

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-856 改1
提出年月日	平成30年8月9日

#### V-2-3-4-4-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針

## 目次

1.	概要	1
1.1	一般事項	1
1.2	構造の説明	1
2.	記号の説明	3
3.	計算条件	4
3.1	適用基準	4
3.2	評価対象箇所	4
3.3	形状及び寸法	5
3.4	物性値	5
3.4.1	材料の物性値	5
3.5	荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）	5
3.6	許容限界	5
3.7	溶接部の継手効率	5
4.	荷重条件	6
4.1	設計条件	6
4.2	運転条件	6
4.2.1	運転状態Ⅰ及びⅡ	6
4.2.2	運転状態Ⅲ	7
4.2.3	運転状態Ⅳ	7
4.3	重大事故等時の条件	7
4.4	外荷重の条件	7
4.4.1	死荷重	7
4.4.2	機械的荷重	7
4.4.3	地震荷重	7
4.5	荷重の組合せ	8
5.	応力解析の手順	9
5.1	解析手順の概要	9
5.2	荷重の選定	9
5.3	応力計算と応力の分類	9
5.3.1	応力計算の方法	9
5.3.2	応力計算に使用する計算機コード	9
5.3.3	応力の分類	9
5.4	応力の評価	10
5.4.1	主応力	10
5.4.2	応力強さ	10
5.4.3	一次応力強さ	10

5.5	特別な応力の検討	10
5.5.1	純せん断応力の評価	10
5.6	極限解析による評価	10
5.6.1	極限解析の方法	10
5.6.2	極限解析に使用する計算機コード	11
6.	解析及び評価結果の添付	12
6.1	応力評価結果	12
7.	引用文献	13
添付 1	溶接部の継手効率	41
添付 2	応力計算結果の応力分類処理方法	43

## 図表目次

図 3-1	全体断面図	14
図 4-1	原子炉压力容器内部構造物の各運転状態における差圧	15
図 4-2	原子炉压力容器内部構造物の運転条件	16
図 5-1	応力解析の手順	26
表 1-1	原子炉压力容器内部構造物の構造計画	2
表 3-1	材料の分類	27
表 3-2	応力計算に使用する材料の物性値	28
表 3-3	極限解析による評価に使用する材料の物性値	29
表 3-4	荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）	30
表 3-5	原子炉压力容器内部構造物用材料の許容応力	33
表 4-1	外荷重	36
表 4-2	荷重の組合せ	39
表 5-1	応力の分類	40

## 1. 概要

### 1.1 一般事項

本書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉圧力容器内部構造物に関する応力解析の方針を述べるものである。

原子炉圧力容器内部構造物は、設計基準対象施設においては耐震Sクラスに分類される。

下記の機器は、重大事故等対処設備に該当し、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類され、その他の機器は重大事故等対処設備に該当しない。

以下、原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価及び重大事故等時における強度評価について記載する。

#### 【常設耐震重要重大事故防止設備】

- ・ジェットポンプ
- ・高圧炉心スプレイスパージャ
- ・高圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）
- ・差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）

#### 【常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備】

- ・低圧炉心スプレイスパージャ
- ・残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）
- ・低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）

注1：本書に記載していない特別な内容がある場合は、各計算書に示す。

注2：図表は、原則として巻末に示す。

### 1.2 構造の説明

原子炉圧力容器内部構造物の構造計画を表1-1に示す。

なお、原子炉圧力容器内部構造物は、下記の機器により構成される。

- (1) 蒸気乾燥器
- (2) 気水分離器及びスタンドパイプ
- (3) シュラウドヘッド
- (4) ジェットポンプ
- (5) 給水スパージャ
- (6) 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ
- (7) 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）
- (8) 高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）
- (9) 差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）
- (10) 中性子計測案内管

表 1-1 原子炉圧力容器内部構造物の構造計画

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
<p>蒸気乾燥器，給水スパージャ，高圧及び低圧炉心スプレイ配管は，原子炉圧力容器内部に取り付けられたブラケットにより支持されている。</p> <p>また，気水分離器及びスタンドパイプはシュラウドヘッドに溶接により接続され，シュラウドヘッドは炉心シュラウド上にボルトによりフランジ接続される。</p>	<p>原子炉圧力容器内部構造物は蒸気乾燥器，気水分離器及びスタンドパイプ，シュラウドヘッド，ジェットポンプ，給水スパージャ，高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ，残留熱除去系配管，高圧及び低圧炉心スプレイ配管，差圧検出・ほう酸水注入管，中性子計測案内管により構成される。</p>	

2. 記号の説明

本書及び各計算書において、以下の記号を使用する。ただし、本書添付及び各計算書中に別途記載ある場合は、この限りでない。

なお、各計算書における記号の字体及び大きさについては、本書と異なる場合がある。

計算書の記号	記号の説明	単位
E	縦弾性係数	MPa
F <sub>L</sub>	軸力	N
F <sub>S</sub>	せん断力	N
H	水平力	N
M	モーメント	N・mm
P <sub>b</sub>	一次曲げ応力	MPa
P <sub>m</sub>	一次一般膜応力	MPa
S <sub>d</sub> *	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> により定まる地震力又は静的地震力	—
S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub> により定まる地震力	—
S <sub>12</sub>	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
S <sub>23</sub>	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
S <sub>31</sub>	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
S <sub>m</sub>	設計応力強さ	MPa
S <sub>u</sub>	設計引張強さ	MPa
S <sub>y</sub>	設計降伏点	MPa
T	ねじりモーメント	N・mm
V	鉛直力	N
$\eta$	溶接部の継手効率	—
$\nu$	ポアソン比	—
$\sigma_1$	主応力	MPa
$\sigma_2$	主応力	MPa
$\sigma_3$	主応力	MPa
$\sigma^l$	軸方向応力	MPa
$\sigma_r$	半径方向応力	MPa
$\sigma_t$	周方向応力	MPa
$\tau_{lr}$	せん断応力	MPa
$\tau_{rt}$	せん断応力	MPa
$\tau_{tl}$	せん断応力	MPa

### 3. 計算条件

#### 3.1 適用基準

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 N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007年）（以下「設計・建設規格」という。）及び原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59年）を適用する。

注：本書及び各計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格 ○○○-△△△△(◇)a. (a)」として示す。

#### 3.2 評価対象箇所

新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する応力評価の対象箇所は、次のとおりである。（図 3-1 参照）

	機器名称	設計用地震力に対する 応力評価	重大事故等時に対する 応力評価
(1)	蒸気乾燥器	○	×*
(2)	気水分離器及びスタンドパイプ	○	×*
(3)	シュラウドヘッド	○	×*
(4)	ジェットポンプ	○	○
(5)	給水スパージャ	○	×
(6)	高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ	○	○
(7)	残留熱除去系配管 （原子炉压力容器内部）	○	○
(8)	高圧及び低圧炉心スプレイ配管 （原子炉压力容器内部）	○	○
(9)	差圧検出・ほう酸水注入管 （原子炉压力容器内部）	○	○
(10)	中性子計測案内管	○	×*

注：「○」は評価対象、「×」は評価対象外を示す。

注記 \*：原子炉冷却材の流路機能がないため、評価対象外とする。

### 3.3 形状及び寸法

各部の形状及び寸法は、各計算書に示す。

### 3.4 物性値

応力計算及び極限解析による評価に使用する材料の物性値は、以下のとおりである。

#### 3.4.1 材料の物性値

材料の物性値は、次のように定める。

- (1) 縦弾性係数 $E$ は、設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1及び表2に定められたものによる。
- (2) 材料は、表3-1に従って分類する。  
主な温度における材料の物性値を表3-2に示す。  
極限解析による評価に使用する物性値を表3-3に示す。

### 3.5 荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）

荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）は、表3-4に示すとおりである。また、各供用状態（許容応力状態）で考慮する荷重は、4章に示すとおりである。

なお、本書及び各計算書において、設計・建設規格 GNR-2120(1)の規定による最高使用圧力（供用状態Aを定義する運転状態において機器が受ける最高の圧力以上の圧力であって、設計上定めるものをいう。）を「設計差圧」と呼ぶ。（図4-1参照）

### 3.6 許容限界

- (1) 設計応力強さ $S_m$ 、設計降伏点 $S_y$ 及び設計引張強さ $S_u$ は、それぞれ設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1、表8及び表9に定められたものを使用する。
- (2) 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sの一次応力評価には、各運転状態における流体の最高温度（運転状態Ⅰ及びⅡ：℃）に対する許容応力を用いる。供用状態E\*の一次応力の評価には、運転状態Ⅴにおける評価温度条件 ℃）に対する許容応力を用いる。
- (3) 原子炉圧力容器内部構造物の各運転状態の応力評価に用いる許容応力は、設計・建設規格 CSS-3110により表3-5に示すとおりである。

注記 \*：供用状態Eとは、重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）であり、供用状態Dを超える状態である。許容応力の算出式は供用状態Dと同様とする。

### 3.7 溶接部の継手効率

- (1) 溶接部の継手効率は、継手の種類と分類及び継手に適用する検査の種類により、設計・建設規格 CSS-3150に従って定める。
- (2) 溶接部の許容応力は、表3-5に定める許容応力に継手効率を乗じたものである。  
溶接部の継手効率を添付1に示す。

#### 4. 荷重条件

原子炉压力容器内部構造物は、以下の荷重条件に耐えるように設計する。  
各機器の応力解析には、本章に示す荷重を考慮する。

##### 4.1 設計条件

原子炉压力容器の最高使用圧力 : 8.62 MPa  
設計差圧 : 図 4-1 に示す。  
最高使用温度 : 302 °C

##### 4.2 運転条件

運転条件及び記号は、次のとおりである。また、これらの記号を解析及び評価に用いる場合において、同一事象内に複数の解析時点がある場合は記号に小番号を付して使用する。

[例 C03-01, C03-02]

なお、各計算書においては、{ }内の名称を用いる。

計算書では以下に示す運転条件のうち、一次応力強さの評価については、各供用状態（許容応力状態）を定義する各運転状態のうち、最も厳しい運転条件について選定する。

##### 4.2.1 運転状態 I 及び II

(1) ボルト締付け	{ボルト締付け}	[C01]
(2) 耐圧試験（最高使用圧力以下）	{耐圧試験最高使用圧力以下}	[C02]
(3) 起動（昇温）	{起動昇温}	[C03]
(4) 起動（タービン起動）	{起動タービン起動}	[C04]
(5) 夜間低出力運転（出力 75 %）	{夜間低出力運転出力 75 %}	[C05]
(6) 週末低出力運転（出力 50 %）	{週末低出力運転出力 50 %}	[C06]
(7) 制御棒パターン変更	{制御棒パターン変更}	[C07]
(8) 給水加熱機能喪失（発電機トリップ）	{発電機トリップ}	[C08]
(9) 給水加熱機能喪失（給水加熱器部分バイパス）	{給水加熱器部分バイパス}	[C09]
(10) スクラム（タービントリップ）	{スクラムタービントリップ}	[C10]
(11) スクラム（その他のスクラム）	{スクラムその他のスクラム}	[C11]
(12) 定格出力運転	{定格出力運転}	[C12]
(13) 停止（タービン停止）	{停止タービン停止}	[C13]
(14) 停止（高温待機）	{停止高温待機}	[C14]
(15) 停止（冷却）	{停止冷却}	[C15]
(16) 停止（容器満水）	{停止容器満水}	[C16]
(17) 停止（満水後冷却）	{停止満水後冷却}	[C17]
(18) ボルト取外し	{ボルト取外し}	[C18]
(19) 燃料交換	{燃料交換}	[C19]
(20) スクラム（原子炉給水ポンプ停止）	{スクラム原子炉給水ポンプ停止}	[C20]

(21) スクラム(逃がし安全弁誤作動)	{スクラム逃がし安全弁誤作動}	[C21]
4.2.2 運転状態Ⅲ		
(1) スクラム(過大圧力)	{スクラム過大圧力}	[C22]
(2) 冷却材再循環系仕切弁誤作動(冷状態)	{冷再循環系仕切弁誤作動}	[C23]
(3) 冷却材再循環ポンプ誤起動(冷状態)	{冷再循環ポンプ誤起動}	[C24]
4.2.3 運転状態Ⅳ		
(1) 冷却材喪失事故	{冷却材喪失事故}	[C25]

各運転条件における原子炉圧力容器内部構造物の周囲の流体の温度、圧力の変化及びその繰返し回数を図4-2に示す。

#### 4.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：設計条件と同じ。

圧力条件：設計条件と同じ。

差圧条件：図4-1に示す。

#### 4.4 外荷重の条件

##### 4.4.1 死荷重

荷重作用点において機器の自重により生じる荷重とし表4-1に示す。

なお、表4-1に記載のない機器の荷重については各計算書において示す。

##### 4.4.2 機械的荷重

原子炉圧力容器内部構造物に作用する死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重には流体荷重があるが、重大事故後の状態で変化することはない。

なお、流体荷重がある機器の荷重については各計算書に示す。

##### 4.4.3 地震荷重

原子炉圧力容器内部構造物に加わる地震荷重については、「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づくものとし、表4-1に地震荷重を示す。

なお、表4-1に記載のない機器の荷重については各計算書において示す。

#### 4.5 荷重の組合せ

荷重の組合せと応力評価項目の対応を表 4-2 に示す。表 4-2 及び各計算書において、荷重の種類と記号は以下のとおりである。

なお、荷重の組合せについては各機器ごとに適切に組み合わせる。

荷重	記号
(1) 原子炉圧力容器の内圧	[L01]
(2) 差圧	[L02]
(3) 死荷重 (機器の自重により生じる荷重)	[L04]
(4) 活荷重 (流体反力)	[L08]
(5) 配管又は機器の地震時の慣性力による地震荷重 $S_d^*$ (一次荷重)	[L14]
(6) 配管又は機器の地震時の慣性力による地震荷重 $S_s$ (一次荷重)	[L16]

注：L08は、L04として考慮する。

## 5. 応力解析の手順

応力解析の手順について述べる。

### 5.1 解析手順の概要

解析手順の概要を図5-1に示す。本図において、差圧による応力とその他の荷重による応力の計算で考慮する荷重を「機械荷重」という。

### 5.2 荷重の選定

応力解析においては、4章に示した荷重条件のうちから、その部分に作用する荷重を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重を表4-1に示す。

### 5.3 応力計算と応力の分類

#### 5.3.1 応力計算の方法

- (1) 応力計算は、4.4.1項に示す荷重の種類ごとに行う。
- (2) 解析する箇所の形状は、次の方針に従ってモデル化する。
  - a. 形状及び材料の不連続を考慮して、応力計算のためのメッシュ分割を行う。
  - b. 溶接部は、溶接金属に相当する鋼材と同じ物性値及び機械的性質を用いる。
- (3) モデル図と使用する境界条件（拘束条件）は、各計算書に示す。

#### 5.3.2 応力計算に使用する計算機コード

解析コードはABAQUS及びNASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードABAQUS及びNASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 5.3.3 応力の分類

応力の計算結果は、表5-1の応力の分類方法に従って分類して、各計算書に示す。なお、ABAQUSによる応力計算結果の応力分類処理方法を添付2に示す。

## 5.4 応力の評価

### 5.4.1 主応力

5.3 節で計算された応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求める。組合せ応力は、一般に  $\sigma_t$ ,  $\sigma_l$ ,  $\sigma_r$ ,  $\tau_{tl}$ ,  $\tau_{lr}$ ,  $\tau_{rt}$  の 6 成分をもつが、主応力  $\sigma$  は、引用文献(1)の 1・3・6 項により、次式を満足する 3 根  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  として計算する。

$$\begin{aligned} & \sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_l + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_l + \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{tl}^2 \\ & - \tau_{lr}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{lr}^2 + \sigma_l \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{tl}^2 \\ & - 2 \cdot \tau_{tl} \cdot \tau_{lr} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

上式により主応力を求める。

### 5.4.2 応力強さ

以下の 3 つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

### 5.4.3 一次応力強さ

許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S, 許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S 及び供用状態 E において生じる一次一般膜応力及び一次一般膜＋一次曲げ応力の応力強さが、3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足することを示す。

## 5.5 特別な応力の検討

### 5.5.1 純せん断応力の評価

純せん断荷重を受ける部分は、設計・建設規格 CSS-3114 により評価する。解析箇所を以下に示す。許容応力は、表 3-5(3)に示し、評価方法は計算書に示す。

- (1) 蒸気乾燥器の耐震サポート

## 5.6 極限解析による評価

気水分離器及びスタンドパイプについては、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S 及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S に対して、設計・建設規格 CSS-3160 に従い極限解析による評価を行う。

### 5.6.1 極限解析の方法

- (1) 極限解析は、有限要素法による弾塑性解析を用いて行う。
- (2) 解析する箇所の形状は、次の方針に従ってモデル化する。
  - a. 形状及び材料の不連続を考慮して、弾塑性解析のためのメッシュ分割を行う。
  - b. 溶接部は、溶接金属に相当する鋼材と同じ物性値及び機械的性質を用いる。
- (3) モデル図と使用する境界条件（拘束条件）は、計算書に示す。

#### 5.6.2 極限解析に使用する計算機コード

解析コードはABAQUSを用いる。なお、評価に用いる解析コードABAQUSの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

## 6. 解析及び評価結果の添付

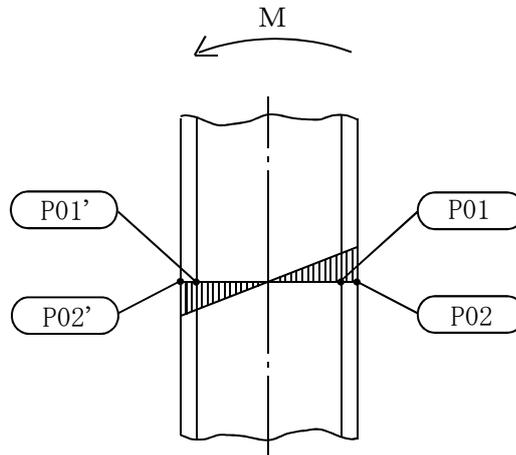
各計算書では、以下に示すように解析結果を添付する。

全応力評価点（面）について考慮した荷重ごとに応力を分類し、その結果を示す。また、応力評価点の選定に当たっては、各部分ごとに応力評価上厳しくなる評価点を、各部分を代表する評価点として選定する。

応力評価点番号は、計算書ごとに記号 P01 からの連番とする。奇数番号を内面の点、偶数番号を外面の点として、各計算書の形状・寸法・材料・応力評価点を示す図において定義する。

なお、軸対称モデルにおいて、非軸対称な外荷重による応力評価を行った場合、荷重の入力方位と応力評価点の方位の関係により応力に極大値と極小値が生じる。外荷重による応力が極大となる方位の応力評価点は〔例 P01〕と表し、極小となる方位の応力評価点には、プライム（'）を付けて〔例 P01'〕と表す。

一次応力の評価は、内外面の応力評価点を含む断面（応力評価面）について行う。



### 6.1 応力評価結果

- (1) 次の応力評価結果は、全応力評価点（面）について添付する。
  - a. 一次一般膜応力強さの評価のまとめ
  - b. 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ
- (2) 次の特別な応力は、対象となるすべての部位について評価し、この結果を記載する。
  - a. 純せん断応力
- (3) 極限解析による評価は、対象となるすべての部位について、結果を記載する。

## 7. 引用文献

文献番号は、本書及び各計算書において共通である。

- (1) 機械工学便覧 基礎編  $\alpha 3$  (日本機械学会)
- (2) Journal of Engineering for Industry, 「Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates with Square and Triangular Penetration Patterns」 (T. SLOT, W. J. O'DONNELL)

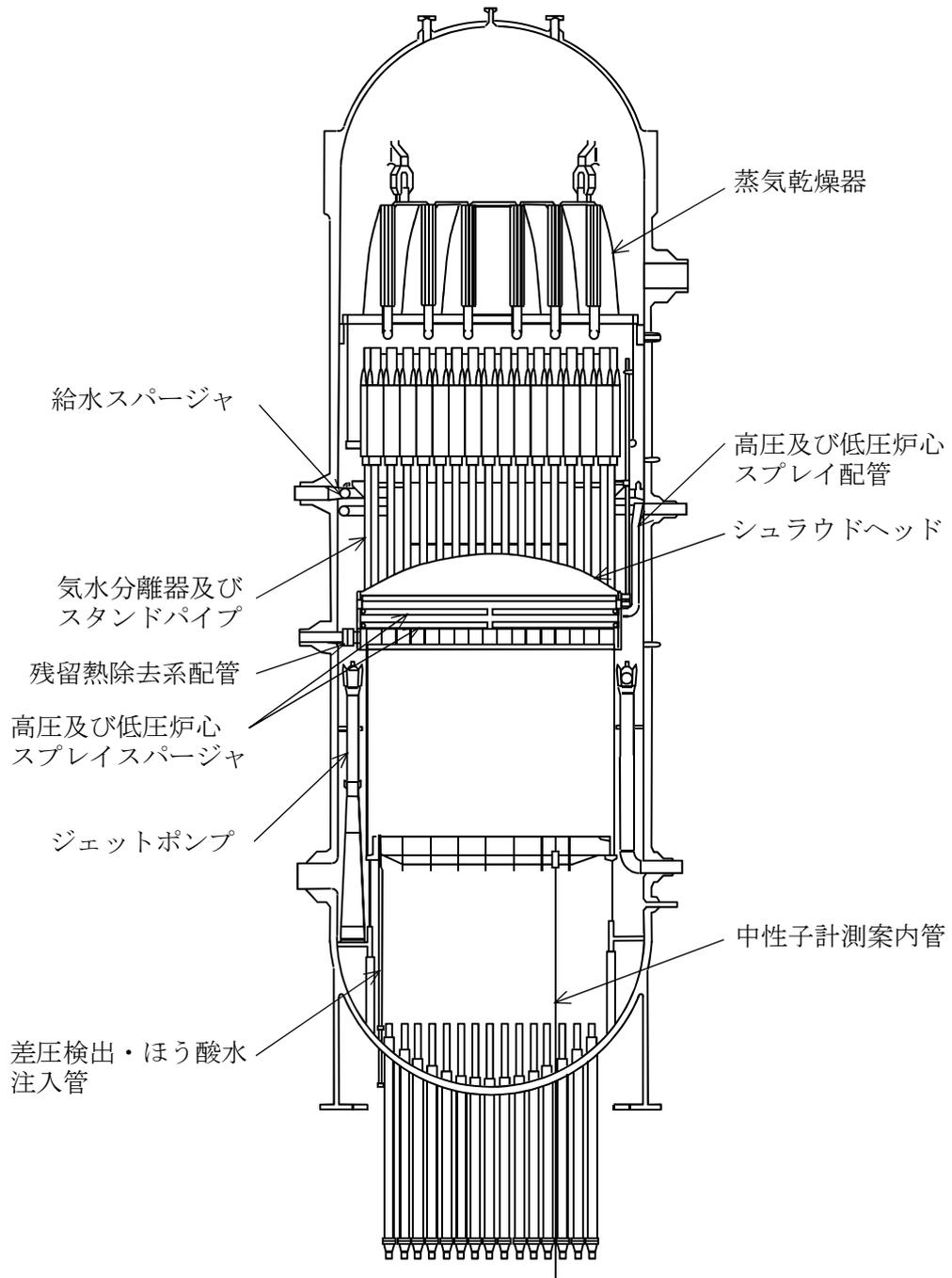
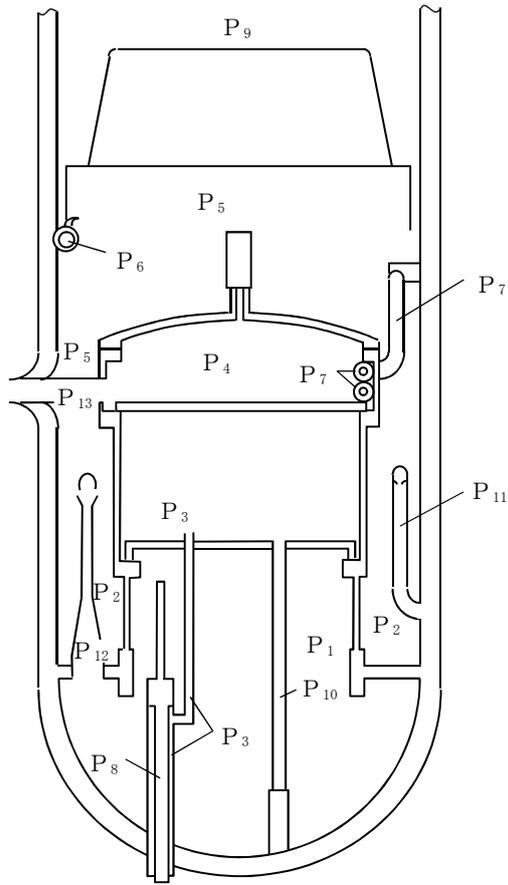


図 3-1 全体断面図



(単位：MPa)

部位		設計条件 (設計差圧)	運転状態 I, II	運転状態 III	運転状態 IV, V
蒸気乾燥器	$P_{59} = P_5 - P_9$	0.004	0.004	0.004	0.069
気水分離器及び スタンドパイプ	$P_{45} = P_4 - P_5$	0.10	0.10	0.10	0.20
シュラウドヘッド	$P_{45} = P_4 - P_5$	0.10	0.10	0.10	0.20
ジェットポンプ	$P_{112} = P_{11} - P_2$	1.72	1.72	1.72	0.00
	$P_{122} = P_{12} - P_2$	0.23	0.23	0.23	0.39
給水スパージャ	$P_{65} = P_6 - P_5$	0.18	0.22	0.22	0.00
高圧及び低圧炉心 スプレイスパージャ	$P_{74} = P_7 - P_4$	0.49	0.49	0.00	0.49
残留熱除去系配管	$P_{135} = P_{13} - P_5$	0.35	0.10	0.10	0.35
高圧及び低圧炉心 スプレイ配管	$P_{75} = P_7 - P_5$	0.49	0.49	0.10	0.49
差圧検出・ほう酸水 注入管	$P_{13} = P_1 - P_3$	0.18	0.18	0.18	0.26
	$P_{81} = P_8 - P_1$	1.18	1.18	1.18	0.00
	$P_{83} = P_8 - P_3$	1.18	1.18	1.18	0.26
中性子計測案内管	$P_{110} = P_1 - P_{10}$	0.18	0.18	0.18	0.26

図 4-1 原子炉圧力容器内部構造物の各運転状態における差圧

運転状態 運転条件	I 及び II																			III			IV			
	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	
運転名称	ボルト締付け	耐圧試験 最高使用 圧力以下	起動 昇温	タービン 起動	夜間 低出力 運転 (出力 75%)	週末 低出力 運転 (出力 50%)	制御棒 パターン 変更	給水加熱機能喪失 発電機 トリップ	給水加熱 器部分 バイパス	スクラム タービン トリップ その他の スクラム		定格 出力 運転	タービン 停止	高温 待機	停止 冷却	容器 満水	満水後 冷却	ボルト 取外し	燃料 交換	スクラム 原子炉給水ポンプ停止		逃がし 安全弁 誤作動	過大圧力	冷却材 再循環系 仕切弁 誤作動 (冷状態)	冷却材 再循環 ポンプ 誤起動 (冷状態)	冷却材 喪失事故
回数																										
差圧 (MPa)																										
0.5																										
0.4																										
0.3																										
0.2																										
0.1																										
0.0																										

図4-2(1) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件

運転状態		I 及び II																	III			IV				
運転条件		C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25
運転名称		ボルト締付け	耐圧試験 最高使用 圧力以下	起動 昇温 タービン 起動		夜間 低出力 運転 (出力 75%)	週末 低出力 運転 (出力 50%)	制御棒 パターン 変更	給水加熱機能喪失 発電機 トリップ	給水加熱器部分 バイパス	タービン トリップ	その他の スクラム	定格 出力 運転	停止 タービン 停止 高温 待機 冷却 容器 満水 満水後 冷却					ボルト 取外し	燃料 交換	スクラム 原子炉給水ポンプ停止 逃がし 安全弁 誤作動		ボルト 取外し	冷却材 再循環系 仕切弁 誤作動 (冷状態)	冷却材 再循環 ポンプ 誤起動 (冷状態)	冷却材 喪失事故
回数																										

領域 A	圧力 (MPa)	温度 (°C)
	10	300
	8	250
	6	200
	4	150
2	100	
0	50	
0	0	

領域 B	水位	温度 (°C)
	RPV頂部	300
	フランジ	250
	定常水位	200
	低水位3	150
	低水位2	100
炉心	50	
RPV底部	0	

領域 C	温度 (°C)
	300
	250
	200
	150
100	
50	
0	

図4-2(2) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件

図 4-2(2) 原子炉圧力容器内部構造物の運転条件 (続)



NT2 補③ V-2-3-4-4-1 R0

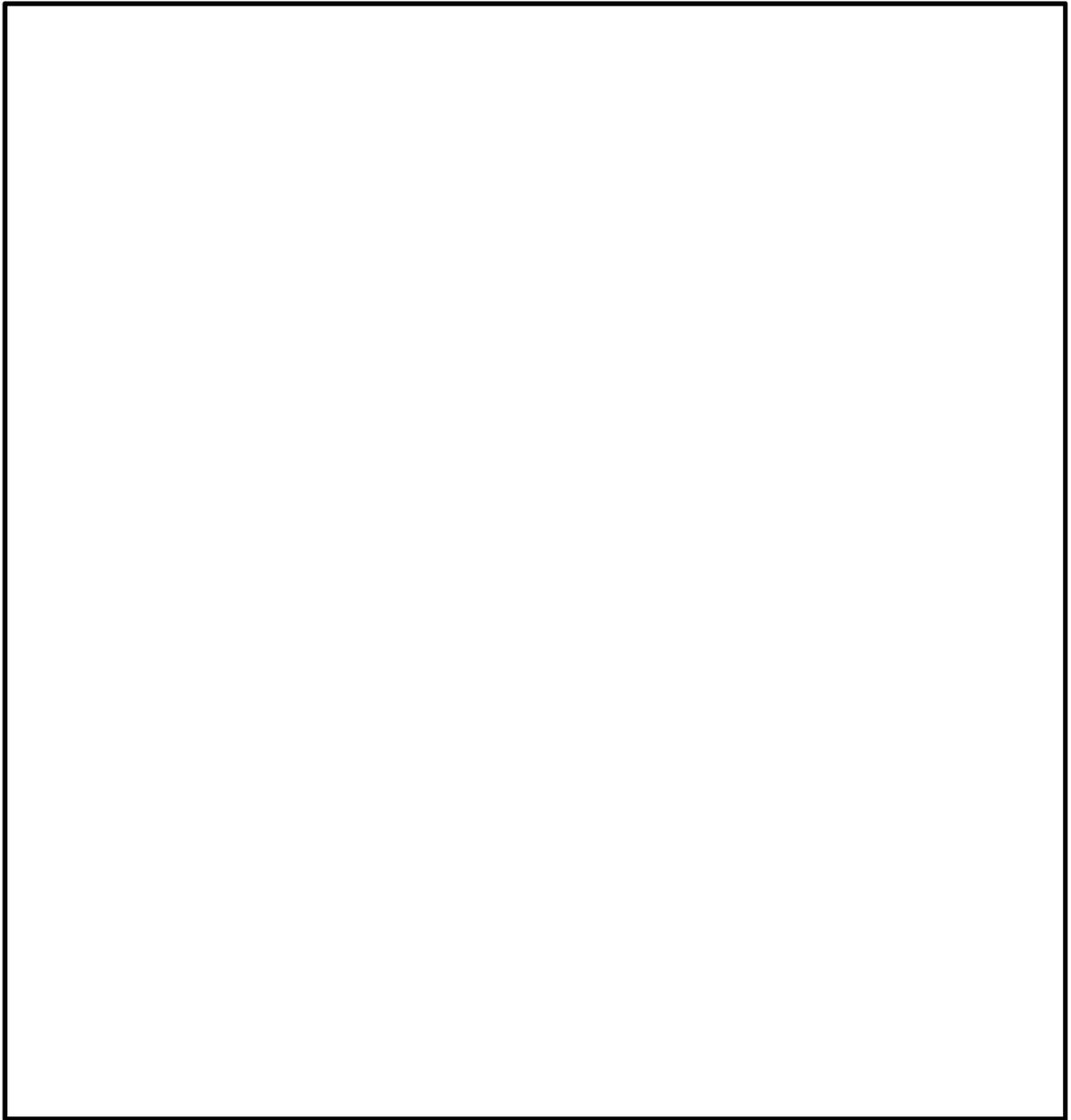
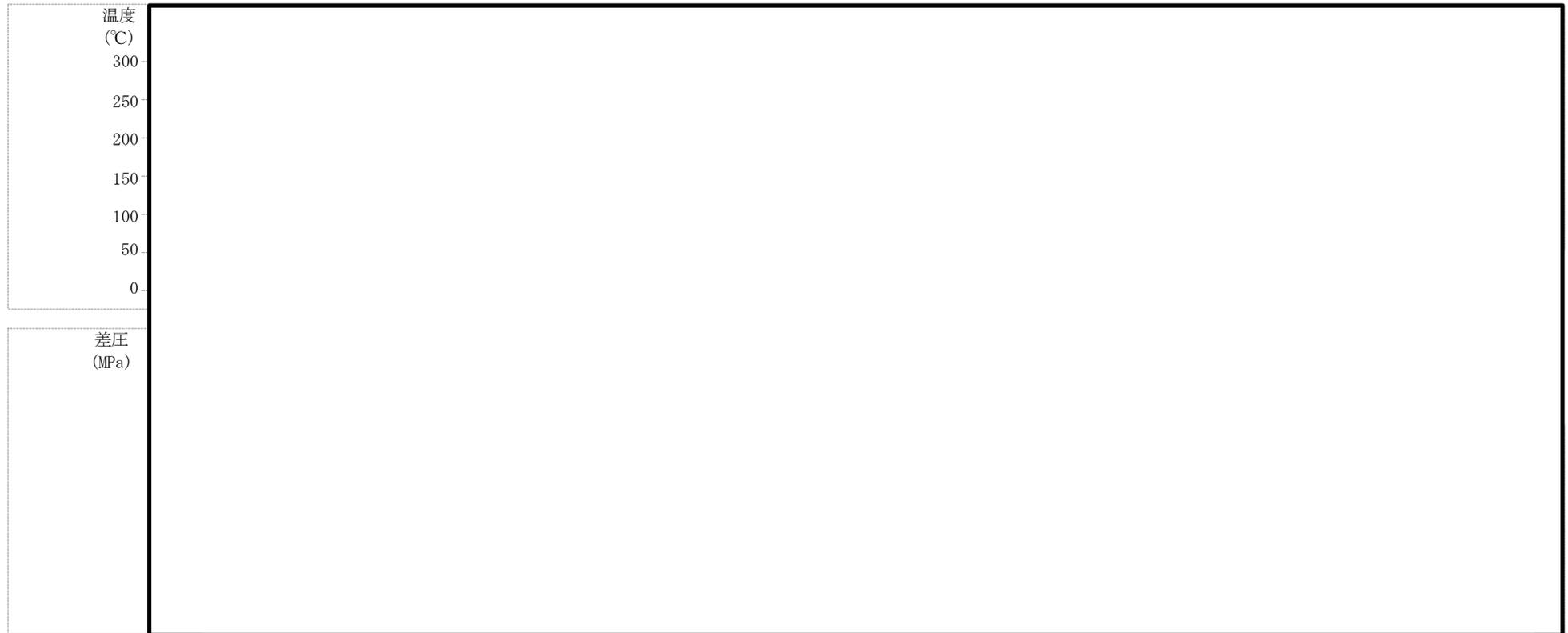


図 4-2(3) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件  
(原子炉压力容器内領域図)

運転条件	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----



20

注記 \*1

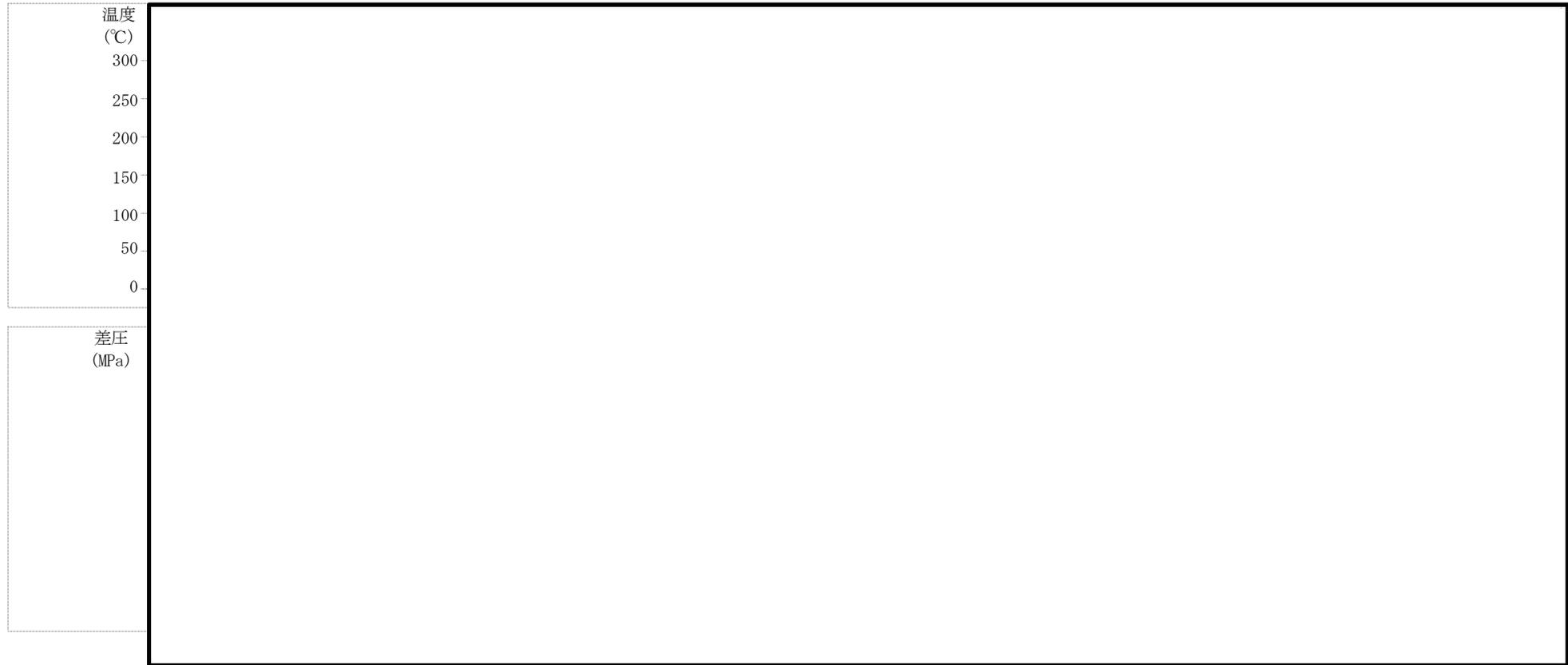
\*2

\*3

注

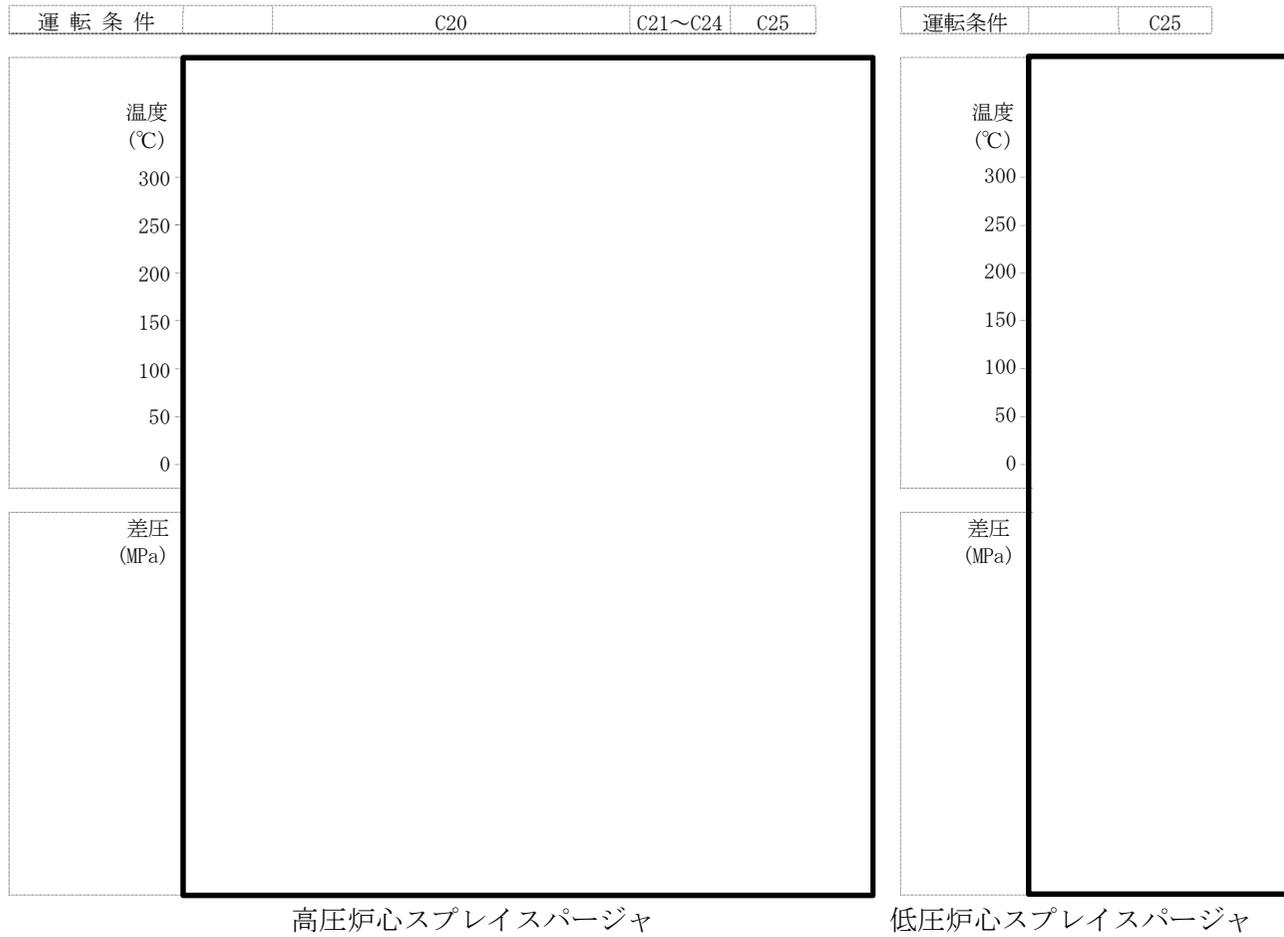
図 4-2(4) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件 (ジェットポンプ)

運転条件	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----



注記 \*1 :  
 \*2 :  
 \*3 :

図 4-2(5) 原子炉圧力容器内部構造物の運転条件 (給水スパージャ)



注記 \*1 [Redacted]  
 \*2 [Redacted]

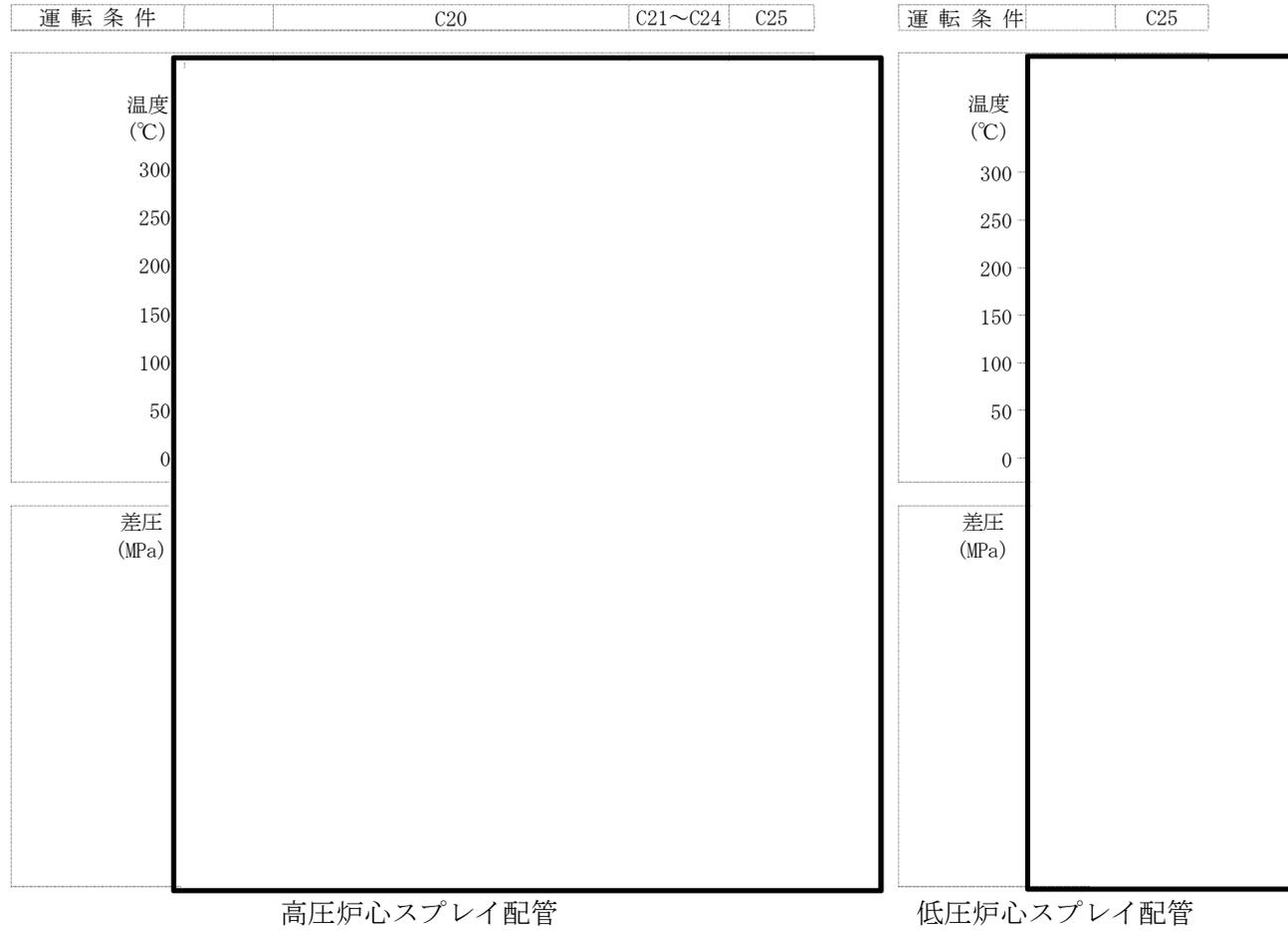
注1 [Redacted]  
 注2 [Redacted]

図 4-2(6) 原子炉圧力容器内部構造物の運転条件 (高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ)

運転条件	C25

注記	
注 1	
注 2	

図 4-2(7) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件 (残留熱除去系配管)



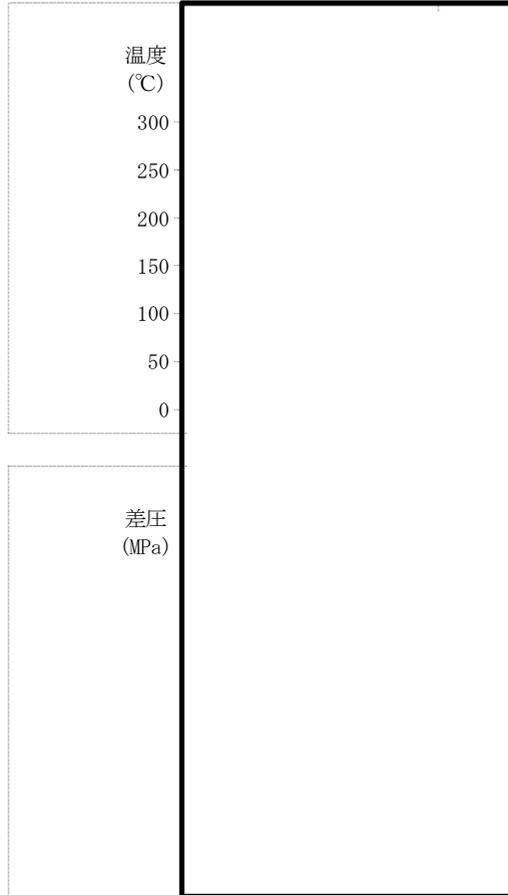
注記

注 1

注 2

図 4-2(8) 原子炉圧力容器内部構造物の運転条件 (高圧及び低圧炉心スプレイ配管)

運転条件	C03~C24
------	---------



注記  
注1  
注2  
注3  
注4

[Redacted area for notes]

図 4-2(9) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件 (差圧検出・ほう酸水注入管)

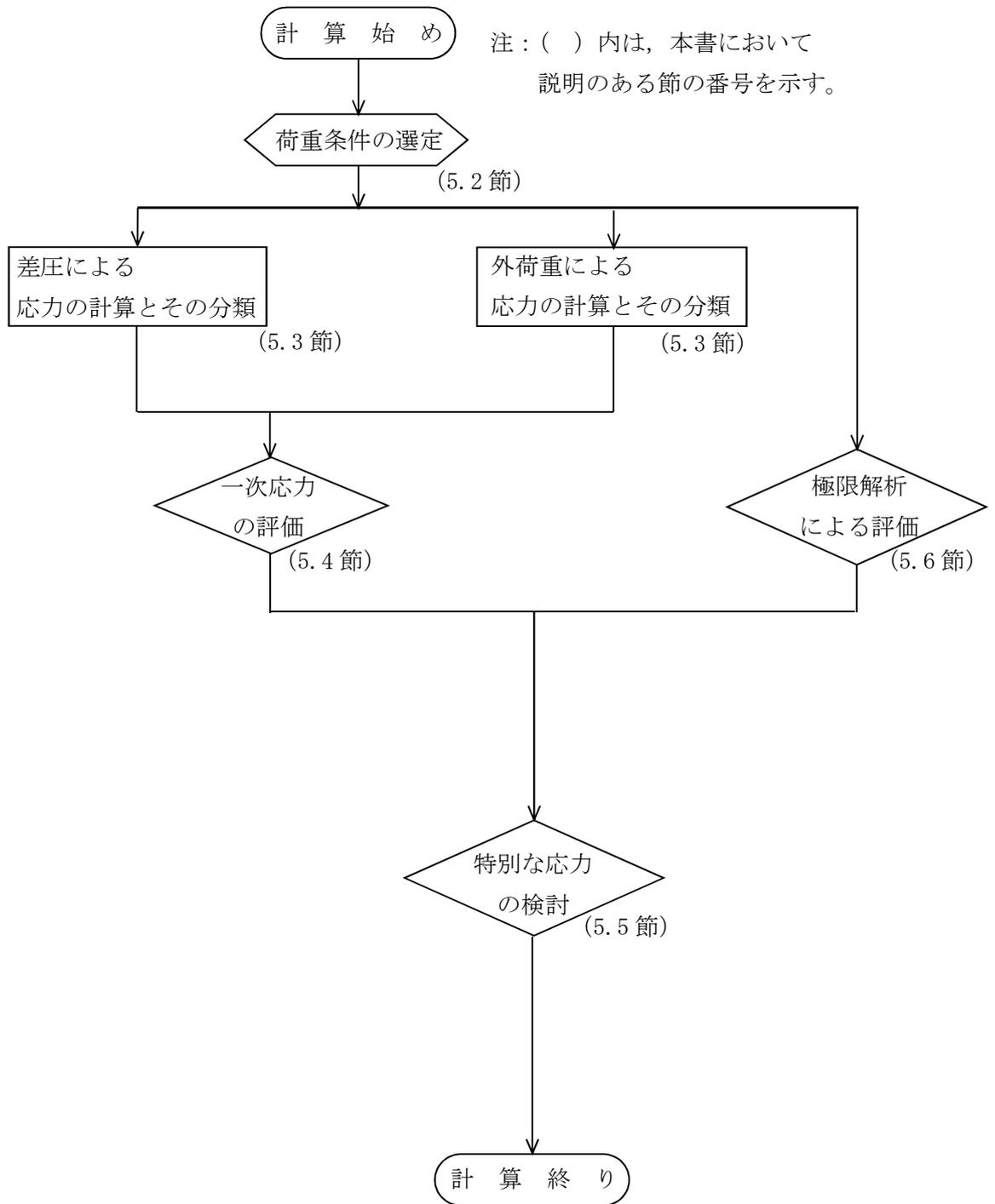


図 5-1 応力解析の手順

表 3-1 材料の分類

種類	使用材料	備考
オーステナイト系 ステンレス鋼		
高ニッケル合金		

表 3-2 応力計算に使用する材料の物性値

材料	温度 (°C)	E × 10 <sup>5</sup> (MPa)	ν
SUS304	20		
SUS304TP	161		
SUSF304	302		
SUS304LTP			
NCF600	20		
	161		
	302		

表 3-3 極限解析による評価に使用する材料の物性値

材料	E ×10 <sup>5</sup> (MPa)	ν	降伏点 (MPa)	
			許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S	許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S
SUS304 SUS304TP	1.76	0.3	172	264
降伏点の算出式	—	—	1.5・S <sub>m</sub>	Min (2.3・S <sub>m</sub> , 0.7・S <sub>u</sub> )

注：運転状態 I 及び II の最高温度  °C) に対する物性値

表 3-4(1) 荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	供用状態（許容応力状態）	荷重の組合せ
原子炉 本体	原子炉 圧力容器 内部 構造物	蒸気乾燥器* <sup>1</sup> 気水分離器及びスタンドパイプ* <sup>1</sup> シュラウドヘッド* <sup>1</sup> ジェットポンプ* <sup>1</sup> 給水スパージャ* <sup>1</sup> 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ* <sup>1</sup> 残留熱除去系配管* <sup>1</sup> 高圧及び低圧炉心スプレイ配管* <sup>1</sup> 差圧検出・ほう酸水注入管* <sup>1</sup> 中性子計測案内管* <sup>1</sup>	S	-	Ⅲ <sub>A</sub> S	D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>d</sub> *
		Ⅳ <sub>A</sub> S			D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>s</sub>	

[記号の説明]

- D : 死荷重
- P<sub>D</sub> : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
- M<sub>D</sub> : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重
- S<sub>d</sub>\* : 弾性設計用地震動S<sub>d</sub>により定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力
- S<sub>s</sub> : 基準地震動S<sub>s</sub>により定まる地震力

注記 \*1 : 炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-4(2) 荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	供用状態 (許容応力状態)	荷重の組合せ
原子炉 本体	原子炉 压力容器 内部 構造物	ジェットポンプ*2	常設耐震/ 防止 常設/緩和	-	VAS*3	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ *4
		高圧及び低圧炉心スプレースパージャ*2 残留熱除去系配管*2 高圧及び低圧炉心スプレイ配管*2 差圧検出・ほう酸水注入管*2			E	$D + P + M$

[記号の説明]

- D : 死荷重
- P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における圧力荷重
- M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態で設備に作用している機械的荷重
- $P_{SAD}$  : 重大事故等時の状態（運転状態V）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた設計圧力による荷重
- $M_{SAD}$  : 重大事故等時の状態（運転状態V）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた機械的荷重
- $S_s$  : 基準地震動 $S_s$ により定まる地震力

注記 \*1:「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備,「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

\*2: 炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

\*3: VASとして, IVASの許容限界を用いる。

\*4:「 $D + P_D + M_D + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

注: 許容応力状態VASにおける荷重の組合せで, 重大事故後の状態における圧力荷重 $P_{SAD}$ 及び $M_{SAD}$ は, 設計基準対象施設で想定される圧力及び機械的荷重と比べて小さい。また, 重大事故後の状態で設備に作用する機械荷重Mは発生しない。このことから, 許容応力状態VASにおける荷重の組合せによる評価は, 設計基準対象施設の評価に包絡される。

表 3-4(3) 許容限界 (原子炉圧力容器内部構造物)

許容応力状態	許容限界 (ボルト等以外)					許容限界 (ボルト等)		
	一次一般膜応力強さ	一次一般膜+ 一次曲げ応力 強さ	特別な応力限界			一次一般膜応力強さ	一次一般膜 +一次曲げ 応力強さ	一次+二 次応力強 さ
			純せん断 応力	支圧応力	ねじり 応力			
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot S_m^{*1}$	$\text{左欄の } 1.5 \text{ 倍の値}^{*1}$	$0.9 \cdot S_m$	$1.5 \cdot S_y^{*3}$ ( $2.25 \cdot S_y$ )	$1.2 \cdot S_m$	$1.5 \cdot S_m^{*1}$	左欄の 1.5 倍の値 <sup>*1</sup>	—
Ⅳ <sub>A</sub> S	$2/3 \cdot S_u^{*2}$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $2/3 \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。	$\text{左欄の } 1.5 \text{ 倍の値}^{*2}$	$1.2 \cdot S_m$	$2 \cdot S_y^{*3}$ ( $3 \cdot S_y$ )	$1.6 \cdot S_m$	$2/3 \cdot S_u^{*2}$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $2/3 \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。	左欄の 1.5 倍の値 <sup>*2</sup>	—
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてⅣ <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)								

注記 \*1: 設計・建設規格 CSS-3160(2)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は、この限りではない。  
 \*2: 設計・建設規格 CSS-3160(3)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は、この限りではない。  
 \*3: ( ) 内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

表 3-5(1) 原子炉圧力容器内部構造物用材料の許容限界

(単位：MPa)

応力分類		一次一般膜応力強さ (P <sub>m</sub> )		
供用状態 (許容応力状態)		III <sub>A</sub> S	IV <sub>A</sub> S	E
温度 (°C)				
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304	172	260	260
	SUS304TP			
	SUSF304	145	232	232
	SUS304LTP			
許容応力強さの算出式		1.5 · S <sub>m</sub>	Min (2.4 · S <sub>m</sub> , 2/3 · S <sub>u</sub> )	Min (2.4 · S <sub>m</sub> , 2/3 · S <sub>u</sub> )

表 3-5(2) 原子炉压力容器内部構造物用材料の許容<sup>限界</sup>

(単位：MPa)

応力分類		一次一般膜+一次曲げ応力 <sup>強さ</sup> ( $P_m + P_b$ )		
供用状態 (許容応力状態)		Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅳ <sub>A</sub> S	E
温度 (°C)				
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304			
	SUS304TP	258	391	391
	SUSF304			
	SUS304LTP	218	348	348
許容応力 <sup>強さ</sup> の算出式		$2.25 \cdot S_m$	Min ( $3.6 \cdot S_m, S_u$ )	Min ( $3.6 \cdot S_m, S_u$ )

表 3-5(3) 原子炉压力容器内部構造物用材料の許容応力

(単位：MPa)

応力分類		純せん断応力		
供用状態（許容応力状態）		Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅳ <sub>A</sub> S	E
温度（℃）				
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304	103	137	137
許容応力の算出式		$0.9 \cdot S_m$	$1.2 \cdot S_m$	$1.2 \cdot S_m$

表 4-1(1) 外荷重

蒸気乾燥器外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力	
		全体に加わる荷重	最長の蒸気乾燥器ユニット列に加わる荷重	全体に加わる荷重	最長の蒸気乾燥器ユニット列に加わる荷重
		V <sub>1</sub> (kN)	V <sub>2</sub> (kN)	H <sub>1</sub> (kN)	H <sub>2</sub> (kN)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 S d *				
L16	地震荷重 S s				

注 1

注 2

表 4-1(2) 外荷重

気水分離器及びスタンドパイプ外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	鉛直力	水平力	モーメント
			V (kN)	H (kN)	M* (kN・m)
L04	死荷重	A			
L14	地震荷重 S d *	A			
L16	地震荷重 S s	A			

注記 \*

注

表 4-1(3) 外荷重

シュラウドヘッド外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力	モーメント
		V <sub>1</sub> (kN)	V <sub>2</sub> (kN)	H (kN)	M (kN・m)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 S d *				
L16	地震荷重 S s				

注 1 :

注 2 :

--

--

表 4-2 荷重の組合せ

条件	荷重の組合せ	応力評価
許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S	L02+L04+L14	P <sub>m</sub> P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub> 極限解析
許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S	L02+L04+L16	P <sub>m</sub> P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub> 極限解析
供用状態E	L02+L04	P <sub>m</sub> P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub>

表 5-1 応力の分類

原子炉压力容器 内部構造物の要素	位 置	荷重の種類	応力の分類	
管状構造物	不連続部より 遠い部分	圧力差	一般膜応力	$P_m$
		外荷重又はモー メント	全断面について平均した一般膜応力 曲げ応力	$P_m$ $P_b$
	不連続部又は その付近	外荷重又はモー メント	全断面について平均した一般膜応力 曲げ応力	$P_m$ $P_b$
鏡板	全胴部の 任意断面	圧力差	全断面について平均した一般膜応 力、断面に垂直な応力成分	$P_m$
		外荷重又はモー メント	一般膜応力 曲げ応力	$P_m$ $P_b$
はり又は板	全般	外荷重、モー メント又は圧 力差	全断面について平均した一般膜応 力、断面に垂直な応力成分 曲げ応力	$P_m$ $P_b$

注：

$P_m$  : 圧力差又は機械的荷重によって生じる膜応力であって、構造上の不連続性及び局部的形状の変化によって生じる膜応力は除く。

ただし、実際の応力評価では、応力評価面を、構造上の不連続部にとることが多いので、内径、板厚がその応力評価面での値に等しい単純な殻を仮定し、シェル理論又ははり理論を用いて計算した応力を、その応力評価面における  $P_m$  とする。

$P_b$  : 外力、内力及びモーメントに対して、単純な平衡の法則を満足する曲げ応力をいう。

添付1 溶接部の継手効率

原子炉压力容器内部構造物の主な溶接部の継手効率は、設計・建設規格 CSS-3150 に従い、  
付表-1 のとおりに定められる。

付表-1

継手の箇所	継手の分類	継手の種類	検査の種類*	継手効率
蒸気乾燥器	リングとサポートの継手			
気水分離器及び スタンドパイプ	管と鏡板の周継手			
シュラウドヘッド	鏡板と胴の周継手			
	管と管の周継手			
ジェットポンプ	ライザの長手継手			
	ライザ下部の周継手			
	ディフューザ下部の 周継手			
	ライザブレースと原子炉 压力容器内壁との継手			
給水スパージャ	レジューサとティーの 周継手			
	ティーとヘッダの周継手			
高圧及び低圧炉心 スプレイスパージャ	管端部の周継手			
	管とヘッダの周継手			
残留熱除去系配管	フランジネックとリング の周継手			
	サーマルスリーブとフラ ンジネックの周継手			
高圧及び低圧炉心 スプレイ配管	ヘッダと管の周継手			
	ヘッダとサーマル スリーブの周継手			
	管とスリーブの周継手			
差圧検出・ほう酸水 注入管	管と管の周継手			
	管とカップリングの周継 手			
	管とアダプタの周継手			
中性子計測案内管	管と管の周継手			

注記 \* : 検査の種類を示す記号は次のとおりである。

R P T + F P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する D の検査  
P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する E の検査  
V T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する F の検査

添付 2 応力計算結果の応力分類処理方法

