸化物層の下に成層化したことがわかる。一方、酸化度の高いコリウム及びスチール割合の高いケースでは、金属層が上部に残る形となった。これは、酸化割合が高いと還元されて金属層への移行するUが少なくなり、スチール割合が高いと金属層中のUの割合が減少し、金属層の密度が低く

なるためであることがわかった。

b. B_4C 試験

B_4C 試験は、制御材の B_4C による影響を把握する目的で実施され、約 300g のコリウムを溶融できる試験装置を用い、0.5wt% の B_4C を含む C-34 コリウムを溶融した後、約 2wt% の Fe を投入し、生成されたインゴットの分析を実施している。

分析の結果、Fe 割合が小さい場合に B_4C の添加による金属相割合が大きく増加し、Fe 割合が大きくなると B_4C の影響は小さくなることがわかった。これは、溶融した B や C が金属層に含まれることから、Fe 割合が増加すると B_4C が希釈されるためであることがわかった。

参考文献：

- [1] シビアアクシデント熱流動現象評価（平成 13 年 3 月，社団法人日本原子力学会）
- [2] J. M. Broughton, et al.: A Scenario of the Three Mile Island Unit 2 Accident, Nuclear Technology, Vol.87, No.1, p.35, 1989
- [3] 平成 21 年度原子炉施設のアクシデントマネジメントに係る知識ベースの整備に関する報告書＝環境への影響緩和＝（平成 22 年 10 月，独立行政法人原子力安全基盤機構）

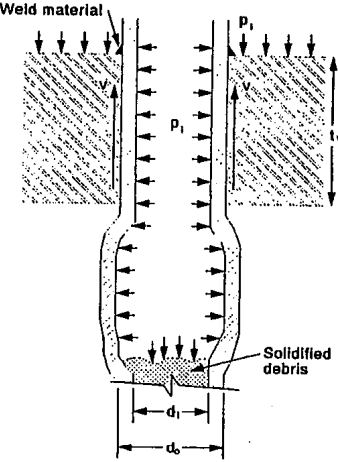
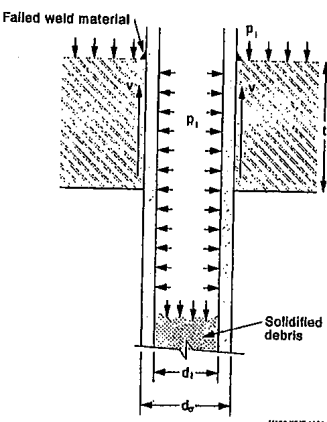
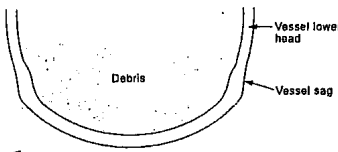
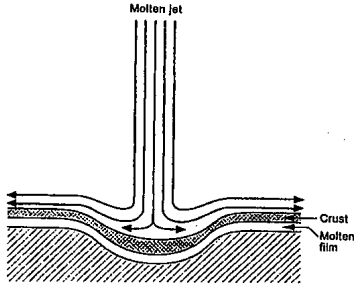
| 破損モード | 貫通部過温破損 (Penetration Tube Heat-up and Rupture) | 貫通部溶融逸出 (Penetration Tube Ejection) | 下部ヘッド全体破損 (Lower Head Global Rupture) | 下部ヘッド局所破損 (Localized Effects/ Jet Impingement) |
|-------|---|--|---|---|
| 概略図 |  |  |  |  |
| 説明 | 炉心溶融物による圧力容器外での貫通部の過熱と加圧に伴う貫通部の破裂 | 炉心溶融物による貫通部溶接部の溶融と加圧に伴う貫通部の逸出 | 炉心溶融物による加熱と応力に伴う下部ヘッドのクリープ破損 | 炉心溶融物のジェットによる下部ヘッドの局所的破損又は局所的溶融 |

図 1 原子炉圧力容器下部ヘッドの破損モードとその概要^[1]

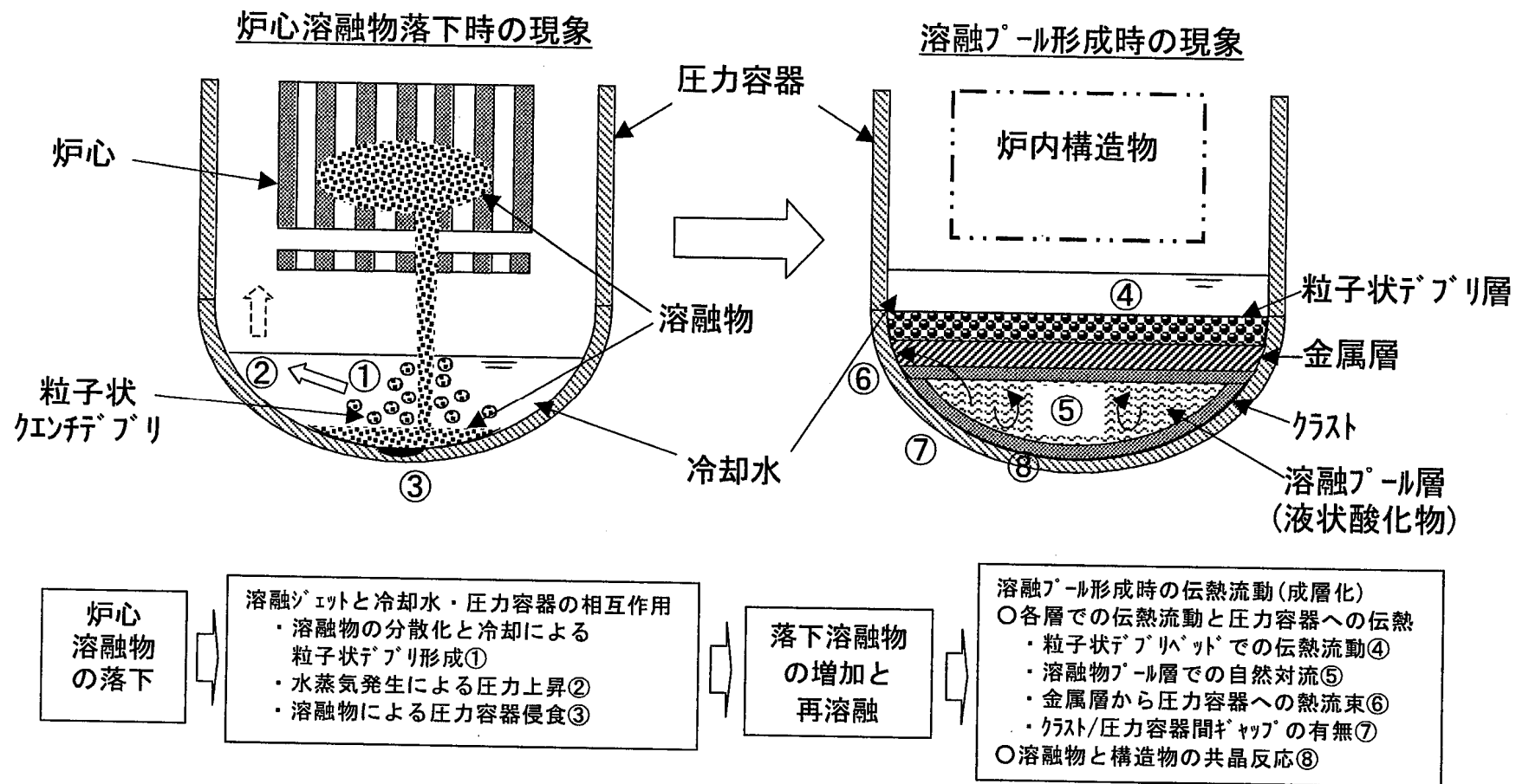


図 2 原子炉压力容器下部プレナム部での溶融炉心の挙動^[1]

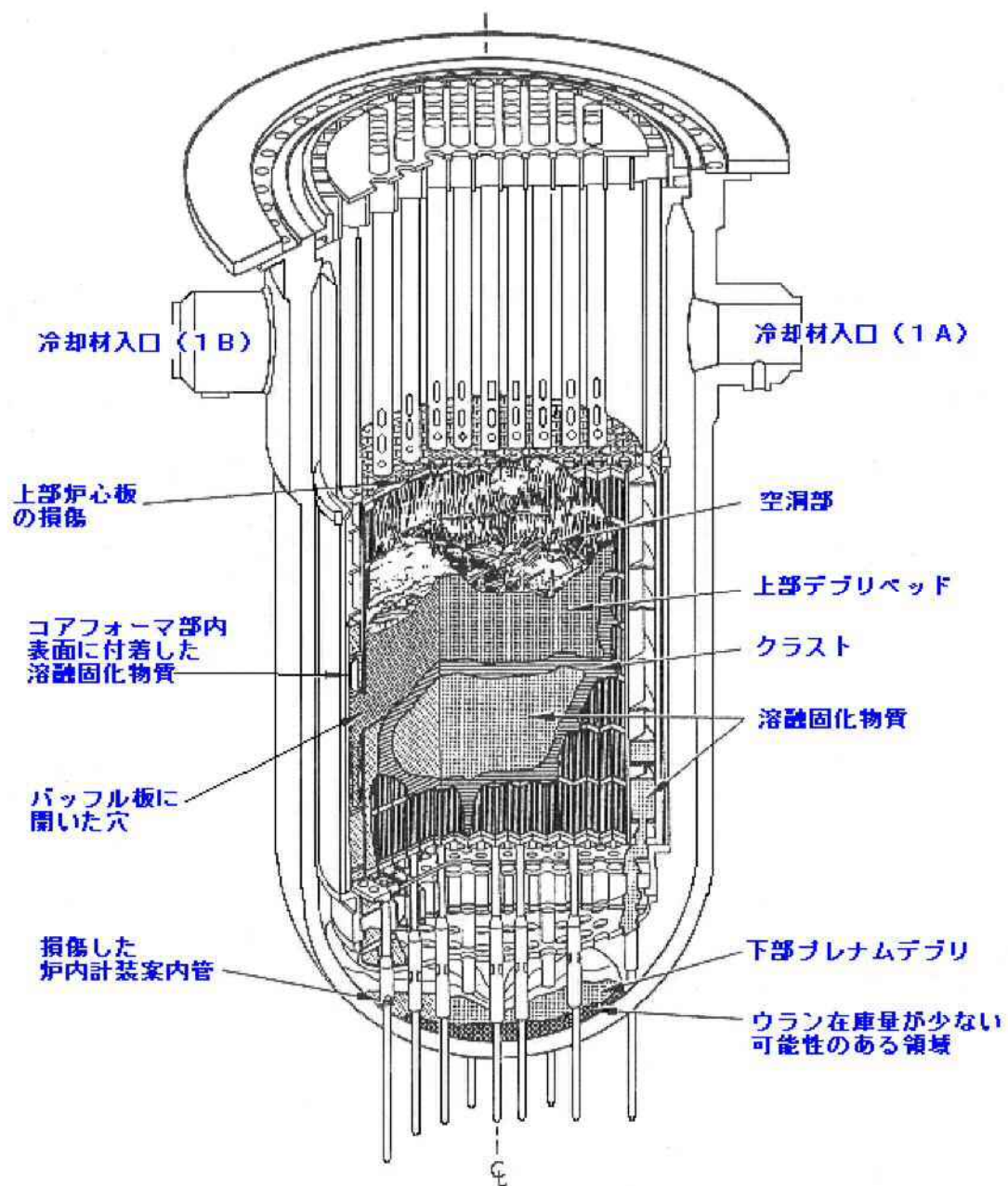


図 3 TMI-2 の事故後の炉心状態^[2]

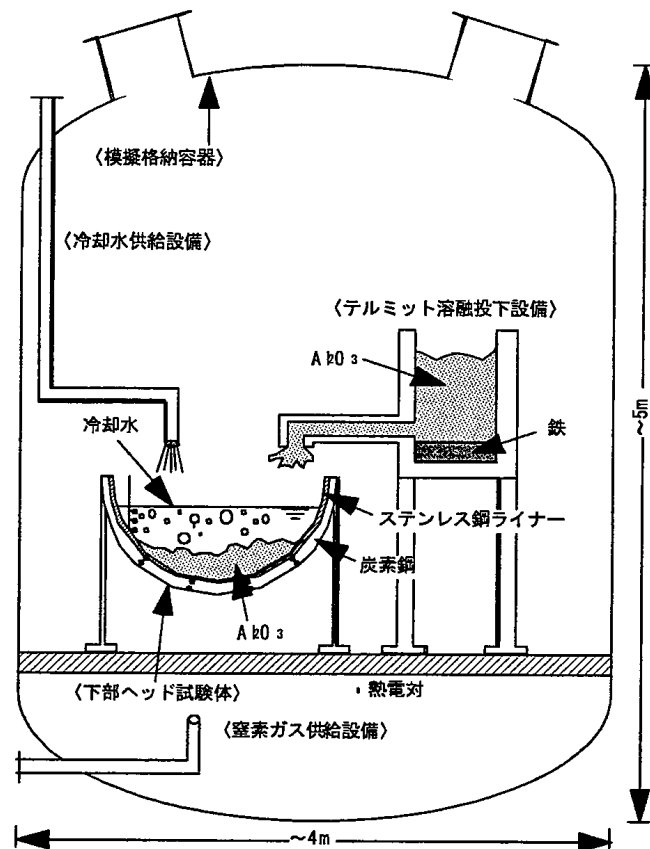


図 4 ALPHA 実験装置の概念^[1]

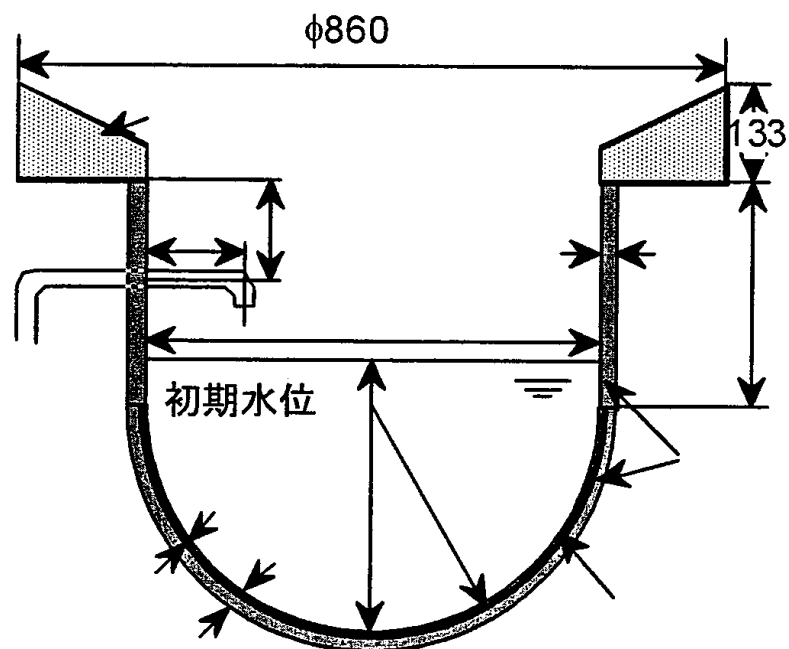


図 5 下部ヘッド実験容器の構造^[1]

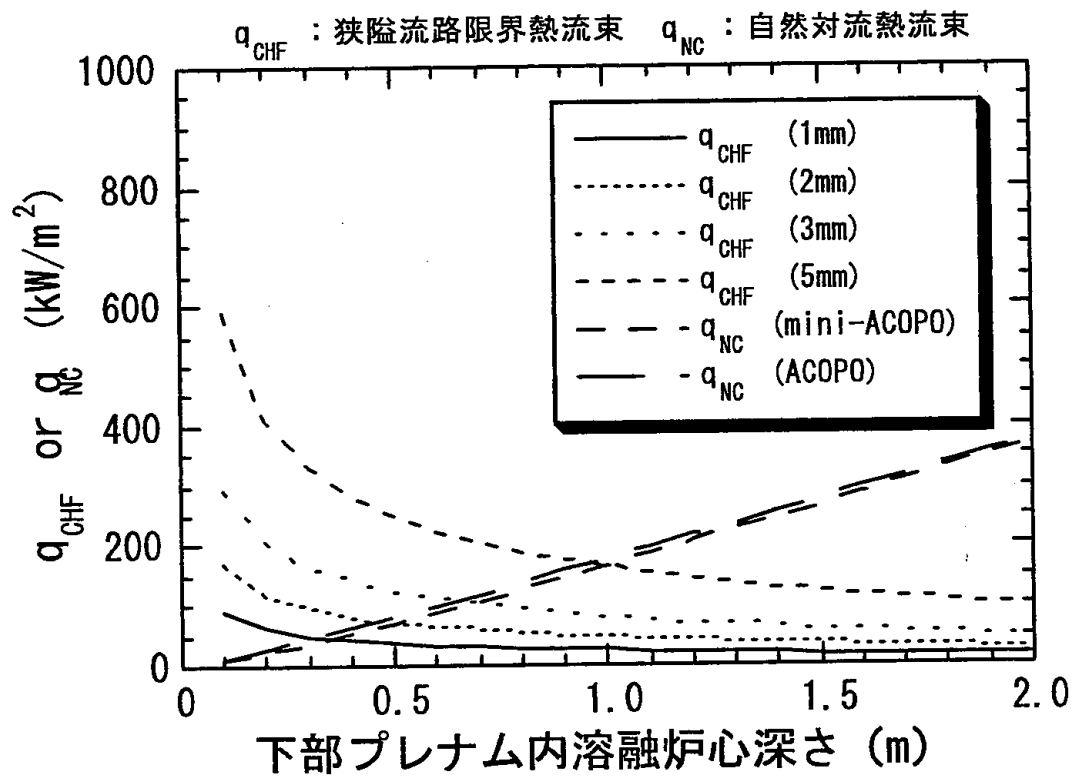


図 6 実験規模における（半径 2m）隙間内冷却水侵入の効果^[1]

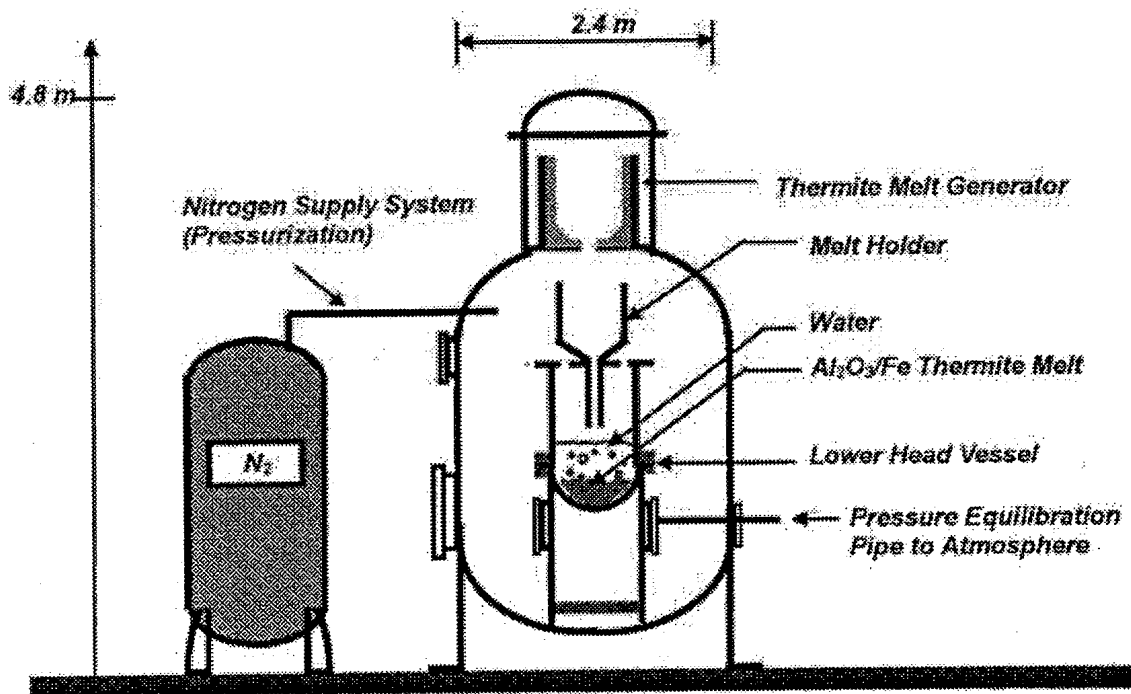


図 7 L A V A 実験装置の概要^[1]

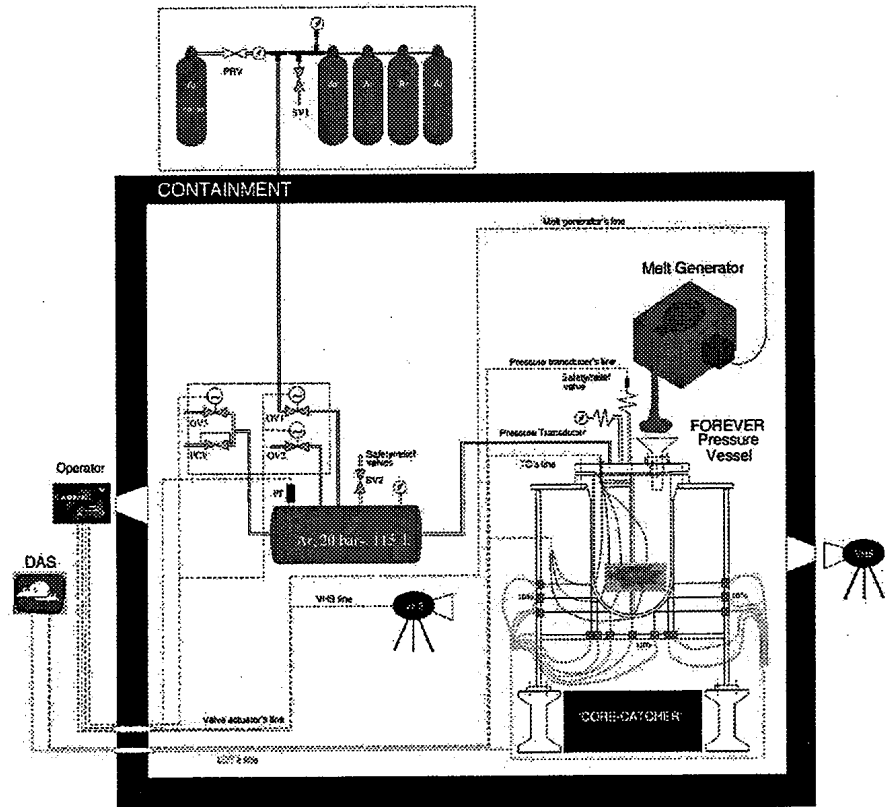


図 8 FOREVER 実験装置の概要^[1]

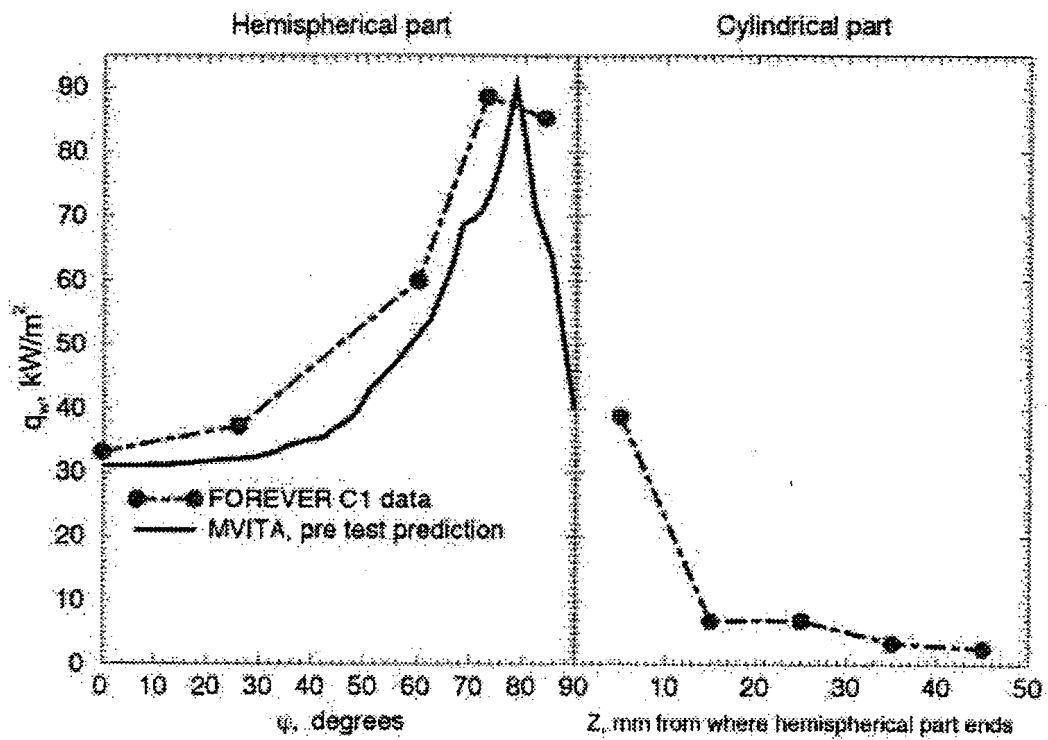


図 9 FOREVER / C1 実験における局所熱流束の分布^[1]

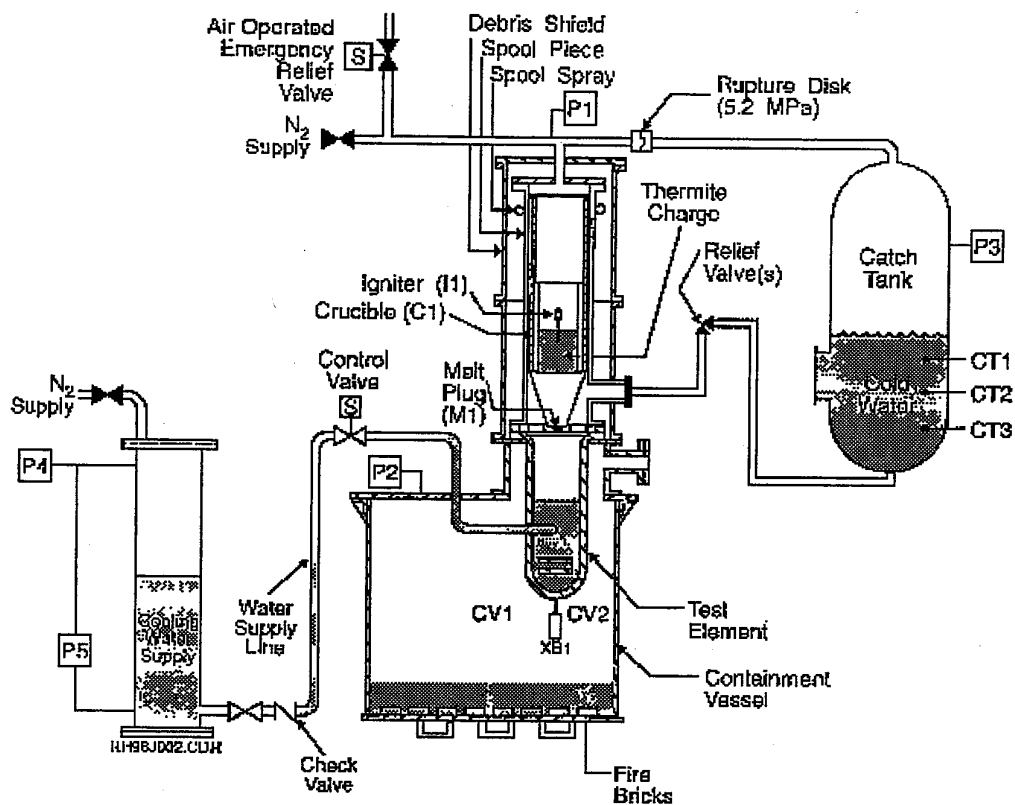


図 10 F A I 試験装置の概要^[1]

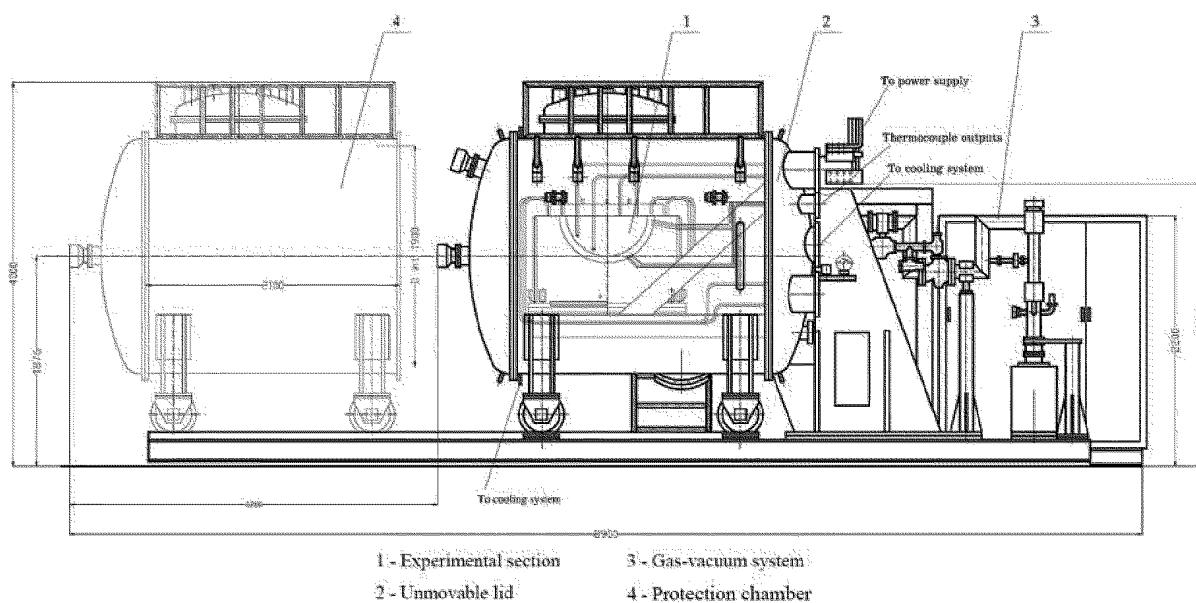


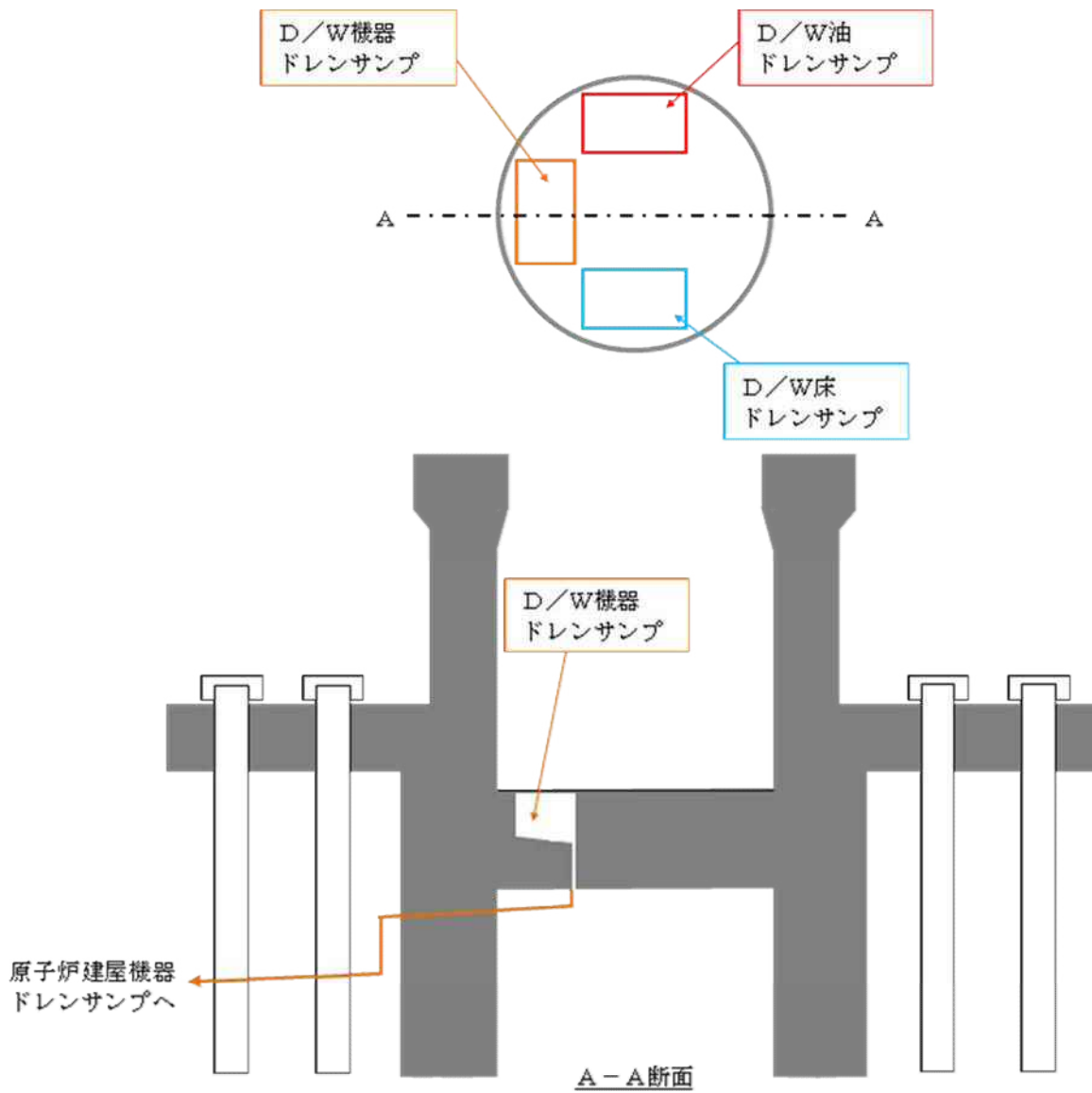
図 11 M A S C A 試験装置の概要^[3]

図 12 既存シビアアクシデント解析コードで想定されていた
原子炉圧力容器下部ヘッド内の成層化^[3]

図 13 M A S C A 試験で得られた原子炉圧力容器下部ヘッド内の
成層化状況^[3]

ペデスタル内サンプ及びサンプドレン配管図について

以下に東海第二発電所ペデスタル内サンプ配置図及びサンプドレン配管図を示す。



事故シーケンスグループの抽出及び 重要事故シーケンスの選定について

目 次

はじめに

1. 炉心損傷防止対策の有効性評価の事故シーケンスグループ抽出及び重要事故シーケンス選定について
 - 1.1 事故シーケンスグループの分析について
 - 1.1.1 炉心損傷に至る事故シーケンスの抽出，整理
 - 1.1.2 抽出した事故シーケンスの整理
 - 1.1.2.1 必ず想定する事故シーケンスグループとの対応
 - 1.1.2.2 追加すべき事故シーケンスグループの検討
 - 1.1.2.3 炉心損傷後の格納容器の機能への期待可否に基づく整理
 - 1.2 有効性評価の対象となる事故シーケンスについて
 - 1.3 重要事故シーケンスの選定について
 - 1.3.1 重要事故シーケンス選定の考え方
 - 1.3.2 重要事故シーケンスの選定結果
2. 格納容器破損防止対策の有効性評価の格納容器破損モード抽出及び評価事故シーケンスの選定について
 - 2.1 格納容器破損モードの分析について
 - 2.1.1 格納容器破損モードの抽出，整理
 - 2.1.2 抽出した格納容器破損モードの整理
 - 2.1.2.1 必ず想定する格納容器破損モードとの対応

- 2.1.2.2 追加すべき格納容器破損モードの検討
 - 2.2 評価事故シーケンスの選定について
 - 2.2.1 評価対象とする P D S の選定
 - 2.2.2 評価事故シーケンスの選定の考え方
 - 2.2.3 評価事故シーケンスの選定結果
 - 2.2.4 炉心損傷防止が困難な事故シーケンス等における格納容器破損防止対策の有効性
 - 2.2.5 直接的に炉心損傷に至る事故シーケンスに対する対策
- 3. 運転停止中原子炉における燃料損傷防止対策の有効性評価の運転停止中事故シーケンスグループ抽出及び重要事故シーケンスの選定について
 - 3.1 運転停止中事故シーケンスグループの分析について
 - 3.1.1 燃料損傷に至る運転停止中事故シーケンスグループの抽出，整理
 - 3.1.2 抽出した事故シーケンスの整理
 - 3.1.2.1 必ず想定する事故シーケンスグループとの対応
 - 3.1.2.2 追加すべき事故シーケンスグループの検討
 - 3.2 重要事故シーケンスの選定について
 - 3.2.1 重要事故シーケンス選定の考え方
 - 3.2.2 重要事故シーケンスの選定結果
- 4. 事故シーケンスグループ及び重要事故シーケンス等の選定に活用した P R A の実施プロセスについて

表

- 第1－1表 イベントツリーにより抽出した事故シーケンス
- 第1－2表 P R Aの結果に基づく新たな事故シーケンスグループの検討
- 第1－3表 事故シーケンスグループの主要な炉心損傷防止対策及び炉心損傷頻度
- 第1－4表 重要事故シーケンス等の選定
- 第2－1表 格納容器破損モード別格納容器破損頻度
- 第2－2表 プラント損傷状態（P D S）の定義
- 第2－3表 評価対象とするプラント損傷状態（P D S）の選定
- 第2－4表 格納容器破損防止対策の評価事故シーケンスの選定
- 第3－1表 運転停止中事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度
- 第3－2表 燃料損傷までの余裕時間
- 第3－3表 重要事故シーケンス（運転停止中）の選定

図

- 第1－1図 事故シーケンスグループ抽出及び重要事故シーケンス選定の全体プロセス
- 第1－2図 内部事象レベル1 P R Aにおけるイベントツリー
- 第1－3図 地震レベル1 P R Aにおける階層イベントツリー
- 第1－4図 地震レベル1 P R Aにおけるイベントツリー
- 第1－5図 津波レベル1 P R Aにおける階層イベントツリー
- 第1－6図 津波レベル1 P R Aにおけるイベントツリー
- 第1－7図 プラント全体の炉心損傷頻度
- 第1－8図 事故シーケンスグループごとの寄与割合

第2-1図 格納容器破損モード抽出及び評価事故シーケンス選定の全体プロセス

第2-2図 シビアアクシデントで想定される事象進展と格納容器破損モード

第2-3図 内部事象レベル1．5 P R Aにおけるイベントツリー

第2-4図 格納容器破損モードごとの寄与割合

第3-1図 運転停止中原子炉における事故シーケンスグループ抽出及び重要事故シーケンス選定の全体プロセス

第3-2図 施設定期検査時のプラント状態と主要パラメータの推移

第3-3図 停止時 P R Aにおけるプラント状態の分類及び施設定期検査工程

第3-4図 停止時 P R Aにおけるイベントツリー

第3-5図 事故シーケンスグループごとの寄与割合

別紙

1. 有効性評価の事故シーケンスグループ等の選定に際しての外部事象の考慮について
2. 外部事象に特有の事故シーケンスについて
3. 諸外国における炉心損傷防止対策の調査結果について
4. T B Wシーケンスの炉心損傷防止対策及び着眼点に基づく評価を踏まえた重要事故シーケンスの選定について
5. 重大事故等対処設備の津波からの防護について
6. 内部事象 P R Aにおける主要なカットセット及びF V重要度に照らした重大事故等防止対策の有効性について
7. 地震 P R A，津波 P R Aにおける主要な事故シーケンスの対策に

ついて

8. 格納容器破損モード「溶融炉心・コンクリート相互作用」の想定及びその対策について
9. 格納容器直接接触（シェルアタック）を格納容器破損モードの評価対象から除外する理由について
10. 格納容器隔離失敗の分岐確率の根拠と格納容器隔離失敗事象への対応について
11. 「P R Aの説明における参照事項（平成25年9月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について
12. 東海第二発電所 P R Aピアレビュー実施結果及び今後の対応方針について

別添

東海第二発電所 確率論的リスク評価（P R A）について

はじめに

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日）（以下「解釈」という。）に基づき、重大事故対策の有効性評価に係る事故シーケンスグループ等の選定に際しては、個別プラントの確率論的リスク評価（以下「P R A」という。）を活用している。

当社は従来から定期安全レビュー等の機会に内部事象レベル 1 P R A（出力運転時，停止時），レベル 1．5 P R A（出力運転時）を実施してきており，これらの P R A 手法を今回も適用した。また，外部事象としては，現段階で P R A 手法を適用可能な事象として，日本原子力学会において実施基準が標準化され，試評価等の実績を有する地震レベル 1 P R A 及び津波レベル 1 P R A を対象とし，これらの外部事象 P R A から抽出される建屋・構築物等の大規模な損傷から発生する事象についても事故シーケンスグループ等の選定に係る検討対象範囲とした。

また，P R A が適用可能でないと判断した外部事象については，事故シーケンスの定性的な分析を行い，事故シーケンスグループ等の選定に係る検討を実施した。

今回実施する P R A の目的が重大事故等対策の有効性評価を行う事故シーケンスグループ等の選定への活用にあることを考慮し，これまで整備してきたアクシデントマネジメント策（以下「A M 策」という。）や福島第一原子力発電所事故以降に実施した各種対策等を含めず，設計基準事故対処設備の機能にのみ期待する仮想的なプラント状態を評価対象として P R A モデルを構築した。

なお，今回の P R A の実施に際しては，原子力規制庁配布資料「P

R A の説明における参照事項（平成 25 年 9 月）」を参照した。

< 今回の P R A の評価対象 >

| 対象設備 | 今回の P R A での取扱い |
|---|--------------------|
| 設計基準事故対処設備 | 考慮する |
| A M 要請（H4）以前から整備している A M 策の設備 ・代替注水手段（給水系，制御棒駆動水压系，補給水系及び消火系による原子炉への注水手段） | 考慮しない |
| A M 要請（H4）以降に整備した A M 策の設備 ・代替反応度制御（A T W S 緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）及び A T W S 緩和設備（代替制御棒挿入機能）） ・代替注水手段（補給水系，消火系による原子炉・格納容器への注水手段） ・原子炉減圧の自動化 ・格納容器からの除熱手段（耐圧強化ベント） ・電源の融通（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機による非常用所内電気設備への給電） | 考慮しない |
| 緊急安全対策設備 ・電源車 ・消防車，消防ポンプ ・非常用発電機代替設備 ・代替海水ポンプ ・代替注水車 ・建屋の水密扉の強化 ・海水ポンプモータ予備品 | 考慮しない |
| 重大事故等対処設備 | 考慮しない |

なお，「E C C S 手動起動」，「原子炉手動減圧」，「残留熱除去系の手動起動」，「高圧炉心スプレイ系及び原子炉隔離時冷却系の水源切替」等の「設計基準事故対処設備の機能を作動させるための手動操作」は考慮する。

今回実施した P R A の詳細については，「別添 東海第二発電所確率論的リスク評価（P R A）について」に示す。

1. 炉心損傷防止対策の有効性評価の事故シーケンスグループ抽出及び重要事故シーケンス選定について

炉心損傷防止対策の有効性評価において想定する事故シーケンスグループ抽出及び重要事故シーケンス選定の全体プロセスを第1-1図に示す。本プロセスに従い、各検討ステップにおける実施内容を整理した。

【概 要】

- ① 内部事象 P R A，外部事象 P R A（適用可能なものとして地震，津波を選定）及び P R A を適用できない外部事象等についての定性的検討から事故シーケンスの抽出を実施した。
- ② 抽出した事故シーケンスと必ず想定する事故シーケンスグループとの比較を行い，必ず想定する事故シーケンスグループに対応しない外部事象特有の事故シーケンスについて，頻度，影響等を確認し，事故シーケンスグループとしての追加要否を検討した。
- ③ 抽出した事故シーケンスグループ内の事故シーケンスについて，国内外の先進的な対策を講じても炉心損傷防止が困難なものは，格納容器破損防止対策の有効性評価にて取り扱うこととした。
- ④ 炉心損傷防止対策の有効性評価において想定する事故シーケンスグループごとに，「実用発電用原子炉に係る炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価に関する審査ガイド」（以下「審査ガイド」という。）に記載の観点（共通原因故障又は系統間の機能の依存性，余裕時間，設備容量，代表性）に基づき，有効性評価の対象とする重要事故シーケンスを選定した。

1.1 事故シーケンスグループの分析について

解釈には、炉心損傷防止対策の有効性評価に係る事故シーケンスグループの、個別プラント評価による抽出に関して以下のとおりに示されている。

1 - 1

(a) 必ず想定する事故シーケンスグループ

① B W R

- ・ 高圧・低圧注水機能喪失
- ・ 高圧注水・減圧機能喪失
- ・ 全交流動力電源喪失
- ・ 崩壊熱除去機能喪失
- ・ 原子炉停止機能喪失
- ・ L O C A 時注水機能喪失
- ・ 格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）

(b) 個別プラント評価により抽出した事故シーケンスグループ

① 個別プラントの内部事象に関する確率論的リスク評価（P R A）及び外部事象に関する P R A（適用可能なもの）又はそれに代わる方法で評価を実施すること。

② その結果、上記 1 - 1 (a) の事故シーケンスグループに含まれない有意な頻度又は影響をもたらす事故シーケンスグループが抽出された場合には、想定する事故シーケンスグループとして追加すること。なお、「有意な頻度又は影響をもたらす事故シーケンスグループ」については、上記 1 - 1 (a) の事故シーケンスグループと炉心損傷頻度又は影響度の観点から同程度であるか

等から総合的に判断するものとする。

上記 1－1 (b)①に関して、P R A の適用可能な外部事象については日本原子力学会における P R A 実施基準の標準化の状況、試評価実績の有無等を考慮し、地震及び津波とした。したがって、出力運転時の内部事象レベル 1 P R A、地震レベル 1 P R A 及び津波レベル 1 P R A を実施し、事故シーケンスグループを評価した。

また、P R A の適用が困難と判断した地震、津波以外の外部事象については定性的な検討により発生する事故シーケンスの分析を行った。

実施した事故シーケンスグループに係る分析結果を 1.1.1 に示す。

1.1.1 炉心損傷に至る事故シーケンスの抽出、整理

(1) P R A に基づく整理

内部事象レベル 1 P R A では、各起因事象の発生後、炉心損傷を防止するための緩和手段等の組合せを評価し、第 1－2 図のイベントツリーを用いて分析することで炉心損傷に至る事故シーケンスを抽出している。

外部事象に関しては、P R A が適用可能な事象として地震レベル 1 P R A 及び津波レベル 1 P R A を実施し、内部事象と同様にイベントツリー分析を行い、炉心損傷に至る事故シーケンスを抽出した。第 1－3 図に地震 P R A の階層イベントツリーを、第 1－4 図に地震 P R A のイベントツリーを、第 1－5 図に津波 P R A の階層イベントツリーを、第 1－6 図に津波 P R A のイベントツリーを示す。

地震や津波の場合、各安全機能の喪失に至るプロセスは異なる

ものの、起因事象が内部事象と同じであれば、炉心損傷を防止するための緩和手段も同じであるため、事故シーケンスも内部事象と同様である。また、地震レベル 1 P R A 及び津波レベル 1 P R A では、内部事象レベル 1 P R A では想定していない複数の安全機能や緩和機能を有する機器が同時に損傷する事象や、建屋・構築物等の大規模な損傷の発生により直接的に炉心損傷に至る事故シーケンスも扱っている。

各 P R A より抽出した事故シーケンスを第 1-1 表に、評価結果を第 1-7 図及び第 1-8 図に示す。

(2) P R A に代わる検討に基づく整理

P R A の適用が困難な地震、津波以外の外部事象（以下「その他の外部事象」という。）については、その他の外部事象により誘発される起因事象について検討した。内部溢水及び内部火災では、外部電源喪失や全給水喪失等の起因事象の発生が想定される。また、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災、人為事象等において想定される事象は、いずれも内部事象レベル 1 P R A、地震レベル 1 P R A 又は津波レベル 1 P R A のいずれかで想定する起因事象に包絡されるため、その他の外部事象を考慮しても新たな事故シーケンスグループは抽出されないと推定した（別紙 1）。

1.1.2 抽出した事故シーケンスの整理

今回実施したレベル 1 P R A により抽出した各事故シーケンス（第 1-1 表参照）を、炉心損傷防止のための緩和機能の喪失状況、プラントの状態及び炉心損傷に至る主要因の観点で分類した結果と、

解釈 1－1 (a)に示されている必ず想定する事故シーケンスグループとの関係及び解釈 1－2 に示されている要件との関係等を第 1－2 表に整理した。また，整理の内容を 1.1.2.1～1.1.2.3 に示す。

1.1.2.1 必ず想定する事故シーケンスグループとの対応

今回実施したレベル 1 P R Aにより抽出した各事故シーケンス（第 1－1 表参照）について，炉心損傷防止のための緩和機能の喪失状況，プラントの状態及び炉心損傷に至る主要因の観点で分類した。具体的には次の(1)～(7)及びこれ以外の事故シーケンスに分類した。緩和機能の喪失状況，プラントの状態の観点で，(1)～(7)は，解釈 1－1 (a)の必ず想定する事故シーケンスグループに対応するものとして整理した。

(1) 高圧・低圧注水機能喪失（T Q U V）

運転時の異常な過渡変化等の発生後，高圧注水機能を喪失し，原子炉の減圧には成功するが，低圧注水機能が喪失して，炉心の著しい損傷に至る事故シーケンスを，事故シーケンスグループ「高圧・低圧注水機能喪失」に分類する。

(2) 高圧注水・減圧機能喪失（T Q U X）

運転時の異常な過渡変化等の発生後，高圧注水機能及び原子炉減圧機能を喪失し，炉心の著しい損傷に至る事故シーケンスを，事故シーケンスグループ「高圧注水・減圧機能喪失」に分類する。

(3) 全交流動力電源喪失（長期 T B，T B D，T B P，T B U）

外部電源喪失の発生時に区分Ⅰ及び区分Ⅱの非常用交流電源の確保に失敗するとともに，区分Ⅲの高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機による高圧炉心スプレイ系専用の交流電源の確保に失敗

することにより全交流動力電源喪失が発生し，安全機能を有する系統及び機器が機能喪失することによって，炉心の著しい損傷に至る事故シーケンスを，事故シーケンスグループ「全交流動力電源喪失」に分類する。

なお，P R Aでは電源喪失の事故シーケンスを長期T B，T B D，T B P及びT B Uに詳細化して抽出しているが，いずれも全交流動力電源喪失を伴う事故シーケンスであるため，解釈1－1(a)に記載の事故シーケンスグループでは「全交流動力電源喪失」に該当するものとして整理する。また，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機による交流電源確保失敗は高圧炉心スプレイ系のシステムモデルに含めてモデル化していることから，区分Ⅰ及び区分Ⅱの非常用交流電源の確保に失敗し，かつ，高圧炉心スプレイ系による炉心冷却に失敗する事故シーケンスを本事故シーケンスグループに分類することとする。

(4) 崩壊熱除去機能喪失（T W，T B W）

運転時の異常な過渡変化等の発生後，原子炉圧力容器への注水等の炉心の冷却に成功するものの，格納容器からの崩壊熱除去機能が喪失し，炉心損傷前に格納容器が過圧により破損，その後，炉心の著しい損傷に至るおそれのある事故シーケンスを，事故シーケンスグループ「崩壊熱除去機能喪失」として分類する。

(5) 原子炉停止機能喪失（T C）

運転時の異常な過渡変化等の発生後，原子炉停止機能を喪失し，炉心の著しい損傷に至る事故シーケンスを，事故シーケンスグループ「原子炉停止機能喪失」として分類する。

(6) L O C A時注水機能喪失（A E，S 1 E，S 2 E）

大破断 L O C A の発生後の 高圧注水機能及び低圧注水機能の喪失，又は，中小破断 L O C A の発生後の「高圧注水機能及び低圧注水機能」又は「高圧注水機能及び原子炉減圧機能」の喪失により，炉心の著しい損傷に至る事故シーケンスを，事故シーケンスグループ「L O C A 時注水機能喪失」として分類する。

なお，P R A では L O C A 時の注水機能喪失シーケンスを，破断口の大きさに応じて A E （大破断 L O C A を起因とする事故シーケンス），S 1 E （中破断 L O C A を起因とする事故シーケンス）及び S 2 E （小破断 L O C A を起因とする事故シーケンス）に詳細化して抽出しているが，いずれも L O C A 時の注水機能喪失を伴う事故シーケンスであるため，解釈 1－1 (a) に記載の事故シーケンスグループでは「L O C A 時注水機能喪失」に該当するものとして整理する。

(7) 格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）（I S L O C A）

インターフェイスシステム L O C A の発生後，破断箇所の隔離に失敗し，非常用炉心冷却系（以下「E C C S」という。）等による原子炉水位の確保に失敗することで炉心の著しい損傷に至る事故シーケンスを，事故シーケンスグループ「格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）」に分類する。

1.1.2.2 追加すべき事故シーケンスグループの検討

今回実施したレベル 1 P R A により抽出した各事故シーケンス（第 1－1 表参照）のうち，炉心損傷防止のための緩和機能の喪失状況，プラントの状態及び炉心損傷に至る主要因の観点で解釈

1 - 1 (a) の必ず想定する事故シーケンスグループに対応しない事故シーケンス又は事故シーケンスグループとしては、地震・津波特有の事象として以下の事故シーケンス又は事故シーケンスグループを抽出した。

(1) E x c e s s i v e L O C A

大規模な地震では、格納容器内の原子炉冷却材圧力バウンダリにおいて、大破断 L O C A を超える規模の損傷に伴う冷却材喪失 (E x c e s s i v e L O C A) が発生する可能性がある。具体的には、逃がし安全弁の開放失敗による原子炉圧力上昇又は地震による直接的な荷重により、格納容器内の原子炉冷却材圧力バウンダリ配管が損傷に至るシナリオを想定している。大規模な地震において L O C A が発生した場合であっても、破断の規模や使用可能な緩和設備の状況によっては炉心損傷を防止できる可能性も考えられるが、一方で、E C C S の注水機能の全喪失や、使用可能な E C C S の注水能力を上回る量の原子炉冷却材の漏えいが発生することにより炉心損傷に至る可能性も考えられる。

さらに、使用可能な緩和設備の状況によっては格納容器の除熱に失敗する等の原因により、格納容器の破損に至る可能性も考えられる。

このように、大規模な地震発生後の原子炉冷却材圧力バウンダリの損傷の規模や緩和機能の状態には不確かさが大きく、原子炉冷却材圧力バウンダリの損傷の規模や緩和機能の状態に応じて個別に事象収束の評価を実施することは困難であるため、保守的に E x c e s s i v e L O C A 相当の L O C A が発生するものとし、炉心損傷に直結する事象として抽出した。

なお、後述する事故シーケンス選定の結果、大破断 L O C A については国内外の先進的な対策を考慮しても炉心損傷防止対策を講じることが困難な事故シーケンスとして格納容器の機能に期待している。破断の規模や使用可能な緩和設備の状況によっては格納容器の機能に期待できる場合も考えられる。

(2) 計装・制御系喪失

大規模な地震の発生により、計装・制御機能が喪失することで、プラントの監視及び制御が不能な状態に陥る可能性がある。計装・制御機能を喪失した場合であっても、喪失の規模や使用可能な緩和設備の状況によっては炉心損傷を防止できる可能性も考えられるが、一方で、E C C S が起動不能になること等が原因で炉心損傷に至る可能性も考えられる。さらに、残留熱除去系が起動不能になること等の原因により、格納容器の破損に至る可能性も考えられる。

このように、大規模な地震による計装・制御系の喪失の規模には不確かさが大きく、計装・制御機能が喪失した際のプラントへの影響を特定することは困難であることから、保守的に炉心損傷に直結する事象として抽出した。

(3) 格納容器バイパス

大規模な地震では、格納容器外で配管破断等が発生し、格納容器をバイパスした原子炉冷却材の流出が発生する可能性がある。格納容器バイパス事象はインターフェイスシステム L O C A とバイパス破断に細分化され、バイパス破断は通常開等の隔離弁に接続している配管が格納容器外で破損すると同時に隔離弁が閉失敗することで原子炉冷却材が流出する事象である。原子炉冷却材の

流出や使用可能な緩和設備の状況によっては炉心損傷を防止できる可能性も考えられるが、一方で、破断箇所の隔離に失敗したことで原子炉建屋内の機器に悪影響が及び炉心損傷に至る可能性も考えられる。

このように、大規模な地震発生後の格納容器バイパス事象の影響には不確かさが大きく、配管破断の程度や破断箇所の特定、影響緩和措置の成立性等に応じた網羅的な事象進展の評価が困難なことから、保守的に炉心損傷に直結する事象として抽出した。

(4) 原子炉圧力容器損傷

大規模な地震では、原子炉圧力容器の損傷が発生する可能性がある。この場合、原子炉圧力容器の損傷により、原子炉停止や炉心冷却が困難となる可能性が考えられる。大規模な地震において原子炉圧力容器の損傷が発生した場合であっても、損傷の規模や使用可能な緩和設備の状況によっては炉心損傷を防止できる可能性も考えられるが、一方で、原子炉圧力容器の損傷に伴いE C C Sの注水配管が破断し、炉心冷却が困難になる等の理由により、炉心損傷に至る可能性も考えられる。また、原子炉圧力容器の損傷後に使用可能な緩和設備の状況によっては格納容器の除熱に失敗する等の原因により、格納容器の破損に至る可能性も考えられる。

このように、大規模な地震発生後の原子炉圧力容器の損傷の規模や緩和機能の状態には不確かさが大きく、損傷の規模や緩和機能の状態による事象収束可能性の評価が困難なことから、保守的に炉心損傷に直結する事象として抽出した。

(5) 格納容器損傷

大規模な地震では、格納容器の損傷が発生する可能性がある。
この場合、格納容器の損傷により、原子炉の停止や炉心冷却が困難となる可能性が考えられる。大規模な地震において格納容器の損傷が発生した場合であっても、損傷の規模や使用可能な緩和設備の状況によっては炉心損傷を防止できる可能性も考えられるが、一方で、格納容器の損傷に伴いE C C Sの注水配管が破断し、炉心冷却が困難になる等の理由により、炉心損傷に至る可能性も考えられる。

このように、大規模な地震発生後の格納容器の損傷の規模や緩和機能の状態には不確かさが大きく、損傷の規模や緩和機能の状態による事象収束可能性の評価が困難なことから、保守的に炉心損傷に直結する事象として抽出した。

(6) 原子炉建屋損傷

大規模な地震では、原子炉建屋又は原子炉建屋を支持している基礎地盤が損傷することで、建屋内の格納容器、原子炉圧力容器等の機器及び構造物が大規模な損傷を受ける可能性がある。

大規模な地震において原子炉建屋又は原子炉建屋を支持している基礎地盤の損傷が発生した場合であっても、損傷の規模や使用可能な緩和設備の状況によっては炉心損傷を防止できる可能性も考えられるが、一方で、原子炉停止や炉心冷却が困難となり、炉心損傷に至る可能性も考えられる。

このように、大規模な地震発生後の原子炉建屋又は原子炉建屋を支持している基礎地盤の損傷の規模や緩和機能の状態には不確かさが大きく、損傷の規模や緩和機能の状態による事象収束可能性の評価が困難なことから、保守的に炉心損傷に直結する事象と

して抽出した。

(7) 津波浸水による最終ヒートシンク喪失

防潮堤を越流した津波により非常用海水ポンプが被水・没水することにより最終ヒートシンクが喪失し，ECCSによる炉心冷却機能が喪失するとともに，崩壊熱除去機能が喪失することで，炉心損傷に至る。

本事故シーケンスグループには，襲来する津波の高さに応じて次の4つの事故シーケンスが含まれるが，いずれも防潮堤の健全性が維持される事故シーケンスであり，津波による影響の程度が特定できること，及び炉心損傷頻度が有意であることを考慮し，必ず想定する事故シーケンスグループに対応しない事故シーケンスグループとして抽出した。

- ・原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失）
- ・最終ヒートシンク喪失（蓄電池枯渇後RCIC停止）
- ・最終ヒートシンク喪失＋高圧炉心冷却失敗
- ・最終ヒートシンク喪失＋逃がし安全弁再閉鎖失敗

(8) 防潮堤損傷

津波波力により防潮堤が損傷し，多量の津波が敷地内に浸水することで，非常用海水ポンプが被水・没水して最終ヒートシンクが喪失するとともに，屋内外の施設が広範囲にわたり機能喪失して炉心損傷に至る事故シーケンスである。

この事故シーケンスは，防潮堤の損傷による津波の影響の程度を特定することが困難であるため，必ず想定する事故シーケンスグループに対応しない，炉心損傷に直結する事象として抽出した。

上記の事故シーケンス又は事故シーケンスグループについて、解釈に従い、有効性評価における想定の可否を炉心損傷頻度又は影響度等の観点から分析した。

津波特有の事象である「(7) 津波浸水による最終ヒートシンク喪失」の事故シーケンスグループについては、炉心損傷頻度が 4.0×10^{-6} ／炉年と有意な値であり、また、本事故シーケンスグループは敷地内への津波浸水によりプラントへの影響が他の事故シーケンスとは異なり、炉心損傷防止のために必要な対応が異なることから、新たに追加する事故シーケンスグループとして抽出した。

また、地震・津波特有の事象である(1)～(6)及び(8)の各事故シーケンスについては、以下に示すとおり解釈に基づき想定する事故シーケンスグループと比較して頻度及び影響の観点から検討した結果、新たに追加する必要はないと総合的に判断した。

① 炉心損傷頻度の観点

(1)～(6)の各事故シーケンスの炉心損傷頻度には、必ずしも炉心損傷に直結するほどの損傷に至らない場合も含んでいる。

別紙 2 のとおり、これらの事故シーケンスは評価方法にかなりの保守性を有している。また、地震動に応じた詳細な損傷の程度や影響を評価することは困難なことから、現状、対象とする建屋や機器等の損傷をもって炉心損傷直結事象として整理しているが、実際には地震の程度に応じ、機能を維持した設計基準事故対処設備等が残る場合も想定される。機能を維持した設計基準事故対処設備等がある場合、それを用いた対応に期待することにより、炉

心損傷を防止できる可能性もあると考える。これらを整理すると以下のようになる。

- a) 炉心損傷直結と整理している事象が発生したが、損傷の程度が軽微であったり、機能喪失を免れた緩和機能によって炉心損傷を回避できる場合。
- b) 炉心損傷直結と整理している事象が発生したが、緩和機能による炉心損傷の防止が可能な程度の損傷であり、機能喪失を免れた緩和機能があったものの、それらのランダム故障によって炉心損傷に至る場合。
- c) 緩和機能の有無に関わらず炉心損傷を防止できない規模の炉心損傷直結事象が発生し、炉心損傷に至る場合。

a)～c)の整理のとおり，a)の場合は炉心損傷を防止できると考えられるため，評価を詳細化することで(1)～(6)の各事故シーケンスの炉心損傷頻度は現在の値よりも更に小さい値になると推定される。また，機能を維持した設計基準事故対処設備等に期待した上で，そのランダム故障により炉心損傷に至る場合の事故シーケンスは，内部事象レベル1 P R Aの結果から抽出された既存の事故シーケンスグループに包絡されるものと考ええる。これらの事故シーケンスに対して，炉心損傷頻度の観点では，地震P R Aの精度を上げることが望ましいと考える。

また，(8)の事故シーケンスについては，津波P R Aから抽出される事故シーケンスであるが，炉心損傷頻度は 3.3×10^{-7} ／炉年であり，全炉心損傷頻度に対して0.4%程度と小さい寄与となっているが，この炉心損傷頻度は防潮堤前面での津波高さがT.P. +24mを超える津波の発生頻度と同じとしており，T.P. +24mの

津波に対する防潮堤の損傷確率を保守的に 1 として評価しているため、防潮堤の損傷確率を詳細に評価すること等によりこの事故シーケンスの炉心損傷頻度は更に小さい値になると推定される。

② 影響度(事象の厳しさ)の観点

(1)～(6)の各事故シーケンスが発生した際の事象の厳しさについて、建屋や機器の損傷の程度や組合せによって事象の厳しさには幅が生じると考えられ、定量的に分析することは難しいと考えるものの、地震と同時に炉心が損傷する状況は考え難い。現状、対象とする建屋や機器等の損傷をもって炉心損傷直結事象として整理しているが、実際には機能を維持した設計基準事故対処設備や重大事故等対処設備、可搬型の機器等で炉心損傷防止を試みるものとする。このように、事象の厳しさの観点では、高圧・低圧注水機能喪失や全交流動力電源喪失等と同等となる場合もあると考える。また、損傷の程度が大きく、設計基準事故対処設備や重大事故等対処設備に期待できない場合には、大規模損壊対策を含め、使用可能な設備によって臨機応変に影響緩和を試みる。

また、(8)の事故シーケンスが発生した際の事象の厳しさについて、防潮堤の損傷の程度によって事象の厳しさには幅が生じると考えられ、定量的に分析することは難しいと考えるものの、実際には機能を維持した設計基準事故対処設備や重大事故等対処設備、可搬型の機器等で炉心損傷を試みるものとする。このように、事象の厳しさの観点では、全交流動力電源喪失等と同等となる場合もあると考える。また、損傷の程度が大きく、設計基準事故対処設備や重大事故等対処設備に期待できない場合には、大規模損壊対策を含め、使用可能な設備によって臨機応変に影響緩和

を試みる。

③ 炉心損傷防止対策の観点

現状，対象とする建屋や機器等の損傷をもって炉心損傷直結として整理している(1)～(6)の各事故シーケンスについて，炉心損傷直結としてしていることの保守性を踏まえて定性的に考察すると，①及び②で述べたとおり，(1)～(6)の事象が発生するものの，機能を維持した設計基準事故対処設備等が残る場合も考えられる。この場合，炉心損傷に至るか否かは地震によって機能を喪失した設備及び機能を維持した設計基準事故対処設備等のランダム故障によるため，内部事象運転時レベル 1 P R A の結果から抽出された既存の事故シーケンスグループに包絡されると考えられる。

また，炉心損傷を防止できる場合も考えられるため，炉心損傷頻度は現在の値よりも低下するものと考えられる。

損傷の程度が大きく，設計基準事故対処設備や重大事故等対処設備に期待できない場合には，大規模損壊対策を含め，建屋以外に分散配置した設備や可搬型の機器を駆使し，臨機応変に対応することによって，炉心損傷や格納容器破損を防止することになる。

上記のように，(1)～(6)の各事故シーケンスは，実際のところプラントへの影響に不確かさが大きく，具体的な事故シーケンスを特定することが困難である。このため，外部事象に特有の事故シーケンスについては，炉心損傷防止対策の有効性評価の事故シーケンスグループとして事故シーケンスを特定して評価するのではなく，発生する事象の程度や組合せに応じて炉心損傷防止対策や格納容器破損防止対策を柔軟に活用するとともに，建屋全体が崩壊し内部の安全系機器・配管の全てが機能を喪失するような深

刻な損傷の場合には可搬型のポンプ、電源、放水設備等々を駆使した大規模損壊対策による影響緩和を図ることで対応するべきものとする。

また、(8)の事故シーケンスについても、防潮堤の損傷の程度によっては機能を維持した設計基準事故対処設備や重大事故等対処設備による対応に期待できる場合も考えられ、損傷の程度が大きく設計基準事故対処設備や重大事故等対処設備に期待できない場合には、大規模損壊対策を含め、使用可能な設備によって臨機応変に影響緩和を試みる。

以上の検討を踏まえ、(1)～(6)及び(8)の各事故シーケンスは、一定の安全機能喪失時の対策の有効性を評価するシナリオとしては適当でない事象であり、新たに追加するシーケンスとはしないことを確認した。また、(1)～(6)及び(8)の各事故シーケンスを炉心損傷頻度及び影響度の観点から総合的に判断した結果、解釈に基づき必ず想定する事故シーケンスグループと比較して有意な頻度又は影響をもたらす事故シーケンスグループとして、新たに追加するシーケンスには該当しないと判断した。

また、上記の検討及び別紙 2 のとおり、大規模な地震を受けた場合であっても、炉心損傷に直結するほどの損傷が生じることは考えにくく、大規模な地震を受けた場合の大部分は使用可能な緩和機能によって炉心損傷防止を試みる事が可能であるものとする。津波による防潮堤損傷についても、防潮堤の機能が全て喪失するほどの損傷が生じることは考えにくく、敷地内に多量の津波が流入した場合でも、使用可能な津波防護対象設備によって

炉心損傷防止を試みる事が可能であるものとする。

1.1.2.3 炉心損傷後の格納容器の機能への期待可否に基づく整理

内部事象レベル 1 P R A, P R Aが適用可能な外部事象として地震及び津波レベル 1 P R Aを実施し、地震、津波以外の外部事象については P R Aに代わる方法で概略評価を実施した結果、追加すべき新たな事故シーケンスグループとして「津波浸水による最終ヒートシンク喪失」を抽出した。

したがって、東海第二発電所の有効性評価で想定する事故シーケンスグループは、解釈 1－1 (a)の必ず想定する事故シーケンスグループ及び新たに追加した「津波浸水による最終ヒートシンク喪失」となる。これについて、以下に示す解釈 1－2 及び 1－4 の要件に基づいて整理し、各事故シーケンスグループの対策の有効性の確認における要件を整理した。

- 1－2 第 1 項に規定する「炉心の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じたもの」とは、以下に掲げる要件を満たすものであること。

(a) 想定する事故シーケンスグループのうち炉心の著しい損傷後の原子炉格納容器の機能に期待できるものにあつては、炉心の著しい損傷を防止するための十分な対策が計画されており、かつ、その対策が想定する範囲内で有効性があることを確認する。

(b) 想定する事故シーケンスグループのうち炉心の著しい損傷後の原子炉格納容器の機能に期待することが困難なもの

（格納容器先行破損シーケンス、格納容器バイパス等）にあっては、炉心の著しい損傷を防止する対策に有効性があることを確認する。

1－4 上記 1－2 (a) の「十分な対策が計画されており」とは、国内外の先進的な対策と同等のものが講じられていることをいう。

整理の結果は以下のとおり。

○解釈 1－2 (a) に分類される事故シーケンスグループ

- ・ 高圧・低圧注水機能喪失
- ・ 高圧注水・減圧機能喪失
- ・ 全交流動力電源喪失
- ・ L O C A 時注水機能喪失
- ・ 津波浸水による最終ヒートシンク喪失

○解釈 1－2 (b) に分類される事故シーケンスグループ

- ・ 崩壊熱除去機能喪失
- ・ 原子炉停止機能喪失
- ・ 格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）

1.2 有効性評価の対象となる事故シーケンスについて

事故シーケンスグループ別に事故シーケンス及び炉心損傷防止対策について整理した結果を第1－3表に示す。

解釈1－2(a)の事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスに対しては、炉心の著しい損傷を防止するための対策として、国内外の先進的な対策と同等のものを講じることが要求されている。

一方で、事故シーケンスの中には、国内外の先進的な対策を考慮しても、炉心損傷防止対策を講じることが困難な事故シーケンスが存在する。具体的には以下の3つの事故シーケンスが該当する。なお、国内外の先進的な対策と東海第二発電所の対策の比較を別紙3に示す。

①大破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗

②直流電源喪失＋原子炉停止失敗

③交流電源喪失＋原子炉停止失敗

①の事故シーケンスは、原子炉圧力容器から多量の冷却材が短時間で失われていく事象であり、大破断LOCA後は数分以内に多量の注水を開始しなければ炉心損傷を防止することができない。今回の調査では、事象発生から極めて短時間に多量の注水が可能な対策（インターロックの追設等）は確認できなかったことから、この事故シーケンスを国内外の先進的な対策を考慮しても、炉心損傷防止対策を講じることが困難な事故シーケンスとして整理した。

以上より、①の事故シーケンスについては、格納容器破損防止対策の有効性評価の対象とすることとし、炉心損傷防止対策の有効性評価の対象とする事故シーケンスから除外した（重要事故シーケンス選定の対象とする事故シーケンスから除外する）。

①の事故シーケンスについても、炉心損傷後の原子炉への注水や格納容器スプレイ等の実施により、事象の緩和に期待できる。また、今回整備した格納容器破損防止対策により格納容器の閉じ込め機能に期待できることを確認している（「2.3.3 炉心損傷防止が困難な事故シーケンス等に対する格納容器破損防止対策の有効性」参照）。

②及び③の事故シーケンスは、原子炉スクラムの失敗と直流電源喪失又は全交流動力電源の喪失が重畳する事故シーケンスである。制御棒による原子炉停止に期待できない場合の代替の原子炉停止手段としてはほう酸水注入系を設けているが、直流電源の喪失又は全交流動力電源の喪失によってほう酸水注入系が機能喪失に至ることから、炉心損傷を防止することができない。今回の調査では、原子炉停止機能について、ほう酸水注入系に期待できない場合のバックアップとなる対策は確認できなかったことから、この事故シーケンスを、国内外の先進的な対策を考慮しても、炉心損傷防止対策を講じることが困難な事故シーケンスとして整理した。

②及び③の事故シーケンスはいずれも地震レベル1 P R Aから抽出された事故シーケンスである。原子炉スクラムの失敗の支配的な理由として、カットセットの分析結果（別紙 7）からは、地震による炉内構造物の損傷等が抽出されている。今回の地震レベル1 P R Aでは、事象発生と同時に最大の地震加速度を受けるものとして評価しているが、事象発生と同時にどの程度の地震加速度が加えられるかについて、実際には不確かさが大きい。炉内構造物の低い損傷確率（5%損傷確率）であることが高い信頼度（95%信頼度）で推定できる地震加速度（以下「H C L P F」という。）は「地震加速

度大」のスクラム信号が発信される地震加速度よりも大幅に高い値であり、実際に大規模な地震が発生した場合には、地震による炉内構造物の損傷等が生じる前にスクラム信号が発信されると考えられる。また、地震レベル 1 P R A では機器の損傷を完全相関としていることから、例えば 1 本のみの制御棒挿入に失敗する場合であってもスクラム失敗により炉心損傷するものとして評価している。評価の詳細は別紙 2 に示す。

以上のとおり、②及び③の事故シーケンスの炉心損傷頻度は保守的な設定のもとに評価したものであるが、現実的に想定すると、本事故シーケンスによって炉心損傷に至る頻度は十分に小さいと判断したことから、本事故シーケンスは、炉心の著しい損傷を防止する対策の有効性を確認する事故シーケンスに該当しないと判断した。

なお、第 1－3 表に示すとおり、これらの事故シーケンスの全炉心損傷頻度への寄与割合は小さく、全炉心損傷頻度の約 99.0% 以上の事故シーケンスが炉心損傷防止対策の有効性評価の対象範囲に含まれることを確認している。

1.3 重要事故シーケンスの選定について

1.3.1 重要事故シーケンス選定の考え方

(1) 重要事故シーケンス選定の着眼点に基づく整理

設置変更許可申請における炉心損傷防止対策の有効性評価の実施に際しては、事故シーケンスグループごとに重要事故シーケンスを選定している。重要事故シーケンスの選定に当たっては、審査ガイドに記載の4つの着眼点を考慮している。今回の重要事故シーケンスの選定に係る具体的な考え方は以下のとおりである。また、事故シーケンスグループごとに、事故シーケンスと各着眼点との関係を整理し、関係が強いと考えられるものから「高」、「中」、「低」と分類して整理した。

【審査ガイドに記載されている重要事故シーケンス選定の着眼点】

- a. 共通原因故障又は系統間の機能の依存性によって複数の設備が機能喪失し、炉心の著しい損傷に至る。
- b. 炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間が短い。
- c. 炉心損傷防止に必要な設備容量（流量又は逃がし弁容量等）が大きい。
- d. 事故シーケンスグループ内のシーケンスの特徴を代表している。

a. 共通原因故障，系統間の機能の依存性の観点

本PRAでは、多重化された機器の共通原因故障を考慮しており、システム信頼性評価におけるフォールトツリーの中でモデル化している。

このため、原子炉建屋損傷等の炉心損傷直結事象を除き、緩和機能の喪失によって炉心損傷に至る事故シーケンスでは、共通原

因故障が炉心損傷の原因の 1 つとして抽出され得ることから、これらのシーケンスについては炉心損傷頻度への寄与が大きい場合、共通原因故障の影響があると考えられるものの、炉心損傷頻度は着眼点 d で考慮することから、ここでは、起因事象に着目し、系統間の依存性を有するサポート系の故障により起因事象が発生した場合を系統間の依存性ありと判断する。

【例 1：高圧・低圧注水機能喪失】

サポート系喪失を起因とするシーケンスは、系統間機能依存性によって多重性を有する機能の片区分の設備が機能喪失することから「中」とした。

【例 2：全交流動力電源喪失】

いずれのシーケンスでも全交流動力電源喪失に至り、電源を必要とする多くの設備が機能喪失することから「高」とした。

b．余裕時間の観点

炉心損傷防止対策の対応操作に係る余裕時間を厳しくするため、事象が早く進展し、炉心損傷に至る時間が短い事故シーケンスを選定する。

【例 1：L O C A 時注水機能喪失】

中破断 L O C A を起因とする事故シーケンスは、破断面積が大きいことより流出流量が多く、事象進展が早いことから「高」とした。また、小破断 L O C A を起因とする事故シーケンスについては、中破断 L O C A に比べて破断面積が小さいため「低」とした。

【例 2：高圧・低圧注水機能喪失】

過渡事象（給水流量の全喪失）又はサポート系喪失（自動停止）

を起因とする事故シーケンスは，事象進展が早いことから「高」とした。また，原子炉を通常停止させる手動停止／サポート系喪失（手動停止）については「低」とした。

c．設備容量の観点

炉心損傷防止に際して炉心の冷却に必要な注水量等，設備容量への要求が大きくなる事故シーケンスを選定する。

【例：L O C A時注水機能喪失】

中破断L O C A及び小破断L O C A発生後の緩和措置としては原子炉減圧及び低圧注水があるが，原子炉減圧に用いる逃がし安全弁は十分な台数が設置されている一方，低圧注水の代替となる注水設備の容量は低圧E C C Sより少ない。このため，低圧炉心冷却失敗を含む事故シーケンスを「高」とし，原子炉減圧失敗を含む事故シーケンスを「低」とした。

d．事故シーケンスグループ内の代表性の観点

当該事故シーケンスグループの代表的な事故シーケンスとして，炉心損傷頻度が高く，事象進展が事故シーケンスグループの特徴を有しているものを選定する。ただし，「高」，「中」，「低」の分類については炉心損傷頻度のみに着目して整理した。

【例：高圧・低圧注水機能喪失】

事故シーケンスグループの中で最も炉心損傷頻度の高いドミナントシーケンスを「高」，事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度に対して1%以上の寄与を持つシーケンスを「中」，1%未満のシーケンスを「低」とした。

今回の内部事象レベル1 P R A，地震レベル1 P R A及び津波

レベル 1 P R A の結果のうち，事故シーケンスを選定するに当たって同一に整理できると考えられるものについては，炉心損傷頻度を足し合わせて上記の分類を実施した。本来，各 P R A は扱う事象が異なるため，結果の不確かさや評価の精度が異なるものであり，結果を足し合わせて用いることの可否（比較可能性）については，P R A の結果を活用する際の目的に照らして十分留意する必要がある。今回は重要事故シーケンスの選定の考え方を以下のとおりとしていることから，結果の不確かさや P R A 間の評価の精度の違いを考慮しても，炉心損傷頻度を足し合わせて用いることによる問題は生じないものと考えた。

○今回抽出された事故シーケンスについては，第 1－4 表に示すとおり，結果的に，事故シーケンスグループ内において選定対象とした全ての事故シーケンスに対して，おおむね同じ重大事故等対処設備で対応できるものと考えている。このため，重要事故シーケンスの選定に当たっては，その対応の厳しさに重きをおいて選定することが適切と考え，主に着眼点 b 及び c によって重要事故シーケンスを選定している。これは，決定論的な評価である有効性評価においては，対応が厳しい事故シーケンスを評価することで，選定対象とした全ての事故シーケンスに対しても重大事故等対策の有効性を確認できると考えたためである。

○着眼点 d については，対応の厳しさ等の選定理由が同等とみなせる場合にのみ重要事故シーケンスの選定の基準として用いており，結果的に崩壊熱除去機能喪失の事故シーケンスグループにおいてのみ，重要事故シーケンス選定の理由としている。な

お、崩壊熱除去機能喪失で選定した重要事故シーケンスは内部事象レベル 1P R A 及び地震レベル 1P R A から抽出されたシーケンスであったが、第 1-3 表に示すとおり、いずれの P R A においても、事故シーケンスグループ内で最も高い炉心損傷頻度となった事故シーケンスである。

(2) 同一のシーケンスグループ内で対策が異なる場合の整理

事故シーケンスグループは、基本的に喪失した機能あるいはその組合せによって決定されるものであり、起因事象や機能喪失の原因には依存しない。しかしながら、事故シーケンスへの対策の観点では、同じ事故シーケンスグループに分類される事故シーケンスでも、喪失した機能の喪失原因が異なる場合、有効な対策が異なることがある。

具体的には、全交流動力電源喪失がこれに該当するが、同じ炉心損傷防止対策で対応可能な事故シーケンスを 1 つの事故シーケンスグループとし、詳細化した各事故シーケンスグループからそれぞれ重要事故シーケンスを選定した。

各々の事故シーケンスグループに対して考慮した内容の詳細は次の 1.3.2 項に示す。

1.3.2 重要事故シーケンスの選定結果

1.3.1 項の選定の着眼点を踏まえ、同じ事故シーケンスグループに複数の事故シーケンスが含まれる場合には、事象進展が早いもの等、より厳しい事故シーケンスを重要事故シーケンスとして以下のとおりに選定している。また、「(3)全交流動力電源喪失」では機能喪失の状況が異なる事故シーケンスが抽出されたが、原子炉圧力、

余裕時間及び対応する炉心損傷防止対策の類似性を考慮し，3つの事故シーケンスを重要事故シーケンスとして選定した。選定理由及び選定結果の詳細については第1－4表及び以下に示す。

(1) 高圧・低圧注水機能喪失

i) 事故シーケンス

- ①過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗
- ②過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗
- ③手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗
- ④手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗
- ⑤サポート系喪失（自動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗
- ⑥サポート系喪失（自動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗

ii) 事故シーケンスグループの特徴

本事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスは，運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故（LOCAを除く。）の発生後，高圧注水機能が喪失し，原子炉減圧には成功するが，低圧注水機能が喪失し，炉心損傷に至る事故シーケンスである。本事故シーケンスグループへの対策としては，代替注水手段による原子炉注水等が考えられる。

iii) 有効性を確認する主な炉心損傷防止対策

- ・手動減圧

- ・ 低圧代替注水系（常設）
- ・ 代替格納容器スプレイ冷却系（常設）
- ・ 格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベント
- ・ 常設代替交流電源設備
- ・ 常設代替直流電源設備

iv) 選定した重要事故シーケンス

①過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗

v) 選定理由

過渡事象（給水流量の全喪失）を起因とする事故シーケンスは，事象進展が早いため，余裕時間の観点で厳しい。また，逃がし安全弁の再閉鎖に成功する事故シーケンスは，低圧の代替注水機能に期待する場合には，逃がし安全弁の再閉鎖に失敗する事故シーケンスに比べて，逃がし安全弁の設備容量の観点で厳しい。さらに，代表性の観点からは①の事故シーケンスの炉心損傷頻度が最も高い。

以上より，①の事故シーケンスを重要事故シーケンスとして選定した。

なお，本事故シーケンス含まれる各事故シーケンスに対して有効と考えられる対策に差異がないため，起因事象発生後の事象進展が早いと考えられる過渡事象を起因とし，原子炉減圧時に必要な減圧幅の観点で厳しいと考えられる，逃がし安全弁再閉鎖失敗を含まない①の事故シーケンスは，②～⑥の事故シーケンスに対して包絡性を有しているものとする。

(2) 高圧注水・減圧機能喪失

i) 事故シーケンス

①過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗

②手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗

③サポート系喪失（自動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗

ii) 事故シーケンスグループの特徴

本事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスは、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故（L O C Aを除く。）の発生後、高圧注水機能が喪失し、かつ、原子炉減圧機能（自動減圧機能）が喪失し、炉心損傷に至る事故シーケンスである。本事故シーケンスグループに対する対策としては、代替減圧手段により原子炉を減圧し、低圧E C C Sによる原子炉冷却等が考えられる。

iii) 有効性を確認する主な炉心損傷防止対策

- ・ 低圧炉心スプレイ系
- ・ 過渡時自動減圧機能
- ・ 残留熱除去系

iv) 選定した重要事故シーケンス

①過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗

v) 選定理由

過渡事象（給水流量の全喪失）を起因とする事故シーケンスは、事象進展が早いため、余裕時間の観点及び原子炉減圧に必要な設備容量の観点で厳しい。また、代表性の観点からは①の事故シーケンスの炉心損傷頻度が最も高い。

以上より、①の事故シーケンスを重要事故シーケンスとして

選定した。

なお、本事故シーケンスグループに含まれる各事故シーケンスに対して有効と考えられる対策に差異がないため、起因事象発生後の事象進展が早いと考えられる過渡事象を起因とした①の事故シーケンスは、②及び③の事故シーケンスに対して包絡性を有しているものとする。

(3) 全交流動力電源喪失

本事故シーケンスグループからは、機能喪失の状況が異なる 4 つの事故シーケンスが抽出されたが、原子炉圧力、余裕時間及び対応する主な炉心損傷防止対策の類似性に着目して事故シーケンスグループを以下の 3 つに詳細化した。

①長期 T B

② T B D, T B U

③ T B P

なお、T B U は、外部電源喪失の発生後、非常用ディーゼル発電機等の故障により全交流動力電源喪失が発生し、原子炉隔離時冷却系による炉心冷却にも失敗する事故シーケンスである。また、T B D は、外部電源喪失の発生後、区分Ⅰ及び区分Ⅱの直流電源の喪失により非常用ディーゼル発電機が機能喪失し、高圧炉心スプレイ系にも失敗することで全交流動力電源喪失に至る事故シーケンスである。T B U においては直流電源が健全であるため、設計基準事故対処設備及び重大事故等対処設備の計装設備は健全である。一方、T B D においては区分Ⅰ及び区分Ⅱの直流電源の喪失により設計基準事故対処設備の計装設備が機能喪失するが、直流電源は重大事故等対処設備の常設代替直流電源設備が健全であ

り，重大事故等対処設備の計装設備は緊急用直流母線から給電されるため，直流電源及び計装設備の機能は維持される。また，T B D，T B Uはいずれも事象発生初期に高圧注水機能が喪失する事故シーケンスであること，及び主な炉心損傷防止対策はいずれも高圧代替注水系であることから，1つの事故シーケンスグループとした。

(3-1) 長期T B

i) 事故シーケンス

①外部電源喪失 + D G 失敗 + H P C S 失敗（蓄電池枯渇後 R C I C 停止）

②サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失） + D G 失敗 + H P C S 失敗（蓄電池枯渇後 R C I C 停止）

ii) 事故シーケンスグループの特徴

本事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスは，外部電源喪失の発生後，非常用ディーゼル発電機等の故障により全交流動力電源喪失が発生し，原子炉隔離時冷却系により炉心を冷却するが，蓄電池の直流電源供給能力が枯渇すると原子炉隔離時冷却系が停止することで炉心の冷却が維持できなくなり，原子炉が高圧状態で炉心損傷に至る事故シーケンスである。本事故シーケンスグループに対する対策としては，交流電源に依存しない代替注水手段による原子炉注水等が考えられる。

iii) 有効性を確認する主な炉心損傷防止対策

- ・ 原子炉隔離時冷却系
- ・ 手動減圧
- ・ 低圧代替注水系（可搬型）

- ・代替格納容器スプレイ冷却系（可搬型）
- ・残留熱除去系
- ・常設代替交流電源設備
- ・常設代替直流電源設備

iv) 選定した重要事故シーケンス

- ①外部電源喪失＋D G 失敗＋H P C S 失敗（蓄電池枯渇後 R C I C 停止）

v) 選定理由

いずれの事故シーケンスも、蓄電池枯渇による原子炉隔離時冷却系停止後の炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間に有意な差はない。このため、事象発生初期の炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間に着目する。外部電源喪失を起因とする事故シーケンスについては、起因事象の発生により給復水系が停止するため原子炉水位の低下が早いことから、余裕時間及び設備容量の観点で厳しい。また、代表性の観点からは①の事故シーケンスの炉心損傷頻度が最も高い。

以上より、①の事故シーケンスを重要事故シーケンスとして選定した。

なお、本事故シーケンスグループに含まれる各事故シーケンスに対して有効と考えられる主な対策に差異がないため、①の事故シーケンスは、②の事故シーケンスに対して包絡性を有しているものとする。

(3-2) T B D, T B U

i) 事故シーケンス

- ③外部電源喪失＋直流電源失敗＋高圧炉心冷却失敗（T B D）

④外部電源喪失＋D G 失敗＋高圧炉心冷却失敗（T B U）

⑤サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）＋D G
失敗＋高圧炉心冷却失敗（T B U）

ii） 事故シーケンスグループの特徴

本事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスは，外部電源喪失の発生後，直流電源又は非常用ディーゼル発電機等の故障により全交流動力電源喪失が発生し，原子炉隔離時冷却系による炉心冷却も失敗することにより，原子炉が高圧状態で炉心損傷に至る事故シーケンスである。本事故シーケンスグループに対する対策としては，代替直流電源供給手段による代替高圧代替注水手段又は原子炉減圧後の代替低圧代替注水手段による原子炉注水等が考えられる。

iii） 有効性を確認する主な炉心損傷防止対策

- ・ 高圧代替注水系
- ・ 手動減圧
- ・ 低圧代替注水系（可搬型）
- ・ 代替格納容器スプレイ冷却系（可搬型）
- ・ 残留熱除去系
- ・ 常設代替交流電源設備
- ・ 常設代替直流電源設備

iv） 選定した重要事故シーケンス

③外部電源喪失＋直流電源失敗＋高圧炉心冷却失敗（T B D）

v） 選定理由

いずれの事故シーケンスも全交流動力電源が喪失しているため，共通原因故障・系統間機能依存性の観点では差異がない。

また、余裕時間及び設備容量の観点からは、いずれの事故シーケンスも事象進展の早さには差異はないものの、直流電源が喪失する事故シーケンスは代替注水設備の起動に必要な直流電源を緊急用 125V 系蓄電池から給電するための直流電源の切替操作が必要となり、代替直流電源の必要容量も大きくなるため、直流電源が喪失する事故シーケンスの方が厳しい。さらに、代表性の観点からは、③の事故シーケンスの炉心損傷頻度が最も高い。

以上より、③の事故シーケンスを重要事故シーケンスとして選定した。有効性評価においては、④及び⑤の事故シーケンスを包含する条件として、原子炉隔離時冷却系及び非常用ディーゼル発電機の本体故障を想定する。

なお、本事故シーケンスグループに含まれる各事故シーケンスに対して有効と考えられる主な対策に差異はなく、③の事故シーケンスは緊急用 125V 系蓄電池への直流電源の切替操作が必要となることから、④及び⑤の事故シーケンスに対して包絡性を有しているものとする。

(3-3) T B P

i) 事故シーケンス

⑥外部電源喪失 + D G 失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S 失敗

⑦サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失） + D G 失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S 失敗

ii) 事故シーケンスグループの特徴

本事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスは、外

部電源喪失の発生後，非常用ディーゼル発電機等の故障により全交流動力電源喪失が発生し，原子炉隔離時冷却系は作動するものの，逃がし安全弁再閉鎖失敗により原子炉圧力が徐々に低下することで，原子炉隔離時冷却系も機能喪失し，原子炉が低圧状態で炉心損傷に至る事故シーケンスである。本事故シーケンスグループへの対策としては，交流電源に依存しない代替注水手段による原子炉注水等が考えられる。

iii) 有効性を確認する主な炉心損傷防止対策

- ・ 原子炉隔離時冷却系（動作可能な範囲に原子炉圧力が保たれる間）
- ・ 手動減圧
- ・ 低圧代替注水系（可搬型）
- ・ 代替格納容器スプレイ冷却系（可搬型）
- ・ 残留熱除去系
- ・ 常設代替交流電源設備
- ・ 常設代替直流電源設備

iv) 選定した重要事故シーケンス

⑥ 外部電源喪失 + D G 失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S 失敗

v) 選定理由

いずれの事故シーケンスも，原子炉圧力の低下による原子炉隔離時冷却系停止後の炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間に有意な差はない。このため，事象発生初期の炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間に着目する。外部電源喪失を起因とする事故シーケンスについては，起因事象の発生により給復

水系が停止するため原子炉水位の低下が早いことから、余裕時間及び設備容量の観点で厳しい。また、代表性の観点からは⑥の事故シーケンスの炉心損傷頻度が最も高い。

以上より、⑥の事故シーケンスを重要事故シーケンスとして選定した。

なお、本事故シーケンスに含まれる各事故シーケンスに対して有効と考えられる主な対策に差異がないため、⑥の事故シーケンスは、⑦の事故シーケンスに対して包絡性を有しているものとする。

(4) 崩壊熱除去機能喪失

i) 事故シーケンス

①過渡事象＋R H R 失敗

②過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋R H R 失敗

③外部電源喪失＋D G 失敗（H P C S 成功）

④外部電源喪失＋D G 失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗（H P C S 成功）

⑤外部電源喪失＋直流電源失敗（H P C S 成功）

⑥手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋R H R 失敗

⑦手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋R H R 失敗

⑧サポート系喪失（自動停止）＋R H R 失敗

⑨サポート系喪失（自動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋R H R 失敗

⑩サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）＋D G 失敗（H P C S 成功）

⑪サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）＋D G
失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗（H P C S 成功）

⑫小破断 L O C A ＋ R H R 失敗

⑬中破断 L O C A ＋ R H R 失敗

⑭大破断 L O C A ＋ R H R 失敗

ii) 事故シーケンスグループの特徴

本事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスは、運転時の異常な過渡変化等の発生後、炉心冷却には成功するが、残留熱除去系の故障により崩壊熱除去機能が喪失することで、炉心損傷前に格納容器が破損し、その後、炉心損傷に至る事故シーケンスである。本事故シーケンスグループに対する対策としては、代替除熱手段による格納容器除熱等が考えられる。

iii) 有効性を確認する主な炉心損傷防止対策

機能喪失した崩壊熱除去機能に対する代替除熱手段として、R H R 故障時及び取水機能喪失時の状況を想定し、それぞれ以下の炉心損傷防止対策の有効性を確認する。

【R H R 故障時】

- ・原子炉隔離時冷却系
- ・高圧炉心スプレイ系
- ・手動減圧
- ・低圧代替注水系（常設）
- ・代替格納容器スプレイ冷却系（常設）
- ・格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベント
- ・常設代替交流電源設備
- ・常設代替直流電源設備

【取水機能喪失時】

- ・ 原子炉隔離時冷却系
- ・ 手動減圧
- ・ 低圧代替注水系（常設）
- ・ 残留熱除去系
- ・ 緊急用海水系
- ・ 常設代替交流電源設備
- ・ 常設代替直流電源設備

iv) 選定した重要事故シーケンス

- ①過渡事象＋RHR失敗（炉心損傷防止対策の有効性を確認する際の残留熱除去系の機能喪失の理由については，残留熱除去系の機能喪失又は残留熱除去系海水系の機能喪失を考慮）

v) 選定理由

いずれの事故シーケンスも代替除熱手段に係る炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間に有意な差異はない。このため，炉心冷却に成功する事故シーケンスグループではあるものの，事象発生初期の炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間に着目する。原子炉水位の低下が早い過渡事象（給水流量の全喪失），サポート系喪失（自動停止）又はLOCAを起因とする事故シーケンスは，余裕時間の観点で厳しい。また，事象初期の事象進展が早く余裕時間が短い場合，崩壊熱が高く原子炉注水に必要な設備容量が大きくなる。さらに，低圧の代替注水手段に期待する場合，逃がし安全弁の再閉鎖に失敗する事故シーケンスは，注水の開始時点で原子炉が一定程度減圧されている

ため、逃がし安全弁の設備容量は再閉鎖成功時の方が厳しくなる。代表性の観点からは①の事故シーケンスの炉心損傷頻度が最も高い。

以上より、①の事故シーケンスを重要事故シーケンスとして選定した。

なお、L O C Aを起因とする事故シーケンスについては、L O C A時注水機能喪失及び雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）において、代替除熱手段に係る重大事故等対策の有効性を含めて確認する。また、本事故シーケンスグループには非常用交流電源の喪失により崩壊熱除去機能が喪失している事故シーケンスが含まれるものの、主要な炉心損傷防止対策の電源を代替電源とする場合、有効と考えられる対策に差異がないため、過渡事象を起因とした①の事故シーケンスは、②～⑭の事故シーケンスに対して包絡性を有しているものとする（別紙 4）。

(5) 原子炉停止機能喪失

i) 事故シーケンス

- ①過渡事象＋原子炉停止失敗
- ②サポート系喪失（自動停止）＋原子炉停止失敗
- ③小破断 L O C A＋原子炉停止失敗
- ④中破断 L O C A＋原子炉停止失敗
- ⑤大破断 L O C A＋原子炉停止失敗

ii) 事故シーケンスグループの特徴

本事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスは、運転時の異常な過渡変化等の発生後、原子炉停止機能を喪失し、

炉心損傷に至る事故シーケンスである。本事故シーケンスグループへの対策としては、代替原子炉停止手段による原子炉停止等が考えられる。

iii) 有効性を確認する主な炉心損傷防止対策

- ・ A T W S 緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）
- ・ ほう酸水注入系
- ・ 原子炉隔離時冷却系
- ・ 高圧炉心スプレイ系
- ・ 残留熱除去系

iv) 選定した重要事故シーケンス

① 過渡事象＋原子炉停止失敗

v) 選定理由

過渡事象（主蒸気隔離弁の誤閉止）に起因する事故シーケンスは、原子炉圧力の上昇が早く、反応度投入の観点で厳しい事象であり、事象進展が早く余裕時間が短く、反応度印加の観点で厳しく出力抑制に必要な設備容量が大きくなる。代表性の観点から、①の事故シーケンスの炉心損傷頻度が最も高い。

以上より、①の事故シーケンスを重要事故シーケンスとして選定した。

なお、本事故シーケンスグループでは、過渡事象を起因とする事故シーケンスと L O C A を起因とする事故シーケンスが抽出されている。本事故シーケンスグループに対しては、重大事故等対処設備として代替制御棒挿入機能が整備されており、これに期待する場合、L O C A を起因とする事故シーケンスの事象進展は L O C A 時注水機能喪失の事故シーケンスグループに

包絡される。

また、L O C Aを起因とする場合、水位低下の観点では厳しいものの、水位低下及びL O C Aに伴う減圧によってボイド率が上昇し、負の反応度が投入されると考えられることから、事象発生後の反応度投入に伴う出力抑制の観点では過渡事象を起因とする事故シーケンスの方が厳しいと考えられる。さらに、L O C Aを起因として原子炉停止に失敗する事故シーケンスの炉心損傷頻度は 1×10^{-10} / 炉年未満であり極めて小さい。そのため、反応度制御の観点で厳しい過渡事象を起因とする①の事故シーケンスは、本事故シーケンスグループにおいて代表性を有しているものとする。

(6) L O C A時注水機能喪失

i) 事故シーケンス

- ①小破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗
- ②小破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗
- ③中破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗
- ④中破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗

ii) 事故シーケンスグループの特徴

本事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスは、小破断 L O C A 又は中破断 L O C A の発生後、高圧注水機能の喪失に加え、低圧注水機能又は原子炉減圧機能を喪失し、炉心損傷に至る事故シーケンスである。本事故シーケンスグループへの対策としては、代替注水手段による原子炉注水等が考えられる。

iii) 有効性を確認する主な炉心損傷防止対策

- ・ 手動減圧
- ・ 低圧代替注水系（常設）
- ・ 代替格納容器スプレイ冷却系（常設）
- ・ 格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベント
- ・ 常設代替交流電源設備
- ・ 常設代替直流電源設備

iv) 選定した重要事故シーケンス

③中破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗

v) 選定理由

中破断 L O C A を起因とする事故シーケンスは、小破断 L O C A に比べて破断面積が大きいことにより流出流量が多く、事象進展が早いため、余裕時間の観点で厳しい。また、設備容量の観点では、原子炉減圧に用いる逃がし安全弁は十分な台数が設置されているが、低圧の代替注水設備の設備容量は低圧 E C C S より少ないため、低圧炉心冷却に失敗する事故シーケンスの方が厳しい。代表性の観点からは、③の事故シーケンスの炉心損傷頻度が高い。

以上より、③の事故シーケンスを重要事故シーケンスとして選定した。

なお、本事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスに対して有効と考えられる主な対策に差異がないため、重要事故シーケンスとして選定した③の事故シーケンスは、①、②、④の事故シーケンスに対しても包絡性を有しているものとする。

また、「崩壊熱除去機能喪失」の事故シーケンスグループに

においても L O C A を起因とする事故シーケンスが抽出されている。これについて、重要事故シーケンスによる包絡性を考えると、低圧炉心冷却失敗の事故シーケンスを重要事故シーケンスとして選定することにより、崩壊熱除去機能喪失に関する重大事故等対策の有効性についても評価することとなる。このことから、選定した重要事故シーケンスは「崩壊熱除去機能喪失」の事故シーケンスグループにおける L O C A を起因とする事故シーケンスに対しても包絡性を有しているものとする。

(7) 格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）

i) 事故シーケンス

①インターフェイスシステム L O C A

ii) 事故シーケンスグループの特徴

本事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスは、インターフェイスシステム L O C A の発生後、破損箇所の隔離に失敗し、格納容器貫通配管からの漏えいが防止できずに炉心損傷に至る事故シーケンスである。本事故シーケンスグループに対する対策としては、破損系統の隔離及び破損系統を除く E C C S による原子炉注水等が考えられる。

iii) 有効性を確認する主な炉心損傷防止対策

- ・ 手動減圧
- ・ 破損系統を除く原子炉注水機能
- ・ 破損系統の隔離
- ・ 常設代替交流電源設備
- ・ 常設代替直流電源設備

iv) 選定した重要事故シーケンス

① インターフェイスシステム L O C A

v) 選定理由

抽出した事故シーケンスが 1 つであることから、①を重要事故シーケンスとして選定した。

(8) 津波浸水による最終ヒートシンク喪失

i) 事故シーケンス

① 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失）

② 最終ヒートシンク喪失（蓄電池枯渇後 R C I C 停止）

③ 最終ヒートシンク喪失＋高圧炉心冷却失敗

④ 最終ヒートシンク喪失＋逃がし安全弁再閉鎖失敗

ii) 事故シーケンスグループの特徴

本事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスは、防潮堤を越流した津波により非常用海水ポンプが被水・没水し、最終ヒートシンクが喪失することにより、炉心損傷に至る事故シーケンスである。本事故シーケンスグループに対する対策としては、津波防護対策等が考えられる。

iii) 有効性を確認する主な炉心損傷防止対策

- ・ 津波防護対策
- ・ 原子炉隔離時冷却系
- ・ 手動減圧
- ・ 低圧代替注水系（常設）
- ・ 残留熱除去系
- ・ 緊急用海水系
- ・ 常設代替交流電源設備

・常設代替直流電源設備

iv) 選定した重要事故シーケンス

①原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失）

v) 選定理由

共通原因故障・系統間機能依存性の観点では、原子炉建屋内浸水を起因とする①の事故シーケンスが厳しい。余裕時間の観点では、事象発生初期に原子炉への注水に失敗する事故シーケンスが厳しい。設備容量の観点では、原子炉建屋内浸水を起因とする①の事故シーケンスは津波防護対策が広範囲に要求される。代表性の観点からは②の事故シーケンスの炉心損傷頻度が最も高い。

以上より、①の事故シーケンスを重要事故シーケンスとして選定した。

なお、有効と考えられる主な対策に差異がないため、①の事故シーケンスは②～④の事故シーケンスに対して包絡性を有しているものとする。

なお、各事故シーケンスグループに含まれる内部事象を起因とする事故シーケンスについて、炉心損傷に至る要因をカットセットレベルまで展開し、炉心損傷頻度に対する寄与割合の観点で分析した結果、主要なカットセットに対して炉心損傷防止対策がおおむね有効であることを確認した（別紙 6）。

また、各事故シーケンスグループにおける地震又は津波を起因とする事故シーケンスについても、地震又は津波により直接炉心損傷

に至る事故シーケンスを除いて，炉心損傷に至る要因をカットセットレベルまで展開し，主要なカットセットに対して炉心損傷防止対策がおおむね有効であることを確認した（別紙 7）。

第1-1表 イベントツリーにより抽出した事故シーケンス

| 起因事象 | 事故シーケンス | 内部 | 地震 | 津波 | シーケンス No. |
|----------------------------|------------------------------------|----|----|----|--------------|
| 過渡事象 | 高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | ○ | ○ | — | (1) |
| | 逃がし安全弁再閉鎖失敗+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | ○ | ○ | — | (2) |
| | 高圧炉心冷却失敗+原子炉減圧失敗 | ○ | ○ | — | (3) |
| | RHR失敗 | ○ | ○ | — | (4) |
| | 逃がし安全弁再閉鎖失敗+RHR失敗 | ○ | ○ | — | (5) |
| | 原子炉停止失敗 | ○ | ○ | — | (6) |
| 外部電源喪失 | DG失敗+HPCS失敗（蓄電池枯渇後RCIC停止） | ○ | ○ | — | (7) |
| | DG失敗+高圧炉心冷却失敗 | ○ | ○ | — | (8) |
| | DG失敗+逃がし安全弁再閉鎖失敗+HPCS失敗 | ○ | ○ | — | (9) |
| | 直流電源失敗+HPCS失敗 | ○ | ○ | — | (10) |
| | DG失敗（HPCS成功） | ○ | ○ | — | (11) |
| | DG失敗+逃がし安全弁再閉鎖失敗（HPCS成功） | ○ | ○ | — | (12) |
| | 直流電源失敗（HPCS成功） | ○ | ○ | — | (13) |
| | 直流電源喪失+原子炉停止失敗 | — | ○ | — | (14) |
| 手動停止／ サポート系喪失 （手動停止） | 交流電源喪失+原子炉停止失敗 | — | ○ | — | (15) |
| | 高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | ○ | — | — | (16) |
| | 逃がし安全弁再閉鎖失敗+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | ○ | — | — | (17) |
| | 高圧炉心冷却失敗+原子炉減圧失敗 | ○ | — | — | (18) |
| | RHR失敗 | ○ | — | — | (19) |
| サポート系喪失 （自動停止） | 逃がし安全弁再閉鎖失敗+RHR失敗 | ○ | — | — | (20) |
| | 高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | ○ | — | — | (21) |
| | 逃がし安全弁再閉鎖失敗+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | ○ | — | — | (22) |
| | 高圧炉心冷却失敗+原子炉減圧失敗 | ○ | — | — | (23) |
| | RHR失敗 | ○ | — | — | (24) |
| | 逃がし安全弁再閉鎖失敗+RHR失敗 | ○ | — | — | (25) |
| サポート系喪失 （直流電源故障） | 原子炉停止失敗 | ○ | — | — | (26) |
| | （外部電源喪失）+DG失敗+HPCS失敗（蓄電池枯渇後RCIC停止） | ○ | — | — | (27) |
| | （外部電源喪失）+DG失敗+高圧炉心冷却失敗 | ○ | — | — | (28) |
| | （外部電源喪失）+DG失敗+逃がし安全弁再閉鎖失敗+HPCS失敗 | ○ | — | — | (29) |
| | （外部電源喪失）+DG失敗（HPCS成功） | ○ | — | — | (30) |
| 小破断LOCA | （外部電源喪失）+DG失敗+逃がし安全弁再閉鎖失敗（HPCS成功） | ○ | — | — | (31) |
| | 高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | ○ | — | — | (32) |
| | 高圧炉心冷却失敗+原子炉減圧失敗 | ○ | — | — | (33) |
| | RHR失敗 | ○ | — | — | (34) |
| 中破断LOCA | 原子炉停止失敗 | ○ | — | — | (35) |
| | 高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | ○ | — | — | (32) |
| | 高圧炉心冷却失敗+原子炉減圧失敗 | ○ | — | — | (33) |
| | RHR失敗 | ○ | — | — | (34) |
| 大破断LOCA | 原子炉停止失敗 | ○ | — | — | (35) |
| | 高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | ○ | — | — | (36) |
| | RHR失敗 | ○ | — | — | (37) |
| インターフェイス システムLOCA | 原子炉停止失敗 | ○ | — | — | (38) |
| | インターフェイスシステムLOCA | ○ | — | — | (39) |
| 地震に伴う損傷 | 原子炉建屋損傷 | — | ○ | — | (40) |
| | 格納容器損傷 | — | ○ | — | (41) |
| | 原子炉圧力容器損傷 | — | ○ | — | (42) |
| | 格納容器バイパス | — | ○ | — | (43) |
| | Excessive LOCA | — | ○ | — | (44) |
| | 計装・制御系喪失 | — | ○ | — | (45) |
| 津波に伴う損傷 | 防潮堤損傷 | — | — | ○ | (46) |
| | 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失） | — | — | ○ | (47) |
| | 最終ヒートシンク喪失（蓄電池枯渇後RCIC停止） | — | — | ○ | (48) |
| | 最終ヒートシンク喪失+RCIC失敗 | — | — | ○ | (49) |
| | 最終ヒートシンク喪失+逃がし安全弁再閉鎖失敗 | — | — | ○ | (50) |

第1-2表 PRAの結果に基づく新たな事故シーケンスグループの検討

| 事故シーケンス | シーケンスNo. | 事故シーケンス別CDF（／炉年） | | | | 全CDFに対する割合（％） | 解釈1-1との対応 | 事故シーケンスグループ | グループ別CDF（／炉年） | 全CDFに対する割合（％） | 解釈1-2との対応 |
|---|----------|------------------|---------|---------|---------|---------------|------------------|-------------------|---------------|---------------|-----------|
| | | 内部事象 | 地震 | 津波 | 合計 | | | | | | |
| 過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | (1) | 3.2E-10 | 4.6E-07 | — | 4.6E-07 | 0.6 | 1-1(a)の事故シーケンス | 高圧・低圧注水機能喪失 | 4.7E-07 | 0.6 | 1-2(a) |
| 過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | (2) | 2.0E-10 | 2.5E-09 | — | 2.7E-09 | <0.1 | | | | | |
| 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | (16) | 4.2E-10 | — | — | 4.2E-10 | <0.1 | | | | | |
| 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | (17) | 4.3E-11 | — | — | 4.3E-11 | <0.1 | | | | | |
| サポート系喪失（自動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | (21) | 2.5E-09 | — | — | 2.5E-09 | <0.1 | | | | | |
| サポート系喪失（自動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | (22) | 3.0E-11 | — | — | 3.0E-11 | <0.1 | | 高圧注水・減圧機能喪失 | 1.3E-06 | 1.8 | 1-2(a) |
| 過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗 | (3) | 9.4E-09 | 1.3E-06 | — | 1.3E-06 | 1.7 | | | | | |
| 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗 | (18) | 2.6E-09 | — | — | 2.6E-09 | <0.1 | | | | | |
| サポート系喪失（自動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗 | (23) | 8.3E-09 | — | — | 8.3E-09 | <0.1 | | | | | |
| 外部電源喪失＋DG失敗＋HPCS失敗（蓄電池枯渇後RCIC停止） | (7) | 5.7E-08 | 5.6E-09 | — | 6.3E-08 | <0.1 | | 全交流動力電源喪失 | 2.7E-06 | 3.6 | 1-2(a) |
| サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）＋DG失敗＋HPCS失敗（蓄電池枯渇後RCIC停止） | (27) | 2.0E-08 | — | — | 2.0E-08 | <0.1 | | | | | |
| 外部電源喪失＋直流電源失敗＋HPCS失敗 | (10) | 6.0E-12 | 2.1E-06 | — | 2.1E-06 | 2.8 | | | | | |
| 外部電源喪失＋DG失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋HPCS失敗 | (9) | 3.0E-10 | 2.4E-09 | — | 2.7E-09 | <0.1 | | | | | |
| サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）＋DG失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋HPCS失敗 | (29) | 2.3E-10 | — | — | 2.3E-10 | <0.1 | | | | | |
| 外部電源喪失＋DG失敗＋高圧炉心冷却失敗 | (8) | 2.0E-10 | 4.4E-07 | — | 4.5E-07 | 0.6 | 1-1(a)の事故シーケンス | 崩壊熱除去機能喪失 | 6.6E-05 | 87.6 | 1-2(b) |
| サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）＋DG失敗＋高圧炉心冷却失敗 | (28) | 2.1E-08 | — | — | 2.1E-08 | <0.1 | | | | | |
| 過渡事象＋RHR失敗 | (4) | 4.4E-05 | 5.4E-06 | — | 4.9E-05 | 65.1 | | | | | |
| 過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋RHR失敗 | (5) | 3.8E-07 | 2.9E-08 | — | 4.1E-07 | 0.5 | | | | | |
| 外部電源喪失＋DG失敗（HPCS成功） | (19) | 6.9E-07 | 6.4E-08 | — | 7.5E-07 | 1.0 | | | | | |
| 外部電源喪失＋DG失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗（HPCS成功） | (20) | 3.6E-09 | 3.3E-10 | — | 3.9E-09 | <0.1 | | | | | |
| 外部電源喪失＋直流電源失敗（HPCS成功） | (24) | 6.9E-10 | 1.2E-11 | — | 7.0E-10 | <0.1 | | | | | |
| 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋RHR失敗 | (25) | 9.9E-06 | — | — | 9.9E-06 | 13.2 | | | | | |
| 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋RHR失敗 | (33) | 5.2E-08 | — | — | 5.2E-08 | <0.1 | | | | | |
| サポート系喪失（自動停止）＋RHR失敗 | (37) | 1.7E-06 | — | — | 1.7E-06 | 2.3 | | | | | |
| サポート系喪失（自動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋RHR失敗 | (11) | 8.9E-09 | — | — | 8.9E-09 | <0.1 | | 原子炉停止機能喪失 | 1.4E-07 | 0.2 | 1-2(b) |
| サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）＋DG失敗（HPCS成功） | (12) | 4.1E-06 | — | — | 4.1E-06 | 5.4 | | | | | |
| サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）＋DG失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗（HPCS成功） | (13) | 2.1E-08 | — | — | 2.1E-08 | <0.1 | | | | | |
| 小破断LOCA＋RHR失敗 | (31) | 4.5E-08 | — | — | 4.5E-08 | <0.1 | | | | | |
| 中破断LOCA＋RHR失敗 | (31) | 3.0E-08 | — | — | 3.0E-08 | <0.1 | | | | | |
| 大破断LOCA＋RHR失敗 | (30) | 3.0E-09 | — | — | 3.0E-09 | <0.1 | | | | | |
| 過渡事象＋原子炉停止失敗 | (6) | 2.5E-08 | 7.9E-08 | — | 1.0E-07 | 0.1 | | | | | |
| サポート系喪失（自動停止）＋原子炉停止失敗 | (26) | 3.8E-11 | — | — | 3.8E-11 | <0.1 | | | | | |
| 小破断LOCA＋原子炉停止失敗 | (38) | 3.2E-11 | — | — | 3.2E-11 | <0.1 | | | | | |
| 中破断LOCA＋原子炉停止失敗 | (38) | 2.2E-11 | — | — | 2.2E-11 | <0.1 | | | | | |
| 大破断LOCA＋原子炉停止失敗 | (34) | 2.2E-12 | — | — | 2.2E-12 | <0.1 | | LOCA時注水機能喪失 | 3.2E-10 | <0.1 | 1-2(a) |
| 直流電源喪失＋原子炉停止失敗 | (14) | — | 2.6E-08 | — | 2.6E-08 | <0.1 | | | | | |
| 交流電源喪失＋原子炉停止失敗 | (15) | — | 1.4E-08 | — | 1.4E-08 | <0.1 | | | | | |
| 小破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | (35) | 1.4E-13 | — | — | 1.4E-13 | <0.1 | | | | | |
| 小破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗 | (36) | 2.2E-14 | — | — | 2.2E-14 | <0.1 | | | | | |
| 中破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | (35) | 1.5E-11 | — | — | 1.5E-11 | <0.1 | 1-1(a)以外の事故シーケンス | 津波浸水による最終ヒートシンク喪失 | 4.0E-06 | 5.3 | 1-2(a) |
| 中破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗 | (36) | 4.6E-12 | — | — | 4.6E-12 | <0.1 | | | | | |
| 大破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | (32) | 1.4E-12 | — | — | 1.4E-12 | <0.1 | | | | | |
| 原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失（Excessive LOCA） | (44) | — | 3.0E-10 | — | 3.0E-10 | <0.1 | | | | | |
| インターフェイスシステムLOCA | (39) | 4.8E-10 | — | — | 4.8E-10 | <0.1 | | — | 4.8E-10 | <0.1 | 1-2(b) |
| 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失） | (47) | — | — | 7.6E-07 | 7.6E-07 | 1.0 | | | | | |
| 最終ヒートシンク喪失（蓄電池枯渇後RCIC停止） | (48) | — | — | 3.2E-06 | 3.2E-06 | 4.2 | | | | | |
| 最終ヒートシンク喪失＋高圧炉心冷却失敗 | (49) | — | — | 1.1E-08 | 1.1E-08 | <0.1 | | | | | |
| 最終ヒートシンク喪失＋逃がし安全弁再閉鎖失敗 | (50) | — | — | 1.7E-08 | 1.7E-08 | <0.1 | | | | | |
| 原子炉建屋損傷 | (40) | — | 1.5E-07 | — | 1.5E-07 | 0.2 | | — | 1.5E-07 | 0.2 | — |
| 格納容器損傷 | (41) | — | 4.1E-09 | — | 4.1E-09 | <0.1 | | | | | |
| 原子炉圧力容器損傷 | (42) | — | 2.2E-07 | — | 2.2E-07 | 0.3 | | | | | |
| 格納容器バイパス | (43) | — | 3.2E-08 | — | 3.2E-08 | <0.1 | | | | | |
| 計装・制御系喪失 | (45) | — | 3.7E-10 | — | 3.7E-10 | <0.1 | | | | | |
| 防潮堤損傷 | (46) | — | — | 3.3E-07 | 3.3E-07 | 0.4 | | | | | |
| 合計 | | 6.1E-05 | 1.0E-05 | 4.3E-06 | 7.5E-05 | 100.0 | — | — | 7.5E-05 | 100.0 | — |

ハッチング：解釈に基づき想定する事故シーケンスグループと直接対応せず、全炉心損傷程度への寄与及び影響度の観点から他の事故シーケンスグループと比較し、新たな事故シーケンスグループとしての追加は不要と判断したもの。

第1-3表 事故シーケンスグループの主要な炉心損傷防止対策及び炉心損傷頻度

| 事故シーケンスグループ | | 事故シーケンス | 対応する主要な炉心損傷防止対策 | 事故シーケンス別CDF（/炉年） | | | 全CDF ^{※1} に対する割合（%） | グループ別CDF（/炉年） | 全CDF ^{※1} に対する割合（%） | 備考 | | |
|-------------------|---|--|--|---|---|---------|------------------------------|---------------|------------------------------|---------|---------------------------|---------|
| | | | | 内部事象 | 地震 | 津波 | 合計 | | | | | |
| 高圧・低圧注水機能喪失 | | 過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | ・手動減圧 ・低圧代替注水系（常設） ・代替格納容器スプレイ冷却系（常設） ・格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベント ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | 3.2E-10 | 4.6E-07 | — | 4.6E-07 | 0.6 | 4.7E-07 | 0.6 | | |
| | | 過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | | 2.0E-10 | 2.5E-09 | — | 2.7E-09 | <0.1 | | | | |
| | | 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | | 4.2E-10 | — | — | 4.2E-10 | <0.1 | | | | |
| | | 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | | 4.3E-11 | — | — | 4.3E-11 | <0.1 | | | | |
| | | サポート系喪失 自動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | | 2.5E-09 | — | — | 2.5E-09 | <0.1 | | | | |
| | サポート系喪失 自動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | 3.0E-11 | — | — | 3.0E-11 | <0.1 | | | | | | |
| 高圧注水・減圧機能喪失 | | 過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗 | ・低圧炉心スプレイ系 ・過渡時自動減圧機能 ・残留熱除去系 | 9.4E-09 | 1.3E-06 | — | 1.3E-06 | 1.7 | 1.3E-06 | 1.8 | | |
| | | 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗 | | 2.6E-09 | — | — | 2.6E-09 | <0.1 | | | | |
| | サポート系喪失 自動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗 | 8.3E-09 | — | — | 8.3E-09 | <0.1 | | | | | | |
| 全交流動力電源喪失 | 長期T B | 外部電源喪失＋DG失敗＋HPCS失敗（蓄電池枯渇後RCIC停止） | ・原子炉隔離時冷却系 ・手動減圧 ・低圧代替注水系（可搬型） ・代替格納容器スプレイ冷却系（可搬型） ・残留熱除去系 ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | 5.7E-08 | 5.6E-09 | — | 6.3E-08 | <0.1 | 2.7E-06 | 3.6 | | |
| | | サポート系喪失 直流電源故障）（外部電源喪失）＋DG失敗＋HPCS失敗（蓄電池枯渇後RCIC停止） | | 2.0E-08 | — | — | 2.0E-08 | <0.1 | | | | |
| | T B D | 外部電源喪失＋直流電源失敗＋高圧炉心冷却失敗 | 6.0E-12 | 2.1E-06 | — | 2.1E-06 | 2.8 | | | | | |
| | T B U | 外部電源喪失＋DG失敗＋高圧炉心冷却失敗 | 2.0E-10 | 4.4E-07 | — | 4.5E-07 | 0.6 | | | | | |
| | | サポート系喪失 直流電源故障）（外部電源喪失）＋DG失敗＋高圧炉心冷却失敗 | 2.1E-08 | — | — | 2.1E-08 | <0.1 | | | | | |
| | T B P | 外部電源喪失＋DG失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋HPCS失敗 | 3.0E-10 | 2.4E-09 | — | 2.7E-09 | <0.1 | | | | | |
| | サポート系喪失 直流電源故障）（外部電源喪失）＋DG失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋HPCS失敗 | 2.3E-10 | — | — | 2.3E-10 | <0.1 | | | | | | |
| 崩壊熱除去機能喪失 | | 過渡事象＋RHR失敗 | [RHR故障時] ・原子炉隔離時冷却系 ・高圧炉心スプレイ系 ・手動減圧 ・低圧代替注水系（常設） ・代替格納容器スプレイ冷却系（常設） ・格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベント ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | 4.4E-05 | 5.4E-06 | — | 4.9E-05 | 65.1 | 6.6E-05 | 87.6 | 全炉心損傷頻度の約99％を炉心損傷防止対策でカバー | |
| | | 過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋RHR失敗 | | 3.8E-07 | 2.9E-08 | — | 4.1E-07 | 0.5 | | | | |
| | | 外部電源喪失＋DG失敗（HPCS成功） | | 6.9E-07 | 6.4E-08 | — | 7.5E-07 | 1.0 | | | | |
| | | 外部電源喪失＋DG失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗（HPCS成功） | | 3.6E-09 | 3.3E-10 | — | 3.9E-09 | <0.1 | | | | |
| | | 外部電源喪失＋直流電源失敗 HPCS成功） | | 6.9E-10 | 1.2E-11 | — | 7.0E-10 | <0.1 | | | | |
| | | 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋RHR失敗 | | 9.9E-06 | — | — | 9.9E-06 | 13.2 | | | | |
| | | 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋RHR失敗 | | 5.2E-08 | — | — | 5.2E-08 | <0.1 | | | | |
| | | サポート系喪失 自動停止）＋RHR失敗 | | 1.7E-06 | — | — | 1.7E-06 | 2.3 | | | | |
| | | サポート系喪失 自動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋RHR失敗 | | 取水機能喪失時] ・原子炉隔離時冷却系 ・手動減圧 ・低圧代替注水系（常設） ・残留熱除去系 ・緊急用海水系 ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | 8.9E-09 | — | — | 8.9E-09 | | | | <0.1 |
| | | サポート系喪失 直流電源故障）（外部電源喪失）＋DG失敗（HPCS成功） | | 4.1E-06 | — | — | 4.1E-06 | 5.4 | | | | |
| | | サポート系喪失 直流電源故障）（外部電源喪失）＋DG失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗（HPCS成功） | | 2.1E-08 | — | — | 2.1E-08 | <0.1 | | | | |
| | | 小破断LOCA＋RHR失敗 | | 4.5E-08 | — | — | 4.5E-08 | <0.1 | | | | |
| | | 中破断LOCA＋RHR失敗 | | 3.0E-08 | — | — | 3.0E-08 | <0.1 | | | | |
| | | 大破断LOCA＋RHR失敗 | | 3.0E-09 | — | — | 3.0E-09 | <0.1 | | | | |
| | 原子炉停止機能喪失 | | | 過渡事象＋原子炉停止失敗 | ・ATWS線と設備（代替制御棒挿入機能） ・ATWS線と設備（代替再循環系ポンプトリップ機能） ・ほう散水注入系 ・原子炉隔離時冷却系 ・高圧炉心スプレイ系 ・残留熱除去系 | 2.5E-08 | 7.9E-08 | — | | | | 1.0E-07 |
| | | サポート系喪失 自動停止）＋原子炉停止失敗 | 3.8E-11 | — | | — | 3.8E-11 | <0.1 | | | | |
| | | 小破断LOCA＋原子炉停止失敗 | 3.2E-11 | — | | — | 3.2E-11 | <0.1 | | | | |
| | | 中破断LOCA＋原子炉停止失敗 | 2.2E-11 | — | | — | 2.2E-11 | <0.1 | | | | |
| | | 大破断LOCA＋原子炉停止失敗 | 2.2E-12 | — | | — | 2.2E-12 | <0.1 | | | | |
| | | 直流電源喪失＋原子炉停止失敗 ^{※2} | — | 2.6E-08 | | — | 2.6E-08 | <0.1 | | | | |
| | | 交流電源喪失＋原子炉停止失敗 ^{※2} | — | 1.4E-08 | | — | 1.4E-08 | <0.1 | | | | |
| LOCA時注水機能喪失 | | 小破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | ・手動減圧 ・低圧代替注水系（常設） ・代替格納容器スプレイ冷却系（常設） ・格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベント ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | 1.4E-13 | — | — | 1.4E-13 | <0.1 | 2.2E-11 | <0.1 | | |
| | | 小破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗 | | 2.2E-14 | — | — | 2.2E-14 | <0.1 | | | | |
| | | 中破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 ^{※3} | | 1.5E-11 | — | — | 1.5E-11 | <0.1 | | | | |
| | | 中破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗 ^{※3} | | 4.6E-12 | — | — | 4.6E-12 | <0.1 | | | | |
| | | 大破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 ^{※4} | | 1.4E-12 | — | — | 1.4E-12 | <0.1 | | | | |
| 格納容器バイパス | インターフェイスシステムLOCA | ・手動減圧 ・破損系統を除く原子炉注水機能 ・破損系統の隔離 ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | 4.8E-10 | — | — | 4.8E-10 | <0.1 | 4.8E-10 | <0.1 | | | |
| | 原子炉建屋内浸水による複数の線の機能喪失（最終ヒートシンク喪失） | | — | — | 7.6E-07 | 7.6E-07 | 1.0 | | | | | |
| 津波浸水による最終ヒートシンク喪失 | 最終ヒートシンク喪失（蓄電池枯渇後RCIC停止） | ・手動減圧 ・低圧代替注水系（可搬型） ・残留熱除去系 ・緊急用海水系 ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | — | — | 3.2E-06 | 3.2E-06 | 4.2 | 4.0E-06 | 5.3 | | | |
| | 最終ヒートシンク喪失＋高圧炉心冷却失敗 | | — | — | 1.1E-08 | 1.1E-08 | <0.1 | | | | | |
| | 最終ヒートシンク喪失＋高圧炉心冷却失敗 | | — | — | 1.7E-08 | 1.7E-08 | <0.1 | | | | | |
| | 最終ヒートシンク喪失＋逃がし安全弁再閉鎖失敗 | | — | — | — | — | <0.1 | | | | | |
| | 合計 | | | | 6.1E-05 | 1.0E-05 | 4.0E-06 | 7.5E-05 | 99.0 | 7.5E-05 | 99.0 | — |

※1 全CDFは第1-2表で新たな事故シーケンスグループとしての追加は不要と判断した事故シーケンスの炉心損傷頻度を含む。

※2 地震発生と同時に最大の地震加速度を受けるとして評価している地震レベル1 P R Aの想定上抽出された事故シーケンスであるが、地震時の変動を現実的に想定すると、基準地震動よりも十分小さな加速度でスクラム信号「地震加速度大」が発生し、炉内構造物が損傷する加速度に到達する前に制御棒の挿入が完了すると考えられることから、現実的には発生がたいと考え、炉心損傷防止対策の有効性を確認する対象としては取り扱わないと判断した事故シーケンス。

※3 LOCAの破断規模が大きい場合は、国内外の先進的な対策を考慮しても炉心損傷を防止することが困難な事故シーケンス。

※4 国内外の先進的な対策を考慮しても炉心損傷を防止することが困難な事故シーケンス。

第1-4表 重要事故シーケンス等の選定 (1/2)

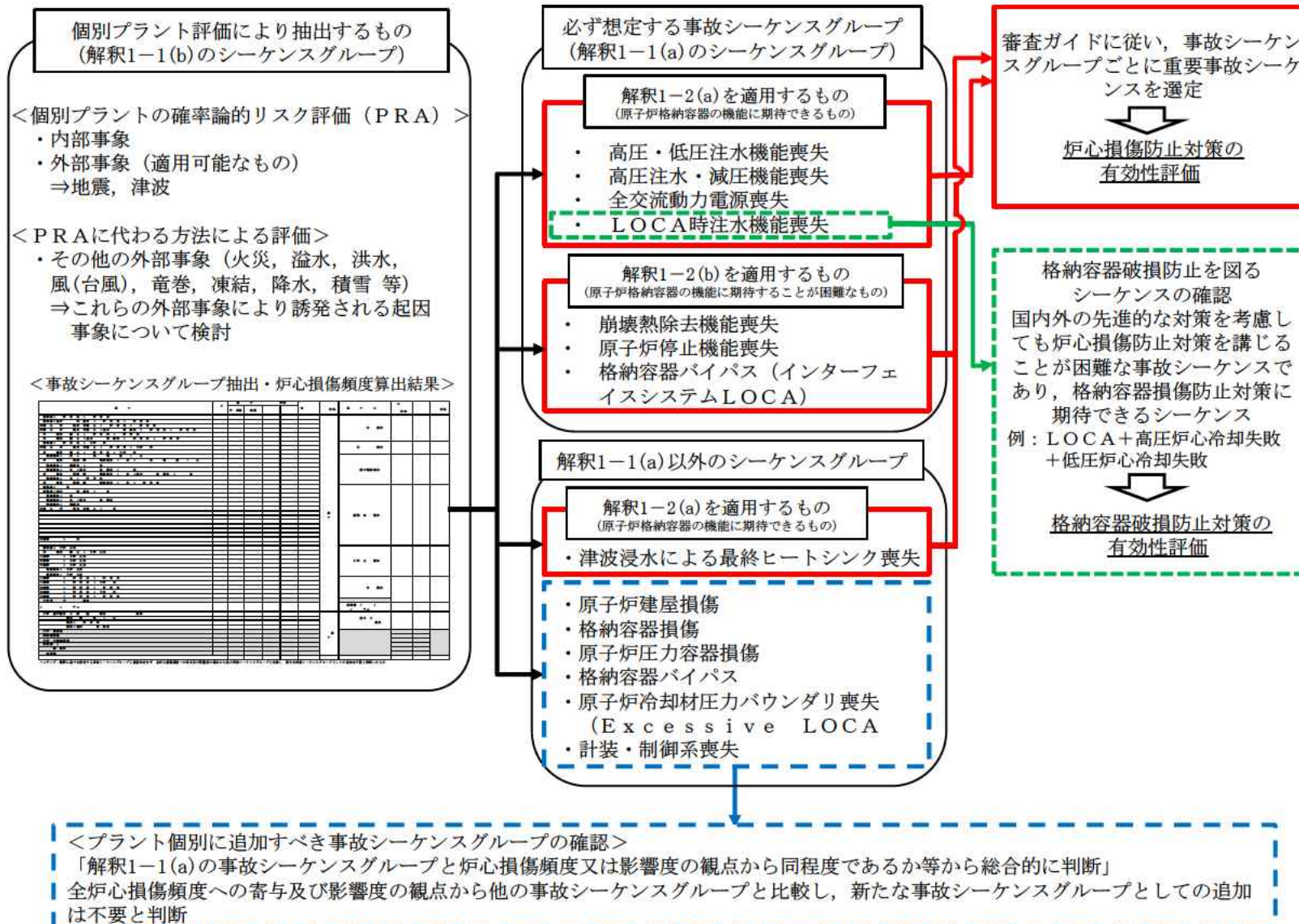
| 事故シーケンスグループ | | 事故シーケンス | 対応する主要な炉心損傷防止対策 | 着眼点との関係と重要事故シーケンスの選定の考え方 | | | | 選定した重要事故シーケンスと選定理由 | |
|-------------|------------|--|--|--|---|---|---|---|--|
| | | | | a | b | c | d | | |
| 高圧・低圧注水機能喪失 | ⑤ | ①過渡事象+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | ・手動減圧 ・低圧代替注水系（常設） ・代替格納容器スプレイ冷却系（常設） ・格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベント ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | 低 | 高 | 高 | 高 | a. サポート系喪失を起因とする事故シーケンスは、系統間機能依存性によって片区分の複数の設備が機能喪失することから「中」とした。 b. 過渡事象（給水流量の全喪失）又はサポート系喪失（自動停止）を起因とする事故シーケンスは、事象進展が早いことから「高」とした。また、原子炉を通常停止させる手動停止／サポート系喪失（手動停止）は「低」とした。 c. 事象進展が早く余裕時間が短い場合、崩壊熱が高く原子炉注水に必要な設備容量が大きくなる。また、逃がし安全弁の再閉鎖に失敗する事故シーケンスは、代替注水の開始時点で原子炉が一定程度減圧されているため、逃がし安全弁の設備容量は再閉鎖成功時の方が厳しくなる。以上より、過渡事象（給水流量の全喪失）又はサポート系喪失（自動停止）を起因として逃がし安全弁の再閉鎖に成功している事故シーケンスを「高」、過渡事象（給水流量の全喪失）又はサポート系喪失（自動停止）を起因として逃がし安全弁の再閉鎖に失敗している事故シーケンスを「中」、手動停止／サポート系喪失（手動停止）を起因とする事故シーケンスを「低」とした。 d. 事故シーケンスグループ別CDFの中で最もCDFの高いドミナントシーケンスを「高」、1%未満の事故シーケンスを「低」とした。 | |
| | — | ②過渡事象+逃がし安全弁再閉鎖失敗+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | | 低 | 高 | 中 | 低 | | |
| | — | ③手動停止／サポート系喪失（手動停止）+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | | 中 | 低 | 低 | 低 | | |
| | — | ④手動停止／サポート系喪失（手動停止）+逃がし安全弁再閉鎖失敗+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | | 中 | 低 | 低 | 低 | | |
| | — | ⑤サポート系喪失（自動停止）+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | | 中 | 高 | 高 | 低 | | |
| | — | ⑥サポート系喪失（自動停止）+逃がし安全弁再閉鎖失敗+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | | 中 | 高 | 中 | 低 | | |
| 高圧注水・減圧機能喪失 | ⑤ | ①過渡事象+高圧炉心冷却失敗+原子炉減圧失敗 | ・低圧炉心スプレイ系 ・過渡時自動減圧機能 ・残留熱除去系 | 低 | 高 | 高 | 高 | a. の着眼点について、②、③はサポート系1区分の喪失を起因としているが、他の区分は健全であるため、対応手段が著しく制限される状態ではない。 b. の着眼点について「高」と考えた事故シーケンスとして①、③を抽出した。 c. の着眼点について「高」と考えた事故シーケンスとして①、③を抽出した。 d. 頻度の観点では①が支配的となった。 以上より、①を重要事故シーケンスとして選定した。 なお、有効と考えられる主な対策に差異がないため、起因事象発生後の事象進展が早いと考えられる過渡事象を起因とした①の事故シーケンスは、②～③の事故シーケンスに対して包絡性を有しているものとする。 | |
| | — | ②手動停止／サポート系喪失（手動停止）+高圧炉心冷却失敗+原子炉減圧失敗 | | 中 | 低 | 低 | 低 | | |
| | — | ③サポート系喪失（自動停止）+高圧炉心冷却失敗+原子炉減圧失敗 | | 中 | 高 | 高 | 低 | | |
| 長期TB | ⑤ | ①外部電源喪失+DG失敗+HPCS失敗（蓄電池枯渇後RCIC停止） | ・原子炉隔離時冷却系 ・手動減圧 ・低圧代替注水系（可搬型） ・代替格納容器スプレイ冷却系（可搬型） ・残留熱除去系 ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | 高 | 高 | 高 | 高 | a. いずれの事故シーケンスも全交流動力電源喪失に至り、電源を必要とする多くの設備が機能喪失することから「高」とした。 b. いずれの事故シーケンスも、蓄電池枯渇による原子炉隔離時冷却系停止後の炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間に有意な差はない。このため、事象発生初期の炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間に着目する。外部電源喪失を起因とする事故シーケンスは、起因事象の発生により給復水系が停止するため原子炉水位の低下が早いことから「高」、サポート系喪失（直流電源故障）を起因とする事故シーケンスは、起因事象の発生後も外部電源喪失に至るまでは給復水系により原子炉水位が維持されることから「低」とした。 c. いずれの事故シーケンスも、蓄電池枯渇による原子炉隔離時冷却系停止後の原子炉注水に必要な設備容量に有意な差異はない。このため、事象発生初期の炉心損傷防止対策の設備容量に着目する。事象初期の余裕時間が短い場合、崩壊熱が高く原子炉注水に必要な設備容量が大きくなる。このため、外部電源喪失を起因とする事故シーケンスを「高」、サポート系喪失（直流電源故障）を起因とする事故シーケンスを「低」とした。 d. 長期TBの中で最もCDFの高いドミナントシーケンスを「高」、1%以上の事故シーケンスを「中」、1%未満の事故シーケンスを「低」とした。 | |
| | | ②サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）+DG失敗+HPCS失敗（蓄電池枯渇後RCIC停止） | | 高 | 低 | 低 | 中 | | |
| | TBD TBU | ⑤ | ③外部電源喪失+直流電源失敗+高圧炉心冷却失敗（TBD） | 高 | 高 | 高 | 高 | a. いずれの事故シーケンスも全交流動力電源喪失に至り、電源を必要とする多くの設備が機能喪失することから「高」とした。 b. いずれの事故シーケンスも、事象初期から原子炉への注水に失敗しており、事象進展の早さに差異はないものの、直流電源が喪失する事故シーケンスは代替注水設備の起動に必要な直流電源を緊急用125V系蓄電池から給電するまでの直流電源の切替操作が必要となることから、直流電源が喪失する事故シーケンスを「高」、それ以外の事故シーケンスを「中」とした。 c. いずれの事故シーケンスも、事象初期から原子炉への注水に失敗しており、崩壊熱が高く原子炉注水に必要な設備容量に差異はないものの、代替直流電源の必要容量は直流電源が喪失する事故シーケンスの方が多くなることから、代替直流電源が喪失する事故シーケンスを「高」、それ以外の事故シーケンスを「中」とした。 d. TBD・TBUの中で最もCDFの高いドミナントシーケンスを「高」、1%以上の事故シーケンスを「中」、1%未満の事故シーケンスを「低」とした。 | |
| | | — | ④外部電源喪失+DG失敗+高圧炉心冷却失敗（TBU） | 高 | 中 | 中 | 中 | | |
| | | — | ⑤サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）+DG失敗+高圧炉心冷却失敗（TBU） | 高 | 中 | 中 | 低 | | |
| | TBP | ⑤ | ⑥外部電源喪失+DG失敗+逃がし安全弁再閉鎖失敗+HPCS失敗 | ・原子炉隔離時冷却系 ・手動減圧 ・低圧代替注水系（可搬型） ・代替格納容器スプレイ冷却系（可搬型） ・残留熱除去系 ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | 高 | 高 | 高 | 高 | a. いずれの事故シーケンスも全交流動力電源喪失に至り、電源を必要とする多くの設備が機能喪失することから「高」とした。 b. いずれの事故シーケンスも、原子炉圧力の低下による原子炉隔離時冷却系停止後の炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間に有意な差はない。このため、事象発生初期の炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間に着目する。外部電源喪失を起因とする事故シーケンスは、起因事象の発生により給復水系が停止するため原子炉水位の低下が早いことから「高」、サポート系喪失（直流電源故障）を起因とする事故シーケンスは、起因事象の発生後も外部電源喪失に至るまでは給復水系により原子炉水位が維持されることから「低」とした。 c. いずれの事故シーケンスも、原子炉圧力の低下による原子炉隔離時冷却系停止後の原子炉注水に必要な設備容量に有意な差異はない。このため、事象発生初期の炉心損傷防止対策の設備容量に着目する。事象初期の余裕時間が短い場合、崩壊熱が高く原子炉注水に必要な設備容量が大きくなる。このため、外部電源喪失を起因とする事故シーケンスを「高」、サポート系喪失（直流電源故障）を起因とする事故シーケンスを「低」とした。 d. TBPの中で最もCDFの高いドミナントシーケンスを「高」、1%以上の事故シーケンスを「中」、1%未満の事故シーケンスを「低」とした。 |
| | | | ⑦サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）+DG失敗+逃がし安全弁再閉鎖失敗+HPCS失敗 | | 高 | 低 | 低 | 中 | |

第1-4表 重要事故シーケンス等の選定 (2/2)

| 事故シーケンスグループ | 事故シーケンス | 対応する主要な炉心損傷防止対策 | 着眼点との関係と重要事故シーケンスの選定の考え方 | | | | 選定した重要事故シーケンスと選定理由 |
|-------------------|---|--|--------------------------|---|---|---|---|
| | | | a | b | c | d | |
| 崩壊熱除去機能喪失 | ㊟ ①過渡事象+RHR失敗 | | 低 | 高 | 高 | 高 | a. 区分Ⅰ及び区分Ⅱの交流電源が喪失している事故シーケンスは、電源を必要とする多くの設備が機能喪失することから「高」とした。また、区分Ⅰ又は区分Ⅱの交流電源が喪失している事故シーケンスは、系統間機能依存性によって同区分の複数の設備が機能喪失することから「中」とした。 b. いずれの事故シーケンスも代替除熱手段に係る炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間が有意な差はない。このため、炉心冷却に成功する事故シーケンスグループではあるものの、事象発生初期の炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間に着目し、原子炉水位の低下が早い過渡事象（給水流量の全喪失）、サポート系喪失（自動停止）、サポート系喪失（直流電源故障）又はLOCAを起因とする事故シーケンスを「高」、手動停止/サポート系喪失（手動停止）を起因とする事故シーケンスを「低」、上記以外の事故シーケンスを「中」とした。 c. いずれの事故シーケンスも崩壊熱除去に必要な設備容量の観点からは有意な差異はない。このため、炉心冷却に成功する事故シーケンスグループではあるものの、事象発生初期の炉心損傷防止対策の設備容量に着目する。事象初期の事象進展が早く余裕時間が短い場合、崩壊熱が高くなり炉心注水に必要な設備容量が大きくなる。また、低圧の代替注水手段に期待する場合、逃がし安全弁の再閉鎖に失敗する事故シーケンスは、注水の開始時点で原子炉が一定程度減圧されているため、逃がし安全弁の設備容量は再閉鎖成功時の方が厳しくなる。以上より、過渡事象（給水流量の全喪失）、サポート系喪失（自動停止）又はサポート系喪失（直流電源故障）を起因として逃がし安全弁の再閉鎖に成功している事故シーケンス並びにLOCAを起因とする事故シーケンスを「高」、過渡事象（給水流量の全喪失）、サポート系喪失（自動停止）又はサポート系喪失（直流電源故障）を起因として逃がし安全弁の再閉鎖に失敗している事故シーケンスを「中」、手動停止/サポート系喪失（手動停止）を起因とする事故シーケンスを「低」とした。 d. 事故シーケンスグループの中で最もCDFの高いドミナントシーケンスを「高」、事故シーケンスグループ別CDFに対して1%以上の事故シーケンスを「中」、1%未満の事故シーケンスを「低」とした。 |
| | — ②過渡事象+逃がし安全弁再閉鎖失敗+RHR失敗 | | 低 | 高 | 中 | 低 | |
| | — ③外部電源喪失+DG失敗（HPCS成功） | | 高 | 中 | 高 | 中 | |
| | — ④外部電源喪失+DG失敗+逃がし安全弁再閉鎖失敗（HPCS成功） | ・RHR故障時 ・原子炉隔離時冷却系 ・高圧炉心スプレイ系 ・手動減圧 ・低圧代替注水系（常設） ・代替格納容器スプレイ冷却系（常設） ・格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベント | 高 | 中 | 中 | 低 | |
| | — ⑤外部電源喪失+直流電源失敗（HPCS成功） | | 高 | 中 | 高 | 低 | |
| | — ⑥手動停止/サポート系喪失（手動停止）+RHR失敗 | | 中 | 低 | 低 | 中 | |
| | — ⑦手動停止/サポート系喪失（手動停止）+逃がし安全弁再閉鎖失敗+RHR失敗 | ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | 中 | 低 | 低 | 低 | |
| | — ⑧サポート系喪失（自動停止）+RHR失敗 | | 中 | 高 | 高 | 中 | |
| | — ⑨サポート系喪失（自動停止）+逃がし安全弁再閉鎖失敗+RHR失敗 | ・取水機能喪失時 [※] ・原子炉隔離時冷却系 ・手動減圧 ・低圧代替注水系（常設） ・低圧代替注水系（常設） ・残留除熱水系 ・緊急用海水系 ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | 中 | 高 | 中 | 低 | |
| | — ⑩サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）+DG失敗（HPCS成功） | | 高 | 高 | 高 | 中 | |
| | — ⑪サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）+DG失敗+逃がし安全弁再閉鎖失敗（HPCS成功） | | 高 | 高 | 中 | 低 | |
| | — ⑫小破断LOCA+RHR失敗 | | 低 | 高 | 高 | 低 | |
| | — ⑬中破断LOCA+RHR失敗 | | 低 | 高 | 高 | 低 | |
| | — ⑭大破断LOCA+RHR失敗 | | 低 | 高 | 高 | 低 | |
| 原子炉停止機能喪失 | ㊟ ①過渡事象+原子炉停止失敗 | | 低 | 高 | 高 | 高 | a. サポート系喪失を起因とする事故シーケンスは、系統間機能依存性によって片区分の複数の設備が機能喪失することから「高」とした。 b. 過渡事象（主蒸気隔離弁の誤閉止）に起因する事故シーケンスは、原子炉圧力の上昇が早く、反応度印加の観点で厳しい事象であり、事象進展が早いことから「高」とした。また、サポート系喪失（自動停止）は、過渡事象（主蒸気隔離弁の誤閉止）に比べて事象進展が緩やかであることから「中」とした。さらに、大破断LOCAを起因とする事故シーケンスは原子炉の減圧に伴い反応度が抑えられることから「低」とし、中破断LOCA又は小破断LOCAを起因とする事故シーケンスは「中」とした。 c. 事象進展が早く余裕時間が短い場合、反応度印加の観点で厳しく出力抑制に必要な設備容量が大きくなることから、着眼点と同等に、過渡事象（主蒸気隔離弁の誤閉止）を起因とする事故シーケンスを「高」、サポート系喪失（自動停止）を起因とする事故シーケンスを「中」、大破断LOCAを起因とする事故シーケンスを「低」、中破断LOCA又は小破断LOCAを起因とする事故シーケンスを「中」とした。 d. 事故シーケンスグループの中で最もCDFの高いドミナントシーケンスを「高」、事故シーケンスグループ別CDFに対して1%以上の事故シーケンスを「中」、1%未満の事故シーケンスを「低」とした。 |
| | — ②サポート系喪失（自動停止）+原子炉停止失敗 | ・ATWS緩和設備（代替制御棒挿入機能） ・ATWS緩和設備（代替原子炉再循環系ポンプトリップ機能） ・ほう酸水注入系 ・原子炉隔離時冷却系 ・高圧炉心スプレイ系 ・残留除熱水系 | 中 | 中 | 中 | 低 | |
| | — ③小破断LOCA+原子炉停止失敗 | | 低 | 中 | 中 | 低 | |
| | — ④中破断LOCA+原子炉停止失敗 | | 低 | 中 | 中 | 低 | |
| | — ⑤大破断LOCA+原子炉停止失敗 | | 低 | 低 | 低 | 低 | |
| LOCA時注水機能喪失 | — ①小破断LOCA+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | | 低 | 低 | 高 | 低 | a. 中破断LOCA又は小破断LOCAを起因とする事故シーケンスは、系統間機能依存性がないことから、全て「低」とした。 b. 中破断LOCAを起因とする事故シーケンスは、破断面積が大きいことより流出流量が多く、事象進展が早いことから「高」とした。また、小破断LOCAを起因とする事故シーケンスは、中破断LOCAに比べて破断面積が小さいため「低」とした。 c. 原子炉停圧にしている逃がし安全弁は十分な台数が設置されているが、低圧の代替注水設備の設備容量は低圧ECCSより少ない。このため、低圧炉心冷却失敗を含む事故シーケンスを「高」とし、原子炉減圧失敗を含む事故シーケンスを「低」とした。 d. 事故シーケンスグループの中で最もCDFの高いドミナントシーケンスを「高」、事故シーケンスグループ別CDFに対して1%以上の事故シーケンスを「中」、1%未満の事故シーケンスを「低」とした。 |
| | — ②小破断LOCA+高圧炉心冷却失敗+原子炉減圧失敗 | ・手動減圧 ・低圧代替注水系（常設） ・代替格納容器スプレイ冷却系（常設） ・格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベント ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | 低 | 低 | 低 | 低 | |
| | ㊟ ③中破断LOCA+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗 | | 低 | 高 | 高 | 高 | |
| | — ④中破断LOCA+高圧炉心冷却失敗+原子炉減圧失敗 | | 低 | 高 | 低 | 中 | |
| 格納容器バイパス | ㊟ インターフェイスシステムLOCA | ・手動減圧 ・破損系統を除く原子炉注水機能 ・破損系統の隔離 ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | — | — | — | — | 抽出された事故シーケンスが1つであることから着眼点に照らした整理は行わず、全ての着眼点について「—」とした。 |
| 津波浸水による最終ヒートシンク喪失 | ㊟ ①原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失） | | 高 | 高 | 高 | 中 | a. 原子炉建屋内浸水を起因とする事故シーケンスでは、建屋内の多くの設備が機能喪失することから「高」とした。最終ヒートシンク喪失を起因とする事故シーケンスは、除熱を必要とする設備が機能喪失することから「中」とした。 b. 事象初期から原子炉への注水に失敗している事故シーケンスは「高」、原子炉隔離時冷却系による原子炉注水に成功している事故シーケンスは「低」とした。逃がし安全弁再閉鎖失敗により原子炉隔離時冷却系が機能喪失する事故シーケンスは、原子炉隔離時冷却系が動作できない範囲に原子炉圧力が低下するまで炉心への注水が継続されるため、事象初期から注水に失敗している事故シーケンスと比較して事象進展が遅いことから「中」とした。 c. 原子炉建屋内浸水を起因とする事故シーケンスは、津波防護対策に要求される防護高さも高くなることから「高」とし、最終ヒートシンク喪失を起因とする事故シーケンスは「中」とした。 d. 最もCDFの高いドミナントシーケンスを「高」、事故シーケンスグループ別CDFに対して1%以上の事故シーケンスを「中」、1%未満の事故シーケンスを「低」とした。 |
| | — ②最終ヒートシンク喪失（蓄電池枯渇後RCIC停止） | ・津波防護対策 ・原子炉隔離時冷却系 ・低圧代替注水系（可搬型） ・残留除熱水系 ・緊急用海水系 ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 | 中 | 低 | 中 | 高 | |
| | — ③最終ヒートシンク喪失+高圧炉心冷却失敗 | | 中 | 高 | 中 | 低 | |
| | — ④最終ヒートシンク喪失+逃がし安全弁再閉鎖失敗 | | 中 | 中 | 中 | 低 | |

㊟ 重要事故シーケンスとして選定した事故シーケンス

※ 取水機能喪失時（RHR喪失時）は低圧ECCSが従属的に機能喪失する。そのため、高圧注水系に成功している場合は崩壊熱除去機能喪失の事故シーケンスグループで取り扱うが、高圧注水系に失敗した場合は他の事故シーケンスグループ等（①、②、③～⑤：高圧・低圧注水機能喪失、③～⑥、⑧、⑪：全交流動力電源喪失、⑫、⑬LOCA時注水機能喪失、⑭雰囲気圧・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損））で重大事故対策の有効性を確認する。



第1-1図 事故シーケンスグループ抽出及び重要事故シーケンス選定の全体プロセス

| 過渡事象 | 原子炉停止 | 圧力バウンダリ健全性 | 高圧炉心冷却 | 原子炉減圧 | 低圧炉心冷却 | 崩壊熱除去 | 事故シーケンス | 事故シーケンスグループ | No. |
|------|-------|------------|--------|-------|--------|-------|------------------------------------|-------------|-----|
| | | | | | | | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | | | 過渡事象＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (4) |
| | | | | | | | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | | | 過渡事象＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (4) |
| | | | | | | | 過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | 高圧・低圧注水機能喪失 | (1) |
| | | | | | | | 過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗 | 高圧注水・減圧機能喪失 | (3) |
| | | | | | | | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | | | 過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (5) |
| | | | | | | | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | | | 過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (5) |
| | | | | | | | 過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | 高圧・低圧注水機能喪失 | (2) |
| | | | | | | | 過渡事象＋原子炉停止失敗 | 原子炉停止機能喪失 | (6) |

第1-2図 内部事象レベル1 PRAにおけるイベントツリー (1/7)

| 手動停止／ サポート系喪失 (手動停止) | 圧力バウンダリ 健全性 | 高圧炉心冷却 | 原子炉減圧 | 低圧炉心冷却 | 崩壊熱除去 | 事故シーケンス | 事故シーケンス グループ | No. |
|----------------------------|----------------|--------|-------|--------|-------|--|-----------------|------|
| | 成功 | 成功 | | | 成功 | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | 失敗 | 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (19) |
| | | | | | 成功 | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | 失敗 | 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (19) |
| | | 失敗 | 成功 | 成功 | 失敗 | 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | 高圧・低圧注水機能喪失 | (16) |
| | | | | | | 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗 | 高圧注水・減圧機能喪失 | (18) |
| | | 失敗 | | | 成功 | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | 失敗 | 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (20) |
| | | | | | 成功 | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | 失敗 | 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (20) |
| | | 失敗 | | 成功 | 失敗 | 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | 高圧・低圧注水機能喪失 | (17) |

第1-2図 内部事象レベル1 PRAにおけるイベントツリー (3/7)

| サポート系喪失 (自動停止※) | 原子炉停止 | 圧力バウンダリ 健全性 | 高圧炉心冷却 | 原子炉減圧 | 低圧炉心冷却 | 崩壊熱除去 | 事故シーケンス | 事故シーケンス グループ | No. |
|--------------------|-------|----------------|--------|-------|--------|-------|---|-----------------|------|
| | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | | 失敗 | サポート系喪失（自動停止）＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (24) |
| | | | | | | 成功 | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | | 失敗 | サポート系喪失（自動停止）＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (24) |
| | | | | | | 成功 | サポート系喪失（自動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | 高圧・低圧注水機能喪失 | (21) |
| | | | | | | 失敗 | サポート系喪失（自動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗 | 高圧注水・減圧機能喪失 | (23) |
| | | | | | | 成功 | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | | 失敗 | サポート系喪失（自動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (25) |
| | | | | | | 成功 | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | | 失敗 | サポート系喪失（自動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (25) |
| | 失敗 | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | サポート系喪失（自動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | 高圧・低圧注水機能喪失 | (22) |
| | | | | | | 失敗 | サポート系喪失（自動停止）＋原子炉停止失敗 | 原子炉停止機能喪失 | (26) |
| | | | | | | 成功 | サポート系喪失（自動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | 高圧・低圧注水機能喪失 | (22) |

※ サポート系喪失において、原子炉自動停止に至る事象のうち、直流電源故障については別途評価。

第1-2 図 内部事象レベル1 PRAにおけるイベントツリー（4/7）

| サポート系喪失 (直流電源故障) | 原子炉停止 | 交流電源 | 圧力バウンダリ 健全性 | 高圧炉心冷却 | | 事故シーケンス | 事故シーケンス グループ | No. |
|---------------------|-------|------|----------------|---------|---------|--|------------------|------|
| | | | | H P C S | R C I C | | | |
| 成功 | | | | | | サポート系喪失（自動停止）へ | サポート系喪失（自動停止）へ | — |
| 成功 | | | | | | サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）＋D G失敗（H P C S成功） | 崩壊熱除去機能喪失（T B W） | (30) |
| 成功 | | | | | | サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）＋D G失敗＋H P C S失敗（蓄電池枯渇後R C I C停止） | 全交流動力電源喪失（長期T B） | (27) |
| 失敗 | | | | | | サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）＋D G失敗＋高圧炉心冷却失敗 | 全交流動力電源喪失（T B U） | (28) |
| 成功 | | | | | | サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）＋D G失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗（H P C S成功） | 崩壊熱除去機能喪失（T B W） | (31) |
| 失敗 | | | | | | サポート系喪失（直流電源故障）（外部電源喪失）＋D G失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋H P C S失敗 | 全交流動力電源喪失（T B P） | (29) |
| 失敗 | | | | | | サポート系喪失（自動停止）＋原子炉停止失敗 | 原子炉停止機能喪失 | (26) |

9

第1－2 図 内部事象レベル1 P R Aにおけるイベントツリー（5／7）

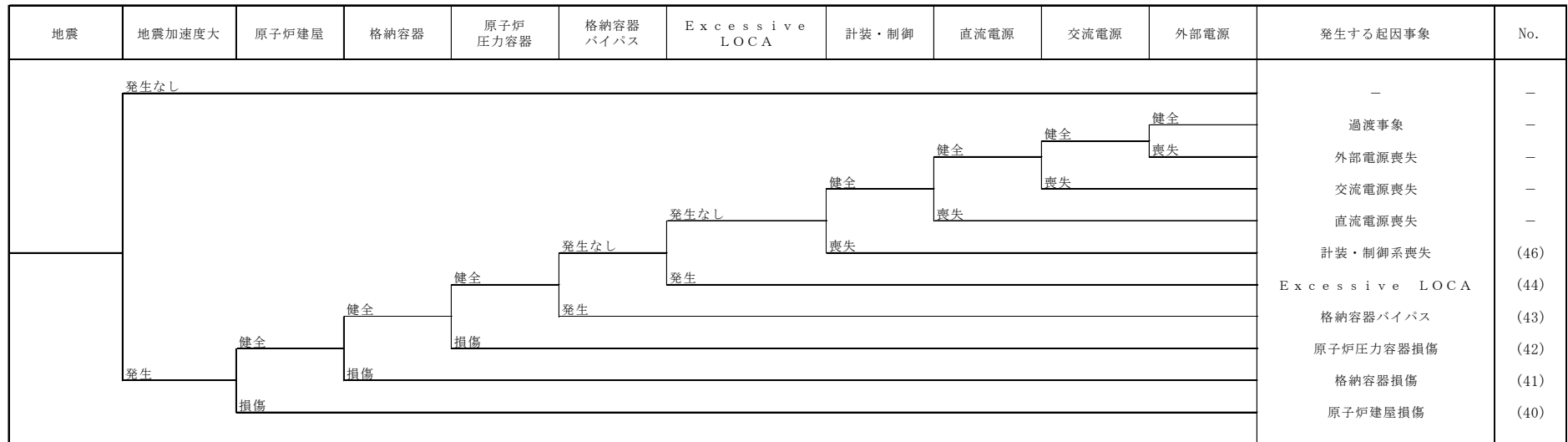
| 大破断 LOCA | 原子炉停止 | 高压炉心冷却 | 低压炉心冷却 | 崩壊熱除去 | 事故シーケンス | 事故シーケンス グループ | No. |
|-------------|-------|--------|--------|-------|--------------------------------|-----------------|------|
| | | | | | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | 大破断 LOCA + RHR 失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (37) |
| | | | | | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | 大破断 LOCA + RHR 失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (37) |
| | | | | | 大破断 LOCA + 高压炉心冷却失敗 + 低压炉心冷却失敗 | LOCA 時注水機能喪失 | (36) |
| | | | | | 大破断 LOCA + 原子炉停止失敗 | 原子炉停止機能喪失 | (38) |

| 中破断 L O C A 小破断 L O C A | 原子炉停止 | 高压炉心冷却 | 原子炉減圧 | 低压炉心冷却 | 崩壊熱除去 | 事故シーケンス | 事故シーケンス グループ | No. | | | | | | |
|---|-------|--------|-------|--------|-------|---------|-----------------|-----|----|----|----|--|-----------------|------|
| <pre>graph LR A[中破断 LOCA] -- 成功 --> B[原子炉停止] A -- 失敗 --> C[中破断 LOCA + 高压炉心冷却失敗 + 低压炉心冷却失敗 小破断 LOCA + 高压炉心冷却失敗 + 低压炉心冷却失敗] B -- 成功 --> D[高压炉心冷却] B -- 失敗 --> E[中破断 LOCA + 高压炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗 小破断 LOCA + 高压炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗] D -- 成功 --> F[原子炉減圧] D -- 失敗 --> G[中破断 LOCA + 高压炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗 小破断 LOCA + 高压炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗] F -- 成功 --> H[低压炉心冷却] F -- 失敗 --> I[中破断 LOCA + 高压炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗 小破断 LOCA + 高压炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗] H -- 成功 --> J[崩壊熱除去] H -- 失敗 --> K[中破断 LOCA + 高压炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗 小破断 LOCA + 高压炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗]</pre> | | | | | | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — | | | | | | |
| | | | | | | 成功 | 失敗 | 成功 | 失敗 | 成功 | 失敗 | 中破断 L O C A + R H R 失敗 小破断 L O C A + R H R 失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (34) |
| | | | | | | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 失敗 | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 失敗 | 中破断 L O C A + R H R 失敗 小破断 L O C A + R H R 失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (34) |
| | | | | | | 成功 | 失敗 | 成功 | 失敗 | 成功 | 失敗 | 中破断 L O C A + 高压炉心冷却失敗 + 低压炉心冷却失敗 小破断 L O C A + 高压炉心冷却失敗 + 低压炉心冷却失敗 | L O C A 時注水機能喪失 | (32) |
| | | | | | | 成功 | 失敗 | 失敗 | 成功 | 成功 | 失敗 | 中破断 L O C A + 高压炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗 小破断 L O C A + 高压炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗 | L O C A 時注水機能喪失 | (33) |
| | | | | | | 成功 | 失敗 | 失敗 | 失敗 | 成功 | 失敗 | 中破断 L O C A + 原子炉停止失敗 小破断 L O C A + 原子炉停止失敗 | 原子炉停止機能喪失 | (35) |
| | | | | | | 成功 | 失敗 | 失敗 | 失敗 | 失敗 | 成功 | 中破断 L O C A + 原子炉停止失敗 小破断 L O C A + 原子炉停止失敗 | 原子炉停止機能喪失 | (35) |

第 1-2 図 内部事象レベル 1 PRA におけるイベントツリー (6/7)

| インターフェイスシステム L O C A | 事故シーケンス | 事故シーケンス グループ | No. |
|----------------------|----------------------|--|------|
| | インターフェイスシステム L O C A | 格納容器バイパス (インターフェイス システム L O C A) | (39) |
| | | | |

第 1-2 図 内部事象レベル 1 P R A におけるイベントツリー (7/7)



第1-3図 地震レベル1 PRAにおける階層イベントツリー

| 過渡事象 | 原子炉停止 | 逃がし安全弁 開放 | 圧力バウンダリ 健全性 | 高圧炉心冷却 | 原子炉減圧 | 低圧炉心冷却 | 崩壊熱除去 | 事故シーケンス | 事故シーケンスグループ | No. |
|------|-------|--------------|----------------|--------|-------|--------|-------|------------------------------------|-------------|------|
| | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | | | 失敗 | 過渡事象＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (4) |
| | | | | | | | 成功 | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | | | 失敗 | 過渡事象＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (4) |
| | | | | | | | 成功 | 過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | 高圧・低圧注水機能喪失 | (1) |
| | | | | | | | 失敗 | 過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗 | 高圧注水・減圧機能喪失 | (3) |
| | | | | | | | 成功 | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | | | 失敗 | 過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (5) |
| | | | | | | | 成功 | 炉心損傷なし | 炉心損傷なし | — |
| | | | | | | | 失敗 | 過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋RHR失敗 | 崩壊熱除去機能喪失 | (5) |
| | 失敗 | 失敗 | 失敗 | 失敗 | 失敗 | 失敗 | 成功 | 過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗 | 高圧・低圧注水機能喪失 | (2) |
| | | | | | | | 失敗 | Excessive LOCA | — | (42) |
| | | | | | | | 成功 | 過渡事象＋原子炉停止失敗 | 原子炉停止機能喪失 | (6) |

第1-4図 地震レベル1 PRAにおけるイベントツリー (1/3)

| 外部電源喪失 | 原子炉停止 | 逃がし安全弁開放 | 直流電源 | 交流電源 | 圧力バウンダリ健全性 | 高圧炉心冷却 | | 事故シーケンス | 事故シーケンスグループ | No. |
|--------|-------|----------|------|------|------------|---------|---------|---|-------------------|------|
| | | | | | | H P C S | R C I C | | | |
| | | | | | | 成功 | | 過渡事象へ | 過渡事象へ | — |
| | | | | | | 成功 | 成功 | 外部電源喪失＋DG失敗（H P C S 成功） | 崩壊熱除去機能喪失（T B W） | (11) |
| | | | | | | 成功 | 失敗 | 外部電源喪失＋DG失敗＋H P C S 失敗（蓄電池枯渇後 R C I C 停止） | 全交流動力電源喪失（長期 T B） | (7) |
| | | | | | | 失敗 | 失敗 | 外部電源喪失＋DG失敗＋高圧炉心冷却失敗 | 全交流動力電源喪失（T B U） | (8) |
| | | | | | | 失敗 | 成功 | 外部電源喪失＋DG失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗（H P C S 成功） | 崩壊熱除去機能喪失（T B W） | (12) |
| | | | | | | 失敗 | 失敗 | 外部電源喪失＋DG失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋H P C S 失敗 | 全交流動力電源喪失（T B P） | (9) |
| | | | | | | 失敗 | 成功 | 外部電源喪失＋直流電源失敗（H P C S 成功） | 崩壊熱除去機能喪失（T B W） | (13) |
| | | | | | | 失敗 | 失敗 | 外部電源喪失＋直流電源失敗＋H P C S 失敗 | 全交流動力電源喪失（T B D） | (10) |
| | | | | | | 成功 | | E x c e s s i v e L O C A | — | (42) |
| | | | | | | 失敗 | | 過渡事象＋原子炉停止失敗 | 原子炉停止機能喪失 | (5) |

| 交流電源喪失 | 原子炉停止 | 逃がし安全弁 開放 | 圧力バウンダリ 健全性 | 高圧炉心冷却 | | 事故シーケンス | 事故シーケンスグループ | No. |
|--------|-------|--------------|----------------|---------|---------|---|-------------------|------|
| | | | | H P C S | R C I C | | | |
| | 成功 | 成功 | 成功 | 成功 | | 外部電源喪失＋D G 失敗（H P C S 成功） | 崩壊熱除去機能喪失（T B W） | (11) |
| | | | | 失敗 | 成功 | 外部電源喪失＋D G 失敗＋H P C S 失敗（蓄電池枯渇後 R C I C 停止） | 全交流動力電源喪失（長期 T B） | (7) |
| | | | | 失敗 | 失敗 | 外部電源喪失＋D G 失敗＋高圧炉心冷却失敗 | 全交流動力電源喪失（T B U） | (8) |
| | | | | 成功 | | 外部電源喪失＋D G 失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗（H P C S 成功） | 崩壊熱除去機能喪失（T B W） | (12) |
| | | | | 失敗 | | 外部電源喪失＋D G 失敗＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋H P C S 失敗 | 全交流動力電源喪失（T B P） | (9) |
| | | | | | | E x c e s s i v e L O C A | － | (42) |
| | 失敗 | 失敗 | | | | 交流電源喪失＋原子炉停止失敗 | 交流電源喪失＋原子炉停止失敗 | (45) |

| 直流電源喪失 | 原子炉停止 | 逃がし安全弁 開放 | 高圧炉心冷却 | | 事故シーケンス | 事故シーケンスグループ | No. |
|--------|-------|--------------|-----------------------------|---------------------------|------------------|-------------|-----|
| | | | H P C S | R C I C | | | |
| | 成功 | 成功 | 成功 | 外部電源喪失＋直流電源失敗（H P C S 成功） | 崩壊熱除去機能喪失（T B W） | (13) | |
| | | | 失敗 | 外部電源喪失＋直流電源失敗＋H P C S 失敗 | 全交流動力電源喪失（T B D） | (10) | |
| | | 失敗 | E x c e s s i v e L O C A | － | (42) | | |
| | 失敗 | | 直流電源喪失＋原子炉停止失敗 | 直流電源喪失＋原子炉停止失敗 | (45) | | |

第 1－4 図 地震レベル 1 P R A におけるイベントツリー（3／3）

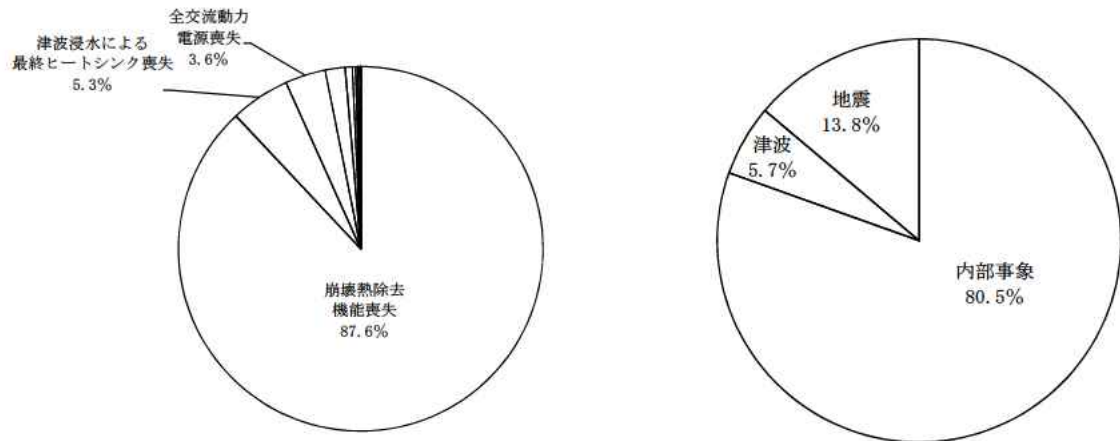
| 津波 (津波高さ) | 防潮堤損傷 (T. P. + 24m～) | 原子炉建屋内浸水 (T. P. + 22m～24m) | 最終ヒートシンク喪失 (T. P. + 20m～22m) | 発生する起因事象 | No. |
|--------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--|------|
| | 発生なし | 発生なし | 発生なし | — | — |
| | | | 発生 | 最終ヒートシンク喪失 (T. P. + 20m～22m) | — |
| | | | 発生 | 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失 (最終ヒートシンク喪失) ※ (T. P. + 22m～24m) | (47) |
| | 発生 | | | 防潮堤損傷※ (T. P. + 24m～) | (46) |

※ 炉心損傷直結のためイベントツリーは展開しない。

第1-5 図 津波レベル1 P R Aにおける階層イベントツリー

| 最終ヒートシンク喪失 | 圧力バウンダリ健全性 | 高圧炉心冷却 | 事故シーケンス | 事故シーケンスグループ | No. |
|------------|------------|--------|--------------------------------|-------------------|------|
| | 成功 | 成功 | 最終ヒートシンク喪失 (蓄電池枯渇後 R C I C 停止) | 津波浸水による最終ヒートシンク喪失 | (48) |
| | | 失敗 | 最終ヒートシンク喪失 + 高圧炉心冷却失敗 | 津波浸水による最終ヒートシンク喪失 | (49) |
| | 失敗 | | 最終ヒートシンク喪失 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 津波浸水による最終ヒートシンク喪失 | (50) |

第1-6 図 津波レベル1 P R Aにおけるイベントツリー

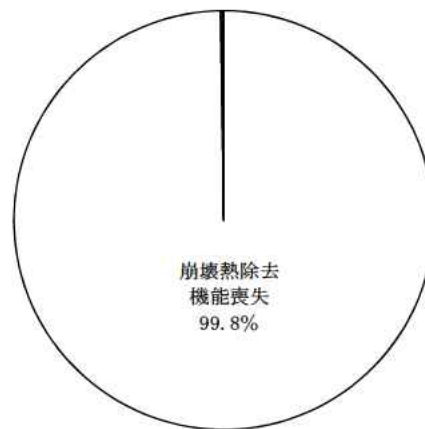


(CDF : 7.5×10^{-5} / 炉年)

事故シーケンスグループ別

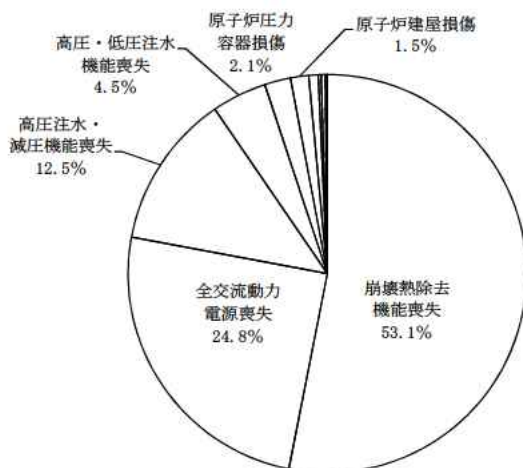
事象別

第1-7図 プラント全体の炉心損傷頻度



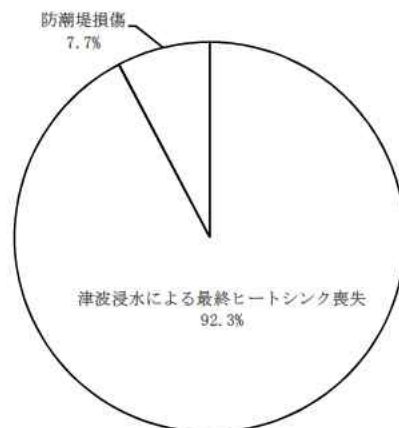
内部事象レベル1PRA

(CDF : 6.1×10^{-5} / 炉年)



地震レベル1PRA

(CDF : 1.0×10^{-5} / 炉年)



津波レベル1PRA

(CDF : 4.3×10^{-6} / 炉年)

第1-8図 事故シーケンスグループごとの寄与割合

2. 格納容器破損防止対策の有効性評価における格納容器破損モード及び評価事故シーケンスの選定について

格納容器破損防止対策の有効性評価の格納容器破損モード及び評価事故シーケンス選定の全体プロセスを第2-1図に示す。また、以下に各検討ステップにおける実施内容を整理した。

【概要】

- ① 内部事象レベル1．5 P R A 及び P R A を適用できない外部事象に係る定性的検討から格納容器破損モードを抽出し、解釈の記載との比較検討・分類を実施した。
- ② 抽出された格納容器破損モードのうち、炉心損傷発生時点で格納容器の機能に期待できない格納容器バイパス、格納容器先行破損に該当するものは、解釈1-2(b)に基づき炉心損傷防止対策の有効性評価の対象とした。
- ③ 国内外で得られている知見や実プラントでの運用等も踏まえた検討を行い、新たに追加すべき格納容器破損モードの要否を検討した。
- ④ 格納容器破損モードごとに格納容器破損モード発生の観点で厳しいプラント損傷状態（以下「P D S」という。）を選定し、その中で厳しい事故シーケンスを検討し、格納容器破損防止対策の有効性評価の評価事故シーケンスとして選定した。

2.1 格納容器破損モードの分析について

解釈には、格納容器破損防止対策の有効性評価に係る格納容器破損モードの個別プラント評価による抽出に関し、以下のとおりに示されている。

2－1

(a) 必ず想定する格納容器破損モード

- ・ 雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）
- ・ 高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱
- ・ 原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用
- ・ 水素燃焼
- ・ 格納容器直接接触（シェルアタック）
- ・ 溶融炉心・コンクリート相互作用

(b) 個別プラント評価により抽出した格納容器破損モード

- ①個別プラントの内部事象に関するPRA及び外部事象に関するPRA（適用可能なもの）又はそれに代わる方法で評価を実施すること。
- ②その結果、上記2－1(a)の格納容器破損モードに含まれない有意な頻度又は影響をもたらす格納容器破損モードが抽出された場合には、想定する格納容器破損モードとして追加すること。

上記2－1(b)①に基づき、内部事象レベル1.5PRAを実施し、格納容器破損モードを評価した。外部事象について、地震レベル1.5PRAは原子炉建屋、格納容器等の損傷から格納容器の閉じ込め機能喪失に至る過程の不確かさが大きく、定量評価結果の活

用に際しては損傷箇所，損傷モード等の精緻化の検討が必要な段階であるため，現段階では事故シーケンス選定の検討に適用しないこととした。

また，P R Aの適用が困難と判断した外部事象については定性的な検討により発生する格納容器破損モードの分析を行った。

実施した格納容器破損モード抽出に係る分析結果を以下に示す。

2.1.1 格納容器破損モードの抽出，整理

(1) P R Aに基づく整理

内部事象レベル1．5 P R Aを実施し，事故の進展に伴い生じる格納容器の健全性に影響を与える負荷の分析から，以下のa．～i．に示す格納容器破損モードの抽出を行った。

具体的には第2－2図のとおり，炉心損傷前，原子炉圧力容器破損前，原子炉圧力容器破損直後，原子炉圧力容器破損以降の各プラント状態に分類し，それぞれの状態で発生する負荷を抽出している。また，事故進展中に実施される緩和手段等を考慮し，第2－3図に示すイベントツリーを作成し，格納容器の破損に至る格納容器破損モードを整理している。内部事象レベル1．5 P R Aから抽出された格納容器破損モード及び定量化結果を第2－1表に示す。また，格納容器破損モードごとの格納容器破損頻度への寄与割合を第2－4図に示す。

a．早期過圧破損（未臨界確保失敗）

原子炉停止失敗時に，炉心で発生した大量の水蒸気が格納容器へ放出され，格納容器圧力が早期に上昇して，格納容器が過圧破損に至る格納容器破損モードである。

b. 過圧破損（崩壊熱除去失敗）

炉心の冷却が達成される中で、水蒸気の蓄積による準静的加圧で格納容器が炉心損傷前に破損する格納容器破損モードである。

c. 格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）

インターフェイスシステム L O C A の発生により、格納容器をバイパスして原子炉冷却材が原子炉建屋内に放出される格納容器破損モードである。

d. 格納容器バイパス（格納容器隔離失敗）

炉心が損傷した時点で、格納容器の隔離に失敗しており、格納容器の閉じ込め機能を喪失している格納容器破損モードである。

e. 過圧破損（長期冷却失敗）

炉心損傷後に熔融炉心の冷却が達成される中で、崩壊熱によって発生する水蒸気によって格納容器が過圧され、破損に至る格納容器破損モード、又は、熔融炉心が冷却されない場合に、熔融炉心・コンクリート相互作用による非凝縮性ガスの発生が継続し、格納容器内が過圧されて格納容器の破損に至る格納容器破損モードである。

f. 過温破損

炉心損傷後に、熔融炉心が冷却できない状態が継続した場合に、熔融炉心からの輻射及び対流によって格納容器の雰囲気が加熱され、格納容器の貫通部等が熱的に損傷し、格納容器の破損に至る格納容器破損モードである。

g. 格納容器雰囲気直接加熱

高圧状態で原子炉圧力容器が破損した場合に、溶融炉心が格納容器の雰囲気中を飛散する過程で微粒子化し、雰囲気ガスとの直接的な熱伝達等による急激な加熱・加圧の結果、格納容器圧力が上昇し格納容器の破損に至る格納容器破損モードである。

h. 原子炉圧力容器外での水蒸気爆発

高温の溶融炉心がペDESTAL（ドライウェル部）の水中又はサプレッション・プール水中に落下した場合、若しくは格納容器内に放出されたデブリに対して注水を実施した場合に、水蒸気爆発又は水蒸気による圧カスパイクが発生する可能性がある。このときに格納容器に付加される機械的エネルギーによって格納容器の破損に至る格納容器破損モードである。

i. 溶融炉心・コンクリート相互作用

原子炉圧力容器の破損後、格納容器内に放出された溶融炉心が十分に冷却できない状態が継続した場合に、ペDESTAL（ドライウェル部）床のコンクリートが侵食され、溶融炉心はペDESTAL（ドライウェル部）床を貫通してサプレッション・プールに落下する。その後、サプレッション・プールにおける溶融炉心・コンクリート相互作用が継続し、ベースマツト溶融貫通に先行してペDESTAL壁面の侵食に伴う原子炉圧力容器支持機能の喪失により格納容器の破損に至る格納容器破損モードである。

なお、以下の格納容器破損モードは、今回実施した内部事象レベル 1. 5 P R A では分析により除外した。

j. 原子炉圧力容器内での水蒸気爆発

高温の溶融炉心が下部プレナムの水中に落下して水蒸気爆発

が発生し、その際の発生エネルギーによって原子炉圧力容器の蓋がミサイルとなって格納容器に衝突し、格納容器破損に至る格納容器破損モードである。

ただし、これまでの炉内溶融燃料－冷却材相互作用に係る研究等の知見から、炉内溶融燃料－冷却材相互作用により格納容器が破損する可能性は十分低いため、内部事象レベル 1.5 PRA では格納容器破損モードとして設定していない。

k. 水素燃焼

格納容器内に酸素等の反応性のガスが混在していた場合にジルコニウム－水反応等によって発生した水素と反応して激しい燃焼が生じ、格納容器の破損に至る格納容器破損モードである。

ただし、東海第二発電所では、運転中、格納容器内を窒素置換し、酸素濃度を低く管理しているため、水素濃度及び酸素濃度が可燃限界に至る可能性は十分低い。このため、内部事象レベル 1.5 PRA では格納容器破損モードとして設定していない。

1. 溶融物直接接触

原子炉圧力容器破損後に格納容器下部へ落下した溶融炉心が格納容器下部の床からその外側のドライウエルの床に拵がり、高温の溶融炉心がドライウエルの壁（バウンダリ）に接触してドライウエル壁の一部が溶融貫通し、格納容器の破損に至る格納容器破損モードである。

ただし、東海第二発電所の Mark-II 型格納容器においては、ペデスタル（ドライウエル部）内に蓄積したデブリがドライウエル床には拵がらない格納容器構造となっているため、内

部事象レベル 1.5 PRA では格納容器破損モードとして設定してしない。

(2) PRA に代わる検討に基づく整理

地震、津波及びその他の外部事象等に対する格納容器破損モードについて、内部事象運転時レベル 1.5 PRA の知見等を活用して検討した結果、地震、津波及びその他の外部事象等についても、炉心損傷後の格納容器内の事象進展は内部事象と同等であると考えられることから、格納容器破損モードは内部事象と同等であり、今回、内部事象 PRA から抽出された格納容器破損モードに追加すべきものはないものと判断した（別紙 1）。

2.1.2 抽出した格納容器破損モードの整理

2.1.2.1 必ず想定する格納容器破損モードとの対応

第 2-1 表に示す格納容器破損モードについて、2.1.1 項に示すレベル 1.5 PRA から抽出された格納容器破損モードと解釈 2-1 (a) に示されている必ず想定する以下の格納容器破損モードとの対応について検討を行った。

2-1

(a) 必ず想定する格納容器破損モード

- ・ 雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）
- ・ 高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱
- ・ 原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用
- ・ 水素燃焼

- ・ 格納容器直接接触（シェルアタック）
- ・ 溶融炉心・コンクリート相互作用

なお，レベル 1．5 P R A より抽出した溶融物がサプレッション・プールへ落下した後に発生する格納容器破損モードについては，ペDESTAL（ドライウエル部）床における溶融炉心・コンクリート相互作用に引き続いて発生する格納容器破損モードであること，及び当該格納容器破損モードの防止のためにはペDESTAL（ドライウエル部）床における溶融炉心・コンクリート相互作用を防止することが有効であることを考慮し，解釈に基づき必ず想定する格納容器破損モード「溶融炉心・コンクリート相互作用」として整理した。また，当該破損モードの有効性評価では，ペDESTAL床（ドライウエル部）における溶融炉心・コンクリート相互作用に対する対策の有効性を確認し，溶融炉心がペDESTAL（ドライウエル部）内に保持可能であることを確認する（別紙8）。

必ず想定する格納容器破損モードのうち，格納容器直接接触（シェルアタック）は，格納容器下部の床面とその外側のドライウエルの床面とが同じ高さに設計されている B W R M a r k - I 型の格納容器に特有の破損モードであり，東海第二発電所の M a r k - II 型格納容器では，溶融炉心が格納容器バウンダリに直接接触することはない構造であることから，格納容器破損モードとして考慮しない（別紙9）。

また，必ず想定する格納容器破損モードのうち，水素燃焼に関しては，東海第二発電所では，運転中，格納容器内を窒素置換し，酸素濃度を低く管理しているため，水素濃度及び酸素濃度が可燃限界に至る可能性は十分低い。このため，本破損モードはレベル 1．5

P R A の定量化において想定する格納容器破損モードからは除外した。一方、可搬型窒素供給装置による格納容器内への窒素封入が水素燃焼の格納容器破損防止対策であることを踏まえ、対策の有効性として炉心の著しい損傷が起こるような重大事故時においても、長期にわたって格納容器の雰囲気の水素の可燃限界以下（水素濃度がドライ条件に換算して4vol%以下又は酸素濃度5vol%以下）に維持できることを確認する必要があると考える。よって、水素燃焼については、有効性評価の評価対象とする格納容器破損モードとした。

2.1.2.2 追加すべき格納容器破損モードの検討

抽出した格納容器破損モードについて、必ず想定する格納容器破損モードに対応しない以下の(1)～(4)の破損モードが抽出されたため、これらを新たな格納容器破損モードとして追加することの可否について検討を実施した。

(1) 格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A，格納容器隔離失敗）

これらの破損モードは、事象の発生と同時に格納容器の隔離機能を喪失している事象であり、解釈の要求事項における「炉心の著しい損傷後の原子炉格納容器の機能に期待することが困難なもの（格納容器先行破損シーケンス、格納容器バイパス等）にあつては、炉心の著しい損傷を防止する対策に有効性があることを確認する。」に該当する事故シーケンスグループである。

このため、講じるべき対策は炉心損傷防止であり、これらの破損モードを個別プラント評価により抽出された格納容器破損モードとして追加する必要はないと判断した。

以下に、インターフェイスシステム L O C A 及び格納容器隔離失敗で想定した事象及び格納容器破損モードとして追加する必要はないと判断した理由を示す。

a．インターフェイスシステム L O C A

本破損モードは、発生と同時に格納容器の隔離機能は喪失しているものの、炉心損傷までには時間余裕のある事象である。対策としては炉心損傷の防止又は炉心損傷までに格納容器の隔離機能を復旧することが挙げられる。炉心損傷防止の観点では内部事象運転時レベル 1 P R A の結果から重要事故シーケンスとして抽出し、有効性評価の対象としている。

格納容器の隔離機能を復旧したものの、炉心損傷を防止できなかった場合、その後の事象進展は原子炉圧力容器内の状況に応じて、評価対象とした評価事故シーケンスに包絡されるものとする。

したがって、当該破損モードを個別プラント評価により抽出された格納容器破損モードとして追加する必要はないと判断した。なお、当該破損モードの格納容器破損頻度 (4.8×10^{-10} / 炉年) の全格納容器破損頻度に対する寄与割合は 0.1% 未満である。

b．格納容器隔離失敗

本破損モードは、炉心が損傷した時点で格納容器の隔離に失敗している事象を想定したものである。

格納容器隔離失敗は炉心損傷の発生に伴う物理的な現象に由来するものではなく、炉心損傷時点で格納容器が隔離機能を喪失している事象を示している。隔離機能喪失の原因として、ラ

ンダム要因による貫通部の機器の破損や人的過誤を考慮している。

現状の運転管理として格納容器内の圧力を日常的に監視しているほか、格納容器圧力について1日1回記録を採取していることから、格納容器隔離失敗に伴う大規模な漏えいが生じた場合、速やかに検知できる可能性が高いと考える（別紙10）。

今回実施したレベル1.5 PRAでは、国内BWRプラントの格納容器隔離失敗の実績がないことから、NUREG/CR-4220に記載された米国における通常運転時の長期間の格納容器隔離失敗実績に基づき、当該破損モードの格納容器破損頻度（ 6.1×10^{-10} / 炉年、全格納容器破損頻度に対する寄与割合0.1%未満）を定量化した。国内の運転管理実績を考慮すれば、当該破損モードの格納容器破損頻度はさらに小さくなると推定される（別紙10）。

以上、本事象は発生と同時に格納容器が隔離機能を喪失している事象であり、格納容器内で発生する物理化学現象を重大事故等対処設備を用いて抑制し、格納容器の機能喪失を防止する対策とはならない。通常の運転管理において格納容器の状態を確認する運用とすることが対策であり、本破損モードにより格納容器隔離機能が喪失する頻度は十分に低く、本格納容器破損モードに至る前に炉心損傷を防止することが重要と考えることから、格納容器隔離失敗を個別プラント評価により抽出された格納容器破損モードとして追加する必要はないと判断した。

また、格納容器隔離失敗については地震レベル1 PRAにおいても抽出されており、地震レベル1 PRAでは、地震によつ

て格納容器を貫通する高圧及び低圧設計の配管が格納容器外で破断する事象を想定している。

破断箇所や破断の程度の組合せを特定することは困難であり、本破損モードについては、有効性評価の対象とすべき格納容器破損モードとして単独で定義するものではなく、発生する事象の程度や組合せに応じて対応していくべきものとする。また、地震レベル 1 P R A の評価から、本破損モードにより格納容器隔離機能が喪失する頻度は十分に低いことを確認している。

この観点から、地震レベル 1 P R A で抽出された格納容器隔離失敗についても、個別プラント評価により抽出された格納容器破損モードとして追加する必要はないと判断した。

(2) 早期過圧破損（未臨界確保失敗）

本破損モードはレベル 1 . 5 P R A 上の破損モードとして抽出されたが、解釈の要求事項に「炉心の著しい損傷後の原子炉格納容器の機能に期待することが困難なもの（格納容器先行破損シーケンス、格納容器バイパス等）にあつては、炉心の著しい損傷を防止する対策に有効性があることを確認する。」と記載されており、炉心損傷防止対策の事故シーケンスグループ「原子炉停止機能喪失」にて有効性評価の対象としている。なお、当該破損モードの格納容器破損頻度（ 2.5×10^{-8} / 炉年）の全格納容器破損頻度に対する寄与割合は 0.1% 未満である。

したがって、当該破損モードを個別プラント評価により抽出された格納容器破損モードとして追加する必要はないと判断した。

(3) 過圧破損（崩壊熱除去失敗）

本破損モードはレベル 1 . 5 P R A 上の破損モードとして抽出

されたが、解釈の要求事項に「炉心の著しい損傷後の原子炉格納容器の機能に期待することが困難なもの（格納容器先行破損シーケンス、格納容器バイパス等）にあっては、炉心の著しい損傷を防止する対策に有効性があることを確認する。」と記載されており、炉心損傷防止対策の事故シーケンスグループ「崩壊熱除去機能喪失」にて有効性評価の対象としている。なお、当該破損モードの格納容器破損頻度（ 6.0×10^{-5} ／炉年）の全格納容器破損頻度に対する寄与割合は約99.8%である。

したがって、当該破損モードを個別プラント評価により抽出された格納容器破損モードとして追加する必要はないと判断した。

以上から、P R Aの知見等を踏まえて、格納容器破損防止対策の有効性評価において、追加すべき新たな格納容器破損モードはないことを確認した。

2.2 評価事故シーケンスの選定について

設置変更許可申請における格納容器破損防止対策の有効性評価の実施に際しては、格納容器破損モードごとに評価事故シーケンスを選定している。

評価事故シーケンス選定に当たっては、審査ガイド「3.2.3 格納容器破損モードの主要解析条件等」の各破損モードの主要解析条件に示されている、当該破損モードの観点で厳しい事故シーケンスの選定を考慮している。

(1) 雰囲気圧力・温度による静的負荷

P R Aに基づく事故シーケンスの中から、過圧及び過温の観点で厳しい事故シーケンスを選定する。また、炉心損傷防止対策に

おける「想定する事故シーケンスグループのうち炉心の著しい損傷後の格納容器の機能に期待できるもの」を包絡するものとする。

(2) 高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱

P R Aに基づく事故シーケンスの中から，原子炉圧力が高く維持され，原子炉圧力容器破損までの余裕時間の観点で厳しい事故シーケンスを選定する。

(3) 原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用

P R Aに基づく事故シーケンスの中から，原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用の観点で厳しい事故シーケンスを選定する。

(4) 水素燃焼

水素燃焼の観点で厳しい事故シーケンスを選定する。東海第二発電所では，運転中，格納容器内を窒素で置換し，酸素濃度を低く管理しているため，水素濃度が可燃限界に至る可能性が十分小さいことから，本破損モードはレベル 1.5 P R Aの定量化において想定する格納容器破損モードから除外しているが，評価事故シーケンスとしては炉心損傷後の格納容器内の酸素濃度上昇の観点で厳しい事故シーケンスを選定する。

(5) 溶融炉心・コンクリート相互作用

P R Aに基づく事故シーケンスの中から，ペデスタル(ドライウェル部)における溶融炉心・コンクリート相互作用の観点から厳しいシーケンスを選定する。

上記に基づき，レベル 1.5 P R Aの知見を活用した格納容器破損防止対策に係る評価事故シーケンスの選定では，先ず格納容器破

損モードごとに格納容器の破損の際の結果が厳しくなると判断される P D S を選定し、その後、選定した P D S を含む事故シーケンスの中から余裕時間、設備容量及び代表性の観点より評価事故シーケンスを選定することとした。この選定プロセスにより、有効性評価に適した、厳しい事故シーケンスが選定されるものとする。

2.2.1 評価対象とする P D S の選定

レベル 1 . 5 P R A では、レベル 1 P R A で炉心損傷に至る可能性があるものとして抽出された事故シーケンスから、さらに事象が進展して格納容器の破損に至る事故シーケンスを定量化している。その際、格納容器内の事故進展の特徴を把握するために「格納容器破損時期」、「原子炉圧力」、「炉心損傷時期」及び「電源の状態」の 4 つの属性に着目してレベル 1 P R A から抽出された事故シーケンスグループを分類し、P D S として定義している。P D S の分類結果を第 2-2 表に示す。

ここで、A E , S 1 E , S 2 E は、炉心損傷後の事象進展の類似性を考慮し、4 つの属性に着目して L O C A として 1 つの P D S とした。

この P D S の定義に従い、格納容器破損モードごとに格納容器破損頻度、当該破損モードに至る可能性のある全ての P D S を整理した。また、余裕時間、設備容量及び格納容器破損モードの発生の観点で事象進展が最も厳しくなると考えられる P D S を検討し、評価対象とする P D S を選定した。選定結果を第 2-3 表に示す。

なお、原子炉圧力容器外溶融燃料-冷却材相互作用の P D S 選定については、溶融炉心・コンクリート相互作用の対策であるペデス

タル（ドライウェル部）への事前水張りが与える影響を考慮し、全ての P D S を対象に評価対象とする P D S を選定した。また、雰囲気圧力・温度による静的負荷（過圧・過温）の P D S 選定については、過圧・過温の各々において、各事故シーケンスの対策は損傷炉心への注水（損傷炉心冷却）の点で同じとなることから、有効性評価では過圧・過温を同じ P D S で評価している。

また、第2-2表において、格納容器破損時期が炉心損傷前と分類されている T W，T B W，T C 及び I S L O C A については、格納容器先行破損又は格納容器バイパスに該当する P D S であることから、解釈の要求事項を踏まえ、事故シーケンスグループ「崩壊熱除去機能喪失」，「原子炉停止機能喪失」及び「格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）」にて炉心損傷防止対策の有効性評価の対象としている。

したがって、これらの P D S は、第2-3表に示す評価対象とする P D S の選定では考慮していない。

2.2.2 評価事故シーケンスの選定の考え方

2.2.1項で格納容器破損モードごとに選定した P D S に属する事故シーケンスを比較し、余裕時間、設備容量及び事象の厳しさの観点から評価事故シーケンスを選定した。

選定結果を第2-4表に示す。

なお、重大事故等対処設備により、炉心損傷後の原子炉圧力容器底部の損傷及びペデスタル（ドライウェル部）への熔融炉心の落下を防止できるため、原子炉圧力容器の損傷が前提となる「高圧熔融物放出／格納容器雰囲気直接加熱」，「原子炉圧力容器外熔融燃料一冷

却材相互作用」，「溶融炉心・コンクリート相互作用」の有効性評価では，物理現象及びその対策の有効性を確認する観点から，一部の重大事故等対処設備に期待せず，炉心損傷後の原子炉压力容器底部の損傷及びペデスタル（ドライウェル部）への溶融炉心の落下に至る状況を仮定している。

また，各格納容器破損モードについて，格納容器破損頻度が支配的となる P D S と主要なカットセットの整理を実施し，格納容器破損頻度の観点で支配的となるカットセットに対して今回整備した格納容器破損防止対策が有効であることを確認した（別紙6）。

2.2.3 評価事故シーケンスの選定結果

(1) 雰囲気圧力・温度による静的負荷

本格納容器破損モードに至る可能性のある P D S のうち，L O C A は原子炉冷却材の流出を伴うことから水位低下が早く，事象進展の観点で厳しい。また，格納容器圧力が高く推移すること等，環境に放出される放射性物質量の観点でも厳しい事故シーケンスとなると考えられる。対策の観点では，過圧破損に対しては格納容器の除熱が，過温破損に対しては損傷炉心への注水が必要となる。

以上の観点を総合的に考慮し，本格納容器破損モードを代表する P D S として L O C A を選定する。また，この P D S に全交流動力電源喪失を重畳させることで，電源の復旧，注水機能の確保等の格納容器破損防止対策を講じるための対応時間が厳しいシナリオとする。

a . 事故シーケンス

①大破断 L O C A + 高压炉心冷却失敗 + 低压炉心冷却失敗

②中破断 L O C A + 高压炉心冷却失敗 + 低压炉心冷却失敗

③中破断 L O C A + 高压炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗

④小破断 L O C A + 高压炉心冷却失敗 + 低压炉心冷却失敗

⑤小破断 L O C A + 高压炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗

b. 有効性を確認する主な格納容器破損防止対策

- ・ 低压代替注水系 (常設)
- ・ 代替格納容器スプレイ冷却系 (常設)
- ・ 代替循環冷却系
- ・ 格納容器圧力逃がし装置

c. 選定した評価事故シーケンス

①大破断 L O C A + 高压炉心冷却失敗 + 低压炉心冷却失敗
(全交流動力電源喪失の重畳を考慮)

d. 選定理由

a. の事故シーケンスのうち、中破断 L O C A 及び小破断 L O C A に比べて破断口径が大きいことから事象進展が早く、格納容器圧力及び格納容器雰囲気温度上昇の観点で厳しい大破断 L O C A を起因とし、炉心損傷防止が困難な事故シーケンスとして「1.3.2 重要事故シーケンスの選定結果」にて挙げた事故シーケンスとの包絡関係や、格納容器破損防止対策を講じるための対応時間の厳しさの観点を踏まえて評価事故シーケンスを選定した。

(2) 高压熔融物放出／格納容器雰囲気直接加熱

本格納容器破損モードに至る可能性のある P D S のうち、長期 T B は炉心損傷に至る前に R C I C による一時的な冷却に成功しており、起因事象発生から原子炉減圧までの時間余裕の観点では

T Q U X, T B D, T B Uが厳しいP D Sとなる。高圧状態で炉心損傷に至る点ではT Q U X, T B D, T B UにP D S選定上の有意な違いはないことから、これらのうち、本格納容器破損モードを代表するP D Sとして、T Q U Xを選定する。また、このP D Sに全交流動力電源喪失を重畳させることで、電源の復旧、注水機能の確保等の格納容器破損防止対策を講じるための対応時間が厳しいシナリオとする。

a. 事故シーケンス

- ①過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗＋炉心損傷後の原子炉減圧失敗（＋D C H）
- ②手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗＋炉心損傷後の原子炉減圧失敗（＋D C H）
- ③サポート系喪失（自動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗＋炉心損傷後の原子炉減圧失敗（＋D C H）

b. 有効性を確認する主な格納容器破損防止対策

- ・手動減圧

c. 選定した事故シーケンス

- ①過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗＋炉心損傷後の原子炉減圧失敗（＋D C H）（全交流動力電源喪失の重畳を考慮）

d. 選定理由

T Q U Xに属する事故シーケンスのうち、事象進展が早く、原子炉圧力容器破損までの時間の観点で厳しい過渡事象（給水流量の全喪失）を起因とする事故シーケンスを評価事故シーケンスと

して選定した。

(3) 原子炉圧力容器外溶融燃料－冷却材相互作用

本格納容器破損モードに至る可能性のある P D S のうち、原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用（F C I）の観点からは、ペデスタル（ドライウェル部）へ落下する溶融炉心の割合が多く、原子炉圧力容器破損時の溶融炉心の保有エネルギーが大きいシーケンスが厳しくなる。原子炉圧力容器が高圧で破損に至る場合、格納容器に放出される溶融炉心が分散され易いと考え、原子炉圧力容器が低圧で破損に至る場合の方が、ペデスタル（ドライウェル部）へ一体となって落下する溶融炉心の割合が多くなると考えられる。

また、本格納容器破損モードに対する事象の厳しさを考慮する上では、溶融炉心・コンクリート相互作用の緩和対策である、ペデスタル（ドライウェル部）への水張りが実施された状態を想定しているが、その一方で、原子炉圧力容器破損が想定される状況では、高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱の発生を防止するため、原子炉圧力容器の減圧が実施される。これらの状況も考慮し、原子炉圧力容器が低圧状態で破損する P D S を選定するものとし、高圧状態で破損する T Q U X，T B U 及び長期 T B は選定対象から除外する。L O C A は、蒸気が急速に格納容器に流出するため、ジルコニウムの酸化割合が他の低圧破損シーケンスより小さくなることでデブリの内部エネルギーが小さくなると考えられる。

よって、本格納容器破損モードを代表する P D S として、原子炉の水位低下が早く、原子炉圧力容器破損までの時間が短い T Q

UVを選定する。また、このPDSに全交流動力電源喪失を重畳させることで、電源の復旧、注水機能の確保等の格納容器破損防止対策を講じるための対応時間が厳しいシナリオとする。

a．事故シーケンス

- ①過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗（＋FCI（ペデスタル））
- ②過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗（＋FCI（ペデスタル））
- ③手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗（＋FCI（ペデスタル））
- ④手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗（＋FCI（ペデスタル））
- ⑤サポート系喪失（自動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗（＋FCI（ペデスタル））
- ⑥サポート系喪失（自動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗（＋FCI（ペデスタル））

b．有効性を確認する主な格納容器破損防止対策

—

c．選定した評価事故シーケンス

- ①過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋（FCI（ペデスタル））（全交流動力電源喪失）

失の重量を考慮)

d. 選定理由

T Q U Vに属する事故シーケンスのうち，事象進展が早い過渡事象（給水流量の全喪失）を起因とし，発生頻度の観点で大きいと考えられる逃がし安全弁再閉鎖失敗を含まない事故シーケンスを評価事故シーケンスとして選定した。

(4) 水素燃焼

東海第二発電所では，通常運転時から格納容器内が窒素置換され，初期酸素濃度が低く保たれている。炉心損傷に伴い，水素濃度は容易に13vol%を超えることから，水素燃焼防止の観点からは酸素濃度が重要となるため，炉心損傷により放出される核分裂生成物による水の放射線分解に伴う酸素濃度の上昇に着目する。

本格納容器破損モードはP R Aから抽出されたものではないが，評価のためにP D Sを格納容器先行破損の事故シーケンス以外のP D Sから選定する。酸素は水の放射線分解で発生するが，酸素濃度は他の気体の存在量の影響を受けるため，炉心損傷後の格納容器内の気体組成を考える上で影響が大きいと考えられるジルコニウム－水反応による水素発生に着目する。原子炉注水に期待しない場合のジルコニウム－水反応の挙動は事象発生時の原子炉圧力容器外への冷却材の放出経路から，L O C Aとその他のP D Sに大別できる。L O C Aでは事象発生と同時に原子炉圧力容器が大きく減圧され，冷却材が多量に原子炉圧力容器外に排出されることから，ジルコニウム－水反応に寄与する冷却材の量が少なくなり，水素濃度は13vol%を上回るものの，その他のP D Sに比べて水素発生量が少なくなると考えられる。

このため、水の放射線分解によって増加する酸素濃度が他の P D S よりも相対的に高くなる可能性が考えられる L O C A を選定する。これに加え、「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」の評価シーケンスでは、対応の厳しさの観点で全交流動力電源喪失を重畳させていることを考慮し、L O C A に全交流動力電源喪失の重畳を考慮するものとする。

a . 事故シーケンス

—

b . 有効性を確認する主な格納容器破損防止対策

- ・可搬型窒素供給装置による格納容器内への窒素注入

c . 選定した評価事故シーケンス

- ・大破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗
(全交流動力電源喪失の重畳を考慮)

d . 選定理由

「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」において、格納容器破損防止対策を講じるための対応時間の厳しさの観点を踏まえて選定した評価事故シーケンスを本格納容器破損モードの評価事故シーケンスとして選定した。

(5) 溶融炉心・コンクリート相互作用

本格納容器破損モードに至る可能性のある P D S のうち、溶融炉心・コンクリート相互作用（M C C I）の観点からは、ペDESTAL（ドライウェル部）に落下する溶融炉心の割合が多いシーケンスが厳しくなる。原子炉圧力容器が高圧で破損に至る場合、格納容器に放出される溶融炉心が分散され易く、また、落下速度が大きくなることで、ペDESTAL（ドライウェル部）に落下した際

の粒子化割合が高くなり、落下した溶融炉心が冷却されやすいことを考えると、原子炉圧力容器が低圧で破損に至る場合の方が、ペDESTAL（ドライウェル部）へ一体となって落下する溶融炉心の割合が多くなると考えられる。また、原子炉圧力容器破損が想定される状況では、高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱の発生を防止するため、原子炉圧力容器の減圧が実施されている。

これらの状況も考慮し、原子炉圧力容器が低圧状態で破損するP D Sを選定するものとし、高圧状態で破損するT Q U X，T B U及び長期T Bは選定対象から除外する。L O C Aは原子炉圧力容器破損のタイミングが過渡事象より早いため、溶融炉心の崩壊熱は過渡事象に比べて高いが、有効性評価における本格格納容器破損モードに対しては、原子炉圧力容器破損までの原子炉注水に期待していない評価としていること、原子炉圧力容器破損までの時間余裕は事象発生から3時間以上であることから、事象緩和のための対応操作の観点でT Q U Vと大きな差異はない。また、L O C Aは、対策を考慮しない場合、ペDESTAL（ドライウェル部）に冷却材が流入する可能性があり、M C C Iの観点で厳しい事象とはならないと考えられる。

以上より、M C C Iの観点で厳しいT Q U Vを評価対象P D Sとして選定する。また、このP D Sに全交流動力電源喪失の重畳を考慮することで、電源の復旧、注水機能の確保等の格納容器破損防止対策を講じるための対応時間が厳しいシナリオとする。

a．事故シーケンス

- ①過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗（＋デブリ冷却失敗（ペDESTAL））

- ②過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋
低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗（＋デブリ冷却失敗
（ペDESTAL））
- ③手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋高圧炉心冷却失
敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗（＋デブリ冷却
失敗（ペDESTAL））
- ④手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋逃がし安全弁再
閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉
心冷却失敗（＋デブリ冷却失敗（ペDESTAL））
- ⑤サポート系喪失（自動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉
心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗（＋デブリ冷却失敗（ペデ
STAL））
- ⑥サポート系喪失（自動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋
高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗
（＋デブリ冷却失敗（ペDESTAL））

b．有効性を確認する主な格納容器破損防止対策

- ・格納容器下部注水系（常設）

c．選定した評価事故シーケンス

- ①過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉
心冷却失敗＋デブリ冷却失敗（ペDESTAL）（全交流動力
電源喪失の重畳を考慮）

d．選定理由

T Q U Vに属する事故シーケンスのうち，事象進展が早い過渡
事象（給水流量の全喪失）を起因とし，発生頻度の観点で大きい
と考えられる逃がし安全弁の再閉失敗を含まない事故シーケンス

を評価事故シーケンスとして選定した。

2.2.4 炉心損傷防止が困難な事故シーケンス等における格納容器破損防止対策の有効性

国内外の先進的な対策を考慮しても炉心損傷防止対策を講ずることが困難な事故シーケンスグループのうち、格納容器破損防止対策に期待できるものについては、今回整備した格納容器破損防止対策により格納容器の閉じ込め機能に期待できることを確認している。

国内外の先進的な対策を考慮しても炉心損傷防止対策を講ずることが困難な事故シーケンスのうち、以下の事故シーケンスは、「炉心の著しい損傷後の原子炉格納容器の機能に期待できる」事故シーケンスである（1.2項参照）。

①大破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗

格納容器破損防止対策の有効性評価における評価シーケンスの選定では、上記の事故シーケンスを含めて格納容器破損モードごとに選定している。したがって、炉心損傷防止が困難な事故シーケンス等についても、今回整備した格納容器破損防止対策により、格納容器の閉じ込め機能に期待できることを確認している。

2.2.5 直接的に炉心損傷に至る事故シーケンスに対する対策

1.1.2.2項において、炉心損傷防止に係る有効性評価において想定する事故シーケンスグループとして新たに追加する必要がないと判断した事故シーケンスグループについては、炉心損傷後の格納容器の閉じ込め機能に期待することが困難な場合が考えられる。一方で、プラントの損傷規模によっては、設計基準事故対処設備や今回

整備した重大事故等対処設備により格納容器の破損の防止が可能な場合も考えられる。

格納容器の閉じ込め機能が喪失するような大規模損傷が生じた場合は、可搬型のポンプ・電源、放水砲等を駆使した大規模損壊対策による対応も含め、敷地外への放射性物質の拡散抑制等を行い、事故の影響緩和を図る。

第2-1表 格納容器破損モード別格納容器破損頻度

| レベル1. 5 PRAから抽出した 格納容器破損モード | 格納容器 破損頻度 (/炉年) | 寄与割合 (%) | 解釈 2-1 (a) の 必ず想定する 格納容器破損モード | 備 考 |
|--|-----------------------|-------------|--|---|
| 早期過圧破損 (未臨界確保失敗) | 2.5E-08 | <0.1 | なし | 解釈1-2(b)に基づき、「炉心の著しい損傷を防止する対策に有効性がある」ことを確認 ⇒事故シーケンスグループ「原子炉停止機能喪失」 |
| 過圧破損 (崩壊熱除去失敗) | 6.0E-05 | 99.8 | なし | 解釈1-2(b)に基づき、「炉心の著しい損傷を防止する対策に有効性がある」ことを確認 ⇒事故シーケンスグループ「崩壊熱除去失敗」 |
| 格納容器バイパス (インターフェイスシステム LOCA) | 4.8E-10 | <0.1 | なし | 解釈1-2(b)に基づき、「炉心の著しい損傷を防止する対策に有効性がある」ことを確認 ⇒事故シーケンスグループ「格納容器バイパス (インターフェイスシステム LOCA)」 |
| 格納容器バイパス (格納容器隔離失敗) | 6.1E-10 | <0.1 | なし | 本破損モードは、事象の進展に伴い発生するものではなく、格納容器隔離に失敗しないように運用上の対策をとっていること、格納容器の隔離機能が喪失する頻度が十分に低いことから、個別プラント評価により抽出された格納容器破損モードとして追加する必要はないと判断 |
| 過圧破損 (長期冷却失敗) (サブプレッション・プールへの 溶融物落下なし) | 2.2E-09 | <0.1 | 雰囲気圧力・温度 による静的負荷 (格納容器過圧/過温破 損) | — |
| 過温破損 (サブプレッション・プールへの 溶融物落下なし) | 7.9E-08 | 0.1 | | — |
| 格納容器雰囲気直接加熱 | 8.5E-09 | <0.1 | 高圧溶融物放出/ 格納容器雰囲気直接加熱 | — |
| 原子炉圧力容器外での水蒸気爆発 (ペDESTAL) | 2.2E-14 | <0.1 | 圧力容器外での溶融燃料 — 冷却材相互作用 | — |
| 過圧破損 (長期冷却失敗) (サブプレッション・プールへの 溶融物落下あり) | 1.8E-08 | <0.1 | 溶融炉心・コンクリート 相互作用 | Mark-II型格納容器特有の溶融物がサブプレッション・プールへ落下した後に発生する破損モードについては、ペDESTAL (ドライウェル部) 床における溶融炉心・コンクリート相互作用に引き続いて発生する破損モードであること、及び当該破損モードの防止のためにはペDESTAL (ドライウェル部) 床における溶融炉心・コンクリート相互作用を防止することが有効であることを考慮し、解釈に基づき必ず想定する破損モード「溶融炉心・コンクリート相互作用」として整理した。 |
| 過温破損 (サブプレッション・プールへの 溶融物落下あり) | 4.7E-10 | <0.1 | | |
| 原子炉圧力容器外での水蒸気爆発 (サブプレッション・プール) | 2.5E-09 | <0.1 | | |
| 溶融炉心・コンクリート 相互作用 | 1.3E-10 | <0.1 | | |
| 合計 | 6.1E-05 | 100 | — | — |

注 ハッチングは、格納容器破損防止対策の有効性評価で考慮しないことを示す。

第2-2表 プラント損傷状態（PDS）の定義

| PDS | 格納容器破損時期 | 原子炉圧力 | 炉心損傷時期 | 電源確保 |
|--------|----------|-------|--------|------------------|
| TQUV | 炉心損傷後 | 低圧 | 早期 | 交流電源 有 直流電源 有 |
| TQUX | 炉心損傷後 | 高圧 | 早期 | 交流電源 有 直流電源 有 |
| 長期TB | 炉心損傷後 | 高圧 | 後期 | 交流電源 無 直流電源 有 |
| TBU | 炉心損傷後 | 高圧 | 早期 | 交流電源 無 直流電源 有 |
| TBP | 炉心損傷後 | 低圧 | 早期 | 交流電源 無 直流電源 有 |
| TBD | 炉心損傷後 | 高圧 | 早期 | 交流電源 無 直流電源 無 |
| TW | 炉心損傷前 | — | 後期 | — |
| TBW | 炉心損傷前 | — | 後期 | — |
| TC | 炉心損傷前 | — | 早期 | — |
| LOCA | 炉心損傷後 | 低圧 | 早期 | 交流電源 有 直流電源 有 |
| ISLOCA | 炉心損傷前 | — | 早期 | — |

注 ハッチングは炉心損傷前に格納容器破損に至る事故シーケンスであることから、解釈1-2（b）に基づき、「炉心の著しい損傷を防止する対策に有効性がある」ことを確認する。このため、格納容器破損防止対策の有効性評価の対象外とするPDSを示す。

第2－3表 評価対象とするプラント損傷状態（PDS）の選定

| 解釈で想定する格納容器破損モード | 格納容器破損頻度 (／炉年) | PDS※2 | 格納容器破損頻度 (／炉年)※2 | 寄与割合 (%)※2 | 評価対象とするPDSの選定の考え方 | 評価対象 PDS |
|----------------------------------|-------------------|-------|---------------------|---------------|--|-------------|
| 雰囲気圧力・温度による静的負荷 (格納容器過圧破損) | 2.2E-09 | TQUUV | — | — | 【事象進展（過圧・過温）緩和の余裕時間及び設備容量の厳しさ】 ・本格納容器破損モードに至る可能性のあるPDSのうち、LOCAは原子炉冷却材の流出を伴うことから水位低下が早く、事象進展の観点で厳しい。 ・また、LOCAは格納容器圧力が高く推移すること等、環境に放出される放射性物質量の観点でも厳しい事故シーケンスとなると考えられる。 ・対策の観点では、過圧破損に対しては格納容器の除熱が、過温破損に対しては損傷炉心への注水が必要となる。 | LOCA |
| | | TQUX | 2.2E-09 | 100.0 | | |
| | | TBU | — | — | | |
| | | 長期TB | — | — | | |
| | | TBP | — | — | | |
| | | TBD | — | — | | |
| 雰囲気圧力・温度による静的負荷 (格納容器過温破損) | 7.9E-08 | LOCA | — | — | 以上の観点を総合的に考慮し、本格納容器破損モードを代表するPDSとしてLOCAを選定する。 これに全交流動力電源喪失を重畳させることで、電源の復旧、注水機能の確保等の格納容器破損防止対策を講じるための対応時間が厳しいシナリオとする。 なお、いずれのPDSを選定しても必要な監視機能は維持可能である。 | |
| | | TQUX | 6.3E-09 | 8.0 | | |
| | | 長期TB | 6.9E-08 | 86.7 | | |
| | | TBU | 4.2E-09 | 5.3 | | |
| | | TBD | 5.9E-12 | <0.1 | | |
| | | LOCA | 2.1E-11 | <0.1 | | |
| 高圧溶融物／格納容器雰囲気直接加熱 (DCH)※1 | 8.5E-09 | TQUX | 2.4E-11 | 0.3 | 【事象進展緩和（減圧）の余裕時間の厳しさ】 ・本格納容器破損モードに至る可能性のあるPDSのうち、長期TBは炉心損傷に至る前にRCICによる一時的な炉心冷却に成功しており、起因事象発生から原子炉減圧までの余裕時間の観点ではTQUX、TBD、TBUの方が厳しい。 ・高圧状態で原子炉圧力容器破損に至る点ではTQUX、TBD、TBUにPDS選定上の有意な違いはない。 | TQUX |
| | | 長期TB | 8.5E-09 | 99.5 | | |
| | | TBU | 1.6E-11 | 0.2 | | |
| | | TBD | 2.2E-14 | <0.1 | | |
| 原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用 (FCI)※1 | 2.2E-14 | TQUV | — | — | 【事象（FCIにおける発生エネルギーの大きさ）の厳しさ】 ・本格納容器破損モードに含まれるPDSのうち、原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用（FCI）の観点からは、ベDESTAL（ドライウェル部）へ落下する溶融炉心の割合が多く、原子炉圧力容器破損時の溶融炉心の保有エネルギーが大きいシーケンスが厳しくなる。 ・原子炉圧力容器が高圧で破損に至る場合、格納容器に放出される溶融炉心が分散されやすいと考ええると、原子炉圧力容器が低圧で破損に至る場合の方が、ベDESTAL（ドライウェル部）へ一体となって落下する溶融炉心の割合が多くなると考えられる。 ・また、本格納容器破損モードに対する事象の厳しさを考慮する上では、溶融炉心・コンクリート相互作用の緩和対策である、ベDESTAL（ドライウェル部）への水張りが実施された状態を想定しているが、その一方で、原子炉圧力容器破損が想定される状況では、高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱の発生を防止するため、原子炉圧力容器の減圧が実施されている。 ・これらの状況も考慮し、原子炉圧力容器が低圧状態で破損するPDSを選定するものとし、高圧状態で破損するTQUX、TBU及び長期TBは選定対象から除外する。 ・LOCAは、上記が急速に格納容器に流出するため、ジルコニウムの酸化割合が他の低圧破損シーケンスより小さくなり、酸化ジルコニウム質量割合が他の低圧破損シーケンスより小さくなることでデブリの内部エネルギーが小さくになると考えられる。 | TQUV |
| | | TQUX | 2.2E-14 | 100.0 | | |
| | | 長期TB | — | — | | |
| | | TBU | — | — | | |
| | | TBP | — | — | | |
| | | TBD | — | — | | |
| | | LOCA | 2.8E-20 | <0.1 | | |
| 溶融炉心・コンクリート相互作用 (MCCI)※1 | 2.1E-08 | TQUV | 3.3E-09 | 15.7 | 【事象（MCCIに寄与する溶融炉心のエネルギーの大きさ）及び事象緩和のための対応の厳しさ】 ・本格納容器破損モードに含まれるPDSのうち、溶融炉心・コンクリート相互作用の観点からは、ベDESTAL（ドライウェル部）に落下する溶融炉心の割合が多いシーケンスが厳しくなる。 ・原子炉圧力容器が高圧で破損する場合、格納容器に放出される溶融炉心が分散され易く、また、落下速度が大きくなることで、ベDESTAL（ドライウェル部）に落下した際の粒子割合が高くなり、落下した溶融炉心が冷却され易いと考ええると、原子炉圧力容器が低圧で破損に至る場合の方が、ベDESTAL（ドライウェル部）へ一体となって落下する溶融炉心の割合が多くなると考えられる。 ・また、原子炉圧力容器破損が想定される状況では、高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱の発生を防止するため、原子炉圧力容器の減圧が実施される。 ・これらの状況も考慮し、原子炉圧力容器が低圧状態で破損するPDSを選定するものとし、高圧状態で破損するTQUX、TBU及び長期TBは選定対象から除外する。 ・LOCAはベDESTAL（ドライウェル部）への冷却材の流入の可能性があり、溶融炉心・コンクリート相互作用の観点で厳しい事象とはならないと考えられるため、選定対象から除外する。 | TQUV |
| | | TQUX | 7.0E-10 | 3.3 | | |
| | | 長期TB | — | — | | |
| | | TBU | 1.7E-08 | 78.5 | | |
| | | TBP | 5.2E-10 | 2.5 | | |
| | | TBD | — | — | | |
| 水素燃焼 | — | LOCA | 6.8E-16 | <0.1 | 【有効性評価に関する審査ガイドの選定基準等との整合】 ・審査ガイドでは「PRAに基づく格納容器破損シーケンスの中から水素燃焼の観点から厳しいシーケンスを選定する。」と記載されているが、東海第二発電所では格納容器内を窒素で置換しているため、レベル1、5PRAでは水素燃焼により格納容器が破損する事故シーケンスは考慮していない。このため、東海第二発電所において評価することが適切と考えられる評価事故シーケンスを選定するものとする。 【評価において着目するパラメータ】 ・東海第二発電所では、通常運転時から格納容器内が窒素置換され、初期酸素濃度が低く保たれている。炉心損傷に伴い、水素濃度は容易に13vol%を超えることから、水素燃焼防止の観点からは酸素濃度が重要となるため、炉心損傷により放出される核分裂生成物による水の放射線分解に伴う酸素濃度の上昇に着目する。 【東海第二発電所において評価する事故シーケンス】 ・本格納容器破損モードはPRAから抽出されたものではないが、評価のためにPDSを格納容器先行破損の事故シーケンス以外のPDSから選定する。酸素は水の放射線分解で発生するが、酸素濃度は他の気体の存在量の影響を受けするため、炉心損傷後の格納容器内の気体組成を考える上で影響が大きいと考えられるジルコニウム－水反応による水素の発生に着目する。原子炉注水に期待しない場合のジルコニウム－水反応の寄与は事象発生時の原子炉圧力容器外の原子炉冷却材の放出経路から、LOCAその他のPDSに大別できる。LOCAでは事象発生と同時に原子炉圧力容器が大きく減圧され、冷却材が多量に原子炉圧力容器外に排出されることから、ジルコニウム－水反応に寄与する冷却材の量が少なくなり、水素濃度は13vol%を上回るものの、その他のPDSに比べて水素発生量が少なくなると考えられる。 ・このため、水の放射線分解によって増加する酸素濃度が他のPDSよりも相対的に高くなる可能性が考えられるLOCAを評価対象PDSとして選定する。これに加え、「雰囲気圧力・温度による静的負荷 格納容器過圧・過温破損」の評価事故シーケンスでは、対応の厳しさの観点で全交流動力電源喪失を重畳させていることを考慮し、LOCAに全交流動力電源喪失を重畳するものとする。 | LOCA |
| | | — | — | — | | |
| | | — | — | — | | |
| | | — | — | — | | |
| | | — | — | — | | |

※1 DCH、FCI、MCCIにおいて選定した評価事故シーケンスについては、重大事故等対処施設による対応により原子炉圧力容器内での事象収束が可能だが、原子炉圧力容器破損が前提となる各破損モードにおける物理現象及びその対策の有効性を確認する観点から仮想的に一部の重大事故等対処設備による対応に期待せず、原子炉圧力容器破損まで事象が進展することを仮定して評価することとする。

※2 PDSには、今回のレベル1、5PRAの結果に基づくPDSに加え、電源復旧等の対策を考慮した場合に各格納容器破損モードに至る可能性のあるPDS（格納容器破損頻度及び寄与割合が「—」と記載）を記載している。なお、PRAに基づく格納容器破損モードの整理においては、Mark-II型格納容器の特徴を考慮し、溶融物がベDESTAL（ドライウェル部）床面を貫通してサブプレッション・プールへ落下した後に発生する過圧破損、過温破損及びFCIをMCCIに分類している。この扱い、今回のレベル1、5PRAの結果に基づくPDSの整理においても同様である。

第2－4表 格納容器破損防止対策の評価事故シーケンスの選定

| 格納容器破損モード | 評価対象としたPDS | 該当する事故シーケンス ^{※2} | 格納容器破損防止対策 | 評価対象事故シーケンスの選定の考え方 |
|--|------------|--|--|--|
| 雰囲気圧力・温度による静的負荷 (格納容器過温破損) | LOCA | ① 大破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋（デブリ冷却成功）＋格納容器注水（ドライウエル）失敗 ^{※3} ② 中破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋（デブリ冷却成功）＋格納容器注水（ドライウエル）失敗 ^{※3} ③ 中破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗＋損傷炉心冷却失敗＋（デブリ冷却成功）＋格納容器注水（ドライウエル）失敗 ^{※3} ④ 小破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋（デブリ冷却成功）＋格納容器注水（ドライウエル）失敗 ^{※3} ⑤ 小破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗＋損傷炉心冷却失敗＋（デブリ冷却成功）＋格納容器注水（ドライウエル）失敗 ^{※3} | ・低圧代替注水系（常設） ・代替格納容器スプレイ冷却系（常設） ・代替格納容器冷却系 ・格納容器圧力逃がし装置 | 【余裕時間の厳しさ】 ・中破断LOCA及び小破断LOCAと比較し、大破断LOCAは原子炉水位の低下が早いため、対応時の余裕時間の観点で厳しい。 【設備容量の厳しさ】 ・中破断LOCA及び小破断LOCAと比較し、大破断LOCAは原子炉水位回復に必要な流量が大きいため、必要な設備容量の観点で厳しい。 以上より、①を評価事故シーケンスとして選定。 |
| 雰囲気圧力・温度による静的負荷 (格納容器過温破損) | LOCA | ① 大破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋格納容器注水（ドライウエル）失敗 ② 中破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋格納容器注水（ドライウエル）失敗 ③ 中破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗＋損傷炉心冷却失敗＋格納容器注水（ドライウエル）失敗 ④ 小破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋格納容器注水（ドライウエル）失敗 ⑤ 小破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗＋損傷炉心冷却失敗＋格納容器注水（ドライウエル）失敗 | ・低圧代替注水系（常設） ・代替格納容器スプレイ冷却系（常設） ・代替格納容器冷却系 ・格納容器圧力逃がし装置 | 【余裕時間の厳しさ】 ・中破断LOCA及び小破断LOCAと比較し、大破断LOCAは原子炉水位の低下が早いため、対応時の余裕時間の観点で厳しい。 【設備容量の厳しさ】 ・中破断LOCA及び小破断LOCAと比較し、大破断LOCAは原子炉水位回復に必要な流量が大きいため、必要な設備容量の観点で厳しい。 以上より、①を評価事故シーケンスとして選定。 |
| 高圧溶融物放出／格納容器雰囲気破壊加熱 (DCH) ^{※1} | TQUX | ① 過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗＋炉心損傷後の原子炉減圧失敗＋DCH ② 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗＋炉心損傷後の原子炉減圧失敗＋DCH ③ サポート系喪失（自動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗＋炉心損傷後の原子炉減圧失敗＋DCH | ・手動減圧 | 【余裕時間の厳しさ】 ・原子炉が自動停止する過渡事象（給水流量の全喪失）及びサポート系喪失（自動停止）を起因とする事故シーケンスは、通常停止させる事故シーケンスと比較して事象進展が早い。このため、対応時の余裕時間の観点で厳しい。 【設備容量の厳しさ】 ・原子炉が自動停止する過渡事象（給水流量の全喪失）及びサポート系喪失（自動停止）を起因とする事故シーケンスは、通常停止させる事故シーケンスと比較して事象進展が早い。このため、対応時の減圧に必要な設備容量の観点で厳しい。 以上より、①を評価事故シーケンスとして選定。 |
| 原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用 (FCI) ^{※1} | TQUV | ① 過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋FCI（ベズタル） ^{※4} ② 過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋FCI（ベズタル） ^{※4} ③ 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋FCI（ベズタル） ^{※4} ④ 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋FCI（ベズタル） ^{※4} ⑤ サポート系喪失（自動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋FCI（ベズタル） ^{※4} ⑥ サポート系喪失（自動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋FCI（ベズタル） ^{※4} | ・ベズタル（ドライウエル部）の水位を約1mに維持する手段 | 【余裕時間の厳しさ】 ・原子炉が自動停止する過渡事象（給水流量の全喪失）及びサポート系喪失（自動停止）を起因とする事故シーケンスは、通常停止させる事故シーケンスと比較して事象進展が早い。このため、対応時の余裕時間の観点で厳しい。 【設備容量の厳しさ】 ・格納容器下部注水系（常設）によるベズタル（ドライウエル部）への事前水張は、デブリ落下前に実施するため、必要となる設備容量は事故シーケンス間で差異がない。 【事象（FCI発生時）の厳しさ】 ・いずれの事故シーケンスも原子炉圧力が低圧状態で原子炉容器破損に至ることから、定性的に各事故シーケンスでFCIが発生した際の事象の厳しさを比較することは困難である。 以上より、①を評価事故シーケンスとして選定。 |
| 溶融炉心・コンクリート相互作用 (MCCI) ^{※1} | TQUV | ① 過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋デブリ冷却失敗（ベズタル） ② 過渡事象＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋デブリ冷却失敗（ベズタル） ③ 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋デブリ冷却失敗（ベズタル） ④ 手動停止／サポート系喪失（手動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋デブリ冷却失敗（ベズタル） ⑤ サポート系喪失（自動停止）＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋デブリ冷却失敗（ベズタル） ⑥ サポート系喪失（自動停止）＋逃がし安全弁再閉鎖失敗＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋デブリ冷却失敗（ベズタル） | ・格納容器下部注水系（常設） | 【余裕時間の厳しさ】 ・原子炉が自動停止する過渡事象（給水流量の全喪失）及びサポート系喪失（自動停止）を起因とする事故シーケンスは、通常停止させる事故シーケンスと比較して事象進展が早い。このため、対応時の余裕時間の観点で厳しい。 【設備容量の厳しさ】 ・格納容器下部注水系（常設）によるベズタル（ドライウエル部）への事前水張は、デブリ落下前に実施するため、必要となる設備容量は事故シーケンス間で差異がない。 【事象（MCCI発生時）の厳しさ】 ・いずれの事故シーケンスも原子炉圧力が低圧状態で原子炉容器破損に至ることから、定性的に各事故シーケンスでMCCIが発生した際の事象の厳しさを比較することは困難である。 以上より、①を評価事故シーケンスとして選定。 |
| 水素燃焼 | LOCA | — | ・可搬型窒素供給装置により格納容器内への窒素封入 | 【事象（酸素濃度上昇）の厳しさ】 ・ジルコニウム・水反応による水素の過剰な発生を抑制する観点から、炉心損傷後に交流電源を復旧して原子炉注水を実施し、その後の事象進展に対応するシナリオを評価するものとする。 ・格納容器ベントを実施する場合、格納容器内の水素及び酸素が大気中に放出され、格納容器内の水素及び酸素濃度が大きく低下することから、格納容器ベントを実施しないシナリオを評価するものとする。 ・重大事故等対処設備によって炉心損傷を防止できるPDSについても、事象発生後の格納容器内の気体の流れ等、酸素濃度の上昇の観点でLOCAと大きく異なるPDSについては、有効性評価において適宜その感度を確認するものとする。 |

① 選定した評価事故シーケンス

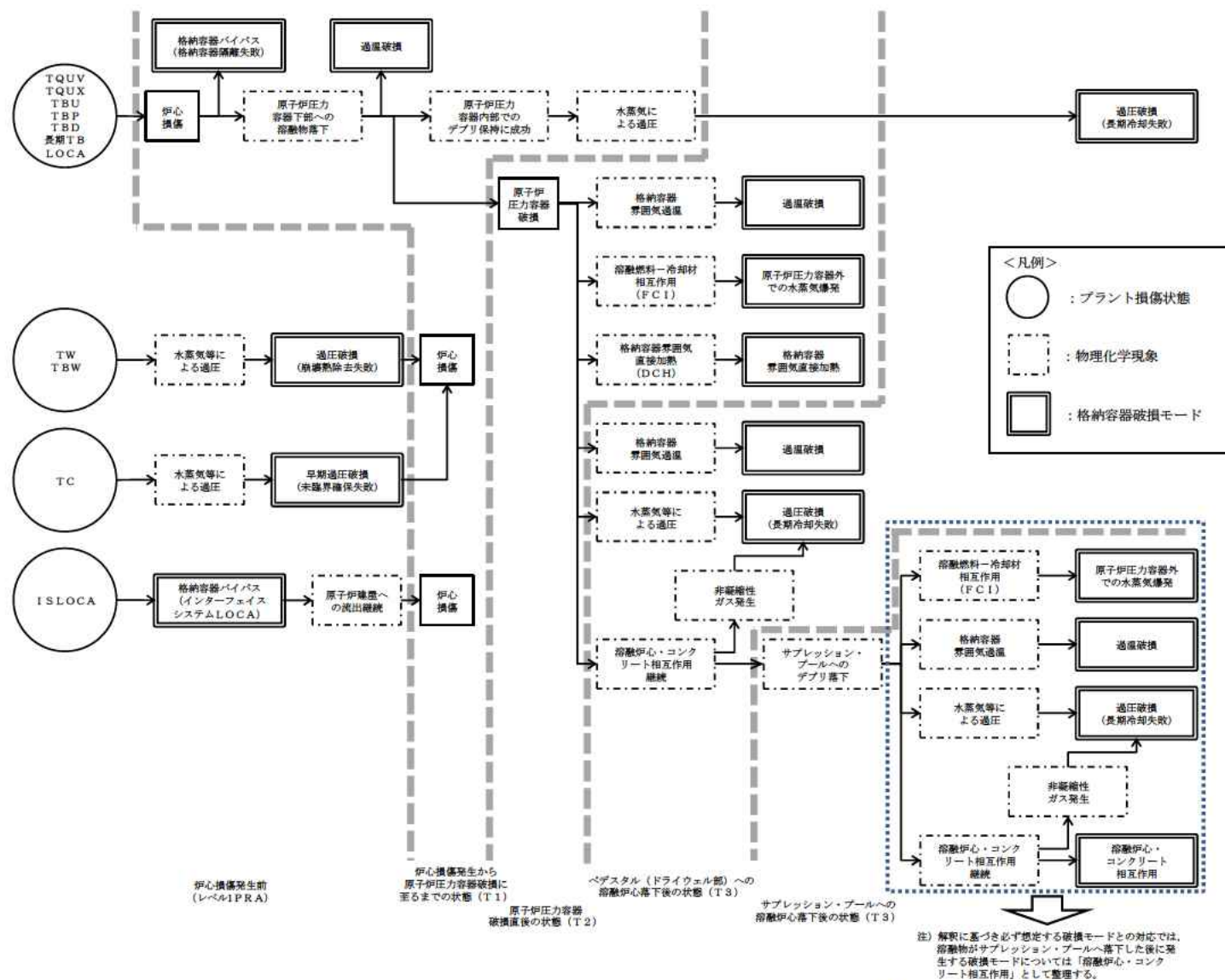
※1 DCH、FCI、MCCIにおいて選定した評価事故シーケンスについては、重大事故等対処施設による対応により原子炉圧力容器内での事象収束が可能だが、原子炉圧力容器破損が前提となる各破損モードにおける物理現象及びその対策の有効性を確認する観点から仮想的に一部の重大事故等対処設備による対応に期待せず、原子炉圧力容器破損まで事象が進展することを仮定して評価することとする。

※2 各シーケンスの斜体で示した部分は炉心損傷に至る事故シーケンス、それ以外の部分は炉心損傷後の事故シーケンスを示す。

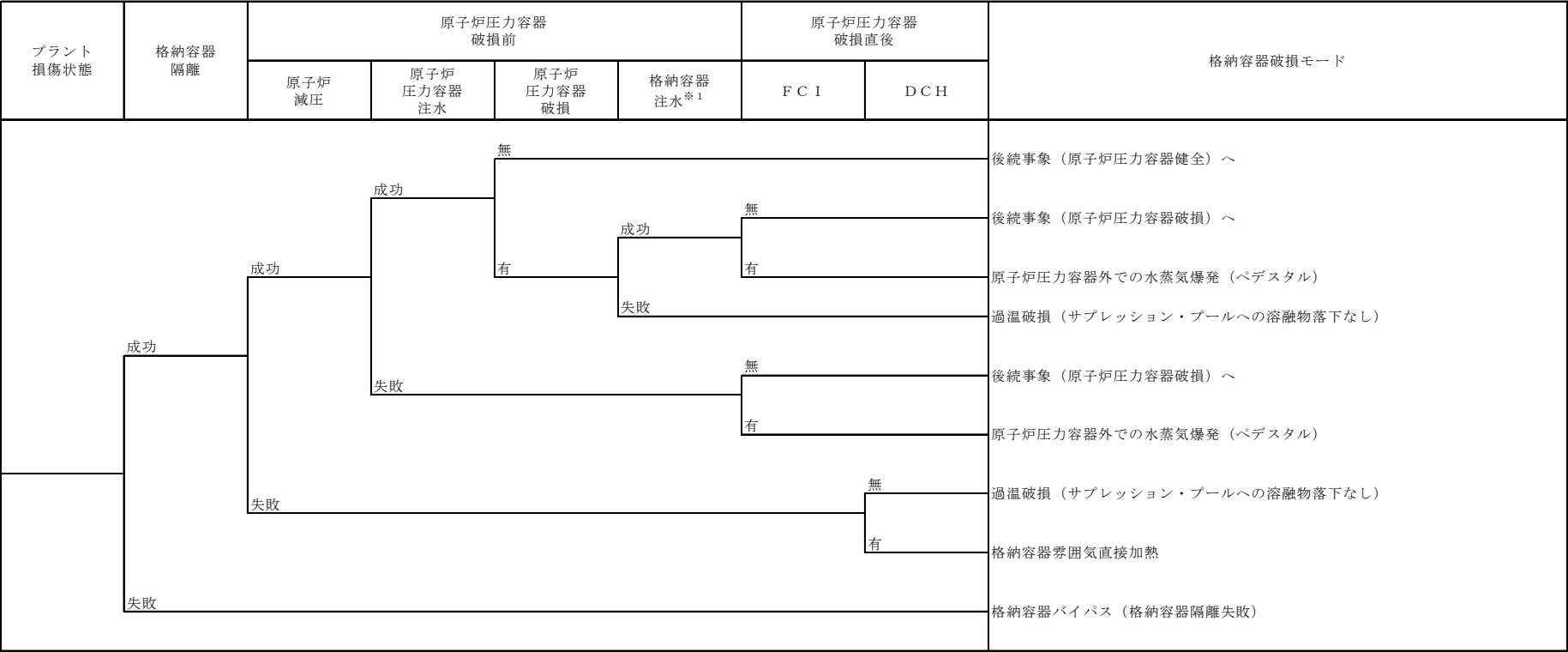
※3 PDSがLOCAに該当する事故シーケンスでは、炉心及びベズタル（ドライウエル部）への注水機能が喪失し、デブリ冷却に必ず失敗するため過温破損に至る事故シーケンスは抽出されないが、過温破損の対策となる重大事故等対処設備による圧力容器（損傷炉心）への注水（デブリ冷却）を考慮して評価事故シーケンスを選定する。

※4 PDSがTQUVに該当する事故シーケンスでは、ベズタル（ドライウエル部）への注水機能が喪失するためFCIが発生する事故シーケンスは抽出されないが、MCCI対策である事前水張りによりFCIが発生する可能性を考慮して評価事故シーケンスを選定する。

第2-1図 格納容器破損モード抽出及び評価事故シーケンス選定の全体プロセス



第2-2図 シビアアクシデントで想定される事象進展と格納容器破損モード

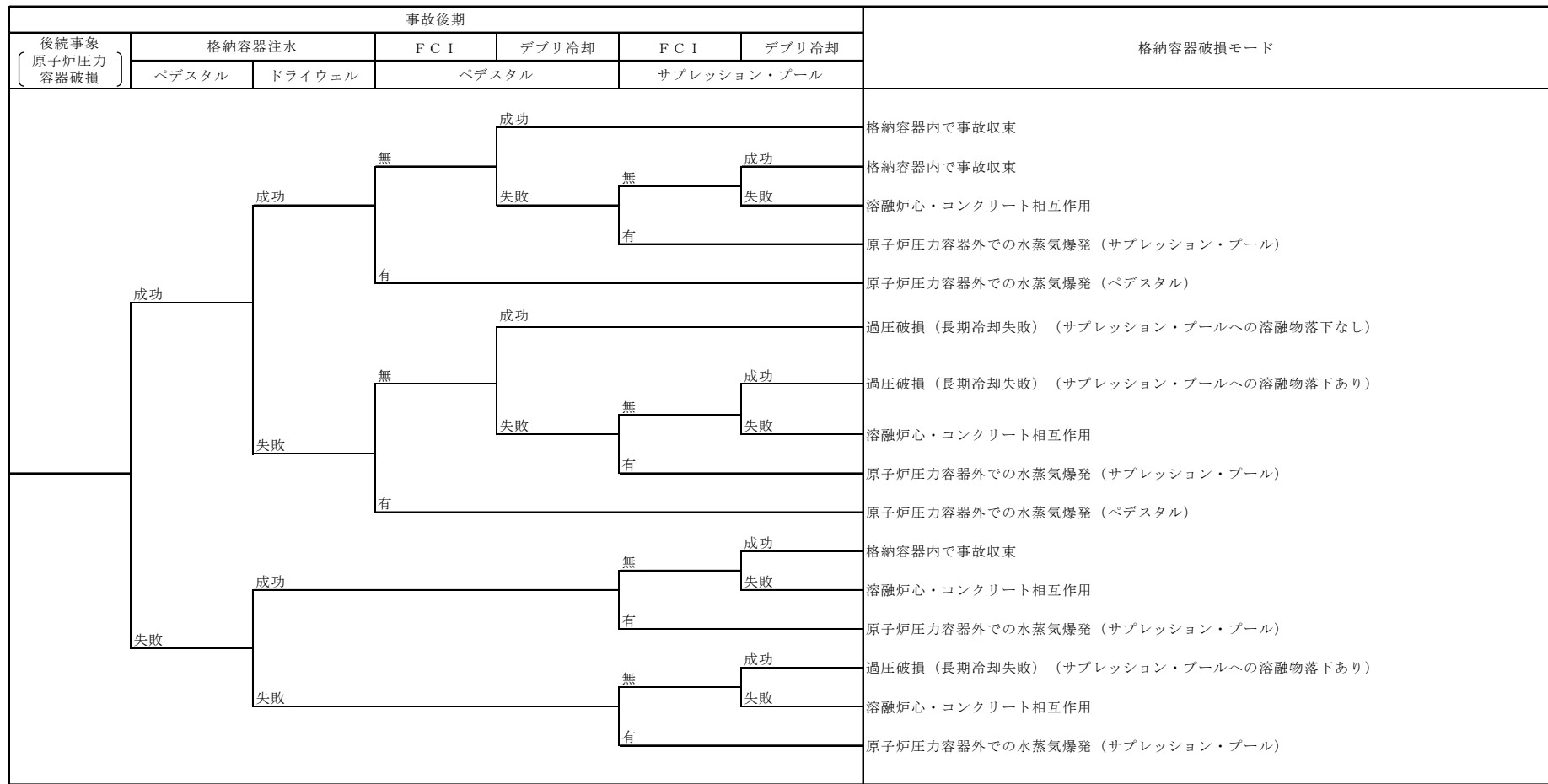


F C I：原子炉圧力容器外での溶融燃料－冷却材相互作用
D C H：格納容器雰囲気直接加熱
※1 L O C Aシーケンスは、格納容器注水に失敗した場合、原子炉圧力容器破損前に過温破損に至るため、本ヘディングの成功／失敗を原子炉圧力容器破損前に考慮した。

第2－3図 内部事象レベル1． 5 P R Aにおけるイベントツリー（1／3）

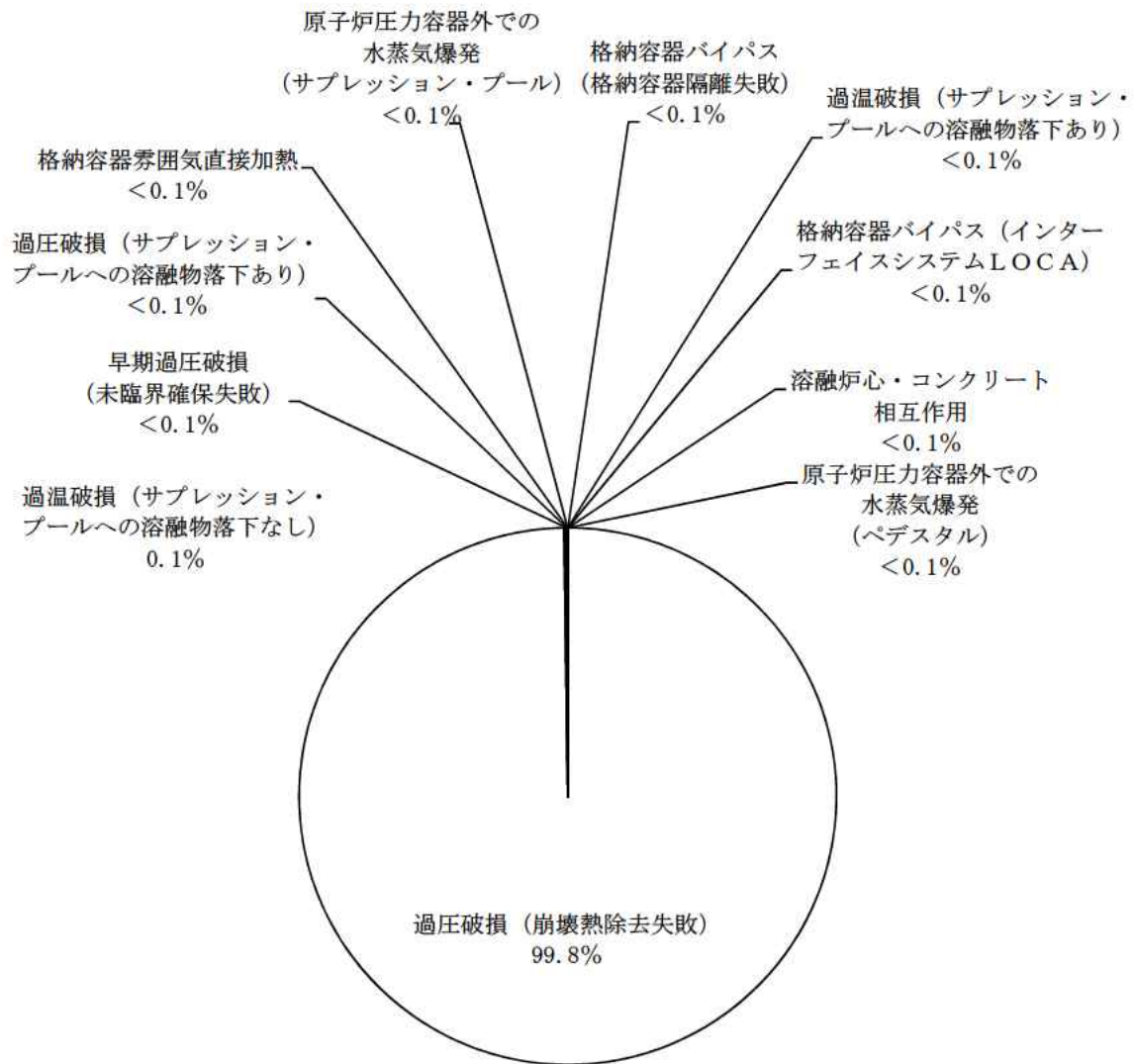
| 事故後期 | | 格納容器破損モード |
|-----------------------|--------|--|
| 後続事象 〔 原子炉圧力容器健全 〕 | 格納容器注水 | |
| 成功 | | 原子炉圧力容器内で事故収束 過圧破損（長期冷却失敗）（サブプレッション・プールへの溶融物落下なし） |
| 失敗 | | |

第2-3図 内部事象レベル1．5 P R Aにおけるイベントツリー（2／3）



F C I：原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用

第2－3図 内部事象レベル1．5 P R Aにおけるイベントツリー（3／3）



格納容器破損頻度 : 6.1×10^{-5}

第2-4図 格納容器破損モードごとの寄与割合

3. 運転停止中原子炉における燃料損傷防止対策の有効性評価の運転停止中事故シーケンスグループ抽出及び重要事故シーケンスの選定について

運転停止中原子炉における燃料損傷防止対策の有効性評価の事故シーケンスグループ及び重要事故シーケンス選定の全体プロセスは第3-1図に示すとおりであり，本プロセスにより各検討ステップにおける実施内容を整理した。

【概要】

- ① 内部事象 P R A 及び P R A を適用できない外部事象等についての定性的検討から事故シーケンスの抽出を実施した。
- ② 抽出した事故シーケンスと必ず想定する事故シーケンスグループとの比較を行い，必ず想定する事故シーケンスグループに対応しない外部事象特有の事故シーケンスについて，頻度，影響等を確認し，事故シーケンスグループとしての追加要否を検討した。
- ③ 有効性評価において想定する事故シーケンスグループごとに，審査ガイドに記載の観点（余裕時間，設備容量，代表性）に基づき，有効性評価の対象とする重要事故シーケンスを選定した。

3.1 運転停止中事故シーケンスグループの分析について

解釈において、運転停止中原子炉における燃料損傷防止対策の有効性評価に係る運転停止中事故シーケンスグループの個別プラント評価による抽出に関し、以下のとおり記載されている。

4－1

(a) 必ず想定する運転停止中事故シーケンスグループ

- ・ 崩壊熱除去機能喪失
(RHRの故障による停止時冷却機能喪失)
- ・ 全交流動力電源喪失
- ・ 原子炉冷却材の流出
- ・ 反応度の誤投入

(b) 個別プラント評価により抽出した運転停止中事故シーケンスグループ

- ①個別プラントの停止時に関するPRA（適用可能なもの）又はそれに代わる方法で評価を実施すること。
- ②その結果、上記4－1(a)の運転停止中事故シーケンスグループに含まれない有意な頻度又は影響をもたらす運転停止中事故シーケンスグループが抽出された場合には、想定する運転停止中事故シーケンスグループとして追加すること。

上記4－1(b)を踏まえて、内部事象停止時レベル1PRA評価を実施し、事故シーケンスグループの検討を行った。

なお、事故シーケンスグループの選定は、炉心損傷防止対策に係る事故シーケンスグループの分析と同様、従来の設置許可取得時の設計で考慮していた設備のみ期待できる条件※で評価した停止時PRAの結果を用いた。

※ 従来から整備してきた A M 策や福島第一原子力発電所事故以降に実施した各種対策，新規制基準に基づき配備する重大事故等対処設備等を含めない条件

3.1.1 燃料損傷に至る運転停止中事故シーケンスグループの抽出，整理

施設定期検査中はプラントの状態が大きく変化することから，停止時レベル 1 P R A においては，施設定期検査における評価対象期間を設定し，原子炉の水位，温度，圧力等のプラントパラメータの類似性，保守点検状況等に応じた緩和設備の使用可能性，起回事象，成功基準に関する類似性によって，評価対象期間を幾つかのプラント状態（以下「P O S」という。）に分類し評価を行う。分類した P O S を，状態ごとのプラントの主要なパラメータとともに第3-2図に示す。また，P O S ごとの期間及び系統の待機状態を示した工程表を第3-3図に示す。

停止時 P R A においては，原子炉停止後の運転停止中の各 P O S において燃料損傷へ波及する可能性のある起回事象について，マスターロジックダイアグラム，過去の国内プラントのトラブル事例等から選定し，ここから燃料損傷に至ることを防止するための緩和手段の組合せ等を第3-4図のイベントツリーで分析し，燃料損傷に至る各事故シーケンスを抽出している。

抽出された事故シーケンス別の炉心損傷頻度を整理し，審査ガイドの「必ず想定する運転停止中事故シーケンスグループ」に含まれるか，それ以外の事故シーケンスグループであるかを確認するとともに，燃料損傷状態を分類した。事故シーケンスグループ別の炉心

損傷頻度を第 3-1 表に示す。

事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度への寄与割合を第 3-5 図に示す。

3.1.2 抽出した事故シーケンスの整理

3.1.2.1 必ず想定する事故シーケンスグループとの対応

第 3-1 表に示す停止時 P R A により抽出した各事故シーケンスについて、緩和機能の喪失状況、プラントの状態及び燃料損傷に至る要因の観点で必ず想定する事故シーケンスグループに対応する(1)から(3)の事故シーケンスグループとして整理した。

(1) 崩壊熱除去機能喪失

運転中の残留熱除去系の故障が発生した後、崩壊熱除去・炉心冷却に失敗し、燃料損傷に至る事故シーケンスを解釈 4-1 (a) に記載の「崩壊熱除去機能喪失」に分類する。

(2) 全交流動力電源喪失

外部電源喪失の発生時に非常用交流電源の電源確保に失敗する等、全交流動力電源喪失の発生後に、崩壊熱除去・炉心冷却の失敗により、燃料損傷に至る事故シーケンスを解釈 4-1 (a) に記載の「全交流動力電源喪失」に分類する。

(3) 原子炉冷却材の流出

原子炉冷却材圧力バウンダリに接続された系統の誤操作等により原子炉冷却材が系外に流出後、崩壊熱除去・炉心冷却に失敗し、燃料損傷に至る事故シーケンスを解釈 4-1 (a) に記載の「原子炉冷却材の流出」に分類する。

なお、必ず想定する事故シーケンスグループのうち「反応度の誤投入」については、プラント停止時には原則として全制御棒が挿入されており、複数の人的過誤や機器故障が重畳しない限り反応度事故に至る可能性はないこと、万一反応度事故が起こり臨界に至った場合でも、局所的な事象で収束し、燃料の著しい損傷に至ることは考え難いことから、今回の停止時PRAでは考慮していない。

ただし、万一上記のような反応度事故が起こった場合においても、実際に局所的な事象で収束し、燃料の著しい損傷に至らないことを確認するため、「反応度の誤投入」については、有効性評価の評価対象とする事故シーケンスグループとした。

3.1.2.2 追加すべき事故シーケンスグループの検討

今回実施したPRAでは、緩和機能の喪失状況、プラントの状態及び燃料損傷に至る要因の観点で解釈4-1(a)に示されている必ず想定する事故シーケンスグループに対応しない事故シーケンスは抽出されなかった。そのため、解釈に基づき想定する事故シーケンスグループに追加すべき新たな事故シーケンスグループはないと判断した。

3.2 重要事故シーケンスの選定について

3.2.1 重要事故シーケンス選定の考え方

重要事故シーケンスの選定に当たっては，以下に示す審査ガイドに記載の着眼点に沿って実施しており，具体的な検討内容を以下に示す（第3-3表）。

【審査ガイドに記載の着眼点】

- a．燃料損傷防止対策の実施に対する余裕時間が短い。
- b．燃料損傷回避に必要な設備容量（流量等）が大きい。
- c．運転停止中事故シーケンスグループ内のシーケンスの特徴を代表している。

a．余裕時間

余裕時間については，事故シーケンスグループ内での燃料損傷に至るまでの余裕時間の長さに応じて「高」，「中」，「低」と3つに分類した。燃料損傷までの余裕時間を第3-2表に示す。

なお，反応度の誤投入については，事象発生後も崩壊熱除去や注水機能は喪失しないため，それらの緩和措置実施までの余裕時間の考慮は不要である（第3-2表，第3-3表）。

b．設備容量

設備容量については，事故シーケンスグループ内での必要な設備容量の大きさに応じて「高」，「中」，「低」と3つに分類した。なお，反応度の誤投入については，事象発生後も崩壊熱除去や注水機能は喪失しないため，それらの緩和措置実施までの余裕時間の考慮は不要である（第3-2表，第3-3表）。

c．代表性

第3-1表の事故シーケンスごとの炉心損傷頻度を比較し，事

故シーケンスグループの中で最も炉心損傷頻度の高いドミナントシーケンスを「高」、事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度に対して1%以上の事故シーケンスを「中」、1%未満の事故シーケンスを「低」とした。

3.2.2 重要事故シーケンスの選定結果

3.2.1の選定の着眼点を踏まえ、同じ事故シーケンスグループに複数の事故シーケンスが含まれる場合には、事象進展が早いもの等、より厳しい事故シーケンスを重要事故シーケンスとして選定した。各事故シーケンスグループに対する重要事故シーケンスの選定理由及び選定結果について、第3-3表及び以下に示す。

(1) 崩壊熱除去機能喪失

i) 事故シーケンス

①残留熱除去系の故障（RHR喪失）＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

②残留熱除去系の故障（RHR S喪失）＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

③外部電源喪失＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

ii) 事故シーケンスグループの特徴

本事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスは、運転中の残留熱除去系に故障等が発生した後、崩壊熱除去・炉心冷却に失敗し、燃料損傷に至る事故シーケンスである。

iii) 有効性を確認する主な燃料損傷防止対策

・待機中の残留熱除去系（低圧注水系）

iv) 重要事故シーケンス

①残留熱除去系の故障（RHR喪失）＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

v) 選定理由

余裕時間については事故シーケンス間で差異がなく、燃料損傷防止対策の実施に必要な時間を保守的に見積もった時間（約2時間）に比べて十分な余裕時間がある。また、原子炉への注水に必要な設備容量についても事故シーケンス間で差異がなく、ECCS・低圧代替注水系（常設）の設備容量に比べて十分小さい。代表性の観点からは①の事故シーケンスの炉心損傷頻度が最も高い。

以上より、①の事故シーケンスを重要事故シーケンスとして選定した。

なお、残留熱除去系海水系の喪失により崩壊熱除去機能が喪失した場合については、「全交流動力電源喪失」にて燃料損傷防止対策の有効性を確認する。

(2) 全交流動力電源喪失

i) 事故シーケンス

①外部電源喪失＋交流電源失敗＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

②外部電源喪失＋直流電源失敗＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

ii) 事故シーケンスグループの特徴

本事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスは、外部電源喪失の発生時に非常用交流電源の電源確保に失敗して全交流動力電源喪失に至り、その後、崩壊熱除去・炉心冷却の失敗によって、燃料損傷に至る事故シーケンスである。

iii) 有効性を確認する主な燃料損傷防止対策

- ・ 常設代替交流電源設備
- ・ 常設代替直流電源設備
- ・ 低圧代替注水系（常設）
- ・ 緊急用海水系を用いた残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）

iv) 重要事故シーケンス

- ① 外部電源喪失＋交流電源失敗＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

v) 選定理由

余裕時間については事故シーケンス間で差異がなく，燃料損傷防止対策の実施に必要な時間を保守的に見積もった時間（約 2 時間）に比べて十分な余裕時間がある。また，原子炉への注水に必要な設備容量についても事故シーケンス間で差異がなく，低圧代替注水系（常設）の設備容量に比べて十分小さい。代表性の観点からは①の事故シーケンスの炉心損傷頻度が最も高い。

以上より，①の事故シーケンスを重要事故シーケンスとして選定した。

なお，直流電源が喪失する②の事故シーケンスについては，炉心損傷頻度が低く，iii) に示した対策により①の事故シーケンスと同様に燃料損傷防止が可能であり，さらに可搬型代替直流電源設備による非常用ディーゼル発電機の起動による対応にも期待できることから選定しない。

(3) 原子炉冷却材の流出

i) 事故シーケンス

- ① 原子炉冷却材の流出（RHR 系統切替時の LOCA）＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

- ② 原子炉冷却材の流出（CUW ブロー時の LOCA）＋崩壊

熱除去・炉心冷却失敗

③原子炉冷却材の流出（C R D点検時のL O C A）＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

④原子炉冷却材の流出（L P R M点検時のL O C A）＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

ii) 事故シーケンスグループの特徴

本事故シーケンスグループに含まれる事故シーケンスは、原子炉冷却材圧力バウンダリに接続された系統の誤操作等により原子炉冷却材が系外に流出後、崩壊熱除去・炉心冷却の失敗によって、燃料損傷に至る事故シーケンスである。

iii) 有効性を確認する主な燃料損傷防止対策

・待機中の残留熱除去系（低圧注水系）

iv) 選定した重要事故シーケンス

①原子炉冷却材の流出（R H R 系統切替時のL O C A）＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

v) 選定理由

余裕時間の観点からは、①、②の事故シーケンスが厳しく、設備容量の観点からは、流出流量の大きい③、④の事故シーケンスが厳しい。また、代表性の観点からは①の事故シーケンスの炉心損傷頻度が最も高い。

②の事故シーケンスについては、原子炉水位を低下させる操作であるため、原子炉水位は適宜監視されており、中央制御室の運転員の他にR／Wの運転員も廃液収集タンク等の水位高により認知することができるため、認知が容易であることから選定しないこととする。

また、③、④の事故シーケンスについては、流出流量と比較して燃料損傷防止対策となる待機中のECCS・低圧代替注水系（常設）の設備容量が十分大きいこと、作業・操作場所と漏えい発生箇所が同一であるため認知が容易であることから選定しないこととする。

以上より、①の事故シーケンスを重要事故シーケンスとして選定した。

(4) 反応度の誤投入

i) 事故シーケンスグループの特徴

反応度事故により、燃料損傷に至る事故シーケンスである。

ii) 有効性を確認する主な燃料損傷防止対策

・ 起動領域モニタペリオド短（10 秒）による原子炉スクラム

iii) 選定理由

代表性の観点から、停止中に実施される検査等により、最大反応度価値を有する制御棒1本が全引き抜きされている状態から、他の1本の制御棒が操作量の制限を超える誤った操作によって引き抜かれ、異常な反応度の投入を認知できずに燃料の損傷に至る事故を想定する。

なお、各事故シーケンスグループに分類される事故シーケンスについて、燃料損傷に至る要因をカットセットレベルまで展開し、事故シーケンスの炉心損傷頻度に対する寄与割合の観点で分析した結果、主要なカットセットに対して重大事故等対策がおおむね有効であることを確認している（別紙6）。

第3－1表 運転停止中事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度

| 事故シーケンス グループ | 事故シーケンス | 対応する主要な燃料損傷防止対策 (下線は有効性を確認する主な対策) | | シーケンス 別 C D F (／施設定期検査) | 全 C D F に 対する 寄与割合 (%) | グループ別 C D F に対する 寄与割合 (%) | 事故シーケンス グループ別 C D F (／施設定期検査) | 全 C D F に対する 寄与割合 (%) |
|-----------------|--|--------------------------------------|---|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--|--------------------------------|
| | | 燃料損傷防止に必要な機能 | 燃料損傷防止対策 | | | | | |
| 崩壊熱除去 機能喪失 | ①残留熱除去系の故障 (RHR 喪失) ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 崩壊熱除去機能※ 1 | ・ 緊急用海水系 (RHR S 喪失時) | 9.9E-07 | 20.0 | 69.5 | 1.4E-06 | 28.8 |
| | ②残留熱除去系の故障 (RHR S 喪失) ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 原子炉への注水機能 | ・ <u>待機中の E.C.C.S.</u> <u>(残留熱除去系 (低圧注水系) ※ 2)</u> | 1.2E-07 | 2.5 | 8.7 | | |
| | ③外部電源喪失＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | | ・ 低圧代替注水系 (常設) ・ 低圧代替注水系 (可搬型) ・ 消火系, 補給水系※ 3 | 3.1E-07 | 6.3 | 21.8 | | |
| 全交流動力 電源喪失 | ①外部電源喪失＋交流電源失敗 ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 電源の復旧 | ・ <u>常設代替交流電源設備</u> ・ <u>常設代替直流電源設備</u> ・ 可搬型代替直流電源設備 (DG起動に使用) (直流電源失敗時) | 3.5E-06 | 71.1 | 100.0 | 3.5E-06 | 71.1 |
| | | 崩壊熱除去機能※ 1 | ・ 緊急用海水系 | | | | | |
| | ②外部電源喪失＋直流電源失敗 ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 原子炉への注水機能 | ・ <u>低圧代替注水系 (常設)</u> <u>(交流電源復旧後)</u> ・ 常設代替注水系 (可搬型) ・ 消火系※ 3 | 1.3E-10 | <0.1 | <0.1 | | |
| 原子炉冷却材 の流出 | ①原子炉冷却材の流出 (RHR 系統切替時の L O C A) ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 原子炉への注水機能 | ・ <u>待機中の E.C.C.S.</u> <u>(残留熱除去系 (低圧注水系))</u> ・ 低圧代替注水系 (常設) ・ 低圧代替注水系 (可搬型) ・ 消火系, 補給水系※ 3 | 8.3E-11 | <0.1 | 44.6 | 1.9E-10 | <0.1 |
| | ②原子炉冷却材の流出 (C U W ブロー時の L O C A) ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | | | 5.8E-11 | <0.1 | 31.2 | | |
| | ③原子炉冷却材の流出 (CRD 点検時の L O C A) ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | | | 4.5E-11 | <0.1 | 24.2 | | |
| | ④原子炉冷却材の流出 (L P R M 点検時の L O C A) ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | | | 9.8E-14 | <0.1 | <0.1 | | |
| 合計 | | － | | 5.0E-06 | 100.0 | － | 5.0E-06 | 100.0 |

※1 停止時においては崩壊熱除去機能が喪失した場合であっても、原子炉注水を実施することで燃料損傷を防止できる。

(原子炉建屋 (原子炉開放時) 又は格納容器 (原子炉未開放時) へ崩壊熱を逃すことで燃料損傷を防止し、その後長期的な安定状態の確保のために残留熱除去系等を復旧する。)

※2 停止時 P R A の評価上、残留熱除去系の喪失も考えられるが、その場合の事象進展及び対策は「全交流動力電源喪失」と同様になるため、ガイド等を参照し、対策に追加した。

※3 重大事故等対処設備ではないが、シーケンスによって使用できる可能性のある緩和設備である。

第3-2表 燃料損傷までの余裕時間（1/2）

(a) 「崩壊熱除去機能喪失」, 「全交流動力電源喪失」 の場合

| P O S | プラント状態の推移 | 原子炉水位 | 燃料損傷までの 余裕時間 (h) ※1 |
|-------|------------------------|----------|------------------------|
| S | 原子炉冷温停止への移行状態 | 通常水位 | 3.9 |
| A | P C V / P R V 開放への移行状態 | | 5.7 |
| B 1 | 原子炉ウェル満水状態 | 原子炉ウェル満水 | 53.8 |
| B 2 | | | 90.9 |
| B 3 | | | 107.6 |
| B 4 | | | 155.2 |
| B 5 | | | 174.5 |
| B 6 | | | 199.7 |
| C 1 | P C V / P R V 閉鎖への移行状態 | 通常水位 | 35.8 |
| C 2 | | | 38.3 |
| D | 起動準備状態 | | 40.8 |

※1 原子炉ウェル満水状態における余裕時間の評価は、燃料の取出状態に関わらず、以下のとおり保守的な仮定を基に評価。

崩壊熱 : 炉心及び使用済燃料プール内の燃料の崩壊熱を考慮

保有水量 : 原子炉側のみの水量を考慮（使用済燃料プールの保有水量を含めない。）

第 3-2 表 燃料損傷までの余裕時間 (2/2)

(b)「原子炉冷却材の流出」の場合

| 事故シーケンス | P O S | 原子炉水位 | 燃料損傷に至るまでの保有水量 (m ³) ※2 | 冷却材流出流量 (m ³ /h) | 燃料損傷までの余裕時間 (h) |
|----------------------|-------|----------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| R H R 系統切替時の L O C A | B | 原子炉ウェル満水 | | | 22.7 |
| | C, D | 通常水位 | | | 3.5 |
| C U W ブロー時の L O C A | C, D | 通常水位 | | | 3.5 |
| C R D 点検時の L O C A | B | 原子炉ウェル満水 | | | 5.5 |
| L P R M 点検時の L O C A | B | 原子炉ウェル満水 | | | 12.1 |

※2 原子炉ウェル満水状態における保有水量は、原子炉側のみの水量を考慮（プールゲートが閉止状態であることを想定し、使用済燃料プールの保有水量を含めない。）。

なお、崩壊熱による原子炉冷却材の減少については、崩壊熱による水温上昇により蒸発が開始するまでに、原子炉冷却材の流出による水位低下により燃料損傷に至ることから考慮しない。

第3-3表 重要事故シーケンス（運転停止中）の選定

| 事故シーケンスグループ | 事故シーケンス | 対応する主要な燃料損傷防止対策 | | 着眼点との関係と重要事故シーケンスの選定の考え方 | | | 選定した重要事故シーケンスと選定理由 |
|-------------|---|-----------------------|---|--------------------------|---|---|---|
| | | 燃料損傷防止に必要な機能 | 燃料損傷防止対策 | a | b | c | |
| 崩壊熱除去機能喪失 | ㊟ ①残留熱除去系の故障（RHR喪失） ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 原子炉への注水機能 | ・ 待機中のECCS（残留熱除去系（低圧注水系）※ ¹ ） | 低 | 低 | 高 | a. 余裕時間については、事故シーケンス間で差異がなく、異常の認知及び待機中のECCS・低圧代替注水系（常設）の起動といった緩和措置の実施にかかる時間を保守的に見積もった時間（約2時間）に比べて十分な余裕時間がある（最も短いPOS－Sにおいても約3.9時間であり、その他のPOSではさらに余裕時間が見込める）ことから、全ての事故シーケンスにおいて「低」とした。 b. 原子炉への注水に必要な設備容量については、事故シーケンス間で差がなく、待機中のECCS・低圧代替注水系（常設）の設備容量（残留熱除去系：1,605m ³ /h、低圧代替注水系（常設）：378m ³ /h）に比べて十分小さい（最も崩壊熱の大きなPOS－Sにおいても約50m ³ /h）ことから、全ての事故シーケンスにおいて「低」とした。 c. 事故シーケンスグループの中で最もCDFの高いドミナントシーケンスを「高」、事故シーケンスグループ別CDFに対して1%以上の事故シーケンスを「中」、1%未満の事故シーケンスを「低」とした。 |
| | － ②残留熱除去系の故障（RHR喪失） ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | | | | | | |
| | － ③外部電源喪失 ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 崩壊熱除去機能※ ¹ | ・ 残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）※ ² | 低 | 低 | 中 | |
| 全交流動力電源喪失 | ㊟ ①外部電源喪失 ＋交流電源失敗 ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 電源の復旧 | ・ 常設代替交流電源設備 ・ 常設代替直流電源設備 ・ 可搬型代替直流電源設備（DG起動に使用）（直流電源失敗時） | 低 | 低 | 高 | a. 余裕時間については、事故シーケンス間で差異がなく、常設代替直流電源設備、常設代替交流電源設備による給電、低圧代替注水系（常設）による注水といった緩和措置の実施にかかる時間（約25分）に比べて十分な余裕時間がある（最も短いPOS－Sにおいても3.9時間であり、その他のPOSではさらに余裕時間が見込める）ことから、全ての事故シーケンスにおいて「低」とした。 b. 原子炉への注水に必要な設備容量については、事故シーケンス間で差がなく、待機中のECCS・低圧代替注水系（常設）の設備容量（残留熱除去系：1,605m ³ /h、低圧代替注水系（常設）：378m ³ /h）に比べて十分小さい（最も崩壊熱の大きなPOS－Sにおいても約50m ³ /h）ことから、全ての事故シーケンスにおいて「低」とした。 c. 事故シーケンスグループの中で最もCDFの高いドミナントシーケンスを「高」、事故シーケンスグループ別CDFに対して1%以上の事故シーケンスを「中」、1%未満の事故シーケンスを「低」とした。 |
| | － ②外部電源喪失 ＋直流電源失敗 ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 原子炉への注水機能 | ・ 低圧代替注水系（常設）（交流電源復旧後） ・ 緊急用海水系を用いた残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）※ ² | 低 | 低 | 低 | |
| 原子炉冷却材の流出 | ㊟ ①原子炉冷却材の流出（RHR系統切替時のLOCA） ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 原子炉への注水機能 | ・ 待機中のECCS（残留熱除去系（低圧注水系）） | 高 | 低 | 高 | a. 燃料損傷までの余裕時間が最も短い事故シーケンス ①RHR系統切替時、②CUWブロー時：3.5時間）を「高」、最も長い事故シーケンス（④LPRM点検時：12.1時間）を「低」、それ以外の事故シーケンス（③CRD点検時：5.5時間）を「中」とした。 b. 流出流量が多いほど、燃料損傷回避のために必要な注水設備の容量が大きくなることを考慮し、冷却材流出流量が最も多い事故シーケンスを「高」、最も少ない事故シーケンスを「低」、それ以外の事故シーケンスを「中」とした。 c. 事故シーケンスグループの中で最もCDFの高いドミナントシーケンスを「高」、事故シーケンスグループ別CDFに対して1%以上の事故シーケンスを「中」、1%未満の事故シーケンスを「低」とした。 |
| | － ②原子炉冷却材の流出（CUWブロー時のLOCA） ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | | | | | | |
| | － ③原子炉冷却材の流出（CRD点検時のLOCA） ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 崩壊熱除去機能※ ¹ | ・ 残留熱除去系（原子炉停止時冷却系）※ ² | 中 | 高 | 中 | |
| | － ④原子炉冷却材の流出（LPRM点検時のLOCA） ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | | | 低 | 中 | 低 | |
| 反応度の誤投入 | ㊟ 制御棒の誤引き抜き※ ³ | 原子炉緊急停止機能 | ・ 原子炉緊急停止系（起動領域計装の原子炉出力ベリオド短（10秒）信号による原子炉スクラム） | － | － | － | 代表性の着眼点から以下の事故を想定する。 ・ 停止中に実施される検査等により、最大反応度価値を有する制御棒1本が全引き抜きされている状態から、他の1本の制御棒が操作量の制限を超える誤った操作によって引き抜かれ、異常な反応度の投入を認知できずに燃料の損傷に至る事故。 |

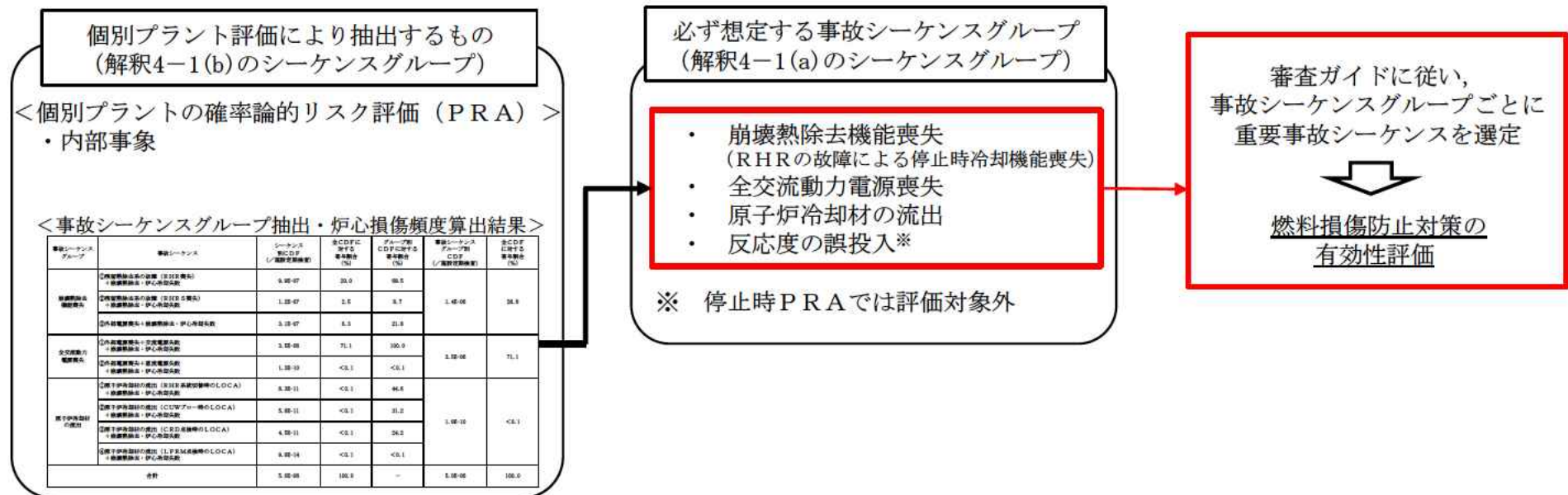
㊟ ：重要事故シーケンスとして選定した事故シーケンス

※1 停止時PRAの評価上、残留熱除去系の喪失も考えられるが、その場合の事象進展及び対策は「全交流動力電源喪失」と同様になるため、ガイド等を参照し、対策に追加。

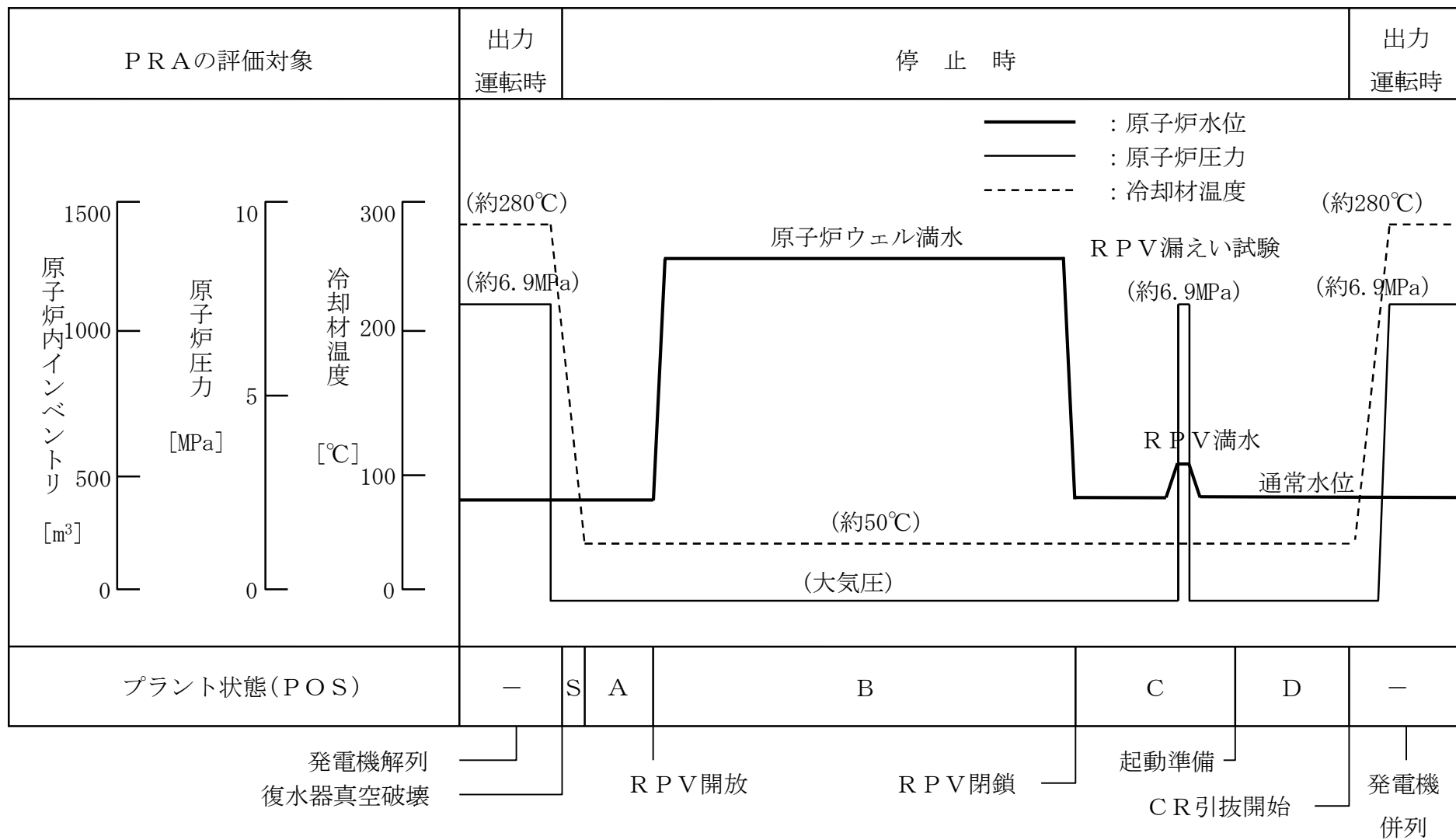
※2 停止時においては崩壊熱除去機能が喪失した場合であっても、原子炉注水を実施することで燃料損傷を防止。

（安定状態の確立のために残留熱除去系、原子炉停止時冷却系）による原子炉除熱を実施する。）

※3 発生の可能性が低く、発生を仮定してもその影響が限定的であるため、リスク評価上重要性が低いと判断し、PRAの評価対象から除外したもの。



第3-1図 運転停止中原子炉における事故シーケンスグループ抽出及び重要事故シーケンス選定の全体プロセス



第 3-2 図 施設定期検査時のプラント状態と主要パラメータの推移

| POS | | S | A | B 1 | B 2 | B 3 | B 4 | B 5 | B 6 | C 1 | C 2 | D |
|--------|---------|------|---|----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|---|
| 日数 | | 1 | 2 | 5 | 3 | 14 | 8 | 12 | 13 | 8 | 9 | 7 |
| 代表水位 | | 通常水位 | | 原子炉ウエル満水 | | | | | | 通常水位 | | |
| CRD点検 | | | | | | | | | | | | |
| LPRM点検 | | | | | | | | | | | | |
| 除熱系 | RHR-A | | | | | | | | | | | |
| | RHR-B | | | | | | | | | | ※2 | |
| 注水系 | CST-A | | | | | | | | | | | |
| | CST-B | | | | | | | | | | | |
| | HPCS | | | | | | | | | | | |
| | LPCS | | | | | | | | | | | |
| | LPCI-A | | | | | | | | | | | |
| | LPCI-B | | | | | | | | | | ※2 | |
| | LPCI-C | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 補機冷却系 | RHRS-A | | | | | | | | | | | |
| | RHRS-B | | | | | | | | | | | |
| 電源系 | DG-2C | | | | | | | | | | | |
| | DG-2D | | | | | | | | | | | |
| | HPCS-DG | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | ※3 | |

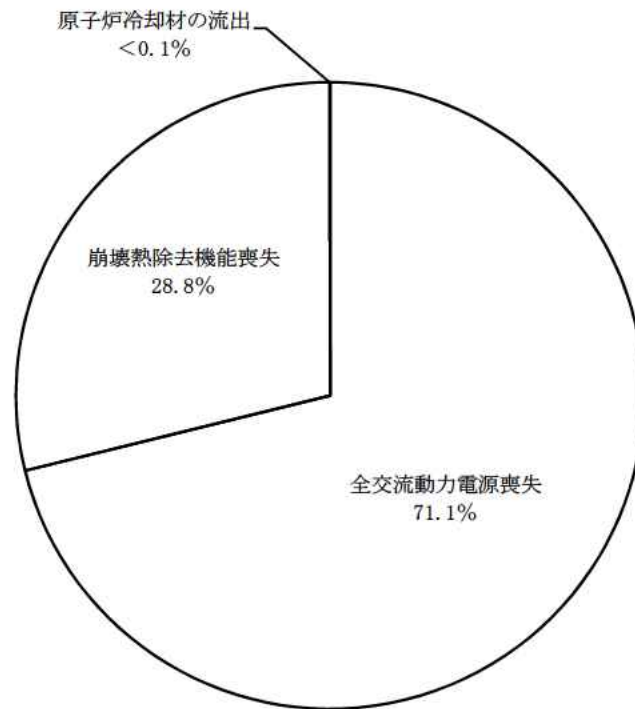
※1 RHR蒸気凝縮配管撤去のため、RHR-B待機除外

※2 RHR-A系統圧力上昇による点検のため、RHR-A待機除外

※3 HPCS-DGの潤滑油プライミングポンプの点検のため、HPCS-DG待機除外

■：運転 □：待機 □：待機除外

第3-3図 停止時PRAにおけるプラント状態の分類及び施設定期検査工程



(C D F : 5.0×10^{-6} / 施設定期検査)

第3-5図 事故シーケンスグループごとの寄与割合

4. 事故シーケンスグループ及び重要事故シーケンス等の選定に活用した P R A の実施プロセスについて

事故シーケンスグループ及び重要事故シーケンス等の選定に際して適用可能とした P R A は、一般社団法人 日本原子力学会において標準化された実施基準を参考に実施した。

これらの P R A について、P R A の実施プロセスの確認及び更なる品質向上を目的とし、一般社団法人 日本原子力学会の実施基準への対応状況及び P R A の手法の妥当性について、海外のレビュアーを含む専門家によるピアレビューを実施した。なお、本ピアレビューでは、第三者機関から発行されている「P S A ピアレビューガイドライン」（平成21年6月 一般社団法人 日本原子力技術協会）を参考にした。ピアレビューの結果、実施した P R A において、事故シーケンスグループ及び重要事故シーケンス等の選定結果に影響を及ぼすような技術的な問題点がないことを確認した。

また、各実施項目について「P R A の説明における参照事項」（平成25年9月 原子力規制庁）において参照すべき事項として挙げられているレベル1 P R A（内部事象，内部事象（停止時），外部事象（地震及び津波）），レベル1．5 P R A（内部事象，外部事象（地震））の対応状況を確認した。

有効性評価の事故シーケンスグループ等の選定に際しての
外部事象の考慮について

重大事故の有効性評価に係る個別プラントでの事故シーケンスグループの選定に際しては、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に、「個別プラントの内部事象に関する確率論的リスク評価（P R A）及び外部事象に関する P R A（適用可能なもの）又はそれに代わる方法で評価を実施すること。」と記載されている。

今回の申請に当たって、外部事象に関しては手法が適用可能な段階にあると判断した地震、津波を対象に出力運転時レベル 1 P R A を実施した。

内部溢水、内部火災及びその他外部事象に関するレベル 1 P R A 及び外部事象レベル 1 . 5 P R A 並びに停止時レベル 1 P R A については、P R A 手法の確立に向けた検討が進められている段階又は現実的な定量評価の実施に向けて必要なデータ整備を進めていく段階であることから、現段階では「適用可能なもの」に含まれないと判断し、「それに代わる方法」として、これら外部事象の影響を考慮した場合の事故シーケンスグループ選定への影響について以下のとおり整理した。

1. 炉心損傷防止対策の事故シーケンスグループ抽出に係る検討

1.1 内部溢水、内部火災の影響

今回は P R A の適用を見合わせたが、内部溢水、内部火災についてはレベル 1 P R A の手法確立・個別プラントへの展開に係る検討作業がある程度進んでいる。このことを踏まえ、P R A を念

頭にして，内部溢水，内部火災の発生によって誘発される可能性がある起因事象を，定性的な分析によって抽出した。抽出結果を表1に示す。

表1に示す起因事象が発生した場合，屋内に設置されている安全機器の機能喪失を経て炉心損傷に至る可能性があるが，これらに起因する事故シーケンスは，同機器のランダム故障・誤操作を想定する内部事象出力運転時レベル 1 P R A において評価対象とした起因事象に含まれている。

また，設計基準対象施設によって，内部溢水，内部火災の影響拡大防止が図られることで，異なる区画等，広範囲における重畳的な安全機器の同時機能喪失発生を防止できると考える。

したがって，内部溢水・内部火災に起因した炉心損傷頻度の定量化には上記の課題が残るものの，定性的な起因事象の抽出結果から想定される事故シーケンスは，内部事象出力運転時レベル 1 P R A の検討から得られる事故シーケンスの一部として分類できるため，新たに追加が必要となる事故シーケンスグループが発生する可能性は低いと考える。

1.2 その他の外部事象の影響

その他の外部事象としては，解釈第 6 条第 2 項に自然現象及び第 8 項に発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）

（以下「外部人為事象」という。）として，具体的に以下が記載されている。

第 6 条（外部からの衝撃による損傷の防止）

（中略）

- 2 第 1 項に規定する「想定される自然現象」とは、敷地の自然環境を基に、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象又は森林火災等から適用されるものをいう。

（中略）

- 8 第 3 項に規定する「発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）」とは、敷地及び敷地周辺の状況をもとに選択されるものであり、飛来物（航空機落下等）、ダム の崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突又は電磁的障害等をいう。

これらの地震、津波を除く各種自然現象及び外部人為事象がプラントに与え得る影響について、設計基準及びそれを超える場合、現象等の重畳を含めて定性的に分析した結果を添付1に示す。

地震、津波以外の自然現象及び外部人為事象について、起因事象発生の可能性を検討した結果、出力運転時を対象として実施した内部事象、地震及び津波レベル 1 P R Aにて抽出した起因事象を誘発する要因による事故シーケンスグループ以外に新たに追加が必要となる事故シーケンスグループはないものと判断した。

2. 格納容器破損防止対策の格納容器破損モードの抽出に係る検討

外部事象レベル 1. 5 P R A については、地震 P R A のみ学会標準に一部関連する記載があるものの、その他の事象については標準的な P R A 手法が確立されておらず、定量評価を実施できる状況ではないことから、以下のとおり定性的な検討を実施した。

2.1 地震の影響

地震がプラントに与え得る特有の影響について、新たに有効性評価の対象として追加すべき格納容器破損モードの観点で定性的に分析した結果を添付2に示す。

また、出力運転時を対象として実施した地震時レベル 1 P R A の結果からは、地震特有の事象として原子炉建屋損傷や格納容器損傷等の炉心損傷直結事象が抽出されている。これらの事象については、深刻な事故の場合には格納容器も破損に至るが、この場合の格納容器破損は事象進展によって格納容器に負荷が加えられて破損に至るものではなく、地震による直接的な格納容器の閉じ込め機能喪失である。これらについては、耐震補強等による事象の発生防止を図ること、あるいは大規模損壊対策として可搬型のポンプ・電源、放水砲等を駆使した対応により影響緩和を試みることで対応していく事象であり、有効性評価において取り扱う事象としては適切でないと考える。

したがって、有効性評価の対象とすべき格納容器破損モードとして、内部事象出力運転時レベル 1. 5 P R A にて抽出した格納容器破損モード以外に新たに追加が必要となる格納容器破損モードはないものと判断した。

2.2 津波の影響

津波がプラントに与え得る特有の影響について、建物外部の設備が機能喪失することは想定されるものの、格納容器が津波による物理的負荷（波力・漂流物の衝撃力）によって直接損傷することは想定し難い。また、炉心損傷後の格納容器内の物理化学現象についても内部事象出力運転時レベル 1.5 PRA で想定するものと同等と考えられる。

したがって、有効性評価の対象とすべき格納容器破損モードとして、内部事象出力運転時レベル 1.5 PRA にて抽出した格納容器破損モード以外に新たに追加が必要となる格納容器破損モードはないものと判断した。

2.3 内部溢水，内部火災の影響

1.1に示した起因事象の検討からも、炉心損傷に至る事故シーケンスグループとしては内部事象出力運転時レベル 1 PRA で用いた事象以外に追加すべきものは発生しないと推定しており、格納容器が直接破損することは想定し難い。また、炉心損傷後の格納容器内の物理化学現象についても内部事象出力運転時レベル 1.5 PRA で想定するものと同等と考えられる。

したがって、有効性評価の対象とすべき格納容器破損モードとして、内部事象出力運転時レベル 1.5 PRA にて抽出した格納容器破損モード以外に新たに追加が必要となる格納容器破損モードはないものと判断した。

2.4 その他の外部事象の影響

1.2に示したプラントに与え得る影響の検討からは、屋外施設の損傷によるサポート系の機能喪失が想定されるものの、炉心損傷に至る事故シーケンスグループとしては、内部事象出力運転時レベル1 P R Aにて抽出された事故シーケンスグループに追加すべきものは発生しないものと推定している。また、炉心損傷後の格納容器内の物理化学現象についても内部事象出力運転時レベル1.5 P R Aで想定するものと同等と考えられる。

したがって、有効性評価の対象とすべき格納容器破損モードとして、内部事象出力運転時レベル1.5 P R Aにて抽出した格納容器破損モード以外に新たに追加が必要となる格納容器破損モードはないものと判断した。

3. 停止時原子炉における燃料損傷防止対策の事故シーケンスグループ抽出に係る検討

停止時レベル1 P R Aについては、地震、津波、内部溢水、内部火災及びその他外部事象に関するレベル1 P R Aの標準的なP R A手法が確立されておらず、定量評価を実施できる状況にない。このため、出力運転時の地震・津波レベル1 P R Aの評価結果、内部溢水・内部火災及びその他の外部事象に関する整理、図1に示す内部事象停止時レベル1 P R Aのマスターロジックダイアグラムを参考に、地震、津波、内部溢水、内部火災及びその他の外部事象により発生する起因事象を以下のとおり定性的に分析し、表2にまとめた。

さらに、抽出した起因事象を基に、内部事象停止時レベル1 P R Aにて抽出した事故シーケンスグループ以外に新たに追加が必要と

なる事故シーケンスグループの有無を確認した。

3.1 出力運転時と停止時のプラント状態等の差異

停止時における燃料損傷防止対策の事故シーケンスグループの抽出においては、出力運転時を対象に実施した整理を参考に評価を行ったが、評価に当たってはその前提として、出力運転時と停止時のプラント状態等の差異を把握することが重要と考え、その整理を行った。整理に当たり、一般的な出力運転時と停止時の違いとして以下の観点に着目し、それぞれについて事故シーケンスグループの抽出において、考慮が必要であるか確認した。

- ・崩壊熱，原子炉冷却材の温度・圧力

停止時の崩壊熱，原子炉冷却材の温度・圧力は出力運転時と比べ小さくなるため，事象進展は緩やかになるが，事故シーケンスグループの抽出においては影響しない。

- ・燃料損傷防止に必要なとなる機能

停止時の燃料損傷防止に必要なとなる機能は，出力運転時と異なり，原子炉停止機能，高圧注水機能が不要となる。そのため，事故シーケンスグループの抽出においては，これらの差異について考慮する必要がある。

- ・原子炉水位，原子炉圧力容器・格納容器の状態

原子炉水位の変化は時間余裕へ影響するものの，事故シーケンスグループ抽出には影響しない。

停止時は原子炉圧力容器・格納容器が開放されている状態も考えられるが，これらの状態に依らず，停止時の必要な機能は変化しないため，事故シーケンスグループの抽出において考慮不要で

ある。

- ・ 緩和設備・サポート系設備の状態

停止時において、一部の緩和設備及びサポート系設備の点検又は試験によりその機能に期待できない状態も推定される。ただし、期待できる設備は少なくなるものの、必要な機能は原子炉施設保安規定により担保されるものであり、また既に内部事象停止レベル 1 P R A でこれらの設備の点検又は試験により期待できないことは考慮されている。そのため、本観点は事故シーケンスグループの抽出において考慮不要である。

- ・ 停止時特有の作業の影響

停止時において、出力運転時とは異なり、点検作業等に伴う開口箇所の発生など現場の状態が異なることが考えられる。そのため、事故シーケンスグループの抽出においては、これらの差異について考慮する必要がある。

以上より、停止時における燃料損傷防止対策の事故シーケンスグループの抽出においては、出力運転時を対象に実施した整理を参考にする際は、「燃料損傷防止に必要となる機能」、「停止時特有の作業の影響」について考慮する必要がある。

3.2 地震の影響

地震により個々の機器が損傷する可能性は出力運転時と停止時で異なるものではないが、各系統の機能喪失がプラントに与える影響の観点では出力運転時と停止時で異なり、停止時は燃料の崩壊熱除去に関連する系統が重要となる。

停止時に燃料の崩壊熱を除去している系統は、残留熱除去系及びそのサポート系である残留熱除去系海水系、外部電源から給電される所内電源設備である。

地震により残留熱除去系又は残留熱除去系海水系が機能喪失すると「残留熱除去系の故障」の起因事象が発生し、碍子又は所内電源設備等の送受電設備が損傷すると「外部電源喪失」の起因事象が発生する。これらの起因事象が発生した場合、屋内に設置されている安全機能を有する系統が機能喪失した場合は燃料損傷に至るが、この事故シーケンスは、同じ系統がランダム故障等が発生することを想定している内部事象停止時レベル 1 P R A にて抽出される事故シーケンスと同じである。

地震特有の事象として、原子炉建屋損傷、格納容器損傷、原子炉圧力容器損傷、格納容器バイパス、原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失（E x c e s s i v e L O C A）、計装・制御系喪失が発生すると、直接炉心損傷に至る事象が発生するが、これらについては出力運転時を対象とした炉心損傷に至る事故シーケンスの抽出における考え方と同様、損傷の規模に応じて、機能を維持した設計基準事故対処設備や重大事故等対処設備、可搬型の機器等で燃料損傷防止を試みるものとする。一方、損傷の程度が大きく、設計基準事故対処設備及び重大事故等対処設備に期待できない場合には、大規模損壊対策を含め、原子炉建屋以外に分散配置した設備や可搬型の機器を駆使し、影響緩和を図ることで対応すべきものとする。

したがって、停止時の地震の発生を考慮しても、内部事象停止時レベル 1 P R A にて抽出した事故シーケンスグループ以外に新

たに追加が必要となる事故シーケンスグループはないものと判断した。

3.3 津波の影響

停止時においては，点検作業等に伴い，出力運転時にはない開口（大物搬入口の水密扉等の建屋開口部，防潮堤貫通部の止水防止対策の点検に伴う一時的な開口部）が発生することが考えられ，事故シーケンス選定においては，この差異について考慮する必要がある。

大物搬入口の水密扉等については，出力運転時の津波レベル 1 P R A において期待しておらず，防潮堤を超え敷地に遡上する津波が原子炉建屋1階床面に到達すると「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失」の事故シーケンスとして取り扱っている。停止時においてもこの考え方を適用すると，大物搬入口の水密扉等の建屋開口部の有無による事故シーケンス選定への影響はない。

一方，防潮堤については，出力運転時の津波レベル 1 P R A において期待しているが，停止時における防潮堤貫通部の止水対策の点検作業に伴い，一時的に開口部が生じている間に防潮堤高さ未達の津波が発生した場合は，津波が開口部から敷地内に浸水することが考えられる。この場合でも，敷地内に浸水する津波の量が限定的であり，非常用海水ポンプの健全性は維持されと考えられるものの，非常用海水ポンプが没水，被水により機能喪失した場合は「最終ヒートシンク喪失」の起因事象が発生する。ただし，これを起因とする事故シーケンスに対しては，内部事象停止時レベル 1 P R A から抽出される「全交流動力電源喪失」の事故

シーケンスグループと同様、常設代替高圧電源装置、低圧代替注水系（常設）等により燃料損傷を防止できる。

また、防潮堤高さを超える津波に対しては、防潮堤貫通部の止水対策の点検作業の有無に関わらず、非常用海水ポンプが没水、被水により機能喪失し「最終ヒートシンク喪失」の起因事象が発生する。ただし、この場合においても、内部事象停止時レベル 1 P R A から抽出される「全交流動力電源喪失」の事故シーケンスグループと同様、常設代替高圧電源装置、低圧代替注水系（常設）等により燃料損傷を防止できる。

以上より、停止時の津波の発生を考慮しても、内部事象停止時レベル 1 P R A にて抽出した事故シーケンスグループ以外に新たに追加が必要となる事故シーケンスグループはないものと判断した。

なお、停止時は、常設代替高圧電源装置等の重大事故等対処設備が点検に伴い待機除外となる場合もあるものの、燃料損傷防止対策が全て喪失するような複数の同時点検は実施しない運用とするとともに、その対策の機能維持に必要な浸水防止設備を維持する運用とする。

3.4 内部溢水、内部火災の影響

内部溢水、内部火災により個々の機器が損傷する可能性は出力運転時と停止時で異なるものではないが、各系統の機能喪失がプラントに与える影響の観点では出力運転時と停止時で異なり、停止時は燃料の崩壊熱除去に関連する系統が重要となる。

停止時に燃料の崩壊熱を除去している系統は、残留熱除去系及

びそのサポート系である残留熱除去系海水系，外部電源から給電される所内電源設備である。

内部溢水，内部火災により運転中の残留熱除去系又は残留熱除去系海水系が機能喪失すると「残留熱除去系の故障」の起因事象が発生し，所内電源設備が機能喪失すると「外部電源喪失」の起因事象が発生するが，これらを起因とする事故シーケンスは，同系統の機器のランダム故障による機能喪失を想定する内部事象停止時レベル１ＰＲＡで考慮している起因事象に含まれている。

したがって，停止時の内部溢水，内部火災による起因事象の発生を考慮しても，内部事象停止時レベル１ＰＲＡにて抽出した事故シーケンスグループ以外に新たに追加が必要となる事故シーケンスグループはないものと判断した。

なお，停止時においても，燃料損傷防止に必要な機能を全て喪失することのないよう，必要な内部溢水，内部火災の影響拡大防止対策を維持する運用とする。

3.5 その他の外部事象の影響

地震，津波以外の自然現象及び外部人為事象について，出力運転時を対象とした整理を参考に，停止時に起因事象が発生し得るかを確認した。その結果，その他の外部事象の発生に伴う起因事象は，内部事象停止時レベル１ＰＲＡにおいて抽出した起因事象に包含されるため，内部事象停止時レベル１ＰＲＡにて抽出した事故シーケンスグループ以外に新たに追加が必要となる事故シーケンスグループはないものと判断した。

4. まとめ

今回の事故シーケンスグループ等の選定に際して、現段階で P R A を適用可能と判断した出力運転時地震レベル 1 P R A，出力運転時津波レベル 1 P R A 以外の外部事象について、定性的な分析・推定から新たに追加すべき事故シーケンスグループ及び格納容器破損モードはないものと評価した。

なお、今回定性的な分析とした各 P R A や地震発生時に想定される地震随伴津波，地震随伴火災及び地震随伴溢水を対象とした P R A については，手法整備の研究及び実機プラントへの適用の検討を順次進めていく予定である。

表 1 内部溢水及び内部火災により誘発される起因事象

| 起 因 事 象 | 起 因 事 象 を 誘 発 す る 要 因 の 例 |
|-----------|--|
| 外部電源喪失 | 内部溢水及び内部火災による常用母線等の機能喪失等 |
| 非隔離事象 | 内部溢水及び内部火災による原子炉冷却材流量制御系の誤作動 内部溢水及び内部火災による工学的安全施設制御系の誤作動等 |
| 隔離事象 | 内部溢水及び内部火災による主蒸気隔離弁の誤閉止等 |
| 全給水喪失 | 内部溢水及び内部火災による給水流量の全喪失等 |
| 逃がし安全弁誤開放 | 内部火災による逃がし安全弁作動回路の誤作動等 |
| 手動停止 | 内部溢水及び内部火災による安全機能への影響の可能性に伴う計画外停止 |

表 2 停止時原子炉における各外部事象で発生する起因事象の抽出結果

| 外部事象 起因事象 | 地震 | 津波 | 内部火災・内部溢水 | その他の外部事象 | 主な燃料損傷防止対策 |
|--------------|---|--|--|---|--|
| 残留熱除去系の故障 | <ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系の損傷 残留熱除去系海水系の損傷 | <ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系海水系の機能喪失 原子炉建屋内浸水による残留熱除去系の機能喪失 | <ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系ポンプの停止 残留熱除去系海水系ポンプの停止等 | <ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系海水系の機能喪失（竜巻，落雷） | <ul style="list-style-type: none"> 常設代替高圧電源装置 低圧代替注水系（常設，可搬型） 緊急用海水系 津波防護対策 |
| 外部電源喪失 | <ul style="list-style-type: none"> 送受電設備の損傷 | <ul style="list-style-type: none"> 送受電設備の機能喪失 | <ul style="list-style-type: none"> 送受電設備の機能喪失 | <ul style="list-style-type: none"> 送受電設備の機能喪失（凍結，積雪，火山，竜巻，森林火災，落雷） | |
| 原子炉冷却材の流出 | — ※ | — | — | — | — |
| 反応度投入事象 | — | — | — | — | — |
| 直接炉心損傷に至る事象 | <ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋損傷 格納容器損傷 原子炉圧力容器損傷 格納容器バイパス 原子炉冷却材圧力バウンス喪失（E x c e s s i v e L O C A） 計測・制御系喪失 | — | — | — | <ul style="list-style-type: none"> 出力運転時を対象とした地震レベル 1 P R A 結果に至る起因事象を抽出しているが，補足 1 にはかきつ，保守の不確かなる出力運転時維持した設計基準事故等対処設備を柔軟に活用し対応すべきものと考ええる。 |

※ 原子炉冷却材圧力バウンス喪失は直接炉心損傷に至る事象として整理する。

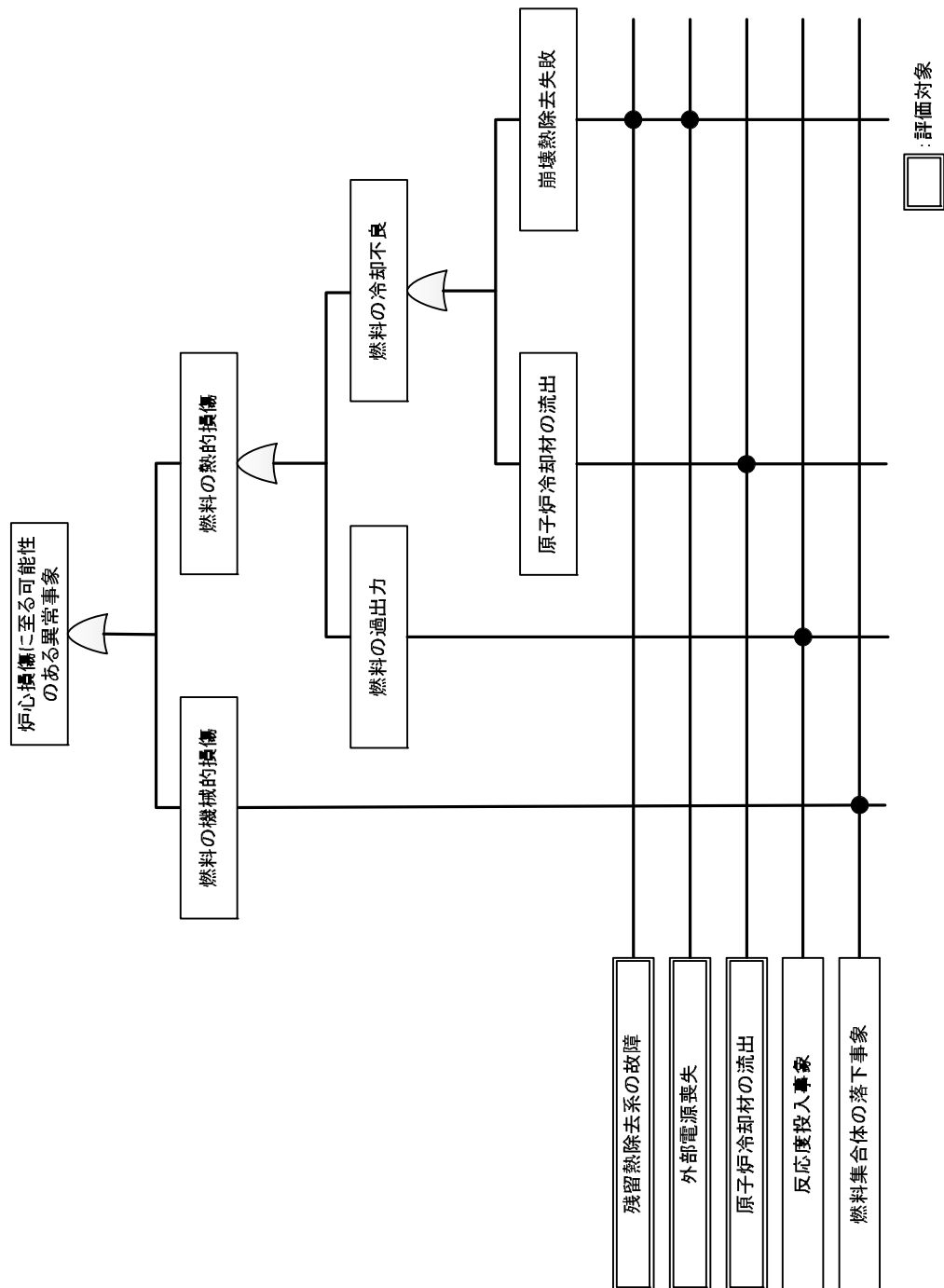


図 1 内部事象停止時レベル 1 P R A のマスターロジックダイアグラム

添付資料

添付 1 有効性評価の事故シーケンスグループの選定に際しての地震，津波以外の外部事象の考慮について

添付 2 地震レベル 1．5 P R A について

有効性評価の事故シーケンスグループの選定に際しての地震，津波以外の外部事象の考慮について

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈（原規技発第1306193号（平成25年6月19日原子力規制委員会決定））第37条第1-1項では，運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故に対して原子炉の安全性を損なうことがないように設計することを求められる構築物，系統及び機器がその安全機能を喪失した場合であって，炉心の著しい損傷に至る可能性があるとして想定する事故シーケンスグループを抽出するため，個別プラントのPRA又はそれに代わる方法で評価を実施することが求められている。

外部事象のうち，日本原子力学会標準として実施基準が定められておりPRAの適用実績がある地震及び津波については，それぞれPRAを実施し事故シーケンスグループの抽出を実施している。

また，地震，津波以外の自然現象については現段階でのPRA評価は実施困難であるため，「それに代わる方法」として以下に示す方法にて定性的に事故シーケンスグループの抽出を行い，重大事故等対策の有効性評価において新たに追加が必要となる事故シーケンスグループの有無について確認を行った。

さらに外部人為事象についても定性的に事故シーケンスグループの抽出を行い，重大事故等対策の有効性評価において新たに追加が必要となる事故シーケンスグループの有無について確認を行った。

また，自然現象，外部人為事象が重畳することによる影響についても，定性的な評価を行い，重大事故等対策の有効性評価において新たに追加が必要となる事故シーケンスグループの有無について確認を行

った。

1. 前提条件

(1) 評価対象事象

設計基準を設定する自然現象（以下「設計基準設定事象」という。）の設定は、一般的な事象に加え、国内外の規格基準から収集した様々な自然現象に対し、そもそも東海第二発電所において発生する可能性があるか、プラントの安全性が損なわれる可能性があるか、影響度の大きさから代表事象による評価が可能かといった観点でスクリーニングを実施している。

したがって、設計基準設定事象以外のものについては、そもそもプラントの安全性が損なわれる可能性がないか、有意な頻度では発生しないか、若しくは影響度の大きさから他の自然現象に包絡されるものであるため、事故シーケンスの有無の確認は、設計基準設定事象である以下の11事象を対象に実施するものとする。

- ・ 洪水
- ・ 風（台風）
- ・ 竜巻
- ・ 凍結
- ・ 降水
- ・ 積雪
- ・ 落雷
- ・ 火山の影響
- ・ 生物学的事象
- ・ 森林火災

- ・ 高潮

なお，設計基準設定事象以外については，上述のとおり，基本的には事故シーケンスに至ることはないか，有意な頻度では発生しないか，若しくは影響度の大きさから他の自然現象に包絡されるものであると判断しているものの，各自然現象により想定される発電所への影響（損傷・機能喪失モード）を踏まえ，考え得る起因事象について整理しており，その結果からも上記11事象に加え詳細評価が必要な事象は無いことを確認している。なお，このうち5事象については，他事象に包絡される（洪水，風（台風），降水，高潮）か，起因事象の発生はない（生物学的事象）ことを確認している。（補足1）

また，各外部人為事象により想定される発電所への影響（損傷・機能喪失モード）を踏まえ，考え得る起因事象についても整理しており，その結果から新たな起因事象がないこと，事象の影響として設計基準設定事象に包絡されることを確認している。

（補足2）

（2） 想定範囲

上記設計基準設定事象については，それぞれ考慮すべき最も過酷と考えられる条件を設定している。具体的には，設計基準設定を超えた規模を仮定する。

2. 評価方法

2.1 起因事象の特定

（1） 構築物，系統及び機器（以下「設備等」という。）の損傷・

機能喪失モードの抽出

1. にて示した風、積雪等の自然現象が設計基準を超える規模で発生した場合に、発電所に与える影響は地震、津波ほど十分な知見がない。そこで、ここでは国外の評価事例、国内のトラブル事例及び規格・基準にて示されている発電所の影響を収集し、対象とする自然現象が発生した場合に設備等へどのような影響を与えるか（設備等への損傷・機能喪失モード）の抽出を行う。

(2) 評価対象設備の選定

(1)で抽出した損傷・機能喪失モードに対し、影響を受ける可能性がある設備等のうち、プラントの運転継続や安全性に影響を及ぼす可能性のある設備等を評価対象設備として選定する。

(3) 起因事象となり得るシナリオの選定

(1)で抽出した損傷・機能喪失モードに対して、(2)で選定した評価対象設備への影響を検討の上、発生可能性のあるシナリオを選定する。

シナリオの選定に当たっては、事故シーケンスグループ抽出に当たって考慮すべき起因事象となり得るシナリオを選定する。

なお、起因事象の選定は、日本原子力学会標準「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準：2008（レベル1 P S A編）」（以下「学会標準」という。）に示される考え方などを参考に行う。

(4) 起因事象の特定

(3)で選定した各シナリオについて発生可能性を評価し，事故シーケンスグループ抽出に当たって考慮すべき起因事象の特定を行う。

なお，過去の観測実績等をもとに発生可能性を評価可能なものについては，影響のある事故シーケンスの要因となる可能性について考察を行う。

2.2 事故シーケンスの特定

2.1(4)にて特定した起因事象について，内部事象レベル1 P R Aや地震，津波レベル1 P R Aにて考慮しておらず，重大事故の有効性評価において追加すべき新たな事故シーケンスにつながる可能性のあるものの有無について確認を行う。

また，新たな事故シーケンスにつながる可能性のある起因事象が確認された場合，事故シーケンスに至る可能性について評価の上，有意な影響のある事故シーケンスとなり得るかについて確認を行う。

事故シーケンスに至る可能性の評価については，旧原子力安全・保安院指示に基づき実施したストレステストでの評価方法などを参考に実施するものとする。

3. 個別事象評価のまとめ

1.にて示した各評価対象事象について，事故シーケンスに至る可能性のある起因事象について特定した結果（補足1-1～6参照），内部事象や地震，津波レベル1 P R Aで考慮している起因事象に包含

されることを確認した。また、各評価対象事象によって機能喪失する可能性のある緩和設備について確認し、起因事象が発生した場合であっても、緩和設備が機能維持すること等により、必要な機能を確保することは可能であることを確認した（補足1-7）。したがって、内部事象や地震、津波レベル1 P R Aにて抽出した事故シーケンスに対して新たに追加すべき事故シーケンスは発生しないものと判断した。

4. 設計基準を超える自然現象の重畳の考慮について

(1) 自然現象の重畳影響

自然現象の重畳評価については、損傷・機能喪失モードの相違に応じて、以下に示す影響を考慮する。

I. 各自然現象から同じ影響がそれぞれ作用し、重ね合わさって増長するケース（例：積雪と降下火砕物による堆積荷重の増加）

II. ある自然現象の防護施設が他の自然現象によって機能喪失することにより影響が増長するケース（例：地震により浸水防止機能が喪失して浸水量が増加）

III-1. 他の自然現象の作用により前提条件が変化し、影響が増長するケース（例：降水による降下火砕物密度の増加）

III-2. 他の自然現象の作用により影響が及ぶようになるケース（例：斜面に降下火砕物が堆積した後に大量の降水により滑り、プラント周辺まで降下火砕物を含んだ水が押し寄せる状態。単独事象としては想定していない。）

(2) 自然現象の重畳によるシナリオの選定

基本的には一般的な事象に加え、国内外の規格基準から収集した自然現象について(1)Ⅰ～Ⅲ-2に示した重畳影響の確認を実施した。

ただし、以下の観点から明らかに事故シーケンスにはつながらないと考えられるものについては重畳影響を考慮不要と判断し確認対象から除外した。

○東海第二発電所及びその周辺では発生しない（若しくは、発生が極めて稀）と判断した事象（No.は補足1参照）

No.2：隕石，No.9：土壌の収縮又は膨張，No.14：雪崩，No.24：草原火災，No.28：ハリケーン，No.31：氷壁，No.32：土砂崩れ（山崩れ，がけ崩れ），No.42：地滑り，No.43：カルスト，No.44：地下水による浸食，No.47：地下水による地滑り，No.53：土石流，No.54：水蒸気

○単独事象での評価において設備等への影響がない（若しくは、非常に小さい）と判断した事象で、他の事象との重畳を考慮しても明らかに設備等への影響が無いと判断した事象（No.は補足1参照）

No.4：河川の迂回，No.16：海岸浸食，No.17：干ばつ，No.21：濃霧，No.23：霜・白霜，No.26：極高温，No.34：湖又は河川の水位低下，No.36：陥没・地盤沈下・地割れ，No.38：もや，No.39：塩害・塩雲，No.40：地面の隆起，No.51：低温水（海水温低），No.52：泥湧出（液状化）

確認した結果としては、重畳影響Ⅰ～Ⅲ-1については、以下に

示す理由から、単独事象での評価において抽出されたシナリオ以外のシナリオが生じることはなく、重畳影響Ⅲ-2についても、他事象にて抽出したシナリオであり、新たなものが確認されなかった。個別自然現象の重畳影響の確認結果を補足3に示す。また、外部人為事象との重畳影響については、補足4に示すとおり自然現象の重畳影響に包絡されると判断した。

I. 各自然現象から同じ影響がそれぞれ作用し、重ね合わさって増長するケース

重畳により影響度合いが大きくなるのみであり、単独で設計基準を超える事象に対してシナリオの抽出を行っていることを踏まえると、新たなシナリオは生じない。

II. ある自然現象の防護施設が他の自然現象によって機能喪失することにより、影響が増長するケース

単独の自然現象に対するシナリオの選定において、設計基準を超える事象を評価対象としているということは、つまり設備耐力や防護対策に期待していないということであり、単独事象の評価において抽出された以外の新たなシナリオは生じない。

Ⅲ-1. 他の自然現象の作用により前提条件が変化し、影響が増長するケース

一方の自然現象の前提条件が、他方の自然現象により変化し、元の自然現象の影響度が大きくなったとしても、I. と同様、単独で設計基準を超える事象に対してシナリオ抽出を行っているため、新たなシナリオは生じない。

Ⅲ-2. 他の自然現象の作用により影響が及ぶようになるケース

単独事象では影響が及ばない評価であったのに対し、事象が重

疊することにより影響が及ぶようになるものは、降下火砕物と降水の組合せのみであったが、屋外設備（外部電源系、海水ポンプ等）の損傷を想定しても、起因事象としては外部電源喪失、全交流動力電源喪失及び最終ヒートシンク喪失であり、新しいシナリオは生じない。

(3) 重畳影響評価まとめ

事故シーケンスの抽出という観点においては、上述のとおり、自然現象が重畳することにより、単独事象の評価で特定されたシナリオに対し新たなものが生じることはなく、自然現象の重畳により新たに追加すべき事故シーケンスは発生しないものと判断した。

5. 全体まとめ

地震、津波以外の自然現象、外部人為事象について、事故シーケンスに至る可能性のある起因事象について特定した結果、内部事象や地震、津波レベル 1 P R A にて抽出した事故シーケンスに対して新たに追加すべき事故シーケンスは発生しないものと判断した。

また、地震、津波を含む、各自然現象の重畳影響についても確認を実施した結果、単独事象での評価と同様に、内部事象や地震、津波レベル 1 P R A にて抽出した事故シーケンスに対して新たに追加すべき事故シーケンスは発生しないものと判断した。

補足資料

補足 1 過酷な自然現象により考え得る起因事象等

補足 1-1 凍結事象に対する事故シーケンス抽出

補足 1-2 積雪事象に対する事故シーケンス抽出

補足 1-3 火山の影響に対する事故シーケンス抽出

補足 1-4 竜巻事象に対する事故シーケンス抽出

補足 1-5 森林火災事象に対する事故シーケンス抽出

補足 1-6 落雷事象に対する事故シーケンス抽出

補足 1-7 起因事象の発生が考えられるその他の自然現象と起因事象発生時の対応

補足 2 過酷な外部人為事象により考え得る起因事象等

補足 3 自然現象の重畳確認結果

補足 4 外部人為事象に関わる重畳の影響について

過酷な自然現象により考え得る起因事象等

| No | 自然現象 (色塗り部は6条の設計基準設定事象) | 設備等の損傷・機能喪失モードの抽出 | 設計基準を超える事象の発生を想定した場合の評価 | 想定される起因事象等 |
|----|----------------------------|--------------------------------|--|--|
| 1 | 凍結 ※詳細評価は補足 1-1 参照 | 温度 電気的影響 | 屋外タンク及び配管内流体の凍結 ヒートシンク（海水）の凍結 | 復水貯蔵タンク・配管内流体の凍結により補給水系が喪失し、手動停止／サポート系喪失（手動停止）「計画外停止」に至るシナリオ 軽油貯蔵タンク内流体の凍結により非常用ディーゼル発電機等が機能喪失、送電線への着氷による「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ 東海第二発電所周辺の海水が凍結することは考え難いため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| 2 | 隕石 | 電気的影響 | 着氷による送電線の相間短絡 | 送電線が着氷により短絡、「外部電源喪失」に至るシナリオ |
| 3 | 降水 | NUREGやIAEAのSAFETY STANDARDS | 降水による設備の浸水 | SERIESでも言及されているように、有意な発生頻度とはならない。(10 ⁻⁹ /年以下) |
| 4 | 河川の迂回 | 浸水 | 降水による設備の浸水 | 津波 (No. 11) の評価に包絡される。 |
| 5 | 砂嵐 | 事象の進展が遅く、設備等への影響の緩和又は排除が可能である。 | 砂塵、大陸からの黄砂による吸気口の閉塞 | 火山 (No. 12) の評価に包絡される。 |
| 6 | 静振 | 閉塞 (吸気等) | 砂塵、大陸からの黄砂による吸気口の閉塞 | 津波 (No. 11) の評価に包絡される。 |
| 7 | 地震活動 | 浸水 渇水 地震 PRA にて評価される。 | 静振による設備の浸水 静振による海水の枯渇 | 津波 (No. 11) の評価に包絡される。 |
| 8 | 積雪 ※詳細評価は補足 1-2 参照 | 荷重 荷重 (堆積) | 建屋屋上への積雪に伴う原子炉建屋原子炉棟損傷により原子炉補機冷却系サージタンクが損傷、機能喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ 建屋屋上への積雪に伴う原子炉建屋付属棟損傷により中央制御室換気系が損傷、機能喪失し、手動停止／サポート系喪失（手動停止）「計画外停止」に至るシナリオ 建屋屋上への積雪に伴う原子炉建屋付属棟損傷により原子炉建屋給気隔離弁が損傷、機能喪失し、手動停止／サポート系喪失（手動停止）「計画外停止」に至るシナリオ 建屋屋上への積雪に伴う原子炉建屋付属棟（廃棄物処理棟）損傷により気体廃棄物処理系が損傷、機能喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ 建屋屋上への積雪に伴う原子炉建屋付属棟（廃棄物処理棟）損傷により原子炉建屋排気隔離弁が損傷、機能喪失し、手動停止／サポート系喪失（手動停止）「計画外停止」に至るシナリオ 建屋屋上への積雪に伴うタービン建屋損傷によりタービン、発電機が損傷、機能喪失し、過渡事象「非隔離事象」に至るシナリオ 建屋屋上への積雪に伴うタービン建屋損傷によりタービン補機冷却系サージタンクが損傷、機能喪失し、サポート系喪失（自動停止）「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ 超高圧開閉所等への積雪による外部電源系の損傷に伴い機能喪失し、「外部電源喪失」に至るシナリオ | 建屋屋上への積雪に伴う原子炉建屋原子炉棟損傷により原子炉補機冷却系サージタンクが損傷、機能喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ 建屋屋上への積雪に伴う原子炉建屋付属棟損傷により中央制御室換気系が損傷、機能喪失し、手動停止／サポート系喪失（手動停止）「計画外停止」に至るシナリオ 建屋屋上への積雪に伴う原子炉建屋付属棟損傷により原子炉建屋給気隔離弁が損傷、機能喪失し、手動停止／サポート系喪失（手動停止）「計画外停止」に至るシナリオ 建屋屋上への積雪に伴う原子炉建屋付属棟（廃棄物処理棟）損傷により気体廃棄物処理系が損傷、機能喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ 建屋屋上への積雪に伴う原子炉建屋付属棟（廃棄物処理棟）損傷により原子炉建屋排気隔離弁が損傷、機能喪失し、手動停止／サポート系喪失（手動停止）「計画外停止」に至るシナリオ 建屋屋上への積雪に伴うタービン建屋損傷によりタービン、発電機が損傷、機能喪失し、過渡事象「非隔離事象」に至るシナリオ 建屋屋上への積雪に伴うタービン建屋損傷によりタービン補機冷却系サージタンクが損傷、機能喪失し、サポート系喪失（自動停止）「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ 超高圧開閉所等への積雪による外部電源系の損傷に伴い機能喪失し、「外部電源喪失」に至るシナリオ |

過酷な自然現象により考え得る起回事象等

| No | 自然現象 (色塗り部は6条の設計基準設定事象) | 設備等の損傷・機能喪失モードの抽出 | 設計基準を超える事象の発生を想定した場合の評価 |
|----|----------------------------|---|--|
| 8 | 積雪 ※詳細評価は補足 1-2 参照 | <div>荷重</div> <div>荷重 (堆積)</div> | 非常用ディーゼル発電機等の吸気口及びビルーフイベントファンが積雪により損傷することにより非常用ディーゼル発電機等が機能喪失、送電線への着雪に伴う短絡による「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ 残留熱除去系海水ポンプモータが積雪により損傷、残留熱除去系海水系が機能喪失し、「最終ヒートシンク喪失」に至るシナリオ 高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電機用海水ポンプモータへの積雪による損傷に伴う高圧炉心スプレイス系が機能喪失し、手動停止/サポート系喪失(手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプモータ及び高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電機用海水ポンプモータへの積雪による損傷に伴い非常用ディーゼル発電機等が機能喪失、送電線への着雪に伴う短絡による「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ 補機冷却系海水系ポンプモータが積雪荷重により損傷、補機冷却系海水系が機能喪失し、サポート系喪失(自動停止)「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ 循環水ポンプモータが積雪荷重により損傷、循環水ポンプが機能喪失、復水器真空度喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ |
| | | <div>電気的影響</div> <div>着雪による送電線の相間短絡</div> | 送電線が着雪により短絡、「外部電源喪失」に至るシナリオ 積雪又は吸込みにより非常用ディーゼル発電機等の給気口、吸気口の閉塞に伴い非常用ディーゼル発電機等が機能喪失、送電線への着雪に伴う短絡による「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ 中央制御室換気系の給気口は、地面より約5.9m、約19mの2箇所に設置されており、堆積物による閉塞は考え難いため、シナリオの選定は不要である。 |
| | | <div>閉塞 (吸気等)</div> <div>給気口等の閉塞</div> | 積雪又は吸込みにより残留熱除去系海水系ポンプモータ空気冷却器が閉塞、残留熱除去系海水系が機能喪失し、「最終ヒートシンク喪失」に至るシナリオ 積雪又は吸込みにより高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電機用海水ポンプモータ空気冷却器が閉塞、高圧炉心スプレイス系が機能喪失し、手動停止/サポート系喪失(手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ |
| | | | 積雪又は吸込みにより非常用ディーゼル発電機用海水ポンプモータ空気冷却器及び高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電機用海水ポンプモータ空気冷却器の閉塞に伴い非常用ディーゼル発電機等が機能喪失、送電線への着雪に伴う短絡による「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ 積雪又は吸込みにより補機冷却系海水系ポンプモータ空気冷却器が閉塞、補機冷却系海水系が機能喪失し、サポート系喪失(自動停止)「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ |

過酷な自然現象により考え得る起因事象等

| No | 自然現象 (色塗り部は6条の設計基準設定事象) 積雪 ※詳細評価は補足 1-2 参照 | 設計基準を超える事象の発生を想定した場合の評価 | | |
|----|---|-------------------------|------------|--|
| | | 設備等の損傷・機能喪失モードの抽出 | 想定される起因事象等 | |
| 8 | | 閉塞 (吸気等) | 給気口等の閉塞 | 積雪又は吸込みにより循環水ポンプモーター空気冷却器が閉塞、循環水ポンプが機能喪失、復水器真空度喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ |
| 9 | | | | 施設荷重によって有意な圧密沈下・クリープ沈下は生じず、また、膨潤性の地質でもない。なお、安全上重要な施設は岩着や杭基礎であり、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。また、本事象は、事象の進展が、設備等への影響の緩和又は排除が可能である。 |
| 10 | 高潮 | 浸水 | 高潮による設備の浸水 | 津波 (No. 11) の評価に包絡される。 |
| 11 | 津波 | 津波 PRA にて評価される。 | | |
| 12 | 火山の影響 ※詳細評価は補足 1-3 参照 | 荷重 | 荷重 (堆積) | 建屋屋上への降下火砕物堆積に伴う原子炉建屋原子炉棟損傷により原子炉補機冷却系サーージタンクが損傷、機能喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ |
| | | | | 建屋屋上への降下火砕物の堆積に伴う原子炉建屋付属棟損傷により中央制御室換気系が損傷、機能喪失し、手動停止/サポート系喪失 (手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ |
| | | | | 建屋屋上への降下火砕物の堆積に伴う原子炉建屋付属棟損傷により原子炉建屋給気隔離弁が損傷、機能喪失し、手動停止/サポート系喪失 (手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ |
| | | | | 建屋屋上への降下火砕物の堆積に伴う原子炉建屋付属棟 (廃棄物処理棟) 損傷により気体廃棄物処理系が損傷、機能喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ |
| | | | | 建屋屋上への降下火砕物の堆積に伴う原子炉建屋付属棟 (廃棄物処理棟) 損傷により原子炉建屋排気隔離弁が損傷、機能喪失し、手動停止/サポート系喪失 (手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ |
| | | | | 建屋屋上への降下火砕物の堆積に伴うタービン建屋損傷によりタービン、発電機が損傷、機能喪失し、過渡事象「非隔離事象」に至るシナリオ |
| | | | | 建屋屋上への降下火砕物の堆積に伴うタービン建屋損傷によりタービン補機冷却系サーージタンクが損傷、機能喪失し、サポート系喪失 (自動停止)「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ |
| | | | | 超高圧開閉所等への降下火砕物の堆積による外部電源系の損傷に伴い機能喪失し、「外部電源喪失」に至るシナリオ |
| | | | | 復水貯蔵タンクへの降下火砕物の堆積により復水貯蔵タンクが損傷、補給水系が喪失し、手動停止/サポート系喪失 (手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ |
| | | | | 非常用ディーゼル発電機等の吸気口及びルーフベントファーンが降下火砕物の堆積による損傷に伴い非常用ディーゼル発電機等が機能喪失、送電線への降下火砕物の付着に伴う短絡による「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ |
| | | | | 残留熱除去系海水ポンプモーターが降下火砕物の堆積により損傷、残留熱除去系海水系が機能喪失し、「最終ヒートシンク喪失」に至るシナリオ |

過酷な自然現象により考え得る起因事象等

| No | 自然現象 (色塗り部は6条の設計基準設定事象) | 設備等の損傷・機能喪失モードの抽出 | 設計基準を超える事象の発生を想定した場合の評価 |
|----|-----------------------------|-------------------|--|
| 12 | 火山の影響 ※詳細評価は補足 1-3 参照 | 荷重 | 高圧炉心スプレイスディーゼル発電機用海水ポンプモーターへの降下火砕物の堆積に伴う高圧炉心スプレイス系が機能喪失し、手動停止/サポート系喪失(手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプモーター及び高圧炉心スプレイスディーゼル発電機用海水ポンプモーターへの降下火砕物の堆積に伴い非常用ディーゼル発電機等が機能喪失し、送電線への降下火砕物の付着に伴う短絡による「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ 補機冷却系海水系ポンプモーターが降下火砕物の堆積荷重により損傷、補機冷却系海水系が機能喪失し、サポート系喪失(自動停止)「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ 循環水ポンプモーターが降下火砕物の堆積荷重により損傷、循環水ポンプが機能喪失、復水器真空度喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ 降下火砕物により残留熱除去系海水系ポンプ軸受の異常摩耗により、残留熱除去系海水系が機能喪失し、「最終ヒートシンク喪失」に至るシナリオ |
| | | 閉塞(海水系) | 降下火砕物により高圧炉心スプレイスディーゼル発電機用海水ポンプ軸受の異常摩耗により、高圧炉心スプレイス系が機能喪失し、手動停止/サポート系喪失(手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ |
| | | 海水ストレーナ等の閉塞 | 降下火砕物により非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ軸受及び高圧炉心スプレイスディーゼル発電機用海水ポンプ軸受の異常摩耗により、非常用ディーゼル発電機等が機能喪失、送電線への降下火砕物の付着に伴う短絡による「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ 降下火砕物により補機冷却系海水系ポンプ軸受の異常摩耗により、補機冷却系海水系が機能喪失し、サポート系喪失(自動停止)「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ 降下火砕物により循環水ポンプ軸受の異常摩耗により、循環水ポンプが機能喪失、復水器真空度喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ |
| | | 閉塞(吸気等) | 降下火砕物の堆積又は吸込みにより非常用ディーゼル発電機等の給気口、吸気口が閉塞、非常用ディーゼル発電機等が機能喪失し、「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ |
| | | 給気口等の閉塞 | 中央制御室換気系の給気口は、地面より約5.9m、約19mの2箇所に設置されており、堆積物による閉塞は考え難いため、シナリオの選定は不要である。 また、吸気口へ降下火砕物の吸込みによりフィルタが閉塞した場合でも、フィルタの取替え及び清掃が可能であることからシナリオの選定は不要である。 降下火砕物の堆積又は吸込みにより残留熱除去系海水系ポンプモータ空気冷却器が閉塞、残留熱除去系海水系が機能喪失し、「最終ヒートシンク喪失」に至るシナリオ |

過酷な自然現象により考え得る起因事象等

| No | 自然現象 (色塗り部は6条の設計基準設定事象) | 設備等の損傷・機能喪失モードの抽出 | 設計基準を超える事象の発生を想定した場合の評価 | 想定される起因事象等 |
|----|-----------------------------|--|-------------------------|---|
| 12 | 火山の影響 ※詳細評価は補足 1-3 参照 | 閉塞 (吸気等) | 給気口等の閉塞 | 降下火砕物の堆積又は吸込みにより高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電機用海水ポンプモータ空気冷却器が閉塞、高圧炉心スプレイス系が機能喪失し、手動停止/サポート系喪失 (手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ 降下火砕物の堆積又は吸込みにより非常用ディーゼル発電機用海水ポンプモータ空気冷却器及び高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電機用海水ポンプモータ空気冷却器が閉塞、非常用ディーゼル発電機等が機能喪失、送電線への降下火砕物の付着に伴う短絡による「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ 降下火砕物の堆積又は吸込みにより補機冷却系海水ポンプモータ空気冷却器が閉塞、補機冷却系海水系が機能喪失し、サポート系喪失 (自動停止)「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ 降下火砕物の堆積又は吸込みにより循環水ポンプモータ空気冷却器が閉塞、循環水ポンプが機能喪失、復水器真空度喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ 事象の進展が遅く、設備等への影響の緩和又は排除が可能である。 送電線が降下火砕物の付着により短絡、「外部電源喪失」に至るシナリオ 津波 (No. 11) の評価に包絡される。 |
| 13 | 波浪・高波 | 浸水 | 波浪・高波による設備の浸水 | |
| 14 | 雪崩 | 東海第二発電所敷地周辺には急傾斜地はなく、雪崩を起こすことは考え難いため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 | | |
| 15 | 生物学的事象 | 閉塞 (海水系) | 取水口、海水ストレーナ等の閉塞 | 除塵装置により海生物等の襲来への対策を実施しており、取水口及び海水ストレーナ等の閉塞は考え難いため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| | | 電気的影響 | げっ歯類 (ネズミ等) によるケーブル類の損傷 | 貫通部のシール等、小動物の侵入防止対策を実施しており、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| 16 | 海岸浸食 | 事象の進展が遅く、設備等への影響の緩和又は排除が可能である。 | | |
| 17 | 干ばつ | 事象の進展が遅く、設備等への影響の緩和又は排除が可能である。 | | |
| 18 | 洪水 | 浸水 | 洪水による設備の浸水 | 津波 (No. 11) の評価に包絡される。 |
| 19 | 風 (台風) | 荷重 | 荷重 (風) 荷重 (衝突) | 竜巻 (No. 20) の評価に包絡される。 竜巻 (No. 20) の評価に包絡される。 |
| 20 | 竜巻 ※詳細評価は補足 1-4 参照 | 荷重 | 荷重 (風及び気圧差) | 原子炉建屋は十分な厚さを有した鉄筋コンクリート造であり、風荷重よりも大きい地震荷重に対して設計されていることから、極めて発生することが稀な設計基準を超える風荷重を想定しても建屋の頑健性は維持できると考えられるため、シナリオの選定は不要である。 気圧差により原子炉建屋外側ブローアウトパネルが開放、原子炉建屋原子炉棟の負圧維持機能が喪失し、手動停止/サポート系喪失 (手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ 風荷重及び気圧差荷重に伴うタービン建屋損傷によりタービン、発電機が損傷、機能喪失し、過渡事象「非隔離事象」に至るシナリオ |

過酷な自然現象により考え得る起因事象等

| No | 自然現象 (色塗り部は6条の設計基準設定事象) | 設備等の損傷・機能喪失モードの抽出 | 設計基準を超える事象の発生を想定した場合の評価 | 想定される起因事象等 |
|----|----------------------------|-------------------|-------------------------|--|
| 20 | 竜巻 ※詳細評価は補足 1-4 参照 | 荷重 | 荷重 (風及び気圧差) | 風荷重及び気圧差荷重に伴うタービン建屋損傷によりタービン補機冷却系サージタンクが損傷、機能喪失し、サポート系喪失 (自動停止)「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ |
| | | | | 風荷重及び気圧差荷重による外部電源系の損傷に伴い機能喪失し、「外部電源喪失」に至るシナリオ |
| | | | | 主排気筒は風荷重に対して裕度を持った設計がなされていることから、発生することが極めて稀な設計基準を超える風荷重を想定しても主排気筒の頑健性は維持できると考えるため、シナリオの選定は不要である。 |
| | | | | 非常用ガス処理系排気筒及び配管は風荷重に対して裕度を持った設計がなされていることから、発生することが極めて稀な設計基準を超える風荷重を想定しても非常用ガス処理系排気筒及び配管の頑健性は維持できると考えるため、シナリオの選定は不要である。 |
| | | | | 風荷重により復水貯蔵タンクが損傷、補給水系が喪失し、手動停止/サポート系喪失 (手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ |
| | | | | 気圧差により中央制御室換気系ファン、ダクト、ダンパが損傷、中央制御室換気系が機能喪失し、手動停止/サポート系喪失 (手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ |
| | | | | 風荷重により非常用ディーゼル発電機等のルーフベントファン、吸気口、消音器の損傷に伴い非常用ディーゼル発電機等が機能喪失、送電線の風荷重に伴う短絡による「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ |
| | | | | 風荷重により残留熱除去系海水系が損傷、残留熱除去系海水系が機能喪失し、「最終ヒートシンク喪失」に至るシナリオ |
| | | | | 風荷重により高圧炉心スプレイスディーゼル発電機用海水系が損傷、高圧炉心スプレイスが機能喪失し、手動停止/サポート系喪失 (手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ |
| | | | | 風荷重により非常用ディーゼル発電機用海水系及び高圧炉心スプレイスディーゼル発電機用海水系が損傷、非常用ディーゼル発電機等が機能喪失し、送電線の風荷重に伴う短絡による「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ |
| | | 荷重 (衝突) | | 風荷重により補機冷却系海水系が損傷、機能喪失し、サポート系喪失 (自動停止)「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ |
| | | | | 風荷重により循環水系が損傷、機能喪失、復水器真空度喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ |
| | | | | 飛来物の衝突、屋内への貫通により原子炉補機冷却系サージタンクが損傷、機能喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ |
| | | | | 飛来物の衝突、屋内への貫通により原子炉建屋ガス処理系が損傷、原子炉建屋ガス処理系が機能喪失し、手動停止/サポート系喪失 (手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ |

過酷な自然現象により考え得る起因事象等

| No | 自然現象 (色塗り部は6条の設計基準設定事象) | 設備等の損傷・機能喪失モードの抽出 | 設計基準を超える事象の発生を想定した場合の評価 |
|----|----------------------------|-------------------|---|
| 20 | 電巻 ※詳細評価は補足 1~4 参照 | 荷重 | <p>想定される起因事象等</p> <p>飛来物の衝突、屋内への貫通によりほう酸水注入系が損傷、ほう酸水注入系が機能喪失し、手動停止／サボート系喪失（手動停止）「計画外停止」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突、屋内への貫通により可燃性ガス濃度制御系が損傷、可燃性ガス濃度制御系が機能喪失し、手動停止／サボート系喪失（手動停止）「計画外停止」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突、屋内への貫通により中央制御室換気系が損傷、機能喪失し、手動停止／サボート系喪失（手動停止）「計画外停止」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突、屋内への貫通により原子炉建屋給気隔離弁が損傷、機能喪失し、手動停止／サボート系喪失（手動停止）「計画外停止」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突、屋内への貫通により気体廃棄物処理系が損傷、機能喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突、屋内への貫通により原子炉建屋排気隔離弁が損傷、機能喪失し、手動停止／サボート系喪失（手動停止）「計画外停止」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突による外部電源系の損傷に伴い機能喪失し、「外部電源喪失」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突により主排気筒が損傷し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突により非常用ガス処理系排気筒及び配管が損傷し、過渡事象「計画外停止」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突、屋内への貫通によりタービン、発電機が損傷、機能喪失し、過渡事象「非隔離事象」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突、屋内への貫通によりタービン補機冷却系サージタンクが損傷、機能喪失し、サボート系喪失（自動停止）「タービン・サボート系故障」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突、屋内への貫通により原子炉補機冷却系熱交換器又はポンプが損傷、機能喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突、屋内への貫通によりタービン補機冷却系熱交換器又はポンプが損傷、機能喪失し、サボート系喪失（自動停止）「タービン・サボート系故障」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突、屋内への貫通により主蒸気管が損傷、機能喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突により復水貯蔵タンクが損傷、補給水系が喪失し、手動停止／サボート系喪失（手動停止）「計画外停止」に至るシナリオ</p> <p>飛来物の衝突により非常用ディーゼル発電機等のルーフベントファン、吸気口、消音器が損傷し、非常用ディーゼル発電機等が機能喪失し、送電線の風荷重に伴う短絡による「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ</p> |

過酷な自然現象により考え得る起因事象等

| No | 自然現象 (色塗り部は6条の設計基準設定事象) | 設備等の損傷・機能喪失モードの抽出 | 設計基準を超える事象の発生を想定した場合の評価 |
|----|----------------------------|--|--|
| | | | 想定される起因事象等 |
| 20 | 竜巻 ※詳細評価は補足 1-4 参照 | 荷重 | 飛来物の衝突により残留熱除去系海水系が損傷、残留熱除去系海水系が機能喪失し、「最終ヒートシンク喪失」に至るシナリオ |
| | | 荷重 (衝突) | 飛来物の衝突により高圧炉心スプレイスディーゼル発電機用海水系が損傷、高圧炉心スプレイスが機能喪失し、手動停止/サボート系喪失 (手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ |
| | | | 飛来物の衝突により非常用ディーゼル発電機用海水系及び高圧炉心スプレイスディーゼル発電機用海水系が損傷、非常用ディーゼル発電機等が機能喪失し、送電線の風荷重に伴う短絡による「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ |
| | | | 飛来物の衝突により補機冷却系海水系が損傷、機能喪失し、サボート系喪失 (自動停止)「タービン・サボート系故障」に至るシナリオ |
| | | | 飛来物の衝突により循環水系が損傷、機能喪失、復水器真空度喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ |
| 21 | 濃霧 | 閉塞 (海水系) | 飛来物が取水口周辺の海に入り取水口を閉塞させる可能性があるが、取水口は呑み口が広く、閉塞させるほどの資機材や車面等の飛散は考えられないことから考慮不要とする。 |
| | | 濃霧により設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 | |
| 22 | 森林火災 ※詳細評価は補足 1-5 参照 | 温度 | 森林火災の輻射熱により外部電源系が損傷した場合、「外部電源喪失」に至るシナリオ (東海第二発電所敷地外) |
| | | 輻射熱 | 想定し得る最大の火災影響評価において、防火帯外縁 (火災側) から十分な離隔距離があることを考慮すると、設備等が損傷することはない。また、森林火災の輻射熱による影響について、24時間駐在している自衛消防隊による早期の消火活動も可能であり、森林火災に対する影響緩和策を講じることができるとため、シナリオの選定は不要である。 |
| | | 閉塞 (吸気等) | ばい煙のモータ空気冷却器給気口への侵入について、モータは空気を取込まない構造であり、また、空冷モータの冷却流路の口径は、ばい煙の粒径より広いことから閉塞し難いため、シナリオの選定は不要である。 |
| | | 給気口等の閉塞 | ばい煙の吸込みにより非常用ディーゼル発電機等の吸気口が閉塞した場合でも、フィルタの取替え及び清掃が可能であることからシナリオの選定は不要である。 |
| 23 | 霜・白霜 | 霜・白霜により設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 | |
| 24 | 草原火災 | 東海第二発電所敷地周辺に草原はないため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 | |
| 25 | ひょう・あられ | 荷重 | 竜巻 (No. 20) の評価に包絡される。 |
| 26 | 極高温 | 日本の気候や一日の気温変化を考慮すると、設備等に影響を与えるほどの極高温になることは考え難いため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 | |

過酷な自然現象により考え得る起因事象等

| No | 自然現象 (色塗り部は6条の設計基準設定事象) | 設計基準を超える事象の発生を想定した場合の評価 | 想定される起因事象等 |
|----|----------------------------|--|---|
| 27 | 満潮 | 設備等の損傷・機能喪失モードの抽出 | 津波 (No. 11) の評価に包絡される。 |
| 28 | ハリケーン | 浸水 | 満潮による設備の浸水 |
| 29 | 氷結 | 日本がハリケーンの影響を受けることはないため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 | 着水 電気的影響 |
| 30 | 氷晶 | 電気的影響 | 凍結 (No. 1) の評価に包絡される。 |
| 31 | 氷壁 | 東海第二発電所敷地周辺には氷壁を含む海氷の発生、流氷の到達は考え難いため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 | 凍結 (No. 1) の評価に包絡される。 |
| 32 | 土砂崩れ (山崩れ、がけ崩れ) | 東海第二発電所敷地周辺には土砂崩れを発生させるような地形はないため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 | |
| 33 | 落雷 ※詳細評価は補足 1-6 参照 | 屋内外計測制御設備に発生するノイズ | ノイズにより安全保護回路が誤作動した場合、「隔離事象」又は「原子炉緊急停止系誤作動」に至るシナリオ |
| | | | ノイズにより安全保護回路以外の計測制御系が誤作動した場合、「非隔離事象」、「全給水喪失」又は「水位低下事象」に至るシナリオ |
| | | 直撃雷 | 直撃雷による外部電源系の損傷に伴い機能喪失し、「外部電源喪失」に至るシナリオ |
| | | | 直撃雷により残留熱除去系海水系ポンプモータが損傷、残留熱除去系海水系が機能喪失し、「最終ヒートシンク喪失」に至るシナリオ |
| | | | 直撃雷により高圧炉心スプレイズ系ディーゼル発電機用海水ポンプモータが損傷、高圧炉心スプレイズ系が機能喪失し、手動停止/サポート系喪失 (手動停止)「計画外停止」に至るシナリオ |
| | | | 直撃雷により非常用ディーゼル発電機用海水ポンプモータ及び高圧炉心スプレイズ系ディーゼル発電機用海水ポンプモータが損傷、非常用ディーゼル発電機等が機能喪失し、送電線の直撃雷による「外部電源喪失」が同時発生し、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ |
| | | | 直撃雷により補機冷却系海水系ポンプモータが損傷、補機冷却系海水系が機能喪失し、サポート系喪失 (自動停止)「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ |
| 34 | 湖又は河川の水位低下 | 誘導雷サージによる電気盤内の回路損傷 | 直撃雷により循環水ポンプモータが損傷、循環水系が機能喪失、復水器真空度喪失し、過渡事象「隔離事象」に至るシナリオ |
| | | | 誘導雷サージにより計測制御系が損傷した場合、計測・制御系喪失により制御不能に至るシナリオ |
| | | | 海水を冷却源としていること、淡水は復水貯蔵タンク等に保管しており設備等への影響の緩和又は排除が可能であることから、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| 35 | 湖又は河川の水位上昇 | 浸水 | 湖又は河川の水位上昇による設備の浸水 |
| 36 | 陥没・地盤沈下・地割れ | 安全上重要な施設は岩盤に設置されており、地下水の流動等による陥没は発生しない。また、東海第二発電所敷地及びその近傍に活断層は分布していないことから、地震に伴う地殻変動によって安全施設の機能に影響を及ぼすような不等沈下・地割れは発生しないため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 | |

過酷な自然現象により考え得る起因事象等

| No | 自然現象 (色塗り部は6条の設計基準設定事象) | 設計基準を超える事象の発生を想定した場合の評価 | | |
|----|----------------------------|-------------------------|--------------------|---|
| | | 設備等の損傷・機能喪失モードの抽出 | 想定される起因事象等 | |
| 37 | 極限的な圧力 (気圧高低) | 荷重 | 荷重 (気圧差) | 竜巻 (No. 20) の評価に包絡される。 |
| 38 | もや | | | もやにより設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| 39 | 塩害・塩雲 | | | 事象の進展が遅く、設備等への影響の緩和又は排除が可能である。 |
| 40 | 地面の隆起 | | | 東海第二発電所の敷地及びその近傍に活断層は分布していないことから、地震に伴う地殻変動によって安全施設の機能に影響を及ぼすような地盤の隆起は発生しないため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| 41 | 動物 | 物理的損傷 | ケーブル類の損傷 | 生物学的事象 (No. 15) の評価に包絡される。 |
| 42 | 地滑り | | | 地すべり地形分布図及び土砂災害危険箇所図によると、東海第二発電所の敷地及びその近傍には地滑りを起こすような地形は存在しないため、東海第二発電所敷地内における地滑りによる設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| 43 | カルスト | | | 東海第二発電所の敷地及び敷地周辺にカルスト地形は認められず、東海第二発電所の地質もカルストを形成する要因はないため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| 44 | 地下水による浸食 | | | 東海第二発電所敷地には地盤を浸食する地下水脈は認められず、また、東海第二発電所敷地内の地下水位分布は海に向かって勾配を示しており、浸食をもたらす流れは発生しないため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| 45 | 海水面低 | 渇水 | 海水面の低下による海水の枯渇 | 津波 (No. 11) の評価に包絡される。 |
| 46 | 海水面高 | 浸水 | 海水面の上昇による設備の浸水 | 津波 (No. 11) の評価に包絡される。 |
| 47 | 地下水による地滑り | | | 地すべり地形分布図及び土砂災害危険箇所図によると、東海第二発電所の敷地及びその近傍には地滑りを起こすような地形は存在しないため、東海第二発電所敷地内における地滑りによる設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| 48 | 水中の有機物 | 閉塞 (海水系) | 取水口、海水ストレーナ等の閉塞 | 生物学的事象 (No. 15) の評価に包絡される。 |
| 49 | 太陽フレア、磁気嵐 | 電気的影響 | 磁気嵐による誘導電流 | 磁気嵐に伴う送電線に誘導電流が発生し、その影響は、落雷 (No. 33) の評価に包絡される。 |
| 50 | 高温水 (海水温高) | 温度 | 高温水 | 高温水により海水系に影響するため、生物学的事象 (No. 15) の評価に包絡される。 |
| 51 | 低温水 (海水温低) | | | 低温水により設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| 52 | 泥湧出 (液状化) | | | 安全上重要な施設の基礎地盤は岩盤又は液状化対策 (地盤改良) 済みの地盤であり、液状化に伴う地盤変状の影響を受けないため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| 53 | 土石流 | | | 東海第二発電所周辺には土石流が発生する地形、地質はないため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| 54 | 水蒸気 | | | 周辺での水蒸気の発生は考え難く、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| 55 | 毒性ガス | 閉塞 (吸気等) | 毒性ガスの吸込みによる吸気口等の閉塞 | 森林火災 (No. 22) の評価に包絡される。 |

凍結事象に対する事故シーケンス抽出

1. 起因事象の特定

- (1) 構築物，系統及び機器（以下「設備等」という。）の損傷・機能喪失モードの抽出

低温事象により設備等に発生する可能性のある影響について，国外の評価事例や国内で発生したトラブル事例も参照し，以下のとおり，損傷・機能喪失モードを抽出した。

- ① 屋外タンク及び配管内流体の凍結
- ② ヒートシンク（海水）の凍結
- ③ 着氷による送電線の相間短絡

- (2) 評価対象設備の選定

(1)で抽出した損傷・機能喪失モードに対し，影響を受ける可能性のある設備等のうち，プラントの運転継続や安全性に影響を及ぼす可能性のある設備等を評価対象設備として選定する。

具体的には，以下に示す屋外設置の設備等を評価対象設備として選定した。

- ① 屋外タンク及び配管内流体の凍結
 - ・ 軽油貯蔵タンク及び非常用ディーゼル発電機等の燃料移送系（以下「軽油貯蔵タンク等」という。）
 - ・ 復水貯蔵タンク及び付属配管（以下「復水貯蔵タンク等」という。）
- ② ヒートシンク（海水）の凍結
 - ・ 取水設備（海水）

③ 着氷による送電線の相間短絡

- ・送電線

(3) 起因事象になり得るシナリオの選定

(1)で抽出した各損傷・機能喪失モードに対して、(2)で選定した評価対象設備への影響を検討の上、発生可能性のあるシナリオを選定した。

① 屋外タンク及び配管内流体の凍結

- ・軽油貯蔵タンク等の凍結

低温によって軽油貯蔵タンク等の軽油が凍結するとともに、以下③に示す外部電源喪失が発生している状況下においては、非常用ディーゼル発電機等のデイトンクの燃料枯渇により「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ

- ・復水貯蔵タンク等の凍結

低温によって復水貯蔵タンク等の保有水が凍結した場合、補給水系の喪失により「計画外停止」に至るシナリオ

② ヒートシンク（海水）の凍結

低温によって東海第二発電所周辺の海水が凍結することは起こり得ないと考えられるため、この損傷・機能喪失モードについては考慮しない。

③着氷による送電線の相間短絡

- ・送電線の地絡，短絡

送電線や碍子へ着氷することによって相間短絡を起こし、「外部電源喪失」に至るシナリオ

(4) 起因事象の特定

(3)で選定した各シナリオについて、想定を超える低温（凍結）事象に対しての裕度評価（起因事象発生可能性評価）を実施し、事故シーケンスグループ抽出に当たって考慮すべき起因事象の特定を行った。

① 屋外タンク及び配管内流体の凍結

・軽油貯蔵タンク等の凍結

燃料移送系が凍結するような低温事象は、事前に予測が可能であり、燃料移送系の循環運転等による凍結防止対策が可能であることから、燃料移送系が凍結する可能性は非常に稀であり、有意な頻度又は影響のある事故シーケンスの要因にはなり得ないと考えられるため、考慮すべき起因事象としては特定不要であると判断した。

・復水貯蔵タンク等の凍結

復水貯蔵タンク等の保有水が凍結するような低温事象は、事前に予測が可能であり、復水貯蔵タンク等の循環運転等による凍結防止対策が可能であることから、保有水が凍結する可能性は非常に稀であり、有意な頻度又は影響のある事故シーケンスの要因にはなり得ないと考えられるため、考慮すべき起因事象としては特定不要であると判断した。

② ヒートシンク（海水）の凍結

(3)②のとおり、この損傷・機能喪失モードは考慮しないため、起因事象として特定しない。

③ 着氷による送電線の相間短絡

・送電線の地絡，短絡

着氷に対して設計上の配慮はなされているものの、設計基準を超える低温事象に対しては発生を否定できず、送電線の損傷に伴う外部電源喪失に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

2. 事故シーケンスの特定

1. にて設計基準を超える低温事象に対し発生可能性のある起因事象として外部電源喪失を特定したが、運転時の内部事象や地震、津波レベル1 P R A にて考慮していることから、追加すべき新しい事故シーケンスではない。

よって、凍結を起因とする有意な頻度又は影響のある事故シーケンスは新たに生じないと判断した。

積雪事象に対する事故シーケンス抽出

1. 起回事象の特定

- (1) 構築物，系統及び機器（以下「設備等」という。）の損傷・機能喪失モードの抽出

積雪事象により設備等に発生する可能性のある影響について，国外の評価事例や国内で発生したトラブル事例も参照し，以下のとおり，損傷・機能喪失モードを抽出した。

- ① 建屋天井や屋外設備に対する積雪荷重
- ② 着雪による送電線の相間短絡
- ③ 給気口等の閉塞

- (2) 評価対象設備の選定

(1)で抽出した損傷・機能喪失モードに対し，影響を受ける可能性のある設備等のうち，プラントの運転継続や安全性に影響を及ぼす可能性のある設備等を評価対象設備として選定する。

具体的には，以下に示す建屋及び屋外設置（屋外に面した設備含む。）の設備等を評価対象設備として選定した。

- ① 建屋天井や屋外設備に対する積雪荷重

<建屋>

- ・原子炉建屋（原子炉棟，附属棟）
- ・タービン建屋

<屋外設備>

- ・外部電源系（超高圧開閉所，特別高圧開閉所，変圧器）
- ・非常用ディーゼル発電機等の付属機器（排気ファン，吸気口等）

- ・ 復水貯蔵タンク
- ・ 残留熱除去系海水系
- ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系
- ・ 非常用ディーゼル発電機用海水系
- ・ 補機冷却系海水系
- ・ 循環水系

② 着雪による送電線の相間短絡

- ・ 送電線

③ 給気口等の閉塞

- ・ 非常用ディーゼル発電機等の付属機器（給気口，吸気口）
- ・ 中央制御室換気系（給気口）
- ・ 残留熱除去系海水系（モータ）
- ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系（モータ）
- ・ 非常用ディーゼル発電機用海水系（モータ）
- ・ 補機冷却系海水系（モータ）
- ・ 循環水系（モータ）

(3) 起因事象になり得るシナリオの選定

(1)で抽出した各損傷・機能喪失モードに対して，(2)で選定した評価対象設備への影響を検討の上，発生可能性のあるシナリオを選定した。

① 建屋天井や屋外設備に対する積雪荷重

< 建屋 >

- ・ 原子炉建屋

原子炉建屋原子炉棟屋上が積雪荷重により崩落した場合に、建屋最上階に設置している原子炉補機冷却系サージタンクが損傷し、原子炉補機冷却系の機能喪失による「隔離事象」に至るシナリオ

原子炉建屋附属棟屋上が積雪荷重により崩落した場合に、建屋最上階に設置している中央制御室換気系の機能喪失による「計画外停止」に至るシナリオ

原子炉建屋附属棟屋上が積雪荷重により崩落した場合に、建屋最上階に設置している原子炉建屋給気隔離弁の機能喪失による「計画外停止」に至るシナリオ

原子炉建屋附属棟（廃棄物処理棟）屋上が積雪荷重により崩落した場合に、建屋最上階に設置している気体廃棄物処理施設の機能喪失による「隔離事象」に至るシナリオ

原子炉建屋附属棟（廃棄物処理棟）屋上が積雪荷重により崩落した場合に、建屋最上階に設置している原子炉建屋排気隔離弁の機能喪失による「計画外停止」に至るシナリオ

- ・タービン建屋

タービン建屋屋上が積雪荷重により崩落した場合に、建屋最上階に設置しているタービンや発電機に影響が及び「非隔離事象」に至るシナリオ

タービン建屋屋上が積雪荷重により崩落した場合に、建屋最上階に設置しているタービン補機冷却系サージタンクに影響が及び、「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ

<屋外設備>

- ・外部電源系（超高压開閉所，特別高压開閉所，変圧器）

超高压開閉所屋上，特別高压開閉所，変圧器が積雪荷重により

崩落し，外部電源系に影響が及び，「外部電源喪失」に至るシナリオ

- ・復水貯蔵タンク

復水貯蔵タンク天板が積雪荷重により崩落し，保有水が喪失した場合，補給水系の喪失により「計画外停止」に至るシナリオ

- ・非常用ディーゼル発電機等の付属機器

積雪荷重により非常用ディーゼル発電機等の付属機器が損傷した場合，非常用ディーゼル発電機等の機能喪失，仮に②の外部電源喪失の同時発生を想定した場合，「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ

- ・残留熱除去系海水系

積雪荷重により残留熱除去系海水系ポンプが損傷した場合，残留熱除去系海水系の機能喪失による「最終ヒートシンク喪失」に至るシナリオ

- ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系

積雪荷重により高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプが損傷した場合，高圧炉心スプレイ系の機能喪失による「計画外停止」に至るシナリオ

- ・非常用ディーゼル発電機用海水系

積雪荷重により非常用ディーゼル発電機用海水ポンプが損傷した場合，非常用ディーゼル発電機の機能喪失，仮に高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系の機能喪失及び②の外部電源喪失の同時発生を想定した場合，「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ

- ・補機冷却系海水系

積雪荷重により補機冷却系海水系ポンプが損傷した場合、タービン補機冷却系喪失による「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ

- ・循環水系

積雪荷重により循環水ポンプが損傷した場合、復水器真空度喪失による「隔離事象」に至るシナリオ

② 着雪による送電線の相間短絡

送電線や碍子へ着雪することによって相間短絡を起こし、「外部電源喪失」に至るシナリオ

③ 給気口等の閉塞

- ・非常用ディーゼル発電機等の付属機器の閉塞

積雪により非常用ディーゼル発電機等の給気口、吸気口が閉塞した場合、非常用ディーゼル発電機等の機能喪失、仮に②の外部電源喪失の同時発生を想定した場合、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ

- ・中央制御室換気系給気口の閉塞

中央制御室換気系の給気口は、地面より約 5.9m、約 19m の 2 箇所に設置されており、堆積物による閉塞は考え難いため、シナリオの選定は不要である。

- ・海水ポンプモータ空気冷却器給気口の閉塞

積雪により残留熱除去系海水系ポンプモータの空気冷却器給気口が閉塞した場合、残留熱除去系海水系の機能喪失による「最終ヒートシンク喪失」に至るシナリオ

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプモータの空気冷却器給気口が閉塞した場合、高圧炉心スプレイ系の機能喪失による「計画外停止」に至るシナリオ

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプモータの空気冷却器給気口が閉塞した場合、非常用ディーゼル発電機の機能喪失、仮に高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系の機能喪失及び②の外部電源喪失の同時発生を想定した場合、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ

補機冷却系海水系ポンプモータの空気冷却器給気口が閉塞した場合、タービン補機冷却系喪失による「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ

循環水ポンプモータの空気冷却器給気口が閉塞した場合、復水器真空度喪失による「隔離事象」に至るシナリオ

(4) 起因事象の特定

(3)で選定した各シナリオについて、想定を超える積雪事象に対しての裕度評価（起因事象発生可能性評価）を実施し、事故シーケンスグループ抽出に当たって考慮すべき起因事象の特定を行った。

① 建屋天井や屋外設備に対する積雪荷重

積雪事象が各建屋天井や屋外設備の許容荷重を上回った場合には、(3)にて選定した各シナリオが発生する可能性はあるが、各建屋天井の崩落や屋外設備が損傷するような積雪事象は、積雪事象の進展速度を踏まえると除雪管理が可能であることから、発生可能性は非常に稀であり、有意な頻度又は影響のある事故シーケンスの要因にはなり得ないと考えられるため、考慮すべき起因事象としては選定不

要であると判断した。

② 着雪による送電線の相間短絡

着雪に対して設計上の配慮はなされているものの、設計基準を超える積雪事象に対しては発生を否定できず、送電線の着雪による短絡を想定した場合、外部電源喪失に至るシナリオは考えられるため、起因事象として選定する。

③ 給気口等の閉塞

積雪事象により非常用ディーゼル発電機等の給気口、吸気口が閉塞した場合には、(3)にて選定したシナリオが発生する可能性があるが、非常用ディーゼル発電機等の給気口、吸気口が閉塞するような積雪事象は、積雪事象の進展速度を踏まえると除雪管理が可能であることから、発生可能性は非常に稀であり、有意な頻度又は影響のある事故シーケンスの要因にはなり得ないと考えられるため、考慮すべき起因事象としては選定不要であると判断した。

また、モータ空気冷却器給気口が閉塞した場合には、(3)で選定したシナリオが発生する可能性があるが、モータ空気冷却器給気口が閉塞するような積雪事象は、積雪事象の進展速度を踏まえると除雪管理が可能であることから、発生可能性は非常に稀であり、有意な頻度又は影響のある事故シーケンスの要因にはなり得ないと考えられるため、考慮すべき起因事象としては選定不要であると判断した。

2. 事故シーケンスの特定

1. にて設計基準を超える積雪事象に対し発生可能性のある起因事象として外部電源喪失を特定したが、運転時の内部事象や地震、津波レベル 1 P R A

にて考慮していることから，追加すべき新しい事故シーケンスではない。

よって，積雪を起因とする有意な頻度又は影響のある事故シーケンスは新たに生じないと判断した。

火山の影響に対する事故シーケンス抽出

1. 起因事象の特定

- (1) 構築物、系統及び機器（以下「設備等」という。）の損傷・機能喪失モードの抽出

火山事象のうち、火山性土石流といった原子力発電所の火山影響評価ガイド(制定 平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 13061910 号 原子力規制委員会決定)（以下「影響評価ガイド」という。）において設計対応不可とされている事象については、影響評価に基づく立地評価にて原子力発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性がないと判断されている。よって、個々の火山事象への設計対応及び運転対応の妥当性について評価を行うため抽出した降下火砕物を対象に原子力発電所への影響を検討するものとする。

降下火砕物により設備等に発生する可能性のある影響について、影響評価ガイドも参照し、以下のとおり、損傷・機能喪失モードを抽出した。

- ① 建屋天井や屋外設備に対する降下火砕物の堆積荷重
 - ② 降下火砕物による海水ストレーナ等の閉塞
 - ③ 降下火砕物による給気口等の閉塞
 - ④ 降下火砕物に付着している腐食成分による化学的影響
 - ⑤ 降下火砕物の付着による送電線の相間短絡
- (2) 評価対象設備の選定
- (1)で抽出した損傷・機能喪失モードに対し、影響を受ける可能性のある設備等のうち、プラントの運転継続や安全性に影響を及ぼす可能性のある設備等を評価対象設備として選定する。

具体的には、以下に示す建屋及び屋外設置（屋外に面した設備含む）の設

備等を評価対象設備として選定した。

① 建屋天井や屋外設備に対する降下火砕物の堆積荷重

<建屋>

- ・原子炉建屋（原子炉棟，附属棟）
- ・タービン建屋

<屋外設備>

- ・外部電源系（超高压開閉所，特別高压開閉所，変圧器）
- ・非常用ディーゼル発電機等の附属機器（排気ファン，吸気口等）
- ・復水貯蔵タンク
- ・残留熱除去系海水系
- ・高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系
- ・非常用ディーゼル発電機用海水系
- ・補機冷却系海水系
- ・循環水系

② 降下火砕物による海水ストレーナ等の閉塞

- ・残留熱除去系海水系
- ・高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系
- ・非常用ディーゼル発電機用海水系
- ・補機冷却系海水系
- ・循環水系

③ 降下火砕物による給気口等の閉塞

- ・非常用ディーゼル発電機等の附属機器（給気口，吸気口）
- ・中央制御室換気系（給気口）

- ・ 残留熱除去系海水系（モータ）
- ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系（モータ）
- ・ 非常用ディーゼル発電機用海水系（モータ）
- ・ 補機冷却系海水系（モータ）
- ・ 循環水系（モータ）

④ 降下火砕物に付着している腐食成分による化学的影響

- ・ 屋外設備全般

⑤ 降下火砕物の付着による送電線の相間短絡

- ・ 送電線

(3) 起因事象になり得るシナリオの選定

(1)で抽出した各損傷・機能喪失モードに対して、(2)で選定した評価対象設備への影響を検討の上、発生可能性のあるシナリオを選定した。

① 建屋天井や屋外設備に対する降下火砕物の堆積荷重

<建屋>

- ・ 原子炉建屋

原子炉建屋原子炉棟屋上が降下火砕物による堆積荷重により崩落した場合に、建屋最上階に設置している原子炉補機冷却系サージタンクが機能喪失することによる「隔離事象」に至るシナリオ

原子炉建屋附属棟屋上が降下火砕物による堆積荷重により崩落した場合に、建屋最上階に設置している中央制御室換気系が機能喪失することによる「計画外停止」に至るシナリオ

原子炉建屋附属棟屋上が降下火砕物による堆積荷重により崩落し

た場合に、建屋最上階に設置している原子炉建屋給気隔離弁が機能喪失することによる「計画外停止」に至るシナリオ

原子炉建屋付属棟（廃棄物処理棟）屋上が降下火砕物による堆積荷重により崩落した場合に、建屋最上階に設置している気体廃棄物処理施設が機能喪失することによる「隔離事象」に至るシナリオ

原子炉建屋付属棟（廃棄物処理棟）屋上が降下火砕物による堆積荷重により崩落した場合に、建屋最上階に設置している原子炉建屋排気隔離弁が機能喪失することによる「隔離事象」に至るシナリオ

- ・タービン建屋

タービン建屋屋上が降下火砕物による堆積荷重により崩落した場合に、建屋最上階に設置しているタービンや発電機に影響が及び、「非隔離事象」に至るシナリオ

また、タービン補機冷却系サージタンクに影響が及び、「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ

<屋外設備>

- ・外部電源系（超高压開閉所、特別高压開閉所、変圧器）

超高压開閉所屋上、特別高压開閉所、変圧器が降下火砕物による堆積荷重により崩落し、外部電源系に影響が及び、「外部電源喪失」に至るシナリオ

- ・復水貯蔵タンク

復水貯蔵タンク天板が降下火砕物による堆積荷重により崩落し、保有水が喪失した場合、補給水系の喪失により「計画外停止」に至るシナリオ

- ・非常用ディーゼル発電機等の付属機器

降下火砕物による堆積荷重により非常用ディーゼル発電機等の付

属機器が損傷した場合、非常用ディーゼル発電機等の機能喪失、仮に⑤の外部電源喪失の同時発生を想定した場合、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ

- ・ 残留熱除去系海水系

降下火砕物による堆積荷重により残留熱除去系海水系ポンプが損傷した場合、残留熱除去系海水系の機能喪失による「最終ヒートシンク喪失」に至るシナリオ

- ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系

降下火砕物による堆積荷重により高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプが損傷した場合、高圧炉心スプレイ系の機能喪失による「計画外停止」に至るシナリオ

- ・ 非常用ディーゼル発電機用海水系

降下火砕物による堆積荷重により非常用ディーゼル発電機用海水ポンプが損傷した場合、非常用ディーゼル発電機の機能喪失、仮に高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系の機能喪失及び⑤の外部電源喪失の同時発生を想定した場合、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ

- ・ 補機冷却系海水系

降下火砕物による堆積荷重により補機冷却系海水系ポンプが損傷した場合、タービン補機冷却系喪失による「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ

- ・ 循環水系

降下火砕物による堆積荷重により循環水ポンプが損傷した場合、復水器真空度喪失による「隔離事象」に至るシナリオ

② 降下火砕物による海水ストレーナ等の閉塞

海水ストレーナや熱交換器の目開きは、降下火砕物の粒径より大きいことから閉塞し難いため、シナリオの選定は不要である。

海水中への降下火砕物によって海水ポンプ軸受が異常摩耗した場合、残留熱除去系海水系の機能喪失による「最終ヒートシンク喪失」、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系の機能喪失による「計画外停止」に至るシナリオ

非常用ディーゼル発電機用海水系の機能喪失による非常用ディーゼル発電機の機能喪失、仮に高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系の機能喪失及び⑤の外部電源喪失の同時発生を想定した場合、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ

補機冷却系海水系の機能喪失による「タービン・サポート系故障」、循環水系の機能喪失に伴う復水器真空度喪失による「隔離事象」に至るシナリオ

③ 降下火砕物による給気口等の閉塞

・非常用ディーゼル発電機付属機器の閉塞

降下火砕物の吸込み又は給気口への堆積により非常用ディーゼル発電機等の給気口、吸気口が閉塞した場合、非常用ディーゼル発電機等の機能喪失、仮に⑤の外部電源喪失の同時発生を想定した場合、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ

・中央制御室換気系給気口の閉塞

中央制御室換気系の給気口は、地面より約 5.9m、約 19m の 2 箇所に設置されており、堆積物による閉塞は考え難いためシナリオの選定は不要である。また、吸気口へ降下火砕物の吸込みにより吸気口が閉

塞した場合でも、フィルタの取替え及び清掃が可能であることからシナリオの選定は不要である。

- ・海水ポンプモータ空気冷却器給気口の閉塞

降下火砕物の吸込み又は給気口への堆積により残留熱除去系海水系ポンプモータの空気冷却器給気口が閉塞した場合、残留熱除去系海水系の機能喪失による「最終ヒートシンク喪失」に至るシナリオ

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプモータの空気冷却器給気口が閉塞した場合、高圧炉心スプレイ系の機能喪失による「計画外停止」に至るシナリオ

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプモータの空気冷却器給気口が閉塞した場合、非常用ディーゼル発電機の機能喪失、仮に高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系の機能喪失及び⑤の外部電源喪失の同時発生を想定した場合、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ

補機冷却系海水系ポンプの空気冷却器給気口が閉塞した場合、タービン補機冷却系喪失による「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ

循環水ポンプの空気冷却器給気口が閉塞した場合、復水器真空度喪失による「隔離事象」に至るシナリオ

- ④ 降下火砕物に付着している腐食成分による化学的影響

降下火砕物が屋外設備に付着することによる腐食については、屋外設備表面には耐食性の塗装（エポキシ樹脂系等）が施されており腐食の抑制効果が考えられること、腐食の進展速度の遅さを考慮し、適切な保全管理が可能と判断したため、この損傷・機能喪失モードについては考慮

しない。

⑤ 降下火砕物の付着による送電線の相間短絡

降下火砕物が送電線や碍子へ付着し、水分を吸収することによって、相間短絡を起こし「外部電源喪失」に至るシナリオ

(4) 起因事象の特定

(3)で選定した各シナリオについて、想定を超える降下火砕物に対しての裕度評価（起因事象発生可能性評価）を実施し、事故シーケンスグループ抽出に当たって考慮すべき起因事象の特定を行った。

① 建屋天井や屋外設備に対する降下火砕物の堆積荷重

降下火砕物の堆積が各建屋天井や屋外設備の許容荷重を上回った場合には、(3)①にて選定した各シナリオが発生する可能性はあるが、各建屋天井の崩落や屋外設備が損傷するような火山事象は、火山事象の進展速度を踏まえると除灰管理が可能であることから、発生可能性は非常に稀であり、有意な頻度又は影響のある事故シーケンスの要因にはなり得ないと考えられるため、考慮すべき起因事象としては特定不要であると判断した。

② 降下火砕物による海水ストレーナ等の閉塞

海水ポンプ軸受の異常摩耗については、降下火砕物の硬度を考慮すると、海水中の降下火砕物によって異常摩耗は進展しにくく、機能喪失することは考えにくいため、考慮すべき起因事象としては特定不要であると判断した。

③ 降下火砕物による給気口等の閉塞

降下火砕物の吸込み又は給気口への堆積により非常用ディーゼル発電機等の給気口、吸気口が閉塞した場合には、(3)③にて選定したシナリオが発生する可能性があるが、非常用ディーゼル発電機等の給気口、吸気口が閉塞するような火山事象は、火山事象の進展速度を踏まえると除灰管理又はフィルタの取替えが可能であることから、発生可能性は非常に稀であり、有意な頻度又は影響のある事故シーケンスの要因にはなり得ないと考えられるため、考慮すべき起因事象としては特定不要であると判断した。

また、モータ空気冷却器給気口が閉塞した場合には、(3)③にて選定したシナリオが発生する可能性があるが、モータ空気冷却器給気口が閉塞するような火山事象は、火山事象の進展速度を踏まえると除灰管理が可能であることから、発生可能性は非常に稀であり、有意な頻度又は影響のある事故シーケンスの要因にはなり得ないと考えられるため、考慮すべき起因事象としては選定不要であると判断した。

④ 降下火砕物に付着している腐食成分による化学的影響

降下火砕物が屋外設備に付着することによる腐食については、(3)④のとおり、この損傷・機能喪失モードは考慮しないため、起因事象として特定しない。

⑤ 降下火砕物の付着による送電線の相間短絡

降下火砕物の影響を受ける可能性がある送電線は、発電所内外の広範囲に渡り、全域における管理が困難なことを踏まえると設備等の不具合による外部電源喪失に至るシナリオは考えられるため、起因事象として

特定する。

2. 事故シーケンスの特定

1. にて設計基準を超える火山事象に対し発生可能性のある起因事象として外部電源喪失を特定したが、運転時の内部事象や地震、津波レベル1 P R Aにて考慮していることから、追加すべき新しい事故シーケンスではない。

よって、火山の影響を起因とする有意な頻度又は影響のある事故シーケンスは新たに生じないと判断した。

竜巻事象に対する事故シーケンス抽出

1. 起因事象の特定

(1) 構築物、系統及び機器（以下「設備等」という。）の損傷・機能喪失モードの抽出

竜巻事象により設備等に発生する可能性のある影響について、国外の評価事例、国内で発生したトラブル事例も参照し、以下のとおり、損傷・機能喪失モードを抽出した。

- ① 風荷重及び気圧差荷重による建屋や設備等の損傷
- ② 飛来物の衝撃荷重による建屋や設備等の損傷
- ③ 風荷重、気圧差荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重による建屋や設備等の損傷
- ④ 竜巻により取水口周辺の海に飛散した資機材等による取水口閉塞

(2) 評価対象設備の選定

(1)で抽出した損傷・機能喪失モードに対し、影響を受ける可能性のある設備等のうち、プラントの運転継続や安全性に影響を及ぼす可能性のある設備等を評価対象設備として選定する。

具体的には、以下に示す建屋、屋外及び屋内設置の設備等を評価対象設備として選定した。ただし、屋内設備については、飛来物の建屋外壁貫通を考慮すると屋内設備に影響が及ぶ可能性が考えられるため、飛来物が直接衝突する壁は損傷し、そのひとつ内側の壁との間に設置されている設備等を対象とする。

- ① 風荷重及び気圧差荷重による建屋や設備等の損傷

< 建屋 >

- ・ 原子炉建屋（原子炉棟，付属棟）
- ・ タービン建屋

< 屋外設備 >

- ・ 外部電源系（超高压開閉所，特別高压開閉所，変圧器，送電線）
- ・ 主排気筒
- ・ 非常用ガス処理系
- ・ 復水貯蔵タンク
- ・ 非常用ディーゼル発電機等の付属設備（排気ファン，吸気口等）
- ・ 残留熱除去系海水系
- ・ 高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系
- ・ 非常用ディーゼル発電機用海水系
- ・ 補機冷却系海水系
- ・ 循環水系

< 屋内設備 >

- ・ 中央制御室換気系

② 飛来物の衝撃荷重による建屋や設備等の損傷

< 建屋 >

- ・ 原子炉建屋（原子炉棟，付属棟）
- ・ タービン建屋

< 屋外設備 >

- ・ 外部電源系（超高压開閉所，特別高压開閉所，変圧器，送電線）
- ・ 主排気筒
- ・ 非常用ガス処理系

- ・ 復水貯蔵タンク
- ・ 非常用ディーゼル発電機等の付属設備（排気ファン，吸気口等）
- ・ 残留熱除去系海水系
- ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系
- ・ 非常用ディーゼル発電機用海水系
- ・ 補機冷却系海水系
- ・ 循環水系

< 屋内設備 >

- ・ 原子炉補機冷却系サージタンク
- ・ 原子炉建屋ガス処理系
- ・ ほう酸水注入系
- ・ 可燃性ガス濃度制御系
- ・ 中央制御室換気系
- ・ 原子炉建屋給排気隔離弁
- ・ 気体廃棄物処理施設
- ・ タービン補機冷却系サージタンク
- ・ タービン及び発電機
- ・ 原子炉補機冷却系及びタービン補機冷却系熱交換器，ポンプ
- ・ 主蒸気管（主蒸気隔離弁以降の配管）

③ 風荷重，気圧差荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重による建屋や設備等の損傷

- ・ ①及び②にて選定した設備等

④ 竜巻により取水口周辺の海に飛散した資機材等による取水口閉塞

- ・取水口

(3) 起因事象になり得るシナリオの選定

(1)で抽出した各損傷・機能喪失モードに対して、(2)で選定した評価対象設備への影響を検討の上、発生可能性のあるシナリオを選定した。

① 風荷重及び気圧差荷重による建屋や設備等の損傷

<建屋>

・原子炉建屋

原子炉建屋（原子炉棟，付属棟）は十分な厚さを有した鉄筋コンクリート造であり，風荷重よりも大きい地震荷重に対して設計されていることから，極めて発生することが稀な設計基準を超える風荷重を想定しても建屋の頑健性は維持され则认为するため，シナリオの選定は不要である。

また，風荷重に加えて気圧差荷重が作用した場合であっても，風荷重と気圧差荷重を組み合わせた荷重は，原子炉建屋設計時の地震荷重よりも小さく，建屋の頑健性は維持され则认为するため，シナリオの選定は不要である。

ただし，原子炉建屋外側ブローアウトパネルは建屋内外の差圧による開放に至る場合に「計画外停止」に至るシナリオを選定する。

・タービン建屋

タービン建屋については，建屋上層部は鉄骨造である。万が一，風荷重及び気圧差荷重による破損に至るような場合に，建屋最上階に設置しているタービンや発電機に影響が及び，「非隔離事象」に至るシナリオ

また，タービン補機冷却系サージタンクに影響が及び，「タービ

ン・サポート系故障」に至るシナリオ

<屋外設備>

- ・外部電源系（超高压開閉所，特別高压開閉所，変圧器，送電線）

風荷重及び気圧差荷重により超高压開閉所，特別高压開閉所，変圧器又は送電線に影響が及び「外部電源喪失」に至るシナリオ

- ・主排気筒

主排気筒は風荷重に対して裕度を持った設計がなされていることから，発生することが極めて稀な設計基準を超える風荷重を想定しても主排気筒の頑健性は維持され则认为するため，シナリオの選定は不要である。

- ・非常用ガス処理系

非常用ガス処理系排気筒及び配管は風荷重に対して裕度を持った設計がなされていることから，発生することが極めて稀な設計基準を超える風荷重を想定しても非常用ガス処理系排気筒及び配管の頑健性は維持され则认为するため，シナリオの選定は不要である。

- ・復水貯蔵タンク

風荷重及び気圧差荷重により復水貯蔵タンクが損傷した場合，補給水系の喪失により「計画外停止」に至るシナリオ

- ・非常用ディーゼル発電機等の付属機器

風荷重により非常用ディーゼル発電機等の付属機器が損傷した場合，非常用ディーゼル発電機等の機能喪失，仮に外部電源喪失の同時発生を想定した場合，「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ

- ・残留熱除去系海水系

風荷重により残留熱除去系海水系が損傷した場合，残留熱除去系海水系の機能喪失による「最終ヒートシンク喪失」に至るシナリオ

- ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系

風荷重により高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系が損傷した場合、高圧炉心スプレイ系の機能喪失による「計画外停止」に至るシナリオ

- ・ 非常用ディーゼル発電機用海水系

風荷重により非常用ディーゼル発電機用海水系が損傷した場合、非常用ディーゼル発電機の機能喪失、仮に外部電源喪失及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系の機能喪失の同時発生を想定した場合、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ

- ・ 補機冷却系海水系

風荷重により補機冷却系海水系が損傷した場合、タービン補機冷却系喪失による「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ

- ・ 循環水系

風荷重により循環水系が損傷した場合、復水器真空度喪失による「隔離事象」に至るシナリオ

< 屋内設備 >

中央制御室換気系は、原子炉建屋付属棟内に設置されており風荷重の影響を受けないが、気圧差荷重によりダクト、ファン、ダンパ等の損傷が考えられる。中央制御室換気系が損傷した場合、中央制御室換気系が機能喪失し、「計画外停止」に至るシナリオ

なお、それらの設備の損傷により中央制御室の換気が困難になった場合、中央制御室の温度が上昇するが、即、中央制御室の機器へ影響が及ぶことはなく、また、竜巻の影響は瞬時であり、竜巻襲来後の対応は十分可能であるため計測・制御系喪失により制御不能に至るシナリオの選定は不要である。

② 飛来物の衝撃荷重による建屋や設備等の損傷

建屋及び屋内外設備に対する飛来物の衝撃荷重により発生可能性のあるシナリオは以下のとおり。

<建屋>

飛来物が建屋外壁を貫通することにより、屋内設備に波及的影響を及ぼすことが考えられるが、発生可能性のあるシナリオについては、<屋内設備>で選定する。

<屋外設備>

- ・ 外部電源系（超高压開閉所，特別高压開閉所，変圧器，送電線）

風荷重により発生可能性のあるシナリオと同様

- ・ 主排気筒

飛来物の衝撃荷重により主排気筒が損傷した場合、「隔離事象」に至るシナリオ

- ・ 非常用ガス処理系

飛来物の衝撃荷重により非常用ガス処理系排気筒及び配管が損傷した場合、「計画外停止」に至るシナリオ

- ・ 復水貯蔵タンク

風荷重により発生可能性のあるシナリオと同様

- ・ 非常用ディーゼル発電機等の付属機器

風荷重により発生可能性のあるシナリオと同様

- ・ 残留熱除去系海水系

風荷重により発生可能性のあるシナリオと同様

- ・ 高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系

風荷重により発生可能性のあるシナリオと同様

- ・ 非常用ディーゼル発電機用海水系

風荷重により発生可能性のあるシナリオと同様

- ・ 補機冷却系海水系

風荷重により発生可能性のあるシナリオと同様

- ・ 循環水系

風荷重により発生可能性のあるシナリオと同様

< 屋内設備 >

原子炉建屋原子炉棟に設置している原子炉補機冷却系サージタンクに建屋外壁を貫通した飛来物が衝突して機能喪失した場合、「隔離事象」に至るシナリオ，原子炉建屋ガス処理系に建屋外壁を貫通した飛来物が衝突して機能喪失した場合、「計画外停止」に至るシナリオ，ほう酸水注入系に建屋外壁を貫通した飛来物が衝突して機能喪失した場合、「計画外停止」に至るシナリオ，可燃性ガス濃度制御系に建屋外壁を貫通した飛来物が衝突して機能喪失した場合、「計画外停止」に至るシナリオ

原子炉建屋付属棟に設置している中央制御室換気系に建屋外壁を貫通した飛来物が衝突して機能喪失した場合、「計画外停止」に至るシナリオ，原子炉建屋給気隔離弁に建屋外壁を貫通した飛来物が衝突して機能喪失した場合、「計画外停止」に至るシナリオ

原子炉建屋付属棟（廃棄物処理棟）に設置している気体廃棄物処理施設に建屋外壁を貫通した飛来物が衝突して機能喪失した場合，「隔離事象」に至るシナリオ，原子炉建屋排気隔離弁に建屋外壁を貫通した飛来物が衝突して機能喪失した場合，「隔離事象」に至るシナリオ

タービン建屋に設置しているタービンや発電機に建屋外壁を貫通した飛来物が衝突して機能喪失した場合，「非隔離事象」に至るシナリオ

リオ，タービン補機冷却系サージタンクに建屋外壁を貫通した飛来物が衝突して機能喪失した場合，「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ，原子炉補機冷却系熱交換器又はポンプに建屋外壁を貫通した飛来物が衝突した場合，「隔離事象」に至るシナリオ，タービン補機冷却系熱交換器又はポンプに建屋外壁を貫通した飛来物が衝突した場合，「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ，主蒸気管に建屋外壁を貫通した飛来物が衝突した場合，「隔離事象」に至るシナリオ

- ③ 風荷重，気圧差荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重による建屋や設備等の損傷

建屋及び屋内外設備に対する組合せ荷重により発生可能性のあるシナリオについては，①，②に包絡される。

- ④ 竜巻により取水口周辺の海に飛散した資機材等による取水口閉塞

竜巻により飛散した資機材，車両等が取水口周辺の海に入り取水口を閉塞させる可能性があるが，取水口は呑み口が広く，閉塞させるほどの資機材や車両等の飛散は考えられないことから考慮不要とする。

(4) 起因事象の特定

(3)で選定した各シナリオについて，想定を超える風荷重，気圧差荷重及び飛来物の衝撃荷重に対しての裕度評価（起因事象発生可能性評価）を実施し，事故シーケンスグループ抽出に当たって考慮すべき起因事象の特定を行った。

- ① 風荷重及び気圧差荷重による建屋や設備等の損傷

< 建屋 >

建屋内外差圧の発生に伴う原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放による計画外停止に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

タービン建屋上層部は鉄骨造であり、風荷重に対して設計上の配慮はなされているものの、想定を超える風荷重が建屋に作用した場合、建屋が損傷してタービン、発電機及びタービン補機冷却系サージタンクに影響を及ぼす可能性は否定できず、タービン建屋損傷に伴う非隔離事象、タービン・サポート系故障に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

< 屋外設備 >

外部電源系が損傷した場合、風荷重に対して設計上の配慮はなされているものの、想定を超える風荷重に対しては発生を否定できず、外部電源系の損傷に伴う外部電源喪失に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

復水貯蔵タンクが損傷した場合、補給水系が喪失し、計画外停止に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

非常用ディーゼル発電機等の付属機器が損傷した場合、非常用ディーゼル発電機等の機能喪失、また、外部電源喪失の同時発生による全交流動力電源喪失に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

残留熱除去系海水系が損傷した場合、残留熱除去系の機能喪失による最終ヒートシンク喪失に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系が損傷した場合、高

圧炉心スプレイ系の機能喪失による計画外停止に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

非常用ディーゼル発電機用海水系が損傷した場合、非常用ディーゼル発電機の機能喪失、また、外部電源喪失及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系の機能喪失の同時発生による全交流動力電源喪失に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

補機冷却系海水系が損傷した場合、タービン補機冷却系喪失によるタービン・サポート系故障に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

循環水系が損傷した場合、復水器真空度喪失に伴う隔離事象に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

<屋内設備>

中央制御室換気系が損傷した場合、中央制御室換気系が機能喪失し、計画外停止に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

② 飛来物の衝撃荷重による建屋や設備等の損傷

<建屋>

原子炉建屋、タービン建屋は、飛来物が建屋を貫通することにより、屋内設備に波及的影響を及ぼすが、<屋内設備>として起因事象を特定する。

<屋外設備>

外部電源系が飛来物により損傷した場合、(4)①と同様に外部電源系の損傷に伴う外部電源喪失に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

主排気筒が飛来物により損傷した場合、気体廃棄物処理系の機能喪失に伴う隔離事象に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

非常用ガス処理系排気筒及び配管が飛来物により損傷した場合、非常用ガス処理系の機能喪失による計画外停止に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

復水貯蔵タンクが飛来物により損傷した場合、(4)①と同様に補給水系が喪失し、計画外停止に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

非常用ディーゼル発電機等の付属機器が飛来物により損傷した場合、(4)①と同様に非常用ディーゼル発電機等の機能喪失、また、外部電源喪失の同時発生による全交流動力電源喪失に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

残留熱除去系海水系が飛来物により損傷した場合、(4)①と同様に残留熱除去系の機能喪失による最終ヒートシンク喪失に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系が飛来物により損傷した場合、(4)①と同様に高圧炉心スプレイ系の機能喪失による計画外停止に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

非常用ディーゼル発電機用海水系が飛来物により損傷した場合、(4)①と同様に非常用ディーゼル発電機の機能喪失、また、外部電源喪失及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系の機能喪失の同時発生による全交流動力電源喪失に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

補機冷却系海水系が飛来物により損傷した場合、(4)①と同様にター

ビン補機冷却系喪失によるタービン・サポート系故障に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

循環水系が飛来物により損傷した場合、(4)①と同様に復水器真空度喪失に伴う隔離事象に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

<屋内設備>

飛来物が原子炉建屋へ衝突し、貫通した場合、屋内設備の損傷の可能性を否定できないことから、原子炉補機冷却系の機能喪失に伴う隔離事象、原子炉建屋ガス処理系の機能喪失に伴う計画外停止、ほう酸水注入系の機能喪失に伴う計画外停止、可燃性ガス濃度制御系の機能喪失に伴う計画外停止、中央制御室換気系の機能喪失に伴う計画外停止、原子炉建屋給排気隔離弁の機能喪失に伴う計画外停止、気体廃棄物処理系の機能喪失に伴う隔離事象に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

飛来物がタービン建屋へ衝突、貫通した場合、(4)①と同様にタービン、発電機の損傷に伴う非隔離事象、タービン補機冷却系の損傷に伴うタービン・サポート系故障、原子炉補機冷却系の損傷に伴う隔離事象、主蒸気管の損傷に伴う隔離事象に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。

③ 風荷重、気圧差荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重による建屋や設備等の損傷

(3)③のとおり、建屋及び屋内外設備に対する組合せ荷重により発生可能性のあるシナリオについては、①、②に包絡されるため、起因事象として特定不要であると判断した。

④ 竜巻により取水口周辺の海に飛散した資機材等による取水口閉塞

(3)④のとおり、この損傷・機能喪失モードは考慮しないため、起因事象として特定しない。

2. 事故シーケンスの特定

1. にて設計基準を超える竜巻事象に対し発生可能性のある起因事象として以下を選定した。

- ・ 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放に伴う計画外停止
- ・ 原子炉補機冷却系の損傷に伴う隔離事象
- ・ 原子炉建屋ガス処理系の損傷に伴う計画外停止
- ・ ほう酸水注入系の損傷に伴う計画外停止
- ・ 可燃性ガス濃度制御系の損傷に伴う計画外停止
- ・ 中央制御室換気系の機能喪失に伴う計画外停止
- ・ 原子炉建屋給排気隔離弁の機能喪失に伴う計画外停止
- ・ 気体廃棄物処理系の機能喪失に伴う隔離事象
- ・ タービン、発電機の損傷に伴う非隔離事象
- ・ タービン補機冷却系の損傷に伴うタービン・サポート系故障
- ・ 主蒸気系の損傷に伴う隔離事象
- ・ 送電線の損傷に伴う外部電源喪失
- ・ 主排気筒の損傷に伴う隔離事象
- ・ 復水貯蔵タンクの損傷に伴う計画外停止
- ・ 非常用ディーゼル発電機等の付属機器の損傷、かつ外部電源喪失の同時発生に伴う全交流動力電源喪失
- ・ 残留熱除去系海水系の損傷に伴う最終ヒートシンク喪失
- ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系の損傷に伴う計画外停止

- ・非常用ディーゼル発電機用海水系の損傷，かつ外部電源喪失及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系の損傷の同時発生に伴う全交流動力電源喪失
- ・補機冷却系海水系の損傷に伴うタービン・サポート系故障
- ・循環水系の損傷に伴う隔離事象

上記起因事象については，いずれも運転時の内部事象や地震，津波レベル 1 P R Aにて考慮していることから，追加すべき新しい事故シーケンスではない。

よって，竜巻を起因とする有意な頻度又は影響のある事故シーケンスは新たに生じないと判断した。

森林火災事象に対する事故シーケンス抽出

1. 起因事象の特定

- (1) 構築物，系統及び機器（以下「設備等」という。）の損傷・機能喪失モードの抽出

森林火災により設備等に発生する可能性のある影響について，国外の評価事例，国内で発生したトラブル事例も参照し，以下のとおり，損傷・機能喪失モードを抽出した。

- ① 輻射熱による建屋や設備等への損傷
- ② ばい煙による設備等の閉塞

- (2) 評価対象設備の選定

(1)で抽出した損傷・機能喪失モードに対し，影響を受ける可能性のある設備等のうち，プラントの運転継続や安全性に影響を及ぼす可能性のある設備等を評価対象設備として選定する。

具体的には，以下に示す建屋及び屋外設置の設備等を評価対象設備として選定した。

- ① 輻射熱による建屋や設備等への損傷

< 建屋 >

- ・ 原子炉建屋（原子炉棟，付属棟）
- ・ タービン建屋

< 屋外設備 >

- ・ 外部電源系（超高压開閉所，特別高压開閉所，変圧器，送電線）
- ・ 復水貯蔵タンク
- ・ 非常用ディーゼル発電機の付属設備（排気ファン，吸気口等）

- ・主排気筒
- ・非常用ガス処理系
- ・残留熱除去系海水系
- ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系
- ・非常用ディーゼル発電機用海水系
- ・補機冷却系海水系
- ・循環水系

② ばい煙による設備等の閉塞

- ・非常用ディーゼル発電機等の付属設備（吸気口等）
- ・中央制御室換気系
- ・残留熱除去系海水系（モータ）
- ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系（モータ）
- ・非常用ディーゼル発電機用海水系（モータ）
- ・補機冷却系海水系（モータ）
- ・循環水系（モータ）
- ・中央制御室換気系

(3) 起因事象になり得るシナリオの選定

(1)で抽出した各損傷・機能喪失モードに対して、(2)で選定した評価対象設備への影響を検討の上、発生可能性のあるシナリオを選定した。

① 輻射熱による建屋や設備等への損傷

<建屋>

森林火災の輻射熱による建屋への影響については、想定し得る最大の火災影響評価において、防火帯外縁（火炎側）から十分な離隔距離

があることを考慮すると、建屋の許容温度を下回り、建屋が損傷することはない。また、森林火災の輻射熱による建屋影響について、24 時間駐在している自衛消防隊による早期の消火活動も可能であり、森林火災に対する影響緩和策を講じることができることから、シナリオの選定は不要である。

<屋外設備>

- ・外部電源系（超高圧開閉所，特別高圧開閉所，変圧器，送電線）

森林火災の輻射熱により外部電源系が損傷した場合、「外部電源喪失」に至るシナリオ

なお、外部電源系への影響については、想定し得る最大の火災影響評価において、防火帯外縁（火炎側）から十分な離隔距離があることを考慮すると、敷地内の外部電源系が損傷することはない。また、森林火災の輻射熱による影響について、24 時間駐在している自衛消防隊による早期の消火活動も可能であり、森林火災に対する影響緩和策を講じることができる。

- ・復水貯蔵タンク

森林火災の輻射熱による復水貯蔵タンクへの影響については、想定し得る最大の火災影響評価において、防火帯外縁（火炎側）から十分な離隔距離があることを考慮すると、復水貯蔵タンク水の最高使用温度を下回り、タンクが損傷することはない。また、森林火災の輻射熱による影響について、24 時間駐在している自衛消防隊による早期の消火活動も可能であり、森林火災に対する影響緩和策を講じることができることから、シナリオの選定は不要である。

- ・非常用ディーゼル発電機等の付属設備（排気ファン，吸気口等）

森林火災の輻射熱による非常用ディーゼル発電機等の付属設備へ

の影響については、想定し得る最大の火災影響評価において、防火帯外縁（火炎側）から十分な離隔距離があることを考慮すると、非常用ディーゼル発電機等の付属設備が受ける輻射強度は低いため、非常用ディーゼル発電機等の付属設備が損傷することはない。また、森林火災の輻射熱による影響について、24 時間駐在している自衛消防隊による早期の消火活動も可能であり、森林火災に対する影響緩和策を講じることができることから、シナリオの選定は不要である。

- ・主排気筒

森林火災の輻射熱による主排気筒への影響については、想定し得る最大の火災影響評価において、防火帯外縁（火炎側）から十分な離隔距離があることを考慮すると、主排気筒が受ける輻射強度は低いため、主排気筒が損傷することはない。また、森林火災の輻射熱による影響について、24 時間駐在している自衛消防隊による早期の消火活動も可能であり、森林火災に対する影響緩和策を講じることができることから、シナリオの選定は不要である。

- ・非常用ガス処理系

森林火災の輻射熱による非常用ガス処理系排気筒及び配管への影響については、想定し得る最大の火災影響評価において、防火帯外縁（火炎側）から十分な離隔距離があることを考慮すると、非常用ガス処理系排気筒及び配管が受ける輻射強度は低いため、非常用ガス処理系排気筒及び配管が損傷することはない。また、森林火災の輻射熱による影響について、24 時間駐在している自衛消防隊による早期の消火活動も可能であり、森林火災に対する影響緩和策を講じることができることからシナリオの選定は不要である。

- ・残留熱除去系海水系／高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水

系／非常用ディーゼル発電機用海水系／補機冷却系海水系／循環水系（以下「海水系」という。）

森林火災の輻射熱による海水系への影響については、想定し得る最大の火災影響評価において、防火帯外縁（火炎側）から十分な離隔距離があることを考慮すると、海水系が受ける輻射強度は低いため、海水系が損傷することはない。また、森林火災の輻射熱による影響について、24時間駐在している自衛消防隊による早期の消火活動も可能であり、森林火災に対する影響緩和策を講じることから、シナリオの選定は不要である。

② ばい煙による設備等の閉塞

- ・ 非常用ディーゼル発電機等の付属設備（吸気口等）の閉塞

森林火災で発生するばい煙の非常用ディーゼル発電機等の吸気口への吸込みにより吸気口が閉塞した場合でも、フィルタの取替え及び清掃が可能であることからシナリオの選定は不要である。

- ・ 海水系ポンプモータ空気冷却器給気口の閉塞

海水系ポンプモータは外気を取込まない構造であり、また、空冷モータの冷却流路の口径は、ばい煙の粒径より広いことから閉塞し難いため、シナリオの選定は不要である。

- ・ 中央制御室換気系の閉塞

森林火災で発生するばい煙の中央制御室換気系給気口への吸込みにより給気口が閉塞した場合でも、フィルタの取替え及び清掃が可能であることからシナリオの選定は不要である。

(4) 起因事象の特定

(3)で選定した各シナリオについて、森林火災に対しての裕度評価（起因事象発生可能性評価）を実施し、事故シーケンスグループ抽出に当たって考慮すべき起因事象の特定を行った。

① 輻射熱による建屋や設備等への損傷

<建屋>

森林火災の輻射熱による各建屋の損傷については、(3)①のとおり、考慮すべき起因事象としては特定不要であると判断した。

<屋外設備>

森林火災の輻射熱により送電線が損傷する可能性が否定できず、送電線の損傷に伴う外部電源喪失に至るシナリオは考えられるため、起因事象として特定する。その他の屋外設備についての損傷のシナリオについては、(3)①及び(3)②のとおり、考慮すべき起因事象としては特定不要であると判断した。

② ばい煙等による設備等の閉塞

森林火災のばい煙等による設備等の閉塞については、(3)②のとおり、考慮すべき起因事象としては特定不要であると判断した。

2. 事故シーケンスの特定

1.にて森林火災に対し発生可能性のある起因事象として外部電源喪失を特定したが、運転時の内部事象や地震、津波レベル1 P R Aにて考慮していることから、追加すべき新しい事故シーケンスではない。

よって、森林火災を起因とする有意な頻度又は影響のある事故シーケンスは新たに生じないと判断した。

落雷事象に対する事故シーケンス抽出

1. 起回事象の特定

- (1) 構築物、系統及び機器（以下「設備等」という。）の損傷・機能喪失モードの抽出

落雷事象により設備等に発生する可能性のある影響について、国外の評価事例、国内で発生したトラブル事例も参照し、以下のとおり、損傷・機能喪失モードを抽出した。

- ① 屋内外計測制御設備に発生するノイズ
- ② 直撃雷による設備損傷
- ③ 誘導雷サージによる電気盤内の回路損傷

- (2) 評価対象設備の選定

(1)で抽出した損傷・機能喪失モードに対し、影響を受ける可能性のある設備等のうち、プラントの運転継続や安全性に影響を及ぼす可能性のある設備等を評価対象設備として選定する。

具体的には、以下に示す屋内設置の設備等及び屋外設置の設備等を評価対象設備として選定した。

- ① 屋内外計測制御設備に発生するノイズ
 - ・ 計測制御系
- ② 直撃雷による設備損傷
 - ・ 外部電源系
 - ・ 残留熱除去系海水系
 - ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系

- ・ 非常用ディーゼル発電機用海水系
- ・ 補機冷却系海水系
- ・ 循環水系

③ 誘導雷サージによる電気盤内の回路損傷

- ・ 計測制御系

(3) 起因事象になり得るシナリオの選定

(1)で抽出した各損傷・機能喪失モードに対して、(2)で選定した評価対象設備への影響を検討の上、発生可能性のあるシナリオを選定した。

① 屋内外計測制御系設備に発生するノイズ

- ・ 計測制御系

ノイズにより安全保護回路が誤作動した場合、「隔離事象」又は「原子炉緊急停止系誤作動」に至るシナリオ

ノイズにより安全保護回路以外の計測制御系が誤作動した場合、「非隔離事象」、「全給水喪失」又は「水位低下事象」に至るシナリオ

② 直撃雷による設備損傷

- ・ 外部電源系

直撃雷により外部電源系が損傷した場合、外部電源系の機能喪失による「外部電源喪失」に至るシナリオ

- ・ 残留熱除去系海水系

直撃雷により残留熱除去系海水系が損傷した場合、残留熱除去系海水系の機能喪失による「最終ヒートシンク喪失」に至るシナリオ

- ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系

直撃雷により高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系が損傷した場合、高圧炉心スプレイ系の機能喪失による「計画外停止」に至るシナリオ

- ・ 非常用ディーゼル発電機用海水系

直撃雷により非常用ディーゼル発電機用海水系が損傷した場合、非常用ディーゼル発電機の機能喪失、外部電源喪失及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系喪失の同時発生を想定した場合、「全交流動力電源喪失」に至るシナリオ

- ・ 補機冷却系海水系

直撃雷により補機冷却系海水系が損傷した場合、タービン補機冷却系喪失による「タービン・サポート系故障」に至るシナリオ

- ・ 循環水系

直撃雷により循環水系が損傷した場合、復水器真空度喪失による「隔離事象」に至るシナリオ

③ 誘導雷サージによる電気盤内の回路損傷

- ・ 計測制御系

誘導雷サージにより計測制御系が損傷した場合、計測・制御系喪失により制御不能に至るシナリオ

(4) 起因事象の特定

(3)で選定した各シナリオについて、想定を上回る落雷に対する起因事象発生可能性評価を実施し、事故シーケンスグループ抽出に当たって考慮すべき起因事象の特定を行った。

① 屋内外計測制御設備に発生するノイズ

落雷によって安全保護回路に発生するノイズの影響により誤作動する可能性を否定できず，隔離事象又は原子炉緊急停止系誤作動に至るシナリオは考えられるため，起因事象として特定する。

また，落雷によって安全保護回路以外の計測制御系に発生するノイズの影響により誤作動する可能性を否定できず，非隔離事象，全給水喪失又は水位低下事象に至るシナリオは考えられるため，起因事象として特定する。

なお，上記事象以外の誤作動（ポンプの誤起動等）については，設備の機能喪失には至らず，かつ復旧についても容易であることから，起因事象としては特定しない。

② 直撃雷による設備損傷

外部電源系に過渡な電流が発生した場合，機器には雷サージの影響を緩和するため保安器が設置されているが，落雷が発生した場合，外部電源喪失に至るシナリオは考えられるため，起因事象として特定する。

残留熱除去系海水系は，避雷設備の効果を期待できるが，海水ポンプモータ部に関しては落雷によって機能喪失する可能性を否定できない。また，区分分離が実施された複数の系統に期待できるが，同時に機能喪失することを保守的に考慮し，最終ヒートシンク喪失に至るシナリオは考えられるため起因事象として特定する。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系は，避雷設備の効果を期待できるが，海水ポンプモータ部に関しては落雷によって機能喪失

失する可能性を否定できないことから、計画外停止に至るシナリオは考えられるため起因事象として特定する。

非常用ディーゼル発電機用海水系は、避雷設備の効果を期待できるが、海水ポンプモータ部に関しては落雷によって機能喪失する可能性を否定できない。また、区分分離が実施された複数の系統に期待できるが、同時に機能喪失することを保守的に考慮し、全交流動力電源喪失に至るシナリオは考えられるため起因事象として特定する。

補機冷却系海水系は、避雷設備の効果を期待できるが、海水ポンプモータ部に関しては落雷によって機能喪失する可能性を否定できない。また、区分分離が実施された複数の系統に期待できるが、同時に機能喪失することを保守的に考慮し、タービン・サポート系故障に至るシナリオは考えられるため起因事象として特定する。

循環水ポンプモータ部に関しては落雷によって機能喪失する可能性を否定できないため、隔離事象に至るシナリオは考えられるため起因事象として特定する。

③ 誘導雷サージによる電気盤内の回路損傷

落雷による誘導雷サージを接地網に効果的に導くことができない場合には、電気盤内の絶縁耐力が低い回路が損傷し、発電用原子炉施設の安全保護系機能が喪失する。しかし、安全保護回路はシールド付きケーブルを使用し、屋内に設置されているため、損傷に至る有意なサージの侵入はないものと判断されることから、考慮すべき起因事象としては特定不要であると判断した。

なお、安全保護回路以外の計測制御系は、誘導雷サージの影響により損傷し、安全保護回路以外の計測・制御系喪失により制御不能に至

る可能性を否定できない。制御不能となった場合は、非隔離事象、全給水喪失又は水位低下事象に至る可能性は考えられるため、起因事象として特定する。

2. 事故シーケンスの特定

1. にて設計基準を超える落雷事象に対し発生可能性のある起因事象として以下を特定した。

- ・安全保護回路に発生するノイズの影響に伴う隔離事象又は原子炉緊急停止系誤作動
- ・安全保護回路以外の計測制御系に発生するノイズの影響に伴う非隔離事象、全給水喪失又は水位低下事象
- ・外部電源系の損傷に伴う外部電源喪失
- ・残留熱除去系海水系の損傷に伴う最終ヒートシンク喪失
- ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系の損傷に伴う計画外停止
- ・非常用ディーゼル発電機用海水系の損傷、かつ外部電源喪失の同時発生による全交流動力電源喪失
- ・補機冷却系海水系の損傷に伴うタービン・サポート系故障
- ・循環水系の損傷に伴う隔離事象
- ・安全保護回路以外の計測制御系の損傷に伴う非隔離事象、全給水喪失又は水位低下事象

上記起因事象については、いずれも運転時の内部事象や地震、津波レベル 1 P R A にて考慮していることから、追加すべき新しい事故シーケンスではない。

よって、落雷を起因とする有意な頻度又は影響のある事故シーケンスは新たに生じないと判断される。

起因事象の発生が考えられるその他の自然現象と起因事象発生時の対応

| 自然現象 | 考慮対象とした起因事象 | 起回事象の発生シナリオ | 想定される他の緩和系設備への影響 | 緩和系設備の機能喪失への対応 |
|-------|--------------|---|---|---|
| 凍結 | 外部電源喪失 | 送電線や碍子へ着氷することによって相间短絡を起すことによる外部電源喪失 | 建屋内の機器には影響しないものと考えられる。 建屋外の機器には低温による影響が生じる可能性が考えられる。 | 建屋内の機器には影響しないものと考えられることから、必要な緩和機能は維持できるものと考えられる。 建屋外の機器に対して、凍結防止対策により機能を維持できるものと考えられる。 |
| | 積雪 | 外部電源喪失 | 送電線や碍子へ着雪することによって相间短絡を起すことによる外部電源喪失 | 建屋内の機器には影響しないものと考えられる。 建屋外の機器には積雪による影響が生じる可能性が考えられる。 |
| 火山の影響 | 外部電源喪失 | 送電線や碍子へ降下火砕物が付着し、水分を吸収することによって相间短絡を起すことによる外部電源喪失 | 建屋内の機器には影響しないものと考えられる。 建屋外の機器には降下火砕物の堆積による影響が生じる可能性が考えられる。 | 建屋内の機器には影響しないものと考えられることから、必要な緩和機能は維持できるものと考えられる。 建屋外の機器に対して、除灰等の対応により機能を維持できるものと考えられる。 |
| 竜巻 | 計画外停止 | 気圧差荷重や、飛来物の衝突による原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放や、非常用ガス処理系等の損傷に伴う計画外停止 | 建屋内の機器のうち、飛来物が直接衝突する十分な厚さを有した外壁とひとつつ内側の頑健性のある壁との間に設置されている機器以外には影響しないものと考えられる。 | 建屋内の機器のうち、飛来物が直接衝突する十分な厚さを有した壁とひとつつ内側の頑健性のある壁との間に設置されている機器以外には影響しないものと考えられることから、必要な緩和機能は維持できるものと考えられる。 建屋外の機器に対して、竜巻の局所性を考慮して位置的分散を図ること及び竜巻防護設備を設置することにより建屋外の機器に期待できるものと考えられる。 |
| | 非隔離事象 | 風荷重や、飛来物の衝突によるタービンや発電機の損傷に伴う非隔離事象 | 建屋外の機器以外には影響しないものと考えられる。 | 建屋外の機器には影響しないものと考えられる。 |
| | タービン・サポート系故障 | 風荷重や、飛来物の衝突によるタービン補機冷却系の損傷に伴うタービン・サポート系故障 | 建屋外の機器には風荷重や飛来物の衝突による影響が生じる可能性が考えられる。 | 建屋外の機器に対して、竜巻の局所性を考慮して位置的分散を図ること及び竜巻防護設備を設置することにより建屋外の機器に期待できるものと考えられる。 |
| | 隔離事象 | 風荷重や、飛来物の衝突による循環水ポンプ等の損傷に伴う隔離事象 | | |
| | 外部電源喪失 | 風荷重や、飛来物の衝突による外部電源系の損傷に伴う外部電源喪失 | | |
| | 全交流動力電源喪失 | 風荷重や、飛来物の衝突による非常用ディーゼル発電機等の機能喪失及び外部電源喪失の同時発生による全交流動力電源喪失 | | |
| | 最終ヒートシンク喪失 | 風荷重や、飛来物の衝突による残留熱除去系海水系の損傷による最終ヒートシンク喪失 | | |

起因事象の発生が考えられるその他の自然現象と起因事象発生時の対応

| 自然現象 | 考慮対象とした起因事象 | 起因事象の発生シナリオ | 想定される他の緩和系設備への影響 | 緩和系設備の機能喪失への対応 |
|------|---|---|---|---|
| 森林火災 | 外部電源喪失 | 送電線の輻射熱による損傷に伴う外部電源喪失 | 建屋内の機器には影響しないものと考えられる。 建屋外の機器には輻射熱による影響が生じる可能性が考えられる。 | 建屋内の機器には影響しないものと考えられることから、必要な緩和機能は維持できるものと考えられる。 建屋外の機器に対しても、森林火災が拡大されるまでの時間的余裕が十分にあることから、あらかじめ散水する等の必要な安全措置を講ずることにより機能を維持できるものと考えられる。 |
| 落雷 | 隔離事象 原子炉緊急停止系誤作動等 非隔離事象 全給水喪失 水位低下事象 外部電源喪失 最終ヒートシンク喪失 計画外停止 全交流動力電源喪失 タービン・サポーター系故障 | <p>安全保護回路に発生するノイズの影響や直撃雷による循環水系の損傷に伴う隔離事象</p> <p>安全保護回路に発生するノイズの影響に伴う原子炉緊急停止系誤作動</p> <p>安全保護回路以外の計測制御系に発生するノイズの影響に伴う非隔離事象</p> <p>安全保護回路以外の計測制御系に発生するノイズの影響に伴う全給水喪失</p> <p>安全保護回路以外の計測制御系に発生するノイズの影響に伴う水位低下事象</p> <p>直撃雷に伴う外部電源系の損傷に伴う外部電源喪失</p> <p>直撃雷による残留熱除去系海水系の損傷に伴う最終ヒートシンク喪失</p> <p>直撃雷による高圧炉心スプレイス発電機用海水系の損傷に伴う計画外停止</p> <p>直撃雷による非常用ディーゼル発電機等の機能喪失、及び外部電源喪失の同時発生による全交流動力電源喪失</p> <p>直撃雷による補機冷却系海水系の損傷に伴うタービン・サポーター系故障</p> | <p>建屋内の機器には影響しないものと考えられる。 建屋外の機器には直撃雷による影響が生じる可能性が考えられる。</p> <p>建屋内の機器には影響しないものと考えられる。 建屋外の機器には直撃雷による影響が生じる可能性が考えられる。</p> | <p>建屋内の機器には影響しないものと考えられることから、必要な緩和機能は維持できるものと考えられる。 建屋外の機器に対しても、落雷の局所性を考慮して位置的分散を図ること及び避雷設備を設置することにより建屋外の機器に期待できるものと考えられる。</p> |

過酷な外部人為事象により考え得る起因事象等

| No | 外部人為事象 (色塗り部は6条の設計基準設定事象) | 設備等の損傷・機能喪失モードの抽出 | 設計基準を超える事象の発生を想定した場合の評価 | 想定される起因事象等 |
|----|---|-----------------------------|---|------------|
| 1 | 衛星の落下 | NUREGやIAEAのSAFETY STANDARDS | SERIESでも言及されているように、有意な発生頻度とはならない。(10 ⁻⁹ /年以下) | |
| 2 | パイプライン事故 (ガスなど)、パイプ ライン事故によるサ イト内爆発等 | 荷重 | 爆発 (No. 12) の評価に包絡される。 | |
| | | 荷重 (爆風圧) | 爆発 (No. 12) の評価に包絡される。 | |
| | | 温度 | 近隣工場等の火災 (No. 23) の評価に包絡される。 | |
| | | ばい煙、有毒ガス | 近隣工場等の火災 (No. 23) の評価に包絡される。 | |
| 3 | 交通事故 (化学物質 の流出含む) | ばい煙、有毒ガス | 有毒ガス (No. 4) の影響に包絡される。 | |
| | | 温度 | 近隣工場等の火災 (No. 23) の評価に包絡される。 | |
| | | ばい煙による閉塞 | 近隣工場等の火災 (No. 23) の評価に包絡される。 | |
| | | ばい煙、有毒ガスの侵入 | 有毒ガス (No. 4) の評価に包絡される。 | |
| 4 | 有毒ガス | 有毒ガスの侵入 | 鉄道路線、主要道路、航路及び石油コンビナート施設は発電所から十分な離隔距離が確保されてお り、危険物を搭載した車両及び船舶を含む事故等による当該発電所への有毒ガスの影響はない。ま た、中央制御室換気系においては閉回路循環運転も可能であるため、影響はない。 | |
| 5 | タービンミサイル | 有意な衝突頻度にならない。 | | |
| 6 | 飛来物 (航空機落下) | 荷重 | 航空機落下確率評価結果が防護方針の要否判断の基準である 10 ⁻⁷ 回/ 年を超えないため、航空機 落下による防護設計を必要としない。なお、当該事象が万が一発生した場合には、大規模損壊及び大 規模な火災が発生することを想定し、大規模損壊対策による影響緩和を図ることに対応する。 | |
| | | 温度 | | |
| | | ばい煙による閉塞 | | |
| | | ばい煙、有毒ガスの侵入 | | |
| 7 | 工業施設又は軍事施 設事故 | 荷重 | 爆発 (No. 12) の評価に包絡される。 | |
| | | 荷重 (爆風圧) | 爆発 (No. 12) の評価に包絡される。 | |
| | | 温度 | 近隣工場等の火災 (No. 23) の評価に包絡される。 | |
| | | ばい煙による閉塞 | 近隣工場等の火災 (No. 23) の評価に包絡される。 | |
| 8 | 船舶の衝突 | ばい煙、有毒ガス | 有毒ガス (No. 4) の評価に包絡される。 | |
| | | ばい煙、有毒ガスの侵入 | | |
| | | 閉塞 (海水系) | 発電所周辺の航路は十分な離隔距離が確保されているが、発電所周辺の航路を通行する輸送船が漂 流した場合であっても、輸送船の喫水深さ 11.5m に対して、発電所沖合 900m での水深が 11m である ことから敷地に到達する可能性は低い。また、喫水の浅い小型船舶の漂流を想定した場合、敷地全 面の防波堤に衝突して止まる可能性が高く、取水性に影響はない。 | |
| | | 取水口の閉塞 | 万が一、小型船舶や、港湾内に入港する船舶が事故によってカーテンウォール前面に到達した場合で あっても、カーテンウォールにより取水路への侵入は阻害され、取水口の呑み口は広く閉塞する可能 性は低いことから、取水性に影響はない。 | |

過酷な外部人為事象により考え得る起因事象等

| No | 外部人為事象 (色塗り部は6条の設計基準設定事象) | 設備等の損傷・機能喪失モードの抽出 | 設計基準を超える事象の発生を想定した場合の評価 想定される起因事象等 |
|----|------------------------------|--|---|
| 8 | 船舶の衝突 | 閉塞 (海水系) 油漏えいによる海水系ストレーナ等の閉塞 | 船舶の座礁により重油流出事故が発生した場合であっても、カーテンウォールにより低層から取水することによって、残留熱除去系海水系、非常用ディーゼル発電機用海水系及び高圧炉心スプレイスディーゼル発電機用海水系の取水性に影響はない。 |
| 9 | 自動車又は船舶の爆発 | ばい煙, 有毒ガス | 火災 (近隣工場等の火災) (No. 23) の評価に包絡される。 |
| | | ばい煙, 有毒ガスの侵入 | 有毒ガス (No. 4) の影響に包絡される。 |
| | | 荷重 (衝突) | 爆発 (No. 12) の評価に包絡される。 |
| | | 荷重 (爆風圧) | 爆発 (No. 12) の評価に包絡される。 |
| | | 温度 | 近隣工場等の火災 (No. 23) の評価に包絡される。 |
| 10 | 船舶から放出される 固体・液体不純物 | ばい煙, 有毒ガス | 近隣工場等の火災 (No. 23) の評価に包絡される。 |
| | | ばい煙, 有毒ガスの侵入 | 有毒ガス (No. 4) の評価に包絡される。 |
| 11 | 船舶から放出される 固体・液体不純物 | 閉塞 (海水系) | 船舶の衝突 (船舶事故) (No. 8) の評価に包絡される。 |
| 11 | 水中の化学物質 | 閉塞 (海水系) | 船舶の衝突 (船舶事故) (No. 8) の評価に包絡される。 |
| 12 | 爆発 | 荷重 (衝突) | 鹿児島臨海地区石油コンビナート等特別防災区域は、東海第二発電所周辺で石油コンビナート等特別防災区域に指定されている唯一の区域であり、また、発電所から 50km 以上の距離があることから、爆発の影響が安全施設の安全機能に及ぼすおそれはない。 |
| | | 荷重 (爆風圧) | 発電所周辺で爆発による影響が最も大きいと考えられる LNG 基地 (敷地北東方向約 1.5km) での爆発を想定しても、飛来物及び爆風圧の影響が及ばない離隔距離を確保している。 |
| 13 | プラント外での 化学物質の流出 | ばい煙, 有毒ガス | 火災 (近隣工場等の火災) (No. 23) の評価に包絡される。 |
| | | ばい煙, 有毒ガスの侵入 | 有毒ガス (No. 4) の評価に包絡される。 |
| | | 化学物質の流出による海水系ストレーナ等の閉塞 | 船舶の衝突 (船舶事故) (No. 8) の評価に包絡される。 |
| 14 | サイト貯蔵の 化学物質の流出 | 有毒ガス | 有毒ガス (No. 4) の評価に包絡される。 |
| 14 | サイト貯蔵の 化学物質の流出 | 有毒ガスの侵入 | 有毒ガス (No. 4) の評価に包絡される。 |
| 15 | 軍事施設からの ミサイル | 偶発的なミサイル到達は考え難いため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 | |
| 16 | 掘削工事 | 敷地内で、地面の掘削工事を行う場合は、事前調査で埋設ケーブル・配管位置の確認を行うため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 敷地外で、地面の掘削工事を行う場合は、送電鉄塔の損傷の可能性があるが、複数回線が同時に損傷するシナリオは考え難い。 | |

過酷な外部人為事象により考え得る起因事象等

| No | 外部人為事象 (色塗り部は6条の設計基準設定事象) | 設計基準を超える事象の発生を想定した場合の評価 | | |
|----|------------------------------|---|-------------|--|
| | | 設備等の損傷・機能喪失モードの抽出 | | 想定される起因事象等 |
| 17 | 他のユニット からの火災 | 温度 | 輻射熱 | 近隣工場等の火災 (No. 23) の評価に包絡される。 |
| | | ばい煙、有毒ガス | ばい煙による閉塞 | 近隣工場等の火災 (No. 23) の評価に包絡される。 |
| 18 | 他のユニット からのミサイル | ばい煙、有毒ガスの侵入 | | 有毒ガス (No. 4) の評価に包絡される。 |
| | | 有意なミサイル源はないため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 | | |
| 19 | 他のユニット からの内部溢水 | 東海発電所分も含めた屋外タンク及び貯槽類からの溢水を想定しても、東海第二発電所の安全施設への影響が無いことを確認したため、他のユニットからの内部溢水の影響による設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 | | |
| 20 | 電磁的障害 | 電氣的影響 | サージ及び誘導電流 | 安全保護回路は、日本工業規格 (J I S) 等に基づき、ラインフィルタや絶縁回路の設置により、サージ・ノイズの侵入を防止するとともに、銅製筐体や金属シールド付ケーブルの適用により電磁波の侵入を防止する設計としており、安全機能を損なうことはないため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| | | | 過電圧 | |
| 21 | ダム の崩壊 | 浸水 | ダム の崩壊による浸水 | 敷地周辺の地形及び上流に位置している久慈川水系の竜神ダムの保有水量から判断して、ダム の崩壊が発生した場合においても、敷地が久慈川の洪水による被害を受けることはないため、設備の損傷・機能喪失が発生するシナリオは考え難い。 |
| 22 | 内部溢水 | 別紙 1 表 1 に示すとおり。 | | |
| 23 | 近隣工場等の火災 | 温度 | 輻射熱 | 自然現象 森林火災 (No. 22) の評価に包絡される。 |
| | | ばい煙、有毒ガス | ばい煙による閉塞 | 自然現象 森林火災 (No. 22) の評価に包絡される。 |
| | | | ばい煙、有毒ガスの侵入 | 有毒ガス (No. 4) の評価に包絡される。 |

自然現象の重量確認結果

【凡例】

【例題】**斜線：**以下の理由により，重畳影響考慮不要

○東海第二発電所及びその周辺では発生しない（若しくは、発生が極めて稀）と判断した事象

① 車庫内での評価においても設備等への影響等がない(若しくは、非常に小さい)事象で、他の事象との重量を考慮しても明らかに設備等への影響が無いと判断した事象
② 車庫内での評価においても設備等への影響等がない(若しくは、非常に小さい)事象で、他の事象との重量を考慮しても明らかに設備等への影響が無いと判断した事象
③ 各自然現象が重量した場合でも単独事象同士の影響評価より増長しない、若しくは同時には起こりえない。

—: 各自然現象が重畳した場合でも単独事象同士の影響評価より増長しない、若しくは同時には起こりえない。

I : 各自然現象から同じ影響がそれぞれ作用し、重ね合わさって増長するケース

Ⅱ：ある自然現象の防護施設が他の自然現象によって機能喪失することにより、影響が増大するケース

II-1: 他の自然現象の作用により前提条件が変化し、影響が増長するケース

[illegible]

【凡例】

○東海第二発電所及びその周辺では発生しない（若しくは、発生が極めて稀）と判断した事象

—:各自然現象が重畳した場合でも単独事象同士の影響評価より増長しない、若しくは同時に起こりえない。

II: ある自然現象の防護施設が他の自然現象によって機能喪失することにより、影響が増長するケース

III-2: 他の自然現象の作用により影響が及ぶようになるケース

主 要 内 容

別紙 1-93

自然現象の重畳確認結果

【凡例】

斜線：以下の理由により、重畳影響考慮不要

○東海第二発電所及びその周辺では発生しない（若しくは、発生が極めて稀）と判断した事象

○単独事象での評価において設備等への影響がない（若しくは、非常に小さい）事象で、他の事象との重畳を考慮しても明らかに設備等への影響が無いと判断した事象

－：各自然現象から重畳した場合でも単独事象同士の影響評価より増長しない、若しくは同時に増長するケース

I：各自然現象から同じ影響がそれぞれ作用し、重ね合わさって増長するケース

II：ある自然現象の防護施設が他の自然現象によって機能喪失することにより、影響が増長するケース

III-1：他の自然現象の作用により前提条件が変化し、影響が増長するケース

III-2：他の自然現象の作用により影響が及ぶようになるケース

| 主事象 | | 重畳事象 | | 設備・建物・機能喪失モード 備考 | 火災影響 | | | | 波浪・潮位 浸水 | 雪崩 | 生物学的事象 | | 海況状況 | 干ばつ | 洪水 | 風（台風） 荷重（傾倒） | 前港 荷重（傾倒） | 後港 荷重（傾倒） | 濃霧 |
|-----|--------|---------------|--------------------------------|---------------------|--------------------|---------|---------|----|-------------|-------|-----------|---------|--------|-----|----|-----------------|--------------|--------------|--------|
| No | 自然現象 | 設備・建物・機能喪失モード | 重畳事象 | | 荷重（傾倒） | 閉塞（海水等） | 閉塞（電気系） | 腐食 | 電力的影響 | | 閉塞（海水等） | 閉塞（電気系） | | | | | | | |
| 1 | 凍結 | 温度 | 屋外タンク及び配管設備の凍結 ヒートシンク 海内の凍結 | | － | － | － | － | － | 発生しない | 閉塞 海水等 | 電力的影響 | 影響が小さい | | － | － | － | － | 影響が小さい |
| 2 | 開石 | － | 船体による設備の浸水 | | III-1, III-2 傾倒 | － | － | － | III-1 | | － | － | | | I | － | － | － | |
| 3 | 降水 | 浸水 | 降水による設備の浸水 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 河川氾濫 | － | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 台風 | 閉塞（電気系） | 初機・大船・中機・小機による設備の浸水 | | － | － | I | － | － | | － | － | | | － | III-1 | － | － | |
| 6 | 静振 | 浸水 | 静振による設備の浸水 | | － | － | － | － | － | | － | － | | | I | － | － | － | |
| 7 | 地震活動 | 浸水 | 地震による船体の損傷 | | I | － | － | － | － | | II | － | | | II | I | I | － | |
| 8 | 積雪 | 荷重 | 荷重・地盤 | | I | － | － | － | － | | － | － | | | － | － | － | － | |
| 9 | 電圧変動 | 電圧変動 | 船体・船内設備の損傷 | | － | － | I | － | I | | － | － | | | － | － | － | － | I |
| 10 | 高潮 | 浸水 | 高潮による設備の浸水 | | － | － | － | － | － | | － | － | | | I | － | － | － | |
| 11 | 津波 | 浸水 | 津波による設備の浸水 | | － | － | － | － | － | | － | － | | | I | － | II | － | |
| 12 | 火災事象 | 閉塞（海水等） | 閉塞（海水等）による設備の浸水 | | － | I | － | － | － | | I | － | | | － | － | － | － | |
| 13 | 波浪・潮位 | 浸水 | 波浪・潮位による設備の浸水 | | － | － | － | － | － | | － | － | | | I | － | － | － | |
| 14 | 雪崩 | － | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 生物学的事象 | 閉塞（海水等） | 取水口・海水ストレーナー等の閉塞 | | － | I | － | － | － | | － | － | | | － | I | － | － | |
| 16 | 海内浸食 | 電圧変動 | げんし橋（各スミ等）によるケーブルの損傷 | | － | － | － | － | － | | － | － | | | － | － | － | － | |
| 17 | 干ばつ | － | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 洪水 | 浸水 | 洪水による設備の浸水 | | III-1, III-2 傾倒 | － | － | － | － | | － | － | | | | － | － | － | |
| 19 | 風（台風） | 荷重 | 荷重・風 | | － | － | III-1 | － | － | | － | － | | | － | － | I | I | － |
| 20 | 竜巻 | 荷重 | 荷重・傾倒 | | － | － | III-1 | － | － | | － | － | | | － | I | － | － | |
| 21 | 濃霧 | － | | | I | － | － | － | － | | － | － | | | － | I | － | － | |
| 22 | 森林火災 | 温度 | 火災による設備の浸水 | | － | － | － | － | － | | － | － | | | － | － | － | － | |
| 23 | 霜・白霜 | 閉塞（電気系） | 電気設備の閉塞 | | － | － | I | － | － | | － | － | | | － | － | III-1 | － | |
| 24 | 船舶火災 | － | | | | | | | | | | | | | | | | | |

自然現象の重畳確認結果

【凡例】

斜線：以下の理由により、重畳影響考慮不要

○東海第二発電所及びその周辺では発生しない（若しくは、発生が極めて稀）と判断した事象

○単独事象での評価において設備等への影響がない（若しくは、非常に小さい）事象で、他の事象との重畳を考慮しても明らかに設備等への影響が無いと判断した事象

－：各自然現象が重畳した場合でも単独事象同士の影響が相互より増長しない、若しくは同時には起こらない。

I：各自然現象から同じ影響がそれぞれ作用し、重ね合わさって増長するケース

II：ある自然現象の防護施設が他の自然現象によって機能喪失することにより、影響が増長するケース

III-1：他の自然現象の作用により前提条件が変化し、影響が増長するケース

III-2：他の自然現象の作用により影響が及ぶようになるケース

| 重畳事象 | | 設備の損傷・機能喪失 失モード 備考 | 火災影響 | | | | 洪水・崩落 | | 雪崩 | 生物学的現象 | | 海洋気象 | 干ばつ | | 洪水 | 風（台風） | | 前浜 | | 濃霧 |
|------|--------------------|--------------------------|----------------|-------------|-------------|----|-------|-------|-------|-------------|-------------|--------|-----|---|----|------------|------------|------------|------------|--------|
| No | 自然現象 | | 荷重 （単位） | 閉塞 （海水等） | 閉塞 （空気等） | 腐食 | 電圧的影響 | 波浪・崩落 | | 閉塞 （海水等） | 閉塞 （空気等） | | | | | 荷重 （単位） | 荷重 （単位） | 荷重 （単位） | 荷重 （単位） | |
| 25 | ひょう・あられ | 荷重 | 荷重 単位 | － | － | － | － | － | 発生しない | － | － | 影響が大きい | － | － | － | － | － | － | － | 影響が大きい |
| 26 | 極低温 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 27 | 満潮 | 浸水 | 浸水による設備の浸水 | － | － | － | － | I | － | － | － | － | － | － | I | － | － | － | － | － |
| 28 | ハリケーン | － | － | － | － | － | I | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 29 | 氷結 | 電圧影響 | 着氷 | － | － | － | I | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 30 | 氷晶 | 電圧影響 | 着氷 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 31 | 氷壁 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 32 | 土砂崩れ （山崩れ、がけ崩れ） | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 33 | 落雷 | 電圧影響 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | II | II | － | － |
| 34 | 湖又湖沼の水位低下 | － | 浸水 | － | － | － | － | I | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 35 | 湖又湖沼の水位上昇 | － | 浸水 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 36 | 陥没・地盤沈下・地割れ | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 37 | 極限的な電力 （緊急停電） | 荷重 | 荷重 単位 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 38 | もや | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 39 | 地震・地震 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 40 | 地震の揺動 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 41 | 動物 | 物理的影響 | ケープの網の影響 | I | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 42 | 地割れ | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 43 | カラスト | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 44 | 地下水位による浸食 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 45 | 海水面低 | 浸水 | 海水面低下による海水の浸水 | － | － | － | － | I | － | － | － | － | － | － | I | － | － | － | － | － |
| 46 | 海水面高 | 浸水 | 海水面の上昇による設備の浸水 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 47 | 地下水位による地割れ | 閉塞 海水の浸 | 海水の浸水による設備の浸水 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 48 | 水圧の急激な変動 | 電圧影響 | 海水の浸水による設備の浸水 | I | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 49 | 大規模な地震・地震 | 電圧影響 | 海水の浸水による設備の浸水 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 50 | 高気圧 海水面高 | 温度 | 海水の浸水による設備の浸水 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 51 | 低気圧 海水面低 | 温度 | 海水の浸水による設備の浸水 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 52 | 台風・低気圧（海水面低） | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 53 | 台風・低気圧（海水面高） | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 54 | 水素ガス | 閉塞 海水の浸 | 海水の浸水による設備の浸水 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 55 | 水素ガス | 閉塞 海水の浸 | 海水の浸水による設備の浸水 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |

自然現象の重畳確認結果

【凡例】

【例題】**斜線：**以下の理由により，重畳影響考慮不要

○東海第二発電所及びその周辺では発生しない（若しくは、発生が極めて稀）と判断した事象

○車庫事象での評価において設備等への影響がない(若しくは、非常に小さい)事象で、他の事象との重畳による影響が軽微な事象と見做すことができる。ただし、車庫事象の発生頻度が高い場合は、車庫事象の発生頻度が高いことによる影響を考慮する。

I: 各自然現象から同じ影響がそれぞれ作用し、重ね合わさって増長するケース

II : ある自然現象の防護施設が他の自然現象によって機能喪失することにより

II-1: 他の自然現象の作用により前提条件が変化し、影響が増

[illegible]

自然現象の重畳確認結果

【凡例】

斜線：以下の理由により、重畳影響考慮不要

○東海第二発電所及びその周辺では発生しない（若しくは、発生が極めて稀）と判断した事象

○単独事象での評価において設備等への影響がない（若しくは、非常に小さい）事象で、他の事象との重畳を考慮しても明らかに設備等への影響が無いと判断した事象

－：各自然現象が重畳した場合でも単独事象同士の影響が相互より増長しない、若しくは同時に増長するケース

I：ある自然現象から同じ影響がそれぞれ作用し、重ね合わさって増長するケース

II：ある自然現象の防護施設が他の自然現象によって機能喪失することにより、影響が増長するケース

III-1：他の自然現象の作用により影響が及ぶようになるケース

| 主事象 | | 設備の劣化・機能喪失 モード 備考 | 森林火災 温度 湿度 | 霧・土着 影響が大きい 影響が小さい | 草形火災 影響が大きい 影響が小さい | ひょう ・雹 影響が大きい 影響が小さい | 極低温 影響が大きい 影響が小さい | 満潮 影響が大きい 影響が小さい | ハリケーン 影響が大きい 影響が小さい | 氷結 電圧影響 影響が大きい 影響が小さい | 氷晶 電圧影響 影響が大きい 影響が小さい | 氷壁 影響が大きい 影響が小さい | 土砂崩れ （山崩れ、がけ崩れ） 影響が大きい 影響が小さい | 落雷 電圧影響 （雷撃電） 電圧影響 （ノイズ） 電圧影響 （雷サージ） 影響が大きい 影響が小さい | | | 湖又沼の川の 水位低下 影響が大きい 影響が小さい | 湖又沼の川の 水位上昇 影響が大きい 影響が小さい | 地震、地盤沈下、地割れ 影響が大きい 影響が小さい | 極限的電力 （仮定値） 影響が大きい 影響が小さい |
|-----|--------------------|-------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|--|--|---|---|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| No | 自然現象 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 極低温 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 27 | 満潮 | 浸水 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 28 | ハリケーン | 満潮による設備の浸水 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 29 | 氷結 | 電圧影響 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 30 | 氷晶 | 電圧影響 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 31 | 氷壁 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 32 | 土砂崩れ （山崩れ、がけ崩れ） | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 33 | 落雷 | 電圧影響 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 34 | 湖又沼の川の低下 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 35 | 湖又沼の川の水位上昇 | 浸水 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 36 | 地震、地盤沈下、地割れ | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 37 | 極限的電力 （仮定値） | 荷重 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 38 | もや | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 39 | 地震・地盤沈下 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 40 | 地震・地盤沈下 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 41 | 動物 | 物理的影響 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 42 | 地割れ | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 43 | カルスト | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 44 | 地下水位の上昇 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 45 | 海水逆流 | 海水 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 46 | 海水逆流 | 海水 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 47 | 地下水位の上昇 | 閉塞、海水の逆流 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 48 | 水圧の増大 | 閉塞、海水の逆流 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 49 | 水圧の増大 | 閉塞、海水の逆流 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 50 | 海水の逆流 | 閉塞、海水の逆流 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 51 | 海水の逆流 | 閉塞、海水の逆流 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 52 | 海水の逆流 | 閉塞、海水の逆流 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 53 | 海水の逆流 | 閉塞、海水の逆流 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 54 | 海水の逆流 | 閉塞、海水の逆流 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| 55 | 海水の逆流 | 閉塞、海水の逆流 | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |

自然現象の重畳確認結果

【凡例】

斜線：以下の理由により，重畳影響考慮不要

○東海第二発電所及びその周辺では発生しない（若しくは、発生が極めて稀）と判断した事象

- 車庫事象での評価において設備等への影響がない（若しくは、非常に小さい）事象で、他の事象との重量比が大きい場合には、その重み付けは高くなる。
- 一：各自然現象が重量した場合でも単独事象同士の影響評価より増長しない、若しくは同時には起こりえない。

I : 各自然現象から同じ影響がそれぞれ作用し、重ね合わさって増長するケース

Ⅲ：ある自然現象の防護施設が他の自然現象によって機能喪失することにより、影響が増長するケース

III-1: 他の自然現象の作用により前提条件が変化し、影響が増長するケース

| 主事象 | | 重畳事象 | | 設備・利用・機能喪失モード | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----------|---------------|----------------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-----------|--------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| No | 自然現象 | 設備・利用・機能喪失モード | 設備・利用・機能喪失モード | もや | 塩害・塩害 | 地面の陥没 | 動物 | 地滑り | カルスト | 地下火による浸食 | 海水面高 | 地下水による地滑り | 水中の有機体 | 太陽フレア、磁気嵐 | 高温水 海水面高 | 低温水 海水面高 | 汚濁水 海水面高 | 土砂流 | 水蒸気 | 揮発ガス |
| 1 | 凍結 | 温度 | 屋外タンク/反圧装置/留置の施設 ヒートポンプ 施設 施設 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 | 凍結/氷 |
| 2 | 凍結 | 電気の供給 | 電力による送電/相対電圧 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 |
| 3 | 凍結 | 浸水 | 浸水による送電/相対電圧 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 |
| 4 | 河川/海 | 浸水 | 浸水による送電/相対電圧 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 |
| 5 | 地震 | 閉塞/収容 | 地震、大規模の地震による収容の閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 |
| 6 | 静電 | 浸水 | 静電による送電/相対電圧 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 |
| 7 | 地震/地滑り | 荷重 | 荷重、地滑り | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 |
| 8 | 積雪 | 電気の供給 | 積雪による送電/相対電圧 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 | 電気の供給 |
| 9 | 土砂/大規模の地震 | 閉塞 | 土砂、大規模の地震による閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 |
| 10 | 高潮 | 浸水 | 高潮による送電/相対電圧 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 |
| 11 | 津波 | 荷重 | 荷重、津波 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 |
| 12 | 火山/地震 | 閉塞/海水面高 | 閉塞/海水面高 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 |
| | | 閉塞/海水面高 | 閉塞/海水面高 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 |
| | | 閉塞/海水面高 | 閉塞/海水面高 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 |
| | | 閉塞/海水面高 | 閉塞/海水面高 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 | III-1 |
| 13 | 波浪・高潮 | 浸水 | 波浪・高潮による送電/相対電圧 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 |
| 14 | 雪崩 | 閉塞 | 雪崩による閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 |
| 15 | 生物的事象 | 電気の供給 | 生物による送電/相対電圧 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 | 電力の供給 |
| 16 | 海苔/海藻 | 浸水 | 海苔、海藻による送電/相対電圧 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 |
| 17 | 干ばつ | 閉塞 | 干ばつによる閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 |
| 18 | 洪水 | 浸水 | 洪水による送電/相対電圧 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 | 浸水 |
| 19 | 風 (台風) | 荷重 | 荷重、台風 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 |
| 20 | 竜巻 | 荷重 | 荷重、竜巻 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 |
| 21 | 濃霧 | 閉塞 | 濃霧による閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 |
| 22 | 森林火災 | 温度 | 森林火災による温度上昇 | 温度 | 温度 | 温度 | 温度 | 温度 | 温度 | 温度 | 温度 | 温度 | 温度 | 温度 | 温度 | 温度 | 温度 | 温度 | 温度 | 温度 |
| 23 | 霜・白霜 | 閉塞/収容 | 閉塞/収容 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 |
| 24 | 助成火災 | 閉塞 | 助成火災による閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 | 閉塞 |
| 25 | ひょう・おたれ | 荷重 | 荷重、ひょう・おたれ | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 | 荷重 |

自然現象の重畳確認結果

【凡例】

斜線：以下の理由により，重畳影響考慮不要

○東海第二発電所及びその周辺では発生しない（若しくは、発生が極めて稀）と判断した事象

○車庫事象での評価において設備等への影響がない(若しくは、非常に小さい)事象で、他の事象との重畳による影響が大きい事象と見做す場合、この重畳による影響を考慮して、評価を1段階以上引き上げる。

I : 各自然現象から同じ影響がそれぞれ作用し、重ね合わさって増長するケース

Ⅲ：ある自然現象の防護施設が他の自然現象によって機能喪失することにより、影響が増長するケース

III-1: 他の自然現象の作用により前提条件が変化し、影響が増長

[illegible]

外部人為事象に関わる重畳の影響について

外部事象のうち、自然現象同士が重畳することによる影響については、補足 3 に示すように組合せを考慮し、単独事象とは異なる新たな影響が発生しないことを確認した。一方、外部人為事象については、以下に示す理由から個々の組合せについて確認する必要はなく、自然現象の重畳影響評価に包絡されると考える。

【理由】自然現象と比べて外部人為事象は影響範囲が限定的（狭い）である。

自然現象の影響は、原子力施設全体に対して同時に作用する点が特徴である。一方、外部人為事象の場合は、人工物の事故等により引き起こされるものであり、影響範囲は当該人工物の大きさや内包する危険物量等により決まる。したがって、外部人為事象の場合、低頻度事象を仮定しようとしても、実際に設置されている設備や立地状況等により制限され、際限なく事象影響範囲が広がるということはない。

以上より、各外部人為事象により生じる影響の特徴を踏まえ、それぞれの影響を包絡する自然現象について重畳影響を確認しておくことで、外部人為事象についても重畳影響を確認したことと同等になる（表 1 参照）。

表 1 自然現象に包絡される外部人為事象

| 自然現象 | 特徴 | 包絡される外部人為事象 |
|------|---|---|
| 地震 | 発電用原子炉施設全体に対して外力が作用し、複数の機器が同時に機能喪失する可能性がある。敷地の変動等により屋外設備の基礎や地中設備を損傷させる可能性がある。 | No. 16 掘削工事 |
| 津波 | 発電用原子炉施設への浸水により、複数の機器が同時に機能喪失する可能性がある。波力により海水系機器を損傷させる可能性がある。 | No. 8 船舶の衝突 No. 10 船舶から放出される固体・液体不純物 No. 11 水中の化学物質 No. 13 プラント外での化学物質の流出 No. 22 内部溢水 |
| 落雷 | 発電用原子炉施設への落雷により、広範な範囲で計測系、制御系を損傷させる可能性がある。 | No. 20 電磁的障害 |
| 竜巻 | 移動しながら広範囲にわたって風圧、飛来物による影響を与える。特に飛来物については、屋外設備だけではなく、建屋内の設備を損傷させる可能性がある。 | No. 2 パイプライン事故（ガスなど）、パイプライン事故によるサイト内爆発等 No. 7 工業施設又は軍事施設事故 No. 9 自動車又は船舶の爆発 No. 12 爆発 |

なお、表 1 のとおり自然現象に包絡される外部人為事象以外の“その他の事象”については、以下のとおりである。

【その他の事象】

(1) 外部人為事象の影響の方が大きい場合

火災による熱影響については、自然現象では「森林火災」、外部人為事象では「No. 2 パイプライン事故（ガスなど）、パイプライン事故によるサイト内爆発等」、「No. 3 交通事故（化学物質の流出含む）」、「No. 6 飛来物（航空機落下）」、「No. 7 工業施設又は軍事施設事故」、「No. 9 自動車又は船舶の爆発」及び「No. 23 近隣工場等の火災」で想定されるが、このうち、発電用原子炉施設に対して最も厳しい熱影響がある事象は、「No. 6 飛来物（航空機落下）」である。航空機落下と発電用原子炉施設周辺で発生し得る重畳事象としては、「森林火災」と「No. 23 近隣工場等の火災」の熔融炉灯油タンク火災が挙げられるものの、「森林火災」の熱影響は、熔融炉灯油タンク火災の影響に包絡できる。

偶発的に落下する航空機による火災と、熔融炉灯油タンク火災が組み合わせられる重畳事象については、 10^{-7} /年程度の低頻度事象であるものの外部火災評価の中で許容値以下の熱影響に止まることを確認済みであることを踏まえると、事象の重畳による新たな起因事象の追加はない。

爆風圧による影響については、「No. 2 パイプライン事故（ガスなど）、パイプライン事故によるサイト内爆発等」、「No. 7 工業施設又は軍事施設事故」、「No. 9 自動車又は船舶の爆発」及び「No. 12 爆発」で想定されるが、それぞれの事象の特徴を踏まえれば、個別の重畳影響評価をするまでもなく、自然現象同士の重畳影響を評価することで影響が包絡される。

- ・「No. 2 パイプライン事故（ガスなど）、パイプライン事故によるサイト内爆発等」については、爆風圧の影響が発電用原子炉施設へ影響のある範囲にないため単独事象として影響がないと判断

- ・「No. 7 工業施設又は軍事施設事故」については、軍事施設は発電所

近傍にないこと，工業施設の爆発を想定した場合であっても，爆風圧の影響が発電用原子炉施設へ及ばないことを確認済みであることを踏まえ，単独事象として影響がないと判断

- ・「No. 9 自動車又は船舶の爆発」については，交通事故による自動車の爆発や発電所港湾内に侵入し得る最大規模の高圧ガス輸送船舶の爆発事故を想定した場合であっても，爆風圧の影響が発電用原子炉施設へ及ばないことを確認済みであることを踏まえ，単独事象として影響がないと判断
- ・「No. 12 爆発」については，発電所周辺の社会環境からみて，爆風圧の影響が発電所へ及ばないことを確認済みであることを踏まえ，単独事象として影響がないと判断

(2) 外部人為事象の影響について考慮が不要な場合

以下にあげる外部人為事象については、重畳影響を考慮するまでもなく、単独事象として発電用原子炉施設への影響を考慮する必要がないものとして整理している。

○単独事象として発生頻度が稀な事象 (10^{-7} /年以下)

No. 1 衛星の落下

No. 5 タービンミサイル

No. 6 飛来物（航空機落下）

No. 15 軍事施設からのミサイル

○発生源となる施設が発電所へ影響の及ぶ範囲にない事象

No. 18 他のユニットからのミサイル

No. 19 他のユニットからの内部溢水

No. 21 ダムの崩壊

○発生しても影響が軽微な事象，影響を遮断できる事象

No. 4 有毒ガス

No. 14 サイト貯蔵の化学物質の流出

No. 17 他のユニットからの火災

事象毎の状況を表 2 にまとめる。

表 2 各外部人為事象が包絡される自然現象等

| No. | 外部人為事象 | 包絡される自然現象等 |
|-----|-----------------------------------|--|
| 1 | 衛星の落下 | 【 ー 】 低頻度事象（その他の事象(2)のとおり） |
| 2 | パイプライン事故（ガスなど）、パイプライン事故によるサイト内爆発等 | 飛来物による影響 【 竜巻 】 熱影響、爆風圧の影響はその他の事象(1)のとおり |
| 3 | 交通事故（化学物質の流出含む） | 【 ー 】 熱影響はその他の事象(1)のとおり |
| 4 | 有毒ガス | 【 ー 】 影響を緩和可能（その他の事象(2)のとおり） |
| 5 | タービンミサイル | 【 ー 】 低頻度事象（その他の事象(2)のとおり） |
| 6 | 飛来物（航空機落下） | 熱影響はその他の事象(1)のとおり 【 ー 】 落下は低頻度事象（その他の事象(2)のとおり） |
| 7 | 工業施設又は軍事施設事故 | 飛来物による影響 【 竜巻 】 熱影響、爆風圧の影響はその他の事象(1)のとおり |
| 8 | 船舶の衝突 | 【 津波 】 海水系機器の性能低下 |
| 9 | 自動車又は船舶の爆発 | 飛来物による影響 【 竜巻 】 熱影響、爆風圧の影響はその他の事象(1)のとおり |
| 10 | 船舶から放出される固体・液体不純物 | 【 津波 】 海水系機器の性能低下 |
| 11 | 水中の化学物質 | 【 津波 】 海水系機器の性能低下 |
| 12 | 爆発 | 飛来物による影響 【 竜巻 】 熱影響、爆風圧の影響はその他の事象(1)のとおり |
| 13 | プラント外での化学物質の流出 | 【 津波 】 海水系機器の性能低下 |
| 14 | サイト貯蔵の化学物質の流出 | 【 ー 】 影響を緩和可能（その他の事象(2)のとおり） |
| 15 | 軍事施設からのミサイル | 【 ー 】 低頻度事象（その他の事象(2)のとおり） |
| 16 | 掘削工事 | 【 地震 】 敷地の変動等による屋外設備の基礎や地中設備の損傷 |
| 17 | 他のユニットからの火災 | 【 ー 】 影響を緩和可能（その他の事象(2)のとおり） |
| 18 | 他のユニットからのミサイル | 【 ー 】 影響の及ぶ範囲に発生源となる施設なし（その他の事象(2)のとおり） |
| 19 | 他のユニットからの内部溢水 | 【 ー 】 影響の及ぶ範囲に発生源となる施設なし（その他の事象(2)のとおり） |
| 20 | 電磁的障害 | 【 落雷 】 計測系、制御系へのノイズ影響等 |
| 21 | ダムの崩壊 | 【 ー 】 影響の及ぶ範囲に発生源となる施設なし（その他の事象(2)のとおり） |
| 22 | 内部溢水 | 【 津波 】 広範囲の機器等の同時浸水 |
| 23 | 近隣工場等の火災 | 【 ー 】 影響確認済み（その他の事象(1)のとおり） |

凡例 【 】 包絡される自然事象

地震レベル 1. 5 P R A について

1. はじめに

実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第三十七条（重大事故等の拡大の防止等）にて要求されている格納容器の破損の防止に関する有効性評価に関し、必ず想定すべき格納容器破損モード以外の破損モードの有無について、内部事象については内部事象レベル 1. 5 P R A により確認を実施済みであるが、地震事象特有の影響について以下にて確認を実施した。

2. 地震事象特有の格納容器破損モードについて

炉心損傷後の格納容器の健全性に影響を与える物理現象による事象進展に関し内部事象と地震事象の差はなく、地震事象特有の影響としては、地震動により直接的に格納容器本体が損傷する場合、格納容器の隔離機能又は圧力抑制機能に係る設備が損傷することで格納容器破損に至る場合が考えられる。

(1) 格納容器本体の損傷

地震動による原子炉建屋の損傷影響により格納容器が破損に至る又は格納容器が直接的に破損に至るケースは、地震事象特有の格納容器破損モードであり、(社)日本原子力学会標準「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007」では、原子炉建屋破損の χ モードとして分類されている。

このケースの場合、炉心損傷時に格納容器の放射性物質閉じ込め機能は既に喪失しており、内部事象レベル 1. 5 P R A では格納容器隔離失敗として考慮している。

(2) 格納容器隔離機能喪失

地震動により格納容器隔離弁が閉鎖できなくなることで、炉心損傷により発生した放射性物質が格納容器外へ直接放出される可能性がある。このケースについては、格納容器本体の損傷と同様に炉心損傷時には格納容器の放射性物質閉じ込め機能は喪失している状態であり、内部事象レベル 1.5 P R A では格納容器隔離失敗として考慮している。

(3) 格納容器圧力抑制機能喪失

地震動により残留熱除去系（格納容器スプレイ冷却モード）、格納容器ベント管又は圧力抑制室の損傷により格納容器圧力を抑制出来なくなり、格納容器が過圧破損に至る可能性がある。このケースについては、内部事象レベル 1.5 P R A において、水蒸気（崩壊熱）の蓄積等による過圧によって格納容器が破損に至る過圧破損モードとして考慮している。

3. 格納容器破損防止対策に係る有効性評価事故シーケンスについて

上述のとおり、地震事象特有の影響として格納容器や隔離機能等の地震動による損傷が考えられるものの、重大事故の事象進展により格納容器へ圧力荷重、熱荷重といった物理的な負荷が加わった結果として放射性物質閉じ込め機能が喪失に至るものではない。そのため、格納容器破損防止対策の有効性評価の判断基準に照らすと、重大事故対策の有効性評価の観点としてではなく、対象設備の耐震性の観点から評価がなされるべきものと判断される。

加えて格納容器本体の損傷については、内部事象レベル 1.5 P R A でも想定していない機器の損傷モードであるが、格納容器が損傷に至るような大規模地震を想定した場合、その損傷の程度や緩和系設備使用可否の評価、事故シナリオを特定することは非常に困難である。したがって、そのような状

況下においては、地震によるプラントの損傷の程度や事象進展に応じて、様々な格納容器破損防止対策を臨機応変に組み合わせて影響緩和を図るとともに、大規模損壊対策として放水砲等の影響緩和措置を講じられるようにしておくことが重要と考えられる。

4. 地震レベル1.5 PRAについて

内部事象PRAでは、レベル1 PRAの結果抽出された炉心損傷に至る事故シーケンスグループをレベル1.5 PRA評価の起点となるようプラント損傷状態を定義した上で、炉心損傷に至るまでのプラント状態などの観点から格納容器の健全性に影響を与える事象（過温破損、水蒸気爆発等）を抽出しているが、地震レベル1.5 PRAでは、地震事象特有の影響として原子炉建屋、格納容器等の損傷から格納容器の閉じ込め機能喪失に至るシナリオを考慮する必要がある。

具体的には、地震レベル1 PRAにおいて緩和系に期待することができず、炉心損傷直結事象として整理している原子炉建屋損傷やE x c e s s i v e L O C Aといった事故シナリオが対象となるものの、現段階では、それら事故の起因となる設備の損傷の規模や範囲の特定には困難かつ不確実さが大きく、これらの事故シナリオが発生した場合の事象進展（炉心損傷までの時間余裕や緩和系の健全性等）を定量化することが困難な状況にある。

そのため、今後、対象設備の損傷影響評価などの精緻化を進めるとともに、実機適用へ向けた検討を進めていくところである。

外部事象に特有の事故シーケンスについて

1. はじめに

外部事象のうち，地震・津波 P R A を実施した結果，内部事象 P R A では抽出されていない以下の(1)から(9)の事故シーケンスが抽出された。

- (1) 原子炉建屋損傷
- (2) 格納容器損傷
- (3) 原子炉圧力容器損傷
- (4) 原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失 (E x c e s s i v e L O C A)
- (5) 計装・制御系喪失
- (6) 格納容器バイパス
- (7) 直流電源喪失＋原子炉停止失敗
- (8) 交流電源喪失＋原子炉停止失敗
- (9) 防潮堤損傷

以下では，これら地震事象に特有の各事故シーケンスについて，地震・津波 P R A 評価におけるフラジリティ評価や事故シーケンス評価における条件設定の妥当性等について再整理し，炉心損傷防止対策の有効性評価の対象とする事故シーケンスグループとして取り扱うべきかの検討を実施した。

2. 炉心損傷に直結する事故シーケンスグループ

上記の(1)から(9)の事故シーケンスについては，それぞれの発生

頻度は低く，これら事故シーケンスを除く事故シーケンスにより全炉心損傷頻度の約 99%は炉心損傷防止対策でカバーされるものであるが，(1)から(9)の事故シーケンスのそれぞれについて，地震・津波 P R Aにおけるフラジリティ評価や事故シーケンス評価における条件設定の妥当性等について改めて確認した。

2.1 原子炉建屋損傷

(1) 想定事故シナリオ

原子炉建屋が損傷することで，建屋内の格納容器，原子炉圧力容器等の構造物及び機器が広範囲にわたり損傷し，原子炉注水を行った場合においても炉心損傷を回避できないことを想定した事故シーケンスである。

実際には地震による原子炉建屋の損傷程度により発生する事象の厳しさは以下のとおりの範囲を有している。

<小規模な損傷の場合>

地震による原子炉建屋損傷として建屋全損壊ではなく一部フロア程度の損傷を想定する場合には，大規模な L O C A (E x c e s s i v e L O C A) には至らない可能性があり，外部電源喪失等の過渡事象が発生した場合においても，原子炉注水機能等が健全な場合は炉心損傷に至ることはない。

<大規模な損傷の場合>

建屋損傷時に，緩和できない大規模な L O C A (E x c e s s i v e L O C A) が発生すると同時に，建屋内の原子炉注水系配管が構造損傷して原子炉注水機能も喪失するため，炉心損傷に至る。建屋損傷の二次的被害により，格納容器や格納容

器の貫通配管が損傷しており、閉じ込め機能にも期待することはできない。

このように損傷の発生程度に応じて影響程度が変化する事故シーケンスであるものの、地震による建屋損傷状態及び機能喪失する機器を特定することが困難であることから、これらの様々な損傷の程度・組合せを含む事故シーケンス全体を炉心損傷防止が困難な事故シーケンスとして整理した。

【炉心損傷頻度】 1.5×10^{-7} / 炉年（点推定値）

【全炉心損傷頻度への寄与割合】約 0.2%

(2) フラジリティ評価の保守性

a. 評価対象機器／評価部位

原子炉建屋の支配的な損傷モード及び部位としては、建屋の崩壊シーケンスを踏まえて、層崩壊を伴う耐震壁のせん断破壊を選定した。

b. 評価方法

原子炉建屋は、「現実的耐力と現実的応答による方法（応答解析に基づく方法）」によりフラジリティを評価した。評価手法は地震 P S A 学会標準に準拠した手法としている。

c. フラジリティ曲線の保守性等

原子炉建屋のフラジリティ曲線は、原子炉建屋の最弱部位の損傷を模擬したフラジリティであり、建屋全体の損壊を模擬したものではないため、建屋全体崩壊に至るまでは余裕があると考えられる。

(3) 有効性評価における事故シーケンスグループとしての取り扱い

本事故シーケンスの発生頻度は小規模な損傷の影響も含めた評

価でも 1.5×10^{-7} / 炉年であり，全炉心損傷頻度 (7.5×10^{-5} / 炉年) に対して約 0.2% と小さい。

さらに，損傷の程度によっては，非常用炉心冷却系等による原子炉冷却，格納容器スプレイ冷却系等による格納容器冷却により，影響を緩和できる可能性があること及びフラジリティ評価が持つ保守性を考慮すると，原子炉建屋の損傷を有意な頻度又は影響をもたらす事故シーケンスグループとして新たに追加することは不要と判断した。

2.2 格納容器損傷

(1) 想定事故シナリオ

格納容器が損傷することで，格納容器内の原子炉圧力容器等の構造物及び機器が広範囲にわたり損傷し，原子炉注水を行った場合においても炉心損傷を回避できないことを想定した事故シーケンスである。

実際には地震による格納容器の損傷程度により発生する事象の厳しさは以下のとおりの範囲を有している。

< 小規模な損傷の場合 >

地震による格納容器損傷として，一部のみの損傷を想定する場合には，原子炉冷却材圧力バウンダリが健全で大規模な L O C A (E x c e s s i v e L O C A) が発生しない可能性があり，外部電源喪失等の過渡事象が発生した場合においても，原子炉注水機能等が健全な場合は炉心損傷に至ることはない。

< 大規模な損傷の場合 >

格納容器内の配管及び E C C S 注入配管が同時に構造損傷

して、大規模な L O C A (E x c e s s i v e L O C A) が発生すると同時に、原子炉注水機能も喪失するため、炉心損傷に至る。なお、この場合、格納容器が損傷しており、閉じ込め機能にも期待することはできない。

このように損傷の発生程度に応じて影響程度が変化する事故シーケンスであるものの、地震による格納容器損傷状態及び機能喪失する機器を特定することは困難であることから、これらの様々な損傷の程度・組合せを含む事故シーケンス全体を炉心損傷防止が困難な事故シーケンスとして整理した。

【炉心損傷頻度】 4.1×10^{-9} / 炉年 (点推定値)

【全炉心損傷頻度への寄与割合】 0.1% 未満

(2) フラジリティ評価の保守性

a. 評価対象機器／評価部位

格納容器の損傷により炉心損傷に至る事故シナリオに対して、支配的な機器として、格納容器スタビライザ及び格納容器下部シアラグを選定している。これらの構造物の位置関係を第 1 図に示す。

格納容器スタビライザは、原子炉遮へい壁からの水平方向の地震荷重を原子炉建屋に伝達するために、原子炉遮へい壁と格納容器上部シアラグを結ぶ構造物であり、原子炉遮へい壁の最頂部にトラス状に設置されている。

また、格納容器下部シアラグは、格納容器円錐部下部付近に設置されており、格納容器の水平方向の地震荷重及びダイアフラムフロアを介して伝達される原子炉圧力容器ペデスタルからの水平方向の地震荷重を原子炉建屋に伝達する構造となっている。

b. 評価方法

今回のフラジリティ評価では、決定論による耐震評価結果に基づき、耐力係数と応答係数を用いた安全係数法によりフラジリティを評価した。

c. フラジリティ曲線の保守性等

格納容器スタビライザ及び格納容器下部シアラグの構造強度評価は、地震応答解析により算出した時刻歴荷重データのうち当該部位に負荷される最大荷重を用いて、その地震荷重(最大荷重)を交番荷重ではなく、静的に負荷され続けている状態を想定して評価を行っており、保守的な評価となっている。

さらに、格納容器は複数の格納容器スタビライザ及び格納容器下部シアラグにより支持されているが、最大地震荷重を受けるものが損傷した時点で、格納容器損傷に至るとしている点にも保守性がある。

(3) 有効性評価における事故シーケンスグループとしての取り扱い

本事故シーケンスの発生頻度は小規模な損傷の影響も含めた評価でも 4.1×10^{-9} / 炉年であり、全炉心損傷頻度 (7.5×10^{-5} / 炉年) に対して 0.1% 未満と小さい。

最大地震荷重を受ける格納容器スタビライザが損傷した場合でも、荷重の再配分により残りの格納容器スタビライザ及び原子炉圧力容器ペデスタルで原子炉遮へい壁の地震荷重を受けることができることから、直ちに原子炉遮へい壁が転倒するには至らず、原子炉冷却材圧力バウンダリ配管の一部損傷若しくは破損に留まるものと考えられる。この場合は既存の L O C A シナリオと同様の進展になることが想定される。

また，最大地震荷重を受ける格納容器下部シアラグが損傷した場合でも，荷重の再配分により残りの格納容器下部シアラグ及びダイアフラムフロアで原子炉圧力容器ペデスタルの地震荷重を受けることができることから，直ちに原子炉圧力容器ペデスタルが転倒するには至らず，原子炉冷却材圧力バウンダリ配管の一部損傷若しくは破損に留まるものと考えられる。この場合は既存の L O C A シナリオと同様の進展になることが想定される。

以上を総合的に勘案した上で，本事象については，有意な頻度又は影響をもたらす事故シーケンスグループとして新たに追加することは不要と判断した。

2.3 原子炉圧力容器損傷

(1) 想定事故シナリオ

原子炉圧力容器の支持機能喪失等により，原子炉圧力容器に接続されている原子炉冷却材圧力バウンダリ配管の損傷や，原子炉冷却材の流路閉塞が発生することにより，原子炉注水を行った場合においても炉心損傷を回避できないことを想定した事故シーケンスである。

実際には地震による原子炉圧力容器の損傷程度により発生する事象の厳しさは以下のとおりの範囲を有している。

<小規模な損傷の場合>

地震による原子炉圧力容器損傷として，原子炉圧力容器の一部のみの損傷を想定する場合には，原子炉冷却材圧力バウンダリ配管の全周破断に至らず冷却材の注入が可能な場合や，炉内構造物の一部変形のみで原子炉冷却材の流路の完全な閉塞に

至らない可能性があり，原子炉注水機能等が健全ならば炉心損傷を防止できる。

＜大規模な損傷の場合＞

原子炉圧力容器の損傷により，原子炉冷却材圧力バウンダリ配管の全周破断による原子炉注水機能の喪失や，炉内構造物の大規模破損による冷却材流路の閉塞により，炉心の除熱が困難となり炉心損傷に至る。

このように損傷の程度に応じて影響が変化する事故シーケンスであるものの，地震による原子炉圧力容器損傷状態を特定することは困難であることから，これらの様々な損傷の程度・組合せを含む事故シーケンス全体を炉心損傷防止が困難な事故シーケンスとして整理した。

【炉心損傷頻度】 2.2×10^{-7} / 炉年（点推定値）

【全炉心損傷頻度への寄与割合】 約 0.3%

(2) フラジリティ評価の保守性

a．評価対象機器／評価部位

原子炉圧力容器の損傷により炉心損傷に至る事故シナリオに対して，比較的大きな影響を及ぼす機器は，第1表に示すFV重要度から，原子炉圧力容器の蒸気乾燥器支持ブラケット及び原子炉圧力容器スタビライザである。これらの構造物の位置関係を第2図に示す。

b．評価方法

今回のフラジリティ評価では，決定論による耐震評価結果に基づき，耐力係数と応答係数を用いた安全係数法によりフラジリティを評価した。

c. フラジリティ曲線の保守性等

蒸気乾燥器支持ブラケット及び原子炉圧力容器スタビライザの構造強度評価は、原子炉圧力容器の地震応答解析により算出した最大荷重を用いて、その地震荷重（最大荷重）を交番荷重ではなく、静的に負荷され続けている状態を想定して評価を行っており、保守的な評価となっている。

(3) 有効性評価における事故シーケンスグループとしての取り扱い

本事故シーケンスの発生頻度は小規模な損傷の影響も含めた評価でも 2.2×10^{-7} / 炉年であり、全炉心損傷頻度 (7.5×10^{-5} / 炉年) に対して約 0.3% と小さい。

また、原子炉圧力容器等の損傷による炉心損傷に至る事故シナリオに対して、蒸気乾燥器支持ブラケットの支持機能が喪失したとしても、炉心との間には気水分離器が設置されており直接炉心に接触することはない。また、原子炉圧力容器スタビライザの支持機能が喪失したとしても、原子炉圧力容器の周囲を囲む原子炉遮へい壁等の存在により原子炉圧力容器が大きく傾くことはなく、その影響は原子炉圧力容器に接続されている配管の一部破損に留まるものと考えられる。この場合は既存の L O C A シナリオと同様の進展になることが想定される。

以上を総合的に勘案した上で、本事象については、有意な頻度又は影響をもたらす事故シーケンスグループとして新たに追加することは不要と判断した。

2.4 原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失 (E x c e s s i v e L O C A)

(1) 想定事故シナリオ

原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失については、地震によるスクラム後、逃がし安全弁の開放失敗による原子炉圧力上昇又は地震による直接的な荷重により原子炉格納容器内の原子炉冷却材圧力バウンダリ配管が損傷に至るシナリオを想定している。いずれの場合も原子炉冷却材圧力バウンダリの損傷の規模や影響緩和系による事象収束可能性の評価が困難なため、保守的に E x c e s s i v e L O C A 相当とし、炉心損傷に至る事故シナリオとして整理している。

【炉心損傷頻度】 3.0×10^{-10} / 炉年（点推定値）

【全炉心損傷頻度への寄与割合】 0.1% 未満

① 逃がし安全弁開失敗シナリオ

①－(1) フラジリティ評価の保守性

a. 評価対象機器／評価部位

事故シーケンスとしては、過渡事象や外部電源喪失、交流電源喪失、直流電源喪失の発生時を想定しているが、いずれのケースにおいても、逃がし安全弁の機能損傷（開失敗）を想定している。

b. 評価方法

今回のフラジリティ評価では、決定論による耐震評価結果に基づき、耐力係数と応答係数を用いた安全係数法によりフラジリティを評価した。

c. フラジリティ曲線の保守性等

逃がし安全弁については、合計 18 台設置されているものの、フラジリティ評価上は、機器の完全相関を仮定しており、単一

機器の評価＝全体の評価としている。共通原因故障として単一機器の機能喪失を全台機能喪失と仮定すること自体は保守的な取り扱いではあるが、実際には機器配置の差など、応答に差があることを踏まえると、さらに余裕があると言える。

①－(2) 有効性評価における事故シーケンスグループとしての扱い

本事故シーケンスの発生頻度は小規模な損傷の影響も含めた評価でも 3.0×10^{-10} / 炉年であり、全炉心損傷頻度 (7.5×10^{-5} / 炉年) に対して 0.1% 未満と小さい。

逃がし安全弁開失敗による L O C A シナリオとして、逃がし安全弁全数破損により原子炉圧力が過剰に上昇し原子炉冷却材圧力バウンダリが広範囲に破損に至ることを想定し、影響緩和系に期待できず炉心損傷が回避不可となるケースを考え、炉心損傷直結としている。

ただし、①－(1) のとおり、要因となっている逃がし安全弁の現状のフラジリティ評価に保守的な仮定をおいており、現実的な事故シナリオとしては、合計 18 台ある逃がし安全弁が同時損傷する可能性は極めて低いことから、E x c e s s i v e L O C A には至ることなく影響緩和系による事象収束が期待できる。そのため、炉心損傷に至る確率が十分小さいと判断し、有効性評価の事故シーケンスグループとしては取り扱わないこととした。

② 格納容器内配管損傷シナリオ

②－(1) フラジリティ評価の保守性

a. 評価対象機器／評価部位

本評価では、格納容器内を通る配管について、系統ごとに地

震荷重に対して裕度が小さい部位を，評価部位として選定した。

b．評価方法

今回のフラジリティ評価では，決定論による耐震評価結果に基づき，耐力係数と応答係数を用いた安全係数法によりフラジリティを評価した。

c．フラジリティ曲線の保守性等

配管本体については，設計に比べて大きな耐震裕度を有しており，既往研究結果等からも設計想定レベルを上回る地震力に対して健全性を維持することが確認されている。「配管系終局強度試験」（平成 10 年度～平成 15 年度）^[1]においては，許容応力度（3Sm）の 10 倍の応力強さにおいても塑性崩壊又は疲労による破損は生じないことなどが確認されている。

上記のような現実的な損傷に対して現実的な評価を行うとすれば，配管および配管サポートを一体でモデル化した応答解析を行う詳細法が考えられるが，今回の評価としては保守的な決定論的评价に基づいた安全係数法により評価しているため，配管系が損傷に至る地震動の大きさは，耐震評価から得られた地震動の大きさよりも十分に大きいと考えられる。

格納容器内配管が地震により疲労損傷した場合においても，大径配管が疲労により全周破損に至る可能性は小さく，その場合，原子炉冷却材の流出量は，LOCAで想定している流出量を大きく下回る。

②－(2) 有効性評価における事故シーケンスグループとしての取扱い

本事故シーケンスの発生頻度は小規模な損傷の影響も含めた

評価でも 3.0×10^{-10} / 炉年であり，全炉心損傷頻度 (7.5×10^{-5} / 炉年) に対して 0.1% 未満と小さい。

格納容器内配管損傷による L O C A シナリオとして，損傷程度（規模，範囲）を想定することは困難であるものの，②－(1)のとおり，フラジリティ評価に保守的な仮定を置いており，現実的な事故シナリオとしては，E x c e s s i v e L O C A には至ることなく影響緩和系による事象収束が期待できると考えられるため，炉心損傷に至る確率が十分小さいと判断し，有効性評価の事故シーケンスグループとしては取り扱わないこととした。

2.5 計装・制御系喪失

(1) 想定事故シナリオ

地震により計装・制御系が損傷した場合，プラントの監視及び制御ができなくなる可能性があること，発生時のプラント挙動に対する影響が現在の知見では明確でないことから，保守的に直接炉心損傷に至る事故として整理している。

【炉心損傷頻度】 3.7×10^{-10} / 炉年（点推定値）

【全炉心損傷頻度への寄与割合】 0.1% 未満

(2) フラジリティ評価の保守性

a. 評価対象機器／評価部位

計測・制御系喪失において評価対象となる電気計装機器は，制御盤及び計装ラックであり，これらの機能損傷について評価している。

b. 評価方法

今回のフラジリティ評価では，決定論による耐震評価結果に基

づき、耐力係数と応答係数を用いた安全係数法によりフラジリティを評価した。

c. フラジリティ曲線の保守性等

今回の耐力評価に使用している機能確認済加速度は、誤動作を起こすまでの試験結果である場合が多く、電気計装機器の実際の機能損傷レベルに対して余裕のある機能確認済加速度値を採用している。

このため、機能維持確認済加速度値は、制御盤、計装ラック及びこれらに内蔵される器具が再使用困難な状態（構造損傷）となるまでを検証した結果ではないことから、仮に地震動が機能確認済加速度値を超過した場合においても一時的な機能喪失にとどまる可能性が高く、地震収束後に再起動操作等を適切に実施することにより機能回復が可能と考える。

(3) 有効性評価における事故シーケンスグループとしての取り扱い

本事故シーケンスの発生頻度は復旧可能な機能喪失の影響も含めた評価でも 3.7×10^{-10} / 炉年であり、全炉心損傷頻度 (7.5×10^{-5} / 炉年) に対して 0.1% 未満と小さい。

現実的な事故シナリオとしては、一時的な機能喪失にとどまる機器が多く、地震収束後に再起動操作を適切に実施することで影響緩和系による事象収束が期待できるため、炉心損傷に至る確率が十分小さいと判断し、有効性評価の事故シーケンスグループとしては取り扱わないこととした。

2.6 格納容器バイパス

(1) 想定事故シナリオ

格納容器バイパス事象は、常時開の隔離弁に接続している配管が格納容器外で破損すると同時に隔離弁が閉失敗することで、原子炉冷却材が流出する事象である。高温・高圧の原子炉冷却材が隔離不能な状態で格納容器外（原子炉建屋）へ流出し、原子炉建屋内の広範な影響緩和系に係る機器（電気品、計装品等）が機能喪失し、損傷の規模や影響緩和系による事象収束可能性の評価が困難なため、保守的に直接炉心損傷に至る事故シナリオとして整理している。

【炉心損傷頻度】 3.2×10^{-8} / 炉年（点推定値）

【全炉心損傷頻度への寄与割合】 0.1% 未満

(2) フラジリティ評価の保守性

a. 評価対象機器／評価部位

本事故シーケンスに関連する機器のうち、本事故シナリオに対して、比較的大きな影響を及ぼす事象は、第1表に示すFV重要度から、主蒸気ドレン弁（外側）の下流側配管（耐震Bクラス）の地震による損傷と、通常開状態である主蒸気隔離弁及び主蒸気ドレン弁（外側）の同時損傷による隔離失敗に至る事象であり、本事象に関連する機器に対する保守性について整理する。

b. 評価方法

今回のフラジリティ評価では、決定論による耐震評価結果に基づき、耐力係数と応答係数を用いた安全係数法によりフラジリティを評価した。

c. フラジリティ曲線の保守性等

主蒸気ドレン弁（外側）の下流側配管については、耐震Bクラスであるため、地震動の大きさに限らず、地震発生時の損傷確率

を 1.0 としているが、実際には、当該配管についても一定の裕度を有していることを踏まえると、保守性が確保されているものと判断できる。

主蒸気隔離弁及び主蒸気ドレン弁（外側）のフラジリティは、既往加振試験で得られた加速度の上限値を機能維持限界としているが、加振試験で機能損傷が確認されていないため、実際に機能損傷に至るには余裕があるものと考えられる。

(3) 有効性評価における事故シーケンスグループとしての取り扱い

本事故シーケンスの発生頻度は（2）フラジリティの保守性も含めた評価でも 3.2×10^{-8} / 炉年であり、全炉心損傷頻度（ 7.5×10^{-5} / 炉年）に対して 0.1% 未満と小さい。

ただし、(2) のとおり、主蒸気ドレン弁（外側）の下流側配管（耐震 B クラス）について、地震動の大きさに限らず損傷確率を 1.0 としており、実際には一定の裕度が確保されていること、主蒸気隔離弁及び主蒸気ドレン弁について、評価に用いている機能維持加速度に一定の裕度が確保されているものと考えられることから、実際には本事故シーケンスの発生頻度は更に低くなると判断できる。

以上を総合的に勘案した上で、本事象については、有意な頻度又は影響をもたらす事故シーケンスグループとして新たに追加することは不要と判断した。

2.7 直流電源喪失＋原子炉停止失敗，交流電源喪失＋原子炉停止失敗

(1) 想定事故シナリオ

「直流電源喪失＋原子炉停止失敗」，「交流電源喪失＋原子炉停

止失敗」は、地震による直流電源喪失又は交流電源喪失と原子炉スクラムの失敗が重畳するシナリオである。ただし、本シナリオについては炉心損傷直結事象に分類されるものではない。

P R A 評価ではヘディング「原子炉停止」において、以下の設備の地震要因損傷により、制御棒の挿入に失敗するものとして評価している。

- ・ 炉内支持構造物
- ・ C R D
- ・ 燃料集合体（過度の相対変位による制御棒挿入失敗を想定）

【炉心損傷頻度】

直流電源喪失＋原子炉停止失敗： 2.6×10^{-8} ／炉年（点推定値）

交流電源喪失＋原子炉停止失敗： 1.4×10^{-8} ／炉年（点推定値）

【全炉心損傷頻度への寄与割合】＜0.1%

(2) フラジリティ評価の保守性

—

(3) 有効性評価における事故シーケンスグループとしての取り扱い

原子炉停止機能喪失は内部事象において既に抽出された事故シーケンスグループではあるものの、地震 P R A においては全交流動力電源喪失＋原子炉停止失敗といったシナリオも評価上抽出される。

ただし、(1)で挙げた設備（炉内支持構造物，C R D，燃料集合体）については地震要因による損傷は否定できないものの、地震発生から損傷に至るまでには時間差があると考えられる。そのため、その間に地震加速度大（水平 250Gal，鉛直 120Gal；EL.－4.0m の地震加速度計の設定値，水平 300Gal；EL.＋14.0m の地震加速度

計の設定値)によるスクラム信号発信及び制御棒挿入(90%挿入で平均2.4秒(平成22年制御棒駆動水圧系機能検査))は余裕を持って完了している可能性が高い。

また、制御棒が部分的に挿入失敗するようなケースでは、必ずしも臨界とはならないが、地震によるCRDの損傷は同種系統間で完全相関を想定しているため、1本の制御棒でも挿入失敗した場合は保守的にスクラム失敗により炉心損傷するものとして評価している。

以上より、現実的には本事故シーケンスにより炉心損傷に至る確率が十分に小さいと判断し、地震PRAとしては改めて有効性評価の事故シーケンスグループとして取扱う必要はないものとした。

2.8 防潮堤損傷

(1) 想定事故シナリオ

津波波力により防潮堤が損傷し、多量の津波が敷地内に浸水することで、非常用海水ポンプが被水・没水して最終ヒートシンクが喪失するとともに、屋内外の施設が広範囲にわたり機能喪失して炉心損傷に至る事故シーケンスである。実際には津波波力による防潮堤の損傷の程度により、発生する事象の厳しさは以下のとおりの範囲を有している。

<小規模な損傷の場合>

T.P. + 24m を超える津波により防潮堤の一部が損傷した場合は、原子炉建屋への浸水箇所や浸水量の程度によっては、原子炉隔離時冷却系による原子炉注水に期待できる場合がある。

＜大規模な損傷の場合＞

T.P. + 24m を超える津波により防潮堤が倒壊する等，大規模な損傷が発生した場合は，敷地内に多量の津波が浸水することで，屋内外の施設が広範囲にわたり機能喪失して炉心損傷に至る。

【炉心損傷頻度】 3.3×10^{-7} / 炉年（点推定値）

【全炉心損傷頻度への寄与割合】 0.4%

(2) フラジリティ評価の保守性

今回のフラジリティ評価では，津波高さが防潮堤耐力を確認している T.P. + 24.0m を超えた時点で防潮堤の損傷確率を 1.0 と仮定しているが，実際には T.P. + 24.0m を超える津波に対してもある一定程度は防潮堤が健全であると考えられるため，保守性を有していると考えられる。

(3) 有効性評価における事故シーケンスグループとしての取扱い

本事故シーケンスグループの炉心損傷頻度は 3.3×10^{-7} / 炉年であり，全炉心損傷頻度 (7.5×10^{-5} / 炉年) に占める割合が 1% 未満と小さい。また，防潮堤損傷時は敷地内に多量の津波が流入することにより，屋内外の施設が広範囲にわたり機能喪失することが考えられるが，津波による影響の程度を特定することが難しく，不確かさが大きいいため，新たな事故シーケンスグループとして追加する必要はないと判断した。

3. まとめ

地震・津波 P R A 特有の事故シーケンスについては，本来は，P R A 評価においても，損傷の程度に応じて影響緩和系による事象収束可否を詳細に評価することが望ましいが，現段階では損傷の規模

や範囲の特定は困難かつ不確実さが大きく、これら事故シーケンスが発生した場合の事象進展、対策の成立性などについて評価を行うことが現実的ではないことから、保守的に炉心損傷に直結するものとして取り扱うこととしている。

これらの事故シーケンスについては、保守的に実施した今回の地震・津波PRAにおいても、発生頻度や全炉心損傷頻度に対する寄与割合は小さく、さらに、現実的な耐力や事故シナリオを考慮することにより、その多くの場合は、炉心損傷に至らないか、すでに想定されている事故シーケンスグループに含まれるものと考えられる。

また、各事故シーケンスが発生した際の影響については、炉心損傷に至らない小規模な事象から、地震により建屋全体が崩壊し内部の安全系機器・配管の全てが機能を喪失するような深刻な事故や、津波により屋内外の施設が広範囲にわたり機能喪失する事故まで、事象発生時にプラントに及ぼす影響は大きな幅を有する。したがって、これらの地震・津波PRA特有の事故シーケンスは、炉心損傷防止対策の有効性評価の事故シーケンスグループとして単独で定義するものではなく、発生する事象の程度や組合せに応じて対応していくべきものである。具体的には、炉心損傷に至らない小規模な事象の場合には、使用可能な炉心損傷防止対策や格納容器破損防止対策を柔軟に活用することが可能であると考えられる。また、建屋全体が崩壊し内部の安全系機器・配管の全てが機能を喪失するような深刻な事故の場合には、可搬型のポンプ・電源、放水砲等を駆使した大規模損壊対策による対応も含め、臨機応変に影響緩和対策を試みることで対応していくことが可能と考えられる。

以上のとおり頻度及び影響の観点から検討した結果，これらの事故シーケンスについては，設置許可基準規則の解釈に基づき想定する事故シーケンスグループと比較して，新たに追加する必要はないと総合的に判断した。

以 上

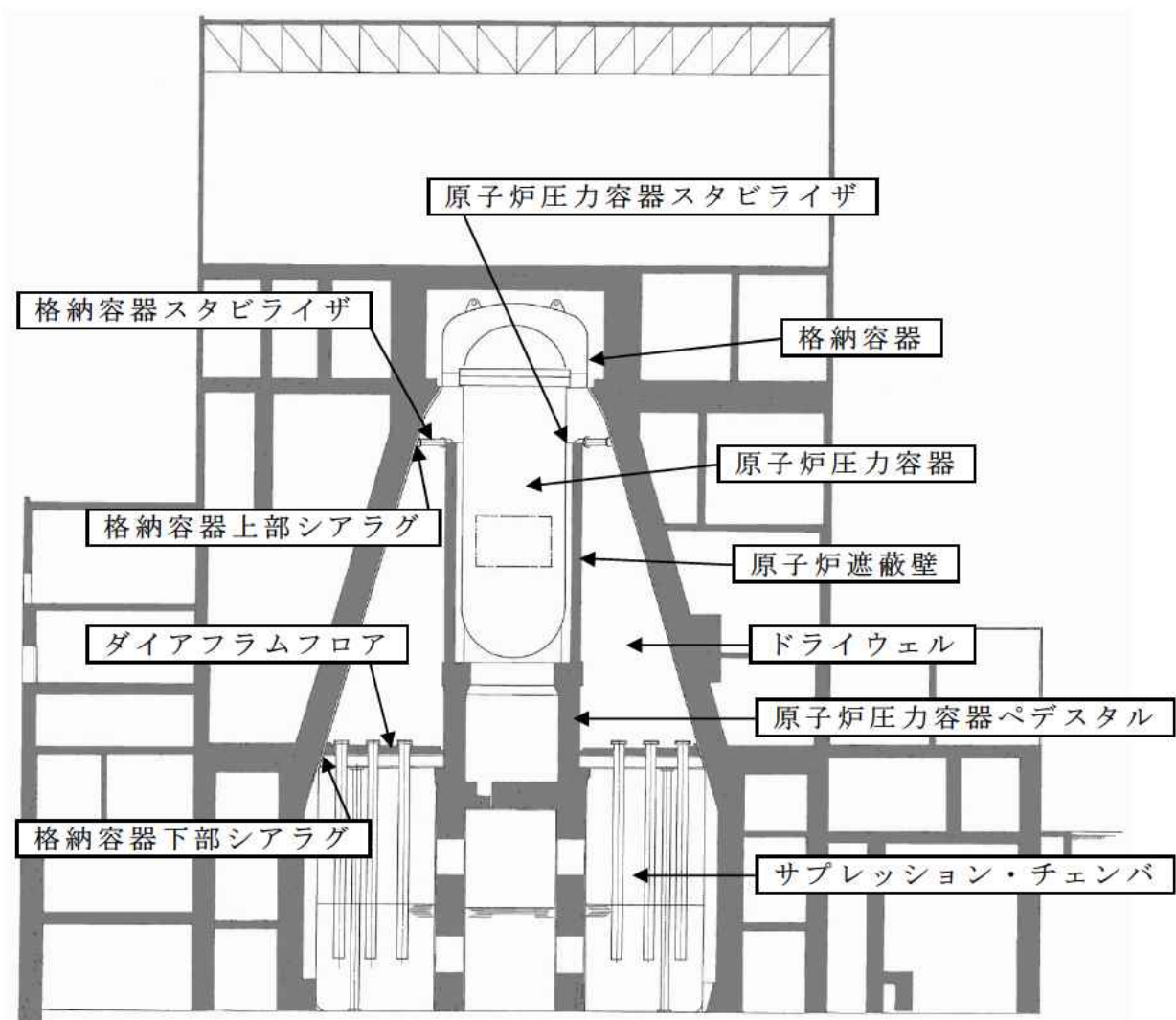
【参考文献】

- [1] (財)原子力発電技術機構 “原子力発電施設耐震信頼性実証に関する報告書，配管系終局強度”，平成 10 年度～平成 15 年度

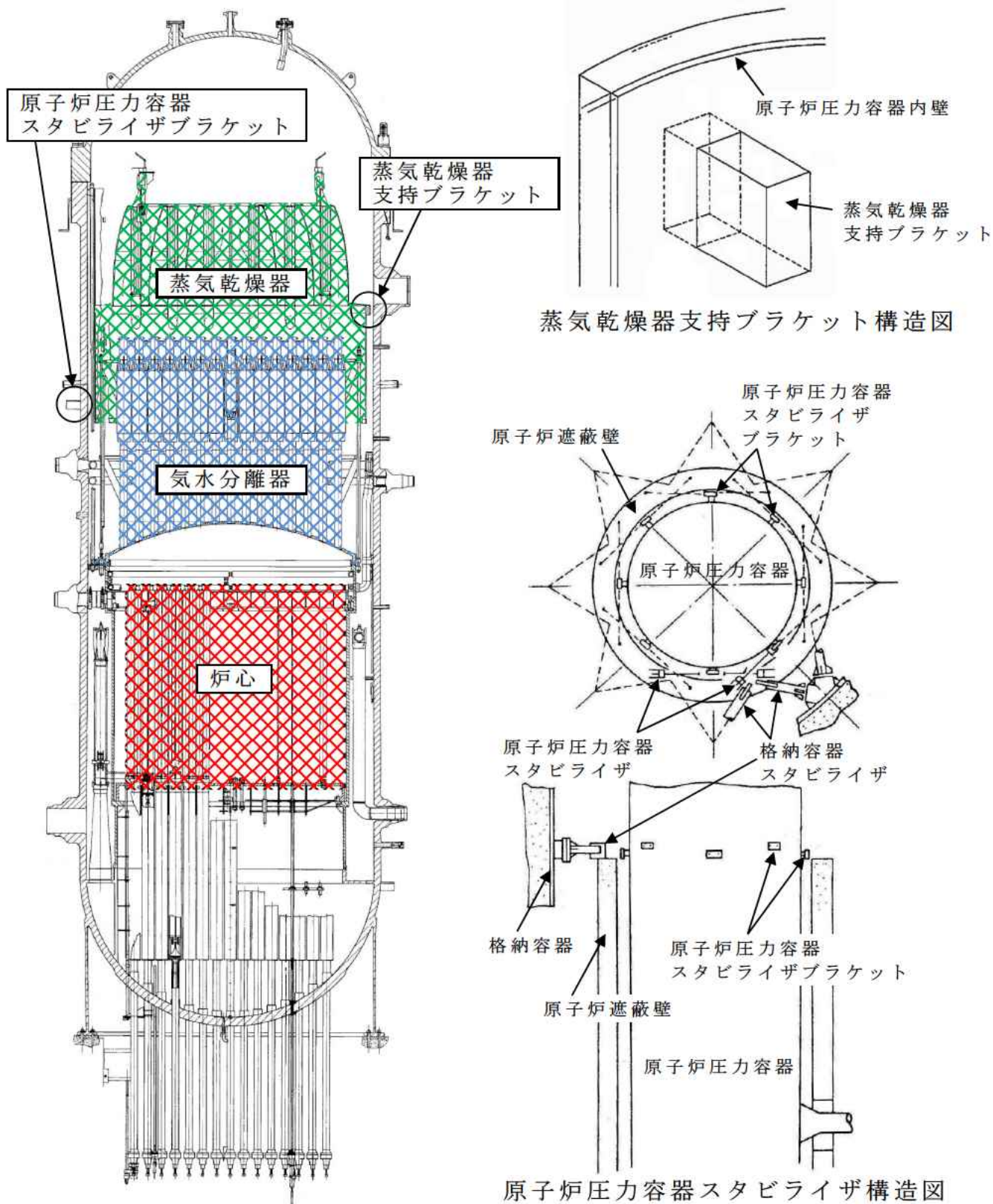
第 1 表 F V 重要度

| 事故シーケンス | 起因事象／ 影響緩和機能 | 設備 | 損傷モード | 評価部位 | H C L P F (G) | F V 重要度 |
|-----------|-----------------|--------------------|-------|---------------------|------------------|-----------|
| 原子炉圧力容器損傷 | 原子炉圧力容器損傷 | 原子炉圧力容器 | 構造損傷 | 蒸気乾燥器支持 ブラケット付根部 | 1.29 | 1.0E-02 |
| | | 原子炉圧力容器スタビ ライザ | 構造損傷 | ロッド | 1.59 | 9.2E-04 |
| | | 原子炉遮へい壁 | 構造損傷 | 開口集中部 | 1.81 | 1.8E-04 |
| 格納容器バイパス | 格納容器バイパス | 主蒸気ドレン弁（外側） | 機能損傷 | — | 1.15 | 9.9E-05 |
| | | 原子炉隔離時冷却系配 管 | 構造損傷 | 配管本体 | 2.63 | 2.0E-05 |
| | | 給水逆止弁 | 機能損傷 | — （鉛直方向評価） | 1.47 (2.32※) | 1.4E-05 |
| | | 主蒸気隔離弁 | 機能損傷 | — | 2.99 | 1.9E-06 |
| | | 原子炉冷却材浄化系配 管 | 構造損傷 | 配管本体 | 3.58 | 5.4E-07 |
| | | 主蒸気系配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 3.75 | 3.3E-07 |
| | | 給水配管 | 構造損傷 | 配管本体 | 5.47 | 3.4E-10 |
| | | 主蒸気ドレン弁（内側） | 機能損傷 | — | 5.35 | 2.6E-10 |
| | | 原子炉隔離時冷却系蒸 気隔離弁 | 機能損傷 | — （鉛直方向評価） | 3.96 (6.25※) | < 1.0E-16 |
| | | 原子炉冷却材浄化系隔 離弁 | 機能損傷 | — | 6.81 | < 1.0E-16 |
| | | 主蒸気ドレン配管（内 側） | 構造損傷 | 配管本体 | 7.00 | < 1.0E-16 |

※ 鉛直方向のフラジリティを水平方向に換算した値



第 1 図 格納容器の構造物（格納容器スタビライザ，格納容器下部シアラグ）の位置関係



第2図 原子炉圧力容器（蒸気乾燥器支持ブラケット，
原子炉圧力容器スタビライザ）の概要図

諸外国における炉心損傷防止対策の調査結果について

1. 調査方法

諸外国（米国及び欧州）の既設プラントにおいて整備している先進的な炉心損傷防止対策について、以下の書類等から調査を実施した。

- ・原子力規制機関（米国 N R C，ドイツ B M U 等）の規制要求文書
- ・米国における最終安全解析書（F S A R）等の事業者文書
- ・欧州におけるストレステスト報告書

また、原子力規制関係の調査委託会社の提携先である国外コンサルティング機関から得られる情報、国外原子力関係者を招いたセミナーでの情報、国外原子力プラントの視察情報等についても調査を実施した（図 1 参照）。

2. 調査結果

調査可能な範囲内で得られた国外既設プラントにおける炉心損傷防止対策について、東海第二発電所の対策と比較した結果を表 1 に示す。なお、表 1 では事故シーケンスグループごとに対策を整理しているが、国外既設プラントにおける炉心損傷防止対策については、各対策のサポート系等の詳細な情報が一部公開されていないため、各事故シーケンスグループの条件下で使用可能か判断できない対策については使用可能と仮定して記載している。

表 1 のとおり、東海第二発電所の対策は、全ての事故シーケンスグループにおいて、国外既設プラントで整備されている対策と同等であることを確認した。

なお、「L O C A 時注水機能喪失」の事故シーケンスグループについては、諸外国においても全ての破断面積に対して炉心損傷を防止できるような設備対策はとられていないことを確認した。

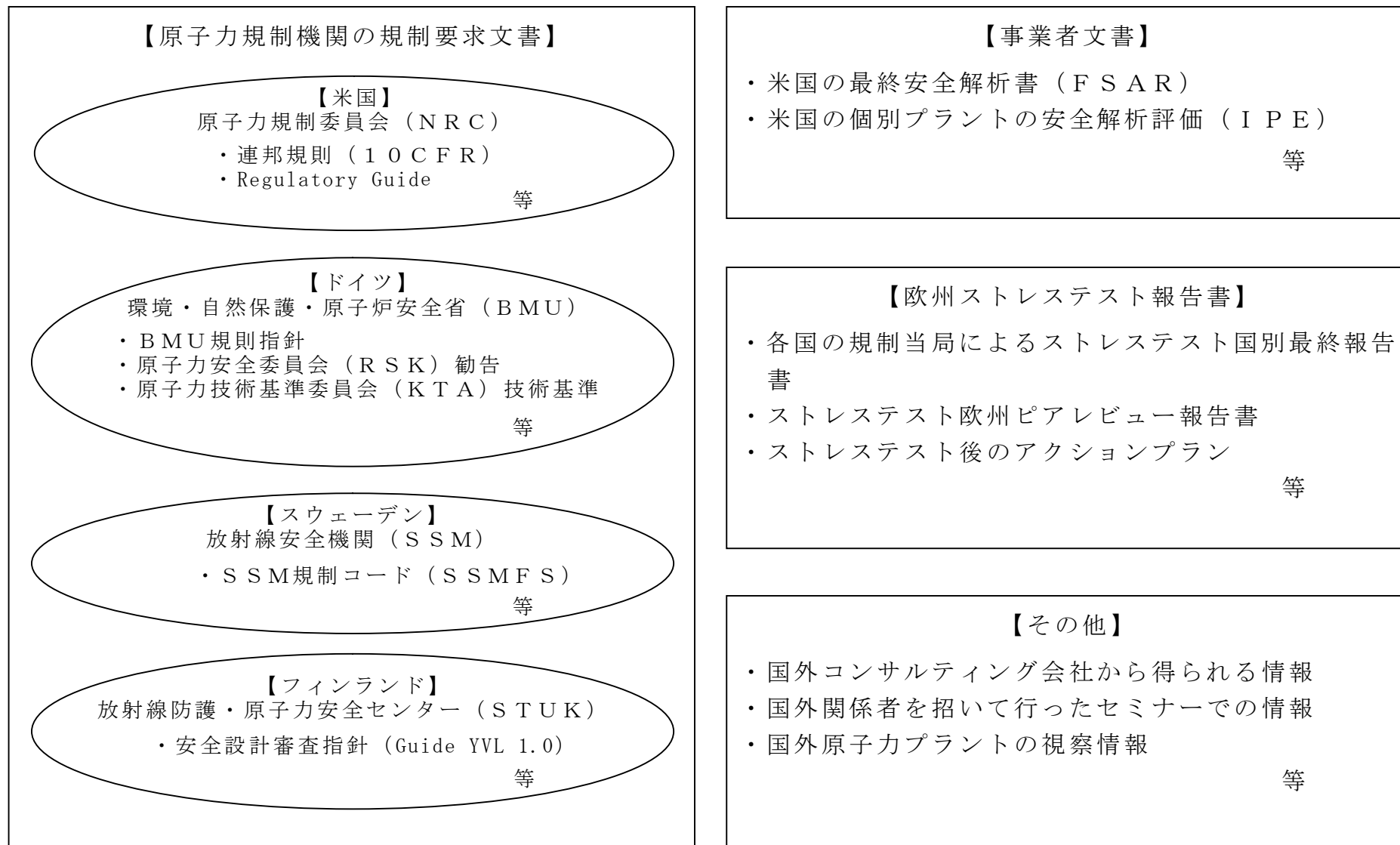


図 1 諸外国における炉心損傷防止対策の調査対象

表 1 諸外国における炉心損傷防止対策と東海第二発電所の対策との比較 (1/6)

| 分類 | 事故シーケンスグループ | 機能 | 炉心損傷防止対策に係る設備又は操作 | | | | | 対策の概要 |
|----|-------------|-------|---|--|--|--|---|--|
| | | | 東海第二発電所 | 米国 | ドイツ | スウェーデン | フィンランド | |
| 1 | 高圧・低圧注水機能喪失 | 炉心冷却 | <u>・常設低圧代替注水系ポンプ</u> ・常設高圧代替注水系ポンプ ・代替循環冷却系ポンプ ・復水ポンプ ・電動消火ポンプ ・ディーゼル駆動消火ポンプ ・復水移送ポンプ ・制御棒駆動水圧系ポンプ ・ほう酸水注入ポンプ | ・ディーゼル駆動消火ポンプ (RHR 経由) ・高圧サービス水系 (RHR 経由) ・RHRSW (RHR 経由) ・制御棒駆動機構ポンプ ・復水ポンプ | ・独立非常用系の中圧注入ポンプ ・サービス水系 (RHR 経由) ・復水ポンプ (給水ポンプバイパスライン追設) ・インターナルポンプ・シール水系ポンプ ・ほう酸水注入系ポンプ ・制御棒駆動水系ポンプ ・サブプレッションプールドレンポンプ (RHR 経由) ・1 次系満水ポンプ | — | ・火災用ポンプ、ブースターポンプ (専用電源有り) | 欧米では、既設又は追設する常設ポンプ及び可搬型ポンプによる多様な代替炉心冷却手段を整備している。 東海第二発電所においても、既設、追設する常設ポンプ及び可搬型ポンプによる代替炉心冷却手段を対策としている。 |
| | | | ・可搬型代替注水中型ポンプ ・可搬型代替注水大型ポンプ | ・可搬型ポンプ | ・可搬型消火ポンプ (サービス水系-RHR 経由) | — | ・可搬型ポンプ | |
| | | 給水源 | <u>・代替淡水貯槽</u> ・復水貯蔵タンク <u>・西側淡水貯水設備</u> ・ろ過水貯蔵タンク ・純水貯蔵タンク ・原水タンク ・海水 <u>・代替淡水貯槽への補給</u> -西側淡水貯水設備, 海水等 | ・防火用水タンク ・飲料水系 ・復水貯蔵タンクへの補給 -脱塩水貯蔵タンク, 復水器 H/W, 燃料プール, 他ユニット貯蔵タンク -消火用水系, 公共の消火水, 水道水等 | ・河川水 ・復水貯蔵タンクへの補給 -消火用水 ・ほう酸溶液タンクへの補給 -消火用水 | ・脱塩水タンクへの補給 -脱塩水系 -消火系 ・消火系への補給 -純水系 (重力による移送) | ・脱塩水タンクへの補給 -消火系 ・消火系への補給 -原水池 | 欧米では、既設タンクへの補給手段の確保や河川水等の給水源を整備している。 東海第二発電所においては、耐震性のあるタンクの追設及びタンクへの補給手段を整備することとしている。 |
| | | まとめ | 上述の調査結果より、東海第二発電所の対策は、諸外国の既設プラントで整備されている対策と同等であることを確認した。 | | | | | |
| 2 | 高圧注水・減圧機能喪失 | 原子炉減圧 | <u>・過渡時自動減圧機能</u> ・原子炉減圧機能の信頼性向上 -非常用蓄電池の増強 -予備の高圧窒素ガスボンベ -窒素発生装置 | ・過渡時の減圧自動化ロジック ・自動減圧機能の信頼性向上 -追加直流電源 -追加の窒素供給系 -ケーブル性能の確保 ^(注) | ・多様化炉容器減圧系 (11 個の逃がし安全弁のうち 3 個に電動弁によるバイパスラインを追設) | ・過渡時の減圧自動化ロジック | ・減圧機能の信頼性向上 -バックアップ用窒素ボンベ -消火系からの水圧による開 | 欧米では、過渡時自動減圧ロジックの追加や自動減圧機能の信頼性向上対策を整備している。また、米国ではシビアアクシデント時の温度環境下において、減圧機能に必要なケーブルが機能を維持できることを評価している。 東海第二発電所においても、過渡時自動減圧機能の追加及び原子炉減圧機能の信頼性向上対策を整備することとしている。また、シビアアクシデント時の減圧機能に必要なケーブルについては、過酷な条件下で機能維持可能であるよう対応することとしている。 |
| | | | まとめ | 上述の調査結果より、東海第二発電所の対策は、諸外国の既設プラントで整備されている対策と同等であることを確認した。 | | | | |

下線部 有効性評価において有効性を確認する対策

注 本件は、米国において NRC の要請によって実施された、内部事象に対する個別プラント評価 (IPE) に関連して、NRC により出された Generic Letter 88-20 追補 1 の添付 2 より抽出したもの

表 1 諸外国における炉心損傷防止対策と東海第二発電所の対策との比較 (2/6)

| 分類 | 事故シーケンスグループ | 機能 | 炉心損傷防止対策に係る設備又は操作 | | | | | 対策の概要 |
|----|-------------|---------------|---|--|--|--|--|---|
| | | | 東海第二発電所 | 米国 | ドイツ | スウェーデン | フィンランド | |
| 3 | 全交流動力電源喪失 | 電源設備（交流電源） | <ul style="list-style-type: none"> ・常設代替交流電源設備 | <ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電機の追加設置 ・ガスタービン発電機 | <ul style="list-style-type: none"> ・独立非常用系用ディーゼル発電機 | <ul style="list-style-type: none"> ・ガスタービン発電機 | <ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電機の信頼性向上 -起動用バッテリー追設 -燃料タンクの配備 -除熱系を 2 系統（海水、空冷）設置 ・非常用ディーゼル発電機の追加 ・ガスタービン発電機 | <p>欧米では、常設及び可搬型の代替交流電源設備並びに隣接ユニット間の電源融通等を整備している。</p> <p>東海第二発電所においても、常設及び可搬型の代替交流電源設備を整備することとしている。また、東海第二発電所は単独立地プラントであるため、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機から非常用母線への電源融通を整備している。</p> |
| | | | <ul style="list-style-type: none"> ・可搬型代替低圧電源車 | <ul style="list-style-type: none"> ・可搬型ディーゼル発電機 | <ul style="list-style-type: none"> ・可搬型ディーゼル発電機 | <ul style="list-style-type: none"> ・可搬型ディーゼル発電機 | <ul style="list-style-type: none"> ・可搬型発電機 | |
| | | | <ul style="list-style-type: none"> ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機から非常用母線への電源融通 | <ul style="list-style-type: none"> ・ユニット間の交流電源クロスタイ ・水力発電ユニット | <ul style="list-style-type: none"> ・隣接ユニット間での交流電源の接続 ・第 3 の送電線（地中埋設） | <ul style="list-style-type: none"> ・小型可搬型ディーゼル発電機（サイト外） | <ul style="list-style-type: none"> ・ユニット間の交流電源クロスタイ ・近隣発電所からの受電 ・地域電力会社からの受電 | |
| | | 電源設備（直流電源） | <ul style="list-style-type: none"> ・非常用蓄電池の給電時間延長 -バッテリー容量増加 -負荷の切り離し ・緊急用 125V 系蓄電池 ・代替交流電源による非常用直流電源の確保 -常設代替交流電源設備、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機からの電源融通 ・代替交流電源による緊急用直流電源の確保 -エンジン発電機による給電 | <ul style="list-style-type: none"> ・非常用バッテリーの給電時間延長 -バッテリー容量増加 -不要負荷の切り離し -非安全関連バッテリーの設置（非常用バッテリーの負荷軽減） | <ul style="list-style-type: none"> ・バッテリー容量の増加 ・独立非常用系バッテリー | <ul style="list-style-type: none"> ・不要負荷の切り離しによるバッテリー容量保持 | — | <p>欧米では、常設又は可搬型の代替直流電源設備を整備しており、非常用バッテリーについては、容量増加及び不要負荷の切り離しにより給電可能時間を延長させる対策を整備している。</p> <p>東海第二発電所においても、常設及び可搬型の代替直流電源設備を整備することとしており、常設の非常用蓄電池については、容量増加及び負荷の切り離しにより給電可能時間を延長させる対策を整備することとしている。また、代替の交流電源から充電器を介した直流電源の給電方法を整備することとしている。</p> |
| | | | <ul style="list-style-type: none"> ・可搬型代替直流電源設備（可搬型整流器及び可搬型代替低圧電源車） | <ul style="list-style-type: none"> ・携帯型バッテリーから所内バッテリーへの充電 | <ul style="list-style-type: none"> ・可搬型ディーゼル発電機からバッテリーへの充電 | <ul style="list-style-type: none"> ・SA 設備への給電バッテリー | <ul style="list-style-type: none"> ・可搬型発電機からバッテリーへの充電 | |
| | | 炉心冷却（交流電源復旧前） | <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉隔離時冷却系ポンプ ・常設高圧代替注水系ポンプ ・ディーゼル駆動消火ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉隔離時冷却系ポンプ ・ディーゼル駆動消火ポンプ ・SBO の影響を受けないポンプ（（サービス水系-給水系経由の注水）（水源：河川、湖、貯水池、海など）） | <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉隔離時冷却系ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> ・蒸気タービン駆動の高圧注入系 | — | <p>欧米では、交流電源に依存しない常設又は可搬型ポンプによる代替炉心冷却手段を整備している。</p> <p>東海第二発電所においても、交流電源に依存しない常設及び可搬型ポンプによる代替炉心冷却手段を整備することとしている。</p> |
| | | | <ul style="list-style-type: none"> ・可搬型代替注水中型ポンプ ・可搬型代替注水大型ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> ・可搬型ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> ・可搬型消火ポンプ（サービス水系-RHR 経由） | — | <ul style="list-style-type: none"> ・可搬型ポンプ | |

下線部 有効性評価において有効性を確認する対策

表 1 諸外国における炉心損傷防止対策と東海第二発電所の対策との比較 (3/6)

| 分類 | 事故シーケンスグループ | 機能 | 炉心損傷防止対策に係る設備又は操作 | | | | | 対策の概要 |
|----|-------------|-------------------|---|---|--|---|---|---|
| | | | 東海第二発電所 | 米国 | ドイツ | スウェーデン | フィンランド | |
| 3 | 全交流動力電源喪失 | 炉心冷却 (交流電源復旧後) | <ul style="list-style-type: none"> 原子炉隔離時冷却系ポンプ 常設高圧代替注水系ポンプ ディーゼル駆動消火ポンプ <u>残留熱除去系ポンプ</u> 常設低圧代替注水系ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> 原子炉隔離時冷却系ポンプ ディーゼル駆動消火ポンプ SB0 の影響を受けないポンプ（（サービス水系-給水系経由の注水）（水源：河川，湖，貯水池，海など）） | <ul style="list-style-type: none"> 原子炉隔離時冷却系ポンプ 独立非常用系の中圧注入ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> 蒸気タービン駆動の高圧注入系 | <ul style="list-style-type: none"> 火災用ポンプ，ブースターポンプ（専用電源有り） | <p>ドイツ及びフィンランドでは，専用の電源により動作可能なポンプを整備している。</p> <p>東海第二発電所においても，代替交流電源により動作可能な残留熱除去系ポンプ，常設低圧代替注水系ポンプを整備することとしている。</p> |
| | | | <ul style="list-style-type: none"> 可搬型代替注水中型ポンプ 可搬型代替注水大型ポンプ | 可搬型ポンプ | 可搬型消火ポンプ（サービス水系-RHR 経由） | — | 可搬型ポンプ | |
| | 最終ヒートシンク | 最終ヒートシンク | <ul style="list-style-type: none"> 格納容器圧力逃がし装置（手動操作可能） 耐圧強化ベント系（手動操作可能） <u>緊急用海水系（交流電源の復旧が必要）</u> | <ul style="list-style-type: none"> 耐圧強化ベント系（手動操作可能） 原子炉冷却材浄化系（S/P 除熱） | <ul style="list-style-type: none"> フィルタベント系（手動操作可能） 独立非常用系（ヒートシンク：冷却塔，地下水，河川） 必須サービス水系（ヒートシンク：河川） | <ul style="list-style-type: none"> フィルタベント系（ラプチャディスクによる自動起動） | <ul style="list-style-type: none"> フィルタベント系（ラプチャディスク） フィルタを経由しない大容量圧力逃がし装置（ラプチャディスク） 代替最終ヒートシンク（冷却塔及び既存ポンプの利用） | <p>欧米では，交流電源がなくても動作可能なフィルタベント系や耐圧強化ベント系を整備しており，大気を最終ヒートシンクとする対策をとっている。また，代替交流電源により動作可能な最終ヒートシンクを整備している。</p> <p>東海第二発電所においても，交流電源がなくても動作可能な格納容器圧力逃がし装置及び耐圧強化ベント系を整備することとしており，大気を最終ヒートシンクとする対策としている。また，緊急用海水系及び可搬型ポンプによる海水をヒートシンクとする対策を整備することとしている。</p> |
| | | | 可搬型代替注水大型ポンプ | — | — | — | — | |
| | | 格納容器注水 | <ul style="list-style-type: none"> 代替格納容器スプレー -ディーゼル駆動消火ポンプ -<u>常設低圧代替注水系ポンプ（交流電源の復旧が必要）</u> -代替循環冷却系ポンプ（交流電源の復旧が必要） 代替格納容器スプレー -<u>可搬型代替注水中型ポンプ</u> -可搬型代替注水大型ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> 代替格納容器スプレー -ディーゼル駆動消火ポンプ | — | <ul style="list-style-type: none"> 代替格納容器スプレー -火災防護系のディーゼル駆動ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> 代替格納容器スプレー -火災防護系ポンプ（専用 DG 有） | <p>欧米では，交流電源に依存しない常設又は可搬型ポンプによる代替格納容器スプレー手段を整備している。また，専用電源を持つポンプによる代替格納容器スプレー手段を整備している。</p> <p>東海第二発電所においても，交流電源に依存しない常設及び可搬型ポンプによる代替格納容器スプレー手段を整備することとしている。また，代替電源から給電する低圧代替注水ポンプによる代替格納容器スプレー手段を対策としている。</p> |
| | | 給水源 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 |
| | | まとめ | 上述の調査結果より，東海第二発電所の対策は，諸外国の既設プラントで整備されている対策と同等であることを確認した。 | | | | | |

下線部 有効性評価において有効性を確認する対策

表 1 諸外国における炉心損傷防止対策と東海第二発電所の対策との比較 (4/6)

| 分類 | 事故シーケンス グループ | 機能 | 炉心損傷防止対策に係る設備又は操作 | | | | | 対策の概要 |
|-----|---------------------------|--------------------|--|--|---|--|---|---|
| | | | 東海第二発電所 | 米国 | ドイツ | スウェーデン | フィンランド | |
| 4-1 | 崩壊熱除去機能 喪失（取水機能 喪失） | 最 終 ヒ ー ト シ ン ク | <ul style="list-style-type: none"> ・緊急用海水系 ・格納容器圧力逃がし装置 ・耐圧強化ベント系 ・ドライウェル内ガス冷却装置 | 3 と同様 | 3 と同様 | 3 と同様 | 3 と同様 | <p>欧米では、フィルタベント系や耐圧強化ベント系を整備しており、大気を最終ヒートシンクとする対策をとっている。また、冷却塔等の代替最終ヒートシンクを整備している。</p> <p>東海第二発電所においても、格納容器圧力逃がし装置及び耐圧強化ベント系を整備することとしており、大気を最終ヒートシンクとする対策としている。また、緊急用海水系を整備することとしている。</p> |
| | | 炉心冷却 | <ul style="list-style-type: none"> ・常設低圧代替注水系ポンプ ・代替循環冷却系ポンプ ・常設高圧代替注水系ポンプ ・電動消火ポンプ ・ディーゼル駆動消火ポンプ ・復水移送ポンプ ・ほう酸水注入ポンプ ・可搬型代替注水中型ポンプ ・可搬型代替注水大型ポンプ | 1 と同様※ | 1 と同様※ | 1 と同様※ | 1 と同様※ | 1 と同様 |
| | | 格 納 容 器 注 水 | <ul style="list-style-type: none"> ・代替格納容器スプレイ -常設低圧代替注水系ポンプ -代替循環冷却系ポンプ -電動消火ポンプ -ディーゼル駆動消火ポンプ -復水移送ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> ・代替格納容器スプレイ -ディーゼル駆動消火ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> ・D/W, W/W スプレイ -サービス水系 | <ul style="list-style-type: none"> ・代替格納容器スプレイ -火災防護系のディーゼル駆動ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> ・代替格納容器スプレイ -火災防護系ポンプ（専用 DG 有） | <p>欧米では、常設又は可搬型ポンプによる代替格納容器スプレイ手段を整備しており、格納容器スプレイ機能を多様化している。</p> <p>東海第二発電所においても、常設及び可搬型ポンプによる代替格納容器スプレイ手段を整備することとしており、格納容器スプレイ機能の多様化を対策としている。</p> |
| | | | <ul style="list-style-type: none"> ・代替格納容器スプレイ -可搬型代替注水中型ポンプ -可搬型代替注水大型ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> ・代替格納容器スプレイ -可搬型ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> ・S/P への注水 -可搬型消火ポンプ（サービス水系-RHR 経由） | <ul style="list-style-type: none"> ・代替格納容器スプレイ -可搬型ポンプ | — | |
| | | 給水源 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 |
| | | まとめ | 上述の調査結果より、東海第二発電所の対策は、諸外国の既設プラントで整備されている対策と同等であることを確認した。 | | | | | |

下線部 有効性評価において有効性を確認する対策。

※ 取水機能の喪失により動作できないものは除く。

表 1 諸外国における炉心損傷防止対策と東海第二発電所の対策との比較 (5/6)

| 分類 | 事故シーケンスグループ | 機能 | 炉心損傷防止対策に係る設備又は操作 | | | | | 対策の概要 |
|-----|----------------------|----------|--|--|----------------|--|--------------|--|
| | | | 東海第二発電所 | 米国 | ドイツ | スウェーデン | フィンランド | |
| 4-2 | 崩壊熱除去機能喪失 (RHR 機能喪失) | 最終ヒートシンク | <ul style="list-style-type: none"> ・格納容器圧力逃がし装置 ・耐圧強化ベント系 ・ドライウェル内ガス冷却装置 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | <p>欧米では、フィルタベント系や耐圧強化ベント系を整備しており、大気を最終ヒートシンクとする対策をとっている。また、冷却塔等の代替最終ヒートシンクを整備している。</p> <p>東海第二発電所においても、格納容器圧力逃がし装置及び耐圧強化ベント系を整備することとしており、大気を最終ヒートシンクとする対策としている。</p> |
| | | 炉心注水 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 |
| | | 格納容器注水 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 |
| | | 給水源 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 |
| | | まとめ | 上述の調査結果より、東海第二発電所の対策は、諸外国の既設プラントで整備されている対策と同等であることを確認した。 | | | | | |
| 5 | 原子炉停止機能喪失 | 原子炉停止 | <ul style="list-style-type: none"> ・ほう酸水注入系（手動） ・A T W S 緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能） ・A T W S 緩和設備（代替制御棒挿入機能） | <ul style="list-style-type: none"> ・ほう酸水注入系（自動） ・ほう酸水注入系のほう酸濃度の増加 ・CRD 系、原子炉冷却材浄化系によるほう酸水注入 ・代替制御棒挿入回路 ・ATWS 原子炉再循環ポンプトリップ ・MSIV 閉後 ATWS 時の炉圧高で給水ポンプトリップロジック追加 | ・緊急ほう酸水注入系（手動） | <ul style="list-style-type: none"> ・ほう酸水注入系（手動又は自動） ・バックアップスクラム回路（制御棒の電動挿入、再循環ポンプ減速） | ・ほう酸水注入系（自動） | <p>欧米では、代替制御棒挿入回路及び原子炉再循環ポンプトリップ回路の導入や、ほう酸水注入系を整備している。</p> <p>東海第二発電所においても、A T W S 緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）及びA T W S 緩和設備（代替制御棒挿入機能）を導入することとしている。また、ほう酸水注入系を整備している。</p> |
| | | まとめ | 上述の調査結果より、東海第二発電所の対策は、諸外国の既設プラントで整備されている対策と同等であることを確認した。 | | | | | |
| 6 | LOCA 時注水機能喪失 | 炉心冷却 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 |
| | | 原子炉減圧 | 2 と同様 | 2 と同様 | 2 と同様 | 2 と同様 | 2 と同様 | 2 と同様 |
| | | 最終ヒートシンク | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 |
| | | 格納容器注水 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 | 4-1 と同様 |
| | | 給水源 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 | 1 と同様 |
| | | まとめ | <p>上述の調査結果より、東海第二発電所の対策は、諸外国の既設プラントで整備されている対策と同等であることを確認した。</p> <p>なお、「LOCA 時注水機能喪失」において、炉心損傷を防止するためには、LOCA の破断面積によっては大容量のポンプが自動的に動作する必要があるが、そのような対策は確認できなかったことから、諸外国においても全ての破断面積の大きさに対応できるような設備対策は取られていないことを確認した。</p> | | | | | |

下線部 有効性評価において有効性を確認する対策

表 1 諸外国における炉心損傷防止対策と東海第二発電所の対策との比較（6／6）

| 分類 | 事故シークエンス グループ | 機能 | 炉心損傷防止対策に係る設備又は操作 | | | | | 対策の概要 |
|----|-----------------------|---------------------|--|--|---|--------|--------|--|
| | | | 東海第二発電所 | 米国 | ドイツ | スウェーデン | フィンランド | |
| 7 | インターフェイ スシステム LOCA | 炉心冷却 | ・健全な原子炉注水設備で対応 | ・既存設備で対応 | — | — | — | 米国では、既存設備を用いて炉心冷却を実施することとしている。 東海第二発電所においては、健全な原子炉注水設備（既設ポンプ、新設ポンプ）を用いて炉心冷却を実施することとしている。 |
| | | 格納容器 バイパス 防止等 | ・破損個所の検出，隔離 （既設の計装） ・原子炉減圧，水位制御 | ・破損個所の検出，隔離 （既設の計装） ・原子炉の減圧（破断口 からの流出量低減） | ・隔離弁の自動閉止又は 代替隔離弁の閉止に よる格納容器隔離機 能の確保 | — | — | 米国では、既存の計装等から破損個所の検出，隔離手段と，原子炉の減圧手順を整備しており，破断個所からの流出量を低減している。ドイツにおいては，格納容器隔離手段として代替隔離弁を設置している。 東海第二発電所においては，米国と同様に，既存の計装等から破損個所の検出，隔離手段と，原子炉の減圧手順を整備することとしており，破断個所からの流出量低減を対策としている。 |
| | | まとめ | 上述の調査結果より，東海第二発電所の対策は，諸外国の既設プラントで整備されている対策と同等であることを確認した。 | | | | | |

下線部 有効性評価において有効性を確認する対策

T B Wシーケンスの炉心損傷防止対策及び着眼点に基づく評価

を踏まえた重要事故シーケンスの選定について

T B Wシーケンスは、高圧炉心スプレイ冷却系による炉心冷却に成功するが、非常用電源の喪失により崩壊熱除去機能が喪失し、炉心損傷に至るシーケンスである。東海第二発電所の出力運転時内部事象レベル 1 P R A では、T B WシーケンスはT Wシーケンスの一部として整理している。

事故シーケンスグループ「崩壊熱除去機能喪失」に分類されるT B Wシーケンス(非常用電源の喪失による崩壊熱除去機能喪失)に対する炉心損傷防止対策、及び着眼点に基づく評価を踏まえた重要事故シーケンスの選定について以下に示す。

1. T B Wシーケンスの炉心損傷頻度

T B Wシーケンスの炉心損傷頻度を表 1 に示す。表 1 に示すとおり、T B Wシーケンスは事故シーケンスグループ「崩壊熱除去機能喪失」のドミナントシーケンスとはならないが、事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度に対して約 7.9%の寄与を持っている。

表 1 T B Wシーケンスの炉心損傷頻度

| | | 炉心損傷頻度 (C D F) (／炉年) | 全C D F への 寄与割合 | 事故シーケンス グループ別C D F への寄与割合 |
|-----|------------------------|----------------------------|-------------------|---------------------------------|
| T W | | 6.0E-05 | 99.8% | 100% |
| | T B W | 4.7E-06 | 7.8% | 7.8% |
| | T B W (S R V 再閉鎖失敗) | 2.5E-08 | <0.1% | <0.1% |

2. 「崩壊熱除去機能喪失」に対応する炉心損傷防止対策

事故シーケンスグループ「崩壊熱除去機能喪失」に対応する炉心損傷防止対策については、「残留熱除去系が故障した場合」及び「取水機能が喪失した場合」を想定し、以下の炉心損傷防止対策の有効性を確認している。

「残留熱除去系が故障した場合」:

- ・格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベント

「取水機能が喪失した場合」:

- ・緊急用海水系（常設代替交流電源設備による給電）

このうち、「残留熱除去系が故障した場合」を想定して有効性を確認している格納容器圧力逃がし装置については、系統構成に必要な電動弁等は常設代替交流電源設備から緊急用母線を介して給電可能な設計としており、現場での手動開操作も可能であることから、外部電源及び非常用電源（区分Ⅰ，Ⅱ）が喪失しているT B Wシーケンスにおいても有効な対策である。また、耐圧強化ベントについても、常設代替交流電源設備からの電源融通による非常用母線の受電操作又は現場での手動開操作を行うことにより、同じくT B Wシーケンスにおいても有効な対策となる。

「取水機能が喪失した場合」を想定して有効性を確認している緊急用海水系については、常設代替交流電源設備からの電源融通による非常用母線の受電及び緊急用海水系を用いた残留熱除去系による対応の有効性を確認しており、T B Wシーケンスにおいても有効な対策である。

さらに、T B Wシーケンスについては、常設代替交流電源設備からの電源融通による非常用母線の受電により、緊急用海水系を用いずとも、残留熱除去系海水系を用いた残留熱除去系による対応にも期待できる。

3. 審査ガイド記載の着眼点に基づく評価

T B Wシーケンスの審査ガイド記載の着眼点に対する評価について、重要事故シーケンスとして選定したT Wシーケンス（過渡事象＋R H R失敗）と比較した結果を表2に示す。また、T B Wシーケンスの各着眼点に対する考え方について以下に示す。

a. 共通原因故障，系統間依存性の観点

H P C S用電源（区分Ⅲ）は健全だが，非常用電源の喪失により電源を必要とする設備（区分Ⅰ，Ⅱ）が機能喪失することから「高」とした。

b. 余裕時間の観点

崩壊熱除去機能喪失の事故シーケンスは，代替除熱手段に係る炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間に有意な差がない。このため，炉心冷却に成功する事故シーケンスグループではあるものの，事象発生初期の炉心損傷防止対策の実施に対する余裕時間に着目した。T B Wに至るおそれがある事故シーケンスのうち，サポート系喪失（直流電源故障）に起因する事故シーケンスは，起因事象の発生により給水流量の全喪失に至る場合があり，余裕時間が短いことから，過渡事象（給水流量の全喪失）に起因する事故シーケンスと同様に「高」とした。

c. 設備容量の観点

崩壊熱除去機能喪失の事故シーケンスは，崩壊熱除去に必要な設備容量に有意な差異がない。このため，炉心冷却に成功する事故シーケンスグループではあるものの，事象発生初期の炉心損傷防止対策の設備容量に着目した。事象初期の事象進展が早く余裕時間が短い場合，崩壊熱が高く原子炉注水に必要な設備容量が大きくなるため，T B Wに至るおそれのある事故シーケンスのうち，サポート系喪失（直流電源故障）に起

因する事故シーケンスは、「b. 余裕時間の観点」と同様の考え方により「高」とした。

d. 代表性の観点

T B Wシーケンスの炉心損傷頻度は $4.8\text{E-}06$ ／炉年程度であり，崩壊熱除去機能喪失の事故シーケンスグループの炉心損傷頻度 ($6.0\text{E-}05$ ／炉年) に対して 1%以上の寄与があるため，「中」とした。

表 2 着眼点に基づく整理

| シーケンス | 対応する主要な 炉心損傷防止対策 | 着眼点 | | | | 備考 |
|-------|---|-----|---|---|---|---|
| | | a | b | c | d | |
| TW | <ul style="list-style-type: none"> ・格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント ・緊急用海水系 | 低 | 高 | 高 | 高 | 過渡事象（給水流量の全喪失）に起因する事故シーケンスが含まれる |
| TBW | <div>以下はTBWに有効な対策</div> <ul style="list-style-type: none"> ・常設代替交流電源設備 ＋残留熱除去系 | 高 | 高 | 高 | 中 | サポート系喪失（直流電源故障）に起因する事故シーケンスは、起因事象の発生により給水流量の全喪失に至る場合がある |

表 2 に示すとおり，TWとTBWを区別した場合，審査ガイドに記載の着眼点の「高」の数はTWとTBWで同じとなるが，「中」の数が多いのはTBWとなる。

ただし，2. で示したとおり，有効性を確認する主要な炉心損傷防止対策はTBWシーケンスに対しても有効となっており，「取水機能が喪失した場合」の有効性評価では，全交流動力電源喪失を仮定した評価を行うことでTBWを包絡した評価を行っている。また，崩壊熱除去機能喪失への対策の有効性を確認する観点からは，非常用電源の喪失に伴い崩壊熱除去機能が喪失するTBWシーケンスより，崩壊熱除去機能そのものが機能喪失するTWシーケンスを想定して評価することが適切であると考ええる。

これらのことを考慮すると，崩壊熱除去機能喪失における重要事故シーケンスはTBWシーケンスに対する対策の有効性も確認可能なシーケンスを選定しており，選定した重要事故シーケンスは妥当なものと考えている。

重大事故等対処設備の津波からの防護について

1. はじめに

東海第二発電所では、基準津波を超え敷地に遡上する津波（以下「敷地に遡上する津波」という。）に起因する事故シーケンスが抽出される。これらの事故シーケンスに対する重大事故等対処設備の津波からの防護について説明する。

2. 防護対象とする重大事故等対処設備

(1) 敷地に遡上する津波への対応に関する基本方針

敷地に遡上する津波に起因する事故シーケンスに対しては、津波による可搬型重大事故等対処設備のアクセス性への影響を考慮し、常設重大事故等対処設備による対応を基本方針とする。

(2) 防護対象設備の選定

敷地に遡上する津波に対する防護対象設備として、この津波に起因する事故シーケンスへの対応に必要な安全機能を有する常設重大事故等対処設備及び可搬型重大事故等対処設備を選定する。また、重大事故等対処設備による事故対応を実施する上で必要となる機能を有する設備についても防護対象設備として選定する。選定した防護対象設備を表1に示す。

3. 敷地に遡上する津波からの防護対策

(1) 津波高さの設定

重大事故等対処設備の防護設計において想定する津波高さは、防潮堤の健全性が維持される津波高さである $T.P. + 24m^{*1}$ を設定する。なお、この津波の年超過確率は約 3.3×10^{-7} /年に相当する。

※1 津波高さ（T.P. +24m）は、仮想的に防潮堤位置に鉛直無限壁を設定した場合の防潮堤位置の最高水位である。

（2）敷地に遡上する津波からの防護対策

防護対象設備は、津波防護を実施した施設（以下「津波防護施設」という。）内に設置するか又は高所に設置することにより、敷地に遡上する津波から防護し、必要な機能を維持する。

津波防護施設で防護する場合は、解析上の不確かさを考慮して保守的に防潮堤がない条件で実施した津波遡上解析の結果を踏まえ、津波波力及び漂流物衝突荷重に対して津波防護施設の防護機能が損なわれない設計とする。

また、高所に設置する場合は、津波遡上解析の結果を踏まえ、津波が遡上しない場所に設置する。

表1 必要な安全機能及び防護対象設備（1／2）

| 必要な安全機能 | 防護対象設備 |
|-------------------|--|
| | 常設重大事故等対処設備 |
| 原子炉注水 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉隔離時冷却系 ・ 高圧代替注水系 ・ 逃がし安全弁 ・ 過渡時自動減圧機能 ・ 逃がし安全弁用可搬型蓄電池 (逃がし安全弁機能回復 (可搬型代替直流電源供給)) ・ 高圧窒素ポンペ (逃がし安全弁機能回復 (代替窒素供給)) ・ 低圧代替注水系 (可搬型) ・ 低圧代替注水系 (常設) ・ 残留熱除去水系 ・ 代替循環冷却系 ・ 緊急用海水系 ・ ほう酸水注入系 |
| 格納容器注水／除熱 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 代替循環冷却系 ・ 緊急用海水系 ・ 代替格納容器スプレイ冷却系 (常設) ・ 代替格納容器スプレイ冷却系 (可搬型) ・ 残留熱除去系 (格納容器スプレイ冷却系) ・ 残留熱除去系 (サブプレッション・プール冷却系) ・ 原子炉格納容器下部注水設備 (常設) ・ 原子炉格納容器下部注水設備 (可搬型) ・ 格納容器圧力逃がし装置 ・ 耐圧強化ベント系 ・ 静的触媒式水素再結合器 ・ 水素濃度の監視設備 |
| 使用済燃料プール 注水／除熱 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 代替燃料プール注水系 ・ 代替燃料プール冷却系 ・ 緊急用海水系 |
| 電 源 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 可搬型代替交流電源設備 ・ 常設代替交流電源設備 ・ 非常用所内電気設備 ・ 所内常設直流電源設備 ・ 常設代替直流電源設備 ・ 可搬型代替直流電源設備 ・ 代替所内電気設備 ・ 燃料給油設備 |

表1 必要な安全機能及び防護対象設備（2／2）

| 必要な安全機能 | 防護対象設備 |
|------------------------|---|
| | 常設重大事故等対処設備 |
| 水 源 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 代替淡水貯槽 ・ 西側淡水貯水設備 ・ サプレッション・チェンバ |
| 事故対応を実施する上で 必要となる機能 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 計装設備 ・ 監視測定設備 ・ 中央制御室及び居住性確保に必要な設備 ・ 緊急時対策所及び居住性確保に必要な設備 ・ 通信連絡設備 |

内部事象 P R A における主要なカットセット及び F V 重要度
に照らした重大事故等防止対策の有効性について

各事故シーケンスグループに分類される事故シーケンスについて、炉心損傷又は格納容器破損に至る要因をカットセットレベルまで展開し、炉心損傷頻度又は格納容器破損頻度への寄与割合の観点で整理し、主要なカットセットに対して重大事故等対処設備が有効であるか確認した。

また、事故シーケンスグループごとに F V 重要度を評価し、F V 重要度が高い基事象に対する重大事故防止対策が有効であるか確認した。

以下に、内部事象出力運転時レベル 1 P R A、内部事象出力運転時レベル 1.5 P R A 及び内部事象停止時レベル 1 P R A のカットセットの分析結果並びに内部事象出力運転時レベル 1 P R A 及び内部事象停止時レベル 1 P R A において F V 重要度が高い基事象に対して重大事故等対処設備が有効であるか確認した結果を示す。

1. 内部事象出力運転時レベル 1 P R A

1-1. 主要なカットセットに照らした重大事故等対処設備の有効性

(1) 選定条件

事故シーケンスの種類によっては展開されるカットセットが無数に存在するため、ここでは以下の基準を基に主要なカットセットを抽出した。

- ・炉心損傷頻度が $1\text{E-}7$ / 炉年以上
- ・事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度への寄与が 1% 以上

また、上記の条件を満たさないカットセットについても、各事象シーケンスにおける上位 3 位までのカットセットを抽出し、重大事故等対処設備が有効であるか確認した。

確認結果を第 1-1 表～第 1-9 表に示す。

(2) 主要なカットセットの確認結果

第 1-1 表～第 1-9 表に示したとおり、一部に炉心損傷防止が困難な事故シーケンスが存在するものの、大半の事故シーケンスに対しては、主要なカットセットレベルまで展開しても、整備する炉心損傷防止対策により炉心損傷を防止できることを確認した。

一方、事故シーケンスグループのうち、「L O C A 時注水機能喪失」に含まれる事故シーケンスでは、故障モード又は L O C A の破断面積の大きさによっては有効性で考慮した対策では対応できない場合があることを確認した。

(3) カットセットを踏まえた事故シーケンスへの対策の対応性

今回の分析では、各事故シーケンスグループのうち、主要な事故シーケンスそれぞれについて支配的なカットセットを確認し、対策の有効性を定性的に考察した。なお、支配的なカットセット

であっても、事故シーケンスグループ全体の炉心損傷頻度に対しては小さな割合となる場合もあり、今回確認したカットセットの炉心損傷頻度の合計が事故シーケンスグループの炉心損傷頻度に占める割合は事故シーケンスグループによって異なる。全炉心損傷頻度から見ると、「崩壊熱除去機能喪失」の事故シーケンスグループが約 99.8%を占めており、「崩壊熱除去機能喪失」については、炉心損傷頻度の約 82%のカットセットを確認したことから、全炉心損傷頻度に対しても、約 82%のカットセットを確認し、対策の有効性を定性的に確認したものと整理できる。

また、「崩壊熱除去機能喪失」は除熱機能の喪失によって格納容器が先行破損し、炉心損傷に至ることから、対策としては除熱機能の多重化及び多様化が有効であると考えられる。除熱機能については、大気を最終ヒートシンクとする耐圧強化ベント及び格納容器圧力逃がし装置を設置し、その機能を多様化している。耐圧強化ベント及び格納容器圧力逃がし装置は残留熱除去系等に対して独立した系統であり、共通原因による機能喪失のリスクを可能な限り低減している。このことから、全炉心損傷頻度の約 99.8%を占める「崩壊熱除去機能喪失」に対しては炉心損傷頻度のほとんどの割合に対して、有効性評価で考慮した対策での対応が有効なものであると考えられる。

(2)で述べた有効性評価で考慮した対策では対応できない場合について、全炉心損傷頻度から見た場合は非常に小さい寄与ではあるが、「L O C A 時注水機能喪失」において中破断 L O C A を起因とするカットセットが抽出されており、L O C A については破断面積の大きさが一定の範囲を超えるような場合は、炉心損傷

を防止することができないシーケンスとして整理している。これらの炉心損傷防止対策が有効に機能しないカットセットについては、格納容器破損防止対策により原子炉格納容器の閉じ込め機能に期待できることを確認することとしている。また、「L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗」のカットセットとして抽出されている、計装系の故障及び人的過誤（注水不能認知失敗）が重畳するカットセットについては、認知に失敗したまま長時間気づかないことは現実的には考え難く、これら認知失敗が含まれるカットセットの炉心損傷頻度は非常に小さくなっているものの、発生した場合は有効性評価で考慮した対応が困難である。

有効性評価で考慮した対策は、基本的に設計基準設備に対して多様化された、独立系統機能の追加であることから、これらの共用部分の故障を伴うカットセットが抽出されていない以上、有効性評価で考慮した対策はほとんどのシーケンスに対して有効であると考えられる。また、全炉心損傷頻度の約 99.8%を占める「崩壊熱除去機能喪失」についても、今回考慮した除熱機能である残留熱除去系に対して、独立かつ多様化された系統である格納容器圧力逃がし装置等を設けることから、全炉心損傷頻度のほとんどの割合に対して、有効性評価で考慮した対策が有効なものであると考えられる。

【高圧・低圧注水機能喪失】

いずれの事故シーケンスにおいても，機器故障又は保守点検のための待機除外により電源，補機冷却系等のサポート系の機能喪失が重畳し，それに伴い高圧・低圧注水機能が喪失するカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては，補機冷却が不要であり，また，代替電源である代替交流電源設備からの給電が可能な低圧代替注水系（常設）による原子炉注水が有効である。

また，高圧・低圧注水機能喪失における低圧代替注水系（常設）と設計基準事故対処設備の共有部分となる注入弁の故障を伴うカットセットについては，低圧代替注水系（常設）に期待が出来ないものの，事故シーケンスグループに対する寄与割合は 0.1% 未満と非常に小さい。また，低圧代替注水系（常設）の注入弁が故障した場合においては，高圧代替注水系により炉心損傷防止が可能である。

第 1-1 表 「高圧・低圧注水機能喪失」におけるカットセット

| 事故シーケンス | | 炉心 損傷頻度 (/ 年) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (/ 年) | 事故シーケンス グループに対する 寄与割合 (%) | 有効性を確認する主な対策 | 対策の 有効性 |
|-----------------|---|---------------------|--|---------------------|---------------------------------|--------------|------------|
| 高圧・ 低圧注水機能喪失 | T Q U V | 3. 2E-10 | ①外部電源喪失 + H P C S - D G 運転継続失敗 + D G - 2 C 運転継続失敗 + R H R S - B メンテナンスによる待機除外 | 8. 2E-12 | 0. 2 | ・低圧代替注水系（常設） | ○ |
| | | | ②外部電源喪失 + H P C S - D G 運転継続失敗 + D G - 2 C 起動失敗 + R H R S - B メンテナンスによる待機除外 | 5. 5E-12 | 0. 2 | | ○ |
| | | | ③外部電源喪失 + H P C S - D G 起動失敗 + D G - 2 C 運転継続失敗 + R H R S - B メンテナンスによる待機除外 | 5. 5E-12 | 0. 2 | | ○ |
| | | 2. 0E-10 | ①逃がし安全弁開閉 + H P C S 入口逆止弁 (S / P 側) 開失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 5. 7E-12 | 0. 2 | | ○ |
| | | | ②非隔離事象 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S 入口逆止弁 (S / P 側) 開失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 5. 1E-12 | 0. 1 | | ○ |
| | | | ③逃がし安全弁開閉 + H P C S - D G S W メンテナンスによる待機除外 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 4. 7E-12 | 0. 1 | | ○ |
| | | 4. 2E-10 | ①交流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G S W メンテナンスによる待機除外 + R H R S - B メンテナンスによる待機除外 | 1. 5E-11 | 0. 4 | | ○ |
| | | | ②交流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G S W 海水ストレーナ閉塞 + R H R S - B メンテナンスによる待機除外 | 7. 3E-12 | 0. 2 | | ○ |
| | | | ③交流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G S W ボンプ起動失敗 + R H R S - B メンテナンスによる待機除外 | 5. 7E-12 | 0. 2 | | ○ |
| | | 4. 3E-11 | ①計画外停止 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S 入口逆止弁 (S / P 側) 開失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 1. 3E-12 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | ②計画外停止 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S - D G S W メンテナンスによる待機除外 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 1. 0E-12 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | ③計画外停止 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S - D G S W 海水ストレーナ閉塞 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 5. 0E-13 | < 0. 1 | | ○ |
| | | 2. 5E-09 | ①直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G 運転継続失敗 + R H R S - B メンテナンスによる待機除外 | 2. 4E-10 | 6. 8 | | ○ |
| | | | ②直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G 起動失敗 + R H R S - B メンテナンスによる待機除外 | 1. 6E-10 | 4. 6 | | ○ |
| | | | ③直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G メンテナンスによる待機除外 + R H R S - B メンテナンスによる待機除外 | 1. 0E-10 | 3. 0 | | ○ |
| | | | ④直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G 運転継続失敗 + R H R S - B 海水ストレーナ閉塞 | 8. 1E-11 | 2. 3 | | ○ |
| | | | ⑤直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G 起動失敗 + R H R S - B 海水ストレーナ閉塞 | 5. 5E-11 | 1. 6 | | ○ |
| | | | ⑥直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G 運転継続失敗 + R H R S - B 熱発入口弁開け忘れ | 5. 2E-11 | 1. 5 | | ○ |
| | | | ⑦直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G 運転継続失敗 + R H R S - B 熱発出口弁開け忘れ | 5. 2E-11 | 1. 5 | | ○ |
| | | | ⑧直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G 運転継続失敗 + R H R S - B 放出ライン隔離弁開け忘れ | 5. 2E-11 | 1. 5 | | ○ |
| | | | ⑨直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G 運転継続失敗 + R H R S - B 放出ライン排水弁開け忘れ | 5. 2E-11 | 1. 5 | | ○ |
| | | | ⑩直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G 運転継続失敗 + L P C I - B / C 起動信号共通原因故障 + L P C I - B / C 起動操作失敗 | 4. 3E-11 | 1. 2 | | ○ |
| | | | ⑪直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G 起動失敗 + R H R S - B 熱発入口弁開け忘れ | 3. 5E-11 | 1. 0 | | ○ |
| | | | ⑫直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G 起動失敗 + R H R S - B 熱発出口弁開け忘れ | 3. 5E-11 | 1. 0 | | ○ |
| | | | ⑬直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G 起動失敗 + R H R S - B 放水ライン隔離弁開け忘れ | 3. 5E-11 | 1. 0 | | ○ |
| | | | ⑭直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G 起動失敗 + R H R S - B 放水ライン排水弁開け忘れ | 3. 5E-11 | 1. 0 | | ○ |
| | | | ⑮直流電源故障 (区分 I) + H P C S - D G 起動失敗 + R H R S - B 海水ストレーナ閉塞 | 3. 5E-11 | 1. 0 | | ○ |
| | サ ポ ー ト 系 喪 失 （ 自 動 停 止 ） + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 | 3. 0E-11 | ①直流電源故障 (区分 I) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S - D G 運転継続失敗 + R H R S - B メンテナンスによる待機除外 | 1. 3E-12 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | ②直流電源故障 (区分 I) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S - D G 運転継続失敗 + R H R S - A メンテナンスによる待機除外 | 1. 3E-12 | < 0. 1 | | ○*1 |
| | | | ③直流電源故障 (区分 I) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S - D G 起動失敗 + R H R S - B メンテナンスによる待機除外 | 8. 5E-13 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | ④直流電源故障 (区分 I) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S - D G 起動失敗 + R H R S - A メンテナンスによる待機除外 | 8. 5E-13 | < 0. 1 | | ○*1 |

※1 区分Ⅱ直流電源母線喪失時には中央制御室からの低圧代替注水系（常設）注入弁の遠隔操作が不可となるが、現場での注入弁開操作により炉心損傷防止可能。

【高圧注水・減圧機能喪失】

いずれの事故シーケンスにおいても，注水不能認知失敗のヒューマンエラー，原子炉減圧失敗のヒューマンエラーにより減圧機能が喪失するカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては，過渡時自動減圧機能による原子炉減圧が有効である。

第 1－2 表 「高圧注水・減圧機能喪失」における主要なカットセット

| 事故シーケンス | | | 炉心 損傷頻度 (/炉年) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (/炉年) | 事故シーケンス グループに対する 寄与割合 (%) | 有効性を確認する主な対策 | 対策の 有効性 |
|---|------------------|--|---------------------|--|---------------------|---------------------------------|--------------|------------|
| 高 圧 注 水 ・ 減 圧 機 能 喪 失 | T Q U X | 過渡事象 + 高圧炉心冷却失敗 + 手動減圧失敗 | 9.4E-09 | ①非隔離事象 + HPCS-DGSWメンテナンスによる待機除外 + RCICポンプ起動失敗 + 原子炉手動減圧失敗 | 1.7E-10 | 0.8 | ・ 過渡時自動減圧機能 | ○ |
| | | | | ②非隔離事象 + HPCS-DGSWストレナ閉塞 + RCICポンプ起動失敗 + 原子炉手動減圧失敗 | 8.1E-11 | 0.4 | | ○ |
| | | | | ③非隔離事象 + HPCS-DGSWメンテナンスによる待機除外 + RCICポンプ起動失敗 + 注水不能認知失敗 | 6.7E-11 | 0.3 | | ○ |
| | | 手動停止/サポート系喪失（手動停止） + 高圧炉心冷却失敗 + 手動減圧失敗 | 2.6E-09 | ①交流電源故障（区分Ⅰ） + HPCS-DGSWメンテナンスによる待機除外 + 原子炉手動減圧失敗 | 1.0E-10 | 0.5 | | ○ |
| | | | | ②交流電源故障（区分Ⅰ） + HPCS-DGSW海水ストレナ閉塞 + 原子炉手動減圧失敗 | 4.8E-11 | 0.2 | | ○ |
| | | | | ③計室外停止 + HPCS-DGSWメンテナンスによる待機除外 + RCICポンプ起動失敗 + 原子炉手動減圧失敗 | 4.3E-11 | 0.2 | | ○ |
| | | サポート系喪失（自動停止） + 高圧炉心冷却失敗 + 手動減圧失敗 | 8.3E-09 | ①直流電源故障（区分Ⅰ） + HPCS-DG運転継続失敗 + 原子炉手動減圧失敗 | 1.6E-09 | 7.8 | | ○ |
| | | | | ②直流電源故障（区分Ⅰ） + HPCS-DG起動失敗 + 原子炉手動減圧失敗 | 1.1E-09 | 5.3 | | ○ |
| | | | | ③直流電源故障（区分Ⅰ） + HPCS-DGメンテナンスによる待機除外 + 原子炉手動減圧失敗 | 6.8E-10 | 3.4 | | ○ |
| | | | | ④直流電源故障（区分Ⅰ） + HPCS-DG運転継続失敗 + 注水不能認知失敗 | 6.3E-10 | 3.1 | | ○ |
| | | | | ⑤直流電源故障（区分Ⅰ） + HPCS-DG起動失敗 + 注水不能認知失敗 | 4.3E-10 | 2.1 | | ○ |
| | | | | ⑥直流電源故障（区分Ⅰ） + HPCS-DGメンテナンス + 注水不能認知失敗 | 2.7E-10 | 1.3 | | ○ |

【全交流動力電源喪失（長期ＴＢ）】

いずれの事故シーケンスにおいても，非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電機の故障が重畳して全交流動力電源喪失に至るカットセット並びに軽油貯蔵タンク閉塞／破損により全交流動力電源喪失に至るカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては，代替交流電源や交流動力電源に依存しない代替注水手段が有効である。

第 1－3 表 「全交流動力電源喪失（長期ＴＢ）」における
主要なカットセット

| 事故シーケンス | | | 炉心 損傷頻度 (／年) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (／年) | 事故シーケンス グループに対する 寄与割合（％）※1 | 有効性を確認する主な対策 | 対策の 有効性 |
|---|------------------|--|--------------------|---|--------------------|----------------------------------|----------------|------------|
| 全 交 流 動 力 電 源 喪 失 | 長 期 Ｔ Ｂ | 外部電源喪失 + D G 失敗 + H P C S 失敗 (蓄電池枯渇後 R C I C 停止) | 5. 7E-08 | ①外部電源喪失 + 軽油貯蔵タンク閉塞 | 4. 8E-08 | 61. 9 | ・ 低圧代替注水系（可搬型） | ○ |
| | | | | ②外部電源喪失 + 軽油貯蔵タンク破損 | 3. 2E-09 | 4. 1 | | ○ |
| | | | | ③外部電源喪失 + D G－2 C／2 D 運転継続失敗共通原因故障 + H P C S－D G 運転継続失敗 | 4. 6E-10 | 0. 6 | | ○ |
| | | サポート系喪失（直流電源故障） (外部電源喪失) + D G 失敗 + H P C S 失敗 (蓄電池枯渇後 R C I C 停止) | 2. 0E-08 | ①直流電源故障（区分Ⅱ） + 軽油貯蔵タンク閉塞 | 3. 2E-09 | 4. 1 | | ○ |
| | | | | ②直流電源故障（区分Ⅱ） + D G－2 C 運転継続失敗 + H P C S－D G 運転継続失敗 | 1. 4E-09 | 1. 9 | | ○ |
| | | | | ③直流電源故障（区分Ⅱ） + D G－2 C 運転継続失敗 + H P C S－D G 起動失敗 | 9. 8E-10 | 1. 3 | | ○ |
| | | | | ④直流電源故障（区分Ⅱ） + D G－2 C 起動失敗 + H P C S－D G 運転継続失敗 | 9. 8E-10 | 1. 3 | | ○ |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

※1 全交流動力電源喪失（長期ＴＢ）の炉心損傷頻度に対する寄与割合を示す

【全交流動力電源喪失（T B D， T B U）】

○ T B D

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の故障又は保守点検による待機除外と蓄電池の故障が重畳し，全交流動力電源喪失に至るカットセットが上位に抽出されている。

○ T B U

いずれの事故シーケンスにおいても，非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の故障の重畳又は軽油貯蔵タンクの閉塞／破損により全交流動力電源喪失に至り，ポンプ故障，保守点検のための待機除外，流量制御器故障，直流電源喪失等が要因となって原子炉隔離時冷却系が機能喪失するカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては，高圧代替注水手段による原子炉注水又は代替直流電源による原子炉減圧後の低圧代替注水手段による原子炉注水が有効である。

また，全交流動力電源喪失（T B U）における高圧代替注水系と設計基準事故対処設備の共有部分となる注入弁や蒸気供給弁の故障を伴うカットセットについては，高圧代替注水系に期待が出来ないものの，事故シーケンスグループに対する寄与割合は 0.1% 未満と非常に小さい。また，これらの故障が発生した場合においても，常設代替交流電源設備により交流動力電源を回復し低圧代替注水系（常設）により原子炉注水を実施することで炉心損傷防止が可能である。

第 1－4 表 「全交流動力電源喪失（T B D，T B U）」
における主要なカットセット

| 事故シーケンス | | | 炉心 損傷頻度 (／炉年) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (／炉年) | 事故シーケンス グループに対する 寄与割合 ^{※1} (%) | 有効性を確認する主な対策 | 対策の 有効性 |
|-----------|----------------------------------|---|---------------------|--|---------------------|---|----------------|------------|
| 全交流動力電源喪失 | T B D | 外部電源喪失 + 直流電源喪失 + H P C S 失敗 | 6. 0E-12 | ①外部電源喪失 + 蓄電池－A／B 給電失敗共通原因故障 + H P C S－D G 運転継続失敗 | 1. 6E-12 | < 0. 1 | ・ 低圧代替注水系（可搬型） | ○ |
| | | | | ②外部電源喪失 + 蓄電池－A／B 給電失敗共通原因故障 + H P C S－D G 起動失敗 | 1. 1E-12 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ③外部電源喪失 + 蓄電池－A／B 給電失敗共通原因故障 + H P C S－D G メンテナンスによる待機除外 | 6. 8E-13 | < 0. 1 | | ○ |
| | 外部電源喪失 + D G 失敗 + 高圧炉心冷却失敗 | | 2. 0E-10 | ①外部電源喪失 + 軽油貯蔵タンク閉塞 + R C I C ポンプ起動失敗 | 7. 1E-11 | 0. 3 | | ○ |
| | | | | ②外部電源喪失 + 軽油貯蔵タンク閉塞 + R C I C メンテナンスによる待機除外 | 4. 6E-11 | 0. 2 | | ○ |
| | | | | ③外部電源喪失 + 軽油貯蔵タンク閉塞 + R C I C 流量制御器故障 | 7. 7E-12 | < 0. 1 | | ○ |
| | T B U | サポート系喪失（直流電源故障） （外部電源喪失） + D G 失敗 + 高圧炉心冷却失敗 | 2. 1E-08 | ①直流電源故障（区分Ⅰ） + 軽油貯蔵タンク閉塞 | 3. 2E-09 | 15. 3 | | ○ |
| | | | | ②直流電源故障（区分Ⅰ） + D G－2 D 運転継続失敗 + H P C S－D G 運転継続失敗 | 1. 4E-09 | 6. 9 | | ○ |
| | | | | ③直流電源故障（区分Ⅰ） + D G－2 D 運転継続失敗 + H P C S－D G 起動失敗 | 9. 8E-10 | 4. 7 | | ○ |
| | | | | ④直流電源故障（区分Ⅰ） + D G－2 D 起動失敗 + H P C S－D G 運転継続失敗 | 9. 8E-10 | 4. 7 | | ○ |
| | | | | ⑤直流電源故障（区分Ⅰ） + D G－2 D 起動失敗 + H P C S－D G 起動失敗 | 6. 7E-10 | 3. 2 | | ○ |
| | | | | ⑥直流電源故障（区分Ⅰ） + D G－2 D メンテナンス + H P C S－D G 運転継続失敗 | 6. 3E-10 | 3. 0 | | ○ |
| | | | | ⑦直流電源故障（区分Ⅰ） + D G－2 D 運転継続失敗 + H P C S－D G メンテナンス | 6. 3E-10 | 3. 0 | | ○ |
| | | | | ⑧直流電源故障（区分Ⅰ） + D G－2 D メンテナンス + H P C S－D G 起動失敗 | 4. 3E-10 | 2. 0 | | ○ |
| | | | | ⑨直流電源故障（区分Ⅰ） + D G－2 D 起動失敗 + H P C S－D G メンテナンス | 4. 3E-10 | 2. 0 | | ○ |
| | | | | ⑩直流電源故障（区分Ⅰ） + 軽油貯蔵タンク破損 | 2. 1E-10 | 1. 0 | | ○ |

※1 全交流動力電源喪失（T B D，T B U）の炉心損傷頻度に対する寄与割合を示す

【全交流動力電源喪失（T B P）】

○ T B P

いずれの事故シーケンスにおいても，非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の故障の重畳又は軽油タンクの閉塞／破損により全交流動力電源喪失に至り，逃がし安全弁の再閉鎖失敗により原子炉隔離時冷却系が機能喪失するカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては，代替交流電源や交流動力電源が不要な代替注水手段を確保することが有効である。

なお，高圧・低圧注水機能喪失における低圧代替注水系（常設）と設計基準事故対処設備の共有部分となる注入弁の故障を伴うカットセットについては，低圧代替注水系（常設）に期待が出来ないものの，事故シーケンスグループに対する寄与割合は 0.1% 未満と非常に小さくなっており，その場合においても常設代替交流電源設備により交流動力電源を回復し，低圧代替注水系（常設）により原子炉注水を実施することで炉心損傷防止が可能である。

第 1－5 表 「全交流動力電源喪失（T B P）」
における主要なカットセット

| 事故シーケンス | | | 炉心 損傷頻度 (／炉年) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (／炉年) | 事故シーケンス グループに対する 寄与割合※1 (%) | 有効性を確認する主な対策 | 対策の 有効性 |
|---|-------------|--|---------------------|--|---------------------|-----------------------------------|----------------|------------|
| 全 交 流 動 力 電 源 喪 失 | T B P | 外部電源喪失 + D G 失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S 失敗 | 3. 0E-10 | ①外部電源喪失 + 軽油貯蔵タンク閉塞 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 2. 5E-10 | 47. 8 | ・ 低圧代替注水系（可搬型） | ○ |
| | | | | ②外部電源喪失 + 軽油貯蔵タンク破損 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 1. 7E-11 | 3. 2 | | ○ |
| | | | | ③外部電源喪失 + D G－2 C／2 D 運転継続失敗共通原因故障 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S－D G 運転継続失敗 | 2. 4E-12 | 0. 5 | | ○ |
| | | サポート系喪失（直流電源故障） （外部電源喪失） + D G 失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S 失敗 | 2. 3E-10 | ①直流電源故障（区分Ⅰ） + 軽油貯蔵タンク閉塞 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 1. 7E-11 | 3. 2 | | ○ |
| | | | | ①直流電源故障（区分Ⅱ） + 軽油貯蔵タンク閉塞 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 1. 7E-11 | 3. 2 | | ○ |
| | | | | ③直流電源故障（区分Ⅰ） + D G－2 D 運転継続失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S－D G 運転継続失敗 | 7. 6E-12 | 1. 4 | | ○ |
| | | | | ③直流電源故障（区分Ⅱ） + D G－2 C 運転継続失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + H P C S－D G 運転継続失敗 | 7. 6E-12 | 1. 4 | | ○ |
| | | | | | | | | |

※1 全交流動力電源喪失（T B P）の炉心損傷頻度に対する寄与割合を示す

【崩壊熱除去機能喪失】

TWについては、いずれの事故シーケンスにおいても、ポンプ故障、弁故障、ストレーナ閉塞、点検のための待機除外等の要因により、残留熱除去系又はそのサポート系である残留熱除去系海水系が機能喪失することにより崩壊熱除去機能が喪失するカットセット及び残留熱除去系操作失敗のヒューマンエラーにより崩壊熱除去機能が喪失するカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては、残留熱除去系海水系が機能喪失している場合（取水機能喪失時）は、緊急用海水系及び残留熱除去系を用いた除熱又は格納容器圧力逃がし装置若しくは耐圧強化ベントによる除熱が有効である。また、残留熱除去系が機能喪失している場合（RHR故障時）は、格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベントによる除熱が有効である。

TBWについては、いずれの事故シーケンスにおいても、外部電源喪失及び非常用ディーゼル発電機の故障が重畳する等、交流電源の喪失に伴い崩壊熱除去機能喪失に至るカットセットも抽出されている。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては、常設代替交流電源設備により交流動力電源を回復することが有効である。なお、残留熱除去系海水系又は残留熱除去系の故障が重畳した場合は、TWと同様の対策が有効である。

第 1－6 表 「崩壊熱除去機能喪失」における主要なカットセット (1/2)

| 事故シーケンス | | | 炉心 損傷頻度 (/炉年) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (/炉年) | 事故シーケンス グループに対する 害与割合 (%) ※1 | 有効性を確認する主な対策 | 対策の 有効性 |
|---|--------|-----------------------------------|---------------------|--|---------------------|------------------------------------|--|------------|
| 崩 壊 熱 除 去 機 能 喪 失 | T W | 過渡事象 + RHR 失敗 | 4.4E-05 | ①非隔離事象 + RHR 系操作失敗 | 1.9E-05 | 30.7 | [RHR 故障時] ・格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | ②原子炉緊急停止系誤動作等 + RHR 系操作失敗 | 6.0E-06 | 9.9 | | ○ |
| | | | | ③隔離事象 + RHR 系操作失敗 | 2.9E-06 | 4.9 | [RHR 故障時] ・格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | ③水位低下事象 + RHR 系操作失敗 | 2.9E-06 | 4.9 | | ○ |
| | | | | ④非隔離事象 + RHR S－A／B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2.9E-06 | 4.8 | [取水機能喪失時] ・緊急用海水系 | ○ |
| | | | | ⑤全給水喪失 + RHR 系操作失敗 | 1.1E-06 | 1.8 | [RHR 故障時] ・格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | ⑦原子炉緊急停止系誤動作等 + RHR S－A／B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 9.4E-07 | 1.6 | [取水機能喪失時] ・緊急用海水系 | ○ |
| | | | | ⑧非隔離事象 + RHR S－A／B 流量調整弁開失敗共通原因故障 | 6.1E-07 | 1.0 | [RHR 故障時] ・格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | ⑨隔離事象 + RHR S－A／B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 4.6E-07 | 0.8 | [取水機能喪失時] ・緊急用海水系 | ○ |
| | | | | ⑨水位低下事象 + RHR S－A／B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 4.6E-07 | 0.8 | | ○ |
| | | | | ⑪外部電源喪失 + RHR 系操作失敗 | 4.5E-07 | 0.7 | [RHR 故障時] ・格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | ⑫非隔離事象 + RHR－A／B 熱交バイパス弁開失敗共通原因故障 | 3.8E-07 | 0.6 | | ○ |
| | | | | ⑬非隔離事象 + RHR S－A／B／C／D ポンプ起動失敗共通原因故障 | 3.5E-07 | 0.6 | [取水機能喪失時] ・緊急用海水系 | ○ |
| | | | | ⑭非隔離事象 + RHR－A／B ポンプ起動失敗共通原因故障 | 3.1E-07 | 0.5 | [RHR 故障時] ・格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | ⑭非隔離事象 + RHR－A／B ポンプ室空調ファン起動失敗共通原因故障 | 3.1E-07 | 0.5 | | ○ |
| | | | | ⑯原子炉緊急停止系誤動作等 + RHR S－A／B 流量調整弁開失敗共通原因故障 | 2.0E-07 | 0.3 | | ○ |
| | | | | ⑰非隔離事象 + RHR－A／B ポンプ運転継続失敗共通原因故障 | 1.7E-07 | 0.3 | | ○ |
| | | | | ⑱全給水喪失 + RHR S－A／B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 1.7E-07 | 0.3 | [取水機能喪失時] ・緊急用海水系 | ○ |
| | | | | ⑲非隔離事象 + RHR－A／B／C ポンプ起動失敗共通原因故障 | 1.6E-07 | 0.3 | [RHR 故障時] ・格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | ⑲非隔離事象 + RHR－A／B／C ポンプ室空調ファン起動失敗共通原因故障 | 1.6E-07 | 0.3 | | ○ |
| | | | | ⑲原子炉緊急停止系誤動作等 + RHR－A／B 熱交バイパス弁開失敗共通原因故障 | 1.2E-07 | 0.2 | | ○ |
| | | | | ⑳原子炉緊急停止系誤動作等 + RHR S－A／B／C／D ポンプ起動失敗共通原因故障 | 1.1E-07 | 0.2 | [取水機能喪失時] ・緊急用海水系 | ○ |
| | | | | ㉑原子炉緊急停止系誤動作等 + RHR－A／B ポンプ起動失敗共通原因故障 | 1.0E-07 | 0.2 | [RHR 故障時] ・格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | ㉑原子炉緊急停止系誤動作等 + RHR－A／B ポンプ室空調ファン起動失敗共通原因故障 | 1.0E-07 | 0.2 | | ○ |
| | | 過渡事象 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR 失敗 | 3.8E-07 | ①逃がし安全弁誤開放 + RHR 系操作失敗 | 1.1E-07 | 0.2 | [RHR 故障時] ・格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | ②非隔離事象 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR 系操作失敗 | 9.7E-08 | 0.2 | | ○ |
| | | | | ③逃がし安全弁誤開放 + RHR S－A／B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 1.7E-08 | <0.1 | [取水機能喪失時] ・緊急用海水系 | ○ |
| | | 手動停止／サポート系喪失（手動停止） + RHR 失敗 | 9.9E-06 | ①計画外停止 + RHR 系操作失敗 | 4.7E-06 | 7.8 | [RHR 故障時] ・格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | ②計画外停止 + RHR S－A／B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 7.4E-07 | 1.2 | [取水機能喪失時] ・緊急用海水系 | ○ |
| | | | | ③残留熱除去系海水系故障（区分Ⅰ） + RHR S－B メンテナンスによる待機除外 | 2.7E-07 | 0.4 | | ○ |
| | | | | ③残留熱除去系海水系故障（区分Ⅱ） + RHR S－A メンテナンスによる待機除外 | 2.7E-07 | 0.4 | | ○ |
| | | | | ⑤計画外停止 + RHR S－A／B 流量調整弁開失敗共通原因故障 | 1.5E-07 | 0.3 | [RHR 故障時] ・格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |

※1 崩壊熱除去喪失（TW、TBW）の炉心損傷頻度に対する害与割合を示す

第 1－6 表 「崩壊熱除去機能喪失」における主要なカットセット (2/2)

| 事故シーケンス | | | 炉心 損傷頻度 (/炉年) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (/炉年) | 事故シーケンス グループに対する 寄与割合 ^{※1} (%) | 有効性を確認する主な対策 | 対策の 有効性 |
|-----------|-------------|---|---------------------|--|---------------------|---|---|------------|
| 崩壊熱除去機能喪失 | T W | 手動停止/サポート系喪失 (手動停止) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR 失敗 | 5. 2E-08 | ①計画外停止 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR 系操作失敗 | 2. 5E-08 | < 0. 1 | [RHR 故障時] ・ 格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | ②計画外停止 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR S－A/B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 3. 9E-09 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ③残留熱除去系海水系故障 (区分Ⅰ) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR S－B メンテナンスによる待機除外 | 1. 4E-09 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ④残留熱除去系海水系故障 (区分Ⅱ) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR S－A メンテナンスによる待機除外 | 1. 4E-09 | < 0. 1 | | ○ |
| | | サポート系喪失 (自動停止) + RHR 失敗 | 1. 7E-06 | ①直流電源故障 (区分Ⅰ) + RHR S－B メンテナンスによる待機除外 | 1. 0E-07 | 0. 2 | | ○ |
| | | | | ①直流電源故障 (区分Ⅱ) + RHR S－A メンテナンスによる待機除外 | 1. 0E-07 | 0. 2 | [取水機能喪失時] ・ 緊急用海水系 | ○ |
| | | | | ③交流電源故障 (区分Ⅱ) + RHR S－A メンテナンスによる待機除外 | 5. 7E-08 | < 0. 1 | | ○ |
| | | サポート系喪失 (自動停止) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR 失敗 | 8. 9E-09 | ①直流電源故障 (区分Ⅰ) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR S－B メンテナンスによる待機除外 | 5. 4E-10 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ①直流電源故障 (区分Ⅱ) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR S－A メンテナンスによる待機除外 | 5. 4E-10 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ③交流電源故障 (区分Ⅱ) + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 + RHR S－A メンテナンスによる待機除外 | 3. 0E-10 | < 0. 1 | | ○ |
| | | 小破断 LOCA + RHR 失敗 | 4. 5E-08 | ①小破断 LOCA + RHR 系操作失敗 | 3. 3E-08 | < 0. 1 | [RHR 故障時] ・ 格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | ②小破断 LOCA + RHR S－A/B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 5. 2E-09 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ③小破断 LOCA + RHR S－A/B 流量調整弁開失敗共通原因故障 | 1. 1E-09 | < 0. 1 | [取水機能喪失時] ・ 緊急用海水系 | ○ |
| | T B W | 中破断 LOCA + RHR 失敗 | 3. 0E-08 | ①中破断 LOCA + RHR 系操作失敗 | 2. 2E-08 | < 0. 1 | [RHR 故障時] ・ 格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | ①中破断 LOCA + RHR S－A/B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 3. 4E-09 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ①中破断 LOCA + RHR S－A/B 流量調整弁開失敗共通原因故障 | 7. 2E-10 | < 0. 1 | [取水機能喪失時] ・ 緊急用海水系 | ○ |
| | | 大破断 LOCA + RHR 失敗 | 3. 0E-09 | ①大破断 LOCA + RHR 系操作失敗 | 2. 2E-09 | < 0. 1 | [RHR 故障時] ・ 格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | ②大破断 LOCA + RHR S－A/B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 3. 4E-10 | < 0. 1 | [取水機能喪失時] ・ 緊急用海水系 | ○ |
| | | | | ③大破断 LOCA + RHR S－A/B 流量調整弁開失敗共通原因故障 | 7. 2E-11 | < 0. 1 | [RHR 故障時] ・ 格納容器圧力逃がし装置 又は耐圧強化ベント | ○ |
| | | | | | | | | |
| | | 外部電源喪失 + DG 失敗 (HPCS 成功) | 6. 9E-07 | ①外部電源喪失 + DG－2 C/2 D 運転継続失敗共通原因故障 | 2. 0E-07 | 0. 3 | | ○ |
| | | | | ②外部電源喪失 + DG－2 C/2 D 起動失敗共通原因故障 | 1. 3E-07 | 0. 2 | | ○ |
| | | | | ③外部電源喪失 + DG SW－A/B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 7. 2E-08 | 0. 1 | | ○ |
| | | 外部電源喪失 + DG 失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 (HPCS 成功) | 3. 6E-09 | ①外部電源喪失 + DG－2 C/2 D 運転継続失敗共通原因故障 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 1. 0E-09 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ②外部電源喪失 + DG－2 C/2 D 起動失敗共通原因故障 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 7. 0E-10 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ③外部電源喪失 + DG SW－A/B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 3. 7E-10 | < 0. 1 | | ○ |
| | T B W | 外部電源喪失 + 直流電源喪失 (HPCS 成功) | 6. 9E-10 | ①外部電源喪失 + 蓄電池－A/B 給電失敗共通原因故障 | 6. 9E-10 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ②外部電源喪失 + 蓄電池－A/B 給電失敗共通原因故障 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 3. 6E-12 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ③外部電源喪失 + 蓄電池－A 給電失敗 + 蓄電池－B 給電失敗 | 1. 7E-12 | < 0. 1 | | ○ |
| | | サポート系喪失 (直流電源故障) (外部電源喪失) + DG 失敗 (HPCS 成功) | 4. 1E-06 | ①直流電源故障 (区分Ⅰ) + DG－2 D 運転継続失敗 | 6. 3E-07 | 1. 0 | ・ 常設代替交流電源設備 | ○ |
| | | | | ①直流電源故障 (区分Ⅱ) + DG－2 C 運転継続失敗 | 6. 3E-07 | 1. 0 | | ○ |
| | | | | ③直流電源故障 (区分Ⅰ) + DG－2 D 起動失敗 | 4. 3E-07 | 0. 7 | | ○ |
| | | | | ③直流電源故障 (区分Ⅱ) + DG－2 C 起動失敗 | 4. 3E-07 | 0. 7 | | ○ |
| | | | | ⑤直流電源故障 (区分Ⅰ) + DG－2 D メンテナンスによる待機除外 | 2. 7E-07 | 0. 5 | | ○ |
| | | | | ⑤直流電源故障 (区分Ⅱ) + DG－2 C メンテナンスによる待機除外 | 2. 7E-07 | 0. 5 | | ○ |
| | | サポート系喪失 (直流電源故障) (外部電源喪失) + DG 失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 (HPCS 成功) | 2. 1E-08 | ①直流電源故障 (区分Ⅰ) + DG－2 D 運転継続失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 3. 3E-09 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ①直流電源故障 (区分Ⅱ) + DG－2 C 運転継続失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 3. 3E-09 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ③直流電源故障 (区分Ⅰ) + DG－2 D 起動失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 2. 2E-09 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ③直流電源故障 (区分Ⅱ) + DG－2 C 起動失敗 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | 2. 2E-09 | < 0. 1 | | ○ |

※1 崩壊熱除去喪失 (TW, TBW) の炉心損傷頻度に対する寄与割合を示す

【原子炉停止機能喪失】

いずれの事故シーケンスにおいても、電氣的故障としてスクラムコンタクタの故障を原子炉停止機能喪失の要因とするカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては、A T W S 緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）及びほう酸水注入系による対応が有効である。

なお、直流電源故障（区分Ⅰ，Ⅱ）時は当該区分のA T W S 緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）が機能しないが、これらのカットセットの寄与は全炉心損傷頻度及び事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度に対して非常に小さくなっており、また、その場合においても再循環系ポンプの手動停止に期待でき、ほう酸水注入系も健全であることから炉心損傷防止が可能である。

また、L O C A 起因の原子炉停止失敗時には、原子炉冷却材の流出により、ほう酸水注入系が有効に機能しないことも考えられるが、これらのカットセットの炉心損傷頻度は非常に小さくなっており、また、その場合においてもA T W S 緩和設備（代替制御棒挿入機能）による反応度制御により対応可能である。

第 1－7 表 「原子炉停止機能喪失」における主要なカットセット

| 事故シーケンス | | | 炉心 損傷頻度 (/炉年) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (/炉年) | 事故シーケンス グループに対する 寄与割合 (%) | 有効性を確認する主な対策 | 対策の 有効性 |
|-----------|--------|----------------------------|---------------------|---|---------------------|---------------------------------|--|-----------------|
| 原子炉停止機能喪失 | T C | 過渡事象 + 原子炉停止失敗 | 2. 5E-08 | ①非隔離事象 + スクラムコンタクター A / C 作動失敗共通原因故障 | 4. 6E-09 | 18. 0 | ・ A T W S 緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能） ・ ほう酸水注入系 | ○ |
| | | | | ①非隔離事象 + スクラムコンタクター B / D 作動失敗共通原因故障 | 4. 6E-09 | 18. 0 | | ○ |
| | | | | ①非隔離事象 + スクラムコンタクター E / G 作動失敗共通原因故障 | 4. 6E-09 | 18. 0 | | ○ |
| | | | | ①非隔離事象 + スクラムコンタクター F / H 作動失敗共通原因故障 | 4. 6E-09 | 18. 0 | | ○ |
| | | サポート系喪失（自動停止） + 原子炉停止失敗 | 3. 8E-11 | ①直流電源故障（区分Ⅰ） + スクラムコンタクター B / D 作動失敗共通原因故障 | 7. 6E-12 | < 0. 1 | ・ A T W S 緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能） ・ ほう酸水注入系 | ○ ^{※1} |
| | | | | ①直流電源故障（区分Ⅰ） + スクラムコンタクター F / H 作動失敗共通原因故障 | 7. 6E-12 | < 0. 1 | | ○ ^{※1} |
| | | | | ①直流電源故障（区分Ⅱ） + スクラムコンタクター A / C 作動失敗共通原因故障 | 7. 6E-12 | < 0. 1 | | ○ ^{※1} |
| | | | | ①直流電源故障（区分Ⅱ） + スクラムコンタクター E / G 作動失敗共通原因故障 | 7. 6E-12 | < 0. 1 | | ○ ^{※1} |
| | | 小破断 L O C A + 原子炉停止失敗 | 3. 2E-11 | ①小破断 L O C A + スクラムコンタクター A / C 作動失敗共通原因故障 | 8. 1E-12 | < 0. 1 | ・ A T W S 緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能） ・ A T W S 緩和設備（代替制御棒挿入機能） | ○ ^{※2} |
| | | | | ①小破断 L O C A + スクラムコンタクター B / D 作動失敗共通原因故障 | 8. 1E-12 | < 0. 1 | | ○ ^{※2} |
| | | | | ①小破断 L O C A + スクラムコンタクター E / G 作動失敗共通原因故障 | 8. 1E-12 | < 0. 1 | | ○ ^{※2} |
| | | | | ①小破断 L O C A + スクラムコンタクター F / H 作動失敗共通原因故障 | 8. 1E-12 | < 0. 1 | | ○ ^{※2} |
| | | 中破断 L O C A + 原子炉停止失敗 | 2. 2E-11 | ①中破断 L O C A + スクラムコンタクター A / C 作動失敗共通原因故障 | 5. 4E-12 | < 0. 1 | | ○ ^{※2} |
| | | | | ①中破断 L O C A + スクラムコンタクター B / D 作動失敗共通原因故障 | 5. 4E-12 | < 0. 1 | | ○ ^{※2} |
| | | | | ①中破断 L O C A + スクラムコンタクター E / G 作動失敗共通原因故障 | 5. 4E-12 | < 0. 1 | | ○ ^{※2} |
| | | | | ①中破断 L O C A + スクラムコンタクター F / H 作動失敗共通原因故障 | 5. 4E-12 | < 0. 1 | | ○ ^{※2} |
| | | 大破断 L O C A + 原子炉停止失敗 | 2. 2E-12 | ①大破断 L O C A + スクラムコンタクター A / C 作動失敗共通原因故障 | 5. 4E-13 | < 0. 1 | | ○ ^{※2} |
| | | | | ①大破断 L O C A + スクラムコンタクター B / D 作動失敗共通原因故障 | 5. 4E-13 | < 0. 1 | | ○ ^{※2} |
| | | | | ①大破断 L O C A + スクラムコンタクター E / G 作動失敗共通原因故障 | 5. 4E-13 | < 0. 1 | | ○ ^{※2} |
| | | | | ①大破断 L O C A + スクラムコンタクター F / H 作動失敗共通原因故障 | 5. 4E-13 | < 0. 1 | | ○ ^{※2} |

※1 直流電源故障（区分Ⅰ、Ⅱ）時は当該区分の代替再循環ポンプトリップ回路が機能しないが、代替再循環ポンプの手動停止に期待することが可能であり、ほう酸水注入系も健全であることから炉心損傷防止可能
 ※2 L O C A 時は原子炉冷却材の流出によりほう酸水注入系が有効に機能しないことも考えられるが、代替制御棒挿入機能による反応度制御に期待することで炉心損傷を防止可能

【L O C A時注水機能喪失】

○中破断L O C A＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗，小破断L O C A＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗

高圧注水機能のうち，高圧炉心スプレイ系が喪失する主要な要因として高圧炉心スプレイ系の弁の故障及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系のメンテナンス／ストレーナ閉塞が，原子炉隔離時冷却系※が喪失する主要な要因として復水貯蔵タンクからサプレッション・チェンバへの切替操作失敗及び原子炉隔離時冷却系ポンプ起動失敗が抽出されている。また，低圧注水機能が喪失する要因としてサポート系である残留熱除去系海水系のストレーナ閉塞がカットセット上位に抽出されている。

※ 小破断L O C A時のみ抽出される（中破断L O C A時は原子炉隔離時冷却系に期待していない）

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては，低圧代替注水系（常設）の注水容量の及ぶ範囲の破断面積までであれば，原子炉手動減圧後の低圧代替注水系（常設）による注水が有効である。

なお，低圧代替注水系（常設）と設計基準設備の共有部分となる注入弁の故障を伴うカットセットについては，低圧代替注水系（常設）に期待が出来ないものの，事故シーケンスグループに対する寄与割合は0.1%未満と非常に小さい。また，注入弁の故障が重畳した場合は，炉心損傷防止が困難である。

○中破断L O C A＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗，小破断L O C A＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗

高圧注水機能が喪失する主要な要因として高圧炉心スプレイ系の弁

の故障及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系のメンテナンス／ストレーナ閉塞が，減圧機能及び原子炉隔離時冷却系※が喪失する要因として水位トランスミッタの故障と認知失敗の重畳がカットセット上位に抽出されている。

※ 小破断 L O C A 時のみ抽出される（中破断 L O C A 時は原子炉隔離時冷却系に期待していない）

中破断 L O C A 及び小破断 L O C A 時における減圧操作に対する認知失敗については，発生した場合は炉心損傷を防止することができないが，L O C A が発生しているにもかかわらず，認知に失敗したまま長時間気づかないことは現実的には考え難く，これら認知失敗が含まれるカットセットの炉心損傷頻度は非常に小さくなっている。また，上位のカットセットには含まれていないが自動減圧回路の機能喪失要因が格納容器圧力高信号を発信する機器の故障等であれば，過渡時自動減圧回路による原子炉減圧にも期待できる。

なお，中破断 L O C A 時のいずれのカットセットにおいても，L O C A の破断面積の大きさが一定の範囲を超えるような場合は，炉心損傷を防止することができないが，これらの炉心損傷防止対策が有効に機能しないカットセットについては，格納容器破損防止対策により原子炉格納容器の閉じ込め機能に期待できることを確認することとしている。

第 1－8 表 「L O C A 時注水機能喪失」における主要なカットセット

| 事故シーケンス | | | 炉心 損傷頻度 (/炉年) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (/炉年) | 事故シーケンス グループに対する 害与割合 (%) | 有効性を確認する主な対策 | 対策の 有効性 |
|-------------|---|----------|---------------------|---|---------------------|---------------------------------|----------------|-----------------|
| S 2 E | 小破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 | 1. 4E-13 | 1. 4E-13 | ①小破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S / P 側) 開失敗 + R C I C 水源切替操作失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 4. 3E-15 | < 0. 1 | ・ 低圧代替注水系 (常設) | ○ |
| | | | | ②小破断 L O C A + H P C S - D G S W メンテナンスによる待機除外 + R C I C 水源切替操作失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 3. 5E-15 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ③小破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S / P 側) 開失敗 + R C I C ポンプ起動失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 5E-15 | < 0. 1 | | ○ |
| | | 2. 2E-14 | 2. 2E-14 | ①小破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S / P 側) 開失敗 + 原子炉水位トランスミッタ (L - 1) - A / B / C / D 作動失敗 共通原因故障 + 注水不能認知失敗 | 4. 8E-16 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ②小破断 L O C A + H P C S - D G S W メンテナンスによる待機除外 + 原子炉水位トランスミッタ (L - 1) - A / B / C / D 作動失敗 共通原因故障 + 注水不能認知失敗 | 3. 9E-16 | < 0. 1 | | ○ |
| | | | | ③小破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S / P 側) 開失敗 + 原子炉水位トランスミッタ (L - 1) - A / B / C / D 作動失敗 共通原因故障 + R C I C 起動操作失敗 + 原子炉手動減圧失敗 | 2. 3E-16 | < 0. 1 | | ○ |
| | 中破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 | 1. 5E-11 | 1. 5E-11 | ①中破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S / P 側) 開失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 1. 1E-12 | 5. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ②中破断 L O C A + H P C S - D G S W メンテナンスによる待機除外 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 9. 3E-13 | 4. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ③中破断 L O C A + H P C S - D G S W 海水ストレーナ閉塞 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 4. 5E-13 | 2. 1 | | △ ^{※1} |
| | | | | ④中破断 L O C A + H P C S - D G S W ポンプ起動失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 3. 5E-13 | 1. 6 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑤中破断 L O C A + H P C S メンテナンス + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 3. 4E-13 | 1. 6 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑥中破断 L O C A + H P C S - D G 軽油ストレーナ閉塞 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑦中破断 L O C A + H P C S クラーク入口弁開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑧中破断 L O C A + H P C S メカシールクラーク入口弁開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑨中破断 L O C A + H P C S クラーク出口弁開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑩中破断 L O C A + H P C S ポンプ室空調 1 冷却水入口弁開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑪中破断 L O C A + H P C S ポンプ室空調 1 冷却水出口弁開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑫中破断 L O C A + H P C S ポンプ室空調 2 冷却水入口弁開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑬中破断 L O C A + H P C S ポンプ室空調 2 冷却水出口弁開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑭中破断 L O C A + H P C S ポンプ室空調 クラーク元弁開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑮中破断 L O C A + H P C S - D G S W ポンプ出口弁開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑯中破断 L O C A + H P C S - D G S W 放出ライン隔離弁開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑰中破断 L O C A + H P C S - D G S W 放出ライン排水弁 1 開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑱中破断 L O C A + H P C S - D G S W 放出ライン排水弁 2 開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑲中破断 L O C A + H P C S - D G S W エンジンエアークラーク入口弁開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ⑳中破断 L O C A + H P C S - D G S W エンジンエアークラーク入口弁開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ㉑中破断 L O C A + H P C S - D G S W 系統出口隔離弁開け忘れ + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 9E-13 | 1. 3 | | △ ^{※1} |
| | | | | ㉒中破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S / P 側) 開失敗 + R H R S - 流量調整弁開失敗共通原因故障 | 2. 4E-13 | 1. 1 | | △ ^{※1} |
| | | | | ㉓中破断 L O C A + 復水貯蔵タンク A 真空逃がし弁作動失敗 + H P C S 水源切替操作失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 3E-13 | 1. 1 | | △ ^{※1} |
| | | | | ㉔中破断 L O C A + 復水貯蔵タンク B 真空逃がし弁作動失敗 + H P C S 水源切替操作失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 2. 3E-13 | 1. 1 | | △ ^{※1} |
| S 1 E | 中破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 | 4. 6E-12 | 4. 6E-12 | ①中破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S / P 側) 開失敗 + 原子炉水位トランスミッタ (L - 1) - A / B / C / D 作動失敗 共通原因故障 + 注水不能認知失敗 | 1. 3E-13 | 0. 6 | | △ ^{※1} |
| | | | | ②中破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S / P 側) 開失敗 + 原子炉水位トランスミッタ (L - 3) - A / B 作動失敗共通原因故障 + 注水不能認知失敗 | 1. 3E-13 | 0. 6 | | △ ^{※1} |
| | | | | ③中破断 L O C A + H P C S - D G S W メンテナンスによる待機除外 + 原子炉水位トランスミッタ (L - 1) - A / B / C / D 作動失敗 共通原因故障 + 注水不能認知失敗 | 1. 0E-13 | 0. 5 | | △ ^{※1} |
| | 大破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 | 1. 4E-12 | 1. 4E-12 | ①大破断 L O C A + H P C S 入口逆止弁 (S / P 側) 開失敗 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 1. 1E-13 | 0. 5 | | — |
| | | | | ②大破断 L O C A + H P C S - D G S W メンテナンスによる待機除外 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 9. 3E-14 | 0. 4 | | — |
| | | | | ③大破断 L O C A + H P C S - D G S W 海水ストレーナ閉塞 + R H R S - A / B 海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 4. 5E-14 | 0. 2 | | — |

※1 L O C A の破断面積が低圧代替注水系 (常設) の注水容量を超える場合は炉心損傷を防止できない

【格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）】

いずれの事故シーケンスにおいても，原子炉冷却材圧力バウンダリにおける複数の隔離弁が，施設定期検査時の通常状態への復旧失敗や機械的故障が重畳することで同時に機能喪失し，低圧設計配管が過圧され破断するカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては，格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）が発生した系統以外の高圧注水機能又は低圧注水機能（原子炉を減圧した後に使用）を用いた原子炉注水が有効である。その後は，隔離弁の再閉操作等，破断箇所の隔離を試みるとともに，使用可能な緩和設備による水位維持，除熱を行うことで，炉心を安定状態とすることが可能である。

第 1－9 表 「格納容器バイパス」における主要なカットセット

| 事故シーケンス | | | 炉心 損傷頻度 (/炉年) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (/炉年) | 事故シーケンス グループに対する 寄与割合(%) | 有効性を確認する主な対策 | 対策の 有効性 |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------------|---------------------|---|---------------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------|
| 格 納 容 器 バ イ パ ス | I S L O C A | インターフェイスシステム L O C A | 4. 8E-10 | ① R H R－A テスタブル逆止弁定期試験 + R H R－A 注入弁定期試験時の通常状態への復旧失敗 + R H R－A テスタブル逆止弁閉失敗 + R H R－A 吐出配管破断 | 1. 5E-10 | 30. 4 | ・ 破損系統を除く原子炉注水 機能 ・ 破損系統の隔離 | ○ |
| | | | | ① R H R－B テスタブル逆止弁定期試験 + R H R－B 注入弁定期試験時の通常状態への復旧失敗 + R H R－B テスタブル逆止弁閉失敗 + R H R－B 吐出配管破断 | 1. 5E-10 | 30. 4 | | ○ |
| | | | | ③ R H R－C テスタブル逆止弁定期試験 + R H R－C 注入弁定期試験時の通常状態への復旧失敗 + R H R－C テスタブル逆止弁閉失敗 + R H R－C 吐出配管破断 | 5. 9E-11 | 12. 1 | | ○ |
| | | | | ④ R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器外隔離弁内部リーク + R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器内隔離弁内部リーク + R H R 低圧配管破断 | 1. 7E-11 | 3. 6 | | ○ |
| | | | | ④ R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器内隔離弁内部リーク + R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器外隔離弁内部リーク + R H R 低圧配管破断 | 1. 7E-11 | 3. 6 | | ○ |
| | | | | ⑥ R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器外隔離弁誤開 + R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器内隔離弁内部リーク + R H R 低圧配管破断 | 1. 1E-11 | 2. 2 | | ○ |
| | | | | ⑥ R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器内隔離弁誤開 + R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器外隔離弁内部リーク + R H R 低圧配管破断 | 1. 1E-11 | 2. 2 | | ○ |
| | | | | ⑥ R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器外隔離弁内部リーク + R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器内隔離弁誤開 + R H R 低圧配管破断 | 1. 1E-11 | 2. 2 | | ○ |
| | | | | ⑥ R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器内隔離弁内部リーク + R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器外隔離弁誤開 + R H R 低圧配管破断 | 1. 1E-11 | 2. 2 | | ○ |
| | | | | ⑧ H P C S テスタブル逆止弁定期試験 + H P C S 注入弁内部リーク + H P C S ポンプ出口逆止弁内部リーク + H P C S 低圧配管破断 | 8. 6E-12 | 1. 8 | | ○ |
| | | | | ⑩ R H R－A テスタブル逆止弁定期試験 + R H R－A 注入弁定期試験時の通常状態への復旧失敗 + R H R－A 逆止弁操作スイッチ開失敗 + R H R－A 吐出配管破断 | 8. 2E-12 | 1. 7 | | ○ |
| | | | | ⑩ R H R－B テスタブル逆止弁定期試験 + R H R－B 注入弁定期試験時の通常状態への復旧失敗 + R H R－B 逆止弁操作スイッチ開失敗 + R H R－B 吐出配管破断 | 8. 2E-12 | 1. 7 | | ○ |
| | | | | ⑫ R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器外隔離弁誤開 + R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器内隔離弁誤開 + R H R 低圧配管破断 | 6. 5E-12 | 1. 3 | | ○ |
| | | | | ⑫ R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器内隔離弁誤開 + R H R 停止時冷却ライン（吸込）格納容器外隔離弁誤開 + R H R 低圧配管破断 | 6. 5E-12 | 1. 3 | | ○ |
| | | | | ⑭ R H R－A テスタブル逆止弁定期試験 + R H R－A 注入弁定期試験時の通常状態への復旧失敗 + R H R－A 逆止弁閉失敗 + R H R－A 熱交換器破損 | 4. 9E-12 | 1. 0 | | ○ |
| | | | | ⑭ R H R－B テスタブル逆止弁定期試験 + R H R－B 注入弁定期試験時の通常状態への復旧失敗 + R H R－B 逆止弁閉失敗 + R H R－B 熱交換器破損 | 4. 9E-12 | 1. 0 | | ○ |

1-2. F V 重要度に照らした重大事故等対処設備の有効性

(1) 実施内容

F V 重要度の高い基事象に対し，その基事象の発生に伴って生じる系統機能の喪失に重大事故等防止対策が有効であるか定性的に分析した。

なお，今回の整理は定量的に評価した F V 重要度に対し対策の有効性の観点で定性的な考察を加えたものであり，あくまで定性的な分析である。対策の有効性を定量的に把握する観点では，新たに講じた対策をモデル化した上で P R A を実施し，その結果を比較することが望ましいが，今回はプラント運転時の内部事象出力運転時レベル 1 P R A の F V 重要度を定量的な検討材料として分析することとし，この確認を実施した。

(2) 選定条件

事故シーケンスグループ別に F V 重要度を分析し，その値が $1E-3$ を超える基事象について，重大事故等防止対策が有効であるか確認することとした。F V 重要度が小さい基事象は，重大事故等防止対策による対応が可能であったとしても，炉心損傷頻度の低減効果が小さいことから，事故シーケンスグループの支配的なリスク要因を網羅的に確認する範囲として， $1E-3$ を基準とすることとし， $1E-3$ 未満の基事象については確認対象外とした。

(3) 確認結果

F V 重要度が $1E-3$ を超える基事象を確認したところ，「高圧・低圧注水機能喪失」，「高圧注水・減圧機能喪失」，「全交流動力電源喪失」，「崩壊熱除去機能喪失」，「原子炉停止機能喪失」及び「インターフェイスシステム L O C A」については，抽出された

全ての基事象に対して、定性的には何らかの重大事故等防止対策が有効であることを確認した。また、「L O C A 時注水機能喪失」については、L O C A の破断面積が大きい場合には、抽出された一部の基事象に対して、定性的には有効な重大事故等対策が確認されなかった。

今回の内部事象出力運転時レベル 1 P R A では、「崩壊熱除去機能喪失」が炉心損傷頻度のほぼ 100% を占めており、「崩壊熱除去機能喪失」に対しては F V 重要度が $1E-3$ を超える全ての基事象に重大事故等対処設備（具体的には格納容器圧力逃がし装置等による除熱機能の代替）が有効であることを確認した。このことから、重大事故等対処設備によって、プラント運転開始時の内部事象レベル 1 P R A の全炉心損傷頻度は $1E-3$ 程度低減されるものと考えられる。また、重大事故等対処設備による内部事象を起因した炉心損傷リスクへの対策の網羅性は 99% 以上と整理できる。

事故シーケンスグループ別の確認結果については以下に示すとおり。

【高圧・低圧注水機能喪失】

F V 重要度が $1E-3$ を超える全ての基事象に何らかの重大事故等防止対策が有効であることを確認した。

支配的な基事象として、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機及び残留熱除去系海水系の故障並びに点検のための待機除外等が抽出されたが、これらに対しては低圧代替注水系（常設）による原子炉注水によって対応することが可能である。

【高圧注水・減圧機能喪失】

F V 重要度が $1E-3$ を超える全ての基事象に何らかの重大事故等防止対策が有効であることを確認した。

支配的な基事象として、原子炉手動減圧失敗、注水不能認知失敗等のヒューマンエラーが抽出されたが、これらに対しては過渡時自動減圧機能による原子炉減圧が有効であり、その後の低圧炉心冷却によって対応することが可能である。

【全交流動力電源喪失（長期 T B，T B U，T B P，T B D）】

F V 重要度が $1E-3$ を超える全ての基事象に何らかの重大事故等防止対策が有効であることを確認した。

支配的な基事象として、非常用ディーゼル発電機、非常用蓄電池の故障等が抽出されたが、これらに対しては常設代替直流電源設備及び常設代替交流電源設備による電源復旧によって対応することが可能である。また、長期 T B の場合については、原子炉隔離時冷却系の運転継続中に電源が不要となる低圧代替注水系（可搬型）による原子炉注水を確保することによって対応することも可能である。

【崩壊熱除去機能喪失】

F V 重要度が $1E-3$ を超える全ての基事象に何らかの重大事故等防止対策が有効であることを確認した。

支配的な基事象として、残留熱除去系操作失敗のヒューマンエラー及び残留熱除去系、残留熱除去系海水系の故障等が抽出されたが、これらに対しては耐圧強化ベント又は格納容器圧力逃がし装置によって対応することが可能である。また、残留熱除去系海水系が故障した場合については、緊急用海水系によって対応することも可能である。

【原子炉停止機能喪失】

F V 重要度が $1E-3$ を超える全ての基事象に何らかの重大事故等防止対策が有効であることを確認した。

支配的な基事象として、スクラムコンタクタの故障が抽出されているが、これらに対しては A T W S 緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）及びほう酸水注入系によって対応することが可能である。

【L O C A 時注水機能喪失】

L O C A 時注水機能喪失については、L O C A の破断面積が大きい場合には炉心損傷防止が困難となるが、破断面積が一定の範囲内であれば、何らかの重大事故等防止対策が有効であることを確認した。

支配的な基事象として、残留熱除去系海水系、高圧炉心スプレイ系の故障等が抽出されたが、これらに対しては低圧代替注水系（常設）による原子炉注水によって対応することが可能である。また、この他に支配的な基事象として、注水不能認知失敗、原子炉手動減圧失敗等のヒューマンエラーが抽出されたが、これらに対しては低圧 E C C S が健全な状況であれば、過渡時自動減圧回路による減圧によって対応することも可能である。

【格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）】

F V 重要度が $1E-3$ を超える全ての基事象に何らかの重大事故等防止対策が有効であることを確認した。

支配的な基事象として、インターフェイスシステム L O C A 発生の起因となる配管破損及び隔離弁の閉め忘れ、故障等が抽出されたが、これらに対しては減圧による漏えい低減や発生個所の隔離によって対応することが可能である。

2. 内部事象運転時レベル 1. 5 P R A

2-1. 主要なカットセットに照らした重大事故等対処設備の有効性

(1) 選定条件

事故シーケンスの種類によっては展開されるカットセットが無数に存在するため，ここでは，各事象シーケンスについて以下の基準を基に主要なカットセットを抽出した。なお，格納容器先行破損シーケンスについては，炉心損傷防止対策の有効性を確認しているため，カットセットの分析対象から除外した。

- ・格納容器破損モードの各 P D S の中で上位 3 位までのカットセット

各事故シーケンスにおける主要なカットセット及び格納容器破損防止対策の確認結果を第 2-1 表～第 2-4 表に示す。

(2) 主要なカットセットの確認結果

第 2-1 表～第 2-4 表に示したとおり，主要なカットセットレベルまで展開しても，格納容器破損防止対策により格納容器破損を防止できることを確認した。

【雰囲気圧力・温度による静的負荷（過圧破損）】

最も支配的な事故シーケンスは、T Q U Xによって炉心損傷に至った後に過圧破損に至るシーケンスとなる。本事故シーケンスにおける主要なカットセットとしては、直流電源（区分Ⅰ）が故障し、H P C S－D Gの運転継続、原子炉減圧及びR H R スプレーに失敗することにより過圧破損に至る事象が抽出されている。

本破損モードに対する格納容器破損防止対策としては、常設代替交流電源設備及び常設代替直流電源設備による電源供給の対策に加え、低圧代替注水系（常設）による損傷炉心への注水、代替格納容器スプレー冷却系（常設）による格納容器冷却及び格納容器圧力逃がし装置による除熱が有効である。

【雰囲気圧力・温度による静的負荷（過温破損）】

最も支配的な事故シーケンスは、長期T Bによって炉心損傷に至った後に過温破損に至るシーケンスとなる。本事故シーケンスにおける主要なカットセットとしては、外部電源喪失が発生し、軽油貯蔵タンク閉塞／破損やD G及びH P C S－D Gの故障の重畳によって全交流動力電源喪失に至ることにより、過温破損に至る事象が抽出されている。

本破損モードに対する格納容器破損防止対策としては、常設代替交流電源設備による電源供給の対策に加え、低圧代替注水系（常設）による損傷炉心への注水、代替格納容器スプレー冷却系（常設）による格納容器冷却、代替循環冷却系及び格納容器圧力逃がし装置による除熱が有効である。

第 2-1 表 「雰囲気圧力温度による静的負荷」における
主要なカットセット

| 格納容器破損モード | プラント 損傷状態 (PDS) | CFF (/炉年) | 主要なカットセット | CFF (/炉年) | 事故シーケンス に対する寄与割 合 (%) | 主な対策 | 対策 有効性 |
|--------------------------|-----------------------|--------------|---|--------------|-----------------------------|---|-----------|
| 雰囲気圧力温度による静的負荷 (過圧破損) | T Q U X | 2.2E-09 | ①直流電源故障（区分Ⅰ）+HPCS-DG運転継続失敗+原子炉手動減圧失敗+RHRによる格納容器スプレイ操作失敗 | 1.8E-10 | 8.4 | <ul style="list-style-type: none"> ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 ・低圧代替注水系（常設） ・代替格納容器スプレイ冷却系（常設） ・代替循環冷却系又は格納容器圧力逃がし装置 | ○ |
| | | | ②直流電源故障（区分Ⅰ）+HPCS-DG起動失敗+原子炉手動減圧失敗+RHRによる格納容器スプレイ操作失敗 | 1.3E-10 | 5.7 | | ○ |
| | | | ③直流電源故障（区分Ⅰ）+HPCS-DG運転継続失敗+注水不能認知失敗+RHRによる格納容器スプレイ操作失敗 | 8.0E-11 | 3.7 | | ○ |
| 雰囲気圧力温度による静的負荷 (過温破損) | T Q U X | 6.3E-09 | ①直流電源故障（区分Ⅰ）+HPCS-DG運転継続失敗+注水不能認知失敗+損傷炉心の冷却認知失敗 | 3.1E-10 | 5.0 | | ○ |
| | | | ②直流電源故障（区分Ⅰ）+HPCS-DG運転継続失敗+原子炉手動減圧失敗+炉心損傷後の原子炉手動減圧失敗 | 3.1E-10 | 5.0 | | ○ |
| | | | ③直流電源故障（区分Ⅰ）+HPCS-DG起動失敗+原子炉手動減圧失敗+炉心損傷後の原子炉手動減圧失敗 | 2.1E-10 | 3.4 | | ○ |
| | 長期 T B | 6.9E-08 | ①外部電源喪失+軽油貯蔵タンク閉塞 | 4.3E-08 | 62.2 | | ○ |
| | | | ②外部電源喪失+軽油貯蔵タンク破損 | 2.8E-09 | 4.1 | | ○ |
| | | | ③外部電源喪失+DG-2C、2D運転継続失敗共通要因故障+HPCS-DG運転継続失敗 | 4.1E-10 | 0.6 | | ○ |
| | T B U | 4.2E-09 | ①直流電源故障（区分Ⅰ）+軽油貯蔵タンク閉塞+原子炉手動減圧失敗 | 6.4E-10 | 15.2 | | ○ |
| | | | ②直流電源故障（区分Ⅰ）+DG-2D運転継続失敗+HPCS-DG運転継続失敗+原子炉手動減圧失敗 | 2.9E-10 | 6.9 | | ○ |
| | | | ③直流電源故障（区分Ⅰ）+DG-2D起動失敗+HPCS-DG運転継続失敗+原子炉手動減圧失敗 | 2.0E-10 | 4.7 | | ○ |
| | | | ④直流電源故障（区分Ⅰ）+DG-2D運転継続失敗+HPCS-DG起動失敗+原子炉手動減圧失敗 | 2.0E-10 | 4.7 | | ○ |
| | T B D | 5.9E-12 | ①外部電源喪失+蓄電池-A/B給電失敗共通要因故障+HPCS-DG運転継続失敗 | 1.6E-12 | 26.6 | | ○ |
| | | | ②外部電源喪失+蓄電池-A/B給電失敗共通要因故障+HPCS-DG起動失敗 | 1.1E-12 | 18.1 | | ○ |
| | | | ③外部電源喪失+蓄電池-A/B給電失敗共通要因故障+HPCS-DGメンテナンス | 6.8E-13 | 11.5 | | ○ |
| | L O C A | 2.1E-11 | ①中破断LOCA+HPCS入口逆止弁（S/P側）開失敗+RHR-S-A/B海水ストレーナ閉塞共通要因故障 | 1.1E-12 | 5.3 | | ○ |
| | | | ②中破断LOCA+HPCS-DG SWメンテナンス+RHR-S-A/B海水ストレーナ閉塞共通要因故障 | 9.3E-13 | 4.3 | | ○ |
| | | | ③中破断LOCA+HPCS-DG SW海水ストレーナ閉塞+RHR-S-A/B海水ストレーナ閉塞共通要因故障 | 4.5E-13 | 2.1 | | ○ |

【高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱】

最も支配的な事故シーケンスは、長期 T B によって炉心損傷に至った後に格納容器雰囲気直接加熱に至るシーケンスとなる。本事故シーケンスにおける主要なカットセットとしては、外部電源喪失が発生し、軽油貯蔵タンク閉塞／破損や D G 及び H P C S - D G の故障の重畳によって全交流動力電源喪失に至ることにより、原子炉圧力容器が高圧状態で破損し、格納容器雰囲気直接加熱により格納容器破損に至る事象が抽出されている。

本破損モードについては、交流電源が喪失しても原子炉圧力容器の減圧操作は可能であることから、格納容器破損を防止することが可能である。

なお、ヒューマンエラーによる原子炉の減圧失敗については、発生した場合は格納容器破損を防止することができないが、認知に失敗したまま長時間気づかない場合や、操作に失敗したにもかかわらずその後の対応をとらないことは現実的には考え難く、これらのカットセットの炉心損傷頻度は非常に小さくなっている。

第 2-2 表 「高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱」における
主要なカットセット

| 格納容器破損モード | プラント 損傷状態 (PDS) | CFF (/年) | 主要なカットセット | CFF (/年) | 事故シーケンス に対する寄与割合 (%) | 主な対策 | 対策 有効性 |
|-------------------------|-----------------------|-------------|--|-------------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| 高圧溶融物放出／ 格納容器雰囲気直接加熱 | T Q U X | 2.4E-11 | ①直流電源故障（区分Ⅰ）＋HPCS－DG運転継続失敗＋原子炉手動減圧失敗＋炉心損傷後の原子炉手動減圧失敗＋DCHによるPCV破損 | 1.2E-12 | 5.0 | 原子炉圧力容器破損までに逃がし安全弁による手動減圧 | － |
| | | | ①直流電源故障（区分Ⅰ）＋HPCS－DG運転継続失敗＋注水不能認知失敗＋損傷炉心の冷却認知失敗＋DCHによるPCV破損 | 1.2E-12 | 5.0 | | － |
| | | | ③直流電源故障（区分Ⅰ）＋HPCS－DG起動失敗＋原子炉手動減圧失敗＋炉心損傷後の原子炉手動減圧失敗＋DCHによるPCV破損 | 7.9E-13 | 3.4 | | － |
| | 長期 T B | 8.5E-09 | ①外部電源喪失＋燃料貯蔵タンク閉塞＋DCHによるPCV破損 | 5.3E-09 | 62.2 | | ○ |
| | | | ②外部電源喪失＋燃料貯蔵タンク破損＋DCHによるPCV破損 | 3.5E-10 | 4.1 | | ○ |
| | | | ③外部電源喪失＋DG－2C、2D運転継続失敗共通要因故障＋HPCS－DG運転継続失敗＋DCHによるPCV破損 | 5.0E-11 | 0.6 | | ○ |
| | T B U | 1.6E-11 | ①直流電源故障（区分Ⅰ）＋軽油貯蔵タンク閉塞＋原子炉手動減圧失敗＋DCHによるPCV破損 | 2.4E-12 | 15.2 | | － |
| | | | ②直流電源故障（区分Ⅰ）＋DG－2D運転継続失敗＋HPCS－DG運転継続失敗＋原子炉手動減圧失敗＋DCHによるPCV破損 | 1.1E-12 | 6.9 | | － |
| | | | ③直流電源故障（区分Ⅰ）＋DG－2D起動失敗＋HPCS－DG運転継続失敗＋原子炉手動減圧失敗＋DCHによるPCV破損 | 7.3E-13 | 4.7 | | － |
| | | | ③直流電源故障（区分Ⅰ）＋DG－2D運転継続失敗＋HPCS－DG起動失敗＋原子炉手動減圧失敗＋DCHによるPCV破損 | 7.3E-13 | 4.7 | | － |
| | T B D | 2.2E-14 | ①外部電源喪失＋蓄電池－A／B給電失敗共通要因故障＋HPCS－DG運転継続失敗＋DCHによるPCV破損 | 5.8E-15 | 26.6 | | ○ |
| | | | ②外部電源喪失＋蓄電池－A／B給電失敗共通要因故障＋HPCS－DG起動失敗＋DCHによるPCV破損 | 4.0E-15 | 18.1 | | ○ |
| | | | ③外部電源喪失＋蓄電池－A／B給電失敗共通要因故障＋HPCS－DGメンテナンス＋DCHによるPCV破損 | 2.5E-15 | 11.5 | | ○ |

【原子炉圧力容器外溶融燃料－冷却材相互作用】

最も支配的な事故シーケンスは、T Q U Xによって炉心損傷に至った後に原子炉圧力容器が損傷し、ペデスタル（ドライウエル部）に落下した溶融物と水との接触に伴い、溶融物の持つ熱エネルギーが爆発的な機械エネルギーに変換され、格納容器への荷重が生じることで格納容器が破損するシーケンスとなる。本事故シーケンスにおける主要なカットセットとしては、直流電源（区分Ⅰ）が故障した後、H P C S－D Gの運転及び原子炉減圧に失敗することにより、ペデスタル（ドライウエル部）に落下した溶融物と冷却材との相互作用によって格納容器破損に至る事象が抽出されている。

本破損モードに対しては、仮に発生した場合においても格納容器圧力バウンダリの機能喪失に至らないことを確認しており、対策は講じていない。

第2－3表 「原子炉圧力容器外溶融燃料－冷却材相互作用」における
主要なカットセット

| 格納容器破損モード | プラント 損傷状態 (PDS) | CFF (/炉年) | 主要なカットセット | CFF (/炉年) | 事故シーケンス に対する寄与割合 (%) | 主な対策 | 対策 有効性 |
|--------------------------|-----------------------|--------------|--|--------------|----------------------------|---|-----------|
| 原子炉圧力容器外 溶融燃料－冷却材相互作用 | T Q U X | 2.2E-14 | ①直流電源故障（区分Ⅰ）＋HPCS－DG運転継続失敗＋原子炉手動減圧失敗＋I V R失敗＋水蒸気爆発（ペデスタル） | 1.4E-15 | 6.1 | なし （原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用が発生しても格納容器圧力バウンダリの機能喪失に至らないことを確認する） | ○ |
| | | | ②直流電源故障（区分Ⅰ）＋HPCS－DG起動失敗＋原子炉手動減圧失敗＋I V R失敗＋水蒸気爆発（ペデスタル） | 9.2E-16 | 4.1 | | ○ |
| | | | ③直流電源故障（区分Ⅰ）＋HPCS－DGメンテナンス＋原子炉手動減圧失敗＋I V R失敗＋水蒸気爆発（ペデスタル） | 5.9E-16 | 2.6 | | ○ |
| | L O C A | 2.8E-20 | ①中破断LOCA＋HPCS入口逆止弁（S/P側）開失敗＋R H R S－Aメンテナンス＋L P C I－B/C注入弁開失敗共通要因故障＋水蒸気爆発（ペデスタル） | 2.1E-22 | 0.8 | | ○ |
| | | | ②中破断LOCA＋HPCS－DG SWメンテナンス＋R H R S－Aメンテナンス＋L P C I－B/C注入弁開失敗共通要因故障＋水蒸気爆発（ペデスタル） | 1.7E-22 | 0.6 | | ○ |
| | | | ③中破断LOCA＋HPCS入口逆止弁（S/P側）開失敗＋R H R S－Aメンテナンス＋L P C I－B/C注入弁開失敗共通要因故障＋水蒸気爆発（ペデスタル） | 1.2E-22 | 0.4 | | ○ |

【溶融炉心・コンクリート相互作用】

最も支配的な事故シーケンスは、T B Uによって炉心損傷に至った後に原子炉圧力容器が損傷し、ペデスタル（ドライウェル部）床面での溶融炉心・コンクリート相互作用が継続するシーケンスとなる。本事故シーケンスにおける主要なカットセットとしては、直流電源（区分Ⅰ）が故障し、軽油貯蔵タンク閉塞／破損やD G及びH P C S－D Gの故障の重畳によって全交流動力電源喪失に至ることにより、ペデスタル（ドライウェル部）床面での溶融炉心・コンクリート相互作用が継続して格納容器破損に至る事象が抽出されている。

本破損モードに対する格納容器破損防止対策としては、格納容器下部注水系（常設）によるペデスタル（ドライウェル部）への注水が有効である。

第 2-4 表 「溶融炉心・コンクリート相互作用」における
主要なカットセット

| 格納容器破損モード | プラント 損傷状態 (PDS) | CFF (/炉年) | 主要なカットセット | CFF (/炉年) | 事故シーケンス に対する寄与割 合 (%) | 主な対策 | 対策 有効性 |
|-----------------|-----------------------|--------------|--|--------------|-----------------------------|--|-----------|
| 溶融炉心・コンクリート相互作用 | T Q U V | 3.3E-09 | ①直流電源故障（区分Ⅰ）+HPCS-DG運転継続失敗+RHR S-Bメンテナンス | 2.1E-10 | 6.4 | ・常設代替交流電源設備 ・常設代替直流電源設備 ・格納容器下部注水系（常設） | ○ |
| | | | ②直流電源故障（区分Ⅰ）+HPCS-DG起動失敗+RHR S-Bメンテナンス | 1.4E-10 | 4.3 | | ○ |
| | | | ③直流電源故障（区分Ⅰ）+HPCS-DGメンテナンス+RHR S-Bメンテナンス | 9.2E-11 | 2.8 | | ○ |
| | T Q U X | 7.0E-10 | ①直流電源故障（区分Ⅰ）+HPCS-DG運転継続失敗+原子炉手動減圧失敗+1VR失敗+ベデスタル注水失敗+RHRによる格納容器スプレイ操作失敗 | 2.4E-11 | 3.5 | | ○ |
| | | | ②直流電源故障（区分Ⅰ）+HPCS-DG起動失敗+原子炉手動減圧失敗+1VR失敗+ベデスタル注水失敗+RHRによる格納容器スプレイ操作失敗 | 1.7E-11 | 2.4 | | ○ |
| | | | ③直流電源故障（区分Ⅰ）+HPCS-DGメンテナンス+原子炉手動減圧失敗+1VR失敗+ベデスタル注水失敗+RHRによる格納容器スプレイ操作失敗 | 1.1E-11 | 1.5 | | ○ |
| | T B U | 1.7E-08 | ①直流電源故障（区分Ⅰ）+軽油貯蔵タンク閉塞 | 2.3E-09 | 13.7 | | ○ |
| | | | ②直流電源故障（区分Ⅰ）+DG-2D運転継続失敗+HPCS-DG運転継続失敗 | 1.0E-09 | 6.2 | | ○ |
| | | | ③直流電源故障（区分Ⅰ）+DG-2D運転継続失敗+HPCS-DG起動失敗 | 7.0E-10 | 4.2 | | ○ |
| | | | ④直流電源故障（区分Ⅰ）+DG-2D起動失敗+HPCS-DG運転継続失敗 | 7.0E-10 | 4.2 | | ○ |
| | T B P | 5.2E-10 | ①外部電源喪失+軽油貯蔵タンク閉塞+SRV再閉鎖失敗 | 2.2E-10 | 42.5 | | ○ |
| | | | ②外部電源喪失+軽油貯蔵タンク破損+SRV再閉鎖失敗 | 1.5E-11 | 2.8 | | ○ |
| | | | ③外部電源喪失+DG-2C、2D運転継続失敗共通要因故障+SRV再閉鎖失敗+HPCS-DG運転継続失敗 | 2.1E-12 | 0.4 | | ○ |
| | L O C A | 6.8E-16 | ①中破断LOCA+HPCS入口逆止弁（S/P側）開失敗+RHR S-Aメンテナンス+LPCI-B/C注入弁開失敗共通要因故障+ベデスタル（ドライウェル部）での水蒸気爆発なし | 4.9E-18 | 0.7 | | ○ |
| | | | ②中破断LOCA+HPCS-DGSWメンテナンス+RHR S-Aメンテナンス+LPCI-B/C注入弁開失敗共通要因故障+ベデスタル（ドライウェル部）での水蒸気爆発なし | 4.0E-18 | 0.6 | | ○ |
| | | | ③中破断LOCA+HPCS入口逆止弁（S/P側）開失敗+RHR S-Aメンテナンス+LPCI-A/B/C注入弁開失敗共通要因故障+ベデスタル（ドライウェル部）での水蒸気爆発なし | 2.8E-18 | 0.4 | | ○ |

3. 内部事象停止時レベル 1 P R A

3-1. 主要なカットセットに照らした重大事故等対処設備の有効性

(1) 選定条件

事故シーケンスの種類によっては展開されるカットセットが無数に存在するものがあるため,ここでは,各事故シーケンスについて以下の判断基準を基に主要なカットセットを抽出した。

- ・ 炉心損傷頻度が $1E-7$ / 炉年以上のカットセット
- ・ 事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度への寄与が 1% 以上

また,上記の条件を満たさないカットセットについても,各事故シーケンスにおける上位 3 位までのカットセットを抽出し,重大事故等対処設備が有効であるか確認した。

確認結果を第 3-1 表～第 3-3 表に示す。また,主要なカットセットのうち,各事故シーケンスグループの炉心損傷頻度が最上位であるシーケンスを第 3-1 図～第 3-3 図に示す。

(2) 主要なカットセットの確認結果

第 3-1 表～第 3-3 表に示したとおり,全ての事故シーケンスに対しては,主要なカットセットまで展開した場合においても,整備する燃料損傷防止対策により燃料損傷を防止できることを確認した。

【崩壊熱除去機能喪失】

○崩壊熱除去機能喪失＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

P O S－B 1～B 3においては、使用可能である除熱・注水設備が残留熱除去系 1 系統及び復水移送系 1 系統のみとなる。そのため、当該 P O S において、残留熱除去系の故障の発生後、復水移送系の水源である復水貯蔵タンクの真空逃がし弁作動失敗により、崩壊熱除去機能喪失に至るカットセットが上位に抽出されている。

○外部電源喪失＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

P O S－B 1～B 3においては、使用可能である除熱・注水設備が残留熱除去系 1 系統及び復水移送系 1 系統のみとなる。そのため、当該 P O S において、外部電源喪失の発生により復水移送系が機能喪失し、残留熱除去系のポンプや弁の手動操作失敗により崩壊熱除去機能喪失に至るカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する燃料損傷防止対策としては、注水設備の多様化（低圧代替注水系（常設）、低圧代替注水系（可搬型）、消火系等）による対応が有効である。

第 3-1 表 「崩壊熱除去機能喪失」における主要なカットセット

| 事故シーケンス | | 炉心損傷頻度 (/施設定期検査) | 主要なカットセット | POS | 炉心 損傷頻度 (/POS) | 事故シーケンス グループに対する 寄与割合 (%) | 主な対策 | 対策の 有効性 |
|-----------|--|---------------------|-----------------------------------|-----|----------------------|---------------------------------|---|------------|
| 崩壊熱除去機能喪失 | 残留熱除去系の故障 (RHR喪失) + 崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 9.9E-07 | ①RHR喪失+復水貯蔵タンクA真空逃がし弁作動失敗 | B 3 | 3.0E-07 | 20.8 | ・ 注水設備の多様化 (低圧代替注水系 (常設), 低圧代替注水系 (可搬型), 消火系等) | ○ |
| | | | ①RHR喪失+復水貯蔵タンクB真空逃がし弁作動失敗 | B 3 | 3.0E-07 | 20.8 | | ○ |
| | | | ②RHR喪失+復水貯蔵タンクA真空逃がし弁作動失敗 | B 1 | 1.1E-07 | 7.4 | | ○ |
| | | | ③RHR喪失+復水貯蔵タンクB真空逃がし弁作動失敗 | B 1 | 1.1E-07 | 7.4 | | ○ |
| | | | ⑤RHR喪失+復水貯蔵タンクA真空逃がし弁作動失敗 | B 2 | 6.4E-08 | 4.5 | | ○ |
| | | | ⑥RHR喪失+復水貯蔵タンクB真空逃がし弁作動失敗 | B 2 | 6.4E-08 | 4.5 | | ○ |
| | | | ⑦RHR喪失+CST-Bポンプ運転継続失敗 | B 3 | 2.1E-08 | 1.5 | | ○ |
| | 残留熱除去系の故障 (RHR S喪失) + 崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 1.2E-07 | ①RHR S喪失+復水貯蔵タンクA真空逃がし弁作動失敗 | B 3 | 3.7E-08 | 2.6 | | ○ |
| | | | ①RHR S喪失+復水貯蔵タンクB真空逃がし弁作動失敗 | B 3 | 3.7E-08 | 2.6 | | ○ |
| | | | ③RHR S喪失+復水貯蔵タンクA真空逃がし弁作動失敗 | B 1 | 1.3E-08 | 0.9 | | ○ |
| | | | ③RHR S喪失+復水貯蔵タンクB真空逃がし弁作動失敗 | B 1 | 1.3E-08 | 0.9 | | ○ |
| | 外部電源喪失 + 崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 3.1E-07 | ①外部電源喪失+RHR-Bポンプ手動操作失敗 | B 2 | 8.4E-08 | 5.9 | | ○ |
| | | | ①外部電源喪失+LPCI-B注入弁手動操作失敗 | B 2 | 8.4E-08 | 5.9 | | ○ |
| | | | ①外部電源喪失+RHR-Bポンプ入口弁 (S/P側) 手動操作失敗 | B 2 | 8.4E-08 | 5.9 | | ○ |

| RHR喪失 (POS-B3) | 待機RHR起動 | 待機LPCI起動 | LPCS | LPCI-S | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 備考 |
|-------------------|--------------------|---------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------|-----|------|----|
| ERH | RHR | LPCI | LPCS | LPCI-S | HPCS | MUWC | | | |
| | | | | | | | 1 | - | |
| | | | | | | | 2 | - | |
| | | | | | | | 3 | - | |
| | | | | | | | 4 | - | |
| | | | | | | | 5 | - | |
| | | | | | | | 6 | - | |
| | | | | | | | 7 | TW | |
| | | | | | | | | 合計値 | |

× プラント状態や起因事象との関係により期待できない設備

第3-1図 「崩壊熱除去機能喪失」における主要なシーケンス
(POS-B3 残留熱除去系の故障(RHR喪失))

【全交流動力電源喪失】

○外部電源喪失＋交流電源喪失＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

P O S－B 1～B 3においては，待機状態の非常用D Gが 1 台のみとなる。そのため，当該P O Sにおいて，外部電源喪失の発生後，待機状態の非常用D Gの起動失敗や運転継続失敗により全交流動力電源喪失に至るカットセットが上位に抽出されている。

○外部電源喪失＋直流電源喪失＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗

外部電源喪失後の蓄電池の共通原因故障により，全交流動力電源喪失に至るカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する燃料損傷防止対策としては，常設代替直流電源設備及び常設代替交流電源設備による電源復旧，注水設備の多様化（低圧代替注水系（常設），低圧代替注水系（可搬型），消火系等）による対応が有効である。

第 3－2 表 「全交流動力電源喪失」における主要なカットセット

| 事故シーケンス | | 炉心損傷頻度 (／施設定期検査) | 主要なカットセット | P O S | 炉心 損傷頻度 (／P O S) | 事故シーケンス グループに対する 寄与割合 (%) | 主な対策 | 対策の 有効性 |
|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------------------|-------|------------------------|---------------------------------|--|------------|
| 全交 流 動 力 電 源 喪 失 | 外部電源喪失 ＋交流電源失敗 ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 3. 5E-06 | ①外部電源喪失＋D G－2 D 運転継続失敗 | B 3 | 8. 2E-07 | 23. 3 | ・ 常設代替直流電源設備 ・ 常設交流代替電源設備 ・ 注水設備の多様化 | ○ |
| | | | ②外部電源喪失＋D G－2 D 起動失敗 | B 3 | 5. 6E-07 | 15. 8 | | ○ |
| | | | ③外部電源喪失＋D G－2 C 運転継続失敗 | B 1 | 3. 0E-07 | 8. 4 | | ○ |
| | | | ④外部電源喪失＋D G－2 C 起動失敗 | B 1 | 2. 0E-07 | 5. 7 | | ○ |
| | | | ⑤外部電源喪失＋D G－2 D 運転継続失敗 | B 2 | 1. 8E-07 | 5. 0 | | ○ |
| | | | ⑥外部電源喪失＋D G－2 D 起動失敗 | B 2 | 1. 2E-07 | 3. 4 | | ○ |
| | | | ⑦外部電源喪失＋D G－2 D 関連信号故障 | B 3 | 7. 9E-08 | 2. 2 | | ○ |
| | | | ⑧外部電源喪失＋D G－2 D 遮断器開失敗 | B 3 | 7. 6E-08 | 2. 1 | | ○ |
| | | | ⑨外部電源喪失＋D G S W－2 D 海水ストレーナ閉塞 | B 3 | 4. 7E-08 | 1. 3 | | ○ |
| | | | ⑩外部電源喪失＋D G S W－2 D ポンプ起動失敗 | B 3 | 3. 6E-08 | 1. 0 | | ○ |
| | 外部電源喪失 ＋直流電源失敗 ＋崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 1. 3E-10 | ①外部電源喪失＋蓄電池－A／B 給電失敗共通要因故障 | B 3 | 6. 0E-11 | <0. 1 | | ○ |
| | | | ②外部電源喪失＋蓄電池－A／B 給電失敗共通要因故障 | C 2 | 3. 8E-11 | <0. 1 | | ○ |
| | | | ③外部電源喪失＋蓄電池－A／B 給電失敗共通要因故障 | B 1 | 2. 2E-11 | <0. 1 | | ○ |

| 外部電源喪失 (POS-B3) | DC喪失 BT- CCF | DG-HPCSから の受電失敗 | D/G-2C起動 | D/G-2D起動 | No. | 最終状態 | 備考 |
|--------------------|-----------------|--------------------|---------------------|----------|---------|------|----|
| ELOP | DC | DGH | DGC | DGD | | | |
| | | | | | 1 - 9 | TE2へ | |
| | | | | | 10 - 15 | TE3へ | |
| | | | | | 16 - 21 | TE4へ | |
| | | | | | 22 - 23 | TE5へ | |
| | | | | | 24 - 25 | TE6へ | |
| | | | | | 26 | TB | |
| | | | | | | 合計値 | |

| ACなし (POS-B3) | HPCS | No. | 最終状態 | 備考 |
|------------------|-----------------|-----|------|----|
| TE5 | HPCS | | | |
| | | 22 | - | |
| | | 23 | TB | |
| | | | 合計値 | |

× プラント状態や起因事象との関係により期待できない設備

第 3-2 図 「全交流動力電源喪失」における主要なシーケンス
(POS-B3 外部電源喪失)

【原子炉冷却材の流出】

○原子炉冷却材の流出（R H R 系統切替時／C U W ブロー時の L O C A） + 崩壊熱除去・炉心冷却失敗

R H R 系統切替時又は C U W ブロー時における原子炉冷却材流出の発生後、運転員による L O C A の認知失敗により、燃料損傷に至るカットセットが上位に抽出されている。

○原子炉冷却材の流出（C R D 点検時の L O C A） + 崩壊熱除去・炉心冷却失敗

C R D 点検時における大規模な原子炉冷却材流出の発生後、隔離操作に失敗し、残留熱除去系のポンプ、弁等の手動操作失敗により燃料損傷に至るカットセットが上位に抽出されている。

○原子炉冷却材の流出（L P R M 点検時の L O C A） + 崩壊熱除去・炉心冷却失敗

L P R M 点検時における原子炉冷却材流出の発生後、隔離操作に失敗し、残留熱除去系のポンプ、弁等の手動操作失敗及び復水貯蔵タンクの真空逃がし弁作動失敗が重畳することにより、燃料損傷に至るカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する燃料損傷防止対策としては、運転員等が L O C A の発生を速やかに認知することに加えて、注水設備の多様化（低圧代替注水系（常設）、低圧代替注水系（可搬型）、消火系等）による対応が有効である。

運転員による L O C A の認知失敗に関しては、認知に成功しないことには燃料損傷を防止することができないが、L O C A の発生の可能性がある作業では、以下のとおり対策をとった上で実施しており、L

ＯＣＡが発生しているにもかかわらず，複数の運転員が認知に失敗したまま長時間気づかないことは現実的には考え難い。

（ＲＨＲ系統切替時のＬＯＣＡ）

- ・ ＲＨＲ系統切替時における弁の開閉状態については，中央制御室のランプで確認可能であり，運転手順書には作業時に確認することと明記されている。
- ・ 仮にＬＯＣＡが発生した場合でも，定期的実施される中央制御室の運転員による原子炉水位，サプレッション・プール水位等の監視により，異常の認知が可能である。

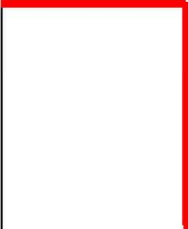
（ＣＵＷブロー時のＬＯＣＡ）

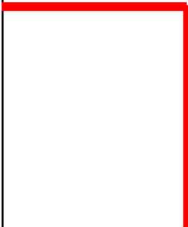
- ・ ＣＵＷブロー時における弁の開閉状態については，中央制御室のランプで確認可能であり，運転手順書には作業時に確認することと明記されている。
- ・ ＣＵＷブローダウン流量は管理されており，燃料損傷までの余裕時間の間に中央制御室の運転員によるＣＵＷブローダウン流量，原子炉水位等の監視により異常の認知が可能である。
- ・ 中央制御室の運転員の他に，排水先であるＲ／Ｗの運転員による異常の認知にも期待できる。

また，今後もＬＯＣＡの発生可能性がある作業を実施する場合には，作業開始前に注意喚起を実施し，ＬＯＣＡの発生防止を努めるとともに，ＬＯＣＡが発生した場合の対応手順をあらかじめ確認することにより，今後も継続的にリスク低減に努めていく。

第 3-3 表 「原子炉冷却材の流出」における主要なカットセット

| 事故シーケンス | | 炉心損傷頻度 (/施設定期検査) | 主要なカットセット | P O S | 炉心 損傷頻度 (/P O S) | 事故シーケンス グループに対する 寄与割合 (%) | 主な対策 | 対策の 有効性 |
|---------------------------------------|---|---------------------|--|-------|------------------------|---------------------------------|---|------------|
| 原子 炉 冷 却 材 の 流 出 | 原子炉冷却材の流出 (RHR系統切替時のLOCA) +崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 8.3E-11 | ①RHR系統切替時のLOCA+運転員の認知失敗 | C 2 | 4.1E-11 | 22.2 | <ul style="list-style-type: none"> 運転員への注意喚起 注水設備の多様化 (低圧代替注水系(常設)、 低圧代替注水系(可搬型)、 消火系等) | — |
| | | | ①RHR系統切替時のLOCA+運転員の認知失敗 | D | 4.1E-11 | 22.2 | | — |
| | | | ③RHR系統切替時のLOCA+隔離失敗+RHR —Bポンプ入口弁(S/P側)手動操作失敗+復水 貯蔵タンクA真空逃がし弁作動失敗 | B 2 | 5.1E-14 | <0.1 | | ○ |
| | | | ③RHR系統切替時のLOCA+隔離失敗+RHR —Bポンプ入口弁(S/P側)手動操作失敗+復水 貯蔵タンクB真空逃がし弁作動失敗 | B 2 | 5.1E-14 | <0.1 | | ○ |
| | | | ③RHR系統切替時のLOCA+隔離失敗+RHR —Bポンプ入口弁(SDC側)手動操作失敗+復水 貯蔵タンクA真空逃がし弁作動失敗 | B 2 | 5.1E-14 | <0.1 | | ○ |
| | | | ③RHR系統切替時のLOCA+隔離失敗+RHR —Bポンプ入口弁(SDC側)手動操作失敗+復水 貯蔵タンクB真空逃がし弁作動失敗 | B 2 | 5.1E-14 | <0.1 | | ○ |
| | | | ③RHR系統切替時のLOCA+隔離失敗+RHR —Bポンプ手動操作失敗+復水貯蔵タンクA真空逃 がし弁作動失敗 | B 2 | 5.1E-14 | <0.1 | | ○ |
| | | | ③RHR系統切替時のLOCA+隔離失敗+RHR —Bポンプ手動操作失敗+復水貯蔵タンクB真空逃 がし弁作動失敗 | B 2 | 5.1E-14 | <0.1 | | ○ |
| | 原子炉冷却材の流出 (CUWブロー時のLOCA) +崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 5.8E-11 | ①CUWブロー時のLOCA+運転員の認知失敗 | C 1 | 2.9E-11 | 15.6 | | — |
| | | | ①CUWブロー時のLOCA+運転員の認知失敗 | D | 2.9E-11 | 15.6 | | — |
| | | | ③CUWブロー時のLOCA+隔離失敗+軽油貯蔵 タンク閉塞+外部電源喪失 | C 1 | 1.5E-17 | <0.1 | | ○ |
| | | | ③CUWブロー時のLOCA+隔離失敗+軽油貯蔵 タンク閉塞+外部電源喪失 | D | 1.5E-17 | <0.1 | | ○ |
| | 原子炉冷却材の流出 (CRD点検時のLOCA) +崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 4.5E-11 | ①CRD点検時のLOCA(大規模流出)+隔離失 敗+RHR—Bポンプ入口弁(S/P側)手動操作 失敗 | B 2 | 1.1E-11 | 6.0 | | ○ |
| | | | ①CRD点検時のLOCA(大規模流出)+隔離失 敗+RHR—Bポンプ入口弁(SDC側)手動操作 失敗 | B 2 | 1.1E-11 | 6.0 | | ○ |
| | | | ①CRD点検時のLOCA(大規模流出)+隔離失 敗+RHR—Bポンプ手動操作失敗 | B 2 | 1.1E-11 | 6.0 | | ○ |
| | 原子炉冷却材の流出 (LPRM点検時のLOCA) +崩壊熱除去・炉心冷却失敗 | 9.8E-14 | ①LPRM点検時のLOCA+隔離失敗+RHR— Bポンプ入口弁(S/P側)手動操作失敗+復水貯 蔵タンクA真空逃がし弁作動失敗 | B 2 | 1.2E-14 | <0.1 | | ○ |
| | | | ①LPRM点検時のLOCA+隔離失敗+RHR— Bポンプ入口弁(S/P側)手動操作失敗+復水貯 蔵タンクB真空逃がし弁作動失敗 | B 2 | 1.2E-14 | <0.1 | | ○ |
| | | | ①LPRM点検時のLOCA+隔離失敗+RHR— Bポンプ入口弁(SDC側)手動操作失敗+復水貯 蔵タンクA真空逃がし弁作動失敗 | B 2 | 1.2E-14 | <0.1 | | ○ |
| | | | ①LPRM点検時のLOCA+隔離失敗+RHR— Bポンプ入口弁(SDC側)注入弁手動操作失敗+ 復水貯蔵タンクB真空逃がし弁作動失敗 | B 2 | 1.2E-14 | <0.1 | | ○ |
| | | | ①LPRM点検時のLOCA+隔離失敗+RHR— Bポンプ手動操作失敗+復水貯蔵タンクA真空逃 がし弁作動失敗 | B 2 | 1.2E-14 | <0.1 | | ○ |
| | | | ①LPRM点検時のLOCA+隔離失敗+RHR— Bポンプ手動操作失敗+復水貯蔵タンクB真空逃 がし弁作動失敗 | B 2 | 1.2E-14 | <0.1 | | ○ |

| RHR系統切替時の冷却材流出 (POS-C2) | 水位降下認知 | 漏洩箇所隔離 | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 備考 |
|---|--------|--------|------|--------|--------|--------|------|------|-----|------|----|
| ELCR | HB | IS | LPCS | LPCIA | LPCIB | LPCIC | HPCS | MUWC | | | |
|  | | | | | | | | | 1 | - | |
| | | | | | | | | | 2 | - | |
| | | | | | | | | | 3 | - | |
| | | | | | | | | | 4 | - | |
| | | | | | | | | | 5 | - | |
| | | | | | | | | | 6 | - | |
| | | | | | | | | | 7 | - | |
| | | | | | | | | | 8 | LOCA | |
| | | | | | | | | | 9 | LOCA | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | |

| RHR系統切替時の冷却材流出 (POS-D) | 水位降下認知 | 漏洩箇所隔離 | LPCS | LPCI-A | LPCI-B | LPCI-C | HPCS | MUWC | No. | 最終状態 | 備考 |
|--|--------|--------|------|--------|--------|--------|------|------|-----|------|----|
| ELCR | HB | IS | LPCS | LPCIA | LPCIB | LPCIC | HPCS | MUWC | | | |
|  | | | | | | | | | 1 | - | |
| | | | | | | | | | 2 | - | |
| | | | | | | | | | 3 | - | |
| | | | | | | | | | 4 | - | |
| | | | | | | | | | 5 | - | |
| | | | | | | | | | 6 | - | |
| | | | | | | | | | 7 | - | |
| | | | | | | | | | 8 | LOCA | |
| | | | | | | | | | 9 | LOCA | |
| | | | | | | | | | | 合計値 | |

第 3-3 図 「原子炉冷却材流出」における主要なシーケンス
(POS-C2, POS-D RHR 系統切替時の冷却材流出)

3-2. F V 重要度に照らした重大事故等対処設備の有効性

停止時における F V 重要度は、個々の事故シーケンスの事象進展や対策に大きな差異がないことから、全炉心損傷頻度に対する分析を実施することとした。その際、全炉心損傷頻度に対する個々の事故シーケンスグループの寄与割合も考慮し、出力運転時レベル 1 P R A より 1 桁小さい $1E-4$ を基準としてそれを超える基事象を抽出し、重大事故等防止対策が有効か否か定性的に考察した。

その結果、F V 重要度が $1E-4$ を超える基事象として抽出された全ての基事象（ディーゼル発電機の故障、復水貯蔵タンクの真空逃がし安全弁の故障等）に対して、重大事故等対処設備（常設代替直流電源設備及び常設代替交流電源設備による電源復旧、注水設備の多様化（低圧代替注水系（常設）、低圧代替注水系（可搬型）、消火系等）による対応が有効であることを確認した。

地震 P R A，津波 P R Aにおける主要な事故シーケンスの 対策について

地震 P R A，津波 P R Aにおける主要な事故シーケンスについて，炉心損傷又は格納容器破損に至る要因をカットセットレベルまで展開し，主要なカットセットに対して重大事故等対処設備が有効であるか確認した。

1. 地震レベル 1 P R A

(1) 選定条件

事故シーケンスの種類によっては展開されるカットセットが無数に存在するため，ここでは，各事故シーケンスグループについて以下の基準を基に主要なカットセットを抽出し，整備する炉心損傷防止対策で対応可能であることを確認した。

- ・事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度への寄与が 1% 以上
確認結果を第 1-1 表～第 1-9 表に示す。

(2) 主要なカットセットの確認結果

第 1-1 表～第 1-9 表に示したとおり，「原子炉停止機能喪失」に含まれるカットセットの一部に炉心損傷防止が困難なカットセットが存在するものの，主要なカットセットレベルまで展開しても，大半のカットセットについては整備された重大事故等対処設備により炉心損傷を防止できることを確認した。なお，地震により重大事故等対処設備の機能が失われる可能性もあるが，その場合は機能喪失を免れた設備等を用いて事象の緩和に努めることとなる。

炉心損傷防止が困難なカットセットとして、「原子炉停止機能喪失」における，原子炉スクラムの失敗（シュラウドサポート損傷）と交流電源又は直流電源の喪失が重畳するカットセットが抽出された。これらのカットセットに対しては，交流電源又は直流電源の喪失により，ほう酸水注入系が機能喪失に至ることから，炉心損傷を防止することができない。

ただし，これらの事故シーケンスは，地震発生と同時に最大加速度を受けるものとして評価している地震P R Aから抽出されたものであるが，基準地震動 S_s よりも十分小さな加速度でスクラム信号「地震加速度大」が発信し，シュラウドサポート等の炉内構造物が損傷する前に制御棒の挿入が完了すると考えられる。このため，現実的にはこれらの事故シーケンスは発生し難いと考えられる（別紙2）。このため，現実的に想定するとこれらのカットセットによって炉心損傷に至る頻度は十分に小さいものと考えられる。

【高圧・低圧注水機能喪失（T Q U V）】

地震による残留熱除去系（R H R）又は残留熱除去系海水系（R H R S）の損傷に伴い低圧注水機能が喪失する事象が上位に抽出されている。なお，高圧注水機能である高圧炉心スプレイ系及び原子炉隔離時冷却系については，地震 P R A の評価上の仮定として，0.7 G を超えるような地震動では水源切替操作に失敗し，期待できないものとしている。この仮定は，他の事故シーケンスグループにおいても同様の扱いである。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては，低圧代替注水系（常設）による原子炉注水が有効である。

第 1-1 表 「高圧・低圧注水機能喪失」における主要なカットセット

| No. | 加速度区分 (G) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (/炉年) | 事故シナリオス グループに対する 寄与割合 (%) | 有効性を確認する主な 対策 | 対策の 有効性 |
|-----|--------------|---|---------------------|---------------------------------|-------------------|------------|
| 1 | 1.5～1.6 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR S ポン プ損傷 + 水源切替操作失敗 | 3.4E-08 | 7.2 | ・低圧代替注水系 (常 設) | ○ |
| 2 | 1.4～1.5 | | 3.4E-08 | 7.2 | | ○ |
| 3 | 1.3～1.4 | | 2.5E-08 | 5.4 | | ○ |
| 4 | 1.3～1.4 | ②地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR S 配管 損傷 + 水源切替操作失敗 | 2.4E-08 | 5.1 | | ○ |
| 4 | 1.0～1.1 | | 2.4E-08 | 5.1 | | ○ |
| 6 | 1.1～1.2 | | 2.3E-08 | 4.9 | | ○ |
| 7 | 1.2～1.3 | | 2.2E-08 | 4.7 | | ○ |
| 8 | 1.6～1.7 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR S ポン プ損傷 + 水源切替操作失敗 | 2.1E-08 | 4.5 | | ○ |
| 9 | 1.4～1.5 | ②地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR S 配管 損傷 + 水源切替操作失敗 | 1.8E-08 | 3.9 | | ○ |
| 10 | 0.9～1.0 | | 1.5E-08 | 3.2 | | ○ |
| 10 | 1.2～1.3 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR S ポン プ損傷 + 水源切替操作失敗 | 1.5E-08 | 3.2 | | ○ |
| 12 | 1.5～1.6 | ②地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR S 配管 損傷 + 水源切替操作失敗 | 1.3E-08 | 2.8 | | ○ |
| 13 | 1.7～1.8 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR S ポン プ損傷 + 水源切替操作失敗 | 1.2E-08 | 2.6 | | ○ |
| 14 | 1.3～1.4 | ③地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR 熱交換 器損傷 + 水源切替操作失敗 | 8.5E-09 | 1.8 | | ○ |
| 15 | 1.1～1.2 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR S ポン プ損傷 + 水源切替操作失敗 | 8.1E-09 | 1.7 | | ○ |
| 16 | 0.8～0.9 | ②地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR S 配管 損傷 + 水源切替操作失敗 | 8.0E-09 | 1.7 | | ○ |
| 17 | 1.1～1.2 | ③地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR 熱交換 器損傷 + 水源切替操作失敗 | 7.8E-09 | 1.7 | | ○ |
| 18 | 1.6～1.7 | ②地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR S 配管 損傷 + 水源切替操作失敗 | 7.7E-09 | 1.6 | | ○ |
| 19 | 1.4～1.5 | ③地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR 熱交換 器損傷 + 水源切替操作失敗 | 7.6E-09 | 1.6 | | ○ |
| 20 | 1.2～1.3 | | 6.9E-09 | 1.5 | | ○ |
| 21 | 1.5～1.6 | | 5.7E-09 | 1.2 | | ○ |
| 22 | 1.8～1.9 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR S ポン プ損傷 + 水源切替操作失敗 | 5.5E-09 | 1.2 | | ○ |
| 23 | 1.0～1.1 | ③地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失) + 地震による RHR 熱交換 器損傷 + 水源切替操作失敗 | 4.8E-09 | 1.0 | | ○ |

【高圧注水・減圧機能喪失（T Q U X）】

ヒューマンエラーにより減圧機能が喪失する事象が上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては，過渡時自動減圧機能による原子炉減圧が有効である。

第 1－2 表 「高圧注水・減圧機能喪失」における主要なカットセット

| No. | 加速度区分 (G) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (／炉年) | 事故シナリオスグ ループに対する 寄与割合 (%) | 有効性を確認する主な 対策 | 対策の有効性 |
|-----|--------------|--|---------------------|---------------------------------|------------------|--------|
| 1 | 0.7～0.8 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失)＋水源切替操作失敗＋手動 減圧操作失敗 | 2.7E-07 | 20.2 | ・過渡時自動減圧機能 | ○ |
| 2 | 0.8～0.9 | | 1.7E-07 | 12.7 | | ○ |
| 3 | 0.7～0.8 | ②水源切替操作失敗＋手動減圧操作失敗 | 1.6E-07 | 12.4 | | ○ |
| 4 | 0.7～0.8 | ③地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失)＋水源切替操作失敗＋注水 不能認知失敗 | 1.0E-07 | 8.0 | | ○ |
| 4 | 0.9～1.0 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失)＋水源切替操作失敗＋手動 減圧操作失敗 | 1.0E-07 | 7.6 | | ○ |
| 6 | 0.8～0.9 | ③地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失)＋水源切替操作失敗＋注水 不能認知失敗 | 6.5E-08 | 5.0 | | ○ |
| 7 | 0.7～0.8 | ②水源切替操作失敗＋注水不能認知失敗 | 6.4E-08 | 4.9 | | ○ |
| 8 | 0.8～0.9 | ④水源切替操作失敗＋手動減圧操作失敗 | 6.3E-08 | 4.8 | | ○ |
| 9 | 1.0～1.1 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失)＋水源切替操作失敗＋手動 減圧操作失敗 | 5.8E-08 | 4.5 | | ○ |
| 10 | 0.9～1.0 | ③地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失)＋水源切替操作失敗＋注水 不能認知失敗 | 3.9E-08 | 3.0 | | ○ |
| 11 | 1.1～1.2 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失)＋水源切替操作失敗＋手動 減圧操作失敗 | 3.3E-08 | 2.5 | | ○ |
| 12 | 0.8～0.9 | ②水源切替操作失敗＋注水不能認知失敗 | 2.5E-08 | 1.9 | | ○ |
| 13 | 0.9～1.0 | ④水源切替操作失敗＋手動減圧操作失敗 | 2.4E-08 | 1.8 | | ○ |
| 14 | 1.0～1.1 | ③地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失)＋水源切替操作失敗＋注水 不能認知失敗 | 2.3E-08 | 1.8 | | ○ |
| 15 | 1.2～1.3 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷 (外部電源喪失)＋水源切替操作失敗＋手動 減圧操作失敗 | 1.7E-08 | 1.3 | | ○ |

【全交流動力電源喪失（長期ＴＢ）】

非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電機の故障が重畳して全交流動力電源喪失に至るカットセット及び軽油貯蔵タンク閉塞／破損により全交流動力電源喪失に至るカットセットが上位に抽出されている。これらのカットセットが含まれる事故シーケンスは、全交流動力電源喪失後、蓄電池枯渇により原子炉隔離時冷却系による炉心の冷却が十分に行われず炉心損傷に至る事象となる。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては、早期の電源復旧に期待しない場合、原子炉隔離時冷却系の運転が継続している間に電源が不要となる代替注水手段（低圧代替注水系（可搬型））を確保することが有効となる。

第 1－3 表 「全交流動力電源喪失（長期ＴＢ）」における
主要なカットセット

| No. | 加速度区分 (G) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (／炉年) | 事故シーケンス グループに対する 寄与割合 (%) | 有効性を確認する主な 対策 | 対策の 有効性 |
|-----|--------------|--|---------------------|---------------------------------|------------------|------------|
| 1 | 0.4～0.5 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷(外部電源喪失)＋軽油貯蔵タンク閉塞 | 1.1E-09 | 19.1 | ・低圧代替注水系（可搬型） | ○ |
| 2 | 0.3～0.4 | | 9.7E-10 | 17.1 | | ○ |
| 3 | 0.5～0.6 | | 9.6E-10 | 16.9 | | ○ |
| 4 | 0.6～0.7 | | 6.9E-10 | 12.2 | | ○ |
| 5 | 0.2～0.3 | | 5.7E-10 | 10.0 | | ○ |
| 6 | 0.16～0.2 | | 1.0E-10 | 1.8 | | ○ |
| 7 | 0.4～0.5 | ②地震によるセラミックインシュレータ損傷(外部電源喪失)＋軽油貯蔵タンク破損 | 7.2E-11 | 1.3 | | ○ |
| 8 | 0.3～0.4 | | 6.5E-11 | 1.1 | | ○ |
| 9 | 0.5～0.6 | | 6.4E-11 | 1.1 | | ○ |

【全交流動力電源喪失（T B D， T B U）】

T B Dでは，地震によるケーブルトレイの損傷により全交流動力電源喪失に至るカットセットが上位に抽出されている。

また，T B Uでは，地震による交流電源設備（D G S Wポンプ，非常用パワーセンタ）の損傷により全交流動力電源喪失に至るカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては，早期の電源復旧に期待しない場合，高圧代替注水系を起動し，運転が継続している間に電源が不要となる代替注水手段（低圧代替注水系（可搬型））を確保することが有効となる（T B Dのカットセットに含まれる地震によるケーブルトレイ損傷についても，非常用直流母線，非常用交流母線とは独立した緊急用母線を通じて，常設代替直流電源設備及び常設代替交流電源設備からの給電による対応が有効である）。

第 1－4 表 「全交流動力電源喪失（T B D）」における

主要なカットセット

| No. | 加速度区分 (G) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (／炉年) | 事故シナリオス グループに対する 寄与割合 (%) | 有効性を確認する主な 対策 | 対策の 有効性 |
|-----|--------------|-----------------|---------------------|---------------------------------|------------------|------------|
| 1 | 1.1～1.2 | ①地震によるケーブルトレイ損傷 | 3.0E-07 | 14.0 | ・低圧代替注水系(可搬型) | ○ |
| 2 | 1.0～1.1 | | 2.9E-07 | 13.6 | | ○ |
| 3 | 1.2～1.3 | | 2.5E-07 | 11.6 | | ○ |
| 3 | 0.9～1.0 | | 2.5E-07 | 11.6 | | ○ |
| 5 | 1.3～1.4 | | 2.3E-07 | 10.5 | | ○ |
| 6 | 0.8～0.9 | | 2.1E-07 | 9.9 | | ○ |
| 7 | 1.4～1.5 | | 1.6E-07 | 7.6 | | ○ |
| 8 | 1.5～1.6 | | 1.2E-07 | 5.7 | | ○ |
| 9 | 0.7～0.8 | | 9.5E-08 | 4.4 | | ○ |
| 10 | 1.6～1.7 | | 7.3E-08 | 3.4 | | ○ |
| 11 | 0.6～0.7 | | 4.9E-08 | 2.3 | | ○ |
| 12 | 1.7～1.8 | | 3.8E-08 | 1.8 | | ○ |

第 1－5 表 「全交流動力電源喪失（T B U）」における
主要なカットセット

| No. | 加速度区分 (G) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (／炉年) | 事故シナリオス タックに対する 寄与割合 (%) | 有効性を確認する主な 対策 | 対策の 有効性 |
|-----|--------------|-------------------|---------------------|--------------------------------|------------------|------------|
| 1 | 1.5～1.6 | ①地震によるDG SWポンプ損傷 | 3.7E-08 | 8.3 | ・低圧代替注水系(可搬型) | ○ |
| 2 | 1.4～1.5 | | 3.6E-08 | 8.0 | | ○ |
| 3 | 1.3～1.4 | ②地震による非常用パワーセンタ損傷 | 3.2E-08 | 7.2 | | ○ |
| 4 | 1.2～1.3 | | 3.1E-08 | 7.0 | | ○ |
| 4 | 1.3～1.4 | ①地震によるDG SWポンプ損傷 | 3.1E-08 | 6.9 | | ○ |
| 6 | 1.0～1.1 | ②地震による非常用パワーセンタ損傷 | 3.0E-08 | 6.6 | | ○ |
| 7 | 1.4～1.5 | | 2.9E-08 | 6.4 | | ○ |
| 7 | 1.1～1.2 | | 2.9E-08 | 6.4 | | ○ |
| 9 | 1.6～1.7 | ①地震によるDG SWポンプ損傷 | 2.8E-08 | 6.4 | | ○ |
| 10 | 1.5～1.6 | ②地震による非常用パワーセンタ損傷 | 2.1E-08 | 4.7 | | ○ |
| 11 | 1.7～1.8 | ①地震によるDG SWポンプ損傷 | 1.8E-08 | 4.0 | | ○ |
| 11 | 1.2～1.3 | | 1.8E-08 | 3.9 | | ○ |
| 13 | 0.9～1.0 | ②地震による非常用パワーセンタ損傷 | 1.4E-08 | 3.2 | | ○ |
| 13 | 1.6～1.7 | | 1.4E-08 | 3.1 | | ○ |
| 15 | 0.8～0.9 | | 1.2E-08 | 2.7 | | ○ |
| 16 | 1.8～1.9 | ①地震によるDG SWポンプ損傷 | 1.1E-08 | 2.4 | | ○ |
| 17 | 1.1～1.2 | | 9.0E-09 | 2.0 | | ○ |
| 18 | 1.7～1.8 | ②地震による非常用パワーセンタ損傷 | 7.8E-09 | 1.8 | | ○ |
| 19 | 1.9～2.0 | ①地震によるDG SWポンプ損傷 | 5.4E-09 | 1.2 | | ○ |

【全交流動力電源喪失（T B P）】

T B Pでは、地震による交流電源設備（D G S Wポンプ，非常用パワーセンタ）の損傷により全交流動力電源喪失に至るカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットが含まれる事故シーケンスは，全交流動力電源喪失後，駆動蒸気の喪失により原子炉隔離時冷却系による炉心の冷却が十分に行われず炉心損傷に至る事象となる。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては，早期の電源復旧に期待しない場合，原子炉隔離時冷却系の運転が継続している間に電源が不要となる代替注水手段（低圧代替注水系（可搬型））を確保することが有効となる。

第 1－6 表 「全交流動力電源喪失（T B P）」における

主要なカットセット

| No. | 加速度区分 (G) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (／年) | 事故シナリオス タックに対する 寄与割合 (%) | 有効性を確認する主な 対策 | 対策の有効性 |
|-----|--------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------------|------------------|--------|
| 1 | 1.5～1.6 | ①逃がし安全弁再閉鎖失敗＋地震による D G S Wポンプ損傷 | 1.9E-10 | 8.2 | ・低圧代替注水系(可搬型) | ○ |
| 1 | 1.4～1.5 | | 1.9E-10 | 7.9 | | ○ |
| 3 | 1.3～1.4 | ②逃がし安全弁再閉鎖失敗＋地震による非常用 パワーセンタ損傷 | 1.7E-10 | 7.1 | | ○ |
| 4 | 1.2～1.3 | | 1.6E-10 | 7.0 | | ○ |
| 4 | 1.3～1.4 | ①逃がし安全弁再閉鎖失敗＋地震による D G S Wポンプ損傷 | 1.6E-10 | 6.8 | | ○ |
| 6 | 1.0～1.1 | ②逃がし安全弁再閉鎖失敗＋地震による非常用 パワーセンタ損傷 | 1.5E-10 | 6.6 | | ○ |
| 6 | 1.4～1.5 | | 1.5E-10 | 6.4 | | ○ |
| 6 | 1.1～1.2 | | 1.5E-10 | 6.4 | | ○ |
| 6 | 1.6～1.7 | ①逃がし安全弁再閉鎖失敗＋地震による D G S Wポンプ損傷 | 1.5E-10 | 6.3 | | ○ |
| 10 | 1.5～1.6 | ②逃がし安全弁再閉鎖失敗＋地震による非常用 パワーセンタ損傷 | 1.1E-10 | 4.7 | | ○ |
| 11 | 1.7～1.8 | ①逃がし安全弁再閉鎖失敗＋地震による D G S Wポンプ損傷 | 9.4E-11 | 4.0 | | ○ |
| 12 | 1.2～1.3 | | 9.2E-11 | 3.9 | | ○ |
| 13 | 0.9～1.0 | ②逃がし安全弁再閉鎖失敗＋地震による非常用 パワーセンタ損傷 | 7.4E-11 | 3.1 | | ○ |
| 14 | 1.6～1.7 | | 7.2E-11 | 3.0 | | ○ |
| 15 | 0.8～0.9 | | 6.3E-11 | 2.7 | | ○ |
| 16 | 1.8～1.9 | ①逃がし安全弁再閉鎖失敗＋地震による D G S Wポンプ損傷 | 5.6E-11 | 2.4 | | ○ |
| 17 | 1.1～1.2 | | 4.7E-11 | 2.0 | | ○ |
| 18 | 1.7～1.8 | ②逃がし安全弁再閉鎖失敗＋地震による非常用 パワーセンタ損傷 | 4.1E-11 | 1.7 | | ○ |
| 19 | 1.9～2.0 | ①逃がし安全弁再閉鎖失敗＋地震による D G S Wポンプ損傷 | 2.8E-11 | 1.2 | | ○ |

【崩壊熱除去機能喪失（TW，TBW）】

TWについては、低加速度領域（～0.5G）における主要なカットセットとして、ヒューマンエラー及び残留熱除去系海水系のランダム故障（弁、ストレーナ閉塞等）により崩壊熱除去機能が喪失するカットセットが上位に抽出されている。また、高加速度領域（1.0G～）における主要なカットセットとして、地震による残留熱除去系のゲート弁の損傷により崩壊熱除去機能が喪失するカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策として、残留熱除去系海水系が機能喪失している場合（取水機能喪失時）は、緊急用海水系及び残留熱除去系を用いた除熱や、格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベントによる除熱が有効である。また、残留熱除去系が機能喪失している場合（RHR故障時）は、格納容器圧力逃がし装置又は耐圧強化ベントによる除熱が有効である。

TBWについては、いずれの事故シーケンスにおいても、外部電源喪失及び非常用ディーゼル発電機の故障が重畳する等、交流電源の喪失に伴い崩壊熱除去機能喪失に至るカットセットも抽出されている。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては、常設代替交流電源設備により交流動力電源を回復することが有効である。なお、残留熱除去系海水系又は残留熱除去系の故障が重畳した場合は、TWと同様の対策が有効である。

第 1－7 表 「崩壊熱除去機能喪失（TW）」における主要なカットセット

| No. | 加速度区分 (G) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (／炉年) | 事故シナシスグ ループに対する 寄与割合 (%) | 有効性を確認する主な 対策 | 対策の 有効性 |
|-----|--------------|---------------------------|---------------------|--------------------------------|---|------------|
| 1 | 0.16～0.2 | ①RHR系操作失敗 | 1.7E-06 | 30.6 | [RHR故障時] ・格納容器圧力逃がし 装置又は耐圧強化ベ ント | ○ |
| 2 | 0.2～0.3 | | 1.1E-06 | 19.1 | | ○ |
| 3 | 0.3～0.4 | | 3.0E-07 | 5.5 | | ○ |
| 4 | 0.4～0.5 | | 1.1E-07 | 2.1 | | ○ |
| 5 | 0.16～0.2 | ②RHR S－A／B海水ストレーナ閉塞共通原因故障 | 1.0E-07 | 1.9 | [取水機能喪失時] ・緊急用海水系 | ○ |
| 6 | 0.2～0.3 | | 6.5E-08 | 1.2 | | ○ |

第 1－8 表 「崩壊熱除去機能喪失（T B W）」における主要なカットセット

| No. | 加速度区分 (G) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (／炉年) | 事故シナシスグ ループに対する 寄与割合 (%) | 有効性を確認する主な 対策 | 対策の 有効性 |
|-----|--------------|---|---------------------|--------------------------------|------------------|------------|
| 1 | 0.4～0.5 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷(外部電源喪失) + D G－2 C／2 D 運転継続失敗 共通原因故障 | 4.5E-09 | 7.0 | ・ 常設代替交流電源設 備 | ○ |
| 2 | 0.3～0.4 | | 4.0E-09 | 6.2 | | ○ |
| 2 | 0.5～0.6 | | 4.0E-09 | 6.1 | | ○ |
| 4 | 0.4～0.5 | ②地震によるセラミックインシュレータ損傷(外部電源喪失) + D G－2 C／2 D 起動失敗共通 原因故障 | 3.0E-09 | 4.7 | | ○ |
| 5 | 0.6～0.7 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷(外部電源喪失) + D G－2 C／2 D 運転継続失敗 共通原因故障 | 2.9E-09 | 4.4 | | ○ |
| 6 | 0.3～0.4 | ②地震によるセラミックインシュレータ損傷(外部電源喪失) + D G－2 C／2 D 起動失敗共通 原因故障 | 2.7E-09 | 4.2 | | ○ |
| 6 | 0.5～0.6 | | 2.7E-09 | 4.2 | | ○ |
| 8 | 0.2～0.3 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷(外部電源喪失) + 非常用ディーゼル発電機－2 C ／2 D 運転継続失敗共通原因故障 | 2.3E-09 | 3.6 | | ○ |
| 9 | 0.6～0.7 | ②地震によるセラミックインシュレータ損傷(外部電源喪失) + 非常用ディーゼル発電機－2 C ／2 D 起動失敗共通原因故障 | 1.9E-09 | 3.0 | | ○ |
| 10 | 0.4～0.5 | ③地震によるセラミックインシュレータ損傷(外部電源喪失) + D G S W－2 A／2 B ストレー ナ閉塞共通原因故障 | 1.6E-09 | 2.5 | | ○ |
| 10 | 0.2～0.3 | ②地震によるセラミックインシュレータ損傷(外部電源喪失) + 非常用ディーゼル発電機－2 C ／2 D 起動失敗共通原因故障 | 1.6E-09 | 2.5 | | ○ |
| 12 | 0.3～0.4 | ③地震によるセラミックインシュレータ損傷(外部電源喪失) + D G S W－2 A／2 B ストレー ナ閉塞共通原因故障 | 1.4E-09 | 2.2 | | ○ |
| 12 | 0.5～0.6 | | 1.4E-09 | 2.2 | | ○ |
| 14 | 0.6～0.7 | ④地震によるセラミックインシュレータ損傷(外部電源喪失) + 非常用パワーセンタ損傷 | 1.1E-09 | 1.6 | | ○ |
| 15 | 0.6～0.7 | ③地震によるセラミックインシュレータ損傷(外部電源喪失) + D G S W－2 A／2 B ストレー ナ閉塞共通原因故障 | 1.0E-09 | 1.6 | | ○ |
| 16 | 0.2～0.3 | | 8.4E-10 | 1.3 | | ○ |

【原子炉停止機能喪失（TC）】

地震によるスクラム系（シュラウドサポート）の損傷を要因とするカットセットが上位に抽出されている。

これらのカットセットに対する炉心損傷防止対策としては、代替原子炉再循環ポンプトリップ回路及びほう酸水注入系による対応が有効である。ただし、地震によりケーブルトレイ又はDGSWが損傷するカットセットを含む場合は、交流電源の喪失又は直流電源の喪失により代替の原子炉停止手段であるほう酸水注入系が機能喪失すること、及び高圧炉心スプレイ系の機能喪失により原子炉水位の確保が困難であることから、炉心損傷を防ぐことができない。

第 1－9 表 「原子炉停止機能喪失」における主要なカットセット

| No. | 加速度区分 (G) | 主要なカットセット | 炉心 損傷頻度 (／炉年) | 事故シーケンスグ ループに対する 寄与割合 (%) | 有効性を確認する主な 対策 | 対策の 有効性 |
|-----|--------------|---|---------------------|---------------------------------|--|------------|
| 1 | 1.4～1.5 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷(外 部電源喪失)＋地震によるシュラウドサポート 損傷 | 1.3E-08 | 11.0 | ・ATWS緩和設備(代 替再循環系ポンプト リップ機能) ・ほう酸水注入系 | ○ |
| 2 | 1.3～1.4 | | 1.2E-08 | 10.3 | | ○ |
| 3 | 1.5～1.6 | | 1.1E-08 | 9.3 | | ○ |
| 4 | 1.2～1.3 | | 8.5E-09 | 7.1 | | ○ |
| 5 | 1.6～1.7 | | 8.0E-09 | 6.7 | | ○ |
| 6 | 1.1～1.2 | | 5.7E-09 | 4.8 | | ○ |
| 7 | 1.7～1.8 | | 4.4E-09 | 3.7 | | ○ |
| 8 | 1.6～1.7 | ②地震によるケーブルトレイ損傷＋地震による シュラウドサポート損傷 | 4.0E-09 | 3.3 | — | — |
| 9 | 1.5～1.6 | | 3.9E-09 | 3.3 | | — |
| 10 | 1.7～1.8 | | 3.4E-09 | 2.8 | | — |
| 11 | 1.0～1.1 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷(外 部電源喪失)＋地震によるシュラウドサポート 損傷 | 3.3E-09 | 2.8 | ・ATWS緩和設備(代 替再循環系ポンプト リップ機能) ・ほう酸水注入系 | ○ |
| 12 | 1.4～1.5 | ②地震によるケーブルトレイ損傷＋地震による シュラウドサポート損傷 | 2.7E-09 | 2.3 | — | — |
| 12 | 1.8～1.9 | | 2.7E-09 | 2.2 | | — |
| 14 | 1.8～1.9 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷(外 部電源喪失)＋地震によるシュラウドサポート 損傷 | 2.1E-09 | 1.8 | ・ATWS緩和設備(代 替再循環系ポンプト リップ機能) ・ほう酸水注入系 | ○ |
| 14 | 1.9～2.0 | ②地震によるケーブルトレイ損傷＋地震による シュラウドサポート損傷 | 2.1E-09 | 1.8 | — | — |
| 16 | 2.0～3.0 | | 2.0E-09 | 1.7 | | — |
| 17 | 1.3～1.4 | | 1.9E-09 | 1.6 | | — |
| 18 | 1.7～1.8 | ③地震によるDG SWポンプ損傷＋地震による シュラウドサポート損傷 | 1.6E-09 | 1.3 | — | — |
| 18 | 1.6～1.7 | | 1.6E-09 | 1.3 | | — |
| 20 | 1.8～1.9 | | 1.4E-09 | 1.2 | | — |
| 21 | 0.9～1.0 | ①地震によるセラミックインシュレータ損傷(外 部電源喪失)＋地震によるシュラウドサポート 損傷 | 1.2E-09 | 1.0 | ・ATWS緩和設備(代 替再循環系ポン プトリップ機能) ・ほう酸水注入系 | ○ |

2. 津波レベル 1 P R A

(1) 選定条件

事故シーケンスの種類によっては展開されるカットセットが無数に存在するため，ここでは，各事象シーケンスについて以下の基準を基に主要なカットセットを抽出した。

- ・ 事故シーケンスグループのうち，最も炉心損傷頻度の大きな事故シーケンスについて，上位 3 位まで

各事故シーケンスにおける主要なカットセットの抽出結果及び主要なカットセットに対して，整備する炉心損傷防止対策で対応可能であるかを確認した。確認結果を第 2-1 表に示す。

(2) 主要なカットセットの確認結果

津波 P R A より抽出されるシーケンスについては，津波に起因する事故シーケンスへの対応に必要な安全機能を有する常設重大事故等対処設備及び可搬型重大事故等対処設備に対して津波防護対策を施すことにより，第 2-1 表に示したとおり主要なカットセットレベルまで展開しても，整備する炉心損傷防止対策により同様に炉心損傷を防止することが可能である。

表 2-1 津波 P R A における事故シーケンスごとの主要なカットセット

| 事故シーケンス | | 津波区分 ^{※1} | 主要なカットセット | 炉心損傷 頻度 (／炉年) | 事故シーケンスグ ループに対する寄 与割合（％） | 有効性を確認する主な対策 ^{※2} | 対策の 有効性 |
|-------------------------|--|---------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------|------------|
| 津波による 最終ヒートシ ンク喪失 | 最終ヒートシンク喪失 （ＲＣＩＣ成功） | T.P. + 20m ～T.P. + 22m | ①最終ヒートシンク喪失 | 3. 2E-06 | 80. 1 | ・ 津波防護対策 ・ 緊急用海水系 | ○ |
| | 最終ヒートシンク喪失 + 高圧炉心冷却失敗 | | ①最終ヒートシンク喪失失+ＲＣＩＣ ポンプ起動失敗 | 4. 7E-09 | 0. 1 | | ○ |
| | | | ②最終ヒートシンク喪失+ＲＣＩＣメ ンテナンス | 3. 0E-09 | < 0. 1% | | ○ |
| | | | ③最終ヒートシンク喪失+ＲＣＩＣ流 量制御器故障 | 5. 4E-10 | < 0. 1% | | ○ |
| | 最終ヒートシンク喪失 + 逃がし安全弁再閉鎖失敗 | | ①最終ヒートシンク喪失+ 逃がし安全 弁再閉鎖失敗 | 1. 7E-08 | 0. 4 | | ○ |
| | 原子炉建屋内浸水による複数の 緩和機能喪失（最終ヒート シンク喪失） | T.P. + 22m ～T.P. + 24m | ①原子炉建屋内浸水による複数の緩和 機能喪失 | 7. 6E-07 | 19. 2 | ○ | |
| | 防潮堤損傷 | T.P. + 24m～ | ①防潮堤損傷 | 3. 3E-07 | 100. 0 | — | — |

※1 防潮堤前面位置における津波高さ

※2 有効性を確認する主な対策等に対して必要な浸水防護対策を施すことにより炉心損傷防止が可能

格納容器破損モード「溶融炉心・コンクリート相互作用」

の想定及びその対策について

1. サプレッション・プールへの溶融物落下後に発生する格納容器破損モードに対する対策について

重大事故等対処設備を考慮しないレベル 1. 5 P R A に基づく格納容器破損モードの抽出では，図1，図2に示すとおりペデスタルにおける溶融炉心・コンクリート相互作用の継続により溶融物がサプレッション・プールへ落下した後に発生する M a r k - II 型格納容器特有の負荷，物理現象についても分析し，格納容器破損モードを抽出している。

一方，重大事故等における格納容器破損防止対策の有効性を確認する観点では，溶融物がサプレッション・プール中に落下することは，溶融物冷却の観点ではサプレッション・プールは大量の水を保有しているため有効であるが，以下に示すように悪影響も考えられるため，原子炉圧力容器が破損するような状況では，ペデスタル床上で溶融物を冷却保持することが有効と考える。

- ・ サプレッション・プール水を取り込む系統（残留熱除去系，代替循環冷却系 等）が機能喪失する恐れがある。
- ・ ベントを実施する場合，サプレッション・プールにおけるスクラビング効果に期待できない。
- ・ サプレッション・プールにおける溶融物によるライナーアタックにより，格納容器の閉じ込め機能の健全性が脅かされる恐れがある。

2. 格納容器破損モード「溶融炉心・コンクリート相互作用」について

解釈に基づき必ず想定する破損モード「溶融炉心・コンクリート相互作用」は、溶融炉心・コンクリート相互作用により格納容器の構造部材の支持機能が喪失する破損モードとして想定されているものと考ええる。

ただし、サブプレッション・プールへの溶融物落下後に発生する Mark-II 型格納容器特有の破損モードについても、以下に示す観点を考慮して、格納容器破損モード「溶融炉心・コンクリート相互作用」として整理し、ペDESTAL床における溶融炉心・コンクリート相互作用に対する防護対策の有効性を確認することが適切であると考ええる。

- ・ ペDESTAL床における溶融炉心・コンクリート相互作用に引き続いて発生する破損モードであること。
- ・ サプレッション・プールへの溶融物落下後の格納容器破損モードの発生防止のためには、ペDESTAL床における溶融炉心・コンクリート相互作用を防止することが有効であること。

3. まとめ

レベル 1.5 PRA より抽出した溶融物がサブプレッション・プールへ落下した後に発生する格納容器破損モードについては、ペDESTAL（ドライウェル部）床における溶融炉心・コンクリート相互作用に引き続いて発生する格納容器破損モードであること、及び当該格納容器破損モードの防止のためにはペDESTAL（ドライウェル部）床における溶融炉心・コンクリート相互作用を防止することが有効であることを考慮し、解釈に基づき必ず想定する格納容器破損モード「溶融炉心・コンクリート相互作用」として整理する。

また，格納容器破損モード「溶融炉心・コンクリート相互作用」の有効性評価では，ペDESTAL床（ドライウエル部）における溶融炉心・コンクリート相互作用に対する格納容器破損防止対策の有効性を確認し，原子炉圧力容器が破損するような状況においても，溶融物がペDESTAL（ドライウエル部）内に保持可能であることを確認する。

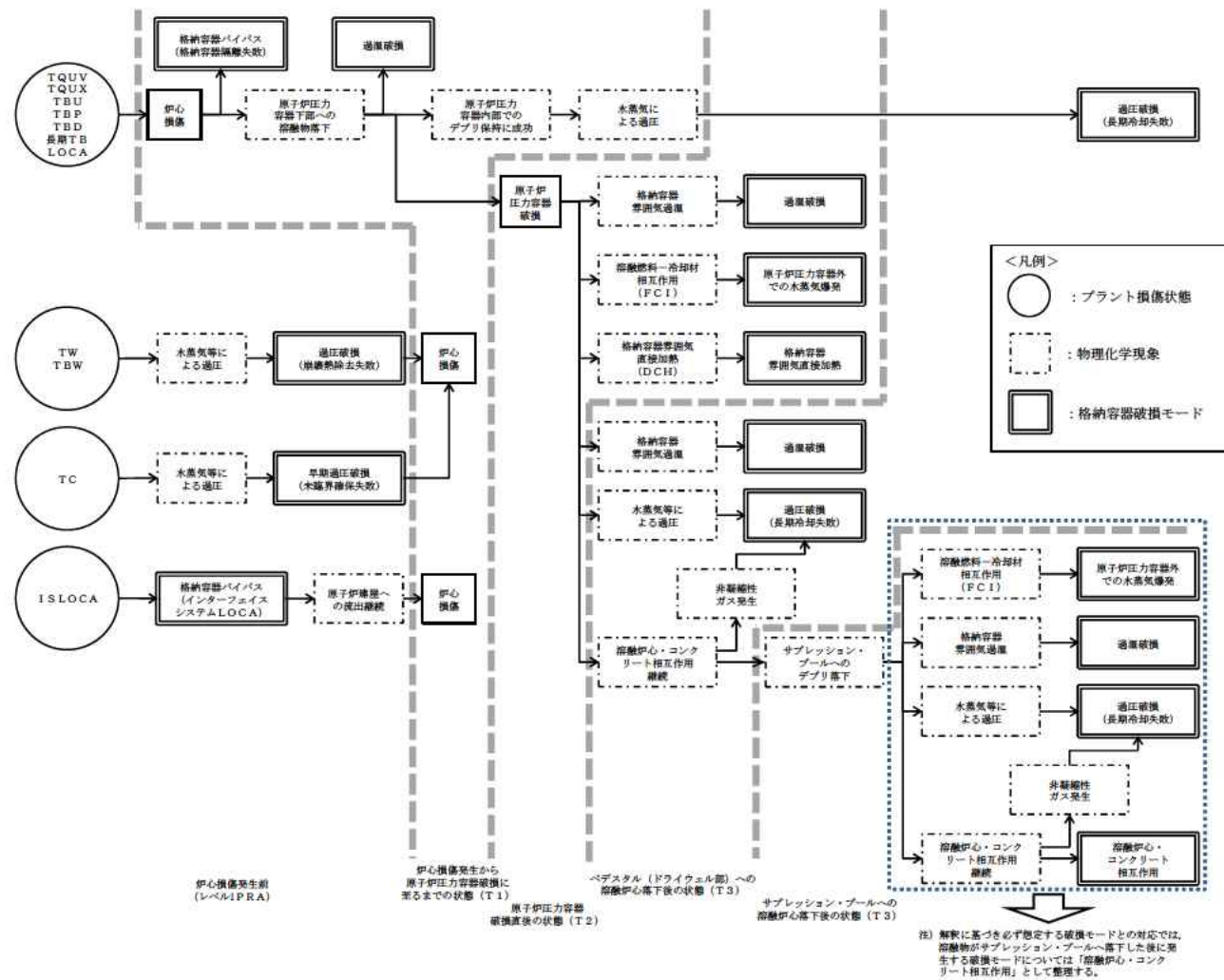


図1 PRAより抽出される格納容器破損モード

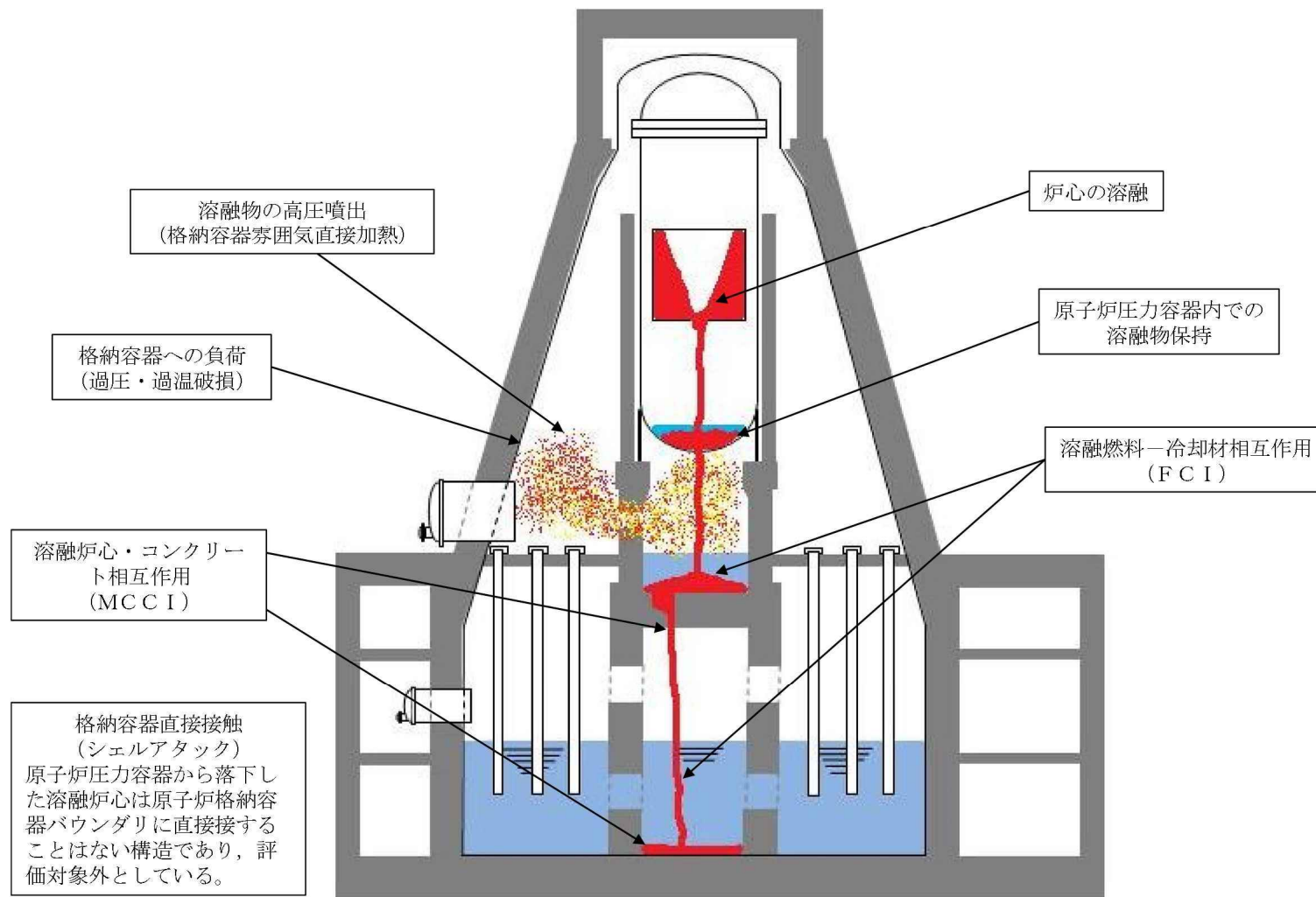


図2 Mark-II 格納容器の形状及び溶融デブリの移動経路の概略

格納容器直接接触（シェルアタック）を格納容器破損モードの 評価対象から除外する理由について

必ず想定する格納容器破損モードのうち、格納容器直接接触（シェルアタック）については、「実用発電用原子炉に係る炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価に関する審査ガイド」に次のように記載されている。

3.2.3 格納容器破損モードの主要解析条件等

5) 格納容器直接接触（シェルアタック）

a. 現象の概要

原子炉圧力容器内の溶融炉心が原子炉格納容器内の床上へ流れ出す時に、溶融炉心が床面で拡がり原子炉格納容器の壁に接触することによって、原子炉格納容器が破損する場合がある。

1. 格納容器直接接触（シェルアタック）

シェルアタックについては、NUREG/CR-6025^[1]において、BWR Mark-I型格納容器に対する検討が実施されている。BWR Mark-I型格納容器における格納容器直接接触（シェルアタック）のメカニズムは次のとおり。

炉心損傷後、原子炉圧力容器底部から流出した溶融炉心はペデスタル部に切れ込み（図1）があるため、溶融炉心がペデスタル床面に広がった場合、溶融炉心が切れ込みからペデスタル部の外側に流出して格納容器の壁面（金属製ライナー部分）に接触する可能性（図2）がある。

2. 格納容器直接接触（シェルアタック）の除外理由

シェルアタックは，BWR Mark-I 型格納容器に特有の事象であり，BWR Mark-II 型格納容器では，格納容器の構造上，ペデスタル（ドライウェル部）床に落下したデブリが直接格納容器バウンダリと接触することはない（図 3）。このため，溶融炉心が床面で拡がり格納容器の壁に接触する格納容器直接接触（シェルアタック）の発生の可能性はない。

よって，格納容器直接接触（シェルアタック）は必ず想定する格納容器破損モードであるが，BWR Mark-II 型格納容器の構造上，発生の可能性がないため，東海第二発電所において想定する格納容器破損モードから除外した。

3. BWR Mark-II 型格納容器におけるサブプレッション・プール

底部のライナープレート破損の扱いについて

(1) レベル 1. 5 PRA におけるライナープレート破損の考え方

レベル 1. 5 PRA においては，環境へ放射性物質が大規模放出される可能性のある格納容器破損モードとして，雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損），溶融炉心・コンクリート相互作用（MCCI）等を考慮している。一方，格納容器直接接触（シェルアタック）については，BWR Mark-I 型格納容器特有の破損モードであり，BWR Mark-II 型格納容器においては，サブプレッション・プール底部のライナープレートが破損したとしても，ライナープレートーコンクリート間の間隙から外部に放出されるような構造とはなっておらず，また，ベースマットのコンクリート厚さは十分な厚さを有している

ことから、工学的判断により放射性物質の大規模放出に至らないものとする。このため、ライナープレートの破損を格納容器破損モードとして考慮していない。

(2) 有効性評価におけるライナープレート破損の考え方

有効性評価においては、PRAより抽出された事故シーケンスについては、重大事故等対処設備に期待することにより、全て原子炉圧力容器内で事象収束が可能であり、溶融炉心は原子炉圧力容器内で保持されることを確認している。また、仮に重大事故等対処設備の一部の機能に期待せず、溶融炉心が原子炉圧力容器外に放出されることを想定した場合においても、ペデスタル（ドライウェル部）における溶融炉心・コンクリート相互作用を防止することで、ライナープレートに接触することなくペデスタル（ドライウェル部）内で溶融炉心が適切に冷却されることを確認している。

(3) まとめ

BWR Mark-II型格納容器である東海第二発電所においては、ライナープレート・コンクリート間の間隙から外部に放出されるような構造とはなっておらず、また、コンクリート侵食に対してベースマットは十分な厚さを有していることから、工学的判断により大規模放出に至らないものとする。このため、ライナープレートの破損を格納容器破損モードとして考慮していない。

一方で、有効性評価においては、PRAより抽出された事故シーケンスについては、重大事故等対処設備に期待することにより、全て原子炉圧力容器内で事象収束が可能であり、溶融炉心は原子

炉圧力容器内で保持されることを確認している。また、仮に重大事故等対処設備の一部の機能に期待せず、溶融炉心が原子炉圧力容器外に放出されることを想定した場合においても、ペデスタル（ドライウエル部）における溶融炉心・コンクリート相互作用を防止することで、ライナープレートに接触することなくペデスタル（ドライウエル部）内で溶融炉心が適切に冷却されることを確認している。

参考文献

- [1] U.S. NRC, “The Probability of Mark-I Containment Failure by Melt-Attack of the Liner” NUREG/CR-6025, November 1993

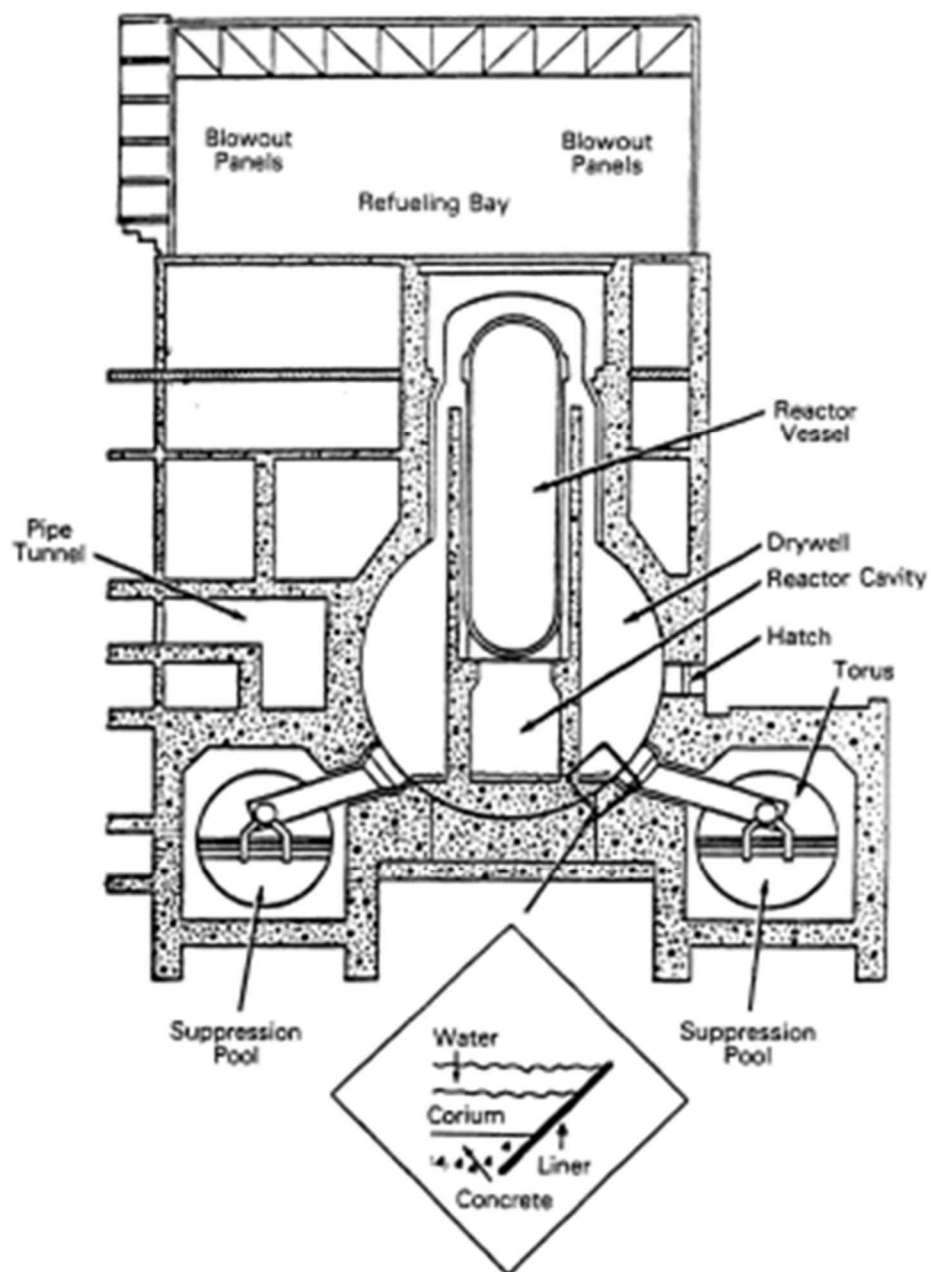


図 1 BWR Mark-I 型格納容器における格納容器直接接触^{〔1〕}

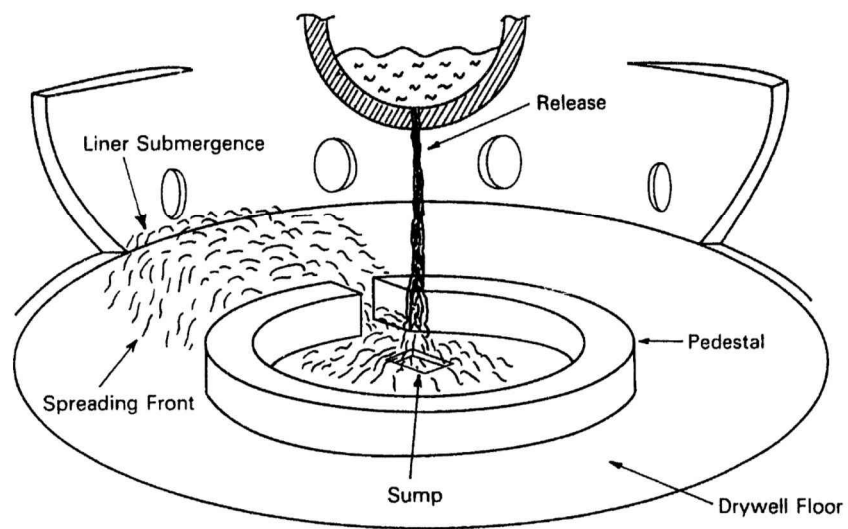


図 2 B W R M a r k - I 型格納容器における
格納容器直接接触の物理現象図^{〔1〕}

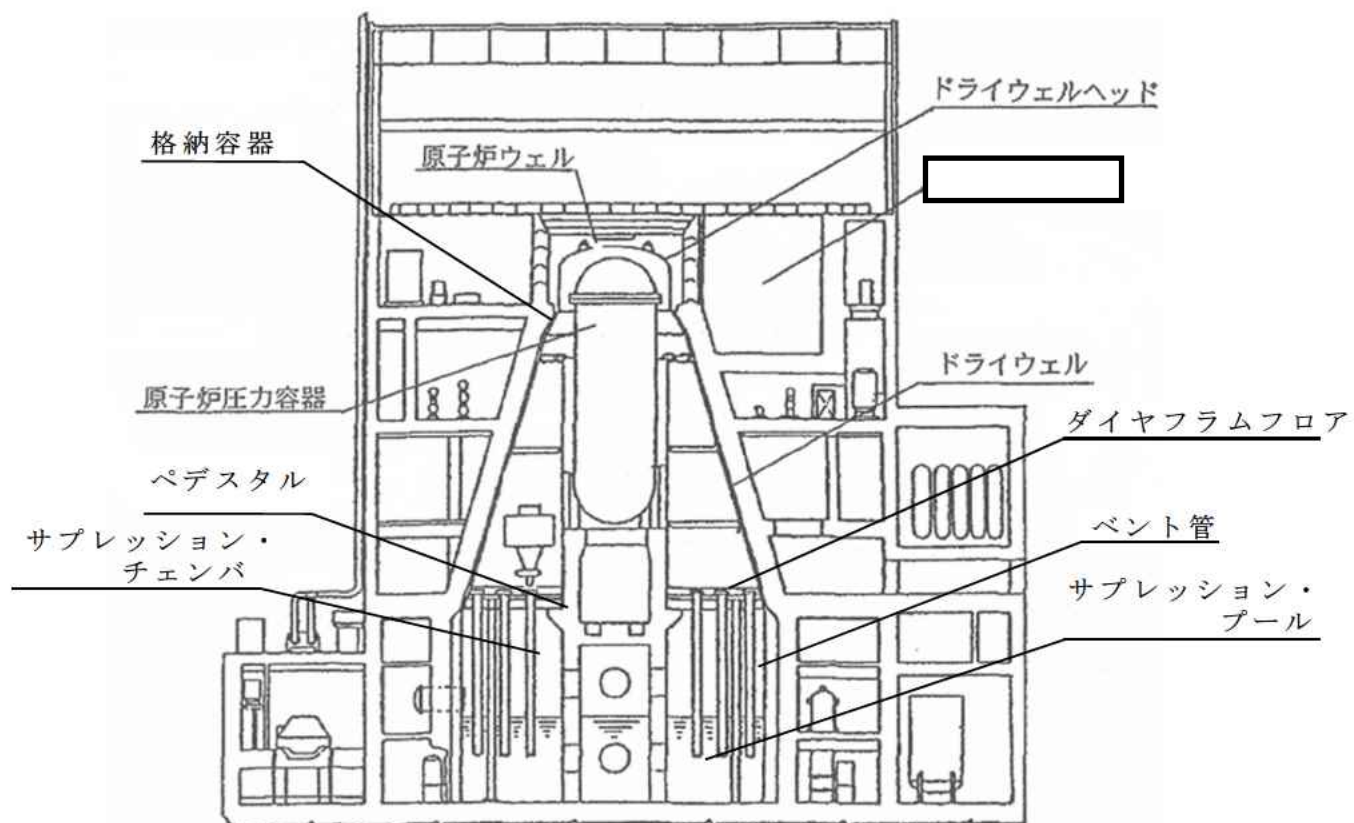


図 3 東海第二発電所（M a r k - II 型）の格納容器概略図

格納容器隔離失敗の分岐確率の根拠と
格納容器隔離失敗事象への対応について

1. 格納容器隔離失敗の分岐確率の根拠

(1) 格納容器隔離失敗の分岐確率の根拠

内部事象レベル 1. 5 P R Aにおける格納容器隔離失敗の分岐確率は、格納容器隔離失敗による大規模な漏えいを想定しており、N U R E G / C R - 4 2 2 0 ⁽¹⁾を基に 5.0E-3/d として設定している。N U R E G / C R - 4 2 2 0 では、米国の L E R (Licensee Event Reports) (1965 年～1984 年) を分析し、表 1 に示すとおり大規模漏えい事象 4 件を抽出、発生件数 4 件を運転炉年 (740 炉年) で除すことにより、格納容器隔離失敗の発生頻度を算出している。

なお、抽出された 4 件以外にもエアロック開放に関する事象が 75 件発生しているが、これらの事象は数時間以内と短時間であり、大規模な漏えい事象には至っていない。

表 1 大規模漏えいとして抽出された事象

| Reactor | Year | Event |
|--------------|------|-----------------------|
| Ocone 1 | 1973 | Isolation Valves Open |
| San Onofre 1 | 1977 | Holes in Containment |
| Palisades | 1979 | By-pass Valves Open |
| Surry 1 | 1980 | Holes in Containment |

また、上記の大規模漏えい事象はいずれも P W R で発生した事象であり、B W R においては、出力運転中は格納容器内を窒素置換し

管理しているため、格納容器からの漏えいが存在する場合は、格納容器圧力の低下等により速やかに検知できる可能性が高いと考えられる。

(2) 最近の米国の格納容器隔離失敗実績に関する参考文献

レベル 1. 5 P R A では、1984 年までのプラント実績データを用いた N U R E G / C R - 4 2 2 0 を基に格納容器隔離失敗の分岐確率を設定している。最近の格納容器隔離失敗に関する報告としては、E P R I 報告書⁽²⁾がある。E P R I 報告書では、米国における 2007 年時点までの総合漏えい率試験（I L R T : Integrated Leak Rate Test）の実績が整理されており、大規模漏えいに至る事象としては設計漏えい率の 35 倍を基準としているが、発生実績は 0 件となっている。

大規模漏えいに至る事象実績 0 件（計算上 0.5 件としている）を I L R T 試験数 217 件で除して隔離機能喪失を以下のとおり算出した。

$$0.5 / 217 = 2.3E-3$$

大規模漏えいに至る事象実績※ : 0.5 件

I L R T 試験数 : 217 件

※ 発生経験がないため、発生実績を 0.5 件と仮定。

この値は、N U R E G / C R - 4 2 2 0 で評価された格納容器隔離失敗確率の $5.0E-3/d$ よりも小さい値となっており、E P R I 報告書の結果を考慮しても N U R E G / C R - 4 2 2 0 の評価結果を適用することは妥当であると考えられる。

2. 格納容器隔離失敗事象への対応

(1) 東海第二発電所で想定される格納容器隔離失敗の経路

東海第二発電所で想定される格納容器隔離失敗は、機械的破損及び人的過誤による隔離機能喪失であり、以下に示すとおりである。

a. 機械的破損による隔離機能喪失

(a) 格納容器貫通部からの漏えい

格納容器の電気配線貫通部のシール材の劣化や配管貫通部の管台の割れ等がある場合には、格納容器内雰囲気は漏えいする可能性がある。

(b) 格納容器アクセス部からの漏えい

ドライウェル主フランジ、機器搬入用ハッチ、所員用エアロック等のアクセス部のシール部又は溶接部が破損している場合には、格納容器内雰囲気が漏えいする可能性がある。

(c) 格納容器バウンダリからの漏えい

格納容器スプレイ配管、不活性ガス系、可燃性ガス濃度制御系等は格納容器雰囲気と連通しており、これらのバウンダリが破損している場合には、格納容器内雰囲気が漏えいする可能性がある。

b. 人的過誤による隔離機能喪失

(a) 漏えい試験配管からの漏えい

施設定期検査時の格納容器漏えい試験の後に、試験配管隔離弁の復旧忘れ等がある場合には、格納容器内雰囲気が漏えいする可能性がある。

(2) 格納容器隔離失敗事象への対応

(1)で挙げた格納容器隔離失敗事象に対する対応としては、重大事故等時に、万一にも格納容器の隔離機能が喪失していることのないよう、格納容器の漏えいに対する検知性を向上させることが有効であり、定期試験時及び原子炉起動前における格納容器隔離機能の確認や手順書に基づく確実な操作を実施している。さらに、出力運転中は格納容器内を窒素置換し管理しているため、格納容器からの漏えいが存在する場合は、格納容器圧力の低下等により速やかに検知できる可能性が高いと考える。

参考文献

- (1) NUREG/CR-4220, Reliability Analysis of Containment Isolation Systems, U. S. NRC,
- (2) Risk Impact Assessment of Extended Integrated Leak Rate Testing Intervals, Revision 2-A of 1009325, Final Report, EPRI, October 2008

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|--|
| <p>（はじめに）</p> <p>本書は、「実用発電用原子炉及びその付属設備の位置、構造及び設備に関する規則の解釈」（平成 2 5 年 6 月 1 9 日）（以下「解釈」という。）第 3 章第 3 7 条に基づき、原子炉設置（変更）許可申請者が、確率論的リスク評価（以下、「P R A」という。）に関し、審査のための説明に際し、参照すべき事項を示すものである。なお、申請者は、本書の整理によらない構成で説明することもできるが、その際には本書の整理と異なる点について合理的とする理由についての説明とともに各項目に相当する内容について、申請者の説明責任として示す必要がある。</p> | <div data-bbox="1155 339 2009 443" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p>「別添 東海第二発電所 確率論的リスク評価（P R A）について」における対応状況を以下に示し、その対応箇所の項目を（ ）で記載する。</p> </div> |
| <p>1. 新規制基準適合性の審査において提示すべきP R A の実施内容に係る資料について</p> <p>新規制基準では、「解釈第 3 章第 3 7 条（重大事故等の拡大の防止等）「1－1 (a)及び(b)」，「2－1 (a)及び(b)」及び「4－1 (a)及び(b)」における事故シーケンスグループ等の抽出においてP R A を活用することが規定されており，その実施状況を確認する必要があるため，原子炉設置（変更）許可申請者においては，審査の過程において事故シーケンスグループ等の抽出におけるP R Aの実施状況を説明する必要がある。</p> <p>本解釈における(b)には，「①個別プラントの内部事象に関する確率論的リスク評価（P R A）及び外部事象に関するP R A（適用可能なもの）又はそれに代わる方法で評価を実施すること。」とされており，外部事象に関しては，P R Aの適用が可能なもの以外はそれに代わる方法について，評価条件や評価方法，評価のプロセスに関する説明（適切性の説明を含む），評価の結果等評価結果を導くために必要と考えられる事項を整理し説明する必要がある。</p> <p>そのため，ここでは，日本原子力学会標準等を参考に基本的に想定されるP R A の実施内容を踏まえて，説明に最低限必要な項目を列記した。なお，説明に当たっては，実施したP R A の内容を踏まえてここに記載している項目に加えて説明すべき事項を抽出し，説明性の観点から再構成するなど，申請者の説明責任として自ら十分検討すべきことを付言する。</p> | <p>従来から定期安全レビュー（P S R）等の機会に内部事象レベル1 P R A（出力運転時，停止時）及びレベル1．5 P R Aを実施してきており，これらのP R A手法を今回も適用した。また，外部事象としては，現段階で適用可能な事象として，日本原子力学会において実施基準が標準化され，試評価等の実績を有する地震レベル1 P R A及び津波レベル1 P R Aを対象とし，これらの外部事象P R Aから抽出される建屋・構造物等の大規模な損傷から発生する事象についても事故シーケンスグループ等の選定に係る検討対象範囲とした。</p> <p>（「2. 事故シーケンスグループ等の選定に係るP R Aの実施範囲・評価対象・実施手法」）</p> <p>なお，P R Aが適用可能ではないと判断した外部事象については定性的な検討から分析を実施した。</p> <p>（重要事故シーケンスグループ及び重要事故シーケンス等の選定について別紙 1 有効性評価の事故シーケンスグループ選定における外部事象の考慮について）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|--|
| <p>2. P R A の評価対象</p> <p>今回の原子炉等規制法改正後の初回設置（変更）許可時においては、これまでの許認可実績を踏まえて、規制上の担保が得られている対策を基にP R Aを実施するものであり、P R A の前提となっている設備状況等についてまず整理する必要がある、評価対象を明示すること（例：下図の(B)までの設備について、既許可ECCSの機能を作動させるための手動起動措置を評価対象とすることはできるが、許認可実績を踏まえてそれぞれ個別の評価対象についての整理が必要。）。</p> | <p>今回のP R Aの目的は、設計基準事象を超えた重大事故に対する炉心損傷防止対策等の有効性評価を行うための事故シーケンスグループ等の抽出であることから、設計基準事故対処設備による対応を基本とし、これまでに整備したアクシデントマネジメント策（通商産業省「原子力発電所内におけるアクシデントマネジメントの整備について」（平成 4 年 7 月）以前から整備しているアクシデントマネジメント策を含む）には期待しないことを前提に評価を行うこととした。ただし、「E C C S手動起動」、「原子炉手動減圧」、「残留熱除去系の手動起動」、「高圧炉心スプレイ系及び原子炉隔離時冷却系の水源切替」等の設計基準事故対処設備を作動させるための操作については、本評価においても期待することとした。</p> <p>（「1. 事故シーケンスグループ等の選定に係るP R Aの実施範囲と評価対象について」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|--|---|
| <p>3. レベル 1 P R A</p> <p>3. 1 内部事象（出力運転時）</p> <p>a. 対象プラント</p> <p>①対象とするプラントの説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ●設計基準事故対処設備であり，重大事故等の対処に用いる設備（以下「対処設備」という。）等，P R Aの中で考慮する設備の一覧及び設備の説明 <p>②停止時のプラント状態の推移（停止時 P R Aのみ）</p> <p>③プラント状態分類（停止時 P R Aのみ）</p> <ul style="list-style-type: none"> ●プラント状態分類の考え方 ●プラント状態の分類結果 | <p>① P R Aの中で考慮する設備を，プラント仕様や必要となる系統ごとに整理した。 （「3.1.1.1 対象プラント（1）対象とするプラントの説明」）</p> <p>②停止時 P R Aで記載</p> <p>③停止時 P R Aで記載</p> |
| <p>b. 起因事象</p> <p>①評価対象とした起因事象のリスト，説明及び発生頻度</p> <ul style="list-style-type: none"> ●起因事象リスト，説明及び発生頻度 <p>●起因事象の抽出の方法，グループ化している場合にはグループ化の考え方，発生頻度の評価方法</p> <p>●対象外とした起因事象と，対象外とした理由</p> | <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ●国内のプラント異常事象や設備を網羅している資料として原子炉設置許可申請書及び海外の評価事例（E P R I N P - 2 2 3 0）を分析し，評価対象とした起因事象をリスト化した。 （「3.1.1.2 起因事象（1）評価対象とした起因事象について」） ●同定された起因事象において，プラント応答や必要となる緩和設備が同等であり，同一のイベントツリー及びフォールトツリーで扱える事象をグループ化した。 ●起因事象発生頻度は，L O C Aを除き，国内 B W Rプラントの運転実績に基づき評価し，発生実績のない事象については 0.5 件の発生を仮定した。L O C Aについては，米国の評価方法を踏まえて発生頻度を評価した。 （「3.1.1.2 起因事象（1）評価対象とした起因事象について」） ●同定された起因事象のうち，発生の可能性が極めて低い場合，又は発生を仮定してもその影響が限定される場合にはリスク評価上の重要性は低いと考え，評価対象から除外した。 <ul style="list-style-type: none"> ・出力運転時中の制御棒引き抜き ・原子炉冷却材流量の部分喪失及び原子炉冷却材系の停止ループの誤起動 ・放射性気体廃棄物処理施設の破損 ・燃料集合体の落下事象 ・制御棒落下 ・主蒸気管破断 ・原子炉圧力容器破損（D B A超過 L O C A） ・通常停止 <p>（「3.1.1.2 起因事象（1）評価対象とした起因事象について」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|--|--|
| <p>c. 成功基準</p> <p>① 成功基準の一覧表</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 炉心損傷の定義 <p>● 起因事象ごとの成功基準の一覧表</p> <p>● 対処設備作動までの余裕時間及び使命時間</p> <p>● 成功基準設定のために熱水力解析等を実施した場合は使用した解析結果，及び使用した解析コードの検証性</p> | <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 燃料被覆管表面温度が1200℃を超えると評価される状態 ● 燃料被覆管の酸化量が，酸化反応が著しくなる前の被覆管厚さの 15 %を超えると評価される状態 （「3.1.1.3 成功基準（1）成功基準について」） ● 成功基準の検討に当たっては，S A F E Rコードによる成功基準解析結果を用いて起因事象ごとに整理した。 （「3.1.1.3 成功基準（1）成功基準について」及び「添付資料 3.1.1.3-1 成功基準解析及び事故進展解析について」） ● 運転員による緩和操作を対象として，それらを遂行するまでの余裕時間をM A A Pコードによる事故進展解析結果等に基づき設定した。また，緩和設備が要求される安全機能を果たすために必要な運転時間である使命時間については，機能喪失した設備の復旧や追加の運転員操作に期待できる時間として，24時間を適用した。 （「3.1.1.3 成功基準（1）成功基準について」） ● 成功基準解析に使用したS A F E Rコードは，許認可解析で十分な実績を有しており，十分な検証が行われている。また，事故進展解析に使用したM A A Pコードの検証性については，重大事故等防止対策の有効性評価の内容説明と合わせて提示する。 （「3.1.1.3 成功基準（1）成功基準について」） |
| <p>d. 事故シーケンス</p> <p>① イベントツリー</p> <ul style="list-style-type: none"> ● イベントツリー図 <p>● ヘディング，事故進展及び最終状態の説明</p> <p>● イベントツリー作成上の主要な仮定</p> | <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 選定した起因事象に対して，炉心損傷を防止するために必要な緩和設備や緩和操作を検討し，炉心損傷に至る事故シーケンスをイベントツリーとして展開した。 ● 選定した各起因事象の特徴を踏まえ，ヘディング及び事故進展の説明とイベントツリー作成上の主要な仮定を示した。 ● 展開した事故シーケンスの最終状態を炉心損傷状態又は成功状態のいずれかに分類した。炉心損傷状態については，「原子炉停止機能」，「炉心冷却機能」，「格納容器からの除熱機能」の各安全機能に着目し，起因事象及び緩和設備の成否等によって分類した。 （「3.1.1.4 事故シーケンス（1）イベントツリー」） |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|--|
| <p>e. システム信頼性</p> <p>①評価対象としたシステムとその説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ●評価対象システム一覧 ●システムの概要，機能，系統図，必要とするサポート系，試験，システム信頼性評価上の主要な仮定 <p>②システム信頼性評価手法</p> <p>③システム信頼性評価の結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ●起因事象ごとのシステム信頼性評価結果 ●主要なミニマルカットセット（FT を用いた場合） <p>④システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度とその根拠</p> | <p>①評価対象としたシステムについては一覧表を作成し，それぞれのシステムごとに概要，機能，系統図，必要とするサポート系，試験及びシステム信頼性評価上の主要な仮定を整理した。 （「3.1.1.5 システム信頼性（1）評価対象としたシステムとその説明」）</p> <p>②システム信頼性解析では，システムが機能喪失に至る要因の組合せを網羅的に展開でき，システムのアンアベイラビリティの定量化が可能である手法として，フォールトツリー法を用いた。また，フロントライン系とそのサポート系についてフォールトツリーを作成した。 （「3.1.1.5 システム信頼性（2）システム信頼性評価手法」及び「添付資料 3.1.1.5-1 サポート系が一部故障している場合の評価について」）</p> <p>③システム信頼性解析の結果について，起因事象ごとに結果が異なるものは起因事象ごとに評価し，主要なミニマルカットセットの評価も実施した。 （「3.1.1.5 システム信頼性（3）システム信頼性評価の結果」）</p> <p>④制御棒挿入失敗確率及び逃がし安全弁による圧力制御の失敗確率については，システム信頼性評価を実施せずに非信頼度を設定しており，その根拠を明確にした。 （「3.1.1.5 システム信頼性（4）システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度とその根拠」）</p> |
| <p>f. 信頼性パラメータ</p> <p>①非信頼度を構成する要素と評価式</p> <p>②機器故障率パラメータの一覧</p> <ul style="list-style-type: none"> ●機器故障率パラメータの設定方法（機器の分類，機器の境界，故障モードの分類等） ●機器故障率パラメータの一覧（故障モード，故障率等） ●機器故障率パラメータの不確かさ幅 | <p>①系統の非信頼度を評価するフォールトツリーの基事象（要素）としては，機器故障，共通要因故障，試験による待機除外，保守作業による待機除外，人的過誤等があり，それぞれの評価式に基づき非信頼度を評価した。 （「3.1.1.6 信頼性パラメータ（1）非信頼度を構成する要素と評価式」）</p> <p>②N U C I A で公開されている国内プラントの故障実績（1982年度～2002年度21ヵ年49基データ）を基にした「故障件数の不確かさを考慮した国内一般機器故障率の推定（平成21年5月公表）」（以下「21ヵ年データ」という。）に記載されているデータを使用した。また，N U C I A で公開されている国内プラントの故障実績は，「原子力発電所に関する確率論的安全評価用の機器故障率の算出（1982年度～1997年度16ヵ年49基データ改訂版）（平成13年2月），電中研報告P00001，（財）電力中央研究所」で定義した機器バウンダリに従った。</p> <p>なお，21ヵ年データに記載のない機器の故障率については，類似性を考慮した工学的判断に基づき，21ヵ年データに記載された他の機器の故障率を使用した （「3.1.1.6 信頼性パラメータ（2）機器故障確率」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|--|---|
| <p>③機器復帰の取扱い方法及び機器復帰失敗確率</p> <p>④待機除外確率</p> <p>⑤共通要因故障の評価方法と共通要因故障パラメータ</p> | <p>③故障した機器や外部電源の使命時間中の復旧には期待していない。 （「3.1.1.6 信頼性パラメータ（3）機器復帰の取扱い方法及び機器復帰失敗確率」）</p> <p>④待機除外確率は保守点検作業による待機除外を考慮しており、機器の平均修復時間と機器故障率データを用いて待機除外確率を算出した。 （「3.1.1.6 信頼性パラメータ（4）待機除外確率」）</p> <p>⑤冗長機能を有する機器を対象に、動的機器の動的故障モード及び一部の静的機器について共通要因故障を考慮した。また、共通要因故障パラメータについては、米国で公開されている文献に記載のデータを使用し、共通原因故障のモデル化にはM G L法を用いた。 （「3.1.1.6 信頼性パラメータ（5）共通要因故障の評価方法と共通要因故障パラメータ」）</p> |
| <p>g. 人的過誤</p> <p>①評価対象とした人的過誤及び評価結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ●人的過誤の評価に用いた手法 ●人的過誤の分類，人的操作に対する許容時間，過誤回復の取扱い ●人的過誤評価結果 ●人的過誤評価に用いた主要な仮定 | <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ●人的過誤の発生確率の分析においてはヒューマンエラーハンドブック（N U R E G／C R－1 2 7 8）のT H E R P手法を用いて人的過誤確率を評価した。 ●人的過誤は起因事象発生前と起因事象発生後に分類した。それぞれに対して、プラントの運転，保守，点検等，炉心損傷頻度に有意な影響を及ぼし得る人間のタスクを分析し，タスクを遂行する過程で起こり得る人的過誤を同定し，人的過誤評価結果を示した。起因事象発生前の人的過誤として，試験・保守作業の終了後の通常状態への復旧忘れ（手動弁の開閉忘れ等）を考慮した。起因事象発生後として，認知失敗及び操作失敗を考慮した。 ●認知失敗確率の評価では，成功基準解析及び事故進展解析の結果を踏まえ，人的操作に対する許容時間を考慮し，T H E R Pの標準診断曲線を参照して失敗確率を設定した。また，過誤回復については各人的過誤の特徴を考慮し，過誤回復に期待できるか否かを判断の上，設定した。 ●起因事象発生前及び起因事象発生後の人的過誤確率の評価結果を一覧表で整理した。 ●各人的過誤の評価において評価上の仮定を整理した。 （「3.1.1.7 人的過誤」） |
| <p>h. 炉心損傷頻度</p> <p>①炉心損傷頻度の算出に用いた方法</p> | <p>①本評価では小イベントツリー／大フォールトツリーのモデルを作成し，計算コードにはSafety Watcherを用いて，フォールトツリー結合法による炉心損傷頻度の定量化を行った。 （「3.1.1.8 炉心損傷頻度（1）炉心損傷頻度の算出に用いた方法」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|--|---|
| <p>②炉心損傷頻度</p> <ul style="list-style-type: none"> ●全炉心損傷頻度及び主要な事故シーケンスと分析 ●起因事象別の炉心損傷頻度及び主要な事故シーケンスと分析 ●プラント損傷状態別炉心損傷頻度及び主要な事故シーケンスの分析 <p>③重要度解析，不確実さ解析及び感度解析</p> | <p>②全炉心損傷頻度，起因事象別及びプラント状態別の炉心損傷頻度及び主要な事故シーケンスを整理し，結果の分析を行った （「3.1.1.8 炉心損傷頻度（2）炉心損傷頻度（点推定値）」）</p> <p>③炉心損傷頻度に至る支配的な要因を確認する観点で，重要度解析を実施した。また，炉心損傷頻度の不確かさの幅を評価するため，不確実さ解析を実施した。感度解析は，給復水系を考慮した場合や個別プラントの起因事象発生頻度及び機器故障率データを用いた場合の炉心損傷頻度を評価し，事故シーケンスグループごとの炉心損傷頻度等への影響を検討した。 （「3.1.1.8 炉心損傷頻度（3）重要度解析，不確実さ解析及び感度解析」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|---|
| <p>3. レベル1 P R A</p> <p>3. 1 内部事象（停止時）</p> <p>a. 対象プラント</p> <p>①対象とするプラントの説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ●設計基準事故対処設備であり，重大事故等の対処に用いる設備（以下「対処設備」という。）等，P R Aの中で考慮する設備の一覧及び設備の説明 <p>②停止時のプラント状態の推移（停止時P R Aのみ）</p> <p>③プラント状態分類（停止時P R Aのみ）</p> <ul style="list-style-type: none"> ●プラント状態分類の考え方 ●プラント状態の分類結果 | <p>①P R Aの中で考慮する設備を，プラント仕様や必要となる系統ごとに整理した。 （「3.1.2.1 対象プラント（1）対象とするプラントの説明」）</p> <p>②停止時のプラント状態の推移をプラント状態（以下「P O S」という。）ごとに整理した。 （「3.1.2.1 対象プラント（2）停止時のプラント状態の推移」）</p> <p>③プラント停止中は，プラントの状態の変化に伴って，崩壊熱除去等に対する成功基準，余裕時間，及び使用可能な設備の組み合わせが変化するため，プラント状態（P O S）を分類した。また，定期検査工程の進捗に伴う使用可能な緩和設備の組み合わせの変化を考慮し，P O S－B及びP O S－Cを，それぞれP O S－B 1～B 6及びP O S－C 1，C 2に細分化した。 （「3.1.2.1 対象プラント（3）プラント状態分類」）</p> |
| <p>b. 起 因 事 象</p> <p>①評価対象とした起 因 事 象 の リ ス ト，説明及び発生頻度</p> <ul style="list-style-type: none"> ●起 因 事 象 リ ス ト，説明及び発生頻度 <p>●起 因 事 象 の 抽 出 の 方 法，グルー ー 化 して いる 場 合 に は グル ー ー 化 の 考 え 方，発生頻度の評価方法</p> | <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ●評価対象期間において発生し得る異常事象のうち，人的過誤による事象を含めて炉心損傷に至る可能性のある異常事象を分析し，P O Sごとに起 因 事 象 を 同 定 し た。同 定 し た 炉 心 損 傷 に 至 る 可 能 性 の あ る 起 因 事 象 の う ち 除 外 で き な い 事 象 を 評 価 す る 起 因 事 象 と し て 選 定 し た。 （「3.1.2.2 起 因 事 象（1）起 因 事 象 の 選 定」） ●適用する起 因 事 象 について，以下の手法により，検討し選定した。 <ul style="list-style-type: none"> ・マスターロジックダイアグラムに基づく分析 ・国内外での既往のP R Aによる知見の活用 ・国内のプラント運転経験等（原子力施設運転管理年報等をもとに調査したトラブル情報）のレビュー ●起 因 事 象 発 生 頻 度 は，国 内 B W R プ ラ ン ト の 運 転 実 績 や イ ベ ン ト ツ リ ー 及 び フ ォ ー ル ト ツ リ ー を 用 い て 評 価 し た。な お，起 因 事 象 の グ ル ー ー 化 は 実 施 し て い な い。 （「3.1.2.2 起 因 事 象（1）起 因 事 象 の 選 定 及 び（3）起 因 事 象 の グ ル ー ー 化」） |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所の P R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|---|
| <p>●対象外とした起回事象と，対象外とした理由</p> | <p>●同定された起回事象のうち，発生の可能性が極めて低い場合，又は発生を仮定してもその影響が限定される場合にはリスク評価上の重要性は低いと考え，評価対象から除外した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・インターフェイスシステム L O C A ・配管破断 L O C A ・燃料集合体の落下事象 ・反応度投入事象 ・R H R 運転中の L O C A <p>（「3.1.2.2 起回事象（2）評価対象外とした起回事象」）</p> |
| <p>c. 成功基準</p> <p>①成功基準の一覧表</p> <ul style="list-style-type: none"> ●炉心損傷の定義 ●起回事象ごとの成功基準の一覧表 ●対処設備作動までの余裕時間及び使命時間 ●成功基準設定のために熱水力解析等を実施した場合は使用した解析結果，及び使用した解析コードの検証性 | <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ●炉心燃料の有効燃料長頂部（T A F）が露出した状態と（「3.1.2.3 成功基準（1）炉心損傷判定条件」） ●炉心損傷を防止するために必要な安全機能を同定し，当該機能として期待できる緩和設備に対して，各起回事象における成功基準を設定し，一覧表に整理した。（「3.1.2.3 成功基準（2）起回事象ごとの成功基準の一覧表」） ●余裕時間については，崩壊熱除去機能喪失に係る起回事象及び原子炉水位がウェル満水時に発生する可能性のある冷却材流出に係る起回事象に対しては，T A F 露出までの時間が長いことを考慮し，設定していない。また，原子炉冷却材の流出に係る起回事象に対しては，原子炉水位が通常水位の場合に発生する可能性のある事象について T A F 露出までの時間を考慮した。また，緩和設備が要求される安全機能を果たすために必要な運転時間である使命時間については，喪失した設備の復旧や追加の運転員操作が期待できる時間として，24 時間を適用した（「3.1.2.3 成功基準（3）対処設備作動までの余裕時間及び使命時間」） ●本評価において，熱水力解析を実施していない。（「3.1.2.3 成功基準（4）熱水力解析等の解析結果及び解析コードの検証性」） |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|---|
| <p>d. 事故シーケンス</p> <p>① イベントツリー</p> <ul style="list-style-type: none"> ● イベントツリー図 ● ヘディング，事故進展及び最終状態の説明 ● イベントツリー作成上の主要な仮定 | <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 各起因事象に対して，炉心損傷を防止するために必要な緩和設備又は緩和操作を検討し，炉心損傷に至る事故シーケンスを展開した。 ● 展開した事故シーケンスの最終状態を炉心損傷状態又は成功状態のいずれかに分類した。事故シーケンスの最終状態については，炉心損傷に至る主要要因の観点から区別するため，「崩壊熱除去機能喪失」，「全交流動力電源喪失」，「原子炉冷却材の流出」に分類した。 ● 選定した各起因事象の特徴を踏まえ，ヘディング及び事故進展の説明とイベントツリー作成上の主要な仮定を示した （「3.1.2.4 事故シーケンス (1) イベントツリー，(2) 事故シーケンスの分類」） |
| <p>e. システム信頼性</p> <p>① 評価対象としたシステムとその説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 評価対象システム一覧 ● システムの概要，機能，系統図，必要とするサポート系，試験，システム信頼性評価上の主要な仮定 <p>② システム信頼性評価手法</p> <p>③ システム信頼性評価の結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 起因事象ごとのシステム信頼性評価結果 ● 主要なミニマルカットセット（FT を用いた場合） <p>④ システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度とその根拠</p> | <p>① 評価対象としたシステムについては一覧表を作成し，それぞれのシステムごとに概要，機能，系統図，必要とするサポート系，試験，システム信頼性評価上の主要な仮定を整理した。 （「3.1.2.5 システム信頼性 (1) 評価対象としたシステムとその説明」）</p> <p>② システム信頼性解析では，フロントライン系とサポート系についてフォールトツリーを作成し，信頼性評価を行った。 フォールトツリーの作成に当たっては，対象範囲を示す系統図を作成するとともに，その範囲内にある機器でモデル化すべき故障モードを基事象リストの形で整理した。また，これらの情報に基づき緩和設備についてフォールトツリーを作成し，定量化を実施した。 （「3.1.2.5 システム信頼性 (2) システム信頼性評価手法」）</p> <p>③ システム信頼性解析の結果について，起因事象ごとに結果が異なるものは起因事象ごとに評価し，主要なミニマルカットセットの評価も実施した。 （「3.1.2.5 システム信頼性 (3) システム信頼性評価の結果」）</p> <p>④ システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度はない。 （「3.1.2.5 システム信頼性」）</p> |
| <p>f. 信頼性パラメータ</p> <p>① 非信頼度を構成する要素と評価式</p> | <p>① 系統の非信頼度を評価するフォールトツリーの基事象（要素）として，機器故障，共通要因故障，人的過誤等があり，それぞれの評価式に基づき非信頼度を評価した。 （「3.1.2.6 信頼性パラメータ (1) 非信頼度を構成する要素と評価式」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|--|---|
| <p>②機器故障率パラメータの一覧</p> <ul style="list-style-type: none"> ●機器故障率パラメータの設定方法（機器の分類，機器の境界，故障モードの分類等） ●機器故障率パラメータの一覧（故障モード，故障率等） ●機器故障率パラメータの不確かさ幅 <p>③機器復帰の取扱い方法及び機器復帰失敗確率</p> <p>④待機除外確率</p> <p>⑤共通要因故障の評価方法と共通要因故障パラメータ</p> | <p>②機器故障率は，原則として，N U C I Aで公開されている国内プラントの故障実績（1982年度～2002年度21ヵ年49基データ）を基にした「故障件数の不確かさを考慮した国内一般機器故障率の推定（平成21年5月公表）」（以下「21ヵ年データ」という。）に記載されているデータを使用した。また，N U C I Aで公開されている国内プラントの故障実績は，「原子力発電所に関する確率論的安全評価用の機器故障率の算出（1982年度～1997年度16ヵ年49基データ改訂版）（平成13年2月），電中研報告P00001，（財）電力中央研究所」で定義した機器バウンダリに従った。 （「3.1.2.6 信頼性パラメータ（2）機器故障率」）</p> <p>③故障した機器や外部電源の使命時間中の復旧には期待していない。 （「3.1.2.6 信頼性パラメータ（3）機器復帰の取扱い方法及び機器復帰失敗確率」）</p> <p>④機器の待機状態はP O S 分類の中で直接考慮しているため，待機除外確率は使用していない。 （「3.1.2.6 信頼性パラメータ（4）待機除外確率」）</p> <p>⑤冗長機能を有する機器を対象に，動的機器の動的故障モード及び一部の静的機器について共通要因故障を考慮した。また，共通要因故障パラメータについては，米国で公開されている文献に記載のデータを使用した。 （「3.1.2.6 信頼性パラメータ（5）共通要因故障の評価方法と共通要因故障パラメータ」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|--|---|
| <p>g. 人的過誤</p> <p>①評価対象とした人的過誤及び評価結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ●人的過誤の評価に用いた手法 <p>●人的過誤の分類，人的操作に対する許容時間，過誤回復の取扱い</p> <p>●人的過誤評価結果</p> <p>●人的過誤評価用いた主要な仮定</p> | <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ●人的過誤の発生確率の分析においてはヒューマンエラーハンドブック（N U R E G / C R - 1 2 7 8）のT H E R P手法を用いて人的過誤確率を評価した。 ●人的過誤は起因事象発生前と起因事象発生後に分類した。それぞれに対して，プラントの運転，保守，点検等，炉心損傷頻度に有意な影響を及ぼし得る人間のタスクを分析し，タスクを遂行する過程で起こり得る人的過誤を同定し，人的過誤評価結果を示した。起因事象発生前の人的過誤として，試験・保守作業の終了後の通常状態への復旧忘れ（手動弁の開閉忘れ等）を考慮した。起因事象発生後として，認知失敗及び操作失敗を考慮した。 ●認知失敗確率の評価では，成功基準解析及び事故進展解析の結果を踏まえ，人的操作に対する許容時間を考慮し，T H E R Pの標準診断曲線を参照して失敗確率を設定した。また，過誤回復にゆいては各人的過誤の特徴を考慮し，過誤回復に期待できるか否かを判断の上，設定した。 ●起因事象発生前及び起因事象発生後の人的過誤確率の評価結果を一覧表で整理した。 ●各人的過誤の評価において評価上の仮定を整理した。 （「3.1.2.7 人的過誤」） |
| <p>①炉心損傷頻度の算出に用いた方法</p> <p>②炉心損傷頻度</p> <ul style="list-style-type: none"> ●全炉心損傷頻度及び主要な事故シーケンスと分析 ●起因事象別の炉心損傷頻度及び主要な事故シーケンスと分析 ●プラント損傷状態別炉心損傷頻度及び主要な事故シーケンスの分析 <p>③重要度解析，不確実さ解析及び感度解析</p> | <p>①本評価では小イベントツリー／大フォールトツリーのモデルを作成し，計算コードには Safety Watcher を用いて，フォールトツリー結合法による炉心損傷頻度の定量化を行った。 （「3.1.2.8 炉心損傷頻度（1）炉心損傷頻度の算出に用いた方法」）</p> <p>②全炉心損傷頻度，起因事象及びP O S別の炉心損傷頻度及び主要な事故シーケンスを整理し，結果の分析を行った。 なお，停止時においては，レベル1．5 P R Aは実施しないため，プラント損傷状態別の炉心損傷頻度の評価は実施していない。 （「3.1.2.8 炉心損傷頻度（2）炉心損傷頻度（点推定値）」）</p> <p>③炉心損傷頻度に至る支配的な要因を確認する観点で，重要度解析を実施した。また，炉心損傷頻度の不確実さの幅を評価するため，不確実さ解析を実施した。感度解析は，現行保安規定における運用管理のリスクへの影響を把握するための評価を実施した。 （「3.1.2.8 炉心損傷頻度（2）重要度解析，不確実さ解析及び感度解析」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|---|
| <p>3. 2 外部事象（地震）</p> <p>a. 対象プラントと事故シナリオ</p> <p>①対象とするプラントの説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ●地震 P R A の中で考慮する設備の一覧及び設備の説明 ●ウォークダウン実施の有無とウォークダウンの結果 <p>②地震により炉心損傷に至る事故シナリオと分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ●事故シナリオの分析・選定とスクリーニングの説明 ●事故シナリオと起因事象の分析結果 ●建物・機器リストの作成結果 | <p>①内部事象出力運転時レベル 1 P R Aにおいて収集したプラント構成・特性等に関する情報の他，配置関連設計図書等により地震 P R Aに必要な情報を収集・整理した。また，机上検討では確認が難しいプラント情報を取得するため，及び検討したシナリオの妥当性を確認するために，東海第二発電所においてプラントウォークダウンを実施し，以下の点について問題がないことを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・耐震安全性の確認 ・二次的影響の確認 <p>（「3.2.1.1 対象プラントと事故シナリオ（1）対象とするプラントの説明」）</p> <p>②地震により炉心損傷に至る事故シナリオを抽出し，スクリーニングで除外するシナリオについてはその内容を明記した。除外されずに残った事故シナリオを分析し，以下の起因事象を選定した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋損傷 ・格納容器損傷 ・原子炉圧力容器損傷 ・格納容器バイパス ・原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失（E L O C A） ・計装・制御系喪失 ・直流電源喪失 ・交流電源喪失 ・外部電源喪失 ・過渡事象 <p>（「3.2.1.1 対象プラントと事故シナリオ（2）地震により炉心損傷に至る事故シナリオと分析」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|--|---|
| <p>b. 地震，津波ハザード</p> <p>①地震ハザード評価の方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ●新規制基準（地震）にて策定された基準地震動の超過確率の算出に用いた地震ハザード及び津波ハザード評価に用いた手法の説明 <p>②地震ハザード評価に当たっての主要な仮定</p> <ul style="list-style-type: none"> ●震源モデル，地震動伝播モデルの設定と各モデルの設定根拠及び不確実さ要因の分析結果の説明 ●不確実さ要因の分析結果に基づいて作成したロジックツリーの明示とロジックツリーの各分岐において設定した重みの根拠の説明 <p>③地震ハザード評価結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ●作成したロジックツリーを用いた地震ハザード曲線群の算出と，各ハザード曲線群から求めた信頼度別ハザード曲線や平均ハザード曲線の説明 ●地震ハザード評価結果に基づく脆弱性評価用地震動の作成方法の説明 | <p>①日本原子力学会標準「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007」の方法に基づき評価した。 （「3.2.1.2 確率論的地震ハザード（1）確率論的地震ハザード評価の方法」）</p> <p>②震源モデルは，特定震源モデルと領域震源モデルを設定した。それぞれの震源モデルにおいて，当社の調査結果等に基づき設定した震源モデル（以下，モデルAという）の他，地震調査研究推進本部の知見に基づき設定した震源モデル（以下，モデルBという）をロジックツリーで考慮した。</p> <p>特定震源モデルのうち内陸地殻内地震の評価において，モデルAについては敷地周辺の耐震設計上考慮する活断層等の他，活断層研究会編（1991）に掲載されている活断層に基づいて評価した。モデルBについては地震調査研究推進本部（2009a）で考慮されている活断層を評価対象とした。特定震源モデルのうち海溝型地震の評価において，モデルAでは関東地震を，モデルBでは関東地震及び茨城県沖で発生する地震を特定震源として扱った。</p> <p>領域震源モデルについては，内陸地殻内地震及び海溝型地震を考慮し，敷地から150km程度を評価対象とした。モデルAについては，垣見他（2003）を参照して領域区分し，各領域の最大マグニチュードを領域内の過去の地震の最大値を基に設定した。モデルBについては，地震調査研究推進本部（2009a）に基づいて領域区分し，各領域の最大マグニチュードを地震調査研究推進本部（2012）に基づき設定した。</p> <p>地震動伝播モデルはNoda et al(2012)による距離減衰式を用いた。ロジックツリーは，震源モデル及び地震動伝播モデルの設定において，地震ハザード評価に大きな影響を及ぼす要因に基づいて作成した。震源モデルについては，モデルAとモデルBをロジックツリーで考慮した。 （「3.2.1.2 確率論的地震ハザード（2）確率論的地震ハザード評価に当たっての主要な仮定」）</p> <p>③上記を踏まえ平均地震ハザード曲線及びフラクタイル地震ハザード曲線を作成した。また，基準地震動S_sの応答スペクトルと年超過確率ごとの一様ハザードスペクトルを比較した。</p> <p>脆弱性評価用地震動は年超過確率10^{-5}の一様ハザードスペクトルに適合する模擬波とし，経時特性を基準地震動S_sの策定と同様にNoda et al.（2002）に基づき地震規模$M=7.6$，等価震源距離$X_{eq}=25.7\text{km}$とした。 （「3.2.1.2 確率論的地震ハザード（3）確率論的地震ハザード評価結果」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所の P R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|---|
| <p>c. 建屋・機器のフラジリティ</p> <p>①評価対象と損傷モードの設定</p> <p>②フラジリティの評価方法の選択</p> <p>③フラジリティ評価上の主要な仮定（不確かさの設定、応答係数等）</p> <p>④フラジリティ評価における耐力情報</p> <ul style="list-style-type: none"> ●評価部位、損傷モード及びその耐力値と確率分布 ●評価部位の材料と温度【構造損傷の場合】 ●機能限界値の諸元【機能損傷の場合】 <p>⑤フラジリティ評価における応答情報</p> <ul style="list-style-type: none"> ●評価部位、損傷モード及びその応答値と確率分布 ●基準地震動による地震力で発生する評価部位の応答とその他の荷重条件による評価部位の応答の内訳【構造損傷の場合】 ●基準地震動による地震力で発生する評価部位の応答【機能損傷の場合】 <p>⑥建物・機器のフラジリティ評価結果</p> | <p>①～⑥</p> <p>以下の手順でフラジリティ評価を実施した。</p> <p>(1)評価対象と損傷モードの設定</p> <p>(2)評価方法の選択</p> <p>(3)評価上の不確かさ、応答係数等の設定</p> <p>(4)現実的耐力の評価</p> <p>(5)現実的応答の評価</p> <p>(6)フラジリティの評価</p> <p>建屋フラジリティ及び屋外重要土木構造物のフラジリティは「現実的耐力と現実的応答による方法（応答解析に基づく方法）」、機器フラジリティは「耐力係数と応答係数による方法（安全係数法）」を評価方法として採用した。</p> <p>また、各機器に対する耐震評価結果、加振試験結果、文献値等を基に、現実的耐力と現実的応答を評価してフラジリティを算出した。なお、構造損傷モードについては、機器の損傷に支配的となる部位に着目して評価を行った。</p> <p>（「3.2.1.3-1 建屋のフラジリティ」、「3.2.1.3-2 屋外重要土木構造物のフラジリティ」、「3.2.1.3-3 機器のフラジリティ」）</p> |
| <p>d. 事故シーケンス</p> <p>(1) 起因事象</p> <p>①評価対象とした起因事象のリスト，説明及び発生頻度</p> <ul style="list-style-type: none"> ●地震により誘発される起因事象の選定方法とその結果 ●グループ化している場合にはグループ化の考え方，発生頻度の評価方法 ●対象外とした起因事象と，対象外とした理由 ●地震固有の事象とその取扱い <p>②階層イベントツリーとその説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ●起因事象の階層化の考え方，イベントツリーとその説明 | <p>①事故シナリオの分析を踏まえ，地震 P R Aにおける起因事象は以下を評価対象とした。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋損傷 ・格納容器損傷 ・原子炉圧力容器損傷 ・格納容器バイパス ・原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失（E x c e s s i v e－L O C A） ・計装・制御系喪失 ・直流電源喪失 ・交流電源喪失 ・外部電源喪失 ・過渡事象 <p>②階層イベントツリーは，起因事象が発生した時の炉心損傷への影響が大きい順に並べ，これらをヘディングとした。</p> <p>「3.2.1.4 事故シーケンス (1)起因事象」</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|---|
| <p>(2) 成功基準</p> <p>①成功基準の一覧</p> <ul style="list-style-type: none"> ●起因事象ごとの成功基準 ●炉心損傷の定義 ●対処設備作動までの余裕時間及び使命時間 ●成功基準設定のために熱水力解析等を実施した場合は使用した解析結果，及び使用した解析コードの検証性 <p>(3) 事故シーケンス</p> <p>①イベントツリー</p> <ul style="list-style-type: none"> ●イベントツリー図 ●ヘディング，事故進展及び最終状態 ●イベントツリー作成上の主要な仮定 <p>(4) システム信頼性</p> <p>①評価対象としたシステムとその説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ●評価対象システム一覧 ●系統図，必要とするサポート系，試験，システム信頼性評価上の主要な仮定 ●B 及びC クラス機器の取扱い <p>②機器損傷に関する機器間の相関の取扱い</p> <p>③システム信頼性評価結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ●起因事象ごとのシステム信頼性評価結果 ●主要なミニマルカットセット（FT を用いた場合） <p>④システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度とその根拠</p> <p>(5) 人的過誤</p> <p>①評価対象とした人的過誤及び評価結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ●人的過誤の評価に用いた手法 ●人的過誤の分類，人的操作に対する許容時間，過誤回復の取扱い ●人的過誤評価用いた主要な仮定 ●人的過誤評価結果 | <p>①炉心損傷の定義，炉心損傷を防止するための緩和系の成功基準並びに余裕時間は内部事象出力運転時レベル1 P R Aと相違がない。また，緩和手段のない起因事象については成功基準を設定していない。使命時間については内部事象出力運転時レベル1 P R Aと同様に24時間とし，機器や外部電源の復旧には期待していない。</p> <p>「3.2.1.4 事故シーケンス (2)成功基準」</p> <p>①起因事象の階層イベントツリーと炉心損傷直結事象以外の起因事象に対して，緩和系の状態を表すイベントツリーを作成した。イベントツリーの展開方法には小イベントツリー／大フォールトツリー法を用いた。</p> <p>「3.2.1.4 事故シーケンス (3)事故シーケンス」</p> <p>①内部事象出力運転時レベル1 P R Aにおける検討内容及び事故シナリオの分析を踏まえて作成した建屋・機器リストを使って対象範囲を明確にした。各系統の情報や依存性については内部事象出力運転時レベル1 P R Aと同様である。</p> <p>なお，耐震重要度B及びCクラス機器については，地震の影響を考慮し，その機能は期待しない。ただし，安全設備の使命時間内の機能維持に必要なとなる燃料移送系設備は評価対象とした。</p> <p>②冗長設備は基本的に同一の耐震設計がなされた上で同一フロアに設置されるため，同様の系統及び機器に対する機能喪失は，系統間及び機器間で完全相関（完全従属）するものとした。それ以外の系統間及び機器間の相関は完全独立を想定した。</p> <p>③内部事象出力運転時レベル1 P R Aと同様に，イベントツリーのヘディングに対応するフロントライン系とそのサポート系について，フォールトツリーを作成し，信頼性を評価した。</p> <p>④内部出力運転時事象レベル1 P R Aで設定した項目を除き，システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度はない。</p> <p>「3.2.1.4 事故シーケンス (4)システム信頼性」</p> <p>①地震P R Aでは以下に示すように，内部事象出力運転時レベル1 P R Aでの検討に基づいた人的過誤確率を使用した。起因事象発生前の人的過誤については地震による影響を考慮する必要がないため，内部事象レベル1 P R Aでの検討結果を用いた。起因事象発生後の人的過誤は地震後に対応する作業であることを考慮し，内部事象出力運転時レベル1 P R Aと比較して高いストレスレベルを仮定した。</p> <p>「3.2.1.4 事故シーケンス (5)人的過誤」</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|--|
| <p>(6) 炉心損傷頻度</p> <p>①炉心損傷頻度の算出に用いた方法</p> <p>②炉心損傷頻度結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ●全炉心損傷頻度及び主要な事故シーケンスと分析 ●起因事象別の炉心損傷頻度及び主要な事故シーケンスと分析 ●プラント損傷状態別炉心損傷頻度及び主要な事故シーケンスと分析 ●地震加速度と炉心損傷頻度の関係とその分析 <p>③重要度解析，不確実さ解析及び感度解析</p> | <p>①本評価では，フォールトツリー結合法を用いた計算コード RiskSpectrum®PSAにより炉心損傷頻度を評価した。</p> <p>②上記のとおりの評価手法により定量化し，事故シーケンスグループ別の炉心損傷頻度，地震加速度区分別炉心損傷頻度を算出し，主要な事故シーケンスを確認した。</p> <p>なお，地震レベル1．5 P R Aは今回実施しないため，プラント損傷状態別の分析評価は行っていない。</p> <p>③事故シーケンスグループ等の選定に係る炉心損傷頻度の相対的な割合の確認に際しての参考として，不確実さ解析を行った。</p> <p>また，炉心損傷に至る支配的な要因を確認する観点で，重要度解析を実施した。</p> <p>また，対象項目として評価結果に影響を及ぼす可能性のある仮定，データ等を選定し，感度解析を実施した。</p> <p>「3.2.1.4 事故シーケンス (6)炉心損傷頻度」</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所の P R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|---|
| <p>3. 2 外部事象（津波）</p> <p>a. 対象プラントと事故シナリオ</p> <p>①対象とするプラントの説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ●津波 P R A の中で考慮する設備の一覧及び設備の説明 ●ウォークダウン実施の有無とウォークダウンの結果 <p>②津波により炉心損傷に至る事故シナリオと分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ●事故シナリオの分析・選定とスクリーニングの説明 ●事故シナリオと起因事象の分析結果 ●建物・機器リストの作成結果 | <p>①内部事象出力運転時レベル 1 P R Aにおいて収集したプラント構成・特性等に関する情報の他，配置関連設計図書等により津波 P R Aに必要な情報を収集・整理した。また，机上検討では確認が難しいプラント情報を取得するため，及び検討したシナリオの妥当性を確認するために，東海第二発電所においてプラントウォークダウンを実施し，以下の点について問題がないことを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・津波の影響 ・間接的被害の可能性 <p>（「3.2.2.1 対象プランと事故シナリオ（1）対象とするプラントの説明」）</p> <p>②津波により炉心損傷に至る事故シナリオを抽出し，スクリーニングで除外するシナリオについてはその内容を明記した。除外されずに残った事故シナリオを分析し，以下の起因事象を選定した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最終ヒートシンク喪失 ・原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失 <p>また，津波 P R Aの評価対象設備を以下のように分類し，建屋・機器リストを作成した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・津波防護施設及び浸水防止設備 ・起因事象を引き起こす設備 ・起因事象を緩和する設備 <p>（「3.2.2.1 対象プランと事故シナリオ（2）津波により炉心損傷に至る事故シナリオと分析」）</p> |
| <p>b. 津波ハザード</p> <p>①津波ハザード評価の方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ●新規制基準（津波）にて策定された基準地震動及び基準津波の超過確率の算出に用いた津波ハザード評価に用いた手法の説明 | <p>①基本津波の超過確率の算出に用いた確率論的津波ハザードは，日本原子力学会標準「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2011」，「確率論的津波ハザード解析の方法」（平成 23 年 9 月 社団法人 土木学会 原子力土木委員会 津波評価部会），2011 年東北地方太平洋沖地震から得られた知見等を踏まえ実施した。</p> <p>（「3.2.2.2 確率論的津波ハザード（1）確率論的津波ハザード評価の方法」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所の P R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|--|
| <p>②津波ハザード評価に当たっての主要な仮定</p> <ul style="list-style-type: none"> ●津波発生モデル、津波伝播モデルの設定と各モデルの設定根拠及び不確実さ要因の分析結果の説明 ●不確実さ要因の分析結果に基づいて作成したロジックツリーの明示とロジックツリーの各分岐において設定した重みの根拠の説明 <p>③津波ハザード評価結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ●作成したロジックツリーを用いた津波ハザード曲線群の算出と、各ハザード曲線群から求めた信頼度別ハザード曲線や平均ハザード曲線の説明 ●津波ハザード評価結果に基づくフラジリティ評価用地震動及び津波水位変動の作成方法の説明 | <ul style="list-style-type: none"> ・②認識論的不確実さとして、津波発生領域、波源モデル、発生パターン、地震規模、平均発生間隔等を考慮した。偶然的不確実さとして、津波水位のばらつきの分布を対数正規分布として考慮した。ロジックツリーの作成に当たっては、日本原子力学会標準（2011）、土木学会（2002, 2009, 2011）、原子力安全基盤機構（2014）、地震調査研究推進本部（2012a, 2012b）を参考とし、2011年東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえて分岐及び重みを設定した。 （「3.2.2.2 確率論的津波ハザード（2）確率論的津波ハザード評価に当たっての主要な仮定」） ③ロジックツリーを基にハザード曲線を算定した。最高水位及び最低水位の年超過確率は10^{-4}程度及び10^{-3}程度である。 （「3.2.2.2 確率論的津波ハザード（3）確率論的津波ハザード評価結果」） |
| <p>c. 建屋・機器のフラジリティ</p> <p>①評価対象と損傷モードの設定</p> <p>②フラジリティの評価方法の選択</p> <p>③フラジリティ評価上の主要な仮定（不確実さの設定、応答係数等）</p> <p>④フラジリティ評価における耐力情報</p> <ul style="list-style-type: none"> ●評価部位、損傷モード及びその耐力値と確率分布 ●評価部位の材料と温度【構造損傷の場合】 ●機能限界値の諸元【機能損傷の場合】 <p>⑤フラジリティ評価における応答情報</p> <ul style="list-style-type: none"> ●評価部位、損傷モード及びその応答値と確率分布 ●基準津波による波力等で発生する評価部位の応答とその他の荷重条件による評価部位の応答の内訳【構造損傷の場合】 ●基準津波による津波水位変動で被水・没水する評価部位の状況【機能損傷の場合】 <p>⑥建物・機器のフラジリティ評価結果</p> | <p>①～⑥</p> <p>建屋・機器リストに基づき、評価対象設備の考慮すべき影響（損傷モード）ごとにフラジリティを検討した。その結果、津波防護施設及び浸水防止設備については波力を、また、起因事象を引き起こす設備及び起因事象を緩和する設備については没水、被水を津波による支配的な損傷モードとして抽出した。</p> <p>抽出した評価対象設備に対する波力、没水、被水の損傷モードについては、津波が評価対象設備を損傷又は評価対象設備に到達する津波高さに達した時点で、当該設備が確率 1.0 で損傷すると仮定した。</p> <p>（「3.2.2.3 建屋・機器フラジリティ」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|---|
| <p>d. 事故シーケンス</p> <p>(1) 起因事象</p> <p>①評価対象とした起因事象のリスト，説明及び発生頻度</p> <ul style="list-style-type: none"> ●津波により誘発される起因事象の選定方法とその結果 ●グループ化している場合にはグループ化の考え方，発生頻度の評価方法 ●対象外とした起因事象と，対象外とした理由 ●津波固有の事象とその取扱い <p>②階層イベントツリーとその説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ●起因事象の階層化の考え方，イベントツリーとその説明 <p>(2) 成功基準</p> <p>①成功基準の一覧</p> <ul style="list-style-type: none"> ●起因事象ごとの成功基準 ●炉心損傷の定義 ●対処設備作動までの余裕時間及び使命時間 ●成功基準設定のために熱水力解析等を実施した場合は使用した解析結果，及び使用した解析コードの検証性 <p>(3) 事故シーケンス</p> <p>①イベントツリー</p> <ul style="list-style-type: none"> ●イベントツリー図 ●ヘディング，事故進展及び最終状態 ●イベントツリー作成上の主要な仮定 <p>(4) システム信頼性</p> <p>①評価対象としたシステムとその説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ●評価対象システム一覧 ●系統図，必要とするサポート系，試験，システム信頼性評価上の主要な仮定 ●B 及びC クラス機器の取扱い <p>②機器損傷に関する機器間の相関の取扱い</p> <p>③システム信頼性評価結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ●起因事象ごとのシステム信頼性評価結果 ●主要なミニマルカットセット（FT を用いた場合） <p>④システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度とその根拠</p> | <p>①津波 P R Aでは以下の起因事象を抽出した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最終ヒートシンク喪失（T.P. +20m～T.P. +22m） ・原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（最終ヒートシンク喪失）（T.P. +22m～T.P. +24m） ・防潮堤損傷（T.P. +24m～） <p>②階層イベントツリーは，起因事象が発生した時の炉心損傷への影響が大きい順に並べ，これらをヘディングとした。 （「3.2.2.4 事故シーケンス（1）起因事象」）</p> <p>①炉心損傷防止の成功基準は，内部事象出力運転時レベル1 P R Aと津波 P Aでは相違がないため，内部事象出力運転時レベル1 P R Aで設定した成功基準を用いた。ただし，津波襲来までに原子炉は停止していることから，原子炉停止機能については，評価対象とはせず考慮していない。使命時間については内部事象出力運転時レベル1 P R Aと同様に24時間とし，機器や外部電源の復旧には期待していない。 （「3.2.2.4 事故シーケンス（2）成功基準」）</p> <p>①起因事象「最終ヒートシンク喪失」については，いずれのシーケンスも炉心損傷に至るが，圧力バウンダリの健全性及び高圧炉心冷却系である原子炉隔離時冷却系の成否により事故シーケンスが異なるため，イベントツリーを展開して評価した。 （「3.2.2.4 事故シーケンス（3）事故シーケンス」）</p> <p>①システムの非信頼度は，内部事象出力運転時レベル1 P R Aと同様の評価を用いた。</p> <p>②系統間の従属性の取扱いは内部事象レベル1PRAと同様とした。また，津波の影響については，建屋内に浸水した場合，フロア全体が一樣な深さで浸水し当該フロアの機器は全て機能喪失するとした。</p> <p>③起因事象を緩和する設備のシステム信頼性は，内部事象出力運転時レベル1 P R Aと同じである。津波の影響を受ける可能性のある設備は，建屋・機器フラジリティ評価の結果及び人的過誤を考慮して設備の信頼性評価を実施した。</p> <p>④内部出力運転時事象レベル1 P R Aで設定した項目を除き，システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度はない。 （「3.2.2.4 事故シーケンス（4）システム信頼性」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|--|--|
| <p>(5) 人的過誤</p> <p>① 評価対象とした人的過誤及び評価結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 人的過誤の評価に用いた手法 ● 人的過誤の分類，人的操作に対する許容時間，過誤回復の取扱い ● 人的過誤評価用いた主要な仮定 ● 人的過誤評価結果 <p>(6) 炉心損傷頻度</p> <p>① 炉心損傷頻度の算出に用いた方法</p> <p>② 炉心損傷頻度結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 全炉心損傷頻度及び主要な事故シーケンスと分析 ● 起因事象別の炉心損傷頻度及び主要な事故シーケンスと分析 ● プラント損傷状態別炉心損傷頻度及び主要な事故シーケンスと分析 ● 地震加速度と炉心損傷頻度の関係とその分析 <p>③ 重要度解析，不確実さ解析及び感度解析</p> | <p>① 起因事象発生前の人的過誤については津波による影響を考慮する必要がないため，内部事象レベル 1 P R Aでの検討結果を用いた。起因事象発生後人的過誤は津波襲来後に対応する作業であることを考慮し，内部事象出力運転時レベル 1 P R Aでの検討結果と比較して高いストレスレベルを仮定した。 (「3.2.2.4 事故シーケンス (5) 人的過誤」)</p> <p>① 計算コード RiskSpectrum@PSA を用いてフォールトツリー結合法により炉心損傷頻度を評価した。</p> <p>② 上述した手順でモデルを定量化し，津波高さ別及びプラント損傷状態別の炉心損傷頻度を評価した。また，全炉心損傷頻度への寄与割合から主要な事故シーケンスを抽出し，その内容を分析した。</p> <p>③ 津波ハザードやランダム故障確率に含まれる不確実さが炉心損傷頻度の分布に与える影響を評価するため，不確実さ解析を行った。重要度解析については，津波 P R Aの評価対象となる高さ T.P. +20m 以上の津波では必ず炉心損傷に至ることから，有益な結果が得られないため実施していない。また，感度解析として，津波襲来前に地震により外部電源が喪失すると仮定した評価を実施した。 (「3.2.2.4 事故シーケンス (6) 炉心損傷頻度」)</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|--|--|
| <p>4. レベル 1. 5 P R A</p> <p>4. 1 内部事象</p> <p>a. プラントの構成・特性</p> <p>①対象プラントに関する説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ●機器・系統配置，形状・設備容量，事故への対処操作，燃料及びデブリの移動経路など | <p>①対象プラントの機器・系統配置，形状・設備容量，事故の緩和操作，燃料及びデブリの移動経路等を整理した。 （「4.1.1.1 プラントの構成・特性（1）対象プラントに関する説明」）</p> |
| <p>b. プラント損傷状態の分類及び発生頻度</p> <p>① プラント損傷状態の一覧</p> <ul style="list-style-type: none"> ●プラント損傷状態の考え方 ●プラント損傷状態の一覧 ●レベル 1 の事故シーケンスに対するプラント損傷状態の分類結果 ●レベル 1 結果との関係（レベル 1 の最終状態と分類が異なる場合） <p>②プラント損傷状態ごとの発生頻度</p> <ul style="list-style-type: none"> ●プラント損傷状態ごとの発生頻度 | <p>①内部事象出力運転時レベル 1 P R A で得られた炉心損傷状態に至るすべての事故シーケンスに対して，事故の進展及び緩和操作の類似性からプラント損傷状態（P D S）に分類し，一覧表で示した。 （「4.1.1.2 プラント損傷状態の分類及び発生頻度（1）P D S の一覧」）</p> <p>②プラント損傷状態ごとの発生頻度を表に整理した。 （「4.1.1.2 プラント損傷状態の分類及び発生頻度（2）P D S 別の炉心損傷頻度」）</p> |
| <p>c. 格納容器破損モード</p> <p>①格納容器破損モードの一覧と各破損モードに関する説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ●格納容器破損モード分類の考え方 ●格納容器破損モードの一覧 ●各破損モードに関する説明 | <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ●事故の進展を考慮して，格納容器の健全性に影響を与える負荷を分析して格納容器破損モードを分類した。 ●炉心損傷後の格納容器内の物理化学的挙動を網羅的に考慮し，事故進展に応じて想定される，格納容器の健全性に影響を与える負荷を，発生時期に沿って示した。 ●抽出した負荷，負荷の概要及び格納容器破損モードの説明を示した。 （「4.1.1.3 格納容器破損モード（1）格納容器破損モードの一覧と各破損モードに関する説明」） |
| <p>d. 事故シーケンス</p> <p>①格納容器イベントツリー構築の考え方及びプロセス</p> <ul style="list-style-type: none"> ●格納容器イベントツリー構築の考え方 ●格納容器イベントツリー構築のプロセスの説明 | <p>①イベントツリーは，炉心損傷後の事象進展を考慮し，R P V破損前，R P V破損直後及び事故進展後長期の各フェーズにおける緩和設備の作動状況，発生する可能性のある各格納容器破損モードを踏まえて展開した。 （「4.1.1.4 事故シーケンス（1）格納容器イベントツリー構築の考え方及びプロセス」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|--|--|
| <p>②格納容器イベントツリー</p> <ul style="list-style-type: none"> ●格納容器イベントツリーを構築するに当たって検討した、重要な物理化学現象，対処設備の作動・不作動，運転員操作（レベル1との整合性を含む），ヘディング間の従属性 ●格納容器イベントツリー ●格納容器イベントツリーの最終状態への健全な場合も含めた格納容器破損モードの割り付け結果 | <p>②事故進展後の各フェーズにおける緩和手段の作動状況及び物理化学現象に基づき設定したヘディングに対して，ヘディング間の従属性を整理した。また，格納容器イベントツリーの構築に当たっては，最終状態が健全な場合も含めて格納容器破損モードを割り付けた。 （「4.1.1.4 事故シーケンス（2）格納容器イベントツリー」）</p> |
| <p>e. 事故進展解析</p> <p>①解析対象とした事故シーケンスと対象事故シーケンスの説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ●事故シーケンス選定の考え方 ●事故進展解析の解析条件 ●解析対象とした事故シーケンス一覧 ●対象事故シーケンスの説明 ●有効性評価の対象シーケンスとして選定した場合はその選定理由 <p>②事故シーケンスの解析結果</p> | <p>①事故進展解析の対象とした事故シーケンスは，事故進展の類似性，緩和設備の機能喪失状態の類似性を考慮して選定した。選定した事故シーケンスは，選定理由とともに一覧表に整理した。また，事故進展解析の主要な解析条件を一覧表にまとめた。 （「4.1.1.5 事故進展解析（1）解析対象とした事故シーケンスと対象事故シーケンスの説明」）</p> <p>②選定した各事故シーケンスについてプラントの熱水力挙動を解析した結果及び原子炉圧力容器内及び各事故シーケンスの解析結果における特徴的な事故進展を記載した。 （「4.1.1.5 事故進展解析（2）事故シーケンスの解析結果」）</p> |
| <p>f. 格納容器破損頻度</p> <p>①格納容器破損頻度の評価方法</p> <p>②格納容器イベントツリーヘディングの分岐確率</p> <ul style="list-style-type: none"> ●分岐確率の算出方法 ●格納容器イベントツリーヘディングの分岐確率 | <p>①格納容器破損頻度の定量化では，内部事象出力運転時レベル1 P R Aの評価に用いている計算コードと同じ Safety Watcher を使用し，格納容器イベントツリーのヘディングに対する分岐確率を入力条件として，P D S ごとの条件付き格納容器破損確率（C C F P）及び格納容器破損頻度（C F F）を算出した。 （「4.1.1.6 格納容器破損頻度（1）格納容器破損頻度の評価方法」）</p> <p>②物理化学現象のヘディングにおいて，不確実さが大きい現象に対しては，当該現象の支配要因，不確実さ幅及び格納容器の構造健全性への影響の因果関係を明らかにし，分解イベントツリー手法等を用いて，分岐確率を設定した。事故の緩和手段に関するヘディングについては，レベル1 P R A のフォールトツリーをもとに，フォールトツリーを作成することにより，緩和手段の非信頼度（分岐確率）をモデル化した。 （「4.1.1.6 格納容器破損頻度（2）格納容器イベントツリーヘディングの分岐確率」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所の P R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|---|
| <p>③格納容器破損頻度の評価結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ●全格納容器破損頻度及び主要事故シーケンスと分析 ●起因事象別格納容器破損頻度及び主要事故シーケンスと分析 ●破損モード別格納容器破損頻度及び主要事故シーケンスと分析 | <p>③全格納容器破損頻度，P D S別格納容器破損頻度，及び破損モード別格納容器破損頻度を整理し，主要な事故シーケンスの分析を実施した。 （「4.1.1.6 格納容器破損頻度（3）格納容器破損頻度の評価結果（点推定値）」）</p> |
| <p>g. 不確実さ解析及び感度解析</p> <p>①不確実解析結果</p> <p>②感度解析結果</p> | <p>①格納容器破損頻度の不確実さの幅を評価するため，不確実さ解析を実施した。その結果，格納容器破損モード別の点推定値は不確実さ分布内にあり，点推定値と不確実さ解析結果の傾向に大きな差がないことを確認した。 （「4.1.1.7 不確実さ解析及び感度解析（1）不確実解析」）</p> <p>②M a r k－Ⅱ型格納容器の特徴を把握するための感度解析を実施し，その結果をとりまとめた。 （「4.1.1.7 不確実さ解析及び感度解析（2）感度解析」）</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|--|--|
| <p>4. 2 外部事象（地震）</p> <p>a. プラントの構成・特性</p> <p>①対象プラントに関する説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ●機器・系統配置，形状・設備容量，事故への対処操作，燃料及びデブリの移動経路など ●ウォークダウン実施の有無とウォークダウンの結果 <p>②地震により格納容器破損に至る事故シナリオ</p> <ul style="list-style-type: none"> ●格納容器損傷及びその波及的影響のシナリオの分析・選定とスクリーニングの説明 ●事故シナリオと起因事象の分析結果 ●建物・機器リストの作成結果 | <p>地震レベル 1.5PRA については，以下の理由により実施は困難な段階である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・学会標準に一部手順が示されているのみであり，標準的な PRA 手法が確立されていない。 ・原子炉格納容器や原子炉建屋等が地震動によって直接損傷することが考えられるが，これらの損傷評価に関して，現時点では損傷箇所，損傷モード等を詳細に評価する知見がないことから，地震レベル 1.5PRA の実施に向けた検討を始めたところである。 <p>なお，炉心損傷後の格納容器内の物理化学現象の進展は，地震及び津波等の外部事象起因であっても内部事象と同等と考えられ，格納容器破損モードは内部事象と同等と考えている。</p> |
| <p>b. 地震ハザード</p> <p>①地震ハザード評価の方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ●新規制基準（地震，津波）にて策定された基準地震動の超過確率の算出に用いた地震ハザード評価に用いた手法 <p>②地震ハザード評価に当たっての主要な仮定</p> <ul style="list-style-type: none"> ●震源モデル，地震動伝播モデルの設定と各モデルの設定根拠及び不確実さ要因の分析結果の説明 ●不確実さ要因の分析結果に基づいて作成したロジックツリーの明示とロジックツリーの各分岐において設定した重みの根拠の説明 <p>③地震ハザード評価結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ●作成したロジックツリーを用いた地震ハザード曲線群の算出と，地震ハザード曲線群から求めた信頼度別ハザード曲線や平均ハザード曲線の説明 ●地震ハザード評価結果に基づく fragility 評価用地震動の作成方法の説明 | <p>同上</p> |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所の P R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|--------------|
| c. 建屋・機器のフラジリティ ①評価対象と損傷モードの設定 ②フラジリティの評価方法の選択 ③フラジリティ評価上の主要な仮定（不確実さの設定，応答係数等） ④フラジリティ評価における耐力情報 ●評価部位，損傷モード及びその耐力値と確率分布 ●評価部位の材料と温度【構造損傷の場合】 ●機能限界値の諸元【機能損傷の場合】 ⑤フラジリティ評価における応答情報 ●評価部位，損傷モード及びその応答値と確率分布 ●基準地震動による地震力で発生する評価部位の応答とその他の荷重条件による評価部位の応答の内訳【構造損傷の場合】 ●基準地震動による地震力で発生する評価部位の応答【機能損傷の場合】 ●基準地震動による地震力で発生する評価部位の応答【機能損傷の場合】 ⑥建物・機器のフラジリティ評価結果 | 同上 |
| d. プラント損傷状態の分類及び発生頻度 ①プラント損傷状態の一覧 ●プラント損傷状態の考え方 ●プラント損傷状態の一覧 ●レベル 1 の事故シーケンスに対するプラント損傷状態の分類結果 ●レベル 1 結果との関係（レベル 1 の最終状態と分類が異なる場合） ②プラント損傷状態ごとの発生頻度 | 同上 |
| e. 格納容器破損モード ①格納容器破損モードの一覧と各破損モードに関する説明 ●格納容器破損モード分類の考え方 ●格納容器破損モードの一覧 ●各破損モードに関する説明 | 同上 |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所の P R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|--|--------------|
| <p>f. 事故シーケンス</p> <p>①格納容器イベントツリー構築の考え方及びプロセス</p> <ul style="list-style-type: none"> ●格納容器イベントツリー構築の考え方 ●格納容器イベントツリー構築のプロセスの説明 <p>②格納容器イベントツリー</p> <ul style="list-style-type: none"> ●格納容器イベントツリーを構築するに当たって検討した，重要な物理化学現象，対処設備の作動・不作動（レベル 1 との整合性を含む），運転員操作，ヘディング間の従属性 ●格納容器イベントツリー ●格納容器イベントツリーの最終状態への健全な場合も含めた格納容器破損モードの割り付け | 同上 |
| <p>g. 事故進展解析</p> <p>①解析対象とした事故シーケンスと対象事故シーケンスの説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ●事故シーケンス選定の考え方 ●選定した事故シーケンスと説明 ●事故進展解析の解析条件 ●有効性評価の対象シーケンスとして選定した場合はその選定理由 <p>②事故シーケンスの解析結果</p> | 同上 |
| <p>h. 格納容器破損頻度</p> <p>①格納容器破損頻度の評価方法</p> <p>②格納容器イベントツリーヘディングの分岐確率</p> <ul style="list-style-type: none"> ●分岐確率の算出方法 ●使用した分岐確率 <p>③格納容器破損頻度の評価結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ●全格納容器破損頻度及び主要事故シーケンスと分析 ●起因事象別格納容器破損頻度及び主要事故シーケンスと分析 ●破損モード別格納容器破損頻度及び主要事故シーケンスと分析 | 同上 |
| <p>i. 不確実さ解析及び感度解析</p> <p>①不確実解析結果</p> <p>②感度解析結果</p> | 同上 |

「P R Aの説明における参照事項（平成 25 年 9 月 原子力規制庁）」への東海第二発電所のP R Aの対応状況について

| P R Aの説明における参照事項（原子力規制庁 平成 25 年 9 月）の記載内容 | 東海第二発電所の対応状況 |
|---|---|
| <p>5. その他</p> <p>a. 専門家判断</p> <p>① 専門家判断を用いた事項と専門家判断の結果</p> <p>② 専門家判断の導出のプロセス</p> | <p>① 評価上の仮定及び計算が適切かどうかを判断する場合，専門家判断を実施した。</p> <p>② 関連する分野に深い知識や経験を有するものを選任し，専門家判断を実施した。</p> |
| <p>b. ピアレビュー</p> <p>① ピアレビューチーム及びメンバー構成</p> <p>● 海外の専門家も含めたメンバーであること</p> <p>② ピアレビューの手順</p> <p>③ ピアレビューの結果</p> <p>④ ピアレビュー結果のP R A への反映状況</p> | <p>① レビューアの選定に当たっては，専門性，経験，独立性及び公正性の4つの要素を考慮して選定している。</p> <p>・ 今回実施したレビュー実施方法を含め，P R A全般を俯瞰した視点から改善事項を抽出する観点でP R Aの経験豊富な海外レビューアを招聘し，米国でのP R A実施状況との比較に基づく助言を得ることとした。</p> <p>② オンサイトレビューを効率的・効果的に実施するために，各レビューアに事前にP R Aの概要資料を提出し，全体の内容把握及びオンサイトレビューにおいて重点的に内容を確認する項目の抽出・整理する期間を設けた。オンサイトレビューに際しては，適宜P R A実施者と質疑応答を行い，具体的な内容・課題を共有しながら進めた。</p> <p>③ 学会標準への不適合や評価手法に問題があるとされる「指摘事項」は0件であり，今回実施したP R Aの評価結果に影響を及ぼすような技術的な問題点がないことが確認された。</p> <p>④ P R Aの更なる品質向上に資すると考えられる「推奨事項」として12件のコメントを受理しており，評価手法の見直し等を含めて今後の対応を検討する。</p> |
| <p>c. 品質保証</p> <p>① P R A を実施するに当たって行った品質保証活動</p> <p>● P R A の実施体制</p> <p>● 更新，記録管理体制</p> | <p>① 品質保証活動に基づく社内基準に従ってP R Aを実施した。</p> <p>・ P R Aの実施に当たっては，必要な力量を有する者を選定し，品質保証上必要となる体制を整備した上で実施した。</p> <p>・ 文書化，記録等の管理体制及び管理方法は社内基準に従って適切に実施した。</p> |

東海第二発電所 P R A ピアレビュー実施結果及び今後の対応方針 について

1. 目 的

事故シーケンスグループ及び格納容器破損モードの選定にあたり実施した P R A の妥当性確認及び品質向上を目的として、国内外の P R A 専門家によるピアレビューを実施した。また、レビューにおいて指摘されたコメントについては、今後の対応方針を検討した。

2. ピアレビューの実施内容

2.1 内部事象 P R A

今回実施した以下に示す各 P R A を対象に、日本原子力学会標準との整合性、及び国内外の知見を踏まえた P R A 手法の妥当性について確認を行った。なお、本ピアレビューでは「P S A ピアレビューガイドライン（平成 21 年 6 月 一般社団法人 日本原子力技術協会）」及び「原子力発電所の確率論的リスク評価の品質確保に関する実施基準：2013（2014 年 5 月 一般社団法人 日本原子力学会）」（以下「ガイドライン等」という。）を参考にレビューを行った。

(1) レビュー対象とした P R A

- ・ 内部事象出力運転時レベル 1 P R A
- ・ 内部事象停止時レベル 1 P R A
- ・ 内部事象出力運転時レベル 1 . 5 P R A

なお、地震レベル 1 P R A 及び津波レベル 1 P R A については、実施時期が異なるため、2.2 章に記載する。

(2) レビュー体制

レビューアの選定にあたっては、ガイドライン等に従い、専門

性，経験，独立性及び公正性の 4 つの要素を考慮して以下のとおり選定した。なお，レビューの実施にあたっては，多面的な視点で評価するため，各 P R A はレビューチームのうち複数のメンバー（主担当，副担当）がレビューを行うこととした。また，今回実施したレビュー実施方法を含め P R A 全般を俯瞰した視点から改善事項を抽出する観点で P R A の経験豊富な海外レビューアを招聘し，欧米での P R A 実施状況との比較に基づく助言を得ることとした。レビュー体制のイメージを図 1 に示す。

●国内レビューア：7 名



●海外レビューア：1 名

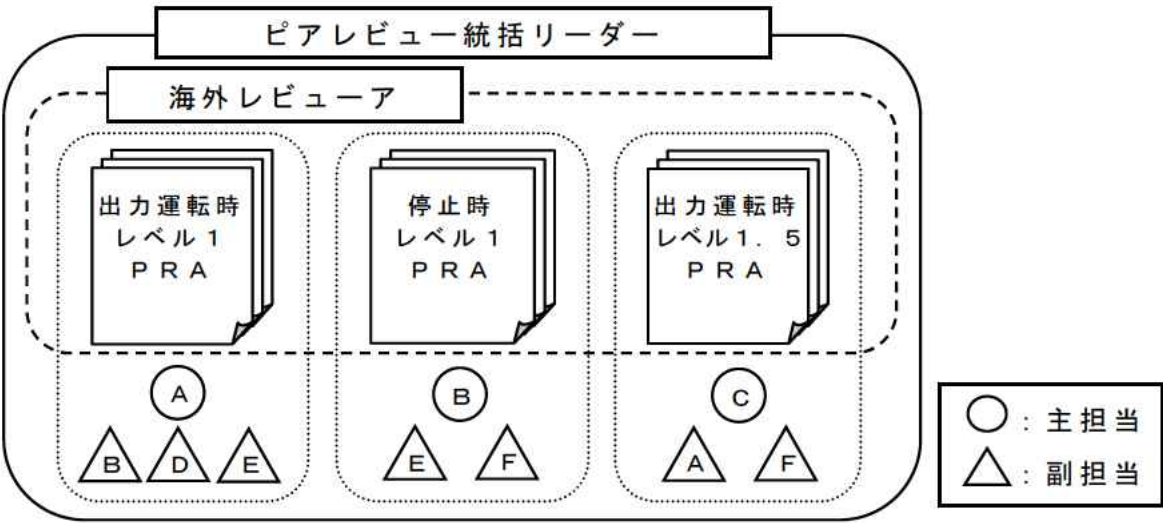


図 1 レビュー体制のイメージ

(3) 国内レビューアのレビュー方法及び内容

a. 事前準備（情報収集及び分析）：約 1 週間

オンサイトレビューを効率的かつ効果的に実施するために、事前に当社から国内レビューアへ P R A の概要資料を提示し、国内レビューアが全体の内容を把握するとともに、オンサイトレビューにおいて重点的に内容を確認する項目を抽出・整理する期間を設けた。

b. オンサイトレビュー：約 1 週間

国内レビューアは、各 P R A の実施内容について文書化された資料を基に、学会標準への適合性確認を主眼としてレビューを実施した。レビューを円滑に進めるため、P R A 実施者（当社社員、当社協力会社社員）と質疑応答の場を設け、事実関係を確認するとともに、国内レビューアとの質疑応答の内容については適宜文書化しながら進めた。

c. ピアレビュー結果報告書の作成：約 1 か月

国内レビューアは、オンサイトレビューにて抽出したコメントを以下の項目ごとに整理し、ピアレビューの実施結果を報告書として取りまとめた。

・指摘事項

P R A が学会標準に技術的に適合しないもの、又は評価結果に影響を及ぼすような技術的な問題があるもの

・推奨事項

学会標準には適合しているものの、より品質の高い P R A の実施のために反映が推奨されるもの

- ・文書化における指摘事項

学会標準への適合性を示すための文書化が不足しているもの

- ・文書化における改善提案

学会標準への適合性を示すための文書化はされているものの、P R Aの説明性向上の観点から改善が望ましいもの

- ・良好事例

良好的な事例で、今後も継続した実施が望まれるもの

2.2 外部事象 P R A

今回実施した以下に示す各 P R A を対象に、日本原子力学会標準との整合性、及び国内外の知見を踏まえた P R A 手法の妥当性について確認を行った。なお、本ピアレビューでは「P S A ピアレビューガイドライン（平成 21 年 6 月 一般社団法人 日本原子力技術協会）」及び「原子力発電所の確率論的リスク評価の品質確保に関する実施基準：2013（2014 年 5 月 一般社団法人 日本原子力学会）」（以下「ガイドライン等」という。）を参考にレビューを行った。

(1) レビュー対象とした P R A

- ・地震レベル 1 P R A
- ・津波レベル 1 P R A

(2) レビュー体制

レビューアの選定にあたっては、ガイドライン等に従い、専門性、経験、独立性及び公正性の 4 つの要素を考慮して以下のとおり選定した。なお、レビューの実施にあたっては、多面的な視点で評価するため、各 P R A はレビューチームのうち複数のメンバー（主担当、副担当）がレビューを行うこととした。また、今回

実施したレビュー実施方法を含めP R A全般を俯瞰した視点から改善事項を抽出する観点でP R Aの経験豊富な海外レビューアを招聘し，欧米でのP R A実施状況との比較に基づく助言を得ることとした。レビュー体制のイメージを図2に示す。

●国内レビューア：5名



●海外レビューア：1名

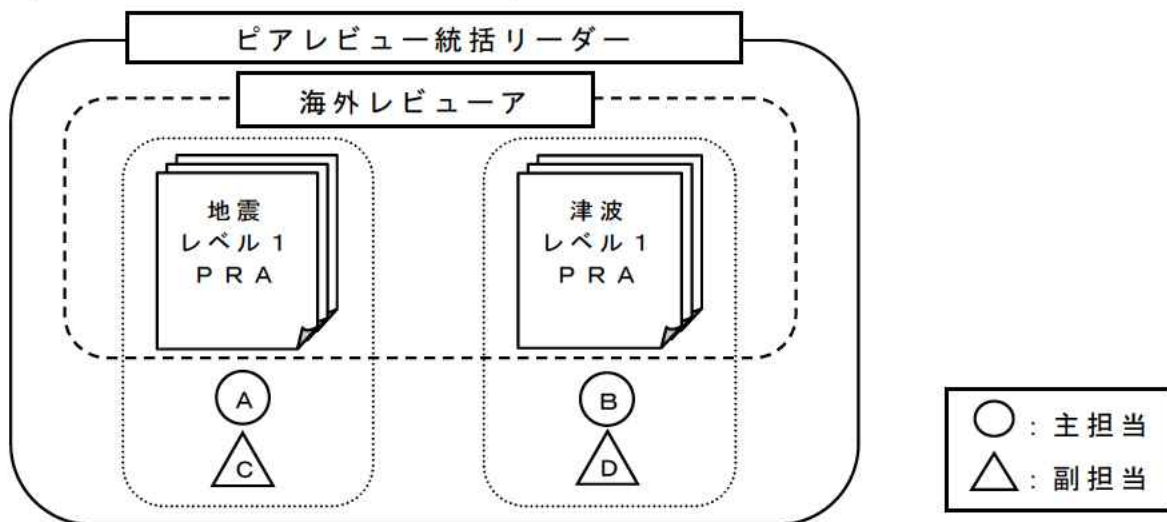


図2 レビュー体制のイメージ

(3) 国内レビューアのレビュー方法及び内容

a. 事前準備（情報収集及び分析）：約2週間

オンサイトレビューを効率的かつ効果的に実施するために，事前に当社から国内レビューアへP R Aの概要資料を提示し，国内レビューアが全体の内容を把握するとともに，オンサイトレビューにおいて重点的に内容を確認する項目を抽出・整理す

る期間を設けた。

b. オンサイトレビュー：約 1 週間

国内レビューアは、各 P R A の実施内容について文書化された資料を基に、学会標準への適合性確認を主眼としてレビューを実施した。レビューを円滑に進めるため、P R A 実施者（当社社員、当社協力会社社員）と質疑応答の場を設け、事実関係を確認するとともに、国内レビューアとの質疑応答の内容については適宜文書化しながら進めた。

c. ピアレビュー結果報告書の作成：約 1 か月

国内レビューアは、オンサイトレビューにて抽出したコメントを以下の項目ごとに整理し、ピアレビューの実施結果を報告書として取りまとめた。

・指摘事項

P R A が学会標準に技術的に適合しないもの、又は評価結果に影響を及ぼすような技術的な問題があるもの

・推奨事項

学会標準には適合しているものの、より品質の高い P R A の実施のために反映が推奨されるもの

・文書化における指摘事項

学会標準への適合性を示すための文書化が不足しているもの

・文書化における改善提案

学会標準への適合性を示すための文書化はされているものの、P R A の説明性向上の観点から改善が望ましいもの

・良好事例

良好的な事例で，今後も継続した実施が望まれるもの

3. レビュー結果の概要及び今後の対応方針

(1) 国内レビューアからのコメント

国内レビューアによる東海第二発電所の P R A に対するコメント件数を表 1 に，コメントの分類ごとの割合を図 3 に示す。

レビューの結果，指摘事項は 0 件であり，今回実施した P R A が学会標準に技術的に適合していること，及び評価結果に影響を及ぼすような技術的な問題点はないことが確認された。

また，推奨事項は 12 件，文書化における指摘事項は 10 件，文書化における改善提案は 97 件，良好事例は 32 件であった。

国内レビューアによるレビュー結果の概要及び今後の対応方針について以下にまとめる。

表 1 国内レビューアによるコメント件数

| | | 出力運転時 レベル 1 P R A | 停止時 レベル 1 P R A | 出力運転時 レベル 1 . 5 P R A | 地震 レベル 1 P R A | 津波 レベル 1 P R A | 合計 |
|------|------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|-----|
| 指摘事項 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 推奨事項 | | 7 | 3 | 0 | 1 | 1 | 12 |
| 文書化 | 指摘事項 | 1 | 7 | 0 | 2 | 0 | 10 |
| | 改善提案 | 34 | 22 | 15 | 19 | 7 | 97 |
| 良好事例 | | 14 | 7 | 5 | 5 | 1 | 32 |
| 合計 | | 56 | 39 | 20 | 27 | 9 | 151 |

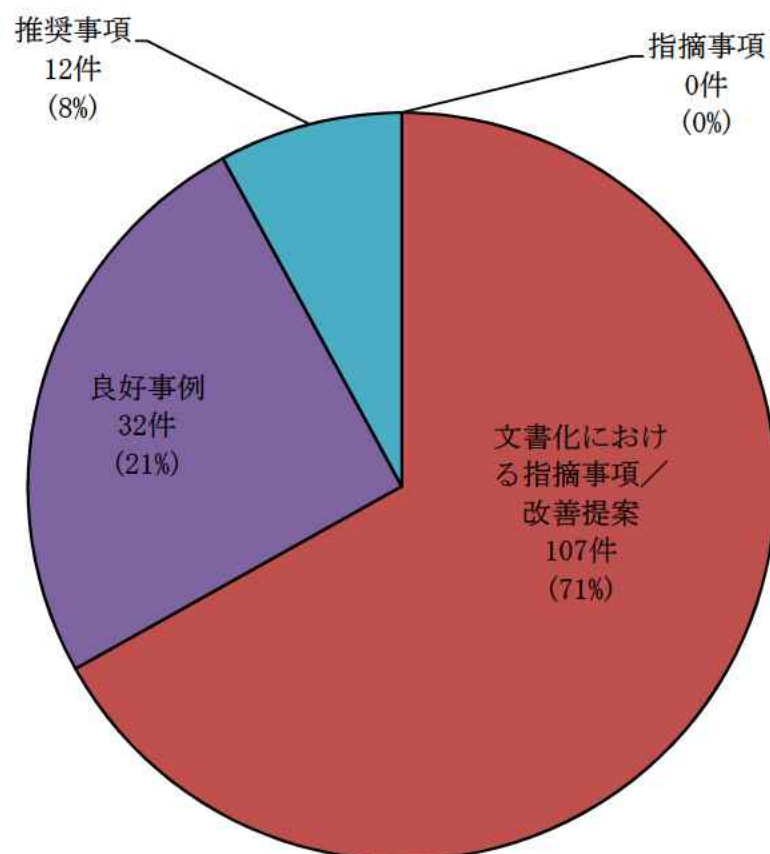


図 3 全コメントに対する各コメントの割合

a. 指摘事項

今回のピアレビューでは指摘事項は 0 件であり，学会標準に適合した P R A であること，及び評価結果に影響を及ぼすような技術的な問題がないことが確認された。

b. 推奨事項

今回のピアレビューでは 12 件の推奨事項が挙げられた。推奨事項の内容を表 2 に示す。これらの推奨事項については，今後，評価手法改善に向けた調査・検討を実施していく。

c. 文書化における指摘事項及び改善提案

今回のピアレビューでは 10 件の指摘事項，97 件の改善提案が

挙げられており，モデル化された内容が詳細に文書化されていない事例が多く挙げられた。文書化については，実施した P R A モデルの内容を説明するうえで重要な要素であることから，今後文書化の際に改善を図っていく。文書化に関するコメントの一例を以下に示す。

＜文書化における指摘事項＞

- ・緩和操作と緩和設備との従属性について追記する必要がある。

（停止時レベル 1 P R A）

＜文書化における改善提案＞

- ・格納容器破損モードの設定における，I S L O C A の発生箇所及び破損規模の分析については，出力運転時レベル 1 P R A 説明資料にて分析されているため，該当箇所を参照しておくことが望ましい。（出力運転時レベル 1 . 5 P R A）

d . 良好事例

今回のピアレビューでは 32 件の良好事例が挙げられた。今回良好事例として挙げられた項目については，今後も引き続き継続実施していくとともに，更なる品質向上に努めていく。良好事例の一例を以下に示す。

＜良好事例＞

- ・フォールトツリー集に，システムごとのフォールトツリーの作成内容が詳細かつ明確にまとめられている。（出力運転時レベル 1 P R A）
- ・他の研究機関において B W R 5 M a r k - II 型格納容器プラントを対象に実施された評価例も調査し，感度解析を実施している。（出力運転時レベル 1 . 5 P R A）

(2) 海外レビューアからのコメント

今回のピアレビューでは、海外レビューアから 21 件のコメントが挙げられた。海外レビューアからのコメントを表 3 に示す。今回実施した P R A は学会標準に適合した手法を用いて評価を実施しているが、海外レビューアからのコメントを踏まえ、今後、より品質の高い P R A の実施に向けて反映を検討していく。

4. ま と め

東海第二発電所の P R A を対象としたピアレビューの結果、国内レビューアからの指摘事項は無く、P R A が学会標準に技術的に適合していること、及び評価結果に影響を及ぼすような技術的な問題点はないことが確認された。しかしながら、より品質の高い P R A の実施に有益なものとして推奨事項、文書化における指摘事項及び改善提案が多く挙げられた。また、海外レビューアからも、海外の事例との相違点を踏まえたコメントが得られた。これらのコメントについては、今後、より品質の高い P R A の実施に向けて反映を検討していく。

表2 国内レビューアからのコメント内容及びそのコメントへの対応方針 (1/4)

| 分類 | 項目 | 番号 | コメント内容 | 対応方針 |
|-----------|---------|----|---|--|
| 出力運転時レベル1 | 成功基準の設定 | 1 | 今回のPRAは設計基準ベースの評価であるため、許認可解析コードを用いている。しかし、今後アクシデントマネジメント策等を考慮した評価を行う場合には、リアリスティックな解析結果では成功基準を満足する条件に対しても、保守的な許認可解析コードを用いた場合には成功基準を満足しない結果を与えるおそれがある。したがって、リアリスティックな解析結果を与える詳細解析コードを評価に用いることを推奨する。 | 今回のPRAは設計基準事故対処設備のみに期待した評価であるが、今後実施する安全性向上評価は、重大事故等対処設備等のアクシデントマネジメント策に期待した評価であることから、現実的な成功基準を設定するため、必要に応じて詳細解析コードによる成功基準解析の実施を検討することとする。 |
| | | 2 | 公表されている同型プラントのPRA（PSR等）により、成功基準の妥当性を確認することが望ましい。 | 今回のPRAでは、同型プラントの成功基準との比較は実施していたが、文書化を実施していなかった。 また、左記のコメントと合わせて、成功基準の妥当性確認に関する文書化における改善提案が出されている。 このため、今後、同型プラントとの比較について適切に文書化していくこととする。 |

表2 国内レビューアからのコメント内容及びそのコメントへの対応方針 (2/4)

| 分類 | 項目 | 番号 | コメント内容 | 対応方針 |
|-----------|---------|------|--|---|
| 出力運転時レベル1 | 人間信頼性解析 | 3, 4 | <p>人的過誤確率について、H R A ツリーの各分岐で中央値とE F から平均値を算出し、それぞれの平均値を用いて人的過誤確率の平均値を評価し、E F をT H E R P の基準により設定しているが、不確実さの伝播を適切に評価するために、モンテカルロ計算やNUREG/CR-1278のAppendix-Aに記載されている近似計算を実施することを推奨する。(起因事象発生前、起因事象発生後)</p> | <p>Appendix-Aの手法をベースケースに適用した。今後の評価では、人的過誤の不確実さの伝播をより適切に評価するため、T H E R P 以外の手法も含め、人的過誤確率の評価方法について検討していくこととする。</p> |
| | | 5 | <p>今回のP R Aでは、「I S L O C A 起因事象発生頻度評価用の弁の開け忘れ／閉め忘れ」の人的過誤確率において、当直長等による過誤回復については、事象発生前の操作であり十分な時間余裕があるため、従属性を低従属として評価している。</p> <p>この人的過誤があった場合、一連の作業の流れで起因事象が発生し、十分な時間余裕はないと思われるため、当直長等の過誤回復の取り方について再検討することを推奨する。</p> | <p>十分な余裕時間はないとして、過誤回復の従属性を中従属とした場合、人的過誤確率の平均値は約2.8倍となり、I S L O C A の起因事象発生頻度が約2.3倍となるが、I S L O C A のドミナントカットセットは変わらないことを確認した。</p> <p>また、Appendix-Aの手法を用いて過誤回復の従属性を低従属及び中従属とした場合の計算を行った。その結果、人的過誤確率の平均値は約2.8倍となり、I S L O C A の起因事象発生頻度が約2.4倍となるが、I S L O C A のドミナントカットセットは変わらないことを確認した。</p> <p>今回のP R Aの目的から、ベースケースを変更する必要はないと判断したが、今後の評価では、当直長による過誤回復の取り方の見直しについて検討することとする。</p> |

表2 国内レビューアからのコメント内容及びそのコメントへの対応方針 (3/4)

| 分類 | 項目 | 番号 | コメント内容 | 対応方針 |
|-----------|-----------------|------|---|--|
| 出力運転時レベル1 | 事故シーケンスの 定量化 | 6 | 類似プラントの評価結果との比較については、公開資料から可能な範囲で何らかの比較を行うことにより、計算結果の妥当性を確認することを推奨する。 | <p>東海第二発電所は、補機冷却系の系統構成が、独立した系統による海水直接冷却型であるため、類似プラントの系統構成と異なることから、類似プラントの評価結果との比較による妥当性確認ではなく、事故シーケンスのカットセットの分析等により妥当性を確認している。</p> <p>系統構成の相違による評価結果への影響について評価・分析することは、プラントの特徴を把握するうえで有益であるため、今後の評価では、類似プラントの評価結果との比較を実施することとする。</p> |
| | 感度解析 | 7 | ベイズ更新処理において、更新のためのエビデンス（東海第二実績データ）は事前分布（一般故障率算出のための実績データ）と重複しない実績データを使用することを推奨する。 | <p>今回のPRAでは、ベイズ更新処理による感度解析を目的としていることから、事前分布は一般データと見なして簡易的に評価している。</p> <p>今後の評価では、ベースケースにおいて個別プラントデータを用いる場合、事前分布との重複に留意し、ベイズ更新処理を実施することとする。</p> |
| 停止時レベル1 | 人間信頼性解析 | 8, 9 | （出力運転時レベル1の番号3, 4と同様の内容） | （出力運転時レベル1の番号3, 4と同様の対応方針） |
| | 事故シーケンスの 定量化 | 10 | （出力運転時レベル1の番号6と同様の内容） | （出力運転時レベル1の番号6と同様の対応方針） |

表2 国内レビューアからのコメント内容及びそのコメントへの対応方針 (4/4)

| 分類 | 項目 | 番号 | コメント内容 | 対応方針 |
|--------|-------------|----|--|--|
| 地震レベル1 | 事故シーケンスの定量化 | 11 | <p>本評価では、同様の系統及び機器の間の損傷を完全従属とした場合をベースケースとしたうえで、感度解析としてFV重要度上位の機器についてその相関がない場合の解析を実施しているが、それ以外の条件での解析は実施していない。機器の間の相関は冗長な同様の機器の間だけではなく、特に地震時の応答は様々な機器の間に相関があることから、それが炉心損傷頻度に及ぼす影響について検討することが望ましい。</p> | <p>今回のPRAは、冗長化された系統は完全相関、その他の系統は完全独立を仮定してモデル化している。また、相関の不確かさについては冗長化された系統のうち、FV重要度が上位のものを対象に完全独立を仮定して評価することでその影響の程度を確認している。</p> <p>安全性向上評価へ向けた今後の評価では、相関の不確かさの影響を把握する観点から、冗長化された系統以外についても同種機器等の相関関係が疑われる機器については完全相関とした場合や完全独立とした場合の影響の程度を確認して評価を実施することを検討する。</p> |
| 津波レベル1 | システムのモデル化 | 12 | <p>保守による待機除外の組み合わせが存在しないケースについて、当該ミニマルカットセットを除外する目的でイベントヘディングを設けている。今回のPRAにおいては定量的影響が非常に小さく問題はないが、今後のPRAの活用において、待機除外状態を模擬した評価等を実施する場合に、ミニマルカットセットを除外することによって成功分岐において過小評価とならないよう留意することが望ましい。</p> | <p>今回のPRAでは、保安規定に基づき運転上許容されない系統の待機除外の組み合わせが含むカットセットを除外するため、イベントツリーにヘディングを設けて、これらカットセットが含まれることがないよう評価している。これらの待機除外確率の組み合わせについては、定量的影響が非常に小さいため、評価結果に与える影響は無視できるものと考えている。</p> <p>今後の評価においても、本手法により定量的影響が非常に小さくなることを確認し、評価結果に影響を及ぼすことがないよう留意する。</p> |

表3 海外レビューアからのコメント内容及びそのコメントへの対応方針 (1/9)

| 分類 | 項目 | 番号 | コメント内容 | 対応方針 |
|-----------|---------|----|---|---|
| 出力運転時レベル1 | 起因事象の選定 | 1 | <p>発電所に関する起因事象の網羅性を担保するために、プラント内の全ての系統（安全系及び非安全系）に対して故障モード／影響解析（FMEA）を実施して東海第二発電所に特有の系統故障による起因事象が存在するかどうかについて確認することを推奨する。</p> | <p>今回のPRAでは、従属性を有する起因事象同定のため、原子炉設置許可申請書添付書類八に記載されている設備について主要な故障モードの影響を分析しており、FMEAを実施している。</p> <p>しかし、全ての系統に対してはFMEAを実施できていないため、今後の評価において、全ての系統に対するFMEAの実施することとする。</p> |
| | | 2 | <p>格納容器内及び格納容器外の主蒸気配管の破断（格納容器外主蒸気隔離弁（MSIV）の上流側）に関連する起因事象を考慮することを推奨する。</p> <p>今回のPRAでは、MSIV下流側の破断は隔離事象又は格納容器バイパスとして考慮されているが、MSIV上流側の破断（PCV内での蒸気流出）については考慮されていない。</p> | <p>今回のPRAでは、MSIV上流側の破断をLOCAに分類している。ただし、LOCAについて液相部の破断と気相部の破断を区別していないが、実際は影響が異なるため、成功基準が変わることも考えられる。</p> <p>今後の評価では、起因事象分類の詳細化（主蒸気配管等の気相部の破断の考慮）について検討することとする。</p> |
| | | 3 | <p>感度解析において大LOCAの発生位置が考慮されているが、ベースケースモデルにおいても大LOCAの発生位置を考慮することを推奨する。</p> | <p>今回のPRAでは、破断箇所が液相で、かつ配管径が最も大きい原子炉再循環系配管の破断を想定し、大LOCAの評価を実施するとともに、ECCS配管破断時を想定した感度解析を実施し、破断箇所の違いによる影響を確認している。</p> <p>今回のPRAの目的から、ベースケースを変更する必要はないと判断したが、今後の評価では、起因事象分類の詳細化（破断箇所の違いの考慮）について検討することとする。</p> |

表3 海外レビューアからのコメント内容及びそのコメントへの対応方針 (2/9)

| 分類 | 項目 | 番号 | コメント内容 | 対応方針 |
|-----------|---|----|--|---|
| 出力運転時レベル1 | 起 因 事 象 発 生 頻 度 の 評 価 | 4 | 今回実施したP R Aでは、サポート系故障の起 因 事 象 発 生 頻 度 の 算 出 に ” Jeffery Non-Informative Prior” 法を用いており、国内B W Rプラントにおいて発生実績が0件の事象につ いては0.5件として計算している。系統／トレン 故障の起因事象発生頻度については、フォールト ツリーモデルを用いて評価することを推奨する。 | 学会標準では,”Jeffery Non-Informative Prior” 法,フォールトツリーを用いる方法のいずれも要求 を満足する手法とされている。フォールトツリーを 用いる方法はプラントの系統構成の特徴を考慮し た評価となる一方,評価に用いる機器故障率に依存 した評価となる。そのため,今後の評価では,個別 プラントの機器故障率データの採用時にフォール トツリーを用いる評価方法の採用について検討す ることとする。 |
| | | 5 | ベイズ更新処理した東海第二発電所特有の起 因 事 象 発 生 頻 度 を 用 い た 感 度 解 析 を 実 施 し て い る が, ベースケースモデルにおいて東海第二発電所 特有の起因事象発生頻度を用いることを推奨す る。 | 今回のP R Aの目的から,ベースケースを変更す る必要はないと判断したが,東海第二発電所固有の 起因事象発生頻度を用いることは,プラントの特徴 を踏まえたP R Aを実施するうえで重要であるた め,今後の評価では,ベースケースにおいてベイズ 更新処理した起因事象発生頻度を用いることとす る。 |
| | 人 間 信 頼 性 解 析 | 6 | 今回のP R Aでは,制御室内の別の運転員によ る過誤回復を考慮していると説明があったが,制 御室内の複数の運転員はプラントの過渡変化／事 故に対して個々の運転員がそれぞれ独立して別の 対応をするのではなく,一つのグループとして対 応するので,一つの単位／チームとして扱うこと を推奨する。 | 今回のP R Aでは,認知については制御室内の運 転員を一つのグループとして扱っており,操作につ いては全体を指揮し操作の報告を受ける上位運転 員による過誤回復を考慮している。 これは学会標準においても認められた手法であ るが,学会標準は古い手法(T H E R P 手法)を基 にしているため,今後の評価では,学会標準の改訂 状況や海外の最新知見等を踏まえて,具体的な人的 過誤確率の評価手法を検討することとする。 |

表3 海外レビューアからのコメント内容及びそのコメントへの対応方針 (3/9)

| 分類 | 項目 | 番号 | コメント内容 | 対応方針 |
|-----------|-------|----|--|--|
| 出力運転時レベル1 | 感度解析 | 7 | NRCのCCFに関する報告書のデータを用いて感度解析を実施しているが、ベースケースモデルにおいてこのデータを用いることを推奨する。 | <p>今回のPRAでは、NRCのCCFに関する報告書「CCF Parameter Estimations」のデータを用いた感度解析を実施し、全炉心損傷頻度への影響が小さいこと、及び事故シーケンスグループの全炉心損傷頻度への寄与割合は同様の傾向を示していることを確認している。</p> <p>今回のPRAの目的から、ベースケースを変更する必要はないと判断したが、今後の安全性を評価するPRAでは、国内の検討状況も踏まえて、CCFの評価方法について検討することとする。</p> |
| | 重要度解析 | 8 | <p>重要度指標のRAWについて、冗長機器が関与する共通原因故障の重要度のRAWは示さず、個別機器のみに対して示すことを推奨する。</p> <p>ある機器に対してRAWを示すことは、その機器を待機除外にすることを表しているため、共通原因故障のRAWを示すということは、全ての冗長性のある機器を待機除外にすることに等しい。</p> | <p>今回のPRAでは、当該機器の共通原因故障や人的過誤が評価結果に及ぼす影響を確認するため、共通原因故障や人的過誤を含めて重要度評価結果を示している。</p> <p>今後の評価では、重要度評価の目的に応じて、個別機器のみを対象とした重要度評価を実施することとする。</p> |
| 停止時レベル1 | 適用範囲 | 9 | 移行期間（最大出力運転状態から真空破壊までと、制御棒引き抜きから最大出力運転状態まで）におけるリスクを明示的に評価することを推奨する。 | <p>今回のPRAでは、学会標準に基づき、移行期間を出力運転時に含めて評価している。</p> <p>ただし、低出力状態特有の運転操作に係る人的過誤を起因とする事象の発生可能性があること等を考慮し、今後の評価では、移行期間中のリスク評価について検討することとする。</p> |

表3 海外レビューアからのコメント内容及びそのコメントへの対応方針 (4/9)

| 分類 | 項目 | 番号 | コメント内容 | 対応方針 |
|---------|-------------|----|--|---|
| 停止時レベル1 | 起回事象発生頻度の評価 | 10 | RHR喪失及びRHRS喪失の起回事象発生頻度の計算については、フォールトツリーモデルを用いて評価することを推奨する。 | <p>今回のPRAでは、学会標準に基づき、RHR喪失については国内BWRプラントの停止時運転実績から得られた発生件数から算出しており、RHRS喪失については発生実績がないため、Jeffery Non-Informative Prior法を用いている。</p> <p>フォールトツリーを用いる方法はプラントの系統構成の特徴を考慮した評価となる一方、評価に用いる機器故障率に依存した評価となる。そのため、今後の評価では、個別プラントの機器故障率データの採用時にフォールトツリーを用いる評価方法の採用について検討することとする。</p> |
| | | 11 | LOSP喪失の起回事象発生頻度の計算については、日本のBWRプラント向けに策定された一般的なパラメータが使用されていた。日本の各原子力発電所はそれぞれ異なるLOSP頻度を有していると考えられることから、LOSPの起回事象発生頻度は東海第二発電所特有のものとすることを推奨する（LOSPの起回事象は、東海第二発電所の停止時リスクにとって支配的な寄与因子であることに注意すること。）。 | <p>今回の評価では、LOSP喪失の発生頻度は、学会標準に基づき、国内BWRプラントの停止時運転実績から得られた発生件数から算出している。</p> <p>個別プラントの特徴を踏まえた起回事象発生頻度とするため、今後の評価では、ベイズ更新処理した評価等により、東海第二発電所固有の起回事象発生頻度を求めることとする。</p> |

表3 海外レビューアからのコメント内容及びそのコメントへの対応方針 (5/9)

| 分類 | 項目 | 番号 | コメント内容 | 対応方針 |
|---------|-----------|----|--|--|
| 停止時レベル1 | P O S の設定 | 12 | <p>今回の停止時レベル1 P R Aにおいて選択した燃料交換停止のP O Sの期間と、過去の実際の燃料交換停止のP O Sとの間に顕著な相違がないかどうかを検討すること、相違がある場合には、感度解析を実施してP O Sの各期間の相違によるプラントリスクへの影響を評価することを推奨する。</p> | <p>今回の評価では、P R Aの目的から代表的な定期検査工程を評価対象としており、通常は実施しない特殊工程(大規模な工事やトラブル等による点検工程)を含まない等の観点から選定している。</p> <p>左記のコメントのとおり、定期検査工程によりP O Sの相違があり、プラント停止期間中のリスクはそれぞれ異なるため、今後の評価では、評価の目的に応じてP O Sの影響を評価することとする。</p> |
| | 人間信頼性解析 | 13 | <p>R H Rトレン間での切替操作時のL O C Aでは、切替後のR H RラインにおけるR P Vへの注入弁の開け忘れが原因で、R H Rポンプミニフロー弁が開くことでS / Pへと冷却材が流出することを想定している。</p> <p>そこで、切替後に運転中のR H RをL P C Iモードに切り替えて注水することに期待しているが、その操作中にミニフローラインからの漏えいを認識し、L O C Aの収束させる措置を講じると考えるのがより妥当である。</p> <p>よって、以下の1つをモデル化することを推奨する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・運転員によるL O C Aの診断及び収束操作を考慮する。 ・運転員が漏えい箇所を認識し、収束させることに失敗した場合、L P C Iを用いたL O C Aの緩和に期待しない。 | <p>今回のP R Aでは、冷却材流出の認知に成功した場合には漏えい箇所の隔離に期待しているが、その隔離に失敗しても、R H R切替後に運転中のR H RのL P C I注水操作にも期待する評価となっている。これは、冷却材流出箇所の特定に失敗する等して隔離操作に失敗した場合でも、注水操作を実施することでL O C Aを収束させることが可能と判断したためである。</p> <p>ただし、現実的な操作をモデル化すべきとのコメントの主旨を踏まえ、今後の評価ではより現実的な評価方法について検討することとする。</p> |

表 3 海外レビューアからのコメント内容及びそのコメントへの対応方針 (6/9)

| 分類 | 項目 | 番号 | コメント内容 | 対応方針 |
|----------|-----------|----|---|---|
| 停止時レベル 1 | 人間信頼性解析 | 14 | (出力運転時レベル 1 の番号 6 と同様の内容) | (出力運転時レベル 1 の番号 6 と同様の対応方針) |
| | 重要度解析 | 15 | (出力運転時レベル 1 の番号 8 と同様の内容) | (出力運転時レベル 1 の番号 8 と同様の対応方針) |
| 地震レベル 1 | システムのモデル化 | 16 | <p>R H R 系統の全ての配管を最も弱い（耐震性が最も低い）配管部位で代表させて評価している。</p> <p>R H R 系統のある配管部位を代表させるために、その最も弱い配管部位を使用する方法は保守的である。しかし、最も弱い配管部位を用いて、R H R 系統の全ての配管を代表させるのは非保守的である。</p> <p>地震に起因する系統の故障へのそれぞれの寄与度を考慮するために、系統に含まれるすべての配管について別々にモデル化することを推奨する。</p> | <p>東海第二発電所の配管の脆弱性は他の機器と比較して強く、配管を区画で分けてそれぞれをモデル化したとしても、地震 P R A 評価に与える影響は小さいと考えられる。</p> <p>今回の P R A の目的から、評価結果に影響を与えるものではないと判断するが、米国事例の手法を取り入れることにより、配管系の影響の程度を正確に把握することが可能となることから、必要に応じてモデルの高度化を行っていく必要があると考えている。</p> |

表3 海外レビューアからのコメント内容及びそのコメントへの対応方針 (7/9)

| 分類 | 項目 | 番号 | コメント内容 | 対応方針 |
|--------|-----------|----|---|--|
| 地震レベル1 | フラジリティ評価 | 17 | パワーセンタ及びメタルクラッドスイッチギアは、リレーチャタリングにより機能喪失する可能性がある。リレーチャタリングに対する耐力中央値は、機器本体の電氣的機能故障の中央値よりも低いと思われる。リレーチャタリングの影響を考慮していない場合、感度解析を推奨する。 | 電気・制御機器のフラジリティ評価において使用している機能維持確認済加速度は、機器本体の機能喪失のみでなく、リレーチャタリングによる機能喪失を考慮した加速度であるため、今回の地震PRAは、リレーチャタリングの影響を取込んだ評価となっている。このため、感度解析は不要と考える。 |
| | システムのモデル化 | 18 | 米国の一部の地震PRAで用いられるHRA手法では以下について考慮している。(1)地震事象発生後の時間、(2)運転員操作の場所(制御室内か制御室外か)、(3)最大加速度に基づく地震過酷度。東海第二発電所の地震PRAモデルについて計算された人的過誤確率(HEP)は、すべての地震加速度レベルに対して使用されている。高い加速度レベルについては異なるHEPを使用することを推奨する。 | 今回のPRAでは、評価対象としている全ての地震加速度(0.16G~3.0G)で同じ人的過誤確率を用いて評価を行っている。高加速度領域においては、地震による機器損傷により直接炉心損傷に至るシーケンスが支配的となるため、高加速度領域における人的過誤確率の増加が、評価結果に与える影響は小さいものと予想される。また、低加速度領域では人的過誤を含むランダム故障が支配的であるが、地震が人的過誤に及ぼす影響は小さいと考えられるため、人的過誤確率を高めに設定することにより保守的な評価となると考えられる。なお、今後、安全性向上評価へ向けて、地震PRAにおけるHRA手法については、国内外の最新知見等を必要に応じて反映することを検討する。 |

表3 海外レビューアからのコメント内容及びそのコメントへの対応方針 (8/9)

| 分類 | 項目 | 番号 | コメント内容 | 対応方針 |
|--------|----------------|----|---|---|
| 地震レベル1 | 不確実さ解析 | 19 | 東海第二発電所の地震起因のCDFについての不確実さ解析では、発電所敷地に関するパーセントイルハザード曲線に等しい重み付けをしている。不確実さ解析で用いるハザード曲線のフォーマットは、パーセントイル曲線ではなくグループの重み付けハザード曲線にすべきである。 | 不確実さ解析に関しては、今回の評価では既往の評価を参考にパーセントイルハザード曲線に等しい重み付けをして実施している。今回のPRAの目的から、不確実さ解析を変更する必要はないと考えるが、安全性向上評価へ向けた今後の評価では、左記コメントを踏まえ、不確実さ解析に係る国内外の最新知見等を収集し、必要に応じて反映することを検討する。 |
| 津波レベル1 | 事故シナリオのスクリーニング | 20 | 漂流物の影響は衝突の他に取水構造物の取水スクリーンを詰まらせる影響も考えられる。また、取水スクリーンの閉塞による影響は、より高い年間頻度で発生する可能性がある。漂流物が取水スクリーンを閉塞させる影響を除外できるかどうか検討することを推奨する。 | <p>大型の漂流物については、海水取水設備を閉塞させることが無いと判断しているが、藻のような小さな漂流物による海水取水設備の閉塞事象については、評価方法の具体的な知見がないことから、今後の課題と考えている。</p> <p>また、防潮堤を越流すると、海水取水系が機能喪失するため、コメントの内容はT.P. + 20m以下の区分での議論となる。津波PRAでは、T.P. + 20m以下を評価対象外としており、当該区分における海水取水設備の機能喪失については、内部事象PRAにおいて考慮している。</p> <p>このため、今回のPRAの目的から、海水取水設備への漂流物の影響は考慮不要と考えるが、今後は必要に応じてモデルの高度化を行っていく必要があると考えている。</p> |

表3 海外レビューアからのコメント内容及びそのコメントへの対応方針 (9/9)

| 分類 | 項目 | 番号 | コメント内容 | 対応方針 |
|--------|-----------|----|--|---|
| 津波レベル1 | システムのモデル化 | 21 | <p>SSCの損傷を伴わない津波起因のシナリオに関して、事故（過渡事象）シーケンスモデルにおいて考慮する運転員操作のHEPへの津波影響を評価するため、感度解析を実施することを推奨する。</p> | <p>今回のPRAでは、SSCの損傷を伴わない津波については、津波を起因とした事故シーケンスが発生しないため、津波PRA学会標準に従い内部事象PRAの評価範囲に含まれるものとして対象外としている。</p> <p>なお、仮に人的過誤への津波影響を考慮した評価を実施した場合、内部事象PRAよりも人的過誤確率を高め設定しているため、内部事象PRAの評価と比較して炉心損傷頻度が増加することが予想される。ただし、その結果として新たな事故シーケンスは抽出されることはないため、今回のPRAの目的からベースケースの変更は必要ないと判断した。</p> <p>なお、今後の評価においては、内部事象PRAと比較して人的過誤確率の差異が結果に影響を及ぼす影響が大きいと判断した場合には、必要に応じてモデルの高度化を行っていく必要があると考えている。</p> |

原子炉格納容器の温度及び圧力に 関する評価

目 次

1. 評価の概要

| | |
|-----------------------------|----|
| (1) はじめに | 1 |
| (2) 限界温度・圧力の評価 | 1 |
| (3) 健全性確認 | 3 |
| a. 評価対象 | 3 |
| b. 機能喪失要因 | 5 |
| c. 評価方法 | 6 |
| d. 評価結果の概要 | 10 |
| ① 原子炉格納容器本体 | 10 |
| ② トップヘッドフランジ | 11 |
| ③ 機器搬入用ハッチ | 15 |
| ④ サプレッション・チェンバアクセスハッチ | 19 |
| ⑤ 所員用エアロック | 23 |
| ⑥ 配管貫通部 | 27 |
| ⑦ 電気配線貫通部 | 33 |
| ⑧ 原子炉格納容器隔離弁 | 35 |
| (4) 結論 | 37 |

《別紙》

1. 原子炉格納容器本体

| | |
|----------------|-----|
| 1.1 評価方針 | 1-1 |
| 1.2 評価結果 | 1-5 |

2. トップヘッドフランジ

| | |
|----------|------|
| 2.1 評価方針 | 2-1 |
| 2.2 評価 | 2-5 |
| 2.3 評価結果 | 2-19 |

3. 機器搬入用ハッチ

| | |
|----------|------|
| 3.1 評価方針 | 3-1 |
| 3.2 評価 | 3-6 |
| 3.3 評価結果 | 3-22 |

4. サプレッション・チェンバアクセスハッチ

| | |
|----------|------|
| 4.1 評価方針 | 4-1 |
| 4.2 評価 | 4-6 |
| 4.3 評価結果 | 4-23 |

5. 所員用エアロック

| | |
|----------|------|
| 5.1 評価方針 | 5-1 |
| 5.2 評価 | 5-8 |
| 5.3 評価結果 | 5-15 |

6. 配管貫通部

| | |
|-----------------|-----|
| 6.1 概要 | 6-1 |
| 6.2 配管貫通部（接続配管） | 6-2 |
| 6.2.1 評価方針 | 6-2 |
| 6.2.2 評価 | 6-3 |

| | | |
|-------|---------------|------|
| 6.2.3 | 評価結果 | 6-5 |
| 6.3 | 配管貫通部（スリーブ） | 6-11 |
| 6.3.1 | 評価方針 | 6-11 |
| 6.3.2 | 評価 | 6-13 |
| 6.3.3 | 評価結果 | 6-20 |
| 6.4 | 配管貫通部（平板類） | 6-21 |
| 6.4.1 | 評価方針 | 6-21 |
| 6.4.2 | 評価 | 6-23 |
| 6.4.3 | 評価結果 | 6-29 |
| 6.5 | 配管貫通部（セーフエンド） | 6-30 |
| 6.5.1 | 評価方針 | 6-30 |
| 6.5.2 | 評価 | 6-31 |
| 6.5.3 | 評価結果 | 6-32 |
| 6.6 | 配管貫通部（伸縮継手） | 6-33 |
| 6.6.1 | 評価方針 | 6-33 |
| 6.6.2 | 評価 | 6-34 |
| 6.6.3 | 評価結果 | 6-35 |
| 7. | 電気配線貫通部 | |
| 7.1 | 概要 | 7-1 |
| 7.2 | 電気配線貫通部（アダプタ） | 7-3 |
| 7.2.1 | 評価方針 | 7-3 |
| 7.2.2 | 評価 | 7-3 |
| 7.2.3 | 評価結果 | 7-5 |

| | | |
|--------|--------------------------------|------|
| 7.3 | 電気配線貫通部（ヘッダ） | 7-6 |
| 7.3.1 | 評価方針 | 7-6 |
| 7.3.2 | 評価 | 7-6 |
| 7.3.3 | 評価結果 | 7-9 |
| 7.4 | 電気配線貫通部（モジュール） | 7-11 |
| 7.4.1 | 評価方針 | 7-11 |
| 7.4.2 | 評価 | 7-12 |
| 7.4.3 | 評価結果 | 7-18 |
| 8. | 原子炉格納容器隔離弁 | |
| 8.1 | 概要 | 8-1 |
| 8.2 | 原子炉格納容器隔離弁（不活性ガス系バタフライ弁） | 8-3 |
| 8.2.1 | 評価方針 | 8-3 |
| 8.2.2 | 評価 | 8-4 |
| 8.2.3 | 評価結果 | 8-4 |
| 8.3 | 原子炉格納容器隔離弁（T I P ボール弁） | 8-6 |
| 8.3.1 | 評価方針 | 8-6 |
| 8.3.2 | 評価 | 8-7 |
| 8.3.3 | 評価結果 | 8-7 |
| 参考資料 1 | シール機能維持に対する考え方について | |
| 参考資料 2 | 改良 E P D M 製シール材の適用性について | |
| 参考資料 3 | 改良 E P D M 製シール材における各試験について | |
| 参考資料 4 | 改良 E P D M 製シール材の圧縮永久ひずみ試験について | |

- 参考資料 5 実機フランジ模擬試験の概要について
- 参考資料 6 改良 E P D M 製シール材における実機フランジ模擬試験結果の適用について
- 参考資料 7 改良 E P D M 製シール材の実機を模擬した小型フランジ試験について
- 参考資料 8 バックアップシール材のシール機能について
- 参考資料 9 バックアップシール材塗布による設計影響について
- 参考資料 10 トップヘッドフランジ等の開口量評価について
- 参考資料 11 経年劣化を考慮したシール機能について
- 参考資料 12 化学薬品や核分裂生成物のシール機能への影響について
- 参考資料 13 シール材の運転環境（放射線量，温度）の考慮について
- 参考資料 14 黒鉛製シール材について
- 参考資料 15 試験データの代表性・信頼性について
- 参考資料 16 フランジ開口量評価の妥当性について（構造解析との関連性）
- 参考資料 17 原子炉格納容器のリーク発生順序及び各部位の裕度について
- 参考資料 18 所員用エアロック開口量評価に係る変形支点の変位の影響について
- 参考資料 19 格納容器隔離弁の S A 環境下における耐性確認試験の概要について
- 参考資料 20 移動式炉心内計装（T I P : Traversing In-core Probe）系統爆破弁について
- 参考資料 21 動的荷重の影響について
- 参考資料 22 モデル化している各部位の耐震性について
- 参考資料 23 フランジ部の永久変形の評価について
- 参考資料 24 原子炉格納容器 評価温度・圧力負荷後の耐震性

参考資料 25 原子炉格納容器 限界温度・圧力に対する経年劣化の影響について

参考資料 26 200℃, 2Pd の適用可能時間を過ぎてから用いる限界圧力・温度について

参考資料 27 原子炉格納容器貫通部リスト

参考資料 28 原子炉格納容器に接続される系統の健全性について

1. 評価の概要

(1) はじめに

東海第二発電所の重大事故等対策の有効性評価において、原子炉格納容器の限界温度・圧力をそれぞれ 200℃、2Pd (0.62MPa[gage]、Pd：最高使用圧力 (0.31MPa[gage])) として評価している。以下にその根拠と妥当性を示す。

第 1 表 原子炉格納容器の設計条件と限界温度・圧力の比較

| | 設計仕様 (最高使用温度・圧力) | 有効性評価で使用する 限界温度・圧力 |
|----|----------------------|-----------------------|
| 温度 | 171℃※ | 200℃ |
| 圧力 | 0.31 MPa[gage] (1Pd) | 0.62MPa[gage] (2Pd) |

※ ドライウェルの最高使用温度を示す。サプレッション・チェンバの最高使用温度は 104℃である。

(2) 限界温度・圧力の評価

原子炉格納容器の限界温度及び圧力については、重大事故等時において、原子炉格納容器の機能である放射性物質の閉じ込め機能を確保できることを条件として設定する。放射性物質の閉じ込め機能を確保するためには、原子炉格納容器バウンダリを構成する機器である原子炉格納容器本体、ハッチ類、貫通部、隔離弁等が、重大事故等時において著しい損傷が生じることなく、気密性を確保することが必要である。

重大事故等時の原子炉格納容器閉じ込め機能については、下記の既往研究で得られた知見に加え、福島第一原子力発電所事故では原子炉格納容器

の閉じ込め機能が喪失し、放射性物質の放出につながった可能性が高いことから、これまでの福島第一原子力発電所の事故の分析、評価によって得られている知見を考慮して、原子炉格納容器バウンダリを構成する機器の機能が健全に維持できることが確認できる条件を設定する。

これらを踏まえ、有効性評価における重大事故等時の原子炉格納容器の限界温度・圧力をそれぞれ 200℃、2Pd と設定していることに対し、既往研究の成果、解析評価及び福島第一原子力発電所の事故の知見等により妥当性を確認するものである。

【既往研究】

- a. 財団法人原子力発電技術機構「重要構造物安全評価（原子炉格納容器信頼性実証事業）に関する総括報告書（平成 15 年 3 月）」（以下「NUPEC 試験」という。）
- b. 電力共同研究「格納容器電気ペネトレーションの特性確認試験（昭和 62 年度）」（以下「電気ペネ共研」という。）

上記の既往研究では、事故時の放射性物質の閉じ込め機能確保の観点から、「構造健全性」、「シール部の機能維持」に着目した破損モードを抽出し、評価対象部位を選定して健全性評価をしており、200℃、2Pd に対して、原子炉格納容器の健全性が確保される知見を得ている。

具体的に、既往研究「a. NUPEC 試験」では、鋼製格納容器ハッチ部のボルト締付部について、ハッチ部のシール機能喪失挙動の把握及び機能喪失に関する裕度を確認するため、実機ハッチ部分を模擬したハッチモデル試験を行っている。また、電気配線貫通部モジュールを対象として、200℃、0.8MPa における気密性の確認と漏えいが発生する温度・圧力条件

の確認試験を行っている。

既往研究「b. 電気ペネ共研」では、電気配線貫通部モジュールについて、実機の電気配線貫通部の構造を反映した試験体を用い、L O C A時の圧力、温度条件を超える条件下で気密性能について検証を行い、シール部の健全性確認を行っている。

(3) 健全性確認

a. 評価対象

放射性物質の閉じ込め機能を確保するためには、200℃、2Pd の環境下で原子炉格納容器本体及び開口部等の構造健全性を確認する必要がある。

さらに、福島第一原子力発電所事故において、原子炉格納容器からの漏えい要因の一つとして推定されている原子炉格納容器に設置されるトップヘッドフランジ部、ハッチフランジ部、電気配線貫通部等のシール部についても、200℃、2Pd の環境下での機能維持を確認する必要がある。

このことから、原子炉格納容器本体のほかに、200℃、2Pd の環境下で原子炉格納容器の変位荷重等の影響により、構造上、リークパスになる可能性がある開口部及び貫通部の構成品、また、ガスケットの劣化及びシート部の開口に伴いリークパスになる可能性があるシール部が評価対象となり、以下の原子炉格納容器バウンダリ構成部を評価する。なお、第1図に原子炉格納容器バウンダリ構成部の概要を示す。

- ① 原子炉格納容器本体
- ② トップヘッドフランジ
- ③ 機器搬入用ハッチ
- ④ サプレッション・チェンバアクセスハッチ

⑤ 所員用エアロック

⑥ 配管貫通部

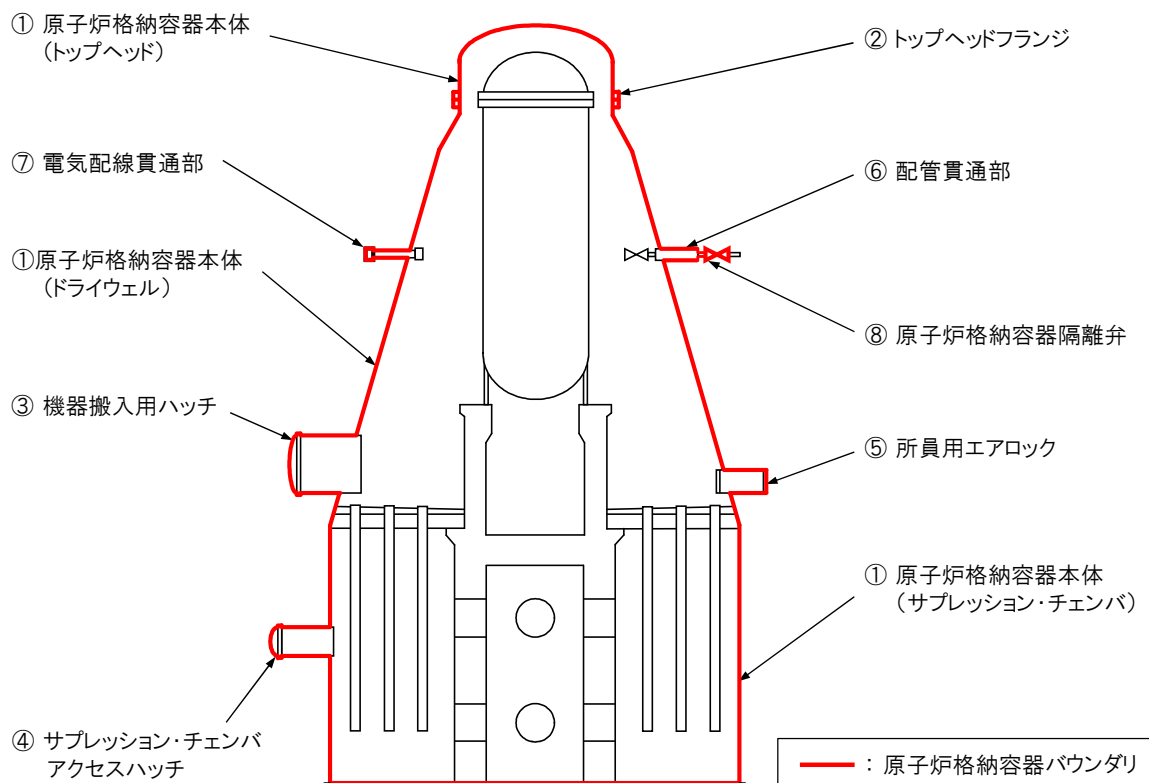
- ・ 接続配管
- ・ スリーブ
- ・ 平板類※，セーフエンド，伸縮継手

※ 平板，穴あき平板，フランジ，ボルト締め平板，フルードヘッド

⑦ 電気配線貫通部

- ・ アダプタ，ヘッダ，モジュール

⑧ 原子炉格納容器隔離弁



第 1 図 原子炉格納容器バウンダリ構成部の概要図

b. 機能喪失要因

原子炉格納容器バウンダリを構成する各設備の重大事故等時における放射性物質の閉じ込め機能喪失の要因（以下「機能喪失要因」という。）として、原子炉格納容器内の温度、圧力条件や原子炉格納容器本体の変形に伴い、第2表に示す要因が想定される。

第2表 評価対象における機能喪失要因

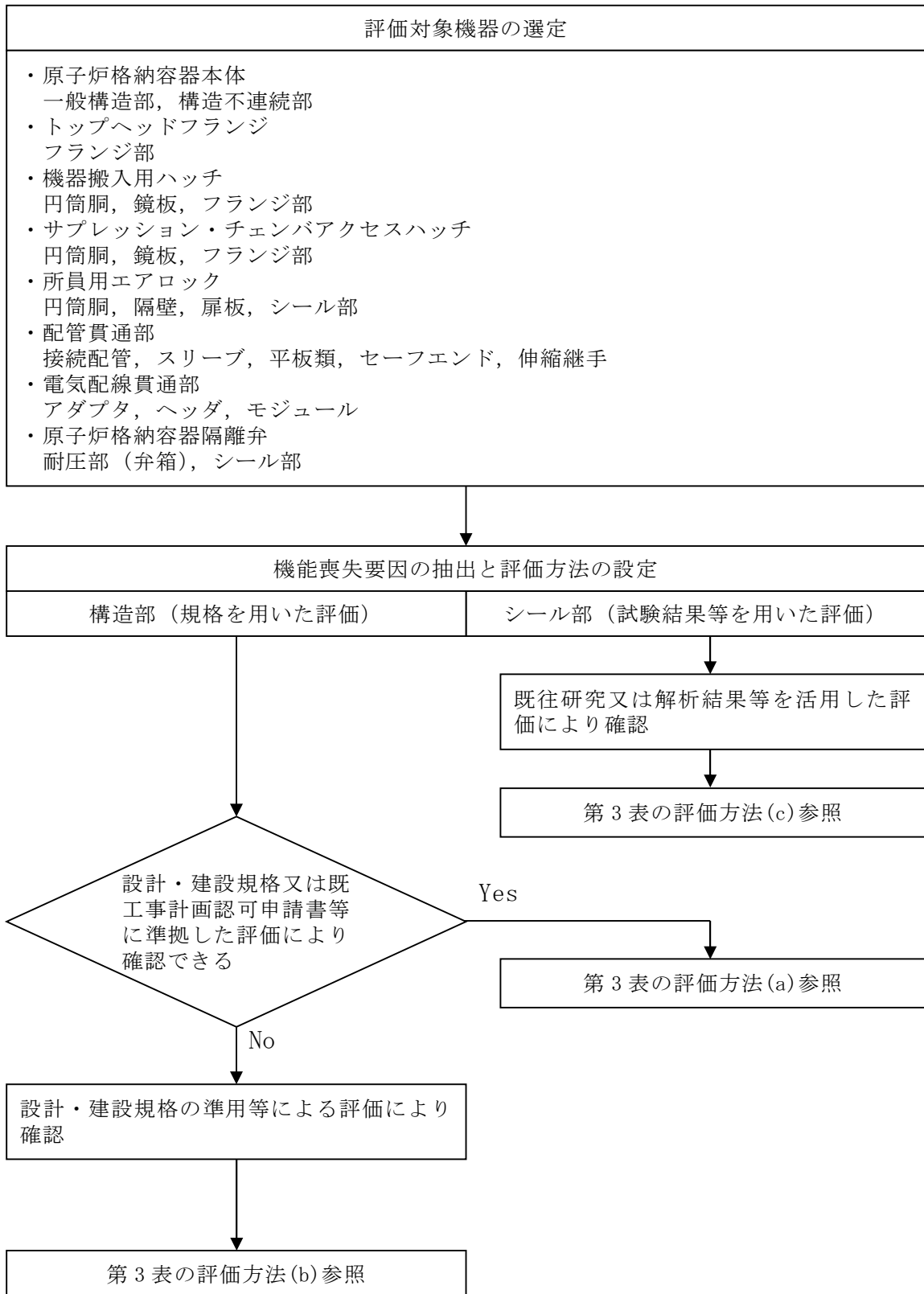
| 評価対象 | | 機能喪失要因 | |
|--|------------------|--------|------------|
| | | 構造部 | シール部 |
| ①原子炉格納容器本体 (トップヘッド, ドライウェル, サプレッション・チェンバ) | 一般構造部 | 延性破壊 | — |
| | 構造不連続部 | 延性破壊 | — |
| ②トップヘッドフランジ | フランジ部 | 延性破壊 | 開口, シール材劣化 |
| ③機器搬入用ハッチ | 円筒胴 | 延性破壊 | — |
| | 鏡板 | 延性破壊 | — |
| | フランジ部 | 延性破壊 | 開口, シール材劣化 |
| ④サプレッション・チェンバ アクセスハッチ | 円筒胴 | 延性破壊 | — |
| | 鏡板 | 延性破壊 | — |
| | フランジ部 | 延性破壊 | 開口, シール材劣化 |
| ⑤所員用エアロック | 円筒胴, 隔壁 | 延性破壊 | — |
| | 扉板 | — | 開口, シール材劣化 |
| | シール部 (扉以外) | — | シール材劣化 |
| ⑥配管貫通部 | 接続配管 | 延性破壊 | — |
| | スリーブ (本体・取付部) | 延性破壊 | — |
| | 平板類 | 延性破壊 | 開口, シール材劣化 |
| | セーフエンド | 延性破壊 | — |
| | 伸縮継手 | 疲労破壊 | — |
| ⑦電気配線貫通部 | アダプタ | 延性破壊 | — |
| | ヘッダ | 延性破壊 | — |
| | モジュール | — | シール材劣化 |
| ⑧原子炉格納容器隔離弁 | 耐圧部 (弁箱) | 延性破壊 | — |
| | シール部 | — | シール材劣化 |

c. 評価方法

構造健全性及びシール部の機能維持について、各設備に対し放射性物質の閉じ込め機能を確保できる判断基準を設定し、以下のいずれかの方法により評価し、200℃、2Pd の環境下での健全性及び機能維持を確認する。

- (a) 「発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S NC1-2005／2007）」（以下「設計・建設規格」という。）又は既工事計画認可申請書（以下「既工認」という。）等に準拠した評価
- (b) 設計・建設規格の準用等による評価
- (c) 既往研究又は解析結果等を活用した評価

評価方法による評価対象機器の分類を第 2 図に、評価対象機器の分類及び評価内容を第 3 表に示す。



第 2 図 評価方法による評価対象機器の分類

第3表 評価対象の分類及び評価内容 (1/2)

| 評価対象 | | 想定される 機能喪失要因 | 評価方法 ※1 | 評価方法の概要 | 判定基準 |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|------------|--|--|
| 原子 炉格納 容器 本体 | 一般構造部，構造 不連続部 | 延性破壊 (一般構造部) | (b) | 原子炉格納容器本体の一般構造部について，設計・建設規格の評価式を準用し，200℃にお ける $2/3S_u$ 値が発生するときの許容圧力を算出（簡易手法）※2 | 0.62MPa[gage] (2Pd) 以上 0.62MPa[gage] (2Pd)+SA 時 の水頭圧以上 |
| | | | (b) | 既工認にて認可された圧力及び自重を考慮した応力値を準用し， $2/3S_u$ 値（200℃）に相 当する許容応力を評価 | 許容応力以下 |
| | | 延性破壊 (構造不連続部) | (b) | 既工認にて認可された圧力及び自重を考慮した応力値を準用し， S_u 値（200℃）に相当す る許容応力を評価 (原子炉格納容器基部について，念のため疲労累積係数を評価) | 許容応力以下 (疲労累積係数 1 以下) |
| ハ ッ チ 類 | トップヘッドフラ ンジ | 延性破壊 (フランジ，ボルト) | (a) | フランジについて，設計・建設規格の評価式に準拠し，200℃，2Pd における応力を評価 締付けボルトについて，既工認で実績のある評価に基づき発生応力を評価 | 許容応力以下 |
| | | 開口，高温劣化 (シール部) | (c) | 有限要素法を用いた弾塑性解析結果による開口量評価及びガスケットの試験結果に基づき 評価を実施 | シール部が健全であること |
| | 機器搬入用ハッチ | 延性破壊 (円筒胴，鏡板，フラ ンジ，ボルト) | (b) | 既工認にて認可された圧力及び自重を考慮した応力値を準用し， S_u 値（200℃）に相当す る許容応力を評価 | 許容応力以下 |
| | | | (b) | 円筒胴及び鏡板について，設計・建設規格の評価式を準用し， $2/3S_u$ 値（200℃）に相当 する許容圧力を評価※2 | 0.62MPa[gage] (2Pd) 以上 |
| | | | (a) | 締付けボルトについて，既工認で実績のある評価に基づき発生応力を評価 | 許容応力以下 |
| | | 開口，高温劣化 (シール部) | (c) | 有限要素法を用いた弾塑性解析結果による開口量評価及びガスケットの試験結果に基づき 評価を実施 | シール部が健全であること |
| | サブプレッション・ チェンバアクセス ハッチ | 延性破壊 (円筒胴，鏡板，フラ ンジ，ボルト) | (b) | 既工認にて認可された圧力及び自重を考慮した応力値を準用し， S_u 値（200℃）に相当す る許容応力を評価 | 許容応力以下 |
| | | | (b) | 円筒胴及び鏡板について，設計・建設規格の評価式を準用し， $2/3S_u$ 値（200℃）に相当 する許容圧力を評価※2 | 0.62MPa[gage] (2Pd)+SA 時 の水頭圧以上 |
| | | | (a) | 締付けボルトについて，既工認で実績のある評価に基づき発生応力を評価 | 許容応力以下 |
| | | 開口，高温劣化 (シール部) | (c) | 有限要素法を用いた弾塑性解析結果による開口量評価及びガスケットの試験結果に基づき 評価を実施 | シール部が健全であること |
| | 所員用エアロック | 延性破壊 (円筒胴) | (b) | 設計・建設規格の評価式を準用し， $2/3S_u$ 値（200℃）に相当する許容圧力を評価※2 | 0.62MPa[gage] (2Pd) 以上 |
| | | 延性破壊 (隔壁) | (b) | 既工認の評価値を準用し， S_u 値（200℃）に相当する許容応力を評価 | 許容応力以下 |
| | | 開口，高温劣化 (扉板シール部) | (b) | 機械工学便覧のはりのたわみ計算式を用いた開口量評価及びガスケットの試験結果に基づ き評価を実施 | シール部が健全であること |
| | | 開口，高温劣化 (その他シール部) | (c) | シール材について，ガスケットの試験結果及び材料特性により耐性を評価 | シール部が健全であること |

第3表 評価対象の分類及び評価内容 (2/2)

| 評価対象 | | 想定される 機能喪失要因 | 評価方法 ※1 | 評価方法の概要 | 判定基準 |
|------------|------------------|--------------------|------------|--|-------------------------|
| 配管貫通部 | 接続配管 | 延性破壊 | (a) | 代表配管について、設計・建設規格の評価式に準拠し、配管本体の自重、圧力及び原子炉格納容器変位に伴う荷重を考慮した発生応力を評価 | 許容応力以下 (疲労累積係数 1 以下) |
| | スリーブ | 延性破壊 (スリーブ本体) | (b) | 設計・建設規格の評価式を準用し、2/3Su 値 (200℃) に相当する許容圧力を評価※2 | 0.62MPa[gage] (2Pd) 以上 |
| | | 延性破壊 (スリーブ取付部) | (b) | 原子炉格納容器の自重及び内圧に加え、接続配管の自重及び原子炉格納容器変位に伴う荷重を考慮して、既工認と同様の手法で発生応力を評価 | 許容応力以下 |
| | 平板類 | 延性破壊 (ボルト締め平板) | (b) | 設計・建設規格の評価式を準用し、2/3Su 値 (200℃) に相当する許容圧力を評価※2 | 0.62MPa[gage] (2Pd) 以上 |
| | | 延性破壊 (フランジ、ボルト) | (b) | 設計・建設規格を適用し、J I S B 8265 に基づいて 200℃、2Pd におけるフランジの発生応力及びボルトの必要総有効断面積を評価 | 許容応力以下 総有効断面積以下 |
| | | 開口、高温劣化 (シール部) | (b) | 文献の理論式を用いて 200℃、2Pd における開口量評価及びガスケットの試験結果に基づき評価を実施 | シール部が健全であること |
| | セーフエンド | 延性破壊 | (b) | 設計・建設規格の評価式を準用し、2/3Su 値 (200℃) に相当する許容圧力を評価※2 | 0.62MPa[gage] (2Pd) 以上 |
| 電気配線貫通部 | 伸縮継手 | 疲労破壊 | (a) | 設計・建設規格の評価式を準拠し、低サイクル疲労に対する疲労累積係数を評価 | 疲労累積係数 1 以下 |
| | アダプタ | 延性破壊 | (b) | 設計・建設規格の評価式を準用し、2/3Su 値 (200℃) に相当する許容圧力を評価※2 | 0.62MPa[gage] (2Pd) 以上 |
| | ヘッダ | 延性破壊 | (b) | 設計・建設規格の評価式を準用し、2/3Su 値 (200℃) に相当する許容圧力を評価※2 | 0.62MPa[gage] (2Pd) 以上 |
| | モジュール | 高温劣化 (シール部) | (c) | 電気ペネ共研、N U P E C 試験等の結果により、200℃、2Pd における耐漏えい性を評価 | 設計漏えい量以下 |
| 原子炉格納容器隔離弁 | 不活性ガス系 バタフライ弁 | 延性破壊 | (a) | レーティング設計 (圧力クラス 1.03MPa) の 200℃における許容圧力により評価 | 0.62MPa[gage] (2Pd) 以上 |
| | | 高温劣化 (シール部) | (c) | 実機を模擬した漏えい確認試験 (200℃、2Pd 以上) により評価 | 設計漏えい量以下 |
| | T I P ボール弁 | 延性破壊 | (a) | レーティング設計 (圧力クラス 1.03MPa) の 200℃における許容圧力により評価 | 0.62MPa[gage] (2Pd) 以上 |
| | | 高温劣化 (シール部) | (c) | シール材について、ガスケットの試験結果より耐性を評価 | シール部が健全であること |

※1 (a) 設計・建設規格又は既工認等に準拠した評価

(b) 設計・建設規格の準用等による評価

(c) 既往研究及び解析結果等を活用した評価

※2 設計・建設規格における必要な厚さを求める式により許容圧力を算出

d. 評価結果の概要

① 原子炉格納容器本体

原子炉格納容器は、円錐フラスタム形のドライウェル、円筒形のサブ
レッション・チェンバから構成されている。

原子炉格納容器本体の設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、
疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200°C 、
 $2P_d$ の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り
返し荷重が作用しないこと、圧縮力が原子炉格納容器本体に生じないこ
とから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができ
る。

したがって、原子炉格納容器本体の機能喪失要因は、高温状態での内
圧による過度な塑性変形に伴う延性破壊が想定される。

このため、下記のとおり 200°C 、 $2P_d$ の環境下での健全性を確認した。

原子炉格納容器の一般構造部について、既工認と同様の評価手法であ
る設計・建設規格に示される必要厚さの評価式を準用し、許容圧力の評
価を行い、許容圧力が $2P_d$ 又は「 $2P_d + S$ A時の水頭圧」を上回ることを
確認した。

また、原子炉格納容器本体の一般構造部及び構造不連続部について、
既工認にて認可された圧力及び自重を考慮した応力値を準用し、原子炉
格納容器の限界温度 200°C 、限界圧力 $2P_d$ の条件における応力評価を行
い、発生応力が許容応力以下であることを確認した。

ここで、設計・建設規格の解説表 PVB-3110-1 において、延性破壊評価
は一次応力の評価を実施することになっている。設計・建設規格におけ
る一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度ごとに材料試験（引張

試験)を実施した結果をもとに国内 Su 値検討会で設定された設計引張強さ (Su) に割下げ率を考慮して設定されたものである (設計・建設規格解説 GNR-2200)。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過する原子炉格納容器本体の構造健全性を確認するものであるため、上記割下げ率を P_m (一次一般膜応力強さ) には 1.5, $P_L + P_b$ (一次一般局部膜応力強さ + 一次曲げ応力強さ) には 1.0 とした評価を行う。すなわち、原子炉格納容器本体に発生する応力が、 P_m が $2/3Su$, $P_L + P_b$ が Su 以下であれば、延性破壊に至らず、構造は健全で機能要求 (放射性物質の閉じ込め機能) を確保できると考える。この許容値の考え方は、設計・建設規格 解説 PVB-3111 に示されるように、供用状態 D の P_m , $P_L + P_b$ の許容値と同等である。なお、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定 (原子炉冷却材喪失事故を想定) に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態 D の許容応力は、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全余裕を考慮して規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が Su に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が Su に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。

② トップヘッドフランジ

トップヘッドフランジは、原子炉格納容器の上蓋フランジであり、締付ボルトで固定される構造である。また、フランジ間のシールにはガスケットを使用している。フランジにはシール溝が二重に配置されており、原子炉格納容器内側・外側のそれぞれのシール溝にガスケットを取り付

ける二重シール構造になっている。

トップヘッドフランジの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないことから、脆性破壊及び疲労破壊は評価対象外と考えることができる。

したがって、トップヘッドフランジの機能喪失要因は、原子炉格納容器内圧による過度な塑性変形に伴う延性破壊、また、フランジ部の変形及びシール材の高温劣化によるシール機能の低下が考えられる。

このため、下記のとおり 200℃、2Pd の環境下での健全性を確認した。

- ・ 本体

トップヘッドフランジにおける構造健全性評価として、フランジ部について、既工認と同様の評価手法である設計・建設規格の評価手法に準拠し、一次応力評価を行い、発生応力が許容応力以下であることを確認した。

ここで、設計・建設規格の解説表 PVB-3110-1 において、延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。

一方、設計・建設規格における一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度ごとに材料試験(引張試験)を実施した結果をもとに、国内 Su 値検討会で設定された設計引張強さ (Su) に割下げ率を考慮して設定されたものである (設計・建設規格 解説 GNR-2200)。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過するトップヘッドフランジ部の限界温度及び許容圧力の妥当性を確認するものであるため、上記割下げ率を P_m (一次一般膜応力強

さ) には 1.5, $P_L + P_b$ (一次局部膜応力強さ + 一次曲げ応力強さ) には 1.0 とした評価を行う。すなわち, トップヘッドフランジに発生する応力が, P_m が $2/3Su$, $P_L + P_b$ が Su 以下であれば, 延性破壊には至らず, 構造は健全で機能要求 (放射性物質の閉じ込め機能) を確保できると考える。

この許容値の考え方は, 設計・建設規格 解説 PVB-3111 に示すように, 供用状態 D の P_m , $P_L + P_b$ の許容値と同等である。なお, 耐圧機能維持の観点から, 安全評価上の仮定 (原子炉冷却材喪失事故を想定) に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態 D の許容応力は, 鋼材の究極的な強さを基に, 弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり, P_m は $2/3Su$, $P_L + P_b$ は $1.5 \times 2/3Su (=Su)$ と規定されている。前者は, 膜応力であり断面の応力が Su に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが, 後者は, 断面表面が Su に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。

- ・ シール機能

- ・ フランジ固定部の強度

トップヘッドフランジのシール機能維持について, 構造健全性の確認のために, フランジ固定部の締付ボルトの強度評価及びフランジの開口評価を行った。

締付ボルトについて, 原子炉格納容器限界温度, 圧力 (200℃, 2Pd) における強度評価を, 既工認の強度計算をベースに実施した。評価の結果, 許容応力以下であることから, 締付ボルトは 200℃,

2Pd において健全であることを確認した。

また、原子炉格納容器の重大事故等時の過温、過圧時におけるフランジ開口量を評価するために、F E M解析を用いてトップヘッドフランジ部における開口量を評価した。その結果、2Pd における開口量は、内側ガスケット部及び外側ガスケット部において許容開口量以下であることを確認した。

- ・ シール材

シール材（ガスケット）には、従来はシリコンゴムを使用しているが、福島第一原子力発電所事故で当該シール材が事故環境に曝されて劣化した可能性があることも踏まえ、より事故環境での性能特性に優れた改良E P D M製（E P D Mはエチレンプロピレンゴムを示す。）のシール材に変更する。本評価では、改良E P D M製シール材について事故時の原子炉格納容器内環境でのシール材劣化特性を考慮してシール機能を評価した。その結果、200℃、2Pd の環境下において、少なくとも7 日間の健全性が確保されることを確認した。なお、更なる安全性の向上のため、高温蒸気曝露で劣化が進む特性を持つシール材を補強するために、更に高温蒸気に耐えられるバックアップシール材を追加塗布し、フランジシール部の重大事故等時における閉じ込め機能の健全性を確保する。

以上の評価結果から、トップヘッドフランジの耐性は、シール材の耐力が支配的となる。シール材が高温環境下で劣化することにより、放射性物質の閉じ込め機能を喪失する可能性については、福島

第一原子力発電所の事故の分析からも確認されており，福島第一原子力発電所事故の経験と分析を踏まえ，高温環境下における耐性を強化した改良E P D M製シール材を用いることにより，機能を向上させる。

シール材の機能確保に関しては，温度・圧力が低下するほど，漏えい，破損に対する裕度が増加することから，有効性評価に用いている原子炉格納容器の限界温度・圧力の条件である 200℃，2Pd は，機器や材料が有する耐力に対して裕度を確保した設定であると考えらる。

このことから，トップヘッドフランジについて，原子炉格納容器の限界温度・圧力の 200℃，2Pd は，機器や材料が有する耐力に対して裕度を確保した設定であり，妥当である。

③ 機器搬入用ハッチ

機器搬入用ハッチは，フランジ付きの円筒胴が原子炉格納容器の貫通部に溶接固定され，この円筒胴のフランジに鏡板フランジをボルト固定しており，フランジ間のシールにはガスケットを使用している。フランジにはシール溝が二重に配置されており，原子炉格納容器内側・外側のそれぞれのシール溝にガスケットを取り付ける二重シール構造になっている。

機器搬入用ハッチの設計時に考慮される機能喪失要因は，脆性破壊，疲労破壊及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃，2Pd を考慮した場合，脆性破壊が生じる温度域でないこと，繰り返し荷重が作用しないことから，脆性破壊及び疲労破壊は評価対象外と考えること

ができる。

したがって、機器搬入用ハッチの機能喪失要因は、原子炉格納容器内圧による過度な塑性変形に伴う延性破壊、また、フランジ部の変形及びシール材の高温劣化によるシール機能の低下が考えられる。

このため、下記のとおり 200℃、2Pd の環境下での健全性を確認した。

- ・ 本体

機器搬入用ハッチにおける構造健全性評価として、機器搬入用ハッチの取付部について、既工認にて認可された圧力及び自重を考慮した応力値を準用し、原子炉格納容器の限界温度 200℃、限界圧力 2Pd の条件における応力評価を行い、発生応力が許容応力以下であることを確認した。

また、機器搬入用ハッチの部材において内圧による荷重を受け止める部位のうち円筒胴及び鏡板について、設計・建設規格に示される円筒胴及び鏡板の内圧に対する必要厚さの評価式を準用し、許容圧力の評価を行い、許容圧力が 2Pd を上回ることを確認した。

ここで、設計・建設規格の解説表 PVB - 3110 - 1 において、延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。

一方、設計・建設規格における一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度ごとに材料試験(引張試験)を実施した結果をもとに、国内 Su 値検討会で設定された設計引張強さ (Su) に割下げ率を考慮して設定されたものである(設計・建設規格 解説 GNR - 2200)。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過する機器搬入用ハッチの限界温度及び許容圧力の妥当性を確認するものであるため、上記割下げ率を P_m (一次一般膜応力強さ) に

は 1.5, $P_L + P_b$ (一次局部膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ) には 1.0 とした評価を行う。すなわち, 機器搬入用ハッチに発生する応力が, P_m が $2/3Su$, $P_L + P_b$ が Su 以下であれば, 延性破壊には至らず, 構造は健全で機能要求 (放射性物質の閉じ込め機能) を確保できると考える。

この許容値の考え方は, 設計・建設規格 解説 PVB - 3111 に示すように, 供用状態 D の P_m , $P_L + P_b$ の許容値と同等である。なお, 耐圧機能維持の観点から, 安全評価上の仮定 (原子炉冷却材喪失事故を想定) に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態 D の許容応力は, 鋼材の究極的な強さを基に, 弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり, P_m は $2/3Su$, $P_L + P_b$ は $1.5 \times 2/3Su (=Su)$ と規定されている。前者は, 膜応力であり断面の応力が Su に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが, 後者は, 断面表面が Su に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。

- ・シール機能

- ・フランジ固定部

機器搬入用ハッチのシール機能維持について, 構造健全性確認のために, フランジ固定部の締付ボルトの強度評価及びフランジの開口評価を行った。

締付ボルトについて, 原子炉格納容器限界温度, 圧力 (200℃, 2Pd) における強度評価を, 既工認の強度計算をベースに実施した。評価の結果, 許容応力以下であることから, 締付ボルトは 200℃,

2Pd において健全であることを確認した。

また、原子炉格納容器の重大事故等時の過温、過圧時におけるフランジ開口量を評価するために、F E M解析を用いて機器搬入用ハッチフランジ部における開口量を評価した。その結果、2Pd における開口量は、内側ガスケット部及び外側ガスケット部において許容開口量以下であることを確認した。

- ・ シール材

シール材（ガスケット）には、従来はシリコンゴムを使用しているが、福島第一原子力発電所事故で高温劣化した可能性があることも踏まえ、より高温耐性に優れた改良E P D M製のシール材に変更する。本評価では、改良E P D M製シール材について事故時の原子炉格納容器内環境でのシール材劣化特性を考慮してシール機能を評価した。その結果、200℃、2Pd の環境下において、少なくとも7日間の健全性が確保されることを確認した。なお、更なる安全性の向上のため、高温環境下で劣化が進む特性を持つシール材を補強するために、更に高温環境下で耐えられるバックアップシール材を追加塗布し、フランジシール部の重大事故等時における閉じ込め機能の健全性を確保する。

以上の評価結果から、機器搬入用ハッチの耐性は、シール材の耐力が支配的となる。シール材が高温環境下で劣化することにより、放射性物質の閉じ込め機能を喪失する可能性については、福島第一原子力発電所事故の分析からも確認されており、福島第一原子力発電所事故の経験と分析を踏まえ、高温環境下における耐性を強化し

た改良 E P D M 製シール材を用いることにより、機能を向上させる。

シール材の機能確保に関しては、温度・圧力が低下するほど、漏えい、破損に対する裕度が増加することから、有効性評価に用いている原子炉格納容器の限界温度・圧力の条件である 200℃、2Pd は、機器や材料が有する耐力に対して裕度を確保した設定であると考え

る。

このことから、機器搬入用ハッチについて、原子炉格納容器の限界温度・圧力の 200℃、2Pd は、機器や材料が有する耐力に対して裕度を確保した設定であり、妥当である。

④ サプレッション・チェンバアクセスハッチ

サプレッション・チェンバアクセスハッチは、フランジ付きの円筒胴が原子炉格納容器の貫通部に溶接固定され、この円筒胴のフランジに鏡板フランジをボルト固定しており、フランジ間のシールにはガスケットを使用している。フランジにはシール溝が二重に配置されており、原子炉格納容器内側・外側のそれぞれのシール溝にガスケットを取り付ける二重シール構造になっている。

サプレッション・チェンバアクセスハッチの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないことから、脆性破壊及び疲労破壊は評価対象外と考えることができる。

したがって、サプレッション・チェンバアクセスハッチの機能喪失要因は、原子炉格納容器内圧による過度な塑性変形に伴う延性破壊、また、

フランジ部の変形及びシール材の高温劣化によるシール機能の低下が考えられる。

このため、下記のとおり 200℃, 2Pd の環境下での健全性を確認した。

- ・ 本体

サプレッション・チェンバアクセスハッチにおける構造健全性評価として、サプレッション・チェンバアクセスハッチの取付部について、既工認にて認可された圧力及び自重を考慮した応力値を準用し、原子炉格納容器の限界温度 200℃, 限界圧力 2Pd の条件における応力評価を行い、発生応力が許容応力以下であることを確認した。

また、サプレッション・チェンバアクセスハッチの部材において内圧による荷重を受け止める部位のうち円筒胴及び鏡板について、設計・建設規格に示される円筒胴及び鏡板の内圧に対する必要厚さの評価式を準用し、許容圧力の評価を行い、許容圧力が 2Pd + S A 時水頭圧を上回ることを確認した。

ここで、設計・建設規格の解説表 PVB - 3110 - 1 において、延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。

一方、設計・建設規格における一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度ごとに材料試験(引張試験)を実施した結果をもとに、国内 Su 値検討会で設定された設計引張強さ (Su) に割下げ率を考慮して設定されたものである (設計・建設規格 解説 GNR - 2200)。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過するサプレッション・チェンバアクセスハッチの限界温度及び許容圧力の妥当性を確認するものであるため、上記割下げ率を P_m

(一次一般膜応力強さ) には 1.5, $P_L + P_b$ (一次局部膜応力強さ +

一次曲げ応力強さ)には1.0とした評価を行う。すなわち、サプレッション・チェンバアクセスハッチに発生する応力が、 P_m が $2/3Su$ 、 $P_L + P_b$ が Su 以下であれば、延性破壊には至らず、構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考える。

この許容値の考え方は、設計・建設規格 解説 PVB - 3111 に示すように、供用状態Dの P_m 、 $P_L + P_b$ の許容値と同等である。なお、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定（原子炉冷却材喪失事故を想定）に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態Dの許容応力は、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、 P_m は $2/3Su$ 、 $P_L + P_b$ は $1.5 \times 2/3Su (=Su)$ と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が Su に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率1.5を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が Su に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は1.0としている。

- ・ シール機能

- ・ フランジ固定部

サプレッション・チェンバアクセスハッチのシール機能維持について、構造健全性確認のために、フランジ固定部の締付ボルトの強度評価及びフランジの開口評価を行った。

締付ボルトについて、原子炉格納容器限界温度、圧力（200℃，2Pd）における強度評価を、既工認の強度計算をベースに実施した。評価の結果、いずれも許容応力以下であることから、締付ボルトは200℃，2Pdにおいて健全であることを確認した。

また、原子炉格納容器の重大事故等時の過温、過圧時におけるフランジ開口量を評価するために、F E M解析を用いてサプレッション・チェンバアクセスハッチフランジ部における開口量を評価した。その結果、2Pd における開口量は、内側ガスケット部及び外側ガスケット部において許容開口量以下であることを確認した。

- ・ シール材

シール材（ガスケット）には、従来はシリコンゴムを使用しているが、福島第一原子力発電所事故で高温劣化した可能性があることも踏まえ、より高温耐性に優れた改良E P D M製のシール材に変更する。本評価では、改良E P D M製シール材について事故時の原子炉格納容器内環境でのシール材劣化特性を考慮してシール機能の評価した。その結果、200℃、2Pd の環境下において、少なくとも7日間の健全性が確保されることを確認した。

以上の評価結果から、サプレッション・チェンバアクセスハッチの耐性は、シール材の耐力が支配的となる。シール材が高温環境下で劣化することにより、放射性物質の閉じ込め機能を喪失する可能性については、福島第一原子力発電所事故の分析からも確認されており、福島第一原子力発電所事故の経験と分析を踏まえ、高温環境下における耐性を強化した改良E P D M製シール材を用いることにより、機能を向上させる。

シール材の機能確保に関しては、温度・圧力が低下するほど、漏えい、破損に対する裕度が増加することから、有効性評価に用いて

いる原子炉格納容器の限界温度・圧力の条件である 200℃, 2Pd は、機器や材料が有する耐力に対して裕度を確保した設定であると考え
る。

このことから、サプレッション・チェンバアクセスハッチについて、原子炉格納容器の限界温度・圧力の 200℃, 2Pd は、機器や材料が有する耐力に対して裕度を確保した設定であり、妥当である。

⑤ 所員用エアロック

所員用エアロックは、円筒胴が原子炉格納容器の貫通部に溶接固定されており、円筒胴の両端に平板（隔壁）を溶接し、人が出入りできる開口部を設けている。この開口部に柵板（隔壁）を溶接し、柵板の前面を開閉扉で塞ぐ構造である。柵板の前面と扉間のシールにはシリコンゴムのガスケットを使用している。なお、トップヘッドフランジやハッチ類と異なり、原子炉格納容器加圧時は所員用エアロック扉が支持部に押しつけられる構造となっているため、扉板が開くことはない。

また、隔壁には扉開閉ハンドル軸等が貫通しており、シール材を使用している。

所員用エアロックの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃, 2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、有意な圧縮力が所員用エアロックに生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができ、高温状態で原子炉格納容器内圧を受けることによる、過度な塑性変形に伴う延性破壊が機能喪失要因として想定される。そのため、所員

用エアロック本体の塑性変形に伴う延性破壊，また，扉の変形及びシール材の高温劣化によるシール機能の低下が考えられる。

このため，下記のとおり 200℃，2Pd の環境下での健全性を確認した。

- ・ 本体

所員用エアロックにおける構造健全性評価として，所員用エアロックにおいて内圧による荷重を受け止める部位のうち，円筒胴について，既工認と同様の評価手法である設計・建設規格に示される必要厚さの評価式を準用し，許容圧力の評価を行い，許容圧力が 2Pd を上回ることを確認した。

また，隔壁の構造健全性を確認するため，既工認において最も厳しい応力点を代表評価点として，既工認の評価値を準用し，原子炉格納容器の限界温度 200℃，限界圧力 2Pd の条件における応力評価を行い，発生応力が許容応力以下であることを確認した。

ここで，設計・建設規格の解説表 PVB - 3110 - 1 において，延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。

一方，設計・建設規格における一次応力強さの許容値は，材料の種類及び温度ごとに材料試験（引張試験）を実施した結果をもとに国内 Su 値検討会で設定された設計引張強さ（Su）に割下げ率を考慮して設定されたものである（設計・建設規格 解説 GNR - 2200）。

今回の評価は，設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過する所員用エアロックの限界温度及び許容圧力の妥当性を確認するものであるため，上記割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5， $P_L + P_b$ （一次局部膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ）には 1.0 とした評価を行う。すなわち，所員用エアロックに発生する応力が，

P_m が $2/3Su$ 、 $P_L + P_b$ が Su 以下であれば、延性破壊には至らず、構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考える。

この許容値の考え方は、設計・建設規格 解説 PVB - 3111 に示すように、供用状態Dの P_m 、 $P_L + P_b$ の許容値と同等である。なお、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定（原子炉冷却材喪失事故を想定）に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態Dの許容応力は、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、 P_m は $2/3Su$ 、 $P_L + P_b$ は $1.5 \times 2/3Su (=Su)$ と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が Su に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率1.5を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が Su に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は1.0としている。

- ・ シール機能

- ・ 扉

所員用エアロック扉閉止時は、扉は原子炉格納容器内圧により扉板が支持部に押付けられる構造であり、圧力により扉板が開くことはない。しかし、内圧が負荷される面積が大きいことから、この原理でガスケット部の微小な開口が予想されるため、圧力による開口量を理論式に基づき評価した。

扉に用いられているシール材は、従来はシリコンゴムを使用しているが、福島第一原子力発電所事故で高温劣化した可能性があることも踏まえ、より高温耐性に優れた改良EPDM製のシール

材に変更する。本評価では、改良E P D M製シール材について事故時の原子炉格納容器内環境でのシール材劣化特性を考慮してシール機能を評価した。その結果、200℃、2Pd の環境下において、少なくとも7日間の健全性が確保されることを確認した。

- ・シール材

扉のシリコンゴムのガスケット以外に所員用エアロックの扉板貫通部に使用しているシール材は以下のとおりである。

- ①扉開閉ハンドル貫通部Oリング…ふっ素ゴム
- ②電線管貫通部……………ふっ素樹脂
- ③均圧配管……………非石綿系シートガスケット
- ④均圧弁……………ふっ素樹脂

扉開閉ハンドル貫通部Oリングに使われているシール材（ふっ素ゴム）及び均圧配管に使われているシール材（非石綿系シートガスケット）は、重大事故環境下の放射線による影響で、シール機能が低下することが考えられるため、より耐環境性に優れた改良E P D M製のシール材に変更する。

電線管貫通部に使われているシール材（ふっ素樹脂）は、重大事故環境下の放射線による影響で、シール機能が低下することが考えられるため、より耐環境性に優れた膨張黒鉛のシール材に変更する。

均圧弁に使われているシール材（ふっ素樹脂）は、重大事故環境下の放射線による影響で、シール機能が低下することが考えら

れるため、より耐環境性に優れた P E E K 材のシール材に変更する。

⑥ 配管貫通部

・接続配管

接続配管に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、圧縮力が接続配管に生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、接続配管の機能喪失要因は、原子炉格納容器の変形により生じる過度な曲げ荷重に伴う延性破壊が想定される。ここで、貫通配管に加えられる曲げ荷重は二次応力に分類されることから、自重等の一次応力と併せて、一次＋二次応力が許容値を満足することを確認する。

このため、配管に発生する反力及びモーメントが最大となる貫通部を代表として選定し、当該配管について、3次元梁モデルを用いた弾性解析にて自重、圧力及び原子炉格納容器変位に伴う荷重を考慮した評価を行い、発生応力が許容応力を下回ることを確認した。

・スリーブ

スリーブ本体及び取付部の設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、圧縮力がスリーブに生じ

ないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、スリーブの機能喪失要因は、高温状態で内圧による過度な塑性変形に伴う延性破壊が想定される。

スリーブ本体に発生する応力が大きいと考えられる配管厚さと口径の比が最も小さくなる貫通部を代表として選定し、既工認と同様の評価手法である設計・建設規格に示される必要厚さの評価式を準用し、許容圧力の評価を行い、許容圧力が $2P_d$ を上回ることを確認した。

また、スリーブ取付部については、接続配管の選定と同様、接続配管の第1拘束点までの距離及び配管口径の比が最も小さい箇所であり、変位による反力及びモーメントが最大となる貫通部を代表として選定し、当該貫通部の接続配管解析の結果で得られた配管反力に基づき、原子炉格納容器本体も含めたスリーブ取付部について、既工認と同様の評価手法で自重、圧力及び原子炉格納容器変位に伴う荷重を考慮した評価を行い、発生応力が許容応力を下回ることを確認した。

ここで、設計・建設規格の解説表 PVB - 3110 - 1 において、延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。

一方、設計・建設規格における一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度ごとに材料試験（引張試験）を実施した結果をもとに国内 S_u 値検討会で設定された設計引張強さ（ S_u ）に割下げ率を考慮して設定されたものである（設計・建設規格 解説 GNR - 2200）。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過するスリーブ本体及び取付部の限界温度及び許容圧力の妥当性を確認するものであるため、上記割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5、 $P_L + P_b$ （一次局部膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ）には 1.0

とした評価を行う。すなわち、スリーブ本体及び取付部に発生する応力が、 P_m が $2/3S_u$, $P_L + P_b$ が S_u 以下であれば、延性破壊には至らず、構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考える。

この許容値の考え方は、設計・建設規格 解説 PVB - 3111 に示すように、供用状態Dの P_m , $P_L + P_b$ の許容値と同等である。なお、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定（原子炉冷却材喪失事故を想定）に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態Dの許容応力は、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、 P_m は $2/3S_u$, $P_L + P_b$ は $1.5 \times 2/3S_u (=S_u)$ と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が S_u に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。

・平板類

平板類のうち、平板、穴あき平板、フランジ、ボルト締め平板及びフルードヘッドは、スリーブまたはセーフエンドに溶接固定されている。また、フランジ部は、ボルトにより固定されており、フランジ間のシール部には、ガスケットを使用している。

平板類の設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200°C , $2Pd$ の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないことから、脆性破壊及び疲労破壊は評価対象外と考える

ことができる。

したがって、平板類の機能喪失要因は、高温状態で内圧を受け、過度な塑性変形に伴う延性破壊、また、フランジ部の変形及びシール材の高温劣化によるシール機能の低下が考えられる。

平板類は、配管厚さと口径の比が最も小さくなる箇所が内圧による発生応力が大きくなる最大径の貫通部代表として選定し、下記のとおり 200℃、2Pd の環境下での健全性を確認した。

- ・ 本体

ボルト締め平板について、既工認と同様の評価手法である設計・建設規格に示される必要厚さの評価式を用いて許容圧力が 2Pd を上回ることを確認した。

ここで、設計・建設規格の解説表 PVB - 3110 - 1 において、延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。

一方、設計・建設規格における一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度ごとに材料試験（引張試験）を実施した結果をもとに国内 Su 値検討会で設定された設計引張強さ（Su）に割下げ率を考慮して設定されたものである（設計・建設規格 解説 GNR - 2200）。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過するボルト締め平板の限界温度及び許容圧力の妥当性を確認するものであるため、上記割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5 とした評価を行う。すなわち、ボルト締め平板に発生する応力が、 P_m が $2/3Su$ 以下であれば、延性破壊には至らず、構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できる

と考える。

この許容値の考え方は、設計・建設規格 解説 PVB - 3111 に示すように、供用状態Dの P_m の許容値と同等である。なお、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定（原子炉冷却材喪失事故を想定）に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態Dの許容応力は、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、 P_m は $2/3S_u$ と規定されている。 P_m は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されている。

- ・シール機能

- ・フランジ固定部の強度

ボルト締め平板のシール機能維持について、構造健全性の確認のために、フランジ固定部のフランジ強度評価及び締付ボルトの有効断面積評価並びにフランジの開口評価を行った。

フランジ部について、J I S B 8265「圧力容器の構造—一般事項」を用いて、 $2P_d$ におけるフランジの発生応力が許容応力を下回ること及びボルトの必要総有効断面積がボルトの総有効断面積を下回ることを確認した。

また、原子炉格納容器の重大事故等時の過温、過圧時におけるフランジ開口量を評価するために、文献の理論式を用いてボルト締めフランジ部における開口量を評価した。その結果、 $2P_d$ における開口量は、許容開口量以下であることを確認した。

- ・ シール材

シール材（ガスケット）には、従来はシリコンゴムを使用しているが、福島第一原子力発電所事故で高温劣化した可能性があることも踏まえ、より高温耐性に優れた改良EPDM製のシール材に変更する。本評価では、改良EPDM製シール材について事故時の原子炉格納容器内環境でのシール材劣化特性を考慮してシール機能を評価した。その結果、200℃、2Pdの環境下において、少なくとも7日間の健全性が確保されることを確認した。

- ・ セーフエンド

セーフエンドは、伸縮継手付貫通部に用いられる短管で、スリーブ及び伸縮継手等に溶接固定されている。

セーフエンドの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である200℃、2Pdの条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、圧縮力がセーフエンドに生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、セーフエンドの機能喪失要因は、高温状態で内圧を受け、過度な塑性変形に伴う延性破壊が想定される。

セーフエンドは、配管厚さと口径の比が最も小さくなる箇所が内圧による発生応力が大きくなるため、最大口径の貫通部を代表として選定し、既工認と同様の評価手法である設計・建設規格に示される必要厚さの評価式を準用し、許容圧力の評価を行い、許容圧力が2Pdを上

回ることを確認した。

- ・伸縮継手

伸縮継手は、配管貫通部に用いられる伸縮継手であり、セーフエンドに溶接固定されている。

伸縮継手の設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊及び疲労破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないことから、脆性破壊は評価対象外と考えることができる。

したがって、伸縮継手の機能喪失要因は、通常運転時に累積される低サイクル疲労に加えて重大事故時に累積される低サイクル疲労による疲労破壊が想定される。

200℃、2Pd での伸縮継手の構造部における健全性評価として、既工認で通常運転時の疲労累積係数が最も大きい貫通部の伸縮継手を代表として選定し、設計・建設規格に示される伸縮継手の疲労評価の式を用いて疲労累積係数を算出し、許容値以下であることを確認した。

⑦ 電気配線貫通部

- ・アダプタ

アダプタの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、過度の圧縮力がアダプタに生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、アダプタの機能喪失要因は、高温状態での内圧による過度な塑性変形に伴う延性破壊が想定される。

アダプタについて、設計・建設規格に示される必要厚さの評価式を準用し、許容圧力の評価を行い、許容圧力が $2Pd$ を上回ることを確認した。

・ヘッダ

ヘッダの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200°C 、 $2Pd$ の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、過度の圧縮力がヘッダに生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、ヘッダの機能喪失要因は、高温状態で内圧を受け、過度な塑性変形による延性破壊が想定される。

ヘッダについて、設計・建設規格に示される必要厚さの評価式を準用し、許容圧力の評価を行い、許容圧力が $2Pd$ を上回ることを確認した。

・モジュール

モジュールのシール材には、EPゴム及びエポキシ樹脂を使用しているため、高温劣化によるシール機能の低下が想定される。

モジュールのシール材については、電気ペネ共研において、実機電気配線貫通部と同等の試験体を用い、原子炉格納容器内側の電気配線貫通部端子箱部分の環境条件を 200°C 、約 $2.6Pd$ (約 $0.8\text{MPa}[\text{gage}]$) とした条件下におけるモジュール部シール材の耐漏えい性を確認して

いる。

また、過去の電気配線貫通部の環境試験において、原子炉格納容器内を 200℃と模擬した試験を行い、電気配線貫通部の長期健全性を確認している。

さらに、NUPEC 試験において、実機電気配線貫通部モジュールと同等のモジュール試験体を用い、シール材からの漏えい限界圧力・温度の把握を行っている。この評価では、最大 3.2Pd (1.0MPa[gage])、約 260℃までの耐漏えい性を確認している。

したがって、電気配線貫通部については、有効性評価における限界温度・圧力としている 200℃、2Pd 条件下でのシール機能を確認した。

⑧ 原子炉格納容器隔離弁

原子炉格納容器隔離弁のうち不活性ガス系バタフライ弁及び移動式炉心内計装 (Traversing In-core Probe, 以下「T I P」という。) ボール弁について、事故環境下でのシール材の損傷 (変形) が想定されるため以下のとおり健全性を確認する。

また、弁の耐圧部については、機能喪失要因として脆性破壊、疲労破壊、座屈及び変形が考えられるが、200℃、2Pd の環境下では脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、圧縮力が弁本体に生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、原子炉格納容器隔離弁のうち不活性ガス系バタフライ弁及びT I P ボール弁の耐圧部の機能喪失要因は、高温状態で内圧を受けることによる過度な変形 (一次応力) が想定されるため、以下のとおり健全性を確認する。

- ・原子炉格納容器隔離弁（不活性ガス系バタフライ弁）

設計・建設規格（弁の圧力温度基準に基づく評価）に基づき、弁箱の耐圧機能の評価を行い、200℃、2Pdでの耐圧性能を有することを確認した。

また、隔離機能（気密性保持）については、弁体シート部ガスケットの耐環境性が支配的であり、今後、不活性ガス系バタフライ弁のシート部に改良E P D M製シール材を採用するため、200℃、2Pdの環境下での弁シート部への影響をバタフライ弁供試体による蒸気加熱漏えい試験により確認し、事故環境下における放射性物質の閉じ込め機能があることを確認した。

- ・原子炉格納容器隔離弁（T I P ボール弁）

設計・建設規格（弁の圧力温度基準に基づく評価）に基づき、弁箱の耐圧機能の評価を行い、200℃、2Pdでの耐圧性能を有することを確認した。

また、従来からT I P ボール弁にはふっ素ゴム、ふっ素樹脂のシール材が使われている。これらは重大事故環境下の放射線によりシール機能が低下することが考えられるため、トップヘッドフランジ及び機器搬入用ハッチ等で採用したものと同様に改良E P D M製シール材に変更する。

なお、上記以外の隔離弁については、以下の理由により 200℃、2Pdの環境下で健全性を有している。

- ・弁箱は各配管ラインの設計圧力に応じて適切なものが選定されてお

り（耐圧性能が最小のものでも 1.03MPa [gage]），耐圧上問題になることはない。

- ・弁のグランド部及び弁蓋部のシールには，黒鉛製のパッキン，ガスケットを有しており，耐熱性上問題となることはない。
- ・弁シート部は金属製又は黒鉛製である。

（4） 結論

東海第二発電所の原子炉格納容器本体並びに原子炉格納容器に設置されている開口部（トップヘッドフランジ，機器搬入用ハッチ，サプレッション・チェンバアクセスハッチ，所員用エアロック），原子炉格納容器貫通部（配管貫通部，電気配線貫通部）及び原子炉格納容器隔離弁の構造健全性について，有効性評価における限界温度・圧力として設定する 200℃，2Pd の妥当性を評価した。また，開口部，原子炉格納容器貫通部及び原子炉格納容器隔離弁に使用されているシール部についても，同様に限界温度，圧力に対する妥当性を評価した。

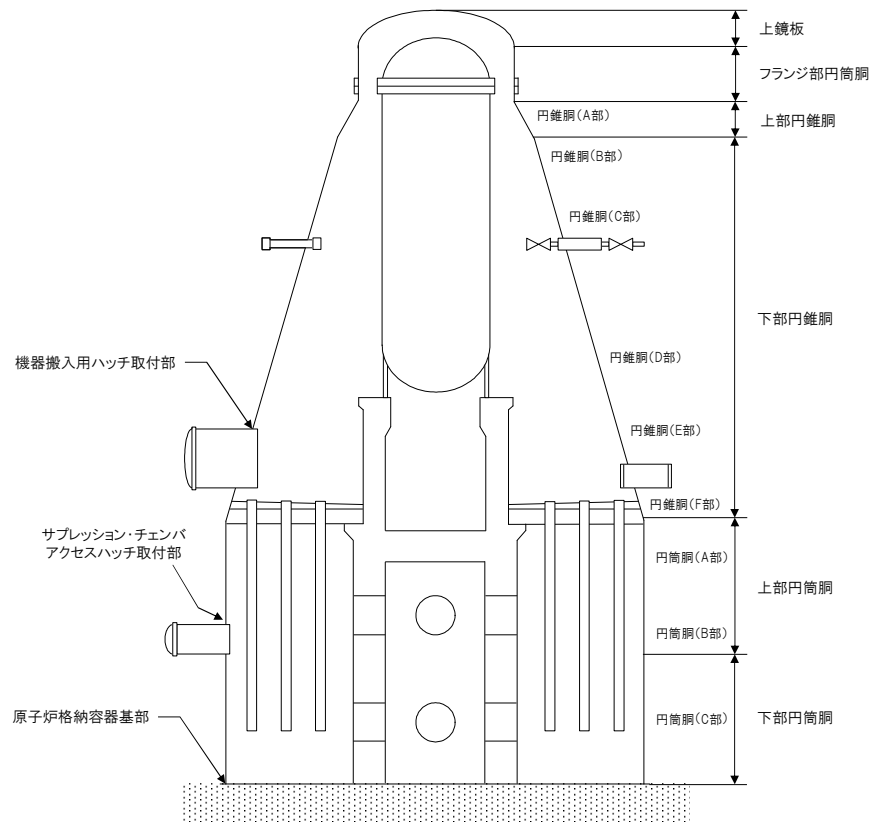
その結果，構造健全性については，限界温度・圧力環境下において想定される損傷モードにおける評価では，許容値に対して余裕があることから機器に著しい損傷が生じることなく，放射性物質の閉じ込め機能を確保できることを確認した。

一方，シール部については，シール材が高温環境下において劣化する特性を有していることを考慮しても，限界温度・圧力環境下において，シール材に耐環境性に優れた改良 EPDM 製シール材を用いることにより，少なくとも 7 日間の健全性を確保できることを確認した。

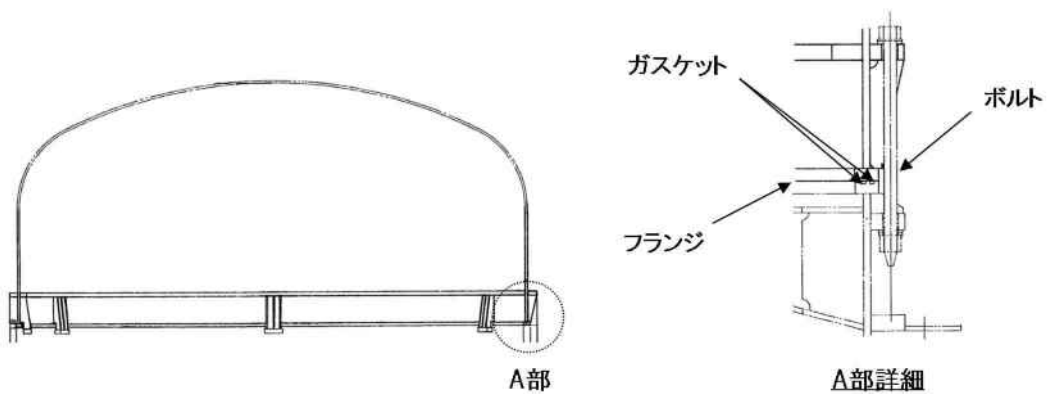
評価結果まとめを第 4 表に示す。

以上のことから，東海第二発電所で設定した原子炉格納容器の限界温

度・圧力の 200℃, 2Pd は, 機器や材料が有する耐力に対して裕度を確保した設定であり, 妥当である。

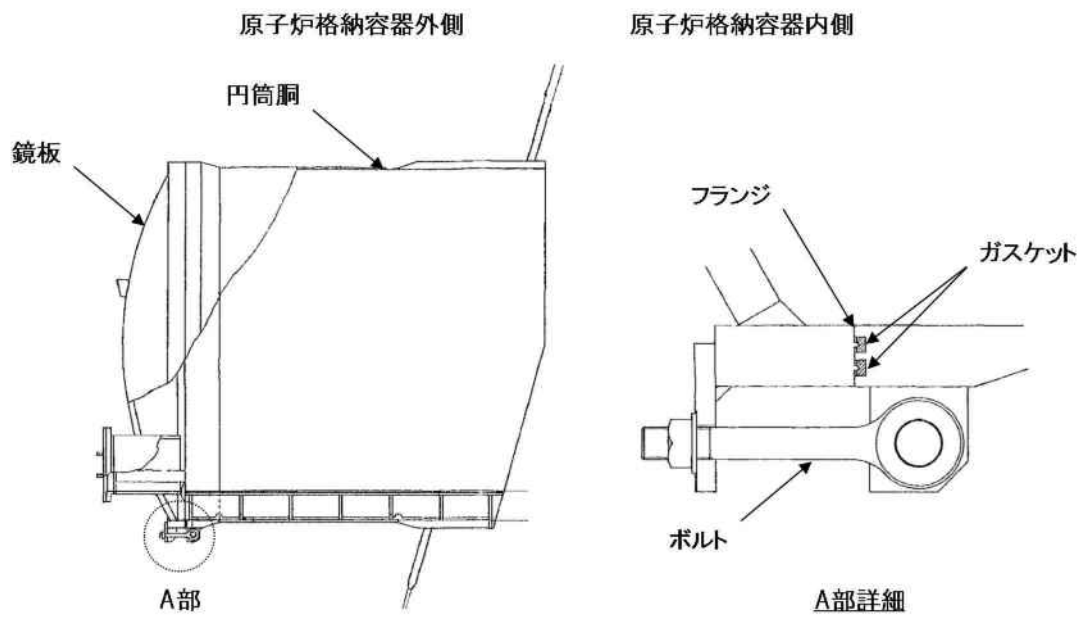


原子炉格納容器本体

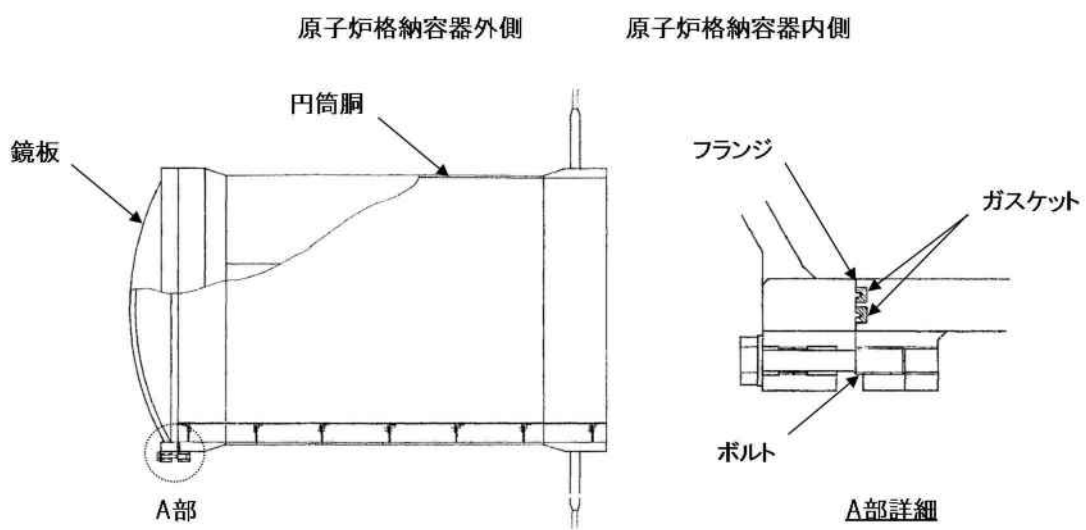


トップヘッドフランジ

第 3 図 原子炉格納容器バウンダリ構成部概要図 (1/6)

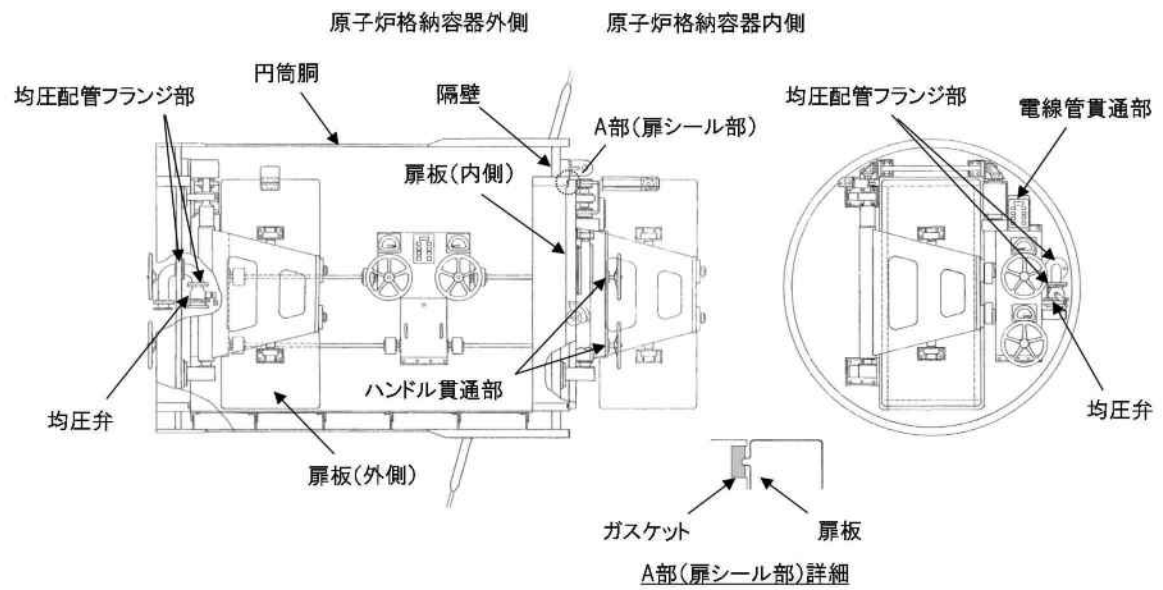


機器搬入用ハッチ

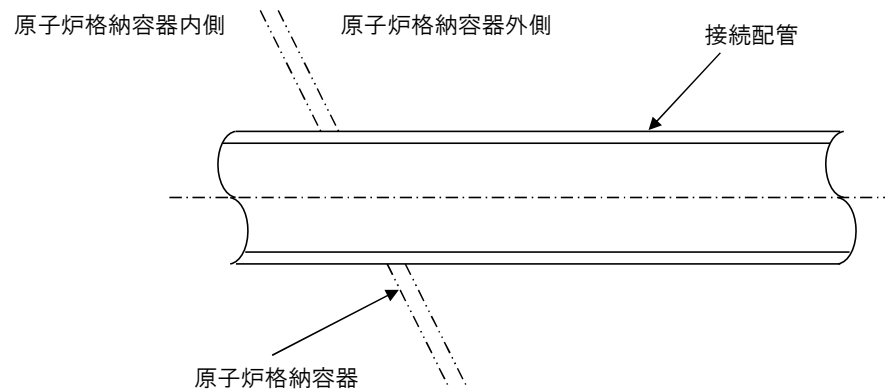


サプレッション・チェンバアクセスハッチ

第3図 原子炉格納容器バウンダリ構成部概要図 (2/6)

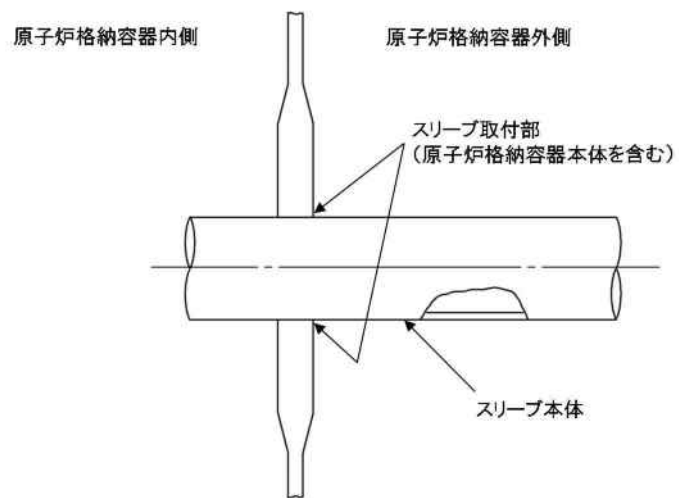


所員用エアロック

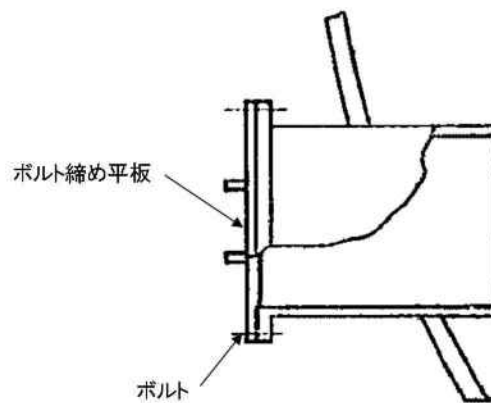


配管貫通部（接続配管）

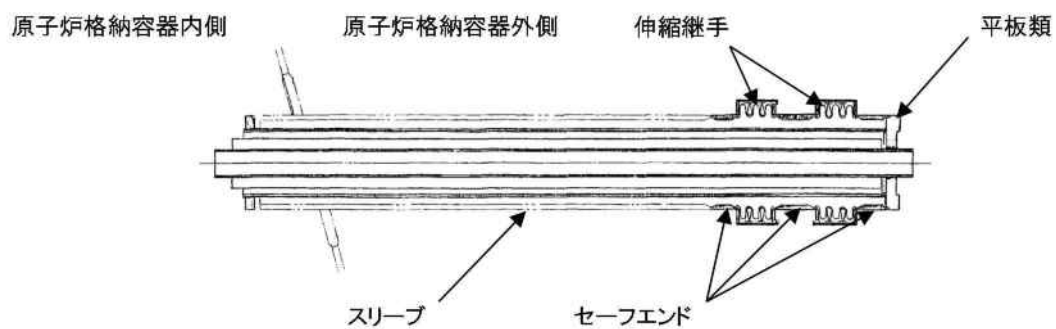
第3図 原子炉格納容器バウンダリ構成部概要図（3／6）



配管貫通部（スリーブ）

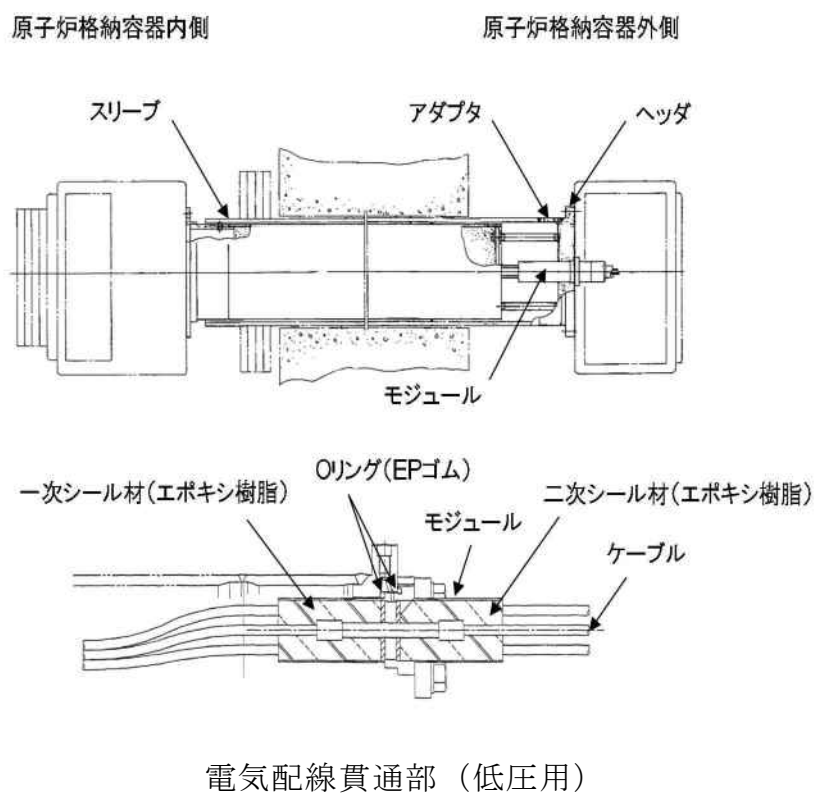
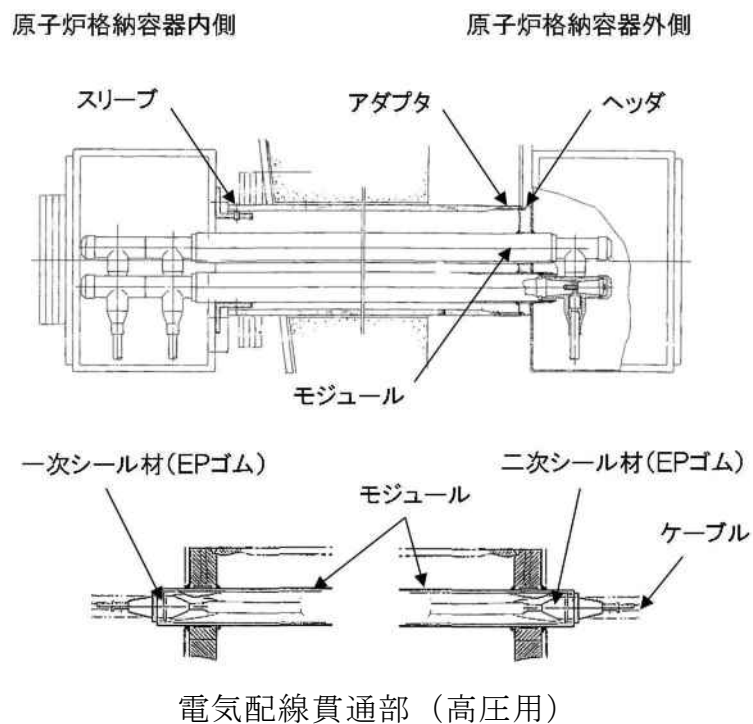


配管貫通部（平板類）

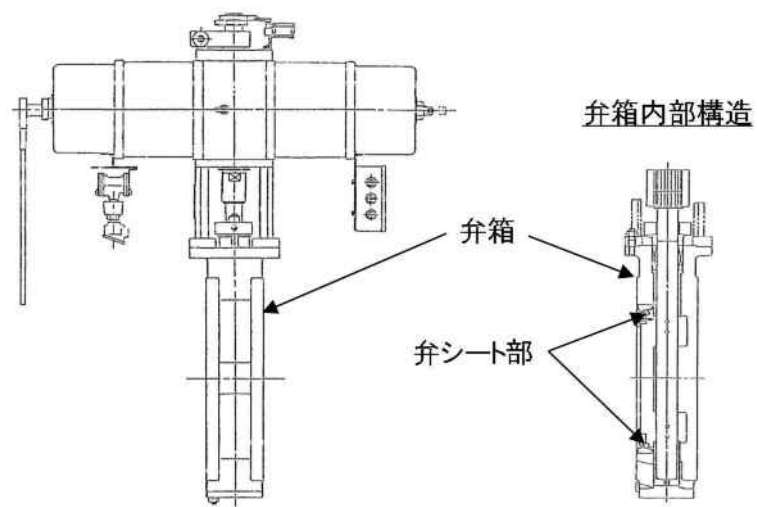


配管貫通部（セーフエンド，伸縮継手）

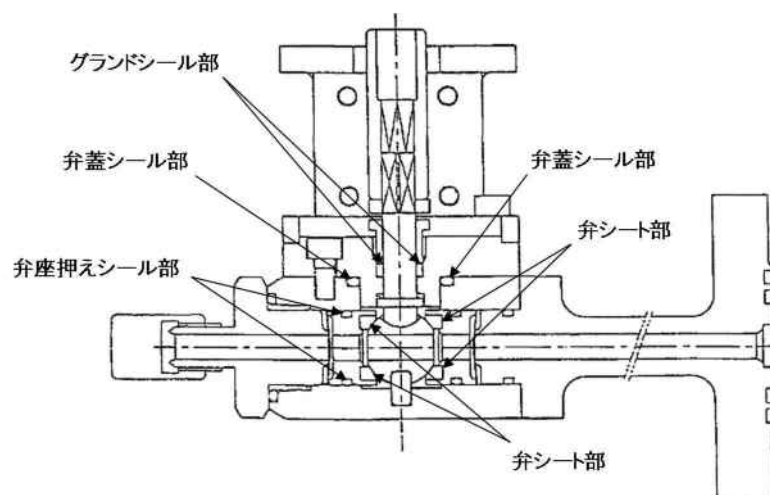
第 3 図 原子炉格納容器バウンダリ構成部概要図（4／6）



第 3 図 原子炉格納容器バウンダリ構成部概要図（5／6）



原子炉格納容器隔離弁（不活性ガス系バタフライ弁）



原子炉格納容器隔離弁（T I P ボール弁）

第 3 図 原子炉格納容器バウンダリ構成部概要図（6／6）

第4表 評価結果まとめ (1/2)

| 評価対象 | 評価点 | 評価方法 | 評価条件 | 評価値※1 | 判定基準 | 評価結果 |
|----------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------|--|--|----------------|
| 原子炉格納容器本体 | 一般構造部 | 設計・建設規格を準用 既工認の評価値を準用した評価 | 200℃ 2Pd | 許容圧力：0.693MPa[gage] (円筒胴部) 発生応力：[] | [] [gage] (2Pd+SA 時の水頭圧) 以上 281MPa 以下 | 破断せず |
| | 構造不連続部 | 既工認の評価値を準用した評価 | 200℃ 2Pd | 発生応力：[] (疲労累積係数：[]) | 422MPa 以下 (疲労累積係数 1 以下) | 破断せず (1 以下) |
| トップヘッドフランジ | 構造部 (フランジ, ボルト) | フランジ：PVE-3700 ボルト：工認手法 | 2Pd | 発生圧力 (フランジ)：185MPa 発生応力 (ボルト)：[] | 422MPa 以下 576MPa 以下 | 破断せず |
| | シール部 (フランジ, ガasket) | 有限要素法 (FEM) ガasket試験 | 200℃ 2Pd | 開口量：[] (内側), [] (外側) | 許容開口量 [] 以下 | シール機能維持※2 |
| 機器搬入用ハッチ | 構造部 (円筒胴, 鏡板, フランジ, ボルト) | 既工認の評価値を準用した評価 設計・建設規格準用 工認手法 | 200℃ 2Pd | 発生応力：[] 許容圧力 (円筒胴)：2.445MPa[gage] 許容圧力 (鏡板)：10.110MPa[gage] 発生応力 (ボルト)：[] | 422MPa 以下 0.62MPa[gage] (2Pd) 以上 0.62MPa[gage] (2Pd) 以上 576MPa 以下 | 破断せず |
| | シール部 (フランジ, ガasket) | 有限要素法 (FEM) ガasket試験 | 200℃ 2Pd | 開口量：[] (内側), [] (外側) | 許容開口量 [] 以下 | シール機能維持※2 |
| サブプレッション・チェンバアクセスハッチ | 構造部 (円筒胴, 鏡板, フランジ, ボルト) | 既工認の評価値を準用した評価 設計・建設規格準用 工認手法 | 200℃ 2Pd | 発生応力：[] 許容圧力 (円筒胴)：4.493MPa[gage] 許容圧力 (鏡板)：10.637MPa[gage] 発生応力 (ボルト)：[] | 422MPa 以下 [] [gage] (2Pd+SA 時の水頭圧) 以上 576MPa 以下 | 破断せず |
| | シール部 (フランジ, ガasket) | 有限要素法 (FEM) ガasket試験 | 200℃ 2Pd | 開口量：[] (内側), [] (外側) | 許容開口量 [] 以下 | シール機能維持※2 |
| 所員用エアロック | 構造部 (円筒胴) | 設計・建設規格を準用 | 2Pd | 許容圧力：3.716MPa[gage] | 0.62MPa[gage] (2Pd) 以上 | 破断せず |
| | 構造部 (隔壁) | 既工認の評価値を準用した評価 | 2Pd | 発生応力：[] | 422MPa 以下 | 破断せず |
| | シール部 (扉板シール部) | 機械工学便覧 ガasket試験 | 200℃ 2Pd | 開口量：[] | 許容開口量 [] 以下 | シール機能維持※2 |
| | シール部 (その他シール部) | ガasket試験 材料仕様 | 200℃ | 200℃以上 | 200℃以上 | シール機能維持※3 |

※1 複数評価している項目は最も厳しい値を記載

※2 フランジ部の形状・寸法に基づき解析等により算出した開口量が、圧縮永久ひずみ試験結果及び実機フランジ模擬試験の漏えい試験結果に基づき設定した許容開口量以下であることを確認

※3 シール材の試験結果又は材料仕様により高温環境下における耐性を確認

※4 試験における漏えい量が設計漏えい量以下であることを確認

第4表 評価結果まとめ (2/2)

| 評価対象 | | 評価点 | 評価方法 | 評価条件 | 評価値※ ¹ | 判定基準 | 評価結果 |
|--------------------|------------------|--------------------|----------------------------|-------------|---|--|-----------------------|
| 配管 貫通部 | 接続配管 | 同左 | 代表配管：PPC-3520, PPC-3530 | 200℃ 2Pd | 発生応力(X-31)：169MPa | 許容応力(257MPa)以下 | 破断せず ^a |
| | スリーブ | スリーブ本体 | 設計・建設規格を準用 | 2Pd | 許容圧力(X-18)：26.617MPa[gage] | 0.62MPa[gage](2Pd)以上 | 破断せず ^a |
| | | スリーブ取付部 | 工認手法 | 2Pd | 発生応力(X-31)：250MPa | 許容応力(422MPa)以下 | 破断せず ^a |
| | 平板類 | 構造部(ボルト締め平板) | 設計・建設規格を準用 | 2Pd | 許容圧力(X-28)：1.90MPa[gage] | 0.62MPa[gage](2Pd)以上 | 破断せず ^a |
| | | 構造部(フランジ, ボルト) | J I S B 8265 | 2Pd | 発生応力(X-28 フランジ)：124MPa 必要有効断面積(X-28 ボルト)：1.212 ×10 ³ mm ² | 許容応力(281MPa)以下 総有効断面積(6.765×10 ³ mm ²) 以下 | 破断せず ^a |
| | | シール部(フランジ, ガasket) | 文献の理論式 | 200℃ 2Pd | 開口量： <input type="text"/> | 許容開口量 <input type="text"/> 以下 | シール機能維持※ ² |
| | セーフエンド | 同左 | 設計・建設規格を準用 | 200℃ 2Pd | 許容圧力(X-18)：4.529MPa[gage] | 0.62MPa[gage](2Pd)以上 | 破断せず ^a |
| | 伸縮継手 | 同左 | 設計・建設規格を準用 | 2Pd | 疲労累積係数(X-14)： <input type="text"/> | 疲労累積係数1以下 | 1以下 |
| 電気配線 貫通部 | アダプタ | 同左 | 設計・建設規格を準用 | 200℃ 2Pd | 許容圧力(低压)：10.645MPa[gage] 許容圧力(高压)：10.619MPa[gage] | 0.62MPa[gage](2Pd)以上 | 破断せず ^a |
| | ヘッダ | 同左 | 設計・建設規格を準用 | 200℃ 2Pd | 許容圧力(低压)：27.948MPa[gage] 許容圧力(高压)：10.69MPa[gage] | 0.62MPa[gage](2Pd)以上 | 破断せず ^a |
| | モジュール | シール部(モジュール) | 電気ペネ共研, N U P E C 試験 | 200℃ 2Pd | 漏えいなし | 設計漏えい量以下 | シール機能維持※ ⁴ |
| 原子炉 格納容器 隔離弁 | 不活性ガス 系バタフライ弁 | 耐圧部(弁箱) | レーティング設計 | 200℃ 2Pd | 許容圧力：1.40MPa[gage] | 0.62MPa[gage](2Pd)以上 | 破断せず ^a |
| | | 弁シート部 | 漏えい確認試験 | 200℃ 2Pd | 漏えいなし | 設計漏えい量以下 | シール機能維持※ ⁴ |
| | T I P ボール弁 | 耐圧部(弁箱) | レーティング設計 | 200℃ 2Pd | 許容圧力：1.32MPa[gage] | 0.62MPa[gage](2Pd)以上 | 破断せず ^a |
| | | シール部 | ガスケット試験 | 200℃ 2Pd | 200℃以上 | 200℃以上 | シール機能維持※ ³ |

※1 複数評価している項目は最も厳しい値を記載

※2 フランジ部の形状・寸法に基づき解析等により算出した開口量が、圧縮永久ひずみ試験結果及び実機フランジ模擬試験の漏えい試験結果に基づき設定した許容開口量以下であることを確認

※3 シール材の試験結果又は材料仕様により高温環境下における耐性を確認

※4 試験における漏えい量が設計漏えい量以下であることを確認

1. 原子炉格納容器本体

1.1 評価方針

原子炉格納容器は、円錐フラスタム形のドライウエル、円筒形のサブレーション・チェンバから構成されている。

原子炉格納容器本体の設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、圧縮力が原子炉格納容器本体に生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、原子炉格納容器本体の機能喪失要因は、高温状態での内圧による過度な塑性変形に伴う延性破壊が想定される。

原子炉格納容器本体の評価対象と評価方法を第 1-1 表に、評価対象を第 1-1 図にそれぞれ示す。

ここで、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版を含む））（第 I 編 軽水炉規格）J S M E S N C 1-2005/2007」（以下、「設計・建設規格」という。）の解説表 PVB-3110-1 において、延性破壊評価は一次応力の評価を実施することになっている。設計・建設規格における一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度ごとに材料試験（引張試験）を実施した結果をもとに国内 Su 値検討会で設定された設計引張強さ（Su）に割下げ率を考慮して設定されたものである（設計・建設規格 解説 GNR-2200）。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過する原子炉格納容器本体の構造健全性を確認するものであるため、上記割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5、 $P_L + P_b$ （一次一般局部膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ）には 1.0 とした評価を行う。すなわち、原子炉

格納容器本体に発生する応力が、 P_m が $2/3S_u$ 、 $P_L + P_b$ が S_u 以下であれば、延性破壊に至らず、構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考える。この許容値の考え方は、設計・建設規格 解説 PVB-3111 に示されるように、供用状態Dの P_m 、 $P_L + P_b$ の許容値と同等である。なお、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定（原子炉冷却材喪失事故を想定）に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態Dの許容応力は、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全余裕を考慮して規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率1.5を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が S_u に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は1.0としている。

(1) 一般構造部

原子炉格納容器本体の一般構造部（設計・建設規格 PVE-3010 で規定されている部位）の評価として、設計・建設規格の PVE-3230(2)a 項及び PVE-3323(1) 項を準用し、許容引張応力に供用状態Dにおける一次一般膜応力の許容値である 200°C の $2/3S_u$ を与えることで許容応力を算出し、評価圧力 $2P_d$ 又は「 $2P_d + S$ A時の水頭圧」を上回ることを確認する。また、既工認にて認可された評価値（圧力及び自重を考慮した応力値）を用いた応力評価を実施する。 200°C 、 $2P_d$ における発生応力 P_m を算出し、原子炉格納容器の $2/3S_u$ 値（ 200°C ）に相当する許容応力以下であることを確認する。

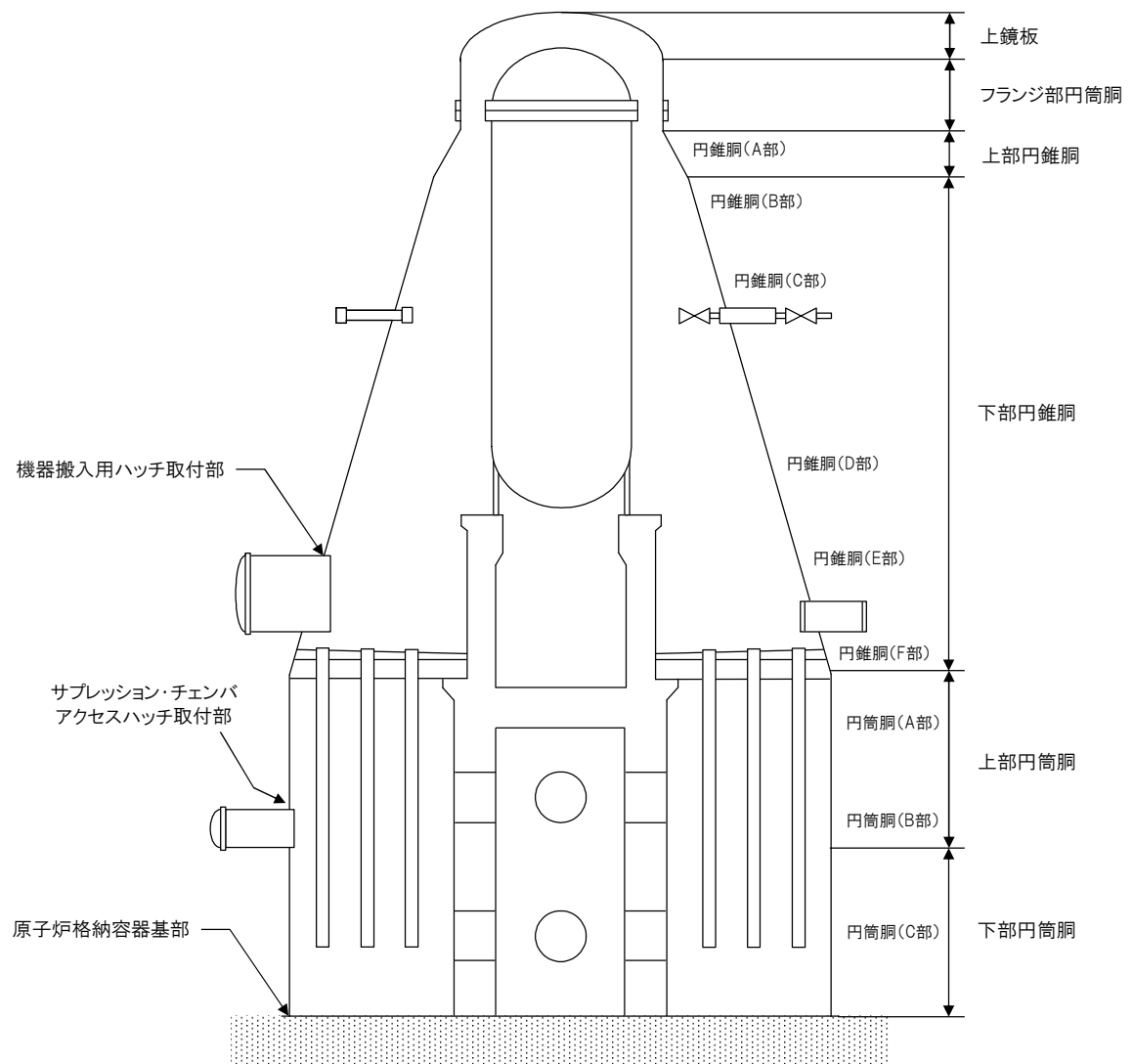
(2) 構造不連続部

原子炉格納容器の構造不連続部の評価として、既工認にて認可された評価値（圧力及び自重を考慮した応力値）を用いた応力評価を実施する。評価温度・圧力（200℃，2Pd）における発生応力 $P_L + P_b$ を算出し、原子炉格納容器の S_u 値（200℃）に相当する許容応力以内であることを確認する。

また、東海第二発電所の原子炉格納容器は原子炉格納容器基部においてアンカボルトで支持された自立式の格納容器であるため、温度上昇時には原子炉格納容器基部に熱応力（二次応力）が発生する。二次応力は、応力増加に伴い局所的な塑性流れが生じ応力分布が均等化され破損を引き起こすとは考えられないが、念のため一次＋二次応力を評価する。

第 1－1 表 評価対象と評価方法

| 評価対象 | | 機能喪失要因 | 評価方法 |
|------|--------|--------|--|
| 構造部 | 一般構造部 | 延性破壊 | ・設計・建設規格の評価式を準用した評価 ・既工認の評価結果を用いた評価 |
| | 構造不連続部 | 延性破壊 | ・既工認の評価結果を用いた評価 |



第 1－1 図 原子炉格納容器本体の評価対象

1.2 評価結果

(1) 一般構造部

原子炉格納容器本体の一般構造部について、既工認と同様の評価手法である設計・建設規格に示される必要最小板厚の式を用い許容圧力を求め、 $2P_d$ 又は「 $2P_d + S_A$ 時の水頭圧」を上回ることを確認した。その際、部材に発生する応力強さの許容値は、今回の評価が設計基準を超えた限界温度、圧力の評価であることを踏まえ、設計引張強さ (S_u 値) に対する割下げ率を P_m (一次一般膜応力強さ) には 1.5 として評価した。 S_u 値を算出する際の温度は、限界温度として設定した 200°C を用いる。評価結果の詳細を別添 1-1 に示す。

また、既工認にて認可された評価値 (圧力及び自重を考慮した応力値) を用いて、評価温度・圧力 (200°C , $2P_d$) における発生応力を算出し、原子炉格納容器の $2/3S_u$ 値 (200°C) に相当する許容応力以下であることを確認した。評価結果の詳細を別添 1-2 に示す。

上記により、 200°C , $2P_d$ における発生応力に対して、一般構造物の許容応力以下であることを確認した。

(2) 構造不連続部

原子炉格納容器の構造不連続部について、既工認にて認可された評価値 (圧力及び自重を考慮した応力値) を用いて、評価温度・圧力 (200°C , $2P_d$) における発生応力を算出し、原子炉格納容器の S_u 値 (200°C) に相当する許容応力以下であることを確認した。評価結果の詳細を別添 1-2 に示す。

上記により、 200°C , $2P_d$ における発生応力に対して、構造不連続部の許容応力以下であることを確認した。

簡易手法による原子炉格納容器の許容圧力評価結果

東海第二発電所の原子炉格納容器円筒部，円錐部及びトップヘッド部の必要板厚は，設計・建設規格の PVE-3521，PVE-3230(2)a 項及び PVE-3230(2)h 項を用いて求めることができる。ここで求めた式の許容引張応力に 200℃での 2/3Su を与えることで東海第二発電所の限界圧力は，算出できる。

下記に，各評価対象を示す。

①上鏡板

上鏡板：ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式：PVE-3521 を準用

$$P = 2S \eta t / (RW + 0.2t)$$

| | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 281 |
| η | 継手効率 (—) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | |
| R | ふた板の中央部における内半径 (mm) | |
| W | さら形ふた板の形状による係数 | 1.322 |
| P | 200℃における許容圧力 | 1.362 |
| 1.362MPa[gage] > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | |

②フランジ部円筒胴

フランジ部円筒胴：ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式：PVE-3230(2)a 項を準用

$$P = 2S \eta t / (D_i + 1.2t)$$

| | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 281 |
| η | 継手効率 (—) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | |
| D_i | 胴内径 (mm) | |
| P | 200℃における許容圧力 | 1.971 |
| 1.971MPa[gage] > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | |

③円錐胴 A 部

円錐胴 A 部 : ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式 : PVE-3230 (2)h 項を準用

$$P = 2 \cos \theta \cdot S \eta t / (D_i + 1.2 \cos \theta \cdot t)$$

| | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 281 |
| θ | 円錐の頂角の 1/2 (°) | <input type="text"/> |
| η | 継手効率 (—) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | <input type="text"/> |
| D_i | 胴内径 (mm) | <input type="text"/> |
| P | 200℃における許容圧力 | 1.289 |
| 1.289MPa[gage] > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | |

④円錐胴 B 部

円錐胴 B 部 : ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式 : PVE-3230 (2)h 項を準用

$$P = 2 \cos \theta \cdot S \eta t / (D_i + 1.2 \cos \theta \cdot t)$$

| | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 281 |
| θ | 円錐の頂角の 1/2 (°) | <input type="text"/> |
| η | 継手効率 (—) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | <input type="text"/> |
| D_i | 胴内径 (mm) | <input type="text"/> |
| P | 200℃における許容圧力 | 1.061 |
| 1.061MPa[gage] > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | |

⑤円錐胴 C 部

円錐胴 C 部 : ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式 : PVE-3230 (2)h 項を準用

$$P = 2 \cos \theta \cdot S_{\eta} t / (D_i + 1.2 \cos \theta \cdot t)$$

| | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 281 |
| θ | 円錐の頂角の 1/2 (°) | <input type="text"/> |
| η | 継手効率 (—) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | <input type="text"/> |
| D_i | 胴内径 (mm) | <input type="text"/> |
| P | 200℃における許容圧力 | 0.823 |
| 0.823MPa[gage] > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | |

⑥円錐胴 D 部

円錐胴 D 部 : ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式 : PVE-3230 (2)h 項を準用

$$P = 2 \cos \theta \cdot S_{\eta} t / (D_i + 1.2 \cos \theta \cdot t)$$

| | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 281 |
| θ | 円錐の頂角の 1/2 (°) | <input type="text"/> |
| η | 継手効率 (—) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | <input type="text"/> |
| D_i | 胴内径 (mm) | <input type="text"/> |
| P | 200℃における許容圧力 | 0.725 |
| 0.725MPa[gage] > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | |

⑦円錐胴 E 部

円錐胴 E 部 : ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式 : PVE-3230 (2)h 項を準用

$$P = 2 \cos \theta \cdot S \eta t / (D_i + 1.2 \cos \theta \cdot t)$$

| | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 281 |
| θ | 円錐の頂角の 1/2 (°) | <input type="text"/> |
| η | 継手効率 (—) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | <input type="text"/> |
| D_i | 胴内径 (mm) | <input type="text"/> |
| P | 200℃における許容圧力 | 0.709 |
| 0.709MPa[gage] > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | |

⑧円錐胴 F 部

円錐胴 F 部 : ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式 : PVE-3230 (2)h 項を準用

$$P = 2 \cos \theta \cdot S \eta t / (D_i + 1.2 \cos \theta \cdot t)$$

| | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 281 |
| θ | 円錐の頂角の 1/2 (°) | <input type="text"/> |
| η | 継手効率 (—) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | <input type="text"/> |
| D_i | 胴内径 (mm) | <input type="text"/> |
| P | 200℃における許容圧力 | 0.790 |
| 0.790MPa[gage] > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | |

⑨円筒胴 A 部

円筒胴 A 部 : ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式 : PVE-3230 (2) a 項を準用

$$P = 2S \eta t / (D_i + 1.2t)$$

| | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 281 |
| η | 継手効率 (—) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | |
| D_i | 胴内径 (mm) | |
| P | 200℃における許容圧力 | 0.822 |
| 0.822MPa[gage] > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | |

⑩円筒胴 B 部

円筒胴 B 部 : ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式 : PVE-3230 (2) a 項を準用

$$P = 2S \eta t / (D_i + 1.2t)$$

| | | |
|--|---------------------------------------|-------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 281 |
| η | 継手効率 (—) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | |
| D_i | 胴内径 (mm) | |
| P | 200℃における許容圧力 | 0.693 |
| 0.693MPa[gage] > [] [gage] (2Pd+SA 時の水頭圧) | | |

⑪円筒胴 C 部

円筒胴 C 部 : ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

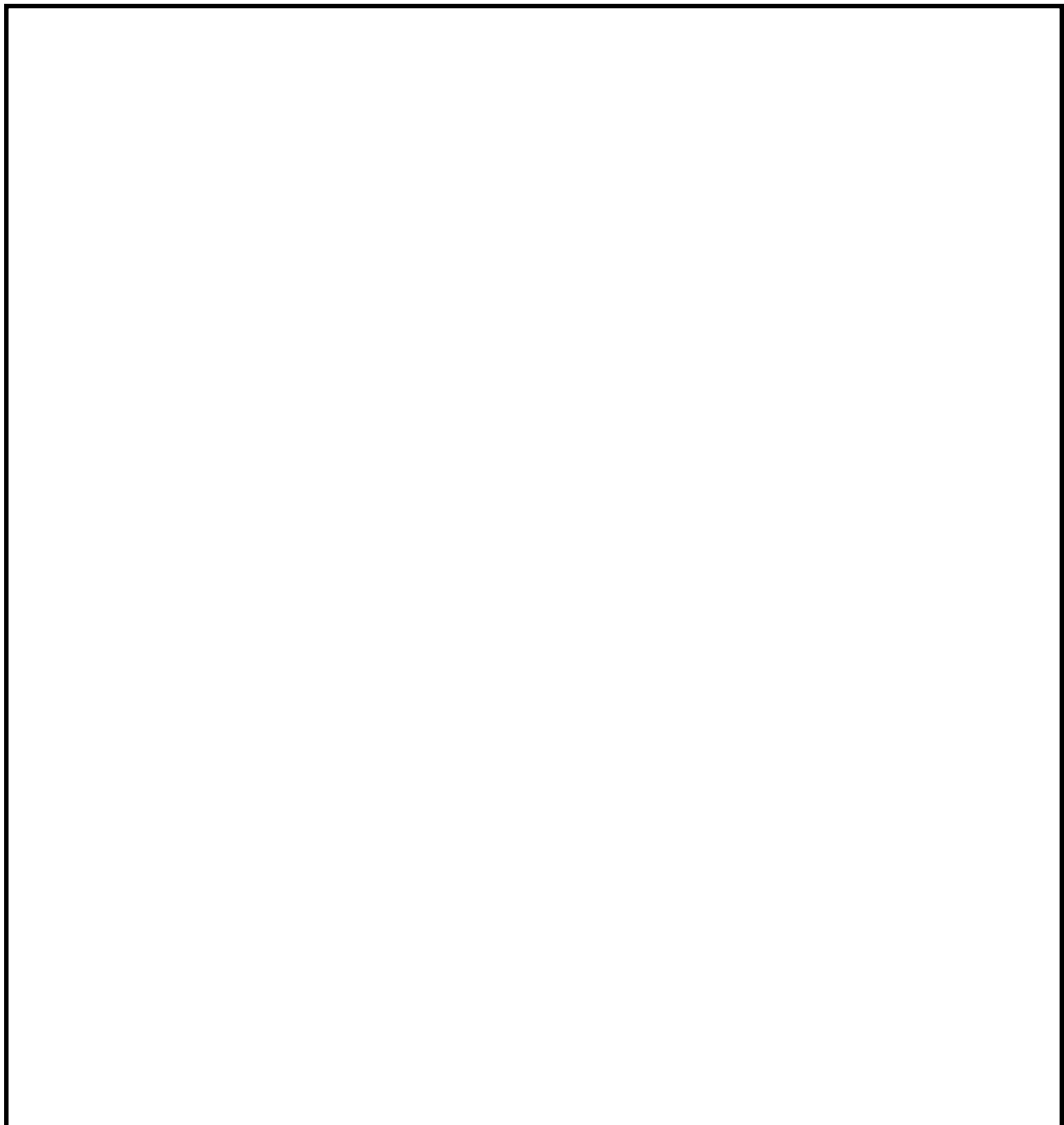
許容圧力算定式 : PVE-3230 (2) a 項を準用

$$P = 2S \eta t / (D_i + 1.2t)$$

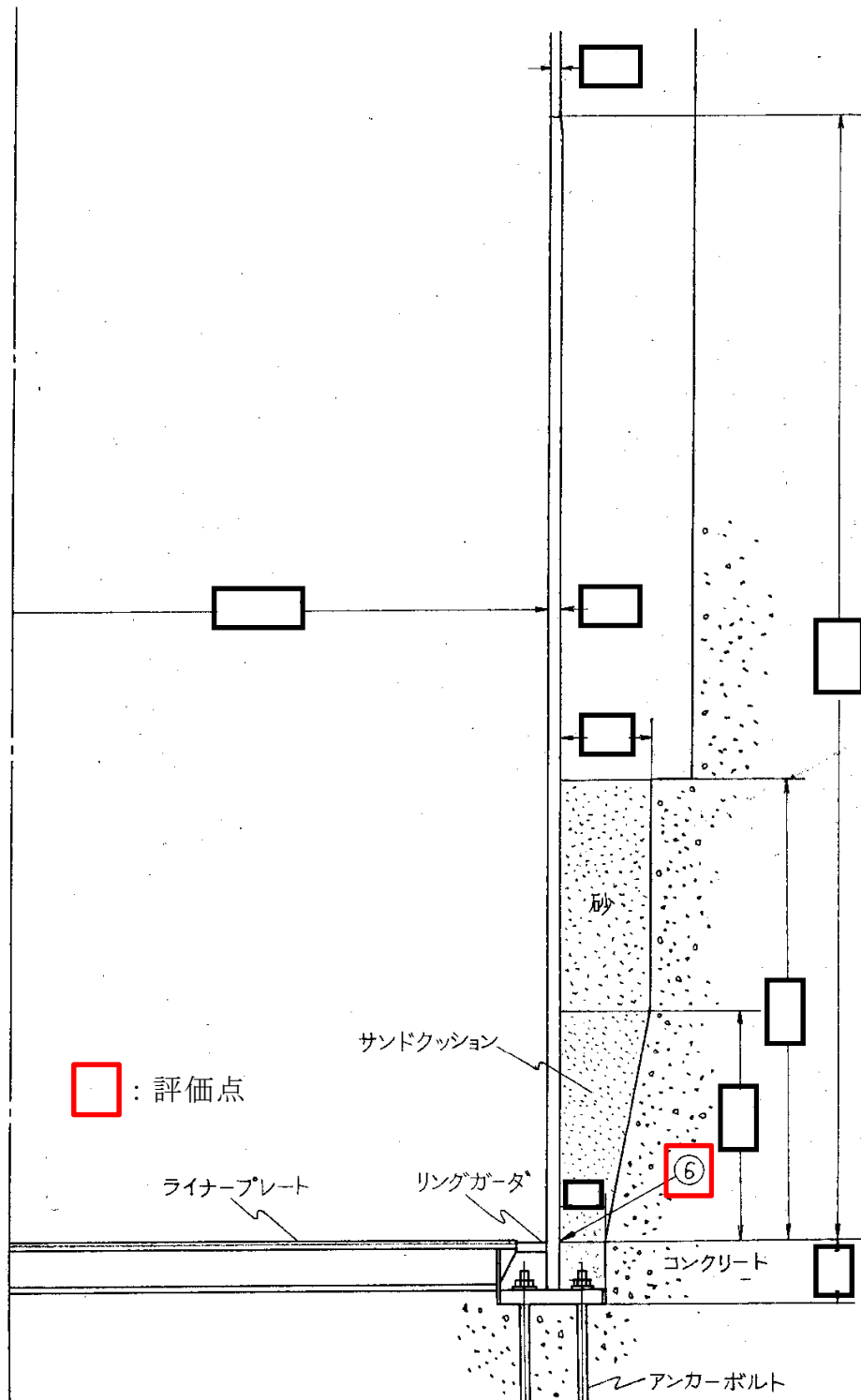
| | | |
|---|---------------------------------------|----------------------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 281 |
| η | 継手効率 (—) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | <input type="text"/> |
| D_i | 胴内径 (mm) | <input type="text"/> |
| P | 200℃における許容圧力 | 0.822 |
| 0.822MPa[gage] > <input type="text"/> [gage] (2Pd+SA 時の水頭圧) | | |

既工認の評価値を用いた原子炉格納容器の応力評価結果

原子炉格納容器に対して、既工認の評価値を用いた応力評価を実施する。
評価する対象は、既工認で評価した対象とし、第 1－2(1)図に示す。また、
評価対象の応力評価する項目を第 1－2(1)表に示す。



第 1－2(1)図 原子炉格納容器の評価箇所（1／2）



第1-2(1)図 原子炉格納容器の構造不連続部の評価箇所 (2 / 2)

第 1－2(1) 表 評価対象部位整理表 (記号○：評価対象，－：評価不要)

| 評価対象 | 評価点 | 一次応力 | | 一次＋二次 応力 |
|---------------|--------------|-------|-------------|-----------------|
| | | P_m | $P_L + P_b$ | $P_L + P_b + Q$ |
| 原子炉格納容 器本体 | ①円筒部と円錐部の接合部 | －※1 | ○ | －※3 |
| | ②円錐部の角度変化部 | －※1 | ○ | －※3 |
| | ③円錐部の板厚変化部 | －※1 | ○ | －※3 |
| | ④円錐部と円筒部の接合部 | －※1 | ○ | －※3 |
| | ⑤円筒部（中央部） | ○ | －※2 | －※3 |
| | ⑥原子炉格納容器基部 | －※1 | ○ | (○) ※4 |

注記※1：構造不連続部であるため， $P_L + P_b$ で評価するもの

※2：一般構造部であるため， P_m で評価するもの

※3：既工認時は，一次＋二次応力の評価も実施しているが，本評価は原子炉格納容器の重大事故時の限界圧力，温度が条件であり，繰り返し発生しないことから，繰り返し荷重を考慮する必要がない。このことから，設計・建設規格における運転状態Ⅳ，供用状態Ⅱの考え方と同様に，疲労破壊を制限するための一次＋二次応力評価は省略されるもの

※4：※3と同様に一次＋二次応力評価は省略されるものであるが，熱応力が発生する部位であることから，念のため確認するもの

応力評価は、既工認時の設計圧力から 2Pd へ換算したときの係数を既工認の発生応力値へ係数倍し、その値が許容値以下であることを確認する。

上記の評価対象について、設計圧力から係数倍を算出した結果を以下に示す。

| 設計条件 | |
|-------------------------|----------|
| 既工認時の設計圧力 | 0.279MPa |
| 最高使用圧力（0.31MPa）の 2 倍 | 0.62MPa |
| 最高使用圧力の 2 倍 / 既工認時の設計圧力 | 2.223 |

評価対象のうち、原子炉格納容器本体の評価点である⑤円筒部（中央部）、⑥原子炉格納容器基部は、重大事故時に想定されるサプレッション・チェンバ水位を考慮し、水頭圧を加味した応力評価を実施する。

上記の評価対象について、設計圧力から係数倍を算出した結果を以下に示す。

⑤円筒部（中央部）

| 設計条件 | |
|--|----------|
| 既工認時の設計圧力 | 0.279MPa |
| 最高使用圧力（0.31MPa）の 2 倍 | 0.62MPa |
| 重大事故時の水頭圧 | |
| （最高使用圧力の 2 倍 + 重大事故時の水頭圧） / 既工認時の設計圧力 | |

⑥原子炉格納容器基部

| 設計条件 | |
|--------------------------------------|----------|
| 既工認時の設計圧力 | 0.279MPa |
| 最高使用圧力（0.31MPa）の2倍 ＋通常水位の水頭圧 | 0.69MPa |
| 重大事故時の水頭圧 | |
| （最高使用圧力の2倍＋重大事故時の水頭圧） ／ 既工認時の設計圧力 | |

既工認時の設計圧力から 2Pd へ換算結果を用いて、既工認で得られている一次応力を係数倍し、許容値以下であるかを確認した。ここで、許容応力は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過する部位に対しての構造健全性を確認するものであるため、供用状態Dを適用し、評価を実施した。

| 応力 評価点 番号 | 応力 評価点 | 一次応力 [MPa] | | | | 応力比 |
|-----------------|-------------|----------------|----------|---------------------------------|----------|-----|
| | | P _m | | P _L + P _b | | |
| | | 応力 強さ | 許容 応力 | 応力 強さ | 許容 応力 | |
| ① | 円筒部と円錐部の接合部 | — | — | | 422 | |
| ② | 円錐部の角度変化部 | — | — | | 422 | |
| ③ | 円錐部の板厚変化部 | — | — | | 422 | |
| ④ | 円錐部と円筒部の接合部 | — | — | | 422 | |
| ⑤ | 円筒部（中央部） | | 281 | | — | |
| ⑥ | 原子炉格納容器基部 | — | — | | 422 | |

上記の結果は、以下のような保守性がある。

- ・最も裕度の小さい評価点⑤は、一般部に生じる一次一般膜応力に対する評価であり、応力の許容基準として規格に定められた設計引張強さ S_u に安全率 1.5 を考慮した値 ($2/3S_u$) を用いていること
- ・応力評価には規格物性値を用いており、実機材料の強度よりも小さい値を用いていること
- ・応力評価で用いている一次応力には内圧以外に死荷重も含まれているが、それも含めて係数倍していること

これらの保守性からも、原子炉格納容器の構造健全性は、200℃、2Pd において、維持される。

原子炉格納容器基部の評価

1. 概要

原子炉格納容器本体については、200℃、2Pd において一次応力が発生する。また、原子炉格納容器基部については、熱膨張の拘束による熱応力が発生する。ここでは、既工認（工事計画認可申請書参考資料（平成 20・02・29 原第 41 号 平成 20 年 4 月 7 日付け））の参考資料 2-6「サプレッション・チェンバ円筒部シェル部及びサンドクッション部の強度計算書」の応力値を用いて、原子炉格納容器基部について一次＋二次応力（ $P_L + P_b + Q$ ）を評価する。

なお、原子炉格納容器の限界圧力、限界温度の確認においては、繰り返し荷重を考慮する必要はないと考えられるが、原子炉格納容器基部については、念のため、200℃、2Pd における発生応力を算出し、許容応力を下回ることを確認する。

2. 評価方針

発生応力は、熱により発生する二次応力に分類されることから、設計・建設規格に示される一次＋二次応力の評価方法及び評価基準値に従う。

許容値は、設計・建設規格において示される原子炉格納容器（クラス MC 容器）の供用状態 A、B に対する許容値と同じ 3S（S 値：200℃における値）とする。

一次＋二次応力が制限値を超えた場合は、設計・建設規格 PVB-3315(2)に規定される疲労評価により、疲労累積係数が 1 以下であることを確認する。

3. 評価条件

(1) 圧力及び温度

評価圧力 : 0.62MPa[gage] (2Pd)

評価温度 : 200℃

(2) 材料及び許容応力

材料及び許容応力を第 1-3(1) 表に示す。

第 1-3(1) 表 材料の許容応力

| 部位 | 材料 | 一次＋二次応力 |
|---------|--------|-----------------|
| | | $P_L + P_b + Q$ |
| 原子炉格納容器 | SGV480 | 393 (=3S) |

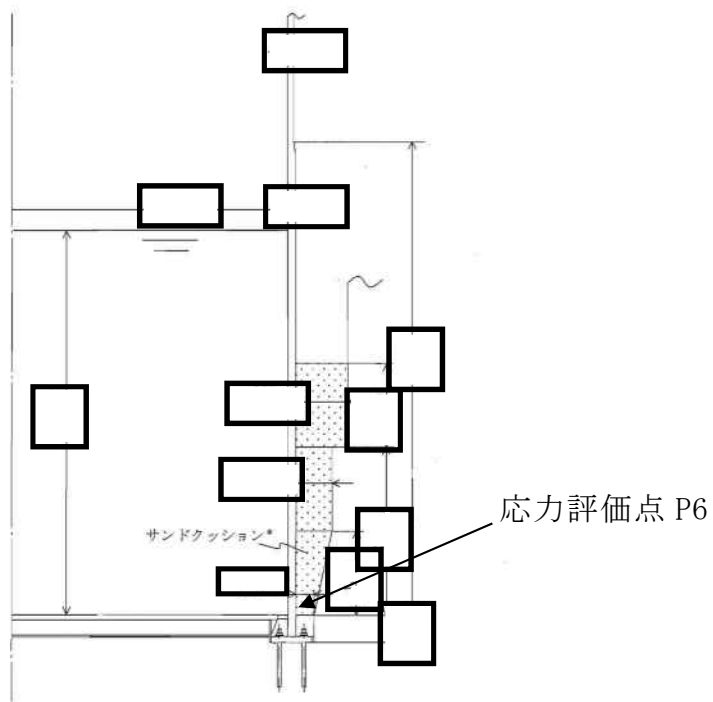
4. 応力計算

(1) 応力評価点

応力評価点を第 1-3(2) 表及び第 1-3(1) 図に示す。応力評価点は、既工認の強度計算書において、一次局部膜応力＋一次曲げ応力＋二次応力が最大の値を示す部位を応力評価点とする。

第 1-3(2) 表 応力評価点

| 応力評価点番号 | 評価項目 | 応力評価点 |
|---------|-------------------------------------|-----------|
| P6 | 一次局部膜応力 ＋ 一次曲げ応力 ＋ 二次応力 | 原子炉格納容器基部 |



第 1-3(1)図 応力評価点

(2) 応力計算

原子炉格納容器基部の作用する圧力、熱応力及び死荷重による圧力は、既工認で計算した応力を用い、評価荷重比の割り増しを考慮して算出する。

5. 応力評価

原子炉格納容器基部の各荷重による応力を第 1-3(3)表に示す。また、応力の組合せ結果を第 1-3(4)表に示す。

応力評価点の発生応力は一次＋二次応力の許容値を超える結果となったため、疲労評価を行い、疲労累積係数が 1 以下であることを確認した。疲労評価の結果を第 1-3(5)表、第 1-3(6)表に示す。

第 1-3(3) 表 各荷重による応力

| 荷重 | 一次+二次応力 | | | | | |
|-------------------|-----------------|-----------------|--------|------------|-----------------|--------|
| | $P_L + P_b + Q$ | | | | | |
| | 内面 | | | 外面 | | |
| | σ_t | σ_θ | τ | σ_t | σ_θ | τ |
| SA 時荷重 | | | | | | |
| 鉛直荷重 (通常) | | | | | | |
| 熱荷重 (SA 時 : 200℃) | | | | | | |
| プール水頭 | | | | | | |

σ_t : 円周方向応力, σ_θ : 軸方向応力, τ : せん断応力 ($t-\theta$ 方向)

第 1-3(4) 表 一次+二次応力の評価結果

| 応力評価点 | 荷重の組合せ | 応力分布 | 発生応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) |
|-------|------------------------|---------|------------|------------|
| P6 | 死荷重+内圧+熱 + SA 時の水頭圧 | 一次+二次応力 | | 393 |

第 1-3(5) 表 疲労評価結果

| | | |
|-------------|--|---|
| S_n | 発生応力 [MPa] | |
| K | 応力集中係数 | |
| K_e | ピーク応力補正係数 | |
| S_p | 疲労解析によるピーク応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値との差 [MPa] | |
| S_θ | 繰返しピーク応力強さ [MPa] | |
| S_θ' | 補正繰返しピーク応力強さ [MPa] | |
| N_a | 許容繰返し回数 [回] | |
| N_c | 重大事故等時の繰返し回数 [回] | 1 |
| U | 疲労累積係数 | |

注) 設計・建設規格 PVB-3315(2) 項を適用

第 1-3(6) 表 評価結果

| 一次+二次応力評価 (MPa) | | 疲労評価 | |
|-----------------|------|--------|-----|
| 一次+二次応力評価 | 許容応力 | 疲労累積係数 | 許容値 |
| | 393 | | 1 |

2. トップヘッドフランジ

2.1 評価方針

トップヘッドフランジは、原子炉格納容器の上蓋フランジであり、締付ボルトで固定される構造である。また、フランジ間のシールにはガスケットを使用している。フランジにはシール溝が二重に配置されており、原子炉格納容器内側・外側のそれぞれのシール溝にシリコンゴムのガスケットを取り付ける二重シール構造になっている。

トップヘッドフランジの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないことから、脆性破壊及び疲労破壊は評価対象外と考えることができる。

シール部については、内圧が低い段階ではボルトの締め付けにより開口は抑制されるが、内圧の上昇に伴って開口量が増加することにより、外部への漏えい経路を形成する。

また、フランジが開口してもフランジの密閉性を担保しているシール材が健全であれば、シール材が開口に追従するため外部への漏えいを防止することができるが、重大事故環境に晒されると、シール材が高温劣化し、フランジの開口に追従できなくなりシール機能の低下が想定される。

したがって、トップヘッドフランジの機能喪失要因は、原子炉格納容器内圧による過度な塑性変形に伴う延性破壊、また、フランジ部の変形及びシール材の高温劣化によるシール機能の低下が考えられる。

このため、200℃、2Pdでの健全性確認には以下の評価が必要である。

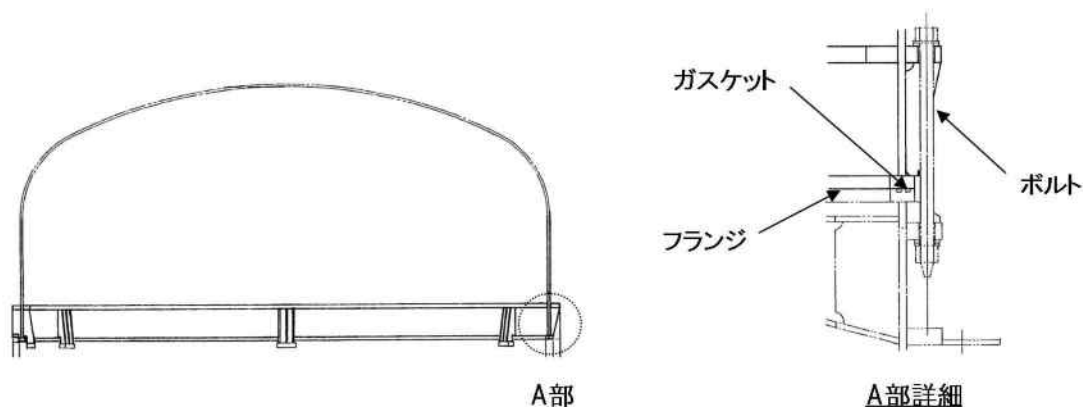
- ・フランジ部の耐圧
- ・フランジ固定部の強度

- ・ガasketの健全性

トップヘッドフランジの評価対象と評価方法を第2-1表に，評価対象を第2-1図にそれぞれ示す。

第 2-1 表 評価対象と評価方法

| 評価対象 | 機能喪失要因 | 評価方法 |
|-----------------------|---------------|--|
| 構造部 (フランジ部) | 延性破壊 | 既工認に準拠した評価 |
| シール部 (フランジ，ガasket) | 開口 シール機能低下 | 実機モデルの F E M 解析による開口量評価 既往研究の試験結果を用いた評価 |



第 2-1 図 トップヘッドフランジの評価対象

(1) フランジ部の耐圧

フランジ部の耐圧評価として，原子炉格納容器温度・圧力が 200°C ， 2Pd におけるフランジ部の一次応力評価を行い，発生応力が許容応力以下であることを確認する。

評価に当たっては，既工認と同様の評価手法である設計・建設規格の評

価手法に準拠し、構造健全性を確認する。

ここで、設計・建設規格の解説表PVB-3110-1において、延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。

一方、設計・建設規格における一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度ごとに材料試験（引張試験）を実施した結果をもとに、国内Su 値検討会で設定された設計引張強さ（Su）に割下げ率を考慮して設定されたものである（設計・建設規格 解説GNR-2200）。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過するトップヘッドフランジ部の限界温度及び許容圧力の妥当性を確認するものであるため、上記割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には1.5、 P_L+P_b （一次局部膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ）には1.0とした評価を行う。すなわち、トップヘッドフランジ部に発生する応力が、 P_m が $2/3Su$ 、 P_L+P_b がSu 以下であれば、延性破壊には至らず、構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考える。

この許容値の考え方は、設計・建設規格解説PVB-3111 に示すように、供用状態Dの P_m ， P_L+P_b の許容値と同等である。なお、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定（原子炉冷却材喪失事故を想定）に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態Dの許容応力は、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、 P_m は $2/3Su$ 、 P_L+P_b は $1.5 \times 2/3Su (=Su)$ と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力がSu に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率1.5を考慮して規定されているが、後者は、断面表面がSuに到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は1.0 としている。

(2) フランジ固定部の強度

①締付けボルトの強度評価

トップヘッドフランジの締付けボルトについて、200℃、2Pdにおける強度を評価する。

②フランジの開口評価

原子炉格納容器の重大事故等時の過温、過圧時におけるフランジ開口量を評価するために、FEM解析を用いてトップヘッドフランジ部における開口量を評価する。

(3) ガasketの健全性

シール材（ガasket）には、従来はシリコンゴムを使用しているが、福島第一原子力発電所事故で当該シール材が事故環境に曝されて劣化した可能性があることも踏まえ、より事故環境での性能特性に優れた改良EPDM製（EPDMはエチレンプロピレンゴムを示す。）のシール材に変更する。改良EPDM製シール材による事故時の格納容器閉じ込め機能を確認するために、圧縮永久ひずみ試験結果をもとに格納容器限界開口量を評価し、重大事故等時におけるフランジ開口量と比較することで格納容器閉じ込め機能の評価する。

2.2 評価

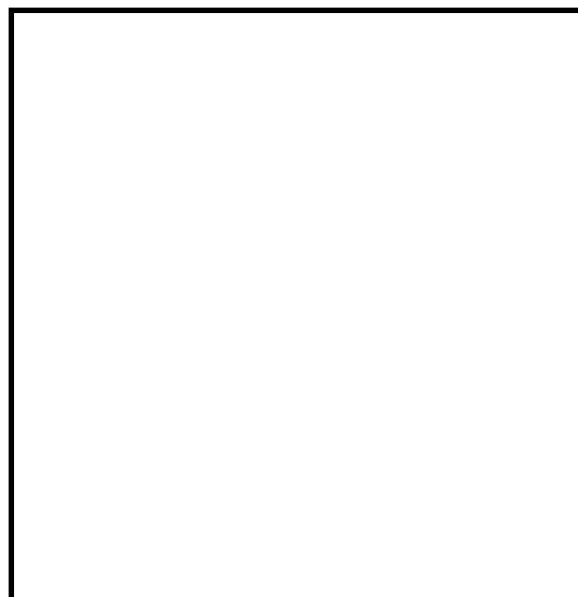
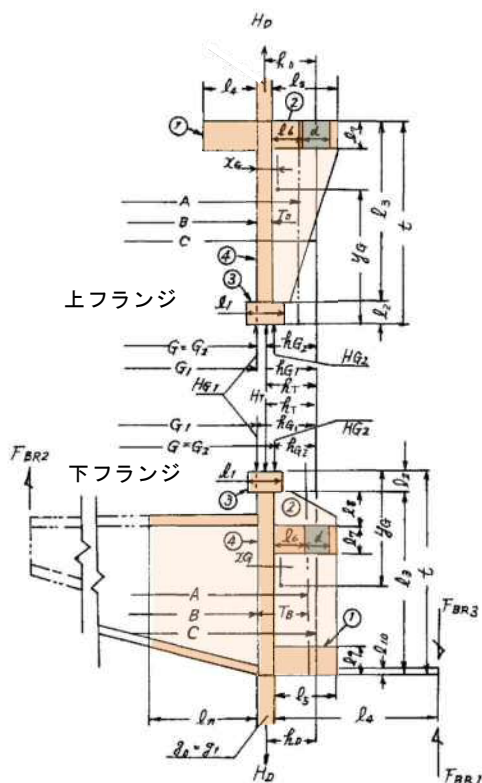
(1) フランジ部の耐圧

トップヘッドフランジについて、既工認と同様の評価手法である設計・建設規格 PVE-3700 を適用し、J I S B 8265「圧力容器の構造—一般事項」に基づいてフランジの発生応力について算出した結果を示す。

Su 値を算出する際の温度は、限界温度として設定した 200℃を用いる。

応力計算に用いるトップヘッドフランジの形状及び主要寸法を第 2-2 図に示す。また、応力算出結果を第 2-2 表に示す。

各発生応力とも許容応力を下回っており、200℃、2Pd 条件下においてトップヘッドフランジの構造健全性を確認した。



フランジ材質：ASME SA516 Gr70 (SGV480 相当)

第 2-2 図 トップヘッドフランジの形状及び主要寸法

第 2-2 表 応力算出結果

単位：MPa

| 荷重 | 応力 | | | 許容応力 |
|-----|------------|---------------------------------|-----|------|
| 2Pd | フランジの軸方向応力 | σ_H | 185 | 422 |
| | フランジの径方向応力 | σ_R | 2 | 281 |
| | フランジの周方向応力 | σ_T | 86 | 281 |
| | 組合せ応力 | $\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2}$ | 94 | 281 |
| | | $\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2}$ | 136 | 281 |

(2) フランジ固定部の強度

①締付けボルトの強度評価

トップヘッドフランジの締付けボルトについて、200℃、2Pdにおける強度を、既工認の強度計算をベースに評価する。締付けボルトの主要仕様を第2－3表、評価結果を第2－4表に示す。

発生応力は、許容応力以下であることから、締付けボルトは200℃、2Pdにおいて健全である。

第2－3表 トップヘッドフランジ締付けボルトの主要仕様

| 項 目 | 東海第二発電所 |
|-------|--------------------------------|
| ボルト材質 | ASME SA320 Gr. L43 (SNCM439相当) |
| ボルト呼び | |
| ボルト本数 | |

第2－4表 締付けボルトの評価結果（単位：MPa）

| 項 目 | 東海第二発電所 | 許容値 |
|------------|---------|-----|
| トップヘッドフランジ | | 576 |

②フランジの開口評価

トップヘッドフランジについて、2Pdにおけるフランジ面の開口量が許容開口量以下であることを確認するため、三次元FEMモデルを用いて弾塑性解析を実施した。

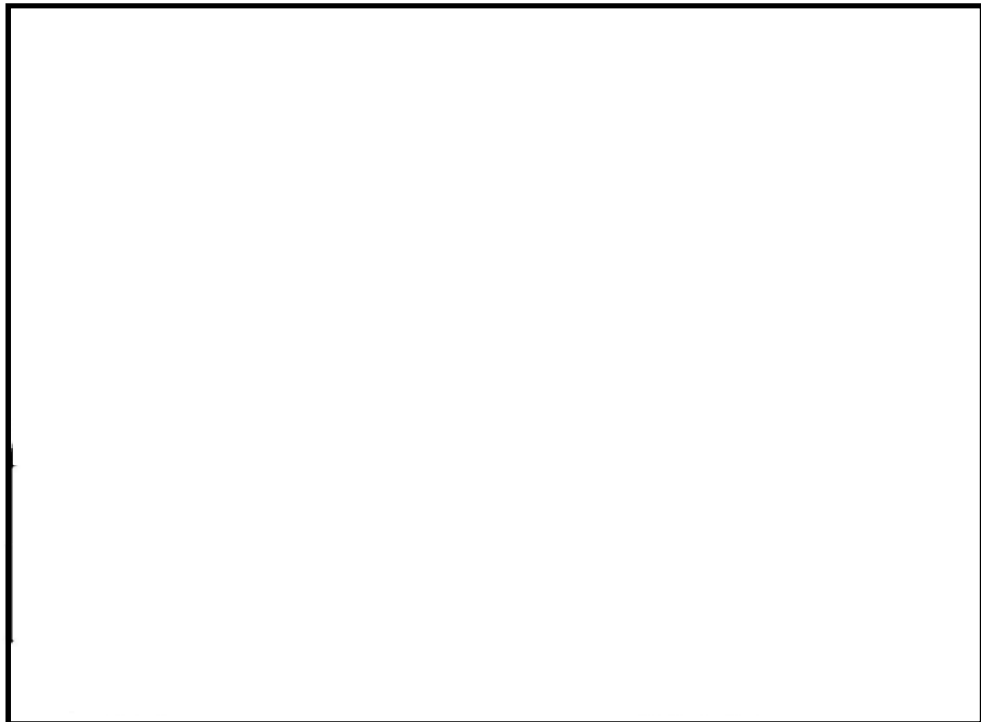
第2－3図に解析モデルを示す。本解析では、フランジの他、圧力作用面であるトップヘッド及び原子炉格納容器胴部（円筒胴及び円錐胴）をモデ

ル化する。

また、フランジシール部を構成する各種部材（フランジ、ボルト、ナット等）の荷重伝達経路を詳細にモデル化するため、ソリッド要素を用いて可能な限り詳細な形状をモデル化する。モデルは対称性を考慮してボルト1/2ピッチ分をモデル化している。荷重条件として、0から発散するまで内圧を加えた。

200℃における圧力と開口量の関係を第2-4図に示す。

2Pdにおける内側ガスケット部の開口量は 外側ガスケット部は であった。



第2-3図 トップヘッドフランジの解析モデル



第 2-4 図 圧力と開口量の関係（東海第二発電所モデル，200℃）

(3) ガスケットの健全性

フランジシール部は，内圧が低い段階ではボルトの初期締付けにより開口は抑制されているが，内圧の上昇に伴って開口量が増加することにより，外部への漏えい経路を形成する。ただし，フランジ部が開口しても，フランジ部の密閉性を担保しているシール材が健全であれば，シール材が開口に追従するため外部への漏えいを防止することができる。しかしながら，重大事故環境に晒されると，フランジシール部に使用されているシール材が劣化し，フランジの開口に追従できなくなり格納容器閉じ込め機能を損なう可能性がでてくる。

そこで，トップヘッドフランジのシール部に使用されているシール材（シリコンゴム）について，事故時環境下の耐性が優れた改良 E P D M 製シール材に変更して格納容器閉じ込め機能の強化を図る。したがって，改良 E P D M 製シール材について，事故時の温度や放射線による劣化特性を試験により確認し，想定される事故シナリオにおけるシール機能を

評価する。なお，フランジ部のシール材は，プラントの定期検査時に開放される場合には取り替えを実施しており，通常運転中における劣化は極めて軽微であることから，事故条件下での評価を実施する。

a. シール材（改良 E P D M 製）の圧縮永久ひずみ試験結果について

改良 E P D M 製シール材の事故時環境における劣化特性を確認するために，J I S K 6262「加硫ゴム及び熱加塑性ゴムの常温・高温及び低温における圧縮永久ひずみの求め方」に準じた圧縮永久ひずみ試験を実施した。その結果を第2－5表に示す。なお，圧縮永久ひずみ測定とは，所定の圧縮率をかけ変形させた後，開放時の戻り量を評価するものである。完全に元の形状に戻った場合を0%とし，全く復元せずに完全に圧縮された状態のままである状態を100%としている。圧縮永久ひずみが第2－5表で示す は，シール材の初期締付量が であるとき， 戻ることを意味する。この場合， のフランジ部開口まではシール機能が確保可能である。

第 2－5 表 圧縮永久ひずみ試験^{※1}結果（改良 E P D M 製）

| | |
|--------------------|------------------------------------|
| 試験温度 | 200℃ |
| 構造部放射線照射量 | <input type="text"/> |
| 試験雰囲気 | 蒸気 |
| 試験時間 | 168 時間 |
| ひずみ率 ^{※2} | <input type="text"/> ^{※3} |

※1 JIS K 6262 に従い実施



※2 試料を圧縮し完全に回復した状態が 0%，全く回復しない状態が 100%

※3 の平均値

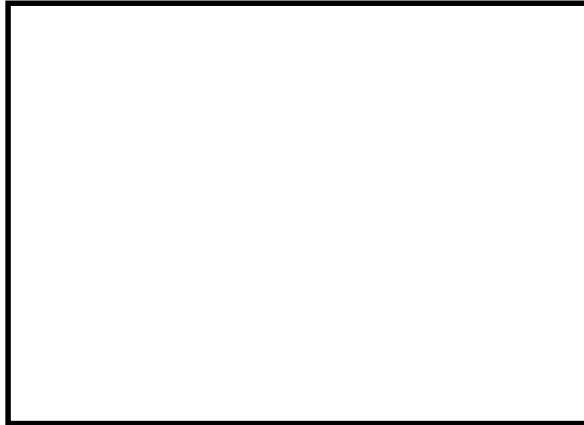
b. 改良E P D M製シール材の性能確認試験

b-1 実機を模擬した小型フランジ試験

改良E P D M製シール材の性能を確認するために、圧縮永久ひずみ試験に加え、実機フランジOリング溝を模擬した小型試験装置を用いて、事故条件を模擬した環境に曝露した後のシール機能を確認した。試験装置を第2-5図に示しており、実機Oリング溝の断面寸法を1/2スケールとして試験治具を製作し、予め γ 線照射したシール材を用いて試験体を作り、高温環境に曝露した後に気密確認試験を実施した。

試験条件としては、事故条件を模擬するために、放射線照射量はフランジガasket部の事故後7日間の累積放射線量の目安である800kGyを用いて実施している。また、高温曝露は高温空気及び高温蒸気で曝露し、温度については、格納容器限界温度である200℃と、さらに余裕を見た250℃を設定し、それぞれ7日間(168時間)一定温度で高温曝露している。また、試験治具のOリング溝は内側に  の段差があり、その段差の間からシール材が高温空気又は蒸気に曝露されるため、事故時の格納容器過圧に伴うフランジ開口を考慮した状態で、高温曝露ができる試験体となっている。高温曝露後は、事故時に発生する水素を模擬するために、Heにより気密確認試験を実施している。気密確認試験では、格納容器限界圧力2Pd(0.62MPa)以上の気密性を確認するため最大で0.9MPaまで加圧して気密性を確認している。また、格納容器過圧に伴うフランジ開口時のシール材の気密性を確認するために、高温曝露後の試験体フランジを0.8mm開口させ、その状態でもHe気密確認試験を実施し、0.9MPa加圧時に漏えいのないことを確認している。なお、開口量の0.8mmは、2Pdにおける開口量が最も大きなトップヘッドフランジのフランジ開口量 () を1/2スケールにしたものと同等である。

試験結果は第2-6表に示すとおり，本試験により200℃が168時間継続した場合の改良E P D M製シール材のシール機能の健全性を確認した。



第2-5図 改良E P D M製シール材の性能確認試験装置

第2-6表 H e 気密確認試験結果

| No. | 曝露条件 | γ 線照射量 | 開口変位 模擬 | 0.3MPa | 0.65MPa | 0.9MPa |
|-----|--------------------------|---------------|------------|--------|---------|--------|
| 1 | 乾熱 200℃, 168 時間 | 800kGy | 無し | ○ | ○ | ○ |
| | | | 0.8mm | ○ | ○ | ○ |
| 2 | 蒸気 1MPa, 250℃, 168 時間 | 800kGy | 無し | ○ | ○ | ○ |
| | | | 0.8mm | ○ | ○ | ○ |
| 3 | 蒸気 1MPa, 250℃, 168 時間 | 800kGy | 無し | ○ | ○ | ○ |
| | | | 0.8mm | ○ | ○ | ○ |

○：リーク及び圧力降下なし

b-2 実機フランジ模擬試験

改良EPDM製シール材は前述の小型フランジ試験に加え、より大口径（ガスケット径：約250mm）の実機フランジ模擬試験（実機フランジモデル試験）も実施しており、実機条件に近い状態でのシール健全性の確認を行っている。試験装置は第2-6図、第2-7図に示しており、試験フランジの溝断面形状は実機と同じとし、溝径を縮小した試験フランジとする。試験試料の断面形状は実機と同じとし、径を縮小した試験試料とする。予めγ線照射したシール材を用いて試験体を作り、高温環境に曝露した後に気密確認試験を実施する。

試験条件としては、事故条件を模擬するために、放射線照射量はフランジガスケット部の事故後7日間の累積放射線量の目安である800kGyを用いて実施している。また、EPDMの劣化は一般的に酸素により引き起こされるとの知見に基づき、高温曝露は蒸気ではなく高温空気（乾熱）で曝露し、温度については、格納容器限界温度である200℃と、さらに余裕を見た250℃、300℃とし、それぞれ定める期間を一定温度で高温曝露する。また、内圧作用時の実機フランジの開口を模擬するため、フランジ面に調整シムを挟んで押し込み量を調整できる装置にしている。

本試験装置によりシール材を高温曝露した後、気密確認試験を実施した。気密確認試験では、格納容器限界圧力 2Pd (0.62MPa) を包絡する圧力で気密性を確認した。



第 2-6 図 実機フランジ模擬試験の装置概要



試験装置外観（フランジ開放時）

試験装置外観（フランジ密閉時）

第 2-7 図 実機フランジ模擬試験装置の外観

試験結果を第 2-7 表に示す。フランジによるガスケット試験体の押し込み量が最小限 (0mm) であっても、有意な漏えいは発生せず、200℃・168 時間、250℃・96 時間、300℃・24 時間の耐性が確認された。第 2-8 図に 200℃・168 時間の試験ケースにおける試験体の外観を示す。第 2-8 図より、フランジとガスケット試験体との接触面を境界として劣化（表面のひび割れ）は内周側で留まり、外周側に有意な劣化が見られないことから、フランジ接触面でシール機能を維持できていることが確認された。また、断面形状より、劣化（表面のひび割れ）はガスケット試験体の表面層のみで留まっているため、有意な劣化が進行していないことが確認された。

第 2-7 表 シビアアクシデント条件での試験結果

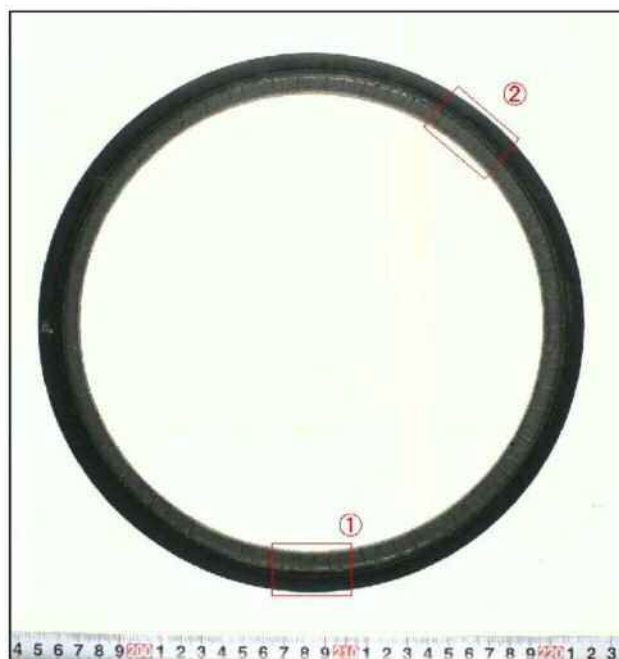
| No. | 試験体 | 温度 | 継続時間 | 押し込み量 | 漏えいの有無 |
|-----|--|------|--------|-------|--------|
| 1 | 改良 E P D M () | 200℃ | 168 時間 | 0mm | 無 |
| 2 | 改良 E P D M () | 250℃ | 96 時間 | 0mm | 無 |
| 3 | 改良 E P D M () | 300℃ | 24 時間 | 0mm | 無 |

下記条件は全ケース共通

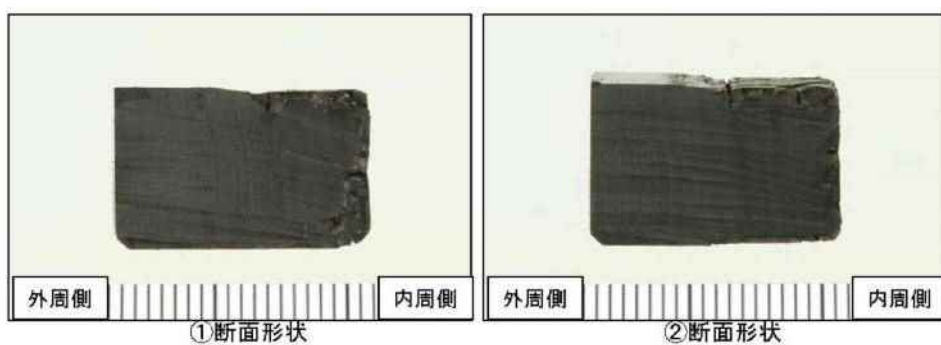
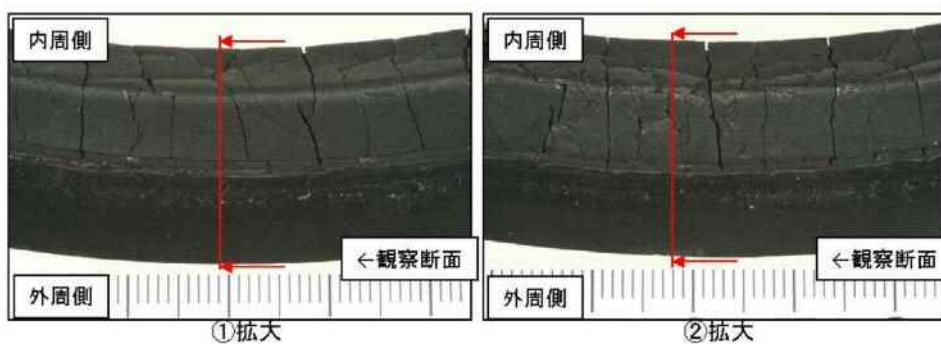
試験圧力：2Pd 以上 (0.854MPa 以上)、放射線照射量：800kGy、

加圧媒体：乾熱（空気）

漏えい判定基準：1cc/min 以上の漏えい量が 30 分以上継続した場合に漏えい有とする。



全体写真

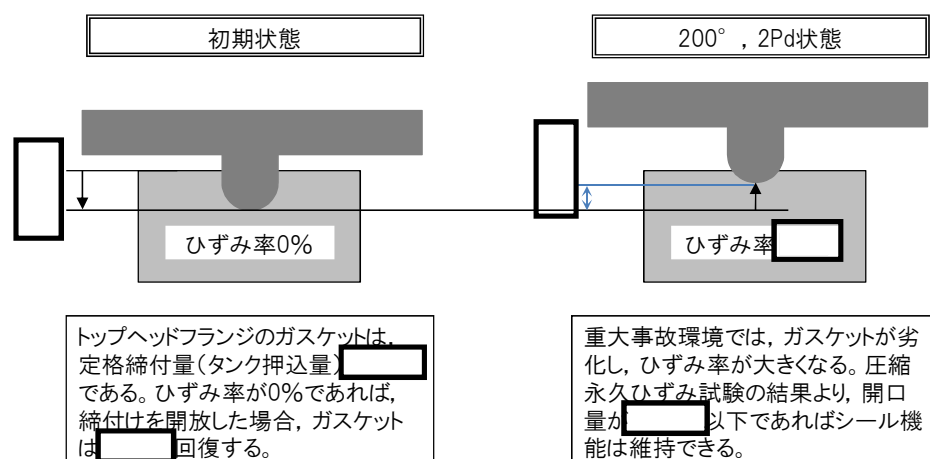


第 2-8 図 試験後の試験体外観 (200℃・168 時間)

c. トップヘッドフランジの開口量評価

ガスケットの健全性を評価するにあたり、トップヘッドフランジに許容される開口量について以下のように設定する。

第 2-9 図に開口量とシール材のシール性関係図を示す。東海第二発電所のトップヘッドフランジは、タング（突起）がガスケットを押し込む構造であり、フランジの定格締付量（タング押込量）は である。圧力の増加に伴いフランジ部は開口するが、「シール材（改良 E P D M 製）の圧縮永久ひずみ試験」より得られたガスケットの圧縮永久ひずみ率 をもとに、ガスケットの事故時環境における最大復元量を評価すると $\text{} = \text{} \times (100\% - \text{})$ となる。また、「実機フランジ模擬試験」から 200℃、2Pd におけるタング押込量 0mm においてシール機能が維持されていることを確認したことから、許容開口量は、最大復元量と同じ に設定する。



第 2-9 図 ひずみ率と許容開口量関係図

本評価に用いる許容開口量は、「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」シーケンスのベント実施タイミング（事故後約 19 時間）における環境条件を包絡する 168 時間後の圧縮永久ひずみ試験

結果（ひずみ率）から としている。

したがって、(2)b. 項にて求めた 200℃、2Pd (0.62MPa[gage]) における開口量は、内側ガスケット部で 外側ガスケット部で であり、許容開口量 を下回り、シール機能が維持できることを確認した（第 2-10 図）。



第 2-10 図 圧力と開口量の関係（東海第二発電所モデル，200℃）

2.3 評価結果

トップヘッドフランジの健全性評価結果を表2-11に示す。

第2-11表 トップヘッドフランジの健全性評価結果

| No. | 大項目 | 評価方法 | 評価 | 結果 |
|-----|------------|--------------|---|----|
| (1) | フランジ部の耐圧 | 応力評価 | 200℃，2Pdにおけるフランジ部の一次応力は，許容値：2/3Suを満足することを確認 | ○ |
| (2) | フランジ固定部の強度 | ①締付けボルト強度評価 | 200℃，2Pdにおける締付ボルトの一次応力は，許容値：2/3Suを満足することを確認 | ○ |
| | | ②フランジ開口評価 | 200℃，2Pdにおけるフランジ開口を評価 (3)ガスケットの健全性と併せて健全性評価を行う) | — |
| (3) | ガスケットの健全性 | シール材劣化，開口量評価 | ・ガスケット（改良EPDM製シール材）の事故時環境における劣化特性を考慮しても200℃，2Pdにおけるフランジ開口量は，許容開口量以下となり，シール機能が維持されることを確認 | ○ |

以上により，トップヘッドフランジについては，200℃，2Pd 環境下でも，放射性物質の閉じ込め機能を維持できる。

なお，更なる安全性向上対策として，重大事故後の長期におけるシール機能健全性を補強するために，高温蒸気に耐性があるバックアップシール材を追加塗布する。その有効性については，バックアップシール材の試験を元に評価し，格納容器閉じ込め機能の信頼性を確認した。

3. 機器搬入用ハッチ

3.1 評価方針

機器搬入用ハッチは、フランジ付きの円筒胴が原子炉格納容器の貫通部に溶接固定され、この円筒胴のフランジに鏡板フランジをボルト固定しており、フランジ間のシールにはシリコンゴムのガスケットを使用している。フランジにはシール溝が二重に配置されており、原子炉格納容器内側・外側のそれぞれのシール溝にガスケットを取り付ける二重シール構造になっている。

機器搬入用ハッチの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないことから、脆性破壊及び疲労破壊は評価対象外と考えることができる。

シール部については、内圧が低い段階ではボルトの締め付けにより開口は抑制されるが、内圧の上昇に伴って開口量が増加することにより、外部への漏えい経路を形成する。

また、フランジが開口してもフランジの密閉性を担保しているシール材が健全であれば、シール材が開口に追従するため外部への漏えいを防止することができるが、重大事故環境に晒されると、シール材が高温劣化し、フランジの開口に追従できなくなりシール機能の低下が想定される。

したがって、機器搬入用ハッチの機能喪失要因は、原子炉格納容器内圧による過度な塑性変形に伴う延性破壊、また、フランジ部の変形及びシール材の高温劣化によるシール機能の低下が考えられる。

このため、200℃、2Pd での健全性確認には以下の評価が必要である。

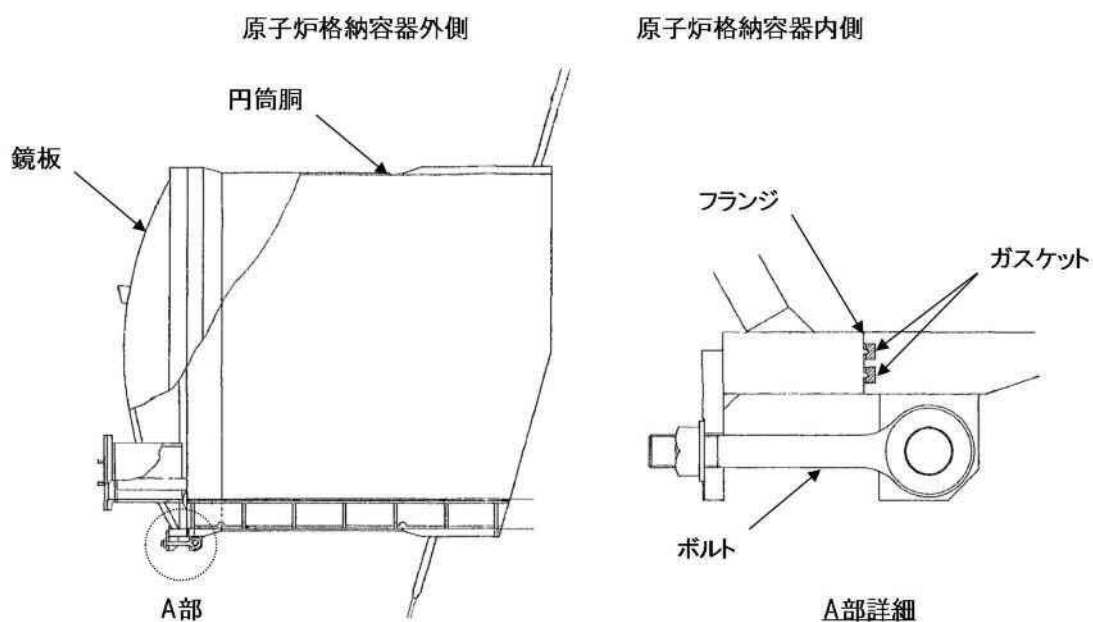
- ・ 本体の耐圧

- ・フランジ固定部の強度
- ・ガスケットの健全性

機器搬入用ハッチの評価対象と評価方法を第 3-1 表に，評価対象を第 3-1 図にそれぞれ示す。

第 3-1 表 評価対象と評価方法

| 評価対象 | 機能喪失要因 | 評価方法 |
|-----------------------|-----------|---|
| 構造部 (円筒胴，鏡板，フランジ部) | 延性破壊 | <ul style="list-style-type: none"> ・既工認の評価結果を用いた評価 ・設計・建設規格の評価式を準用した評価 ・既工認に準拠した評価 |
| シール部 (フランジ，ガスケット) | 開口，シール材劣化 | <ul style="list-style-type: none"> ・有限要素法を用いた弾塑性解析結果を活用した評価 ・試験結果等に用いた評価 |



第 3-1 図 機器搬入用ハッチの評価対象

(1) 本体の耐圧

a. 既工認の評価値を用いた応力評価

機器搬入用ハッチの構造健全性評価として、既工認にて認可された評価値（圧力及び自重を考慮した応力値）を用いた評価を実施する。評価温度・圧力（200℃，2Pd）における発生応力 $P_L + P_b$ を算出し，発生応力が原子炉格納容器の Su 値（200℃）に相当する許容応力以下であることを確認する。

ここで，設計・建設規格の解説表 PVB - 3110 - 1 において，延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。

一方，設計・建設規格における一次応力強さの許容値は，材料の種類及び温度ごとに材料試験（引張試験）を実施した結果をもとに，国内 Su 値検討会で設定された設計引張強さ（Su）に割下げ率を考慮して設定されたものである（設計・建設規格 解説 GNR - 2200）。

今回の評価は，設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過する機器搬入用ハッチの限界温度及び許容圧力の妥当性を確認するものであるため，上記割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5， $P_L + P_b$ （一次局部膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ）には 1.0 とした評価を行う。すなわち，機器搬入用ハッチに発生する応力が， P_m が $2/3Su$ ， $P_L + P_b$ が Su 以下であれば，延性破壊には至らず，構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考える。

この許容値の考え方は，設計・建設規格 解説 PVB - 3111 に示すように，供用状態 D の P_m ， $P_L + P_b$ の許容値と同等である。なお，耐圧機能維持の観点から，安全評価上の仮定（原子炉冷却材喪失事故を想定）に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態 D の

許容応力は、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、 P_m は $2/3S_u$ 、 $P_L + P_b$ は $1.5 \times 2/3S_u (=S_u)$ と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が S_u に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。

b. 許容圧力評価

機器搬入用ハッチの構造健全性評価として、機器搬入用ハッチの部材において内圧による荷重を受け止める部位のうち円筒胴及び鏡板について、設計・建設規格に示される円筒胴及び鏡板の内圧に対する必要厚さの評価式を準用し、許容圧力の評価を行い、許容圧力が $2Pd$ を上回ることを確認する。

ここで、設計建設規格の解説表 PVB - 3110 - 1 において、延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。

一方、設計・建設規格における一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度ごとに材料試験（引張試験）を実施した結果をもとに、国内 S_u 値検討会で設定された設計引張強さ（ S_u ）に割下げ率を考慮して設定されたものである（設計・建設規格 解説 GNR - 2200）。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過する機器搬入用ハッチの限界温度及び許容圧力の妥当性を確認するものであるため、上記割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5、 $P_L + P_b$ （一次局部膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ）には 1.0 とした評

価を行う。すなわち，機器搬入用ハッチに発生する応力が， P_m が $2/3S_u$ ， $P_L + P_b$ が S_u 以下であれば，延性破壊には至らず，構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考える。

この許容値の考え方は，設計・建設規格 解説 PVB - 3111 に示すように，供用状態Dの P_m ， $P_L + P_b$ の許容値と同等である。なお，耐圧機能維持の観点から，安全評価上の仮定（原子炉冷却材喪失事故を想定）に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態Dの許容応力は，鋼材の究極的な強さを基に，弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり， P_m は $2/3S_u$ ， $P_L + P_b$ は $1.5 \times 2/3S_u (=S_u)$ と規定されている。前者は，膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが，後者は，断面表面が S_u に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。

(2) フランジ固定部の強度

a. 締付けボルトの強度評価

機器搬入用ハッチのフランジ締付けボルトについて， 200°C ， $2P_d$ における強度を評価する。

b. フランジの開口評価

原子炉格納容器の重大事故等時の過温，過圧時におけるフランジ開口量を評価するために，有限要素法を用いた弾塑性解析結果を活用し，機器搬入用ハッチにおける開口量を評価する。

(3) ガasketの健全性

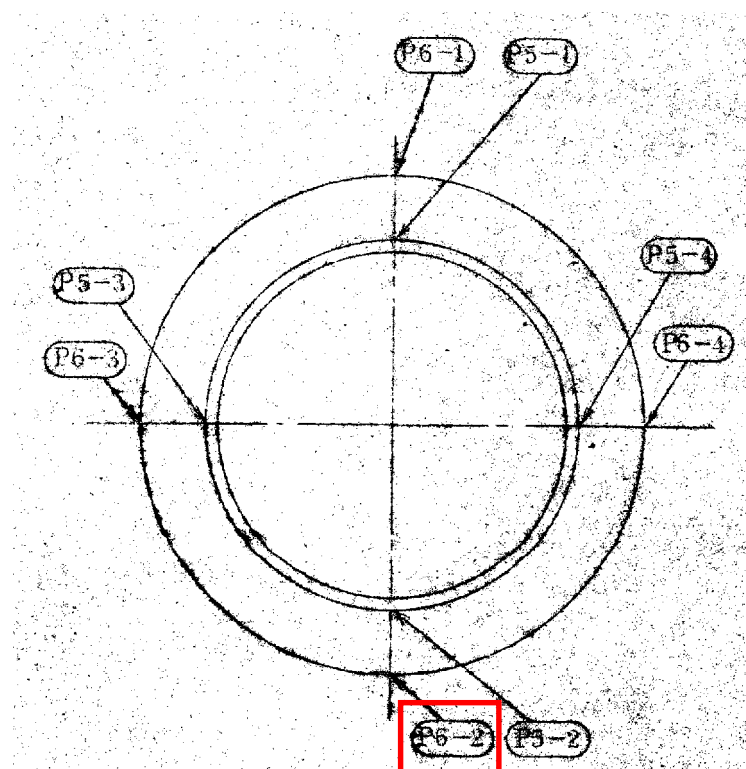
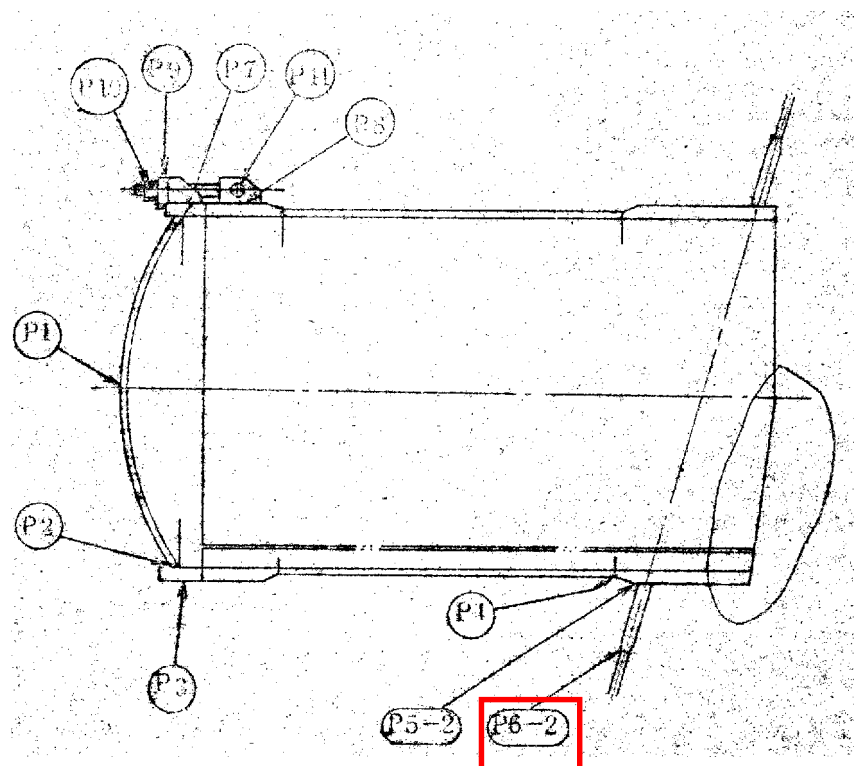
シール材（ガasket）には、従来はシリコンゴムを使用しているが、福島第一原子力発電所事故で高温劣化した可能性があることも踏まえ、より高温耐性に優れた改良E P D M製のシール材に変更する。改良E P D M製シール材による事故時の格納容器閉じ込め機能を確認するために、圧縮永久ひずみ試験結果をもとに格納容器限界開口量を評価し、重大事故等時におけるフランジ開口量と比較することで格納容器閉じ込め機能の評価する。

3.2 評価

(1) 本体の耐圧

a. 既工認の評価値を用いた応力評価

機器搬入用ハッチに対して、既工認にて認可された評価値（圧力及び自重を考慮した応力値）を用いた応力評価を実施する。評価する対象は、機器搬入用ハッチの開口補強周りと原子炉格納容器本体との接合部であり、機器搬入用ハッチの自重及び開口部周辺の局所に生じる応力が発生する箇所である機器搬入用ハッチの取付部とした。評価対象箇所を第3-2図に示す。なお、対象箇所は、既工認において、取付部で最も厳しい箇所を示している。既工認時は、一次＋二次応力の評価も実施しているが、本評価は原子炉格納容器の重大事故時の限界圧力、温度が条件であり、繰り返し発生しないことから、繰り返し荷重を考慮する必要がない。このことから、設計・建設規格における運転状態Ⅳ、供用状態Dの考え方と同様に、疲労破壊を制限するための一次＋二次応力評価は省略する。



: 評価点

第 3-2 図 機器搬入用ハッチの評価対象箇所

機器搬入用ハッチの応力評価結果を以下に示す。発生応力は許容応力以下であることを確認した。よって、機器搬入用ハッチは、200℃，2Pd において，十分な強度を有する。

| 応力 評価点 番号 | 応力 評価点 | 一次応力 [MPa] | | | | 応力比 |
|-----------------|-----------------|----------------|----------|---------------------------------|----------|-----|
| | | P _m | | P _L + P _b | | |
| | | 応力 強さ | 許容 応力 | 応力 強さ | 許容 応力 | |
| P6-2 | 機器搬入用ハッチ取付 部 | — | — | | 422 | |

許容値は，供用状態Dを適用し，Su とする。

b. 許容圧力評価

機器搬入用ハッチの円筒胴及び鏡板の構造健全性について、設計・建設規格に定められている円筒胴及び鏡板の内圧に対する必要厚さの評価式を準用し、許容圧力の評価を実施した。評価部位として、内圧による荷重を受け止める部位（円筒胴、鏡板）を選択し、許容圧力を評価した。

評価に用いた主要仕様を第 3-2 表 に示す。

第 3-3 表 に、機器搬入用ハッチの許容圧力評価結果を示す。

第 3-2 表 機器搬入用ハッチの主要仕様

| 項目 | 東海第二発電所 | | |
|--------------|-------------------------------|--|--|
| 最高使用圧力 (MPa) | 0.31 | | |
| 最高使用温度 (°C) | 171 | | |
| 材料 | ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当) | | |
| 内径 (mm) | | | |
| 胴板厚さ (mm) | | | |
| 蓋板厚さ (mm) | | | |

第 3-3 表 機器搬入用ハッチの許容圧力評価結果

①円筒胴：ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式：PVE-3230(2)a 項を準用

$$P = 2S \eta t / (D_i + 1.2t)$$

| | | |
|--------------------------------------|--|-------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200°Cにおける 2/3S _u 値を使用) | 281 |
| η | 継手効率 (—) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | |
| D _i | 胴内径 (mm) | |
| P | 200°Cにおける許容圧力 | 2.445 |
| 2.445MPa[gage] > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | |

②鏡板：ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式：PVE-3323(1)項を準用

$$P = 2S \eta t / (R + 0.2t)$$

| | | |
|---------------------------------------|--|--------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における $2/3S_u$ 値を使用) | 281 |
| η | 継手効率 (—) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | |
| R | 鏡板内半径 (mm) | |
| P | 200℃における許容圧力 | 10.110 |
| 10.110MPa[gage] > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | |

(2) フランジ固定部の強度

a. 締付ボルトの強度評価

フランジの締付ボルトについて、200℃、2Pd における強度評価を、既工認の強度計算をベースに評価する。機器搬入用ハッチの締付ボルト基本仕様を第 3-4 表、評価結果を第 3-5 表に示すが、発生応力は、許容応力以下であることから、締付ボルトは 200℃、2Pd において健全である。

第 3-4 表 機器搬入用ハッチ締付ボルトの主要仕様

| 項目 | 東海第二発電所 | |
|--------|--------------------------------|--|
| ボルト材質 | ASME SA320 Gr. L43 (SNM439 相当) | |
| ボルト呼び | | |
| ボルトの本数 | | |

第 3-5 表 締付ボルトの評価結果 (単位:MPa)

| 項目 | 東海第二発電所 | 許容値 |
|----------|---------|-----|
| 機器搬入用ハッチ | | 576 |

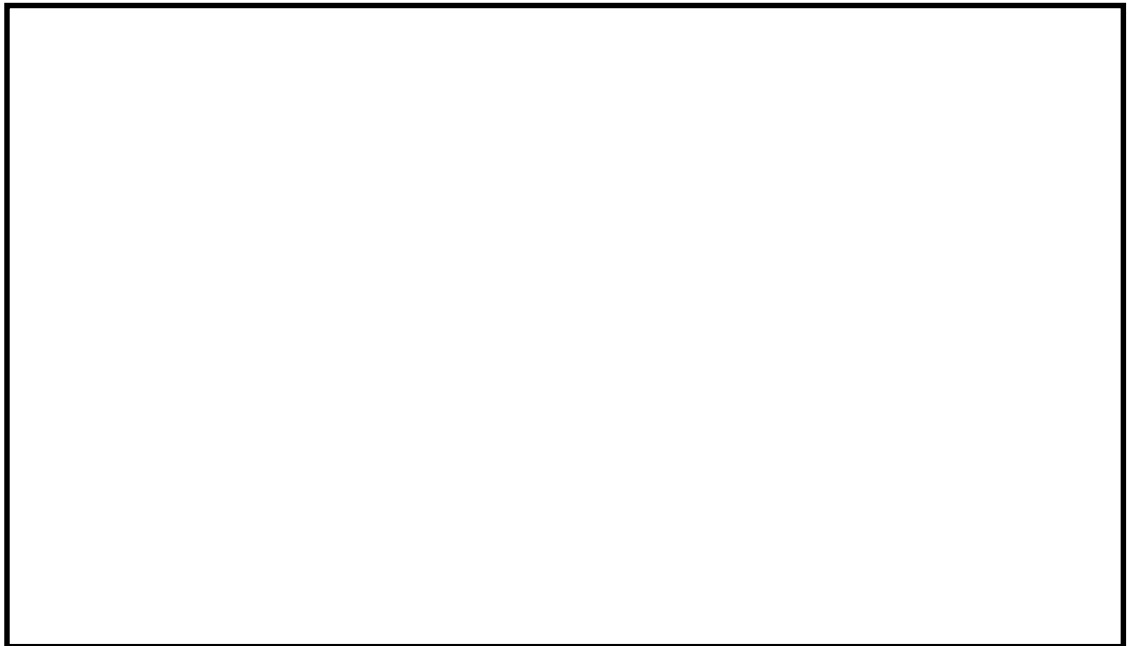
b. フランジの開口評価

原子炉格納容器の重大事故等時の過温，過圧時におけるフランジ開口量を評価するために，有限要素法を用いた弾塑性解析結果を活用し，機器搬入用ハッチ部における開口量を評価した。解析モデルを第 3-3 図に，開口量の解析評価結果を第 3-4 図にそれぞれ示す。

2Pd における開口量は，内側ガスケット部で 外側ガスケット部で となる。



第 3-3 図 機器搬入用ハッチ開口部評価解析モデル



第 3-4 図 機器搬入用ハッチの各ガスケット部の圧力と開口変位の関係

(3) ガasketの健全性

フランジシール部は、内圧が低い段階ではボルトの初期締付けにより開口は抑制されているが、内圧の上昇に伴って開口量が増加することにより、外部への漏えい経路を形成する。ただし、フランジ部が開口しても、フランジ部の密閉性を担保しているシール材が健全であれば、シール材が開口に追従するため外部への漏えいを防止することができる。しかしながら、重大事故環境に晒されると、フランジシール部に使用されているシール材が劣化し、フランジの開口に追従できなくなり格納容器閉じ込め機能を損なう可能性がでてくる。

そこで、機器搬入用ハッチのフランジシール部に使用されているシール材（シリコンゴム）について、事故時環境下の耐性が優れた改良E P D M製シール材に変更して格納容器閉じ込め機能の強化を図る。したがって、改良E P D M製シール材について、事故時の温度や放射線による劣化特性を試験により確認し、想定される事故シナリオにおけるシール機能を評価する。なお、フランジ部のシール材は、プラントの定期検査時に開放される場合には取り替えを実施しており、通常運転中における劣化は極めて軽微であることから、事故条件下での評価を実施する。

a. シール材（改良E P D M製）の圧縮永久ひずみ試験結果について

改良E P D M製シール材の事故時環境における劣化特性を確認するために、J I S K 6262「加硫ゴム及び熱加塑性ゴムの常温・高温及び低温における圧縮永久ひずみの求め方」に準じた圧縮永久ひずみ試験を実施した。その結果を第3-6表に示す。なお、圧縮永久ひずみ測定とは、所定の圧縮率をかけて変形させた後、開放時の戻り量を評価するものである。完全に元の形状に戻った場合を0%とし、全く復元せず

に完全に圧縮された状態のままである状態を100%としている。例えば、圧縮永久ひずみが第3-6表で示す は、シール材の初期締付量が であるとき、 戻ることを意味する。この場合、 のフランジ部開口まではシール機能が確保可能と想定できる。

第3-6表 圧縮永久ひずみ試験^{※1}結果（改良EPDM製）

| | |
|--------------------|------------------------------------|
| 試験温度 | 200℃ |
| 構造部放射線照射量 | <input type="text"/> |
| 試験雰囲気 | 蒸気 |
| 試験時間 | 168 時間 |
| ひずみ率 ^{※2} | <input type="text"/> ^{※3} |

※1 JIS K 6262 に従い実施

※2 試料を圧縮し完全に回復した状態が0%，全く回復しない状態が100%

※3 の平均値

b. 改良EPDM製シール材の性能確認試験

b-1 実機を模擬した小型フランジ試験

改良EPDM製シール材の性能を確認するために、圧縮永久ひずみ試験に加え、実機フランジOリング溝を模擬した小型試験装置を用いて、事故条件を模擬した環境に曝露した後のシール機能を確認した。試験装置を第3-5 図に示しており、実機Oリング溝の断面寸法を1/2 スケールとして試験治具を製作し、予めγ線照射したシール材を用いて試験体を作り、高温環境に曝露した後に気密確認試験を実施した。

試験条件としては、事故条件を模擬するために、放射線照射量はフランジガasket部の事故後7 日間（168時間）の累積放射線量の目安である800kGy を用いて実施している。また、高温曝露は高温空

気及び高温蒸気で曝露し、温度については、格納容器限界温度である200℃と、さらに余裕を見た250℃を設定し、それぞれ7日間(168時間)一定温度で高温曝露している。また、試験治具のOリング溝は内側は□の段差があり、その段差の間からシール材が高温空気又は蒸気に曝露されるため、事故時の格納容器過圧に伴うフランジ開口を考慮した状態で、高温曝露ができる試験体となっている。高温曝露後は、事故時に発生する水素を模擬するために、Heにより気密確認試験を実施している。気密確認試験では、格納容器限界圧力2Pd(0.62MPa)以上の気密性を確認するため最大で0.9MPaまで加圧して気密性を確認している。また、格納容器過圧に伴うフランジ開口時のシール材の気密性を確認するために、高温曝露後の試験体フランジを0.8mm開口させ、その状態でもHe気密確認試験を実施し、0.9MPa加圧時に漏えいのないことを確認している。なお、開口量の0.8mmは、2Pdにおける開口量が最も大きなトップヘッドフランジのフランジ開口量(□)を1/2スケールにしたものと同等である。

試験結果は第3-7表で示すとおり、本試験により200℃が168時間継続した場合の改良EPDM製シール材のシール機能の健全性を確認した。



第3-5 図 改良E P D M製シール材の性能確認試験装置

第3-7 表 H e 気密確認試験結果

| No. | 曝露条件 | γ 線照射量 | 開口変位 模擬 | 0. 3MPa | 0. 65MPa | 0. 9MPa |
|-----|--------------------------|---------------|------------|---------|----------|---------|
| 1 | 乾熱 200℃, 168 時間 | 800kGy | 無し | ○ | ○ | ○ |
| | | | 0. 8mm | ○ | ○ | ○ |
| 2 | 蒸気 1MPa, 250℃, 168 時間 | 800kGy | 無し | ○ | ○ | ○ |
| | | | 0. 8mm | ○ | ○ | ○ |
| 3 | 蒸気 1MPa, 250℃, 168 時間 | 800kGy | 無し | ○ | ○ | ○ |
| | | | 0. 8mm | ○ | ○ | ○ |

○：リーク及び圧力降下なし

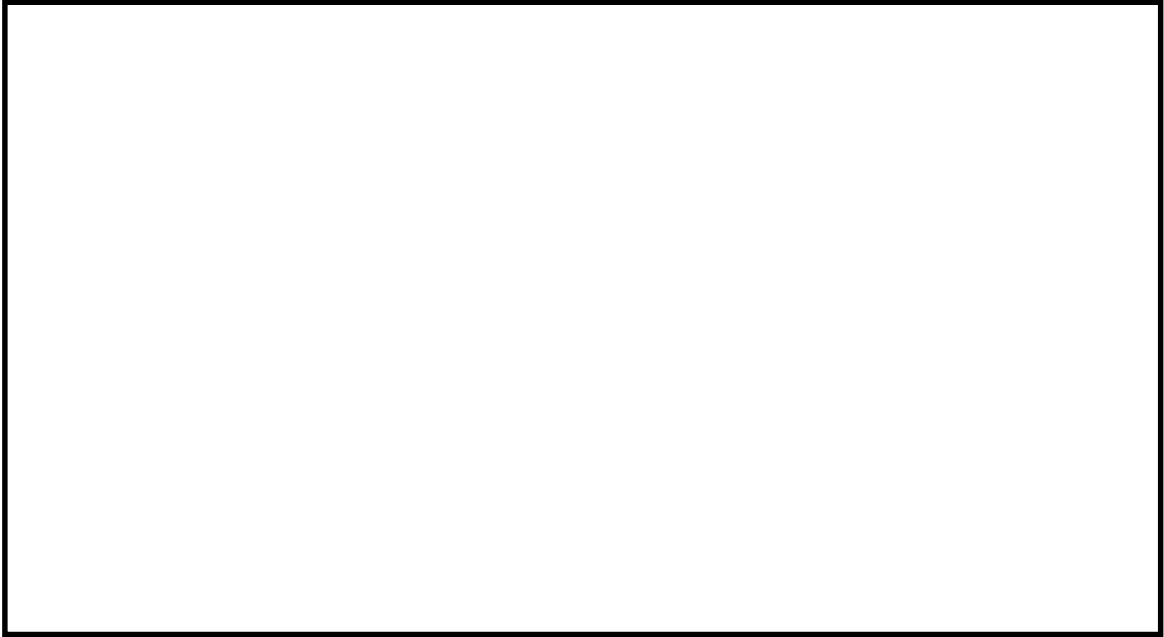
b - 2 実機フランジ模擬試験

改良E P D M製シール材は前述の小型フランジ試験に加え，より大口径（ガスケット径：約250mm）の実機フランジ模擬試験（実機フランジモデル試験）も実施しており，実機条件に近い状態でのシール健全性の確認を行っている。試験装置は第3-6図，第3-7図に示

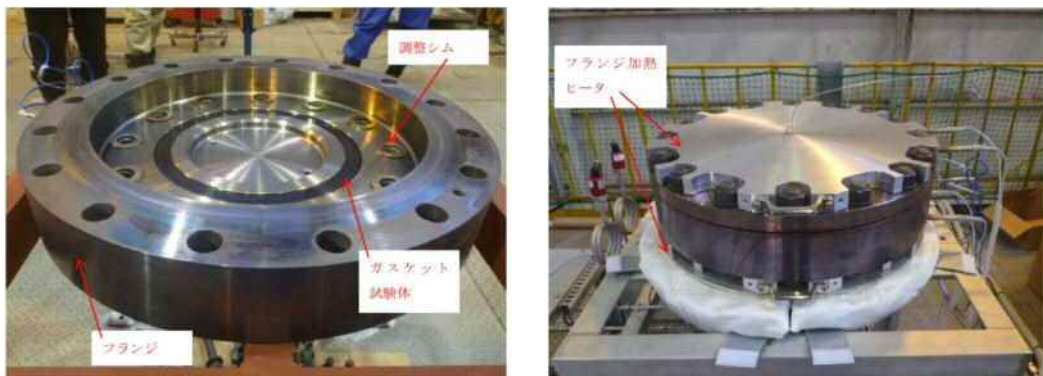
しており、試験フランジの溝断面形状は実機と同じとし、溝径を縮小した試験フランジとする。試験試料の断面形状は実機と同じとし、径を縮小した試験試料とする。予め γ 線照射したシール材を用いて試験体を作り、高温環境に曝露した後に気密確認試験を実施する。

試験条件としては、事故条件を模擬するために、放射線照射量はフランジガスケット部の事故後7日間の累積放射線量の目安である800kGyを用いて実施している。また、改良EPDM製シール材の劣化は一般的に酸素により引き起こされとの知見に基づき、高温曝露は蒸気ではなく高温空気（乾熱）で曝露し、温度については、格納容器限界温度である200℃と、さらに余裕を見た250℃, 300℃とし、それぞれ定める期間を一定温度で高温曝露する。また、内圧作用時の実機フランジの開口を模擬するため、フランジ面に調整シムを挟んで押し込み量を調整できる装置にしている。

本試験装置によりシール材を高温曝露した後、気密確認試験を実施した。気密確認試験では、格納容器限界圧力2Pd（0.62MPa）を包絡する圧力で気密性を確認した。



第3-6 図 実機フランジ模擬試験の装置概要



試験装置外観（フランジ開放時） 試験装置外観（フランジ密閉時）

第3-7 図 実機フランジ模擬試験装置の外観

試験結果を第3-8 表に示す。フランジによるガスケット試験体の押し込み量が最小限（0mm）であっても、有意な漏えいは発生せず、200℃・168時間、250℃・96時間、300℃・24時間の耐性が確認された。第3-8図に200℃・168時間の試験ケースにおける試験体の外観を示す。第3-8図より、フランジとガスケット試験体との接触面を

境界として劣化（表面のひび割れ）は内周側で留まり，外周側に有意な劣化が見られないことから，フランジ接触面でシール機能を維持できていることが確認された。また，断面形状より，劣化（表面のひび割れ）はガスケット試験体の表面層のみで留まっているため，有意な劣化が進行していないことが確認された。

第 3－8 表 シビアアクシデント条件での試験結果

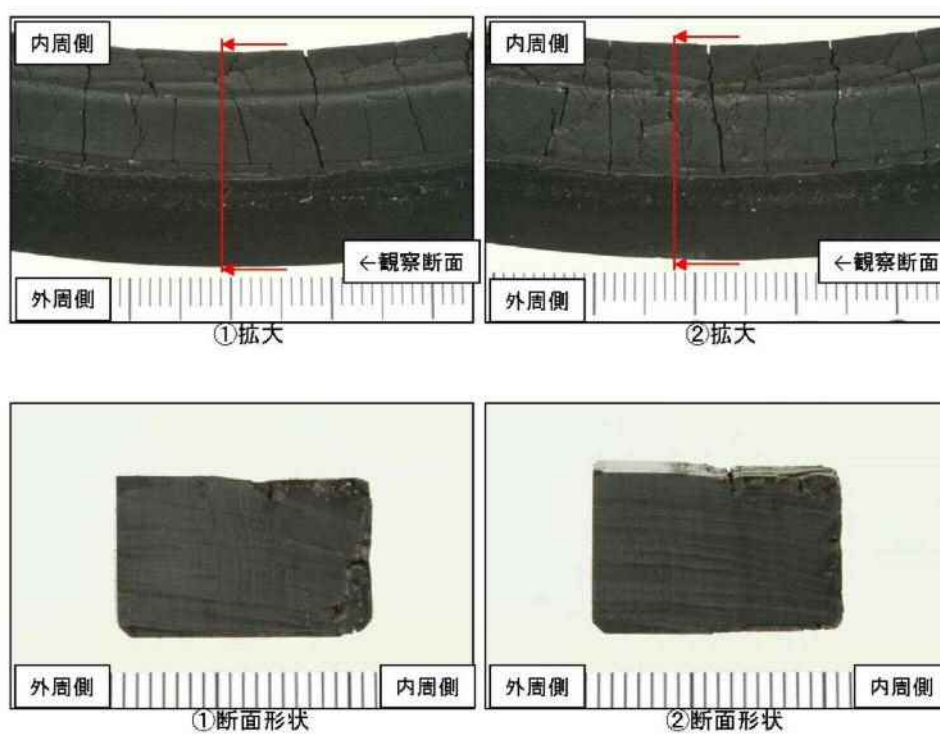
| No. | 試験体 | 温度 | 継続時間 | 押し込み量 | 漏えいの有無 |
|-----|--|------|--------|-------|--------|
| 1 | 改良 E P D M () | 200℃ | 168 時間 | 0mm | 無 |
| 2 | 改良 E P D M () | 250℃ | 96 時間 | 0mm | 無 |
| 3 | 改良 E P D M () | 300℃ | 24 時間 | 0mm | 無 |

下記条件は全ケース共通

試験圧力：2Pd 以上（0.854MPa 以上），放射線照射量：800kGy，

加圧媒体：乾熱（空気）

漏えい判定基準：1cc/min 以上の漏えい量が 30 分以上継続した場合に漏えい有とする。

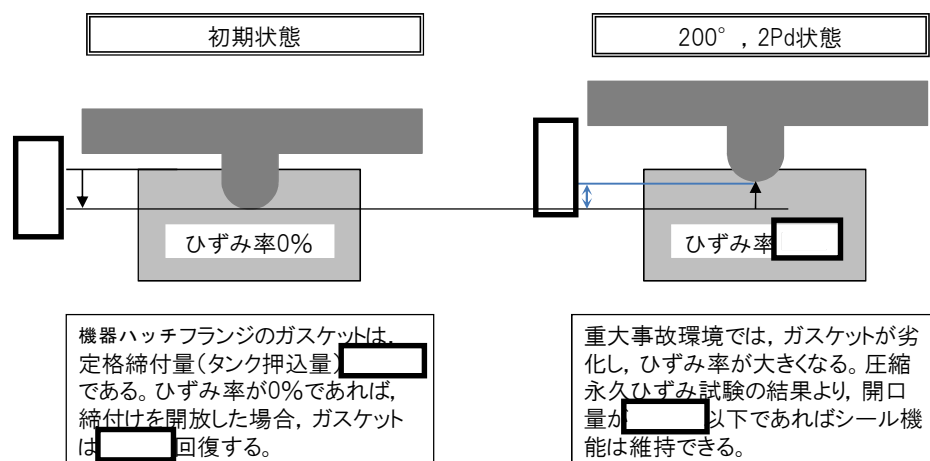


第 3－8 図 試験後の試験体外観（200℃・168 時間）

c. 機器搬入用ハッチフランジの開口量評価

ガスケットの健全性を評価するにあたり，機器搬入用ハッチフランジに許容される開口量について以下のように設定する。

第3-9図に開口量とシール材のシール性関係図を示す。東海第二発電所の機器搬入用ハッチフランジは，タング（突起）がガスケットを押し込む構造であり，フランジの定格締付量（タング押込量）は である。圧力の増加に伴いフランジ部は開口するが，「シール材（改良EPDM製）の圧縮永久ひずみ試験」より得られたガスケットの圧縮永久ひずみ率 をもとに，ガスケットの事故時環境における最大復元量を評価すると， ($= \text{} \times (100\% - \text{})$) となる。また，「実機フランジ模擬試験」から200℃，2Pdにおけるタング押込量0mmにおいてシール機能が維持されていることを確認したことから，許容開口量は，最大復元量と同じ に設定する。

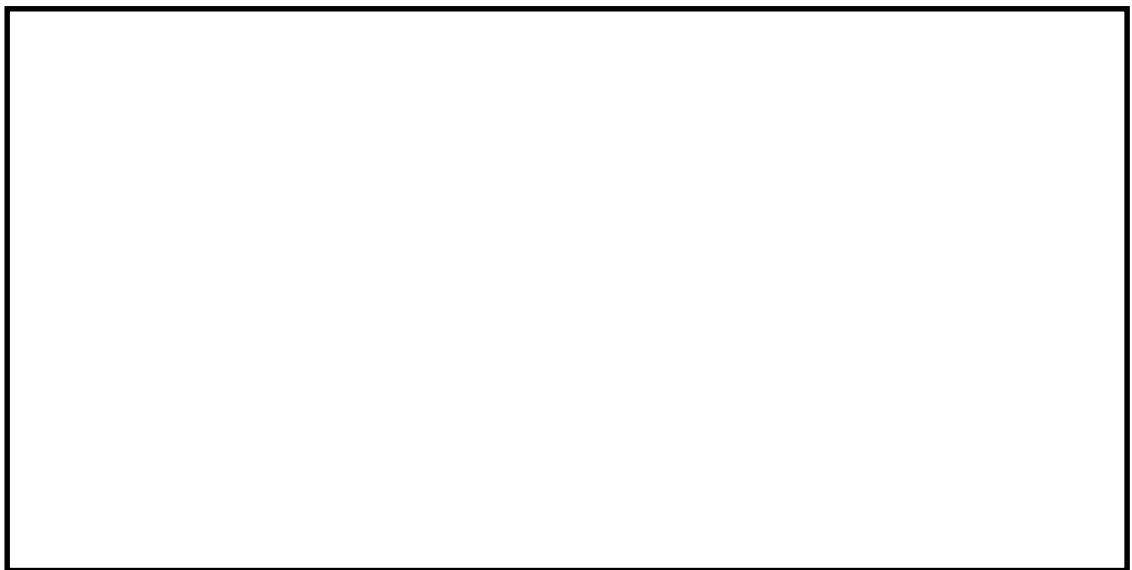


第3-9図 ひずみ率と許容開口量関係図

本評価に用いる許容開口量は，「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」シーケンスのベント実施タイミング（事故後約

19 時間) における環境条件を包絡する 168 時間後における圧縮永久ひずみ試験結果 (ひずみ率) から としている。

したがって, (2)b. 項にて求めた 200℃, 2Pd (0.62MPa[gage]) における開口量は, 内側ガスケット部で 外側ガスケット部で であり, 許容開口量 を下回り, シール機能が維持できることを確認した (第 3-10 図)。



第 3-10 図 圧力と開口量の関係 (東海第二発電所モデル, 200℃)

3.3 評価結果

機器搬入用ハッチの健全性評価結果を第3－9表に示す。

第3－9 表 機器搬入用ハッチの健全性評価結果

| No. | 大項目 | 評価方法 | 評価 | 結果 |
|-----|------------|----------------|---|----|
| (1) | 本体の耐圧 | ①既工認の評価値を用いた評価 | 200℃，2Pdにおける一次応力は，許容値：Suを満足することを確認 許容圧力は，2Pd以上であることを確認 | ○ |
| | | ②許容圧力評価 | | |
| (2) | フランジ固定部の強度 | ①締付けボルト評価 | 200℃，2Pdにおける締付ボルトの一次応力は，許容値：2／3 Suを満足することを確認 | ○ |
| | | ②フランジ開口評価 | 200℃，2Pdにおけるフランジ開口を評価 （(3)ガスケットの健全性と併せて健全性評価を行う） | — |
| (3) | ガスケットの健全性 | シール材劣化，開口量評価 | ・ガスケット（改良E P D M 製シール材）の事故時環境における劣化特性を考慮しても200℃，2Pdにおけるフランジ開口量は，許容開口量以下となり，シール機能が維持されることを確認 | ○ |

以上により，機器搬入用ハッチについては，200℃，2Pd環境下でも，放射性物質の閉じ込め機能を維持できる。

なお，更なる安全性向上対策として，重大事故後の長期におけるシール機能健全性を補強するために，高温蒸気に耐性があるバックアップシール材を追加塗布する。その有効性については，バックアップシール材の試験を元に評価し，格納容器閉じ込め機能の信頼性を確認した。

4. サプレッション・チェンバアクセスハッチ

4.1 評価方針

サプレッション・チェンバアクセスハッチは、フランジ付きの円筒胴が原子炉格納容器の貫通部に溶接固定され、この円筒胴のフランジに鏡板フランジをボルト固定しており、フランジ間のシールにはシリコンゴムのガスケットを使用している。フランジにはシール溝が二重に配置されており、原子炉格納容器内側・外側のそれぞれのシール溝にガスケットを取り付ける二重シール構造になっている。

サプレッション・チェンバアクセスハッチの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないことから、脆性破壊及び疲労破壊は評価対象外と考えることができる。

シール部については、内圧が低い段階ではボルトの締め付けにより開口は抑制されるが、内圧の上昇に伴って開口量が増加することにより、外部への漏えい経路を形成する。

また、フランジが開口してもフランジの密閉性を担保しているシール材が健全であれば、シール材が開口に追従するため外部への漏えいを防止することができるが、重大事故環境に晒されると、シール材が高温劣化し、フランジの開口に追従できなくなりシール機能の低下が想定される。

したがって、サプレッション・チェンバアクセスハッチの機能喪失要因は、原子炉格納容器内圧による過度な塑性変形に伴う延性破壊、また、フランジ部の変形及びシール材の高温劣化によるシール機能の低下が考えられる。

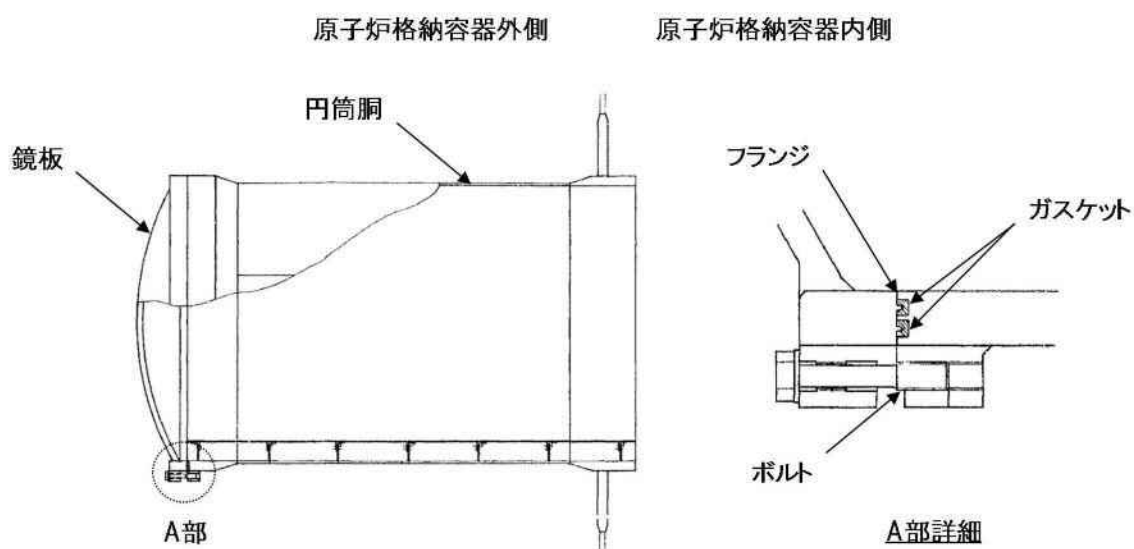
このため、200℃、2Pd での健全性確認には以下の評価が必要である。

- ・ 本体の耐圧
- ・ フランジ固定部の強度
- ・ ガasketの健全性

サプレッション・チェンバアクセスハッチの評価対象と評価方法を第 4－1 表に、評価対象を第 4－1 図にそれぞれ示す。

第 4－1 表 評価対象と評価方法

| 評価対象 | 機能喪失要因 | 評価方法 |
|-----------------------|-----------|--|
| 構造部 (円筒胴、鏡板、フランジ部) | 延性破壊 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 既工認の評価結果を用いた評価 ・ 設計・建設規格の評価式を準用した評価 ・ 既工認に準拠した評価 |
| シール部 (フランジ、ガスケット) | 開口、シール材劣化 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 有限要素法を用いた弾塑性解析結果を活用した評価 ・ 試験結果等に用いた評価 |



第 4－1 図 サプレッション・チェンバアクセスハッチの評価対象

(1) 本体の耐圧

a. 既工認の評価値を用いた応力評価

サプレッション・チェンバアクセスハッチの構造健全性評価として、既工認にて認可された評価値（圧力及び自重を考慮した応力値）を用いた評価を実施する。評価温度・圧力（200℃，2Pd）における発生応力 $P_L + P_b$ を算出し、発生応力が原子炉格納容器の Su 値（200℃）に相当する許容応力以下であることを確認する。

ここで、設計・建設規格の解説表 PVB - 3110 - 1 において、延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。

一方、設計・建設規格における一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度ごとに材料試験（引張試験）を実施した結果をもとに、国内 Su 値検討会で設定された設計引張強さ（Su）に割下げ率を考慮して設定されたものである（設計・建設規格 解説 GNR - 2200）。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過するサプレッション・チェンバアクセスハッチの限界温度及び許容圧力の妥当性を確認するものであるため、上記割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5， $P_L + P_b$ （一次局部膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ）には 1.0 とした評価を行う。すなわち、サプレッション・チェンバアクセスハッチに発生する応力が、 P_m が $2/3Su$ ， $P_L + P_b$ が Su 以下であれば、延性破壊には至らず、構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考える。

この許容値の考え方は、設計・建設規格 解説 PVB - 3111 に示すように、供用状態 D の P_m ， $P_L + P_b$ の許容値と同等である。なお、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定（原子炉冷却材喪失事故を想定）

に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態Dの許容応力は、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、 P_m は $2/3S_u$ 、 $P_L + P_b$ は $1.5 \times 2/3S_u (=S_u)$ と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が S_u に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。

b. 許容圧力評価

サプレッション・チェンバアクセスハッチの構造健全性評価として、サプレッション・チェンバアクセスハッチの部材において内圧による荷重を受け止める部位のうち円筒胴及び鏡板について、設計・建設規格に示される円筒胴及び鏡板の内圧に対する必要厚さの評価式を準用し、許容圧力の評価を行い、許容圧力が $2P_d + S_A$ 時の水頭圧を上回ることを確認する。

ここで、設計建設規格の解説表 PVB - 3110 - 1 において、延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。

一方、設計・建設規格における一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度ごとに材料試験（引張試験）を実施した結果をもとに、国内 S_u 値検討会で設定された設計引張強さ（ S_u ）に割下げ率を考慮して設定されたものである（設計・建設規格 解説 GNR - 2200）。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過するサプレッション・チェンバアクセスハッチの限界温度及び許容

圧力の妥当性を確認するものであるため、上記割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5、 $P_L + P_b$ （一次局部膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ）には 1.0 とした評価を行う。すなわち、サプレッション・チェンバアクセスハッチに発生する応力が、 P_m が $2/3Su$ 、 $P_L + P_b$ が Su 以下であれば、延性破壊には至らず、構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考える。

この許容値の考え方は、設計・建設規格 解説 PVB - 3111 に示すように、供用状態 D の P_m 、 $P_L + P_b$ の許容値と同等である。なお、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定（原子炉冷却材喪失事故を想定）に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態 D の許容応力は、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、 P_m は $2/3Su$ 、 $P_L + P_b$ は $1.5 \times 2/3Su (=Su)$ と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が Su に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が Su に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。

(2) フランジ固定部の強度

a. 締付けボルトの強度評価

サプレッション・チェンバアクセスハッチのフランジ締付けボルトについて、200℃、2Pd における強度を評価する。

b. フランジの開口評価

原子炉格納容器の重大事故等時の過温、過圧時におけるフランジ開口量を評価するために、有限要素法を用いた弾塑性解析結果を活用し、サプレッション・チェンバアクセスハッチにおける開口量を評価する。

(3) ガasketの健全性

シール材（ガasket）には、従来はシリコンゴムを使用しているが、福島第一原子力発電所事故で高温劣化した可能性があることも踏まえ、より高温耐性に優れた改良EPDM製のシール材に変更する。改良EPDM製シール材による事故時の格納容器閉じ込め機能を確認するために、圧縮永久ひずみ試験結果をもとに格納容器限界開口量を評価し、重大事故等時におけるフランジ開口量と比較することで格納容器閉じ込め機能の評価する。

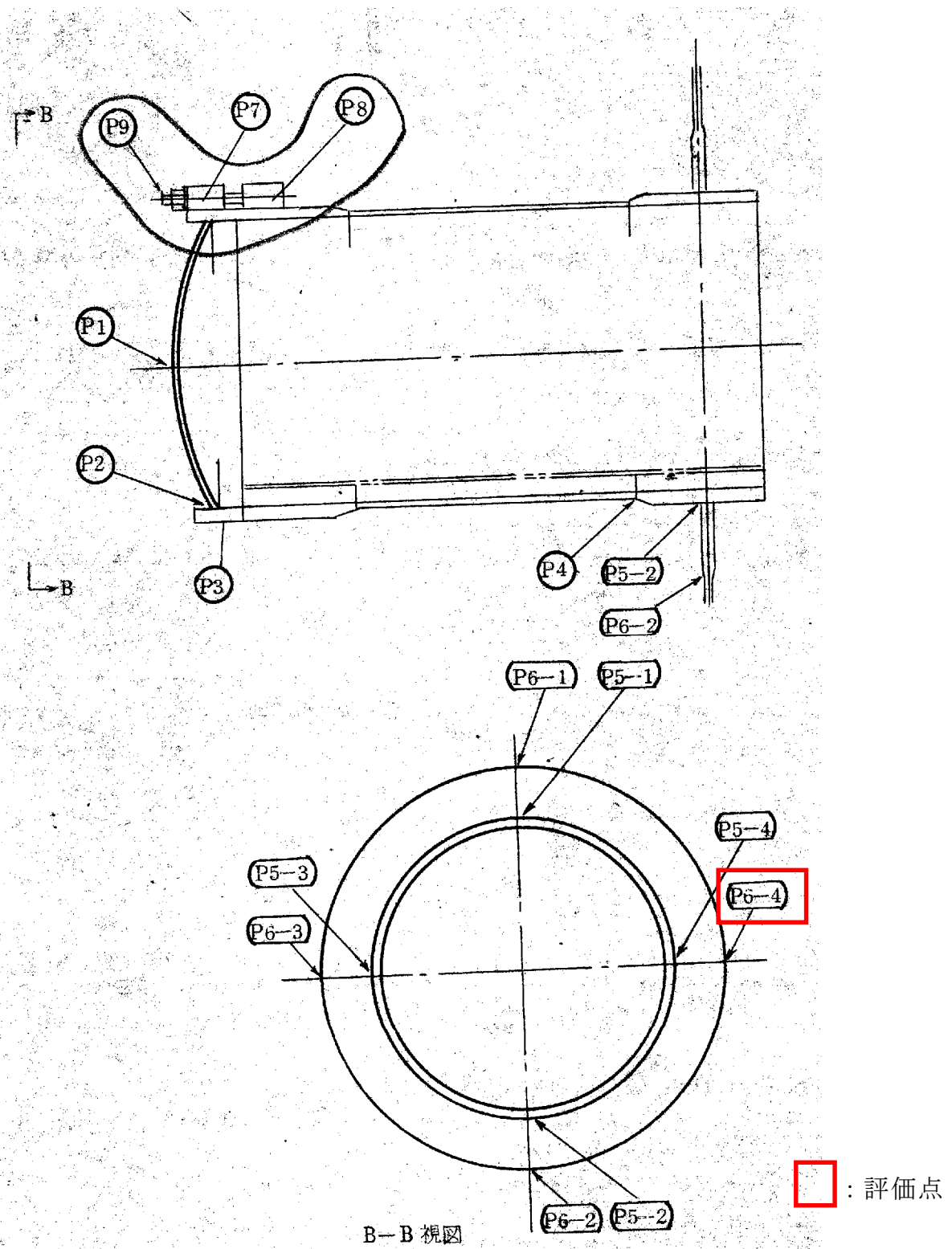
4.2 評価

(1) 本体の耐圧

a. 既工認の評価値を用いた応力評価

サプレッション・チェンバアクセスハッチに対して、既工認にて認可された評価値（圧力及び自重を考慮した応力値）を用いた応力評価を実施する。評価する対象は、サプレッション・チェンバアクセスハッチの開口補強周りと原子炉格納容器本体との接合部であり、サプレッション・チェンバアクセスハッチの自重及び開口部周辺の局所に生じる応力が発生する箇所であるサプレッション・チェンバアクセスハッチの取付部とした。評価対象箇所を第4-2図に示す。なお、対象箇所は、既工認において、取付部で最も厳しい箇所を示している。既工

認時は、一次＋二次応力の評価も実施しているが、本評価は原子炉格納容器の重大事故時の限界圧力、温度が条件であり、繰り返し発生しないことから、繰り返し荷重を考慮する必要がない。このことから、設計・建設規格における運転状態Ⅳ、供用状態Ⅰの考え方と同様に、疲労破壊を制限するための一次＋二次応力評価は省略する。



第 4-2 図 サプレッション・チェンバアクセスハッチの評価対象箇所

サプレッション・チェンバアクセスハッチの応力評価結果を以下に示す。発生応力は許容応力以下であることを確認した。よって、サプレッション・チェンバアクセスハッチは、200℃、2Pdにおいて、十分な強度を有する。

| 応力 評価点 番号 | 応力 評価点 | 一次応力 [MPa] | | | | 応力比 |
|-----------------|----------------------------|----------------|----------|---------------------------------|----------|-----|
| | | P _m | | P _L + P _b | | |
| | | 応力 強さ | 許容 応力 | 応力 強さ | 許容 応力 | |
| P6-4 | サプレッション・チェンバ アクセスハッチ取付部 | — | — | | 422 | |

許容値は、供用状態Dを適用し、Su とする。

b. 許容圧力評価

サプレッション・チェンバアクセスハッチの円筒胴及び鏡板の構造健全性について、設計・建設規格に定められている円筒胴及び鏡板の内圧に対する必要厚さの評価式を準用し、許容圧力の評価を実施した。評価部位として、内圧による荷重を受け止める部位（円筒胴，鏡板）を選択し、許容圧力を評価した。

評価に用いた主要仕様を第 4-2 表 に示す。

第 4-3 表 に、サプレッション・チェンバアクセスハッチの許容圧力評価結果を示す。

第 4-2 表 サプレッション・チェンバアクセスハッチの主要仕様

| 項目 | 東海第二発電所 | | |
|--------------|-------------------------------|--|--|
| 最高使用圧力 (MPa) | 0.31 | | |
| 最高使用温度 (°C) | 104.5 | | |
| 材料 | ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当) | | |
| 内径 (mm) | | | |
| 胴板厚さ (mm) | | | |
| 蓋板厚さ (mm) | | | |

第 4-3 表 サプレッション・チェンバアクセスハッチの許容圧力評価結果

①円筒胴：ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式：PVE-3230(2)a 項を準用

$$P = 2S \eta t / (D_i + 1.2t)$$

| | | |
|--|--|-------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における $2/3S_u$ 値を使用) | 281 |
| η | 継手効率 (－) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | |
| D_i | 胴内径 (mm) | |
| P | 200℃における許容圧力 | 4.493 |
| 4.493MPa[gage] > [] [gage] (2Pd+SA 時の水頭圧) | | |

②鏡板：ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式：PVE-3323(1)項を準用

$$P = 2S \eta t / (R + 0.2t)$$

| | | |
|---|--|--------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における $2/3S_u$ 値を使用) | 281 |
| η | 継手効率 (－) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | |
| R | 鏡板内半径 (mm) | |
| P | 200℃における許容圧力 | 10.637 |
| 10.637MPa[gage] > [] [gage] (2Pd+SA 時の水頭圧) | | |

(2) フランジ固定部の強度

a. 締付ボルトの強度評価

フランジの締付ボルトについて、200℃、2Pd における強度評価を、既工認の強度計算をベースに評価する。サプレッション・チェンバアクセスハッチの締付ボルト基本仕様を第 4-4 表、評価結果を第 4-5 表に示すが、発生応力は、許容応力以下であることから、締付ボルトは 200℃、2Pd において健全である。

第 4-4 表 サプレッション・チェンバアクセスハッチ
締付ボルトの主要仕様

| 項目 | 東海第二発電所 |
|--------|---------------------------------|
| ボルト材質 | ASME SA320 Gr. L43 (SNCM439 相当) |
| ボルト呼び | |
| ボルトの本数 | |

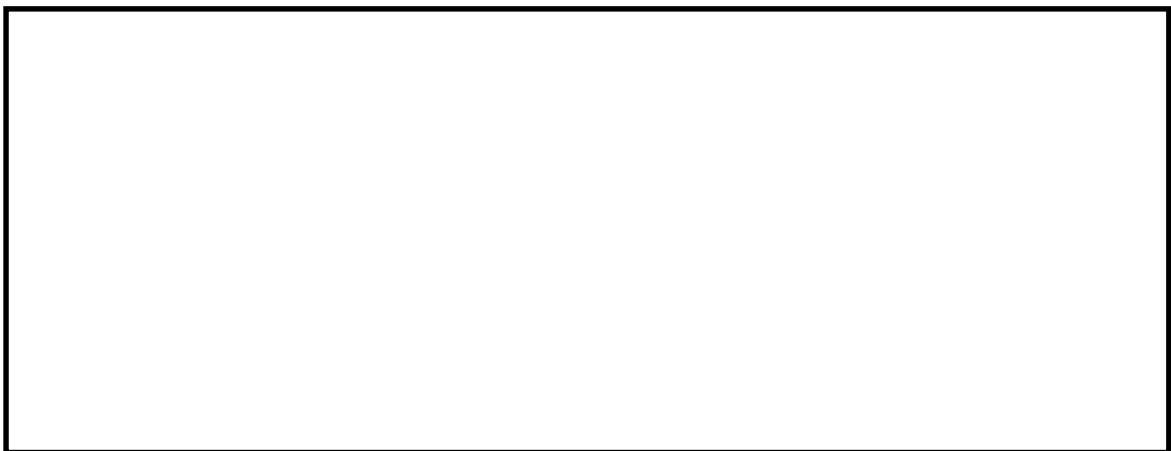
第 4-5 表 締付ボルトの評価結果 (単位:MPa)

| 項目 | 東海第二発電所 | 許容値 |
|-------------------------|---------|-----|
| サプレッション・チェンバ アクセスハッチ | | 576 |

b. フランジの開口評価

原子炉格納容器の重大事故等時の過温，過圧時におけるフランジ開口量を評価するために，有限要素法を用いた弾塑性解析結果を活用し，サプレッション・チェンバアクセスハッチ部における開口量を評価した。解析モデルを第 4-3 図に，開口量の解析評価結果を第 4-4 図にそれぞれ示す。

2Pd における開口量は，内側ガスケット部で 外側ガスケット部で となる。



第 4-3 図 サプレッション・チェンバアクセスハッチ開口部評価解析モデル



第4-4図 サプレッション・チェンバアクセスハッチの
各ガスケット部の圧力と開口変位の関係

(3) ガスケットの健全性

フランジシール部は、内圧が低い段階ではボルトの初期締付けにより開口は抑制されているが、内圧の上昇に伴って開口量が増加することにより、外部への漏えい経路を形成する。ただし、フランジ部が開口しても、フランジ部の密閉性を担保しているシール材が健全であれば、シール材が開口に追従するため外部への漏えいを防止することができる。しかしながら、重大事故環境に晒されると、フランジシール部に使用されているシール材が劣化し、フランジの開口に追従できなくなり格納容器閉じ込め機能を損なう可能性がでてくる。

そこで、サプレッション・チェンバアクセスハッチのフランジシール部に使用されているシール材（シリコンゴム）について、事故時環境下の耐性が優れた改良E P D M製シール材に変更して格納容器閉じ込め機能の強化を図る。したがって、改良E P D M製シール材について、事故

時の温度や放射線による劣化特性を試験により確認し、想定される事故シナリオにおけるシール機能を評価する。なお、フランジ部のシール材は、プラントの定期検査時に開放される場合には取り替えを実施しており、通常運転中における劣化は極めて軽微であることから、事故条件下での評価を実施する。

a. シール材（改良E P D M製）の圧縮永久ひずみ試験結果について

改良E P D M製シール材の事故時環境における劣化特性を確認するために、J I S K 6262「加硫ゴム及び熱加塑性ゴムの常温・高温及び低温における圧縮永久ひずみの求め方」に準じた圧縮永久ひずみ試験を実施した。その結果を第4－6表に示す。なお、圧縮永久ひずみ測定とは、所定の圧縮率をかけ変形させた後、開放時の戻り量を評価するものである。完全に元の形状に戻った場合を0%とし、全く復元せずに完全に圧縮された状態のままである状態を100%としている。圧縮永久ひずみが第4－6表で示す□は、シール材の初期締付量が□であるとき、□戻ることを意味する。この場合、□のフランジ部開口まではシール機能が確保可能である。

第 4－6 表 圧縮永久ひずみ試験※¹ 結果（改良 E P D M 製）

| | |
|--------------------|-------------------------------------|
| 試験温度 | 200℃ |
| 構造部放射線照射量 | <input type="text"/> |
| 試験雰囲気 | 蒸気 |
| 試験時間 | 168 時間 |
| ひずみ率※ ² | <input type="text"/> ※ ³ |

※¹ JIS K 6262 に従い実施

※² 試料を圧縮し完全に回復した状態が 0%，全く回復しない状態が 100%

※³ の平均値

b. 改良 E P D M 製シール材の性能確認試験

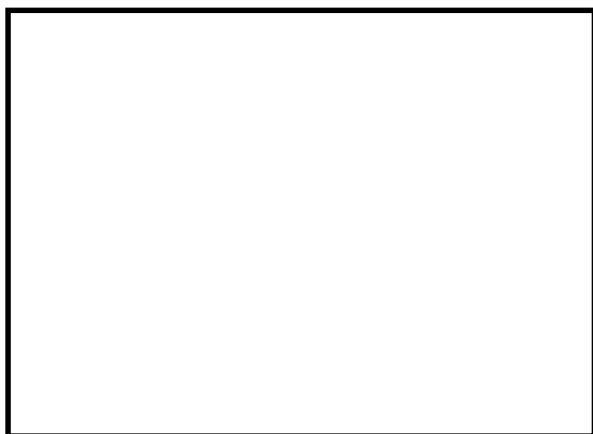
b－1 実機を模擬した小型フランジ試験

改良 E P D M 製シール材の性能を確認するために、圧縮永久ひずみ試験に加え、実機フランジ O リング溝を模擬した小型試験装置を用いて、事故条件を模擬した環境に曝露した後のシール機能を確認した。試験装置を第 4－5 図に示しており、実機 O リング溝の断面寸法を 1/2 スケールとして試験治具を製作し、予め γ 線照射したシール材を用いて試験体を作り、高温環境に曝露した後に気密確認試験を実施した。

試験条件としては、事故条件を模擬するために、放射線照射量はフランジガasket 部の事故後 7 日間の累積放射線量の目安である 800kGy を用いて実施している。また、高温曝露は高温空気及び高温蒸気で曝露し、温度については、格納容器限界温度である 200℃と、さらに余裕を見た 250℃を設定し、それぞれ 7 日間（168 時間）一定温度で高温曝露している。また、試験治具の O リング溝は内側に の段差があり、その段差の間からシール材が高温空気又は蒸気に曝露

されるため、事故時の格納容器過圧に伴うフランジ開口を考慮した状態で、高温曝露ができる試験体となっている。高温曝露後は、事故時に発生する水素を模擬するために、H e により気密確認試験を実施している。気密確認試験では、格納容器限界圧力2Pd (0.62MPa) 以上の気密性を確認するため最大で0.9MPaまで加圧して気密性を確認している。また、格納容器過圧に伴うフランジ開口時のシール材の気密性を確認するために、高温曝露後の試験体フランジを0.8mm 開口させ、その状態でもH e 気密確認試験を実施し、0.9MPa加圧時に漏えいのないことを確認している。なお、開口量の0.8mmは、2Pd における開口量が最も大きなトップヘッドフランジのフランジ開口量（）を1/2スケールにしたものと同等である。

試験結果は第4－7表で示すとおり、本試験により200℃が168時間継続した場合の改良E P D M製シール材のシール機能の健全性を確認した。



第4－5 図 改良E P D M製シール材の性能確認試験装置

第4-7 表 H e 気密確認試験結果

| No. | 曝露条件 | γ 線照射量 | 開口変位 模擬 | 0.3MPa | 0.65MPa | 0.9MPa |
|-----|--------------------------|---------------|------------|--------|---------|--------|
| 1 | 乾熱 200℃, 168 時間 | 800kGy | 無し | ○ | ○ | ○ |
| | | | 0.8mm | ○ | ○ | ○ |
| 2 | 蒸気 1MPa, 250℃, 168 時間 | 800kGy | 無し | ○ | ○ | ○ |
| | | | 0.8mm | ○ | ○ | ○ |
| 3 | 蒸気 1MPa, 250℃, 168 時間 | 800kGy | 無し | ○ | ○ | ○ |
| | | | 0.8mm | ○ | ○ | ○ |

○：リーク及び圧力降下なし

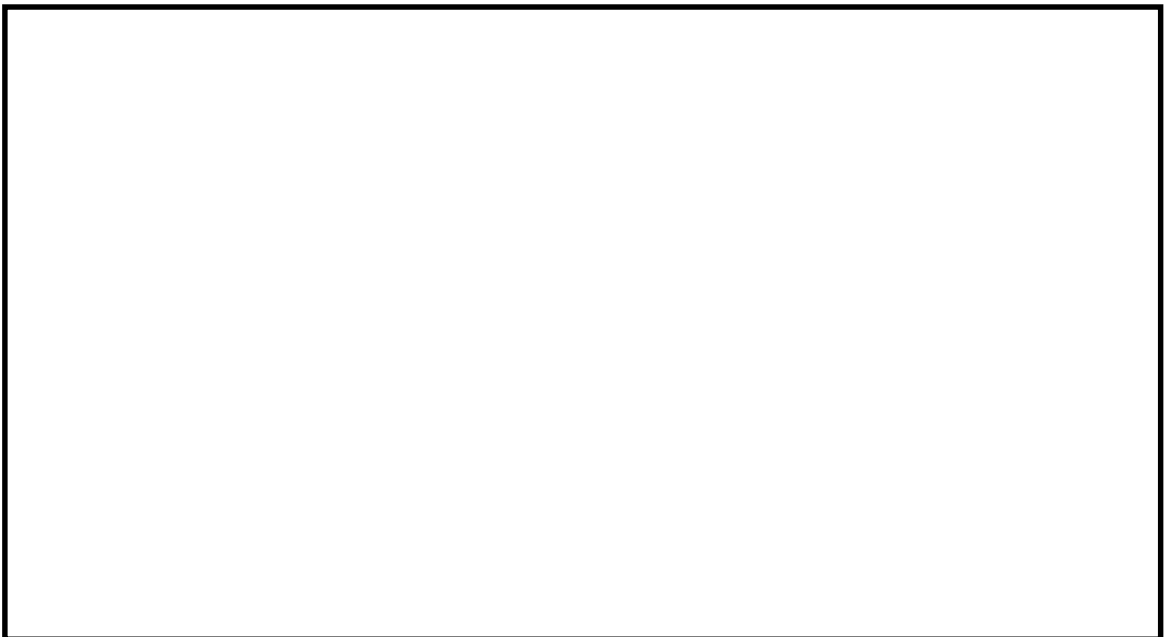
b-2 実機フランジ模擬試験

改良 E P D M 製シール材は前述の小型フランジ試験に加え、より大口径（ガスケット径：約250mm）の実機フランジ模擬試験（実機フランジモデル試験）も実施しており、実機条件に近い状態でのシール健全性の確認を行っている。試験装置は第4-6図、第4-7図に示しており、試験フランジの溝断面形状は実機と同じとし、溝径を縮小した試験フランジとする。試験試料の断面形状は実機と同じとし、径を縮小した試験試料とする。予め γ 線照射したシール材を用いて試験体を作り、高温環境に曝露した後に気密確認試験を実施する。

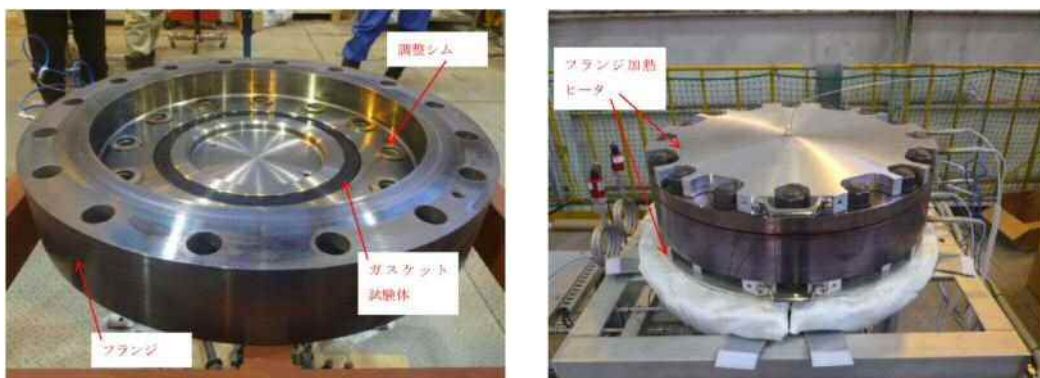
試験条件としては、事故条件を模擬するために、放射線照射量はフランジガスケット部の事故後7日間の累積放射線量の目安である 800kGy を用いて実施している。また、E P D M の劣化は一般的に酸素により引き起こされとの知見に基づき、高温曝露は蒸気ではなく高温空気（乾熱）で曝露し、温度については、格納容器限界温度である 200℃ と、さらに余裕を見た 250℃、300℃ とし、それぞれ定め

る期間を一定温度で高温曝露する。また、内圧作用時の実機フランジの開口を模擬するため、フランジ面に調整シムを挟んで押し込み量を調整できる装置にしている。

本試験装置によりシール材を高温曝露した後、気密確認試験を実施した。気密確認試験では、格納容器限界圧力 $2P_d$ (0.62MPa) を包絡する圧力で気密性を確認した。



第4-6 図 実機フランジ模擬試験の装置概要



試験装置外観（フランジ開放時） 試験装置外観（フランジ密閉時）

第4-7 図 実機フランジ模擬試験装置の外観

試験結果を第4－8 表に示す。フランジによるガスケット試験体の押し込み量が最小限（0mm）であっても，有意な漏えいは発生せず，200℃・168時間，250℃・96時間，300℃・24時間の耐性が確認された。第4－8 図に200℃・168時間の試験ケースにおける試験体の外観を示す。第4－8図より，フランジとガスケット試験体との接触面を境界として劣化（表面のひび割れ）は内周側で留まり，外周側に有意な劣化が見られないことから，フランジ接触面でシール機能を維持できていることが確認された。また，断面形状より，劣化（表面のひび割れ）はガスケット試験体の表面層のみで留まっているため，有意な劣化が進行していないことが確認された。

第 4－8 表 シビアアクシデント条件での試験結果

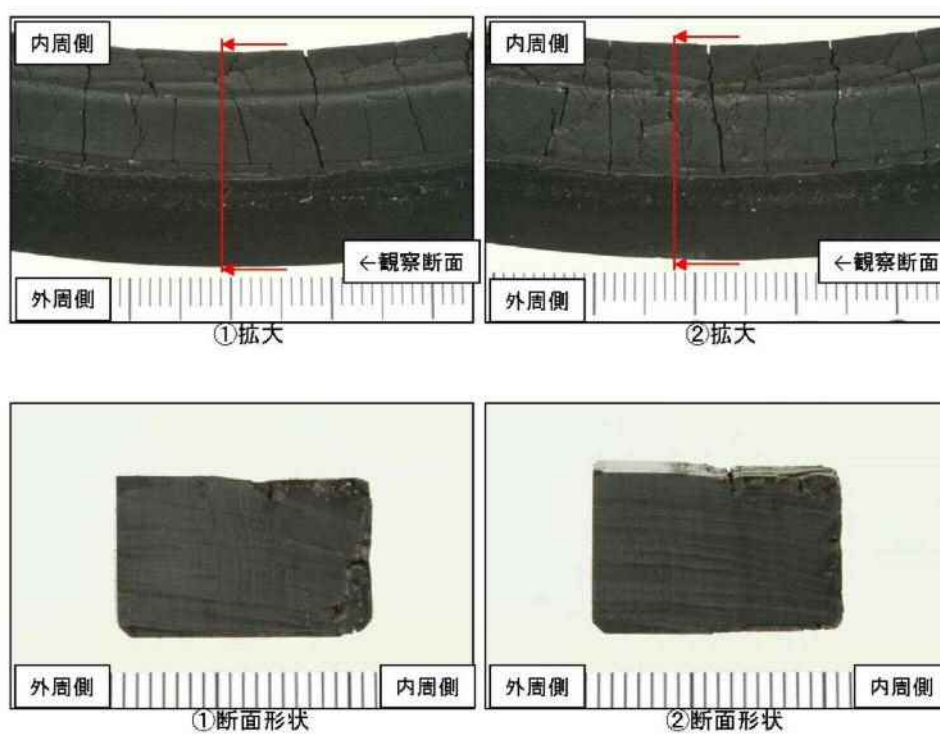
| No. | 試験体 | 温度 | 継続時間 | 押し込み量 | 漏えいの有無 |
|-----|---|------|--------|-------|--------|
| 1 | 改良 E P D M () | 200℃ | 168 時間 | 0mm | 無 |
| 2 | 改良 E P D M () | 250℃ | 96 時間 | 0mm | 無 |
| 3 | 改良 E P D M () | 300℃ | 24 時間 | 0mm | 無 |

下記条件は全ケース共通

試験圧力：2Pd 以上（0.854MPa 以上），放射線照射量：800kGy，

加圧媒体：乾熱（空気）

漏えい判定基準：1cc/min 以上の漏えい量が 30 分以上継続した場合に漏えい有とする。

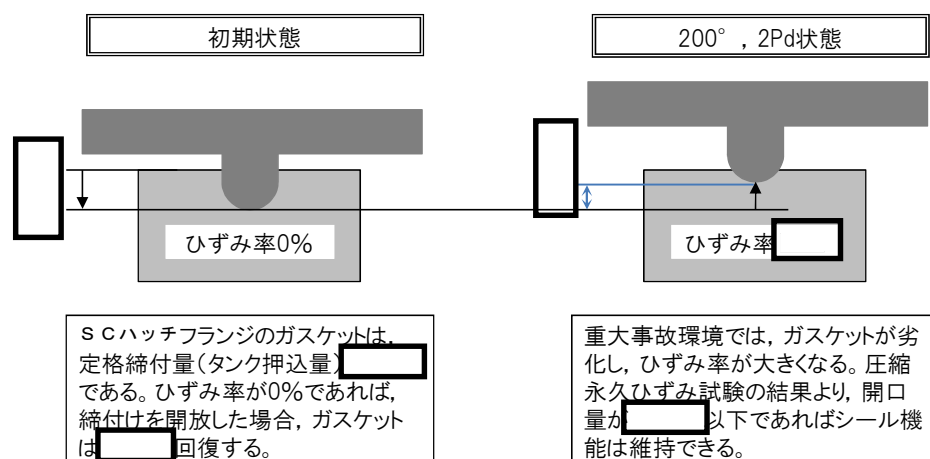


第 4－8 図 試験後の試験体外観（200℃・168 時間）

c. サプレッション・チェンバアクセスハッチのフランジの開口量評価

ガスケットの健全性を評価するにあたり、サプレッション・チェンバアクセスハッチのフランジに許容される開口量について以下のように設定する。

第4-9図に開口量とシール材のシール性関係図を示す。東海第二発電所のサプレッション・チェンバアクセスハッチのフランジは、タング（突起）がガスケットを押し込む構造であり、フランジの定格締付量（タング押込量）は□である。圧力の増加に伴いフランジ部は開口するが、「シール材（改良EPDM製）の圧縮永久ひずみ試験」より得られたガスケットの圧縮永久ひずみ率□をもとに、ガスケットの事故時環境における最大復元量を評価すると、□（＝□×（100％－□））となる。また、「実機フランジ模擬試験」から200℃、2Pdにおけるタング押込量0mmにおいてシール機能が維持されていることを確認したことから、許容開口量は、最大復元量と同じ□に設定する。

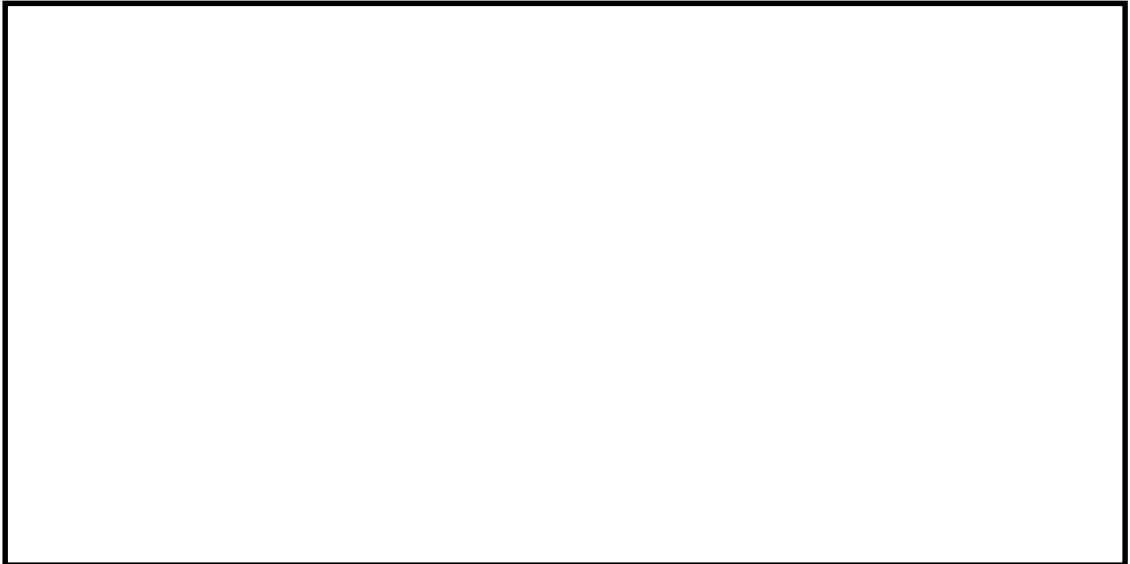


第4-9図 ひずみ率と許容開口量関係図

本評価に用いる許容開口量は、「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格

納容器過圧・過温破損)」シーケンスのベント実施タイミング（事故後約 19 時間）における環境条件を包絡する 168 時間後における圧縮永久ひずみ試験結果（ひずみ率）から [] としている。

したがって、(2)b. 項にて求めた 200℃, 2Pd (0.62MPa[gage]) における開口量は、内側ガスケット部で [] 外側ガスケット部で [] であり、許容開口量 [] を下回り、シール機能が維持できることを確認した（第 4-10 図）。



第 4-10 図 圧力と開口量の関係（東海第二発電所モデル，200℃）

4.3 評価結果

サプレッション・チェンバアクセスハッチの健全性評価結果を第4－12表に示す。

第4－12 表 サプレッション・チェンバアクセスハッチの健全性評価結果

| No. | 大項目 | 評価方法 | 評価 | 結果 |
|-----|------------|----------------|---|----|
| (1) | 本体の耐圧 | ①既工認の評価値を用いた評価 | 200℃，2Pdにおいて一次応力は，許容値：Suを満足することを確認 許容圧力は2Pd+SA時の水頭圧以上であることを確認 | ○ |
| | | ②許容圧力評価 | | |
| (2) | フランジ固定部の強度 | ①締付けボルト評価 | 200℃，2Pdにおける締付ボルトの一次応力は，許容値：2／3 Suを満足することを確認 | ○ |
| | | ②フランジ開口評価 | 200℃，2Pdにおけるフランジ開口を評価 ((3) ガスケットの健全性と併せて健全性評価を行う) | — |
| (3) | ガスケットの健全性 | シール材劣化，開口量評価 | ・ガスケット（改良EPDM製シール材）の事故時環境における劣化特性を考慮しても200℃，2Pdにおけるフランジ開口量は，許容開口量以下となり，シール機能が維持されることを確認 | ○ |

以上により，サプレッション・チェンバアクセスハッチについては，200℃，2Pd環境下でも，放射性物質の閉じ込め機能を維持できる。

なお，更なる安全性向上対策として，重大事故後の長期におけるシール機能健全性を補強するために，高温蒸気に耐性があるバックアップシール材を追加塗布する。その有効性については，バックアップシール材の試験を元に評価し，格納容器閉じ込め機能の信頼性を確認した。

5. 所員用エアロック

5.1 評価方針

所員用エアロックは、円筒胴が原子炉格納容器の貫通部に溶接固定されており、円筒胴の両端に平板（隔壁）を溶接し、人が出入りできる開口部を設けている。この開口部に杵板（隔壁）を溶接し、杵板の前面を開閉扉で塞ぐ構造である。杵板の前面と扉間のシールにはシリコンゴムのガスケットを使用している。なお、トップヘッドフランジやハッチ類と異なり、原子炉格納容器加圧時は所員用エアロック扉が支持部に押しつけられる構造となっているため、扉板が開くことはない。

隔壁には扉開閉ハンドル軸、開閉表示盤の電線管が貫通しており、貫通部にはふっ素系シール材を使用している。また、隔壁に接続する均圧配管にはフランジ部及び均圧弁にシール材を使用しており、フランジ部には非石綿系シートガスケット、均圧弁シート部にはふっ素系シール材を使用している。

所員用エアロックの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、有意な圧縮力が所員用エアロックに生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、所員用エアロックの機能喪失要因は、高温状態で原子炉格納容器内圧を受けることによる、過度な塑性変形に伴う延性破壊が想定される。

また、シール部のうち扉板部については、原子炉格納容器内の圧力が上昇した際に、扉板は所員用エアロック本体側に押し付けられる構造であるため、圧力により扉板が開くことはないが、高温状態で内圧を受けること

による扉板のわずかな変形及びシール材の高温劣化によるシール機能の低下が想定される。なお、その他のシール部についても高温劣化によるシール機能の低下が想定される。

そのため、所員用エアロック本体の塑性変形に伴う延性破壊、並びに、扉の変形及びシール材の高温劣化によるシール機能の低下が考えられる。

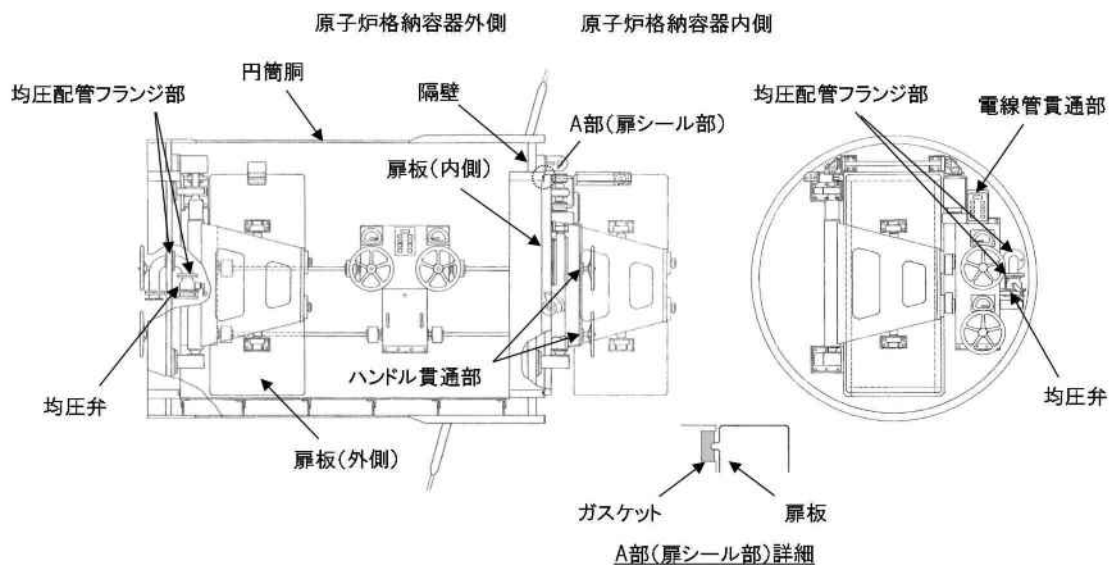
このため、200℃、2Pd での健全性確認には以下の評価が必要である。

- ・ 本体の耐圧
- ・ ガスケットの健全性

所員用エアロックの評価対象と評価方法を第 5－1 表に、評価対象を第 5－1 図にそれぞれ示す。

第 5－1 表 評価対象と評価方法

| 評価対象（シール材） | | 機能喪失要因 | 評価方法 |
|------------|----------------------|-----------|---------------------------------|
| 構造部 | 円筒胴 | 延性破壊 | 設計・建設規格の評価式を準用した評価 |
| | 隔壁 | 延性破壊 | 既工認の評価結果を用いた評価 |
| シール部 | 扉板 （ガスケット） | 開口，シール材劣化 | 機械工学便覧の計算式を用いた評価 試験結果等を用いた評価 |
| | 扉開閉ハンドル貫通部 （Ｏリング） | シール材劣化 | 試験結果等を用いた評価 |
| | 電線管貫通部 （シール材） | シール材劣化 | 試験結果等を用いた評価 |
| | 均圧配管フランジ部 （ガスケット） | シール材劣化 | 試験結果等を用いた評価 |
| | 均圧弁 （シート部） | シール材劣化 | 試験結果等を用いた評価 |



第 5-1 図 所員用エアロックの評価対象

(1) 本体の耐圧

a. 許容圧力評価

所員用エアロックの構造健全性評価として、所員用エアロックにおいて内圧による荷重を受け止める部位のうち、円筒胴について、既工認と同様の評価手法である設計・建設規格に示される必要厚さの評価式を準用し、許容圧力の評価を行い、許容圧力が $2Pd$ を上回ることを確認する。

ここで、設計・建設規格の解説表 PVB - 3110 - 1 において、延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。一方、設計・建設規格における一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度ごとに材料試験（引張試験）を実施した結果をもとに国内 S_u 値検討会で設定された設計引張強さ（ S_u ）に割下げ率を考慮して設定されたものである（設計・建設規格 解説 GNR - 2200）。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過する所員用エアロックの限界温度及び許容圧力の妥当性を確認するものであるため、上記割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5 とした評価を行う。すなわち、所員用エアロックに発生する応力が、 P_m が $2/3S_u$ 以下であれば、延性破壊には至らず、構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考える。

この許容値の考え方は、設計・建設規格 解説 PVB - 3111 に示すように、供用状態 D の P_m の許容値と同等である。なお、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定（原子炉冷却材喪失事故を想定）に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態 D の許容応力は、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、 P_m は $2/3S_u$ と規定されている。 P_m は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されている。

b. 既工認の評価値を用いた応力評価

所員用エアロックの隔壁の構造健全性を確認するため、既工認において最も厳しい応力点を代表評価点として、既工認の評価値を準用し、原子炉格納容器の限界温度 200℃、限界圧力 2Pd の条件における応力評価を実施する。（隔壁部の代表評価点以外の応力評価点については別添 5-1 参照）

ここで、設計・建設規格の解説表 PVB - 3110 - 1 において、延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。一方、設計・建

設規格における一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度ごとに材料試験（引張試験）を実施した結果をもとに国内 S_u 値検討会で設定された設計引張強さ（ S_u ）に割下げ率を考慮して設定されたものである（設計・建設規格 解説 GNR - 2200）。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過する所員用エアロックの限界温度及び許容圧力の妥当性を確認するものであるため、上記割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5, $P_L + P_b$ （一次局部膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ）には 1.0 とした評価を行う。すなわち、所員用エアロックに発生する応力が、 P_m が $2/3S_u$, $P_L + P_b$ が S_u 以下であれば、延性破壊には至らず、構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考える。

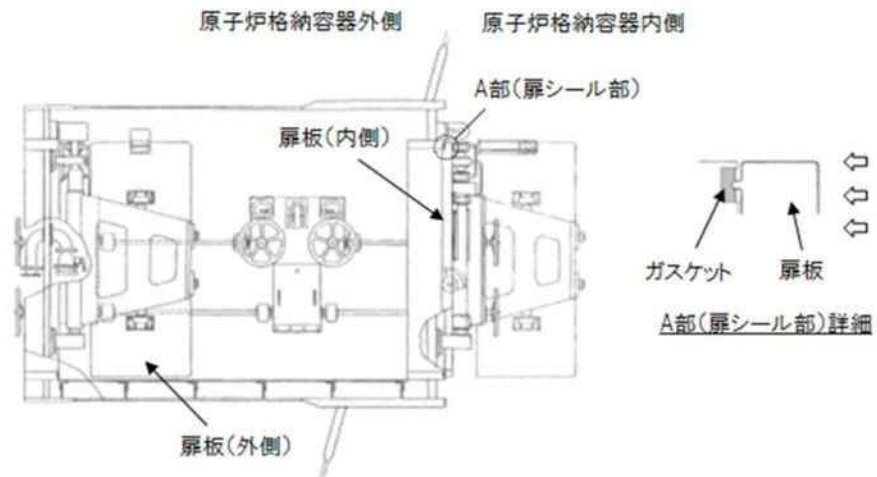
この許容値の考え方は、設計・建設規格 解説 PVB - 3111 に示すように、供用状態 D の P_m , $P_L + P_b$ の許容値と同等である。なお、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定（原子炉冷却材喪失事故を想定）に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態 D の許容応力は、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、 P_m は $2/3S_u$, $P_L + P_b$ は $1.5 \times 2/3S_u (=S_u)$ と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が S_u に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。

(2) ガasketの健全性

a. 扉のシール材

所員用エアロックの扉に用いられているシール材は、従来はシリコンを使用しているが、福島第一原子力発電所事故で高温劣化した可能性があることも踏まえ、より高温耐性に優れた改良E P D M製のシール材に変更する。所員用エアロック扉閉止時は、扉は原子炉格納容器内圧により扉板が支持部に押付けられる構造であり、圧力により扉板が開くことはない。しかし、高温状態で内圧を受けることによる扉板のわずかな変形によりガasket部の微小な開口が予想されるため、圧力による開口量を機械工学便覧のはりのたわみ計算式に基づき評価する。改良E P D M製シール材による事故時の格納容器閉じ込め機能を確認するために、圧縮永久ひずみ試験結果をもとに許容開口量を評価し、重大事故時における扉板部の開口量と比較することで格納容器閉じ込め機能の評価する。

なお、シール材の高温劣化については、エアロックの扉に使用されるシール材がトップヘッドフランジ及びハッチ類と同一であり、事故時の耐環境性に優れた改良E P D M製シール材であること、事故時には格納容器の内圧により扉が押し付けられシール部を抑え込む方向であること及び扉が二重に設けられることから、原子炉格納容器閉じ込め機能への影響度は小さいと考え、トップヘッドフランジ・ハッチ類の評価にて代表するものとする。所員用エアロックの構造概略図を第5-2 図に示す。なお、エアロックのシール材は、プラントの定期検査時に開放される場合には取り替えを実施しており、通常運転中における劣化は極めて軽微であることから、事故条件下での評価を実施する。



第 5－2 図 所員用エアロックの構造概略図

b. 扉以外のシール材

所員用エアロックには、扉のシリコンガスケット以外に格納容器閉じ込め機能を確保するための隔壁貫通部にシール材が使用されているが、今後、事故時の耐環境性に優れた第 5－2 表に示すシール材に変更する。

これらのシール材について試験結果及び一般的な材料特性により重大事故環境下における耐性を確認する。

第 5－2 表 所員用エアロック（扉以外）のシール材

| 対象部位 | シール材 |
|----------------------|--------------------------|
| 扉開閉ハンドル貫通部 (Oリング) | 改良 E P D M 材 |
| 電線管貫通部 (シール材) | 膨張黒鉛材 |
| 均圧配管フランジ部 (ガスケット) | 改良 E P D M 材 又は 膨張黒鉛材 |
| 均圧弁 (シート部) | P E E K 材 |

5.2 評価

(1) 本体の耐圧

a. 許容圧力評価

所員用エアロックの構造健全性評価として、所員用エアロックにおいて内圧による荷重を受け止める部位のうち、円筒胴について、既工認と同様の評価手法である設計・建設規格に示される必要厚さの評価式を準用し、許容圧力の評価を実施した。

評価に用いた主要仕様を第 5-3 表 に示す。

第 5-4 表 に、所員用エアロックの許容圧力評価結果を示す。

第 5-3 表 所員用エアロックの主要仕様

| 項目 | 東海第二発電所 |
|--------------|-------------------------------|
| 最高使用圧力 (MPa) | 0.31 |
| 最高使用温度 (°C) | 171 |
| 材料 | ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当) |
| 内径 (mm) | |
| 胴板厚さ (mm) | |

第 5-4 表 所員用エアロックの許容圧力評価結果

①円筒胴：ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

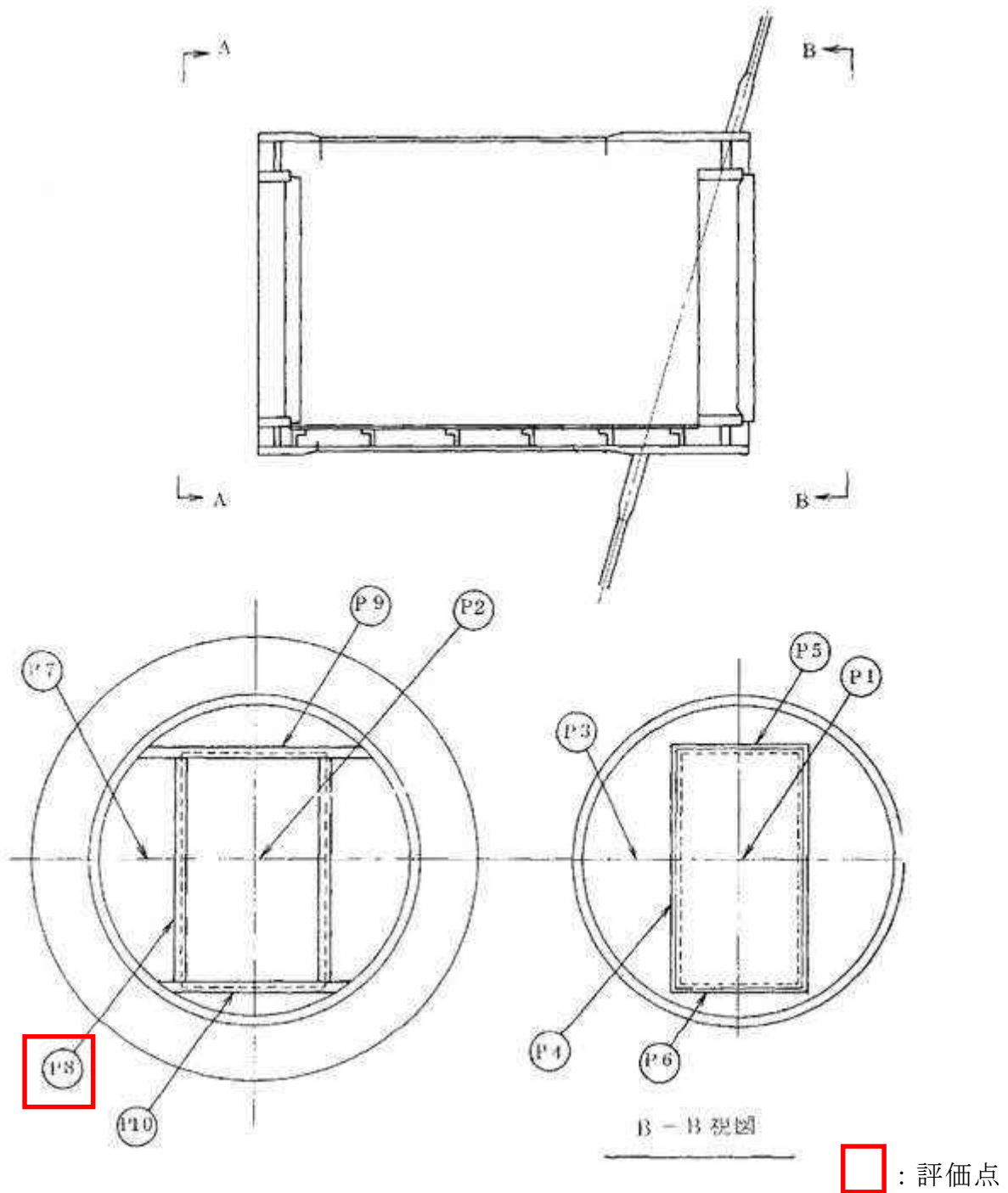
許容圧力算定式：PVE-3230(2)a 項を準用

$$P = 2S \eta t / (D_i + 1.2t)$$

| | | |
|--------------------------|--|-------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200°Cにおける 2/3S _u 値を使用) | 281 |
| η | 継手効率 (－) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | |
| D _i | 胴内径 (mm) | |
| P | 200°Cにおける許容圧力 | 3.716 |
| 3.716MPa > 0.62MPa (2Pd) | | |

b. 既工認の評価値を用いた応力評価

所員用エアロックの隔壁に対して、既工認の評価値を用いた応力評価を実施する。評価対象箇所を第5-3図に示す。なお、対象箇所は、既工認において、最も厳しい箇所を示している。



第5-3図 所員用エアロックの評価対象箇所

所員用エアロックの応力評価結果を以下に示す。発生応力は許容応力以下であることを確認した。よって，所員用エアロックは，200℃，2Pdにおいて，十分な強度を有する。

| 応力 評価点 番号 | 応力 評価点 | 一次応力 [MPa] | | | | 応力比 |
|-----------------|-----------|----------------|----------|---------------------------------|----------|-----|
| | | P _m | | P _L + P _b | | |
| | | 応力 強さ | 許容 応力 | 応力 強さ | 許容 応力 | |
| P8 | 隔壁 | — | — | | 422 | |

許容値は，供用状態Dを適用し， S_u とする。

(2) ガスケットの健全性

a. 扉のシール材

a - 1 扉板部の開口量評価

所員用エアロック扉閉止時は、扉は原子炉格納容器内圧により扉板が支持部に押付けられる構造であり、圧力により扉板が開くことはない。しかし、高温状態で内圧を受けることによる扉板のわずかな変形によりガスケット部の微小な開口が予想されるため、圧力による開口量を機械工学便覧のはりのたわみ計算式に基づき評価した。改良 E P D M 製シール材による事故時の格納容器閉じ込め機能を確認するために、圧縮永久ひずみ試験結果をもとに許容開口量を評価し、重大事故時における扉板部の開口量と比較することで格納容器閉じ込め機能の評価した。

許容開口量の設定に使用する改良 E P D M 製シール材の圧縮永久ひずみ試験結果を第 5－5 表に示す。

第 5－5 表 圧縮永久ひずみ試験^{※1}結果（改良 E P D M 製）

| | |
|--------------------|------------------------------------|
| 試験温度 | 200℃ |
| 構造部放射線照射量 | <input type="text"/> |
| 試験雰囲気 | 蒸気 |
| 試験時間 | 168 時間 |
| ひずみ率 ^{※2} | <input type="text"/> ^{※3} |

※1 JIS K 6262 に従い実施

※2 試料を圧縮し完全に回復した状態が 0%，全く回復しない状態が 100%

※3 の平均値

許容開口量の設定に使用する試験結果は、トップフランジの設定の考え方と同様、168 時間のひずみ率とする。また、扉板シール部

の定格押込量が であることを踏まえ、許容開口量は (= 定格締付量 × (100% -) / 100%) とする。

機械工学便覧のはりのたわみ計算式を用いて求めた、所員用エアロック扉板の変位量は第 5-6 表に示すとおり であり、許容開口量 を下回る。

所員用エアロック扉の変形概念図を第 5-4 図に示す。

第 5-6 表 所員用エアロック（扉板）の開口量評価結果

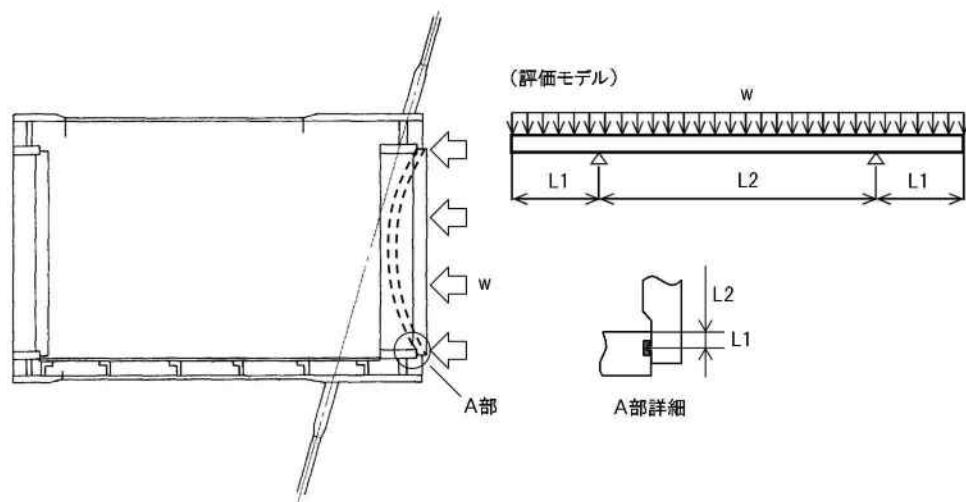
評価式：機械工学便覧

$$\delta = w \times L_1 / (24 \times E \times I) \times (3L_1^3 + 6L_1^2 \times L_2 - L_2^3)$$

$$w = P \times b \quad (w: \text{単位荷重})$$

$$I = b \times h^3 / 12 \quad (I: \text{断面二次モーメント})$$

| | | |
|----------------|--------------------|----------------------|
| P | 圧力 (MPa[gage]) | 0.62 |
| b | 扉板の幅 (mm) | <input type="text"/> |
| L ₁ | 支点からシール部までの長さ (mm) | <input type="text"/> |
| E | 縦弾性係数 (MPa) | 191,000 |
| h | 扉板の厚さ (mm) | <input type="text"/> |
| L ₂ | 支点間の長さ (mm) | <input type="text"/> |
| δ | 変位量 (mm) | <input type="text"/> |



第 5-4 図 所員用エアロック扉の変形概念図

b. 扉以外のシール材

所員用エアロックには、扉のシリコンガスケット以外に格納容器閉じ込め機能を確保するための隔壁貫通部にシール材が使用されているが、今後、事故時の耐環境性に優れた第 5-2 表に示すシール材に変更する。

これらのシール材について試験結果及び一般的な材料特性により重大事故環境下における耐性を確認した。

扉開閉ハンドル貫通部及び均圧配管フランジ部に使用する改良 E P D M 製シール材については、第 5-5 表の圧縮永久ひずみ試験結果に示すとおり、重大事故環境下においても十分な耐性を有することを確認している。

電線管貫通部及び均圧配管フランジ部に使用する膨張黒鉛材は、一般的に 400℃程度の高温環境下においても高い安定性を得ることができるシール材料であり、第 5-7 表に示す材料特性から、重大事故環境下においても十分な耐性を有することを確認した。

第 5-7 表 膨張黒鉛材の材料特性

| シール材 | 仕様 | | |
|-------|--------|--------|---------|
| | 耐熱温度 | 耐圧性 | 耐放射線性 |
| 膨張黒鉛材 | 400℃以上 | 6.9MPa | 約 15MGy |

均圧弁シート部に使用する P E E K 材は、一般的に 200℃程度の高温環境下においても高い安定性を得ることができるシール材料であり、第 5-8 表に示す材料特性から、重大事故環境下においても十分な耐性を有することを確認した。

第 5－8 表 P E E K 材の材料特性

| シール材 | 仕様 | | |
|-----------|------|------|---------|
| | 耐熱温度 | 融点 | 耐放射線性 |
| P E E K 材 | 250℃ | 334℃ | 約 10MGy |

また，実機均圧弁と同型の弁を使用した，重大事故時の格納容器環境を模擬した耐環境試験を実施しており，熱及び放射線曝露後の漏えい試験にて弁シート部の気密性が確保できることを確認している。第 5－9 表に耐環境試験条件を示す。

第 5－9 表 均圧弁の耐環境試験条件（PEEK 材）

| | |
|---------|---|
| 熱劣化 | 200℃，168 時間 |
| 放射線照射量 | <div style="border: 1px solid black; width: 80px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> |
| 漏えい試験圧力 | 0.9MPa[gage] |

5.3 評価結果

所員用エアロックの健全性評価結果を第5－10表に示す。

第5－10表 所員用エアロックの健全性評価結果

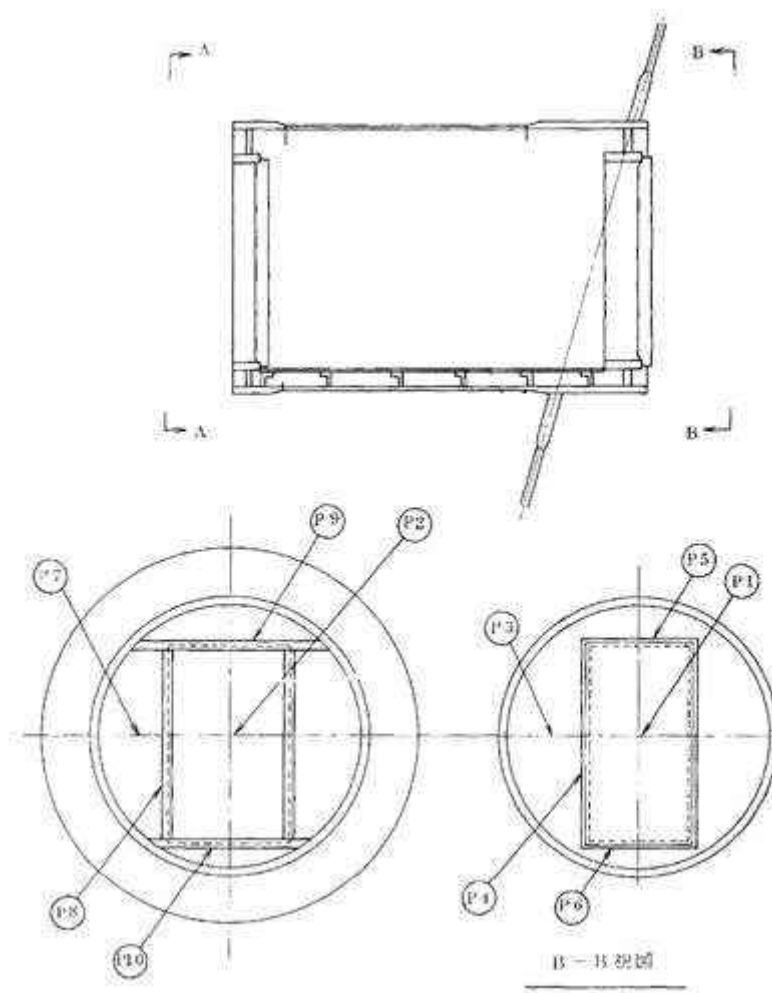
| No. | 大項目 | 評価方法 | 評価 | 結果 |
|-----|-----------|----------------|--|----|
| (1) | 本体の耐圧 | ①許容圧力評価 | 許容圧力は2Pd以上であることを確認 | ○ |
| | | ②既工認の評価値を用いた評価 | 200℃，2Pdにおいて一次応力は，許容値：Suを満足することを確認 | |
| (2) | ガスケットの健全性 | シール材劣化，開口量評価 | ガスケット（改良E P D M材，膨張黒鉛材，P E E K材）の事故時環境における劣化特性を考慮しても200℃，2Pdにおけるフランジ開口量は，許容開口量以下となり，シール機能が維持されることを確認 | ○ |

以上により，所員用エアロックについては，200℃，2Pd 環境下でも，放射性物質の閉じ込め機能を維持できる。

所員用エアロックの隔壁部の評価について

所員用エアロックの隔壁部は、既工認において、第 5-1(1)図で示す応力評価点の発生応力を算出している。それに基づき供用状態Dにおける許容応力を下回ることを確認し、隔壁部の構造健全性を確保されることを、評価する。

所員用エアロックの応力評価点を第 5-1(1)図に、所員用エアロックの各応力評価点における評価結果を第 5-1(1)表に示す。



第 5-1(1)図 所員用エアロックの応力評価点

所員用エアロックの応力評価結果を以下に示す。発生応力は許容応力以下であることを確認した。よって、所員用エアロックは、200℃、2Pdにおいて、十分な強度を有する。

第5-1(1)表 所員用エアロック隔壁部の評価結果

材質：ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

| 応力 評価点 番号 | 応力 評価点 | 一次応力 [MPa] | | | | 応力比 |
|-----------------|-----------|----------------|----------|---------------------------------|----------|-----|
| | | P _m | | P _L + P _b | | |
| | | 応力 強さ | 許容 応力 | 応力 強さ | 許容 応力 | |
| P1 | 隔壁 | — | — | | 422 | |
| P2 | | — | — | | | |
| P3 | | — | — | | | |
| P4 | | — | — | | | |
| P5 | | — | — | | | |
| P6 | | — | — | | | |
| P7 | | — | — | | | |
| P8 | | — | — | | | |
| P9 | | — | — | | | |
| P10 | | — | — | | | |

許容値は、供用状態Dを適用し、Su とする。

6. 配管貫通部

6.1 概要

配管貫通部の 200℃，2Pd 環境下の健全性を確認する。

代表的な配管貫通部の概要図を第 6-1 図に示す。配管貫通部は，スリーブと平板類（平板，穴あき平板，フランジ，ボルト締め平板及びフルードヘッド），セーフエンド，伸縮継手とスリーブ等に接続する配管（接続配管）によって原子炉格納容器バウンダリを構成している。また，フランジ部はボルトにより固定されており，シール部にはシリコンゴムを使用している。

上記を踏まえ，以下の構成で健全性を確認する。

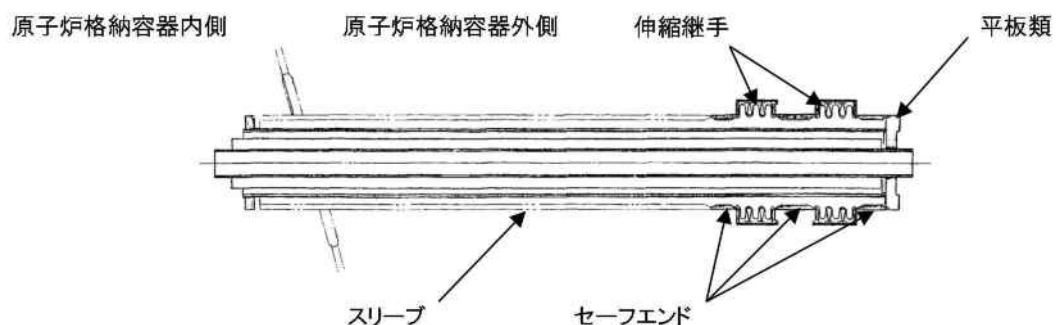
6.2 項では，配管貫通部（接続配管）の構造健全性を確認する。

6.3 項では，配管貫通部（スリーブ）の構造健全性を確認する。

6.4 項では，配管貫通部（平板類）の構造健全性，シール部の機能維持を確認する。

6.5 項では，配管貫通部（セーフエンド）の構造健全性を確認する。

6.6 項では，配管貫通部（伸縮継手）の構造健全性を確認する。



第 6-1 図 配管貫通部概要図

6.2 配管貫通部（接続配管）

6.2.1 評価方針

接続配管は、スリーブ等を介して原子炉格納容器と接続している。

接続配管の設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、圧縮力が接続配管に生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、接続配管の機能喪失要因は、原子炉格納容器の変形により生じる過度な曲げ荷重に伴う延性破壊が想定される。

このため、200℃、2Pd での接続配管の健全性確認について、第 6－1 表に示す評価方法により評価を実施する。

接続配管は原子炉格納容器貫通部の変位が支持構造物により拘束されることにより、反力及びモーメントが発生し、応力が発生する。接続配管の評価では、拘束条件として、厳しくなる接続配管の第 1 拘束点までの距離及び配管口径の比が最も小さい箇所であり、変位による反力及びモーメントが最大となる貫通部 X-31 の接続配管を代表として評価する。

（別添 6.2－1 参照）

第 6－1 表 評価対象と評価方法

| 評価対象 | 機能喪失要因 | 評価方法 |
|---------------|--------|------------------------------------|
| 構造部 (接続配管) | 延性破壊 | 設計・建設規格の評価式に準拠した評価 (X-31 で代表評価) |

6.2.2 評価

貫通部 X-31 に接続する接続配管について、3次元梁モデルを用いた配管解析にて自重、圧力及び原子炉格納容器変位に伴う荷重を考慮した発生応力を算出し、設計・建設規格 PPC-3520, PPC-3530 に規定される一次応力、一次＋二次応力の制限値を満足することを確認する。

評価に用いる縦弾性係数及び熱膨張係数は、今回の評価が設計基準を超えた限界温度、圧力の評価であることを踏まえ、200℃における値を用いる。

(1) 解析条件

解析条件を第 6-2 表に示す。また、原子炉格納容器貫通部の変位を第 6-3 表に示す。

第 6-2 表 解析条件

| 名称 | 単位 | スリーブ | 接続配管 |
|-------|--|---------------------------|---------------------|
| 材 料 | — | SA333 Gr. 6 (GSTPL 相当) | SM400B |
| 外 径 | mm | 609.6 | 609.6 |
| 厚 さ | mm | 31.0 | 9.5 |
| 縦弾性係数 | $\times 10^5 \text{ MPa}$ | 1.92 ^{※1} | 1.91 ^{※1} |
| 熱膨張係数 | $\times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$ | 12.70 ^{※1} | 12.09 ^{※1} |
| 温 度 | ℃ | 200 | 200 |
| 圧 力 | MPa[gage] | 0.62 | 0.62 |

※1：200℃における値

第 6－3 表 原子炉格納容器貫通部の変位

| 貫通部番号 | 温度 | 変位 (mm) | |
|-------|------|----------------------|----------------------|
| | | 水平 (外向き) | 鉛直 (上向き) |
| X-31 | 200℃ | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

(2) 強度計算に使用する記号の定義

管の応力計算に用いる記号について以下に説明する。

| 記号 | 単位 | 説明 |
|-------------|-----------------|---|
| B_1 | — | 応力係数で、PPB-3810 で規定する値 |
| B_2 | — | 応力係数で、PPB-3810 で規定する値 |
| D_0 | mm | 管の外径 |
| M_a | N・mm | 管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント |
| M_c | N・mm | 管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生じるモーメント |
| P | MPa | 計算圧力 |
| S_a | MPa | 許容応力 |
| S_c | MPa | 室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力 |
| S_h | MPa | 使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力 |
| S_n | MPa | 一次応力と二次応力を加えて求めた応力 |
| $S_{p r m}$ | MPa | 一次応力 |
| Z | mm ³ | 管の断面係数 |
| f | — | 設計・建設規格 PPC-3530 に規定する許容応力低減係数 |
| i_1, i_2 | — | 設計・建設規格 PPC-3530 に規定する応力係数 |
| t | mm | 管の厚さ |

(3) 材料の許容応力

設計・建設規格 PPC-3520, PPC-3530 に規定される要求事項への適合性を確認する。なお，応力計算に使用する管の外径及び厚さは，公称値を用いる。

- ・一次応力 (S_{prm}) [設計・建設規格 PPC-3520(1)b.]

$$S_{prm} = \frac{B_1 P D_o}{2t} + \frac{B_2 M_a}{Z} \leq 1.5 S_h$$

- ・一次＋二次応力 (S_n) [設計・建設規格 PPC-3530(1)a.]

$$S_n = \frac{P D_o}{4t} + \frac{0.75 i_1 M_a + i_2 M_c}{Z}$$

一次＋二次応力の許容応力は，設計・建設規格 PPC-3530(1)c. に基づき，次式により算出する。

$$S_a = 1.25 f S_c + (1 + 0.25 f) S_h$$

6.2.3 評価結果

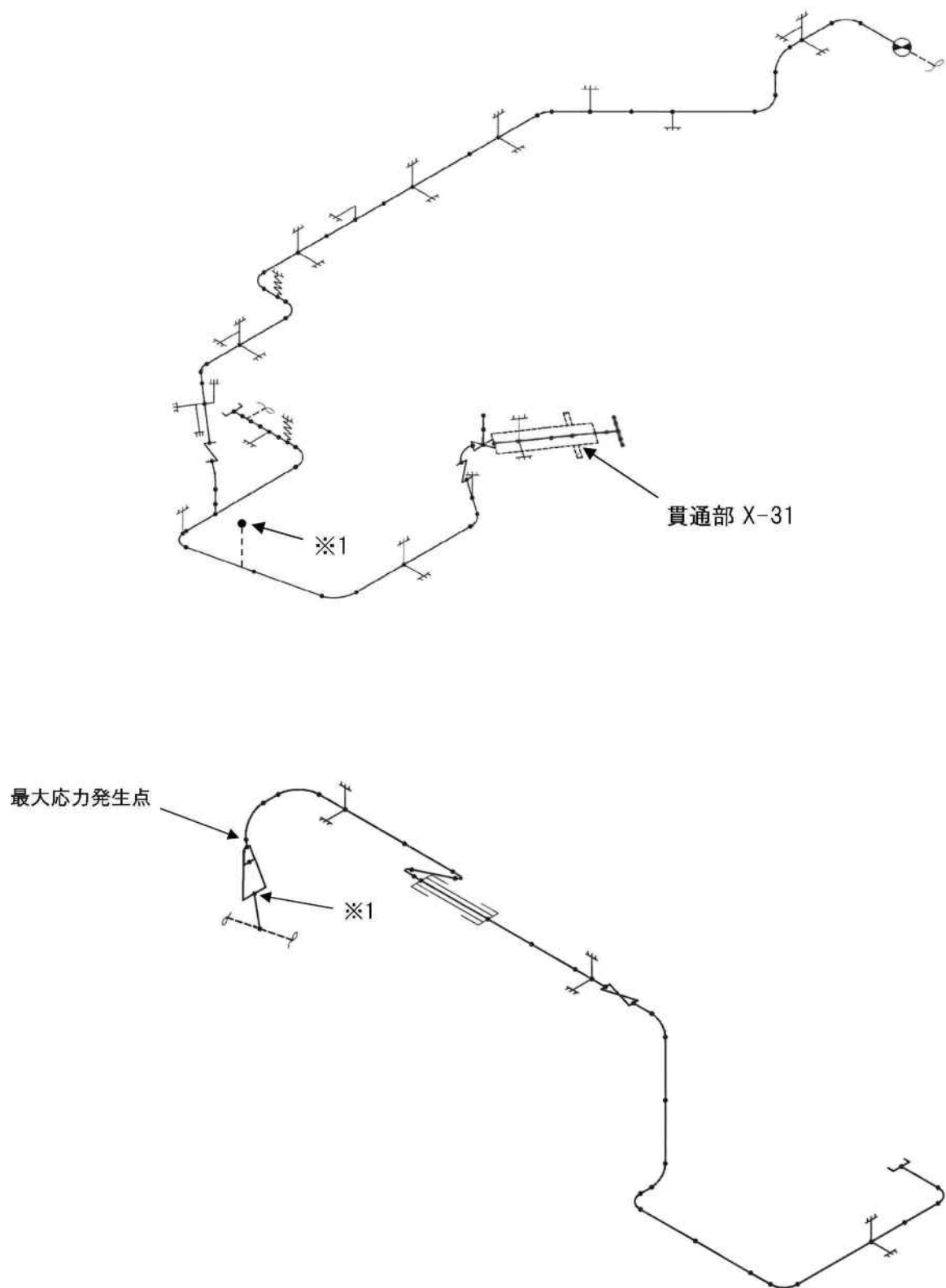
解析モデルを第 6-2 図，解析結果を第 6-4 表に示す。

貫通部 X-31 の接続配管について，設計・建設規格 PPC-3520, PPC-3530 の規定を満足することから，配管の変形による延性破壊の可能性がないことが確認できた。以上の結果より，200℃，2Pd の環境下においても配管が損傷に至らず，放射性物質の閉じ込め機能を維持できる。

第 6-4 表 貫通部 X-31 に接続配管の解析結果（最大応力発生点）

単位：MPa

| 貫通部 | 一次応力評価 | | 一次＋二次応力評価 | |
|------|--------|------|-----------|------|
| | 発生応力 | 許容応力 | 発生応力 | 許容応力 |
| X-31 | 39 | 150 | 169 | 257 |



第 6-2 図 解析モデル図 (X-31)

接続配管の評価対象について

接続配管の評価では、拘束条件として、厳しくなる接続配管の第1拘束点までの距離及び配管口径の比が最も小さい箇所であり、接続配管に発生する反力及びモーメントが最大となる貫通部 X-31 を代表として選定している。原子炉格納容器には熱膨張に伴う変位が発生するが、貫通部に接続される配管は支持構造物により拘束されているため、貫通部には反力及びモーメントが発生する。以下に考え方を示す。

1. 配管貫通部の形式

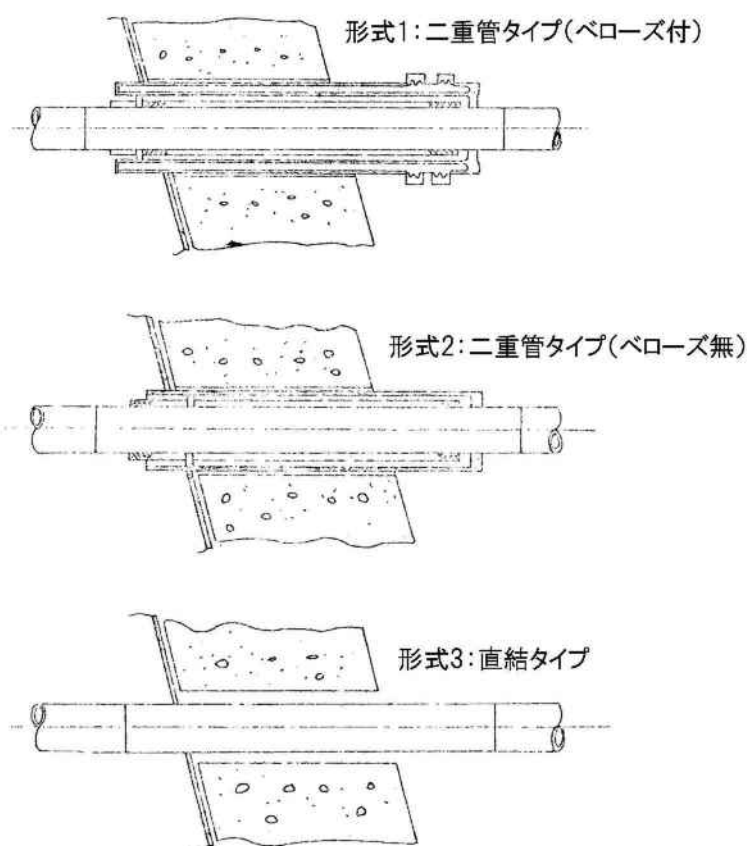
配管貫通部の構造は第 6.2-1(1)図に示すとおり、以下の3つに区分される。

形式1：二重管タイプ（ベローズ付）

形式2：二重管タイプ（ベローズ無）

形式3：直結タイプ

形式1のベローズ付タイプの貫通部は配管の相対変位をベローズで吸収する構造であるため、反力及びモーメントは貫通部に伝わらない構造である。一方、形式2及び形式3の貫通部は、変位による配管反力及びモーメントが貫通部に作用し、これにより接続配管と貫通部に応力が発生する。このことから、形式2（二重管タイプ（ベローズ無））及び形式3（直結タイプ）の貫通部より評価部位を選定する。

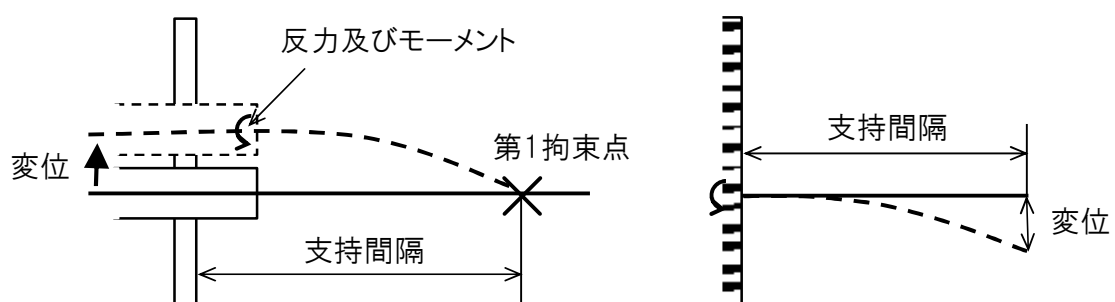


第 6.2-1(1)図 配管貫通部の構造図

2. 反力及びモーメントの算出

配管貫通部の変位により発生する反力及びモーメントを以下のようにモデル化して算出する。

配管貫通部に変位が発生すると、接続する配管の第 1 拘束点で変位が拘束されることにより、貫通部に反力及びモーメントが作用することとなる。これを、第 6.2-1(2)図のような梁モデルとして評価する。



第 6.2-1(2)図 配管貫通部の梁モデル

第 6.2-1(2)図において梁の自由端側に変位を与えた際に発生する反力及びモーメントは次式のとおりとなる。

$$\text{反力 } F = 3 \cdot E \cdot I \cdot \delta / L^3$$

$$\text{モーメント } M = F \cdot L$$

$$= 3 \cdot E \cdot I \cdot \delta / L^2$$

E : 縦弾性係数 I : 断面二次モーメント

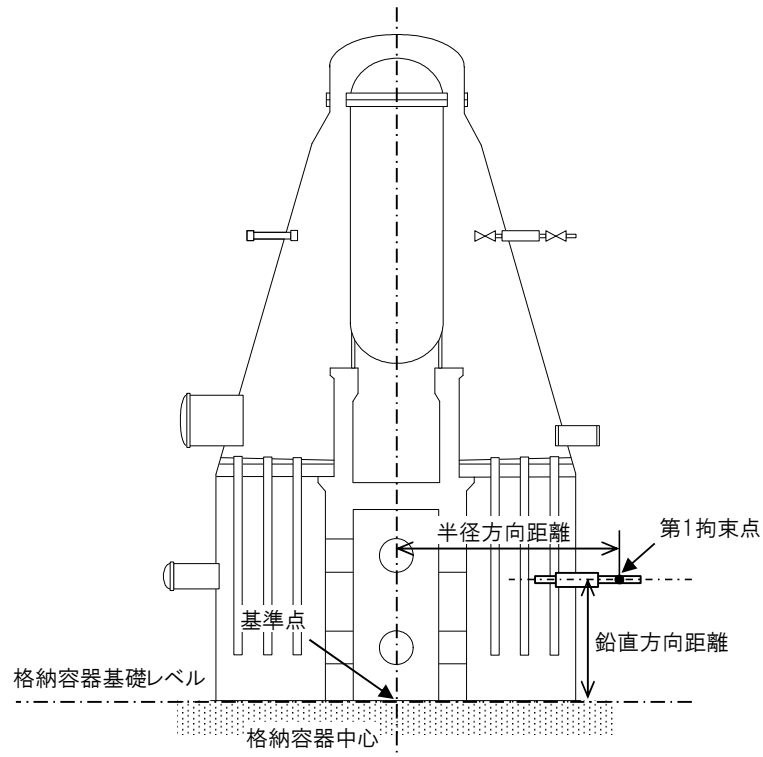
δ : 貫通部変位 L : 支持間隔

貫通部変位 δ は次式のとおりとなる。

$$\delta = \alpha \cdot \ell \cdot \Delta T$$

α : 熱膨張係数 ℓ : 基準点からの距離 ΔT : 基準温度との差

基準点からの距離は第 6.2-1(3)図に示すとおり、鉛直方向と半径方向の距離の二乗平方根によって求める。



第 6.2-1(3)図 基準点からの距離

3. 選定結果

配管貫通部に作用する反力及びモーメントが最大となる, 貫通部 X-31 を代表箇所として選定している。各配管貫通部の反力及びモーメントを算出した結果を第 6. 2-1(1) 表に示す。

第 6. 2-1(1) 表 主要な配管貫通部の反力及びモーメント

| 貫通部 番号 | 系統 | 基準点 からの 距離 (mm) | 接続配管仕様 | | | 支持間隔 (mm) | 計算値 | | |
|-----------|--------------|--------------------------|------------|------------|--------------------|--------------|-----------|--|------------|
| | | | 外径 (mm) | 厚さ (mm) | 縦弾性 係数 (MPa) | | 反力 (N) | モーメント ($\times 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$) | L/D (-) |
| X-3 | AC 系 D/W 排気 | 38,486.4 | 609.6 | 9.5 | 191,000 | 4,926.1 | | | |
| X-11A | RHR D/W スプレイ | 36,419.1 | 406.4 | 12.7 | 191,000 | 9,063.7 | | | |
| X-13 | SLC | 29,343.8 | 48.6 | 5.1 | 183,000 | 4,747.0 | | | |
| X-203 | FCS 入口 | 25,100.6 | 114.3 | 6.0 | 191,000 | 2,991.3 | | | |
| X-5 | RCW 入口 | 24,763.9 | 216.3 | 8.2 | 191,000 | 5,154.6 | | | |
| X-46 | RCW 戻り | 24,763.9 | 216.3 | 8.2 | 191,000 | 3,357.8 | | | |
| X-11B | RHR D/W スプレイ | 23,823.3 | 406.4 | 12.7 | 191,000 | 11,973.3 | | | |
| X-53 | AC 系 D/W 供給 | 23,481.3 | 508.0 | 9.5 | 191,000 | 7,714.7 | | | |
| X-76 | FCS 入口 | 23,481.3 | 114.3 | 6.0 | 191,000 | 7,382.8 | | | |
| X-25A | RHR S/C スプレイ | 20,144.4 | 114.3 | 6.0 | 191,000 | 4,483.0 | | | |
| X-25B | RHR S/C スプレイ | 20,144.4 | 114.3 | 6.0 | 191,000 | 3,574.8 | | | |
| X-79 | AC 系 S/C 排気 | 20,144.4 | 609.6 | 9.5 | 191,000 | 8,961.6 | | | |
| X-80 | AC 系 S/C 供給 | 20,144.4 | 609.6 | 9.5 | 191,000 | 10,042.1 | | | |
| X-52A | FCS 戻り | 19,073.7 | 165.2 | 7.1 | 191,000 | 7,408.8 | | | |
| X-52B | FCS 戻り | 19,073.7 | 165.2 | 7.1 | 191,000 | 7,960.3 | | | |
| X-47 | RHR テストライン | 16,536.1 | 406.4 | 9.5 | 191,000 | 9,200.0 | | | |
| X-48 | RHR テストライン | 16,536.1 | 406.4 | 9.5 | 191,000 | 5,674.5 | | | |
| X-49 | HPCS テストライン | 16,536.1 | 318.5 | 10.3 | 191,000 | 10,305.7 | | | |
| X-63 | LPCS テストライン | 16,536.1 | 318.5 | 10.3 | 191,000 | 16,506.5 | | | |
| X-31 | HPCS ポンプ入口 | 13,043.0 | 609.6 | 9.5 | 191,000 | 2,820.9 | | | |
| X-32 | RHR ポンプ入口 | 13,040.6 | 609.6 | 9.5 | 191,000 | 9,312.6 | | | |
| X-34 | LPCS ポンプ入口 | 13,040.6 | 609.6 | 9.5 | 191,000 | 5,560.0 | | | |
| X-35 | RHR ポンプ入口 | 13,040.6 | 609.6 | 9.5 | 191,000 | 9,727.6 | | | |
| X-36 | RHR ポンプ入口 | 13,040.6 | 609.6 | 9.5 | 191,000 | 8,780.0 | | | |

6.3 配管貫通部（スリーブ）

6.3.1 評価方針

スリーブは、原子炉格納容器本体胴を貫通する円筒形の部材で、原子炉格納容器本体胴に溶接固定されている。

スリーブの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、内圧を受けるスリーブには圧縮力が生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、スリーブの機能喪失要因は、高温状態で内圧による過度な塑性変形に伴う延性破壊が想定される。

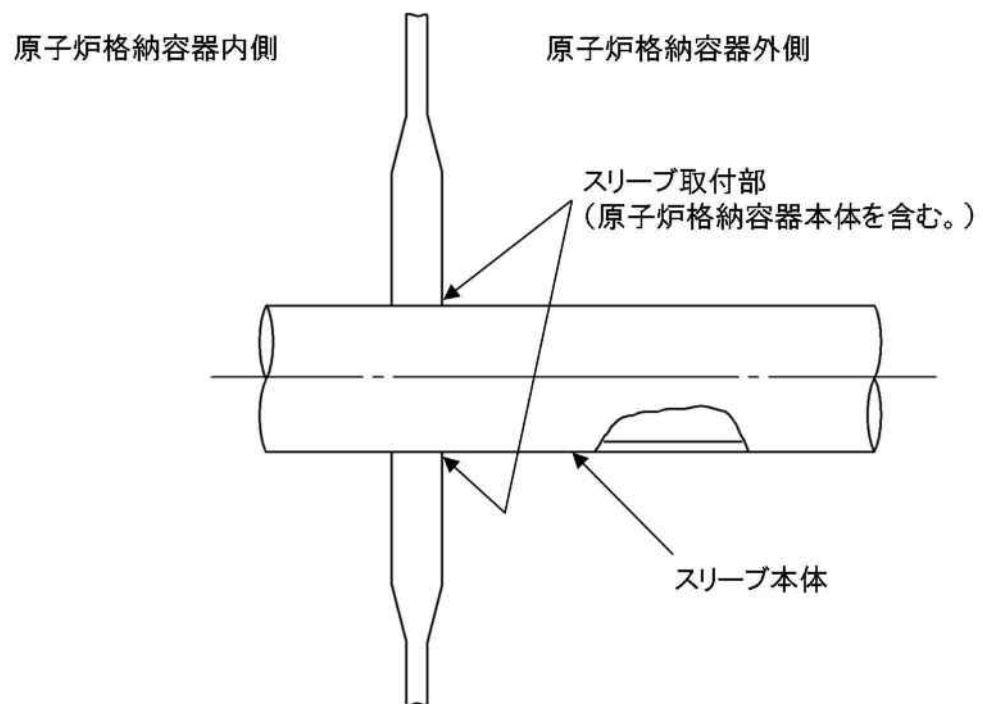
このため、200℃、2Pd でのスリーブの健全性確認について、第 6-5 表に示す評価方法により評価を実施する。

スリーブ本体の評価は、配管厚さと口径の比が最も小さくなる箇所が内圧による発生応力が大きくなるため、最大径の貫通部 X-18A～D を代表評価し、スリーブ取付部については、接続配管の反力及びモーメントが最大となる作用することから、6.2 配管貫通部（接続配管）と同様に貫通部 X-31 を代表として評価する。

スリーブの評価対象を第 6-3 図に示す。

第 6-5 表 評価対象と評価方法

| 評価対象 | | 機能喪失要因 | 評価方法 |
|------|-----------------------|--------|---------------------------------------|
| 構造部 | スリーブ本体 | 延性破壊 | 設計・建設規格の評価式を準用した評価 (X-18A～D で代表評価) |
| | スリーブ取付部 (スリーブ側、胴側) | 延性破壊 | 設計・建設規格の評価式を準用した評価 (X-31 で代表評価) |



第 6-3 図 スリーブの評価対象

6.3.2 評価

(1) スリーブ本体

貫通部 X-18A～D のスリーブ本体については、既工認と同様の評価手法である設計・建設規格に示される必要厚さの評価式を準用し、許容圧力を求め、 $2Pd$ を上回ることを確認する。

その際、部材に発生する応力強さの許容値は、今回の評価が設計基準を超えた限界温度、圧力の評価であることを踏まえ、設計引張強さ (S_u 値) に対する割下げ率を P_m (一次一般膜応力強さ) には 1.5 として評価を行う。

すなわち、部材に発生する応力 P_m が $2/3S_u$ 値以下であれば、延性破壊に至らず、構造は健全で機能要求 (放射性物質の閉じ込め機能) を確保できると考える。この許容値の考え方は、設計・建設規格において示される原子炉格納容器 (クラス MC 容器) の供用状態 D に対する許容値と同じ考え方である (設計・建設規格 解説 PVB-3111 参照)。

S_u 値を算出する際の温度は、限界温度として設定した 200°C を用いる。

a. 計算に使用する記号の定義

スリーブ本体の許容圧力の計算に使用する記号の定義について、以下に示す。

| 記号 | 単位 | 説明 |
|--------|-----|---|
| P | MPa | 圧力 |
| S | MPa | 許容引張応力 (200°C における $2/3S_u$ 値を使用) |
| η | — | 継手効率 |
| t | mm | 板厚 |
| D_o | mm | スリーブの外径 |

b. 許容圧力の計算方法

スリーブ本体の許容圧力は、設計・建設規格の評価式を用いて計算する。

$$t = \frac{PD_o}{2S\eta + 0.8P} \quad [\text{設計・建設規格 PVE-3611}]$$

設計・建設規格の評価式を圧力について解くと

$$P = \frac{2S\eta t}{D_o - 0.8t}$$

上式を用いて、スリーブ本体の許容圧力を計算する。

c. 許容圧力の計算結果

スリーブ本体の許容圧力の計算結果を以下に示す。

スリーブ：ASME SA516 Gr.70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式：PVE-3611 を準用

$$P = 2S\eta t / (D_o - 0.8t)$$

| | | |
|---------------------------|---------------------------------------|--------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 281 |
| η | 継手効率 (—) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | |
| D _o | 管台の外径 (mm) | |
| P | 200℃における許容圧力 [MPa] | 26.617 |
| 26.617MPa > 0.62MPa (2Pd) | | |

(2) スリーブ取付部

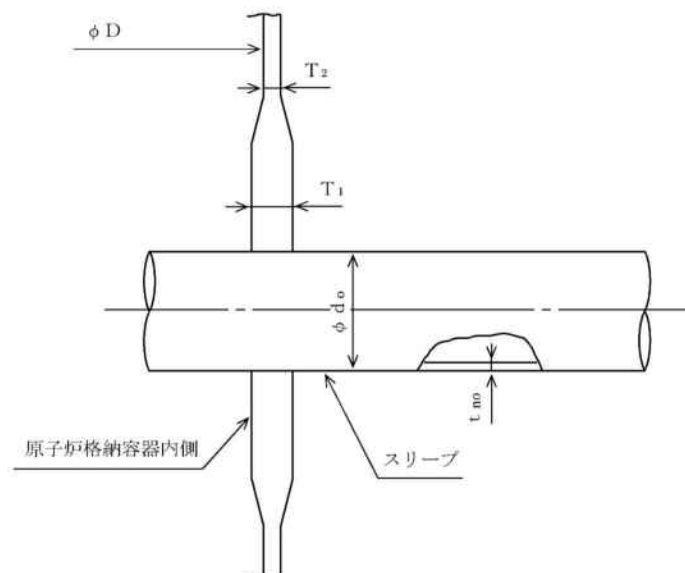
貫通部 X-31 の貫通配管解析の結果で得られた配管反力に基づき、原子炉格納容器本体も含めたスリーブ取付部について、既工認と同様の評価手法で自重、圧力及び原子炉格納容器変位に伴う荷重を考慮した発生応力を算出し、許容値を満足することを確認する。

発生応力は、死荷重及び内圧による一次応力、熱膨張に伴う配管反力により発生する二次応力として分類されることから、設計・建設規格に示される一次応力、一次＋二次応力の評価方法及び評価基準値に従う。

許容値は、設計・建設規格において示される原子炉格納容器（クラス MC 容器）の供用状態 A，B に対する許容値と同じ 3S（S 値：200℃における値）とする。

a. 貫通部の形状及び主要寸法

貫通部の形状及び主要寸法を第 6-4 図及び第 6-6 表に示す。



第 6-4 図 貫通部の形状 (X-31)

第 6－6 表 貫通部の主要寸法（X-31）

単位：mm

| 貫通部番号 | T_1 | T_2 | d_O | t_{no} | D |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| X-31 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

b. 記号の説明

貫通部の応力計算に用いる記号について以下に説明する。

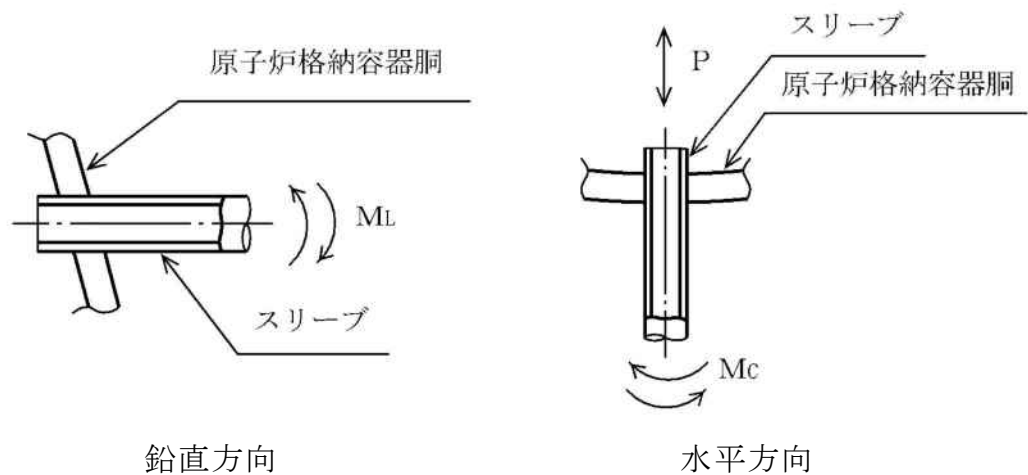
| 記号 | 単位 | 説明 |
|---------------|----------------------------|-------------|
| A | mm^2 | 断面積 |
| d_O | mm | 直径 |
| M_C | $\text{N} \cdot \text{mm}$ | 水平方向モーメント |
| M_L | $\text{N} \cdot \text{mm}$ | 鉛直方向モーメント |
| P | MPa | 内圧，軸方向荷重 |
| P_b | MPa | 一次曲げ応力 |
| P_L | MPa | 一次局部応力 |
| Q | MPa | 二次応力 |
| D | mm | 原子炉格納容器の内径 |
| S | MPa | 許容引張応力 |
| T | mm | 原子炉格納容器胴の厚さ |
| t_{no} | mm | スリーブの厚さ |
| Z | mm^3 | 断面係数 |
| ν | — | ポアソン比 |
| σ_ℓ | MPa | 軸方向応力 |
| σ_t | MPa | 円周方向応力 |
| τ | MPa | せん断応力 |

c. 評価条件

配管解析から得られた取合い部の反力に基づき設定した評価荷重を第6-7表に、作用方向を第6-5図に示す。また、材料及び許容応力を第6-8表に示す。

第6-7表 評価荷重

| 貫通部番号 | 荷重の種類 | 軸力 (N) | モーメント (N・mm) | |
|-------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | P | M _C | M _L |
| X-31 | 死荷重 | 6.570×10^1 | 7.207×10^6 | 3.484×10^7 |
| | 熱荷重 | 3.205×10^4 | 2.591×10^7 | 5.271×10^7 |



第6-5図 貫通部の形状 (X-31)

第6-8表 材料の許容応力

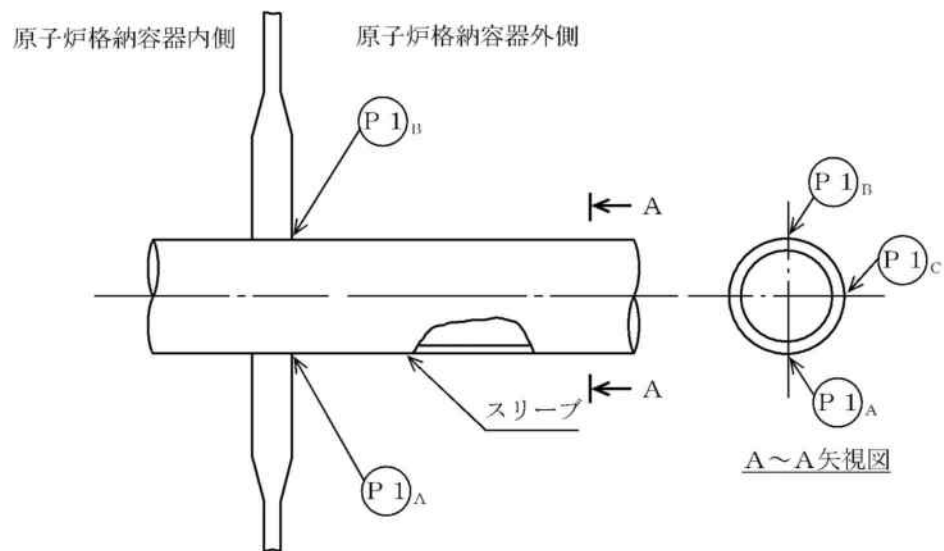
| 部位 | 材料 | 一次応力 | 一次＋二次応力 |
|----------|-----------------------------|--------------|-----------------|
| | | $P_L + P_b$ | $P_L + P_b + Q$ |
| 原子炉格納容器胴 | SA516 Gr. 70 (SGV480 相当) | 422MPa (=Su) | 393MPa (=3S) |

d. 応力評価点

応力評価点を第 6-9 表及び第 6-6 図に示す。

第 6-9 表 応力評価点

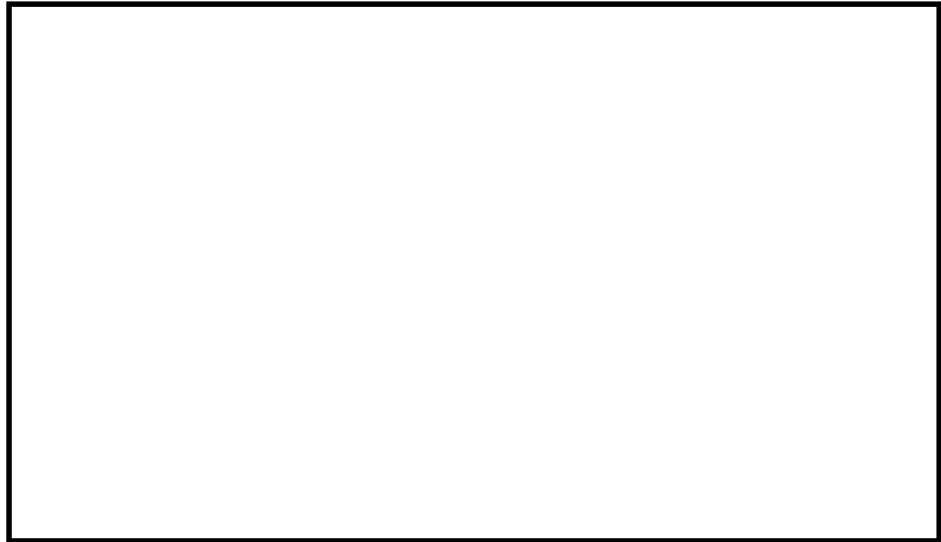
| 応力評価点番号 | 貫通部番号 | 応力評価点 |
|------------------|-------|-----------------------|
| P1-A, P1-B, P1-C | X-31 | 原子炉格納容器胴とスリーブの取付部（胴側） |



第 6-6 図 貫通部の応力評価点

e. 応力評価点 P1 の計算

原子炉格納容器胴に作用する限界圧力（内圧）及び死荷重による応力は、既工認で計算した応力を用い、評価荷重比の割り増しを考慮して算出する。また、貫通部に作用する荷重（配管反力）により貫通部近傍に発生する応力は、第 6-7 図に示す F E Mモデルを用いて計算する。



第 6－7 図 貫通部の計算モデル

f. 応力評価

貫通部 X-31 の 200℃，2Pd における各応力評価点の発生応力は，一次応力，一次＋二次応力の許容値を下回る。

組合せ荷重による応力評価結果を第 6－10(1)表, 第 6－10(2)表に示す。

第 6－10(1)表 材料の許容応力（一次応力）

| 貫通部 番号 | 荷重の 組合せ | 応力分布 | 応力評価点 | 発生応力 | 許容応力 |
|-----------|------------|------|-------|--------|--------|
| X-31 | 死荷重＋ 内圧 | 一次応力 | P1-A | 242MPa | 422MPa |
| | | | P1-B | 250MPa | |
| | | | P1-C | 245MPa | |

第 6-10(2)表 材料の許容応力（一次＋二次応力）

| 貫通部 番号 | 荷重の 組合せ | 応力分布 | 応力評価点 | 発生応力 | 許容応力 |
|-----------|--------------|-------------|-------|--------|--------|
| X-31 | 死荷重＋ 内圧＋熱 | 一次＋二次 応力 | P1-A | 124MPa | 393MPa |
| | | | P1-B | 188MPa | |
| | | | P1-C | 135MPa | |

6.3.3 評価結果

スリーブについては、200℃，2Pd 環境下でも，放射性物質の閉じ込め機能を維持できる。

6.4 配管貫通部（平板類）

6.4.1 評価方針

平板類のうち，平板，穴あき平板，フランジ，ボルト締め平板及びフルードヘッドは，スリーブまたはセーフエンドに溶接固定されている。また，フランジ部は，ボルトにより固定されており，フランジ間のシール部にはシリコンゴムのガスケットを使用している。

平板類の設計時に考慮される機能喪失要因は，脆性破壊，疲労破壊及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃，2Pd の条件を考慮した場合，脆性破壊が生じる温度域でないこと，繰り返し荷重が作用しないことから，脆性破壊及び疲労破壊は評価対象外と考えることができる。

したがって，平板類の機能喪失要因は，高温状態で内圧を受け，過度な塑性変形に伴う延性破壊が想定される。

また，シール部については，高温状態で内圧を受け，フランジ部が変形することによる開口及びシール材の高温劣化によるシール機能の低下が想定される。さらに，シール部の開口が進むとボルトに引張応力が作用し，ボルト破損に至ることが想定される。

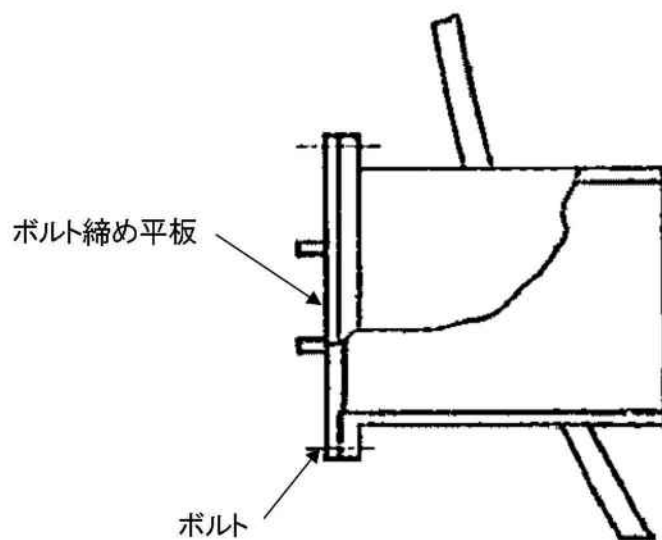
このため，200℃，2Pd での平板類の健全性確認について，第 6-11 表に示す評価方法により評価を実施する。シール部については，改良 EPDM 製シール材による評価を実施する。

平板類は，配管厚さと口径の比が最も小さくなる箇所が内圧による発生応力が大きくなるため，最大径の貫通部 X-28 を代表評価する。

平板類（X-28）の評価対象を第 6-8 図に示す。

第 6－11 表 評価対象と評価方法

| 評価対象 | | 機能喪失要因 | 評価方法 |
|------|------------|-----------|--|
| 構造部 | ボルト締め平板 | 延性破壊 | 設計・建設規格の評価式を準用した評価 (X-28 で代表評価) |
| | フランジ | 延性破壊 | J I S B 8265 を用いた評価 (X-28 で代表評価) |
| | ボルト | 延性破壊 | J I S B 8265 を用いた評価 (X-28 で代表評価) |
| シール部 | フランジ，ガスケット | 開口，シール材劣化 | 一般式を用いた評価 試験結果等を用いた評価 (X-28 で代表評価) |



第 6－8 図 平板類（X-28）の評価対象

6.4.2 評価

(1) 構造部（ボルト締め平板）

貫通部 X-28 のボルト締め平板について、既工認と同様の評価手法である設計・建設規格に示される必要厚さの評価式を用いて許容圧力を求め、 $2Pd$ を上回ることを確認する。

その際、部材に発生する応力強さの許容値は、今回の評価が設計基準を超えた限界温度、圧力の評価であることを踏まえ、設計引張強さ (S_u 値) に対する割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5 として評価を行う。すなわち、部材に発生する応力 P_m が $2/3S_u$ 値以下であれば、延性破壊に至らず、構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考える。この許容値の考え方は、設計・建設規格において示される原子炉格納容器（クラス MC 容器）の供用状態 D に対する許容値と同じ考え方である（設計・建設規格 解説 PVB-3111 参照）。

S_u 値を算出する際の温度は、限界温度として設定した 200°C を用いる。

a. 計算に使用する記号の定義

ボルト締め平板の許容圧力の計算に使用する記号の定義について、以下に示す。

| 記号 | 単位 | 説明 |
|----|-----|---|
| P | MPa | 許容圧力 |
| S | MPa | 許容引張応力 (200°C における $2/3S_u$ 値を使用) |
| K | — | 平板の取付方法による係数 |
| t | mm | 板厚 |
| d | mm | 平板の径または最少内のり |

b. 許容圧力の計算方法

ボルト締め平板の許容圧力は、設計・建設規格の評価式を用いて計算する。

$$t = d \sqrt{\frac{KP}{S}} \quad [\text{設計・建設規格 PVE-3410}]$$

設計・建設規格の評価式を圧力について解くと

$$P = \frac{S}{K} \left(\frac{t}{d} \right)^2$$

上式を用いて、アダプタの許容圧力を計算する。

c. 計算結果

以下の示すとおり、ボルト締め平板の許容圧力は 2Pd 以上である。

ボルト締め平板：ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式：PVE-3410 を準用

$$P = S / K \times (t / d)^2$$

| | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 281 |
| K | 係数 | 0.47 |
| t | 呼び厚さ (mm) | |
| d | 平板の径 (mm) | |
| P | 200℃における許容圧力 | 1.90 |
| 1.90MPa[gage] > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | |

(2) 構造部（フランジ，ボルト）

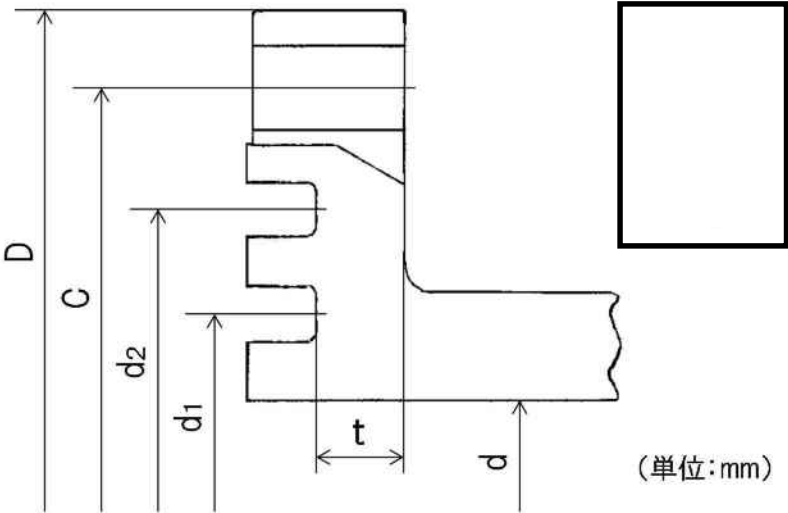
貫通部 X-28 のフランジ部について，J I S B 8265「压力容器の構造—一般事項」を用いて，2Pd におけるフランジの発生応力が許容応力を下回ること及びボルトの必要総有効断面積が，ボルトの総有効断面積を下回ることを確認する。

その際，部材に発生する応力強さの許容値は，今回の評価が設計基準を超えた限界温度，圧力の評価であることを踏まえ，設計引張強さ（Su 値）に対する割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5 として評価を行う。すなわち，部材に発生する応力 P_m が $2/3Su$ 値以下であれば，延性破壊に至らず，構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考える。この許容値の考え方は，設計・建設規格において示される原子炉格納容器（クラス MC 容器）の供用状態 D に対する許容値と同じ考え方である（設計・建設規格 解説 PVB-3111 参照）。

Su 値を算出する際の温度は，限界温度として設定した 200℃を用いる。

a. フランジ部の仕様及び評価条件

貫通部 X-28 のフランジ概要図を第 6－9 図、フランジ部の仕様及び評価条件を第 6－12 表に示す。



第 6－9 図 フランジ概要図（貫通部 X-28）

第 6－12 表 評価条件（貫通部 X-28）

| 項目 | 仕様及び値 |
|--------------|---|
| 評価圧力 | 0.62MPa[gage] |
| 評価温度 | 200℃ |
| フランジ材質 | SGV480 相当 |
| フランジ内径 | <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 100px;"></div> |
| フランジ板厚（最小厚さ） | |
| ボルト呼び径 | |
| ボルト本数 | |

ボルトの評価結果を第 6-13 表，フランジの評価結果を第 6-14 表に示す。

第 6-13 表 ボルト評価結果（貫通部 X-28）

単位：mm²

| 荷重 | 必要総有効断面積 A_m | 総有効断面積 A_b |
|-----|---------------------|---------------------|
| 2Pd | 1.212×10^3 | 6.765×10^3 |

第 6-14 表 フランジ応力評価結果（貫通部 X-28）

単位：MPa

| 応力 | 記号 | X-28 | |
|-------------|---------------------------------|------|------|
| | | 発生応力 | 許容応力 |
| ハブの軸方向応力 | σ_H | 90 | 422 |
| フランジの半径方向応力 | σ_R | 158 | 281 |
| フランジの周方向応力 | σ_T | 31 | 281 |
| 組合せ応力 | $\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2}$ | 124 | 281 |
| 組合せ応力 | $\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2}$ | 61 | 281 |

(3) シール部

a. 規格等を用いた評価（ボルト締め平板）

貫通部 X-28 のフランジ部について、文献の理論式を用いて 2Pd における開口量を求め、許容開口量を下回ることを確認する。

シール材については、改良 E P D M 製シール材を使用することとする。

許容開口量の設定に使用する改良 E P D M 製シール材の圧縮永久ひずみ試験結果を第 6-15 表に示す。

第 6-15 表 圧縮永久ひずみ試験^{※1}結果（改良 E P D M 製）

| | |
|--------------------|------------------------------------|
| 試験温度 | 200℃ |
| 構造部放射線照射量 | <input type="text"/> |
| 試験雰囲気 | 蒸気 |
| 試験時間 | 168 時間 |
| ひずみ率 ^{※2} | <input type="text"/> ^{※3} |

※1 JIS K 6262 に従い実施

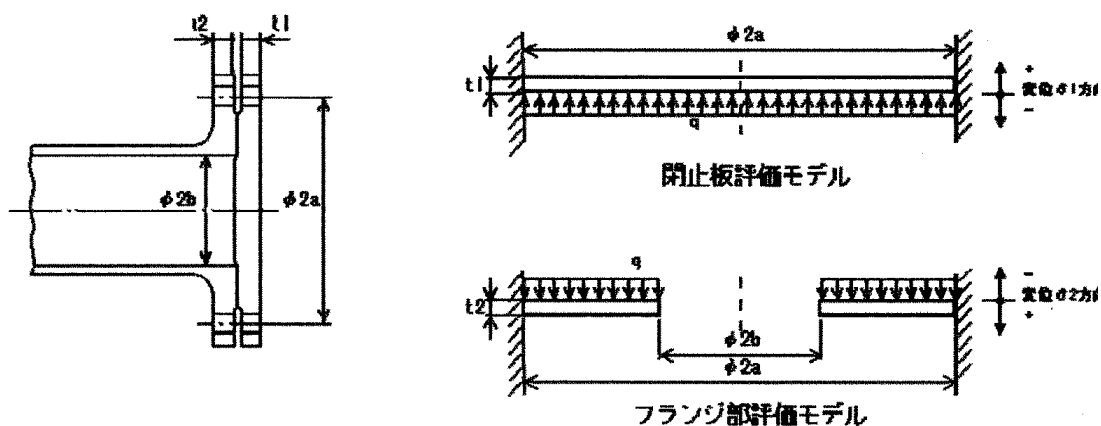
※2 試料を圧縮し完全に回復した状態が 0%，全く回復しない状態が 100%

※3 の平均値

許容開口量はトップヘッドフランジの考え方と同様、168 時間のひずみ率と貫通部 X-28 のフランジ部の定格締付量を踏まえ
(= 定格締付量× (100% -) / 100%) とする。

第 6-10 図に示すモデルを用いた開口量の評価結果を第 6-16 表に示す。

2Pd における開口量はであり、許容開口量を下回る。



第 6－10 図 評価モデル

第 6－16 表 フランジ部開口量評価結果（貫通部 X-28）

| 記号 | 内 容 | X-28 |
|-----------------------|--|-------------------------|
| a | ボルト ピッチ円半径 | <input type="text"/> mm |
| b | 内半径 | <input type="text"/> mm |
| D_1 | $= \frac{Et_1^3}{12(1-\nu^2)} \quad *1$ | <input type="text"/> |
| D_2 | $= \frac{Et_2^3}{12(1-\nu^2)} \quad *1$ | <input type="text"/> |
| E | 縦弾性係数 | 191000 MPa |
| K_{yb} | b/a から 定まる係数 $*1$ | -6.330×10^{-4} |
| q | 評価圧力 | 0.620 MPa |
| t_1 | 閉止板板厚 | <input type="text"/> mm |
| t_2 | フランジ部板厚 | <input type="text"/> mm |
| ν | ポアソン比 | 0.3 |
| δ_1 | $= \frac{qa^4}{64D_1} \quad *1 *2$ | <input type="text"/> mm |
| δ_2 | $= \frac{-K_{yb} \cdot qa^4}{D_2} \quad *1 *2$ | <input type="text"/> mm |
| $\delta_1 + \delta_2$ | 変位量合計 | <input type="text"/> mm |

*1：出典「ROARK'S FORMULAS FOR STRESS AND STRAIN EIGHTH EDITION」

*2：保守的に、はりの最大変位量をシール部の変位量とみなす

6.4.3 評価結果

平板類については、200℃、2Pd 環境下でも、放射性物質の閉じ込め機能を維持できる。

6.5 配管貫通部（セーフエンド）

6.5.1 評価方針

セーフエンドは、伸縮継手付貫通部に用いられる短管で、スリーブ及び伸縮継手等に溶接固定されている。

セーフエンドの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、圧縮力がセーフエンドに生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、セーフエンドの機能喪失要因は、高温状態で内圧を受け、過度な塑性変形に伴う延性破壊が想定される。

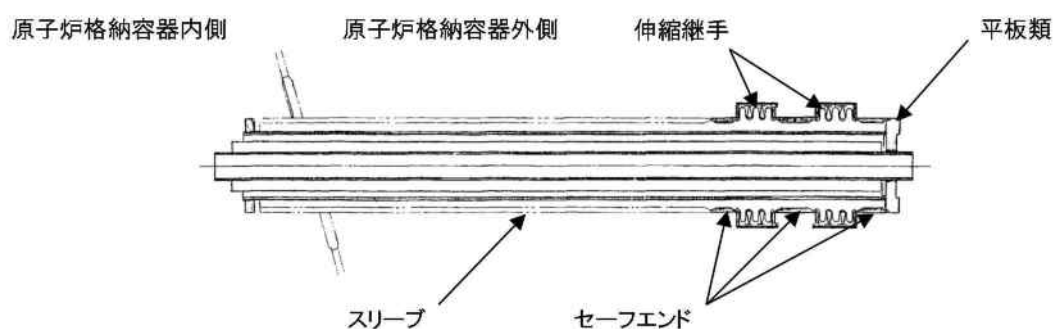
このため、200℃、2Pd でのセーフエンドの健全性確認について、第 6－17 表に示す評価方法により評価を実施する。

セーフエンドは、配管厚さと口径の比が最も小さくなる箇所が内圧による発生応力が大きくなるため、最大径の貫通部 X-18A～D を代表評価する。

セーフエンドの評価対象を第 6－11 図に示す。

第 6－17 表 評価対象と評価方法

| 評価対象 | 機能喪失要因 | 規格方法 |
|-----------------|--------|-----------------------------|
| 構造部 (セーフエンド) | 延性破壊 | 規格を用いた評価 (X-18A～D で代表評価) |



第 6-11 図 セーフエンドの評価対象

6.5.2 評価

(1) 構造部

a. 規格を用いた評価

貫通部 X-18A～D のセーフエンドについて、既工認と同様の評価手法である設計・建設規格に示される必要厚さの評価式を準用し、許容圧力を求め、 $2Pd$ を上回ることを確認する。

その際、部材に発生する応力強さの許容値は、今回の評価が設計基準を超えた限界圧力・限界温度の評価であることを踏まえ、設計引張強さ (S_u 値) に対する割下げ率を P_m (一次一般膜応力強さ) には 1.5 として評価を行う。すなわち、部材に発生する応力 P_m が $2/3S_u$ 値以下であれば、延性破壊に至らず、構造は健全で機能要求 (放射性物質の閉じ込め機能) を確保できると考える。この許容値の考え方は、設計・建設規格において示される原子炉格納容器 (クラス MC 容器) の供用状態 D に対する許容値と同じ考え方である (設計・建設規格 解説 PVB-3111 参照)。

S_u 値を算出する際の温度は、限界温度として設定した 200°C を用いる。

評価結果を以下に示す。

貫通部 X-18A～D のセーフエンドは，2Pd を上回る。

セーフエンド：ASME SA516 Gr.70（SGV480 相当）

許容圧力算定式：PVE-3230(2)a 項を準用

$$P = 2S_{\eta}t / (D_i + 1.2t)$$

| | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 281 |
| η | 継手効率 (－) | 1.0 |
| t | 呼び厚さ (mm) | <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> |
| D_i | 胴内径 (mm) | |
| P | 200℃における許容圧力 | 4.529 |
| 4.529[gage]MPa > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | |

6.5.3 評価結果

セーフエンドについては，200℃，2Pd 環境下でも，放射性物質の閉じ込め機能を維持できる。

6.6 配管貫通部（伸縮継手）

6.6.1 評価方針

伸縮継手は、配管貫通部に用いられる伸縮継手で、セーフエンドに溶接固定されている。

伸縮継手の設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊及び疲労破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないことから、脆性破壊は評価対象外と考えることができる。

したがって、伸縮継手の機能喪失要因は、通常運転時に累積される低サイクル疲労に加えて重大事故時に累積される低サイクル疲労による疲労破壊が想定される。

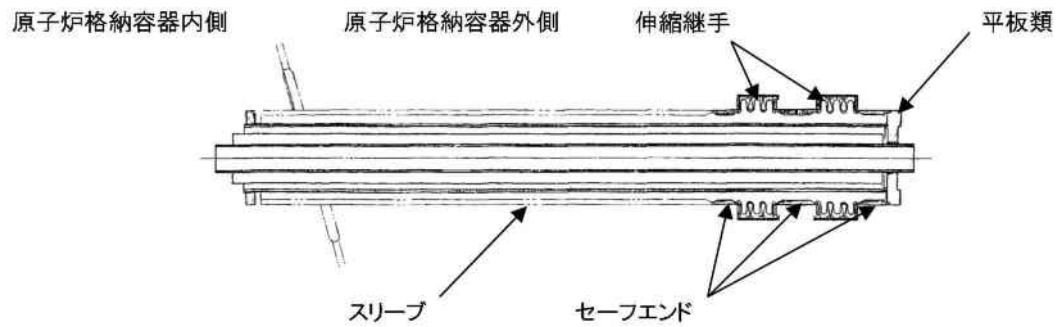
このため、200℃、2Pd での伸縮継手の健全性確認について、第 6－18 表に示す評価方法により評価を実施する。

なお、評価結果については、伸縮継手の通常状態、設計状態の疲労累積係数と重大事故等時の疲労累積係数の和が最も大きい配管貫通部 X-14 を代表とする。

伸縮継手の評価対象を第 6－12 図に示す。

第 6－18 表 評価対象と評価方法

| 評価対象 | 機能喪失要因 | 規格方法 |
|---------------|--------|--------------------------------|
| 構造部 (伸縮継手) | 疲労破壊 | 設計・建設規格に準拠した評価 (X-14 で代表評価) |



第 6－12 図 伸縮継手の評価対象

6.6.2 評価

(1) 構造部

a. 規格を用いた評価

貫通部 X-14 の伸縮継手について，設計・建設規格に示される伸縮継手の疲労評価の式を用いて算出し，疲労累積係数が 1 以下であることを確認する。重大事故時の繰り返し回数は 1 回とする。また，重大事故時の伸縮継手の全伸縮量は，簡易的に設計状態 (171℃，1 Pd) の 2 倍とする。縦弾性係数 (E) を算出する際の温度は，限界温度として設定した 200℃ を用いる。

評価結果を以下に示す。

疲労累積係数は 1 以下である。

伸縮継手：SUS304

疲労評価算定式：PVE-3810 に準拠

$$N_{s\ i} = (11031 / \sigma)^{3.5}$$

$$\sigma = 1.5 E t \delta / (n \sqrt{(b h^3)}) + P h / t c$$

| | | |
|---|------------------------|----------|
| E | 200℃における縦弾性係数 (MPa) | 183, 000 |
| t | ベローズの板厚 (mm) | |
| δ | 全伸縮量 (mm) | |
| n | ベローズの波数の 2 倍の値 | |
| b | ベローズの波のピッチの 1 / 2 (mm) | |
| h | ベローズの波の高さ (mm) | |
| P | 限界圧力 (MPa) | 0. 62 |
| c | ベローズの層数 | |
| σ | ベローズに生じる応力 (MPa) | |
| N _{S 3} | 許容繰返し回数 (回) | |
| N ₃ | 設計繰返し回数 (回) | 1 |
| Σ N _i / N _{S i} (i=1~3) | 疲労累積係数 | |

6.6.3 評価結果

伸縮継手については、200℃、2Pd 環境下でも、放射性物質の閉じ込め機能を維持できる。

7. 電気配線貫通部

7.1 概要

電気配線貫通部の 200℃, 2Pd 環境下における健全性を確認する。

電気配線貫通部は、高圧用と低圧用の構造上 2 種類に大別される。高圧用電気配線貫通部の構造図を第 7-1 図, 低圧用電気配線貫通部の構造図を第 7-2 図に示す。

高圧用電気配線貫通部は、モジュールがヘッダに溶接されており、モジュール内に封入された E P ゴム, スリーブ及びアダプタにより気密性を維持する構造となっている。

低圧用電気配線貫通部は、ヘッダとモジュール固定部の O リング (E P ゴム), モジュール内に封入されたエポキシ樹脂, スリーブ及びアダプタにより気密性を維持する構造となっている。

上記を踏まえ、以下の構成で健全性を確認する。

7.2 項では、電気配線貫通部 (アダプタ) の構造健全性を確認する。

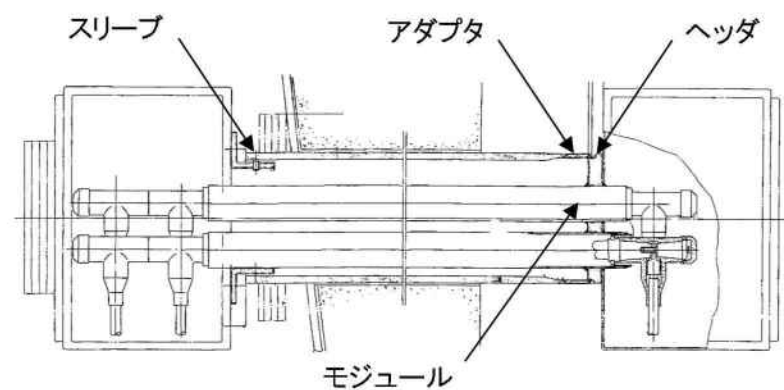
7.3 項では、電気配線貫通部 (ヘッダ) の構造健全性を確認する。

7.4 項では、電気配線貫通部 (モジュール) のシール部の機能維持を確認する。

なお、スリーブについては、配管貫通部 (スリーブ) の評価において評価している。

原子炉格納容器内側

原子炉格納容器外側



一次シール材(EPゴム)

二次シール材(EPゴム)

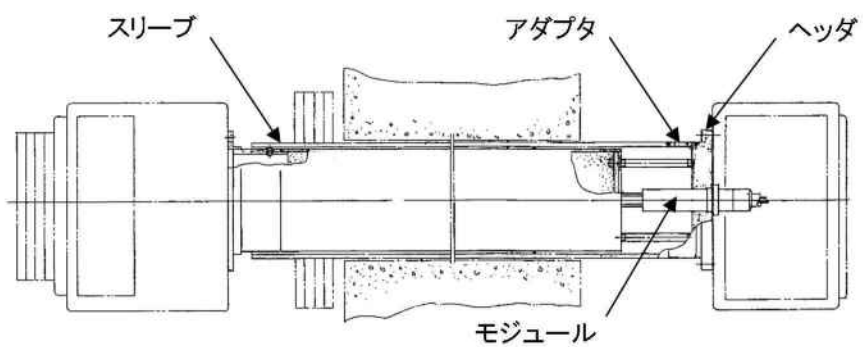
モジュール

ケーブル

第 7-1 図 高圧用電気配線貫通部構造図

原子炉格納容器内側

原子炉格納容器外側



一次シール材(エポキシ樹脂)

Oリング(EPゴム)

二次シール材(エポキシ樹脂)

モジュール

ケーブル

第 7-2 図 低圧用電気配線貫通部構造図

7.2 電気配線貫通部（アダプタ）

7.2.1 評価方針

アダプタの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、過度の圧縮力がアダプタに生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、アダプタの機能喪失要因は、高温状態での内圧による過度な塑性変形に伴う延性破壊が想定される。

このため、200℃、2Pd でのアダプタの健全性評価について、第 7－1 表に示す評価方法により評価を実施する。

なお、電気配線貫通部は複数設置されているが、構造上は高圧用と低圧用の 2 種類であることから、それぞれについて評価を実施する。

第 7－1 表 評価対象と評価方法

| 評価対象 | 機能喪失要因 | 評価方法 |
|------|--------|--------------------|
| 構造部 | 延性破壊 | 設計・建設規格の評価式を準用した評価 |

7.2.2 評価

アダプタについて、設計・建設規格に示される必要厚さの評価式を準用し、許容圧力を求め、2Pd を上回ることを確認する。

その際、部材に発生する応力強さの許容値は、今回の評価が設計基準を超えた限界温度、圧力の評価であることを踏まえ、設計引張強さ（Su 値）に対する割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5 として評価を行う。すなわち、部材に発生する応力 P_m が $2/3S_u$ 値以下であれば、

延性破壊に至らず、構造は健全で機能要求(放射性物質の閉じ込め機能)を確保できると考える。この許容値の考え方は、設計・建設規格において示される原子炉格納容器（クラスMC容器）の供用状態Dに対する許容値と同じ考え方である（設計・建設規格 解説 PVB-3111 参照）。

Su 値を算出する際の温度は、限界温度として設定した 200℃を用いる。

(1) 計算に使用する記号の定義

アダプタの許容圧力の計算に使用する記号の定義について、以下に示す。

| 記号 | 単位 | 説明 |
|--------|-----|------------------------------------|
| P | MPa | 圧力 |
| S | MPa | 許容引張応力 (200℃における $2/3S_u$ 値を使用) |
| η | — | 継手効率 |
| t | mm | 板厚 |
| D_o | mm | アダプタの外径 |

(2) 許容圧力の計算方法

アダプタの許容圧力は、設計・建設規格の評価式を用いて計算する。

$$t = \frac{PD_o}{2S\eta + 0.8P} \quad [\text{設計・建設規格 解説 PVE-3611}]$$

設計・建設規格の評価式を圧力について解くと

$$P = \frac{2S\eta t}{D_o - 0.8t}$$

上式を用いて、アダプタの許容圧力を計算する。

7.2.3 評価結果

以下に示すとおり，アダプタの 200℃における許容圧力は 2Pd 以上である。これより，200℃，2Pd の環境下で放射性物質の閉じ込め機能が確保されることを確認した。

アダプタ：ASME SA105（SF440A 相当）

許容圧力計算式：PVE-3611 を準用

$$P = 2S \eta t / (D_o - 0.8t)$$

| 項 目 | | 低圧用 | 高圧用 |
|--|---------------------------------------|--------|--------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 267 | 267 |
| η | 継手効率 (－) | 1.0 | 1.0 |
| t | 板厚 (mm) | | |
| D _o | アダプタ外径 (mm) | | |
| P | 200℃における許容圧力 (MPa) | 10.645 | 10.619 |
| 低圧用：10.645[gage]MPa > 0.62MPa[gage] (2Pd) 高圧用：10.619[gage]MPa > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | | |

7.3 電気配線貫通部（ヘッダ）

7.3.1 評価方針

ヘッダの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、過度の圧縮力がヘッダに生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、ヘッダの機能喪失要因は、高温状態で内圧を受け、過度な塑性変形による延性破壊が想定される。

このため、200℃、2Pd でのヘッダの健全性評価について、第 7-2 表に示す評価方法により評価を実施する。

なお、電気配線貫通部は複数設置されているが、構造上は高圧用と低圧用の 2 種類であることから、それぞれについて評価を実施する。

第 7-2 表 評価対象と評価方法

| 評価対象 | 機能喪失要因 | 評価方法 |
|------|--------|--------------------|
| 構造部 | 延性破壊 | 設計・建設規格の評価式を準用した評価 |

7.3.2 評価

ヘッダについて、設計・建設規格に示される必要厚さの評価式を準用し、許容圧力を求め、2Pd を上回ることを確認する。

その際、部材に発生する応力強さの許容値は、今回の評価が設計基準を超えた限界温度、圧力の評価であることを踏まえ、設計引張強さ（Su 値）に対する割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5 として評価を行う。すなわち、部材に発生する応力 P_m が $2/3S_u$ 値以下であれば、

延性破壊に至らず、構造は健全で機能要求(放射性物質の閉じ込め機能)を確保できると考える。この許容値の考え方は、設計・建設規格において示される原子炉格納容器(クラスMC容器)の供用状態Dに対する許容値と同じ考え方である。(設計・建設規格 解説 PVB-3111 参照)

Su 値を算出する際の温度は、限界温度として設定した 200℃を用いる。

(1) 計算に使用する記号の定義

ヘッダの許容圧力の計算に使用する記号の定義について、以下に示す。

| 記号 | 単位 | 説明 |
|----|-----|---------------------------------|
| P | MPa | 圧力 |
| S | MPa | 許容引張応力 (200℃における 2/3Su 値を使用) |
| K | — | 平板の取付方法による係数 |
| t | mm | 板厚 |
| d | mm | 平板の径または最少内のり |

(2) 許容圧力の計算方法

ヘッダの許容圧力は、設計・建設規格の評価式を用いて計算する。

$$t = d \sqrt{\frac{KP}{S}} \quad [\text{設計・建設規格 解説 PVE-3410}]$$

設計・建設規格の評価式を圧力について解くと

$$P = \frac{S}{K} \left(\frac{t}{d} \right)^2$$

上式を用いて、ヘッダの許容圧力を計算する。

(3) 穴の補強計算

東海第二発電所に設置されている電気配線貫通部のヘッダにはモジュール取付用の貫通穴があるため、既工認の強度計算と同様に穴の補強を評価する。

ここで、

A_0 : 補強に有効な面積

A_r : 補強に必要な面積

d_p : パイプの最大内径

t_{0r} : ヘッダの計算上必要な厚さ

t_{pp} : パイプの最小厚さ

t_0 : ヘッダの厚さ

Y : 補強に有効な範囲

ℓ_1 : 点検溝の幅

ℓ_2 : 点検溝の深さ

F : 係数



図 穴部の形状及び寸法（単位：mm）（既工事計画書より）

7.3.3 評価結果

以下に示すとおり，ヘッダの 200℃における許容圧力は 2Pd 以上である。これより，200℃，2Pd の環境下で放射性物質の閉じ込め機能が確保されることを確認した。

ヘッダ：ASME SA182 Gr.F304 (SUSF304 相当)

許容圧力計算式：PVE-3410 を準用

$$P = S / K \times (t / d)^2$$

| 項 目 | | 低圧用 | 高圧用 |
|---|---------------------------------------|--------|-------|
| S | 許容引張応力 (MPa) (200℃における 2/3Su 値を使用) | 251 | 251 |
| K | 平板の取付方法による係数 | 0.33 | 0.33 |
| t | 公称板厚 (mm) | | |
| d | 平板の径または最小内のり (mm) | | |
| P | 200℃における許容圧力 (MPa) | 27.948 | 10.69 |
| 低圧用：27.948MPa[gage] > 0.62MPa[gage] (2Pd) 高圧用：10.69MPa[gage] > 0.62MPa[gage] (2Pd) | | | |

ヘッダの計算上必要な厚さ t_{0r} は，設計・建設規格 PVE-3410 より

$$t_{0r} = d \sqrt{\frac{KP}{S}}$$

$$= 14.49 \text{ mm}$$

K：0.5 (既工認より)

P：0.62 MPa (=2Pd)

S：251 MPa (200℃における 2/3Su)

補強に必要な面積 A_r

$$A_r = d_p \cdot t_{0r} \cdot F = \boxed{} \times 14.49 \times 1.0 = \boxed{} \text{ mm}^2$$

補強に有効な面積 A_0

$$\begin{aligned} A_0 &= (2Y - d_p - 2t_{pp}) (t_0 - t_{0r}) - 2\ell_1 \cdot \ell_2 \\ &= (2 \times \boxed{} - \boxed{} - 2 \times \boxed{}) \times (\boxed{} - 14.49) - 2 \times \boxed{} \times \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{よって } A_0 > A_r/2 = \boxed{} \text{ mm}^2$$

であり，穴の補強は十分である。

7.4 電気配線貫通部（モジュール）

7.4.1 評価方針

モジュールのシール材には，高圧用モジュールにはE P ゴム，低圧用モジュールには，エポキシ樹脂及びE P ゴムを使用しているため，高温劣化によるシール機能の低下が想定される。

なお，モジュールの接合部は，原子炉格納容器貫通部付け根から十分距離を確保し，原子炉格納容器胴側の変形影響が減衰する位置に設けていることから，200℃，2Pd による格納容器胴側の不均一な変形に伴う影響は及ばない。

このため，200℃，2Pd でのモジュールの健全性確認について，第 7－3 表に示す評価方法により評価を実施する。

第 7－3 表 評価対象と評価方法

| 評価対象 | 機能喪失要因 | 評価方法 |
|-----------------|--------|-------------|
| シール部 (モジュール) | シール材劣化 | 試験結果等を用いた評価 |

7.4.2 評価

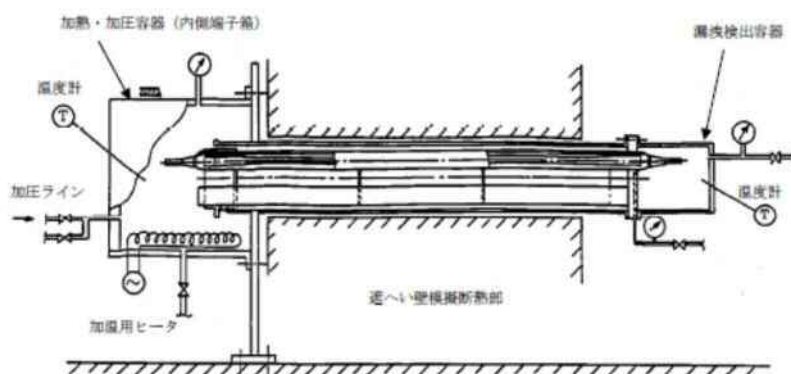
(1) 電気ペネ共研の試験結果を用いた評価

電気ペネ共研において、LOCA 時の圧力、温度条件を超える条件下での、電気配線貫通部の知見を得るため、東海第二発電所を含む国内 BWR 電力実機の電気配線貫通部の構造を反映した試験体を用い、電気配線貫通部モジュールの気密性能について検証を行っている。第 7-3 図に電気ペネ共研の試験概要図を、第 7-4 表、第 7-4 図及び第 7-5 図に試験結果を示す。

試験結果より、高圧用モジュールの E P ゴムシール部は $194^{\circ}\text{C}/62$ 時間、低圧用モジュールの樹脂シール部は $137^{\circ}\text{C}/62$ 時間の熱劣化に対して、漏えいがないことが確認できている。

なお、本試験においては、放射線による照射が行われていないが、電気ペネトレーションの二次シール部は格納容器本体から離れた位置に取り付けられ、スリーブ周囲は遮へい壁で覆われていることから、温度と同様に格納容器内の積算線量に比べ小さいものとする。

したがって、実機においてもシール部の耐性に対し有意な影響を及ぼさない範囲と考えられるため、シール部の劣化要因としては温度が主要なパラメータであるとする。

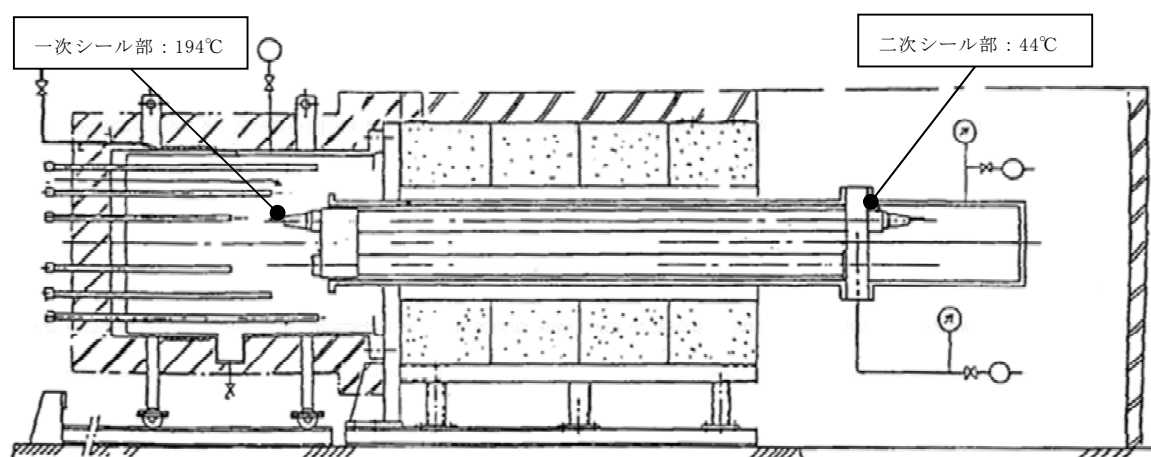


第 7-3 図 電気ペネ共研の試験概要図

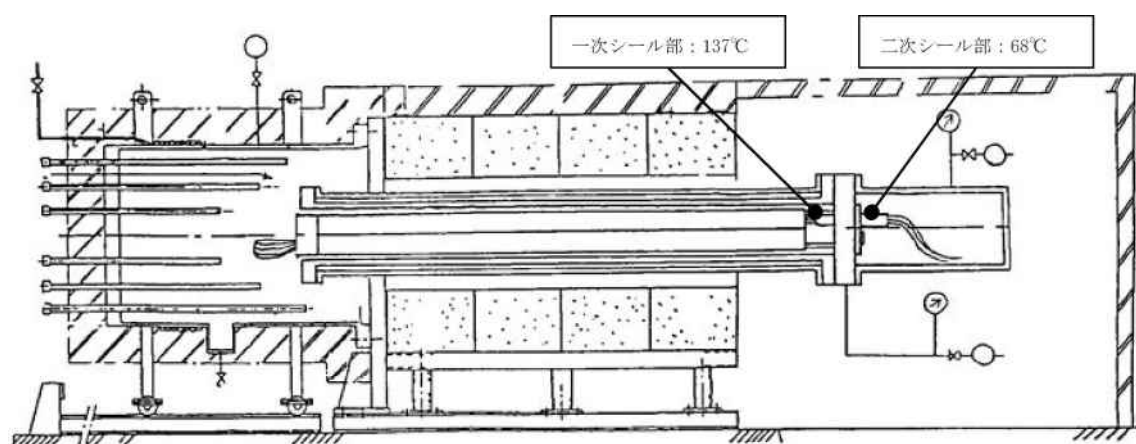
第7-4表 電気ペネ共研の試験結果

| 種類 | 試験条件 | | | | | シール部温度(℃)／漏えい有無 | |
|----|------|-----------|--------------|-------|-------|-----------------|----------|
| | 雰囲気 | 温度(℃) | 圧力(MPa) | 放射線照射 | 時間(h) | 一次シール | 二次シール |
| 高压 | 乾熱 | 200(220)※ | (0.61~0.79)※ | なし | 62 | 194/漏えいなし | 44/漏えいなし |
| 低压 | 乾熱 | 200(220)※ | (0.60~0.81)※ | なし | 62 | 137/漏えいなし | 68/漏えいなし |

※：() 内は記録グラフからの読み取り値



第7-4図 高压用モジュール試験体 温度分布図



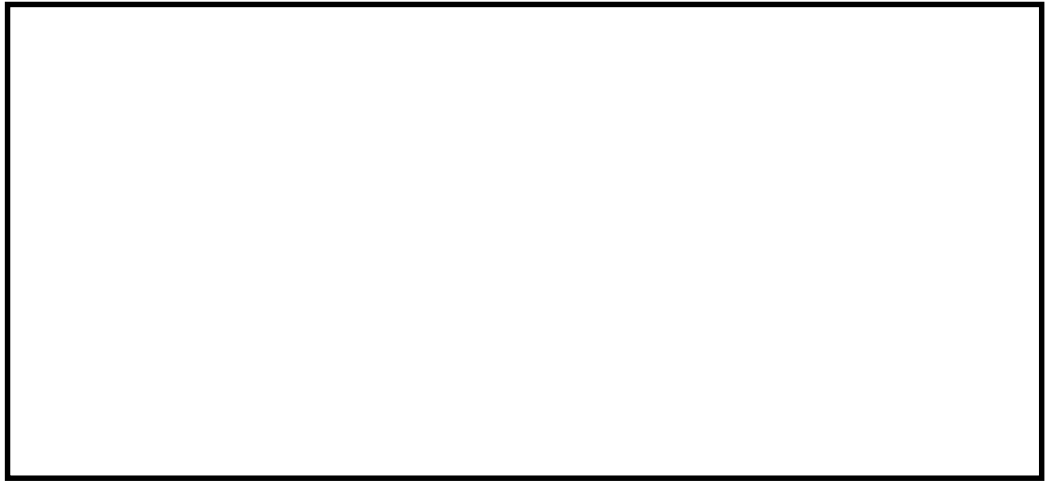
第7-5図 低压用モジュール試験体 温度分布図

(2) 過去の環境試験結果を用いた評価

過去の電気配線貫通部の環境試験では、電気配線貫通部（高圧用）及び電気配線貫通部（低圧用）を対象として、冷却材喪失事故模擬試験が実施されており、健全性が確認されている。第 7-6 図及び第 7-7 図に試験装置の概要図、第 7-8 図に冷却材喪失事故模擬試験における二次シール部の温度測定結果を示す。

第 7-6 図及び第 7-7 図に示すとおり、試験においては電気ペネモジュールとカバーのみの構成であり、実機に比べ簡略的な構造である。そのため、実機に比べカバー外側からの入熱量が多く、結果として二次シール部の温度が実機に比べ高くなる傾向にあるものと考えられる。一方、電気ペネ共研における試験は電気ペネトレーションの接続箱内を加熱する構造であり、モジュール部への伝熱の観点からはより実機に即した構造であると言える。

したがって、格納容器内環境が 200℃となった場合の実際の温度は電気ペネ共研の温度（高圧用 44℃，低圧用 68℃）で得られた結果が実機に則したものがあると考えていること及び本試験において原子炉格納容器内を模擬した電気ペネ共研の試験（二次シール部において高圧用 44℃，低圧用 68℃）よりも厳しい温度条件下で、13 日間のシール機能の健全性が確認された結果から、格納容器が 200℃の状況において格納容器閉じ込め機能が確保できると考える。



第 7－6 図 冷却材喪失事故模擬試験の試験装置概要図（高圧用）



第 7－7 図 冷却材喪失事故模擬試験の試験装置概要図（低圧用）



第7－8図 冷却材喪失事故模擬試験温度測定結果

なお，第 7－8 図で示した試験については，経年劣化を踏まえた冷却材喪失事故模擬試験であり，劣化を考慮して第 7－5 表に示す試験を実施している。

第7－5表 劣化を考慮した試験方法

| No | 試験項目 | 試験方法 |
|----|------------|--|
| 1 | サーマルサイクル試験 | ペネトレーションを冷熱装置内に設置し，60 サイクルのサーマルサイクルを放射線照射試験の前後2 回実施。1サイクルは [] を [] 時間で変化させている。 |
| 2 | 放射線照射試験 | ペネトレーションが40 年間の運転期間及び冷却材喪失事故時に受ける放射線を考慮し照射線量 [] として試験を実施。 |
| 3 | 熱劣化試験 | 加熱促進により，40 年間に相当する加速熱劣化として [] を加える。 |

これらのことから，原子炉格納容器に使用されているシール材は，運転中の環境を考慮しても事故時に耐漏えい性能を確保されるものと考えられる。

(3) N U P E C の試験結果を用いた評価

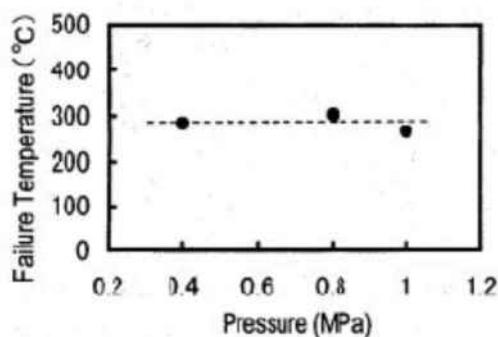
N U P E C 試験において、実機を模擬したモジュール試験体を使用して、高温時におけるシール部の漏えい確認試験が行われている。第 7-6 表に試験結果、第 7-7 図に漏えい発生温度の圧力依存性を示す。

漏えい発生温度は、圧力が 0.4MPa～1.0MPa の範囲においては、圧力に依存せず、ほぼ一定となることが報告されている。

また、放射線照射の影響については、エポキシ樹脂に 800kGy の放射線照射を行った場合においても、放射線照射を行わなかった場合に比べ、シート部からの漏えい発生温度が著しく低くなることはなかった。

第 7-6 表 漏えい発生条件確認試験結果

| 種類 | 雰囲気 | 圧力 (MPa) | 放射線照射量 (kGy) | 漏えい発生温度 (°C) |
|-----|-----|----------|--------------|---------------|
| 高圧用 | 蒸気 | 0.8 | 800 | 400°C まで漏えいなし |
| 低圧用 | 蒸気 | 0.4 | 800 | 284 |
| | 蒸気 | 0.8 | 800 | 284～303 |
| | 蒸気 | 0.8 | なし | 285 |
| | 蒸気 | 1.0 | なし | 266 |



第 7-7 図 低圧モジュールの漏えい発生温度の圧力依存

7.4.3 評価結果

モジュールについては、200℃、2Pd 環境下でも、放射性物質の閉じ込め機能を維持できる。

8. 原子炉格納容器隔離弁

8.1 概要

原子炉格納容器隔離弁の 200℃, 2Pd 環境下における健全性を確認する弁の耐圧部は、弁箱、弁蓋、弁体等で構成しており、弁体、グランド部及び弁蓋部等には、シール材を使用している。原子炉格納容器隔離弁のうち、不活性ガス系バタフライ弁及び T I P ボール弁には、ゴム系又は樹脂系のシール材を使用しており、高温劣化による機能低下が想定される。

また、弁の耐圧部については、機能喪失要因として、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び変形が考えられるが、200℃, 2Pd の環境下では、脆性破壊が生じる温度域ではないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、圧縮力が弁本体に生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、原子炉格納容器隔離弁のうち、不活性ガス系バタフライ弁及び T I P ボール弁の耐圧部の機能喪失要因は、高温状態で内圧を受けることによる過度な変形（一次応力）が想定されるため、以下の構成で健全性を確認する。

8.2 項では、不活性ガス系バタフライ弁の機能維持を確認する。

8.3 項では、T I P ボール弁の機能維持を確認する。

上記以外の隔離弁については、以下の理由により 200℃, 2Pd の環境下で健全性を有している。

- ・弁箱は各配管ラインの設計圧力に応じて適切なものが選定されており（耐圧性能が最小のものでも、1.03MPa[gage]）、耐圧上問題となることはない。
- ・弁グランド部及び弁蓋部のシールには、黒鉛製のパッキン、ガスケット

トを有しており，耐熱性上問題となることはない。

- ・弁シート部は金属製又は黒鉛製である。

8.2 原子炉格納容器隔離弁（不活性ガス系バタフライ弁）

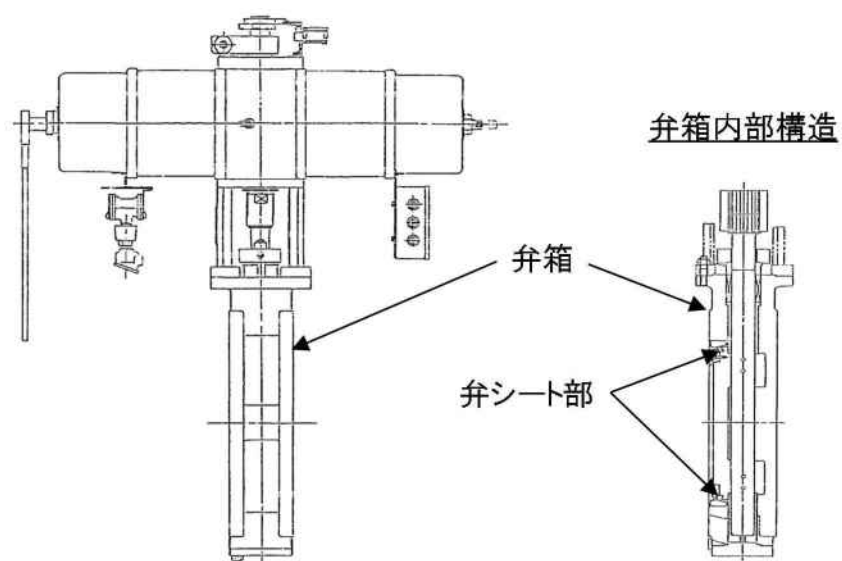
8.2.1 評価方針

不活性ガス系バタフライ弁は、弁シート部にE P ゴムを使用しているため、シール材の高温劣化によるシール機能の低下が考えられる。また、弁耐圧部は、高温状態で内圧を受けることによる延性破壊が想定される。このため、200℃、2Pd での不活性ガス系バタフライ弁の健全性について、第8－1 表に示す評価方法により確認する。なお、弁シート部のシール材については、改良E P D M製シール材による評価を実施する。

不活性ガス系バタフライ弁の評価対象を第8－1 図に示す。

第8－1 表 評価対象と評価方法

| 評価対象 | 機能喪失要因 | 評価方法 |
|---------|--------|---------------------------|
| 弁シート部 | シール材劣化 | 試験結果等を用いた評価 |
| 耐圧部（弁箱） | 延性破壊 | 設計・建設規格（弁の圧力温度基準）の準用による評価 |



第8－1 図 不活性ガス系バタフライ弁評価対象

8.2.2 評価

(1) 隔離機能

隔離機能は、弁シート材の耐環境性が支配的であるため、200℃、2Pd の環境下での弁シート部への影響を 600A のバタフライ弁供試体による蒸気加熱漏えい試験により確認する。試験条件を第 8－2 表に示す。

第 8－2 表 蒸気加熱漏えい試験条件

| | |
|--------|--|
| 試験圧力 | 0.853MPa |
| 試験温度 | 200℃ |
| 試験時間 | 168Hr |
| 積算放射線量 | <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px;"></div> |

(2) 弁耐圧部の構造健全性

設計・建設規格 別表 1－1 に示す弁の許容圧力が、200℃、2Pd の環境条件を上回ることを確認する。

8.2.3 評価結果

(1) 隔離機能

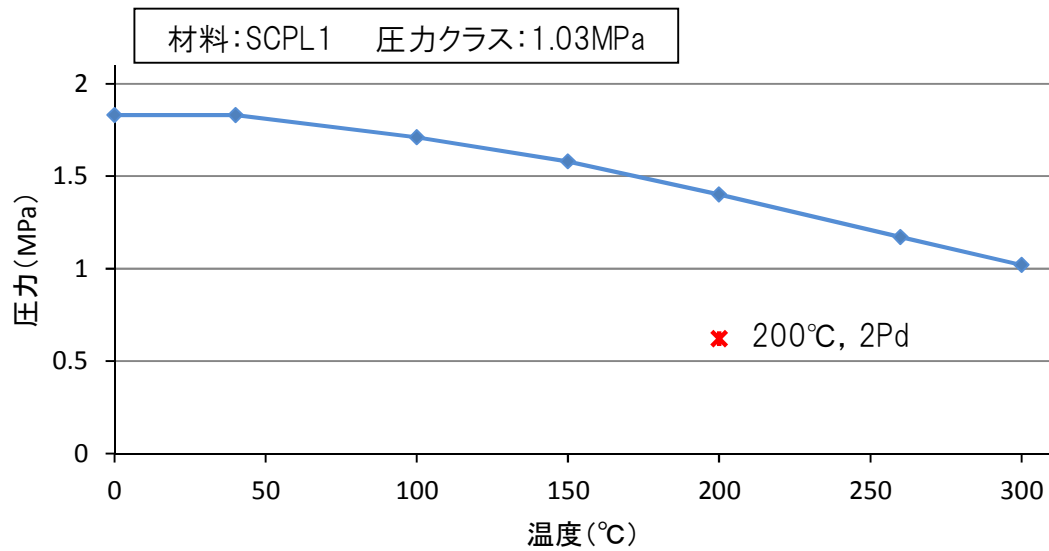
蒸気加熱漏えい試験を実施した結果、200℃、2Pd 環境下において、弁シート部からの漏えいはなく、弁シート部の隔離機能が維持することを確認した。

(2) 弁耐圧部の構造健全性

当該弁の圧力クラスは 1.03MPa (150LB) であり、弁耐圧部の 200℃における許容圧力 1.40MPa[gage]は、2Pd (0.62MPa[gage]) を上回る。これにより、弁耐圧部については、200℃、2Pd 環境下において健全性が維

持されることを確認した。

圧力クラス 1.03MPa の弁の温度－許容圧力を第 8－2 図に示す。



第 8－2 図 不活性ガス系バタフライ弁の温度－許容圧力

以上のことから，不活性ガス系バタフライ弁について，200℃，2Pd の環境下での健全性を有すると考える。

8.3 原子炉格納容器隔離弁（T I P ボール弁）

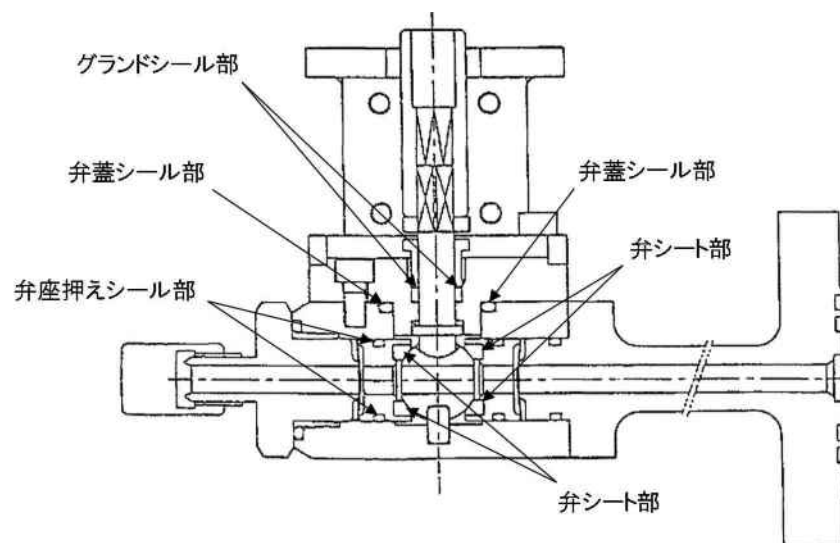
8.3.1 評価方針

T I P ボール弁は、弁シート部、グランドシール部にふっ素樹脂、弁蓋シール部にはふっ素ゴムを使用しているため、シール材の高温劣化によるシール機能の低下が考えられる。また、弁耐圧部は、高温状態で内圧を受けることによる延性破壊が想定される。このため、200℃、2PdでのT I P ボール弁の健全性について、第8-3表に示す評価方法により確認する。なお、弁シート部、グランドシール部及び弁蓋シール部のシール材については、改良E P D M製シール材による評価を実施する。

T I P ボール弁の評価対象を第8-3図に示す。

第8-3表 評価対象と評価方法

| 評価対象 | 機能喪失要因 | 評価方法 |
|---------|--------|---------------------------|
| シール材 | シール材劣化 | 試験結果等を用いた評価 |
| 耐圧部（弁箱） | 延性破壊 | 設計・建設規格（弁の圧力温度基準）の準用による評価 |



第8-3図 T I P ボール弁評価対象

8.3.2 評価

(1) 隔離機能

隔離機能は、シール材の耐環境性が支配的であるため、200℃、2Pd 環境下における圧縮永久ひずみ試験及び不活性バタフライ弁の蒸気加熱漏えい試験の結果から、シール材の環境耐性を確認する。

(2) 弁耐圧部の構造健全性

設計・建設規格 別表 1-1 に示す弁の許容圧力が、200℃、2Pd の環境条件を上回ることを確認する。

8.3.3 評価結果

(1) 隔離機能

ボール弁の構造上、圧力負荷により隔離機能を有するシート部が離れる方向に変形することは考えにくいため、要求される環境下においてシール材に適用する材質の劣化が無い限り、シール性に影響を及ぼすことはない。したがって、隔離機能の評価は、シール材の環境耐性があることをもって評価する。

弁シート部、グランドシール部及び弁蓋シール部に使用する改良 EPDM 製シール材については、第 8-4 表に示す圧縮永久ひずみ試験結果から、200℃、2Pd 環境下における環境耐性を有している。また、不活性ガス系バタフライ弁の蒸気加熱漏えい試験の結果において、同材質の弁シートからの漏えいが無いことを確認している。

第 8-4 表 圧縮永久ひずみ試験※¹結果（改良 E P D M 製）

| | |
|--------------------|----------------|
| 試験温度 | 200℃ |
| 構造部放射線照射量 | |
| 試験雰囲気 | 蒸気 |
| 試験時間 | 168 時間 |
| ひずみ率※ ² | ※ ³ |

※¹ JIS K 6262 に従い実施

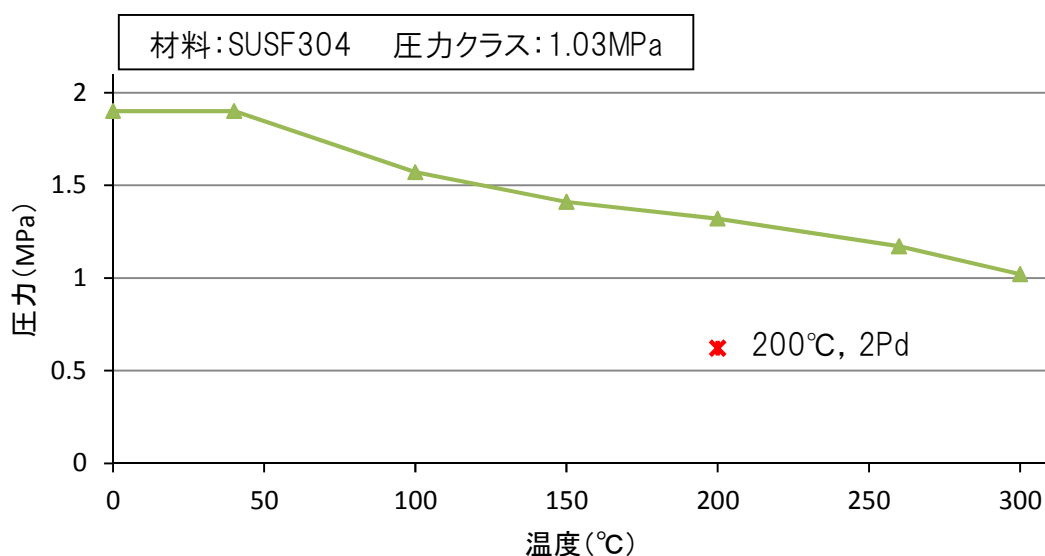
※² 試料を圧縮し完全に回復した状態が 0%, 全く回復しない状態が 100%

※³ の平均値

(2) 弁耐圧部の構造健全性

当該弁の圧力クラスは 1.03MPa（150LB）であり、弁耐圧部の 200℃における許容圧力 1.32MPa[gage]は 2Pd（0.62MPa[gage]）を上回る。これにより、弁耐圧部については、200℃、2Pd 環境下において健全性が維持されることを確認した。

圧力クラス 1.03MPa の弁の温度－許容圧力を第 8-4 図に示す。

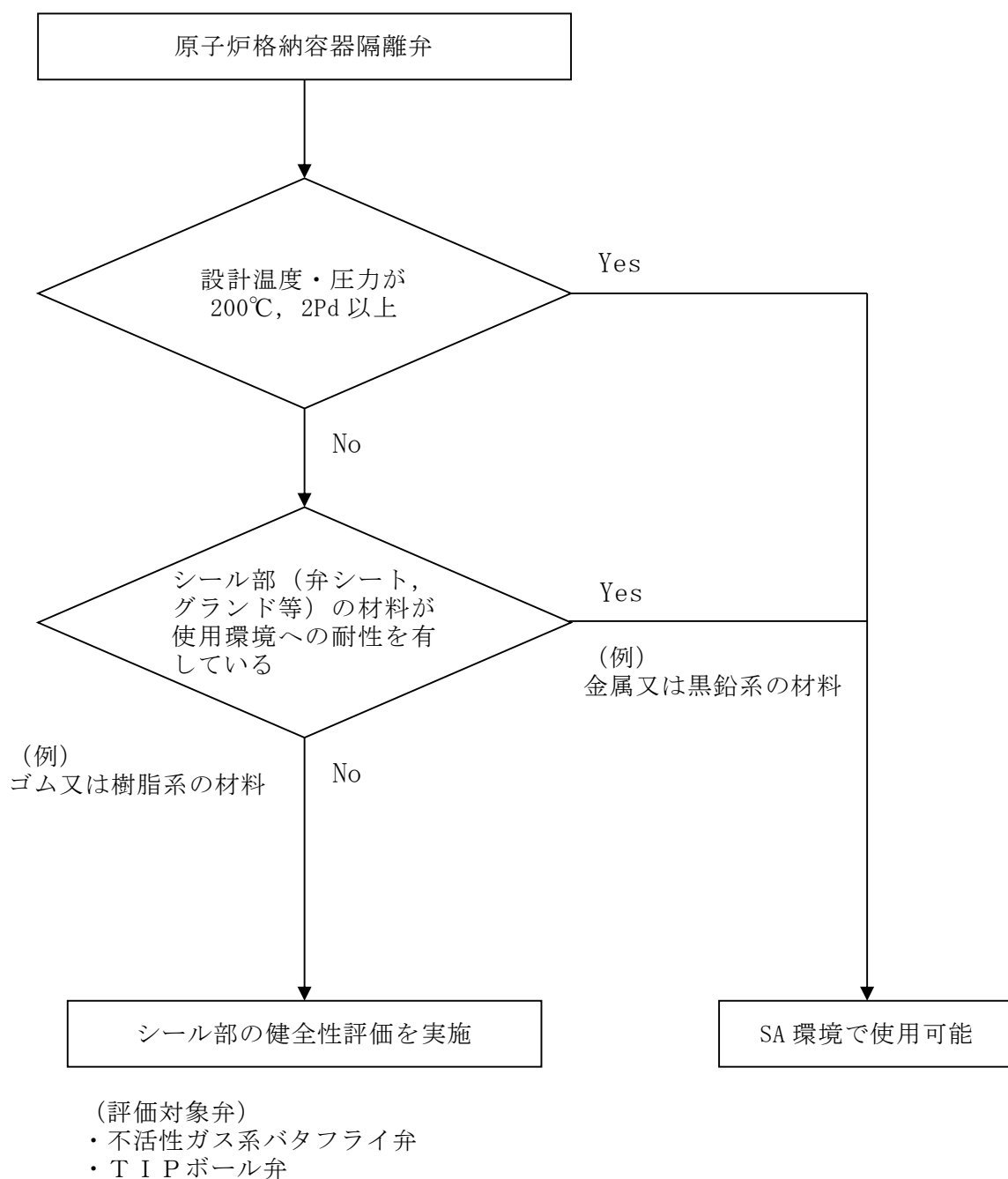


第 8-4 図 T I P ボール弁の温度－許容圧力

以上のことから，T I P ボール弁について，200℃，2Pd の環境下での健全性を有すると考える。

原子炉格納容器隔離弁の抽出について

原子炉格納容器隔離弁について、原子炉格納容器限界温度、圧力(200℃, 2Pd)での健全性を確認するため、第 8-1(1) 図のフローに従い対象弁を抽出した。



第 8-1(1) 図 原子炉格納容器隔離弁の評価対象抽出フロー

シール機能維持に対する考え方について

原子炉格納容器のハッチ類，配管貫通部，電気配線貫通部及び原子炉格納容器隔離弁のシール部のシール機能は，ガスケット等の試験結果及び材料特性により判定基準を定め，200℃，2Pd の環境下においてシール機能が維持できることを確認している。シール機能維持の考え方を第 1 表に示す。

第 1 表 シール機能維持の考え方

| 対象箇所 | 判定基準 | シール機能維持の考え方 |
|--|----------|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・トップヘッドフランジ ・機器搬入用ハッチ ・サプレッション・チェンバアクセスハッチ ・所員用エアロック（扉板シール部） ・配管貫通部（平板類） | 許容開口量以下 | <p>開口量評価で得られた開口量※¹が，ガスケットの試験結果※²に基づき設定した許容開口量（シール機能が維持できる開口量）以下であることを確認することにより，シール機能が維持できることを確認</p> <p>※1 フランジ部の形状・寸法に基づき解析等により算出</p> <p>※2 圧縮永久ひずみ試験結果及び実機フランジ模擬試験による漏えい試験結果</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> ・電気配線貫通部（モジュール） ・原子炉格納容器隔離弁（バタフライ弁） | 設計漏えい量以下 | 試験における漏えい量が設計漏えい量以下であることを確認することにより，シール機能が維持できることを確認 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・所員用エアロック（扉板以外シール部） ・原子炉格納容器隔離弁（T I P ボール弁） | 200 ℃ 以上 | 圧力により開口が生じる部位ではないため，試験結果及び材料仕様によりシール材の高温環境下における耐性を確認することにより，シール機能が維持できることを確認 |

また、ハッチ類、電気配線貫通部（モジュール）及び原子炉格納容器隔離弁（バタフライ弁）については、シール材の漏えい試験結果に基づき設定した判定基準を基にシール機能の維持を確認している。このことから、各漏えい試験において判定基準として設定した漏えい量より、判定基準を満たした場合に実機において想定される漏えい量を推定したところ、格納容器全体の設計漏えい率に比べても十分小さい値であり、シール機能は維持されると判断している。漏えい量の推定結果を第2表に示す。

第2表 判定基準を満たした場合に想定される漏えい量の推定結果（1/2）

| 対象箇所 | 判定基準 | 判定基準を満たした場合に想定される漏えい量 |
|--|---------|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・トップヘッドフランジ ・機器搬入用ハッチ ・サプレッション・チェンバアクセスハッチ ・所員用エアロック（扉板シール部） ・配管貫通部（平板類） | 許容開口量以下 | <p>実機フランジ模擬試験において、開口量＝許容開口量となる状態を模擬したリーク試験を実施しており、本試験において判定基準として設定した漏えい量から格納容器ハッチ類の実機相当に換算した漏えい量は、格納容器設計漏えい率である 0.5%/day に比べ、十分に小さい値であることを確認している。</p> <p>○漏えい有無の判定基準 漏えい量：1cc/min 以下</p> <p>○実機相当換算値 0.001%/day 以下（PCV空間容積に対する割合）</p> |

第 2 表 判定基準を満たした場合に想定される漏えい量の推定結果 (2/2)

| 対象箇所 | 判定基準 | 判定基準を満たした場合に想定される漏えい量 |
|--|----------|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・電気配線貫通部 (モジュール) ・原子炉格納容器隔離弁 (バタフライ弁) | 設計漏えい量以下 | <p>試験における判定基準として設定した漏えい量から電気配線貫通部 (モジュール) 及び原子炉格納容器隔離弁 (バタフライ弁) の実機相当に換算した漏えい量は、格納容器設計漏えい率である 0.5%/day に比べ、十分に小さい値であることを確認している。</p> <p><電気配線貫通部 (モジュール) ></p> <ul style="list-style-type: none"> ○漏えい有無の判定基準 (設計漏えい量) $1 \times 10^{-7} \text{Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s} \text{ 以下}$ <ul style="list-style-type: none"> ○実機相当換算値 $1 \times 10^{-7} \% / \text{day} \text{ 以下 (PCV 空間容積に対する割合)}$ <p><原子炉格納容器隔離弁 (バタフライ弁) ></p> <ul style="list-style-type: none"> ○漏えい有無の判定基準 (設計漏えい量) $240 \text{cc} / \text{min} \text{ 以下} / 600 \text{A}$ <ul style="list-style-type: none"> ○実機相当換算値 $0.02 \% / \text{day} \text{ 以下 (PCV 空間容積に対する割合)}$ |
| <ul style="list-style-type: none"> ・所員用エアロック (扉板以外シール部) ・原子炉格納容器隔離弁 (TIP ボール弁) | 200℃以上 | <p>圧力により開口が生じる部位でなく、また、高温環境下での耐性を確認していることから格納容器内の 200℃の環境条件であってもシール機能に影響を及ぼすものでない。</p> |

改良 E P D M 製シール材の適用性について

東海第二発電所では、改良 E P D M 製シール材として

を採用する計画である。

改良 E P D M 製シール材の開発経緯を以下に示す。

- ・ 従来、格納容器のシール材（ガスケット）として使用していたシリコンゴムは、使用温度範囲が $-60^{\circ}\text{C} \sim +200^{\circ}\text{C}$ であり、従来の E P D M 製シール材の使用温度範囲 $-50^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$ よりも耐熱性は若干高いものの、既往の試験結果から高温蒸気環境での劣化が確認されていた。
- ・ 従来の E P D M 製シール材はシリコンゴムに比較して高温蒸気に強い材料であったが、更なる耐熱性向上を目的に材料の改良を進め、改良 E P D M 製シール材を開発した。

改良 E P D M 製シール材については、ガスケットメーカーにおいて、耐熱性、耐高温蒸気性及び耐放射線性の確認を目的に、事故時環境を考慮した条件

にて圧縮永久ひずみ試験が実施されており、耐性が確認されている。

東海第二発電所で採用予定の改良 E P D M 製シール材

については、ガスケットメーカーで実施された試験と同様に圧縮永久ひずみ試験を実施するとともに、重大事故等時の温度及び放射線による劣化特性がシール機能に影響を及ぼすものでないことを実機フランジ模擬試験にて確認している。

また、改良 E P D M 製シール材は、従来の E P D M 製シール材と同様、ガスケットメーカーにて材料や特長に応じ定めている型番品

として管理されているものであり、当該品を特定可能であることから、メーカ型番を指定することにより今回シール機能が確認されたものを確実に調達することが可能である。

なお、今後の技術開発により、より高い信頼性があるシール材が開発された場合は、今回と同様に圧縮永久ひずみ試験等を実施し、事故時環境におけるシール機能評価を行うことで、実機フランジへの適用性について確認する。

改良 E P D M 製シール材における各試験について

改良 E P D M 製シール材の適用にあたり、「改良 E P D M 製シール材の圧縮永久ひずみ試験」及び「実機フランジ模擬試験」の 2 種類の試験を実施している。本資料では、各試験の位置付けを明確化するとともに、「実機フランジ模擬試験」の試験条件がシビアアクシデント環境を適切に模擬できているかを確認するため「高温曝露の方法」及び「放射線試験の方法」について適切性を確認した。

1. 各試験の位置付けについて

(1) 改良 E P D M 製シール材の圧縮永久ひずみ試験

フランジ部からの漏えいの発生を防止するため、フランジ面にはシール材がセットされている。フランジはフランジボルトを締め付けることによりシール材を圧縮し、シール機能を発揮する構造となっている。

このため、フランジ部からの漏えいは「内部圧力の上昇によりフランジ部が開くこと」に加え「その開口量がシール材の復元量を超える」場合に生じる。したがって、シール材の耐漏えい性能を確認するためには、シール材がセットされるフランジが「圧力上昇によりどの程度開くのか」を評価し、その開口量に熱等により劣化した「シール材の復元量」を確認することが必要となる（第 1 表参照）。

第1表 フランジ部の開口量評価と圧縮永久ひずみ試験の位置付け

| フランジ部からの漏えい要因 | 確認事項 | 試験（及び評価）の位置付け |
|----------------------------|-------------------|------------------------|
| 圧力の上昇によりフランジ部が開口することによる漏えい | フランジ部の圧力上昇による開口量 | 解析による開口量評価 |
| 開口量がシール材の復元特性を超えることによる漏えい | 熱等により劣化したシール材の復元量 | 圧縮永久ひずみ試験によるシール材の復元量評価 |

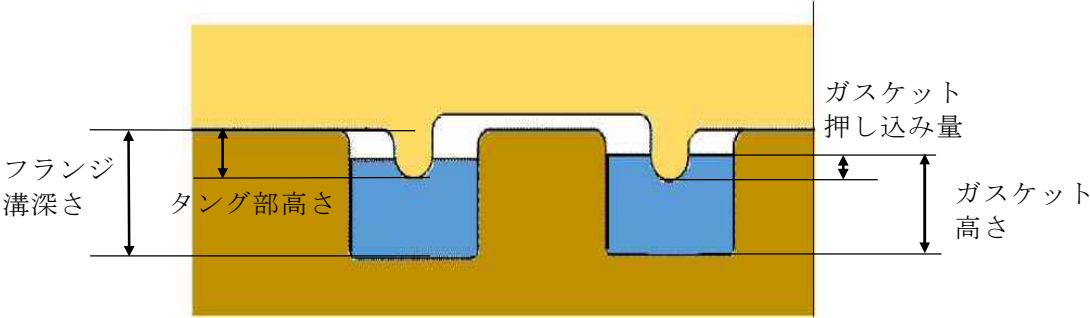
圧縮永久ひずみ試験で得られるひずみ率がフランジ構造によらず、一様に適用できる理由を整理する。

- ・原子炉格納容器の限界温度・圧力である 200℃，2Pd で評価しているため，圧力上昇による影響は，フランジ構造によらず同等である。
- ・本試験は，フランジ構造に関わらず，圧縮状態で使用される静的シール部におけるシール材単体の劣化度（ひずみ率）から復元量を確認するものであることから，フランジ構造の違いはフランジ構造の解析による開口量計算において評価している。
- ・本試験におけるシール材試験片の圧縮率は，としており，改良型EPDM製シール材を適用する「角型断面ガスケットを用いるボルト締めフランジのガスケットの圧縮率」とほぼ同等である（第2表参照）。

よって，東海第二発電所原子炉格納容器の限界温度・圧力の評価では，フランジ部の開口量と圧縮永久ひずみ試験結果を用いることでシール部の健全性を評価できる。

第 2 表 角型断面ガasketを用いるボルト締めフランジのガasketの圧縮率

| 設備名 | フランジ 溝深さ | タング 部高さ | ガasket 高さ | ガasket 押し込み量 | 圧縮率 |
|-----------------------------|-------------|------------|--------------|-----------------|-----|
| トップヘッド フランジ | | | | | |
| 機器搬入用 ハッチ | | | | | |
| サプレッショ ン・チェンバア クセスハッチ | | | | | |
| 閉止板 (X-28) | | | | | |



- ・ガasket押し込み量＝（ガasket高さ＋タング部高さ）－フランジ溝深さ
- ・圧縮率＝（ガasket押し込み量／ガasket高さ）×100％

(2) 実機フランジ模擬試験

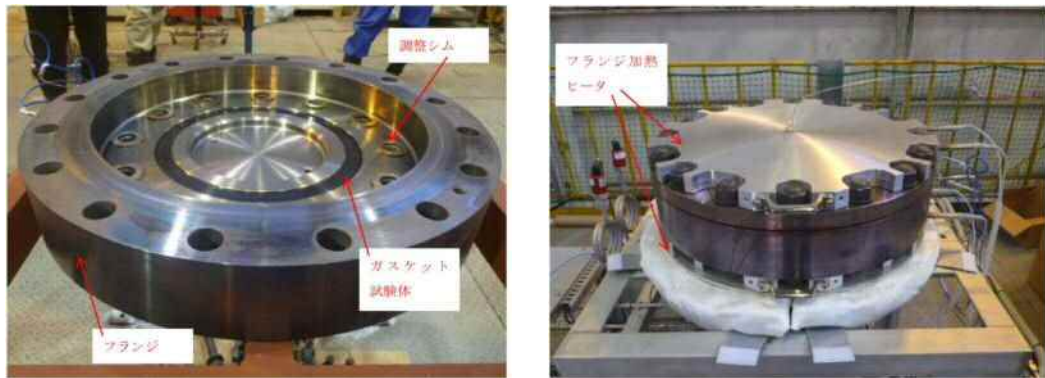
圧縮永久ひずみ試験結果を用いた開口量評価では、内圧によるフランジの構造部の変形は模擬しているが、実機フランジ溝にガスケットをセットした状態におけるシール材の変形は模擬していないため、実機にセットした状態におけるシール材の変形による気密性を確認する必要がある。また、(1)項で記述したシール機能の評価では、ガスケットの復元量とフランジの開口量が等しい状態（ガスケット押し込み量が 0mm で接している状態）までをシール機能維持のクライテリアとしており、その状態においても気密性を有することを確認する必要がある。

実機フランジ模擬試験は、圧縮永久ひずみ試験の結果を用いた開口量評価の中で最も厳しい状態を再現する試験をすることで、開口量評価の妥当性を確認するために実施している。（第 3 表参照）

第 3 表 実機フランジ模擬試験の位置付け

| 開口量評価における未確認事項 | 確認事項 | 実機フランジ模擬試験の位置付け |
|---|--|---|
| 実機フランジガスケット溝にガスケットをセットした状態における内圧や熱膨張によりシール材が変形した状態における気密性 | 内圧，熱膨張でシール材がガスケット溝内で変形した状態で気密性を有すること | ガスケット溝内でのシール材の変形を考慮するため、実機フランジを模擬した試験装置※により気密性を有していることを確認 |
| ガスケットに対するタングの押し込み量が 0mm で接している状態（開口量＝許容開口量）における気密性 | ガスケットに対するタングの押し込み量が 0mm で接している状態で気密性を有すること | ガスケットに対するタングの押し込み量が 0mm で接している状態で試験を実施することにより気密性を有していることを確認 |

※試験装置の断面形状は実機と同形状であり、ガスケット及び溝寸法は幅・高さともに実機と同等で、中心径のみ縮小した試験装置（第 1 図参照）



試験装置外観（フランジ開放時） 試験装置外観（フランジ密閉時）

第1図 試験装置外観写真

実機フランジ模擬試験で得られた結果がフランジ構造によらず、一様に適用できる理由を整理する。

- ・原子炉格納容器の限界温度・圧力である 200℃，2Pd で評価しているため，圧力上昇による影響は，フランジ構造によらず同等である。
- ・内圧上昇後にフランジが開口した状態を想定し，ガスケットの復元量とフランジの開口量が等しい状態（押し込み量が 0mm で接している状態）でのシール性を確認しているものであり，フランジ構造による開口の違いはフランジ部の解析による開口量計算において評価している。

実機フランジ模擬試験によって，ガスケットに対するタングの押し込み量が 0mm で接している状態を再現しており，圧縮永久ひずみ試験の結果を用いた開口量評価において，最も厳しい状態である。よって，東海第二発電所原子炉格納容器の限界温度・圧力の評価では，フランジ部の解析による開口量評価において，開口量が許容開口量以内であることを確認することで，シール部の健全性を評価できる。

2. 実機フランジ模擬試験の高温曝露の方法について

改良EPDM製シール材の劣化は、一般的に酸素により引き起こされるとの知見に基づき、実機フランジ模擬試験では蒸気ではなく高温空気（乾熱）で曝露し、シビアアクシデント環境より保守的な条件で試験を実施している。また、温度については格納容器限界温度 200℃が 7 日間継続する条件であり、シビアアクシデント環境よりも厳しい条件で曝露しており、それに加え、さらに余裕をみた 250℃、300℃をそれぞれ定める期間を一定温度で高温に曝露した試験を実施している。

よって、本試験は高温曝露時に、蒸気環境よりも厳しい乾熱曝露、シビアアクシデント環境よりも保守的な温度条件により、シビアアクシデント環境を適切に模擬できていると考える。

3. 実機フランジ模擬試験の放射線照射の方法について

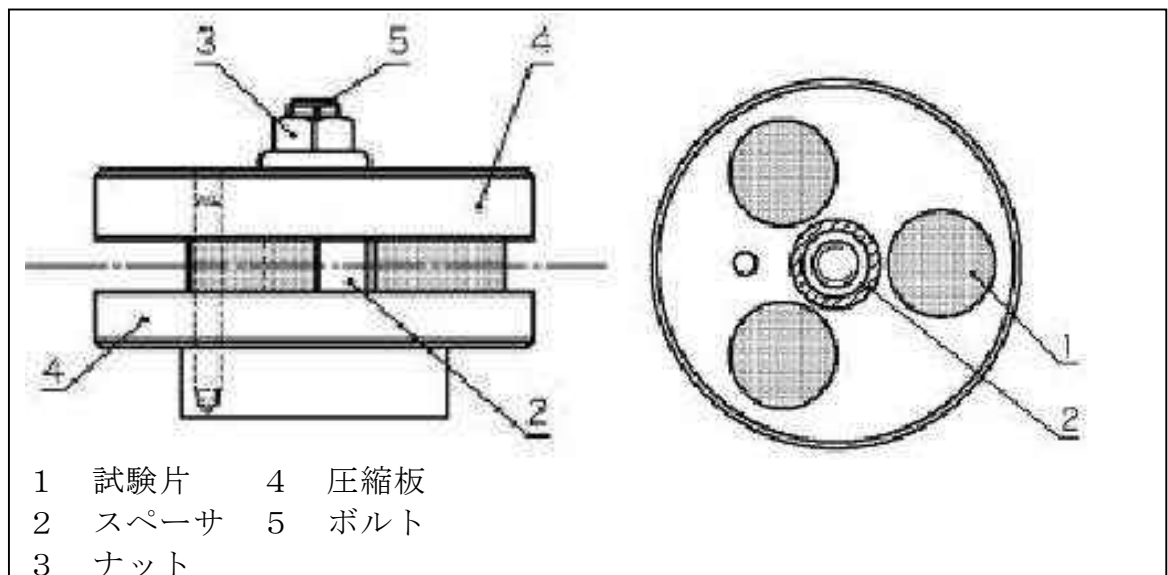
放射線照射量については、シビアアクシデント条件を模擬するために、有効性評価（大LOCA+ECCS機能喪失+SBO）におけるフランジガスケット部における事故後 7 日間の累積放射線量の目安である 800kGy を用いて試験している。

また、放射線照射と高温曝露の順序について「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイドライン」に事故時環境評価試験の試験実施方法として放射線照射をした後に定められた温度条件下に曝露することが定められていることから、この考え方を参考にし、放射線照射後に高温曝露を行う順序で試験を実施している。

改良 E P D M 製シール材の圧縮永久ひずみ試験について

改良 E P D M 製シール材の事故時環境における劣化特性を確認するために、J I S K 6262「加硫ゴム及び熱加塑性ゴムの常温・高温及び低温における圧縮永久ひずみの求め方」に準じた圧縮永久ひずみ試験を実施した。

試験装置を第 1 図に示す。試験片として、予め γ 線照射したシール材を用いている。放射線量は、事故時条件を模擬するために、フランジガスケット部の事故後 7 日間の累積放射線量の目安である を用いて実施している。試験は、試験片を圧縮板ではさみボルトを締付けることにより圧縮させる。試験片の圧縮量はスペーサの厚さで調整している。




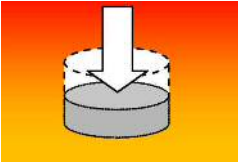
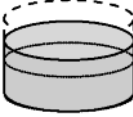
第 1 図 圧縮永久ひずみ試験装置

試験では、加圧試験容器を用いて高温蒸気で曝露し、試験温度は、格納容器限界温度である 200℃、試験期間は 7 日間（168 時間）とし、一定温度で高温曝露している。

圧縮永久ひずみ率は、試験片の初期厚みと試験後の試験片の厚さを測定し、次の式（1）により算出する。各試験片の中心を 0.01mm の単位まで厚さ測定し、3 個の試験片で得られた値の平均値を算出する。圧縮永久ひずみの算出概念図を第 2 図に示す。

$$Cs = \frac{(t_0 - t_1)}{(t_0 - t_2)} \times 100 \quad \dots \dots \dots (1)$$

- Cs：圧縮永久ひずみ率
- t₀：試験片の初期厚み
- t₁：試験後の試験片の厚み
- t₂：スペーサ厚さ

| 初期状態 | 試験状態 | 圧縮開放 |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 厚さ t ₀ | 厚さ t ₂ （25%圧縮） | 厚さ t ₁ $Cs = \frac{(t_0 - t_1)}{(t_0 - t_2)} \times 100$ |

第 2 図 圧縮永久ひずみの算出概念図

圧縮永久ひずみ試験の結果を第 1 表に示す。

第 1 表 圧縮永久ひずみ試験※¹ 結果（改良 E P D M 製）

| 材料 | 試験 温度 | 構造部放射線 照射量 | 試験 雰囲気 | 試験時間 | ひずみ率（％）※ ² | |
|---------------------------|----------|---------------|-----------|--------|-----------------------|-------------|
| | | | | | 各試験片 | 平均 |
| 改良 E P D M <div></div> | 200℃ | <div></div> | 蒸気 | 168 時間 | <div></div> | <div></div> |
| | | | | | <div></div> | |
| | | | | | <div></div> | |

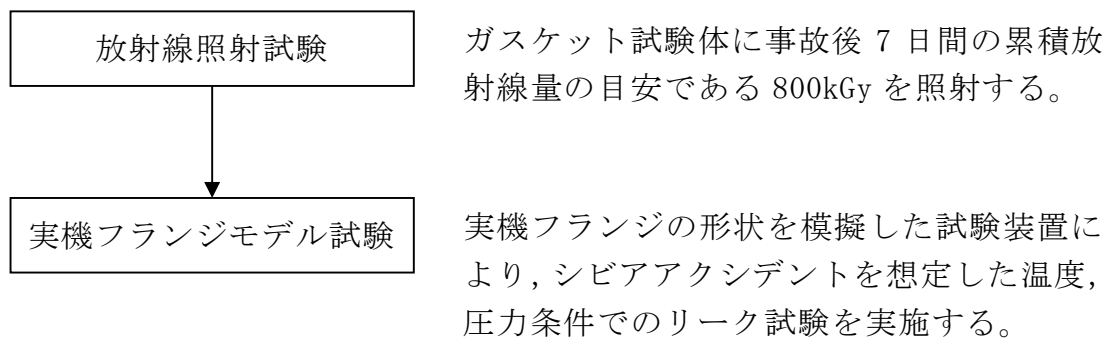
※¹ JIS K 6262 に従い実施

※² 試料を圧縮し完全に回復した状態が 0％，全く回復しない状態が 100％

実機フランジ模擬試験の概要について

改良 E P D M 製シール材のシール機能の性能確認として，実機フランジの形状を模擬した試験装置を用いて，実機条件に近い状態でのシール健全性の確認を行った。

試験フローを第 1 図に示し，試験の概要を以下に示す。



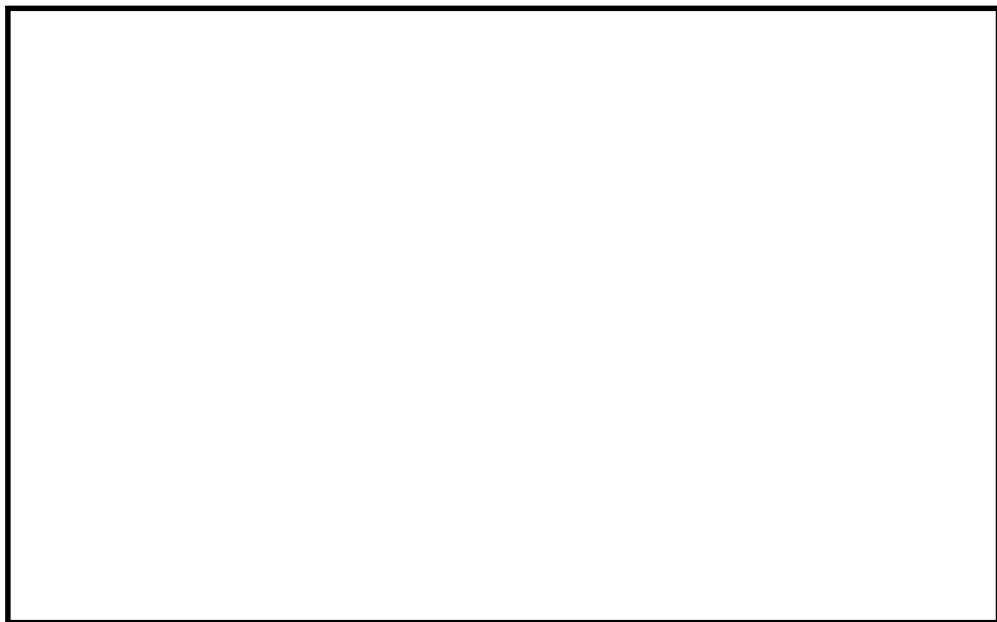
第 1 図 実機フランジ模擬試験の試験フロー

1. 試験装置

実機フランジ模擬試験の試験装置は第 2 図，第 3 図に示すようにフランジユニット，ガス供給ユニット，リークガス計測ユニットから構成される。フランジユニットは，直径 250mm のガスケット試験体を組み込んで内部を加圧可能な試験フランジと，試験フランジを所定の試験条件に加熱制御するためのフランジ加熱ヒータから構成される。試験フランジにガスケット試験体を組み込む溝断面形状（フランジ型式）は実機フランジで採用されているタング&グループ型（T & G 型）を模擬している。フランジ断面形状は実機と同形状であり，中心径のみを縮小した試験装置としているため，試験で得られ

たリーク量をガスケット径比で補正することで実機フランジにおけるリーク量として適用できる。

また、内圧上昇後の格納容器フランジの開口を模擬するため、ガスケット試験体の押し込み量をフランジ間に設置する調整シムにより設定する。ガス供給ユニットは、高圧空気ボンベと圧力調整器から構成され、所定の圧力に調整された加圧ガスを空気加熱器により所定の温度に加熱制御する。リーク量はリークガス計測ユニットのマスフローメータにて計測される。試験装置外観を第3図に示す。



第2図 試験装置概要図



試験装置外観（フランジ開放時） 試験装置外観（フランジ密閉時）

第3図 試験装置外観

2. 試験条件

事故時条件を模擬するために、放射線照射量は、フランジガスケット部の事故後7日間の累積放射線量の目安である800kGyを予め照射したシール材をガスケット試験体として用いる。放射線による劣化と熱による劣化は、放射線照射をした後に定められた温度条件下に曝露する逐次法により付与した。

一般に有機材料の放射線劣化挙動には、酸素が影響を及ぼすことが知られているが、環境に酸素が存在しない場合においては放射線と熱の同時法と逐次法の劣化はほぼ等しいことが知られている。格納容器内は、通常時は窒素環境下、事故時は蒸気環境下であり、酸素が常に供給される環境ではないことから、放射線と熱の同時曝露による劣化への影響は十分小さく、逐次法による劣化の付与は妥当であると考ええる。なお、「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイドライン」において、事故時環境試験の試験方法として放射線照射をした後に定められた温度条件下に曝露することが定められており、このことから逐次法による劣化の付与は妥当であると考ええる。

改良EPDM製シール材の劣化は、一般的に酸素により引き起こされるとの知見に基づき、加圧雰囲気は蒸気ではなく高温空気（乾熱）を用い、試験温度については、格納容器限界温度である200℃、さらに余裕を見た250℃、300℃とし、加圧圧力は格納容器限界圧力2Pd（0.62MPa）を包絡する圧力（0.854MPa以上）で気密確認を実施する。また、格納容器内圧上昇後の実機フランジの開口を模擬するため、フランジによるガスケット試験体の押し込み量を最小限（0mm）で設定する。なお、押し込み量は、高温での試験を実施する前段階として、常温での予備加圧を実施し、ガスケットから漏えいが起こらない状態を押し込み量0mmと定義する。

3. 試験結果

試験結果を第 1 表に示す。フランジによるガスケット試験体の押し込み量が最小限 (0mm) であっても、有意な漏えいは発生せず、200℃・168 時間、250℃・96 時間、300℃・24 時間の耐性が確認された。第 4 図に 200℃・168 時間の試験ケースにおける試験体の外観を示す。第 4 図より、フランジとガスケット試験体との接触面を境界として劣化（表面のひび割れ）は内周側で留まり、外周側に有意な劣化が見られないことから、フランジ接触面でシール機能を維持できていることが確認された。また、断面形状より、劣化（表面のひび割れ）はガスケット試験体の表面層のみで留まっているため、有意な劣化が進行していないことが確認された。

第 1 表 シビアアクシデント条件での試験結果

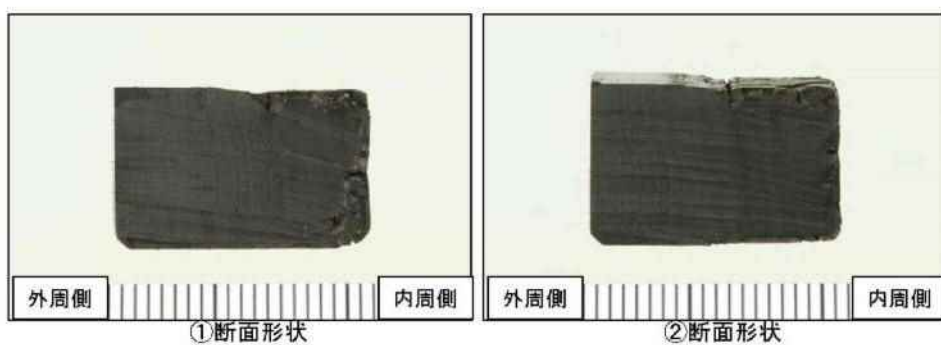
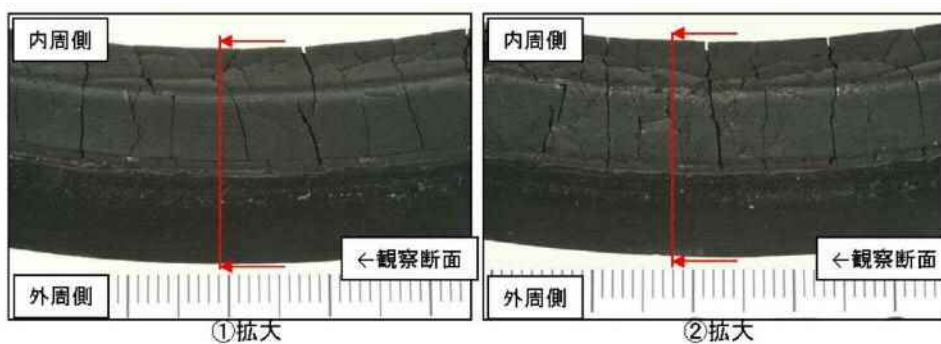
| No. | 試験体 | 温度 | 継続時間 | 押し込み量 | 漏えいの有無 |
|-----|---|------|--------|-------|--------|
| 1 | 改良 E P D M () | 200℃ | 168 時間 | 0mm | 無 |
| 2 | 改良 E P D M () | 250℃ | 96 時間 | 0mm | 無 |
| 3 | 改良 E P D M () | 300℃ | 24 時間 | 0mm | 無 |

下記条件は全ケース共通

試験圧力：2Pd 以上 (0.854MPa 以上)，放射線照射量：800kGy，加圧媒体：乾熱（空気）
漏えい判定基準：1cc/min 以上の漏えい量が 30 分以上継続した場合に漏えい有とする。



全体写真



第 4 図 試験後のガスケット試験体外観 (200℃・168 時間)

改良 E P D M 製シール材における実機フランジ模擬試験結果の適用について

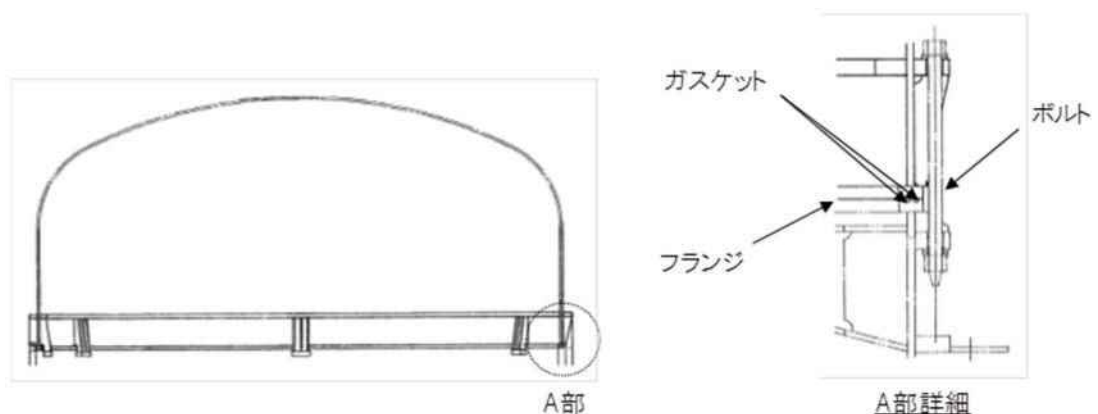
改良 E P D M 製シール材については，シール機能の性能確認として圧縮永久ひずみ試験に加えて，実機フランジを模擬した試験装置（「実機フランジ模擬試験装置」という。）を用いてシール機能を確認している。

実機フランジ模擬試験装置のフランジ断面形状は実機と同形状，ガスケット及び溝寸法は幅・高さともに実機と同等であり，中心径のみを縮小した試験装置としており，フランジ部は実機と同様な変形を模擬できる。

また，実機フランジ模擬試験ではガスケット試験体の押し込み量を 0mm（ガスケットとタンクが接している状態）に設定し，実機が 2Pd 時の開口量以上を模擬した条件で試験を実施している。

1. 実機と実機フランジ模擬試験装置の比較

実機（トップヘッドフランジ）及び，実機フランジ模擬試験装置のフランジ部の断面形状及び寸法を第 1 図，第 2 図，第 1 表に示す。



第 1 図 トップヘッドフランジ断面形状図



第 2 図 実機フランジ模擬試験装置図

第 1 表 実機フランジと実機フランジ模擬試験装置の寸法比較

単位：mm

| | ガスケット寸法 | | | | 溝寸法 | | | |
|----------------------------|---------|----|---|----|-----|----|---|----|
| | 内径 | 外径 | 幅 | 高さ | 内径 | 外径 | 幅 | 高さ |
| 実機フランジ (トップヘッド フランジ) | | | | | | | | |
| 実機フランジ 模擬試験装置 | | | | | | | | |

2. 実機への適用性

前述のとおり，実機フランジ模擬試験装置は，フランジの断面形状が実機と同形状，ガスケット及び溝寸法は幅・高さとも実機と同等であり，中心径のみを縮小した試験装置である。

実機フランジ模擬試験では，漏えい有無の判定基準として，1cc/min 以上の漏えい量が 30 分以上継続した場合に漏えい有と判断することとしている。ここで，試験の判定基準として設定した 1cc/min の漏えい量を実機フランジでの漏えい量に換算し，格納容器の設計漏えい率との比較を行った結果は以下のとおりである。

ガスケットの内径を d_i 、外径を d_o とすると、J I S B 2490 よりガスケットからの漏えい量 L はガスケットの接触面の内径 d_i に比例し、ガスケット接触幅 $(d_o - d_i)/2$ に反比例する。

$$L \propto \frac{d_i}{(d_o - d_i)/2} = \frac{1}{(d_o/d_i - 1)/2}$$

第 1 表より実機フランジ模擬試験のガスケットの断面形状は実機と一致させていることから、ガスケット試験体の接触幅は実機ガスケットと一致している。このため、フランジ部からの漏えい量はガスケット内径に比例する。また、実機フランジ模擬試験ではガスケット押し込み量を 0mm に設定し、実機が 2Pd 時の開口量以上を模擬した条件で試験を実施している。

本試験で判定基準として設定した漏えい量 (1cc/min) より、ガスケット径比で補正した実機フランジでの漏えい量を推定したところ、格納容器全ハッチ類フランジからのリーク量は 0.001%/day 以下であり、格納容器の設計漏えい率 (0.5%/day) の 1/500 以下となる。実機フランジのガスケット径を第 2 表に、実機フランジにおける漏えい量の推定結果を第 3 表に示す。

このように、事故時条件を模擬した改良 E P D M 製シール材の試験結果は、格納容器の設計漏えい率と比較して十分に余裕がある状態であることから、改良 E P D M 製シール材の実機への適用は可能であると考ええる。

第 2 表 実機フランジのガスケット径

| 対象 | ガスケット径※1※3 |
|---------------------|------------|
| トップヘッドフランジ | |
| 機器搬入用ハッチ | |
| 所員用エアロック※2 | |
| サプレッション・チェンバアクセスハッチ | |
| X-28 貫通部 | |
| 合計 | |

[注記]

- ※1：二重ガスケットについては保守的に外側ガスケットの中心径を用いる
 ※2：エアロックはガスケット周長が等価となる等価直径とする。
 ※3：ガスケット径が 100mm 以下の閉止フランジ付貫通部については，他の大開口部と比較して影響が小さいため対象外する。

第 3 表 実機フランジにおける漏えい量の推定結果

| 試験での漏えい判定基準 (L_1) | 1 cc/min |
|--|----------|
| 試験フランジガスケット径 (D_1) | |
| 格納容器フランジガスケット径合計 (D_0) | |
| ガスケット径比 ($\alpha = D_0 / D_1$) | |
| 格納容器フランジでの漏えい量 ($L_0 = L_1 \times \alpha$) | |
| 格納容器空間容積 (V_0) | |
| 格納容器空間容積に対する割合 (L_0 / V_0) | |

改良 E P D M 製シール材の実機を模擬した小型フランジ試験について

改良 E P D M 製シール材について、耐高温性、耐蒸気性を確認するために、800kGy の γ 線照射を行った材料を用いて、高温曝露又は蒸気曝露を行った後、気密確認試験を実施して漏えいの有無を確認した。また、試験後の外観観察、F T - I R 分析及び硬さ測定を行い、曝露後のシール材の状況を確認した。本試験に使用した試験治具寸法は第1図、試験治具及びシール材外観は第2図に示すとおりである。シール材の断面寸法は実機の1/2とし、内側の段差1mmに加えて外側からも高温空気又は蒸気に曝露されることとなる。

なお、治具に使用されている鉄鋼材料と改良 E P D M 製シール材とでは、改良 E P D M 製シール材の方が線膨張係数は大きく、温度を低下させた場合には改良 E P D M 製シール材の方が治具と比較して収縮量が大きくなるため、試験治具溝内でのタング等との密着性は低下する方向となり、気密試験は高温状態より室温での試験の方が厳しくなると考えられる。このことから、本試験のオートクレーブでの蒸気曝露及び室温での H e 気密確認試験の条件は、実プラントで想定されるシビアアクシデント条件と比較して保守的な条件となると想定される。試験の詳細と結果を以下に記載する。

① 高温曝露

熱処理炉を使用して乾熱200℃、168時間の高温曝露を実施した。

② 蒸気曝露

蒸気用オートクレーブを使用して、1MPa、250℃の蒸気環境下で168時間曝露を実施した。蒸気用オートクレーブ系統図を第3図に、蒸気曝露試験体設置状況を第4図に示す。

③ H e 気密確認試験

高温曝露及び蒸気曝露後の試験体について、H e を用いて気密試験を実施した。負荷圧力は0.3MPa、0.65MPa、0.9MPaとし、スヌープでのリーク確認と、0.3MPaでは保持時間10分、0.65MPa及び0.9MPaでは保持時間30分で圧力降下の有無を確認した。また、0.8mmの隙間ゲージを用いてフランジ開口変位を模擬した気密確認試験も実施した（実機1.6mm相当の変位）。試験状況を第5図、第6図に、試験結果を第1表に示す。いずれの条件下でもリーク及び圧力降下は認められなかった。

④ 試験後外観観察

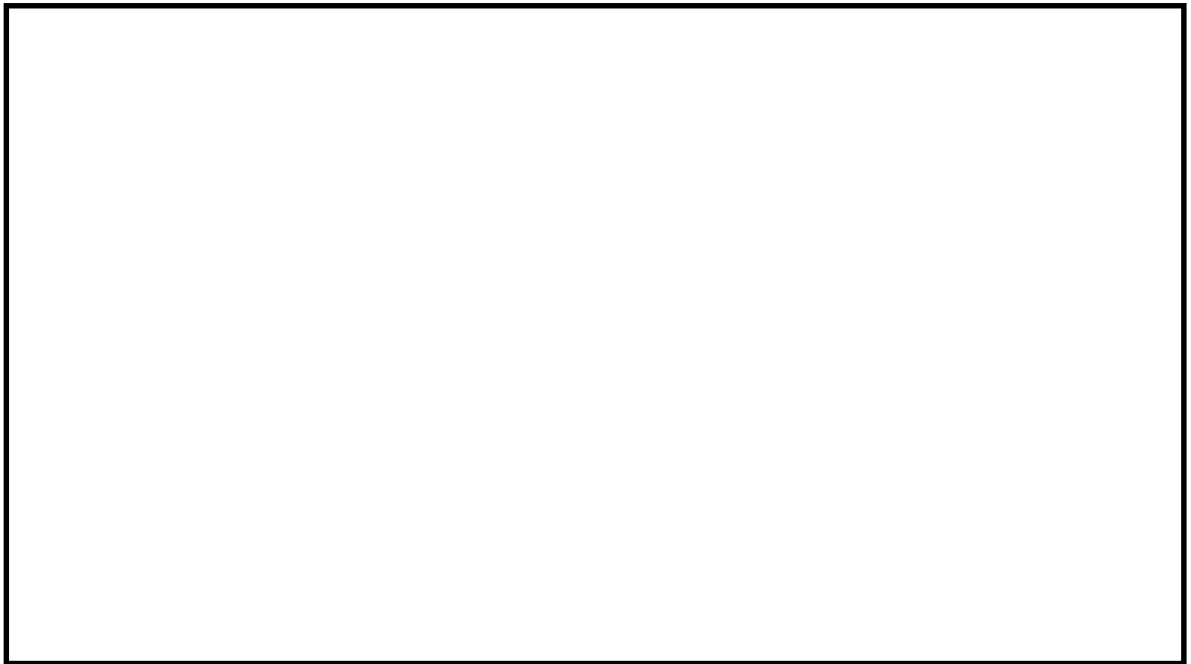
デジタルマイクロスコープを用いてH e 気密確認試験後のシール材表面を観察した。観察結果を第7図に示す。シール材表面に割れ等の顕著な劣化は認められなかった。



第1図 試験治具寸法



第2図 試験治具及びシール材外観



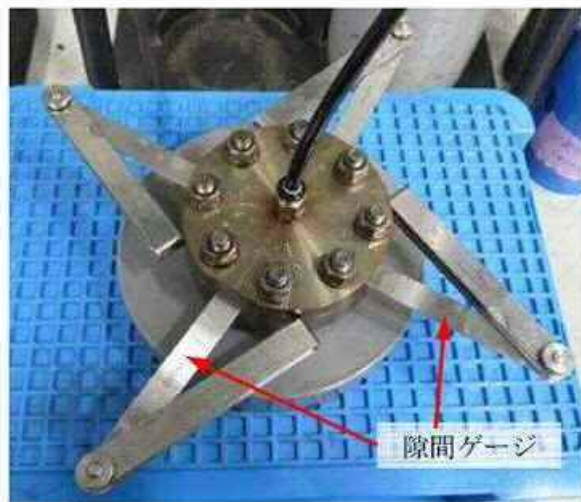
第3図 蒸気用オートクレーブ系統図



第4図 蒸気曝露試験体設置状況



第 5 図 H e 気密確認試験状況

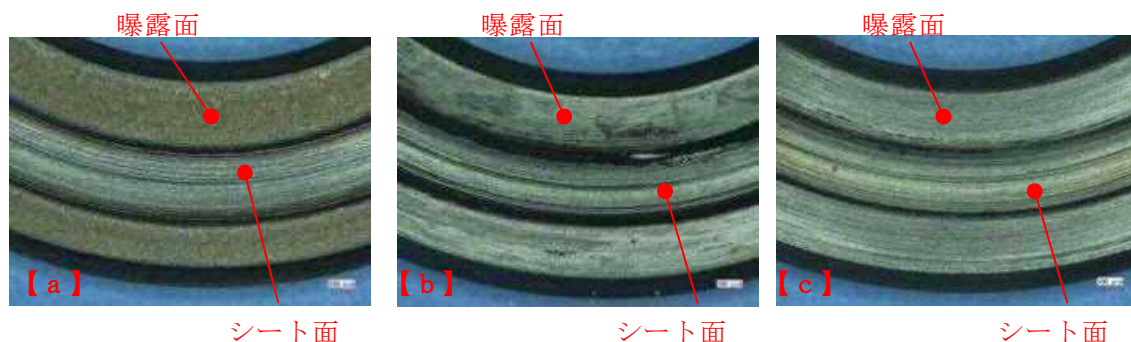


第 6 図 開口模擬した H e 気密試験
(隙間ゲージ使用)

第1表 H e 気密確認試験結果

| No. | 曝露条件 | γ 線照射量 | 開口変位 模擬 | 0.3MPa | 0.65MPa | 0.9MPa |
|-----|------------------------|---------------|------------|--------|---------|--------|
| 1 | 乾熱200℃, 168時間 | 800kGy | 無し | ○ | ○ | ○ |
| | | | 0.8mm | ○ | ○ | ○ |
| 2 | 蒸気1MPa, 250℃, 168時間 | 800kGy | 無し | ○ | ○ | ○ |
| | | | 0.8mm | ○ | ○ | ○ |
| 3 | 蒸気1MPa, 250℃, 168時間 | 800kGy | 無し | ○ | ○ | ○ |
| | | | 0.8mm | ○ | ○ | ○ |

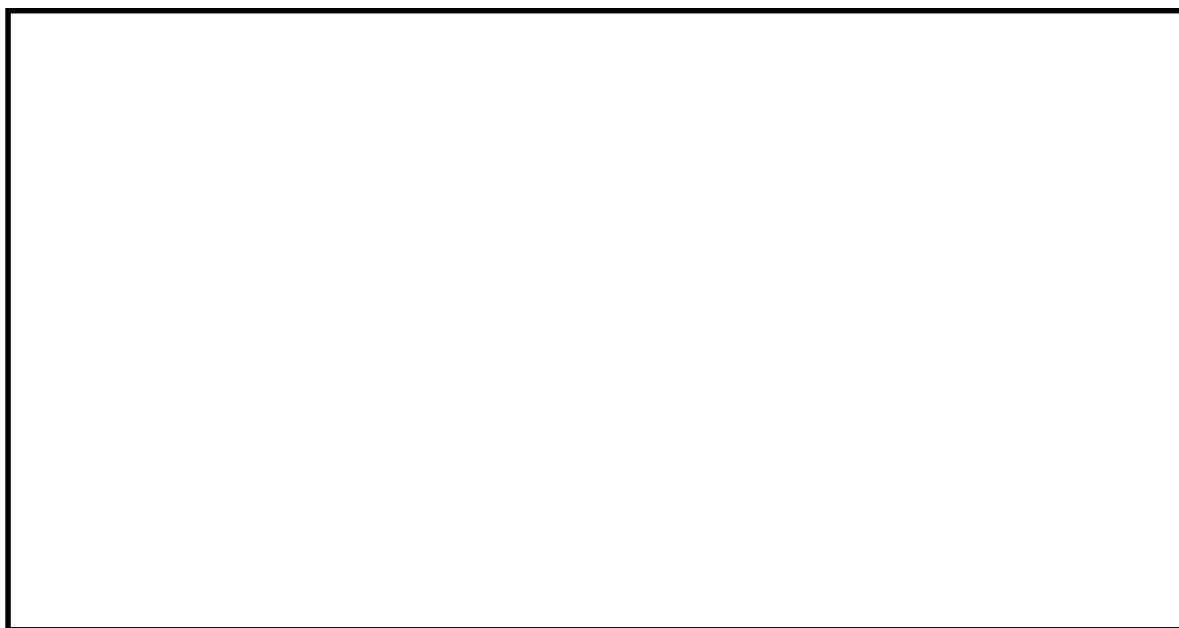
○：リーク及び圧力降下なし



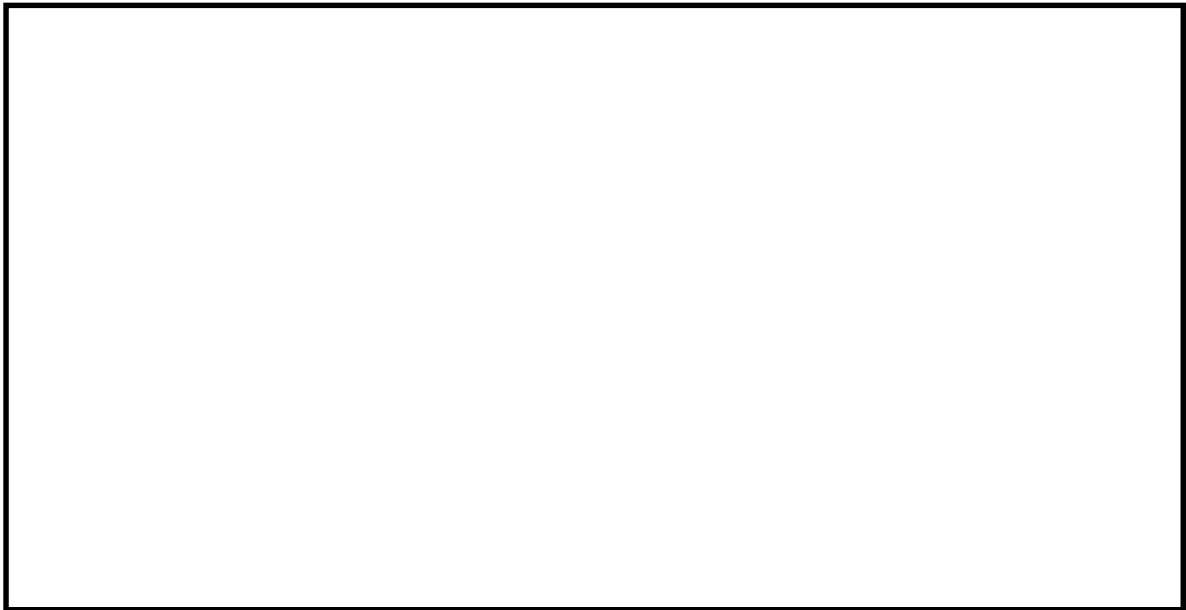
第7図 試験後外観観察結果
(a: 乾熱 200℃, 168 時間, b, c: 蒸気 250℃, 168 時間)

⑤ F T - I R 分析

試験後のシール材の F T - I R 分析結果を第8図, 第9図に示す。F T - I R 分析では赤外線が分子結合の振動や回転運動のエネルギーとして吸収されることを利用して, 試料に赤外線を照射して透過又は反射した光量を測定することにより分子構造や官能基の情報を取得可能である。高温曝露中に空気が直接接触する位置 (曝露面) では, ベースポリマーの骨格に対応するピークが消失していたが, その他の分析位置, 曝露条件では顕著な劣化は認められなかった。



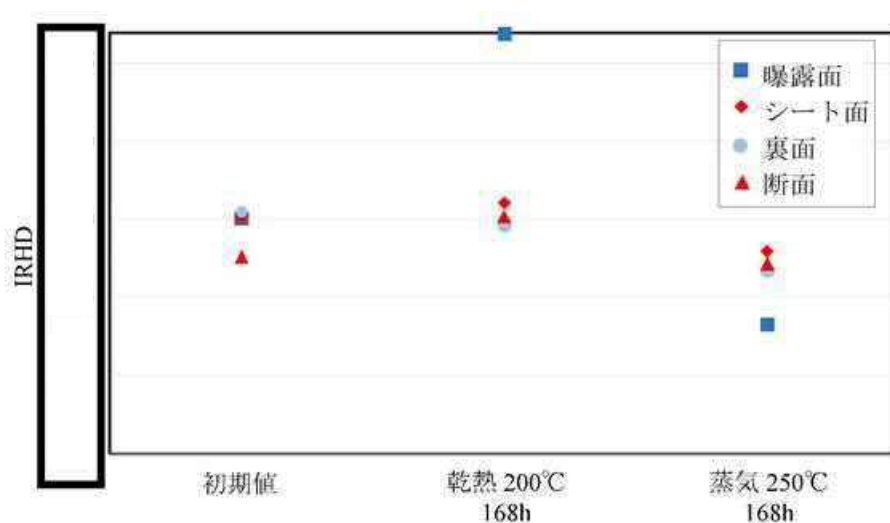
第 8 図 F T - I R 分析結果 (曝露面)



第9図 FT－IR分析結果（シート面）

⑥ 硬さ測定

試験後のシール材の硬さ測定結果を第10図に示す。曝露面，シート面，裏面，断面の硬さを測定した。曝露面において，乾熱200℃，168時間条件では酸化劣化によって硬さが顕著に上昇していた。その他の部位，条件では，蒸気250℃，168時間条件の曝露面で若干の軟化が確認された以外，硬さは初期値近傍であり，顕著な劣化は確認されなかった。

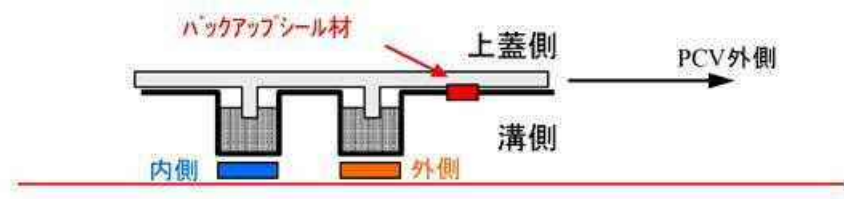


第10図 硬さ測定結果

以上の試験結果から，200℃，2Pd，168時間の条件下では，フランジガスケット材として改良E P D M製シール材を使用した場合は，格納容器内部圧力上昇時のフランジ部の開口を勘案しても格納容器フランジ部の気密性は維持され则认为される。

バックアップシール材のシール機能について

格納容器閉じ込め機能の更なる安全性向上対策を目的に，自主的な取り組みとして，バックアップシール材（一液硬化型耐火シーラント）を塗布する。バックアップシール材は第 1 図で示すように，現行シール材のシール溝よりも外側のフランジ面全周に塗布できるシール材である。バックアップシール材は，耐高温性，耐蒸気性，耐放射線性が確認され，重大事故環境下においてもシール機能を発揮できるものを用いる。



第1図 バックアップシール材イメージ図

(1) バックアップシール材の適用目的

原子炉格納容器のフランジ部のシール機能は，200℃，2Pd の環境下において，改良 E P D M 製シール材により重大事故後 7 日間のシール機能が維持できることを確認しているが，格納容器内が長時間にわたり高温状態が続くことでシール材の性能が低下することを考慮して，改良 E P D M 製シール材の外側にバックアップシール材を塗布し，「改良 E P D M 製シール材＋バックアップシール材」の組み合わせとすることで，長期におけるシール機能健全性を補強する。

また，改良 E P D M 製シール材は，事故時の耐環境性に優れていること

を確認しているが、一般的な劣化モードとして酸化劣化があげられるため、長期におけるシール材の信頼性を向上させるためには、劣化要因である酸素の高温状態曝露を回避することが必要になる。バックアップシール材は、フランジ外側ガスケット部よりも外周のフランジ面に塗布することから、改良E P D M製シール材への格納容器外側からの酸素供給を遮断する役割も果たすことができるため、酸化劣化による改良E P D M製シール材のシール機能低下を抑えることが可能である。

以上より、バックアップシール材は、事故発生後の改良E P D M製シール材の長期におけるシール機能健全性を補強することができるため、格納容器閉じ込め機能の更なる安全性向上対策として、トップヘッドフランジ、機器搬入用ハッチフランジ及びサプレッション・チェンバアクセスハッチフランジのシール部に「改良E P D M製シール材＋バックアップシール材」を採用する。

（２）バックアップシール材の性能確認試験

バックアップシール材に関して、耐高温性、施工性等を確認するために、以下の試験を実施した。

- １）高温曝露後及び蒸気曝露後気密確認試験
- ２）開口模擬後気密確認試験
- ３）実機適用性試験
- ４）長時間試験（改良E P D M製シール材との組み合わせ）

各々の試験の詳細を以下に示す。

- １）蒸気曝露試験（250℃×168時間）後気密確認試験

フランジ部に塗布するバックアップシール材に関して、小型試験治具

(第2図参照) を用いて γ 線照射及び蒸気曝露後に H e 気密確認試験を実施し漏えいの有無を確認するとともに、試験後に F T - I R 分析を実施してバックアップシール材の化学構造の変化状況を確認した。試験条件の詳細を以下に記載する。

① γ 線照射

事故条件を模擬するために、放射線照射量はフランジ部の事故後7日間の累積放射線量の目安である800kGyを目標に、線源Co-60、照射時間100時間にて γ 線照射を実施した。

照射実績は、雰囲気線量8.19kGy/h、8.27kGy/h、累積照射量819kGy、827kGy であった。

② 高温曝露

熱処理炉を使用して300℃、73時間及び350℃、73時間の高温曝露を実施した。

③ 蒸気曝露

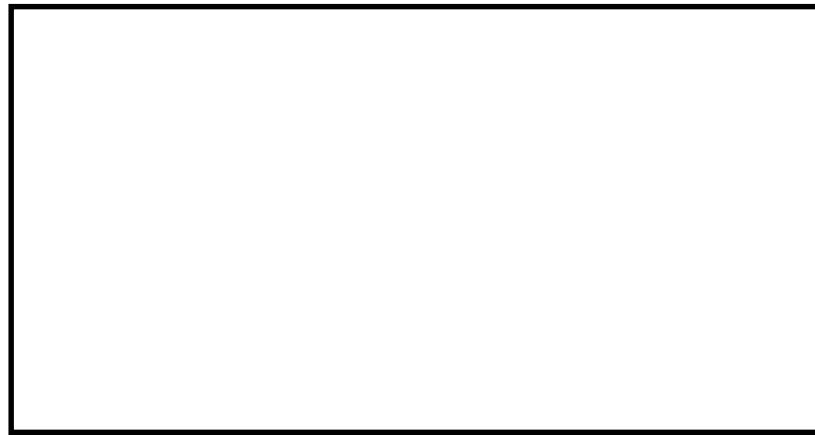
蒸気用オートクレーブを使用して、試験体（3個）を1MPa、250℃の蒸気環境下で168時間曝露を実施した。蒸気用オートクレーブ系統図を第3図に、試験片設置状況を第4図に示す。

④ H e 気密確認試験

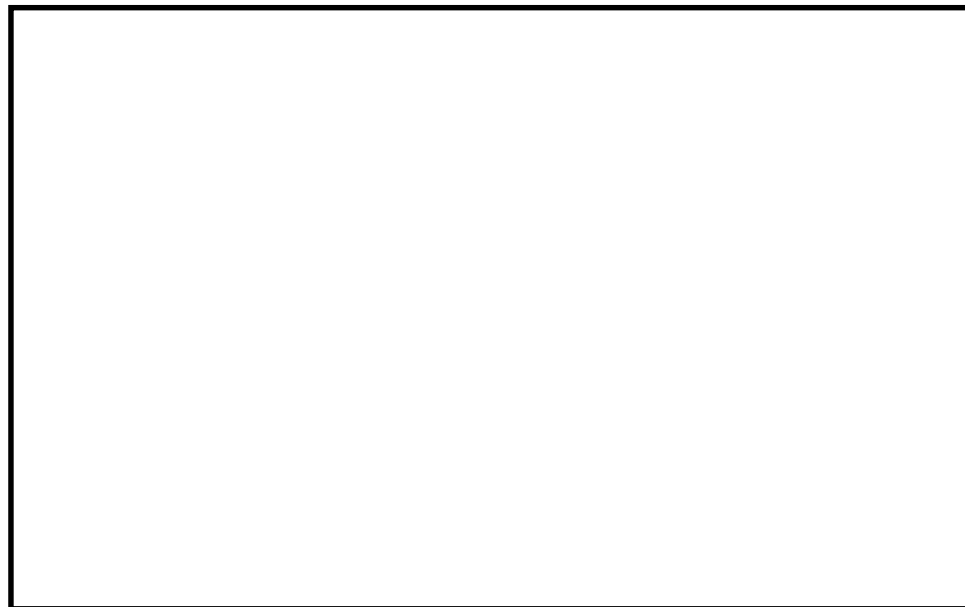
蒸気曝露後の試験体について、H e を用いて気密試験を実施した。高温曝露条件では負荷圧力0.2、0.3、0.4、0.5、0.62 MPa、蒸気曝露条件では負荷圧力は0.3、0.65、0.9MPaとし、スヌープでのリーク確認と0.65MPa 及び0.9MPaは保持時間30分、その他の圧力では保持時間10分で圧力降下の有無を確認した。気密確認試験状況を第5図に、試験結果を第1表及び第2表に示す。いずれの試験体もリーク及び圧力降下は認められなかった。

⑤ F T－I R 分析

He 気密確認試験後に F T－I R 分析を実施した。F T－I R 分析は赤外線が分子結合の振動や回転運動のエネルギーとして吸収されることを利用して、試料に赤外線を照射して透過又は反射した光量を測定することにより分子構造や官能基の情報を取得可能である。分析結果を第6図に示す。本試験条件では350℃高温曝露条件を除いてシロキサン構造の変化量は小さく、顕著な劣化は認められなかった。



第2図 小型試験治具寸法



第3図 蒸気用オートクレーブ系統図



第4図 蒸気曝露
試験片設置状況



第5図 気密確認試験状況



第1表 H e 気密確認試験結果（高温曝露後）

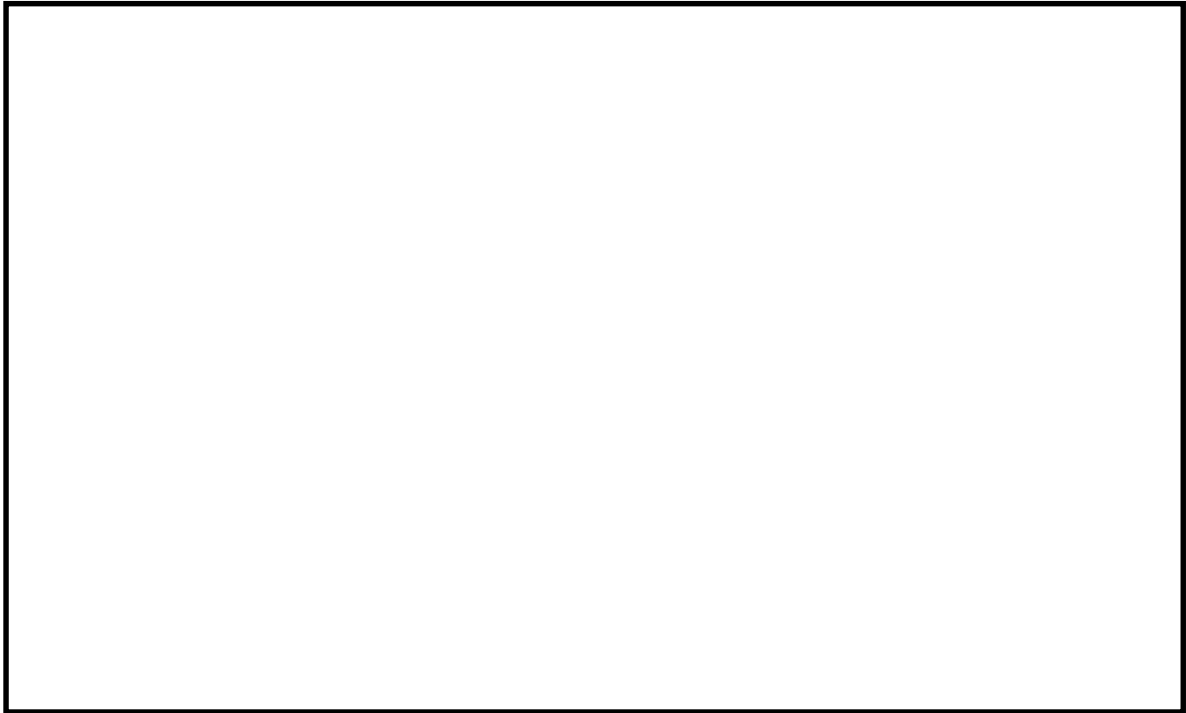
| No. | 高温曝露 条件 | 0.2MPa | 0.3MPa | 0.4MPa | 0.5MPa | 0.62MPa | γ 線 照射量 |
|-----|------------|--------|--------|--------|--------|---------|-------------------|
| 1 | 300℃, 73時間 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 827kGy |
| 2 | 350℃, 73時間 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 827kGy |

○：リーク及び圧力降下なし

第2表 H e 気密確認試験結果（蒸気曝露後）

| No. | 蒸気曝露条件 | 0.3MPa | 0.65MPa | 0.9MPa | γ 線照射量 |
|-----|-------------------|--------|---------|--------|---------------|
| 1 | 1MPa, 250℃, 168時間 | ○ | ○ | ○ | 819kGy |
| 2 | 1MPa, 250℃, 168時間 | ○ | ○ | ○ | 819kGy |
| 3 | 1MPa, 250℃, 168時間 | ○ | ○ | ○ | 819kGy |

○：リーク及び圧力降下なし



第 6 図 FT－IR 分析結果

2) 開口模擬後気密確認試験

重大事故時には，事故後ベント実施までは圧力が2Pd近傍と高くなりフランジ部が開口することから，フランジ開口を経験した後にバックアップシール材により気密性が維持されているか否かを確認するため，30cm中型試験体を用いて隙間ゲージで一度変位を経験させた後にH e 気密確認試験を実施した。試験の流れとしては，バックアップシール材を塗布したフランジを乾燥させた後に，隙間ゲージで変位を加え，その後隙間ゲージを引き抜いて試験フランジの変位を当初位置に戻す。その状態でH e 気密確認試験を実施して漏えいの有無を確認した。試験実施状況を第7図，第8図，試験条件及び結果を第3表に示す。

1.9mmまでの変位を経験した後もH e 気密確認においてリーク及び圧力降下は認められなかった。なお，H e 気密確認試験は，1) の蒸気曝露試験（250℃×168時間）後気密確認試験と同様に，負荷圧力は0.3MPa，

0.65MPa, 0.9MPaとし, スヌープでのリーク確認と0.3MPaは保持時間10分で, 0.65MPa及び0.9MPaは保持時間30分で圧力降下の有無を確認した。

なお, 開口模擬後気密確認試験は試験装置上の理由から, バックアップシール材に高温曝露は経験させていない。しかしながら, F T - I R 分析結果では250℃蒸気曝露でバックアップシール材の化学構造の変化量は小さく, 顕著な劣化が認められなかったことから, 高温曝露の有無は事故時開口を模擬したバックアップシール材の性能を確認する試験においては, 試験結果に大きな影響を与えないと考えている。



第7図 バックアップシール材塗布状況
(1.5mm 厚さ)



第8図 変位付与状況
隙間ゲージを用いて所定の変位を加えた後,
隙間ゲージを抜いて再締め付け

第3表 開口模擬後H e 気密確認試験結果

| No. | 塗布厚さ | 変位 | 0.3MPa | 0.65MPa | 0.9MPa | 備考 |
|-----|-------|-------|--------|---------|--------|----|
| 1 | 1.5mm | 変位付与前 | ○ | ○ | ○ | |
| | | 1.0mm | ○ | ○ | ○ | |
| 2 | 5.0mm | 変位付与前 | ○ | ○ | ○ | |
| | | 1.0mm | ○ | ○ | ○ | |
| 3 | 1.5mm | 変位付与前 | ○ | ○ | ○ | |
| | | 1.9mm | ○ | ○ | ○ | |

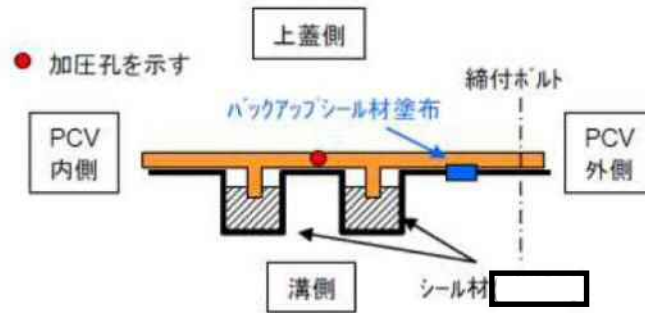
○：リーク及び圧力降下なし

3) 実機適用性試験

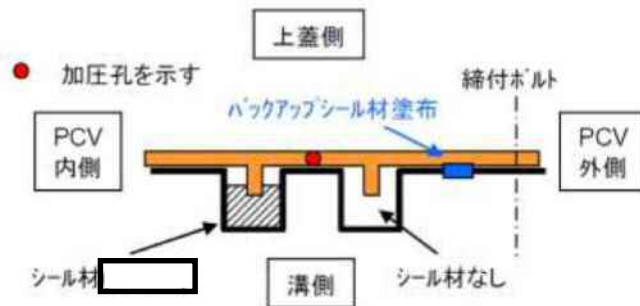
実機フランジは直径が大きく塗布長さが長いため、実際にバックアップシール材を適用した場合に問題なく気密性が担保出来るか否か、また、既存のシール材との干渉の有無を確認するため、バックアップシール材の塗布と局所漏えい試験を実施した。

バックアップシール材塗布条件は、第9図に示す内側及び外側シール材に加えて、格納容器外側にバックアップシール材を塗布して既存シール材とバックアップシール材との干渉の有無を確認する条件、第10図に示す内側シール材に格納容器外側にバックアップシール材塗布し、バックアップシール材単体でシール機能を持つことを確認する条件の2通り実施した。いずれの局所漏えい試験も結果は良好であった。

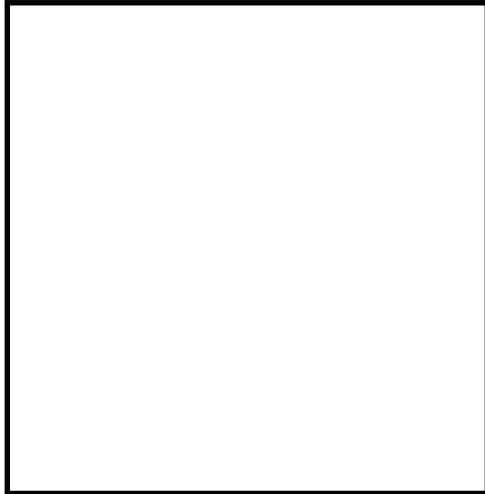
なお、バックアップシール材の塗布時には、塗布厚さが1～1.5mm程度となる様に治具を用いて作業を実施した（第11図参照）。



第 9 図 内側及び外側シール材＋格納容器外側バックアップシール材塗布条件



第 10 図 内側シール材＋格納容器外側バックアップシール材塗布条件



(a) バックアップシール材塗布作業



(b) ハッチ閉鎖時

第 11 図 バックアップシール材塗布試験状況

4) 長時間試験

重大事故時には、復旧までに相応の日数が必要と考えられることから、30日、又はそれ以上の期間曝露したシール材の気密性を確認す

ることを目的に、改良E P D M製シール材（ γ 線照射量800kGy）とその外側にバックアップシール材を適用した条件で、長期間高温曝露を実施した後にH e 気密確認試験を行い漏えいの有無を確認した。試験条件を以下に示す。

また、試験体の状況（改良E P D M製シール材＋バックアップシール材塗布）を第12図に示す。

①高温曝露

熱処理炉を用いて、乾熱200℃条件下にて高温曝露を実施した。なお、試験体は、所定の日数曝露した後に取り出して下記のH e 気密確認試験を実施し、H e 気密確認試験後には、再度、熱処理炉に戻して乾熱200℃条件にて追加日数の高温曝露を継続実施している。

②H e 気密確認試験

高温曝露後の試験体について、H e を用いて気密試験を実施した。負荷圧力は0.3MPa、0.65MPa、0.9MPaとし、スヌープでのリーク確認と0.3MPaは保持時間10分、0.65MPa及び0.9MPaは保持時間30分で圧力降下の有無を確認した。試験状況を第13図に、試験結果を第4表に示す。いずれの試験においてもリーク及び圧力降下は認められなかった。



第 12 図 試験体の状況
(改良 E P D M + バックアップシール材)



第 13 図 H e 気密確認試験状況

第4表 H e 気密確認試験結果

| No. | 曝露条件 | 曝露日数 | 曝露時間 | 0.3MPa | 0.65MPa | 0.9MPa |
|-----|---------|------|---------|--------|---------|--------|
| 1 | 乾熱 200℃ | 30 | 720時間 | ○ | ○ | ○ |
| 2 | 乾熱 200℃ | 45 | 1,080時間 | ○ | ○ | ○ |
| 3 | 乾熱 200℃ | 60 | 1,440時間 | ○ | ○ | ○ |
| 4 | 乾熱 200℃ | 75 | 1,800時間 | ○ | ○ | ○ |
| 5 | 乾熱 200℃ | 90 | 2,160時間 | ○ | ○ | ○ |
| 6 | 乾熱 200℃ | 105 | 2,520時間 | ○ | ○ | ○ |

○：リーク及び圧力降下なし

以上のことから、バックアップシール材について格納容器限界温度
200℃における長期におけるシール性が確認できた。また、ベント実施ま
での間に格納容器の過圧によりフランジ開口を経験したとしても、ベント

後のフランジ開口量が小さい領域では高温性に優れたシール機能を発揮することが確認できた。よって、バックアップシール材は、格納容器ベント操作後の長期シール機能強化に有効である。

なお、格納容器閉じ込め機能として最も厳しいシナリオである「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」において代替循環冷却系を使用しないシーケンスでは、格納容器雰囲気温度は、7日間

（168時間）時点で150℃未満であり、その後の格納容器雰囲気温度は崩壊熱の減衰によって低下傾向となるため、7日間（168時間）以降は150℃を下回る。したがって、これよりも過酷な200℃状態が30日間継続しても格納容器閉じ込め機能は健全であることが試験により確認できているため、事故後長期のシール性向上のためには「改良EPDM製シール材＋バックアップシール材」は有効であると考えている。

(3) バックアップシール材の塗布条件

バックアップシール材のシール機能が確保されるための塗布幅、塗布厚さ、塗布作業に関する条件は、各種試験の結果から第5表の通り定めている。塗布幅は幅が広い程シール機能が向上するが、試験でシール機能が確認できた最小の塗布幅を元に設定している。塗布厚さについては、シール機能が確認できた塗布厚さを元に設定している。また、バックアップシール材は塗布後、徐々に乾燥して固まるため、塗布後にフランジ閉鎖するまでの時間を制約として設けることにしている。この時間についても、試験によりバックアップシール材の乾燥時間を考慮して、シール機能が確認できた時間を元に設定している。

第5表 バックアップシール材の塗布条件

| 項目 | 塗布条件 |
|-----------------|------|
| バックアップシール材の塗布幅 | |
| バックアップシール材の塗布厚さ | |
| 塗布後、フランジ閉鎖までの時間 | |

(4) バックアップシール材の品質確認

バックアップシール材は第5表の条件で塗布することで、シール機能が確保可能である。従って、バックアップシール材塗布作業時に「塗布幅」、「塗布厚さ」、「塗布後、フランジ閉鎖までの時間」を確認することで品質を確認する。「塗布幅」、「塗布厚さ」については、幅、厚さを担保可能な専用治具を用いてバックアップシール材を塗布作業する等で、品質確認を行う。「塗布後、フランジ閉鎖までの時間」については、塗布作業時間を管理することで品質確認を行う。

バックアップシール材塗布による設計影響について

(1) バックアップシール材塗布によるフランジ設計への影響

フランジ設計として、漏えい発生を防止するためにＯリング溝にシール材（改良ＥＰＤＭ製）がセットされているが、シール機能を確保するために以下が設計上考慮されている。

- ① シール材について、開口を考慮した適切な押込み量を確保すること
- ② 内圧及びシール材反力について、適切なフランジ強度を有すること
- ③ シール材が、化学的影響を受ける等により、反応や劣化等の影響を受けないこと
- ④ フランジ締め付け作業の施工性が確保できること

バックアップシール材をフランジ面に塗布することで、上記①～④の考慮事項について悪影響を与えないことを確認するため、バックアップシール材が塗布されることにより「フランジ開口量評価でシール材（改良ＥＰＤＭ製）追従性に悪影響を与えないこと」、「フランジ応力評価に悪影響を与えないこと」、「シール材（改良ＥＰＤＭ製）に化学反応等の悪影響を与えないこと」、「フランジ締め付け作業・開放作業に悪影響を与えないこと」を確認した。

(2) バックアップシール材厚さの影響について

バックアップシール材の有無によるフランジ厚さの変化はほとんど無く、約 0.01mm であることが確認されている。また、バックアップシール材の塗布条件として、幅 、厚さ としている。この条件を施

工管理できるように、専用治具を用いて実施する。具体的には、塗布条件を満足できるように切り欠きを有したヘラのようなものを使用することで考えている。これをフランジ面に当てて、延ばすことでバックアップシール材を特別な技量なく、幅及び厚さは均一に塗布可能とする。

実プラントでのガスケットの押込み深さは である。一方、バックアップシール材適用による押込み量の変化は約 0.01mm と想定され、バックアップシール材適用による押込み深さの変化量やフランジ開口量への影響は無視できる程度で悪影響はないと考えられる。

(3) バックアップシール材塗布に伴うフランジへの影響について

バックアップシール材を塗布した場合の影響評価として、①開口量評価及び②フランジ応力評価を実施した。前述(1)からバックアップシール材塗布時の厚さは約 0.01mm である。

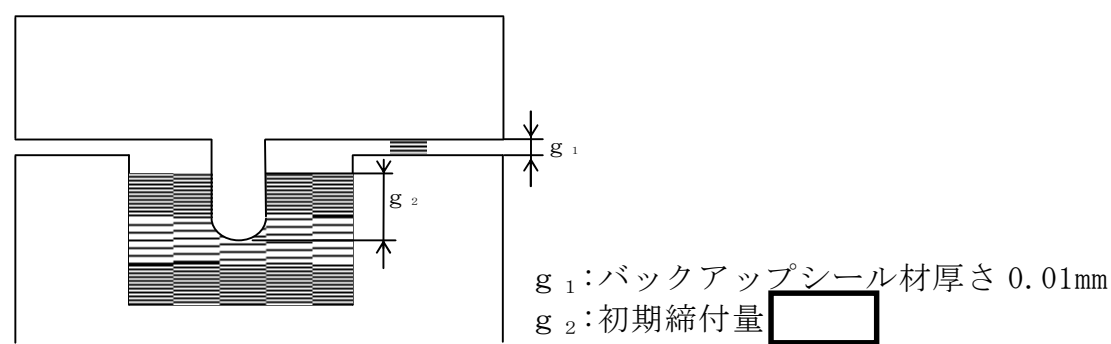
① 開口量評価

構造上バックアップシール材の厚さ分、突起によるガスケットの締め付け量は低減する。このため、最も評価結果が厳しくなるトップヘッドフランジにて 2Pd 時の締め付量と必要締め付量を比較し、シール性能を維持できることを確認した(第 1 図, 第 1 表参照)。なお、ここで用いたガスケットの必要締め付け量は実機を模擬した試験を実施し、締め付量 0mm でもシール性能を維持できることを確認している。

評価式：縮付量＝初期縮付量－バックアップ材厚さ－開口量

＝ () － (0.01mm) － ()

＝ > 0mm



第 1 図 バックアップシール材塗布時の初期縮付状態図

第 1 表 2Pd 時のバックアップシール材を用いたフランジシール部

| 開口量と縮付量 | | | | |
|----------------|------------------|----------------------|----------------------|-------|
| 設備名 | バックアップ シール材厚さ | 開口量 | 縮付量 | 必要縮付量 |
| トップヘッド フランジ | 0.01 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 0 以上 |

(単位：mm)

② フランジ部応力評価

バックアップシール材を用いた際、2Pd 時にフランジに加わる荷重には、格納容器内圧による荷重，ガスケット反力による荷重及びバックアップシール材による荷重があるが、バックアップシール材反力による荷重は内圧による荷重と比較して極めて小さくなる。このため、

フランジ部へ発生する応力の影響は格納容器内圧が支配的であり、バックアップシール材の有無によりフランジ部へ加わる発生応力はほとんど変化しないと考えられる。

(4) 改良E P D M製シール材に対する悪影響，フランジ締付・開放作業への影響について

フランジ締付・開放作業等の現場作業への影響について，フランジ締付時の締付ボルト管理トルク値の変更は必要ないこと，フランジ開放時（点検時）の手入れの際にバックアップシール材はスクレーパ等により，容易に除去可能であることを参考資料 8 で示すバックアップシール材の性能確認試験によって，確認している。また，バックアップシール材の除去時にフランジ部の構造により，現場作業への影響が考えられるが，フランジ面とガスケットを装填する溝部の不連続な箇所があるものの，作業上，影響はない。

化学的影響については，長時間試験で改良E P D M製シール材とバックアップシール材を組み合わせたフランジで劣化後の気密性が確認できていることから，悪影響がないと考えられる。また，フランジ締付時にバックアップシール材の余剰分は，フランジ外面に出てくるが除去可能である。

(5) まとめ

以上の検討により，バックアップシール材塗布におけるフランジ締込量への影響は約 0.01mm とわずかであり，開口量評価及びフランジ部応力評価に大きな影響はない。また，改良E P D M製シール材に対して化学

反応の影響がないこと，フランジ締付作業性も確保できることから，バックアップシール材塗布によるフランジ設計上の影響はない。

トップヘッドフランジ等の開口量評価について

(1) トップヘッドフランジの開口量評価における製作公差等の影響について

原子炉格納容器フランジ部の閉じ込め機能評価については、フランジ開口量評価と改良 E P D M 製シール材の圧縮永久ひずみ特性を組み合わせることで評価している。トップヘッドフランジの開口量評価を第 1 図，改良 E P D M 製シール材の圧縮永久ひずみ試験結果を第 1 表に示す。



第 1 図 トップヘッドフランジの圧力と開口量の関係
(東海第二発電所モデル，200℃)

第 1 表 圧縮永久ひずみ試験^{※1}結果 (改良 E P D M 製)

| | |
|--------------------|------------------------------------|
| 試験温度 | 200℃ |
| 構造部放射線照射量 | <input type="text"/> |
| 試験雰囲気 | 蒸気 |
| 試験時間 | 168h |
| ひずみ率 ^{※2} | <input type="text"/> ^{※3} |

※1 JIS K 6262 に従い実施

※2 試料を圧縮し完全に回復した状態が 0%，全く回復しない状態が 100%

※3 の平均値

第 1 図の開口量評価線図で設定している許容開口量は、格納容器内温度 200℃の状態を 7 日間経過した際のシール材復元量が、フランジ開口量に追従できなくなる限界であり、格納容器限界温度・圧力である 200℃、2Pd に対して、シール材機能は余裕があることを示している。

なお、原子炉格納容器のトップフランジについては、技術基準規則第 44 条に要求される単体の漏えい試験を可能とするように、内側ガスケットと外側ガスケットの間に加圧空間を有した二重シール構造を採用している。格納容器バウンダリに要求される事故時の閉じ込め機能維持の観点からは、内外どちらかのシール部の機能が保たれていればよく、さらに一方のシール機能が喪失するまではもう一方のシール部は直接事故時環境に晒されるものでない。このため、本評価ではフランジの内側シール材の追従性が失われた時を機能喪失とみなした評価であるが、実際には外側シール材の追従性が失われるまでは閉じ込め機能を確保できる。しかしながら、外側シール材部の開口量は内側シール材部と比較して小さいこともあり、本評価では保守的に格納容器の内側シール部の閉じ込め機能を評価した。

開口量評価については、フランジ開口量とシール材復元量を比較しているが、シール部を構成する部位の製作公差（フランジの製作公差、シール材の製作公差等）、シール部の構成材料の熱膨張、材料物性のばらつきを考慮したひずみ率を踏まえ、保守的な評価を次に示す。なお、製作公差のうち、ガスケットの寸法公差は、最小側を 0 と設計変更し、製作公差を考慮しても、公称値以上の寸法となるように管理する。

以上の考え方を第 2 表に整理する。

第 2 表 シール部の構造、寸法及び材料のばらつきを考慮した評価の考え方

| 評価項目 | 評価内容 | 考え方 |
|------------------|-----------------------|--|
| シール部を構成する部位の製作公差 | 二乗和平方根の採用 | ・機器の寸法公差は、一般的に独立した値を組み合わせる使用する場合、各々の寸法公差の二乗和平方根を用いて、算出する。 |
| ガスケットの製作公差 | ガスケット設計の変更 | ・トップヘッドフランジ部のガスケットについて、製作公差の最小側を 0 と設計変更し、製作公差を考慮しても、公称値以上の寸法となるように管理するため、上記のシール部の公差に反映する。 |
| シール部の構成材料の熱膨張 | 材料の熱膨張を考慮 | ・開口量評価は、200℃におけるシール部の評価であることから、構成材料の熱膨張を考慮した。 |
| ガスケットのひずみ率 | 材料物性のばらつきの考慮したひずみ率を採用 | ・J I S K 6262 の結果に基づき、ひずみ率 <input type="text"/> をより厳しい値とするため、圧縮永久ひずみ試験の結果に、統計学的なばらつきを考慮したひずみ率の設定 |

ひずみ率は、第 2 表の考え方に記載の通り、圧縮永久ひずみ試験の結果に、統計学的なばらつきを考慮したひずみ率の設定とする。設定方法は、J I S K 6262 の結果に基づき、ひずみ率 と類似の条件にて実施した試験結果を抽出し、試験片数を増やして統計学的なばらつきを考慮した圧縮永久ひずみ率を算出した。抽出したデータを追加した統計学的なばらつきの評価結果を第 3 表に示す。追加抽出したデータは No. 2～4 の 3 回分（9 個）であり、雰囲気、温度・劣化時間、照射時間を変えて実施した試験のうち、雰囲気、温度・劣化時間が同一であるものを選定した。なお、試験 No. 1 は、ひずみ率 を設定した試験データである。

第 3 表に示すとおり、試験回数 4 回分、合計 12 個の試験データに基づく統計学的なばらつきを考慮したひずみ率を算出した結果、圧縮永久ひずみ

率の最大値は であった。

第 3 表 統計学的に算出した圧縮永久ひずみ率

| 試験 No. | ひずみ率 | 平均値 | 標準偏差 σ | 平均値 + 2 σ |
|--------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | <input type="text"/> | | | |
| 2 | <input type="text"/> | | | |
| 3 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| 4 | <input type="text"/> | | | |

注記：試験条件は以下の通り

雰囲気：蒸気環境（試験 No. 1～4）

温度・劣化時間：200℃・168 時間（試験 No. 1～4）

照射線量：

圧縮永久ひずみ試験：J I S K 6262 に基づき実施（試験 No. 1～4）

本評価における圧縮永久ひずみのばらつきは、重大事故環境を考慮したひずみ率を確認するため、原子力プラント特有の条件として の放射線量を照射した後、圧縮状態で 200℃の飽和蒸気環境にて 168 時間劣化さ

せた状態での測定値であり，改良型E P D M製シール材の使用温度範囲外で実施した過酷な環境下での試験であることから，ひずみ率のばらつきの幅が大きく出たものと考えられる。なお，改良E P D M材のメーカカタログ値として記載されている圧縮永久ひずみ (試験条件) の試験時は，測定値のばらつきが 程度であり，重大事故環境における試験で生じたばらつきと有意な差はない。

ここで，第3表に示す圧縮永久ひずみ率のデータ群における外れ値の有無について棄却検定法を用いて評価する。

棄却検定法として，原子力発電所内の安全系に係る計器類を対象とし，多点データの統計的処理に係る手法を定めた指針である「安全保護系計器のドリフト評価指針」(J E A G 4621-2007 日本電気協会)を参考とし，グラブス・スミルノフ検定を採用した。

統計学的に算出した圧縮永久ひずみ率は，正規分布に従う場合， (平均値 $\pm 2\sigma$) の値が全ケース内に含まれる確率は約95%である。

したがって，全ケースから外れる確率5%を検定水準としてグラブス・スミルノフ検定を行い，第4表及び第5表に示す試験データ群の中に外れ値は存在するか確認を実施した。

第4表 試験データ群

| x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | x_8 | x_9 | x_{10} | x_{11} | x_{12} |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
| <input type="text"/> | | | | | | | | | | | |

第 5 表 試験データのまとめ

| 項目 | データ数 | 最大値 | 最小値 | 平均値 μ | 不偏標準偏差 s |
|----|------|-----|-----|--------------|---------------|
| 値 | 12 | | | | |

グラブス・スミルノフ検定とは、任意の検査値に対し検定統計量 t (式(1)) を求め、この検定統計量 t がある検定水準における臨界値 τ (式(2)) よりも大きい場合、その検査値を異常値とみなす判定法である。

$$t_i = \frac{|x_i - \mu|}{s} \quad (\text{式(1)})$$

ここで,

x_i : 検査値 ($i=1, 2, \dots, 12$)

μ : 標本平均

s : 不偏標準偏差

t_i : 検定統計量 ($i=1, 2, \dots, 12$)

$$\tau = (n-1) \cdot \sqrt{\frac{t_{\alpha/n}^2}{n(n-2) + n \cdot t_{\alpha/n}^2}} \quad (\text{式(2)})$$

ここで,

n : データ数

$t_{\alpha/n}$: 自由度 $(n-2)$ の t 分布の上側 $100\alpha/n\%$ 値

($\alpha=0.05$ として t 分布表より算出)

第 5 表の試験データのまとめから、データ群の平均値 μ 及び標準偏差 s (不偏標準偏差) はそれぞれ $\mu = \square$, $s = \square$ となる。また、検査値 x_i は平均値から最も離れた値とし、 $x_4 = \square$ とする。

このときの検定統計量 t_4 は以下のとおりである。

$$t_4 = \frac{|x_4 - \mu|}{s} = \boxed{} = \boxed{}$$

これに対し、臨界値 τ は、標本数 $n=12$ 、有意水準 α を 5% と設定し、 $t_{\alpha/n}$ を自由度 $n-2$ の t 分布の上側 $100\alpha/n\%$ 値としたとき、

$$\tau = (n-1) \cdot \sqrt{\frac{t_{\alpha/n}^2}{n(n-2) + n \cdot t_{\alpha/n}^2}} = (12-1) \times \sqrt{\frac{3.28^2}{12 \times (12-2) + 12 \times 3.28^2}}$$

$$= 2.29$$

となる。

ここで、 $t_{\alpha/n} = 3.28$ は、下図に示す t 分布表から算定した値である。

$2 \cdot \alpha / n = 2 \cdot 0.05 / 12$

t 表

$\phi, P \rightarrow t$
(自由度 ϕ と両側確率 P とから t を求める表)
 $P = 2 \int_t^\infty \frac{\Gamma(\frac{\phi+1}{2}) dv}{\sqrt{\phi \pi} \Gamma(\frac{\phi}{2}) (1 + \frac{v^2}{\phi})^{\frac{\phi+1}{2}}}$

| $\phi \backslash P$ | 0.50 | 0.40 | 0.30 | 0.20 | 0.10 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.001 | $P \backslash \phi$ |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------------------|
| 1 | 1.000 | 1.376 | 1.963 | 3.078 | 6.314 | 12.706 | 31.821 | 63.657 | 636.619 | 1 |
| 2 | 0.816 | 1.061 | 1.386 | 1.886 | 2.920 | 4.303 | 6.965 | 9.925 | 31.598 | 2 |
| 3 | 0.756 | 0.978 | 1.250 | 1.638 | 2.353 | 3.182 | 4.541 | 5.841 | 12.941 | 3 |
| 4 | 0.741 | 0.941 | 1.190 | 1.533 | 2.132 | 2.776 | 3.747 | 4.604 | 8.610 | 4 |
| 5 | 0.727 | 0.920 | 1.156 | 1.476 | 2.015 | 2.571 | 3.365 | 4.032 | 6.859 | 5 |
| 6 | 0.718 | 0.906 | 1.134 | 1.440 | 1.943 | 2.447 | 3.143 | 3.707 | 5.959 | 6 |
| 7 | 0.711 | 0.896 | 1.119 | 1.415 | 1.895 | 2.365 | 2.998 | 3.499 | 5.405 | 7 |
| 8 | 0.706 | 0.889 | 1.108 | 1.397 | 1.860 | 2.306 | 2.896 | 3.355 | 5.041 | 8 |
| 9 | 0.703 | 0.883 | 1.100 | 1.383 | 1.833 | 2.262 | 2.821 | 3.251 | 4.751 | 9 |
| 10 | 0.700 | 0.879 | 1.093 | 1.372 | 1.812 | 2.228 | 2.764 | 3.183 | 4.571 | 10 |
| 11 | 0.697 | 0.876 | 1.088 | 1.363 | 1.796 | 2.201 | 2.718 | 3.106 | 4.437 | 11 |
| 12 | 0.695 | 0.873 | 1.083 | 1.356 | 1.782 | 2.179 | 2.681 | 3.055 | 4.318 | 12 |
| 13 | 0.694 | 0.870 | 1.079 | 1.350 | 1.771 | 2.160 | 2.650 | 3.012 | 4.221 | 13 |
| 14 | 0.692 | 0.868 | 1.076 | 1.345 | 1.761 | 2.145 | 2.624 | 2.977 | 4.140 | 14 |
| 15 | 0.691 | 0.866 | 1.074 | 1.341 | 1.753 | 2.131 | 2.602 | 2.947 | 4.073 | 15 |
| 16 | 0.690 | 0.865 | 1.071 | 1.337 | 1.746 | 2.120 | 2.583 | 2.921 | 4.015 | 16 |
| 17 | 0.689 | 0.863 | 1.069 | 1.333 | 1.740 | 2.110 | 2.567 | 2.898 | 3.965 | 17 |
| 18 | 0.688 | 0.862 | 1.067 | 1.330 | 1.734 | 2.101 | 2.552 | 2.878 | 3.922 | 18 |
| 19 | 0.688 | 0.861 | 1.066 | 1.328 | 1.729 | 2.093 | 2.539 | 2.861 | 3.883 | 19 |
| 20 | 0.687 | 0.860 | 1.064 | 1.325 | 1.725 | 2.086 | 2.528 | 2.845 | 3.850 | 20 |
| 21 | 0.686 | 0.859 | 1.063 | 1.323 | 1.721 | 2.080 | 2.518 | 2.831 | 3.819 | 21 |
| 22 | 0.686 | 0.858 | 1.061 | 1.321 | 1.717 | 2.074 | 2.508 | 2.819 | 3.792 | 22 |
| 23 | 0.685 | 0.858 | 1.060 | 1.319 | 1.714 | 2.069 | 2.500 | 2.807 | 3.767 | 23 |
| 24 | 0.685 | 0.857 | 1.059 | 1.318 | 1.711 | 2.064 | 2.492 | 2.797 | 3.745 | 24 |
| 25 | 0.684 | 0.856 | 1.058 | 1.316 | 1.708 | 2.060 | 2.485 | 2.787 | 3.725 | 25 |
| 26 | 0.684 | 0.856 | 1.058 | 1.315 | 1.706 | 2.056 | 2.479 | 2.779 | 3.707 | 26 |
| 27 | 0.684 | 0.855 | 1.057 | 1.314 | 1.703 | 2.052 | 2.473 | 2.771 | 3.690 | 27 |
| 28 | 0.683 | 0.855 | 1.056 | 1.313 | 1.701 | 2.048 | 2.467 | 2.763 | 3.674 | 28 |
| 29 | 0.683 | 0.854 | 1.055 | 1.311 | 1.699 | 2.045 | 2.462 | 2.756 | 3.659 | 29 |
| 30 | 0.683 | 0.854 | 1.055 | 1.310 | 1.697 | 2.042 | 2.457 | 2.750 | 3.646 | 30 |
| 40 | 0.681 | 0.851 | 1.050 | 1.303 | 1.684 | 2.021 | 2.423 | 2.704 | 3.551 | 40 |
| 60 | 0.679 | 0.848 | 1.046 | 1.296 | 1.671 | 2.000 | 2.390 | 2.660 | 3.460 | 60 |
| 120 | 0.677 | 0.845 | 1.041 | 1.289 | 1.658 | 1.980 | 2.358 | 2.617 | 3.373 | 120 |
| ∞ | 0.674 | 0.842 | 1.036 | 1.282 | 1.645 | 1.960 | 2.326 | 2.576 | 3.291 | ∞ |

3.28

$n-2=12-2$

(出典：推計学入門演習（産業図書株式会社）)

以上より、平均値から最も離れた検定値である $x_4 = \square$ に対する検定統計量 t は \square であり、臨界値 $t = 2.29$ よりも小さいため、異常値とは判定されない。

したがって、第 3 表に示す圧縮永久ひずみ値のデータ群において外れ値と判定されるものではなく、これらの値のばらつきを考慮して統計学的に算出した圧縮永久ひずみ率 \square を評価に用いることは妥当である。

なお、本評価において使用したグラブス・スミルノフ検定手法は、対象とするデータ群が正規分布に従うことを適用の前提条件としている。ここでは、改良 EPDM 製シール材の圧縮永久ひずみ試験のデータ (12 点) に対して、正規性の検討を実施する。

正規性の検討に用いる手法として、原子力発電所内の安全系に係る計器類を対象とし、多点データの統計的処理に係る手法を定めた指針である「安全保護系計器のドリフト評価指針」(J E A G 4621-2007 日本電気協会)を参考とし、 χ^2 (カイ 2 乗)適合度検定を採用した。

χ^2 適合度検定は、仮定された理論上の確率分布に対して、標本から求められた度数が適合するか否かを検証する手法として一般的に知られたものである。

χ^2 検定の対象データを第 6 表に示す。第 6 表のデータは、蒸気環境で $200^\circ\text{C}/168$ 時間劣化させた試料の圧縮永久ひずみ試験データ (12 個) である。

第 6 表 改良 E P D M の圧縮永久ひずみデータ (単位 : %)

| x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | x_8 | x_9 | x_{10} | x_{11} | x_{12} |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
| | | | | | | | | | | | |
| 平均値 : <input type="text"/> / 不偏標準偏差 : <input type="text"/> | | | | | | | | | | | |

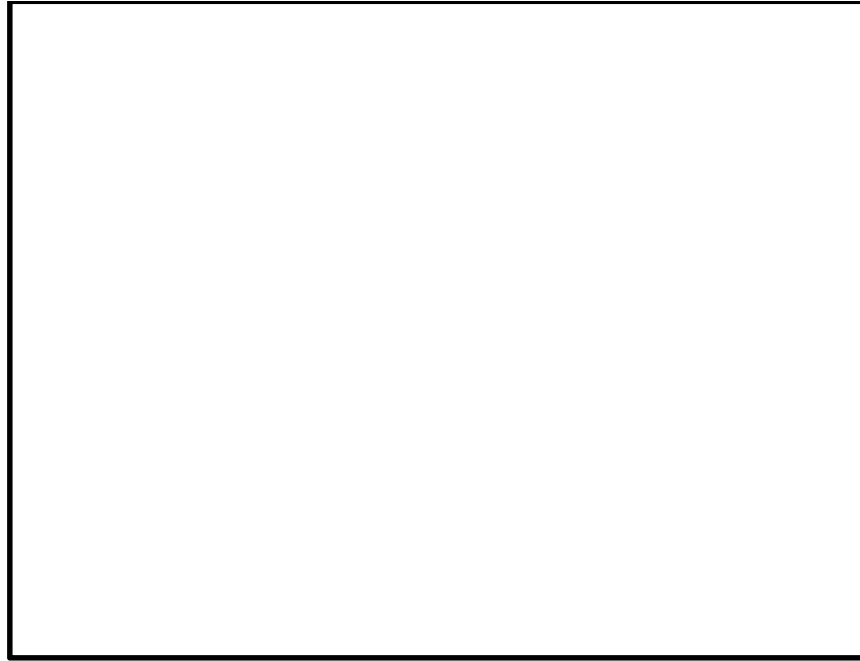
χ^2 適合度検定は, 第 6 表に示す標本データと正規分布を仮定した期待値とを比較し, 適合度を検定するものであり, データ数と関係なく一般的に使用される。第 6 表に示すデータを階級ごとに分割して整理した結果を第 7 表に, 第 7 表に基づき作成したヒストグラムを第 2 図に示す。

第 7 表 圧縮永久ひずみデータの度数分布表

| 階級 | 度数 O_i | 期待度数 E_i | $(O_i - E_i)^2 / E_i$ |
|----|-------------|---------------|-----------------------|
| | | | |

階級数 : 12 (自由度 : 9)

χ^2 値



第 2 図 圧縮永久ひずみデータのヒストグラム

χ^2 値は, 標本データの度数と正規分布を仮定した場合の期待度数との差分の積算として下式で求められる。

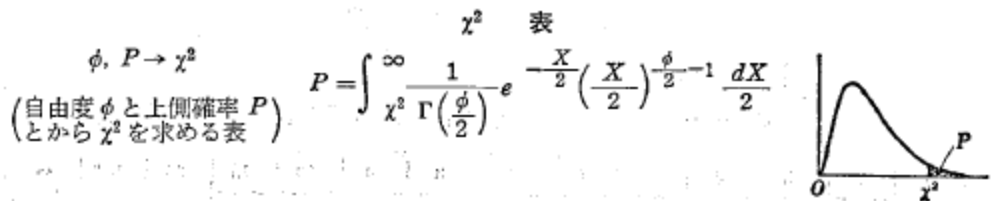
$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = \boxed{}$$

ここで,

O_i : ある階級に含まれるデータ数

E_i : ある階級の期待度数

χ^2 適合度検定では, 標本データより求めた χ^2 値が, データの自由度 (階級数 - 制約数) に対する χ^2 分布表の値よりも小さければ, 正規分布に従っている (正規性がある) と判定される。自由度 9, 上側確率 5% に対する χ^2 分布表の値は 16.92 であり, 12 個のデータに基づく χ^2 値 $\boxed{}$ は 16.92 よりも小さいため, 第 6 表に示す圧縮永久ひずみデータに対する正規性を示すとの仮定は棄却されなかった。



| $\phi \backslash P$ | .995 | .99 | .975 | .95 | .90 | .75 | .50 | .25 | .10 | .05 | .025 | .01 | .005 | $P \backslash \phi$ |
|---------------------|---------|---------|---------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| 1 | 0.00393 | 0.00157 | 0.00082 | 0.003 | 0.0158 | 0.102 | 0.455 | 1.323 | 2.71 | 3.84 | 5.02 | 6.63 | 7.88 | 1 |
| 2 | 0.0100 | 0.0201 | 0.0506 | 0.109 | 0.211 | 0.575 | 1.386 | 2.77 | 4.61 | 5.99 | 7.38 | 9.21 | 10.60 | 2 |
| 3 | 0.0717 | 0.115 | 0.216 | 0.352 | 0.584 | 1.213 | 2.37 | 4.11 | 6.25 | 7.81 | 9.35 | 11.34 | 12.84 | 3 |
| 4 | 0.207 | 0.297 | 0.484 | 0.711 | 1.064 | 1.923 | 3.36 | 5.39 | 7.78 | 9.49 | 11.14 | 13.28 | 14.86 | 4 |
| 5 | 0.412 | 0.554 | 0.831 | 1.145 | 1.610 | 2.67 | 4.35 | 6.63 | 9.24 | 11.07 | 12.83 | 15.09 | 16.75 | 5 |
| 6 | 0.676 | 0.872 | 1.237 | 1.635 | 2.20 | 3.45 | 5.35 | 7.84 | 10.64 | 12.59 | 14.45 | 16.81 | 18.55 | 6 |
| 7 | 0.989 | 1.239 | 1.690 | 2.17 | 2.83 | 4.25 | 6.35 | 9.04 | 12.02 | 14.07 | 16.01 | 18.48 | 20.3 | 7 |
| 8 | 1.344 | 1.646 | 2.18 | 2.73 | 3.49 | 5.07 | 7.34 | 10.22 | 13.36 | 15.51 | 17.53 | 20.1 | 22.0 | 8 |
| 9 | 1.735 | 2.09 | 2.70 | 3.33 | 4.17 | 5.90 | 8.34 | 11.39 | 14.68 | 16.92 | 19.02 | 21.7 | 23.6 | 9 |
| 10 | 2.16 | 2.56 | 3.25 | 3.94 | 4.87 | 6.74 | 9.34 | 12.55 | 15.99 | 18.31 | 20.5 | 23.2 | 25.2 | 10 |
| 11 | 2.60 | 3.05 | 3.82 | 4.57 | 5.58 | 7.58 | 10.34 | 13.70 | 17.28 | 19.68 | 21.9 | 24.7 | 26.8 | 11 |
| 12 | 3.07 | 3.57 | 4.40 | 5.23 | 6.30 | 8.44 | 11.34 | 14.85 | 18.55 | 21.0 | 23.3 | 26.2 | 28.3 | 12 |
| 13 | 3.57 | 4.11 | 5.01 | 5.89 | 7.04 | 9.30 | 12.34 | 15.98 | 19.81 | 22.4 | 24.7 | 27.7 | 29.8 | 13 |
| 14 | 4.07 | 4.66 | 5.63 | 6.57 | 7.79 | 10.17 | 13.34 | 17.12 | 21.1 | 23.7 | 26.1 | 29.1 | 31.3 | 14 |
| 15 | 4.60 | 5.23 | 6.26 | 7.26 | 8.55 | 11.04 | 14.34 | 18.25 | 22.3 | 25.0 | 27.5 | 30.6 | 32.8 | 15 |
| 16 | 5.14 | 5.81 | 6.91 | 7.96 | 9.31 | 11.91 | 15.34 | 19.37 | 23.5 | 26.3 | 28.8 | 32.0 | 34.3 | 16 |
| 17 | 5.70 | 6.41 | 7.56 | 8.67 | 10.09 | 12.79 | 16.34 | 20.5 | 24.8 | 27.6 | 30.2 | 33.4 | 35.7 | 17 |
| 18 | 6.26 | 7.01 | 8.23 | 9.39 | 10.86 | 13.68 | 17.34 | 21.6 | 26.0 | 28.9 | 31.5 | 34.8 | 37.2 | 18 |
| 19 | 6.84 | 7.63 | 8.91 | 10.12 | 11.65 | 14.56 | 18.34 | 22.7 | 27.2 | 30.1 | 32.9 | 36.2 | 38.6 | 19 |
| 20 | 7.43 | 8.26 | 9.59 | 10.85 | 12.44 | 15.45 | 19.34 | 23.8 | 28.4 | 31.4 | 34.2 | 37.6 | 40.0 | 20 |
| 21 | 8.03 | 8.90 | 10.28 | 11.59 | 13.24 | 16.34 | 20.3 | 24.9 | 29.6 | 32.7 | 35.5 | 38.9 | 41.4 | 21 |
| 22 | 8.64 | 9.54 | 10.98 | 12.34 | 14.04 | 17.24 | 21.3 | 26.0 | 30.8 | 33.9 | 36.8 | 40.3 | 42.8 | 22 |
| 23 | 9.26 | 10.20 | 11.69 | 13.09 | 14.85 | 18.14 | 22.3 | 27.1 | 32.0 | 35.2 | 38.1 | 41.6 | 44.2 | 23 |
| 24 | 9.89 | 10.86 | 12.40 | 13.85 | 15.66 | 19.04 | 23.3 | 28.2 | 33.2 | 36.4 | 39.4 | 43.0 | 45.6 | 24 |
| 25 | 10.52 | 11.52 | 13.12 | 14.61 | 16.47 | 19.94 | 24.3 | 29.3 | 34.4 | 37.7 | 40.6 | 44.3 | 46.9 | 25 |
| 26 | 11.16 | 12.20 | 13.84 | 15.38 | 17.29 | 20.8 | 25.3 | 30.4 | 35.6 | 38.9 | 41.9 | 45.6 | 48.3 | 26 |
| 27 | 11.81 | 12.88 | 14.57 | 16.15 | 18.11 | 21.7 | 26.3 | 31.5 | 36.7 | 40.1 | 43.2 | 47.0 | 49.6 | 27 |
| 28 | 12.46 | 13.56 | 15.31 | 16.93 | 18.94 | 22.7 | 27.3 | 32.6 | 37.9 | 41.3 | 44.5 | 48.3 | 51.0 | 28 |
| 29 | 13.12 | 14.26 | 16.06 | 17.71 | 19.77 | 23.6 | 28.3 | 33.7 | 39.1 | 42.6 | 45.7 | 49.6 | 52.3 | 29 |
| 30 | 13.79 | 14.95 | 16.79 | 18.49 | 20.6 | 24.5 | 29.3 | 34.8 | 40.3 | 43.8 | 47.0 | 50.9 | 53.7 | 30 |
| 40 | 20.7 | 22.2 | 24.4 | 26.5 | 29.1 | 33.7 | 39.3 | 45.6 | 51.8 | 55.8 | 59.3 | 63.7 | 66.8 | 40 |
| 50 | 28.0 | 29.7 | 32.4 | 34.8 | 37.7 | 42.9 | 49.3 | 56.3 | 63.2 | 67.5 | 71.4 | 76.2 | 79.5 | 50 |
| 60 | 35.5 | 37.5 | 40.5 | 43.2 | 46.5 | 52.3 | 59.3 | 67.0 | 74.4 | 79.1 | 83.3 | 88.4 | 92.0 | 60 |
| 70 | 43.3 | 45.4 | 48.8 | 51.7 | 55.3 | 61.7 | 69.3 | 77.6 | 85.5 | 90.5 | 95.0 | 100.4 | 104.2 | 70 |
| 80 | 51.2 | 53.5 | 57.2 | 60.4 | 64.3 | 71.1 | 79.3 | 88.1 | 96.6 | 101.9 | 106.6 | 112.3 | 116.3 | 80 |
| 90 | 59.2 | 61.8 | 65.6 | 69.1 | 73.3 | 80.6 | 89.3 | 98.6 | 107.6 | 113.1 | 118.1 | 124.1 | 128.3 | 90 |
| 100 | 67.3 | 70.1 | 74.2 | 77.9 | 82.4 | 90.1 | 99.3 | 109.1 | 118.5 | 124.3 | 129.6 | 135.8 | 140.2 | 100 |
| χ^2 | -2.58 | -2.33 | -1.96 | -1.64 | -1.28 | -0.674 | 0.000 | 0.674 | 1.282 | 1.645 | 1.960 | 2.33 | 2.58 | χ^2 |

(出典：推計学入門演習（産業図書株式会社）)

次に第2表に基づき、シール部を構成する部位の製作公差等を考慮した
トップヘッドフランジの開口量評価を実施する。

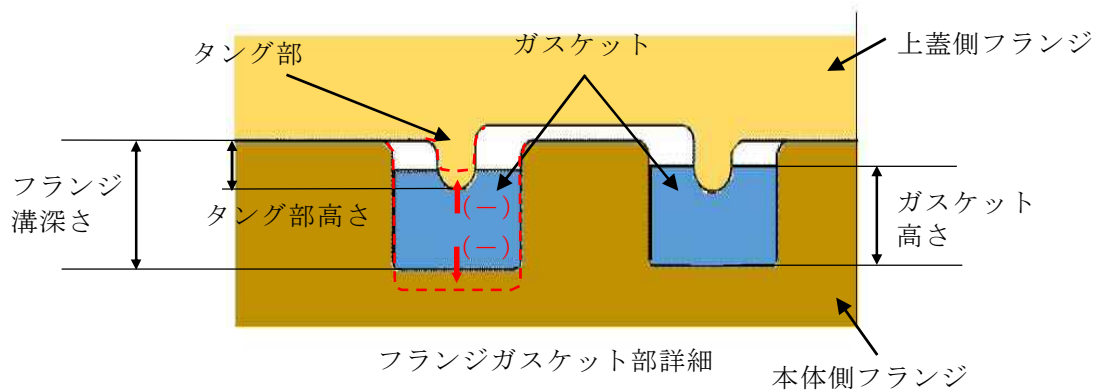
製作公差がトップヘッドフランジの開口量評価に影響する箇所は、シール材を締め付ける部位の開口方向の製作公差であるため、ガスケット溝深さ、タング部高さ及びガスケット高さが該当する（第3図参照）。これらの製作公差を第8表に示す。

第 8 表 製作公差を考慮したガスケットの押し込み量

| 部位 | 公称値 | 公差（絶対値） |
|-------------|-----|---------|
| フランジ溝深さ | | |
| タング部高さ | | |
| ガスケット高さ | | |
| バックアップシール厚さ | | |
| ガスケット押し込み量 | | |

第 8 表より，製作公差を考慮したガスケットの押し込み量は，

（公称値）－（公差）＝と評価できる。

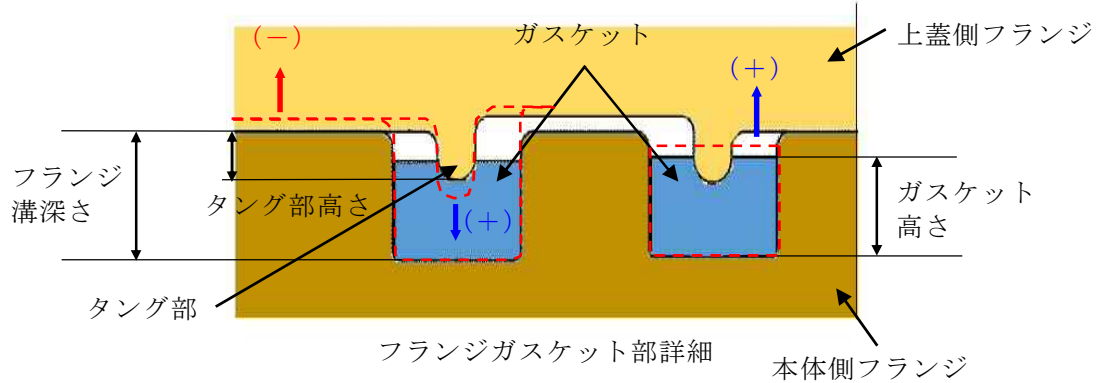


第 3 図 製作公差の概要（赤点線：製作公差のイメージ）

更に，各部位の熱膨張を考慮した寸法を第 9 表に示す。これらの製作公差の概要を第 4 図に示す。

第 9 表 各部位の熱膨張を考慮した寸法

| 部位 | 基準寸法 | 熱膨張変位 |
|---------|------|-------|
| フランジ溝深さ | | |
| タング部高さ | | |
| ガスケット高さ | | |
| 熱膨張変位合計 | | |



第 4 図 熱膨張変位の概要（赤点線：熱膨張のイメージ）

熱膨張量 ΔL の評価式は以下の通り

$$\Delta L = L \times \alpha \times \Delta t$$

ここに、

L ：基準寸法 (mm)

α ：材料の熱膨張係数 (mm/mm・℃)

鋼材 = 11.85×10^{-6} ，ガスケット =

Δt ：据付状態から評価温度までの温度差 (℃) (= $200 - \text{} = \text{}$)

第 9 表より、熱膨張を考慮したガスケットの押し込み量は、製作公差を考慮したガスケットの押し込み量より、 + = と評価できる。

また、実機フランジ模擬試験においては、高温での試験を実施する前段階として、予備加圧にて徐々に調整シム量を少なくしていき、ガスケットからの漏えいが起こらない状態を押し込み量 0mm と定義していることから、漏えいが起こらなくなった時点においては、調整シムの最小厚さである のガスケット押し込み量が発生する恐れがある。

上記より、実機フランジ模擬試験で想定されるガスケット押し込み量は、製作公差及び熱膨張を考慮したガスケットの押し込み量より、 - = と評価できる。

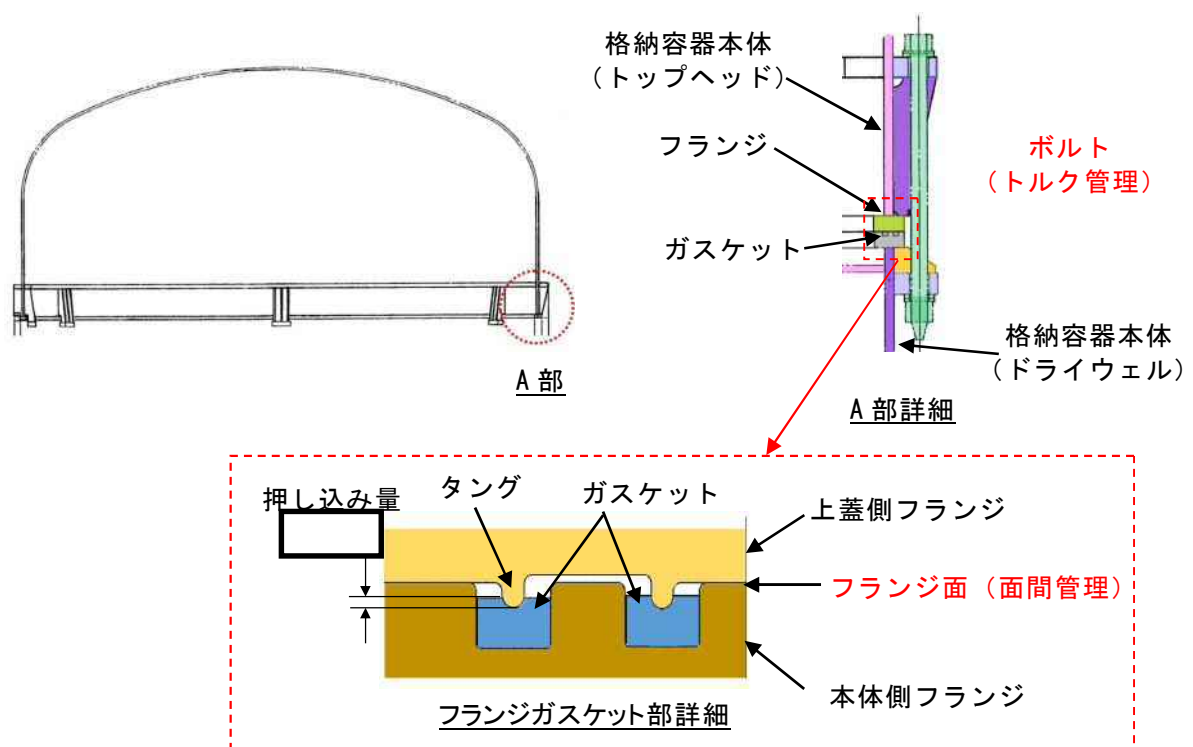
以上の結果から、シール部の構造、寸法及び材料のばらつきを考慮した評価は第 10 表の通りとなり、ばらつきを保守側に積み上げて評価した場合においても、内側・外側ともシール機能は維持されることを確認した。

第 10 表 シール部の構造、寸法及び材料のばらつきを考慮した評価結果

| 評価 | | 押し込み量 | ひずみ率 | 許容 開口量 | 開口量 (2Pd) | 評価結果 |
|-----|----|-------|------|-----------|--------------|------|
| 公称値 | 内側 | | | | | ○ |
| | 外側 | | | | | ○ |
| 評価値 | 内側 | | | | | ○ |
| | 外側 | | | | | ○ |

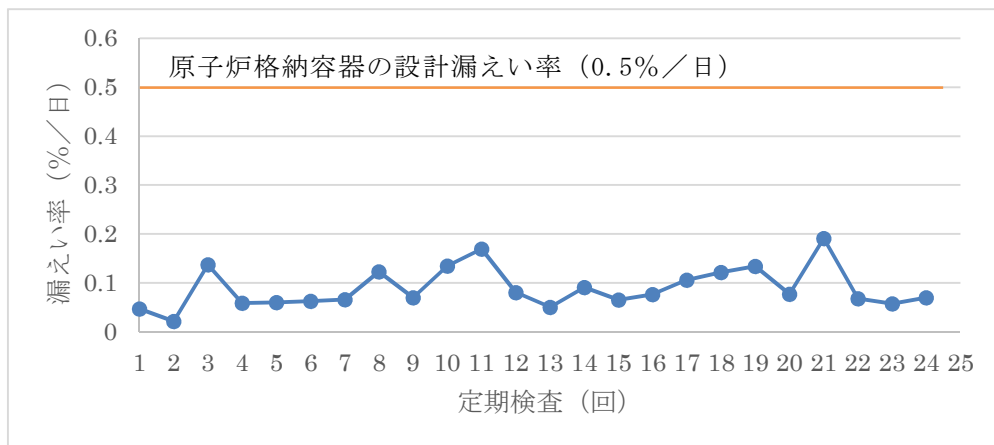
(2) トップヘッドフランジの施工管理について

実機のトップヘッドフランジにおいては、定期検査におけるトップヘッドフランジ閉鎖時に、決められたトルクでボルトを締め付けることが要領書で定められていること、異物の噛み込みや予期せぬフランジの変形等による隙間が生じていないことを の隙間ゲージが挿入できないことをもって確認していることから、作業者の技量によってガスケットの押し込み量の変動することは考え難く、作業管理における品質は維持できると考える。トップヘッドフランジ部の構造を第5図に示す。上蓋側フランジと本体側フランジのフランジ面を隙間が無いように据え付けることで、タング（突起）によるガスケット押し込み量 が確保出来る構造となっている。

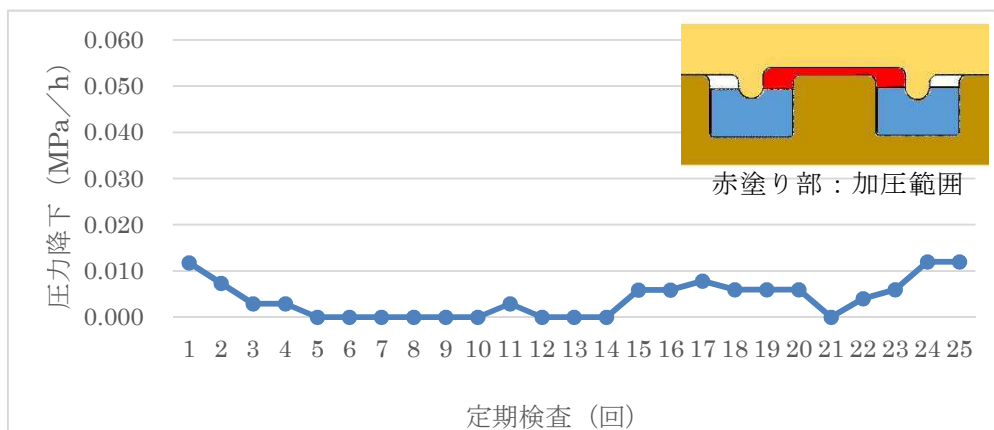


第5図 トップヘッドフランジ部の構造

また、トップヘッドフランジの溝及びタング（突起）については、定期検査の開放時に手入れを実施しているが、溝やタングを傷つけないような素材で手入れを行っていること、外観目視点検を開放の都度行い傷や変形がないことを確認していること、定期検査毎に原子炉格納容器全体の漏えい率検査及びトップヘッドフランジ部のみのリークテストを実施しており、有意な変動のないことを確認していることから、トップヘッドフランジの溝及びタングは気密性を維持していると考える。原子炉格納容器全体漏えい率検査実績及びトップヘッドフランジ部リークテスト実績を第6図、第7図に示す。



第6図 原子炉格納容器全体漏えい率検査実績



第7図 トップヘッドフランジ部リークテスト実績

(3) トップヘッドフランジ以外の開口量評価における製作公差等の影響について

トップヘッドフランジの開口量評価((1)にて記載)と同様に,原子炉格納容器バウンダリ構成部として,評価対象としている機器搬入用ハッチ,サプレッション・チェンバアクセスハッチ,所員用エアロックについても開口量評価を実施する。評価結果は,第11表から第22表の通りであり,製作公差を考慮しても閉じ込め機能が維持できる。

第11表 機器搬入用ハッチのガスケット押し込み量

| 部位 | 公称値 | 公差(絶対値) |
|-------------|-----|---------|
| フランジ溝深さ | | |
| タング部高さ | | |
| ガスケット高さ | | |
| バックアップシール厚さ | - | 0.01mm |
| ガスケット押し込み量 | | |

第12表 機器搬入用ハッチの各部位の熱膨張を考慮した寸法

| 部位 | 基準寸法 | 熱膨張変位 |
|---------|------|-------|
| フランジ溝深さ | | |
| タング部高さ | | |
| ガスケット高さ | | |
| 熱膨張変位合計 | | |

第 13 表 機器搬入用ハッチの開口量評価結果

| 評価 | | 押し込み量 | ひずみ率 | 許容 開口量 | 開口量 | 評価結果 |
|-----|----|-------|------|-----------|-----|------|
| 公称値 | 内側 | | | | | ○ |
| | 外側 | | | | | ○ |
| 評価値 | 内側 | | | | | ○ |
| | 外側 | | | | | ○ |

※実機フランジ模擬試験で想定されるガスケット押し込み量を含む

第 14 表 サプレッション・チェンバアクセスハッチのガスケット押し込み量

| 部位 | 公称値 | 公差（絶対値） |
|-------------|-----|---------|
| フランジ溝深さ | | |
| タング部高さ | | |
| ガスケット高さ | | |
| バックアップシール厚さ | - | 0.01mm |
| ガスケット押し込み量 | | |

第 15 表 サプレッション・チェンバアクセスハッチの各部位の熱膨張を考慮した
寸法

| 部位 | 基準寸法 | 熱膨張変位 |
|---------|------|-------|
| フランジ溝深さ | | |
| タング部高さ | | |
| ガスケット高さ | | |
| 熱膨張変位合計 | | |

第 16 表 サプレッション・チェンバアクセスハッチの開口量評価結果

| 評価 | | 押し込み量 | ひずみ率 | 許容開口量 | 開口量 | 評価結果 |
|-----|----|-------|------|-------|-----|------|
| 公称値 | 内側 | | | | | ○ |
| | 外側 | | | | | ○ |
| 評価値 | 内側 | | | | | ○ |
| | 外側 | | | | | ○ |

※実機フランジ模擬試験で想定されるガスケット押し込み量を含む

第 17 表 所員用エアロックのガスケット押し込み量

| 部位 | 公称値 | 公差（絶対値） |
|------------|-----|---------|
| フランジ溝深さ | | |
| タング部高さ | | |
| ガスケット高さ | | |
| ガスケット押し込み量 | | |

第 18 表 所員用エアロックの各部位の熱膨張を考慮した寸法

| 部位 | 基準寸法 | 熱膨張変位 |
|---------|------|-------|
| フランジ溝深さ | | |
| タング部高さ | | |
| ガスケット高さ | | |
| 熱膨張変位合計 | | |

第 19 表 所員用エアロックの開口量評価結果

| 評価 | 押し込み量 | ひずみ率 | 許容開口量 | 開口量 | 評価結果 |
|-----|-------|------|-------|-----|------|
| 公称値 | | | | | ○ |
| 評価値 | | | | | ○ |

※実機フランジ模擬試験で想定されるガスケット押し込み量を含む

第 20 表 閉止板（X-28）のガスケット押し込み量

| 部位 | 公称値 | 公差（絶対値） |
|------------|-----|---------|
| フランジ溝深さ | | |
| タング部高さ | | |
| ガスケット高さ | | |
| ガスケット押し込み量 | | |

第 21 表 閉止板（X-28）の各部位の熱膨張を考慮した寸法

| 部位 | 基準寸法 | 熱膨張変位 |
|---------|------|-------|
| フランジ溝深さ | | |
| タング部高さ | | |
| ガスケット高さ | | |
| 熱膨張変位合計 | | |

第 22 表 閉止板（X-28）の開口量評価結果

| 評価 | | 押し込み量 | ひずみ率 | 許容開口量 | 開口量 | 評価結果 |
|-----|----|-------|------|-------|-----|------|
| 公称値 | 内側 | | | | | ○ |
| | 外側 | | | | | ○ |
| 評価値 | 内側 | | | | | ○ |
| | 外側 | | | | | ○ |

※実機フランジ模擬試験で想定されるガスケット押し込み量を含む

(4) 実機フランジ計測結果を考慮したトップヘッドフランジ部の開口量評価について

トップヘッドフランジのシール部は、製作公差を考慮した場合の許容開口量と開口量の比較において、内側シール部の裕度が小さいことから、実機フランジ（サブプレッション・チェンバアクセスハッチ）の寸法測定を実施し、製作寸法の誤差を確認した。サブプレッション・チェンバアクセスハッチの構造図を第 8 図に、フランジ部の寸法測定結果を第 23 表に示す。

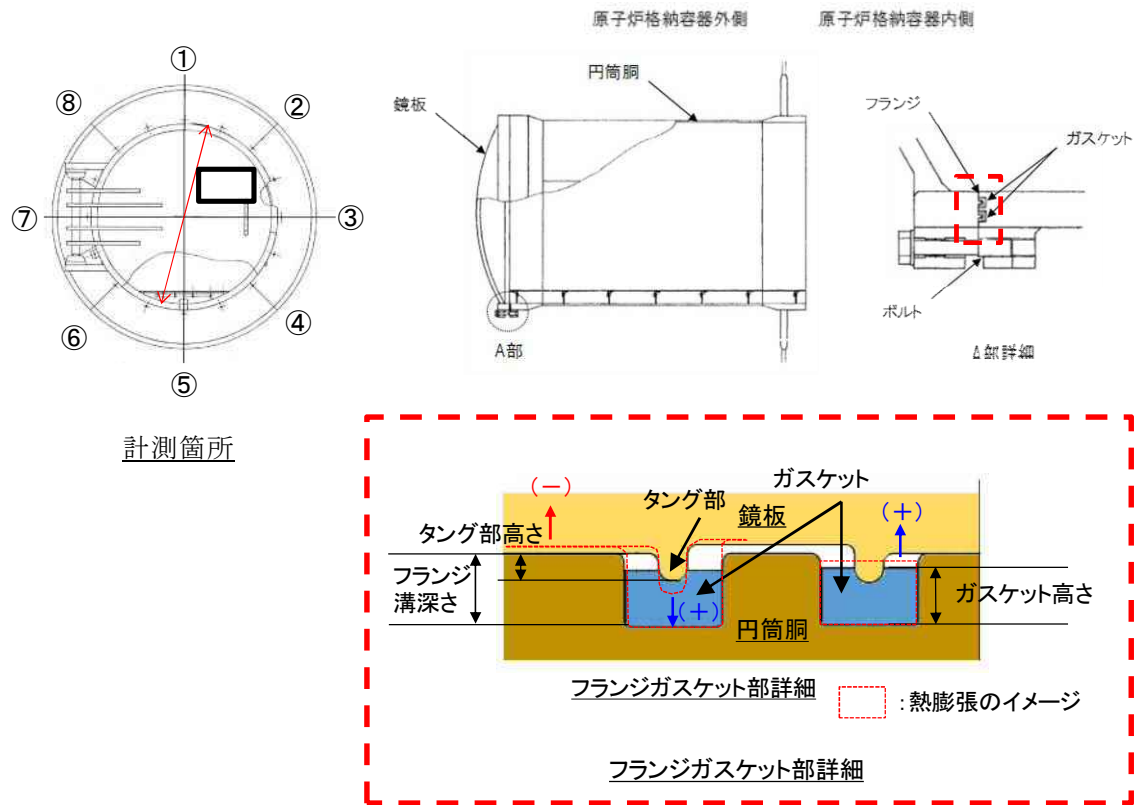
サブプレッション・チェンバアクセスハッチの実機フランジ寸法測定の結果、製作公差（) に対し、シール部が開口となる方向の製作寸法の誤差は以内であった。

サブプレッション・チェンバアクセスハッチシール部のガスケット溝及びタング（突起）は、トップヘッドフランジのガスケット溝及びタング（突起）と設計メーカー、設計、製作方法及び材質は同じであり、機械加工の精度も同等であると考えられることから、製作寸法の誤差についても同等であると考ええる。

サブプレッション・チェンバアクセスハッチの製作寸法の誤差は、であり、設計の製作公差を用いてシール部の公差をとした評価は、実機フランジのシール部に対して保守的な評価であると評価できる。

参考として、サブプレッション・チェンバアクセスハッチと同程度の製作寸法の誤差があると仮定し、サブプレッション・チェンバアクセスハッチの実機フランジ寸法測定結果からトップヘッドフランジについて開口量評価を行った。

評価の結果、トップヘッドフランジの内側シール部における許容開口量は第 24 表に示すとおり、であり、開口量に裕度があることを確認した。



第 8 図 サプレッション・チェンバアクセスハッチ 構造図

第 23 表 サプレッション・チェンバアクセスハッチフランジ部測定結果

| 測定箇所 | 設計値 [mm] | 測定結果 [mm] | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | ① | | ② | | ③ | | ④ | | ⑤ | | ⑥ | | ⑦ | | ⑧ | |
| | | 内側 | 外側 | 内側 | 外側 | 内側 | 外側 | 内側 | 外側 | 内側 | 外側 | 内側 | 外側 | 内側 | 外側 | 内側 | 外側 |
| 溝深さ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| タング高さ | | | | | | | | | | | | | | | | | |

第 24 表 トップヘッドフランジ開口量評価

| | 押し込み量 (公称値) | シール部の公差 | 熱膨張 | 調整 シム量 | ひずみ率 | 許容開口量 | 開口量 (2Pd) |
|------------|----------------|---------|-----|-----------|------|-------|--------------|
| 内側 シール部 | | | | | | | |
| 外側 シール部 | | | | | | | |

<評価条件>

- ・ガスケット寸法:
- ・シール部の公差: S/C アクセスハッチの実測値使用
バックアップシール有

(5) 開口量評価における保守性について

第 25 表に示すとおり，F E M解析による開口量評価においては，構造物の剛性や強度が実機に比べ低めとした評価としていることや許容開口量の算出において，圧縮永久ひずみ試験は実機よりも劣化に対して保守性がある評価であるが，実機フランジ模擬試験において試験装置等の誤差があることや実機フランジ締付時の面間管理（隙間ゲージ挿入による管理）には実機フランジでのガスケット押し込み量に対し不確実さがある。

今後，ガスケットの増厚を検討し，裕度を確保することとする。

第 25 表 開口量評価における保守性

| 項目 | | 保守性 | 備考 |
|-------|-------------|---|---|
| 開口量 | F E M 解析 | ・構造物に設けられているリブを無視するなど，実際の構造物よりも剛性を低く見積もっている。 | ・実機フランジ締付け時の面間管理（隙間ゲージ挿入による管理）において隙間ゲージの厚さ以下の隙間は把握できていない。 |
| | | ・材料物性値を規格値ベースとすることで，強度を低めに見積もっている。 | |
| | | ・フランジが閉じる方向に作用する自重を考慮していない。 | |
| 許容開口量 | 漏えい 限界 | ・既往知見で得られたガスケット自身の変形によるセルフシール性については評価に反映されない。 | ・実機フランジ模擬試験において，試験装置等の製作誤差は把握できていない。 |
| | ひずみ率 | ・実機のガスケットは底面・側面が溝と接しているのに対し，圧縮永久ひずみ試験は，試験体の側面全体が直接蒸気環境下に晒されるため，ひずみ試験から得られたひずみ率は材料の劣化を保守側に見積もっている。 | |
| | | ・実機ガスケット全体のうち，タング部で圧縮している部分は局所的であり，圧縮されていない部分が大部分残存しているため，タング押し込み部の復元量は，圧縮されていない部分のゴム弾性の寄与も想定される。 | |

経年劣化を考慮したシール機能について

本資料では、シール材の経年劣化を考慮したシール機能の健全性について示す。

原子炉格納容器のシール材に使用する改良 E P D M 製シール材については、性能確認のための試験を実施している。試験においては、通常運転時に加えて、重大事故時に想定される照射線量を上回る放射線環境を経験したシール材に対し、高温蒸気環境下での耐漏えい性能を確認している。また、開口部に用いられる改良 E P D M 製シール材は、通常運転中に想定される温度環境を踏まえても劣化はほとんどしないものと考えていること、かつ、原子炉格納容器の開口部に用いられているシール材については、全て、プラントの定期検査において取り替えを行っており、複数の運転サイクルにわたって使用しないものであることから、現在の性能確認の結果により、十分に耐漏えい性能が確保されるものと考えられる。

また、長期間シール材を継続使用する電気配線貫通部については、過去の電気配線貫通部の環境試験において、電気配線貫通部（高圧用）及び電気配線貫通部（低圧用）を対象として、通常運転中の劣化を考慮した上で冷却材喪失事故模擬試験が実施されており、健全性が確認されている（第1表参照）。

これらのことから、原子炉格納容器に使用されているシール材は、運転中の環境を考慮しても事故時のシール機能は確保されるものと考えられる。

第1表 劣化を考慮した試験方法

| No | 試験項目 | 試験方法 |
|----|------------|---|
| 1 | サーマルサイクル試験 | ペネトレーションを冷熱装置内に設置し，60 サイクルのサーマルサイクルを放射線照射試験の前後2回実施。1サイクルは <input type="text"/> を <input type="text"/> 時間で変化させている。 |
| 2 | 放射線照射試験 | ペネトレーションが40 年間の運転期間及び冷却材喪失事故時に受ける放射線を考慮し照射線量 <input type="text"/> として試験を実施。 |
| 3 | 熱劣化試験 | 加熱促進により，40 年間に相当する加速熱劣化として <input type="text"/> を加える。 |

また，自主的取組として適用することを考えているバックアップシール材について，経年劣化によるシール機能の影響を確認した。ここでは，バックアップシール材をフランジに長時間塗布したときの変形特性を確認するために，バックアップシール材を塗布した試験用フランジを恒温槽で約560日間（18ヶ月程度）55℃に保持し，バックアップシール材に関して，以下を実施した。

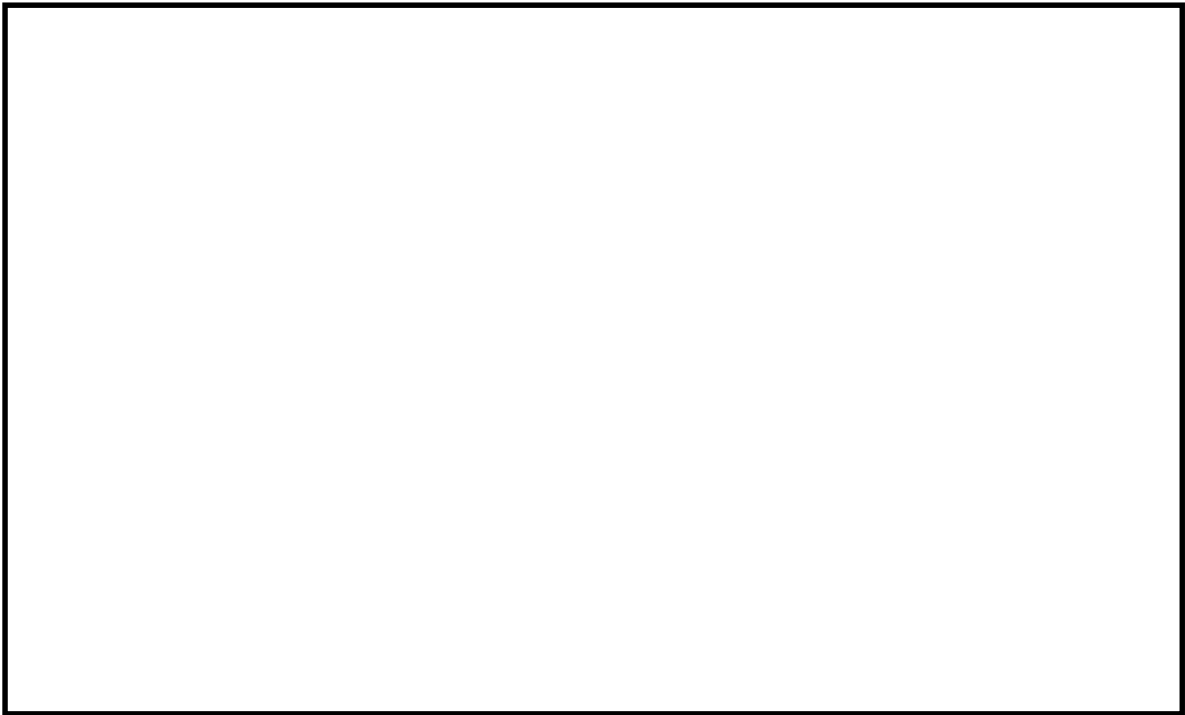
- （1）H e 気密確認試験（0.3，0.65，0.9 MPa）
- （2）F T－I R 分析

試験の結果，H e 気密確認試験において第2表で示すとおりリークは認められなかった。また，F T－I R 分析においても第1図に示すとおり，55℃を約18ヶ月保持した試験材の分析結果は初期材と同様で劣化は認められず，プラント通常運転状態で1 サイクル（13ヶ月程度）経過しても性状が変わらないと考えられる。

第2表 H e 気密確認試験結果

| 保持条件 | 0.3 MPa | 0.65 MPa | 0.9 MPa |
|-----------|---------|----------|---------|
| 55℃ 約18ヶ月 | ○ | ○ | ○ |

○：リーク及び圧力降下なし



第1図 F T－I R 分析結果

化学薬品や核分裂生成物のシール機能への影響について

1. 化学薬品等のシール機能への影響

東海第二発電所のシール材として適用する改良 E P D M 製シール材は、エチレンとプロピレン等の共重合によって得られる合成ゴムの一種であり、同材質のゴムである E P ゴムは、これまでも原子炉格納容器隔離弁の弁体等に使用されてきた実績のある材料である。

E P D M 材の基本的な特性を考慮した場合、シール機能に影響を及ぼす可能性のある物質としては、「溶剤」と「潤滑油」が挙げられる。第 1 表に E P D M 材の基本特性を示す。

洗い油やベンゼン等の溶剤については、管理区域内への持ち込み管理を行っており、プラント運転中においては格納容器内に存在しないため、シール材に悪影響を及ぼすことはない。

潤滑油については、原子炉再循環ポンプモータや再循環流量制御弁の動作に使用されているが、格納容器胴側に設置されるシール部から離れた位置に設置されている。仮に漏えいが発生した場合でも、機器の下部に設置される堰、又はダイアフラムフロア床面の傾斜によって、ドレンサンプ設備に導かれることで周辺への流出は防止され、シール材に悪影響を及ぼすことはない。

第 1 表 E P D M 材の基本特性

| | |
|---------|-------|
| 耐蒸気性 | A |
| 耐水性 | A |
| 耐性（植物油） | A ～ B |
| 耐性（潤滑油） | D |
| 耐性（溶剤） | D |

凡例 A：優 B：良 D：不可（但し配合による）

出典：日本バルカー工業（株）発行「バルカーハンドブック」より抜粋

2. 重大事故等時に発生する核分裂生成物や水素のシール機能への影響

炉心損傷時に発生する核分裂生成物の中で化学的な影響を及ぼす可能性がある物質として、アルカリ金属であるセシウム及びハロゲン元素であるよう素が存在する。このうち、アルカリ金属のセシウムについては、水中でセシウムイオンとして存在しアルカリ環境の形成に寄与するが、膨張黒鉛ガスケットや金属ガスケットはアルカリ環境において劣化の影響はなく、また、E P D M材についても耐アルカリ性を有する材料であることから、セシウムによるシール機能への化学的影響はないものとする。

一方、ハロゲン元素のよう素については、無機材料である膨張黒鉛ガスケットや金属ガスケットでは影響がないが、有機材料であるE P D M材では影響を生じる可能性がある。今後、使用することとしている改良E P D M製シール材については、電力共同研究による影響の確認を行っており、炉心損傷時に想定されるよう素濃度（約 $450\text{mg}/\text{m}^3$ ）よりも高濃度のよう素環境下（約 $1,000\text{mg}/\text{m}^3$ ）においても、圧縮永久ひずみ等のシール材としての性状に大きな変化がないことを確認している。このように、よう素環境下での性能が確認された材料を用いることにより、シール機能への影響が生じることはないものとする。

重大事故等時に格納容器内で発生する水素の格納容器外への主要な放出モードとして気体分子のガスケット材料透過が考えられる。これは水素等の分子量が小さい気体の場合に起こりうる事象であるが、重大事故時の格納容器内環境条件下（温度・放射線）においてシール機能の顕著な劣化は生じないこと、及び気体分子の透過に対して十分な材料の厚みが確保されていることから、ガスケット材料透過による格納容器外への水素の放出可能性は極めて低いものと考えられる。

シール材の運転環境（放射線量，温度）の考慮について

トップヘッドフランジ等のシール材に使用する改良E P D M製シール材については、性能確認のための試験を実施している。試験においては、通常運転時に加えて、重大事故時に想定される照射線量を上回る放射線環境を経験したシール材に対し、高温蒸気環境下での性能を確認している。また、開口部に用いられる改良E P D M製シール材は、通常運転中に想定される温度環境を踏まえても劣化はほとんどないものと考えられること、プラントの定期検査においては取り替えを行っており、複数の運転サイクルにわたって使用しないものであることから、現在の性能確認の結果により、十分に性能が確保されるものと考えられる。

また、長期間シール材を継続使用する電気配線貫通部については、過去の電気配線貫通部の環境試験において、電気配線貫通部（高圧用）及び電気配線貫通部（低圧用）を対象として、通常運転中の劣化を考慮した上で冷却材喪失事故模擬試験が実施されており、健全性が確認されている。

これらのことから、原子炉格納容器に使用されているシール材は、運転中の環境を考慮しても事故時のシール機能は確保されるものとする。

黒鉛製シール材について

黒鉛製シール材は、膨張黒鉛（化学反応を用いて鱗片状黒鉛に物質を挿入した黒鉛層間化合物を急熱すると層間に入れられた物質が燃焼，ガス化し，黒鉛が層の重なり方向に膨張したもの）を圧縮加工したものであり，一般的に 400℃程度の高温環境下においても安定性の高いシール材料である。

東海第二発電所で使用する黒鉛製シール材の仕様を第 1 表に示す。重大事故環境下に十分な耐性を有する製品であることを確認している。

第 1 表 貫通部に使用する黒鉛製シール材の仕様

| 対象部位 | 仕様 | | |
|---------------------|--------|--------|-------|
| | 耐熱温度 | 耐圧性 | 耐放射線性 |
| 所員用エアロック 電気配線貫通部 | 400℃以上 | 6.9MPa | 15MGy |

試験データの代表性・信頼性について

長期的な格納容器温度（168 時間以降で 150℃を下回る状況）と閉じ込め機能の関係を評価するために、時間経過による改良 E P D M 製シール材への長期的な影響について試験結果をもとに第 1 表に示しているが、その試験データの信頼性について説明する。

第 1 表には改良 E P D M 製シール材の圧縮永久ひずみ率，硬さ，質量変化率をそれぞれ試験時間に対して示しているが，これは同じ環境条件に曝露した試験体 3 個のデータの平均値を示したものである。試験体 3 個それぞれの試験結果を第 2 表に示す。圧縮永久ひずみ率，硬さ，質量変化率について試験体 3 個の実測値データに大きなばらつきは無いことが確認できる。

第 1 表 改良 E P D M 製シール材の基礎特性データの経時変化

| 試験時間 | 0～7 日 | 7 日～14 日 | 14 日～30 日 |
|--------------|-------|----------|-----------|
| 試験温度 | | | |
| 圧縮永久ひずみ率 (%) | | | |
| 硬さ | | | |
| 質量変化率 (%) | | | |

第2表 0～7日（200℃）、7日～30日（150℃）の圧縮永久ひずみ試験

| No | 試験時間 (日) | 試験温度 (℃) | 圧縮永久ひずみ試験 | | | | | |
|----|-------------|-------------|------------------|-----|-----|-----|--------------|-----|
| | | | 圧縮永久 ひずみ率 (%) | | 硬さ | | 質量変化率 (%) | |
| | | | 実測値 | 平均値 | 実測値 | 平均値 | 実測値 | 平均値 |
| 1 | 0～7 | 200 | | | | | | |
| 2 | 7～14 | 150 | | | | | | |
| 3 | 14～30 | 150 | | | | | | |

また、シール材の復元特性を示すために、劣化を付与した試験体を用いて、復元速度測定試験を実施した。試験ケースを第3表に示す。

全てのケースにおいて試験体3個に対して試験を実施したものであり、試験結果のばらつきを確認するため、代表としてケース1～2の試験体3個全ての試験結果を第1図に示す。いずれの試験体においても同様の傾向を示しており、復元速度500mm/minの試験に大きなばらつきはない。

その他の試験ケースについても、試験結果に大きなばらつきはないため、各ケース試験体3個のうち代表として1個の試験結果を第2図及び第3図に示す。

第 3 表 改良 E P D M 製シール材の基礎特性データの経時変化

| ケース | 材料 | 照射量 | 曝露媒体 | 曝露温度 | 復元速度 | 試験体数 |
|-----|--------------|-----|------|------|------|------|
| 1-1 | 改良 E P D M 材 | | | | | 3 |
| 1-2 | 改良 E P D M 材 | | | | | 3 |
| 2-1 | 改良 E P D M 材 | | | | | 3 |
| 2-2 | 改良 E P D M 材 | | | | | 3 |



第 1 図 復元速度測定試験（ケース 1-2 の試験体 3 個）



第 2 図 復元速度測定試験（左：ケース 1-1，右：ケース 1-2）



第 3 図 復元速度測定試験（左：ケース 2-1，右：ケース 2-2）

フランジ開口量評価の妥当性について（構造解析との関連性）

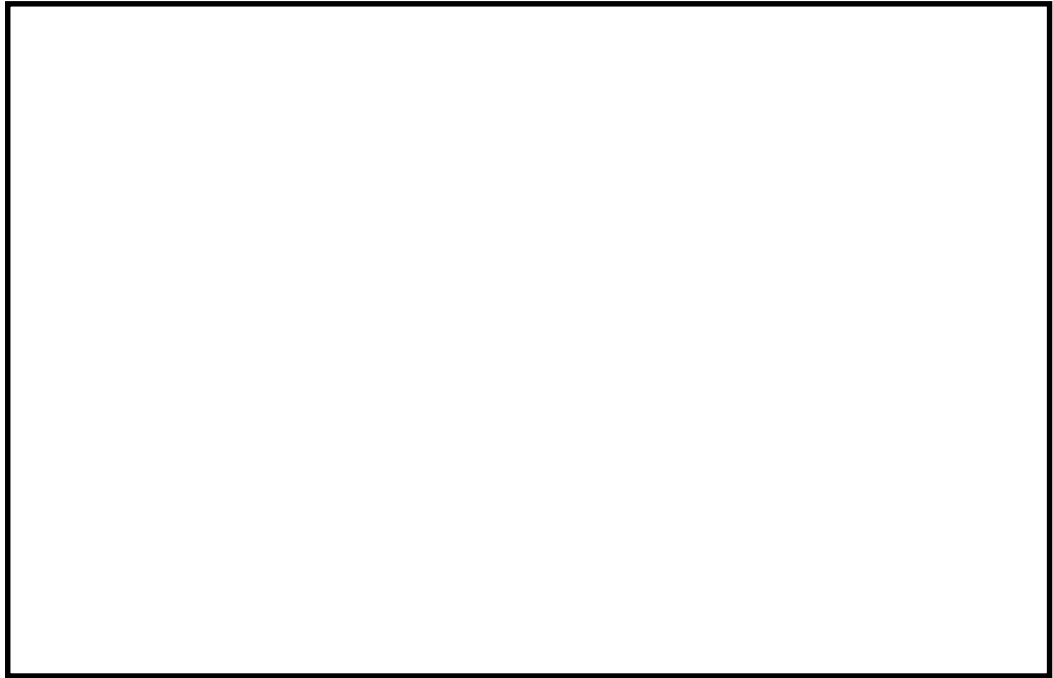
今回、実施したトップヘッドフランジの開口量評価には、F E M解析を用いている。F E M解析では、開口量に影響を及ぼす可能性のあるボルト等の構造は、実機の寸法等を模擬して解析モデルに反映している。また、フランジ部の開口の挙動への影響が大きいと考えられる上下フランジ面同士の接触の影響も考慮し、三次元ソリッド要素を用いて弾塑性大変形解析を実施した。その評価モデルを第 1 図に、圧力ー開口量の関係を第 2 図に示す。

以上のような解析手法を用いることにより、高い精度で開口量の評価が可能である。第 3 図はN U P E Cで実施された機器搬入用ハッチフランジの圧力と開口量の関係である。この開口量は、第 4 図に示すハッチモデル試験体のフランジ部にひずみゲージを取り付けて、漏えいが生じるまで内圧を加えて計測されたものである。なお、この試験において、漏えいが発生したのは、内圧が 6.17Pd、フランジ開口量が平均で 6.3mm のときであり、フランジが開口しても、漏えいが生じていない結果が得られている。この試験結果に対して、当社解析と同様に精度を向上させた解析手法を適用し、同等のメッシュ分割を用いて評価を行っている(第 5 図及び第 1 表参照)。第 3 図の示すように、試験結果と解析結果の比較から解析結果は、圧力の上昇に伴って増加するフランジ部の開口量を精度よく評価できていることがわかる。

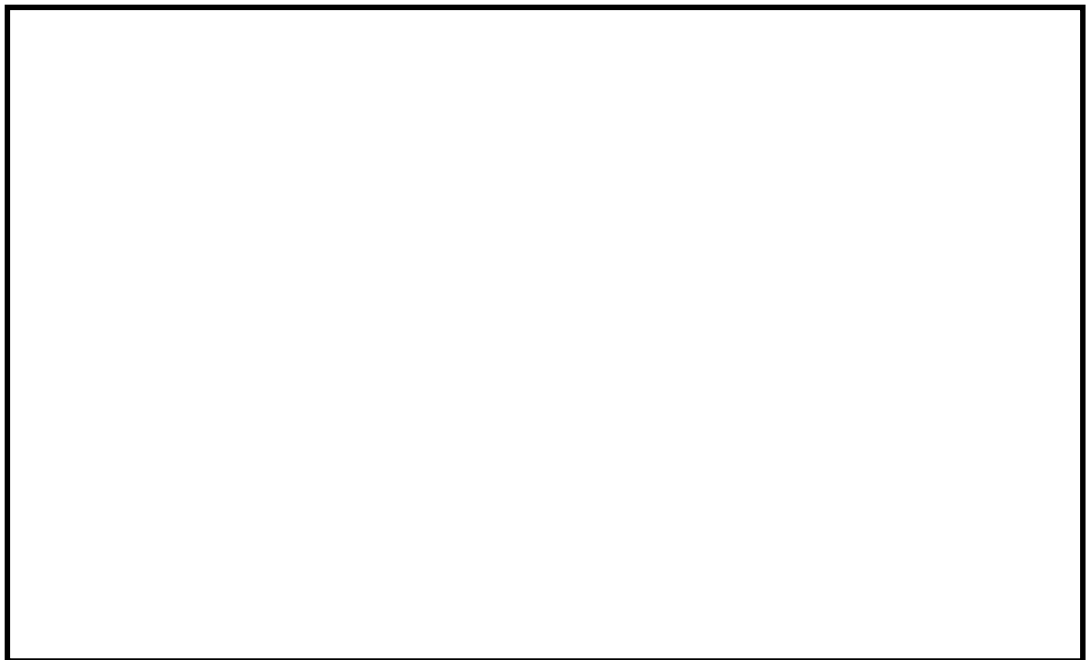
フランジ部の開口量評価では、フランジ部だけではなく、圧力作用面である上鏡板や胴部もモデル化しているため、内圧の増加により、ボルト部にモーメントが生じてフランジ部の開口が発生する。フランジ部に生じるモーメントが増加すると、同時に上鏡板や胴部の幾何学形状も変化するため、ボルトへの荷重のかかり方が逐次的に変化し、結果として、内圧の増加に対する

開口挙動が曲線的に変化する。

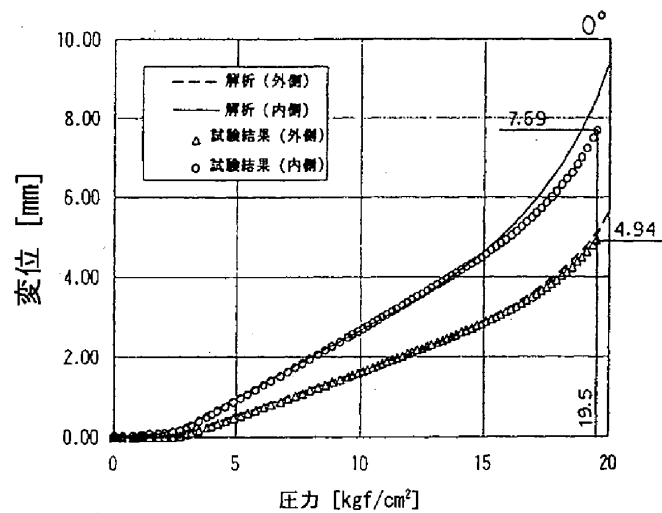
以上より，F E M解析を用いて実施したトップヘッドフランジの開口量評価により，実機の挙動を適切に評価することが可能である。



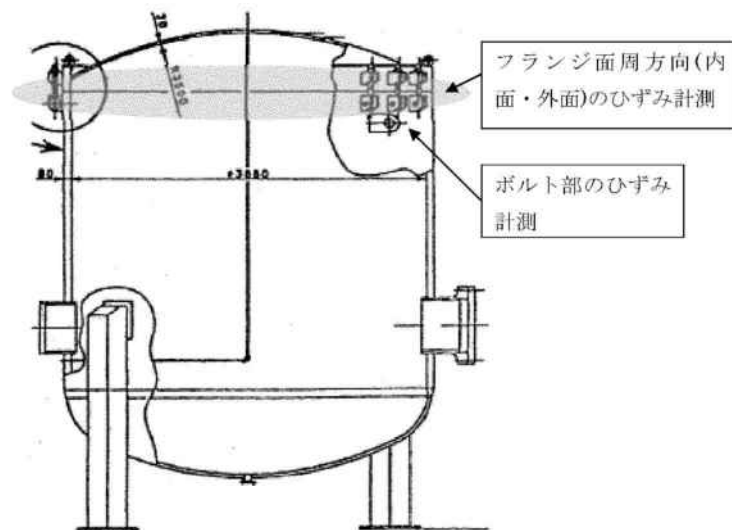
第1図 トップヘッドフランジ部の解析モデル



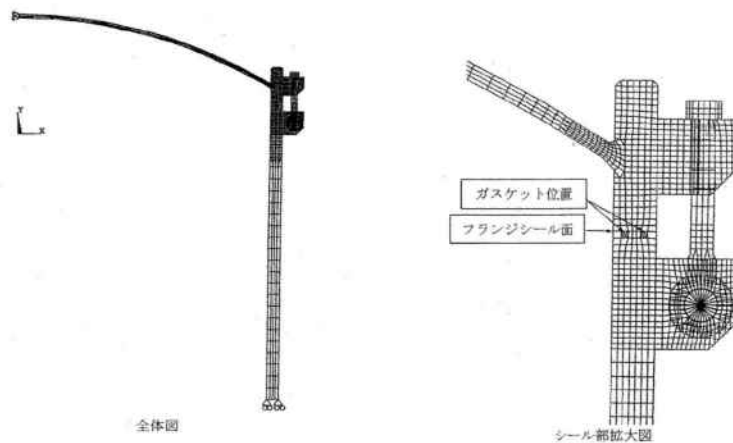
第2図 トップヘッドフランジ部における圧力－開口量の関係



第 3 図 NUPEC 機器搬入用ハッチフランジの圧力ー開口量の関係



第 4 図 NUPEC ハッチモデル試験体



第 5 図 NUPEC ハッチモデル試験解析モデル

第 1 表 N U P E C 解析モデルと当社解析モデルの比較

| 解析項目 | N U P E C 解析モデル | 当社解析モデル |
|-------------|---|--|
| 解析コード | A N S Y S | A B A Q U S |
| モデル化範囲 | 胴部，上鏡部：軸対称ソリッド要素 ボルト，ブラケット：平面応力要素 フランジシール面：接触要素 | 格納容器胴部（円筒胴，円錐胴）， 上鏡部，フランジシール部構成部材 （フランジ，ボルト，ナット等）： ボルト 1/2 ピッチ分をセクタとした 周期対称ソリッド要素 フランジシール面：接触要素 |
| 材料定数 | 試験体の材料の引張試験から得られた物性値を用いた。 応力ひずみ関係は，真応力－真ひずみ関係を多直線で近似して用いた。 | 材料規格に基づく物性値を用いた。 応力ひずみ関係は，ASME B&PV Code Sec. VIII (2012Addenda) Div.2 ANNEX 3-D による真応力－真ひずみ関係を多直線で近似して用いた。 |
| 境界条件 | 上鏡中央は，軸対称性から X 方向に拘束，Y 方向を自由。胴板下端は X 方向に自由，Y 方向を拘束。 | 格納容器胴側と底部との取り合いを固定。端部は対称条件を設定。 |
| ボルト初期締め付け荷重 | 実機で設定している値を用いた。 | 実機で設定している値を用いた。 |
| 荷重条件 | 内圧を段階的に負荷し，1.96MPa となるまで解析を実施した。 | 内圧を段階的に負荷し，発散するまで解析を実施した。 |

原子炉格納容器のリーク発生順序及び各部位の裕度について

原子炉格納容器バウンダリを構成する各設備に関して、重大事故等時に放射性物質の閉じ込め機能が喪失する要因として、原子炉格納容器内の温度・圧力条件の変化や原子炉格納容器本体の変形に伴い、構造健全性が失われる場合と、シール部のシール機能が失われる場合が想定される。

構造部材の評価については、規格等に定められている許容値を基準として用いて評価しており、200℃、2Pd の環境条件が継続しても構造強度を維持できるため、閉じ込め機能に対して十分な裕度を有しているものとする。

一方、シール部については、シール材が事故条件下において時間的に劣化していくことが確認されており、現在の評価において健全性が確認されている 7 日間の期間を超えて 200℃、2Pd の環境条件が長時間継続した場合には、シール材が機能を喪失し漏えいが生じる可能性がある。また、シール部のうち、トップヘッドフランジや機器搬入用ハッチ等、フランジ構造になっている箇所については、圧力の上昇に伴い開口量が増加するため、その影響により、他のシール部に比べて漏えいが生じるリスクが高いものと考えられる。

以上の検討結果から、原子炉格納容器で漏えいが発生する可能性が高い部位はフランジ構造のシール部であると評価できる。このため、フランジ構造のシール部について、200℃、2Pd の状態での健全性を確認した際の判定基準に対する裕度を確認した。

フランジ部の限界温度・圧力に対する裕度を第 1 表に示す。

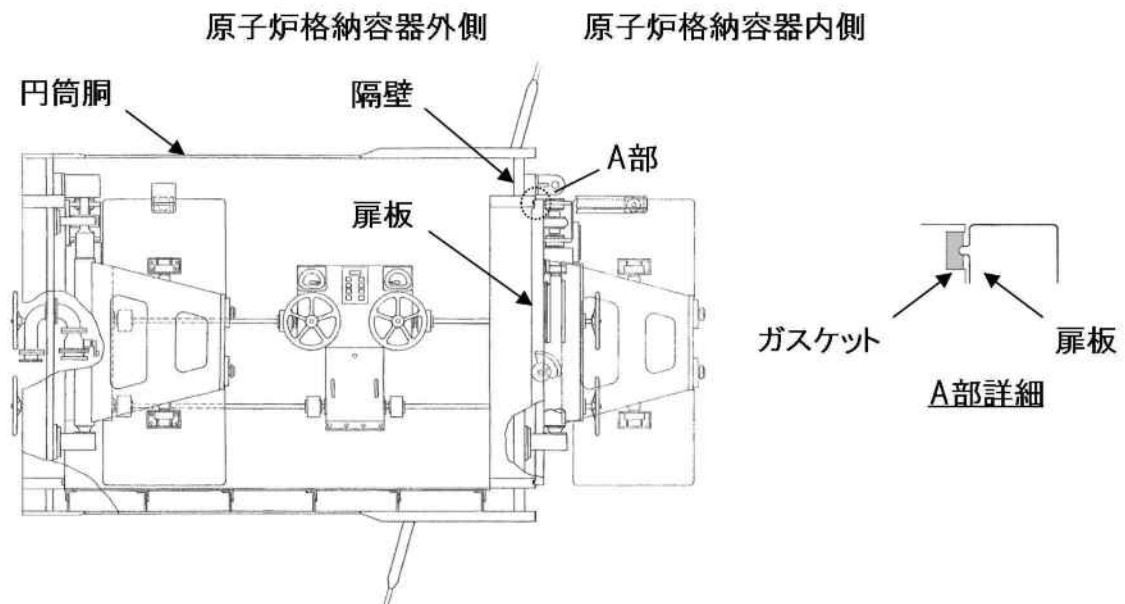
第 1 表 フランジ部の限界温度・圧力に対する裕度

| 評価対象部位 | | 開口量 (mm) | 許容値 (mm) | 裕 度※ |
|-------------------------|----|-------------|-------------|------|
| トップヘッドフランジ | 内側 | | | 1.1 |
| | 外側 | | | 1.4 |
| 機器搬入用ハッチ | 内側 | | | 1.4 |
| | 外側 | | | 1.8 |
| サプレッション・チェンバ アクセスハッチ | 内側 | | | 4.6 |
| | 外側 | | | 6.3 |
| 所員用エアロック | | | | 6.5 |
| 閉止フランジ | | | | 15.1 |

※：許容値／開口量

所員用エアロック開口量評価に係る変形支点の変位の影響について

所員用エアロックにおけるシール部の評価については，原子炉格納容器内圧による扉板の変形に伴うシール部の開口量評価を実施しているが，この評価では，変形による支点のずれを考慮しない評価としているため，支点のずれに伴う影響について評価を行う。第 1 図に所員用エアロックシール部の構造を示す。



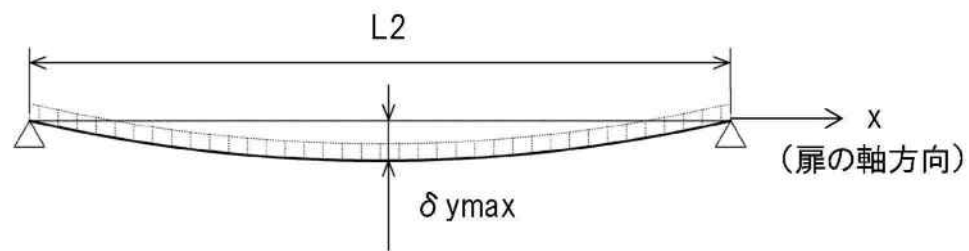
第 1 図 所員用エアロックのシール部構造

1. 扉板の変形（たわみ等）について

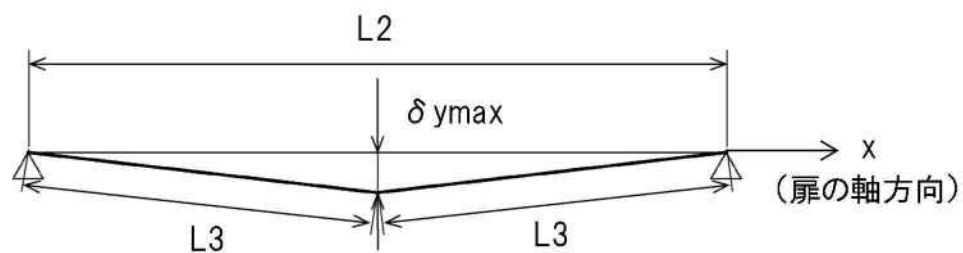
所員用エアロック扉板を第 2 図，第 3 図のように 2 点支持のはりとしてモデル化する。東海第二発電所の所員用エアロック扉板は平板形状であり，扉板の板厚を考慮してモデル化していることから，はりとしてモデル化することは妥当であると考ええる。また，はりモデルは変位量が保守的となる扉板長辺側をモデル化しており，実際に荷重がかかった際は，上下に加え左右にも

支持があるところを，上下 2 点支持としていることから，保守的な評価であると言える。

このはりモデルにより，扉板の変形（たわみ等）によって生じる縦軸方向（扉幅）の変位量 δx を評価した結果，0.2mm 程度であり，ガスケット幅 と比較しても十分小さく無視できる。



第 2 図 2 点支持はりモデル

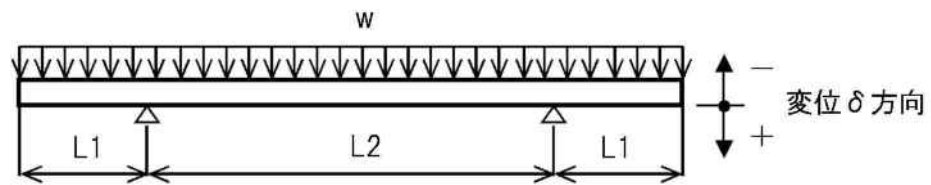


縦軸方向（扉端）の変位量 δx は $\delta x = 2 \times L3 - L2$

第 3 図 三角形モデル

2. 変形支点の変位について

上記で示した扉の軸方向への滑り $\delta_x = 0.2\text{mm}$ の場合について、所員用エアロック扉を第4図のように2点支持はりモデル化し、シール部の開き量を算出した。その結果、扉シール部の変位は、変形支点を考慮しない場合の変位量と同じ mm であった。



第4図 2点支持はりモデル

$$\delta = w \times L_1 \div (24 \times E \times I) \times (3L_1^3 + 6L_1^2 \times L_2 - L_2^3)$$
$$= \text{ mm}$$

格納容器隔離弁の S A 環境下における耐性確認試験の概要について

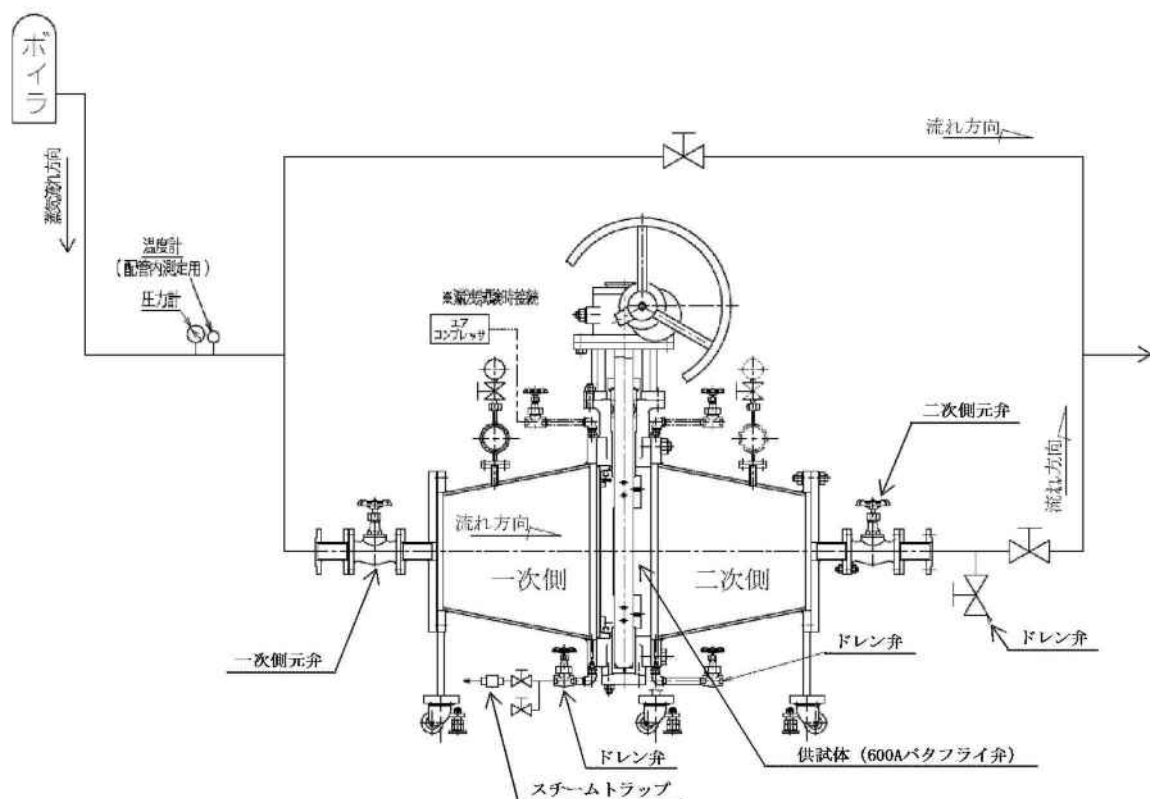
原子炉格納容器隔離弁のうち、バタフライ弁の弁座ゴムシートに対し、重大事故時環境における耐性向上のため、より耐熱性・耐放射線性に優れたシール材である改良 E P D M 製シール材を選定し、耐性確認試験を実施した。試験の概要を以下に示す。

1. 試験内容

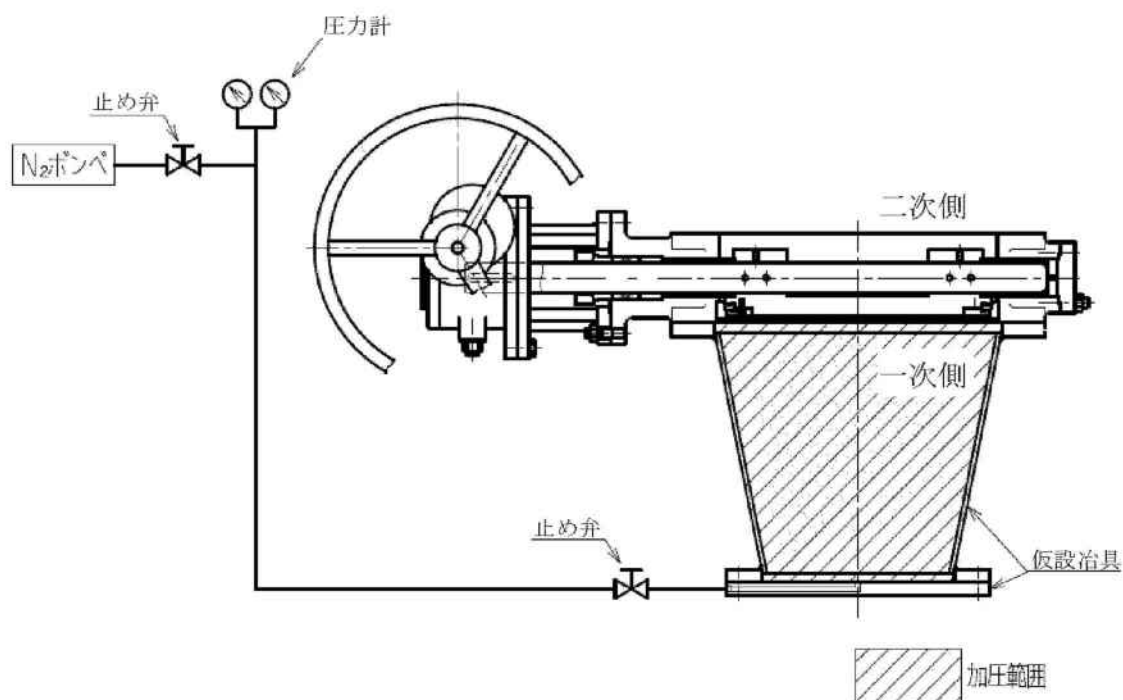
試験フロー及び試験内容を第 1 表に示す。また、第 1 図に蒸気通気試験装置の概要図、第 2 図に常温弁座漏えい試験の概要図を示す。600A バタフライ弁を供試体とし、弁座シール材に改良 E P D M 製シール材を適用して、初期性能確認、劣化処理を行った後、200℃における飽和蒸気環境下（BWR の原子炉格納容器の設計圧力の 2 倍（2Pd）以上）で 168 時間、蒸気通気試験を実施する。さらに常温復帰後、窒素を媒体とした常温弁座漏えい試験を実施する。重大事故時環境における格納容器の閉じ込め機能を確認する観点から、弁は閉弁状態で実施する。重大事故時環境における放射線による劣化と熱による劣化は、シール材に放射線照射をした後、定められた温度条件下に曝露する逐次法により付与する。一般に有機材料の放射線劣化挙動には、酸素が影響を及ぼすことが知られているが、環境に酸素が存在しない場合においては放射線と熱の同時法と逐次法の劣化はほぼ等しいことが知られている。バタフライ弁のシール材は格納容器内の雰囲気をシールするものであり、事故時の蒸気環境をシールし、酸素が常に供給される環境をシールするものではないことから、逐次法と比較して放射線と熱の同時曝露のシール機能への影響は十分小さいものとする。

第 1 表 試験フロー及び試験内容

| 試験フロー | 試験内容 |
|-------------|---|
| 熱・放射線同時劣化処理 | 通常運転中に負荷される温度，線量を供試体に加える |
| 初期機能試験 | 初期状態における閉じ込め機能等を確認する |
| 機械的劣化処理 | 負荷試験機を用いて弁の開閉操作を実施する |
| 放射線照射劣化 | 重大事故環境で想定される放射線量（0.3MGy）を供試体に照射する |
| 蒸気通気試験 | 第 1 図に示す試験装置で 200℃，0.62MPa 以上の蒸気環境下における閉じ込め機能を確認する。蒸気は 168 時間通期し，24 時間おきに二次側の漏えい検出弁より漏えいの有無を確認する。 |
| 常温弁座漏えい試験 | 第 2 図に示す試験装置で供試体一次側を 0.62MPa 以上の窒素加圧環境下とし，二次側からの漏えいがないことを確認する。 |



第 1 図 蒸気通気試験装置概要図



第 2 図 常温弁座漏えい試験概要図

2. 試験結果

蒸気通気試験の試験結果を第 2 表に、常温弁座漏えい試験の試験結果を第 3 表に示す。蒸気通気試験中に漏えいは確認されず、また、常温復帰後の常温弁座漏えい試験においても漏えいは確認されず、閉じ込め機能を維持できることを確認した。

第 2 表 蒸気通気試験結果

| シール材 | 圧力 | 温度 | 加圧媒体 | 継続時間 | 照射量 | 漏えいの有無 |
|-------------|------------|------|------|--------|--------------------------|--------|
| 改良 E P D M材 | 0.62MPa 以上 | 200℃ | 蒸気 | 168 時間 | <input type="checkbox"/> | 無 |

第 3 表 常温弁座漏えい試験結果

| シール材 | 圧力 | 温度 | 加圧媒体 | 漏えいの有無 |
|-------------|------------|----|------|--------|
| 改良 E P D M材 | 0.62MPa 以上 | 常温 | 窒素 | 無 |

移動式炉心内計装（T I P : Traversing In-core Probe）系統爆破弁について

1. 系統概要

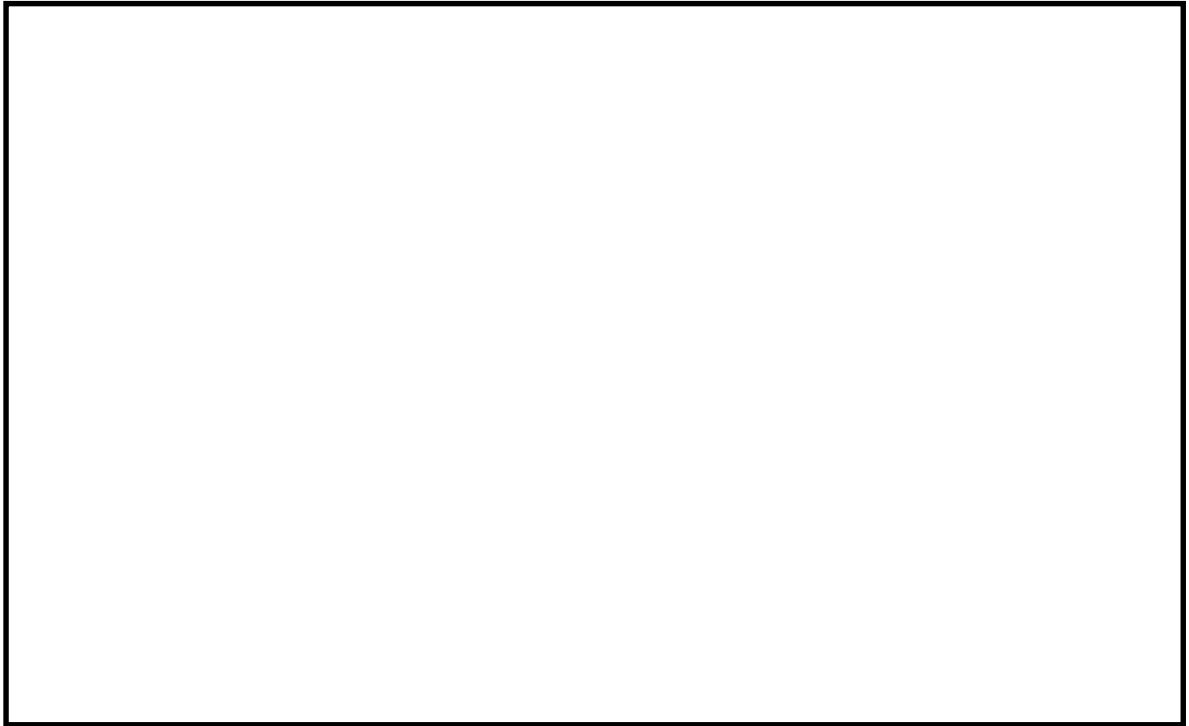
移動式炉心内計装（T I P : Traversing In-core Probe）系統は、炉心内の軸方向及び水平方向の中性子束分布の測定をすると共に、局部出力モニタ（L P R M）の較正を行うために設けられた移動式の中性子測定装置である。

T I P 系統は、5 系統の中性子検出機構、駆動機構、インデクサ機構、バルブアセンブリなどで構成されており、炉心内 43 箇所において中性子束分布を測定できるようになっている。

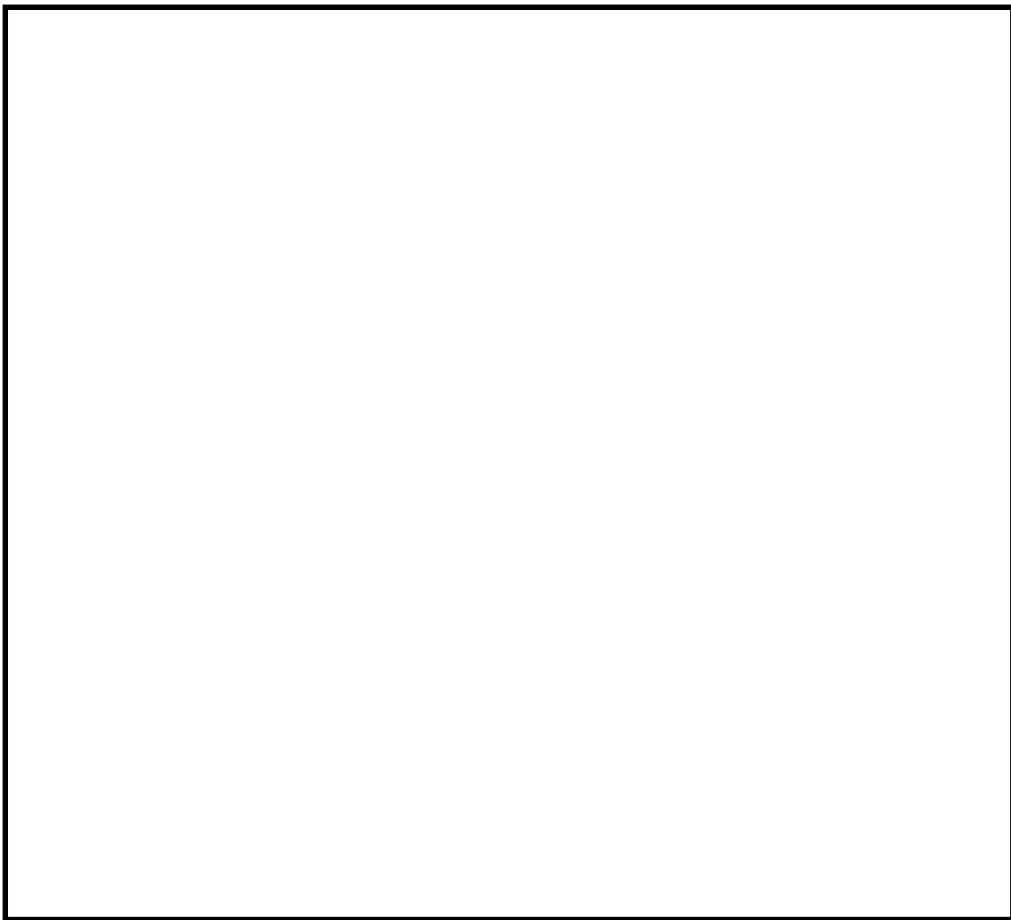
T I P 系統のバルブアセンブリは、T I P ボール弁と T I P 火薬切断弁（爆破弁）により構成されており、原子炉格納容器バウンダリとしては、通常運転時は全閉状態である T I P ボール弁により、隔離機能を維持している。

T I P ボール弁が開状態となるのは、通常運転時の局部出力モニタの較正のため T I P 検出器を炉心内に挿入・引抜する期間である。T I P 検出器を炉心内に挿入している間に格納容器隔離信号が入った場合には、T I P 検出器が自動引抜され、T I P ボール弁が自動閉止する。また、T I P 検出器が炉心に挿入している間に格納容器隔離信号が入り、且つ検出器が炉心内から引抜けない場合又は T I P ボール弁が正常に閉止しない場合、T I P 火薬切断弁により閉止を行う運用としている。

T I P のシステム概略図を第 1 図に、T I P システム機器構成図を第 2 図に示す。



第 1 図 T I P システム概略図



第 2 図 T I P システム機器構成図

2. T I P 装置の機能，動作について

(1) 駆動機構

駆動機構は，モータにより駆動ケーブルを駆動することにより，検出器を炉内へ送り込むものである。

(2) バルブアセンブリ

バルブアセンブリは，T I P ボール弁とT I P 火薬切断弁の 2 つのバルブから構成され，格納容器の隔離のためにインデクサ機構と駆動機構の間の案内管に設けられたものである。

T I P ボール弁は電極弁であり，通常は安全方向となるようにスプリングにより閉弁されている。検出器が駆動されている場合にはソレノイドが励磁されてボール弁は開弁し，検出器がチェンバーシールド内に収められた場合にはソレノイドが無励磁となり閉弁するように，シールドリミットスイッチにてインターロック制御されている。

T I P 火薬切断弁はボール弁とチェンバーシールドの間にあり，非常時にのみ使用される。検出器が炉心にある場合，原子炉内に何らかの原因による漏えいが発生し，その上検出器を引抜けない場合やボール弁が全閉しない場合に限って，T I P 制御盤のキーロックスイッチによりケーブルを切断し，格納容器の隔離を行うものである。

(3) 共通案内管

共通案内管は炉心中央の案内管へ導くための案内管であり，各インデクサ機構から集まった案内管は，5 ウェイコネクタにより 1 本の案内管へ集められ炉内に入っていく。

(4) パージシステム

パージシステムは、駆動機構内ケーブル及びインデクサ機構の絶縁劣化、錆防止のため、湿分の少ない制御用空気及び窒素ガスにて常にパージしている。

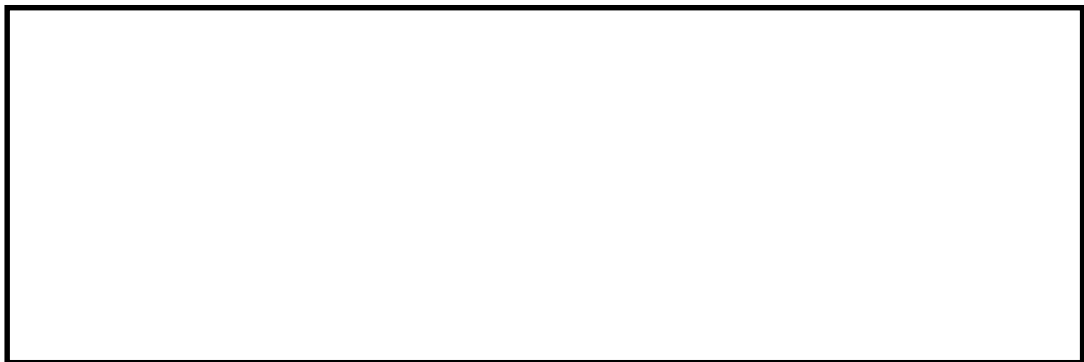
(5) インデクサ機構

インデクサ機構は、炉内案内管とチャンバーシールドの間にあり、駆動機構からの案内管と、炉内案内管を正確に結合させる機構である。

3. T I P 火薬切断弁の構造について

前述のとおり、T I P 火薬切断弁は、原子炉内に何らかの原因による漏えいが発生し、その上検出器を引抜けない場合やボール弁が全閉しない場合に限って使用される弁である。T I P 火薬切断弁の構造図を第 2 図に示す。

T I P 制御盤のキーロックスイッチにより作動信号を入力することで、パワーカートリッジ内の火薬に着火し、爆発力によりカッターが飛び出し、T I P 検出器ケーブルを内蔵している案内管を切断した後、所定の位置に停止する。



第 2 図 T I P 火薬切断弁構造図

4. T I P 火薬切断弁の信頼性確認について

T I P 火薬切断弁の信頼性確認のため、T I P 火薬切断弁の起爆回路の健全性を確認することを目的として、定検毎で第 1 表に示す検査を実施している。経年劣化の影響が懸念される弁駆動源である火薬については、設計寿命を考慮して交換頻度を 65 ヶ月としており、火薬切断弁ごと交換することとしている。

また、火薬切断弁の交換の際には、同一ロットの試供品にて爆破試験等を実施することで、動作信頼性を確保している。

第 1 表 T I P 火薬切断弁の検査項目

| 検査項目 | 内容 |
|----------|------------------------------------|
| 外観検査 | 目視による外観点検 |
| 絶縁抵抗測定試験 | T I P 火薬切断弁～中央制御室操作ユニット間のケーブル健全性確認 |
| 導通確認試験 | T I P 火薬切断弁の点火回路の健全性確認試験 |

動的荷重の影響について

1. はじめに

原子炉格納容器については、事故時に動的な荷重が発生する可能性がある。ここでは、評価温度・圧力（200℃，2Pd）において考慮すべき動的荷重を抽出し、その影響を評価した。

2. 考慮すべき動的荷重の抽出

原子炉格納容器内における動的な荷重は、以下によって生じうる。

- (1) 高温の炉心（熔融デブリを含む）と水との接触に伴う蒸気発生
 - ① 損傷炉心等のヒートアップした炉心への注水時の蒸気発生
 - ② 下部プレナムへの熔融炉心の移行（リロケーション）時の蒸気発生
 - ③ 原子炉圧力容器破損に伴う F C I 発生時の蒸気発生
- (2) 原子炉冷却材バウンダリ内に内包された高エネルギー流体の格納容器への放出
 - ① L O C A ブローダウン時の高温水・蒸気の放出
 - ② 逃がし安全弁の作動に伴うサブプレッション・プールへの蒸気放出

これらのうち、原子炉格納容器圧力の上昇率が最も大きく、フランジ等の開口量の変化速度が速い事象は、(1)③の F C I 発生時の蒸気発生である。この影響について、3. に示す。

また、(2)②については、原子炉格納容器圧力の上昇率は大きくないものの、サブプレッション・チェンバ内で動的な荷重が発生する。加えて、(2)①に

についても、ベント管からの高温水・蒸気の吹き出しによってサプレッション・チェンバ内に動的な荷重が発生する。これらの影響について、4. に示す。

3. 原子炉圧力容器破損に伴う F C I 発生時の蒸気発生の影響について

有効性評価に関する事故シナリオにおいて、熔融炉心がペデスタルに落下した際に格納容器内圧力がスパイク上に上昇する。フランジ等のシール部に用いるシール材は、フランジ等の開口量に合わせて形状が変化することによりシール性能を確保しているが、上記の圧力上昇時のフランジの開口量の変化する速度にシール材の形状の変化が追従できない場合には、漏えいが生じる可能性がある。

このため、シール材の形状が変化するために必要な時間（復元速度）を確認し、フランジ部の開口量の変化速度との比較を行った。

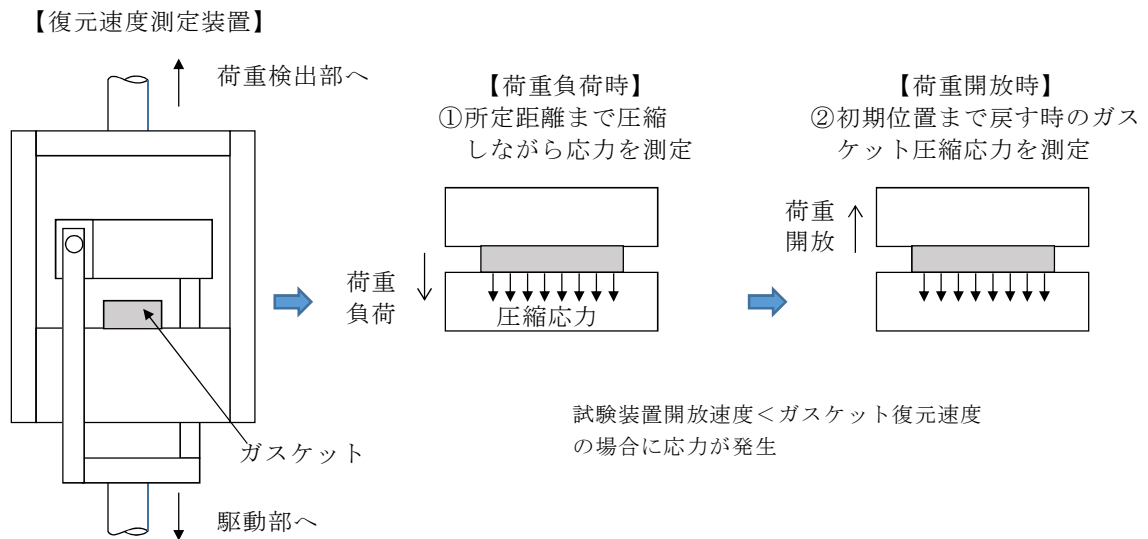
3.1 シール材の形状変化速度

フランジ部においてシール材に採用する改良 E P D M 製シール材について、復元速度を評価するため、J I S K 6254 に基づく試験を行った。

当社が評価している有効性評価に関する事故シナリオにおいて、フランジ開口量の変化速度が最も早くなるのは、熔融炉心がペデスタルに落下した際の圧力上昇時（F C I 発生時）である。この場合における開口量の変化速度は $1.49 \times 10^{-2} \text{mm/s}$ 程度であることが分かっているため、これを参照して、 $1.49 \times 10^{-2} \text{mm/s}$ を上回る 300mm/min (5mm/s) 及び 500mm/min (8.33mm/s) を試験速度とした。

試験では、常温下で所定距離 (3.75mm) まで一定速度 (300mm/min 又は 500mm/min) で圧縮後、初期位置まで一定速度 (300mm/min 又は 500mm/min) で荷重を開放し、この際に改良 E P D M 製シール材に加わる圧縮応

力を測定する試験を実施した（第 1 図参照）。本試験装置では，シール材の荷重を開放するとき，シール材の復元速度が試験装置の開放速度より大きい場合には圧縮応力が計測されることから，これにより，復元速度を測定することができる。

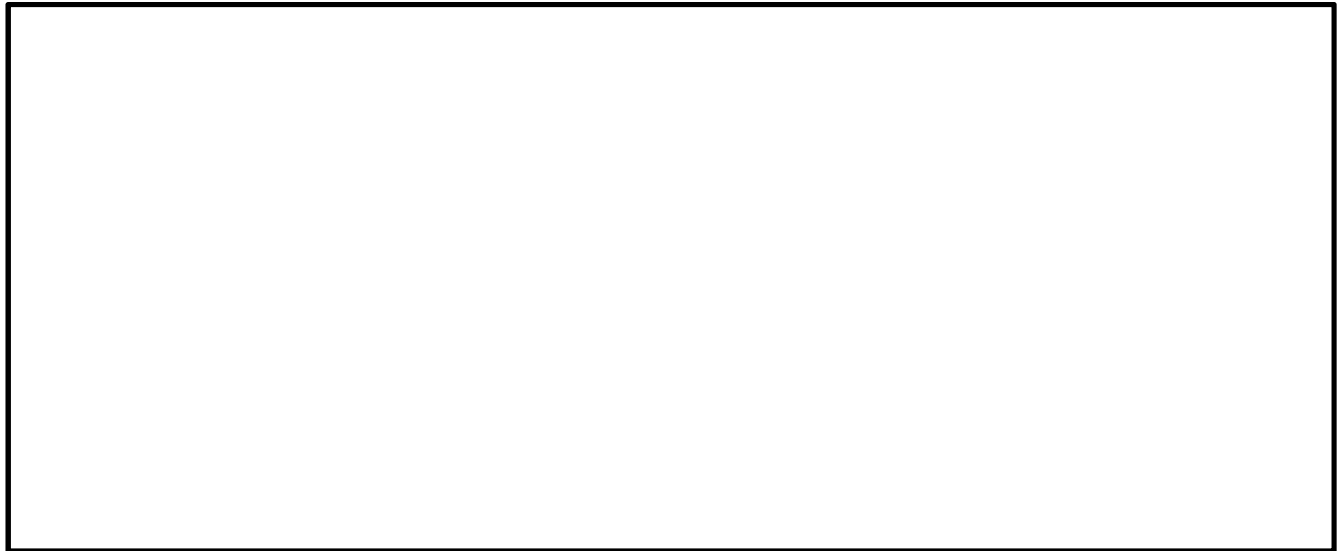


第 1 図 復元速度測定試験の概要

3.2 試験結果

試験結果を第 2 図に示す。この図に示すように，荷重開放時の各計測点において圧縮応力が測定されたことから，改良 E P D M 製シール材の復元速度は $500\text{mm}/\text{min}$ ($8.33\text{mm}/\text{s}$) 以上であることを確認した。前述のとおり，フランジ開口量の変化速度が最も早くなるのは，熔融炉心がペDESTアルに落下した際の圧力上昇時（F C I 評価）であるが，その時のフランジ開口変化速度は $1.49 \times 10^{-2}\text{mm}/\text{s}$ 程度であり，以下のとおりシール材復元速度は十分な追従性を有しているものであり，急速な開口に対してもシール機能を維持できるものとする。

シール材復元速度 500mm/min (8.33mm/s) 以上＞フランジ開口変化速度 (1.49×10^{-2} mm/s)



第2図 一定復元速度下で測定した改良EPDM製シール材の圧縮応力

なお、本試験は、劣化していない材料に対して実施したものであるが、参考資料15で示す通り、劣化後の圧縮永久ひずみ、硬さ、質量変化率は、大きなばらつきがなく、有意な性状変化が見られていない。また、さらに詳細に劣化による影響を確認するために、劣化後の材料のFT-IRやシート面の硬さに関する検討を行った。その結果、シール材の性状に大きな変化は確認されなかった。

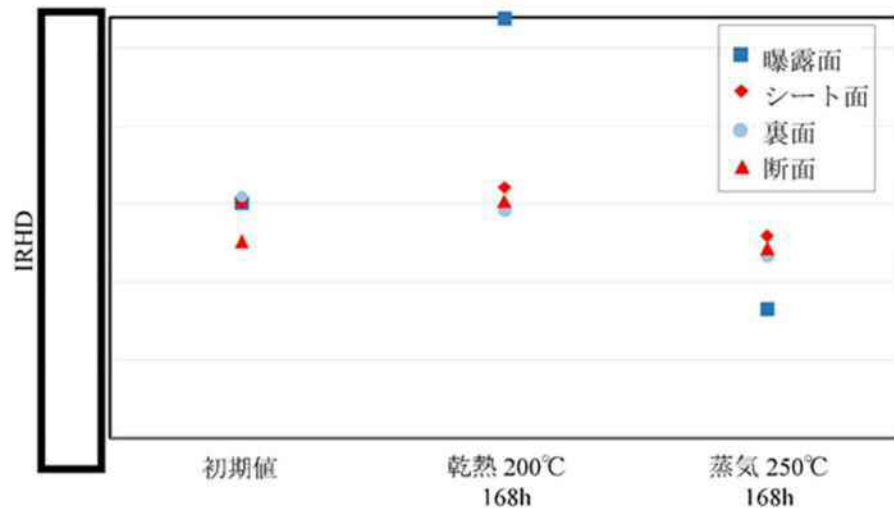
これらに示す試験結果から、劣化を考慮した場合でもシール材の復元特性に大きな変化はなく、また、復元速度はフランジ開口速度に対して十分な余裕があることから、開口に対する追従性に問題はないものとする。

< 追従性判断に使用できる理由 >

800kGy の放射線照射を行い，乾熱 200℃を 168 時間暴露した改良 E P D M 製シール材，及び 800kGy の放射線照射を行い，蒸気 250℃を 168 時間暴露した改良 E P D M 製シール材について，劣化後のシート面の F T－I R スペクトルを第 3 図に，硬さ測定の測定値を第 4 図に示す。その結果，F T－I R スペクトルは，分析位置に顕著な劣化が認められないこと，硬さ測定結果は，200℃，168 時間条件では酸化劣化によって硬さが顕著に上昇したが、その他は，硬さの初期値近傍であることから，乾熱放射線照射＋蒸気暴露後の試験片と初期試験片に顕著な差異はないことが確認できるため，復元特性が同様であると類推される。



第 3 図 F T－I R 分析結果（シート面）



第 4 図 硬さ測定結果

4. 逃がし安全弁の作動に伴うサプレッション・プールへの蒸気放出の影響について

サプレッション・チェンバに作用する水力学的動荷重は大別して次の 2 種類がある。

- (1) ドライウェルとサプレッション・チェンバを繋ぐベント管からの吹き出しによる荷重
- (2) 主蒸気逃がし安全弁の作動時に、サプレッション・プール水中の排気管端部に設置されたクエンチャからの蒸気吹き出しによる荷重

このうち(1)については、格納容器圧力が低い L O C A 発生直後で支配的となる現象であるため、その後、格納容器が限界温度・圧力に近づいた状態においては評価不要と考える。したがって、(2)のクエンチャからの蒸気吹き出しによる荷重の影響について検討を行った。

クエンチャからの蒸気吹き出しに伴う荷重には、次の 2 種類がある。

(a) 気泡振動荷重

主蒸気逃がし安全弁作動時に排気管内の空気が圧縮され、クエンチャから水中に放出される際に、気泡の膨張・収縮の繰り返しにより生じる荷重。

(b) 蒸気凝縮振動荷重

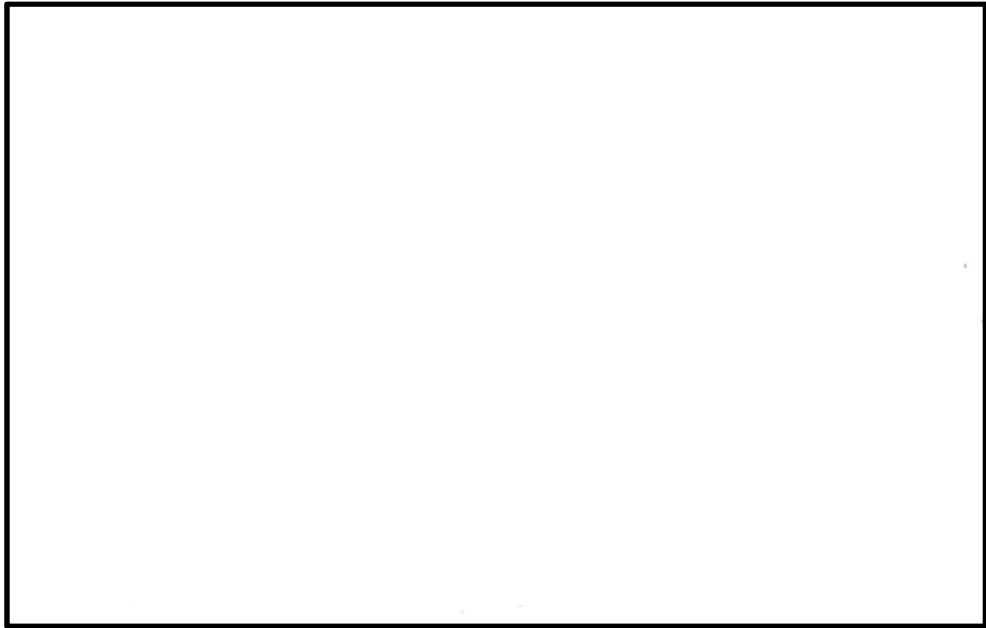
原子炉圧力容器からの蒸気が、クエンチャから水中に放出される際に生じる凝縮振動。

このうち、(a)の気泡振動荷重については、荷重の大きさがガス量とそのエネルギーに支配され、プラント設計においては主蒸気逃がし安全弁排気管の吹き出し圧力を考慮した荷重を設定している。重大事故時における排気管内のガス量や吹き出し圧力は、設計基準事故時と同等か、温度上昇に伴う排気管内のガス密度の低下によって低下する傾向にあると考えられるため、気泡振動荷重がプラント設計条件よりも厳しくなることはない。

(b)の蒸気凝縮振動荷重については、排気管に設置されているクエンチャの効果により安定した蒸気凝縮が行われることから、気泡振動荷重と比較しても十分小さく、また、サプレッション・プール水のサブクール度の変化によっても不安定凝縮が発生しない事が、過去の試験において確認されている。

(第5図参照)

これらの検討結果から、重大事故等時におけるサプレッション・チェンバ動荷重の影響は、プラント設計時に考慮している動荷重の影響と同等レベルであると考えられる。



第 5 図 蒸気凝縮時の圧力変動と水温の関係

モデル化している各部位の耐震性について

原子炉格納容器バウンダリを構成する各機器について、基準地震動 S_s に対する耐震性を示すため、地震時の発生応力と供用状態 D_s の評価基準値を比較した。その結果、全ての評価部位において発生応力は、評価基準値を下回っており、評価対象部位は地震に対して健全性を有していると考ええる。(第 1 表参照)

なお、フランジ部については、フランジ面がボルトで固定されており、地震時にはフランジ接合された部位同士が一体として加振されるため、地震によってフランジ部応力は発生しないと評価している。

第 1 表 地震時の原子炉格納容器各機器における発生応力

単位：MPa

| 評価機器 | 一次応力 | | |
|---------------------|--------------|------|----------------------|
| | 応力分類 | 発生応力 | 供用状態 D_s における評価基準値 |
| ドライウェル上鏡板 | 一次局部膜＋一次曲げ応力 | | 380 |
| ドライウェル円錐胴 | 一次局部膜＋一次曲げ応力 | | 380 |
| サプレッション・チェンバ円筒胴 | 一次局部膜＋一次曲げ応力 | | 387 |
| 機器搬入用ハッチ | 一次局部膜＋一次曲げ応力 | | 380 |
| サプレッション・チェンバアクセスハッチ | 一次局部膜＋一次曲げ応力 | | 387 |
| 所員用エアロック | 一次局部膜＋一次曲げ応力 | | 380 |
| 配管貫通部 | 一次局部膜＋一次曲げ応力 | | 344 |
| 電気配線貫通部 | 一次局部膜＋一次曲げ応力 | | 356 |

フランジ部の永久変形の評価について

原子炉格納容器バウンダリの健全性評価のうち、開口評価を行っているものに対して、事故時の原子炉格納容器過圧状態における開口により、永久変形が生じないことを示す。

開口影響がある部位の評価として、200℃、2Pd におけるフランジ部の変形によるフランジ部の発生応力を算出し、供用状態 C における評価基準値と比較した。その結果、全てのフランジ部の発生応力が供用状態 C における評価基準値を下回っており、永久変形が生じないことを確認した。

<評価対象>

- ① トップヘッドフランジ
- ② 機器搬入用ハッチ
- ③ サプレッション・チェンバアクセスハッチ
- ④ 所員用エアロック

① トップヘッドフランジ

トップヘッドフランジについて、既工認と同様の評価手法を用いて算出したフランジ及びボルトの発生応力が、供用状態Cにおける評価基準値を下回ることを確認する。

トップヘッドフランジの評価結果を第 1 表に示す。発生応力は供用状態Cにおける評価基準値を下回っており、永久変形は生じない。

第 1 表 トップヘッドフランジの評価結果

単位：MPa

| 荷重 | 発生応力 | | | 供用状態Cにおける 評価基準値 |
|-----|--------------|---------------------------------|-----|--------------------|
| 2Pd | フランジの軸方向応力 | σ_H | 185 | 339 |
| | フランジの径方向応力 | σ_R | 2 | 226 |
| | フランジの周方向応力 | σ_T | 86 | 226 |
| | 組合せ応力 | $\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2}$ | 94 | 226 |
| | | $\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2}$ | 136 | 226 |
| | 使用状態でのボルトの応力 | σ_{b0} | 247 | 423 |

② 機器搬入用ハッチ

機器搬入用ハッチのフランジ部について、既工認と同様の評価手法を用いて算出したフランジの発生応力が、供用状態Cにおける評価基準値を下回ることを確認する。

機器搬入用ハッチフランジの評価結果を第 2 表に示す。発生応力は供用状態Cにおける評価基準を下回っており、永久変形は生じない。

第 2 表 機器搬入用ハッチフランジの評価結果

材質：ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

| | | |
|----------------|-----------------------------------|----------------------|
| S | 供用状態 C における評価基準値 (MPa) | 226 |
| M _P | 内圧によるモーメント (N・mm/mm) | 2.112×10^4 |
| R _m | フランジ平均半径 (mm) | <input type="text"/> |
| b | フランジ幅 (mm) | <input type="text"/> |
| h | フランジ高さ (mm) | <input type="text"/> |
| I | フランジの断面二次モーメント (mm ⁴) | 4.22×10^7 |
| σ | 発生応力 (MPa) | 87 |

③ サプレッション・チェンバアクセスハッチ

サプレッション・チェンバアクセスハッチフランジ部について、既工認と同様の評価手法を用いて算出したフランジの発生応力が、供用状態 C における評価基準値を下回ることを確認する。

サプレッション・チェンバアクセスハッチの評価結果を第 3 表に示す。発生応力は供用状態 C における評価基準を下回っており、永久変形は生じない。

第 3 表 サプレッション・チェンバアクセスハッチフランジ部の評価結果

材質：ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

| | | |
|----------------|-----------------------------------|----------------------|
| S | 供用状態 C における評価基準値 (MPa) | 226 |
| M _P | 内圧によるモーメント (N・mm/mm) | 5.038×10^3 |
| R _m | フランジ平均半径 (mm) | <input type="text"/> |
| b | フランジ幅 (mm) | <input type="text"/> |
| h | フランジ高さ (mm) | <input type="text"/> |
| I | フランジの断面二次モーメント (mm ⁴) | 1.14×10^7 |
| σ | 発生応力 (MPa) | 29 |

④ 所員用エアロック

所員用エアロックの隔壁部は、既工認において、最も厳しい応力点を代表評価点として、発生応力を算出している。それに基づき供用状態Cの評価基準値との比を算出し、設計圧力に対する裕度を求め、その比を設計圧力に乗ずることで所員用エアロック部の許容圧力が求まる。この許容圧力が2Pdを上回ることを確認する。

応力評価結果を第4表に示す。許容圧力は2Pdを上回り、永久変形は生じない。

第4表 所員用エアロックの評価結果

材質：ASME SA516 Gr. 70 (SGV480 相当)

許容圧力算定式：

$$\alpha = S / \sigma$$

$$P = P_D \times \alpha$$

| | | |
|--------------------------|----------------------|-------|
| σ | 既工認での発生応力 (MPa) | 89 |
| S | 供用状態Cにおける評価基準値 (MPa) | 339 |
| α | 発生応力と評価基準値との比 | 3.808 |
| P_D | 設計圧力 (MPa) | 0.279 |
| P | 許容圧力 | 1.062 |
| 1.062MPa > 0.62MPa (2Pd) | | |

原子炉格納容器 評価温度・圧力負荷後の耐震性

1. 検討方針

原子炉格納容器バウンダリ構成部の評価対象の各部位に対し、評価温度・圧力（200℃，2Pd）負荷時に部材が弾性域又は塑性域のいずれにあるか、また、除荷後に残留ひずみが生じるかを確認するとともに、除荷後の残留ひずみの挙動により、耐震性への影響を評価する。

2. 検討結果

残留ひずみの有無及び耐震性への影響有無については、一次応力のみ考慮する部位と一次＋二次応力を考慮する部位に分けて次のとおり判断する。

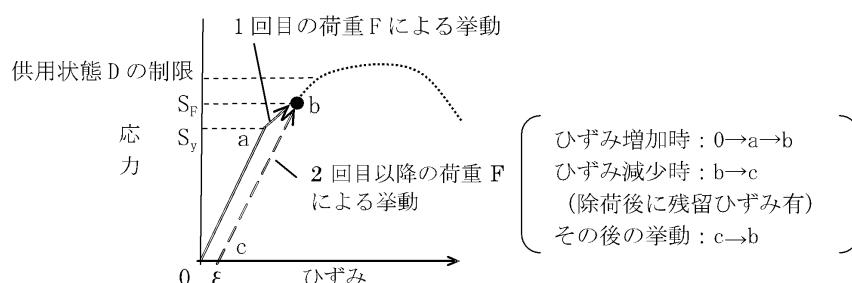
評価温度・圧力負荷時に周囲の部材の変形の影響を受けず二次応力を考慮する必要がない場合は、一次応力が S_y を超えるか否かで残留ひずみの有無を確認する。この場合、一次応力が S_y 以下の場合は、除荷後に残留ひずみは生じない（第1図， $0 \rightarrow a \rightarrow 0$ ）。 S_y を超える場合は、除荷後に残留ひずみが生じる（第1図， $0 \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c$ ）。一次応力は与えられた荷重に対して決定する応力であるため、同じ荷重が作用した場合の発生応力は除荷後も同等であり、評価温度・圧力負荷前と同じ弾性的挙動を示す（第1図， $c \rightarrow b$ ）。また、設計・建設規格の許容値は荷重を変形前の断面積で割った公称応力を基に設定されているため（第2図），設計・建設規格の許容値内であれば発生応力を算出する際に変形前の断面積を用いることに問題ない。

なお、材料に予めひずみが作用した場合について、作用した予ひずみ（～約19%）だけ応力－ひずみ曲線をシフトしたものと、予ひずみが作用しない材料の応力－ひずみ曲線がほぼ一致するという知見^[1]が得られており、十分

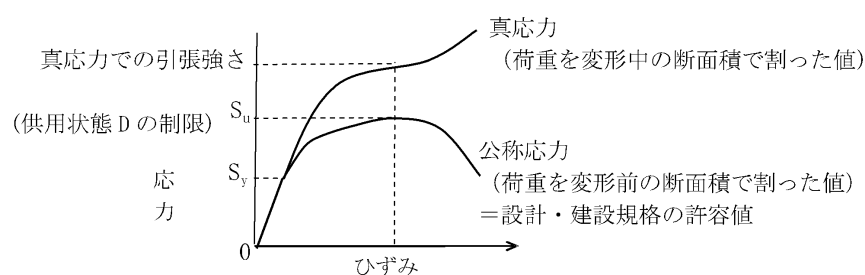
小さな残留ひずみであれば発生応力に与える影響はないと言える。

地震（許容応力状態Ⅳ_AS）の一次応力の許容応力は、供用状態Dの許容応力の制限内で同等であり，さらに評価温度・圧力負荷前と同様の挙動を示すことから，耐震性に影響はないと判断できる。

[1] 一般社団法人 日本溶接協会「建築鉄骨の地震被害と鋼材セミナー（第12回溶接構造用鋼材に関する研究成果発表会）」 JWES-IS-9701，（1997）



第1図 降伏点を越える場合のひずみ履歴イメージ（一次応力）



第2図 公称応力と真応力について

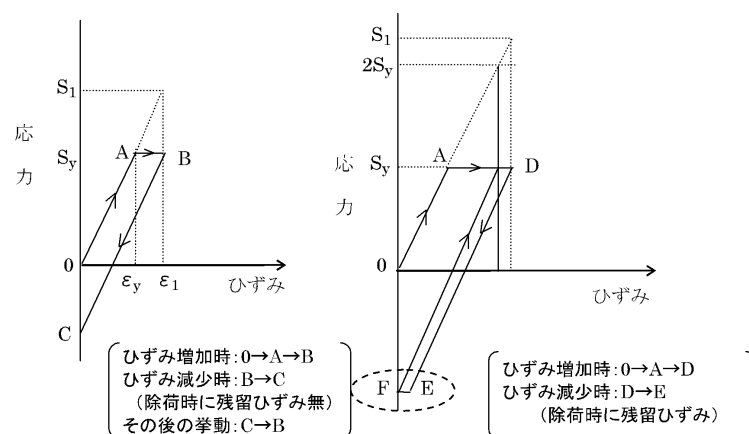
次に，評価温度・圧力負荷時に周囲の部材の変形の影響を受けるため，局部的に発生する二次応力を考慮する必要がある場合は，構造不連続部に発生する二次応力も考慮して，一次＋二次応力で残留ひずみの有無を確認する。

一次＋二次応力が S_y を超えると塑性域に入るが（第3図（設計・建設規格解説PVB－3112）, $0 \rightarrow A \rightarrow B$ ）, $2S_y$ 以下の場合は除荷時にひずみが減少し、除荷後に残留ひずみは生じない（第3図（設計・建設規格 解説PVB－3112）, $B \rightarrow C$ ）。また、その後の挙動は第3図の $B-C$ 上の弾性的挙動を示し、これは評価温度・圧力負荷前と同じである。

一次＋二次応力が $2S_y$ を超える場合は、残留ひずみ有と判断する（第3図（応力 S_1 が $2S_y$ 超の場合））。しかし、十分小さな残留ひずみであれば、上述の通り、発生応力に与える影響はないと言える。

地震（許容応力状態Ⅳ_AS）の一次＋二次応力の許容応力は、今回の一次＋二次応力の許容応力と同等であることから、地震による外力が加わったとしても一次＋二次応力の許容応力の制限内であり、さらに評価温度・圧力負荷前と同様の挙動を示すことから、耐震性に影響はないと判断できる。

なお、一次応力が S_y を超える部位については、残留ひずみ有と判断する。このとき、上述のとおり、十分小さな残留ひずみであれば発生応力に与える影響はないといえる。



（応力 S_1 が $2S_y$ 以下の場合） （応力 S_1 が $2S_y$ 超の場合）

第3図 降伏点を越える場合のひずみ履歴イメージ（一次＋二次応力）

除荷後に残留ひずみが生じるかを確認するとともに、除荷後の挙動により、耐震性への影響を評価するため、一次応力が S_y 以下か又は一次＋二次応力が $2S_y$ 以下かを確認した。各部位の評価温度・圧力負荷時の状況を第1表に示す。

原子炉格納容器本体（基部）については、一次＋二次応力が S_y を超えるため除荷後に残留ひずみが生じるが、供用状態Dの制限内であり、除荷後は弾性的挙動を示すため、耐震性への影響はない。

機器搬入口用ハッチ（円筒胴）、サプレッション・チェンバアクセスハッチ（円筒胴）、所員用エアロック（隔壁部）、配管貫通部（平板類、セーフエンド）、電気配線貫通部及び原子炉格納容器隔離弁については、一次応力が S_y を超えないと考えられ、残留ひずみは生じない。伸縮継手については疲労係数が微小であることから耐震性への影響はない。

トップヘッドフランジについては、一次応力が S_y 以下であり、残留ひずみは生じない。

配管貫通部（接続配管、スリーブ取付部）については、一次＋二次応力が $2S_y$ 以下であり、残留ひずみは生じない。

以上より、一次応力は供用状態Dの制限内であり、一次＋二次応力は $2S_y$ 以下であることを確認した。

したがって、耐震評価にて考慮する許容応力に対応する地震が生じた場合、地震による外力が加わったとしても今回の評価で考慮した許容応力の制限内であり、さらに評価温度・圧力負荷前と同様の挙動を示すことから、耐震性への影響はないと考える。

第1表 各部位の評価温度・圧力負荷時の状況

| 評価部位 | | 評価点 | 分類 | 評価値※1 | 判定値 | 残留ひずみ有無 | 備考 |
|---------------------|--------|---------------|------------------------------------|------------------|------------------------|-------------|----|
| 原子炉格納容器本体 | | 基部 | 一次+二次 | | 452MPa (2Sy) | 有 (1%未満) | |
| トップヘッドフランジ | | 同左 | 一次 | 185MPa | 226MPa (Sy) | 無 | |
| 機器搬入用ハッチ | | 円筒胴 | 一次 | 0.62MPa (2Pd) | 1.966MPa (Syでの限界圧力) | 無 | |
| サプレッション・チェンバークセスハッチ | | 同左 | 一次 | 0.62MPa (2Pd) | 0.708MPa (Syでの限界圧力) | 無 | |
| 所員用エアロック | | 隔壁部 | 一次 | 195MPa | 226MPa (Sy) | 無 | |
| 配管貫通部 | 接続配管 | 同左 (貫通部付近) | 一次+二次 | 169MPa | 370MPa (2Sy) | 無 | |
| | スリーブ | スリーブ 取付部 | 一次+二次 | 188MPa | 393MPa (2Sy) | 無 | |
| | 平板類 | 同左 | 一次 | 0.62MPa (2Pd) | 1.534MPa (Syでの限界圧力) | 無 | |
| | セーフエント | 同左 | 一次 | 0.62MPa (2Pd) | 3.643MPa (Syでの限界圧力) | 無 | |
| | 伸縮継手 | 同左 | 疲労係数は微小 <input type="text"/> < 1.0 | | | | |
| 電気配線貫通部 | アダプタ | 同左 | 一次 | 0.62MPa (2Pd) | 7.795MPa (Syでの限界圧力) | 無 | |
| | ヘッダ | 同左 | 一次 | 0.62MPa (2Pd) | 6.133MPa (Syでの限界圧力) | 無 | |
| 原子炉格納容器隔離弁 | | 弁箱 | 一次 | 0.62MPa (2Pd) | 1.03MPa (レーティング設計圧) | 無 | |

※1 判定値を超える場合、残留ひずみ有となる。

原子炉格納容器 限界温度・圧力に対する経年劣化の影響について

1. はじめに

原子炉格納容器の限界温度・圧力に関する評価における評価対象部位について、放射性物質の閉じ込め機能が、経年劣化により低下していないことを確認し、今回の限界温度・圧力に関する評価結果に影響しないことを確認する。なお、考慮する経年劣化事象については、東海第二発電所において実施した高経年化技術評価を参考に検討する。

2. 原子炉格納容器本体

原子炉格納容器本体については、経年劣化事象として腐食が考えられるが、原子炉格納容器本体は、鋼板表面に防食塗装を施すとともに、保全計画に基づく外観点検において表面の腐食、塗膜等の異常があれば、補修塗装を実施するとともに適切な肉厚管理を実施している。また、保全計画に基づき、計画的に肉厚測定を実施していることから、有意な劣化はないと考えられる。なお、原子炉格納容器本体に対して、一般社団法人 日本電気協会 電気技術規程「原子炉格納容器の漏えい率試験規程（J E A C 4203）」（以下、「J E A C 4203」という。）に基づく、全体漏えい率試験（1 回／1 定検）を実施し、放射性物質の閉じ込め機能の健全性を継続的に確認している。

3. 原子炉格納容器本体以外

原子炉格納容器本体以外の評価部位について、考慮する経年劣化事象は以下のとおり。

- ・ステンレス鋼配管については、塩分付着による外面の応力腐食割れが考えられるが、社内規則に基づき計画的な塩化物付着量測定を実施し、基準を満足しない場合は、純水拭きを実施することにより、塩化物付着量を応力腐食割れ発生のしきい値未満に管理していることから、有意な劣化はないと考えられる。
- ・炭素鋼配管については、流れ加速型腐食による減肉が考えられるが、社内規則に基づき計画的な肉厚測定を実施し、基準を満足しない場合は、計画的に取り替えを行うなど、適切な管理を行っている。
- ・原子炉格納容器隔離弁については、保全計画に基づく、計画的な分解点検、目視・表面検査を実施していることから、有意な劣化はないと考えられる。
- ・電気配線貫通部については、経年劣化事象として樹脂等の劣化が考えられる。これらの部位の経年劣化については、長期健全性試験により、健全性を確認している。
- ・機器搬入用ハッチ等に使用しているガスケット等については、保全計画に基づく定期的な取り替えを実施していることから、経年劣化事象とはならない。
- ・J E A C 4203 に基づく、全体漏えい率検査（1 回／1 定検）を実施し、放射性物質の閉じ込め機能の健全性を継続的に確認している。

以上のことから、経年劣化による原子炉格納容器の限界温度・圧力への影響はないと考える。

200℃，2Pd の適用可能時間を過ぎてから用いる限界圧力・温度について

1. 概要

有効性評価における格納容器温度・圧力の判断基準（評価項目）は200℃，2Pdと設定しており，200℃，2Pdの状態が継続することを考慮した評価が必要な部位はシール部である。このため，シール部については，200℃，2Pdの状態が7日間（168時間）継続した場合でもシール機能に影響がないことを確認することで，限界温度・圧力における格納容器閉じ込め機能の健全性を示している。

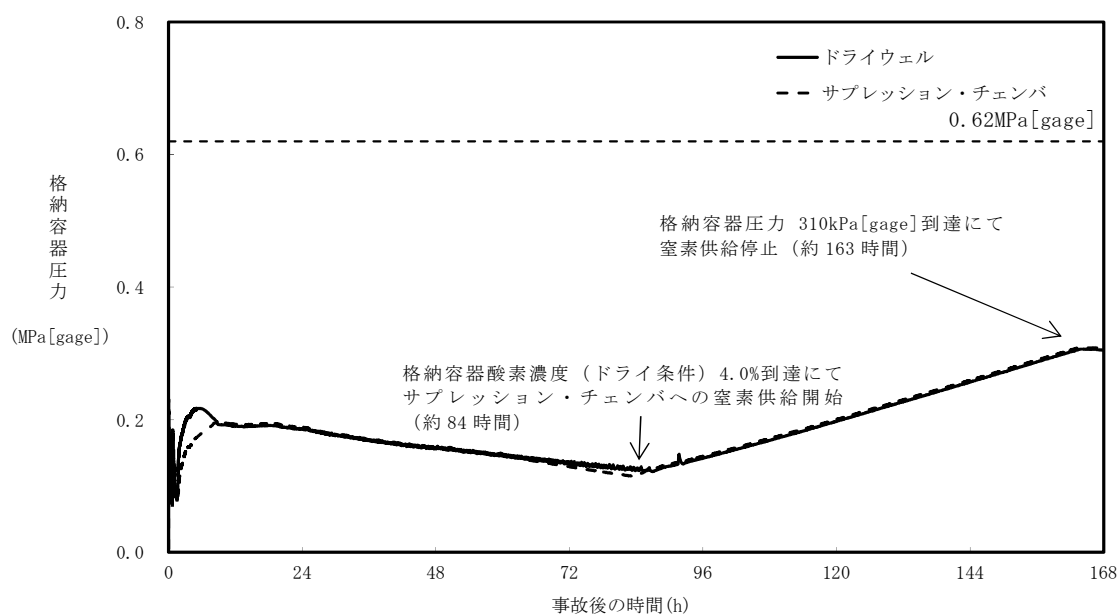
ここでは，200℃，2Pdを適用可能な7日間（168時間）以降においても，有効性評価で得られている厳しい条件を考慮し，格納容器の閉じ込め機能を示す。

また，上記に加えて，7日間（168時間）以降の累積放射線照射量についても，格納容器の閉じ込め機能に影響がないことを確認する。

2. 7日間（168時間）以降の圧力，温度の条件

7日間（168時間）以降において，格納容器圧力が最も高くなるのは，「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」において代替循環冷却系を使用する場合のシーケンス及び「高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱」で想定されるシーケンスである。これらのシーケンスは，格納容器内酸素濃度が4.0vol%（ドライ条件）に到達した時点で，格納容器内酸素濃度上昇による格納容器ベントを遅延するため，310kPa[gage]までサプレッション・チェンバへの窒素注入を行う手順としており，第1表で示すと

おり，7日間（168時間）以降の格納容器圧力は最大で310kPa[gage]となる。
 代表的に，「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」
 において代替循環冷却系を使用する場合のシーケンスにおける格納容器圧力
 の推移を第1図に示す。

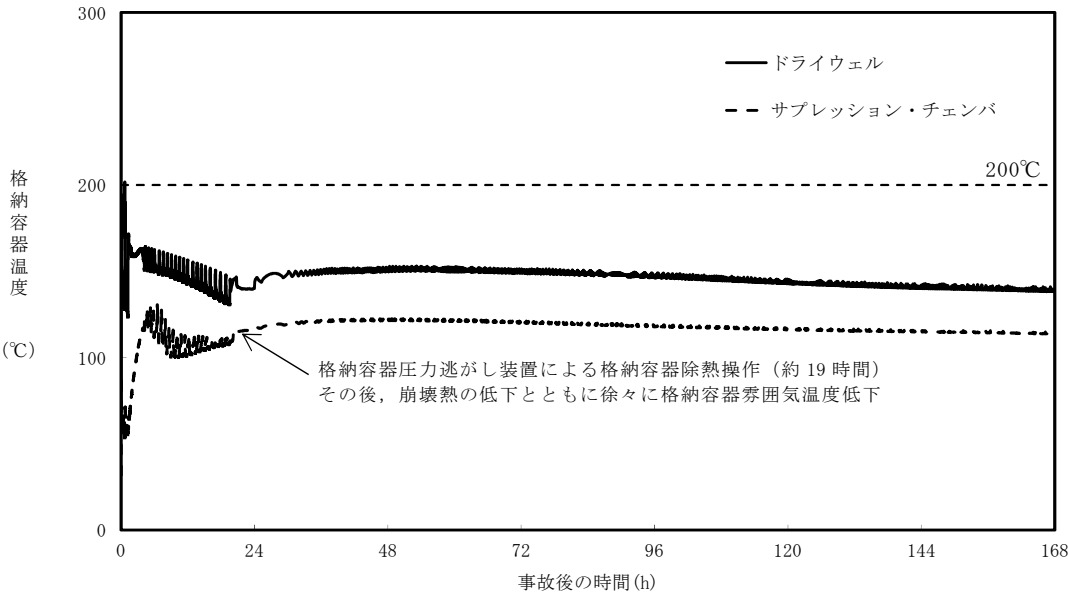


第1図 格納容器圧力（「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」において代替循環冷却系を使用する場合）

7日間（168時間）以降の格納容器雰囲気温度が最も高くなるのは，「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」において代替循環冷却系を使用できない場合のシーケンスである。このシーケンスの格納容器雰囲気温度の推移を第2図に示すが，7日間（168時間）時点で150℃未満であり，その後の格納容器雰囲気温度は崩壊熱の減衰によって低下傾向となるため，第1表で示すとおり7日間（168時間）以降は150℃を下回る。また，格納容器バウンダリにかかる温度（壁面温度※）についても，事象発生後3.9

時間後に生じる最高値は157℃であるが、7日間以降は150℃を下回る。

※：評価に用いているMAAPコードは、FP沈着に伴う発熱を考慮したものとなっている。格納容器内のFP挙動については、原子力安全基盤機構（JNES）の「シビアアクシデント時格納容器内多次元熱流動及びFP挙動解析」において、FPのほとんどが原子炉キャビティ内の床や壁表面にとどまり、格納容器全体に飛散することがないことが確認されており、健全性が維持されたシール部等の貫通部への局所的なFP沈着は発生しにくく、MAAPコードによる壁面温度の結果は妥当と考える。



第2図 格納容器雰囲気温度（「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」において代替循環冷却系を使用できない場合）

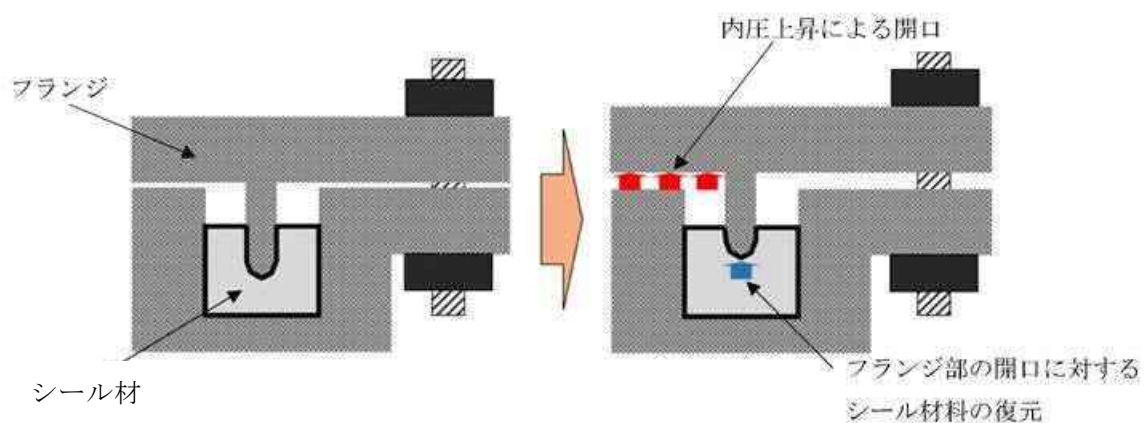
第1表 事故発生後の経過時間と格納容器圧力・温度、累積放射線照射量の関係

| 事故発生後の経過時間 | 0～168 時間 | 168 時間以降 |
|------------|-----------------------------------|--|
| 格納容器圧力 | 評価項目として 2Pd (620kPa [gage])を設定 | 有効性評価シナリオで 最大310kPa [gage]となる (MAAP解析結果) |
| 格納容器温度 | 評価項目として 200℃を設定 | 有効性評価シナリオで 150℃を下回る (MAAP解析結果) |

3. 7日間（168時間）以降の格納容器圧力・温度と閉じ込め機能の関係について

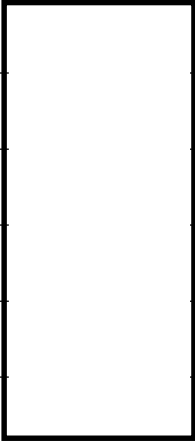
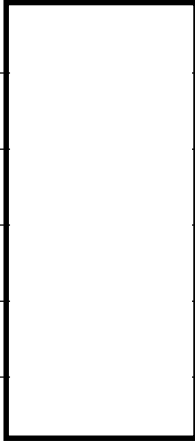
3.1 7日間（168時間）以降の格納容器圧力と閉じ込め機能の関係について

時間経過により，格納容器の健全性に影響を及ぼす部位はシール部のシール材である。シール部の機能維持は，第3図の模式図に示すとおり，格納容器内圧力の上昇に伴うフランジ部の過渡的な開口挙動に対し，シール材料の復元量が十分に確保されていることをもって確認している。つまり，格納容器温度によるシール材の熱劣化を考慮しても，圧縮永久ひずみ試験結果によりシール材の復元量が十分であれば，シール部の機能は健全である。長期のケースとして，有効性評価シナリオにおいて168時間時の格納容器圧力が高い代替循環冷却系運転ケースを評価しても，格納容器圧力は約0.31MPaであり開口量は小さい（第2表参照）。なお，復元量の具体的な評価は，格納容器温度に関係することから3.2で示す。



第3図 シール部の機能維持確認の模式図

第2表 格納容器圧力と開口量の関係

| フランジ部位 | 溝 | 168時間時 1Pd(0.31MPa) | 2Pd(0.62MPa) |
|-----------------------------|----|--|---|
| トップヘッド フランジ | 内側 |  |  |
| | 外側 | | |
| 機器搬入用ハッチ | 内側 | | |
| | 外側 | | |
| サプレッション・ チェンバアクセス ハッチ | 内側 | | |
| | 外側 | | |

3.2 7日間（168時間）以降の格納容器温度と閉じ込め機能の関係について

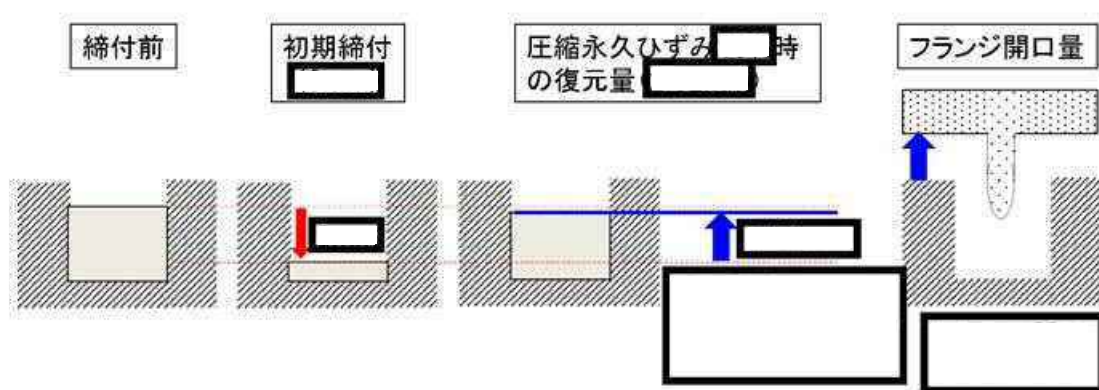
格納容器温度の上昇に伴う，時間経過によるシール材の長期的（格納容器温度が150℃を下回る状況）な影響を調査する。ここでは，トップヘッドフランジや機器搬入用ハッチ等に使用されている改良EPDM製シール材を用いて，168時間以降の温度・時間とシール材料の劣化挙動を確認するため，シール材の基礎特性試験を実施した。試験結果を第3表に示す。

第3表 改良E P D M製シール材の基礎特性データの経時変化

| 試験時間 | 0～7 日 | 7 日～14 日 | 14 日～30 日 |
|-----------------|-------|----------|-----------|
| 試験温度 | 200℃ | 150℃ | 150℃ |
| 圧縮永久ひずみ率 [%] | | | |
| 硬さ | | | |
| 質量変化率[%] | | | |

注記： γ 線 1.0MGy 照射済の試験体を用い、飽和蒸気環境下に暴露した後の測定値

第3表に示すように、168時間以降、150℃の環境下においては、改良E P D M製シール材の基礎特性データにはほとんど変化はなく、経時劣化の兆候は見られない。したがって、重大事故後168時間以降における格納容器の温度を150℃と設定した場合でも、シール部の機能は十分維持される。なお、E P D M材は一般特性としての耐温度性は150℃であり、第3表の結果は改良E P D M製シール材が200℃条件を7日間経験しても、一般特性としての耐熱温度まで低下すれば、それ以降は有意な劣化傾向は見られないことを示していると考ええる。また、第3表の結果から圧縮永久ひずみ 時の改良E P D M製シール材復元量とフランジ開口量のイメージを第4図に示しており、第2表で示す168時間以降の格納容器圧力に対しても十分追従可能な復元量を維持していることも確認できる。



第4図 圧縮永久ひずみ [] 時のシール材復元量とフランジ開口量

4. 7日間（168時間）以降の格納容器の閉じ込め機能について

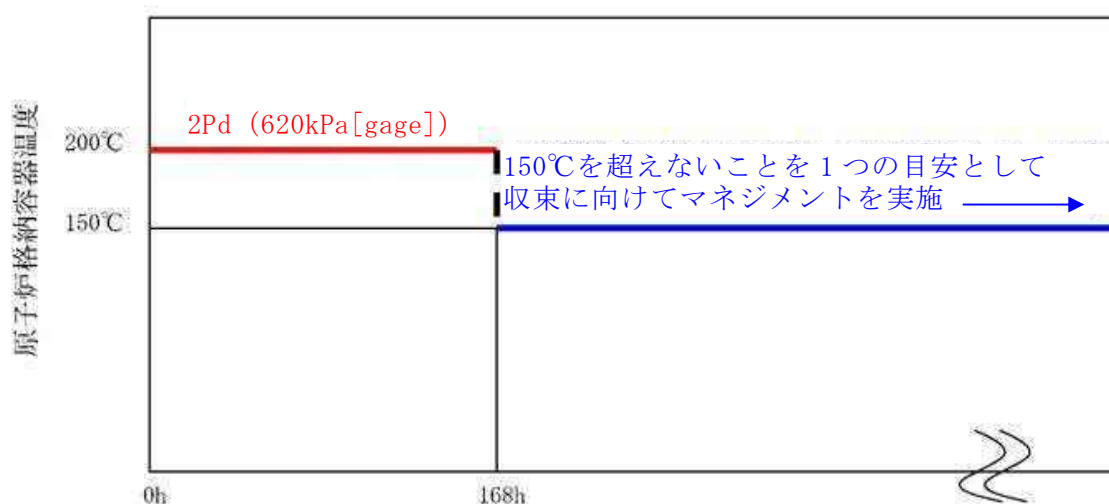
2.で示したように有効性評価結果からも、7日間（168時間）以降は格納容器温度が改良EPDM製シール材の一般特性としての耐熱温度である150℃を下回ることが判っている。また、格納容器圧力についてもベント操作の有無に関わらず圧力は低下しており、開口量は2Pd時と比較しても小さいことが確認できている。なお、代替循環冷却系を使用するシーケンスの場合、中長期的には、水の放射線分解によって生じる水素と酸素が格納容器圧力の上昇に寄与するが、酸素濃度がドライ条件で4.3vol%に到達した場合にはベントを実施することとしていることから、格納容器圧力は1Pdから数十kPaまでの上昇にとどまる。

よって、格納容器温度・圧力が評価項目（200℃・2Pd）にて7日間経験してもシール材が問題ないことを確認することで、長期の格納容器閉じ込め機能を確保できる。

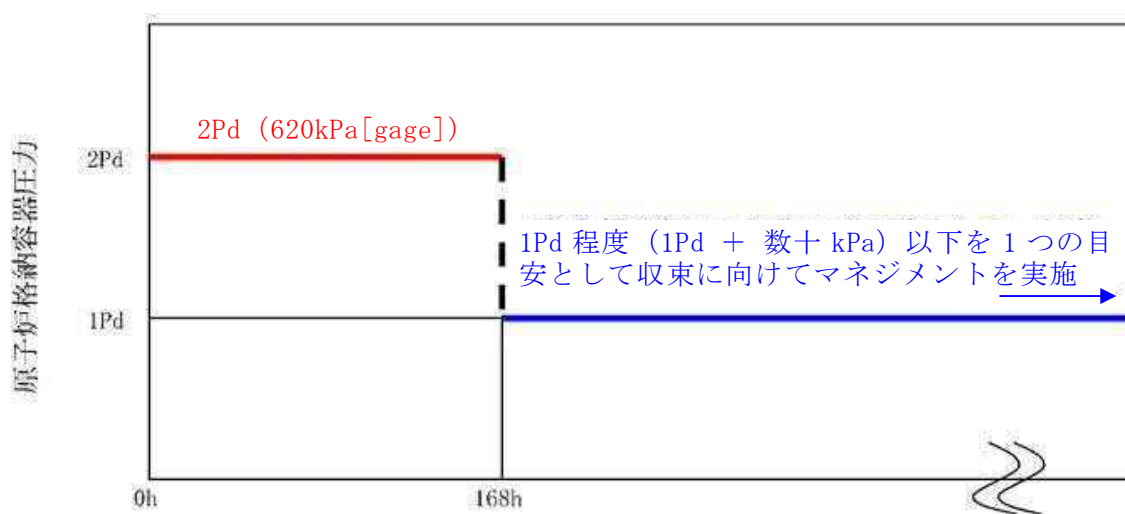
7日間（168時間）以降の格納容器の閉じ込め機能については、格納容器圧力・温度は低下していること、及び代替循環冷却系を使用するシーケンスにおける中長期的な水の放射線分解に伴う水素と酸素の発生に寄与も大きくな

いことから，最初の7日間（168時間）に対して200℃・2Pdを超えないよう管理することで，長期的な格納容器閉じ込め機能は維持される。ただし，事故環境が継続することにより，熱劣化等の閉じ込め機能低下要因が存在することとも踏まえ，長期的なプラントマネジメントの目安として，7日間（168時間）以降の領域においては，格納容器温度については第5図に示すとおり150℃を超えない範囲で，また，格納容器圧力については第6図に示すとおり1Pd程度（1Pd+数十kPa※）以下でプラント状態を運用する。

※：酸素濃度をドライ換算で4.3vol%以下とする運用の範囲



第5図 格納容器温度の168時間以降の考え方



第6図 格納容器圧力の168時間以降の考え方

6. 7日間（168時間）以降の放射線照射量と閉じ込め機能の関係について

時間経過によるシール材の長期的な影響を調査する。ここでは、トップヘッドフランジや機器搬入用ハッチ等に使用されている改良E P D M製シール材を用いて、168時間以降の累積放射線照射量・時間とシール材料の劣化挙動を確認するため、シール材の基礎特性試験を実施した。試験結果を第4表に示す。累積放射線照射量による影響は、試験結果より、有意な変化がないことから、7日間以降のシール機能は、維持できる。

第4表 改良E P D M製シール材の累積放射線照射量とひずみ率の関係

| 累積放射線照射量 | ひずみ率 |
|----------|------|
| | |

試験条件

雰囲気：蒸気環境

温度・劣化時間：200℃・168時間＋150℃・168時間

原子炉格納容器貫通部リスト (1/8)

| 分類 | 貫通部 No. | 用 途 | スリーブ | | | 取り付け位置 | |
|-------------|------------|--------------|------------|--------------|-------|-------------|----|
| | | | 口径 [mm] | 厚さ t [mm] | t/D | 高 さ [EL] | 角度 |
| ハ ッ チ | X-15 | イクイメントハッチ | 3658 | —※ | —※ | | |
| | X-16 | パーソネル・エア・ロック | 2400 | —※ | —※ | | |
| | X-28 | CRD ハッチ | 609.6 | 31.0 | 0.051 | | |
| | X-51 | アクセスハッチ | 1982 | —※ | —※ | | |

※当該貫通部は、配管貫通部以外の評価対象であり、代表性として不要な情報であるため、「—」とする。

| 分類 | 貫通部 No. | 用 途 | スリーブ | | | 取り付け位置 | |
|--|------------|--|------|--------------|-------|-------------|----|
| | | | 口径 | 厚さ t [mm] | t/D | 高 さ [EL] | 角度 |
| 配 管 貫 通 部 【 プ ロ セ ス 配 管 貫 通 部 (ド ラ イ ウ エ ル) 】 | X-2 | RPV ヘッドスプレイ | 22B | 29.0 | 0.052 | | |
| | X-3 | ドライウエル排気系 2-26B-12 2-26V-9, 150, 153 | 20B | 26.2 | 0.052 | | |
| | X-5 | RCW 送り (2-9V33) | 8B | 12.7 | 0.059 | | |
| | X-6 | HPCS | 28B | 39.0 | 0.055 | | |
| | X-7 | 予備 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-8 | LPCS | 28B | 39.0 | 0.055 | | |
| | X-11A | RHR (A) | 16B | 21.4 | 0.053 | | |
| | X-11B | RHR (B) | 16B | 21.4 | 0.053 | | |
| | X-12A | LPCI (A) | 28B | 39.0 | 0.055 | | |
| | X-12B | LPCI (B) | 28B | 39.0 | 0.055 | | |
| | X-12C | LPCI (C) | 28B | 39.0 | 0.055 | | |
| | X-13 | SLC | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-14 | CUW ポンプ吸込 | 22B | 29.0 | 0.052 | | |
| | X-17A | FDW (to RPV) | 36B | 51.0 | 0.056 | | |
| | X-17B | FDW (to RPV) | 36B | 51.0 | 0.056 | | |

原子炉格納容器貫通部リスト (2/8)

| 分類 | 貫通部 No. | 用 途 | スリーブ | | | 取り付け位置 | |
|--------------------------|------------|-------------------------------------|--------|------------|-------|-------------|----|
| | | | 口径 | 厚さ [mm] | t/D | 高 さ [EL] | 角度 |
| 配管貫通部【プロセス配管貫通部（ドライウエル）】 | X-18A | MS (to Turbin) | 44B | 51.0 | 0.046 | | |
| | X-18B | MS (to Turbin) | 44B | 51.0 | 0.046 | | |
| | X-18C | MS (to Turbin) | 44B | 51.0 | 0.046 | | |
| | X-18D | MS (to Turbin) | 44B | 51.0 | 0.046 | | |
| | X-19A | RHR SDC 戻り | 28B | 39.0 | 0.055 | | |
| | X-19B | RHR SDC 戻り | 28B | 39.0 | 0.055 | | |
| | X-20 | RHR SDC | 36B | 51.0 | 0.072 | | |
| | X-21 | 蒸気 (to RCIC Turbin) | 26B | 39.0 | 0.059 | | |
| | X-22 | 復水ドレン | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-26 | 予備 | 16B | 21.4 | 0.053 | | |
| | X-43 | 予備 | 6B | 11.0 | 0.067 | | |
| | X-46 | RCW 戻り (2-9V30) | 8B | 12.7 | 0.059 | | |
| | X-52A | FCS (A) & 予備 | 20B | 26.2 | 0.052 | | |
| | X-52B | FCS (B) & 予備 | 20B | 26.2 | 0.052 | | |
| | X-53 | ドライウエル給気系 2-26B-2, 9 2-26V-16 | 20B | 26.2 | 0.052 | | |
| | X-55 | N ₂ ガス供給系&FPC | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-56 | 予備&N ₂ ガス供給系, DHC | 26B | 39.0 | 0.059 | | |
| | X-57 | FP 系&N ₂ ガス供給系 | 18B | 23.8 | 0.052 | | |
| | X-58 | 補給水系 | 18B | 23.8 | 0.052 | | |
| | X-76 | to FCS (A) | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-81 | 予備 | 1 1/2B | 5.1 | 0.105 | | |
| | X-107B | DHC 入口 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |

原子炉格納容器貫通部リスト (3/8)

| 分類 | 貫通部 No. | 用 途 | スリーブ | | | 取り付け位置 | |
|---------------------------------|------------|--|------|------------|-------|-------------|----|
| | | | 口径 | 厚さ [mm] | t/D | 高 さ [EL] | 角度 |
| 配管貫通部【プロセス配管貫通部（サブプレッジョン・チェンバ）】 | X-4 | RCIC | 14B | 19.0 | 0.053 | | |
| | X-23 | FLOOR DRAIN SUMP | 3B | 7.6 | 0.085 | | |
| | X-24 | EQUIPMENT DRAIN SUMP | 3B | 7.6 | 0.085 | | |
| | X-25A | RHR (A) | 4B | 8.6 | 0.075 | | |
| | X-25B | RHR (B) | 4B | 8.6 | 0.075 | | |
| | X-31 | HPCS SUCTION | 24B | 31.0 | 0.051 | | |
| | X-32 | RHR (B) SUCTION | 24B | 31.0 | 0.051 | | |
| | X-33 | RCIC SUCTION | 8B | 12.7 | 0.059 | | |
| | X-34 | LPCS SUCTION | 24B | 31.0 | 0.051 | | |
| | X-35 | RHR (A) SUCTION | 24B | 31.0 | 0.051 | | |
| | X-36 | RHR (C) SUCTION | 24B | 31.0 | 0.051 | | |
| | X-47 | RHR (A), RCIC | 16B | 21.4 | 0.053 | | |
| | X-48 | RHR (B), ML | 16B | 21.4 | 0.053 | | |
| | X-49 | HPCS TEST | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-59 | 予備 | 16B | 21.4 | 0.053 | | |
| | X-60 | RHR (A) Hx 安全弁排 気の閉止 | 18B | 23.8 | 0.052 | | |
| | X-62 | RHR (B) Hx 安全弁排 気の閉止 | 18B | 23.8 | 0.052 | | |
| | X-63 | LPCS TEST, RHR (A) | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-77 | RCIC | 2B | 5.5 | 0.091 | | |
| | X-78 | OIL DRAIN SUMP | 3B | 7.6 | 0.085 | | |
| | X-79 | サブプレッジョン・チェンバ 排 気系 (AC 系) 2-26B-10, 11 2-26V-152, 155 | 20B | 26.2 | 0.052 | | |
| | X-80 | サブプレッジョン・チェンバ 給 気系 (AC 系) 2-26B-3, 4, 5, 6, 7 2-26V-18, 19, 69, 70 | 20B | 26.2 | 0.052 | | |

原子炉格納容器貫通部リスト (4/8)

| 分類 | 貫通部 No. | 用 途 | スリーブ | | | 取り付け位置 | |
|--------------------------------|------------|----------------------------------|--------|------------|-------|-------------|----|
| | | | 口径 | 厚さ [mm] | t/D | 高 さ [EL] | 角度 |
| 配管貫通部 【計装配管貫通部 (ドライウエル)】 | X-9A | CRD 引抜 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-9B | CRD 引抜 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-9C | CRD 引抜 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-9D | CRD 引抜 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-10A | CRD 挿入 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-10B | CRD 挿入 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-10C | CRD 挿入 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-10D | CRD 挿入 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-27A | 移動式炉心内校正 装置ドライブ | 1 1/2B | 5.1 | 0.105 | | |
| | X-27B | 移動式炉心内校正 装置ドライブ | 1 1/2B | 5.1 | 0.105 | | |
| | X-27C | 移動式炉心内校正 装置ドライブ | 1 1/2B | 5.1 | 0.105 | | |
| | X-27D | 移動式炉心内校正 装置ドライブ | 1 1/2B | 5.1 | 0.105 | | |
| | X-27E | 移動式炉心内校正 装置ドライブ | 1 1/2B | 5.1 | 0.105 | | |
| | X-27F | 移動式炉心内校正 装置ドライブ | 1 1/2B | 5.1 | 0.105 | | |
| | X-29A | γ ラジエーションセンサ CH-A | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-29B | γ ラジエーションセンサ CH-B | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-29C | AC, PASS, CAMS, RPV フランジリークオフ | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-29D | CAMS, PLR, MS | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-30 | MS | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-37A | AC (2-26V213, 214) | 2B | 5.5 | 0.091 | | |
| | X-37B | シールベロー L/T (2-26V215, 216) | 2B | 5.5 | 0.091 | | |

原子炉格納容器貫通部リスト (5/8)

| 分類 | 貫通部 No. | 用 途 | スリーブ | | | 取り付け位置 | |
|----------------------------|------------|--|------|------------|-------|-------------|----|
| | | | 口径 | 厚さ [mm] | t/D | 高 さ [EL] | 角度 |
| 配管貫通部 【計装配管貫通部（ドライウエル）】 | X-38 | ドライウエル圧力測定 用, PLR, MS | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-39 | NB/CRD-dp, HPCS-dp | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-40 | ドライウエル圧力測定 用, CAMS, MSPCV- L/T 盤 | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-41A | RCIC | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-41B | RCIC | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-42 | ドライウエル圧力測定 用, MSIV-LCS, MS | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-44A | J/P | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-44B | J/P, PASS | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-44C | J/P | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-44D | J/P | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-54A | ドライウエル圧力測定 用, PLR | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-54B | PLR | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-54C | ドライウエル圧力測定 用, MSIV-LCS, PLR | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-54D | PLR | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-66A | RHR, LPCS, ボトムライ - L/T 盤 | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-66B | RHR | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-69A | PLR HPU ライン | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-69B | PLR HPU ライン | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-73 | O ₂ 測定用 | 2B | 5.5 | 0.091 | | |
| | X-74 | O ₂ 測定用, FP モニタ | 2B | 5.5 | 0.091 | | |
| | X-75 | O ₂ 測定用 | 2B | 5.5 | 0.091 | | |

原子炉格納容器貫通部リスト (6/8)

| 分類 | 貫通部 No. | 用 途 | スリーブ | | | 取り付け位置 | |
|--------------------------------|------------|---------------------------|------|------------|-------|-------------|----|
| | | | 口径 | 厚さ [mm] | t/D | 高 さ [EL] | 角度 |
| 配管貫通部 【計装配管貫通部 (ドライウエル)】 | X-84A | 水位計 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-84B | 水位計 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-84C | 水位計 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-84D | 水位計 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-85A | 水位計 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-85B | 水位計 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-86A | 水位計 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-86B | 水位計 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-86C | 水位計 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-86D | 水位計 | 1B | 4.5 | 0.132 | | |
| | X-87 | MS, 炉心 dpt-N005 | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-88 | MS | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-89 | MS, CUW, NB | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-90 | ドライウエル圧力測定 用, CAMS, MS | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-203 | FCS | 2B | 5.5 | 0.091 | | |

原子炉格納容器貫通部リスト (7/8)

| 分類 | 貫通部 No. | 用 途 | スリーブ | | | 取り付け位置 | |
|--------------------------------------|------------|---|------|------------|-------|-------------|----|
| | | | 口径 | 厚さ [mm] | t/D | 高 さ [EL] | 角度 |
| 配管貫通部 【計装配管貫通部（サブ レクション・チェンバ）】 | X-64A | サブレクション・チェンバ 水位 測定用 | 2B | 5.5 | 0.091 | | |
| | X-64B | サブレクション・チェンバ 水位 測定用 | 2B | 5.5 | 0.091 | | |
| | X-64C | サブレクション・チェンバ 水位 測定用 | 2B | 5.5 | 0.091 | | |
| | X-64D | サブレクション・チェンバ 水位 測定用 | 2B | 5.5 | 0.091 | | |
| | X-65 | 予備 | 2B | 5.5 | 0.091 | | |
| | X-67 | 予備 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-68 | 予備 | 2B | 5.5 | 0.091 | | |
| | X-70 | サブレクション・チェンバ 圧力 測定用 | 2B | 5.5 | 0.091 | | |
| | X-71A | 真空破壊弁 N ₂ ガス 供給系 | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-71B | 真空破壊弁 N ₂ ガス 供給系 | 10B | 15.1 | 0.056 | | |
| | X-82 | O ₂ 測定用 | 2B | 5.5 | 0.091 | | |
| | X-83 | O ₂ 測定用, FP モニタ, PASS, CAMS | 2B | 5.5 | 0.091 | | |
| | X-200A | MSIV LCS | 4B | 8.6 | 0.075 | | |
| | X-200B | MSIV LCS | 4B | 8.6 | 0.075 | | |
| | X-201A | 予備 | 3B | 7.6 | 0.085 | | |
| | X-201B | 予備 | 3B | 7.6 | 0.085 | | |
| | X-202A | 予備 | 3B | 7.6 | 0.085 | | |
| | X-202B | 予備 | 3B | 7.6 | 0.085 | | |
| | X-230 | 計測 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |

原子炉格納容器貫通部リスト (8/8)

| 分類 | 貫通部 No. | 用 途 | スリーブ | | | 取り付け位置 | |
|---------------------|------------|-----------|------|------------|-------|-------------|----|
| | | | 口径 | 厚さ [mm] | t/D | 高 さ [EL] | 角度 |
| 電気配線貫通部 (ドライウエル) | X-100A | 中性子検出等 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-100B | 中性子検出等 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-100C | 中性子検出等 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-100D | 中性子検出等 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-101A | PLRポンプ電源 | 18B | 23.8 | 0.052 | | |
| | X-101B | PLRポンプ電源 | 18B | 23.8 | 0.052 | | |
| | X-101C | PLRポンプ電源 | 18B | 23.8 | 0.052 | | |
| | X-101D | PLRポンプ電源 | 18B | 23.8 | 0.052 | | |
| | X-102A | 指示&制御 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-102B | 指示&制御 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-103 | 計測 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-104A | CRD 位置指示用 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-104B | CRD 位置指示用 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-104C | CRD 位置指示用 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-104D | CRD 位置指示用 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-105A | 電源&出力 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-105B | 電源&出力 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-105C | 電源&出力 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-105D | 電源&出力 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-106A | 予備 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-106B | 指示&制御 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |
| | X-107A | 指示&出力 | 12B | 17.4 | 0.055 | | |

原子炉格納容器に接続される系統の健全性について

1. はじめに

200℃，2Pd の条件下において，原子炉格納容器に接続される系統の健全性が維持できることを以下のとおり確認した。

2. 格納容器破損防止対策に使用される系統について

格納容器破損防止対策としては，下記条項に係る系統設備が使用され，各々発生する事象に応じて使用される系統，設備が異なる。

第 49 条（原子炉格納容器内の冷却等のための設備）

対策：代替格納容器スプレイ系（常設及び可搬型）により，残留熱除去系の格納容器スプレイ機能が喪失した場合でも，格納容器内雰囲気の冷却・減圧・放射性物質の低減機能を維持する。

第 50 条（原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備）

対策：格納容器圧力逃がし装置により，格納容器内の圧力及び温度を低下させることで，残留熱除去系が機能喪失した場合でも，格納容器の過圧破損を防止する。

第 51 条（原子炉格納容器下部の熔融炉心を冷却するための設備）

対策：格納容器下部注水系（常設及び可搬型）により，格納容器下部に落下した熔融炉心を冷却する。

第 52 条（水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備）

対策：格納容器内の不活性化，水素濃度計による格納容器内水素濃度の監視及び格納容器圧力逃がし装置による水素ガスの格納容器外への排出により，格納容器内の水素爆発を防止する。

上記のうち，第 49 条，第 51 条，第 52 条に関連する系統については原子炉格納容器バウンダリ外より冷却水や不活性ガスをバウンダリ内へ注入する（押し込む）対策がとられるのに対し，第 50 条ではバウンダリ外へ内包ガスを放出，あるいは同バウンダリを跨いで系統を構成（PCV バウンダリを拡大）し，原子炉格納容器内包流体を循環させる対応がとられる。

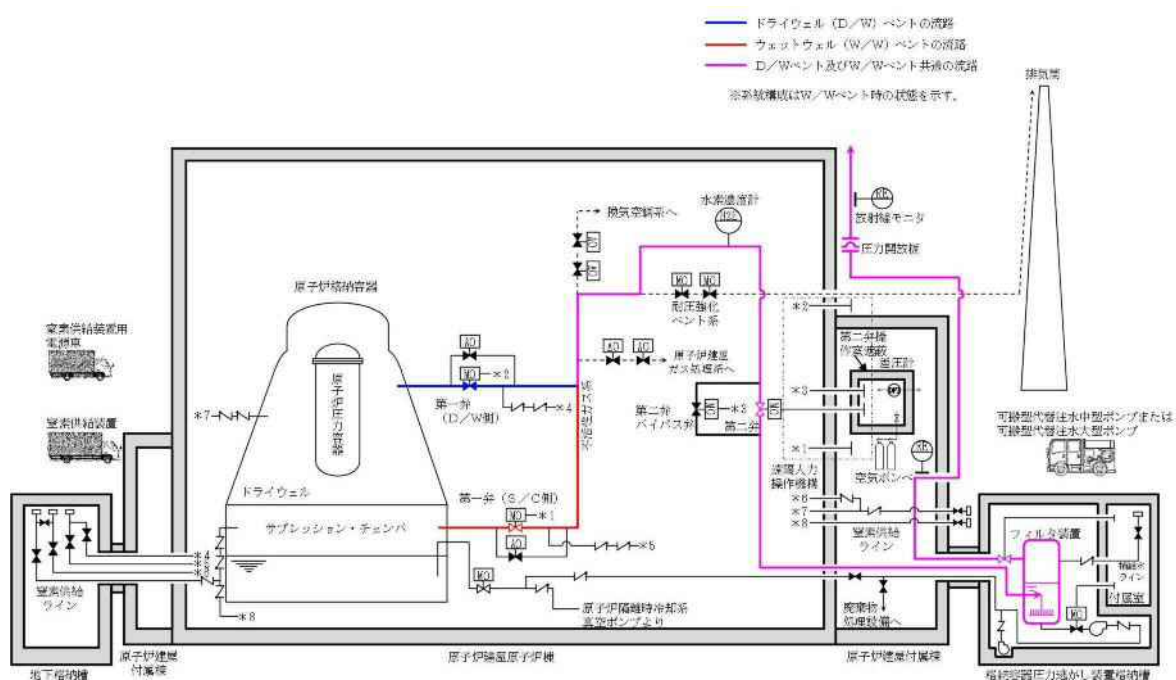
ここでは，第 50 条関連系統設備（原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備）について 200℃，0.62MPa[gage] (2Pd) 環境下での使用における影響を検討する。

3. 原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備（第 50 条）の健全性について

3.1 格納容器圧力逃がし装置

格納容器圧力逃がし装置については、新設の系統設備であり，系統を構成するフィルタ装置や弁・配管等については，いずれも最高使用温度 200℃，最高使用圧力 0.62MPa[gage] (2Pd) で設計することとしている。したがって，原子炉格納容器が 200℃，2Pd の環境にあっても，系統設備の健全性に問題はない。

格納容器圧力逃がし装置の概要図を第 1 図に示す。



第 1 図 格納容器圧力逃がし装置 概要図

3.2 代替循環冷却系

代替循環冷却系は，サプレッション・チェンバを水源とし，代替循環冷却系ポンプ，残留熱除去系熱交換器及び残留熱除去系海水

系ポンプ又は緊急用海水ポンプを使用し，原子炉圧力容器へ注水するとともに，格納容器内にあるスプレイヘッダよりドライウェル内に水をスプレイするものである。また，残留熱除去系海水系ポンプ又は緊急用海水ポンプによりサブプレッション・プール水を残留熱除去系熱交換器にて冷却できるものである。

主要機器の仕様を 3.2.1 項に，代替循環冷却系概要図を第 2 図に示す。

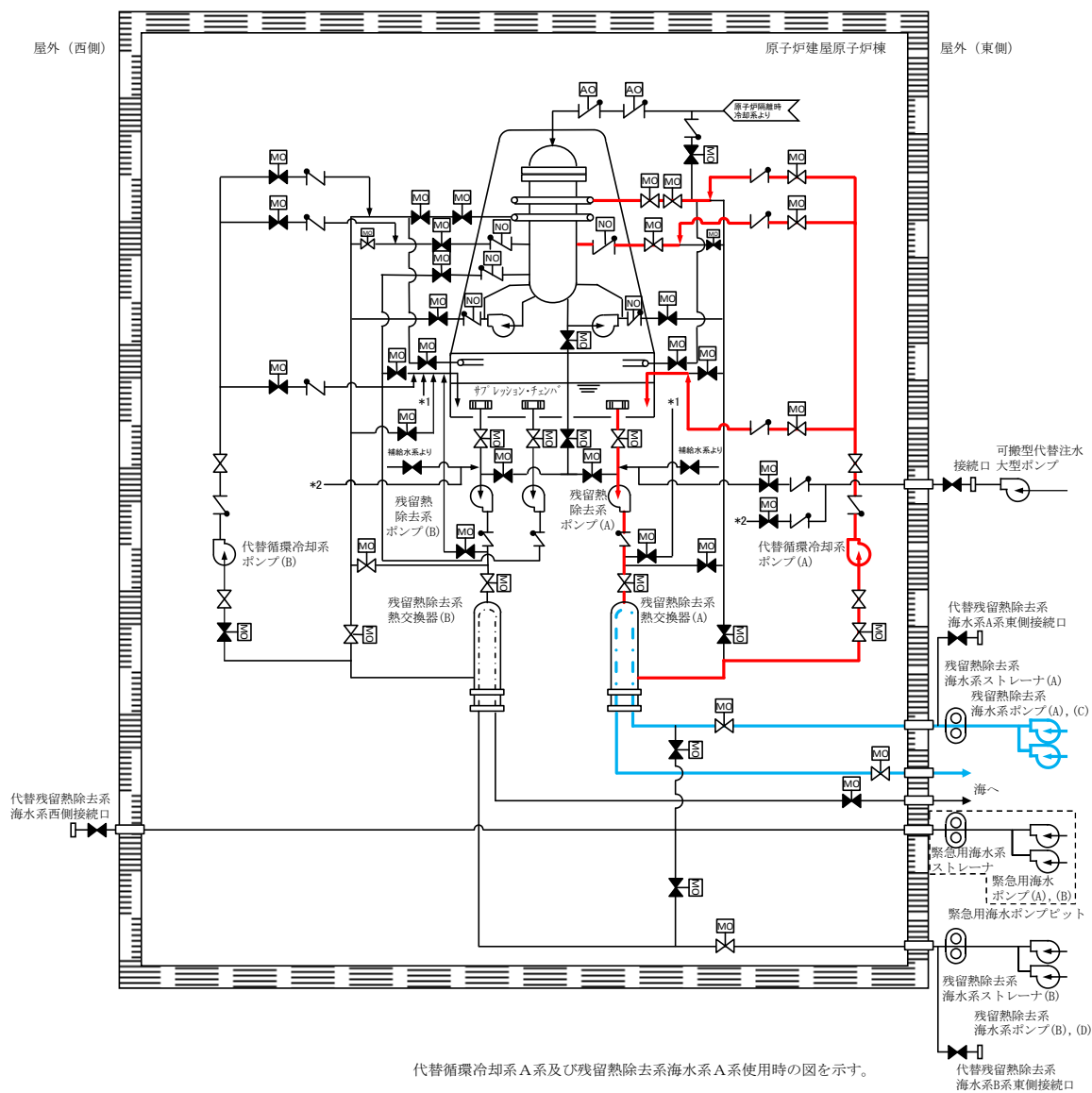
3.2.1 主要機器の仕様

(1) 代替循環冷却系ポンプ

| | | |
|---|-------|--------------------------------|
| 型 | 式 | ：ターボ形 |
| 台 | 数 | ：1（予備1） |
| 容 | 量 | ：約 $250\text{m}^3/\text{h}$ ／個 |
| 全 | 揚 | 程：約120m |
| 最 | 高使用圧力 | ：3.45MPa[gage] |
| 最 | 高使用温度 | ：80℃ |

(2) 残留熱除去系熱交換器

| | | |
|---------------|-------|--|
| 型 | 式 | ：縦型Uチューブ式 |
| 基 | 数 | ：2 |
| 最 | 高使用圧力 | ：3.45MPa[gage] |
| 最 | 高使用温度 | ：249℃ |
| 伝 | 熱容量 | ：約 $19.4 \times 10^3 \text{ kW}$ （1基当たり） |
| （原子炉停止時冷却モード） | | |



第2図 代替循環冷却系 概要図

3.2.2 代替循環冷却系の健全性

代替循環冷却系の健全性について、「代替循環冷却系ポンプの健全性」，「残留熱除去系ポンプの健全性」，「シール材の信頼性」の観点から評価する。なお，残留熱除去系熱交換器については，最高使用温度が 249℃で設計されているため，健全性に問題はない。

(1) 代替循環冷却系ポンプの健全性

0.62MPa[gage] (2Pd) においては，サブプレッション・プール水の温度は0.62MPa[gage] (2Pd) における飽和温度167℃となる。サブプレッション・プール水は残留熱除去系ポンプを経由し，残留熱除去系海水系ポンプ又は緊急用海水ポンプからの海水を用いて残留熱除去系熱交換器にて冷却後，代替循環冷却系ポンプにて原子炉及びドライウエルに注水を行う。ここでは，残留熱除去系熱交換器において冷却したサブプレッション・プール水の温度が，代替循環冷却系ポンプの最高使用温度80℃を超えないことを確認する。評価条件は以下のとおり。

緊急用海水ポンプ流量 : 600m³/h

代替循環冷却系ポンプ流量 : 250m³/h

海水温度 : 32℃

サブプレッション・プール水温度 : 167℃

上記の条件で残留熱除去系熱交換器出口温度を評価した結果，出口温度は約70℃と評価され，代替循環冷却系ポンプの最高使用温度80℃を下回る。なお，代替循環冷却系ポンプの運転

に伴うポンプ入熱による影響及びサブプレッション・プール水中の核分裂生成物による発熱による影響については、代替循環冷却系ポンプの入口側に残留熱熱交換器が設置されており、代替循環冷却系ポンプの運転によって、残留熱除去系熱交換器により冷却された水に入れ替わることから影響はないものと考えらる。

以上より、2Pdの条件下においても、代替循環冷却系ポンプの健全性については問題ない。

(2) 残留熱除去系ポンプの健全性

代替循環冷却系については、残留熱除去系ポンプ（最高使用圧力：3.51MPa，最高使用温度：182℃）を流路として使用する。

系統概要図（第2図）に示すとおり、代替循環冷却系は代替循環冷却系ポンプでサブプレッション・チェンバの水を循環させる系統構成となっており、残留熱除去系が機能喪失している前提で使用する設備であるため、残留熱除去系ポンプは、停止している状態でポンプ内を系統水が流れることとなる。残留熱除去系ポンプの軸封部はメカニカルシールで構成されており、ポンプ吐出側から分岐して送水される冷却水（フラッシング水）により温度上昇を抑える設計としている（第3図）。

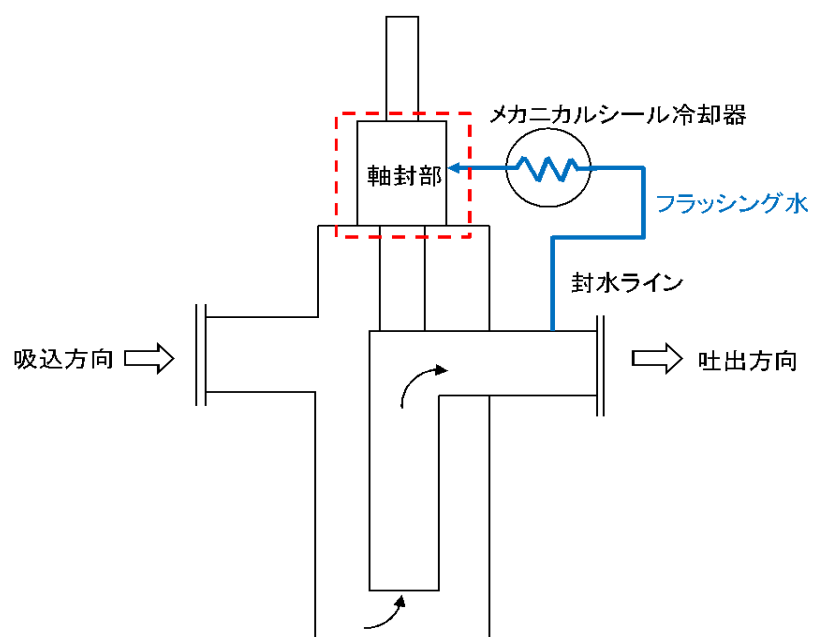
ポンプ停止時に系統水が流れる状態においては、通常どおりメカニカルシールに冷却水（フラッシング水）が送水されないことが考えられるため、その際のシール機能への影響について確認した。

残留熱除去系ポンプのメカニカルシールは、スプリングによ

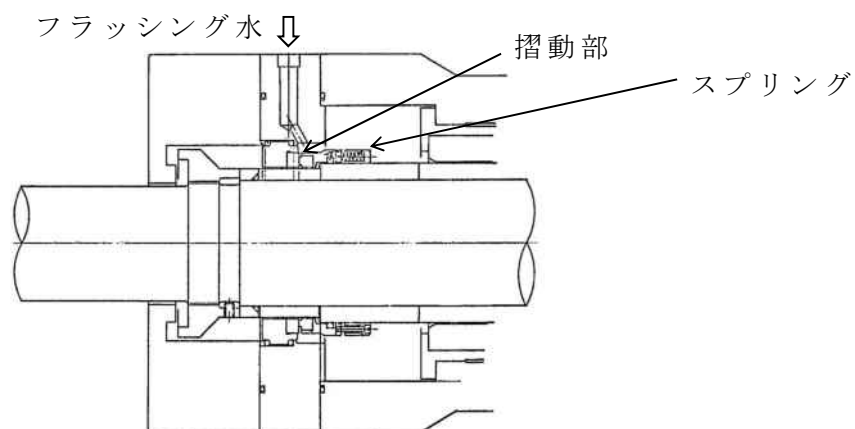
って摺動部を押さえつける形でシールする構造となっている（第4図）。代替循環冷却系運転時には残留熱除去系ポンプが停止している状態であるため、通常のポンプ運転時のように冷却水（フラッシング水）が封水ラインを通じてメカニカルシール部に通水されないことが想定されるが、上述のとおり、冷却水（フラッシング水）はメカニカルシールの摺動による温度上昇を抑えるためのものであり、ポンプが停止している状態では冷却の必要がなく、特にメカニカルシールの機能に影響はない。

なお、軸封部及び封水ラインにおいては、代替循環冷却系ポンプ運転時には残留熱除去系ポンプが停止していることから、ポンプの吐出圧力に相当する圧力がかかることはなく、格納容器圧力である0.62MPa[gage]（2Pd）であるため、軸封部への影響はないと考える。

したがって、代替循環冷却系運転時において軸封部からの系統水の著しい漏えいはないと考えており、残留熱除去系ポンプの最高使用温度以下で通水されることから健全性については問題ない。



第 3 図 残留熱除去系ポンプ 概要図



第 4 図 残留熱除去系ポンプメカニカルシール 構造図

(3) シール材の健全性について

代替循環冷却系を使用する場合に、系統内の弁、配管及びポンプのバウンダリに使用されているシール材について高温環境による影響、放射線影響及び化学種による影響によって材料が劣化し漏えいが生じる可能性がある。これらの影響について下記のとおり評価を行った。

① 高温環境及び放射線による影響

代替循環冷却系は、重大事故時に炉心損傷した状況で系統を使用することとなる。このため、高温環境下であること及び系統内を高放射能の流体が流れることから、高温及び放射線による劣化が懸念される。

上記に示す部材のうち、配管フランジガスケット及び弁グランドシールには膨張黒鉛材料若しくはステンレス等の金属材料が用いられている。これらは、耐熱性があること及び無機材料であり高放射線下においても劣化の影響はないか極めて小さい。このため、これらについては評価温度である200℃以上の耐熱性を有することに加え、放射線による影響はついても、耐放射線性能が確認されたシール材を用いることから、シール性能が維持されるものと考ええる。

残留熱除去系ポンプのバウンダリを構成する部材（メカニカルシール、ケーシングシール等）のシール材には、エチレンプロピレンゴム（E P D M）やフッ素ゴムが用いられており、高温環境下での使用による影響及び放射線による影響を受けて劣化することが考えられるため、200℃の

環境下において7日間の高耐熱性を有し、耐放射線性に優れた改良EPDM製シール材への取り替えを今後行うことにより、耐熱性及び耐放射線性を確保する。

また、代替循環冷却系ポンプのバウンダリを構成する部材（ケーシングシール等）のシール材についても同様に、耐熱性及び耐放射線性に優れた材料を適用する。

② 核分裂生成物による化学的影響

炉心損傷時に発生する核分裂生成物の中で化学的な影響を及ぼす可能性がある物質として、アルカリ金属であるセシウム及びハロゲン元素であるよう素が存在する。このうち、アルカリ金属のセシウムについては、水中でセシウムイオンとして存在しアルカリ環境の形成に寄与するが、膨張黒鉛ガスケットや金属ガスケットはアルカリ環境において劣化の影響はなく、また、EPDMについても耐アルカリ性を有する材料であることから、セシウムによるシール機能への化学的影響はないものと考える。

一方、ハロゲン元素のよう素については、無機材料である膨張黒鉛ガスケットや金属ガスケットでは影響がないが、有機材料であるEPDMでは影響を生じる可能性がある。設備での使用を考慮している改良EPDMについては、電力共同研究により、よう素による影響の確認を行っており、炉心損傷時に想定されるよう素濃度（約450mg/m³）よりも高濃度のよう素環境下（約1,000mg/m³）においても、圧縮永久ひずみ等のシール材としての性状に大きな変化がないことを確認している。また、ガスケットメーカーにお

いて、よう素に対する E P D M材の耐性として、第1表に示すとおり、5段階評価（ランク1が最も耐性がある）のうち、ランク2に位置づけられており、よう素に対する耐性があるものとする。

このように、よう素に対する性能が確認された材料を用いることにより、漏えい等の影響が生じることはないものとする。

第 1 表 E P D Mの特性

| 薬品 | 耐性ランク |
|-----|-------|
| ヨウ素 | 2 |

<耐性ランクの凡例>

- 1：動的部分にも使用可能で体積変化率は 10% 以内。
- 2：動的部分にも条件により使用可能、体積変化率は 20% 以内。
- 3：静的部分には使用可能、体積変化率は 30% 以内。
- 4：静的部分には条件により使用可能、体積変化率は 100% 以内。
- 5：使用できない、体積変化率は 100% 以上。

出典：日本バルカー工業(株)発行「バルカーハンドブック」より抜粋

格納容器圧力逃がし装置を使用する際、サプレッション・プール水の酸性化を防止すること及びサプレッション・プール水中の核分裂生成物由来のよう素を捕捉することにより、よう素の放出量の低減を図るため、サプレッション・プール水 p H制御装置を自主的な取組みとして設ける計画である。サプレッション・プール水 p H制御装置を使用により、アルカリ薬液である水酸化ナトリウムを格納容器へ注入することとなるため、アルカリ薬液によるシール性への影響が懸念されるが、耐アルカリ性を有する改良 E P D Mを使用することにより、格納容器バウンダリのシール機能には影響はない。

4. まとめ

原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備（第 50 条）について，200℃，2Pd の条件における設備の健全性について評価した。

フィルタベント設備については，200℃，2Pd を系統の設計温度，設計圧力とするため，設備上の問題はない。

代替循環冷却系については，代替循環冷却系ポンプの最高使用温度は 80℃であるが，残留熱除去系熱交換器によりサプレッション・プール水は代替循環冷却系ポンプの最高使用温度を超えないと評価されている。また，ガスケットやシール材については，黒鉛系ガスケット等を用いており，200℃，2Pd の条件下であっても健全性は維持可能であると評価された。