

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	PD-C-1 改 61
提出年月日	平成 29 年 8 月 30 日

東海第二発電所

設計基準対象施設について

平成 29 年 8 月
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、 は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

目 次

- 4 条 地震による損傷の防止
- 5 条 津波による損傷の防止
- 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）
- 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）
- 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）
- 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止（火山）
- 7 条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止
- 8 条 火災による損傷の防止
- 9 条 溢水による損傷の防止等
- 10 条 誤操作の防止
- 11 条 安全避難通路等
- 12 条 安全施設（静的機器の単一故障）
- 14 条 全交流動力電源喪失対策設備
- 16 条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設
- 17 条 原子炉冷却材圧力バウンダリ
- 23 条 計測制御系統施設（第 16 条に含む）
- 24 条 安全保護回路
- 26 条 原子炉制御室等
- 31 条 監視設備
- 33 条 保安電源設備
- 34 条 緊急時対策所
- 35 条 通信連絡設備

東海第二発電所

外部からの衝撃による損傷の防止

(その他外部事象)

第6条 外部からの衝撃による損傷の防止
(その他外部事象)

<目次>

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性
 - (1) 位置、構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性の説明
2. 外部からの衝撃による損傷の防止
 - 別添資料1 外部事象の考慮について

< 概 要 >

1. において、設計基準対処設備の設置許可基準規則、技術基準規則の追加要求事項を明確化するとともに、それら要求に対する東海第二発電所における適合性を示す。

2. において、設計基準対処設備について、追加要求事項に適合するために必要となる機能を達成するための設備又は運用等について説明する。

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

外部からの衝撃による損傷の防止について、設置許可基準規則第 6 条及び技術基準規則第 7 条において、追加要求事項を明確化する。（表 1）

表 1 設置許可基準規則第 6 条及び技術基準規則第 7 条 要求事項

設置許可基準規則	技術基準規則	備考
<p>第 6 条（外部からの衝撃による損傷の防止）</p> <p>安全施設は、想定される自然事象（地震及び津波を除く。）において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならぬ。</p>	<p>第 7 条（外部からの衝撃による損傷の防止）</p> <p>設計基準対象施設が想定される自然現象（地震及び津波を除く。）によりその安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置を講じなければならない。</p>	<p>追加要求事項</p>
<p>2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ。</p>		<p>追加要求事項</p>
<p>3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定され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。）に対して安全機能を損なわないものでなければならぬ。</p>	<p>2 周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合には、事業所における火災又は爆発事故、危険物を搭載した車両、船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。</p> <p>3 航空機の墜落により発電用原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。</p>	<p>追加要求事項</p>

1.2 追加要求事項に対する適合性

(1) 位置，構造及び設備

(3) その他の主要な構造

(i) 本発電用原子炉施設は，(1)耐震構造，(2)耐津波構造に加え，以下の基本的方針のもとに安全設計を行う。

a. 設計基準対象施設

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

安全施設は，発電所敷地で想定される洪水，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，森林火災及び高潮の自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む自然現象の組合せに遭遇した場合において，自然事象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお，発電所敷地で想定される自然現象のうち，洪水，地滑りについては，立地的要因により設計上考慮する必要はない。

また，自然現象の組合せにおいては，地震，津波，風（台風），積雪及び火山の影響による荷重の組合せを設計上考慮する。

上記に加え，重要安全施設は，科学的技術的知見を踏まえ，当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力について，それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して適切に組み合わせる。

また，安全施設は，発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（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，船舶の衝突及び電磁的障害の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。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち、飛来物（航空機落下等）については、確率的要因により設計上考慮する必要はない。また、ダムの崩壊については、立地的要因により考慮する必要はない。

ここで、想定される自然現象及び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。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

【別添資料 1（3.2:21～32）（4.1:33～37）】

(2) 安全設計方針

1.1.1 安全設計の基本方針

1.1.1.4 外部からの衝撃

(3) その他の主要な構造

安全施設は、発電所敷地で想定される洪水、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、森林火災及び高潮の自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む自然現象の組合せに遭遇した場合において、自然事象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地で想定される自然現象のうち、洪水、地滑りについ

ては、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

また、自然現象の組合せにおいては、地震、津波、風（台風）、積雪及び火山の影響による荷重の組合せを設計上考慮する。

上記に加え、重要安全施設は、科学的技術的知見を踏まえ、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力について、それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して適切に組み合わせる。

また、安全施設は、発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（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、船舶の衝突及び電磁的障害の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。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち、飛来物（航空機落下等）については、確率的要因により設計上考慮する必要はない。また、ダムの崩壊については、立地的要因により考慮する必要はない。

ここで、想定される自然現象及び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。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

【別添資料 1（3.2:21～32）（4.1:33～37）】

(3) 適合性の説明

第六条 外部からの衝撃による損傷の防止

- 1 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。
- 2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。
- 3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定され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。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

適合のための設計方針

第1項について

発電所敷地で想定される自然現象（地震、津波を除く。）については、敷地及び敷地周辺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、森林火災及び高潮を選定し、敷地周辺で得られる過去の記録等を考慮する。また、これらの自然現象毎に関連して発生する可能性がある自然現象も含める。

安全施設は、発電所敷地で想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地で想定される自然現象に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。また、発電所敷地で想定される自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、

自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として安全施設で生じ得る環境条件を考慮する。

以下にこれら自然現象に対する設計方針を示す。

【別添資料 1 (1. :1~17) (2. :18~19) (3.1:20)】

(1) 洪水

敷地の地形及び表流水の状況から判断して、敷地が洪水による被害を受けることはない。

【別添資料1 (3.2:21)】

(2) 風（台風）

水戸地方気象台での観測記録（1937年～2012年）によれば最大瞬間風速は44.2m/s（1939年8月5日）である。

安全重要度クラス 1， 2 に属する構築物， 系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋， 機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は， 風荷重を建築基準法に基づき設定し， それに対し機械的強度を有することにより安全機能を損なうことのない設計とする。

また， 上記以外の安全施設については， 風（台風）に対して機能維持する， 若しくは， 風（台風）による損傷を考慮して， 代替設備により必要な機能を確保すること， 安全上支障のない期間での修復等の対応， 又は， それらを適切に組み合わせた設計とする。

ここで， 台風に関連して発生する可能性がある自然現象としては， 落雷， 高潮が考えられる。高潮については「(12) 高潮」に述べるとおり， 安全施設は影響を受けることのない敷地高さに設置し， 安全機

能が損なわれない設計とする。落雷については、同時に発生するとしても、「(7) 落雷」に述べる個別に考えられる影響と変わらない。

台風に伴い発生する可能性のある飛来物による影響については、竜巻影響評価において想定している設計飛来物の影響に包絡される。

【別添資料1 (3.2:22～23)】

(3) 竜巻

安全施設は、最大風速100m/sの竜巻が発生した場合においても、竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝突荷重を組み合わせた荷重等に対して安全機能を損なわないために、飛来物の発生防止対策及び竜巻防護対策を行う。

a. 飛来物の発生防止対策

竜巻により発電所構内の資機材等が飛来物となり、竜巻防護施設が安全機能を損なわないために、以下の対策を行う。

- ・竜巻防護施設へ影響を及ぼす資機材及び車両等については、固縛、固定又は竜巻防護施設から隔離する。

b. 竜巻防護対策

固縛等による飛来物の発生防止対策ができないものが飛来し、安全施設が安全機能を損なわないように、以下を行う。

- ・竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻防護対策設備により、竜巻防護施設を防護し構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とする。
- ・竜巻防護施設の構造健全性が維持できない場合には、代替設備の確保、損傷した場合の取替え又は補修が可能な設計とすることにより安全機能を損なわない設計とする。

ここで、竜巻は積乱雲や積雲に伴って発生する現象であり、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性のある自然現象は、雷、雪、雹及び大雨である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は、設計竜巻荷重に包含されることから、各々の事象に対して安全施設の安全機能を損なうことのない設計とする。

【別添資料1 (3.2:23～24)】

(4) 凍結

水戸地方気象台での観測記録（1897年～2012年）によれば、最低気温は－12.7℃（1952年2月5日）である。

安全施設のうち、安全重要度クラス1，2に属する構築物，系統及び機器は、屋内設備については換気空調設備により環境温度を維持し、屋外設備については保温等の凍結防止対策を必要に応じて行うことにより、安全機能を損なうことのない設計とする。

また、上記以外の安全施設については、低温に対して機能維持をする、若しくは、低温による凍結を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復等の対応、又は、それらを適切に組み合わせた設計とする。

【別添資料1 (3.2:24～25)】

(5) 降水

水戸地方気象台での観測記録（1906年～2012年）によれば、日最大1時間降水量は81.7mm（1974年9月15日）である。

安全施設のうち、安全重要度クラス1，2に属する構築物，系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋，機能を喪失することで上位ク

ラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備の設置場所は、設計基準としての降水量による浸水に対し、構内排水路による排水等により、安全機能を損なうことのない設計とする。

安全施設のうち、安全重要度クラス1，2に属する構築物，系統及び機器を内包する建屋については、設計基準としての降水量の荷重に対し排水口による排水等により影響を受けない設計とし、安全機能を損なうことのない設計とする。

また、上記以外の安全施設については、降水に対して機能維持する、若しくは、降水による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復等の対応、又は、それらを適切に組み合わせた設計とする。

ここで、降水に関連して発生する可能性がある自然現象としては、土石流、土砂崩れ及び地滑りが考えられるが、敷地には、土石流、土砂崩れ及び地滑りの素因となるような地形の存在は認められないことから、安全施設の安全機能を損なうような土石流、土砂崩れ及び地滑り等が生じることはない。

【別添資料1（3.2:25～26）】

(6) 積雪

水戸地方気象台での観測記録（1897～2012年）によれば、月最深積雪は32cm（1945年2月26日）である。

安全施設のうち、安全重要度クラス1，2に属する構築物，系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は、積雪荷重を建築基準法に基づき設定し、それに対し機械的強度を有することによ

り安全機能を損なうことのない設計とする。

また、上記以外の安全施設については、積雪に対して機能維持する、若しくは、積雪による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復等の対応、又は、それらを適切に組み合わせた設計とする。

【別添資料1（3.2:26～27）】

(7) 落雷

安全施設のうち、安全重要度クラス1，2に属する構築物，系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は，雷害防止対策として，原子炉建屋等への避雷針の設置，接地網の布設による接地抵抗の低減等を行うとともに，安全保護系への雷サージ侵入の抑制を図る回路設計を行い，安全機能を損なうことのない設計とする。

また、上記以外の安全施設については、落雷に対して機能維持する、若しくは、落雷による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復等の対応、又は、それらを適切に組み合わせた設計とする。

【別添資料1（3.2:27～28）】

(8) 地滑り

土砂災害危険箇所図（茨城県土木部河川課発行）及び地すべり地形分布図（独立行政法人防災科学技術研究所発行）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ことから、地滑りにより安全機能を損なうことはない。

(9) 火山の影響

安全施設のうち，安全重要度クラス1，2に属する構築物，系統及び機器若しくはそれを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は，降下火砕物による直接的影響及び間接的影響のそれぞれに対し，安全機能を損なわないよう以下の設計とする。

a. 直接的影響に対する設計

安全施設は，直接的影響である降下火砕物の構築物への静的負荷に対して安全裕度を有する設計とすること，水循環系の閉塞に対して狭隘部等が閉塞しない設計とすること，換気系，電気系及び計装制御系の機械的影響（閉塞）に対して降下火砕物が侵入しにくい設計とすること，水循環系の内部における摩耗及び換気系，電気系及び計装制御系の機械的影響（摩耗）に対して摩耗しにくい設計とすること，構築物の化学的影響（腐食），水循環系の化学的影響（腐食）及び換気系，電気系及び計装制御系の化学的影響（腐食）に対して短期での腐食が発生しない設計とすること，発電所周辺の大気汚染に対して中央制御室の換気空調設備は降下火砕物が侵入しにくく，さらに外気を遮断できる設計とすること，電気系及び計装制御系の盤の絶縁低下に対して空気を取り込む機構を有する計測制御設備（安全保護系）の設置場所の換気空調設備は降下火砕物が侵入しにくい設計とすることにより，安全機能を損なわない設計とする。

また，上記以外の安全施設については，降下火砕物に対して機能維持する，若しくは，降下火砕物による損傷を考慮して，代替設備

により必要な機能を確保すること，安全上支障のない期間での修復等の対応，又は，それらを適切に組み合わせた設計とする。

b. 間接的影響に対する設計

安全施設は，降下火砕物の間接的影響である7日間の外部電源喪失，発電所外での交通の途絶によるアクセス制限事象に対し，原子炉の停止，並びに停止後の原子炉及び使用済燃料プールの冷却に係る機能を担うために必要となる電源の供給が非常用ディーゼル発電機により継続でき，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1（3.2:29～30）】

(10) 生物学的事象

安全施設のうち，安全重要度クラス1，2に属する構築物，系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は，生物学的事象として海生生物の襲来，小動物の侵入に対し，その安全機能を損なうことのない設計とする。

海生生物の襲来に対しては，塵芥による残留熱除去系海水系等への影響を防止するため，除塵装置及び海水ストレーナを設置し，必要に応じて塵芥を除去することにより，安全機能を損なうことのない設計とする。

小動物の侵入に対しては，屋内設備は建屋止水処置等により，屋外設備は端子箱貫通部のシールを行うことにより，安全機能を損なうことのない設計とする。

また，上記以外の安全施設については，生物学的事象による損傷を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること，安全上支障の

ない期間での修復等の対応又はそれらを適切に組み合わせた設計とする。

【別添資料1（3.2:30）】

(11) 森林火災

森林火災については、過去10年間の気象条件を調査し、発電所から直線距離で10kmの間に発火点を設定の上、森林火災シミュレーション（FARSITE）を用いて影響評価を実施し、影響評価に基づいた防火帯幅を確保すること等により、安全施設のうち、安全重要度クラス1、2に属する構築物、系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋、機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は安全機能を損なうことのない設計とする。

上記以外の安全施設については、防火帯の内側に配置し機能維持する、若しくは、森林火災による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復等の対応またはそれらを適切に組み合わせた設計とする。

また、ばい煙等発生時の二次的影響に対して、外気を取り入れる換気空調設備、外気を設備内に取り込む機器及び室内の空気を取り込む機器に分類し、影響評価を行い、必要な場合は対策を実施することで、安全施設が安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1（3.2:30～31）】

(12) 高潮

発電所周辺海域の潮位については、発電所から北方約3km地点に位置する茨城港日立港区で観測された潮位を設計潮位とする。本地点

の最高潮位はT.P.（東京湾中等潮位）+1.46m（1958年9月27日），朔望平均満潮位がT.P.+0.61mである。

安全施設は，高潮の影響を受けない敷地高さ（T.P.+3.3m）以上に設置することで，安全機能を損なうことのない設計とする。

【別添資料1（3.2:31～32）】

自然現象の組合せについては、発電所敷地で想定される自然現象（地震及び津波を除く。）として抽出された 12 事象をもとに、被害が考えられない洪水、地滑り及び津波に包含される高潮を除いた 9 事象に地震及び津波を加えた 11 事象を、網羅的に検討し、

- ・ 組み合わせた場合も影響が増長しない
- ・ 同時に発生する可能性が極めて低い
- ・ 増長する影響について、個別の検討で包絡されている、若しくは個別事象の設計余裕に包絡されている
- ・ 上記以外で影響が増長する

という観点より、各自然現象の影響において代表されない風（台風）、積雪及び火山の影響の荷重の組合せに対し、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

ただし、「第四条 地震による損傷の防止」及び「第五条 津波による損傷の防止」において考慮する事項は、各々の条項で考慮し、地震又は津波と組み合わせる自然現象による荷重としては、風（台風）又は積雪とする。組合せに当たっては、地震又は津波の荷重の大きさ、最大荷重の継続時間、発生頻度の関係を踏まえた荷重とし、施設の構造等を考慮する。

【別添資料 1（6. :47～73）】

第 2 項について

重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力を、それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して、適切に組み合わせ設計する。なお、過去の記録及び現地調査の結果を参考にして、必要のある場合には、異種の自然現象を重畳させるものとする。

重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象は、第1項において選定した自然現象に含まれる。また、重要安全施設を含む安全施設は、第1項において選定した自然現象又はその組合せにより、安全機能を損なうことのない設計としている。安全機能が損なわなければ設計基準事故に至らないため、重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象又はその組合せと設計基準事故に因果関係はない。したがって、因果関係の観点からは、重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力を組み合わせる必要はなく、重要安全施設は、各々の事象に対して、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1（添-17.:1～2）】

第3項について

発電所敷地又はその周辺で想定される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は、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、船舶の衝突及び電磁的障害を選定する。

安全施設は、発電所敷地又はその周辺で想定される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。）に対して安全機能を損なうことのない設計とする。ここで、発電所敷地又はその周辺において想定される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に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

【別添資料1（1.:1～17）（2.:18～19）】

(1) 飛来物（航空機落下等）

原子炉施設への航空機の落下確率は、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成 21・06・25 原院第1号）等に基づき評価した結果、約 8.6×10^{-8} 回／炉・年であり、防護設計の可否を判断する基準である 10^{-7} 回／炉・年を超えないため、飛来物（航空機落下等）による防護について設計上考慮する必要はない。

【別添資料1（4.1:33）】

(2) ダムの崩壊

発電所敷地の北側に久慈川が位置しており、その支川である山田川の上流約 30kmにダムが存在する。

久慈川は敷地の北方を太平洋に向かい東進していること、発電所敷地の西側は北から南にかけては標高3～21mの上り勾配となっていることから、発電所敷地がダムの崩壊により影響を受けることはなく、ダムの崩壊を考慮する必要はない。

【別添資料1（4.1:33～34）】

(3) 爆発

発電所敷地外 10km以内の範囲において、爆発により安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナートはないため、爆発による安全施設への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、東海村及び日立市に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所から離隔が確保されていることか

ら、ガス爆発による爆風圧による影響を受けるおそれはない。

【別添資料1（4.1:34）】

(4) 近隣工場等の火災

a. 石油コンビナート施設の火災

発電所敷地外 10km以内の範囲において、火災により安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、火災による安全施設への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外 10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、東海村及び日立市に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、火災時の熱輻射による影響を受けるおそれはない。

【別添資料1（4.1:34～35）】

b. 発電所敷地内に存在する危険物タンクの火災

発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、安全施設が安全機能を損なうことのない設計とする。

【別添資料1（4.1:34～35）】

c. 航空機墜落による火災

発電所敷地内への航空機墜落に伴う火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、安全施設が安全機能を損

なうことのない設計とする。

【別添資料1（4.1:34～35）】

d. 発電所湾内に入港する船舶の火災

発電所港湾内に入港する船舶の火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した，火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより，安全施設が安全機能を損なうことのない設計とする。

【別添資料1（4.1:34～35）】

e. 二次的影響（ばい煙等）

石油コンビナート施設の火災，発電所敷地内に存在する危険物タンクの火災，航空機墜落による火災及び発電所港湾内に入港する船舶の火災によるばい煙等発生時の二次的影響に対して，外気を直接設備内に取り込む機器，外気を取り込む空調系統，屋外設置機器に分類し，影響評価を行い，必要な場合は対策を実施することで，安全施設の安全機能を損なうことのない設計とする。

【別添資料1（4.1:34～35）】

(5) 有毒ガス

有毒ガスの漏えいについては固定施設（石油コンビナート等）と可動施設（陸上輸送，海上輸送）からの流出が考えられる。発電所周辺には周辺監視区域が設定されているため，近隣の施設や周辺道路との間には離隔距離が確保されていることから，有毒ガスの漏えいを想定した場合でも，中央制御室の居住性が損なわれることはない。

発電所敷地内に貯蔵している化学物質については，貯蔵施設からの

漏えいを想定した場合でも、中央制御室の居住性が損なわれることはない。

また、中央制御室の空調系統については、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転を行うことにより中央制御室の居住性が損なわれることはない。

【別添資料1（4.1:35～36）】

(6) 船舶の衝突

発電所周辺の海上交通としては、発電所の北方約 3kmに茨城港日立港区、南方約6kmに茨城港常陸那珂港区、南方約 18kmに茨城港大洗港区があり、それぞれ日立－釧路間、常陸那珂－苫小牧間、常陸那珂－北九州間、大洗－苫小牧間等の定期航路がある。最も距離の近い航路でも発電所より約 1.4kmの離隔距離があり、航路を通行する船舶が港湾内に侵入する可能性は低い。小型船舶が発電所近傍で漂流した場合でも、防波堤に衝突して止まることから取水機能が損なわれることはない。また、万が一防波堤を通過しても、取水口は呑み口が広いことから取水機能が損なわれることはない。

船舶の座礁により、重油流出事故が発生した場合は、オイルフェンスを設置する措置を講じる。

したがって、安全施設は、船舶の衝突によって取水路が閉塞することではなく、安全機能を損なうことはない。

【別添資料1（4.1:36～37）】

(7) 電磁的障害

電磁的障害には、サージ・ノイズや電磁波の侵入があり、これらは計

測制御回路に対して影響を及ぼすおそれがある。

このため、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、鋼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いるため、電磁的障害により安全施設が安全機能を損なうことはない。

【別添資料1（4.1:37）】

6.1 気象

6.1.1 最寄りの気象官署の資料による一般気象

6.1.1.1 風（台風）

敷地付近で観測された最大瞬間風速は、水戸地方気象台での観測記録（1937～2012年）によれば、44.2m/s（1939年8月5日）である。

6.1.1.2 凍結

敷地付近で観測された最低気温は、水戸地方気象台での観測記録（1897～2012年）によれば、-12.7℃（1952年2月5日）である。

6.1.1.3 降水

敷地付近で観測された日最大1時間降水量は、水戸地方気象台での観測記録（1906～2012年）によれば、81.7mm（1947年9月15日）である。

6.1.1.4 積雪

敷地付近で観測された積雪の深さの月最大値は、水戸地方気象台での観測記録（1897～2012年）によれば、32cm（1945年2月26日）である。

6.1.2 その他の資料による一般気象

6.1.2.1 竜巻

気象庁「竜巻等の突風データベース」（1961～2012年）によれば、「竜巻」及び「竜巻又はダウンバースト」の被害状況から推定した竜巻の規模は、茨城県において、最大でF3である。

6.1.2.2 森林火災

森林火災検討に係る東海第二発電所の最寄りの気象庁観測所の

気象データ（気温，風速，湿度）（平成 15 年～24 年），東海第二発電所で観測した気象データ（卓越風向）（平成 15 年～24 年）及び東海第二発電所の位置する茨城県の森林火災発生状況（平成 15 年～24 年）について，第 6.1.2.2 表に示す。

第 6.1.2.2 表 気象データ（気温，風速，卓越風向，湿度）
 （平成 19 年～28 年）及び茨城県の森林火災発生状況（平成 19 年～28 年）

観測所	水戸地方気象台 気象観測データ ^(注1)					茨城県内の月別 森林火災件数 ^(注2)	
	月	最高気温 (°C)	最大風速 (m/s)	最大風速記録時の風向			最低湿度 (%)
				第1位	第2位		
1	16.9	17.5	北東	北東	17	79	
2	24.3	17.5	北北東	北東	13	86	
3	25.9	14.3	北東	北北東, 南西	11	131	
4	29.3	15.1	北北東	北東	13	126	
5	30.8	13.5	北東	北北東	13	54	
6	33.5	14.2	北北東	北北東	21	10	
7	36.4	11.8	北北東	北北東	35	13	
8	37.0	12.9	北東	北北東	35	24	
9	36.1	13.9	北北東	南南西	29	23	
10	31.4	17.4	北北東	北北東	22	11	
11	24.5	11.8	北北東	北北東	18	4	
12	23.8	10.6	北東	西	17	33	

(注1) 水戸地方気象台 観測記録 (2007年 ~ 2016年)

(注2) 「消防防災年報」(茨城県 2006年~2015年)より

6.2 水 理

6.2.1 海 象

6.2.1.1 潮 位

発電所周辺の潮位については，隣接する茨城港日立港区において観測されている潮位を用いる。

既往最高潮位（昭和 33 年 9 月 27 日）	H. P. +2.35m
塑望平均満潮位	H. P. +1.50m
平均潮位	H. P. +0.91m
塑望平均干潮位	H. P. +0.08m
既往最低潮位	H. P. -0.31m

（平成 2 年 12 月 2 日，平成 3 年 12 月 22 日）

H. P. ±0.00m は茨城港日立港区の工事用基準面で東京湾中等潮位下 0.89m である。

6.7 社会環境

6.7.1 産業活動

発電所の近くには，石油コンビナート等，爆発，火災，有毒ガスにより本原子炉施設の安全性を損なうような施設はない。したがって，産業活動に伴う爆発，火災及び有毒ガスによって，安全施設の安全機能が損なわれるおそれはない。

6.7.2 交通運輸

本発電所に近い鉄道路線としては，東日本旅客鉄道株式会社常磐線がある。

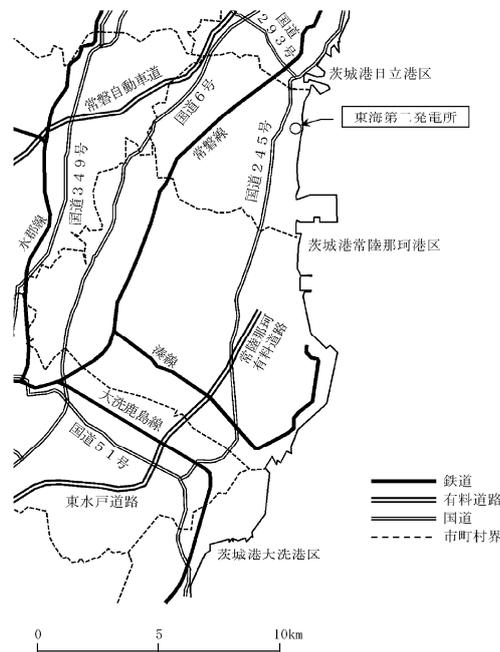
主要な道路としては，常磐自動車道，国道 245 号，国道 6 号及び国

道 293号がある。

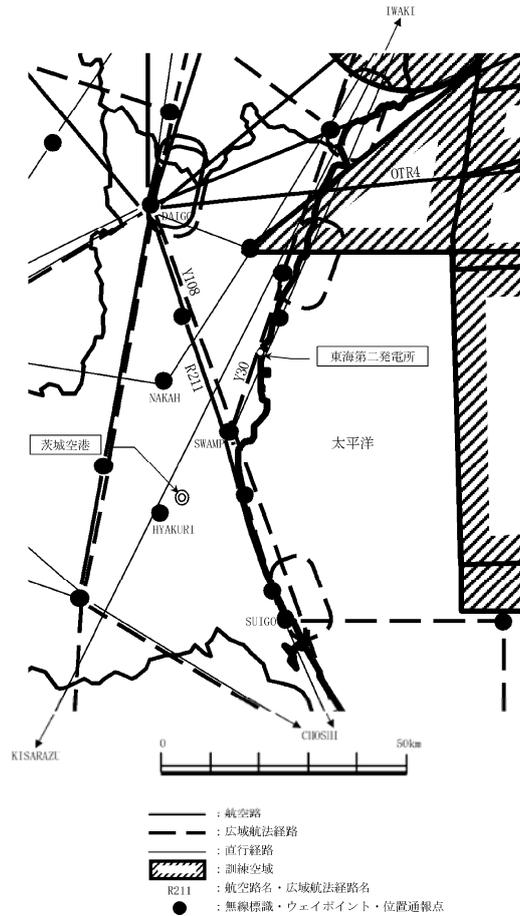
海上交通としては、発電所の北方約 3km に茨城港日立港区，南方約 6km に茨城港常陸那珂港区，南方約 18km に茨城港大洗港区があり，日立－釧路間，常陸那珂－苫小牧間，常陸那珂－北九州間，大洗－苫小牧間等の定期航路がある。

航空関係としては、発電所の南南西方向約 36km に茨城空港がある。発電所上空には広域航法経路及び直行経路があるが，訓練空域は設定されていない。なお，航空機は原子力関係施設上空の飛行を規制されている。

発電所周辺の鉄道，主要道路，港湾及び航空路を第 6.7.2-1 図及び第 6.7.2-2 図に示す。



第 6.7.2-1 図 東海第二発電所周辺の幹線道路，鉄道路線及び航路図



第 6.7.2-2 図 航空路等図

6.8 生物

6.8.1 海生生物

東海第二発電所の前面海域において、クラゲの発生がみられることはあるが、昭和 53 年 11 月の東海第二発電所の営業運転開始以降、大量のクラゲの襲来により安全施設の安全機能が損なわれた記録はない。

6.8.2 植生

発電所の周辺にはアカマツ、クロマツ等の植生が認められているが、昭和 53 年 11 月の東海第二発電所の営業運転開始以降、東海第二発電所周辺の森林火災が原因で安全施設の安全機能が損なわれた記録はない。

東海第二発電所

外部事象の考慮について

目次

1. 設計上考慮する外部事象の抽出
 - 1.1 外部事象の収集
 - 1.2 外部事象の選定
 - 1.2.1 除外基準
 - 1.2.2 選定結果
2. 基本方針
3. 地震，津波以外の自然現象
 - 3.1 設計基準の設定
 - 3.2 個別評価
4. 外部人為事象
 - 4.1 個別評価
5. 自然現象，外部人為事象に対する安全施設への影響評価
6. 自然現象の重畳について
 - 6.1 検討対象
 - 6.1.1 検討対象事象
 - 6.2 事象の特性の整理
 - 6.2.1 相関性のある自然現象の特定
 - 6.2.2 影響モードのタイプ分類
 - 6.3 重畳影響分類
 - 6.3.1 重畳影響分類方針
 - 6.3.2 影響パターン
 - 6.3.3 重畳影響分類結果
 - 6.4 詳細評価
 - 6.4.1 アクセシ性・視認性について

添付 1 : 東海第二発電所 外部事象の考慮について 添付資料

1. 設計上考慮する外部事象の抽出

東海第二発電所の安全を確保する上で設計上考慮すべき外部事象の抽出に当たっては、国内で一般に発生しうる事象に加え、欧米の基準等で示されている事象を用い網羅的に収集し、類似性、随伴性から整理を行い、地震、津波を含めた78事象（自然現象55事象、外部人為事象23事象）を抽出した。

その結果及び海外文献を参考に策定した評価基準に基づき、より詳細に検討すべき外部事象について評価及び選定を実施した。

外部事象に対する影響評価のフロー図を参考2に示す。

1.1 外部事象の収集

設置許可基準規則の解釈第六条2項及び8項において、「想定される自然現象（地震及び津波を除く。）」と「安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象」として、以下のとおり例示されている。

第六条（外部からの衝撃による損傷の防止）

（中略）

- 2 第1項に想定する「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。

想定される自然現象及び想定される外部人為事象について網羅的に抽出するための基準等については、国外の基準として「Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants (IAEA, April 2010)」を、また外部人為事象を選定する観点から「DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-12-06 August 2012)」, 日本の自然現象を網羅する観点から「日本の自然災害 (国会資料編纂会 1998 年)」を参考にした。これらの基準等に基づき抽出した想定される自然現象を第 1.1-1 表に、想定される外部人為事象を第 1.1-2 表に示す。

なお、その他に NRC の「NUREG/CR-2300 PRA Procedures Guide (NRC, January 1983)」等の基準も事象収集の対象としたが、これら追加した基準の事象により、「(3) 設計上考慮すべき想定される自然現象及び外部人為事象の選定結果」において選定される事象が増加することはなかった。

第 1.1-1 表 考慮する外部ハザードの抽出（想定される自然現象）

丸数字は、次頁に記載した外部ハザードを抽出した文献を示す。

No	外部ハザード	外部ハザードを抽出した文献等								
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
1-1	極低温（凍結）	○	○	○	○	○	○	○		○
1-2	隕石	○		○		○		○		○
1-3	降水（豪雨（降雨））	○	○	○	○	○	○	○		○
1-4	河川の迂回	○	○			○		○		○
1-5	砂嵐	○		○		○		○		○
1-6	静振	○				○		○		○
1-7	地震活動	○	○	○	○	○	○	○		○
1-8	積雪（暴風雪）	○	○	○	○	○	○	○		○
1-9	土壌の収縮又は膨張	○	○			○		○		○
1-10	高潮	○	○			○		○		○
1-11	津波	○	○	○	○	○	○	○		○
1-12	火山（火山活動・降灰）	○	○	○	○	○	○	○		○
1-13	波浪・高波	○	○			○		○		○
1-14	雪崩	○	○	○		○		○		○
1-15	生物学的事象	○			○		○	○		○
1-16	海岸浸食	○		○		○		○		○
1-17	干ばつ	○	○	○		○		○		○
1-18	洪水（外部洪水）	○	○	○		○	○	○		○
1-19	風（台風）	○	○	○	○	○	○	○		○
1-20	竜巻	○	○	○	○	○	○	○		○
1-21	濃霧	○				○		○		○
1-22	森林火災	○	○	○	○	○	○	○		○
1-23	霜・白霜	○	○	○		○		○		○
1-24	草原火災	○								○
1-25	ひょう・あられ	○	○	○		○		○		○
1-26	極高温	○	○	○		○		○		○
1-27	満潮	○				○		○		○
1-28	ハリケーン	○				○		○		
1-29	氷結	○		○		○		○		○
1-30	氷晶			○						○
1-31	氷壁			○						○
1-32	土砂崩れ（山崩れ，がけ崩れ）		○							
1-33	落雷	○	○	○	○	○	○	○		○
1-34	湖又は河川の水位低下	○		○		○		○		○

No	外部ハザード	外部ハザードを抽出した文献等								
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
1-35	湖又は河川の水位上昇			○		○				
1-36	陥没・地盤沈下・地割れ	○	○							○
1-37	極限的な圧力（気圧高低）			○						○
1-38	もや			○						
1-39	塩害，塩雲			○						○
1-40	地面の隆起		○	○						○
1-41	動物			○						○
1-42	地滑り	○	○	○	○	○	○	○		○
1-43	カルスト			○						○
1-44	地下水による浸食			○						
1-45	海水面低			○						○
1-46	海水面高		○	○						○
1-47	地下水による地滑り			○						
1-48	水中の有機物			○						
1-49	太陽フレア，磁気嵐	○								○
1-50	高温水（海水温高）			○						○
1-51	低温水（海水温低）		○	○						○
1-52	泥湧出（液状化）		○							
1-53	土石流		○							○
1-54	水蒸気		○							○
1-55	毒性ガス	○	○			○		○		○

① DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-12-06 August 2012)

② 「日本の自然災害」国会資料編纂会 1998年

③ Specific Safety Guide (SSG-3) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants”, IAEA, April 2010

④ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（制定：平成25年6月19日）

⑤ NUREG/CR-2300 “PRA PROCEDURES GUIDE”, NRC, January 1983

⑥ 「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」（制定：平成25年6月19日）

⑦ ASME/ANS RA-Sa-2009 “Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications”

⑧ B.5.b Phase2&3 Submittal Guideline (NEI-06-12 December 2006) -2011.5 NRC公表

⑨ 「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準：2014」一般社団法人日本原子力学会

第 1.1-2 表 考慮する外部ハザードの抽出（想定する外部人為事象）

丸数字は、外部ハザードを抽出した文献を示す。

No	外部ハザード	外部ハザードを抽出した文献等								
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
2-1	衛星の落下	○		○				○		○
2-2	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	○		○		○		○		
2-3	交通事故（化学物質流出含む）	○		○	○	○		○		○
2-4	有毒ガス	○			○	○	○	○		
2-5	タービンミサイル	○			○	○	○	○		
2-6	飛来物（航空機落下等）	○		○	○	○	○	○	○	○
2-7	工業施設又は軍事施設事故	○				○		○		○
2-8	船舶の衝突（船舶事故）	○		○	○		○			○
2-9	自動車又は船舶の爆発	○		○						○
2-10	船舶から放出される固体液体不純物			○						○
2-11	水中の化学物質			○						
2-12	プラント外での爆発			○	○		○			○
2-13	プラント外での化学物質の流出			○						○
2-14	サイト貯蔵の化学物質の流出	○		○		○		○		
2-15	軍事施設からのミサイル			○						
2-16	掘削工事		○	○						
2-17	他のユニットからの火災			○						
2-18	他のユニットからのミサイル			○						
2-19	他のユニットからの内部溢水			○						
2-20	電磁的障害			○	○		○			○
2-21	ダムの崩壊			○	○		○			○
2-22	内部溢水				○	○	○	○		
2-23	火災（近隣工場等の火災）			○	○	○	○			○

- ① DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-12-06 August 2012)
- ② 「日本の自然災害」国会資料編纂会 1998 年
- ③ Specific Safety Guide (SSG-3) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants”, IAEA, April 2010
- ④ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（制定：平成 25 年 6 月 19 日）
- ⑤ NUREG/CR-2300 “PRA PROCEDURES GUIDE”, NRC, January 1983
- ⑥ 「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」（制定：平成 25 年 6 月 19 日）
- ⑦ ASME/ANS RA-Sa-2009 “Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/ Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications”
- ⑧ B.5.b Phase2&3 Submittal Guideline (NEI-06-12 December 2006) -2011.5 NRC 公表
- ⑨ 「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準：2014」一般社団法人 日本原子力学会

1.2 外部事象の選定

1.2.1 除外基準

1.1 で網羅的に抽出した事象について、東海第二発電所において設計上考慮すべき事象を選定するため、海外での評価手法*を参考とした第 1.2-1 表の除外基準のいずれかに該当するものは除外して事象の選定を行った。

第 1.2-1 表 考慮すべき事象の除外基準（参考 1 参照）

基準 A	プラントに影響を与えるほど接近した場所に発生しない。（例：No. 1-5 砂嵐）
基準 B	ハザード進展・襲来が遅く、事前にそのリスクを予知・検知することでハザードを排除できる。（例：No. 1-16 海岸浸食）
基準 C	プラント設計上、考慮された事象と比較して設備等への影響度が同等若しくはそれ以下、又はプラントの安全性が損なわれることがない（例：No. 1-21 濃霧）
基準 D	影響が他の事象に包絡される。（例：No. 1-27 満潮）
基準 E	発生頻度が他の事象と比較して非常に低い。（例：No. 1-2 隕石）
基準 F	外部からの衝撃による損傷の防止とは別の条項で評価している。又は故意の外部人為事象等外部からの衝撃による損傷の防止の対象外の事項（例：No. 2-5 タービンミサイル）

※ ASME/ANS RA-Sa-2009 "Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications"

1.2.2 選定結果

1.2.1 で検討した除外基準に基づき、東海第二発電所において設計上考慮すべき事象を選定した結果を第 1.2-2 表及び第 1.2-3 表に示す。

第六条に該当する「想定される自然現象」として、以下の 12 事象を選定した。

- ・洪水（外部洪水）
- ・風（台風）
- ・竜巻
- ・極低温（凍結）
- ・降水（豪雨（降雨））
- ・積雪（暴風雪）
- ・落雷
- ・地滑り
- ・火山（火山活動・降灰）
- ・生物学的事象
- ・森林火災
- ・高潮

また、「想定される外部人為事象」として、以下の 7 事象を選定した。

- ・飛来物（航空機落下等）
- ・ダムの崩壊
- ・プラント外での爆発
- ・火災（近隣工場等の火災）
- ・有毒ガス
- ・船舶の衝突
- ・電磁的障害

第 1.2-2 表 設計基準において想定される自然現象の選定結果

No.	外部ハザード	選定基準	選定	備考
1-1	極低温（凍結）	—	○	「凍結」としてプラントへの影響評価を実施する。
1-2	隕石	E※1	×	安全施設の機能に影響を及ぼす規模の隕石が衝突する可能性は極めて低い。
1-3	降水 （豪雨（降雨））	—	○	「降水」としてプラントへの影響評価を実施する。
1-4	河川の迂回	B	×	発電所周辺の河川（久慈川）までは距離があり（約2km）、また、迂回事象は進展が遅く、進展防止対策が可能であるため、安全性の影響はないことから除外する。
1-5	砂嵐	A, D	×	発電所及びその周辺には砂漠砂丘は存在せず、安全施設の機能に影響はないことから除外する。 大陸からの黄砂の影響については、「火山（火山活動・降灰）」に包絡される。
1-6	静振	D	×	静振は、津波や波浪といった事象に誘因されるものであり、それ単体での影響はなく、「津波」に包絡される。
1-7	地震活動	F	×	「第 4 条 地震による損傷の防止」にて評価される。
1-8	積雪（暴風雪）	—	○	「積雪」としてプラントへの影響評価を実施する。
1-9	土壌の収縮又は膨張	A, C	×	地盤の収縮又は膨張が発生したとしても、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、影響はないことから除外する。
1-10	高潮	—	○	「高潮」としてプラントへの影響評価を実施する。
1-11	津波	F	×	「第 5 条 津波による損傷の防止」にて評価される。
1-12	火山 （火山活動・降灰）	—	○	「火山」としてプラントへの影響評価を実施する。
1-13	波浪・高波	D	×	波浪は、風浪（風によってその場所に発生する波）とうねり（他の場所で発生した風浪の伝わり、風が静まった後に残される波）の混在した現象であり、高波は波浪の波高が高いものを指すが、設計基準津波による影響の方が大きく、「津波」に包絡される。
1-14	雪崩	A	×	安全上重要な施設は周辺斜面と十分な隔離距離があること、発電所敷地内及び敷地周辺の地形に急傾斜はなく、雪崩が起きる可能性はないことから除外する。
1-15	生物学的事象	—	○	「生物学的事象」としてプラントへの影響評価を実施する。

No.	外部ハザード	選定基準	選定	備考
1-16	海岸浸食	B	×	基本的に取水に係る土木構築物はコンクリート製であり浸食はほとんどなく、仮に海底砂の流出等による海底勾配の変化が生じるような場合でも、非常に緩やかに進行するものと考えられ、保守管理による不具合防止が可能であるため、安全施設の機能の影響はないことから除外する。
1-17	干ばつ	C	×	発電所は海水を冷却源としていることから、安全施設の機能に影響を及ぼすことはない。また、淡水は復水貯蔵タンク等により保管していることから、干ばつが発生したとしても安全施設の機能に影響を及ぼすことはないことから除外する。
1-18	洪水（外部洪水）	—	○	「洪水」としてプラントへの影響評価を実施する。
1-19	風（台風）	—	○	「風（台風）」としてプラントへの影響評価を実施する。
1-20	竜巻	—	○	「竜巻」としてプラントへの影響評価を実施する。
1-21	濃霧	C	×	設備に損傷を与えることはなく、安全施設の機能に影響はないことから除外する。
1-22	森林火災	—	○	「森林火災」としてプラントへの影響評価を実施する。
1-23	霜・白霜	C	×	設備に損傷を与えることはなく、安全施設の機能に影響はないことから除外する。
1-24	草原火災	A	×	発電所及びその周辺には草原は存在しないことから除外する。
1-25	ひょう・あられ	D	×	ひょう（直径5mm以上）、あられ（直径5mm未満）は氷の粒であり、仮に直径10cm程度のひょうを想定した場合でも、竜巻の設計飛来物（鋼製材：長さ4.2m、幅0.3m、奥行0.2m）の衝突荷重に比べ十分小さいことから、ひょう、あられにより安全施設の機能が損なわれるおそれはなく、「竜巻」に包絡される。
1-26	極高温	C	×	気温は1日の中で高低差があるため高温期間は一時的であること、仮に水戸の過去最高気温（38.4℃）が継続したとしても、建屋内空調は海水にて冷却していることから室内の気温上昇の影響は著しくなく、安全機能に影響はないことから除外する。
1-27	満潮	D	×	発電所周辺の既往最高潮位が T.P. +1.46m であり、設計津波による影響の方が大きいことから、「津波」に包絡される。
1-28	ハリケーン	A	×	日本がハリケーンの影響を受けることはないことから除外する。
1-29	氷結	D	×	氷結とは水の凝固であり、影響は凍結と同等と考えられることから、「極低温（凍結）」に包絡される。

No.	外部ハザード	選定基準	選定	備考
1-30	氷晶	D	×	氷晶とは氷の結晶であり、仮に堆積しても影響は凍結と同等と考えられることから、「極低温（凍結）」に包絡される。
1-31	氷壁	A	×	氷壁とは氷河の末端や氷山などの絶壁を指すが、発電所周辺で氷壁を含む海水の発生、流水の到達事例はないことから除外する。
1-32	土砂崩れ (山崩れ, がけ崩れ)	A	×	発電所敷地内及び敷地周辺に土砂崩れを発生させるような急傾斜地形, 山, がけはないことから除外する。
1-33	落雷	—	○	「落雷」としてプラントへの影響評価を実施する。
1-34	湖又は河川の 水位低下	C	×	発電所は海水を冷却源としていることから、湖又は河川の水位低下による安全施設の機能に影響を及ぼすことはない。また、淡水は復水貯蔵タンク等により保管していることから、湖又は河川の水位低下が発生したとしても安全施設の機能に影響を及ぼすことはないことから除外する。
1-35	湖又は河川の 水位上昇	D	×	河川等の水位上昇により氾濫が発生したとしても、影響は外部からの洪水と同等を考慮されるため、「洪水（外部洪水）」に包絡される。
1-36	陥没・地盤沈下・地割れ	F	×	陥没・地盤沈下・地割れ等地盤の変状を伴う変形は地盤の脆弱性に係る事象であり、「地震活動」による影響評価（地盤）にて評価する。
1-37	極限的な圧力 (気圧高低)	D	×	低気圧, 高気圧による気圧の変化については予測可能であり、必要に応じて事前の備えが可能である。一方、同様の影響がある竜巻については、検知から対応までの時間的余裕が少ないことに加え、風荷重や飛来物衝突といったその他の影響も同時に考慮する必要があることから、竜巻の方がプラントへ及ぼす影響が大きいため、「竜巻」に包絡される。
1-38	もや	C	×	設備に損傷を与えることはなく、安全施設の機能に影響はないことから除外する。
1-39	塩害, 塩雲	B	×	塩害による腐食の影響については、事象進展が遅く保守管理による不具合防止が十分可能であることから除外する。
1-40	地面の隆起	F	×	地面の隆起は地震による地盤の変状を伴う変形であり、「地震活動」による影響評価（地盤）にて評価する。
1-41	動物	D	×	動物を生物学的事象として考慮するため、「生物学的事象」に包絡される。
1-42	地滑り	—	○	「地滑り」としてプラントへの影響評価を実施する。

No.	外部ハザード	選定基準	選定	備考
1-43	カルスト	A	×	カルストとは石灰岩地域で雨水・地下水の溶食によって生じた地形であるが、発電所敷地内及び敷地周辺に石灰岩地形は認められないことから除外する。
1-44	地下水による浸食	A	×	敷地には地盤を浸食する地下水脈は認められず、また、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ことから除外する。
1-45	海水面低	D	×	海水面低は、津波、干潮により発生する事象であるが、津波によるものの規模が大きく、「津波」に包絡される。
1-46	海水面高	D	×	海水面高は、津波、満潮、高潮により発生する事象であるが、津波によるものの規模が大きく、「津波」に包絡される。
1-47	地下水による地滑り	D	×	影響は地滑り事象と同様であると考えられることから、「地滑り」に包絡される。
1-48	水中の有機物	D	×	プランクトン等の海生生物を生物学的事象として考慮するため、「生物学的事象」に包絡される。
1-49	太陽フレア、磁気嵐	C	×	太陽フレア、磁気嵐により誘導電流が発生する可能性があるが、影響が及んだとしても変圧器等の一部に限られること、仮に発電所外を含めた送変電設備に影響が及ぶような場合においても、プラント停止など適切な措置を講じることとしているため、安全施設の機能が損なわれることはないと考えられるため除外する。
1-50	高温水（海水温高）	B	×	設計条件を上回る海水温度高に対し定格出力維持が困難な場合も想定されるが、温度を監視しており、出力低下やプラント停止措置にて十分対応可能であることから、安全施設の機能が損なわれることはないため除外する。
1-51	低温水（海水温低）	C	×	取水温度の低下は冷却性能の低下につながるものではなく、安全施設の機能に影響はないため除外する。
1-52	泥湧出（液状化）	F	×	地盤の脆弱性に係る影響であり、「地震活動」による影響評価（地盤）にて評価する。
1-53	土石流	A	×	発電所敷地内及び敷地周辺には土石流を発生させるような地形、地質は認められないことから除外する。
1-54	水蒸気	A	×	火山事象により発生する事象であるが、周辺に火山がないことから除外する。
1-55	毒性ガス	D	×	火山事象、外部火災事象により発生する事象であるが、周辺に火山はなく、また、外部火災事象にて有毒ガスの評価を行うことから、「森林火災」に包絡される。

※1 : NUREG-1407 “Procedure and Submittal Guidance for the Individual Plant Examination of External Events (IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities”によると、隕石や人工衛星については、衝突の確率が 10^{-9} と非常に小さいため、起因事象頻度は低く IPEEE の評価対象から除外する旨が記載されている。

なお、本記載の基となった NUREG/CR-5042, Supplement2 によると、1 ポンド以上の隕石の年間落下件数と地表の一定面積に落下する確率を面積比で概算した結果、100 ポンド以上の隕石が 10,000 平方フィートに落下する確率は 7×10^{-10} /炉年、100,000 平方フィートに落下する確率は 6×10^{-8} /炉年、隕石落下による津波の確率は 9×10^{-10} /炉年と評価されている。

地球近傍の天体が、地球に衝突する確率及び衝突した際の被害状況を表す尺度として、トリノスケールがあるが、NASA によると 2017 年において、今後 100 年間に衝突する可能性があるすべての天体について、レベル 0 とされている。レベル 0 とは、衝突確率が 0 か可能な限り 0 に近い、又は衝突したとしても大気中で燃え尽き被害がほとんど発生しないことを示す。NASA のリストにおいて、2017 年現在最も衝突確率の高い 2010RF₁₂ が、今後 100 年間に東海第二発電所へ落下する確率を計算する。

地球の表面積 : 510,072,000km²
東海第二発電所を含む敷地面積 : 0.66km²
2012RF₁₂ の衝突確率 (2017 年現在) : 5.0×10^{-2}

東海第二発電所敷地内に衝突する確率は概算で以下のとおりであり、極頻度である。

$$5.0 \times 10^{-2} \times (0.66 \div 510,072,000) = 6.5 \times 10^{-11}$$

その他、I A E A の SAFETY STANDARDS SERIES No.NS-R-1, “SAFETY OF NUCLEAR POWER PLANTS:DESIGN” では、想定起因事象で考慮しないものとして、自然又は人間に起因する外部事象であって、極めて起こりにくいもののたえとして隕石や人工衛星の落下を挙げている。

第 1.2-3 表 設計基準において想定される外部人為事象の選定結果

No.	外部ハザード	選定基準	選定	備考
2-1	衛星の落下	E※ ²	×	安全施設の機能に影響を及ぼす人工衛星が落下する可能性は非常に低いと考えられることから除外する。
2-2	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	A, D	×	発電所周辺の本 L N G 基地内のパイプライン（約 1.5km）は、十分な離隔距離が確保されていることから、影響は「爆発（プラント外での爆発）」、「火災（近隣工場等の火災）」及び「有毒ガス」に包絡される。
2-3	交通事故 （化学物質流出含む）	D	×	敷地外において、タンクローリ等の可動施設の輸送事故（流出含む）影響については、「火災（近隣工場等の火災）」及び「有毒ガス」に包絡される。 敷地内の交通事故は、車両の制限速度の設定等により管理されることから、安全機器へ損傷を与えるほどの衝突は発生しない。
2-4	有毒ガス	—	○	「有毒ガス」としてプラントへの影響評価を実施する。
2-5	タービンミサイル	E, F	×	「第 18 条 蒸気タービン」にて評価される。
2-6	飛来物（航空機落下等）	—	○	「飛来物（航空機落下等）」として、プラントへの影響評価を実施する。
2-7	工業施設又は軍事施設事故	A, D	×	発電所周辺の大規模な工業施設は、十分な離隔距離が確保されていることから、「爆発（プラント外での爆発）」、「火災（近隣工場等の火災）」及び「有毒ガス」に包絡される。 また、発電所近傍に安全施設に影響を及ぼすような軍事施設はない。
2-8	船舶の衝突 （船舶事故）	—	○	「船舶の衝突」としてプラントへの影響評価を実施する。
2-9	自動車又は船舶の爆発	A, D	×	発電所周辺の本幹線道路及び定期航路は、十分な離隔距離が確保されていることから、「爆発（プラント外での爆発）」、「火災（近隣工場等の火災）」及び「有毒ガス」に包絡される。
2-10	船舶から放出される固体液体不純物	D	×	流出物の影響は船舶事故発生時と同等と考えられ、「船舶の衝突（船舶事故）」に包絡される。
2-11	水中の化学物質	D	×	水中の化学物質の影響は船舶事故発生時と同等と考えられ、「船舶の衝突（船舶事故）」に包絡される。
2-12	プラント外での爆発	—	○	「爆発」としてプラントへの影響評価を実施する。
2-13	プラント外での化学物質流出	D	×	発電所周辺の本航路は、十分な離隔距離が確保されていることから、「船舶の衝突（船舶事故）」及び「有毒ガス」に包絡される。

No.	外部ハザード	選定基準	選定	備考
2-14	サイト貯蔵の化学物質の流出	D	×	屋内は空調管理，排水管理されていることから影響はないが，屋外貯蔵の化学物質流出の影響は「有毒ガス」に包絡される。
2-15	軍事施設からのミサイル	A	×	偶発的なミサイル到達は考え難いことから除外する。
2-16	掘削工事	A	×	敷地内の工事は管理されており，事前調査で埋設ケーブル・配管位置の確認を行うため，損傷は回避できることから除外する。敷地外の工事はプラントに影響を与えないことから除外する。
2-17	他のユニットからの火災	D	×	近隣工場等の火災と影響は同様と考えられることから，「火災（近隣工場等の火災）」及び「有毒ガス」に包絡される。
2-18	他のユニットからのミサイル	A	×	安全施設に影響を及ぼすようなミサイル源はないため除外する。
2-19	他のユニットからの内部溢水	F	×	「第 9 条 溢水による損傷の防止等」にて評価される。
2-20	電磁的障害	—	○	「電磁的障害」としてプラントへの影響評価を実施する。
2-21	ダムの崩壊	—	○	「ダムの崩壊」としてプラントへの影響評価を実施する。
2-22	内部溢水	F	×	「第 9 条 溢水による損傷の防止等」にて評価される。
2-23	火災 (近隣工場等の火災)	—	○	「近隣工場等の火災」としてプラントへの影響評価を実施する。

※ 2 : 人口衛星が落下した場合については，衛星の大部分が大気圏で燃え尽き，一部破片が落下する可能性があるものの原子炉施設に影響を及ぼすことはないものと考えられる。

<参考1>

基準A：プラントに影響を与えるほど接近した場所に発生しない。

発電所の立地点の自然環境は一様ではなく，発生する自然事象は地域性があるため，発電所立地点において明らかに起こり得ない事象は対象外とする。

基準B：ハザード進展・襲来が遅く，事前にそのリスクを予知・検知することでハザードを排除できる。

事象発生時の発電所への影響の進展が緩慢であって，影響の緩和又は排除の対策が容易に講じることが出来る事象は対象外とする。例えば，発電所の海岸の浸食の事象が発生しても，進展が遅いため補強工事等により浸食を食い止めることができる。

基準C：プラント設計上，考慮された事象と比較して設備等への影響度が同等若しくはそれ以下，又はプラントの安全性が損なわれることがない。

事象が発生しても，プラントへの影響が極めて限定的で炉心損傷事故のような重大な事故にはつながらない事象は対象外とする。例えば，外気温が上昇しても，屋外設備でも故障に至る可能性は小さく，また，冷却海水の温度が直ちに上昇しないことから冷却は維持できるので，影響は限定的である。

基準D：影響が他の事象に包絡される。

プラントに対する影響が同様とみなせる事象については，相対的に影響が大きいと判断される事象に包絡して合理的に検討する。

基準E：発生頻度が他の事象と比較して非常に低い。

航空機落下の評価では発生頻度が低い事象（ 10^{-7} /年以下）は考慮すべき事象からは対象外としており，同様に発生頻度がごく稀な事象は対象外とする。

基準F：外部からの衝撃による損傷の防止とは別の条項により評価を実施している。又は故意の外部人為事象等外部からの衝撃による損傷の防止の対象外の事項

第四条 地震による損傷の防止，第五条 津波による損傷の防止，第九条 溢水による損傷の防止等，第十八条 蒸気タービンにより評価を実施するもの，又は，故意の外部人為事象等外部からの衝撃による損傷の防止に該当しないものについては，対象外とする。

< 参考 2 >

設計基準において想定される自然現象の抽出フロー

第 1.1-1 表 考慮する外部ハザードの抽出 (想定される自然現象)

丸数字は、次頁に記載した外部ハザードを抽出した文献を示す。

国内外の基準等に基づき、考えられる自然現象を網羅的に抽出

No.	外部ハザード	外部ハザードを抽出した文献等								
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
1-1	極低温 (凍結)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
1-2	隕石	○		○		○		○		○
1-3	降水 (豪雨 (降雨))	○	○	○	○	○	○	○		○
1-4	河川の迂回	○	○			○		○		○
1-5	砂嵐	○		○		○		○		○

- ① DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-12-06 August 2012)
- ② 「日本の自然災害」国会資料編纂会 1998 年
- ③ Specific Safety Guide (SSG-3) "Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants", IAEA, April 2010
- ④ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」(制定:平成 25 年 6 月 19 日)
- ⑤ NUREG/CR-2300 "PRA PROCEDURES GUIDE", NRC, January 1983
- ⑥ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造および設備の基準に関する規則の解釈」(制定:平成 25 年 6 月 19 日)
- ⑦ ASME/ANS RA-Sa-2009 "Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/ Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications"
- ⑧ B.5.b Phase2&3 Submittal Guideline (NEI-06-12 December 2006) -2011.5 NRC 公表
- ⑨ 「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準:2014」一般社団法人 日本原子力学会

第 1.2-2 表 設計基準において想定される自然現象の選定結果

No.	外部ハザード	選定基準	選定	備考
1-1	極低温 (凍結)	-	○	「凍結」としてプラントへの影響評価を実施する。
1-2	隕石	E ^{sp1}	×	安全施設の機能に影響を及ぼす規模の隕石が衝突する可能性は極めて低い。
1-3	降水 (豪雨 (降雨))	-	○	「降水」としてプラントへの影響評価を実施する。
1-4	河川の迂回	B	×	発電所周辺の河川 (久慈川) までは距離があり (約 2km), また, 迂回事象は進展が遅く, 進展防止対策が可能であるため, 安全性の影響はないことから除外する。
1-5	砂嵐	A, D	×	発電所及びその周辺には砂漠砂丘は存在せず, 安全施設の機能に影響はないことから除外する。 七味山等の基岩の影響については「火山

敷地の自然環境を考慮し、海外での評価手法^{*}を参考とした除外基準に該当するものを除外

基準 A	プラントに影響を与えるほど接近した場所に発生しない。(例: No. 1-5 砂嵐)
基準 B	ハザード進展・襲来が遅く, 事前にそのリスクを予知・検知することでハザードを排除できる。(例: No. 1-16 海岸浸食)
基準 C	プラント設計上, 考慮された事象と比較して設備等への影響度が同等若しくはそれ以下, 又はプラントの安全性が損なわれることがない (例: No. 1-21 濃霧)
基準 D	影響が他の事象に包絡される。(例: No. 1-27 満潮)
基準 E	発生頻度が他の事象と比較して非常に低い。(例: No. 1-2 隕石)
基準 F	外部からの衝撃による損傷の防止とは別の条項で評価している。又は故意の外部人為事象等外部からの衝撃による損傷の防止の対象外の事項 (例: No. 2-5 タービンミサイル)

^{*} ASME/ANS RA-Sa-2009 "Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/ Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications"

選定の結果, 設計基準において想定される自然現象として 12 事象を選定

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・洪水 ・風 (台風) ・竜巻 ・凍結 ・降水 ・積雪 | <ul style="list-style-type: none"> ・落雷 ・地滑り ・火山 ・生物学的事象 ・森林火災 ・高潮 |
|--|---|

設計基準において想定される外部人為事象の抽出フロー

第 1.1-2 表 考慮する外部ハザードの抽出 (想定する外部人為事象)

丸数字は、外部ハザードを抽出した文献を示す。

国内外の基準等に基づき、考えられる外部人為事象を網羅的に抽出

No	外部ハザード	外部ハザードを抽出した文献等								
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
2-1	衛星の落下	○		○						○
2-2	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	○		○		○		○		
2-3	交通事故 (化学物質流出含む)	○		○	○	○		○		○
2-4	有毒ガス	○			○	○	○	○		
2-5	タービンミサイル	○			○	○	○	○		
2-6	飛来物 (航空機落下)	○		○	○	○	○	○	○	○

- ① DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-T2-06 August 2012)
- ② 「日本の自然災害」国会資料編纂会 1998 年
- ③ Specific Safety Guide (SSG-3) "Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants", IAEA, April 2010
- ④ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」(制定:平成 25 年 6 月 19 日)
- ⑤ NUREG/CR-2300 "PRA PROCEDURES GUIDE", NRC, January 1983
- ⑥ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造および設備の基準に関する規則の解釈」(制定:平成 25 年 6 月 19 日)
- ⑦ ASME/ANS RA-Sa-2009 "Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications"
- ⑧ B.5.b Phase2&3 Submittal Guideline (NEI-06-12 December 2006) -2011.5 NRC 公表
- ⑨ 「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準:2014」一般社団法人 日本原子力学会

第 1.2-3 表 設計基準において想定される外部人為事象の選定結果

敷地及び敷地周辺の状況を考慮し、海外での評価手法*を参考とした除外基準に該当するものを除外

No.	外部ハザード	選定基準	選定	備考
2-1	衛星の落下	E ²	×	安全施設の機能に影響を及ぼす人工衛星が落下する可能性は非常に低いと考えられることから除外する。
2-2	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	A, D	×	発電所周辺の LNG 基地内のパイプライン (約 1.5km) は、十分な離隔距離が確保されていることから、影響は「爆発 (プラント外での爆発)」、「火災 (近隣工場等の火災)」及び「有毒ガス」に包絡される。
2-3	交通事故 (化学物質流出含む)	D	×	敷地外において、タンクローリ等の可動施設の輸送事故 (流出含む) 影響については、「火災 (近隣工場等の火災)」及び「有毒ガス」に包絡される。敷地内の交通事故は、車両の制限速度の設定等により管理されることから、安全機器へ損傷を与えるほどの衝突は発生しない。
2-4	有毒ガス	-	○	「有毒ガス」としてプラントへの影響評価を実施する。

基準 A	プラントに影響を与えるほど接近した場所に発生しない。(例: No. 1-5 砂嵐)
基準 B	ハザード進展・襲来が遅く、事前にそのリスクを予知・検知することでハザードを排除できる。(例: No. 1-16 海岸浸食)
基準 C	プラント設計上、考慮された事象と比較して設備等への影響度が同等若しくはそれ以下、又はプラントの安全性が損なわれない (例: No. 1-21 濃霧)
基準 D	影響が他の事象に包絡される。(例: No. 1-27 満潮)
基準 E	発生頻度が他の事象と比較して非常に低い。(例: No. 1-2 隕石)
基準 F	外部からの衝撃による損傷の防止とは別の条項で評価している。又は故意の外部人為事象等外部からの衝撃による損傷の防止の対象外の事項 (例: No. 2-5 タービンミサイル)

* ASME/ANS RA-Sa-2009 "Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications"

選定の結果、設計基準において想定される外部人為事象として 7 事象を選定

- ・ 飛来物
- ・ ダムの崩壊
- ・ 爆発
- ・ 近隣工場等の火災
- ・ 有毒ガス
- ・ 船舶の衝突
- ・ 電磁的障害

2. 基本方針

安全施設は、1.にて選定した各外部事象又はその重畳によって、安全機能を損なわない設計とする。

ここで、第六条における安全施設とは、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」にて規定されているクラス1，2，3に属する構築物，系統及び機器（以下「安全重要度クラス1，2，3に属する構築物，系統及び機器」という。）を指していることから、選定した各外部事象に対して防護する安全施設は、安全重要度クラス1，2，3に属する構築物，系統及び機器とする。

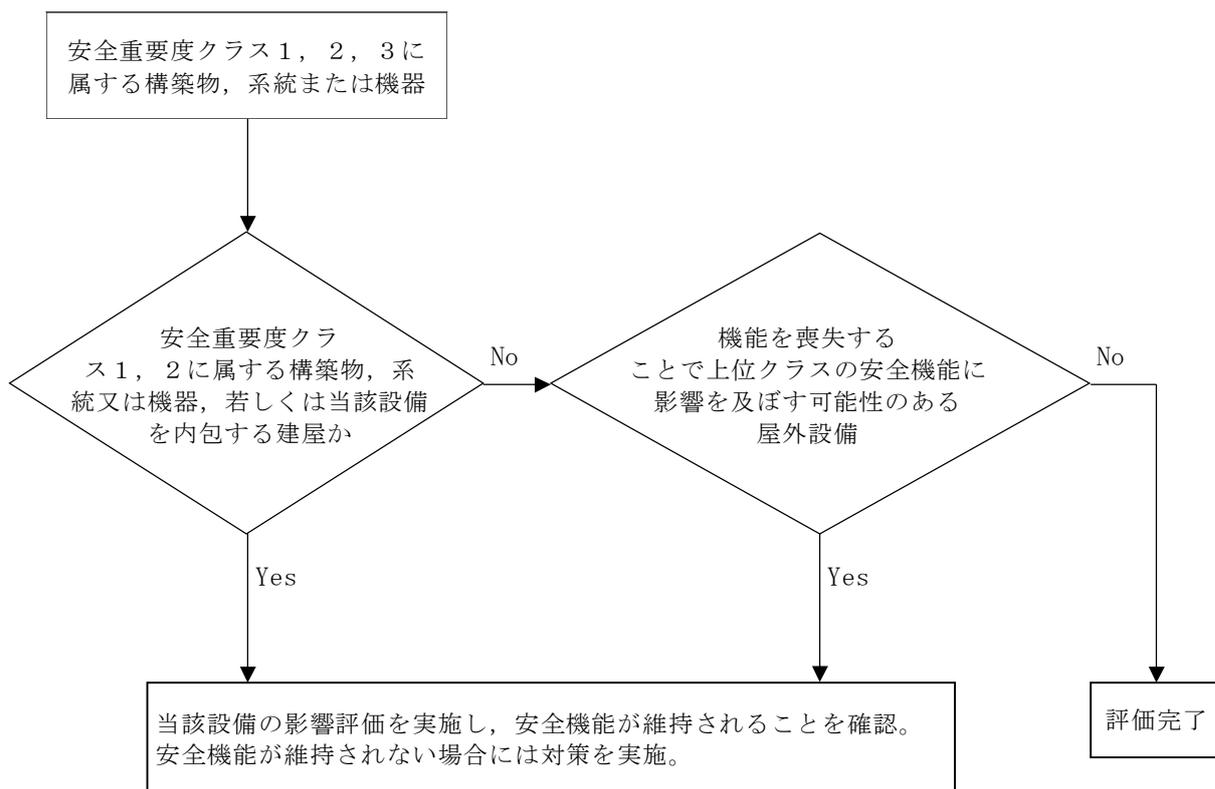
また、影響評価については、安全重要度クラス1，2に属する構築物，系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備を評価し、安全機能が維持できることを確認する。また、安全機能が維持されない場合には対策を実施する。

その他の安全重要度クラス3に属する構築物，系統及び機器については、各外部事象に対して機能維持する，又は、各外部事象による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能な場合、安全機能が維持可能であることから影響評価の対象外とする。

外部事象による安全施設への評価フローは第2-1図のとおり。

自然現象の重畳については、網羅的に組み合わせて評価する。

なお、安全施設への考慮における、根拠となる条文等については、「添付資料1．防護すべき安全施設及び重大事故等対処設備への考慮」のとおり。



第2-1図 外部事象による安全施設への評価フロー

3. 地震，津波以外の自然現象

東海第二発電所の自然環境を基に，想定される自然現象については，「1. 設計上考慮する外部事象の抽出」により選定しており，選定した事象に対する設計方針及び評価を以下に記載する。

なお，上記の想定される自然現象の設計方針に対しては，安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備への措置を含めることとし，措置が必要な場合は各事象において整理する。

3.1 設計基準の設定

設計基準について，以下に挙げる①及び②を参照し，設定する。ただし，以下①及び②にて設計が行えないものについては，当該事象が発生した場合の安全施設への影響シナリオを検討の上，個別に設計基準の設定を行う。

（例：火山については，上記考え方に基づく設計は困難なため，個別に考慮すべき事象の特定を実施し設計する。）

①規格・基準類に基づく設定

選定した自然現象に関する規格・基準類が存在する場合，それに基づき設計基準を設定する。

②観測記録に基づく設定

東海第二発電所及びその周辺における観測記録を調査の上，極値（観測史上1位）に基づき設計基準を設定する。

3.2 個別評価

(1) 洪水

平成 21 年 11 月 17 日付け平成 20・12・24 原第 3 号をもって設置変更許可を受けた設計方針に同じ。

東海第二発電所敷地の北側に久慈川が位置している。発電所敷地の東側は太平洋に面している。発電所敷地の西側は北から南にかけて標高 3～21m の平野となっている。発電所敷地の南側は丘陵地を挟んだ反対側に新川が位置している。久慈川水系がおおむね 100 年に 1 回程度起こる大雨^{※1}により氾濫するとしても、洪水ハザードマップ^{※2} 及び浸水想定区域図^{※3}によると、東海第二発電所に影響が及ばないこと、及び新川の浸水は丘陵地を遡上しないことから、洪水による影響はないことを確認した。

なお、評価結果の詳細は「添付資料 2. 洪水影響評価について」のとおり。

※1 久慈川水系の洪水防御に関する計画の基本となる降雨量

久慈川流域の上流 2 日間の総雨量 235mm

里川流域の 2 日間の総雨量 302mm

山田川流域の上流 2 日間の総雨量 315mm

※2 東海村発行

※3 国土交通省関東地方整備局発行

(2) 風（台風）

平成 21 年 11 月 17 日付け平成 20・12・24 原第 3 号をもって設置変更許可を受けた設計方針に同じ。

建築基準法及び同施行令第 87 条第 2 項及び第 4 項に基づく建設省告示第 1454 号によると、東海村において建築物を設計する際に要求される基準風速は 30m/s（地上高 10m, 10 分間平均）である。

設計基準としての風速は、建築基準法施行令にて定められた東海村の基準風速である 30m/s（地上高 10m, 10 分間平均）とする。

なお、最大瞬間風速等の風速変動といった局所的かつ一時的な影響であれば、竜巻の最大瞬間風速の影響に包絡されるが、本号では風（台風）の影響範囲、継続性を鑑み、風（台風）に対して設計基準としての風速を設定する。

設計基準としての風速の設定に当たっては、最大風速を採用することにより、その風速の 1.5～2 倍程度の最大瞬間風速^{*}を考慮することになること、現行の建築基準法では最大瞬間風速等の風速変動による影響を考慮した係数を最大風速に乘じ風荷重を算出することが定められていることから、設計基準としての風速としては最大風速を設定する。

観測記録（気象庁の気象統計情報における観測記録。以下、本資料で同じ。）によると、水戸市の風速の観測記録史上 1 位の最大風速は 28.3m/s であり、また、最大瞬間風速は 44.2m/s である。

安全重要度クラス 1, 2 に属する構築物, 系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋, 機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は, 設計基準としての風速に対する風荷重が作用した場合においても, 安全機能を損なうことのない設計とする。

その他の安全重要度クラス 3 に属する構築物, 系統及び機器は, 風（台

風) に対して機能維持する, 若しくは, 風 (台風) による損傷を考慮して, 代替設備により必要な機能を確保すること, 安全上支障のない期間での修復等の対応, 又は, それらを適切に組み合わせた設計とする。

また, 風 (台風) の発生に伴う飛来物の影響は, 竜巻影響評価にて想定している設計飛来物の影響に包絡されており, 安全機能を損なうおそれはない。

なお, 評価結果の詳細は「添付資料 3. 風 (台風) 影響評価について」のとおり。

※: 気象庁 HP (風の強さと吹き方):

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownow/yougo_hp/kazehyo.html

(3) 竜巻 六条 (竜巻) において説明

設置許可基準規則を参照し, 新たに設計方針を追加した事象である。

竜巻に対する規格基準は, 国内では策定されていない。

観測記録によると, 竜巻検討地域の最大竜巻規模は F3 (風速 70~92m/s) である。

観測記録の統計処理による年超過確率によれば, 東海第二発電所における 10^{-5} /年値は風速 80m/s である。

設計竜巻の最大風速は, これらのうち最も保守的な値である F3 の風速範囲の上限値 92m/s を安全側に切り上げた, 最大風速 100m/s とする。

竜巻特性値 (移動速度, 最大接線風速, 最大接線風速半径, 最大気圧低下量, 最大気圧低下率) については, 「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に示される方法に基づき, 設計竜巻の最大風速 100m/s での竜巻特性値を適切に設定する。

安全重要度クラス 1, 2 に属する構築物, 系統及び機器若しくはそれら

を内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は，以下を実施し，最大風速 100m/s の竜巻が発生した場合においても，竜巻及びその随件事象によって安全機能を損なうことのない設計とする。

- ・ 東海第二発電所における飛来物に係る調査
- ・ 飛来物防止対策
- ・ 考慮すべき設計荷重（風圧力による荷重，気圧差による荷重，飛来物による衝撃及びその他組合せ荷重）に対する外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の構造健全性等の評価を行い，必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることの確認

その他の安全重要度クラス3に属する構築物，系統及び機器は，竜巻及びその随件事象に対して機能維持する，若しくは，竜巻及びその随件事象による損傷を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること，安全上支障のない期間での修復等の対応，又は，それらを適切に組み合わせた設計とする。

なお，詳細評価については，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成25年6月19日原規技発第13061911号 原子力規制委員会決定）」に基づく審査資料「東海第二発電所 竜巻影響評価について」のとおり。

(4) 凍結

平成21年11月17日付け平成20・12・24原第3号をもって設置変更許可を受けた設計方針に同じ。

低温に対する法令及び規格・基準の要求はない。

観測記録によると，水戸市の気温の観測記録史上1位の最低気温は-12.7℃である。

安全重要度クラス 1, 2 に属する構築物, 系統及び機器は, 屋内設備については換気空調設備により環境温度を維持し, 屋外設備については保温等の凍結防止対策を必要に応じて行うことにより, 安全機能を損なうことのない設計とする。

その他の安全重要度クラス 3 に属する構築物, 系統及び機器は, 低温に対して機能維持をする, 若しくは, 低温による凍結を考慮して, 代替設備により必要な機能を確保すること, 安全上支障のない期間での修復等の対応, 又は, それらを適切に組み合わせた設計とする。

なお, 評価結果の詳細は「添付資料 4. 低温影響評価について」のとおり。

(5) 降水

設置許可基準規則を参照し, 想定される自然現象として抽出した事象であり, 以下の設計方針を定めている。

降水に対する排水施設の規格・基準として, 森林法に基づく林地開発許可に関する審査基準等を示した「森林法に基づく林地開発許可の手びき」(平成 28 年 4 月茨城県)においては, 東海村が適用範囲となる「水戸」における 10 年確率で想定される雨量強度は 127.5mm/h である。

観測記録によると, 水戸市の降水の観測記録史上 1 位の最大 1 時間降水量は 81.7mm/h である。

設計基準としての降水量は, 東海村が適用範囲である「森林法に基づく林地開発許可の手びき」(平成 28 年 4 月茨城県)による水戸の雨量強度 127.5mm/h とする。

なお, 降水に関連して発生する可能性がある自然事象としては, 土砂崩れ及び土石流が考えられるが, 発電所敷地内に急傾斜地崩壊危険箇所や土

石流危険溪流はないこと、敷地外においても土砂崩れ及び土石流危険区域は発電所から十分離れていることから、安全施設の安全機能に影響を与えるおそれはない。

安全重要度クラス 1, 2 に属する構築物, 系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋, 機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備の設置場所は, 設計基準としての降水量による浸水に対し, 構内排水路による排水等により, 安全機能を損なうことのない設計とする。

安全重要度クラス 1, 2 に属する構築物, 系統及び機器を内包する建屋については, 設計基準としての降水量の荷重に対し排水口による排水等により影響を受けない設計とし, 安全機能を損なうことのない設計とする。

その他の安全重要度クラス 3 に属する構築物, 系統及び機器は, 降水に対して機能維持する, 若しくは, 降水による損傷を考慮して, 代替設備により必要な機能を確保すること, 安全上支障のない期間での修復等の対応, 又は, それらを適切に組み合わせた設計とする。

なお, 評価結果の詳細は「添付資料 5. 降水影響評価について」のとおり。

(6) 積雪

平成 21 年 11 月 17 日付け平成 20・12・24 原第 3 号をもって設置変更許可を受けた設計方針に同じ。

建築基準法及び同施行令第 86 条第 3 項に基づく茨城県建築基準法施行細則によると, 建築物を設計する際に要求される基準積雪深は, 東海村においては 30cm である。

設計基準としての積雪深は, 建築基準法施行令にて定められた東海村の

基準積雪深である 30cm とする。

観測記録によると、水戸市の積雪の観測記録史上 1 位の月最深積雪は 32cm である。

安全重要度クラス 1，2 に属する構築物，系統及び機器及びそれらを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は，設定した設計基準積雪量による荷重又は給排気口の閉塞によって安全機能が損なうことのない設計とする。

なお，設計値（30cm）を上回るような積雪事象は，気象予報により事前に予測が可能であり，進展も緩やかであるため，建屋屋上等の除雪を行うことで積雪荷重の低減が可能である。

その他の安全重要度クラス 3 に属する構築物，系統及び機器は，積雪に対して機能維持する，若しくは，積雪による損傷を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること，安全上支障のない期間での修復等の対応，又は，それらを適切に組み合わせた設計とする。

なお，評価結果の詳細は「添付資料 6．積雪影響評価について」のとおり。

(7) 落雷

平成 21 年 11 月 17 日付け平成 20・12・24 原第 3 号をもって設置変更許可を受けた設計方針に同じ。

電気技術指針 J E A G 4608（2007）においては，275kV 発電所における送電線並びに電力設備に対して基準電流を 100kA としている。また，日本工業規格 J I S A 4201:2003「建築物等の雷保護」，消防庁通知などによると，原子力発電所の危険物施設に対して基準電流 150kA と規定されている。

全国雷観測ネットワーク（JLDN）により観測された落雷データによると、東海第二発電所を中心とした標的面積 4km^2 の範囲の雷撃密度は 1.71 回／年・ km であり、また、観測記録の統計処理による年超過確率 10^{-4} ／年値によると、最大落雷電流値は 220kA である。

よって、落雷の基準電流値は保守的に、観測記録の統計処理による 220kA とする。

安全重要度クラス 1，2 に属する構築物，系統及び機器，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は，雷害防止対策として，原子炉建屋等への避雷針の設置，接地網の布設による接地抵抗の低減等を行うとともに，安全保護系への雷サージ侵入の抑制を図る回路設計を行い，安全機能を損なうことのない設計とする。

その他の安全重要度クラス 3 に属する構築物，系統及び機器は，落雷に対して機能維持する，若しくは，落雷による損傷を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること，安全上支障のない期間での修復等の対応，又は，それらを適切に組み合わせた設計とする。

なお，評価結果の詳細は「添付資料 7．落雷影響評価について」のとおり。

(8) 地滑り

平成 21 年 11 月 17 日付け平成 20・12・24 原第 3 号をもって設置変更許可を受けた設計方針に同じ。

土砂災害危険箇所図^{*1} 及び地すべり地形分布図^{*2} 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ことから，地滑りにより安全機能を損なうことはない。

なお，評価結果の詳細は「添付資料 8．地滑り影響評価について」のと

おり。

※1 茨城県 土木部 河川課 発行

※2 独立行政法人防災科学技術研究所発行

(9) 火山の影響 六条（火山）において説明

設置許可基準規則を参照し、新たに設計方針を追加した事象である。

発電所に対して考慮すべき火山事象は、敷地の地理的領域に位置する第四紀火山の活動時期や噴出物の種類と分布、敷地との位置関係から、降下火砕物（火山灰）以外にない。

文献調査、地質調査及び降下火砕物シミュレーション解析の結果を踏まえ、降下火砕物の層厚を 50cm、密度を $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ （湿潤状態）、粒径を最大 8mm と評価した。

荷重については、層厚 50cm の湿潤状態の降下火砕物の荷重と積雪の荷重及び風荷重を適切に組み合わせる。

安全重要度クラス 1，2 に属する構築物，系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は，設定した降下火砕物の堆積量等に対し，以下の影響について，安全機能を損なうことのない設計とする。

- ・直接的影響（降下火砕物の堆積荷重，化学的影響（腐食），降下火砕物による閉塞等）
- ・間接的影響（長期間の外部電源の喪失等）

その他の安全重要度クラス 3 に属する構築物，系統及び機器は，降下火砕物に対して機能維持する，若しくは，降下火砕物による損傷を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること，安全上支障のない期間での修復等の対応，又は，それらを適切に組み合わせた設計とする。

なお、詳細評価については、「原子力発電所の火山影響評価ガイド（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）」に基づく審査資料「東海第二発電所 火山影響評価について」のとおり。

(10) 生物学的事象

設置許可基準規則を参照し、想定される自然現象として抽出した事象であり、以下の設計方針を定めている。

安全重要度クラス 1，2 に属する構築物，系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は，生物学的事象として海生生物の襲来，小動物の侵入に対し，その安全機能を損なうことのない設計とする。

海生生物の襲来に対しては，塵芥による残留熱除去系海水系等への影響を防止するため，除塵装置及び海水ストレーナを設置し，必要に応じて塵芥を除去することにより，安全機能を損なうことのない設計とする。

小動物の侵入に対しては，屋内設備は建屋止水処置等により，屋外設備は端子箱貫通部のシールを行うことにより，安全機能を損なうことのない設計とする。

その他の安全重要度クラス 3 に属する構築物，系統及び機器は，生物学的事象に対して機能維持する，若しくは，生物学的事象による損傷を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること，安全上支障のない期間での修復等の対応，又は，それらを適切に組み合わせた設計とする。

なお，評価結果の詳細は「添付資料 9．生物学的事象に対する考慮について」のとおり。

(11) 森林火災 六条（外部火災）において説明

設置許可基準規則を参照し、新たに設計方針を追加した事象である。

安全重要度クラス1, 2に属する構築物, 系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋, 機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は防火帯(評価上必要とされる防火帯幅 21.4m)に対し, 森林火災の延焼を防止するために, 23mの防火帯を設定)の内側に配置し, 飛び火及び熱影響によって原子炉建屋外壁面の許容温度 200℃, 排気筒鉄塔の許容温度 325℃, 非常用ディーゼル発電機機関給気系フィルタへの流入空気の許容温度 53℃を下回り, その安全機能を損なうことのない設計とする。

その他の安全重要度クラス3に属する構築物, 系統及び機器は, 防火帯の内側に配置し機能維持する, 若しくは, 森林火災による損傷を考慮して, 代替設備により必要な機能を確保すること, 安全上支障のない期間での修復等の対応, 又は, それらを適切に組み合わせた設計とする。

火災により発生した, ばい煙等が建屋内に流入するおそれがある場合には, 換気空調系の外気取入ダンパを閉止し, 影響を防止可能である。

なお, 詳細評価については, 「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド(平成25年6月19日原規技発第13061912号 原子力規制委員会決定)」に基づく審査資料「東海第二発電所 外部火災影響評価について」のとおり。

(12) 高潮

平成21年11月17日付け平成20・12・24原第3号をもって設置変更許可を受けた設計方針に同じ。

東海第二発電所の最寄りの港湾である北方約3kmの茨城港日立港区で観測された潮位は, 最高潮位が T.P. (東京湾中等潮位) +1.46m (1958年9

月 27 日), 朔望平均満潮位が T.P. +0.61m である。

安全施設は, 高潮の影響を受けない敷地高さ (T.P. +3.3m) 以上に設置し, 安全機能を損なうことのない設計とする。

4. 外部人為事象

東海第二発電所の敷地及び敷地周辺の状況を基に、設計基準において想定される外部人為事象については、「1. 設計上考慮する外部事象の抽出」により選定しており、選定した事象に対する設計方針を以下に記載する。

4.1 個別評価

(1) 飛来物（航空機落下等）

平成 21 年 11 月 17 日付け平成 20・12・24 原第 3 号をもって設置変更許可を受けた設計方針に同じ。

原子炉施設への航空機の落下確率は、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成 21・06・25 原院第 1 号）等に基づき評価した結果、約 8.6×10^{-8} 回/炉・年であり、防護設計の要否を判断する基準である 10^{-7} 回/炉・年を超えないため、航空機落下による防護については考慮する必要はない。

なお、評価結果の詳細は「添付資料 10. 航空機落下確率評価について」のとおり。

(2) ダムの崩壊

平成 21 年 11 月 17 日付け平成 20・12・24 原第 3 号をもって設置変更許可を受けた設計方針に同じ。

東海第二発電所周辺には、発電所敷地の北側に久慈川が位置しており、その支川である山田川の上流約 30km にダムが存在する。久慈川は敷地の北方を太平洋に向かい東進していること、発電所敷地の西側は北から南にかけては標高 3～21m の上り勾配となっていることから、発電所敷地がダムの崩壊により影響を受けることはない。

なお、評価結果の詳細は「添付資料 11. ダムの崩壊影響評価について」のとおり。

(3) 爆発 六条（外部火災）において説明

平成 21 年 11 月 17 日付け平成 20・12・24 原第 3 号をもって設置変更許可を受けた設計方針に同じ。

大きな爆発が発生するおそれがある施設としては、石油コンビナート等が想定される。石油コンビナート等とは、石油コンビナート等災害防止法で規制される特別防災区域内の特定事業所及びコンビナート等保安規則で規制される特定製造事業所が想定されるが、いずれの施設についても発電所から約 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。

発電所周辺に存在する LNG 基地（敷地北方約 1.5km）、発電所周辺の道路を通行する燃料輸送車両、発電所周辺を航行する燃料輸送船舶及び発電所内の高圧ガスタンクによる爆発から、人体に影響がないと想定される爆風圧（10kPa）以下となる危険限界距離に対して、離隔距離が確保されている。

なお、詳細評価については、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原規技発第 13061912 号 原子力規制委員会決定）」に基づく審査資料「東海第二発電所 外部火災影響評価について」のとおり。

(4) 近隣工場等の火災 六条（外部火災）において説明

設置許可基準規則を参照し、想定される外部人為事象として新たに抽出した事象である。

発電所近隣の工場で火災により影響があると考えられるものは無い。

発電所周辺の道路を通行する燃料輸送車両，発電所に入港する船舶，発電所周辺を航行する燃料輸送船舶による火災から，原子炉建屋外壁面が許容温度（200℃）以下となる危険距離に対して，離隔距離が確保されている。

発電所内の危険物貯蔵タンク及び航空機墜落による火災を想定しても，近傍に設置されている原子炉建屋外壁面の許容温度 200℃，排気筒鉄塔の許容温度 325℃，非常用ディーゼル発電機機関給気系フィルタへの流入空気の許容温度 53℃を下回ることを確認した。

火災により発生した，ばい煙等が建屋内に流入するおそれがある場合には，換気空調系の外気取入ダンパを閉止し，影響を防止可能である。

なお，詳細評価については，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原規技発第 13061912 号 原子力規制委員会決定）」に基づく審査資料「東海第二発電所 外部火災影響評価について」のとおり。

(5) 有毒ガス

設置許可基準規則を参照し，想定される外部人為事象として新たに抽出した事象である。

有毒ガスの漏えいについては固定施設（石油コンビナート等）と可動施設（陸上輸送，海上輸送）からの流出が考えられる。発電所周辺には周辺監視区域が設定されており，近隣の施設や周辺道路等との間には離隔距離が確保されていることから，有毒ガスの漏えいを想定した場合でも，中央制御室の居住性が損なわれることはない。

発電所敷地内に貯蔵している化学物質については，貯蔵設備からの漏え

いを想定した場合でも、中央制御室の居住性が損なわれることはない。また、窒息性を有するガスである液体窒素が漏えいを想定した場合でも、中央制御室の居住性が損なわれることはない。

また、中央制御室の空調系統については、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転を行うことにより中央制御室の居住性が損なわれることはない。

なお、評価結果の詳細については、「添付資料 12. 有毒ガス影響評価について」のとおり。

(6) 船舶の衝突

設置許可基準規則を参照し、想定される外部人為事象として新たに抽出した事象である。

発電所周辺の海上交通としては、発電所の北方約 3km に茨城港日立港区、南方約 6km に茨城港常陸那珂港区、南方約 18km に茨城港大洗港区があり、それぞれ日立－鉏路間、常陸那珂－苫小牧間、常陸那珂－北九州間、大洗－苫小牧間等の定期航路がある。最も距離の近い航路でも発電所より約 1.4km の離隔距離があり、航路を通行する船舶が港湾内に侵入する可能性は低い。

港湾内に入港する燃料輸送船等（全長約 100m×全幅約 16.5m、満水時の喫水約 5.5m）の事故が港湾内で発生した場合でも、取水口前面のカーテンウォールにより阻害されること、取水口は呑み口が広い（幅約 42m）ため、取水機能が損なわれることはない。

小型船舶（漁船等、全長約 20m×全幅約 5m、満水時の喫水約 2m）が発電所近傍で漂流した場合でも、敷地前面の防波堤等に衝突して止まること、また、万が一防波堤を通過しても、取水口は呑み口が広いいため、取水機能

が損なわれることはない。

船舶の座礁により、重油流出事故が発生した場合は、オイルフェンスを設置する措置を講じる。

なお、評価結果の詳細は「添付資料 13. 船舶の衝突影響評価について」のとおり。

(7) 電磁的障害

設置許可基準規則を参照し、想定される外部人為事象として新たに抽出した事象である。

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、鋼製管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いる。

したがって、電磁的障害により安全施設の安全機能を損なうことはない。

なお、評価結果の詳細は「添付資料 14. 安全保護回路の主な電磁波、サージ・ノイズ対策について」のとおり。

5. 自然現象，外部人為事象に対する安全施設への影響評価

東海第二発電所で考慮する自然現象及び外部人為事象に対して，安全施設の受ける影響評価を第 5-1 表に示す。

なお，洪水，地滑り，高潮の自然現象，並びに飛来物（航空機落下等），ダムの崩壊，有毒ガス，船舶の衝突の外部人為事象に関しては，東海第二発電所の施設への影響がないことから，第 5-1 表から除外している。

第5-1表 外部事象による安全施設への影響（1/8）

分類	安全機能の重要度分類			設備 設置 場所	自然現象														外部人為事象													
	機能	構築物、系統又は機器	評価 確認結果		風（台風）		竜巻		凍結（低温）		降水		積雪		落雷		火山		生物学的事象		森林火災		爆発		近隣工場等の火災		電磁的障害					
					評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果				
PS-1	原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系（計装等の小口径配管・機器は除く）	原子炉圧力容器	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
		原子炉再循環ポンプ	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
		配管、弁	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
		隔離弁	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
		制御棒駆動機構ハウジング	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
	過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	制御棒カップリング	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			制御棒駆動機構カップリング	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	炉心形状の維持機能	炉心支持構造物（炉心シュラウド、シュラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、制御棒案内管）、燃料集合体（ただし、燃料を除く。）	炉心シュラウド	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			シュラウドサポート	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			上部格子板	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			炉心支持板	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
燃料支持金具			C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
制御棒案内管			C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
制御棒駆動機構ハウジング			C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
燃料集合体（上部タイプレート）			C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
燃料集合体（下部タイプレート）			C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
MS-1	原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系（制御棒及び制御棒駆動系（スクラム機能））	制御棒	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
			制御棒案内管	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			制御棒駆動機構	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	未臨界維持機能	原子炉停止系（制御棒による系、ほう酸水注入系）	制御棒	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			制御棒カップリング	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			制御棒駆動機構カップリング	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			ほう酸水注入系（ほう酸水注入ポンプ、注入弁、タンク出口弁、ほう酸水貯蔵タンク、ポンプ吸込配管及び弁、注入配管及び弁）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁（安全弁としての開機能）	逃がし安全弁（安全弁開機能）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統（残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード）、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心スプレイ系、逃がし安全弁（手動逃がし機能）、自動減圧系（手動逃がし機能））	残留熱除去系（ポンプ、熱交換器、原子炉停止時冷却モードのルートとなる配管、弁）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			原子炉隔離時冷却系（ポンプ、サブプレッション・プール、タービン、サブプレッション・プールから注水先までの配管、弁）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			高圧炉心スプレイ系（ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからスプレイ先までの配管、弁、スプレイヘッド）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影

○：各外部事象に対し安全機能を維持できる。
又は各外部事象による損傷を考慮して、代替設備による機能続行や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能

C/S：原子炉建屋（原子炉棟、附属棟、廃棄物処理棟）
T/B：タービン建屋
D/Y：固体廃棄物貯蔵庫
S/Y：屋内開閉所
NR/W：廃棄物処理建屋
D/C：使用済燃料乾式貯蔵建屋

荷：荷重による影響なし
水：浸水による影響なし
飛：竜巻飛来物による影響なし
爆：爆発飛来物による影響なし
灰：火山灰による影響なし
熱：輻射熱による影響なし
煙：ばい煙による影響なし
取：フィルタ取替等
代：代替設備（設備名）
補：補修の実施（必要に応じプラント停止）

影：対象となる構築物、系統又は機器に影響を及ぼす影響モードがない
防：事象に見合った防護対策を実施（例：飛来物からの防護、雷害対策等）
内：建屋内（地下敷設の場合も含む）により影響なし

第5-1表 外部事象による安全施設への影響（2/8）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	自然現象																外部人為事象									
	機能	構築物、系統又は機器			風（台風）		竜巻		凍結（低温）		降水		積雪		落雷		火山		生物学的事象		森林火災		爆発		近隣工場等の火災		電磁的障害			
					評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果		
MS-1	原子炉停止後の除熱機能（つづき）	残留熱を除去する系統（残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード）、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心スプレィ系、逃がし安全弁（手動逃がし機能）、自動減圧系（手動逃がし機能）（つづき）	逃がし安全弁（手動逃がし機能）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
			自動減圧系（手動逃がし機能）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	炉心冷却機能	非常用炉心冷却系（低圧炉心スプレィ系、低圧注水系、高圧炉心スプレィ系、自動減圧系）	低圧炉心スプレィ系（ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからスプレィ先までの配管、弁、スプレィヘッド）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
			残留熱除去系（低圧注水モード）（ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールから注水先までの配管、弁（熱交換器バイパスライン含む）、注水ヘッド）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
			高圧炉心スプレィ系（ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからスプレィ先までの配管、弁、スプレィヘッド）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
		自動減圧系（逃がし安全弁）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影			
MS-1	放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮蔽及び放出低減機能	原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレィ冷却系、原子炉建屋、非常用ガス処理系、非常用再循環ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	格納容器（格納容器本体、貫通部、所員用エアロック、機器搬入ハッチ）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
			原子炉建屋原子炉棟	屋外	○	荷	○	荷、飛、補※1	○	影	○	水、荷	○	荷	○	影	○	荷	○	影	○	熱	○	爆	○	熱	○	影		
			格納容器隔離弁及び格納容器バウンダリ配管	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			主蒸気流量制限器	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			残留熱除去系（格納容器スプレィ冷却モード）（ポンプ、熱交換器、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからスプレィ先（ドライウエル及びサブプレッション・プール気相部）までの配管、弁、スプレィヘッド（ドライウエル及びサブプレッション・プール）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影

○：各外部事象に対し安全機能を維持できる。
又は各外部事象による損傷を考慮して、代替設備による機能続行や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能

荷：荷重による影響なし
水：浸水による影響なし
飛：竜巻飛来物による影響なし
爆：爆発飛来物による影響なし
灰：火山灰による影響なし
熱：輻射熱による影響なし
煙：ばい煙による影響なし
取：フィルタ取替等
代：代替設備（設備名）
補：補修の実施（必要に応じプラント停止）

影：対象となる構築物、系統又は機器に影響を及ぼす影響モードがない
防：事象に見合った防護対策を実施（例：飛来物からの防護、雷害対策等）
内：建屋内（地下敷設の場合も含む）により影響なし

C/S：原子炉建屋（原子炉棟、附属棟、廃棄物処理棟）
T/B：タービン建屋 NR/W：廃棄物処理建屋
D/Y：固体廃棄物貯蔵庫 D/C：使用済燃料乾式貯蔵建屋
S/Y：屋内開閉所

※1：ブローアウトパネルが開放した場合（ブローアウトパネルは常時閉）

第5-1表 外部事象による安全施設への影響 (3/8)

分類	安全機能の重要度分類			自然現象																外部人為事象									
	機能	構築物、系統又は機器	設備設置場所	風(台風)		竜巻		凍結(低温)		降水		積雪		落雷		火山		生物学的事象		森林火災		爆発		近隣工場等の火災		電磁的障害			
				評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果		
MS-1	放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮蔽及び放出低減機能(つづき)	原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレイ冷却系、原子炉建屋、非常用ガス処理系、非常用再循環ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系(つづき)	原子炉建屋ガス処理系(乾燥装置、排風機、フィルタ装置、原子炉建屋原子炉棟吸込口から排気筒頂部までの配管、弁)	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
			可燃性ガス濃度制御系(再結合装置、格納容器から再結合装置までの配管、弁、再結合装置から格納容器までの配管、弁)	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○
		遮蔽設備(原子炉遮蔽壁、一次遮蔽壁、二次遮蔽壁)	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
		原子炉緊急停止の安全保護回路	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	防
工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系	・非常用炉心冷却系作動の安全保護回路	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	防
		・原子炉格納容器隔離の安全保護回路 ・原子炉建屋ガス処理系作動の安全保護回路 ・主蒸気隔離の安全保護回路	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	防
安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系、制御室及びその遮蔽・非常用換気空調系、非常用補機冷却水系、直流電源系(いずれも、MS-1関連のもの)	非常用所内電源系(ディーゼル機関、発電機、発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路)	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	防
		中央制御室及び中央制御室遮蔽	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
		中央制御室換気空調系(放射線防護機能及び有毒ガス防護機能)(非常用再循環送風機、非常用再循環フィルタ装置、空調ユニット、送風機、排風機、ダクト及びダンパ)	屋外	○	荷	○	防	○	影	○	影	○	防	○	影	○	防、取	○	影	○	熱、取	○	爆	○	熱、取	○	影		
		残留熱除去系海水系(ポンプ、熱交換器、配管、弁、ストレーナ(MS-1関連))	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
		屋外	○	荷	○	防	○	防	○	影	○	荷	○	防	○	荷、灰	○	防	○	熱、煙	○	爆	○	熱、煙	○	影			
		ディーゼル発電機海水系(ポンプ、配管、弁、ストレーナ)	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
		屋外	○	荷	○	防	○	防	○	影	○	荷	○	防	○	荷、灰	○	防	○	熱、煙	○	爆	○	熱、煙	○	影			
		直流電源系(蓄電池、蓄電池から非常用負荷までの配電設備及び電路(MS-1関連))	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
計測制御電源系(蓄電池から非常用計測制御装置までの配電設備及び電路(MS-1関連))	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	防		

○：各外部事象に対し安全機能を維持できる。
又は各外部事象による損傷を考慮して、代替設備による機能続行や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能

荷：荷重による影響なし
水：浸水による影響なし
飛：竜巻飛来物による影響なし
爆：爆発飛来物による影響なし
灰：火山灰による影響なし
熱：輻射熱による影響なし
煙：ばい煙による影響なし
取：フィルタ取替等
代：代替設備(設備名)
補：補修の実施(必要に応じプラント停止)
影：対象となる構築物、系統又は機器に影響を及ぼす影響モードがない
防：事象に見合った防護対策を実施(例：飛来物からの防護、雷害対策等)
内：建屋内(地下敷設の場合も含む)により影響なし

C/S：原子炉建屋(原子炉棟、附属棟、廃棄物処理棟)
T/B：タービン建屋 NR/W：廃棄物処理建屋
D/Y：固体廃棄物貯蔵庫 D/C：使用済燃料乾式貯蔵建屋
S/Y：屋内開閉所

第5-1表 外部事象による安全施設への影響（4/8）

分類	安全機能の重要度分類		設備設置場所	自然現象																外部人為事象										
	機能	構築物、系統又は機器		風（台風）		竜巻		凍結（低温）		降水		積雪		落雷		火山		生物学的事象		森林火災		爆発		近隣工場等の火災		電磁的障害				
				評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果			
PS-2	原子炉冷却材を内蔵する機能（ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。）	主蒸気系、原子炉冷却材浄化系（いずれも、格納容器隔離弁の外側のみ）	原子炉冷却材浄化系（原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
		主蒸気系		C/S T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
		原子炉隔離時冷却系タービン蒸気供給ライン（原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分であって外側隔離弁下流からタービン止め弁まで）		C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
	原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	放射性廃棄物処理施設（放射能インベントリの大きいもの）、使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む。）	放射性気体廃棄物処理系（活性炭希ガスホールドアップ装置）		C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
			使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）		C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
			新燃料貯蔵庫（臨界を防止する機能）（新燃料貯蔵ラック）		C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
			使用済燃料乾式貯蔵容器		D/C	○	内	○	内 ^{*1}	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
	燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備	燃料交換機		C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
			原子炉建屋クレーン		C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
			使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン		D/C	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	逃がし安全弁（吹き止まり機能に関連する部分）	逃がし安全弁（吹き止まり機能に関連する部分）		C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
MS-2	燃料プール水の補給機能	非常用補給水系	残留熱除去系（ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールから燃料プールまでの配管、弁）		C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
	放射性物質放出の防止機能	放射性気体廃棄物処理系の隔離弁、排気筒（非常用ガス処理系排気筒の支持機能以外）	放射性気体廃棄物処理系（オフガス系）隔離弁		T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	影			
			排気筒		屋外	○	荷	○	荷、補	○	影	○	影	○	影	○	影	○	影	○	熱	○	爆	○	熱	○	影			
		燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系	燃料プール冷却浄化系の燃料プール入口逆止弁	原子炉建屋原子炉棟		C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
				原子炉建屋ガス処理系		C/S 屋外	○	内 荷	○	内 補	○	内 影	○	内 熱	○	内 爆	○	内 熱	○	内 影										

○：各外部事象に対し安全機能を維持できる。
又は各外部事象による損傷を考慮して、代替設備による機能続行や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能

荷：荷重による影響なし
水：浸水による影響なし
飛：竜巻飛来物による影響なし
爆：爆発飛来物による影響なし
灰：火山灰による影響なし
熱：輻射熱による影響なし
煙：ばい煙による影響なし
取：フィルタ取替等
代：代替設備（設備名）
補：補修の実施（必要に応じプラント停止）

影：対象となる構築物、系統又は機器に影響を及ぼす影響モードがない
防：事象に見合った防護対策を実施（例：飛来物からの防護、雷害対策等）
内：建屋内（地下敷設の場合も含む）により影響なし

C/S：原子炉建屋（原子炉棟、附属棟、廃棄物処理棟）
T/B：タービン建屋 NR/W：廃棄物処理建屋
D/Y：固体廃棄物貯蔵庫 D/C：使用済燃料乾式貯蔵建屋
S/Y：屋内開閉所

※1：使用済燃料乾式貯蔵容器も外殻防護施設としている。
※2：ブローアウトパネルが開放した場合（ブローアウトパネルは常時閉）

第5-1表 外部事象による安全施設への影響 (5/8)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	自然現象																外部人為事象									
	機能	構築物、系統又は機器			風 (台風)		竜巻		凍結 (低温)		降水		積雪		落雷		火山		生物学的事象		森林火災		爆発		近隣工場等の火災		電磁的障害			
					評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果
MS-2	事故時のプラント状態の把握機能	事故時監視計器の一部	・中性子束 (起動領域計装) ・原子炉スクラム用電磁接触器の状態 ・制御棒位置	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	防		
			・原子炉水位 (広帯域, 燃料域) ・原子炉圧力	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	防
			・原子炉格納容器圧力 ・サブプレッション・プール水温度 ・原子炉格納容器エリア放射線量率 (高レンジ)	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	防
			[低温停止への移行] ・原子炉圧力 ・原子炉水位 (広帯域) [ドライウエルスプレイ] ・原子炉水位 (広帯域, 燃料域) ・原子炉格納容器圧力 [サブプレッション・プール冷却] ・原子炉水位 (広帯域, 燃料域) ・サブプレッション・プール水温度 [可燃性ガス濃度制御系起動] ・原子炉格納容器水素濃度 ・原子炉格納容器酸素濃度	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	防
	制御室外からの安全停止機能	制御室外原子炉停止装置 (安全停止に関連するもの)	制御室外原子炉停止装置 (安全停止に関連するもの) の操作回路	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	防		
PS-3	原子炉冷却材保持機能 (PS-1 及び PS-2 以外のもの)	計装配管, 試料採取管	計装配管, 弁	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
			試料採取管, 弁	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
			ドレン配管, 弁	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			ベント配管, 弁	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	原子炉冷却材の循環機能	原子炉再循環系	原子炉再循環ポンプ, 配管, 弁, ライザー管 (炉内), ジェットポンプ	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	放射性物質の貯蔵機能	サブプレッションプール水排水系, 復水貯蔵タンク, 放射性廃棄物処理施設 (放射能インベントリの小さいもの)	復水貯蔵タンク	屋外	○	補	○	補	○	防	○	影	○	補	○	影	○	補	○	影	○	熱	○	爆	○	熱	○	影		
			液体廃棄物処理系 (低電導度廃液収集槽, 高電導度廃液収集槽)	C/S NR/W	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
固体廃棄物処理系 (CUW粉末樹脂沈降分離槽, 使用済樹脂槽, 濃縮廃液タンク, 固体廃棄物貯蔵庫 (ドラム缶))			C/S D/Y	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	

○ : 各外部事象に対し安全機能を維持できる。
又は各外部事象による損傷を考慮して, 代替設備による機能続行や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能

荷 : 荷重による影響なし
水 : 浸水による影響なし
飛 : 竜巻飛来物による影響なし
爆 : 爆発飛来物による影響なし
灰 : 火山灰による影響なし
熱 : 輻射熱による影響なし
煙 : ばい煙による影響なし
取 : フィルタ取替等
代 : 代替設備 (設備名)
補 : 補修の実施 (必要に応じプラント停止)
影 : 対象となる構築物, 系統又は機器に影響を及ぼす影響モードがない
防 : 事象に見合った防護対策を実施 (例 : 飛来物からの防護, 雷害対策等)
内 : 建屋内 (地下敷設の場合も含む) により影響なし

C/S : 原子炉建屋 (原子炉棟, 附属棟, 廃棄物処理棟)
T/B : タービン建屋
D/Y : 固体廃棄物貯蔵庫
S/Y : 屋内開閉所
NR/W : 廃棄物処理建屋
D/C : 使用済燃料乾式貯蔵建屋

第5-1表 外部事象による安全施設への影響(6/8)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	自然現象																外部人為事象								
	機能	構築物、系統又は機器			風(台風)		竜巻		凍結(低温)		降水		積雪		落雷		火山		生物学的事象		森林火災		爆発		近隣工場等の火災		電磁的障害		
					評価	確認結果																							
PS-3	放射性物質の貯蔵機能(つづき)	サブプレッションプール排水系、復水貯蔵タンク、放射性廃棄物処理施設(放射性インベントリの小さいもの)(つづき)	新燃料貯蔵庫(新燃料貯蔵ラック)	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
			給水加熱器保管庫	屋外	○	補	○	補	○	影	○	水補	○	補	○	影	○	補	○	影	○	熱	○	爆	○	熱	○	影	
			セメント混練固化装置及び雑固体減容処理設備(液体及び固体の放射性廃棄物処理系)	NR/W	○	内	○	補	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	影	
電源供給機能(非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系(復水器を含む)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	発電機及びその励磁装置(発電機、励磁機)	T/B	○	内	○	補	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	影		
		蒸気タービン(主タービン、主要弁、配管)	T/B	○	内	○	補	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	影		
		復水系(復水器を含む)(復水器、復水ポンプ、配管/弁)	T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
		給水系(電動駆動給水ポンプ、タービン駆動給水ポンプ、給水加熱器、配管/弁)	T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	影		
		循環水系(循環水ポンプ、配管/弁)	T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
		常用所内電源系(発電機又は外部電源系から所内負荷までの配電設備及び電路(MS-1関連以外))	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
		直流電源系(蓄電池、蓄電池から常用負荷までの配電設備及び電路(MS-1関連以外))	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
		計測制御電源系(電源装置から常用計測制御装置までの配電設備及び電路(MS-1関連以外))	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
		送電線	屋外	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	影	○	代(非常用ディーゼル発電機)								
		変圧器(所内変圧器、起動変圧器、予備変圧器、電路)	屋外	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)
開閉所(母線、遮断器、断路器、電路)	S/Y 屋外	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)	○	代(非常用ディーゼル発電機)		

○：各外部事象に対し安全機能を維持できる。
又は各外部事象による損傷を考慮して、代替設備による機能続行や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能

荷：荷重による影響なし
水：浸水による影響なし
飛：竜巻飛来物による影響なし
爆：爆発飛来物による影響なし
灰：火山灰による影響なし
熱：輻射熱による影響なし
煙：ばい煙による影響なし
取：フィルタ取替等
代：代替設備(設備名)
補：補修の実施(必要に応じプラント停止)
影：対象となる構築物、系統又は機器に影響を及ぼす影響モードがない
防：事象に見合った防護対策を実施(例：飛来物からの防護、雷害対策等)
内：建屋内(地下敷設の場合も含む)により影響なし

C/S：原子炉建屋(原子炉棟、附属棟、廃棄物処理棟)
T/B：タービン建屋
D/Y：固体廃棄物貯蔵庫
S/Y：屋内開閉所
NR/W：廃棄物処理建屋
D/C：使用済燃料乾式貯蔵建屋

第5-1表 外部事象による安全施設への影響（7/8）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	自然現象																外部人為事象									
	機能	構築物、系統又は機器			風（台風）		竜巻		凍結（低温）		降水		積雪		落雷		火山		生物学的事象		森林火災		爆発		近隣工場等の火災		電磁的障害			
					評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果		
PS-3	プラント計測・制御機能（安全保護機能を除く。）	原子炉制御系（制御棒価値ミニマイザを含む。）、原子炉核計装、原子炉プロセス計装	・原子炉制御系（制御棒価値ミニマイザを含む） ・原子炉核計装 ・原子炉プラントプロセス計装	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
	プラント運転補助機能	所内ボイラ、計装用圧縮空気系	補助ボイラ設備（補助ボイラ、給水タンク、給水ポンプ、配管/弁）	T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
			所内蒸気系及び戻り系（ポンプ、配管/弁）	T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
			計装用圧縮空気設備（空気圧縮機、中間冷却器、配管/弁）	T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
			原子炉補機冷却水系（原子炉補機冷却ポンプ、熱交換器、配管/弁）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
				T/B	○	補	○	補	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	内	○	内	○	影
			タービン補機冷却水系（タービン補機冷却ポンプ、熱交換器、配管/弁）	T/B	○	補	○	補	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	内	○	内	○	影
			タービン補機冷却海水系（補機冷却海水ポンプ、配管/弁、ストレーナ）	屋外	○	補	○	補	○	防	○	影	○	補	○	防	○	補	○	防	○	熱煙	○	爆	○	補煙	○	内	○	影
		T/B	○	補	○	補	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	内	○	内	○	影		
	核分裂生成物の原子炉冷却材中の放射防止機能	燃料被覆管	燃料被覆管	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
上/下部端栓			C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
タイロッド			C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
原子炉冷却材の浄化機能	原子炉冷却材浄化系、復水浄化系	原子炉冷却材浄化系（再生熱交換器、非再生熱交換器、CUWポンプ、ろ過脱塩装置、配管/弁）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
		復水浄化系（復水脱塩装置、配管/弁）	T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	内	○	内	○	影	
MS-3	原子炉圧力の上昇の緩和機能	逃がし安全弁（逃がし弁機能）、タービンバイパス弁	逃がし安全弁（逃がし弁機能）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
			タービンバイパス弁	T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	出力上昇の抑制機能	原子炉冷却材再循環系（再循環ポンプトリップ機能、制御棒引抜監視装置）	・原子炉再循環制御系 ・制御棒引き抜き阻止回路 ・選択制御棒挿入回路	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	防
			制御棒駆動水圧系、原子炉隔離時冷却系	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系、原子炉隔離時冷却系	制御棒駆動水圧系（ポンプ、復水貯蔵タンク、復水貯蔵タンクから制御棒駆動機構までの配管、弁）	屋外	○	補	○	補	○	防	○	影	○	補	○	影	○	補	○	影	○	熱	○	爆	○	熱	○	熱	○	影	
		原子炉隔離時冷却系（ポンプ、タービン）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	

○：各外部事象に対し安全機能を維持できる。
又は各外部事象による損傷を考慮して、代替設備による機能続行や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能

C/S：原子炉建屋（原子炉棟、附属棟、廃棄物処理棟）
T/B：タービン建屋 NR/W：廃棄物処理建屋
D/Y：固体廃棄物貯蔵庫 D/C：使用済燃料乾式貯蔵建屋
S/Y：屋内開閉所

荷：荷重による影響なし
水：浸水による影響なし
飛：竜巻飛来物による影響なし
爆：爆発飛来物による影響なし
灰：火山灰による影響なし
熱：放射熱による影響なし
煙：ばい煙による影響なし
取：フィルタ取替等
代：代替設備（設備名）
補：補修の実施（必要に応じプラント停止）

影：対象となる構築物、系統又は機器に影響を及ぼす影響モードがない
防：事象に見合った防護対策を実施（例：飛来物からの防護、雷害対策等）
内：建屋内（地下敷設の場合も含む）により影響なし

第5-1表 外部事象による安全施設への影響(8/8)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	自然現象														外部人為事象													
	機能	構築物、系統又は機器	緊急時対策所		風(台風)		竜巻		凍結(低温)		降水		積雪		落雷		火山		生物学的事象		森林火災		爆発		近隣工場等の火災		電磁的障害					
					評価	確認結果																										
MS-3	緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所、試料採取系、通信連絡設備、放射能監視設備、事故時監視計器の一部、消火系、安全避難通路、非常用照明	緊急時対策所	屋外	○	荷	○	荷、防	○	影	○	水、荷	○	荷	○	影	○	荷	○	影	○	熱	○	防	○	熱	○	影				
			試料採取系(異常時に必要な下記の機能を有するもの。原子炉冷却材放射性物質濃度サンプリング分析、原子炉格納容器雰囲気放射性物質濃度サンプリング分析)	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			通信連絡設備(1つの専用回路を含む複数の回路を有する通信連絡設備)	屋外	○	代(有線/無線/衛星系)	○	代(有線/無線/衛星系)	○	代(有線/無線/衛星系)																						
			放射線監視設備	屋外	○	代(可搬型モニターリングポスト)	○	代(可搬型モニターリングポスト)	○	代(可搬型モニターリングポスト)																						
			事故時監視計器の一部	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	防
			消火系(水消火設備、泡消火設備、二酸化炭素消火設備、等)	各建屋	○	内	○	代(消火器等)	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	代(消火器等)	○	代(消火器等)	○	代(消火器等)	○	影
				屋外	○	代(消防自動車等)	○	代(消防自動車等)	○	防	○	影	○	影	○	代(消防自動車等)	○	影	○	代(消防自動車等)	○	代(消防自動車等)	○	影								
			安全避難通路	全域	○	代(代替の安全避難通路)	○	代(代替の安全避難通路)	○	影																						
非常用照明	全域	○	代(代替の照明器具)	○	代(代替の照明器具)	○	代(代替の照明器具)	○	代(代替の照明器具)	○	代(代替の照明器具)	○	代(代替の照明器具)	○	代(代替の照明器具)	○	代(代替の照明器具)	○	代(代替の照明器具)	○	代(代替の照明器具)	○	代(代替の照明器具)	○	代(代替の照明器具)	○	代(代替の照明器具)	○	影			

○：各外部事象に対し安全機能を維持できる。
又は各外部事象による損傷を考慮して、代替設備による機能続行や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能

C/S：原子炉建屋(原子炉棟、附属棟、廃棄物処理棟)
T/B：タービン建屋 NR/W：廃棄物処理建屋
D/Y：固体廃棄物貯蔵庫 D/C：使用済燃料乾式貯蔵建屋
S/Y：屋内開閉所

荷：荷重による影響なし
水：浸水による影響なし
飛：竜巻飛来物による影響なし
爆：爆発飛来物による影響なし
灰：火山灰による影響なし
熱：輻射熱による影響なし
煙：ばい煙による影響なし
取：フィルタ取替等
代：代替設備(設備名)
補：補修の実施(必要に応じプラント停止)
影：対象となる構築物、系統又は機器に影響を及ぼす影響モードがない
防：事象に見合った防護対策を実施(例：飛来物からの防護、雷害対策等)
内：建屋内(地下敷設の場合も含む)により影響なし

6. 自然現象の重畳について

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第六条解釈第3項及び第5項において，設計上の考慮を要する自然現象の組合せについて要求がある。

重畳の検討についての概略を以下に示す。

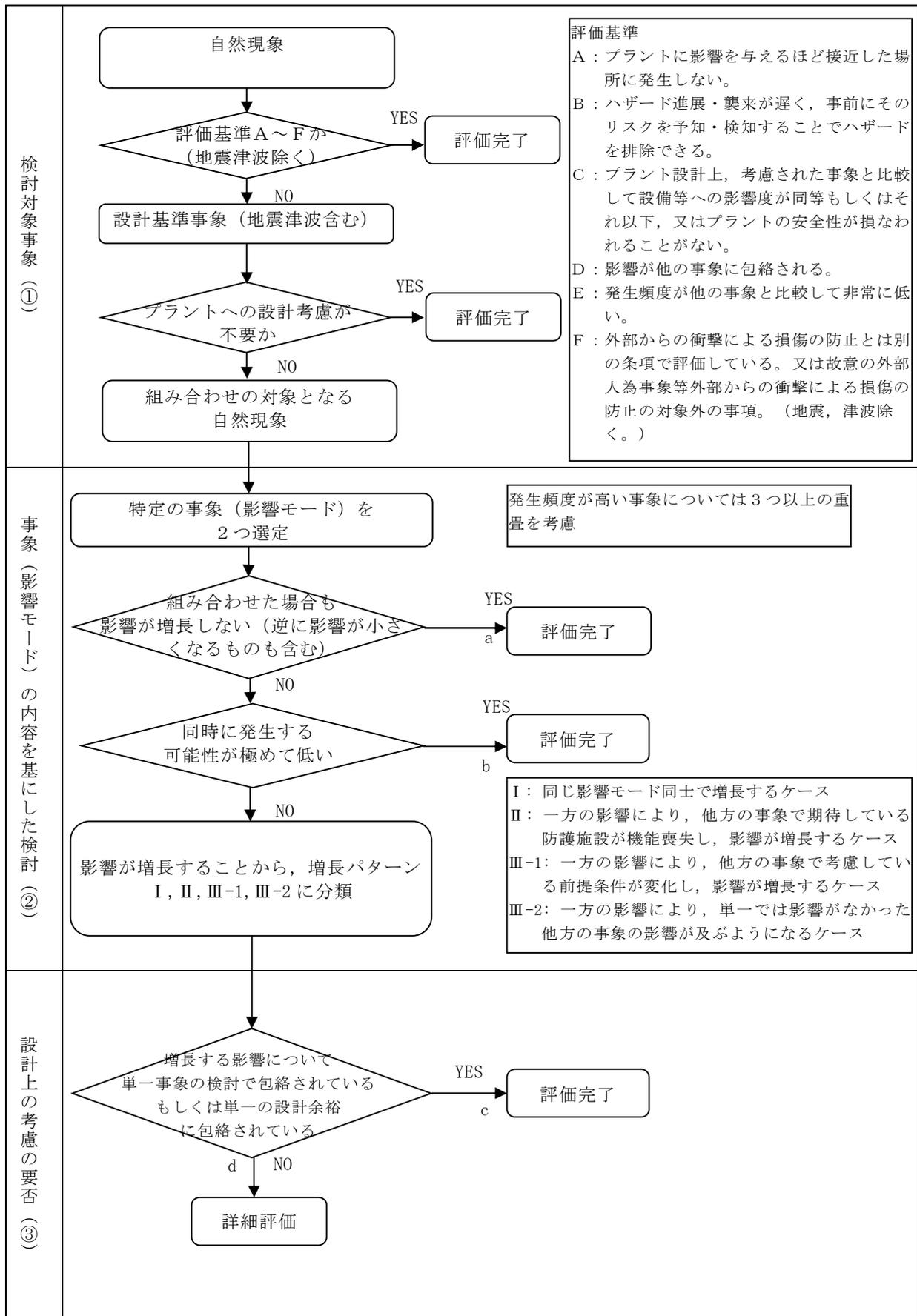
【検討手順概略】

- ① 「1.1 外部事象の収集」にて設計上考慮すべき事象として選定した自然現象12事象から，「3.2 個別評価」にて東海第二発電所の地形において発生しないとした2事象（洪水，地滑り）及び津波に包絡するとした1事象（高潮）を除いた9事象に，地震及び津波を加えた11事象を組合せ対象として設定。
- ② 自然現象ごとに影響モード（荷重，閉塞，温度等）を整理し，事象の特性（相関性，発生頻度等）を踏まえて全ての組合せを網羅的に検討し，影響が増長する組合せを特定。組合せを考慮した場合に原子炉施設に与える影響パターンを以下の観点で分類。
 - a. 組み合わせた場合も影響が増長しないもの（逆に影響が小さくなるものを含む）
 - b. 同時に発生する可能性が極めて低いもの
 - c. 増長する影響について，個別の事象の検討で包絡されている，若しくは個別の事象の設計余裕に包絡されているもの
 - d. c以外で影響が増長するもの影響が増長するケース（上記c及びd）については，それらを4つのタイプに分類し，新たな影響モードが生じるモードについても考慮。

③ 影響が増長するケースに対し，影響度合いを詳細検討し，設計上の考慮や安全設備の防護対策が必要となった場合は対策を講ずる。

④ アクセシ性・視認性についても記載。

第 6-1 図に自然現象の組合せ事象の評価フローを示す。フロー内の各タスクの詳細については 6.2 以降で説明する。



第 6-1 図 自然現象の組合せの評価

6.1 検討対象

6.1.1 検討対象事象

検討対象とする事象は、1.1と同様に文献より抽出された自然現象55事象のうち国内外の基準を基に発電所敷地で想定される自然現象（地震及び津波を除く。）として選定した12事象から、3.2より東海第二発電所の地形において発生しないとした2事象（洪水、地滑り）及び津波に包絡するとした1事象（高潮）を除いた9事象に、地震及び津波を加え、以下の11事象とする。

第6.1-1表 重畳検討事象

・自然現象（11事象）

No.	自然現象		
1-1	極低温（凍結）	1-15	生物学的事象
1-3	降水（豪雨（降雨））	1-19	風（台風）
1-7	地震活動	1-20	竜巻
1-8	積雪（暴風雪）	1-22	森林火災
1-11	津波	1-33	落雷
1-12	火山（火山活動・降灰）		

6.2 事象の特性の整理

6.2.1 相関性のある自然現象の特定

自然現象は、特定の現象が他の現象を誘発したり、同様の原因（低気温時に頻発等）を有したりするなどの因果関係を有し、同時期に発生する事象群が存在する。これらの相関性を持つ自然現象を特定する。相関性のある自然現象を抽出した結果を第 6.2-1 表に示す。

一方、森林火災、生物学的事象は、各事象が独立して発生するものであることから、相関性はないものとする。

第 6.2-1 表 相関性のある自然現象

相関タイプ	自然現象
① 低温系	極低温（凍結）、積雪（暴風雪）
② 高温系	—
② 風水害系	降水（豪雨（降雨））、風（台風）又は竜巻※、 落雷
④ 地震系（津波）	地震活動、津波
⑤ 地震系（火山）	地震活動、火山（火山活動・降灰）

※：風（台風）と竜巻は特定の箇所に同時に負荷がかからないため、どちらか一方のみを考慮する

6.2.2 影響モードのタイプ分類

組合せを考慮するに当たって、自然現象の影響モードを第 6.2-2 表のタイプごとに分類する（第 6.2-1 図参照）。ただし、第 6.2-2 表で分類されている自然現象は現象ごとに大枠で分類したものであり、実際に詳細検討する際には各現象の影響モードごとに検討する。

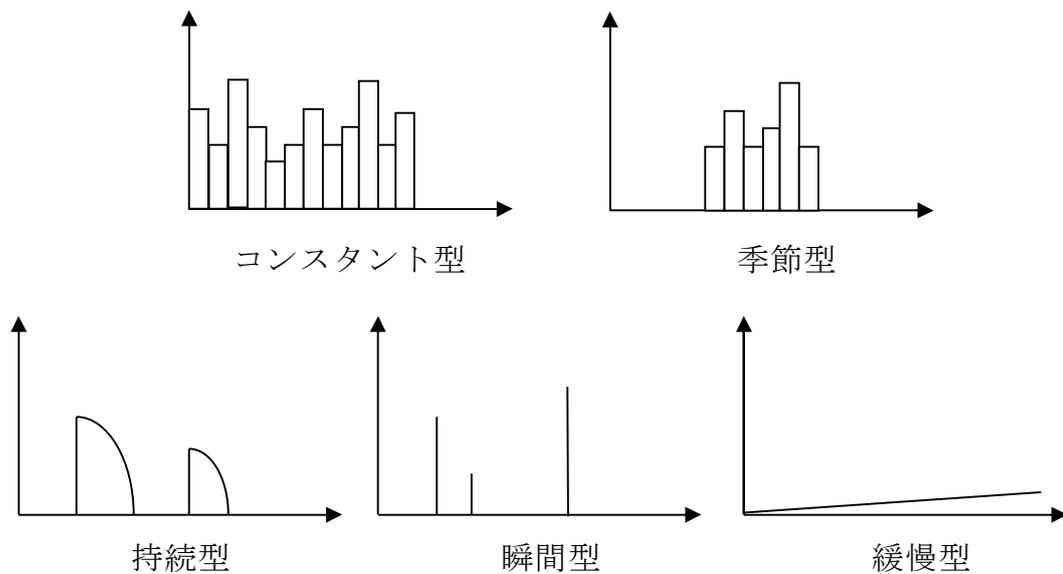
ここで生物学的事象については、海生生物（くらげ等）と動物（ネズミ等）で影響タイプが異なるため、分けて考慮する。

第 6.2-2 表 影響モードのタイプ分類

影響タイプ	特性	現象
コンスタント型、季節型	年間を通してプラントに影響を及ぼすような自然現象（ただし、常時負荷がかかっているわけではない）若しくは特定の季節で恒常的な自然現象	極低温（凍結）、降水（豪雨（降雨））、積雪（暴風雪）、生物学的事象（海生生物）、風（台風）
持続型	恒常的ではないが、影響が長期的に持続するような自然現象。 影響持続時間が長ければ数週間に及ぶ可能性があるもの	火山（火山活動・降灰）
瞬間型	瞬間的にしか起こらないような自然現象。 影響持続時間が数秒程度（長くても数日程度）のもの。	地震活動、津波、生物学的事象（小動物）、竜巻、森林火災、落雷
緩慢型	事象進展が緩慢であり、発電所の運転に支障を来すほどの短時間での事象進展がないと判断される自然現象。	—

※複数の型が該当する自然現象は、保守的な型を割り当てる（上が保守的）

例えば風（台風）について、風圧力は瞬間型だが、作業性などの検討においては定常的な負荷が想定されるため、コンスタント型に分類



第 6.2-1 図 影響モード分類

6.3 重畳影響分類

6.3.1 重畳影響分類方針

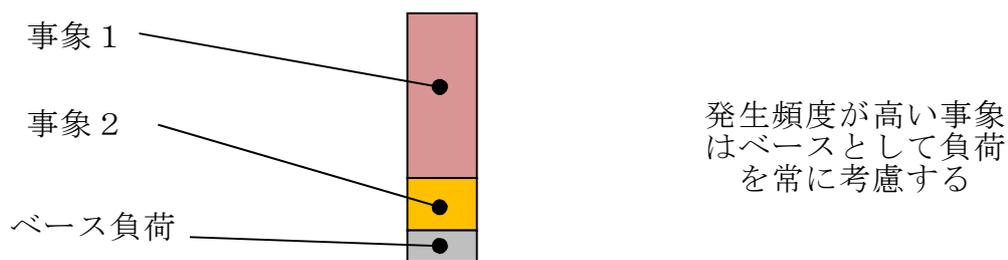
「6.1 検討対象」で選定した自然現象の組合せに対して網羅的に検討を実施する。

- ・例えば瞬間型同士の重畳については、同時に発生する可能性が極めて小さいことから基本的には重畳を考慮する必要がないが、影響モードや評価対象設備によっては影響持続時間が長くなることがあるため、個別に検討が必要となる。(例：竜巻の直接的な影響は瞬間型だが、竜巻により避雷設備が壊れた場合には避雷設備が修復されるまで影響が持続する。そのため、竜巻と落雷は両方とも瞬間型に分類されるが、重ね合わせを考慮する必要がある。)

また、組合せを考慮する事象数、規模及び相関性をもつ自然現象への配慮について以下に示す。

① 事象数

影響が厳しい事象が重畳することは稀であることから、基本的には2つの事象が重畳した場合の影響を検討する。ただし、発生頻度が高い事象については、考慮する組合せに関係なく、ベースとして負荷がかかっている状況を想定する(第6.3-1図参照)。例えば、火山の影響との組合せを考慮する場合も、ベース負荷として極低温、積雪、降水、風の影響についても考慮する。



第 6.3-1 図 ベース負荷の考え方

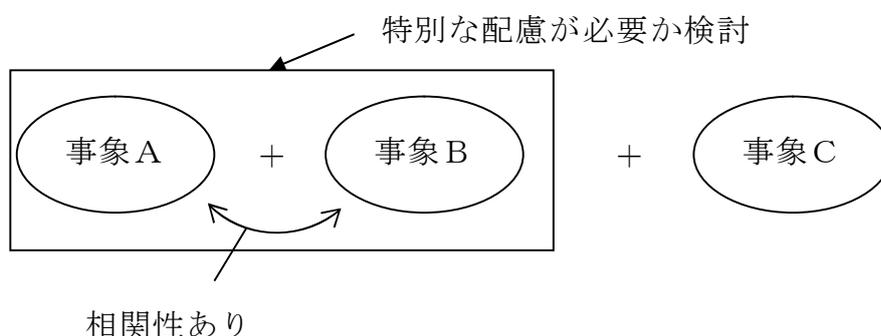
② 規模

設計への考慮や防護対策が必要となった組合せについて、組み合わせた事象の規模を想定し設計に反映する。

③ 相関性を持つ自然現象への配慮

6.3.1①のとおり、相関性を持つ自然現象は同時に発生することを想定し、相関性を持つ事象のセット+他事象の組合せを考慮する。

相関性を持つ事象のセット+他事象を検討するための前処理として、相関性を持つ事象のセット内で単一事象時に想定している影響モード以外の新たな影響モードの有無及び増長されるモードの有無を確認し、特別な配慮が必要か検討した結果を以下に示す。



第 6.3-2 図 相関性を持つ自然現象への配慮

各自然現象について、影響モードの相関評価を行う。

・低温系，高温系

低温系，高温系の影響モードを第 6.3-1 表に示す。

極低温と積雪には電氣的影響（短絡）の影響モードが存在し，重畳により送電線の相間短絡の可能性が高まるが，相間短絡により発生する事象は外部電源喪失であり，非常用ディーゼル発電機は相間短絡の影響を受けない。

なお，電氣的影響以外は同一の影響モードがなく，重畳した場合も影響が増長するような影響モードは存在せず，また，新たな影響モードについても起こりえない。

第 6.3-1 表 低温系，高温系の影響モード

自然現象		影響モード
低温系	極低温	温度，電氣的影響（着氷による短絡）
	積雪	荷重，電氣的影響（着雪による短絡），閉塞
高温系	—	—

・風水害系

風水害系の影響モードを第 6.3-2 表に示す。

風（台風）と竜巻は同じ荷重（風，飛来物）の影響モードが存在するが，竜巻の基準風速が風より大きいことから，風（台風）の荷重は竜巻評価に包絡される。

竜巻に伴う止水対策（水密扉等）への影響については，設計基準竜巻に対して機能が損なわれない設計とする。

また，竜巻に伴う落雷対策への影響については，避雷設備が損傷する可能性があるが，落雷以外の事象への影響は存在しない

(他事象との重畳を評価する際には考慮不要)。

第 6.3-2 表 風水害系の影響モード

自然現象		影響モード
風水害系	降水	浸水, 荷重
	風 (台風)	荷重 (風, 飛来物)
	竜巻	荷重 (風, 飛来物, 気圧差)
	落雷	電氣的影響 (サージ及び誘導電流, 過電圧, 直撃雷)

・地震系 (津波)

地震系 (津波) の影響モードを第 6.3-3 表に示す。

基準地震動 S_s の震源と基準津波の震源は異なることから、独立事象として扱うことが可能であり、かつ、各々の発生頻度は十分に小さく同時に発生する確率は極めて低い。しかし、基準地震動 S_s の震源による津波と基準地震動 S_s の余震、基準津波と基準津波を発生させる地震の余震は同時に敷地に到達する可能性がある。

よって、基準地震動 S_s の震源による津波と基準津波のうち規模の大きい基準津波と、基準津波を発生させる地震の余震を便宜上弾性設計用地震動 S_d とし、基準津波と余震との重畳を考慮し、安全機能が損なわれない設計とする。

第 6.3-3 表 地震系 (津波) の影響モード

自然現象		影響モード
地震系	地震	荷重 (地震)
	津波	荷重 (衝突), 浸水, 閉塞

・地震系（火山）

地震系（火山）の影響モードを第 6.3-4 表に示す。

火山性地震における，火山のプラントへの影響については，敷地と火山に十分な離隔があることから，地震の本震と同時にプラントに襲来する可能性は低く，ある程度の時差をもって襲来するものと思われる。

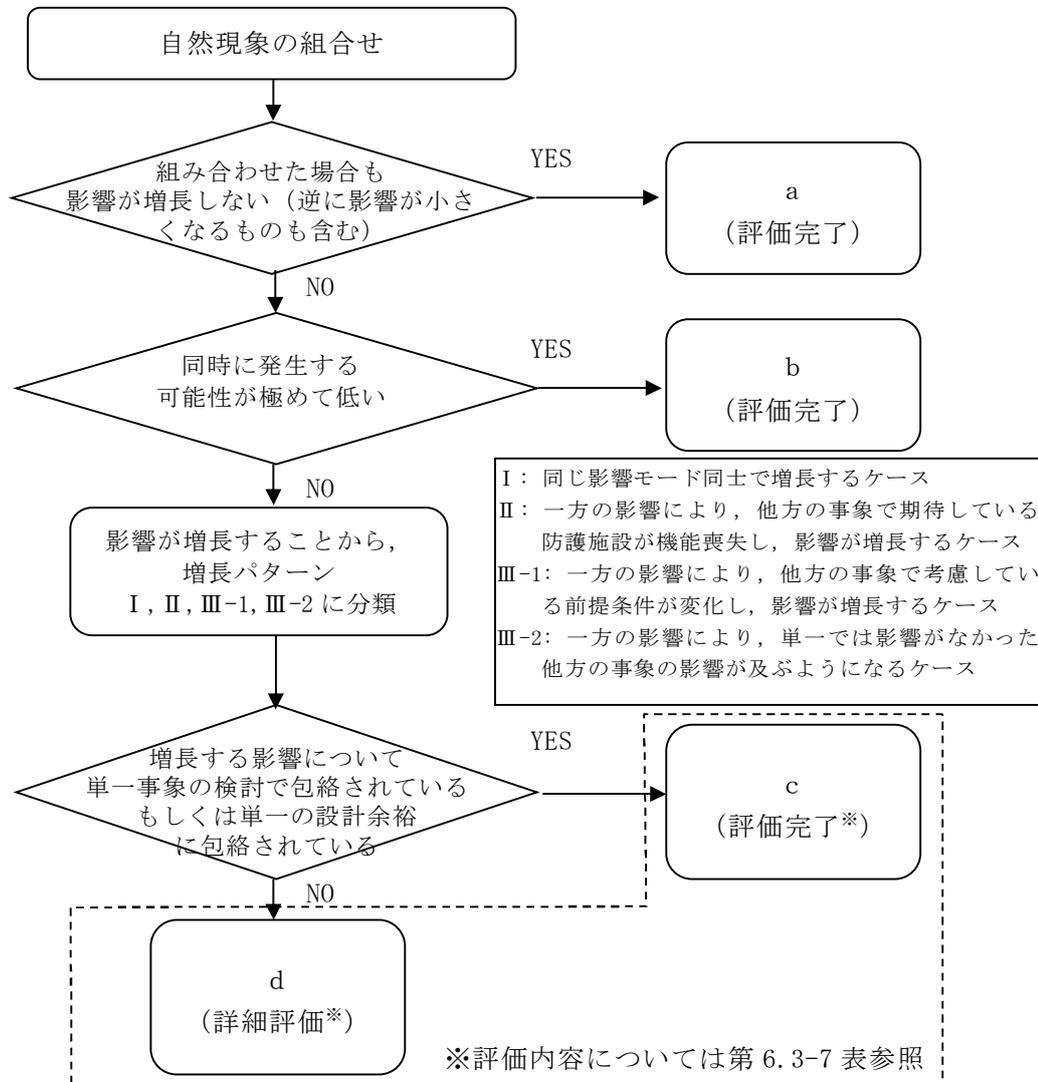
第 6.3-4 表 地震系（火山）の影響モード

自然現象		影響モード
地震系	地震	荷重（地震）
	火山	荷重（堆積），電氣的影響（付着），閉塞（吸気等），閉塞（海水系），腐食

以上より，相関性をもつ事象のセットについて，単一事象時に想定している影響モード以外の新たな影響モードがないこと，増長される影響モードが存在しないことが確認されたため，相関性をもつ事象のセット+他事象での増長する影響を確認する際に，相関性をもつ事象について特別に配慮する必要はない。

6.3.2 影響パターン

組合せを考慮した場合に原子炉施設に与える影響パターンを以下の3つの観点で分類した。



第 6.3-3 図 影響パターン選定フロー

上記 a, b に該当する自然現象の組合せについては、安全施設の安全機能が損なわれない。

また、発生頻度が極めて低い事象（地震、津波、竜巻、火山）同士について、事象が重畳する可能性について第 6.3-5 表、第 6.3-6 表に整理した。

第 6.3-5 表 事象の組合せ

		事象 2			
		地震	津波	竜巻	火山
事 象 1	地震		①	②	③
	津波	④		⑤	⑥
	竜巻	⑦	⑧		⑨
	火山	⑩	⑪	⑫	

第 6.3-6 表 事象の継続時間及び発生頻度

		事象の継続時間	発生頻度 (/年)
事 象 1	地震	短 (30 秒程度)	5.0×10^{-4}
	津波	短 (15 分程度)	2.0×10^{-4}
	竜巻	短 (10 分程度)	2.1×10^{-6}
	火山	長 (30 日)	2.2×10^{-5} ※

※東海第二発電所敷地周辺に降下火砕物の有意義な堆積が確認された 4 万 5000 年前の赤城山の噴火を考慮

① 地震 (事象 1) と津波 (事象 2) の組合せについて

津波は地震発生後に来襲することから、同時に来襲することはないため、重畳を考慮する必要はない。

② 地震 (事象 1) と竜巻 (事象 2) の組合せについて

両者は独立事象であり、発生頻度は低いことから、同時に来襲する可能性は極めて低いため、重畳を考慮する必要はない。

③ 地震（事象１）と火山（事象２）の組合せについて

両者は独立事象であり，発生頻度は低いことから，同時に来襲する可能性は極めて低いため，重畳を考慮する必要はない。

④ 津波（事象１）と地震（事象２）の組合せについて

津波発生時に余震と重畳する可能性があるため，重畳を考慮する。

⑤ 津波（事象１）と竜巻（事象２）の組合せについて

両者は独立事象であり，発生頻度は低いことから，同時に来襲する可能性は極めて低いため，重畳を考慮する必要はない。

⑥ 津波（事象１）と火山（事象２）の組合せについて

両者は独立事象であり，発生頻度は低いことから，同時に来襲する可能性は極めて低いため，重畳を考慮する必要はない。

⑦ 竜巻（事象１）と地震（事象２）の組合せについて

両者は独立事象であり，発生頻度は低いことから，同時に来襲する可能性は極めて低いため，重畳を考慮する必要はない。ただし，竜巻により安全施設の耐震性に悪影響を及ぼす場合は，必要に応じてプラントを停止し，補修を行うことで，事象の影響の重畳を防止する。

⑧ 竜巻（事象１）と津波（事象２）の組合せについて

両者は独立事象であり，発生頻度は低いことから，同時に来襲する可能性は極めて低いため，重畳を考慮する必要はない。ただし，竜巻により耐津波設備に影響を及ぼす場合は，必要に応じてプラントを停止し，補修を行うことで，事象の影響の重畳を防止する。

⑨ 竜巻（事象１）と火山（事象２）の組合せについて

両者は独立事象であり，発生頻度は低いことから，同時に来襲する可能性は極めて低いため，重畳を考慮する必要はない。

⑩ 火山（事象1）と地震（事象2）の組合せについて

両者は独立事象であり，発生頻度は低いことから，同時に来襲する可能性は極めて低いため，重畳を考慮する必要はない。

⑪ 火山（事象1）と津波（事象2）の組合せについて

両者は独立事象であり，発生頻度は低いことから，同時に来襲する可能性は極めて低いため，重畳を考慮する必要はない。

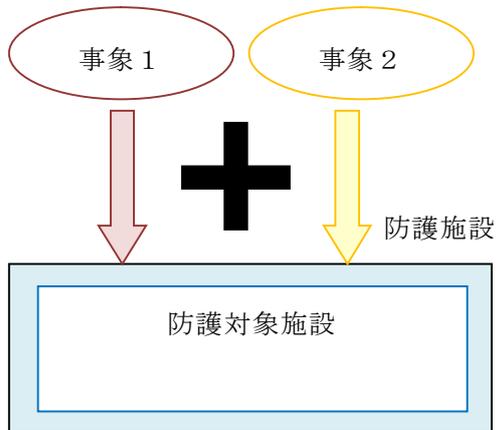
⑫ 火山（事象1）と竜巻（事象2）の組合せについて

両者は独立事象であり，発生頻度は低いことから，同時に来襲する可能性は極めて低いため，重畳を考慮する必要はない。

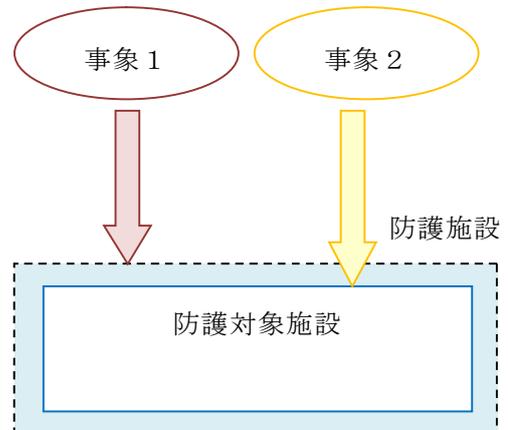
よって，発生頻度が極めて低い事象同士については，④津波（事象1）と地震（事象2）の組合せのみ重畳を考慮する。

上記 c, d に該当する自然現象の組合せについては，事象が単独で発生した場合の影響と比較して，複数の事象が重畳することで影響が増長される組合せとなるが，その増長する影響パターンについては第 6.3-4 図のとおり 4 つに分類した。

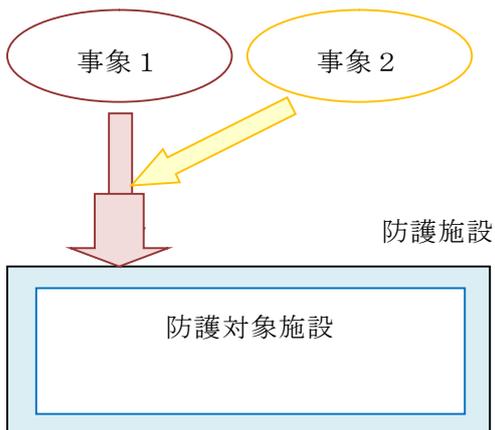
I. 各事象から同じ影響がそれぞれ作用し
重ね合わさって増長するケース



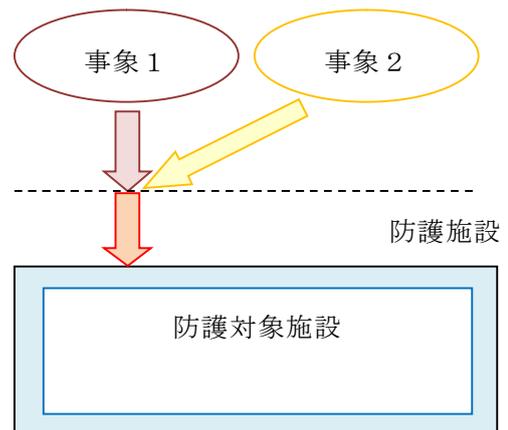
II. 事象1により防護施設が機能喪失
することにより事象2の影響が増長
するケース



III-1. 他の事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. 他の事象の作用により
影響が及ぶようになるケース



第 6.3-4 図 重畳による増長パターン分類

6.3.3 重畳影響分類結果

事象の重畳影響について 6.3.1 に基づき、a, b, c, d に分類 (c, d についてはさらに I, II, III-1, III-2 に分類) した結果について第 6.3-7 表, 第 6.3-8 表に示す。

第6.3-7表 自然現象の重畳マトリックス (1/2)

【凡例】
a: 組み合わせた場合も影響が増長しないもの
b: 同時に発生する可能性が極めて低いもの
c: 増長する影響について単一事象の検討で包絡されている、若しくは単一事象の設計余裕に包絡されているもの※
d: c以外で影響が増長するもの※
※ c・dについては以下も記載
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: ある自然現象の防衛機能が他の自然現象による破壊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

自然現象	事象 1		極低温 (凍結)		降水 (豪雨 (降雨))		地震活動		積雪 (暴風雪)		津波		火山 (火山活動・降下火砕物)					
	温度	電気的影響	浸水	荷重 (増積)	荷重 (地震)	荷重 (増積)	電気的影響	荷重 (増積)	荷重 (増積)	電気的影響	荷重 (増積)	浸水	閉塞 (海水系)	閉塞 (海水系)	閉塞 (吸気等)	閉塞	電気的影響	
極低温 (凍結)																		
降水 (豪雨 (降雨))																		
地震活動																		
積雪 (暴風雪)																		
津波																		
火山 (火山活動・降下火砕物)																		
生物学的事象																		
風 (台風)																		
竜巻																		
森林火災																		
落雷																		

第6.3-7表 自然現象の重畳マトリックス (2/2)

【凡例】

- a: 組み合わせた場合も影響が増長しないもの
- b: 同時に発生する可能性が極めて低いもの
- c: 増長する影響について単一事象の検討で包絡されている、若しくは単一事象の設計余裕に包絡されているもの※
- d: c以外で影響が増長するもの※
- ※ c・dについては以下も記載
- 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: ある自然現象の防衛機能が他の自然現象による破壊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防衛機能が変化し、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

自然現象	事象 1		生物学的事象		風 (台風)		竜巻		森林火災		落雷		
	事象 2	設備の損傷・機能喪失モード 備考	閉塞 (海水系)	電気的影響	荷重 (風)	荷重 (飛来物)	荷重 (風)	荷重 (飛来物)	温度	閉塞 (吸気等)	電気的影響 (ノイズ)	電気的影響 (直撃雷)	電気的影響 (雷サージ)
極低温 (凍結)	屋外機器内部流体の凍結		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
電気的影響	ヒートシंक (海水) の凍結		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
浸水	着氷による送電線の相間短絡		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
荷重	降水による設備の浸水		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
荷重	荷重 (堆積)		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
荷重	荷重 (地震)		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
荷重	荷重 (堆積)		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
電気的影響	着雪による送電線の相間短絡		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
閉塞 (吸気系)	給気フィルタ等の閉塞		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
荷重	荷重 (衝突)		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
浸水	津波による設備の浸水		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
閉塞 (海水系)	漂流物による取水口、海水ストレーナの閉塞		d(I)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
荷重	荷重 (堆積)		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
閉塞 (海水系)	海水系ストレーナの閉塞		c(I)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
閉塞 (吸気系)	給気フィルタ等の閉塞		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
腐食	腐食成分による化学的影響		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
電気的影響	降下火砕物の付着による送電線の相間短絡		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
閉塞 (海水系)	取水口、海水ストレーナの閉塞		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
電気的影響	機器類 (ネズミ等) によるケーブル類の損傷		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
荷重	荷重 (風)		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
荷重	荷重 (飛来物)		d(I)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
荷重	荷重 (風)		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
荷重	荷重 (飛来物)		d(I)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
荷重	荷重 (気圧差)		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
温度	輻射熱		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
閉塞	給気フィルタ等の閉塞		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
電気的影響	屋内外計測制御設備に発生するノイズ		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	直撃雷		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	誘導雷サージによる電気盤内の回路損傷		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a

第6.3-8表 事象の重畳 個別検討結果 (1/6)

重畳事象 (事象1×事象2の順で記載)	影響モード	増長	影響	検討結果	設計上の考慮
極低温 (電氣的影響) ×積雪 (電氣的影響)	電氣的影響 (相間短絡)	d	I	付着物の増加により、送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機は相間短絡の影響を受けない。	-
極低温 (電氣的影響) ×火山 (電氣的影響)	電氣的影響 (相間短絡)	d	I	付着物の増加により、送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機は相間短絡の影響を受けない。	-
極低温 (温度) ×風 (荷重 (風))	温度	d	III-1	風の影響により、流体の凍結の可能性が高まると考えられる。 →状況に応じ、循環運転等による凍結防止措置を実施する手順により対処可能である。	-
降水 (浸水) ×津波 (浸水)	浸水	c	I	個別事象の重畳により、浸水の影響を受ける可能性が高まると考えられる。 →津波防護施設 (防潮堤等) は基準津波高さに裕度を持たせた設計としており、影響はない。	-
降水 (荷重 (堆積)) ×火山 (荷重 (堆積))	荷重	d	I	降下火砕物は湿り気を含むことで堆積荷重が増加すると考えられる。 →荷重条件として水を含んだ場合の負荷を想定し、積雪 (荷重 (堆積)) ×火山 (荷重 (堆積)) にて評価を行う。	-
降水 (荷重 (堆積)) ×火山 (電氣的影響)	電氣的影響 (相間短絡)	d	III-1	湿り気と降下火砕物により、送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機は相間短絡の影響を受けない。	-
地震活動 (荷重 (地震)) ×積雪 (荷重 (堆積))	荷重	d	III-1	積雪による堆積荷重の作用により、地震の荷重が増大すると考えられる。 →積雪は一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用することから、組合せを考慮する。	○
地震活動 (荷重 (地震)) ×風 (荷重 (風))	荷重	d	I	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →屋外の直接風を受ける場所に設置されている施設のうち、風荷重の影響が大きいと考えられるような構造・形状の施設については、組合せを考慮する。	○
地震活動 (荷重 (地震)) ×風 (荷重 (飛来物))	荷重	c	I	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →飛来物による影響は竜巻影響評価にて想定している設計飛来物の影響に包絡されることから、影響は個別事象同等となる。	-
地震活動 (荷重 (地震)) ×落雷 (電氣的影響 (直撃雷))	電氣的影響 (直撃雷)	c	II	地震により避雷設備が損傷し、安全施設へ落雷し易くなる。と考えられる。 →避雷機能を有する排気筒が設置網に接続されており、落雷電流を設置網へ導く機能は確保されることから影響はない。	-
積雪 (電氣的影響) ×極低温 (電氣的影響)	電氣的影響 (相間短絡)	d	I	付着物の増加により、送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機は相間短絡の影響を受けない。	-
積雪 (荷重 (堆積)) ×地震活動 (荷重 (地震))	荷重	d	III-1	地震の荷重の作用により、積雪による堆積荷重が増大すると考えられる。 →積雪は一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用することから、組合せを考慮する。	○
積雪 (荷重 (堆積)) ×津波 (荷重 (衝突))	荷重	d	III-1	津波の荷重の作用により、積雪による堆積荷重が増大すると考えられる。 →積雪は一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用することから、組合せを考慮する。	○
積雪 (荷重 (堆積)) ×火山 (荷重 (堆積))	荷重	d	I	個別事象の重畳により、堆積荷重が増加すると考えられる。 →一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用するもの同士であることから、受圧面積が小さい施設又は荷重の影響が常時作用していても荷重に対して小さい施設を除き、組合せを考慮する。 また、荷重条件として、降下火砕物は水を含んだ場合の負荷を想定する。	○
積雪 (閉塞 (吸気系)) ×火山 (閉塞 (吸気系))	閉塞 (吸気系)	d	I	雪と降下火砕物の吸込により、個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	-
積雪 (電氣的影響) ×火山 (電氣的影響)	電氣的影響 (相間短絡)	d	I	付着物の増加により、送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機は相間短絡の影響を受けない。	-

第6.3-8表 事象の重量の重畳 個別検討結果 (2/6)

重畳事象 (事象1×事象2の順で記載)	影響モード	増長	影響	検討結果	設計上の考慮
積雪 (荷重 (堆積)) × 風 (荷重 (風))	荷重	d	III-1	個別事象の重量により、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →火山 (荷重 (堆積)) × 風 (荷重 (風))にて評価を行う。	-
積雪 (閉塞 (吸気系)) × 風 (荷重 (風))	閉塞 (吸気系)	d	III-1	風の影響により、雪の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	-
積雪 (閉塞 (吸気系)) × 竜巻 (荷重 (風))	閉塞 (吸気系)	d	III-1	風の影響により、雪の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	-
積雪 (閉塞 (吸気系)) × 森林火災 (閉塞)	閉塞 (吸気系)	d	I	雪とばい煙の吸込により、個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	-
津波 (浸水) × 浸水 (浸水)	浸水	c	I	個別事象の重量により、浸水の影響を受ける可能性が高まると考えられる。 →津波防護施設 (防潮堤等)は基準津波高さに裕度を持たせた設計としており、影響はない。	-
津波 (荷重 (衝突)) × 地震活動 (荷重 (地震))	荷重	d	I	個別事象の重量により、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →津波と地震には因果関係がある (基準津波と基準津波を発生させる地震の余震は、同時に発生する) ことから、組合せを考慮する。	○
津波 (浸水) × 地震活動 (荷重 (地震))	浸水	c	II	個別事象の重量により、安全重要度クラス1, 2に属する設備が損傷し、浸水の影響を受けやすくなると考えられる。 →津波と地震には因果関係がある (基準津波と基準津波を発生させる地震の余震は、同時に発生する) ことから、損傷をもたらす荷重について、津波 (荷重 (衝突)) × 地震活動 (荷重 (地震)) で評価する。	-
津波 (閉塞 (海水系)) × 地震活動 (荷重 (地震))	閉塞 (海水系)	d	III-1	地震によりカートリッジ等が損傷、コンクリート部材の取水設備侵入の可能性が高まると考えられる。 →コンクリート部材の倒壊による取水口の閉塞は生じない。 また、仮に取水機能が確保できないおそれがある場合においても、循環水ポンプのインペラ開度調整、発電機出力の抑制、プラント停止等の手順と同様の対応により対処可能である。	-
津波 (荷重 (衝突)) × 積雪 (荷重 (堆積))	荷重	d	III-1	積雪による堆積荷重の作用により、地震の荷重が増大すると考えられる。 →積雪は一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用することから、組合せを考慮する。	○
津波 (閉塞 (海水系)) × 生物学的事象 (閉塞 (海水系))	閉塞 (海水系)	d	I	漂流物と海生生物の流入により、個別事象と比べ閉塞及び取水機能の低下の可能性が高まると考えられる。 →除塵装置や海水ストレーナー等により海生生物を捕獲除去し取水機能の維持を図っているが、取水機能が確保できないおそれがある場合においても、循環水ポンプのインペラ開度調整、発電機出力の抑制、プラント停止等の手順により対処可能である。	-
津波 (荷重 (衝突)) × 風 (荷重 (風))	荷重	d	I	個別事象の重量により、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →屋外の直接風を受ける場所に設置されている施設のうち、風荷重の影響が大きいと考えられるような構造・形状の施設については、組合せを考慮する。	○
津波 (荷重 (衝突)) × 風 (荷重 (飛来物))	荷重	c	I	個別事象の重量により、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →飛来物による影響は竜巻影響評価にて想定している設計飛来物の影響に包摂されることから、影響は個別事象同等となる。	-
津波 (荷重 (衝突)) × 落雷 (電気的影響 (直撃雷))	荷重	c	II	個別事象の重量により、安全重要度クラス1, 2に属する設備が損傷し、浸水の影響を受けやすくなると考えられる。 →直撃雷は避雷設備により、また、津波防護施設 (防潮堤等)は基準津波高さに裕度を持たせた設計としており、影響はない。	-
火山 (電気的影響) × 極低温 (電気的影響)	電気的影響 (相間短絡)	d	I	付着物の増加により、送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機は相間短絡の影響を受けない。	-

第6.3-8表 事象の重量の重畳 個別検討結果 (3/6)

重畳事象 (事象1×事象2の順で記載)	影響モード	増長	影響	検討結果	設計上の考慮
火山 (荷重 (堆積)) ×降水 (荷重 (堆積))	荷重	d	I	降下火砕物は湿気を含むことで堆積荷重が増加すると考えられる。 →荷重条件として水を含んだ場合の負荷を想定し、積雪 (荷重 (堆積))×火山 (荷重 (堆積))にて評価を行う。	-
火山 (荷重 (堆積)) ×降水 (荷重 (堆積))	荷重	d	III-2	斜面に堆積した火山灰が降雨によりプラント周辺まで押し寄せ、土石流のような状況になる可能性が考えられる。 →一般地内には土石流を起こすような地形は存在しない。	-
火山 (荷重 (堆積)) ×積雪 (荷重 (堆積))	荷重	d	I	個別事象の重量により、堆積荷重が増加すると考えられる。 →一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用するもの同士であることから、受圧面積が小さい施設又は荷重の影響が常時作用している荷重に対して小さい施設を除き、組合せを考慮する。 また、荷重条件として、降下火砕物は水を含んだ場合の負荷を想定する。	O
火山 (電気的影響) ×積雪 (電気的影響)	電気的影響 (相間短絡)	d	I	付着物の増加により、送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機は相間短絡の影響を受けない。	-
火山 (閉塞 (吸気系)) ×積雪 (閉塞 (吸気系))	閉塞 (吸気系)	d	I	降下火砕物と雪の吸込により、個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	-
火山 (閉塞 (海水系)) ×生物学的事象 (閉塞 (海水系))	閉塞 (海水系)	c	I	降下火砕物と海生物の流入により、個別事象と比べ閉塞及び取水機能の低下の可能性が高まると考えられる。 →降下火砕物は、水分を含まない場合はオイルフェンスにより除去されること、また、水分を含む場合においても、海水ストレーナーのメッシュ径以上のは水分を含むことで取水路内に沈下し、海水ストレーナーナナまで到達しないことから、個別事象と同等となる。	-
火山 (荷重 (堆積)) ×風 (荷重 (風))	荷重	d	I	個別事象の重量により、安全重要度クラス1、2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →火山は一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用することから、組合せを考慮する。	O
火山 (閉塞 (吸気系)) ×風 (荷重 (風))	閉塞 (吸気系)	d	III-1	風の影響により、降下火砕物の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	-
火山 (閉塞 (吸気系)) ×森林火災 (閉塞 (吸気系))	閉塞 (吸気系)	d	I	降下火砕物とばい煙の吸込により、個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	-
生物学的事象 (閉塞 (海水系)) ×津波 (閉塞 (海水系))	閉塞 (海水系)	d	I	海生物と漂流物の流入により、個別事象と比べ閉塞及び取水機能の低下の可能性が高まると考えられる。 →除塵装置や海水ストレーナー等により海生物を捕獲除去し取水機能を維持を図っているが、取水機能が確保できないおそれがある場合においても、循環水ポンプのインペラ調子調整、発電機出力の抑制、プラント停止等の手順により対処可能である。	-
生物学的事象 (閉塞 (海水系)) ×火山 (閉塞 (海水系))	閉塞 (海水系)	c	I	降下火砕物と海生物の流入により、個別事象と比べ閉塞及び取水機能の低下の可能性が高まると考えられる。 →降下火砕物は、水分を含まない場合はオイルフェンスにより除去されること、また、水分を含む場合においても、海水ストレーナーのメッシュ径以上のは水分を含むことで取水路内に沈下し、海水ストレーナーナナまで到達しないことから、個別事象と同等となる。	-
生物学的事象 (閉塞 (海水系)) ×荷重 (飛来物)	閉塞 (海水系)	d	I	飛来物と海生物の流入により、個別事象と比べ閉塞及び取水機能の低下の可能性が高まると考えられる。 →除塵装置や海水ストレーナー等により海生物を捕獲除去し取水機能を維持を図っているが、取水機能が確保できないおそれがある場合においても、循環水ポンプのインペラ調子調整、発電機出力の抑制、プラント停止等の手順により対処可能である。	-

第6.3-8表 事象の重量の重畳 個別検討結果 (4/6)

重畳事象 (事象1×事象2の順で記載)	影響モード	増長	影響	検討結果	設計上の考慮
生物的事象 (閉塞 (海水系)) × 竜巻 (荷重 (飛来物))	閉塞 (海水系)	d	I	飛来物と海生生物の流入により、個別事象と比べ閉塞及び取水機能の低下の可能性が高まると考えられる。 → 除塵装置や海水ストレーナー等により海生生物を捕獲除去し取水機能が確保できなくなる。 → 飛来物についても、循環水ポンプのインペラ開度調整、発電機出力の抑制、プラント停止等の手順により対応可能である。	-
風 (荷重 (風)) × 地震活動 (荷重 (地震))	荷重	d	I	個別事象の重量により、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 → 屋外の直接風を受ける場所に設置されている施設のうち、風荷重の影響が大きいと考えられるような構造・形状の施設については、組合せを考慮する。	○
風 (荷重 (風)) × 地震活動 (荷重 (地震))	荷重	c	I	個別事象の重量により、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 → 飛来物による影響は竜巻影響評価にて想定している設計飛来物の影響に包絡されることから、影響は個別事象同等となる。	-
風 (荷重 (風)) × 積雪 (荷重 (堆積))	荷重	d	III-1	風の影響により、荷重が増加し、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 → 風(荷重(風))×火山(荷重(堆積))にて評価を行う。	-
風 (荷重 (風)) × 積雪 (閉塞 (吸気系))	閉塞 (吸気系)	d	III-1	風の影響により、雪の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 → 換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対応可能である。	-
風 (荷重 (風)) × 津波 (荷重 (衝突))	荷重	d	I	個別事象の重量により、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 → 屋外の直接風を受ける場所に設置されている施設のうち、風荷重の影響が大きいと考えられるような構造・形状の施設については、組合せを考慮する。	○
風 (荷重 (飛来物)) × 津波 (荷重 (衝突))	荷重	c	I	個別事象の重量により、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 → 飛来物による影響は竜巻影響評価にて想定している設計飛来物の影響に包絡されることから、影響は個別事象同等となる。	-
風 (荷重 (風)) × 火山 (荷重 (堆積))	荷重	d	III-1	風の影響により、荷重が増加し、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 → 火山は一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用することから、組合せを考慮する。	○
風 (荷重 (風)) × 火山 (閉塞 (吸気系))	閉塞 (吸気系)	d	III-1	風の影響により、降下火砕物の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 → 換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対応可能である。	-
風 (荷重 (飛来物)) × 生物的事象 (閉塞 (海水系))	閉塞 (海水系)	d	I	飛来物と海生生物の流入により、個別事象と比べ閉塞及び取水機能の低下の可能性が高まると考えられる。 → 除塵装置や海水ストレーナー等により海生生物を捕獲除去し取水機能が確保できなくなる。 → 飛来物についても、循環水ポンプのインペラ開度調整、発電機出力の抑制、プラント停止等の手順により対応可能である。	-
風 (荷重 (風)) × 森林火災 (温度)	温度	c	III-1	風の影響により、熱影響の評価条件が変化し、個別事象での評価から増長、熱影響によるコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性が高まると考えられる。 → 換気空調設備の外気取入口フィルタに落下する航空機による火災と危廃物タンク火災の重畳により熱影響評価した温度(最大約140℃)が強度維持可能温度(建屋外壁コンクリート約200℃、排気筒鉄塔約325℃)を上回ることはないことから、構造物の機能は維持される。	-
風 (荷重 (風)) × 森林火災 (閉塞 (吸気系))	閉塞 (吸気系)	d	III-1	風の影響により、ばい煙の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 → 換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対応可能である。	-
竜巻 (荷重 (風)) × 森林火災 (温度)	温度	c	III-1	風の影響により、熱影響の評価条件が変化し、個別事象での評価から増長、熱影響によるコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性が高まると考えられる。 → 保守的な条件(偶発的に落下する航空機による火災と危廃物タンク火災の重畳)により熱影響評価した温度(最大約140℃)が強度維持可能温度(建屋外壁コンクリート約200℃、排気筒鉄塔約325℃)を上回ることはないことから、構造物の機能は維持される。	-

第6.3-8表 事象の重量 個別検討結果 (5/6)

重量事象 (事象1×事象2の順で記載)	影響モード	増長	影響	検討結果	設計上の考慮
竜巻 (荷重 (風)) ×森林火災 (閉塞 (吸気系))	閉塞 (吸気系)	d	III-1	風の影響により、ばい煙の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	-
竜巻 (荷重 (風)) ×落雷 (電氣的影響 (直撃雷))	電氣的影響 (直撃雷)	c	II	風荷重により避雷設備が損傷し、安全施設へ落雷し易くなることと考えられる。 →避雷機能を有する排気筒が設置網に接続されており、落雷電流を設置網へ導く機能は確保されることから影響はない。	-
竜巻 (荷重 (飛来物)) ×落雷 (電氣的影響 (直撃雷))	電氣的影響 (直撃雷)	c	II	飛来物により避雷設備が損傷し、安全施設へ落雷し易くなることと考えられる。 →避雷機能を有する排気筒が設置網に接続されており、落雷電流を設置網へ導く機能は確保されることから影響はない。	-
森林火災 (閉塞 (吸気系)) ×積雪 (閉塞 (吸気系))	閉塞 (吸気系)	d	I	ばい煙と雪の吸込により、個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	-
森林火災 (閉塞 (吸気系)) ×火山 (閉塞 (吸気系))	閉塞 (吸気系)	d	I	ばい煙と降下火砕物の吸込により、個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	-
森林火災 (温度) ×風 (荷重 (風))	温度	c	III-1	風の影響により、熱影響の評価条件が変化し、個別事象での評価から増長、熱影響によるコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性が高まると考えられる。 →保守的な条件(偶発的に落下する航空機による火災と危険物タンク火災の重量)により熱影響評価した温度(最大約140℃)が強度維持可能温度(建屋外壁コンクリート約200℃、排気筒鉄塔約325℃)を上回ることはないことから、構造物の機能は維持される。	-
森林火災 (閉塞 (吸気系)) ×風 (荷重 (風))	閉塞 (吸気系)	d	III-1	風の影響により、ばい煙の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	-
森林火災 (温度) ×竜巻 (荷重 (風))	温度	c	III-1	風の影響により、熱影響の評価条件が変化し、個別事象での評価から増長、熱影響によるコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性が高まると考えられる。 →保守的な条件(偶発的に落下する航空機による火災と危険物タンク火災の重量)により熱影響評価した温度(最大約140℃)が強度維持可能温度(建屋外壁コンクリート約200℃、排気筒鉄塔約325℃)を上回ることはないことから、構造物の機能は維持される。	-
森林火災 (閉塞 (吸気系)) ×竜巻 (荷重 (風))	閉塞 (吸気系)	d	III-1	風の影響により、ばい煙の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	-
落雷 (電氣的影響 (直撃雷)) ×地震活動 (荷重 (地震))	電氣的影響 (直撃雷)	c	II	落雷により安全施設が損傷し、荷重の影響を受けると考えられる。 →安全施設は、避雷設備により落雷電流を設置網へ導く機能は確保されることから影響は個別事象と同等となる。	-
落雷 (電氣的影響 (直撃雷)) ×津波 (荷重 (衝突))	荷重	c	II	個別事象の重量により、安全重要度クラス1、2に属する設備が損傷し、浸水の影響を受けやすくなることと考えられる。 →直撃雷は避雷設備により、また、津波防護施設(防堤等)は基準浪波高さに裕度を持たせた設計としており、影響はない。	-
落雷 (電氣的影響 (直撃雷)) ×風 (荷重 (風))	荷重	c	II	落雷により安全施設が損傷し、荷重の影響を受けると考えられる。 →安全施設は、避雷設備により直撃雷に、また、竜巻防護施設により耐えうる設計であることから影響は個別事象と同等となる。	-

第6.3-8表 事象の重畳 個別検討結果 (6/6)

重畳事象 (事象1×事象2の順で記載)	影響モード	増長	影響	検討結果	設計上の考慮
落雷 (電氣的影響 (直撃雷)) × 風 (荷重 (飛来物))	荷重	c	II	落雷により安全施設が損傷し、荷重の影響を受けると考えられる。 →安全施設は、避雷設備により直撃雷に、また、竜巻防護施設により設計竜巻に耐えうる設計であることから影響は個別事象と同等となる。	—
落雷 (電氣的影響 (直撃雷)) × 竜巻 (荷重 (風))	荷重	c	II	落雷により安全施設が損傷し、荷重の影響を受けると考えられる。 →安全施設は、避雷設備により直撃雷に、また、竜巻防護施設により設計竜巻に耐えうる設計であることから影響は個別事象と同等となる。	—
落雷 (電氣的影響 (直撃雷)) × 竜巻 (荷重 (飛来物))	荷重	c	II	落雷により安全施設が損傷し、荷重の影響を受けると考えられる。 →安全施設は、避雷設備により直撃雷に、また、竜巻防護施設により設計竜巻に耐えうる設計であることから影響は個別事象と同等となる。	—

6.4 詳細評価

プラントへの影響が想定される重畳（6.3.2でc, dに分類されたもの）について、第6.3-8表に示した個別検討結果より、抽出された組合せは以下となる（事象1×事象2の順）。

- ・地震活動（荷重）×積雪（荷重）
- ・地震活動（荷重）×風（台風）（荷重）
- ・積雪（荷重）×地震活動（荷重）
- ・積雪（荷重）×津波（荷重）
- ・積雪（荷重）×火山（荷重）
- ・津波（荷重）×地震活動（荷重）
- ・津波（荷重）×積雪（荷重）
- ・津波（荷重）×風（台風）（荷重）
- ・火山（荷重）×積雪（荷重）
- ・火山（荷重）×風（台風）（荷重）
- ・風（台風）（荷重）×地震活動（荷重）
- ・風（台風）（荷重）×津波（荷重）
- ・風（台風）（荷重）×火山（荷重）

上記組合せのうち、地震活動（荷重）×積雪（荷重）と積雪（荷重）×地震活動（荷重）、地震活動（荷重）×風（台風）（荷重）と風（台風）（荷重）×地震活動（荷重）、積雪（荷重）×津波（荷重）と津波（荷重）×積雪（荷重）、津波（荷重）×風（台風）（荷重）と風（台風）（荷重）×津波（荷重）、火山（荷重）×風（荷重）と風（荷重）×火山（荷重）及び積雪（荷重）×火山（荷重）と火山（荷重）×積雪（荷重）については、事象1と事象2を入れ替えたとしても発生する事象は同一であることから、統合す

る。

よって、以下の組合せについて、設計上考慮することとする。

第 6.3-9 表 自然現象の重畳を設計上考慮する組合せ

地震活動（荷重）×積雪（荷重）
地震活動（荷重）×風（台風）（荷重）
津波（荷重）×積雪（荷重）
津波（荷重）×風（台風）（荷重）
津波（荷重）×地震活動（荷重）
火山（荷重）×積雪（荷重）
火山（荷重）×風（台風）（荷重）

6.4.1 アクセス性・視認性について

自然現象が安全施設に及ぼす影響としては、荷重だけでなく、アクセス性及び視認性に対する影響も考えられることから、これらの観点についても影響を評価する。

アクセス性及び視認性の観点からの影響評価結果を以下に示す。

アクセス性への影響確認結果

設計基準においては、屋内設備と屋内での対応により事象収束が可能であることから、自然現象による屋外のアクセス性への影響については考慮する必要が無い。

視認性への影響確認結果

視認性の観点からは、降水等により中央制御室外の状況や津波を監視するカメラの視認性の低下を及ぼす可能性がある。

中央制御室外の状況や津波を監視するカメラについては、降水等による視認性の低下や、竜巻等による機能損失の可能性がある。カメラは位置的分散が図られているものの、重畳を考慮した場合には全てのカメラに期待できない状況も考えられる。その場合にも、中央制御室に設置する気象情報を出力する端末、潮位計等の代替設備により必要な機能を確保することができることから、自然現象による視認性への影響については考慮する必要が無い。

東海第二発電所

外部事象の考慮について

添付資料

目 次

1. 防護すべき安全施設及び重大事故等対処設備への考慮
2. 洪水影響評価について
3. 風（台風）影響評価について
4. 低温影響評価について
5. 降水影響評価について
6. 積雪影響評価について
7. 落雷影響評価について
8. 地滑り影響評価について
9. 生物学的事象に対する考慮について
10. 航空機落下確率評価について
11. ダムの崩壊影響評価について
12. 有毒ガス影響評価について
13. 船舶の衝突影響評価について
14. 安全保護回路の主な電磁波，サージ・ノイズ対策について
15. 設計上考慮すべき荷重評価における自然現象の組合せについて
16. 比較的短期での気象変動に対する考慮について
17. 設計基準事故時に生じる応力の考慮について
18. 設計基準としての設定値の妥当性について
19. 旧安全設計審査指針と設置許可基準規則との比較
20. 考慮すべき事象の除外基準と ASME 判断基準との比較
21. 考慮した外部事象についての対応状況
22. 外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備，及び津波監視設備の防護方針について

1. 防護すべき安全施設及び重大事故等対処設備への考慮

(1) 防護すべき安全施設

地震及び津波以外の自然現象及び（故意によるものを除く。）人為事象（以下「外部人為事象」という。）に対する安全施設への要求については「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」（以下，設置許可基準規則という。）にて規定されている。設置許可基準規則における安全施設は，「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」の安全重要度クラス1，2，3に属する構築物，系統及び機器を指していることから，各外部事象に対して防護する安全施設は，安全重要度クラス1，2，3に属する構築物，系統及び機器とする。

設置許可基準規則には安全施設に対し，以下のように規定されている。

【抜粋】 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

設置許可基準規則	解釈
第六条（外部からの衝撃による損傷の防止） 安全施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。	1 第6条は，設計基準において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）に対して，安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含む。
3 安全施設は，工場等内又はその	7 第3項は，設計基準において

<p>周辺において想定され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。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。</p>	<p>想定され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。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含む。</p>
---	--

設置許可基準規則 第二条 用語の定義より抜粋

- ・「安全施設」とは、設計基準対象施設のうち、安全機能を有するもの
- ・「安全機能」とは、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能

重要度分類指針[※]より抜粋

- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器をそれが果たす安全機能の性質に応じて，以下の2種に分類
 - (1) 異常発生防止系（以下「PS」という）
 - (2) 異常影響緩和系（以下「MS」という）
- ・PS及びMSのそれぞれに属する構築物，系統及び機器を，その有する安全機能の重要度に応じ，それぞれクラス1，2，3に分類

※：発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針

(2) 重大事故等対処設備への考慮

設計基準事象に対して耐性を確保する必要があるのは設計基準事故対処設備であり、重大事故等対処設備ではないが、第四十三条の要求を踏まえ、設計基準事象によって、設計基準事故対処設備の安全機能と重大事故等対処設備が同時にその機能が損なわれることがないことを確認する。

重大事故等対処設備については、設置許可基準にて以下のように規定されている。

【抜粋】 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

第四十三条（重大事故等対処設備）

重大事故等対処設備は、次に掲げるものでなければならない。

第2項第三号 常設重大事故防止設備は、共通要因によって設計基準事故対処設備の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであること。

第3項第七号 重大事故防止設備のうち可搬型のものは、共通要因によって、設計基準事故対処設備の安全機能、使用済燃料貯蔵槽の冷却機能若しくは注水機能又は常設重大事故防止設備の重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであること。

2. 洪水影響評価について

(1) 基本方針

安全施設のうち外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器は洪水により安全施設の安全機能が損なわれないよう設計する。

(2) 周辺敷地評価

東海第二発電所の敷地は，久慈川河口の右岸側に位置している。

敷地の周辺にある河川としては，敷地の北方約 2km に久慈川が，南方約 3km に新川が位置している。（第 2-1 図参照）

国土交通省関東地方整備局（以下「整備局」という。）が開示している浸水想定区域図における久慈川水系がおおむね 100 年に 1 回程度起こる大雨^{*}の浸水想定区域に対し，久慈川水系の洪水が想定を超えた場合を想定し，影響について評価を実施した。

※ 久慈川水系の洪水防護に関する基本の計画となる降水量

- ・久慈川流域の上流 2 日間の総雨量 235 mm
- ・里川流域の 2 日間の総雨量 302 mm
- ・山田川流域の上流 2 日間の総雨量 315 mm

(2-1) 評価方法

整備局が開示している浸水想定範囲，東海村が発行している洪水ハザードマップ及び東海第二発電所周辺の標高を基に評価を実施した。

(2-2) 評価結果

① 久慈川水系の洪水が想定を超えた場合

整備局が開示している浸水想定範囲及び東海村が発行している洪水ハザードマップによれば，東海第二発電所近隣の水田が浸水する

想定であるが、その浸水深さは 1m～5m 未満となっており、敷地勾配及び浸水高さ分布から、最大で約 EL. +7m に達すると想定される。

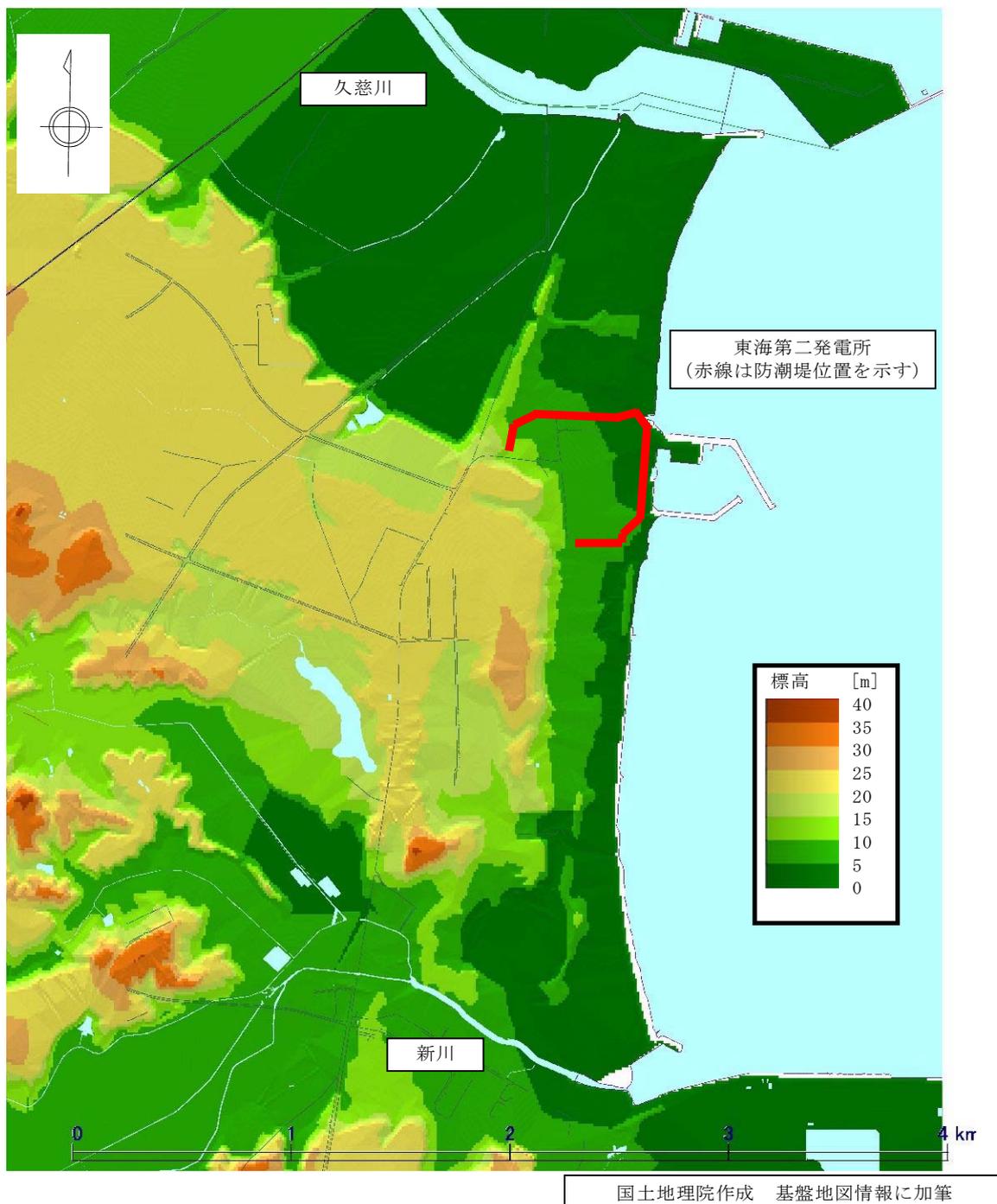
洪水発生に伴い東海第二発電所敷地内に水が浸入するルートとして、国道 245 号線から発電所構内進入道路を経て浸水するルートが考えられるが、発電所構内進入道路の入口が約 EL. +15m の標高に位置し、最大の浸水量である約 EL. +7m に達すると仮定しても余裕があるため、東海第二発電所に影響が及ぶことはない。

(第 2-2 図, 第 2-3 図及び第 2-4 図参照)

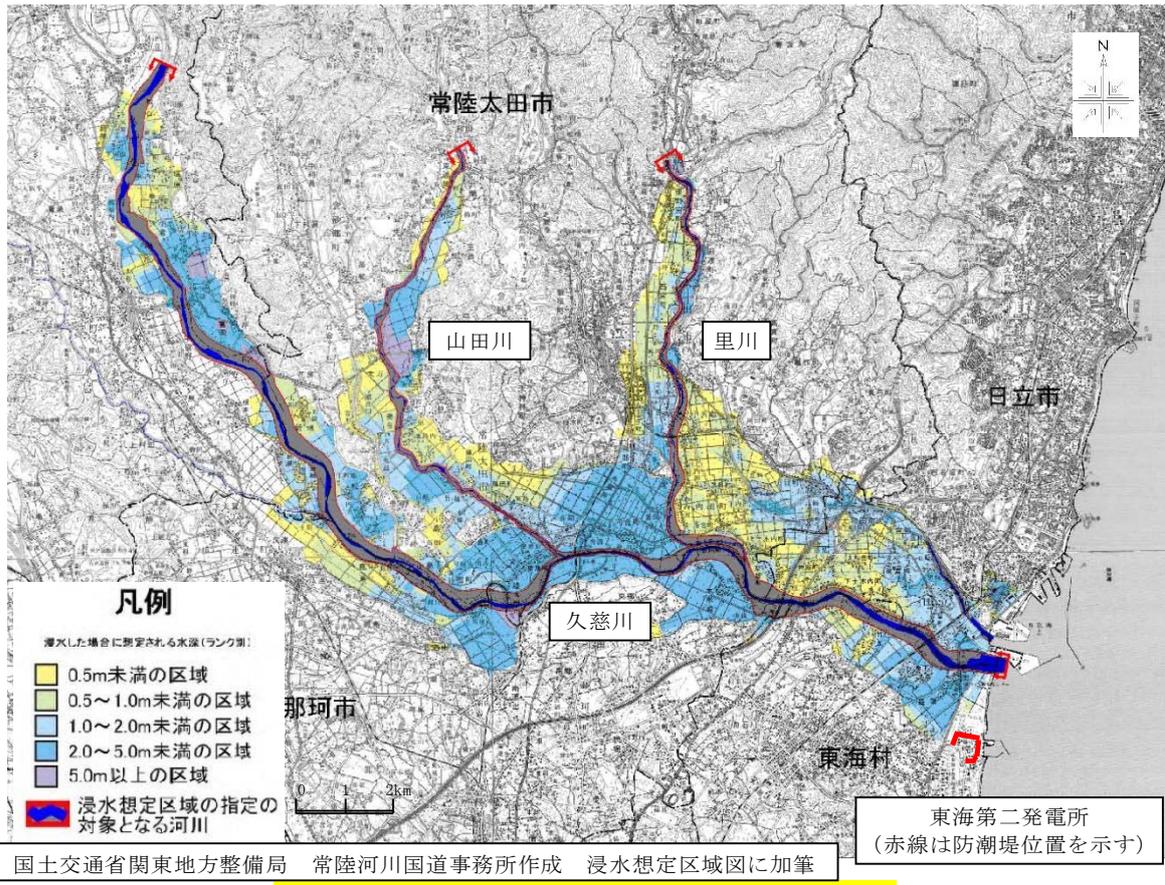
② 新川の洪水が想定を超えた場合

東海村が発行している洪水ハザードマップによれば、東海第二発電所が浸水範囲ではないこと、また、敷地の地形及び表流水の状況によれば、新川は敷地の南側の丘陵地を挟んだ反対側に位置していること、浸水は丘陵地を遡上することはないことから、東海第二発電所に影響が及ぶことはない。

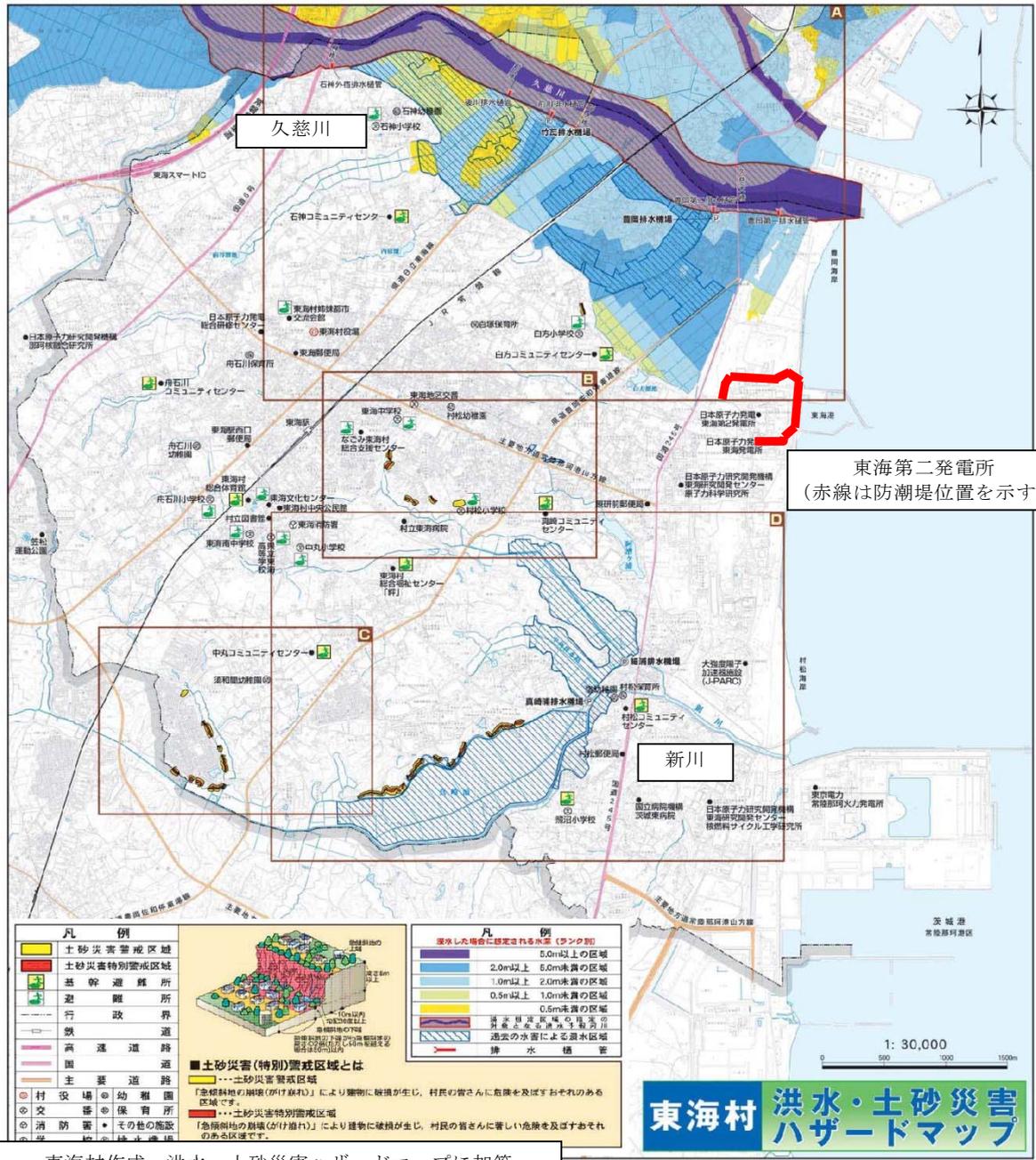
(第 2-3 図及び第 2-4 図参照)



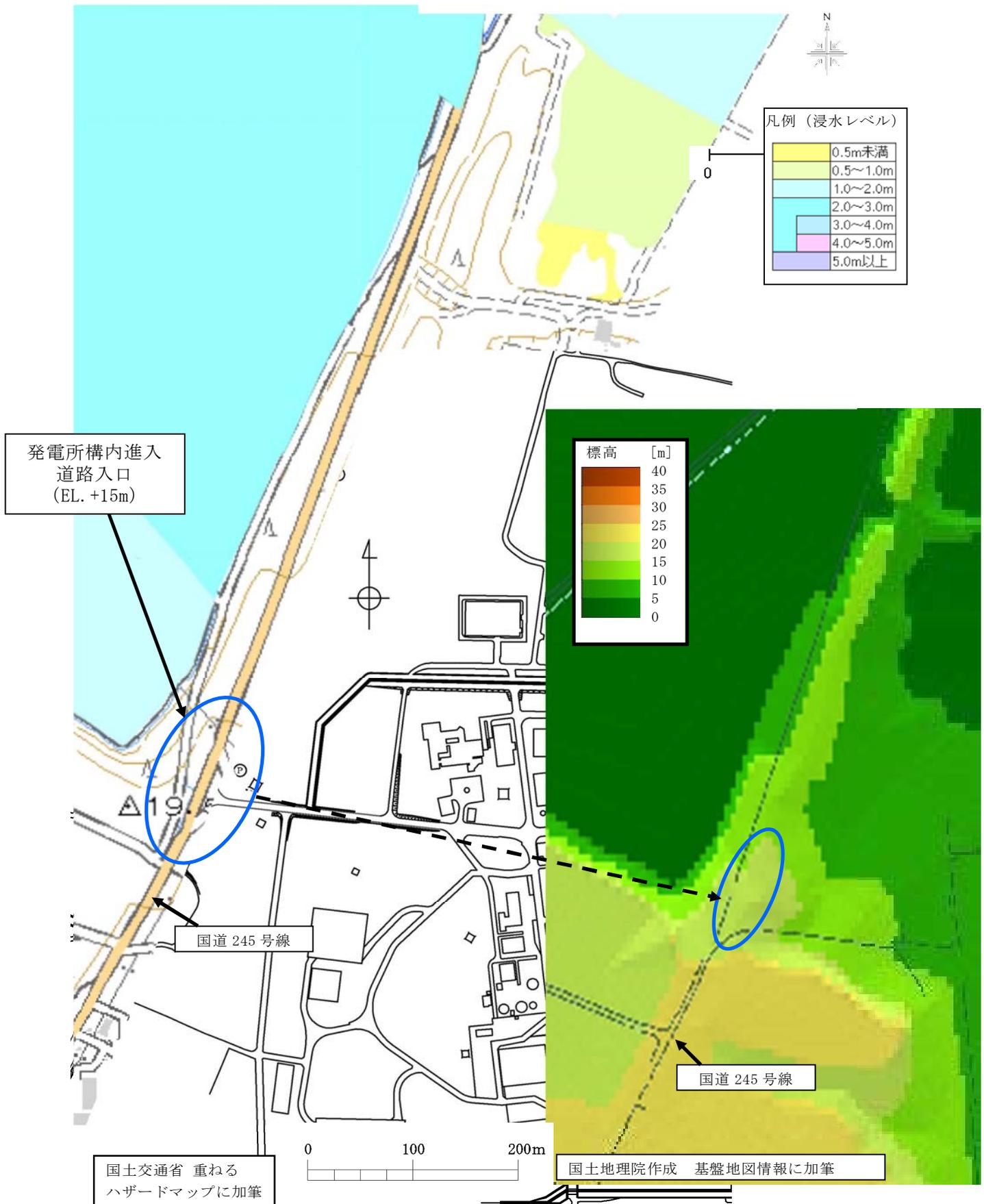
第 2-1 図 東海第二発電所敷地周辺の河川と標高の関係図



第 2-2 図 久慈川洪水時浸水想定区域図



第2-3図 洪水ハザードマップ



第 2-4 図 発電所敷地周辺の浸水想定図及び浸水ルート付近の標高

3. 風（台風）影響評価について

(1) 基本方針

予想される最も過酷と考えられる条件として設計基準を設定の上，安全施設の機能が風荷重に対して維持され，安全機能が損なわれないよう設計する。

(2) 設計基準風速の設定

設計基準風速の設定は，以下の(2-1)及び(2-2)を考慮し，最大風速（地上高 10m，10 分間平均風速の日最大風速）値を採用する。

なお，最大瞬間風速等の風速変動といった局所的かつ一時的な影響であれば，竜巻の最大瞬間風速の影響に包絡されるが，ここでは風（台風）の影響範囲，継続性を鑑み，風（台風）に対して設計基準風速を設定する。

設計基準風速の設定に当たっては，最大風速を採用することにより，その風速の 1.5～2 倍程度の最大瞬間風速⁽¹⁾を考慮することになること，現行の建築基準法では最大瞬間風速等の風速変動による影響を考慮した係数を最大風速に乘じ風荷重を算出することが定められていることから，設計基準風速としては最大風速を設定する。

(2-1) 規格・基準類

風に対する建築物の規格・基準として，発電用原子炉施設建設時の建築基準法施行令第 87 条（以下「旧建築基準法施行令」という。）においては，日本最大級の台風の最大瞬間風速（63m/s，地上高 15m）に基づく風荷重に対する設計が要求されていた。

その後，建築基準法施行令第 87 条の風荷重規定は 2000 年に改正され，

それ以降、建築物については、地域ごとに定められた基準風速の風荷重に対する設計が要求されており、東海村の基準風速は30m/s（地上高10m、10分間平均風速）である。

屋外設備のうち、タンクについては、消防法（危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示第4条の19）において、日本最大級の台風の最大瞬間風速（63m/s、地上高15m）に基づく風荷重に対する設計が、現在でも要求されている。

(2-2) 観測記録

気象庁の気象統計情報における風速の観測記録（第3-1表）によれば、東海第二発電所の最寄りの気象官署である水戸地方気象台（水戸市）で観測された観測史上1位の最大風速及び最大瞬間風速は下記のとおりである。

ただし、東海村については、風速等を観測する気象庁の地域気象観測システム（アメダス）が設置されていないため、気象庁の気象統計情報に観測記録はない。

水戸市：最大風速 28.3m/s

（1961年10月10日、統計期間1897年1月～2012年3月）

最大瞬間風速 44.2m/s

（1939年8月5日、統計期間1937年1月～2012年3月）

ここで、設計基準風速の設定に当たり、各風速の定義を確認する。

気象庁の風の観測については、風速（地上高10m、10分間平均）及び瞬間風速（地上高10m、3秒間平均）を記録している。「最大風速」は、風速

(地上高 10m, 10 分間平均) の日最大風速を, 「最大瞬間風速 (地上高 10m, 3 秒間平均) は, 瞬間風速 (地上高 10m, 3 秒間平均) の日最大瞬間風速をいい, 一般的に最大瞬間風速と最大風速の比は 1.5~2 倍程度とされている。(例えば, 最大風速 40m/s の場合は, 60~80m/s 程度の瞬間的な風が吹く可能性がある)

旧建築基準法施行令では, 最大瞬間風速 (63m/s, 地上高 15m) を参照していたが, 現行の建築基準法施行令では, 地上高 10m における 10 分間平均風速を基準としている。ただし, 現行の建築基準法施行令でも, 風荷重の算出において, 最大瞬間風速等の風速変動による影響を考慮し, 基準風速に地表面粗度等により求まるガスト影響係数を乗じ速度圧を算出することが定められている。これにより, 旧建築基準法施行令ではほぼ全国一律で定められていた風荷重を, 現在では建築物の周辺状況及び構造特性等に応じて定めることが可能となった。このような状況を踏まえ, 安全設計上考慮する設計基準風速の定義は, 現行の建築基準法に準拠し, 地上高 10m で 10 分間平均風速を採用する。

以上を踏まえると, 設計基準風速は, 地域性を考慮した上で, 現行の建築基準法に準拠した東海村の基準風速である 30m/s とする。

(3) 安全施設の健全性評価

安全施設が, 30m/s (地上高 10m, 10 分間平均) の風 (台風) によって安全機能を損なうことのない設計であることを評価・確認するため, 30m/s の風 (台風) に対する風荷重が安全施設に作用した場合の影響について評価し, 安全機能が維持されることを確認した。

本評価における基本的な考え方は, 以下のとおり。

- 安全重要度クラス1, 2に属する構築物, 系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋, 機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備を評価し, 安全機能が維持できることを確認する。また, 安全機能が維持されない場合には対策を実施する。
 - ① 頑健性のある建屋内に設置されている設備については, 30m/sの風(台風)に対する風荷重が作用した場合における当該の建屋の健全性を確認することにより, 安全機能を損なわないことを確認した。(第3-2表)
 - ② 屋外に設置されている設備については, 30m/sの風(台風)に対する風荷重が作用した場合における当該設備の健全性を確認することにより, 安全機能を損なわないことを確認した。(第3-2表)
- その他の安全重要度クラス3に属する構築物, 系統及び機器については, 機能維持する, 又は損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能な場合, 安全機能が維持可能であることから影響評価の対象外とする。

なお, 台風の発生に伴う飛来物の影響は, 竜巻影響評価にて想定している設計飛来物の影響に包絡されており, 安全施設の安全機能が損なわれるおそれはない。

第3-1表 観測記録（水戸市）（気象庁HPより）

年	最大風速 [m/s]	最大瞬間風速 [m/s]	年	最大風速 [m/s]	最大瞬間風速 [m/s]
1961	28.3	-	1991	13.2	26.1
1962	15.0	-	1992	12.7	24.6
1963	13.5	-	1993	14.5	26.5
1964	20.7	-	1994	10.4	25.7
1965	20.0	-	1995	10.1	24.5
1966	17.7	-	1996	17.1	36.3
1967	16.0	27.0	1997	12.3	27.1
1968	16.3	25.7	1998	11.5	26.9
1969	16.5	27.1	1999	14.1	27.7
1970	15.0	23.3	2000	11.5	23.3
1971	14.7	23.2	2001	12.6	23.7
1972	17.7	26.5	2002	13.4	28.7
1973	13.0	21.1	2003	10.6	24.7
1974	12.8	21.0	2004	15.5	29.6
1975	12.5	22.3	2005	10.9	22.8
1976	11.0	23.8	2006	13.1	29.6
1977	12.0	23.2	2007	11.6	25.6
1978	15.4	25.6	2008	13.9	22.4
1979	13.6	32.8	2009	13.6	25.6
1980	15.4	26.7	2010	14.3	23.3
1981	13.9	25.2	2011	14.0	25.7
1982	13.4	24.1	2012	12.1	26.7
1983	11.7	21.1	\		
1984	11.5	21.2			
1985	12.2	24.7			
1986	16.6	29.5			
1987	11.6	24.2			
1988	11.9	23.1			
1989	18.5	31.6			
1990	12.1	26.3			

第3-2表 風荷重による設備等の健全性評価結果

○建屋

評価対象建屋	評価位置[EL. (m)] [※] 方向	風荷重 [kN]	設計用地震力 [kN]	判定
原子炉建屋	57.00~46.50 東→西	315	40,756	○
タービン建屋	40.64~28.00 北→南	928	17,828	○
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	17.75~8.30 東→西	346	66,097	○

※裕度の最も小さい評価位置を記載

○ポンプ, ファン等

評価設備	応力 [MPa]	許容値 [MPa]	判定
残留熱除去系海水系ポンプ ^{※1}	6	147	○
非常用ディーゼル発電機海水系ポンプ ^{※2}	2	147	○
残留熱除去系海水系ストレナ	11	157	○
非常用ディーゼル発電機海水系ストレナ	18	157	○
中央制御室換気系冷凍機 (取付ボルト)	7	124	○
中央制御室換気系冷凍機 (外板材)	38	164	○

※1: 発生応力が最高となる電動機台取付ボルトの値を記載

※2: 発生応力が最高となる電動機取付ボルトの値を記載

○配管

評価部位	応力 [MPa]	許容値 [MPa]	判定
残留熱除去系海水配管 (取水側)	74	325	○
残留熱除去系海水配管 (放水側)	38	212	○
非常用ディーゼル発電機海水配管 (取水側)	46	245	○
非常用ディーゼル発電機海水配管 (放水側)	39	226	○
非常用ディーゼル発電機排気管	9	123	○
非常用ディーゼル発電機ベント管	40	206	○
非常用ガス処理系配管	43	232	○

○排気筒

部位	高さ ^{※2} [m]	応力[N/mm ²]			許容応力[N/mm ²]			判定 ^{※1}
		圧縮	曲げ	せん断	圧縮	曲げ	せん断	
筒身	104.205	6.4	118.0	—	198.4	207.0	—	○
	87.432	—	—	11.5	—	—	71.6	○
主柱	87.432	95.6	15.3	—	167.5	235	—	○
斜材	18.257	117.6	—	—	183.4	—	—	○
水平材	104.205	54.1	19.8	—	210.9	235	—	○
柱補強材	56.000	76.7	—	—	155.1	—	—	○

※1: 裕度の最も小さい評価位置を記載

※2: 圧縮及び曲げの各々が許容応力未満であること

4. 低温影響評価について

(1) 基本方針

予想される最も過酷を考えられる条件として設計基準を設定の上、安全施設の機能が低温に伴う凍結により、安全機能が損なわれないよう設計する。

気象庁の気象統計情報における低温の観測記録（第 4-1 表）によれば、東海第二発電所の最寄りの気象官署である水戸地方気象台（水戸市）で観測された観測史上 1 位の最低気温は下記のとおりである。

水戸市：最低気温 -12.7℃

（1952 年 2 月 5 日，統計期間 1897 年 1 月～2012 年 3 月）

(2) 安全施設の健全性評価

安全施設が、低温によって安全機能を損なうことのない設計であることを評価・確認するため、低温が安全施設に作用した場合の影響について評価し、安全機能が維持されることを確認した。

本評価における基本的な考え方は、以下のとおり。

○ 安全重要度クラス 1，2 に属する構築物，系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備を評価し，安全機能が維持できることを確認する。また，安全機能が維持されない場合には対策を実施する。

① 屋内に設置されている設備については，建屋内は常に換気空調系を運転し温度を制御しているため，極端な低温にさらされることなく，安全機能が維持可能である。

- ② 建屋外に設置されている低温による影響を受ける可能性がある設備については、保温材による凍結防止対策若しくは循環運転等による凍結防止措置により、凍結のおそれのない設計とする。
- その他の安全重要度クラス3に属する構築物、系統及び機器については、機能維持する、又は損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能な場合、安全機能が維持可能であることから影響評価の対象外とする。

第4-1表 観測記録（水戸市）（気象庁HPより）

年	最低気温 [°C]	年	最低気温 [°C]	年	最低気温 [°C]
1897	-8.8	1936	-9.5	1975	-7.0
1898	-7.5	1937	-6.2	1976	-9.3
1899	-7.9	1938	-10.0	1977	-8.2
1900	-9.9	1939	-8.9	1978	-8.9
1901	-7.4	1940	-9.2	1979	-7.5
1902	-9.7	1941	-7.8	1980	-7.4
1903	-6.4	1942	-9.2	1981	-8.0
1904	-9.7	1943	-8.5	1982	-8.5
1905	-7.4	1944	-8.7	1983	-8.0
1906	-9.3	1945	-11.0	1984	-11.0
1907	-9.1	1946	-8.4	1985	-10.6
1908	-8.2	1947	-8.1	1986	-8.5
1909	-11.4	1948	-6.7	1987	-6.5
1910	-9.1	1949	-6.9	1988	-6.5
1911	-7.3	1950	-7.0	1989	-5.9
1912	-8.0	1951	-7.8	1990	-7.6
1913	-8.0	1952	-12.7	1991	-6.0
1914	-6.6	1953	-8.1	1992	-5.6
1915	-7.4	1954	-8.8	1993	-5.7
1916	-10.1	1955	-7.7	1994	-6.1
1917	-8.0	1956	-7.6	1995	-7.0
1918	-6.6	1957	-7.2	1996	-8.9
1919	-7.5	1958	-7.6	1997	-6.0
1920	-6.6	1959	-6.6	1998	-6.1
1921	-7.5	1960	-7.9	1999	-6.8
1922	-9.7	1961	-8.1	2000	-6.6
1923	-9.3	1962	-7.7	2001	-7.4
1924	-8.3	1963	-10.9	2002	-5.8
1925	-8.9	1964	-6.9	2003	-7.1
1926	-9.1	1965	-7.4	2004	-5.3
1927	-12.0	1966	-8.3	2005	-6.5
1928	-8.5	1967	-9.9	2006	-7.7
1929	-9.5	1968	-8.6	2007	-4.4
1930	-8.0	1969	-8.2	2008	-5.5
1931	-10.1	1970	-11.0	2009	-5.4
1932	-6.7	1971	-8.0	2010	-6.5
1933	-7.5	1972	-6.1	2011	-7.2
1934	-8.5	1973	-7.8	2012	-7.1
1935	-7.5	1974	-7.9		

5. 降水影響評価について

(1) 基本方針

予想される最も過酷を考えられる条件として設計基準を設定の上，安全施設の機能が降水による浸水，荷重に対して維持され，安全機能が損なわれないよう設計する。

(2) 設計基準降水量の設定

設計基準降水量の設定は，以下の(2-1)及び(2-2)を考慮した値を採用する。

(2-1) 規格・基準類

降水に対する排水施設の規格・基準として，森林法に基づく林地開発許可に関する審査基準等を示した「森林法に基づく林地開発許可申請の手びき」（平成28年4月茨城県）においては，東海村が適用範囲内となる「水戸」における10年確率で想定される雨量強度は127.5mm/hである。

(2-2) 観測記録

気象庁の気象統計情報における降水量の観測記録（第5-1表）によれば，東海第二発電所の最寄りの気象官署である水戸地方気象台（水戸市）で観測された観測史上1位の最大1時間降水量は下記のとおりである。

ただし，東海村については，降水量等を観測する気象庁の地域気象観測システム（アメダス）が設置されていないため，気象庁の気象統計情

報に観測記録はない。

水戸市：最大1時間降水量 81.7mm/h

(1947年9月15日，統計期間1906年1月～2012年3月)

なお，規格・基準類に定める雨量強度は地域特性に配慮した値であることから，基準降水量として使用する値としては，「森林法に基づく林地開発許可申請の手びき」（平成28年4月茨城県）にて定められる雨量強度127.5mm/hを定める。

(3) 安全施設の健全性評価

安全施設が，(2)にて設定した降水量によって安全機能を損なうことのない設計であることを評価・確認するため，1時間降水量127.5mm/hによる浸水及び荷重が安全施設に作用した場合の影響について評価し，安全機能が維持されることを確認した。(別紙1)

本評価における基本的な考え方は，以下のとおり。

○ 安全重要度クラス1，2に属する構築物，系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備を評価し，安全機能が維持できることを確認する。また，安全機能が維持されない場合には対策を実施する。

① 安全施設のうち降水に対し必要な構築物，系統及び機器の設置場所は，1時間降水量127.5mm/hの降水による浸水に対し，構内排水路による排水等により，影響がないことを確認した。

② 安全施設のうち降水に対し必要な構築物，系統及び機器は，1時間降水量127.5mm/hの降水に対する荷重に対し，排水口による

排水等により，影響がないことを確認した。

- その他の安全重要度クラス3に属する構築物，系統及び機器については，機能維持する，又は損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能な場合，安全機能が維持可能であることから影響評価の対象外とする。

第5-1表 観測記録（水戸市）（気象庁HPより）

年	最大1時間降水量[mm/h]	年	最大1時間降水量[mm/h]	年	最大1時間降水量[mm/h]
1906	30.0	1942	27.4	1978	14.5
1907	32.7	1943	50.5	1979	49.0
1908	16.6	1944	47.1	1980	31.0
1909	26.3	1945	28.6	1981	43.5
1910	29.5	1946	51.8	1982	41.5
1911	25.5	1947	81.7	1983	54.5
1912	36.2	1948	30.2	1984	35.0
1913	56.0	1949	53.4	1985	32.0
1914	41.7	1950	46.2	1986	54.5
1915	41.6	1951	36.1	1987	35.0
1916	20.0	1952	54.0	1988	32.0
1917	42.3	1953	39.9	1989	32.5
1918	33.0	1954	28.8	1990	48.0
1919	21.0	1955	24.7	1991	35.5
1920	25.4	1956	23.5	1992	32.5
1921	31.3	1957	26.6	1993	38.5
1922	46.3	1958	37.0	1994	63.5
1923	40.0	1959	77.8	1995	25.0
1924	36.2	1960	20.0	1996	44.0
1925	42.9	1961	60.0	1997	45.5
1926	22.8	1962	25.1	1998	35.5
1927	48.2	1963	30.0	1999	48.0
1928	27.7	1964	36.6	2000	57.0
1929	24.2	1965	30.6	2001	33.0
1930	58.6	1966	25.5	2002	28.5
1931	26.5	1967	31.0	2003	22.0
1932	19.1	1968	24.0	2004	41.5
1933	41.2	1969	33.0	2005	33.5
1934	21.1	1970	27.0	2006	27.0
1935	28.0	1971	26.0	2007	45.0
1936	7.6	1972	22.5	2008	32.0
1937	43.8	1973	30.0	2009	36.0
1938	25.6	1974	19.0	2010	31.5
1939	38.3	1975	37.0	2011	47.5
1940	49.1	1976	50.5	2012	56.0
1941	25.2	1977	46.0		

降水による浸水及び荷重の影響評価

1. 概要

安全重要度クラス 1, 2 に属する構築物, 系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋, 機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備の設置場所は, 設計基準としての降水量 (127.5mm/h) による浸水に対し, 構内排水路による排水等により, 安全機能を損なうことのない設計とする。

安全重要度クラス 1, 2 に属する構築物, 系統及び機器を内包する建屋については, 設計基準としての設計基準としての降水量 (127.5mm/h) の荷重に対し排水口による排水等により影響を受けない設計とし, 安全機能を損なうことのない設計とする。

その他の安全重要度クラス 3 に属する構築物, 系統及び機器は, 降水に対して機能維持する, 若しくは, 降水による損傷を考慮して, 代替設備により必要な機能を確保すること, 安全上支障のない期間での修復等の対応, 又はそれらを適切に組み合わせた設計とする。

2. 降水による敷地内浸水影響評価

2.1 浸水量評価

設計基準としての降水量 (127.5mm/h) における敷地内の浸水量を以下の条件のもと評価した。

<評価条件>

降雨強度

: 設計基準としての降水量 (127.5mm/h)

雨水流出量

：雨水流出量 Q_1 の算出には、「森林法に基づく林地開発許可申請の手引き」（平成28年4月茨城県）を参照し、以下の合理式（ラショナル式）を用いる。

$$Q_1 = 1 / 360 \cdot f \cdot r \cdot A$$

Q_1 ：雨水流出量 (m^3/s)

f ：流出係数（開発部：0.9，林地：0.5）

r ：設計基準としての降水量 ($127.5mm/h$)

A ：集水流域面積 (ha)

排水量

：構内排水路流末における排水量 Q_2 は、「開発行為の技術基準」（平成10年10月茨城県）を参照し、以下の Manning 式を用いる。

$$V = 1 / n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

$$Q_2 = V \cdot A$$

Q_2 ：設計排水量 (m^3/s)

V ：平均流速 (m/s)

n ：Manning の粗度係数

R ：径深 = A/S (m)

A ：流水断面積 (m^2)

S ：潤辺 (m)

I ：勾配

集水流域，幹線排水路及び流末排水路位置を第1図に示す。



第 1 図 集水流域，幹線排水路及び流末排水路位置

2.2 評価の結果

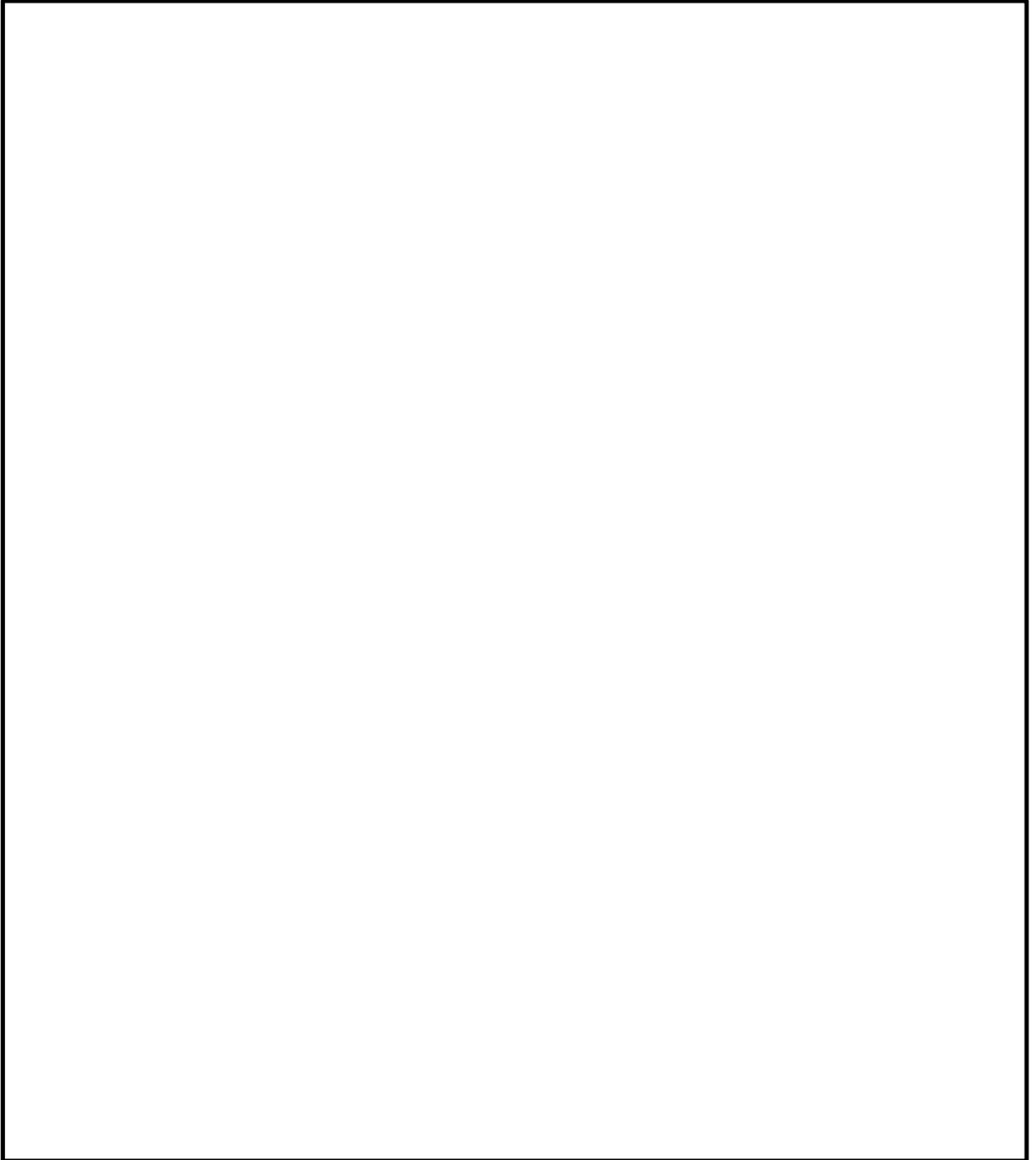
雨水流出量と排水路流末の設計排水量の比較を第1表に、敷地高さ及び地表水の流下想定を第2図に示す。排水路流末の設計排水量が雨水流出量を上回る設計とすること及び排水路流末位置は敷地勾配を考慮した設計とすることで、雨水を遅滞なく海域に排水することが可能である。

なお、地表を流下する雨水についても、敷地傾斜に従い流下し、排水路流末より速やかに排水されることから、安全施設が浸水することはない。

第1表 雨水流出量と流末排水路の設計排水量の比較結果

流域	集水区域 面積A (ha)	雨水流出量 Q ₁ (m ³ /h)	流末	流末排水路 排水量*Q ₂ (m ³ /h)	安全率 Q ₂ /Q ₁	備考
①	16.8	約 18,900	①-1	約 21,900	1.26	流末①-2で排水できない雨水は地表を流下し、流末①-1で排水される
			①-2	約 2,080		
②	16.7	約 16,600	②	約 24,000	1.44	
③	9.17	約 10,600	③-1	約 4,100	1.51	流末③-1で排水できない雨水は地表を流下し、流末③-2で排水される
			③-2	約 12,000		
④	0.92	約 1,060	④	約 1,100	1.03	
⑤	2.81	約 3,230	⑤	約 12,000	3.71	

※今後の詳細設計により、変更の可能性はある。



第 2 図 敷地高さ及び地表水流下想定

3. 浸水評価について

3.1 建屋廻りの浸水評価

安全施設を内包する建屋への影響について、それらの建屋周辺においては、敷地傾斜に従い流下し、構内排水路及び流末排水路より速やかに排水されることから、安全施設が浸水することはない。

3.2 取水口エリアの浸水評価

取水口エリアへの影響について、敷地傾斜に従い流下し、流末排水路より速やかに排水されることから、安全施設が浸水することはない。

なお、安全施設が設置されている海水ポンプ室内には、排水ポンプが設置されており、その排水量は海水ポンプ室内の雨水流出量を上回るため、安全施設が浸水することはない。

以上のことから、安全重要度クラス1，2に属する構築物，系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備が、設計基準としての降水量による浸水によって安全機能を損なわれることはない。

4. 荷重の影響について

降水による荷重の影響について、安全施設を内包する建屋は多量の降水に対しても、排水口等により排水する設計としており、設計基準としての降水量による荷重によって安全機能を損なわれることはない。

6. 積雪影響評価について

(1) 基本方針

予想される最も過酷と考えられる条件として設計基準を設定の上，防護対象施設及びそれらの設備を有する建屋が積雪による荷重，積雪による吸気口等の閉塞により，原子炉施設の安全性が損なわれないよう設計する。

(2) 設計基準積雪量の設定

設計基準積雪量の設定は，以下の(2-1)及び(2-2)を考慮した値を採用する。

(2-1) 規格・基準類

積雪に対する規格・基準として，建築物については建築基準法及び同施行令第86条第3項に基づく茨城県建築基準法施行規則において，地域毎に垂直積雪量が定められており，東海村においては，30cmである。

(2-2) 観測記録

気象庁の気象統計情報における積雪の観測記録（第6-1表）によれば，東海第二発電所の最寄りの気象官署である水戸地方気象台（水戸市）で観測された観測史上1位の月最深積雪は下記のとおりである。

なお，東海村については，積雪等を観測する気象庁の地域気象観測システム（アメダス）が設置されていないため，気象庁の気象統計情報に観測記録はない。

水戸市：月最深積雪 32cm

（1945年2月26日，統計期間 1897年1月～2012年3月）

○ 積雪時の発電所の対応について

東海第二発電所においては、冬季の積雪の頻度は少ないものの、積雪は、気象予報により事前に予測が可能であり、進展も緩やかであるため、発電所構内における除雪活動を行っている。

構内の道路又はアクセスルートについては、ホイールローダによる除雪を実施する。

以上を踏まえると、設計基準積雪量は、地域性を考慮した上で、建築基準法に準拠した東海村の積雪量である 30cm を設計基準積雪量と定める。

(3) 安全施設の健全性評価

(2)にて設定した設計基準積雪量に対する安全施設への影響を評価する。設計基準の積雪量に対して、防護対象設備を有する各建屋及び外部の防護対象設備が積雪荷重、空気、流体の取り入れ口の閉塞によって機能喪失に至らないことを確認した。

本評価における基本的な考え方は、以下のとおり。

○ 安全重要度クラス 1，2 に属する構築物，系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備を評価し，安全機能が維持できることを確認する。また，安全機能が維持されない場合には対策を実施する。

① 防護対象設備が屋内にある場合は，当該設備を有する建屋が設計基準積雪量の荷重に対して機械的裕度を有する設計であることを確認した。(第 6-2 表参照)

- ② 屋外の防護対象設備は設計基準積雪量の荷重に対して健全であることを確認した。(第6-3表参照)
- ③ 流体の取り入れ口等の閉塞による影響について、各建屋の換気口等の高さが設計基準積雪量に対して高い位置に設置してあること及び上向きに開口部がない設計であることを確認した。(第6-4表及び第6-2図参照)また、積雪と風により吸気口等の閉塞が考えられるが、この場合には、操作員がルーバに付いた積雪を落とすことにより閉塞を防止する。
- その他の安全重要度クラス3に属する構築物、系統及び機器については、機能維持する、又は損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能な場合、安全機能が維持可能であることから影響評価の対象外とする。

(4) 観測記録に対する評価

(4-1) 建築基準法施行令の基づく設定値

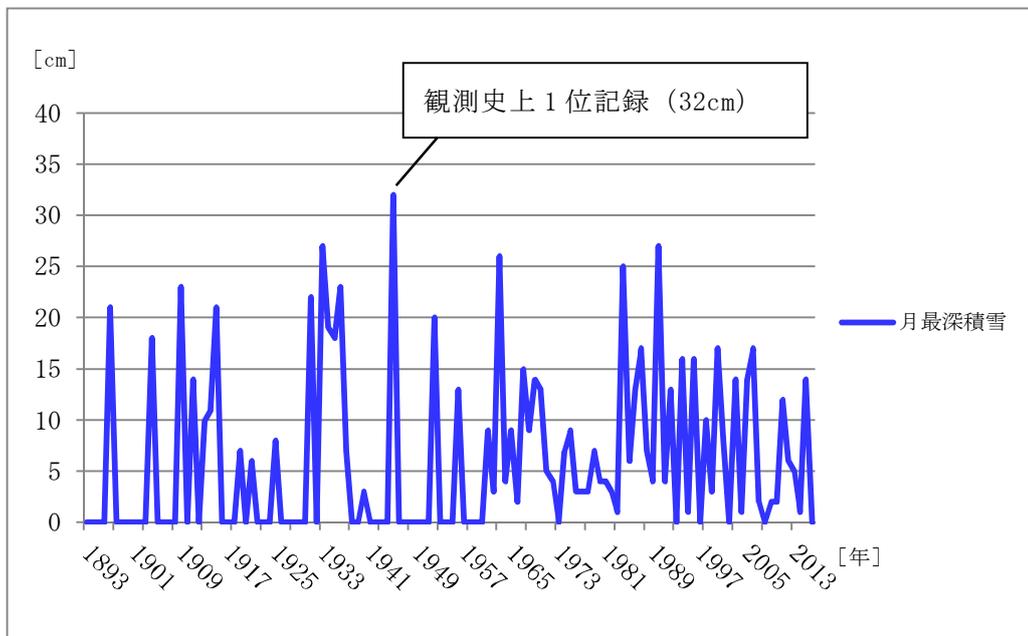
設計基準としての設定値 30cm に対して、水戸の月最深積雪が 32cm であり、以下のとおり評価した。

- ・ 建築基準法施行令に基づく各市町村の設定値は、当該区域における局所的地形要因による影響を考慮し、過去の観測記録に基づき統計処理を行う等の手法によって、50年再現期待値を求めた値となっており、水戸市及び東海村の設定値はともに 30cm である。
- ・ 過去の観測記録を確認した結果、月最深積雪に有意な上昇傾向は見受けられない。
- ・ 月最深積雪 32cm は、約 70 年前に観測されたものであり、以後更新されていない。

これらのことから、安全施設に対する設計基準としての設定値に、建築基準法施行令に定める設定値を用いることは、設計基準としての設定値を定める上で問題ないとする。

(4-2) 水戸の月最深積雪での積雪荷重に対する影響評価

最寄りの気象官署である水戸地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪32cmに対する安全施設（建屋及び屋外機器）への影響を評価した結果、積雪荷重は許容堆積荷重内であることを確認した。



第6-1図 水戸地方気象台の観測記録グラフ（月最深積雪）

第6-1表 観測記録（水戸市）（気象庁HPより）

年	最大月最深 積雪[cm]	年	最大月最深 積雪[cm]	年	最大月最深 積雪[cm]
1885	-	1928		1971	5
1886	-	1929		1972	4
1887	-	1930		1973	—
1888	-	1931	22]	1974	7
1889	-	1932		1975	9
1890	-	1933	27]	1976	3
1891	-	1934	19]	1977	3
1892	-	1935	18]	1978	3
1893	-	1936	23]	1979	7
1894	-	1937	7]	1980	4
1895	-	1938		1981	4
1896	-	1939		1982	3
1897	21]	1940	3]	1983	1
1898		1941		1984	25
1899		1942		1985	6
1900		1943		1986	13
1901		1944		1987	17
1902		1945	32]	1988	7
1903		1946		1989	4
1904	18]	1947		1990	27
1905		1948		1991	4
1906		1949		1992	13
1907		1950		1993	0
1908		1951		1994	16
1909	23]	1952	20]	1995	1
1910		1953		1996	16
1911	14]	1954		1997	0
1912		1955		1998	10
1913	10]	1956	13]	1999	3
1914	11]	1957		2000	17
1915	21]	1958		2001	8
1916		1959		2002	0
1917		1960		2003	14
1918		1961	9]	2004	1
1919	7]	1962	3	2005	14
1920		1963	26	2006	17
1921	6]	1964	4	2007	—
1922		1965	9	2008	2
1923		1966	2	2009	2
1924		1967	15	2010	12
1925	8]	1968	9	2011	5
1926		1969	14	2012	5]
1927		1970	13		

※] : 資料不足値, 空白 : 観測を行っていない, 通信障害等

— : 該当現象, 又は該当現象による量等がない

第6-2表 積雪荷重による建屋の健全性評価結果

評価対象建屋	評価部位	積雪荷重 [N/m ²]	短期許容応力度における 許容堆積荷重 [N/m ²]	判定
原子炉建屋	屋根トラス	600	7780	○
タービン建屋	屋根トラス		6280	○
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	屋根トラス		49360	○

第6-3表 積雪荷重による屋外機器の健全性評価結果

評価対象施設	評価部位	応力の種類	算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	判定
残留熱除去系 海水系ポンプ	モータ フレーム	圧縮応力	1.83	229	○
非常用ディーゼル発電機海 水系 ^{※1} ポンプ	モータ フレーム	圧縮応力	0.32	240	○
残留熱除去系 海水系ストレーナ	支持脚	圧縮応力	2.10	184	○
非常用ディーゼル発電機海 水系 ^{※1} ストレーナ	支持脚	圧縮応力	1.18	184	○
非常用ディーゼル発電機 ^{※2} 吸気口	支持脚	圧縮応力	0.27	229	○

※1：高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系含む。

※2：高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。

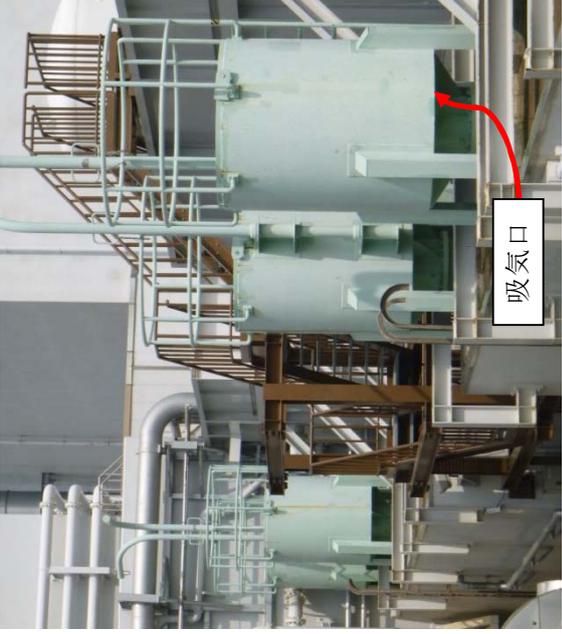
第6-4表 開口部高さ及び影響評価結果

No.	設置場所	名称	開口部高さ※1	評価※2
1	原子炉建屋 (附属棟屋上)	非常用ディーゼル発電機2C室用排風機排気口	約2.2m	○
2	原子炉建屋 (附属棟屋上)	非常用ディーゼル発電機2D室用排風機排気口	約2.2m	○
3	原子炉建屋 (附属棟屋上)	高圧炉心スプレイ系用ディーゼル発電機室用排風機排気口	約2.2m	○
4	原子炉建屋 (附属棟屋上)	非常用ディーゼル発電機2C用吸気口	約0.5m	○
5	原子炉建屋 (附属棟屋上)	非常用ディーゼル発電機2D用吸気口	約0.5m	○
6	原子炉建屋 (附属棟屋上)	高圧炉心スプレイ系用ディーゼル発電機用吸気口	約0.5m	○
7	原子炉建屋 (附属棟屋上)	非常用ディーゼル発電機2C用給気ガラリ	約0.6m	○
8	原子炉建屋 (附属棟屋上)	非常用ディーゼル発電機2D用給気ガラリ	約0.6m	○
9	原子炉建屋 (附属棟屋上)	高圧炉心スプレイ系用ディーゼル発電機用給気ガラリ	約0.6m	○
10	原子炉建屋 (原子炉棟屋上)	非常用ディーゼル発電機2C用排気管	約3m	○
11	原子炉建屋 (原子炉棟屋上)	非常用ディーゼル発電機2D用排気管	約3m	○
12	原子炉建屋 (原子炉棟屋上)	高圧炉心スプレイ系用ディーゼル発電機用排気管	約3m	○
13	原子炉建屋 (附属棟壁面)	中央制御室空調給気ルーバ	約19m, 約5.6m	○
14	原子炉建屋 (附属棟壁面)	中央制御室空調排気ルーバ	約5.6m	○
15	原子炉建屋 (附属棟壁面)	空調機械室排気ルーバ	約5.2m	○
16	使用済燃料乾式貯蔵建屋 (壁面)	使用済燃料乾式貯蔵建屋給気口	約4m	○
17	使用済燃料乾式貯蔵建屋 (壁面)	使用済燃料乾式貯蔵建屋排気口	約9m	○
18	緊急時対策所	緊急時対策所空気取入口	※3	○
19	軽油貯蔵タンク	軽油貯蔵タンクベント管	※3	○

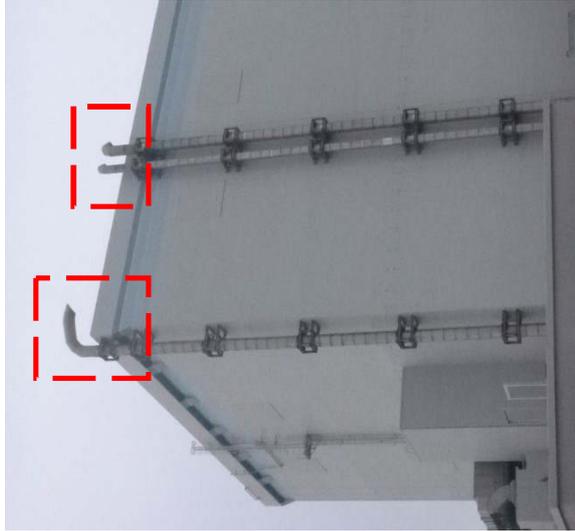
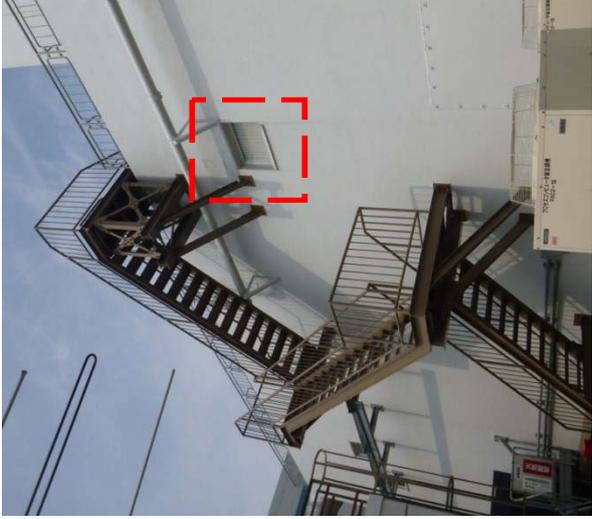
※1：地上部又は直近にある積雪のおそれのある平面部から開口部の高さ。なお、開口部が水平方向ではない場合は、開口部下端までの高さ。

※2：開口部高さが設計基準の積雪深さである30cmより高い位置に設置している場合、閉塞しないため、○とする。

※3：閉塞しない高さに設置する。

<p>No. 1～3 非常用ディーゼル発電機用排風機排気口 (写真は2D用)</p>	
<p>No. 4～6 非常用ディーゼル発電機用吸気口 (写真は奥より2C, HPCS用)</p>	
<p>No. 7～9 非常用ディーゼル発電機用給気ガラーリ (写真はHPCS用)</p>	

第6-2図 開口部の状況 (1 / 3)

<p>No. 10～12 非常用ディーゼル発電機用排気管 (左から2D, HPCS, 2C用)</p>	
<p>No. 13 中央制御室空調給気ルーバ (地上部より約 18m 側)</p>	
<p>No. 13 中央制御室空調給気ルーバ (直近の平面部より約 5.6m 側)</p>	

第 6-2 図 開口部の状況 (2 / 3)

<p>No. 14 中央制御室空調排気ルーバ (写真手前側) No. 15 空調機械室排気ルーバ (写真奥側)</p>		<p>No. 16, 17 使用済燃料乾式貯蔵建屋給排気口 (上段：排気, 下段：給気)</p>	
--	--	---	--

第6-2図 開口部の状況 (3 / 3)

7. 落雷影響評価について

(1) 基本方針

予想される最も苛酷と考えられる条件を設計基準として設定の上，重要安全施設の機能が落雷による雷撃電流に対して維持され，安全機能が損なわれないように設計する。

(2) 基準雷撃電流値の設定

基準雷撃電流値の設定は，以下の(2-1)を参照するとともに，参考として(2-2)を評価・確認のうえ設定する。

(2-1) 規格・基準類

原子力発電所における耐雷設計の規格・基準には電気技術指針 J E A G 4608 (2007) 「原子力発電所の耐雷指針」⁽¹⁾があり，以下のように規定している。

(a) 電力設備の避雷設備の設計について，電力中央研究所報告 T40

(1996)「発電所および地中送電線の耐雷設計ガイド」⁽²⁾を参照している。同ガイドでは，275kV 発電所における送電線並びに電力設備に対し，100kA を想定雷撃電流として推奨している。

(b) 建築物等の避雷設備に関して，日本工業規格 J I S A 4201 (2003)

「建築物等の雷保護」や日本工業規格 J I S A 4201 (1992) 「建築物等の避雷設備（避雷針）」を参照している。J I S A 4201 (2003) では，保護レベル（I～IV）に応じて雷保護システムを規定している。J E A G 4608 (2007) では原子力発電所の危険物施設に対する保護レベルを I E C / T S 61662 (1995) 「Assessment of the risk of

damage due to lightning」⁽³⁾に基づく選定手法により保護レベルⅣと評価している。一方、消防庁通知⁽⁴⁾に基づき、原子力発電所の危険物施設では保護レベルⅡを採用すると規定している。日本工業規格 J I S Z 9290-4 (2009) 「建築物内の電気及び電子システム」⁽⁵⁾においては、最大雷撃電流値が建築物の保護レベル (Ⅰ～Ⅳ) に応じて定められているが、保護レベルⅡの場合の最大雷撃電流値は、150kA と規定されている。

(2-2) 観測記録による年超過確率評価

雷撃電流の観測記録として、発生した雷放電の発生時刻・位置を標定し、雷撃電流の大きさを推定できる株式会社フランクリンジャパンの運用する全国雷観測ネットワーク (JLDN[※]) により観測された落雷データを用いて年超過確率評価を実施する。

※JLDN (Japan Lightning Detection Network) …落雷時に放出される電磁波を全国に設置された落雷位置標的システムを用いて落雷位置や雷撃電流の大きさを観測するネットワーク。全米雷観測ネットワーク (NLDN : National Lightning Detection Network) と同様のシステム及びネットワーク方式を採用している。

別紙 1 より、雷撃頻度解析として、東海第二発電所周辺を中心とした評価地域 900km²において 1998 年 8 月 21 日から 2013 年 3 月 31 日にかけて実施された観測記録により求めた東海第二発電所を中心とした標的面積 4km²の範囲の雷撃密度は 1.71 回/年・km である。また、雷撃電流発生頻度分布についても、観測記録により求めた雷撃電流値に対する累積頻度を

使用する。東海第二発電所において落雷の可能性が最も高い排気筒に対する年超過頻度が 10^{-4} / 年値となる雷撃電流値は、雷撃電流発生頻度分布から 220kA となる。

上記(1)～(2)を踏まえると、東海第二発電所に対して想定される雷撃電流が最も大きくなるのは(2)の観測記録の統計処理による年超過頻度 10^{-4} / 年値となる雷撃電流値 220kA であることから、基準雷撃電流値としては、220kA とする。

(3) 重要安全施設の健全性評価

設計基準の雷撃電流値（排気筒への 220kA の雷撃電流）によって重要安全施設が安全機能を損なうことがない設計であることを評価・確認を実施した。

(3-1) 建屋

原子炉建屋などの建築基準法に定められる高さ 20m を超える建築物等には避雷設備を設けている。また、避雷設備の接地極を構内接地網と接続し接地抵抗を下げる等の対策を実施しており、影響を受けにくい設計としている。

(3-2) 原子炉建屋等に内包される設備

直撃雷に対しては、(3-1)で記載した雷害対策によって防護される。誘導雷サージに対しては、建屋に内包される電気・計装設備が、大地電位上昇により接地系間に生じる電位差や、雷電流の拡散による誘導電流により計装・制御ケーブル等に生じるサージによって、機器が絶縁破壊に至る可能性が有るが、プラントトリップ機能等を有する安全保護回路

については、サージの侵入を抑制するために、ラインフィルタ及び絶縁回路の設置、鋼製筐体や金属シールド付信号ケーブルを採用していることから影響を受けにくい設計としている。

また、重要安全施設は、J E C 210 (1981) 「低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準」⁽⁶⁾に基づいた耐力を有している。東海第二発電所で実施した雷インパルス試験の結果を参考に、設計基準電流 220kA が落雷の可能性が高い排気筒に流れた場合の誘導電圧を評価した結果、重要安全施設の機能が損なわれないことを確認した。(別紙 2)

(3-3) 屋外設備

排気筒については接地を構内接地網に接続し、接地抵抗を低減しており、影響を受けにくい設計としている。また、残留熱除去系海水系ポンプ、非常用ディーゼル発電機海水系ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系ポンプについては、別途竜巻対策により設置する防護ネット等によって遮蔽され、防護ネット等が接地網へと接続されているため、落雷に対して十分保護が出来ているといえる。

(4) 参考文献

- (1) 日本電気協会 (2007) : 原子力発電所の耐雷指針, 電気技術指針, J E A G 4608
- (2) 電力中央研究所 (1996) : 発電所および地中送電線の耐雷設計ガイド, 電力中央研究所報告, T40
- (3) International Electrotechnical Commission (1995) :
Assessment of the risk of damage due to lightning, I E C
/ T S 61662

- (4) 消防庁（2005）：危険物の規則に関する規則の一部を改正する省令等の施行について，消防危第 14 号，平成 17 年 1 月 14 日
- (5) 日本規格協会（2009）：建築物内の電気及び電子システム，J I S Z 9290-4，雷保護第 4 部，日本工業規格
- (6) 電気学会（1981）：低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準，J E C 210，電気規格調査会標準規格

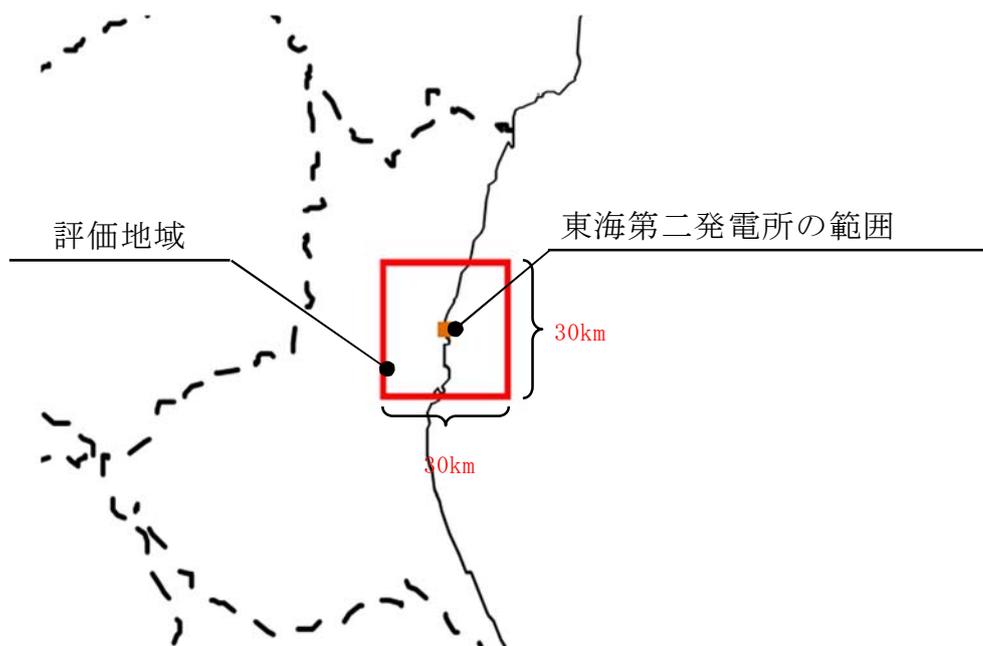
東海第二発電所排気筒への年超過確率による雷撃電流評価

1. 発電所構内への年超過確率による雷撃電流計算

J E A G 4608 (2007) 「原子力発電所の耐雷指針」⁽¹⁾に基づく I E C / T S 61662 (1995) 「Assessment of the risk of damage due to lightning」⁽²⁾の計算手法により排気筒への想定落雷数を算出し、発電所構内への年超過確率による雷撃電流計算を実施した。

2. 計算手法

東海第二発電所を中心とした評価地域 900km²の範囲で観測された落雷観測データ (1998年8月21日から2013年3月31日の期間) を基に東海第二発電所の範囲における雷撃数から I E C / T S 61662 (1995) による排気筒への想定落雷数 Nd 回/年を算出後、排気筒への年超過頻度 10⁻⁴/年値となる雷撃電流値を算出する。



第 7-1-1 図 評価地域及び標的面積

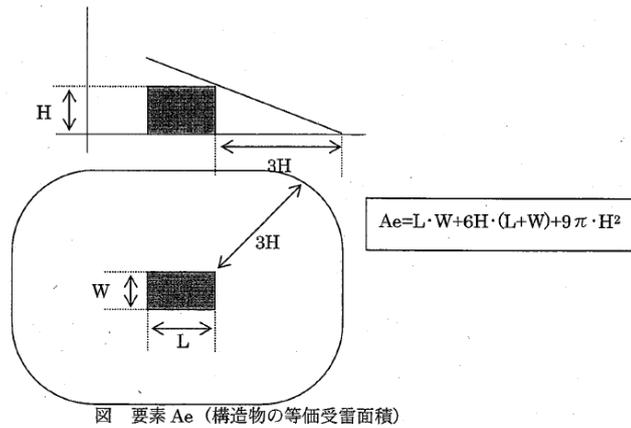
3. 雷撃対象と想定落雷数

① 雷撃対象

等価受雷面積*が最大となり，安全上重要な設備を内包する建屋（原子炉建屋など）の等価受雷面積を包絡する排気筒を代表建物として想定し，雷撃頻度を評価する。

※等価受雷面積…落雷の収集面積。構造物の高さを3倍とした水平離隔距離の領域を等価な受雷面積としている。

1) 評価対象：東海第二発電所排気筒



第 7-1-2 図 構造物の等価受雷面積

(J E A G 4608 (2007) 「原子力発電所の耐雷指針」)



第 7-1-3 図 東海第二発電所における等価受雷面積

② 想定落雷数

東海第二発電所を中心とした標的面積 4km^2 への 1998 年 8 月 21 日から 2013 年 3 月 31 日の期間における雷撃数は、東海第二発電所落雷観測結果に基づけば、164 件である。

よって、1998 年 8 月 21 日から 2013 年 3 月 31 日の期間における標的面積 1km^2 あたりの落雷密度 N_g 回/ $\text{km}^2 \cdot \text{年}$ を算出すると、落雷密度は、

$$N_g = \frac{164 \text{ 回}}{4\text{km}^2} \cdot \frac{1}{14.6 \text{ 年}} = 2.8 \text{ (回/年} \cdot \text{km}^2)$$

となる。

排気筒の等価受雷面積 $A_e\text{km}^2$ を算出する。(図 2-1, 2-2 参照)

排気筒 : $28\text{m (L)} \times 28\text{m (W)} \times 140\text{m (H)}$

$$\begin{aligned} A_e &= L \cdot W + 6H \cdot (L + W) + 9\pi \cdot H^2 = 28 \cdot 28 + 6 \cdot 140 \cdot (28 + 28) + 9 \cdot \pi \cdot 140^2 \\ &= 610000(\text{m}^2) = 0.61 \text{ (km}^2) \end{aligned}$$

となる。

構造物の設置された環境条件により定まる環境係数 C_e は、第 7-1-1 表より 1.0 とする。

環境条件	C_e の値
同じ様な高さ、又は塔や森林の様に高い建設群や樹木のある広い範囲に位置する建物	0.2
小さな建物群に囲まれた建物	0.5
建物の高さの 3 倍の範囲に建物がない独立した建物	1.0
丘の上や塚の上に位置する建物	2.0

第 7-1-1 表 環境係数 C_e

(J E A G 4608(2007)「原子力発電所の耐雷指針」)

以上より、想定落雷数 N_d 回/年を算出する。

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot C_e = 2.8 \cdot 0.61 \cdot 1.0 = 1.71 \text{ (回/年)}$$

上記より、排気筒への年間雷撃数は 1.71 回／年と算出される。

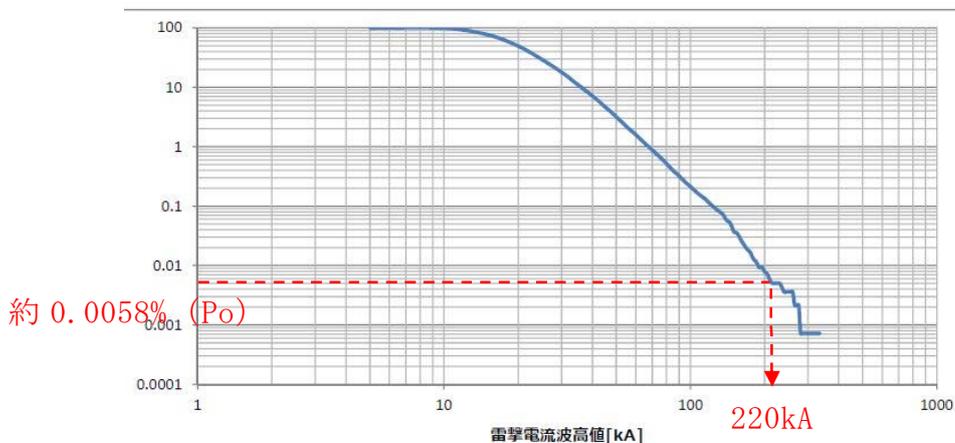
以上を考慮すると、再現期間を y として排気筒への雷撃数 N_t は以下のようになる。

$$N_t = N_d \cdot y$$

これらの雷撃について、発生する電流最大値を雷撃電流分布での確率 $P=1/(N_t)$ の点で評価する。雷撃電流分布に関しては、株式会社フランクリンジャパンの運用する全国雷観測ネットワーク（JLDN）により観測された落雷データに基づき評価する（第 7-1-4 図）。なお、再現期間は 10^4 年とする。

$$N_t = 1.71 \cdot 10^4 = 17100 \text{ 回}$$

確率 $P_0=1/(17100)$ に対する電流値は 220kA となる。



第 7-1-4 図 全国雷観測ネットワーク（JLDN）観測の電流分布

4. まとめ

東海第二発電所排気筒に対する、 10^{-4} ／年値の頻度となる想定最大雷撃電流の算出結果は、220kA となった。

5. 参考文献

- (1) 日本電気協会 (2007) : 原子力発電所の耐雷指針, 電気技術指針,
J E A G 4608
- (2) International Electrotechnical Commission (1995) :
Assessment of the risk of damage due to lightning, I E C /
T S 61662

建屋内重要設備の雷リスク評価

1. 評価概要

設備の落雷に対する耐力の定量的な評価方法については、既往の文献等や最新の知見を踏まえ、可能な限り現実的かつ網羅的な評価を実施する。

2. 雷サージ評価対象設備

排気筒へ落雷し、大地に安全に雷電流が逃された場合でも、大地電位上昇により接地系間に生じる電位差や、雷電流の拡散による誘導電流により、計装・制御ケーブル等に生じる誘導雷サージによって、機器が絶縁破壊に至る可能性が有る。

そこで、重要安全施設に発生する雷サージ電圧により、重要安全施設が損傷するリスクを評価する。

なお、重要安全施設以外の安全施設については、クラス間で分離がなされており、落雷による損傷があったとしても重要安全施設に波及することは無く、重要安全施設の機能は維持されることから本評価対象から除外した。

3. 建屋内重要設備の雷リスク評価

3.1 評価方針

3.1.1 想定する落雷

想定する落雷は、設計基準として設定した、排気筒への 220kA の雷撃電流とする。

3.1.2 評価方法

落雷時に重要安全施設に加わる雷サージ電圧を推定する際に、過去に東海

第二発電所において実施した雷インパルス試験の結果⁽¹⁾を使用する。

雷インパルス試験では、雷電流波形を模擬した電流を排気筒に雷インパルス発生装置（以下 IG）を用いて印加し、計装制御回路の過電圧の測定を行った。第 7-2-1 図に東海第二発電所エリアの構内配置、IG 設置位置のイメージ及び、試験に用いた雷インパルスの発生回路図を示す。

第 7-2-1 表に雷インパルス試験及び、220kA 落雷時の換算値を示す。雷サージ電圧の換算値は雷インパルス試験の結果を保守的に比例関係にあるとして外挿し算出した。実際には雷撃電流値が大きくなるほど、土中放電効果（雷サージ電圧が低下する）の影響が大きくなるため、これは保守的な評価となる。この結果と、機器の雷サージ耐電圧値を比較し落雷による影響がないことを確認する。

また、落雷による施設への影響として、雷サージ以外にもノイズの影響が考えられるが、ノイズにより設備自体が損傷することは無く、重要安全施設の機能は維持されることから本評価対象から除外した。



第 7-2-1 図 雷インパルス試験

第7-2-1表 雷インパルス測定試験結果

測定点	ケーブル種類	誘導電圧測定値 (V)		220kA 換算値 (V)	
		発点側	着点側	発点側	着点側
非常用ディーゼル発電機 2D 制御盤	電源	0.5	-	440	-
上記以外重要安全施設への誘導サージの発生は認められなかった。 ⁽³⁾⁽⁴⁾					

3.1.3 雷サージ耐電圧値

(1) 電源回路・制御回路

J E C 210 (1981) 「低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準」⁽²⁾において重要安全施設に要求される電源回路・制御回路の雷インパルス試験電圧の 4,000V を用いる。

(2) 計装回路

個別機器に対して耐電圧値を明確に定めた基準は無いが、型式試験等により確認された値の下限值 500V を用いる。

3.2 評価結果

3.2.1 影響評価

(1) 電源回路・制御回路

220kA 落雷時サージ電圧として、第7-2-2表の最大値である 440V を用いる、3.1.3 より電源回路・制御回路の耐電圧は 4,000V であるため、重要安全施設の機能が損なわれることはない。

(2) 計装回路

誘導サージの発生が認められなかった。そのため、220kA 落雷時を考慮

しても重要安全施設の機能が損なわれることはない。

第7-2-2表 評価結果

評価対象設備		雷サージ 電圧 (V)	雷サージ 耐電圧 (V)	評価
電源回路・ 制御回路	原子炉建屋 内	440	4,000	影響なし
計装回路	原子炉建屋 内	— (測定され ず)	500	影響なし

3.3 まとめ

以上の結果から、設計基準雷撃電流値 220kA の落雷に対して、東海第二発電所における重要安全施設の機能が損なわれないことを確認した。

4. 参考文献

- (1) 電力中央研究所 (1985) : 東海第二発電所接地特性サージ試験結果, 電力中央研究所報告, 昭和 60 年 4 月
- (2) 電気学会 (1981) : 低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準, J E C 210, 電気規格調査会標準規格
- (3) 日本原子力発電株式会社 (1984) : 東海第二発電所落雷事故について, 昭和 59 年 5 月
- (4) 電気事業連合会東海第二発電所落雷事故検討会 (1984) : 東海第二発電所 落雷事故検討報告書, 昭和 59 年 5 月

六ヶ所再処理施設における落雷事象について

1. はじめに

日本原燃株式会社六ヶ所再処理施設において、平成 27 年 8 月に発生した落雷に起因すると考えられる設備故障に関連し、東海第二発電所における耐雷設計について述べる。

なお、事象の内容については「再処理施設 分離建屋における安全上重要な機器の故障について」（平成 27 年 12 月 7 日、日本原燃株式会社）による。

2. 事象

六ヶ所再処理施設において、「高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿の漏えい液受皿液位計」（安全上重要な機器）の B 系の異常を示す警報の発報及び A 系の指示値が表示されない等の事象が発生した。調査の結果、安全上重要な機器について 17 機器の故障が見られた。これらの機器の故障は、要因分析の結果、落雷によるものである可能性が高いとしている。

3. 再処理施設における推定原因及び対策

本事象の推定原因としては、主排気筒への落雷による雷撃電流が、構内接地網に伝搬する過程で、信号ケーブルに電圧を誘起し、この誘導電圧により計器を損傷させた。また、地表面近くにトレンチ等の構造物が埋設されている再処理施設特有の構造が影響したと推定している。

対策として、建屋間を跨るケーブルへの雷サージによる影響を防止することを目的に保安器を設置している。

4. 東海第二発電所における耐雷設計

安全保護回路のケーブルは、建屋内に集約されており、六ヶ所再処理のように、広範な範囲に点在した建屋間を屋外トレンチ内ケーブルで結ぶ構造ではないこと、電氣的に同じ接地網に接続していることから、安全保護回路が損傷することはない。

8. 地滑り影響評価について

1. 基本方針

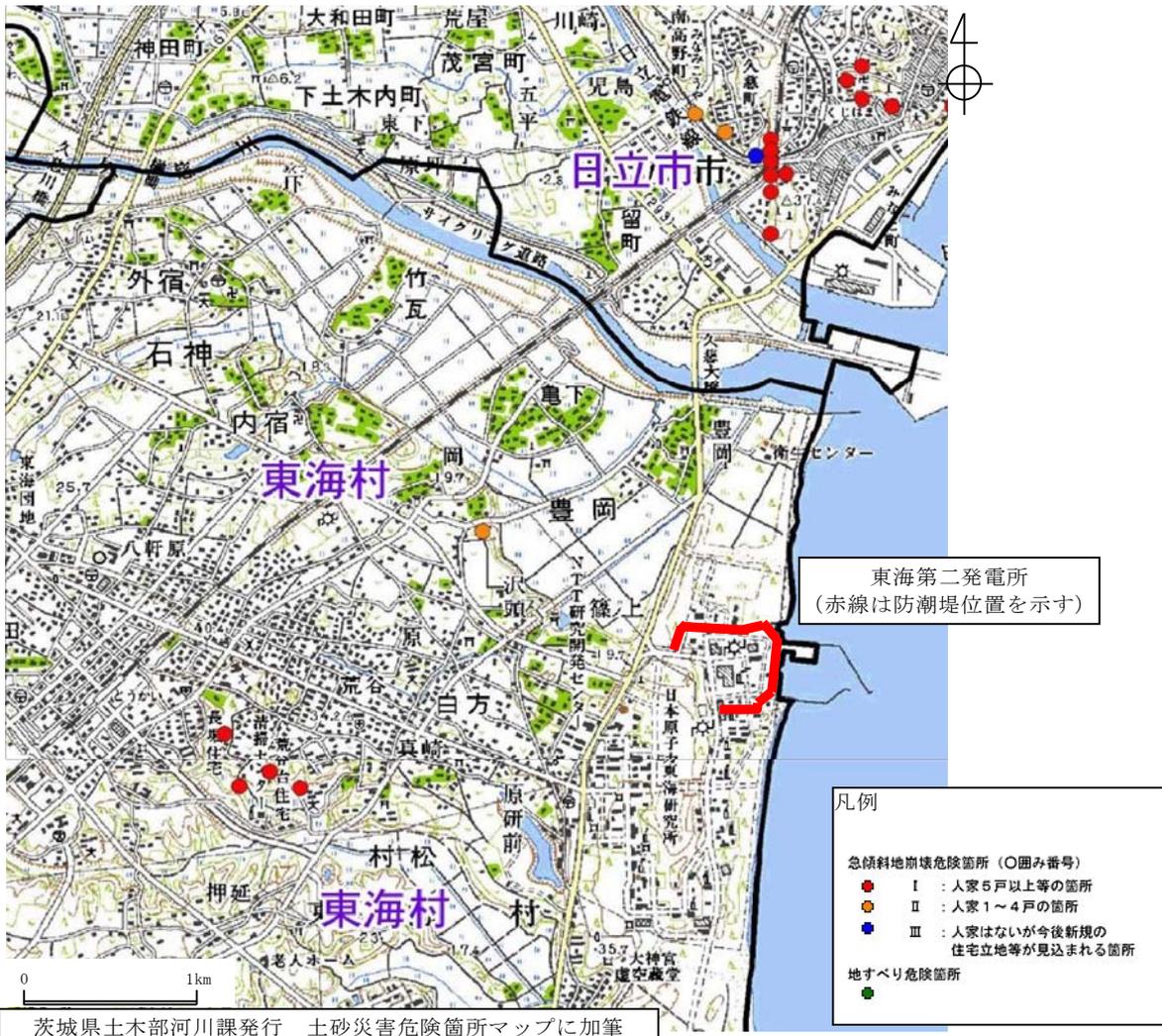
安全施設のうち外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器は斜面からの離隔距離を確保し、地滑りのおそれのない位置に設置することにより安全機能を損なわれないよう設計する。

2. 周辺斜面評価

土砂災害危険箇所図（茨城県土木部河川課発行）によると、東海第二発電所の敷地及びその近傍には土砂災害を起こすような急傾斜地崩壊危険箇所は存在しないため、東海第二発電所の安全施設に影響が及ぶことはない。（第8-1図参照）

3. 地滑り地形分布

地すべり地形分布図（独立行政法人防災科学技術研究所発行）によると、東海第二発電所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ことから、東海第二発電所の安全施設に影響が及ぶことはない。（第8-2図参照）



第8-1図 土砂災害危険箇所図



第8-2図 地すべり地形分布図

9. 生物学的事象に対する考慮について

(1) はじめに

東海第二発電所において想定される生物学的事象は、海生生物等の襲来や小動物の侵入等が挙げられるが、原子炉施設の安全性に影響を与える可能性があるものとして、海生生物等の襲来による海水ポンプの取水機能の低下が考えられる。

本資料では、海生生物等の襲来に対する防護対策の状況を示す。

なお、小動物については、屋外設置の端子箱内へのケーブル貫通部等のシールにより侵入を防止しており、また侵入を想定してもトレン分離された安全機能が同時に機能喪失することはない。

(2) 海生生物等の襲来による施設への影響

発電所の取水口付近の海生生物等は、海水ポンプの取水に伴う海水の流れにより、取水口へ流入し、海水ポンプへの塵芥流入を防止するための除塵装置で捕獲される。

除塵能力を超える多量の海生生物等が除塵装置に流入した場合、スクリーン前後の水位差が大きくなり、海水ポンプの取水機能への影響が懸念される。

(過去の事例)

東海第二発電所においては、海藻の襲来による発電機の出力を抑制した事例はあったが、プラント停止に至った事例、海水ポンプの取水機能に影響を及ぼした事例は発生していない。

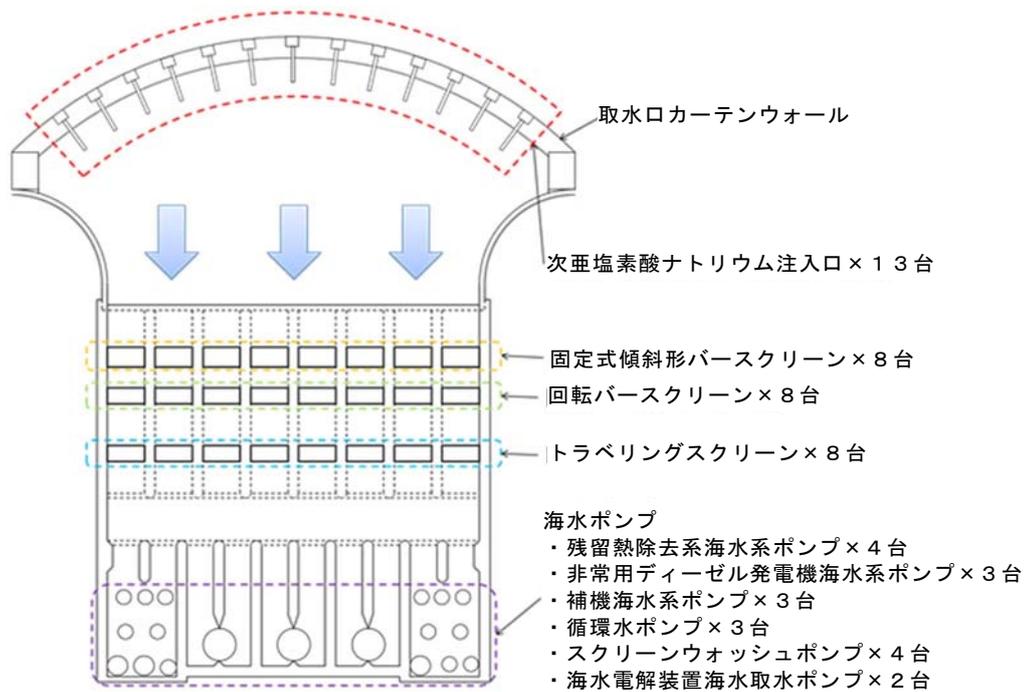
○ 対策の概要

東海第二発電所では固定式傾斜形バースクリーン、回転バースクリーン、トラベリングスクリーンによる流入した海生生物等の捕獲及び除去を実施している。

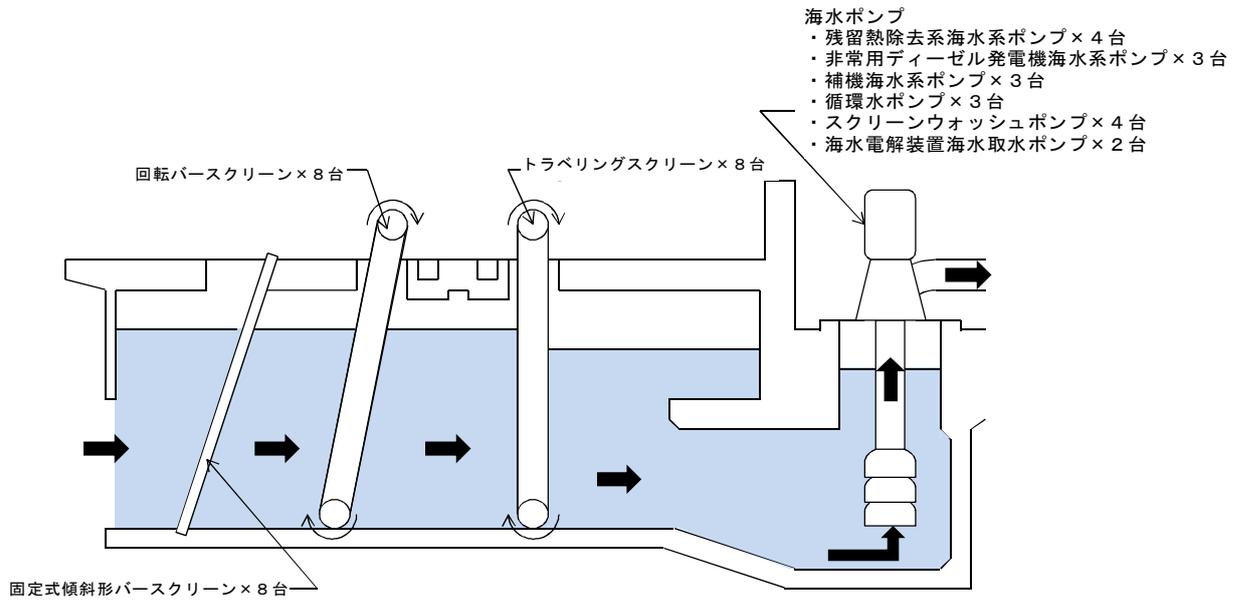
運転手順として、海生生物等の襲来により海水ポンプの取水機能へ影響が生じるおそれがある場合は、必要に応じ循環水ポンプのインペラ開度調整、発電機出力の抑制、及びプラント停止等の手順を整備している。

(3) 設備対策

a. 概略配置図（平面図）（イメージ）



b. 概略配置図（断面図）（イメージ）

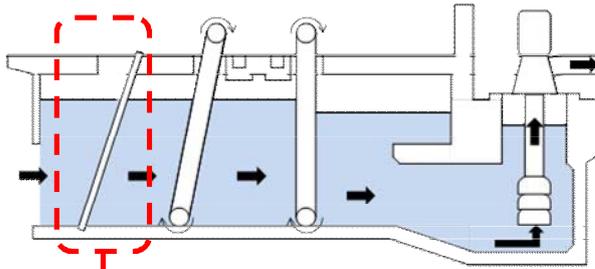


c. 固定式傾斜形バースクリーン

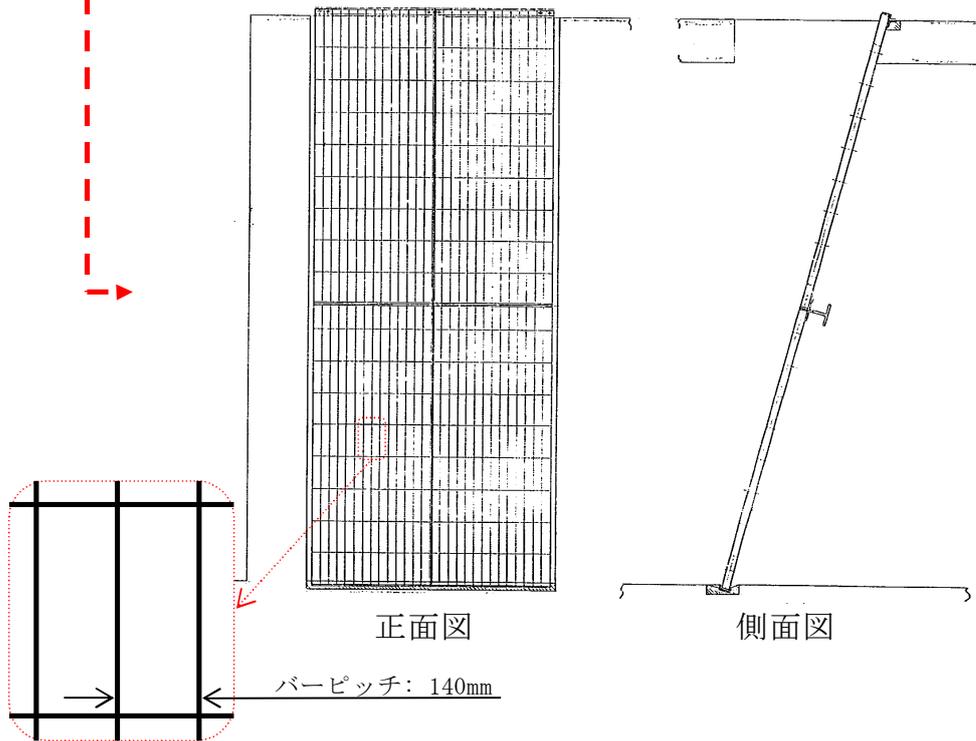
[目的] 大きな塵芥を除去する。

[仕様] バーピッチ：140mm

[運用] 巡視点検で目視確認している。



固定式傾斜形バースクリーン構造図

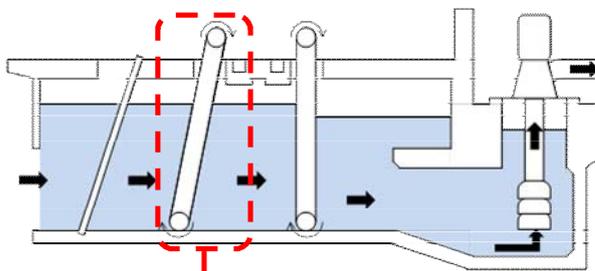


d. 回転バースクリーン

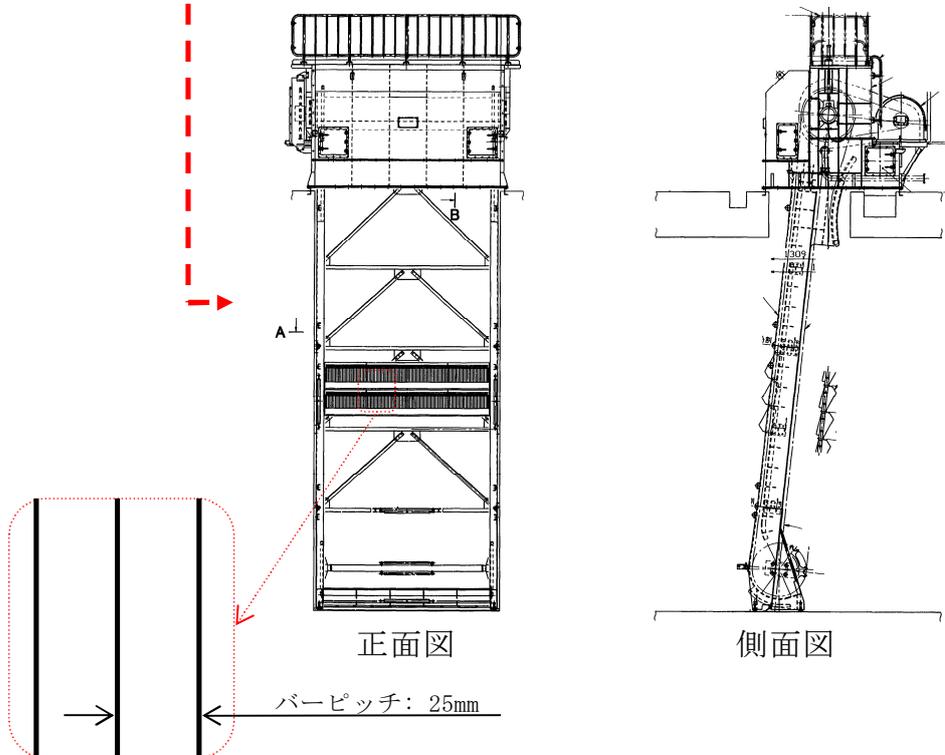
[目的] 固定式傾斜形バースクリーンを通過した海生生物等を捕獲し，回収する。

[仕様] バーピッチ：25mm 除塵能力：60 t/h 設置台数：8 台
キャリングチェーンシャーピン破断：392kN 以上

[機能] 固定式傾斜形バースクリーンを通過した比較的大きい異物を回収，除去する。



回転バースクリーン構造図



正面図

側面図

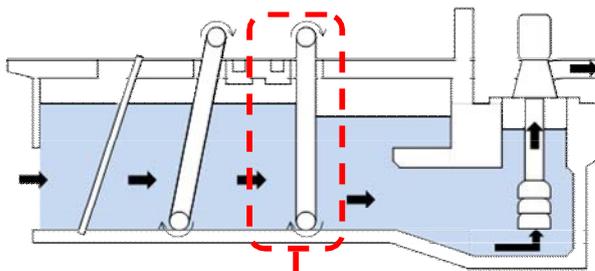
バーピッチ：25mm

e. トラベリングスクリーン

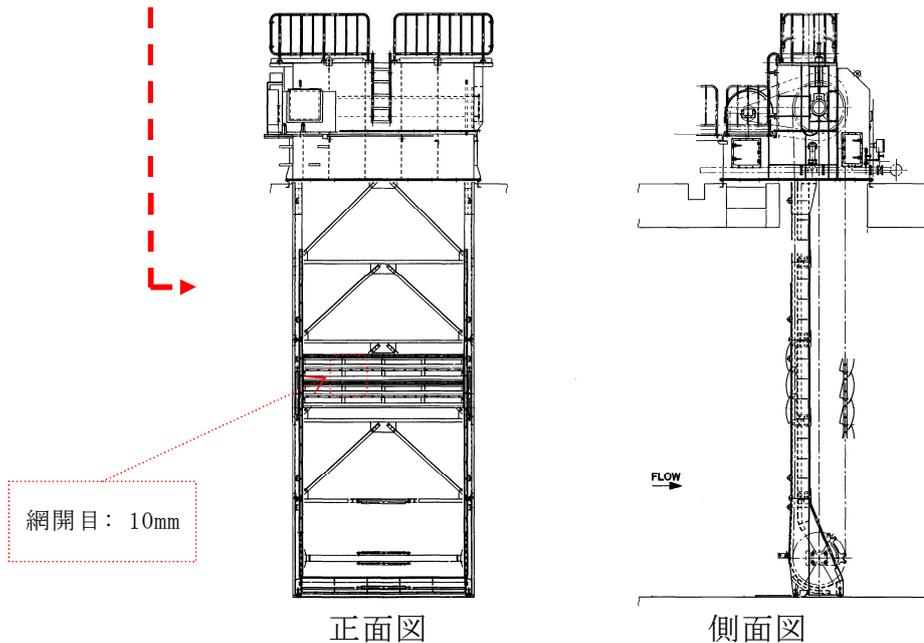
[目的] 固定式傾斜形バースクリーン，回転バースクリーンを通過した海生生物等を捕獲し，回収する。

[仕様] 網開目：10mm 除塵能力：20t/h 設置台数：8台
キャリングチェーンシャーピン破断：392kN 以上

[機能] スクリーン前後の水位差が 300mm になると自動起動し，捕獲された海生生物等を除去する。固定式傾斜形バースクリーン及び回転バースクリーンを通過した異物を回収，除去する。



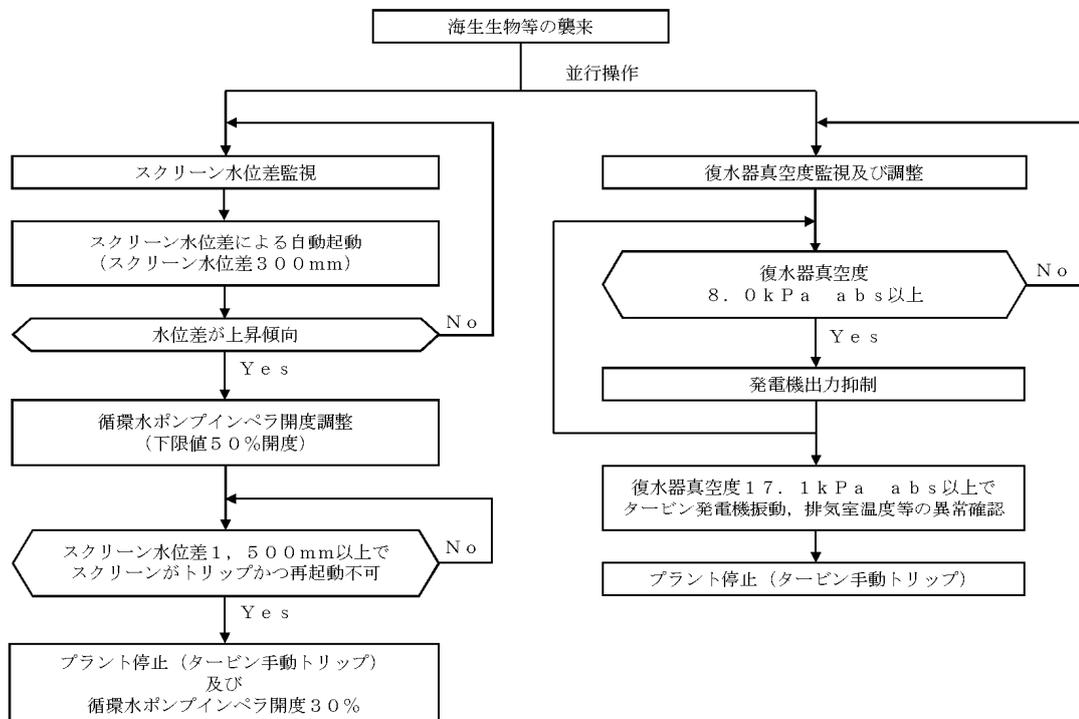
トラベリングスクリーン構造図



(4) 運転操作

海生生物等襲来時の運転操作については、以下の内容を、運転手順に定め運用している。

- 海生生物等の襲来により、除塵装置のスクリーン前後の水位差がスクリーンの自動起動水位差となれば、スクリーンの起動状況を確認する。
- 除塵装置のスクリーン前後の水位差がさらに大きくなれば循環水ポンプのインペラ開度による取水量の調整を行う。それに伴い、復水器真空度が基準値を上回らないよう、必要に応じて発電機出力を抑制する。スクリーン前後の水位差が回復困難な場合又は復水器真空度の悪化が継続し、主タービンパラメータに異常な変化が確認された場合、プラントを停止し、循環水ポンプのインペラ開度を 30%開度にする。

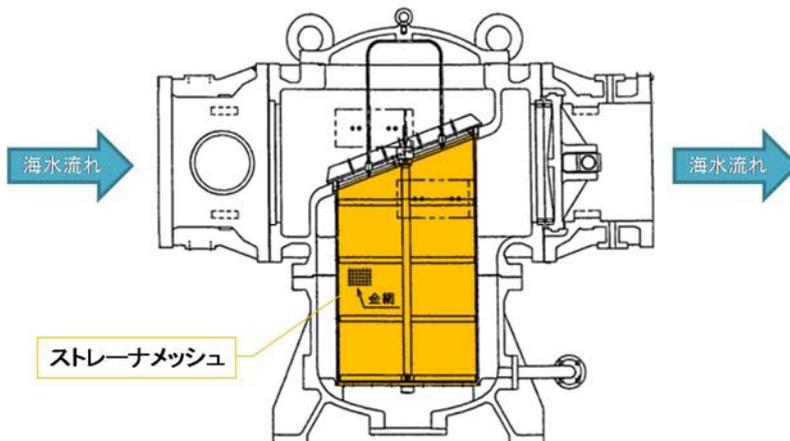


(5) 貝等の海生生物について

除塵装置では捕獲，除去できない貝等の海生生物についても，以下の対策により施設への影響を防止している。

- ① 海水ポンプで取水された海水中の海生生物については，海水ストレーナにより捕獲することで，残留熱除去系熱交換器等への海生生物の侵入を防止している。また，海水電解装置により海生生物の付着，繁殖を防止している。また，海水を冷却水として用いている各熱交換器等は定期的な開放点検，清掃を実施し，性能維持を図っている。

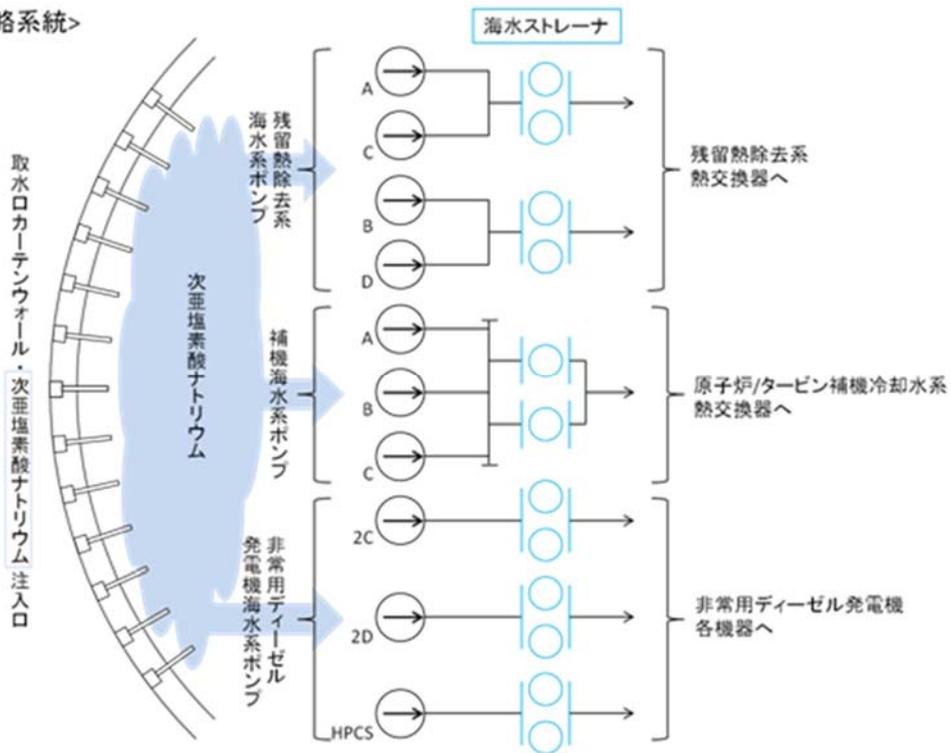
<海水ストレーナ概要>



○海水ストレーナ

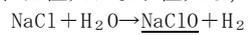
- ・海水中に含まれる海生生物等の固形物を除去する。
- ・海水系供給母管に各系統2基，並列で設置している。
(1基で100%通水容量を有している。)
- ・ストレーナの差圧が許容値以上になれば，ストレーナの切替え，清掃を実施し，捕獲した海生生物を除去する。
- ・ストレーナメッシュ
残留熱除去系海水系：8mm以上に変更（降下火砕物対策として）
非常用ディーゼル発電機海水系：8mm以上に変更（降下火砕物対策として）
補機海水系：8mm以上に変更（降下火砕物対策として）

<概略系統>



○海水電解装置

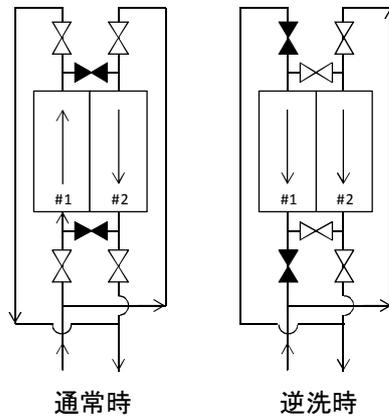
- ・海水を電気分解し殺菌力のある次亜塩素酸ナトリウムを発生させ、取水口カーテンウォールに設置された注入口より注入し、復水器及び熱交換器伝熱管への海生生物の付着、繁殖を防止する。



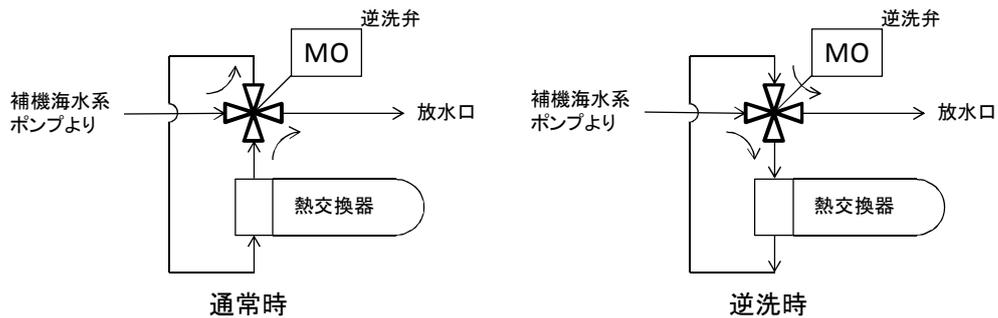
次亜塩素酸ナトリウム

- ② 循環水ポンプで取水された海水中の海生生物については、運転中に復水器内の流れ方向を変えて逆洗を実施し、復水器内面への海生生物の付着を防止している。また、復水器を定期的な開放点検、清掃を実施し機能維持を図っている。補機海水系ポンプにおいて取水された海水中の海生生物についても、熱交換器の逆洗を実施し、内面への海生生物の付着を防止している。

<循環水系逆洗時系統概要>



<補機海水系逆洗時系統概要>



(6) まとめ

○ 東海第二発電所において、安全施設へ影響を考慮すべき生物学的影響として、海生生物等の襲来による海水ポンプの取水機能への影響が挙げられる。

○ 海生生物等の襲来に対して、以下の設備対策、運転手順を整備し、発電所の安全確保を図っている。

(設備対策)

- ・ 固定式傾斜形バースクリーン、回転バースクリーン、トラベリングスクリーンにより海生生物等を捕獲、除去することで、海水ポンプの取水機能を維持する。

(運転操作)

- ・ 海生生物等の襲来により、除塵装置のスクリーン前後の水位差がスクリーンの自動起動水位差となれば、スクリーンの起動状況を確認する。
 - ・ 除塵装置のスクリーン前後の水位差がさらに大きくなれば循環水ポンプのインペラ開度による取水量の調整を行う。それに伴い、復水器真空度が基準値を上回らないよう、必要に応じて発電機出力を抑制する。スクリーン前後の水位差が回復困難な場合又は復水器真空度の悪化が継続し、主タービンパラメータに異常な変化が確認された場合、プラントを停止し、循環水ポンプのインペラ開度を 30% 開度にする。
- 除塵装置を通過する貝等の海生生物についても、海水ストレーナにより残留熱除去系熱交換器等への影響を防止し、また復水器及び熱交換器逆洗操作により、復水器及び原子炉／タービン補機冷却系熱交換器への影響を防止している。

10. 航空機落下確率評価について

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」に基づく評価結果について

東海第二発電所の原子炉施設への航空機落下確率は、以下に示すとおり 10^{-7} （回／炉・年）を超えていないため、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」に定められた判断基準を満足する。

発電所名称	落下確率（回／炉・年）
東海第二発電所	8.6×10^{-8}

以上

評価対象事故及び評価に用いた数値について

1. 評価対象事故

発電所名称	1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故		2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故	3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故	
	① 飛行場での離着陸時における落下事故	② 航空路を巡航中の落下事故		① 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故	② 基地－訓練空域間往復時の落下事故
東海第二発電所	○※1	○※2	○	○※3 (訓練空域外を飛行中の落下事故)	○※3

○：対象，×：対象外

※1：茨城空港の最大離着陸地点までの直線距離（以下「最大離着陸距離」という。）を半径とし，滑走路端から滑走路方向に対して±60°の扇型区域内に発電所が存在するため，評価対象とした。

（添付資料1）

※2：発電所周辺に存在する航空路と発電所との距離が，それぞれの航空路の幅より短い場合は，当該航空路を評価対象とした。

（添付資料2）

※3：発電所上空には自衛隊機又は米軍機の訓練空域はないため，訓練空域外を飛行中の落下事故を評価対象とした。

また，東海第二発電所周辺の太平洋沖上空に自衛隊機の訓練空域があり，発電所は自衛隊の百里基地と訓練空域間の想定飛行範囲内に位置することから，自衛隊機の基地－訓練空域間を往復時の落下事故を評価対象とした。

（添付資料2）

2. 評価に用いた数値

- (1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故（飛行場での離着陸時における落下事故）

$$P_{d,a} = f_{d,a} \cdot N_{d,a} \cdot A \cdot \Phi_{d,a}(r, \theta)$$

$P_{d,a}$: 対象施設への離着陸時の航空機落下確率（回／年）

$f_{d,a} = D_{d,a} / E_{d,a}$: 対象航空機の国内での離着陸時事故率（回／離着陸回）

$D_{d,a}$: 国内での離着陸時事故件数（回）

$E_{d,a}$: 国内での離着陸回数（離着陸回）

$N_{d,a}$: 当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数（離着陸回／年）

A : 原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

$\Phi_{d,a}(r, \theta)$: 離着陸時の事故における落下地点確率分布関数（ km^2 ）

パラメータ	発電所名称	東海第二発電所
飛行場		茨城空港
$f_{d,a}^{*1}$		約 1.43×10^{-7} （=4/27,887,158）
$N_{d,a}^{*2}$		4,210
A		約0.0240
$\Phi_{d,a}(r, \theta)^{*3}$		約 2.98×10^{-4}
発電所からの距離		約36km
滑走路方向に対する角度 *4		約 9.60°
最大離着陸距離 *5		約56km（30nm）
$P_{d,a}$		約 4.32×10^{-9}

※1 : 離着陸時の事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」（平成28年

6月 原子力規制委員会) より, 平成5年～平成24年において離陸時に1件, 着陸時に3件。

(添付資料3)

離着陸回数は, 平成5年～平成24年の「航空輸送統計年報 第1表 総括表 1. 輸送実績」における運航回数の国内の値及び国際の値の合計値。

(添付資料4)

※2 : 「数字でみる航空2014」にある平成24年飛行場別着陸回数と同数を離陸回数とし, その和を飛行場別離着陸回数とした。

※3 : 別紙のとおり。

(添付資料5)

※4 : 別紙のとおり。

(添付資料1)

※5 : A I Pを参照した。

(添付資料6)

(2) 計器飛行方式民間航空機の落下事故（航空路を巡航中の落下事故）

$$P_c = f_c \cdot N_c \cdot A / W$$

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率（回／年）

$f_c = G_c / H_c$: 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率（回／（飛行回・km））

G_c : 巡航中事故件数（回）

H_c : 延べ飛行距離（飛行回・km）

N_c : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数（飛行回／年）

A : 原子炉施設の標的面積（km²）

W : 航空路幅（km）

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所	
対象航空路 ^{※1}	直行経路： IWAKI (IXE) - SWAMP IWAKI (IXE) - KISARAZU (KZE)	広域航法経路： Y30 (LOTUS - SWAMP)
f_c ^{※2}	約 5.13 × 10 ⁻¹¹ (= 0.5 / 9,740,013,768)	
N_c ^{※3}	365 (H24年データ)	1095 (H24年データ)
A	約0.0152	
W ^{※4}	14.816	18.52
P_c	約 6.54 × 10 ⁻¹¹	

※1 : 別紙のとおり。

(添付資料2)

※2 : 延べ飛行距離は、平成5年～平成24年の「航空輸送統計年報 第1表 総括表 1. 輸送実績」における運航キロメートルの国内の合計値。

(添付資料4)

巡航中の事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」（平成28年6月 原子力規制委員会）より、平成5年～平成24年において0件であるため、**0.5件発生したものとして評価した。**

(添付資料1, 7)

※3 : 国土交通省航空局への問い合わせ結果（ピークデイの値）を365倍した値。

(添付資料8)

※4：直行経路については「航空路等設定基準」を参照した。広域航法経路については、航法精度を航空路の幅とみなして用いた。(1nm = 1.852kmとして換算した。)

(3) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

$$P_v = (f_v / S_v) \cdot A \cdot \alpha$$

P_v : 対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_v : 単位年当たりの落下事故率 (回/年)

S_v : 全国土面積 (km^2)

A : 原子炉施設の標的面積 (km^2)

α : 対象航空機の種類による係数

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所
f_v^{*1}	大型固定翼機 0.025 (=0.5/20)
	大型回転翼機 0.05 (=1/20)
	小型固定翼機 1.75 (=35/20)
	小型回転翼機 1.20 (=24/20)
S_v^{*2}	37.2万
A	約0.0152
α^{*3}	1 (大型機), 0.1 (小型機)
P_v	約1.51 $\times 10^{-8}$

※1 : 「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)による。なお、大型固定翼機の事故件数は平成5年～平成24年において0件であるため、0.5件発生したものとして評価した。

(添付資料7, 9)

※2 : 「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)による。

※3 : 「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について(内規)」による。

(4) 自衛隊機又は米軍機の落下事故（訓練空域外を飛行中の落下事故）

$$P_{so} = f_{so} \cdot A / S_o$$

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_{so} : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率（回／年）

A : 原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

S_o : 全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積（ km^2 ）

パラメータ	発電所名称	東海第二発電所
f_{so}^{*1}		自衛隊機 0.35 (=7/20) 米軍機 0.25 (=5/20)
S_o^{*1}		自衛隊機 29.5万 (=37.2万-7.72万) 米軍機 37.2万 (=37.2万-0.05万)
A		約0.0152
P_{so}		約 2.82×10^{-8}

※1 : 「航空機落下事故に関するデータ」（平成28年6月 原子力規制委員会）による。

(添付資料10)

(5) 自衛隊機又は米軍機の落下事故（基地－訓練空域間往復時の落下事故）

$$Pse = fse \cdot A / Sse$$

Pse：対象施設への航空機落下確率（回／年）

fse：基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）

A：原子炉施設の標的面積（km²）

Sse：想定飛行範囲の面積（km²）

パラメータ	発電所名称	東海第二発電所 (自衛隊機の評価)
fse ^{*1}		約0.0114 (=0.2275/20)
A		約0.0152
Sse ^{*2}		4,540
Pse		約3.81×10 ⁻⁸

※1：「航空機落下事故に関するデータ」（平成28年6月原子力規制委員会）により、当該想定飛行範囲内で自衛隊機の移動時の事故件数は平成5年～平成24年の20年間に0件であるため、落下事故率の算出にはχ²乗分布を用いた方法を使用した。

（添付資料7）

※2：百里基地（飛行場）と自衛隊機の訓練空域（Area1, E1, E2, E3, E4の全域）境界間を直線で結んだ想定飛行範囲の面積。なお、自衛隊機の訓練空域（E1, E2）については、AIPに”Excluding R-121”と記載があることから、米軍機の訓練空域（R-121）を除いた領域を自衛隊機の訓練空域としている。

（添付資料2）

3. 落下確率値の合計値

単位：回／炉・年

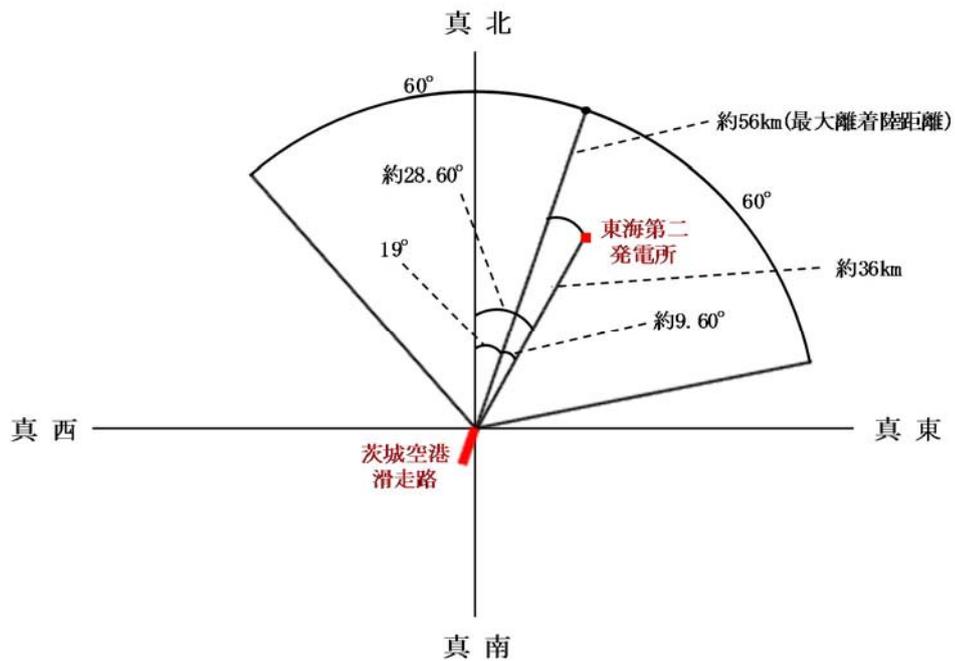
発電所名称	1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故		2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故	3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故		合計
	① 飛行場での離着陸時における落下事故	② 航空路を巡航中の落下事故		① 訓練空域内 訓練中及び訓練空域外を飛行中	② 基地－訓練空域間往復時の落下事故	
東海第二発電所	約 4.32×10^{-9}	約 6.54×10^{-11}	約 1.51×10^{-8}	約 2.82×10^{-8}	約 3.81×10^{-8}	約 8.6×10^{-8}

茨城空港の滑走路方向に対する茨城空港－東海第二発電所の
角度について

茨城空港の滑走路の方位は、 19° （真方位）（A I P 記載のデータ）である。

また、茨城空港－東海第二発電所の方位は、約 28.60° （真方位）（茨城空港と東海第二発電所の緯度、経度より計測した。）である。

したがって、茨城空港の滑走路方向に対する茨城空港－東海第二発電所の角度は、約 9.60° となる。



各施設周辺における航空路と各航空路の幅について

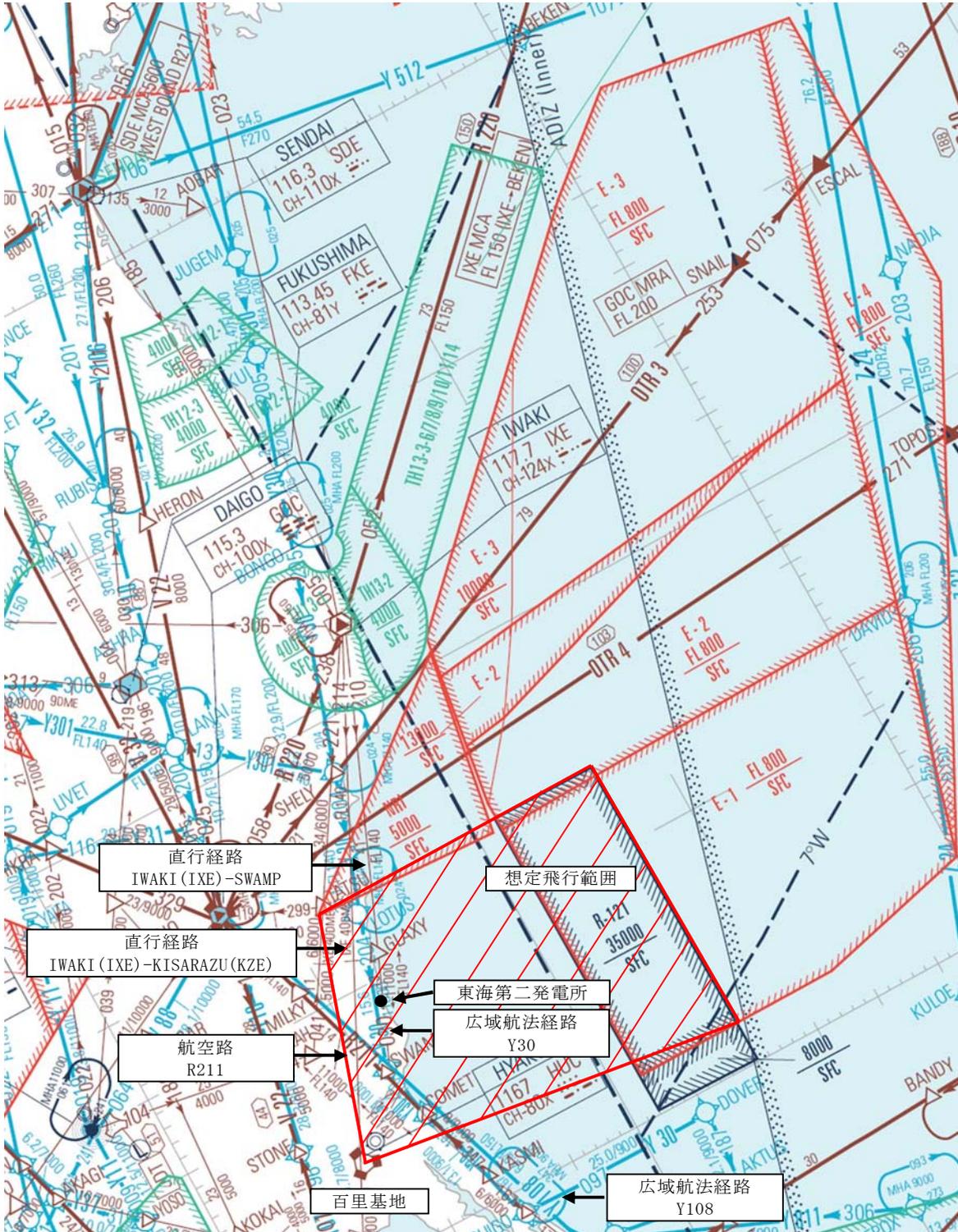
周辺の航空路の名称	航空路の中心線と 発電所間の 最小距離※ ¹	片側の 航空路幅※ ²	判定
航空路 R211 (DAIGO (GOC) - SWAMP)	約 11.36km	7km	×
直行経路 (IWAKI (IXE) - SWAMP)	約 0.68km	約 7.41km (4nm)	○
直行経路 (IWAKI (IXE) - KISARAZU (KZE))	約 4.13km	約 7.41km (4nm)	○
広域航法経路 Y30 (LOTUS - SWAMP)	約 1.18km	約 9.26km (5nm)	○
広域航法経路 Y108 (DAIGO (GOC) - CHOSHI (CVC))	約 11.44km	約 9.26km (5nm)	×

○：評価対象 ×：評価対象外

※¹：施設と航空路の緯度及び経度より計測した。

※²：航空路 R211 については、「航空路の指定に関する告示」に記載の値とした。直行経路については、「航空路等設定基準」を参照した。RNAV 経路については、航法精度を航空路幅とみなして用いた。(1nm = 1.852km として換算した。)

エンルートチャート（東海第二発電所付近）



出典：ENROUTE CHART（2014年3月6日改定）

計器飛行方式民間航空機 大破事故概要

(平成 5 年～平成 24 年)

離着陸時の大破事故

(離陸時)

発生年月日	場 所	機 種	機体の損傷	運航形態
平成 8 年 6 月 13 日	福岡空港	ダグラス DC-10-30 型	大破	離陸

(着陸時)

発生年月日	場 所	機 種	機体の損傷	運航形態
平成 5 年 4 月 18 日	花巻空港	ダグラス DC-9-41 型	大破	着陸
平成 6 年 4 月 26 日	名古屋空港	エアバス・イ ンダストリー A300B4-622R 型	大破	着陸
平成 21 年 3 月 23 日	成田国際空港 滑走路	ダグラス MD-11F 型	大破	着陸

巡航中の大破事故

発生年月日	場 所	機 種	機体の損傷	運航形態
該当なし	—	—	—	—

日本国機の運航回数及び運航距離

- ・ 計算に用いる数値は、「航空輸送統計年報 第1表 総括表」の次の値とする。
 - ①日本国機の運航回数は、国内便、国際便ともに定期便＋不定期便の値。
 - ②日本国機の運航距離は、国内便のみの定期便＋不定期便の値。
- ・ 日本国機の国際便は、日本から海外までの距離が記載されているが、日本国内での運航距離ではないため、保守的に考慮しない。
- ・ 日本に乗り入れている外国機は、運航距離について実績の公開記録がないため、保守的に考慮しない。
- ・ ただし、日本国機の国際便及び外国機の落下事故が、日本国内で落下した場合は評価対象とする。

	日本国機の運航回数 (運航回)			日本国機の運航距離 (飛行回・km)
	国内便	国際便	計	国内便
平成 5 年	466,787	57,451	524,238	326,899,203
平成 6 年	484,426	60,038	544,464	343,785,576
平成 7 年	531,508	67,908	599,416	380,948,123
平成 8 年	543,238	72,425	615,663	397,146,610
平成 9 年	562,574	77,134	639,708	420,920,228
平成 10 年	587,308	83,070	670,378	449,784,623
平成 11 年	594,957	85,804	680,761	459,973,069
平成 12 年	660,979	87,977	748,956	480,718,878
平成 13 年	671,618	86,824	758,442	489,803,107
平成 14 年	683,929	93,062	776,991	498,685,881
平成 15 年	700,184	92,381	792,565	519,701,117
平成 16 年	698,960	101,659	800,619	517,485,172
平成 17 年	709,377	106,078	815,455	527,370,038
平成 18 年	740,741	104,798	845,539	555,543,154
平成 19 年	741,949	112,605	854,554	559,797,874
平成 20 年	733,979	118,503	852,482	554,681,669
平成 21 年	716,640	110,234	826,874	544,824,157
平成 22 年	716,538	101,721	818,259	548,585,258
平成 23 年	717,100	96,292	813,392	555,144,327
平成 24 年	770,262	105,086	875,348	608,215,704
合計	13,033,054	1,821,050	14,854,104	9,740,013,768

※：離着陸回数は、国内便の場合は離陸回数＝着陸回数＝運航回数とし、国際便の場合は、離陸回数＝着陸回数＝1/2 運航回数とする。
(離着陸回数＝離陸回数＋着陸回数＝国内便運航回数×2＋国際便運航回数＝13,033,054×2＋1,821,050＝27,887,158)

計器飛行方式民間航空機の飛行場を離着陸時における落下事故の
確率分布関数について

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（内規）」に基づき，計器飛行方式民間航空機の「①飛行場（茨城空港）での離着陸時」における落下事故の確率分布関数には，滑走路端から最大離着陸地点までの直線距離（ r_0 ）内の内円で滑走路方向両側に対し $\pm 60^\circ$ 以内の扇型に一樣な分布又は周方向で正規分布を仮定し，評価結果が厳しい方を用いる。下式にて評価した結果，今回の評価では，下表に示すとおり厳しい方である正規分布を仮定した方法を用いることとする。

（一樣分布）

$$\Phi(r_0, \theta) = \frac{1}{A_{d,a}} \quad (\text{/km}^2)$$

$$A_{d,a} = \frac{2}{3} \pi r_0^2 \quad (\text{km}^2)$$

（正規分布）

$$\Phi(r_0, \theta) = \frac{1}{A_{d,a}} f(x) \quad (\text{/km}^2)$$

$$A_{d,a} = \frac{2}{3} \pi r_0^2 \quad (\text{km}^2)$$

$$f(x) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \cong 2.1 \times \exp\left(-\frac{30.42x^2}{\pi^2 r_p^2}\right)$$

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = \int_{-\pi/3}^{\pi/3} Pdx = \frac{2}{3} \pi r_p$$

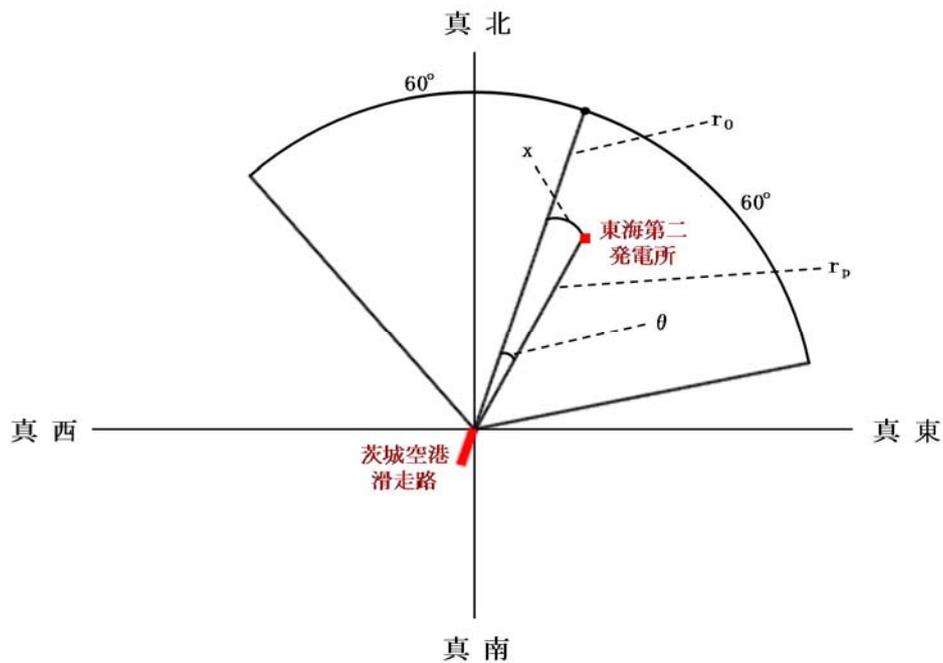
$$\sigma = \frac{\pi r}{3 \times 2.6}$$

r_p : 滑走路端から原子炉施設までの距離 (径方向) (km)

x : 滑走路軸上から原子炉施設までの距離 (周方向) (km)

$$x = r_p \times \theta$$

θ : 滑走路方向に対する空港-原子炉施設の角度 (rad)



項目	確率密度 (/ km ²)
一様分布	約 1.55 × 10 ⁻⁴
正規分布	約 2.98 × 10 ⁻⁴

各施設付近の空港と施設との距離について

発電所 名称	空港名	施設と空港 の距離※ ¹	最大離着陸 距離※ ²	判 定
東海第二 発電所	成田空港	約 80km	約 39km (21.2nm)	×
	茨城空港	約 36km	約 56km (30nm)	○

○：評価対象 ×：評価対象外

※1：施設と空港の緯度，経度より計測した。

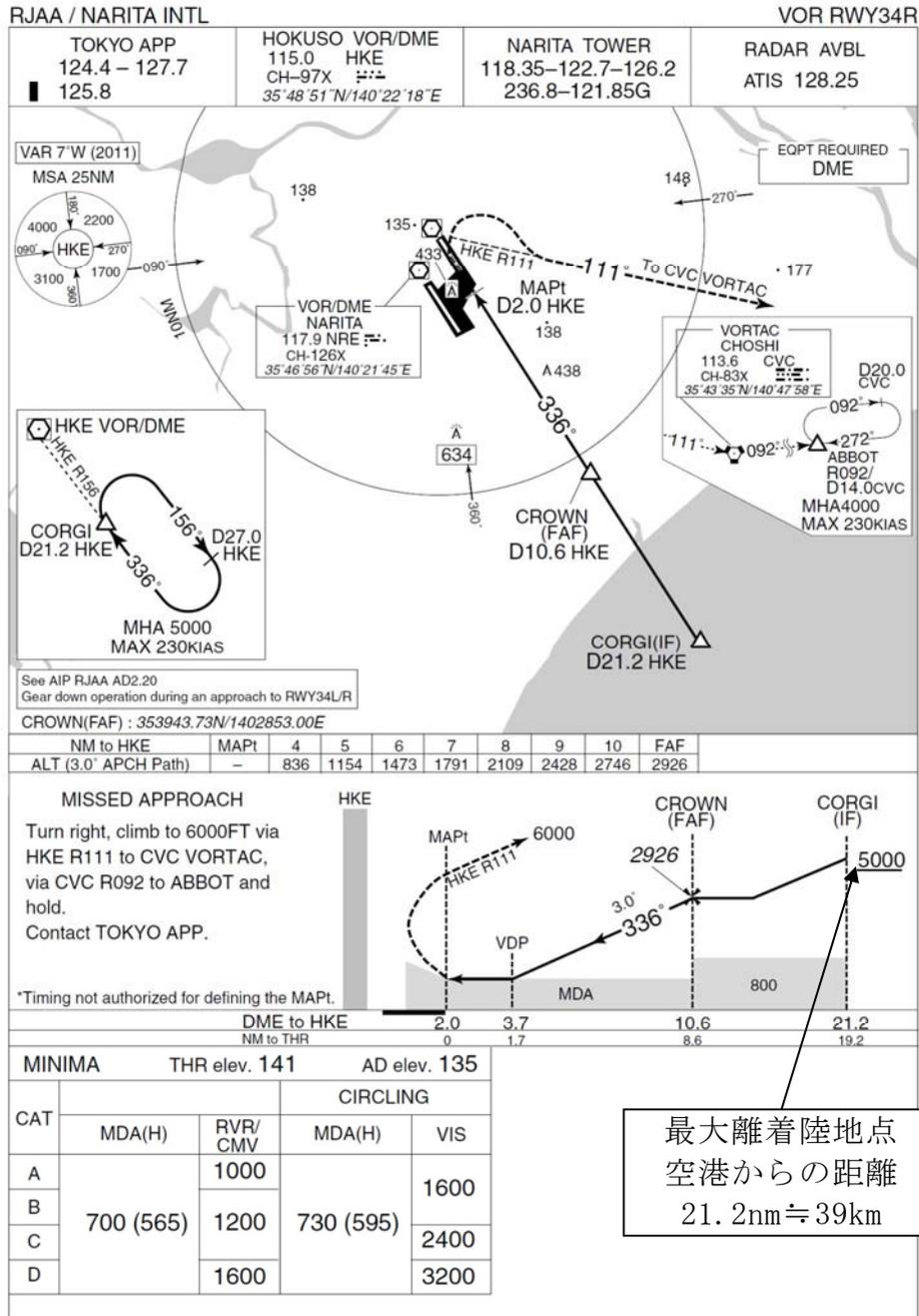
※2：A I Pを参照した。

成田空港の最大離着陸地点までの距離
 (成田空港～東海第二発電所の距離：約 80km)

RJAA-AD2-24.31

AIP Japan
 NARITA INTL

INSTRUMENT APPROACH CHART



Civil Aviation Bureau, Japan (EFF:17 OCT 2013)

19/9/13

出典：A I P

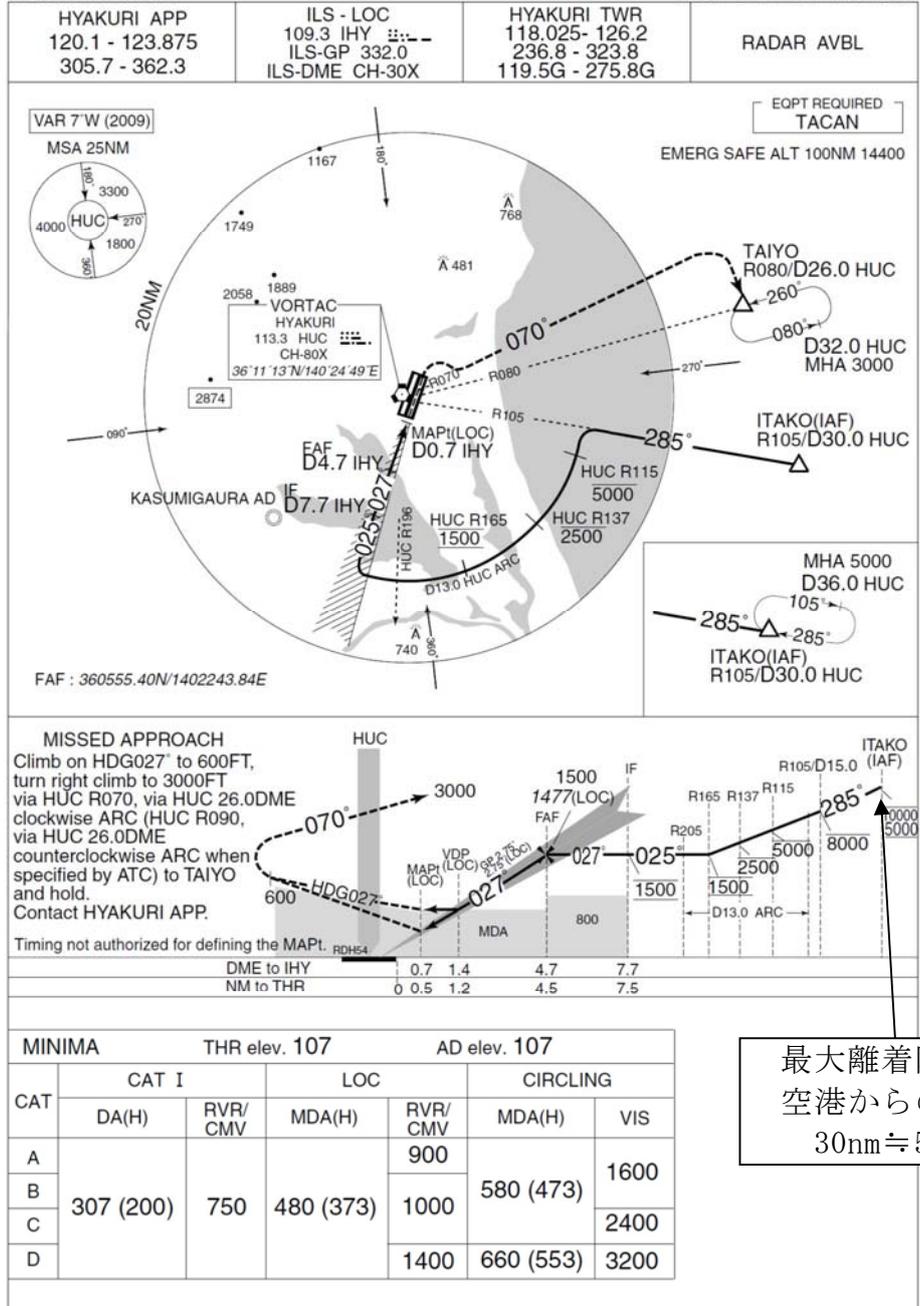
茨城空港の最大離着陸地点までの距離
 (茨城空港～東海第二発電所の距離：約 36km)

RJAH-AD2-24.15

AIP Japan
 HYAKURI

INSTRUMENT APPROACH CHART

RJAH / HYAKURI ILS Y or LOC Y RWY03R



Civil Aviation Bureau, Japan (EFF: 5 APR 2012)

8/3/12

出典：A I P

評価対象期間において落下事故実績がないカテゴリの
航空機落下確率について

1. 落下事故実績がないカテゴリの航空機落下確率推定方法について

航空機落下確率評価では、過去 20 年間ににおける落下事故件数の統計データに基づき航空機落下確率を算出しているが、平成 5 年～24 年において、以下のカテゴリについては落下事故が発生していない。

- (1) 計器飛行方式民間航空機の「②航空路を巡航中」の落下事故
- (2) 有視界飛行方式民間航空機の「③大型機」の落下事故（大型固定翼機）
- (3) 自衛隊機又は米軍機の「⑤訓練空域外を飛行中」の「⑤-1 空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機」の落下事故
- (4) 自衛隊機又は米軍機の「⑥基地－訓練空域間往復時」の落下事故

そのうち、(4)のカテゴリに対する航空機落下確率の推定には、その方法の適用性（2. 参照）及び保守性（3. 参照）が確保されており、「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的リスク評価に関する実施基準（レベル 1PRA 編）：2013」（一般社団法人 日本原子力学会）（以下「PRA 学会標準」という。）において、過去発生していない起因事象に対する起因事象発生頻度の算出方法として使用が認められている、以下の χ 二乗分布を用いた方法を使用した。

$$F = \chi^2 (1, 0.5) / 2T = 0.2275 / T \text{ (回/年)}$$

T：対象期間（=20 年）

2. 航空機落下確率評価への χ 二乗分布を用いた方法の適用性

PRA 学会標準の参考文献として引用されている NUREG/CR-4407 “Pipe

Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants”によると、事象発生頻度の推定方法として、 χ 二乗分布を用いた方法を適用するためには、事象発生頻度がポアソン分布に従っていることが条件となる。

ポアソン分布は、一般的に確率が極めて小さい事象（例えば、交通事故による1日の死亡数）の発生頻度を処理する確率モデルとして使われるが、航空機の年間の落下事故率がポアソン分布に従うかどうかを判断するために、国内における昭和58年～平成23年の29年間の国内の自衛隊機の「基地－訓練空域間往復時」の落下事故率を対象に、母集団の分布形の検定に使用される χ 二乗分布を用いた適合度検定（ χ 二乗検定）を実施した。本検定は、観測度数と理論度数の差が有意かどうかについて、 χ 二乗分布を用いて検定する統計的手法である。

適合度検定の結果を下表に示す。

落下事故件数 x [件]	落下事故件数に 対する実年数 f [年]	ポアソン分布 P(f)※1	ポアソン分布 から推定した 理論年数 e※2 [年]	χ^2 ※3
0	23	約 0.759	約 22.0	約 0.0447
1	4	約 0.209	約 6.07	約 0.707
2	2	約 0.029	約 0.84	約 1.61
3	0	約 0.003	約 0.08	約 0.0770
4 以上	0	約 0.000	約 0.01	約 0.00562
合 計	29	1.00	29.0	約 2.45

※1 : $P(x) = \frac{\exp(-m) \cdot m^x}{x!}$

m : 落下事故件数標本平均 (約 0.276 件)

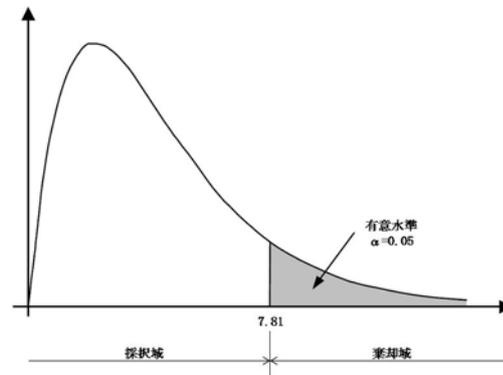
x : 落下事故件数

※2 : $P(f) \times 29$ [年]

※3 : $(f - e)^2 / e$

検定統計量である χ 二乗分布の自由度は3 (= (組分けの数5) - 1 - 推定される母数の数1) であり、一般的に用いられる有意水準 $\alpha = 0.05$ を用いると、検定の判定点は χ 二乗分布表より7.81 (= $\chi^2(3, 0.05)$) で与えられ

る。



χ 二乗分布表

自由度	上側有意確率										
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.9	0.5	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.00004	0.00016	0.00098	0.0039	0.0158	0.455	2.710	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01003	0.02010	0.0506	0.1026	0.211	1.386	4.61	5.99	7.38	9.21	10.6
3	0.07172	0.1148	0.2158	0.352	0.584	2.37	6.25	7.81	9.35	11.3	12.8
4	0.2070	0.2971	0.484	0.711	1.06	3.36	7.78	9.49	11.1	13.3	14.9
5	0.4117	0.554	0.831	1.15	1.61	4.35	9.24	11.07	12.8	15.1	16.8

χ 二乗値は約 2.45 であり、判定点より小さいことから、観測度数（ここでは、実年数）と理論度数（ここでは、理論年数）の差は有意であるとは言えない。

したがって、国内の自衛隊機の「基地－訓練空域間往復時」の落下事故率にポアソン分布を当てはめることは可能であり、航空機落下確率評価に χ 二乗分布を用いた方法を適用することが可能であると判断した。

3. 東海第二発電所における落下事故率推定方法の保守性について

3.1 χ 二乗分布を用いた方法の保守性について

「⑥基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故について、 χ 二乗分布を用いた方法により求めた航空機落下確率と、全国の基地－訓練空域間を往復時の落下事故件数及び全国の基地の想定飛行範囲の面積を用いた全国

平均の航空機落下確率は下表のとおりである。下表より、全国データを用いた方法により求めた航空機落下確率よりも、 χ 二乗分布を用いた方法により求めた航空機落下確率の方がより高い確率値となり、 χ 二乗分布を用いた方法が保守的に設定されていることを確認している。

なお、全国平均の航空機落下確率は、評価の母集団を大きくすることにより、百里基地－訓練空域間では0件であった落下事故件数を実績値（5件）に基づき評価していること、基地－訓練空域間を往復時の落下確率が基地毎に大きく異なることは考えにくいことを考慮すると、全国データを用いた方法により求めた航空機落下確率は信頼性があると考えられる。

項 目	航空機落下確率（回／炉・年）
χ 二乗分布を用いた方法	約 3.81×10^{-8} (=0.2275 件/20 年/4,540km ² × 0.015199km ²)
全国データを用いた方法	約 2.16×10^{-8} (=5 件/20 年/175,720km ² × 0.015199km ²)

3.2 想定飛行範囲の面積を用いた評価式の保守性について

「⑥基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の航空機落下確率は、下式のとおり評価している。

$$Pse = fse \cdot A / Sse \quad \dots \dots \dots (A)$$

Pse：対象施設への航空機落下確率（回／年）

fse：基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）

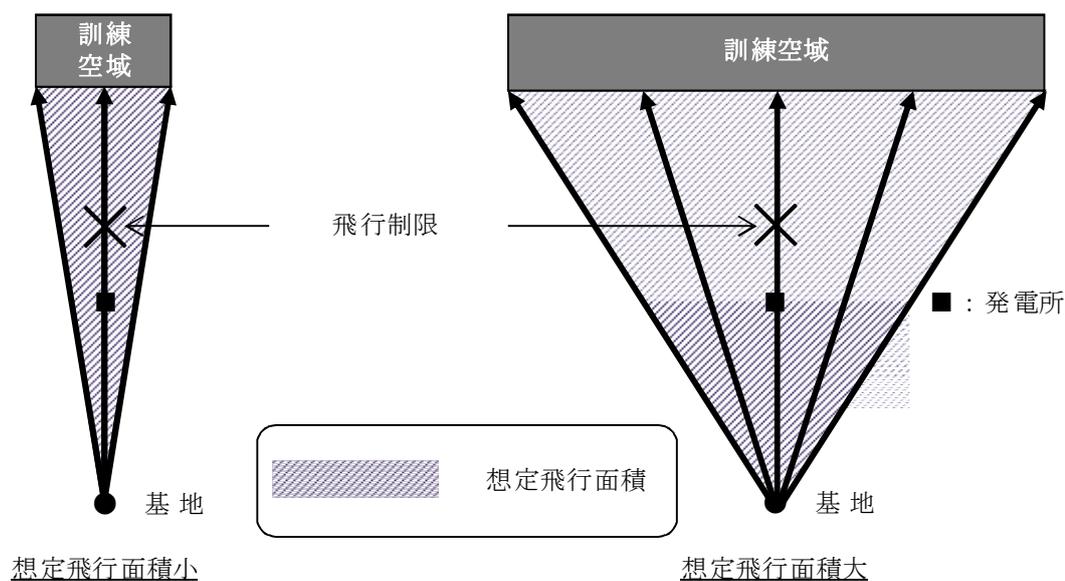
A：原子炉施設の標的面積（km²）

Sse：想定飛行範囲の面積（km²）

(A)式によると、想定飛行範囲の面積（Sse）が小さいほど、大きな落下確率となる。これは、基地－訓練空域間を簡易的に一様に飛行すると仮定しているためである。

しかし、P27 に示すとおり、実際には原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されているため、発電所上空を含めて基地－訓練空域間を一樣に飛行することはない。

このため、想定飛行範囲の面積が小さくなるほど、より保守的な落下確率を与えることとなる。(下図参照)



想定飛行面積と航空機落下確率の関係 (概略図)

また、新規制基準に係る適合性の審査の申請をしている発電所のうち、自衛隊機の「⑥基地－訓練空域間往復時」の航空機落下確率を(A)式により評価しているプラントは、東海第二発電所を含めて6つあり、これらのプラントにおける想定飛行範囲の面積は下表のとおりである。

発電所名称	想定飛行範囲の面積 (km ²)
東海第二発電所	4,540
川内原子力発電所 1, 2号炉	19,400
玄海原子力発電所 3, 4号炉	10,200
伊方発電所 3号炉	40,080

上述のとおり、原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されていることを踏まえると、東海第二発電所では、他プラントに比べて想定飛行範囲の面積が小さいため、他プラントの落下確率に比べてより大きな保守性を含んでいると考える。

4. 確率論的リスク評価における起因事象発生件数との取扱いの差異について
- 上記のとおり、「⑥基地－訓練空域間往復時」の航空機落下確率評価では、 χ 二乗分布を用いた方法を使用している。一方、今回の申請における確率論的リスク評価では、発生実績のない起因事象の発生頻度として、0.5回を使用しており、両者において異なる取扱いとなっている。この理由を以下に説明する。

(1) 航空機落下確率評価

全国の基地－訓練空域間では落下事故が5件発生しており、基地－訓練空域間を往復時の落下確率が基地毎に大きく異なることは考えにくいことから、全国データを用いた方法による「基地－訓練空域間往復時」の航空機落下確率（約 2.16×10^{-8} 回／炉・年）は国内における平均的な落下事故確率と考えられる。これに対して、 χ 二乗分布を使用する方法による「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の航空機落下確率（約 3.81×10^{-8} 回／炉・年）は大きく、保守性は確保されている。

また、原子力施設付近の上空の飛行はできる限り避けるよう指導等がなされているが、航空機落下確率評価においてこれを考慮していないため、この点においても保守性は確保されている。

以上より、航空機落下確率評価では保守性は十分に確保されていると考えられるため、 χ 二乗分布を使用する方法を採用することとした。

(2) 確率論的リスク評価

PRA 学会標準では、過去発生していない起因事象に対する起因事象発生頻度の算出方法として、「発生件数を 1 件、又は 0.5 件とする」「 χ 二乗分布を使用する」「対数正規分布を使用する」方法が認められている。

ここで、今回の申請における確率論的リスク評価の目的が、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であることを踏まえると、以下の観点から、上記のいずれの方法を用いても確率論的リスク評価の目的への影響はないものとする。

- ・ PRA 学会標準に認められているいずれの方法を用いても、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影響はないこと
- ・ 確率論的リスク評価から抽出される事故シーケンスグループに対して、その発生頻度によらず、炉心損傷防止対策が有効であることを確認していること

また、確率論的リスク評価については、航空機落下確率評価のように参照すべき平均的なデータは存在していない。

このため、今回の申請における確率論的リスク評価では、発生実績のない起因事象の発生頻度として、代表的に 0.5 回とした。

原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）

昭和 44 年 2 月 6 日
陸幕航第 59 号

改正 平成 10 年 3 月 23 日陸幕運第 145 号 平成 19 年 1 月 9 日陸幕法第 1 号
平成 19 年 3 月 28 日陸幕法第 61 号 平成 21 年 2 月 3 日陸幕法第 10 号

各方面総監
中央即応集団司令官 殿
中央管制気象隊長
航空学校長

陸上幕僚長の命により
総務課長

（例規 99）

原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）

標記について、さきに防衛事務次官の指示に基づきその実施について通達したところであるが、その後さらに細部について示されたので、今後下記により実施されたい。

なお、陸幕航第 583 号（43. 9. 2）は廃止する。

記

- 1 原子力関連施設上空の飛行は、原則として行わないものとする。
- 2 管制機関の指示又は原子力関連施設の位置等の関係から、やむを得ずその上空を飛行する必要がある場合には、動力装置の停止等緊急事態が発生してもこれらの施設に危害を及ぼさないような高度及び経路で飛行するものとする。
- 3 原子力関連施設は航空路図誌（防衛省監修）に記載され、その設置・廃止等の状況は逐次追録されるので、関係者に当該施設の位置を周知徹底させるものとする。

χ 二乗分布を用いた方法による発生率の導出について

ランダムに事象が発生する場合において、事象の発生率は二項分布に従うと
するのが一般的である。

また、発生件数が小さい場合には、ポアソン分布での近似が可能である。

発生率がポアソン分布に従う場合、その平均値 λ の $100(1-\alpha)\%$ 信頼区
間は χ 二乗分布を使用して、

$$\frac{\chi^2(2N, 1-\frac{\alpha}{2})}{2T} \leq \lambda \leq \frac{\chi^2(2N+2, \frac{\alpha}{2})}{2T} \quad (N: \text{発生件数}, T: \text{期間})$$

で表される。

点推定値は、信頼上限及び信頼下限の平均の自由度をもつ χ 二乗分布の中央
値を用いて、

$$\lambda = \frac{\chi^2(2N+1, 0.5)}{2T}$$

で表される。なお、NUREG/CR-4407 においても、点推定値の算出に信頼上限
及び信頼下限の平均の自由度をもつ χ 二乗分布の中央値を用いている。

以上より、発生件数がポアソン分布に従う場合、0 件 ($N=0$) である場合に
おける発生率 F は、

$$F = \frac{\chi^2(1, 0.5)}{2T} = \frac{0.2275}{T}$$

により算出される。

【解説】

(1) 確率分布

① 二項分布

離散型確率変数 x の確率関数が次の式で表される分布を二項分布という。

$$p(x) = {}_n C_x p^x (1-p)^{n-x} \quad (x=0, 1, 2, \dots, n)$$

これは、確率 p をもつ事象が n 回の観察で x 回発生する確率を表している。

② ポアソン分布

離散型確率変数 x の確率関数が次の式で表される分布をポアソン分布という。

$$p(x) = \frac{e^{-m} \cdot m^x}{x!} \quad (x=0, 1, 2, \dots, n, m \text{ は正の定数})$$

これは、単位時間中にある事象が発生する平均回数を m とするとき、単位時間中にその事象が x 回発生する確率を表している。

この分布は、非常に多くの観察回数のうち発生件数が少ない事象によく当てはまり、二項分布の平均値 $m=np$ を一定のまま観察回数 n を無限に大きくしたときの極限として導かれる。

なお、変数 X_1, \dots, X_n が平均値 λ のポアソン分布に従っており、それらが独立であるとき、その和 $Y=X_1+\dots+X_n$ は、平均値 $n\lambda$ のポアソン分布に従い、これをポアソン分布の再生性という。

③ ガンマ分布

確率変数 x の確率密度分布が次の式で与えられる分布をパラメータ α , β の x 二乗分布という。

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \quad (x > 0, \alpha > 0, \beta > 0)$$

ここで、 $\Gamma(\alpha)$ はガンマ関数であり、

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

で表される。

④ χ 二乗分布

確率変数 x の確率密度分布が次の式で与えられる分布を自由度 m の χ 二乗分布という。

$$f(x) = \frac{1}{2^{\frac{m}{2}} \Gamma(\frac{m}{2})} x^{\frac{m}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}} \quad (x \geq 0)$$

これは、 $\alpha = m/2$, $\beta = 2$ の γ 分布の確率密度分布である。

(2) 区間推定

真の値がある区間に含まれる確率のことを信頼度といい、その区間の下限値を信頼下限、上限値を信頼上限という。このある区間に含まれる確率を $1 - \alpha$ とするとき、信頼度 $100(1 - \alpha)\%$ の信頼区間という。また、この α のことを有意水準という。

(3) 精密法によるポアソン分布の母平均 λ の区間推定

確率変数 X が母平均 λ のポアソン分布に従うとき、上側確率は以下のとおり表される。

$$P(X \geq x) = Q(x; \lambda) = \sum_{k=x}^{\infty} \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$$

一方、パラメータ α , β のガンマ分布 $GAM(\alpha, \beta)$ に従う確率変数を G

とすると,

$$P(G \leq \beta\lambda) = F_G(\beta\lambda; \alpha, \beta) = \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} dx$$

ここで,

$$u = \frac{e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}, \quad dv = x^{\alpha-1} dx$$

とおくと,

$$du = \frac{-e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha)} dx, \quad v = \frac{1}{\alpha} x^\alpha$$

であるから, 部分積分を用いて,

$$F_G(\beta\lambda; \alpha, \beta) = \left[\frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\alpha \beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha)} \right]_0^{\beta\lambda} + \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\alpha \beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha)} dx$$

$$= \frac{(\beta\lambda)^\alpha e^{-\frac{\beta\lambda}{\beta}}}{\alpha \beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha)} + \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\alpha \beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha)} dx$$

$$= \frac{\lambda^\alpha e^{-\lambda}}{\alpha!} + \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha+1)} dx$$

$$= \frac{\lambda^\alpha e^{-\lambda}}{\alpha!} + \Gamma_G(\beta\lambda; \alpha+1, \beta)$$

となるから,

$$Q(x; \lambda) = \sum_{\alpha \geq x} \frac{\lambda^\alpha e^{-\lambda}}{\alpha!} = \sum_{\alpha \geq x} [F_G(\beta\lambda; \alpha, \beta) - F_G(\beta\lambda; \alpha+1, \beta)]$$

$$= F_G(\beta\lambda; \alpha, \beta)$$

の関係が得られる。

また, ガンマ分布で $\alpha = m/2$, $\beta = 2$ のとき, $\text{GAM}(\alpha, \beta)$ は自由度 m の χ^2 分布になることに注目すると,

$$x = \frac{m}{2}, \quad \beta = 2$$

とおけば、 $m=2x$ 、 $\beta\lambda=2\lambda$ となるから、

$$Q(x; \lambda) = F_{\chi^2}(2\lambda; 2x)$$

と、ポアソン分布の上側確率は、自由度 $2x$ の χ 二乗分布の 2λ までの累積確率で表される。

ここで、ポアソン分布の再生性 ((1)②参照) より、

$$P(Y \geq y) = F_{\chi^2}(2n\lambda; 2y) = P(\chi_{2y}^2 \leq 2n\lambda)$$

が成り立つ。この関係から、

$$P(Y \leq y) = 1 - P(Y \geq y+1) = 1 - P(\chi_{2(y+1)}^2 \leq 2n\lambda)$$

$$= P(\chi_{2(y+1)}^2 \geq 2n\lambda)$$

より、

$$P(Y \leq y) = \frac{\alpha}{2} = P(\chi_{2(y+1)}^2 \geq 2n\lambda)$$

$$\chi^2(2(y+1), \frac{\alpha}{2}) \geq 2n\lambda$$

$$\frac{\chi^2(2(y+1), \frac{\alpha}{2})}{2n} \geq \lambda$$

となり、同様に、

$$P(Y \geq y+1) = 1 - P(Y \leq y) = 1 - P(\chi_{2y}^2 \geq 2n\lambda)$$

$$= P(\chi_{2y}^2 \leq 2n\lambda)$$

より、

$$P(Y \geq y+1) = \frac{\alpha}{2} = P(\chi_{2y}^2 \leq 2n\lambda)$$

$$\chi^2(1-\frac{\alpha}{2}, 2y) \leq 2n\lambda$$

$$\frac{\chi^2(1-\frac{\alpha}{2}, 2y)}{2n} \leq \lambda$$

となる。

以上より、ポアソン分布の平均値 λ の $(1-\alpha) \times 100\%$ 信頼区間は、

$$P\left(\frac{1}{2n} \chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(2y) \leq \lambda \leq \frac{1}{2n} \chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(2(y+1))\right) = 1-\alpha$$

で表される。(出典：蓑谷千風彦，「数理統計ハンドブック」，みみずく舎，2009年)

NUREG/CR-4407 の概要について

NUREG / CR-4407” Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants” は、確率論的リスク評価で使用する安全上重要な配管の破損頻度をデータの収集及び統計的な分析により推定することを目的として実施された研究の成果をまとめた報告書である。

本報告書では、破損が発生していないカテゴリの配管破損の発生頻度の点推定値について以下の式を用いて整理している。

$$F = \frac{\chi^2(1,0.5)}{2T} = \frac{0.2275}{T}$$

なお、本報告書では配管破損の発生頻度の点推定値に対して χ 二乗分布を用いた方法を採用しているが、航空機落下事故についても配管破損と同様に発生頻度が小さい事象であり、ポアソン分布に従うことから、航空機落下事故の発生頻度の点推定値に対して χ 二乗分布を用いた方法を採用することは可能であると考えている。

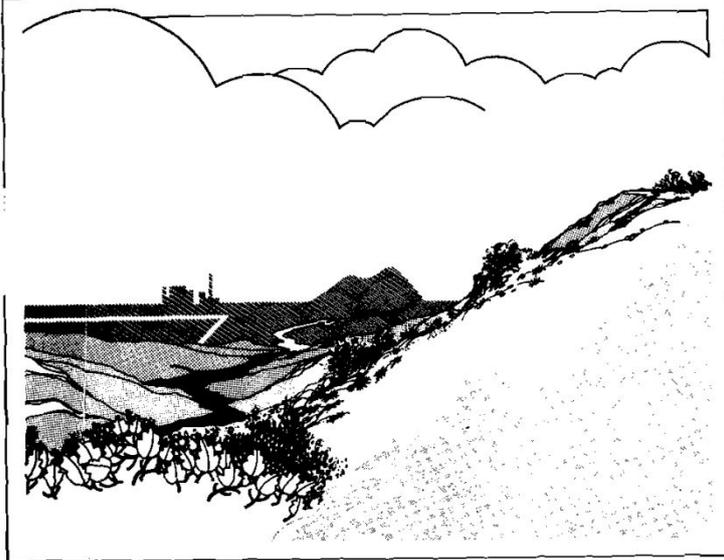
(NUREG/CR-4407 抜粋)

NUREG/CR-4407
EGG-2421
May 1987

Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants

Ronald E. Wright
Judy A. Steverson
William F. Zuroff

F O R M A L R E P O R T



Work performed under
DOE Contract No. DE-AC07-76ID01570

for the **U.S. Nuclear
Regulatory Commission**



**Idaho National
Engineering Laboratory**

Managed by the U.S. Department of Energy

CONTENTS

ABSTRACT	ii
EXECUTIVE SUMMARY	iii
ACKNOWLEDGMENTS	vi
INTRODUCTION	1
OVERALL METHODOLOGY	3
FAILURE DATA	7
POPULATION DATA	11
RESULTS	22
REFERENCES	28
APPENDIX A—USING SUBJECTIVE DATA TO ESTIMATE PIPE BREAK FAILURE RATES	A-1
APPENDIX B—INFORMATION PROVIDED TO QUESTIONNAIRE RESPONDENTS	B-1
APPENDIX C—QUESTIONNAIRE RESPONSES	C-1
APPENDIX D—NARRATIVE SUMMARIES OF PIPE BREAK EVENTS	D-1
APPENDIX E—SUMMARIES OF SELECTED PIPE BREAK STUDIES	E-1
APPENDIX F—FAILURE RATE ESTIMATION METHODS	F-1

Table 15. Frequencies of pipe breaks categorized by leak rate

Leak Rate	Numerator (N failures)	Denominator (T operating years)	Lower Bound $\chi^2_{(0.05, 2N)}/2T$	Point Estimate ^a	Upper Bound $\chi^2_{(0.95, 2N+2)}/2T$
PWR					
Non-LOCA ^b					
≥ 1, < 15 gpm	5	484.73	0.0041	0.0103	0.0217
≥ 15 gpm	4	484.73	0.0028	0.0083	0.0189
LOCA ^c					
50 to 500 gpm	0	484.73	0	0.0005	0.0062
> 50 gpm	0	484.73	0	<u>0.0005</u>	0.0062
BWR					
Non-LOCA ^b					
≥ 1, < 15 gpm	1	313.36	0.002	0.0032	0.0151
≥ 15 gpm	9	313.36	0.0150	0.0287	0.0501
LOCA ^c					
500 to 5000 gpm	0	313.36	0	0.0007	0.0096
> 5000 gpm	0	313.36	0	<u>0.0007</u>	0.0096

a. Point estimate $\lambda = N/T$ if $N > 0$; if $N = 0$, $\lambda = \chi^2_{(0.50, 2N+1)}/2T$.

b. Non-LOCA systems are those systems that if disabled, could not mitigate a LOCA (see Table 1).

c. LOCA systems are those systems susceptible to piping failures that could result in loss of reactor coolant (see Figure 1).

APPENDIX F

FAILURE RATE ESTIMATION METHODS

METHODS USED

This appendix shows the methods used to estimate the pipe failure rates using the observed failure data and the operating experience.^{F-1}

The following well-known statistical methods were used for Type-I censored data with replacement.^{F-2} The general methods for estimating rates on a yearly basis and on a transient basis are

$$\lambda(\text{yearly}) = \frac{N}{T} \quad (\text{F-1})$$

$$\lambda(\text{transient}) = \frac{N}{D} \quad (\text{F-2})$$

where

- λ = estimated failure rate
- N = number of reported pipe failures
- T = total number of operating years experienced
- D = total number of transients.

Confidence limits for yearly failure rates were based on the assumption that the underlying pipe failure time distributions are exponential and, therefore, that the resulting data can be represented by a Poisson process. In transient evaluations, N is assumed to be binomially distributed. However, because the probability of failure is small, the Poisson distribution may be used to approximate this variable for cases where the number of transients is large. The generalized formulas for estimating $100(1 - \alpha)\%$ confidence limits on the failure rates are

$$\frac{\chi_{\alpha/2}^2(2N)}{2T} \leq \lambda(\text{yearly}) \leq \frac{\chi_{1-\alpha/2}^2(2N + 2)}{2T} \quad (\text{F-3})$$

and

$$\begin{aligned} \frac{\chi_{\alpha/2}^2(2N)}{2D} &\leq \lambda(\text{transient}) \\ &\leq \frac{\chi_{1-\alpha/2}^2(2N + 2)}{2D}, \end{aligned} \quad (\text{F-4})$$

where

$\chi_a^2(b)$ = the chi-square variate at cumulative probability "a", with "b" degrees of freedom.

In these equations, α is the fraction left out of the intervals. For example, with 90% confidence limits, α is 0.10, $\alpha/2$ is 0.05, and upper limit uses the 95th percentile.

If D , the number of transients, is small, then the Poisson approximation of the binomial distribution is not adequate, and $100(1 - \alpha)\%$ confidence limits for the transient failure rate are

$$\begin{aligned} \frac{NF_L}{D - N + 1 + NF_L} &\leq (\text{transient}) \\ &\leq \frac{(N + 1)F_U}{D - N + (N + 1)F_U} \end{aligned} \quad (\text{F-5})$$

where

- F_L = $F_{\alpha/2}(2N, 2D - 2N + 2)$
- F_U = $F_{1-\alpha/2}(2N + 2, 2D - 2N)$
- $F_a(b,c)$ = F variate at cumulative probability "a", with "b" and "c" degrees of freedom.

As before, for 90% confidence limits, the 0.05 and 0.95 quantities are used ($\alpha = 0.10$).

In this study, yearly rate confidence limits were always based on Equation (F-3). Transient rate confidence limits were based on Equation (F-4) if $D - N \geq 100$, and on Equation (F-5) otherwise.

The lower limits in Equations (F-3), (F-4), and (F-5) are not defined in cases where no failures are observed

(N = 0). Zero is the appropriate lower limit in these cases. However, Equations (F-1) and (F-2) also give zero as the point estimate when N = 0. More realistic point estimates for such cases are

$$\lambda = \frac{\chi_{0.50}^2(2N + 1)}{2T}, \quad (F-6)$$

$$\lambda = \frac{\chi_{0.50}^2(2N + 1)}{2D}, \quad (F-7)$$

and

$$\lambda = \frac{(2N + 1)F_M}{2D - 2N + 1 + (2N + 1)F_M}, \quad (F-8)$$

where

$F_M = F_{0.50}(2N + 1, 2D - 2N + 1)$ and the F and χ^2 distribution percentile and degree of freedom notations are as defined above.

Equation (F-6) applies for yearly rates and is used with the upper bound from Equation (F-3). For transients, Equation (F-7) is used with the upper bound from Equation (F-4) and Equation (F-8) is used with Equation (F-5). Equations (F-6) and (F-7) are applicable to events occurring according to a Poisson distribution regardless of the number of failures observed. A similar comment applies to Equation (F-8) and the binomial distribution. Typical estimates from Equation (F-6) are in the following table for comparison with Equation (F-1). Equation (F-6) has been used in other failure data studies, such as Reference F-3.

<u>N</u>	<u>λ</u>
30	30.15/T
20	20.15/T
10	10.15/T
5	5.15/T
2	2.18/T
1	1.19/T
0	0.23/T

The estimates of Equations (F-6) through (F-8) can be obtained in two ways. The first is to consider shrinking the confidence intervals of Equations (F-3), (F-4), and (F-5) to the case where $\alpha = 1.00$ and both $\alpha/2$ and $1 - \alpha/2$ are 0.5. Because of the differing degrees of freedom, the intervals do not shrink to a single point. The equations use an average for the differing degrees of freedom. Because the estimates use 50th percentiles, they are related to medians.

The second way of considering Equations (F-6) through (F-8) uses the medians directly. In a Bayesian context, λ is regarded as a random variable. With Poisson sampling and a noninformative conjugate prior distribution, the posterior distribution for the occurrence rate has a gamma distribution with parameters^{F-4}

$$(\alpha, \beta) = (N + 1/2, 1/T). \quad (F-9)$$

Because the gamma distribution with parameters (N,2) is identical to the chi-square distribution with 2N degrees of freedom,^{F-5} Equation (F-6) can be shown to be the median of the distribution described by Equation (F-9). Using a similar relation between β and F distributions, Equation (F-8) can be derived as the median of the posterior failure rate distribution obtained in sampling from a binomial distribution with a noninformative conjugate prior distribution.

In summary, Equations (F-6), (F-7), and (F-8) describe median-point estimates for the failure rate. They can be used when N = 0, and are more conservative in that case than the point estimates given in Equations (F-1) and (F-2). In this work, they are used with the upper confidence limits in Equations (F-3), (F-4), and (F-5), respectively, whenever no failures are observed.

In estimating the above confidence limits, all components in the sample were assumed to have exactly the same true failure rate. No effort was made to account for possible variations arising from the mixture of populations having different true failure rates. For further discussion of the assumptions and limitations of these confidence limits, see References F-2 through F-6.

REFERENCES

- F-1. S. R. Brown, M. Trojovsky, *Data Summaries of Licensee Event Reports of Inverters at U.S. Commercial Nuclear Power Plants January 1, 1976 to December 31, 1982*, NUREG/CR-3867, Idaho National Engineering Laboratory, August 1984.
- F-2. L. J. Bain, *Statistical Analysis of Reliability and Life-Testing Models*, New York: Marcel Dekker, Inc., p. 157.
- F-3. *NPRDS 1978 Annual Reports of Cumulative System and Component Reliability*, NUREG/CR-0942, Southwest Research Institute, September 1979.
- F-4. G. E. P. Box and G. C. Tiao, *Bayesian Inference in Statistical Analysis*, Reading, MA: Addison-Wesley, 1973.
- F-5. N. R. Mann, R. E. Shafer, N. D. Singpurwalla, *Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1974.
- F-6. N. L. Johnson and S. Kotz, *Discrete Distributions*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1969, pp. 58-59 and 96.

評価対象となる航空路等の飛行回数

評価対象となる航空路等	ピーク日の飛行回数 ^{※1}	年間飛行回数 ^{※2}
直行経路 (IWAKI (IXE) - SWAMP)	H24 年上半期 : 0 (6 月 8 日) H24 年下半期 : 0 (9 月 19 日)	182.5
直行経路 (IWAKI (IXE) - KISARAZU (KZE))	H24 年上半期 : 0 (6 月 8 日) H24 年下半期 : 0 (9 月 19 日)	182.5
広域航法経路 Y30 (LOTUS - SWAMP)	H24 年上半期 : 0 (6 月 8 日) H24 年下半期 : 3 (9 月 19 日)	1,095

※1 : 国土交通省航空局に問合せ入手したデータ。ここで、ピークデイとは、東京航空交通管制部が全体として取り扱った交通量が半年間で最も多かった日のこと。

※2 : ピークデイの飛行回数 (0 回の場合は、0.5 回とした。) を 365 倍した値。

有視界飛行方式民間航空機 大破事故概要

(平成 5 年～平成 24 年)

(大型固定翼機)

発生年月日	場 所	型 式
該当なし	—	—

(大型回転翼機)

発生年月日	場 所	型 式
平成 13 年 5 月 19 日	三重県桑名市播磨付近	アエロスパシアル式 AS332L1

(小型固定翼機)

発生年月日	場 所	型 式
平成 6 年 4 月 6 日	広島県佐伯郡	セスナ式 208B
平成 6 年 5 月 7 日	高知県吾川郡池川町	セスナ式 172P
平成 7 年 7 月 29 日	北海道赤平市	パイパー式 PA-28-140
平成 7 年 10 月 9 日	北海道中川郡豊頃町	ピッツ式 S-2B
平成 8 年 2 月 9 日	長崎県東彼杵群川棚町	ブリテンノーマン式 BN-2B-20
平成 8 年 11 月 20 日	静岡県伊東市	セスナ式 172K
平成 9 年 8 月 21 日	茨城県竜ヶ崎市	パイパー式 PA-28-140
平成 9 年 10 月 26 日	鹿児島県垂水市	セスナ式 152
平成 9 年 11 月 2 日	熊本県八代郡	セスナ式 172N
平成 10 年 3 月 21 日	高知県室戸市	ビーチクラフト式 A36TC
平成 10 年 4 月 20 日	滋賀県琵琶湖	セスナ式 177RG
平成 10 年 8 月 25 日	岐阜県大野郡荘川村	パイパー式 PA-28-161
平成 10 年 9 月 23 日	大阪府高槻市	セスナ式 P210N
平成 10 年 9 月 24 日	茨城県霞ヶ浦	ソカタ式 TB10
平成 11 年 3 月 24 日	大分県大分郡野津原町	セスナ式 172M
平成 11 年 8 月 1 日	大分県大分郡庄内町	富士重工式 FA-200-180
平成 11 年 8 月 13 日	長野県斑尾山	セスナ式 172P
平成 13 年 3 月 25 日	香川県小豆群上庄町豊島	パイパー式 PA-28-181
平成 13 年 5 月 19 日	三重県桑名市播磨付近	セスナ式 172P
平成 13 年 8 月 16 日	岡山県久米郡柵原町	セスナ式 172NAT
平成 14 年 1 月 4 日	熊本県琢磨群琢磨村	セスナ式 172P
平成 14 年 3 月 1 日	北海道帯広市美栄町	リングスビー式 T67MMK II
平成 14 年 6 月 23 日	山梨県南巨摩群南部町	ソカタ式 TB21
平成 15 年 3 月 24 日	茨城県那珂郡緒川町	ガルフストリームコマンドー式 695
平成 15 年 7 月 11 日	宮崎県宮崎市	ビーチクラフト式 A36
平成 16 年 1 月 22 日	山梨県甲府市	セスナ式 172P
平成 16 年 9 月 11 日	兵庫県養父市	セスナ式 172M
平成 16 年 9 月 20 日	兵庫県三原郡南淡町	ソカタ式 TB10
平成 17 年 3 月 2 日	大阪市平野区瓜破	ビーチクラフト式 E33
平成 19 年 9 月 1 日	宮崎空港南東約 1nm の海上	ビーチクラフト式 A36

発生年月日	場 所	型 式
平成 19 年 11 月 15 日	岐阜県中津川恵郡山山頂付近	セスナ式 404
平成 22 年 7 月 28 日	北海道松前郡福島町岩部岳東方の山中	セスナ式 TU206G
平成 23 年 1 月 3 日	熊本空港から北東約 14km の矢護山南南東斜面	パイパー式 PA-46-350P
平成 23 年 7 月 26 日	静岡市清水区の興津川河口から富士川河口沖の駿河湾	エクストラ式 EA300/200 型
平成 23 年 7 月 28 日	北海道河西郡芽室町剣山山中	ビークラフト式 A36 型

(小型回転翼機)

発生年月日	場 所	型 式
平成 5 年 7 月 27 日	福島県双葉郡大熊町	ベル式 206B
平成 5 年 12 月 23 日	岐阜県郡山郡八幡町	ロビンソン式 R22Beta
平成 6 年 10 月 18 日	大阪府泉佐野市	アエロパシアル式 AS355F1
平成 6 年 11 月 13 日	鹿児島県大島郡笠利町	ベル式 206B
平成 8 年 4 月 27 日	長野県長野市篠ノ井	アエロパシアル式 AS355F1
平成 8 年 6 月 10 日	鹿児島県鹿児島市岡之原町	ロビンソン式 R22Beta
平成 9 年 1 月 24 日	愛知県岡崎市	アエロパシアル式 AS365N2
平成 9 年 5 月 21 日	長野県茅野市	アエロパシアル式 SA315B アルウェットⅢ
平成 9 年 7 月 3 日	三重県名張市	アエロパシアル式 SA315B アルウェットⅢ
平成 10 年 5 月 3 日	神奈川県横須賀市津久井浜	アエロパシアル式 AS350B
平成 12 年 4 月 24 日	三重県長島町木曾川左岸の河原	ヒューズ式 269C
平成 12 年 11 月 9 日	岐阜県郡上郡高鷲村	ロビンソン式 R22Beta
平成 14 年 5 月 5 日	愛媛県松山空港の西南西 16km 付近海上	ロビンソン式 R44
平成 14 年 6 月 12 日	新潟県東蒲原郡上川村	ベル式 206L-4
平成 16 年 3 月 7 日	長野県木曾郡南木曾町	アエロパシアル式 AS355F1
平成 16 年 12 月 24 日	佐賀県有明海海上	ロビンソン式 R44
平成 17 年 5 月 3 日	静岡県静岡市清水区草薙	アグスタ式 A109K2
平成 19 年 6 月 2 日	岐阜県中津川市岐阜中津川場外離着陸場の北約 1.3km 付近	ベル式 412
平成 19 年 10 月 27 日	大阪府堺市堺区遠里小野町 3 丁目	ロビンソン式 R22BETA
平成 19 年 12 月 9 日	静岡県静岡市葵区南沼上 988	ユーロコプター式 EC135T2
平成 20 年 7 月 6 日	青森県下北部大間町大間崎沖の海面	アエロパシアル式 AS350B
平成 21 年 2 月 10 日	群馬県利根郡みなかみ町	ベル式 206L-3
平成 21 年 7 月 20 日	但馬飛行場の南東約 15km	ロビンソン式 R44 II

発生年月日	場 所	型 式
平成 22 年 8 月 18 日	香川県沖多度郡多度津町佐柳島沖	ベル式 412EP

自衛隊機及び米軍機 大破事故概要

(平成 5 年～平成 24 年)

(訓練空域外を飛行中)

・自衛隊機

発生年月日	場 所	型 式
平成 9 年 1 月 13 日	宇都宮市坂戸町の鬼怒川河川敷	OH-6D
平成 13 年 2 月 14 日	千葉県市原市天羽田	AH1S, OH-6D
平成 14 年 3 月 7 日	大分県万年山山頂南東 2km	OH-6D
平成 16 年 2 月 23 日	三重県鳥羽市と磯部町の境にある青峰山の南東約 1km	AH1S
平成 17 年 4 月 14 日	新潟県阿賀町の御神楽岳斜面	MU-2
平成 17 年 9 月 18 日	長崎県佐世保市大潟町の陸上自衛隊相浦駐屯地内	AH1S
平成 19 年 3 月 30 日	徳之島天城岳山頂付近	CH-47JA

・米軍機

発生年月日	場 所	型 式
平成 6 年 10 月 14 日	高知県土佐郡吉野川	A-6
平成 11 年 1 月 21 日	岩手県釜石市橋野町山林	F-16
平成 16 年 8 月 10 日	東京都小笠原諸島北硫黄島	S-3 バイキング
平成 16 年 8 月 13 日	沖縄県宜野湾市の沖縄国際大学構内	CH-53D シースタリオン
平成 20 年 10 月 24 日	沖縄県名護市真喜屋のサトウキビ畑	セスナ機

(基地－訓練空域間往復時)

・自衛隊機

発生年月日	離陸場所 (所属)	場 所	型 式
平成 9 年 8 月 21 日	木更津駐屯地 (陸自)	茨城県竜ヶ崎市	OH-6D
平成 11 年 11 月 22 日	入間基地 (空自)	埼玉県狭山市入間川河川敷	T-33A
平成 12 年 3 月 22 日	松島基地 (空自)	宮城県女川町指ヶ浜山林	T-2
平成 12 年 7 月 4 日	松島基地 (空自)	宮城県牡鹿町山中	T-4
平成 13 年 9 月 14 日	小月航空基地 (海自)	山口県下関市楠乃霊鷲山西側斜面	T-5

航空機落下確率評価における標的面積の考え方について

1. 基準の要求事項

航空機落下評価に用いる基準及び航空機墜落による火災影響評価に用いる基準の要求事項は、それぞれ以下のとおり。

(1) 航空機落下確率評価

○実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（平成 21 年 6 月 30 日原子力安全・保安院制定）

解説 4 - 3 離着陸時及び巡航中の計器飛行方式民間航空機の原子炉施設への落下確率評価における入力パラメータ等に関する考え方（第 4 章）

(4) 原子炉施設への標的面積 (A)

原子炉施設への航空機落下に対する影響評価を行う場合において、航空機落下事故時の安全性を確保する観点から重要なのは、大量の放射性物質を蓄えている炉心や使用済燃料プールを保護すること、並びに、原子炉の安全停止（炉心冷却も含む。）を確保することである。したがって、原子炉施設への航空機落下確率評価では、これらを踏まえ、安全上重要な構築物、系統及び機器の設置状況、航空機の大きさ、突入する角度、滑り込み等を勘案して標的面積を決める必要がある。（以下略）

(2) 外部火災影響評価

○原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定）

附属書C 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について

1. 総則

（中略）

本評価ガイドは、発電所敷地への航空機の墜落で発生する火災に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災が発電所の敷地内で起こったとしても原子炉施設（本評価ガイドにおける「原子炉施設」は、安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包するものに限る。）に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2. 航空機落下確率評価における標的面積

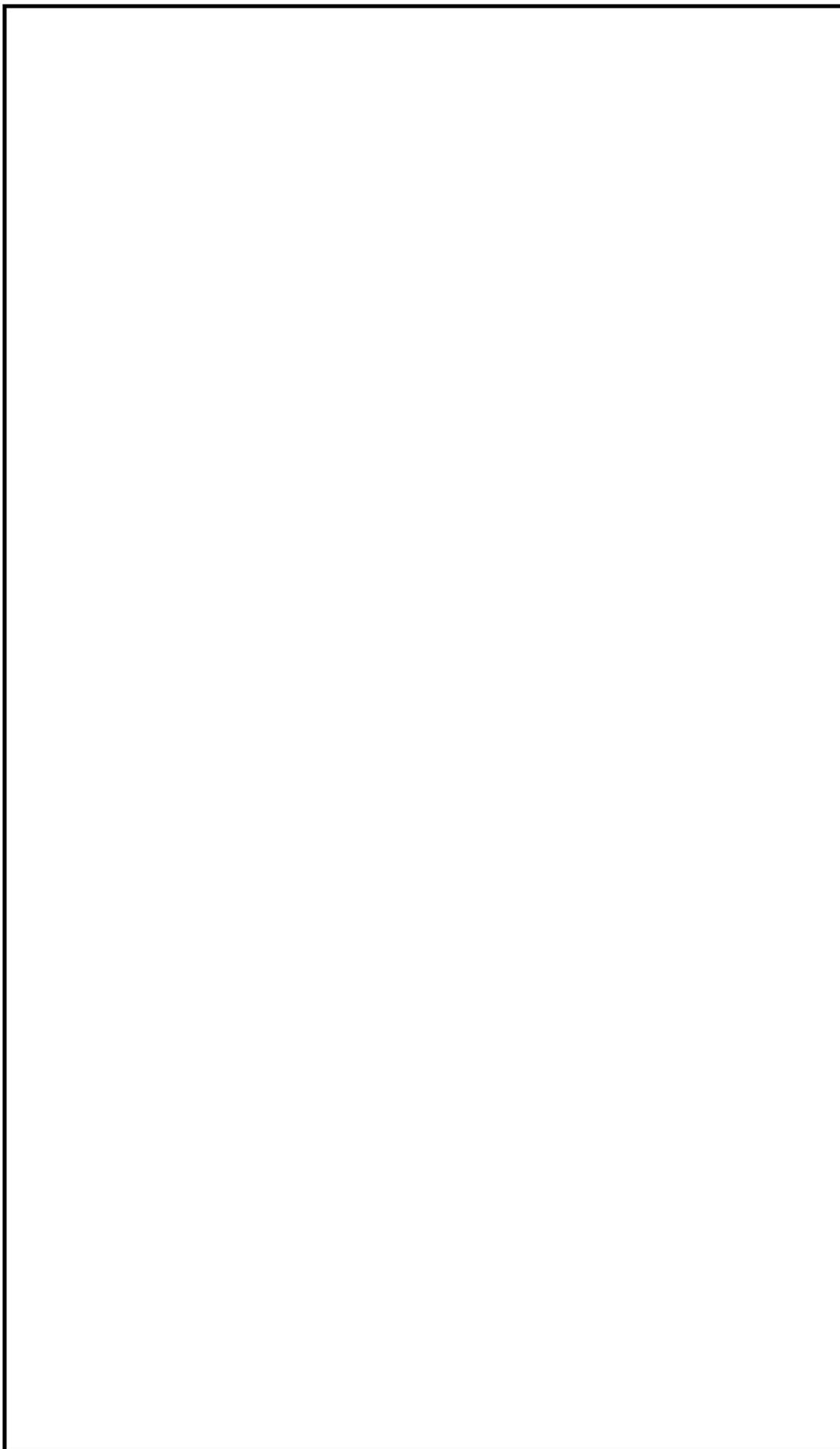
1. (2)の基準を踏まえ、航空機墜落による火災影響評価においては、安全機能を有する構築物、系統及び機器（以下「SSC」という。）を防護対象とし、そのうちクラス1及びクラス2に属するSSC若しくはそれらを内包する建屋を影響評価対象とし、以下のとおりとした。

- ・原子炉建屋
- ・タービン建屋（第1図参照）
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋
- ・海水ポンプ室
- ・排気筒
- ・非常用ディーゼル発電機吸気系フィルタ

一方、従来の航空機落下確率評価においては、1. (1)の基準を踏まえ、以下のSSCを評価対象としていた。

- ・原子炉建屋
- ・タービン建屋（原子炉補機冷却系ポンプ及び熱交換器を含む区画。第1図参照。）
- ・海水ポンプ施設

しかし、航空機墜落後は火災が発生する蓋然性が高いことを踏まえ、航空機落下確率評価においても外部火災影響評価と同様に1. (2)の基準に則り、クラス1及びクラス2に属するSSC若しくはそれらを内包する建屋を影響評価対象とした。



第1図 タービン建屋内の原子炉補機冷却系ポンプ及び熱交換器の配置

滑走路 210° 方向からの離着陸を考慮した

自衛隊機の「基地－訓練空域間往復時」の落下確率評価

東海第二発電所の「基地－訓練空域間往復時」の落下確率評価においては、評価パラメータである Sse に百里基地と自衛隊機の訓練空域境界間を直線で結んだ範囲の面積を用いている。これは、百里基地の滑走路 30° 方向（真方位 19°）からの離着陸のみを考慮した想定飛行範囲であるが、実際には風向き等を踏まえて 210°（真方位 199°）方向からの離着陸も実施することが考えられるため、これを考慮した方がより実態に近い評価となる。

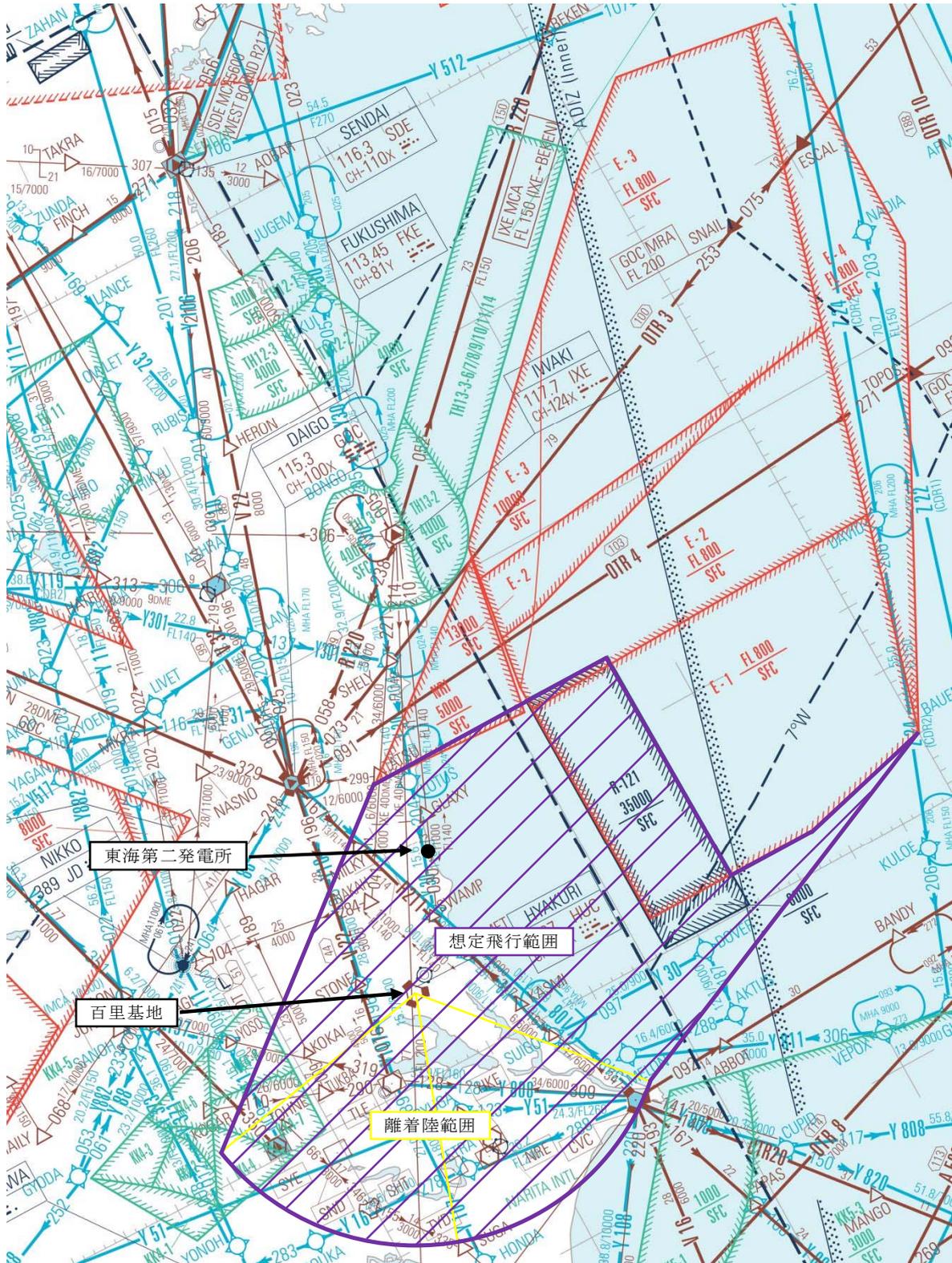
そのため、この効果を考慮して第 1 図に示す想定飛行範囲を用いて落下確率を評価した。なお、離着陸の範囲は「飛行場での離着陸時」の落下確率評価と同様に、滑走路端から最大離着陸地点までの直線距離内の内円で滑走路方向両側に対し±60° 以内の扇形を設定する。（別紙 7.11 参照）

パラメータ	発電所名称	東海第二発電所 (自衛隊機の評価)	
fse ^{※1}		χ 二乗分布を用いた方法 約 0.0114 (=0.2275/20)	0.5 件を用いた方法 約 0.025 (=0.5/20)
Sse ^{※2}		9,820	
Pse		約 1.76×10^{-8}	約 3.87×10^{-8}

※ 1：「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月 原子力規制委員会）より、当該想定飛行範囲内で自衛隊機の移動時の事故件数は平成 5 年～平成 24 年において 0 件であるため、落下事故率の算出には χ 二乗分布を用いた方法及び 0.5 件を用いた方法を使用した。

※ 2：百里基地（飛行場）の滑走路 210° 方向の離着陸範囲と自衛隊機の訓練空域（Areal, E1, E2, E3, E4 の全域）境界間を直線で結んだ想定飛行範囲の面積。なお、自衛隊機の訓練空域（E1, E2）については、AIP に” Excluding R-121” と記載があることから、米軍機の訓練空域（R-121）を除いた領域を自衛隊機の訓練空域としている。

したがって、仮に f_{se} の算出に 0.5 件を用いた方法を使用した場合でも、ベースケースの評価結果と同等の落下確率となる。



出典：ENROUTE CHART（2014年3月6日改定）

第1図 滑走路210°方向からの離着陸を考慮した想定飛行範囲

11. ダムの崩壊影響評価について

(1) 基本方針

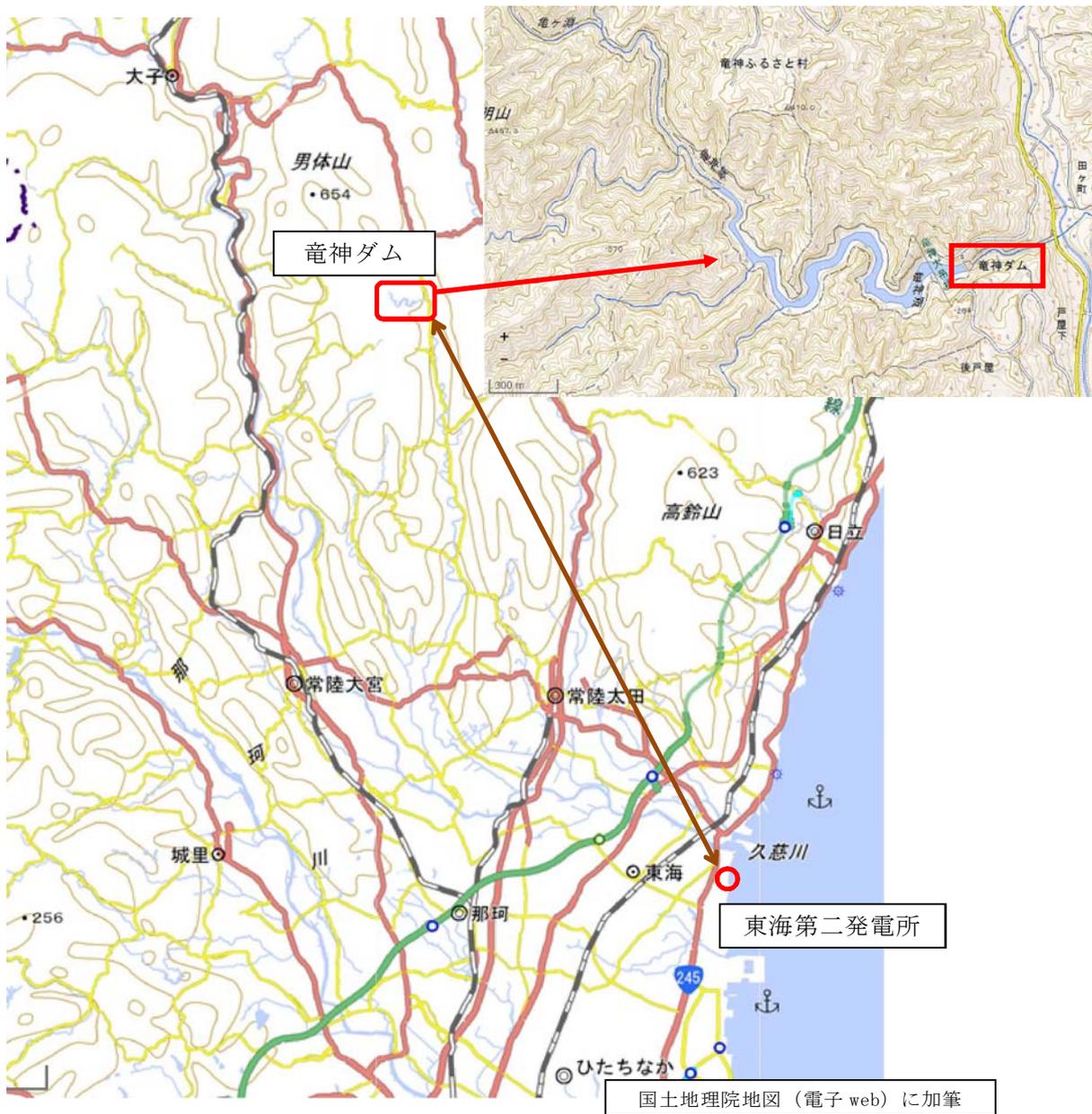
安全施設のうち外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器はダムの崩壊により安全施設の安全機能が損なわれないよう設計する。

(2) 周辺敷地評価及び確認結果

東海第二発電所の敷地周辺にある，ダムの崩壊により発電所に影響を及ぼす可能性のある河川としては，敷地の北方約 2km に久慈川が位置している。久慈川水系には支川の山田川に竜神ダムが，敷地の北方約 30km に位置している。(第 11-1 図及び第 11-1 表参照)

ダムの崩壊に伴う流出水は，周辺敷地状況より，久慈川は敷地の北方を太平洋に向かい東進していること，久慈川から発電所に向かって上り勾配（標高 3m～21m）となっていることから，発電所が影響を受けることはない。

以上のことより，ダムの崩壊により発電所が影響を受けることはなく，ダムの崩壊を考慮する必要はない。



第 11-1 図 敷地周辺のダム

第 11-1 表 竜神ダム諸元

河 川	久慈川水系山田川支川竜神川
目 的	洪水調整，農業用水，上水道
型 式	重力式コンクリートダム
堤 高	4 5 m
堤 頂 長	9 0 m
総貯水容量	3, 0 0 0, 0 0 0 m ³
有効貯水容量	2, 7 0 0, 0 0 0 m ³

茨城県土木部 水戸土木事務所ホームページより抜粋

12. 有毒ガス影響評価について

1. 評価概要

有毒ガスの毒性が人に与える影響に着目し、中央制御室等の居住性評価を実施する。有毒ガスの発生源から、以下(a)～(c)に大別し影響を評価する。

- (a) 原子力発電所敷地外からの影響
- (b) 原子力発電所敷地内の固定施設（屋外設備）からの影響
- (c) 原子力発電所敷地内の屋内設備からの影響

2. 原子力発電所敷地外からの影響

2.1 評価対象

敷地外からの有毒ガスの発生源は、石油化学コンビナート等の固定施設の流出事故及びタンクローリや海上を航海するケミカルタンカー等の可動施設の輸送事故が想定される。第12-1表に、評価対象に選定した事故の種類を示す。

第12-1表 評価対象事故（原子力発電所敷地外）

原子力発電所 敷地外	固定施設	石油化学コンビナート等の固定施設の流出事故
	可動施設	陸上トラックの輸送事故
		鉄道車両の輸送事故
		海上船舶の輸送事故

2.2 敷地外固定施設の流出事故の影響

石油化学コンビナート等の固定施設については、石油コンビナート等災害防止法に基づき、災害の発生のおそれ及び災害による影響について科学的知見に基づく調査、予測及び評価や対策の実施が求められており、当該施設の

敷地外へは影響がないことが確認されている。

また、東海第二発電所の周辺の、石油化学コンビナート等の大規模な有毒物質を貯蔵する固定施設は、最も近いものでも 50km 以上離れているため影響を及ぼすことはない(第 12-1 図)。



第 12-1 図 東海第二発電所周辺の石油コンビナート等特別防災区域

2.3 敷地外可動施設からの流出の影響

全国的に生産量及び輸送量が特に多く、専用の大型輸送容器が使用されている毒性物質の中で、特に毒性の強い物質として塩素（輸送時の性状は液化塩素）を代表として想定する。塩素専用の大型輸送容器による輸送は、陸上輸送ではタンクローリや鉄道のタンク貨車、海上輸送では塩素を専用でばら積み輸送するケミカルタンカーにて行われる。

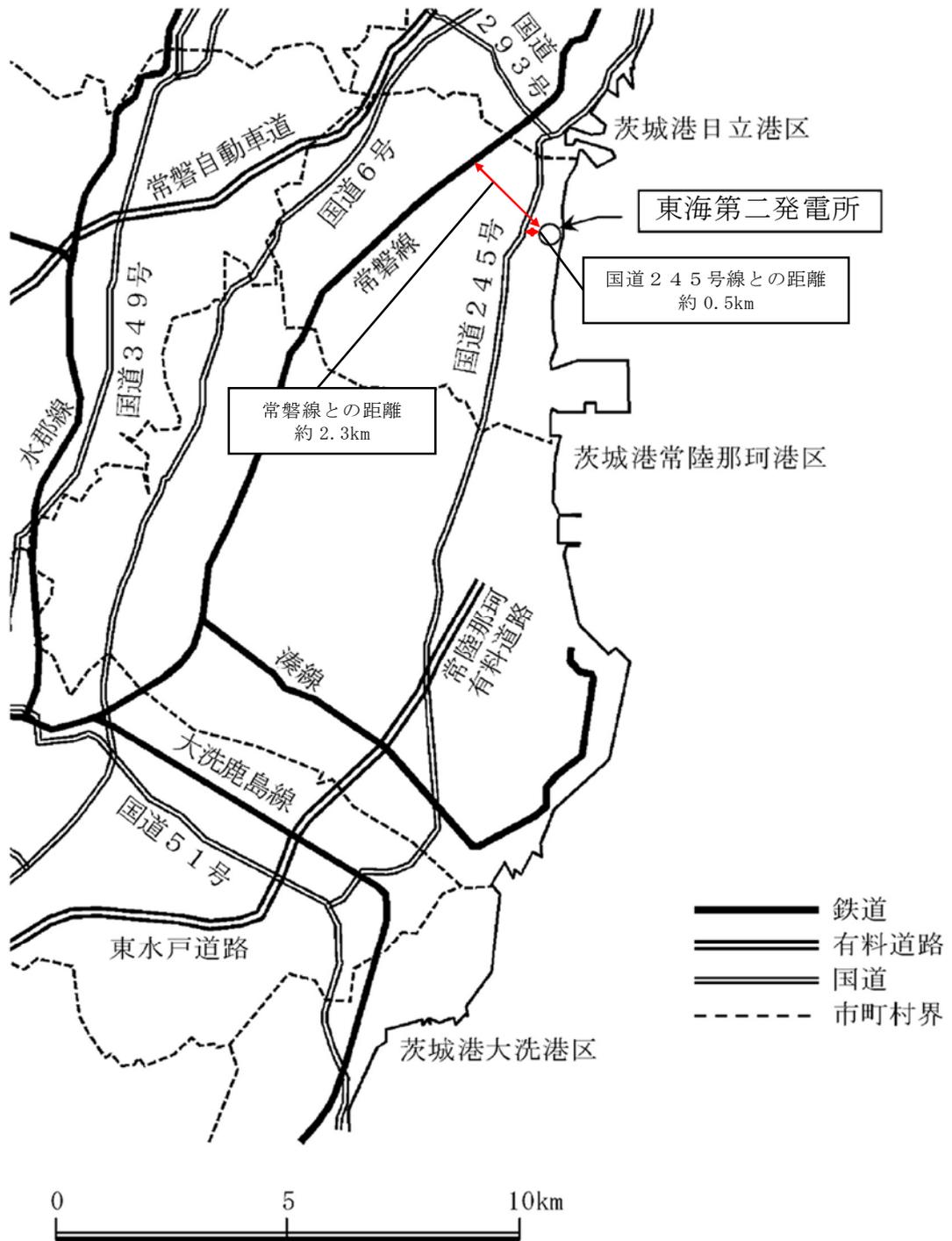
液化塩素を積載するタンクローリは、高圧ガス保安法や、毒物及び劇物取締法によって容器の設計、製造、取扱いの規制を受ける。事故等の衝撃により弁等の突出部が破損しガスが漏えいすることを防ぐための保護枠の設置や、

ガス容器が二重構造であることから信頼性が高く、交通事故等が発生した場合であっても流出に至りにくい。また、万一流出に至った場合の対応に必要な、中和剤（消石灰、苛性ソーダ）や呼吸器、防護具などを積載している。このため、タンクローリの輸送事故による中央制御室への影響はない。なお、主要な道路としては、敷地境界付近に国道245号線があり、中央制御室から最短距離は約0.5kmである（第12-2図）。流出の影響評価は「5. 発電所敷地外の可動施設からの流出の影響評価」のとおり。

本発電所に近い鉄道路線には東日本旅客鉄道株式会社常磐線があるが、中央制御室から最短距離は約2.3kmである（第12-2図）。有毒ガスを積載した鉄道車両（タンク貨車）についても高圧ガス保安法や、毒物及び劇物取締法によりタンクローリと同様の規制を受けており流出に至りにくい構造であることから、事故等による有毒ガスの中央制御室への影響はない。

航路に関して調査したところ、最も距離の近い航路は発電所沖合を航行するものであり、中央制御室との離隔距離は約80kmであることを確認した（第12-3図）。流出の影響評価は「5. 発電所敷地外の可動施設からの流出の影響評価」のとおり。

また、航路からの離隔距離があることから、漂流した船舶が発電所周辺まで流れてくる可能性は低い。さらに、漏えい時には自動で作動する緊急遮断弁や二重構造等による特殊な船体構造を有しており、万一船舶がプラント内に進入し、座礁、転覆した場合においても、積荷が漏えいすることは考えにくい。また、流出が生じて中和剤（苛性ソーダ）を介してから海上に放出される構造となっている。このため、有毒ガスを積載した船舶の事故等による有毒ガスの中央制御室への影響はない。



第12-2図 東海第二発電所周辺の鉄道路線及び幹線道路



第 12-3 図 発電所敷地周辺図（船舶航路）

3. 発電所敷地内の固定施設（屋外設備）からの影響

3.1 評価の概要

敷地内の建屋外に設置されている有毒物質を貯蔵する容器が損傷することによる有毒ガスの影響を評価する。判断基準としては IDLH*に加え、窒息性ガスについても考慮し、酸素濃度が許容濃度限界を下回らないことを基準とする。

※ IDLH…急性の毒性限界濃度（30分曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える曝露レベルの濃度限度値）

3.2 評価対象物質及び固定施設

東海第二発電所の屋外設備に貯蔵されている化学物質について、米国国立労働安全衛生研究所（NIOSH）によるIDLHの一覧表を参考に調査したところ、炭酸ガス、アンモニア、硫酸、苛性ソーダ及びポリ塩化アルミニウムなどの物質が貯蔵されている（第12-2表、第12-3表）。IDLHの低さと蒸発のしやすさの観点から比較すると最も評価が厳しい物質はアンモニアであるため（第12-2表）、当該物質の水溶液である水酸化アンモニアが貯蔵されている廃棄物処理建屋を評価の対象とする。アンモニア以外の有毒ガスについては、個別設備間の距離を踏まえても、以下の理由からアンモニアに比べ中央制御室等の居住性への影響は小さい。

- ・炭酸ガスは、各ボンベ庫に貯蔵されているボンベの容量が30kgと小さく、IDLHがアンモニア（300ppm）に対して40,000ppmと非常に大きいことから、アンモニアに比べ影響は小さい。なお、中央制御室換気系給気口までの最短の離隔距離は90m（O₂注入系ボンベ庫炭酸ガスボンベ）である。
- ・硫酸は、IDLHの値が15mg/m³と小さいが、不揮発性であることから中央制御室等の居住性に影響しない。なお、中央制御室換気系給気口まで

の最短の離隔距離は 65m（廃棄物処理設備屋外硫酸タンク）である。

- ・苛性ソーダは，IDLH の値が $10\text{mg}/\text{m}^3$ と小さいが，不揮発性であることから中央制御室等の居住性に影響しない。なお，中央制御室換気系給気口までの最短の離隔距離は 104m（復水脱塩装置薬品エリア苛性ソーダ貯蔵タンク）である。
- ・ポリ塩化アルミニウムは，IDLH が設定されておらず，有害性が極めて小さいことから，影響はない。なお，中央制御室換気系給気口までの最短の離隔距離は 132m（給水処理設備 PAC 貯槽）である。

また，窒息性を有するガスとしては，敷地内での貯蔵量が多く，影響が大きいと考えられることから，原子炉格納容器内注入などに用いられる窒素ガスを供給する液体窒素貯蔵タンクを対象とする。窒素が漏えいし中央制御室及び緊急時対策所（以下「中央制御室等」という。）換気系給気口に侵入した場合，酸素との置換により酸欠状態になることが想定されるため，仮に全量漏えいした場合にガスが中央制御室等に影響を及ぼすか否かを評価する。

第 12-4 表に評価対象物質及び施設名を，第 12-4 図に敷地内の配置図を示す。

第 12-2 表 発電所敷地内有毒物質の IDLH 及び沸点

薬品の種類	IDLH	沸点[°C]
炭酸ガス	40,000 [ppm]	-78.5 (昇華点)
硫酸	15 [mg/m^3]	327
苛性ソーダ (水酸化ナトリウム)	10 [mg/m^3]	138
ポリ塩化アルミニウム (PAC)	2 [mg/m^3]※	102
アンモニア	300 [ppm]	37.7

※TLV-TWA (Threshold Limit Value-Time Weighted Average)

ACGIH(米国産業衛生専門家会議)で定められた値

毎日繰り返し暴露したときほとんどの労働者に悪影響がみられないような大気中の物質濃度の時間荷重平均値で，通常，労働時間が 8 時間/日及び 40 時間/週での値

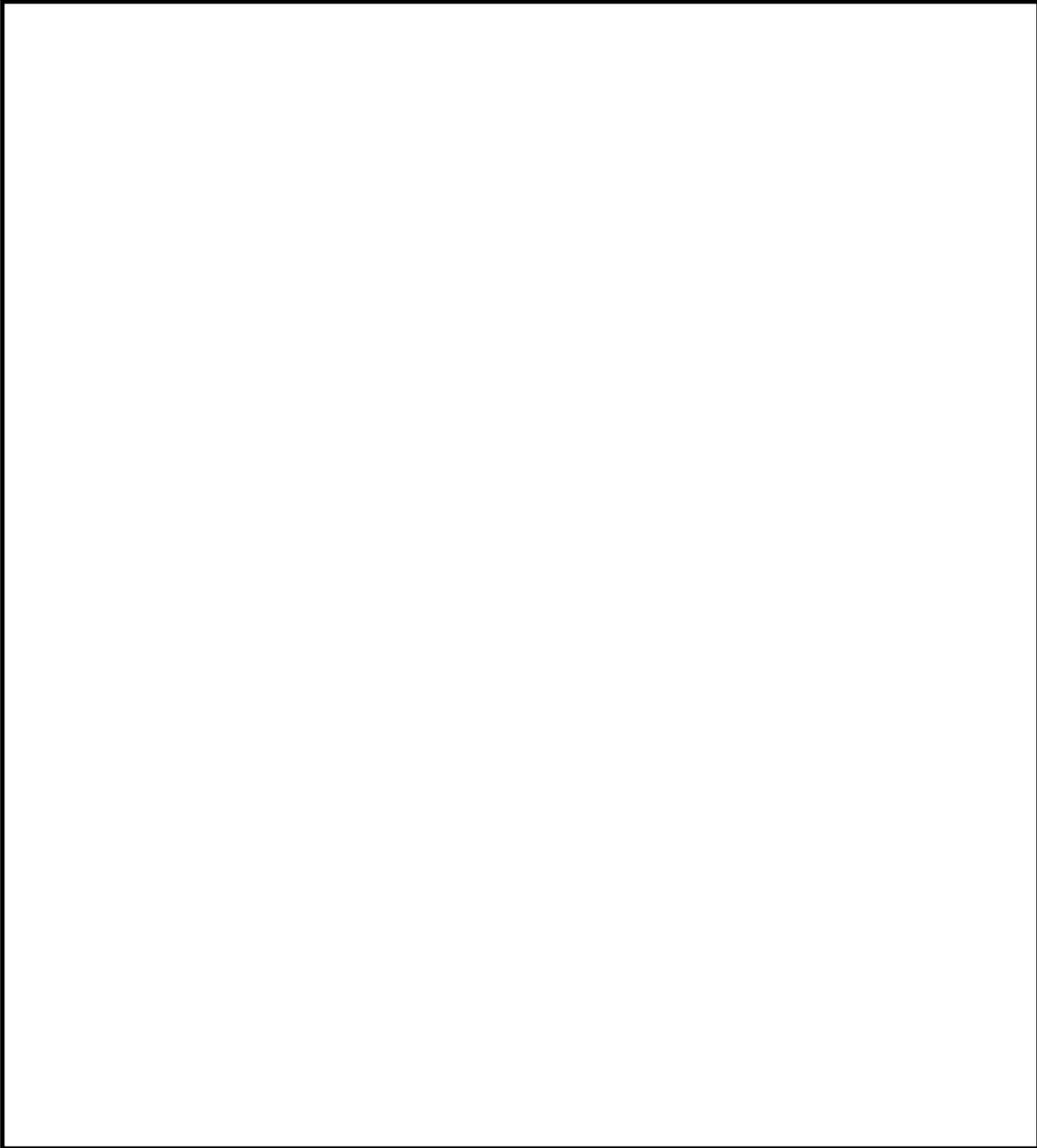
第 12-3 表 発電所敷地内の有毒物質

名称	内容物	容量	離隔距離* [m]	
			中央制御室	緊急時 対策所
復水脱塩装置薬品エリア 硫酸貯蔵タンク	硫酸	50.0 [m ³]	112	319
復水脱塩装置薬品エリア 苛性ソーダ貯蔵タンク	苛性 ソーダ	50.0 [m ³]	104	319
廃棄物処理設備 屋外硫酸タンク	硫酸	0.6 [m ³]	65	391
給水処理設備薬品タンク 硫酸貯槽	硫酸	3.0 [m ³]	135	185
給水処理設備薬品タンク 苛性ソーダ貯槽	苛性 ソーダ	10.0 [m ³]	135	186
給水処理設備薬品タンク PAC 貯槽	ポリ塩化アル ミニウム	6.0 [m ³]	132	189
溶融炉 アンモニアタンク	アンモニア	1.0 [m ³]	120	420
溶融炉 苛性ソーダタンク	苛性 ソーダ	3.0 [m ³]	117	420
取水口 硫酸第一鉄 注入タンク	硫酸	7.0 [m ³]	289	604
液体窒素貯蔵タンク	液体窒素	50.0 [m ³]	35	350
O ₂ 注入系ボンベ庫 炭酸ガスボンベ	炭酸ガス	30[kg]×12 本	90	290
主発電機ボンベ庫 炭酸ガスボンベ	炭酸ガス	30[kg]×40 本	100	370
主発電機予備ボンベ庫 炭酸ガスボンベ	炭酸ガス	30[kg]×30 本	130	410

※ 各発出源と換気系給気口までの距離。また、中央制御室換気系給気口は 2 箇所のうち、放出源に近い給気口までの距離を記載

第 12-4 表 評価対象物質及び固定施設名

評価対象物質	固定施設名
アンモニア	廃棄物処理建屋
液体窒素	原子炉建屋



第 12-4 図 固定施設（屋外設備）の配置図

3.3 評価方法

3.3.1 有毒ガス影響評価（アンモニア）

3.3.1.1 評価の概要

影響評価については次の(1)～(3)を考慮し、貯蔵施設から放出された有毒ガスの中央制御室等換気系給気口における濃度（IDLH）を評価する。概要について第12-5図に示す。

(1) 貯蔵施設から流出した有毒物質の大気への放出率

敷地内の固定施設は一定水準の強度を確保して設計されていることから、現実的には損傷容器の損傷孔サイズはそれほど大きいものではなく、有毒物質水溶液の液溜りが広がるには時間を要するものと考えられる。しかし、本評価においては、保守的に貯蔵施設から流出した有毒物質水溶液の液溜まりが瞬時に堰底面全体に広がった状態を想定して評価を行う。

液溜りから大気中への有毒物質の放出率は、有毒物質水溶液の液溜りが堰底面積全面に広がった状態で、液溜りからの蒸発、及び堰内での上方への濃度拡散が最終的な定常状態にあるとして、拡散方程式に基づき評価する。

(2) 大気へ放出した有毒物質の大気拡散

有毒物質の濃度評価に用いる相対濃度（ χ/Q ）は、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」の大気拡散の評価にしたがい、年間について小さい方から順に並べた累積出現頻度97%に当たる値を用いた。

(3) 中央制御室等における有毒物質の濃度評価について

中央制御室等における濃度については、有毒物質の大気への放出率及び大気拡散の評価により、中央制御室等換気系給気口における有毒物質の最大濃度を評価し、判断基準と比較する。

3.3.1.2 大気放出率の算出方法

堰内での拡散による濃度分布は次式の拡散方程式を用いて計算できる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial C}{\partial z} \right) + q$$

ここで、

$$q = Q / (A dz) \text{ 但し, } q = 0 \text{ for } z \neq 0$$

C : 濃度 [kg/m³]

w : 上向きの流れ [m/s]

D : 分子拡散係数 [m²/s]

z : 液面からの高さ [m]

q : 蒸発による付加項 [s⁻¹]

Q : 蒸発流量 [m³/s]

A : 液溜り面積 [m²]

定常状態では堰上端部付近での有毒ガスの濃度勾配に応じて単位時間当たり大気へ放出されることになるため、次式にて大気放出率を計算できる。

$$F = -D \frac{\partial C}{\partial z} A$$

F : 堰上端部からの大気放出率 [kg/s]

D : 分子拡散係数 [m²/s]

C : 濃度 [kg/m³]

z : 液面からの高さ [m]

A : 液溜り面積 [m²]

また、定常状態において堰上端部で濃度ゼロとなる濃度勾配は、液面からの高さに比例して減少する。

そこで評価においては、液溜りが堰底面全面に広がった状態で、水溶液面

直上での濃度が保守的に有毒ガスの飽和蒸気圧に相当する濃度であるとして、液溜りからの蒸発が定常状態になったときの大気放出率を以下のように計算する。

$$F = D \frac{C_{ps}}{z_0} A_0$$

$$C_{ps} = \frac{MP_s}{1000RT}$$

F : 堰上端部からの大気放出率 [kg/s]

D : 分子拡散係数 [m²/s]

C_{ps} : 水溶液面直上での濃度 [kg/m³]

z₀ : 堰高さ [m]

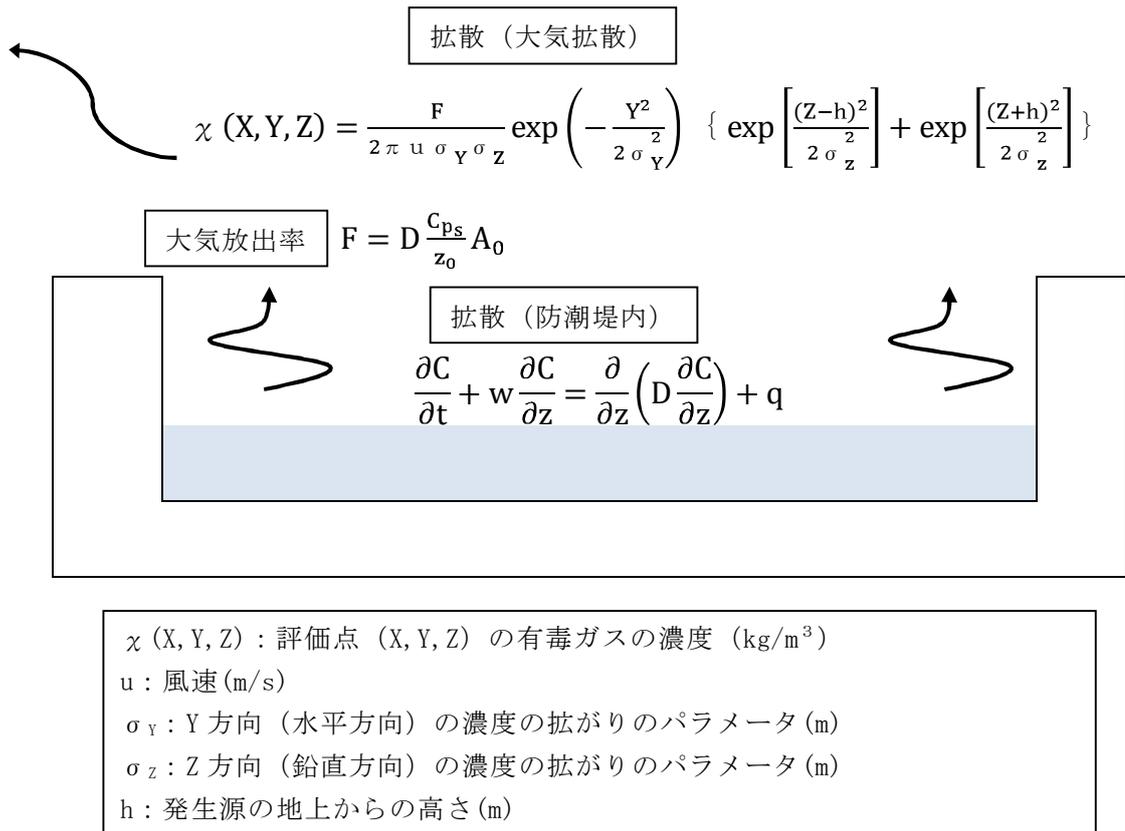
A₀ : 堰底面積 [m²]

M : 分子量 [g/mol]

P_s : 飽和蒸気圧 [Pa]

R : 気体定数 [8.314 m²kg/(s² K mol)]

T : 絶対温度 [303 K]



第 12-5 図 有毒ガス大気放出の考え方

3.3.1.3 評価条件

放出率の評価条件を第 12-5 表，大気拡散評価の条件を第 12-6 表に示す。

第 12-5 表 放出率評価条件（アンモニア）

評価点	中央制御室 換気系給気口	緊急時対策所 換気系給気口
離隔距離 [m]	120 [*]	420
タンク貯蔵量 [m ³]	1.0	
判断基準 [ppm]（IDLH：アンモニア）	300	

※中央制御室換気系給気口 2 箇所のうち，最短距離のものを記載

第 12-6 表 大気拡散条件 (アンモニア)

項目	評価条件	選定理由
大気拡散評価モデル	ガウスプルームモデル	審査ガイド ^{*1} に示されたとおり設定
気象データ	東海第二発電所における 1 年間の 1 時間ごとの気象データ (2005 年 4 月～2006 年 3 月)	建屋影響を受ける大気拡散評価を行うため地上風 (地上高 10m) の気象データを使用 審査ガイドに示されたとおり, 発電所において観測された 1 年間の気象データを使用
実効放出継続時間	1 時間	保守的に短期間である 1 時間と設定
放出源及び放出源高さ	放出源: 廃棄物処理建屋 放出高さ: 地上 0m	審査ガイドに示されたとおり設定 ただし, 放出エネルギーによる影響は未考慮
累積出現頻度	小さい方から累積して 97%	審査ガイドに示されたとおり設定
建屋巻き込み	考慮する	放出点から近距離の建屋の影響を受けるため, 建屋による巻き込み現象を考慮
巻き込みを生じる代表建屋	廃棄物処理建屋	巻き込みの影響が最も大きい建屋として設定
濃度の評価点	中央制御室 緊急時対策所	審査ガイドに示されたとおり設定
着目方位	中央制御室: 4 方位 (W, WNW, NW, NNW) 緊急時対策所: 2 方位 (W, WNW)	審査ガイドに示された評価方法に基づき設定
建屋投影面積	1400 m ²	審査ガイドに示されたとおり設定
形状係数	1/2	内規 ^{*2} に示されたとおり設定

※ 1 : 実用発電用原子炉に係る重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に関する審査ガイド

※ 2 : 原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について (内規)

3.3.1.4 評価結果

アンモニアの漏えいを想定した場合の、中央制御室等換気系給気口における濃度の評価結果を第 12-7 表に示す。結果より、有毒ガスの濃度が IDLH 以下であり問題ないことを確認した。

第 12-7 表 中央制御室等換気系給気口における有毒物質濃度（アンモニア）

評価点	中央制御室 換気系給気口	緊急時対策所 換気系給気口
タンク貯蔵量[m ³]	1.0	
大気放出率[g/s]	2.68	
離隔距離[m]	120 ^{**}	420
相対濃度[s/m ²]	7.44×10^{-4}	9.54×10^{-5}
換気系給気口濃度[ppm]	2.62×10^0	3.36×10^{-1}
判断基準 [ppm] (IDLH : アンモニア)	300	
評価結果	影響なし	影響なし

※中央制御室換気系給気口 2 箇所のうち、最短距離のものを記載

3.3.2 窒素ガス影響評価（液体窒素）

3.3.2.1 評価概要

空気中濃度の計算には、以下の考え方で行う。

$$K_n = K_0 + M/V$$

K_n :室内ガス濃度[Vol%]

K_0 :外気中のガス濃度[Vol%]

M :ガス放出量[m³]

V :空間体積[m³]

酸素欠乏等防止規則によると、酸素欠乏の定義を「空気中の酸素濃度が18%未満の状態」としており、この値を下回ると吐き気やめまい、呼吸困難等の症状が現れることから、空気中のアルゴン等の組成1%を考慮し、居住空間内での窒素濃度限界を81.0Vol%とする。

また、初期状態における外気中の窒素ガス濃度を78.0Vol%とする。評価の前提条件として、対象とする設備の窒素ガス放出量から窒素限界濃度に至る体積及びガス放出源からの距離を算出し、それが中央制御室等換気系給気口までの離隔距離未満であることを確認する。

液体窒素の場合、常温大気中に放出された窒素は急速に沸騰、膨張し、それに伴い体積も数百倍程度に増加する。また、空気中に元々約78%存在する窒素に対しては、蒸発により屋外で濃度差無く均一に拡散する挙動を示すことから、本評価においては、窒素ガスが半球状に一様に膨張すると仮定した。

液体窒素貯蔵タンクは、原子炉建屋近傍に設置している。貯蔵量は50m³である。評価条件を第12-8表に示す。

第 12-8 表 評価条件（窒素ガス）

項目	数値
K_n :室内ガス濃度[Vol%]	81.0
K_o :外気中のガス濃度[Vol%]	78.0
液体窒素貯蔵タンク貯蔵量[m ³]	50.0

3.3.2.2 評価結果

評価結果を第 12-9 表，酸欠雰囲気となる範囲を第 12-6 図に示す。液体窒素貯蔵タンクから液体窒素全量が漏えいした場合，窒素の体積は $3.5 \times 10^4 \text{m}^3$ となる。これが気体のフラッシュにより瞬時全量揮発したモデルとして半球上の領域に均一に拡散したと仮定すると，酸欠雰囲気（酸素分圧 18%以下）となる領域半径は約 82m となる。液体窒素貯蔵タンクから中央制御室換気系給気口までの離隔距離は約 35m であるが，中央制御室換気系の換気率（1 時間あたり 92%循環，8%入替）から，瞬時に酸欠には至ることはない。

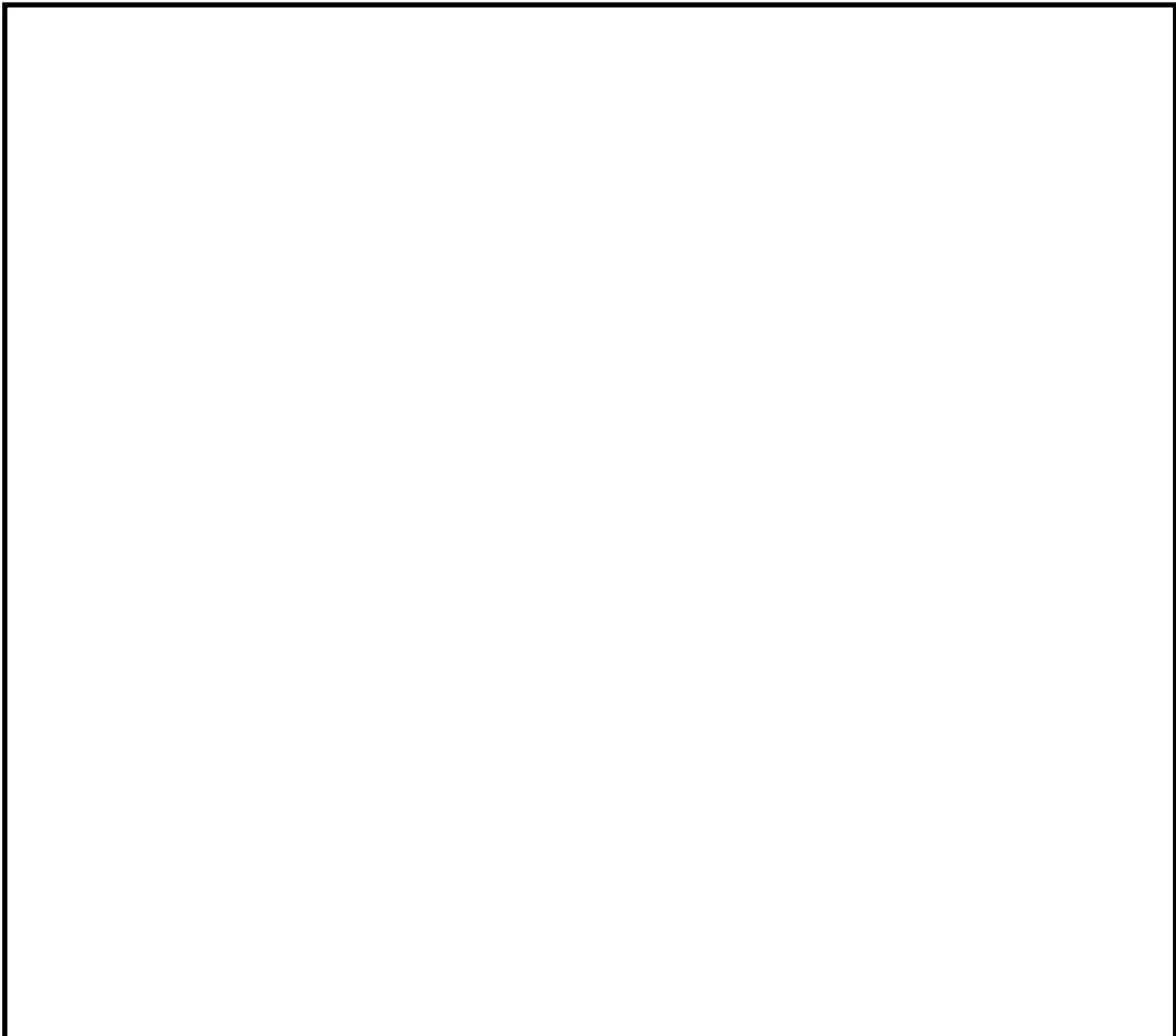
また，本評価では無風状態を想定している。風が吹いている場合を想定しても，風により拡散が促進され窒息雰囲気の濃度はより小さくなること，中央制御室換気系給気口に到達した場合であっても，長時間中央制御室換気系給気口前面に留まる事はなく，中央制御室の空調バウンダリ内が窒息濃度となることは考え難い。

第 12-9 表 評価結果（窒素ガス）

評価点	中央制御室 換気系給気口	緊急時対策所 換気系給気口
M : ガス放出量[m ³] (25℃, 1atm)	3.5×10 ⁴	
危険距離[m]	82	
離隔距離（液体窒素貯蔵タンク）[m]	35 ^{※1}	350
評価結果	影響なし ^{※2}	影響なし

※1：中央制御室換気系給気口2箇所のうち、最短距離のものを記載

※2：中央制御室換気系の換気率（1時間あたり92%循環，8%入替）から，瞬時に酸欠に至ることはなく，風による拡散効果から，中央制御室の空調パウングリ内が窒息雰囲気になることは考え難い。



第 12-6 図 評価結果（窒素ガス）

3.3.2.3 大気拡散を考慮した評価

3.3.2.2 においては、中央制御室等に窒素ガスが影響を与えないということの評価を行った。ここでは、中央制御室等の窒素ガス濃度について詳細に評価を行った。以下(1)～(3)に評価概要を示す。

(1) 液体窒素貯蔵タンクから流出した窒素ガスの大気への放出率

液体窒素貯蔵タンクに接続されている液相配管に設置された安全弁(20A)の開固着を想定する。窒素ガスの流出速度を算出する流出面積としては、保守的に最大径の配管から65Aとし、またフラッシュ率(瞬時気化率)を保守的に1と設定し、漏えいした液体窒素は瞬時に気化するとした。窒素ガスの流出速度は「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(消防庁特殊災害室、平成25年3月)に示される液体流出の式において、 m^3/s から kg/s への換算のため液密度を乗じた下式であらわされる。

$$Q_L = c \rho s \sqrt{2gh + \frac{2(p - p_0)}{\rho}}$$

Q_L : 窒素ガス流出速度 [kg/s]

c : 流出係数 [-]

ρ : 窒素物質密度 [kg/m^3]

s : 流出面積 [m^2]

g : 重力加速度 [m/s^2]

h : 水位 [m]

p_0 : 大気圧 [Pa]

p : 容器内圧力 [Pa]

(2) 大気へ放出した窒素ガスの大気拡散

窒素物質の濃度評価に用いる相対濃度 (χ/Q) は、3.3.1 と同様に「発電原子炉施設の安全解析に関する気象指針」の大気拡散の評価にしたがい、年間について小さい方から順に並べた累積出現頻度 97%に当たる値を用いた。

(3) 中央制御室等における窒素ガスの濃度評価について

中央制御室等の外側の窒素ガスの濃度は、大気への放出率及び大気拡散の評価により、中央制御室等給気口における窒素ガスの最大濃度を評価した結果、換気系給気口における窒素濃度は、判定基準である 81.0%を下回ることを確認した。

評価条件を第 12-10 表に、大気拡散条件を第 12-11 表に、評価結果を第 12-12 表に示す。

第 12-10 表 評価条件 (窒素ガス)

項目	数値
K_n :室内ガス濃度[Vol%]	81.0
K_0 :外気中のガス濃度[Vol%]	78.0
液体窒素貯蔵タンク貯蔵量[m ³]	50.0
液体窒素漏えい面積[m ²]	ϕ 18.7 (安全弁) ϕ 72.3 (最大径の配管)

第 12-11 表 大気拡散条件（窒素ガス）

項目	評価条件	選定理由
大気拡散評価モデル	ガウスプルームモデル	審査ガイド ^{※1} に示されたとおり設定
気象データ	東海第二発電所における 1 年間の 1 時間ごとの気象データ(2005 年 4 月～2006 年 3 月)	建屋影響を受ける大気拡散評価を行うため地上風（地上高 10m）の気象データを使用 審査ガイドに示されたとおり，発電所において観測された 1 年間の気象データを使用
実効放出継続時間	1 時間	保守的に短期間である 1 時間と設定
放出源及び放出源高さ	放出源：液体窒素貯蔵タンク 放出高さ：地上 0m	審査ガイドに示されたとおり設定 ただし，放出エネルギーによる影響は未考慮
累積出現頻度	小さい方から累積して 97%	審査ガイドに示されたとおり設定
建屋巻き込み	考慮する	放出点から近距離の建屋の影響を受けるため，建屋による巻き込み現象を考慮
巻き込みを生じる代表建屋	原子炉建屋	放出源であり，巻き込みの影響が最も大きい建屋として設定
濃度の評価点	中央制御室 緊急時対策所	審査ガイドに示されたとおり設定
着目方位	中央制御室：9 方位 (NE, NNE, N, NNW, NW, WNW, W, WSW, SW) 緊急時対策所：2 方位 (WSW, W)	審査ガイドに示された評価方法に基づき設定
建屋投影面積	3000 m ²	審査ガイドに基づき，風向に垂直な投影面積のうち最も小さいもの（2706m ² ）に対し保守的に設定
形状係数	1/2	内規 ^{※2} に示されたとおり設定

※1：実用発電用原子炉に係る重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に関する審査ガイド

※2：原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について（内規）

第 12-12 表 中央制御室等換気系給気口における窒素ガス濃度

放出点	液体窒素貯蔵タンク	
評価点	中央制御室 換気系給気口	緊急時対策所 換気系給気口
貯蔵量[m ³]	50.0	
大気放出率[kg/s]	37.7	
離隔距離[m]	35*	350
相対濃度[s/m ²]	7.38×10^{-4}	1.17×10^{-4}
換気系給気口濃度[vol%]	78.4	78.1
室内最大濃度[vol%]	78.4	78.1
判断基準[vol%]	81.0	
評価結果	影響なし	影響なし

※ 中央制御室換気系給気口 2 箇所のうち、最短距離のものを記載

4. 発電所敷地内の屋内設備からの影響

発電所の建屋内で貯蔵している有毒物質等については、SRV 駆動用窒素ガス及び消火用二酸化炭素ガスや、復水脱塩装置や廃液中和処理等で使用の硫酸等が挙げられる。

屋内貯蔵施設については、屋外設備と異なり外的衝撃力による損傷が想定しにくく、さらに国内の法規に従い貯蔵・管理されるとともに、万一漏えいが生じた場合でも各建屋の換気空調系により十分に換気希釈されるため、建屋外の固定施設からの流出事故に包含されるものとして、対象から除外する。

また、分析等に使用する試薬については、その種類は多いものの、使用場所が限定されており、かつ適切に保管、換気されていること、貯蔵量、使用量が少ないことから、中央制御室等への影響は無い。

5. 発電所敷地外の可動施設からの流出の影響評価

敷地外可動施設（陸上輸送，海上輸送）からの流出の影響について，以下のとおり評価し，中央制御室換気系給気口及び緊急時対策所換気系給気口における有毒ガスの濃度がIDLH以下であり問題ないことを確認した。

なお，評価に当たっては，3.3.1に示した条件を参照，タンク内の液化塩素全量が流出に至った場合を想定し，評価を行った。

評価条件を第12-13表に，大気拡散条件を第12-14表に，評価結果を第12-15表に示す。

第12-13表 想定する評価条件

放出対象	積載量	IDLH
タンクローリ	10t 液化塩素 (有毒物質を運搬するタンクローリの最大容量)	10
ケミカルタンカー	300t 液化塩素 (国内に現存するタンカーの最大容量)	10

第 12-14 表 大気拡散条件（液化塩素）

項目	評価条件		選定理由
	タンクローリ	ケミカルタンカー	
大気拡散評価モデル	ガウスプルームモデル		審査ガイド ^{*1} に示されたとおり設定
気象データ	東海第二発電所における 1 年間の 1 時間ごとの気象データ (2005 年 4 月～2006 年 3 月)		建屋影響を受ける大気拡散評価を行うため地上風（地上高 10m）の気象データを使用 審査ガイドに示されたとおり、発電所において観測された 1 年間の気象データを使用
実効放出継続時間	1 時間		保守的に短期間である 1 時間と設定
放出源及び放出源高さ	放出源：国道 245 号線 放出高さ：地上 1m	放出源：港湾 放出高さ：地上 1m	
累積出現頻度	小さい方から累積して 97%		審査ガイドに示されたとおり設定
建屋巻き込み	考慮する		放出点から近距離の建屋の影響を受けるため、建屋による巻き込み現象を考慮
巻き込みを生じる代表建屋	中央制御室 ：原子炉建屋 緊急時対策所 ：緊急時対策所	中央制御室 ：原子炉建屋 緊急時対策所 ：緊急時対策所	巻き込みの影響が最も大きい建屋として設定
濃度の評価点	中央制御室 緊急時対策所		審査ガイドに示されたとおり設定
着目方位	中央制御室 ：2 方位 (E, ESE) 緊急時対策所 ：2 方位 (ESE, SE)	中央制御室 ：2 方位 (W, WNW) 緊急時対策所 ：2 方位 (W, WSW)	審査ガイドに示された評価方法に基づき設定
建屋投影面積	原子炉建屋：3000 m ² 緊急時対策所：800 m ²		審査ガイドに示されたとおり設定
形状係数	1/2		内規 ^{*2} に示されたとおり設定

※ 1：実用発電用原子炉に係る重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に関する審査ガイド

※ 2：原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について（内規）

第 12-15 表 中央制御室等換気系給気口における有毒物質濃度（液化塩素）

放出点	タンクローリ		ケミカルタンカー	
評価点	中央制御室 換気系給気口	緊急時対策所 換気系給気口	中央制御室 換気系給気口	緊急時対策所 換気系給気口
タンク貯蔵量[m ³]	10.0		300	
大気放出率[g/s]	2.27×10 ⁰		6.81×10 ¹	
離隔距離[m]	500m ^{※1}	230m	740m ^{※1}	1060m
相対濃度[s/m ²]	3.46×10 ⁻⁴	1.15×10 ⁻³	3.49×10 ⁻⁵	3.22×10 ⁻⁵
換気系給気口濃度[ppm]	0.248	0.825	0.751	0.693
判断基準 [ppm] (IDLH：液化塩素)	10			
評価結果	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし

※1：中央制御室換気系給気口2箇所のうち、最短距離のものを記載

6. 隣接施設の固定施設からの流出の影響

東海第二発電所の近隣に設置されている有害物質の貯蔵状況を調査した結果、敷地の南側約 1km にアンモニアの貯蔵施設が設置されていることを確認した。また、この貯蔵施設の容量は、当発電所にて設置している溶融炉アンモニアタンクより小さいことを確認した。

溶融炉アンモニアタンクと中央制御室との離隔距離 120m より離隔距離が大きいこと、貯蔵されている有毒物質の容量は溶融炉アンモニアタンクの容量 1.0m^3 より少ないことから、3.3.1 にて評価した有毒物質濃度（アンモニア）に包絡されることを確認した。

また、東海第二発電所の近隣における屋内貯蔵施設については、屋外設備と異なり外的衝撃力による損傷が想定しにくく、さらに国内の法規に従い貯蔵・管理されるとともに、万一漏えいが生じた場合でも各建屋の換気空調系により十分に換気希釈されるため、建屋外の固定施設からの流出事故に包含されるものとして、対象から除外する。

13. 船舶の衝突影響評価について

1. 基本方針

発電所近傍で船舶が漂流した場合でも、敷地前面の防波堤に衝突して止まるものと考えられるため、取水機能が損なわれることはない。万が一、カーテンウォール前面に小型船舶が到達した場合であっても、呑み口は広く、取水機能が損なわれることはない。

船舶の座礁により重油流出事故が発生した場合に、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及び非常用ディーゼル発電機海水系（以下「非常用海水系」という。）の取水機能が損なわれることはない。また、必要に応じてオイルフェンスを設置する措置を講じる。

なお、津波発生時の漂流船舶による影響については、「第五条（津波による損傷の防止）」において取り扱う。

2. 敷地前面の航路について

発電所周辺の海上交通としては、発電所の北方約 3km に茨城港日立港区、南方約 6km に茨城港常陸那珂港区、南方約 18km に茨城港大洗港区があり、それぞれ日立－釧路間、常陸那珂－苫小牧間、常陸那珂－北九州間、大洗－苫小牧間等の定期航路があるが、航路は発電所から十分な離隔距離が確保されている。最も近い航路として、茨城港日立港区－茨城港常陸那珂港区間の航路とは、約 1.4km 離れているが、発電所から十分な離隔距離が確保されており、航路を通行する船舶が漂流した場合であっても、敷地に到達する可能性は低く、取水機能が損なわれることはない。（第 13－1 図及び第 13－2 図参照）

3. 船舶の衝突による影響

航路外の船舶として、発電所周辺の船舶の影響評価を実施する。評価対象の船舶としては、「第五条（津波による損傷の防止）」において抽出した船舶とする。

「第五条（津波による損傷の防止）」における漂流物の影響評価対象は、発電所周辺で漂流する可能性のある構内（港湾内）の船舶として、使用済燃料輸送船、低レベル放射性廃棄物運搬船（以下「燃料等輸送船」という。）、浚渫作業用台船（以下「作業台船」という。）を、構外（港湾外）の船舶として、茨城県日立港区に寄港する運搬船等及び常陸那珂火力発電所に寄港する石炭船等（以下「運搬船等」という。）、発電所沖合で操業する漁船等である。本条においても同様に、これらを発電所周辺で漂流する可能性のある船舶とし、船舶の衝突についての影響評価を実施する。

構内の船舶については、港湾内で事故が発生した場合でも、カーテンウォールにより阻害されること、取水口は呑み口が広い（幅約42m）ため、取水機能が損なわれることはない。なお、異常気象・海象時、荒天が予想される場合には、必要に応じて、入港の中止、緊急退避等の措置を取ることとしている。

構外の船舶については、荒天等により漂流に至るような場合であっても、投錨等の対応をとることが可能であると考えられるため、取水口に到達することはない。また、運搬船等の喫水は11.5mであるが、発電所周辺では沖合900mで水深11mとなり、取水口に到達することはない。喫水の浅い小型船舶の漂流を仮定した場合であっても、防波堤に衝突し止まることで、取水口に到達することはない。（第13-3図参照）

万が一防波堤を通過し、カーテンウォール前面に漁船等の小型船舶（全長が約20m×全幅約5m、満水時の喫水の船舶）が到達した場合でも、カーテン

ウォールにより阻害されること、呑み口は広いため、小型船舶により取水機能が損なわれることはない。(第13-4図及び第13-5図参照)

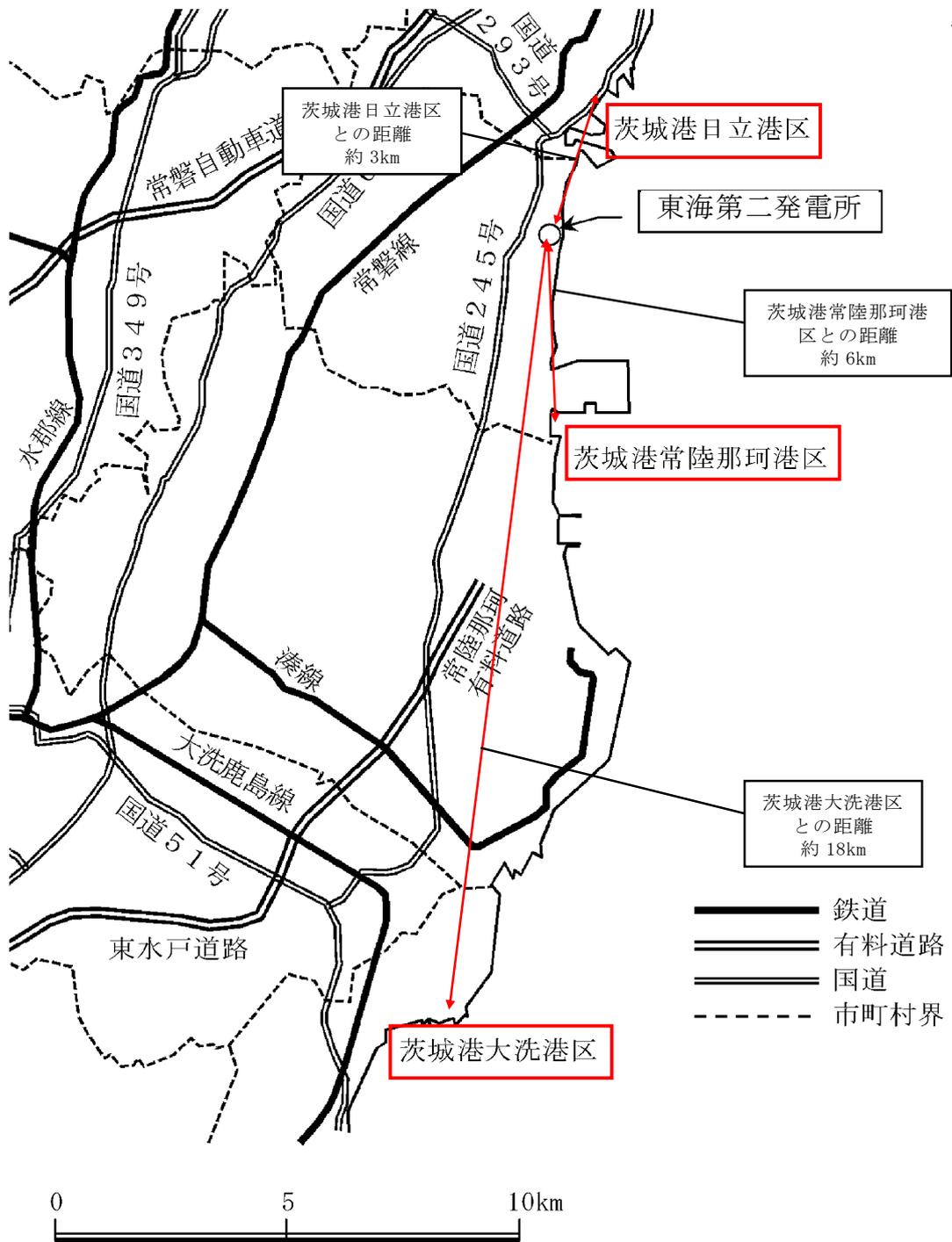
以上のことから、船舶の衝突により取水機能が損なわれることはない。

4. 重油の流出による影響

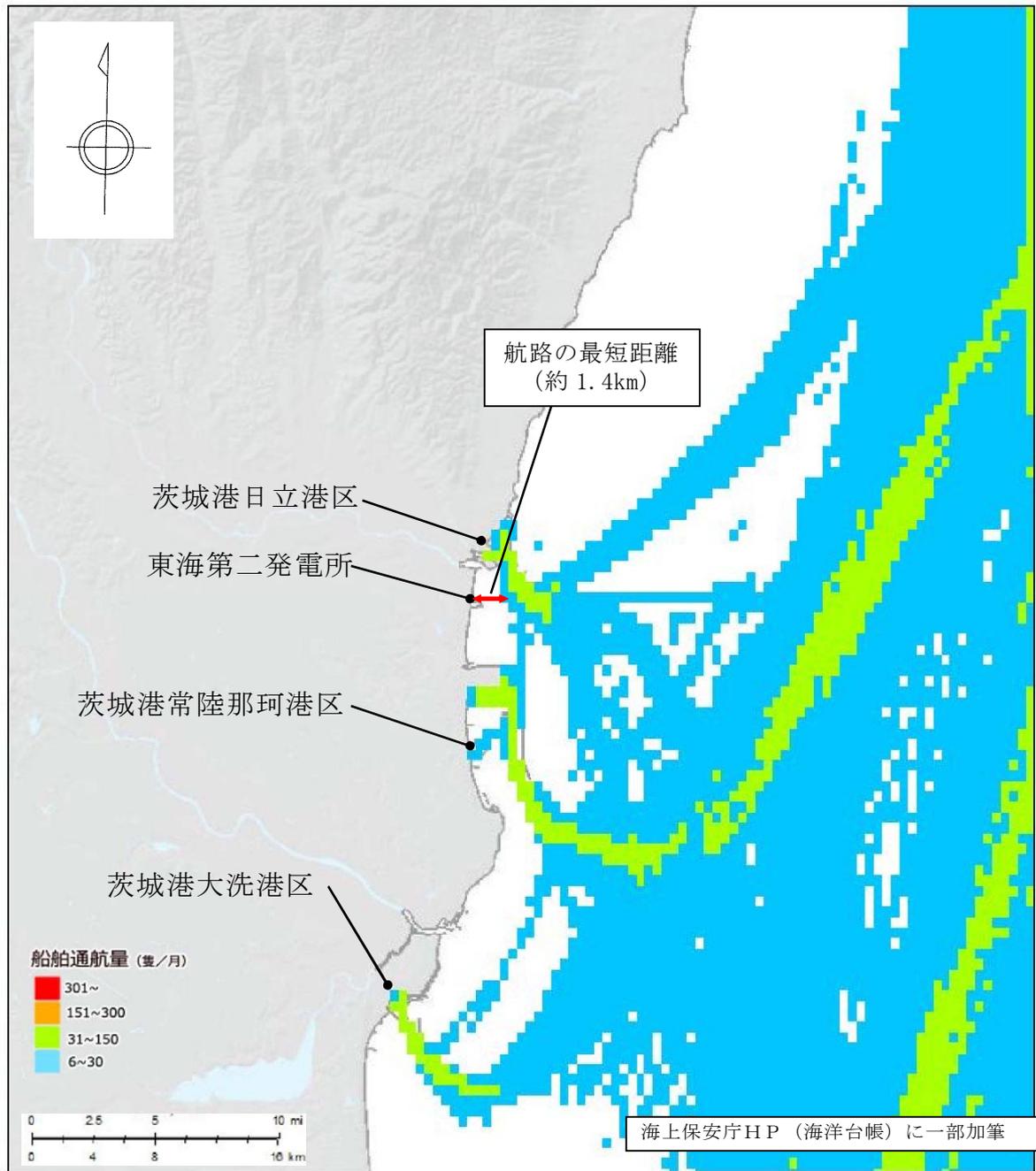
船舶の座礁により重油流出事故が発生した場合において、海水取水はカーテンウォールが設置されていることにより、取水口の低層から取水されるため、取水への油の混入の可能性は低く、非常用海水系の取水機能が損なわれることはない。また、必要に応じてオイルフェンスを設置する措置を講じる。

なお、外部火災影響評価では、漂流船舶の重油漏えいに対する検討として、発電所港湾内で漂流船舶が出火し油が流出したとしても、港湾内の取水口にはカーテンウォールが設置されており、深層取水していることから原子炉施設（海水ポンプ）への影響はない。なお、発電所港湾外で船舶の油が流出した場合は、油の流出を確認し次第、速やかにオイルフェンスを設置し、原子炉施設への影響がないよう対応するとしている。

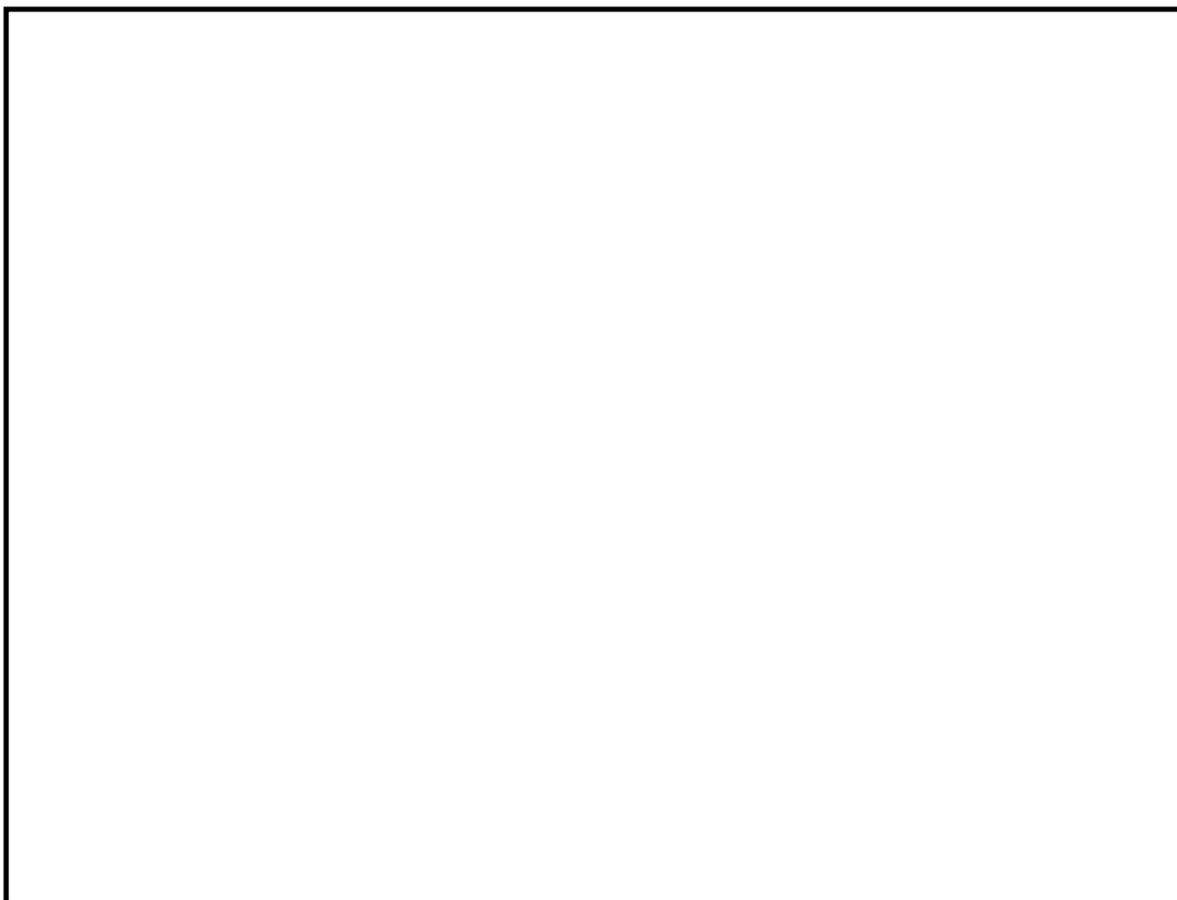
以上のことから、重油流出により取水機能が損なわれることはない。



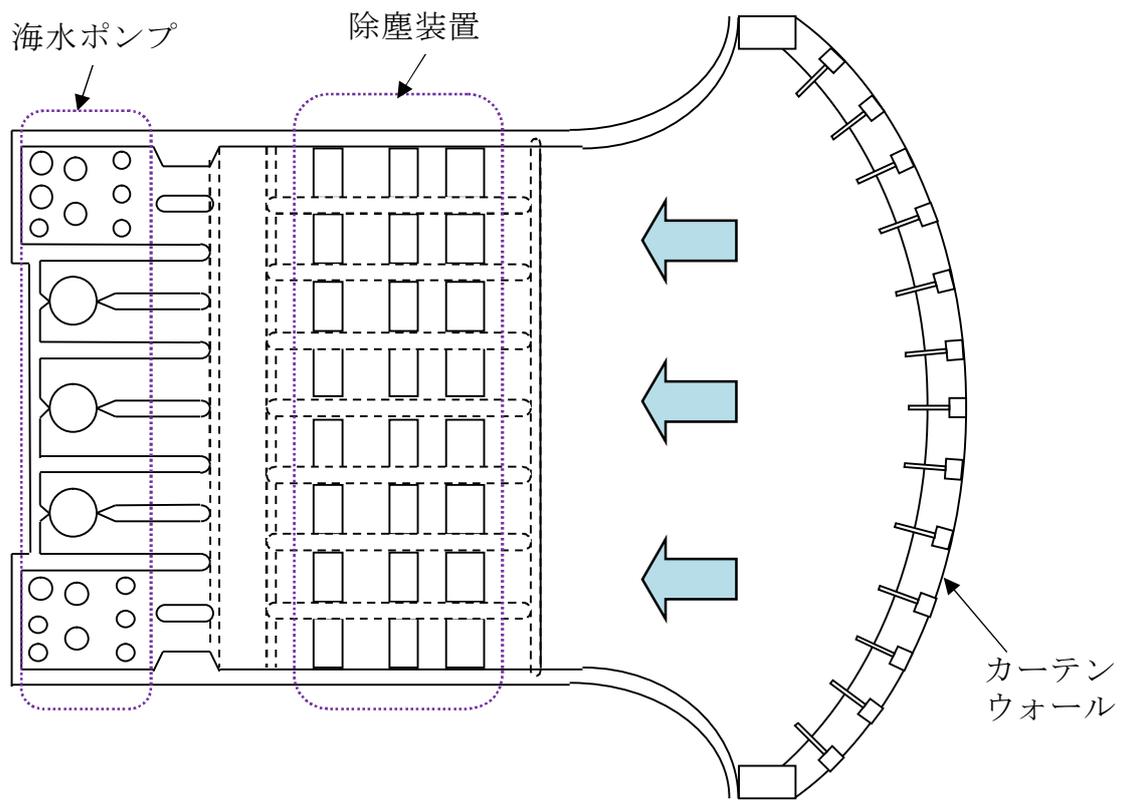
第13-1図 東海第二発電所周辺の港湾



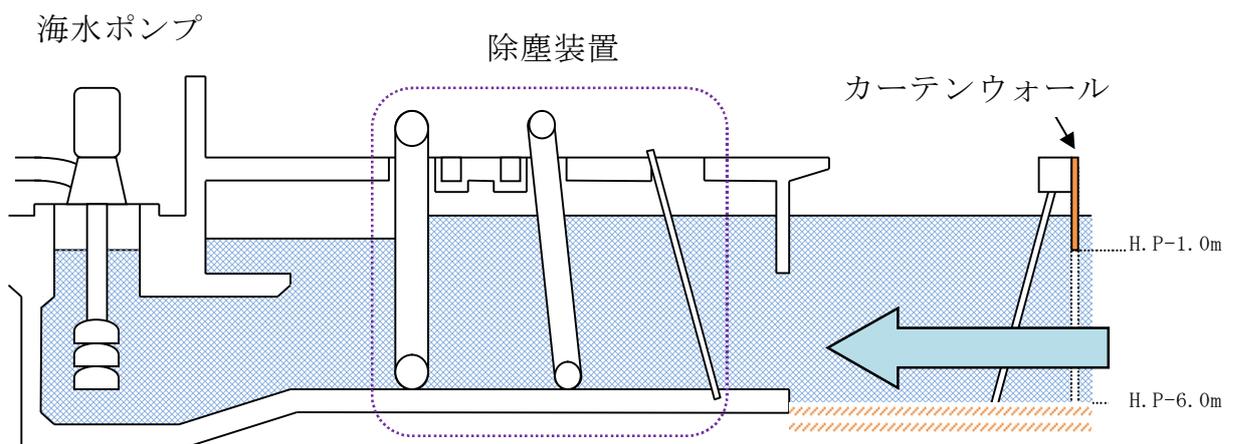
第 13-2 図 発電所周辺の航路



第 13-3 図 取水口及び防波堤の位置



第 13-4 図 取水口～取水ピット平面図



第 13-5 図 取水口～取水ピット断面図

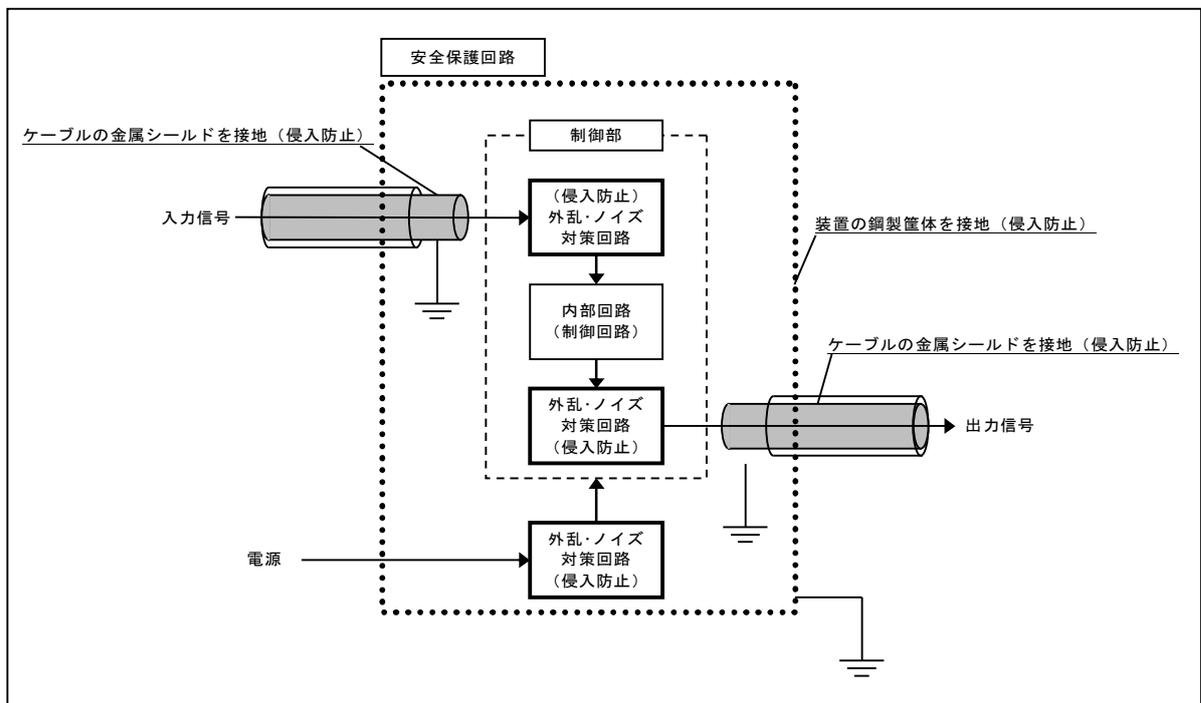
14. 安全保護回路の主な電磁波，サージ・ノイズ対策について

(1) 概要

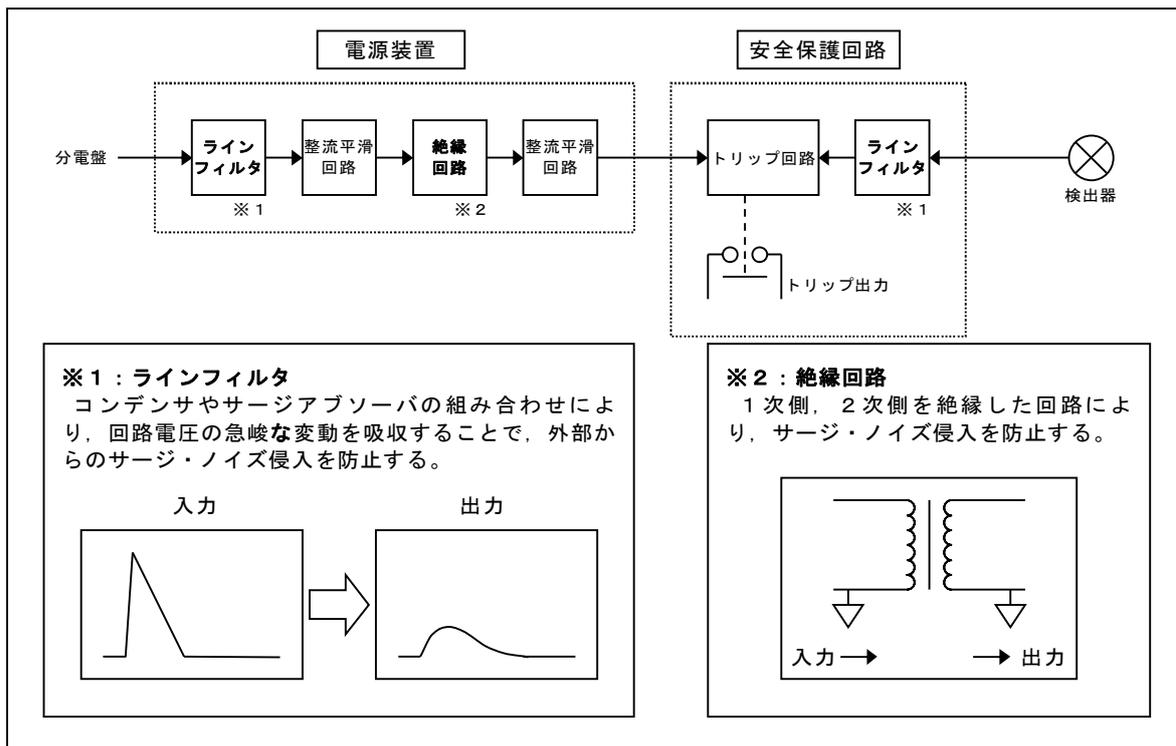
電磁的障害には，電磁波やサージ・ノイズの侵入があり，これらは低電圧の計測制御回路に対して影響を及ぼすおそれがあるため，安全保護回路を構成する計測制御回路は，J E C 210-1981（低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準）に基づく絶縁耐力を有する設計としている。

また，鋼製筐体や金属シールド付信号ケーブルの適用により電磁波の侵入を防止するとともに，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している。

（第 14-1 図，第 14-2 図参照）



第 14-1 図 安全保護回路に対する電磁波侵入防止策の概要



第 14-2 図 安全保護回路に対するサージ・ノイズ対策の概要

(2) サージ・ノイズ，電磁波に対する具体策

計測制御回路を構成する計装盤及びケーブルは，原則として以下の設計としている。

a. サージ・ノイズ対策

(a) 電源回路

計装盤へ入線する電源受電部にサージ・ノイズ対策回路としてラインフィルタを設置し，外部からのサージ・ノイズの侵入を防止する設計とする。

(b) 信号入出力回路

外部からの信号入出力部に，サージ・ノイズ対策回路としてラインフィルタや絶縁回路を設置し，外部からのサージ・ノイズの侵入を防止する設計としている。

b. 電磁波対策

(a) 筐体

計装盤の制御部，演算部は鋼製の筐体に格納し，筐体は接地することで電磁波の侵入を防止する設計としている。

(b) ケーブル

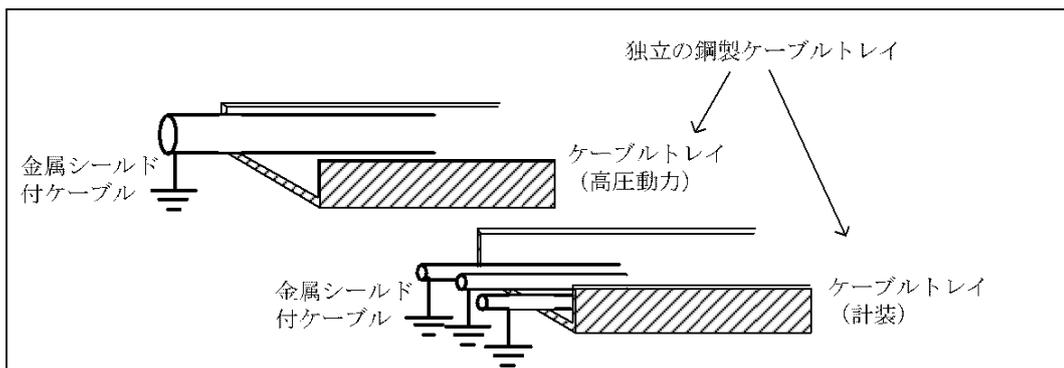
ケーブルは全て金属シールド付ケーブルを使用し，金属シールドは接地して電磁波の侵入を防止する設計とする。

(3) 電磁波等の発生源に対する対策

サージ，ノイズや電磁波に対して，計装盤は侵入を防止する設計としているが，さらに中央制御室や計装盤室では無線機器の使用を制限している。

また，高圧動力ケーブルは金属シールド付とするとともに，計装ケーブルとは別の鋼製ケーブルトレイに布設することで，高圧動力回路に地絡等が生じた場合に計装回路への電磁的影響を及ぼさない設計としている。

(第 14-3 図参照)



第 14-3 図 電磁波等の発生源に対する対策の概要

(4) 安全保護回路の耐ノイズ，耐サージ及び耐電圧性能

安全保護回路の耐ノイズ，耐サージ及び耐電圧性能については，信号入

力部に AC500V 1 分間，電源に 4.5kV インパルス電圧を印加して耐性を確認している。

15. 設計上考慮すべき荷重評価における自然現象の組合せについて

a. 組合せを検討する自然現象の抽出

荷重の組合せを検討する事象は、国内外の基準を基に発電所敷地で想定される自然現象 14 事象のうち、荷重により安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然事象は、地震、積雪、津波、火山（火山活動・降灰）、風（台風）及び竜巻の 6 事象である。

b. 荷重の性質

地震、積雪、津波、火山（火山活動・降灰）、風（台風）及び竜巻による荷重のうち、地震、津波、火山（火山活動・降灰）及び竜巻による設計基準規模事象の荷重は、発生頻度が低い偶発的荷重であり、発生すると荷重が比較的大きいことから、設計用の主荷重として扱う。

これらの主荷重に対し、積雪及び風（台風）については、発生頻度が主荷重と比べ高い変動的荷重であり、荷重は主荷重に比べ小さい*ことから、従荷重として扱う。

主荷重及び従荷重の性質を第15-1表に示す。荷重の大きさについては、主荷重は従荷重と比較して大きく、主荷重が支配的となる。最大荷重の継続時間については、地震、津波、風（台風）及び竜巻は最大荷重の継続時間が短い。これに対し、積雪及び火山（火山活動・降灰）は、一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用するため、最大荷重の継続時間が長い。発生頻度については、主荷重は従荷重と比較して発生頻度が非常に低い。

※ コンクリート構造物等、自重が大きい施設の場合。

第 15-1 表 荷重の影響モードをもつ自然現象の特徴

荷重の種類		荷重の大きさ	最大荷重の継続時間	発生頻度 (/年)
主荷重	基準地震	特大	短 (30 秒程度)	5.0×10^{-4}
	基準津波	特大	短 (15 分程度)	2.0×10^{-4}
	設計竜巻	大	短 (10 分程度)	2.1×10^{-6}
	火山 (火山活動・降灰)	大	長 (30 日程度)	2.2×10^{-5} ※1
従荷重	風 (台風)	小	短 (10 分程度)	2.0×10^{-2} ※2
	積雪	小	長 (約 1 週間)	2.0×10^{-2} ※2

※1：東海第二発電所敷地周辺に降下火砕物の有意な堆積が確認された 4 万 5000 年前の赤城山の噴火を考慮

※2：50 年再現期待値

以下、主荷重同士の組合せ及び主荷重と従荷重の組合せについて検討する。

c. 主荷重同士の組合せ

主荷重同士の組合せ要否について検討を行った。第 15-2 表に主荷重同士の組合せの検討結果を示す。

第 15-2 表 主荷重同士の組合せ

事象	組合せの要否
基準地震と基準津波	<ul style="list-style-type: none"> ・基準地震の検討用地震の震源と基準津波の震源は異なることから、独立事象として扱うことが可能であり、かつ、各々の発生頻度が十分小さく同時に発生する確率は極めて低いことから、組合せを考慮する必要はない。 ・基準地震の検討用地震の震源からの本震と当該本震に伴う津波は、伝搬速度が異なり同時に敷地に到達することはないことから、組合せを考慮する必要はない。 ただし、当該地震に伴う津波と余震は同時に敷地に到達することを想定し、組合せを考慮する。 ・基準津波の波源を震源とする本震と基準津波は、伝搬速度が異なり同時に敷地に到達することはないため、組合せを考慮する必要はない。 ただし、基準津波と基準津波の波源を震源とする余震は、同時に敷地に到達することを想定し、組合せを考慮する。
基準地震と設計竜巻	<ul style="list-style-type: none"> ・基準地震と設計竜巻は独立事象であり、かつ、各々の発生頻度が十分小さく同時に発生する確率は極めて低いことから、組合せを考慮する必要はない。
基準地震と火山（火山活動・降灰）	<ul style="list-style-type: none"> ・降下火砕物以外の火山事象（火山性地震を含む）は東海第二発電所に影響を及ぼさないことを確認しているため、降下火砕物の荷重のみを考慮する。 ・基準地震と火山事象（降下火砕物）は独立事象であり、かつ、各々の発生頻度が十分小さく同時に発生する確率は極めて低い。また、多くの火山では、噴火前に震源の浅い火山性地震の頻度が急増し、火山性微動の活動が始まるため、事前に対策準備を行い、降下火砕物を除去することによって、荷重の影響は排除されることから、組合せを考慮する必要はない。
基準津波と設計竜巻	<ul style="list-style-type: none"> ・基準津波と設計竜巻は独立事象であり、かつ、各々の発生頻度が十分小さく同時に発生する確率は極めて低い。また、設計竜巻により津波防護設備が損傷した場合は、プラントを停止し修復を行うことから、組合せを考慮する必要はない。
基準津波と火山（火山活動・降灰）	<ul style="list-style-type: none"> ・降下火砕物以外の火山事象（火山性地震を含む）は東海第二発電所に影響を及ぼさないことを確認しているため、降下火砕物の荷重のみを考慮する。 ・基準津波と火山事象（降下火砕物）は独立事象であり、かつ、各々の発生頻度が十分小さく同時に発生する確率は極めて低い。また、多くの火山では、噴火前に震源の浅い火山性地震の頻度が急増し、火山性微動の活動が始まるため、事前に対策準備を行い、降下火砕物を除去することによって、荷重の影響は排除されることから、組合せを考慮する必要はない。
設計竜巻と火山（火山活動・降灰）	<ul style="list-style-type: none"> ・降下火砕物以外の火山事象（火山性地震を含む）は東海第二発電所に影響を及ぼさないことを確認しているため、降下火砕物の荷重のみを考慮する。 ・設計竜巻と火山事象（降下火砕物）は独立事象であり、かつ、各々の発生頻度が十分小さく同時に発生する確率は極めて低い。また、多くの火山では、噴火前に震源の浅い火山性地震の頻度が急増し、火山性微動の活動が始まるため、事前に対策準備を行い、降下火砕物を除去することによって、荷重の影響は排除されることから、組合せを考慮する必要はない。

d. 主荷重と従荷重の組合せ

主荷重と従荷重の組合せ要否について検討を行った。第 15-3 表に主荷重と従荷重の組合せの検討結果を示す。

第 15-3 表 主荷重と従荷重の組合せ

事象	組合せの要否
基準地震と風（台風）、積雪	<ul style="list-style-type: none"> ・基準地震と風（台風）は、各々の継続時間が短く同時に最大荷重が発生する確率は低いが、風荷重の影響が大きいと考えられるような構造・形状の施設については、組合せを考慮する。 ・基準地震と積雪は、積雪荷重の継続時間が長いため、適切に組合せを考慮する。
基準津波と風（台風）、積雪	<ul style="list-style-type: none"> ・基準津波と風（台風）は、各々の継続時間が短く同時に最大荷重が発生する確率は低いが、風荷重の影響が大きいと考えられるような構造・形状の施設については、組合せを考慮する。 ・基準津波と積雪は、積雪荷重の継続時間が長いため、適切に組合せを考慮する。
設計竜巻と風（台風）、積雪	<ul style="list-style-type: none"> ・設計竜巻と風（台風）は、設計竜巻の風荷重に影響は包含されるため、組合せを考慮する必要はない。 ・設計竜巻と積雪は、設計竜巻による風圧によって積雪荷重が緩和されることから、組合せを考慮する必要はない。
火山（火山活動・降灰）と風（台風）、積雪	<ul style="list-style-type: none"> ・火山（火山活動・降灰）の継続時間は他の主荷重と比較して長いため、降下火砕物に対しては、風（台風）及び積雪の荷重が同時に発生することを想定し、適切に組合せを考慮する。

基準地震又は基準津波と風及び積雪については、

- ①基準地震又は基準津波と風は、それぞれ最大荷重の継続時間が短く同時に発生する確率は低く、積雪が加わる確率はさらに低くなること
- ②主荷重は従荷重と比較して大きく、主荷重が支配的であることを踏まえると、主荷重と従荷重の組合せに対し、さらに従荷重を組み合わせたとしても、その影響は比較的小さいと考えられること
- ③風及び積雪には予見性があるため、積雪は緩和措置、風及び積雪は必要に応じてプラント停止措置を講じることが可能であること

から，組合せを考慮する必要はない。

e. 荷重の組合せ検討結果

c. d. の検討結果から，設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する設計条件を耐震設計，耐津波設計，耐竜巻設計及び耐火山設計に分類し，考慮する荷重の組合せを第15-4表のとおり整理した。

設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する設計においては，第15-4表の組合せを適切に考慮する。

第15-4表 各設計における荷重の組合せ

○：組合せ要，×：組合せ不要

	主荷重				従荷重	
	地震	津波	竜巻	火山	風（台風）	積雪
耐震設計		×	×	×	○ ^{※2, 4}	○ ^{※3, 4}
耐津波設計	○ ^{※1}		×	×	○ ^{※2, 4}	○ ^{※3, 4}
耐竜巻設計	×	×		×	×	×
耐火山設計	×	×	×		○ ^{※2, 5}	○ ^{※3, 5}

※1：基準津波と地震の組合せでは，基準津波と基準津波の波源を震源とする余震による地震力を考慮

※2：風荷重の影響が大きいと考えられるような構造や形状の施設について組合せを考慮

※3：施設の形状，配置により適切に考慮

※4：主荷重と従荷重（風（台風）及び積雪）の荷重の組合せは不要

※5：風（台風）及び積雪の荷重が同時に発生することを想定し，適切に組合せを考慮

f. 設計上考慮する荷重について

荷重の組合せ時に使用する各事象の荷重を第 15-5 表に示す。

各荷重においては施設の形状，構造，配置により適切に組み合わせる。

第 15-5 表 設計上考慮する荷重

	組合せ荷重
耐震設計	基準地震 (S s) による地震力+風荷重 ^{※1} 基準地震 (S s) による地震力+積雪荷重 ^{※2}
耐津波設計	基準津波の波力+基準津波の波源を震源とする余震による地震力+風荷重 ^{※1} 基準津波の波力+基準津波の波源を震源とする余震による地震力+積雪荷重 ^{※2}
耐火山設計	降下火砕物堆積荷重 ^{※3} +風荷重 ^{※1} +積雪荷重 ^{※2}

※1：建設省告示第 1454 号に定められた基準風速 30m/s から算出。

※2：東海村における垂直積雪量 30cm。

但し、建築基準法施行令を準拠する場合は、係数 0.35 を考慮することが可能。

※3：堆積量 50cm，降下火砕物密度 1.5g/cm³ から算出。

(参考) 建築基準法施行令 抜粋

建築基準法施行令における組合せの荷重の考え方を第 15-6 表に示す。東海第二発電所が立地する東海村は多雪区域外であり，暴風時，地震時に積雪荷重を組み合わせる必要はないが，保守的に多雪区域と同様な荷重の組合せを考慮する。

第 15-6 表 建築基準法施行令による荷重の組合せ

力の種類	荷重及び外力について想定する状態	一般の場合	第 86 条第 2 項ただし書の規定により特定行政庁が指定する多雪区域における場合
長期に生ずる力	常時	G+P	G+P
	積雪時		$G+P+0.7*S$
短期に生ずる力	積雪時	G+P+S	G+P+S
	暴風時	G+P+W	$G+P+0.35S+W$
	地震時	G+P+K	$G+P+0.35S+K$

- G：建築基準法施行令第 84 条に規定する固定荷重によって生ずる力
- P：建築基準法施行令第 85 条に規定する積載荷重によって生ずる力
- S：建築基準法施行令第 86 条に規定する積雪荷重によって生ずる力
- W：建築基準法施行令第 87 条に規定する風圧力によって生ずる力
- K：建築基準法施行令第 88 条に規定する地震力によって生ずる力

16. 比較的短期での気象変動に対する考慮について

(1) 気象変動に対する考慮

設計基準設定の際には、①規格・基準類からの要求、②観測記録より、地域性を考慮した値としているが、これらは過去の経験データに基づいた設定と言える。

基本的にプラント寿命は、大規模な気候変動の周期よりも短いと考えられるが、各自然現象について将来的な気候変動により厳しい傾向となることは否定できない。そのため、過去の経験データを用いて、将来的なハザードを予測するという点については十分な吟味が必要であり、特にプラント寿命の間に変化が予想される事象については、最新のデータ・知見をもって気候変動の影響に注視し、必要に応じて設計基準の見直し等の配慮を行う必要がある。

一般的に、将来的な気候変動として現時点でも予想されるものとしては地球温暖化が挙げられ、地球温暖化が進行した際には、気温上昇や台風の強度が強まる傾向が考えられる。一方で、東海第二発電所周辺の地域特性が反映された気候変動を把握する観点から、最寄りの気象官署である水戸地方気象台（水戸市）の過去数十年の観測記録を確認し、以下のとおり考察した。

- ・降水量は、増加傾向が見受けられるものの、設計基準としての降水量と比較して余裕のあるものである。
- ・積雪深は、有意な増加傾向は見受けられない。
- ・風速は、最大風速では、有意な増加（又は台風の強度が強まる。）傾向は見受けられない。

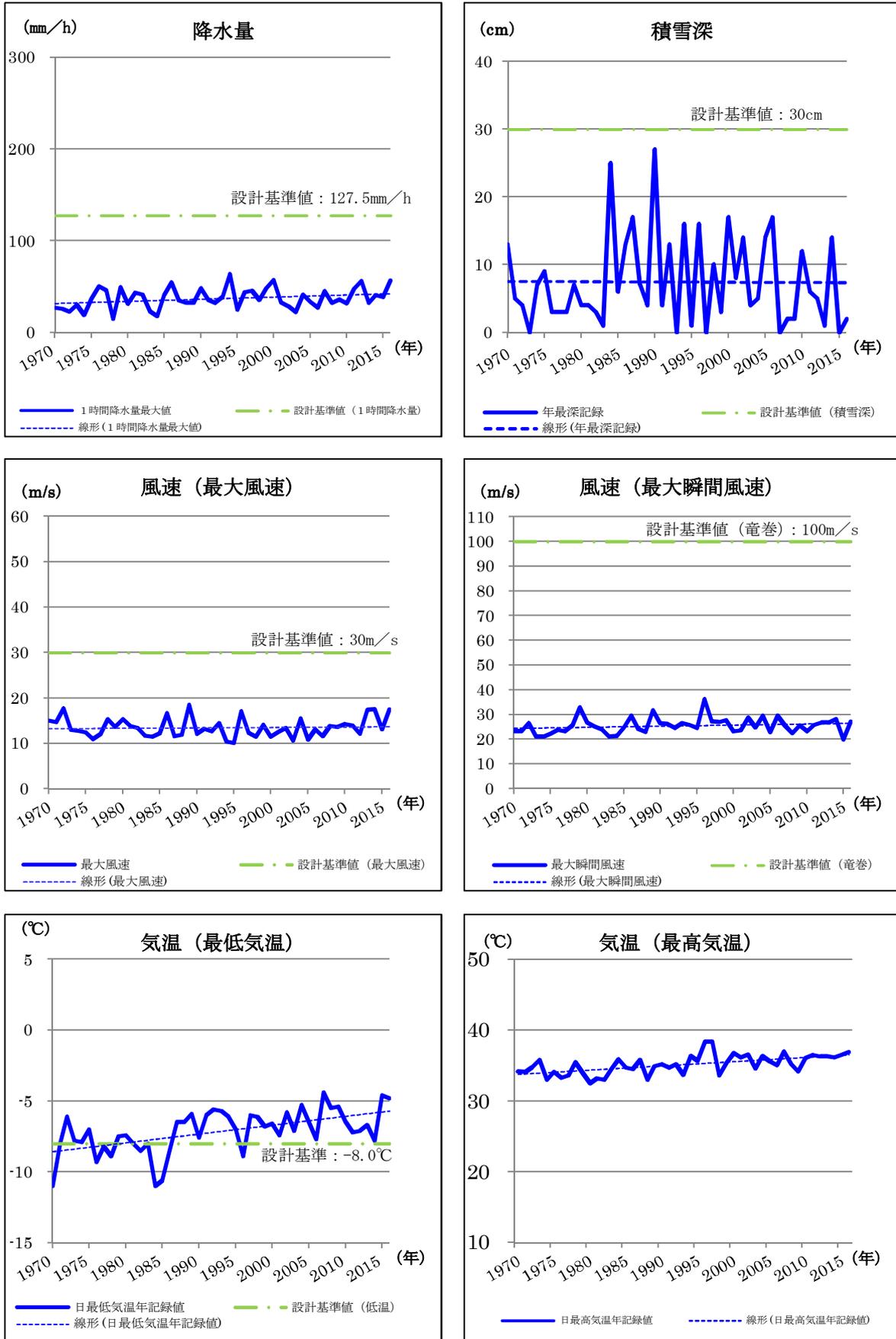
最大瞬間風速では、増加傾向が見受けられるものの、設計竜巻の最大風速 100m/s を想定しており、観測記録はこれに十分包絡される。

・気温は、最低気温では、上昇傾向が見受けられるものの、設計基準に対して緩やかになる方向である。

最高気温では、若干の上昇傾向が見受けられるものの、設備の機能に悪影響を与えるようなレベルの気温上昇ではなく、安全施設への影響はないと判断した。

これらのことから、過去数十年の東海第二発電所周辺の気候変動の記録からは、降水量、最大瞬間風速及び最高気温・最低気温は増加・上昇の傾向が確認されたものの、安全施設への影響はなく、将来的な気候変動とプラント寿命を考慮しても設計基準の見直し等の対応は不要と考える。(第 16-1 図参照)

ただし、気候変動を完全に予測することは難しいため、今後も最新のデータ・知見をもって気候変動の影響に注視し、必要に応じて設計基準の見直し等を実施していくものとする。



第 16-1 図 気候トレンド (水戸地方気象台観測記録)

17. 設計基準事故時に生じる応力の考慮について

重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象（地震及び津波を除く。以下同じ。）により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力を、それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して、適切に組み合わせて設計する。

なお、過去の記録、現地調査の結果及び最新知見等を参考にして、必要のある場合には、異種の自然現象を重畳させるものとする。

重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象は、設置許可基準規則第六条第1項において選定した自然現象に含まれる。また、重要安全施設を含む安全施設は、設置許可基準規則第六条第1項において選定した自然現象又はその組合せにより、安全機能を損なわない設計としている。安全機能が損なわれなければ設計基準事故に至らないため、重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象又はその組合せと設計基準事故に因果関係はない。

したがって、因果関係の観点からは、重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力を組み合わせる必要はなく、重要安全施設は、個々の事象に対して、安全機能を損なわない設計とする。

また、重要安全施設は、設計基準事故の影響が及ぶ期間に発生すると考えられる自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力を適切に考慮する。

東海第二発電所において、重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象によって影響を受けると考えられる屋外に設置されている重要安全施設は、残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発

電機海水系ポンプ（以下「非常用海水ポンプ」という。）である。これらの重要安全施設は、設置許可基準規則第六条第1項において選定した自然現象（大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象を含む。）により安全機能を損なわない設計としている。したがって、因果関係の観点からは、重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力を組み合わせる必要はなく、自然現象により重要安全施設に作用する衝撃による応力の評価と変わらない。

一方、時間的变化の観点からは、事故の影響が長期間に及ぶことが考えられる原子炉冷却材喪失事故の発生頻度は低く、また、屋外に設置されている重要安全施設に対して大きな影響を及ぼす自然現象の発生頻度も低いことから、原子炉冷却材喪失事故の影響が及ぶ期間中に重要安全施設に大きな影響を及ぼす自然現象が発生するとは考えられない。

仮に、事故の影響が長期間に及ぶことが考えられる原子炉冷却材喪失事故の期間中に、発生頻度が高く、重要安全施設に及ぼす影響が小さな自然現象が発生したとしても、自然現象によって影響を受けると考えられる非常用海水ポンプに、設計基準事故時に生ずる応力が作用することはないため、自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力を組み合わせる必要はなく、自然現象により重要安全施設に作用する衝撃による応力の評価と変わらない。

18. 設計基準としての設定値の妥当性について

各自然現象について、設計基準を設定するに当たっては、国内の規格・基準類に基づき設定した。また、該当する規格・基準類が存在しない場合には、最寄り地域の気象観測所の観測記録を参照し、既往最厳値に基づき設定した。

規格・基準類に基づいた設定値と既往最厳値を比較し、既往最厳値が上回っている場合、当該規模の事象が発生することを想定した評価により、安全施設の安全機能を損なうことがないことを確認する。なお、必要に応じ、設計基準値の見直しを行う。

【積雪】

- ・設計基準としての設定値と既往最厳値を比較した結果、既往最厳値が上回っているが、設計基準を上回る事象が発生した場合においても、即座に安全施設の安全機能が損なわれるものではない。
- ・積雪事象は、気象情報によって予測可能であり、除雪準備及び実施には時間的裕度が確保されており、安全施設の安全機能へ影響のないよう対処可能である。なお、除雪は、積雪によって車両通行が不可になる等、プラント運営に支障をきたすおそれのある状況となる前に実施する。

【降水，風，竜巻，落雷】

- ・各自然現象から安全施設の安全機能を防護するための準備及び実施に時間的裕度がないことから、運用面での防護対策による安全機能の確保は期待することなく、設計基準の設定においては、既往最厳値を参照し設定とすることで、設備の健全性を確保することで安全機能を確保する。

【火山】

- ・ 文献調査，地質調査及びシミュレーション解析の結果を踏まえて評価した層厚を想定し，設計基準として設定しているが，火山事象が発生した場合，この想定を上回る可能性を否定できない。
- ・ 降灰は，火山噴火後に発生するため，事前に予測可能であり，除灰の準備及び実施には時間的裕度が確保されており，安全施設の安全機能へ影響のないよう対処可能である。なお，除灰は，積雪と同様，降灰によってプラント運営に支障をきたすおそれのある状況となる前に実施する。

以上のことから，事象の進展が緩やかである事象（積雪及び火山）については，運用面での対策によって設計基準を超える積雪又は降下火砕物の堆積に対しても安全施設の安全機能が損なわれないよう対処可能であることから，国内の規格・基準類に基づき設定することは妥当である。（第 18-1 表参照）

なお，自然事象の設計基準としての設定値は，将来的な気候変動を完全に予測することは難しいため，今後も最新のデータ・知見をもって気候変動の影響に注視し，必要に応じて設計基準の見直し等を実施していく。

第 18-1 表 各自然現象の設計基準としての設定に対する考え方

自然現象	設計基準としての設定値	既往最厳値等	現象の発生状況	設計基準を超える可能性がある場合における運用対策実施の可否	設計基準としての設定値の考え方
降水	127.5mm/h	81.7mm/h	短期 (数十分)	不可 現象発生の予測は可能であるが、対策(浸水対策等)を実施準備の時間的裕度がないため、対策は設備対策(排水設備等)とすることが適切である。	現象の発生が短期であり、運用による対策は確保できないことから、既往最厳値を参照した保守的な設定とすることが必要がある。
積雪	30cm	32cm	長期 (数時間)	可能 現象発生の予測が可能であり、かつ対策実施(除雪)の準備には期間的裕度が確保されているため、除雪による安全機能の確保が可能である。	現象の発生は長期であり、除雪は実施可能であるため、設計基準としての設定を超えることのないよう管理可能であることから、規格・基準に基づいた設定とする。
火山	50cm	50cm (地質調査等の結果)	長期 (数日～数週間)	可能 現象発生の予測が可能であり、かつ対策実施(除灰)の準備には期間的裕度が確保されているため、除灰による安全機能の確保が可能である。	現象の発生は長期であり、除灰は実施可能であるため、設計基準としての設定を超えることのないよう管理可能であることから、規格・基準に基づいた設定とする。
風	30m/s	28.3m/s	瞬時(短期) (秒～数時間)	不可 現象発生の予測は可能であるが、運用による防護対策を実施する時間的裕度はないため、対策は設備対策(補強等)とすることが適切である。	現象の発生が瞬時(短期)であり、運用による対策は確保できないことから、既往最厳値を参照した保守的な設定とすることが必要がある。
竜巻	100m/s	80m/s (10^{-5} /年値)	瞬時 (秒又は分)	不可 現象発生の予測は可能であるが、運用による防護対策を実施する時間的裕度はないため、対策は設備対策(竜巻防護等)とすることが適切である。	現象の発生が瞬時(短期)であり、運用による対策は確保できないことから、既往最厳値を参照した保守的な設定とすることが必要がある。
落雷	220kA	220kA (10^{-4} /年値)	瞬時 (秒)	不可 現象発生の予測は可能であるが、運用による防護対策を実施する時間的裕度はないため、対策は設備対策(避雷設備設置等)とすることが適切である。	現象の発生が瞬時であり、運用による対策は確保できないことから、既往最厳値を参照した保守的な設定とすることが必要がある。

19. 旧安全設計審査指針と設置許可基準規則の比較

<p>発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針（平成2年8月30日）</p>	<p>実用発電原子炉及びその附属施設的位置、構造及び設備の基準に関する規則（規則の解釈）</p>
<p>指針二 自然現象に対する設計上の考慮</p> <p>2 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、地震以外の想定される自然現象によって原子炉施設の安全性が損なわれない設計であること。 重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。 （解釈） 「自然現象によって原子炉施設の安全性が損なわれない設計」とは、設計上の考慮を要する自然現象又はその組合わせに遭遇した場合において、その設備が有する安全機能を達成する能力が維持されることをいう。 「重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器」については、別に「重要度分類指針」において定める。 「予定される自然現象」とは、敷地の自然環境を基に、洪水、津波、風、凍結、積雪、地滑り等から適用されるものをいう。 「自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件」とは、対照となる自然現象に対して、過去の記録の信頼性を考慮の上、少なくともこれを下回らない苛酷なものであって、か</p>	<p>第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）</p> <p>安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならぬ。 （解釈） 1 第6条は、設計基準において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含む。 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、生物学的現象又は森林火災等から適用されるものをいう。 3 第1項に規定する「想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないもの」とは、設計上の考慮を要する自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件において、その設備が有する安全機能が達成されることをいう。</p> <p>2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼ</p>

<p>つ、統計的に妥当とみなされるものをいう。なお、過去の記録、現地調査の結果等を参考にして、必要のある場合には、異種の自然現象を重畳させるものとする。「自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合」とは、最も苛酷と考えられる自然力の事故時の最大荷重を単純に加算することとを必ずしも要求するものではなく、それぞれの因果関係や時間的变化を考慮して適切に組み合わせた場合をいう。</p>	<p>すおそれがある」と想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ。</p> <p>(解釈)</p> <p>4 第2項に規定する「重要安全施設」については、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する指針」(平成2年8月30日原子力安全委員会決定)の「V.2.(2)自然現象に対する設計上の考慮」に示されるものとする。</p> <p>5 第2項に規定する「大きな影響を及ぼすおそれがある」と想定される自然現象とは、対象となる自然現象に対して、最新の科学的技術的知見を踏まえて適切に予想されるものをいう。なお、過去の記録、現地調査の結果及び最新知見等を参考にして、必要のある場合には、異種の自然現象を重畳させるものとする。</p> <p>6 第2項に規定する「適切に考慮したもの」とは、大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故が発生した場合に生じる応力を単純に加算することを必ずしも要求するものではなく、それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して適切に組み合わせた場合をいう。</p>
<p>指針三 外部人為事象に対する設計上の考慮</p> <p>1 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、想定される外部人為事象によって、原子炉施設の安全性を損なうこと</p>	<p>3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定され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</p>

<p>ない設計であること。 (解釈) 「外部人為事象」とは、飛行機落下、ダムの崩壊、爆発等という。</p>	<p>く。) に対して安全機能を損なわないものでなければなら ない。</p> <p>(解釈) 7 第3項は、設計基準において想定される発電用原子炉 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。)に 対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な 安全施設以外の施設又は設備等(重大事故等対処設備を 含む。)への措置を含む。</p> <p>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、近隣の工場等の火 災、有毒ガス、船舶の衝突又は電磁的障害等をいう。な お、上記の航空機落下については、「<u>実用発電用原子炉 施設への航空機落下確率の評価基準について</u>」(平成 14・07・09 原院第4号(平成14年7月30日原子力安 全・保安院規制))等に基づき、防護設計の要否につい て確認する。</p>
---	--

※規則および解釈の追加要求事項を下線にて示す。

20. 考慮すべき事象の除外基準と ASME 判断基準との比較

ASME ANS RA-Sa-2009 EXT-B1 より	参考訳	考慮すべき事象の除外基準
<p>Initial Preliminary Screening: For screening out an external hazard, any one of the following five screening criteria provides as an acceptable basis:</p> <p>Criterion 1: The event is of equal or lesser damage potential than the events for which the plant has been designed. This requires an evaluation of plant design bases in order to estimate the resistance of plant structures and systems to a particular external hazard.</p> <p>Criterion 2: The event has a significantly lower mean frequency of occurrence than another event, taking into account the uncertainties in the estimates of both frequencies, and the event could not result in worse consequences than the consequences from the other event.</p> <p>Criterion 3: The event cannot occur close enough to the plant to affect it. This criterion must be applied taking into account the range of magnitudes of the event for the recurrence frequencies of interest.</p> <p>Criterion 4: The event is included in the definition of another event.</p>	<p>最初の予備スクリーニング：外部ハザードの除外には、次の5つの除外基準のうちいずれかに該当する場合は、受け入れられるものとして与えられる。</p> <p>基準1： その事象が、プラントが設計された時に考慮した事象と同じか少ない損傷をもたらす可能性のあるもの。 これには、特別の外部ハザードに対してプラントの構造及びシステム全体の抵抗性を推定したプラント設計基準の評価をすることが要求される。</p> <p>基準2： その事象が、別の事象より、著しく低い平均頻度であるものの。ここで、両方の頻度の評価には不確実性を考慮に入れること。 また、その事象が、別の事象による結果より、悪い結果に帰着しなかつたもの。</p> <p>基準3： その事象が、プラントに影響を与える程十分に接近していても、発生しない場合。 この基準は、着目する再発頻度の事象の大きさの範囲を考慮して適用すべき。</p> <p>基準4： その事象が、他の事象の定義に含まれる場合。</p>	<p>—</p> <p>基準C： プラント設計上、考慮された事象と比較して設備等への影響度が同等若しくはそれ以下、又はプラントの安全性が損なわれない。</p> <p>基準E： 発生頻度が他の事象と比較して非常に低い。</p> <p>基準A： プラントに影響を与えるほど接近した場所に発生しない。</p> <p>基準D： 影響が他の事象に包絡される。</p>

ASME ANS RA-Sa-2009 EXT-B1 より	参考訳	考慮すべき事象の除外基準
<p>Criterion 5: The event is slow in developing, and it can be demonstrated that there is sufficient time to eliminate the source of the threat or to provide an adequate response.</p> <p>該当なし</p>	<p>基準 5 : その事象の発展が遅く、また、脅威の源を除去するかあるいは適切な対応するのに十分な時間があることが実証できる場合。</p> <p>—</p>	<p>基準 B : ハザード進展・襲来が遅く、事前にそのリスクを予知・検知することによってハザードを排除できる。</p>
		<p>基準 F : 外部から衝撃による損傷の防止とは別の条項により評価を実施している。又は故意の外部人為事象等外部からの衝撃による損傷の防止の対象外の事項。</p>

21. 考慮した外部事象についての対応状況

考慮した外部事象のうち、新たに影響評価ガイドが制定されたものについては、今回、ガイドに基づく影響評価を実施し必要な対応を行なっている。

それ以外の事象については、新たに対応を追加変更しているものはない。

旧指針、新基準の解釈で例示されている事象であるかどうか、設置変更許可申請（固体廃棄物作業建屋の設置、H20.12）での記載有無も併せて、下表に整理した。

事象	旧指針	新基準	既記載	対応変更	説明
1 洪水	○	○	あり	なし	添付書類六「水理」に水理状況を記載している。方針に変更なし。既許可には詳細評価の記載がないため、今回追記。
2 風（台風）	○	○	あり	なし	添付書類六「気象」にて最大瞬間風速を記載している。設置時より、建築基準法に基づき設計している。データの期間のみ変更、方針に変更なし。既許可には詳細評価の記載がないため、今回追記。
3 竜巻		○	—	あり	今回、竜巻影響評価ガイドに基づき評価等実施。
4 凍結	○	○	あり	なし	添付書類六「気象」にて最低気温を記載している。設置時より、凍結防止対策を実施している。データの期間のみ変更、方針に変更なし。既許可には詳細評価の記載がないため、今回追記。
5 降水		○	あり	なし	添付書類六「気象」にて最大日降水量を記載している。データを最大1時間降水量に変更、方針に変更なし。既許可には詳細評価の記載がないため、今回追記。

	事象	旧指針	新基準	既記載	対応変更	説明
6	積雪	○	○	あり	なし	添付書類六「気象」にて最大の積雪深さを記載している。設置時より、建築基準法に基づき設計している。データの期間のみ変更、方針に変更なし。既許可には詳細評価の記載がないため、今回追記。
7	落雷		○	—	なし	設置時より、建築基準法による避雷針を当初より設置している。既許可には詳細評価の記載がないため、今回追記。
8	地滑り	○	○	あり	なし	既許可には詳細評価の記載がないため、今回追記。
9	火山の影響		○	—	あり	今回、火山影響評価ガイドに基づき評価等実施。
10	生物学的事象		○	—	なし	設置時より、除塵装置を設置する等の対策を実施している。既許可には詳細の記載がないため、今回追記。
11	森林火災		○	—	あり	今回、外部火災評価ガイドに基づき評価等実施。
12	高潮			あり	なし	添付書類六「水理」にて潮位及び水理状況を記載している。設置時より、高潮の潮位を考慮した敷地レベルとなっている。データの期間のみ変更、方針に変更なし。既許可には詳細評価の記載がないため、今回追記。

	事象	旧指針	新基準	既記載	対応変更	説明
1	飛来物 (航空機落下)	○	○	あり	あり	添付書類八「安全設計の基本方針」にて発電所への評価を記載している。 今回、実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の再評価について（平成21・06・25 原院第1号）等に基づき評価実施。
2	ダムの崩壊	○	○	—	なし	添付書類八「安全設計の基本方針」にて発電所への評価を記載している。
3	爆発	○	○	あり	あり	添付書類八「安全設計の基本方針」にて発電所への評価を記載している。 今回、外部火災評価ガイドに基づき評価実施。
4	近隣工場等の火災		○	—	あり	今回、外部火災評価ガイドに基づき評価実施。
5	有毒ガス		○	—	あり	今回、外部火災評価ガイドに基づき評価実施。
6	船舶の衝突		○	—	なし	今回、耐津波設計方針にて、津波発生時に残留熱除去系海水系、非常用及び高圧炉心スプレイスデューゼル発電機海水系の取水性に影響を及ぼす漂流物がないことを確認。 既許可には詳細の記載がないため、今回追記。
7	電磁的障害		○	—	なし	設置時より、計測制御系にJIS等に基づく対策を実施している。 既許可には詳細の記載がないため、今回追記。

凡例

旧指針 : 発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針（平成2年8月30日）指針二解釈での例示有無

新基準 : 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（平成25年6月28日）第六条解釈 2, 8 での例示有無

既記載 : 東海第二発電所の設置変更許可申請書（平成20年12月24日申請）の記載有無

対応変更 : 新たにガイドに基づく評価等を行なったもの、又は、新たに対策等を講じたものを“あり”とした。

22. 外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備，及び津波監視設備の防護方針について

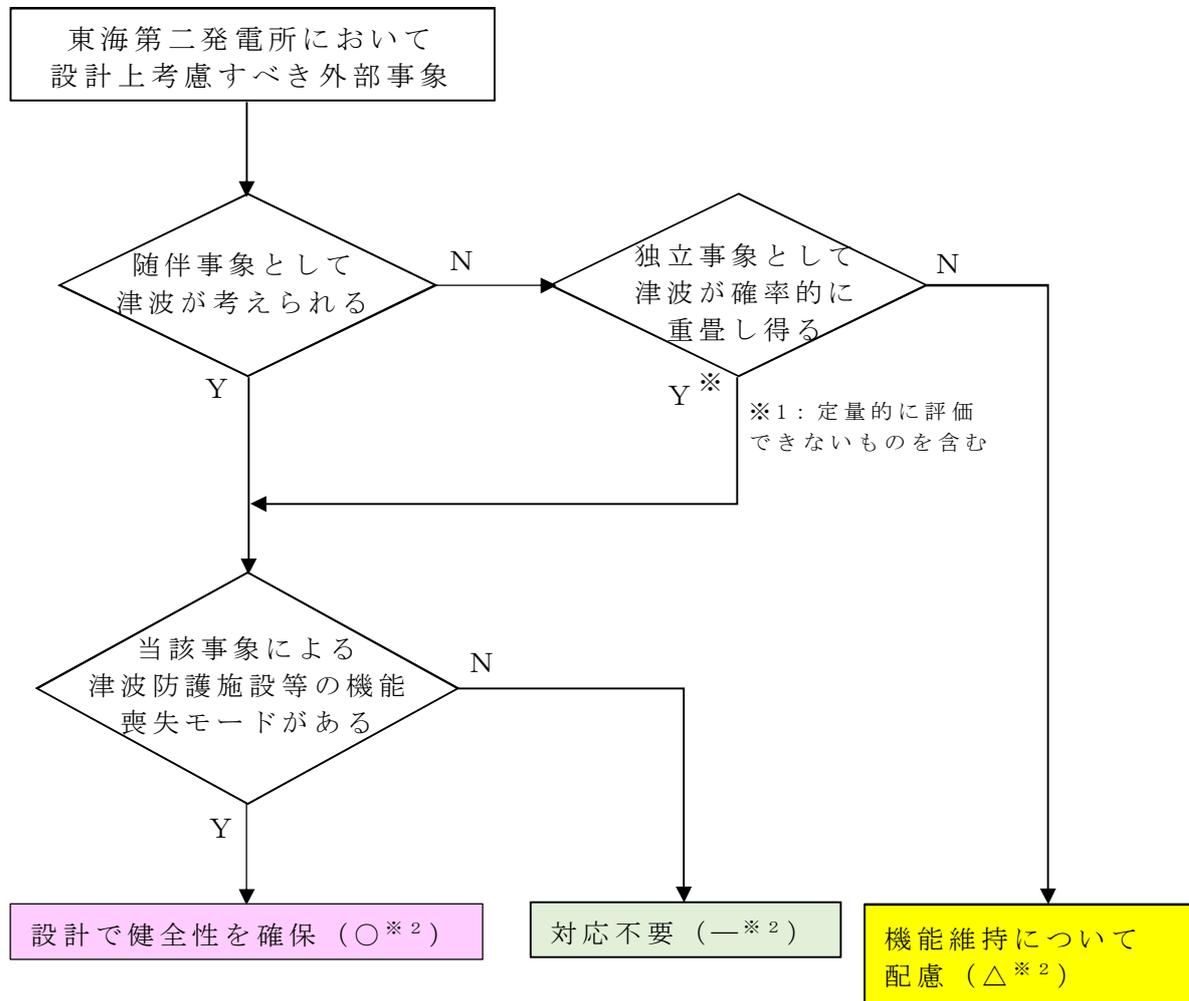
1. 概要

外部事象に対しての，津波防護施設，浸水防止設備，及び津波監視設備（以下「津波防護施設等」という。）の防護方針を以下に示す。

2. 防護に関する考え方

以下の考え方に基づき，東海第二発電所において設計上考慮すべき外部事象に対する，津波防護施設等の機能維持のための対応の要否について整理した。（フローを別図 1-1 に示す）

- ・設計上考慮すべき事象が，津波もしくは津波の随伴，重畳が否定できない事象に該当するかを確認する。定量的な重畳確率が求められない事象については，保守的にその影響を考慮する。
- ・津波の随伴，重畳が否定できない場合は，当該事象による津波防護施設等の機能喪失モードの有無を確認する。機能喪失モードが認められる場合は，設計により健全性を確保する。
- ・津波の随伴，重畳が有意でないと評価される事象についても，東海第二発電所の津波防護施設等については，基準津波の高さや防護範囲の広さ等その重要性に鑑み，自主的に機能維持のための配慮を行う。



別図 1-1 外部事象に対する津波防護施設等の
機能維持対応要否判断フロー

3. 検討結果

上記検討フローに基づく各事象に対する防護方針の検討結果を、以下に示す。(詳細は別表 1-1 のとおり)

3.1 津波の随伴，重畳が否定できない事象[※]に対する防護方針

※：地震，洪水，風（台風），凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，生物学的事象，森林火災，高潮）

これらの外部事象に対しては，津波との随伴もしくは重畳の可能性を否定できないため，荷重の重ね合わせのタイミングも考慮した上で設計への反映の要否を検討し，津波防護施設等への影響が考えられる事象に対しては，津波防護施設等の機能を維持する設計とする。

3.2 津波の随伴，重畳が有意ではない事象（竜巻，火山の影響）に対する防護方針

「竜巻」，「火山の影響」の2つの外部事象に津波は随伴せず，また敷地高さを超える津波との重畳の確率も有意ではないため，津波防護施設等を防護対象施設とはしないものの，津波防護施設等の機能が要求される時にはその機能を期待出来るよう，以下の対応を自主的に実施する。

3.2.1 「火山の影響」

設計で想定する降下火砕物の給源の噴火と安全施設の中で最も低所にある海水ポンプを内包する海水ポンプ室壁頂部の高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約 8.6×10^{-8} (1/y) であり，火山と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，降下火砕物の堆積荷重について長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に適宜除去が可能な設計とする。

3.2.2 「竜巻」

設計竜巻と安全施設の中で最も低所にある海水ポンプの設置高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約 3.8×10^{-8} (1/y) であり、竜巻と津波の重畳は有意ではないと評価されるが、竜巻が襲来した場合には必ず作用する風荷重に対しては、津波防護施設等の健全性を維持する設計とする。また、竜巻が襲来した場合でも、必ずしも津波防護施設に作用するとは限らない竜巻飛来物荷重に対しては、大規模な損傷に至り難い構造とする。

別表 1-1 外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表

- : 津波の随伴, 重量が否定できないため, 設計で健全性を確保する事象 (○)
- : 津波の随伴, 重量は有意ではないが, 機能維持について設計上配慮する事象 (△)
- : 対応が不要な事象 (—)

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮	②独立事象として津波が重量し得る	津波との重量を考慮 (①か②が“○”)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
地震	○	—	○	<u>あり</u> 地震荷重により損傷した場合, 安全施設等への津波の到達, 浸水による機能喪失が想定される。	○	耐震スクラス施設として基準地震動 Ss に対し健全性を維持し, 津波に対する防護機能を維持する。 また, 津波と余震 (Sd-DI 地震動) の組合せも考慮する。
洪水 (外部洪水)	—	○	○	<u>なし</u> 基準津波の遡上高さと洪水ハザードマップの浸水想定を重ねても, 発電所敷地へ侵入し得る高さには達しない。 国道 245 号線西側田畑への洪水高さ: ~T.P. 10m (審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止 (その他外部事象)」より) 国道 245 号西側田畑への津波遡上分: ~+4m (遡上解析結果より) ⇒合計 T.P. ~14m < EL. (=T.P.) 15m (国道 245 号線 (発電所入口))	—	—
風 (台風)	—	○	○	<u>あり</u> 風荷重により損傷した場合, 安全施設等への津波の到達, 浸水による機能喪失が想定される。	○	<ul style="list-style-type: none"> ・風荷重, 津波荷重を考慮した設計とする。 ・津波監視カメラは, 風荷重を考慮した設計とする。

注: 防潮壁形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し, 結論に影響が無いことを確認する。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮(①か②が“○”)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
竜巻	—	—	—	<p><u>なし</u></p> <p>以下のとおり、重畳の頻度は無視し得る。 設計竜巻の確率P1： 約 $3.9 \times 10^{-6} / y$ (補足1参照) 敷地高さ超津波 (>T.P.3m)の確率P2： 約 $9.6 \times 10^{-3} / y$※ ※：飛来物による海水ポンプ室の壁の損傷を想定し、敷地の最低高とした。 ⇒重畳確率：p=約 $3.8 \times 10^{-8} / y$ …目安値 PC=1×10⁻⁷未満で、有意ではない。</p>	△	<p>防潮壁の設計においては、自主的に以下の配慮を行い、信頼性を高める。</p> <ul style="list-style-type: none"> 風圧力に対しては、損傷しない様に構造強度を確保する。 飛来物については、防潮堤は鉄筋コンクリート等の堅牢な構造であり、大規模な損傷は生じないと考えられる。
極低温 (凍結)	—	○	○	<p><u>あり</u></p> <p>凍害により止水ジョイントが損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。</p>	○	止水ジョイントは最低気温を考慮した設計とする。
降水 (豪雨 (降雨))	—	○	○	<p><u>なし</u></p> <p>降雨による海水面の上昇の影響は無視し得る。</p>	—	—
積雪 (暴風雪)	—	○	○	<p><u>あり</u></p> <p>積雪荷重により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。</p>	○	積雪荷重と津波荷重を考慮した設計とする。

注：防潮壁形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し、結論に影響が無いことを確認する。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮(①か②が“○”)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
落雷	—	○	○	<u>あり</u> 落雷により津波監視設備の機能喪失が想定される	○	津波監視設備については、既設避雷設備の遮へい範囲内への設置又は避雷設備の設置、避雷設備の接地極を構内接地網と接続し接地抵抗の低減を行うとともに、ラインフィルタや絶縁回路を設置することにより、雷サージの侵入を防止する設計とする。
地滑り	—	○	○	<u>なし</u> 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。	—	—
火山 (火山活動・降灰)	—	—	—	<u>なし</u> 以下のとおり、重畳の頻度は無視し得る。 想定する火山の確率： $2.2 \times 10^{-5} / y$ (審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）」より） 敷地高さ超津波 ($> T.P. 6m$) の確率： 約 $3.9 \times 10^{-3} / y$ ※ ※：海水ポンプ室の壁は損傷しないため、ポンプ室水密高さとする。 ⇒重畳確率：約 $8.6 \times 10^{-8} / y$ … 1×10^{-7} 未満で、有意ではない。	△	設計にて長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに、降灰後に適宜除去が可能な設計とする。
生物学的事象	—	○	○	<u>なし</u> 生物による影響（閉塞、侵入）による機能喪失モードを有しない。	—	—

注：防潮壁形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し、結論に影響が無いことを確認する。

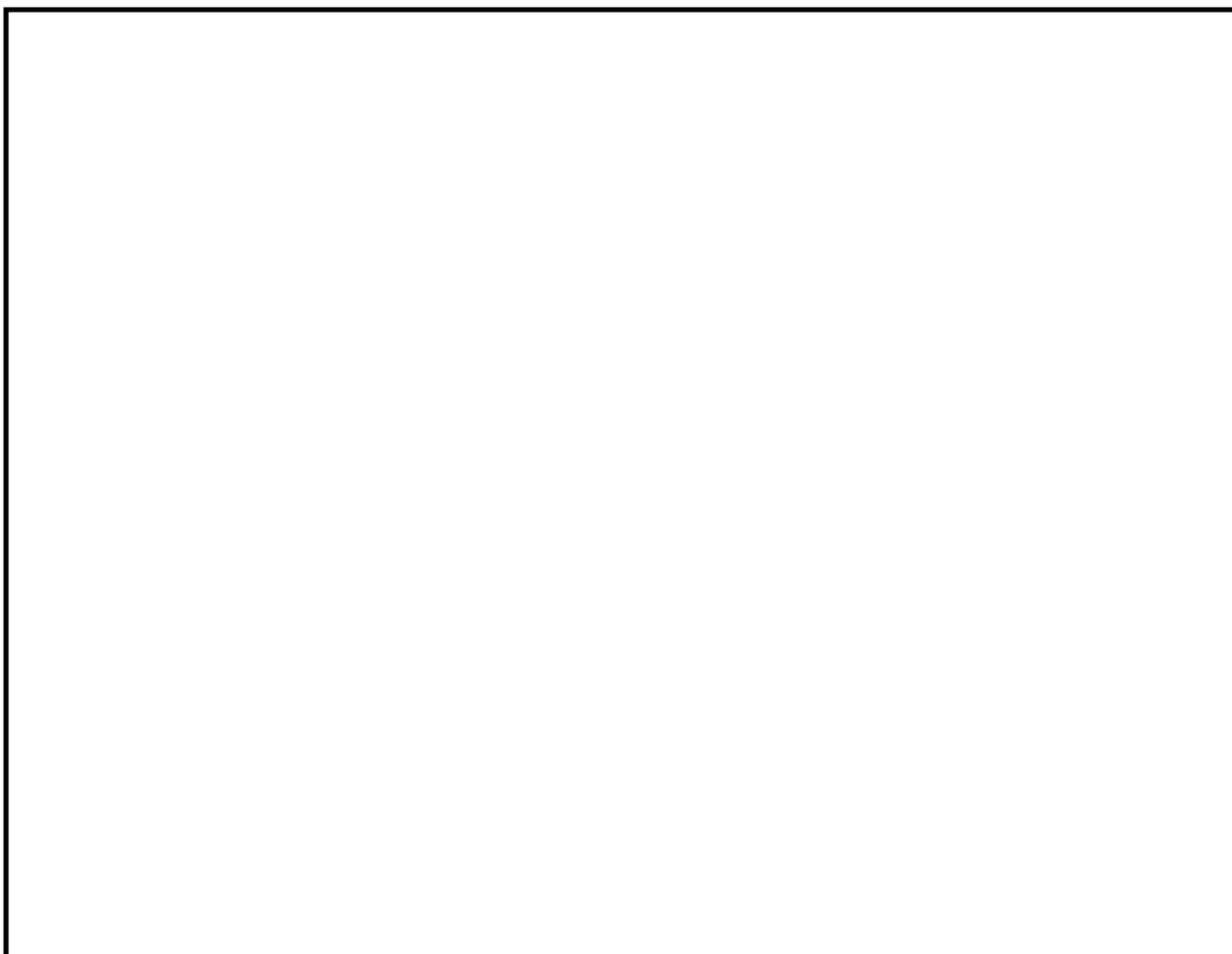
設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮(①か②が“○”)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
森林火災	—	○	○	<u>あり</u> 熱影響により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。	○	<ul style="list-style-type: none"> 森林火災の熱影響による強度低下及び止水ジョイントの機能喪失を起さない設計とする。 防潮堤上の津波監視設備が森林火災の影響で機能を喪失した場合は、速やかに予備品と交換する。 (機能喪失の可能性があるのは、全4台中2台のみ)
高潮	—	○	○	<u>あり</u> 高潮に起因する潮位上昇により防潮堤を越波した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。	○	高潮と津波の組合せを考慮した設計とする。

津波防護施設等を考慮した竜巻の年超過確率の評価について

津波防護施設等を竜巻防護対象と仮定した場合の、設計竜巻（最大風速 100m/s）の年超過確率を評価した。

年超過確率の推定には、竜巻影響エリアに津波防護施設等を取り込むことになるが、第 1 図に示すとおり、防潮堤を囲む円がその他の竜巻防護施設を包含する形となるため、当該円を竜巻影響エリアと見なした。

この竜巻影響エリアに対する設計竜巻（風速 100m/s）時の年超過確率は、第 1 表に示すとおり約 3.9×10^{-6} (1/y) と評価された。



第 1 図 津波防護施設等を考慮した場合の竜巻影響エリア

第1表 年超過確率の評価結果

ケース	①ベース (現ハザード)	②防潮堤考慮	備考
竜巻影響エリア	直列したゾーン毎の 小円に外接する大円	防潮堤の外接円 (他を包含)	
R/B	円 (D=188m)	円 (D≒800m)	
T/B			
排気筒			
海水Pエリア			
D/C建屋			
防潮堤			
竜巻検討エリア となる円の直径 (m) (1の位切上)	300	800	ケース①は上記 3エリアの直径 の和
竜巻影響エリア の面積(m ²)	約71,000	約503,000	
設計竜巻 (100m/s)の 年超過確率	約 2.1×10^{-6}	約 3.9×10^{-6}	変化の主要因 は、確率算出式 におけるエリア 幅寄与分(全体 の約50%)の増 加による。

東海第二発電所

外部からの衝撃による損傷の防止

(外部火災)

第 6 条：外部からの衝撃による損傷の防止

(外部火災)

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

1.2 追加要求事項に対する適法性（手順等含む）

(1) 位置，構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

2. 外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）

（別添資料 1） 設置許可基準規則等への適合状況説明資料（外部火災）

3. 運用，手順説明資料

（別添資料 2） 外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）

4. 現場確認プロセス

（別添資料 3） 東海第二発電所 森林火災評価に係る植生確認プロセス
について

< 概 要 >

1. において、設計基準対象施設の設置許可基準規則、技術基準規則の追加要求事項を明確にするとともに、それら要求に対する東海第二発電所における適合性を示す。
2. において、設計基準対象施設について、追加要求事項に適合するために必要となる機能を達成するための設備又は運用について説明する。
3. において、追加要求事項に適合するための技術的能力（手順等）を抽出し、必要となる運用対策等を整理する。
4. において、森林火災影響評価に必要な入力条件等の設定を行うため必要となる植生確認プロセスについて説明する。

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

外部からの衝撃による損傷の防止について、設置許可基準規則第 6 条及び技術基準規則第 7 条において、追加要求事項を明確化する。（表 1）

表 1 設置許可基準規則第 6 条及び技術基準規則第 7 条 要求事項

設置許可基準規則	技術基準規則	備考
<p>第 6 条（外部からの衝撃による損傷の防止）</p> <p>安全施設は、想定される自然事象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならぬ。</p>	<p>第 7 条（外部からの衝撃による損傷の防止）</p> <p>設計基準対象施設が想定される自然現象（地震及び津波を除く。）によりその安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置を講じなければならない。</p>	<p>追加要求事項</p>
<p>2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ。</p>		<p>追加要求事項</p>
<p>3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定され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。）に対して安全機能を損なわないものでなければならぬ。</p>	<p>2 周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合には、事業所における火災又は爆発事故、危険物を搭載した車両、船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。</p> <p>3 航空機の墜落により発電用原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。</p>	<p>追加要求事項</p>

1.2 追加要求事項に対する適合性（手順等含む）

(1) 位置，構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

安全施設は，発電所敷地で想定される洪水，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，森林火災及び高潮の自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む自然現象の組合せに遭遇した場合において，自然事象そのものもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお，発電所敷地で想定される自然現象のうち，洪水，地滑りについては，立地的要因により設計上考慮する必要はない。

また，自然現象の組合せにおいては，地震，津波，風（台風），積雪及び火山の影響による荷重の組合せを設計上考慮する。

上記に加え，重要安全施設は，科学的技術的知見を踏まえ，当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力について，それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して適切に組み合わせる。

また，安全施設は，発電所敷地又はその周辺において想定される航空機落下，ダムの崩壊，爆発，近隣工場等の火災，有毒ガス，船舶の衝突及び電磁的障害の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。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち、航空機落下については、確率的要因により設計上考慮する必要はない。また、ダムの崩壊については、立地的要因により考慮する必要はない。

ここで、想定される自然現象及び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。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

- (a-3) 安全施設は、想定される外部火災において、最も厳しい火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(1.1~1.2 : 1)】

自然現象として想定される森林火災の延焼防止を目的として、発電所周辺の植生を確認し、作成した植生データを基に求めた最大火線強度から算出される防火帯 (23m) を敷地内に設ける。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

【別添資料 1(2.1.3.2 : 9~11)】

また、森林火災による熱影響については、火炎輻射強度の影響を考慮した場合においても、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.1.3.3 : 12～15)】

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。）として、想定される近隣の産業施設の火災及び爆発については、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2 : 17～29)】

また、想定される発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災については、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部火災による屋外施設への影響については、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.5～2.3 : 30～39)】

また、外部火災の二次的影響であるばい煙及び有毒ガスによる影響については、換気空調設備等に適切な防護対策を講じることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4 : 40～46)】

(2)安全設計方針

1.9 外部火災防護に関する基本方針

1.9.1 設計方針

安全施設が外部火災に対して、発電用原子炉施設の安全性を確保するために想定される最も厳しい火災が発生した場合においても必要な安全機能を損なわないよう、防火帯の設置、離隔距離の確保、建屋による防護及び代替手段等によって、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(1.1～1.2 : 1～2)】

想定する外部火災として、森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発、発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災、航空機墜落による火災を選定する。外部火災にて想定する火災を第 1.9-1 表に示す。

【別添資料 1(1.1～1.2 : 1～2)】

また、想定される火災及び爆発の二次的影響（ばい煙等）に対して、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(1.1～1.2 : 1～2)】

(1) 外部火災防護施設

安全施設に対して外部火災の影響を受けた場合において、原子炉の安全性を確保するため、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス 1、クラス 2 及びクラス 3 に該当する構築物、系統及び機器を外部火災防護施設とする。外部火災防護施設を第 1.9-2 表に示す。

a. 外部火災の直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部

火災防護施設

外部火災防護施設のうち，外部火災の直接的な影響を受けるクラス1及びクラス2に属する施設を以下のとおり抽出する。

(a) クラス1及びクラス2に属する屋内施設

屋内のクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設は，内包する建屋により防護する設計とし，以下の建屋を対象とする。

- i) 原子炉建屋
- ii) タービン建屋
- iii) 使用済燃料乾式貯蔵建屋

(b) クラス1及びクラス2に属する屋外施設

屋外のクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設は，以下の施設を対象とする。

- i) 海水ポンプ
- ii) 排気筒
- iii) ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ

b. 外部火災の二次的影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設

外部火災防護施設のうち，外部火災の二次的影響を受けるクラス1及びクラス2に属する施設を以下のとおり抽出する。

- (a) ディーゼル発電機機関
- (b) 換気空調設備
- (c) 海水ポンプ

【別添資料1(1.3:3~4)】

また、クラス3に属する施設については、外部火災発生時は、建屋による防護、消火活動又は代替設備による必要な機能の確保等により安全機能を損なわない設計とするため、影響評価対象から除外する。

【別添資料1(1.3:3~4)】

(2) 森林火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所周辺の植生、過去10年間の気象条件を調査し、発電所から直線距離10kmの間に発火点を設定し、森林火災シミュレーション解析コード（以下「FARSTE」という。）を用いて影響評価を実施し、森林火災の延焼を防ぐための手段として防火帯を設け、火炎が防火帯外縁に到達するまでの時間、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への熱影響及び危険距離を評価し、必要な防火帯幅、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設との離隔距離を確保すること等により、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 森林火災の想定

- (a) 森林火災における各樹種の可燃物量は、茨城県から入手した森林簿データと現地調査等により得られた樹種を踏まえて補正した植生を用いる。また、林齢は、樹種を踏まえて地面草地の可燃物量が多くなるように保守的に設定する。
- (b) 気象条件は、水戸地方気象台の過去10年間の気象データを調査し、茨城県における森林火災発生頻度が年間を通じて比較的高い月の最小湿度、最高気温及び最大風速の組み合わせとする。
- (c) 風向については、最大風速記録時における風向と卓越風向を調査し、森林火災の発生件数及び森林と発電所の位置関係を考慮して、最

大風速記録時の風向を設定する。

- (d) 発火点については、防火帯幅の設定及び熱影響評価に際し、F A R S I T Eより出力される最大火線強度及び反応強度の高い値を用いて評価するため、発電所から直線距離 10kmの間で風向及び人為的行為を考慮し、7地点を設定する。
- i) 発電所周辺のうち、卓越風向である西北西の風による延焼を考慮し、霊園における線香等の裸火の使用と残り火の不始末、国道245号を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し、国道245号沿いの霊園（発電所敷地から約20mの距離）を「発火点1」として設定する。
- ii) 発電所周辺のうち、卓越風向である北の風による延焼を考慮し、バーベキュー及び花火の不始末等を想定し、海岸沿い（発電所敷地から約530mの距離）を「発火点2」として設定する。
- iii) 発電所周辺のうち、卓越風向である西北西の風による延焼を考慮し、火入れ・たき火等を想定し、県道284号線沿いの水田（発電所敷地から約560mの距離）に、発火点1より遠方となる「発火点3」として設定する。
- iv) 発電所周辺のうち、卓越風向である北の風による延焼を考慮し、釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し、海岸沿い（発電所敷地から約1,280mの距離）に発火点2より遠方となる「発火点4」として設定する。
- v) 森林火災シミュレーションを保守的に行うため、最大風速記録時の風向の南西の風による延焼を考慮し、発電所南方向にある危険物貯蔵施設の屋外貯蔵タンク（発電所敷地から約890mの距離）からの火災が森林に延焼することを想定し、南方向の危険物施設の近くに

「発火点 5」として設定する。

- vi) 森林火災シミュレーションを保守的に行うため、最大風速記録時の風向の南西の風による延焼を考慮し、交通量が多い交差点(発電所敷地から約 550mの距離)での交通事故による車両火災を想定し、国道 245 号沿いに「発火点 6」として設定する。
- vii) 森林火災シミュレーションを保守的に行うため、最大風速記録時の風向の北東の風による延焼を考慮し、釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し、一般の人が発電所に最も近づくことが可能である海岸沿い(発電所敷地から約 60mの距離)に「発火点 7」として設定する。

【別添資料 1(2.1.2 : 4~7)】

- (e) 森林火災の発火時刻については、日照による草地及び樹木の乾燥に伴い、火線強度が変化することから、これらを考慮して火線強度が最大となる時刻を設定する。

【別添資料 1(2.1.2 : 4~7)】

b. 評価対象範囲

発電所近傍の発火想定地点を 10km 以内とし、評価対象範囲は東側が海岸という発電所周辺の地形を考慮し、発電所から南北及び西側に 12km の範囲を対象に評価を行う。

【別添資料 1(2.1.2 : 4~7)】

c. 必要データ (F A R S I T E 入力条件)

- (a) 地形データ

現地状況をできるだけ模擬するため、発電所周辺の土地の標高、地形等のデータについては、公開情報の中でも高い空間解像度である10mメッシュの「基盤地図情報 数値標高モデル」（国土地理院データ）を用いる。

(b) 土地利用データ

現地状況をできるだけ模擬するため、発電所周辺の建物用地、交通用地等のデータについては、公開情報の中でも高い空間解像度である100mメッシュの「国土数値情報 土地利用細分メッシュ」（国土交通省データ）を用いる。

(c) 植生データ

現地状況をできるだけ模擬するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを地方自治体(茨城県)より入手する。森林簿の情報を用いて、土地利用データにおける森林領域を樹種・林齢によりさらに細分化する。

発電所構内及び発電所周辺の植生データについては、現地調査し、F A R S I T E入力データとしての妥当性を確認のうえ植生区分を設定する。

【別添資料 1(2.1.2 : 4~7)】

(d) 気象データ

現地にて起こり得る最も厳しい条件を検討するため、水戸の過去10年間の気象データのうち、茨城県で発生した森林火災の実績より、発生頻度が高い12月から5月の気象条件（最多風向，最大風速記録時の風向，最大風速，最高気温及び最小湿度）の最も厳しい条件を用いる。なお，最多風向については，より発電所周辺の状況を考慮

するため、発電所の過去 10 年間の観測データも参照した。

【別添資料 1(2.1.2 : 4~7)】

d. 延焼速度及び火線強度の算出

ホイヘンスの原理に基づく火炎の拡大モデルを用いて延焼速度
(0.69m/s (発火点 3)) や火線強度 (6,278kW/m (発火点 3)) を算出
する。

e. 火炎到達時間による消火活動

延焼速度より、発火点から防火帯までの火炎到達時間^{注1}(0.2 時間
(約 12 分) (発火点 1)) を算出し、森林火災が防火帯に到達するまでの
間に発電所に常駐している自衛消防隊による屋外消火栓等を用いた消火
活動が可能であり、万が一の飛び火等による火炎の延焼を防止すること
で外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

注 1: 火炎が防火帯に到達する時間

【別添資料 1(2.1.3.1 : 8~9)】

なお、防火帯の外側にあるクラス 3 施設としては、モニタリングポスト
があり、火災発生時は、化学消防自動車及び水槽付消防ポンプ自動車
による消火活動及び代替設備(可搬型モニタリングポスト)の確保が可能
な設計とする。

【別添資料 1(2.1.3.1 : 8~9)】

f. 防火帯幅の設定

F A R S I T E から出力される最大火線強度(6,278kW/m (発火点
3))^{注1}により算出される防火帯幅 21.4m に対し、23m の防火帯幅を確保

することにより外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

設置する防火帯について、第 1.9-1 図に示す。

【別添資料 1(2.1.3.2 : 9~11)】

g. クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響

森林火災の直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。なお、影響評価に用いる火炎輻射強度は、F A R S I T E から出力される反応強度から求める火炎輻射強度とする。

(a) 火災の想定

- i) 森林火災による熱を受ける面と森林火災の火炎輻射強度が発する地点が同じ高さにあると仮定し、離隔距離は最短距離とする。
- ii) 森林火災の火炎は、円筒火炎モデルとする、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とし、燃焼半径から円筒火炎モデルの数を算出することにより火炎到達幅の分だけ円筒火炎モデルが横一列に並ぶものとする。
- iii) 気象条件は無風状態とする。

- (b) 原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響
- 影響が大きい発火点 5 の火炎輻射強度 $444\text{kW}/\text{m}^2$ に基づき算出する、防火帯の外縁(火炎側)から最も近く(約 37m)に位置する使用済燃料乾式貯蔵建屋(垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火炎の輻

射に対して最も厳しい箇所)の表面温度をコンクリート許容温度 200℃^{注2}以下とすることで、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

(c) 海水ポンプへの熱影響

影響が大きい発火点5の火炎輻射強度 444kW/m²に基づき算出する、防火帯の外縁(火炎側)から約 242mに位置する海水ポンプ室(垂直外壁面及び天井部から選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所)の表面温度をコンクリート許容温度 200℃^{注2}以下とすることで、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(d) 排気筒への熱影響

影響が大きい発火点3の火炎輻射強度 442kW/m²に基づき算出する排気筒表面の温度を、鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃^{注3}以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(e) ディーゼル発電機機関吸気系フィルタへの熱影響

影響が大きい発火点3の火炎輻射強度 442kW/m²に基づき算出するディーゼル発電機機関吸気系フィルタ内への流入空気の温度を、ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃^{注4}以下とすることで、ディーゼル発電機機関の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.1.3.3:12~15)】

注1: 保守的な入力データにより F A R S I T E で評価した火炎輻射強度

注2: 火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度

注3: 火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、鋼材

の強度が維持される保守的な温度

注 4：火災時における温度上昇を考慮した場合において、ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度

h. クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の危険距離の確保

森林火災の直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の危険距離について評価を実施し、防火帯の外縁（火炎側）からの離隔距離を影響が大きい発火点の火炎輻射強度^{注 1}に基づき算出する危険距離以上確保することにより、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

(a) 原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の危険距離の確保

影響が大きい発火点 5 の火炎輻射強度 $444\text{kW}/\text{m}^2$ に基づき危険距離^{注 2}を算出し、防火帯の外縁（火炎側）から最も近くに位置する使用済燃料乾式貯蔵建屋までの距離（約 37m）を危険距離以上確保することで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) 海水ポンプの危険距離の確保

影響が大きい発火点 5 の火炎輻射強度 $444\text{kW}/\text{m}^2$ に基づき危険距離^{注 2}を算出し、防火帯の外縁（火炎側）からび海水ポンプ室までの距離（約 242m）を危険距離以上確保することで、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(c) 排気筒の危険距離の確保

影響が大きい発火点 3 の火炎輻射強度 $442\text{kW}/\text{m}^2$ に基づき危険距離を算出し、防火帯の外縁（火炎側）から排気筒までの距離（約 266m）

を危険距離以上確保することにより、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(d) ディーゼル発電機機関吸気系フィルタの危険距離の確保

影響が大きい発火点 3 の火炎輻射強度 $442\text{kW}/\text{m}^2$ に基づき危険距離を算出し、防火帯の外縁（火炎側）からディーゼル発電機機関吸気系フィルタまでの距離（約 267m）を危険距離以上確保することにより、ディーゼル発電機機関吸気系フィルタの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.1.3.4 : 15～16)】

注 1 : 「g. クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響」の評価に用いた値

注 2 : 発電所周囲に設置される防火帯の外縁(火炎側)からクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の間に必要な離隔距離

(3) 近隣産業施設の火災・爆発

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所敷地外 10km 以内の産業施設を抽出したうえで発電所との離隔距離を確保すること、及び、発電所敷地内で火災を発生させるおそれのある危険物貯蔵施設等を選定し、危険物貯蔵施設等の燃料量とクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設との離隔距離を考慮して、輻射強度が最大となる火災を設定し、直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響評価を行い、離隔距離の確保、外壁による防護等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわ

ない設計とする。

a. 石油コンビナート施設等の影響

発電所敷地外 10km以内の範囲において、石油コンビナート施設を調査した結果、当該施設は存在しないことを確認している。なお、発電所に最も近い石油コンビナート地区は南約 50kmの位置にある鹿島臨海地区である。

【別添資料 1(2.2.2:17)】

b. 危険物貯蔵施設の影響

(a) 火災の影響

発電所敷地外 10km以内の危険物貯蔵施設の火災による直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

発電所敷地外 10km以内のうち、火災影響が及ぶ可能性がある危険物貯蔵施設^{注1}を第 1.9-3 表及び第 1.9-2 図に示す。

注1：石油コンビナートの大規模な危険物タンクを想定し危険距離 1,400mを火災影響が及ぶ可能性がある範囲と設定し、この範囲内の屋外貯蔵タンクを抽出した。

【別添資料 1(2.2.2.2:18~20)】

i) 火災の想定

- ・危険物貯蔵施設の貯蔵量は、最大容量を想定する。
- ・離隔距離は、評価上厳しくなるよう危険物貯蔵施設の位置からクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設までの直線距離とする。

- ・危険物貯蔵施設等の破損等による防油堤内の全面火災を想定する。
- ・火災は円筒火災モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。
- ・気象条件は無風状態とする。

ii) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地外 10km以内の危険物貯蔵施設とする。

【別添資料 1(2.2.2.2:18~20)】

iii) クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響

- ・原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し、危険物貯蔵施設から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（41m）以上確保することにより、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

- ・海水ポンプへの熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し、危険物貯蔵施設から海水ポンプ室までの離隔距離を必要とされる危険距離（41m）以上確保することにより、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

- ・排気筒への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し、危険物貯蔵施設から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（10m）以上確保することにより、排気筒の安全機能を損なわな

い設計とする。

- ・ディーゼル発電機機関吸気系フィルタへの熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し、危険物貯蔵施設からディーゼル発電機機関吸気系フィルタまでの離隔距離を必要とされる危険距離（23m）以上確保することにより、ディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.2：18～20)】

(b) ガス爆発の影響

発電所敷地外 10km 以内の高圧ガス貯蔵施設の爆発による直接的な影響を受ける、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保により安全機能を損なわない設計とする。

発電所敷地外 10km 以内のうち、10km 以内で最大の高圧ガス貯蔵施設である日立 LNG 基地を第 1.9-4 表及び第 1.9-3 図に示す。

【別添資料 1(2.2.2.2：21～24)】

i) 爆発の想定

- ・高圧ガス貯蔵施設は燃料を満載した状態を想定する。
- ・高圧ガス漏えい，引火によるガス爆発とする。
- ・気象条件は無風状態とする。

ii) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地外 10km以内の高圧ガス貯蔵施設とする。

iii) クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響

想定される高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による爆風圧の影響に対し、高圧ガス貯蔵施設から原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（373m）以上確保することにより、クラス 1 及びク

ラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.2 : 21~24)】

また、想定される高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による飛来物の影響については、高圧ガス貯蔵施設から原子炉施設までの離隔距離を必要とされる最大飛散距離（1,406m）以上確保することにより、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.2 : 21~24)】

c. 燃料輸送車両の影響

(a) 火災の影響

発電所敷地外 10km以内の燃料輸送車両の火災による直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保により、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.3 : 25)】

対象の燃料輸送車両を第 1.9-5 表及び第 1.9-4 図に示す。

i) 火災の想定

- ・ 最大規模の燃料輸送車両が発電所敷地周辺道路で火災を起こすものとする。
- ・ 燃料積載量は燃料輸送車両の中で最大規模（30m³）とする。
- ・ 燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
- ・ 輸送燃料はガソリンとする。
- ・ 発電所敷地周辺道路での燃料輸送車両の全面火災を想定する。

- ・ 気象条件は無風状態とする。
- ・ 火災は円筒火災をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

ii) 評価対象範囲

評価対象は、最大規模の燃料輸送車両とする。

【別添資料 1(2.2.2.3 : 25)】

iii) クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響

- ・ 原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送車両から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離

(15m) 以上確保することにより，クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

- ・ 海水ポンプへの熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送車両から海水ポンプ室までの離隔距離を必要とされる危険距離 (15m) 以上確保することにより，海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

- ・ 排気筒への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送車両から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離

(9m) 以上確保することにより，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

- ・ ディーゼル発電機機関吸気系フィルタの熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送車両からディーゼル発電機機関吸気系フィルタまでの離隔距離を必要とされる危険距離（17m）以上確保することにより、ディーゼル発電機機関吸気系フィルタの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.3 : 25)】

(b) ガス爆発の影響

発電所敷地外 10km以内の燃料輸送車両の爆発による直接的な影響を受ける、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の影響評価を実施し、離隔距離の確保により、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.3 : 26)】

対象の燃料輸送車両を第 1.9-6 表及び第 1.9-4 図に示す。

i) 爆発の想定

- ・ 発電所敷地周辺道路から原子炉施設に最も近い場所での燃料輸送車両積載の高圧ガス漏洩、引火による燃料輸送車両の爆発を起こすものとする。
- ・ 燃料積載量は燃料輸送車両の中で最大規模（15.1 トン）とする。
- ・ 燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
- ・ 輸送燃料は液化天然ガス（LNG）、液化石油ガス（LPG）とする。
- ・ 気象条件は無風状態とする。

ii) 評価対象範囲

評価対象は、最大規模の燃料輸送車両とする。

【別添資料 1(2.2.2.3 : 26)】

iii) クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響

想定される燃料輸送車両のガス爆発による爆風圧の影響に対して、発電所敷地周辺道路から原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（88m）以上確保することにより、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.3 : 26)】

また、想定される燃料輸送車両のガス爆発による飛来物の影響に対して、発電所敷地周辺道路から原子炉施設までの離隔距離を最大飛散距離（435m）以上確保することにより、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.3 : 26)】

d. 漂流船舶の火災・爆発

(a) 火災の影響

発電所敷地外 10km以内の漂流船舶の火災による直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保により、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.4 : 27～29)】

対象の漂流船舶を第 1.9-7 表及び第 1.9-5, 6 図に示す。

i) 火災の想定

- ・ 発電所から約 1,500mの位置で稼働中の日立 LNG 基地の高圧ガス貯蔵施設に入港する燃料輸送船，及び発電所港湾内に定期的に入港する船舶 の火災を想定した。
- ・ 燃料輸送船は，日立 LNG 基地に実際に入港する船舶（燃料量 5,600m³）及び発電所港湾内に実際に入港する最大の船舶（燃料量 582m³）を想定する。

【別添資料 1(2.2.2.4 : 27～29)】

- ・ 離隔距離は，評価上厳しくなるよう漂流想定位置からクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設までの直線距離とする。
- ・ 漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。
- ・ 漂流船舶の全面火災を想定する。
- ・ 気象条件は無風状態とする。
- ・ 火災は円筒火災モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

ii) 評価対象範囲

漂流船舶は発電所周辺の海域を航行する燃料輸送船及び発電所港湾内に定期的に入港する船舶を評価対象とする。

【別添資料 1(2.2.2.4 : 27～29)】

iii) クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響

- ・ 原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

想定される漂流船泊の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送船から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（165m）以上、から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（54m）以上確保することにより、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

・海水ポンプへの熱影響

想定される漂流船泊の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送船から海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（165m）以上、から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（54m）以上確保することにより、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・排気筒への熱影響

想定される漂流船泊の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送船から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（87m）以上、から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（29m）以上確保することにより、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

・ディーゼル発電機機関吸気系フィルタの熱影響

想定される漂流船泊の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送船からディーゼル発電機機関吸気系フィルタまでの離隔距離を必要とされる危険距離（128m）以上、からディーゼル発電機機関吸気系フィルタまでの離隔距離を必要とされる危険距離（42m）以上確保することにより、ディーゼル発電機機関吸気系フィルタの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.4 : 27～29)】

(b) ガス爆発の影響

発電所周辺の海域を航行する燃料輸送船舶及び発電所港湾内に定期的に入港する船舶の爆発による直接的な影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保により、安全機能を損なわない設計とする。

対象の漂流船舶を第1.9-8表及び第1.9-5,6図に示す。

i) 爆発の想定

- ・燃料輸送船は、日立LNG基地に実際に入港する船舶を想定する。
- ・日立LNG基地に入港する最大の船舶 [] (積載量 75,190 トン) , [] (積載量 53,196 トン) 及び, [] [] (積載量 1,062 トン)) を想定する。
- ・離隔距離は、評価上厳しくなるよう想定位置から外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器までの直線距離とする。
- ・漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。
- ・対象漂流船舶の高圧ガス漏えい、引火によるガス爆発を想定する。
- ・気象条件は無風状態とする。

ii) 評価対象範囲

発電所周辺海域及び港湾内で発生する漂流船舶の爆発とする。

【別添資料1(2.2.2.4:28~29)】

iii) クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への影響

想定される船舶のガス爆発による爆風圧の影響に対して、漂流船舶から原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離 []

□ (335m) , □ (340m) , □ (165m)) 以上確保することにより、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2.2.4:28~29)】

発電所周辺を航行する船舶として、日立LNG基地に出入りする輸送船があるが、これらの船舶が停泊しているときに津波警報等が発表された場合には、荷役及び作業を中止した上で、緊急退避又は係留避泊する運用としており、実際に漂流し発電所に接近する可能性は低いことから、想定した漂流船舶の飛来物が発電所に影響を及ぼすことはない。

【別添資料1(2.2.2.4:28~29)】

e. 発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災・爆発

(a) 火災の影響

発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災による直接的な影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、外壁による防護等により、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2.2.5:30)】

発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等を第1.9-9表並びに第1.9-7図に示す。

i) 火災の想定

- ・ 危険物貯蔵施設等の貯蔵量は、危険物施設として許可された貯蔵容量を超えない運用上の最大貯蔵量とする。
- ・ 離隔距離は、評価上厳しくなるよう危険物貯蔵施設等の位置からクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設までの直線距離とする。
- ・ 火災源となる危険物貯蔵施設は破損等による防油堤内の全面火災を、変圧器は破損等による変圧器本体の全面火災を想定した。
- ・ 火災は円筒火災モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。
- ・ 気象条件は無風状態とする。

【別添資料1(2.2.2.5:30~33)】

ii) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地内の屋外に設置する引火等のおそれのある危険物貯蔵施設等のうち、離隔距離や危険物貯蔵量から原子炉施設への熱影響が大きくなると想定される溶融炉灯油タンク

および主変圧器、所内変圧器及び起動変圧器とする。

【別添資料1(2.2.2.5:30~33)】

なお、屋外に設置する危険物貯蔵施設等のうち、屋内設置の設備、地下設置の設備、常時「空」で運用する設備及び火災源となる設備から評価対象施設を直接臨まないものに関しては評価対象外とする。

【別添資料1(2.2.2.5:30~33)】

また、危険物を内包する車両等（タンクローリ）は、熔融炉灯油タンクに比べ貯蔵量が少なく、また熔融炉灯油タンクと原子炉施設の距離に比べ離隔距離が長いことから、評価対象とした熔融炉灯油タンク火災の評価に包絡される。

【別添資料 1(2.2.2.5 : 30～33)】

iii) クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響

(i) 原子炉建屋，タービン建屋への熱影響

・熔融炉灯油タンク

熔融炉灯油タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（原子炉建屋：298W/m²，タービン建屋：101W/m²）で各建屋外壁が昇温されるものとして、算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200℃^{注1}以下とすることで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

・主変圧器

主変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（タービン建屋：2,337W/m²）でタービン建屋外壁が昇温されるものとして、算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200℃^{注1}以下とすることで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

・所内変圧器

所内変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（タービン建屋：3,479W/m²）でタービン建屋外壁が昇温されるものとして、算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200℃^{註1}以下とすることで、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

- ・ 起動変圧器

起動変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（タービン建屋：3,464W/m²）でタービン建屋外壁が昇温されるものとして、算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200℃^{註1}以下とすることで、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

- (ii) 海水ポンプへの熱影響

- ・ 溶融炉灯油タンク

溶融炉灯油タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（17W/m²）で海水ポンプ室外壁が昇温されるものとして、算出する建屋（垂直外壁面及び天井部から選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200℃^{註1}以下とすることで、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

- (iii) 排気筒への熱影響

- ・ 溶融炉灯油タンク

溶融炉灯油タンクを対象に火災が発生してから一定の輻射強度
(1,343W/m²)で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒
の表面温度を鋼材の制限温度である325℃以下とすることで、排
気筒の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2.2.5:30~33)】

注1:火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コン
クリート圧縮強度が維持される保守的な温度

注2:火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、鋼材
の強度が維持される保守的な温度

(b) ガス爆発の影響

発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の爆発による直接的な影響
を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への影響評価
を実施し、離隔距離の確保により、クラス1及びクラス2に属する外部
火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2.2.5:30~33)】

発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等をを第1.9-10
表並びに第1.9-8図に示す。

【別添資料1(2.2.2.5:30~33)】

i) 爆発の想定

- ・ 離隔距離は、評価上厳しくなるよう想定位置から外部事象に対
し必要な構築物、系統及び機器までの直線距離とする。
- ・ 爆発源は燃料を満載した状態を想定する。

- ・危険物貯蔵施設等の高圧ガス漏えい，引火によるガス爆発を想定する。
- ・気象条件は無風状態とする。

【別添資料 1(2.2.2.5 : 30～33)】

ii) 評価対象範囲

評価対象は，発電所敷地内の屋外に設置する引火等のおそれのある危険物貯蔵施設等のうち，屋外で爆発する可能性がある水素貯槽とする。

なお，屋外に設置する危険物貯蔵施設等のうち，屋内設置の設備，地下設置の設備，常時「空」で運用する設備及び火災源となる設備から評価対象施設を直接臨まないものに関しては評価対象外とする。

【別添資料 1(2.2.2.5 : 30～33)】

iii) クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響

水素貯槽のガス爆発による爆風圧の影響に対して，水素貯槽から原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（7m）以上確保することにより，クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.5 : 30～33)】

(4) 航空機墜落による火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し，航空機墜落による火災について落下カテゴリ毎に選定した航空機を対象に，直接的な影響を受ける，クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価

を実施し、離隔距離の確保及び建屋による防護等により、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、航空機落下による火災と発電所敷地内の危険物タンク等による火災の重畳を考慮する設計とする。

【別添資料1(2.3:34~39)】

a. 対象航空機の選定方法

航空機落下確率評価においては、過去の日本国内における航空機落下事故の実績をもとに、落下事故を航空機の種類及び飛行形態に応じてカテゴリに分類し、カテゴリ毎に落下確率を求める。

ここで、落下事故の実績がないカテゴリの落下事故率の算出には、 χ 二乗分布を用いた方法を使用した。

また、カテゴリ毎の対象航空機の民間航空機と自衛隊機又は米軍機では、訓練中の事故等、その発生状況が必ずしも同一ではなく、自衛隊機又は米軍機の中でも機種によって飛行形態が同一ではないと考えられ、かつ、民間航空機では火災影響は評価対象航空機の燃料積載量に大きく依存すると考えられる。これらを踏まえて選定した落下事故のカテゴリと対象航空機を第1.9-11表に示す。

【別添資料1(2.3:34~39)】

b. 航空機墜落による火災の想定

- (a) 航空機は、発電所における航空機墜落評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。
- (b) 航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- (c) 航空機の墜落によって燃料に着火し火災が起こることを想定する。

- (d) 気象条件は無風状態とする。
- (e) 火災は円筒火災をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

【別添資料1(2.3:34~39)】

c. 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地内であって原子炉施設を中心にして墜落確率が 10^{-7} (回/炉・年)以上になる範囲のうち原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域に設置するクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設とする。

カテゴリ毎の対象航空機の離隔距離を第1.9-11表に示す。

【別添資料1(2.3:34~39)】

d. クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への熱影響

(a) 建屋への熱影響

落下事故のカテゴリ毎に選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋外壁が昇温されるものとして算出する各建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度である 200°C ^{注1}以下とすることで、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

カテゴリ毎の対象航空機の輻射強度を第1.9-12表に示す。

(b) 排気筒への熱影響

落下事故のカテゴリ毎に選定した航空機を対象に一定の輻射強度で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の表面温度を鋼材の制限

温度である 325℃以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(c) ディーゼル発電機機関吸気系フィルタへの熱影響

落下事故のカテゴリ毎に選定した航空機を対象に一定の輻射強度で昇温されるものとして算出するディーゼル発電機機関吸気系フィルタ内への流入空気の温度を、ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下とすることで、ディーゼル発電機機関の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.3 : 34~39)】

e. 航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災の重畳評価

航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災による重畳評価を実施した。

航空機墜落火災として想定する機種は、評価結果が最も厳しい軍用航空機の F-15 とする。

危険物貯蔵施設等の火災として想定する設備は、F-15 の墜落火災想定位置近傍にある熔融炉灯油タンクと主変圧器とする。

(a) 原子炉建屋及びタービン建屋への熱影響

F-15 の墜落火災と危険物貯蔵施設等の重畳火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度を、コンクリート許容温度である 200℃^{注1}以下とすることで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) 海水ポンプへの熱影響

F-15の墜落火災と危険物貯蔵施設等の重畳火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で海水ポンプ室外壁が昇温されるものとして算出する外壁（垂直外壁面及び天井部から選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度を、コンクリート許容温度である 200°C ^{注1}以下とすることで、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(c) 排気筒への熱影響

F-15の墜落火災と危険物貯蔵施設等の重畳火災が発生した場合を想定し、一定の輻射強度で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の表面温度を鋼材の制限温度である 325°C 以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

注1：火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度

注2：火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、鋼材の強度が維持される保守的な温度

【別添資料1(2.3:34~39)】

(5) 二次的影響（ばい煙等）

外部火災による二次的影響として、ばい煙等による影響を抽出し、安全機能が損なわれるおそれがある構築物、系統及び機器として外気を取り込みりクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設を抽出したうえで、第1.9-12表の分類のとおり評価を行い、必要な場合は対策を実施することでクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 換気空調設備

外気を取込む空調系統として、中央制御室換気系、電気室換気系、原子炉建屋換気系、ディーゼル発電機室換気系がある。

外部火災発生時のばい煙については、数 μm 以上のものを想定しており、これらの外気取入口には、捕集率 80%以上（J I S Z 8901 試験用粉体 11 種 粒径約 $2\mu\text{m}$ ）の性能を有しているフィルタを設置するため、ばい煙が外気取入口に到達した場合であっても、一定以上の粒径のばい煙粒子については、フィルタにより侵入を阻止することでクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、外気取入ダンパが設置されており閉回路循環運転が可能である中央制御室換気系については、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転を行うことでクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、中央制御室換気系及び緊急時対策所換気系については、外気取入遮断時の室内に滞在する人員の環境劣化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

b. ディーゼル発電機機関吸気系

ディーゼル発電機機関の吸気系統に付属するフィルタ（粒径 $5\mu\text{m}$ 以上において約 56%捕獲）を設置し、粒径の大きいばい煙粒子は捕獲される設計とする。吸気フィルタを通過したばい煙粒子（数 μm ~10 数 μ

m) が過給機，空気冷却器に侵入するものの，機器の隙間はばい煙粒子に比べて十分大きく，閉塞に至ることを防止することでディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4 : 40～46)】

c. 海水ポンプ電動機

(a) 残留熱除去系海水系ポンプ電動機

残留熱除去系海水系ポンプ電動機は，全閉防まつ型屋外形構造であり，下部に設置した外扇で外気を空気冷却器冷却管内に直接取り込み，冷却管壁で電動機内部空気と熱交換することで冷却を行う構造であり，冷却管内を通った空気は全て排気口に導かれるため，ばい煙が電動機内部に侵入することはない。

また，空気冷却器冷却管の内径は約 26mmであり，ばい煙粒子の粒径はこれに比べて十分に小さく，閉塞を防止することにより残留熱除去系海水系ポンプ電動機の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4 : 40～46)】

(b) 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機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電動機

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機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電動機は，外扇から吸引した外気をファンカバーから下向きに本体放熱フィンに沿って流し，電動機本体を冷却する構造であり，ばい煙が電動機内部に侵入することはない。

また，冷却流路出口幅は約 28mmであり，ばい煙の粒径はこれに比べて十分に小さく，閉塞を防止することにより非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポン

プ電動機の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4 : 40～46)】

(6) 有毒ガスの影響

a. 有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響評価

有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響については、中央制御室換気系及び緊急時対策所換気系における外気取入遮断時の室内に滞在する人員の環境劣化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

外気を取込む空調系統として、中央制御室換気系、電気室換気系、原子炉建屋換気系、ディーゼル発電機室換気系がある。

このうち、外気取入ダンパが設置されており閉回路循環運転が可能である中央制御室換気系及び緊急時対策所換気系については、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転を行うことによりクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

中央制御室換気系及び緊急時対策所換気系以外の換気空調設備については、空調ファンを停止すること等によりクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4 : 40～46)】

1.9.2 体制

火災発生時の原子炉施設の保全のための活動を行うため、連絡責任者、運転員及び消防要員が常駐するとともに、火災発生時には、所員により編成する自衛消防組織を所長の判断により設置する。

自衛消防組織の組織体制を，第 1.9-9 図に示す。

1.9.3 手順等

外部火災における手順については，火災発生時の対応，防火帯の維持・管理並びにばい煙及び有毒ガス発生時の対応を適切に実施するための対策を火災防護計画に定める。

- (1) 防火帯の維持・管理においては，手順等を整備し，実施する。
- (2) 初期消火活動においては，手順を整備し，火災発生現場の確認，中央制御室への連絡，消火栓，化学消防自動車及び水槽付消防ポンプ自動車等を用いた初期消火活動を実施する。
- (3) 外部火災によるばい煙発生時には，外気取入口に設置しているフィルタの交換，外気取入ダンパの閉止，換気空調設備の停止又は閉回路循環運転により，建屋内へのばい煙の侵入を阻止する。
- (4) 外部火災による有毒ガス発生時には，外気取入ダンパの閉止，換気空調設備の停止又は閉回路循環運転により，建屋内への有毒ガスの侵入を阻止する。

【別添資料 2(1～3)】

第 1.9-1 表 外部火災にて想定する火災

火災種別	考慮すべき火災
森林火災	発電所敷地外 10km 以内に発火点を設定した発電所に迫る森林火災
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外 10km 以内の石油コンビナート等の火災・爆発
	発電所敷地内の危険物貯蔵施設等の火災・爆発
航空機墜落による火災	発電所敷地への航空機墜落時の火災

【別添資料 1(1.1~1.2 : 1~2)】

第 1.9-2 表 外部火災防護施設

1. 火災の直接的な影響を受ける施設

防護対象	外部火災防護施設
安全機能の重要度分類 「クラス1」「クラス2」に属する 施設を内包する建屋	原子炉建屋 タービン建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 ※消火活動による防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔距離で防護
安全機能の重要度分類 「クラス1」「クラス2」に属する 屋外施設	海水ポンプ 排気筒 ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ ※消火活動による防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔距離で防護
安全機能の重要度分類 「クラス3」に属する施設	開閉所 固体廃棄物貯蔵庫 モニタリングポスト他 ※建屋による防護、消火活動又は代替設備による必要な機能の確保等

2. 火災の二次的影響(ばい煙)を受ける施設

防護対象	外部火災防護施設
安全機能の重要度分類 「クラス1」「クラス2」に属する 施設	換気空調設備 ディーゼル発電機機関 海水ポンプ電動機

【別添資料 1(1.3 : 3~4)】

第 1.9-3 表 発電所敷地外 10km以内のうち火災影響が及ぶ
可能性がある危険物貯蔵施設

想定火災源	燃料の種類	容量 (m ³)	影響先	離隔距離 (m)
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋	800

【別添資料 1(2.2.2.2 : 18~21)】

第 1.9-4 表 発電所敷地外 10km以内の最大の高圧ガス貯蔵施設
である日立 LNG 基地

想定火災源	燃料の種類	容量 (m ³)	離隔距離 (m)
LNG タンク	メタン	230,000	1,500
LPG タンク	プロパン	50,000	1,500

【別添資料 1(2.2.2.2 : 22~25)】

第 1.9-5 表 火災評価で想定する燃料輸送車両

想定火災源	燃料の種類	容量 (m ³)	影響先	離隔距離 (m)
燃料 輸送車両	ガソリン	30	原子炉建屋	510
			海水ポンプ室	760
			タービン建屋	450
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋	520
			排気筒	610
			D/G 吸気系フィルタ	510

【別添資料 1(2.2.2.3 : 26)】

第 1.9-6 表 爆発評価で想定する燃料輸送車両

想定火災源	燃料の種類	容量 (t)	影響先	離隔距離 (m)
燃料輸送車両	メタン	15.1	タービン建屋	450
	プロパン	15.1		

※：離隔距離はクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設のうち最も国道 245 号から近いタービン建屋までの距離とする。

【別添資料 1(2.2.2.4：27)】

第 1.9-7 表 火災評価で想定する漂流船舶

想定火災源	燃料の種類	容量 (m ³)	影響先	離隔距離 (m)
			原子炉建屋	1,100
			海水ポンプ室	940
			タービン建屋	1,100
			使用済燃料乾式貯蔵建屋	1,300
			排気筒	1,100
			D/G 吸気系フィルタ	1,100
			原子炉建屋	330
			海水ポンプ室	70
			タービン建屋	280
			使用済燃料乾式貯蔵建屋	530
			排気筒	250
			D/G 吸気系フィルタ	330

【別添資料 1(2.2.2.4 : 28~29)】

第 1.9-8 表 爆発評価で想定する漂流船舶

想定火災源	燃料の種類	容量 (t)	影響先*	離隔距離 (m)
			排気筒	1,100
				250

※：海水ポンプ室の高さは防潮堤高さよりも低く，直接爆風圧の影響を受けることはないため，海水ポンプ室は影響評価対象外とする。離隔距離は海水ポンプ室を除いて最も近い排気筒までの距離とする。

【別添資料 1(2.2.2.4 : 29~30)】

第 1.9-9 表 発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等の一覧 (火災源)

想定火災源	燃料の種類	容量 (m ³)	影響先	離隔距離 (m)
熔融炉 灯油 タンク	灯油	10	原子炉建屋	45
			海水ポンプ室	185
			タービン建屋	76
主変圧器	絶縁油	136	タービン建屋	22
所内変圧器 2 A	絶縁油	21	タービン建屋	8
起動変圧器 2 B	絶縁油	47	タービン建屋	13

【別添資料 1(2.2.2.5 : 31~34)】

第 1.9-10 表 発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等の一覧 (爆発源)

想定爆発源	燃料の種類	容量 (m ³)	影響先	離隔距離 (m)
水素貯槽	水素	6.7	タービン建屋	35

【別添資料 1(2.2.2.5 : 33~34)】

第 1.9-11 表 落下事故のカテゴリと対象航空機

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔距離 (m)	輻射強度 (W/m ²)	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	199	86	
	航空路を巡航時	B747-400	1,528	×※1	
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	B747-400	186	630	
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）	Do228-200	72	×※2	
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	176	473
		その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	F-15	34	×※3
	基地-訓練空域間往復時	F-15	22	3,095	

※1：「計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航時」の落下事故については、「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の落下事故の対象機種と同じ B747-400 であり、離隔距離の短い「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※2：「有視界飛行方式民間航空機の小型機」の落下事故の対象航空機のうち、燃料搭載量が最大となる Do228-200 であっても 3m³ と少量であることから、Do228-200 よりも燃料搭載量が多く、かつ離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 基地-訓練空域間往復時」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※3：「その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機」については、「基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象航空機と同じ F-15 であるため、離隔距離の短い「基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

【別添資料 1(2.3 : 35~36)】

第 1.9-12 表 ばい煙による影響評価

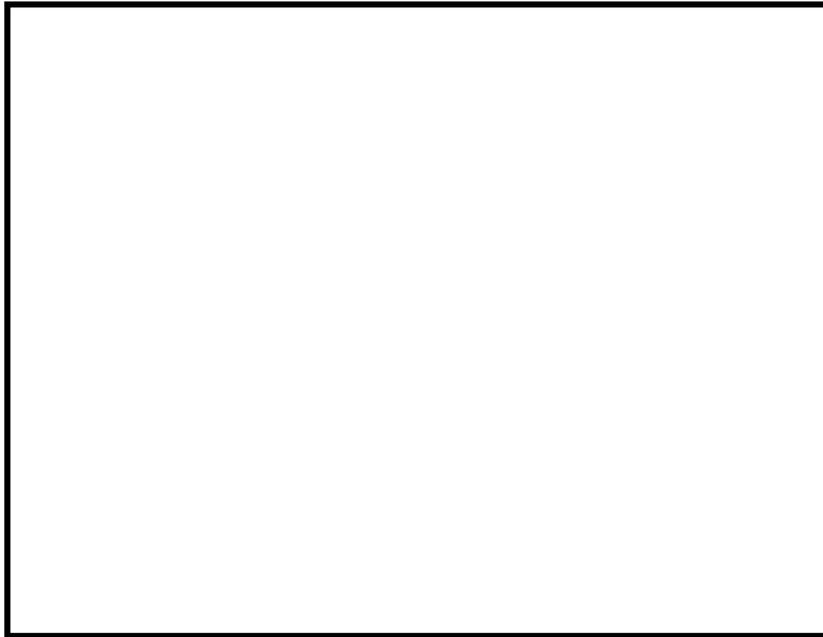
分類	評価対象設備	
機器への影響	外気を直接設備内に取り込む機器	ディーゼル発電機機関
	外気を取り込む空調系統	換気空調設備
	屋外設置機器	海水ポンプ電動機

【別添資料 1(2.4 : 41~42)】



第 1.9-1 図 防火帯設置図

【別添資料 1(1.3 : 3~4)】



第 1.9-2 図 発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に
位置する危険物貯蔵施設

【別添資料 1(2.2.2.2 : 18～21)】



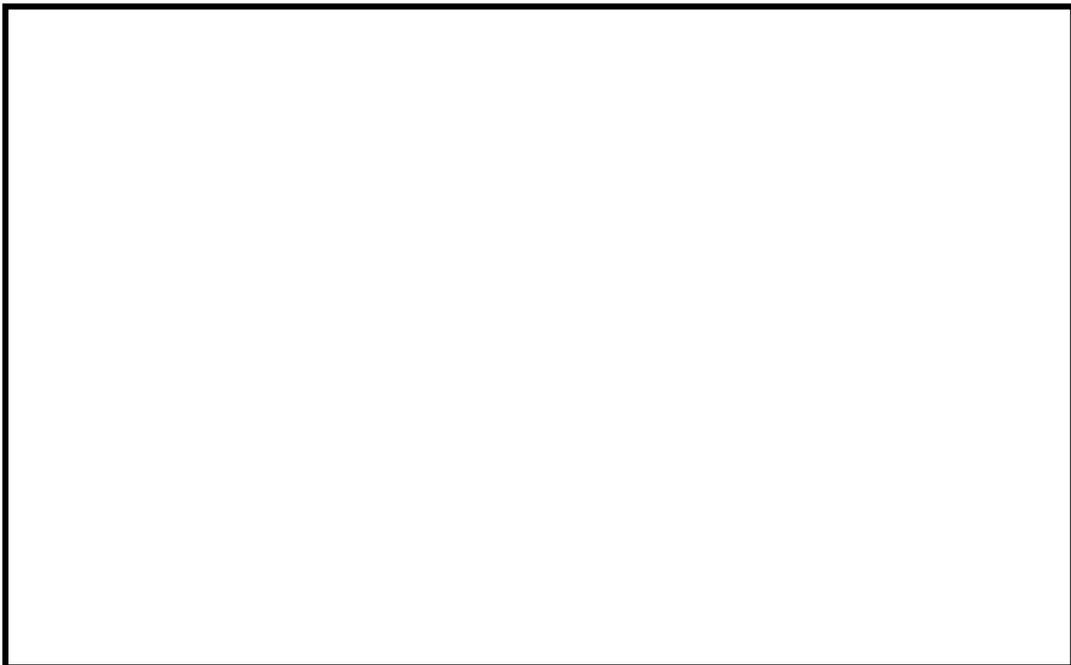
第 1.9-3 図 発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に
位置する危険物貯蔵施設

【別添資料 1(2.2.2.2 : 22～25)】



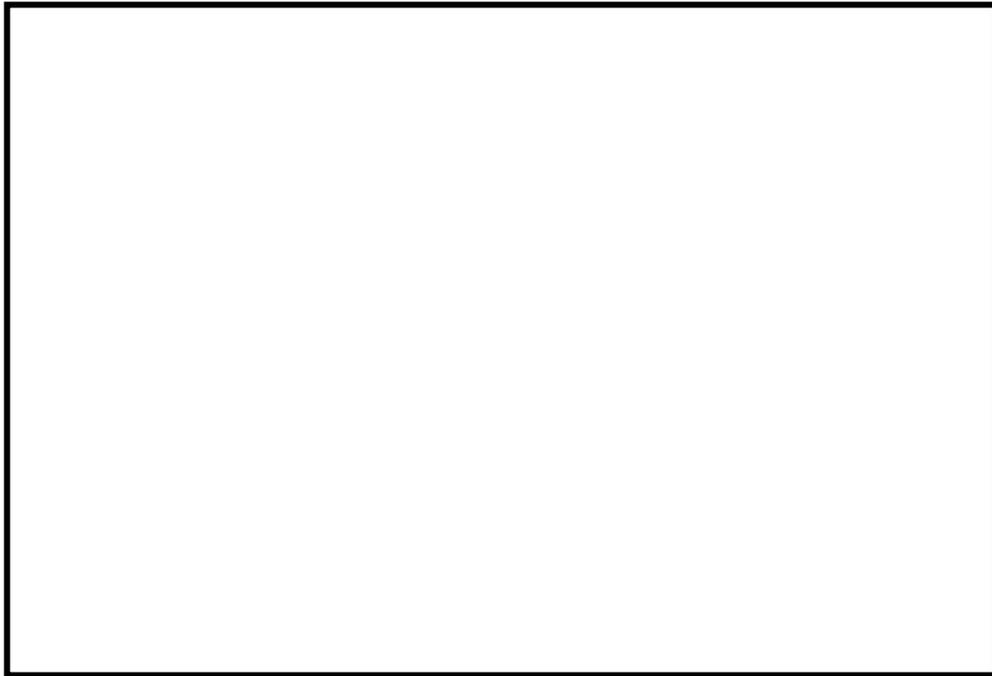
第 1.9-4 図 評価で想定する燃料輸送車両

【別添資料 1(2.2.2.3 : 26～27)】



第 1.9-5 図 評価で想定する漂流船舶（輸送船）

【別添資料 1(2.2.2.4 : 28～30)】



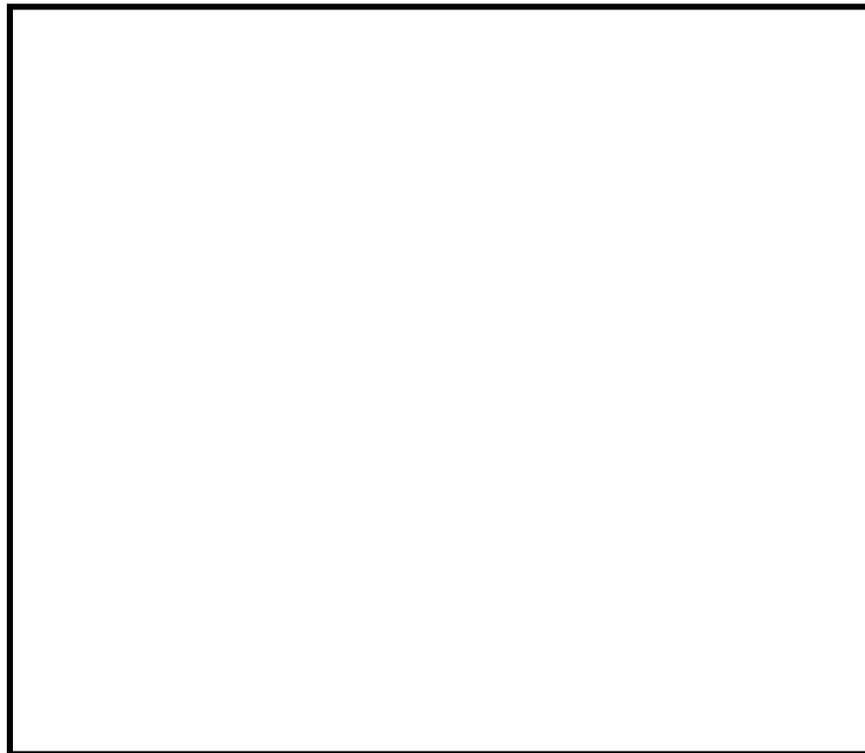
第 1.9-6 図 評価で想定する漂流船舶（内航船及び定期船）

【別添資料 1(2.2.2.4 : 28～30)】



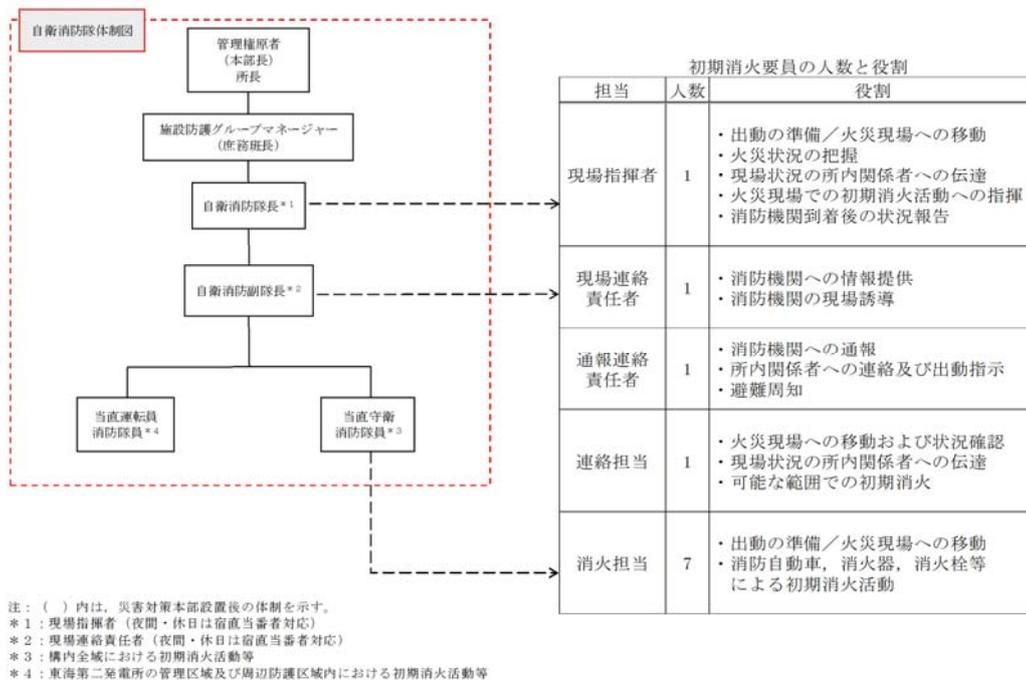
第 1.9-7 図 危険物貯蔵施設等配置図（危険物貯蔵施設）

【別添資料 1(2.2.2.5 : 31～33)】



第 1.9-8 図 危険物貯蔵施設等配置図 (変圧器)

【別添資料 1(2.2.2.5 : 33~34)】



第 1.9-9 図 自衛消防組織体制表

【別添資料 2(1~3)】

東海第二発電所

外部火災影響評価について

目 次

1. 基本方針	
1.1 基本事項	1
1.2 想定する外部火災	1
1.3 防護対象施設	3
2. 火災の影響評価	
2.1 森林火災	4
2.2 近隣の産業施設の火災・爆発	17
2.3 航空機墜落による火災	34
2.4 二次的影響	40

添付資料

1. 外部火災防護対象と影響評価対象の考え方について
2. 森林火災による影響評価について
3. 石油コンビナート等の火災・爆発について
4. 燃料輸送車両の火災・爆発について
5. 漂流船舶の火災・爆発について
6. 敷地内における危険物貯蔵施設等の火災・爆発について
7. 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災について
8. ばい煙及び有毒ガスの影響について

<概 要>

- 1.において、想定する外部火災及び評価内容を整理するとともに、外部火災からの防護対象施設、影響評価対象施設を整理する。
- 2.において、想定する外部火災の影響評価結果について説明する。

1. 基本方針

1.1 基本事項

原子力規制委員会の定める「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」（以下「設置許可基準規則」という。）第六条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。

このため、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下「評価ガイド」という。）に基づき外部火災影響評価を行い、外部火災により安全施設へ影響を与えないこと及び発電所敷地内外で発生する火災の二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。

1.2 想定する外部火災

設置許可基準規則第六条において、敷地及び敷地周辺から想定される自然現象又は人為事象として森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発、飛来物（航空機墜落）を挙げている。

このことから、想定する外部火災は以下のとおりとする。

- (1) 森林火災
- (2) 近隣の産業施設の火災・爆発
- (3) 航空機墜落による火災

また、具体的な評価内容等を第 1.2-1 表に示す。

第 1.2-1 表 外部火災影響評価で行う評価内容

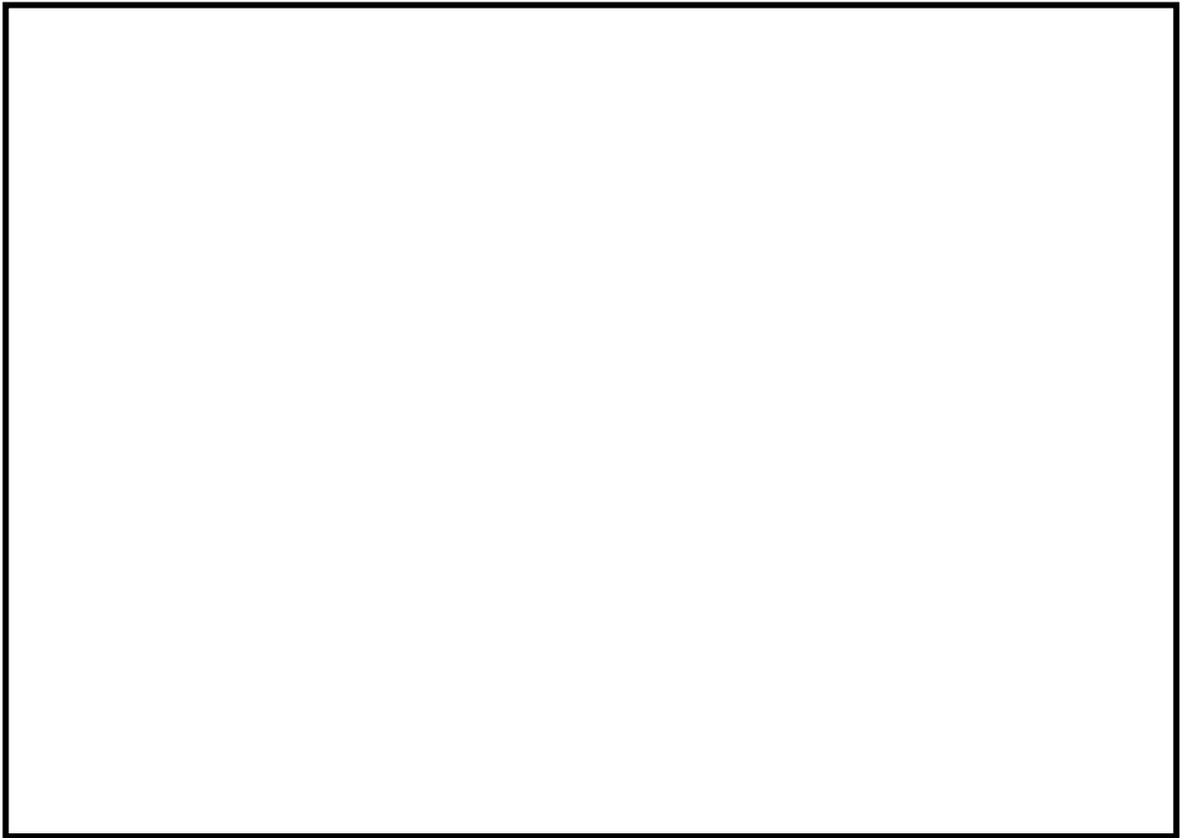
火災種別	考慮すべき火災	評価内容	評価項目	
森林火災	発電所敷地外 10km 以内に発火点を設定した発電所に迫る森林火災	<ul style="list-style-type: none"> 森林火災シミュレーション解析コード (F A R S I T E) を用いた森林火災評価 森林火災評価に基づく評価対象施設への影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 火炎の到達時間 防火帯幅 熱影響 危険距離 	二次的影響 (ばい煙等, 有毒ガス)
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外 10km 以内の石油コンビナート等の火災・爆発	<ul style="list-style-type: none"> 発電所敷地外の石油コンビナート等について, 発電所との距離を考慮した影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 危険距離 危険限界距離 	
	発電所敷地内の危険物貯蔵施設等の火災・爆発	<ul style="list-style-type: none"> 発電所敷地内の危険物貯蔵施設等の火災・爆発による影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 熱影響 危険限界距離 	
航空機墜落による火災	発電所敷地への航空機墜落時の火災	<ul style="list-style-type: none"> 墜落を想定する航空機に相当する火災を想定した影響評価対象施設の影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 熱影響 	

1.3 防護対象施設（添付資料-1）

設置許可基準規則の第六条においては、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全機能を有する構築物、系統及び機器（以下「SSC」という。）が、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。

したがって、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」（以下「重要度分類指針」という。）において、安全機能を有するSSCとして定義されているクラス1、2及び3に属するSSCを外部火災に対する防護対象とする。外部火災に対する影響評価対象施設配置図を第1.3-1 図に示す。防護対象とするSSCに対しては、外部火災発生時に安全機能に影響を与えることのないよう、消火活動等により防護を図ることとする。

また、クラス1及びクラス2に属するSSCについては、消火活動等の防護手段に期待しない条件のもと、想定される外部火災に対する影響評価を実施し、耐性が十分でない場合においては、対策を行うこととする。



第 1.3-1 図 発電所構内全体図

2. 火災の影響評価

2.1 森林火災（添付資料-2）

2.1.1 評価内容

発電所敷地外で発生する森林火災が，発電所に迫った場合でも原子炉施設に影響を及ぼさないことを以下の項目により評価した。

- (1) 火炎の到達時間
- (2) 防火帯幅
- (3) 熱影響
- (4) 危険距離

2.1.2 評価要領

評価ガイドに従い森林火災を想定し，発電所への影響について評価した。

なお、森林火災の解析に当たっては、評価ガイドにおいて推奨されている森林火災シミュレーション解析コードF A R S I T Eを使用し、以下の設定により解析を実施した。

- (1) 土地利用データは、現地状況をできる限り模擬するため、国土数値情報（国土交通省）の100mメッシュの土地利用データを用いた。
- (2) 森林の現状を把握するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを入手し、その情報を基に植生調査を実施した。その結果から、保守的な可燃物パラメータを設定し、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢によりさらに細分化して設定した。
- (3) 地形データは、基盤地図情報（国土地理院）の10mメッシュの標高データを使用した。
- (4) 気象条件は、過去10年間を調査し、茨城県で森林火災の発生件数が多い月（12月から5月）を考慮して、森林火災の延焼を拡大させる観点から、最高気温、最小湿度及び最大風速をF A R S I T E入力条件として設定した。
- (5) 最大風速記録時の風向は1月～5月の北東に加え、第2位の最大風速記録時の風向となる3月の南西を選定した。

卓越風向は、水戸地方気象台観測データの**高い**割合を占める北と、発電所の気象観測データの最多割合を占める西北西を選定した。

- (6) 発火点は以下の7地点を設定した。各発火点を第2.1.2-1図に示す。

発火点1：卓越風向である西北西方向で、霊園における線香等の裸火の使用と残り火の不始末、国道245号を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し、国道245号沿いの霊園に設定。

発火点2：卓越風向である北方向で、バーベキュー及び花火の不始末等を想定し、海岸沿いに設定。

発火点 3：卓越風向である西北西方向で，火入れ・たき火等を想定し，発火点 1 より遠方となる県道 2 8 4 号線沿いの水田に設定。

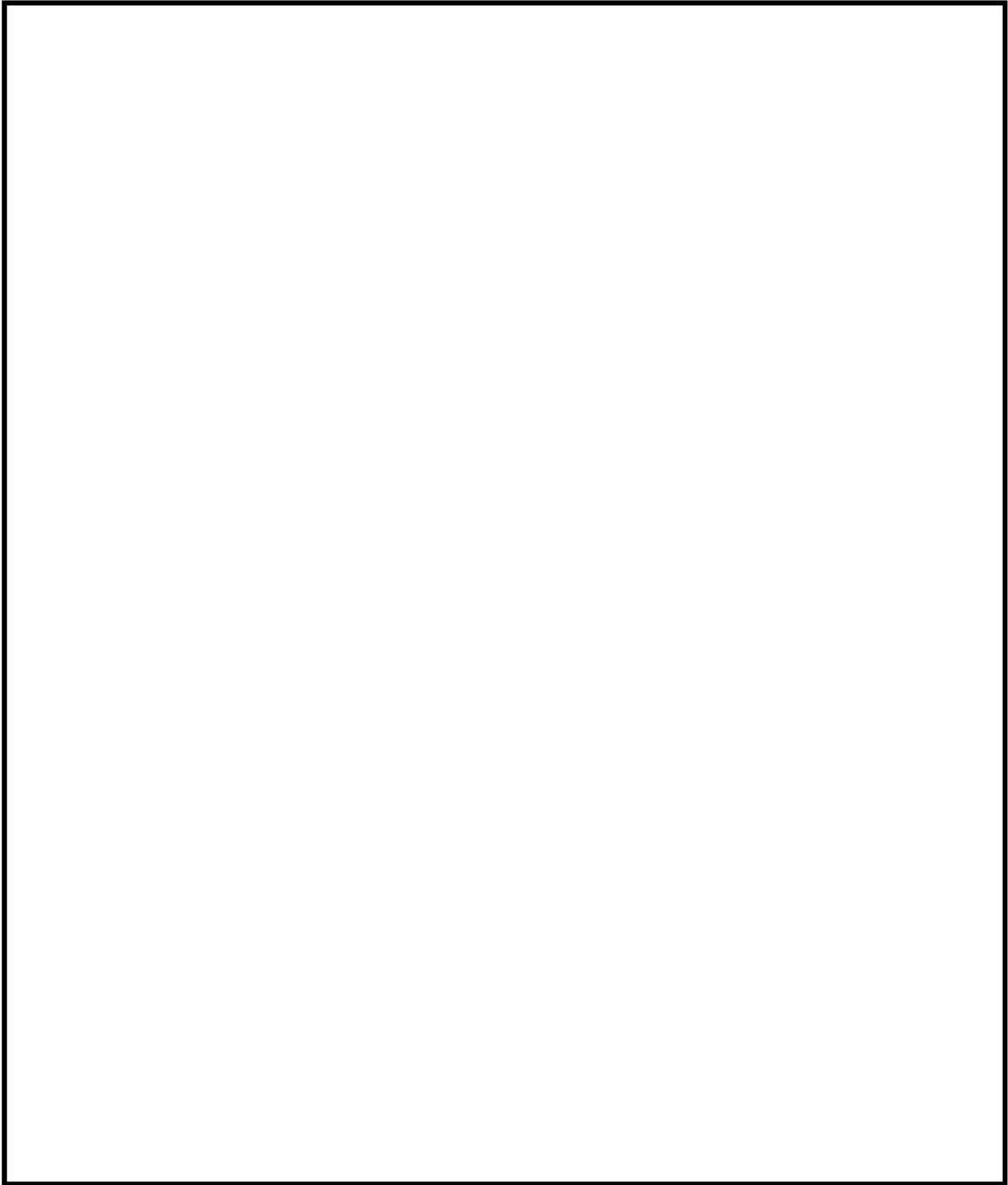
発火点 4：卓越風向である北方向で，釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，発火点 2 より遠方となる海岸沿いに設定。

発火点 5：最大風速時の風向である南西方向で，発電所南方向にある危険物貯蔵施設の火災が森林に延焼することを想定し，南方向の危険物施設の近くに設定。

発火点 6：最大風速時の風向である南西方向で，交通量が多い交差点での交通事故による車両火災を想定し，国道 2 4 5 号沿いに設定。

発火点 7：最大風速時の風向である北東方向で，釣り人によるたばこの投げ捨てを想定し，一般の人が発電所に最も近づくことが可能な海岸沿いに設定。

(7) 評価対象範囲は，発電所から南北及び西側に 12km，東側は海岸線までとする。



第 2.1.2-1 図 発火点位置と風向

2.1.3 評価結果

2.1.3.1 火炎の到達時間の評価

(1) 火炎到達時間

各発火点における防火帯外縁に最も早く火炎が到達する火炎到達時間を第2.1.3.1-1表に示す。

第2.1.3.1-1表 各発火点の火炎到達時間

発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
火炎到達 時間 (hr)	0.2	4.0	0.7	6.0	2.9	1.1	0.67

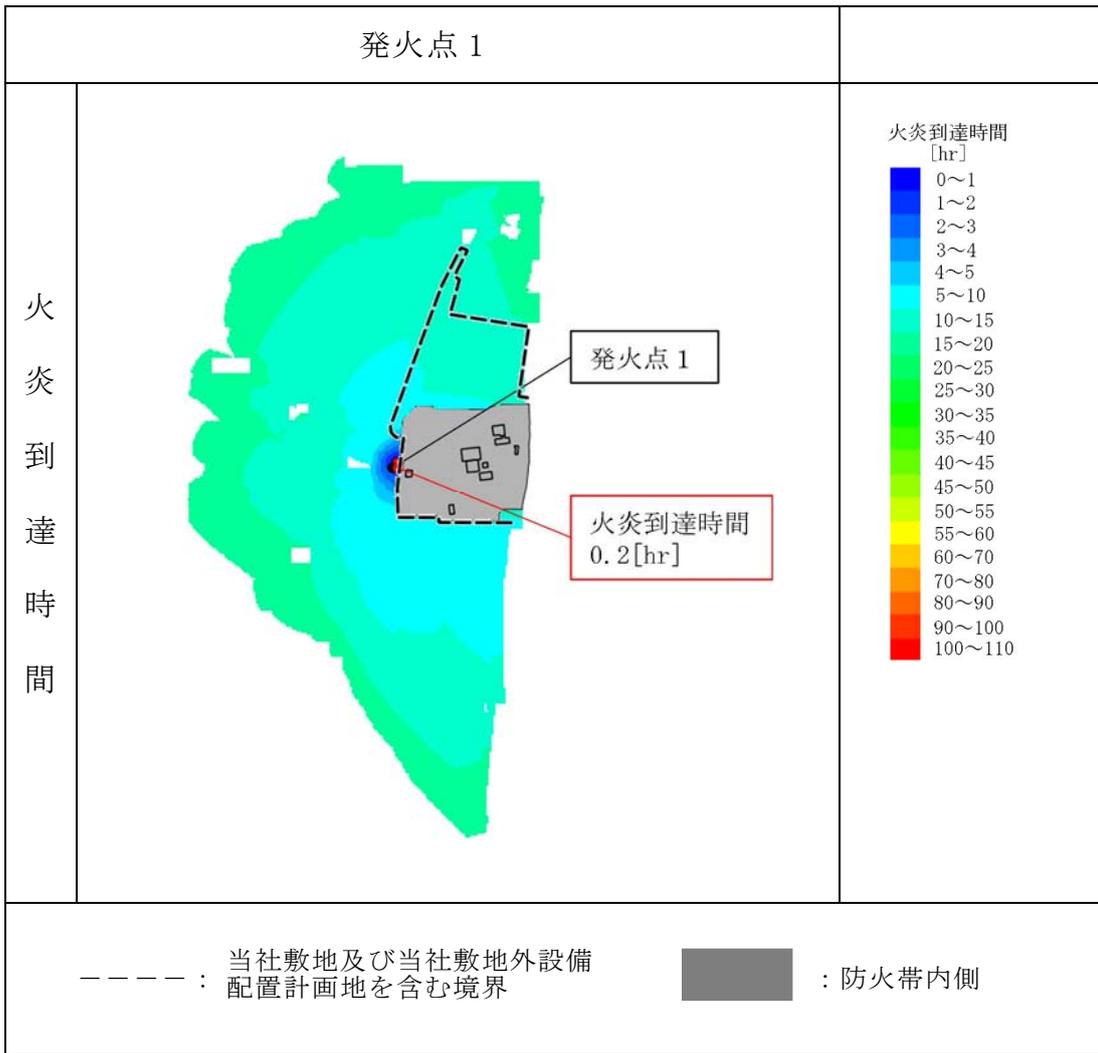
(2) 初期消火活動及び体制

短時間で到達する発火点1を対象に、火炎到達時間に対する評価を行う。発火点1の火炎到達時間分布を第2.1.3.1-2表に示す。防潮堤に囲われていない範囲の防火帯外縁に到達する最短時間は、発火点1の0.2時間(約12分)であるため、この時間以内で散水が可能であることを確認する。

発電所には自衛消防隊(初期消火活動要員11名)が24時間常駐しており、早期に初期消火活動体制を確立可能であり、0.2時間(約12分)以内に防火帯付近での散水が可能である。

なお、防火帯外側に設置されているモニタリングポストが森林火災の影響を受け機能を喪失した場合は、防火帯内側に保管する可搬型モニタリングポストを設置し代替監視を行う。

第 2.1.3.1-2 表 発火点 1 火炎到達時間分布



2.1.3.2 防火帯幅の評価

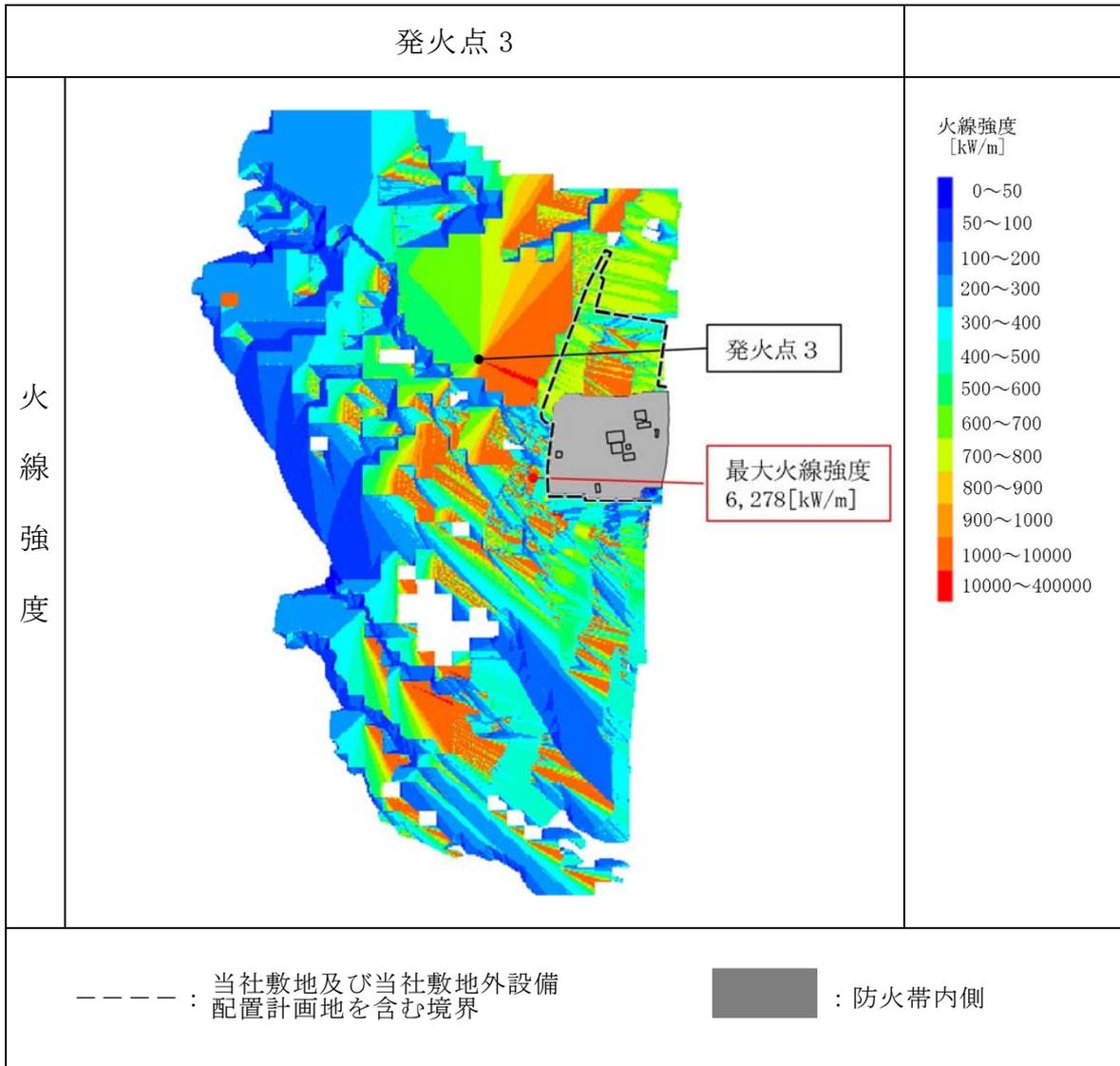
(1) 最大火線強度

各発火点における防火帯外縁より 100m の範囲における最大火線強度を第 2.1.3.2-1 表に示す。発火点 3 において火線強度 (6, 278kW/m) が最大となることを確認した。発火点 3 の火線強度分布を第 2.1.3.2-2 表に示す。

第 2.1.3.2-1 表 各発火点の最大火線強度

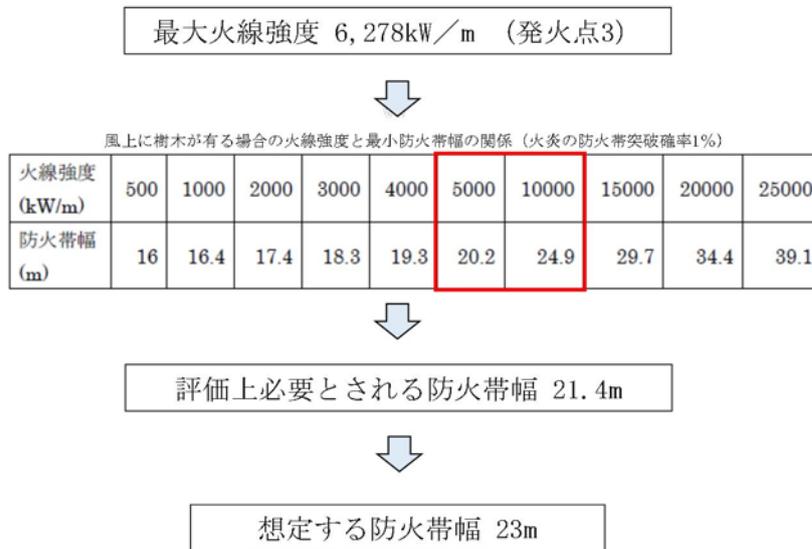
発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
最大火線強度 (kW/m)	4,167	4,771	6,278	5,961	5,006	5,890	3,391

第 2.1.3.2-2 表 発火点 3 火線強度分布



(2) 防火帯幅の設定

評価ガイドに基づき、最大火線強度 (6,278kW/m) から「Alexander and Fogarty の手法 (風上に樹木が有る場合)」を用いて、必要な防火帯幅を算出した結果、評価上必要とされる防火帯幅 21.4m に対し、森林火災の延焼を防止するために、23m の防火帯を設定する。



第 2.1.3.2-1 図 防火帯幅の設定

(3) 防火帯設定の考え方

- a. 防火帯は、防護対象設備 (クラス 1, クラス 2, クラス 3 のうち防火帯の確保により防護する設備) 及び重大事故等対処設備を囲むように設定する。
- b. アクセスルートと重ならず、横切らない設定とする。
- c. 駐車場等、延焼の可能性があるものと干渉しないように設定する。
- d. 樹木伐採後の土砂流出等が発生しない施工 (モルタル吹付け等) を行う。
- e. 防潮堤を防火帯として兼用する。

2.1.3.3 熱影響評価

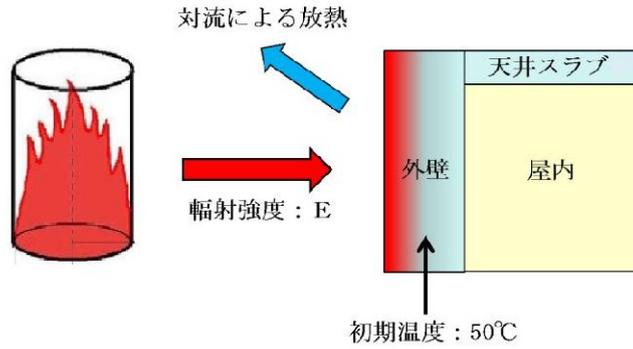
F A R S I T E解析結果である火炎到達時間，反応強度，火炎長から，温度評価に必要なデータを算出し，熱影響評価を行った結果，対象施設に影響がない事を確認した。

(1) 影響評価対象施設外壁

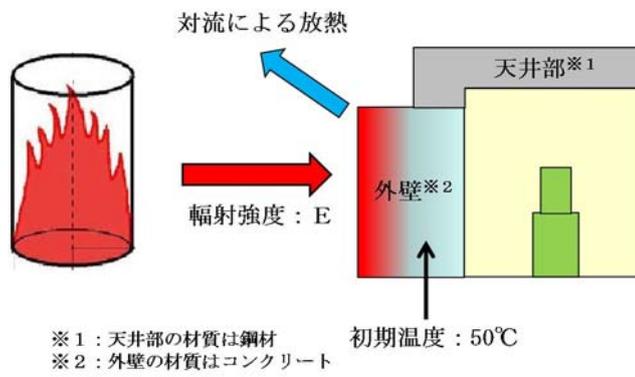
森林火災によって上昇するコンクリート外壁表面温度が，許容温度200℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.1.3.3-1 表に，建屋外壁の評価概念図を第 2.1.3.3-1 図に，海水ポンプ室の評価概念図を第 2.1.3.3-2 図に示す。

第 2.1.3.3-1 表 外壁表面の熱影響評価結果

影響評価対象施設	評価温度 (°C)							許容温度 (°C)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	51	51	52	52	52	52	52	<200
海水ポンプ室	52	52	52	52	52	52	52	
使用済燃料乾式貯蔵建屋	79	77	85	82	88	83	83	
タービン建屋	52	52	52	52	52	52	52	



第 2. 1. 3. 3-1 図 建屋外壁の評価概念図



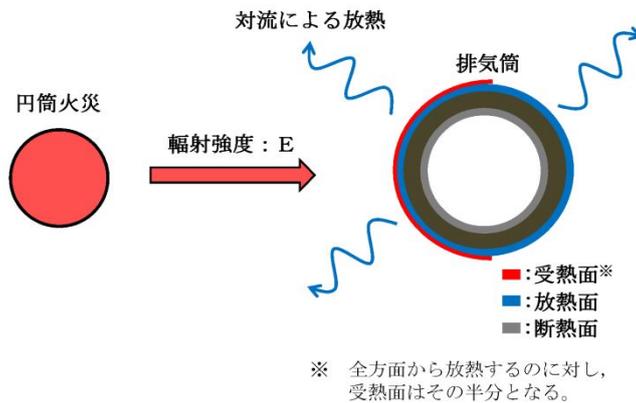
第 2. 1. 3. 3-2 図 海水ポンプ室の評価概念図

(2) 排気筒

森林火災によって上昇する排気筒鉄塔表面温度が、許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 2. 1. 3. 3-2 表に、排気筒の評価概念図を第 2. 1. 3. 3-3 図に示す。

第 2. 1. 3. 3-2 表 排気筒の熱影響評価結果

影響評価対象施設	評価温度 (°C)							許容温度 (°C)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
排気筒	51	52	52	52	52	52	52	< 325



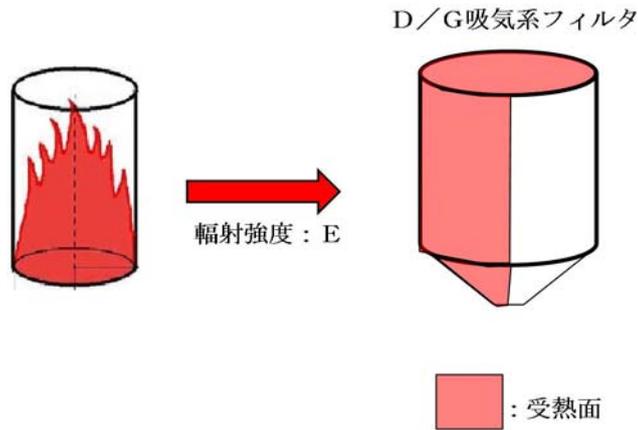
第 2. 1. 3. 3-3 図 排気筒の評価概念図

(3) ディーゼル発電機^{機関}吸気系フィルタ

森林火災によって上昇するディーゼル発電機^{機関}吸気系フィルタ（以下「D/G吸気系フィルタ」という。）に流入する空気の温度が、許容温度 53°C以下であることを確認した。評価結果を第 2. 1. 3. 3-3 表に、D/G吸気系フィルタの評価概念図を第 2. 1. 3. 3-4 図に示す。

第 2. 1. 3. 3-3 表 D/G吸気系フィルタの熱影響評価結果

影響評価対象施設	評価温度 (°C)							許容温度 (°C)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
D/G吸気系フィルタ	43	43	43	43	43	43	43	< 53



第 2.1.3.3-4 図 D/G 吸気系フィルタの評価概念図

2.1.3.4 危険距離の算出

熱影響が最大となる発火点に対し影響評価対象施設が許容温度を超えない危険距離を算出し、離隔距離が確保されていることを確認した。

(1) 影響評価対象施設外壁

熱影響が最大となる発火点 5 に対し各影響評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第 2.1.3.4-1 表に示す。

第 2.1.3.4-1 表 影響評価対象施設に対する危険距離

影響評価対象施設	危険距離 (m)							離隔距離 (m)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	14	13	15	15	16	15	15	267
海水ポンプ室	14	13	15	15	16	15	15	242
使用済燃料乾式貯蔵建屋	14	13	15	15	16	15	15	37
タービン建屋	14	13	15	15	16	15	15	221

(2) 排気筒

熱影響が最大となる発火点3に対し、排気筒までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第2.1.3.4-2表に示す。

第2.1.3.4-2表 排気筒に対する危険距離

影響評価対象施設	危険距離 (m)							離隔距離 (m)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
排気筒	12	14	20	15	19	20	19	266

(3) ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ

熱影響が最大となる発火点3に対し、D/G吸気系フィルタまでの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第2.1.3.4-3表に示す。

第2.1.3.4-3表 D/G吸気系フィルタに対する危険距離

影響評価対象施設	危険距離 (m)							離隔距離 (m)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
D/G吸気系フィルタ	16	18	25	20	25	25	24	267

2.2 近隣の産業施設の火災・爆発（添付資料—3, 4, 5, 6）

2.2.1 評価内容

発電所敷地外 10km 以内に設置されている石油コンビナート，危険物貯蔵施設，燃料輸送車両及び漂流船舶の火災・爆発が，影響評価対象施設に影響を及ぼさないことを評価した。

また，発電所敷地内における危険物貯蔵施設等の火災・爆発が，影響評価対象施設に影響を及ぼさないことを評価した。

2.2.2 評価結果

2.2.2.1 石油コンビナートの火災・爆発（添付資料-3）

「茨城県石油コンビナート等特別防災計画」（昭和 52 年 12 月 5 日 茨城県）により，茨城県内で石油コンビナート等特別防災区域に指定されている地区は，鹿島臨海地区石油コンビナート等特別防災区域のみであり，発電所からこの特別防災区域までは，約 50km の距離がある。以上から，発電所敷地外 10km 以内に石油コンビナートがないと判断した。発電所との位置関係を第 2.2.2.1-1 図に示す。



第 2.2.2.1-1 図 発電所と鹿島臨海地区石油コンビナートの位置

2.2.2.2 発電所敷地外の危険物貯蔵施設の火災・爆発

発電所敷地外半径 10km 以内（敷地内を除く。）に位置する危険物貯蔵施設のうち、影響評価対象施設に影響を及ぼすおそれのある施設を抽出し、その火災・爆発の影響を評価した。

(1) 火災の影響評価

a. 対象貯蔵施設の抽出

発電所敷地外半径 10km 以内（敷地内を除く。）に、第一類から第六類の危険物貯蔵施設（屋内貯蔵及び少量のものは除く）が約 500 カ所存在することから、以下のとおり抽出範囲を絞り込み、対象貯蔵施設の抽出を行った。

- (a) 発電所敷地外半径 10km 以内に石油コンビナートはないことから、半径 10km 以内に存在する危険物貯蔵施設の貯蔵容量は最大でも石油コンビナート相当の 10 万 kL^{※1}とした。ここで、第四類危険物のうち、最も輻射発散度が高い n-ヘキサン^{※2}が 10 万 kL 貯蔵された危険物貯蔵施設を想定し、その危険距離を算出した結果 1,329m となった。

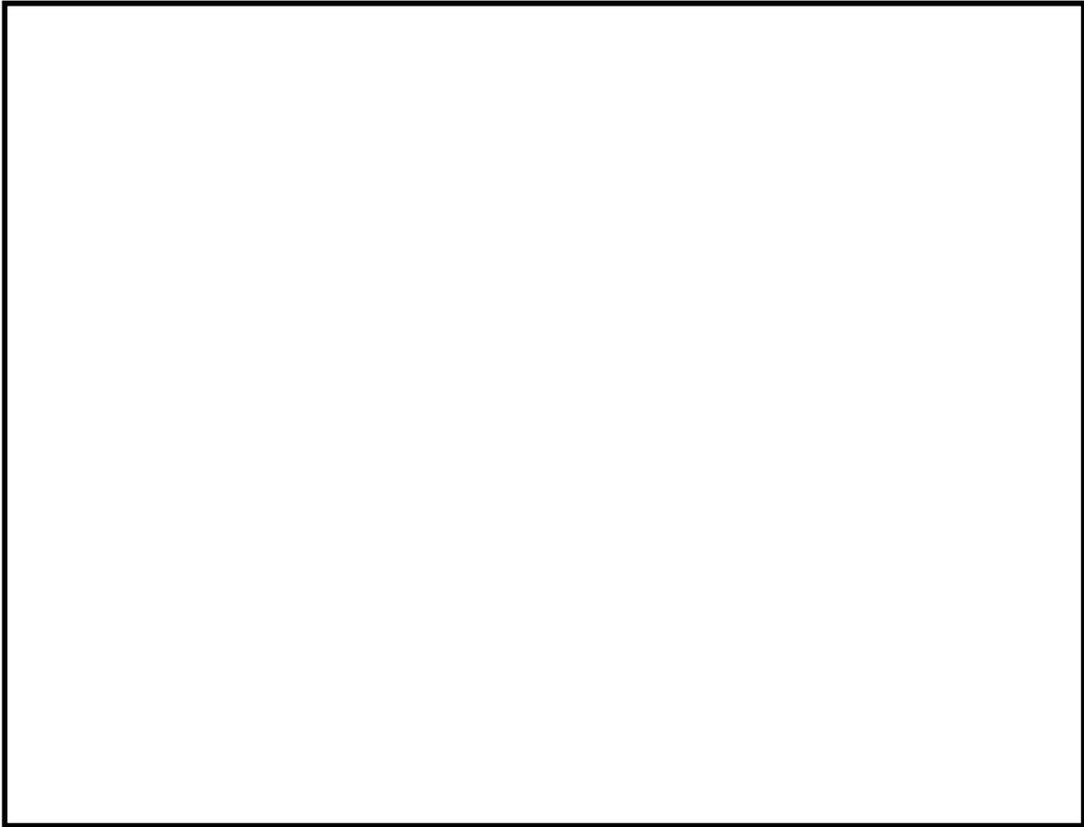
※1：「石油コンビナート等災害防止法施行令」（昭和 51 年 5 月 31 日政令第 129 号）の第 2 条で規定する基準総貯蔵量

※2：算出方法は別紙 3.1 参照

- (b) (a) 項の結果を踏まえ、発電所から 1.4km 以遠には発電所に影響を及ぼす危険物貯蔵施設は存在しないと判断し、抽出範囲を発電所敷地から 1.4km 以内に絞り込んだ。発電所周辺に位置する危険物貯蔵施設を第 2.2.2.2-1 図に示す。

- (c) (b) 項の抽出範囲内を含む危険物貯蔵施設を調査し、屋外貯蔵である

について影響評価を実施した。



第 2.2.2.2-1 図 発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に位置する危険物貯蔵施設

b. 火災の影響評価結果

抽出した危険物貯蔵施設について評価した結果，各影響評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第2.2.2.2-1表に示す。

第2.2.2.2-1表 火災の影響評価結果

想定火災源	燃料種類	燃料量 (m ³)	影響評価 対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
			原子炉建屋	41	1,100
			海水ポンプ室		1,300
			タービン建屋		1,200
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋		800
			排気筒	10	1,200
			D/G 吸気系フィルタ	23	1,100

(2) 爆風圧の影響評価

a. 対象貯蔵施設の抽出

爆発影響を及ぼす可能性のある高圧ガス貯蔵施設として、発電所より10km以内で最大規模の高圧ガス貯蔵施設（東京ガス（株）が所有する日立LNG基地のLNGタンク及びLPGタンク）を選定した。位置関係を第2.2.2.2-2図に示す。



第2.2.2.2-2図 発電所と日立LNG基地の位置関係

b. 爆風圧の影響評価結果

抽出した高圧ガス貯蔵施設について評価した結果、敷地境界までの危険限界距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第2.2.2.2-2表に示す。

第2.2.2.2-2表 抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆風圧影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
LNGタンク	メタン	97,704	373	1,500
LPGタンク	プロパン	31,000		

※：敷地境界までの距離

(3) 爆発飛来物の影響評価

a. 評価対象施設の抽出

高圧ガス貯蔵タンクの大規模な爆発火災事象（BLEVE：Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion（沸騰液膨張蒸気爆発））は、可燃性ガスが加圧され液体で貯蔵されているタンクが、加熱されることによってタンク内の圧力が上昇し、タンクの一部破損により起こる液体の急激な気化に伴い発生するため、ガスを加圧し貯蔵している加圧貯蔵型のタンクについて爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。

また、大気圧に近い低圧・低温で貯蔵されている低温貯蔵タンクは内部が保冷層で覆われ外部から熱が入り難く、BOG圧縮機^{※1}等でタンク内圧を一定に制御しているため、加圧貯蔵タンクと比較して内圧が上昇し難く、BLEVEは発生し難いが^{※2}、BLEVE以外の爆発形態を想定し、発電所から1,500m先にある日立LNG基地の低温貯蔵型タンクについて、爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。

※1：タンクから発生するボイルオフガスを再液化し、タンク内圧を一定に制御する。

※2：出典「Environmental Assessment for the Sabine Pass Liquefaction Project」

b. 爆発飛来物の影響評価結果

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成25年3月 消防庁特殊災害室）に基づき、抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆発による破片の飛散範囲を算出した。

高圧ガス貯蔵タンクについて飛来物の飛散距離を算出した結果、影響評価対象施設までの飛散距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第2.2.2.2-3表に示す。

第 2. 2. 2. 2-3 表 爆発飛来物の影響評価結果

施設名称	貯蔵量 (kg)	飛散距離 (m)	離隔距離※ (m)

※：敷地境界までの距離

また、低温貯蔵型タンクは、日立 LNG 基地の大規模な低温貯蔵型タンクを想定しても、想定飛散距離は約 570m であり、発電所から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設までの離隔距離 900m を下回ることから、低温貯蔵型タンク爆発による飛来物の影響はないと評価できる。

2.2.2.3 燃料輸送車両の火災・爆発（添付資料-4）

発電所敷地外の国道245号での燃料輸送車両による火災・爆発の影響を評価した。

(1) 火災の影響評価

a. 対象車両

消防法令*で定められた公道を通行可能な上限量（30m³）のガソリンが搭載された燃料輸送車両について評価を行う。

※：危険物の規則に関する政令第15条第1項三号

b. 火災の影響評価結果

対象車両について評価した結果、影響評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第2.2.2.3-1表に示す。

第2.2.2.3-1表 火災の影響評価結果

想定火災源	燃料種類	容量 (m ³)	影響評価 対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
燃料輸送車両	ガソリン	30	原子炉建屋	15	510
			海水ポンプ室		760
			タービン建屋		450
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋		520
			排気筒	9	610
			D/G吸気系 フィルタ	17	510

(2) 爆風圧の影響評価

a. 対象車両

液化天然ガス（LNG）及び液化石油ガス（LPG）が積載された最大クラスの燃料輸送車両（積載量：15.1t）について評価を行う。

b. 爆風圧の影響評価結果

対象車両について評価した結果、タービン建屋までの危険限界距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第2.2.2.3-2表に示す。

第2.2.2.3-2表 燃料輸送車両の爆風圧の影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
燃料輸送車両	LNG (メタン)	15.1	81	450
	LPG (プロパン)	15.1	88	

※：影響評価対象施設のなかで国道245号から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離

c. 爆発飛来物の影響評価結果

燃料輸送車両からの飛来物を想定した上での評価を実施したところ、最大飛散距離（435m）が影響評価対象施設までの離隔距離（450m）を下回る結果となったため、影響評価対象施設への影響はないことを確認した。

2.2.2.4 漂流船舶の火災・爆発（添付資料-5）

発電所の近くを航行する船舶による火災・爆発の影響を評価した。

(1) 火災の影響評価

a. 対象船舶

発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設及び発電所港湾内に定期的に入港する船舶について評価を行う。

b. 火災の影響評価結果

対象船舶について評価した結果、影響評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第 2.2.2.4-1 表に示す。

第 2.2.2.4-1 表 火災の影響評価結果

想定火災源	燃料種類	燃料量 (m ³)	影響評価 対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
			原子炉建屋	165	1,100
			海水ポンプ室		940
			タービン建屋		1,100
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋		1,300
			排気筒	87	1,100
			D/G吸気系 フィルタ	128	1,100
			原子炉建屋	54	300
			海水ポンプ室		70
			タービン建屋		280
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋		530
			排気筒	29	250
			D/G吸気系 フィルタ	42	330

- ※1: [] は燃料の種類が同じであることから、燃料量が多い [] の評価に包絡されるため影響評価対象外とした。
- ※2: [] は燃料の種類が同じであることから、燃料量が多い [] の評価に包絡されるため影響評価対象外とした。

(2) 爆風圧の影響評価

a. 対象船舶

発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設に敵的に入港する船舶の爆発を想定し、影響評価対象施設に対する影響評価を行った。

b. 爆風圧の影響評価結果

対象船舶について評価した結果、影響評価対象施設までの危険限界距

離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第 2.2.2.4-2 表に示す。

第 2.2.2.4-2 表 爆風圧の影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
			335	1,100 以上
			340	
			165	250 以上

※：海水ポンプ室の高さは防潮堤高さよりも低く、直接爆風圧の影響を受けることはないため、海水ポンプ室は影響評価対象外とする。離隔距離は海水ポンプ室を除いて最も近い排気筒までの距離とする。

c. 爆発飛来物の影響評価結果

は、基地設置のタンクより小規模であるため、船舶爆発により想定される飛来物の飛散距離は、基地設置タンクの飛散距離以下であり、飛来物が発電所に到達することはない。

2.2.2.5 敷地内の火災・爆発（添付資料-6）

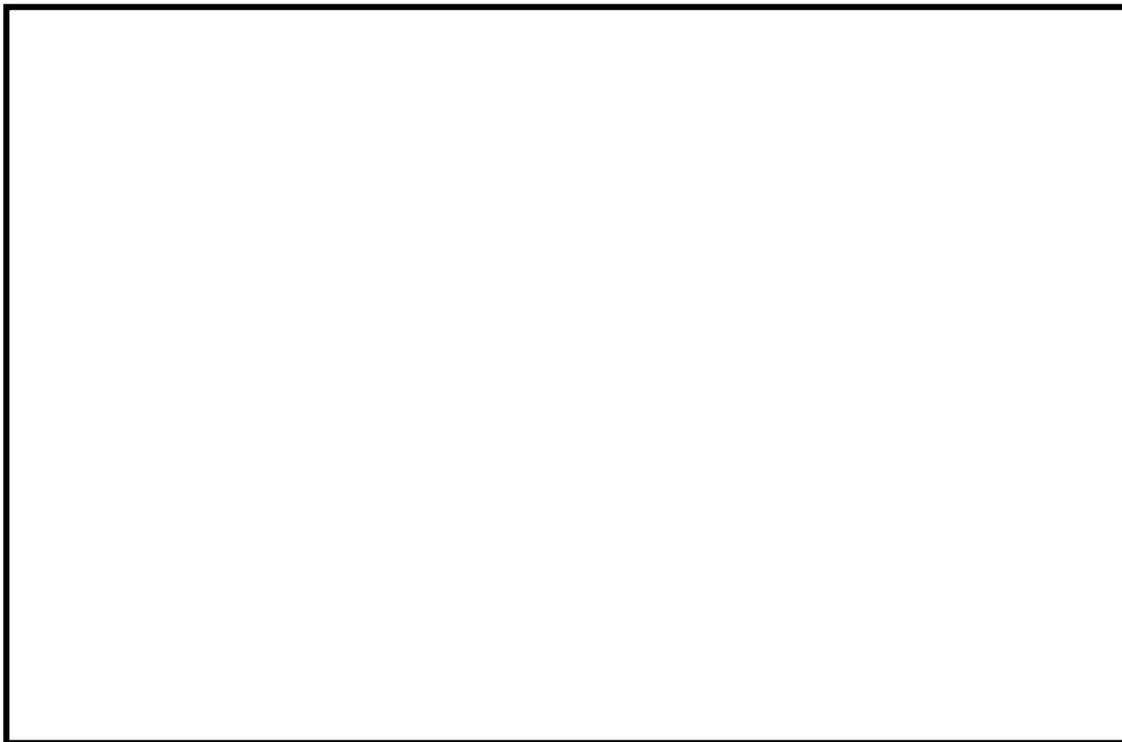
2.2.2.5.1 火災源又は爆発源となる設備の影響評価

発電所敷地内に設置している危険物貯蔵施設等の火災・爆発を想定し熱影響評価を実施した。熱影響評価を実施する危険物貯蔵施設は、溶融炉灯油タンクとした。

また、発電所敷地内に設置しているガス貯蔵施設の爆発を想定し爆発影響評価を実施した。爆発影響評価を実施するガス貯蔵施設は、水素貯槽とした。

なお、水素貯槽以外に、屋外に設置されているガス貯蔵設備はない。

第2.2.2.5.1-1 図に火災と爆発を想定する施設と影響評価対象施設の位置を示す。



第2.2.2.5.1-1 図 評価対象とする火災源又は爆発源となる設備及び影響評価対象施設の位置

(1) 外壁に対する熱影響評価

熔融炉灯油タンクの火災によって上昇するコンクリート外壁表面温度が、許容温度 200℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5.1-1 表に示す。

第 2.2.2.5.1-1 表 外壁に対する熱影響評価結果

想定火災源	影響評価対象施設	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
熔融炉灯油タンク	原子炉建屋	60	< 200
	海水ポンプ室	51	
	タービン建屋	54	

(2) 排気筒に対する熱影響評価

熔融炉タンクの火災によって上昇する排気筒鉄塔表面温度が、許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5.1-2 表に示す。

第 2.2.2.5.1-2 表 排気筒に対する熱影響評価結果

想定火災源	影響評価対象施設	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
熔融炉灯油タンク	排気筒	90	< 325

(3) 爆風圧の影響評価

水素貯槽の爆発による爆風圧について評価した結果、水素貯槽に最も近いタービン建屋までの危険限界距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5.1-3 表に示す。

第 2.2.2.5.1-3 表 爆風圧の影響評価結果

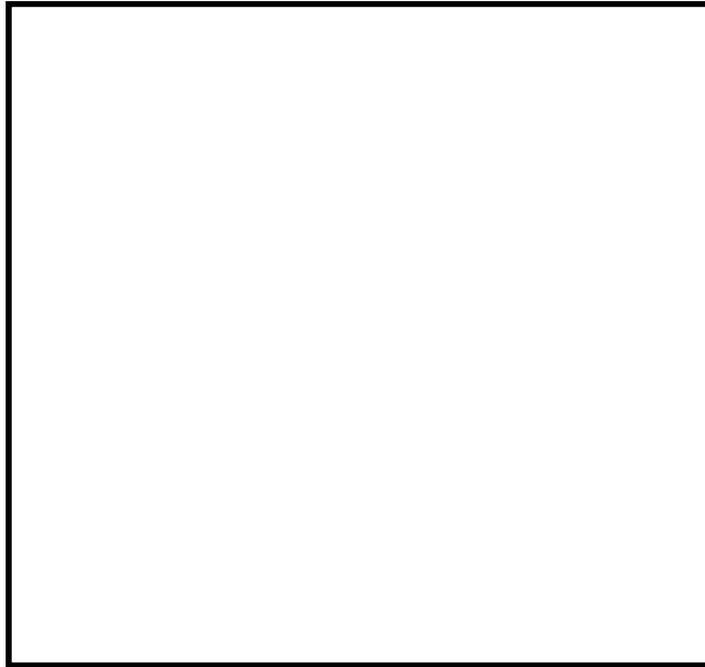
想定爆発源	影響評価対象施設	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
水素貯槽	タービン建屋	7	35

※：水素貯槽から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離

2.2.2.5.2 敷地内の危険物貯蔵施設以外に対する影響評価

敷地内の変圧器の火災を想定し熱影響評価を実施した。熱影響評価を実施する施設は、主変圧器，所内変圧器 2 A，起動変圧器 2 B とした。

第 2.2.2.5.2-1 図に火災源となる変圧器と影響評価対象施設の位置を示す。



第 2.2.2.5.2-1 図 火災源となる変圧器及び影響評価対象施設の設置位置

火災によって上昇するコンクリート外壁表面温度が，許容温度 200℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5.2-1 表に示す。

第 2.2.2.5.2-1 表 外壁に対する熱影響評価結果

想定火災源	影響評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
主変圧器	タービン建屋	149	<200
所内変圧器 2 A		187	
起動変圧器 2 B		182	

2.3 航空機墜落による火災（添付資料-7）

2.3.1 評価内容

発電所の敷地内への航空機の墜落で発生する火災に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災が発電所の敷地内で起こったとしても影響評価対象施設に影響を及ぼさないことを確認した。

2.3.2 評価結果

2.3.2.1 評価方法

航空機落下確率評価については、評価条件の違いに応じたカテゴリに分けて落下確率を求めている。また、機種によって装備、飛行形態等が同一ではなく、落下事故件数及び火災影響の大きさに差がある。したがって、これらを考慮したカテゴリごとに航空機墜落による火災の影響評価を実施する。落下事故のカテゴリを第2.3.2.1-1表に示す。

第2.3.2.1-1表 落下事故のカテゴリ

1) 計器飛行方式民間航空機	①飛行場での離着陸時	
	②航空路を巡航時	
2) 有視界飛行方式民間航空機	③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	
	④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）	
3) 自衛隊機又は米軍機	⑤訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	⑤-1 空中給油機等， 高高度での巡航が想定される大型固定翼機
		⑤-2 その他の大型固定翼機， 小型固定翼機及び回転翼機
	⑥基地－訓練空域間往復時	

航空機落下確率が 10^{-7} （回／炉・年）に相当する面積より、航空機落下確率評価で標的面積として考慮している影響評価対象施設からの離隔距離（墜落地点）を求め、そこで発生する火災による影響評価対象施設の表面温

度を評価し、許容温度を超えないことを確認する。

2.3.2.2 離隔距離の算出

影響評価対象施設として原子炉建屋、海水ポンプ室、使用済燃料乾式貯蔵建屋、排気筒及びD/G吸気系フィルタを考慮し、落下確率 10^{-7} (回/炉・年) に相当する面積からカテゴリごとの離隔距離を算出した。各カテゴリの離隔距離及び輻射強度を第 2.3.2.2-1 表に、自衛隊機又は米軍機 基地-訓練空域間往復時の離隔距離を第 2.3.2.2-1 図に示す。

第 2.3.2.2-1 表 各カテゴリの離隔距離及び輻射強度

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔距離 (m)	輻射強度 (W/m^2)	
1) 計器飛行方式 民間航空機	①飛行場での離着陸時	B737-800	199	86	
	②航空路を巡航中	B747-400	1,528	—※1	
2) 有視界飛行 方式民間航空機	③大型機	B747-400	186	630	
	④小型機	Do228-200	72	—※2	
3) 自衛隊機又は 米軍機	⑤訓練空域 外を飛行中	⑤-1 空中給油機等、高高度 での巡航が想定される大型 固定翼機	KC-767	176	473
		⑤-2 その他の大型固定翼 機、小型固定翼機及び回転 翼機	F-15	34	—※3
	⑥基地-訓練空域間往復時	F-15	22	3,095	

※1：計器飛行方式民間航空機の「②航空路を巡航中」の落下事故については、有視界飛行方式民間航空機の「③大型機」の落下事故の対象航空機と同じ B747-400 であり、離隔距離の短い有視界飛行方式民間航空機の「③大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※2：有視界飛行方式民間航空機の「④小型機」の落下事故の対象機種のうち、燃料搭載量が最大となる Do228-200 であっても $3m^3$ と少量であることから、Do228-200 よりも燃料搭載量が多く、かつ離隔距離が短い自衛隊機又は米軍機の「⑥基地-訓練空域間往復時」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※3：自衛隊機又は米軍機の訓練空域外を飛行中の「⑤-2 その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機」の落下事故については、「⑥基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象機種と同じ F-15 であり、離隔距離の短い「⑥基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。



第 2.3.2.2-1 図 自衛隊機又は米軍機 基地-訓練空域間往復時の離隔距離

2.3.2.3 評価結果

(1) 外壁に対する熱影響評価

航空機墜落による火災によって上昇するコンクリート外壁表面温度が、許容温度 200℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.3.2.3-1 表に示す。

第 2.3.2.3-1 表 外壁に対する熱影響評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃焼面積 [m ²]	輻射強度 [W/m ²]	燃焼継続時間 t (s)	評価温度* (°C)	許容温度 (°C)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	110.0	86	5,096.7 (約 1.4h)	53	< 200
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	B747-400	700.0	630	6,675.3 (約 1.9h)	69	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機 KC-767	405.2	473	5,334.1 (約 1.5h)	63	
	基地－訓練空域間往復時	F-15	44.6	3,095	4,968.4 (約 1.4h)	133	

※：半無限固体を想定した評価をしているため、離隔距離が同じとなる本評価では、原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋及び海水ポンプ室はすべて同じ評価結果となる。

(2) 排気筒に対する熱影響評価

航空機墜落による火災によって上昇する排気筒鉄塔表面温度が、許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.3.2.3-2 表に示す。

第 2.3.2.3-2 表 排気筒に対する熱影響評価結果

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	燃焼面積 S [m ²]	輻射強度 E [W/m ²]	燃焼継続時間 t (s)	評価温度* (°C)	許容温度 (°C)	
計器飛行 方式民間 航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	110.0	86	5,096.7 (約 1.4h)	53	< 325	
有視界 飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機 及び大型回転翼機）	B747 -400	700.0	630	6,675.3 (約 1.9h)	69		
自衛隊機 又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等, 高高度での 巡航が想定される 大型固定翼機	KC -767	405.2	473	5,334.1 (約 1.5h)		64
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095	4,968.4 (約 1.4h)		142

(3) ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する熱影響評価

航空機墜落による火災によって上昇するD/G吸気系フィルタへの流入
空気の温度が、許容温度 53°C以下であることを確認した。評価結果を第
2.3.2.3-3 表に示す。

第 2.3.2.3-3 表 D/G吸気系フィルタに対する熱影響評価結果

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	燃焼面積 [m ²]	輻射強度 [W/m ²]	燃焼継続 時間 t (s)	評価温度* (°C)	許容温度 (°C)	
計器飛行 方式民間 航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	110.0	86	5,096.7 (約 1.4h)	43	< 53	
有視界 飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機 及び大型回転翼機）	B747 -400	700.0	630	6,675.3 (約 1.9h)	44		
自衛隊機 又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等, 高高度での 巡航が想定される 大型固定翼機	KC -767	405.2	473	5,334.1 (約 1.5h)		43
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095	4,968.4 (約 1.4h)		48

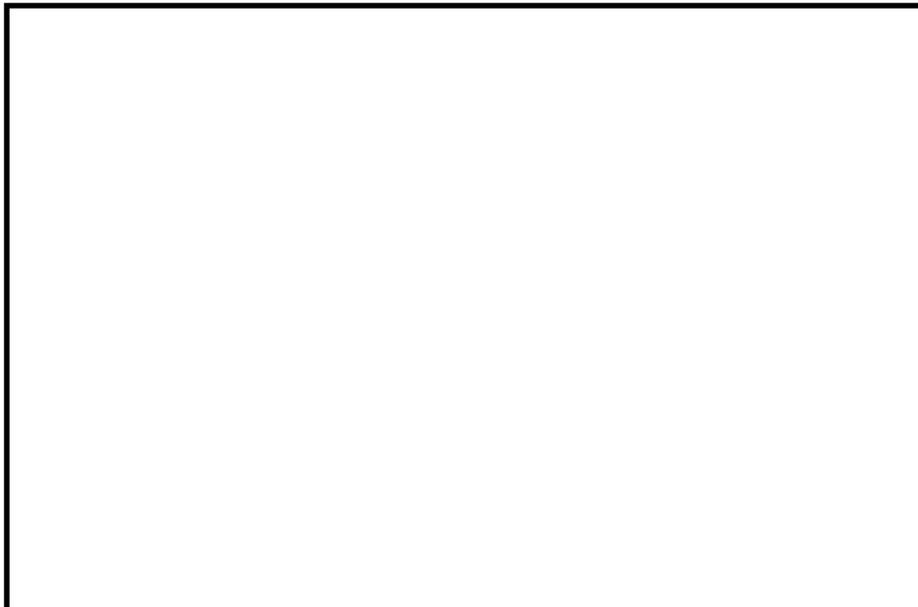
2.3.2.4 危険物貯蔵施設等の火災と航空機墜落火災の重畳

危険物貯蔵施設等と航空機墜落火災との重畳を想定し、熱影響評価を実施した。想定する航空機は対象航空機の中で最も熱影響が大きい F-15 を想定した。重畳する危険物貯蔵施設等は溶融炉灯油タンク及び主変圧器とした。

評価結果を第 2.3.2.4-1 表に、航空機墜落位置と敷地内の危険物貯蔵施設等の重畳を考慮する位置を第 2.3.2.4-1 図に示す。

第 2.3.2.4-1 表 重畳火災による熱影響評価結果

重畳評価の想定ケース	対象施設	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
溶融炉灯油タンク 及び F-15	原子炉建屋	141	< 200
	海水ポンプ室	133	
	タービン建屋	135	
	排気筒	181	< 325
主変圧器及び F-15	タービン建屋	195	< 200



第 2.3.2.4-1 図 航空機墜落位置と危険物貯蔵施設等の重畳を考慮する位置

2.4 二次的影響（添付資料-8）

2.4.1 評価内容

森林火災，近隣の産業施設の火災・爆発及び航空機墜落による火災において発生するばい煙及び有毒ガスに対して，影響が想定される設備並びに居住性に与える影響について評価を実施した。

2.4.2 評価結果

ばい煙及び有毒ガスが，安全上重要な設備及び居住性に影響を及ぼさないことを確認した。

評価結果を第 2.4.2-1 表に示す。

第 2.4.2-1 表 ばい煙等による影響評価結果

分類		対象設備	評価結果
機器への影響	外気を直接設備内に取り込む機器	ディーゼル発電機機関	外気取入フィルタにより一定以上の粒径のばい煙は捕獲される。それ以下のばい煙は機関内に送気されるが、機器の間隙は、ばい煙に比べて十分大きく、閉塞に至ることはない。通常運転時はシリンダ内には燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生しているが、定期的な点検において、ばい煙によるシリンダへの不具合は認められない。（第 2.4.2-1 図）
	外気を取り込む空調系統	換気空調設備	外気取入運転を行っている換気空調設備は、外気取入口に設置されたフィルタにより、一定以上の粒径のばい煙は捕獲される。また、中央制御室換気系は閉回路循環運転を行うことで、ばい煙の侵入を阻止可能である。 （第 2.4.2-2 図，第 2.4.2-3 図，第 2.4.2-4 図，第 2.4.2-5 図）
	屋外設置機器	海水ポンプ電動機	外気を電動機内部に取り込まない構造であり、電動機内部にばい煙が侵入することはない。また、ばい煙の粒径は冷却流路及び冷却流路出口の口径と比べて十分小さいことから、閉塞することはない。 （第 2.4.2-6 図，第 2.4.2-7 図）
居住性への影響	中央制御室 緊急時対策所		閉回路循環運転により、酸素濃度及び炭酸ガス濃度を考慮しても長時間室内へのばい煙の侵入を阻止可能である。中央制御室給気口位置における航空機墜落火災で発生する有毒ガス濃度を求め、中央制御室の運転員に影響を及ぼさないことを確認した。 （第 2.4.2-2～6 表）

第 2.4.2-2 表 中央制御室換気系閉回路循環運転時の酸素濃度

時間	12 時間	24 時間	48 時間	73 時間
酸素濃度	20.6%	20.3%	19.6%	19.0%

第 2.4.2-3 表 中央制御室換気系閉回路循環運転時の炭酸ガス濃度

時間	12 時間	24 時間	48 時間	51.7 時間
炭酸ガス濃度	0.26%	0.48%	0.93%	1.00%

第 2.4.2-4 表 緊急時対策所外気遮断時の酸素濃度

時間	2 時間	4 時間	6 時間	8.6 時間
酸素濃度	20.4%	20.0%	19.5%	19.0%

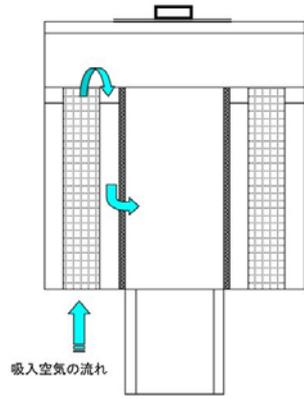
第 2.4.2-5 表 緊急時対策所外気遮断時の炭酸ガス濃度

時間	1 時間	2 時間	4 時間	6.1 時間
炭酸ガス濃度	0.19%	0.35%	0.67%	1.00%

第 2.4.2-6 表 火災発生による有毒ガス濃度

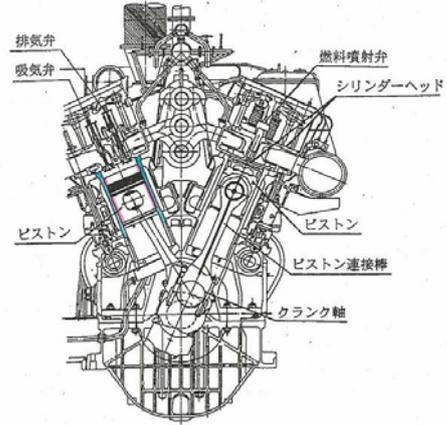
想定火災源	影響評価対象	ガス濃度 (ppm)			
		CO ₂	CO	SO ₂	NO ₂
航空機墜落火災 (F-15)	中央制御室 換気系 吸気口 B2-19A	7,883	116	3	15
判断基準：IDLH*		40,000	1,200	100	20

※：30 分曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値



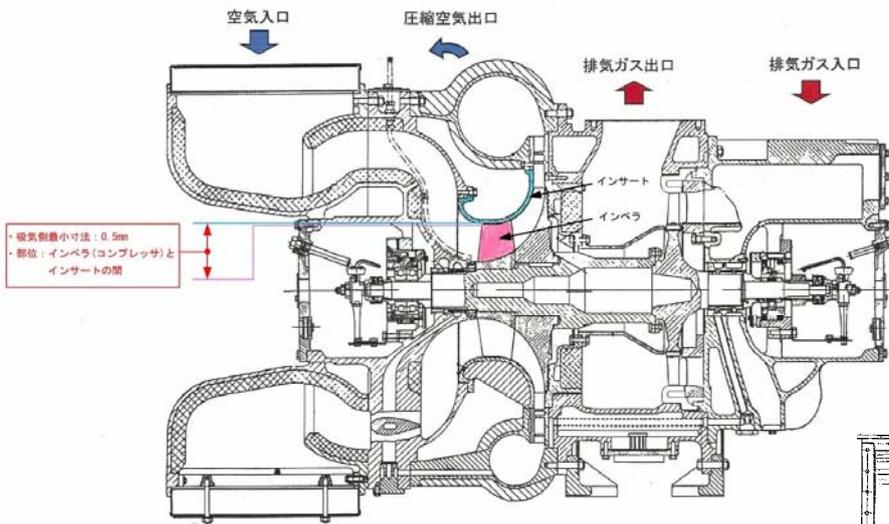
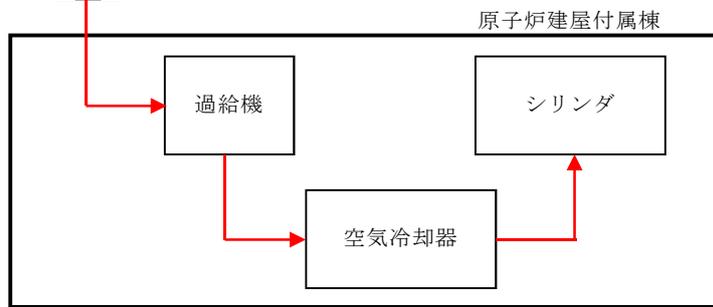
フィルタ構造

フィルタ

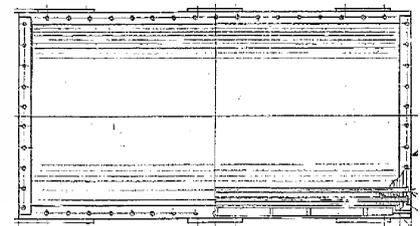


シリンダ構造

(シリンダ/ピストン間隙：数 μm ～数十 μm)



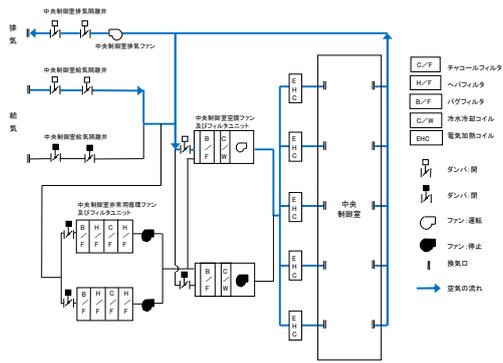
過給機断面



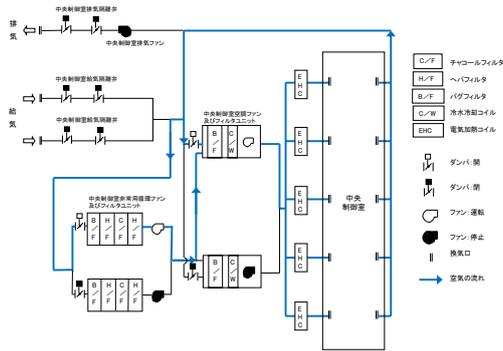
空気冷却器構造

(狭隙部寸法 伝熱フィン間隙：2.47mm)

第 2.4.2-1 図 ディーゼル発電機吸気系統構造図

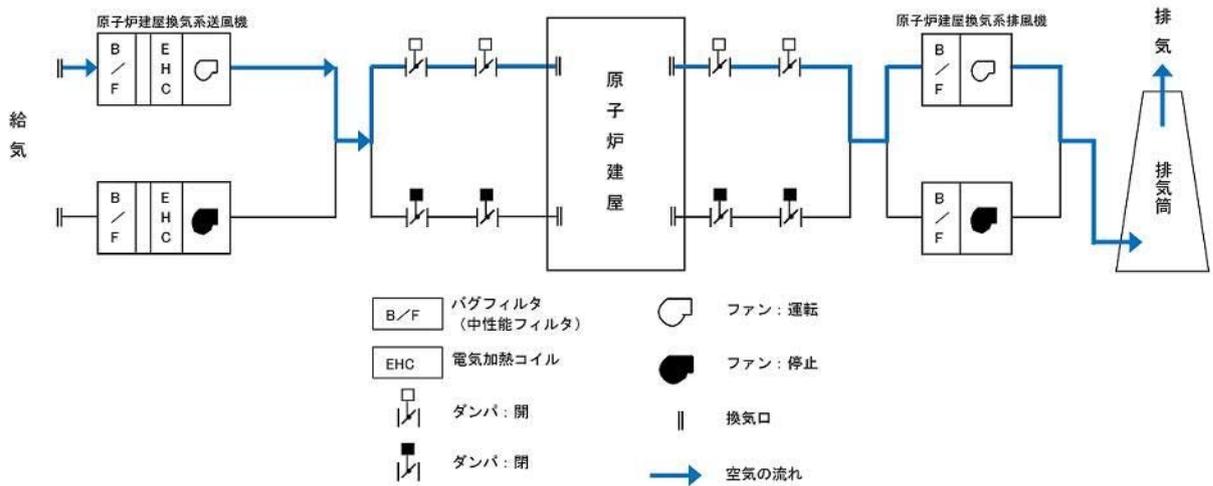


(通常時)

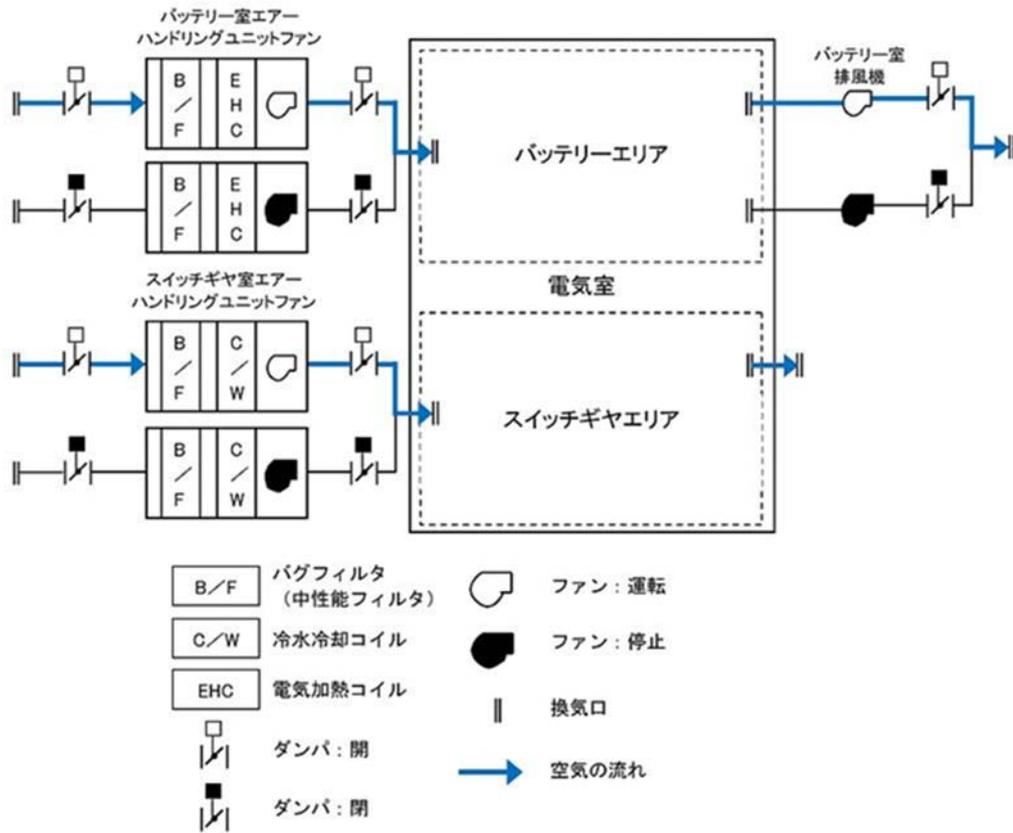


(閉回路循環運転時)

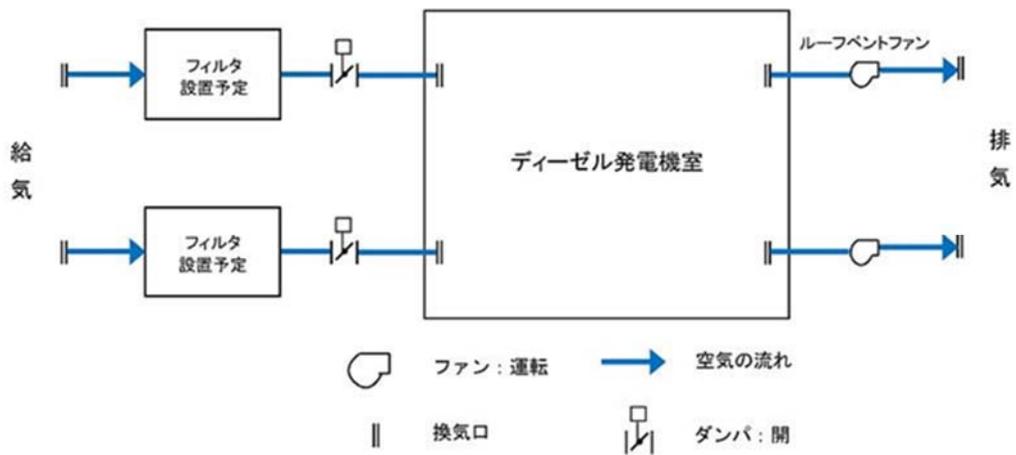
第 2.4.2-2 図 中央制御室換気系の系統概略図



第 2.4.2-3 図 原子炉建屋換気系の系統概略図



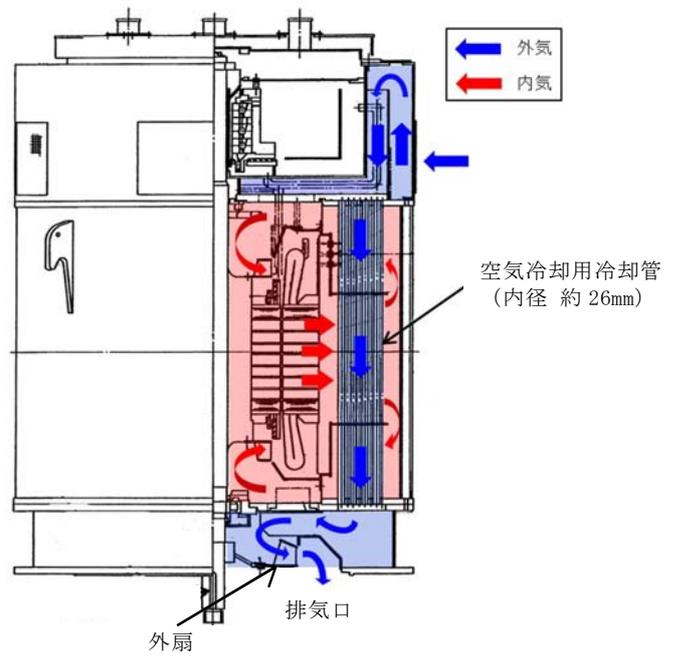
第 2.4.2-4 図 電気室換気系の系統概略図



第 2.4.2-5 図 ディーゼル発電機室換気系の系統概略図



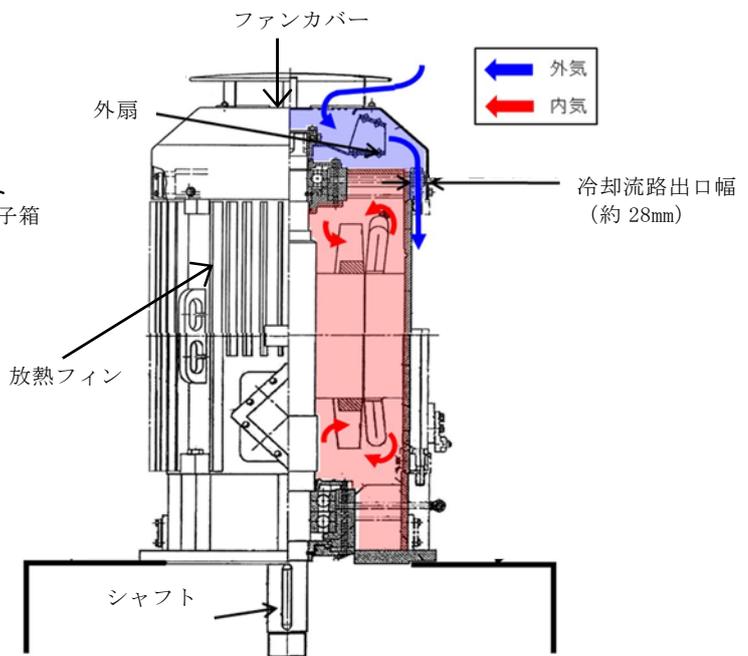
端子箱



第2.4.2-6図 残留熱除去系海水系ポンプ電動機 構造図



端子箱



第2.4.2-7図 ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機 構造図

外部火災防護対象と影響評価対象の考え方について

1. 外部火災に対する防護対象及び影響評価対象の考え方

原子力規制委員会が定める「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」の第六条においては、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全機能を有する構築物、系統及び機器（以下「SSC」という。）が、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。

したがって、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」（以下「重要度分類指針」という。）において、安全機能を有するSSCとして定義されているクラス1、2及び3に属するSSCを外部火災に対する防護対象とする。防護対象とするSSCに対しては、外部火災発生時に安全機能に影響を与えることのないよう、消火活動等により防護を図ることとする。

また、クラス1及びクラス2に属するSSCについては、消火活動等の防護手段に期待しない条件のもと、想定される外部火災に対する影響評価を実施し、耐性が十分でない場合においては、対策を行うこととする。（第1-1表参照）

第 1-1 表 影響評価対象の選定 (クラス 1, 2) (1/4)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		影響評価項目		
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	建屋内設置※1	屋外設備等	熱影響評価		ばい煙評価 外気を取り込む又は屋外設置
						建屋外壁※1	個別機器	
PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によって、 (a) 炉心の著しい損傷 又は (b) 燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物, 系統及び機器	1) 原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 (計装等の小口径配管・機器は除く。 ・原子炉圧力容器 ・原子炉再循環ポンプ ・配管・弁 ・隔離弁 等	○		○		
		2) 過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング ・制御棒駆動機構カップリング 等	○		○		
		3) 炉心形状の維持機能	炉心支持構造物 ・シュラウド ・シュラウドサポート ・上部格子板 ・炉心支持板 ・制御棒案内管 等	○		○		
			燃料集合体 (ただし, 燃料を除く。 ・上部タイプレート ・下部タイプレート 等	○		○		
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急停止し, 残留熱を除去し, 冷却材圧力の過圧を防止し, 敷地周辺への放射線の影響を防止する構築物, 系統及び機器	1) 原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系 (制御棒及び制御棒駆動系 (スクラム機能)) ・制御棒 ・制御棒案内管 ・制御棒駆動機構 等	○		○		
		2) 未臨界維持機能	原子炉停止系 (制御棒による系, ほう酸水注入系) ・制御棒 ・制御棒駆動機構カップリング ・ほう酸水注入系 - ほう酸水注入ポンプ - ほう酸水貯蔵タンク 等	○		○		
		3) 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁 (安全弁としての開機能)	○		○		
			残留熱を除去する系統 ・残留熱除去系 (原子炉停止時冷却モード) - ポンプ - 熱交換器 ・原子炉隔離時冷却系 - ポンプ - サプレッション・ブール ・高圧炉心スプレイ系 - ポンプ - サプレッション・ブール ・逃がし安全弁 (手動逃がし機能) ・自動減圧系 (手動逃がし機能) - 駆動用窒素源 (直接関連系) 等	○		○		

※1: 原子炉建屋, タービン建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋

第 1-1 表 影響評価対象の選定 (クラス 1, 2) (2/4)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		影響評価項目		
				建屋内設置※1	屋外設備等	熱影響評価		ばい煙評価 外気を取り込む又は屋外設置
	定義	機能	構築物, 系統又は機器			建屋外壁※1	個別機器	
MS-1	1) 異常状態発生時に炉を急に停止し、残留熱を除去し、原子炉材の過圧防止を敷公過射線の影響を及ぼす機器	5) 炉心冷却機能	非常用炉心冷却系 ・残留熱除去系(低圧注水系) -ポンプ -サブプレッション・プール ・低圧炉心スプレイ系 -ポンプ -サブプレッション・プール ・高圧炉心スプレイ系 -ポンプ -サブプレッション・プール ・自動減圧系(逃がし安全弁)等	○		○		
			格納容器 ・格納容器本体 ・貫通部等	○		○		
			格納容器隔離弁	○		○		
			格納容器スプレイ冷却系 ・ポンプ ・熱交換器 ・サブプレッション・プール等	○		○		
			原子炉建屋	○		○		
			非常用ガス再循環系 ・排風機等	○		○		
			非常用ガス処理系 ・排風機等	○		○		
			非常用ガス処理系 ・排気筒(非常用ガス処理系排気管の支持機能) (直接関連系)		○ (屋外)		○	
			可燃性ガス濃度制御系	○		○		
			2) 安全上必須なその他の構築物, 系統及び機器	1) 工学的安全施設及び原子炉停止系の作動信号の発生機能	安全保護系	○		○
2) 安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系(MS-1関連のもの) ・ディーゼル機関 ・発電機等	○			※2	○	○ (ディーゼル発電機吸気系フィルタ)	○
			・非常用ディーゼル発電機燃料移送系 ・軽油貯蔵タンク		○ (屋外)		※3	

※1: 原子炉建屋, タービン建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋

※2: ディーゼル発電機機関のうち, ディーゼル発電機吸気系フィルタ等は屋外設備となるため, 個別機器の熱影響評価を実施する。

※3: 非常用ディーゼル発電機の燃料である軽油貯蔵タンクは, 地下化することから外部火災の熱影響は受けなため, 影響評価対象外とする。

第 1-1 表 影響評価対象の選定 (クラス 1, 2) (3/4)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		影響評価項目		
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	建屋内設置※1	屋外設備等	熱影響評価		ばい煙評価 外気を取り込む又は屋外設置
						建屋外壁※1	個別機器	
MS-1	2) 安全上必須なその他の構築物, 系統及び機器	2) 安全上特に重要な関連機能	制御室及びその遮蔽・非常用換気空調系 (MS-1 関連のもの) ・中央制御室及び中央制御室遮蔽 ・中央制御室換気空調系 －非常用再循環送風機 －非常用再循環フィルタ装置 等	○		○		○
			非常用補機冷却水系 (MS-1 関連のもの) ・残留熱除去系海水系 －ポンプ ・非常用ディーゼル発電機海水系 －ポンプ ・高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機海水系 －ポンプ 等		○ (海水ポンプ室)		○	○
			直流電源系 (MS-1 関連のもの) ・蓄電池 等	○		○		
PS-2	1) その損傷又は故障発生による炉心の破れは、直ちに起こるおそれがあるが、過度の放射線放出を防止する構造及び機器	1) 原子炉冷却材を貯蔵する能力を確保し、炉心冷却材の漏れ防止を図るための構造及び機器	主蒸気系 (格納容器隔離弁の外側のみ)	○		○		
			原子炉冷却材浄化系 (格納容器隔離弁の外側のみ)	○		○		
			放射性廃棄物処理施設 (放射能インベントリの大きいもの)	○		○		
			使用済燃料プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む。)	○		○		
	2) 通常運転時及び過渡時に要するもので、炉心の冷却性能を確保する構造及び機器	1) 安全弁及び止り機能	燃料取扱設備 ・燃料交換機 ・原子炉建屋クレーン等	○		○		
			逃がし安全弁 (吹き止まり機能に関連する部分)	○		○		

※1: 原子炉建屋, タービン建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋

第 1-1 表 影響評価対象の選定（クラス 1， 2）（4/4）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		影響評価項目		
	定義	機能	構築物， 系統又は機器	建屋内 設置※1	屋外 設備等	熱影響評価		ばい煙 評価
						建屋 外壁※1	個別 機器	外気を取り 込む又は屋 外設置
MS-2	1) PS-2 の 構 築物， 系統 及び機器の 損傷又は故 障により敷 地周辺公衆 に与える放 射線の影響 を十分小さ くするよう 構築物， 系 統及び機器	1) 燃料プール 水の補給機 能	非常用補給水系 ・ 残留熱除去系 － ボンプ － サプレッション・ プール 等	○		○		
		2) 放射性物質 放出の防止 機能	放射性気体廃棄物処理系 の隔離弁	○		○		
			排気筒（非常用ガス処理 系排気管の支持機能以 外）		○ （屋外）		○	
	2) 異常状態へ の対応上特 に重要な構 築物， 系 統及び機器	1) 事故時のプ ラント状態 の把握機能	燃料集合体落下事故時放 射能放出を低減する系 ・ 原子炉建屋 ・ 非常用ガス再循環系 及び非常用ガス処理 系	○		○		
			事故時監視計器の一部	○		○		
		2) 制御室外か らの安全停 止機能	制御室外原子炉停止装置 （安全停止に関連するも の）	○		○		

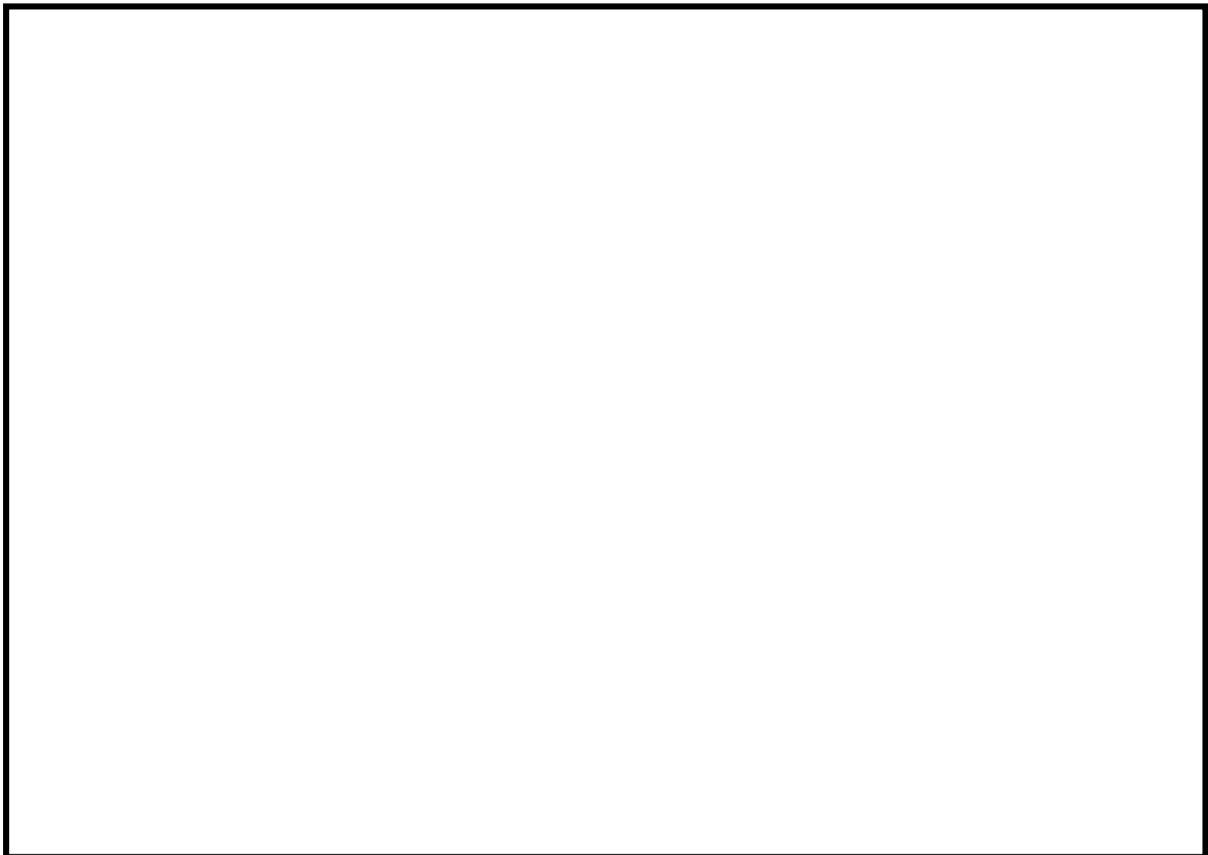
※1：原子炉建屋，タービン建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋

2. 影響評価内容

(1) 熱影響評価

影響評価対象として選定したSSCのうち、原子炉建屋内、タービン建屋内及び使用済燃料乾式貯蔵建屋内に設置されている施設については、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に基づき、当該建屋の外側コンクリート壁の温度評価を実施し、コンクリートの健全性が確保されることを確認する。

また、影響評価対象として選定したSSCのうち、海水ポンプ室、排気筒及びD/G吸気系フィルタについては、屋外に設置されていることから、これらの施設の設置状況等を考慮して熱影響を評価する。(第2-1図参照)



第2-1図 外部火災に対する影響評価対象施設配置図

(2) 二次的影響評価

外部火災の二次的影響評価として、ばい煙等により影響を受けると想定されるSSCに対して影響評価を実施する。

ばい煙等による機器への影響として、外気を直接設備内に取り込む機器、外気を取り込む空調系統及び屋外設置機器を選定し評価する。

また、ばい煙等による中央制御室に対する居住性への影響を評価する。

3. クラス3に属するSSCについて

クラス3に属するSSCのうち、原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋に設置されているSSCについては、各建屋により防護される。それ以外のSSCについては、外部火災発生時に安全機能が影響を受けることのないよう、防火帯幅の確保及び消火活動の実施による防護並びに代替施設による安全機能の維持を図ることとする。(第3-1表参照)

第 3-1 表 クラス 3 に属する SSC の外部火災発生時の防護について

(1/2)

【外部火災発生時の防護方法】

- ①：原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁により防護
- ②：防火帯幅の確保により防護
- ③：消火活動により防護
- ④：代替設備により安全機能を維持

分類	安全機能の重要度分類			設置場所			外部火災発生時の防護	
	定義	機能	構築物，系統又は機器	原子炉建屋等※1	個別建屋	屋外		
PS-3	1) 異常状態の起る事象となっており、PS-1 及び PS-2 以外の構築物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材保持機能 (PS-1, PS-2 以外のもの)	原子炉冷却材圧力バウンダリから除外される計装等の小口径配管、弁・計装配管・試料採取系配管等	○			①, ②	
		2) 原子炉冷却材の循環機能	原子炉再循環系	○			①, ②	
		3) 放射性物質の貯蔵機能	復水貯蔵タンク				○	②, ③
			放射性廃棄物処理施設 (放射能インベントリの小さいもの) ・液体廃棄物処理系 ・固体廃棄物処理系		○	○		【原子炉建屋等】 ①, ② 【個別建屋】 ②, ③
		4) 電源供給機能 (非常用を除く)	新燃料貯蔵庫		○			①, ②
			タービン、発電機及びその励磁装置		○			①, ②
			復水系 (復水器を含む)		○			①, ②
			給水系		○			①, ②
		5) プラント計測・制御機能 (安全保護機能を除く)	循環水系		○		○	【タービン建屋】 ①, ② 【屋外】 ②, ③
			送電線				○	②, ③
			変圧器				○	②, ③
			開閉所			○	○	②, ③
		6) プラント運転補助機能	原子炉制御系		○			①, ②
			運転監視補助装置 (制御棒値ミニマイザ)		○			①, ②
			原子炉核計装の一部		○			①, ②
			原子炉プラントプロセス計装の一部		○			①, ②
		2) 原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に支障なく低く抑える構築物、系統及び機器	1) 核分裂生成炉の冷却材中の燃料被覆管		○			①, ②
2) 原子炉冷却材の浄化機能	原子炉冷却材浄化系		○			①, ②		
		復水浄化系	○			①, ②		

※ 1：原子炉建屋，タービン建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋

第 3-1 表 クラス 3 に属する S S C の外部火災発生時の防護について

(2/2)

分類	安全機能の重要度分類			設置場所			外部火災発生時の防護	
	定義	機能	構築物、系統又は機器	建屋内設備				
				原子炉建屋等 ^{※1}	個別建屋	屋外		
MS-3	1) 運転時の異常な過渡変化があっても MS-1, MS-2 とあいまって、事象を緩和する構築物、系統及び機器	1) 原子炉圧力上昇の緩和機能	逃がし安全弁(逃がし弁機能)	○			①, ②	
			タービンバイパス弁	○			①, ②	
		2) 出力上昇の抑制機能	原子炉冷却材再循環系(再循環ポンプトリップ機能)	○			①, ②	
			制御棒引抜監視装置	○			①, ②	
		3) 原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系	○			①, ②	
			原子炉隔離時冷却系	○			①, ②	
		2) 異常状態への対応上必要な構築物、系統及び機器	1) 緊急時対策重要なもの及び異常状態の把握機能	緊急時対策所		○		②, ③
				試料採取系	○			①, ②
				通信連絡設備	○	○	○	【原子炉建屋等】 ①, ② 【その他】 ②, ③, ④
	放射能監視設備			○	○	○	【原子炉建屋等】 ①, ② 【その他】 ②, ③, ④	
	事故時監視計器の一部			○	○	○	【原子炉建屋等】 ①, ② 【その他】 ②, ③	
	消火系	○		○	○	【原子炉建屋等】 ①, ② 【その他】 ②, ③, ④		
	安全避難通路	○		○		【原子炉建屋等】 ①, ② 【その他】 ②, ③		
	非常用照明	○		○	○	【原子炉建屋等】 ①, ② 【その他】 ②, ③		

※ 1 : 原子炉建屋, タービン建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋

4. 重大事故等対処設備について

防護対象として選定した S S C を外部火災から防護することにより、外部火災によって重大事故等の発生に至ることはない。

また、重大事故等対処設備は、防火帯幅の確保及び建屋外壁等により防護する。

森林火災による影響評価について

1. 目的

発電所敷地外で発生する森林火災が、発電所に迫った場合でも原子炉施設に影響を及ぼさないことを以下の項目により評価した。

- (1) 火炎の到達時間
- (2) 防火帯幅
- (3) 熱影響
- (4) 危険距離

2. 森林火災の影響評価要領

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書A 森林火災の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に従い森林火災を想定^{*}し、発電所への影響について評価した。

なお、森林火災の解析に当たっては、評価ガイドにおいて推奨されている森林火災シミュレーション解析コードFARSITEを使用し解析を実施した。

※森林火災の想定（評価ガイドより）

- (1) 森林火災における各樹種の可燃物量は現地の植生から求める。
- (2) 気象条件は過去10年間を調査し、森林火災の発生件数の多い月の最小湿度、最高気温、及び最大風速の組合せとする。
- (3) 風向は卓越方向とし、発電所の風上に発火点を設定する。ただし、発火源と発電所の位置関係から風向きを卓越方向に設定することが困難な場合は、風向データ等から適切に設定できるものとする。
- (4) 発電所からの直線距離10kmの間で設定する。
- (5) 発火源は最初に人為的行為を考え、道路沿いを発火点とする。さらに、必要に応じて想定発火点を考え評価する。

2.1 F A R S I T E 評価に用いたデータ

(1) 各種入力データ

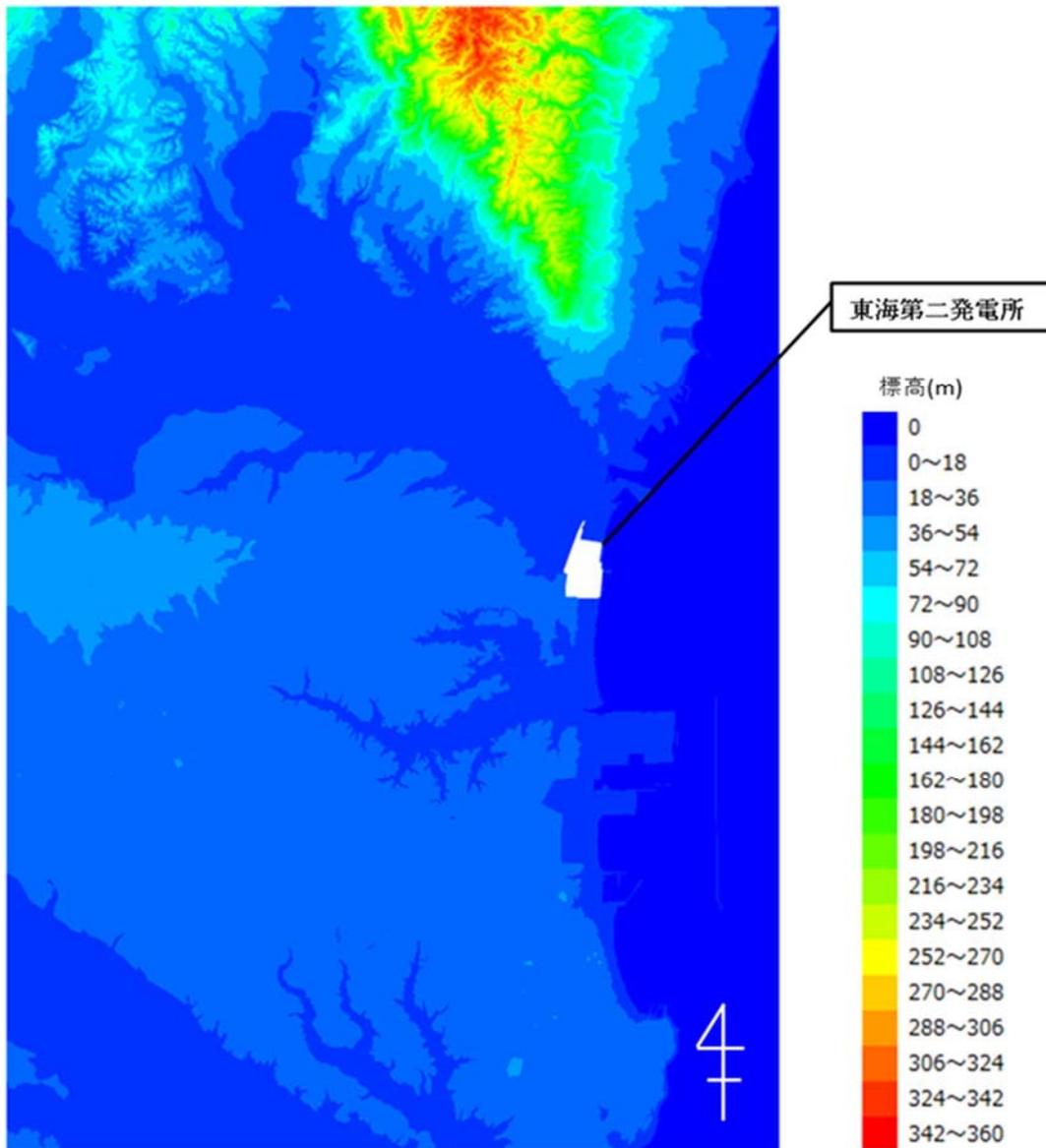
F A R S I T E に入力したデータは評価ガイド記載に対し第 2.1-1 表のとおりとした。

第 2.1-1 表 F A R S I T E 入力データ

データ種類	入力データ
地形データ	公開情報の中でも高い空間解像度である「基盤地図情報数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データを用いた。傾斜，傾斜方位については標高データから計算した。
土地利用データ	公開情報のなかでも高い空間解像度である「国土数値情報土地利用細分メッシュ（100m）」の土地利用データを用いた。
植生データ	茨城県より受領した森林簿（東西南北 12km）の情報を用いて，土地利用データにおける森林領域を，樹種・林齢にて細分化し 10m メッシュで入力した。発電所敷地内は，植生調査を実施し，入力データに反映した。
気象データ	茨城県に森林火災の発生件数の多い 12 月～5 月の過去 10 年間の気象条件を調査し，最大風速，最高気温，最小湿度，卓越風向，最大風速時の風向を用いた。

(2) 地形データの設定

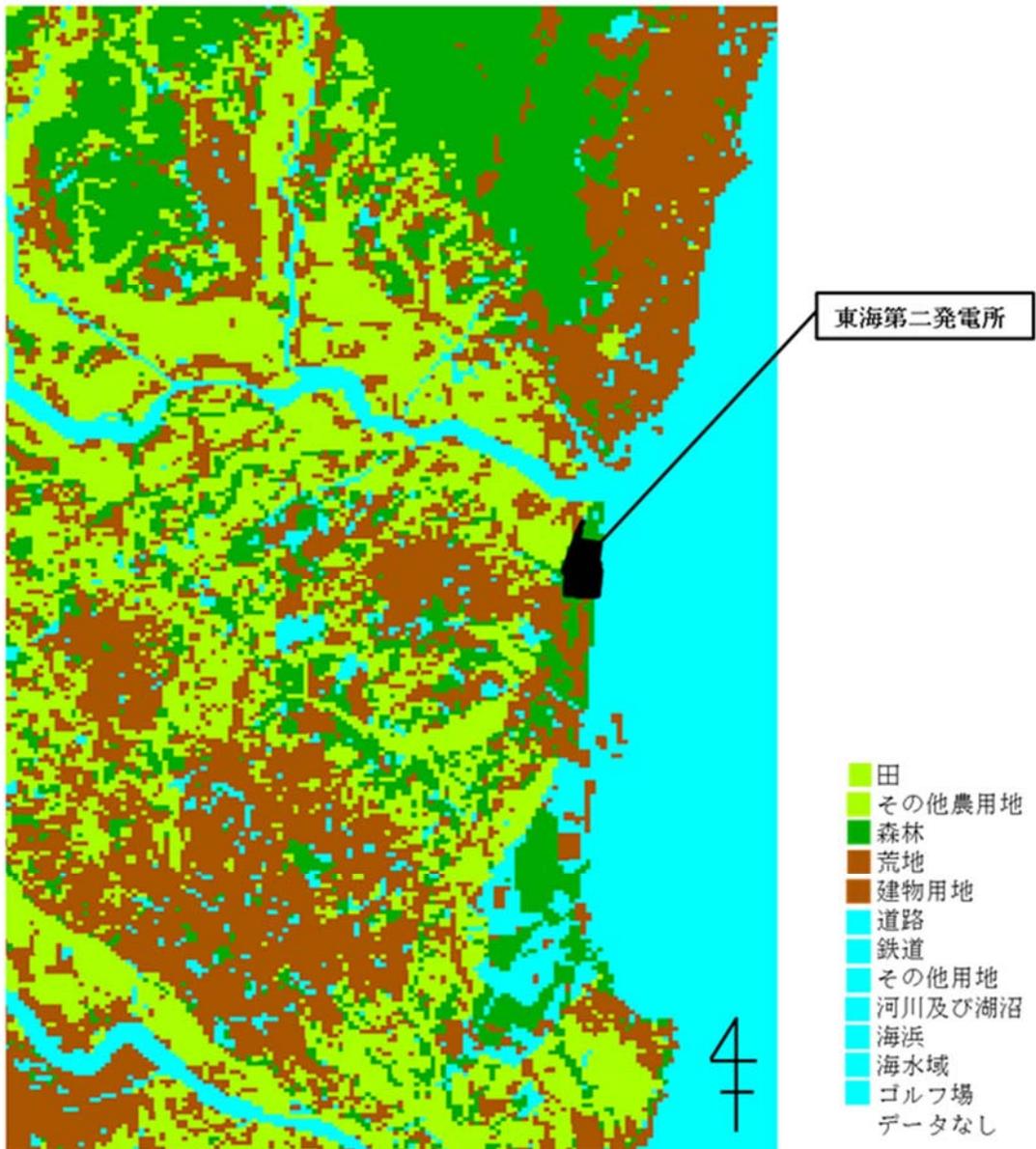
公開情報の中でも高い空間解像度である「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データを用いた。傾斜，傾斜方位については標高データから計算した。設定した地形データを第 2.1-1 図に示す。



第 2.1-1 図 地形データ

(3) 土地利用データの設定

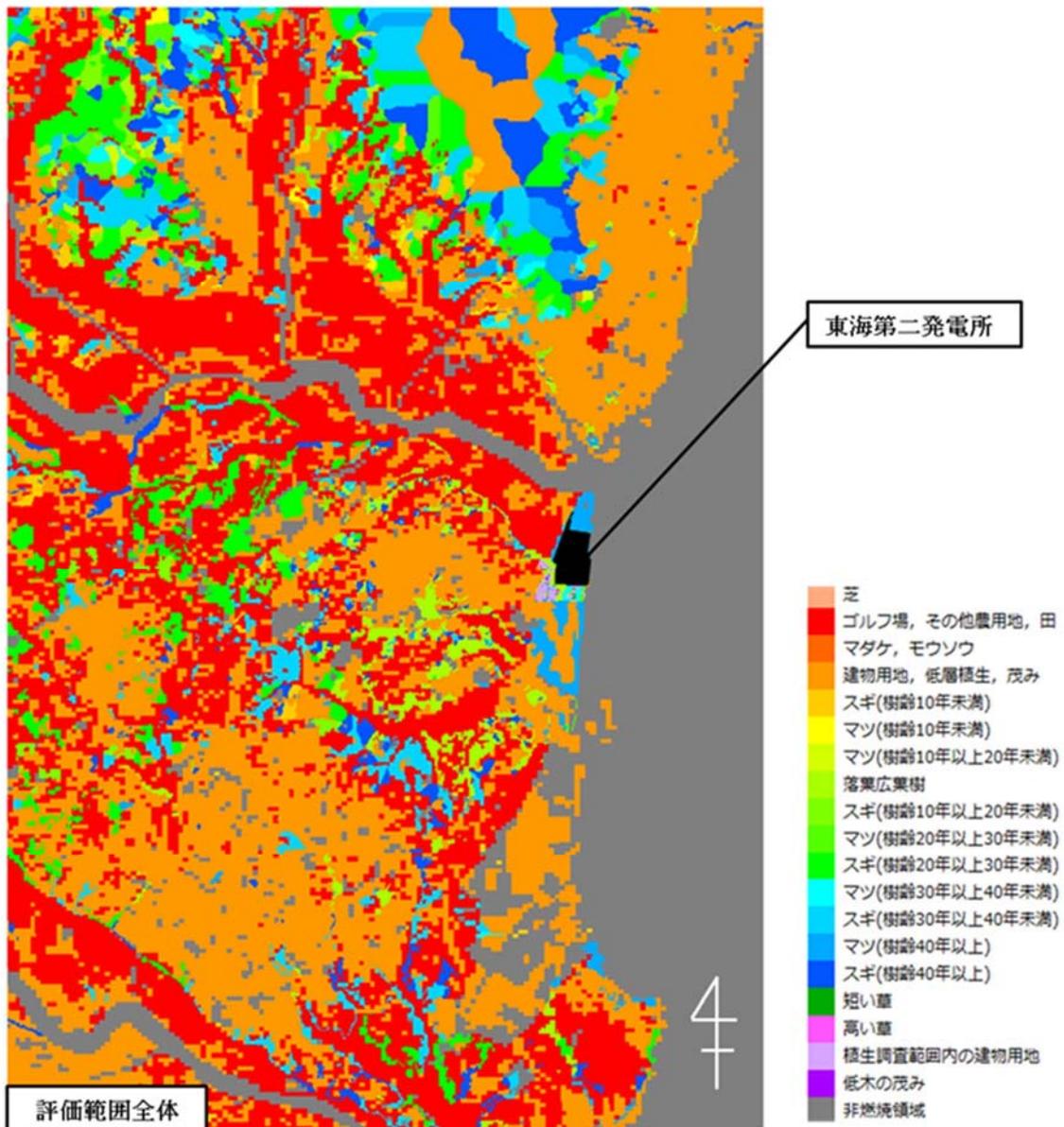
公開情報の中でも高い空間解像度である「国土数値情報 土地利用細分メッシュ（100m）」の土地利用データを用いた。設定した土地利用データを第 2.1-2 図に示す。



第 2.1-2 図 土地利用データ

(4) 植生データの設定

茨城県より受領した森林簿（東西南北 12km）の情報を用いて、土地利用データにおける森林領域を，樹種・林齢にて細分化し 10m メッシュで入力した。発電所敷地周辺は，植生調査を実施し，入力データに反映した。設定した植生データを第 2.1-3 図に示す。



第 2.1-3 図 植生データ

(5) 気象条件の設定

a. 気象データの整理

気象データは気象庁が公開している気象統計情報を用い、第 2.1-2 表に示す F A R S I T E 入力に必要なデータ（最高気温、最大風速、最大風速記録時の風向、最小湿度）を全て観測・記録している観測所のうち、東海第二発電所に最も近い距離（約 15km）にある水戸地方気象台の気象観測データをそれぞれ過去 10 年間（2007 年～2016 年）の月別データから第 2.1-2 表のとおり抽出・整理した。

茨城県内における気象庁気象観測所位置を第 2.1-4 図に示す。



(出典) 気象庁HP
http://www.jma.go.jp/jp/amedas_h/map26.html

第 2.1-4 図 茨城県内の気象観測所位置

卓越風向は、水戸地方气象台と発電所の過去 10 年間（2007 年～2016 年）の観測データから第 2.1-5 図、第 2.1-6 図のとおり抽出・整理した。

b. 森林火災発生件数の整理

「消防防災年報」（茨城県 2006 年～2015 年）により、茨城県内の月別森林火災件数を第 2.1-2 表のとおり抽出・整理した。

c. 気象データの選定

森林火災件数の多い 12 月から 5 月の最高気温（30.8℃）、最大風速（17.5m/s）、及び最小湿度（11%）を選定した。

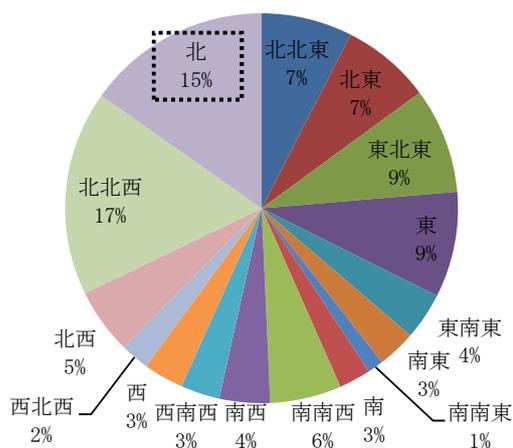
最大風速記録時の風向は第 1 位の北東に加え、第 2 位の最大風速記録時の風向となる 3 月の南西を選定した。

卓越風向は、水戸地方气象台観測データの高い割合を占める北と、発電所の気象観測データの最多割合を占める西北西を選定した。

第 2.1-2 表 気象観測データと月別火災発生件数（過去 10 年間）

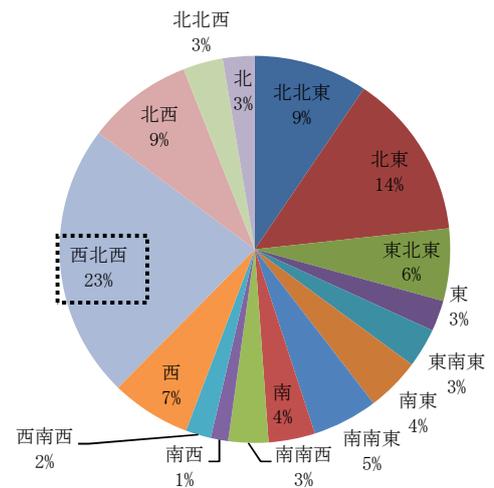
月	水戸地方気象台 気象観測データ					茨城県内の月別 森林火災件数*
	最高気温 (°C)	最大風速 (m/s)	最大風速記録 時の風向		最小湿度 (%)	
			第 1 位	第 2 位		
1	16.9	17.5	北東	北東	17	79
2	24.3	17.5	北北東	北東	13	86
3	25.9	14.3	北東	北北東, 南西	11	131
4	29.3	15.1	北北東	北東	13	126
5	30.8	13.5	北東	北北東	13	54
6	33.5	14.2	北北東	北北東	21	10
7	36.4	11.8	北北東	北北東	35	13
8	37.0	12.9	北東	北北東	35	24
9	36.1	13.9	北北東	南南西	29	23
10	31.4	17.4	北北東	北北東	22	11
11	24.5	11.8	北北東	北北東	18	4
12	23.8	10.6	北東	西	17	33

※：「消防防災年報」（茨城県 2006 年～2015 年）より



第 2.1-5 図 卓越風向割合

(水戸地方気象台：2007 年～2016 年)



第 2.1-6 図 卓越風向割合

(発電所：2007 年～2016 年)

(6) 発火点の設定

a. 発火点の設定方針

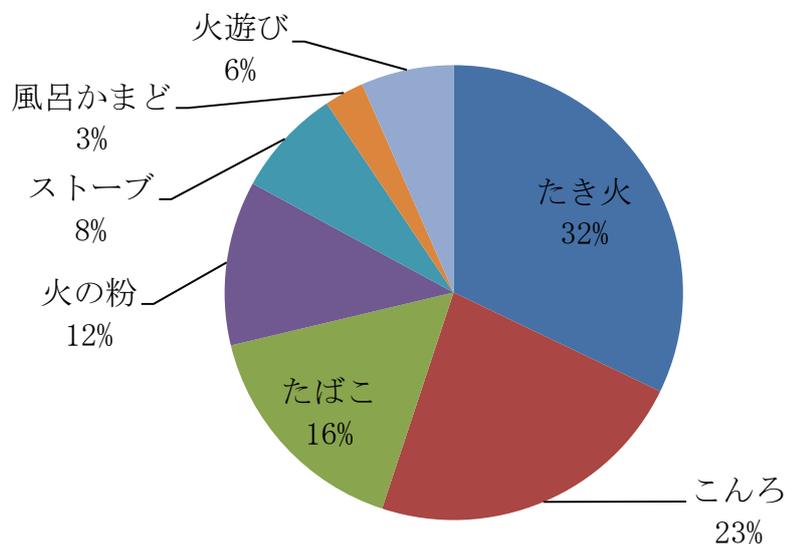
評価ガイドにある森林火災の想定に基づき、発火点の設定は以下の方針とした。

- ・卓越風向及び最大風速記録時の風向が発電所の風上になる地点
- ・たき火等の人為的な火災発生原因が想定される地点

なお、茨城県内での主な火災発生原因は、「消防防災年報」（茨城県 2006年～2015年）によると、たき火、こんろ、たばこである。

第 2.1-7 図に出火原因割合を示す。

この結果に加え、発電所周围の地理的状况等を考慮し、人為的な火災発生原因を想定した。



「消防防災年報」（茨城県 2006年～2015年）より

第 2.1-7 図 出火原因割合

b. 立地条件を考慮した発火点の設定

発電所周囲の特徴としては、以下の4点が挙げられる。

- ・発電所周囲は平坦な地形であり、住宅街や水田が多い。
- ・発電所のすぐ脇を国道が通る。
- ・発電所近傍に砂浜海岸がある。
- ・発電所に産業施設が隣接する。

このため、上記を踏まえ、卓越風向及び最大風速記録時の風向として抽出した4方向（西北西，北，南西，北東）に対し、発火点を以下のとおり設定した。設定した発火点を第2.1-8図，発火点と植生データの関係を図第2.1-9図，発火点と標高データとの関係図を第2.1-10図に示す。

(a) 西北西方向（発火点1，3）

霊園における線香等の裸火の使用と残り火の不始末，国道245号を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し，国道245号沿いの霊園に発火点1を設定した。

火入れ・たき火等を想定し，県道284号線沿いの水田に，発火点1より遠方となる発火点3を設定した。

(b) 北方向（発火点2，4）

バーベキュー及び花火の不始末等を想定し，海岸沿いに発火点2を設定した。

釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，海岸沿いに発火点2より遠方となる発火点4を設定した。

(c) 南西方向（発火点 5, 6）

発電所南方向にある危険物貯蔵施設の屋外貯蔵タンクからの火災が森林に延焼することを想定し，南方向の危険物施設の近くに発火点 5 を設定した。

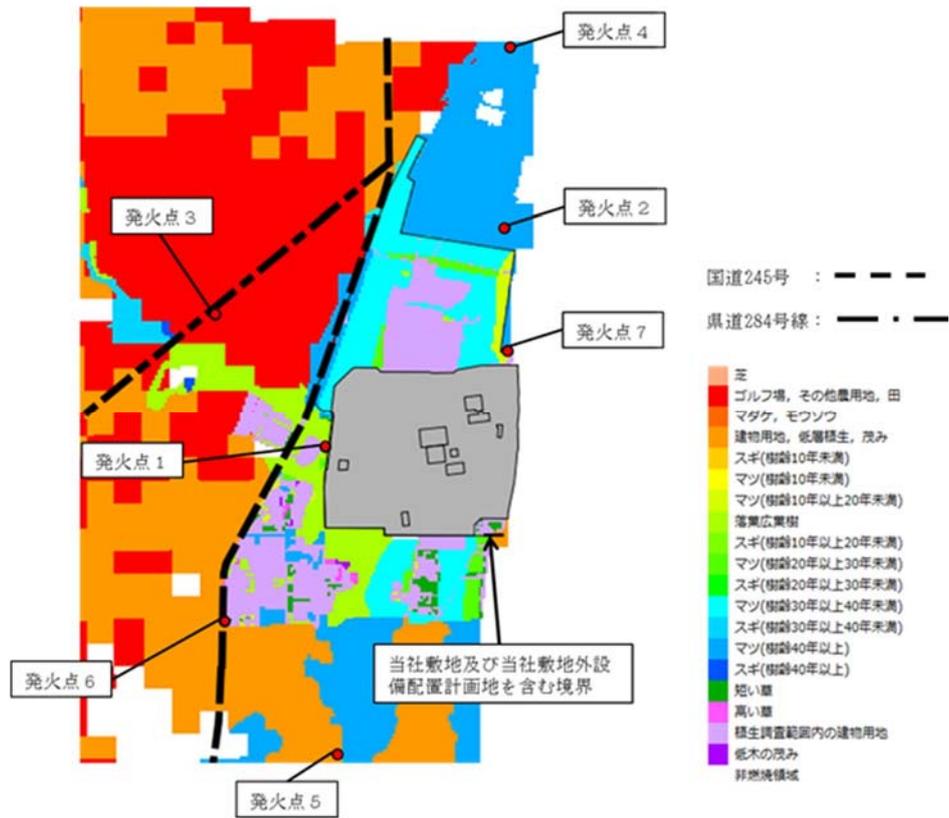
交通量が多い交差点での交通事故による車両火災を想定し，国道 245 号沿いに発火点 6 を設定した。

(d) 北東方向（発火点 7）

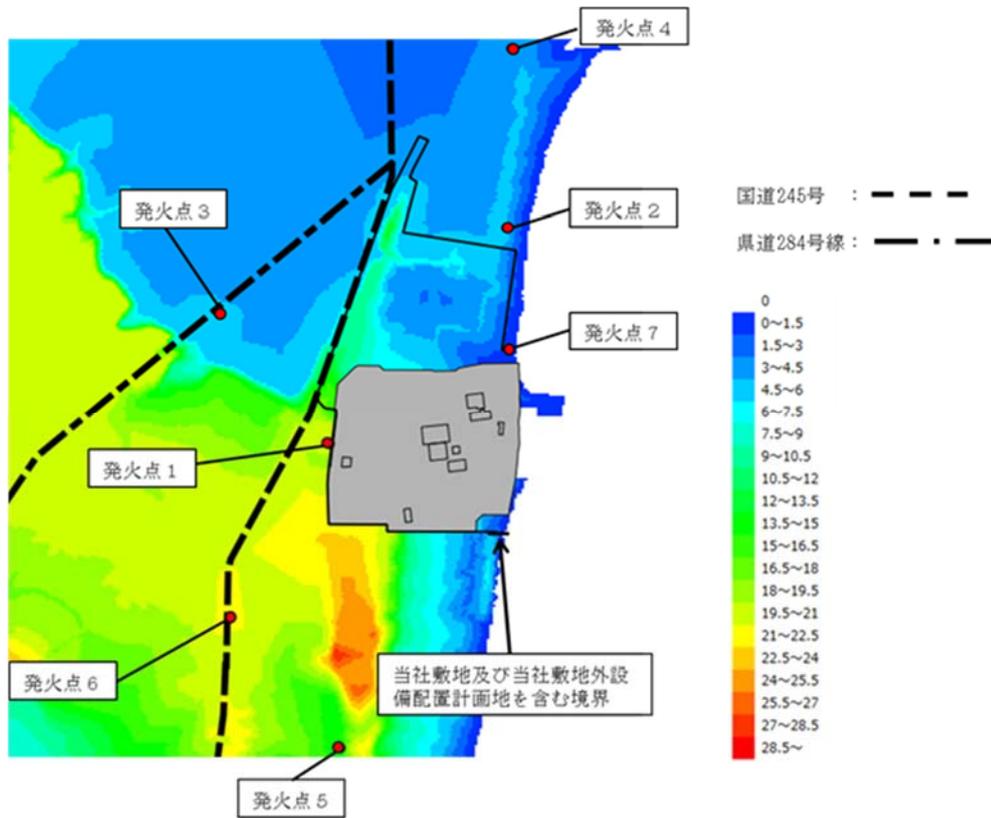
釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，一般の人が発電所に最も近づくことが可能である海岸沿いに発火点 7 を設定した。



第 2.1-8 図 発火点位置と風向



第 2.1-9 図 発火点位置と植生データ



第 2.1-10 図 発火点位置と標高データ

c. 森林火災評価における発火点の妥当性

(a) 発火点 1, 3 の妥当性

発火点 1 の周辺はマツ 40 年以上（評価ではマツ 10 年以上 20 年未満を入力）と広葉樹の森林，発火点 3 の周辺は水田（評価では Tall grass を入力）である。発火点を多少移動させたとしても周囲の植生・標高差に大きな違いはないことから，風が発電所に向う発火点 1, 3 の評価結果に包絡される。また，同じ風向で評価を行う発火点 1, 3 を比較することで，発火地点から発電所までの距離の違いによる延焼速度，火災規模等の確認が可能である。

(b) 発火点 2, 4, 7 の妥当性

発火点 2, 4, 7 の周辺は，マツ 40 年以上（評価ではマツ 10 年以上 20 年未満を入力）の植生が支配的である。北側森林内で発火点を移動させたとしても，植生・標高差に違いはないことから，評価結果は発火点 2, 4, 7 の結果に包絡される。また，同じ風向・同じ植生で評価を行う発火点 2, 4 を比較することで，発火地点から発電所までの距離の違いによる延焼速度，火災規模等の確認が可能である。

(c) 発火点 5, 6 の妥当性

発火点 5 は，発電所に影響を及ぼすおそれのある危険物施設がある地点に設定した。

発火点 6 は，最大風速記録時の風向を考慮し，発火点 1 と発火点 5 から比較的離れた間の地点を補間するよう設定した。

(d) 発火点 1～7 以外の火災について

設定した発火点以外の火災については、発火点 1～7 の評価結果に包絡される。以下の 2 か所において、評価結果が包絡される理由を示す。

・北西方向の居住地域

北西方向の居住地域で発生した火災が発電所へ延焼する場合、まず発電所北側森林に延焼する。北側森林の火災は風が発電所に向う発火点 2, 3, 4, 7 の評価結果に包絡される。

・ガソリンスタンド及び周辺居住区域

発電所に最も近いガソリンスタンド（県道 284 号線沿い）及び周辺居住区で発生した火災が発電所へ延焼する場合、まず発電所西側森林が火災になる。西側森林の火災は風が発電所に向う発火点 1, 3, 6 の結果に包絡される。

d. 出火時刻の設定

日照による草地及び樹木の乾燥に伴い、火線強度が増大することから、これらを考慮して火線強度が最大となる出火時刻を設定する。

e. 評価対象範囲

評価対象範囲は発電所から南北及び西側に 12km、東側は海岸線までとする。

2.2 F A R S I T E 入出力データについて

(1) F A R S I T E 入力データ

F A R S I T E 入力データとして気象，位置，時刻等に関するデータを第 2.2-1 表，土地利用に関するデータを第 2.2-2 表，植生に関するデータを第 2.2-3 表，植生入力に関するフローを第 2.2-1 図に示す。

第 2.2-1 表 F A R S I T E 入力データ (地形・気象等)

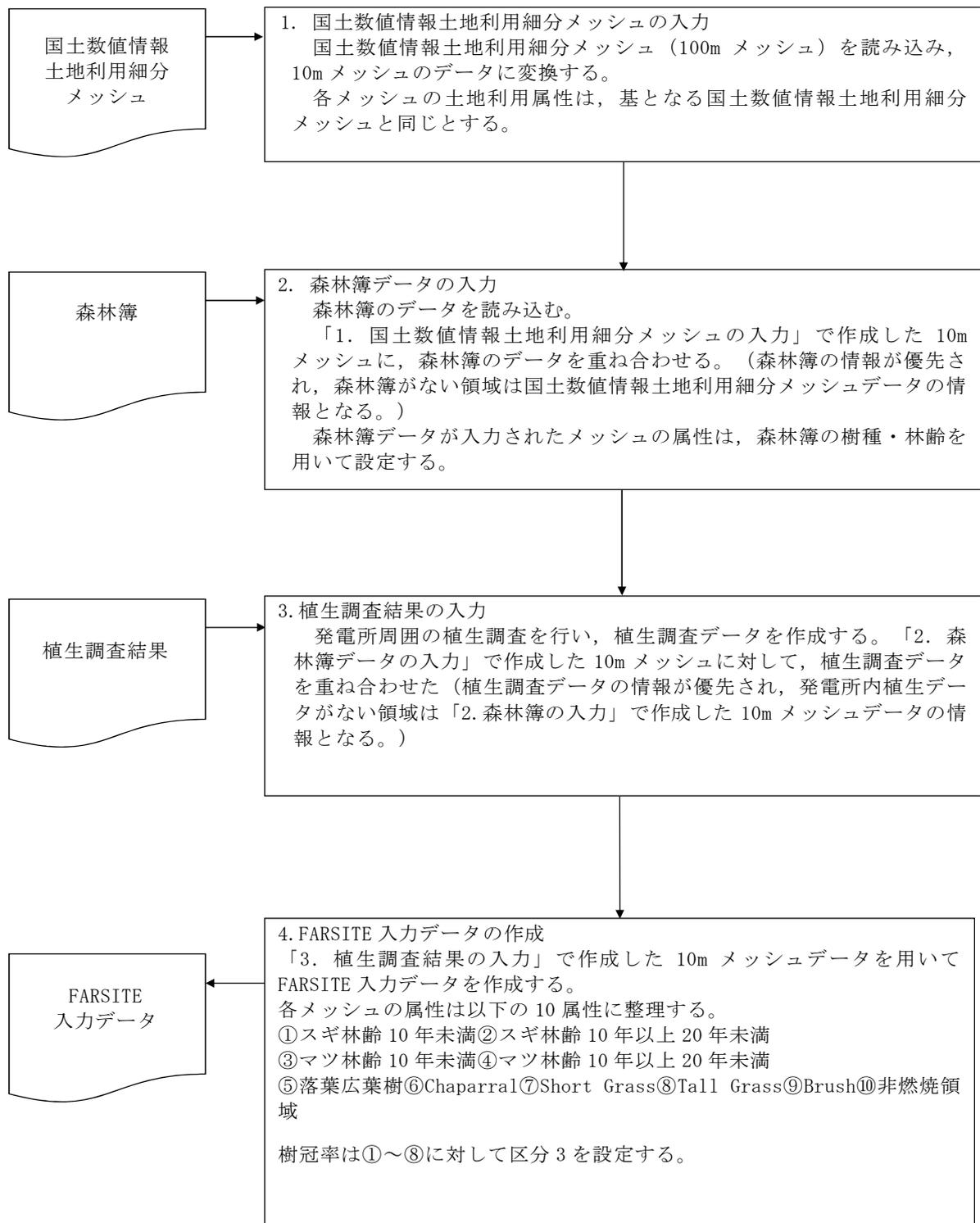
項目		入力データ	備考
地形	標高	第 2.1-1 図 参照	「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データ及び標高データから算出した傾斜, 傾斜方位を入力 (評価ガイド通り)
	傾斜, 傾斜方位		
気象	風速 (km/hr)	63	評価ガイドに基づき, 茨城県内で森林火災発生件数が多い (12 月から 5 月) の水戸地方気象台で観測された最大風速 (17.5m/s) に相当する 63km/hr を入力 (評価ガイド通り)
	風向 (deg)	239 (西北西)	評価ガイドに基づき, 茨城県内で森林火災発生件数が多い月 (12 月から 5 月) の卓越風向と最大風速記録時の風向を入力 (評価ガイド通り)
		0 (北)	
		225 (南西)	
		45 (北東)	
	最高気温 (°C)	31	茨城県内で森林火災発生件数が多い月 (12 月から 5 月) の最高気温 (30.8°C) に対して, 小数点以下を切り上げた 31°C を最高気温・最低気温として入力。最低気温に対しても 31°C を入力することで保守的に気温の変化を考慮しない。(評価ガイド通り)
	最低気温 (°C)	31	
	最高湿度 (%)	11	茨城県内で森林火災発生件数が多い月 (12 月から 5 月) の最小湿度 (11%) を入力。最高湿度に対しても 11% を入力することで, 保守的に湿度の変化を考慮しない。(評価ガイド通り)
	最小湿度 (%)	11	
	降水量 (mm)	0	降水が無い方が可燃物の水分量が少なくなり燃えやすくなるため, 保守性を考慮して, 降水量は 0 を入力
雲量 (%)	0	日射が多い方が可燃物の水分量が少なくなり燃えやすくなるため, 保守性を考慮して, 雲量は 0 を入力	
位置	緯度 (deg)	0	日射が多い方が可燃物の水分量が少なくなり燃えやすくなることから, 保守性を考慮して, 日射強度の高い赤道に設定
	発火点位置	第 2.1-8 図 参照	航空写真から位置を確認し, 発電所から 10km 以内の当座標位置に設定 (評価ガイド通り)
時刻	発火日時	3 月	茨城県内で森林火災発生件数が最も多い 3 月に設定
	発火時刻	10 時~14 時に火災が到達する時刻	日射が多い方が可燃物の水分量が少なくなり燃えやすくなることから, 日射が多い時刻 (10 時~14 時) に発電所に火災が到達するように設定
樹冠	樹冠率	区分 3	日照や風速への影響を考慮し, 植生調査結果を踏まえ保守性を考慮して, 樹冠率区分 3 (一般的な森林) を入力
	樹高 (m)	15	評価結果への寄与が大きい発電所周囲の植生調査結果 (平均樹高 13.4m) を踏まえた場合でも保守的となる, デフォルト値を一律に適用した。
	樹冠下高さ (m)	4	
	樹冠かさ密度 (kg/m ³)	0.2	

第 2.2-2 表 F A R S I T E 入力データ（土地利用データ）

土地利用区分	入力データ	備 考
田	Tall Grass (高草：2.5ft)	森林火災の多い 12～5 月に田の可燃物量は少ないが保守的に Tall Grass を入力
その他農用地		草地・畑が多いが保守的に Tall Grass を入力
ゴルフ場		ゴルフ場の芝生は管理されているが、保守的に Tall Grass を入力
森林	森林簿及び植生調査結果に従い、樹種・林齢毎に設定	第 2.2-3 表 FARSITE 入力データ（植生データ）参照
荒地	Brush (茂み：2.0ft)	草の繁殖を考慮し、Brush を入力
建物用地		コンクリート等の非植生が多く延焼しにくいと考えられるが、街路樹・庭等を考慮して Brush を入力
道路	非燃焼領域	FARSITE 内蔵値を設定
鉄道		
その他用地		
河川及び湖沼		
海浜		
海水域		

第 2.2-3 表 F A R S I T E入力データ (植生データ)

	樹種・林齢 区分	入力データ	備 考
森林簿・植生調査結果	スギ・ヒノキ・カスカブキ 林齢 10 年未満	スギ林齢 10 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	スギ・ヒノキ・カスカブキ 林齢 10 年以上 20 年未満	スギ林齢 10 年以上 20 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	スギ・ヒノキ・カスカブキ 林齢 20 年以上 30 年未満	スギ林齢 10 年以上 20 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	スギ・ヒノキ・カスカブキ 林齢 30 年以上 40 年未満		20 年以上のスギに対しては保守性を考慮して全て「林齢 10 年以上 20 年未満」を入力する
	スギ・ヒノキ・カスカブキ 林齢 40 年以上		
	マツ・クロマツ林齢 10 年未満	マツ林齢 10 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	マツ・クロマツ林齢 10 年以上 20 年未満	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	マツ・クロマツ林齢 20 年以上 30 年未満	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	マツ・クロマツ林齢 30 年以上 40 年未満		20 年以上のマツに対しては保守性を考慮して全て「林齢 10 年以上 20 年未満」を入力する
	マツ・クロマツ林齢 40 年以上		
	広葉樹 (クヌギ, サクラ等)	落葉広葉樹	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	竹林	Chaparral (低木の茂み:6ft)	竹林は直径が細く、密集度が高いことから可燃物量・可燃物厚さが大きい Chaparral を設定。なお、Chaparral は、低層植生の中で最も保守的なパラメータである。
	芝, 観葉植物	Short Grass (低草:1ft)	発電所構内は管理が可能のため、Short Grass を入力
		Tall Grass (高草:2.5ft)	敷地外は Tall Grass を入力
	植生が存在しない 範囲	Brush (茂み:2.0ft)	コンクリート等の非植生が多く延焼しにくいと考えられるが、保守性を考慮して Brush を入力



第 2.2-1 図 FARSITE 植生データ入力フロー

(2) 発電所周囲の植生調査

発電所周囲の森林に対して植生調査を行い、樹種、林齢等の状況を確認し、F A R S I T E入力データに反映する。

a. 植生調査期間

平成 28 年 8 月 1 日から 8 月 3 日

b. 植生調査者の力量

植生調査に適した資格・経験年数を有している 3 名で実施した。調査者の所有資格・経験年数を第 2.2-4 表に示す。

第 2.2-4 表 植生調査実施者 所有資格・経験年数

	資 格	経験年数
A	技術士（森林部門），林業技士，森林情報士	10 年以上
B	林業技士	10 年以上
C	—	5 年

c. 植生調査結果

(a) 植生調査ポイント

植生調査は当社敷地内及び発電所に隣接する日本原子力研究開発機構敷地を調査範囲とする。調査ポイントを第 2.2-2 図に示す。



第 2.2-2 図 植生調査ポイント

(b) 植生調査結果

植生調査結果と F A R S I T E 入力データを第 2.2-5 表に示す。発電所周囲のマツは植生調査から 20 年生以上であることを確認したが下草及び保守性を考慮しマツ 10 年以上 20 年未満を入力する。代表的な植生の写真を第 2.2-3 図に示す。

第 2.2-5 表 植生調査結果

ポイント No.	植生区分	特 徴	林齢根拠	FARSITE 入力データ	保守性
1	クロマツ 40 年以上	海岸植生の特徴として強風の影響により矮性化している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
2	クロマツ 40 年以上	強風の影響化にあり、一般的な成長と比較して樹高は低めである。常緑広葉樹の低木が繁茂している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
3	クロマツ 20 年以上	造成後に植栽された林分であり、一般的な成長を示している。立木密度が高く、低木は見られない。	1980 年代（空中写真から判読）に植栽。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
4	—	開発されて植生なし（2017 年現在）	—	—	—
5	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に、クロマツが一部補植されている。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○

ポイント No.	植生区分	特 徴	林齢根拠	FARSITE 入力データ	保守性
6	クロマツ 40年以上	クロマツの下層に、 クロマツが自然発生 している。	1975年（空中写真か ら判読）においてク ロマツの森林が成 立。節の数。	マツ林齢 10年以上20年未満	○
7	アカマツ 40年以上	アカマツの下層には 常緑広葉樹の低木が 繁茂している。	1975年（空中写真か ら判読）においてア カマツの森林が成 立。節の数。	マツ林齢 10年以上20年未満	○
8	アカマツ 40年以上	アカマツの下層は低 木を取り払い管理さ れている。	1975年（空中写真か ら判読）においてア カマツの森林が成 立。節の数。	マツ林齢 10年以上20年未満	○
9	クロマツ 40年以上	クロマツの下層に落 葉広葉樹の低木が繁 茂している。	1975年（空中写真か ら判読）においてク ロマツの森林が成 立。節の数。	マツ林齢 10年以上20年未満	○
10	クロマツ 40年以上	クロマツの下層に、 自然に発生したと見 られるアカマツが生 育している。	1975年（空中写真か ら判読）においてク ロマツの森林が成 立。節の数。	マツ林齢 10年以上20年未満	○
11	アカマツ 40年以上	アカマツの下層に常 緑広葉樹の低木が繁 茂している。	1975年（空中写真か ら判読）においてク ロマツの森林が成 立。節の数。	マツ林齢 10年以上20年未満	○
12	常緑 広葉樹林	アカマツの下層低木 であった常用広葉樹 が生育し支配的とな った。	—	落葉広葉樹	—
13	アカマツ 10年以上	極地的にアカマツが 植栽されている。植 生図に反映するほど の面積はない。	節の数。	落葉広葉樹	—

ポイント No.	植生区分	特 徴	林齢根拠	FARSITE 入力データ	保守性
14	クロマツ 20年以上	1986年以前に植栽された林分であり、一般的な成長を示している。低木は見られない。	1980年代（空中写真から判読）に植栽。節の数。	マツ林齢 10年以上20年未満	○
15	クロマツ 40年以上	クロマツの下層に常緑広葉樹の低木が繁茂している。	1975年（空中写真から判読）において森林が成立。節の数。	マツ林齢 10年以上20年未満	○
16	落葉 広葉樹	クロマツ林の下層低木であった落葉広葉樹が生育し支配的になった。	—	落葉広葉樹	—
17	落葉 広葉樹	クロマツ林の下層低木であった落葉広葉樹が生育し支配的になった。	—	落葉広葉樹	—
18	低草地	雑草等の0.3m低草地。	—	Short Grass (低草: 1ft)	—
19	高草地	セイタカ等の1.0m程度の草地。	—	草刈りを行い、Brush管理とする。	—
20	建物用地	—	—	コンクリート等の非植生が多く延焼しにくいと考えられるが、保守性を考慮してBrushを入力	—

ポイントNo.	植生区分	植生写真
1	クロマツ 40年生	
	強風の影響により矮性化している。	
11	アカマツ 40年生	
	アカマツの下層に常緑広葉樹の低木が繁茂している。	
12	常緑 広葉樹林	
	アカマツ林の下層低木であった常緑広葉樹が生育し支配的となった。	

第 2.2-3 図 代表植生写真 (1/2)

ポイント No.	植生区分	植生写真
18	低草地	
	雑草等の 0.3m 程度の低草地。	
19	高草地	
	セイタカ等の 1.0m 程度の草地。	

第 2.2-3 図 代表植生写真 (2/2)

(c) 樹種・林齢が混在しているエリアのデータ入力について

樹種・林齢が混在しているエリアについては、単位面積当たりの材積割合から入力データを決定した。マツ 40 年生の下層に細いマツ・広葉樹が存在したとしても、材積割合からみれば微量であるため、材積割合が支配的な樹種・林齢を選択する。下層に広葉樹の侵入・クロマツの補植等がみられたポイント No.2, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 15 の材積割合を第 2.2-6 表に示す。

第 2.2-6 表 各プロットの材積割合

ポイント No.	ha 当たりの材積 (m ³ /ha)				支配的な樹種と その材積割合
	マツ 胸高直径		広葉樹 胸高直径		
	8cm 以上	8cm 未満	8cm 以上	8cm 未満	
2	196	0	9	0	マツ 8cm 以上 95%
5	166	0	2	1	マツ 8cm 以上 98%
6	103	4	0	0	マツ 8cm 以上 96%
7	443	0	11	1	マツ 8cm 以上 97%
9	287	0	0	2	マツ 8cm 以上 99%
10	342	1	0	0	マツ 8cm 以上 99%
11	232	0	0	1	マツ 8cm 以上 99%
12	60	0	236	0	広葉樹 8cm 以上 79%
15	55	0	3	1	マツ 8cm 以上 93%

(d) 今後の植生管理について

植生管理については火災防護計画に定め、設定した防火帯幅が変わることがないように、定期的に植生調査を実施し植生の管理を行う。なお、植生管理が必要となる他事業者の範囲については、他事業者の協力を得て植生管理を行う。

(3) 針葉樹、広葉樹の可燃物データ設定について

マツ、スギ、落葉広葉樹等の可燃物パラメータは「福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価」（独立行政法人原子力安全基盤機構）で使用されているデータを使用した。

a. 針葉樹の設定

発電所周囲の植生はほとんどが林齢 40 年以上のマツ・クロマツであるが、保守性を考慮して、林齢 20 年以上のマツ・クロマツの林齢を一律に 10 年以上 20 年未満として F A R S I T E に設定した。

針葉樹（スギ、ヒノキ、カイズカイブキ、マツ、クロマツ）については、人工林であり、森林簿において、樹木の生長状況を示す林齢が記載されている。

F A R S I T E 入力データとして針葉樹の設定については、実際の森林状況を可能な限り反映するため、針葉樹の地面下草等の可燃物量を林齢に基づき区分している。なお、林齢が増えると、地面下草が減少する。第 2.2-7 表に針葉樹と広葉樹の林齢による地面下草の違いを示す。

b. 広葉樹の設定

広葉樹は多くが天然林であるため、林齢は一般に高齢で正確には把握されていない状況にある。広葉樹については、林齢によって地面下草は

大きく変化しないことから、保守性を考慮して、針葉樹（林齢 10 年未満）と同じ設定にした。

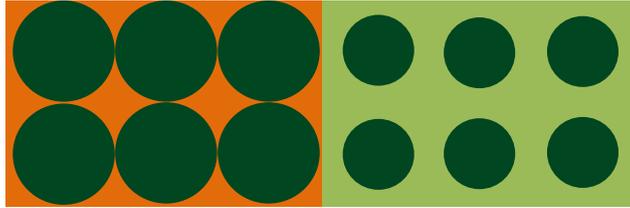
第 2.2-7 表 針葉樹と広葉樹の林齢による地面下草の違い（イメージ）

樹種/林齢	10 年生未満の場合	10～20 年生の場合	30 年生以上の場合
針葉樹	日照が入りやすい 	日照が少し入りやすい 	日照が入りにくい 
広葉樹	日照が入りやすい 		

(4) 樹冠率の設定について

樹冠率は、上空から森林を見た場合の平面上の樹冠が占める割合をいう。イメージ図は第 2.2-4 図に示す。F A R S I T E では、実際の森林状況による自然現象を可能な限り反映するため、樹冠率の割合が高くなると、風速の低減、地面下草への日照が低減（水分蒸発量が減ることで燃えにくくなる）する。具体的には、F A R S I T E では樹冠率を 4 つに区分し、いずれかを設定するようになっている。各区分の説明を第 2.2-8 表、樹冠率区分による F A R S I T E 上の効果を第 2.2-9 表に示す。

今回の評価においては、東海第二発電所周囲の森林は現地調査において、樹冠率（樹冠疎密度）が 60～90%であることを確認したため、区分 3 を選択した。



第 2.2-4 図 樹冠率イメージ図（上から見た図）

第 2.2-8 表 F A R S I T E 上の樹冠率設定

FARSITE 区分	樹冠率%	備考
1	～20	—
2	21～50	森林を含む区分
3	51～80	一般的な森林
4	81～100	原生林等

第 2.2-9 表 F A R S I T E 上の樹冠率区分による効果

	区分 3 の場合	区分 4 の場合
風速低減効果	風速が弱まりにくい	風速が弱まる
日照低減効果	地面下草が燃えやすい	地面下草が燃えにくい

3. F A R S I T E 解析結果

3.1 F A R S I T E 解析結果

(1) 火炎到達時間と最大火線強度について

各発火点における防火帯外縁に最も早く火炎が到達する火炎到達時間と防火帯外縁より 100m の範囲における最大火線強度を第 3.1-1 表に示す。

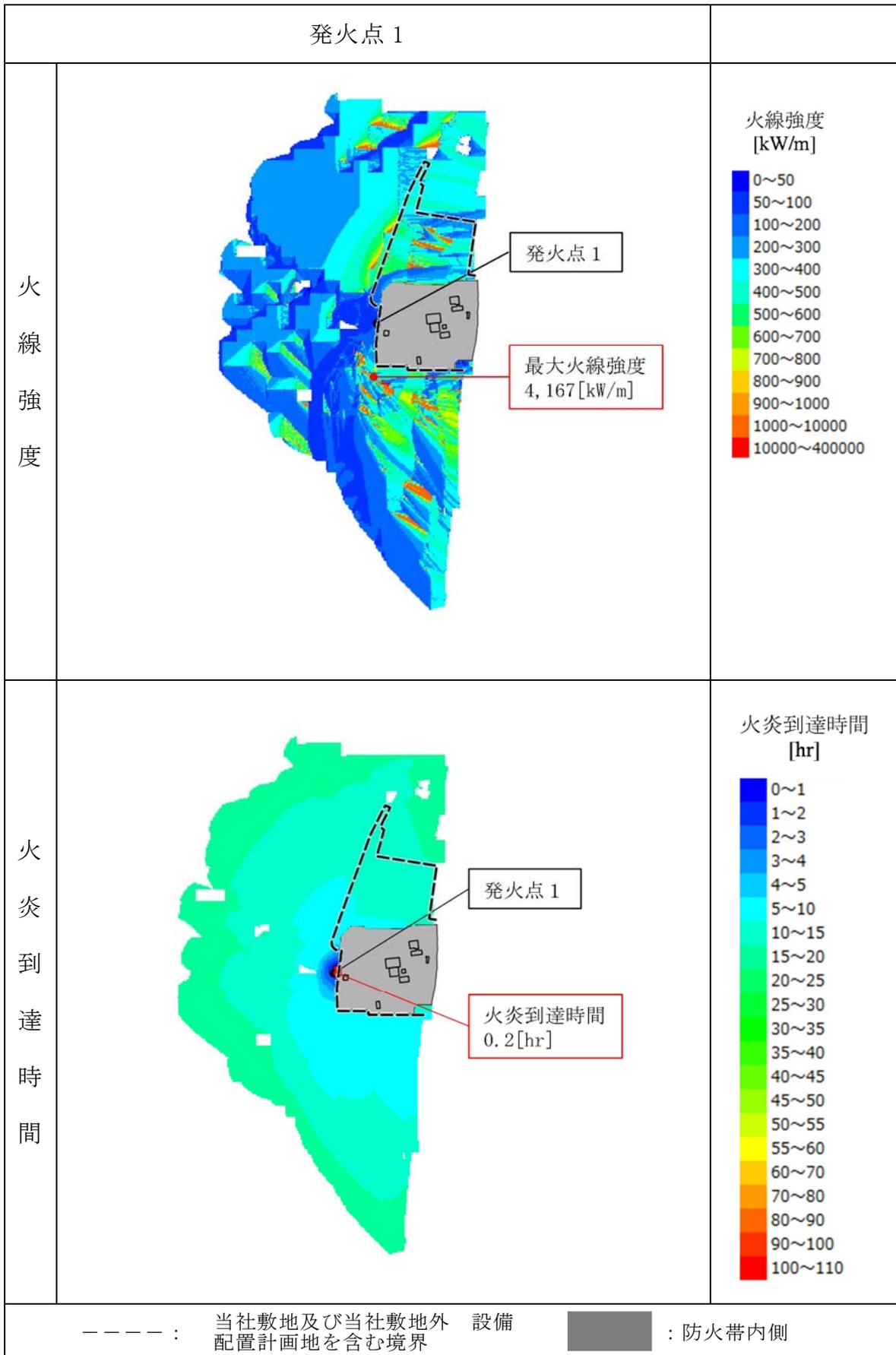
第 3.1-1 表 解析結果

発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
最大火線強度 (kW/m)	4,167	4,771	6,278	5,961	5,006	5,890	3,391
火炎到達時間 (hr)	0.2	4.0	0.7	6.0	2.9	1.1	0.7

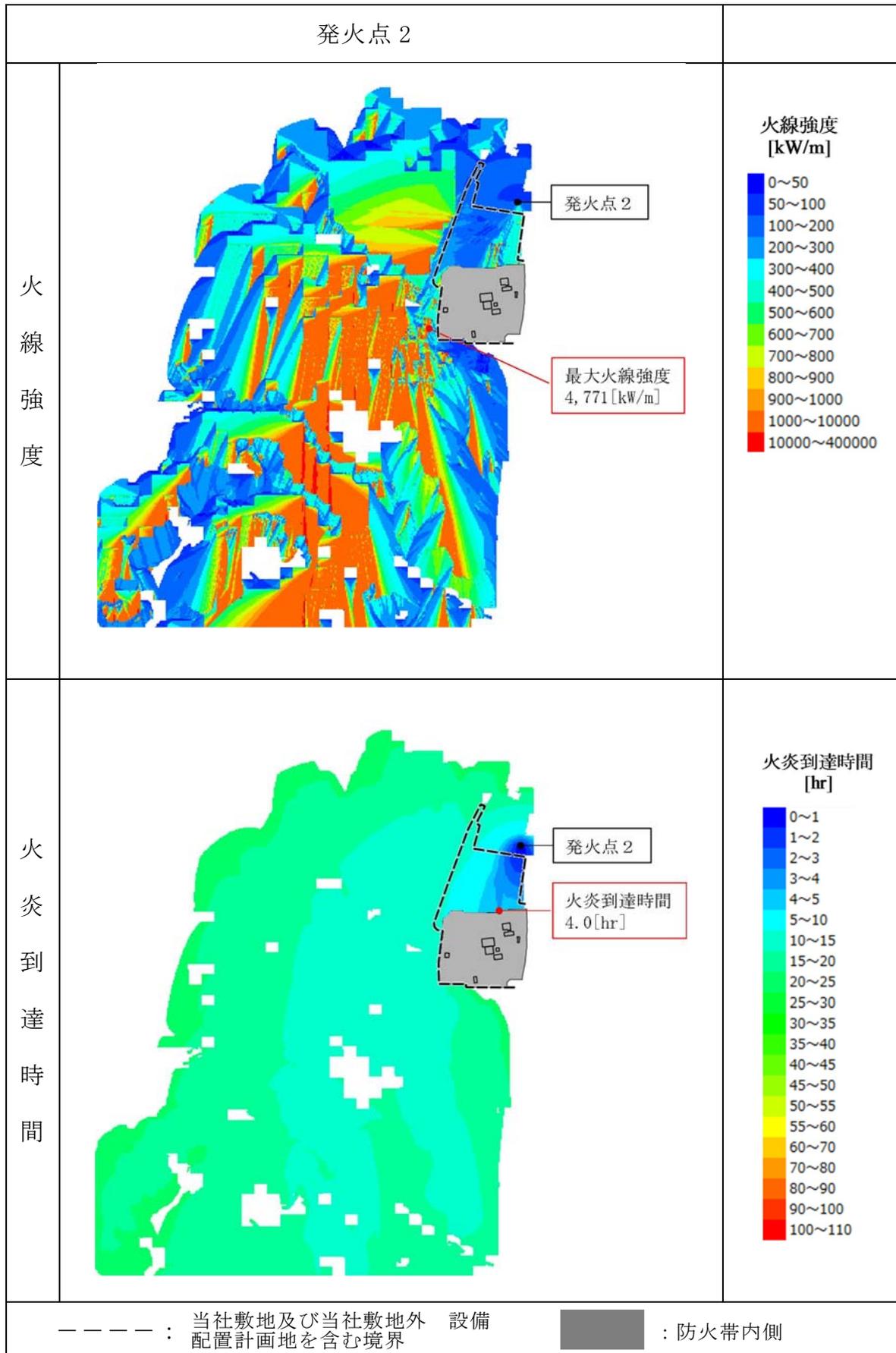
(2) 延焼状況

各発火点の延焼状況を第 3.1-2 表から第 3.1-8 表に示す。

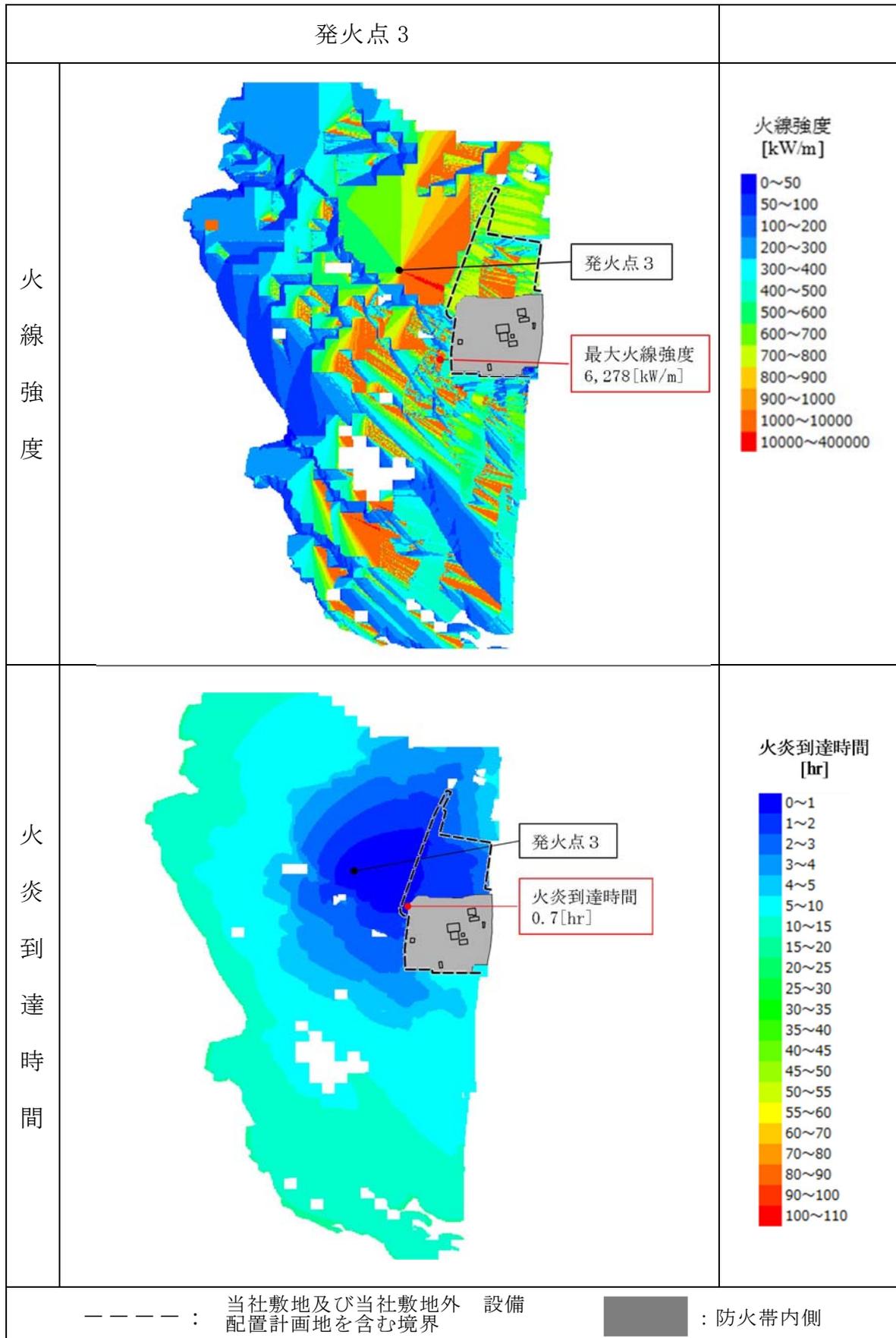
第 3.1-2 表 発火点 1 の延焼状況



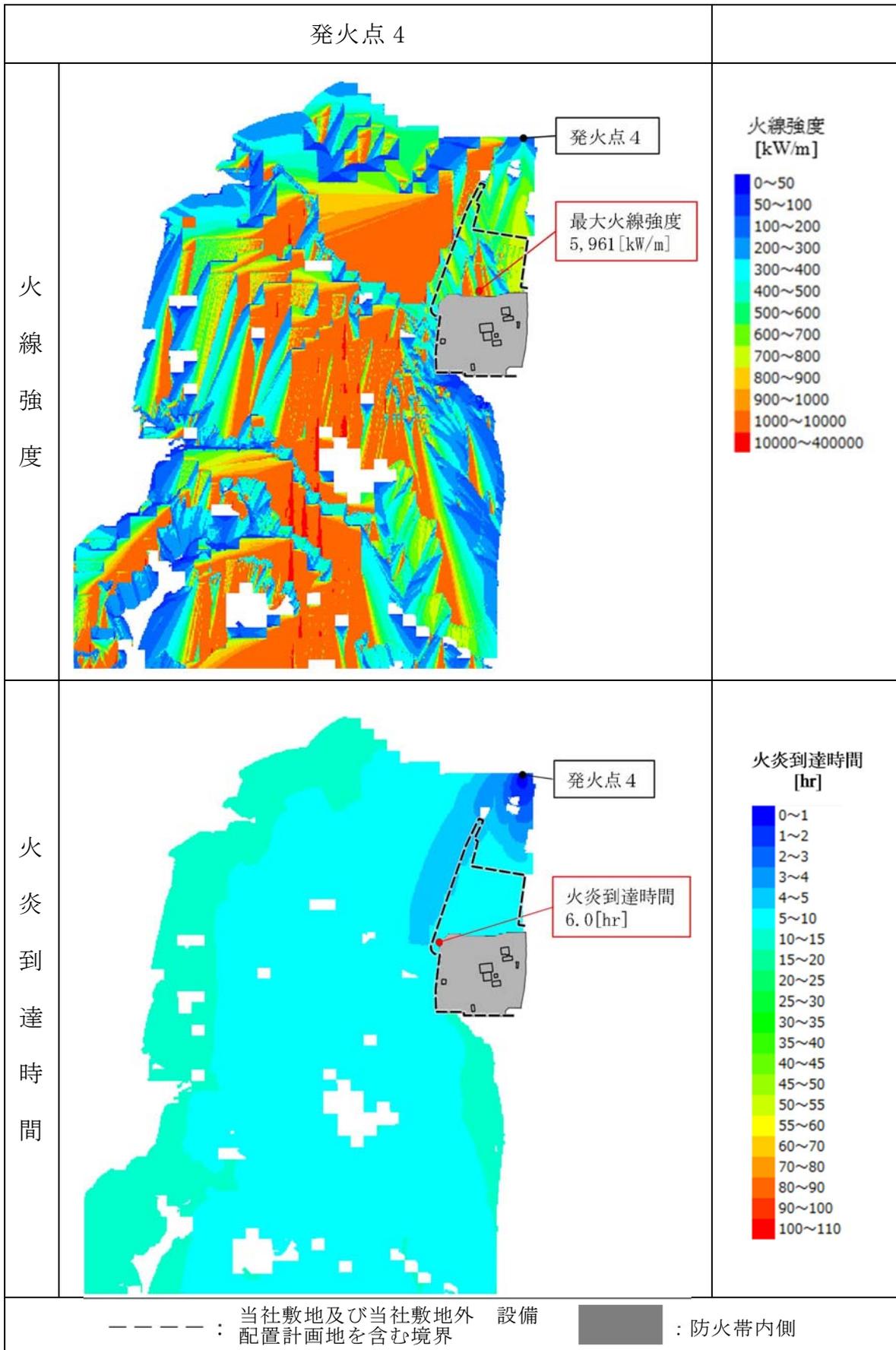
第 3.1-3 表 発火点 2 の延焼状況



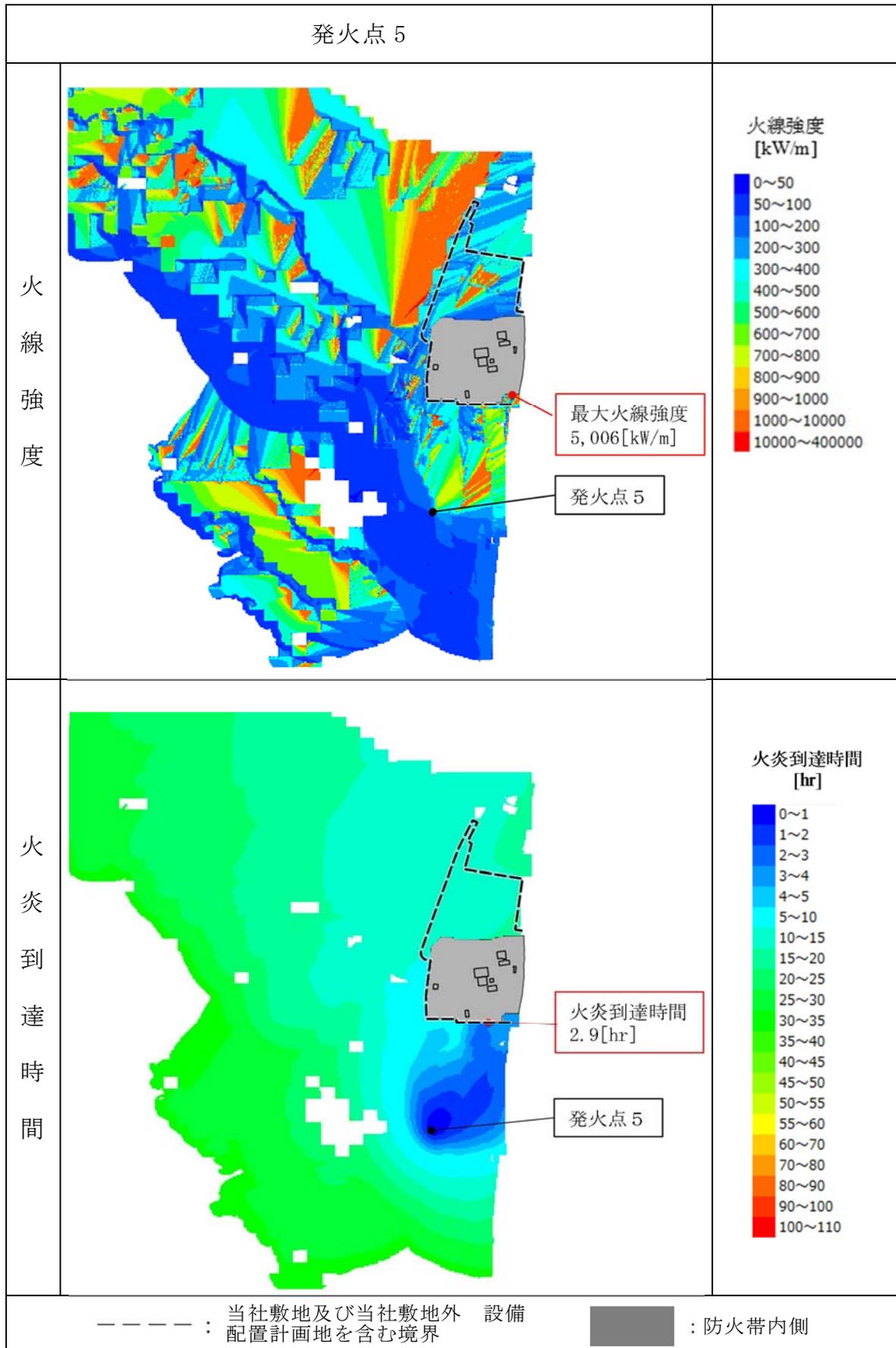
第 3.1-4 表 発火点 3 の延焼状況



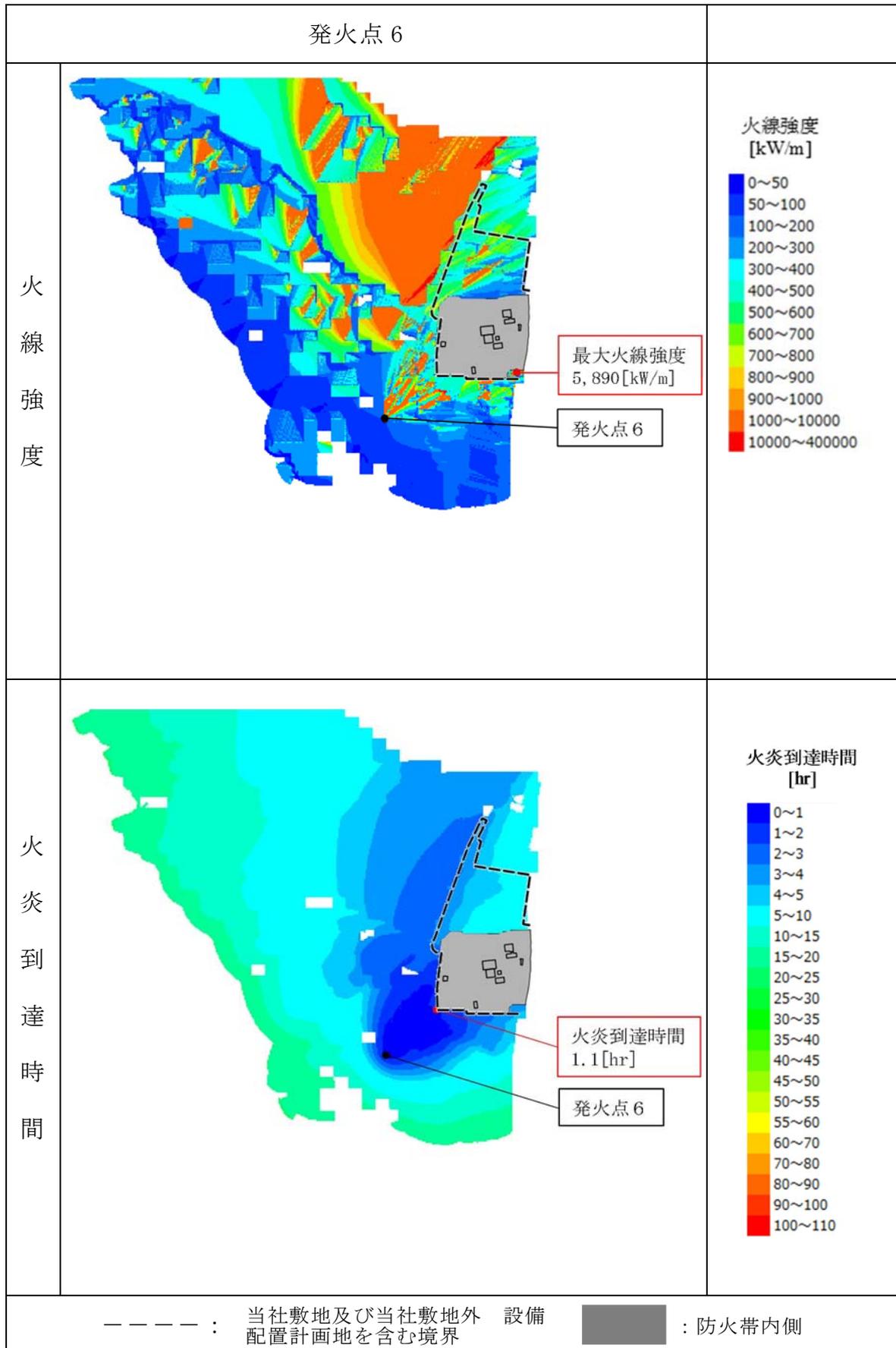
第 3.1-5 表 発火点 4 の延焼状況



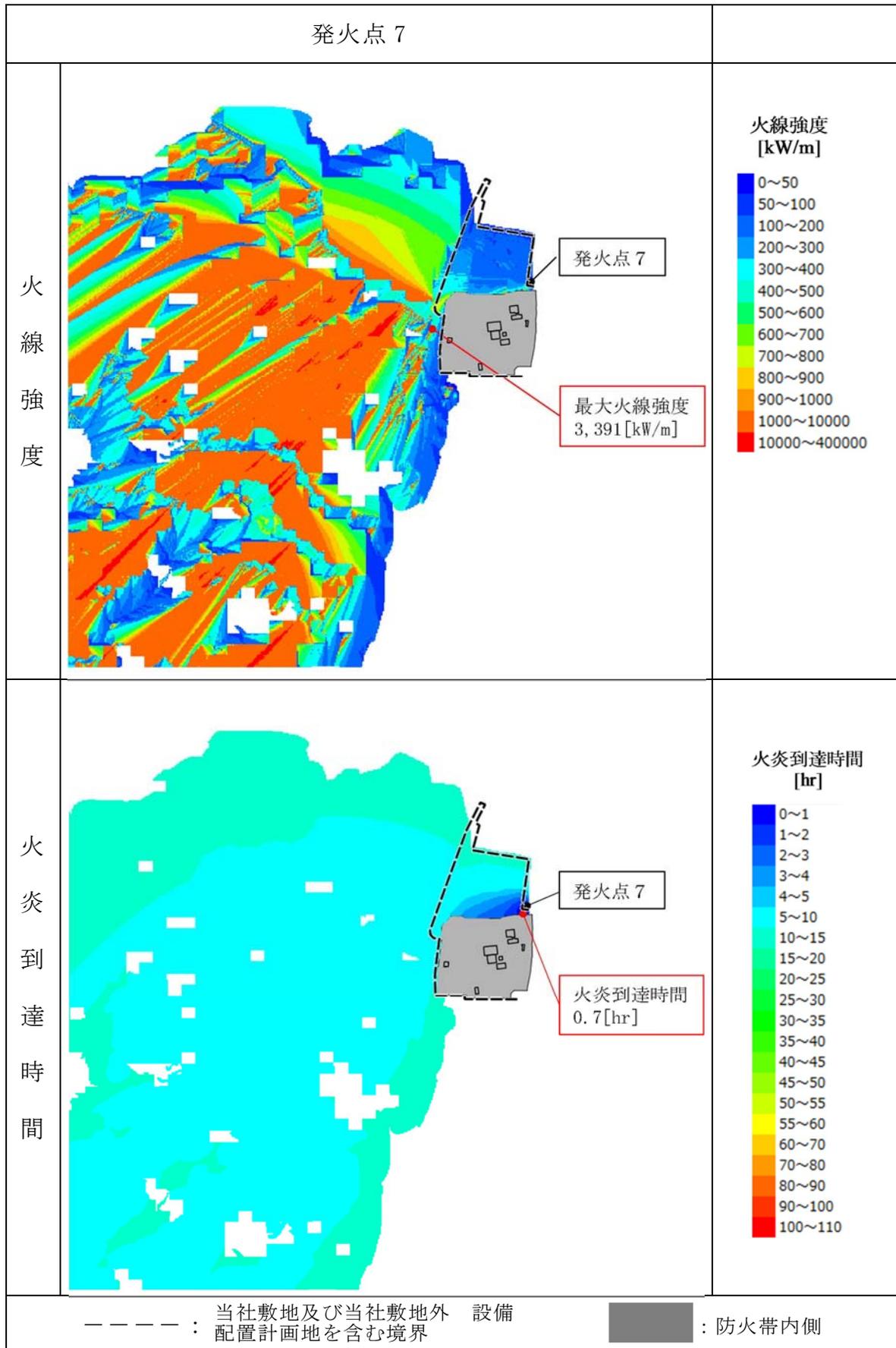
第 3.1-6 表 発火点 5 の延焼状況



第 3.1-7 表 発火点 6 の延焼状況



第 3.1-8 表 発火点 7 の延焼状況



4. 森林火災の影響評価結果

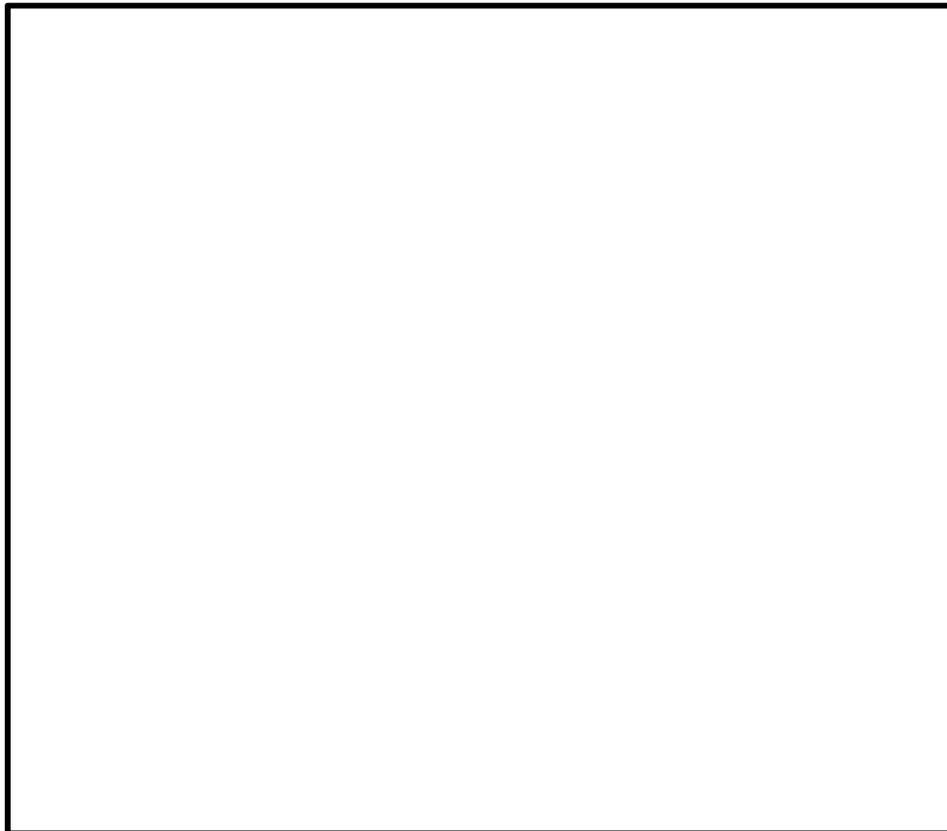
4.1 火災到達時間の評価結果

(1) 火災到達時間

防火帯を設置することで、森林火災が原子炉施設へ延焼する可能性は低い
が、森林火災の状況に応じて防火帯付近にて散水を行い、万が一の飛び
火による延焼を防止する。

F A R S I T E解析結果より、発火点 1 の火災が防火帯外縁に到達する
最短時間は 0.2 時間（約 12 分）であるため、この時間以内で予防散水が
可能であることを確認する。

発火点 1 の位置関係を第 4.1-1 図に示す。



第 4.1-1 図 発火点 1 との位置関係

(2) 火災の覚知

発電所敷地及び敷地境界付近における火災については以下の方法で早期覚知が可能である。

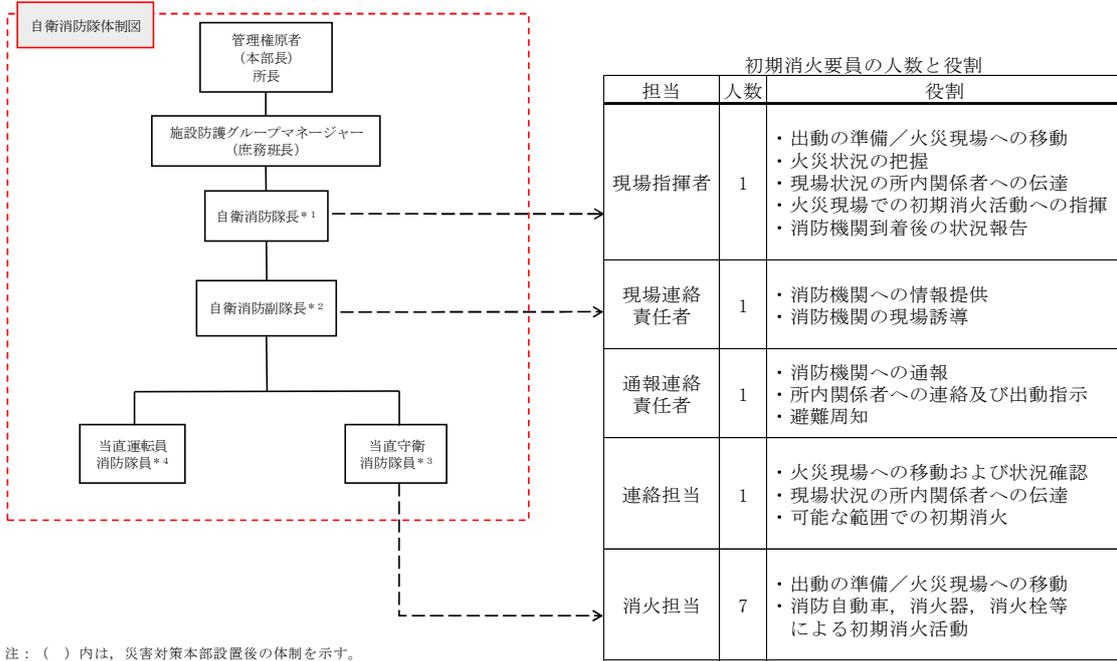
- a. 発電所構内で作業を行う者に対し、火災を発見した場合、当直守衛員に速やかに通報する事を、社内規程で定めている。通報を受けた者は所内関係者に連絡するとともに、消防機関（119番）に連絡を行う。
- b. 想定される自然現象等の影響について、昼夜にわたり発電所周辺の状況を把握する目的で設置する監視カメラを使用して森林火災に対する監視を行う。監視カメラは、発電所周辺の森林火災を監視できる位置に設置し、24時間要員が常駐する中央制御室及び守衛所からの監視が可能な設計とする。
- c. 火災感知器（サーモカメラ）を設けることで早期覚知が可能な設計とする。
- d. 下記の火災が発生した場合、消防機関から発電所へ連絡が入る。
 - ・ 発電所周辺で発生した森林火災
 - ・ 発電所へ迫る可能性がある消防機関が判断した火災

(3) 消火活動

a. 初期消火活動体制及び消防訓練

発電所の初期消火活動要員を、発電所の防火帯内に24時間常駐させる。森林火災発生時の初期消火活動要員の人数と役割を第4.1-1表、消防訓練の実績と頻度を第4.1-2表、消防訓練の状況を第4.1-2図に示す。なお、消火担当7名のうち一部は委託員となるが、社員同様の教育、訓練を実施しており、必要となる力量を有している。

第 4.1-1 表 森林火災発生時の初期消火活動要員の人数と役割



注：（ ）内は、災害対策本部設置後の体制を示す。
 * 1：現場指揮者（夜間・休日は宿直当番者対応）
 * 2：現場連絡責任者（夜間・休日は宿直当番者対応）
 * 3：構内全域における初期消火活動等
 * 4：東海第二発電所の管理区域及び周辺防護区域内における初期消火活動等

第 4.1-2 表 消防訓練実績と頻度（平成 27 年度）

訓練項目	頻度	実績	対象者	訓練内容
油火災消火訓練	4 回/年	実績無し	自衛消防隊	油火災（タンク火災等）を想定した消火訓練
消防車放水訓練他	1 回以上/月	99 回	自衛消防隊	建物火災を想定した消火訓練
消防機関との合同訓練	1 回/年	H27. 10. 28	自衛消防隊	管理区域内建物火災を想定した通報連絡，消火訓練
海上災害防止センター消防訓練	4 回/年	H27. 9. 24～25 H27. 11. 26～27 H27. 12/14～18 H28. 2. 1～2	自衛消防隊	外部施設（横須賀）による実火訓練
総合火災訓練	1 回/年	H27. 10. 28	発電所全体 自衛消防隊	管理区域内建物火災を想定した通報連絡，避難，消火訓練
防火訓練	2 回/年	H27. 9. 19 H28. 3. 9	一般所員 協力会社	初期消火の基本動作訓練
森林火災 散水訓練	—	実績無し	自衛消防隊	森林火災を想定した散水訓練



第 4.1-2 図 消防訓練状況

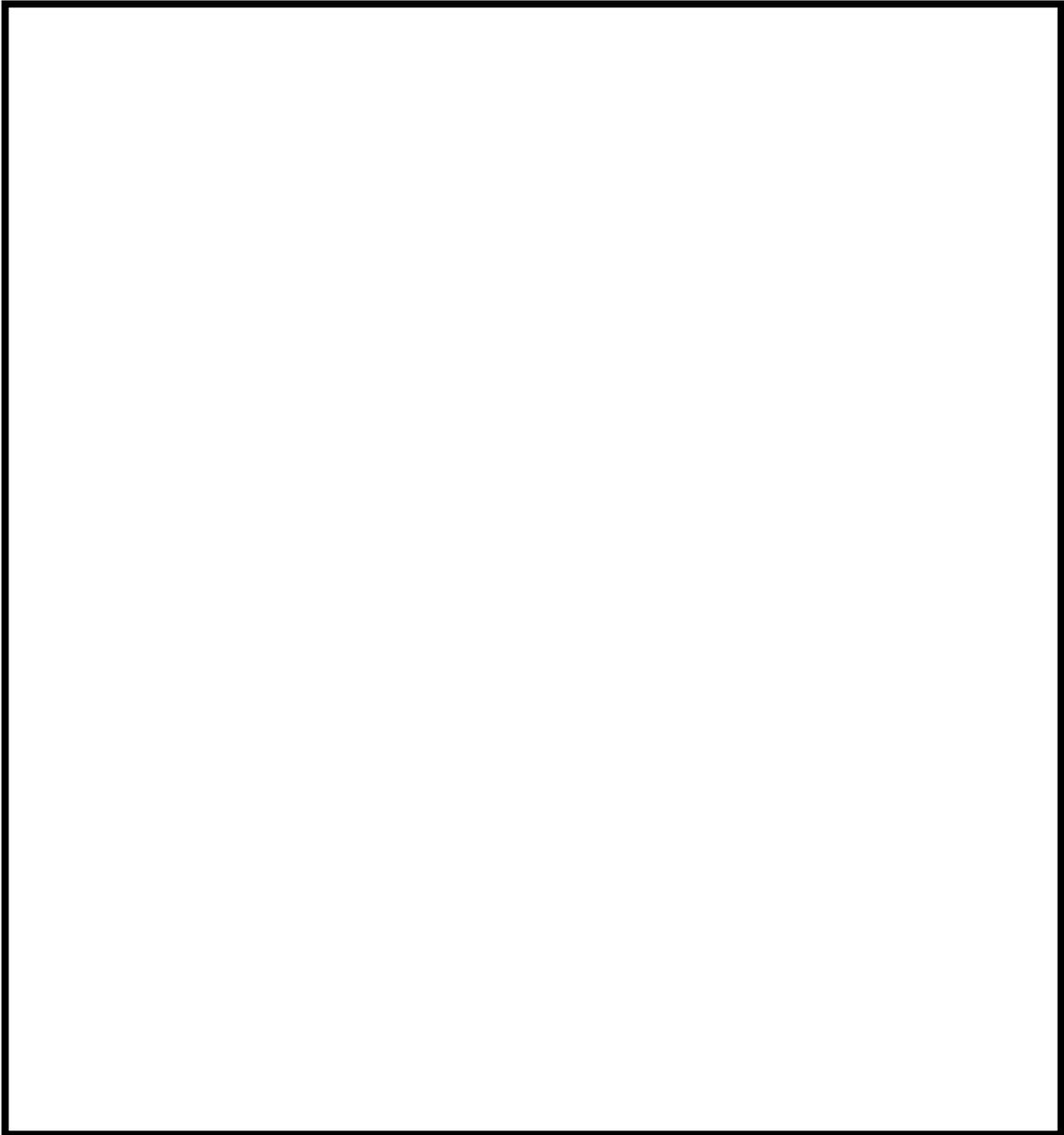
b. 散水開始までの所要時間

(a) 防火帯への散水

- i) 火炎到達時間が最短となる発火点1から出火した森林火災が、最短で発電所に到達する散水地点Aにおいて散水活動を行う。散水位置を第4.1-3図に示す。
- ii) 水源は散水地点に最も近い屋外消火栓*を使用する。なお、屋外消火栓の水源は原水タンクであり、このタンクの水源は工業用水より自動補給されるため、連続散水が可能である。原水タンクは防火帯の内側に設置されているため、森林火災の影響は受けない。
- iii) 消防車1台を使用したときの対応人数を第4.1-3表に、消防自動車仕様を第4.1-4表に示す。
※：屋外消火栓は、外部電源喪失時においてもディーゼル駆動消火ポンプが運転可能であることから使用可能である。万が一、屋外消火栓が使用不能となった場合には、防火水槽等を水源とする。
- iv) 万一、防火帯の内側に延焼した場合は、自衛消防隊は屋外消火栓及び消防車を使用して、初期消火活動、延焼防止活動を行う。

第4.1-3表 散水地点及び対応人数（防火帯）

散水地点	発電所西側 散水地点A			
消火栓位置	屋外消火栓（設置予定）			
ホース展張距離	約100m			
消防車台数	1台			
対応人数	現場指揮者	: 1名	現場連絡責任者	: 1名
	散水筒先	: 2名	ホース展張	: 3名
	ホース監視	: 1名	燃料補給	: 1名
	連絡責任者	: 1名	連絡担当	: 1名
	合計	: 11名		



第 4.1-3 図 散水位置 (防火帯)

第 4.1-4 表 消防自動車仕様

設備	数量 (台)	水槽容量 (L)	薬液槽容量 (L)
化学消防自動車	1	1,500	300
水槽付消防ポンプ自動車	1	2,000	-

(b) 所要時間

第 4.1-5 表に示すとおり，火災情報入手後，11 分で散水活動を開始可能である。

第 4.1-5 表 散水開始までの所要時間（防火帯）

項目	活動内容	活動に必要な所要時間（分）				
		0	10	20	30	
火災発生		▽				
連絡・火災延焼確認	火災情報入手		▽			
消火活動準備	出動準備		▭			
	消火活動場所までの移動			▭		
	ホース展張・散水準備			▭		
消火活動開始	防火帯への散水開始					▼ 11分後 散水準備完了

▭：訓練実績 ▭：過去の実績等から想定した時間

(c) 評価結果

発火点 1 の火炎到達時間 0.2 時間（約 12 分）以内で散水が可能である。なお，発火点 1 と防火帯の間は幅 7m の道路があり，解析モデルへは保守的に周囲と同じ植生*を入力し，火炎到達時間を算出している。実際には非燃焼領域であるこの道路があることによって，火炎到達時間はより長くなると考えられる。

*：解析上は，道路周囲と同じ植生（落葉広葉樹）を入力

(4) 森林火災時のモニタリングポストへの対応

モニタリングポストについては、発電所監視区域付近における空間線量率の監視を行うために発電所敷地境界付近（防火帯の外側）に4箇所設置している。

モニタリングポストは防火帯外側に設置されているため、森林火災による影響を確実に防止できるとは考えていない。

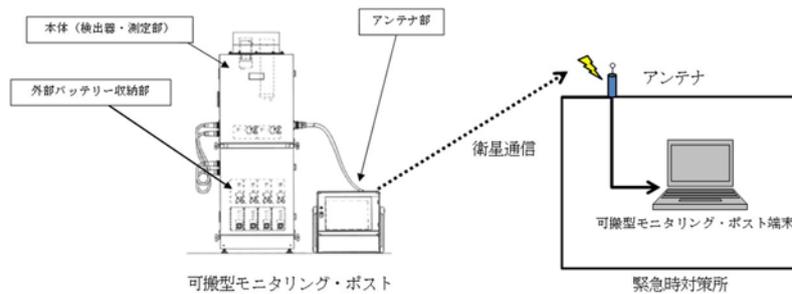
モニタリングポストが森林火災の影響を受け機能を喪失した場合は、防火帯内側に保管してある可搬型モニタリングポストを設置し、代替監視を行う。可搬型モニタリングポストはモニタリングポスト用として4台準備する。また、電源は外部バッテリーを適時交換することで連続供給可能であり、データ伝送は衛星回線による通信機能を有しており、中央制御室及び緊急時対策所にて、常時監視が可能である。

なお、可搬型モニタリングポストを配置場所まで運搬・設置し、監視・測定を監視するまでの所要時間は、1台当たり約50分を想定（10台設置する場合は、約8時間10分を想定）。

可搬型モニタリングポストのイメージ図を第4.1-4図、配置図を第4.1-5図に示す。

森林火災が発生した場合、防火帯内側にある原子炉施設の防護を第一に考える。ただし、風向き等から森林火災が原子炉施設へ影響を与えないと判断した場合は、モニタリングポスト付近への散水を行う。

モニタリングポスト付近への散水開始までの所要時間を訓練にて測定した。



第 4.1-4 図 可搬型モニタリングポストのイメージ

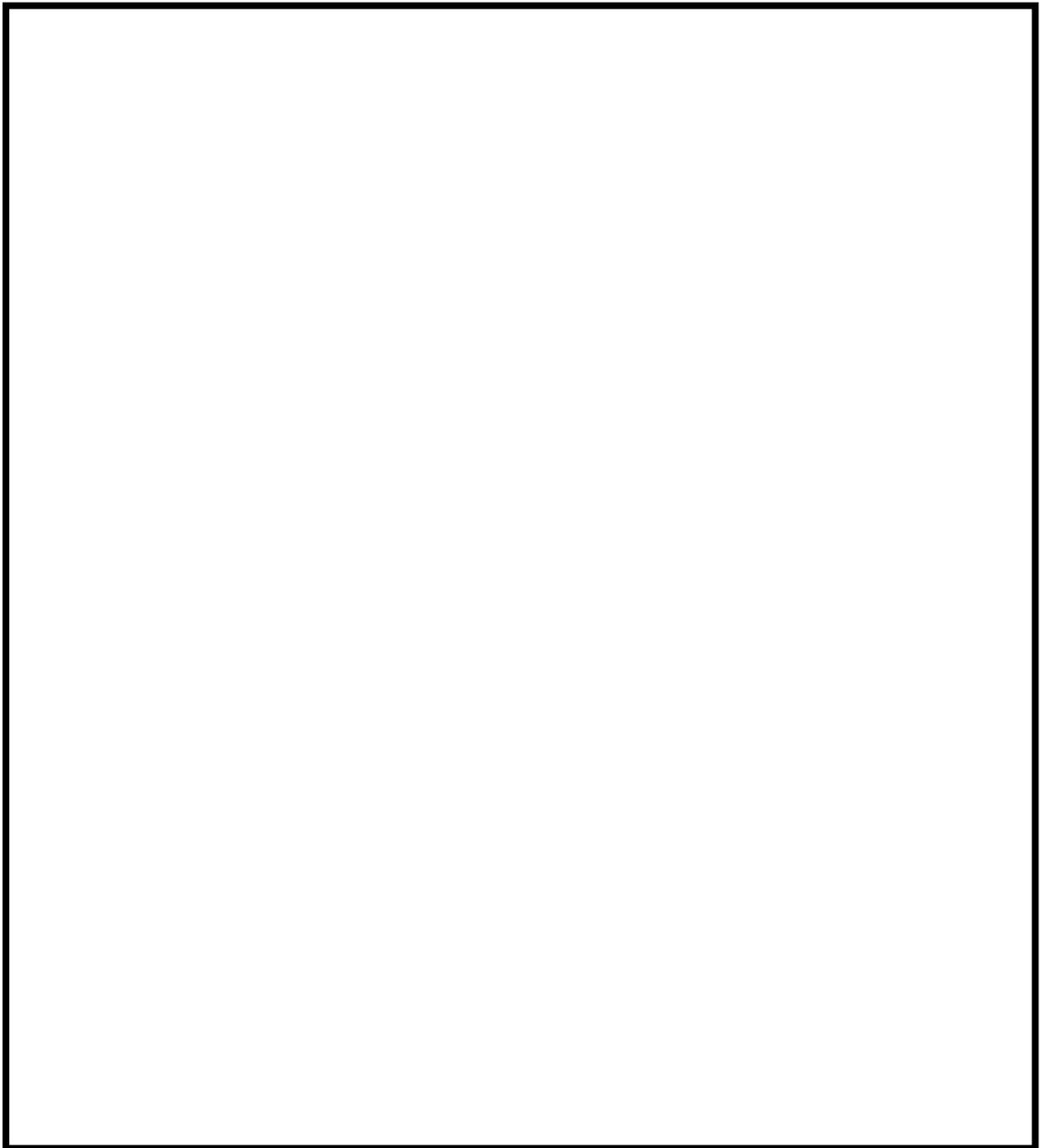
a. 散水開始までの所要時間

(a) モニタリングポストへの散水訓練

- i) 消防車待機位置，初期消火活動要員集合場所から遠いモニタリングポスト D において散水活動を行う。散水位置を第 4.1-5 図に示す。
- ii) 水源は，散水地点に一番近い北地区防火水槽（北側）（保有水量：40m³）を使用。
- iii) 消防車 1 台を使用したときの対応人数を第 4.1-6 表に示す。

第 4.1-6 表 散水地点及び対応人数（モニタリングポスト）

散水地点	モニタリングポスト D			
防火水槽位置	北地区防火水槽（北側）			
ホース展張距離	150m			
消防車台数	1 台			
対応人数	現場指揮者	: 1 名	現場連絡責任者	: 1 名
	散水筒先	: 2 名	ホース展張	: 3 名
	ホース監視	: 1 名	燃料補給	: 1 名
	連絡責任者	: 1 名	連絡担当	: 1 名
	合計	: 11 名		



第 4.1-5 図 モニタリングポスト位置及び可搬型モニタリングポスト設置位置

(b) 訓練結果

第 4.1-7 表に示すとおり，火災情報入手後，約 16 分で散水活動を開始可能である。ただし，この結果は防潮堤を考慮していないため，防潮堤設置後に再訓練を実施し，散水開始までの所要時間を確認する。

第 4.1-7 表 散水開始までの所要時間（モニタリングポスト）

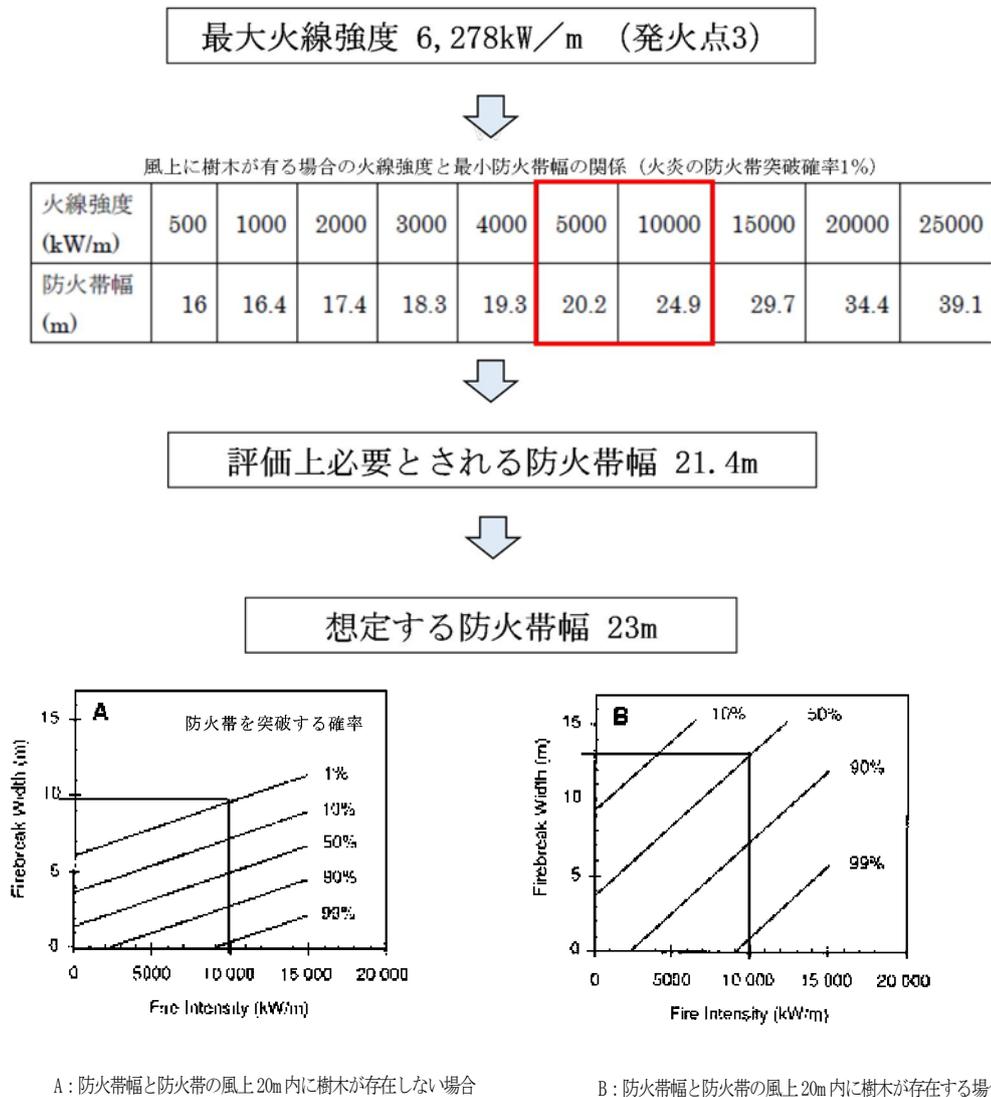
項目	活動内容	活動に必要なとなる所要時間（分）						
		0	10	20	30			
火災発生		▽						
連絡・火災延焼確認	火災情報を入手	▽						
消火活動準備	出動準備		5分					
	消火活動場所までの移動			7分				
	ホース展張・散水準備				4分			
消火活動開始	モニタリングポストへの散水開始				▼	16分後 散水準備完了		

□ : 訓練実績 □ : 過去の実績等から想定した時間

4.2 防火帯幅

(1) 防火帯幅の設定

F A R S I T E解析結果から算出された、防火帯外縁から 100m の範囲における最大火線強度は、発火点 3 の 6,278kW/m であり、「Alexander and Fogarty の手法（風上に樹木が有る場合）」を用いて、防火帯幅（火炎の防火帯突破確率 1%の値）を算出した結果、評価上必要とされる防火帯幅 21.4m に対して、23m 幅の防火帯を設定する。火線強度に対する防火帯の相関図を第 4.2-1 図に示す。



第 4.2-1 図 火線強度に対する防火帯の相関図

(2) 火線強度抽出範囲の設定について

防火帯幅は、防火帯外縁に存在する植生からの延焼を考慮して、防火帯外縁の最大火線強度に基づき算出するが、防火帯外縁から離れた地点でより大きい火線強度が存在する可能性を考慮して、防火帯外縁から 100m 範囲の火線強度を確認している。この結果から得られた最大火線強度 $6,278\text{kW}/\text{m}$ に基づく防火帯幅 21.4m に保守性を持たせた 23m の防火帯を設定する。なお、防火帯外縁から 100m より遠くに存在するメッシュについて、必要な防火帯幅が 100m 以上となるものはないことを確認しているため、防火帯幅の決定において考慮する必要はない。

(3) 出火時刻の違いによる感度解析について

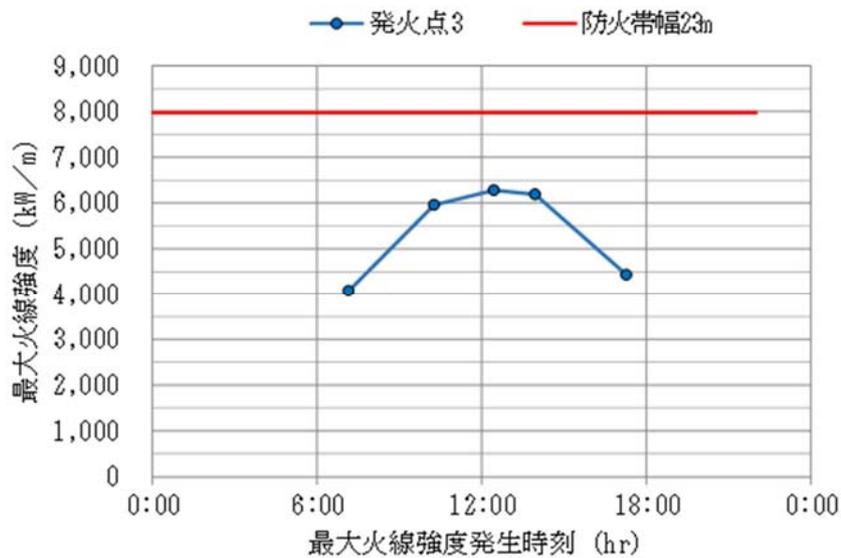
F A R S I T E では日射量が可燃物の水分量に影響を与えるため、日射量が多くなる日中時間帯に火線強度が高くなる。同じ発火点からの火災であっても、出火時刻によって最大火線強度に違いが生じるため、全発火点のうち最も高い最大火線強度となった発火点 3 に対して 4 パターンの出火時刻を設けて、感度解析を行った。解析結果を第 4.2-1 表に示す。

第 4.2-1 表 感度解析結果

発火点位置	発火点3				
最大火線強度発生時刻	7:09	10:16	12:27	13:57	17:17
最大火線強度 (kW/m)	4,080	5,959	6,278	6,193	4,436

設定する防火帯幅 23m に相当する火線強度 $7,978\text{kW}/\text{m}$ は、第 4.2-2 図に示すとおり、感度解析から算出された火線強度を十分に上回ることを確

認した。



第 4.2-2 図 感度解析結果と防火帯 23m の火線強度

(4) 防火帯の設定

防火帯を第 4.2-3 図に示す。

a. 防火帯の設定

- (a) 防火帯は、防護対象設備（クラス 1，クラス 2，クラス 3 のうち防火帯の確保により防護する設備）及び重大事故等対処設備を囲むように設定する。
- (b) アクセスルートと重ならず，横切らない設定とする。
- (c) 駐車場等，延焼の可能性のあるものと干渉しないように設定する。
- (d) 樹木伐採後の土砂流出等が発生しない施工（モルタル吹付け等）を行う。
- (e) 防潮堤を以下の理由から防火帯として兼用する。
 - i) 防潮堤は鋼管杭鉄筋コンクリートなどで造られていることから延

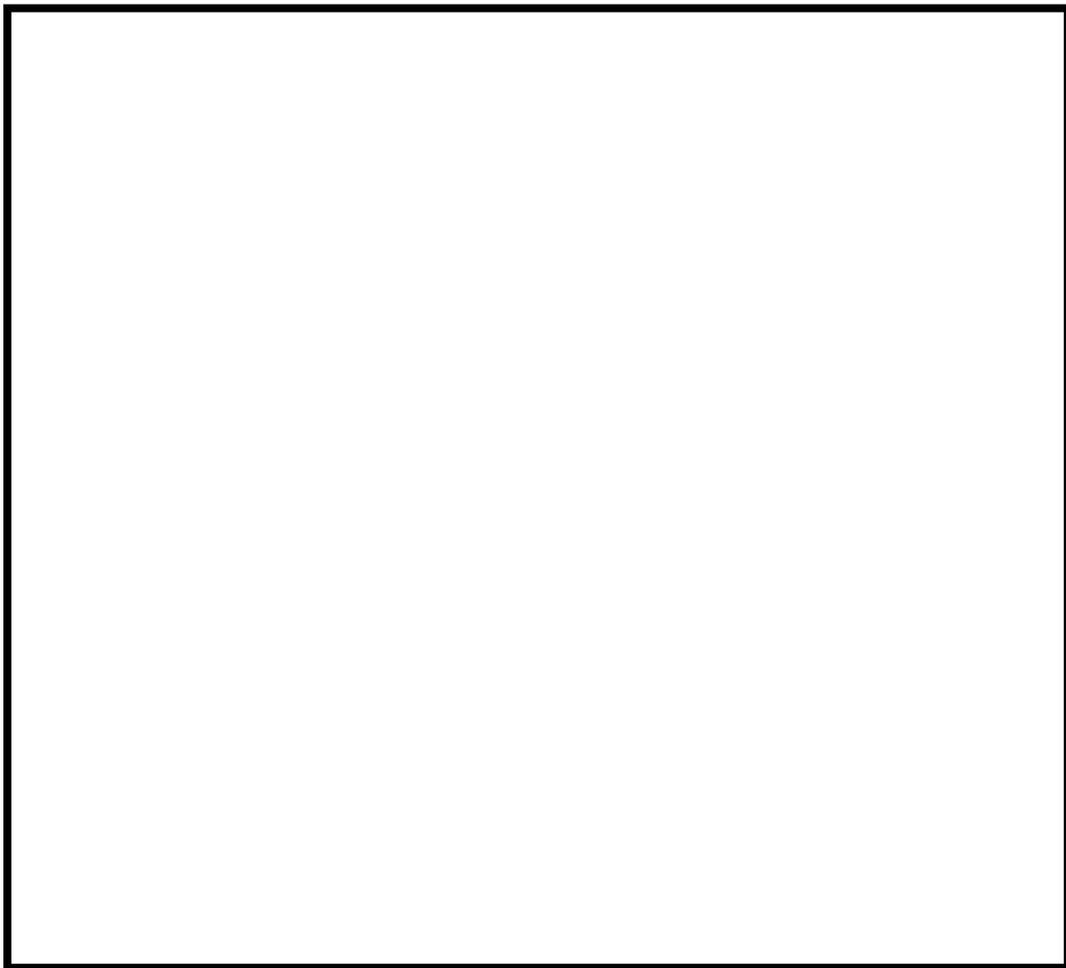
焼の可能性はない。

ii) 防潮堤とその内・外側を並行する管理道路を含めた幅は防火帯幅以上である。

iii) 森林火災により損傷することはない。(別紙 2.5)

b. 防火帯の管理

防火帯の管理については火災防護計画に定め、駐車車両等の可燃物及び消火活動に支障となるものは原則として配置しない管理を行う。(別紙 2.6)



第 4.2-3 図 防火帯設置図

4.3 熱影響と危険距離の評価

影響評価対象施設に対して、森林火災による熱影響評価を行った。

4.3.1 パラメータの算出

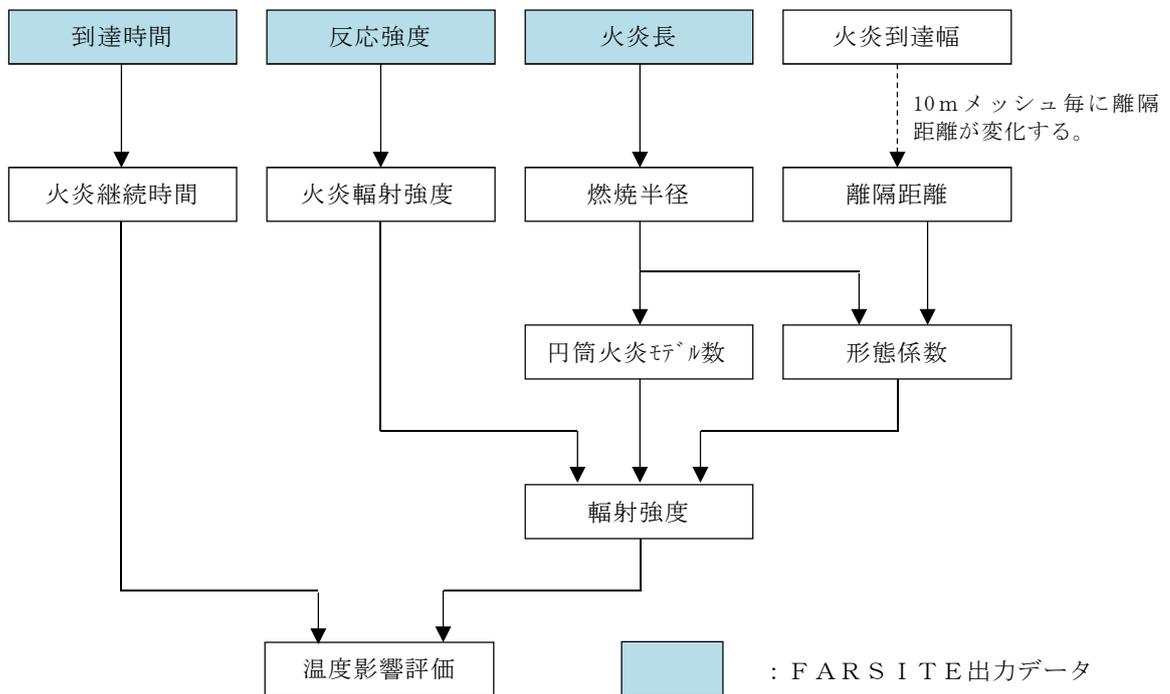
FARSITE解析結果である火炎到達時間、反応強度、火炎長から、温度評価に必要なデータを算出した。温度評価に用いたデータの説明を第4.3.1-1表、FARSITE解析結果及び算出データを第4.3.1-2表、温度評価の流れを第4.3.1-1図に示す。

第4.3.1-1表 温度評価に用いたデータ内容

項 目		内 容
FARSITE 解析結果	火炎到達時間 (hr)	出火から火炎の前線が該当地点に到達するまでの時間。 火炎継続時間の算出に使用する。
	反応強度 (kW/m ²)	単位面積当たりの熱放出速度であり、火炎輻射強度の根拠となる火災規模。火炎輻射強度の算出に使用する。
	火炎長 (m)	反応強度が最大位置の火炎の高さ。円筒火炎モデルの形態係数の算出に使用する。
FARSITE 解析結果 より算出 したデータ	火炎継続時間 (hr)	到達時間から算出され、円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出に使用する。
	火炎輻射強度 (kW/m ²)	反応強度に米国 NFPA の係数 0.377 を乗じて算出され、円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出に使用する。
	燃焼半径 (m)	火炎長に基づき算出され、円筒火炎モデルの形態係数の算出に使用する。
	火炎到達幅 (m)	防火帯外縁における火炎到達セル数×セル幅 (10m)

第 4.3.1-2 表 F A R S I T E 解析結果及び算出データ

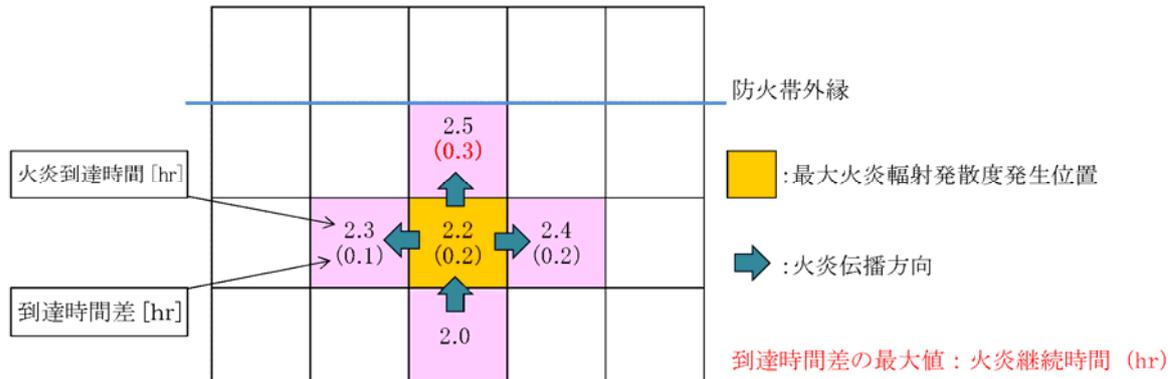
項目	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
火炎到達時間 (hr)	0.2	4.0	0.7	6.0	2.9	1.1	0.7
火炎長 (m)	0.7	0.9	1.6	1.1	1.5	1.6	1.5
火炎継続時間 (hr)	0.36	0.16	0.07	0.16	0.10	0.06	0.08
火炎輻射強度 (kW/m ²)	442	441	442	440	444	443	439
燃焼半径 (m)	0.2	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
火炎到達幅 (m)	1,960	1,550	1,960	1,460	1,960	1,960	1,330



第 4.3.1-1 図 温度評価流れ図

(1) 火炎継続時間

最大火炎輻射強度の発生メッシュと隣接メッシュにおける火炎到達時間の差を火炎継続時間とする。2 つ以上の伝播方向がある場合は，最大時間を選択する。火炎継続時間の概念図を第 4. 3. 1-2 図に示す。



第 4. 3. 1-2 図 火炎継続時間の概念図

(2) 火炎輻射発散強度

火炎輻射強度は F A R S I T E 出力データである反応強度から算出する。

反応強度は炎から輻射として放出される熱エネルギーと，火炎・煙として対流放熱される熱エネルギーの和から求められることから，反応強度に対する火炎輻射強度の割合を求めることで，反応強度から火炎輻射強度を算出する。「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」から各樹木の発熱量を引用し，反応強度に対する火炎輻射強度の割合を算出する。

東海第二発電所の周囲は，針葉樹で囲まれていることから，針葉樹の係数 0.377 を使用する。火炎輻射強度と反応強度の発熱量の関係を第 4. 3. 1-3 表に示す。

$$\text{反応強度 (W/m}^2\text{)} = \text{火炎輻射強度 (W/m}^2\text{)} + \text{火炎対流発散度 (W/m}^2\text{)}$$

第 4.3.1-3 表 火炎輻射強度と反応強度の発熱量

発熱量 (△H)	火炎輻射強度 (△Hrad)	火炎対流発散度 (△Hcon)	反応強度 (△Hch)	係数 (△Hrad/△Hch)
レッドオーク 発熱量 (落葉広葉樹の代表種)	4.6kJ/g	7.8kJ/g	12.4kJ/g	0.371
米松 発熱量 (針葉樹の代表種)	4.9kJ/g	8.1kJ/g	13.0kJ/g	0.377

※：「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」

(SFPE:米国防火技術者協会) より

(3) 燃焼半径

燃焼半径は、火炎長から算出する。

$$R = \frac{H}{3}$$

R : 燃焼半径 (m) H : 火炎長 (m)

(4) 火炎到達幅

発電所周囲の森林境界に到達した火炎のセル数×10m (セル幅) を火炎到達幅 W として算出する。

(5) 円筒火炎モデル数

円筒火炎モデル数及び 10m メッシュ内の円筒火炎モデル数を、火炎到達幅、燃焼半径から算出する。

$$F = \frac{W}{2R} \quad F' = \frac{10}{2R}$$

F : 円筒火炎モデル数

W : 火炎到達幅 (m)

F' : 円筒火炎モデル数 (10m メッシュ)

R : 燃焼半径 (m)

(6) 形態係数の算出

外部火災の影響評価ガイドに基づき形態係数を算出する。各円筒モデルから受熱面までの距離が異なるため、各円筒火炎モデルにおける形態係数を算出する。

$$\phi_i = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[\frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right]$$

$$m = \frac{H}{R}, \quad n = \frac{L_i}{R}, \quad A = (1 + n)^2 + m^2, \quad B = (1 - n)^2 + m^2$$

ϕ_i : 円筒火炎モデルの形態係数

L_i : 離隔距離 (m), H : 火炎長 (m)

R : 燃焼半径 (m)

(7) 輻射強度の算出

10m メッシュ内には燃焼半径から算出した F' 個の火炎が存在するものとして、受熱面への輻射強度を算出する。

$$E_0 = \phi_0 \times F' \times R_f \quad (\text{中心火炎の場合})$$

$$E_i = \phi_i \times F' \times R_f \times 2 \quad (\text{中心以外の火炎の場合})$$

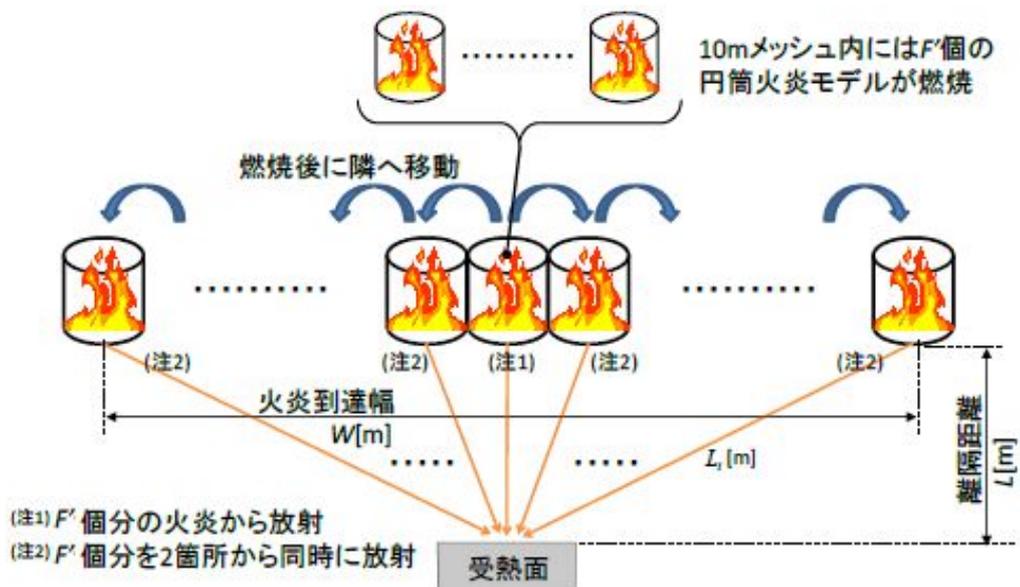
ϕ_i : 形態係数

R_f : 最大火炎輻射強度 (kW/m²)

F' : 火炎円筒モデル数 (10m メッシュ)

(8) 温度評価条件

受熱面への輻射強度は、円筒火炎モデルを火炎到達幅の長さ分並べて、各々の輻射強度を積算し評価した。火炎輻射強度は各々の位置で強度の違いがあるが、本評価では保守的に最大火炎輻射強度の円筒火炎モデルが一樣に存在するものとして評価する。円筒火炎モデルの燃焼時間は火炎継続時間である。円筒火炎モデルの概念図を第 4.3.1-3 図に示す。



第 4.3.1-3 図 円筒火炎モデルの概念図

4.3.2 危険距離と熱影響評価の算出

4.3.2.1 建屋に対する危険距離と熱影響評価

(1) 影響評価対象範囲

影響評価対象施設の外壁について、森林火災を想定して評価を実施した。

(2) 影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第

4.3.2.1-1表に示す。

第 4.3.2.1-1 表 影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

影響評価対象施設	原子炉建屋	海水ポンプ室	使用済燃料乾式貯蔵建屋	タービン建屋
離隔距離(m)	267	242	37	221

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。なお、外壁にはガラリ、配管貫通部等が存在するが、これらに対する火災影響は敷地内火災に包絡されるため本評価では対象外とした。

b. 評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、式1の一次元非定常熱伝導方程式を差分法より解くことで、外壁表面の温度及び外壁表面の温度が 200℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を算出する。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (\text{式 1})$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E - h(T - T_0) \quad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (x=L)$$

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

T : 表面温度(°C)

E : 輻射強度(W/m²)

T₀ : 周囲温度(50°C) ※¹

h : 熱伝達率(17.0W/m²/K) ※²

ρ : 密度(2,400kg/m³)

k : 熱伝導率(1.63W/m/K)

C_p : 比熱(880J/kg/K)

L : 厚さ[m]

※¹ : 水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

※² : 空気調和・衛生工学便覧(外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である17W/m²/Kを用いる。)

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを，式2より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \quad (\text{式 2})$$

E : 輻射強度(W/m²)， R_f : 輻射発散度(W/m²)， Φ : 形態係数

(出典：評価ガイド)

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを，式3より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

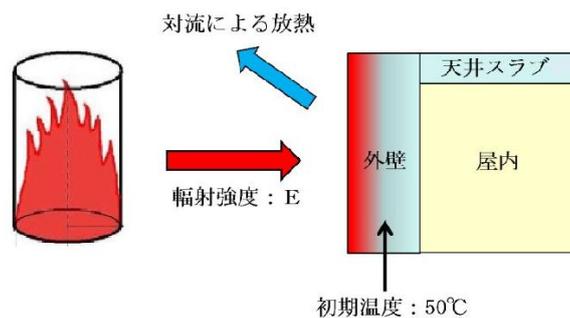
ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$ ， $n = \frac{L}{R}$ ， $A = (1+n)^2 + m^2$ ， $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ : 形態係数， L : 離隔距離(m)， H : 炎の高さ(m)， R : 燃焼半径(m)

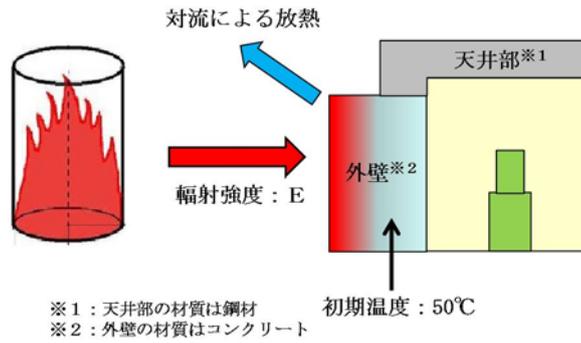
(出典：評価ガイド)

上記のとおり危険距離を算出し，最も近い防火帯外縁から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。建屋外壁の評価概念図を第 4.3.2.1-1 図，海水ポンプ室の評価概念図を第 4.3.2.1-2 図，天井スラブへの輻射熱の影響の概念図を第 4.3.2.1-3 図に示す。

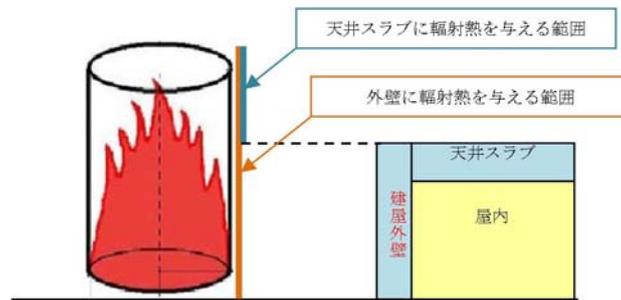
- ・ 火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・ 火炎長が天井スラブより長い場合，天井スラブに輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・ 海水ポンプ室の天井は鋼材，外壁はコンクリートであるため，許容温度が低い外壁の方が評価上厳しい。



第 4.3.2.1-1 図 建屋外壁の評価概念図



第 4.3.2.1-2 図 海水ポンプ室の評価概念図



第 4.3.2.1-3 図 天井スラブへの輻射熱の影響

c. 評価結果

影響評価対象施設の外壁表面温度及び、外壁表面温度が 200°C となる危険距離を評価した結果、各評価結果が許容値以下であることを確認した。外壁表面温度の評価結果を第 4.3.2.1-2 表に、危険距離の評価結果を第 4.3.2.1-3 表に示す。

第 4.3.2.1-2 表 外壁表面の熱影響評価結果

影響評価対象施設	評価温度 (°C)							許容温度 (°C)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	51	51	52	52	52	52	52	< 200
海水ポンプ室	52	52	52	52	52	52	52	
使用済燃料乾式貯蔵建屋	79	77	85	82	88	83	83	
タービン建屋	52	52	52	52	52	52	52	

第 4.3.2.1-3 表 影響評価対象施設に対する危険距離

影響評価対象施設	危険距離 (m)							離隔距離 (m)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	14	13	15	15	16	15	15	267
海水ポンプ室	14	13	15	15	16	15	15	242
使用済燃料乾式貯蔵建屋	14	13	15	15	16	15	15	37
タービン建屋	14	13	15	15	16	15	15	221

4.3.2.2 建屋内部の室内温度評価

(1) 評価対象範囲

影響評価対象施設に対し、室内で人員の活動が必要な中央制御室について、森林火災を想定し、室内温度を評価した。

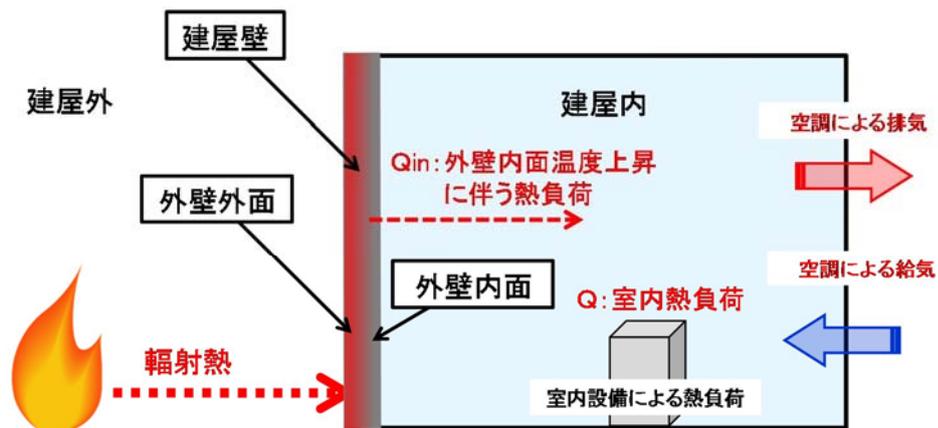
(2) 判断の考え方

a. 許容温度

中央制御室の電気設備（パワーセンター、モータコントロールセンター）の使用温度から 40℃とする。

b. 評価方法

室内温度評価の概念図を第 4.3.2.2-1 図、室内温度評価の評価条件を第 4.3.2.2-1 表に示す。



第 4.3.2.2-1 図 室内温度評価の概念図

第 4.3.2.2-1 表 室内温度評価の評価条件

評価条件項目		中央制御室 (原子炉建屋)
壁面寸法	壁面 表面積 (m ²)	188
熱負荷情報	室内熱負荷(W)	210,579
	風量(m ³ /h)	42,504
	空調給気温度(°C)	15.5
室内許容温度	室内許容温度(°C)	40

4.3.2.1 の一次元非定常熱伝導方程式を用いて算出した第 4.3.2.2-2 表の外壁内面温度より，下式を用いて室内温度評価を算出した。

第 4.3.2.2-2 表 熱評価結果

火災源	評価対象	外壁内面温度[°C]
森林火災 (発火点 1)	中央制御室 (原子炉建屋)	51

$$Q_{in} = h_{in} A (T_{in} - T_{room})$$

Q_{in} : 外壁内面温度上昇に伴う熱負荷(W)
 h_{in} : 外壁内面熱伝達率(8.29W/m²/K)
 A : 受熱壁の表面積 (m²)
 T_{in} : 外壁内面最高温度(°C), T_{room} : 室温(°C)

室内温度の評価は，森林火災による外壁内面温度上昇に伴う熱負荷と室内の熱負荷及び空調による除熱を考慮し算出した。

$$T_{room} = \frac{Q + Q_{in}}{m \rho C_p} + T_a$$

Q : 室内熱負荷(210,579W), m : 風量(42,504m³/h)
 ρ : 空気密度 (1.2kg/m³)
 C_p : 空気比熱(1,007 J/kg/K), T_a : 空調給気温度 (°C)

c. 評価結果

森林火災を想定した中央制御室の室内温度を算出した結果、室内温度は許容温度以下であることを確認した。

評価結果を第 4.3.2.2-3 表に示す。

第 4.3.2.2-3 表 室内温度評価結果

火災源	評価対象	建屋内部の到達温度 (°C)	許容温度 (°C)
森林火災 (発火点 1)	中央制御室 (原子炉建屋)	33	< 40°C

4.3.2.3 排気筒に対する熱影響評価と危険距離の算出

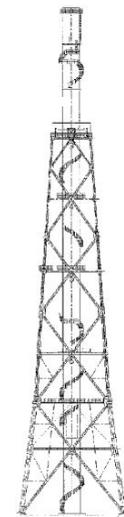
(1) 評価対象範囲

排気筒について、森林火災を想定して評価を実施した。

(2) 排気筒仕様を第 4.3.2.3-1 表に、排気筒外形図を第 4.3.2.3-1 図に示す。

第 4.3.2.3-1 表 排気筒仕様

名称		排気筒
種類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個数		1



第 4.3.2.3-1 図 排気筒外形図

- (3) 影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第 4.3.2.3-2 表に示す。

第 4.3.2.3-2 表 影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

影響評価 対象施設	排気筒
離隔距離 (m)	266

- (4) 判断の考え方

a. 許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

b. 評価方法

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式 1 により排気筒鉄塔表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。評価において対流による放熱を考慮している。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0 \quad (\text{式 1})$$

（出典：建築火災のメカニズムと火災安全設計，財団法人日本建築センター）

T：許容温度（325℃）， T_0 ：初期温度（50℃）※¹

E：輻射強度（W/m²），h：熱伝達率（17W/m²/K）※²

※¹：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※²：「空気調和ハンドブック」に記載されている表面熱伝達率のうち，保守的に最小となる垂直外壁面における夏場の表面熱伝達率（空気）を採用

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを、式2より算出する。

$$E = R f \cdot \Phi \quad (\text{式 2})$$

E：輻射強度(W/m²)， R f：輻射発散度(W/m²)， Φ：形態係数

(出典：評価ガイド)

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを、式3より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

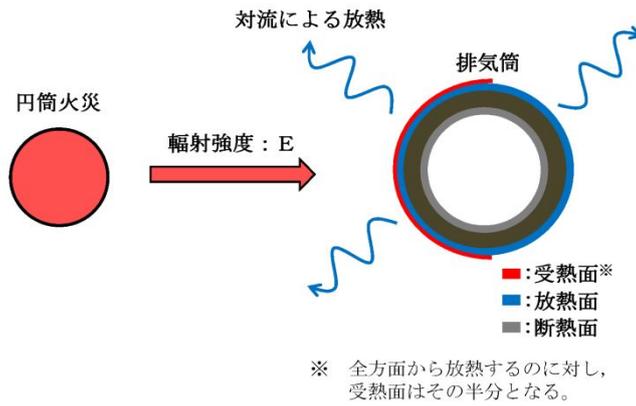
ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$ ， $n = \frac{L}{R}$ ， $A = (1+n)^2 + m^2$ ， $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数， L：離隔距離(m)， H：炎の高さ(m)， R：燃焼半径(m)

(出典：評価ガイド)

上記のとおり危険距離を算出し、最も近い防火帯外縁から影響評価対象までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

なお、排気筒は鉄塔と筒身で構成されるが、鉄塔は筒身よりも火災源との距離が近いこと、材質も鉄塔はSS400、STK400、筒身はSS400であり物性値が共に軟鋼で同一であることから、鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。排気筒の評価概念図を第4.3.2.3-2図に示す。



第 4.3.2.3-2 図 排気筒の評価概念図

c. 評価結果

森林火災によって上昇する排気筒鉄塔表面温度及び、排気筒鉄塔表面温度が 325℃となる危険距離を評価した結果、各評価結果が許容値以下であることを確認した。排気筒鉄塔表面温度を第 4.3.2.3-3 表に、排気筒に対する危険距離を第 4.3.2.3-4 表に示す。

第 4.3.2.3-3 表 排気筒の熱影響評価結果

影響評価対象施設	評価温度 (°C)							許容温度 (°C)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
排気筒	51	52	52	52	52	52	52	< 325

第 4.3.2.3-4 表 排気筒に対する危険距離

影響評価対象施設	危険距離 (m)							離隔距離 (m)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
排気筒	12	14	20	15	19	20	19	266

4.3.2.4 ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する熱影響評価と危険距離の算出

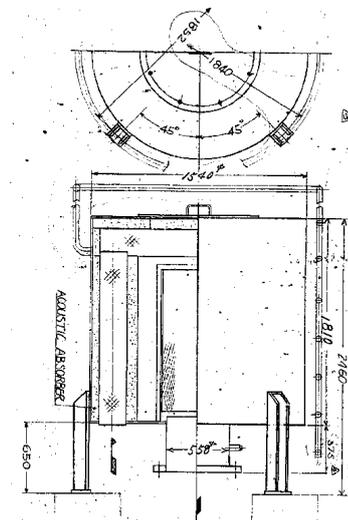
(1) 影響評価対象範囲

ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるD/G吸気系フィルタの流入空気温度について、森林火災を想定して評価を実施した。

(2) D/G吸気系フィルタ仕様を第4.3.2.4-1表に、D/G吸気系フィルタの外形図を第4.3.2.4-1図に示す。

第4.3.2.4-1表 D/G吸気系フィルタ仕様

名称	D/G吸気系フィルタ
種類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径 : 1.54m フィルタ円筒高さ : 2.46m
材料	SS400
個数	6



第4.3.2.4-1図 D/G吸気系フィルタ外形図

(3) 影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第4.3.2.4-2表に示す。

第4.3.2.4-2表 影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

影響評価対象施設	D/G吸気系フィルタ
離隔距離 (m)	267

(4) 判断の考え方

a. 許容温度

D/G吸気系フィルタの流入空気の許容温度は、火災時における温度上昇を考慮した場合において、ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下*とする。

※：D/G吸気系フィルタの流入空気温度が上昇すると、空気冷却出口温度が上昇し、シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b. 評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度による入熱がD/G吸気系フィルタに流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式1により、D/G吸気系フィルタに流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求める。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T \quad (\text{式 1})$$

T：許容温度(53℃)，T₀：初期温度(37℃)*¹，E：輻射強度(W/m²)，

G：重量流量(4kg/s)*²，A：輻射を受ける面積(7.8m²)

C_p：空気比熱(1,007J/kg/K)*³

ΔT：構造物を介した温度上昇(5℃)*⁴

※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間(2007年～2016年)の最高気温

※2：ディーゼル発電機機関の内、給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。
ディーゼル発電機機関吸気流量(228m³/min)×空気密度(1.17kg/m³)÷60

※3：日本機械学会 伝熱工学資料

※4：最高到達温度150℃を介した温度上昇(5℃)

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを、式2より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \quad (\text{式 2})$$

E：輻射強度(W/m²)，R_f：輻射発散度(W/m²)，Φ：形態係数

(出典：評価ガイド)

式2で求めた形態係数 Φ となる危険距離Lを、式3より算出する。

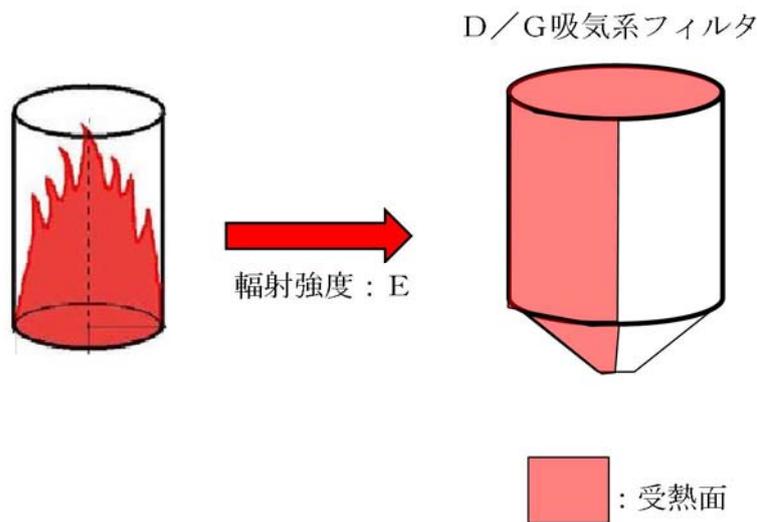
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式3})$$

ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ :形態係数, L:離隔距離(m), H:炎の高さ(m), R:燃焼半径(m)

(出典:評価ガイド)

上記のとおり危険距離を算出し、森林火災によって上昇するD/G吸気系フィルタを通して流入する空気の温度が、許容温度 53°C以下であるか評価を実施した。また、D/G吸気系フィルタの危険距離が離隔距離以下となるか評価を実施した。D/G吸気系フィルタの評価概念図を第4.3.2.4-2図に示す。



第4.3.2.4-2図 D/G吸気系フィルタの評価概念図

c. 評価結果

森林火災によって上昇するD/G吸気系フィルタを通して流入する空気の温度及び、D/G吸気系フィルタを通して流入する空気の温度が53℃となる危険距離を評価した結果、各評価結果が許容値以下であることを確認した。

D/G吸気系フィルタを通して流入する空気の温度を第4.3.2.4-3表に、D/G吸気系フィルタに対する危険距離を第4.3.2.4-4表に示す。

第4.3.2.4-3表 D/G吸気系フィルタの熱影響評価結果

影響評価対象施設	評価温度 (°C)							許容温度 (°C)
	発火点1	発火点2	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
D/G吸気系フィルタ	43	43	43	43	43	43	43	< 53

第4.3.2.4-4表 D/G吸気系フィルタに対する危険距離

影響評価対象施設	危険距離 (m)							離隔距離 (m)
	発火点1	発火点2	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
D/G吸気系フィルタ	16	18	25	20	25	25	24	267

コンクリート及び鋼材の許容温度について

「建築火災のメカニズムと火災安全設計（財団法人 日本建築センター）」に基づき、常温時の強度が維持される保守的な温度（コンクリートは 200℃、鋼材は 325℃）を許容温度とする。

以下に「建築火災のメカニズムと火災安全設計」の抜粋を示す。

コンクリートの許容温度に係る抜粋

(1) 素材の高温強度

常温時のコンクリートの圧縮強度低下率を図 14 に示す。圧縮強度は 200℃程度までは常温と殆ど変わらないか、むしろ上昇する。しかし、その後は徐々に低下して 500℃で常温強度の 2/3 に、800℃では殆ど零となる。2/3 はコンクリートの短期許容応力に相当するので、500℃が素材としての限界温度と考えられる。また、図 15 に示すように高温から冷却した後の残存強度は、高温時の強度よりもさらに低下する。長期許容応力度を加熱前強度の 1/3 相当と考えると、火災後の残存強度を確保する場合には 450℃が限界となる。

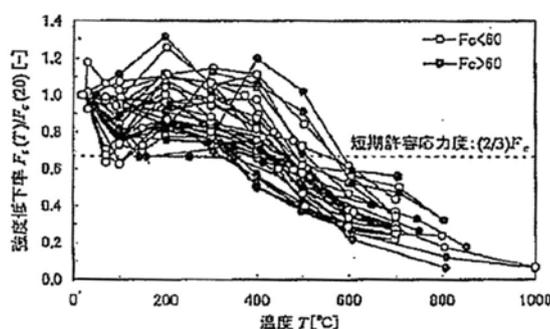


図 14 コンクリートの高温時圧縮強度（常温温度に対する比）（参考文献 18）～23）のデータより作成

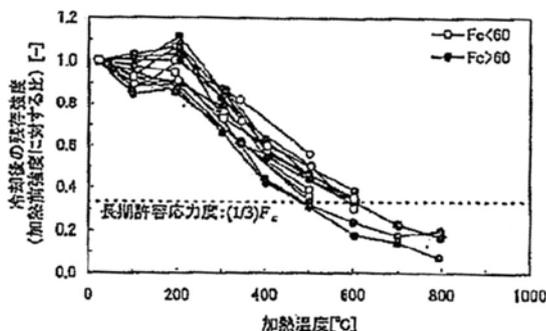


図 15 加熱後のコンクリート残存圧縮強度（加熱前強度に対する比）（参考文献 24）～26）のデータより作成

(1) 鋼材の高温耐力

図4は、各種温度における構造用鋼材（SM490A、基準強度²325N/mm²）の応力—ひずみ曲線の測定例である。常温での応力—ひずみ関係は、よく知られたように0.2%程度まで弾性変形し、その後は耐力がほぼ1定のままひずみが増加する領域（ひずみ硬化域）がある。

高温での応力—ひずみ曲線の形は常温とことなる。降伏棚が消滅し、曲線は全体的に丸みを帯びる。耐力値そのものは、300℃では常温よりも上昇し、400℃を超えると急激に低下し始める。600℃以上ではひずみが増加しても耐力が減少する領域（ひずみ軟化域）がある。この領域に入ってしまうと、変形が歯止めなく進行して崩壊に向かう。

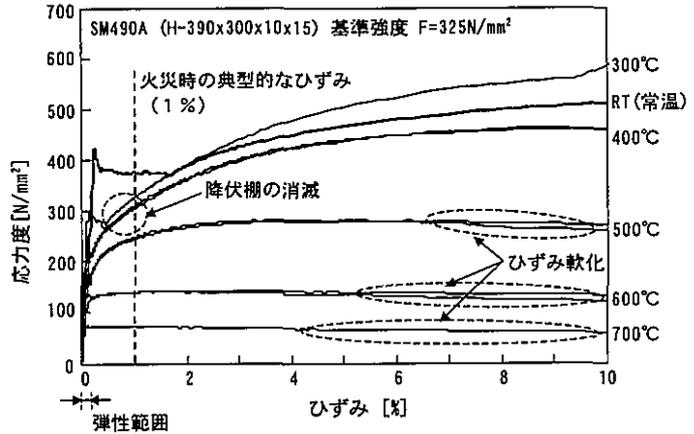


図4 構造用鋼材の応力—歪曲線の例²⁾
 (出典：「2001年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説」、井上書院)

このような鋼材の特性を踏まえ、高温時の構造計算には1%ひずみ時の耐力を用いる。図5に、各種鋼材の1%ひずみ時耐力の測定結果を示す。縦軸の値は、各温度での測定値を常温の基準強度（P値）で割ったものであり、これを鋼材の強度低下率と呼ぶ。構造耐火設計のためには、測定値の下限をとり次式で強度低下率が定義されている²⁾。

$$\kappa(T) = \frac{\sigma_y(T)}{F} = \begin{cases} 1 & (T \leq 325) \\ \frac{700 - T}{375} & (325 < T \leq 700) \end{cases} \quad (4)$$

これを用いると、素材としての限界温度を求めることができる。例えば、鋼材の長期許容応力度は基準強度の2/3なので、長期許容応力度一杯で設計された部材では、

$$0.667 = \frac{700 - T}{375} \quad (5)$$

より、450℃が許容鋼材温度となる。

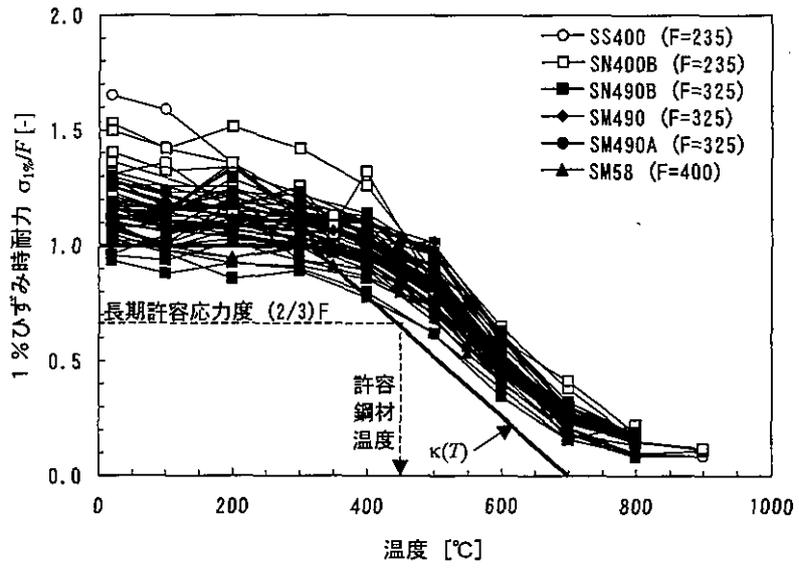


図5 各種鋼材の高温時の1%歪時耐力 (参考文献^{2)~6)} のデータから作成)

初期温度の考え方について

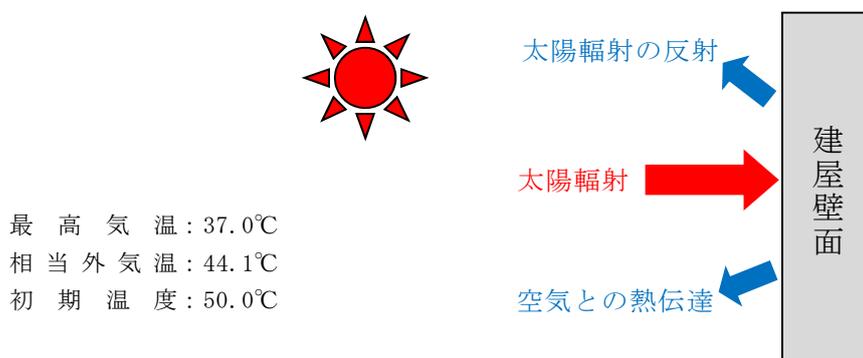
1. 外壁の初期温度

空気調和・衛生工学便覧を基に、外気温度に日射の影響を考慮した相当外気温を求め、その値を切り上げ、評価対象の初期温度として設定した。

水戸地方気象台の過去10年間の最高気温37.0℃に、外気温度が最も高くなる時間帯(11～15時)の日射量とコンクリートの日射吸収率0.7を考慮すると、外壁面の相当外気温度の最大値は44.1℃となり、これを切り上げ、50℃を初期温度として設定する。

なお、原子炉建屋内で最も室温が高いのは、主蒸気管トンネル室(設計温度:60℃)であり、外壁面の初期温度50℃より高いものの、その外壁は原子炉建屋とタービン建屋の間に位置しており、外部火災による輻射の影響を受けない。

次に室温が高いのは、ディーゼル発電機室(設計温度:40℃)となるが、外壁面の初期温度50℃未満であることから、初期温度の設定は妥当なものと考えられる。

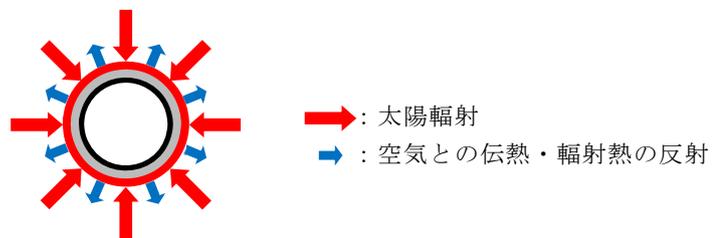


2. 排気筒の初期温度

空気調和・衛生工学便覧を基に、外気温度に日射の影響を考慮した相当外気温度を求め、その値を切り上げ、評価対象の初期温度として設定した。なお、受熱面は排気筒の側面とした。

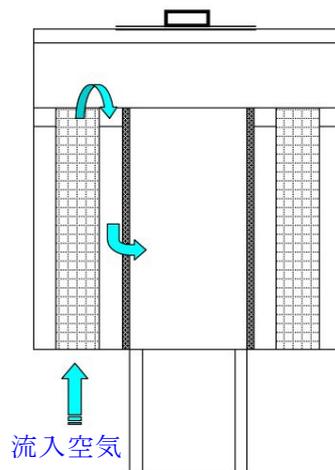
水戸地方気象台の過去10年間の最高気温37.0℃に、外気温度が最も高くなる時間帯（11～15時）の日射量と排気筒の日射吸収率1.0を考慮すると、排気筒の相当外気温度の最大値は47.2℃となり、これを切り上げ、50℃を初期温度として設定する。

最高気温：37.0℃
相当外気温度：47.2℃
初期温度：50.0℃



3. D/G吸気系フィルタ内への流入空気の初期温度

水戸地方気象台の過去10年間の最高気温37.0℃を流入空気の初期温度とした。



防火帯内植生による影響評価対象施設への火災影響について

防火帯内の植生調査結果（平成 28 年 8 月現在）を基に作成した防火帯内植生図を下図に示す。

発電所敷地内で、現場作業に伴い「屋外の危険物保管」や「火気の使用」をする場合は、社内文書に基づき危険物や火気を管理した状態で行うことから、敷地内植生に火が延焼することはなく、火災が発生することはない。万が一火災が発生した場合でも、防火帯内の原子炉施設周囲の主な植生は、火線強度が低い、マツ（樹齢 10 年以上）や短い草であり、道路（幅約 10m）や非植生のエリアも多くあることに加え、防火の観点から定期的なパトロール等にて現場の状況を確認しており、迅速に消火対応が可能であるため原子炉施設への影響はない。

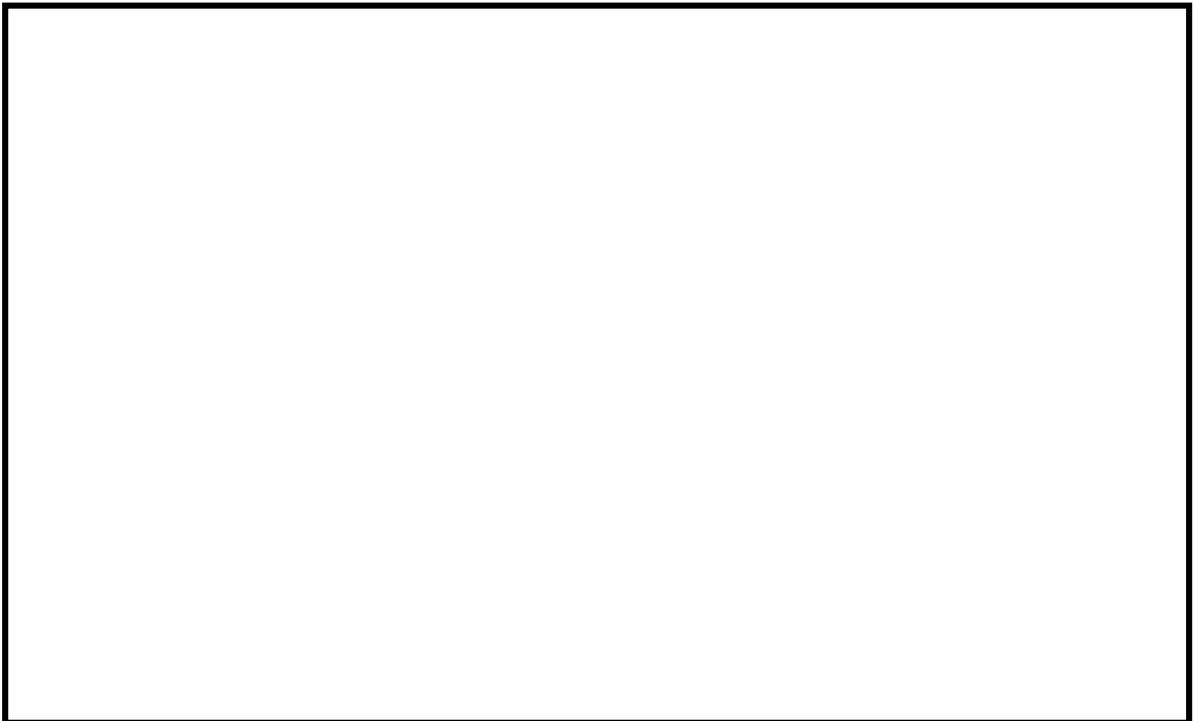


図 防火帯内植生図

斜面に設定している防火帯の地盤安定性について

斜面に設定する防火帯範囲を下図に示す。この斜面については、基準地震動を想定した地盤安定性評価を実施しており、崩落しないことを確認している。このため、斜面に設定している防火帯が斜面の崩落により機能を喪失することはない。

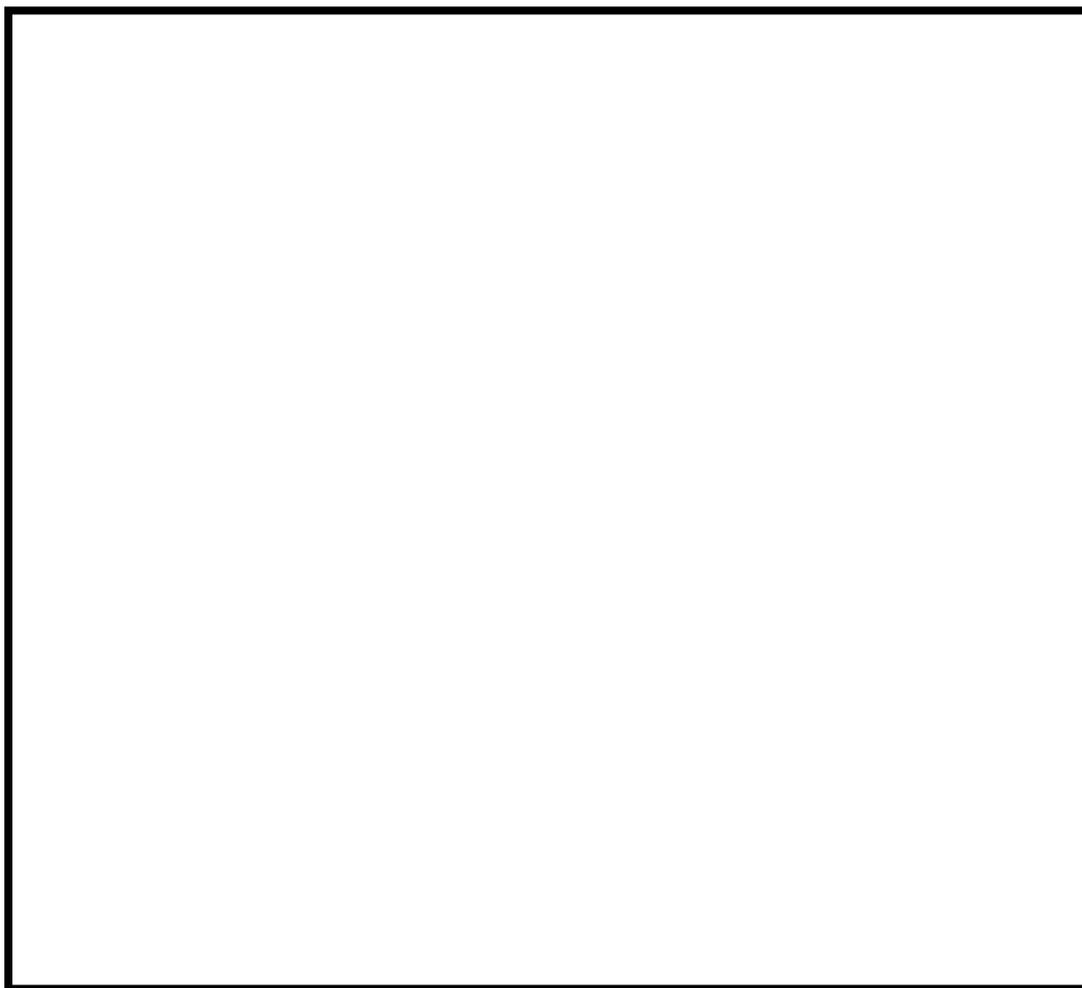


図 崩落評価の実施箇所と防火帯位置の関係

防潮堤に対する森林火災影響について

1. 評価対象の検討

防火帯として兼用する防潮堤のうち森林火災の影響を受ける対象を表 1、各対象の設置箇所を図 1 に示す。

表 1 森林火災の影響を受ける対象

対象名	設置箇所	構造概要
①鋼管杭鉄筋 コンクリート防潮壁	全体	<ul style="list-style-type: none"> ・丸パイプ形状の鋼管を地下に埋設 ・地上部は厚さ 70cm のコンクリート被覆 ・地上高さ(上端) : T.P. +18~20m
②止水ジョイント部	上記①のうち 一定間隔の施工ブロックの境界	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼製アンカー、止水ゴム、鋼製防護部材等から構成される。 ・地上高さ(上端) : T.P. +18~20m
③防潮扉	敷地南側境界 付近	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼材製 ・地上高さ(上端) : T.P. +17m

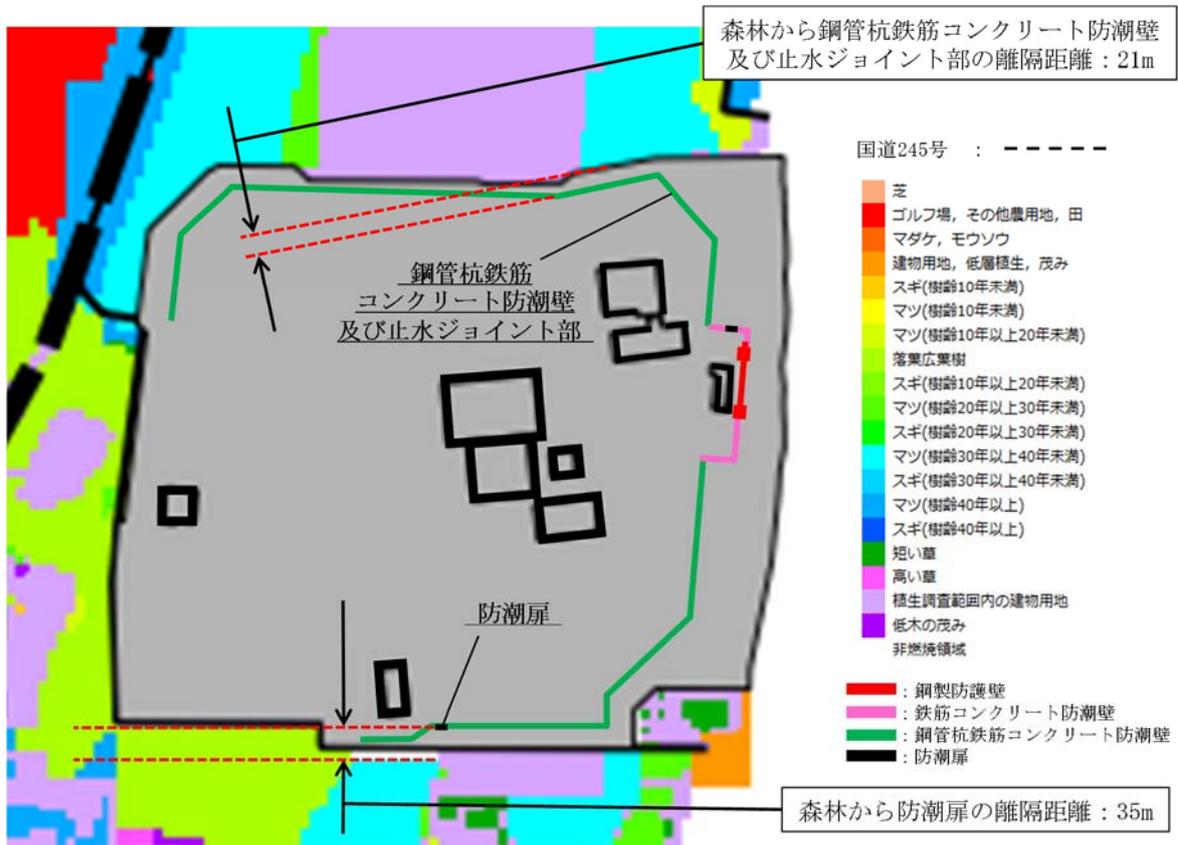


図 1 防潮堤における森林火災影響評価対象

2. 防潮堤に対する影響評価

(1) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

森林外縁から防潮堤表面の最短距離となる 21m の位置にある鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁（以下「防潮壁」という。）を対象に熱影響評価を行った。防潮壁に対する森林火災評価の概要図を図 2 に示す。

防潮壁は鉄筋コンクリートに対して危険距離を算出した結果、森林からの離隔距離が危険距離を上回ることを確認した。防潮壁の評価結果を表 2 に示す。

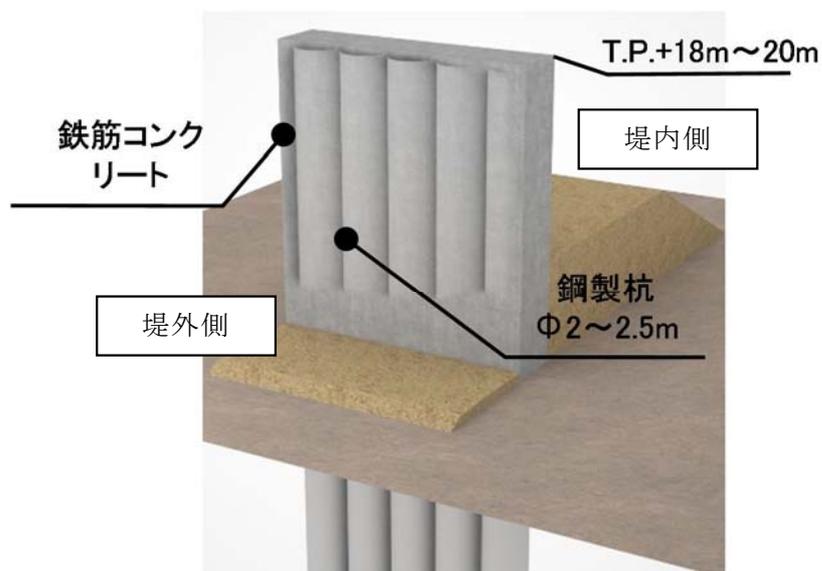


図 2 防潮壁の概要図

表 2 防潮壁の評価結果

影響評価対象	危険距離 (m)	森林からの離隔距離 (m)
①防潮壁	16	21

(2) 止水ジョイント部，防潮扉

止水ジョイント部及び防潮扉の概念図を図3,4に示す。止水ジョイント部は、止水ゴム等を防護する鋼製防護部材に対して、防潮扉は鋼製の扉に対して危険距離を算出した結果、森林からの離隔距離が危険距離を上回ることを確認した。評価結果を表3に示す。また、止水ゴム等を防護する鋼製防護部材の裏面には断熱材を設置するため、止水ジョイント部への影響はない。

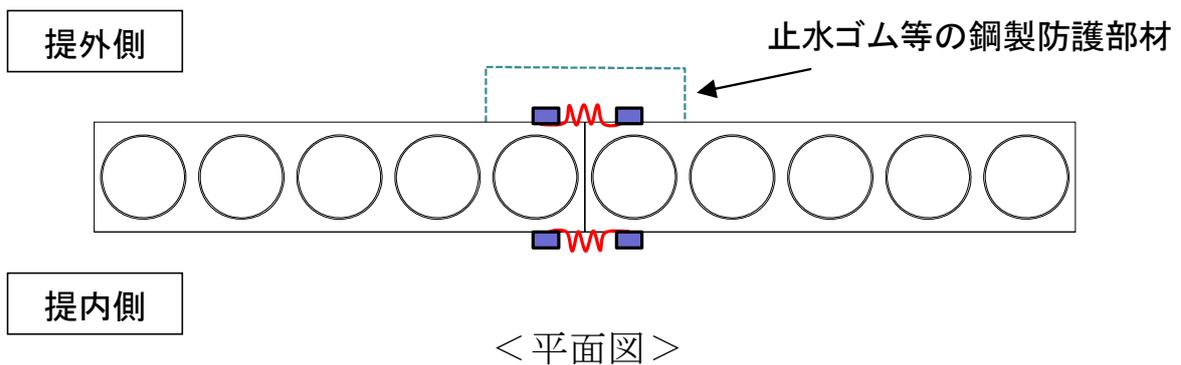
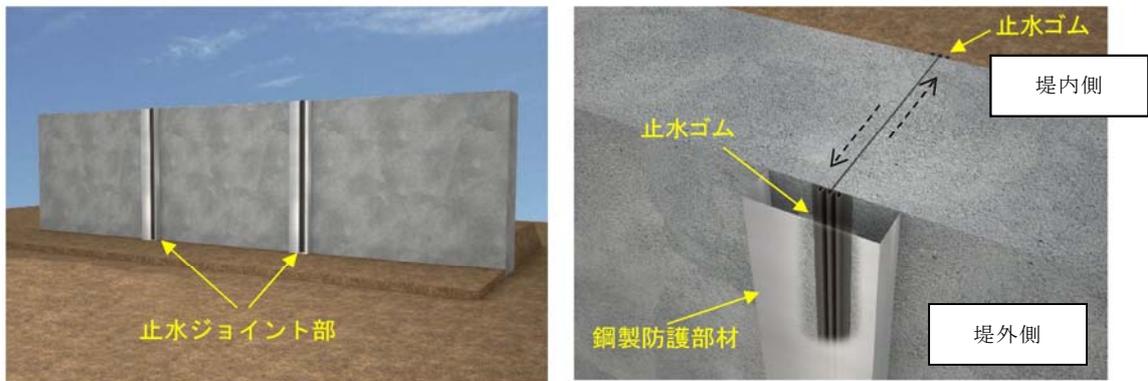


図3 止水ジョイント部の概要図

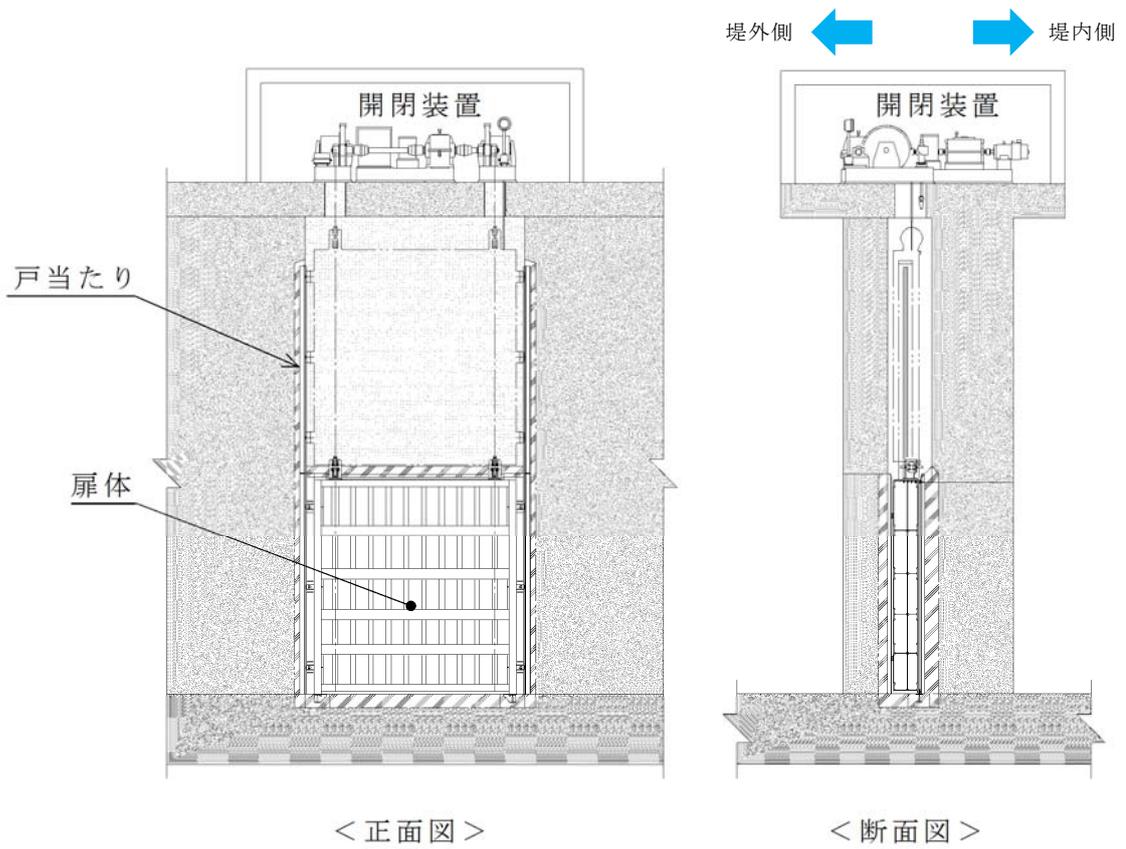


図 4 防潮扉の概要図

表 3 止水ジョイント部及び防潮扉の評価結果

影響評価対象	危険距離 (m)	森林からの離隔距離 (m)
②止水ジョイント部	20	21
③防潮扉	20	35

以 上

防火帯の管理方針について

1. はじめに

森林火災評価結果に基づき、森林火災による原子炉施設への延焼防止対策として、発電所構内道路及び地形を考慮し、23m幅の防火帯を設定する。

防火帯内に他の法令要求等による可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とし、防火帯の延焼防止効果を損なわない設計とする。防火帯の管理方法について以下に示す。

2. 防火帯の管理方針

防火帯の設定に当たっては、樹木を伐採する等、可燃物を排除し、モルタル吹付け等を行う。また、防火帯は表示板等で明確に区別するとともに、構内道路の一部を防火帯として使用している箇所については、駐車禁止の措置等により、原則的に可燃物がない状態を維持する。

防火帯には延焼防止効果に影響を与えるような可燃物を含む機器等は、原則的に設置しない方針であるが、防火帯の位置設定においては構内道路等の条件を考慮して設定するため、他の法令要求等により標識等を設置する場合は、延焼防止効果への影響の有無を評価し、必要な対策を講じる設計とする。

表1に防火帯内に設置される機器等の例について示す。

表 1 防火帯内に設置される機器等の評価及び管理方針の例

分類		対象例	評価及び管理方針
不燃性の機器等		<ul style="list-style-type: none"> ・送電線 ・防潮堤 ・防潮扉 	火災により燃焼しない。防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから、当該対象に対して対策は不要である。
可燃性を含む機器等	局所的な設置機器	<ul style="list-style-type: none"> ・標識 	局所的な火災に留まるため防火帯の機能に影響はない。防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから、当該対象に対して対策は不要である。
	防火帯を横断して設定	<ul style="list-style-type: none"> ・道路 	道路上に設定される防火帯内は車両の駐車禁止、可燃物を配置しない管理を行うことで、延焼防止効果に影響を与えない。

以 上

特定のクラス3施設に対する熱影響評価

放射性物質を内包する施設及び人員が長時間居住する可能性があるクラス3施設に対して、森林火災により上昇する外壁表面温度が許容温度 200℃以下であることを確認した。各外壁表面温度を下表、該当する施設の位置と離隔距離を下図に示す。

表 該当するクラス3施設の外壁表面温度

放射性物質を内包する クラス3施設	評価温度 (℃)
固体廃棄物貯蔵庫※	57
廃棄物処理建屋	53
緊急時対策所	79

※：防火帯外縁からの距離が近く火災影響が大きいB棟を代表として評価

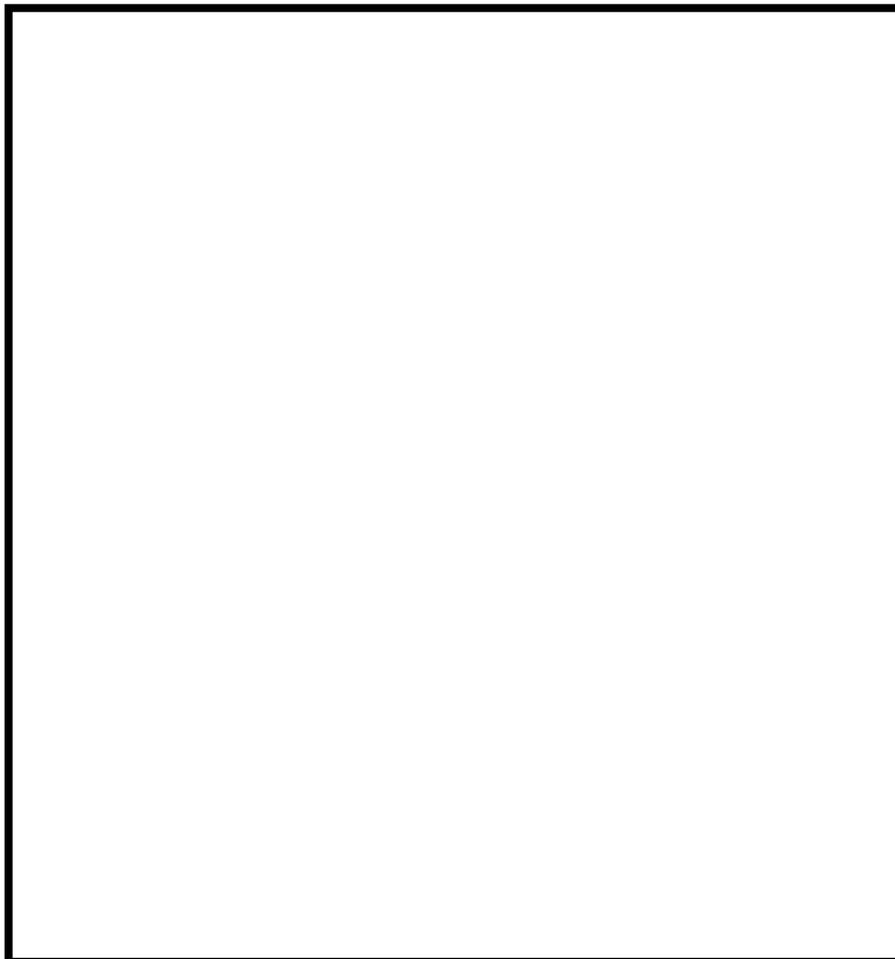


図 該当する施設の位置と離隔距離

可搬型重大事故等対処設備及びアクセスルートへの熱影響について

1. 概要

森林火災の延焼による影響を防止するため、可搬型重大事故等対処設備及びアクセスルートは防火帯の内側に配備している。

このうち、防火帯近傍に配備する可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートについては、森林外縁からの必要な離隔距離を確保しており、森林火災による熱影響を受けない。

2. 森林火災の熱影響評価

F A R S I T E 解析結果に基づき、防火帯外縁において最も高い火炎輻射強度が、一様に防火帯外縁に存在すると保守的に仮定し、一定の離隔距離において物体が受ける輻射強度を算出した。離隔距離と輻射強度の関係を図 1 に示す。

図 1 より、防火帯外縁から 53m 以上の離隔距離を確保することにより、輻射強度は、「人が長時間さらされても苦痛を感じない輻射強度」とされる $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ 以下となり、森林火災による熱影響を受けないことを確認した。放射熱の影響に関する知見を表 1 に示す。

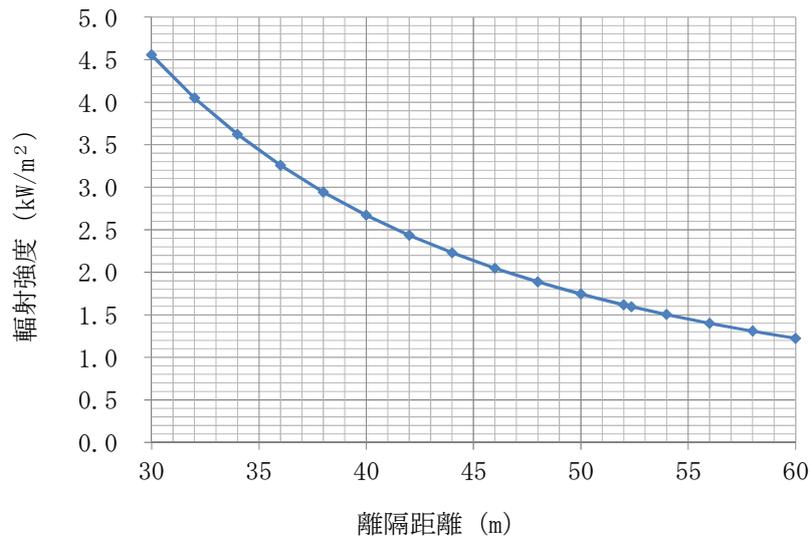


図1 離隔距離と輻射強度の相関図

表1 放射熱の影響（石油コンビナートの防災アセスメント指針より抜粋）

表 5.17 放射熱の影響

放射熱強度		状況および説明	出典
(kW/m ²)	(kcal/m ² h)		
0.9	800	太陽（真夏）放射熱強度	*1)
1.3	1,080	人が長時間暴露されても安全な強度	*2)
1.6	1,400	長時間さらされても苦痛を感じない強度	*5)
2.3	2,000	露出人体に対する危険範囲（接近可能） 1分間以内で痛みを感じる強度 現指針（平成13年）に示されている液面火災の基準値	*3)
2.4	2,050	地震時の市街地大火に対する避難計画で用いられる許容限界	*4)
4.0	3,400	20秒で痛みを感じる強度。皮膚に水疱を生じる場合があるが、致死率0%	*5)
4.6	4,000	10～20秒で苦痛を感じる強度 古い木板が長時間受熱すると引火する強度 フレスタック直下での熱量規制（高压ガス保安法他）	*2)
8.1	7,000	10～20秒で火傷となる強度	*2)
9.5	8,200	8秒で痛みの限界に達し、20秒で第2度の火傷（赤く斑点ができ水疱が生じる）を負う	*5)
11.6	10,000	現指針（平成13年）に示されているファイヤーボールの基準値（ファイヤーボールの継続時間は概ね数秒以下と考えられることによる）	*3)
11.6～	10,000～	約15分間に木材繊維などが発火する強度	*2)
12.5	10,800	木片が引火する、あるいはプラスチックチューブが溶ける最小エネルギー	*5)
25.0	21,500	長時間暴露により木片が自然発火する最小エネルギー	*5)
37.5	32,300	プロセス機器に被害を与えるのに十分な強度	*5)

*1) 理科年表

*2) 高压ガス保安協会：コンビナート保安・防災技術指針（1974）

*3) 消防庁特殊災害室：石油コンビナートの防災アセスメント指針（2001）

*4) 長谷見雄二, 重川希志依: 火災時における人間の耐放射限界について, 日本火災学会論文集, Vol.31, No.1(1981)

*5) Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques, ed. P.J.Kayes. Washington, DC: Office of Environmental and Scientific Affairs, World Bank. (1985)

3. 森林火災による熱影響評価結果

保管場所に近接した場所で森林火災が発生し、火炎が防火帯外縁まで到達した場合、輻射強度が $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ ※以下となる森林からの離隔距離は 53m となるが、西側及び南側保管場所の可搬型重大事故等対処設備保管スペースは、森林から 53m 以上の離隔を確保しているため、熱影響を受けない。また、熱影響を受けないアクセスルートを確保していることから、可搬型設備の走行及び運搬に影響はない。輻射強度が $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ 以上となる範囲を図 2 に示す。

※：人が長時間さらされても苦痛を感じない強度（出典：石油コンビナートの防災アセスメント指針）

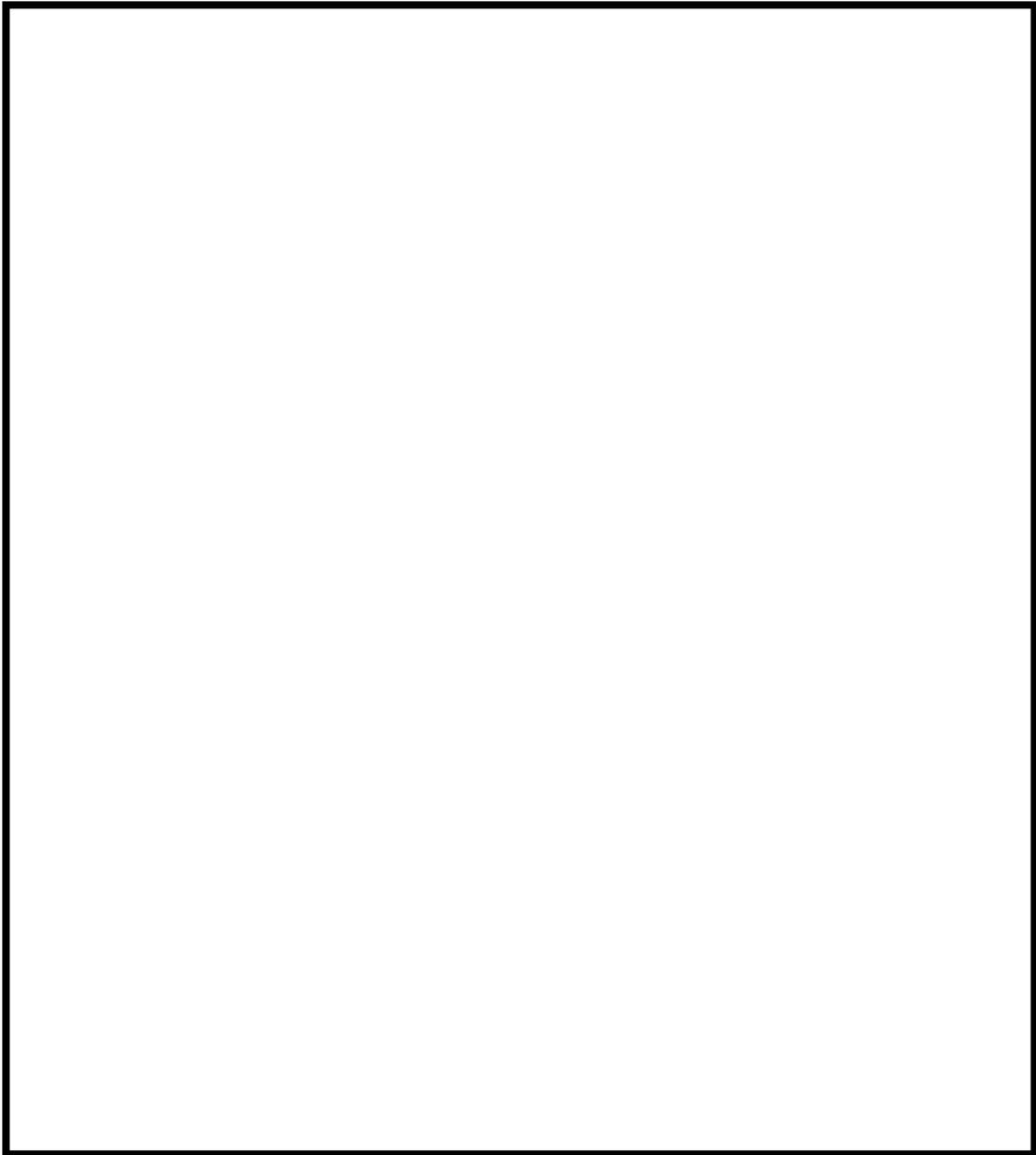


図 2 輻射強度が $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ 以上となる範囲

石油コンビナート等の火災・爆発について

1. 目 的

発電所敷地外で発生する石油コンビナート等の火災やガス爆発により、安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼさないことについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき、評価を実施する。

2. 危険物貯蔵施設等の抽出の考え方

発電所周辺 10km 以内の石油コンビナートの有無を確認した。また、石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設及び高圧ガス貯蔵施設については、周辺自治体に資料開示請求を行い、必要に応じてこれらの施設を有する事業者への聞き取り調査を行い確認し、ガスパイプラインについては周辺事業者への聞き取り調査を行い確認した。

3. 石油コンビナート等に対する評価

3.1 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地外の半径 10km 圏内に存在する石油コンビナート等とする。

茨城県内において石油コンビナート等災害防止法により石油コンビナート等特別防災区域に指定されているのは以下の区域である。

石油コンビナート等特別防災区域を指定する政令【別表抜粋】

十三 鹿島臨海地区

- イ 茨城県鹿嶋市大字国末字北浜山，字南浜山及び字海岸砂地，大字泉川字北浜山，字南浜山，字浜屋敷及び字沢東，大字新浜並びに大字粟生字海岸の区域 同市大字光字光並びに大字粟生字東山及び字浜の区域のうち主務大臣の定める区域 これらの区域に介在する道路の区域
- ロ 茨城県神栖市光，居切字海岸砂地並びに深芝字海辺，字藤豊及び字原芝の区域 同市北浜，奥野谷字浜野及び字東和田，東和田並びに東深芝の区域のうち主務大臣の定める区域

3.2 評価結果

第 3.2-1 図に示すとおり，茨城県内において石油コンビナート等災害防止法により石油コンビナート等特別防災区域に指定されている鹿島臨海地区は東海第二発電所から約 50km 離れており，評価対象範囲の 10km 以上離れていることから，評価対象となる石油コンビナートは存在しないことを確認した。



第 3.2-1 図 鹿島臨海地区と発電所の位置関係

4. 石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設に対する評価

発電所から 10km 以内に位置する危険物貯蔵施設のうち、影響評価対象施設に影響を及ぼすおそれのある施設を抽出し、その火災影響又は爆発影響を評価した。

4.1 危険物貯蔵施設

4.1.1 評価対象施設の抽出

発電所から 10km 以内（敷地内を除く）に、第一類から第六類の危険物貯蔵施設（屋内貯蔵及び少量のものは除く）が約 500 カ所存在することを自治体への聞き取り調査から確認した。

第一類から第六類の危険物のうち、周辺での取扱量が多く、引火性液体であるため広範囲に漏えいし大規模火災発生の可能性がある第四類危険物貯蔵施設を火災源と想定する。ここで、発電所 10km 以内には多数の第四類危険物貯蔵施設が存在するため、影響評価を行う第四類危険物貯蔵施設の絞り込みを以下の方法で行った。

- i) 発電所敷地外半径 10km 以内に石油コンビナートはないことから、半径 10km 以内に存在する危険物貯蔵施設の貯蔵容量は最大でも石油コンビナート相当の 10 万 kL^{※1}とした。ここで、第四類危険物のうち、最も輻射発散度が高い n-ヘキサン^{※2}が 10 万 kL 貯蔵された危険物貯蔵施設を想定し、その危険距離を算出した結果 1,329m^{※2}となった。

※1：「石油コンビナート等災害防止法施行令」（昭和 51 年 5 月 31 日政令 129 号）の第 2 条で規定する基準総貯蔵量

※2：算出方法は別紙 3.1 参照

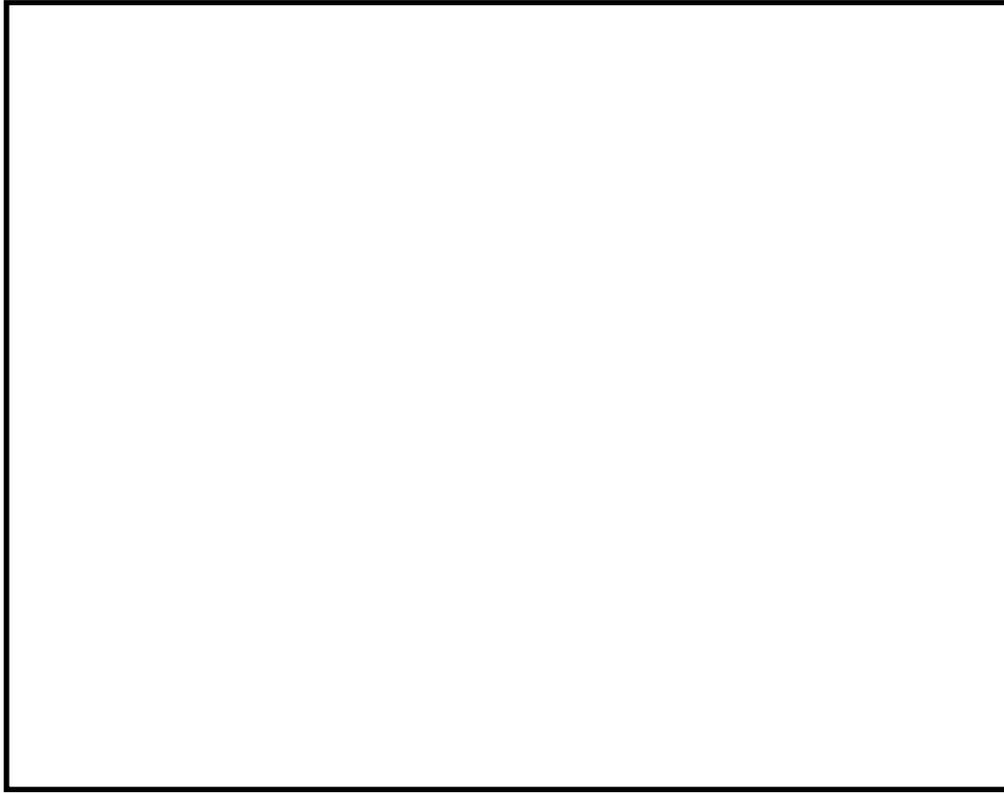
- ii) i) 項の結果と別紙 3.1 の評価結果を踏まえ、発電所から 1.4km 以遠には発電所に影響を及ぼす危険物貯蔵施設は存在しないと判断し、発

電所から 1.4km 以内に存在する第四類危険物貯蔵施設に対して影響評価を行う。発電所周辺に存在する第四類危険物貯蔵施設を第 4.1.1-1 表に、発電所との位置関係を第 4.1.1-1 図に示す。

第 4.1.1-1 表 発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に存在する第四類危険物貯蔵施設

施設区分	No.	事業所名	油種	数量(L)	位置が1.4km以内 ○：1.4km以内 ×：1.4km以上
屋外タンク貯蔵所 又は屋外貯蔵所					
給油取扱所					

第 4.1.1-1 表の 1.4km 以内に存在する危険物貯蔵施設のうち、屋外貯蔵である について、影響評価を実施した。なお、 の危険物タンクは地下貯蔵であるため、評価対象外とした。



第 4.1.1-1 図 発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に
位置する危険物貯蔵施設

4.1.2 火災の影響評価

4.1.2.1 評価条件

危険物貯蔵施設の火災の想定は以下のとおりとした。

(1) 想定条件

- a. 評価対象とする危険物貯蔵施設は 4.1.1 で抽出した [] を想定した。
- b. 評価対象とする危険物タンクの燃料は満載した状態を想定した。
- c. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう、a. で想定した危険物タンク位置から影響評価対象施設までの直線距離とした。
- d. 危険物タンクの破損等により危険物が流出しても、防油堤内に留まるものとする。
- e. 気象条件は無風状態とした。
- f. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。
- g. 火災の形態はタンク内及び防油堤内の全面火災とした。

(2) 輻射強度の算定

油の液面火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため、半径が 1.5m 以上の場合で火炎の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火炎モデルを採用した。

4.1.2.2 共通データの算出

各外壁、排気筒及びD/G吸気系フィルタに対する危険距離評価に必要な共通データを算出する。

(1) 危険物タンク及び燃料に係るデータ

危険物タンク及び燃料に係るデータを第 4.1.2.2-1 表に示す。

第 4.1.2.2-1 表 危険物タンク及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 (m ³)	輻射発散度 (kW/m ²) ^{※1}	質量低下速度 (kg/m ² /s) ^{※2}	燃料密度 (kg/m ³) ^{※3}	防油堤面積 (m ²)

※1：評価ガイド 記載値

※2：NUREG-1805 記載値

※3：MSDS（製品安全データシート） 記載値

(2) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 4.1.2.2-2 表に示す。

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R：燃焼半径(m)， S：防油堤面積（=燃焼面積）(m²)

第 4.1.2.2-2 表 危険物タンクの燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m ²)	燃焼半径 R (m)

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 4.1.2.2-3 表に示す。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t : 燃焼継続時間 (s), V : 燃料量 (m^3)
 R : 燃焼半径 (m), v : 燃焼速度 = M / ρ (m/s)
 M : 質量低下速度 ($kg/m^2/s$), ρ : 燃料密度 (kg/m^3)

第 4.1.2.2-3 表 危険物タンクの燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M ($kg/m^2/s$)	燃料密度 ρ (kg/m^3)	燃焼継続時間 t (s)

4.1.2.3 外壁に対する危険距離評価

(1) 影響評価対象範囲

影響評価対象施設の外壁について、危険物タンクの火災を想定して評価を実施した。

(2) 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離を第 4.1.2.3-1 表に示す。

第 4.1.2.3-1 表 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	海水ポンプ室 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料 乾式貯蔵建屋 (m)
	1,100	1,300	1,200	800

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 $200^{\circ}C$ 以下とする。

b. 評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、式1の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面（x=0）の温度が200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を算出する。

$$T - T_0 = \frac{2E\sqrt{\kappa t}}{\lambda} \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) \right] \quad (\text{式1})$$

（出典：伝熱工学，東京大学出版会）

T：許容温度(200℃)，T₀：初期温度(50℃)*，E：輻射強度(W/m²)

κ：コンクリート温度伝導率(=λ / ρ C_p) (7.7×10⁻⁷ m²/s)

ρ：コンクリート密度(2,400kg/m³)，C_p：コンクリート比熱(880J/kg/K)

λ：コンクリート熱伝導率(1.63W/m/K)，t：燃焼継続時間(28,701s)

x：温度評価の対象となる深さ位置(外壁表面：0m)

*：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを、式2より算出する。

$$E = R f \cdot \Phi \quad (\text{式2})$$

E：輻射強度(W/m²)，R f：輻射発散度(W/m²)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを、式3より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}}\right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n} \tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right] \right\} \quad (\text{式3})$$

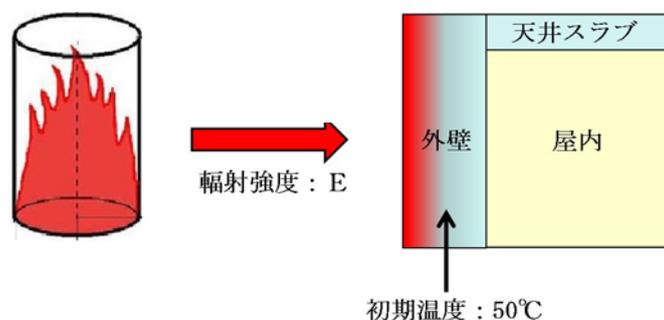
ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$ ， $n = \frac{L}{R}$ ， $A = (1+n)^2 + m^2$ ， $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，L：離隔距離(m)，H：炎の高さ(m)，R：燃焼半径(m)

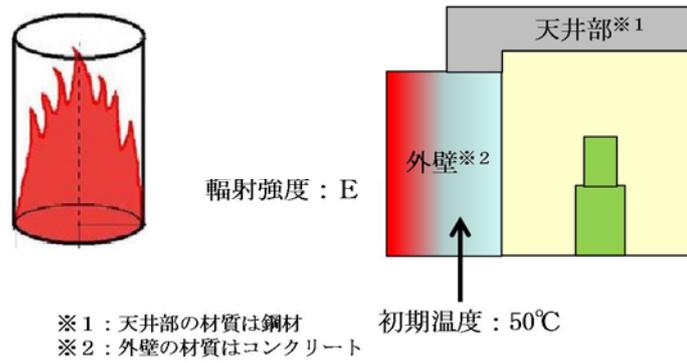
(出典：評価ガイド)

上記のとおり危険距離を算出し、当該危険物タンクから影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。建屋外壁の評価概念図を第 4.1.2.3-1 図に示す。

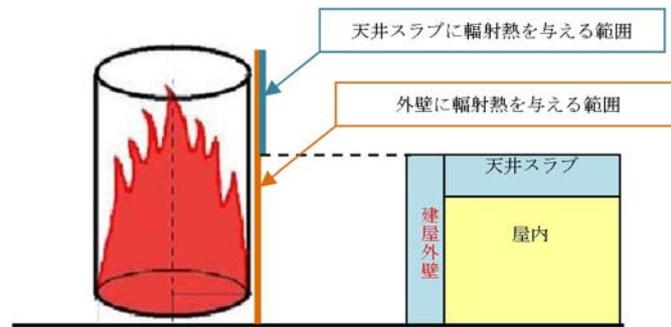
- ・火炎長が天井より短い場合、天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・海水ポンプ室の側面壁は鋼材、外壁はコンクリートであるが、危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。海水ポンプ室の評価概念図を第 4.1.2.3-2 図に示す。
- ・火炎長が天井より長い場合、天井に輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 4.1.2.3-3 図に示す。
- ・火炎からの距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井の熱影響は外壁に比べて小さい。



第 4.1.2.3-1 図 建屋外壁の評価概念図



第 4. 1. 2. 3-2 図 海水ポンプ室の評価概念図



第 4. 1. 2. 3-3 図 天井スラブの評価概念図

c. 評価結果

影響評価対象施設の外壁表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果、各影響評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4. 1. 2. 3-2 表に示す。

第 4. 1. 2. 3-2 表 外壁への危険物タンク火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
原子炉建屋	41	1,100
海水ポンプ室		1,300
タービン建屋		1,200
使用済燃料乾式貯蔵建屋		800

4.1.2.4 排気筒に対する危険距離評価

(1) 影響評価対象範囲

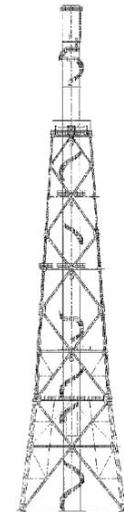
排気筒について、危険物タンクの火災を想定して評価を実施した。

なお、排気筒の評価に当たっては、保守性を考慮して、筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2) 排気筒仕様を第4.1.2.4-1表に、排気筒外形図を第4.1.2.4-1図に示す。

第4.1.2.4-1表 排気筒仕様

名称	排気筒	
種類	鉄塔支持型	
主要寸法	内径 4.5m	
	地表高さ 140m	
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個数	1	



第4.1.2.4-1図 排気筒外形図

(3) 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離を第4.1.2.4-2表に示す。

第4.1.2.4-2表 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	排気筒 (m)
	1,200

(4) 判断の考え方

a. 許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

b. 評価方法

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式 1 により排気筒鉄塔表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$E = 2h (T - T_0) \quad (\text{式 1})$$

（出典：建築火災のメカニズムと火災安全設計，財団法人日本建築センター）

T：許容温度（325℃）， T_0 ：周囲温度（50℃）※¹

E：輻射強度（W/m²），h：熱伝達率（17W/m²/K）※²

※¹：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※²：空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W/m²K を用いる。）

式 1 で求めた危険輻射強度 E となる形態係数 Φ を，式 2 より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \quad (\text{式 2})$$

E：輻射強度（W/m²）， R_f ：輻射発散度（W/m²）， Φ ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式 2 で求めた形態係数 Φ となる危険距離 L を，式 3 より算出する。

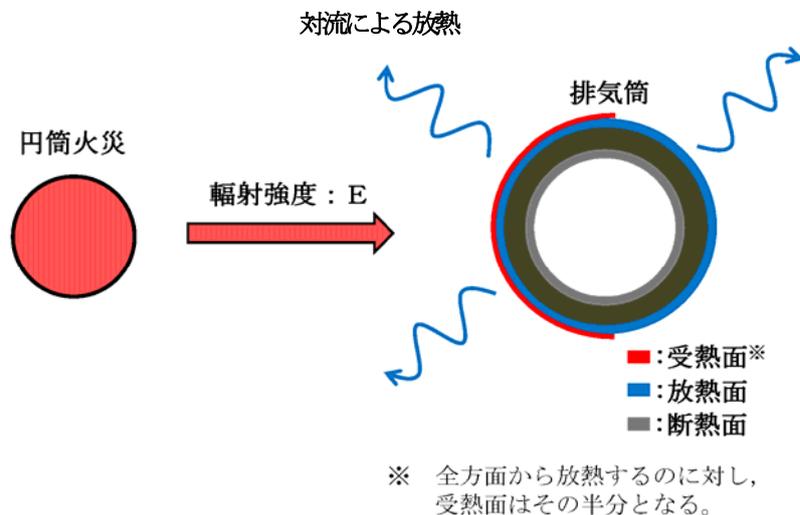
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ :形態係数, L :離隔距離(m), H :炎の高さ(m), R :燃焼半径(m)

(出典:評価ガイド)

上記のとおり危険距離を算出し、当該危険物タンクから影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、評価に当たって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも鉄塔が危険物タンクとの距離が近いこと、材質も鉄塔はSS400, STK400, 筒身ではSS400であり、物性値が鉄塔, 筒身ともに軟鋼で同一であることから、鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。排気筒の評価概念図を第4.1.2.4-2図に示す。



第 4. 1. 2. 4-2 図 排気筒の評価概念図

c. 評価結果

排気筒鉄塔の表面温度が 325℃となる危険距離を算出した結果、排気筒までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.1.2.4-3 表に示す。

第 4.1.2.4-3 表 排気筒への危険物タンク火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
排気筒	10	1,200

4.1.2.5 ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する危険距離評価

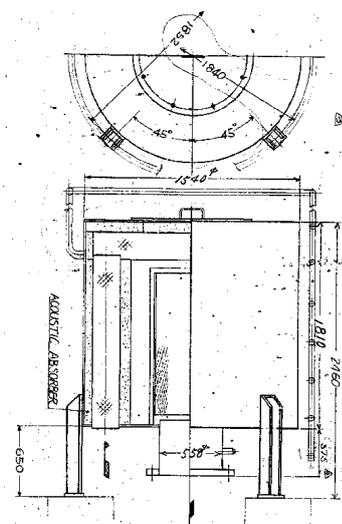
(1) 影響評価対象範囲

ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるD/G吸気系フィルタの流入空気温度について、危険物タンクの火災を想定して評価を実施した。

(2) D/G吸気系フィルタ仕様を第 4.1.2.5-1 表に、D/G吸気系フィルタの外形図を第 4.1.2.5-1 図に示す。

第 4.1.2.5-1 表 D/G吸気系フィルタ仕様

名称	D/G吸気系フィルタ
種類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径 : 1.54m フィルタ円筒高さ : 2.46m
材料	SS400
個数	6



第 4.1.2.5-1 図 D/G吸気系フィルタ外形図

- (3) 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離を第 4.1.2.5-2 表に示す。

第 4.1.2.5-2 表 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	D/G吸気系フィルタ (m)
	1,100

- (4) 判断の考え方

a. 許容温度

D/G吸気系フィルタの流入空気の許容温度は、火災時における温度上昇を考慮した場合において、ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※：D/G吸気系フィルタの流入空気温度が上昇すると、空気冷却出口温度が上昇し、シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b. 評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度による入熱がD/G吸気系フィルタに流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式 1 により、D/G吸気系フィルタに流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求める。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T \quad (\text{式 1})$$

T：許容温度(53℃)，T₀：初期温度(37℃)^{※1}，E：輻射強度(W/m²)，

G：重量流量(4kg/s)^{※2}，A：輻射を受ける面積(7.8m²)

C_p：空気比熱(1,007J/kg/K)^{※3}，ΔT：構造物を介した温度上昇(5℃)^{※4}

※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温

※2：ディーゼル発電機機関の内、給気流量が少ない高圧炉心スプレー系を評価対象とする。
ディーゼル発電機機関吸気流量(228m³/min) × 空気密度(1.17kg/m³) ÷ 60

※3：日本機械学会 伝熱工学資料

※4：最高到達温度 150℃を介した温度上昇（5℃）

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを、式2より算出する。

$$E = R f \cdot \Phi \quad (\text{式2})$$

E：輻射強度(W/m²)， R f：輻射発散度(W/m²)， Φ：形態係数

(出典：評価ガイド)

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを、式3より算出する。

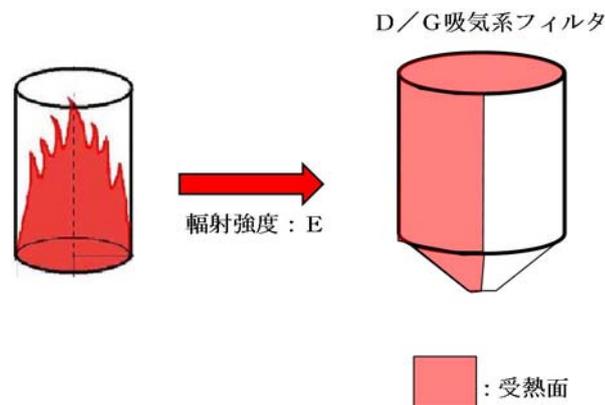
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式3})$$

ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$ ， $n = \frac{L}{R}$ ， $A = (1+n)^2 + m^2$ ， $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数， L：離隔距離(m)， H：炎の高さ(m)， R：燃焼半径(m)

(出典：評価ガイド)

上記のとおり危険距離を算出し、当該危険物タンクから影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。D/G吸気系フィルタの評価概念図を第4.1.2.5-2図に示す。



第4.1.2.5-2図 D/G吸気系フィルタの評価概念図

c. 評価結果

D/G吸気系フィルタを通して流入する空気の温度が53℃となる危険距離を算出した結果、D/G吸気系フィルタまでの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第4.1.2.5-3表に示す。

第4.1.2.5-3表 D/G吸気系フィルタへの危険物タンク火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
D/G吸気系フィルタ	23	1,100

4.2 高圧ガス貯蔵施設

4.2.1 爆風圧の影響評価

(1) 評価対象施設の抽出及び評価に係るデータ

東海第二発電所から10km以内（敷地内を除く）には高圧ガス貯蔵施設が多数存在することから、以下のとおり抽出範囲を絞り込み、評価対象施設の抽出を行った。

- i) 発電所から約1,500mの位置に、10km以内（敷地内を除く）で最大の高圧ガス貯蔵施設が稼働中であるため、この高圧ガス貯蔵施設（東京ガス（株）が所有する日立LNG基地のLNGタンク及びLPGタンク）を選定した。位置関係を第4.2.1-1図に示す。
- ii) 当該LNG基地に設置されるLNGタンク及びLPGタンクについて危険限界距離を算出し、この危険限界距離の範囲内に位置する高圧ガス貯蔵施設を評価対象として抽出した。評価条件を第4.2.1-1表に示す。



第 4.2.1-1 図 発電所と日立LNG基地の位置関係

第 4.2.1-1 表 爆風圧影響評価で想定した評価条件

	日立 LNG 基地 ^{※1}	
	LNG タンク	LPG タンク
貯蔵ガス	液化天然ガス (メタン)	液化石油ガス (プロパン)
貯蔵量(m ³)	230,000	50,000
貯蔵量(t)	97,704	31,000
密度(t/m ³)	0.4248 ^{※2}	0.62 ^{※3}
貯蔵ガスK値 ^{※4}	714	888
貯蔵設備Wt値 ^{※5}	358.7533	

※1：2016年3月より稼働中

※2：伝熱工学資料第5版記載値

※3：JIS K 2240-2013 記載値

※4：コンビナート等保安規定第5条別表第二記載値

※5：合計貯蔵量が1t以上となるため、合計貯蔵量の平方根の数値

日立 LNG 基地には LNG タンク 及び LPG タンクの 2 種類が設置されるため、評価ガイドに基づき、以下のとおり危険限界距離を算出した。

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド【一部抜粋】

貯蔵設備内に2つ以上のガスがある場合においては、それぞれのガスの量(単位: トン)の合計量の平方根の数値にそれぞれのガスの量の当該合計量に対する割合を乗じて得た数値に、それぞれのガスに係るKを乗じて得た数値の合計により、危険限界距離を算出する。また、処理設備内に2以上のガスがある場合においては、それぞれのガスについてK・Wを算出し、その数値の合計により、危険限界距離を算出する。

次の式から危険限界距離を算出する。ここで算出した危険限界距離が石油コンビナート等と原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。

$$X = 0.04 \lambda \sqrt[3]{K \times W}$$

X:危険限界距離[m]、λ:換算距離 14.4[m・kg^{-1/3}]、K:石油類の定数[-]、W:設備定数[-]

上記のとおり、ガス量の当該合計量に対する割合は、

$$\text{LNG タンク} : A = 97,704 \div (97,704 + 31,000) = 0.759$$

$$\text{LPG タンク} : B = 31,000 \div (97,704 + 31,000) = 0.241$$

$$W_t = \sqrt{97,704 + 31,000} = 358.753$$

第 4.2.1-1 表の評価条件より

$$X = 0.04 \times 14.4 \sqrt{(714 \times 1,000 \times A \times W_t) + (888 \times 1,000 \times B \times W_t)} = 373$$

以上より、危険限界距離は 373m となる。発電所から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設は、発電所から 900m の位置にある であり、発電所敷地から 400m 以内に、高圧ガス貯蔵施設が存在しないことを確認した。これにより発電所より 10km 以内において、日立 LNG 基地の爆発影響を超える高圧ガス貯蔵施設はないことを確認した。

発電所に最も近いパイプラインは、日立 LNG 基地内のパイプラインであり、日立 LNG 基地内のパイプラインの影響はタンクの影響に包絡される。また、日立 LNG 基地構外へ延びるパイプラインは埋設され、発電所から遠ざかるため影響はない。

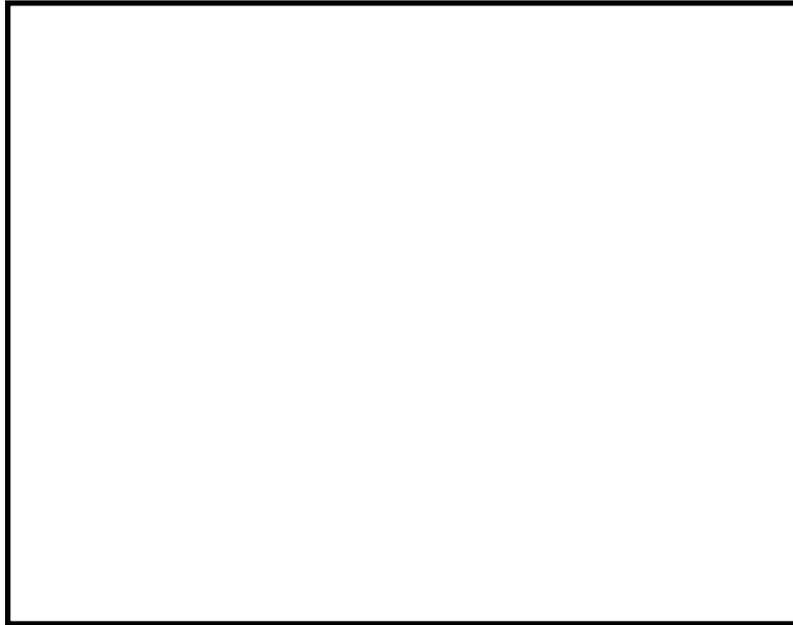
(2) 爆風圧の影響評価結果

抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆発における危険限界距離は 373m であり、敷地境界までの危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.2.1-2 表に、位置関係を第 4.2.1-2 図に示す。

第 4.2.1-2 表 抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆風圧影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
LNGタンク	メタン	97,704	373	1,500
LPGタンク	プロパン	31,000		

※：敷地境界までの距離



第 4.2.1-2 図 発電所敷地から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設

4.2.2 爆発飛来物の影響評価

(1) 評価対象施設の抽出

高圧ガス貯蔵タンクの大規模な爆発火災事象（BLEVE：Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion（沸騰液膨張蒸気爆発））は、可燃性ガスが加圧され液体で貯蔵されているタンクが、加熱されることによってタンク内の圧力が上昇し、タンクの一部破損により起こる液体の急激な気化に伴い発生するため、ガスを加圧し貯蔵している加圧貯蔵型のタンクについて爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。

また、大気圧に近い低圧・低温で貯蔵されている低温貯蔵タンクは内部が保冷層で覆われ外部から熱が入り難く、BOG圧縮機^{※1}等でタンク内圧を一定に制御しているため、加圧貯蔵タンクと比較して内圧が上昇し難く、BLEVEは発生し難いが^{※2}、BLEVE以外の爆発形態を想定し、発電所から1,500m先にある日立LNG基地の低温貯蔵型タンクについて、爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。

※1：タンクから発生するボイルオフガスを再液化し、タンク内圧を一定に制御する。
※2：出典「Environmental Assessment for the Sabine Pass Liquefaction Project」

(2) 爆発飛来物の影響評価結果

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成25年3月 消防庁特殊災害室）に基づき、抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆発による破片の飛散範囲を以下の式にて算出した。

$$L = 90M^{0.333} \quad (\text{容積 } 5\text{m}^3 \text{ 未満の容器})$$

$$L = 465M^{0.10} \quad (\text{容積 } 5\text{m}^3 \text{ 以上の容器})$$

L：破片の最大飛散範囲，M：破裂時の貯蔵物質量

飛来物の飛散距離を算出した結果、飛散距離は離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第4.2.2-2表に示す。

また、低温貯蔵型タンクは、日立LNG基地の大規模な低温貯蔵型タンクを想定しても、想定飛散距離は約570mであり、発電所から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設までの離隔距離900mを下回ることから、低温貯蔵型タンク爆発による飛来物の影響はないと評価できる。（別紙3.3）

第 4.2.2-2 表 爆発飛来物の影響評価結果

施設名称	貯蔵量 (kg)	飛散距離 (m)	離隔距離※ (m)

※：敷地境界までの距離

以下に、「石油コンビナートの防災アセスメント指針」の抜粋を示す。

(6) 飛散物

容器の破損による破片の飛散範囲は、破裂エネルギーのほか、破片の数、重量や形状、射出角度や初速度によって異なってくる。文献 11)には飛散物に関するいくつかの推定式が示されているが、防災アセスメントのような事前評価において、これらの飛散条件を考慮して評価を行うことは事実上困難といえる。ただし、LPG 容器の BLEVE に伴う破片の飛散範囲に関しては、次のような簡易式が示されている¹¹⁾。

$$\begin{aligned}
 L &= 90M^{0.333} && \text{(容積 } 5\text{m}^3 \text{ 未満の容器)} \\
 &= 465M^{0.10} && \text{(容積 } 5\text{m}^3 \text{ 以上の容器)} \qquad \text{(式 31)}
 \end{aligned}$$

ただし、L：破片の最大飛散範囲(m)
M：破裂時の貯蔵物質量(kg)

この式を東日本大震災の LPG 爆発火災 (M=300,000kg) に適用すると次のようになる。

$$L = 465 \times 300000^{0.10} = 1640\text{m}$$

この事故では、タンク破片が最大約 1,300m、板金が最大約 6,200m まで飛散している。板金は厚さ 0.5mm の薄板であり、揚力によって遠方まで達したものと考えられる。一方、タンク本体の破片や付属重量物が飛散した場合には、落下・衝突による被害が懸念されるが、この事故によるタンク破片の飛散距離最大約 1,300m と照らし合わせると、式 31 により大まかな推定は可能と考えられる。なお、プラントの異常反応に伴う容器破裂に関しては式 31 は適用できないため、過去の事故事例などをもとに推定することになる。

仮想危険物タンクの危険距離の算出について

1. 評価条件

(1) 想定条件

- a. 評価対象とする危険物貯蔵施設は熱影響が最大となる仮想危険物タンク（n-ヘキサンを 10 万 kL 貯蔵）を想定した。
- b. 評価対象とする危険物タンクの燃料は満載した状態を想定した。
- c. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう、a. で想定した危険物タンク位置から影響評価対象施設までの直線距離とした。
- d. 消防法で定める最大の防油堤（80,000m²）内の全面火災を想定した。
- e. 気象条件は無風状態とした。
- f. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

(2) 輻射強度の算定

油の液面火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため、半径が 1.5m 以上の場合で火炎の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火炎モデルを採用した。

(3) 危険物タンク及び燃料に係るデータ

危険物タンク及び燃料に係るデータを第 1 表に示す。

第 1 表 危険物タンク及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 V (m ³)	輻射発散度 Rf (kW/m ²)※1	質量低下速度 M (kg/m ² /s)※2	燃料密度 ρ (kg/m ³)※2	防油堤面積 S (m ²)
仮想危険物タンク	n-ヘキサン	100,000	85	0.074	650	80,000

※1：評価ガイド記載値

※2：NUREG-1805 記載値

2. 評価結果

(1) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第2表に示す。

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R : 燃焼半径(m), S : 防油堤面積 (=燃焼面積) (m²)

第2表 危険物タンクの燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m ²)	燃焼半径 R (m)
仮想危険物タンク	80,000	160

(2) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第3表に示す。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t : 燃焼継続時間(s), V : 燃料量(m³)

R : 燃焼半径(m), v : 燃焼速度 = M / ρ (m/s)

M : 質量低下速度(kg/m²/s), ρ : 燃料密度(kg/m³)

第3表 危険物タンクの燃焼継続時間

想定 火災源	燃料量 V (m ³)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg/m ² /s)	燃料密度 ρ (kg/m ³)	燃焼継続時間 t (s)
仮想 危険物 タンク	100,000	160	0.074	650	10,984

(3) 危険距離の算出

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より求まるコンクリート表面の温度が200℃となる輻射強度(=危険輻射強度)を、評価ガイドに基づく形態係数の算出式に代入し、危険距離について解くと結果は1,329mとなるため、保守的に1.4kmを抽出範囲とした。

なお、排気筒及びD/G吸気系フィルタは以下の理由により、外壁の評価に包絡される。評価結果を第4表に示す。

- ・排気筒は鋼材、外壁はコンクリートであるが、危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。
- ・D/G吸気系フィルタ内の空気は流れており、熱が蓄積される効果が小さいため、外壁の方が評価上厳しい。

$$T - T_0 = \frac{2E\sqrt{\kappa t}}{\lambda} \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) \right]$$

T : 許容温度(200℃), T₀ : 初期温度(50℃), E : 輻射強度(W/m²)

κ : コンクリート温度伝導率(=λ / ρ C_p) (7.7×10⁻⁷ m²/s)

ρ : コンクリート密度(2,400kg/m³), C_p : コンクリート比熱(880J/kg/K)

λ : コンクリート熱伝導率(1.63W/m/K), t : 燃焼継続時間(10,984s)

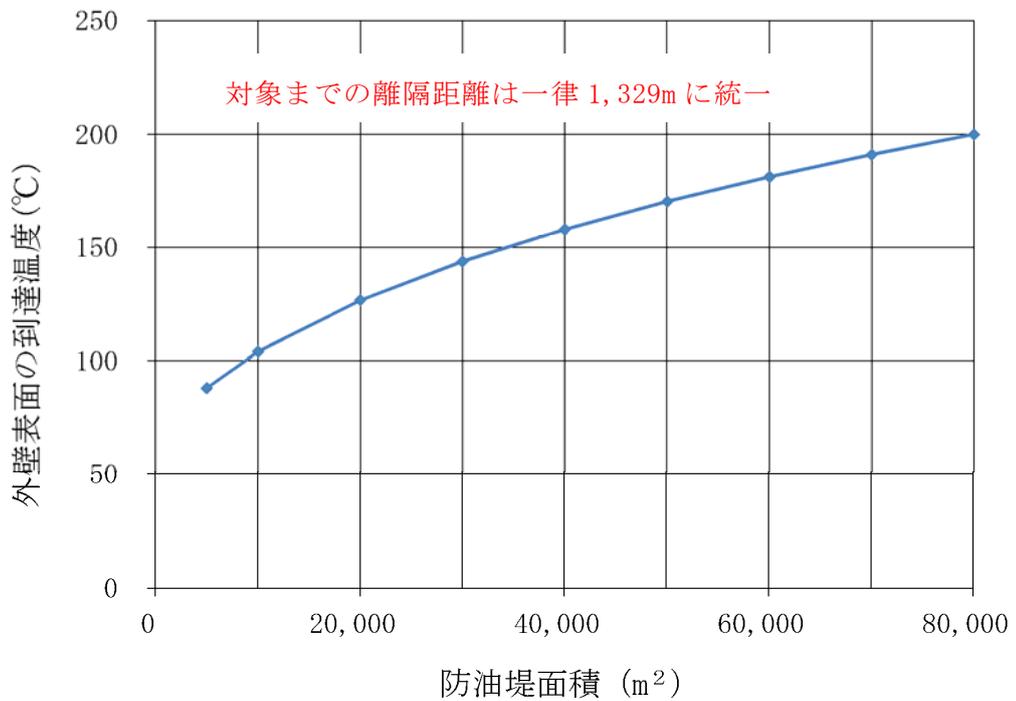
x : コンクリート壁表面深さ(0m)

第4表 外壁への危険物タンク火災影響評価結果

想定火災源	危険距離 (m)
仮想危険物タンク	1,329

(4) 想定した防油堤面積の保守性について

下図に示すとおり，防油堤面積は大きいほど外壁表面の到達温度が上昇することから，消防法で定める最大の防油堤面積を評価で用いることは保守的である。



第1図 防油堤面積と外壁表面の到達温度の関係

排気筒の評価結果 10m の妥当性について

排気筒の許容温度 325°C に到達する危険輻射強度は以下のとおりとなる。

$$E = 2 h (T - T_0) = 2 \times 17 \times (325 - 50) = 9,350$$

T : 許容温度 (325°C), T₀ : 周囲温度 (50°C)^{※1}

h : 熱伝達率 (17W/m²/K)^{※2}, E : 輻射強度 (W/m²)

※1 : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2 : 空気調和・衛生工学便覧 (外表面の熱伝達率は, 受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが, 一般的な値として垂直外壁面, 屋根面及び上げ裏面の夏季, 冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから, これらのうち最も小さい値である 17W/m²K を用いる。)

上記で算出した輻射強度は に対するものであるため, 評価ガイドに基づき算出式より, この火災の形態係数は以下の通り算出される。

$$E = R f \times \Phi \Rightarrow \Phi = R f \div E = \frac{\text{}}{9,350} = 0.00245989$$

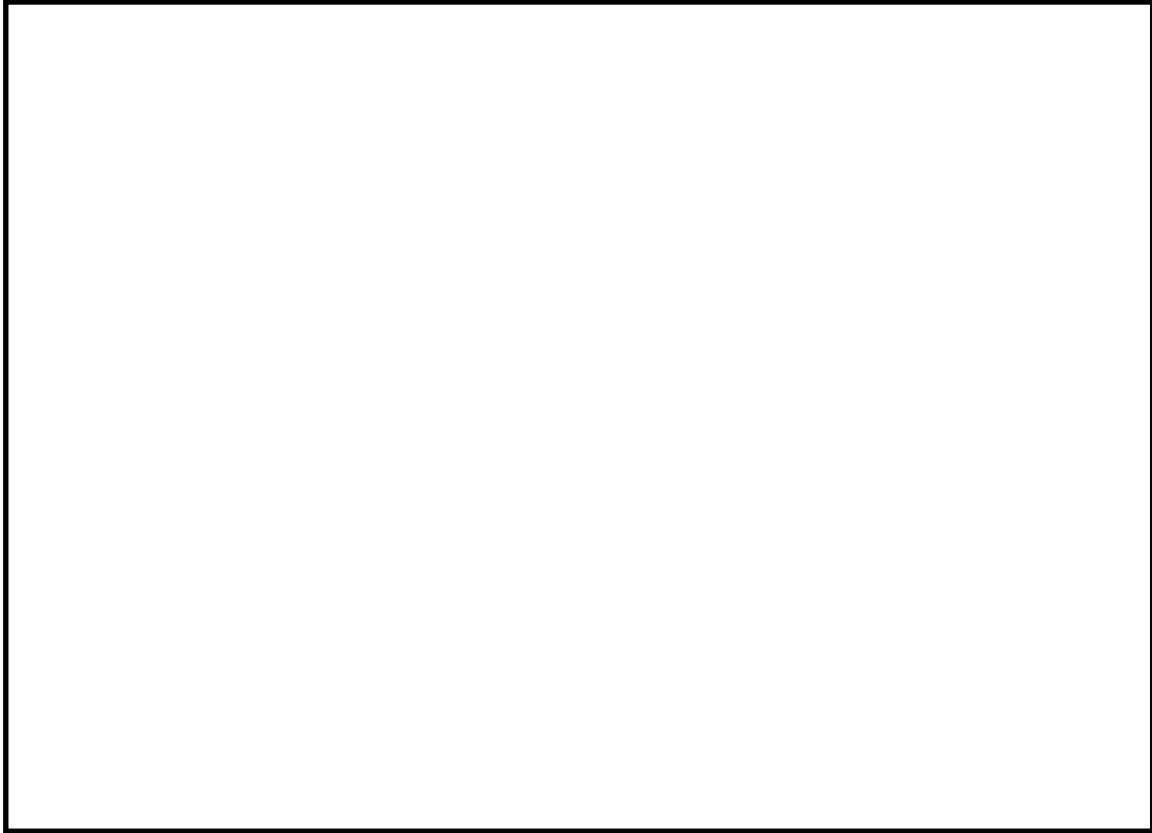
評価ガイドには形態係数の算出式は下式のとおりとあり, この式に形態係数を代入し, 離隔距離 L を逆算する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n \sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

$$\text{ただし } m = \frac{H}{R} \div 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

Φ : 形態係数, L : 離隔距離 (m), H : 炎の高さ (m), R : 燃焼半径 (m)

この結果より離隔距離は10mとなり,評価ガイドに基づき算出されている。
また, の他の燃料と比較するとは同じ離隔距離での輻射強度が低い。比較結果を下図に示す。



第1図 離隔距離と輻射強度の関係

地上設置の低温貯蔵タンク爆発による飛来物影響評価について

1. 評価の概要

添付3の4.2で示した低温貯蔵タンクの爆発により発生する飛来物の最高速度を評価し、この最高速度を初速度とした場合の最大飛散距離を評価した。この最大飛散距離が爆発地点から原子炉施設までの離隔距離より短いことを確認し、影響評価対象施設への影響はないことを示す。

2. 評価結果

容量が大きいタンクほど飛来物の最大飛散距離は長くなる。このため、原子炉施設の近くに位置する貯蔵タンクのうち、容量が最大となるものを評価対象候補として抽出した。抽出した対象は第1表のとおり。

第1表 添付3の4.2で抽出した評価対象候補

タンクの種類	内容物	貯蔵容量 (m^3)	原子炉施設からの離隔距離 (m)
LNG貯蔵タンク	LNG	230,000	1,500
LPG貯蔵タンク	LPG	50,000	1,500

2.1 タンク爆発により発生する飛来物の最高速度の算出

低温貯蔵タンクの評価では、「Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E (Part 1), 3rd edn)」に基づき、飛来物の速度を爆発エネルギーから求めた。以下に抜粋を示す

Step 3a2 Calculate the liberated energy, E_{av}

Calculate the liberated energy in accordance with the method for blast effects, see paragraph 7.5.2.

Step 3a3 Calculate initial velocity, v_i

This initial velocity of a fragment can be calculated by using of the following equation:

$$v_i = \sqrt{\frac{2 \times A_{ke} \times E_{av}}{M_v}} \quad (\text{m/s}) \quad (7.15)$$

where

E_{av} = liberated energy [J]

M_v = total mass of empty vessel [kg]

A_{ke} is the fraction of the liberated energy that goes into kinetic energy of the fragments. It depends on the situation.

Upper limit $A_{ke} = 0.6$

Rough estimate $A_{ke} = 0.2$

BLEVE $A_{ke} = 0.04$

(1) 評価対象タンクのデータ

評価対象タンクのデータは第2表のとおり。なお、タンク材重量については、保守的に評価を行うため、各タンクを球状タンクと仮定して算出した。

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \Rightarrow r = \left(\frac{3V}{4\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$S = 4 \pi r^2$$

$$M = S t \rho$$

V : タンクの体積 (m^3), S : タンクの表面積 (m^2)

r : 球状タンクと仮定した場合のタンクの半径 (m)

M : タンクの質量 (kg), t : タンク外層の厚さ (m)

ρ : タンク材密度 (kg/m^3),

第2表 評価対象タンクのデータ

タンクの種類	内容物	貯蔵容量 (m ³)	タンク体積 ^{※1} (m ³)	タンク材密度 ^{※2} (kg/m ³)	比熱比 (-)	タンク壁厚 ^{※3} (m)	タンク材重量 ^{※4} (kg)
LNG貯蔵タンク	LNG	230,000	253,000	7,850	1.3	0.01	7.6×10 ⁶
LPG貯蔵タンク	LPG	50,000	55,000	7,850	1.1	0.01	2.7×10 ⁶

※1：消防法に基づき空間容積を10%として算出

※2：合金鋼の密度

※3：多層構造となっているが、保守的に内槽側板の平均厚さを設定

※4：タンク材重量＝タンク表面積×タンク材質密度×タンク壁厚

(2) 飛来物の最高速度の算出

爆発により発生するエネルギーが、ある割合で飛来物に移行すると仮定して最高速度を算出した。算出に用いた式は以下、評価結果は第3表のとおり。

$$E = \frac{(\rho_1 - \rho_2)V}{\gamma - 1}$$

$$v = \sqrt{\frac{2AE}{M}}$$

v：飛来物の最高速度 (m/s)

M：タンクの質量(kg)，E：タンク爆発により発生するエネルギー(J)

ρ_1 ：タンク内の圧力 (0.2MPa^{※1})， ρ_2 ：大気圧力 (0.1MPa)

V：タンクの体積 (m³)， γ ：比熱比 (-)

A：爆発エネルギーの飛来物への移行係数 (0.2^{※2})

※1：代表とした日立LNG基地のLNG貯蔵タンクの値を設定

※2：Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E(Part 1), 3rd edn), van den Bosch, C. J. H. & Weterings

第3表 飛来物の最高速度の評価結果

タンクの種類	爆発エネルギー (J)	飛来物の最高速度 (m/s)	原子炉施設までの離隔距離 (m)
LNG貯蔵タンク	8.2×10^{10}	66	1,500
LPG貯蔵タンク	5.3×10^{10}	89	1,500

飛来物の最高速度の評価結果より、原子炉施設までの離隔距離が同じであれば、最高速度が速いほど遠くまで飛散する。このため、同じ離隔距離にあるタンクのうち最高速度が速い、LPG貯蔵タンクを対象に以下で最大飛散距離の算出を実施する。

2.2 最大飛散距離の算出

大気圧に近い低圧・低温で貯蔵されている低温貯蔵タンクでは大規模な爆発は発生し難いが、小規模な爆発は発生するおそれがあるため評価を行った。

飛来物の想定に当たり、日立LNG基地のLNGタンク構造図を参考とした。飛来物化することが想定される爆風の影響を直接受ける可能性がある部位を選定したところ、タンク本体及び配管(鋼製パイプ)を抽出した。ステージなどタンク屋根部に位置する部品は、鋼板で構成されており、その大きさからタンク本体の評価に包絡される。抽出した飛来物に対して、第1図のとおりの日立LNG基地のLNGタンクより推定したLPGタンク構造図を基に、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に例示の飛来物から、包絡的な飛来物を設定した。

タンク高さは13m程度である。棒状の物体は長くなるほど飛距離が長くなる傾向にあることから、保守的な評価として配管(鋼製パイプ)についてはタンク高さの13mでの評価を実施する。また、タンク本体の破片としてはタンク

ク側面部分の破損を想定し 13m×22m 程度が最大と考えられ、平板状の物体は幅、長さが長くなるほど、飛距離が長くなる傾向にあることから、保守的な評価としてタンク屋根部分を包絡する破片を想定する。厚さについては、LNG タンクの構造から 0.01m とする。LPG タンク概要図を第 1 図に示す。

空中では物体はランダムに回転すると仮定し、外力としては重力及び平均抗力（各方向に平均化した抗力係数と投影面積の積に比例して定義されるもの）を受けるものとし、放出角は感度解析の結果、最も遠くまで到達する角度とした。

$$\text{水平方向} : m \frac{dv_x}{dt} = F \frac{v_x}{V(t)}$$

$$\text{鉛直方向} : m \frac{dv_y}{dt} = F \frac{v_y}{V(t)} - m g$$

$$F = -\frac{1}{2} C_D A \rho V(t)^2$$

$$V(t) = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

m : 飛来物の質量 (kg), F : 空気抵抗による外力 (-)

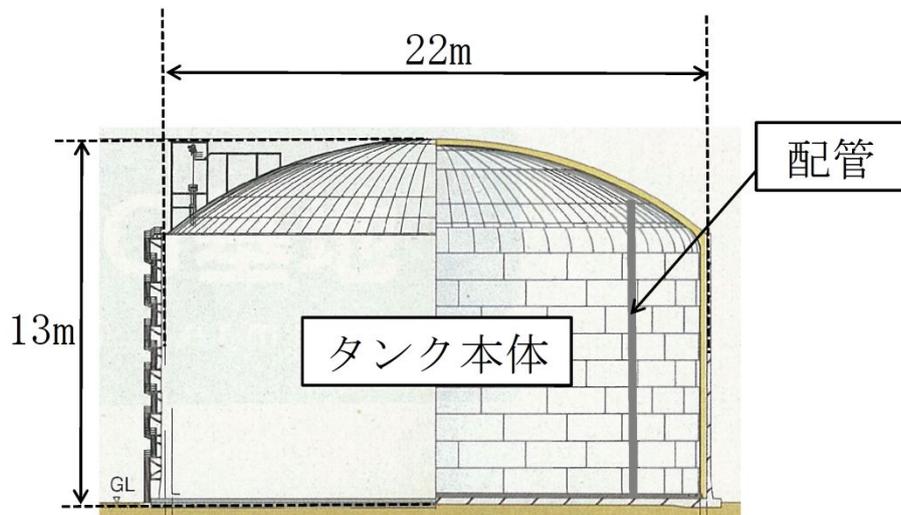
g : 重力加速度 (m/s^2), C_D : 流体抗力係数 (-)

A : 飛来物の速度方向に対する投影面積 (m^2)

V : 飛来物の速度 (m/s), ρ : 空気密度 (kg/m^3)

想定飛来物の諸元及び、飛散距離の計算結果を第 4 表に示す。離隔距離 1,500m は、最大飛散距離である鋼製パイプの 557m を上回ることから、飛来物が原子炉施設に到達することはなく、影響はない。

以上より、地上設置の低温貯蔵タンク爆発飛来物が発電所に到達することはない。評価結果を第 4 表に示す。



第1図 LPGタンク概要図

第4表 想定飛来物の諸元・飛散距離

飛来物の種類	鋼製パイプ (配管)	コンクリート板 (タンク本体)
サイズ (m)	長さ×直径 (13×1)	長さ×幅×厚さ (13×22×0.01)
質量 (t)	5 ^{※1}	22 ^{※2}
放出角 (°)	40	35
飛散距離 (m)	557	244
離隔距離 (m)	1,500 (日立LNG基地から発電所敷地境界までの距離)	

※1：鋼製パイプの質量は、厚さ15.9mmの配管を参考に設定した。

※2：実際のLNGタンクを参考に設定した。

燃料輸送車両の火災・爆発について

1. 目 的

発電所敷地外で発生する燃料輸送車両の火災やガス爆発により、安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼさないことについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき、評価を実施する。

2. 燃料輸送車両の火災影響評価

発電所敷地外の公道上での燃料輸送車両の火災を想定し、影響評価対象施設に対する影響評価を行った。

燃料輸送車両は、消防法令（危険物の規則に関する政令第15条第1項三号）において、移動タンク貯蔵所の上限量が定められており、公道を通行可能な上限量（=30m³）のガソリンが積載された状況を想定した。

また、火災発生場所としては、発電所敷地外の近隣の国道245号上の影響評価対象施設に最も近い場所を想定した。

2.1 共通データの算出

各外壁、排気筒及びディーゼル発電機機関の吸気系フィルタ（以下「D/G吸気系フィルタ」という。）に対する影響評価に必要な共通データを算出する。

(1) 燃料輸送車両及び燃料に係るデータ

燃料輸送車両及び燃料に係るデータを第2.1-1表に示す。

第 2.1-1 表 燃料輸送車両及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 (m ³)	輻射発散度 (kW/m ²) ^{※1}	質量低下速度 (kg/m ² /s) ^{※2}	燃料密度 (kg/m ³) ^{※3}	燃焼面積 (m ²)
燃料輸送車両	ガソリン	30	58	0.055	783	28.8

※1：評価ガイド 記載値

※2：NUREG-1805 記載値

※3：MSDS (製品データ安全シート)

(2) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は延焼面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 2.1-2 表に示す。

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R：燃焼半径(m)， S：燃焼面積(m²)

第 2.1-2 表 燃料輸送車両の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m ²)	燃焼半径 R (m)
燃料輸送車両	28.8 [※]	3.029

※：28kL タンクローリのトレーラ全長 (11.57m) と全幅 (2.49m) の積

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 2.1-3 表に示す。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t：燃焼継続時間(s)， V：燃料量(m³)

R：燃焼半径(m)， v：燃焼速度=M/ρ (m/s)

M : 質量低下速度 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$), ρ : 燃料密度 (kg/m^3)

第 2.1-3 表 燃料輸送車両火災の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)	燃料密度 ρ (kg/m^3)	燃焼継続時間 t (s)
燃料輸送車両	30	3.029	0.055	783	14,826

2.2 評価結果

2.2.1 外壁に対する危険距離評価

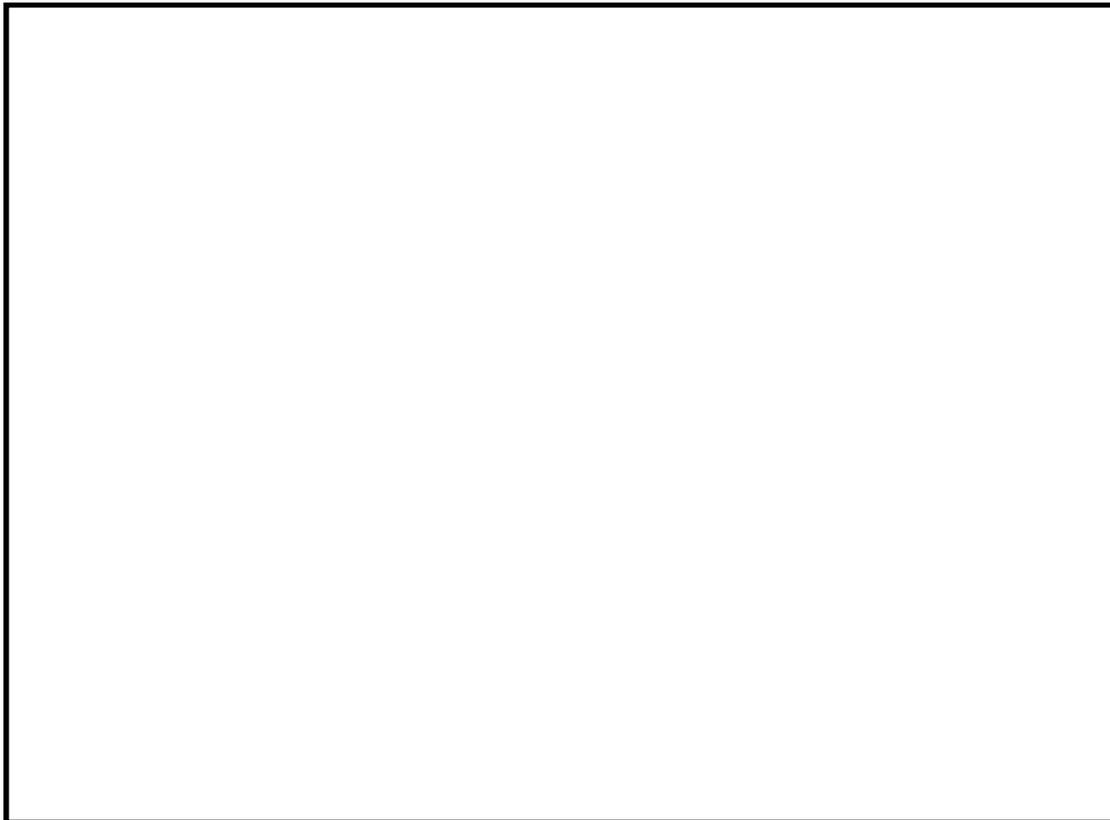
(1) 影響評価対象範囲

影響評価対象施設の外壁について、燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

(2) 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.1-1 表に、位置関係を第 2.2.1-1 図に示す。

第 2.2.1-1 表 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	海水ポンプ室 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料乾式 貯蔵建屋(m)
燃料輸送車両	510	760	450	520



第 2.2.1-1 図 火災発生場所と影響評価対象施設の位置関係

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。

b. 評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、式 1 の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面 (x=0) の温度が 200℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を算出する。

$$T = T_0 + \left(\frac{E}{a}\right) \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) - \exp\left(\frac{a}{\lambda}x + \frac{a^2}{\lambda^2}\kappa t\right) \left\{ 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} + \frac{a}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right) \right\} \right] \quad (\text{式 1})$$

(出典：安全工学講座，安全工学協会)

T：コンクリート許容温度(200℃) T₀：初期温度(50℃)^{※1}
a：熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}
κ：コンクリート温度伝導率(=λ/ρC_p) (7.7×10⁻⁷m²/s)
ρ：コンクリート密度(2,400kg/m³) C_p：コンクリート比熱(880J/kg/K)
λ：コンクリート熱伝導率(1.63W/m/K) E：輻射強度(W/m²)
t：燃焼継続時間(14,826s)
x：温度評価の対象となる深さ位置(外壁表面：0m)

※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値
※2：空気調和・衛生工学便覧(外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である17W/m²Kを用いる。)

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを、式2より算出する。

$$E = R f \cdot \Phi \quad (\text{式2})$$

E：輻射強度(W/m²)， R f：輻射発散度(W/m²)， Φ：形態係数

(出典：評価ガイド)

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを、式3より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式3})$$

ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$ ， $n = \frac{L}{R}$ ， $A = (1+n)^2 + m^2$ ， $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数， L：離隔距離(m)， H：炎の高さ(m)， R：燃焼半径(m)

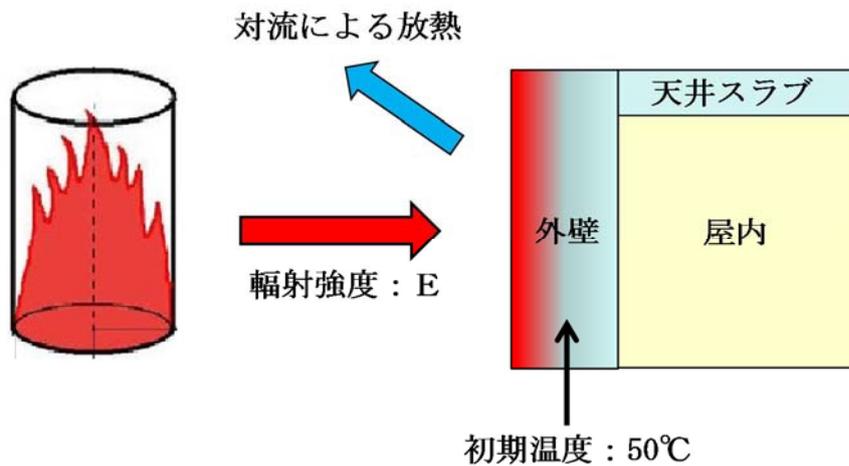
(出典：評価ガイド)

上記のとおり危険距離を算出し、当該燃料輸送車両から各影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、天井スラブ及

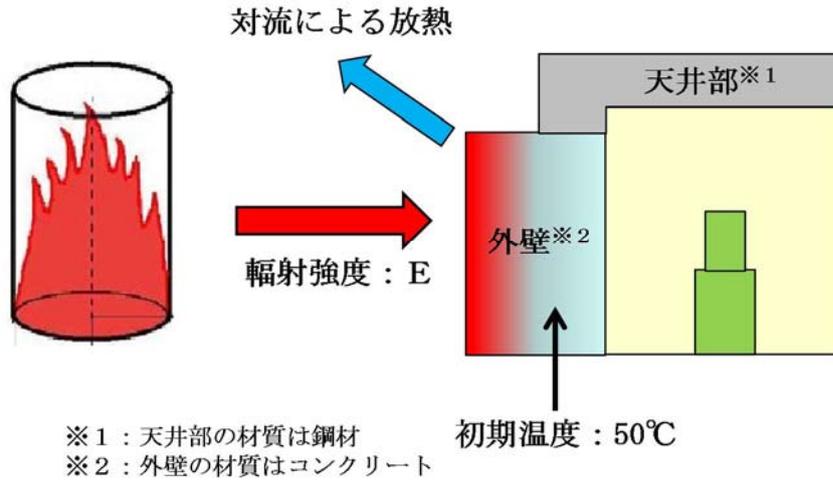
び海水ポンプ室天井は以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・ 火炎長が天井より短い場合、天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・ 火炎長が天井より長い場合、天井に輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・ 火炎からの距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井の熱影響は外壁に比べて小さい。
- ・ 海水ポンプ室の天井（一部の側面壁含む）は鋼材、外壁はコンクリートであるが、危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。

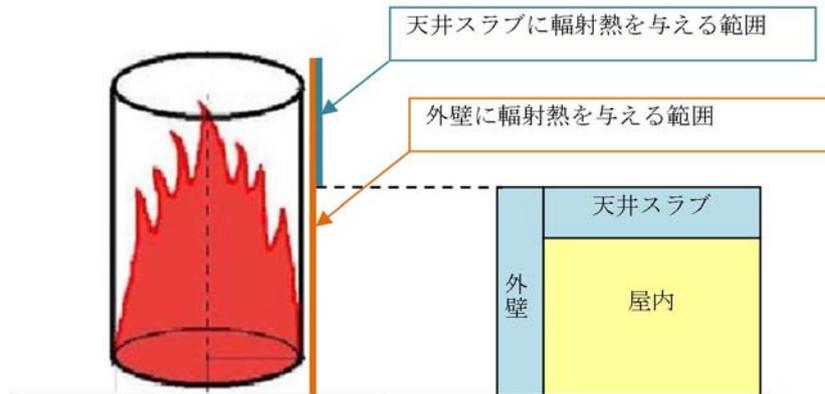
建屋外壁の評価概念図を第 2.2.1-2 図に、海水ポンプ室の評価概念図を第 2.2.1-3 図に、天井スラブの評価概念図を第 2.2.1-4 図に示す。



第 2.2.1-2 図 建屋外壁の評価概念図



第 2. 2. 1-3 図 海水ポンプ室の評価概念図



第 2. 2. 1-4 図 天井スラブの評価概念図

c. 評価結果

影響評価対象施設の外壁表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果、各影響評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。

評価結果を第 2. 2. 1-2 表に示す。

第 2.2.1-2 表 外壁への燃料輸送車両火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
原子炉建屋	15	510
海水ポンプ室		760
タービン建屋		450
使用済燃料乾式貯蔵建屋		520

2.2.2 排気筒に対する危険距離評価

(1) 評価対象範囲

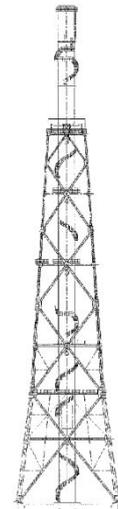
排気筒について、燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

なお、排気筒の評価にあたっては、保守性を考慮して、筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2) 排気筒仕様を第 2.2.2-1 表に、排気筒外形図を第 2.2.2-1 図に示す。

第 2.2.2-1 表 排気筒仕様

名称	排気筒	
種類	鉄塔支持型	
主要寸法	内径 4.5m	
	地表高さ 140m	
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個数	1	



第 2.2.2-1 図 排気筒外形図

- (3) 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.2-2 表に示す。

第 2.2.2-2 表 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	排気筒 (m)
燃料輸送車両	610

- (4) 判断の考え方

a. 許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

b. 評価方法

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式 1 により排気筒鉄塔表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$E = 2h(T - T_0) \quad (\text{式 1})$$

（出典：建築火災のメカニズムと火災安全設計，財団法人日本建築センター）

T：許容温度（325℃）， T_0 ：周囲温度（50℃）※¹

E：輻射強度（W/m²），h：熱伝達率（17W/m²/K）※²

※¹：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※²：空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W/m²K を用いる。）

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを、式2より算出する。

$$E = R f \cdot \Phi \quad (\text{式2})$$

E：輻射強度(W/m²)， R f：輻射発散度(W/m²)， Φ：形態係数

(出典：評価ガイド)

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを、式3より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式3})$$

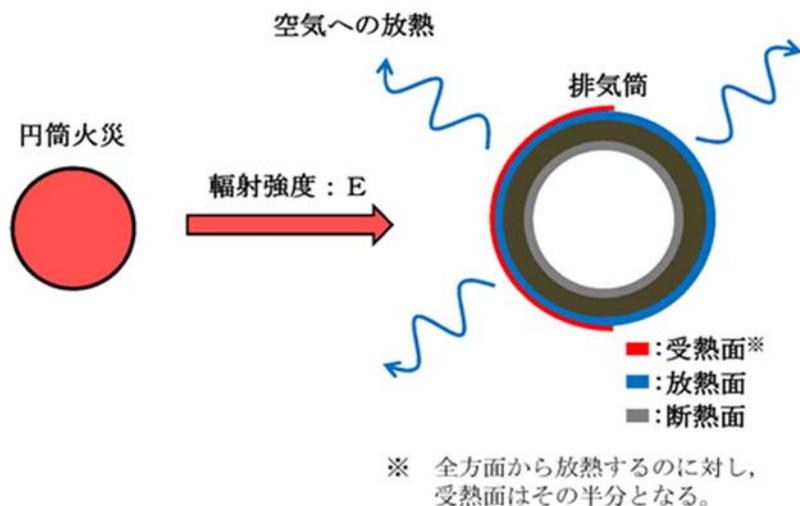
ただし $m = \frac{H}{R} \doteq 3$ ， $n = \frac{L}{R}$ ， $A = (1+n)^2 + m^2$ ， $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数， L：離隔距離(m)， H：炎の高さ(m)， R：燃焼半径(m)

(出典：評価ガイド)

上記のとおり危険距離を算出し、当該燃料輸送車両から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、評価に当たって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも鉄塔が燃料輸送車両との距離が近いこと、材質も鉄塔はSS400、STK400、筒身ではSS400であり、物性値が鉄塔、筒身ともに軟鋼で同一であることから、鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

排気筒の評価概念図を第2.2.2-2図に示す。



第 2. 2. 2-2 図 排気筒の評価概念図

c. 評価結果

排気筒鉄塔の表面温度が 325℃となる危険距離を算出した結果、排気筒の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2. 2. 2-3 表に示す。

第 2. 2. 2-3 表 排気筒への燃料輸送車両火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
排気筒	9	610

2. 2. 3 ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する危険距離評価

(1) 影響評価対象範囲

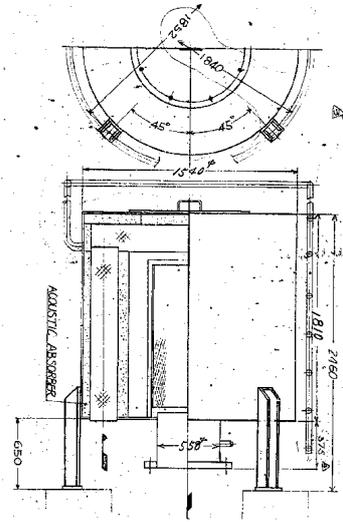
ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるD/G吸気系フィルタの流入空気温度について、燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

(2) D/G吸気系フィルタ仕様を第 2. 2. 3-1 表に、D/G吸気系フィルタ外

形図を第 2.2.3-1 図に示す。

第 2.2.3-1 表 D/G吸気系フィルタ仕様

名称	D/G吸気系フィルタ
種類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径 : 1.54m フィルタ円筒高さ : 2.46m
材料	SS400
個数	6



第 2.2.3-1 図 D/G吸気系フィルタ外形図

(3) 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.3-2 表に示す。

第 2.2.3-2 表 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	D/G吸気系フィルタ (m)
燃料輸送車両	510

(4) 判断の考え方

a. 許容温度

D/G吸気系フィルタの流入空気の許容温度は、火災時における温度上昇を考慮した場合において、ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下*とする。

※：D/G吸気系フィルタの流入空気温度が上昇すると、空気冷却出口温度が上昇し、シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b. 評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度による入熱がD/G吸気系フィルタに流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式1によりD/G吸気系フィルタに流入する空気の温度が53℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求める。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T \quad (\text{式 1})$$

- T : 許容温度 (53℃), T₀ : 初期温度 (37℃)^{※1}, E : 輻射強度 (W/m²),
 G : 重量流量 (4kg/s)^{※2}, A : 輻射を受ける面積 (7.8m²)
 C_p : 空気比熱 (1,007J/kg/K)^{※3}, ΔT : 構造物を介した温度上昇 (5℃)^{※4}
 ※1 : 水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温
 ※2 : ディーゼル発電機機関の内、給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。
 ディーゼル発電機機関吸気流量 (228m³/min) × 空気密度 (1.17kg/m³) ÷ 60
 ※3 : 日本機械学会 伝熱工学資料
 ※4 : 最高到達温度 150℃を介した温度上昇 (5℃)

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを、式2より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \quad (\text{式 2})$$

E : 輻射強度 (W/m²), R_f : 輻射発散度 (W/m²), Φ : 形態係数

(出典 : 評価ガイド)

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを、式3より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

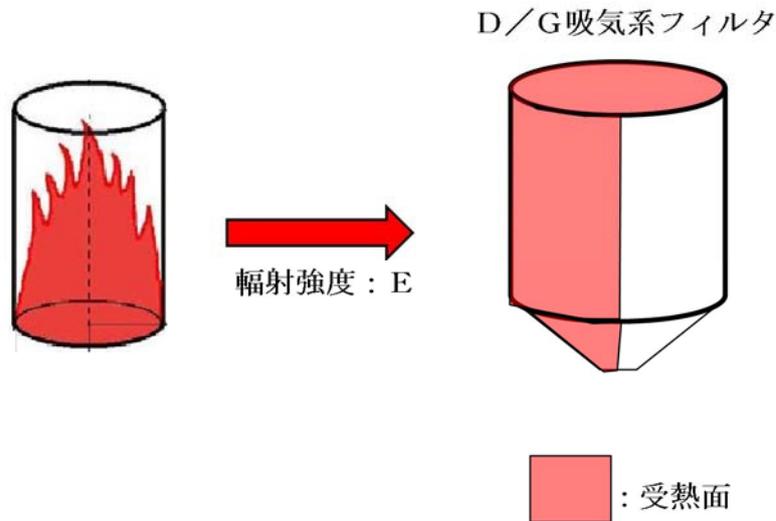
3)

$$\text{ただし } m = \frac{H}{R} \div 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

Φ : 形態係数, L : 離隔距離 (m), H : 炎の高さ (m), R : 燃焼半径 (m)

(出典：評価ガイド)

上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。D/G吸気系フィルタの評価概念図を第 2.2.3-2 図に示す。



第 2.2.3-2 図 D/G吸気系フィルタの評価概念図

c. 評価結果

D/G吸気系フィルタを通して流入する空気の温度が 53℃となる危険距離を算出した結果，D/G吸気系フィルタの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.3-3 表に示す。

第 2.2.3-3 表 D/G吸気系フィルタへの燃料輸送車両火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
D/G吸気系フィルタ	17	510

3. 燃料輸送車両の爆発影響評価

(1) 燃料輸送車両及び燃料に係るデータ

発電所敷地外の公道上での燃料輸送車両の爆発を想定し、影響評価対象施設に対する影響評価を行った。

可燃性ガスを輸送する燃料輸送車両は、最大クラスの燃料輸送車両（積載量：15.1t）に液化天然ガス（LNG）及び液化石油ガス（LPG）が積載された状況を想定した。評価条件を第3-1表に示す。

また、爆発発生場所としては、発電所敷地外の近隣の国道245号上の影響評価対象施設に最も近い場所を想定した。

第3-1表 爆風圧影響評価で想定した評価条件

貯蔵ガス	燃料輸送車両	
	液化天然ガス (メタン)	液化石油ガス (プロパン)
貯蔵量(t)	15.1	15.1
貯蔵ガスK値※ ¹	714	888
貯蔵設備W値※ ²	4	4

※1：評価ガイド 記載値

※2：貯蔵量は1t以上となるため、貯蔵量の平方根の数値

(2) 危険限界距離の算出

評価ガイドに基づき、下式より危険限界距離を算出した結果、危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第3-2表に示す。

$$X=0.04 \times 14.4 \sqrt[3]{(K \times 1,000 \times W)}$$

X:危険限界距離(m), K:石油類の定数(-), W:設備定数(-)

第3-2表 外壁への燃料輸送車両爆発影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
燃料輸送車両	メタン	15.1	81	450
	プロパン	15.1	88	

※：防護対象施設のなかで国道 245 号から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離

4. 燃料輸送車両の爆発飛来物影響評価

4.1 飛来物の最大飛散距離の簡易評価

国道 245 号を通る加圧貯蔵の燃料輸送車両について、「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成 25 年 3 月 消防庁特殊災害室）に基づき、下式よりタンクの破損による破片の飛散範囲を算出した。

$$L = 465M^{0.10} \quad (\text{容積 } 5\text{m}^3 \text{ 以上の容器})$$

L：破片の最大飛散範囲，M：破裂時の貯蔵物質質量

算出したタンク破片の飛散距離は 1,218m であり発電所敷地に到達することを確認した。このため、より現実的な飛来物形状等の想定を踏まえた詳細評価を実施することとした。

4.2 飛来物の最大飛散距離の詳細評価

上記「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づく飛散範囲の推定式によると、飛来物が原子炉施設に到達するおそれがあることから、燃料輸送車両（第4.2.2-1図参照）から発生すると考えられる飛来物を想定した上での評価を行った。

飛来物の想定に当たり、BLEVEを引き起こす可能性がある加圧貯蔵の燃料輸送車両のうち積載量が国内最大クラスの構造図を基に、飛来物化することが想定される爆風の影響を直接受ける可能性がある部位を選定したところ、タンク本体(鋼板)及びはしご(鋼製パイプ)を抽出した。

台車部などタンク下部に位置する部品は、爆発力の方向を踏まえると、原子炉施設に到達せず、また横転した場合を考慮しても、タンク下部の部品の飛散方向は発電所周辺道路の地形の高まりや森林の樹木に干渉し原子炉施設に到達しないことから影響はない。

抽出した飛来物に対して、第4.2.2-1図のとおり燃料輸送車両の構造図、車両制限令に定められる限界値、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に例示の飛来物から、包絡的な飛来物を設定した。

トラクターについては、鋼板で構成されており、その大きさからタンク本体の評価に包絡される。

はしご(鋼製パイプ)の長さは2.5m程度である。棒状の物体は長くなるほど飛距離が長くなる傾向にあることから、保守的な評価としてはしご(鋼製パイプ)については車両制限令に定められる車両長さの最大限度の17.0mでの評価を実施する。

また、タンク本体(鋼板)の破片としては鏡板部分の破損を想定し2.5m×2.5m程度が最大と考えられるが、平板状の物体は幅、長さが長くなるほど、飛距離が長くなる傾向にあることから、保守的な評価としてタンクの半

分が破片となる想定をする。幅は車両制限令に定められる車両の幅の最大限
度の 2.5m, 長さを車両制限令に定められる車両長さの最大限の 17.0m の
平板での評価を実施する。厚さについては, 構造図*から 0.01m とする。

※: 高圧ガスタンクローリーの事故防止について (高圧ガス保安協会)

4.2.1 タンク爆発により発生する飛来物の最高速度の算出

タンク爆発により発生する飛来物の最高速度の算出は, 別紙 3.3 と同様に
「Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book,
CPR14E(Part 1), 3rd edn)」に基づき求めた。以下に抜粋を示す。

Step 3a2 Calculate the liberated energy, E_{av}

Calculate the liberated energy in accordance with the method for blast effects, see paragraph 7.5.2.

Step 3a3 Calculate initial velocity, v_i

This initial velocity of a fragment can be calculated by using of the following equation:

$$v_i = \sqrt{\frac{2 \times A_{ke} \times E_{av}}{M_v}} \quad (\text{m/s}) \quad (7.15)$$

where

E_{av} = liberated energy [J]

M_v = total mass of empty vessel [kg]

A_{ke} is the fraction of the liberated energy that goes into kinetic energy of the fragments. It depends on the situation.

Upper limit $A_{ke} = 0.6$

Rough estimate $A_{ke} = 0.2$

BLEVE $A_{ke} = 0.04$

なお, タンク材重量については, タンク体積が最大の 33m^3 となる円筒型
のタンク形状を想定して算出した。評価条件を第 4.2.1-1 表に示す。

$$V = \pi r^2 L \Rightarrow L = \frac{V}{\pi r^2}$$

$$M = 2 \pi r L \rho + 2 t \pi r^2 \rho$$

V : タンクの体積 (33m^3), L : タンク長さ (m)

r : 円筒状タンク底面の半径 (1.25m)^{※1}

M : タンクの質量 (kg), t : タンク外層の厚さ (0.01m)^{※2}

ρ : タンク材密度 ($7,850\text{kg}/\text{m}^3$)^{※3}

- ※1：車両制限令（積載物），道路運送車両の保安基準（車両）により制限される最大幅2.5mを直径と想定した場合の半径
- ※2：高圧ガスタンクローリーの事故防止について（高圧ガス保安協会）に記載のタンク厚さ（0.012m）を参考に，薄いほど評価上保守的になるため，厚さを0.01mに設定
- ※3：合金鋼の密度

第4.2.1-1表 評価対象タンクの評価条件

タンクの種類	内容物	貯蔵容量 (m ³)	タンク体積※ ¹ V (m ³)	タンクの質量※ ² M (kg)
燃料輸送車両	L P G	30	33	4.9×10 ³

- ※1：消防法に基づき空間容積を10%として算出
- ※2：タンク体積が33m³となる円筒形状タンクを想定

爆発により発生するエネルギーが，ある割合で飛来物に移行すると仮定して最高速度を算出した。算出に用いた式は以下，評価結果は第4.2.1-2表のとおり。

$$E = \frac{(\rho_1 - \rho_2)V}{\gamma - 1}$$

$$v = \sqrt{\frac{2AE}{M}}$$

- v：飛来物の最高速度（m/s），M：タンクの質量（kg）
- E：タンク爆発により発生するエネルギー（J）
- ρ_1 ：タンク内の圧力（3.4MPa※¹）， ρ_2 ：大気圧力（0.1MPa）
- V：タンクの体積（33m³）， γ ：比熱比（1.1）
- A：爆発エネルギーの飛来物への移行係数（0.04※²）

- ※1：高圧ガス例示基準を参考とし，安全弁設定圧力×1.2と設定
- ※2：Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E (Part 1), 3rd edn), van den Bosch, C. J. H. & Weterings

第 4. 2. 1-2 表 飛来物の最高速度の評価結果

タンクの種類	爆発エネルギー E (J)	飛来物の最高速度 v (m/s)
燃料輸送車両	1.1×10 ⁹	133

4. 2. 2 最大飛散距離の算出

空中では物体はランダムに回転すると仮定し、外力としては重力及び、平均抗力（各方向に平均化した抗力係数と投影面積の積に比例して定義されるもの）を受けるものとし、放出角は感度解析の結果、最も遠くまで到達する角度とした。

$$\text{水平方向} : m \frac{dv_x}{dt} = F \frac{v_x}{V(t)}$$

$$\text{鉛直方向} : m \frac{dv_y}{dt} = F \frac{v_y}{V(t)} - m g$$

$$F = -\frac{1}{2} C_D A \rho V(t)^2$$

$$V(t) = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

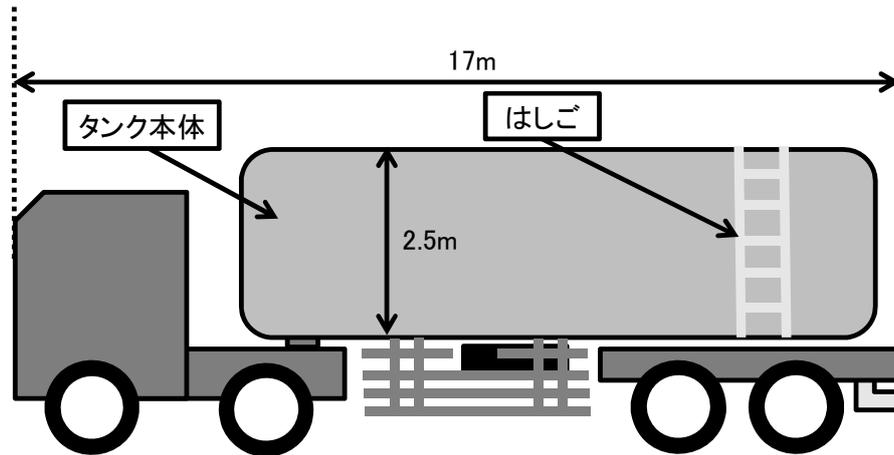
m : 飛来物の質量(kg), F : 空気抵抗による外力(-)

g : 重力加速度 (9.8m/s²), C_D : 流体抗力係数 (-)

A : 飛来物の速度方向に対する投影面積 (m²)

V : 飛来物の速度 (m/s), ρ : 空気密度(1.2kg/m³)

燃料輸送車両概要図を第 4. 2. 2-1 図に、想定飛来物の諸元及び、飛散距離の計算結果を第 4. 2. 2-1 表に示す。



第 4.2.2-1 図 燃料輸送車両概要図

第 4.2.2-1 表 想定飛来物の諸元・飛散距離

飛来物の種類	鋼製パイプ (はしご)	鋼板 (タンク本体)
サイズ (m)	長さ×直径 (17.0 ^{※1} ×0.05 ^{※2})	長さ×幅×厚さ (17.0 ^{※1} ×2.5 ^{※1} ×0.01 ^{※4})
質量 (kg)	71 ^{※2}	3,336 ^{※3}
飛散距離 (m)	435	330
離隔距離 (m)	450 (国道 245 号から最も近い原子炉施設 (タービン建屋) までの距離)	

※1：車両制限令第3条3項及び通達で定められた指定道路を通行できるセミトレーラー車両の最大限度（長さ 17.0m，幅 2.5m）

※2：鋼製パイプの直径及び、質量については、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考に設定した。直径 0.05m は、構造図上のはしごの直径約 0.04m を包絡する。

※3：鋼板の質量については、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考に設定した。

※4：「高圧ガスタンクローリーの事故防止について」（高圧ガス保安協会）の構造図よりタンク板厚 0.01m と設定した。

鋼製パイプの評価結果である最大飛散距離 435m は、離隔距離 450m を下回ることから、燃料輸送車両の爆発飛来物により影響評価対象施設の安全機能を喪失することはない。

漂流船舶の火災・爆発について

1. 目的

発電所敷地外で発生する漂流船舶の火災やガス爆発により、安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼさないことについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき、評価を実施する。

2. 漂流船舶の火災影響評価

発電所敷地周辺に漂流物を想定した軌跡解析を実施した結果、いずれの評価点においても最初の地点の近辺に留まるか、発電所から離れていく結果となったことから、発電所敷地外で発生する漂流物は発電所へ接近してくることはないが、本評価では保守的に対象船舶の喫水位置から火災発生位置を特定し評価することとした。

a. 発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設（東京ガス

（株）が所有する日立 LNG 基地の LNG タンク及び LPG タンク）

に []
[] 内航船及び発電所港湾内に定期的に入港する [] の火災を想定し、影響評価対象施設に対する影響評価を行った。

b. [] である発電所岸壁から [] の位置までしか近づけないことから、[] のポイントから影響評価対象施設までの離隔距離が最も短くなる地点での火災を想定した。

c. 内航船及び [] のうち火災影響が最大となる船舶の火災を想定し、影響評価対象施設に対する影響評価を行った。内航船及び [] は満載時でも喫水が [] と浅く、発電所岸壁まで接近可能であるた

め、発電所岸壁から影響評価対象施設までの離隔距離が最も短くなる地点での火災を想定した。

2.1 共通データの算出

各外壁、排気筒及びD/G吸気系フィルタに対する影響評価に必要な共通データを算出する。

(1) 船舶及び燃料に係るデータ

船舶及び燃料に係るデータを第 2.1-1 表に、各対象との位置関係を第 2.1-2 図に示す。

第 2.1-1 表 船舶及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 (m ³)	輻射発散度 (kW/m ²)※1	質量低下速度 (kg/m ² /s)※2	燃料密度 (kg/m ³)※3	燃焼面積 (m ²)

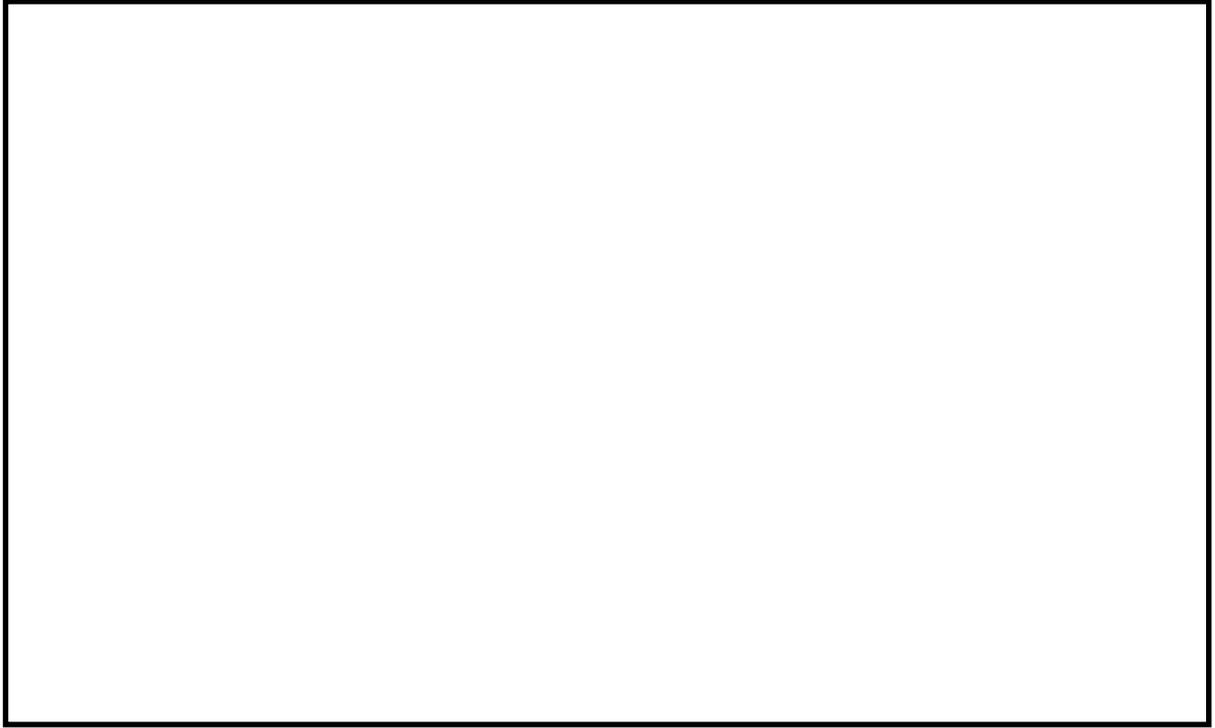
※1：評価ガイド 記載値

※2：NUREG-1805 記載値

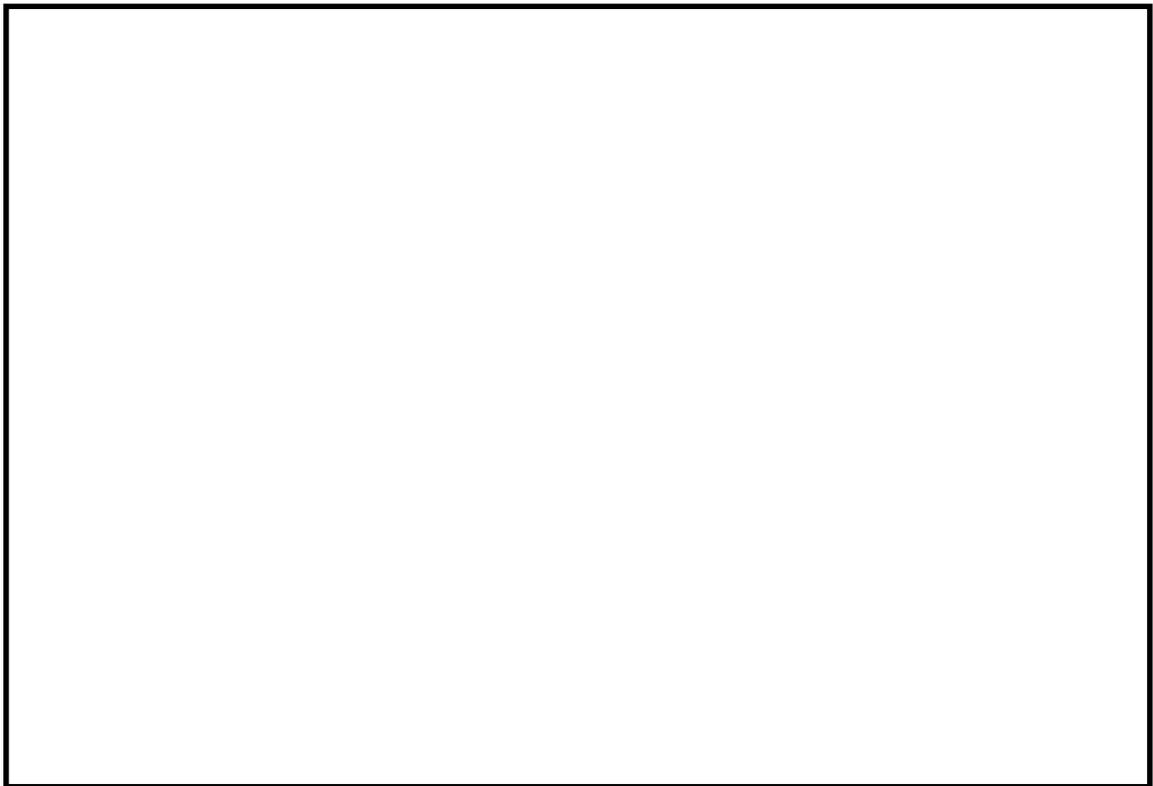
※3：MSDS (製品データ安全シート)

※4：[] は燃料の種類が同じであることから、燃料量が多い [] に包絡されるため影響評価対象外とした。

※5：[] は燃料の種類が同じであることから、燃料量が多い [] に包絡されるため影響評価対象外とした。



第 2.1-1 図 火災と影響評価対象施設の位置関係



第 2.1-2 図 火災と影響評価対象施設の位置関係

(2) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は燃焼面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 2.1-2 表に示す。

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R : 燃焼半径 (m), S : 燃焼面積 (m²)

第 2.1-2 表 船舶の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m ²)	燃焼半径 R (m)

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 2.1-3 表に示す。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t : 燃焼継続時間 (s), V : 燃料量 (m³)

R : 燃焼半径 (m), v : 燃焼速度 = M / ρ (m/s)

M : 質量低下速度 (kg/m²/s), ρ : 燃料密度 (kg/m³)

第 2.1-3 表 船舶火災の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m ³)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg/m ² /s)	燃料密度 ρ (kg/m ³)	燃焼継続時間 t (s)

2.2 外壁に対する危険距離評価

(1) 評価対象範囲

影響評価対象施設の外壁について、船舶の火災を想定して評価を実施した。

(2) 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離を第 2.2-1 表に示す。

第 2.2-1 表 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	海水ポンプ室 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料 乾式貯蔵建屋(m)
	1,100	940	1,100	1,300
	300	70	280	530

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。

b. 評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、式 1 の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面 (x=0) の温度が 200℃となる輻射強度 (=危険輻

射強度) を算出する。

$$T = T_0 + \left(\frac{E}{a}\right) \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) - \exp\left(\frac{a}{\lambda}x + \frac{a^2}{\lambda^2}\kappa t\right) \left\{ 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} + \frac{a}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right) \right\} \right] \quad (\text{式 1})$$

(出典：安全工学講座，安全工学協会)

T：表面から x(m) の位置の温度(°C)，T₀：初期温度(50°C)^{※1}

a：熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}

κ：コンクリート温度伝導率(= λ / ρ C_p) (7.7 × 10⁻⁷ m²/s)

ρ：コンクリート密度(2,400kg/m³)，C_p：コンクリート比熱(880J/kg/K)

λ：コンクリート熱伝導率(1.63W/m/K)，E：輻射強度(W/m²)

t：燃焼継続時間(s)，x：温度評価の対象となる深さ位置(外壁表面：0m)

※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間(最高気温に保守性を持たせた値)

※2：空気調和・衛生工学便覧(外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である17W/m²Kを用いる。)

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを、式2より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \quad (\text{式 2})$$

E：輻射強度(W/m²)，R_f：輻射発散度(W/m²)，Φ：形態係数

(出典：評価ガイド)

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを、式3より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}}\right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1}\left[\frac{A(n-1)}{\sqrt{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n} \tan^{-1}\left[\frac{(n-1)}{\sqrt{(n+1)}}\right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$ ， $n = \frac{L}{R}$ ， $A = (1+n)^2 + m^2$ ， $B = (1-n)^2 + m^2$

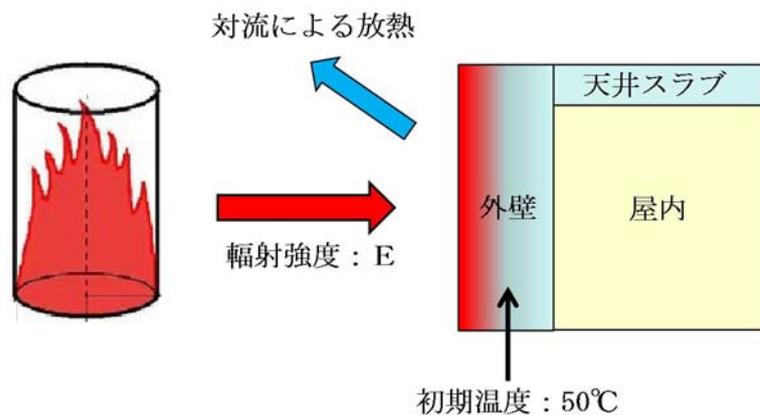
Φ：形態係数，L：離隔距離(m)，H：炎の高さ(m)，R：燃焼半径(m)

(出典：評価ガイド)

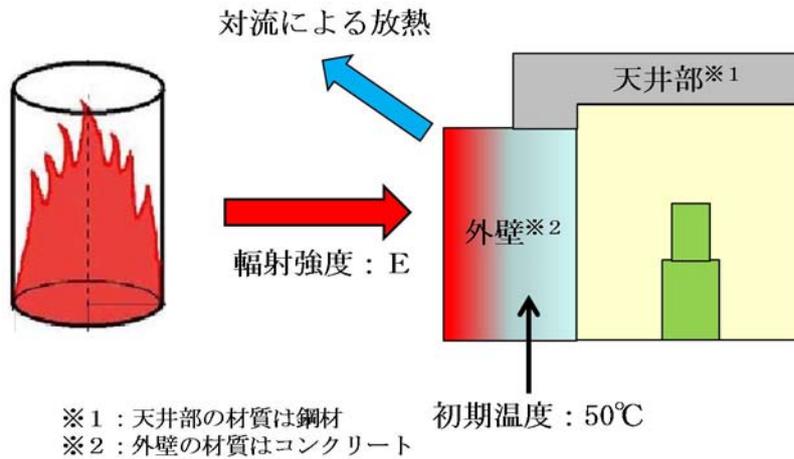
上記のとおり危険距離を算出し、当該船舶から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・ 火炎長が天井より短い場合、天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・ 火炎長が天井より長い場合、天井に輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・ 火炎からの離隔距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井の熱影響は外壁に比べて小さい。
- ・ 海水ポンプ室の天井（一部の側面壁含む）は鋼材、外壁はコンクリートであるが、危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。

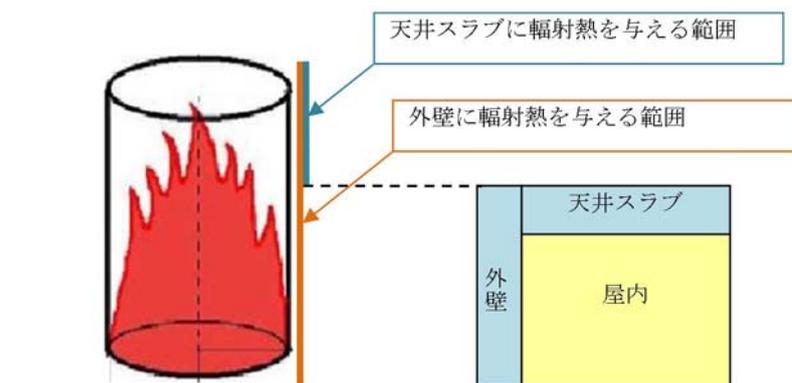
建屋外壁の評価概念図を第 2.2-1 図に、海水ポンプ室の評価概念図を第 2.2-2 図に、天井スラブの評価概念図を第 2.2-3 図に示す。



第 2.2-1 図 建屋外壁の評価概念図



第 2. 2-2 図 海水ポンプ室の評価概念図



第 2. 2-3 図 天井スラブの評価概念図

c. 評価結果

影響評価対象施設の外壁表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果、各影響評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。

なお、について積載量が 0m³の場合の喫水を考慮しても最短の離隔距離は 680m（海水ポンプ）であり危険距離以上であるため、積載量が少ない場合の火災位置を想定しても危険距離が離隔距離を上回ることはない。評価結果を第 2. 2-2 表に示す。

第 2.2-2 表 外壁への船舶火災影響評価結果

想定火災源	影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	原子炉建屋	165	1,100
	海水ポンプ室		940
	タービン建屋		1,100
	使用済燃料乾式貯蔵建屋		1,300
	原子炉建屋	54	300
	海水ポンプ室		70
	タービン建屋		280
	使用済燃料乾式貯蔵建屋		530

2.3 排気筒に対する危険距離評価

(1) 評価対象範囲

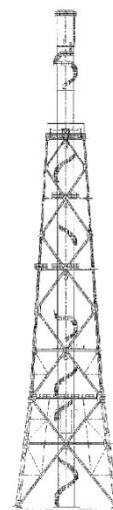
排気筒について、船舶の火災を想定して評価を実施した。

なお、排気筒の評価に当たっては、保守性を考慮して、筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2) 排気筒仕様を第 2.3-1 表に、排気筒外形図を第 2.3-1 図に示す。

第 2.3-1 表 排気筒仕様

名称	排気筒	
種類	鉄塔支持型	
主要寸法	内径 4.5m	
	地表高さ 140m	
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個数	1	



第 2.3-1 図 排気筒外形図

(3) 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離を第 2.3-2 表に示す。

第 2.3-2 表 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	排気筒 (m)
	1,100
	250

(4) 判断の考え方

a. 許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

b. 評価方法

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式 1 により排気筒鉄塔表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$E = 2h(T - T_0) \quad (\text{式 1})$$

(出典：建築火災のメカニズムと火災安全設計，財団法人日本建築センター)

T：許容温度(325℃)， T_0 ：周囲温度(50℃)^{※1}

E：輻射強度(W/m²)，h：熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}

※1：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間（最高気温に保守性を持たせた値）

※2：空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W/m²K を用いる。）

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを、式2より算出する。

$$E = R f \cdot \Phi \quad (\text{式2})$$

E：輻射強度(W/m²)， R f：輻射発散度(W/m²)， Φ：形態係数

(出典：評価ガイド)

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを、式3より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式3})$$

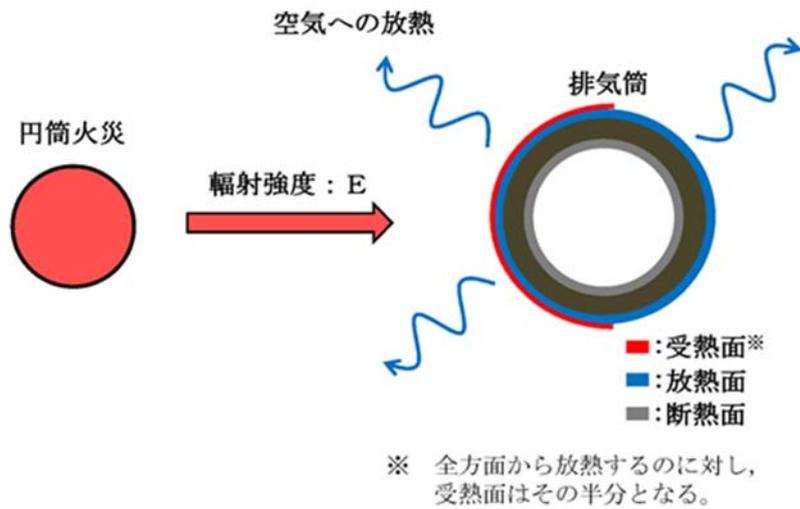
ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$ ， $n = \frac{L}{R}$ ， $A = (1+n)^2 + m^2$ ， $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数， L：離隔距離(m)， H：炎の高さ(m)， R：燃焼半径(m)

(出典：評価ガイド)

上記のとおり危険距離を算出し、当該船舶から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、評価に当たって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも鉄塔が当該船舶との距離が近いこと、材質も鉄塔はSS400、STK400、筒身ではSS400であり、物性値が鉄塔、筒身ともに軟鋼で同一であることから、鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

排気筒の評価概念図を第2.3-2図に示す。



第 2.3-2 図 排気筒の評価概念図

c. 評価結果

排気筒鉄塔の表面温度が 325℃となる危険距離を算出した結果、排気筒の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。なお、 について積載量が 0m³ の場合の喫水を考慮しても最短の離隔距離は 850m であり危険距離以上であるため、積載量が少ない場合の火災位置を想定しても危険距離が離隔距離を上回ることはない。評価結果を第 2.3-3 表に示す。

第 2.3-3 表 排気筒への船舶火災影響評価結果

想定火災源	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	87	1,100
	29	250

2.4 ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する危険距離評価

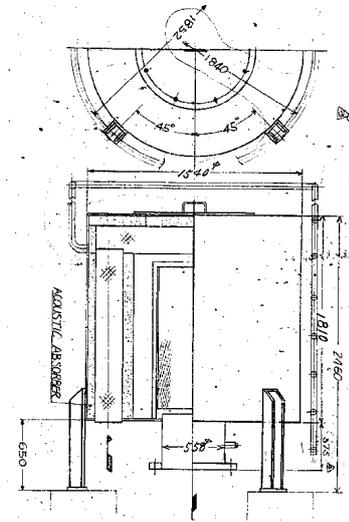
(1) 影響評価対象範囲

ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるD/G吸気系フィルタの流入空気温度について、船舶の火災を想定して評価を実施した。

(2) D/G吸気系フィルタ仕様を第2.4-1表に、D/G吸気系フィルタ外形図を第2.4-1図に示す。

第2.4-1表 D/G吸気系フィルタ仕様

名称	D/G吸気系フィルタ
種類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径 : 1.54m フィルタ円筒高さ : 2.46m
材料	SS400
個数	6



第2.4-1図 D/G吸気系フィルタ外形図

(3) 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離を第2.4-2表に示す。

第2.4-2表 想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	D/G吸気系フィルタ (m)
	1,100
	330

(4) 判断の考え方

a. 許容温度

D/G吸気系フィルタの流入空気の許容温度は、火災時における温度上昇を考慮した場合において、ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下*とする。

※：D/G吸気系フィルタの流入空気温度が上昇すると、空気冷却出口温度が上昇し、シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b. 評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度による入熱がD/G吸気系フィルタに流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式1によりD/G吸気系フィルタに流入する空気の温度が53℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求める。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T \quad (\text{式1})$$

T：許容温度(53℃)，T₀：初期温度(37℃)*¹，E：輻射強度(W/m²)，

G：重量流量(4kg/s)*²，A：輻射を受ける面積(7.8m²)

C_p：空気比熱(1,007J/kg/K)*³，ΔT：構造物を介した温度上昇(5℃)*⁴

※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温

※2：ディーゼル発電機機関の内、給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。
ディーゼル発電機機関吸気流量(228m³/min)×空気密度(1.17kg/m³)÷60

※3：日本機械学会 伝熱工学資料

※4：最高到達温度150℃を介した温度上昇(5℃)

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを、式2より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \quad (\text{式2})$$

E：輻射強度(W/m²)，R_f：輻射発散度(W/m²)，Φ：形態係数

(出典：評価ガイド)

式2で求めた形態係数 Φ となる危険距離Lを、式3より算出する。

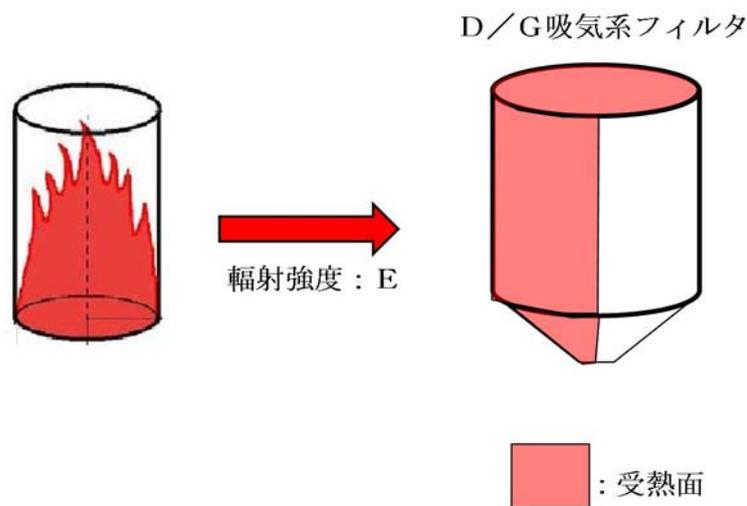
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式3})$$

ただし $m = \frac{H}{R} \doteq 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ :形態係数, L:離隔距離(m), H:炎の高さ(m), R:燃焼半径(m)

(出典:評価ガイド)

上記のとおり危険距離を算出し、当該船舶から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。D/G吸気系フィルタの評価概念図を第2.4-2図に示す。



第2.4-2図 D/G吸気系フィルタの評価概念図

c. 評価結果

D/G吸気系フィルタに流入する空気の温度が53℃となる危険距離を算出した結果、D/G吸気系フィルタの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第2.4-3表に示す。

第 2.4-3 表 D/G 吸気系フィルタへの船舶火災影響評価結果

想定火災源	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	128	1,100
	42	330

3. 漂流船舶の爆発影響評価

(1) 評価対象船舶の抽出

発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設（東京ガス（株）が所有する日立 LNG 基地）に

の爆発を想定し、影響評価対象施設に対する影響評価を行った。

爆発地点は、火災発生と同じ場所を想定した。評価条件を第 3-1 表に、各対象との位置関係を第 3-1 図，第 3-2 図に示す。

第 3-1 表 爆風圧影響評価で想定した評価条件

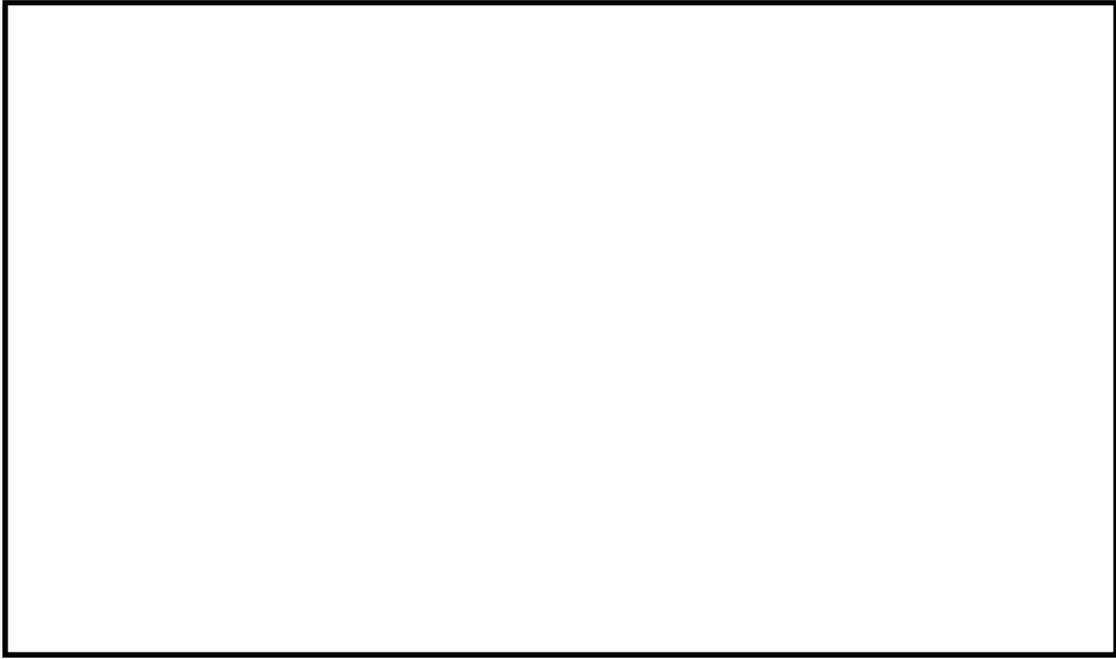
貯蔵ガス	
貯蔵量(m ³)	
貯蔵量(t)	
密度(t/m ³)	
喫水(m)	
貯蔵ガスK値※3	
貯蔵設備W値※4	

※1：伝熱工学資料第5版記載値

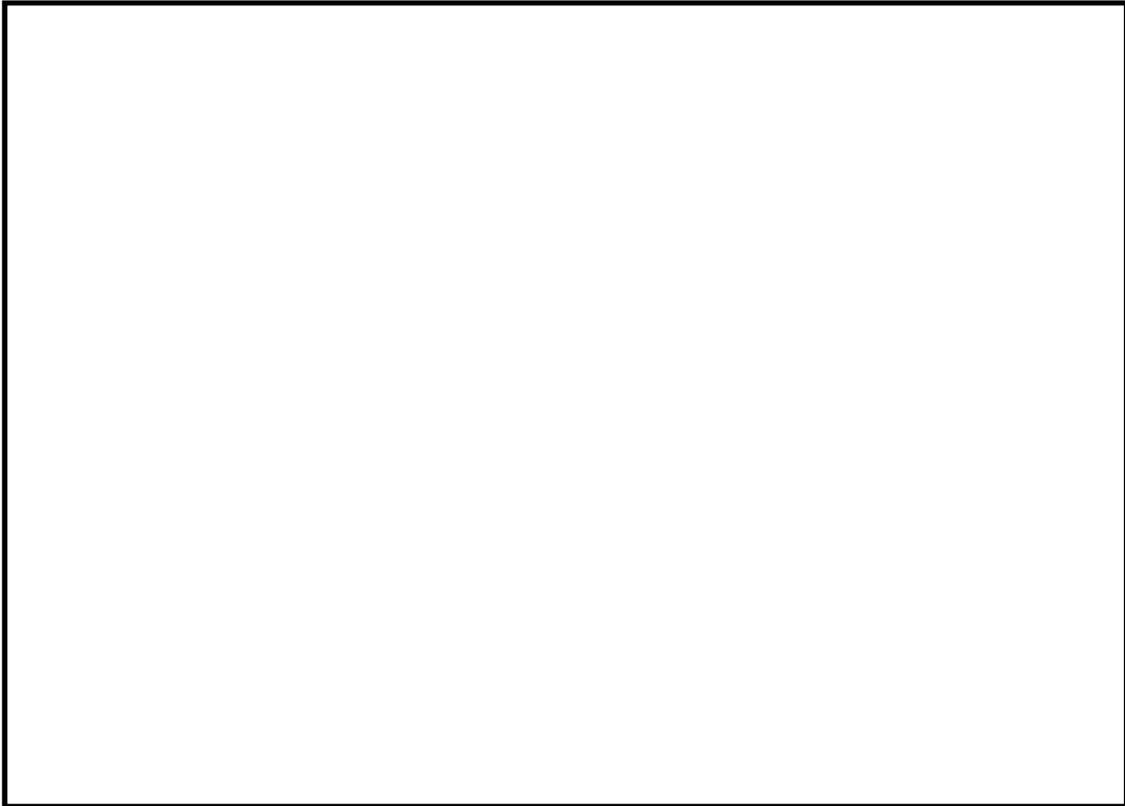
※2：JIS K2240-2013 記載値

※3：評価ガイド 記載値

※4：貯蔵量は1t以上となるため、貯蔵量の平方根の数値



第 3-1 図 発電所と の位置関係



第 3-2 図 発電所と内航船の位置関係

(2) 危険限界距離の算出

評価ガイドに基づき、下式より危険限界距離を算出した結果、危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。

なお、それぞれの輸送船について積載量が 0m³ の場合の喫水を考慮しても最短の離隔距離は、で 680m, で 560m となり危険距離以上となるため、積載量が少ない場合の爆発位置を想定しても危険限界距離が離隔距離を上回ることはない。評価結果を第 3-2 表に示す。

$$X=0.04 \times 14.4 \sqrt[3]{(K \times 1,000 \times W)}$$

X:危険限界距離(m), K:石油類の定数(-), W:設備定数(-)

第 3-2 表 船舶の爆風圧影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
			335	1,100 以上
			340	
			165	250 以上

※:海水ポンプ室の高さは防潮堤高さよりも低く、直接爆風圧の影響を受けることはないため、海水ポンプ室は影響評価対象外とする。離隔距離は海水ポンプ室を除いて最も近い排気筒までの距離とする。

4. 漂流船舶の爆発飛来物影響評価

発電所周辺を航行する船舶として、日立 LNG 基地に出入りする輸送船があるが、これらの船舶が停泊しているときに津波警報等が発表された場合には、荷役及び作業を中止した上で、緊急退避又は係留避泊する運用としており、実際に漂流し発電所に接近する可能性は低いことから、想定した漂流船舶の飛来物が発電所に影響を及ぼすことはない。

5. 漂流船舶の二次的影響

発電所港湾内で漂流船舶が出火し油が流出したとしても、港湾内の取水口にはカーテンウォールが設置されており、深層取水していることから原子炉施設（海水ポンプ）への影響はない。

なお、発電所港湾外で船舶の油が流出した場合は、油の流出を確認し次第、速やかにオイルフェンスを設置し、原子炉施設への影響がないよう対応する。

敷地内における危険物貯蔵施設等の火災・爆発について

1. 目的

東海第二発電所敷地内の危険物貯蔵設備の火災・爆発が、安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼさないことについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書B石油コンビナート火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」及び、「附属書C「原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」（共に以下「評価ガイド」という。）に基づき、評価を実施する。

2. 火災源又は爆発源となる設備の影響評価

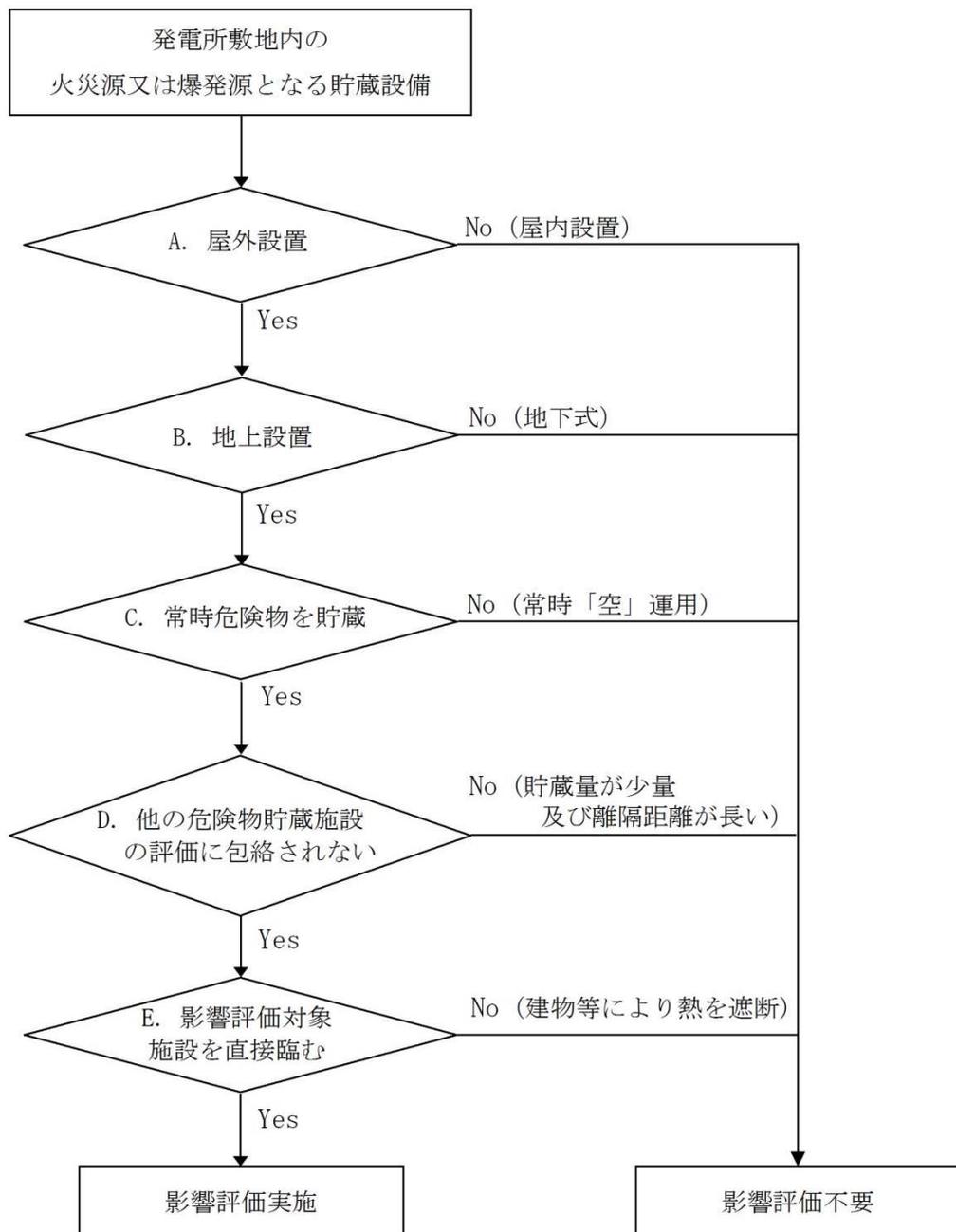
2.1 評価対象の考え方

評価ガイドに基づき、発電所敷地内の火災源又は爆発源となる石油類等の危険物貯蔵設備について、火災・爆発の影響評価を実施する。第2.1-1図のフローに基づき評価対象を抽出した。火災源の抽出結果を第2.1-1表に、爆発源の抽出結果を第2.1-2表に示す。

- ・屋内貯蔵所は評価対象外とした。
- ・地下タンク貯蔵所については、地表面で火災が発生する可能性は低いことから、評価対象外とした。
- ・常時「空」状態で運用する設備については、評価対象外とした。
- ・貯蔵燃料の種類が同じ場合、貯蔵量が少なくかつ影響評価対象施設までの離隔距離が長い設備は、貯蔵量が多くかつ影響評価対象施設までの離隔距離が短い他設備に包絡されるため、評価対象外とした。
- ・火災源となる設備から影響評価対象施設を直接臨まないものについては、当該危険物貯蔵設備において火災・爆発が発生しても、その影響が及ばないため、評価対象外とした。
- ・発電所構外より入所してくるタンクローリについては、燃料補給時は監

視人が立会を実施し、万が一の火災発生時は速やかに消火活動が可能であることから、評価対象外とした。

敷地内の火災源及び爆発源となる設備及び影響評価対象施設の位置を第2.1-2図に示す。



第 2.1-1 図 敷地内の火災及び爆発影響評価対象抽出フロー

第 2.1-1 表 敷地内の火災源となる設備一覧（1 / 2）

設備名	製造所等区分	設置場所	危険物の類		品名	最大数量 (m ³)	詳細評価要否 (○:対象, ×:対象外)
油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	0.90	× (屋内設置 → A)
			第四類	第二石油類	軽油・灯油	2.20	× (屋内設置 → A)
			第四類	第三石油類	重油	18.20	× (屋内設置 → A)
			第四類	第四石油類	潤滑油	21.00	× (屋内設置 → A)
			第四類	アルコール類	アルコール類	0.20	× (屋内設置 → A)
重油貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	500.00	× (地下式 → B)
非常用ディーゼル発電機用タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	800.00	× (地下式 → B)
原子炉建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	33.20	× (屋内設置 → A)
			第四類	第四石油類	潤滑油	16.50	
タービン建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	0.36	× (屋内設置 → A)
			第四類	第三石油類	重油	1.90	× (屋内設置 → A)
			第四類	第四石油類	潤滑油	185.23	× (屋内設置 → A)
			第四類	第四石油類	リン酸エステル油	7.93	× (屋内設置 → A)
サービス建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第三石油類	重油	2.40	× (屋内設置 → A)
熔融炉灯油タンク	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第二石油類	灯油	10.00	○
可搬型設備用軽油タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	210.00	× (地下式 → B)
ディーゼル発電機用燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.97	× (他評価に包絡 → E)

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 2.1-1 表 敷地内の火災源となる設備一覧 (2 / 2)

設備名	製造所等区分	設置場所	危険物の類		品名	最大数量 (m ³)	詳細評価要否 (○:対象, ×:対象外)
No.1 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	0.10	× (屋内設置 → A)
			第四類	第二石油類	ラッカー等	4.00	× (屋内設置 → A)
			第四類	第四石油類	潤滑油	90.00	× (屋内設置 → A)
No.2 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第四石油類	潤滑油	100.00	× (屋内設置 → A)
保修用屋外油貯蔵所	屋外貯蔵所	屋外	第四類	第四石油類	潤滑油	80.00	× (他評価に包絡 → D)
工事協力会油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	1.00	× (屋内設置 → A)
			第四類	第二石油類	灯油	3.10	× (屋内設置 → A)
			第四類	第三石油類	塗料	2.50	× (屋内設置 → A)
			第四類	第四石油類	潤滑油	2.90	× (屋内設置 → A)
緊急時対策室建屋 (旧緊急時対策室)	一般取扱所	屋内	第四類	第三石油類	重油	5.76	× (屋内設置 → A)
緊急時対策室建屋地下タンク (旧緊急時対策室)	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	20.00	× (地下式 → B)
絶縁油保管タンク	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	200.00	× (常時「空」 → C)
常設代替高圧電源装置置場	一般取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	5.97	× (他評価に包絡 → D)
			第四類	第四石油類	潤滑油	0.94	× (他評価に包絡 → D)
緊急時安全対策用地下タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	90.00	× (地下式 → B)
構内服洗濯用タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第三石油類	重油	1.82	× (他評価に包絡 → D)
廃棄物処理建屋廃油タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	廃油	1.90	× (屋内設置 → A)
雑固体減容処理設備用バーナ	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第二石油類	灯油	0.93	× (屋内設置 → A)
緊急用エンジン発電機燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.80	× (常時「空」 → C)
緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	150.00	× (地下式 → B)
T/H消火用ディーゼルポンプ用タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	0.49	× (屋内設置 → B)
少量危険物貯蔵所 No.1	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	× (屋内設置 → B)
少量危険物貯蔵所 No.2	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	× (屋内設置 → B)
少量危険物貯蔵所 No.3	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	× (屋内設置 → B)

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 2.1-2 表 敷地内の爆発源となる設備一覧

設備名	内容物	本数 (本)	1本当たり容量 (m ³)	総容量 (m ³)	詳細評価要否 (○:対象, ×:対象外)
協力会社ボンベ小屋	アセチレン	50	6	300	× (屋内配置→A)
	フロン	10	2	20	
	プロパン	10	5	50	
H ₂ , CO ₂ ボンベ庫	水素	20	7	140	× (屋内配置→A)
水素貯槽	水素	—	—	6.7	○
予備ボンベ庫①	水素	40	7	280	× (屋内配置→A)
予備ボンベ庫②	水素	20	7	140	× (屋内配置→A)
所内ボイラー プロパンボンベ庫	プロパン	4	50	200	× (屋内配置→A)
焼却炉用 プロパンボンベ庫	プロパン	5	500	2500	× (屋内配置→A)
サービス建屋 ボンベ庫	アセチレン	3	6	18	× (屋内配置→A)
廃棄物処理建屋 化学分析用ボンベ庫	アセチレン	1	6	6	× (屋内配置→A)
	メタン+アルゴン	4	7	28	
食堂用プロパンボンベ庫	プロパン	18	50	900	× (屋内配置→A)

網掛け箇所：評価対象となる設備



第 2.1-2 図 火災源及び爆発源となる設備及び影響評価対象施設の位置

2.2 発電所敷地内危険物貯蔵設備の熱影響評価

2.2.1 火災源となる設備の火災の想定

火災源となる設備の火災の想定は以下のとおりとした。

(1) 想定条件

- a. 火災源となる設備は 2.1 で抽出した熔融炉灯油タンクとした。
- b. 火災源となる設備の燃料は満載した状態を想定した。
- c. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう、a. で想定した火災源となる設備位置から影響評価対象施設までの直線距離とした。
- d. 火災源となる設備の破損等による防油堤内の全面火災を想定した。
- e. 気象条件は無風状態とした。
- f. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

(2) 影響評価対象施設

原子炉建屋、タービン建屋、海水ポンプ室、排気筒を影響評価対象施設とし、直接臨まない使用済燃料乾式貯蔵建屋、D/G 吸気系フィルタは対象外とする。

2.2.2 共通データの算出

各対象施設の外壁及び排気筒に対する熱影響評価に必要な共通データを算出する。

(1) 火災源となる設備及び燃料に係るデータ

火災源となる設備及び燃料に係るデータを第 2.2.2-1 表に示す。

第 2.2.2-1 表 火災源となる設備及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 V (m ³)	輻射発散度 Rf (kW/m ²)※1	質量低下速度 M (kg/m ² /s)※2	燃料密度 ρ (kg/m ³)※3	防油堤面積 S (m ²)
熔融炉 灯油タンク	灯油	10	50	0.039	830	19.36

※1：評価ガイド附録 B 記載値

※2：NUREG-1805 記載値

※3：MSDS（製品安全データシート）記載値

(2) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 2.2.2-2 表に示す。

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R：燃焼半径(m)， S：防油堤面積（=燃焼面積）(m²)

第 2.2.2-2 表 火災源の燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m ²)	燃焼半径 R (m)
熔融炉 灯油タンク	19.36	2.483

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 2.2.2-3 表に示す。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t：燃焼継続時間(s)， V：燃料量(m³)

R : 燃焼半径 (m), v : 燃焼速度 = M / ρ (m/s)
M : 質量低下速度 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$), ρ : 燃料密度 (kg/m^3)

第 2.2.2-3 表 火災源となる設備の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)	燃料密度 ρ (kg/m^3)	燃焼継続時間 t (s)
熔融炉 灯油タンク	10	2.483	0.039	830	11,008

2.2.3 外壁に対する熱影響評価

(1) 影響評価対象範囲

影響評価対象施設の外壁について、熔融炉灯油タンクの火災を想定して評価を実施した。

(2) 火災源となる設備と影響評価対象施設までの離隔距離

火災源となる設備と影響評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.3-1 表に示す。

第 2.2.3-1 表 火災源となる設備と影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 L (m)			
	原子炉建屋	海水ポンプ室	タービン建屋	使用済燃料 乾式貯蔵建屋
熔融炉 灯油タンク	45	185	77	—※

※：直接臨まないため評価対象外とした。

(3) 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 2.2.3-2 表に示す。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

ただし $m = \frac{H}{R} \doteq 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ :形態係数, L :離隔距離(m), H :炎の高さ(m), R :燃焼半径(m)

第 2.2.3-2 表 火災源となる設備の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
溶融炉 灯油タンク	45 (原子炉建屋)	2.483	5.9639×10^{-3}
	185 (海水ポンプ室)	2.483	3.4734×10^{-4}
	77 (タービン建屋)	2.483	2.0248×10^{-3}

(4) 輻射強度の算出

火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 2.2.3-3 表に示す。

$$E = R f \cdot \Phi$$

E :輻射強度(W/m^2), $R f$:輻射発散度(W/m^2), Φ :形態係数

第 2.2.3-3 表 火災源となる設備の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	離隔距離 L (m)	輻射発散度 Rf (kW/m ²)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W/m ²)
溶融炉 灯油タンク	灯油	45 (原子炉建屋)	50	5.9639×10^{-3}	298.20
		185 (海水ポンプ室)		3.4734×10^{-4}	17.37
		77 (タービン建屋)		2.0248×10^{-3}	101.24

(5) 判断の考え方

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200°C 以下とする。

b. 評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度による入熱と対流による放熱を考慮した、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め、コンクリート表面の温度が許容温度以下であるか評価した。なお、天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。建屋外壁の評価概念図を第 2.2.3-1 図に示す。

- ・ 火炎長が天井スラブより短い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・ 海水ポンプ室の天井（一部の側面壁含む）は鋼材、外壁はコンクリートであるが、危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。海水ポンプ室の評価概念図を第 2.2.3-2 図に示す。

- ・火炎長が天井スラブより長い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 2. 2. 3-3 図に示す。
- ・火炎からの離隔距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。

$$T = T_0 + \left(\frac{E}{a} \right) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \right) - \exp \left(\frac{a}{\lambda} x + \frac{a^2}{\lambda^2} \kappa t \right) \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} + \frac{a}{\lambda} \sqrt{\kappa t} \right) \right\} \right]$$

T : 表面から x(m) の位置の温度 (°C), T₀ : 初期温度 (50°C) *¹

a : 熱伝達率 (17W/m²/K) *²

κ : コンクリート温度伝導率 (= λ / ρ C_p) (7.7 × 10⁻⁷ m²/s)

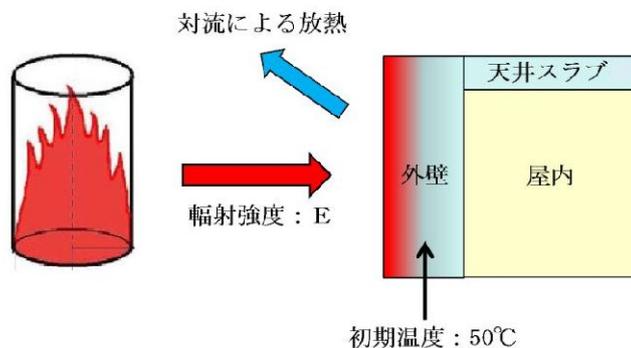
ρ : コンクリート密度 (2,400kg/m³), C_p : コンクリート比熱 (880J/kg/K)

λ : コンクリート熱伝導率 (1.63W/m/K), E : 輻射強度 (W/m²)

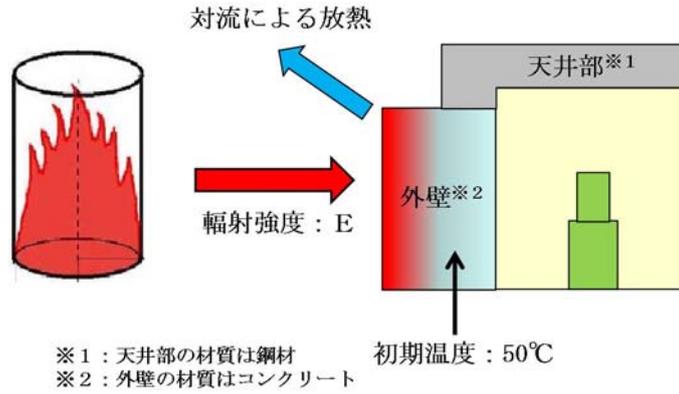
t : 燃焼継続時間 (11,008s), x : コンクリート壁表面深さ (0m)

※1 : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

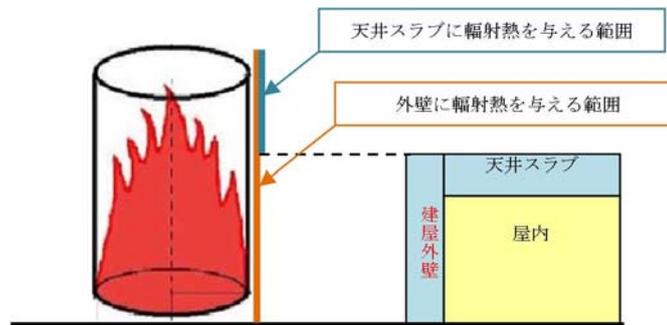
※2 : 空気調和・衛生工学便覧 (外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である 17W/m²K を用いる。)



第 2. 2. 3-1 図 建屋外壁の評価概念図



第 2. 2. 3-2 図 海水ポンプ室の評価概念図

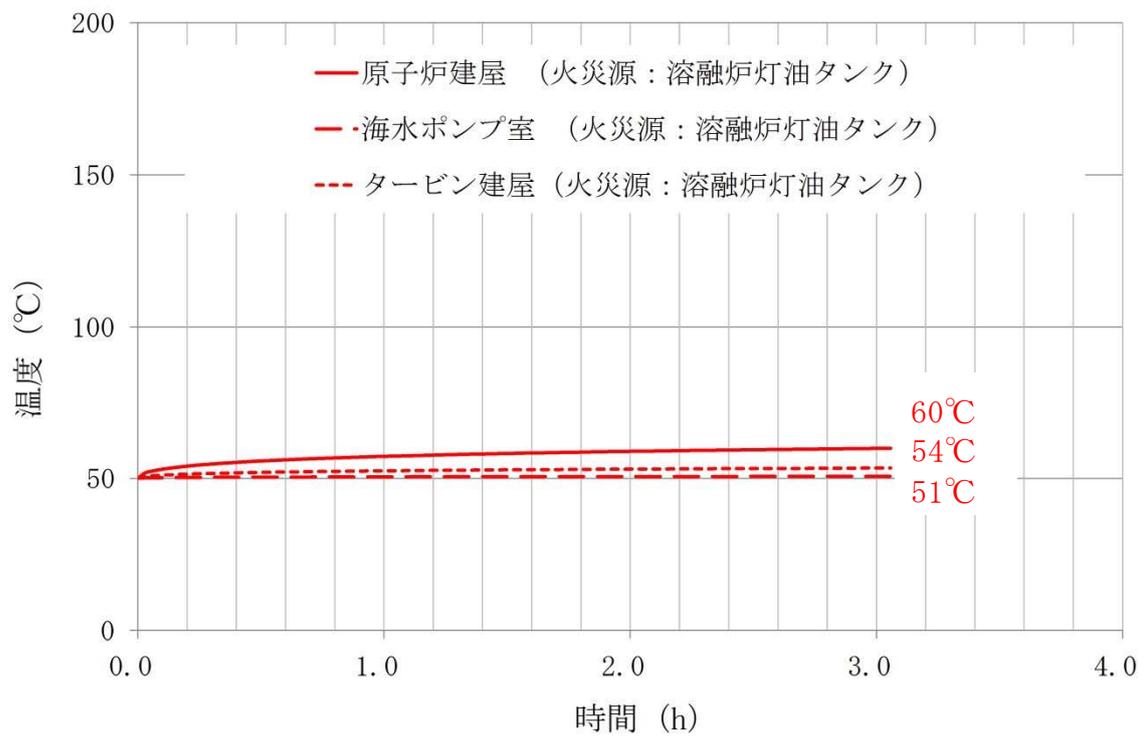


第 2. 2. 3-3 図 天井スラブへの輻射熱の影響

コンクリート表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 200℃以下であることを確認した。評価結果を第 2. 2. 3-4 表、第 2. 2. 3-4 図に示す。

第 2. 2. 3-4 表 外壁に対する熱影響評価結果

想定火災源	影響評価対象施設	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
溶融炉灯油タンク	原子炉建屋	60	< 200
	海水ポンプ室	51	
	タービン建屋	54	



第 2.2.3-4 図 影響評価対象施設外壁表面の到達温度

2.2.4 排気筒に対する熱影響評価

(1) 影響評価対象範囲

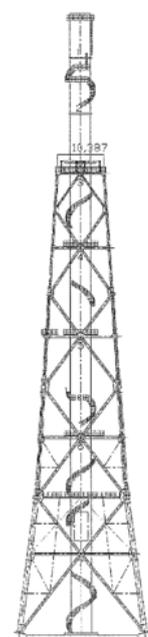
排気筒について、熔融炉灯油タンクの火災を想定して評価を実施した。

なお、排気筒の評価に当たっては、保守性を考慮して、筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。排気筒外形図を第 2.2.4-1 図に示す。

(2) 排気筒仕様を第 2.2.4-1 表に、排気筒外形図を第 2.2.4-1 図に示す。

第 2.2.4-1 表 排気筒仕様

名称		排気筒
種類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個数		1



第 2.2.4-1 図 排気筒外形図

(3) 火災源となる設備から排気筒までの離隔距離

火災源となる設備から排気筒までの離隔距離を第 2.2.4-2 表に示す。

第 2.2.4-2 表 火災源となる設備から排気筒までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 L (m)
溶融炉灯油タンク	21

(4) 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 2.2.4-3 表に示す。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ : 形態係数, L : 離隔距離 (m), H : 炎の高さ (m), R : 燃焼半径 (m)

第 2.2.4-3 表 火災源となる設備の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
溶融炉 灯油タンク	21	2.483	2.6826×10^{-2}

(5) 輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 2.2.4-4 表に示す。

$$E = R f \cdot \Phi$$

E : 輻射強度 (W/m^2), $R f$: 輻射発散度 (W/m^2), Φ : 形態係数

第 2.2.4-4 表 火災源となる設備の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 Rf (kW/m ²)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W/m ²)
熔融炉 灯油タンク	灯油	50	2.6826 × 10 ⁻²	1343.13

(6) 判断の考え方

a. 許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

b. 評価結果

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式により排気筒鉄塔表面の温度上昇を求め，表面温度が許容温度以下であるか評価した。

なお，評価に当たって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が火災源との距離が近いこと，材質も鉄塔は SS400，STK400，筒身では SS400 であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。排気筒の評価概念図を第 2.2.4-2 図に示す。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

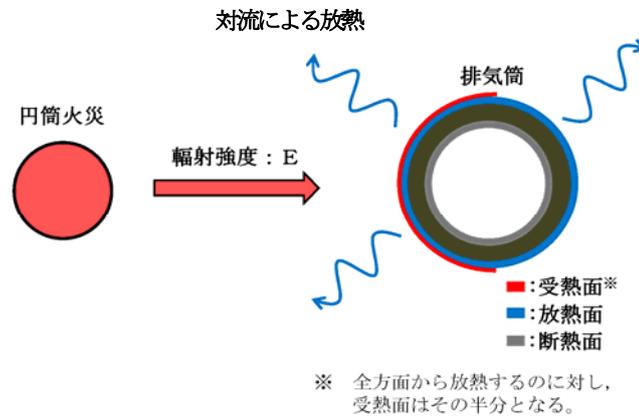
T：許容温度(325℃)，T₀：周囲温度(50℃)^{※1}

E：輻射強度(W/m²)，h：熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}

※1：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2：空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の

値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である $17\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ を用いる。))



第 2. 2. 4-2 図 排気筒の評価概念図

排気筒鉄塔表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 325°C 以下であることを確認した。評価結果を第 2. 2. 4-5 表に示す。

第 2. 2. 4-5 表 影響評価対象施設に対する熱影響評価結果

影響評価対象施設	評価温度 ($^{\circ}\text{C}$)	許容温度 ($^{\circ}\text{C}$)
排気筒	90	< 325

2. 3 爆風圧影響評価

2. 3. 1 想定事象

- (1) 評価対象とする爆発源となる設備は 2. 1 で抽出した、水素貯槽とした。
- (2) 水素貯槽は、ガスを満載した状態を想定した。

2. 3. 2 爆発源となる設備及びガスに係るデータ

爆発源となる設備及びガスに係るデータを第 2. 3. 2-1 表に示す。

第 2.3.2-1 表 爆発源となる設備及びガスに係るデータ

	水素貯槽
貯蔵ガス	水素
貯蔵量 (m ³)	6.7
密度 (kg/m ³)	0.08988 ^{※1}
貯蔵ガス K 値 ^{※2}	2,860
貯蔵設備 W 値	0.0006

※1：一般社団法人 水素エネルギー協会 記載値

※2：コンビナート等保安規定第 5 条別表第二記載値

2.3.3 危険限界距離の算出

評価ガイドに基づき、下式より危険限界距離を算出した結果、危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.3.3-1 表に示す。

$$X = 0.04 \times 14.4 \sqrt[3]{(K \times 1,000 \times W)}$$

X:危険限界距離 (m), K:石油類の定数(-), W:設備定数(-)

第 2.3.3-1 表 爆発源となる設備と影響評価対象施設までの離隔距離

影響評価対象施設	危険限界距離 (m)	離隔距離 [※] (m)
タービン建屋	7	35

※：影響評価対象施設のなかで水素貯槽から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離

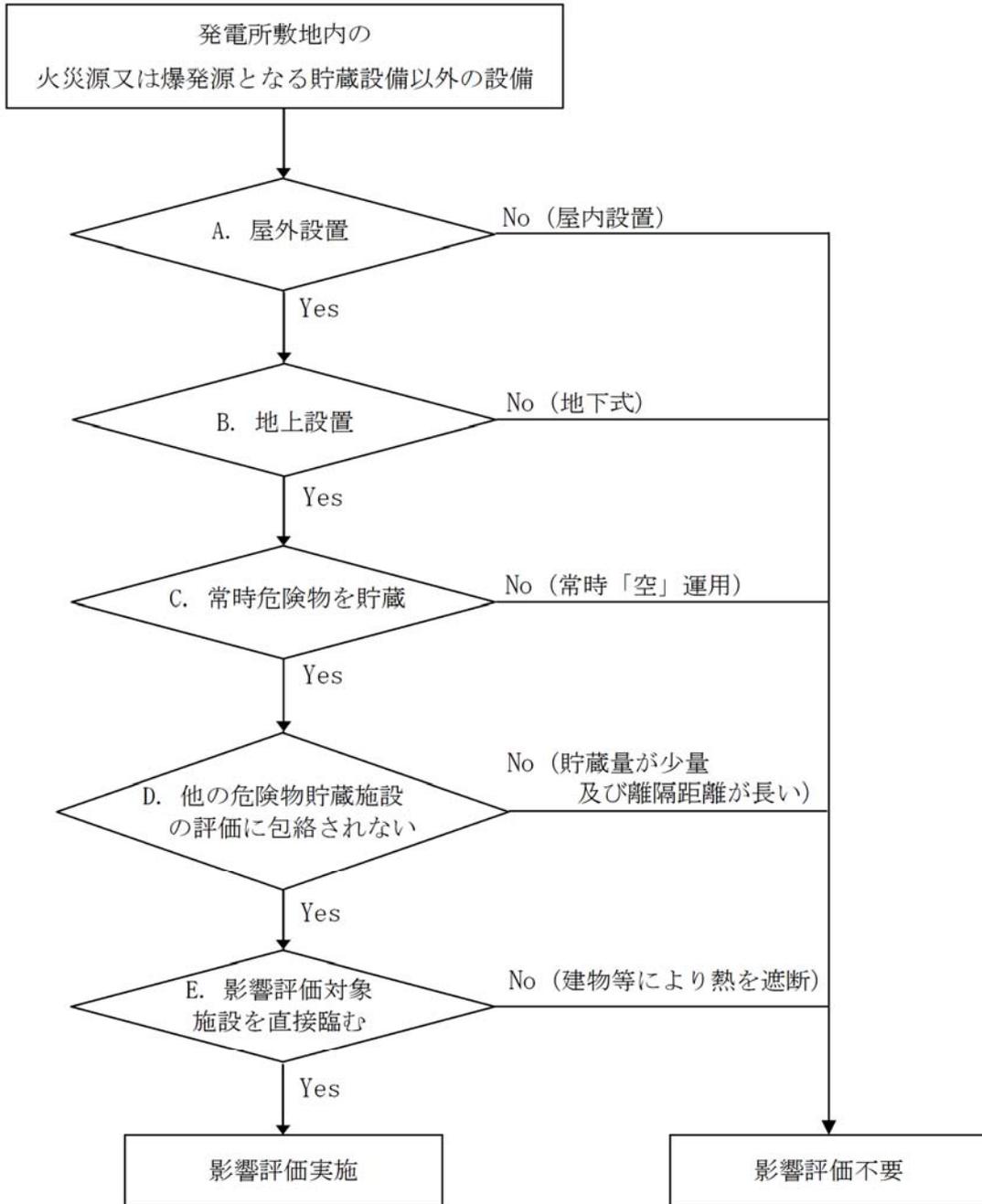
3. 敷地内貯蔵設備以外の影響評価

3.1 評価対象範囲

敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備を、第 3.1-1 図のフローに基づき抽出した。抽出結果を第 3.1-1 表に示す。

- ・貯蔵燃料の種類が同じ場合、貯蔵量が少なくかつ影響評価対象施設までの離隔距離が長い設備は、貯蔵量が多くかつ影響評価対象施設までの離隔距離が短い他設備に包絡されるため、評価対象外とした。可搬型重大事故等対処設備及び、自主設備（第 3.1-2 表）についても、同じフローに基づき評価対象を抽出した。

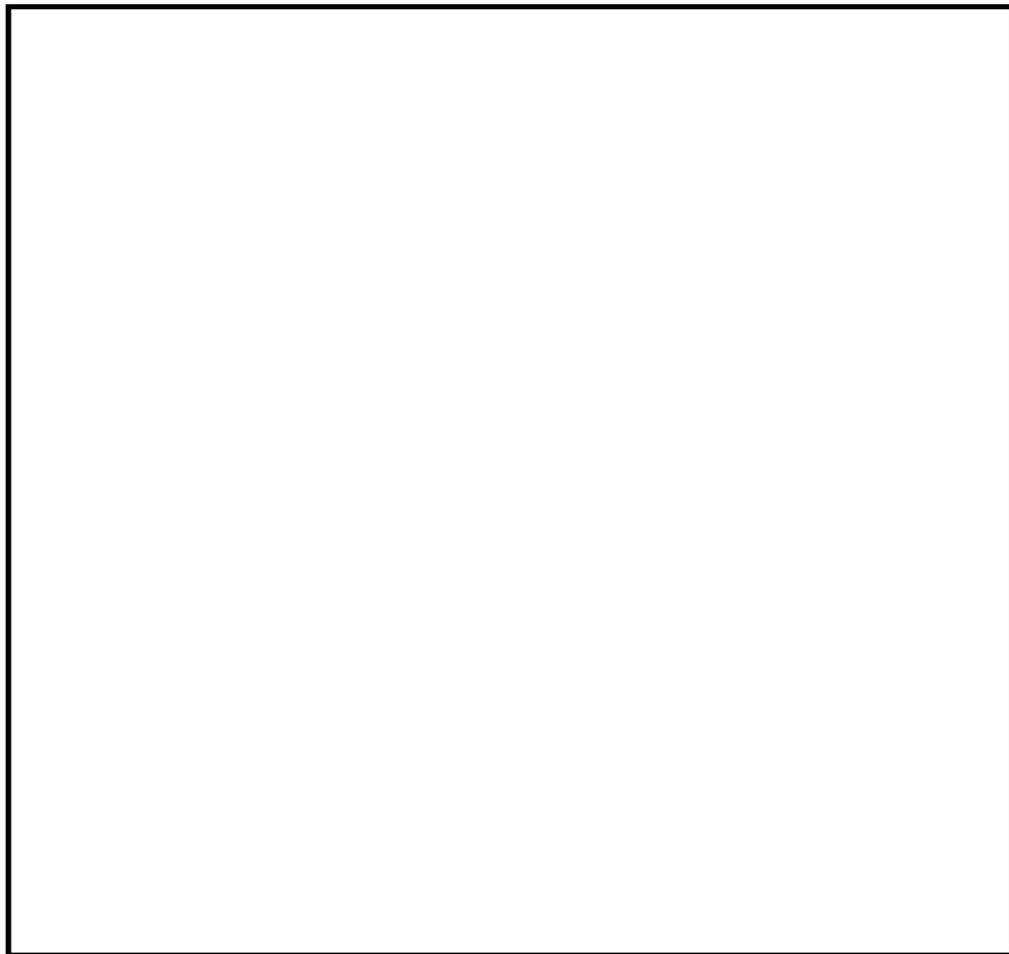
敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備及び影響評価対象施設の位置を第 3.1-2 図に、可搬型重大事故等対処設備及び、自主設備の保管位置を第 3.1-3 図に示す。



第 3.1-1 図 敷地内貯蔵設備以外の設備の対象抽出フロー

第 3.1-1 表 敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備一覧

設備名	設置場所	危険物の類		品名	最大数量 (m ³)	詳細評価要否 (○:対象, ×:対象外)
主変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	136.00	○
所内変圧器 2A	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	21.00	○
所内変圧器 2B	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	21.00	× (他評価に包絡 → D)
起動変圧器 2A	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	45.95	× (他評価に包絡 → D)
起動変圧器 2B	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	46.75	○
予備変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	35.90	× (他評価に包絡 → D)
1号エステート変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	1.10	× (他評価に包絡 → D)
2号エステート変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	1.10	× (他評価に包絡 → D)
66kV非常用変電所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	6.60	× (他評価に包絡 → D)
中央制御室計器用エンジン発電機	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.026	× (常時「空」 → C)



第 3.1-2 図 火災源となる変圧器及び影響評価対象施設の設置位置

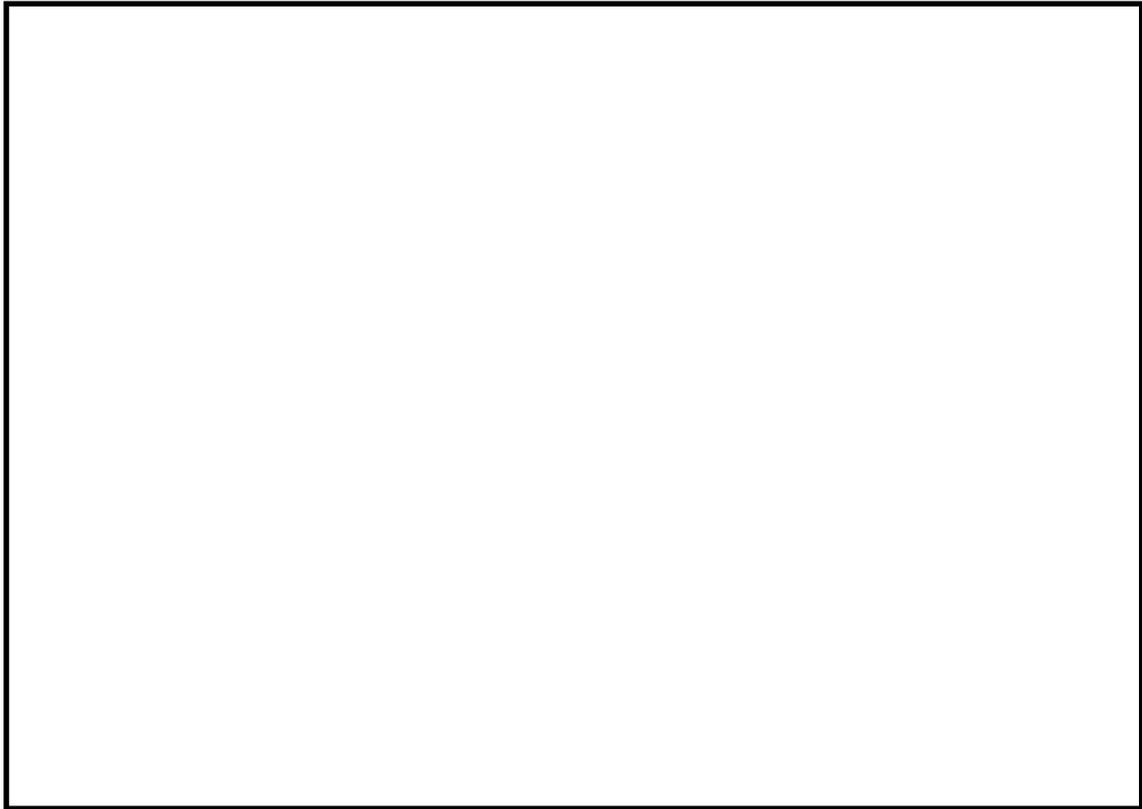
第 3.1-2 表 可搬型重大事故等対処設備及び、自主設備一覧

設備名	数量	危険物の類		品名	燃料量[L] (1数量あたり)	配備位置	詳細評価要否 (○:対象,×:対象外)
可搬型代替注水大型ポンプ※1※3	7台	第四類	第二石油類	軽油	200 (車 両) 900 (ポンプ)	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
可搬型代替低圧電源車※1※3	5台	第四類	第二石油類	軽油	250	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
タンクローリ※1※3	5台	第四類	第二石油類	軽油	100 (車 両) 4,000 (タンク)	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
ホイールローダ※1※3	5台	第四類	第二石油類	軽油	177	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
窒素供給装置※1※3	2台	第四類	第二石油類	軽油	300 (車両) 380 (装置)	南側保管場所 西側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
油圧ショベル※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	65	南側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
ブルドーザ※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	470	南側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
大型ポンプ用送水ホース運搬車※2	10台	第四類	第二石油類	軽油	200	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
可搬型ケーブル運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	100	南側保管場所 西側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
可搬型整流器運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	70	南側保管場所 西側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
放水砲/泡消火薬剤運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
汚濁防止膜運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
小型船舶運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
可搬型代替注水中型ポンプ※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	200 (車 両) 125 (ポンプ)	西側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
中型ポンプ用送水ホース運搬車※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	130	西側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
消防車※2	4台	第四類	第二石油類	軽油	200 (車 両) 100 (ポンプ)	南側保管場所 西側保管場所 監視所付近	× (他評価に包絡 →D)
予備電動機運搬用トレーラー※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	390	西側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
予備電動機交換用クレーン※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	500 (車両) 300 (クレーン)	西側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
可搬型高圧窒素供給装置※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	300 (車両) 350 (装置)	予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
放射能観測車※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	70	予備機置場	× (他評価に包絡 →D)

※1：可搬型重大事故等対処設備

※2：自主設備

※3：予備設備



第 3.1-3 図 可搬型重大事故等対処設備及び，自主設備保管場所の設置位置

3.2 熱影響評価

3.2.1 変圧器火災の想定

変圧器火災の想定は以下のとおりとした。

(1) 想定条件

- a. 評価対象とする火災源は 3.1 で抽出した主変圧器，所内変圧器 2 A，起動変圧器 2 B とした。
- b. 隣接する変圧器間には耐火壁があるため，隣接変圧器への延焼は考慮しない。
- c. 離隔距離は，評価上厳しくなるよう，a. で想定した変圧器設置位置から影響評価対象施設までの直線距離とした。
- d. 変圧器の破損等による変圧器の全面火災を想定した。
- e. 気象条件は無風状態とした。

f. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とした。

(2) 輻射強度の算定

油火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため、火炎の高さ（輻射体）を半径の3倍にした円筒火炎モデルを採用した。

3.2.2 共通データの算出

各対象施設の外壁に対する熱影響評価に必要となる共通データを算出する。

(1) 変圧器及び燃料に係るデータ

変圧器及び燃料に係るデータを第3.2.2-1表に示す。

第3.2.2-1表 火災源の輻射強度

想定火災源	油の種類	油量 (m^3)	輻射発散度 R_f (kW/m^2) ^{※1}	質量低下速度 M ($kg/m^2/s$) ^{※2}	燃料密度 ρ (kg/m^3) ^{※2}
主変圧器	絶縁油	136.00	23	0.035	900
所内変圧器2A		21.00			
起動変圧器2B		46.75			

※1：絶縁油は重油と同じ第3石油類であるため、重油の評価ガイド附録B記載値を採用

※2：NUREG-1805記載値

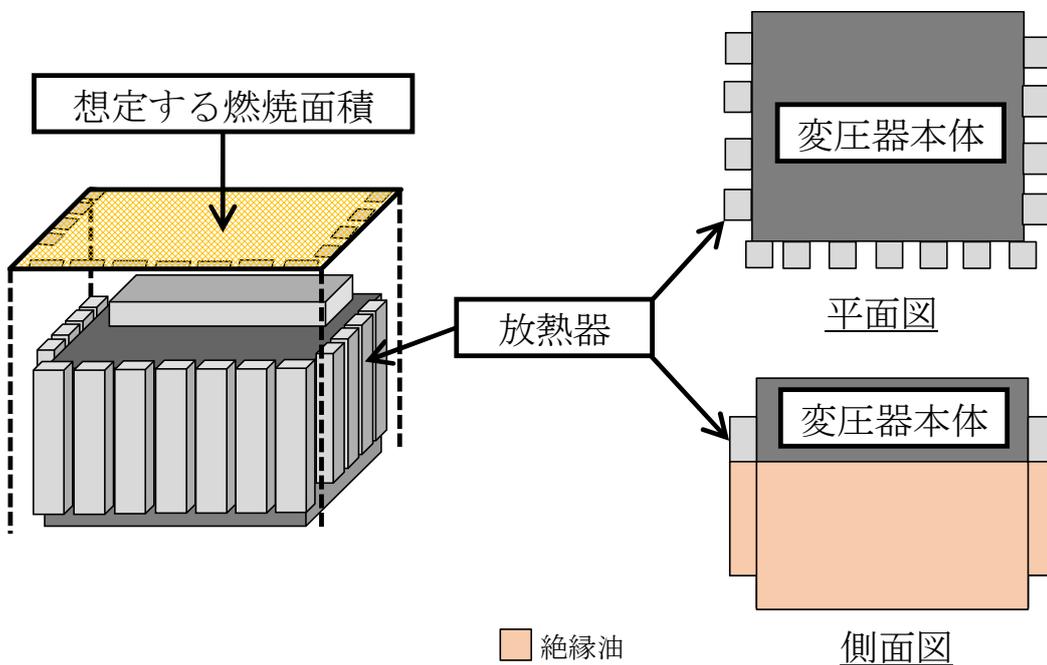
(2) 燃焼半径の算出

変圧器周りの防油堤には玉砂利が敷き詰められていること及び漏えいした油を回収する地下タンクを設置していることから、防油堤の全面火災が生じることはない。したがって、変圧器本体の全面火災により円筒火炎を生じることとし、燃焼面積は変圧器の投影面積に等しいものとして燃焼半

径を算出する。変圧器の投影面積を第 3.2.2-1 図に、算出結果を第 3.2.2-2 表に示す。

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R : 燃焼半径 (m), S : 防油堤面積 (= 燃焼面積) (m²)



第 3.2.2-1 図 変圧器の投影面積

第 3.2.2-2 表 火災源の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m ²)	燃焼半径 R (m)
主変圧器	97.00	5.557
所内変圧器 2 A	22.45	2.674
起動変圧器 2 B	58.91	4.331

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 3.2.2-3 表に示す。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t : 燃焼継続時間(s), V : 燃料量(m³)

R : 燃焼半径(m), v : 燃焼速度 = M / ρ (m/s)

M : 質量低下速度(kg/m²/s), ρ : 燃料密度(kg/m³)

第 3.2.2-3 表 各変圧器の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m ³)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg/m ² /s)	燃料密度 ρ (kg/m ³)	燃焼継続時間 t (s)
主変圧器	136.00	5.557	0.035	900	36,131
所内変圧器 2 A	21.00	2.674			24,094
起動変圧器 2 B	46.75	4.331			20,447

3.2.3 外壁に対する熱影響評価

(1) 影響評価対象範囲

影響評価対象施設の外壁について、主変圧器、所内変圧器 2 A、起動変圧器 2 B、予備変圧器の火災を想定して評価を実施した。

(2) 変圧器と影響評価対象施設までの離隔距離

変圧器と影響評価対象施設までの離隔距離を第 3.2.3-1 表に示す。

第 3.2.3-1 表 各変圧器と影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	影響対象	離隔距離 (m)
主変圧器	タービン建屋	22
所内変圧器 2 A	タービン建屋	8
起動変圧器 2 B	タービン建屋	13

(3) 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 3.2.3-2 表に示す。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n \sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{A(n-1)}}{\sqrt{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\frac{(n-1)}{(n+1)} \right] \right\}$$

ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ : 形態係数, L : 離隔距離(m), H : 炎の高さ(m), R : 燃焼半径(m)

第 3.2.3-2 表 各変圧器の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
主変圧器	22 (タービン建屋)	5.557	1.0160×10^{-1}
所内変圧器 2 A	8 (タービン建屋)	2.674	1.5128×10^{-1}
起動変圧器 2 B	13 (タービン建屋)	4.331	1.5063×10^{-1}

(4) 輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 3.2.3-3 表に示す。

$$E = R f \cdot \Phi$$

E : 輻射強度 (W/m^2), R f : 輻射発散度 (W/m^2), Φ : 形態係数

第 3.2.3-3 表 各変圧器の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 R f (kW/m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W/m^2)
主変圧器	絶縁油	23	1.0160×10^{-1}	2,336.84
所内変圧器 2 A	絶縁油		1.5128×10^{-1}	3,479.47
起動変圧器 2 B	絶縁油		1.5063×10^{-1}	3,464.49

(5) 判断の考え方

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 $200^{\circ}C$ を許容温度とする。

b. 評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め、コンクリート表面の温度が許容温度以下であるか評価した。建屋外壁の評価概念図を第 3.2.3-1 図に示す。

- ・火炎長が天井スラブより短い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。

- ・火炎長が天井スラブより長い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 3. 2. 3-2 図に示す。
- ・火炎からの離隔距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。

$$T = T_0 + \left(\frac{E}{a} \right) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \right) - \exp \left(\frac{a}{\lambda} x + \frac{a^2}{\lambda^2} \kappa t \right) \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} + \frac{a}{\lambda} \sqrt{\kappa t} \right) \right\} \right]$$

T : 表面から x(m) の位置の温度(°C), T₀ : 初期温度(50°C)

a : 熱伝達率(17W/m²/K)

κ : コンクリート温度伝導率(=λ / ρ C_p) (7.7×10⁻⁷m²/s)

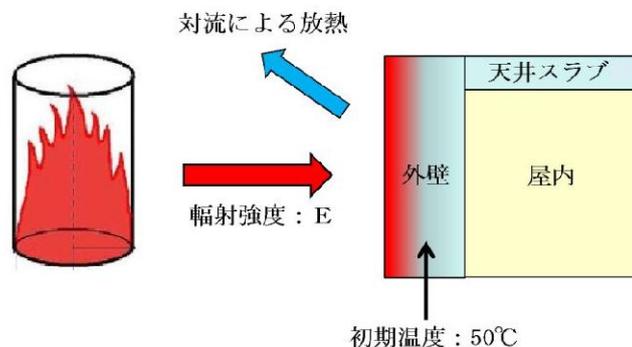
ρ : コンクリート密度(2,400kg/m³), C_p : コンクリート比熱(880J/kg/K)

λ : コンクリート熱伝導率(1.63W/m/K), E : 輻射強度(W/m²)

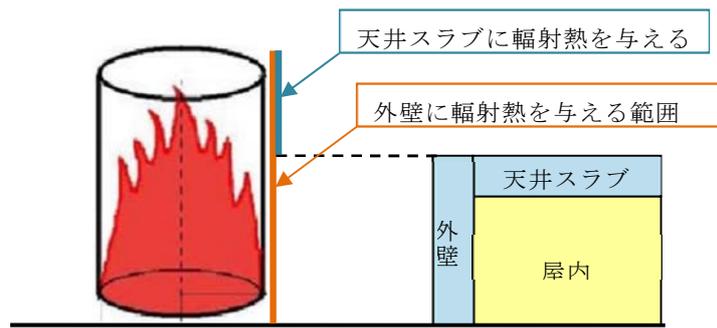
t : 燃焼継続時間(s), x : コンクリート壁表面深さ(0m)

※1 : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2 : 空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である 17W/m²K を用いる。）



第 3. 2. 3-1 図 建屋外壁の評価概念図



第 3. 2. 3-2 図 天井スラブへの輻射熱の影響

コンクリート表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 200℃以下であることを確認した。評価結果を第 3. 2. 3-4 表に示す。

第 3. 2. 3-4 表 外壁に対する熱影響評価結果

想定火災源	影響評価対象施設	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
主変圧器	タービン建屋	149	< 200
所内変圧器 2 A		187	
起動変圧器 2 B		182	

軽油貯蔵タンク及び重油タンクの地下化について

軽油貯蔵タンク及び重油タンクは「危険物の規則に関する政令」第十三条第1項、第二十条第3項及び「危険物の規制に関する規則」第三十五条第1項第1号に適合する地下タンク貯蔵所のため、地表面で火災が発生する可能性は低い。

また、タンク地上部のマンホールも含め、地上で発生する火災からの輻射熱の影響を受けない構造とする。

以上から、軽油貯蔵タンク及び重油タンクは、外部火災の火災源の対象から除外する。

「危険物の規則に関する政令」及び「危険物の規制に関する規則」の抜粋を以下に示す。

「危険物の規則に関する政令」【一部抜粋】

(地下タンク貯蔵所の基準)

第十三条 地下タンク貯蔵所(次項及び第三項に定めるものを除く。)の位置、構造及び設備の技術上の基準は、次のとおりとする。

一 危険物を貯蔵し、又は取り扱う地下タンク(以下この条、第十七条及び第二十六条において「地下貯蔵タンク」という。)は、地盤面下に設けられたタンク室に設置すること。

—略—

(消火設備の基準)

第二十条 消火設備の技術上の基準は、次のとおりとする。

三 前二号の総務省令で定める製造所等以外の製造所等にあつては、総務省令で定めるところにより、別表第五に掲げる対象物について同表においてその消火に適応するものとされる消火設備のうち、第五種の消火設備を設置すること。

—略—

「危険物の規制に関する規則」 【一部抜粋】

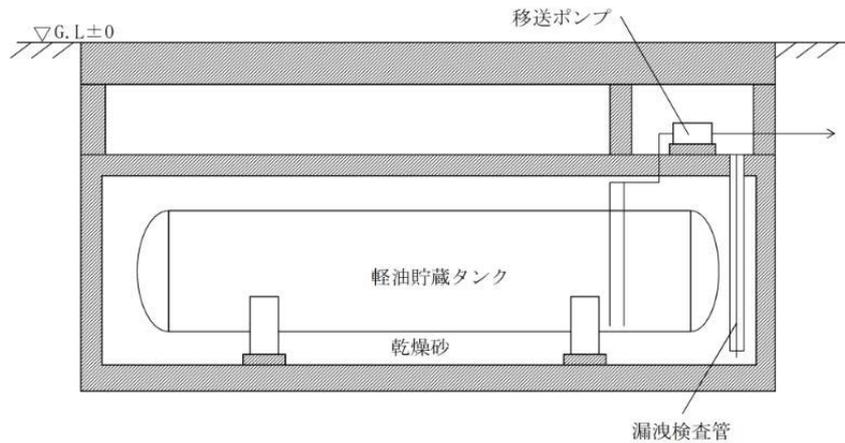
(その他の製造所等の消火設備)

第三十五条 令第二十条第一項第三号の規定により，第三十三条第一項及び前条第一項に掲げるもの以外の製造所等の消火設備の設置の基準は，次のとおりとする。

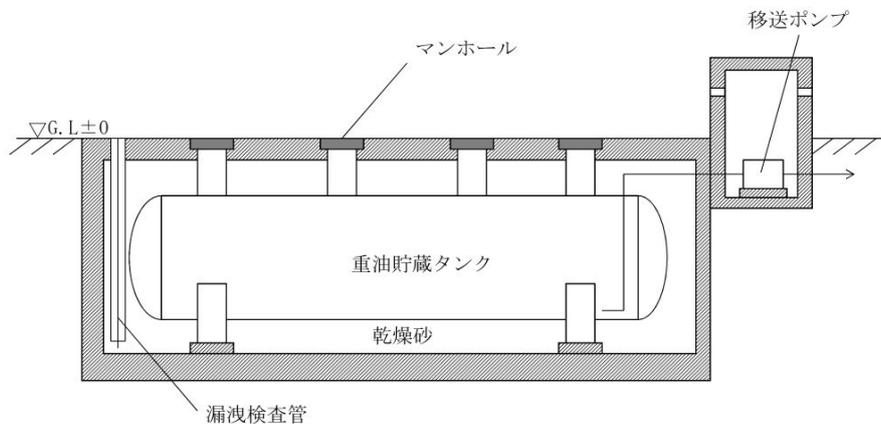
一 地下タンク貯蔵所にあつては，第五種の消火設備を二個以上設けること。

—略—

また，軽油貯蔵タンク及び重油タンクの地下化イメージを第1図及び第2図に示す。



第1図 軽油貯蔵タンクの地下化イメージ



第2図 重油タンクの地下化イメージ

薬品タンクの影響評価について

薬品タンクの影響評価については、森林火災発生時の消火活動の成立性という観点で評価を実施している。

森林火災発生時には、防火帯に沿った消火活動を実施することとしている。一方で、敷地内の屋外薬品タンクにおいて、防火帯付近には設置されていないため、森林火災の影響を受けて消火活動に影響を及ぼすことはない。また、森林火災の影響を受けて薬品がタンク外に漏れ出したとしても、タンク周辺には堰を設置しているため、薬品は堰内に収まり、消火活動中に劇薬の影響を受けることもない。

毒性ガスを発生する可能性のある屋外薬品タンクの位置を以下の図に示す。毒性ガスを発生する可能性のある屋外薬品タンクは防火帯から離れているため、薬品が漏れ出し、毒性ガスを拡散する可能性は低いと考えられる。仮に薬品が漏洩したとしても、薬品を特定した後は防護具を着用し、安全を確保した上で通行及び作業を行うこととしている。評価結果を下表に示す。

以上より、森林火災発生時の消火活動に支障を及ぼすことはない。

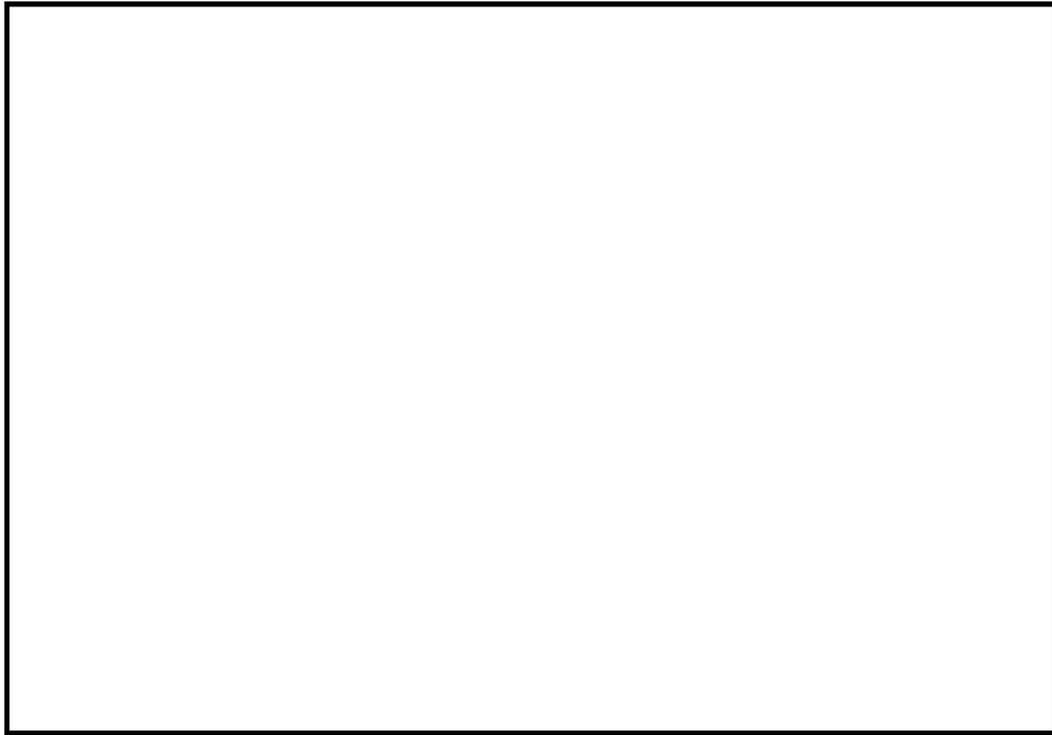


図 屋外薬品タンクの位置

表 屋外薬品タンクの火災時の影響

No.	屋外薬品タンク	薬品の種類	容量 (m ³)	火災時の 危険有害性
①	硫酸貯蔵タンク	硫酸	50.0	※ 1
②	苛性ソーダ貯蔵タンク	苛性ソーダ	50.0	※ 1
③	屋外硫酸タンク	硫酸	0.6	※ 1
④	硫酸貯槽	硫酸	3.0	※ 1
⑤	苛性ソーダ貯槽	苛性ソーダ	10.0	※ 1
⑥	硫酸希釈槽	硫酸	1.2	※ 1
⑦	希硫酸槽	硫酸	0.4	※ 1
⑧	PAC 貯槽	ポリ塩化アルミニウム	6.0	※ 2
⑨	薬品混合槽	ポリ塩化アルミニウム 希釈硫酸	8.4	※ 2
⑩	熔融炉アンモニアタンク	アンモニア	1.0	※ 3
⑪	熔融炉苛性ソーダタンク	苛性ソーダ	3.0	※ 1
⑫	硫酸第一鉄注入タンク	硫酸第一鉄	7.0	※ 3

※ 1 : 刺激性, 腐食性又は毒性のガスを発生するおそれがある。

※ 2 : 塩化水素ガスを発生するおそれがある。

※ 3 : 刺激性又は毒性のガスを発生するおそれがある。

構内危険物タンク等における延焼の危険性について

1. 溶融炉灯油タンクの火災

溶融炉灯油タンク近傍で危険物を保管している設備はなく、現場作業に伴い「屋外の危険物保管」や「火気の使用」をする場合は、社内規程に基づき危険物や火気を管理した状態で取り扱っている。また、防火の観点から定期的なパトロール等にて現場の状況を確認している。

以上により、溶融炉灯油タンクの火災を想定したとしても周囲の可燃物への延焼の可能性は低い。

2. 車両（可搬型重大事故等対処設備及び、自主設備）の火災

2.1 車両（可搬型重大事故等対処設備及び、自主設備）の延焼

可搬型重大事故等対処設備及び、自主設備保管場所（以下「保管場所」という。）において、可搬型重大事故等対処設備及び、自主設備（以下「車両」という。）の火災が起こったとしても周囲の車両に影響を及ぼさないことを評価する。

なお、保管場所の一部は防火帯に近接しているが、当該箇所における森林火災時の輻射強度が $1.6\text{kw}/\text{m}^2$ *以下となるように離隔距離を確保するため、車両が延焼するようなことはない。

※：人が長時間さらされても苦痛を感じない輻射強度

(1) 車両火災の想定条件

- a. 周囲への熱影響を考慮し、コンテナにより燃料タンクが露出している車両と隔離する大型ポンプを除いて、燃料積載量が最大となる予備電動機用クレーンの走行用燃料タンク（以下「クレーン燃料タンク」と

いう。)の火災を想定した。

- b. タンク内の燃料の温度上昇を評価するため、燃料が少ないほど温度上昇がし易く評価は保守的となることから、受熱側として、燃料タンクが露出している車両のうち、燃料積載量が最小となるユニック車を選定し、ユニック車底部に設置されている直方体構造の燃料タンク（100L）（以下「ユニック車燃料タンク」という。）が輻射熱を受ける状態を想定した。燃料タンクは直方体構造であり、一方の面が受熱した場合その反対面は影になるため、燃料タンクを受熱面は表面積の半分とし、全ての受熱面が火災源に最も近い表面と同等の輻射熱を受けるものとした。
- c. 発熱側となるクレーン燃料タンクは全燃料分（500L）を想定した。
- d. 積載している燃料は軽油とした。
- e. タンク内での全面火災を想定した。
- f. 気象条件は無風状態とした。
- g. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とした。

(2) 評価対象範囲

評価対象範囲は、保管場所に出火する車両とする。

(3) 必要データ

危険距離評価に必要なデータを第1表に示す。

第 1 表 想定火災源及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 V (m ³)	輻射発散度 Rf (kW/m ²)※1	質量低下速度 M (kg/m ² /s)※2	燃料密度 ρ (kg/m ³)※3	燃焼面積 S (m ²)
クレーン燃料 タンク	軽油	0.5	42	0.044	870	1.1

※1：評価ガイド 記載値

※2：NUREG-1805 記載値

※3：MSDS（製品安全データシート）記載値

(4) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、クレーン燃料タンクの投影面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 2 表に示す。

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R：燃焼半径(m)， S：燃焼面積（=燃焼面積）(m²)

第 2 表 想定火災源の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m ²)	燃焼半径 R (m)
クレーン燃料タンク	1.1	0.6

(5) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 3 表に示す。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t：燃焼継続時間(s)， V：燃料量(m³)

R : 燃焼半径 (m), v : 燃焼速度 = M / ρ (m/s)

M : 質量低下速度 (kg/m²/s), ρ : 燃料密度 (kg/m³)

第 3 表 想定火災源の燃焼継続時間

想定 火災源	燃料量 V (m ³)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg/m ² /s)	燃料密度 ρ (kg/m ³)	燃焼継続時間 t (s)
クレーン燃料タンク	0.5	0.6	0.044	870	8,754

(6) 危険距離の算出

a. 許容温度

軽油の自然発火温度 240℃を許容温度とする。

b. 評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で昇温されるものとして、下記の温度評価式によりユニック車燃料タンク (100L) が内包する軽油の温度が 240℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求め、クレーン燃料タンクからの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離 (=危険距離) を算出した。

$$T - T_0 = \frac{E t A}{\rho_w C_{pw} V_w + \rho_s C_{ps} V_s}$$

T : 許容温度 (240℃), T₀ : 初期温度 (50℃)^{*1}, E : 輻射強度 (W/m²),

t : 燃焼継続時間 (8,754s), A : 受熱面積 (0.8m²)

ρ_w : 受熱側燃料密度 (870kg/m³), C_{pw} : 受熱側液体比熱 (1.700J/kg/K)

V_w : 受熱側液体体積 (0.1m³), ρ_s : 燃料タンク密度 (7,860kg/m³)

C_{ps} : 燃料タンク比熱 (473J/kg/K), V_s : 燃料タンク体積 (0.003m³)

*1 : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

軽油の温度が 240℃となる危険距離を算出した結果、危険距離は 2.4m であることを確認した。算出結果を第 4 表に示す。

第 4 表 火災影響評価結果

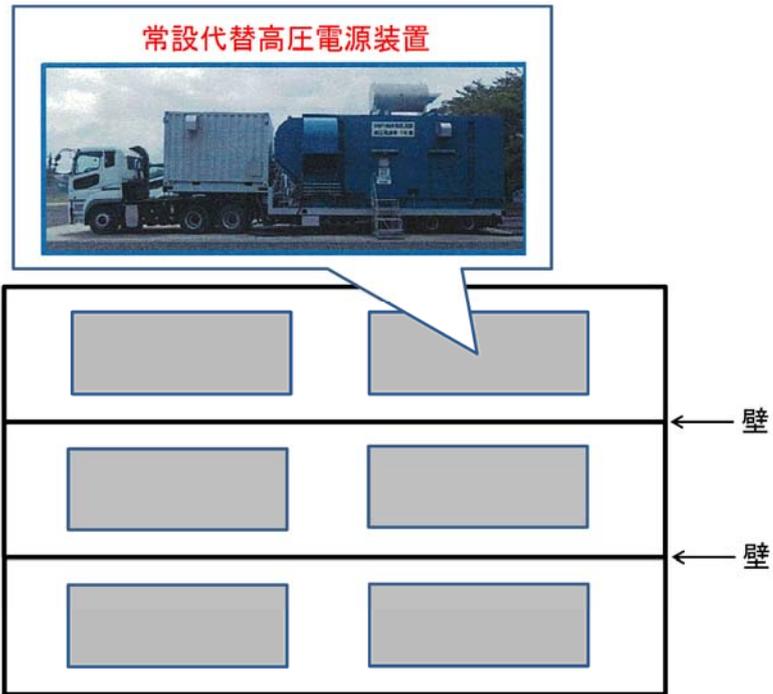
想定火災源	受熱対象	危険距離 (m)
クレーン燃料タンク	ユニック車燃料タンク	2.4

(7) 保管場所に保管する車両の配置設計

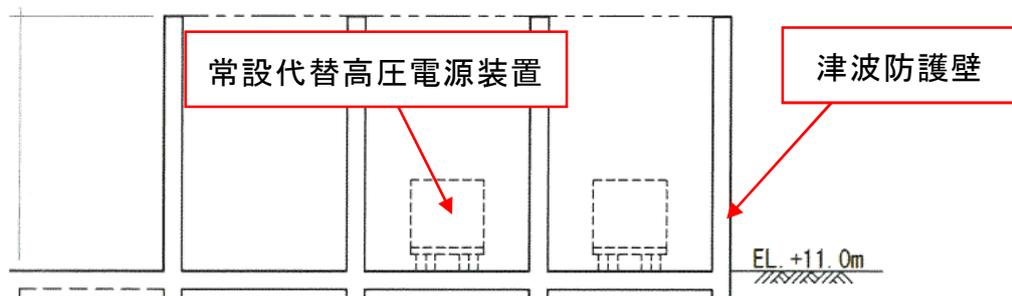
クレーン燃料タンクの火災を想定しても、車両同士の最低離隔距離 2.5m が危険距離 2.4m を上回ることから、周囲の車両に影響を及ぼすことはない。

2.2 常設代替高圧電源装置の火災

常設代替高圧電源装置の駆動燃料は、トレーラー上のコンテナ内にあるため、隣接する車両に影響を及ぼすことはない。配置を第 1 図に示す。また、第 2 図のとおり津波防護壁で四方を取り囲んだ構造となっており、周囲の可燃物への延焼の可能性もない。



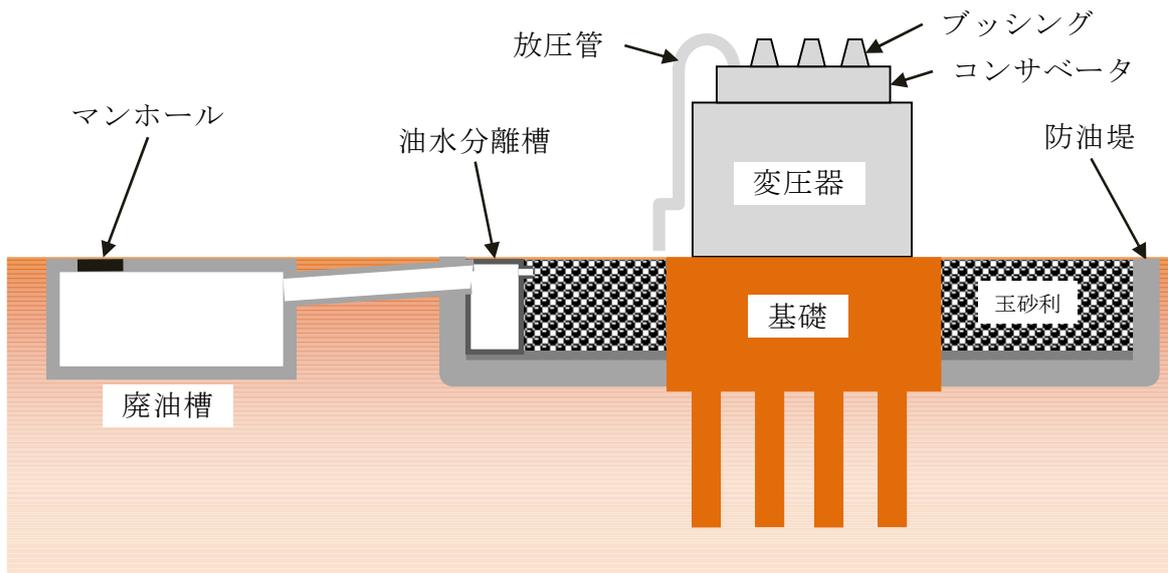
第1図 常設代替高圧電源装置の配置



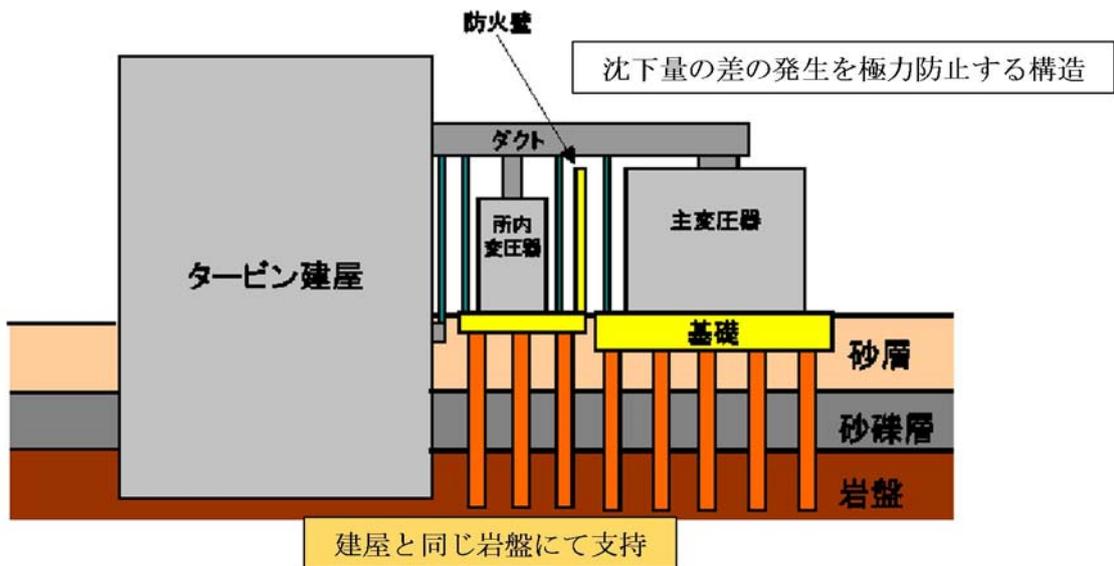
第2図 津波防護壁と常設代替高圧電源装置の位置関係

変圧器の防火対策について

1. 変圧器の防火対策を以下に示す。
 - (1) 変圧器には、内部圧力の上昇、又は電気回路の異常を検知すると、瞬時に電源を自動的に切る保護機能が備わっている。
 - (2) 金属躯体に覆われており火災が発生する可能性は低い。
 - (3) 万一油が漏えいした場合においても、地下の油水分離槽を経由して、廃油槽に溜まる構造となっている。変圧器の地下構造を第1図に示す。
 - (4) 変圧器と二次側接続母線部ダクトの基礎は、建屋と同じ岩盤に支持されており、地震時の沈下量の差の発生を防止する構造となっていることから、相対変位が発生し難く、ブッシング部破損による漏油と、地絡、短絡によるアーク発生での火災が発生する可能性は低い。変圧器基礎の概要を第2図に示す。
 - (5) 相対変位による破損を防止するため、屋外消火配管を地上化した。地上化された屋外消火配管を第3図に示す。
 - (6) 万一の火災発生に備え、変圧器には消火設備配管を設置している。変圧器の外観及び消火設備配管を第4図に示す。



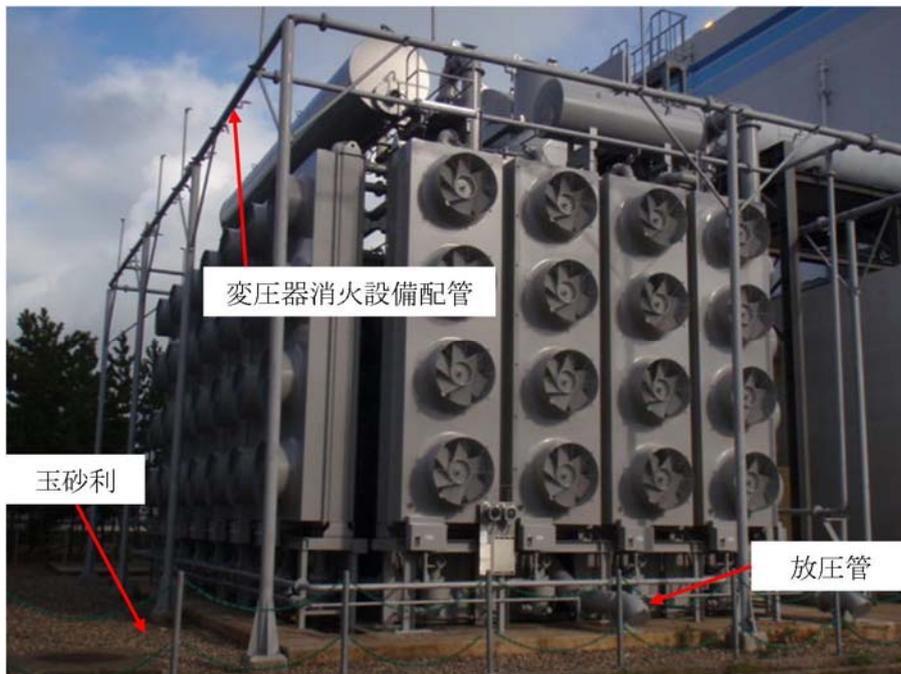
第1図 変圧器地下構造



第2図 変圧器基礎概要



第 3 図 屋外消火配管の地上化



第 4 図 変圧器外観

原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災について

1. 目 的

本評価は、東海第二発電所の発電所敷地への航空機の墜落によって発生する火災が、添付資料-1 で選定した影響評価対象施設に影響を与えないことについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書C 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」に基づき、評価を実施する。

2. 航空機墜落の火災影響評価

航空機墜落による火災の想定は以下のとおりとする。

- (1) 航空機は、当該発電所における航空機落下評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。
- (2) 航空機は、燃料を満載した状態を想定する。
- (3) 航空機の落下は発電所敷地内であって落下確率が 10^{-7} (回/炉・年) 以上になる範囲のうち原子炉施設への影響が最も厳しくなる地点で起こることを想定する。
- (4) 航空機の墜落によって燃料に着火し、火災が起こることを想定する。
- (5) 気象条件は無風状態とする。
- (6) 火災は円筒火災をモデルとし、火災の高さは燃焼半径の3倍とする。
- (7) 輻射強度の算出としては、油火災において任意の位置にある輻射強度(熱)を計算により求めるには、半径が1.5m以上の場合で火災の高さ(輻射体)を半径の3倍にした円筒火災モデルを採用する。

3. 落下事故のカテゴリと対象航空機について

- (1) 落下事故のカテゴリ

航空機落下確率評価では、評価条件の違いに応じたカテゴリに分けて落

下確率を求めている。

また、機種によって装備、飛行形態等が同一ではないため、落下事故件数及び火災影響の大きさに差がある。

したがって、これらを考慮して、下表に示すカテゴリ毎に航空機墜落による火災の影響評価を実施する。

落下事故のカテゴリ		
1) 計器飛行方式 民間航空機	①飛行場での離着陸時	
	②航空路を巡航中	
2) 有視界飛行方式 民間航空機	③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	
	④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）	
3) 自衛隊機又は米軍機	⑤訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	⑤-1 空中給油機等, 高高度での巡航が想定される大型固定翼機
		⑤-2 その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機
	⑥基地－訓練空域間往復時	

(2) カテゴリ別の対象航空機（別紙 7.1）

a. 計器飛行方式民間航空機

計器飛行方式民間航空機の落下事故には、「①飛行場での離着陸時」における落下事故と「②航空路を巡航中」の落下事故がある。

①については、東海第二発電所から約 36km 離れた位置に茨城空港があり、茨城空港の最大離着陸地点（航空路誌（以下「AIP」という。）に記載された離着陸経路において着陸態勢に入る地点又は離陸態勢を終える地点）までの直線距離（以下「最大離着陸距離」という。）を半径とし、滑走路端から滑走路方向に対して±60°の扇型区域内に発電所が存在するため、評価対象とする。

（別紙 7.2, 7.3）

②については、東海第二発電所上空に航空路が存在するため、評価対

象とする。

(別紙 7.4)

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。①の対象航空機は、茨城空港を離着陸する航空機が発電所に落下する事故を対象としていることから、茨城空港の定期便（B737 及び A320）*のうち燃料積載量が多い航空機（B737）を選定した。また、②については、評価対象航空路を飛行すると考えられる定期便のうち燃料積載量が最大の航空機を選定した。

※茨城空港ホームページ（H29年7月確認）

落下事故のカテゴリ		対象航空機
1) 計器飛行方式民間航空機	①飛行場での離着陸時	B737-800
	②航空路を巡航中	B747-400

b. 有視界飛行方式民間航空機

有視界飛行方式民間航空機の落下事故には、「③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）」の落下事故と「④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）」の落下事故がある。

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。有視界飛行方式民間航空機の落下事故においては、全国の有視界飛行が可能な民間航空機のうち、燃料積載量が最大の航空機を選定した。

(別紙 7.5)

落下事故のカテゴリ		対象航空機
2) 有視界飛行方式民間航空機	③大型機	B747-400
	④小型機	Do228-200

c. 自衛隊機又は米軍機

自衛隊機又は米軍機の落下事故には、「⑤訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中」の落下事故と「⑥基地－訓練空域間往復時」の落下事故がある。

⑤については、東海第二発電所周辺上空には、自衛隊機又は米軍機の訓練空域はないため、訓練空域外を飛行中の落下事故を評価対象とする。

⑥については、東海第二発電所周辺の太平洋沖合上空に自衛隊機の訓練空域があり、発電所は自衛隊の百里基地と訓練空域間の想定飛行範囲（基地と訓練空域間を往復時の飛行範囲として、想定される区域）内に位置することから、自衛隊機の落下事故を評価対象とする。

(別紙 7.4)

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。

⑤の対象航空機は、全国の自衛隊機及び米軍機のうち、用途別に燃料積載量が最大の航空機を選定した。

⑥については、百里基地と訓練空域を往復時に発電所に落下することを想定するため、百里基地に所属する自衛隊機のうち燃料積載量が最大の航空機を選定した。

(別紙 7.6)

落下事故のカテゴリ		対象航空機
3) 自衛隊機 又は米軍機	⑤訓練空域外 を飛行中	⑤-1 空中給油機等, 高高度での 巡航が想定される大型固定翼機
		⑤-2 その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機
	⑥基地－訓練空域間往復時	

4. カテゴリ別の離隔距離の評価

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」（平成 21・06・25 原院第 1 号）の航空機落下確率評価式に基づき、カテゴリ毎に落下確率が 10^{-7} （回／炉・年）に相当する面積を算出し、その結果を用いて影響評価対象施設に対する離隔距離を求める。

（別紙 7.7, 7.8）

4.1 計器飛行方式民間航空機の落下事故

(1) 飛行場での離着陸時における落下事故

a. 標的面積

$$P_{d,a} = f_{d,a} \cdot N_{d,a} \cdot A \cdot \Phi_{d,a}(r, \theta)$$

$P_{d,a}$: 対象施設への離着陸時の航空機落下確率（回／年）

$f_{d,a} = D_{d,a} / E_{d,a}$: 対象航空機の国内での離着陸時事故率（回／離着陸回）

$D_{d,a}$: 国内での離着陸時事故件数（回）

$E_{d,a}$: 国内での離着陸回数（離着陸回）

$N_{d,a}$: 当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数（離着陸回／年）

A : 原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

$\Phi_{d,a}(r, \theta)$: 離着陸時の事故における落下地点確率分布関数（ ／km^2 ）

パラメータ	発電所名称	東海第二発電所
	飛行場	茨城空港
	$f_{d,a}^{*1}$	約 1.43×10^{-7} (=4/27,887,158)
	$N_{d,a}^{*2}$	4,210
	$\Phi_{d,a}(r, \theta)^{*3}$	約 2.98×10^{-4}
	発電所からの距離	約 36km
	滑走路方向に対する 角度 *4	約 9.60°
	最大離着陸距離 *5	約 56km (30nm)

※1：離着陸時の事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月 原子力規制委員会）より、平成 5 年～平成 24 年において離陸時に 1 件、着陸時に 3 件。

(別紙 7.9)

離着陸回数は、平成 5 年～平成 24 年の「航空輸送統計年報 第 1 表 総括表 1. 輸送実績」における運航回数の国内の値及び国際の値の合計値。

(別紙 7.10)

※2：「数字でみる航空 2014」にある平成 24 年飛行場別着陸回数と同数を離陸回数とし、その和を飛行場別離着陸回数とした。

※3：別紙のとおり。

(別紙 7.11)

※4：別紙のとおり。

(別紙 7.3)

※5：A I Pを参照した。

(別紙 7.2)

これらの式より、 $P_{d,a} = 10^{-7}$ (回/炉・年) に相当する標的面積 A を求めると、約 0.56km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より、離隔距離 L は 199m とする。(評価結果は、約 199.7m)

(2) 航空路を巡航中の落下事故

a. 標的面積

$$P_c = f_c \cdot N_c \cdot A / W$$

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率 (回/年)

$f_c = G_c / H_c$: 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率 (回 / (飛行回・km))

G_c : 巡航中事故件数 (回)

H_c : 延べ飛行距離 (飛行回・km)

N_c : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数 (飛行回/年)

A : 原子炉施設の標的面積 (km²)

W : 航空路幅 (km)

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所	
対象航空路 ^{※1}	直行経路： IWAKI (IXE) - SWAMP IWAKI (IXE) - KISARAZU (KZE)	広域航法経路： Y30 (LOTUS - SWAMP)
f_c ^{※2}	約 5.13×10^{-11} (=0.5/9,740,013,768)	
N_c ^{※3}	365 (平成24年データ)	1095 (平成24年データ)
W ^{※4}	14.816	18.52

※1 : 別紙のとおり。

(別紙 7.4)

※2 : 延べ飛行距離は、平成5年～平成24年の「航空輸送統計年報 第1表 総括表 1. 輸送実績」における運航キロメートルの国内の合計値。

(別紙 7.10)

巡航中の事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)より、平成5年～平成24年において0件であるため、0.5件発生したものとして評価した。

(別紙 7.9, 7.12)

※3 : 国土交通省航空局への問い合わせ結果(ピークダイの値)を365倍した値。

(別紙 7.13)

※4 : 直行経路については「航空路等設定基準」を参照した。広域航法経路については、航法精度を航空路の幅とみなして用いた。(1nm=1.852kmと

して換算した。)

これらの式より, $P_c = 10^{-7}$ (回/炉・年) に相当する標的面積 A を求めると, 約 23km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より, 離隔距離 L は $1,528\text{m}$ とする。(評価結果は, 約 $1,528.7\text{m}$)

4.2 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

(1) 有視界飛行方式民間航空機 (大型機) の落下事故

a. 標的面積

$$P_v = (f_v / S_v) \cdot A \cdot \alpha$$

P_v : 対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_v : 単位年当たりの落下事故率 (回/年)

S_v : 全国土面積 (km^2)

A : 原子炉施設の標的面積 (km^2)

α : 対象航空機の種類による係数

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所
f_v^{*1}	大型固定翼機 0.025 (=0.5/20) 大型回転翼機 0.05 (=1/20)
S_v^{*2}	37.2 万
α^{*3}	1

※1: 「航空機落下事故に関するデータ」(平成 28 年 6 月 原子力規制委員会)による。なお, 大型固定翼機の事故件数は平成 5 年~平成 24 年において 0 件であるため, 0.5 件発生したものとして評価した。

(別紙 7.12, 7.14)

※2: 「航空機落下事故に関するデータ」(平成 28 年 6 月 原子力規制委員会)による。

※3：「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」による。

これらの式より， $P_v=10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.50km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より，離隔距離 L は 186m とする。（評価結果は，約 186.2m ）

(2) 有視界飛行方式民間航空機（小型機）の落下事故

a. 標的面積

$$P_v = (f_v / S_v) \cdot A \cdot \alpha$$

P_v ：対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_v ：単位年当たりの落下事故率（回／年）

S_v ：全国土面積（ km^2 ）

A ：原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

α ：対象航空機の種類による係数

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所
$f_v^{※1}$	小型固定翼機 1.75 (=35/20) 小型回転翼機 1.20 (=24/20)
$S_v^{※1}$	37.2 万
$\alpha^{※2}$	0.1

※1：「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月 原子力規制委員会）による。

※2：「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」による。

これらの式より， $P_v=10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.13km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より，離隔距離 L は 72m とする。（評価結果は，約 72.7m ）

4.3 自衛隊機又は米軍機の落下事故

(1) 訓練空域外を飛行中の落下事故（空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機）

a. 標的面積

$$P_{so} = f_{so} \cdot A / S_o$$

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_{so} : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率（回／年）

A : 原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

S_o : 全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積（ km^2 ）

パラメータ	発電所名称	東海第二発電所
f_{so}^{*1}		自衛隊機 0.025 (=0.5/20) 米軍機 0.05 (=1/20)
S_o^{*2}		自衛隊機 29.5 万 (=37.2 万-7.72 万) 米軍機 37.2 万 (=37.2 万-0.05 万)

※1 : 「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月 原子力規制委員会）による。なお，自衛隊機の事故件数は平成 5 年～平成 24 年において 0 件であるため，0.5 件発生したものとして評価した。

（別紙 7.12，7.15）

※2：「航空機落下事故に関するデータ」（平成28年6月 原子力規制委員会）による。

これらの式より、 $P_{so}=10^{-7}$ （回/炉・年）に相当する標的面積 A を求めると、約 0.46km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より、離隔距離 L は 176m とする。（評価結果は、約 176.8m ）

(2) 訓練空域外を飛行中の落下事故（その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機）

a. 標的面積

$$P_{so} = f_{so} \cdot A / S_o$$

P_{so} ：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率（回/年）

f_{so} ：単位年当たりの訓練空域外落下事故率（回/年）

A ：原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

S_o ：全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積（ km^2 ）

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所
f_{so}^{*1}	自衛隊機 0.35 (=7/20) 米軍機 0.20 (=4/20)
S_o^{*1}	自衛隊機 29.5 万 (=37.2 万 - 7.72 万) 米軍機 37.2 万 (=37.2 万 - 0.05 万)

※1：「航空機落下事故に関するデータ」（平成28年6月 原子力規制委員会）による。

(別紙 7.15)

これらの式より、 $P_{so}=10^{-7}$ (回/炉・年) に相当する標的面積 A を求めると、約 0.058km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より、離隔距離 L は 34m とする。(評価結果は、約 34.6m)

(3) 基地—訓練空域間を往復時の落下事故 (想定飛行範囲内に原子炉施設が存在する場合)

a. 標的面積

$$P_{se} = f_{se} \cdot A / S_{se}$$

P_{se} : 対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_{se} : 基地と訓練空域間を往復中の落下事故率 (回/年)

A : 原子炉施設の標的面積 (km^2)

S_{se} : 想定飛行範囲の面積 (km^2)

パラメータ	発電所名称	東海第二発電所 (自衛隊機の評価)
f_{se}^{*1}		約 0.0114 (=0.2275/20)
S_{se}^{*2}		4,540

※1 : 「航空機落下事故に関するデータ」(平成 28 年 6 月 原子力規制委員会)より、当該想定飛行範囲内で自衛隊機の移動時の事故件数は平成 5 年～平成 24 年において 0 件であるため、落下事故率の算出には χ 二乗分布を用いた方法を使用した。

(別紙 7.12, 7.15)

※2 : 百里基地(飛行場)と自衛隊機の訓練空域(Areal, E1, E2, E3, E4の全域)境界間を直線で結んだ想定飛行範囲の面積。なお、自衛隊機の訓練空域(E1, E2)については、A I Pに”Excluding R-121”と記載があることから、米軍機の訓練空域(R-121)を除いた領域を自衛隊機の訓練空域としている。

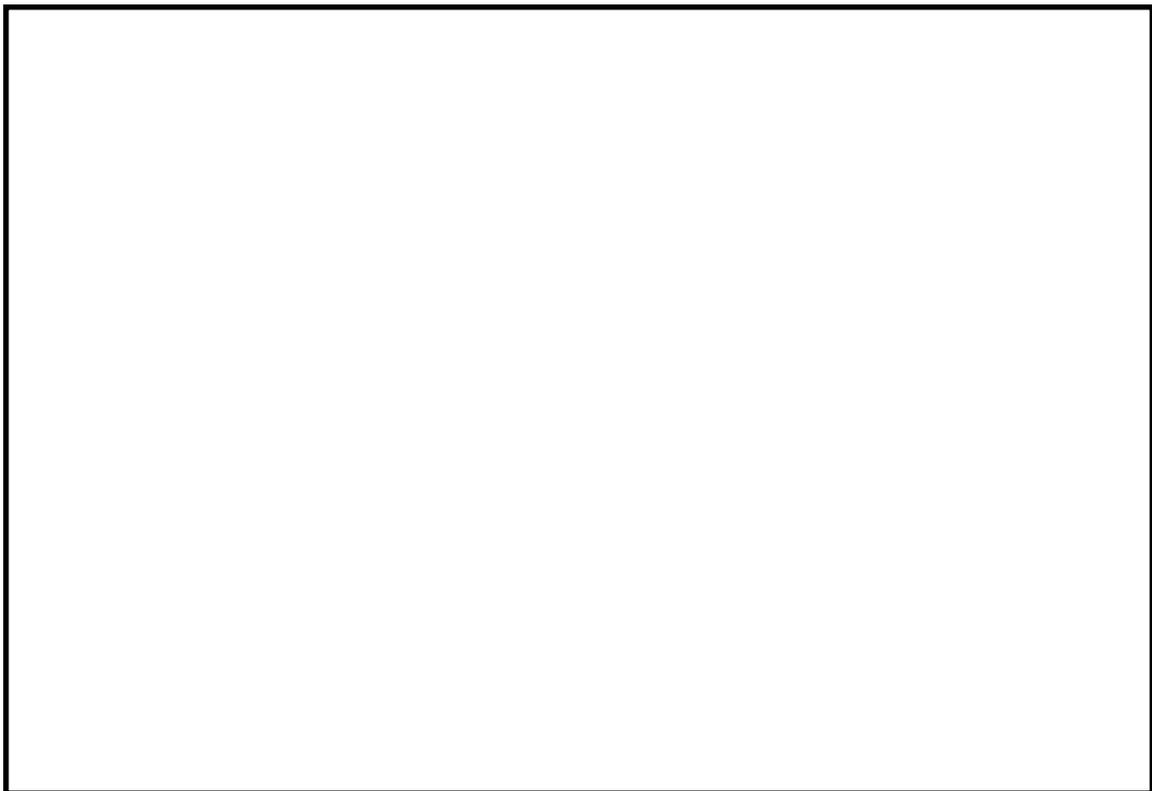
(別紙 7.4)

これらの式より、 $P_{se}=10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると、約 0.040km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より、離隔距離 L は 22m とする。（評価結果は、約 22.2m ）

自衛隊機又は米軍機，基地-訓練空域間往復時の離隔距離を第 4.3-1 図に示す。



第 4.3-1 図 自衛隊機又は米軍機，基地-訓練空域間往復時の離隔距離

5. 熱影響評価結果

5.1 評価機種の選定

評価機種は「3. 落下事故のカテゴリと対象航空機について」で抽出した航空機より選定し、他のカテゴリの評価に包絡されるものは評価対象外とした。

第 5.1-1 表にカテゴリごとの離隔距離と評価機種を示す。

第 5.1-1 表 落下事故のカテゴリごとの離隔距離と評価機種

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔距離 (m)	評価機種 ○：評価対象 ×：評価対象外	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	199	○	
	航空路を巡航時	B747-400	1,528	×※1	
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	B747-400	186	○	
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）	Do228-200	72	×※2	
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等， 高高度での巡航が 想定される大型固定 翼機	KC-767	176	○
		その他の大型固定翼 機，小型固定翼機及 び回転翼機	F-15	34	×※3
	基地－訓練空域間往復時	F-15	22	○	

※1：「計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航時」の落下事故については、「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の落下事故の対象機種と同じ B747-400 であり、離隔距離の短い「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※2：「有視界飛行方式民間航空機の小型機」の落下事故の対象航空機のうち、燃料搭載量が最大となる Do228-200 であっても 3m³ と少量であることから、Do228-200 よりも燃料搭載量が多く、かつ離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 基地-訓練空域間往復時」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※3：「その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機」については、「基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象航空機と同じ F-15 であるため、離隔距離の短い「基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

5.2 共通データの算出

各建屋外壁，排気筒及びD/G吸気系フィルタに対する火災影響評価に必要な共通データを算出する。

(1) 各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータ

各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータを第5.2-1表に示す。

第5.2-1表 各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータ

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃料の種類	燃料量 V (m ³)	燃料密度 ρ (kg/m ³)	質量低下速度 M (kg/m ² /s)	燃焼面積 S (m ²)	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	JET A-1	26.02 ^{*3}	840 ^{*2}	0.039 ^{*1}	110.0 ^{*4}	
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	B747 -400	JET A-1	216.84 ^{*3}	840 ^{*2}	0.039 ^{*1}	700.0 ^{*5}	
自衛隊機 又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	JP-4	145.03 ^{*6}	760 ^{*1}	0.051 ^{*1}	405.2 ^{*7}
	基地－訓練空域間 往復時		F-15	JP-4	14.87 ^{*8}	760 ^{*1}	0.051 ^{*1}	44.6 ^{*9}

※1：NUREG-1805 記載値

※2：J I S-K-2209-1991 記載の1号の値

※3：ボーイングジャパン ホームページ“737, 747 型機情報”

※4：ボーイング社ホームページ資料「737 airplane Characteristics for Airport Planning (document D6-58325-6, July 2007)」の機体図面より，主翼・主翼と交差する胴体部面積が燃料タンク面積と同等と想定し，これらの面積を算出した値

※5：ボーイング社ホームページ資料「747 airplane Characteristics for Airport Planning (document D6-58326-1, December 2002)」の機体図面より，主翼・主翼と交差する胴体部及び水平尾翼部面積が燃料タンク面積と同等と想定し，これらの面積を算出した値

※6：世界航空機年鑑2012-2013に記載の値及び燃料密度から算出した値

※7：ボーイング社ホームページ資料「767 airplane Characteristics for Airport Planning (Document D6-58328, September 2005)」

※8：航空ジャーナル2月号増刊F-15イーグル（航空ジャーナル社 昭和55年2月5日発行）

※9：※8記載の機体図面より，燃料タンクの配置及び大きさを想定し，これらの面積を算出した値

(2) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は燃焼面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 5.2-2 表に示す。

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R : 燃焼半径(m), S : 燃焼面積(m²)

第 5.2-2 表 各航空機の燃焼半径

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃焼面積 S (m ²)	燃焼半径 R (m)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	110.0	5.918
有視界飛行方式民間 航空機	大型機（大型固定翼機及び大型 回転翼機）	B747-400	700.0	14.928
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	KC-767	405.2	11.357
	基地－訓練空域間往復時	F-15	44.6	3.768

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 5.2-3 表に示す。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t : 燃焼継続時間(s), V : 燃料量(m³)

R : 燃焼半径(m), v : 燃焼速度 = M / ρ (m/s)

M : 質量低下速度(kg/m²/s), ρ : 燃料密度(kg/m³)

第 5.2-3 表 各航空機の燃焼継続時間

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃料量 V (m ³)	燃焼半径 R (m)	燃焼速度 v (m/s)	燃焼継続時間 t (s)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	26.02	5.918	4.64×10 ⁻⁵	5,096.7 (約 1.4h)
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	B747 -400	216.84	14.928	4.64×10 ⁻⁵	6,675.3 (約 1.9h)
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等, 高高度での巡航 が想定される大 型固定翼機 KC -767	145.03	11.357	6.71×10 ⁻⁵	5,334.1 (約 1.5h)
	基地－訓練空域間往復時	F-15	14.87	3.768	6.71×10 ⁻⁵	4,968.4 (約 1.4h)

(4) 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 5.2-4 表に示す。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n \sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ:形態係数, L:離隔距離(m), H:炎の高さ(m), R:燃焼半径(m)

第 5.2-4 表 各航空機の形態係数

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	199	5.918	1.7202×10 ⁻³
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	B747 -400	186	14.928	1.2601×10 ⁻³
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等, 高 高度での巡航が想 定される大型固定 翼機 KC -767	176	11.357	8.1603×10 ⁻³
	基地－訓練空域間往復時	F-15	22	3.768	5.3368×10 ⁻²

(5) 輻射強度の評価

火災から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 5.2-5 表に示す。

$$E = R f \cdot \Phi$$

E : 輻射強度 (W/m^2), R f : 輻射発散度 (W/m^2), Φ : 形態係数 (-)

第 5.2-5 表 各航空機の輻射強度

落下事故のカテゴリ		対象航空機	輻射発散度 R f (W/m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W/m^2)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	50	1.7202×10^{-3}	86.02
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	B747 -400	50	1.2601×10^{-3}	630.03
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外を飛行中 空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC -767	58	8.1603×10^{-3}	473.30
	基地－訓練空域間往復時	F-15	58	5.3368×10^{-2}	3,095.33

5.3 建屋外壁に対する熱影響評価

(1) 評価対象範囲

影響評価対象の建屋外壁について、前項で分類したカテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

(2) 判断の考え方

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 $200^{\circ}C$ 以下とする。

b. 評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度による入熱と対流による放熱を考慮した、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め、コンクリート表面の温度が許容温度以下であるか評価した。

$$T = T_0 + \left(\frac{E}{\alpha}\right) \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) - \exp\left(\frac{\alpha}{\lambda}x + \frac{\alpha^2}{\lambda^2}\kappa t\right) \left\{ 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} + \frac{\alpha}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right) \right\} \right]$$

T : 表面から x(m) の位置の温度(°C), T₀ : 初期温度(50°C)^{※1}

α : 熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}

κ : コンクリート温度伝導率(= λ / ρ C_p) (7.7×10⁻⁷m²/s)

ρ : コンクリート密度(2,400kg/m³), C_p : コンクリート比熱(880J/kg/K)

λ : コンクリート熱伝導率(1.63W/m/K), E : 輻射強度(W/m²)

t : 燃焼継続時間(s), x : コンクリート壁表面深さ(0m)

※1 : 水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

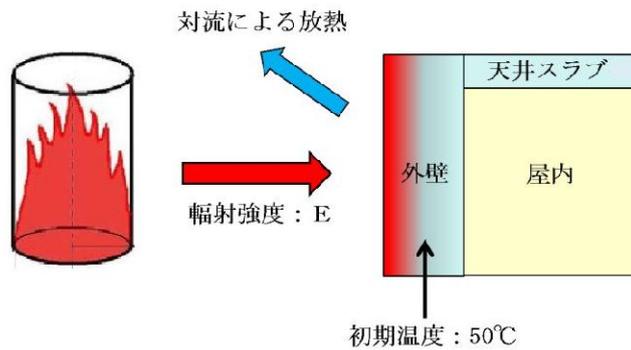
※2 : 空気調和・衛生工学便覧(外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である17W/m²/Kを用いる。)

なお、天井スラブ及び海水ポンプ室天井の評価は以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

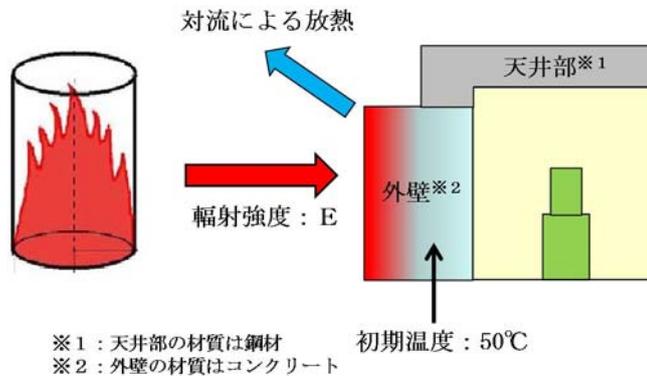
- ・火炎長が天井スラブより短い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井スラブより長い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・海水ポンプ室の天井(一部の側面壁含む)は鋼材、外壁はコンクリートであるが、危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。

- ・火炎からの離隔距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。

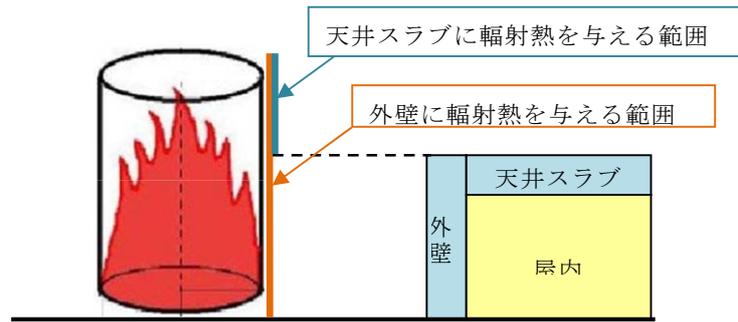
建屋外壁の評価概念図を第 5.3-1 図に、海水ポンプ室の評価概念図を第 5.3-2 図に、天井スラブの評価概念図を第 5.3-3 図に示す。



第 5.3-1 図 建屋外壁の評価概念図



第 5.3-2 図 海水ポンプ室の評価概念図



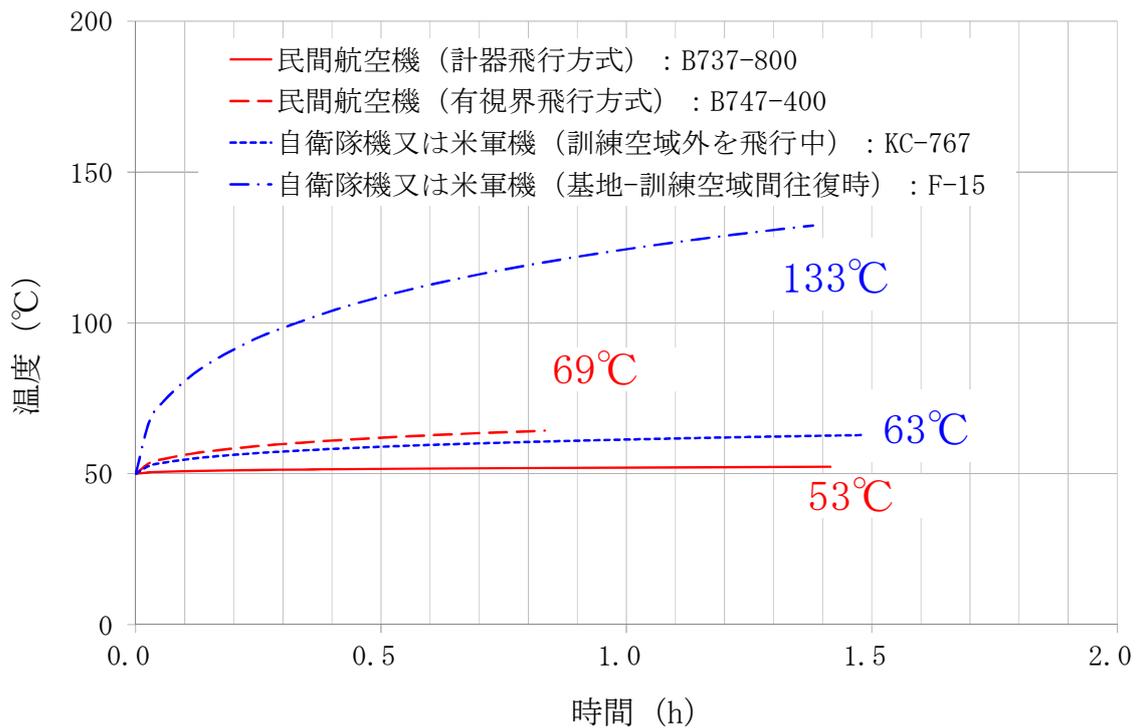
第 5.3-3 図 天井スラブへの輻射熱の影響

コンクリート表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 200℃以下となることを確認した。評価結果を第 5.3-1 表、温度変化を第 5.3-4 図に示す。

第 5.3-1 表 建屋表面の到達温度

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃焼面積 S [m ²]	輻射強度 E [W/m ²]	燃焼継続時間 t (s)	評価温度※ (°C)	許容温度 (°C)	
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	110.0	86.02	5,096.7 (約 1.4h)	53	< 200	
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	B747-400	700.0	630.03	6,675.3 (約 1.9h)	69		
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	405.2	473.30	5,334.1 (約 1.5h)		63
	基地-訓練空域間往復時	F-15	44.6	3,095.33	4,968.4 (約 1.4h)	133		

※：半無限固体を想定した評価をしているため、離隔距離が同じとなる本評価では、原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋及び海水ポンプ室はすべて同じ評価結果となる。



第 5.3-4 図 原子炉建屋外壁の温度変化

なお、使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁表面温度が上昇し、建屋表面からの熱伝達による建屋内の温度上昇を考える。

貯蔵建屋外壁は大きな熱容量を持っているため、建屋外壁表面での温度上昇が内表面の温度に変化をもたらすまでには大きな時間遅れが伴う。

建屋外壁表面温度評価で最も厳しい結果となった F-15 の評価においても、内表面の温度上昇はほとんど生じておらず、建屋外壁表面からの熱伝達による貯蔵建屋内の温度上昇は無視できると考えられる。

このため、建屋外で発生する火災が乾式使用済燃料の除熱、閉じ込め機能の監視に影響を与えることはない。

5.4 排気筒に対する熱影響評価

(1) 評価対象範囲

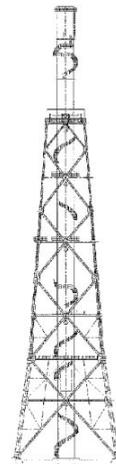
排気筒について、カテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

なお、排気筒の評価に当たっては、保守性を考慮して、筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔部について評価した。

(2) 排気筒仕様を第 5.4-1 表に、排気筒外形図を第 5.4-1 図に示す。

第 5.4-1 表 排気筒仕様

名称	排気筒	
種類	鉄塔支持型	
主要寸法	内径 4.5m	
	地表高さ 140m	
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個数	1	



第 5.4-1 図 排気筒外形図

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

b. 評価結果

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして、輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式によ

り排気筒鉄塔表面の最大温度を求め、表面温度が許容温度以下であるか評価した。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

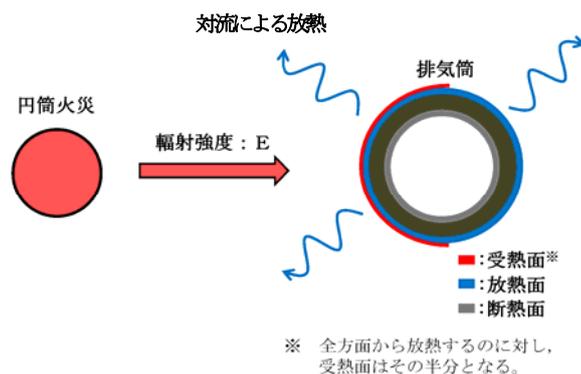
T：許容温度(325℃), T₀：初期温度(50℃)^{※1}

E：輻射強度(W/m²), h：熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}

※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2：空気調和・衛生工学便覧(外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である17W/m²Kを用いる。)

なお、評価に当たって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも鉄塔が火災源との距離が近いこと、材質も鉄塔はSS400、STK400、筒身ではSS400であり、物性値が鉄塔、筒身ともに軟鋼で同一であることから、鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。排気筒の評価概念図を第5.4-2図に示す。



第5.4-2図 排気筒の評価概念図

排気筒鉄塔表面の温度上昇を評価した結果、許容温度以下であることを確認した。評価結果を第5.4-2表に示す。

第 5.4-2 表 排気筒鉄塔表面の到達温度

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	燃焼面積 S [m ²]	輻射強度 E [W/m ²]	評価温度* (°C)	許容温度 (°C)	
計器飛行 方式民間 航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	110.0	86.02	53	< 325	
有視界 飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機 及び大型回転翼機）	B747 -400	700.0	630.03	69		
自衛隊機 又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等, 高高度での 巡航が想定される 大型固定翼機	KC -767	405.2	473.30		64
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33		142

5.5 ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する熱影響評価

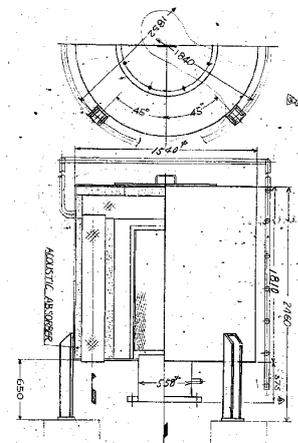
(1) 影響評価対象範囲

ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるD/G吸気系フィルタの流入空気温度について、カテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

(2) D/G吸気系フィルタ仕様を第 5.5-1 表に、D/G吸気系フィルタ外形図を第 5.5-1 図に示す。

第 5.5-1 表 D/G吸気系フィルタ仕様

名称	D/G吸気系フィルタ
種類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径 : 1.54m フィルタ円筒高さ : 2.46m
材料	SS400
個数	6



第 5.5-1 図 D/G吸気系フィルタ外形図

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

D/G吸気系フィルタの流入空気の許容温度は、火災時における温度上昇を考慮した場合において、ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下*とする。

※：D/G吸気系フィルタの流入空気温度が上昇すると、空気冷却出口温度が上昇し、シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b. 評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度による入熱がD/G吸気系フィルタに流入する空気の温度上昇に寄与することを表した下記の温度評価式によりD/G吸気系フィルタに流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求め、当該火災源からの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離 (=危険距離) を算出し、当該火災源から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。D/G吸気系フィルタの評価概念図を第 5.5-2 図に示す。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T$$

T：許容温度(53℃)，T₀：初期温度(37℃)*¹，E：輻射強度(W/m²)，

G：重量流量(4kg/s)*²，A：輻射を受ける面積(7.8m²)

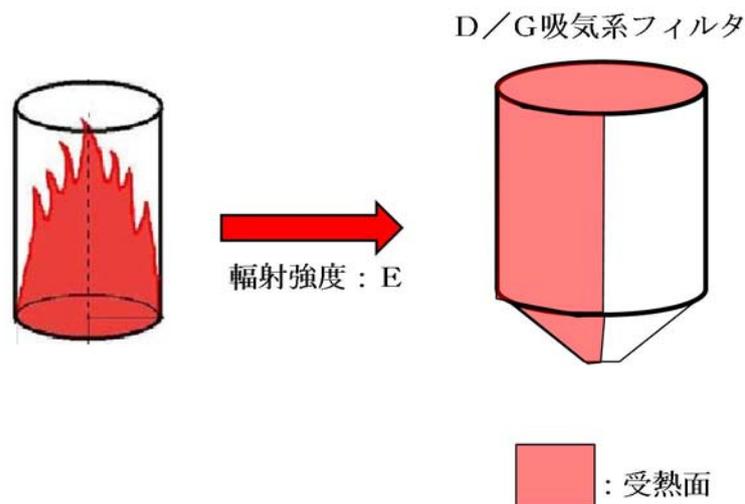
C_p：空気比熱(1,007J/kg/K)*³，ΔT：構造物を介した温度上昇(5℃)*⁴

※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温

※2：ディーゼル発電機機関の内、給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。
ディーゼル発電機機関吸気流量(228m³/min) × 空気密度(1.17kg/m³) ÷ 60

※3：日本機械学会 伝熱工学資料

※4：最高到達温度150℃を介した温度上昇(5℃)



第 5.5-2 図 D/G 吸気系フィルタの評価概念図

D/G 吸気系フィルタに流入する空気の温度が 53℃となる危険距離を算出した結果，D/G 吸気系フィルタまでの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 5.5-2 表に示す。

第 5.5-2 表 D/G 吸気系フィルタを通して流入する空気の到達温度

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃焼面積 [m ²]	輻射強度 [W/m ²]	評価温度* (°C)	許容温度 (°C)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	110.0	86.02	43	< 53
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	B747-400	700.0	630.03	44	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機 KC-767	405.2	473.30	43	
	基地－訓練空域間往復時	F-15	44.6	3,095.33	48	

5.6 外壁に設置されている機器に対する熱影響評価

原子炉施設の外壁に設置されている機器については、外部火災の熱影響を受けやすいことから、これらの機器について火災影響評価を実施する。熱影響を受けやすい機器は以下のとおり。

- ・ 扉
- ・ ルーバ
- ・ 配管貫通部
- ・ ブローアウトパネル

なお、複数設置されているこれらの機器のうち、最も熱影響を受ける位置にあるもの（火災源に近く、機器本体だけでなく建屋内部へ熱影響が及ぶ可能性のあるもの）を評価することによって、その他の機器は本評価に包絡される。

5.6.1 扉の火災影響評価について

原子炉施設の脆弱箇所の一つである扉について、火災影響評価を実施する。

5.6.1.1 扉温度の評価

(1) 評価対象

扉のうち、建屋内部へ熱影響が及ぶ可能性がある原子炉建屋電気室扉を評価対象とする。位置関係を第 5.6.1.1-1 図に示す。



第 5.6.1.1-1 図 火災源と建屋扉との位置関係

(2) 想定条件

- a. 航空機火災については、5.3等の火災影響評価と同様の想定とした。
- b. 扉は、表面の最も熱影響を受けやすい金属を扉の構造材(均質体)とした。
- c. 火災が発生した時間から、燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度を受けるものとした。
- d. 扉までの離隔距離は、電気室入口扉までの直線距離 27mとした。

(3) 必要データ

評価に必要なデータは5.2のとおり。

(4) 扉内外面温度の評価結果

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃とする。

b. 評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度

で扉が昇温されるものとして、下記の1次元非定常熱伝導方程式を差分法より解くことで扉内外面温度が許容温度以下であるか評価した。評価において対流による放熱を考慮している。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E - h (T - T_0) \quad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (x=L)$$

T : 表面から x(m) の位置の温度(°C), T₀ : 初期温度(50°C)^{※1}

h : 熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}, k : 扉の温度伝導率(=λ / ρ C_p) (m²/s)

ρ : 扉の密度(7,920kg/m³), C_p : 扉の比熱(499J/kg/K)

λ : 扉の熱伝導率(16W/m/K), E : 輻射強度(W/m²)

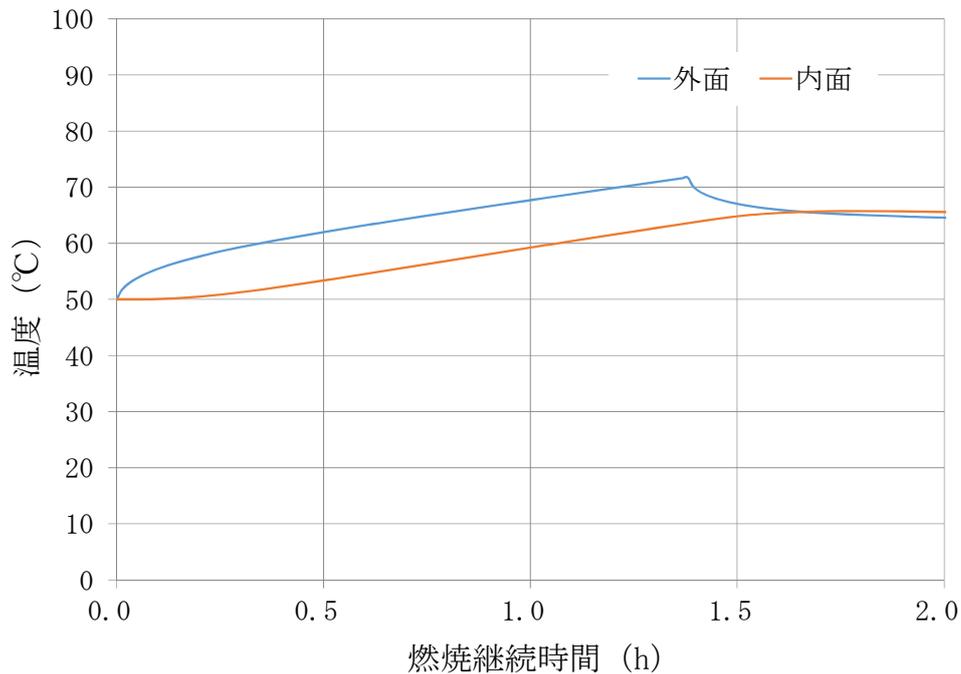
※1 : 水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2 : 空気調和・衛生工学便覧(外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である17W/m²Kを用いる。)

扉内外面の温度上昇を評価した結果、許容温度以下であることを確認した。評価結果を第5.6.1.1-1表、第5.6.1.1-2図に示す。

第5.6.1.1-1表 扉に対する熱影響評価結果

想定火災源	影響評価対象	評価温度(°C)		許容温度(°C)
		外面	内面	
F-15	原子炉建屋 電気室入口扉	72	66	< 325



第 5.6.1.1-2 図 扉の到達温度

5.6.1.2 扉内側（電気室）の室内温度評価

(1) 評価条件

- a. 火災が発生した時間から，燃料が燃え尽きるまでの間，扉内面温度 66°C一定としたときの放熱量を原子炉建屋電気室への入熱とした。
- b. 室内の設備による熱負荷を考慮した室内の初期温度は，夏期通常運転中の設計室温である 35°Cとした。

(2) 室内温度評価

a. 許容温度

原子炉建屋電気室の設計最高温度である 40°Cを許容温度とする。

b. 評価結果

室内温度は，火災による扉外面温度上昇に伴う熱負荷による加熱を考慮して，扉内面の温度上昇による室内温度の最高到達温度を下式により

算出し、室内温度が許容温度以下であるか評価した。室内温度評価の概念図を第 5.6.1.2-1 図に示す。

$$Q_{in} = h_{in} \times A \times (T_{in} - T_a)$$

$$T_{room} = \frac{Q_{in}}{m \rho C_p} + T_a$$

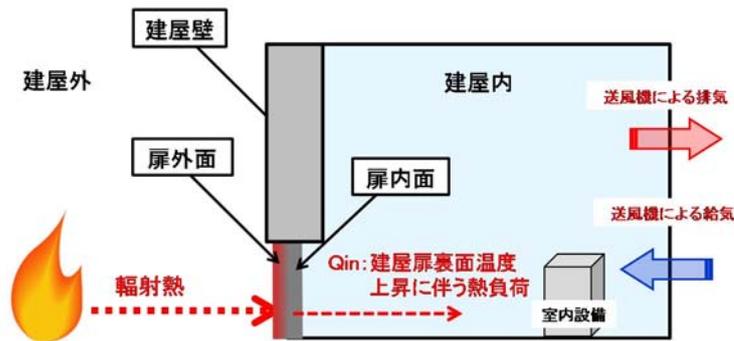
Q_{in} : 温度上昇に伴う熱負荷(W), h_{in} : 内面熱伝達率(8.29W/m²/K)

A : 扉の表面積(3.5m²), T_{in} : 扉内面温度(66°C)

T_a : 室内初期温度(35°C), T_{room} : 室内温度(°C)

m : 給気風量(4m³/s), ρ : 空気密度 (1.1kg/m³)

C_p : 空気比熱 (1,007J/kg/K)



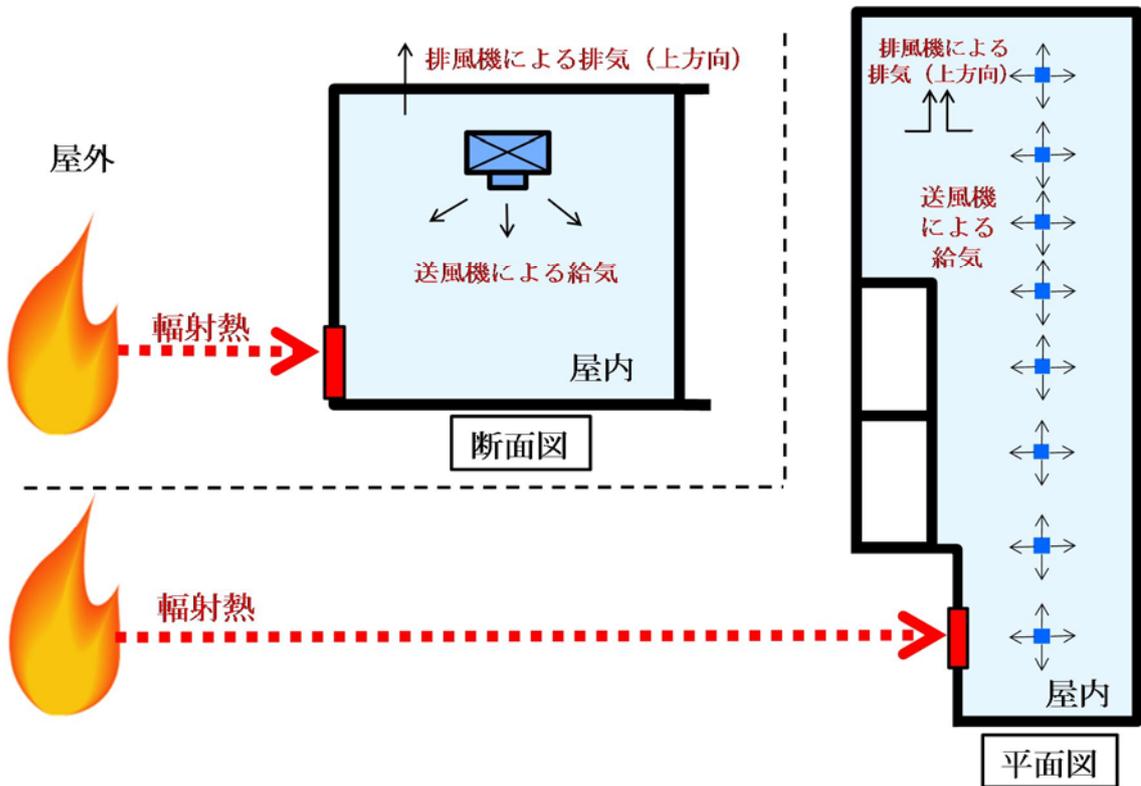
第 5.6.1.2-1 図 室内温度評価の概念図

電気室室温を評価した結果、室内温度が許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 5.6.1.2-1 表に示す。なお、室内温度については扉内面の最高温度を一定として想定する等、保守的な評価を行っていることから、実際の温度上昇は更に低く抑えられると考えられる。

また、室内の給排気は、第 5.6.1.2-2 図のとおり、ホットスポット等が生じにくいレイアウトにすることで、室内の温度分布が不均一とならない設計としている。

第 5.6.1.2-1 表 室内温度の評価結果

想定火災源	影響評価対象	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
F-15	原子炉建屋 電気室入口扉	35.3	40



第 5.6.1.2-2 図 電気室内の給排気概念図

5.6.2 ルーバの火災影響評価について

原子炉施設の脆弱箇所の一つであるルーバについて、火災影響評価を実施する。

(1) 評価対象

ルーバのうち、火災源から最も近く、輻射強度が最も大きくなるディーゼル発電機（2D）室外壁のルーバを対象とする。

(2) 想定条件

2. 火災の想定と同様の想定とした。

(3) 判断の考え方

ルーバの許容温度は、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃とする。

(4) 評価結果

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして、輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式により排気筒鉄塔表面の最大温度を求め、表面温度が許容温度以下であるか評価した。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

T：許容温度(325℃)， T_0 ：初期温度(50℃)^{※1}

E：輻射温度(W/m²)，h：熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}

※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2：空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である17W/m²Kを用いる。）

対象のルーバが受ける輻射強度を評価した結果、許容温度以下であることを確認したことから、ルーバの強度への影響はない。評価結果を第5.6.2-1表に示す。

また、ルーバの変形の有無にかかわらず、安全上支障のない期間に点検

を行いルーバの使用に問題があると判断される場合には、交換等の措置が可能である。なお、ルーバ内側には熱影響を受ける機器等がなく、航空機火災時は、熱気流を考慮し、状況に応じて空調の停止措置等を講じることから、建屋内への影響はない。

第 5.6.2-1 表 ルーバの評価結果

想定火災源	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
F-15	142	< 325

5.6.3 配管貫通部の火災影響評価について

原子炉施設の脆弱箇所の一つである配管貫通部について、火災影響評価を実施する。

(1) 評価対象

内側にクラス 1, 2 設備がある外壁のうち、火災源から最も近い外壁に位置する配管貫通部を想定して評価を実施した。

(2) 想定条件

- a. 航空機火災については、5.3 等の火災影響評価と同様の想定とした。
- b. 配管貫通部は、不燃材料であるモルタルによる穴仕舞がされているため、モルタルを熱影響対象とした。
- c. 火災が発生した時間から、燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度を受けるものとした。
- d. 火災源から配管貫通部までの離隔距離が最短となるよう、火災源から配管貫通部までの離隔距離を、F-15 の離隔距離である 22m として熱影響評価を実施した。

(3) 判断の考え方

許容温度は、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃*以下とする。

※：「高温加熱を受けた高強度モルタルの力学的性状，コンクリート工学年次論文集，Vol32，No.1，pp1121-1126，2010」

(4) 評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で配管貫通部が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より配管貫通部表面の上昇温度を算出した。評価結果を第 5.6.3-1 表に示す。

$$T = T_0 + \left(\frac{E}{\alpha}\right) \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) - \exp\left(\frac{\alpha}{\lambda}x + \frac{\alpha^2}{\lambda^2}\kappa t\right) \left\{ 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} + \frac{\alpha}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right) \right\} \right]$$

T：表面から x(m) の位置の温度(℃)，T₀：初期温度(50℃)*¹

α：熱伝達率(17W/m²/K)*²

κ：モルタル温度伝導率(=λ / ρ C_p) (1.7×10⁻⁶m²/s)

ρ：モルタル密度(1,870kg/m³)，C_p：モルタル比熱(548J/kg/K)

λ：モルタル熱伝導率(1.71W/m/K)，E：輻射強度(W/m²)

t：燃焼継続時間(4,968.4s)

※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2：空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W/m²/K を用いる。）

第 5.6.3-1 表 配管貫通部の到達温度

対象 航空機	燃焼面積 [m ²]	輻射強度 [W/m ²]	燃焼継続時間 t (s)	評価温度* (℃)	許容温度 (℃)
F-15	44.6	3,095.33	4,968.4 (約 1.4h)	150	200

以上の評価により、配管貫通部表面の到達温度が許容温度以下であることを確認した。

5.6.4 ブローアウトパネルの火災影響評価について

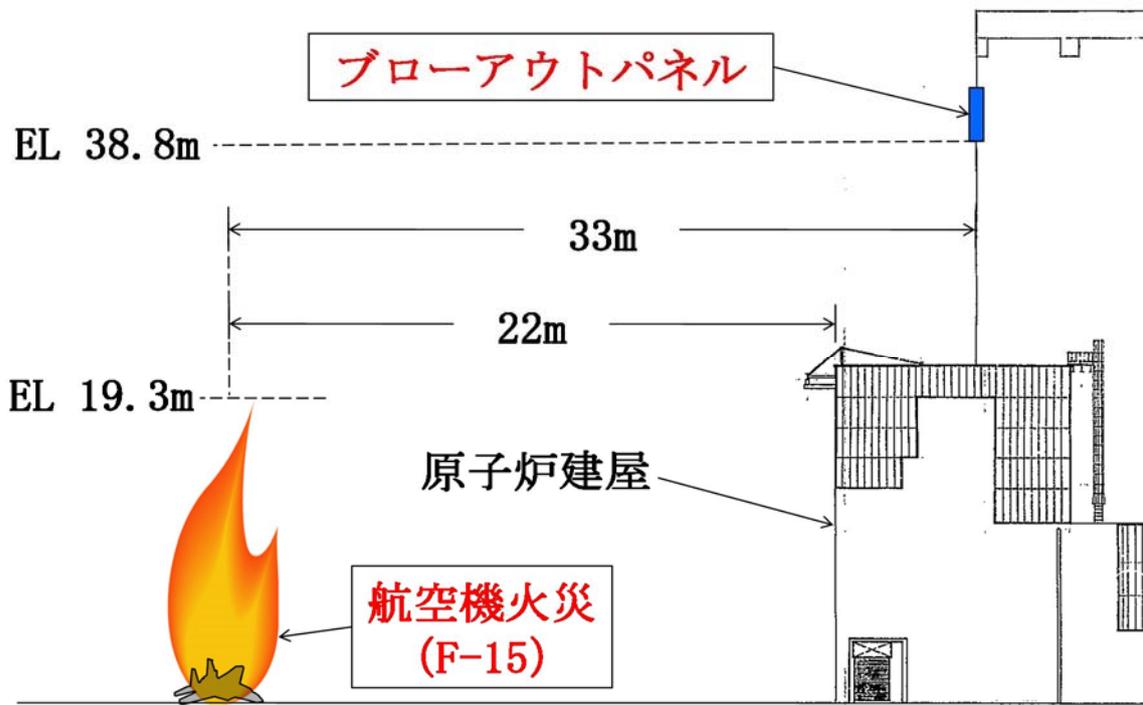
ブローアウトパネル（以下「B. P」という。）は、それぞれ原子炉建屋全方位に各3箇所設置されているが、想定する航空機火災からB. Pまでの水平距離及び鉛直高さを考慮すると、B. Pに影響を与えるような輻射強度が届くことはない。位置関係を第5.6.4-1表、第5.6.4-1図に示す。

第5.6.4-1表 火災源とブローアウトパネルとの位置関係

想定火災源	離隔距離 (m)	
	水平方向	鉛直方向
F-15	33m ^{※1}	19.5m ^{※2}

※1：F-15の航空機墜落距離22mに、原子炉建屋最外壁からブローアウトパネルまでの距離11mを加えた距離

※2：F-15の最高火炎高さ（EL. 19.3m）とB. P下端高さ（EL. 38.8m）の離隔距離



第5.6.4-1図 火災源とブローアウトパネルとの位置関係

5.7 航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災の重畳評価

(1) 重畳評価で想定するケースの検討

航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災による重畳評価を実施した。

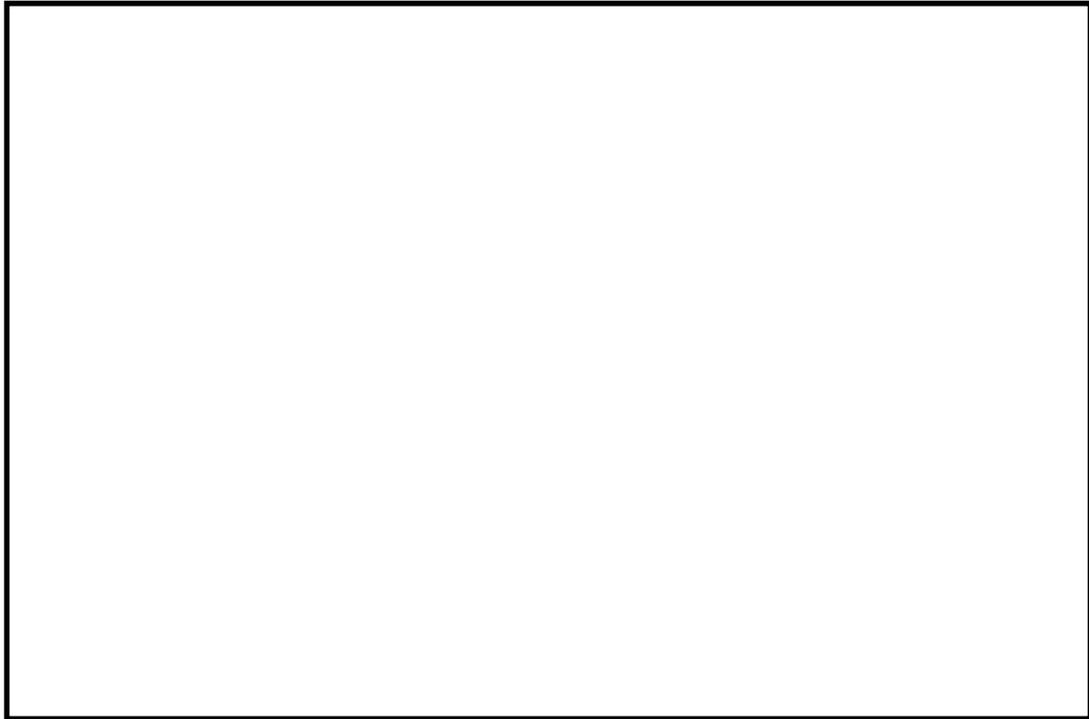
航空機墜落火災として想定する機種は、5.3, 5.4, 5.5 の評価結果より、最も熱影響が大きいF-15 とする。

危険物貯蔵施設等の火災として想定する設備は、F-15 の墜落火災想定位置近傍にある溶融炉灯油タンクと主変圧器とする。

航空機墜落位置と危険物貯蔵施設等の位置を第 5.7-1 図に示す。

第 5.7-1 表 重畳評価で想定するケース

想定ケース	影響評価対象施設
溶融炉灯油タンク 及び F-15	原子炉建屋
	海水ポンプ室
	タービン建屋
	排気筒
主変圧器及び F-15	タービン建屋



第 5.7-1 図 航空機墜落位置と危険物貯蔵施設等の位置

(2) 評価に必要となるデータ

第 5.7-2 表 重畳評価に必要となるデータ

火災源	燃料の種類	燃料量 (m ³)	輻射発散度 (kW/m ²)	燃焼面積 (m ²)	燃焼半径 (m)	燃焼継続時間 (s)
熔融炉 灯油タンク	灯油	10	50	19.36	2.483	11,008
主変圧器	絶縁油	136	23	97	5.6	36,131
F-15	JP-4	14.87	58	44.6	3.8	4,968

以下の式から形態係数及び輻射強度を算出した。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ : 形態係数, L : 離隔距離 (m), H : 炎の高さ (m), R : 燃焼半径 (m)

$$E = R f \cdot \Phi$$

E : 輻射強度 (W/m²), R f : 輻射発散度 (W/m²), Φ : 形態係数 (-)

第 5.7-3 表 形態係数の算出結果

火災源	対象施設	対象までの 離隔距離 (m)	形態係数 (-)	輻射強度 E (W/m ²)
熔融炉灯油 タンク	原子炉 建屋	45	5.9639×10^{-3}	298.20
	海水ポンプ室	185	3.4734×10^{-4}	17.37
	タービン建屋	77	2.0248×10^{-3}	101.24
	排気筒	21	2.6826×10^{-2}	1343.13
主変圧器	タービン建屋	22	1.0160×10^{-1}	2,336.84
F-15	全対象	22	5.3368×10^{-2}	3,095.33

(3) 評価結果

重畳評価で想定される輻射強度及び燃焼継続時間を用いて、以下の式から評価温度を算出した。

- ・ 建屋（原子炉建屋、海水ポンプ室及びタービン建屋）に係る評価式

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E - h (T - T_0) \quad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (x=L)$$

T : 許容温度 (200℃), E : 輻射強度 (W/m²)

T₀ : 初期温度 (50℃)^{※1}, h : 熱伝達率 (17W/m²/K)^{※2}

ρ : 密度 (2,400kg/m³), k : 熱伝導率 (1.63W/m/K)

C_p : 比熱 (880J/kg/K), L : 厚さ (m)

※1 : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2 : 空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である 17W/m²/K を用いる。）

・排気筒に係る評価式：

$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

T：許容温度(325℃), T₀：初期温度(50℃)^{※1}

E：輻射強度(W/m²), h：熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}

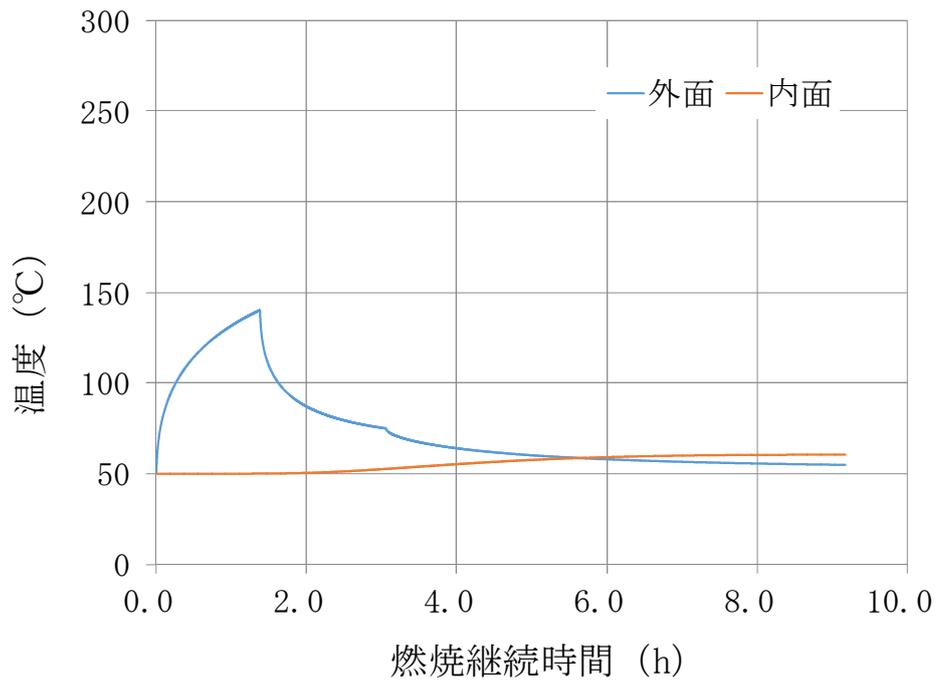
※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2：空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である17W/m²Kを用いる。）

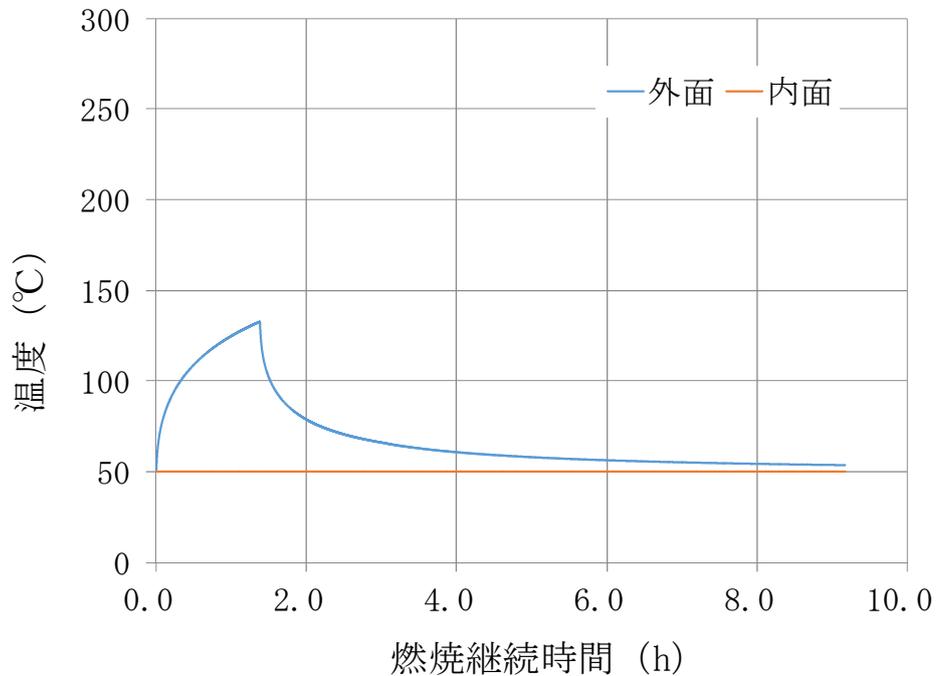
この結果、第5.7-4表に示すとおり、どのケースにおいても許容温度を下回ることを確認した。

第5.7-4表 重畳評価結果

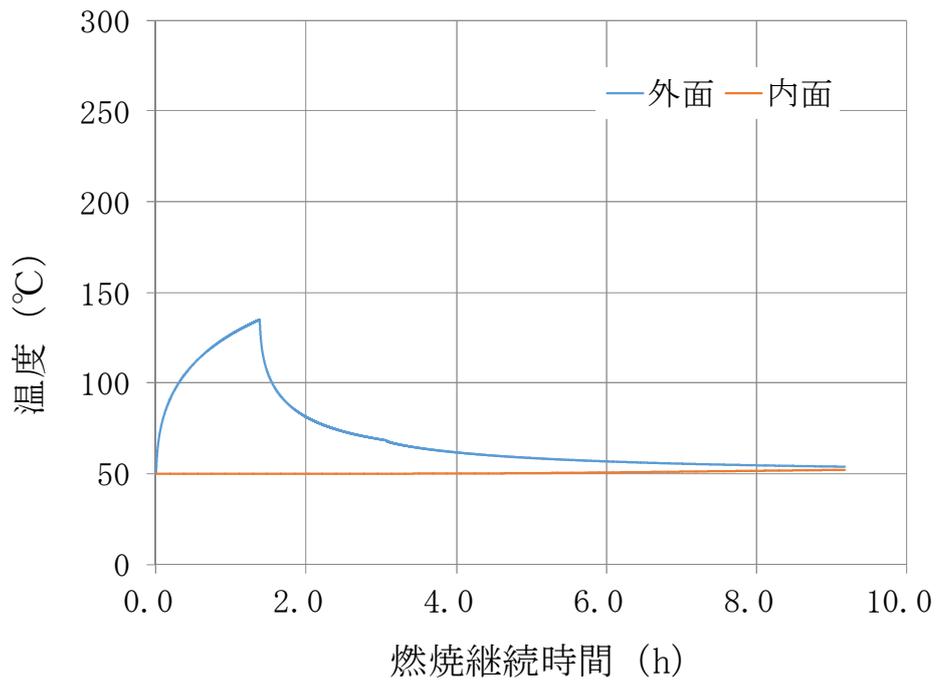
重畳評価の想定ケース	対象施設	評価温度(℃)	許容温度(℃)
熔融炉灯油タンク及びF-15	原子炉建屋	141	< 200
	海水ポンプ室	133	
	タービン建屋	135	
	排気筒	181	< 325
主変圧器及びF-15	タービン建屋	195	< 200



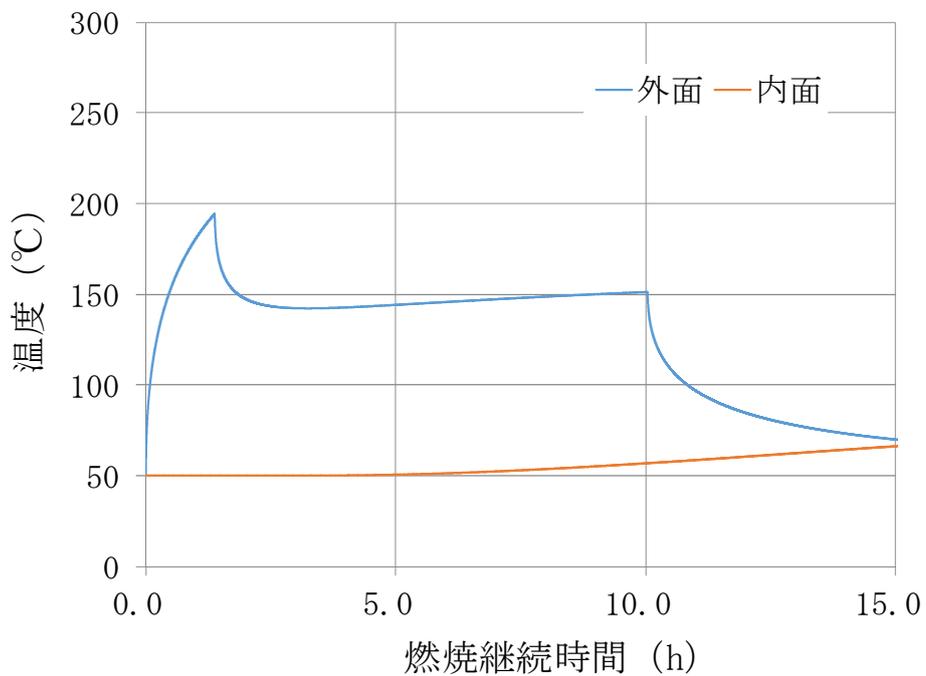
第 5.7-2 図 航空機火災と溶融炉灯油タンク火災の重畳評価結果
(対象：原子炉建屋)



第 5.7-3 図 航空機火災と溶融炉灯油タンク火災の重畳評価結果
(対象：海水ポンプ室)



第 5.7-4 図 航空機火災と溶融炉灯油タンク火災の重畳評価結果
(対象：タービン建屋)



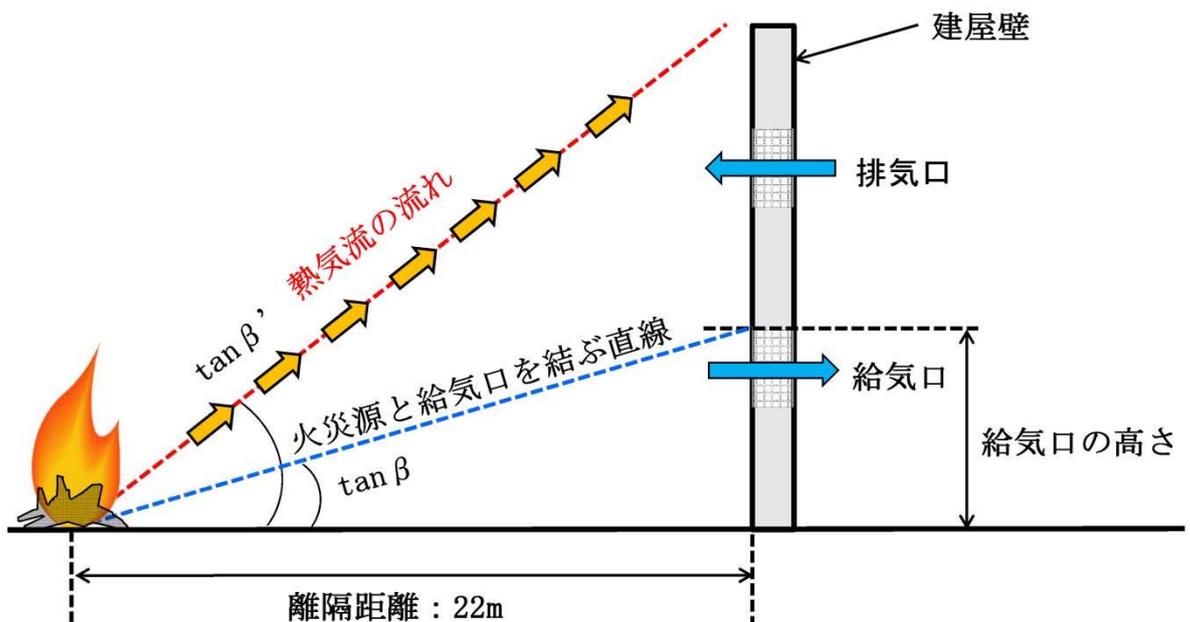
第 5.7-5 図 航空機火災と主変圧器火災の重畳評価結果
(対象：タービン建屋)

5.8 航空機墜落火災からの熱気流による影響評価

クラス1, 2設備が給気口のすぐ内側にあるD/G吸気系フィルタ及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は, 外部火災により発生する熱気流が周囲の風況の影響により建屋に向かうことが想定されるため, 火災源から発生した熱気流が風により直接給気口から侵入する事象を想定する。

評価の概念図を第5.8-1図に示す。火災による熱気流の主軸傾き角($\tan \beta'$)が, 火災発生源と給気口とを結ぶ直線の傾き角($\tan \beta$)より大きい場合は, 熱気流は建屋上方へ拡散し建屋内空気温度への影響はないが, 本評価においては保守的に熱気流が直接給気口に当たる場合($\tan \beta' = \tan \beta$)を想定し, その際の風速を設定する。

現実的には発火点の位置や上昇気流, また気象条件の影響も考慮すれば火災からの熱気流が全て給気口に到達し侵入することは考えにくいだが, 本評価においては保守的に火災源から発生する熱気流が直接給気口に侵入するような風速を設定して評価した。



第5.8-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価概念図

5.8.1 想定条件

- ・評価対象とする火災源は、最も近い位置で発生する航空機火災（対象航空機：F-15）とした。
- ・離隔距離は、評価上厳しくなるよう、想定する火災源から影響評価対象施設の給気口まで最短となるよう設定した。
- ・熱気流の評価では、気象条件として有風状態を想定し、発生する熱気流が直接給気口に侵入するような風速を設定した。

5.8.2 評価に必要なとなるデータの算出

(1) 火災源と給気口を結ぶ直線の傾き

以下の式から火災源と給気口を結ぶ直線の傾きを算出した。算出結果を第5.8.2-1表に示す。

$$\tan \beta = \frac{\text{給気口の高さ}}{\text{火災源から給気口までの水平距離}}$$

第5.8.2-1表 火災源と各対象の給気口を結ぶ直線の傾き

影響評価対象	給気口の高さ (m)	火災源から給気口までの水平距離 (m)	傾き $\tan \beta$ (rad)
D/G 吸気系フィルタ	4.9	24	0.2
使用済燃料乾式 貯蔵建屋	8.8	22	0.4

(2) 熱源寸法

以下の式から熱源寸法を算出した。算出結果を第5.8.2-2表に示す。

$$D=2\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

D : 熱源寸法 (m)

S : 航空機火災 (F-15) の燃焼面積 (44.6m²)

第 5.8.2-2 表 各対象の熱源寸法

火災源	熱源寸法 D (m)
航空機火災 (F-15)	7.5

(3) 発生熱量

以下の式から発生熱量を算出した。算出結果を第 5.8.2-3 表に示す。

$$Q = (1 - \chi) \Delta H_{c, \text{eff}} S M$$

Q : 発生熱量 (kW) , χ : 放射分率 (0.05)

$\Delta H_{c, \text{eff}}$: 発熱量 (43,500kJ/kg)

S : 航空機火災 (F-15) の燃焼面積 (44.6m²)

M : 質量低下速度 (kg/m²/s)

第 5.8.2-3 表 想定する火災源の発生熱量

火災源	発生熱量 Q (kW)
航空機火災 (F-15)	9.4 × 10 ⁴

(4) 熱気流が直接給気口に侵入する風速

以下の式を満たす熱気流が直接給気口に侵入する風速を算出した。算出結果を第 5.8.2-4 表に示す。

$$\tan \beta = 0.37 \Lambda^{-9/8} Fr^{0.0975}$$

$$\Lambda = \frac{U D^{1/3}}{(Q g / C_p \rho T_0)^{1/3}}$$

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{D g}}$$

$\tan \beta$: 火災源と給気口を結ぶ直線の傾き (rad)

- Λ : 無次元パラメータ, Fr : フルード数 (-)
 C_p : 空気比熱 (1.007kJ/kg/K)
 ρ : 空気密度 (1.17kg/m³) , T_0 : 周囲温度 (310K)
 D : 航空機火災 (F-15) の燃焼面積 (44.6m²)
 g : 質量低下速度 (kg/m²/s)

第 5.8.2-4 表 火災源と各対象の給気口を結ぶ直線の傾き

影響評価対象	無次元パラメータ Λ (-)	フルード数 Fr (-)	熱気流が直接開口に侵入する風速U (m/s)
D/G 吸気系フィルタ	1.7	1.4	12.2 ~ 12.9
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	0.9	0.7	6.4 ~ 11.8

D/G吸気系フィルタに対する熱気流の影響は、以下理由により回避可能であるため、以降では、使用済燃料乾式貯蔵建屋について評価した。

- ・吸気系フィルタは、開口面積が狭いことから熱気流を直接取り込むため必要となる風速が狭い範囲に限定されるため、直接熱気流を取り込む可能性は低い。
- ・D/G吸気系フィルタは位置的分散が図られているため、同時に全ての設備が直接熱気流の影響を受けることは想定し難い。
- ・万が一、熱気流を取り込む可能性がある場合は、影響を受けない方角に位置するディーゼル発電機を起動し、熱気流を取り込む可能性がある設備は起動しない（起動している場合は停止する）ことにより熱気流の影響を回避し、消火が確認された時点で、停止していたディーゼル発電機の運転を再開する。

5.8.3 評価結果

- (1) 火災に伴う建屋内の空気温度の上昇量

有風時の火災による熱気流の主軸温度分布式*より、火災に伴う建屋内の空気温度の上昇量を算出する。

※：「正方形熱源の風下における温度分布」（東北工業大学紀要 I 理工学編 第 16 号 1996）

$$\Psi_{x m} = \frac{1.32}{\Lambda^{1/2} Fr^{-0.8833}}$$

$$\Delta \theta_m = \frac{\Psi_{x m} \left(Q^2 T_0 / C_p^2 \rho^2 g \right)^{1/3}}{D^{1/3} X^{4/3}}$$

$\Psi_{x m}$ ：温度に関する無次元数 (-)

Λ ：無次元パラメータ, Fr ：フルード数 (-)

$\Delta \theta_m$ ：熱気流の主軸温度 (K)

Q ：発生熱量 ($9.4 \times 10^4 \text{ kW}$) , C_p ：空気比熱 (1.007 kJ/kg/K)

T_0 ：周囲温度 (310K) , ρ ：空気密度 (1.17 kg/m^3)

D ：航空機火災 (F-15) の燃焼面積 (44.6 m^2)

g ：質量低下速度 ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)

X ：火災源 (航空機火災 F-15) からの離隔距離 (22m)

建屋内の最高温度を評価した結果、許容温度 99°C 以下であることを確認した。評価結果を第 5.8.3-1 表に示す。

第 5.8.3-1 表 熱気流の主軸温度

影響評価対象	熱気流の主軸温度 ($^\circ\text{C}$)	建屋内の最高温度* ($^\circ\text{C}$)	許容温度 ($^\circ\text{C}$)
使用済燃料乾式 貯蔵建屋	52	97	<99

※：建屋内の最高温度 (97°C) = 周囲温度 (45°C) + 熱気流の主軸温度 (52°C)

現実には、火災源から発生した熱気流が貯蔵建屋の給気口に侵入するような風向及び風速の一定の条件が火災継続時間を通じて維持されるとは考

えられないこと、また、貯蔵建屋は大きな空間体積を持っており熱気流の侵入から建屋内空気の温度上昇までには一定の時間遅れがあることから、航空機火災による熱気流の温度上昇が直ちに建屋内空気の温度上昇に繋がることは考えられないが、航空機火災の熱気流による温度上昇量が 52℃ であることから、熱気流の侵入による貯蔵建屋内の空気温度の上昇がこれを上回ることはない。

(2) 建屋内空気温度の上昇によるドライキャスクへの熱的影響評価

貯蔵建屋内の空気温度が外部火災により上昇した場合、ドライキャスクの熱的影響として、①ドライキャスクが高温にさらされることによりドライキャスクの温度が上昇する、②貯蔵建屋内の空気の流れが変化することによりドライキャスクの除熱状態が変化し、金属キャスクの温度が上昇する、の 2 つの影響が考えられる。

ドライキャスクの除熱は、ドライキャスク表面からの輻射及びドライキャスク表面における貯蔵建屋内空気の対流により行われているが、建屋外壁からの熱伝達による外壁内表面からの輻射や熱気流の侵入により貯蔵建屋内の空気温度が極端に上昇した場合、熱の流れが逆転しドライキャスクが加熱される可能性が考えられる。

前項で評価したとおり、航空機火災に伴う貯蔵建屋内空気の温度上昇量は最大でも 52℃ 程度である。第 3.6.3-2 表に定常状態(周囲温度 45℃)におけるドライキャスク各部の最大温度評価結果を示す。

ここで、周囲温度が 52℃ 上昇したと仮定した場合 97℃ (周囲温度 45℃ + 熱気流による温度上昇 52℃) となるが、定常状態におけるドライキャスク各部の温度(第 5.8.3-2 表①)の値を上回らないことから、熱の流れが逆転しドライキャスクが加熱される可能性はなく、ドライキャスク表面における対流及び輻射が失われることはない。

第 5.8.3-2 表 ドライキャスク各部の温度評価結果（最高温度）

評価条件	一次蓋金属 ガスケット (°C)	二次蓋金属 ガスケット (°C)	外筒 (°C)	胴 (°C)	側部 レジン (°C)	燃料 被覆管 (°C)
①周囲温度 45°C の定常状態	99	99	128	156	146	265
②設計基準値	150	150	350	350	149	300
設計余裕 (②-①)	51	51	222	194	3	35

上記のとおり，熱気流侵入時であってもドライキャスク表面における対流及び輻射が失われることはないが，ドライキャスクの温度と周囲温度が同じとなり，建屋内のドラフト力が失われてドライキャスク表面における対流及び輻射が失われ断熱状態となることを仮定する。

この場合，ドライキャスク内の使用済燃料から発生する崩壊熱が全てドライキャスクの温度上昇に使われたものとして，ドライキャスクの温度上昇量を評価した。

ドライキャスクが断熱状態となる時間を，航空機火災の燃焼継続時間 5,000 秒間と仮定すると，この間のドライキャスクの温度上昇量 ΔT は下式となる。評価結果を第 5.8.3-3 表に示す。

$$\Delta T = \frac{Q t}{C}$$

ΔT : ドライキャスクの温度上昇量 (°C)

Q : キャスクの最大崩壊熱量 (17.1kW)

t : 断熱時間 (5,000s)

C : ドライキャスクの熱容量 (50,000kJ/K)

第 5.8.3-3 表 航空機火災を想定した断熱時の温度上昇量

影響評価対象	評価結果 (°C)
ドライキャスク	1.8

航空機火災を想定した断熱時の温度上昇量は 1.8°C となり、ドライキャスクの温度上昇量は定常状態(周囲温度 45°C)の最小の設計余裕である側部レジンの 3°C に比べて小さいため、ドライキャスクの除熱機能に影響はない。

対象航空機の種類

		民間航空機		自衛隊機，在日米軍機
		計器飛行方式	有視界飛行方式	
固定翼 (ジェット旅客機)	大型機	定期便：評価対象 (例) B747, B737 等	定期便：該当なし	評価対象 (例) F-15 等
		不定期便：評価対象外 ※1	不定期便：評価対象 (例) B747 等	
	小型機	定期便：評価対象外 ※2	定期便：評価対象外	評価対象 (例) LC-90 等
		不定期便：評価対象 ※3	不定期便：評価対象 (例) Do228 等	
回転翼 (ヘリコプター)	大型機	定期便：評価対象外 ※2	定期便：評価対象外 ※2	評価対象 (例) CH-47J 等
		不定期便：評価対象 ※3	不定期便：評価対象 (例) AS332L 等	
	小型機	定期便：評価対象外 ※2	定期便：評価対象外 ※2	評価対象 (例) AH-1S 等
		不定期便：評価対象 ※3	不定期便：評価対象 (例) AS365N3 等	

※1：計器飛行方式で飛行する大型固定翼機の不定期便は，定期便と比べて運航回数が極めて少ないことから，評価対象外とする。

※2：小型固定翼機及び回転翼機の定期便については，定期航空運送事業者の登録機数の割合から，運航頻度が大型機の定期便の数%であると判断できることから評価対象外とする。

※3：小型固定翼機及び回転翼機では，リクエストベースで計器飛行方式による飛行が可能となっているが，原則としては，有視界飛行方式による飛行形態を取っていることから，全て有視界飛行方式として評価することとする。

出典：「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」

- 計器飛行方式民間航空機
- 有視界飛行方式民間航空機（大型機）
- 有視界飛行方式民間航空機（小型機）
- 自衛隊機又は米軍機

各施設付近の空港と施設との距離について

発電所 名称	空港名	施設と空港 の距離※ ¹	最大離着陸 距離※ ²	判 定
東海第二 発電所	成田空港	約 80km	約 39km (21.2nm)	×
	茨城空港	約 36km	約 56km (30nm)	○

○：評価対象 ×：評価対象外

※¹：施設と空港の緯度，経度より計測した。

※²：A I Pを参照した。

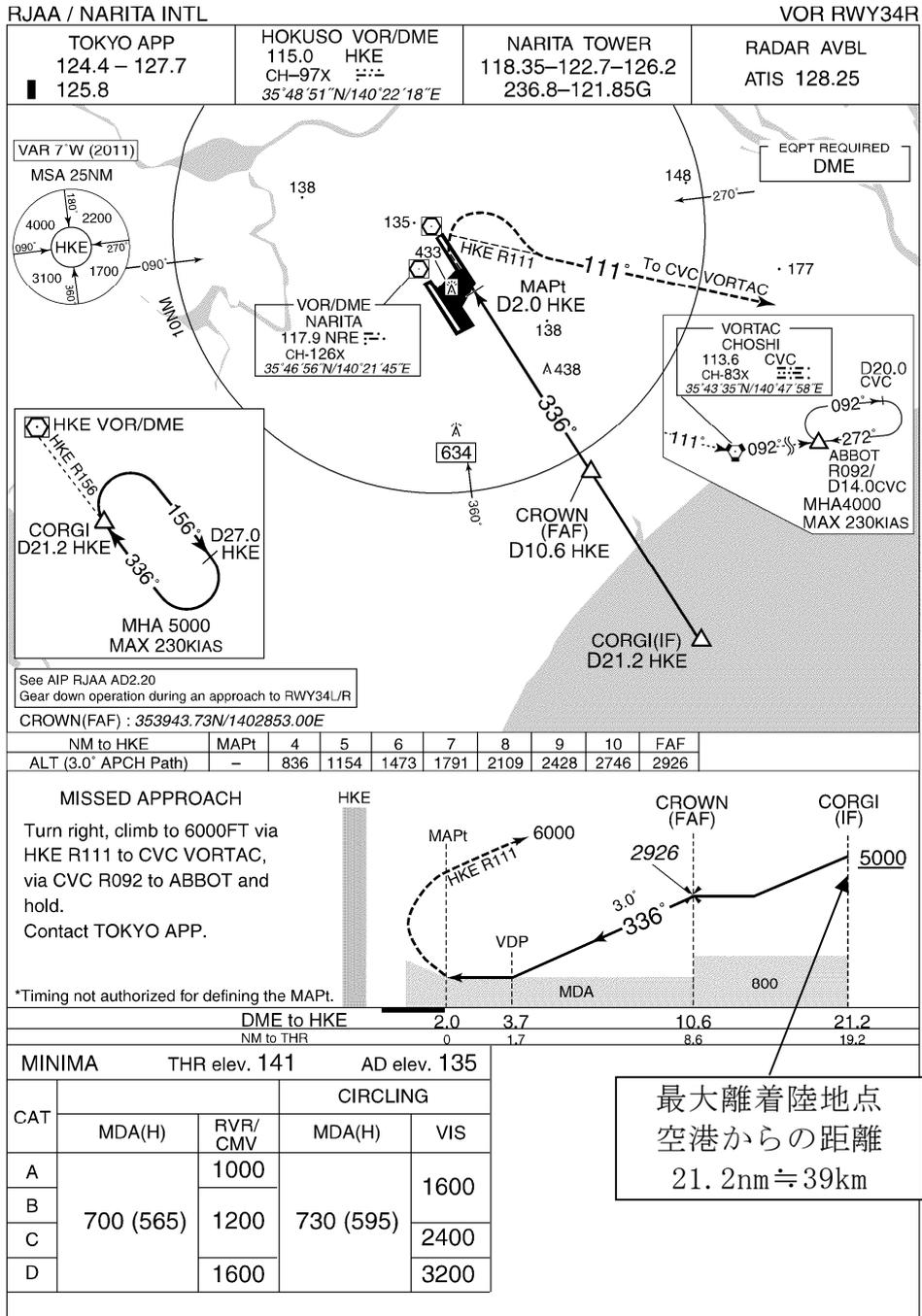
成田空港の最大離着陸地点までの距離

(成田空港～東海第二発電所の距離：約 80km)

RJAA-AD2-24.31

AIP Japan
NARITA INTL

INSTRUMENT APPROACH CHART



Civil Aviation Bureau, Japan (EFF:17 OCT 2013)

19/9/13

出典：A I P

茨城空港の最大離着陸地点までの距離

(茨城空港～東海第二発電所の距離：約 36km)

RJAH-AD-24.15

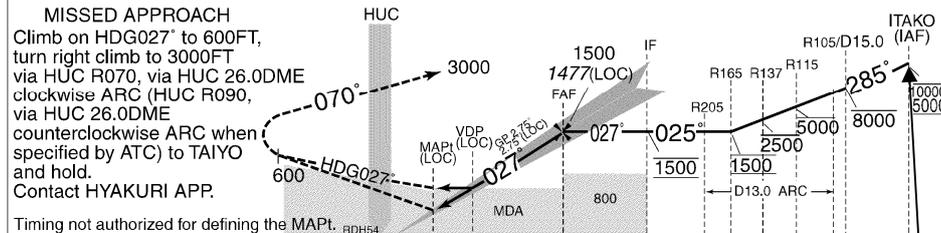
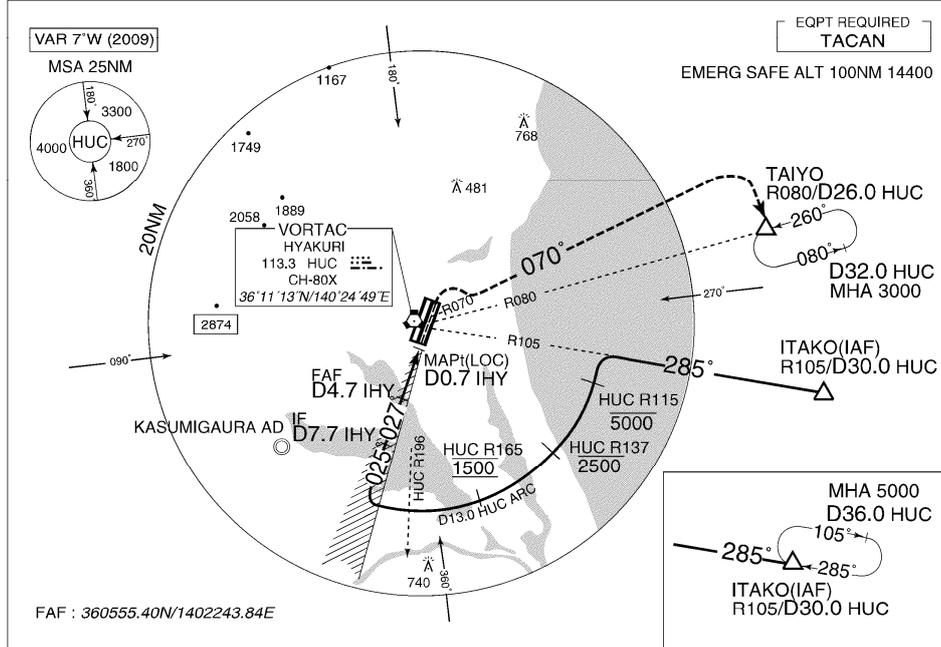
AIP Japan
HYAKURI

INSTRUMENT APPROACH CHART

RJAH / HYAKURI

ILS Y or LOC Y RWY03R

HYAKURI APP 120.1 - 123.875 305.7 - 362.3	ILS - LOC 109.3 IHY ILS-GP 332.0 ILS-DME CH-30X	HYAKURI TWR 118.025- 126.2 236.8 - 323.8 119.5G - 275.8G	RADAR AVBL
---	--	---	------------



DME to IHY	0.7	1.4	4.7	7.7
NM to THR	0	0.5	1.2	4.5

MINIMA	THR elev. 107		AD elev. 107			
	CAT I	LOC	CIRCLING			
CAT	DA(H)	RVR/CMV	MDA(H)	RVR/CMV	MDA(H)	VIS
A				900		1600
B	307 (200)	750	480 (373)	1000	580 (473)	
C						2400
D				1400	660 (553)	3200

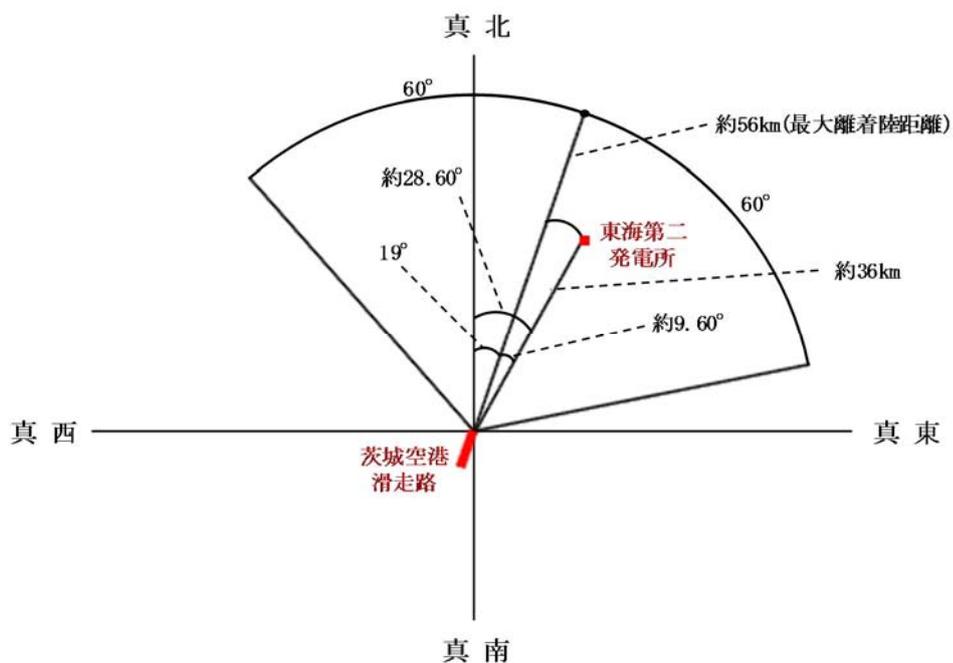
最大離着陸地点
空港からの距離
30nm ≒ 56km

茨城空港の滑走路方向に対する茨城空港－東海第二発電所の角度について

茨城空港の滑走路の方位は、 19° （真方位）（A I P記載のデータ）である。

また、茨城空港－東海第二発電所の方位は、約 28.60° （真方位）（茨城空港と東海第二発電所の緯度、経度より計測した。）である。

したがって、茨城空港の滑走路方向に対する茨城空港－東海第二発電所の角度は、約 9.60° となる。



各施設周辺における航空路と各航空路の幅について

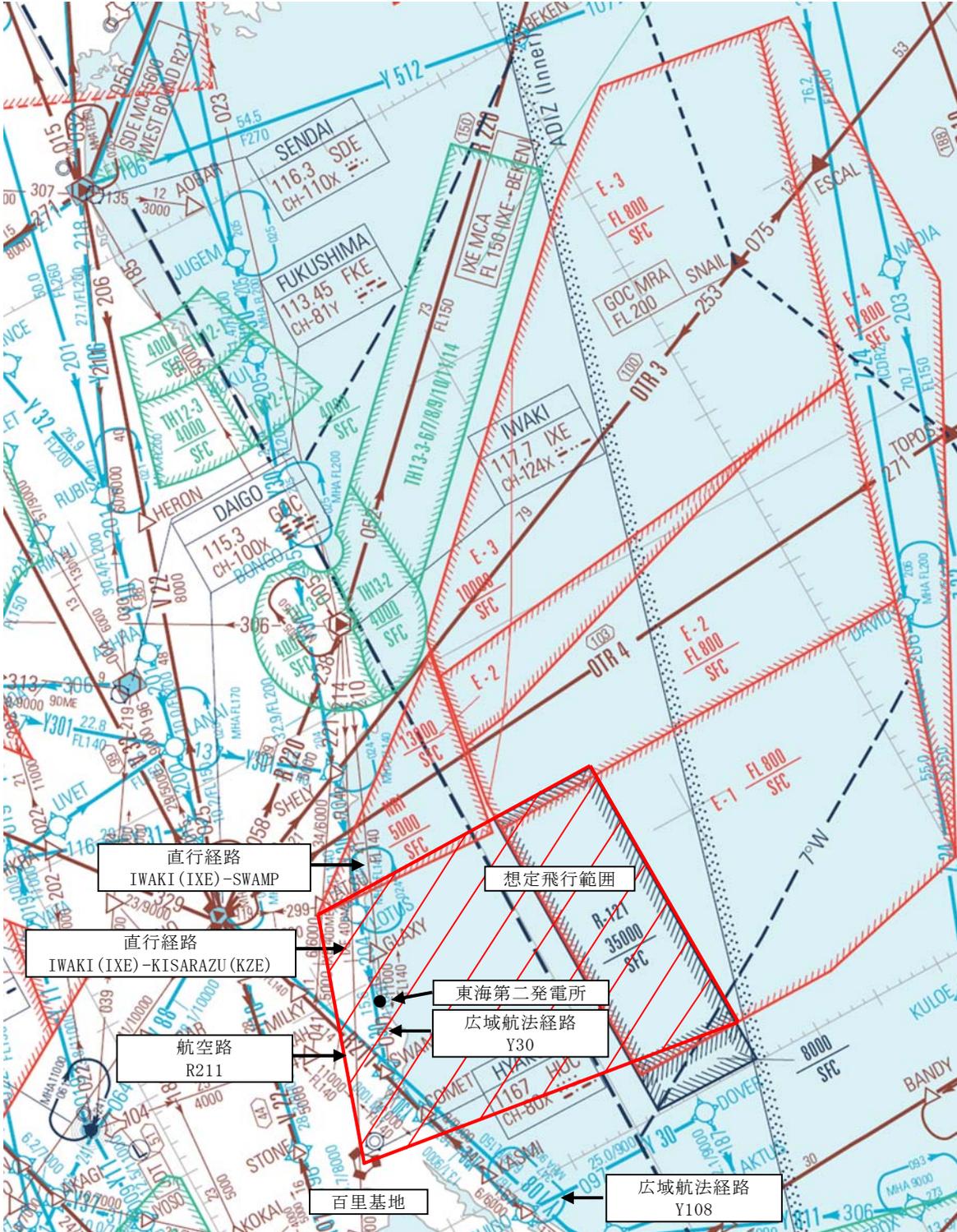
周辺の航空路の名称	航空路の中心線と 発電所間の 最小距離※ ¹	片側の 航空路幅※ ²	判定
航空路 R211 (DAIGO(GOC)－SWAMP)	約 11.36km	7km	×
直行経路 (IWAKI(IXE)－SWAMP)	約 0.68km	約 7.41km (4nm)	○
直行経路 (IWAKI(IXE)－KISARAZU(KZE))	約 4.13km	約 7.41km (4nm)	○
広域航法経路 Y30 (LOTUS－SWAMP)	約 1.18km	約 9.26km (5nm)	○
広域航法経路 Y108 (DAIGO(GOC)－CHOSHI(CVC))	約 11.44km	約 9.26km (5nm)	×

○：評価対象 ×：評価対象外

※¹：施設と航空路の緯度及び経度より計測した。

※²：航空路 R211 については、「航空路の指定に関する告示」に記載の値とした。直行経路については、「航空路等設定基準」を参照した。RNAV 経路については、航法精度を航空路幅とみなして用いた。(1nm = 1.852km として換算した。)

エンルートチャート（東海第二発電所付近）



出典：ENROUTE CHART（2014年3月6日改定）

「有視界飛行方式民間航空機（小型機）」の落下事故

で考慮している航空機の燃料量

	機 種	燃料量 (m ³)
小型固定翼機	ドルニエ Do228-200	2.4
	パイパーPA-42-1000	2.2
	セスナ 501	2.2
	ビーチ B200	2.1
	ガルフストリーム・コマンド 695	1.8
	セスナ 525/525A サイテーションジェット	1.8
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS365N3	1.6
	ベル 412	1.5
	シコルスキ S-76A	1.5
	ビーチ C90A	1.5
	セスナ 510	1.5
	セスナ 425	1.4
	セスナ 404	1.3
	セスナ 208	1.3
	セスナ 208B	1.3
	ユーロコプターEC155B/B1	1.3
	ベル 412EP	1.2
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS365N1	1.2
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS365N2	1.2
	ベル 430	1.1
	ソカタ TBM700	1.1
	シコルスキ S-76B	1.1
	シコルスキ S-76A+/S-76C/S-76C+/S-76C++	1.1
	ユーロコプターEC135P1/P2	0.9
	川崎 BK117B-1/B-2	0.9
	ピラタス PC-6/B2-H4	0.9
	セスナ 150L/M/A150L	0.9
	川崎 BK117C-2	0.9
	カマン K-1200	0.9
	ベル 212	0.8
	ベル 429	0.8
	富士ベル 205B	0.8
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS355F2	0.7
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS355F1	0.7
ユーロコプター(アエロスパシアル)AS355N	0.7	
ユーロコプターEC135T1/T2	0.7	
パイパーPA-31-350/PA-31P-350	0.7	
ベル 427	0.7	
川崎 BK117C-1	0.7	
ビーチ G58	0.7	
ビーチ 58	0.6	
セスナ 340	0.6	

	機 種	燃料量 (m ³)
小型固定翼機	アグスタ A109K2	0.6
	富士ベル 204B-2	0.6
	アグスタ A109E	0.6
	マグドネル・ダグラス 900	0.6
	アグスタ AW119Ke	0.6
	セスナ T303	0.6
	ユーロコプター (MBB) Bo105S	0.6
	アグスタ AW109SP	0.6
	ユーロコプター (アエロスパシアル) SA315B	0.6
	セスナ 182P/Q/R	0.6
	セスナ TU206F	0.6
	セスナ 207/T207	0.6
	アグスタ 109A II	0.6
	アグスタ A109C	0.6
	パイパー PA-23-250	0.5
	ユーロコプター (アエロスパシアル) AS350B2	0.5
	ユーロコプター EC130B4	0.5
	ユーロコプター (アエロスパシアル) AS350B3	0.5
	セスナ TU206G	0.5
	セスナ U206G	0.5
	ユーロコプター (アエロスパシアル) AS350B/BA	0.5
	ユーロコプター (アエロスパシアル) AS350BI	0.5
	ブリテン・ノーマン BN-2B-20	0.5
	ビーチ E33	0.5
	ビーチ 35-C33A/F33A/F33C	0.5
	ビーチ 36/A36	0.5
	ベル 407	0.5
	パイパー PA-46-310P	0.5
	パイパー PA-46-350P	0.5
	MD ヘリコプターズ 600N	0.5
	ロックウェル・コマンド 112	0.5
	ベル 206L-4	0.4
	セスナ 172P	0.4
	ソカタ/モランソルニエ MS885/893A	0.4
	ベル 206L-3	0.4
	ユーロコプター EC120B	0.4
	ビーチ B36TC	0.4
	パイパー PA-32R-301T	0.4
	パイパー PA-34-200	0.4
	パイパー PA-34-200T	0.4
パイパー PA-34-220T	0.4	
セスナ 172N	0.4	
セスナ 172K/L/M	0.4	
セスナ 182S	0.3	
セスナ T206H	0.3	
シーラス SR22/SR22T	0.3	

	機 種	燃料量 (m ³)
小型固定翼機	セスナ P210N	0.3
	セスナ T210M/N	0.3
	エンストロム 480B/TH480B	0.3
	ソカタ TB-20	0.3
	ソカタ TB21	0.3
	ビーチ A36TC	0.3
	ムーニーM20K	0.3
	パイパーPA-28RT-201T	0.3
	ベル 206B	0.3
	ロビンソン R66	0.3
	シュワイザー269D-A	0.3
	セスナ 172RG	0.3
	セスナ 210-5A	0.2
	セスナ 152	0.2
	ムーニーM20J	0.2
	ヒューズ/川崎 369E	0.2
	セスナ 150B/C	0.2
	ビーチ B24R	0.2
	ワコー・クラシック・エアクラフト YMF ワコーF5C	0.2
	セスナ 172S	0.2
	シーラス SR20	0.2
	ソカタ TB200	0.2
	エンストロム 280FX	0.2
	富士 FA-200-160	0.2
	富士 FA-200-180	0.2
	富士 FA-200-180A0	0.2
	ソカタ TB10	0.2
	セスナ 172R	0.2
	クリスティン・インダストリーA-1	0.2
	ガルフストリーム・エアロスペース AG-5B	0.2
	セスナ R172K	0.2
	ムーニーM20C	0.2
	ダイヤモンド DA42/DA42NG	0.2
	ロビンソン R44 アストロ/レイベン	0.2
	ダイヤモンド DA40	0.2
	パイパーPA-28-140	0.2
	パイパーPA-28-151	0.2
	パイパーPA-28-161	0.2
	パイパーPA-28-180	0.2
	パイパーPA-28-181	0.2
	パイパーPA-28R-200	0.2
	ロビンソン R44 II	0.2
	モール M-7-235C	0.2
エクストラ EA300S, 300/L	0.2	
ジャイロフルーク SC01B-160	0.2	
セスナ 172	0.2	

	機 種	燃料量 (m ³)
小型固定翼機	ソカタ TB9	0.2
	セスナ 172B, D, G, H	0.1
	パイパーPA-28R-201	0.1
	パイパーPA-28R-201T	0.1
	ベランカ 7GCBC/8KCAB	0.1
	パイパーPA-18-150	0.1
	シュワイザー269C-1	0.1
	エクストラ EA300/200	0.1
	ロビンソン R22Beta/Mariner	0.1
	ヒューズ 269C	0.1
	リバティールXL-2	0.1
	アビオン・ピエール・ロバン DR400/180R	0.1
	ピッツ S-2B/S-2C	0.1

自衛隊機又は米軍機の用途による分類について

自衛隊機又は米軍機の落下事故には、「⑤訓練空域外を飛行中」の落下事故と「⑥基地－訓練空域間を往復時」の落下事故がある。

⑤及び⑥について、自衛隊機が保有する機種を代表として、用途による飛行形態を踏まえてカテゴリ进行分类し、燃料積載量が最大となる対象の航空機を整理した。

1. 訓練空域外を飛行中の落下事故

自衛隊機の用途としては、「連絡偵察」、「哨戒」、「戦闘」、「偵察」、「輸送」、「空中給油」、「早期警戒」等がある。

下表に代表的な自衛隊機における用途等を示す。

所属	機種	形式	用途	寸法 (m)		燃料量 ^{※1} (m ³)
				全長	全幅	
陸上 自衛隊	LR-1	小型固定翼	連絡偵察	10	12	約 0.9
	LR-2	大型固定翼	連絡偵察	14	18	約 2
	AH-1S	小型回転翼	対戦車	14	3	約 1
	OH-6D	小型回転翼	観測	7	2	約 0.2
	OH-1	小型回転翼	観測	12	3	約 1
	UH-1H/J	小型回転翼	多用途	12/13	3	約 0.8
	CH-47J/JA	大型回転翼	輸送	16	4/5	約 4
	UH-60JA	大型回転翼	多用途	16	3	約 3
	AH-64D	大型回転翼	戦闘	18	6	約 1
海上 自衛隊	P-3C	大型固定翼	哨戒	36	30	約 35
	P-1	大型固定翼	哨戒	38	35	≦ KC-767 ^{※2}
	SH-60J	大型回転翼	哨戒	15	3	約 1
	SH-60K	大型回転翼	哨戒	16	3	約 1
	MH-53E	大型回転翼	掃海 ・輸送	22	6	約 12
	MCH-101	大型回転翼	掃海 ・輸送	23	19	約 5
航空 自衛隊	F15J/DJ	大型固定翼	戦闘	19	13	約 15
	F-4EJ	大型固定翼	戦闘	19	12	約 12
	F-2A/B	大型固定翼	戦闘	16	11	約 11
	RF-4E/EJ	大型固定翼	偵察	19	12	約 13
	C-1	大型固定翼	輸送	29	31	約 16
	C-130H	大型固定翼	輸送	30	40	約 37
	KC-767	大型固定翼	空中給油 ・輸送	49	48	約 145
	KC-130H	大型固定翼	空中給油 機能付加	30	40	約 37
	E-2C	大型固定翼	早期警戒	18	25	約 7
	E-767	大型固定翼	早期警戒 管制	49	48	≦ KC-767 ^{※2}
	CH-47J	大型回転翼	輸送	16	4	約 4

出典：平成 28 年度版防衛白書等

※ 1：増槽（機体の外部に装着して使用する燃料タンク）の燃料量を考慮した値。

※ 2：P-1 及び E-767 の燃料量は不明であるが、P-1 については KC-767 より寸法が小さく空中給油機能を備えていないこと、E-767 については KC-767 と寸法は同一であるものの空中給油機能を備えていないことから、KC-767 に比べて燃料量は少ないと想定される。

以下の機種については、原子力発電所付近で低高度での飛行を行うことはないため、「⑤-1 空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機」として整理し、その他については、「⑤-2 その他の大型固定翼機及び回転翼機」として整理した。

- ・高高度での巡航が想定される「空中給油」及び「早期警戒」を用途とした機種
- ・目的地付近で低高度での飛行となるものの移動は高高度の巡航を行うものと想定される「哨戒」及び「輸送」を用途とした機種（「哨戒」の目的地は海上、「輸送」の目的地は基地又は空港）

下表に代表的な自衛隊機のうち燃料量の観点から大型機のみについて、上記のカテゴリで整理した結果を示す。

カテゴリ	用途	該当する航空機	寸法 (m)		燃料量 ^{※1} (m ³)
			全長	全幅	
空中給油機， 高高度での 巡航が想定 される大型 固定翼機	「空中給油」，「早 期警戒」，「哨 戒」，「輸送」を用 途とする大型固定翼 機	P-3C	36	30	約 35
		P-1	38	35	≤KC-767
		C-1	29	31	約 16
		C-130H	30	40	約 37
		KC-767	49	48	約 145
		KC-130H	30	40	約 37
		E-2C	18	25	約 7
E-767	49	48	≤KC-767		
その他の大 型固定翼 機，小型固 定翼機及び 回転翼機	上記以外を用途とす る大型固定翼機，小 型固定翼機及び回転 翼機	LR-2	14	18	約 2
		CH-47J	16	4	約 4
		UH-60JA	16	3	約 3
		AH-64D	18	6	約 1
		SH-60J	15	3	約 1
		SH-60K	16	3	約 1
		MH-53E	22	6	約 12
		MCH-101	23	19	約 5
		F-15J/DJ	19	13	約 15
		F-4EJ	19	12	約 12
		F-2A/B	16	11	約 11
RF-4E/J	19	12	約 13		

出典：平成 28 年度版防衛白書等

※ 1：増槽の燃料量を考慮した値。

上記の分類を踏まえ、「⑤訓練空域外を飛行中の落下事故」で考慮するカ
テゴリとして、燃料量が最大となる航空機を下表に示すとおり整理した。

カテゴリ	対象とする航空機の内訳	対象 航空機	燃料量 ^{※1} (m ³)
空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	「空中給油」，「早期警戒」，「哨戒」，「輸送」を用途とする大型固定翼機	KC-767	145.03
その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	「戦闘」，「連絡偵察」，「偵察」等を用途とする大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	F-15	14.87

※ 1：増槽の燃料量を考慮した値。

2. 基地－訓練空域間を往復時の落下事故

下表に「④基地－訓練空域間を往復時」の落下事故において考慮している百里基地に所属する自衛隊機を示す。

所 属	機 種	形 式	用 途	寸法 (m)		燃料量 ^{※1} (m ³)
				全長	全幅	
航空 自衛隊	F15J/DJ	大型固定翼	戦闘	19	13	約 15
	F-4EJ	大型固定翼	戦闘	19	12	約 12
	T-4	大型固定翼	中等練習	13	10	約 3
	RF-4E/EJ	大型固定翼	偵察	19	12	約 13
	U-125A	大型固定翼	救難捜索	16	16	約 6
	UH-60J	大型回転翼	救難救助	20	16	約 3

出典：平成 28 年度版防衛白書，航空自衛隊ウェブページ（H29 年 7 月確認）等

※ 1：増槽の燃料量を考慮した値。

百里基地に所属する自衛隊機のうち燃料量が最大の航空機を対象とし，下表のとおり整理した。

カテゴリー	対象とする航空機の内訳	対象 航空機	燃料量 ^{※1} (m ³)
④基地－訓練空域間 往復時	試験空域において訓練を行うと 想定される百里基地に所属する 固定翼機及び回転翼機	F-15	14.87

※ 1：増槽の燃料量を考慮した値。

航空機落下確率評価手法の保守性について

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（内規）」に記載されているとおり、航空機落下確率評価手法には以下の保守性がある。

(1) 計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における落下事故

原子力施設付近の上空の飛行はできる限り避けるよう指導等がなされているため、離着陸時においても原子力施設付近における飛行は極めて少なくなるものと考えられるが、当該原子炉施設に係る離着陸時の落下確率として、この指導等による効果を考慮せずに、国内の飛行場における離着陸時の事故件数及び当該飛行場の着陸回数から求めることとしている。

さらに、評価に用いる落下地点の確率分布は、評価対象区域の扇型内一様分布及び周方向に正規分布を仮定し、いずれか厳しい方を用いている。

(2) 有視界飛行方式で飛行する民間航空機の落下事故

有視界飛行方式で飛行する民間航空機の落下確率評価における評価式は、有視界飛行が全国的に均一して行われているものと仮定し全国平均値を求めることとしている。しかしながら、一般に、こうした有視界飛行については、原子力施設付近の上空をできるだけ飛行しないよう指導されていること、原子力関係施設の上空については、航空法第 81 条に基づく最低安全高度以下の高度での飛行に係る国土交通大臣の許可が与えられないこととなっていること、及び民間航空機の訓練空域が原子炉施設の上空に存在する場合には自衛隊機の訓練空域と同様な飛行規制が取られているこ

とから、有視界飛行中の民間航空機が原子炉施設に落下する可能性は他の地域に比べて十分低いと考えられる。さらに、原子炉施設設置者は、原子炉施設上空からの視認性を向上させるために、自主的に灯火を設置している。したがって、こうした実態を考慮すると、有視界飛行中の民間航空機の落下確率について、全国平均値を評価に用いることには十分な保守性があると言える。

(3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故

訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の自衛隊機又は米軍機の落下確率評価式は、いずれも、訓練空域が全国的に均一して分布していると仮定し全国平均値で評価を行うというものである。しかし、自衛隊機の訓練空域が原子炉施設の上空に存在する場合には飛行機規制が取られていること（当該空域における訓練飛行中は通常の飛行時に比べ機器の操作頻度が多いことに鑑み、従来から国土交通省により原子炉施設から半径2海里以内、高度2000ft以下（半径約3.6km以内、高度約600m以下）の範囲が訓練空域から除外されている。）、米軍機についても原子炉施設上空の飛行規制に係る協力要請を行っており周知徹底を行う旨回答を得ていること及びこれまでの事故の実績を考慮すると、訓練空域外を飛行中の自衛隊機又は米軍機が原子炉施設に落下する確率として全国平均値を用いることには保守性があると言える。

離隔距離の算出方法について

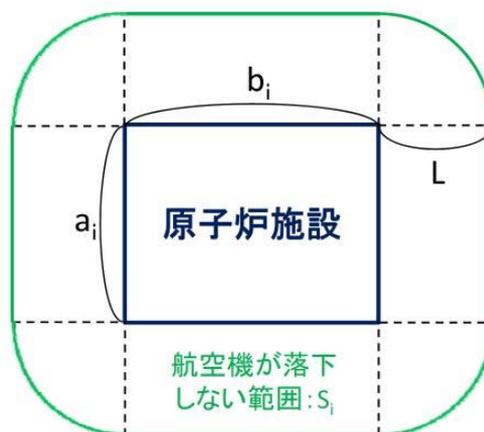
1. 考え方

各影響評価対象施設における離隔距離が一定に確保されるように、影響評価対象施設近辺の航空機が落下しない範囲の面積の和が落下確率 10^{-7} (回/炉・年) に相当する面積となるまで標的面積を拡大させたときの離隔距離を算出する方法を用いた。

2. 離隔距離算出方法

影響評価対象施設の各辺の長さを (a_i, b_i) とした場合、離隔距離を L とすると、当該影響評価対象施設近辺の航空機が落下しない範囲 (面積: S_i) は以下の式で表される。

$$S_i = \pi L^2 + 2L(a_i + b_i) + a_i b_i$$



離隔距離の概念図

上記の式を用いて、全ての影響評価対象施設に対して S_i を計算し、それらを合計した上で L について解くことで離隔距離が得られる。

なお、各施設間の距離が近く、航空機が落下しない範囲が重なる範囲が重なる場合は、重なった範囲の面積を分配して再計算することで、航空機落下確率 10^{-7} (回/炉・年) に相当する面積に近づける。

計器飛行方式民間航空機 大破事故概要

(平成 5 年～平成 24 年)

離着陸時の大破事故

(離陸時)

発生年月日	場 所	機 種	機体の損傷	運航形態
平成 8 年 6 月 13 日	福岡空港	ダグラス DC-10-30 型	大破	離陸

(着陸時)

発生年月日	場 所	機 種	機体の損傷	運航形態
平成 5 年 4 月 18 日	花巻空港	ダグラス DC-9-41 型	大破	着陸
平成 6 年 4 月 26 日	名古屋空港	エアバス・イ ンダストリー A300B4-622R 型	大破	着陸
平成 21 年 3 月 23 日	成田国際空港 滑走路	ダグラス MD-11F 型	大破	着陸

巡航中の大破事故

発生年月日	場 所	機 種	機体の損傷	運航形態
該当なし	—	—	—	—

日本国機の運航回数及び運航距離

- ・ 計算に用いる数値は、「航空輸送統計年報 第1表 総括表」の次の値とする。
 - ①日本国機の運航回数は、国内便、国際便ともに定期便＋不定期便の値。
 - ②日本国機の運航距離は、国内便のみの定期便＋不定期便の値。
- ・ 日本国機の国際便は、日本から海外までの距離が記載されているが、日本国内での運航距離ではないため、保守的に考慮しない。
- ・ 日本に乗り入れている外国機は、運航距離について実績の公開記録がないため、保守的に考慮しない。
- ・ ただし、日本国機の国際便及び外国機の落下事故が、日本国内で落下した場合は評価対象とする。

	日本国機の運航回数 (運航回)			日本国機の運航距離 (飛行回・km)
	国内便	国際便	計	国内便
平成 5 年	466,787	57,451	524,238	326,899,203
平成 6 年	484,426	60,038	544,464	343,785,576
平成 7 年	531,508	67,908	599,416	380,948,123
平成 8 年	543,238	72,425	615,663	397,146,610
平成 9 年	562,574	77,134	639,708	420,920,228
平成 10 年	587,308	83,070	670,378	449,784,623
平成 11 年	594,957	85,804	680,761	459,973,069
平成 12 年	660,979	87,977	748,956	480,718,878
平成 13 年	671,618	86,824	758,442	489,803,107
平成 14 年	683,929	93,062	776,991	498,685,881
平成 15 年	700,184	92,381	792,565	519,701,117
平成 16 年	698,960	101,659	800,619	517,485,172
平成 17 年	709,377	106,078	815,455	527,370,038
平成 18 年	740,741	104,798	845,539	555,543,154
平成 19 年	741,949	112,605	854,554	559,797,874
平成 20 年	733,979	118,503	852,482	554,681,669
平成 21 年	716,640	110,234	826,874	544,824,157
平成 22 年	716,538	101,721	818,259	548,585,258
平成 23 年	717,100	96,292	813,392	555,144,327
平成 24 年	770,262	105,086	875,348	608,215,704
合計	13,033,054	1,821,050	14,854,104	9,740,013,768

※：離着陸回数は、国内便の場合は離陸回数＝着陸回数＝運航回数とし、国際便の場合は、離陸回数＝着陸回数＝1/2 運航回数とする。
(離着陸回数＝離陸回数＋着陸回数＝国内便運航回数×2＋国際便運航回数＝13,033,054×2＋1,821,050＝27,887,158)

計器飛行方式民間航空機の飛行場を離着陸時における落下事故の

確率分布関数について

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（内規）」に基づき、計器飛行方式民間航空機の「①飛行場（茨城空港）での離着陸時」における落下事故の確率分布関数には、滑走路端から最大離着陸地点までの直線距離（ r_0 ）内の内円で滑走路方向両側に対し $\pm 60^\circ$ 以内の扇型に一様な分布又は周方向で正規分布を仮定し、評価結果が厳しい方を用いる。下式にて評価した結果、今回の評価では、下表に示すとおり厳しい方である正規分布を仮定した方法を用いることとする。

（一様分布）

$$\Phi(r_0, \theta) = \frac{1}{A_{d,a}} \quad (\text{／km}^2)$$

$$A_{d,a} = \frac{2}{3} \pi r_0^2 \quad (\text{km}^2)$$

（正規分布）

$$\Phi(r_0, \theta) = \frac{1}{A_{d,a}} f(x) \quad (\text{／km}^2)$$

$$A_{d,a} = \frac{2}{3} \pi r_0^2 \quad (\text{km}^2)$$

$$f(x) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \cong 2.1 \times \exp\left(\frac{-30.42x^2}{\pi^2 r_p^2}\right)$$

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = \int_{-\pi r/3}^{\pi r/3} Pdx = \frac{2}{3} \pi r_p$$

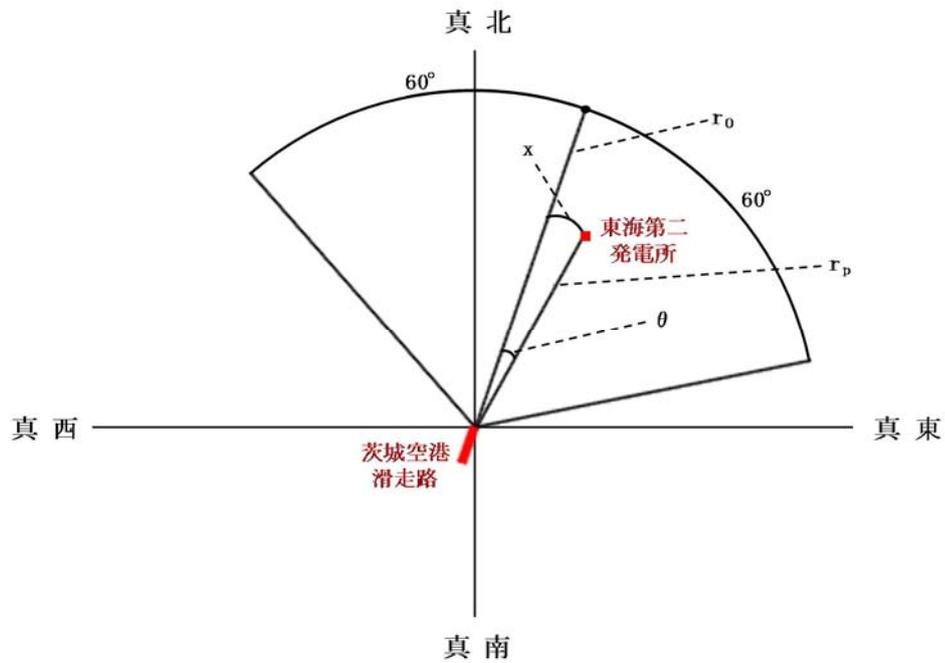
$$\sigma = \frac{\pi r}{3 \times 2.6}$$

r_p : 滑走路端から原子炉施設までの距離 (径方向) (km)

x : 滑走路軸上から原子炉施設までの距離 (周方向) (km)

$$x = r_p \times \theta$$

θ : 滑走路方向に対する空港－原子炉施設の角度 (rad)



項目	確率密度 (/ km ²)
一様分布	約 1.55 × 10 ⁻⁴
正規分布	約 2.98 × 10 ⁻⁴

評価対象期間において落下事故実績がないカテゴリの
航空機落下確率について

1. 落下事故実績がないカテゴリの航空機落下確率推定方法について

航空機落下確率評価では、過去 20 年間における落下事故件数の統計データに基づき航空機落下確率を算出しているが、平成 5 年～24 年において、以下のカテゴリについては落下事故が発生していない。

- (1) 計器飛行方式民間航空機の「②航空路を巡航中」の落下事故
- (2) 有視界飛行方式民間航空機の「③大型機」の落下事故（大型固定翼機）
- (3) 自衛隊機又は米軍機の「⑤訓練空域外を飛行中」の「⑤-1 空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機」の落下事故
- (4) 自衛隊機又は米軍機の「⑥基地－訓練空域間往復時」の落下事故

そのうち、(4)のカテゴリに対する航空機落下確率の推定には、その方法の適用性（2. 参照）及び保守性（3. 参照）が確保されており、「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的リスク評価に関する実施基準（レベル 1PRA 編）：2013」（一般社団法人 日本原子力学会）（以下「PRA 学会標準」という。）において、過去発生していない起因事象に対する起因事象発生頻度の算出方法として使用が認められている、以下の χ 二乗分布を用いた方法を使用した。

$$F = \chi^2(1, 0.5) / 2T = 0.2275 / T \text{ (回 / (飛行回} \cdot \text{km) 又は回 / 年)}$$

T : 対象期間 (=20 年)

2. 航空機落下確率評価への χ 二乗分布を用いた方法の適用性

PRA 学会標準の参考文献として引用されている NUREG/CR-4407 “Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants”によると、事象

発生頻度の推定方法として、 χ 二乗分布を用いた方法を適用するためには、事象発生頻度がポアソン分布に従っていることが条件となる。

ポアソン分布は、一般的に確率が極めて小さい事象（例えば、交通事故による1日の死亡数）の発生頻度を処理する確率モデルとして使われるが、航空機の年間の落下事故率がポアソン分布に従うかどうかを判断するために、国内における昭和58年～平成23年の29年間の国内の自衛隊機の「基地－訓練空域間往復時」の落下事故率を対象に、母集団の分布形の検定に使用される χ 二乗分布を用いた適合度検定（ χ 二乗検定）を実施した。本検定は、観測度数と理論度数の差が有意かどうかについて、 χ 二乗分布を用いて検定する統計的手法である。

適合度検定の結果を下表に示す。

落下事故件数 x [件]	落下事故件数に 対する実年数 f [年]	ポアソン分布 P(f) ^{※1}	ポアソン分布 から推定した 理論年数 e ^{※2} [年]	χ^2 ^{※3}
0	23	約 0.759	約 22.0	約 0.0447
1	4	約 0.209	約 6.07	約 0.707
2	2	約 0.029	約 0.84	約 1.61
3	0	約 0.003	約 0.08	約 0.0770
4 以上	0	約 0.000	約 0.01	約 0.00562
合 計	29	1.00	29.0	約 2.45

$$\text{※1} : P(x) = \frac{\exp(-m) \cdot m^x}{x!}$$

m : 落下事故件数標本平均（約 0.276 件）

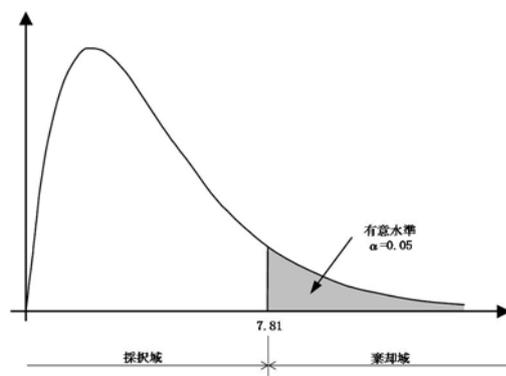
x : 落下事故件数

$$\text{※2} : P(f) \times 29[\text{年}]$$

$$\text{※3} : (f - e)^2 / e$$

検定統計量である χ 二乗分布の自由度は3（＝（組分けの数5）－1－推定される母数の数1）であり、一般的に用いられる有意水準 $\alpha = 0.05$ を用いると、検定の判定点は χ 二乗分布表より7.81（＝ $\chi^2(3, 0.05)$ ）で与えら

れる。



χ 二乗分布表

自由度	上側有意確率										
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.9	0.5	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.00004	0.00016	0.00098	0.0039	0.0158	0.455	2.710	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01003	0.02010	0.0506	0.1026	0.211	1.386	4.61	5.99	7.38	9.21	10.6
3	0.07172	0.1148	0.2158	0.352	0.584	2.37	6.25	7.81	9.35	11.3	12.8
4	0.2070	0.2971	0.484	0.711	1.06	3.36	7.78	9.49	11.1	13.3	14.9
5	0.4117	0.554	0.831	1.15	1.61	4.35	9.24	11.07	12.8	15.1	16.8

χ 二乗値は約 2.45 であり、判定点より小さいことから、観測度数（ここでは、実年数）と理論度数（ここでは、理論年数）の差は有意であるとは言えない。

したがって、国内の自衛隊機の「基地－訓練空域間往復時」の落下事故率にポアソン分布を当てはめることは可能であり、航空機落下確率評価に χ 二乗分布を用いた方法を適用することが可能であると判断した。

3. 東海第二発電所における落下事故率推定方法の保守性について

3.1 χ 二乗分布を用いた方法の保守性について

「⑥基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故について、 χ 二乗分布を用いた方法により求めた航空機落下確率と、全国の基地－訓練空域間を往復時の落下事故件数及び全国の基地の想定飛行範囲の面積を用いた全国

平均の航空機落下確率は下表のとおりである。下表より、全国データを用いた方法により求めた航空機落下確率よりも、 χ 二乗分布を用いた方法により求めた航空機落下確率の方がより高い確率値となり、 χ 二乗分布を用いた方法が保守的に設定されていることを確認している。

なお、全国平均の航空機落下確率は、評価の母集団を大きくすることにより、百里基地－訓練空域間では 0 件であった落下事故件数を実績値（5 件）に基づき評価していること、基地－訓練空域間を往復時の落下確率が基地毎に大きく異なることは考えにくいことを考慮すると、全国データを用いた方法により求めた航空機落下確率は信頼性があると考ええる。

項 目	航空機落下確率（回／炉・年）
χ 二乗分布を用いた方法	約 3.81×10^{-8} (=0.2275 件／20 年／4,540km ² × 0.015199km ²)
全国データを用いた方法	約 2.16×10^{-8} (=5 件／20 年／175,720km ² × 0.015199km ²)

3.2 想定飛行範囲の面積を用いた評価式の保守性について

「⑥基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の航空機落下確率は、下式のとおり評価している。

$$Pse = fse \cdot A / Sse \quad \dots \dots \dots (A)$$

Pse：対象施設への航空機落下確率（回／年）

fse：基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）

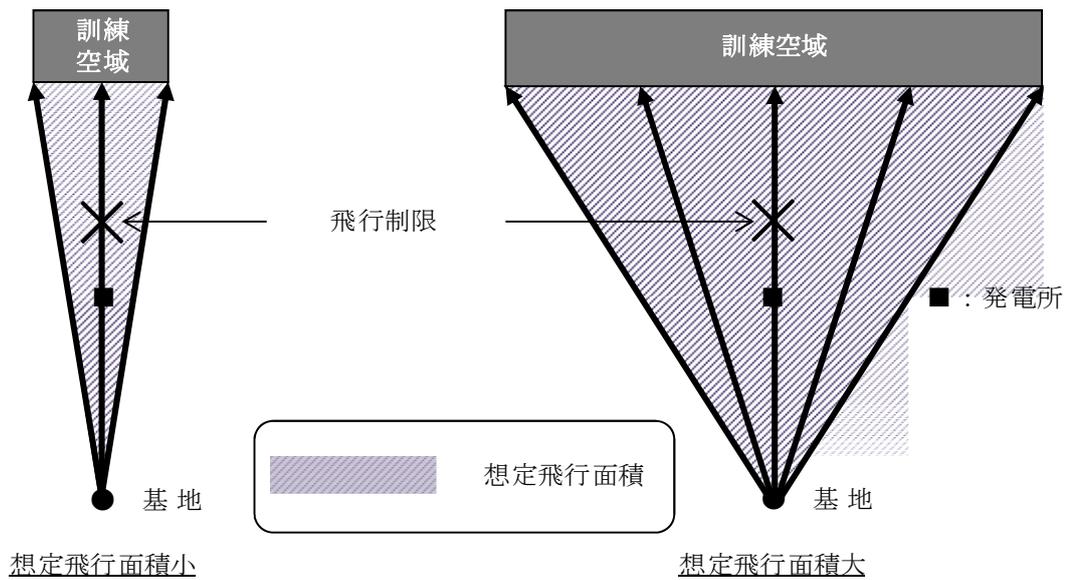
A：原子炉施設の標的面積（km²）

Sse：想定飛行範囲の面積（km²）

(A)式によると、想定飛行範囲の面積（Sse）が小さいほど、大きな落下確率となる。これは、基地－訓練空域間を簡易的に一様に飛行すると仮定しているためである。

しかし、別紙 7.7 に示すとおり、実際には原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されているため、発電所上空を含めて基地－訓練空域間を一様に飛行することはない。

このため、想定飛行範囲の面積が小さくなるほど、より保守的な落下確率を与えることとなる。（下図参照）



想定飛行面積と航空機落下確率の関係（概略図）

また、新規制基準に係る適合性の審査の申請をしている発電所のうち、自衛隊機の「⑥基地－訓練空域間往復時」の航空機落下確率を(A)式により評価しているプラントは、東海第二発電所を含めて 6 つあり、これらのプラントにおける想定飛行範囲の面積は下表のとおりである。

発電所名称	想定飛行範囲の面積 (km ²)
東海第二発電所	4,540
川内原子力発電所 1, 2 号炉	19,400
玄海原子力発電所 3, 4 号炉	10,200
伊方発電所 3 号炉	40,080

上述のとおり，原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されていることを踏まえると，東海第二発電所では，他プラントに比べて想定飛行範囲の面積が小さいため，他プラントの落下確率に比べてより大きな保守性を含んでいると考える。

4. 確率論的リスク評価における起因事象発生件数との取扱いの差異について

上記のとおり，「⑥基地－訓練空域間往復時」の航空機落下確率評価では， χ 二乗分布を用いた方法を使用している。一方，今回の申請における確率論的リスク評価では，発生実績のない起因事象の発生頻度として，0.5回を使用しており，両者において異なる取扱いとなっている。この理由を以下に説明する。

(1) 航空機落下確率評価

全国の基地－訓練空域間では落下事故が5件発生しており，「基地－訓練空域間往復時」の落下確率が基地毎に大きく異なることは考えにくいことから，全国データを用いた方法による「基地－訓練空域間往復時」の航空機落下確率（約 2.16×10^{-8} 回／炉・年）は国内における平均的な落下事故確率と考えられる。これに対して， χ 二乗分布を使用する方法による「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の航空機落下確率（約 3.81×10^{-8} 回／炉・年）は大きく，保守性は確保されている。

また，原子力施設付近の上空の飛行はできる限り避けるよう指導等がなされているが，航空機落下確率評価においてこれを考慮していないため，この点においても保守性は確保されている。

以上より，航空機落下確率評価では保守性は十分に確保されていると考えられるため， χ 二乗分布を使用する方法を採用することとした。

(2) 確率論的リスク評価

PRA 学会標準では、過去発生していない起因事象に対する起因事象発生頻度の算出方法として、「発生件数を1件、又は0.5件とする」「 χ 二乗分布を使用する」「対数正規分布を使用する」方法が認められている。

ここで、今回の申請における確率論的リスク評価の目的が、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であることを踏まえると、以下の観点から、上記のいずれの方法を用いても確率論的リスク評価の目的への影響はないものとする。

- ・PRA 学会標準に認められているいずれの方法を用いても、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影響はないこと
- ・確率論的リスク評価から抽出される事故シーケンスグループに対して、その発生頻度によらず、炉心損傷防止対策が有効であることを確認していること

また、確率論的リスク評価については、航空機落下確率評価のように参照すべき平均的なデータは存在していない。

このため、今回の申請における確率論的リスク評価では、発生実績のない起因事象の発生頻度として、代表的に0.5回とした。

原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）

昭和 44 年 2 月 6 日
陸幕航第 59 号

改正 平成 10 年 3 月 23 日陸幕運第 145 号 平成 19 年 1 月 9 日陸幕法第 1 号
平成 19 年 3 月 28 日陸幕法第 61 号 平成 21 年 2 月 3 日陸幕法第 10 号

各方面総監
中央即応集団司令官 殿
中央管制気象隊長
航空学校長

陸上幕僚長の命により
総務課長

（例規 99）

原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）

標記について、さきに防衛事務次官の指示に基づきその実施について通達したところであるが、その後さらに細部について示されたので、今後下記により実施されたい。

なお、陸幕航第 583 号（43. 9. 2）は廃止する。

記

- 1 原子力関連施設上空の飛行は、原則として行わないものとする。
- 2 管制機関の指示又は原子力関連施設の位置等の関係から、やむを得ずその上空を飛行する必要がある場合には、動力装置の停止等緊急事態が発生してもこれらの施設に危害を及ぼさないような高度及び経路で飛行するものとする。
- 3 原子力関連施設は航空路図誌（防衛省監修）に記載され、その設置・廃止等の状況は逐次追録されるので、関係者に当該施設の位置を周知徹底させるものとする。

χ 二乗分布を用いた方法による発生率の導出について

ランダムに事象が発生する場合において、事象の発生率は二項分布に従うとするのが一般的である。

また、発生件数が小さい場合には、ポアソン分布での近似が可能である。

発生率がポアソン分布に従う場合、その平均値 λ の 100 (1 - α) % 信頼区間は χ 二乗分布を使用して、

$$\frac{\chi^2(2N, 1 - \frac{\alpha}{2})}{2T} \leq \lambda \leq \frac{\chi^2(2N + 2, \frac{\alpha}{2})}{2T} \quad (N : \text{発生件数}, T : \text{期間})$$

で表される。

点推定値は、信頼上限及び信頼下限の平均の自由度をもつ χ 二乗分布の中央値を用いて、

$$\lambda = \frac{\chi^2(2N + 1, 0.5)}{2T}$$

で表される。なお、NUREG/CR-4407 においても、点推定値の算出に信頼上限及び信頼下限の平均の自由度をもつ χ 二乗分布の中央値を用いている。

以上より、発生件数がポアソン分布に従う場合、0 件 (N=0) である場合における発生率 F は、

$$F = \frac{\chi^2(1, 0.5)}{2T} = \frac{0.2275}{T}$$

により算出される。

【解 説】

(1) 確率分布

① 二項分布

離散型確率変数 x の確率関数が次の式で表される分布を二項分布という。

$$p(x) = {}_n C_x p^x (1-p)^{n-x} \quad (x=0, 1, 2, \dots, n)$$

これは、確率 p をもつ事象が n 回の観察で x 回発生する確率を表している。

② ポアソン分布

離散型確率変数 x の確率関数が次の式で表される分布をポアソン分布という。

$$p(x) = \frac{e^{-m} \cdot m^x}{x!} \quad (x=0, 1, 2, \dots, n, m \text{ は正の定数})$$

これは、単位時間中にある事象が発生する平均回数を m とするとき、単位時間中にその事象が x 回発生する確率を表している。

この分布は、非常に多くの観察回数のうち発生件数が少ない事象によく当てはまり、二項分布の平均値 $m=np$ を一定のままで観察回数 n を無限に大きくしたときの極限として導かれる。

なお、変数 X_1, \dots, X_n が平均値 λ のポアソン分布に従っており、それらが独立であるとき、その和 $Y=X_1+\dots+X_n$ は、平均値 $n\lambda$ のポアソン分布に従い、これをポアソン分布の再生性という。

③ ガンマ分布

確率変数 x の確率密度分布が次の式で与えられる分布をパラメータ α, β の χ 二乗分布という。

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad (x > 0, \alpha > 0, \beta > 0)$$

ここで、 $\Gamma(\alpha)$ はガンマ関数であり、

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

で表される。

④ χ 二乗分布

確率変数 x の確率密度分布が次の式で与えられる分布を自由度 m の χ 二乗分布という。

$$f(x) = \frac{1}{2^{\frac{m}{2}} \Gamma(\frac{m}{2})} x^{\frac{m}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}} \quad (x \geq 0)$$

これは、 $\alpha = m/2$, $\beta = 2$ の γ 分布の確率密度分布である。

(2) 区間推定

真の値がある区間に含まれる確率のことを信頼度といい、その区間の下限値を信頼下限、上限値を信頼上限という。このある区間に含まれる確率を $1 - \alpha$ とするとき、信頼度 $100(1 - \alpha)\%$ の信頼区間という。また、この α のことを有意水準という。

(3) 精密法によるポアソン分布の母平均 λ の区間推定

確率変数 X が母平均 λ のポアソン分布に従うとき、上側確率は以下のとおり表される。

$$P(X \geq x) = Q(x; \lambda) = \sum_{k=x}^{\infty} \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$$

一方、パラメータ α , β のガンマ分布 $GAM(\alpha, \beta)$ に従う確率変数を G

とすると,

$$P(G \leq \beta\lambda) = F_G(\beta\lambda; \alpha, \beta) = \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} dx$$

ここで,

$$u = \frac{e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}, \quad dv = x^{\alpha-1} dx$$

とおくと,

$$du = \frac{-e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha)} dx, \quad v = \frac{1}{\alpha} x^\alpha$$

であるから, 部分積分を用いて,

$$\begin{aligned} F_G(\beta\lambda; \alpha, \beta) &= \left[\frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\alpha \beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \right]_0^{\beta\lambda} + \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\alpha \beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha)} dx \\ &= \frac{(\beta\lambda)^\alpha e^{-\lambda}}{\alpha \beta^\alpha \Gamma(\alpha)} + \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\alpha \beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha)} dx \\ &= \frac{\lambda^\alpha e^{-\lambda}}{\alpha!} + \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha+1)} dx \\ &= \frac{\lambda^\alpha e^{-\lambda}}{\alpha!} + \Gamma_G(\beta\lambda; \alpha+1, \beta) \end{aligned}$$

となるから,

$$\begin{aligned} Q(x; \lambda) &= \sum_{\alpha=x}^{\infty} \frac{\lambda^\alpha e^{-\lambda}}{\alpha!} = \sum_{\alpha=x}^{\infty} [F_G(\beta\lambda; \alpha, \beta) - F_G(\beta\lambda; \alpha+1, \beta)] \\ &= F_G(\beta\lambda; \alpha, \beta) \end{aligned}$$

の関係が得られる。

また, ガンマ分布で $\alpha = m/2$, $\beta = 2$ のとき, $\text{GAM}(\alpha, \beta)$ は自由度 m の χ^2 乗分布になることに注目すると,

$$x = \frac{m}{2}, \quad \beta = 2$$

とおけば, $m=2x$, $\beta\lambda = 2\lambda$ となるから,

$$Q(x; \lambda) = F_{\chi^2}(2\lambda; 2x)$$

と, ポアソン分布の上側確率は, 自由度 $2x$ の χ 二乗分布の 2λ までの累積確率で表される。

ここで, ポアソン分布の再生性 ((1)②参照) より,

$$P(Y \geq y) = F_{\chi^2}(2n\lambda; 2y) = P(\chi_{2y}^2 \leq 2n\lambda)$$

が成り立つ。この関係から,

$$\begin{aligned} P(Y \leq y) &= 1 - P(Y \geq y+1) = 1 - P(\chi_{2(y+1)}^2 \leq 2n\lambda) \\ &= P(\chi_{2(y+1)}^2 \geq 2n\lambda) \end{aligned}$$

より,

$$P(Y \leq y) = \frac{\alpha}{2} = P(\chi_{2(y+1)}^2 \geq 2n\lambda)$$

$$\chi^2(2(y+1), \frac{\alpha}{2}) \geq 2n\lambda$$

$$\frac{\chi^2(2(y+1), \frac{\alpha}{2})}{2n} \geq \lambda$$

となり, 同様に,

$$\begin{aligned} P(Y \geq y+1) &= 1 - P(Y \leq y) = 1 - P(\chi_{2y}^2 \geq 2n\lambda) \\ &= P(\chi_{2y}^2 \leq 2n\lambda) \end{aligned}$$

より,

$$P(Y \geq y+1) = \frac{\alpha}{2} = P(\chi_{2y}^2 \leq 2n\lambda)$$

$$\chi^2(1-\frac{\alpha}{2}, 2y) \leq 2n\lambda$$

$$\frac{\chi^2(1-\frac{\alpha}{2}, 2y)}{2n} \leq \lambda$$

となる。

以上より，ポアソン分布の平均値 λ の $(1-\alpha) \times 100\%$ 信頼区間は，

$$P(\frac{1}{2n} \chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(2y) \leq \lambda \leq \frac{1}{2n} \chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(2(y+1))) = 1-\alpha$$

で表される。（出典：蓑谷千鳳彦，「数理統計ハンドブック」，みみずく舎，2009年）

NUREG/CR-4407 の概要について

NUREG / CR-4407” Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants” は、確率論的リスク評価で使用する安全上重要な配管の破損頻度をデータの収集及び統計的な分析により推定することを目的として実施された研究の成果をまとめた報告書である。

本報告書では、破損が発生していないカテゴリの配管破損の発生頻度の点推定値について以下の式を用いて整理している。

$$F = \frac{\chi^2(1,0.5)}{2T} = \frac{0.2275}{T}$$

なお、本報告書では配管破損の発生頻度の点推定値に対して χ 二乗分布を用いた方法を採用しているが、航空機落下事故についても配管破損と同様に発生頻度が小さい事象であり、ポアソン分布に従うことから、航空機落下事故の発生頻度の点推定値に対して χ 二乗分布を用いた方法を採用することは可能であると考えている。

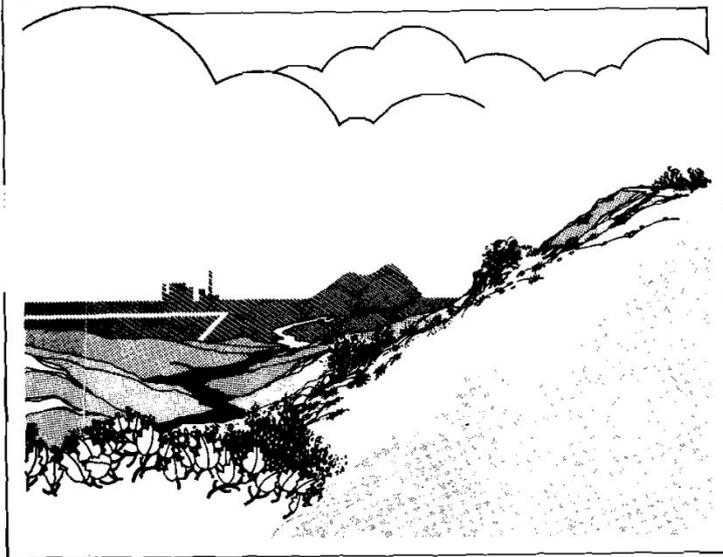
(NUREG/CR-4407 抜粋)

Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants

NUREG/CR-4407
EGG-2421
May 1987

Ronald E. Wright
Judy A. Steverson
William F. Zuroff

F O R M A L R E P O R T



Work performed under
DOE Contract No. DE-AC07-76ID01570

for the **U.S. Nuclear
Regulatory Commission**



**Idaho National
Engineering Laboratory**

Managed by the U.S. Department of Energy

CONTENTS

ABSTRACT	ii
EXECUTIVE SUMMARY	iii
ACKNOWLEDGMENTS	vi
INTRODUCTION	1
OVERALL METHODOLOGY	3
FAILURE DATA	7
POPULATION DATA	11
RESULTS	22
REFERENCES	28
APPENDIX A—USING SUBJECTIVE DATA TO ESTIMATE PIPE BREAK FAILURE RATES	A-1
APPENDIX B—INFORMATION PROVIDED TO QUESTIONNAIRE RESPONDENTS	B-1
APPENDIX C—QUESTIONNAIRE RESPONSES	C-1
APPENDIX D—NARRATIVE SUMMARIES OF PIPE BREAK EVENTS	D-1
APPENDIX E—SUMMARIES OF SELECTED PIPE BREAK STUDIES	E-1
APPENDIX F—FAILURE RATE ESTIMATION METHODS	F-1

Table 15. Frequencies of pipe breaks categorized by leak rate

Leak Rate	Numerator (N failures)	Denominator (T operating years)	Lower Bound $\chi^2_{(0.05, 2N)}/2T$	Point Estimate ^a	Upper Bound $\chi^2_{(0.95, 2N+2)}/2T$
PWR					
Non-LOCA ^b					
≥ 1, < 15 gpm	5	484.73	0.0041	0.0103	0.0217
≥ 15 gpm	4	484.73	0.0028	0.0083	0.0189
LOCA ^c					
50 to 500 gpm	0	484.73	0	0.0005	0.0062
> 50 gpm	0	484.73	0	<u>0.0005</u>	0.0062
BWR					
Non-LOCA ^b					
≥ 1, < 15 gpm	1	313.36	0.002	0.0032	0.0151
≥ 15 gpm	9	313.36	0.0150	0.0287	0.0501
LOCA ^c					
500 to 5000 gpm	0	313.36	0	0.0007	0.0096
> 5000 gpm	0	313.36	0	<u>0.0007</u>	0.0096

a. Point estimate $\lambda = N/T$ if $N > 0$; if $N = 0$, $\lambda = \chi^2_{(0.50, 2N+1)}/2T$.

b. Non-LOCA systems are those systems that if disabled, could not mitigate a LOCA (see Table 1).

c. LOCA systems are those systems susceptible to piping failures that could result in loss of reactor coolant (see Figure 1).

APPENDIX F

FAILURE RATE ESTIMATION METHODS

METHODS USED

This appendix shows the methods used to estimate the pipe failure rates using the observed failure data and the operating experience.^{F-1}

The following well-known statistical methods were used for Type-I censored data with replacement.^{F-2} The general methods for estimating rates on a yearly basis and on a transient basis are

$$\lambda(\text{yearly}) = \frac{N}{T} \quad (\text{F-1})$$

$$\lambda(\text{transient}) = \frac{N}{D} \quad (\text{F-2})$$

where

- λ = estimated failure rate
- N = number of reported pipe failures
- T = total number of operating years experienced
- D = total number of transients.

Confidence limits for yearly failure rates were based on the assumption that the underlying pipe failure time distributions are exponential and, therefore, that the resulting data can be represented by a Poisson process. In transient evaluations, N is assumed to be binomially distributed. However, because the probability of failure is small, the Poisson distribution may be used to approximate this variable for cases where the number of transients is large. The generalized formulas for estimating $100(1 - \alpha)\%$ confidence limits on the failure rates are

$$\frac{\chi_{\alpha/2}^2(2N)}{2T} \leq \lambda(\text{yearly}) \leq \frac{\chi_{1-\alpha/2}^2(2N + 2)}{2T} \quad (\text{F-3})$$

and

$$\begin{aligned} \frac{\chi_{\alpha/2}^2(2N)}{2D} &\leq \lambda(\text{transient}) \\ &\leq \frac{\chi_{1-\alpha/2}^2(2N + 2)}{2D}, \end{aligned} \quad (\text{F-4})$$

where

$\chi_a^2(b)$ = the chi-square variate at cumulative probability "a", with "b" degrees of freedom.

In these equations, α is the fraction left out of the intervals. For example, with 90% confidence limits, α is 0.10, $\alpha/2$ is 0.05, and upper limit uses the 95th percentile.

If D , the number of transients, is small, then the Poisson approximation of the binomial distribution is not adequate, and $100(1 - \alpha)\%$ confidence limits for the transient failure rate are

$$\begin{aligned} \frac{NF_L}{D - N + 1 + NF_L} &\leq (\text{transient}) \\ &\leq \frac{(N + 1)F_U}{D - N + (N + 1)F_U} \end{aligned} \quad (\text{F-5})$$

where

- F_L = $F_{\alpha/2}(2N, 2D - 2N + 2)$
- F_U = $F_{1-\alpha/2}(2N + 2, 2D - 2N)$
- $F_a(b,c)$ = F variate at cumulative probability "a", with "b" and "c" degrees of freedom.

As before, for 90% confidence limits, the 0.05 and 0.95 quantities are used ($\alpha = 0.10$).

In this study, yearly rate confidence limits were always based on Equation (F-3). Transient rate confidence limits were based on Equation (F-4) if $D - N \geq 100$, and on Equation (F-5) otherwise.

The lower limits in Equations (F-3), (F-4), and (F-5) are not defined in cases where no failures are observed

(N = 0). Zero is the appropriate lower limit in these cases. However, Equations (F-1) and (F-2) also give zero as the point estimate when N = 0. More realistic point estimates for such cases are

$$\lambda = \frac{\chi_{0.50}^2(2N + 1)}{2T}, \quad (\text{F-6})$$

$$\lambda = \frac{\chi_{0.50}^2(2N + 1)}{2D}, \quad (\text{F-7})$$

and

$$\lambda = \frac{(2N + 1)F_M}{2D - 2N + 1 + (2N + 1)F_M}, \quad (\text{F-8})$$

where

$F_M = F_{0.50}(2N + 1, 2D - 2N + 1)$ and the F and χ^2 distribution percentile and degree of freedom notations are as defined above.

Equation (F-6) applies for yearly rates and is used with the upper bound from Equation (F-3). For transients, Equation (F-7) is used with the upper bound from Equation (F-4) and Equation (F-8) is used with Equation (F-5). Equations (F-6) and (F-7) are applicable to events occurring according to a Poisson distribution regardless of the number of failures observed. A similar comment applies to Equation (F-8) and the binomial distribution. Typical estimates from Equation (F-6) are in the following table for comparison with Equation (F-1). Equation (F-6) has been used in other failure data studies, such as Reference F-3.

<u>N</u>	<u>λ</u>
30	30.15/T
20	20.15/T
10	10.15/T
5	5.15/T
2	2.18/T
1	1.19/T
<u>0</u>	<u>0.23/T</u>

The estimates of Equations (F-6) through (F-8) can be obtained in two ways. The first is to consider shrinking the confidence intervals of Equations (F-3), (F-4), and (F-5) to the case where $\alpha = 1.00$ and both $\alpha/2$ and $1 - \alpha/2$ are 0.5. Because of the differing degrees of freedom, the intervals do not shrink to a single point. The equations use an average for the differing degrees of freedom. Because the estimates use 50th percentiles, they are related to medians.

The second way of considering Equations (F-6) through (F-8) uses the medians directly. In a Bayesian context, λ is regarded as a random variable. With Poisson sampling and a noninformative conjugate prior distribution, the posterior distribution for the occurrence rate has a gamma distribution with parameters^{F-4}

$$(\alpha, \beta) = (N + 1/2, 1/T). \quad (\text{F-9})$$

Because the gamma distribution with parameters (N,2) is identical to the chi-square distribution with 2N degrees of freedom,^{F-5} Equation (F-6) can be shown to be the median of the distribution described by Equation (F-9). Using a similar relation between β and F distributions, Equation (F-8) can be derived as the median of the posterior failure rate distribution obtained in sampling from a binomial distribution with a noninformative conjugate prior distribution.

In summary, Equations (F-6), (F-7), and (F-8) describe median-point estimates for the failure rate. They can be used when N = 0, and are more conservative in that case than the point estimates given in Equations (F-1) and (F-2). In this work, they are used with the upper confidence limits in Equations (F-3), (F-4), and (F-5), respectively, whenever no failures are observed.

In estimating the above confidence limits, all components in the sample were assumed to have exactly the same true failure rate. No effort was made to account for possible variations arising from the mixture of populations having different true failure rates. For further discussion of the assumptions and limitations of these confidence limits, see References F-2 through F-6.

REFERENCES

- F-1. S. R. Brown, M. Trojovsky, *Data Summaries of Licensee Event Reports of Inverters at U.S. Commercial Nuclear Power Plants January 1, 1976 to December 31, 1982*, NUREG/CR-3867, Idaho National Engineering Laboratory, August 1984.
- F-2. L. J. Bain, *Statistical Analysis of Reliability and Life-Testing Models*, New York: Marcel Dekker, Inc., p. 157.
- F-3. *NPRDS 1978 Annual Reports of Cumulative System and Component Reliability*, NUREG/CR-0942, Southwest Research Institute, September 1979.
- F-4. G. E. P. Box and G. C. Tiao, *Bayesian Inference in Statistical Analysis*, Reading, MA: Addison-Wesley, 1973.
- F-5. N. R. Mann, R. E. Shafer, N. D. Singpurwalla, *Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1974.
- F-6. N. L. Johnson and S. Kotz, *Discrete Distributions*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1969, pp. 58-59 and 96.

評価対象となる航空路等の飛行回数

評価対象となる航空路等	ピーク日の飛行回数 ^{※1}	年間飛行回数 ^{※2}
直行経路 (IWAKI (IXE) - SWAMP)	H24 年上半期 : 0 (6 月 8 日) H24 年下半期 : 0 (9 月 19 日)	182.5
直行経路 (IWAKI (IXE) - KISARAZU (KZE))	H24 年上半期 : 0 (6 月 8 日) H24 年下半期 : 0 (9 月 19 日)	182.5
広域航法経路 Y30 (LOTUS - SWAMP)	H24 年上半期 : 0 (6 月 8 日) H24 年下半期 : 3 (9 月 19 日)	1,095

※1 : 国土交通省航空局に問合せ入手したデータ。ここで、ピークデイとは、東京航空交通管制部が全体として取り扱った交通量が半年間で最も多かった日のこと。

※2 : ピークデイの飛行回数 (0 回の場合は、0.5 回とした) を 365 倍した値。

有視界飛行方式民間航空機 大破事故概要

(平成 5 年～平成 24 年)

(大型固定翼機)

発生年月日	場 所	型 式
該当なし	—	—

(大型回転翼機)

発生年月日	場 所	型 式
平成 13 年 5 月 19 日	三重県桑名市播磨付近	アエロスパ [®] シアル式 AS332L1

(小型固定翼機)

発生年月日	場 所	型 式
平成 6 年 4 月 6 日	広島県佐伯郡	セスナ式 208B
平成 6 年 5 月 7 日	高知県吾川郡池川町	セスナ式 172P
平成 7 年 7 月 29 日	北海道赤平市	パイパー式 PA-28-140
平成 7 年 10 月 9 日	北海道中川郡豊頃町	ピッツ式 S-2B
平成 8 年 2 月 9 日	長崎県東彼杵群川棚町	ブリテンノーマン式 BN-2B-20
平成 8 年 11 月 20 日	静岡県伊東市	セスナ式 172K
平成 9 年 8 月 21 日	茨城県竜ヶ崎市	パイパー式 PA-28-140
平成 9 年 10 月 26 日	鹿児島県垂水市	セスナ式 152
平成 9 年 11 月 2 日	熊本県八代郡	セスナ式 172N
平成 10 年 3 月 21 日	高知県室戸市	ビーチクラフト式 A36TC
平成 10 年 4 月 20 日	滋賀県琵琶湖	セスナ式 177RG
平成 10 年 8 月 25 日	岐阜県大野郡荘川村	パイパー式 PA-28-161
平成 10 年 9 月 23 日	大阪府高槻市	セスナ式 P210N
平成 10 年 9 月 24 日	茨城県霞ヶ浦	ソカタ式 TB10
平成 11 年 3 月 24 日	大分県大分郡野津原町	セスナ式 172M
平成 11 年 8 月 1 日	大分県大分郡庄内町	富士重工式 FA-200-180
平成 11 年 8 月 13 日	長野県斑尾山	セスナ式 172P
平成 13 年 3 月 25 日	香川県小豆群上庄町豊島	パイパー式 PA-28-181
平成 13 年 5 月 19 日	三重県桑名市播磨付近	セスナ式 172P
平成 13 年 8 月 16 日	岡山県久米郡柵原町	セスナ式 172NAT
平成 14 年 1 月 4 日	熊本県琢磨群琢磨村	セスナ式 172P
平成 14 年 3 月 1 日	北海道帯広市美栄町	スリングスビー [®] 式 T67MMK II
平成 14 年 6 月 23 日	山梨県南巨摩群南部町	ソカタ式 TB21
平成 15 年 3 月 24 日	茨城県那珂郡緒川町	ガルフストリームコマ [®] 式 695
平成 15 年 7 月 11 日	宮崎県宮崎市	ビーチクラフト式 A36
平成 16 年 1 月 22 日	山梨県甲府市	セスナ式 172P
平成 16 年 9 月 11 日	兵庫県養父市	セスナ式 172M
平成 16 年 9 月 20 日	兵庫県三原郡南淡町	ソカタ式 TB10
平成 17 年 3 月 2 日	大阪市平野区瓜破	ビーチクラフト式 E33
平成 19 年 9 月 1 日	宮崎空港南東約 1nm の海上	ビーチクラフト式 A36
平成 19 年 11 月 15 日	岐阜県中津川恵郡山山頂付近	セスナ式 404
平成 22 年 7 月 28 日	北海道松前郡福島町岩部岳東方の山中	セスナ式 TU206G

発生年月日	場 所	型 式
平成 23 年 1 月 3 日	熊本空港から北東約 14km の矢護山南南東斜面	パイパー式 PA-46-350P
平成 23 年 7 月 26 日	静岡市清水区の興津川河口から富士川河口沖の駿河湾	エクストラ式 EA300/200 型
平成 23 年 7 月 28 日	北海道河西郡芽室町剣山山中	ビーチクラフト式 A36 型

(小型回転翼機)

発生年月日	場 所	型 式
平成 5 年 7 月 27 日	福島県双葉郡大熊町	ベル式 206B
平成 5 年 12 月 23 日	岐阜県郡山郡八幡町	ロビンソン式 R22Beta
平成 6 年 10 月 18 日	大阪府泉佐野市	アエロスパリアル式 AS355F1
平成 6 年 11 月 13 日	鹿児島県大島郡笠利町	ベル式 206B
平成 8 年 4 月 27 日	長野県長野市篠ノ井	アエロスパリアル式 AS355F1
平成 8 年 6 月 10 日	鹿児島県鹿児島市岡之原町	ロビンソン式 R22Beta
平成 9 年 1 月 24 日	愛知県岡崎市	アエロスパリアル式 AS365N2
平成 9 年 5 月 21 日	長野県茅野市	アエロスパリアル式 SA315B アルヴェットⅢ
平成 9 年 7 月 3 日	三重県名張市	アエロスパリアル式 SA315B アルヴェットⅢ
平成 10 年 5 月 3 日	神奈川県横須賀市津久井浜	アエロスパリアル式 AS350B
平成 12 年 4 月 24 日	三重県長島町木曾川左岸の河原	ヒューズ式 269C
平成 12 年 11 月 9 日	岐阜県郡上郡高鷲村	ロビンソン式 R22Beta
平成 14 年 5 月 5 日	愛媛県松山空港の西南西 16km 付近海上	ロビンソン式 R44
平成 14 年 6 月 12 日	新潟県東蒲原郡上川村	ベル式 206L-4
平成 16 年 3 月 7 日	長野県木曾郡南木曾町	アエロスパリアル式 AS355F1
平成 16 年 12 月 24 日	佐賀県有明海海上	ロビンソン式 R44
平成 17 年 5 月 3 日	静岡県静岡市清水区草薙	アグスタ式 A109K2
平成 19 年 6 月 2 日	岐阜県中津川市岐阜中津川場外離着陸場の北約 1.3km 付近	ベル式 412
平成 19 年 10 月 27 日	大阪府堺市堺区遠里小野町 3 丁目	ロビンソン式 R22BETA
平成 19 年 12 月 9 日	静岡県静岡市葵区南沼上 988	ユーロプター式 EC135T2
平成 20 年 7 月 6 日	青森県下北部大間町大間崎沖の海面	アエロスパリアル式 AS350B
平成 21 年 2 月 10 日	群馬県利根郡みなかみ町	ベル式 206L-3
平成 21 年 7 月 20 日	但馬飛行場の南東約 15km	ロビンソン式 R44 II
平成 22 年 8 月 18 日	香川県沖多度郡多度津町佐柳島沖	ベル式 412EP

自衛隊機及び米軍機 大破事故概要

(平成 5 年～平成 24 年)

(訓練空域外を飛行中)

●空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機

・自衛隊機

発生年月日	場 所	型 式
該当なし	—	—

・米軍機

発生年月日	場 所	型 式
平成 16 年 8 月 10 日	東京都小笠原諸島北硫黄島	S-3 バイキング

●その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機

・自衛隊機

発生年月日	場 所	型 式
平成 9 年 1 月 13 日	宇都宮市坂戸町の鬼怒川河川敷	OH-6D
平成 13 年 2 月 14 日	千葉県市原市天羽田	AH1S, OH-6D
平成 14 年 3 月 7 日	大分県万年山山頂南東 2km	OH-6D
平成 16 年 2 月 23 日	三重県鳥羽市と磯部町の境にある青峰山の南東約 1km	AH1S
平成 17 年 4 月 14 日	新潟県阿賀町の御神楽岳斜面	MU-2
平成 17 年 9 月 18 日	長崎県佐世保市大潟町の陸上自衛隊相浦駐屯地内	AH1S
平成 19 年 3 月 30 日	徳之島天城岳山頂付近	CH-47JA

・米軍機

発生年月日	場 所	型 式
平成 6 年 10 月 24 日	高知県上佐郡吉野川	A-6
平成 11 年 1 月 21 日	岩手県釜石市橋野町山林	F-16
平成 16 年 8 月 13 日	沖縄県宜野湾市の沖縄国際大学構内	CH-53D シースタリオン
平成 20 年 10 月 24 日	沖縄県名護市真喜屋のサトウキビ畑	セスナ機

(基地－訓練空域間往復時)

・自衛隊機

発生年月日	離陸場所 (所属)	場 所	型 式
平成 9 年 8 月 21 日	木更津駐屯地 (陸自)	茨城県竜ヶ崎市	OH-6D
平成 11 年 11 月 22 日	入間基地 (空自)	埼玉県狭山市入間川河川敷	T-33A
平成 12 年 3 月 22 日	松島基地 (空自)	宮城県女川町指ヶ浜山林	T-2
平成 12 年 7 月 4 日	松島基地 (空自)	宮城県牡鹿町山中	T-4
平成 13 年 9 月 14 日	小月航空基地 (海自)	山口県下関市楠乃霊鷲山西 側斜面	T-5

外部火災影響評価で考慮する落下事故カテゴリの

航空機落下確率評価結果

外部火災影響評価で考慮する落下事故カテゴリを対象に、東海第二発電所における航空機落下確率評価を実施した。航空機落下確率評価結果及び航空機落下確率評価に係る標的面積を下表に示す。

なお、航空機落下に対する設計上の考慮の要否を確認するための従来の評価では、落下事故が発生していないカテゴリに対して発生件数を0.5件としていたが、別紙 7.12 に示す χ 二乗分布を用いた方法の使用可能性及び保守性を踏まえ、「基地－訓練空域間往復時」の評価では χ 二乗分布を用いた方法を用いている。

航空機落下確率評価結果

落下事故のカテゴリ		落下確率	
1) 計器飛行方式 民間航空機	① 飛行場での離着陸時における落下事故	約 4.32×10^{-9}	
	② 航空路を巡航中の落下事故	約 6.54×10^{-11}	
2) 有視界飛行方式 民間航空機	③ 大型機	約 3.06×10^{-9}	
	④ 小型機	約 1.21×10^{-8}	
3) 自衛隊機又は 米軍機	⑤ 訓練空域内で訓練 中及び訓練空域外を 飛行中	⑤-1 空中給油機等、高高度 での巡航が想定される大型 固定翼機	約 2.95×10^{-8}
		⑤-2 その他の大型固定翼機、 小型固定翼機	
	⑥ 基地－訓練空域間往復時	約 3.81×10^{-8}	
合 計		約 8.8×10^{-8}	

単位：回／炉・年

航空機落下確率評価に係る標的面積

	原子炉 建屋	タービン 建屋	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	海水 ポンプ室	排気筒	合 計
水平 面積	約 4,489	約 7,315	約 1,399	約 1,212	約 784	約 15,199
投影 面積	約 6,940	約 8,394	約 1,887	約 1,212	約 5,599	約 24,032

単位：m²

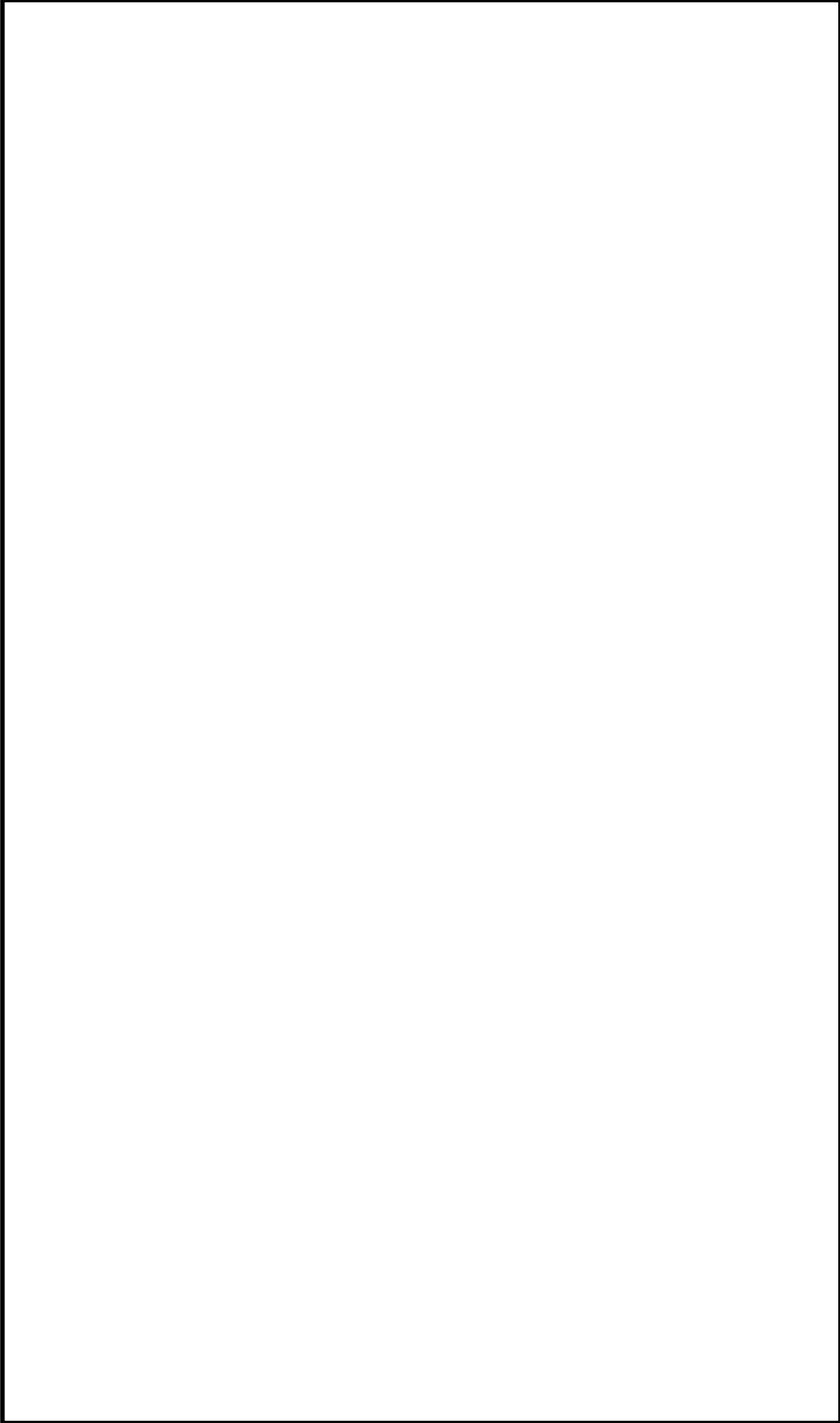
タービン建屋内の安全上重要な設備の配置と

タービン建屋全域に対して外部火災の影響を確認する考え方について

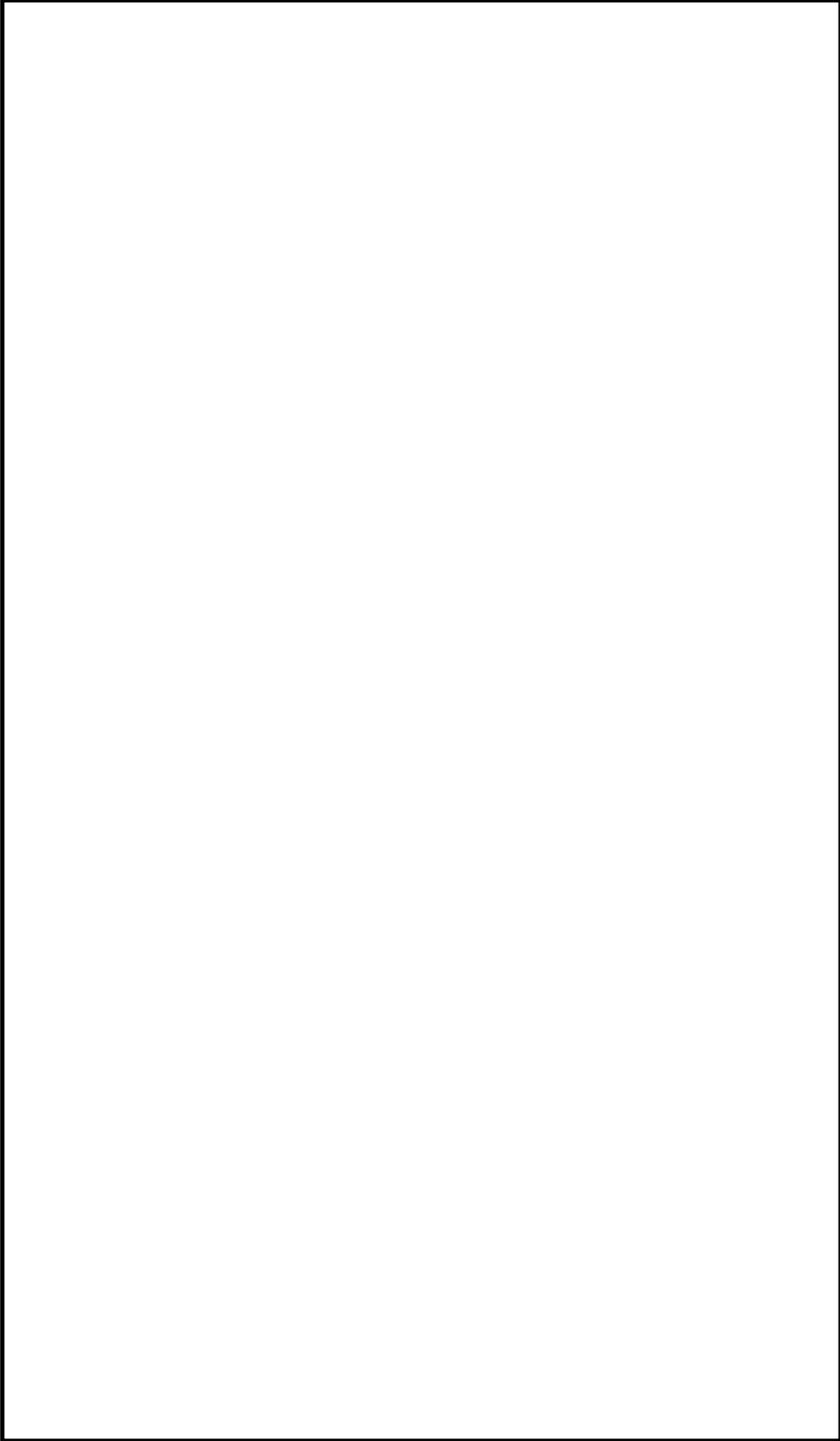
タービン建屋内に位置する安全上重要な構築物，系統及び機器としては，P
S－2の主蒸気系及びMS－2の放射性気体廃棄物処理系の隔離弁がある。

第1図及び第2図にこれらの系統及び機器の位置を示す。

第1図のとおり，安全上重要な系統及び機器は建屋内の広範囲に位置しているため，タービン建屋全域に対して外部火災の影響を確認している。



第1図 タービン建屋内の安全上重要な系統及び機器の配置（地上1階）



第2図 タービン建屋内の安全上重要な系統及び機器の配置 (地上2階)

航空機落下確率評価における標的面積の考え方について

1. 基準の要求事項

航空機落下評価に用いる基準及び航空機墜落による火災影響評価に用いる基準の要求事項は、それぞれ以下のとおり。

(1) 航空機落下確率評価

○実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（平成 21 年 6 月 30 日原子力安全・保安院制定）

解説 4 - 3 離着陸時及び巡航中の計器飛行方式民間航空機の原子炉施設への落下確率評価における入力パラメータ等に関する考え方（第 4 章）

(4) 原子炉施設への標的面積 (A)

原子炉施設への航空機落下に対する影響評価を行う場合において、航空機落下事故時の安全性を確保する観点から重要なのは、大量の放射性物質を蓄えている炉心や使用済燃料プールを保護すること、並びに、原子炉の安全停止（炉心冷却も含む。）を確保することである。したがって、原子炉施設への航空機落下確率評価では、これらを踏まえ、安全上重要な構築物、系統及び機器の設置状況、航空機の大きさ、突入する角度、滑り込み等を勘案して標的面積を決める必要がある。（以下略）

(2) 外部火災影響評価

○原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定）

附属書 C 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について

1. 総則

（中略）

本評価ガイドは、発電所敷地への航空機の墜落で発生する火災に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災が発電所の敷地内で起こったとしても原子炉施設（本評価ガイドにおける「原子炉施設」は、安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包するものに限る。）に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2. 航空機落下確率評価における標的面積

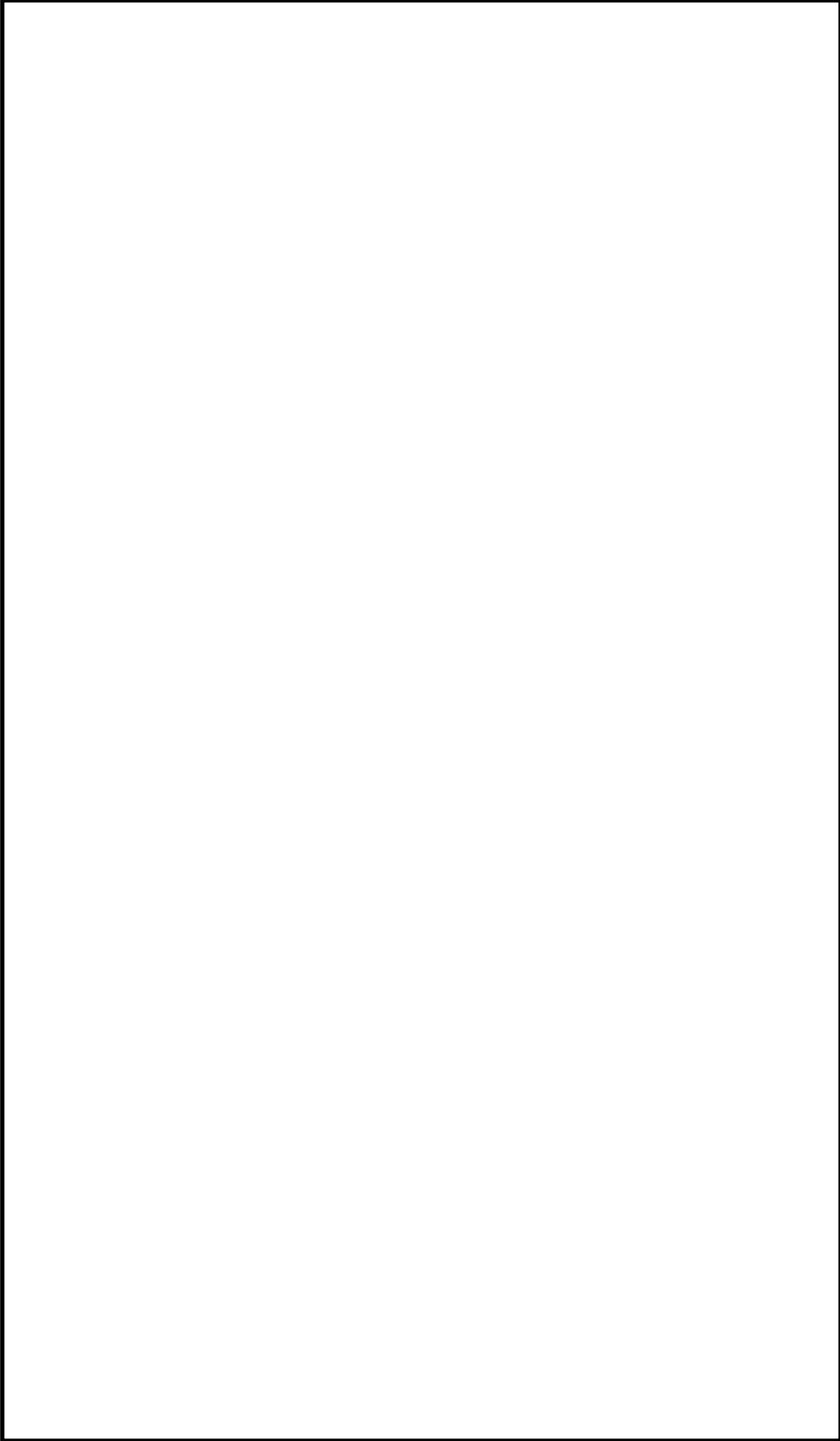
1. (2)の基準を踏まえ、航空機墜落による火災影響評価においては、安全機能を有する構築物、系統及び機器（以下「SSC」という。）を防護対象とし、そのうちクラス1及びクラス2に属するSSC若しくはそれらを内包する建屋を影響評価対象とし、以下のとおりとした。

- ・原子炉建屋
- ・タービン建屋（第1図参照）
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋
- ・海水ポンプ室
- ・排気筒
- ・非常用ディーゼル発電機吸気系フィルタ

一方、従来の航空機落下確率評価においては、1. (1)の基準を踏まえ、以下のSSCを評価対象としていた。

- ・原子炉建屋
- ・タービン建屋（原子炉補機冷却系ポンプ及び熱交換器を含む区画。第1図参照。）
- ・海水ポンプ施設

しかし、航空機墜落後は火災が発生する蓋然性が高いことを踏まえ、航空機落下確率評価においても外部火災影響評価と同様に1. (2)の基準に則り、クラス1及びクラス2に属するSSC若しくはそれらを内包する建屋を影響評価対象とした。



第1図 タービン建屋内の原子炉補機冷却系ポンプ及び熱交換器の配置

6 条(外火)-添付-7-109

滑走路 210° 方向からの離着陸を考慮した

自衛隊機の「基地－訓練空域間往復時」の離隔距離評価

東海第二発電所の「基地－訓練空域間往復時」の落下確率評価においては、評価パラメータである Sse に百里基地と自衛隊機の訓練空域境界間を直線で結んだ範囲の面積を用いている。これは、百里基地の滑走路 30° 方向（真方位 19°）からの離着陸のみを考慮した想定飛行範囲であるが、実際には風向き等を踏まえて 210°（真方位 199°）方向からの離着陸も実施することが考えられるため、これを考慮した方がより実態に近い評価となる。

そのため、この効果を考慮して第 1 図に示す想定飛行範囲を用いて離隔距離を評価した。なお、離着陸の範囲は「飛行場での離着陸時」の落下確率評価と同様に、滑走路端から最大離着陸地点までの直線距離内の内円で滑走路方向両側に対し±60° 以内の扇形を設定する。（別紙 7.11 参照）

パラメータ	発電所名称	
	東海第二発電所 (自衛隊機の評価)	
fse ^{*1}	χ 二乗分布を用いた方法 約 0.0114 (=0.2275/20)	0.5 件を用いた方法 約 0.025 (=0.5/20)
Sse ^{*2}	9,820	

※1：「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月 原子力規制委員会）より、当該想定飛行範囲内で自衛隊機の移動時の事故件数は平成 5 年～平成 24 年において 0 件であるため、落下事故率の算出には χ 二乗分布を用いた方法及び 0.5 件を用いた方法を使用した。

※2：百里基地（飛行場）の滑走路 210° 方向の離着陸範囲と自衛隊機の訓練空域（Areal, E1, E2, E3, E4 の全域）境界間を直線で結んだ想定飛行範囲の面積。なお、自衛隊機の訓練空域（E1, E2）については、AIP に” Excluding R-121” と記載があることから、米軍機の訓練空域（R-121）を除いた領域を自衛隊機の訓練空域としている。

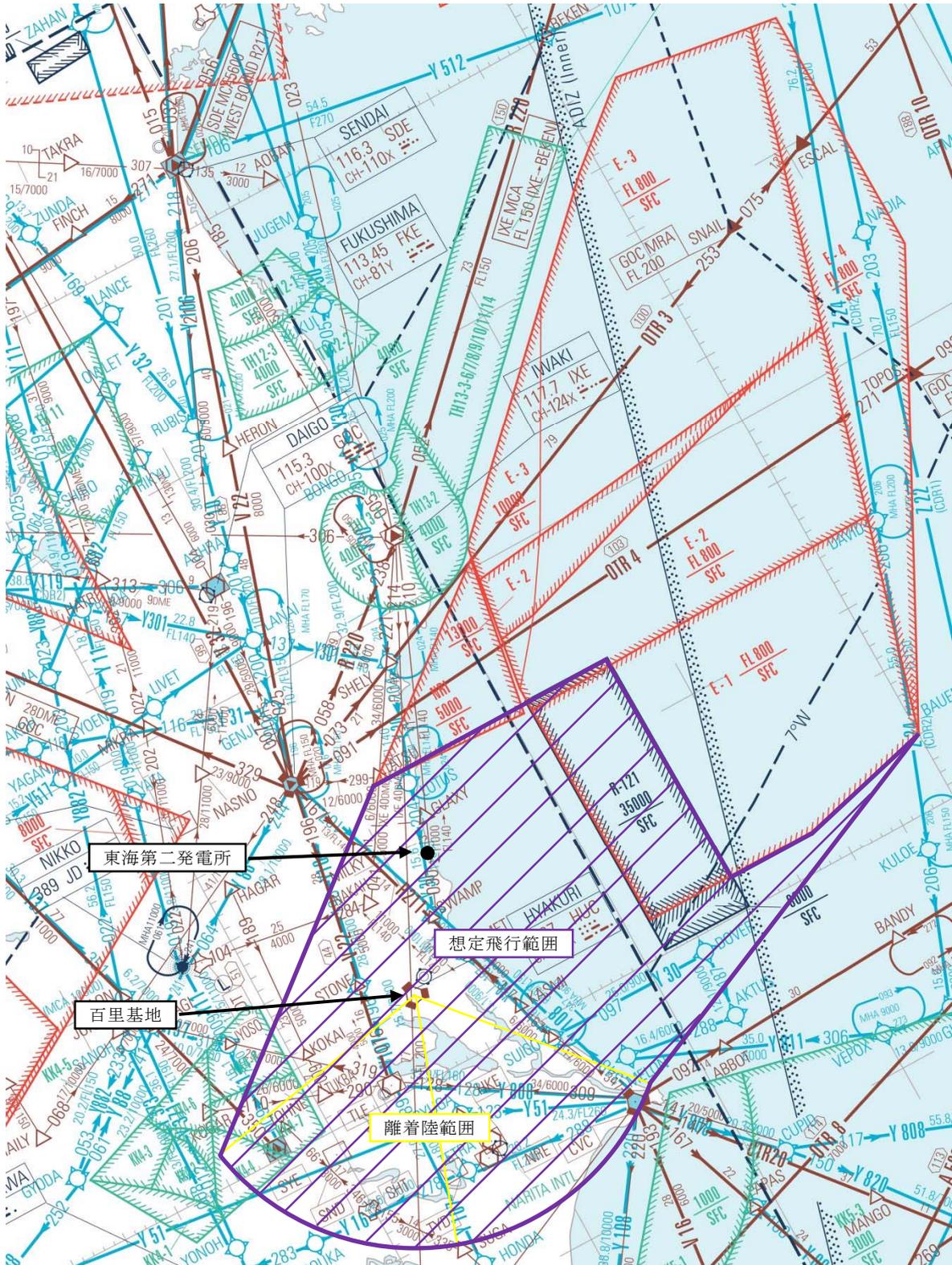
その結果、 $Pse=10^{-7}$ （回/炉・年）に相当する標的面積 A を求めると、約 0.086km²（χ 二乗分布を用いた方法）、約 0.039km²（0.5 件を用いた方法）、

となり、離隔距離Lは50m（ χ 二乗分布を用いた方法）、22m（0.5件を用いた方法）となることから、仮にfseの算出に0.5件を用いた方法を使用した場合でも、ベースケースの評価結果と同等の離隔距離を確保することができる。

また、外部火災影響評価で考慮する落下事故カテゴリの航空機落下確率評価結果は以下のとおり。

単位：回／炉・年

落下事故のカテゴリ		落下確率	
		χ 二乗分布を用いた方法	0.5件を用いた方法
1) 計器飛行方式 民間航空機	① 飛行場での離着陸時における落下事故	約 4.32×10^{-9}	
	② 航空路を巡航中の落下事故	約 6.54×10^{-11}	
2) 有視界飛行方式 民間航空機	③ 大型機	約 3.06×10^{-9}	
	④ 小型機	約 1.21×10^{-8}	
3) 自衛隊機又は 米軍機	⑤ 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	⑤-1 空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機	約 3.33×10^{-9}
		⑤-2 その他の大型固定翼機、小型固定翼機	約 2.62×10^{-8}
	⑥ 基地－訓練空域間往復時	約 1.76×10^{-8}	約 3.87×10^{-8}
合 計		約 6.7×10^{-8}	約 8.8×10^{-8}



出典：ENROUTE CHART (2014年3月6日改定)

第1図 滑走路210°方向からの離着陸を考慮した想定飛行範囲

ばい煙及び有毒ガスの影響について

1. 目的

外部火災で発生するばい煙及び有毒ガスは、火炎により発生する上昇気流によって上空に運ばれるため、ばい煙及び有毒ガスが防護対象設備の周辺に滞留する可能性は低いと考えられるが、保守的にばい煙及び有毒ガスが設備並びに居住性に与える影響について、評価を実施する。

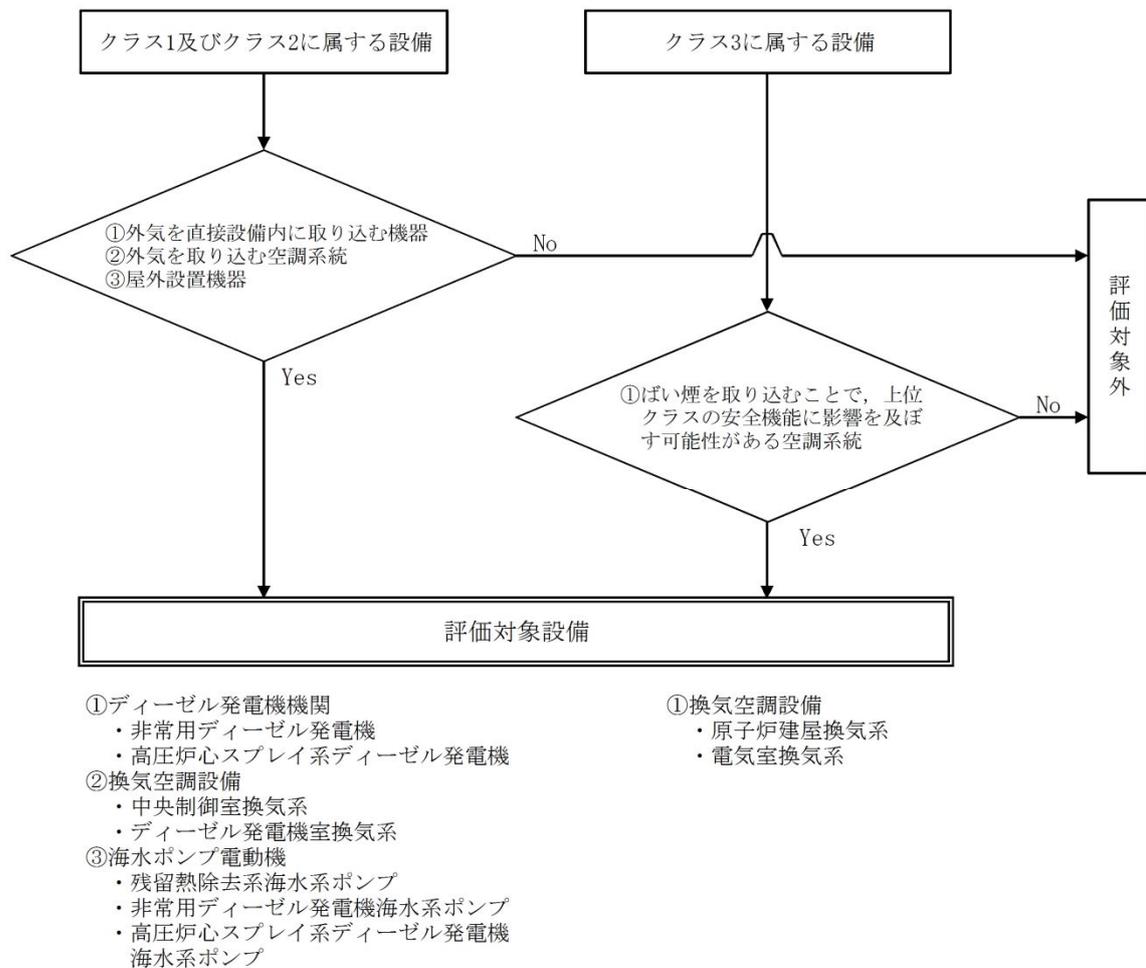
2. 評価対象

評価ガイドでは、ばい煙による安全上重要な設備に対する影響として、燃焼生成物の換気又は空気供給系からの侵入による電気故障、非常用ディーゼル発電機の故障、有毒ガスによる影響等が挙げられている。

ばい煙の影響が想定される設備として、「外気を直接設備内に取り込む機器」、「外気を取り込む空調系統」及び「屋外設置機器」について評価を実施する。また、建屋内にばい煙及び有毒ガスを含んだ外気が取り込まれた場合の居住性の観点から評価を実施する。影響評価対象設備を第 2-1 表に、評価対象設備抽出フロー図を第 2-1 図に示す。

第 2-1 表 ばい煙による影響評価対象

分類		評価対象設備
機器への影響	外気を直接設備内に取り込む機器	ディーゼル発電機機関
	外気を取り込む空調系統	換気空調設備
	屋外設置機器	海水ポンプ電動機
居住性への影響	外気を取り込む空調系統	中央制御室、緊急時対策所



第 2-1 図 機器への影響評価を行う評価対象設備抽出フロー図

3. 評価結果

3.1 外気を直接設備内に取り込む機器

ディーゼル発電機機関の吸気系統は、吸気フィルタを介して吸気している。吸気フィルタ（粒径 $5\mu\text{m}$ 以上において約 56% 捕獲）で粒径の大きいばい煙粒子は捕獲される。

吸気フィルタを通過したばい煙（数 μm ~ 10 数 μm ）が過給機，空気冷却器に侵入するが，それぞれの機器の間隙は，ばい煙に比べて十分大きく，閉塞に至ることはない。

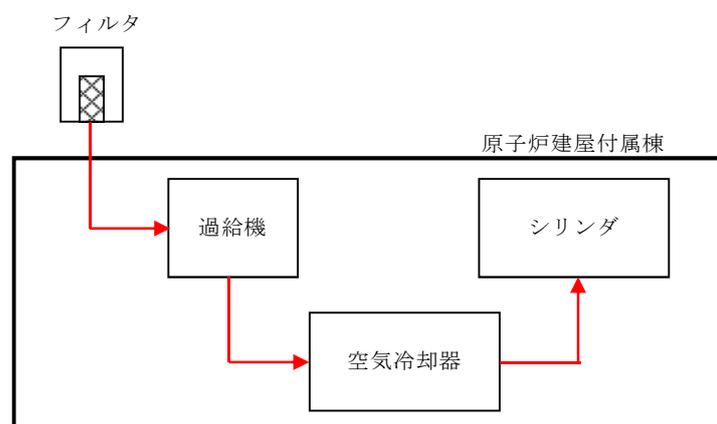
シリンダ／ピストン間隙まで到達したばい煙（数 μm ~ 10 数 μm ）は，当

該間隙内において摩擦発生が懸念されるが、ばい煙粒子の主成分は炭素であり、シリンダ／ピストンより軟らかいため、ばい煙粒子による摩擦が発生することはないと判断される。

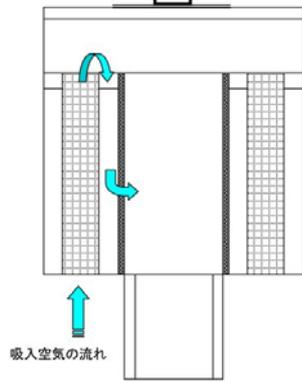
また、通常運転時はシリンダ内には燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生しているが、定期的な点検において、ばい煙によるシリンダへの不具合は認められない。

以上のことから、外部火災で発生するばい煙が、非常用ディーゼル発電機の機能に影響を与えることはないと判断した。

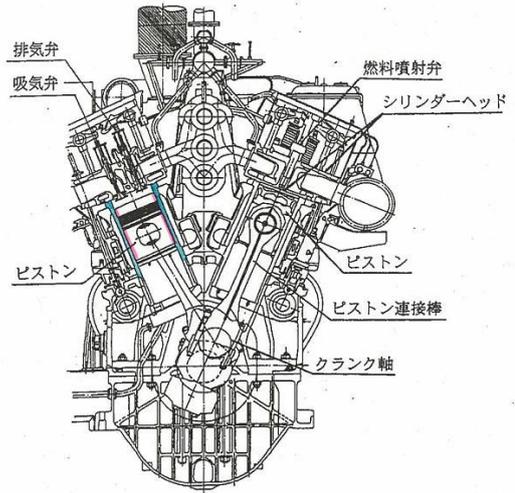
ディーゼル発電機吸気系統概略図を第 3. 1-1 図に、ディーゼル発電機吸気系統構造図を第 3. 1-2 図に示す。



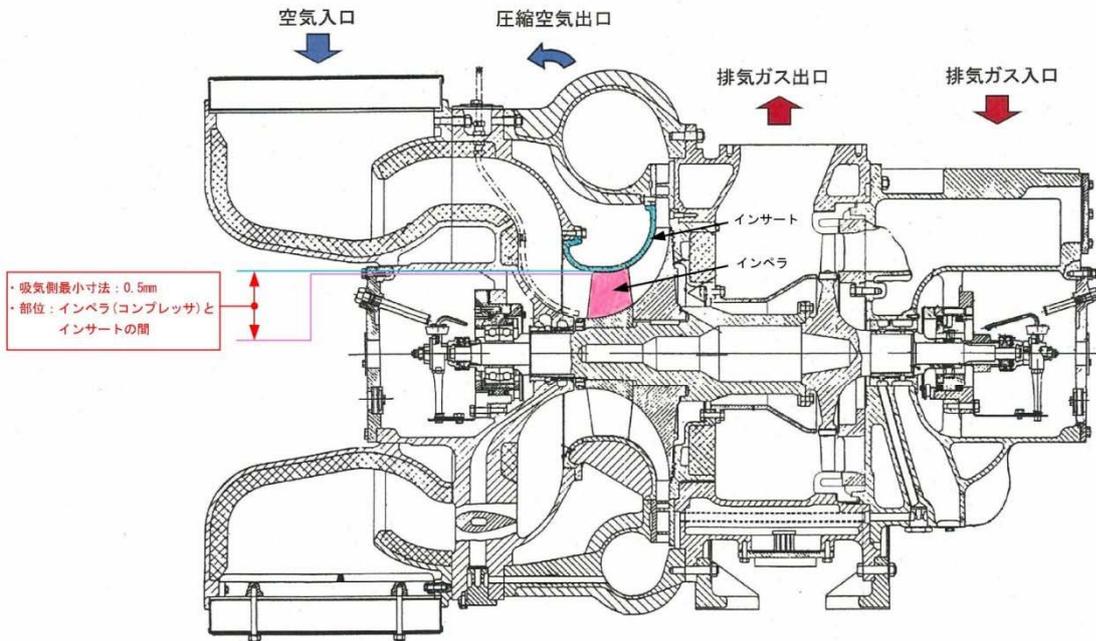
第 3. 1-1 図 ディーゼル発電機吸気系統概略図



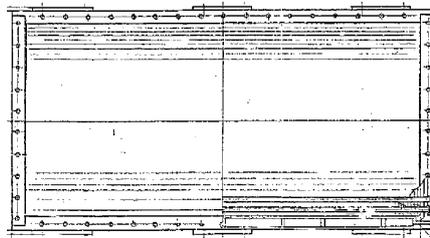
フィルタ構造



シリンダ構造
(シリンダ/ピストン間隙：数 μm ～数十 μm)



過給機断面



空気冷却器構造
(狭隙部寸法 伝熱フィン間隙：2.47mm)

第 3.1-2 図 ディーゼル発電機吸気系統構造図

3.2 外気を取り込む空調系統

(1) 中央制御室換気系，電気室換気系，原子炉建屋換気系

これらの系統の給気用のファン入口にはフィルタが設置されている。

フィルタは捕集率 80%以上（J I S Z 8901 試験用紛体 11 種 粒径約 $2\mu\text{m}$ ）の性能を有しているため，外部火災で発生する粒径が一定以上のばい煙は，このフィルタにより侵入を阻止可能である。また，ばい煙によるフィルタの閉塞については，フィルタ出入口差圧又は排気ファン出口流量を監視することで検知可能である。

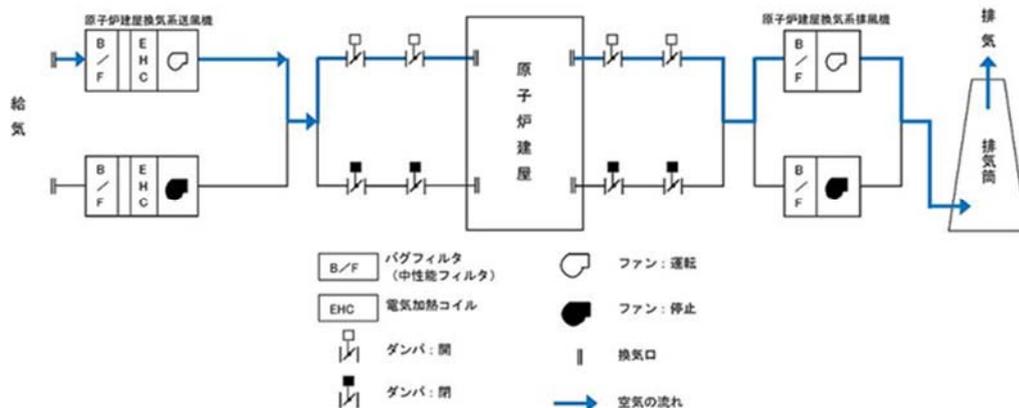
中央制御室換気系については，隔離弁を閉止し，閉回路循環運転を行うことにより，ばい煙等の侵入を阻止可能である。

なお，中央制御室に侵入する可能性のあるばい煙の粒径は，ほぼ $2\mu\text{m}$ 以下の細かな粒子であると推定される。

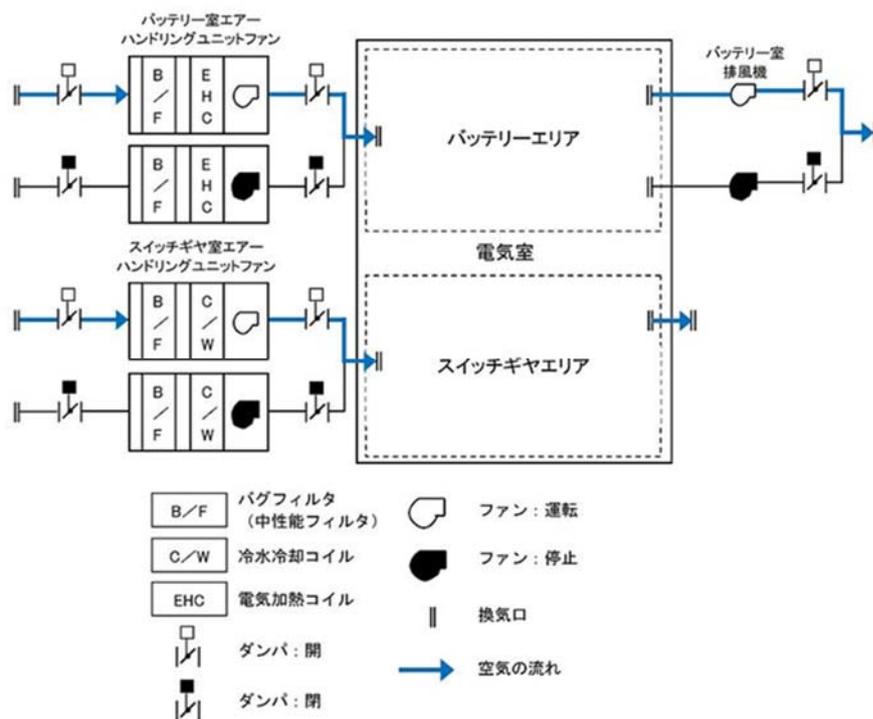
計装盤等において，数 μm 程度の線間距離となるのは，集積回路（IC など）の内部であり，これら部品はモールド（樹脂）で保護されているため，ばい煙が侵入することはない。

したがって，万が一，細かな粒子のばい煙が盤内に侵入した場合においても，ばい煙の付着等により，直ちに短絡等を発生させる可能性はない。

中央制御室換気系の系統概略図を第 3.2-1 図に，原子炉建屋換気系の系統概略図を第 3.2-2 図に，電気室換気系の系統概略図を第 3.2-3 図に示す。



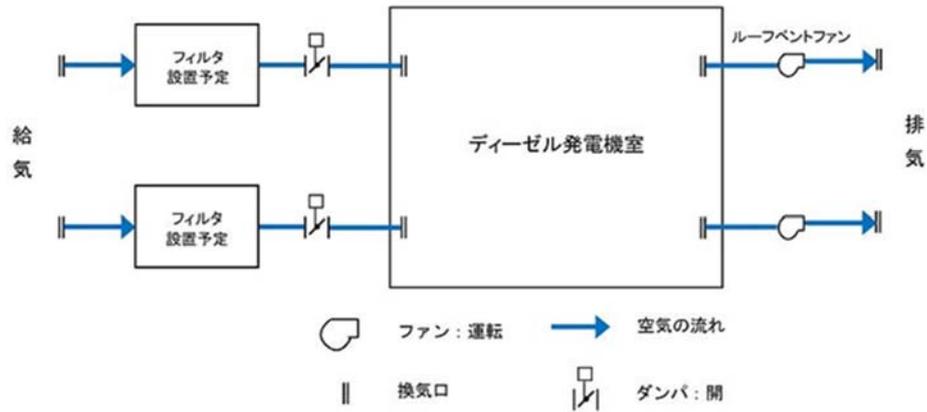
第 3. 2-2 図 原子炉建屋換気系の系統概略図



第 3. 2-3 図 電気室換気系の系統概略図

(2) ディーゼル発電機室換気系

ディーゼル発電機室換気系は，外気取入口にフィルタが設置されていないため，適切なフィルタを設置する方針である。ディーゼル発電機室換気系の系統概略図を第 3. 2-4 図に示す。



第 3. 2-4 図 ディーゼル発電機室換気系の系統概略図

3.3 屋外設置機器

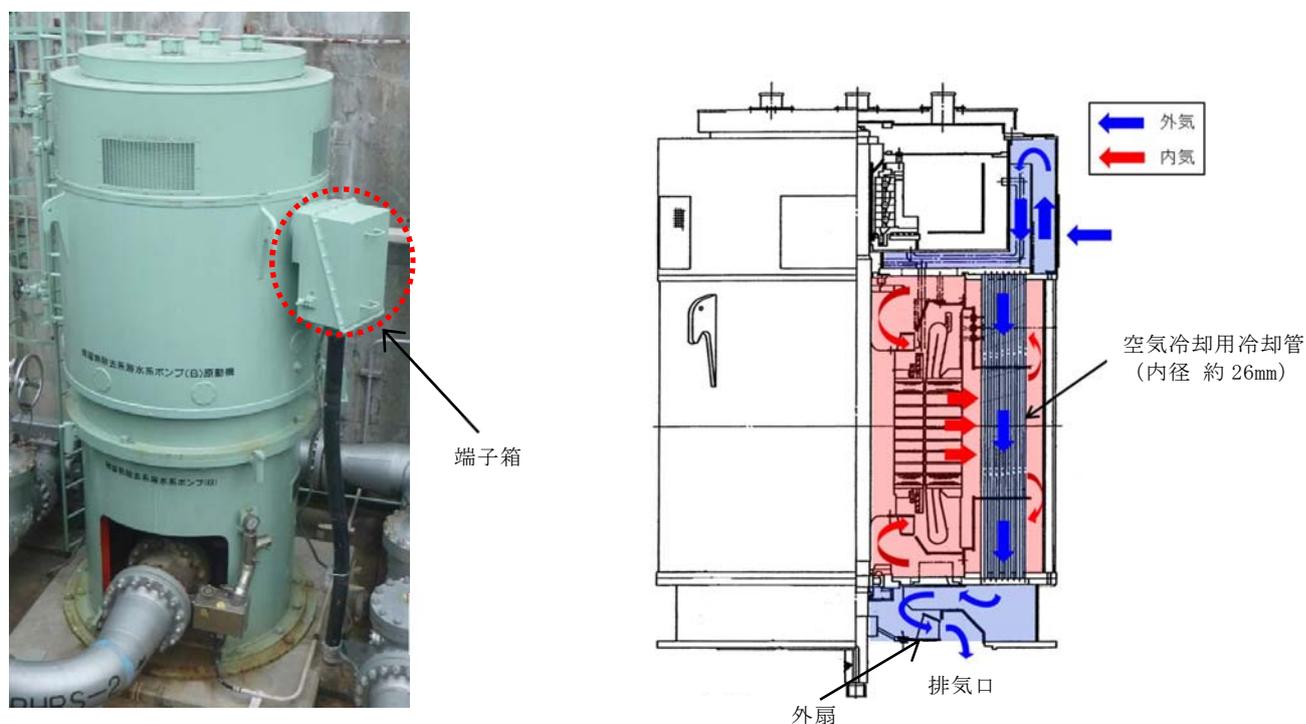
(1) 残留熱除去系海水系ポンプ電動機

残留熱除去系海水系ポンプ電動機は、全閉防まつ型屋外形構造であり、下部に設置した外扇で外気を空気冷却器冷却管内に直接取り込み、冷却管壁で電動機内部空気と熱交換することで冷却を行う構造であり、冷却管内を通った空気は全て排気口に導かれるため、外気が電動機内部に侵入することはない。

空気冷却器冷却管の内径は約 26mm であり、ばい煙の粒径はこれに比べて十分小さいことから、閉塞することはない。

電動機端子箱は、端子箱内部と外部（大気）に圧力差がなく、端子箱蓋はパッキンでシールされているため、ばい煙の侵入による短絡は発生しない。

電動機の構造を第 3.3-1 図に示す。



第 3.3-1 図 残留熱除去系海水系ポンプ電動機 構造図

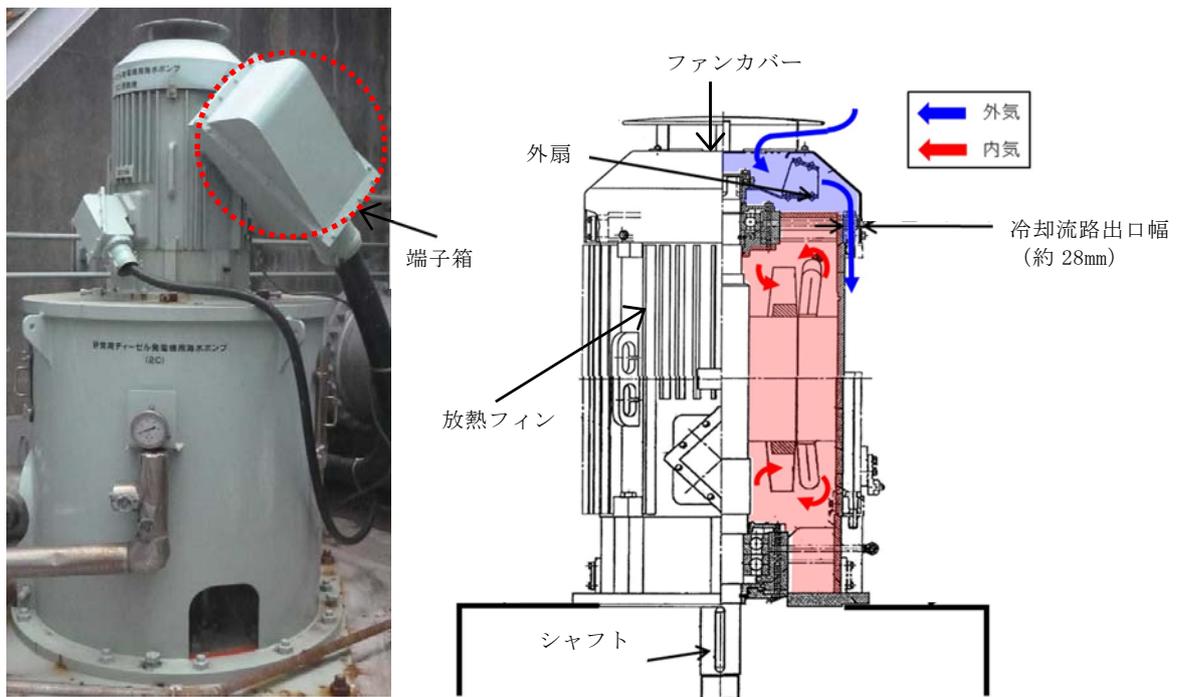
(2) 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機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電動機は、外扇から吸引した外気をファンカバーから下向きに本体放熱フィンに沿って流し、電動機本体を冷却する構造であり、外気が電動機内部に侵入することはない。

また、冷却流路出口幅は約 28mm であり、ばい煙の粒径はこれに比べて十分小さいことから、閉塞することはない。

電動機端子箱は、端子箱内部と外部（大気）に圧力差がなく、端子箱蓋はパッキンでシールされているため、ばい煙の侵入による短絡は発生しない。

電動機の構造を第 3.3-2 図に示す。



第 3.3-2 図 ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機 構造図

3.4 中央制御室の居住性評価

「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」第38条第13項に規定する「原子炉制御室外の火災等により発生した有毒ガスに対する換気設備の隔離その他の適切な防護措置」として、中央制御室換気系は外気を取入れを遮断することができる。

中央制御室換気系の外気取入を遮断することで、運転員の作業環境に影響を及ぼさないことを確認するため、酸素濃度及び炭酸ガス濃度について評価した。

また、発電所敷地内で多量の油を内蔵する施設及び中央制御室給気口までの距離が近い設備（主変圧器）からの火災を想定し、中央制御室内に侵入する有毒物質（CO、CO₂、SO₂、NO₂）の最大濃度を判断基準である Immediately Dangerous to Life or Health*（以下「IDLH」という。）と比較することで、有毒ガスに対する評価を実施し、中央制御室の運転員に影響を及ぼさないことを評価した。

※：30分曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値であり、脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている。

(1) 酸素濃度

中央制御室換気系閉回路循環運転時の中央制御室内の酸素濃度について評価した。

a. 評価条件

- ・ 在室人員 11 人(運転員 7 人に余裕を持たせた人数)
- ・ 中央制御室バウンダリ内体積 2,700m³
- ・ 初期酸素濃度 20.95%^{*1}
- ・ 評価結果が保守的になるよう空気流入は無いものとして評価する。
- ・ 1人あたりの呼吸量は事故時の運転操作を想定し、歩行時の呼吸量^{*1}

を適用して、24L/min とする。

・ 1人あたりの酸素消費量は、成人吸気酸素濃度^{※1}（20.95%），成人呼気酸素濃度^{※2}（16.40%）から 1.092L/min とする。

・ 許容酸素濃度 19.0%以上^{※3}

※1：空気調和・衛生工学便覧 第14版 3 空気調和設備編

※2：呼気には肺胞から蒸発した水蒸気が加わっており，吸気と等容積ではないため，酸素消費量を計算するには，乾燥空気換算（%）を使用する。

※3：鉱山保安法施行規則

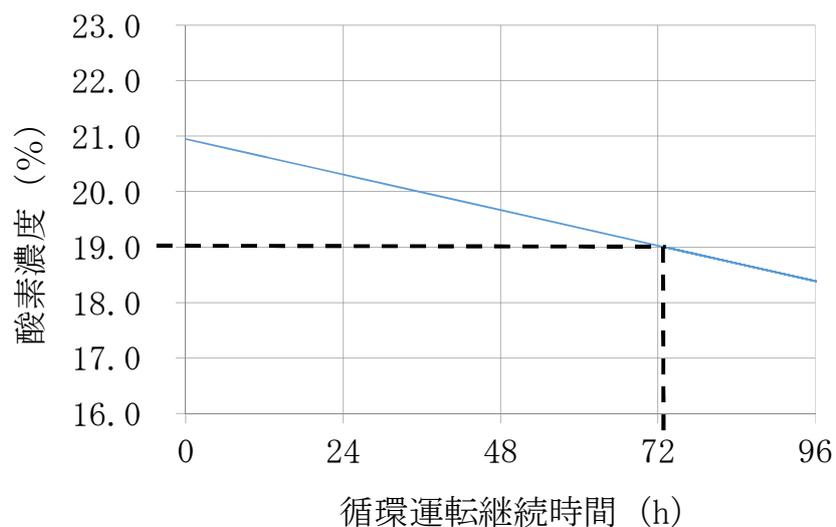
b. 評価結果

評価条件から求めた酸素濃度は，第 3.4-1 表，第 3.4-1 図のとおりであり，外気取入を遮断しても約 73 時間まで中央制御室内に滞在可能である。

敷地内で発生する火災の最長燃焼継続時間（主変圧器約 7 時間）に対して，余裕があり運転員の作業環境に影響を及ぼすことはない。

第 3.4-1 表 中央制御室換気系閉回路循環運転時の酸素濃度

時間	12 時間	24 時間	48 時間	73 時間
酸素濃度	20.6%	20.3%	19.6%	19.0%



第 3.4-1 図 中央制御室換気系閉回路循環運転時の酸素濃度

(2) 炭酸ガス濃度

中央制御室閉回路循環運転時の中央制御室内の炭酸ガス濃度について評価した。

a. 評価条件

- ・ 在室人員 11 人(運転員 7 人に余裕を持たせた人数)
- ・ 中央制御室バウンダリ内体積 $2,700\text{m}^3$
- ・ 初期炭酸ガス濃度 0.03%
- ・ 評価結果が保守的になるよう空気流入は無いものとして評価する。
- ・ 1人あたりの炭酸ガス吐出量は、事故時の運転操作を想定し、中等作業での吐出量^{※1}を適用して、 $0.046\text{m}^3/\text{hr}$ とする。
- ・ 許容炭酸ガス濃度 1.0%未満^{※2}

※1：空気調和・衛生工学便覧 第14版 3空気調和設備編

※2：鉱山保安法施行規則

b. 評価結果

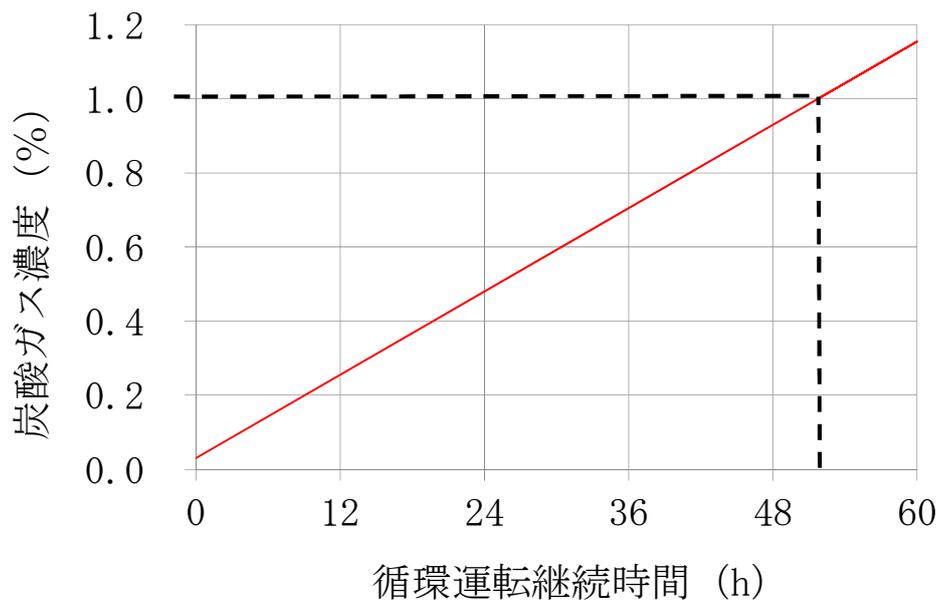
評価条件から求めた炭酸ガス濃度は、第 3.4-2 表、第 3.4-2 図のとおり

りであり、外気取入を遮断しても約 51.7 時間まで中央制御室内に滞在可能である。

敷地内で発生する火災の最長燃焼継続時間（主変圧器約 7 時間）に対して、余裕があり運転員の作業環境に影響を及ぼすことはない。

第 3.4-2 表 中央制御室換気系閉回路循環運転時の炭酸ガス濃度

時間	12 時間	24 時間	48 時間	51.7 時間
炭酸ガス濃度	0.26%	0.48%	0.93%	1.00%



第 3.4-2 図 中央制御室換気系閉回路循環運転時の炭酸ガス濃度

(3) 有毒ガス

中央制御室換気系給気口の風上で発生し、給気口を直接臨むことができる火災源を対象とし、中央制御室換気系給気口位置における有毒ガス濃度の評価を実施した。

a. 評価手法

火災源から放出された有毒ガスは中央制御室換気系給気口に向う風によって、風下直線方向に拡散していくものとして、Briggsの排煙上昇過程式により求めた評価対象ガスの風速と、有風時ブルーム式を用いて、中央制御室換気系給気口の空気中に含まれる有毒ガス濃度を評価する。評価手法の概要を第3.4-3図に示す。

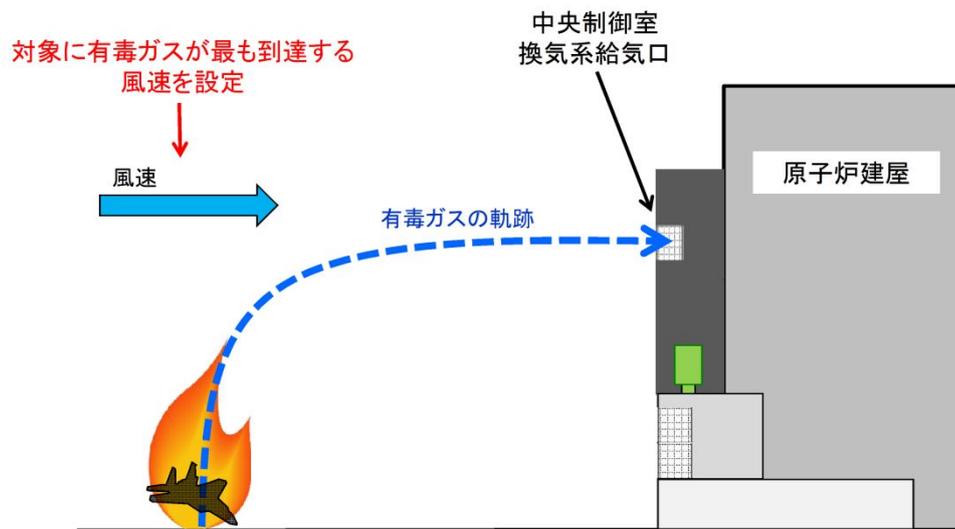
(有風時ブルーム式)

$$C_{xyz} = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left(\exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right) \quad (1)$$

(Briggsの排煙上昇過程式)

$$H_e = 1.6 F^{1/3} \cdot x^{2/3} \cdot u^{-1} \quad (2)$$

- C_{xyz} : 濃度 (ppm)
- Q : 有毒ガス発生量 (Nm³/s)
- H_e : 排煙上昇高度 (m)
- σ_y, σ_z : 拡散パラメータ (m)
- u : 風速 (m/s)
- F : 排熱フラックス (m⁴/s³) = 0.037 Q_H
- Q_H : 排気熱量 (kcal/s) = $\dot{m}A \Delta H_{c,eff}$
- $\Delta H_{c,eff}$: 燃焼時発熱量 (kcal/kg)
- A : 燃焼面積 (m²)
- \dot{m} : 質量低下速度 (kg/m²/s)
- x : 発生源と給気口との離隔距離 (m)
- z : 発生源と給気口との鉛直方向距離 (m)
- y : 排気ブルーム軸からの距離 (m)



第 3.4-3 図 中央制御室換気系給気口における有毒ガス濃度評価手法の概要

火災によって発生する有毒ガスの中央制御室換気系給気口位置での濃度を求め、判断基準であるIDLH^{※1}と比較評価を実施する。

※1：30分の曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限界値であり、脱出を妨げる目や呼吸器官への刺激の予防も考慮されている。

評価手順は以下の通り。

- (a) 火災源から発生する有毒ガス発生量 Q (Nm^3/s)を算出する。
- (b) 式(2)を用いて、火災源の排煙上昇高度 H_e が給気口中央の地表面からの高さと同しくなる風速 u を求める。
- (c) 式(1)を用いて、給気口における有毒ガス濃度を求める。なお、 z = 高低差、 $y = 0$ とする。

なお、Briggsの排煙上昇過程式の適用条件^{※2}は、以下のとおりであり、火災源毎に下記条件を満たすことを確認した。このため、Briggsの排煙上昇過程式を用いて、排煙高さが給気口高さと同じになる風速を

求めることは妥当である。

※2 : G. A. Briggs, " Plume Rise" , U. S. Atomic Energy Commission, 1969

$$x \leq x'$$

$$x' = 2.16 F^{2/5} \cdot \Delta h^{2/5}$$

x : 離隔距離 (m), F : 排熱フラックス (m^4/s^3)

x' : 浮力の効果が薄れて大気気流による拡散効果が支配的になり始める距離 (m)

Δh : 排煙上昇高度 (m) ($\Delta h < 305m$)

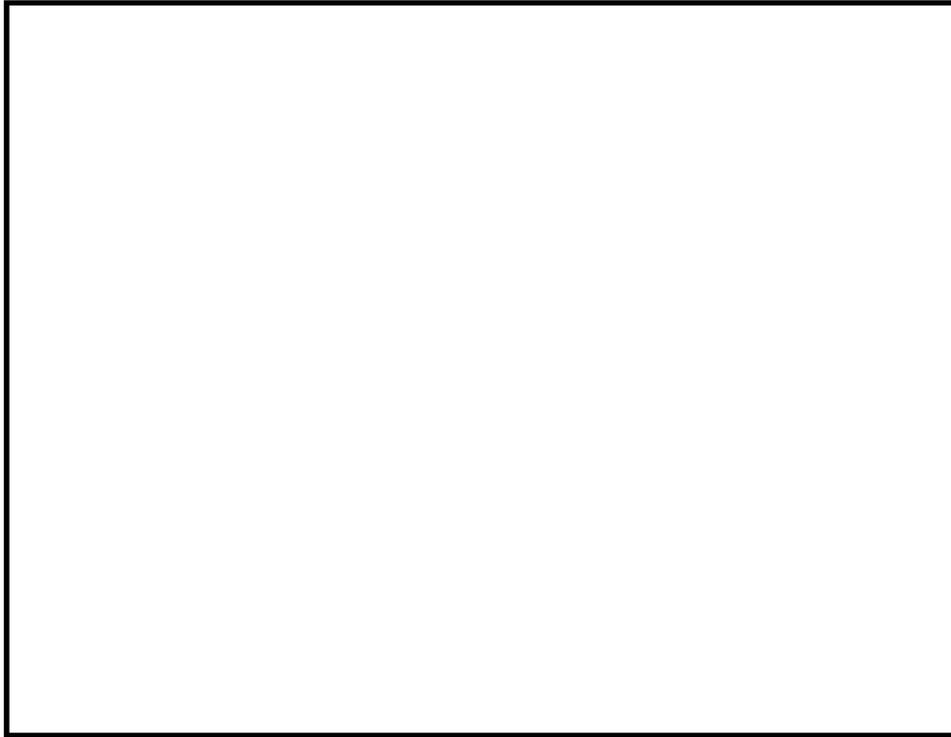
b. 評価データ

(a) 評価対象となる給気口及び火災源との距離

評価対象となる給気口と火災源の水平方向の位置関係を第 3.4-4 図に、離隔距離及び鉛直方向距離を第 3.4-3 表に、高さ方向の位置関係を第 3.4-5 図に示す。

第 3.4-3 表 給気口と火災源との距離

評価対象	中央制御室換気系 給気口 B2-18A	中央制御室換気系 給気口 B2-19A
航空機 (F-15)		



第 3.4-4 図 評価対象となる給気口と火災源との位置関係（水平方向）



第 3.4-5 図 評価対象となる給気口と火災源との位置関係（高さ方向）

航空機火災に対する離隔距離は、最も保守的な評価となる「自衛隊機又は米軍機基地－訓練空域間往復時（F-15）」の離隔距離を採用した。

また、中央制御室換気系給気口は 2 つあるが、評価は、火災源から

の距離が近く、高さが高い方が保守的となるため、B2-19A を対象に評価を実施した。

(b) 火災発生時の有毒ガス発生量

第 3.4-4 表に燃料の燃焼特性を示す。

燃料 1kg 当たりの有毒ガスの発生量は、各文献に掲載されている単位重量当たりのガス発生量より単位換算することにより求められる。ただし、単位重量当たりのガス発生量は幅をもった値ではないため、保守性の観点から航空機燃料のうち、JP-4 より保守的となる JET A-1 の値を設定する。

第 3.4-4 表 燃焼特性に関するデータ

油 種		JP-4	JET A-1
有毒ガス発生量* (kg/kg)	CO ₂	3.053	3.237
	CO	0.030	0.030
	SO ₂	0.001	0.0011
	NO ₂	0.005	0.006

※：有毒ガスの発生量は以下の文献より算出した。

CO₂：環境省，温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル

CO：Ross J.L., Ferek R.J. and Hobbs P.V., "Particle and Gas Emissions from an In Situ Burn of Crude Oil on the Ocean", J. Air & Water Manage. Assoc., 46, pp. 251-259 (1996)

SO₂：U.S.EPA AP-42, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors Volume I: Stationary Point and Area Sources"

NO₂：SO₂と同

(c) 評価対象及び火災源に関するデータ

第 3.4-5 表に火災源に関するデータ，第 3.4-6 表に有毒ガス発生量に関するデータを示す。

第 3.4-5 表 火災源に関するデータ

想定火災源	油種	燃焼面積 (m ²)	質量低下速度 (kg/m ² /s)	発熱量 (kcal/kg)	燃焼消費速度 (kg/s)	排出熱量 (kcal/s)	排熱フラックス (m ⁴ /s ³)
航空機 (F-15)	JP-4	44.6	0.051	10,300	2.27	23,300	862

第 3.4-6 表 有毒ガス発生量に関するデータ

想定火災源	ガス発生量 (Nm ³ /s)			
	CO ₂	CO	SO ₂	NO ₂
航空機 (F-15)	3.741	0.055	0.001	0.007

(d) 拡散パラメータ

式(2)より、各火災による排煙上昇高度が敷地からの給気口高さと同しくなるものとして風速を算出した。算出結果を第 3.4-7 表に示す。

第 3.4-7 表 算出結果

評価対象	風速 (m/s)
中央制御室 給気口 B2-19A	航空機 (F-15) 5.9

また、算出した風速と第 3.4-8 表に示す大気安定度分類表より、保守性を考慮して大気拡散の弱い安定度 D の式を採用し、第 3.4-9 表を用いて拡散パラメータを算出した。

算出した拡散パラメータは風による拡散しか考慮されていないため、想定する火災の熱気による鉛直方向への浮力拡散を考慮することとし、第 3.4-10 表に示すガウスプルームモデルにおける大気拡散パラメータより $\Delta H e^2 / 10$ を加えた値を採用した。

第 3.4-8 表 大気安定度分類表※

風速(U) m/s	日射量(T) kw/m ²				放射収支量(Q) kw/m ²		
	T > 0.60	0.60 > T ≥ 0.30	0.30 > T ≥ 0.15	0.15 > T	Q ≥ 0.020	-0.020 > Q ≥ 0.040	-0.040 > Q
U < 2	A	A-B	B	D	D	G	G
2 ≤ U < 3	A-B	B	C	D	D	E	F
3 ≤ U < 4	B	B-C	C	D	D	D	E
4 ≤ U < 6	C	C-D	D	D	D	D	D
6 ≤ U	C	D	D	D	D	D	D

※：発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針

第 3.4-9 表 拡散パラメータ Pasquill-Gifford 図の近似関係※

$$\sigma_y(x) = \gamma_y \cdot x^{\alpha_y}$$

安定度	σ_y	γ_y	風下距離(x)
A	0.901	0.426	0~1,000
	0.851	0.602	1,000~
B	0.914	0.282	0~1,000
	0.865	0.396	1,000~
C	0.924	0.1772	0~1,000
	0.885	0.232	1,000~
D	0.929	0.1107	0~1,000
	0.889	0.1467	1,000~
E	0.921	0.0864	0~1,000
	0.897	0.1019	1,000~
F	0.929	0.0554	0~1,000
	0.889	0.0733	1,000~
G	0.921	0.0380	0~1,000
	0.896	0.0452	1,000~

$$\sigma_z(x) = \gamma_z \cdot x^{\alpha_z}$$

安定度	σ_y	γ_y	風下距離(x)
A	1.122	0.0800	0~ 300
	1.514	0.00855	300~ 500
	2.109	0.000212	500~
B	0.964	0.1272	0~ 500
	1.094	0.0570	500~
C	0.918	0.1068	0~
D	0.826	0.1046	0~ 1,000
	0.632	0.400	1,000~10,000
	0.555	0.811	10,000~
E	0.788	0.0928	0~ 1,000
	0.565	0.433	1,000~10,000
	0.415	1.732	10,000~
F	0.784	0.0621	0~ 1,000
	0.526	0.370	1,000~10,000
	0.323	2.41	10,000~
G	0.794	0.0373	0~ 1,000
	0.637	0.1105	1,000~ 2,000
	0.431	0.529	2,000~10,000
	0.222	3.62	10,000~

※：窒素酸化物総量規制マニュアル

第 3.4-10 表 拡散パラメータ σ_z ※

TABLE 2. SUMMARY OF RECOMMENDATIONS FOR INTERIM CHANGES IN THE WORKBOOK VALUES OF THE DISPERSION PARAMETERS σ_y AND σ_z

For crosswind spread σ_y , irrespective of the terrain roughness, release height and sampling duration up to up to about 1 hour, use the formula*

$$\sigma_y/x = \sigma_\theta f(x), \sigma_\theta \text{ in radians}$$

with σ_θ † the best available estimate of the standard deviation of the wind direction fluctuation for the sampling time of interest and for the height at which \bar{u} is specified, and with values of $f(x)$ as follows:

x(km)	0.1	0.2	0.4	1	2	4	10	>10
f(x)	0.8	0.7	0.65	0.6	0.5	0.4	0.33	$0.33(10/x)^{1/2}$

For $x \geq 20$ km add to the square of the σ_y as obtained above the quantity $0.03\Delta\theta^2 x^2$ and take the square root to give the total σ_y , with $\Delta\theta$ the total change of mean wind direction over the depth of the plume.

For vertical spread σ_z , for any sampling time for a surface release, and say >10 min for an elevated release (see Section 2), use the existing Workbook curves with adjustment or constraint as follows:

- For terrain with z_0 different from 3 cm apply factors based on F. B. Smith's nomogram (Ref. 5 or Ref. 6, p 377)
- To allow for 'urban heating' adopt a stability category one-half category more unstable than that prescribed in the normal way in the Workbook
- For evaluating the concentration at the surface from a surface release, consider estimates of the effective mixed depth h' at the mid-time of sampling, recognizing especially its growth from very small values on stable nights, and then adopt either σ_z as given by the curves, or $0.8h'$, whichever is the smaller, for substitution in Eq (A).
- For buoyant plumes, increase the σ_z^2 obtained from the curves by adding $\Delta H^2/10$ where ΔH is the estimated plume rise.

23

*, † see Notes on Table 2'

※ : Atmospheric dispersion parameters in gaussian plume modeling Part II

(e) 評価結果

各火災で発生する中央制御室換気系給気口での有毒ガス濃度を第3.4-11表に示す。

第3.4-11表 評価結果

評価対象	想定発火源	風速 (m/s]	拡散パラメータ (m)	
			σ_y	σ_z
中央制御室 換気系給気口 B2-19A	航空機火災 (F-15)	5.9	1.956	1.344

評価対象	想定発火源	ガス濃度 (ppm)			
		CO ₂	CO	SO ₂	NO ₂
中央制御室 換気系給気口 B2-19A	航空機火災 (F-15)	7,883	116	3	15
判断基準：IDLH [※]		40,000	1,200	100	20

※：30分曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値

以上の結果から、全ての評価に対しIDLH以下であり、中央制御室の居住性が損なわれることはないと評価できる。

また、中央制御室に有毒ガスが流入してくる場合は、中央制御室の外気取り入れを遮断し、再循環させる非常時モードで運転を行うことが可能であり、この非常時モードへの切替は火災発生後10分程度[※]で実施可能であることを実測により確認している。

※：火報発生→現場確認→火災発生（有毒ガスの流入）を確認→非常時モードへ切替操作

(4) 森林火災時における防火帯外に位置する放射性物質保管施設の東海第二発電所への影響

a. 概要

防火帯外の防火帯近傍に放射性物質の保管施設*がある（第1図参照）。森林火災時におけるこれら保管施設からの東海第二発電所への影響を評価した。

※：旧レーザー濃縮技術研究組合東海濃縮実験所の固体廃棄物貯蔵庫，東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所の廃棄物埋設施設，日本原子力研究開発機構の使用済燃料貯蔵施設（北地区），第2保管廃棄施設及び廃棄物埋設施設がある。

b. 放射性物質の保管状態と発電所への影響

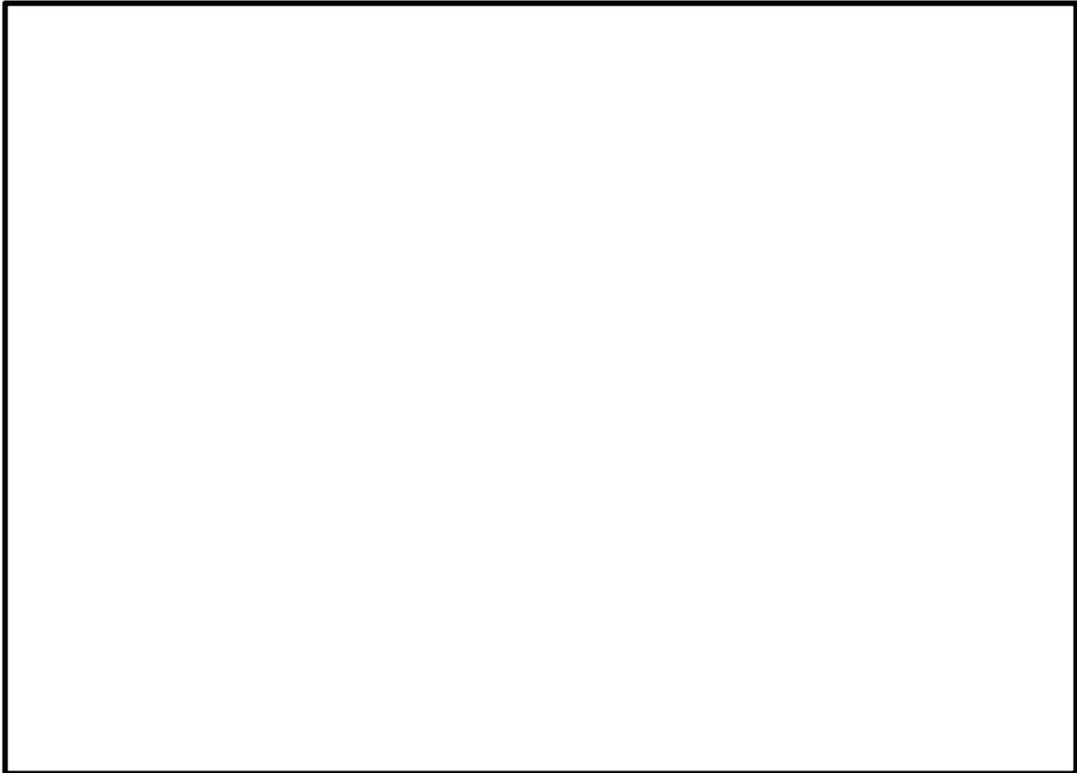
防火帯外の防火帯近傍には当社が管理する施設として，旧レーザー濃縮技術研究組合東海濃縮実験所の固体廃棄物貯蔵庫（当社が保管業務を受託中。以下「固体廃棄物貯蔵庫（レーザー）」という。）及び東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所の廃棄物埋設施設（事業許可申請中。以下「L3事業所」という。）がある。その他の保管施設としては，日本原子力研究開発機構（以下「機構」という。）の使用済燃料貯蔵施設（北地区），第2保管廃棄施設及び廃棄物埋設施設がある。森林火災時において，以下のとおり，これら保管施設が影響を受け，保管物質が流出する可能性は低い。

- ①固体廃棄物貯蔵庫（レーザー）は，コンクリート構造であり延焼しにくく，保管物質である未照射の劣化ウラン，天然ウラン及び濃縮ウランはドラム管で保管されているため，森林火災の影響を受け保管物質が流出する可能性は低い。
- ②L3事業所については，放射能レベルの極めて低いL3廃棄物が2m以上の覆土により埋設されるため，森林火災の影響を受け埋設物が流出

することはない。

- ③使用済燃料貯蔵施設（北地区）については、コンクリート構造であり延焼しにくく、保管物質である天然ウラン燃料は鉄箱で地下ピット保管されているため、森林火災の影響を受け保管物質が流出する可能性は低い。
- ④第2保管廃棄施設（廃棄物保管棟Ⅰ，廃棄物保管棟Ⅱ，保管廃棄施設NL）については、コンクリート構造であり延焼しにくく、保管物質である低レベル放射性廃棄物はドラム管で保管されているため、森林火災の影響を受け保管物質が流出する可能性は低い。
- ⑤廃棄物埋設施設については、低レベル放射性廃棄物が2m以上の覆土により埋設されるため、森林火災の影響を受け埋設物が流出することはない。

上記のとおり、保管施設の構造及び保管状態を踏まえると、②及び⑤の埋設物は流出することはない、①，③及び④の保管物質が流出する可能性は低い、仮に流出したとしても、中央制御室の外気取り入れを遮断し閉回路循環運転を行うことで、中央制御室の居住性を確保可能である。また、予防散水対応については、線量を確認しつつ実施する。

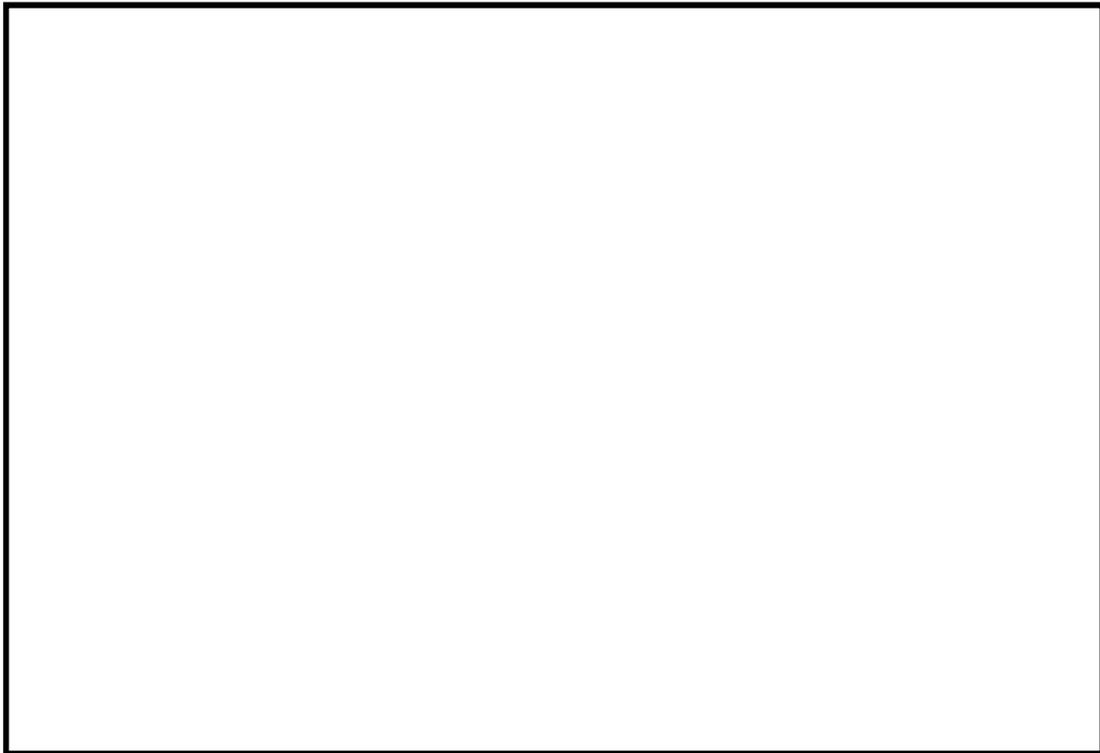


第 3.4-6 図 東海第二発電所に影響を与える可能性のある保管施設

3.5 緊急時対策所の居住性評価

外部火災時の緊急時対策所の居住性の評価として，外気取入れ遮断時の緊急時対策所内に滞在する緊急時対策要員の作業環境の劣化防止のため，酸素濃度及び炭酸ガス濃度について評価を行った。

緊急時対策所の位置を第 3.5-1 図に示す。



第 3.5-1 図 緊急時対策所の位置

(1) 酸素濃度

外気遮断時の緊急時対策所内の酸素濃度について評価した。

a. 評価条件

- ・ 在室人員 100 人（緊急時対策本部に収容する最大の対策要員数）
- ・ 加圧エリア内空気量 2,900m³
- ・ 初期酸素濃度 20.95%
- ・ 評価結果が保守的になるよう空気流入は無いものとして評価する。
- ・ 1 人あたりの呼吸量は，事故時の運転操作を想定し，歩行時の呼吸量
※¹ を適用して，24L/min とする。
- ・ 1 人あたりの酸素消費量は，成人吸気酸素濃度※¹（20.95%），成人
呼気酸素濃度※²（16.40%）から 1.092L/min とする。
- ・ 許容酸素濃度 19.0% 以上※³

※¹：空気調和・衛生工学便覧 第 14 版 3 空気調和設備編

※²：呼気には肺胞から蒸発した水蒸気が加わっており，吸気と等容積ではない

ため、酸素消費量を計算するには、乾燥空気換算（％）を使用する。
 ※ 3：鉱山保安法施行規則

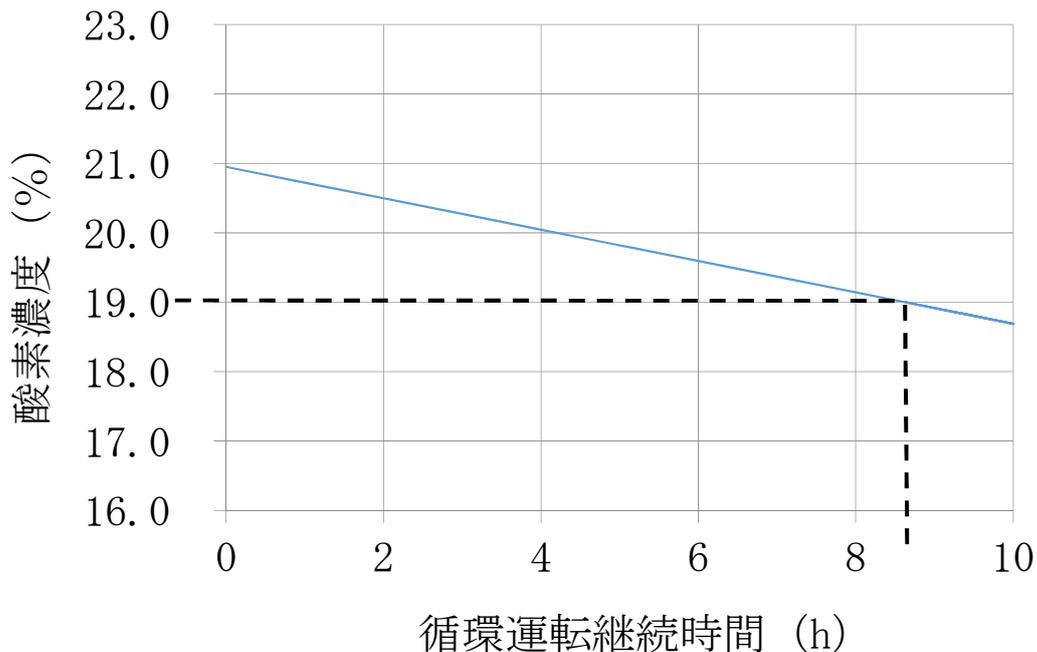
b. 評価結果

評価条件から求めた酸素濃度は、第 3.5-1 表、第 3.5-2 図のとおりであり、外気取入を遮断しても約 8.6 時間まで緊急時対策所内に滞在可能である。

緊急時対策所周囲で発生する火災として想定される航空機墜落火災のうち、最も長い燃焼継続時間である B747-400 の約 1.9 時間に対して余裕があり、運転員の作業環境に影響を及ぼすことはない。

第 3.5-1 表 外気遮断時の酸素濃度

時間	2 時間	4 時間	6 時間	8.6 時間
酸素濃度	20.4%	20.0%	19.5%	19.0%



第 3.5-2 図 在室人員数に対する居住性に影響を及ぼさない時間（酸素）

(2) 炭酸ガス濃度

外気遮断時の緊急時対策所内の炭酸ガス濃度について評価した。

a. 評価条件

- ・ 在室人員 100 人（緊急時対策本部に収容する最大の対策要員数）
- ・ 加圧エリア内空気量 2,900m³
- ・ 初期炭酸ガス濃度 0.03%
- ・ 評価結果が保守的になるよう空気流入は無いものとして評価する。
- ・ 1人あたりの炭酸ガス吐出量は、事故時の運転操作を想定し、中等作業での吐出量^{※1}を適用して、0.046m³/hとする。
- ・ 許容炭酸ガス濃度 1.0%未満^{※2}

※1：空気調和・衛生工学便覧 第14版 3 空気調和設備編

※2：鉱山保安法施行規則

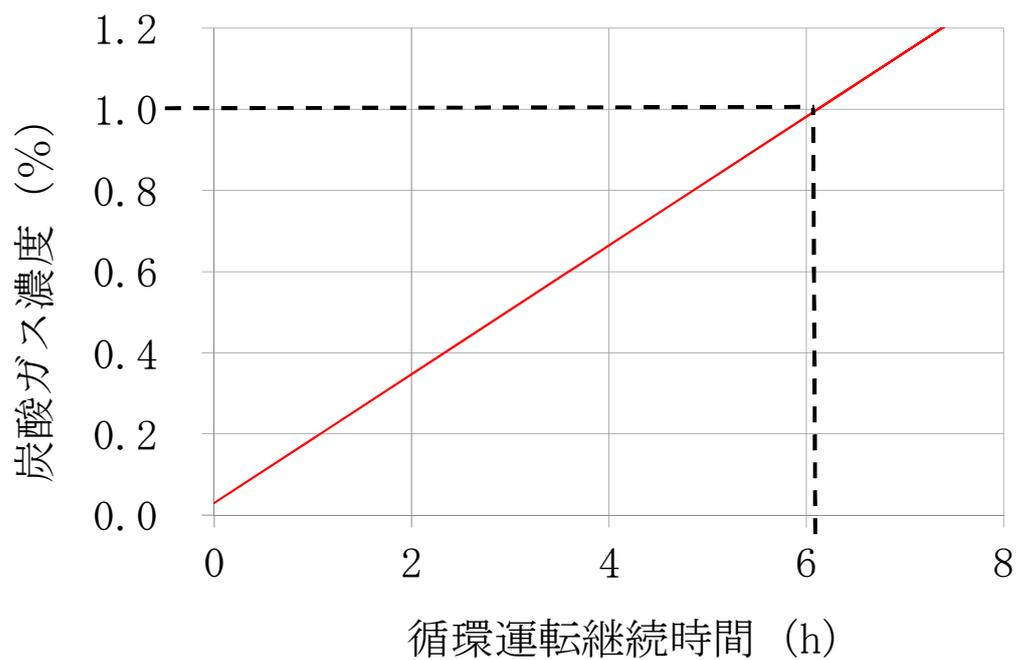
b. 評価結果

評価条件から求めた炭酸ガス濃度は、第3.5-2表、第3.5-3図のとおりであり、外気取入を遮断しても約6.1時間まで緊急時対策所内に滞在可能である。

緊急時対策所周囲で発生する火災として想定される航空機墜落火災のうち、最も長い燃焼継続時間であるB747-400の約1.9時間に対して余裕があり、運転員の作業環境に影響を及ぼすことはない。

第3.5-2表 外気遮断時の炭酸ガス濃度

時間	1時間	2時間	4時間	6.1時間
炭酸ガス濃度	0.19%	0.35%	0.67%	1.00%



第 3.5-3 図 在室人員数に対する居住性に影響を及ぼさない時間（炭酸ガス）

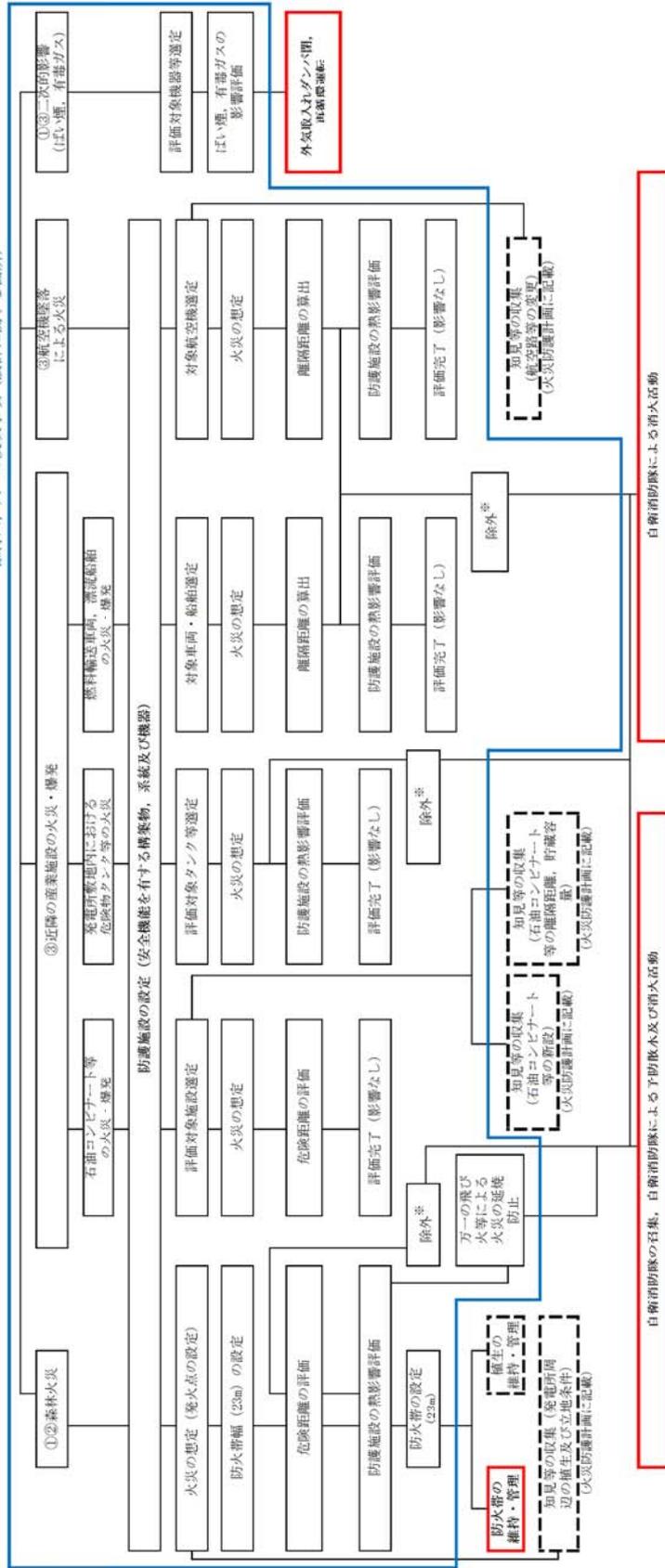
東海第二発電所

運用，手順説明資料
外部からの衝撃による損傷の防止
(外部火災)

(第6条 外部火災)

- ① 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項についても同じ）が発生した場合においても安全機能を損なわれないものでなければならない。
- ② 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼす恐れがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。
- ③ 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定され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つて人為的によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわれないものでなければならない。

添付六、八への反映事項（設計に関する箇所）



添付六、八への反映事項（手順等に関する箇所）

※：クラス3設備のうち、屋内に設置している設備は建屋により防護し、屋外機器については、消火活動により防護しているため、個別の影響評価を行わない

設計基準に係る運用対策等

※：自衛消防隊の体制については、添付書類 2「第 4.1-2 表」に記載

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第六条 外部からの衝撃による損傷の防止 (外部火災)	防火帯の維持・管理	運用・手順	・防火帯のパトロール, 可燃物の排除
		体制	・担当 Gr による防火帯の維持・管理
		保守・点検	・防火帯の維持・管理
		教育・訓練	・火災防護に関する教育 (防火帯の目的, 点検・維持)
	植生の維持・管理	運用・手順	・発電所敷地内のパトロール, 植生の維持・管理
		体制	・担当 Gr による植生の維持・管理
		保守・点検	・解析で想定した植生の維持・管理
		教育・訓練	・火災防護に関する教育 (植生の維持・管理の目的, 点検・維持)
	知見の収集 (発電所周辺の植生及び立地条件)	運用・手順	・外部火災影響評価ガイドに伴い, 外部火災影響評価を行う。
		体制	・担当 Gr による外部火災影響評価
		保守・点検	—
		教育・訓練	・火災防護に関する教育
	知見の収集 (石油コンビナート等の新設, 離隔距離, 貯蔵容量)	運用・手順	・外部火災影響評価ガイドに伴い, 外部火災影響評価を行う。
		体制	・担当 Gr による外部火災影響評価
保守・点検		—	
教育・訓練		・火災防護に関する教育	
知見の収集 (航空路等の変更)	運用・手順	・外部火災影響評価ガイドに伴い, 外部火災影響評価を行う。	
	体制	・担当 Gr による外部火災影響評価	
	保守・点検	—	
	教育・訓練	・火災防護に関する教育	

設計基準に係る運用対策等

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
	自衛消防隊による 初期消火活動及び予 防散水	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> ・火災発生現場の確認，中央制御室への連絡 ・消火器，消火栓を用いた消火活動及び化学消防自動車，水槽付消防自動車を用いた消火活動 ・自衛消防隊*
		体制	
	自衛消防隊による 初期消火活動及び予 防散水	保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> ・化学消防自動車及び水槽付消防ポンプ自動車の点検 ・消火設備（消火器，消火栓等）の点検 ・消防用資機材（防火服，空気呼吸器等）の点検 ・故障時の補修
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・初期消火対応要員の力量を維持するための教育，訓練 ・自衛消防隊に対する消火訓練，資機材取扱訓練 ・外部機関（海上災害防止センター等）での消火訓練 等
	自衛消防隊への連絡	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> ・通報連絡責任者による自衛消防耐への連絡
		体制	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛消防隊への連絡
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> ・通報設備の点検
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・火災防護に関する教育 ・消防要員等による総合的な初期消火訓練
	公的消防への通報	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> ・通報連絡責任者による公的消防への
		体制	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛消防隊
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> ・通報設備の点検
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・火災防護に関する教育（公的消防への通報）
	外気取入れダンパ 閉，再循環運転	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> ・外気取入れダンパ閉，再循環運転の手順
		体制	<ul style="list-style-type: none"> ・運転員による運転操作
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> ・換気空調設備の点検
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・操作手順の教育（運転員による外部火災発生時の外気取入れダンパ閉，再循環運転） ・補修に関する教育・訓練（換気空調設備）

東海第二発電所
森林火災評価に係る植生確認プロセスについて

1. 植生確認プロセスについて

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下「評価ガイド」という。）において、発電所周囲で発生する森林火災を想定した発電所に与える影響について評価することが要求されている。

当該評価は、評価ガイドにおいて推奨されている、森林火災シミュレーション解析コードFARSITE（以下「FARSITE」という。）を用いて行う。

FARSITEの主なインプットデータのうち、樹種、林齢等の植生データについては、影響評価範囲内の森林簿による植生確認及びウォークダウンによる植生確認結果を反映する。以降に植生確認のプロセスを示す。

2. 植生確認の内容

(1) 森林簿による植生確認

東海第二発電所の立地自治体である茨城県から交付を受けた森林簿により、影響評価範囲の植生確認を行う。

(2) 発電所周囲のウォークダウンによる植生確認

植生確認に適した資格・経験年数を有する調査者が発電所周辺のウォークダウンを行い以下の植生確認を行う。

- ・森林簿データを基にした発電所周辺植生の妥当性確認
- ・森林簿データの範囲外となる草等の植生確認

3. 植生データの作成と記録の取扱い

3.1 植生データの作成

- (1) 森林簿のデータを、国土数値情報土地利用細分メッシュを100mメッシュから10mメッシュに変換したデータにオーバーレイする。

- (2) (1)で作成したデータに発電所周囲の植生データとして、現場の植生確認結果のデータをオーバーレイする。

3.2 記録の取扱い

森林簿データ、現場確認結果及びF A R S I T Eに入力した植生データを記録として保管する。

4. 定期的な植生の管理

- ・植生の妥当性判断に資格・経験年数が必要となる樹木については、定期的に資格・経験年数を有する調査員による植生確認を行い、発電所周辺の植生とF A R S I T Eに入力した植生データに相違がないことを確認する。
- ・生育状況のみで判断が可能な草等の植生は、定期的に植生確認を行い、発電所周辺の植生とF A R S I T Eに入力した植生データに相違がないことを確認する。また、必要に応じ草刈り等を行い植生の維持管理を行う。
- ・植生の変更が森林火災評価へ与える影響に応じて再評価の必要性を検討する。

以上