

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 第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）	技術基準規則 第7条（外部からの衝撃による損傷の防止）	備考
安全施設は、想定される自然事象（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。	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。	追加要求事項
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。		追加要求事項
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。	<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>	追加要求事項

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。

【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。

【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°C （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をから、地滑りにより安全機能を損なうことはない。

【別添資料1（3.2:28～29）】

(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，構造物の化学的影響（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、適切に組み合わせせて設計する。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、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) 航空機落下

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、航空機落下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－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。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15年～24年）及び茨城県の森林火災発生状況（平成15年～24年）

月	水戸地方気象台 (平成15年～24年)			東海第二発電所 (平成15年～24年)		茨城県の 森林火災件数※
	気温 (°C)	風速 (m/s)		湿度 (%)	卓越風向	
	最高気温	最大風速	最大風速記録 時の風向	最小湿度	最多風向	
1月	16.9	13.4	北東	14	西北西	87
2月	24.3	11.9	北東	14	西北西	124
3月	25.2	14.3	北東	11	西北西	168
4月	29.8	14.0	北東	14	北東	126
5月	31.4	13.5	北東	13	北東	52
6月	33.5	14.2	北北東	21	北東	16
7月	36.4	11.8	北北東	38	北東	18
8月	37.0	10.4	南南西	27	北東	21
9月	36.1	13.9	北北東	29	北東	21
10月	31.1	15.5	北東	25	西北西	14
11月	24.5	11.8	北北東	18	西北西	6
12月	25.0	11.2	南西	17	西北西	56

※「消防防災年報」（平成15年～平成24年 総務省消防庁）

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。

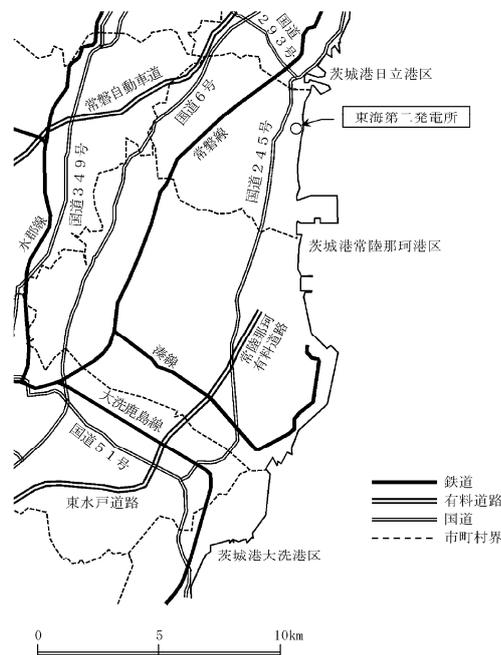
主要な道路としては、常磐自動車道，国道 245 号，国道 6 号及び国

道 293 号がある。

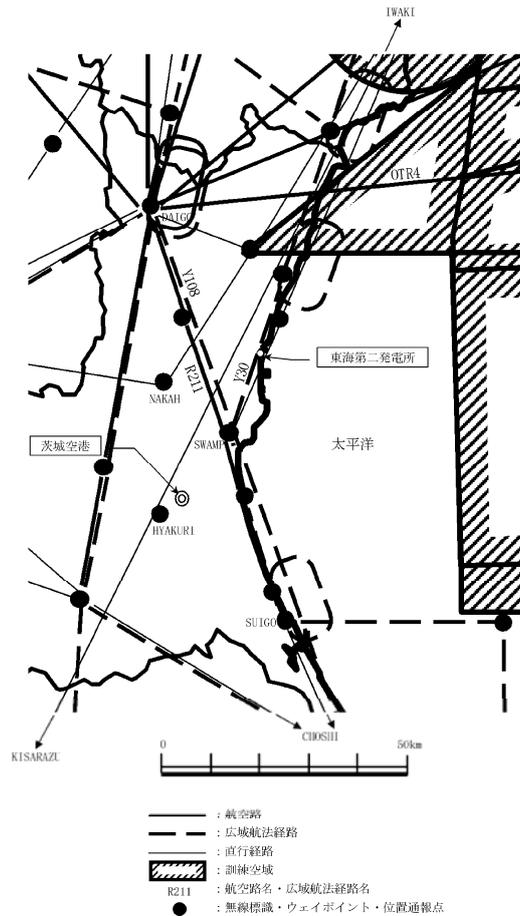
海上交通としては、発電所の北方約 3km に茨城港日立港区，南方約 6km に茨城港常陸那珂港区，南方約 18km に茨城港大洗港区があり，日立－鉏路間，常陸那珂－苫小牧間，常陸那珂－北九州間，大洗－苫小牧間等の定期航路がある。

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）	○		○	○	○	○	○	○	○
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）
- ・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氷の発生、流氷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、IAEA 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 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。
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）	—	○	「航空機落下」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 ^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。 七尾からの飛砂の影響については、「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、また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。また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-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 1.2-3 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の対象とする。

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、また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。また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。

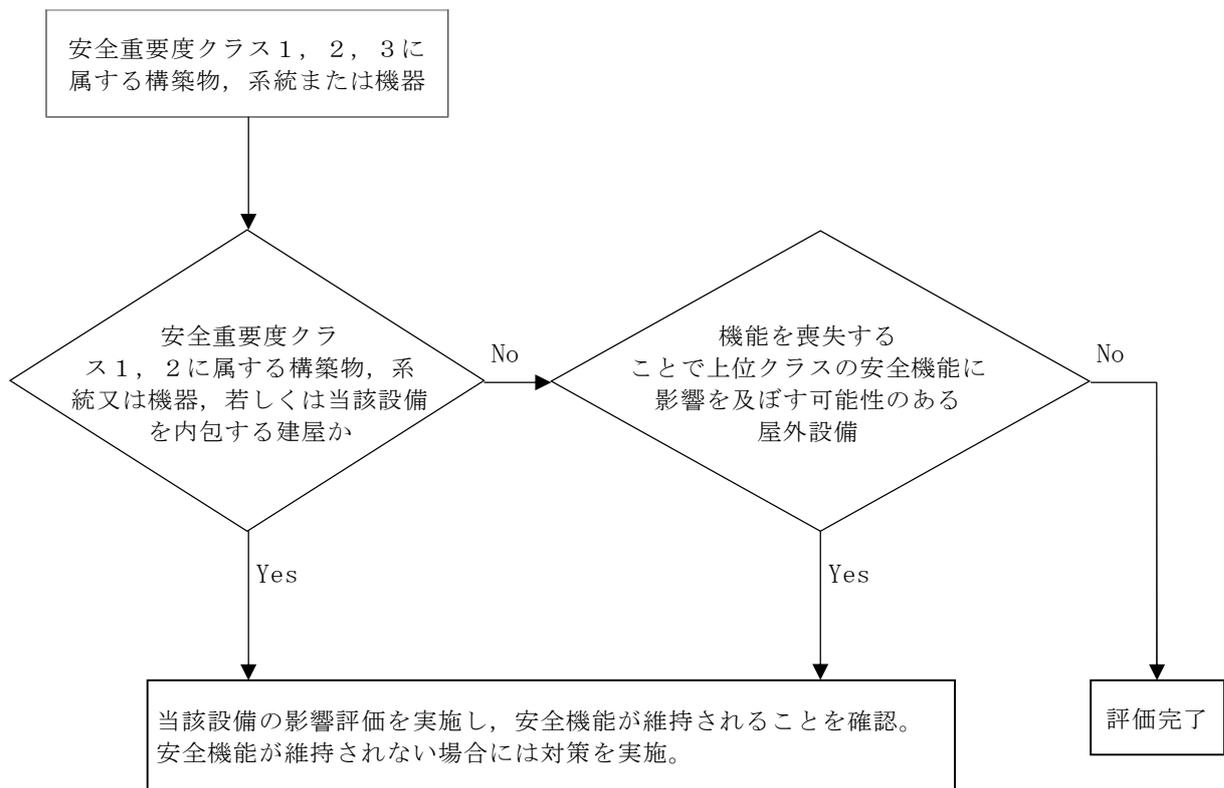
また、影響評価については、安全重要度クラス1，2に属する構築物，系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備を評価し、安全機能が維持できることを確認する。また、安全機能が維持されない場合には対策を実施する。

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 40cm、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 40cm 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20.0mに対し, 森林火災の延焼を防止するために, 21m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℃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。

防潮堤構造変更に伴い, 防火帯幅が変更となる可能性があるため, 別途説明する。

(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) 航空機落下

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℃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－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。

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。

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，並びに航空機落下，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		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	○	影		
			原子炉再循環ポンプ	C/S	○	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	○	影
			隔離弁	C/S	○	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	○	影
			中性子束計装管ハウジング	C/S	○	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	○	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	○	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	○	影
			シュラウドサポート	C/S	○	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	○	影
			炉心支持板	C/S	○	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	○	影
			制御棒案内管	C/S	○	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	○	影	
燃料集合体（上部タイブレード）			C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
燃料集合体（下部タイブレード）	C/S	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影			
燃料集合体（スペーサ）	C/S	○	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	○	影		
			制御棒案内管	C/S	○	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	○	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	○	影
			制御棒カップリング	C/S	○	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	○	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	○	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（安全弁としての開閉機能）	逃がし安全弁（安全弁開閉機能）	C/S	○	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））	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	○	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	○	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	○	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(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	○	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	○	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	○	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	○	内	○	影
			主蒸気流量制限器	C/S	○	内	○	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	○	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		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	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	○	影
			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
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	原子炉緊急停止の安全保護回路	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	○	防		
			・非常用炉心冷却系作動の安全保護回路 ・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)	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	○	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
			ディーゼル発電機海水系(ポンプ、配管、弁、ストレーナ)	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（活性炭式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	○	内	○	影	
			排気筒		屋外	○	荷	○	荷、補	○	影	○	影	○	影	○	影	○	影	○	熱	○	爆	○	熱	○	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	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
					屋外	○	荷	○	補	○	影	○	影	○	影	○	影	○	熱	○	爆	○	熱	○	熱	○	熱	○	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		
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	○	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	評価		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	○	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	○	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			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			
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
			復水補給水系（復水移送ポンプ、配管/弁）	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	○	防		
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）	C/S	○	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、タービン）	屋外	○	補	○	補	○	防	○	影	○	補	○	影	○	補	○	影	○	熱	○	爆	○	熱	○	熱	○	影
				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
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（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		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-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	○	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）	○	代（有線/無線/衛星系）	○	代（有線/無線/衛星系）	○	代（有線/無線/衛星系）	○	代（有線/無線/衛星系）	○	代（有線/無線/衛星系）	○	代（有線/無線/衛星系）	○	代（有線/無線/衛星系）	○	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）	○	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）	○	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）	○	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）	○	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	○	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）	○	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）	○	代（消防自動車等）	○	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）	○	代（代替の安全避難通路）	○	代（代替の安全避難通路）	○	代（代替の安全避難通路）	○	代（代替の安全避難通路）	○	代（代替の安全避難通路）	○	代（代替の安全避難通路）	○	代（代替の安全避難通路）	○	代（代替の安全避難通路）	○	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）	○	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

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。

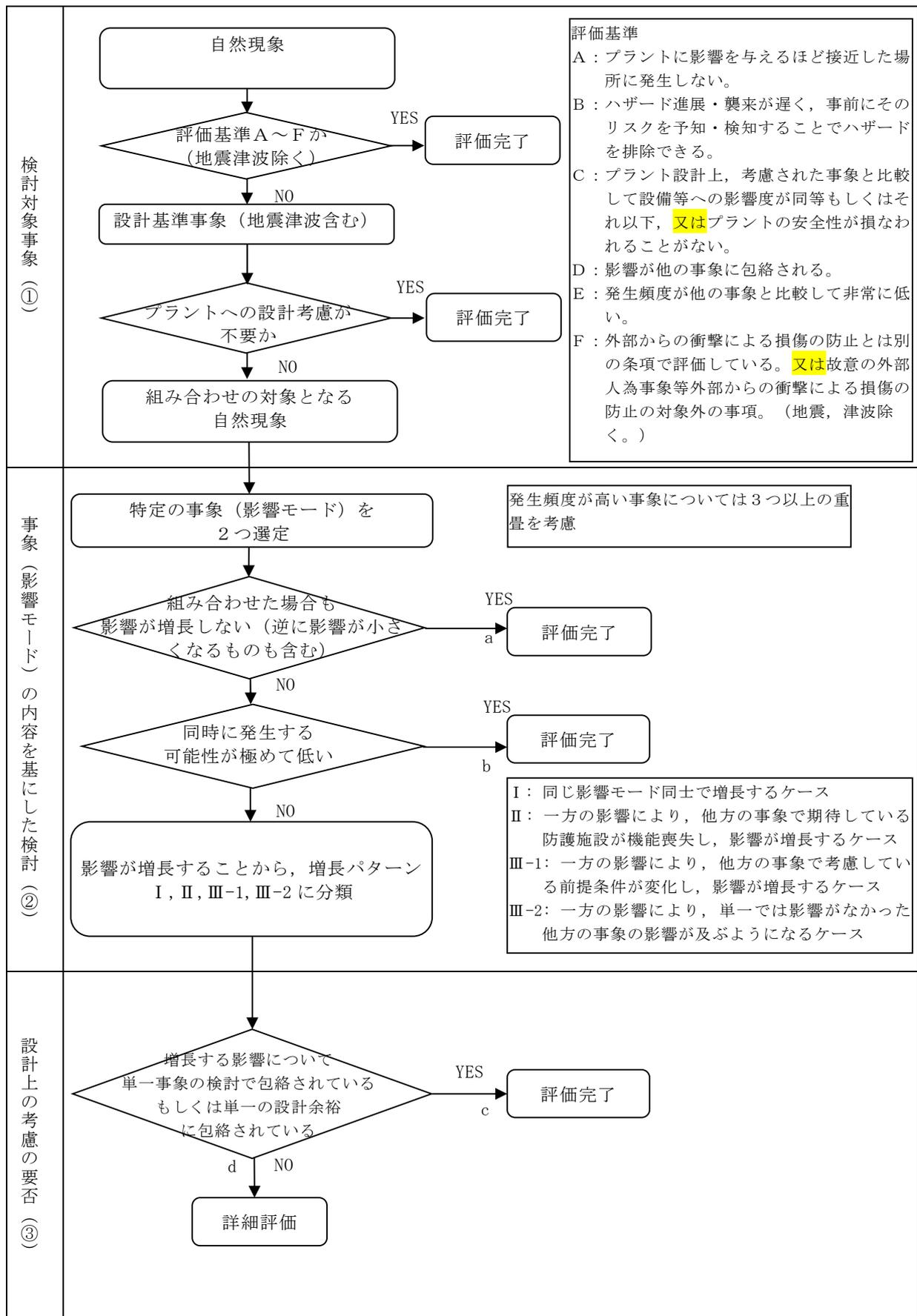
【検討手順概略】

- 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。

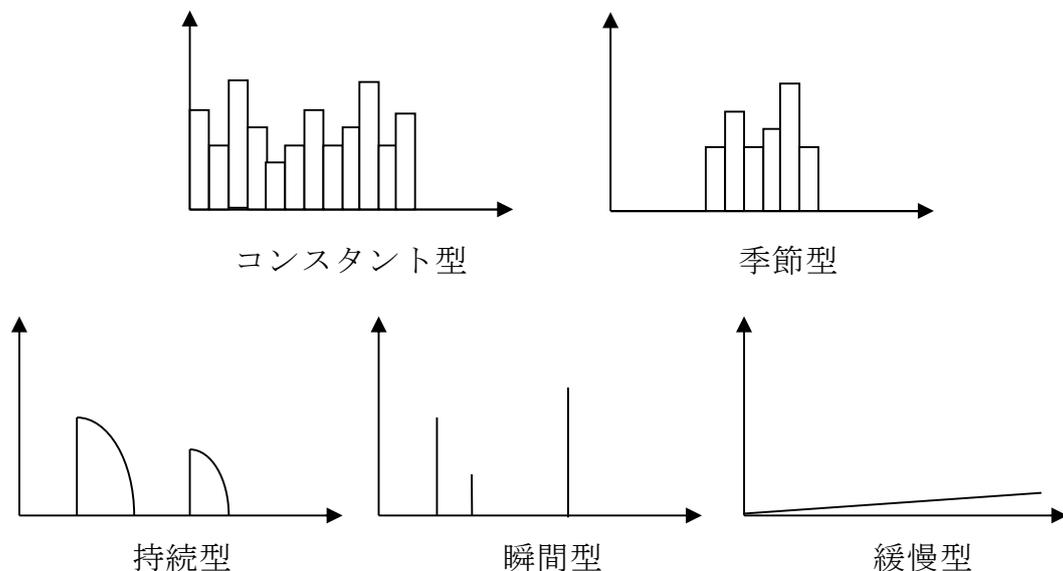
ここで生物学的事象については、海生生物（くらげ等）と動物（ネズミ等）で影響タイプが異なるため、分けて考慮する。

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

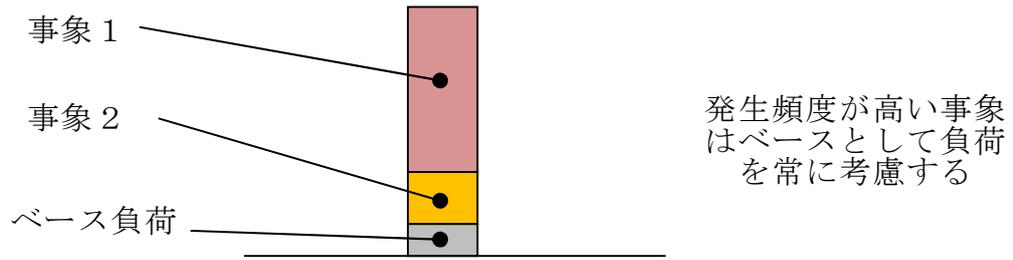
「6.1 検討対象」で選定した自然現象の組合せに対して網羅的に検討を実施する。

- ・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はないが、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

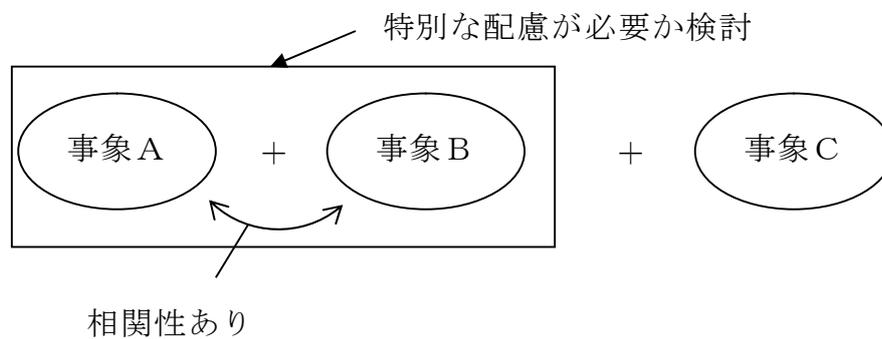
② 規模

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。

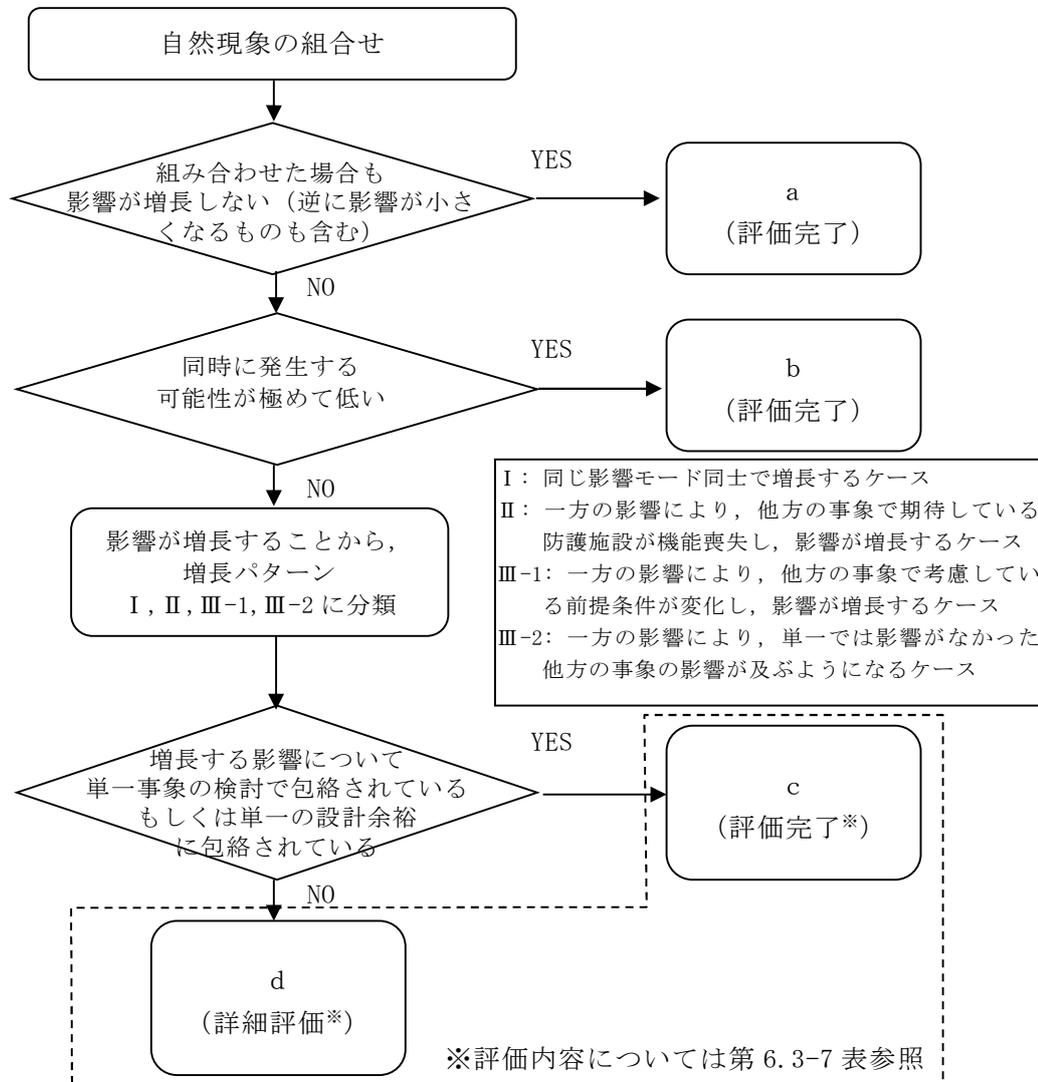
第 6.3-4 表 地震系（火山）の影響モード

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。

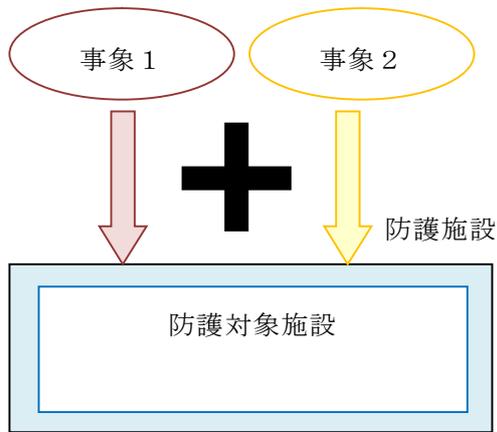
⑫ 火山（事象１）と竜巻（事象２）の組合せについて

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。

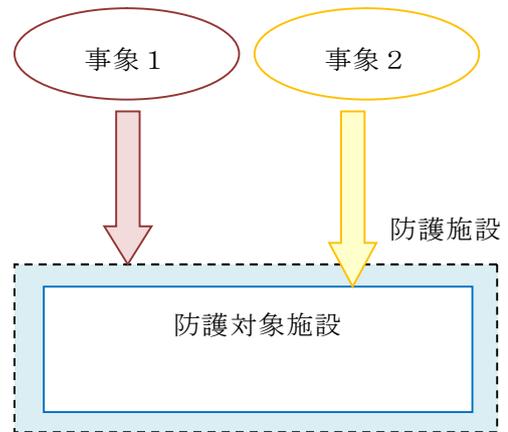
よって，発生頻度が極めて低い事象同士については，④津波（事象１）と地震（事象２）の組合せのみ重畳を考慮する。

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。

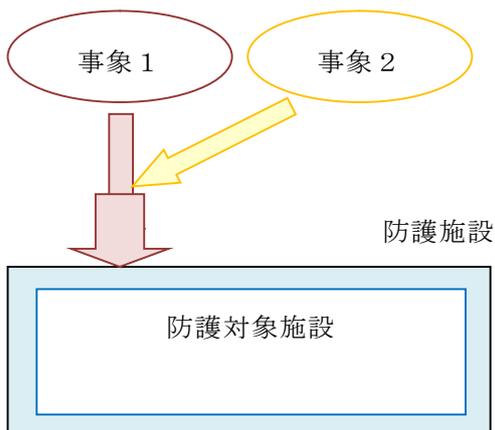
I. 各事象から同じ影響がそれぞれ作用し
重ね合わさって増長するケース



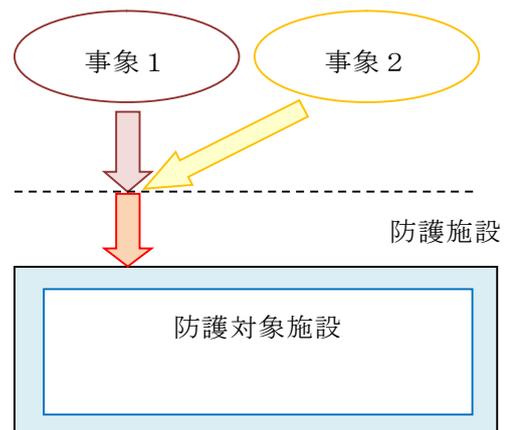
II. 事象1により防護施設が機能喪失
することにより事象2の影響が増長
するケース



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)

自然現象	事象 1		極低温		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	電氣的影響	浸水	荷重 (増積)	電氣的影響	荷重 (増積)	荷重 (増積)	電氣的影響	荷重 (増積)	閉塞 (吸気等)	浸水	荷重 (増積)	閉塞 (海水系)	荷重 (増積)	閉塞 (海水系)	閉塞 (吸気等)	閉塞	電氣的影響
極低温																		
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)																		
生物学的現象																		
風 (台風)																		
竜巻																		
森林火災																		
落雷																		

【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、も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: ある自然現象の協働効果が他の自然現象によって機能喪失することにより、影響が増長するケース
III-1: 他の自然現象の作用により前項条件が変化し、影響が増長するケース
III-2: 他の自然現象の作用により影響が及ぶようになるケース

第6.3-7表 自然現象の重畳マトリックス (2/2)

自然現象	事象 1		事象 2		生物学的現象		風 (台風)		電巻		森林火災		落雷		
	設備の損傷・機能喪失モード	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)	荷重 (風)	荷重 (飛来物)	閉塞 (吸気等)	温度	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	屋外機器内部流体の凍結		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
電気的影響	ヒートシンク (海水) の凍結		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
浸水 (豪雨 (降雨))	着水による送電線の相間短絡		a	a	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	a	a
地震活動	荷重 (相積)		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
積雪 (暴風雪)	荷重 (地震)		a	a	a(1)	c(1)	b	b	b	b	a	a	a	c(II)	a
	荷重 (相積)		a	a	d(III-1)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	着雪による送電線の相間短絡		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	給気フィルタ等の閉塞		a	a	d(III-1)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
津波	荷重 (衝突)		a	a	d(1)	c(1)	b	b	b	b	a	a	a	c(II)	a
	津波による設備の浸水		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	漂流物による取水口、海水ストレーナの閉塞		d(1)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
火山 (火山活動・降下火砕物)	荷重 (相積)		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	海水系ストレーナの閉塞		c(1)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	給気フィルタ等の閉塞		a	a	d(III-1)	a	b	a	a	a	d(1)	a	a	a	a
	腐食成分による化学的影響		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	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	a	a
生物学的現象	取水口、海水ストレーナの閉塞				a	d(1)	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	繁殖類 (ネズミ等) によるケーブル類の損傷														
	荷重 (風)		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	荷重 (飛来物)		d(1)	a	a	a	a	a	a	a	a	c(III-1)	d(III-1)	c(II)	a
	荷重 (風)		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	荷重 (飛来物)		d(1)	a	a	a	a	a	a	a	a	c(III-1)	d(III-1)	c(II)	a
	荷重 (気圧差)		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
森林火災	輻射熱		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	給気フィルタ等の閉塞		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	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	a	a
落雷	直撃雷		a	a	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	a	a

【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、も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: ある自然現象の協働効果が他の自然現象によって機能喪失することにより、影響が増長するケース
III-1: 他の自然現象の作用により前項条件が変化し、影響が増長するケース
III-2: 他の自然現象の作用により影響が及ぶようになるケース

第6.3-8表 事象の重量 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 (電氣的的影響) ×積雪 (電氣的的影響)	電氣的的影響 (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 (電氣的的影響) ×火山 (電氣的的影響)	電氣的的影響 (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。	-
浸水 (浸水) ×津波 (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。	-
降水 (荷重 (堆積)) ×火山 (荷重 (堆積))	荷重	d	I	降水 (堆積) 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 (電氣的的影響)	電氣的的影響 (相間短絡)	d	III-1	湿り気と降水火砕物により、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。	○
地震活動 (荷重 (地震)) ×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 (電氣的的影響 (直撃雷))	電氣的的影響 (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。 →避雷機能を有する非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 (電氣的的影響) ×極低温 (電氣的的影響)	電氣的的影響 (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、降水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	雪と降水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 (電氣的的影響) ×火山 (電氣的的影響)	電氣的的影響 (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。 →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応可能である。	-
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応可能である。	-
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応可能である。	-
津波 (浸水) ×降水 (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。	-
津波 (荷重 (衝突)) ×地震活動 (荷重 (地震))	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。 →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	個別事象の重畳により、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剥離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応可能である。	-
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。 →除菌装置や海水ストレーナ等により海生生物を捕獲除去し取水機能を維持しているが、取水機能が確保できないおそれがある。 →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。	-
津波 (荷重 (衝突)) ×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。	○
津波 (荷重 (衝突)) ×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。	-
津波 (荷重 (衝突)) ×落雷 (電気的影響 (直撃雷))	荷重	c	II	個別事象の重畳により、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 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。	-
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。	○
火山 (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、非常用ディゼルの影響を受けない。	-
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 (海水系)	閉塞 (海水系)	c	I	降下火砕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。 →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も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。	○
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。	-
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も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)) ×風 (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。	-

第6.3-8表 事象の重量 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物を捕獲除去し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 (飛来物)) × 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物を捕獲除去し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。 → 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険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
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応可能である。	-
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応可能である。	-
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応可能である。	-
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応可能である。	-
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応可能である。	-
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。	-
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。	-

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

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。

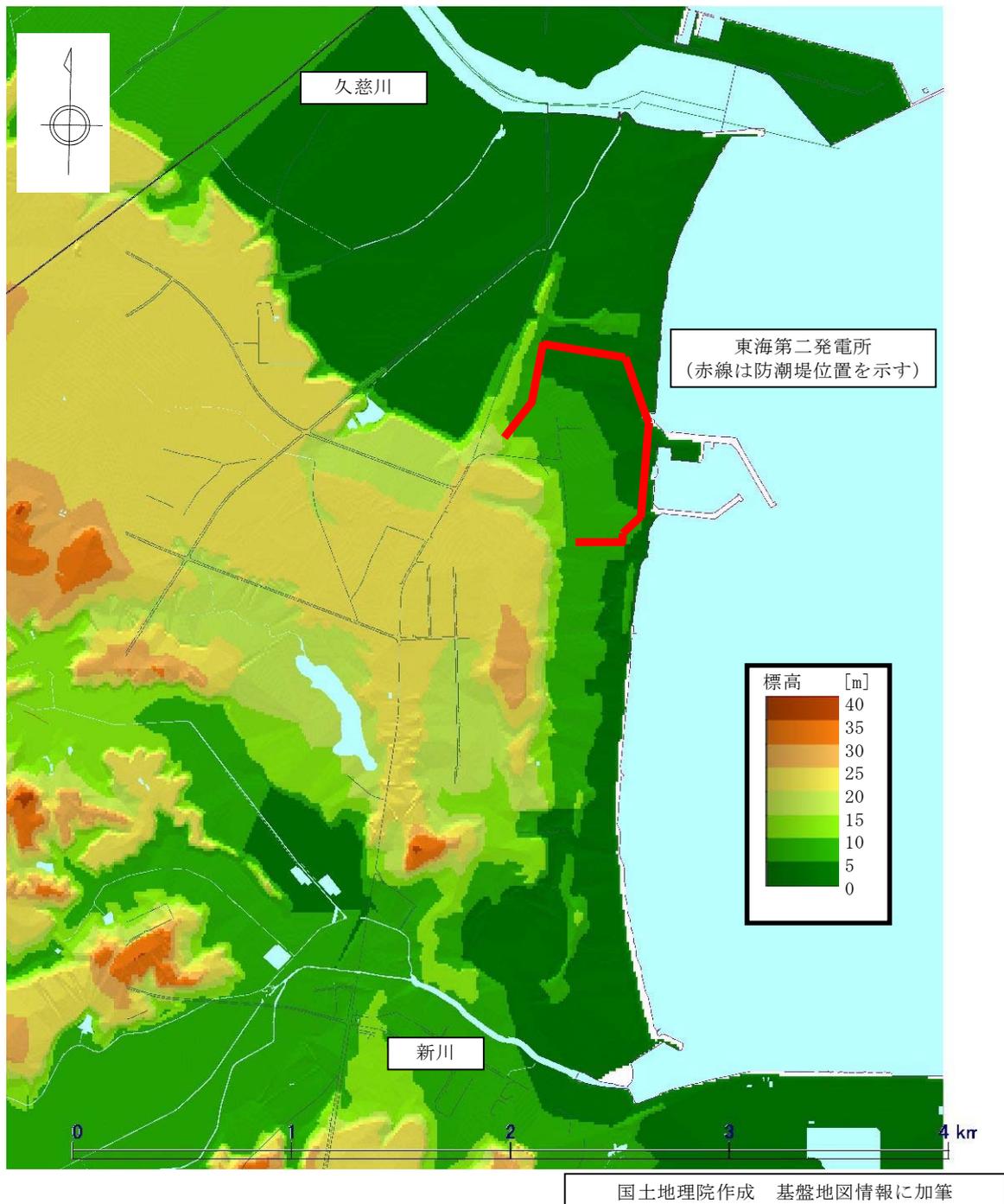
洪水発生に伴い東海第二発電所敷地内に水が浸入するルートとして、国道 245 号線から発電所構内進入道路を経て浸水するルートが考えられるが、発電所構内進入道路の入口が約 EL. +15m の標高に位置し、最大の浸水量である約 EL. +7m に達すると仮定しても余裕があるため、東海第二発電所に影響が及ぶことはない。

(第 2-2 図、第 2-3 図及び第 2-4 図参照)

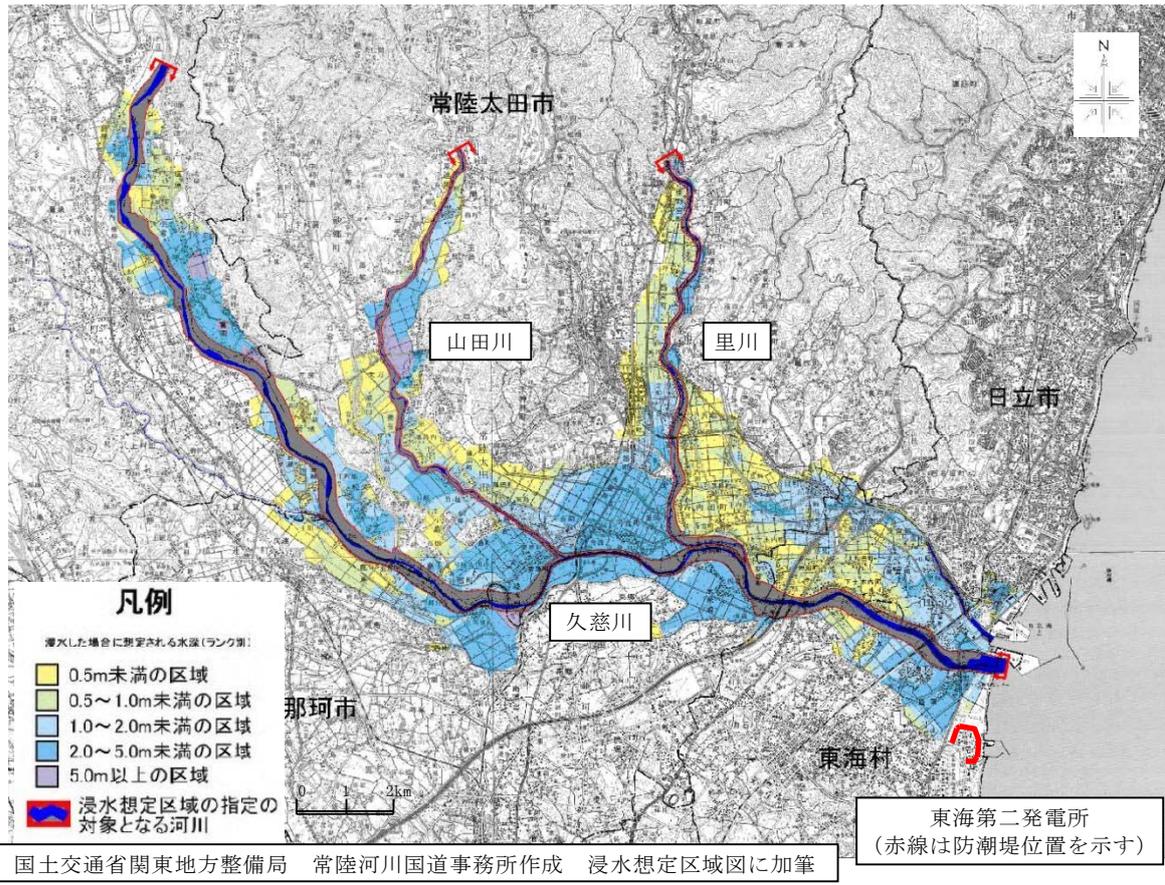
② 新川の洪水が想定を超えた場合

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。

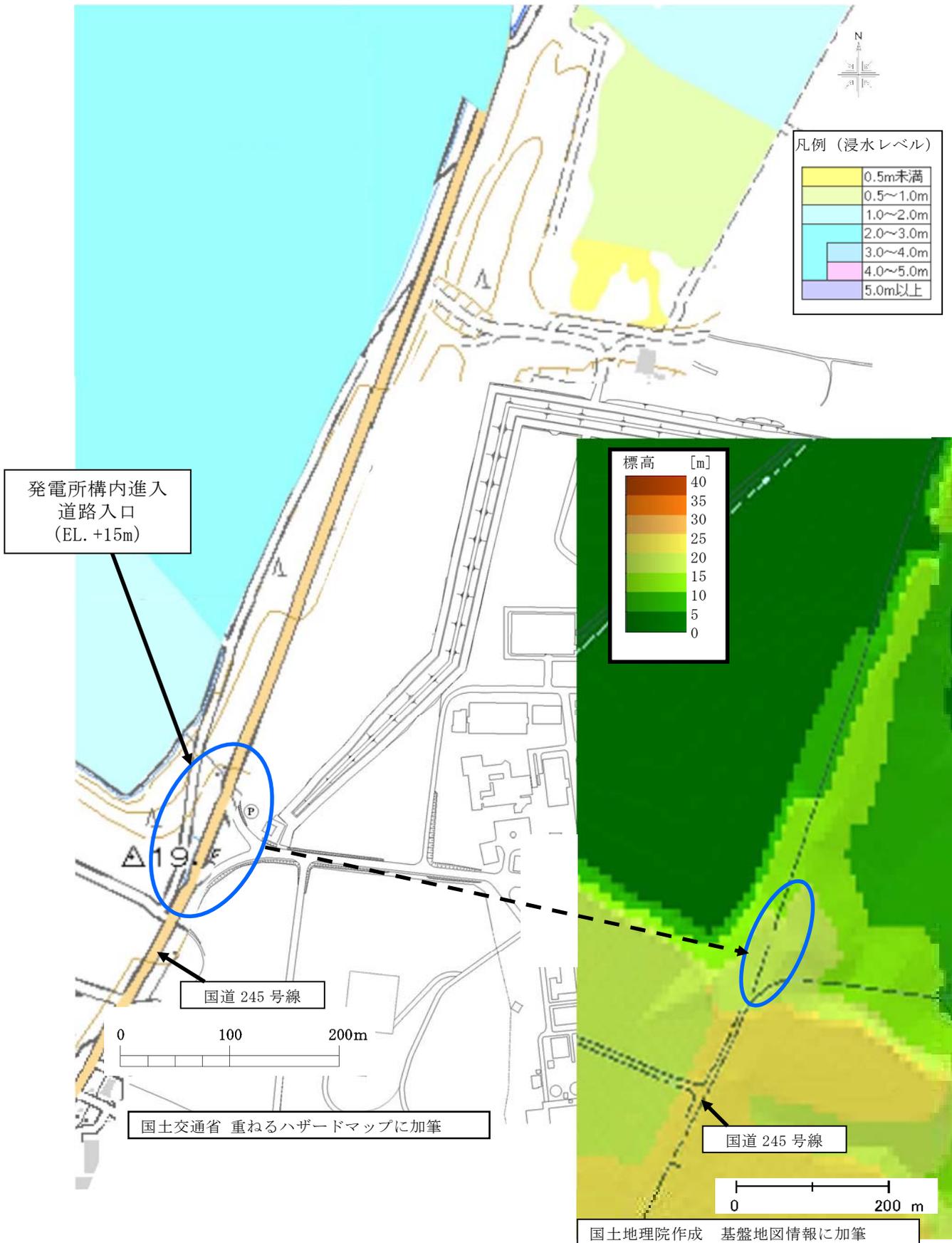
(第 2-3 図及び第 2-4 図参照)



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 2-4 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°C

（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

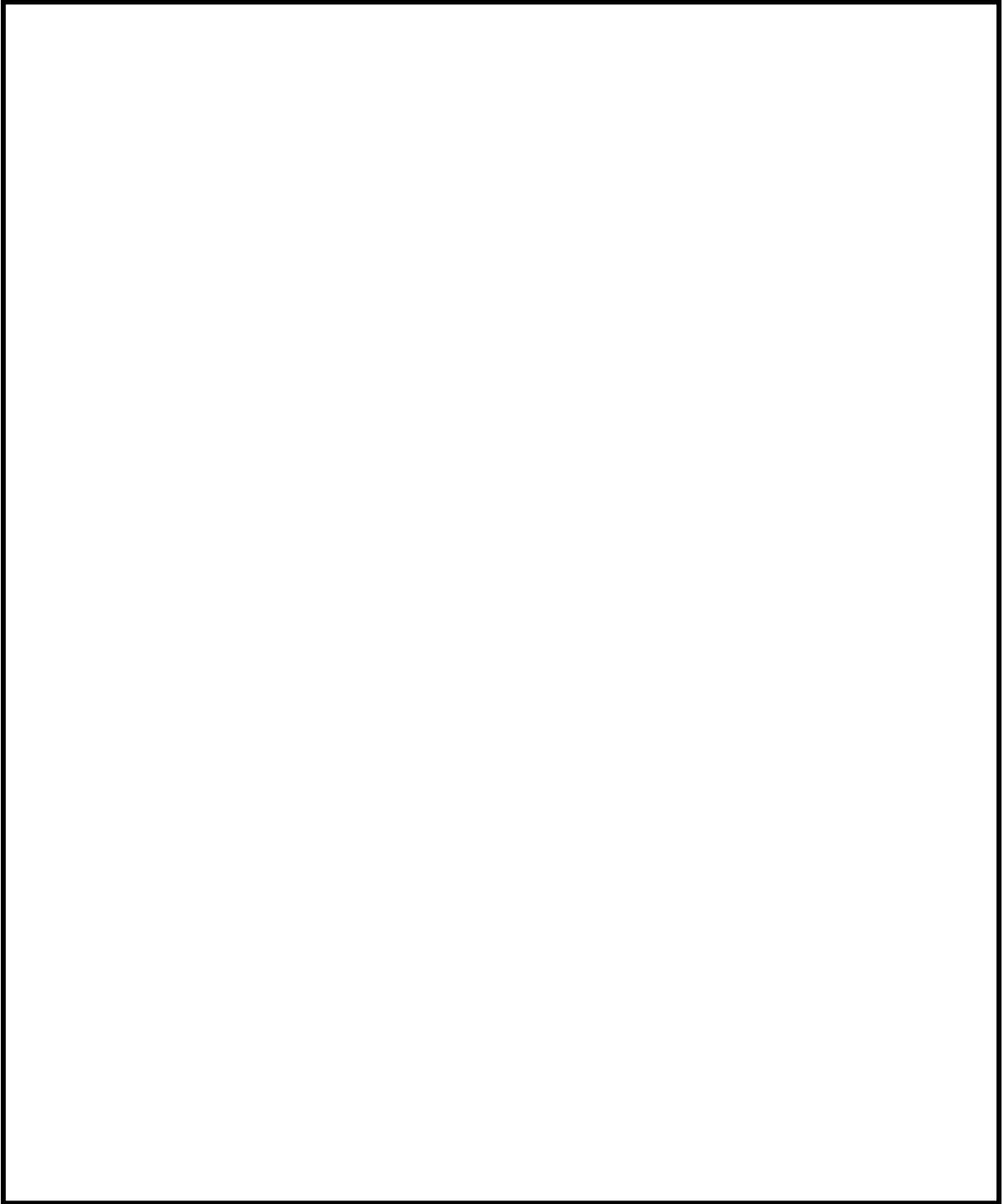
R ：径深 = A/S (m)

A ：流水断面積 (ha)

S ：潤辺 (m)

I ：勾配

集水流域、幹線排水路及び排水路流末位置を第1図に示す。



第1図 集水流域, 幹線排水路及び排水路流末位置

2.2 評価の結果

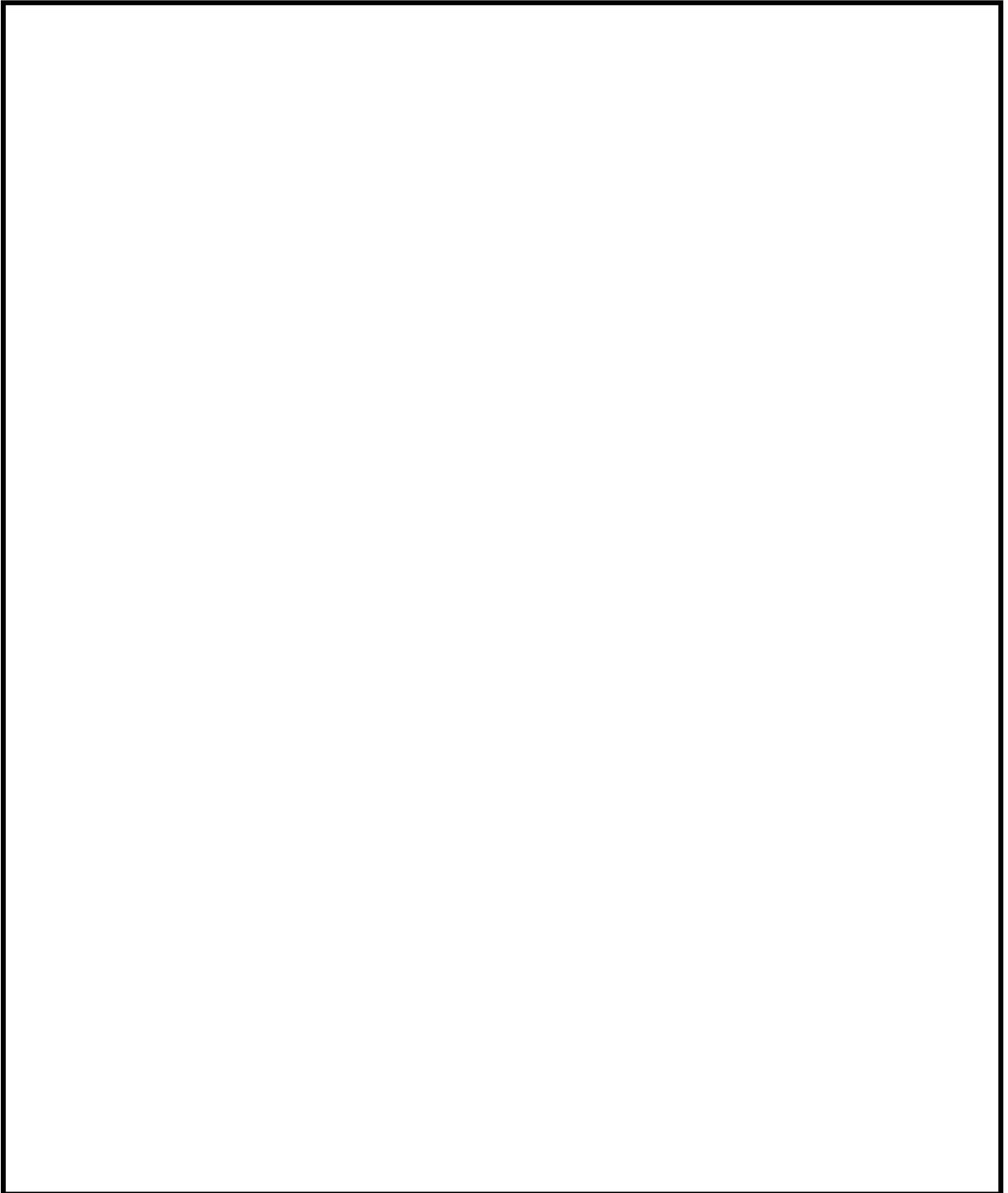
雨水流出量と排水路流末の設計排水量の比較を第1表に、敷地高さ及び地表水の流下想定を第2図に示す。排水路流末の設計排水量が雨水流出量を上回る設計とすること及び排水路流末位置は敷地勾配を考慮した設計とすることで、雨水を遅滞なく海域に排水することが可能である。

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 雨水流出量と排水路流末の設計排水量の比較

流末	集水流域面積A (ha)	雨水流出量 Q_1 (m^3/h)	排水路流末の設計排水量* Q_2 (m^3/h)	安全率 Q_2/Q_1	備考
①-1	29.45	31,784.5	34,067.2	1.15	流末①-2で排水できない雨水は地表を流下した後、流末①-1で排水される
①-2			2,607.4		
②	16.70	16,281.8	17,350.2	1.06	
③-1	8.32	9,547.2	3,562.8	1.26	流末③-1で排水できない雨水は地表を流下した後、流末③-2で排水される
③-2			8,516.8		
④	0.92	1,055.7	1,194.9	1.13	
⑤	2.81	3,224.5	8,516.8	2.64	

※今後の詳細設計により、変更の可能性がある。



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。

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、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。

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

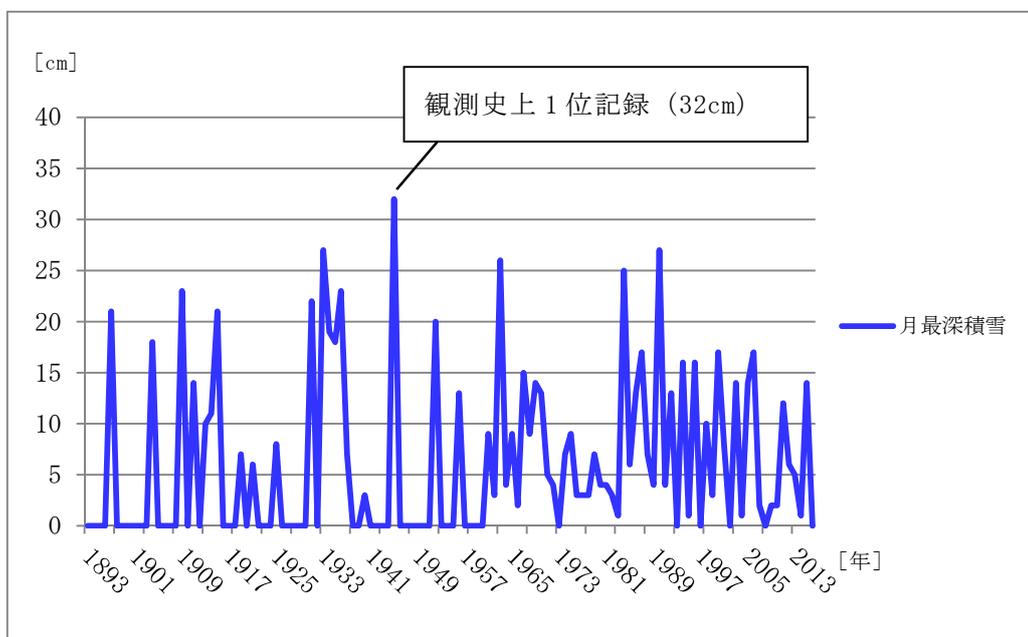
設計基準としての設定値 30cm に対して、水戸の月最深積雪が 32cm であり、以下のとおり評価した。

- ・ 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 建屋等の許容荷重と設計積雪荷重の比較
(安全施設のうち積雪に対し必要な建屋)

評価対象建屋	評価部位	短期荷重として 負担できる荷重 ^{※1} [N/m ²]	判定 ^{※2}
原子炉建屋 (附属棟含む)	屋根トラス	12,000	○
タービン建屋	屋根トラス	9,200	○
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	屋根トラス	48,000	○

※1：許容堆積荷重は以下の方法で算出した。

- ① 建屋のフレームモデルを用いて、屋根部を構成する構造部材に発生する応力が材料強度による許容値となる荷重 $V_{L_{S_{max}}}$ （耐荷重）を算出。
- ② 屋根部に作用する荷重として、常時作用する荷重（DL:固定荷重，LL:積載荷重）があるため、①で算出した $V_{L_{S_{max}}}$ （耐荷重）から常時作用する荷重（DL:固定荷重，LL:積載荷重）を差し引いた値を許容堆積荷重として設定する（有効数字2桁で切り下げ）。

※2：設計基準積雪荷重は以下のとおり算出し、許容荷重値内であることを確認した。

$$30\text{cm (設計荷重積雪値)} \times 20\text{N/cm} \cdot \text{m}^2 \text{ (茨城県建築基準法施行規則)} = 600 \text{ N/m}^2$$

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	1.80	234	○
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	0.31	244	○
残留熱除去系 海水系ストレーナ	支持脚	圧縮応力	2.09	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	1.17	184	○

※1：高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系含む。

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。

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)



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)

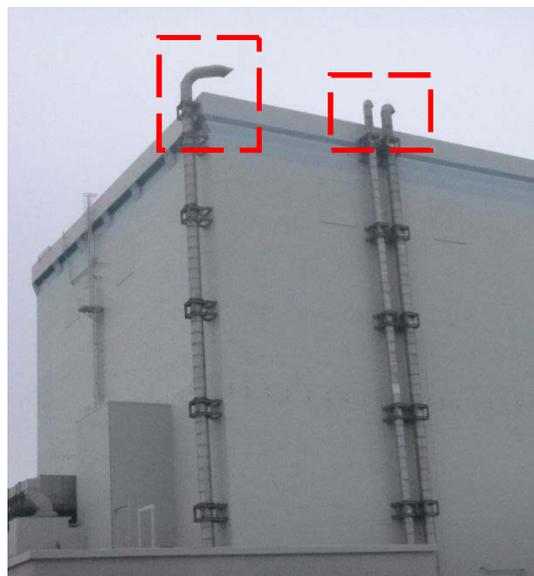


No. 7～9 非常用ディーゼル発電機用給気ガラリー (写真はHPCS用)



第6-2図 開口部の状況 (1 / 3)

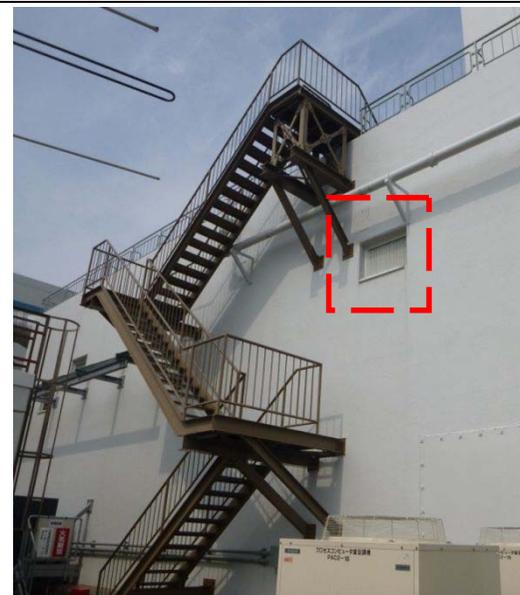
No. 10～12 非常用ディーゼル発電機用排気管
(左から2D, HPCS, 2C用)



No. 13 中央制御室空調給気ルーバ
(地上部より約18m側)



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)



第6-2図 開口部の状況 (2/3)

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)



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)



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

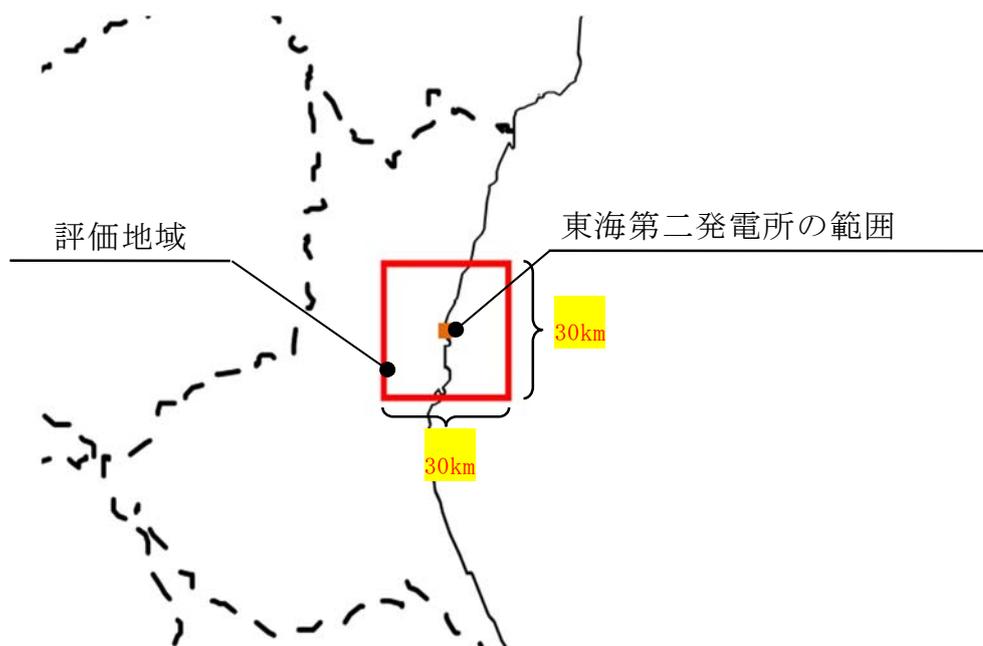
東海第二発電所排気筒への年超過確率による雷撃電流評価

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

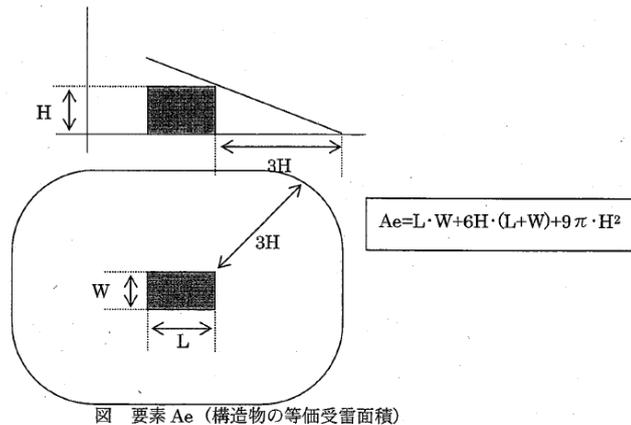
3. 雷撃対象と想定落雷数

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。

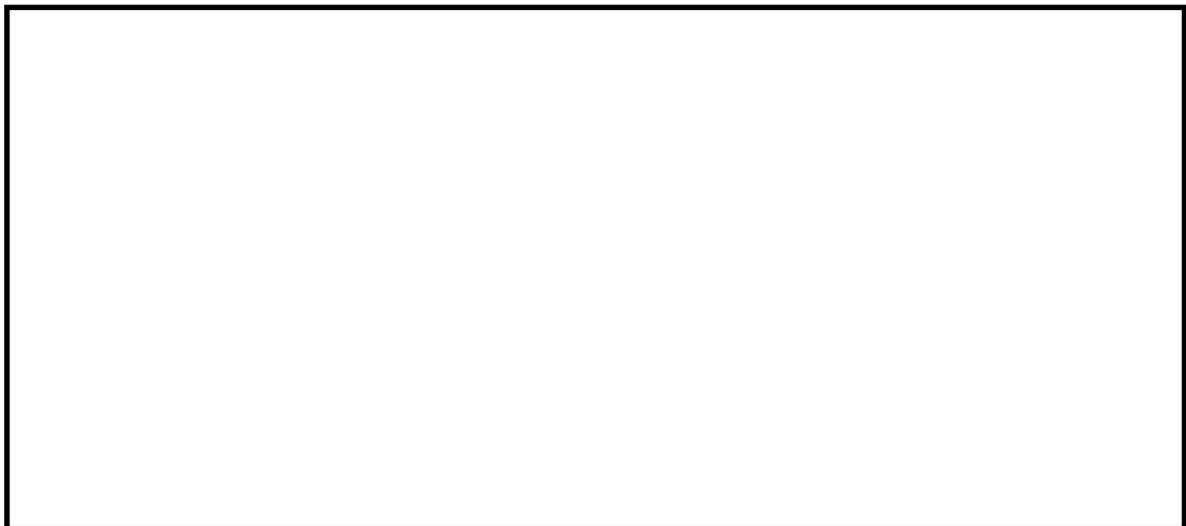
※等価受雷面積…落雷の収集面積。建造物の高さを3倍とした水平離隔距離の領域を等価な受雷面積としている。

1) 評価対象：東海第二発電所排気筒



第 7-1-2 図 建造物の等価受雷面積

(JEAG4608(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。

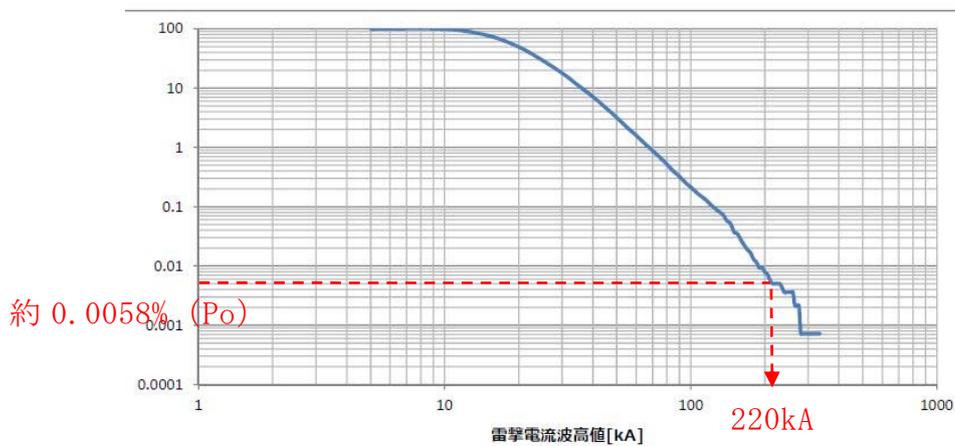
以上を考慮すると、再現期間を y として排気筒への雷撃数 N_t は以下のようになる。

$$N_t = N_d \cdot y$$

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8-2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。

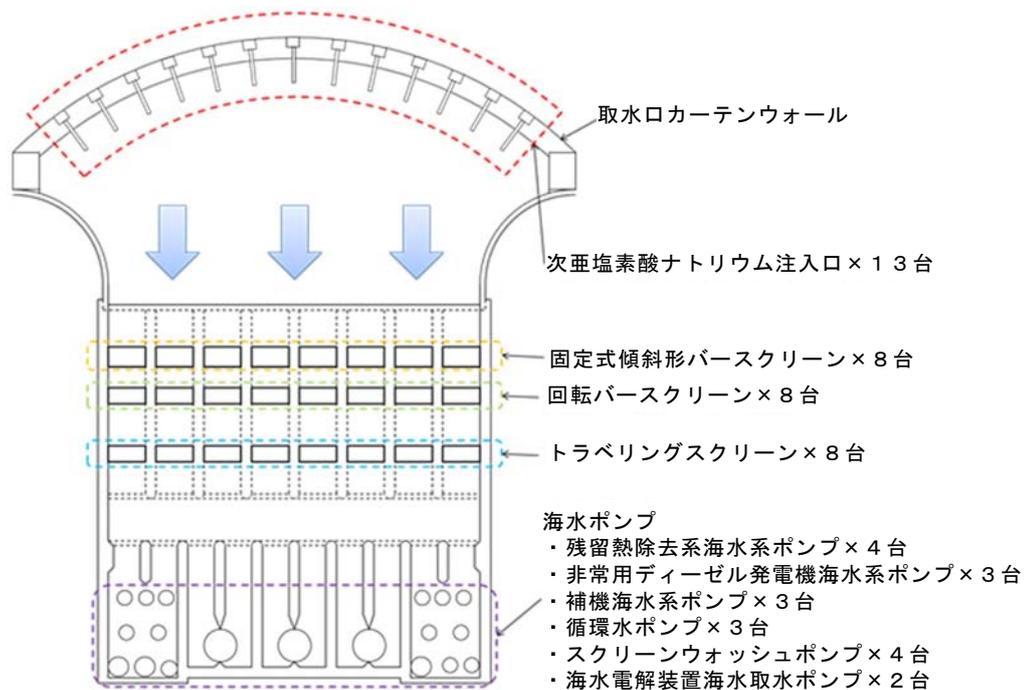
○ 対策の概要

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。

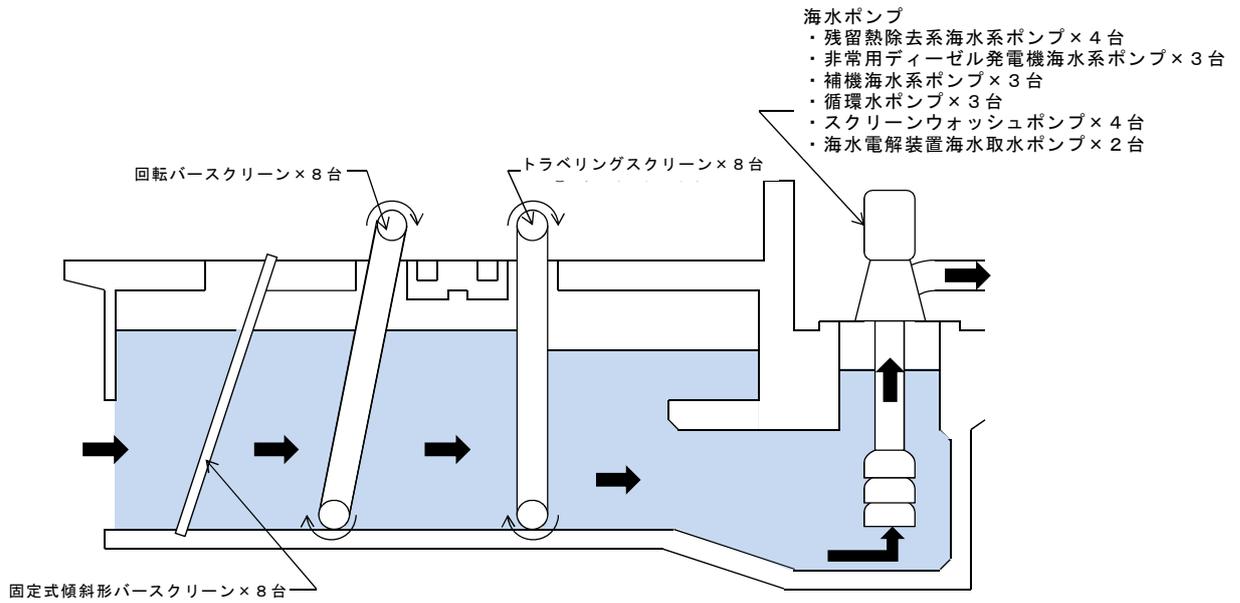
運転手順として、海生生物等の襲来により海水ポンプの取水機能へ影響が生じるおそれがある場合は、必要に応じ循環水ポンプのインペラ開度調整、発電機出力の抑制、及びプラント停止等の手順を整備している。

(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）

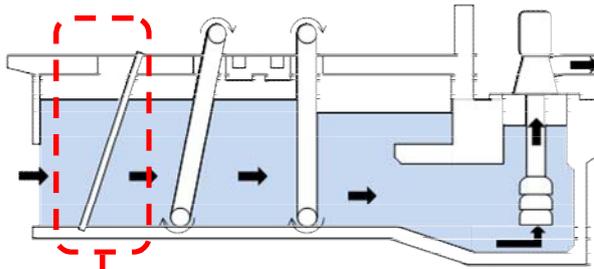


c. 固定式傾斜形バースクリーン

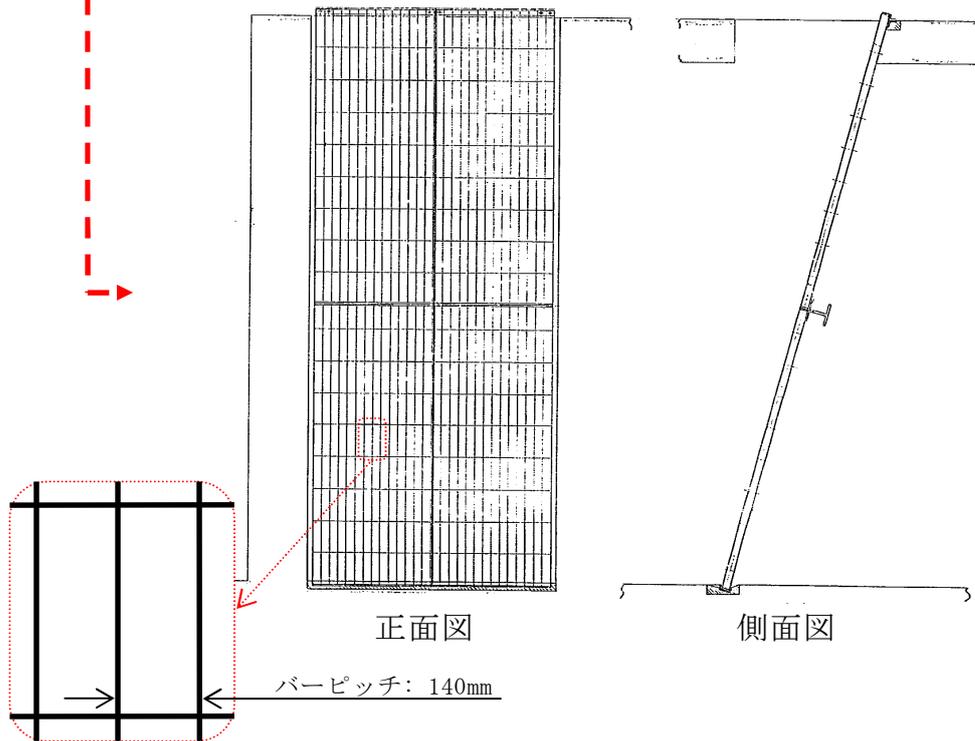
[目的] 大きな塵芥を除去する。

[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

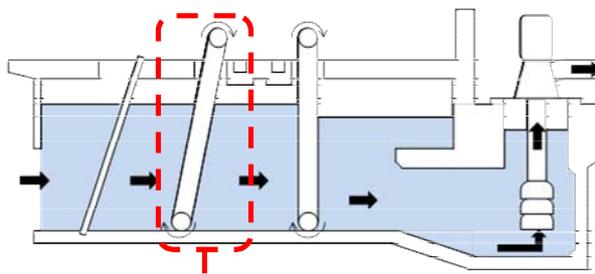


d. 回転バースクリーン

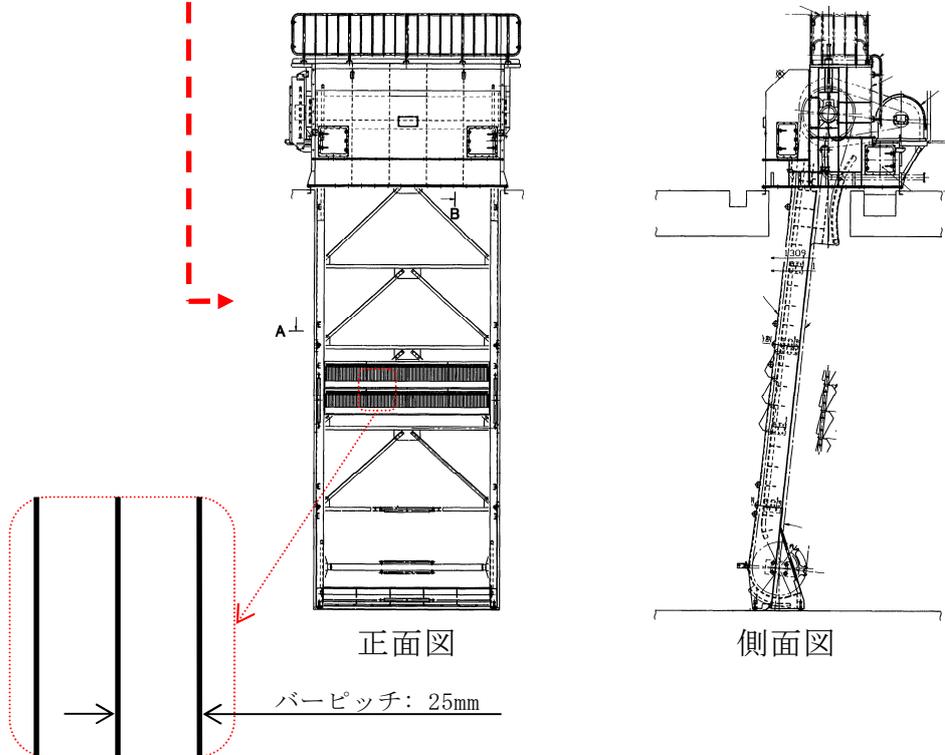
[目的] 固定式傾斜形バースクリーンを通過した海生生物等を捕獲し、回収する。

[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プピン破断：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

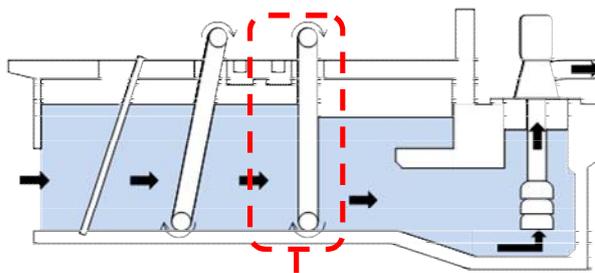


e. トラベリングスクリーン

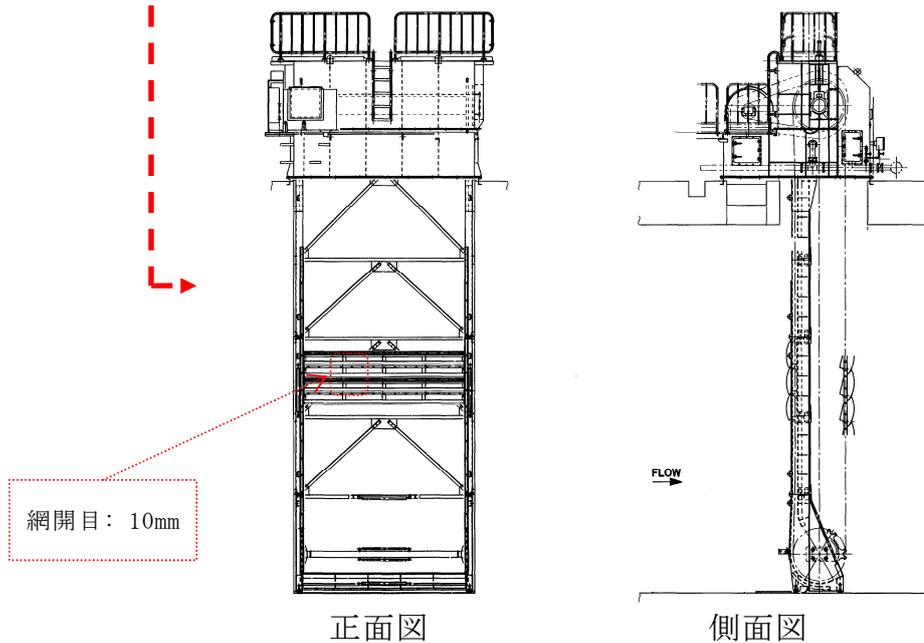
[目的] 固定式傾斜形バースクリーン，回転バースクリーンを通過した海生生物等を捕獲し，回収する。

[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。



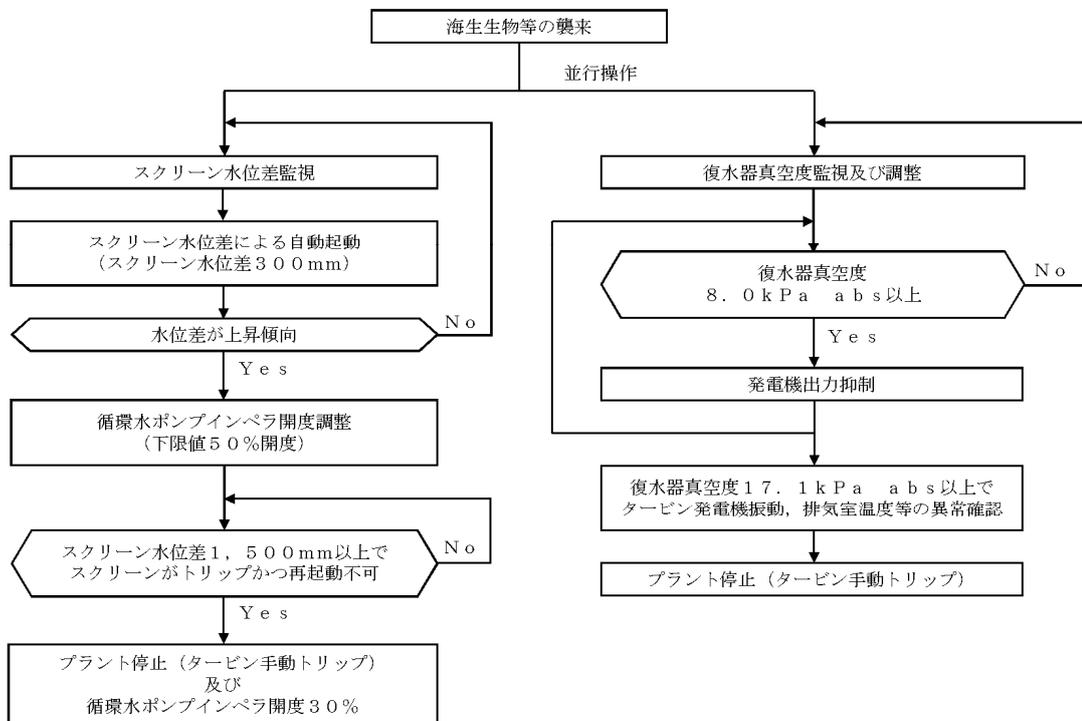
トラベリングスクリーン構造図



(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。

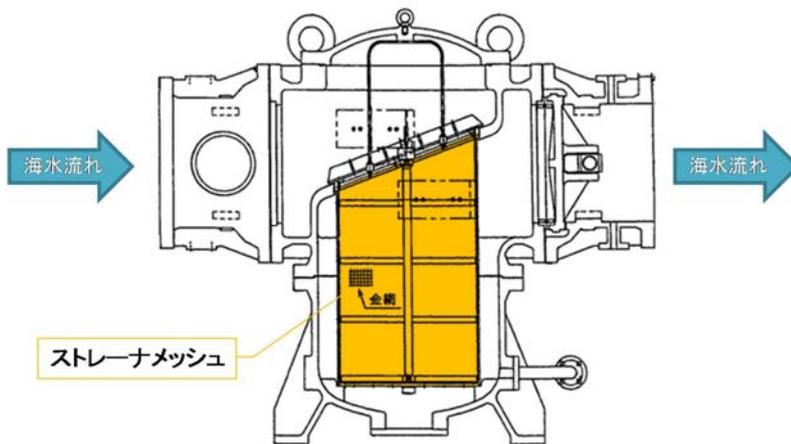


(5) 貝等の海生生物について

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。

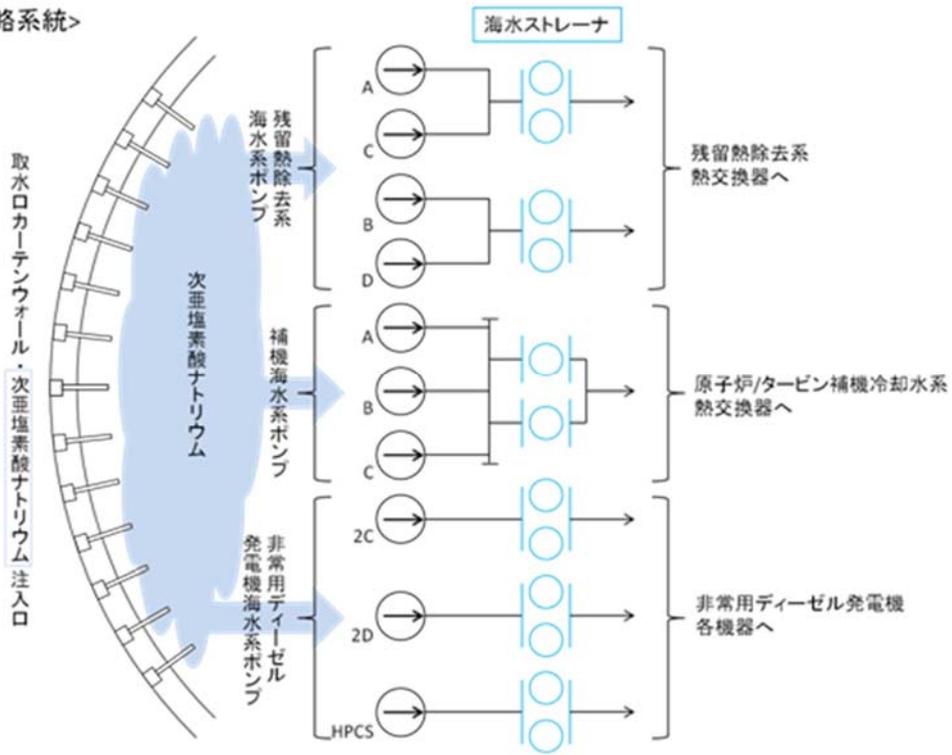
<海水ストレーナ概要>



○海水ストレーナ

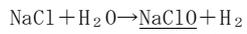
- ・海水中に含まれる海生生物等の固形物を除去する。
- ・海水系供給母管に各系統 2 基，並列で設置している。
(1 基で 100% 通水容量を有している。)
- ・ストレーナの差圧が許容値以上になれば，ストレーナの切替え，清掃を実施し，捕獲した海生生物を除去する。
- ・ストレーナメッシュ
 - 残留熱除去系海水系： 6.57mm
 - 非常用ディーゼル発電機海水系： 6.57mm
 - 補機海水系： 6.57mm
- ・伝熱管内径
 - 残留熱除去系熱交換器： 20.4mm
 - 原子炉/タービン補機冷却系熱交換器： 19.74mm
 - 高圧/低炉心スプレー系ポンプ室空調機： 13.1mm
 - 原子炉隔離時冷却系ポンプ室空調機： 13.1mm
 - 残留熱除去系ポンプ A/B/C 室空調機： 13.1mm
 - 非常用ディーゼル発電機
 - 空気冷却器： 9mm
 - 清水冷却器： 13.6mm
 - 潤滑油冷却器： 13.6mm
 - 燃料弁冷却油冷却器： 13.6mm

<概略系統>



○海水電解装置

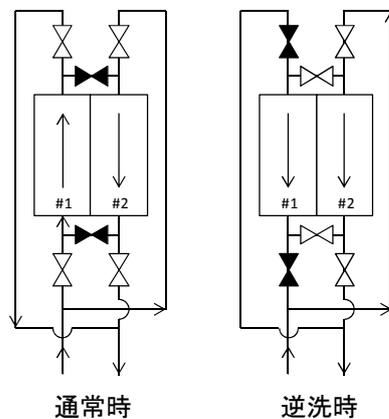
- ・海水を電気分解し殺菌力のある次亜塩素酸ナトリウムを発生させ、取水ロカーテンウォールに設置された注入口より注入し、復水器及び熱交換器伝熱管への海生生物の付着、繁殖を防止する。



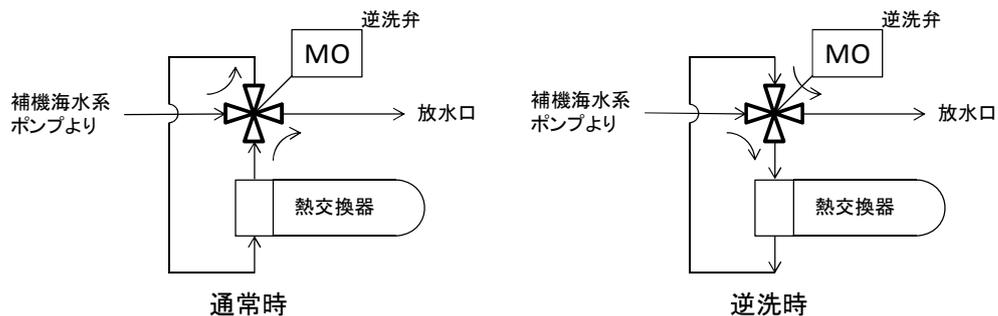
次亜塩素酸ナトリウム

- 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 2.34×10^{-11} (=0.2275/9,740,013,768)	
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 2.97×10^{-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、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。

(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 (km²)

A : 原子炉施設の標的面積 (km²)

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 約0.0114 (=0.2275/20) 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
$\alpha^{※3}$	1 (大型機), 0.1 (小型機)
P_v	約 1.46×10^{-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、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。

(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 χ 二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

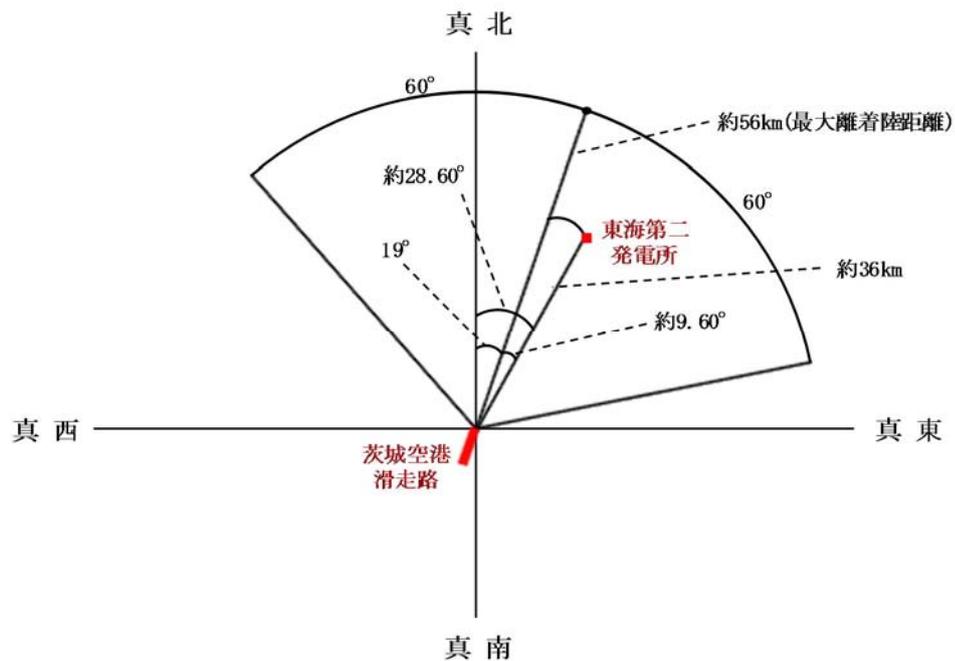
発電所名称	1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故		2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故	3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故		合計
	①飛行場での離着陸時における落下事故	②航空路を巡航中の落下事故		①訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	②基地－訓練空域間往復時の落下事故	
東海第二発電所	約 4.32×10^{-9}	約 2.97×10^{-11}	約 1.46×10^{-8}	約 2.82×10^{-8}	約 3.81×10^{-8}	約 8.6×10^{-8}

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

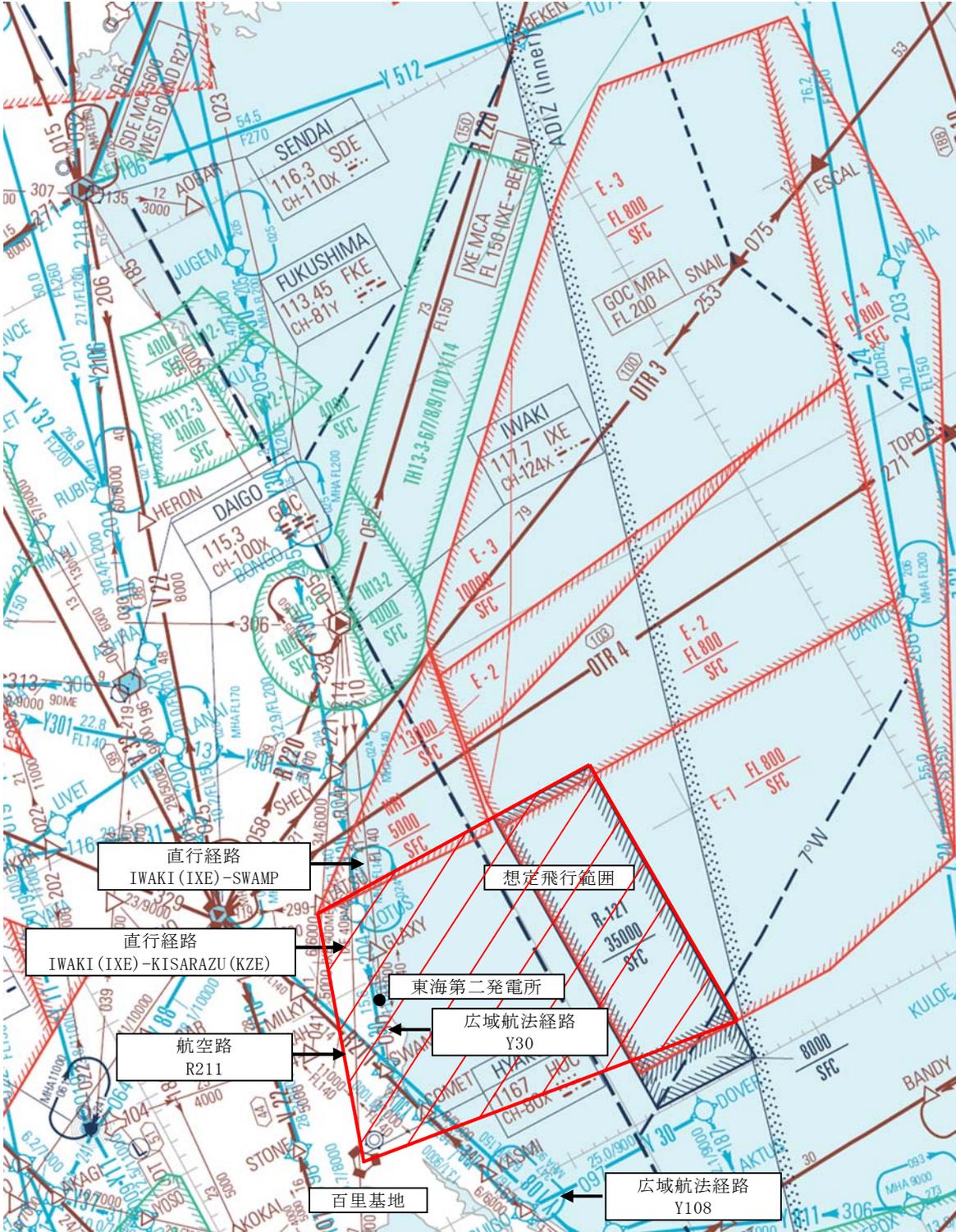
周辺の航空路の名称	航空路の中心線と 発電所間の 最小距離※ ¹	片側の 航空路幅※ ²	判定
航空路 R211 (DAIGO(GOC)－SWAMP)	約 11.36km	7km	×
直行経路 (IWAKI(IXE)－SWAMP)	約 0.68km	約 7.41km (4nm)	○
直行経路 (IWAKI(IXE)－KISARAZU(KZE))	約 4.13km	約 7.41km (4nm)	○
広域航法経路 Y30 (LOTUS－SWAMP)	約 1.18km	約 9.26km (5nm)	○
広域航法経路 Y108 (DAIGO(GOC)－CHOSHI(CVC))	約 11.44km	約 9.26km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

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

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

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

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

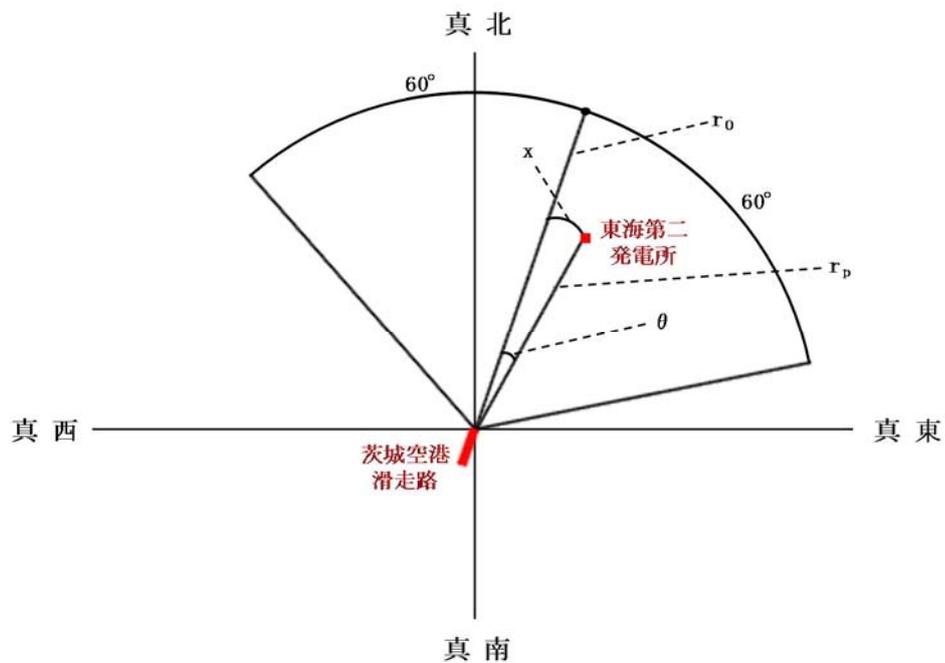
$$\sigma = \frac{\pi r}{3 \times 2.6}$$

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)	○

※1：施設と空港の緯度，経度より計測した。

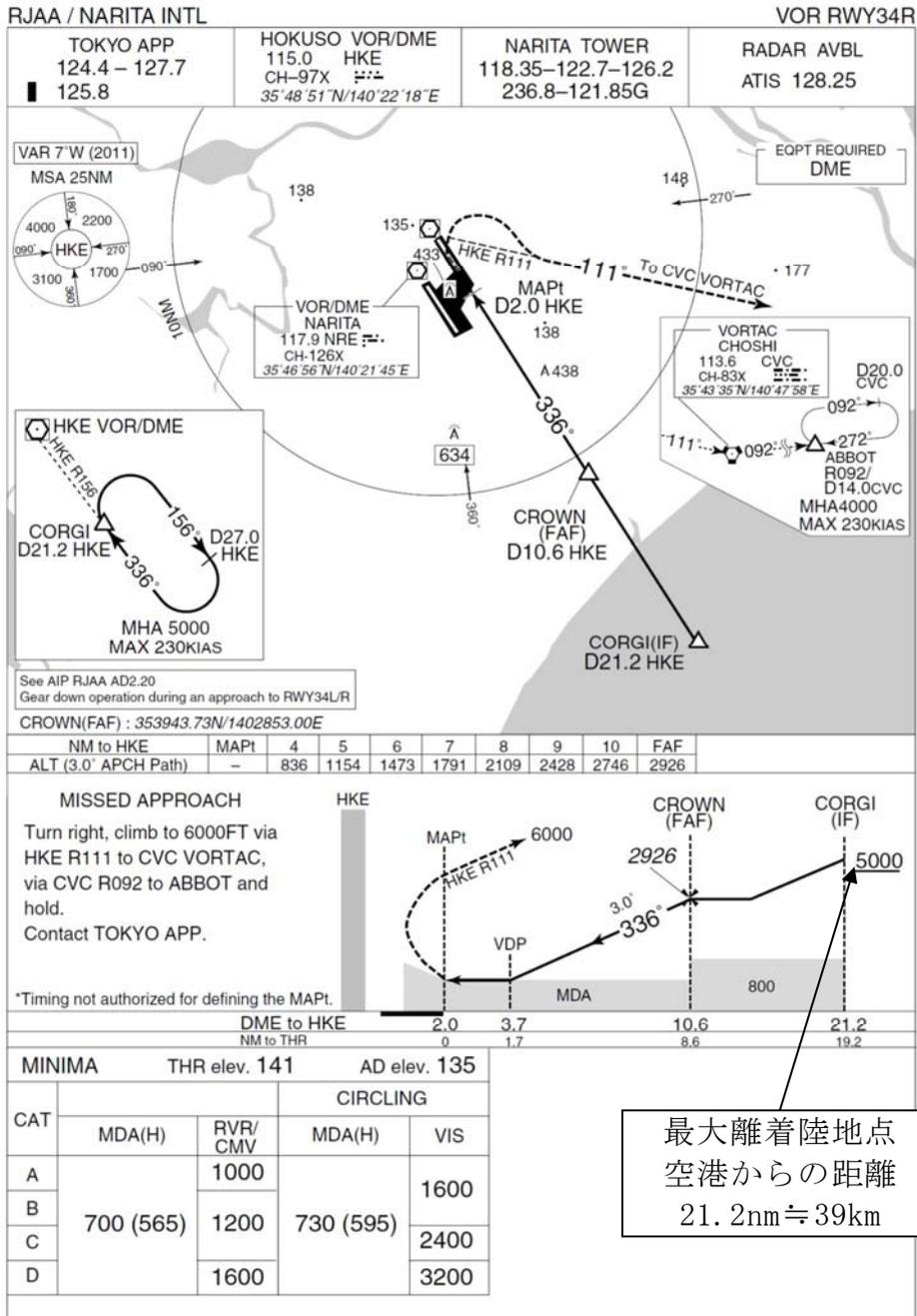
※2：A I Pを参照した。

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

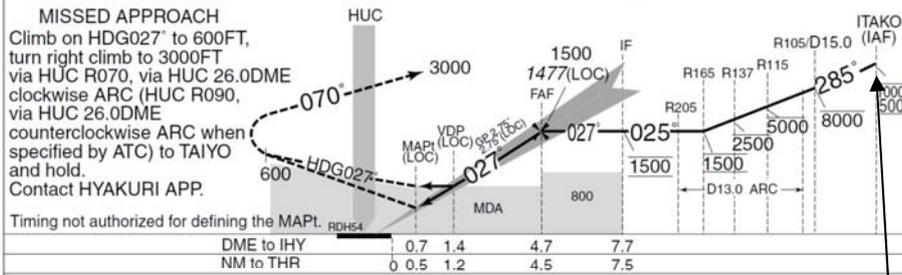
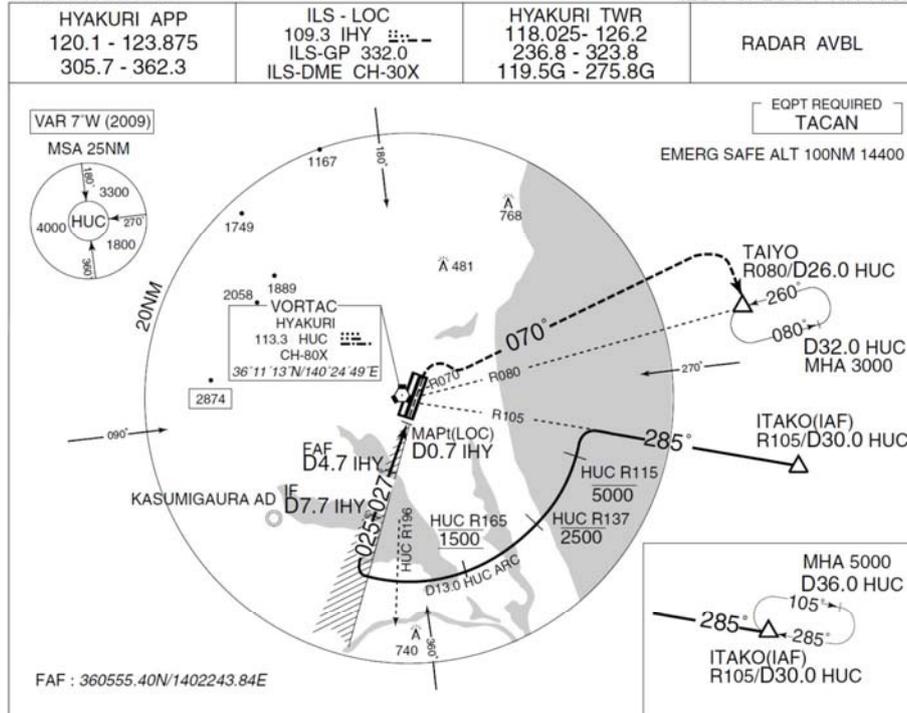
茨城空港の最大離着陸地点までの距離
 (茨城空港～東海第二発電所の距離：約 36km)

RJAH-AD2-24.15

AIP Japan
 HYAKURI

INSTRUMENT APPROACH CHART

RJAH / HYAKURI ILS Y or LOC Y RWY03R



CAT	MINIMA		THR elev. 107		AD elev. 107	
	DA(H)	RVR/CMV	LOC	CIRCLING	DA(H)	VIS
A	307 (200)	750	480 (373)	900	580 (473)	1600
B				1000		
C				1400		
D				660 (553)		

最大離着陸地点
 空港からの距離
 30nm ≒ 56km

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 年間に於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

そこで、上記カテゴリに対する航空機落下確率の推定には、「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 : 延べ飛行距離 (=9,740,013,768km) 又は対象期間 (=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年間の民間航空機及び自衛隊機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。

民間航空機の χ 二乗検定

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
0～1	3	約 0.0713	約 2.07	約 0.420
2～3	9	約 0.304	約 8.82	約 0.00386
4～5	9	約 0.360	約 10.4	約 0.196
6～7	6	約 0.193	約 5.60	約 0.0279
8 以上	2	約 0.0718	約 2.08	約 0.00323
合 計	29	1.00	29.0	約 0.651

自衛隊機の χ 二乗検定

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	2	約 0.103	約 2.98	約 0.321
1	8	約 0.234	約 6.78	約 0.220
2	6	約 0.266	約 7.71	約 0.381
3	8	約 0.202	約 5.85	約 0.789
4 以上	5	約 0.196	約 5.68	約 0.0808
合 計	29	1.00	29.0	約 1.79

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

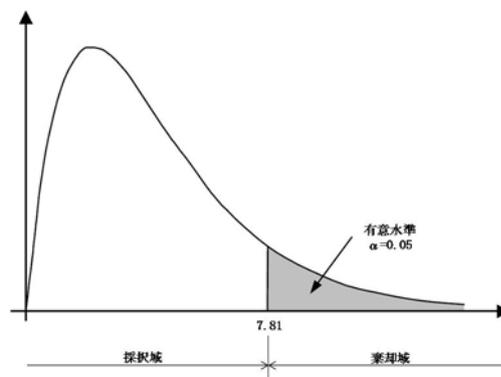
m : 落下事故件数標本平均（民間航空機：約 4.31 件，自衛隊機：約 2.28 件）

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

民間航空機及び自衛隊機の χ 二乗値はそれぞれ約 0.651, 約 1.79 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, 国内の民間航空機及び自衛隊機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。

f_{se} : 基地と訓練空域間を往復中の落下事故率 (回/年)

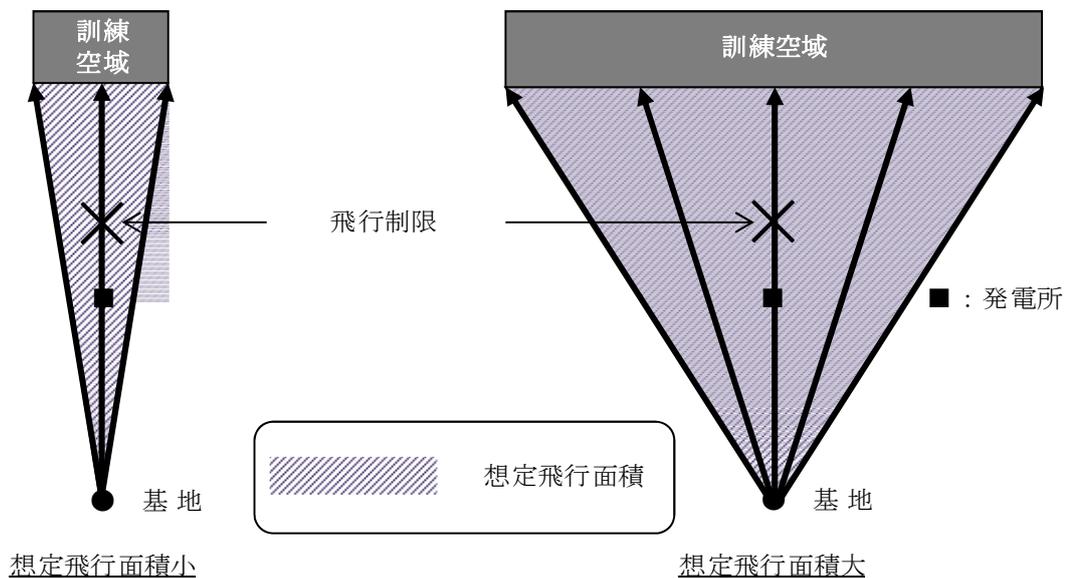
A : 原子炉施設の標的面積 (km^2)

S_{se} : 想定飛行範囲の面積 (km^2)

(A)式によると、想定飛行範囲の面積 (S_{se}) 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、参考1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. 落下事故実績がないその他のカテゴリの評価方法について

上記 3. では、『(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』のカテゴリについて述べたが、評価の一貫性の観点から、その他の(1)～(3)のカテゴリについても、(4)のカテゴリと同様に「 χ 二乗分布を用いる方法」を使用した。

5. 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、航空機落下確率評価では、落下実績のないカテゴリの航空機落下確率の推定において、 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百里基地－訓練空域間の航空機落下確率（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、発生実績のない起回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。

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ンタター式 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

11. ダムの崩壊影響評価について

(1) 基本方針

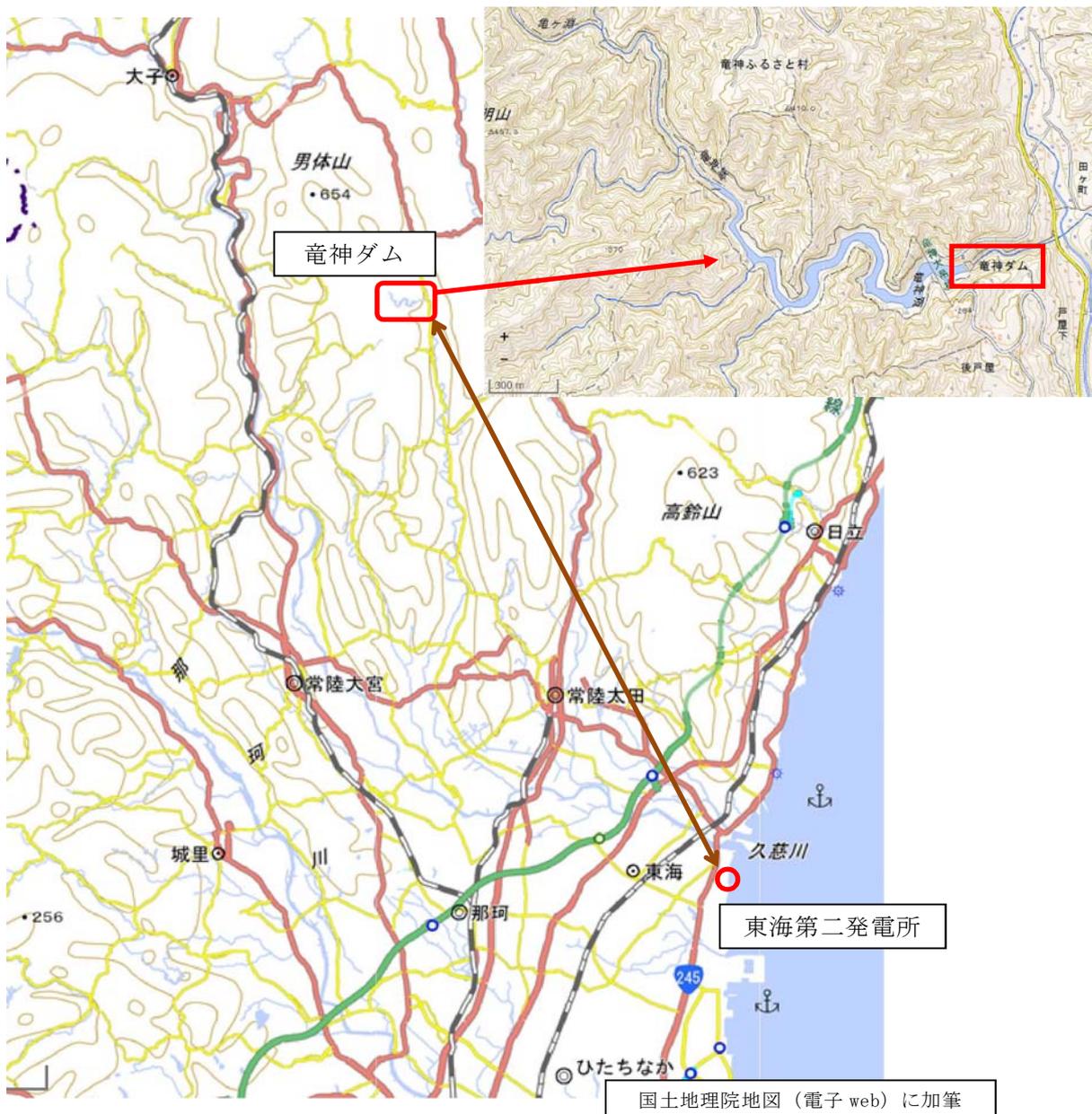
安全施設のうち外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器はダムの崩壊により安全施設の安全機能が損なわれないよう設計する。

(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	45 m
堤 頂 長	90 m
総貯水容量	3,000,000 m ³
有効貯水容量	2,700,000 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。

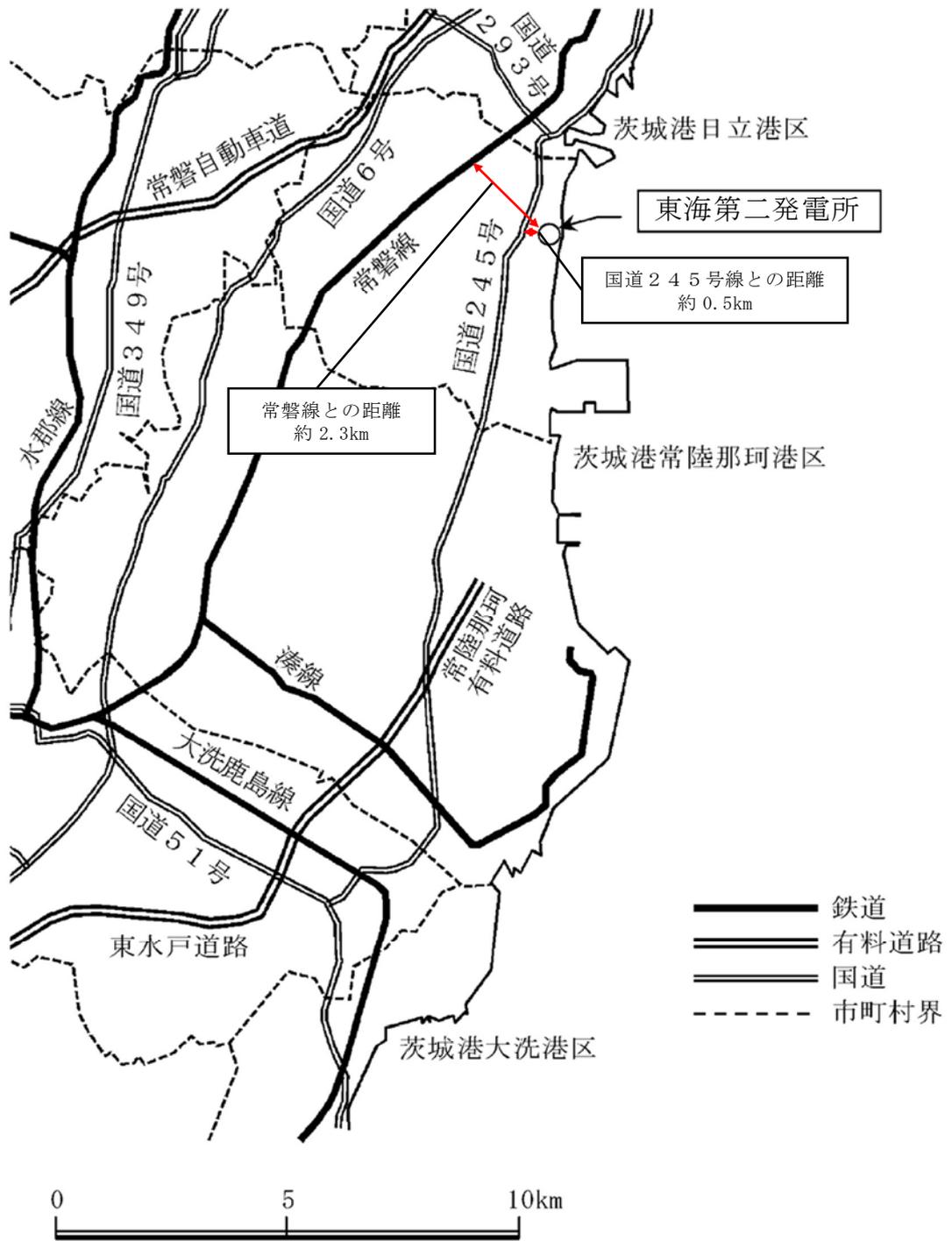
液化塩素を積載するタンクローリは、高圧ガス保安法や、毒物及び劇物取締法によって容器の設計、製造、取扱いの規制を受ける。事故等の衝撃により弁等の突出部が破損しガスが漏えいすることを防ぐための保護枠の設置や、

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

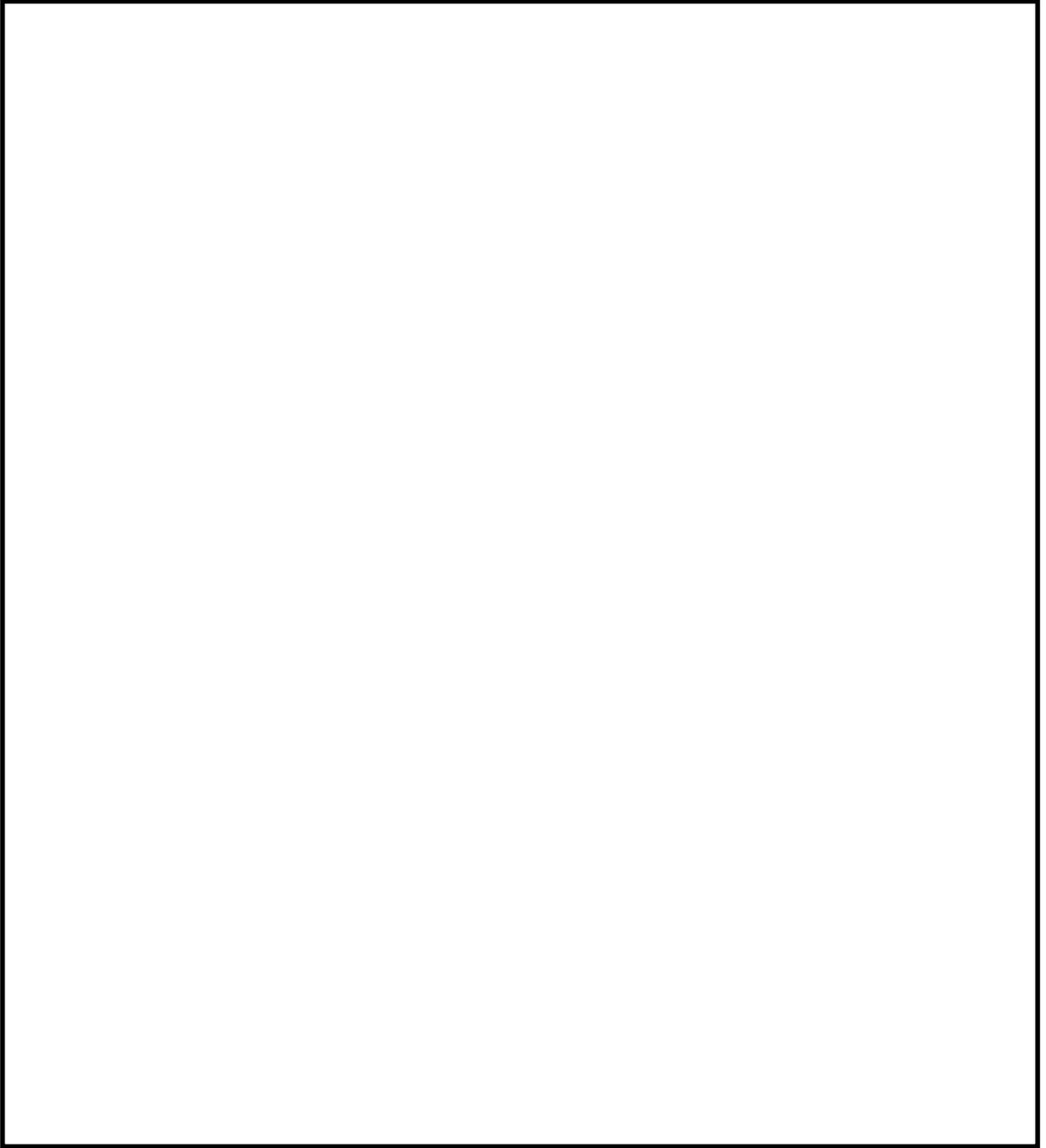
第 12-3 表 発電所敷地内の有毒物質

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
熔融炉 アンモニアタンク	アンモニア	1.0 [m ³]	120	420
熔融炉 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（ x/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]

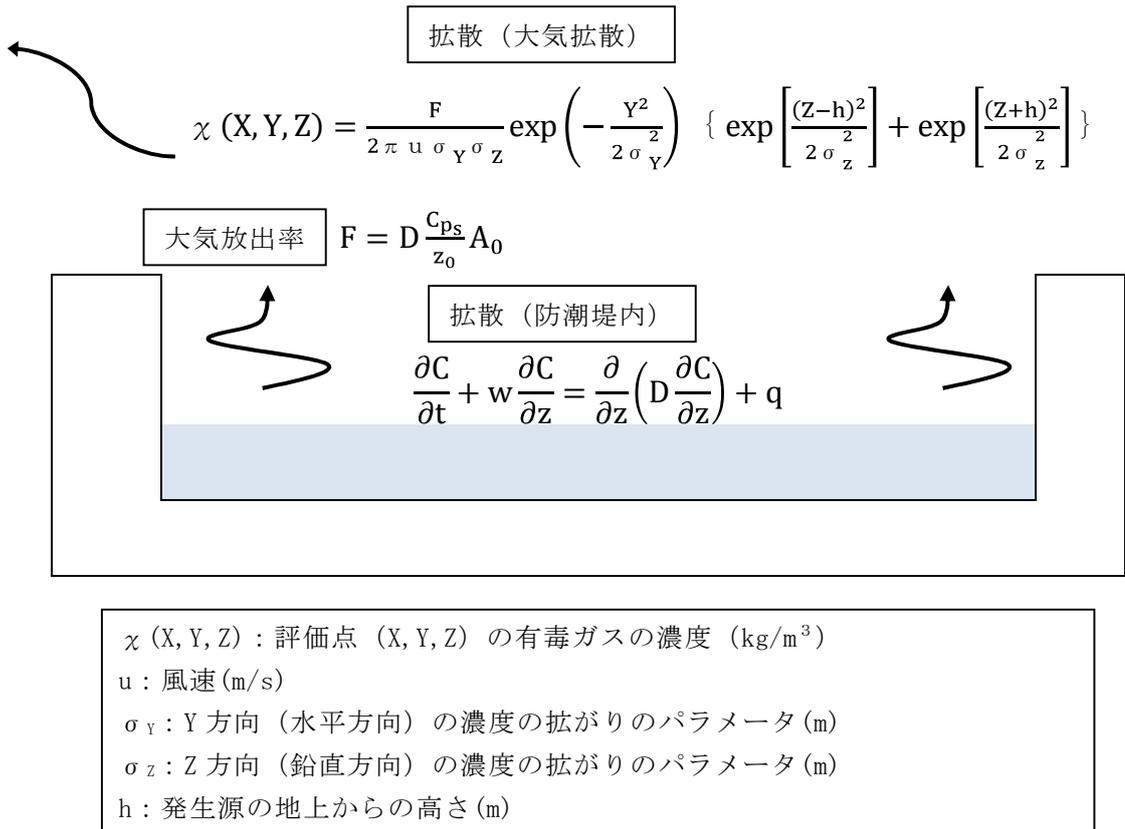
A₀ : 堰底面積[m²]

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_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

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。

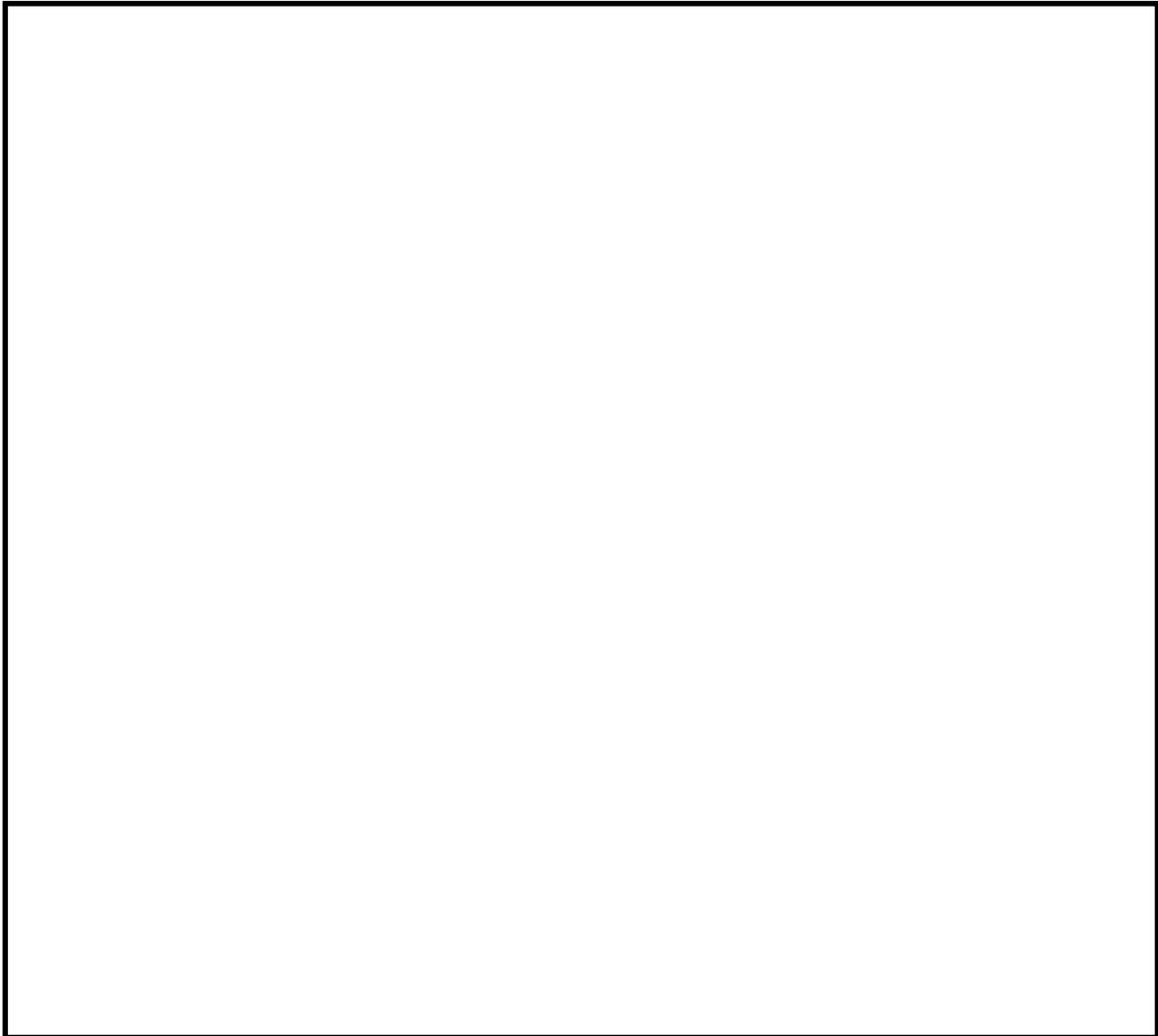
また，本評価では無風状態を想定している。風が吹いている場合を想定しても，風により拡散が促進され窒息雰囲気の濃度はより小さくなること，中央制御室換気系給気口に到達した場合であっても，長時間中央制御室換気系給気口前面に留まる事はなく，中央制御室の空調バウンダリ内が窒息濃度となることは考え難い。

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、中央制御室の空調バウンダ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した。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 (x/Q) は、3.3.1 と同様に「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	
	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 2 4 5 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熔融炉アンモニアタンクより小さいことを確認した。

熔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熔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)

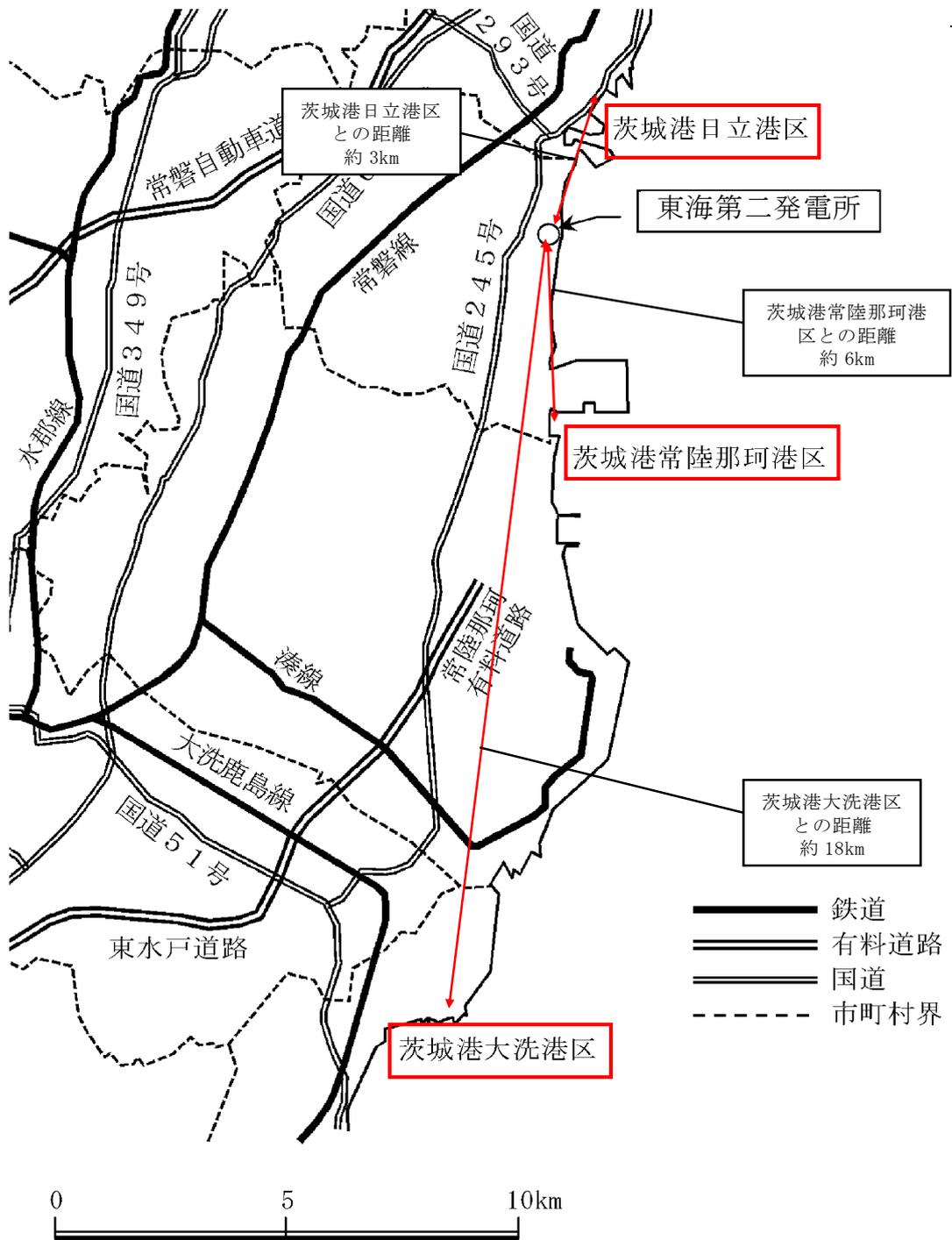
以上のことから、船舶の衝突により取水機能が損なわれることはない。

4. 重油の流出による影響

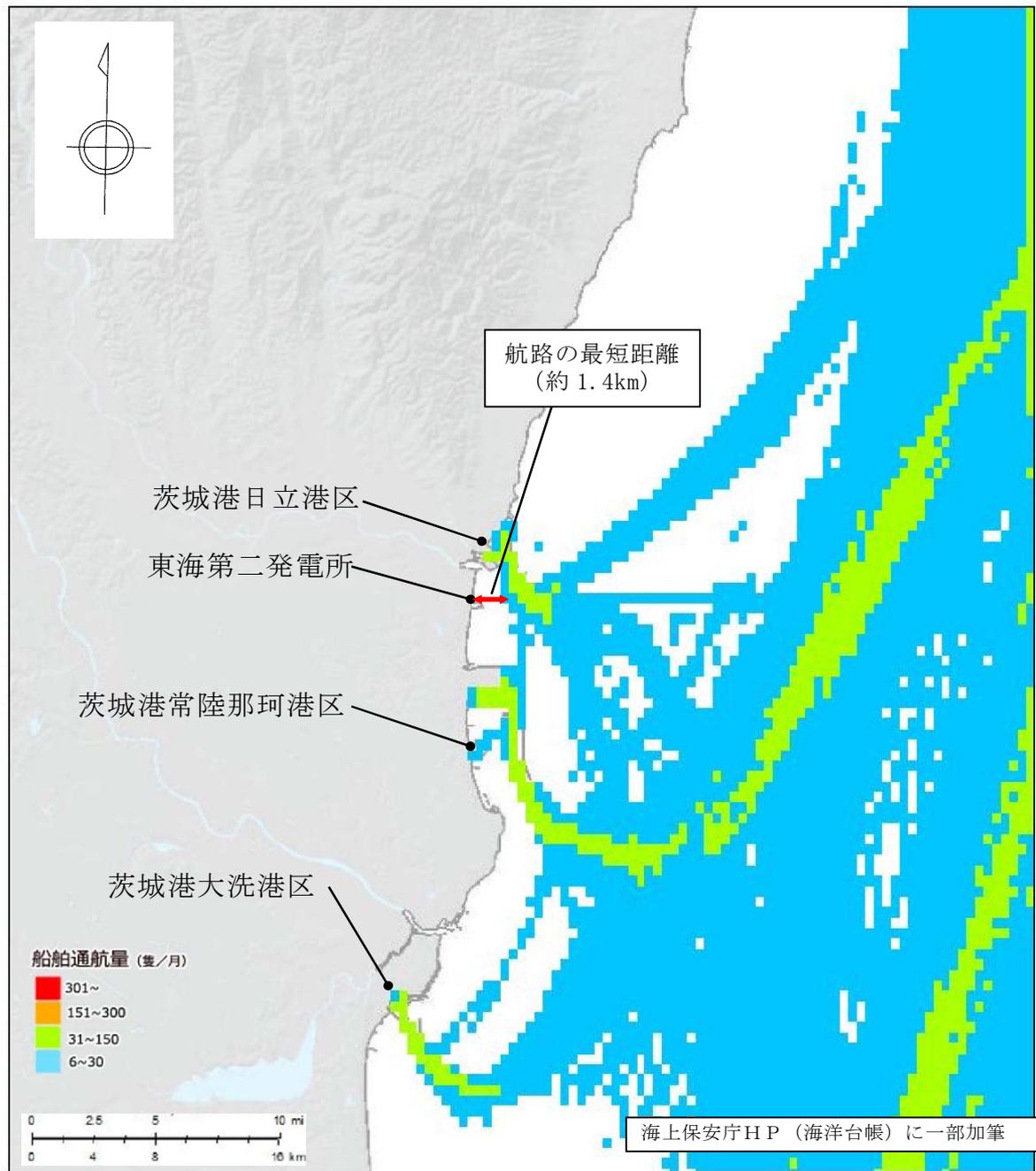
船舶の座礁により重油流出事故が発生した場合において、海水取水はカーテンウォールが設置されていることにより、取水口の低層から取水されるため、取水への油の混入の可能性は低く、非常用海水系の取水機能が損なわれることはない。また、必要に応じてオイルフェンスを設置する措置を講じる。

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。

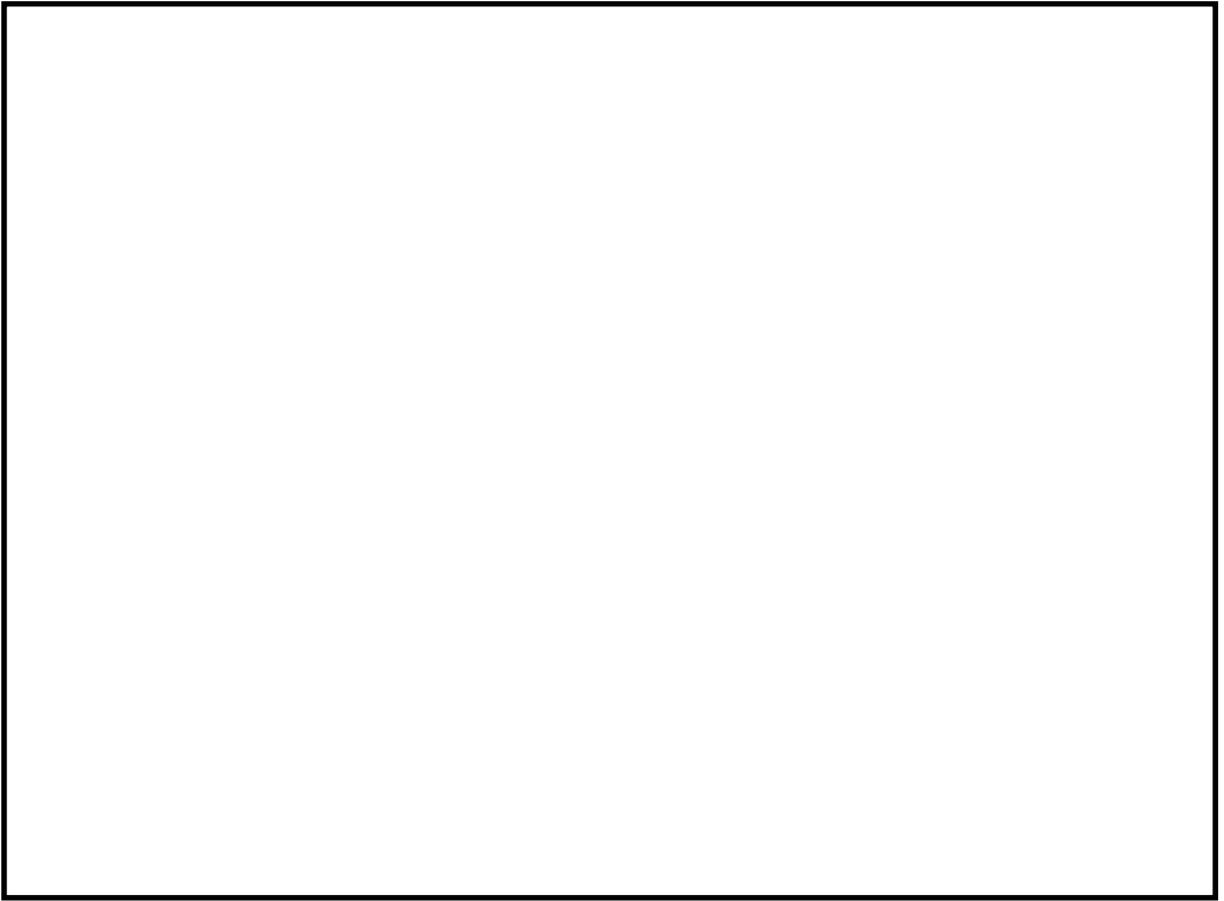
以上のことから、重油流出により取水機能が損なわれることはない。



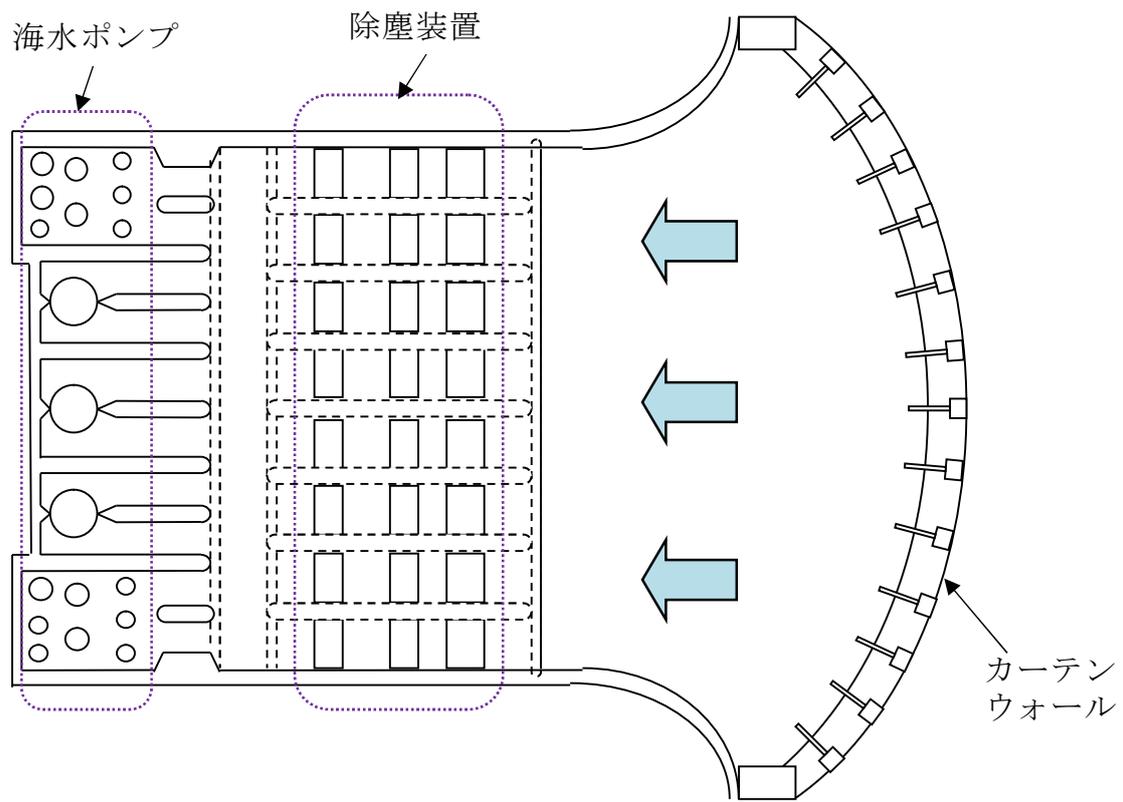
第13-1図 東海第二発電所周辺の港湾



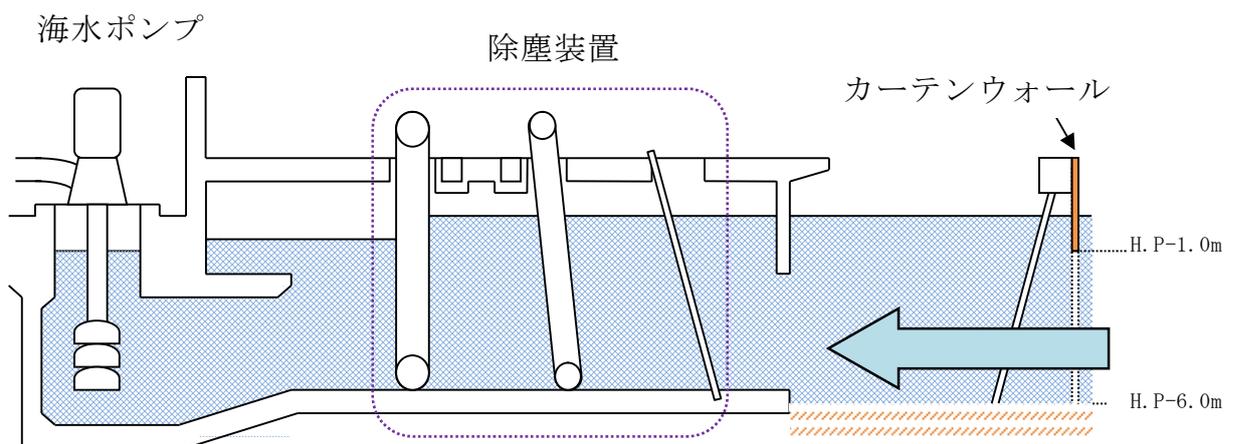
第 13-2 図 発電所周辺の航路



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

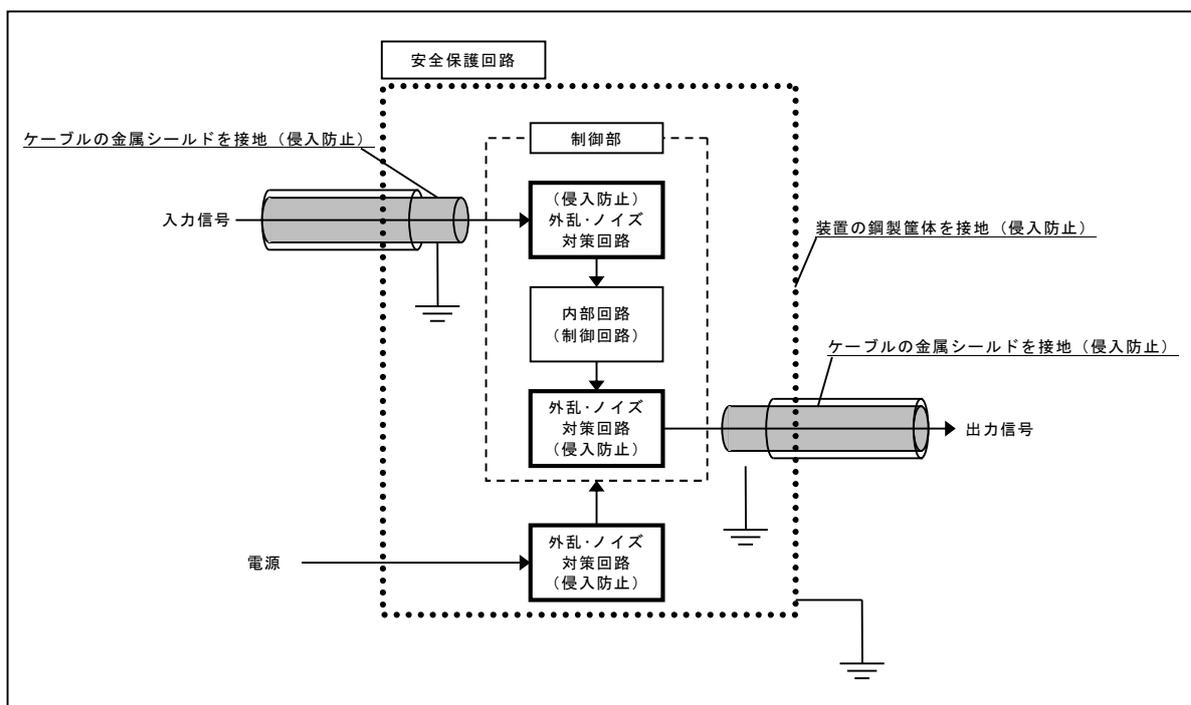
14. 安全保護回路の主な電磁波，サージ・ノイズ対策について

(1) 概要

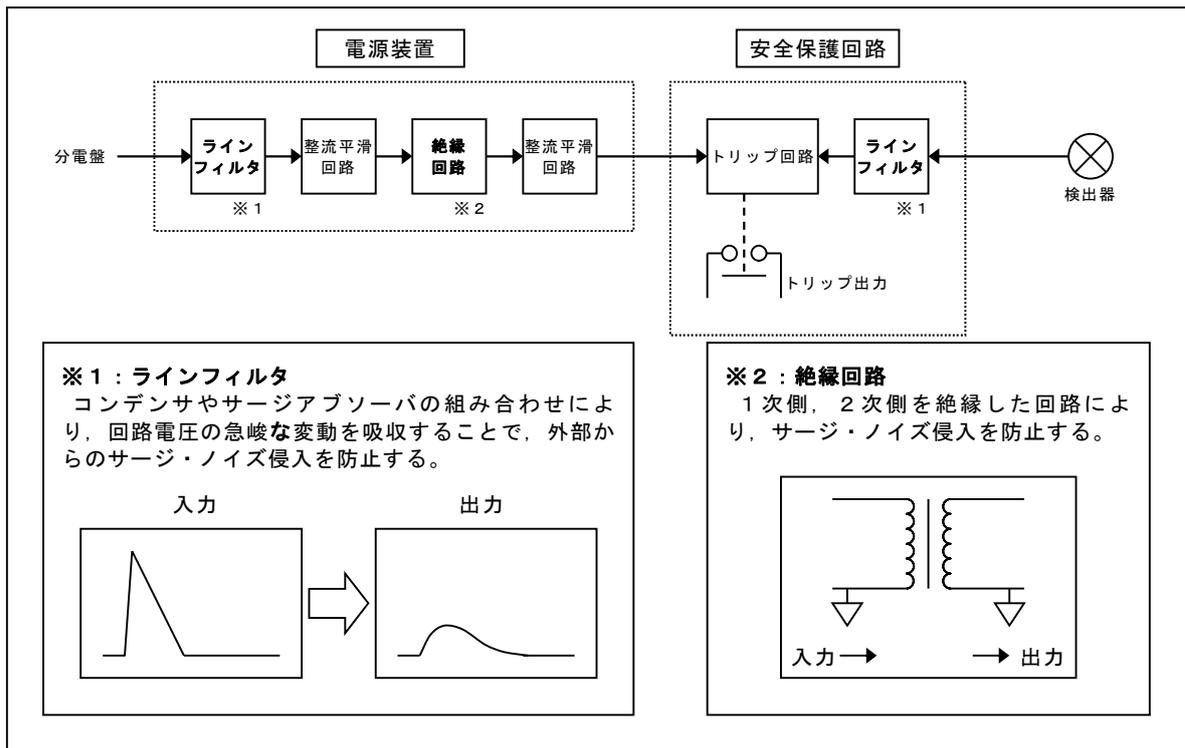
電磁的障害には，電磁波やサージ・ノイズの侵入があり，これらは低電圧の計測制御回路に対して影響を及ぼすおそれがあるため，安全保護回路を構成する計測制御回路は，J E C 210-1981（低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準）に基づく絶縁耐力を有する設計としている。

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

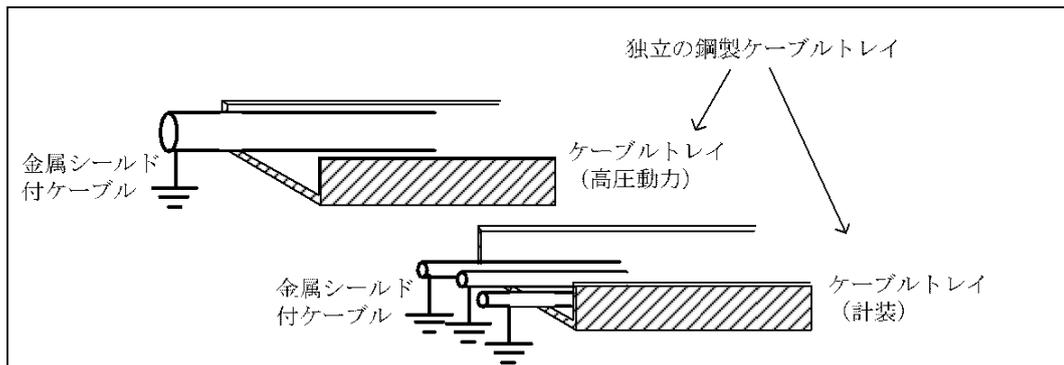
ケーブルは全て金属シールド付ケーブルを使用し，金属シールドは接地して電磁波の侵入を防止する設計とする。

(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 40cm，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。

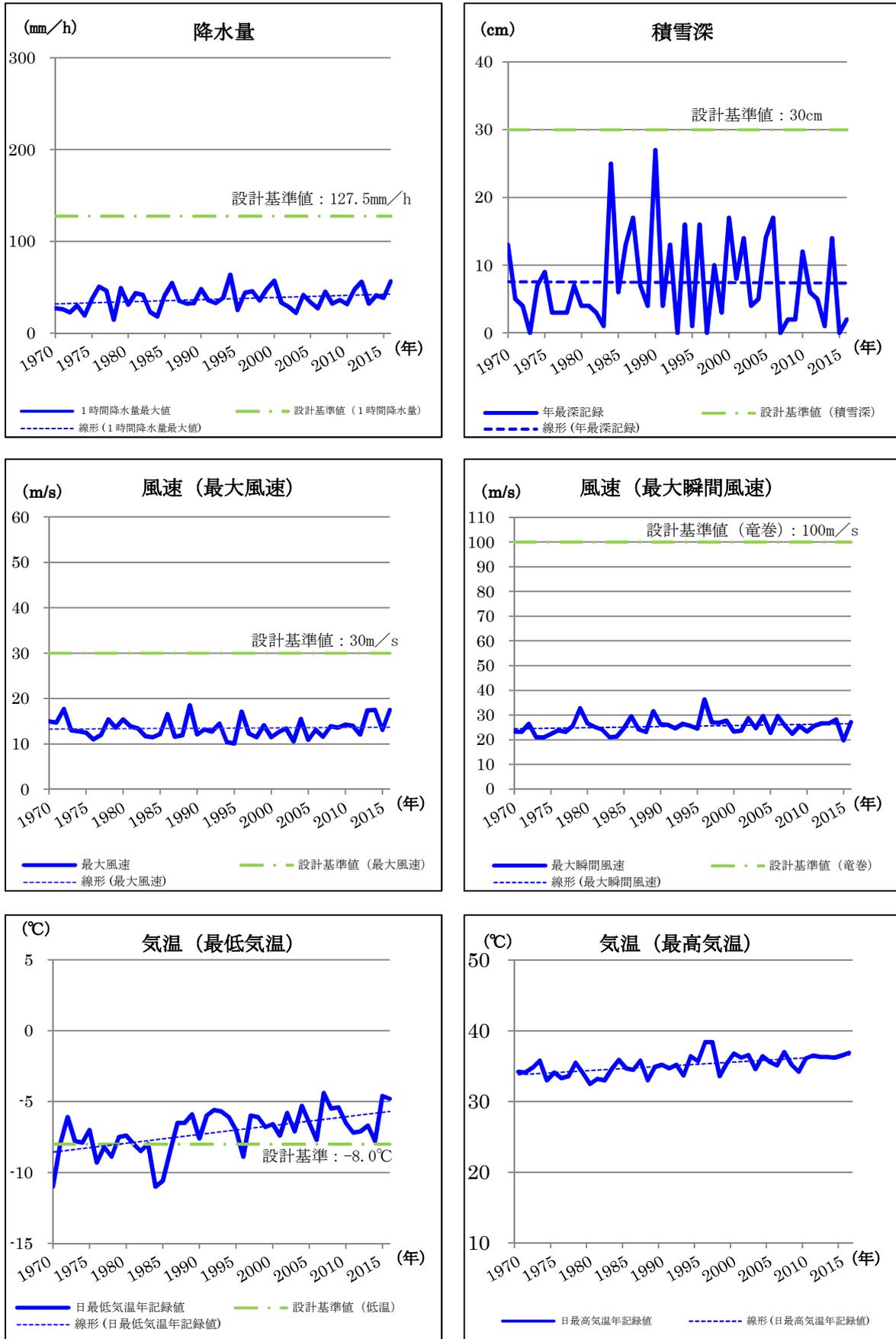
最大瞬間風速では、増加傾向が見受けられるものの、設計竜巻の最大風速 100m/s を想定しており、観測記録はこれに十分包絡される。

・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

自然事象	設計基準としての設定値	既往最厳値等	事象の発生状況	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 事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。	事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必要がある。
積雪	30cm	32cm	長期 (数時間)	可能 事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、除雪による安全施設の安全機能の確保が可能である。	事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	40cm	40cm (地質調査等の結果)	長期 (数日～数週間)	可能 事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、除灰による安全施設の安全機能の確保が可能である。	事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 事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。	事象の発生が瞬時（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必要がある。
竜巻	100m/s	80m/s (10^{-5} /年値)	瞬時 (秒又は分)	不可 事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。	事象の発生が瞬時（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必要がある。
落雷	220kA	220kA (10^{-4} /年値)	瞬時 (秒)	不可 事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（避雷設備の設置等）とすることが適切である。	事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の位置、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。</p> <p>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。</p> <p>（解釈）</p> <p>「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。</p> <p>「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。</p> <p>「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。</p> <p>「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ない。</p> <p>（解釈）</p> <p>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<u>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。</u></p> <p>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）、<u>竜巻</u>、凍結、<u>降水</u>、<u>積雪</u>、<u>落雷</u>、<u>地滑り</u>、<u>火山の影響</u>、<u>生物学的事象</u>又は<u>森林火災</u>等から適用されるものをいう。</p> <p>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、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。</p> <p>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。</p> <p>「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ない。</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の</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、爆発等をいう。</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。 (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、<u>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。</u> 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、<u>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。</u>なお、<u>上記の航空機落下については、「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。</u></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
Initial Preliminary Screening: For screening out an external hazard, any one of the following five screening criteria provides as an acceptable basis;	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>Criterion 1:</p> <p>The event is of equal or lesser damage potential than the events for which the plant has been designed.</p> <p>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>基準1：</p> <p>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C：</p> <p>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。</p>
<p>Criterion 2:</p> <p>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>基準2：</p> <p>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。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ったもの。</p>	<p>基準E：</p> <p>発生頻度が他の事象と比較して非常に低い。</p>
<p>Criterion 3:</p> <p>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>基準3：</p> <p>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なくて、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A：</p> <p>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>Criterion 4:</p> <p>The event is included in the definition of another event.</p>	<p>基準4：</p> <p>その事象が、他の事象の定義に含まれる場合。</p>	<p>基準D：</p> <p>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>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>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。</p>
<p>該当なし</p>	<p>—</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
自然現象	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
自然現象	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
外部人為事象	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系ディ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。

東海第二発電所

外部からの衝撃による損傷の防止

(竜巻)

第6条 外部からの衝撃による損傷の防止

(竜巻)

<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) 適合性説明

2. 外部からの衝撃による損傷の防止
 - 別添資料1 竜巻影響評価について
 - 別添資料2 竜巻影響評価におけるフジタモデルの適用について

< 概 要 >

1. において、設計基準対処設備の設置許可基準規則、技術基準基礎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 第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）	技術基準規則 第7条（外部からの衝撃による損傷の防止）	備考
安全施設は、想定される自然事象（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。	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。	追加要求事項
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。		追加要求事項
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。	<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>	追加要求事項

1.2 追加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-1) 安全施設は、想定される竜巻が発生した場合においても、作用する設計荷重に対して、その安全機能を損なわない設計とする。また、安全施設は、過去の竜巻被害状況及びプラント配置から想定される竜巻に随伴する事象に対して、安全機能を損なわない設計とする。竜巻に対する防護設計を行うための設計竜巻の最大風速は 100m/s とし、設計荷重は、設計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が安全施設に衝突する際の衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重、並びに、安全施設に常時作用する荷重、運転時荷重及びその他竜巻以外の自然現象による荷重等を適切に組み合わせたものとして設定す

る。安全施設の安全機能を損なわないようにするため、安全施設に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策を実施するとともに、作用する設計荷重に対する安全施設及び安全施設を内包する区画の構造健全性の確保、若しくは、飛来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ることで、その安全機能を損なわない設計とする。飛来物の発生防止対策として、飛来物となる可能性のあるもののうち、資機材については飛来した場合の運動エネルギー及び貫通力が設定する設計飛来物である鋼製材（長さ 4.2m×幅 0.3m×高さ 0.2m, 質量 135kg, 飛来時の水平速度 51m/s, 飛来時の鉛直速度 34m/s）より大きなものに対し、固縛、固定又は竜巻防護施設からの離隔を実施する。

(2) 安全設計方針

1.7 竜巻防護に関する基本方針

1.7.1 設計方針

(1) 竜巻に対する設計の基本方針

安全施設が竜巻に対して、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な各種の機能を損なわないよう、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を適切に設定し、以下の事項に対して、対策を行い、建屋による防護、構造健全性の維持及び代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

また、安全施設は、設計荷重による波及的影響によって、安全機能を損なわない設計とする。

- a. 飛来物の衝突による施設の貫通及び裏面剥離
- b. 設計竜巻による風圧力による荷重，気圧差による荷重，及び設計飛来物による衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重（常時作用している荷重，運転時荷重，竜巻以外の自然現象による荷重及び設計基準事故時荷重）を適切に組み合わせた設計荷重
- c. 竜巻による気圧の低下
- d. 外気と繋がっている箇所への風の流入

竜巻から防護する施設としては，安全施設が竜巻の影響を受ける場合においても，発電用原子炉施設の安全性を確保するために，「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，系統及び機器とする。

竜巻から防護する施設のうちクラス1，クラス2に該当する構築物，系統及び機器（以下「竜巻防護施設」という。）として竜巻による影響を評価し設計する。また，竜巻防護施設を内包する施設についても同様に竜巻による影響を評価し設計する。クラス3に属する施設は，損傷する場合を考慮して，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に修復すること等の対応が可能な設計とすることにより，安全機能が維持されることから，竜巻による影響を評価する対象から除外する。

竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設については「1.7.1 (3) 竜巻防護施設」にて記載する。竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設については，「1.7.1(4) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設」にて記載する。

竜巻に対する防護設計を行う，竜巻防護施設，竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設を「評価対象施設」

という。

なお、「基準地震動および耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される設備（系統，機器）及び建屋，構築物のうち，竜巻の影響を受ける可能性がある設備を抽出した結果，追加で「1.7.1(3) 竜巻防護施設」に反映する施設はない。

竜巻防護施設の安全機能を損なわないようにするため，竜巻防護施設に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策をするとともに，作用する設計荷重に対する竜巻防護施設の構造健全性の維持，竜巻防護施設を内包する区画の構造健全性の確保，若しくは，飛来物による損傷を考慮し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。

屋外に設置する竜巻防護施設の構造健全性の維持または竜巻防護施設を内包する区画の構造健全性の確保において，それらを防護するために設置する竜巻防護対策設備は，防護ネット，防護鋼板等から構成し，飛来物から竜巻防護施設を防護できる設計とする。

【別添資料1（1.：1-1～13）】

(2) 設計竜巻の設定

「添付書類六 8. 竜巻」において設定した基準竜巻の最大風速は92m/sとする。

設計竜巻の設定に際して，東海第二発電所は敷地が平坦であるため，地形効果による風の増幅を考慮する必要はないことを確認したが，基準竜巻の最大風速を安全側に切り上げて，設計竜巻の最大風速は100m/sとする。

【別添資料1（2.：1-14～44）】

(3) 竜巻防護施設

竜巻防護施設のうち，屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む），屋内の施設で外気と繋がっている施設及び外殻となる施設による防護機能が期待できない施設に分類し，評価対象施設として抽出する。なお，外殻となる施設等による防護機能が期待できない施設については，建屋，構築物の構造健全性の確認結果より，設計飛来物の衝突による開口部の開放又は開口部建具の貫通の観点から，評価対象施設を抽出する。

（屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む））

(a) 非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ

(b) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気フィルタ

（以下(a)(b)を区別不要の場合は「ディーゼル発電機吸気フィルタ」という。）

(c) 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン

(d) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン

（以下(c)(d)を区別不要の場合は「ディーゼル発電機室ルーフベントファン」という。）

(e) 中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む）

(f) 残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む）

(g) 残留熱除去系海水系ストレーナ

(h) 非常用ディーゼル発電機海水ポンプ（配管，弁含む）

(i) 非常用ディーゼル発電機海水ストレーナ

(j) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ポンプ（配管，弁含む）

(k) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ストレーナ

（以下(f)～(k)を区別不要の場合は「海水ポンプ室内設備」という。）

(l) 非常用ガス処理系排気配管

(m) 排気筒

<以下、竜巻防護施設を内包する施設>

(n) 原子炉建屋（原子炉圧力容器，原子炉再循環ポンプ等を内包）

(o) タービン建屋（気体廃棄物処理系隔離弁等を内包）

(p) 使用済燃料乾式貯蔵建屋（使用済燃料乾式貯蔵容器を内包）

(q) 軽油貯蔵タンクタンク室（軽油貯蔵タンクを内包）

（屋内の施設で外気と繋がっている施設）

(a) 中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む）

(b) 非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト

(c) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト

（以下(b)(c)を区別不要の場合は「ディーゼル発電機室換気系ダクト」という。）

(d) 原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト

（外殻となる施設（建屋，構築物）による防護機能が期待できない施設）

(a) 中央制御室換気系ファン（空気調和器含む）

(b) 中央制御室換気系フィルタユニット

（以下(a)(b)を区別不要の場合は「中央制御室換気系ファン」という。）

(c) 非常用電源盤

(d) 非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備

(e) 使用済燃料プール

(f) 燃料プール冷却浄化系真空破壊弁

(g) 使用済燃料乾式貯蔵容器

【別添資料 1 (1.2.2 (1) : 1-3~7)】

(4) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設としては、当該施設の破損等により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性がある施設、又はその施設の特定の区画とする。

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設のうち評価対象施設としては、発電所構内の構築物、系統及び機器（安全重要度クラス 1， 2， 3 及びノンクラス）の中から、以下の a 及び b に示す施設を抽出した。

a. 機械的影響の観点での抽出

発電所構内の構築物、系統及び機器のうち、倒壊により竜巻防護施設の機能を喪失させる可能性がある施設として、以下を抽出し、評価する。

(a) サービス建屋

(b) 海水ポンプ室

(c) 鋼製防護壁

(d) 排気筒

b. 機能的影響の観点での抽出

発電所構内の構築物、系統及び機器のうち、気圧差等による損傷により竜巻防護施設の機能を喪失させる可能性がある屋外の竜巻防護施設の附属設備として、以下を抽出した。

- (a) 非常用ディーゼル発電機排気消音器
- (b) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器
(以下(a)(b)を区別不要の場合は「ディーゼル発電機排気消音器」という。)
- (c) 非常用ディーゼル発電機排気配管
- (d) 非常用ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管
- (e) 非常用ディーゼル発電機機関ベント管
- (f) 非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプルタンクベント管
- (g) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管
- (h) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管
- (i) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管
- (j) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機潤滑油サンプルタンクベント管
(以下(c)～(j)を区別不要の場合は「ディーゼル発電機附属設備配管」という。)
- (k) 残留熱除去系海水系配管（放出側）
- (l) 非常用ディーゼル発電機海水配管（放出側）
- (m) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水配管（放出側）
(以下(k)～(m)を区別不要の場合は「海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）」という。)

【別添資料 1 (1.2.2 (2) : 1-8～11)】

(5) 設計飛来物の設定

東海第二発電所敷地全体を俯瞰した現地調査及び検討を行い、発電所構内の資機材、車両等の設置状況を踏まえ、評価対象施設に衝突する可能性

のある飛来物を抽出する。

設計飛来物は、浮き上がりの有無、運動エネルギー及び貫通力を踏まえ、「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 13061911 号 原子力規制委員会決定）」を参照して鋼製材を設定する。

また、竜巻防護対策設備の防護ネットを通過し得る可能性があり、鋼製材にて包含できないことから、砂利も設計飛来物とする。

第 1.7-1 表に東海第二発電所における設計飛来物を示す。

飛来物の発生防止対策については、現地調査により抽出した飛来物や持ち込まれる物品の寸法、質量及び形状から飛来の有無を判断し、運動エネルギー及び貫通力を考慮して、衝突時に建屋等又は竜巻防護対策設備に与えるエネルギー及び貫通力が設計飛来物によるものより大きく、竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす施設等を防護できない可能性があるものは飛散防止対策（固縛、固定又は竜巻防護施設からの離隔）を実施し、確実に飛来物とならない運用とする。

【別添資料 1（3.3.1（3）：1-46～57）】

(6) 荷重の組み合わせと許容限界

竜巻に対する防護設計を行うため、評価対象施設に作用する設計竜巻荷重の算出、設計竜巻荷重の組み合わせの設定、設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定及び許容限界について以下に示す。

a. 評価対象施設に作用する設計竜巻荷重

設計竜巻により評価対象施設に作用する荷重として「風圧力による荷重 (W_w)」, 「気圧差による荷重 (W_p)」及び「設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)」を以下に示すとおり算出する。

(a) 風圧力による荷重 (W_w)

設計竜巻の最大風速による荷重であり、「建築基準法施行令」（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」及び建設省告示 1454 号（平成 12 年 5 月 31 日）に準拠して、次式のとおり算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

W_w : 風圧力による荷重

q : 設計用速度圧

G : ガスト影響係数 (=1.0)

C : 風力係数（施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて設定する。）

A : 施設の受圧面積

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$$

ここで、

ρ : 空気密度

V_D : 設計竜巻の最大風速

ただし、竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として算定されるが、鉛直方向の風圧力に対してぜい弱と考えられる評価対象施設が存在する場合には、鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮した設計とする。

(b) 気圧差による荷重 (W_p)

外気と隔離されている区画の境界部が気圧差による圧力影響を受ける設備及び竜巻防護施設を内包する施設の建屋壁、屋根等においては、

設計竜巻による気圧低下によって生じる評価対象施設の内外の気圧差による圧力荷重が発生し，保守的に「閉じた施設」を想定し次式のとおり算出する。

$$W_P = \Delta P_{\max} A$$

ここで，

W_P : 気圧差による荷重

ΔP_{\max} : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

(c) 設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

飛来物の衝突方向及び衝突面積を考慮して設計飛来物が評価対象施設に衝突した場合の影響が大きくなる向きで衝撃荷重を算出する。

【別添資料 1 (3.3.1 : 1-47~56)】

b. 設計竜巻荷重の組み合わせ

評価対象施設の設計に用いる設計竜巻荷重は，設計竜巻による風圧力による荷重 (W_W)，気圧差による荷重 (W_P) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) を組み合わせた複合荷重とし，複合荷重 W_{T1} 及び W_{T2} は米国原子力規制委員会の基準類を参考として，以下のとおり設定する。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

なお，評価対象施設には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。

【別添資料 1 (3.3.1 : 1-56~57)】

c. 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおり設定する。

(a) 評価対象施設に常時作用する荷重，運転時荷重

評価対象施設に作用する荷重として，自重等の常時作用する荷重，内圧等の運転時荷重を適切に組み合わせる。

(b) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は，積乱雲及び積雲に伴って発生する現象であり⁽¹⁾，積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は，雷，雪，雹及び大雨である。これらの自然現象の組み合わせにより発生する荷重は，以下のとおり設計竜巻荷重に包絡されることから，設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として考慮しない。

i) 雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても，雷によるプラントへの影響は，雷撃であるため雷による荷重は発生しない。

ii) 雪

上昇流の竜巻本体周辺では，竜巻通過時に雪は降らない。また，下降流の竜巻通過時の降雪や，竜巻通過前に積もった雪の大部分は竜巻の風により吹き飛ばされるため，雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

iii) 雹

雹は積乱雲から降る直径 5mm 以上の氷の粒⁽²⁾であり，仮に直径 10cm 程度の大型の雹を想定した場合，その重量は約 0.5kg となる。竜巻と雹が同時に発生する場合においても，10cm 程度の雹の終端

速度は $59\text{m/s}^{(3)}$ ，運動エネルギーは約 0.9kJ であり，設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく，雹の衝突荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

iv) 大雨

竜巻と大雨が同時に発生する場合においても，雨水により屋外施設に荷重の影響を与えることはなく，また降雨による荷重は十分小さいため，設計竜巻荷重に包絡される。

(c) 設計基準事故時荷重

竜巻防護施設は，設計竜巻によって安全機能を損なわない設計とするため，設計竜巻は原子炉冷却材喪失事故などの設計基準事故の起因とはならないことから，設計竜巻と設計基準事故は独立事象となる。

設計竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいことから，設計基準事故時荷重と設計竜巻との組み合わせは考慮しない。

仮に，風速が低く発生頻度が高い竜巻と設計基準事故が同時に発生する場合，評価対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じ，竜巻による風荷重等の影響を受ける屋外設備としては動的機器である残留熱除去系海水系ポンプ等が考えられるが，設計基準事故時においても残留熱除去系海水系ポンプ等の圧力，温度が変わらず，運転時荷重が変化することはないため，設計基準事故により考慮すべき荷重はなく，竜巻と設計基準事故時荷重の組み合わせは考慮しない。

【別添資料 1 (3.3.2 : 1-57~58)】

d. 許容限界

建屋，構築物の設計において，設計飛来物の衝突による貫通及び裏面

剥離発生の有無の評価については、貫通及び裏面剥離が発生する限界厚さと部材の最小厚さを比較することにより行う。さらに、設計荷重により、発生する変形又は応力が以下の法令、規格、基準、指針類等に準拠し算定した許容限界を下回る設計とする。

- ・ 建築基準法
- ・ 日本工業規格
- ・ 日本建築学会及び土木学会等の基準、指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1987（日本電気協会）
- ・ 原子力エネルギー協会（N E I）の基準・指針類等

系統及び機器の設計において、設計飛来物の衝突による貫通の有無の評価については、貫通が発生する限界厚さと部材の最小厚さを比較することにより行う。設計飛来物が貫通することを考慮する場合には、設計荷重に対して防護対策を考慮した上で、系統及び機器に発生する応力が以下の規格、基準及び指針類に準拠し算定した許容応力度等に基づく許容限界を下回る設計とする。

- ・ 日本工業規格
- ・ 日本機械学会の基準、指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1987（日本電気協会）
等

【別添資料 1（3.4.1 : 1-59）】

(7) 評価対象施設の防護設計方針

評価対象施設については、以下の設計方針のとおり、設計荷重に対してその構造健全性が維持され、評価対象施設以外の竜巻防護施設については、

竜巻及びその随伴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に修復すること等の対応が可能な設計とすることにより、竜巻防護施設の安全機能を損なわない設計とする。なお、竜巻防護施設のうち、外殻となる防護機能が期待できる屋内施設は、建屋又は構築物による防護により、設計荷重に対して安全機能を損なわない方針とする。

【別添資料 1 (3.4.2 : 1-60～66)】

a. 屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む）

屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む）は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて施設の補強、防護ネット及び防護鋼板の設置等の防護対策を講じる方針とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (1) : 1-60～62)】

(a) ディーゼル発電機吸気フィルタ

ディーゼル発電機吸気フィルタは、設計飛来物の衝突により貫通が発生することを考慮しても、閉塞することはなく、吸気機能が維持される設計とする。また、風圧力による荷重及び気圧差による荷重、ディーゼル発電機吸気フィルタに常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (1) : 1-60)】

(b) ディーゼル発電機室ルーフベントファン

ディーゼル発電機室ルーフベントファンは、設計飛来物に対しては防護ネットの設置等の防護対策を行うことを考慮すると、設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。また、風圧力による荷重、気圧差によ

る荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (1) : 1-60)】

(c) 中央制御室換気系冷凍機

中央制御室換気系冷凍機は、設計飛来物に対しては防護ネットの設置等の防護対策を行うことを考慮すると、設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。また、風圧力による荷重、気圧差による荷重、中央制御室換気系冷凍機に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (1) : 1-60)】

(d) 海水ポンプ室内設備

海水ポンプ室内設備は、設計飛来物に対しては防護ネットの設置等の防護対策を行うことを考慮すると、設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。また、風圧力による荷重、気圧差による荷重、海水ポンプ室内設備に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (1) : 1-61)】

(e) 非常用ガス処理系排気配管

非常用ガス処理系排気配管は、設計飛来物の衝突により貫通が発生することを考慮しても、閉塞することなく、排気機能が維持される設計とする。また、風圧力による荷重、非常用ガス処理系排気配管に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (1) : 1-61)】

(f) 排気筒

排気筒は、設計飛来物の衝突により貫通が発生することを考慮しても、閉塞することはなく、排気機能が維持される設計とする。また、風圧力による荷重、排気筒に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

排気筒の支持機能においても、設計飛来物の衝突により損傷が発生することを考慮しても、風圧力による荷重、排気筒の支持部材に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (1) : 1-61)】

(g) 原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物の衝撃荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁、開口部（扉類）の破損により当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により、当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

なお、原子炉建屋原子炉棟外壁のブローアウトパネルについては、設計竜巻による気圧低下により開放する可能性があり、原子炉建屋原子炉棟の放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼし得るが、設計竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいことから、安全上支障のない期間に補修が可能な設計とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (1) : 1-61～62)】

(h) 軽油貯蔵タンクタンク室

風圧力による荷重，気圧差による荷重及び設計飛来物の衝撃荷重に対して，構造骨組の構造健全性が維持されるとともに，開口部（点検口類）の破損により内包する軽油貯蔵タンクが安全機能を損なわない設計とする。また，設計飛来物の衝突時においても，貫通の発生により，内包する軽油貯蔵タンクが安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (1) : 1-62)】

b. 屋内の施設で外気と繋がっている施設

設計荷重に対して，安全機能が維持される設計とし，必要に応じて施設の補強，防護ネットの設置等の防護対策を講じる方針とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (2) : 1-62～63)】

(a) 中央制御室換気系隔離弁，ファン

中央制御室換気系隔離弁，ファンは，原子炉建屋に内包されていることを考慮すると，風圧力による荷重は作用しない。中央制御室換気系の取入口の建屋開口部は，防護ネットの設置等の防護対策を行うことを考慮すると，設計飛来物による衝撃荷重も作用しない。また，気圧差による荷重，中央制御室換気系に常時作用する荷重に対して，構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (2) : 1-62)】

(b) ディーゼル発電機室換気系ダクト

ディーゼル発電機室換気系ダクトは，原子炉建屋に内包されていることを考慮すると，風圧力による荷重及び設計飛来物による衝突荷重は作用しない。また，気圧差による荷重，ディーゼル発電機室換気系

に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (2) : 1-63)】

(c) 原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト

原子炉建屋換気系隔離弁，ダクトは，設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても，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。また，建屋に内包されていることを考慮すると，風圧力による荷重は作用しない。したがって，気圧差による荷重，原子炉建屋換気系に常時作用する荷重に対して，構造健全性が維持され安全機能を損なうことのない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (2) : 1-63)】

- c. 外殻となる施設（建屋，構築物）による防護機能が期待できない施設設計竜巻荷重に対して，安全機能が維持される設計とし，必要に応じて施設の補強等の防護対策を講じる方針とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (3) : 1-63～64)】

(a) 中央制御室換気系ファン

中央制御室換気系ファンは，設計飛来物の衝突により，原子炉建屋附属棟壁面の貫通が発生することを考慮し，壁面補強等の防護対策を行うことにより，中央制御室換気系ファンへの設計飛来物の衝突を防止し，中央制御室換気系ファンの構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (3) : 1-63)】

(b) 非常用電源盤

非常用電源盤は、設計飛来物の衝突により、原子炉建屋附属棟 1 階電気室扉の開放又は扉建具の貫通が発生することを考慮し、防護鋼板の設置等の防護対策を行うことにより、非常用電源盤への設計飛来物の衝突を防止し、非常用電源盤の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (3) : 1-63)】

(c) 非常用ガス処理系設備, 非常用ガス再循環系設備

非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備は、竜巻襲来による気圧差によって、原子炉建屋 6 階のブローアウトパネルが開放され、設計飛来物による衝突が考えられるが、ブローアウトパネルの配置高さを考慮すると、設計飛来物は到達せず、衝撃荷重も作用しないことにより、非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (3) : 1-64)】

(d) 使用済燃料プール, 燃料プール冷却浄化系真空破壊弁

使用済燃料プール及び燃料プール冷却浄化系真空破壊弁は、竜巻襲来による気圧差によって、原子炉建屋 6 階のブローアウトパネルが開放され、設計飛来物による衝突が考えられるが、ブローアウトパネルの配置高さを考慮すると、設計飛来物は到達せず、衝撃荷重も作用しないことにより、使用済燃料プール及び燃料プール冷却浄化系真空破壊弁の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (3) : 1-64)】

(e) 使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び気圧差荷重は作用しない。建屋上部の開口から設計飛来物による衝突が考えられるため、衝撃荷重に対して、使用済乾式貯蔵容器の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (3) : 1-64)】

d. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設

設計荷重に対する当該施設の健全性評価を行い、必要に応じて施設の補強等の防護対策を講じる方針とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (4) : 1-64～66)】

(a) サービス建屋

サービス建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対して、倒壊により竜巻防護施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (4) : 1-64)】

(b) 海水ポンプ室

海水ポンプ室は、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対して、倒壊により海水ポンプ室内設備へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (4) : 1-65)】

(c) 鋼製防護壁

鋼製防護壁は、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対して、倒壊により海水ポンプ室内設備へ波及的

影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (4) : 1-65)】

(d) 排気筒

排気筒は、竜巻防護施設のうち評価対象施設として、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計としており、転倒により竜巻防護施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (3) : 1-65)】

(e) ディーゼル発電機排気消音器

ディーゼル発電機排気消音器は、設計飛来物の衝突により貫通が発生することを考慮しても、閉塞することはなく、排気機能が維持される設計とすることにより、ディーゼル発電機に波及的影響を及ぼさない設計とする。また、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (4) : 1-65)】

(f) ディーゼル発電機附属設備配管

ディーゼル発電機附属設備配管は、設計飛来物の衝突により貫通が発生することを考慮しても、閉塞することはなく、排気機能が維持される設計とすることにより、ディーゼル発電機に波及的影響を及ぼさない設計とする。また、風荷重による荷重、気圧差による荷重及びディーゼル発電機附属設備配管に常時作用する荷重に対して構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (4) : 1-65)】

(g) 海水ポンプ室内設備配管（放出側）

海水ポンプ室内設備配管（放出側）は、設計飛来物の衝突により貫

通が発生することを考慮しても、閉塞することはなく、放水機能が維持される設計とすることにより、海水ポンプ室内設備に波及的影響を及ぼさない設計とする。また、風荷重による荷重、気圧差による荷重及び海水ポンプ室内設備附属配管に常時作用する荷重に対して構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1 (3.4.2 (4) : 1-66)】

(8) 竜巻随件事象に対する評価

竜巻随件事象は、過去の竜巻被害状況及び東海第二発電所のプラント配置から、想定される事象として、火災、溢水及び外部電源喪失を抽出し、事象が発生する場合においても、竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1 (3.5 : 1-66～68)】

a. 火災

竜巻随件事象として、竜巻による飛来物が建屋開口部付近の発火性又は引火性物質を内包する機器に衝突する場合、屋外の危険物タンク等に飛来物が衝突する場合の火災が想定される。

建屋内については、竜巻防護施設を設置している区画の開口部付近には、原子炉施設の安全機能を損なう可能性がある発火性又は引火性物質を内包する機器が配置されておらず、防護ネットの設置等の防護対策を行うことより、飛来物が到達することはない。

建屋外については、屋外にある危険物タンク等からの火災がある。この火災に対する影響評価対象となる竜巻防護施設は、外部火災の影響評価対象施設と同じであることから、火災源と外部火災影響評価対象施設の位置関係を踏まえて火災の影響を評価した上で、外部火災影響評価対

象施設が安全機能を損なわない設計とすることを「1.10.8 外部火災防護に関する基本方針」に記載する。

以上より、竜巻による火災により竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1 (3.5 (1) : 1-66～67)】

b. 溢水

竜巻随件事象として、竜巻による飛来物が建屋開口部付近の溢水源に衝突する場合、屋外タンクに飛来物が衝突する場合の溢水が想定される。

建屋内については、竜巻防護施設を設置している区画の開口部付近には、原子炉施設の安全機能を損なう可能性がある溢水源が配置されておらず、防護ネットの設置等の防護対策を行うことより、飛来物が到達することはない。

建屋外については、「1.10.3 溢水に対する基本方針」にて、地震時の屋外タンクの破損を想定し、地震起因の溢水が安全系機器に影響を及ぼさない設計としており、竜巻による飛来物で屋外タンク等が損傷して発生する溢水に対しては、上記に包絡されることから、竜巻防護施設の安全機能維持に影響を与えることはない。

以上より、竜巻による溢水により竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1 (3.5 (2) : 1-67)】

c. 外部電源喪失

設計竜巻、設計竜巻と同時に発生する雷又はダウンバースト等の影響により外部電源喪失が発生する場合については、設計竜巻に対してディ

ーゼル発電機の構造健全性を維持することにより，外部電源喪失の影響がなく竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.5 (3) : 1-67～68)】

1.7.2 手順等

竜巻に対する防護については、竜巻に対する影響評価を行い、安全施設が安全機能を損なわないよう手順等を定める。

- (1) 屋外の作業区画で飛散する恐れのある資機材、車両等については、飛来時の運動エネルギー及び貫通力等を評価し、竜巻防護施設への影響の有無を確認する。竜巻防護施設への影響を及ぼす資機材、車両等については、固縛、固定、竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす施設から隔離、頑健な建屋内収納又は撤去する。これら飛来物発生防止対策について手順を定める。

【別添資料1 (3.3.1 (3) : 1-52~54)】

- (2) 竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後において、竜巻防護施設を防護するための操作・確認、補修等が必要となる事項について手順を定める。

第 1.7-1 表 東海第二発電所における設計飛来物

飛来物の種類	砂利	鋼製材
サイズ (m)	長さ×幅×高さ 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×高さ 4.2×0.3×0.2
質量 (kg)	0.18	135
最大水平速度 (m/s)	62	51
最大鉛直速度 (m/s)	42	34

【別添資料 1 (3.3.1 (3) : 1-55)】

(3) 適合性説明

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 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ぬ。

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

1 について

(2) 竜巻

安全施設は、最大風速 100m/s の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撃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については、固縛、固定、

竜巻防護施設からの離隔，頑健な建屋内収納又は撤去する。

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，以下の対策を行う。

- ・ 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み合わ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わない設計とする。

1.12 参考文献

- (1) 雷雨とメソ気象 大野久雄, 東京堂出版
- (2) 気象庁ホームページ
- (3) 一般気象学 小倉義光, 東京大学出版会

1.3 気象等

8. 竜巻

8.1 規格・基準類

竜巻に対する規格・基準は、国内では策定されていないが、気象庁では竜巻により発生した被害の状況から風速を推定する指標として、第 8.1-1 表に示す藤田スケールを採用している。また、「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 13061911 号 原子力規制委員会決定）」（以下「ガイド」という。）において、竜巻検討地域の設定、基準竜巻の最大風速の設定及び設計竜巻の最大風速の設定の流れが定められていることから、同ガイドに基づき竜巻検討地域を設定し、基準竜巻の最大風速は、「8.2 過去に発生した竜巻による最大風速（ V_{B1} ）」及び「8.3 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（ V_{B2} ）」のうち、大きな風速を設定する。

【別添資料 1（2.1 : 1-14）】

8.1.1 竜巻検討地域の設定

東海第二発電所に対する竜巻検討地域について、発電所が立地する地域と気象条件の類似性の観点で検討を行い、第 8.1-1 図に示すとおり、福島県から沖縄県にかけての太平洋沿岸の海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲を竜巻検討地域に設定した（面積約 57,000km²）。

竜巻検討地域は、竜巻発生要因となる気象条件（総観場）を確認する観点から、「総観場の分析に基づく地域特性の確認」、「過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認」により地域特性を確認し、竜巻の個数及び単位面積当たりの発生数によって設定した。

【別添資料 1 (2.2 : 1-14~15) (2.2.4 : 1-21)】

(1) 総観場の分析に基づく地域特性の確認

竜巻発生要因の総観場を，気象庁「竜巻等の突風データベース」⁽¹⁾に基づき，6種類（低気圧，台風，停滞前線，局所性降雨，季節風，その他（高気圧等））に分類し，発生分布の特徴を分析した。第 8.1-2 図の総観場ごとの竜巻発生位置の分布，第 8.1-3 図の都道府県ごとの竜巻の発生要因別比率に示すとおり，低気圧起因の竜巻は全国一様に発生していること，一方，台風起因の竜巻は日本海側には発生しておらず，主に太平洋側で発生していることが分かる。また，停滞前線起因の竜巻は北海道を除く各地に発生していること，局所性降雨は内陸部での竜巻発生も促すこと，季節風や高気圧起因とされる竜巻の発生数は比較的少ないことが分かる。

台風起因の竜巻の発生領域から，竜巻発生要因の総観場の分析に基づく竜巻検討地域を太平洋側の宮城県から沖縄県の範囲を基本とすることは，妥当な設定である。

【別添資料 1 (2.2.1 : 1-15~17) (2.2.2 : 1-18~19)】

(2) 過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認

日本で竜巻が集中する地域については，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」⁽²⁾に，全国 19 箇所の竜巻集中地域が示されており，第 8.1-4 図に示すとおり，東海第二発電所は，竜巻集中地域⑰に立地している。

従って，竜巻集中地域⑰を竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域とする。

【別添資料 1 (2.2.3 : 1-20)】

8.2 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1})

竜巻検討地域における過去最大竜巻はF3であり、Fスケールと風速の関係より風速は $70\text{m/s} \sim 92\text{m/s}$ であることから、竜巻検討地域で過去に発生した最大竜巻F3の風速範囲の上限値 92m/s を V_{B1} とする。

第 8.2-1 表に竜巻検討地域におけるF3スケール相当以上の竜巻の観測記録を示す。

【別添資料1 (2.3.1 : 1-22)】

8.3 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

竜巻最大風速のハザード曲線は、ガイドに従い、気象庁「竜巻等の突風データベース」より竜巻検討地域における竜巻の観測記録を抽出、評価し、既往の算定法 (Wen&Chu⁽³⁾ 及び Garson et. al⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾) に基づき算定した。具体的な算定方法は、東京工芸大学委託成果⁽⁶⁾を参考とし、ハザード曲線を算定した。本評価は、竜巻データの分析、竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率密度分布の算定、相関係数の算定、並びにハザード曲線の算定によって構成される。

なお、ハザード曲線は、竜巻検討地域の竜巻特性を適切に考慮できる海岸線から陸側及び海側それぞれ5kmの範囲に加え、ガイドに基づき、ハザード曲線に保守性をもたせるために竜巻検討地域を海岸線に沿って1km範囲ごとに短冊状に細分化した場合も算定し、そのうち最も大きな風速を V_{B2} とし設定する。

【別添資料1 (2.3.2 : 1-23~37)】

a. 海岸線から陸側及び海側それぞれ5km全域の評価

本評価では、竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した陸

上発生竜巻も発生数にカウントする。被害幅及び被害長さは、それぞれ被害全幅及び被害全長を用いる。

【別添資料 1 (2.3.2 : 1-23~37)】

b. 竜巻の発生頻度の分析

気象庁「竜巻等の突風データベース」をもとに、1961年～2012年6月までの51.5年間の統計量をFスケール別に算出する。なお、観測体制の変遷による観測データ品質のばらつきを踏まえ、以下の(a)～(c)の基本的な考え方に基づいて整理を行う。

- (a) 被害が小さくて見過ごされやすいF 0及びFスケール不明竜巻に対しては、観測体制が強化された2007年以降の年間発生数や標準偏差を用いる。
- (b) 被害が比較的軽微なF 1竜巻に対しては、観測体制が整備された1991年以降の年間発生数や標準偏差を用いる。
- (c) 被害が比較的大きく見逃されることがないと考えられるF 2及びF 3竜巻に対しては、観測記録が整備された1961年以降の全期間の年間発生数や標準偏差を用いる。

また、Fスケール不明の竜巻については、以下の取扱いを行う。

陸上で発生した竜巻（以下「陸上竜巻」という。）及び海上で発生して陸上へ移動した竜巻については、被害があつて初めてそのFスケールが推定されるため、陸上でのFスケール不明の竜巻は、被害が少ないF 0竜巻とみなす。

海上で発生し、その後上陸しなかった竜巻（以下「海上竜巻」という。）については、その竜巻のスケールを推定することは困難であるこ

とから、「海岸線から海上 5km の範囲における海上竜巻の発生特性が、海岸線から内陸 5km の範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である。」という仮定に基づいて各 F スケールに分類する。その結果、F スケール不明の海上竜巻の取扱いにより、第 8.3-1 表のとおり観測実績に対して保守性を高めた評価としている。

【別添資料 1 (2.3.3 : 1-24~25)】

c. 年発生数の確率密度分布の設定

竜巻の年発生数の確率密度分布の設定に当たっては、竜巻は気象事象の中でも極めて稀に発生する事象であり、発生数の変動（標準偏差）が大きい分布であることから、「東京工芸大委託成果」にならってポリヤ分布により設定した。なお、ポリヤ分布は、ガイドにおいて推奨されているポアソン分布を一般化したものであり、年発生数の年々変動の実態をポアソン分布よりも適合性が高い形で表現できることを確認している。

【別添資料 1 (2.3.3 : 1-26)】

d. 竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率分布並びに相関係数

竜巻検討地域における 51.5 年間の竜巻の発生数、被害幅及び被害長さを基に、確率密度分布についてはガイド及びガイドが参考としている「東京工芸大委託成果」を参照し、対数正規分布に従うものとする。
(第 8.3-1 図～第 8.3-3 図)

なお、疑似的な竜巻の作成に伴う被害幅又は被害長さの情報がない竜巻には、被害幅又は被害長さを有する竜巻の観測値を与えている。その際は、被害幅又は被害長さが大きいほうから優先的に用いることで、被害幅又は被害長さの平均値が大きくなるように工夫していると同時に、

被害幅又は被害長さ 0 のデータについて計算に用いておらず、保守的な評価を行っている。

このように、前述の F スケール不明の竜巻の取扱い等も含め、データについては保守的な評価となる取扱いを行っている。

また、1961 年以降の観測データのみを用いて、竜巻風速、被害幅及び被害長さについて相関係数を求める。(第 8.3-2 表)

【別添資料 1 (2.3.4 : 1-27~29)】

e. 竜巻影響エリアの設定

東海第二発電所の評価対象施設の面積及び設置位置を考慮して、評価対象施設を包絡する円形のエリア(直径 300m, 面積約 $7.1 \times 10^4 \text{m}^2$)として設定する。(第 8.3-4 図)

なお、竜巻影響エリアを円形とするため、竜巻の移動方向には依存性は生じない。

【別添資料 1 (2.3.5 : 1-29~30)】

f. ハザード曲線の算定

T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率を求め、ハザード曲線を求める。竜巻の年発生数の確率密度分布としてポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は式 (a) ⁽⁴⁾ で示される。

$$P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} \left(1 + \beta vT\right)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (\text{a})$$

ここで、

N : 竜巻の年発生数

v : 竜巻の年平均発生数

T : 年数

β は、分布パラメータであり式 (b) で示される。

$$\beta = \left(\frac{\sigma^2}{\nu} - 1 \right) \times \frac{1}{\nu} \quad (b)$$

ここで、

σ : 竜巻の年発生数の標準偏差

D を評価対象構造物が風速 V_0 以上の竜巻に遭遇する事象と定義し、 $R(V_0)$ を評価対象構造物が 1 つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が V_0 以上となる確率と定義すると、T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率は式 (c) で示される。

$$P_{V_0, T}(D) = 1 - [1 + \beta \nu R(V_0) T]^{-1/\beta} \quad (c)$$

この $R(V_0)$ は、竜巻影響評価の対象地域の面積を A_0 (つまり竜巻検討地域の面積約 57,000km²)、1 つの竜巻の風速が V_0 以上となる面積を $DA(V_0)$ とすると式 (d) で示される。

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (d)$$

ここで、 $E[DA(V_0)]$ は、 $DA(V_0)$ の期待値を意味する。

本評価では、以下のようにして $DA(V_0)$ の期待値を算出し、式 (d) により $R(V_0)$ を推定し、式 (c) により $P_{V_0, T}(D)$ を求める。風速を V 、被害幅を w 、被害長さを l 、移動方向を α 及び構造物の寸法を A 、 B とし、 $f(V, w, l)$ 等の同時確率密度関数を用いると、 $DA(V_0)$ の期待値は式 (e) で示される。⁽⁵⁾

$$\begin{aligned}
E[DA(V_0)] = & \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
& + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha) l f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha \\
& + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha + AB \int_{V_0}^\infty f(V) dV \quad (e)
\end{aligned}$$

ここで、 $W(V_0)$ は竜巻風速が V_0 以上となる幅であり、式 (f) で示される。

$H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ はそれぞれ、竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面に評価対象構造物を投影した時の長さであり、式 (g) 及び式 (h) で示される。

$$W(V_0) = \left(\frac{V_{\min}}{V_0} \right)^{1/1.6} w \quad (f)$$

ここで、

V_{\min} : 被害幅 w 内の最小竜巻風速

V_0 : 被害が発生する最小風速

$$H(\alpha) = B|\sin \alpha| + A|\cos \alpha| \quad (g)$$

$$G(\alpha) = A|\sin \alpha| + B|\cos \alpha| \quad (h)$$

本評価では評価対象構造物を円形構造物（竜巻影響エリア）で設定しているため、 $H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ とともに竜巻影響エリアの直径 300m で一定（竜巻の移動方向に依存しない）となる。円の直径を D_0 とした場合の計算式は式 (i) で示される。

$$\begin{aligned}
E[DA(V_0)] = & \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
& + D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty l f(V, l) dV dl \\
& + D_0 \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw + (\pi D_0^2 / 4) \int_{V_0}^\infty f(V) dV \quad (i)
\end{aligned}$$

V_{min} は、竜巻被害が発生する最小風速であり、Garson は Gale intensity velocity と呼んでいる（Gale とは非常に強い風の意）。米国の気象局（National Weather Service）では、34～47 ノット（17.5～24.2m/s）とされている。日本の気象庁では、気象通報にも用いられている風力階級において、風力8が疾強風（gale, 17.2～20.7m/s）、風力9では大強風（strong gale, 20.8～24.4m/s）と分類されており風力9では「屋根瓦が飛ぶ、人家に被害が出始める」とされている。

以上を参考とし、 $V_{min}=25\text{m/s}$ とした。この値は、F0（17～32m/s）のほぼ中央値に相当する。

海岸線から陸側及び海側それぞれ5km全域を対象に算定したハザード曲線より、年超過確率 10^{-5} における風速を求めると、73m/sとなる。

（第8.3-5図）

【別添資料1（2.3.6：1-31～32）】

g. 1km範囲に細分化した評価

1km範囲ごとの評価は、1km幅は変えずに順次ずらして移動するケース（短冊ケース）を設定して評価する。評価の条件として、発生数は、竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した竜巻である通過竜巻もカウントしている。被害幅及び被害長さは、それぞれ1km範囲内の被害幅及び被害長さを用いている。上記評価条件に基づいて、海岸線か

ら陸側及び海側それぞれ 5km 全域の評価と同様の方法で算定したハザード曲線より、年超過確率 10^{-5} における風速を求めると、陸側 3~4km を対象とした場合の 80m/s が最大となる。(第 8.3-6 図)

【別添資料 1 (2.3.6 : 1-33)】

h. 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km 全域(竜巻検討地域)の評価と 1km 範囲に細分化した評価を比較して、竜巻最大風速のハザード曲線により設定する最大風速 V_{B2} は、ガイドを参考に年超過確率 10^{-5} に相当する風速とし、80m/s とする。(第 8.3-7 図)

【別添資料 1 (2.3.7 : 1-34)】

8.4 基準竜巻の最大風速の設定

過去に発生した竜巻による最大風速 $V_{B1}=92\text{m/s}$ 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B1}=80\text{m/s}$ より、東海第二発電所における基準竜巻の最大風速 V_B は 92m/s とする。

【別添資料 1 (2.3.9 : 1-38)】

8.5 設計竜巻の最大風速の設定

東海第二発電所が立地する地域の特性として、周辺の地形を考慮して、基準竜巻の最大風速の割り増しを検討し、設計竜巻の最大風速を設定する。

【別添資料 1 (2.4 : 1-40~41)】

8.5.1 地形効果による竜巻風速への影響

地形効果が竜巻強度に及ぼす影響に関する知見として、地形起伏による影響について既往の研究において示されており、その知見を踏まえ、東海第二発電所周辺の地形効果による竜巻の増幅可能性について検討する。

(1) 地形起伏による影響

竜巻のような回転する流れでは、角運動量保存則により「回転の中心からの距離」及び「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質がある。そのため、竜巻の渦が上り斜面を移動する時、基本的に渦は弱まり、下り斜面を移動する時には強まる。

【別添資料 1 (2.4.1 : 1-40)】

8.5.2 東海第二発電所周辺の地形

東海第二発電所敷地周辺の地形を第 8.5-1 図に示す。発電所が立地する敷地周辺は、最大でも標高 40m 程度のなだらかな地形である。

【別添資料 1 (2.4.2 : 1-40~41)】

8.5.3 竜巻風速の増幅に関する検討

(1) 地形起伏による竜巻増幅

東海第二発電所周辺で発生する竜巻は、敷地周辺の地形において、竜巻渦の旋回強度に影響を及ぼすと考えられるマイクロスケール（数百 m）規模の起伏は認められないことから、地形効果による竜巻の増幅の可能性は低いとする。

【別添資料 1 (2.4.2 : 1-40~41)】

8.5.4 設計竜巻の最大風速 V_D

東海第二発電所では、地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないと考えるが、現状では竜巻の観測数等のデータが十分とまでは言い切れず不確実性があることを考慮し、設計竜巻の最大風速 V_D は、基準竜巻の最大風速 92m/s を安全側に切り上げた 100m/s とする。

【別添資料 1 (2.4.3 : 1-41)】

8.6 設計竜巻の特性値の設定

設計竜巻の特性値は、次に示す手法に基づき、第 8.6-1 表のとおり設定する。

(1) 設計竜巻の移動速度 (V_T)

設計竜巻の移動速度 (V_T) は、ガイドに基づき、「東京工芸大学委託成果」による風速場モデルに依存しない日本の竜巻の観測記録に基づいた竜巻移動速度 (平均値) と最大風速との関係を参照して設定されている以下の算定式を用いて、 V_D から V_T を算定する。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D \quad (j)$$

【別添資料 1 (2.4.4 : 1-42)】

(2) 設計竜巻の最大接線風速 (V_{Rm})

設計竜巻の最大接線風速 (V_{Rm}) は、ガイドに基づき、米国 NRC の基準類⁽⁷⁾を参考に設定されている風速場モデルに依存しない以下の式を用いて算定する。

$$V_{Rm} = V_D - V_T \quad (k)$$

【別添資料 1 (2.4.4 : 1-42)】

- (3) 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m)

設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m) は、ガイドに基づき、「東京工芸大学委託成果」による日本の竜巻の観測記録を基に提案されたモデルにより設定されている風速場モデルに依存しない以下の値を用いる。

$$R_m = 30 \text{ (m)} \quad (l)$$

【別添資料 1 (2.4.4 : 1-42)】

- (4) 設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{max})

設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{max}) は、ガイドに基づき、米国 NR C の基準類⁽⁷⁾を参考に設定されている簡便に算出でき、保守的な設定となるランキン渦モデルによる風速分布に基づいた以下の式を用いて算定する。

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2 \quad (m)$$

ここで、

$$\rho : \text{空気密度 (1.22kg/m}^3\text{)}$$

【別添資料 1 (2.4.4 : 1-42)】

- (5) 設計竜巻の最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{max}$)

設計竜巻の最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{max}$) は、ガイドに基

づき，米国NRCの基準類⁽⁷⁾を参考に設定されている簡便に算出でき
保守的な設定となるランキン渦モデルによる風速分布に基づいた以下の
式を用いて算定する。

$$(d p / d t)_{\max} = (V_T / R_m) \cdot \Delta P_{\max} \quad (n)$$

【別添資料1 (2.4.4 : 1-42)】

第 8.1-1 表 藤田スケール

藤田スケール	風速
F 0	17～32m/s (約 15 秒間の平均)
F 1	33～49m/s (約 10 秒間の平均)
F 2	50～8m/s (約 7 秒間の平均)
F 3	70～92m/s (約 5 秒間の平均)
F 4	93～116m/s (約 4 秒間の平均)
F 5	117～142m/s (約 3 秒間の平均)

第 8.2-1 表 竜巻検討地域内で過去（1961 年 1 月～2012 年 6 月）

に発生した F 3 スケール相当以上の竜巻の観測記録

発生日時	発生場所				F スケール
	緯度	経度	都道府県	市町村	
1999 年 09 月 24 日 11 時 07 分	34 度 42 分 4 秒	137 度 23 分 5 秒	愛知県	豊橋市	F 3
1990 年 02 月 19 日 15 時 15 分	31 度 15 分 38 秒	130 度 16 分 35 秒	鹿児島県	枕崎市	F 2～F 3
1978 年 02 月 28 日 21 時 20 分	35 度 32 分 1 秒	139 度 41 分 50 秒	神奈川県	川崎市	F 2～F 3
198 年 12 月 07 日 18 時 00 分	34 度 45 分 4 秒	137 度 22 分 46 秒	愛知県	豊橋市	F 2～F 3
1968 年 09 月 24 日 19 時 05 分	32 度 7 分 16 秒	131 度 32 分 8 秒	宮崎県	高鍋町	F 2～F 3
1967 年 10 月 28 日 03 時 12 分	35 度 42 分 3 秒	140 度 43 分 10 秒	千葉県	飯岡町	F 2～F 3

【別添資料 1 (2.3.1 : 1-22)】

第 8.3-1 表 竜巻発生数の分析結果

			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去 に 観測 され た 竜巻	1961.1 ～2012.6 51.5年間	期間内個数	6	41	100	46	193	20	87	300
		平均値 (個/年)	0.12	0.80	1.94	0.89	3.75	0.39	1.8	5.83
		標準偏差 (個/年)	0.32	0.94	1.96	2.17	3.25	0.8	4.35	7.26
	1991.1 ～2012.6 21.5年間	期間内個数	1	15	72	46	134	15	86	235
		平均値 (個/年)	0.05	0.70	3.35	2.14	6.23	0.70	4.00	10.93
		標準偏差 (個/年)	0.22	0.78	2.03	2.96	3.24	0.84	6.08	8.81
	2007.1 ～2012.6 5.5年間	期間内個数	0	1	12	31	44	9	63	116
		平均値 (個/年)	0.00	0.18	2.18	5.64	8.00	1.64	11.45	21.09
		標準偏差 (個/年)	0.00	0.43	1.99	4.17	4.16	0.97	8.32	11.75

			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間 の 竜巻	疑似 51.5年間 (陸上竜 巻)	期間内個数	6	41	173	376	596
		平均値 (個/年)	0.12	0.80	3.36	7.30	11.57
		標準偏差 (個/年)	0.32	0.94	2.03	4.74	5.25
	疑似 51.5 年間 (全竜巻)	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値 (個/年)	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差 (個/年)	0.46	1.33	2.87	6.8	7.42

【別添資料 1 (2.3.2 : 1-25)】

第 8.3-2 表 最大風速, 被害幅及び被害長さの対数値の相関係数

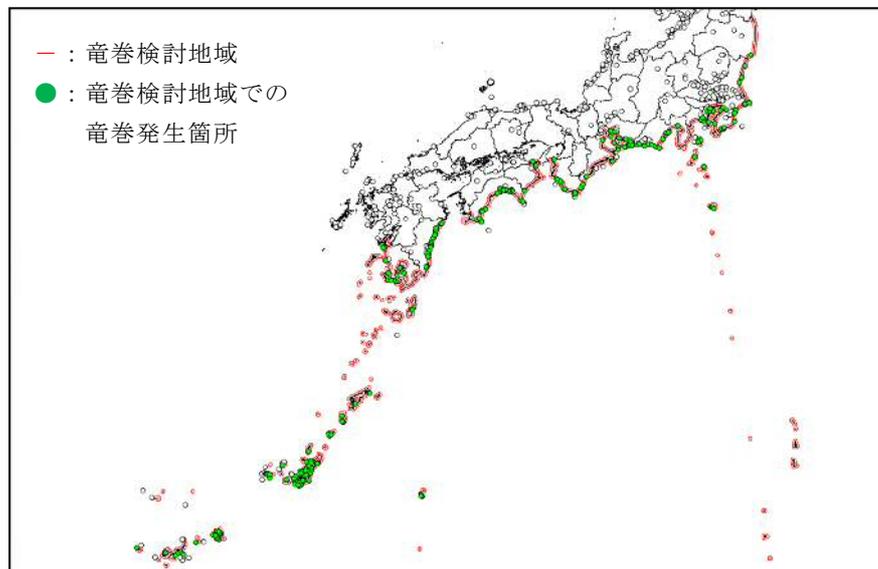
相関係数の値	最大風速	被害幅	被害長さ
最大風速	1.000	0.381	0.452
被害幅	—	1.000	0.381
被害長さ	—	—	1.000

【別添資料 1 (2.3.4 : 1-29)】

第 8.6-1 表 設計竜巻の特性値

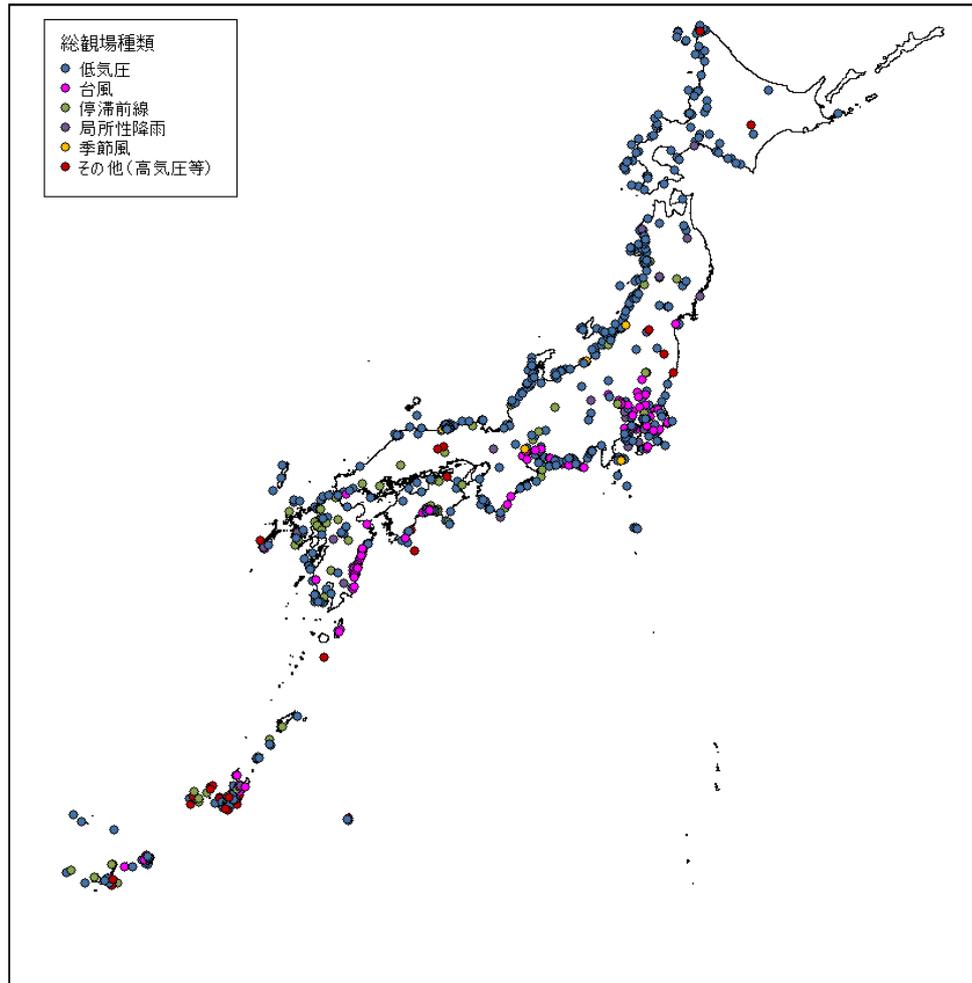
設計竜巻の 最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線 風速半径 R_m (m)	最大気圧 低下量 ΔP_{max} (hPa)	最大気圧 低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

【別添資料 1 (2.4.4 : 1-43)】



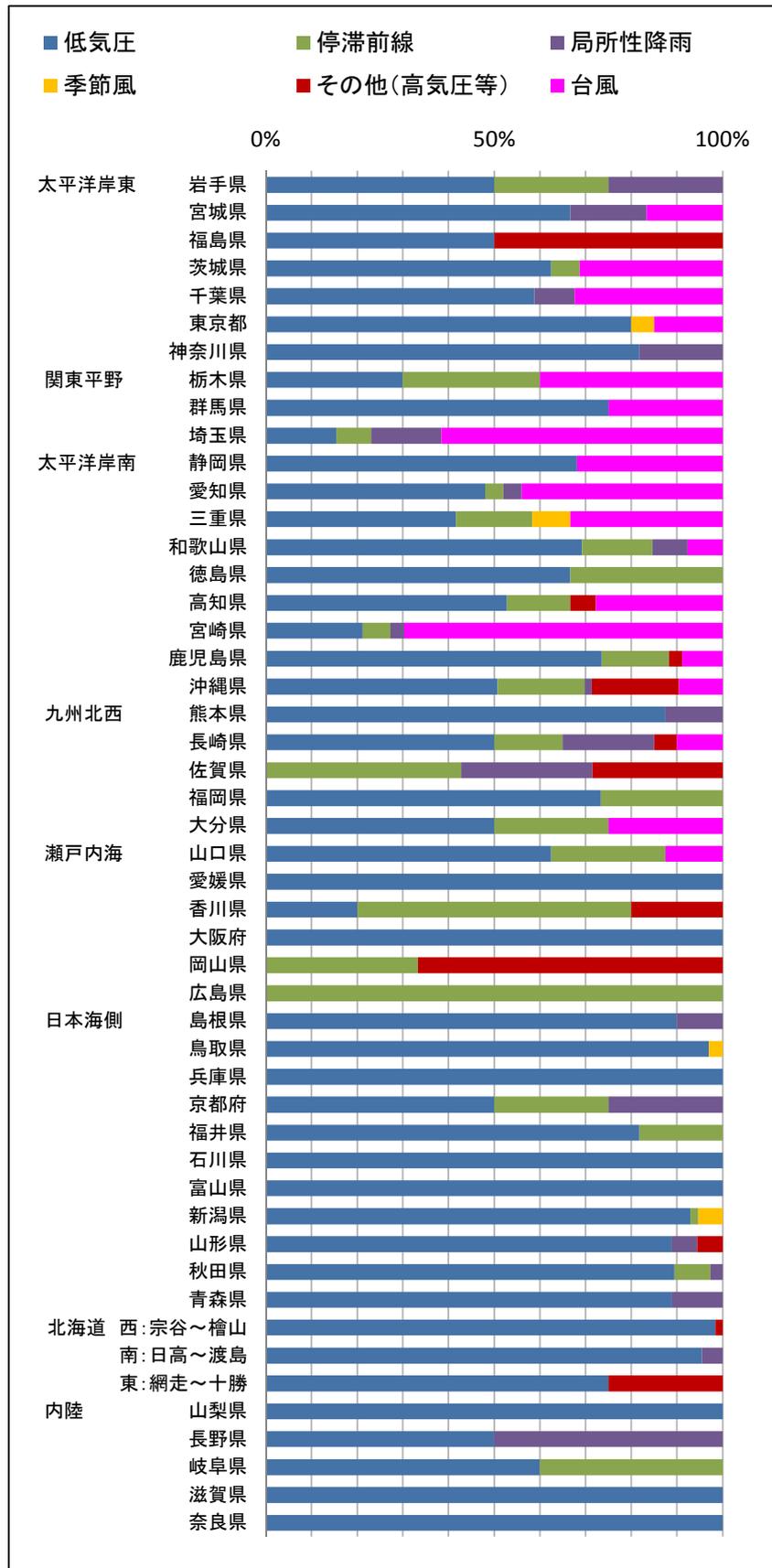
第8.1-1図 竜巻検討地域

【別添資料 1 (2.2.4 : 1-21)】



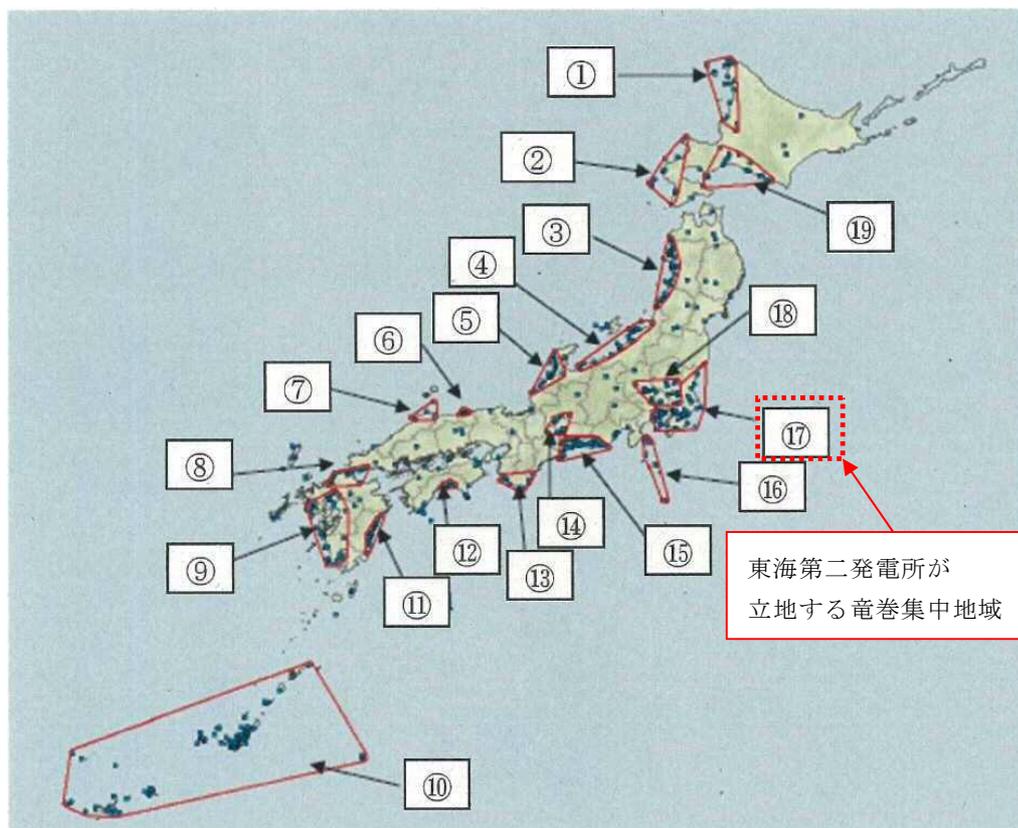
第 8.1-2 図 竜巻発生時の総観場の分布(1961 年 1 月～2012 年 6 月)

【別添資料 1 (2.2.1 : 1-16)】



第 8.1-3 図 各都道府県での発生要因別比率

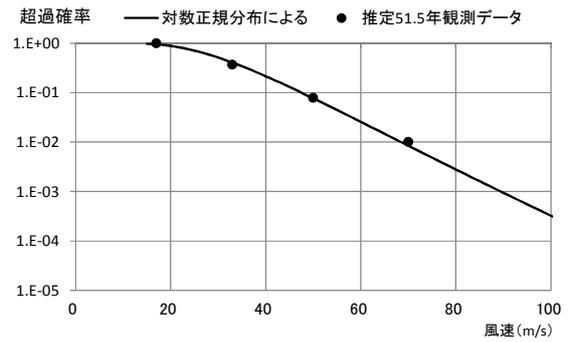
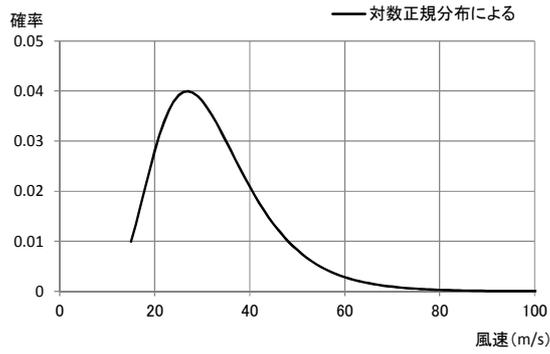
【別添資料 1 (2.2.1 : 1-17)】



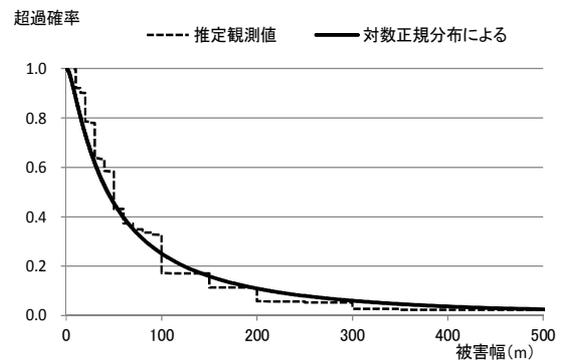
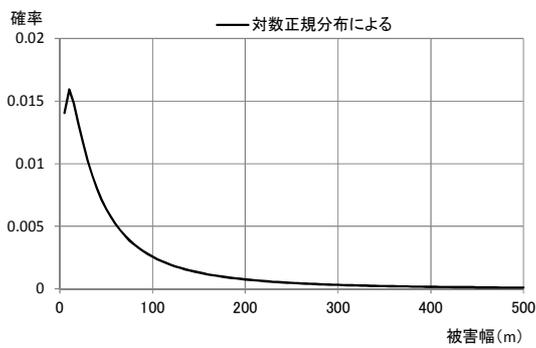
第 8.1-4 図 竜巻の発生する地点と竜巻が集中する 19 の地域

(「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説」より引用)

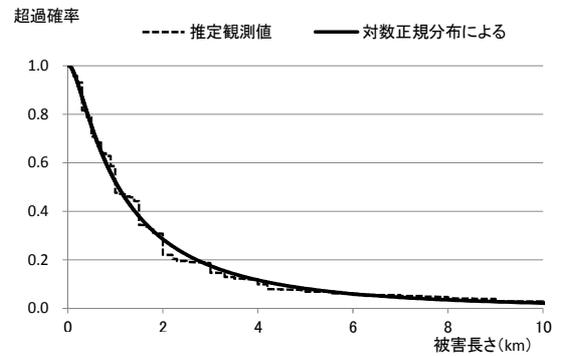
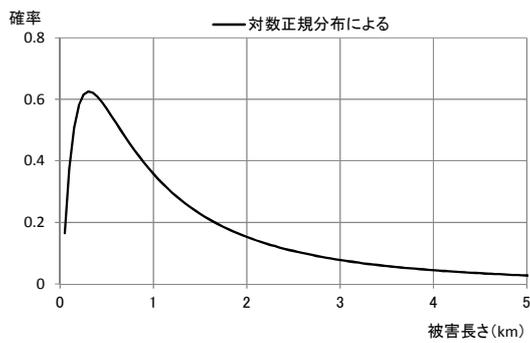
【別添資料 1 (2.2.3 : 1-20)】



第 8.3-1 図 最大風速の確率密度分布（左）と超過確率分布（右）

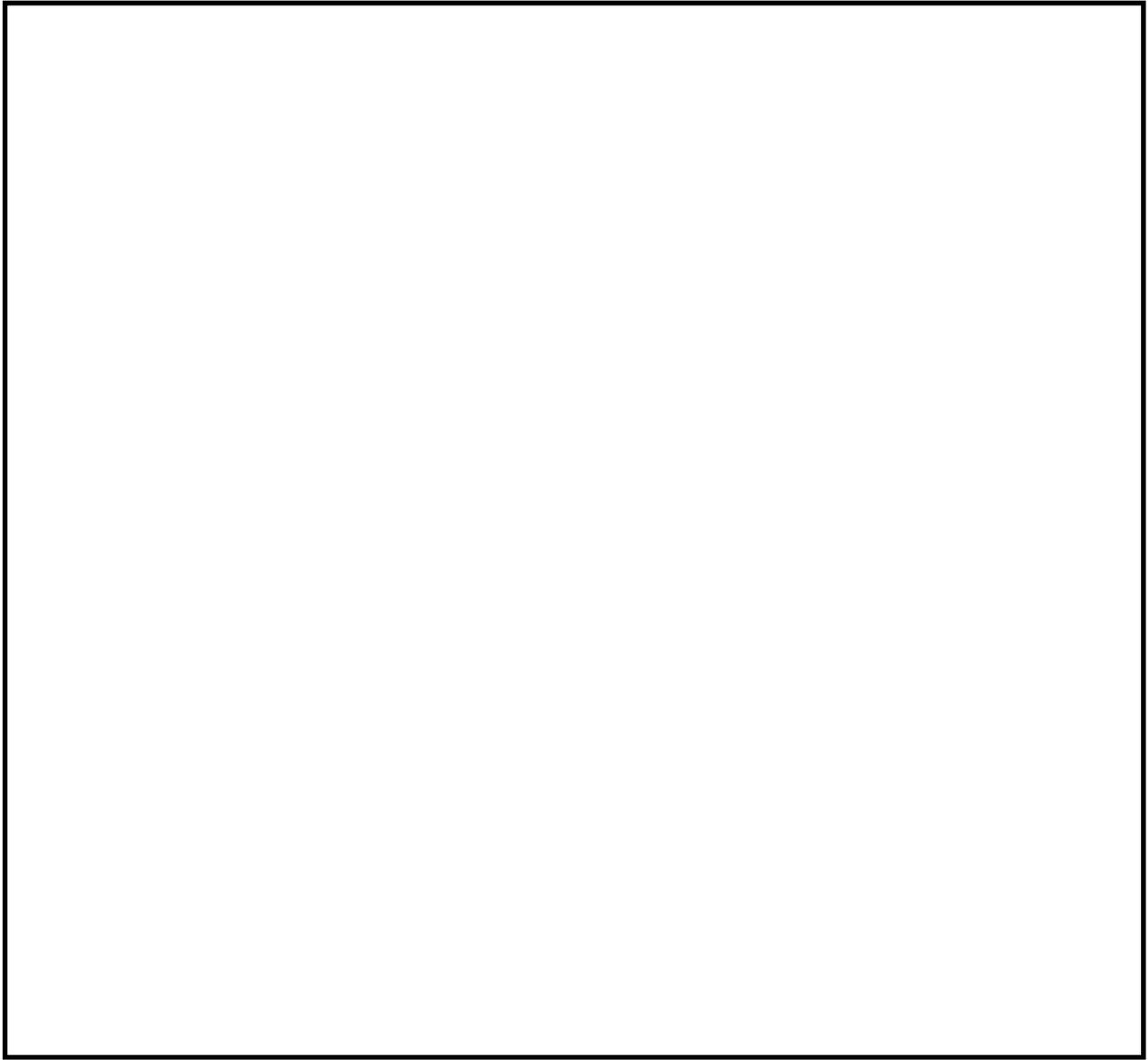


第 8.3-2 図 被害幅の確率密度分布（左）と超過確率分布（右）



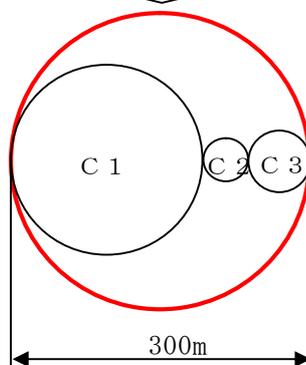
第 8.3-3 図 被害長さの確率密度分布（左）と超過確率分布（右）

【別添資料 1 (2.3.4 : 1-28)】



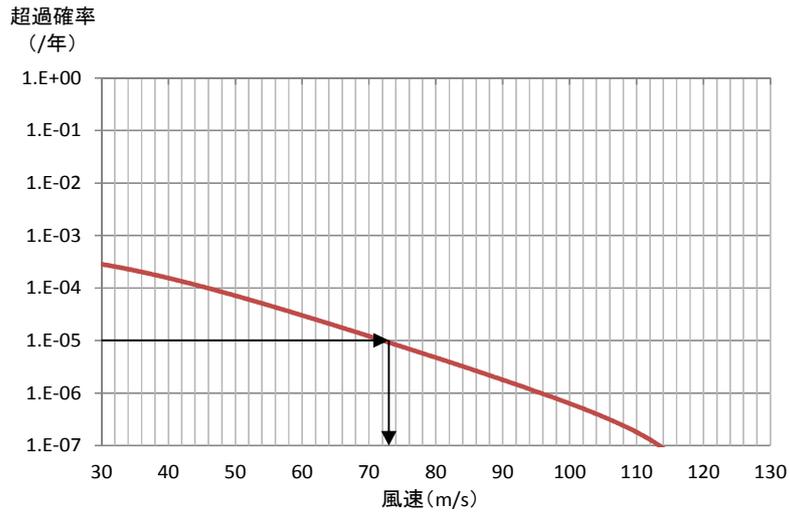
□ は、商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

計算上の取扱い



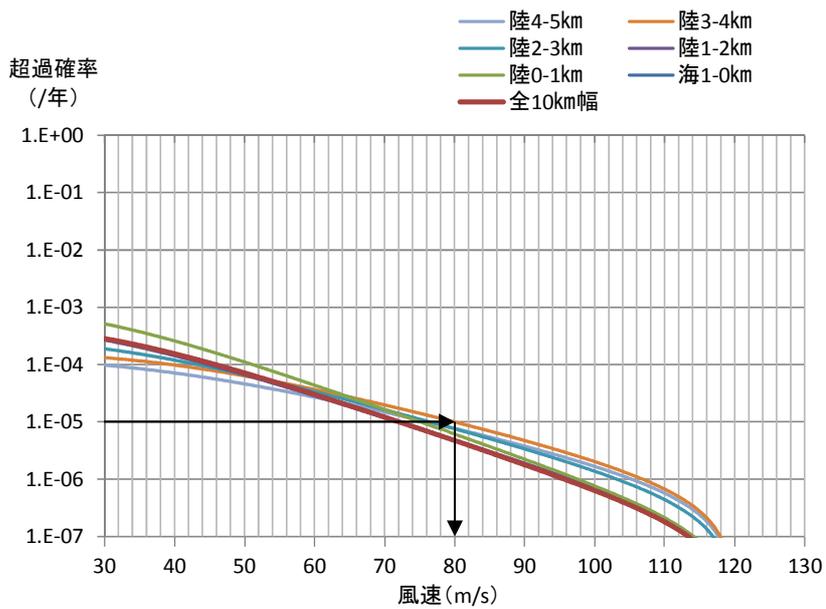
第 8.3-4 図 竜巻影響エリア

【別添資料 1 (2.3.5 : 1-30)】



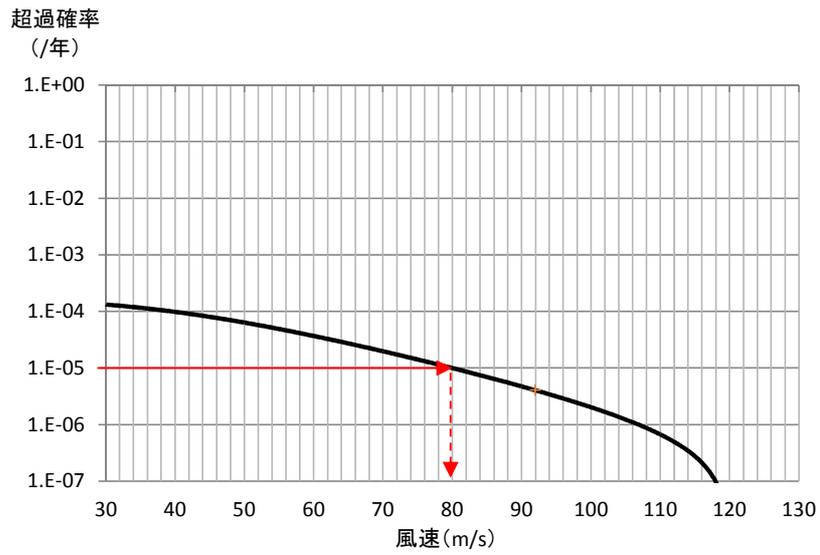
第 8.3-5 図 竜巻最大風速のハザード曲線（海側，陸側 5km 範囲）

【別添資料 1（2.3.6 : 1-32）】



第 8.3-6 図 竜巻検討地域を 1km 幅毎に細分化した場合のハザード曲線

【別添資料 1（2.3.6 : 1-33）】



第 8.3-7 図 竜巻最大風速のハザード曲線

【別添資料 1 (2.3.9 : 1-38)】



第 8.5-1 図 東海第二発電所を中心とした東西 3km×南北 3km の地形

(国土地理院 5m メッシュ標高データに加筆)

【別添資料 1 (2.4.2 : 1-41)】

8.7 参考文献

- (1) 気象庁 竜巻等の突風データベース
- (2) 井上博登, 福西史郎, 鈴木哲夫, 2013:原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説, 独立行政法人原子力安全基盤機構, JNES-RE-2013-9009
- (3) Wen. Y. K and Chu. S. L. (1973) : Tornado Risks and Design Wind Speed, Journal of the Structural Division, Proceedings of American Society of Civil Engineering, Vol.99, No.ST12, pp. 2409-2421
- (4) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : Tornado Risk Evaluation Using Wind Speed Profiles, Journal of the Structural. Division, Proceedings of American Society of Civil Engineering, Vol.101, No.ST5, pp.1167-1171
- (5) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : Tornado Design Winds Based on Risk, Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol.101, No.ST9, pp.1883-1897
- (6) 東京工芸大学 (2011) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構
- (7) U. S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.76: Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1, March 2007.

東海第二発電所

竜巻影響評価について

目 次

1. 竜巻に対する防護	1
1.1 概要	1
1.2 評価の基本方針	2
1.2.1 竜巻から防護する施設の抽出	2
1.2.2 竜巻影響評価の対象施設	2
1.2.3 評価の基本的な考え方	12
1.2.3.1 評価方法	12
1.2.3.2 評価対象施設に作用する荷重	12
1.2.3.3 施設の安全性の確認方針	13
2. 基準竜巻・設計竜巻の設定	14
2.1 概要	14
2.2 竜巻検討地域の設定	14
2.2.1 気象総観場の分析	15
2.2.2 総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域 $T A_1$ の設定	18
2.2.3 竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域 $T A_2$ の設定	20
2.2.4 竜巻検討地域 $T A$ の設定	21
2.3 基準竜巻の最大風速 (V_B) の設定	22
2.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1})	22
2.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})	23
2.3.3 発生頻度の分析	24
2.3.4 竜巻風速, 被害幅, 被害長さの確率密度分布及び相関係数	27
2.3.5 竜巻影響エリアの設定	29
2.3.6 ハザード曲線の算定	31

2.3.7	竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})	34
2.3.8	竜巻ハザードの不確かさの検討	35
2.3.9	基準竜巻の最大風速 (V_B)	38
2.3.10	竜巻データの更新に関する対応	38
2.4	設計竜巻の最大風速 (V_D) の設定	40
2.4.1	地形効果による竜巻風速への影響	40
2.4.2	東海第二発電所敷地周辺における地形と竜巻風速への影響	40
2.4.3	設計竜巻の最大風速 (V_D)	41
2.4.4	設計竜巻の特性値	42
3.	竜巻影響評価	45
3.1	概要	45
3.2	評価対象施設	45
3.3	設計荷重の設定	46
3.3.1	設計竜巻荷重の設定	46
3.3.2	設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定	57
3.4	評価対象施設の設計方針	58
3.4.1	許容限界	59
3.4.2	設計方針	60
3.5	竜巻随件事象に対する評価	66

添付資料

1. 竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出について
2. 耐震Sクラス施設について
3. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出について
4. 竜巻検討地域の設定について
5. 竜巻最大風速のハザード計算について
別紙 5-1 海上のFスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について
別紙 5-2 竜巻発生数の確率分布（ポアソン，ポリヤ分布）がハザード結果に及ぼす影響について
6. 地形効果による竜巻の増幅の可能性について
7. 竜巻影響評価の概要及び保守性について
8. 竜巻影響評価及び竜巻防護対策の概要
別紙 8-1 評価対象施設の設計荷重について
別紙 8-2 竜巻防護対策のうち飛散防止対策の概要について
9. 設計飛来物の設定について
別紙 9-1 分解され小型軽量となる物品及び倒壊するが飛来物とならない物品について
別紙 9-2 空力パラメータについて
10. 竜巻時に発生する雹の影響について
11. 竜巻随件事象の抽出について

: 今回提出範囲

1. 竜巻に対する防護

1.1 概要

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」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。）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」としており、敷地周辺の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして、竜巻の影響を挙げている。

発電用原子炉施設の供用期間中に極めてまれに発生する突風、強風を引き起こす自然現象としての竜巻及びその随伴事象等によって発電用原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを評価するため、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日 原子力規制委員会決定、平成 26 年 9 月 17 日改正）」（以下「竜巻影響評価ガイド」*という）を参照し、以下の竜巻影響評価について実施し、安全機能が維持されることを確認する。

- (1) 設計竜巻及び設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重）の設定
- (2) 東海第二発電所における飛来物に係る調査
- (3) 飛散防止対策
- (4) 考慮すべき設計荷重に対する竜巻防護施設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

※：「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」を含む。（特に区別する必要がある場合は、以下「ガイド（案）及び解説」という）

1.2 評価の基本方針

1.2.1 竜巻から防護する施設の抽出【添付資料1】

竜巻から防護する施設（以下「竜巻防護施設」という。）は、安全施設が竜巻の影響を受ける場合においても原子炉施設の安全性を確保するために、「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」のクラス1、2及び3の設計を要求される構築物、系統及び機器とする。

ただし、クラス3に属する施設については、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に修復すること等の対応が可能な設計とすることで、安全機能を損なうことのない設計とすることから、以降「竜巻防護施設」という場合は、クラス1及び2に属する施設を指すものとする。

1.2.2 竜巻影響評価の対象施設

以下の(1)及び(2)に示す施設を竜巻影響評価の対象施設（以下「評価対象施設」という。）とする。

評価対象施設の抽出フローを第1.2.2-1図に示す。

なお、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される施設についても、評価対象施設として抽出すべきものがないことを確認した。【添付資料2】

防護機能を期待できることが確認できた施設（の区画）に内包される竜巻防護施設については，当該外殻施設により防護されることから，個別評価は実施しない。

第 1.2.2-2 図に，竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フロー及び抽出された評価対象施設を示す。

また，第 1.2.2-2 図において抽出した評価対象施設のうち，屋外施設の配置を第 1.2.2-3 図に示す。

a. 屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む）

(a) 非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ

(b) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気フィルタ

(以下(a)(b)を区別不要の場合は，「ディーゼル発電機吸気フィルタ」という。)

(c) 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン

(d) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン

(以下(c)(d)を区別不要の場合は，「ディーゼル発電機室ルーフベントファン」という。)

(e) 中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む）

(以下(e)を「中央制御室換気系冷凍機」という。)

(f) 残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む）

(g) 残留熱除去系海水系ストレーナ

(h) 非常用ディーゼル発電機海水ポンプ（配管，弁含む）

(i) 非常用ディーゼル発電機海水ストレーナ

(j) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ポンプ（配管，弁含む）

(k) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ストレーナ

(以下(f)～(k)を区別不要の場合は，「海水ポンプ室内設備」という。)

- (l) 非常用ガス処理系排気配管
- (m) 排気筒

<以下、竜巻防護施設を内包する施設>

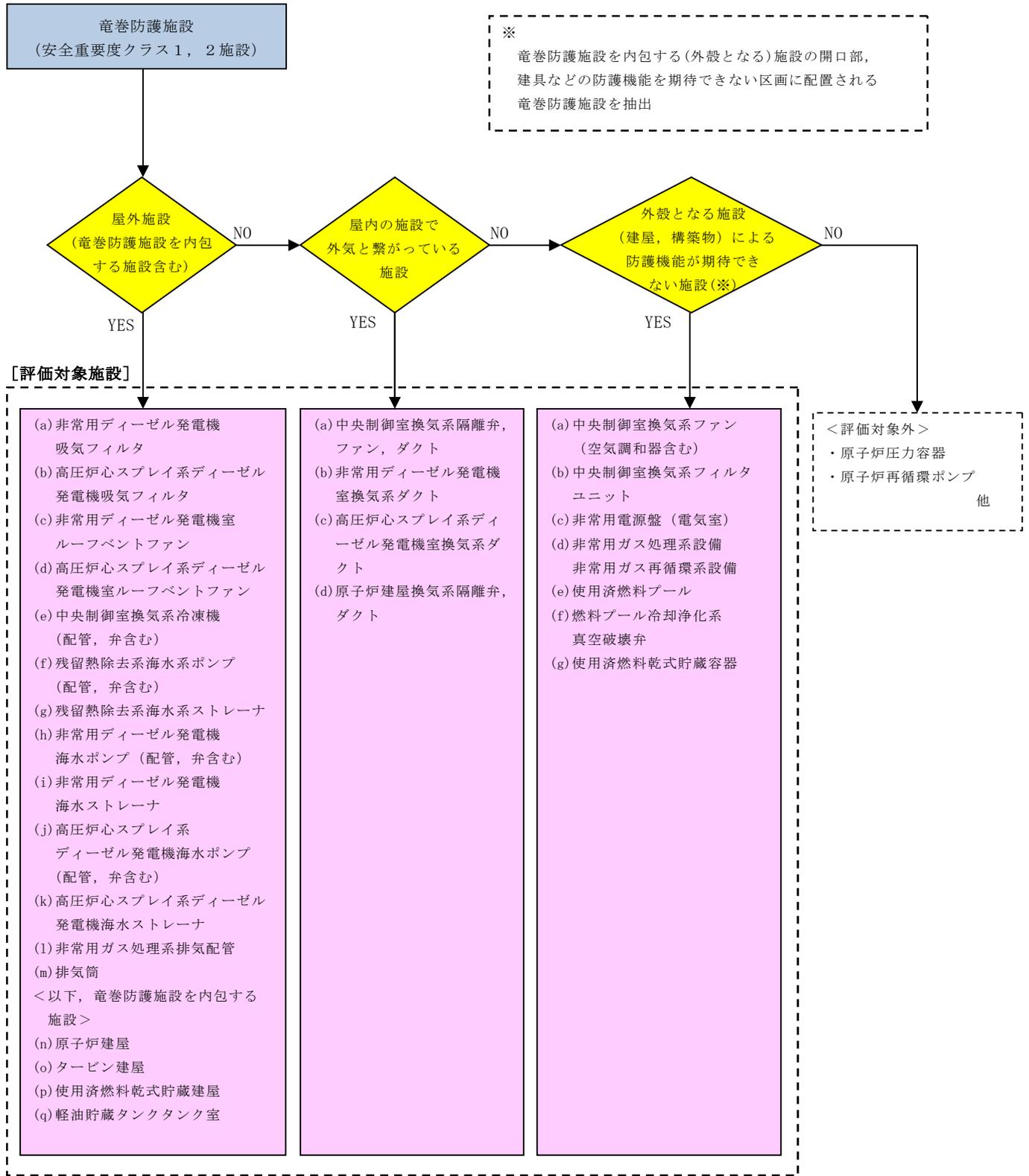
- (n) 原子炉建屋（原子炉圧力容器，原子炉再循環ポンプ等を内包）
- (o) タービン建屋（気体廃棄物処理系隔離弁等を内包）
- (p) 使用済燃料乾式貯蔵建屋（使用済燃料乾式貯蔵容器を内包）
- (q) 軽油貯蔵タンクタンク室（軽油貯蔵タンクを内包）

b. 屋内の施設で外気と繋がっている施設

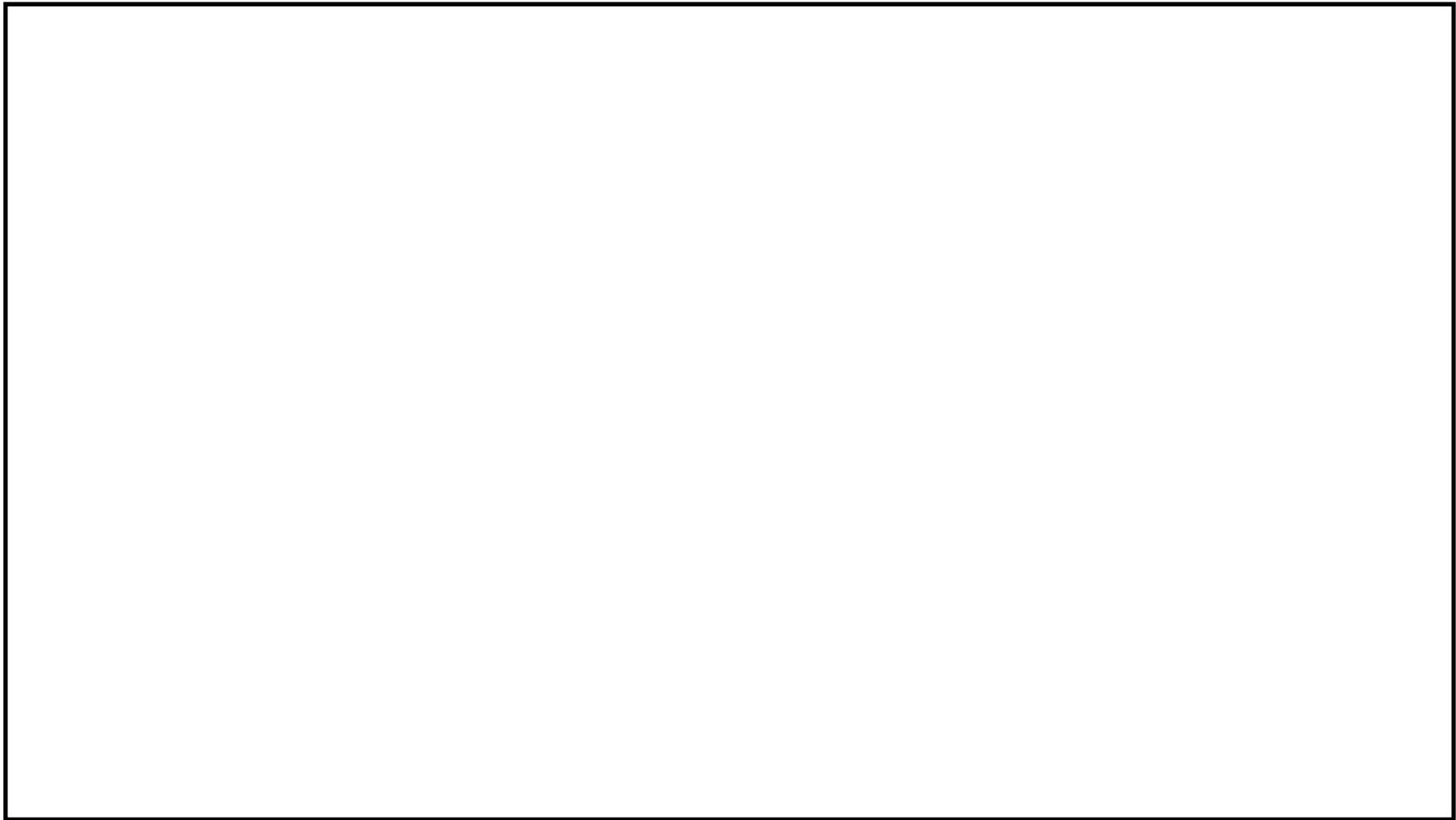
- (a) 中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む）
- (b) 非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト
- (c) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト
(以下(b)(c)を区別不要の場合は，「ディーゼル発電機室換気系ダクト」という。)
- (d) 原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト

c. 外殻となる施設（建屋，構築物）による防護機能が期待できない施設

- (a) 中央制御室換気系ファン（空気調和器含む）
- (b) 中央制御室換気系フィルタユニット
(以下(a)(b)を区別不要の場合は，「中央制御室換気系ファン」という。)
- (c) 非常用電源盤（原子炉建屋附属棟1階電気室）
- (d) 非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備
- (e) 使用済燃料プール
- (f) 燃料プール冷却浄化系真空破壊弁



第 1.2.2-2 図 竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フロー



第 1.2.2-3 図 竜巻防護施設のうち評価対象施設（屋外施設）の配置図

(2) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設【添付資料3】

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として評価対象施設となる施設は、発電所構内の構築物、系統及び機器のうち、倒壊により竜巻防護施設を機能喪失させる（機械的影響）可能性があるもの、及び屋外に設置される竜巻防護施設の附属設備のうち、気圧差等による損傷により竜巻防護施設を機能喪失させる（機能的影響）可能性があるものとする。

第1.2.2-4図に、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出フロー及び抽出された施設を示す。

また、第1.2.2-4図において抽出した竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の配置図を、第1.2.2-5図に示す。

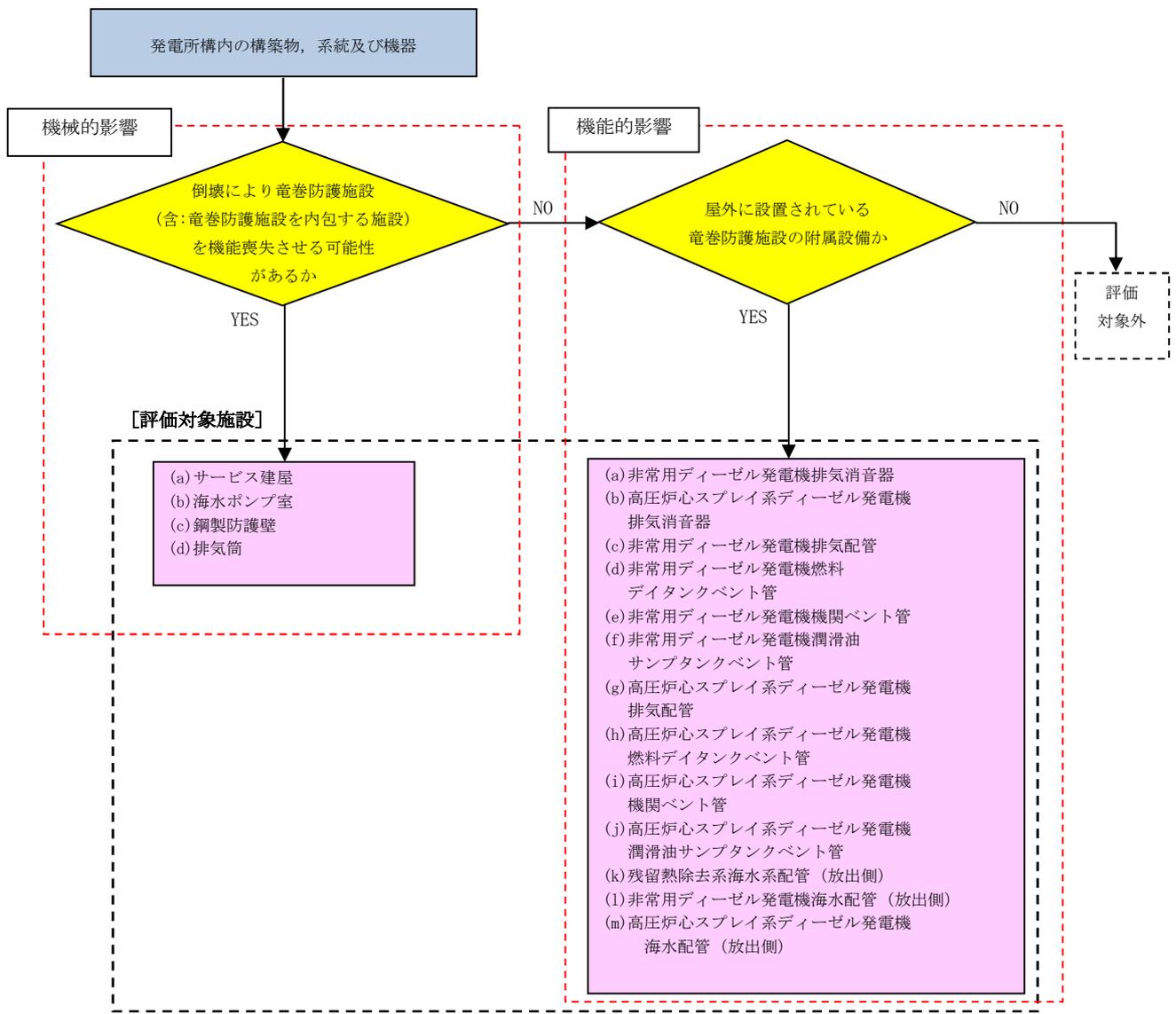
a. 機械的影響

- (a) サービス建屋
- (b) 海水ポンプ室
- (c) 鋼製防護壁
- (d) 排気筒

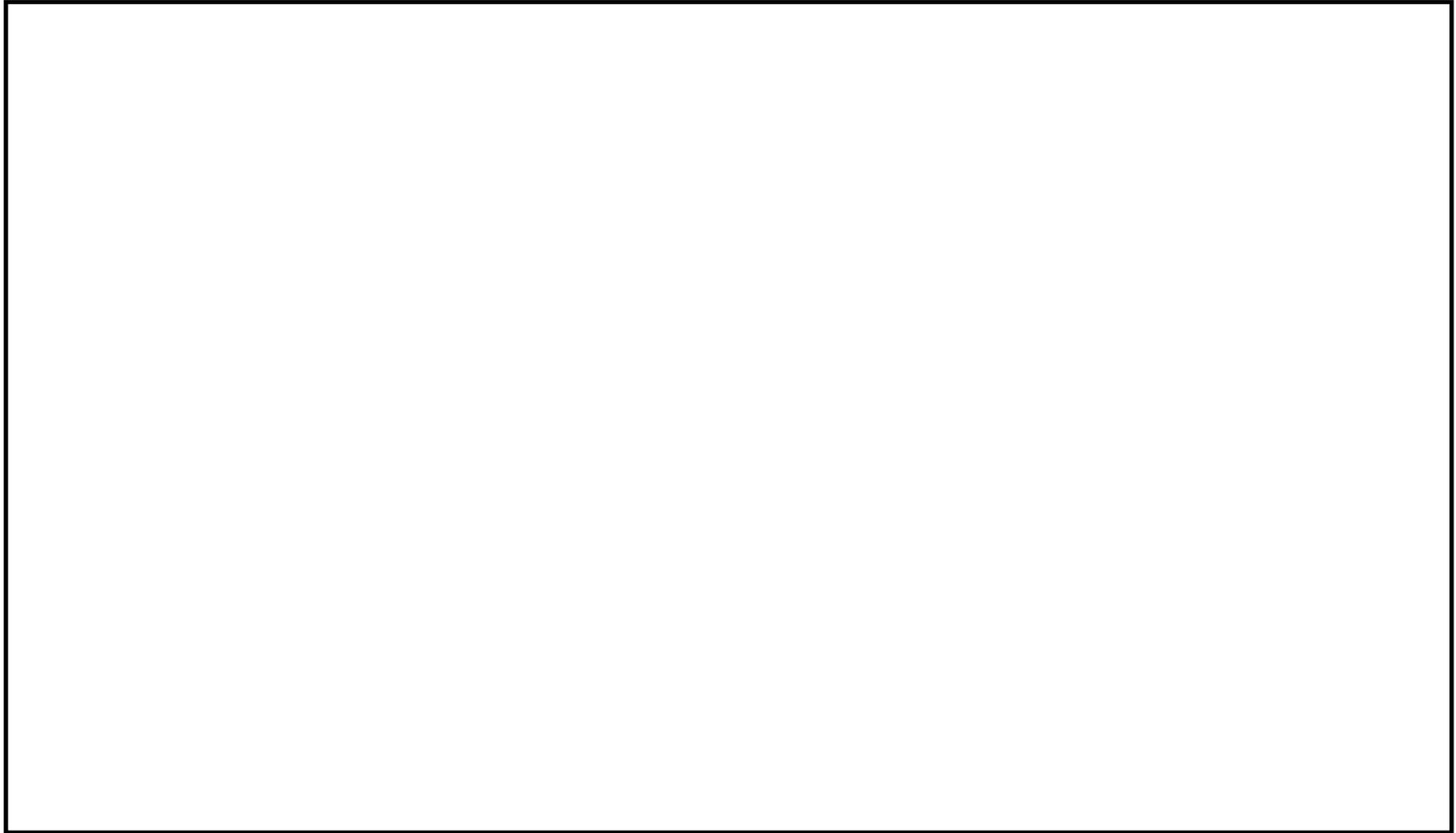
b. 機能的影響

- (a) 非常用ディーゼル発電機排気消音器
- (b) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器
(以下(a)(b)を区別不要の場合は、「ディーゼル発電機排気消音器」という。)
- (c) 非常用ディーゼル発電機排気配管
- (d) 非常用ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管
- (e) 非常用ディーゼル発電機機関ベント管
- (f) 非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプルタンクベント管
- (g) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管

- (h) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管
- (i) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管
- (j) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管
(以下(c)～(j)を区別不要の場合は、「ディーゼル発電機附属設備配管」という。)
- (k) 残留熱除去系海水系配管（放出側）
- (l) 非常用ディーゼル発電機海水配管（放出側）
- (m) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水配管（放出側）
(以下(k)～(m)を区別不要の場合は、「海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）」という。)



第 1. 2. 2-4 図 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出フロー



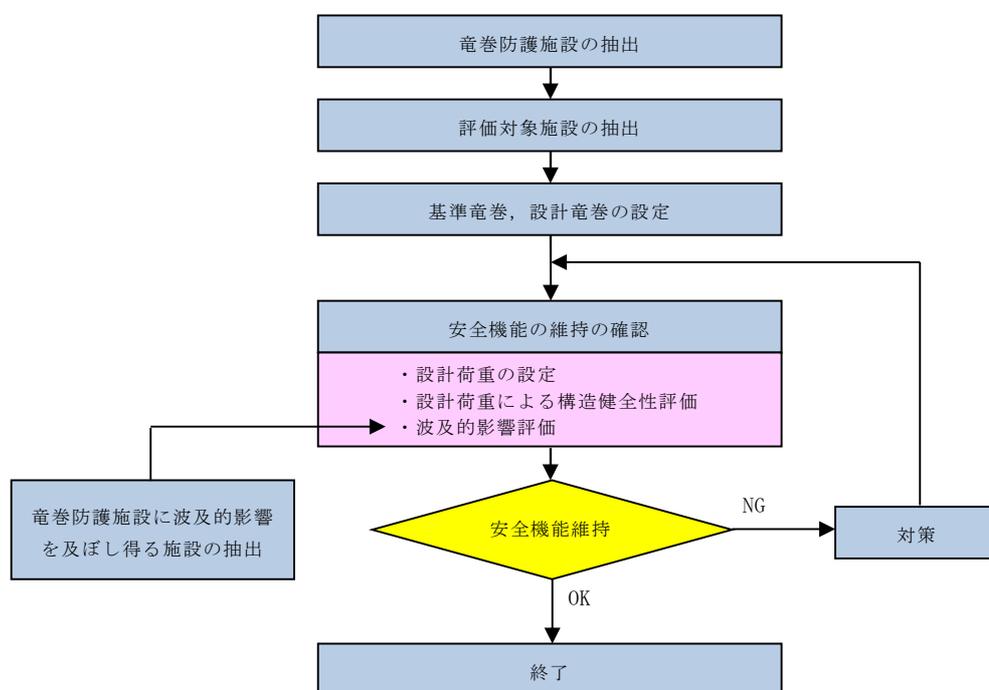
第 1.2.2-5 図 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の配置図

1.2.3 評価の基本的な考え方

1.2.3.1 評価方法

基準竜巻，設計竜巻及び設計荷重を適切に設定するとともに，評価対象施設を抽出し，考慮すべき設計荷重に対する評価対象施設の構造健全性について評価を行い，必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されていることを確認する。

竜巻影響評価の基本フローを第 1.2.3.1-1 図に示す。



第 1.2.3.1-1 図 竜巻影響評価の基本フロー

1.2.3.2 評価対象施設に作用する荷重

以下に示す設計荷重を適切に設定する。

(1) 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重を以下に示す。

a. 風圧力による荷重

設計竜巻の最大風速による風圧力による荷重

b. 気圧差による荷重

設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設内外の気圧差による荷重

c. 設計飛来物の衝撃荷重

設計竜巻によって評価対象施設に衝突し得る飛来物（設計飛来物）が評価対象施設に衝突する際の衝撃荷重

(2) 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重を以下に示す。

a. 評価対象施設に常時作用する荷重，運転時荷重等

b. 竜巻以外の自然現象による荷重，設計基準事故時荷重等

なお，上記(2) b. の荷重については，竜巻以外の自然現象及び事故の発生頻度等を参照して，上記(2) a. の荷重と組み合わせることの適切性や設定する荷重の大きさ等を判断する。

具体的な荷重については，「3.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定」に示す。

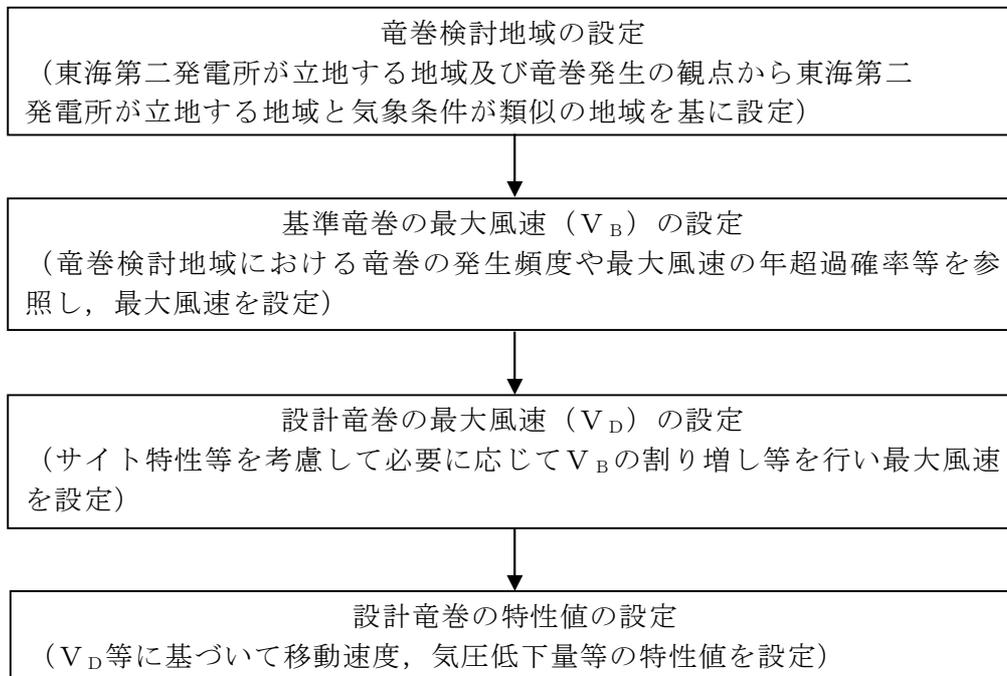
1.2.3.3 施設の安全性の確認方針

設計竜巻荷重及びその他組み合わせ荷重（常時作用している荷重，竜巻以外の自然現象による荷重，設計基準事故時荷重等）を適切に組み合わせた設計荷重に対して，評価対象施設，あるいはその特定の区画の構造健全性等の確認を行い，必要に応じて対策を行うことで安全機能が維持されることを確認する。

2. 基準竜巻・設計竜巻の設定

2.1 概要

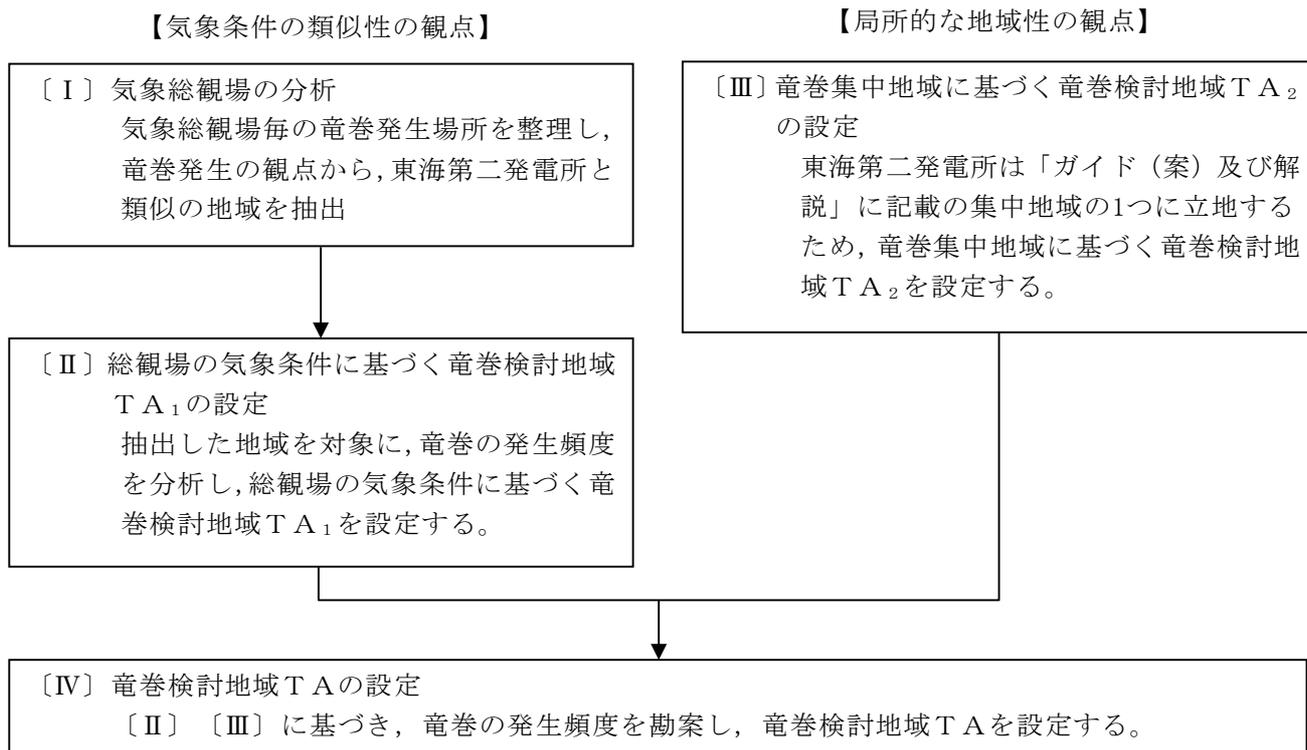
基準竜巻及び設計竜巻の設定フローを，第 2.1-1 図に示す。



第 2.1-1 図 基準竜巻及び設計竜巻の設定フロー

2.2 竜巻検討地域の設定【添付資料 4】

竜巻検討地域は，東海第二発電所が立地する地域及び竜巻発生
の観点から，「総観場の分析に基づく竜巻検討地域 TA_1 の検討」及び「過去の竜巻集中
地域に基づく竜巻検討地域 TA_2 の検討」により「竜巻検討地域 TA 」を設
定する。竜巻検討地域の設定フローを第 2.2-1 図に示す。



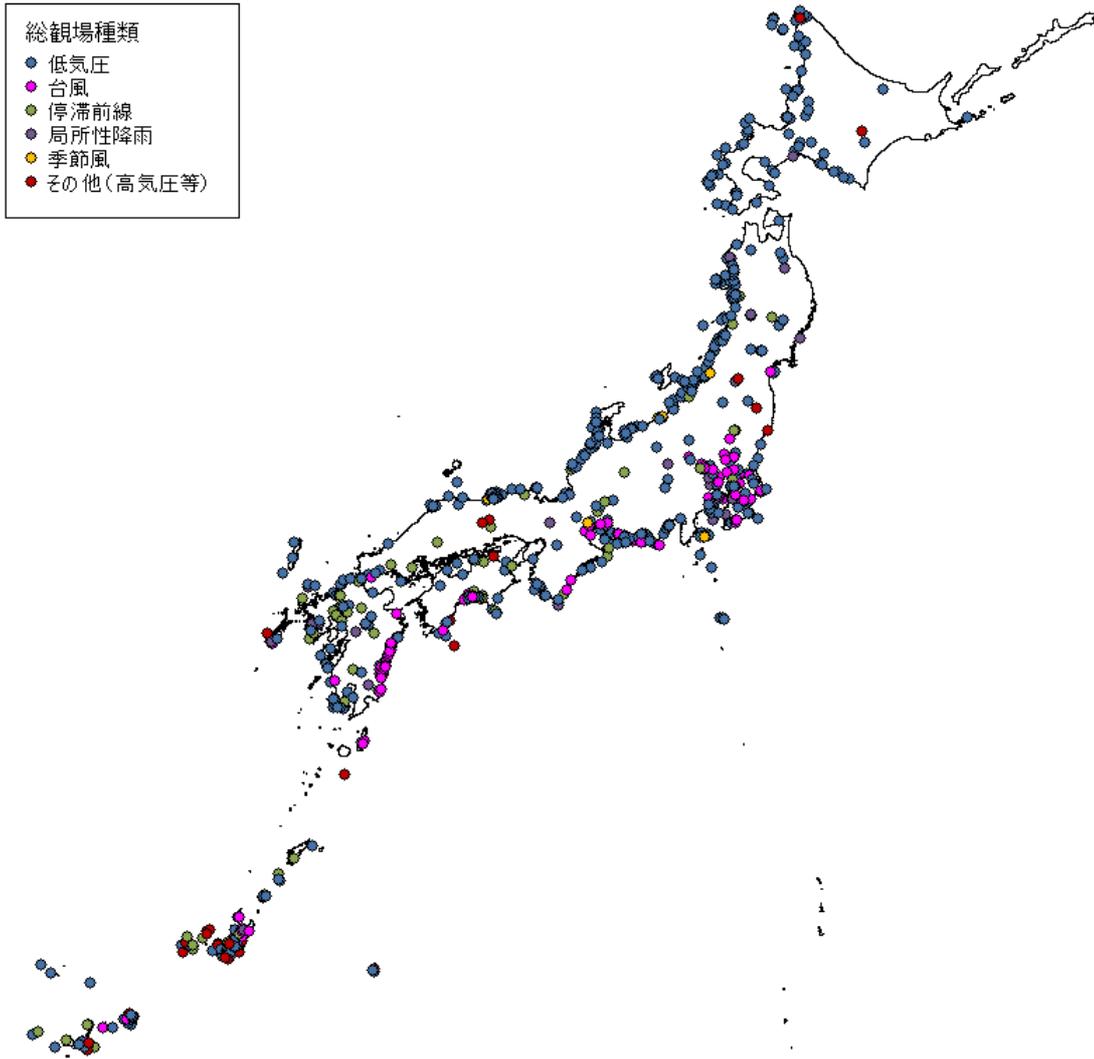
第 2.2-1 図 竜巻検討地域の設定フロー

2.2.1 気象総観場の分析

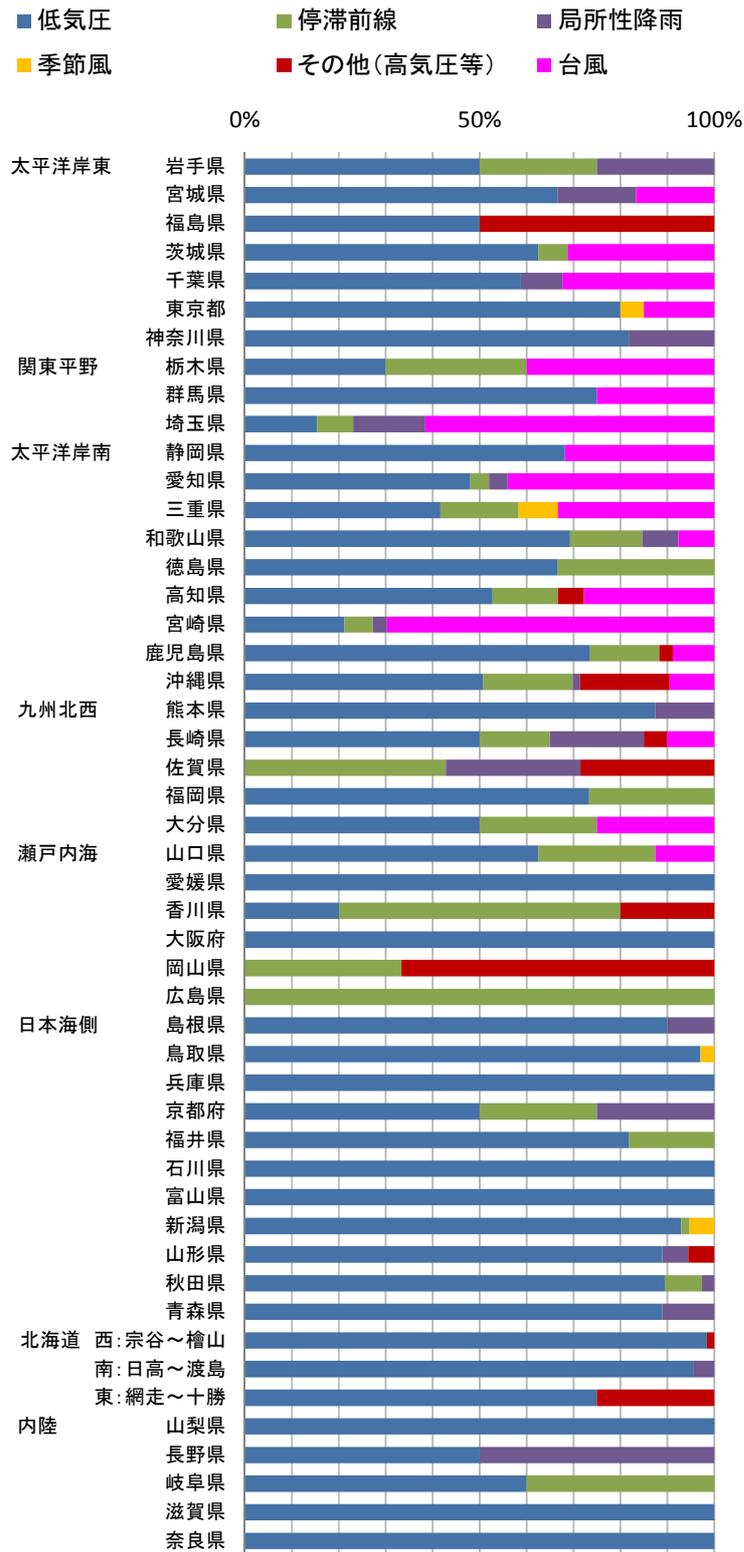
竜巻発生要因の総観場を 6 種類（低気圧，台風，停滞前線，局所性降雨，季節風，その他（高気圧等））に分類し，竜巻発生位置をこの気象要因毎に色分けした分布を，第 2.2.1-1 図に示す。

また，各都道府県での要因別発生比率を第 2.2.1-2 図に示す。

その結果，低気圧起因の竜巻は全国一様に発生していることが分かる。一方台風起因の竜巻は日本海側には発生しておらず，主に太平洋側で発生していることが分かる。また，停滞前線起因の竜巻は北海道を除く各地に発生していること，局所性降雨は内陸部での竜巻発生も促すこと，季節風や高気圧起因とされる竜巻の発生数は比較的少ないことが分かる。



第 2. 2. 1-1 図 竜巻発生時の総観場の分布(1961 年 1 月～2012 年 6 月)



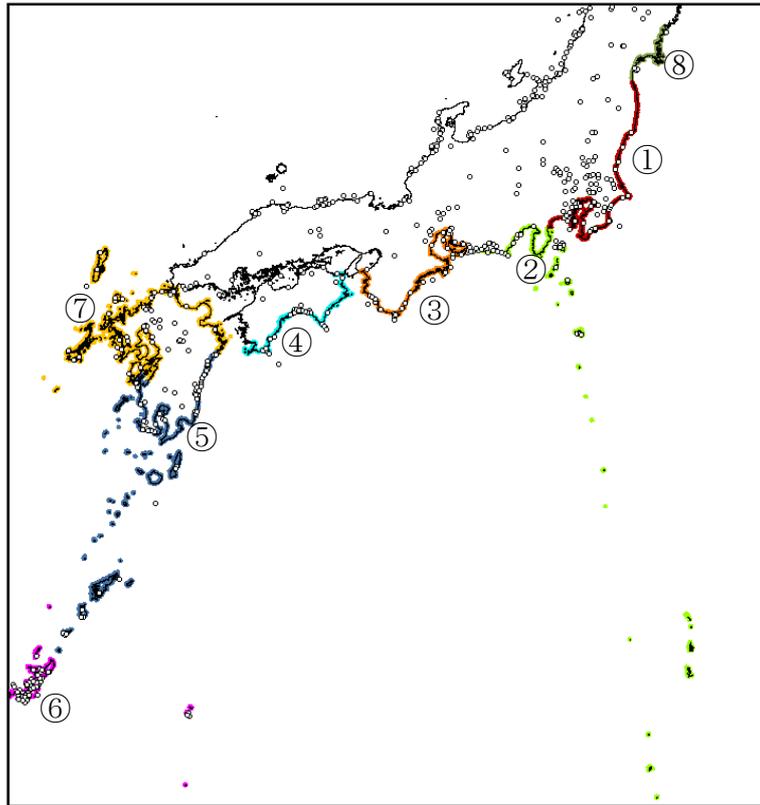
第 2.2.1-2 図 各都道府県での発生要因比率

2.2.2 総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域TA₁の設定

竜巻発生地域性が見られる台風起因の発生領域から、太平洋側の宮城県～沖縄県にかけての範囲を考慮する。東海第二発電所はこの範囲に立地しており、太平洋側の宮城県～沖縄県を基本として、竜巻の発生頻度の観点から総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域TA₁の検討を行う。

東海第二発電所から半径180km圏内(10万km²圏)を含む太平洋側沿岸の海岸線から海側陸側各5kmの範囲を対象として、竜巻検討地域TA₁の候補の領域8ケース及び竜巻の個数と単位面積当たりの発生数の比較を第2.2.2-1図及び第2.2.2-1表に示す。なお、表の竜巻の個数は各ケースの領域毎における発生した全ての竜巻の個数である。

この結果、TA_{1.6}のケースの単位面積当たりの発生数が最も大きくなるため、これを総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域TA₁とする。



第 2.2.2-1 図 竜巻検討地域 T A₁ の検討領域

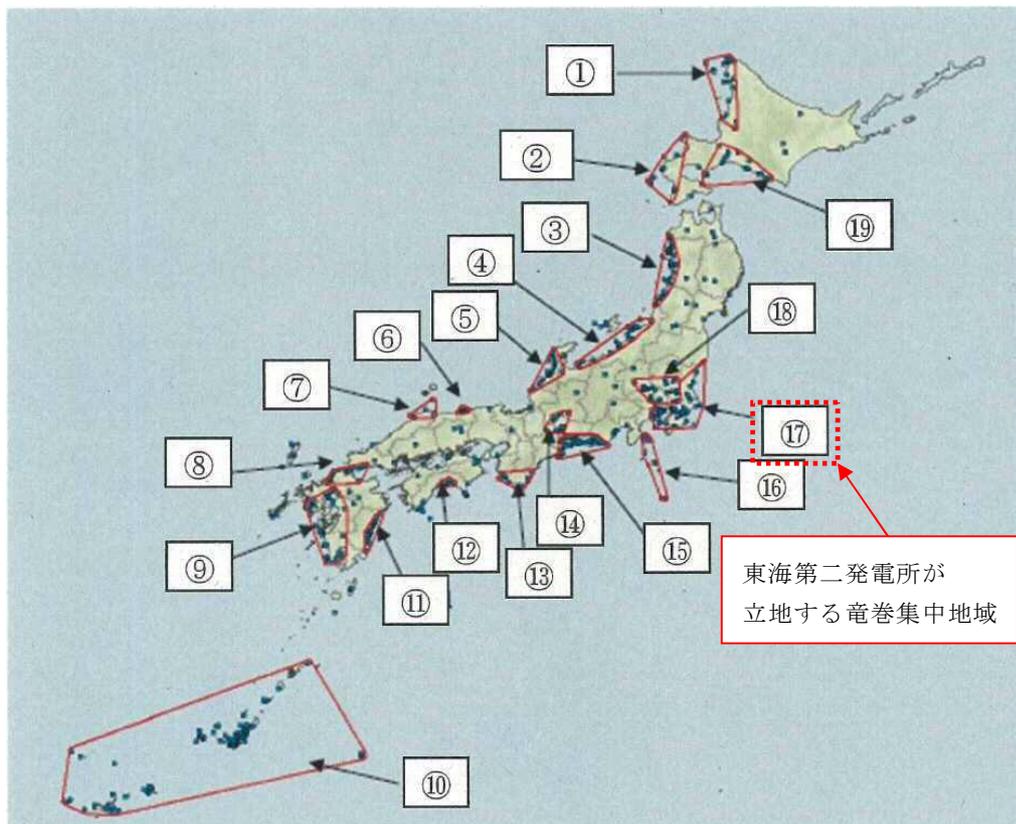
第 2.2.2-1 表 竜巻検討地域 T A₁ の候補毎の竜巻の個数と
単位面積当たり発生数

領域			領域面積 (km ²)	51.5 年間に 領域内で発 生した個数	単位面積当たり 発生数 (個/年/km ²)
T A _{1.1}	①	福島県～神奈川県	7,900	40	0.98E-04
T A _{1.2}	①～②	福島県～静岡県	15,700	68	0.84E-04
T A _{1.3}	①～③	福島県～和歌山県	23,400	104	0.86E-04
T A _{1.4}	①～④	福島県～高知県	28,600	138	0.94E-04
T A _{1.5}	①～⑤	福島県～鹿児島県	46,700	194	0.81E-04
T A_{1.6}	①～⑥	福島県～沖縄県	57,000	300	1.02E-04
T A _{1.7}	①～⑦	福島県～九州全県	79,700	337	0.82E-04
T A _{1.8}	①～⑥, ⑧	宮城県～沖縄県	59,700	302	0.98E-04

2.2.3 竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域TA₂の設定

東海第二発電所は、第 2.2.3-1 図に示す「ガイド（案）及び解説」⁽¹⁾ の竜巻が集中する 19 の地域のうち竜巻集中地域⑰に立地している。

竜巻集中地域⑰を前述のTA_{1.1}とみなし、これを竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域TA₂とする。



第 2.2.3-1 図 竜巻の発生する地点と竜巻が集中する 19 の地域

(「ガイド（案）及び解説」より引用)

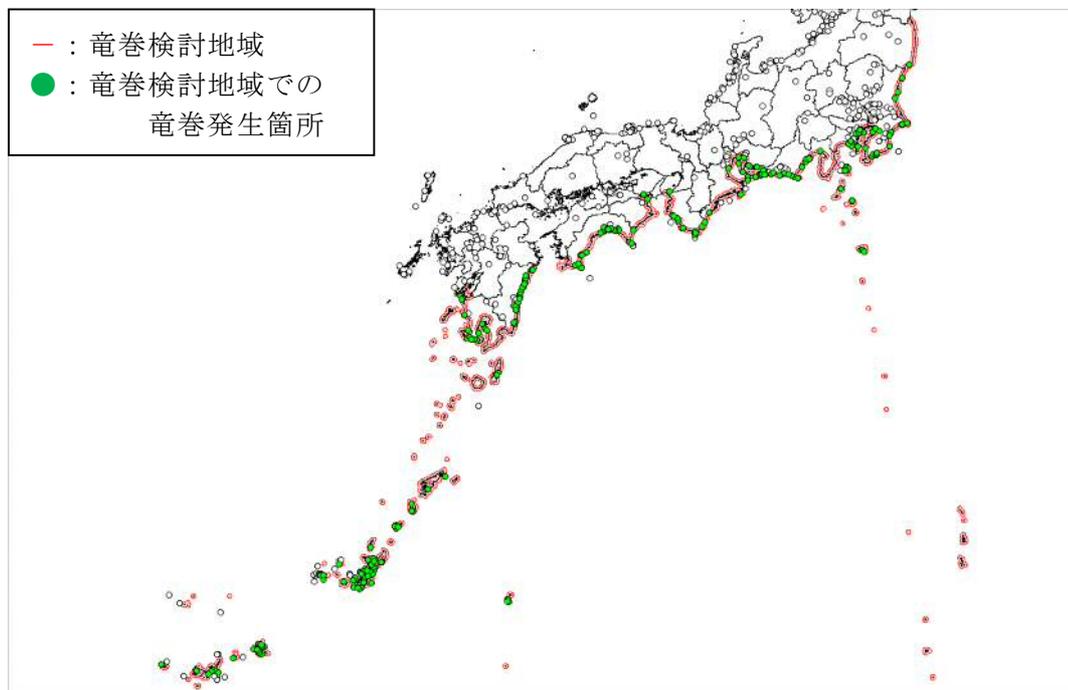
2.2.4 竜巻検討地域TAの設定

総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域TA₁及び竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域TA₂における、竜巻の個数及び単位面積当たりの発生数を第2.2.4-1表に示す。これより、竜巻の個数及び単位面積当たりの発生数の大きさから、TA₁を竜巻検討地域TAに設定する（面積約57,000km²）。

竜巻検討地域TAを第2.2.4-1図に示す。

第2.2.4-1表 竜巻検討地域内で発生が確認された竜巻の個数と
単位面積当たり発生数

	領域面積 (km ²)	51.5年間に 領域内で発 生した個数	単位面積当たり発生数 (個/年/km ²)
総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域TA ₁	57,000	300	1.02×10^{-4}
竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域TA ₂	7,900	40	0.98×10^{-4}



第2.2.4-1図 竜巻検討地域TA

2.3 基準竜巻の最大風速 (V_B) の設定

基準竜巻の最大風速は、過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1})、及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2}) のうち、大きな風速を設定する。

2.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1})

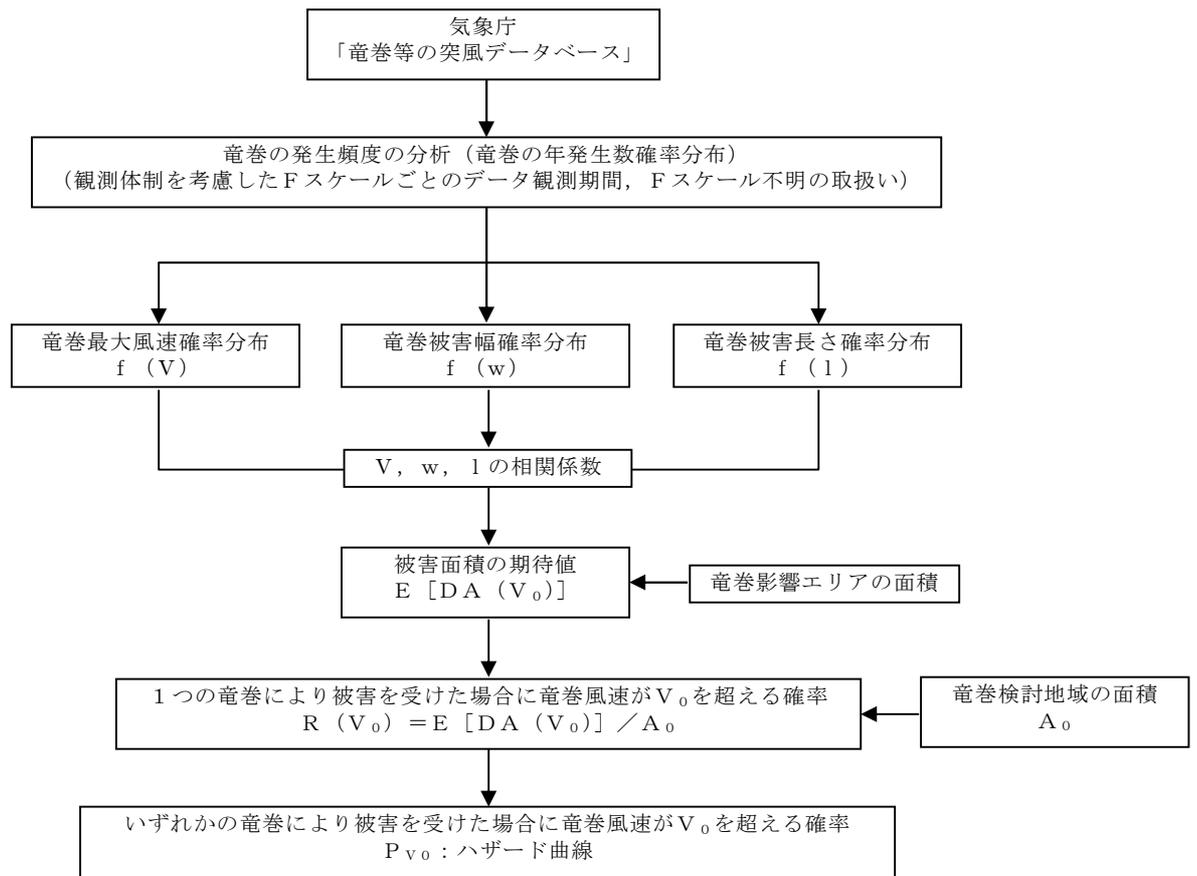
気象庁の「竜巻等の突風データベース」⁽²⁾に基づき、竜巻検討地域内で過去（1961年1月から2012年6月）に発生した竜巻のうち最大であるF3スケール相当以上の竜巻を第2.3.1-1表に示す。F3スケールにおける風速は70m/s～92m/sであることから、過去に発生した竜巻による最大風速 V_{B1} を92m/sとする。

第2.3.1-1表 竜巻検討地域内で過去（1961年1月～2012年6月）に発生したF3スケール相当以上の竜巻の観測記録⁽²⁾

発生日時	発生場所				Fスケール
	緯度	経度	都道府県	市町村	
1999年09月24日11時07分	34度42分4秒	137度23分5秒	愛知県	豊橋市	F3
1990年02月19日15時15分	31度15分38秒	130度16分35秒	鹿児島県	枕崎市	F2～F3
1978年02月28日21時20分	35度32分1秒	139度41分50秒	神奈川県	川崎市	F2～F3
1969年12月07日18時00分	34度45分4秒	137度22分46秒	愛知県	豊橋市	F2～F3
1968年09月24日19時05分	32度7分16秒	131度32分8秒	宮崎県	高鍋町	F2～F3
1967年10月28日03時12分	35度42分3秒	140度43分10秒	千葉県	飯岡町	F2～F3

2.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2}) 【添付資料 5】

竜巻最大風速のハザード曲線は、「竜巻影響評価ガイド」に従い、具体的には、独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」⁽³⁾を参照して算定する。算定フローを第 2.3.2-1 図に示す。



第 2.3.2-1 図 ハザード曲線の算定フロー

竜巻最大風速のハザード曲線は、竜巻検討地域全域（海岸線から海側及び陸側それぞれ 5km 全域（以下「10km 幅」という。））、及び竜巻検討地域を海岸線に沿って 1km 範囲毎に細分化したケースを作成し、これらの年超過確率 10^{-5} の風速のうち、最も大きなものを V_{B2} として設定する。

2.3.3 発生頻度の分析

竜巻の発生数の分析結果を第 2.3.3-1 表に示す。竜巻検討地域において 1961 年 1 月から 2012 年 6 月までの 51.5 年間に 300 個の竜巻が観測されたことに対し、1188 個の竜巻が発生したと推定した。

竜巻についての過去の観測データは少なく、また、観測年代によって精度が異なる。そこで、下記のとおり観測データの補正を行い、年発生数の確率分布に供する統計データを推定した。

- (1) F 0 及び F スケール不明の竜巻については、観測体制が強化される以前は見過ごされた可能性が大きいことから、観測体制が強化された 2007 年以降の統計量を基にする。
- (2) F 1 の竜巻については、1991 年以降の年間発生数がそれ以前の 30 年間の発生数を明らかに上回ることから、1991 年以降の統計量を基にする。
- (3) F 2 以上の竜巻については、見逃されることが少なかったとして、1961 年以降の全期間の統計量を基にする。
- (4) F スケール不明の海上で発生し、上陸せず消滅した竜巻（以下「海上竜巻」という。）については、その竜巻のスケールを推定することは困難であることから、「海岸線から海上 5km の範囲における海上竜巻の発生特性が、海岸線から内陸 5km の範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である」という仮定に基づいて、陸上竜巻（上陸竜巻含む）の F スケール別発生比率で按分し、各 F スケールで発生した竜巻に加える。【添付資料 5 別紙 1】なお、F スケール不明の陸上竜巻（上陸竜巻含む）は、痕跡等が残らないほど小さかったとし、F 0 相当の竜巻であったとする。

また、竜巻検討地域内の竜巻の発生個数の評価は、発生地点と消滅地点を結ぶ線分が当該地域に掛かるか否かで判断する。

さらに、竜巻が上陸したか否かは、観測データの詳細情報を基本として、

発生地点座標と消滅地点座標を結ぶ線分が、陸地境界内に掛かるか否かも加えて判定する。

第 2.3.3-1 表 竜巻発生数の分析結果

		F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計	
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	6	41	100	46	193	20	87	300
		平均値 (個/年)	0.12	0.80	1.94	0.89	3.75	0.39	1.69	5.83
		標準偏差 (個/年)	0.32	0.94	1.96	2.17	3.25	0.69	4.35	7.26
	1991.1-2012.6 21.5年間	期間内個数	1	15	72	46	134	15	86	235
		平均値 (個/年)	0.05	0.70	3.35	2.14	6.23	0.70	4.00	10.93
		標準偏差 (個/年)	0.22	0.78	2.03	2.96	3.24	0.84	6.08	8.81
	2007.1-2012.6 5.5年間	期間内個数	0	1	12	31	44	9	63	116
		平均値 (個/年)	0.00	0.18	2.18	5.64	8.00	1.64	11.45	21.09
		標準偏差 (個/年)	0.00	0.43	1.99	4.17	4.16	0.97	8.32	11.75

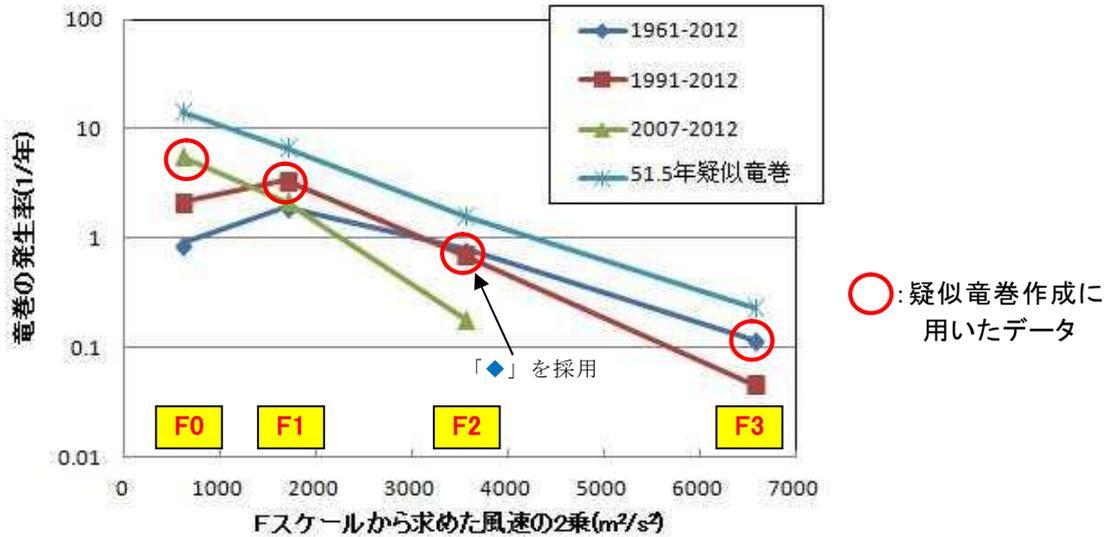
		F3	F2	F1	F0	計	
疑似51.5年間の竜巻	疑似51.5年間 (陸上竜巻)	期間内個数	6	41	173	376	596
		平均値 (個/年)	0.12	0.80	3.36	7.30	11.57
		標準偏差 (個/年)	0.32	0.94	2.03	4.74	5.25
	疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値 (個/年)	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差 (個/年)	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42

また、上記の取扱いのうち(1)～(3)に関する各期間に観測された竜巻及び作成された51.5年間の疑似竜巻についての竜巻強度分布※を第2.3.3-1図に示す。

(1)～(3)の扱いにおいて用いたデータは図中で丸囲みしたものであり、理想的な分布とされる直線状態にあるもののみを用いている。また、(4)の扱いも加えて作成された疑似竜巻についても、理想的な直線状の強度分布になっていることから、(1)～(4)の手法は妥当であったと考えられる。

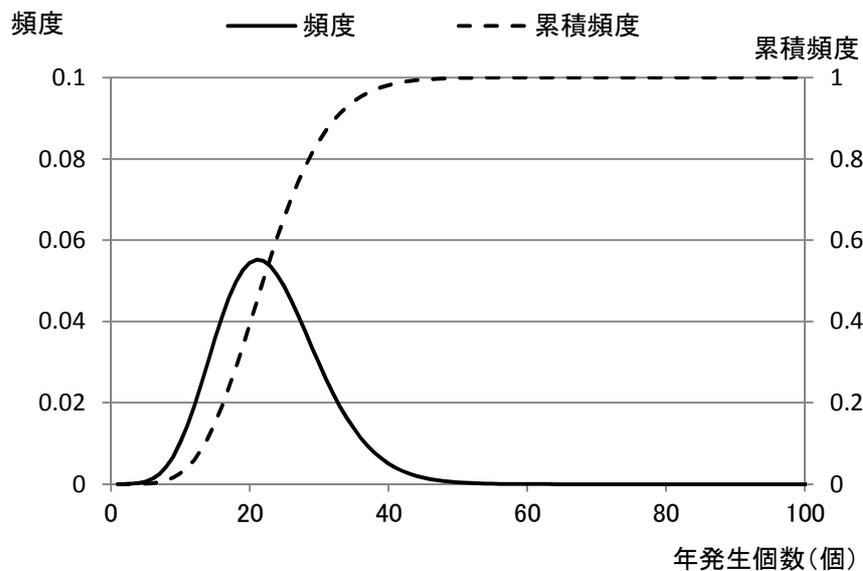
※：縦軸に竜巻の発生率、横軸に風速の2乗をとってグラフにしたもので、竜巻等突風の発生状況の実態把握や調査体制、スケールの改善に広く利用される (Brooks *et al.* 2001; Feuerstein *et al.* 2005)。

突風の知覚漏れがなく、かつ理想的な突風の強さのスケールを用いると、縦軸に対数をとった場合に直線状になる (Dotzek *et al.* 2005)。



第 2.3.3-1 図 疑似竜巻作成に採用したデータ及び疑似竜巻の強度分布

竜巻の年発生数の確率密度分布の設定に当たっては、竜巻は気象事象の中でも極めて稀に発生する事象であり、発生数の変動（標準偏差）が大きいことから、「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」の成果を参考とし、第 2.3.3-2 図に示すポリヤ分布とした。



第 2.3.3-2 図 竜巻の年発生数の確率密度分布（ポリヤ分布）

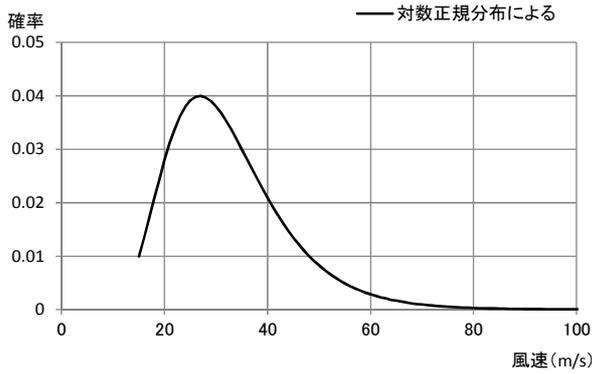
2.3.4 竜巻風速，被害幅及び被害長さの確率密度分布及び相関係数

発生数，被害幅及び被害長さについて，観測されたデータを基に，前記で評価した疑似 51.5 年間の発生数に対応するようにサンプリングし，統計量を算定した。統計量を第 2.3.4-1 表に示す。

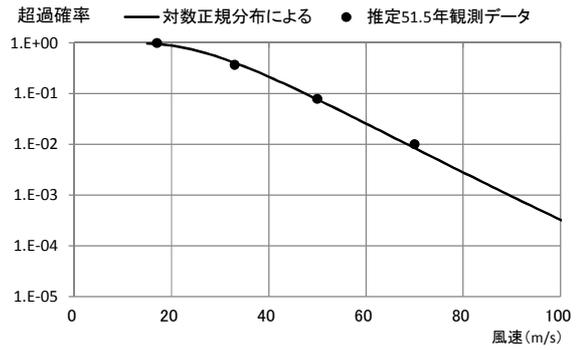
その結果を基に，最大風速，被害幅及び被害長さは対数正規分布に従うものとして求めた確率密度分布を，第 2.3.4-1 図～第 2.3.4-6 図に示す。

第 2.3.4-1 表 発生数，被害幅及び被害長さの統計量

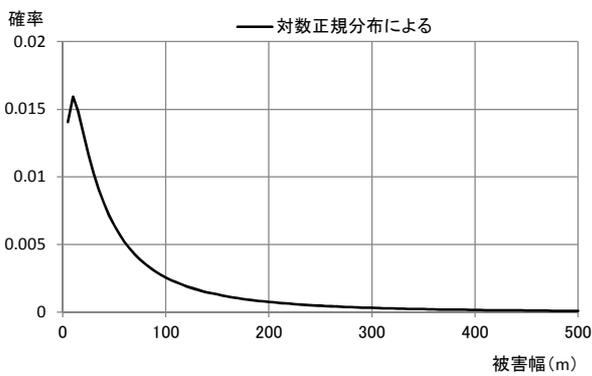
			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間	発生数	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値 (個/年)	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差 (個/年)	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42
	被害幅	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値 (m)	525	250	124	56	94
		標準偏差 (m)	706	408	187	45	179
	被害長さ	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値 (km)	14	5.63	2.43	1.18	1.98
		標準偏差 (km)	14	4.94	3.03	0.97	3.10



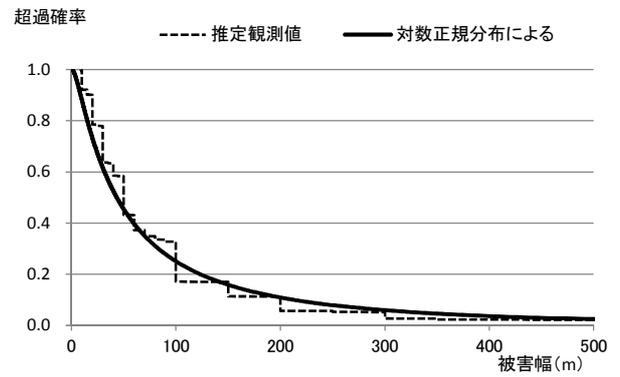
第 2.3.4-1 図 最大風速の確率密度分布



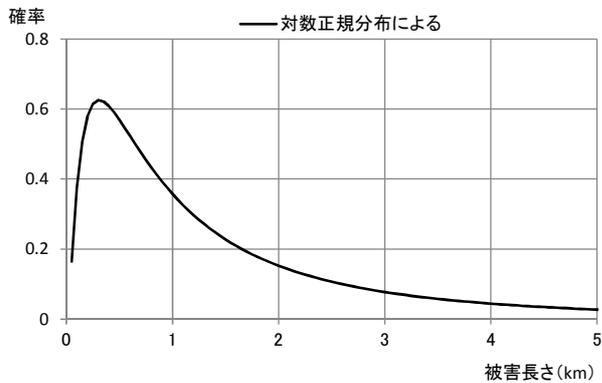
第 2.3.4-2 図 最大風速の超過確率



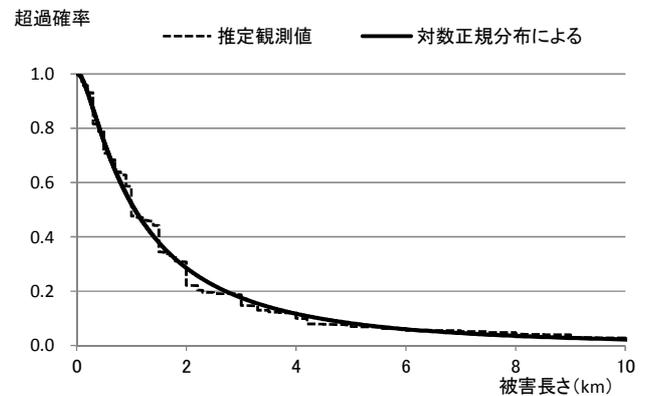
第 2.3.4-3 図 被害幅の確率密度分布



第 2.3.4-4 図 被害幅の超過確率



第 2.3.4-5 図 被害長さの確率密度分布



第 2.3.4-6 図 被害長さの超過確率

相関係数は、竜巻の最大風速、被害幅及び被害長さのうち、少なくとも 2 変量の比較が行える観測データを基に評価した。相関係数を第 2.3.4-2 表に示す。

第 2.3.4-2 表 最大風速，被害幅及び被害長さの対数値の相関係数

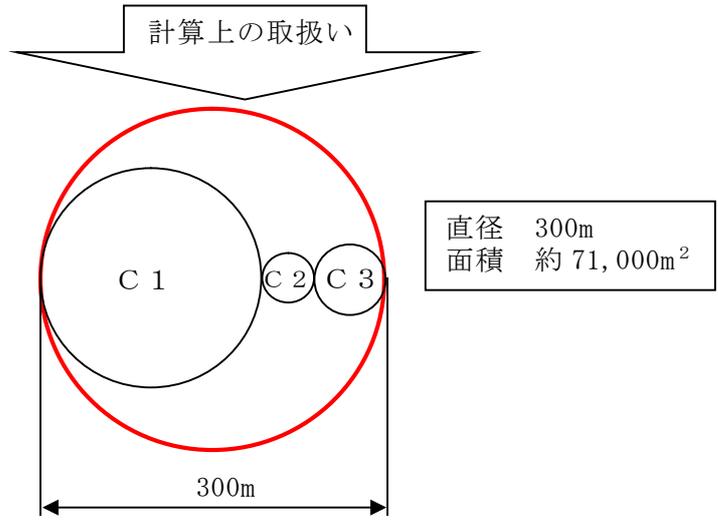
相関係数の値	最大風速	被害幅	被害長さ
最大風速	1.000	0.381	0.452
被害幅	—	1.000	0.381
被害長さ	—	—	1.000

2.3.5 竜巻影響エリアの設定

東海第二発電所の構築物，系統及び機器のうち，竜巻防護施設を包絡する円形領域を竜巻影響エリアとして設定した。竜巻影響エリアを第 2.3.5-1 図に示す。

なお，竜巻影響エリアは，原子炉建屋周辺，海水ポンプ室及び使用済燃料乾式貯蔵建屋が離れているため，それぞれをまず直径 188m，直径 44m 及び直径 60m の円形領域に包絡させ，さらにこれらの領域を包絡させた直径 300m の円形領域（面積 約 71,000m²）として設定した。

また，竜巻影響エリアを円形とするため，ハザード計算において竜巻の移動方向に対する依存性は生じない。



第 2.3.5-1 図 竜巻影響エリア

2.3.6 ハザード曲線の算定

T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率を算定する。竜巻の年発生数の確率密度分布としてポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は次式で示される。【添付資料5 別紙2】

$$P_T(N) = \frac{(\nu T)^N}{N!} (1 + \beta \nu T)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k)$$

ここで、 N : 竜巻の年発生数

ν : 竜巻の年平均発生数

T : 年数

β は分布パラメータであり次式で示される。

$$\beta = (\sigma^2 - \nu) / \nu^2$$

ここで、 σ : 竜巻の年発生数の標準偏差

竜巻の年被災確率は十分小さいので、「竜巻影響評価ガイド」の解説3.3.2に例示されたWen & Chu⁽⁴⁾及びGarson et al.⁽⁵⁾⁽⁶⁾の近似式を用いると、評価対象施設がT年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率は次式により算出できる。

$$P_{V_0} = 1 - [1 + \beta \nu R(V_0)]^{-1/\beta} = 1 - [1 - \frac{1}{\beta} (\beta \nu R(V_0)) + \dots]$$

$$\approx \nu R(V_0) = \frac{\nu}{A_0} E[DA(V_0)] = pE[DA(V_0)]$$

ここで、

$$E[DA(V_0)] = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl + D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty l f(V, l) dV dl$$

$$+ D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw + (\pi D_0^2 / 4) \int_{V_0}^\infty f(V) dV$$

p : 単位面積当たりの年被災率

E[] : 期待値

DA(V₀) : 1つの竜巻の風速が V₀ 以上となる面積

A₀ : 竜巻検討地域の面積

V : 風速

w : 被害幅

l : 被害長さ

f() : 確率密度分布

D₀ : 竜巻影響エリアの直径

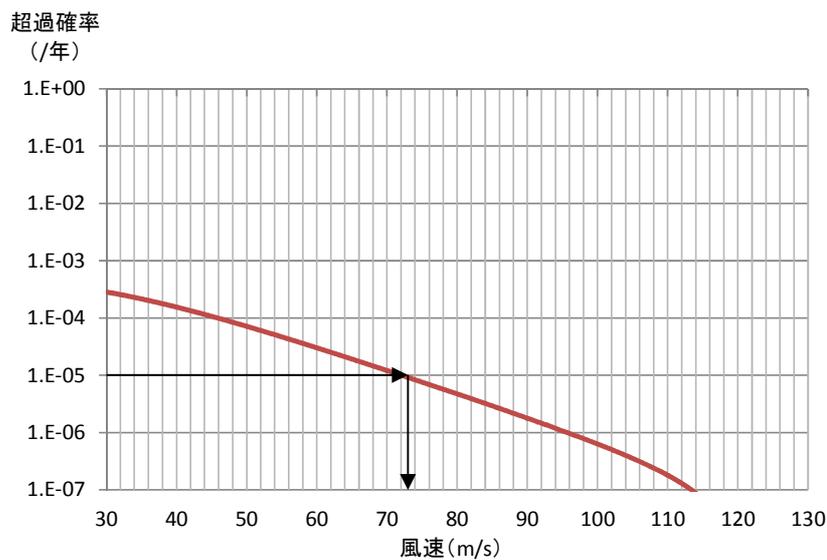
$$W(V_0) = \left(\frac{V_{\min}}{V_0} \right)^{1.6} w$$

: 被害幅のうち風速が V₀ を超える部分の幅

V_{min} : 被害域幅w 内の最小竜巻風速

竜巻検討地域全域（10km 幅）でのハザード曲線を第 2.3.6-1 図に示す。

年超過確率 10⁻⁵に相当する風速は 73m/s である。



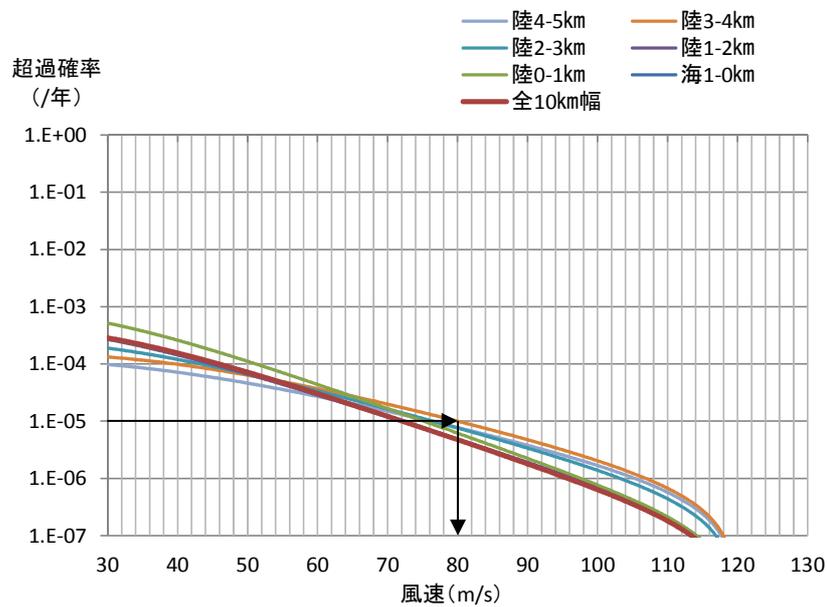
第 2.3.6-1 図 竜巻検討地域全域（10km 幅）でのハザード曲線

竜巻検討地域を1km幅毎に細分化した場合の評価条件及び先の10km幅でのケースも重ねたハザード曲線を、それぞれ第2.3.6-1表及び第2.3.6-2図に示す。なお、海側1km以遠の海上竜巻については全てFスケール不明であるため、ハザード曲線の算定は不可能である。

年超過確率 10^{-5} にて最も大きな風速を与える陸側3-4kmの場合、80m/sであった。

第2.3.6-1表 1km幅毎に細分化した場合の評価条件

発生数	発生地点と消滅地点を結ぶ直線が1km幅の領域に掛かる場合カウント
被害幅	カウントした竜巻の被害幅
被害長さ	カウントした竜巻が、1km幅の領域に掛かる長さ



第2.3.6-2図 1km幅毎に細分化した場合のハザード曲線

(10 km幅でのハザード曲線も合わせて記載)

2.3.7 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

竜巻検討地域全域 (10km 幅) 及び 1km 幅毎のハザード曲線において, 年超過確率 10^{-5} での風速の最大値は 80m/s であり, これを最大風速 V_{B2} とする。

ハザード曲線による最大風速評価結果を, 第 2.3.7-1 表に示す。

第 2.3.7-1 表 ハザード曲線による最大風速評価結果

ハザード曲線の算定範囲	年超過確率 10^{-5} での最大風速
竜巻検討地域全域 (10km 幅)	73m/s
1km 幅毎の最大	80m/s (陸側 3-4km)

2.3.8 竜巻ハザードの不確かさの検討

竜巻検討地域は竜巻についての過去観測データは少なく、統計処理として必ずしも十分ではない可能性も考えられることから、竜巻ハザードの不確かさ要素について、以下の検討を実施した。

① 確率分布形選択に伴う不確かさ（認識論的不確かさ）

確率分布形選択に伴うパラメータ不確かさ

② データ量が少ないことに伴う不確かさ（認識論的不確かさ）

データ収集期間が 51.5 年間分であることから、地震等と比較するとデータ量が少ないことに伴うパラメータ不確かさ

③ データの不確かさ

今後データ収集が進み、疑似データ同様のデータが収集されたとした場合でも残る、データそのものの不確かさ

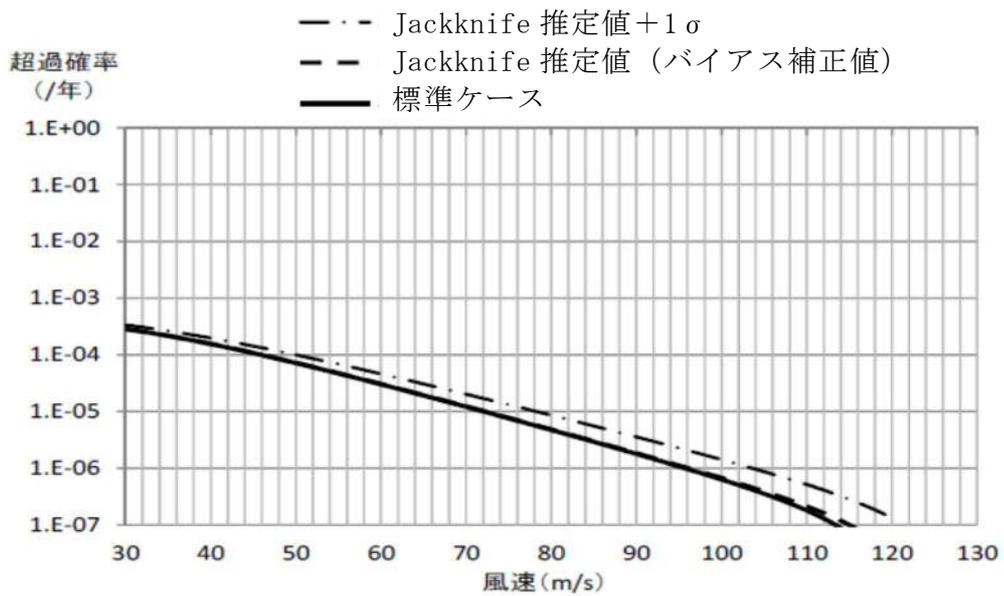
(1) 確率分布形選択に伴う不確かさ

竜巻ハザードの不確かさについて、確率分布形の選択による不確かさを表した第 2.3.8-1 図のハザード曲線によれば、標準ケースと Jackknife 推定値では、ほぼ曲線が重なり合っていることがわかる。また、標準ケースと Jackknife 推定値+1 σ においても、有意な差は認められない。

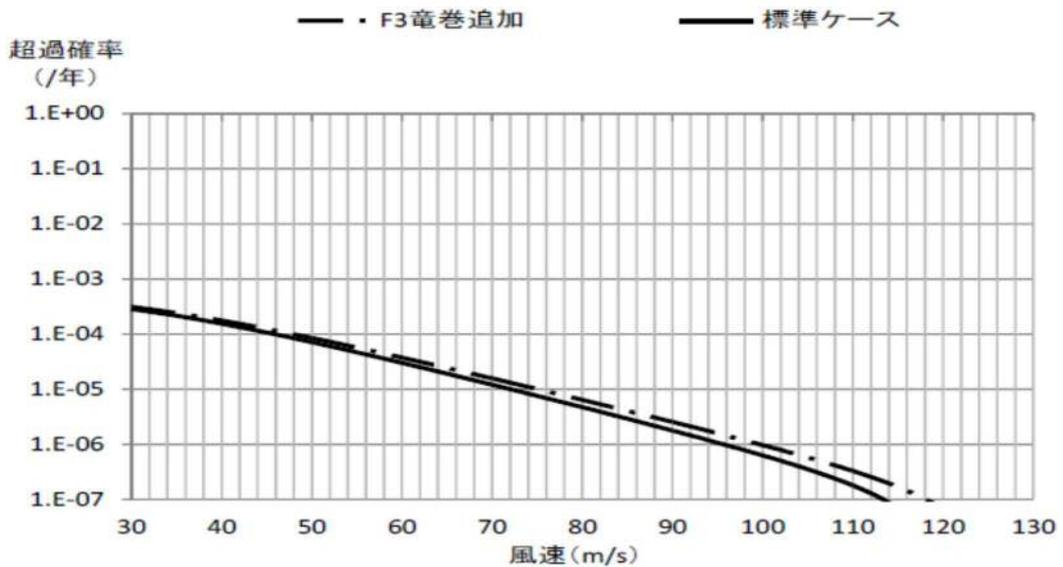
(2) データ量が少ないことに伴う不確かさ

データ量が少ないことに伴う不確かさとして、竜巻検討地域で、F 3 竜巻が 1 つ見落とされていたと仮定した場合のハザードへの影響を検討した。

これを基にハザードを推定したところ、第 2.3.8-2 図の示すとおりであり、年超過確率 10^{-5} に相当する風速は 76m/s となり、標準ケースと比較しても、ハザード曲線による最大風速への有意な差は認められない。



第 2.3.8-1 図 標準ケースと Jackknife 推定値ケース,
 Jackknife 推定値 + 1 σ ケースのハザード算定結果の比較

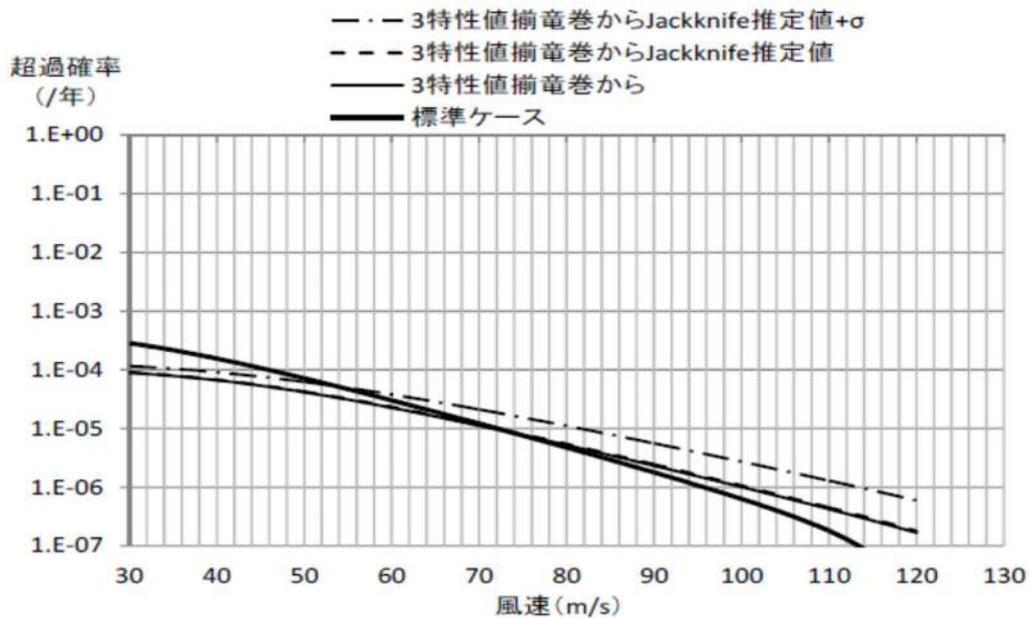


第 2.3.8-2 図 標準ケースと F 3 竜巻発生を仮定した場合の
 ハザード算定結果の比較

(3) データの不確かさ

データの不確かさとして、疑似データを考慮した場合、Fスケールの小さな竜巻の割合が多くなるため、3種類の竜巻のパラメータ*が全て判明している161個の竜巻（以下「3特性値揃竜巻」という。）データのみを用いて同様の検討を実施し、その結果を第2.3.8—3図に示す。疑似データを考慮した標準ケースと比較すると、Jackknife 推定幅は大きくなっているが、有意な差は認められない。

※：最大風速，被害幅及び被害長さ



第2.3.8—3図 標準ケース（疑似データ有）とバイアス補正無と Jackknife 推定値（バイアス補正值），Jackknife 推定値+1σのハザード算定結果の比較

以上のことから、竜巻ハザードに関する不確かさ要素の影響は小さく、ハザードへの影響はほとんどないことから、データの高い安定性を確認した。

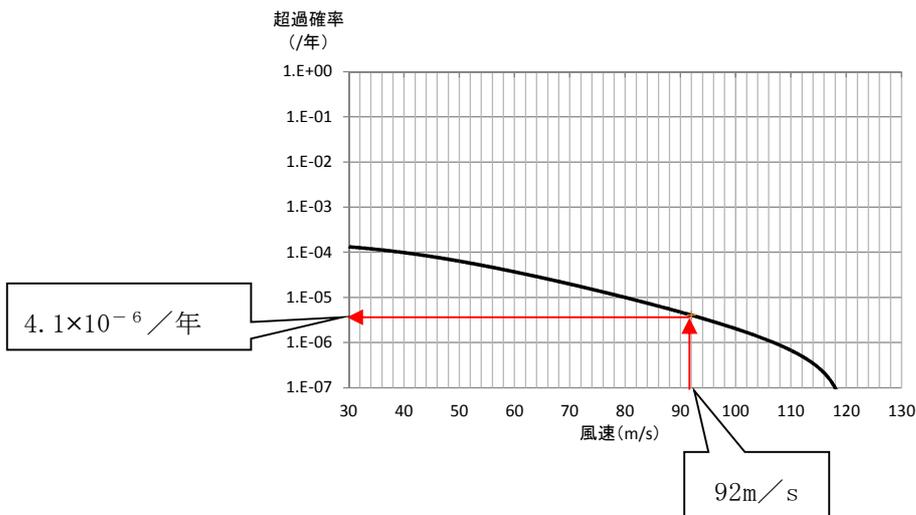
2.3.9 基準竜巻の最大風速 (V_B)

以上をもとに、基準竜巻の最大風速 V_B は V_{B1} と V_{B2} のうち大きな風速とすることから、東海第二発電所における基準竜巻の最大風速 V_B は、第 2.3.9-1 表に示すとおり、92m/s となる。

V_B の年超過確率は、第 2.3.9-1 図に示すとおり、 4.1×10^{-6} となる。

第 2.3.9-1 表 基準竜巻の最大風速

過去最大竜巻による 最大風速 V_{B1} (m/s)	ハザード曲線による 最大風速 V_{B2} (m/s)	基準竜巻の 最大風速 V_B (m/s)
92	80	92



第 2.3.9-1 図 基準竜巻の最大風速のハザード曲線

2.3.10 竜巻データの更新に関する対応

(1) 評価時点以降のデータ更新分について

上記の基準竜巻の検討には、検討実施時点での最新であった 1961 年 1 月から 2012 年 6 月までの竜巻データベースを用いているが、その後、気象庁により継続的にデータベースが更新されている^{*1}。本状況においても、以下の理

由より、最新データを参照した場合でも基準竜巻の最大風速は上記の評価結果を上回るものではなく、現時点での見直しは不要と判断している。

- ・2012年6月以降、現時点での V_{B1} の風速 92m/s を超える竜巻^{※2}が報告されていない。
- ・2012年6月以降、竜巻検討地域で観測された竜巻はF0もしくはF1相当のものが殆どであり、竜巻強度の分布はハザードを下げる方向に変化していると考えられるため、現時点での V_{B2} が更新されることはない。

※1：2017年3月末時点で、2016年3月までのデータ及び2016年4月以降の速報データが掲載されている。

(2) 将来の気候変動について

将来的な気候変動として予測される地球温暖化により竜巻の規模や発生数が増加する可能性も否定できない。

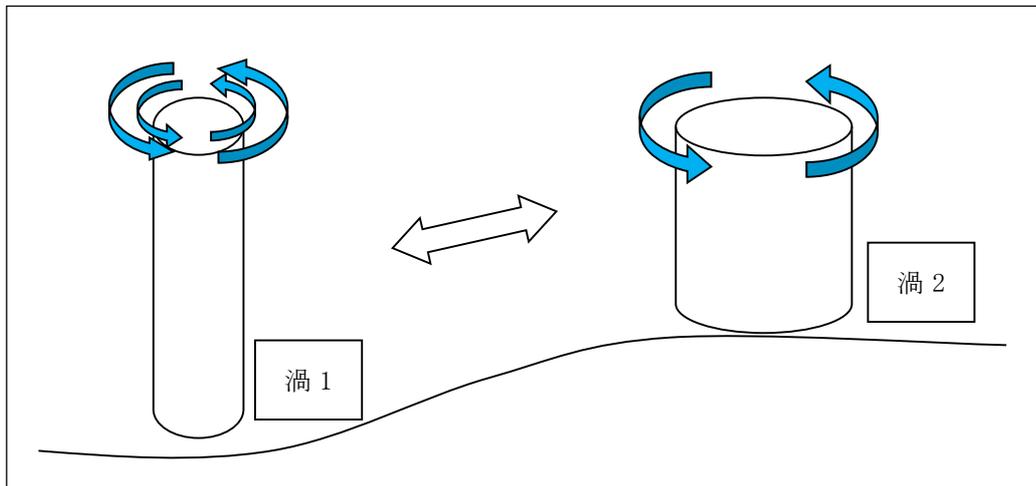
しかしながら、将来的な気候変動を完全に予測することは難しいため、最新のデータ、知見をもって気候変動の影響に注視し、竜巻検討地域や基準竜巻の最大風速は、必要に応じ見直しを実施していくものとする。

2.4 設計竜巻の最大風速 (V_D) の設定

2.4.1 地形効果による竜巻風速への影響【添付資料 6】

地形効果が竜巻強度に及ぼす影響に関する知見として、地形の起伏による影響について既往の研究において示されている。

竜巻のような回転する流れでは、角運動量保存則により「回転の中心からの距離」及び「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質がある。そのため、第 2.4.1-1 図に示すとおり竜巻の渦が上り斜面を移動する時（渦 1 から渦 2 へ移動する場合）、基本的に渦は弱まり、下り斜面を移動する時には強まると考えられる。

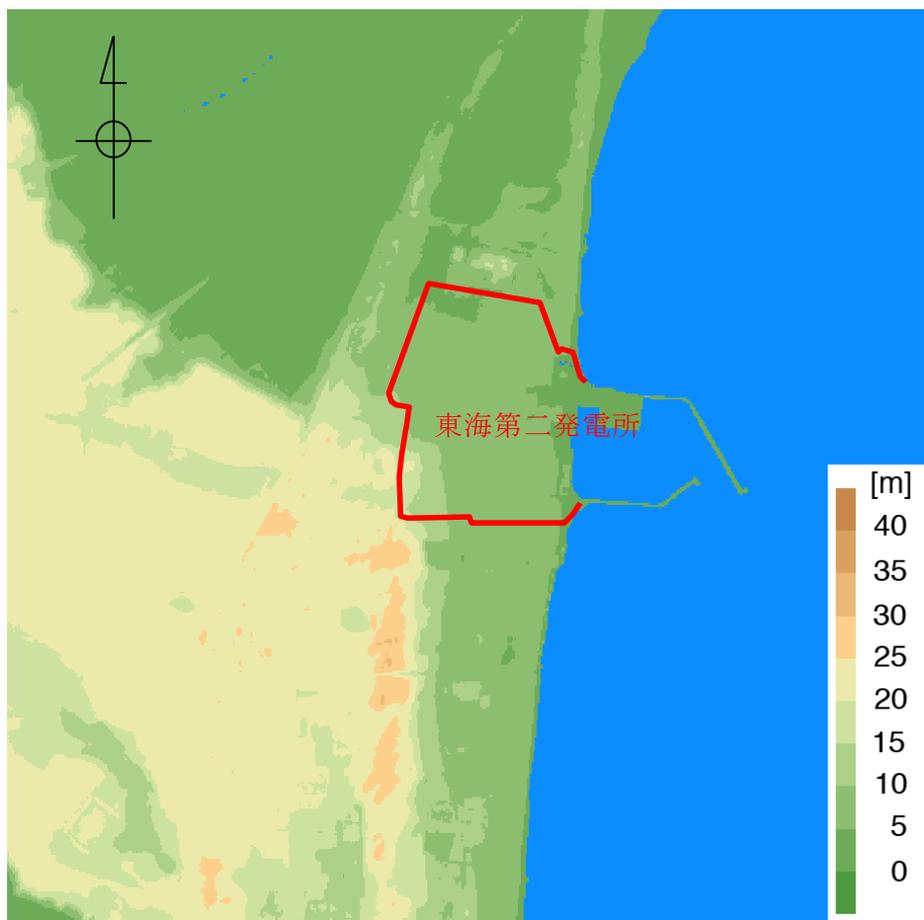


第 2.4.1-1 図 竜巻旋回流の地形影響に関する模式図

2.4.2 東海第二発電所敷地周辺における地形と竜巻風速への影響

東海第二発電所敷地周辺の地形を第 2.4.2-1 図に示す。敷地周辺は、最大でも標高 40 m 程度のなだらかな地形であり、竜巻渦の旋回強度に影響を及ぼすと考えられるマイクロスケール（数百 m）規模の起伏は認められないことから、地形効果による竜巻の増幅の可能性は低いと判断した。

なお、今後も地形増幅に関する新たな知見や情報（観測記録等も含む）の収集に取組み、必要な事項については適切に対応する。



第 2.4.2-1 図 東海第二発電所を中心とした東西 3km×南北 3km の地形標高
(国土地理院 5m メッシュ標高データに加筆)

2.4.3 設計竜巻の最大風速 (V_D)

設計竜巻の最大風速 V_D の設定においては、上述のとおり、東海第二発電所敷地周辺の地形効果の影響による竜巻の増幅を考慮する必要はないものと判断するが、現状では竜巻の観測数等のデータが十分とまでは言い切れず不確実性があることを考慮し、設計竜巻の最大風速 V_D は、基準竜巻の最大風速 92m/s を安全側に切り上げた 100m/s とする。

2.4.4 設計竜巻の特性値

設計竜巻の特性値は，原則として十分な信頼性を有した観測記録等に基づいて設定する必要があるが，現状では設定に足る十分な信頼性を有した観測記録等が無い場合，「竜巻影響評価ガイド」に示される方法に基づき，下記の5項目に従い設定する。その結果を第2.4.4-1表に示す。

- (1) 設計竜巻の移動速度 (V_T)

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

V_D (m/s) : 設計竜巻の最大風速

- (2) 設計竜巻の最大接線風速 (V_{Rm})

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

V_D (m/s) : 設計竜巻の最大風速

V_T (m/s) : 設計竜巻の移動速度

- (3) 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m)

$$R_m = 30 \text{ (m)}$$

- (4) 設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{max})

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

ρ : 空気密度 (1.22 (kg/m³))

V_{Rm} (m/s) : 設計竜巻の最大接線風速

- (5) 設計竜巻の最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{max}$)

$$(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max}$$

V_T (m/s) : 設計竜巻の移動速度

R_m (m) : 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径

第 2.4.4-1 表 設計竜巻の特性値

設計竜巻の 最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線 風速半径 R_m (m)	最大気圧 低下量 ΔP_{max} (hPa)	最大気圧 低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

<参考文献>

- (1) 井上博登, 福西史郎, 鈴木哲夫 (2013) : 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド (案) 及び解説, 独立行政法人原子力安全基盤機構, JNES-RE-2013-9009.
- (2) 気象庁 竜巻等の突風データベース
(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/index.html>)
- (3) 東京工芸大学 (2011) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構
- (4) Wen. Y. K and Chu. S. L. (1973) : Tornado risks and design wind speed, Proceedings of American Society of Civil Engineering, Journal of the Structural Division 99, 2409-2421
- (5) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C. A. (1975) : Tornado risk evaluation using wind speed profiles, Journal of the Structural. Division, Proceedings of American Society of Civil Engineering, pp. 1167-1171
- (6) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C. A. (1975) : “Tornado Design Winds Based on Risk,” Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 101, No. 9, pp. 1883-1897

3 竜巻影響評価

3.1 概要

竜巻影響評価の概要は以下のとおりとする。

- (1) 設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重）の設定
- (2) 東海第二発電所における設計飛来物の設定（調査含む）
- (3) 飛散防止対策
- (4) 考慮すべき設計荷重に対する評価対象施設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

3.2 評価対象施設

「1.2.2 竜巻影響評価の対象施設」に示したとおりとする。

3.3 設計荷重の設定

3.3.1 設計竜巻荷重の設定

設計竜巻の最大風速 V_D 等に基づき、「風圧力による荷重」, 「気圧差による荷重」及び「設計飛来物による衝撃荷重」を基に、以下のとおり設定する。

(1) 風圧力による荷重の設定

設計竜巻の水平方向の最大風速 V_D によって施設（屋根を含む）に作用する風圧力による荷重(W_w)は、「建築基準法施行令」, 「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」及び「建設省告示第1454号（平成12年5月31日）」に準拠し、下式により算定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

q : 設計用速度圧 ($= (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$)

ρ : 空気密度

G : ガスト影響係数 ($= 1.0$)

C : 風力係数

(施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根, 壁等）に応じて設定)

A : 施設の受圧面積

なお、鉛直方向の風圧力については以下のとおりとする。

- ・ 建屋, 構築物については, 底部や屋根スラブについては, 鉛直方向の風圧力の影響を受けると考えられる。庇については, 評価対象施設には存在しないが, 屋根スラブについては, 鉛直方向の風圧力に対する健全性の評価を行う。
- ・ 設備については, 鉛直方向の風圧力に対して特に脆弱と考えられる部位は評価対象施設の中に存在しないことから, 鉛直方向の風圧力の考慮は行わない。

(2) 気圧差による荷重の設定

設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設内外の気圧差による荷重 (W_p) は、最大気圧低下量 (ΔP_{max}) に基づき設定する。

a. 建屋，構築物

建屋については、気圧差による荷重が最も大きくなる「閉じた施設」を想定し、内外気圧差による圧力荷重 W_p を以下の式により設定する。

$$W_p = \Delta P_{max} \cdot A$$

ΔP_{max} : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

竜巻防護施設を内包する建屋，構築物について影響評価を実施し、当該施設が損傷のおそれがある場合には、安全機能維持への影響について確認する。

b. 設備（系統，機器）

設備（系統，機器）についても、上記と同様に W_p を設定する。

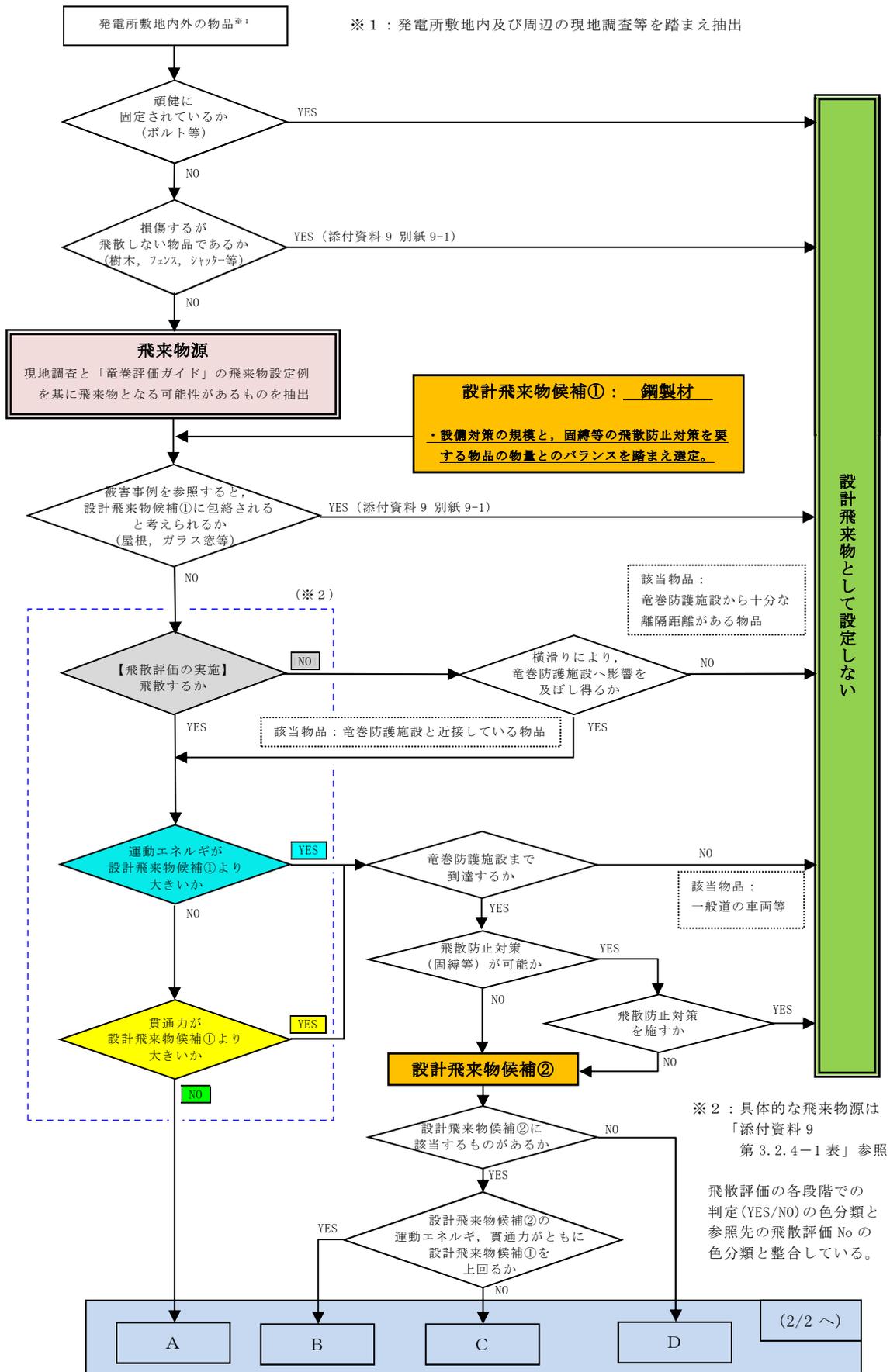
換気空調系のように外気と隔離されている区画の境界部等、気圧差による圧力影響を受ける設備について、気圧差により作用する応力が許容値以内であるか確認し、許容値を上回る場合には安全機能維持への影響について確認する。

(3) 設計飛来物による衝撃荷重の設定

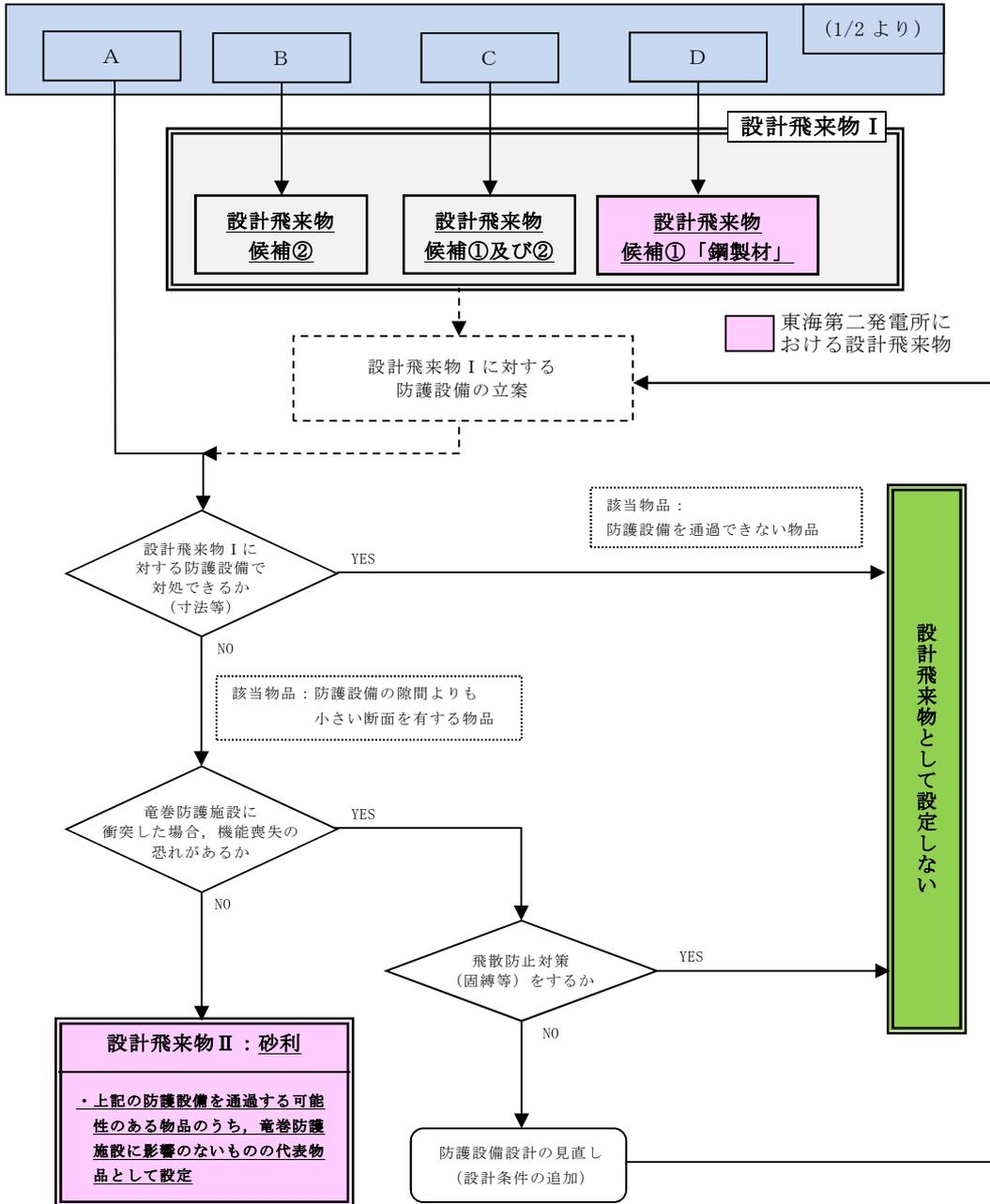
a. 東海第二発電所における設計飛来物の設定【添付資料 9】

東海第二発電所の竜巻影響評価における設計飛来物については、東海第二発電所における飛来物源の現地調査結果と、「竜巻影響評価ガイド」の解説表 4.1 に示されている設計飛来物の設定例を参照して設定する。

第 3.3.1-1 図に東海第二発電所における設計飛来物の設定フロー、第 3.3.1-1 表に、東海第二発電所における設計飛来物を示す。



第 3.3.1-1 図 設計飛来物の設定フロー(1/2)



第 3.3.1-1 図 設計飛来物の設定フロー (2/2)

第 3.3.1-1 表 東海第二発電所における設計飛来物

飛来物の種類	砂利	鋼製材
サイズ (m)	長さ×幅×高さ 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×高さ 4.2×0.3×0.2
質量 (kg)	0.18	135

(a) 評価に用いる設計竜巻の特性

評価に用いる設計竜巻の最大風速は 100m/s とする。

(第 2.4.4-2 表)

(b) 設計飛来物の設定

i) 現地調査

飛来物となり得る物品を確認するため、東海第二発電所の現地調査を実施した。調査範囲は、発電所の敷地のみならず、隣接する日本原子力研究開発機構の敷地や、東海第二発電所敷地近傍の墓地、宅地等も含んだ、原子炉建屋から半径 800m の範囲とした。後述の飛散評価の結果によれば、確認された物品の飛散距離は最大でも 400m 程度であることから、調査範囲は十分と考えられる。

ii) 設計飛来物となり得る飛来物源の抽出

現地調査で確認された物品の最大飛散距離は最大でも 400m 程度と評価されたことに加え、近隣施設内での現場調査による物品は東海第二発電所構内の物品に類似していた。したがって、東海第二発電所の設計飛来物の設定に際しては、東海第二発電所敷地内候補で認められた物品に「竜巻影響評価ガイド」の解説表 4.1 に例示された物品を加えたものを飛来物源として抽出した。

iii) 設計飛来物の設定

上記の飛来物源から、第 3.3.1-1 図のフローに従い、「竜巻影響評価ガイド」に例示されている鋼製材を設計飛来物として設定した。

さらに、鋼製材に対する防護対策として設置する防護ネットを通過し得る設計飛来物として、砂利を設定した。砂利のサイズはネットの網目のサイズを考慮して設定した。以降の設計飛来物とは、上記の鋼製材及び砂利の 2 つを示す。

(c) 設計飛来物以外の飛来物源に対する措置

i) 基本方針

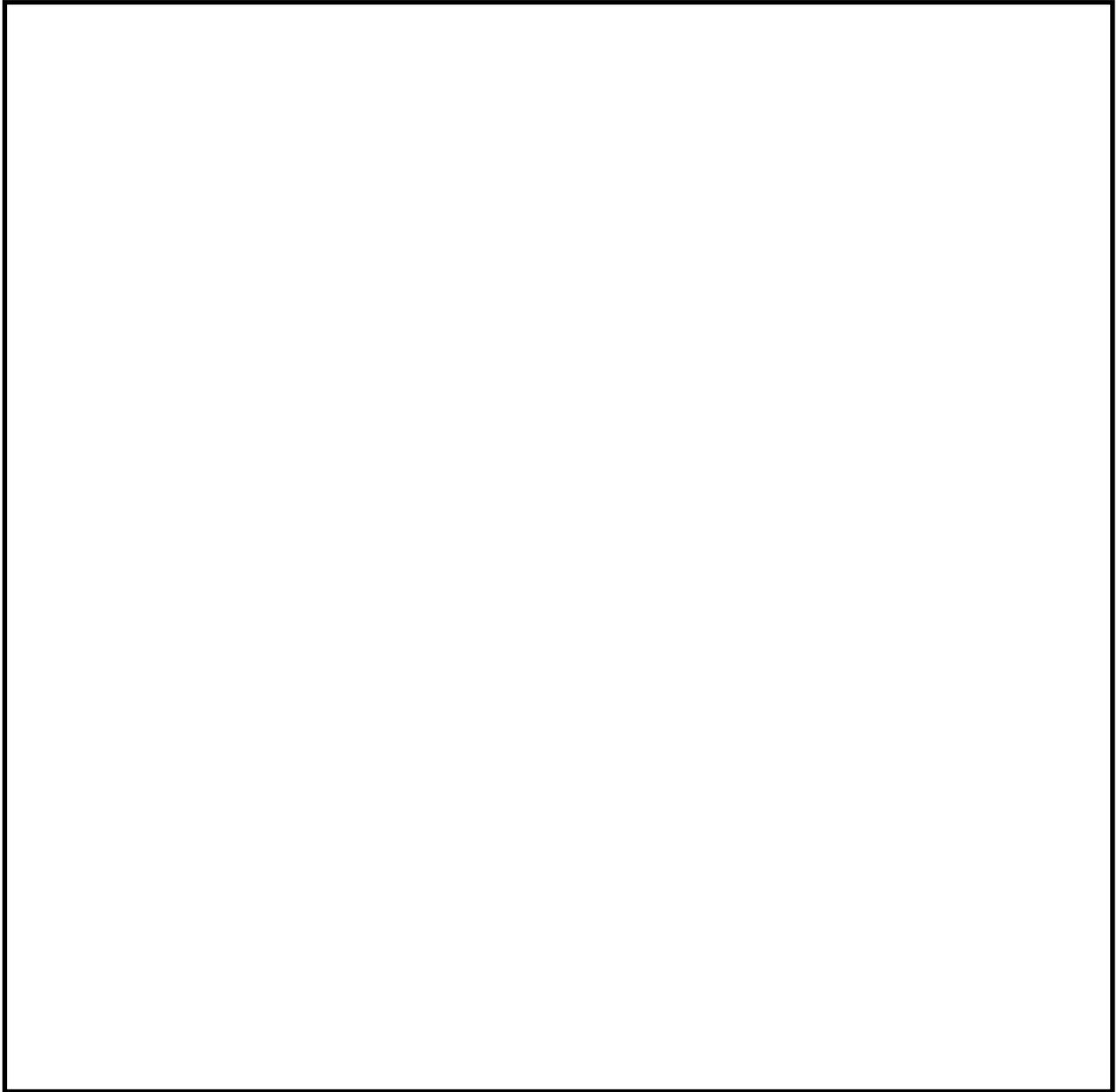
設計飛来物以外の飛来物源については、設計竜巻の最大風速 100 m/s における衝突時の運動エネルギー及び貫通力の大きさを、設計飛来物のうちこれらが最大となる鋼製材と比較し、鋼製材を上回る飛来物源（コンテナ等）については、飛散防止対策（固縛等）を施すか、竜巻防護施設等からの離隔及び頑健な建物内への移動等の運用により、設計飛来物による影響を上回らないものとする。

ii) 管理が困難な飛来物源の影響について

固縛等の管理が困難な飛来物源として、一般道を走行する車両及び近隣施設内の物品が想定されるが、上述のとおり、保守性を含めた解析によれば設計飛来物よりも影響の大きな飛来物源の飛散距離が最大 250m 程度であることを考慮すると、敷地外からの飛来物が到達する可能性を現実的に無視出来ないと考えられる防護対象施設は、使用済燃料乾式貯蔵建屋と、重大事故等対処設備の可搬型設備及び常設代替高圧電源装置が挙げられる。

使用済燃料乾式貯蔵建屋については、もっとも近い一般道である国道 245 号線とは十分な離隔を有しており、車両が衝突することは考え難い。また建屋の壁は十分な厚さのある鉄筋コンクリートであり、その他の飛来物の衝突荷重に対しては相当の耐力を有していることから、敷地外からの飛来物により建屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器に悪影響を及ぼす可能性は低いと判断している。

また、重大事故等対処設備に関しては、設計基準事故対処設備を含めて分散配置することで飛来物に対する残存性を確保する設計としており、敷地外からの飛来物に対しても同様に残存性を期待できるもの



第 3.3.1-2 図 管理が困難な飛来物源の影響範囲の一例

と判断している。(第 3.3.1-2 図参照)

iii) 東海発電所廃止措置に伴い生じ得る飛来物源への対応

東海第二発電所に隣接する東海発電所においては廃止措置関連作業が実施されている。施設の解体作業等に関連してどのような飛来物源が生じ得るかを現時点で正確に特定することは困難であるが、以下のとおり東海第二発電所への悪影響は回避可能と判断している。

- ・飛来物源の現地調査においては、東海発電所の敷地も対象としており、資機材や設備の種類や形状に関しては、東海第二発電所の資機材等との大きな違いは無いことを確認している。従って、作業用資機材や取り外しが完了した物品については、固縛、離隔、収納等、一般の飛来物源と同様の措置が可能。
- ・取外し前の施設の据付状況についても、東海第二発電所の施設の状態と有意な差はないと考えられる。東海第二発電所の防護対象施設は風荷重に対し十分に余裕があることを参照すれば、これらが竜巻により基礎等から引き剥がされ、飛来物化することは考え難い。
- ・廃止措置特有の状況として考えられるケースとしては、解体、撤去の途中の状態が一定期間継続すると想定される場合（例：大規模設備や建屋壁面の解体）が考えられるが、このケースに対しても、作業の計画段階及び実施段階で、適宜風荷重に対し脆弱な形状が生じていないかを確認し、想定される脱落片（飛来物）が設計飛来物を超える影響を有する恐れが認められた場合でも、そのような状況に至らない様な工法の工夫や、作業中であれば早急な除去や仮補強等の対応を行うことは可能であり、悪影響のある飛来物の発生を防止出来ない状況は生じないと考えられる。

b. 設計飛来物の速度の設定

設計竜巻による設計飛来物の最大水平速度 (MV_{Hmax}) 及び最大鉛直速度 (MV_{Vmax}) は、衝撃荷重による影響を保守的に評価するため、「竜巻影響評価ガイド」の解説表 4.1 に示されるものと同じ値とし、第 3.3.1-2 表のとおりとする。

ただし、「竜巻影響評価ガイド」に記載のない設計飛来物である砂利の速度については、文献⁽¹⁾⁽²⁾を参考にして、ランキン渦を仮定した風速場の中での速度を算出した。

第 3.3.1-2 表 東海第二発電所における設計飛来物の速度

飛来物の種類	砂利	鋼製材
サイズ (m)	長さ×幅×高さ 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×高さ 4.2×0.3×0.2
質量 (kg)	0.18	135
最大水平速度 (m/s)	62	51
最大鉛直速度 (m/s)	42	34

c. 設計飛来物の衝撃荷重の設定

設計竜巻の最大風速 100m/s による設計飛来物の衝撃荷重は、砂利と比べ運動エネルギーが大きくなる鋼製材の衝突方向及び衝突面積を考慮し、鋼製材が評価対象施設に衝突した場合の影響が大きくなる衝突方向で算出する。

鋼製材の最大速度は第 3.3.1-2 表のとおりであり、静的な構造評価を実施する場合の衝撃荷重は、重量分布を均一な直方体として、Riera の方法⁽³⁾を踏まえた下式にて算出した。

$$W_w = F_{MAX} = MV^2 / L_{MIN}$$

M：飛来物の質量

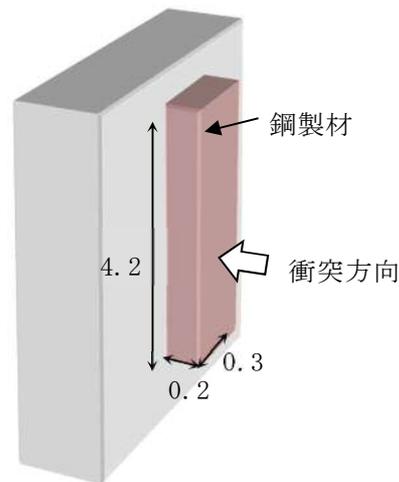
V：飛来物の衝突速度

L_{MIN}：飛来物の衝突方向長さ

この場合、衝撃荷重が最大となるのは第 3.3.1-3 図に示す向きの衝突

(荷重：1760kN)となるが，評価においては，対象部位の構造を考慮した上で衝突姿勢を決定し，上記式の考え方にに基づき，その都度衝撃荷重を算出する。

なお，有限要素法による飛来物衝突評価を行う場合には，衝撃荷重は計算の中で自動的に求められる。



第 3.3.1-3 図 最大衝撃荷重となる鋼製材衝突方向 (Riera の方法⁽³⁾)

d. 設計竜巻荷重の組み合わせ

評価対象施設の評価に用いる設計竜巻荷重は，設計竜巻による風圧力による荷重 (W_w) ，気圧差による荷重 (W_p) ，及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) を組み合わせた複合荷重とし，以下の式による。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5W_p + W_M$$

W_{T1} ， W_{T2} ：設計竜巻による複合荷重

W_w ：設計竜巻の風圧力による荷重

W_p ：設計竜巻の気圧差による荷重

W_M ：設計飛来物による衝撃荷重

なお、評価対象施設には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。

3.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおりとする。

(1) 評価対象施設に常時作用する荷重，運転時荷重等

評価対象施設に常時作用する荷重（自重，死荷重及び活荷重）及び運転時荷重を適切に組み合わせる。

(2) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は積乱雲や積雲に伴って発生する現象であり⁽⁴⁾，積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は，雷，雪，雹及び大雨である。これらの自然現象の組み合わせにより発生する荷重は，以下のとおり設計竜巻荷重に包絡される。

なお，竜巻と同時に発生する自然現象については，今後も継続的に新たな知見等の収集に取り組み，必要な事項については適切に反映を行う。

a. 雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても，雷によるプラントへの影響は雷撃であるため，雷による荷重は発生しない。

b. 雪

上昇流の竜巻本体周辺では，竜巻通過時に雪は降らない。また，下降流の竜巻通過時は，竜巻通過前に積もった雪の大部分は竜巻の風により吹き飛ばされ，雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

c. 雹

雹は積乱雲から降る直径 5mm 以上の氷の粒⁽⁵⁾であり，仮に直径 10cm 程度の大型の雹を想定した場合でも，その重量は約 0.5kg である。直径

10cm 程度の雹の終端速度は $59\text{m/s}^{(6)}$ 、運動エネルギーは約 0.9kJ であり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、雹の衝突荷重は設計竜巻荷重に包絡される。【添付資料 10】

d. 大雨

竜巻と大雨が同時に発生する場合においても、雨水により屋外施設に荷重の影響を与えることはなく、また降雨による荷重は十分小さいため、設計竜巻荷重に包絡される。

(3) 設計基準事故時荷重

設計竜巻は設計基準事故の起因とはならないため、設計竜巻と設計基準事故は独立事象となる。

設計竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいことから、設計基準事故時荷重と設計竜巻との組み合わせは考慮しない。

仮に、風速が低く発生頻度が高い竜巻と設計基準事故が同時に発生する場合、竜巻防護施設等のうち設計基準事故時荷重が生じる設備としては動的機器である残留熱除去系海水系ポンプ等が考えられるが、設計基準事故時においても残留熱除去系海水系ポンプ等の圧力、温度が変わらず、機械的荷重が変化することはないため、設計基準事故により考慮すべき荷重はなく、竜巻と設計基準事故時荷重の組み合わせは考慮しない。

3.4 評価対象施設の設計方針

評価対象施設については、設計荷重に対してその構造健全性を維持され、評価対象施設以外の設備については、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に修復すること等の対応が可能な設計とすることにより、竜巻防護施設の安全機能を損なうこ

とのない設計とする。

3.4.1 許容限界

建屋，構築物の設計において，設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離発生の有無の評価については，貫通及び裏面剥離が発生する部材厚（貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さ）と部材の最小厚さを比較することにより行う。さらに，設計荷重により，発生する変形又は応力が以下の法令，規格，基準，指針類等に準拠し算定した許容限界を下回る設計とする。

- ・ 建築基準法
- ・ 日本工業規格
- ・ 日本建築学会及び土木学会等の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1987（日本電気協会）
- ・ 原子力エネルギー協会（N E I）の基準・指針類等

系統及び機器の設計において，設計飛来物の衝突による貫通の有無の評価については，貫通が発生する部材厚（貫通限界厚さ）と部材の最小厚さを比較することにより行う。設計飛来物が貫通することを考慮する場合には，設計荷重に対して防護対策を考慮した上で，系統及び機器に発生する応力が以下の規格，基準及び指針類に準拠し算定した許容応力度等に基づく許容限界を下回る設計とする。

- ・ 日本工業規格
- ・ 日本機械学会の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1987（日本電気協会）

等

3.4.2 設計方針

(1) 屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設も含む。）

設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて施設の補強、防護ネットの設置等の防護対策を講じる方針とする。

なお、屋内に配置される施設のうち、外殻となる施設等の防護機能が期待できる施設の内部に配置される施設は、その防護機能により設計荷重に対して安全機能を損なうことのない方針とする。

a. ディーゼル発電機吸気フィルタ

ディーゼル発電機吸気フィルタは、設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても、閉塞することがなく、吸気機能が維持される設計とする。また、風圧力による荷重及び気圧差による荷重、ディーゼル発電機吸気フィルタに常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

b. ディーゼル発電機室ルーフトファン

ディーゼル発電機室ルーフトファンは、防護ネットの設置等の飛来物防護対策を行うことを考慮すると、設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。したがって、風圧力による荷重、気圧差による荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

c. 中央制御室換気系冷凍機

中央制御室換気系冷凍機は、防護ネットの設置等の飛来物防護対策を行うことを考慮すると、設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。したがって、風圧力による荷重、気圧差による荷重、中央制御室換気系冷凍機に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

d. 海水ポンプ室内設備

海水ポンプ室内設備は、防護ネットの設置等の飛来物防護対策を行うことを考慮すると、設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。したがって、風圧力による荷重、気圧差による荷重、海水ポンプ室内設備に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

e. 非常用ガス処理系排気配管

非常用ガス処理系排気配管は、設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても、閉塞することはない、安全機能を損なうことのない設計とする。なお、非常用ガス処理系排気配管は開かれた構造物であることから気圧差荷重は作用しない。したがって、風圧力による荷重及び非常用ガス処理系排気配管に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

f. 排気筒

排気筒は、設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても、閉塞することはない、安全機能を損なうことのない設計とする。なお、排気筒は開かれた構造物であることから気圧差荷重は作用しない。したがって、風圧力による荷重及び排気筒に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

また、排気筒の支持機能に対しては設計飛来物の衝突により部材が損傷した場合においても、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

g. 原子炉建屋, タービン建屋, 使用済燃料乾式貯蔵建屋

原子炉建屋, タービン建屋, 使用済燃料乾式貯蔵建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対して、構

造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁、開口部（扉類）の破損により当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

なお、原子炉建屋原子炉棟外壁のブローアウトパネルについては、設計竜巻による気圧低下により開放する可能性があり、原子炉建屋原子炉棟の放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼし得るが、設計竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいことから、安全上支障のない期間に補修が可能な設計とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

h. 軽油貯蔵タンクタンク室

軽油貯蔵タンクタンク室は地下埋設されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。したがって、気圧差による荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

(2) 屋内の施設で外気と繋がっている施設

設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて施設の補強、防護ネットの設置等の防護対策を講じる方針とする。

a. 中央制御室換気系隔離弁，ファン

中央制御室換気系隔離弁，ファンは、建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重は作用しない。さらに、中央制御室換気系の取入口等の建屋開口部には防護ネットの設置等の飛来物防護対策を行うことを考慮すると、設計飛来物による衝撃荷重も作用しない。したがって、気圧差による荷重，中央制御室換気系に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

b. ディーゼル発電機室換気系ダクト

ディーゼル発電機室換気系ダクトは、建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝突荷重は作用しない。したがって、気圧差による荷重、ディーゼル発電機室換気系に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

c. 原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト

原子炉建屋換気系隔離弁，ダクトは、設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても、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。また、建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重は作用しない。したがって、気圧差による荷重、原子炉建屋換気系に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

(3) 外殻となる施設（建屋，構築物）による防護機能が期待できない施設

設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて施設の補強等の防護対策を講じる方針とする。

a. 中央制御室換気系ファン

中央制御室換気系ファンは、設計飛来物の衝突により、原子炉建屋附属棟4階壁面の貫通が発生することを考慮し、建屋壁面の補強等の防護対策を行うことにより、中央制御室換気系ファンの安全機能を損なわない設計とする。

b. 非常用電源盤

非常用電源盤は、設計飛来物の衝突により、原子炉建屋附属棟1階電気室扉の貫通が発生することを考慮し、電気室扉の補強等の防護対策を行うことにより、非常用電源盤の安全機能を損なわない設計とする。

c. 非常用ガス処理系設備，非常用ガス再循環系設備

非常用ガス処理系設備，非常用ガス再循環系設備は，竜巻襲来による気圧差により，原子炉建屋のブローアウトパネルが開放されるが，ブローアウトパネルの配置高さを考慮すると，設計飛来物は到達せず，設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。したがって，設計竜巻荷重に対し，安全機能を損なわない。

d. 使用済燃料プール，燃料プール冷却浄化系真空破壊弁

使用済燃料プール，燃料プール冷却浄化系真空破壊弁は，竜巻襲来による気圧差により，原子炉建屋のブローアウトパネルが開放されるが，ブローアウトパネルの配置高さを考慮すると，設計飛来物は到達せず，設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。したがって，設計竜巻荷重に対し，安全機能を損なわない。

e. 使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器は，使用済燃料乾式貯蔵建屋に内包されていることを考慮すると，風圧力による荷重及び気圧差荷重は作用しない。建屋上部からの開口から設計飛来物による衝突が考えられるため，衝撃荷重に対して，使用済燃料乾式貯蔵容器の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

(4) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

設計荷重に対する当該施設の健全性評価を行い，必要に応じて施設の補強等の防護対策を講じる方針とする。

a. サービス建屋

サービス建屋は，風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物による衝突荷重に対して，倒壊により竜巻防護施設を内包する施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

b. 海水ポンプ室

海水ポンプ室は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝突荷重に対して、壁面の補強等を行うことで倒壊により、竜巻防護施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

c. 鋼製防護壁

鋼製防護壁は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝突荷重に対して、倒壊により、竜巻防護施設を内包する施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

d. 排気筒

排気筒は、竜巻防護施設として構造健全性が維持される設計とすることにより、竜巻防護施設を内包する施設へ波及的影響を及ぼさない。

e. ディーゼル発電機排気消音器

ディーゼル発電機排気消音器は、設計飛来物が衝突により貫通して損傷することを考慮しても、ディーゼル発電機排気消音器が閉塞することがなく、ディーゼル発電機等の排気機能を損なわない設計とする。また、ディーゼル発電機排気消音器が風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とする。

f. ディーゼル発電機附属設備配管

ディーゼル発電機附属設備配管は、設計飛来物が衝突により貫通して損傷することを考慮しても、ディーゼル発電機附属設備配管が閉塞することがなく、ディーゼル発電機の排気機能等を損なわない設計とする。また、ディーゼル発電機附属設備配管が風圧力による荷重、気圧差による荷重、ディーゼル発電機附属設備配管に常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とする。

g. 海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）

海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）は、設計飛来物が衝突により貫通して損傷することを考慮しても、海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）が閉塞することがなく、海水ポンプ室内設備の機能等を損なわない設計とする。また、海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）が風圧力による荷重、気圧差による荷重、海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）に常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とする。

3.5 竜巻随件事象に対する評価

竜巻随件事象として、過去の竜巻被害事例及び東海第二発電所の施設の配置から想定される以下の事象を抽出し、竜巻防護施設の安全機能を損なうことのないことを確認した。【添付資料 11】

(1) 火災

竜巻随件事象として、竜巻による飛来物が建屋開口部付近の発火性又は引火性物質を内包する機器、屋外の危険物タンク等に飛来物が衝突する場合の火災が想定される。

建屋内については、竜巻防護施設を設置している区画の開口部には防護ネット設置等の飛来物防護対策を行うことを考慮すると設計飛来物が到達することはない。仮に、設計飛来物が到達する場合でも、飛来物衝突位置となる開口部付近に、原子炉施設の安全機能を損なう可能性を有する発火性又は引火性物質を内包する機器が配置されていないことから、建屋内の竜巻防護施設の安全機能を損なうことはないことを確認している。

建屋外については、設計竜巻による発電所敷地内の危険物タンクの火災があり、外部火災評価における発電所敷地内の危険物タンクの火災影響評

価と同様であり、竜巻防護施設の安全機能を損なうことのないことを確認している。なお、建屋外の火災については、竜巻通過後、速やかに消火活動を行う運用により対応する。

以上により、竜巻による火災により竜巻防護施設の安全機能を損なうことはない。

(2) 溢水

竜巻随件事象として、竜巻による飛来物が建屋開口部付近の溢水源に衝突する場合、屋外タンクに飛来物が衝突する場合の溢水が想定される。

建屋内については、竜巻防護施設を設置している区画の開口部には防護ネット設置等の飛来物防護対策を行うことを考慮すると設計飛来物が到達することはない。仮に、設計飛来物が到達する場合でも、飛来物衝突位置となる開口部付近に、原子炉施設の安全機能を損なう可能性を有する溢水源が配置されていないことから、建屋内の竜巻防護施設の安全機能を損なうことはないことを確認している。

建屋外については、溢水評価における屋外タンクの評価に包絡されるため、竜巻防護施設の安全機能を損なうことはないことを確認している。

以上により、竜巻による溢水により竜巻防護施設の安全機能を損なうことはない。

(3) 外部電源喪失

設計竜巻と同時に発生する雷等により外部電源が喪失した場合でも、非常用ディーゼル発電機は原子炉建屋内に収納しており、外殻機能が期待できることから、設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝突荷重による機関への影響はないため、竜巻による外部電源喪失により、竜巻防護施設の安全機能を損なうことはない。

なお、非常用ディーゼル発電機の附属設備について、安全機能を損なう

ことがないことを以下のとおり確認している。

- ・吸排気については外気と繋がっているが、竜巻襲来時の短時間での圧力差による影響はない。
- ・排気消音器出口に風圧力による荷重が作用して消音器内に大気が逆流した場合において、排気が阻害され系統内が閉塞気味になり、排気系統内が閉塞気味になり、排気ガス温度が徐々に上昇し、許容限界温度（通常運転時の約 420℃を大幅に超える温度）となり出力制限となることが予想されるが、竜巻は長期間停滞することなく数秒～10 数秒のオーダーで通過するため、この程度であれば排気ガス温度の急激な上昇はなくディーゼル発電機運転に支障をきたすことはない。

<参考文献>

- (1) 東京工芸大学 (2011) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構
- (2) E.Simiu and M.Cordes, NBSIR76-1050. Tornado-Borne Missile Speeds, 1976
- (3) J.D.Riera, "A Critical Reappraisal of Nuclear Power Plant safety against Accidental Aircraft Impact", Nuclear Engineering and Design 57, (1980)
- (4) 雷雨とメソ気象 大野久雄, 東京堂出版
- (5) 気象庁ホームページ
(http://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownow/yougo_hp/kousui.html)
- (6) 一般気象学 小倉義光, 東京大学出版会

添付資料 目次

1. 竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出について
2. 耐震Sクラス施設について
3. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出について
4. 竜巻検討地域の設定について
5. 竜巻最大風速のハザード計算について
 - 別紙 5-1 海上のFスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について
 - 別紙 5-2 竜巻発生数の確率分布（ポアソン，ポリヤ分布）がハザード結果に及ぼす影響について
6. 地形効果による竜巻の増幅の可能性について
7. 竜巻影響評価の概要及び保守性について
8. 竜巻影響評価及び竜巻防護対策の概要
 - 別紙 8-1 評価対象施設の設計荷重について
 - 別紙 8-2 竜巻防護対策のうち飛散防止対策の概要について
9. 設計飛来物の設定について
 - 別紙 9-1 分解され小型軽量となる物品及び倒壊するが飛来物とならない物品について
 - 別紙 9-2 空力パラメータについて
10. 竜巻時に発生する雹の影響について
11. 竜巻随件事象の抽出について

竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出について

1. 抽出方針

東海第二発電所における竜巻防護施設から、以下の手順により、評価対象施設を抽出した。

Step1: 竜巻防護施設として抽出された設備の設置場所を確認し、竜巻襲来時に風圧、気圧差及び設計飛来物衝突の影響を受ける屋外施設（当該施設を内包する施設含む）を評価対象とする。

Step2: 屋内施設であるが外気と繋がっているため、竜巻襲来時に気圧差の影響を受ける施設を評価対象とする。

Step3: 外殻となる（竜巻防護施設を内包する）施設（建屋、構築物）による防護機能が期待できない施設（の区画）の内部に配置されているため、竜巻襲来時に風圧、気圧差及び設計飛来物衝突の影響を受ける施設を評価対象とする。

なお、外殻による防護機能に期待できるかは、外殻となる施設（建屋、構築物）の竜巻荷重に対する構造健全性の確認結果により、評価する。

2. 抽出結果

2.1 竜巻防護施設を内包する施設

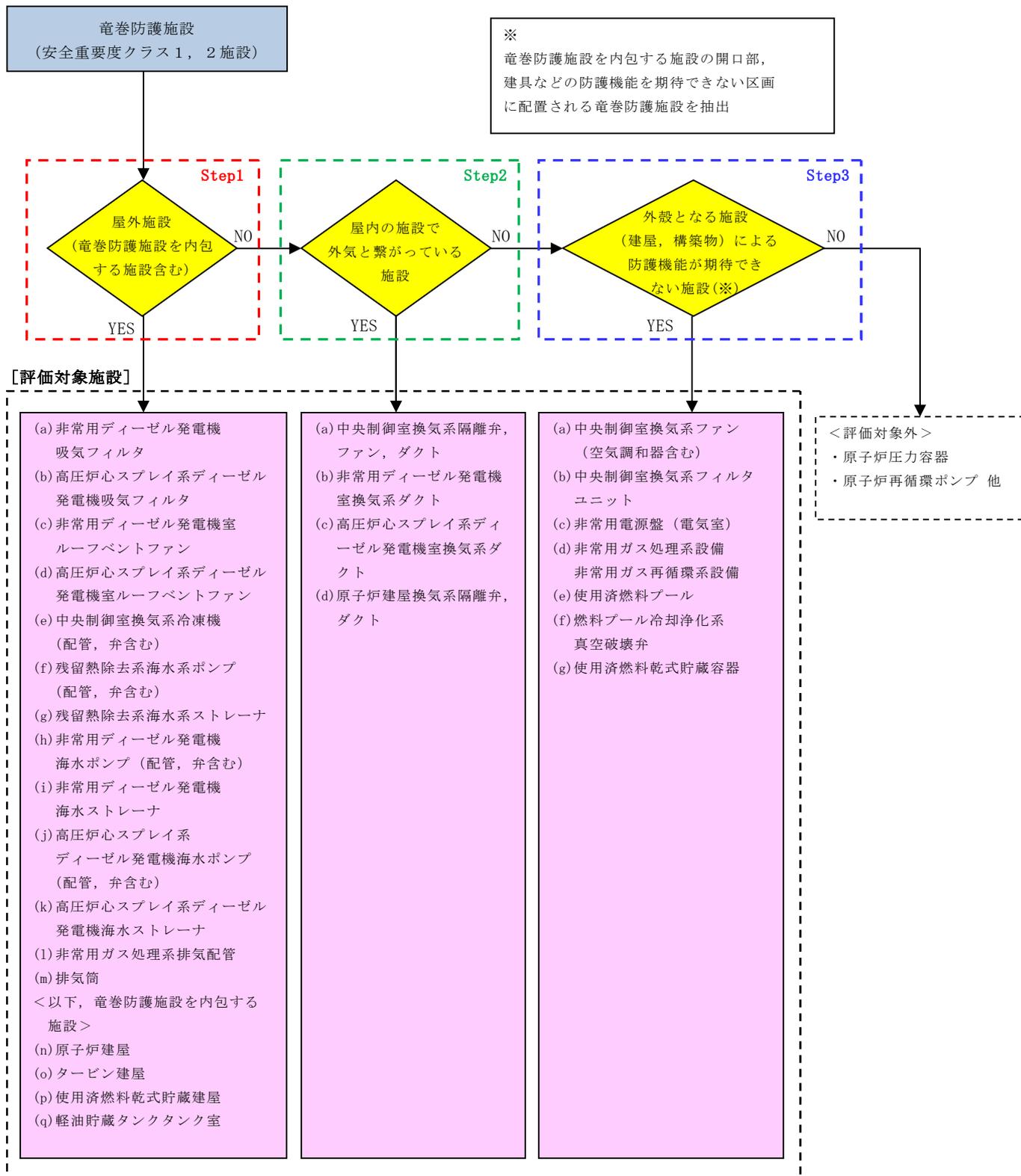
竜巻防護施設を内包する施設を以下のとおり抽出した。

- (1) 原子炉建屋（原子炉圧力容器，原子炉再循環ポンプ等を内包）
- (2) タービン建屋（気体廃棄物処理系隔離弁等を内包）
- (3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋（使用済燃料乾式貯蔵容器を内包）
- (4) 軽油貯蔵タンクタンク室（軽油貯蔵タンクを内包）

2.2 竜巻防護施設

第 2.2-1 図に，竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フローを示し，その結果を第 2.2-1 表に示す。

なお，安全重要度クラス 3 に属する施設については，竜巻及びその随伴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，必要によりプラントを停止し，安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な設計とすることにより，安全機能を損なわないことから評価対象から除外する。確認結果を第 2.2-2 表に示す。



第 2.2-1 図 竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フロー

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（1/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
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。)	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉圧力容器 原子炉再循環ポンプ 配管, 弁 隔離弁 制御棒駆動機構ハウジング 中性子束計装管ハウジング 	×	×	原子炉建屋	×	×	-
		2) 過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	<ul style="list-style-type: none"> 制御棒カップリング 制御棒駆動機構カップリング 	×	×	原子炉建屋	×	×	-
		3) 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。)	<ul style="list-style-type: none"> 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 燃料支持金具 制御棒案内管 制御棒駆動機構ハウジング 燃料集合体の下記部分 〔上部タイプレート〕 〔下部タイプレート〕 燃料集合体 (スペーサ) 	×	×	原子炉建屋	×	×	-

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（2/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し, 残留熱を除去し, 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し, 敷地周辺公衆への過度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))	<ul style="list-style-type: none"> 制御棒 制御棒案内管 制御棒駆動機構 	×	×	原子炉建屋	×	×	-
		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)	<ul style="list-style-type: none"> 制御棒 制御棒カップリング 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, 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) 	×	×	原子炉建屋	×	×	-
		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)	<ul style="list-style-type: none"> 逃がし安全弁 (安全弁開機能) 	×	×	原子炉建屋	×	×	-

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（3/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し, 残留熱を除去し, 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し, 敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物, 系統及び機器	4) 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)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				・原子炉隔離時冷却系 (ポンプ, サプレッション・プール, タービン, サプレッション・プールから注水先までの配管, 弁)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				・高圧炉心スプレイ系 (ポンプ, サプレッション・プール, サプレッション・プールからスプレイ先までの配管, 弁, スプレイヘッド)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				・逃がし安全弁 (手動逃がし機能)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				・自動減圧系 (手動逃がし機能)	×	×	原子炉建屋	×	×	—

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（4/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し, 残留熱を除去し, 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し, 敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物, 系統及び機器	5) 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, サプレッション・プール, サプレッション・プールからスプレィ先までの配管, 弁, スプレィヘッド)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				・残留熱除去系 (低圧注水モード) (ポンプ, サプレッション・プール, サプレッション・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)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				・高圧炉心スプレィ系 (ポンプ, サプレッション・プール, サプレッション・プールからスプレィ先までの配管, 弁, スプレィヘッド)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				・自動減圧系 (逃がし安全弁)	×	×	原子炉建屋	×	×	—

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（5/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し, 残留熱を除去し, 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し, 敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物, 系統及び機器	6) 放射性物質の閉じ込め機能, 放射線の遮へい及び放出低減機能	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	・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)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				・原子炉建屋原子炉棟	○	×	—	—	○	・原子炉建屋
				・格納容器隔離弁及び格納容器バウンダリ配管	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				・主蒸気流量制限器	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				・残留熱除去系 (格納容器スプレイ冷却モード) (ポンプ, 熱交換器, サプレッション・プール, サプレッション・プールからスプレイ先 (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, スプレイヘッド (ドライウエル及びサブプレッション・プール))	×	×	原子炉建屋	×	×	—

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（6/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し, 残留熱を除去し, 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し, 敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物, 系統及び機器	6) 放射性物質の閉じ込め機能, 放射線の遮へい及び放出低減機能	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	・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)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
					○	×	—	—	○	・非常用ガス処理系排気配管 ・排気筒
					×	○	原子炉建屋	×	○	・原子炉建屋換気系隔離弁, ダクト
					×	×	原子炉建屋	○	○	・非常用ガス処理系設備 ・非常用ガス再循環系設備

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（7/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し, 残留熱を除去し, 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し, 敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物, 系統及び機器	6) 放射性物質の閉じ込め機能, 放射線の遮へい及び放出低減機能	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	・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)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				・遮へい設備 (原子炉遮へい壁, 一次遮へい壁, 二次遮へい壁)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
	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への作動信号の発生機能	安全保護系	・原子炉緊急停止の安全保護回路	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				・非常用炉心冷却系作動の安全保護回路 ・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	×	×	原子炉建屋	×	×	—

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（8/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
MS-1	2)安全上必要なその他の構築物, 系統及び機器	2)安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系, 制御室及びその遮へい・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)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
							軽油貯蔵タンクタンク室	×	×	—
					○	×	—	—	○	・非常用ディーゼル発電機 吸気フィルタ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 吸気フィルタ ・非常用ディーゼル発電機室 ルーフバントファン ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室 ルーフバントファン

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（9/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
MS-1	2)安全上必要なその他の構築物, 系統及び機器	2)安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系, 制御室及びその遮へい・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)	×	○	原子炉建屋	×	○	・非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト
				・中央制御室及び中央制御室遮へい	○	×	-	-	○※1	・原子炉建屋
				・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)	×	×	原子炉建屋	×	×	-
					○	×	-	-	○	・中央制御室換気系冷凍機 (配管, 弁含む)
					×	○	原子炉建屋	×	○	・中央制御室換気系隔離弁, ファン, ダクト
					×	×	原子炉建屋		○	○

※1 : 原子炉建屋としての評価に包絡される。

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（10/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果		
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称	
MS-1	2)安全上必要なその他の構築物, 系統及び機器	2)安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系, 制御室及びその遮へい・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)	・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))	×	×	原子炉建屋	×	×	—	
					○	×	—	—	○	・残留熱除去系海水系ポンプ (配管, 弁含む) ・残留熱除去系海水系ストレーナ	
					×	×	原子炉建屋	×	×	×	・取水路 (屋外トレンチ含む)
				・ディーゼル発電機海水系 (ポンプ, 配管, 弁, ストレーナ)	×	×	原子炉建屋	×	×	×	—
				○	×	—	—	○	・非常用ディーゼル発電機海水ポンプ (配管, 弁含む) ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ポンプ (配管, 弁含む)		

※2 : 竜巻の影響により取水路が閉塞することは考え難いため, 評価対象としない。

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（11/16）

○：Yes ×：No -：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果		
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設	屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（建屋，構築物）	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称	
MS-1	2)安全上必要なその他の構築物，系統及び機器	2)安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系，制御室及びその遮へい・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）	・ディーゼル発電機海水系（ポンプ，配管，弁，ストレーナ） (続き)	○	×	-	-		・非常用ディーゼル発電機海水ストレーナ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ストレーナ	
										×	・取水路（屋外トレンチ含む）
				・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））	×	×	原子炉建屋	×	×	-	
				・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））	×	×	原子炉建屋	×	×	・非常用電源盤（電気室）	

※2：竜巻の影響により取水路が閉塞することは考え難いため，評価対象としない。

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（12/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
PS-2	1) その損傷又は故障により発生する事象によって, 炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが, 敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物, 系統及び機器	1) 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)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				• 主蒸気系	×	×	原子炉建屋 タービン建屋	×	×	—
				• 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)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
		2) 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 (活性炭式希ガスホールドアップ装置)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				• 使用済燃料プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む)	×	×	原子炉建屋	○	○	• 使用済燃料プール
				• 新燃料貯蔵庫 (臨界防止する機能) (新燃料貯蔵ラック)	×	×	原子炉建屋	×	×	—

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（13/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
PS-2	1) その損傷又は故障により発生する事象によって, 炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが, 敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物, 系統及び機器	2) 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。)	・使用済燃料乾式貯蔵容器	×	×	使用済燃料乾式貯蔵建屋	○	○	・使用済燃料乾式貯蔵容器
		3) 燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備	・燃料交換機 ・原子炉建屋クレーン	×	×	原子炉建屋	○	× ※3	—
				・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	×	×	使用済燃料乾式貯蔵建屋	○	× ※3	—
	2) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって, その故障により, 炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物, 系統及び機器	1) 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)	×	×	原子炉建屋	×	×	—

※3: 竜巻襲来時が予想される場合には, 燃料取扱作業の中止措置を行う運用とすることから, 評価対象施設としない。

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（14/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
MS-2	1) P S - 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にする構築物, 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 (ポンプ, サプレッション・プール, サプレッション・プールから燃料プールまでの配管, 弁)	×	×	原子炉建屋	×	×	—
		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筒の支持機能以外)	・放射性気体廃棄物処理系 (オフガス) 隔離弁	×	×	タービン建屋	×	×	—
				・排気筒	○	×	—	—	○	・排気筒
				・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	○	○	・燃料プール冷却浄化系真空破壊弁
			燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系	・原子炉建屋原子炉棟	○	×	—	—	○	・原子炉建屋
				・原子炉建屋ガス処理系	×	×	原子炉建屋	×	×	—
		○	×		—	—	○	・非常用ガス処理系排気配管		
・排気筒										

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（15/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
MS-2	1) P S - 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にする構築物, 系統及び機器	2) 放射性物質放出の防止機能	燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系	・原子炉建屋ガス処理系	×	○	原子炉建屋	×	○	・原子炉建屋換気系隔離弁, ダクト
					×	×	原子炉建屋	○	○	・非常用ガス処理系設備
MS-2	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	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	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				・原子炉水位 (広帯域, 燃料域) ・原子炉圧力	×	×	原子炉建屋	×	×	—
				・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)	×	×	原子炉建屋	×	×	—

第 2.2-1 表 評価対象施設抽出結果（クラス 1 及びクラス 2 の設備）（16/16）

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		抽出結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設含む)	屋内の施設 で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物)	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
MS-2	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	事故時監視計器の一部	[低温停止への移行] ・原子炉圧力 ・原子炉水位 (広帯域) [ドライウェルスプレイ] ・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	×	×	原子炉建屋	×	×	-
		2) 異常状態の緩和機能	BWRには対象機能なし	-	-	-	-	-	×	-
		3) 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	×	×	原子炉建屋	×	×	-

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (1/9)

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		確認結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物) 外殻防護機能を (期待できない: ○ 期待できる : ×)	主な対象施設の名称	代替措置等	
P S - 3	1) 異常状態の起因事象となるものであって P S - 1, P S - 2 以外の構築物, 系統及び機器	1) 原子炉冷却材保持機能 (P S - 1, P S - 2 以外のもの)	計装配管, 試料採取管	<ul style="list-style-type: none"> 計装配管, 弁 試料採取管, 弁 ドレン配管, 弁 ベント配管, 弁 	×	×	原子炉建屋	×	-	-
		2) 原子炉冷却材の循環機能	原子炉再循環系	<ul style="list-style-type: none"> 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 	×	×	原子炉建屋	×	-	-
		3) 放射性物質の貯蔵機能	サ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	○	×	-	-	・復水貯蔵タンク	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
				・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)	×	○	原子炉建屋 廃棄物処理建屋	○	・低電導度廃液収集槽 ・高電導度廃液収集槽	補修を実施
				・固体廃棄物処理系 (C U W 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))	×	○	原子炉建屋 固体廃棄物貯蔵庫 固体廃棄物作業建屋	○	・C U W 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)	補修を実施
				・新燃料貯蔵庫 (新燃料貯蔵ラック)	×	×	原子炉建屋	×	-	-
新燃料貯蔵庫										

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (2/9)

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		確認結果	代替措置等
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物) 外殻防護機能を 期待できない: ○ 期待できる : ×	期待できない: ○ 期待できる : ×	主な対象施設の名称	
P S - 3	1) 異常状態の起因事象となるものであって P S - 1, P S - 2 以外の構築物, 系統及び機器	3) 放射性物質の貯蔵機能	サ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)	・給水加熱器保管庫	○	×	-	-	・給水加熱器保管庫	補修を実施
				・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)	×	×	廃棄物処理建屋	○	・セメント混練固化装置 ・雑固体減容処理設備	補修を実施
		4) 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, 励磁器)	×	×	タービン建屋	○	・発電機 ・励磁器	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
				・蒸気タービン (主タービン, 主要弁, 配管)	×	×	タービン建屋	○	・主タービン	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
				・復水系 (復水器を含む) (復水器, 復水ポンプ, 配管/弁)	×	×	タービン建屋	×	-	-
				・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)	×	×	タービン建屋	×	-	-

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (3/9)

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		確認結果	代替措置等
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物) 外殻防護機能を (期待できない: ○) 期待できる : ×	主な対象施設の名称		
P S - 3	1) 異常状態の起因事象となるものであって P S - 1, P S - 2 以外の構築物, 系統及び機器	4) 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	・循環水系 (循環水ポンプ, 配管/弁)	×	×	タービン建屋	×	-	-
					○	×	-	-	・循環水ポンプ ・配管/弁	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
				・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))	×	×	原子炉建屋	×	-	-
				・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))	×	×	原子炉建屋	×	-	-
				・計装制御電源系 (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))	×	×	原子炉建屋	×	-	-
			・送電線	○	×	-	-	・送電線	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。	

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (4/9)

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		確認結果	代替措置等
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物) 外殻防護機能を [期待できない:○] [期待できる :×]	主な対象施設の名称 (期待できない:○) (期待できる :×)		
P S - 3	1) 異常状態の起因事象となるものであって P S - 1, P S - 2 以外の構築物, 系統及び機器	4) 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	・変圧器 (所内変圧器, 起動変圧器, 予備変圧器, 電路)	○	×	-	-	・所内変圧器 ・起動変圧器 ・予備変圧器	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
				・開閉所 (母線, 遮断器, 断路器, 電路)	×	×	屋内開閉所	○	・母線 ・遮断器 ・断路器	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
		5) 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, 運転監視補助装置 (制御棒価値ミニマイザ), 原子炉核計装の一部, 原子炉プラントプロセス計装の一部	・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	×	×	原子炉建屋	×	-	-
		6) 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)	×	×	タービン建屋	×	-	-
					○	×	-	-	・配管/弁	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (5/9)

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		確認結果	代替措置等
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物) 外殻防護機能を [期待できない : ○] [期待できる : ×]		主な対象施設の名称	
P S - 3	1) 異常状態の起因事象となるものであって P S - 1, P S - 2 以外の構築物, 系統及び機器	6) プラント運転補助機能	所内ボイラ, 計装用圧縮空気系	・所内蒸気系及び戻り系 (ポンプ, 配管/弁)	×	×	タービン建屋	×	-	-
					○	×	-	-	・配管/弁	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
					×	×	タービン建屋	○	・ポンプ ・配管/弁	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
				・計装用圧縮空気設備 (空気圧縮機, 中間冷却器, 配管/弁)	×	×	タービン建屋	×	-	-
					×	×	タービン建屋	○	・配管/弁	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
				・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)	×	×	タービン建屋	×	-	-
					×	×	タービン建屋	○	・原子炉補機冷却水系サージタンク	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
				・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)	×	×	タービン建屋	×	-	-
					×	×	タービン建屋	○	・タービン補機冷却水系サージタンク	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (6/9)

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		確認結果	代替措置等
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物) 外殻防護機能を [期待できない : ○] [期待できる : ×]		主な対象施設の名称	
P S - 3	1) 異常状態の起因事象となるものであって P S - 1, P S - 2 以外の構築物, 系統及び機器	6) プラント運転補助機能	所内ボイラ, 計装用圧縮空気系	・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)	×	×	タービン建屋	×	-	-
				・復水補給水系 (復水移送ポンプ, 配管/弁)	×	×	原子炉建屋 タービン建屋	×	-	-
				・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)	○	×	-	-	・補機冷却海水ポンプ ・配管/弁 ・ストレーナ	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
				・復水補給水系 (復水移送ポンプ, 配管/弁)	○	×	-	-	・復水貯蔵タンク	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
	2) 原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物, 系統及び機器	1) 核分裂生成物の原子炉冷却材中の放散防止機能	燃料被覆管	・燃料被覆管 ・上/下部端栓 ・タイロッド	×	×	原子炉建屋	×	-	-
				2) 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	×	×	原子炉建屋	×	-
		2) 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)	×	×	原子炉建屋	×	-	-
				・復水浄化系 (復水脱塩装置, 配管/弁)	×	×	タービン建屋	×	-	-

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (7/9)

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		確認結果	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物) 外殻防護機能を 期待できない: ○ 期待できる : ×		主な対象施設の名称	代替措置等
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状態	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)	×	×	原子炉建屋	×	-	-
				・タービンバイパス弁	×	×	タービン建屋	×	-	-
		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), 制御棒引抜監視装置	・原子炉再循環制御系 ・制御棒引抜阻止インターロック ・選択制御棒挿入系の操作回路	×	×	原子炉建屋	×	-	-
				3) 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及び弁)	×	×	原子炉建屋 タービン建屋	×
		・原子炉隔離時冷却系 (ポンプ, タービン)	○			×	-	-	・復水貯蔵タンク	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
		・原子炉隔離時冷却系 (ポンプ, タービン)	×			×	原子炉建屋 タービン建屋	×	-	-
		○	×	-	-	・復水貯蔵タンク	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。			

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (8/9)

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	確認結果		
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物) 外殻防護機能を [期待できない: ○] [期待できる : ×]	主な対象施設の名称	代替措置等	
MS-3	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	○	×	-	-	・緊急時対策所	[設計竜巻に対する構造健全性を確保できる設計であり, 代替措置不要]
				・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)	×	×	原子炉建屋	×	-	-
				・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)	○	×	-	-	・携帯型有線通話装置 ・無線連絡設備 (固定型, 携帯型)	有線回路等にて代替
				×	×	各建屋	○			
			・放射線監視設備	○	×	-	-	・モニタリングポスト	可搬型モニタリングポストにて代替	

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (9/9)

○ : Yes × : No - : 該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3		確認結果		
	定義	機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	屋外施設	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋, 構築物) 外殻防護機能を [期待できない : ○] [期待できる : ×]		主な対象施設の名称	代替措置等	
MS-3	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	・事故時監視計器の一部	×	×	原子炉建屋	×	-	-	
					○	×	-	-	・気象観測装置	可搬型気象観測設備にて代替	
				・消火系 (水消火設備, 泡消火設備, 二酸化炭素消火設備, 等)	×	×	原子炉建屋 タービン建屋	×	-	-	-
					○	×	-	-	・水消火設備 ・火災検出装置 (受信機含む)	[消火設備] 消防自動車等にて代替	
					×	×	各建屋	○	・水消火設備 ・泡消火設備 ・二酸化炭素消火設備 ・火災検出装置 (受信機含む)	[検出装置] 運転員, 作業員等の監視による代替	
				・安全避難通路	×	×	原子炉建屋	×	-	-	-
	×	×	原子炉建屋	×	-	-	-				

耐震 S クラス施設について

「竜巻影響評価ガイド」においては、竜巻防護施設は「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震 S クラスの設計を要求される設備（系統、機能）及び建屋、構築物等とされている。一方、今回の竜巻影響評価では、安全重要度クラス 1，2 に属する施設を竜巻防護施設として選定しているため、安全重要度クラス 1，2 に該当しない耐震 S クラス施設の有無について確認した結果、第 1 表に示すとおり、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備が抽出されたが、以下の理由により、竜巻影響評価の評価対象施設として追加する必要はないと判断した。

〈津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を評価対象施設としない理由〉

- ・津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備は、津波に対して機能を発揮する施設であり、竜巻と津波の重畳の考慮要否を検討することで、竜巻に対する機能維持の要否が判断可能である。
- ・竜巻及びその随件事象によりこれらの施設が損傷することを想定した場合、敷地レベル（EL3.0m）を超える津波に対する影響を考慮する必要があるが、津波と竜巻は発生原因が異なり独立事象であること、及び敷地レベルを超える津波の発生頻度（ 9.5×10^{-3} / 年程度）と設計竜巻（ $V_D=100\text{m/s}$ ）の発生頻度（ 2.0×10^{-6} / 年程度）を踏まえると、敷地レベルを超える津波と設計竜巻が同時に発生する可能性は小さい。また、敷地レベルを超える津波と設計竜巻の発生頻度を踏まえると、竜巻及びその随件事象により津波防護施設等が損傷した場合でも当該機能が必要となる前に修復等の対応が可能と考えられる。

第1表 安全重要度クラス1, 2以外の耐震Sクラス施設の確認結果(1/2)

耐震重要度	機能別分類	設備別分類	対象施設	安全重要度クラス1 or 2
S	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器配管系	主要設備	・原子炉圧力容器 ・原子炉冷却材圧力バウンダリに属する容器, 配管, ポンプ及び弁	○
		補助設備	・隔離弁を閉とするために必要な電気計装設備	○
	使用済燃料を貯蔵するための施設	主要設備	・使用済燃料プール ・使用済燃料貯蔵ラック ・使用済燃料乾式貯蔵容器	○
		補助設備	・使用済燃料プール水補給設備 (残留熱除去系) ・非常用電源及び計装設備 (非常用ディーゼル発電機及びその冷却系, 補助施設を含む)	○
	原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設, 及び原子炉の停止状態を維持するための施設	主要設備	・制御棒, 制御棒駆動機構及び制御棒駆動水圧系 (スクラム機能に関する部分)	○
		補助設備	・炉心支持構造物 ・電気計装設備 ・チャンネル・ボックス	○
	原子炉停止後, 炉心から崩壊熱を除去するための施設	主要設備	・原子炉隔離時冷却系 ・高圧炉心スプレイ系 ・残留熱除去系 (原子炉停止時冷却モード運転に必要な設備) ・冷却水源としてのサブプレッション・プール	○
		補助設備	・残留熱除去系海水系 ・炉心支持構造物 ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機及びその冷却系, 補助施設 ・非常用電源及び計装設備 (非常用ディーゼル発電機及びその冷却系, 補助施設を含む。)	○
	原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後, 炉心から崩壊熱を除去するための施設	主要設備	・非常用炉心冷却系 1) 高圧炉心スプレイ系 2) 低圧炉心スプレイ系 3) 残留熱除去系 (低圧注入モード運転に必要な設備) 4) 自動減圧系 ・冷却水源としてのサブプレッション・プール	○
		補助設備	・残留熱除去系海水系 ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機及びその冷却系, 補助施設 ・非常用電源及び計装設備 (非常用ディーゼル発電機及びその冷却系, 補助施設を含む。) ・中央制御室の遮へい及び空調設備	○
	原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に, 圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設	主要設備	・原子炉格納容器 ・原子炉格納容器バウンダリに属する配管及び弁	○
		補助設備	・隔離弁を閉とするために必要な電気計装設備	○

第1表 安全重要度クラス1, 2以外の耐震Sクラス施設の確認結果 (2/2)

耐震重要度	機能別分類	設備別分類	対象施設	安全重要度クラス1 or 2
S	放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設であり、上記の「放射性物質の放散を直接防ぐための施設」以外の施設	主要設備	<ul style="list-style-type: none"> ・残留熱除去系（格納容器スプレイ冷却モード運転に必要な設備） ・可燃性ガス濃度制御系 ・原子炉建屋 ・非常用ガス処理系 ・非常用ガス再循環系 ・原子炉格納容器圧力低減装置（ダイヤフラムフロア及びベント管） ・冷却水源としてのサブプレッション・プール 	○
		補助設備	<ul style="list-style-type: none"> ・残留熱除去系海水系 ・非常用電源及び計装設備（非常用ディーゼル発電機及びその冷却系，補助施設を含む。） 	○
	津波防護機能を有する設備及び浸水防止機能を有する設備	主要設備	<ul style="list-style-type: none"> ・津波防護施設 ・浸水防止設備 	該当しない
		補助設備	—	—
敷地における津波監視機能を有する施設	主要設備	<ul style="list-style-type: none"> ・津波監視設備 	該当しない	
	補助設備	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用電源及び計装設備（非常用ディーゼル発電機及びその冷却系，補助施設を含む。） 	○	

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出について

1. 抽出方針

発電所構内の構築物，系統及び機器のうち，竜巻防護施設の機能に，次の観点から波及的影響を及ぼし得る施設を抽出する。

第 1-1 図に抽出フローを示す。

(1) 機械的影響の観点

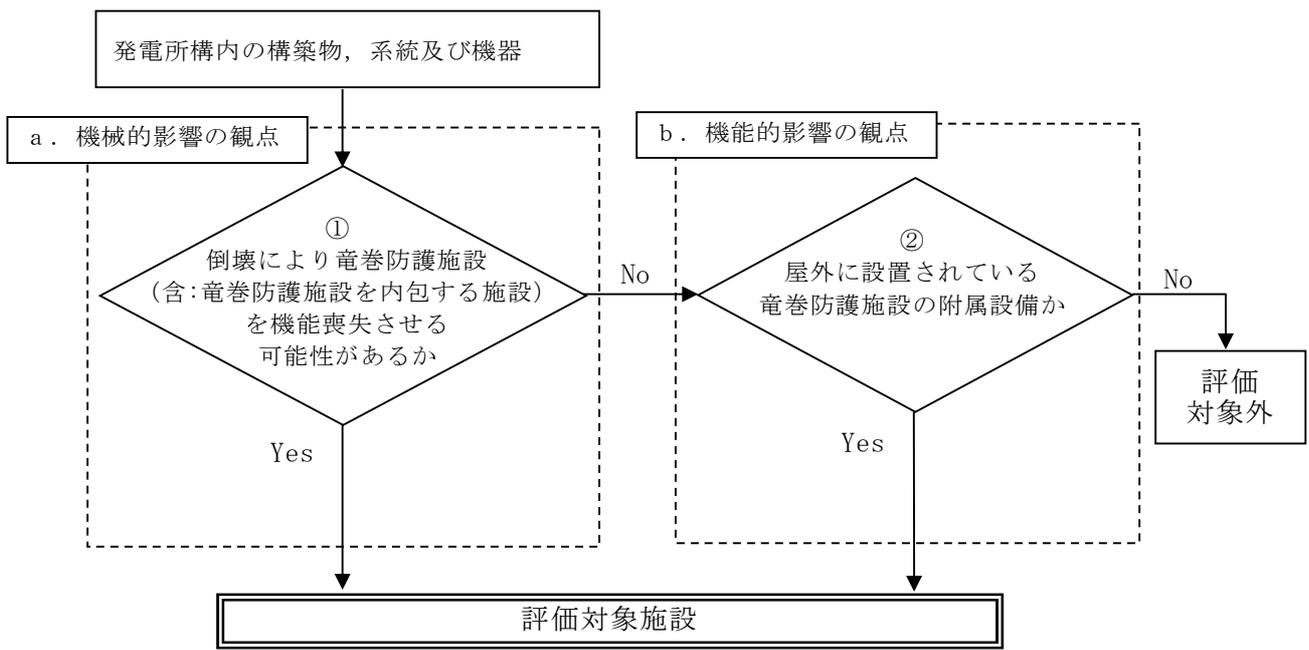
発電所構内の構築物，系統及び機器のうち，竜巻により倒壊して，竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設を機能喪失させる可能性がある施設，またはその施設の特定の区画を抽出する。

(2) 機能的影響の観点

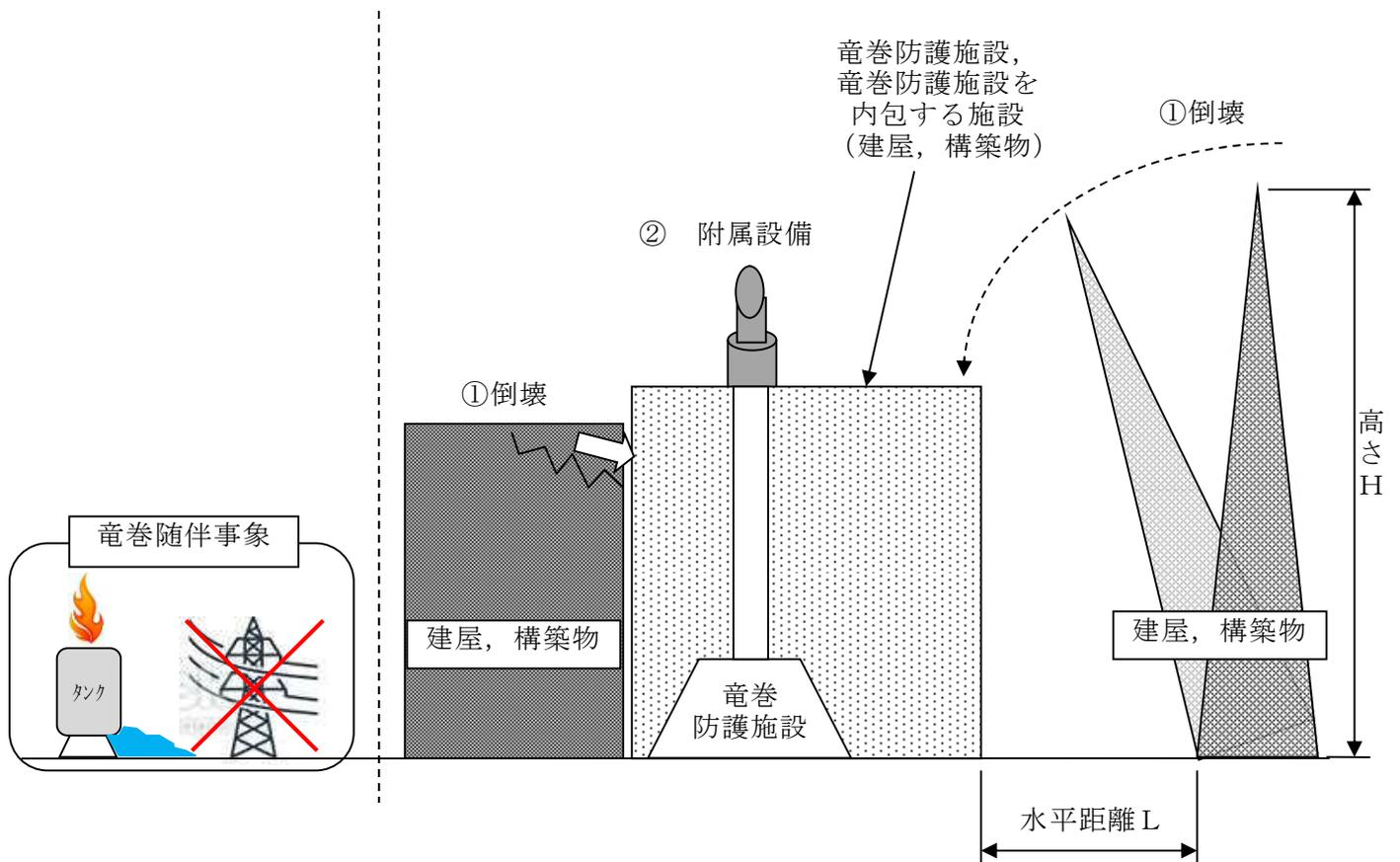
発電所構内の構築物，系統及び機器のうち，竜巻により損傷して，竜巻防護施設の機能喪失させる可能性がある屋外に設置されている竜巻防護施設の附属設備を抽出する。

第 1-2 図に波及的影響を及ぼし得る施設のイメージを示す。

なお，波及的影響として，火災，溢水，外部電源喪失も考えられるが，竜巻随件事象として「添付資料 11」にて整理する。



第1-1図 評価対象抽出フロー



第1-2図 波及的影響を及ぼし得る施設のイメージ

2. 抽出結果

2.1 機械的影響の観点

機械的影響の観点から、発電所構内の構築物、系統及び機器のうち、「倒壊により竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設を機能喪失させる可能性がある施設」を確認した結果を第 2.1-1 表及び第 2.1-1 図に示す。

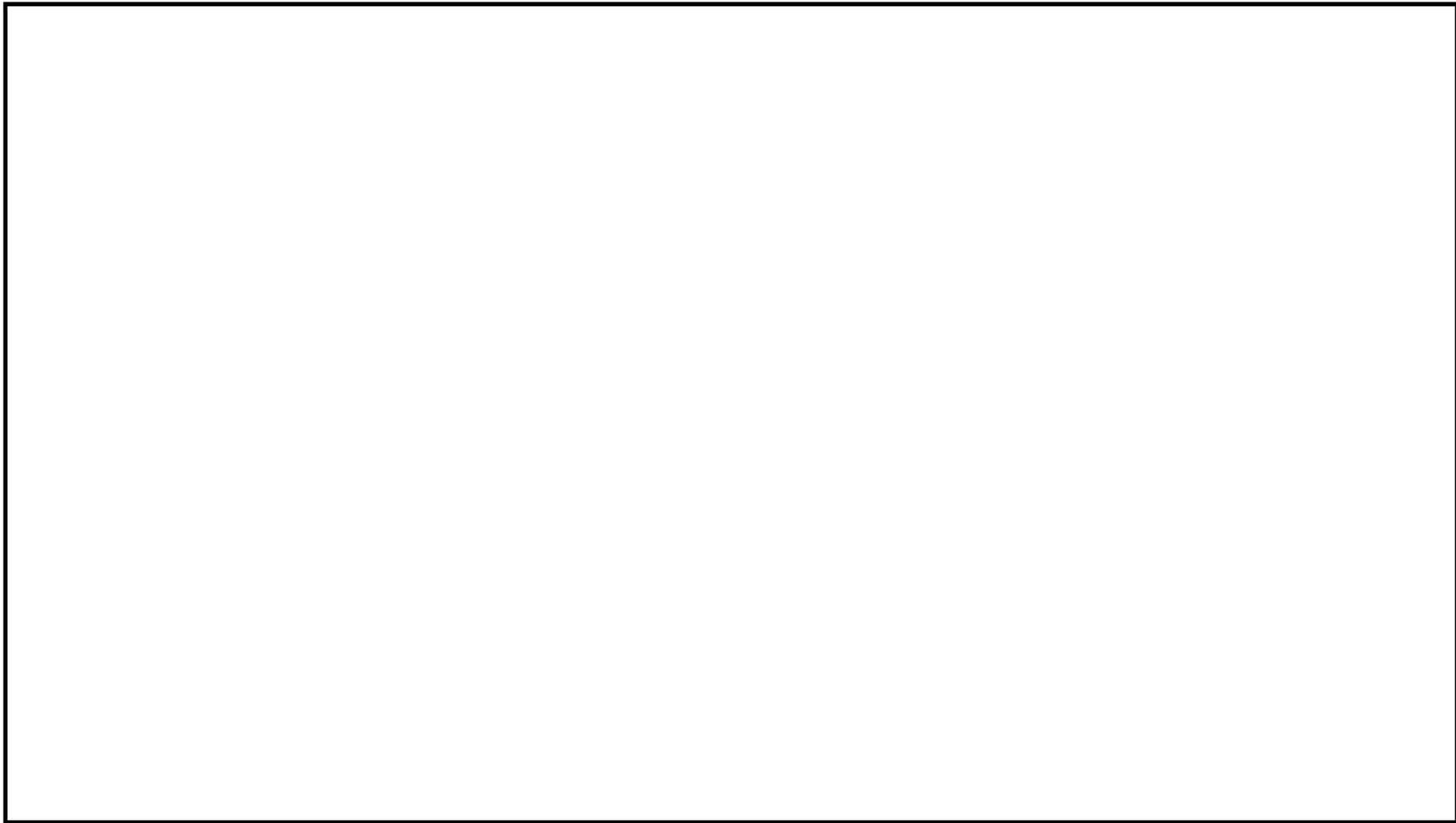
確認の結果、倒壊により竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設を機能喪失させる可能性がある施設として、サービス建屋等の 3 施設を評価対象施設として抽出した。

上記以外の構築物、系統及び機器については、「高さ $H <$ 竜巻防護施設又は竜巻防護施設を内包する施設までの水平距離 L 」であることを確認し、評価対象施設とはならない。

第 2.1-1 表 機械的影響の観点の抽出結果

評価対象施設	近傍の竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設	高さ H	竜巻防護施設等 までの 水平距離 L	波及的 影響の 有無
サービス建屋	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 タービン建屋 	約 19m	隣接	○
海水ポンプ室 鋼製防護壁	<ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む） 残留熱除去系海水系ストレーナ 非常用ディーゼル発電機海水ポンプ（配管，弁含む） 非常用ディーゼル発電機海水ストレーナ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ポンプ（配管，弁含む） 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ストレーナ 	約 5m 約 17m	隣接	○
排気筒	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 タービン建屋 	約 140m	約 25m	○※

※ 排気筒は，竜巻防護施設として，構造健全性が維持される設計とすることにより，波及的影響を及ぼすことはない。



第 2.1-1 図 竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設に波及的影響を及ぼし得る施設の配置図

2.2 機能的影響の観点

機能的影響の観点から、発電所構内の構築物、系統及び機器のうち、竜巻による損傷により、竜巻防護施設の機能喪失させる可能性がある「屋外に設置されている竜巻防護施設の附属設備」を確認した結果を第2.2-1表に示す。

第2.2-1表 機能的影響の観点の抽出結果

設備名称	波及的影響の有無
非常用ディーゼル発電機排気消音器	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器	○
非常用ディーゼル発電機排気配管	○
非常用ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管	○
非常用ディーゼル発電機機関ベント管	○
非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管	○
残留熱除去系海水系配管（放出側）	○
非常用ディーゼル発電機海水配管（放出側）	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水配管（放出側）	○

竜巻検討地域の設定について

1. 総観場に基づく気象条件

気象条件は、気象庁の総観場を基に、独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」⁽¹⁾等を参考に、低気圧、台風、停滞前線、局所性降雨、季節風、その他（高気圧等）の6つに分類した。

「竜巻等の突風データベース」⁽²⁾において1961年1月から2012年6月に発生位置が示された竜巻の発生位置を第1-1図に示す。さらに、それぞれの発生要因別に図示し、第1-2図～第1-7図に示す。

これらより、低気圧起因の竜巻は全国的に一様に発生していること、一方で、台風起因の竜巻は日本海側には発生しておらず、概ね宮城県以南の太平洋側及び九州で発生していることがわかる。また、停滞前線起因の竜巻は北海道では発生していないこと、局所性降雨は内陸部での竜巻発生も促すこと、季節風や高気圧等の起因とされる竜巻の発生数は比較的少ないことがわかる。

これらの特徴をさらに詳細に分析するために、各都道府県での要因別発生数及び発生要因比率を算定した結果を第1-8図に示す。同図では、近隣の地域との連続性を考慮し並べた。

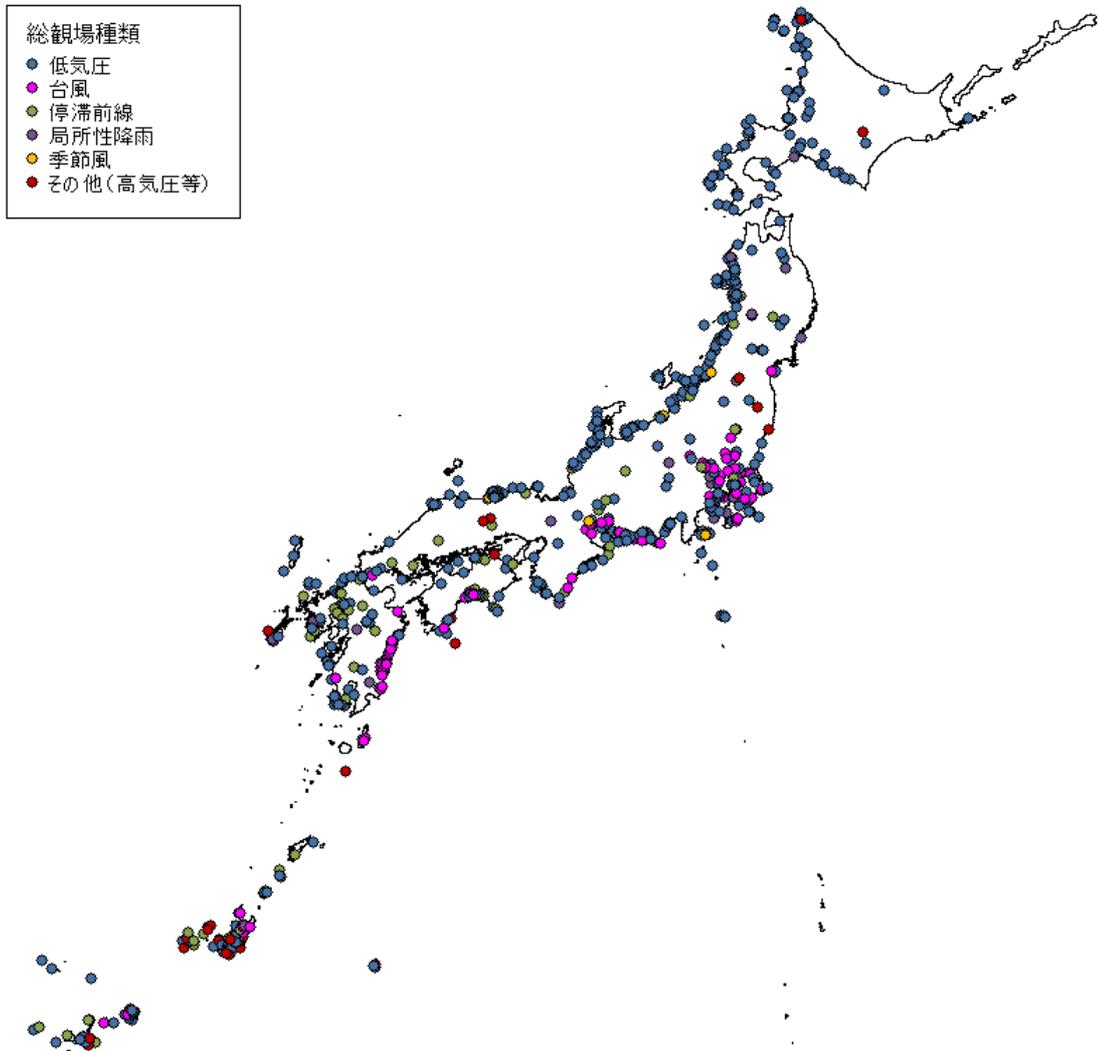
都道府県別発生数について、太平洋側では沖縄県での発生数が多い。次に多いのは、南海沿いの高知県、宮崎県、鹿児島県である。千葉県、愛知県、静岡県なども比較的多い。日本海側では、北海道西部、新潟県、秋田県、鳥取県、石川県で多く発生している。

都道府県別発生要因について、全国的には低気圧起因の比率が多い。特に、日本海側、北海道西部及び南部では、ほとんどが低気圧起因である。台風起

因については、太平洋側に偏っており、宮城県～沖縄県に至る太平洋岸の都道府県、関東平野内の都道府県、大分県、山口県、長崎県などで、台風起因の竜巻が発生している。

都道府県別発生要因の比率について、宮城県、埼玉県では台風起因の比率が60%を超える。また、茨城県、千葉県、栃木県、静岡県、愛知県、三重県で台風起因による竜巻が30%を超える。一方、日本海側、北海道、内陸の都道府県では、台風起因による竜巻はなく、低気圧起因による竜巻が多くを占める。

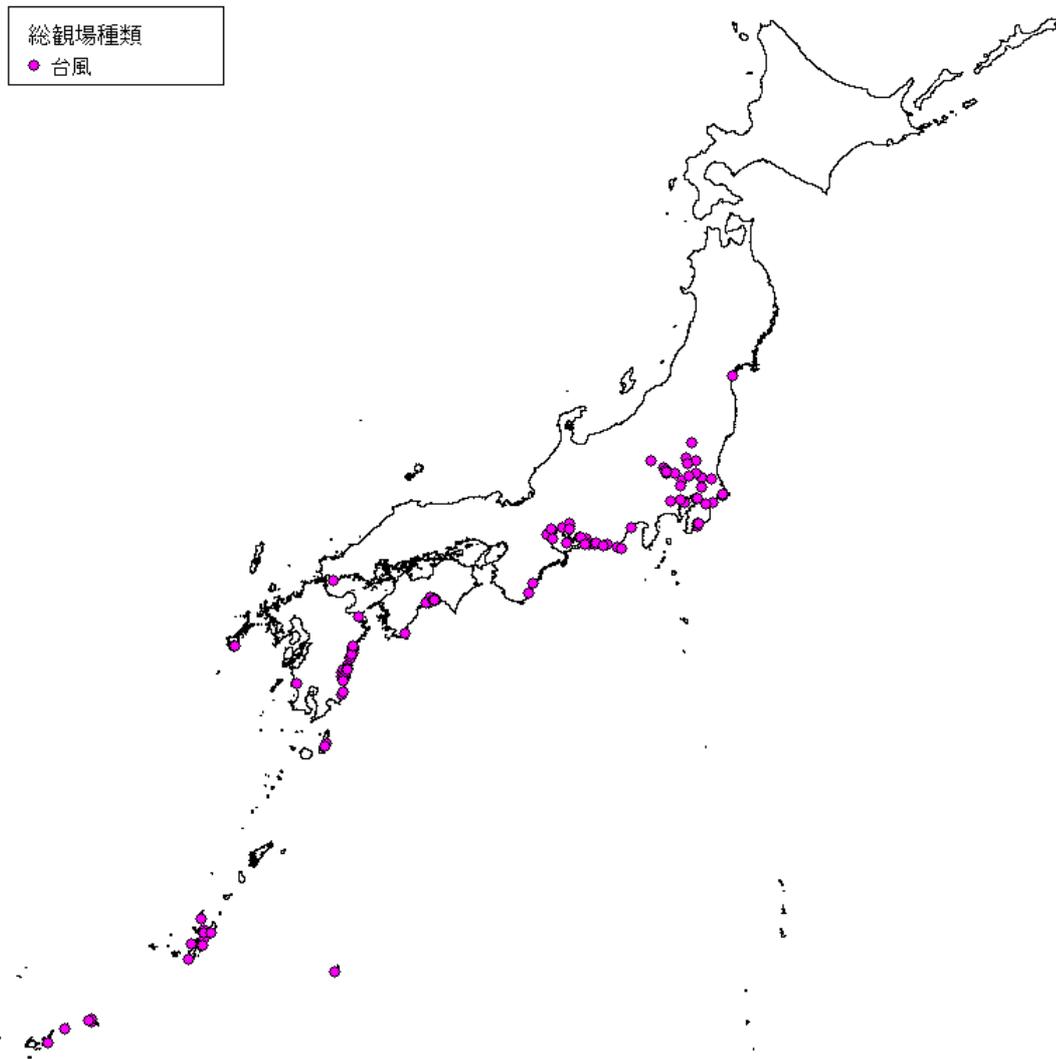
以上より、台風起因以外の竜巻については、地域性が見られない。台風起因の竜巻については、日本海側では発生しておらず、太平洋側の宮城県～沖縄県で多く発生している。



第1-1図 1961年1月～2012年6月に発生した竜巻の総観場の分布



第1-2図 1961年1月～2012年6月に発生した「低気圧」起因の
竜巻発生位置



第1-3図 1961年1月～2012年6月に発生した「台風」起因の竜巻発生位置



第1-4図 1961年1月～2012年6月に発生した「停滞前線」起因の
竜巻発生位置



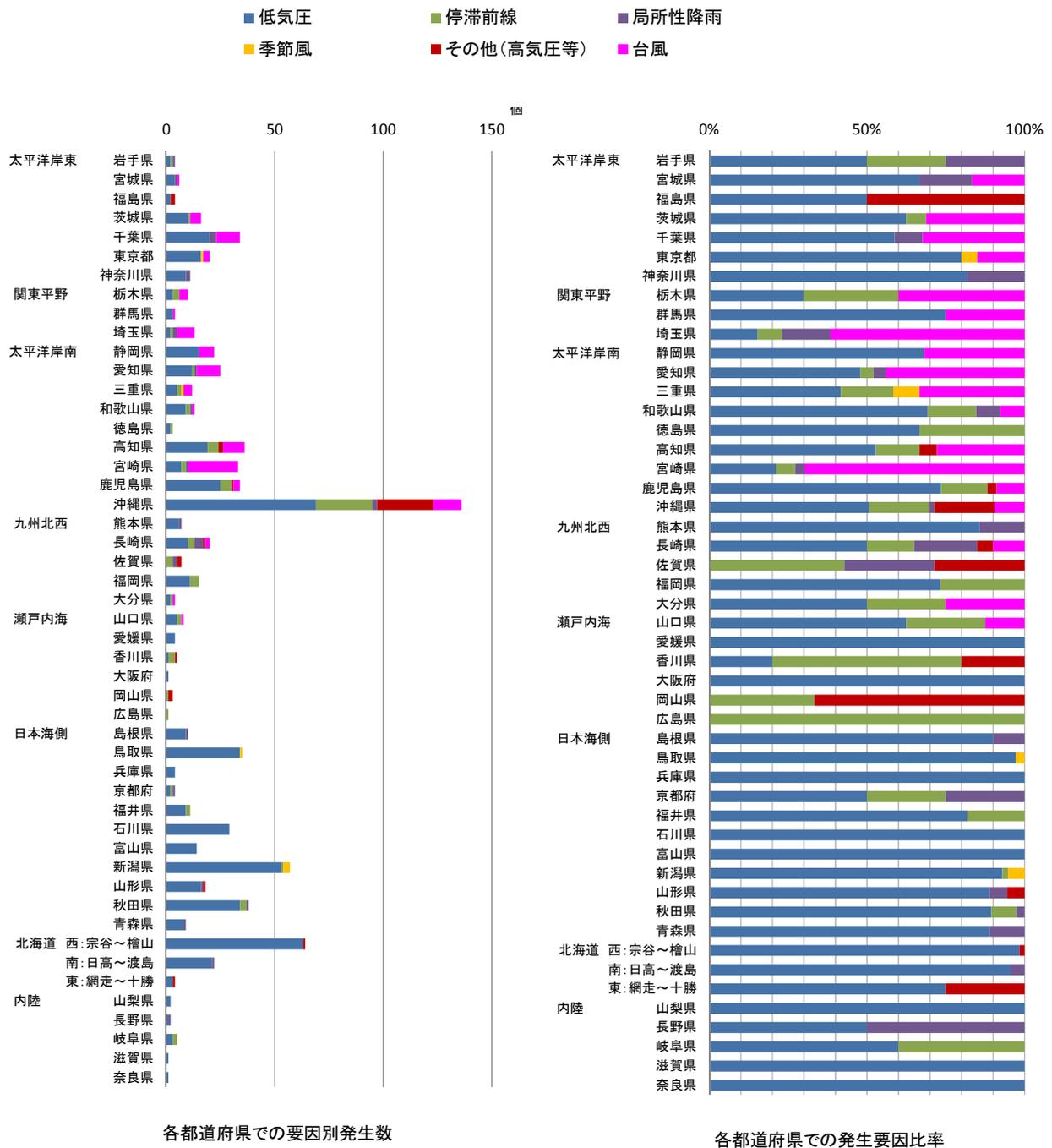
第1-5図 1961年1月～2012年6月に発生した「局所性降雨」起因の
竜巻発生位置



第 1-6 図 1961 年 1 月～2012 年 6 月に発生した「季節風」起因の
竜巻発生位置



第1-7図 1961年1月～2012年6月に発生した「その他(高気圧等)」起因の
竜巻発生位置



第1-8図 各都道府県での竜巻の要因別発生数と発生要因比率

2. 竜巻検討地域の設定

2.1 総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域 TA_1

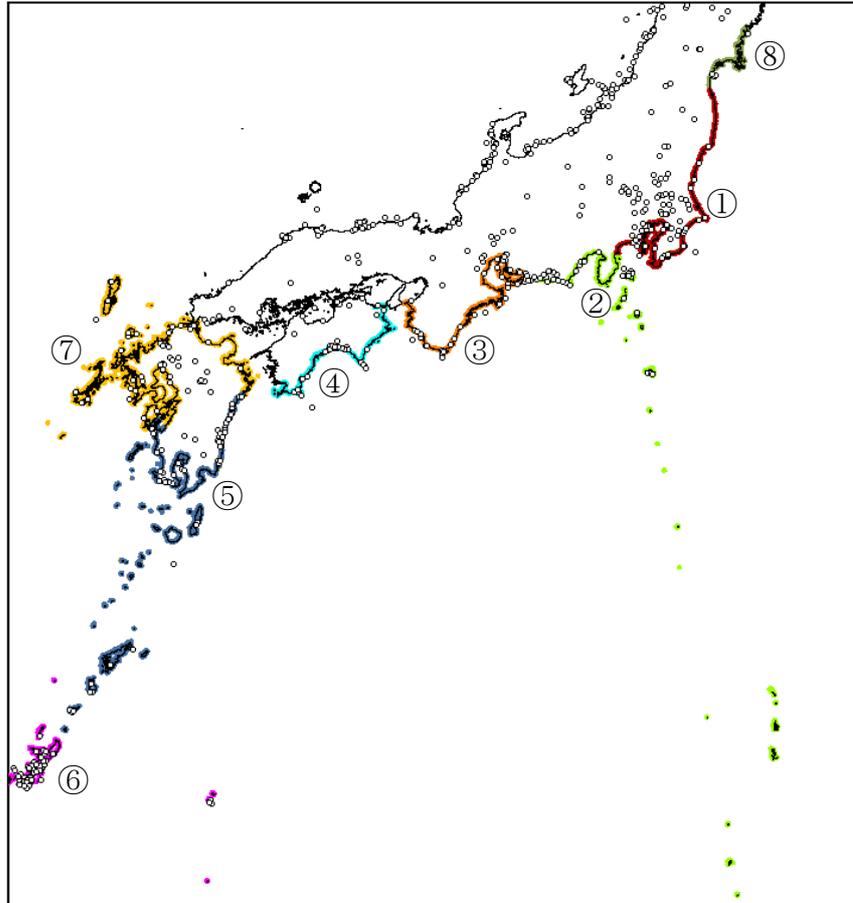
前記の総観場に基づく気象条件から、台風起因の竜巻は、太平洋側の宮城県～沖縄県で多く発生しており、この範囲に東海第二発電所が立地している。太平洋側の宮城県～沖縄県の海岸線より海側及び陸側各 5 km について、複数の竜巻検討地域 TA_1 の候補領域を想定し、各領域内での発生個数を調査し、単位面積当たりの発生数を比較する。

竜巻検討地域 TA_1 の候補の領域 8 ケース及び竜巻の個数と単位面積当たりの発生数の比較を第 2.1-1 図及び第 2.1-1 表に示す。

これより、もっとも単位面積当たりの発生数の大きい $TA_{1.6}$ を、総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域 TA_1 とする。

総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域 TA_1 :

福島県、茨城県、千葉県、東京都、神奈川県、静岡県、愛知県、
三重県、和歌山県、徳島県、高知県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県の
海岸線より海側及び陸側各 5 km の地域 (約 57,000km²)



第 2.1-1 図 竜巻検討地域 T A₁ の検討領域

第 2.1-1 表 竜巻検討地域 T A₁ の候補毎の竜巻の個数と
単位面積当たり発生数

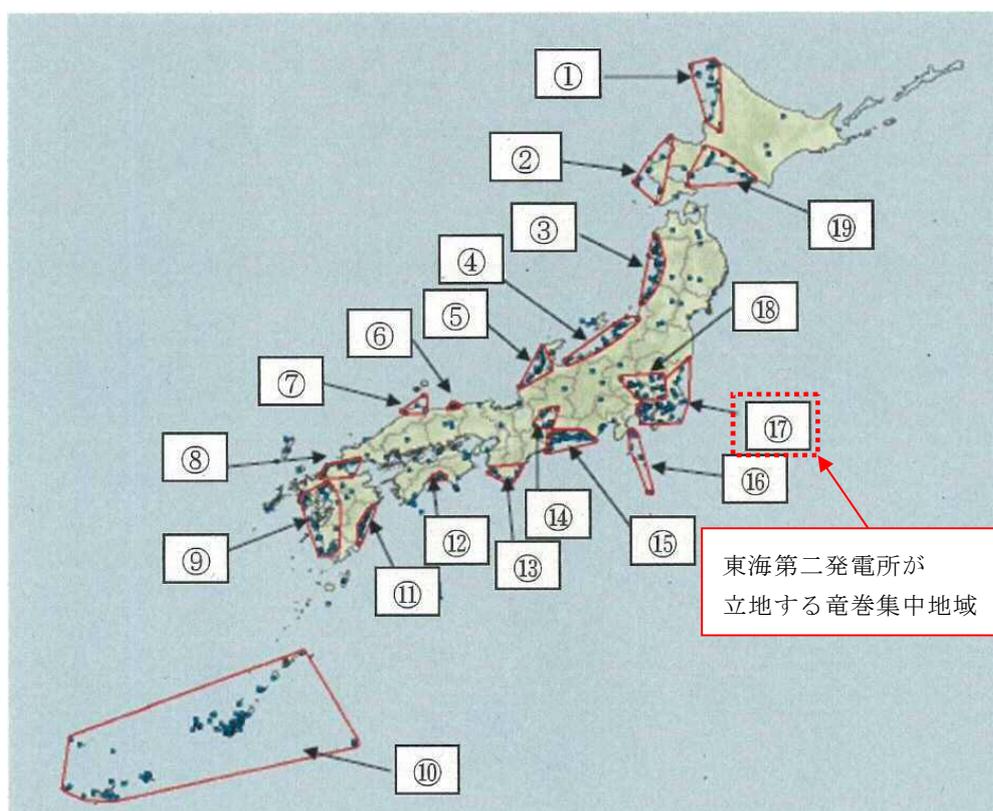
領域		領域面積 (km ²)	51.5 年間に 領域内で発 生した個数	単位面積当たり 発生数 (個/年/km ²)	
T A _{1.1}	①	福島県～神奈川県	7,900	40	0.98E-04
T A _{1.2}	①～②	福島県～静岡県	15,700	68	0.84E-04
T A _{1.3}	①～③	福島県～和歌山県	23,400	104	0.86E-04
T A _{1.4}	①～④	福島県～高知県	28,600	138	0.94E-04
T A _{1.5}	①～⑤	福島県～鹿児島県	46,700	194	0.81E-04
T A_{1.6}	①～⑥	福島県～沖縄県	57,000	300	1.02E-04
T A _{1.7}	①～⑦	福島県～九州全県	79,700	337	0.82E-04
T A _{1.8}	①～⑥, ⑧	宮城県～沖縄県	59,700	302	0.98E-04

2.2 竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域 T A₂

「ガイド（案）及び解説」⁽³⁾では、19箇所の竜巻集中地域として、第2.2-1図を示している。東海第二発電所は、これらの竜巻集中地域のうち、⑰に立地している。これに基づき、近接地域の180km圏を考慮した上で、下記を竜巻検討地域 T A₂とする。この地域は前記の第2.1-1図及び第2.1-1表で示した T A_{1.1}に相当する。

竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域 T A₂：

福島県、茨城県、千葉県、東京都、神奈川県
の海岸線より海側及び陸側各5kmの地域（約7,900km²）



第2.2-1図 竜巻の発生する地点と竜巻が集中する19の地域

（「ガイド（案）及び解説」より引用）

2.3 竜巻検討地域 T A

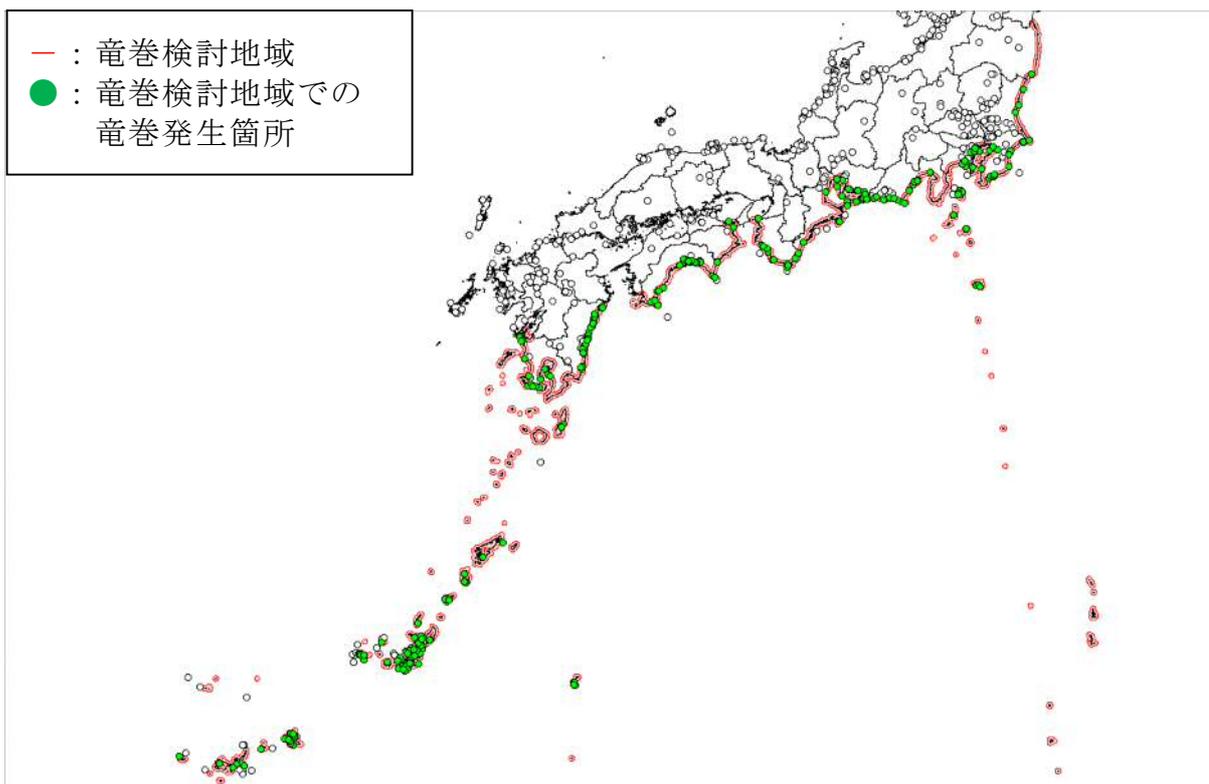
前記の竜巻検討地域 T A₁ 及び T A₂ について、1961 年 1 月から 2012 年 6 月（51.5 年間）の「竜巻等の突風データベース」により発生が確認された竜巻の個数を調査し、単位面積当たりの発生数を算定する。その結果を第 2.3-1 表に示す。

ここで、竜巻検討地域内の竜巻の発生個数の評価は、地理情報システム（Map Info）を用い、発生地点と消滅地点を結ぶ線分が当該地域に掛かるか否かで判断した。

これより、竜巻の個数及び単位面積当たりの発生数の大きさから、T A₁ を竜巻検討地域 T A とする。第 2.3-1 図に竜巻検討地域 T A を示す。

第 2.3-1 表 竜巻検討地域内で発生が確認された竜巻の個数と
単位面積当たりの発生数

	領域面積 (km ²)	51.5 年間に 領域内で発 生した個数	単位面積当たり発生数 (個/年/km ²)
総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域 T A ₁	57,000	300	1.02×10^{-4}
竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域 T A ₂	7,900	40	0.98×10^{-4}



第 2.3-1 図 竜巻検討地域 T A

<参考文献>

- (1) 東京工芸大学 (2011) :平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構
- (2) 気象庁 竜巻等の突風データベース
(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/index.html>)
- (3) 井上博登, 福西史郎, 鈴木哲夫 (2013):原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説, 独立行政法人原子力安全基盤機構, JNES-RE-2013-9009.

【参考】 竜巻検討地域 T A において発生した竜巻について

気象庁「竜巻等の突風データベース」をもとに、竜巻検討地域において、1961年から2012年6月に発生した竜巻の一覧を示す。

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村	スケール	
F3相当								
1	竜巻	1999年09月24日11時07分	34度42分4秒	137度23分5秒	愛知県	豊橋市	F3	台風
2	竜巻	1990年02月19日15時15分	31度15分38秒	130度16分35秒	鹿児島県	枕崎市	F2~F3	寒冷前線 暖気の移流 その他(低気圧)
3	竜巻	1978年02月28日21時20分	35度32分1秒	139度41分50秒	神奈川県	川崎市	F2~F3	寒冷前線 暖気の移流
4	竜巻	1969年12月07日18時00分	34度45分4秒	137度22分46秒	愛知県	豊橋市	F2~F3	二つ玉低気圧
5	竜巻	1968年09月24日19時05分	32度7分16秒	131度32分8秒	宮崎県	高鍋町	F2~F3	台風
6	竜巻	1967年10月28日03時12分	35度42分3秒	140度43分10秒	千葉県	飯岡町	F2~F3	台風
F2相当								
7	竜巻	2011年11月18日19時10分	27度49分44秒	128度55分58秒	鹿児島県	大島郡徳之島町	F2	停滞前線 暖気の移流
8	竜巻	2006年11月18日12時47分	26度31分18秒	128度2分42秒	沖縄県	名護市	F2	停滞前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
9	竜巻	2006年09月17日14時03分	32度32分39秒	131度41分1秒	宮崎県	延岡市	F2	台風
10	竜巻	2006年03月28日16時00分	33度25分0秒	135度45分0秒	和歌山県	串本町	F1~F2	日本海低気圧 寒冷前線
11	竜巻	2004年09月30日03時07分	35度31分59秒	139度47分41秒	東京都	大田区	F1~F2	台風
12	竜巻	2002年04月03日07時50分	26度22分30秒	127度48分10秒	沖縄県	沖縄市	F2	東シ海低気圧 気圧の谷 暖気の移流
13	竜巻	2000年09月11日17時55分	34度43分12秒	136度53分35秒	愛知県	南知多町	F2	台風 停滞前線
14	竜巻	1999年09月24日12時10分	34度47分45秒	137度21分54秒	愛知県	小坂井町	F2	台風
15	竜巻	1998年02月17日02時30分	26度22分53秒	126度44分45秒	沖縄県	久米島具志川村	F1~F2	停滞前線
16	竜巻	1997年03月29日12時00分	26度6分1秒	127度39分34秒	沖縄県	糸満市	F2	寒冷前線
17	竜巻	1996年07月05日14時40分	35度33分27秒	140度10分28秒	千葉県	千葉市	F2	日本海低気圧 温暖前線
18	竜巻	1994年08月20日10時18分	24度48分34秒	125度13分4秒	沖縄県	伊良部町	F2	台風
19	竜巻	1993年09月03日20時22分	33度28分48秒	133度31分33秒	高知県	吾川郡春野町	F2	台風
20	竜巻	1991年04月07日00時05分	26度20分48秒	126度44分48秒	沖縄県	島尻郡具志川村	F1~F2	暖気の移流 寒冷前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
21	竜巻	1991年04月07日00時03分	26度20分46秒	126度44分22秒	沖縄県	島尻郡具志川村	F2	暖気の移流 寒冷前線
22	竜巻	1990年12月11日17時47分	35度5分14秒	140度2分10秒	千葉県	鴨川市	F2	暖気の移流 気圧の谷 雷雨(熱雷を除く)
23	竜巻	1990年04月03日22時15分	26度27分23秒	127度51分52秒	沖縄県	国頭郡金武町	F2	寒冷前線
24	竜巻	1989年07月04日16時15分	26度18分50秒	127度50分6秒	沖縄県	沖縄市	F2	停滞前線 暖気の移流
25	竜巻	1987年01月05日07時55分	26度19分43秒	127度52分13秒	沖縄県	勝連町	F2	寒冷前線
26	竜巻	1985年09月28日13時55分	31度17分3秒	130度20分20秒	鹿児島県	枕崎市	F1~F2	東シ海低気圧
27	竜巻	1985年08月31日05時30分	32度23分39秒	131度38分14秒	宮崎県	日向市	F1~F2	台風 暖気の移流
28	竜巻	1983年09月25日15時00分	26度55分34秒	127度56分53秒	沖縄県	伊是名村	F2	台風
29	竜巻	1979年05月27日12時25分	36度14分50秒	140度33分0秒	茨城県	鹿島郡旭村	F1~F2	気圧の谷 寒気の移流 雷雨(熱雷を除く)
30	竜巻	1975年02月15日16時20分	34度45分10秒	139度21分13秒	東京都	大島町	F1~F2	季節風 寒気の移流
31	竜巻	1975年02月06日07時00分	27度41分20秒	128度55分18秒	鹿児島県	大島郡伊仙町	F2	南岸低気圧
32	竜巻	1974年07月08日03時30分	34度37分24秒	138度8分7秒	静岡県	小笠郡浜岡町	F1~F2	台風 梅雨前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
33	竜巻	1974年07月06日16時40分	33度32分4秒	133度38分30秒	高知県	南国市	F1～F2	台風 暖気の移流
34	竜巻	1972年06月06日20時30分	26度5分30秒	127度41分48秒	沖縄県	糸満市	F1～F2	東シナ海低気圧 暖気の移流
35	竜巻	1971年08月31日09時00分	35度37分14秒	140度5分3秒	千葉県	千葉市	F2	台風
36	竜巻	1969年08月23日10時15分	35度5分48秒	140度6分29秒	千葉県	鴨川町	F1～F2	台風
37	竜巻	1968年09月24日19時20分	32度6分44秒	131度31分52秒	宮崎県	高鍋町	F2	台風
38	竜巻	1968年09月24日17時25分	32度5分16秒	131度31分16秒	宮崎県	高鍋町	F2	台風
39	竜巻	1968年08月28日12時30分	33度32分0秒	133度39分0秒	高知県	南国市	F1～F2	台風
40	竜巻	1967年10月28日02時05分	35度7分6秒	140度7分22秒	千葉県	鴨川町	F2	台風
41	竜巻	1967年03月23日15時04分	35度43分50秒	140度50分6秒	千葉県	銚子市	F1～F2	寒冷前線
42	竜巻	1965年10月14日21時40分	35度35分20秒	139度42分40秒	東京都	大田区	F1～F2	温暖前線
43	竜巻	1964年01月17日15時40分	33度4分2秒	139度48分26秒	東京都	八丈町	F2	南岸低気圧
44	竜巻	1962年12月30日08時25分	34度39分7秒	138度4分21秒	静岡県	千浜村	F1～F2	二つ玉低気圧 温暖前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
45	竜巻	1962年08月26日08時25分	34度35分43秒	138度13分29秒	静岡県	榛原郡御前崎町	F1~F2	台風
46	竜巻	1962年08月26日04時00分	34度38分49秒	137度46分34秒	静岡県	浜松市	F2	台風
47	竜巻	1962年07月02日14時30分	35度56分50秒	140度30分20秒	茨城県	稲敷郡東村	F2	温暖前線 梅雨前線 局地性じょう乱
F1相当								
48	竜巻	2011年05月28日05時00分	24度22分21秒	124度12分54秒	沖縄県	石垣市	F1	台風
49	竜巻	2010年12月03日07時30分	35度18分16秒	139度33分4秒	神奈川県	鎌倉市	F0~F1	日本海低気圧 暖気の移流
50	竜巻	2009年10月08日04時30分	35度32分42秒	140度27分43秒	千葉県	山武郡九十九里町	F1	台風 暖気の移流
51	竜巻	2008年12月05日15時30分	35度36分28秒	139度42分37秒	東京都	品川区	F1	寒冷前線
52	竜巻	2008年10月24日02時30分	34度15分5秒	136度49分44秒	三重県	志摩市	F1	南岸低気圧
53	竜巻	2008年10月07日14時30分	26度35分41秒	127度57分31秒	沖縄県	名護市	F0~F1	停滞前線
54	竜巻	2008年03月27日19時00分	31度27分51秒	130度41分52秒	鹿児島県	垂水市	F1	東シ海低気圧
55	竜巻	2008年03月27日17時20分	31度45分23秒	130度11分54秒	鹿児島県	いちき串木野市	F1	東シ海低気圧

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
56	竜巻	2007年04月18日07時55分	24度44分21秒	125度15分48秒	沖縄県	宮古島市	F1	寒冷前線
57	竜巻	2007年03月15日14時55分	26度21分50秒	127度44分22秒	沖縄県	中頭郡読谷村	F1	気圧の谷 暖気の移流
58	竜巻	2007年02月14日15時40分	33度48分53秒	135度12分8秒	和歌山県	日高郡印南町	F1	日本海低気圧 寒冷前線
59	竜巻	2007年02月14日06時20分	26度13分30秒	127度18分12秒	沖縄県	島尻郡座間味村	F0~F1	寒冷前線 暖気の移流
60	竜巻	2006年11月26日15時35分	32度47分5秒	132度51分31秒	高知県	土佐清水市	F1	南岸低気圧 暖気の移流
61	竜巻	2006年11月22日13時00分	26度37分48秒	128度12分54秒	沖縄県	東村	F1	停滞前線 暖気の移流
62	竜巻	2006年09月17日13時30分	32度20分17秒	131度37分10秒	宮崎県	日向市	F1	台風
63	竜巻	2006年09月17日12時10分	31度34分15秒	131度24分8秒	宮崎県	日南市	F1	台風
64	竜巻	2006年04月20日12時10分	35度21分15秒	139度28分50秒	神奈川県	藤沢市	F1	寒冷前線
65	竜巻	2006年01月19日19時10分	28度8分35秒	129度18分56秒	鹿児島県	瀬戸内町	F1	停滞前線
66	竜巻	2005年09月05日10時10分	31度56分25秒	131度27分29秒	宮崎県	宮崎市	F1	台風
67	竜巻	2005年05月01日15時00分	33度33分45秒	133度36分20秒	高知県	高知市	F0~F1	その他(低気圧) 暖気の移流

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
68	竜巻	2005年01月27日17時00分	26度21分53秒	127度44分16秒	沖縄県	読谷村	F1	寒冷前線 暖気の移流
69	竜巻	2004年09月29日23時01分	34度40分30秒	137度27分0秒	愛知県	豊橋市	F0~F1	台風
70	竜巻	2004年09月27日20時50分	26度41分44秒	128度1分10秒	沖縄県	今帰仁村	F1	台風
71	竜巻	2004年09月27日20時30分	26度31分11秒	128度1分7秒	沖縄県	名護市	F1	台風
72	竜巻	2003年10月12日10時00分	33度30分0秒	133度50分0秒	高知県	安芸市	F0~F1	停滞前線 暖気の移流
73	竜巻	2003年09月12日13時00分	33度29分29秒	133度33分34秒	高知県	高知市	F1	台風 暖気の移流
74	竜巻	2003年08月08日07時20分	32度19分3秒	131度35分52秒	宮崎県	日向市	F0~F1	台風
75	竜巻	2003年08月08日01時40分	31度36分36秒	131度25分37秒	宮崎県	日南市	F0~F1	台風
76	竜巻	2003年06月19日09時00分	32度28分32秒	131度39分29秒	宮崎県	東臼杵郡門川町	F1	台風
77	竜巻	2002年12月16日18時10分	33度16分14秒	134度9分40秒	高知県	室戸市	F0~F1	日本海低気圧 暖気の移流
78	竜巻	2002年10月07日03時50分	35度14分40秒	139度39分50秒	神奈川県	横須賀市	F1	日本海低気圧 雷雨(熱雷を除く) 暖気の移流
79	竜巻	2002年10月07日03時05分	34度47分1秒	139度21分11秒	東京都	大島町	F1	日本海低気圧

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
80	竜巻または ダウンバースト	2002年10月06日22時38分	34度43分13秒	136度53分46秒	愛知県	南知多町	F1	二つ玉低気圧
81	竜巻	2002年10月06日14時50分	31度33分38秒	130度37分11秒	鹿児島県	鹿児島市	F1	寒冷前線
82	竜巻	2002年01月21日12時15分	34度38分57秒	137度19分36秒	愛知県	田原町	F1	二つ玉低気圧 温暖前線 暖気の移流
83	竜巻	2001年10月01日07時00分	33度45分36秒	135度18分50秒	和歌山県	南部町	F0~F1	日本海低気圧 暖気の移流
84	竜巻	2000年12月25日13時37分	34度45分0秒	139度17分30秒	東京都	大島町	F1	寒気の移流
85	竜巻	2000年09月11日08時10分	33度40分33秒	135度58分23秒	和歌山県	新宮市	F0~F1	台風 停滞前線 暖気の移流
86	竜巻	1999年11月15日05時07分	32度59分12秒	132度59分51秒	高知県	大方町	F0~F1	日本海低気圧 寒気の移流
87	竜巻	1999年11月01日07時00分	34度50分36秒	137度1分59秒	愛知県	西尾市	F1	日本海低気圧
88	竜巻	1999年10月27日21時00分	36度39分54秒	140度42分59秒	茨城県	多賀郡十王町	F1	南岸低気圧
89	竜巻	1999年09月24日12時51分	35度1分16秒	136度47分45秒	愛知県	海部郡弥富町	F1	台風
90	竜巻	1999年09月24日11時56分	34度49分24秒	137度13分7秒	愛知県	蒲都市	F1	台風
91	竜巻	1999年09月24日03時00分	33度31分27秒	133度37分17秒	高知県	南国市	F1	台風 暖気の移流

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
92	竜巻	1999年05月04日09時50分	34度37分5秒	137度12分46秒	愛知県	渥美郡赤羽根町	F1	日本海低気圧
93	竜巻	1999年04月10日16時00分	33度31分1秒	133度48分5秒	高知県	芸西村	F1	その他(低気圧) 気圧の谷
94	竜巻	1998年10月17日14時50分	32度10分10秒	131度32分0秒	宮崎県	児湯郡川南町	F0~F1	台風
95	竜巻	1998年09月18日16時02分	31度54分29秒	131度27分3秒	宮崎県	宮崎市	F1	台風
96	竜巻	1998年02月19日23時43分	25度49分1秒	131度13分45秒	沖縄県	南大東村	F1	その他(低気圧)
97	竜巻	1997年11月17日08時00分	33度6分0秒	139度46分40秒	東京都	八丈町	F1	温暖前線 暖気の移流
98	竜巻	1997年09月16日13時19分	33度32分50秒	133度40分27秒	高知県	南国市	F1	台風 暖気の移流
99	竜巻	1997年09月14日06時50分	30度33分13秒	131度0分20秒	鹿児島県	熊毛郡中種子町	F1	台風
100	竜巻	1997年04月07日17時20分	35度31分6秒	139度36分50秒	神奈川県	横浜市	F0~F1	雷雨(熱雷を除く)
101	竜巻	1996年07月01日06時10分	31度22分28秒	130度32分27秒	鹿児島県	喜入町	F1	停滞前線
102	竜巻	1996年03月30日05時30分	31度15分10秒	130度21分52秒	鹿児島県	枕崎市	F1	寒冷前線 日本海低気圧
103	竜巻	1995年09月23日09時05分	26度23分9秒	127度59分42秒	沖縄県	与那城町	F1	台風

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
104	竜巻	1994年10月12日10時22分	33度31分11秒	133度47分22秒	高知県	芸西村	F0～F1	日本海低気圧 暖気の移流
105	竜巻	1994年09月29日19時00分	34度40分56秒	137度34分8秒	静岡県	新居町	F0～F1	台風
106	竜巻	1994年09月29日17時35分	34度48分57秒	137度14分8秒	愛知県	蒲郡市	F1	台風
107	竜巻	1994年09月29日17時30分	34度40分50秒	137度21分30秒	愛知県	豊橋市	F1	台風
108	竜巻	1994年03月23日02時00分	27度40分14秒	128度58分4秒	鹿児島県	大島郡伊仙町	F0～F1	その他(低気圧)
109	竜巻	1993年12月01日01時10分	31度26分28秒	130度44分21秒	鹿児島県	垂水市	F1	寒冷前線
110	竜巻	1993年12月01日00時30分	31度15分5秒	130度26分26秒	鹿児島県	指宿郡穎娃町	F1	寒冷前線 暖気の移流
111	竜巻	1993年09月03日15時45分	32度30分31秒	131度40分30秒	宮崎県	延岡市	F0～F1	台風
112	竜巻	1993年09月03日13時00分	32度49分23秒	132度56分45秒	高知県	土佐清水市	F1	台風
113	竜巻	1993年05月27日01時50分	26度13分56秒	127度45分8秒	沖縄県	西原町	F1	梅雨前線
114	竜巻	1992年09月22日10時00分	26度38分0秒	128度2分6秒	沖縄県	名護市	F1	台風
115	竜巻	1992年02月15日09時25分	26度21分36秒	126度43分31秒	沖縄県	島尻郡具志川村	F1	寒冷前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
116	竜巻	1992年01月06日03時30分	27度22分7秒	128度31分47秒	鹿児島県	大島郡知名町	F1	東シ海低気圧 寒冷前線 暖気の移流
117	竜巻	1991年11月28日16時30分	33度33分30秒	135度26分50秒	和歌山県	日置川町	F0~F1	南岸低気圧
118	竜巻	1991年11月28日11時45分	31度35分58秒	131度22分51秒	宮崎県	日南市	F1	南岸低気圧
119	竜巻	1991年02月13日22時27分	26度11分52秒	127度41分4秒	沖縄県	那覇市	F1	東シ海低気圧 暖気の移流
120	竜巻	1990年12月12日00時20分	36度22分50秒	140度37分40秒	茨城県	海上~那珂湊市	F1	寒気の移流 局地性じょう乱 その他
121	竜巻	1990年03月12日06時30分	34度15分23秒	136度50分34秒	三重県	志摩郡志摩町	F1	日本海低気圧 寒冷前線
122	竜巻	1989年09月22日14時00分	34度19分0秒	135度8分0秒	大阪府	泉南郡岬町	F1	寒冷前線
123	竜巻	1988年09月25日09時40分	33度27分22秒	135度45分29秒	和歌山県	串本町	F1	寒冷前線 暖気の移流
124	竜巻	1986年12月19日01時30分	34度36分45秒	137度12分15秒	愛知県	渥美郡赤羽根町	F1	閉塞前線
125	竜巻	1985年10月05日18時45分	33度34分6秒	133度33分40秒	高知県	高知市	F1	台風 大陸高気圧 暖気の移流
126	竜巻	1985年10月05日18時40分	33度27分22秒	133度28分17秒	高知県	土佐市	F1	台風 太平洋高気圧 暖気の移流
127	竜巻または ダウンバースト	1983年09月25日15時30分	26度37分48秒	128度11分59秒	沖縄県	東村	F1	台風

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
128	竜巻	1983年03月12日06時20分	26度5分33秒	127度41分5秒	沖縄県	糸満市	F1	東シ海低気圧 その他
129	竜巻	1980年10月14日02時15分	32度0分51秒	131度29分11秒	宮崎県	宮崎市	F1	台風
130	竜巻	1980年10月14日01時30分	31度50分46秒	131度26分50秒	宮崎県	宮崎市	F1	台風
131	竜巻	1980年10月13日20時10分	30度30分35秒	130度58分39秒	鹿児島県	中種子町	F1	台風
132	竜巻	1979年09月03日16時29分	31度55分20秒	131度25分10秒	宮崎県	宮崎市	F1	台風
133	竜巻	1978年02月10日05時30分	31度25分49秒	130度16分40秒	鹿児島県	加世田市	F1	寒冷前線 暖気の移流
134	竜巻	1976年10月23日07時20分	26度11分6秒	127度43分2秒	沖縄県	南風原村	F1	東シ海低気圧 暖気の移流
135	竜巻	1976年02月28日14時00分	32度5分8秒	130度10分20秒	鹿児島県	阿久根市	F1	不安定線
136	竜巻	1975年11月15日18時15分	35度28分51秒	140度25分6秒	千葉県	大網白里町	F1	南岸低気圧
137	竜巻	1975年11月15日16時22分	34度7分5秒	139度30分56秒	東京都	三宅島三宅村	F1	南岸低気圧 温暖前線
138	竜巻	1975年11月14日20時40分	33度30分28秒	134度16分28秒	高知県	安芸郡東洋町	F1	南岸低気圧 温暖前線
139	竜巻	1975年08月22日14時30分	33度52分32秒	136度5分10秒	三重県	熊野市	F1	台風

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
140	竜巻	1974年07月08日03時00分	34度41分18秒	137度53分20秒	静岡県	磐田郡福田町	F1	台風 停滞前線
141	竜巻	1974年06月06日12時50分	34度59分14秒	138度25分37秒	静岡県	静岡市	F0~F1	気圧の谷
142	竜巻	1974年03月13日13時20分	36度56分52秒	140度53分52秒	福島県	いわき市	F1	移動性高気圧
143	竜巻	1972年06月06日23時30分	27度21分30秒	128度35分57秒	鹿児島県	大島郡知名町	F1	寒冷前線
144	竜巻	1971年08月31日04時00分	35度0分53秒	138度28分52秒	静岡県	清水市	F0~F1	台風
145	竜巻	1968年09月24日15時30分	31度51分30秒	131度26分0秒	宮崎県	宮崎市	F1	台風
146	竜巻	1961年10月07日10時10分	34度59分33秒	138度29分24秒	静岡県	清水市	F1	寒冷前線
147	竜巻	1961年01月24日13時45分	31度15分7秒	130度22分26秒	鹿児島県	川辺郡知覧町	F1	寒冷前線
F0相当								
148	竜巻	2012年06月05日03時20分	25度49分20秒	131度14分14秒	沖縄県	島尻郡南大東村	F0	台風
149	竜巻	2012年02月28日17時40分	26度21分20秒	127度58分15秒	沖縄県	うるま市	F0	停滞前線
150	竜巻	2011年10月21日21時30分	32度46分44秒	132度56分57秒	高知県	土佐清水市	F0	暖気の移流

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
151	竜巻	2011年10月14日07時30分	32度41分12秒	131度48分29秒	宮崎県	延岡市	F0	暖気の移流
152	竜巻	2011年07月18日19時10分	34度47分13秒	136度33分11秒	三重県	津市	F0	台風 暖気の移流
153	竜巻	2011年02月11日00時20分	26度10分0秒	127度39分20秒	沖縄県	豊見城市	F0	停滞前線
154	竜巻	2010年11月22日15時30分	27度23分1秒	128度34分31秒	鹿児島県	大島郡和泊町	F0	停滞前線 暖気の移流
155	竜巻	2010年11月01日05時20分	35度30分16秒	140度25分50秒	千葉県	山武郡九十九里町	F0	南岸低気圧
156	竜巻	2010年10月22日10時50分	26度21分45秒	126度44分51秒	沖縄県	島尻郡久米島町	F0以下	停滞前線 暖気の移流
157	竜巻	2010年10月09日18時00分	35度2分34秒	139度59分30秒	千葉県	南房総市	F0	その他(低気圧)
158	竜巻	2010年09月28日09時15分	34度49分20秒	138度19分25秒	静岡県	焼津市	F0	二つ玉低気圧
159	竜巻	2010年09月13日14時20分	26度55分57秒	127度56分32秒	沖縄県	島尻郡伊是名村	F0	太平洋高気圧
160	竜巻	2010年08月11日16時55分	33度32分20秒	133度43分1秒	高知県	香南市	F0	台風 暖気の移流
161	竜巻	2010年07月09日14時40分	33度35分18秒	135度54分36秒	和歌山県	東牟婁郡 那智勝浦町	F0	梅雨前線
162	竜巻	2010年06月25日19時00分	32度14分59秒	131度33分33秒	宮崎県	児湯郡都農町	F0	梅雨前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
163	竜巻	2010年04月29日02時00分	33度30分14秒	133度52分26秒	高知県	安芸市	F0	寒冷前線
164	竜巻	2010年02月01日09時30分	31度13分43秒	130度29分55秒	鹿児島県	南九州市	F0	東シ海低気圧 寒冷前線
165	竜巻	2010年02月01日09時10分	31度25分51秒	130度17分2秒	鹿児島県	南さつま市	F0	東シ海低気圧 寒冷前線
166	竜巻	2009年11月13日17時00分	32度10分27秒	131度31分7秒	宮崎県	児湯郡川南町	F0	その他(低気圧)
167	竜巻	2009年11月11日09時00分	34度39分7秒	138度4分11秒	静岡県	掛川市	F0	寒気の移流
168	竜巻	2009年08月08日15時20分	24度51分28秒	125度17分19秒	沖縄県	宮古島市	F0	台風
169	竜巻	2009年07月25日11時00分	33度32分39秒	133度53分40秒	高知県	安芸市	F0	梅雨前線
170	竜巻	2009年03月09日12時30分	26度5分40秒	127度41分35秒	沖縄県	糸満市	F0	寒冷前線
171	竜巻	2008年10月07日12時20分	26度20分0秒	126度48分43秒	沖縄県	島尻郡久米島町	F0未満	停滞前線
172	竜巻	2008年09月21日13時00分	34度9分20秒	134度36分50秒	徳島県	鳴門市	F0未満	停滞前線
173	竜巻	2008年08月16日13時25分	35度37分13秒	140度3分43秒	千葉県	千葉市	F0以下	台風 停滞前線 雷雨(熱雷)
174	竜巻	2008年07月22日17時30分	26度12分7秒	127度45分56秒	沖縄県	島尻郡与那原町	F0未満	気圧の谷

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
175	竜巻	2008年06月29日02時30分	33度30分24秒	133度54分15秒	高知県	安芸市	F0	梅雨前線
176	竜巻	2008年05月01日18時00分	30度31分33秒	130度57分19秒	鹿児島県	熊毛郡中種子町	F0	その他(低気圧)
177	竜巻	2008年04月09日17時00分	31度15分37秒	130度15分50秒	鹿児島県	枕崎市	F0	東シ海低気圧
178	竜巻	2008年04月07日11時20分	32度43分21秒	133度0分30秒	高知県	土佐清水市	F0	その他(低気圧)
179	竜巻	2006年09月25日11時40分	25度51分20秒	131度15分10秒	沖縄県	南大東村	F0	その他
180	竜巻	2003年10月12日04時25分	32度32分49秒	131度40分54秒	宮崎県	延岡市	F0	その他(低気圧)
181	竜巻または ダウンバースト	2002年10月15日21時30分	34度40分8秒	137度59分34秒	静岡県	磐田郡浅羽町,小笠 郡大須賀町,小笠郡 大東町	F0	日本海低気圧 寒冷前線
182	竜巻	2001年05月29日13時00分	35度0分20秒	136度55分5秒	愛知県	東海市	F0	局地性降水
183	竜巻	2001年01月13日07時35分	26度8分43秒	127度41分26秒	沖縄県	糸満市	F0	寒冷前線
184	竜巻	1999年06月30日09時30分	35度9分8秒	138度45分55秒	静岡県	富士市	F0	日本海低気圧 寒冷前線
185	竜巻	1998年10月17日15時00分	32度25分13秒	131度39分49秒	宮崎県	日向市	F0	台風
186	竜巻	1998年02月14日19時55分	24度23分26秒	123度44分55秒	沖縄県	竹富町	F0	寒冷前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
187	竜巻	1998年01月14日10時50分	26度10分23秒	127度38分51秒	沖縄県	豊見城村	F0	寒冷前線 暖気の移流
188	竜巻	1997年11月28日09時30分	27度19分45秒	128度33分35秒	鹿児島県	知名町	F0	東シ海低気圧 暖気の移流
189	竜巻	1995年09月23日08時50分	26度24分18秒	127度42分59秒	沖縄県	読谷村	F0	台風
190	竜巻	1994年10月04日17時30分	33度32分8秒	133度40分50秒	高知県	南国市	F0	暖気の移流
191	竜巻	1994年10月04日17時15分	33度32分17秒	133度43分31秒	高知県	香美郡赤岡町	F0	暖気の移流
192	竜巻	1993年01月23日17時30分	24度22分35秒	123度45分11秒	沖縄県	竹富町	F0	停滞前線
193	竜巻	1991年11月28日22時00分	34度22分30秒	139度15分0秒	東京都	新島若郷	F0	南岸低気圧
Fスケール不明の陸上竜巻								
194	竜巻	2012年05月13日12時56分	24度42分42秒	125度19分3秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
195	竜巻または 漏斗雲	2010年08月14日17時20分	26度23分0秒	127度44分0秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧
196	竜巻	2010年08月04日12時25分	34度33分0秒	137度1分0秒	愛知県	(海上)	不明	暖気の移流
197	竜巻	2009年08月08日15時10分	24度47分0秒	125度16分0秒	沖縄県	宮古島市	不明	台風

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
198	竜巻または 漏斗雲	2008年10月07日12時35分	26度21分5秒	126度49分0秒	沖縄県	(海上)	不明	停滞前線
199	竜巻または 漏斗雲	2008年07月22日17時40分	26度11分54秒	127度46分7秒	沖縄県	島尻郡与那原町付 近	不明	気圧の谷
200	竜巻または 漏斗雲	2008年07月22日17時40分	26度11分54秒	127度46分7秒	沖縄県	島尻郡与那原町付 近	不明	気圧の谷
201	竜巻	2007年10月09日12時30分	32度8分44秒	130度6分16秒	鹿児島県	長島町	不明	東シ海低気圧
202	竜巻または 漏斗雲	2007年09月14日15時05分	32度34分19秒	131度40分28秒	宮崎県	延岡市	不明	台風
203	竜巻	2004年06月01日14時15分	26度17分47秒	127度48分45秒	沖縄県	北中城村	不明	梅雨前線 暖気の移流
204	竜巻	1999年07月03日12時30分	26度34分30秒	127度58分0秒	沖縄県	(海上)	不明	停滞前線 暖気の移流
205	竜巻	1997年05月20日13時30分	33度40分0秒	135度10分0秒	和歌山県	(海上)	不明	南岸低気圧 寒気の移流
206	竜巻	1993年01月07日10時30分	33度47分50秒	135度14分30秒	和歌山県	印南町	不明	南岸低気圧
207	竜巻	1992年11月19日11時10分	32度41分5秒	131度50分33秒	宮崎県	北浦町	不明	不安定線 移動性高気圧
208	竜巻	1991年02月13日18時00分	26度26分4秒	127度46分49秒	沖縄県	国頭郡恩納村	不明	東シ海低気圧 暖気の移流
209	竜巻	1990年09月19日14時00分	34度42分10秒	137度37分40秒	静岡県	浜松市, 舞阪町, 雄 踏町	不明	台風

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
210	竜巻	1972年06月06日20時30分	26度8分40秒	127度41分8秒	沖縄県	糸満市	不明	東シ海低気圧 暖気の移流
211	竜巻	1971年09月08日02時00分	35度42分0秒	140度43分30秒	千葉県	飯岡町	不明	台風
212	竜巻	1971年08月31日10時50分	35度42分1秒	140度42分11秒	千葉県	飯岡町	不明	台風
213	竜巻	1964年05月24日14時55分	35度37分47秒	139度38分7秒	東京都	世田谷区	不明	寒冷前線 暖気の移流
214	竜巻	2012年05月13日16時57分	24度53分54秒	125度15分27秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
215	竜巻	2012年05月09日08時40分	34度53分50秒	136度48分0秒	愛知県	(海上)	不明	気圧の谷 寒気の移流
216	竜巻	2011年12月04日07時10分	34度49分0秒	139度24分40秒	東京都	(海上)	不明	寒気の移流
217	竜巻	2011年12月04日07時10分	34度49分0秒	139度24分40秒	東京都	(海上)	不明	寒気の移流
218	竜巻	2011年12月04日07時00分	34度49分25秒	139度23分30秒	東京都	(海上)	不明	寒気の移流
219	竜巻	2011年12月04日06時45分	34度47分50秒	139度25分45秒	東京都	(海上)	不明	寒気の移流
220	竜巻または 漏斗雲	2011年11月30日11時08分	26度24分52秒	127度41分54秒	沖縄県	(海上)	不明	停滞前線 気圧の谷
221	竜巻	2011年08月22日16時17分	26度29分0秒	127度49分0秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
222	竜巻または 漏斗雲	2011年08月22日14時15分	24度51分0秒	125度21分0秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧
223	竜巻	2011年02月25日17時20分	26度14分0秒	127度39分0秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(高気圧)
224	竜巻	2011年02月03日10時00分	26度7分0秒	127度39分0秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
225	竜巻	2010年10月07日17時00分	33度2分48秒	133度8分2秒	高知県	(海上)	不明	その他(高気圧)
226	竜巻	2010年10月02日17時00分	26度22分0秒	126度42分0秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(高気圧)
227	竜巻	2010年10月02日15時50分	26度23分0秒	126度43分0秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(高気圧)
228	竜巻	2010年09月23日10時05分	33度28分47秒	135度44分45秒	和歌山県	(海上)	不明	停滞前線
229	竜巻	2010年08月18日11時36分	26度25分0秒	127度42分0秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧
230	竜巻	2010年07月28日16時20分	26度30分0秒	128度1分0秒	沖縄県	(海上)	不明	暖気の移流
231	竜巻または 漏斗雲	2010年07月25日14時45分	26度35分0秒	127度11分0秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧
232	竜巻	2009年09月15日11時40分	26度26分0秒	127度58分0秒	沖縄県	(海上)	不明	暖気の移流
233	竜巻	2009年08月08日15時30分	24度38分0秒	124度38分0秒	沖縄県	(海上)	不明	台風

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
234	竜巻	2009年07月30日17時50分	26度18分0秒	127度34分0秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(高気圧)
235	竜巻	2009年07月06日16時35分	26度35分0秒	127度57分0秒	沖縄県	(海上)	不明	暖気の移流
236	竜巻または 漏斗雲	2009年07月06日18時54分	24度18分16秒	124度3分2秒	沖縄県	石垣市	不明	暖気の移流
237	竜巻	2009年06月26日13時10分	26度14分24秒	127度39分3秒	沖縄県	(海上)	不明	梅雨前線
238	竜巻または 漏斗雲	2009年02月26日11時50分	24度55分27秒	125度16分4秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(高気圧)
239	竜巻	2008年11月08日10時25分	25度47分38秒	131度16分25秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
240	竜巻	2008年11月03日11時55分	34度15分0秒	134度30分0秒	徳島県	(海上)	不明	その他(前線) 寒気の移流
241	竜巻	2008年10月27日16時00分	35度15分20秒	140度25分40秒	千葉県	(海上)	不明	寒気の移流
242	竜巻	2008年10月27日15時50分	35度15分20秒	140度25分40秒	千葉県	(海上)	不明	寒気の移流
243	竜巻	2008年10月27日15時50分	35度15分20秒	140度25分30秒	千葉県	(海上)	不明	寒気の移流
244	竜巻	2008年10月27日15時40分	35度15分20秒	140度25分20秒	千葉県	(海上)	不明	寒気の移流
245	竜巻	2008年10月27日15時30分	35度15分20秒	140度25分0秒	千葉県	(海上)	不明	寒気の移流

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
246	竜巻または 漏斗雲	2008年10月10日17時20分	26度5分38秒	127度43分38秒	沖縄県	糸満市	不明	気圧の谷
247	竜巻	2008年10月07日11時30分	26度20分0秒	126度49分0秒	沖縄県	(海上)	不明	停滞前線
248	竜巻	2008年10月07日11時00分	26度16分0秒	126度49分0秒	沖縄県	(海上)	不明	停滞前線
249	竜巻	2008年08月26日14時12分	28度24分0秒	129度45分0秒	鹿児島県	(海上)	不明	暖気の移流
250	竜巻	2008年08月16日13時45分	35度36分57秒	140度3分20秒	千葉県	(海上)	不明	台風 停滞前線 雷雨(熱雷)
251	竜巻	2008年08月08日16時45分	24度21分8秒	124度7分13秒	沖縄県	石垣市	不明	その他(低気圧)
252	竜巻または 漏斗雲	2008年08月08日13時40分	26度15分0秒	127度31分0秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(低気圧)
253	竜巻	2008年07月22日17時40分	26度11分54秒	127度47分10秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
254	竜巻	2008年07月22日17時08分	26度11分6秒	127度47分8秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
255	竜巻	2008年07月22日17時05分	26度11分6秒	127度47分8秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
256	竜巻	2008年07月07日09時30分	26度11分46秒	127度58分7秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧
257	竜巻	2008年07月03日15時00分	26度30分2秒	128度0分1秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧 気圧の谷

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
258	竜巻または 漏斗雲	2008年05月27日13時00分	24度52分35秒	125度20分14秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
259	竜巻または 漏斗雲	2008年05月27日12時30分	24度55分7秒	125度19分31秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
260	竜巻	2008年05月27日11時41分	24度52分39秒	125度18分42秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
261	竜巻	2008年05月19日16時50分	34度36分44秒	137度1分14秒	愛知県	(海上)	不明	気圧の谷 南岸低気圧
262	竜巻または 漏斗雲	2008年04月23日16時23分	34度39分43秒	137度24分43秒	愛知県	豊橋市	不明	気圧の谷
263	竜巻	2008年03月25日21時04分	35度16分57秒	139度31分36秒	神奈川県	(海上)	不明	気圧の谷 寒気の移流
264	竜巻	2008年03月25日20時57分	35度15分40秒	139度29分57秒	神奈川県	(海上)	不明	気圧の谷 寒気の移流
265	竜巻	2008年03月25日20時53分	35度18分16秒	139度26分34秒	神奈川県	(海上)	不明	気圧の谷 寒気の移流
266	竜巻	2007年10月14日12時55分	34度32分35秒	137度0分30秒	三重県	(海上)	不明	停滞前線 気圧の谷
267	竜巻または 漏斗雲	2007年10月09日16時00分	32度4分8秒	130度8分23秒	鹿児島県	(海上)	不明	東シ海低気圧
268	竜巻	2007年10月09日14時00分	32度9分12秒	130度5分33秒	鹿児島県	(海上)	不明	東シ海低気圧
269	竜巻	2007年09月25日16時45分	26度7分48秒	127度35分24秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷 熱帯低気圧(台風以外)

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
270	竜巻または 漏斗雲	2007年09月02日13時02分	24度19分29秒	124度16分44秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧 雷雨(熱雷)
271	竜巻または 漏斗雲	2007年08月29日13時40分	26度3分29秒	127度40分48秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(高気圧) 気圧の谷
272	竜巻または 漏斗雲	2007年08月29日13時25分	26度5分6秒	127度38分6秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(高気圧) 気圧の谷
273	竜巻	2007年08月28日17時30分	26度40分12秒	128度3分36秒	沖縄県	(海上)	不明	雷雨(熱雷)
274	竜巻	2007年08月28日15時40分	26度20分40秒	127度56分0秒	沖縄県	(海上)	不明	雷雨(熱雷)
275	竜巻	2007年07月30日10時00分	24度29分57秒	122度55分11秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
276	竜巻	2007年05月31日17時30分	35度13分0秒	139度51分0秒	千葉県	(海上)	不明	雷雨(熱雷を除く) 寒気の移流
277	竜巻	2006年11月06日12時00分	33度42分0秒	135度20分0秒	和歌山県	(海上)	不明	日本海低気圧
278	竜巻	2006年09月19日17時30分	33度29分33秒	133度34分14秒	高知県	(海上)	不明	寒気の移流
279	竜巻	2006年08月29日14時16分	26度40分0秒	127度52分30秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
280	竜巻	2006年08月28日15時50分	26度26分49秒	128度1分56秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧
281	竜巻	2003年01月11日15時40分	33度5分25秒	139度43分19秒	東京都	(海上)	不明	気圧の谷

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
282	竜巻	2001年08月04日15時27分	26度21分52秒	126度41分12秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
283	竜巻	2001年08月04日15時00分	26度21分52秒	126度41分12秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
284	竜巻	2001年07月09日17時59分	24度49分39秒	125度7分44秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
285	竜巻	2001年07月08日16時14分	24度46分54秒	125度14分41秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
286	竜巻	2000年08月07日17時55分	35度32分30秒	140度0分52秒	千葉県	(海上)	不明	雷雨(熱雷)
287	竜巻	1999年11月02日16時40分	34度55分40秒	138度23分50秒	静岡県	静岡市	不明	その他(前線) 寒気の移流
288	竜巻	1999年08月12日10時18分	26度21分40秒	126度41分12秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
289	竜巻	1999年07月21日11時20分	26度6分3秒	127度38分19秒	沖縄県	(海上)	不明	熱帯低気圧(台風以外)
290	竜巻	1998年09月24日17時27分	26度9分1秒	127度38分41秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
291	竜巻	1998年04月18日13時15分	32度59分50秒	133度2分2秒	高知県	(海上)	不明	南岸低気圧
292	竜巻	1997年09月06日15時30分	33度14分37秒	134度13分20秒	高知県	(海上)	不明	停滞前線 暖気の移流
293	竜巻	1997年05月03日10時50分	26度6分30秒	127度32分30秒	沖縄県	(海上)	不明	寒冷前線

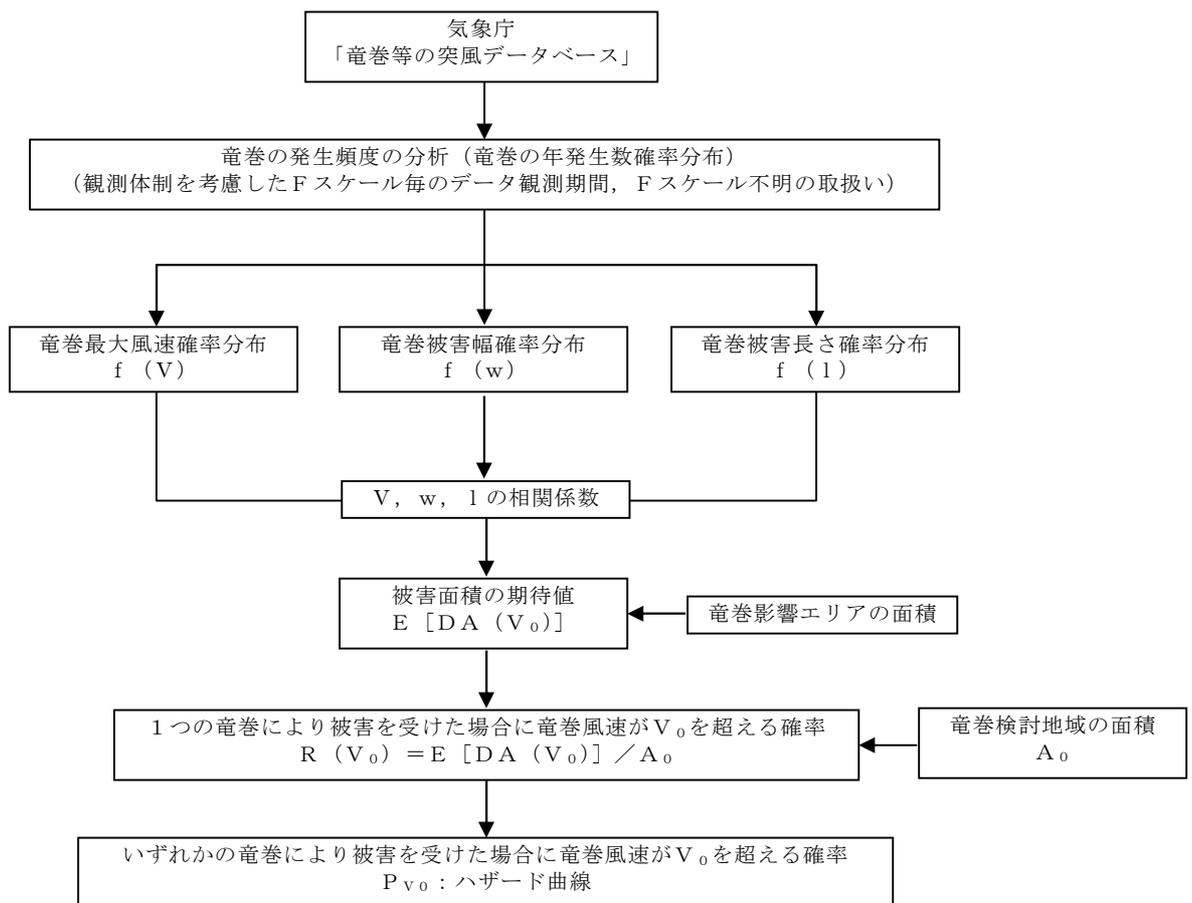
No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
294	竜巻	1994年10月04日17時05分	33度31分15秒	133度41分47秒	高知県	(海上)	不明	暖気の移流
295	竜巻	1994年10月04日17時05分	33度31分8秒	133度41分30秒	高知県	(海上)	不明	暖気の移流
296	竜巻	1994年10月04日17時05分	33度31分17秒	133度42分9秒	高知県	(海上)	不明	暖気の移流
297	竜巻	1992年05月17日14時33分	26度21分49秒	126度41分8秒	沖縄県	(海上)	不明	東シ海低気圧 暖気の移流
298	竜巻	1992年04月15日16時55分	33度33分30秒	135度25分0秒	和歌山県	日置川町	不明	寒冷前線
299	竜巻	1992年03月31日14時55分	26度26分0秒	127度56分0秒	沖縄県	(海上)	不明	東シ海低気圧 暖気の移流
300	竜巻	1971年08月31日07時15分	35度3分51秒	140度6分7秒	千葉県	鴨川市	不明	台風

竜巻最大風速のハザード計算について

1. 評価フロー

「竜巻影響評価ガイド」⁽¹⁾の解説 3.3.2 に例示された Wen & Chu⁽²⁾及び Garsonet al.⁽³⁾⁽⁴⁾による方法に沿って、竜巻最大風速のハザード曲線を算定し、ハザード曲線による最大風速 V_{B2} を算定する。具体的な算定方法については、独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」⁽⁵⁾を参考とする。

第1-1図に算定フローを示す。



第1-1図 ハザード曲線の算定フロー

2. 竜巻の発生頻度の分析

竜巻についての過去の観測データは少なく、また、観測年代によって精度が異なる。そこで、下記のとおり、観測データの補正を行い、年発生数の確率分布に供する統計データを推定する。

(1) 適用データ

気象庁「竜巻等の突風データベース」⁽⁶⁾より、竜巻検討地域における 1961 年 1 月から 2012 年 6 月の竜巻のデータを用いる。

(2) 竜巻の発生頻度の補正

「竜巻等の突風データベース」は 1961 年以降に観測された竜巻がデータベース化されているが、観測体制が段階的に強化された結果、特に 2007 年以降のデータにおいては発生数が非常に多く、海上竜巻の増加も顕著である。そこで、観測体制が強化されたことによる補正を以下のとおり行い、疑似 51.5 年間の統計量を評価する。

a. ハザード曲線評価に用いるデータの観測期間を以下の(a)～(c)の3期間に分ける。

(a) 2007 年 1 月～2012 年 6 月 (5.5 年間)

(b) 1991 年 1 月～2012 年 6 月 (21.5 年間)

(c) 1961 年 1 月～2012 年 6 月 (51.5 年間)

b. 次に、各年代において F スケール毎に、統計量（竜巻発生数、年間平均発生数、標準偏差）を算定する。

c. F 0 及び F スケール不明の竜巻については、観測体制が強化される以前は見過ごされた可能性が大きいことから、観測体制が強化された 2007 年以降の統計量を基にする。

d. F 1 の竜巻については、1991 年以降の年間発生数がそれ以前の 30 年間の発生数を明らかに上回ることから、1991 年以降の統計量を基にする。

- e. F 2以上の竜巻については、見逃されることが少なかったとして、1961年以降の全期間の統計量を基にする。
- f. 51.5年間の発生数を、(a)～(c)の観測期間との比率からFスケール毎に推計する。
- g. 海上竜巻でFスケール不明の場合、被害痕跡等が残っていないため、そのFスケールを推定することは難しい。そこで、沿岸部近傍では竜巻の発生状況については陸上と海上で変わらないと仮定し、「海岸線から海上5kmの範囲における海上竜巻の発生特性が、海岸線から内陸5kmの範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である」という仮定に基づいて、陸上竜巻（上陸竜巻含む）でのFスケール別発生比率で按分し、各Fスケールで発生した竜巻に加える。【添付資料5 別紙1】
- 一方、Fスケール不明の陸上竜巻は、痕跡等が残らないほど小さかったとし、F 0相当の竜巻であったとする。

竜巻検討地域について、発生数に関する統計量の算定結果を第2-1表に示す。竜巻検討地域において51.5年間に300個の竜巻が観測されたことに対し、1188個の竜巻が発生したと推定した。

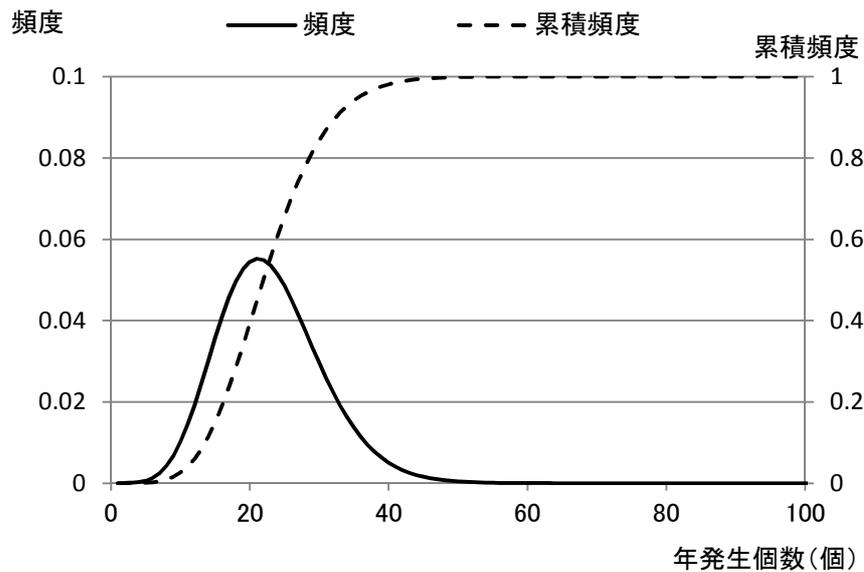
第2-1表 竜巻発生数の分析結果

		F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計	
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	6	41	100	46	193	20	87	300
		平均値(個/年)	0.12	0.80	1.94	0.89	3.75	0.39	1.69	5.83
		標準偏差(個/年)	0.32	0.94	1.96	2.17	3.25	0.69	4.35	7.26
	1991.1-2012.6 21.5年間	期間内個数	1	15	72	46	134	15	86	235
		平均値(個/年)	0.05	0.70	3.35	2.14	6.23	0.70	4.00	10.93
		標準偏差(個/年)	0.22	0.78	2.03	2.96	3.24	0.84	6.08	8.81
	2007.1-2012.6 5.5年間	期間内個数	0	1	12	31	44	9	63	116
		平均値(個/年)	0.00	0.18	2.18	5.64	8.00	1.64	11.45	21.09
		標準偏差(個/年)	0.00	0.43	1.99	4.17	4.16	0.97	8.32	11.75

		F3	F2	F1	F0	計	
疑似51.5年間の竜巻	疑似51.5年間 (陸上竜巻)	期間内個数	6	41	173	376	596
		平均値(個/年)	0.12	0.80	3.36	7.30	11.57
		標準偏差(個/年)	0.32	0.94	2.03	4.74	5.25
	疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値(個/年)	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差(個/年)	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42

(3) 年発生数の確率密度分布の設定

竜巻の年発生数の確率密度分布の設定に当たっては、竜巻は気象事象の中でも極めて稀に発生する事象であり、発生数の変動(標準偏差)が大きいことから、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づき平均値と標準偏差を評価し、「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」の成果を参考とし、第2-1図に示すポリヤ分布とした。



第 2-1 図 竜巻の年発生数の確率密度分布（ポリヤ分布）

3. 竜巻の被害幅，被害長さの分析

被害幅及び被害長さについても発生数と同様に疑似 51.5 年間の統計量を基にする。被害幅及び被害長さの分析に利用可能なデータ数は，竜巻発生数評価時のデータ数に比べて少ない。そこで，先に作成した疑似 51.5 年間の竜巻発生数と対応した被害幅及び被害長さの統計量の分析は，以下の手順で行った。

Step1：基となる観測データ数を確保するために，1961 年以降の被害幅及び被害長さのデータを基にする。そのデータを F スケール毎に仕分ける。

Step2：各 F スケールに対し，上記で抽出された被害幅や被害長さのデータを大きい順に並び替え，51.5 年間の発生数分だけ繰り返しサンプリングを行い，疑似 51.5 年間のデータとする。例えば，被害幅が観測されている 7 個のデータを大きい順から並べたものを 7 回繰り返し，計 49 個のデータを作成する。

Step3：疑似 51.5 年間のデータについて、統計量（平均値及び標準偏差）を求める。

第 3-1 表、第 3-2 表に、疑似 51.5 年間のデータを基に評価した被害幅及び被害長さの統計量を示す。

第 3-1 表 被害幅の統計量

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間 観測値	期間内個数	6	36	84	37	163
	平均値 (m)	525	206	115	55	137
	標準偏差 (m)	741	367	173	45	265
疑似 51.5 年間	期間内個数	12	82	345	749	1188
	平均値 (m)	525	250	124	56	94
	標準偏差 (m)	706	408	187	45	179

第 3-2 表 被害長さの統計量

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間 観測値	期間内個数	6	38	88	38	170
	平均値 (km)	14	5.02	2.38	1.17	3.11
	標準偏差 (km)	15	4.55	3.03	0.98	4.70
疑似 51.5 年間	期間内個数	12	82	345	749	1188
	平均値 (km)	14	5.63	2.43	1.18	1.98
	標準偏差 (km)	14	4.94	3.03	0.97	3.10

4. 竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率密度分布及び相関係数

(1) 最大風速、被害幅及び被害長さの確率密度分布

最大風速、被害幅及び被害長さは、前記で評価した統計量を有する対数正規分布に従うものとする。第 4-1 表に統計量を示す。それぞれが独立であるとした場合の確率密度分布について、第 4-1 図～第 4-6 図に示す。

最大風速の超過確率は、観測結果がトレースでき、風速の大きいエリアにおいても不自然な形となっていないことが確認できる。竜巻の被害幅及び長さの超過確率からは、観測結果を概ねトレースしていることが確認できる。

(2) 最大風速、被害幅及び被害長さの相関係数

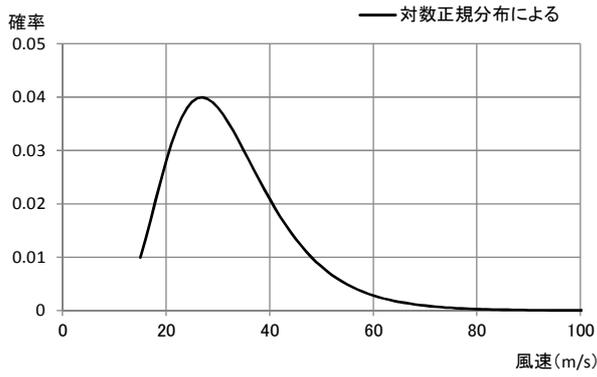
相関係数は、過去に発生した竜巻の最大風速、被害幅及び被害長さの関係を評価することから、繰り返しサンプリングを行った推定 51.5 年間ではなく、観測データを基に、その対数値の相関係数を算出した。観測データのみを用いるのは、F スケール不明や F 0 の竜巻では、被害規模が小さいために、被害幅や被害長さの観測データが F 2、F 3 の竜巻と比べ観測値として示されている場合が少なく、そのようなデータを繰り返しサンプリングにより増やすと、F 2、F 3 の竜巻で見られる相関性が反映されない結果が懸念されるためである。

また、相関係数を算出する際には、竜巻の最大風速、被害幅及び被害長さの 3 変量が同時に観測されているデータを用いるのが理想であるが、3 変量が揃っているデータは少ないので、データ数を極力確保することを目的として、例えば最大風速と被害幅のみが観測されている等、少なくとも 2 変量の比較が行えるデータを用いた。

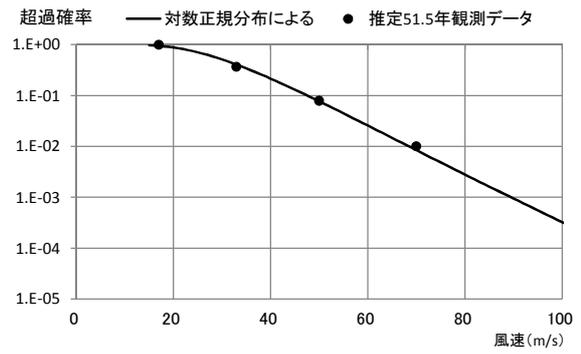
相関係数の算出結果を、第 4-2 表に示す。

第 4-1 表 発生数、被害幅及び被害長さの統計量

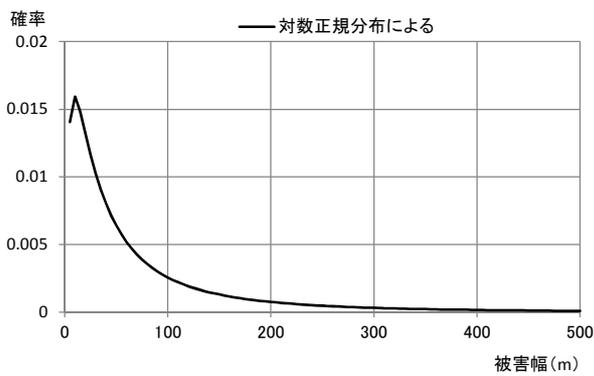
			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間	発生数	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値 (個/年)	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差 (個/年)	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42
	被害幅	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値 (m)	525	250	124	56	94
		標準偏差 (m)	706	408	187	45	179
	被害長さ	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値 (km)	14	5.63	2.43	1.18	1.98
		標準偏差 (km)	14	4.94	3.03	0.97	3.10



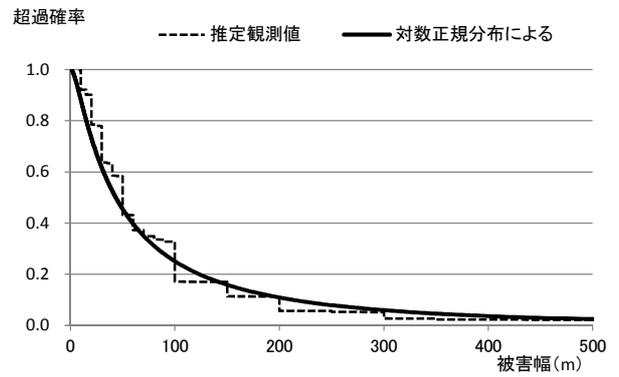
第 4-1 図 最大風速の確率密度分布



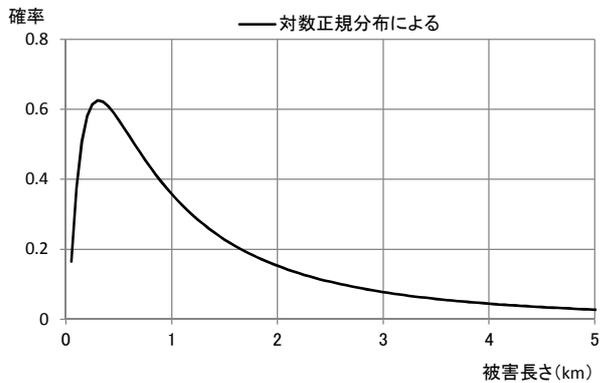
第 4-2 図 最大風速の超過確率



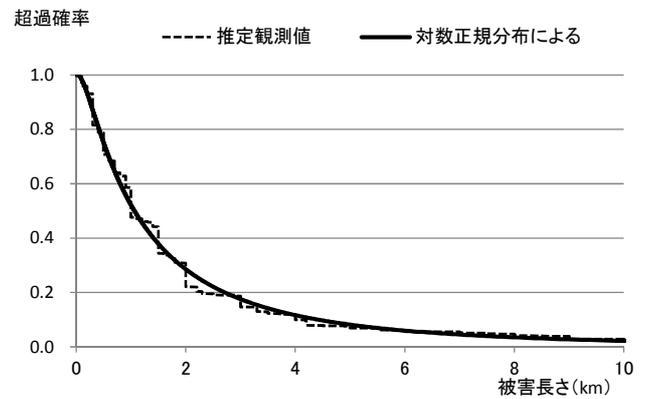
第 4-3 図 被害幅の確率密度分布



第 4-4 図 被害幅の超過確率



第 4-5 図 被害長さの確率密度分布



第 4-6 図 被害長さの超過確率

第 4-2 表 最大風速，被害幅及び被害長さの対数値の相関係数

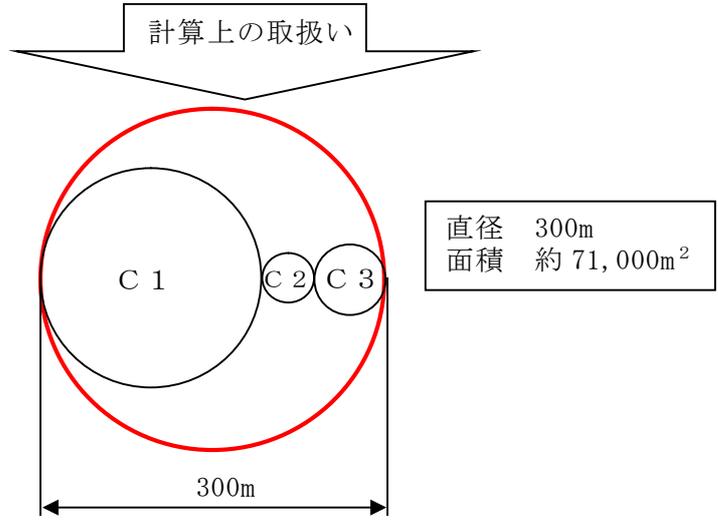
相関係数の値	最大風速	被害幅	被害長さ
最大風速	1.000	0.381	0.452
被害幅	—	1.000	0.381
被害長さ	—	—	1.000

5. 竜巻影響エリアの設定

東海第二発電所の構築物，系統及び機器のうち，竜巻防護施設を包絡する円形領域を竜巻影響エリアとして設定した。竜巻影響エリアを第5-1図に示す。

なお，竜巻影響エリアは，原子炉建屋周辺，海水ポンプ室及び使用済燃料乾式貯蔵建屋が離れているため，それぞれをまず直径188m，直径44m及び直径60mの円形領域に包絡させ，さらにこれらの領域を包絡させた直径300mの円形領域(面積約71,000m²)として設定した。

また，竜巻影響エリアを円形としたため，ハザード計算において竜巻の移動方向に対する依存性は生じない。



第 5-1 図 竜巻影響エリア

6. ハザード曲線の算定方法

前記で設定した竜巻の年発生数の確率分布及び最大風速の確率分布をもとに、以下に示すとおり「竜巻影響評価ガイド」の解説 3.3.2 に例示された Wen & Chu 及び Garson et al. の方法に沿って、ハザード曲線を算定する。

(1) 評価方法

D を評価対象構造物が風速 V_0 以上の竜巻に遭遇する事象とし、ある竜巻が評価対象構造物を襲い、その竜巻の風速が V_0 以上となる確率を $R(V_0)$ とする。また、ある竜巻の風速が V_0 以上となる面積を $DA(V_0)$ とする。また、その期待値を $E[DA(V_0)]$ にて表す。

a. 前記に基づき、竜巻の最大風速 V 、被害幅 w 及び被害長さ l の統計値から、次式の対数正規分布型の確率分布を与える。

$$f(V, w, l) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^3 |\Sigma|^{1/2}} \frac{1}{Vwl} \exp\left(-\frac{1}{2}(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^T \Sigma^{-1}(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})\right)$$

$$\text{ここで、 } \mathbf{x} = \begin{Bmatrix} \ln(V) \\ \ln(w) \\ \ln(l) \end{Bmatrix}, \quad \boldsymbol{\mu} = \begin{Bmatrix} \mu_V \\ \mu_w \\ \mu_l \end{Bmatrix}, \quad \Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_V^2 & \sigma_V \sigma_w \rho_{Vw} & \sigma_V \sigma_l \rho_{Vl} \\ \sigma_V \sigma_w \rho_{Vw} & \sigma_w^2 & \sigma_w \sigma_l \rho_{wl} \\ \sigma_V \sigma_l \rho_{Vl} & \sigma_w \sigma_l \rho_{wl} & \sigma_l^2 \end{bmatrix}$$

\mathbf{x} は最大風速、被害幅及び被害長さの対数値 $\ln(V)$ 、 $\ln(w)$ 、 $\ln(l)$ によるベクトル、 $\boldsymbol{\mu}$ は各統計値から評価した最大風速、被害幅及び被害長さの対数値の平均からなるベクトル、 Σ は $\ln(V)$ 、 $\ln(w)$ 、 $\ln(l)$ から評価した標準偏差 σ_V 、 σ_w 、 σ_l と相関係数 ρ_{Vw} 、 ρ_{wl} 、 ρ_{Vl} からなる分散共分散行列である。

b. 被災領域内には、竜巻の被害幅のうち風速が V_0 を超える部分の幅を与える次式を考慮する。

$$W(V_0) = \left(\frac{V_{\min}}{V_0}\right)^{1/1.6} w$$

ここで、 V_{\min} は、Gale intensity と呼ばれ (Gale は「非常に強い風」という意味)、被害が発生し始める風速に位置づけられる。米国気象局 NWS (National Weather Service) では、34~47ノット (17.5~24.2 m/s) とされ、また、気象庁が使用している風力階級では、風力9は大強風 (strong gale : 20.8~24.4 m/s) と分類され、「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める。」とされていることを参考に、 $V_{\min} = 25 \text{ m/s}$ とした。なお、この値は F 0 (17~32 m/s) のほぼ中央値に相当する。

c. 得られた平均と分散共分散行列を基に、竜巻影響エリアの代表幅 D_0 を考慮し、次式にて、被災面積期待値 $E[DA(V_0)]$ を算定する。なお、竜巻影響エリアが円形のため、以下の式にて表わされる。

$$E[DA(V_0)] = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl + D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty l f(V, l) dV dl + D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw + S \int_0^\infty f(V) dV$$

ここで、 D_0 は竜巻影響エリアの代表幅

s は竜巻影響エリアの面積 ($= \pi D_0^2 / 4$)

$f(V, l)$, $f(V, w)$, $f(V)$ は $f(V, w, l)$ をもとに各成分を抽出した関数

d. 竜巻検討地域の面積 A_0 及び上記の被災面積期待値 $E[DA(V_0)]$ から、評価対象構造物が竜巻による被害を受け、その竜巻の風速が V_0 以上となる確率 $R(V_0)$ を次式にて算定する。

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0}$$

e. 評価対象とする構造物が、T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率 P_{V_0} を算定する。竜巻の年発生数の確率密度分布としてポリヤ分布の適合性が高い。【添付資料 5 別紙 2】

ポリヤ分布は次式で示される。

$$P_T(N) = \frac{(\nu T)^N}{N!} (1 + \beta \nu T)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k)$$

ここで、 N : 竜巻の年発生数

ν : 竜巻の年平均発生数

T : 年数

β は分布パラメータであり次式で示される。

$$\beta = (\sigma^2 - \nu) / \nu^2$$

ここで、 σ : 竜巻の年発生数の標準偏差

なお、年被災確率は十分小さいので、Garson et al. が示す以下の近似式を用いると、評価対象とする構造物が、 T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率 P_{V_0} は次式にて算定できる。

$$P_{V_0} = 1 - [1 + \beta \nu R(V_0)]^{-1/\beta} = 1 - [1 - \frac{1}{\beta} (\beta \nu R(V_0)) + \dots]$$
$$\approx \nu R(V_0) = \frac{\nu}{A_0} E[DA(V_0)] = p E[DA(V_0)]$$

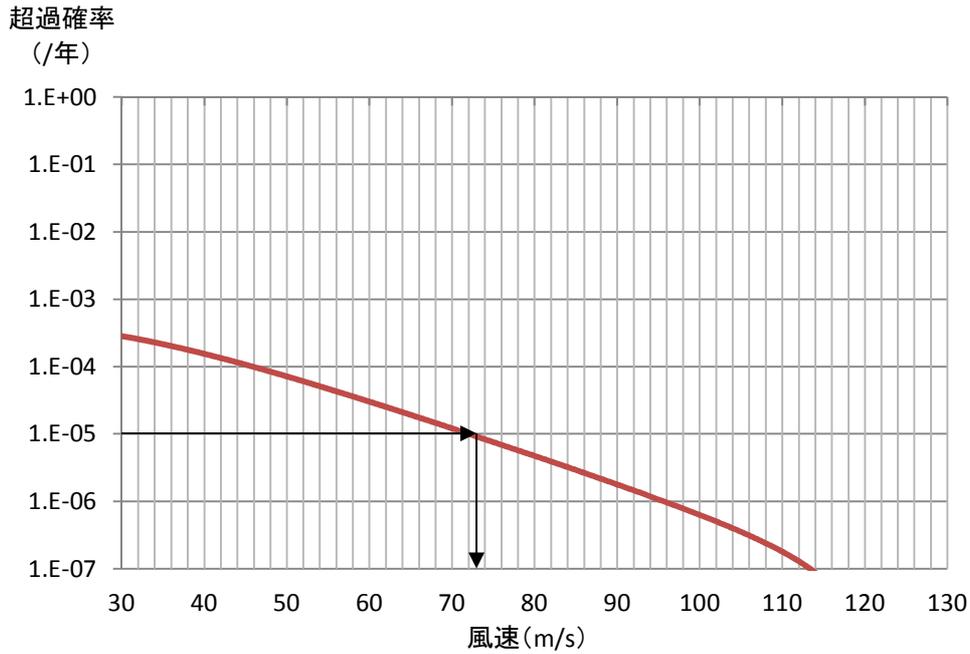
ここで、 p は単位面積当たりの年被災確率

7. 竜巻最大風速のハザード曲線

算出したハザード曲線を、第7-1図に示す。

得られたハザード曲線より、年超過確率 10^{-5} での風速を読み取り、ハザード曲線による最大風速を以下とする。

竜巻検討地域全域（10 km幅）でのハザード曲線による最大風速：73m/s



第 7-1 図 竜巻検討地域全域（10 km幅）でのハザード曲線

竜巻検討地域全域（10 km幅）に加え、「竜巻影響評価ガイド」解説 3.3.2 では、少なくとも 1km 幅毎に竜巻の年発生数の確率分布を算定するとしている。ここでは、ハザード曲線の保守性を持たせるために、竜巻検討地域を 1 km幅に細分化した場合について算定した。

なお、海側の 1km 以遠については、全てが F スケール不明であるため、ハザード曲線の算定は不可能である。

算定に用いた諸元を第 7-1 表から第 7-6 表に示す。相関係数は、全て竜巻検討地域全域（10 km幅）内で発生した竜巻で評価した第 4-2 表の値とする。

算定したハザード曲線を、竜巻検討地域全域（10 km幅）でのハザード曲線と重ね、第 7-2 図に示す。

得られたハザード曲線において、年超過確率 10^{-5} での風速値を読み取り、第 7-7 表にあわせて示す。

第7-1表 海側1-0kmでの統計量

(a) 発生数

			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	1	12	30	10	53	8	28	89
		平均値(個/年)	0.02	0.23	0.58	0.19	1.03	0.16	0.54	1.73
		標準偏差(個/年)	0.14	0.47	1.04	0.63	1.48	0.37	1.55	2.79
	1991.1-2012.6 21.5年間	期間内個数	0	5	24	10	39	7	27	73
		平均値(個/年)	0.00	0.23	1.12	0.47	1.81	0.33	1.26	3.40
		標準偏差(個/年)	0.00	0.53	1.31	0.92	1.88	0.48	2.22	3.65
	2007.1-2012.6 5.5年間	期間内個数	0	0	5	7	12	3	18	33
		平均値(個/年)	0.00	0.00	0.91	1.27	2.18	0.55	3.27	6.00
		標準偏差(個/年)	0.00	0.00	1.37	1.50	2.57	0.55	3.74	5.91

			F3	F2	F1	F0	計
疑似51.5年間の竜巻	疑似51.5年間 (陸上竜巻)	期間内個数	1	12	58	95	166
		平均値(個/年)	0.02	0.23	1.13	1.84	3.22
		標準偏差(個/年)	0.14	0.47	1.31	1.80	2.28
	疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	3	25	118	192	338
		平均値(個/年)	0.06	0.49	2.29	3.73	6.56
		標準偏差(個/年)	0.24	0.68	1.87	2.55	3.25

(b) 被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	1	11	27	6	45
	平均値(m)	2000	133	100	38	142
	標準偏差(m)	0	77	124	38	303
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	3	25	118	192	338
	平均値(m)	2000	145	108	38	88
	標準偏差(m)	0	79	129	35	203

(c) 被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	1	12	29	9	51
	平均値(km)	8	0.91	0.59	0.24	0.75
	標準偏差(km)	0	1.71	0.67	0.33	1.43
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	3	25	118	192	338
	平均値(km)	8	1.09	0.61	0.25	0.51
	標準偏差(km)	0	1.88	0.69	0.31	1.02

※ 被害長さの統計量は、各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに1km幅に掛かる長さをもとに評価

第7-2表 陸側0-1kmでの統計量

(a) 発生数

			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	4	34	75	33	146	16	0	162
		平均値(個/年)	0.08	0.66	1.46	0.64	2.83	0.31	0.00	3.15
		標準偏差(個/年)	0.27	0.93	1.71	1.58	2.47	0.65	0.00	2.86
	1991.1-2012.6 21.5年間	期間内個数	0	11	55	33	99	14	0	113
		平均値(個/年)	0.00	0.51	2.56	1.53	4.60	0.65	0.00	5.26
		標準偏差(個/年)	0.00	0.81	1.88	2.17	2.45	0.79	0.00	2.92
	2007.1-2012.6 5.5年間	期間内個数	0	0	10	23	33	8	0	41
		平均値(個/年)	0.00	0.00	1.82	4.18	6.00	1.45	0.00	7.45
		標準偏差(個/年)	0.00	0.00	1.87	2.70	2.79	0.98	0.00	3.63

			F3	F2	F1	F0	計
疑似51.5年間の竜巻	疑似51.5年間 (陸上竜巻)	期間内個数	4	34	132	291	461
		平均値(個/年)	0.08	0.66	2.56	5.65	8.95
		標準偏差(個/年)	0.27	0.93	1.88	3.13	3.78
	疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	4	34	132	291	461
		平均値(個/年)	0.08	0.66	2.56	5.65	8.95
		標準偏差(個/年)	0.27	0.93	1.88	3.13	3.78

(b) 被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	4	29	66	27	126
	平均値(m)	613	116	126	62	114
	標準偏差(m)	926	106	190	49	207
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	4	34	132	291	461
	平均値(m)	613	143	126	63	92
	標準偏差(m)	926	126	190	48	148

(c) 被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	4	31	67	28	130
	平均値(km)	3	1.54	1.02	0.76	1.18
	標準偏差(km)	3	1.43	0.93	0.59	1.16
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	4	34	132	291	461
	平均値(km)	3	1.84	1.03	0.78	0.95
	標準偏差(km)	3	1.75	0.93	0.59	0.93

※ 被害長さの統計量は、各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに1km幅に掛かる長さをもとに評価

第7-3表 陸側1-2kmでの統計量

(a) 発生数

			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	4	19	42	16	81	3	0	84
		平均値(個/年)	0.08	0.37	0.82	0.31	1.57	0.06	0.00	1.63
		標準偏差(個/年)	0.27	0.63	1.01	1.17	1.60	0.24	0.00	1.62
	1991.1-2012.6 21.5年間	期間内個数	0	6	30	16	52	1	0	53
		平均値(個/年)	0.00	0.28	1.40	0.74	2.42	0.05	0.00	2.47
		標準偏差(個/年)	0.00	0.46	1.13	1.74	1.85	0.22	0.00	1.85
	2007.1-2012.6 5.5年間	期間内個数	0	0	6	13	19	1	0	20
		平均値(個/年)	0.00	0.00	1.09	2.36	3.45	0.18	0.00	3.64
		標準偏差(個/年)	0.00	0.00	0.57	2.99	2.88	0.43	0.00	2.80

			F3	F2	F1	F0	計
疑似51.5年間の竜巻	疑似51.5年間 (陸上竜巻)	期間内個数	4	19	72	132	227
		平均値(個/年)	0.08	0.37	1.40	2.56	4.41
		標準偏差(個/年)	0.27	0.63	1.13	3.11	3.38
	疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	4	19	72	132	227
		平均値(個/年)	0.08	0.37	1.40	2.56	4.41
		標準偏差(個/年)	0.27	0.63	1.13	3.11	3.38

(b) 被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	4	19	40	14	77
	平均値(m)	613	163	140	54	155
	標準偏差(m)	926	234	233	42	297
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	4	19	72	132	227
	平均値(m)	613	163	153	56	105
	標準偏差(m)	926	234	241	41	205

(c) 被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	4	19	40	12	75
	平均値(km)	1	1.29	0.94	0.85	1.03
	標準偏差(km)	0	1.00	0.89	0.50	0.86
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	4	19	72	132	227
	平均値(km)	1	1.29	1.03	0.85	0.95
	標準偏差(km)	0	1.00	0.89	0.48	0.70

※ 被害長さの統計量は、各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに1km幅に掛かる長さをもとに評価

第7-4表 陸側2-3kmでの統計量

(a) 発生数

			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	3	14	25	8	50	2	0	52
		平均値(個/年)	0.06	0.27	0.49	0.16	0.97	0.04	0.00	1.01
		標準偏差(個/年)	0.24	0.63	0.76	0.42	1.07	0.20	0.00	1.09
	1991.1-2012.6 21.5年間	期間内個数	0	4	15	8	27	0	0	27
		平均値(個/年)	0.00	0.19	0.70	0.37	1.26	0.00	0.00	1.26
		標準偏差(個/年)	0.00	0.40	0.84	0.59	1.01	0.00	0.00	1.01
	2007.1-2012.6 5.5年間	期間内個数	0	0	3	4	7	0	0	7
		平均値(個/年)	0.00	0.00	0.55	0.73	1.27	0.00	0.00	1.27
		標準偏差(個/年)	0.00	0.00	0.55	0.83	0.68	0.00	0.00	0.68

			F3	F2	F1	F0	計
疑似51.5年間の竜巻	疑似51.5年間 (陸上竜巻)	期間内個数	3	14	36	38	91
		平均値(個/年)	0.06	0.27	0.70	0.74	1.77
		標準偏差(個/年)	0.24	0.63	0.84	0.83	1.36
	疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	3	14	36	38	91
		平均値(個/年)	0.06	0.27	0.70	0.74	1.77
		標準偏差(個/年)	0.24	0.63	0.84	0.83	1.36

(b) 被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	3	14	24	7	48
	平均値(m)	750	327	177	41	237
	標準偏差(m)	1083	550	277	49	445
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	3	14	36	38	91
	平均値(m)	750	327	218	44	180
	標準偏差(m)	1083	550	307	47	360

(c) 被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	3	14	24	7	48
	平均値(km)	1	1.82	1.20	0.69	1.32
	標準偏差(km)	1	1.94	0.85	0.30	1.26
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	3	14	36	38	91
	平均値(km)	1	1.82	1.39	0.71	1.18
	標準偏差(km)	1	1.94	0.87	0.28	1.03

※ 被害長さの統計量は、各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに1km幅に掛かる長さをもとに評価

第7-5表 陸側3-4kmでの統計量

(a) 発生数

			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	5	12	16	2	35	0	0	35
		平均値(個/年)	0.10	0.23	0.31	0.04	0.68	0.00	0.00	0.68
		標準偏差(個/年)	0.30	0.55	0.51	0.20	0.84	0.00	0.00	0.84
	1991.1-2012.6 21.5年間	期間内個数	1	5	10	2	18	0	0	18
		平均値(個/年)	0.05	0.23	0.47	0.09	0.84	0.00	0.00	0.84
		標準偏差(個/年)	0.22	0.43	0.51	0.30	0.85	0.00	0.00	0.85
	2007.1-2012.6 5.5年間	期間内個数	0	1	4	1	6	0	0	6
		平均値(個/年)	0.00	0.18	0.73	0.18	1.09	0.00	0.00	1.09
		標準偏差(個/年)	0.00	0.43	0.49	0.43	0.57	0.00	0.00	0.57

			F3	F2	F1	F0	計
疑似51.5年間の竜巻	疑似51.5年間 (陸上竜巻)	期間内個数	5	12	24	10	51
		平均値(個/年)	0.10	0.23	0.47	0.19	0.99
		標準偏差(個/年)	0.30	0.55	0.51	0.43	0.91
	疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	5	12	24	10	51
		平均値(個/年)	0.10	0.23	0.47	0.19	0.99
		標準偏差(個/年)	0.30	0.55	0.51	0.43	0.91

(b) 被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	5	12	14	2	33
	平均値(m)	590	363	149	15	285
	標準偏差(m)	809	590	99	7	484
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	5	12	24	10	51
	平均値(m)	590	363	166	15	224
	標準偏差(m)	809	590	95	5	402

(c) 被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	5	12	13	2	32
	平均値(km)	2	1.38	0.94	0.84	1.33
	標準偏差(km)	3	0.64	0.49	0.71	1.23
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	5	12	24	10	51
	平均値(km)	2	1.38	1.01	0.84	1.20
	標準偏差(km)	3	0.64	0.43	0.53	1.02

※ 被害長さの統計量は、各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに1km幅に掛かる長さをもとに評価

第7-6表 陸側4-5kmでの統計量

(a) 発生数

			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	4	10	14	2	30	1	0	31
		平均値(個/年)	0.08	0.19	0.27	0.04	0.58	0.02	0.00	0.60
		標準偏差(個/年)	0.27	0.53	0.53	0.20	0.87	0.14	0.00	0.87
	1991.1-2012.6 21.5年間	期間内個数	1	4	7	2	14	0	0	14
		平均値(個/年)	0.05	0.19	0.33	0.09	0.65	0.00	0.00	0.65
		標準偏差(個/年)	0.22	0.40	0.57	0.30	0.96	0.00	0.00	0.96
	2007.1-2012.6 5.5年間	期間内個数	0	0	1	1	2	0	0	2
		平均値(個/年)	0.00	0.00	0.18	0.18	0.36	0.00	0.00	0.36
		標準偏差(個/年)	0.00	0.00	0.43	0.43	0.53	0.00	0.00	0.53

			F3	F2	F1	F0	計
疑似51.5年間の竜巻	疑似51.5年間 (陸上竜巻)	期間内個数	4	10	17	10	41
		平均値(個/年)	0.08	0.19	0.33	0.19	0.80
		標準偏差(個/年)	0.27	0.53	0.57	0.43	0.93
	疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	4	10	17	10	41
		平均値(個/年)	0.08	0.19	0.33	0.19	0.80
		標準偏差(個/年)	0.27	0.53	0.57	0.43	0.93

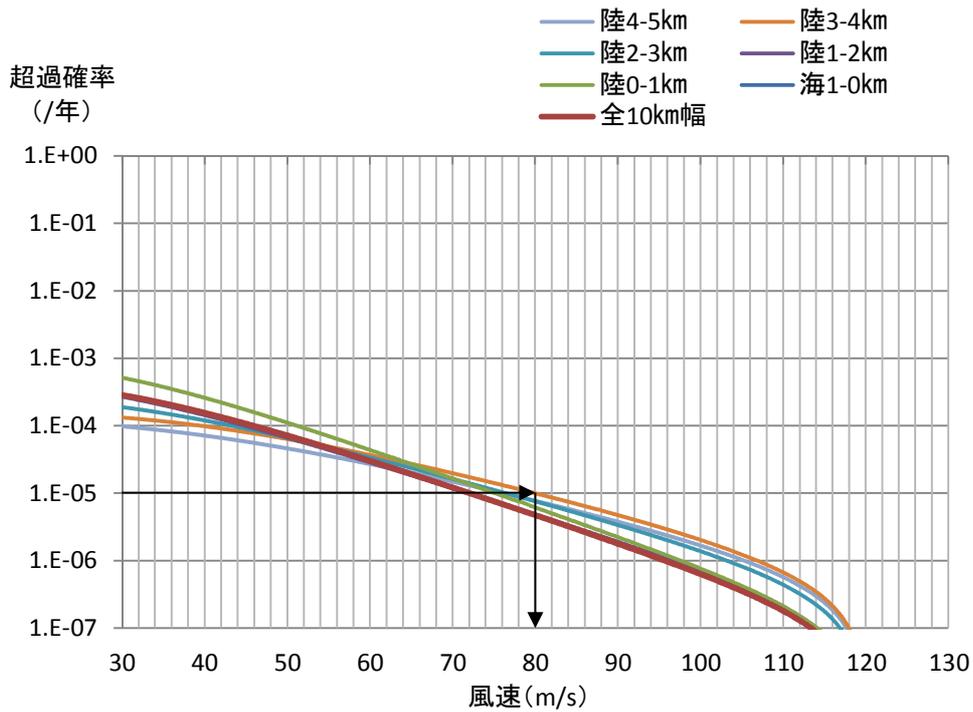
(b) 被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	4	10	12	1	27
	平均値(m)	713	391	118	50	305
	標準偏差(m)	879	610	85	0	518
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	4	10	17	10	41
	平均値(m)	713	391	142	50	236
	標準偏差(m)	879	610	86	0	431

(c) 被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	4	10	12	1	27
	平均値(km)	3	1.28	0.93	0.20	1.34
	標準偏差(km)	1	0.48	0.41	0.00	0.93
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	4	10	17	10	41
	平均値(km)	3	1.28	1.03	0.20	1.08
	標準偏差(km)	1	0.48	0.40	0.00	0.89

※ 被害長さの統計量は、各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに1km幅に掛かる長さをもとに評価



第7-2図 竜巻検討地域を1 km幅毎に細分化した場合のハザード曲線
(10 km幅でのハザード曲線も合わせて記載)

第7-7表 評価結果のまとめ

領域	10 km幅	海 1-0 km	陸 0-1 km	陸 1-2km	陸 2-3km	陸 3-4km	陸 4-5 km
10 ⁻⁵ /年での 最大風速* (m/s)	73	73	76	72	77	<u>80</u>	77

*太字下線ありの値は最大値

8. 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

前記の第7-7表に示すとおり、竜巻検討地域全域(10 km幅)、及び1 km幅毎のハザード曲線において、年超過確率 10^{-5} での風速の最大値は 80m/s であり、これを最大風速 V_{B2} とする。最大風速評価結果を第8-1表に示す。

第8-1表 ハザード曲線による最大風速評価結果

ハザード曲線の算定範囲	年超過確率 10^{-5} での最大風速
竜巻検討地域全域(10 km幅)	73m/s
1 km幅毎の最大	80m/s (陸側 3-4km)

9. 竜巻ハザードの不確かさの検討

竜巻検討地域は竜巻についての過去観測データが少なく、統計処理として必ずしも十分ではない可能性も考えられることから、竜巻ハザードの不確かさ要素について、以下の検討を実施した。

① 確率分布形選択に伴う不確かさ（認識論的不確かさ）

確率分布形選択に伴うパラメータ不確かさ

…Jackknife 法を用いたハザードの推定誤差の検討

② データ量が少ないことに伴う不確かさ（認識論的不確かさ）

データ収集期間が 51.5 年間分であることから、地震等と比較するとデータ量が少ないことに伴うパラメータ不確かさ

…F 3 竜巻が 1 つ見落とされていたと仮定した場合のハザードへ与える影響の検討

③ データの不確かさ

今後データ収集が進み、疑似データ同様のデータが収集されたとした場合でも残る、データそのものの不確かさ

…疑似データ無しの場合の解析

(1) Jackknife 法を用いたハザードの推定誤差の検討

a. Jackknife 法について

Jackknife 法は母集団分布を仮定しないノンパラメトリックな方法であり、高い適用性をもつ。また、国土交通省が定める河川行政の技術分野に関する基準である「河川砂防技術基準」においても、確率分布モデルのバイアスを補正するのに用いられている。

Jackknife 法は大きさ n 個の標本のうち i 番目の 1 データのみを欠いたデータ数 $n-1$ 個の標本を全ての i について作成し、これらの標本から求めた統計量をもとに不偏推定値及びそのまわりの推定誤差を算定する手法である。算定式を以下に示す。

$$P^* = P_0 + \frac{(n-1)(P_0 - \bar{P})}{1} \quad (1)$$

$$\Delta P^* = \sqrt{n-1} \Delta P \quad (2)$$

- P_0 : n 個の全データを使って求められた再現期待値

(例えば風速平均値の場合 n セットの風速平均の平均)

- P^* : バイアス補正した推定値 (以下「Jackknife 推定値」という。)
- ΔP^* : P^* の標準偏差の推定値 (以下「Jackknife 推定幅」という。)
- \bar{P} : 分布を仮定した場合の推定値 (以下「推定値」という。)
- ΔP : n セットの風速平均データの標準偏差
- (1) 式の下線部 : バイアス (母数の真の値と推定値の差)

b. 検討結果

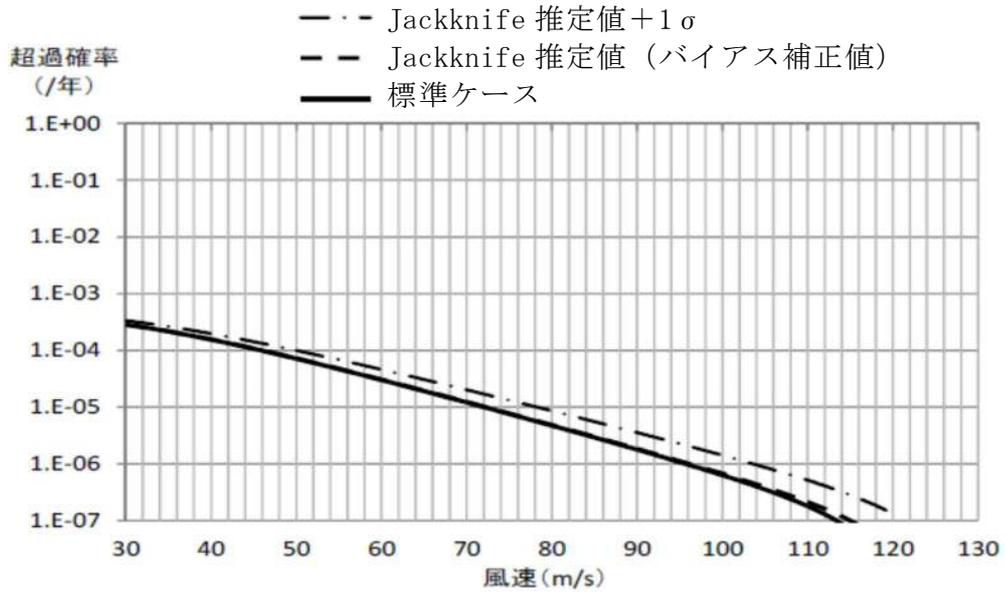
Jackknife 法を適用した特性値及びこれらの平均値と標準偏差及びそれぞれの推定幅を基に全てのパラメータを $+1\sigma$ とした場合のハザードを計算した。特性値の評価結果を第 9-1 表に、また、ハザードの推定結果を第 9-2 表及び第 9-1 図に示す。

ここで、標準ケースとは、ここまでに評価した 10 km 幅のハザード評価結果を示す。

ハザード評価の結果、年超過確率 10^{-5} に相当する風速は、Jackknife 法によるバイアス補正後で 73m/s となり、標準ケースの 73m/s と同じ風速になった。また、サンプリング誤差に伴う不確かさについては (バイアス補正值 $+1\sigma$)、年超過確率 10^{-5} において 79m/s となった。

第9-1表 Jackknife法による特性値の評価結果

項目	平均値			標準偏差			相関係数		
	最大風速 V (m/s)	被害幅 W (m)	被害長さ L (km)	最大風速 V (m/s)	被害幅 W (m)	被害長さ L (km)	V-W	V-L	W-L
サンプル数	1188	1188	1188	1188	1188	1188	163	170	161
全データによる値 P_0	32.28	93.8	1.98	11.63	179.1	3.10	0.381	0.452	0.381
標本を一つ抜いた 平均値 ΔP	32.28	93.8	1.98	11.63	179.1	3.10	0.381	0.452	0.381
バイアス値	0.00	0.0	0.00	-0.01	-1.4	-0.02	-0.002	-0.001	-0.003
Jackknife 推定値 P^* (バイアス補正值)	32.28	93.8	1.98	11.64	180.5	3.12	0.382	0.453	0.385
Jackknife 推定幅 ΔP^*	0.34	5.2	0.09	0.36	21.8	0.34	0.065	0.057	0.077
$P^* + \Delta P^*$ (バイアス補正值+1 σ)	32.62	99.0	2.07	12.00	203.0	3.47	0.447	0.510	0.462



第9-1図 標準ケースと Jackknife 推定値ケース,
Jackknife 推定値+1 σ ケースのハザード算定結果の比較

第9-2表 ハザードの推定結果の比較表

ケース	標準ケース	Jackknife 推定値 P* (バイアス補正值)	P* + ΔP* (バイアス補正值 + σ)
領域面積 (km ²)	57000	57000	57000
想定総数 (個)	1188	1188	1188
被災確率 (個/年/km ²)	4.05E-04	4.05E-04	4.05E-04
風速平均値 (m/s)	32.28	32.28	32.62
風速標準偏差 (m/s)	11.64	11.64	12.00
被害幅平均 (km)	0.094	0.094	0.099
被害幅標準偏差 (km)	0.179	0.181	0.203
被害長さ平均 (km)	1.98	1.98	2.07
被害長さ標準偏差 (km)	3.10	3.12	3.47
相関係数 V-W	0.381	0.382	0.447
相関係数 V-L	0.452	0.453	0.510
相関係数 W-L	0.381	0.385	0.462
10 ⁻⁵ 年での最大風速 (m/s)	73	73	79

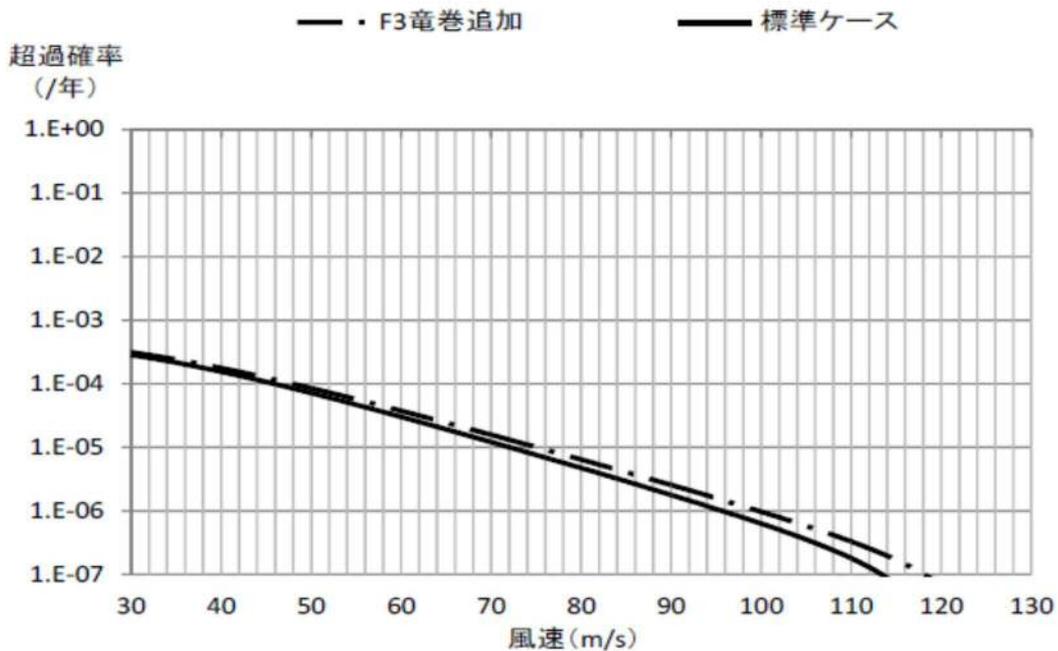
(2) F 3 竜巻の見落としを仮定した場合のハザードに与える影響

竜巻検討地域で、F 3 竜巻が1つ見落とされていたと仮定した場合のハザードへの影響を検討した。

データに、竜巻検討地域内で観測されたF 3 竜巻のうち最も被害幅、被害長さの大きい竜巻（被害幅 2000m，被害長さ 42 km：1978 年川崎市）を1つ加えて疑似データを作成した。これを基にハザードを推定したところ、年超過確率 10^{-5} に相当する風速は 76m/s となった。

ハザードの推定結果を、第 9-2 図に示す。

標準ケースと比較して、年超過確率 10^{-5} に相当する風速との差は 3m/s であり、2つのケースに対して、有意な差は認められない。



第 9-2 図 標準ケースと F 3 竜巻発生を仮定した場合の
ハザード算定結果の比較

(3) 疑似データ無しの場合の解析

疑似データ有とした場合，Fスケールの小さな竜巻の割合が多くなり，幅や長さの変動が小さくなる傾向がある。そのため，3種類の竜巻パラメータ（最大風速，被害幅及び被害長さ）がすべて判明している161個の竜巻観測データのみを用いて同様の検討を実施した。

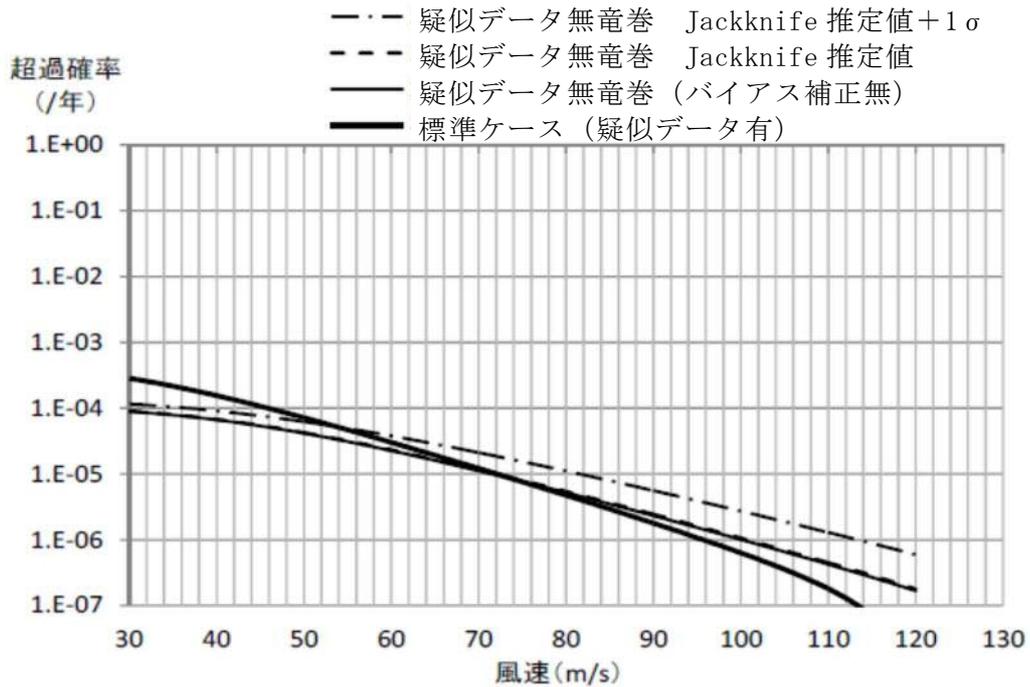
特性値の評価結果を第9-3表，ハザードの推定結果を第9-4表及び第9-3図に示す。疑似データ無竜巻での年超過確率 10^{-5} に相当する風速は，72m/sとなり，標準ケースの73m/sと有意な差は認められない。

第9-3表 Jackknife法による特性値の評価結果（疑似データ無）

項目	平均値			標準偏差			相関係数		
	最大風速 V (m/s)	被害幅 W (m)	被害長さ L (km)	最大風速 V (m/s)	被害幅 W (m)	被害長さ L (km)	V-W	V-L	W-L
サンプル数	161	161	161	161	161	161	161	161	161
全データによる値 P_0	42.94	137.9	3.22	13.90	265.7	4.79	0.381	0.467	0.381
標本を一つ抜いた 平均値 ΔP	42.94	137.9	3.22	13.90	265.6	4.78	0.381	0.467	0.381
バイアス値	0.00	0.0	0.00	-0.07	-9.0	-0.15	-0.002	-0.001	-0.003
Jackknife 推定値 P^* (バイアス補正值)	42.94	137.9	3.22	13.97	274.6	4.94	0.382	0.468	0.385
Jackknife 推定幅 ΔP^*	1.10	21.0	0.38	0.83	65.8	1.14	0.066	0.057	0.077
$P^* + \Delta P^*$ (バイアス補正值+1 σ)	44.04	158.9	3.60	14.81	340.4	6.08	0.448	0.525	0.462

第9-4表 ハザードの推定結果の比較表

ケース	不明竜巻含む	疑似データ無竜巻		
	標準ケース	バイアス補正無	Jackknife 推定値 P* (バイアス補正值)	P* + ΔP* (バイアス補正值 + σ)
領域面積 (km ²)	57000	57000	57000	57000
想定総数 (個)	1188	161	161	161
被災確率 (個/年/km ²)	4.05E-04	5.48E-05	5.48E-05	5.48E-05
風速平均値 (m/s)	32.28	42.94	42.94	44.04
風速標準偏差(m/s)	11.64	13.95	13.97	14.81
被害幅平均 (km)	0.094	0.138	0.138	0.159
被害幅標準偏差 (km)	0.179	0.266	0.275	0.340
被害長さ平均 (km)	1.98	3.22	3.22	3.60
被害長さ標準偏差 (km)	3.10	4.80	4.94	6.08
相関係数 V-W	0.381	0.381	0.382	0.448
相関係数 V-L	0.452	0.467	0.468	0.525
相関係数 W-L	0.381	0.381	0.385	0.462
10 ⁻⁵ 年での最大風速 (m/s)	73	72	72	82



第9-3図 標準ケース（疑似データ有）と疑似データ無竜巻のバイアス補正無しと Jackknife 推定値（バイアス補正值），Jackknife 推定値 + 1 σ のハザード算定結果の比較

以上のことから、竜巻ハザードの不確かさについて、確率分布形の選択、データ量が少ないこと及びデータの不確かさによる、ハザードへの影響はほとんどないことから、データの高い安定性を確認した。

<参考文献>

- (1) 井上博登, 福西史郎, 鈴木哲夫, (2013):原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説, 独立行政法人原子力安全基盤機構,
JNES-RE-2013-9009.
- (2) Wen. Y. K and Chu. S. L. (1973) : Tornado risks and design wind speed, Proceedings of American Society of Civil Engineering, Journal of the Structural Division 99, 2409-2421
- (3) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C. A. (1975) : Tornado risk evaluation using wind speed profiles, Journal of the Structural. Division, Proceedings of American Society of Civil Engineering, pp.1167-1171
- (4) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C. A. (1975) : “Tornado Design Winds Based on Risk,” Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 101, No. 9, pp.1883-1897
- (5) 東京工芸大学 (2011) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構
- (6) 気象庁 竜巻等の突風データベース
(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/index.html>)

海上のFスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について

51.5年間の疑似データを推定する際に、海上で発生したFスケール不明竜巻（非上陸竜巻）をFスケールが判明している陸上竜巻（上陸竜巻含む）のFスケール毎の発生比率で按分している。ここでは、「沿岸部近傍での竜巻の発生特性は陸上と海上とでは類似している」と仮定している。他の合理的な按分方法もないのが実情ではあるが、観測結果を基に、この仮定の妥当性について考察する。

ここでは、陸上で発生した竜巻（以下「陸上竜巻」という。）と海上で発生しその後上陸した竜巻（以下「上陸竜巻」という。）を区別して考える。

別表1-1及び別図1-1は、陸上竜巻、上陸竜巻及び（陸上＋上陸）竜巻のそれぞれの竜巻区分に対して、F0、F1、F2以上の竜巻が占める割合である。全国の上陸竜巻の場合、Fスケール毎の割合はそれぞれ30、45、24%となっており、陸上竜巻との間に大きな差はない（数%以内）。上陸竜巻は海上で発生した竜巻であることから、海上でのFスケール不明竜巻のFスケール毎の発生割合は、上陸竜巻の発生割合と同様だと考えられる。

上陸竜巻と陸上竜巻の発生割合に大きな差は見られないことは、海側と陸側のFスケール毎の発生割合が類似していることを示唆している。従って、海上でのFスケール不明竜巻を、陸上竜巻（あるいは（陸上＋上陸）竜巻）の発生割合で按分する手法は妥当な方法だと考えられる。

一方、東海第二発電所の上陸竜巻の場合は、Fスケール毎の割合はそれぞれ、26、49、25%であり、全国と同様、陸上竜巻との間に大きな差は無い。また、陸上竜巻、上陸竜巻、及び（陸上＋上陸）竜巻のいずれにおいても、全国沿岸竜巻の発生数の割合と大きな差はない（5%以内）。以上より、全国沿岸と東海第二発電所の竜巻検討地域との間には地域特性による影響はないことが確認できた。

従って、海上のFスケール不明竜巻を（陸上＋上陸）竜巻の割合で按分する本手法は、データ数が少ない場合にも有効な手法だと考えられる。

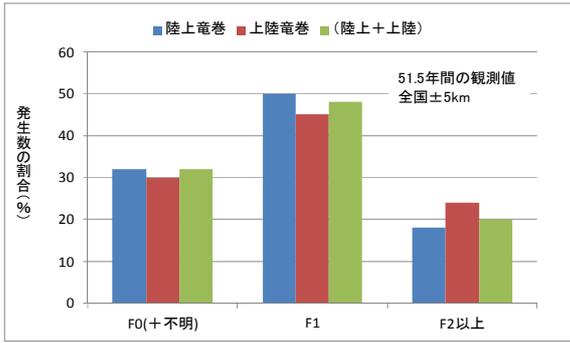
別表 1-1 Fスケール毎の竜巻発生数の割合

① 全国沿岸±5km

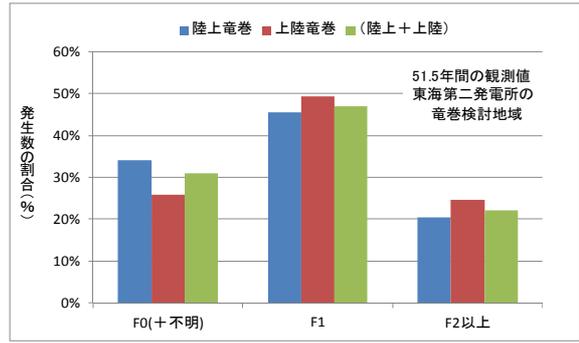
発生数の割合 (%)	F 0 (+不明)	F 1	F 2以上
陸上竜巻	32	50	18
上陸竜巻	30	45	24
(陸上＋上陸)	32	48	20

② 東海第二発電所の竜巻検討地域

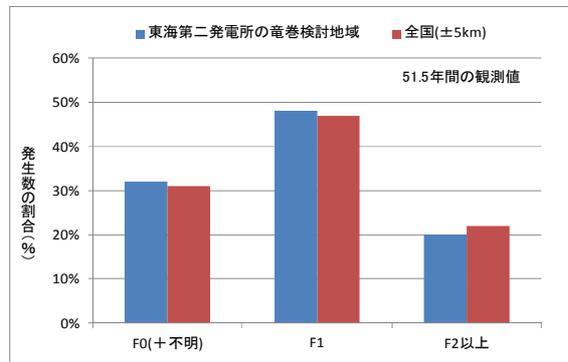
発生数の割合 (%)	F 0 (+不明)	F 1	F 2以上
陸上竜巻	34	45	21
上陸竜巻	26	49	25
(陸上＋上陸)	31	47	22



① 全国沿岸±5km



② 東海第二発電所の竜巻検討地域



③ (陸上+上陸) 竜巻

別図 1-1 F スケール毎の発生数の割合

竜巻発生数の確率分布(ポアソン, ポリヤ分布)が
ハザード結果に及ぼす影響

1. 竜巻発生確率とハザード曲線

Wen & Chu⁽¹⁾は、竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速がある値以上となり確率の推定法を対案している。それによれば、竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定した場合、竜巻の年発生数の確率密度分布はポアソン分布もしくはポリヤ分布に適合する。

$$\text{ポアソン分布: } P_T(N) = \frac{(\nu T)^N}{N!} \exp(-\nu T) \quad (1)$$

$$\text{ポリヤ分布: } P_T(N) = \frac{(\nu T)^N}{N!} (1 + \beta \nu T)^{-(N+1/\beta)} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (2)$$

ここで、 N は竜巻の年発生数、 ν は竜巻の年平均発生数、 T は年数である。また、 T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、 V_0 以上の竜巻風速に見舞われる確率 $P_{V_0,T}(D)$ は次式で表される。

$$\text{ポアソン分布: } P_{V_0,T}(N) = 1 - \exp[-\nu R(V_0)T] \quad (3)$$

$$\text{ポリヤ分布: } P_{V_0,T}(N) = 1 - [1 + \beta \nu R(V_0)T]^{-1/\beta} \quad (4)$$

ここで、 $R(V_0)$ は、評価対象とする構造物が、ある一つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が V_0 以上となる確率である。

2. ポアソン分布とポリヤ分布

ポアソン過程とは、ある現象がランダムに起こる場合に、今までの発生状況がそれ以降の発生に影響を与えず、かつ発生が時間的に一様に推移する現象を表す数学的モデルであり、以下のような仮定に基づいている。

- ① 事象は時間・空間のいかなる場所でもランダムに発生する。
- ② 与えられた時間・空間の区間内で、事象の発生は他の任意の区間に対して独立である
- ③ 微小区間 Δt における事象発生確率は Δt に比例する。 Δt の間に事象が 2 回以上発生する確率は無視できる。

ポアソン分布に従う現象例としては、交通事故件数、大量生産の不良品数、火災件数、遺伝子の突然変異など数多くある。ポアソン分布の分散は平均値に等しいが、観測される現象の中には、その分散が平均値から外れている現象もある。

ポリヤ分布は、分散と平均値が異なるような現象への適合度が高く、 β が大きい場合は分散の大きな分布形を表し、 $\beta \rightarrow 0$ のときにはポアソン分布に近づく。Thom(1963)⁽²⁾は、米国中部を対象とした竜巻発生数の分析を行い、ポアソン過程が実態と乖離する場合があることを指摘するとともに、ポリヤ分布による適合性が高いことを示した。また、東京工芸大学委託成果⁽³⁾では、陸上竜巻（含む上陸竜巻）及び海上竜巻のいずれに対しても、ポリヤ分布の適合度が高いことを示した。

ポリヤ分布は、疫病の流行、ある単語を含む文書数を数える文書頻度などの言語処理などに活用されており、ある事象が起こった場合に、それによって周囲にも現象が起こりやすくなる現象（弱い伝播性）が考慮されている。竜巻の場合では、前線や台風により竜巻が発生した場合、同時多発的に複数

の竜巻が発生する (tornado outbreak と呼ばれる) 状況が考えられる。

(Wen & Chu, 1973) ⁽¹⁾

3. 確率論から見た近似式

前項にて示した (3) (4) 式に基づき、ポアソン分布とポリヤ分布に基づく竜巻ハザードを実際に計算すると、両者にほとんど違いが見られない。以下では、その理由について考察する。

ある一つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が V_0 以上となるような被害を受ける確率を $R(V_0)$ とすると、このような竜巻被害を受けない確率は次式で表される。

$$(\text{被害を受けない確率}) = 1 - R(V_0) \quad (5)$$

同様に、 N 個の竜巻が発生したときに、いずれの竜巻に対しても被害を受けない確率は次式で表される。(独立性を仮定)。

$$(N \text{ 個の竜巻で被害を受けない確率}) = [1 - R(V_0)]^N \quad (6)$$

逆に、 N 個の竜巻が発生したときに、いずれかの竜巻により被害 (最低 1 回, 最大 N 回) を受ける確率は次式となる。

$$(N \text{ 個のいずれかの竜巻で被害を受ける確率}) = 1 - [1 - R(V_0)]^N \quad (7)$$

従って、一年間に N 個の竜巻が発生する確率を $P(N)$ とすると、これによる被害確率は、

$$\{1 - [1 - R(V_0)]^N\} P(N) \quad (8)$$

となる。 $R(V_0)$ が十分小さければ、上式は次のように近似できる。

$$\{1 - [1 - R(V_0)]^N\} P(N) \approx R(V_0) \times N \times P(N) \quad (9)$$

ここで、次の近似を用いている。

$$[1 - R(V_0)]^N \approx 1 - N \times R(V_0) \quad (10)$$

竜巻被害の場合，は通常 10^{-3} 以下であるから，式の近似は非常に良い精度で成り立つ。

以上のことから，式より 1 年間にいずれかかの竜巻により被害を受ける確率は次式で近似できる。

$$P_{Vo}(D) = \sum_{N=1}^{\infty} [R(Vo) \times N \times P(N)] = R(Vo) \sum_{N=1}^{\infty} \{N \times P(N)\} = \nu R(Vo) \quad (11)$$

即ち，被害確率は竜巻発生数の平均値のみに依存し，標準偏差は勿論，確率分布にも無関係であり，ポリヤ分布とポアソン分布によるハザードの結果は一致することが理解できる。

4. ポアソン分布とポリヤ分布のハザードの近似式

3. では，確率論的な観点だけで近似式を誘導したが，ここでは，(3) (4) の近似式を直接求め，上記の結果を検証する。

式(8)の $P(N)$ としてポアソン分布を仮定し，

$$\begin{aligned} \{1 - [1 - R(Vo)]^N\} P(N) &= P(N) - [1 - R(Vo)]^N P(N) \\ &= P(N) - [1 - R(Vo)]^N \frac{\nu^N}{N!} \exp(-\nu) = P(N) - \frac{(\nu - \nu R(Vo))^N}{N!} \exp(-\nu) \end{aligned} \quad (12)$$

となることを考慮すると，(11) 式の厳密な式は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} P_{Vo}(D) &= \sum_{N=1}^{\infty} \left\{ P(N) - \frac{(\nu - \nu R(Vo))^N}{N!} \exp(-\nu) \right\} \\ &= 1 - \exp(\nu - \nu R(Vo)) \exp(-\nu) \\ &= 1 - \exp(-\nu R(Vo)) \end{aligned} \quad (13)$$

即ち，ポアソン分布によるハザード評価の(3)式が導かれる。ここで，次の関係式を用いている。

$$\exp(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} \quad (14)$$

従って、式(3)（あるいは式(13)）は、式(14)を用いると、

$$P_{V_0}(D) = 1 - \exp(-\nu R(V_0)) = 1 - \left[1 + \frac{(-\nu R(V_0))}{1!} + \frac{(-\nu R(V_0))^2}{2!} + \dots \right] \quad (15)$$

と表され、 $R(V_0)$ が小さい場合は、次式で近似できる。

$$P_{V_0}(D) \approx \nu R(V_0) \quad (16)$$

ポリヤ分布の場合も同様に、一般の2項定理を用いると、次式で近似できる。

$$P_{V_0}(D) = 1 - [1 + \beta \nu R(V_0)]^{1/\beta} = 1 - \left(1 + \left(\frac{-1}{\beta} \right) \beta \nu R(V_0) + \dots \right) \quad (17)$$
$$\approx \nu R(V_0)$$

以上のことから、竜巻のように一つの竜巻に対する被害確率が非常に小さな現象に対しては、年被害確率は竜巻発生数の平均値にのみ依存し、発生数の確率密度分布形状にはほとんど無関係であることがわかる。

<参考文献>

- (1) Wen, Y. K and Chu, S. L. (1973) : Tornado risks and design wind speed, Proceedings of American Society of Civil Engineering, Journal of the Structural Division 99, 2409-2421
- (2) Thom H. CS., 1963: Tornado probabilities. Mon. Wea. Rev., 91, 730-736
- (3) 東京工芸大学 (2011) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構

地形効果による竜巻の増幅の可能性について

1. 概要

「竜巻影響評価ガイド」では、丘陵等による地形効果によって竜巻が増幅する可能性があると考えられることから、原子力発電所が立地する地域において、評価対象施設の周辺地形等によって竜巻が増幅される可能性について検討を行い、その検討結果に基づいて設計竜巻の最大風速（ V_D ）を設定することが求められている。

ここでは、既往の研究に基づく地形の竜巻風速への影響に関する知見を取りまとめ、東海第二発電所における、地形効果による竜巻増幅の可能性について検討した。

2. 考慮対象となる地形のスケール

竜巻に対する地形の効果は、スーパーセルスケールへの関与によるメソスケールでの「発生」などへの影響と、渦の旋回流への関与によるマイクロスケールでの「風速」などへの影響とに大別できる。このうち、設計竜巻の最大風速 V_D を設定する際には、タッチダウンした漏斗雲により発生する旋回流及びそれに随伴して生じる強風への地形影響を検討すべきであり、マイクロスケール（数百 m）規模の地形の起伏を考慮すべきと考えられる⁽¹⁾⁽²⁾。

3. マイクロスケールの地形起伏が竜巻の旋回流強度及び強風に与える影響

マイクロスケールの地形の起伏が竜巻の旋回流及び強風に与える影響について、定性的な知見を与える研究で用いられる主な手法としては、以下の 3 つが挙げられる。

(1) 被害状況調査⁽¹⁾⁽³⁾

実際の竜巻の被害を精査し，被害状況と地形特性との関係を調べることにより，被害が発生しやすい地形特性を分析し，そこから旋回流強度及び風速の強弱を類推する。

(2) 風洞実験⁽¹⁾

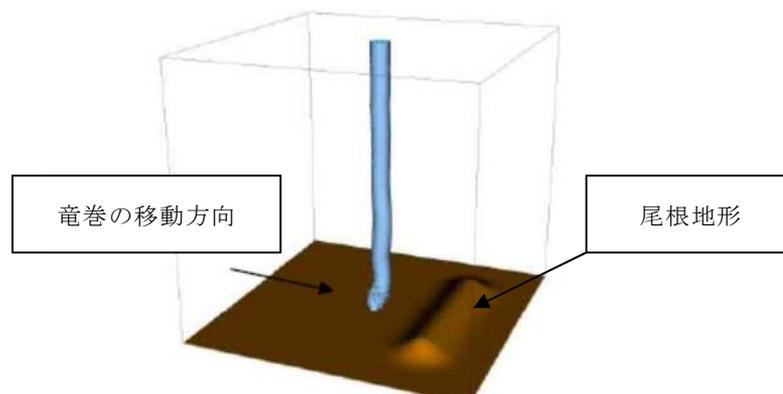
風洞実験の測定部に尾根や斜面といった地形模型を入れ，その上部に竜巻発生装置を設置し，それを移動させたときの，地表面近傍の圧力，風速の分布を調べる。



第3-1図 風洞実験の様子(Karstens 2012)⁽¹⁾

(3) 数値シミュレーション⁽²⁾

竜巻の旋回流や移動及び地形の起伏を模擬した流体解析により，旋回流の強度や風速及び竜巻の構造に関連する圧力分布を調べる。



第3-2図 数値シミュレーションのモデル例

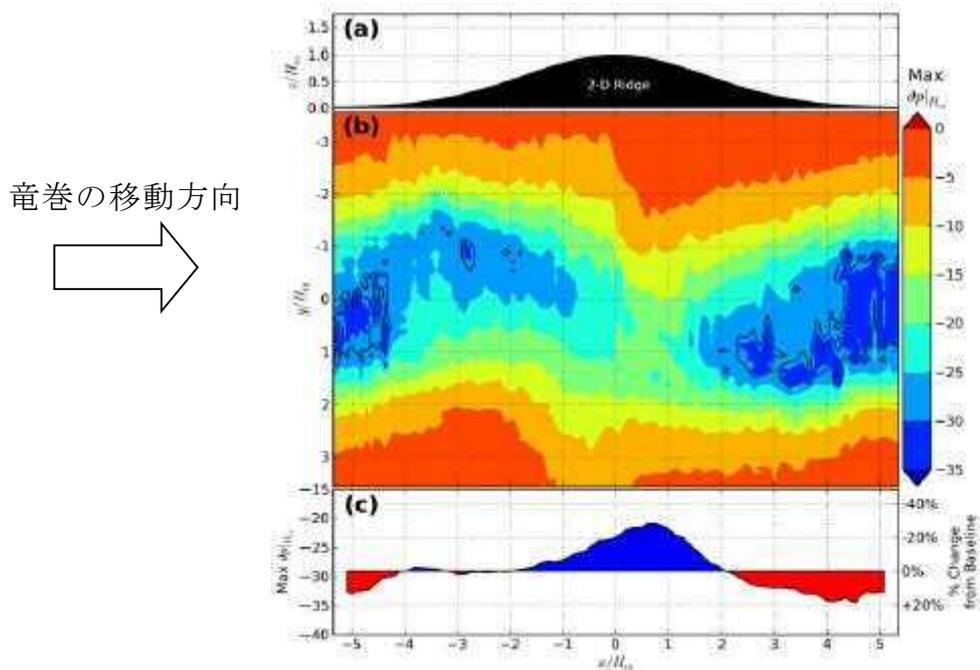
被害状況調査によれば、竜巻の強化が下り斜面や尾根の裾で生じる可能性が示唆されている⁽¹⁾⁽³⁾。

また、実被害調査の知見を支持する結果が風洞実験及び数値シミュレーションにおいても確認されている。二次元尾根地形を対象とした場合の風洞実験⁽¹⁾及び数値シミュレーション⁽²⁾の結果を、それぞれ第 3-3 図及び第 3-4 図に示す。

風洞実験の結果である第 3-3 図においては、竜巻を模擬した旋回流が (a) に示す二次元尾根地形※を図の左から右に移動する時に地表面で測定された圧力の最大値を (b) に、圧力勾配（風の駆動力になり、風速に相当する）を (c) に示しており、(c) から以下のことが分かる。

※：過去の竜巻被害を受けた斜面の傾斜等を考慮し、尾根高さ H に対し前後 5H の領域を模擬している。

- ① 圧力勾配は、斜面において正及び負の値を持つ（旋回流が強弱する）
- ② 圧力勾配は、尾根の上流及び下流の平坦部ではほぼフラットとなる（旋回流の強度が変化しない）

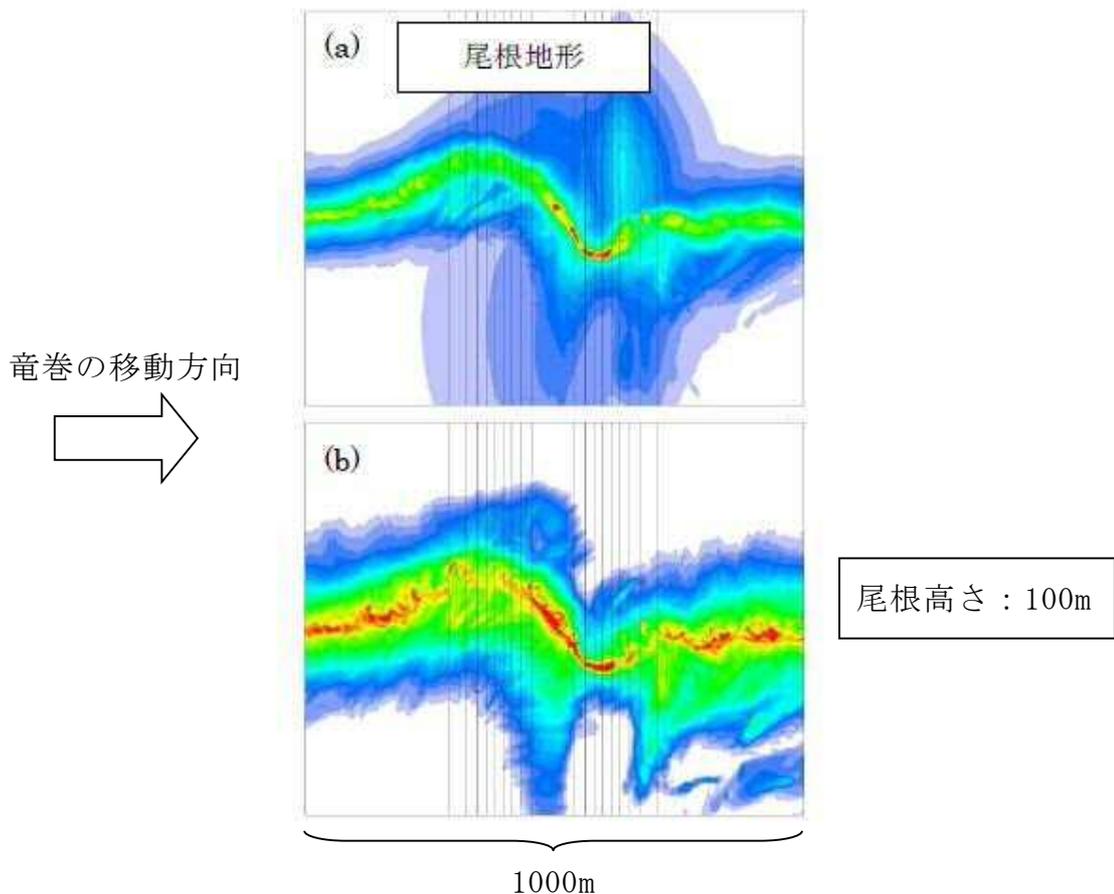


第 3-3 図 尾根地形を竜巻が通過するときの地表面圧力 (b) 及び
圧力勾配 (c)⁽¹⁾

数値シミュレーションの結果である第3-4図においては、(a)にピーク圧力を、(b)に風速を示す。図中の黒色実線は等高線を意味し、以下に示すように、風洞実験の結果（第3-3図）と整合している。

- ・ 上り斜面では圧力が増加し（緑色→赤色）、下り斜面では圧力が減少（赤色→緑色）する（前述の風洞実験の知見①に対応）
- ・ ピーク圧力の高い領域は尾根頂部に限定され、平坦部の圧力は上流及び下流側と同レベルとなる。（前述の風洞実験の知見②に対応）

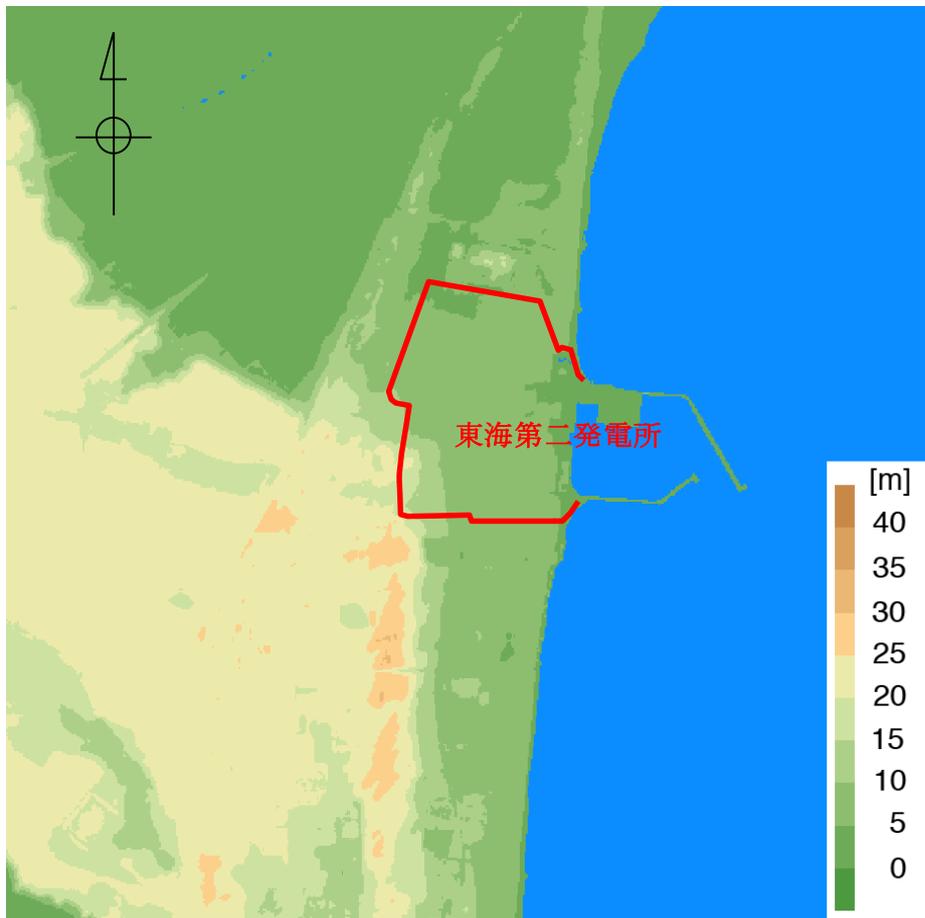
また、これらの研究結果は、地形の起伏の影響範囲が、斜面及び尾根、山の頂、裾部に限定されることを示唆しており、地形の下流側の平坦部における風速や圧力の値は、地形を乗り越える前の上流部の値に相当する。



第3-4図 尾根地形を竜巻が通過するときの地表面ピーク圧力(a)及び風速(b)⁽²⁾

4. 東海第二発電所敷地周辺の地形効果の考慮要否

東海第二発電所敷地周辺の地形を第4-1図に示す。敷地周辺は最大でも標高40m程度のなだらかな地形であり、地形効果の影響の研究において想定するようなマイクロスケール（数百m）規模の起伏は認められないことから、地形効果による竜巻の増幅の可能性は低く、考慮不要と判断した。



第4-1図 東海第二発電所を中心とした東西3km×南北3kmの地形標高
(国土地理院5mメッシュ標高データに加筆)

<参考文献>

- (1) Karstens, C.D. Observations and laboratory simulations of tornadoes in complex topographical regions, Graduate theses and dissertations of Iowa state univ, paper12778, 2012
- (2) Lewellen, D. C., Effects of Topography on Tornado Dynamics: A Simulation Study, 26th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, 4B.1., 2012
- (3) Forbes, G. S. Topographic Influences on Tornadoes in Pennsylvania, Proc 19th Conf Severe local storms American Meteorological Society, pp.269-272, 1998

参考資料：地形の起伏に起因する竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈

ここでは、本資料で示した地形の起伏による竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈を示す。なお、ここで示す角運動量保存則に基づく解釈の妥当性を、被害状況調査 (Forbes 1998, Karstens 2012) や風洞実験 (Karstens 2012) の結果も支持している。

一般的に、回転する流れでは、「回転の中心からの距離」と「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質 (角運動量保存則) がある。角運動量保存則と Holton (1992) を参考に、竜巻旋回流が形成された後における、渦の伸長・収縮に伴う旋回風速の増速・減速機構を以下に導く。

竜巻のコア部分を1つの鉛直軸を有する気柱と仮定すると、上り坂を越える場合 (第1図の渦1から渦2へ移動する場合) には渦の長さが短くなる。その際、角運動量の保存則は次式のように表される。

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{r_1} \int_0^{h_1} (\rho r^2 \omega_1) dh \cdot r dr d\phi = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_2} \int_0^{h_2} (\rho r^2 \omega_2) dh \cdot r dr d\phi \quad \text{①}$$

$$\frac{1}{4} r_1^4 \omega_1 h_1 = \frac{1}{4} r_2^4 \omega_2 h_2 \quad \text{②}$$

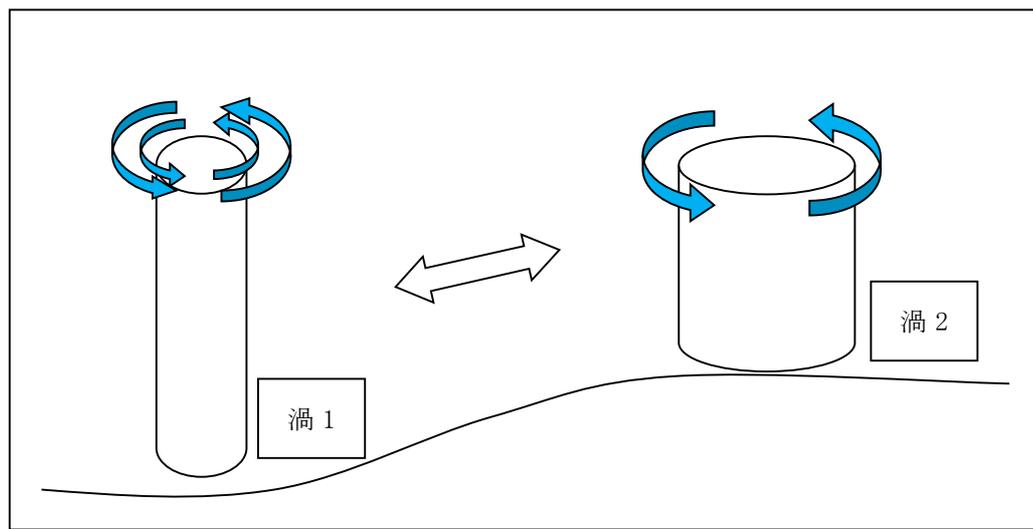
ここで、 ω は角速度、 r は渦コア (気柱) の半径、 h は渦コア (気柱) の高さ、 ρ は空気密度であり、添字の1と2はそれぞれ渦1と渦2を示す。また、気柱の体積が保存されるので、式③が成立する。

$$\pi r_1^2 h_1 = \pi r_2^2 h_2 \quad \Rightarrow \quad r_2^2 = \frac{h_1}{h_2} r_1^2 \quad \text{③}$$

この関係を式②に代入すると、式④が得られる。

$$\frac{\omega_1}{h_1} = \frac{\omega_2}{h_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\omega}{h} \right) = 0 \quad \text{④}$$

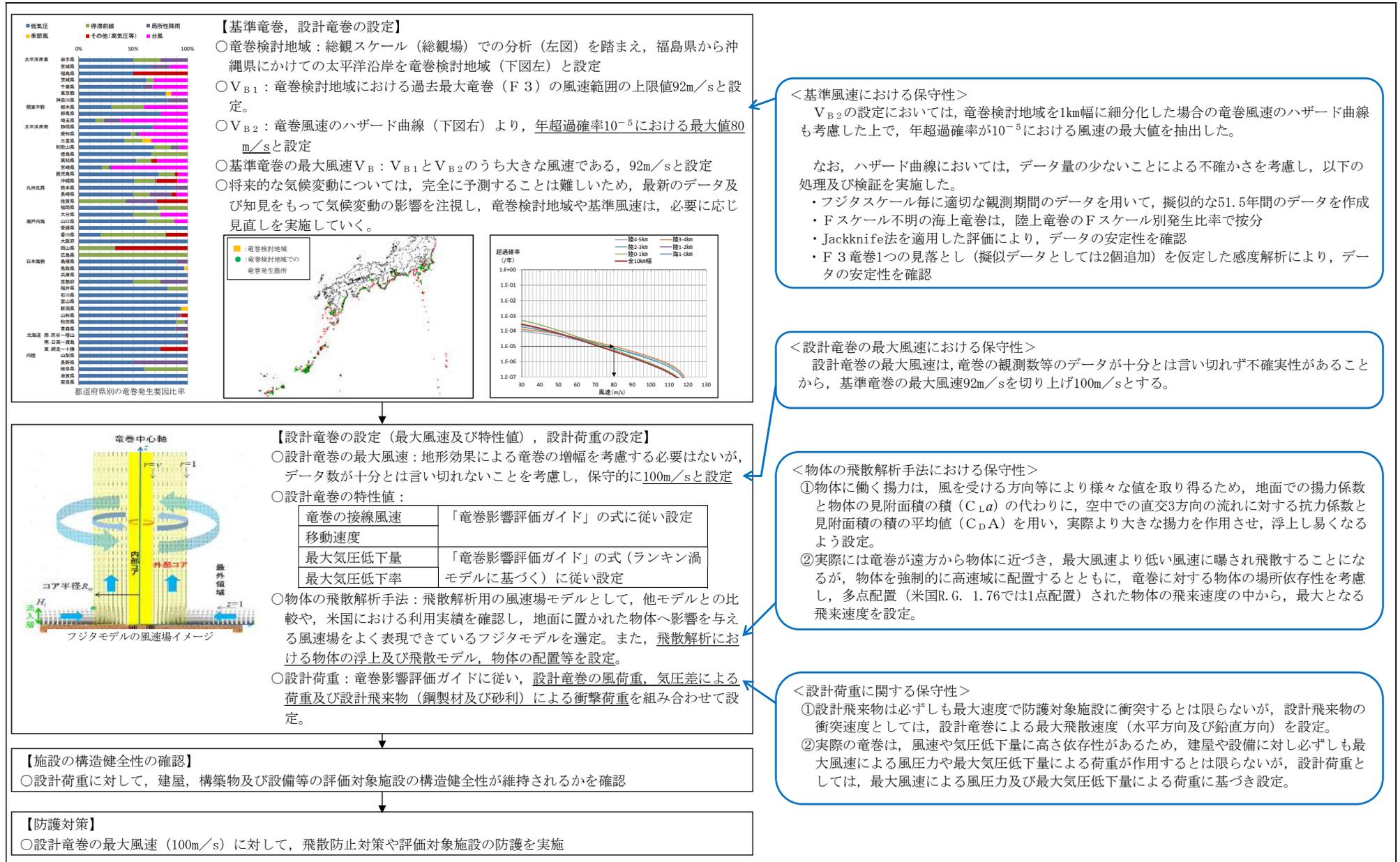
④の関係式は「渦位（ポテンシャル渦度）の保存式」に相当するものであり、角速度は地上高さ h に比例することが分かる。また、③より、渦の半径 r は $h^{1/2}$ に反比例するので、竜巻の最大接線風速 ($\omega \times r$) は $h^{1/2}$ に比例する。そのため、竜巻の渦が上り斜面を移動する時、基本的に渦は弱まり、下り斜面を移動する時には強まる。



第 1 図 竜巻の旋回流の地形影響に関する模式図

添付資料7. 竜巻影響評価の概要及び保守性について

第7-1図に竜巻影響評価の概要及び保守性確保の状況を示す。竜巻影響評価については、その不確実性を踏まえて、各ステップに対し保守性を考慮している。



添付資料 8. 竜巻影響評価及び竜巻防護対策の概要

【1. 設計竜巻荷重，設計荷重の設定】（別紙-1参照）

- 「竜巻影響評価ガイド」に基づき，設計竜巻荷重は，設計竜巻の風圧力による荷重（ W_w ），気圧差による荷重（ W_p ）及び設計飛来物による衝突荷重（ W_M ）を適切に組み合わせた荷重を設定するとともに，設計竜巻荷重と組み合わせる荷重（竜巻以外の自然現象による荷重等）は，設計竜巻荷重に包絡される若しくは考慮すべき荷重ではないことを確認する。
- W_w ， W_p ， W_M は，設計竜巻の最大風速 $V_D=100m/s$ ，風速場モデルをランキン渦モデル（「竜巻影響評価ガイド」に例示）とした場合の荷重を設定する。
- 【設計飛来物の設定】
- 東海第二発電所の飛来物に係る現地調査を行い，発電所構内の常設物（マンホール蓋等），仮設物（資機材等）及び建築物附属物（屋根等）の中から，それらの飛散防止対策の可否，固定状況，過去の被害事例や評価パラメータ（運動エネルギー及び貫通力）を踏まえ，第1-1図のとおり設計飛来物を設定した。



鋼製材（イメージ）

砂利

第1-1図 東海第二発電所の設計飛来物

【2. 竜巻影響評価】

- 設計荷重に対し，第2-1表の評価対象施設（構築物，系統及び機器）の構造安全性が維持され安全機能が維持されていることを確認する。
- <竜巻防護施設の評価>
- 評価対象施設（屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を除く），屋内の施設で外気と繋がっている施設：第2-1表 □）に対する設計飛来物による貫通評価，設計荷重に対する強度評価を実施し，評価対象施設の構造健全性が維持されることを確認し，評価対象施設の安全機能維持に影響を及ぼす場合には，防護対策を実施する。
- 評価対象施設（竜巻防護施設を内包する施設：第2-1表 □）の構造骨組評価，設計飛来物の衝突に関する貫通及び裏面剥離評価，局部評価及び建屋外周部建具（扉等）に関する評価を実施し，内包する竜巻防護施設が影響を受けないことを確認し，竜巻防護施設の安全機能維持に影響を及ぼす場合には，評価対象施設の補強，防護対策を実施する。
- 評価対象施設（外殻となる施設による防護機能が期待できない施設：第2-1表 □）の外殻となる施設の外周部建具（扉等）に関する評価結果より，評価対象施設が影響を受けないことを確認し，評価対象施設の安全機能維持に影響を及ぼす場合には，外殻となる施設の建具の補強，防護対策及び運用による対策を実施する。
- <竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の評価>
- 評価対象施設（倒壊により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある施設：第2-1表 □）の構造骨組評価を実施し，竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設に影響を及ぼすことがないことを確認し，竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある場合には，防護対策を実施する。
- 評価対象施設（屋外に設置されている竜巻防護施設の附属施設：第2-1表 □）に対する設計飛来物による貫通評価，設計荷重に対する強度評価を実施し，評価対象施設の構造健全性が維持されることを確認する。竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある場合には，損傷箇所の補修及び取替等の対策を実施するものとし，手順と必要部材の整備を実施する。

第2-1表 評価対象施設

竜巻防護施設	屋外施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ディーゼル発電機吸気フィルタ ・ディーゼル発電機室ルーフバントファン ・中央制御室換気系冷凍機 ・海水ポンプ室内設備 ・非常用ガス処理系排気配管 ・排気筒
	竜巻防護施設を内包する施設	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋，タービン建屋・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・軽油貯蔵タンク室
	屋内の施設で外気と繋がっている施設	<ul style="list-style-type: none"> ・中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む） ・ディーゼル発電機換気系ダクト ・原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト
	外殻となる施設による防護機能が期待できない施設	<ul style="list-style-type: none"> ・中央制御室換気系ファン ・非常用電源盤 ・非常用ガス処理系設備，非常用ガス再循環系設備 ・使用済燃料プール，燃料プール冷却浄化系真空破壊弁
竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	倒壊により，竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある施設	<ul style="list-style-type: none"> ・サービス建屋 ・海水ポンプ室 ・排気筒
	屋外に設置されている竜巻防護施設の附属施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ディーゼル発電機排気消音器 ・ディーゼル発電機附属設備配管 ・海水ポンプ室内設備附属配管

6条（竜巻）-1-添付8-1

【3. 飛散防止対策】

- 設計飛来物に設定した鋼製材より運動エネルギー又は貫通力が上回る飛来物源については，竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼさないよう，別紙-2に基づき，飛散防止対策を実施する。

<対策方針>

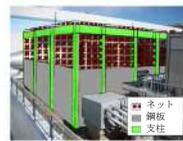
- ・対策エリア内に設置した資機材等の飛散防止対策としては，移設，撤去又は浮き上がりや横滑りを考慮した固縛等を実施する。
- ・対策エリア内の車両は，浮き上がり，横滑り及び転倒を考慮した固縛等に加え，可能な限りエリア外への退避を実施する。

【4. 飛来物防護対策】

- 設計飛来物の衝突によって損傷する可能性がある竜巻防護施設について，下記のとおり飛来物防護対策を実施する。

<竜巻防護ネット等による飛来物防護対策>

- ・設計飛来物に対する防護として，竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設に対し防護ネット等を設置する。
- ・防護ネットは設計飛来物の運動エネルギーを吸収可能な設計とするとともに小径の飛来物（設計飛来物である砂利を除く）の通り抜けを防止する設計とする。



第4-1図 MCR換気系冷凍機防護壁(案)



第4-2図 海水ポンプ室防護壁(案)

<鋼製扉追設による防護対策>

- ・設計飛来物の衝突により既設扉建具が破損し，竜巻防護施設への影響を及ぼし得ることから，鋼製扉を新たに追設し，外殻としての防護機能対策を実施する。



第4-3図 鋼製扉追設(案)

第8-1図 竜巻影響評価及び竜巻防護対策（飛散防止対策，飛来物防護対策）の概要

評価対象施設の設計荷重について

1. 概要

設計竜巻に対し，評価対象施設の構造健全性の安全機能が維持されることの確認を行った結果を整理する。

2. 評価結果

2.1 評価荷重の設定

竜巻防護施設の評価に用いる評価荷重について別表1-2-1に，竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の評価に用いる評価荷重について別表1-2-2に整理する。

別表 1-2-1 竜巻防護施設の評価に用いる評価荷重一覧表 (1/3)

評価対象施設	設計竜巻荷重								その他の 評価荷重 ^{※1}
	W _W , W _M , W _P の選定				複合荷重の設定 ^{※2}				
	設置 場所	W _W ^{※1}	W _M ^{※1}	W _P ^{※1}	W _{T1}	W _{T2}			
					W _P	W _W	W _W +0.5W _P	W _W +0.5W _P +W _M	
<屋外施設>									
非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	無し
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気フィルタ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	無し
非常用ディーゼル発電機室ルーフトファン	屋外	○	×	×	—	○	—	—	自重
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフトファン	屋外	○	×	×	—	○	—	—	自重
中央制御室換気系冷凍機	屋外	○	×	×	—	○	—	—	自重
残留熱除去系海水系ポンプ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	無し
残留熱除去系海水系ストレーナ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	自重
非常用ディーゼル発電機海水ポンプ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	無し
非常用ディーゼル発電機海水ストレーナ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	自重
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ポンプ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	無し
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ストレーナ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	自重
非常用ガス処理系排気配管	屋外	○	×	○	○	—	○	—	自重, 内圧
主排気筒	屋外	○	○ ^{※3}	×	—	○ ^{※3}	—	— ^{※3}	自重

注記) ※1 表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。 ○ : 考慮する × : 考慮しない , その他の荷重は評価で使用するものを記載する。

※2 複合荷重の構成について, ○のついた構成で評価を実施。 ○ : 実施ケース — : 該当しないケース

※3 W_Mは選定するが, 鉄塔主要部材を破損させるものとして考慮し, 主排気筒の複合荷重を構成する荷重としては考慮しない。

別表 1-2-1 竜巻防護施設の評価に用いる評価荷重一覧表 (2/3)

評価対象施設	設計竜巻荷重								その他の 評価荷重 ^{※1}
	W _W , W _M , W _P の選定				複合荷重の設定 ^{※2}				
	設置 場所	W _W ^{※1}	W _M ^{※1}	W _P ^{※1}	W _{T1}	W _{T2}			
					W _P	W _W	W _W +0.5W _P	W _W +0.5W _P +W _M	
<屋外施設（竜巻施設を内包する施設）>									
原子炉建屋	屋外	○	○	○	○	—	—	○	無し
タービン建屋	屋外	○	○	○	○	—	—	○	無し
使用済燃料乾式貯蔵建屋	屋外	○	○	○	○	—	—	○	無し
軽油貯蔵タンクタンク室	屋外 (埋設)	×	×	○	○	—	—	—	

注記) ※1 表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。 ○：考慮する ×：考慮しない

※2 複合荷重の構成について、○のついた構成で評価を実施。 ○：実施ケース —：該当しないケース

別表 1-2-1 竜巻防護施設評価に用いる評価荷重一覧表 (3/3)

評価対象施設	設計竜巻荷重								その他の 評価荷重 ^{※1}
	W _w , W _M , W _P の選定				複合荷重の設定 ^{※2}				
	設置 場所	W _w ^{※1}	W _M ^{※1}	W _P ^{※1}	W _{T1}	W _{T2}			
					W _P	W _w	W _w +0.5W _P	W _w +0.5W _P +W _M	
<屋内の施設で外気と繋がっている施設>									
中央制御室換気系隔離弁, ファン	屋内	×	×	○	○	—	—	—	自重, 運転圧力
非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト	屋内	×	×	○	○	—	—	—	自重, 運転圧力
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト	屋内	×	×	○	○	—	—	—	自重, 運転圧力
原子炉建屋換気系隔離弁, ダクト	屋内	×	×	○	○	—	—	—	自重, 運転圧力
<外殻となる施設による防護機能が期待できない施設>									
中央制御室換気系ファン	屋内	×	× ^{※3}	○	○	—	—	—	無し
中央制御室換気系フィルタユニット	屋内	×	×	○	○	—	—	—	無し
非常用電源盤	屋内	×	× ^{※3}	×	—	—	—	—	無し
非常用ガス処理系設備, 非常用ガス再循環系設備	屋内	×	× ^{※3}	×	—	—	—	—	無し
使用済燃料プール	屋内	×	× ^{※3}	×	—	—	—	—	無し
燃料プール冷却浄化系真空破壊弁	屋内	×	× ^{※3}	×	—	—	—	—	無し
使用済燃料乾式貯蔵容器	屋内	×	○	×	—	—	—	○	無し

注記) ※1 表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。 ○: 考慮する ×: 考慮しない
 ※2 複合荷重の構成について, ○のついた構成で評価を実施。 ○: 実施ケース —: 該当しないケース
 ※3 W_Mに対して, 防護対策を実施するため, 衝撃荷重は作用しない。

別表 1-2-2 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の評価に用いる評価荷重一覧表 (1/2)

評価対象施設	設計竜巻荷重								その他の 評価荷重 ^{※1}
	W _w , W _M , W _P の選定				複合荷重の設定 ^{※2}				
	設置 場所	W _w ^{※1}	W _M ^{※1}	W _P ^{※1}	W _{T1}	W _{T2}			
W _P					W _w	W _w +0.5W _P	W _w +0.5W _P +W _M		
<機械的影響の観点>									
サービス建屋	屋外	○	○	○	○	—	—	○	無し
海水ポンプ室	屋外	○	○	×	—	—	—	○	無し
鋼製防護壁	屋外	○	○	×	—	—	—	○	無し
排気筒	屋外	○	○ ^{※3}	×	—	○ ^{※3}	—	— ^{※3}	自重
<機能的影響の観点>									
非常用ディーゼル発電機排気消音器	屋外	○	× ^{※4}	○	○	—	○	—	無し
非常用ディーゼル発電機排気配管	屋外	○	× ^{※4}	○	○	—	○	—	自重, 内圧
非常用ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管	屋外	○	× ^{※4}	○	○	—	○	—	自重, 内圧
非常用ディーゼル発電機機関ベント管	屋外	○	× ^{※4}	○	○	—	○	—	自重, 内圧
非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管	屋外	○	× ^{※4}	○	○	—	○	—	自重, 内圧

注記) ※1 表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。 ○:考慮する ×:考慮しない

※2 複合荷重の構成について, ○のついた構成で評価を実施。 ○:実施ケース —:該当しないケース

※3 W_Mは選定するが, 鉄塔主要部材を破損させるものとして考慮し, 主排気筒の複合荷重を構成する荷重としては考慮しない。

※4 W_Mに対して, 防護対策を実施するため, 衝撃荷重は作用しない。

別表 1-2-2 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の評価に用いる評価荷重一覧表 (2/2)

評価対象施設	設計竜巻荷重								その他の 評価荷重 ^{※1}
	W _W , W _M , W _P の選定				複合荷重の設定 ^{※2}				
	設置 場所	W _W ^{※1}	W _M ^{※1}	W _P ^{※1}	W _{T1}	W _{T2}			
					W _P	W _W	W _W +0.5W _P	W _W +0.5W _P +W _M	
<機能的影響の観点>									
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器	屋外	○	× ^{※4}	○	○	—	○	—	自重
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管	屋外	○	× ^{※4}	○	○	—	○	—	自重, 内圧
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料デイトンク ベント管	屋外	○	× ^{※4}	○	○	—	○	—	自重, 内圧
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管	屋外	○	× ^{※3}	○	○	—	○	—	自重, 内圧
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機潤滑油サンプタンク ベント管	屋外	○	× ^{※3}	○	○	—	○	—	自重, 内圧
残留熱除去系海水配管 (放出側)	屋外	○	× ^{※3}	○	○	—	○	—	自重, 内圧
非常用ディーゼル発電機海水配管 (放出側)	屋外	○	× ^{※3}	○	○	—	○	—	自重, 内圧
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水配管 (放出側)	屋外	○	× ^{※3}	○	○	—	○	—	自重, 内圧

注記) ※1 表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。 ○: 考慮する ×: 考慮しない

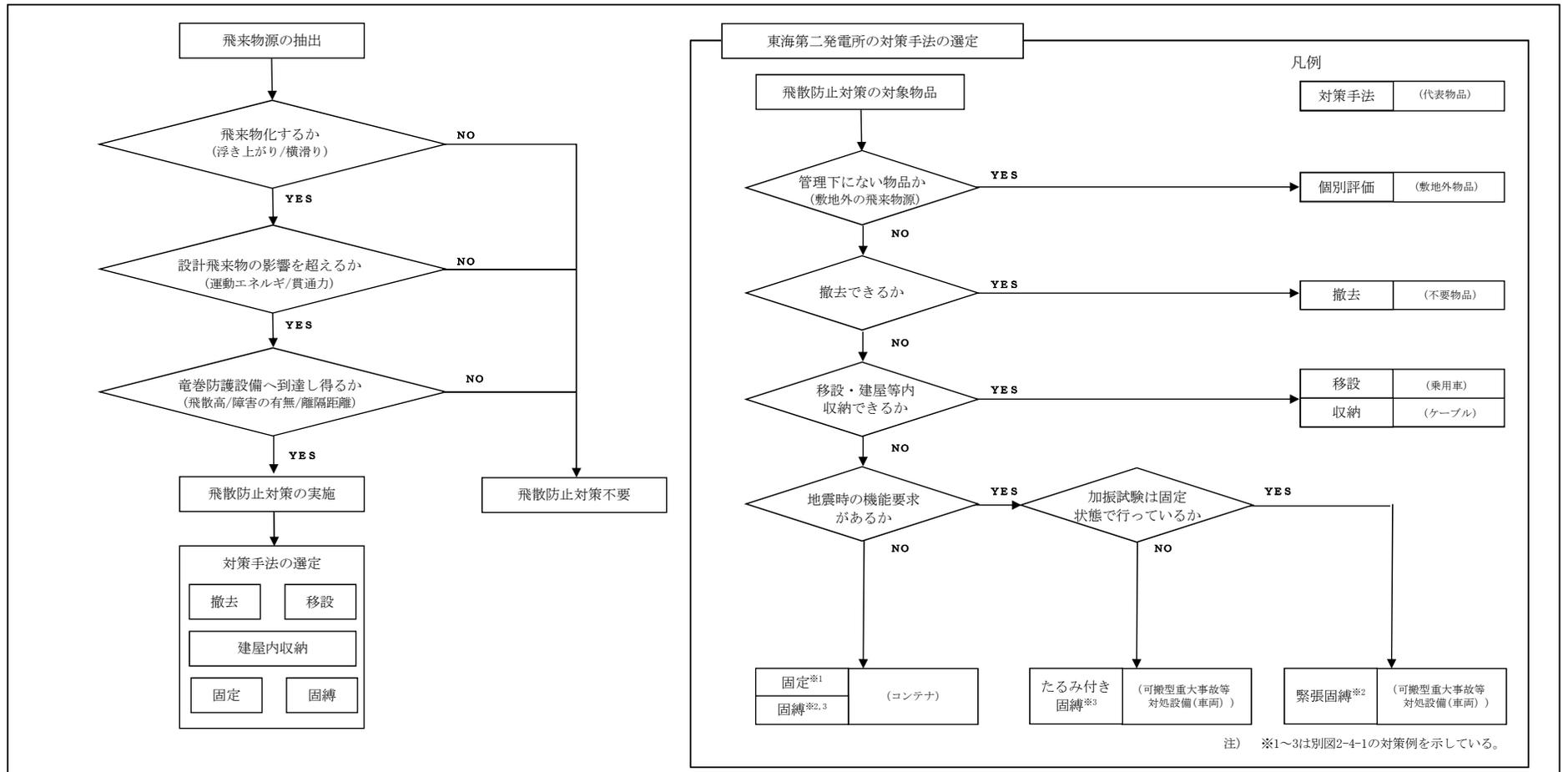
※2 複合荷重の構成について, ○のついた構成で評価を実施。 ○: 実施ケース —: 該当しないケース

※3 W_Mにより, 対象が破損することを想定するため, 設計荷重としては考慮しない。

竜巻防護対策のうち飛散防止対策の概要について

【1. 飛散防止対策のフロー図】

・現地調査による飛来物源に対して、飛散防止対策の選定フローを別図2-1-1に示す。



別図2-1-1 東海第二発電所の飛散防止対策の選定フロー図

【2. 飛散防止対策の基本方針】

- ・竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす施設に悪影響を及ぼす可能性のある飛来物源に対して飛来物発生防止対策を実施する。

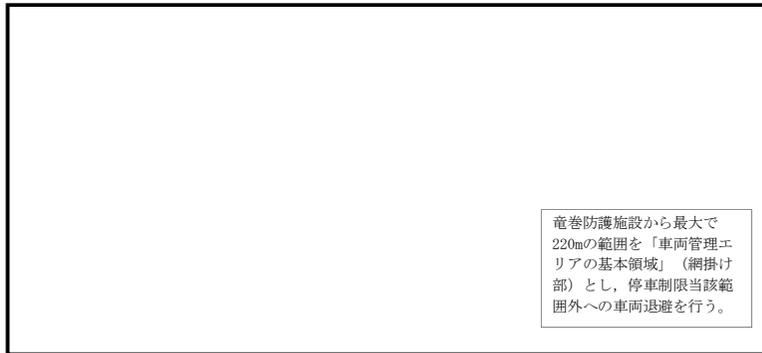
飛散防止対策の実施条件：①～③を全て満たす飛来物源

- ① 飛散（浮き上がり、横滑り）する
- ② 設計飛来物（鋼製材）の運動エネルギー及び貫通力を上回る
- ③ 竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす施設に到達する

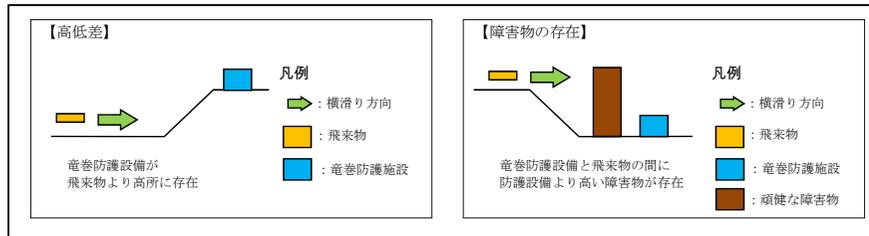
【3. 竜巻防護施設等への到達、隔離】

- ・竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす施設に到達しないケースを下記に示す。

- ① 竜巻防護施設等には到達できない距離を確保した配置とする。（隔離距離の確保）
（別図2-3-1に車両の場合の隔離（退避）範囲案を示す。）
- ② 竜巻防護施設等に対して高低差や到達できない障害物が配置されている。
（別図2-3-2に横滑りする飛来物に対して未到達となる例を示す。）



別図2-3-1 車両管理エリア図



別図2-3-2 横滑りに対して未到達となる例

【4. 飛散防止対策（固定、固縛）の例】

- ・飛散防止対策のうち、固定及び固縛である一例を別図2-4-1に示す。

飛散防止対策	対策の概要図		別図2-1-1の記載
固定		飛来物源に固定金具を取り付けて固定	対策例①
緊張固縛		飛来物源に車輪部に連結材と固定金具を用いて固定 【挙動させない】	対策例②
		飛来物源を連結材（ロープ/スリング等）を用いて固縛 【挙動させない】	
たるみ付き固縛	(通常時) (地震時(未展張)) (竜巻時(展張)) 	飛来物源を連結材（ロープ/スリング等）を用いて固縛 【地震時の挙動を拘束しない】	対策例③

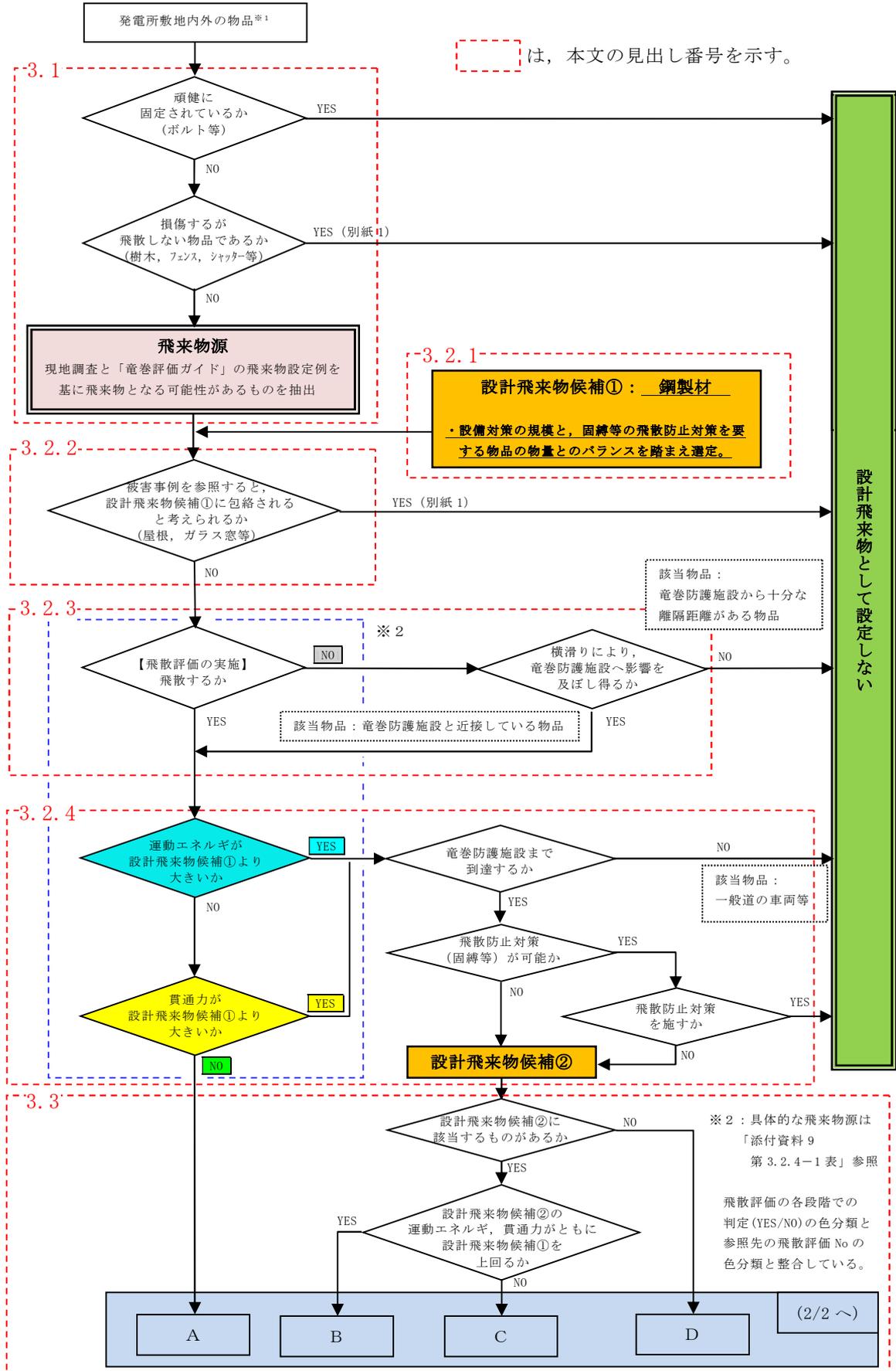
別図2-4-1 飛散防止対策（固定・固縛）の一例

設計飛来物の設定について

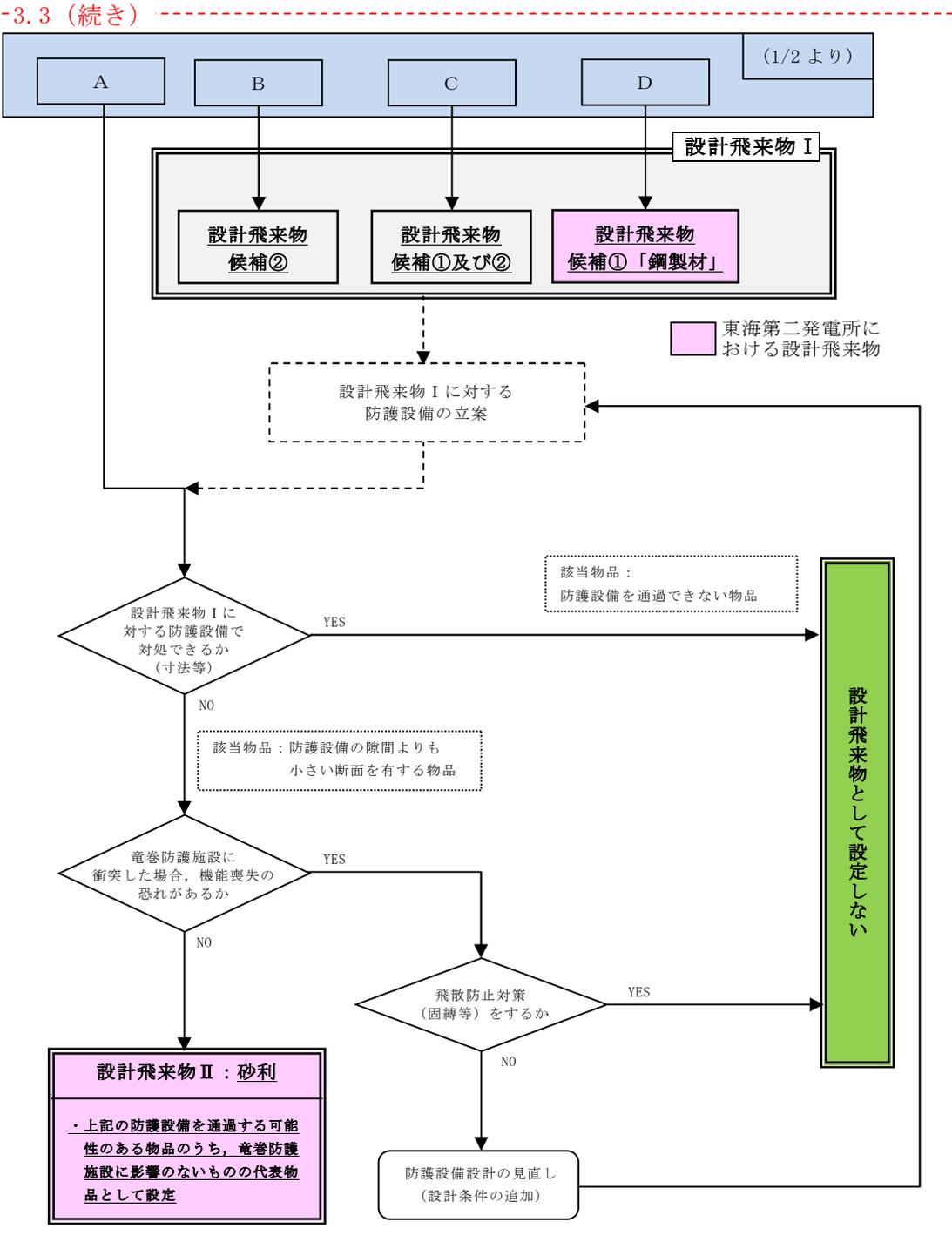
1. 設計飛来物の設定方針

東海第二発電所の竜巻影響評価に用いる設計飛来物を、第 1-1 図に示すフローに基づき設定した。

※1：発電所敷地内及び周辺の現地調査等を踏まえ抽出



第 1-1 図 設計飛来物の設定フロー(1/2)



第 1-1 図 設計飛来物の設定フロー (2/2)

2. 発電所構内の物品調査

2.1 調査範囲

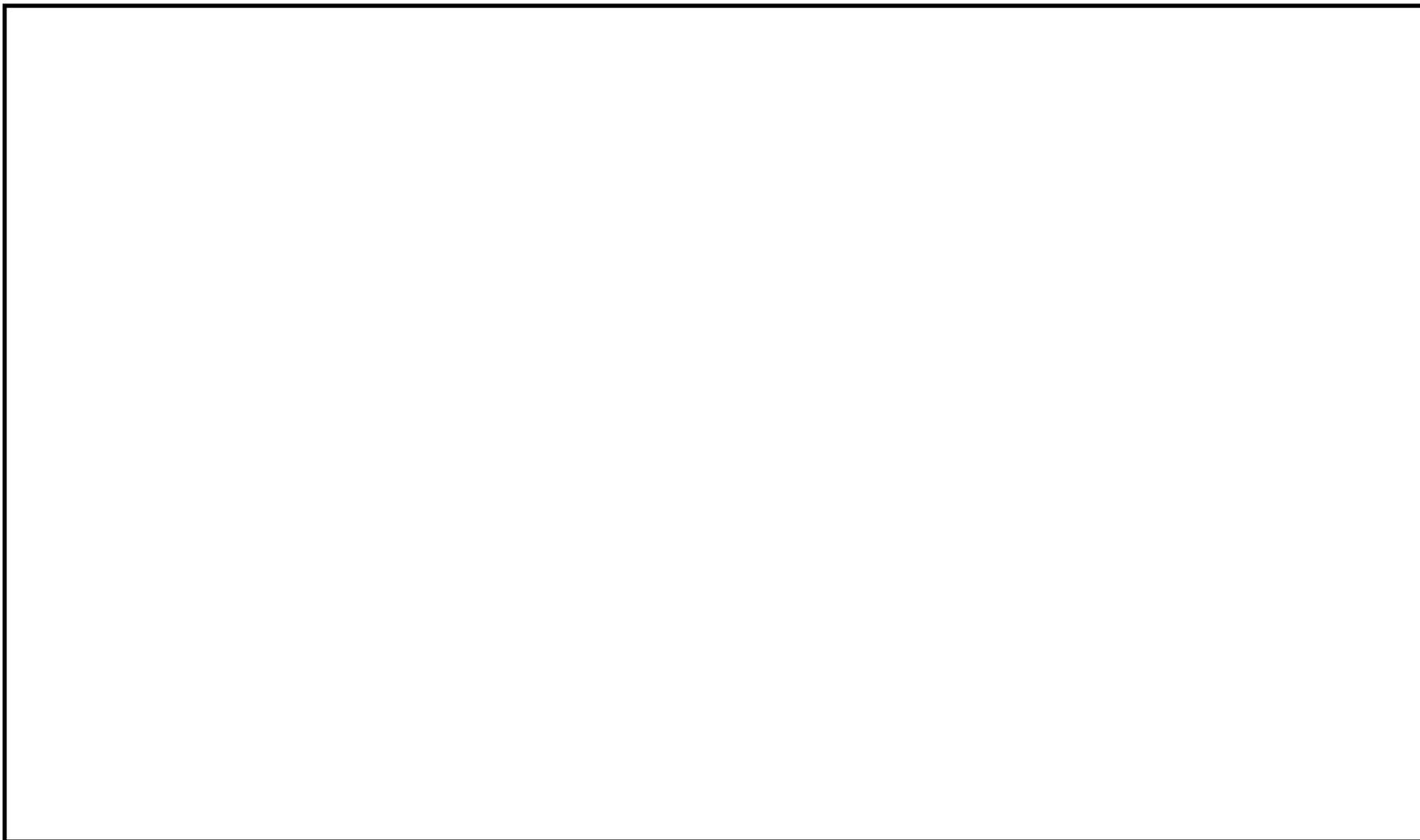
東海第二発電所構内の物品調査は、1回目を平成26年1月15日から16日（発電所敷地内）、及び2回目を平成28年7月22日に実施した。調査範囲は、米国Regulatory Guideを参考に、第2.1-1図に示すとおり、原子炉建屋から半径800mの範囲とした。なお、後述の代表的な飛来物源の飛散評価結果において、飛散距離は最大でも400m程度であることから、調査範囲は十分と考えられる。

2回の調査において認められた物品の種類に有意な違いは認められなかったことから、定期検査の有無や季節性を加味しても、考慮すべき物品の種類としては、今回認められたものの中に包絡されるものと考えられる。

なお、今後も飛来物源について継続的に確認し、新たに考慮すべき物品の種類が認められた場合は、新たな飛来物源として評価する。

第2.1-1表 調査エリア区分

エリア番号	エリア内の主な施設
①	東海発電所 タービン建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋外開閉所，事務本館
②	資材置場，駐車場
③	東海発電所 取水口，放水口 資材倉庫
④	固体廃棄物貯蔵庫 東海第二発電所 取水口，放水口，海水ポンプ室
⑤	東海発電所 原子炉建屋 東海第二発電所 原子炉建屋，タービン建屋 廃棄物処理建屋



第 2.1-1 図 物品調査エリア

2.2 発電所構内の物品の調査結果

調査の結果, 第 2.2-1 表に示す種類の物品が東海第二発電所において確認された。調査エリア毎の主な物品を以降に示す。

第 2.2-1 表 東海第二発電所における主な飛来物源の種類

棒状※	板状※	塊状※	
<ul style="list-style-type: none"> ・バリケード ・ベンチ (常設) ・樹木 (倒木, 伐採木), 材木 ・鉄骨 ・鋼管 ・ボンベ ・樹脂製パイプ 	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂製蓋 ・コンクリ製蓋 ・マンホール蓋 ・グレーチング ・カーブミラー ・看板, 標識 ・鋼製敷板 ・鋼製スロープ ・鋼製蓋 ・ベンチ (仮設) ・足場板, 足場枠 ・パレット (鋼製) ・パレット (木製, 樹脂製) ・脚立, 梯子 ・時計 ・仮囲い板, 仮設フェンス 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドラム缶 ・消防車 ・トラック ・社用バス ・乗用車 ・コンテナ ・物置 ・洗濯機 ・仮設電源 ・建設機械 ・運搬台車 ・鋼製ボックス ・下駄箱 ・カラーコーン ・消火器 ・消火設備格納箱 ・フォークリフト 	<ul style="list-style-type: none"> ・バイク, 自転車 ・土嚢 ・自動販売機 ・ケーブルドラム ・仮設トイレ ・オブジェ ・鋼製ブロック ・コンクリートブロック ・サッカーゴール ・木片, 木製品 ・プレハブ小屋 ・プラスチック容器 ・什器類 ・ホース, ケーブル類 ・空調室外機 ・鋼製ステップ

※: 各ジャンルにおける代表的な形状にて整理した表であり, ジャンル内の物品全てが同一の形状となる訳ではない。

エリア①で確認された主な飛来物源



#1 乗用車



#2 プレハブ小屋



#6 パレット（木製又は樹脂製）



#8 鋼管



#9 ポンペ



#10 脚立, 梯子



#11 ドラム缶



#13 ケーブルドラム



#17 ケーブルドラム



#19 物置



#20 物置



#21 コンテナ



#22 トラック



#27 フォークリフト



#28 乗用車



#32 消火器



#33 消火設備格納箱



#34 鋼製スロープ



#38 足場板, 足場枠



#46 洗濯機



#47 プラスチック容器



#49 マンホール蓋



#50 バイク, 自転車



#51 カーブミラー



#53 看板, 標識



#54 コンクリ製蓋



#56 バリケード



#58 樹脂製蓋



#61 鋼製敷板



#62 鋼製ボックス



#63, #64 仮設電源



#65 フレコンバッグ入資材



#66 プレハブ小屋



#67 運搬台車



#68 プラスチック容器



#69 鉄骨



#73 コンテナ



#74 空調室外機



#75 プレハブ小屋



#76 ケーブルドラム



#77 建設機械



#79 消防車



#81 コンクリ製蓋



#121 コンクリートブロック



#122 コンクリートブロック

エリア②で確認された主な飛来物源



#84 鋼製蓋



#85 物置



#87 グレーチング



#89 鋼製ステップ



#90 ケーブルドラム



#92 仮設電源



#93 ドラム缶



#94 脚立, 梯子



#97 鉄骨



#100 ケーブルドラム



#101 ホース, ケーブル類



#102 鋼製ボックス



#106 コンテナ



#107 樹木 (倒木, 伐採木), 材木



#110 鉄骨



#112 鋼管



#115 トラック



#116 運搬台車



#117 バイク，自転車

エリア③で確認された主な飛来物源



#131 コンテナ



#138 鋼管



#139 仮設電源



#141 建設機械



#142 仮設トイレ



#143 鋼管



#144 空調室外機



#145 空調室外機



#152 消火設備格納箱



#153 消火設備格納箱



#155 プレハブ小屋



#156 資機材類



#163 鉄骨



#164 鋼製蓋



#165 バリケード



#176 ドラム缶



#177 鋼製ステップ

エリア④で確認された主な飛来物源



#181 バリケード



#182 消防車



#183 消防車



#186 マンホール蓋



#188 カラーコーン



#190 ベンチ (常設)



#194 看板, 標識



#198 プラスチック容器



#199 オブジェ (タービン)



#201 コンクリートブロック



#203 ベンチ (常設)



#204 下駄箱



#205 自動販売機



#210 空調室外機



#215, #216 社用バス



#217 鋼製ステップ



#219 乗用車



#220 カーブミラー



#222 物置



#225 鋼製ステップ



#226 トラック



#228 プレハブ小屋



#347 物置



#350 鋼製ボックス



#351 木片, 木製品



#352 鋼管



#370 プレハブ小屋



#371 物置



#372 フォークリフト



#373 物置



#376 鋼管



#379 パレット (木製又は樹脂製)



#380, #381 鋼製ブロック



#382 看板, 標識



#383 物置



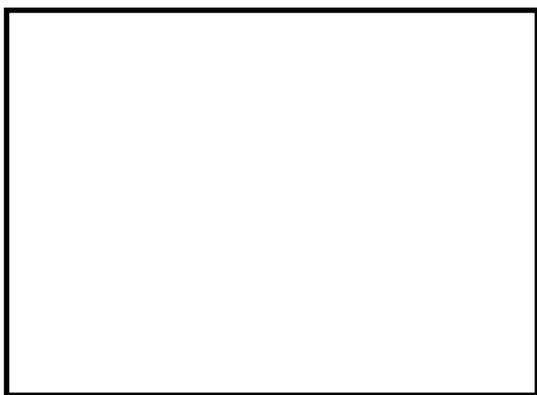
#388 コンクリ製蓋



#392 鋼製蓋



#394 鋼製敷板



#398 仮設トイレ



#400 鋼製ボックス



#405 樹脂製パイプ



#409 倉庫, #410 自動販売機



#411 鋼製蓋



#412 鋼製蓋



#413 鋼製蓋



#414 プレハブ小屋



#417 コンクリートブロック



#418 コンクリ製蓋



#421 ケーブルドラム



#422 鋼製ボックス



#423 鋼製ステップ



#424 プレハブ小屋



#431 樹脂製蓋



#435 コンテナ



#436 鋼製ボックス



#437 鋼製ボックス



#469 鋼管



#472 運搬台車



#475 鋼製ステップ



#478 物置



#479 プレハブ小屋



#483 ベンチ



#484 サッカーゴール



#485 樹木 (倒木, 伐採木), 材木



#486 バイク，自転車



#487 バイク，自転車



#488 バイク，自転車



#490 空調室外機

エリア⑤で確認された主な飛来物源



#244 グレーチング



#246 マンホール蓋



#247 プレハブ小屋



#250 運搬台車



#251 ベンチ（仮設）



#252 トラック



#253 鋼製蓋



#258 プラスチック容器



#259 物置



#260 プレハブ小屋



#262 仮設電源



#267 物置



#272 足場材, 足場枠



#276 建設機械



#279 プレハブ小屋



#281 空調室外機



#284 鋼製敷板



#286 鋼管



#287, #288 鋼製ボックス



#289 空調室外機



#293 ポンプ



#295 ホース, ケーブル類



#298 鋼製スロープ



#301 足場板, 足場枠



#305 鋼製敷板



#307 プレハブ小屋



#309 プラスチック容器



#314 コンクリートブロック



#316 マンホール蓋



#320 パレット (鋼製)



#330 物置



#335 鋼製スロープ



#336 什器類



#337 敷鉄板



#338 ケーブルドラム



#339 パレット (木製又は樹脂製)



#340 プレハブ小屋



#343 仮囲い板, 仮設フェンス



#495 仮設電源

3. 設計飛来物の設定

3.1 固定状況等を踏まえた飛来物源の抽出

現地調査にて確認された物品のうち以下に示すもののうち、過去の竜巻被害事例（【添付資料9 別紙1】）も参考とし、以下の観点のいずれにも当てはまらない物品を飛来物源として抽出した。

- (1) 溶接やボルト等により頑健に固定されている物品
- (2) 竜巻の影響により損傷はするが、飛散しない物品

3.2 飛来物源の飛散評価

3.2.1 設計飛来物候補の設定

設備対策の規模と、固縛等の飛散防止対策を要する物品の物量等のバランスを考え、竜巻影響評価ガイドに例示される鋼製材を、設計飛来物候補として設定した。

3.2.2 評価不要物品の抽出

飛来物源のうち、過去の竜巻被害事例（添付資料9 別紙1）を参考とし、設計飛来物候補である鋼製材の影響を下回ると判断した物品については、設計飛来物にならないものとして、飛散評価を不要とした。

3.2.3 飛来物源の飛散評価

3.2.2にて抽出された飛来物源に対し、設計竜巻の最大風速 100m/s、風速場モデルとしてフジタモデルを適用した場合における飛散評価を実施した。

(1) 初期高さ

フジタモデルを使用した飛散評価においては、評価対象物品の配置位置と敷地高さとの高低差を示す初期高さの設定が必要となる。評価対象物品の初期高さは現地調査結果を踏まえて設定するものとし、基本は地表からの飛散を想定した評価を行うものとする。

但し、仮設材のように設置場所が特定できず、高所に置かれる可能性を有する飛来物源に対しては、この様な物品を持ち込む場合は、使用場所が地表高さであるか高所であるかを考慮の上、適切な初期高さからの飛散評価結果を踏まえ、固縛等の要否を判断する。

(2) 空力パラメータ

飛散評価に用いる空力パラメータは、疎な物品の場合においては、見付面の充実率に応じた割増係数を抗力係数に乗じたうえで算出する。

【添付資料 9 別紙 2】

(3) 飛散速度の選定と横滑りの考慮

飛来物源の飛散速度については、「竜巻影響評価ガイド」に基づき、飛散評価により算出される際の最大水平速度及び最大鉛直速度を設定した。

なお、浮上しないが横滑りにより竜巻防護施設に影響を与え得る物品については、浮上する物品同様、3.3の結果を踏まえ設計飛来物として選定する必要があるかを判断する。

3.2.4 飛散防止対策の可否を踏まえた飛来物源のスクリーニング

飛散評価の結果を踏まえ、設計飛来物候補である鋼製材に対し、その影響（運動エネルギーもしくは貫通力）を上回るパラメータを有する飛来物源に対し、固縛あるいは離隔及び撤去等の飛散防止対策の可否を考慮し、新たに設計飛来物候補とする必要の有無を評価した。

代表的な飛来物源の飛散評価結果とスクリーニングの結果を、第 3.2.4-1 表に示す。

第 3.2.4-1 表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表 (1/9)

No.	カテゴリ (品目に則った整理)	寸法(m)			C _D A/m (m ² /kg)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギー		貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		固縛等の 検討が必要 【①,②,③の 何れかが“○”】
		高さ	高さ以外							最大 運動E (kJ)	鋼製材超 (E>176k J) 【条件①】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>25.9mm) 【条件②】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>9 [*] mm) 【条件②】	
<運動エネルギーが鋼製材より大きいもの>																
340	プレハブ小屋	2.2	6	10	0.0115	56	185.1	15.786	5500	8624	○	64.4	○	9	×	○
19	物置	2.3	3.2	6.5	0.0057	43	88.5	4.726	5000	4623	○	54.4	○	8	×	○
252	トラック	2.24	2.445	7.54	0.0073	48	120.2	6.56	3700	4263	○	54.7	○	8	×	○
260	プレハブ小屋	2.6	2.86	6.05	0.009	52	172.2	13.803	3000	4056	○	49.9	○	7	×	○
216	社用バス	2.34	2.96	8.99	0.0037	28	37.3	1.675	9910	3885	○	52.7	○	7	×	○
414	プレハブ小屋	2.3	2.7	5.5	0.0075	49	146.8	7.625	3000	3602	○	49	○	7	×	○
182	消防車	2.49	3.04	8	0.0033	25	30.7	1.216	10620	3319	○	48.4	○	6	×	○
155	プレハブ小屋	2.5	3.6	5	0.0145	59	210.8	21.932	1800	3133	○	41.8	○	5	×	○
215	社用バス	2.08	2.82	6.99	0.0041	30	41.3	1.907	6605	2973	○	47.3	○	6	×	○
183	消防車	2.28	2.8	7.15	0.0033	23	26.6	1.008	8635	2284	○	42	○	5	×	○
20	物置	2.3	3.05	3.05	0.0103	54	176.9	14.187	1500	2187	○	37.1	○	5	×	○
66	プレハブ小屋	2.4	2.7	5.4	0.0225	65	227.2	27.502	1000	2113	○	36.3	○	5	×	○
75	プレハブ小屋	2.4	2.7	5.4	0.0225	65	227.2	27.502	1000	2113	○	36.3	○	5	×	○
2	プレハブ小屋	2.3	2.6	4.6	0.0189	63	219.9	24.347	1000	1985	○	35.9	○	5	×	○
247	プレハブ小屋	2.3	2.8	4.4	0.0191	63	220.3	24.49	1000	1985	○	35.4	○	5	×	○
237	プレハブ小屋	2	3	4	0.0172	61	209.6	20.915	1000	1861	○	34.8	○	5	×	○
373	物置	1.9	2.2	4.4	0.0052	36	53.4	2.951	2836	1838	○	39.1	○	6	×	○
228	プレハブ小屋	2.4	2.4	3.6	0.0153	60	211.9	22.074	1000	1800	○	34.6	○	5	×	○
479	プレハブ小屋	2.4	2.4	3.6	0.0153	60	211.9	22.074	1000	1800	○	34.6	○	5	×	○
259	物置	2.4	2.65	3.5	0.0159	60	213.9	22.626	1000	1800	○	33.9	○	5	×	○
115	トラック	2.22	3.16	7.56	0.0032	21	22.6	0.815	7970	1758	○	36.5	○	4	×	○
370	プレハブ小屋	2.2	2.3	4.5	0.0186	62	217.6	23.438	900	1730	○	34.7	○	5	×	○
28	乗用車	1.69	1.81	4.39	0.0067	43	73.9	3.801	1825	1688	○	39.1	○	6	×	○

※ 鋼板貫通評価においても、コンクリートと同様に衝突方向の断面は中実断面として評価している。

第 3.2.4-1 表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表 (2/9)

No.	カテゴリ (品目に則った整理)	寸法(m)			C _D A/m (m ² /kg)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギー		貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		固縛等の 検討が必要 【①,②,③の 何れかが“○”】
		高さ	高さ以外							最大 運動E (kJ)	鋼製材超 (E>176k J) 【条件①】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>25.9mm) 【条件②】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>9 [*] mm) 【条件②】	
22	トラック	1.695	1.9	4.69	0.0057	37	55.2	3.007	2340	1602	○	38.3	○	6	×	○
106	コンテナ	1.8	1.8	3.7	0.0116	55	170.1	12.251	950	1437	○	34.9	○	5	×	○
73	コンテナ	1.5	2.1	3.7	0.0115	54	163.1	8.195	950	1386	○	34.5	○	5	×	○
307	プレハブ小屋	1.85	2.6	3.65	0.0193	62	211.5	21.333	720	1384	○	31.4	○	4	×	○
1	乗用車	1.6	2	4.5	0.0052	33	44.3	2.293	2500	1362	○	35.8	○	5	×	○
219	乗用車	1.39	1.86	4.615	0.0069	40	56.7	2.987	1570	1256	○	35.2	○	6	×	○
424	プレハブ小屋	1.7	2.5	2.6	0.0147	59	186.9	15.804	685	1193	○	30	○	4	×	○
383	物置	1.9	1.9	2.25	0.0101	53	165.3	10.111	801	1126	○	30.4	○	4	×	○
371	物置	2	2	2.3	0.0137	58	194.1	17.348	640	1077	○	28.9	○	4	×	○
347	物置	1.9	2.05	2.4	0.0177	61	208.6	20.542	500	931	○	26.9	○	4	×	○
330	物置	1.9	2.3	2.9	0.0304	69	222.9	30.192	360	857	○	24.9	×	4	×	○
177	鋼製ステップ	1	1.3	4.3	0.0185	60	164.2	9.74	400	720	○	29.3	○	5	×	○
409	物置	1.4	2.1	3	0.0296	68	212.9	24.183	300	694	○	24.3	×	4	×	○
222	物置	1.8	2	3	0.0367	71	220.9	33.633	270	681	○	23	×	3	×	○
21	コンテナ	1	1.4	3.2	0.0134	54	141.3	4.521	450	657	○	27.9	○	5	×	○
85	物置	2	2.1	3.5	0.0583	78	-515.9	-44.356	210	639	○	21.5	×	3	×	○
63	仮設電源	1.68	2.12	3.69	0.0034	19	17.8	0.574	3460	625	○	25.2	×	3	×	○
79	消防車	2.5	2.5	8	0.0025	10	4.9	0.068	12500	625	○	24.1	×	3	×	○
435	コンテナ	1.2	1.712	3.7	0.0044	23	23.2	0.886	1960	519	○	25.1	×	4	×	○
398	仮設トイレ	0.9	1.4	2.5	0.0133	52	128.8	3.795	350	474	○	24.3	×	4	×	○
279	プレハブ小屋	1.3	2.2	2.4	0.0477	74	210.3	33.081	156	428	○	19	×	3	×	○
145	空調室外機	1	2.1	2.9	0.0058	28	29.9	1.404	1000	392	○	21.3	×	3	×	○
286	鋼管	0.8	1	3.4	0.0092	38	40.3	2.005	500	361	○	23.9	×	4	×	○
262	仮設電源	1.05	1.2	1.5	0.0153	57	157.2	6.695	200	325	○	20	×	3	×	○

※ 鋼板貫通評価においても、コンクリートと同様に衝突方向の断面は中実断面として評価している。

第 3.2.4-1 表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表 (3/9)

No.	カテゴリ (品目に則った整理)	寸法(m)			C _D A/m (m ² /kg)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギー		貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		固縛等の 検討が必要 【①,②,③の 何れかが“○”】
		高さ	高さ以外							最大 運動E (kJ)	鋼製材超 (E>176k J) 【条件①】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>25.9mm) 【条件②】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>9 [*] mm) 【条件②】	
437	鋼製ボックス	1.05	1.35	1.35	0.0154	57	157.9	6.793	200	325	○	19.6	×	3	×	○
478	物置	1.1	1.3	2	0.0288	67	200.3	19.881	143	321	○	19.1	×	3	×	○
210	空調室外機	0.9	1.3	1.8	0.01	42	53.2	2.69	340	300	○	20.1	×	3	×	○
90	ケーブルドラム	0.9	1.5	1.5	0.0147	54	141.3	4.274	199	291	○	18.8	×	3	×	○
142	仮設トイレ	0.876	1.598	2.572	0.0458	72	207.1	25.417	112	291	○	18.1	×	3	×	○
485	樹木(倒木, 伐採木), 材木	1	1	14.2	0.0184	60	161.6	9.626	151	272	○	20	×	4	×	○
144	空調室外機	1	1	1.3	0.0114	50	126.7	3.592	210	263	○	19.1	×	3	×	○
350	鋼製ボックス	0.98	1.65	1.8	0.042	72	201.5	25.554	100	260	○	16.7	×	3	×	○
421	ケーブルドラム	0.9	1.5	1.5	0.0143	53	134.5	4.133	179	252	○	17.5	×	3	×	○
84	鋼製蓋	0.1	5	5	0.0136	20	14.8	0.23	1250	250	○	23.2	×	4	×	○
422	鋼製ボックス	0.9	1	1.9	0.0082	36	39.3	2.041	366	238	○	19.1	×	3	×	○
205	自動販売機	0.9	1.2	1.8	0.0064	30	30	1.438	508	229	○	18.5	×	3	×	○
89	鋼製ステップ	1	1.8	2.4	0.0193	61	161.5	10.645	120	224	○	15.4	×	2	×	○
17	ケーブルドラム	0.8	1.5	1.5	0.0173	55	143.4	4.312	141	214	○	16.5	×	3	×	○
287	鋼製ボックス	0.75	1.3	1.6	0.0094	37	38	1.887	300	206	○	17.5	×	3	×	○
410	自動販売機	0.7	1.4	1.8	0.009	34	32.5	1.638	350	203	○	17.5	×	3	×	○
217	鋼製ステップ	1	1	4	0.01	45	61.7	3.115	200	203	○	17	×	3	×	○
258	プラスチック容器	0.9	1.2	1.2	0.0238	63	163.9	12.946	100	199	○	16	×	3	×	○
436	鋼製ボックス	0.8	1.05	1.38	0.0112	43	58.5	2.565	200	185	○	16.8	×	3	×	○
486	バイク, 自転車	0.76	1.2	2.1	0.0112	42	60	2.391	209	185	○	16.6	×	3	×	○
236	仮設トイレ	0.8	1.1	2	0.0436	71	200.7	22.91	71	179	○	15.6	×	3	×	○
<運動エネルギーは鋼製材を下回るが、貫通力が鋼製材より大きいもの> …該当なし																

※ 鋼板貫通評価においても、コンクリートと同様に衝突方向の断面は中実断面として評価している。

第 3.2.4-1 表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表 (4/9)

No.	カテゴリ (品目に則った整理)	寸法(m)			C _D A/m (m ² /kg)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギー		貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		固縛等の 検討が必要 【①,②,③の 何れかが“○”】
		高さ	高さ以外							最大 運動E (kJ)	鋼製材超 (E>176k J) 【条件①】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>25.9mm) 【条件②】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>9 [*] mm) 【条件②】	
<飛散するが、鋼製材の影響を超えないため、設計飛来物として考慮不要なもの>																
102	鋼製ボックス	0.8	1.1	1.4	0.0293	66	167.4	14.694	80	175	×	15.5	×	3	×	×
488	バイク, 自転車	0.74	1.09	1.915	0.0154	51	119.1	3.327	130	170	×	16	×	3	×	×
484	サッカーゴール	1.3	2	3.2	0.0157	58	167.4	11.838	100	169	×	12.5	×	2	×	×
288	鋼製ボックス	0.75	0.8	4.3	0.0061	25	22.2	1.011	500	157	×	17.4	×	3	×	×
487	バイク, 自転車	0.725	1.07	2.04	0.0103	39	41.1	2.068	201	153	×	15.7	×	3	×	×
281	空調室外機	0.75	0.9	1.4	0.0104	40	43.8	2.185	190	152	×	16.1	×	3	×	×
62	鋼製ボックス	1	1.5	1.6	0.004	18	13.6	0.428	923	150	×	14.8	×	2	×	×
143	鋼管	0.65	0.65	8	0.0078	30	25.6	1.232	320	144	×	17.6	×	3	×	×
76	ケーブルドラム	0.8	1.12	1.12	0.0161	54	140.7	3.946	96	140	×	14.2	×	2	×	×
475	鋼製ステップ	0.6	1.2	2.2	0.011	37	35.2	1.718	200	137	×	15.2	×	3	×	×
74	空調室外機	0.7	1.2	1.3	0.0078	31	28	1.362	283	136	×	14.9	×	3	×	×
423	鋼製ステップ	0.6	0.9	1.8	0.0212	57	148	3.429	81	132	×	15.1	×	3	×	×
121	コンクリートブロック	0.6	1.2	1.2	0.0381	69	173.4	14.715	50	120	×	13.3	×	2	×	×
53	看板, 標識	0.2	0.85	4.85	0.0318	48	149.6	1.121	100	116	×	17.8	×	4	×	×
225	鋼製ステップ	0.6	1.2	2.2	0.01	34	30.7	1.512	200	116	×	14.1	×	2	×	×
101	ホース, ケーブル類	0.4	1.5	1.5	0.0396	66	155	6.613	50	109	×	13.3	×	3	×	×
117	バイク, 自転車	0.5	0.55	1.915	0.0159	45	114.4	1.983	95	97	×	15	×	3	×	×
116	運搬台車	0.9	2	2.5	0.0108	44	58.5	2.911	100	97	×	10.5	×	2	×	×
490	空調室外機	0.6	0.7	1.45	0.0102	35	31.3	1.545	150	92	×	13.9	×	3	×	×
138	鋼管	0.65	0.65	5	0.0067	26	21	0.972	247	84	×	13.6	×	3	×	×
267	物置	0.75	1.08	1.5	0.0047	18	14	0.484	500	81	×	12.3	×	2	×	×
68	プラスチック容器	0.6	0.7	1.3	0.0481	72	238.9	20.237	29	76	×	11.7	×	2	×	×
382	看板, 標識	0.1	1.8	2	0.0343	44	147.7	0.524	72	70	×	13.9	×	3	×	×

※ 鋼板貫通評価においても、コンクリートと同様に衝突方向の断面は中実断面として評価している。

第 3.2.4-1 表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表 (5/9)

No.	カテゴリ (品目に則った整理)	寸法(m)			C _D A/m (m ² /kg)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギー		貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		固縛等の 検討が必要 【①,②,③の 何れかが“○”】
		高さ	高さ以外							最大 運動E (kJ)	鋼製材超 (E>176k J) 【条件①】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>25.9mm) 【条件②】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>9 [*] mm) 【条件②】	
164	鋼製蓋	0.15	2.3	2.3	0.0086	17	12.5	0.193	441	64	×	12.9	×	2	×	×
495	仮設電源	0.6	0.9	1.1	0.0067	24	19.8	0.867	216	63	×	11.3	×	2	×	×
152	消火設備格納箱	0.5	0.5	1.2	0.0192	49	132.9	2.372	50	61	×	12	×	3	×	×
194	看板, 標識	0.6	0.6	1.4	0.0272	63	157.5	6.893	30	60	×	10.9	×	2	×	×
56	バリケード	0.635	0.82	6.5	0.0239	61	157	5.378	31.4	59	×	10.1	×	2	×	×
13	ケーブルドラム	0.5	0.9	0.9	0.0093	29	24.1	1.096	122	52	×	10.5	×	2	×	×
11	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	0.0472	72	214	19.804	20	52	×	10.1	×	2	×	×
93	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	0.046	71	210.3	19.251	20.5	52	×	10.1	×	2	×	×
376	鋼管	0.55	0.55	2.4	0.0142	43	88.4	2.024	53.7	50	×	10.7	×	2	×	×
131	コンテナ	1	2.1	3.4	0.0031	6	1.4	0.017	2746	50	×	8.9	×	1	×	×
253	鋼製蓋	0.1	1.3	3.7	0.0141	20	15.4	0.24	241	49	×	13.4	×	3	×	×
153	消火設備格納箱	0.3	0.7	1.2	0.0233	47	143.4	1.442	40	45	×	10.8	×	2	×	×
201	コンクリートブロック	0.5	0.8	0.8	0.0096	30	24.6	1.139	100	45	×	10	×	2	×	×
46	洗濯機	0.5	0.5	0.8	0.0148	43	84.2	1.855	47	44	×	10.4	×	2	×	×
392	鋼製蓋	0.055	1.5	3.5	0.0127	17	12.3	0.099	283	41	×	13.6	×	3	×	×
67	運搬台車	0.6	0.9	0.9	0.0291	64	154.4	8.453	19.6	41	×	8.3	×	2	×	×
165	バリケード	1.1	1.1	1.4	0.0064	32	37	1.92	80	41	×	7.7	×	1	×	×
139	仮設電源	0.598	0.687	0.713	0.0066	24	19.8	0.84	134	39	×	9.5	×	2	×	×
92	仮設電源	0.3	0.7	0.9	0.0194	44	113.6	1.227	37.8	37	×	9.9	×	2	×	×
122	コンクリートブロック	0.45	0.5	0.8	0.0131	38	71.5	1.394	50	37	×	9.8	×	2	×	×
483	ベンチ(常設)	0.5	0.75	1.8	0.1157	84	229.4	32.677	10	36	×	8.1	×	2	×	×
181	バリケード	0.5	0.5	1.1	0.0268	59	154.2	3.346	20	35	×	9	×	2	×	×
338	ケーブルドラム	0.7	0.95	0.95	0.0043	15	9.8	0.287	302	34	×	8.5	×	1	×	×
6	パレット(木製または樹	0.15	1.1	1.1	0.0269	44	143.1	0.697	33	32	×	9.7	×	2	×	×

※ 鋼板貫通評価においても、コンクリートと同様に衝突方向の断面は中実断面として評価している。

第 3.2.4-1 表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表 (6/9)

No.	カテゴリ (品目に則った整理)	寸法(m)			C _D A/m (m ² /kg)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギー		貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		固縛等の 検討が必要 【①,②,③の 何れかが“○”】
		高さ	高さ以外							最大 運動E (kJ)	鋼製材超 (E>176k J) 【条件①】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>25.9mm) 【条件②】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>9 [*] mm) 【条件②】	
	脂製)															
339	パレット (木製または樹脂製)	0.14	1.1	1.1	0.0267	43	139.7	0.639	33	31	×	9.6	×	2	×	×
301	足場板, 足場枠	0.24	0.36	3	0.0136	32	41.4	0.66	57	30	×	10.8	×	3	×	×
379	パレット (木製または樹脂製)	0.13	1.1	1.1	0.0385	48	146.7	0.774	23.7	28	×	9.1	×	2	×	×
203	ベンチ(常設)	0.4	0.6	0.9	0.0126	33	30.7	1.161	38.7	22	×	7.5	×	2	×	×
472	運搬台車	0.765	0.9	1.215	0.0074	31	28.2	1.427	44	22	×	6.2	×	1	×	×
176	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	0.0045	14	9.1	0.259	211	21	×	7.5	×	1	×	×
298	鋼製スロープ	0.12	0.5	1.5	0.0206	38	77.5	0.427	27.7	20	×	9.4	×	3	×	×
220	カーブミラー	0.084	1	1	0.0369	44	148.7	0.453	19.7	20	×	8.5	×	2	×	×
190	ベンチ(常設)	0.4	0.4	1.2	0.0113	31	22.2	1.03	38.4	19	×	7.7	×	2	×	×
47	プラスチック容器	0.6	0.6	0.7	0.1584	87	256.7	39.584	5	19	×	6	×	1	×	×
343	仮囲い板, 仮設フェンス	0.049	1.8	1.8	0.07	44	257.4	0.392	17.5	17	×	8	×	2	×	×
94	脚立, 梯子	0.2	0.6	3	0.0299	47	147	1.069	15	17	×	7.4	×	2	×	×
251	ベンチ(仮設)	0.3	0.42	1.8	0.0243	47	143.6	1.494	15.1	17	×	7.3	×	2	×	×
204	下駄箱	0.4	0.6	1	0.0073	21	15.8	0.564	76	17	×	7	×	1	×	×
320	パレット(鋼製)	0.17	1.3	1.3	0.0161	30	31.7	0.512	33.8	16	×	6.6	×	1	×	×
405	樹脂製パイプ	0.3	0.3	6	0.0059	14	8.1	0.21	150	15	×	8.7	×	2	×	×
33	消火設備格納箱	0.3	0.3	0.7	0.0337	54	147.3	1.997	10	15	×	7.2	×	2	×	×
10	脚立, 梯子	0.2	0.5	1.8	0.0374	50	141.2	1.275	11	14	×	6.9	×	2	×	×
272	足場板, 足場枠	0.04	0.25	4	0.0582	43	126.1	0.278	12.5	12	×	9.8	×	4	×	×
351	木片, 木製品	0.26	0.26	0.77	0.0119	29	35	0.632	26	11	×	7	×	2	×	×

※ 鋼板貫通評価においても、コンクリートと同様に衝突方向の断面は中実断面として評価している。

第 3.2.4-1 表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表 (7/9)

No.	カテゴリ (品目に則った整理)	寸法(m)			C _D A/m (m ² /kg)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギー		貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		固縛等の 検討が必要 【①,②,③の 何れかが“○”】
		高さ	高さ以外							最大 運動E (kJ)	鋼製材超 (E>176k J) 【条件①】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>25.9mm) 【条件②】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>9 [*] mm) 【条件②】	
188	カラーコーン	0.4	0.4	0.7	0.1092	84	367	28.881	3	11	×	5.3	×	1	×	×
295	ホース, ケーブル類	0.35	0.6	0.6	0.0052	12	7	0.169	100	8	×	5	×	1	×	×
51	カーブミラー	0.05	0.6	0.6	0.0297	38	102.4	0.21	8.8	7	×	6.1	×	2	×	×
107	樹木(倒木, 伐採 木), 材木	0.1	0.1	4	0.0162	22	17.5	0.277	20	5	×	6.9	×	3	×	×
58	樹脂製蓋	0.02	1	1	0.0188	15	9.2	0.046	36	5	×	5.8	×	2	×	×
34	鋼製スロープ	0.05	0.55	1.1	0.0203	21	17.1	0.152	21.4	5	×	5.7	×	2	×	×
198	プラスチック容器	0.7	0.7	0.9	0.0034	5	1.2	0.013	346	5	×	3.6	×	1	×	×
38	足場板, 足場枠	0.049	1.2	2	0.0152	18	12.8	0.109	22.9	4	×	4.5	×	1	×	×
32	消火器	0.153	0.154	0.5	0.0117	22	19.7	0.324	10	3	×	4.2	×	1	×	×
431	樹脂製蓋	0.015	0.5	0.67	0.0253	16	11.3	0.045	9	2	×	3.8	×	1	×	×
336	什器類	0.06	0.36	0.36	0.0227	25	25	0.207	4.5	2	×	3.3	×	1	×	×
316	マンホール蓋	0.006	0.65	0.65	0.0181	9	3.6	0.009	15.6	1	×	3.4	×	1	×	×
305	鋼製敷板	0.005	0.5	0.9	0.0181	8	2.9	0.007	16.6	1	×	3.4	×	1	×	×
232	コンクリ製蓋	0.03	0.5	0.6	0.0102	9	3.3	0.026	20.7	1	×	3	×	1	×	×
110	鉄骨	0.15	0.2	6	0.0048	2	0.1	0	179	1	×	2	×	1	×	×
418	コンクリ製蓋	0.022	0.26	0.26	0.0144	12	6.3	0.035	3.4	1	×	1.9	×	1	×	×
81	コンクリ製蓋	0.05	0.2	0.5	0.007	5	0.9	0.01	11.5	1	×	1.5	×	1	×	×
246	マンホール蓋	0.045	0.75	0.75	0.0063	1	0	0	64	1	×	0.7	×	1	×	×
<飛散しないもの>																
8	鋼管	0.17	0.17	5.5	0.0042	0	0	0	109	—	—	0	×	0	×	×
9	ボンベ	0.25	0.25	1.4	0.0038	0	0	0	52	—	—	0	×	0	×	×
27	フォークリフト	1.19	1.38	1.38	0.0011	0	0	0	3320	—	—	0	×	0	×	×
49	マンホール蓋	0.05	1	1	0.0058	0	0	0	122	—	—	0	×	0	×	×

※ 鋼板貫通評価においても、コンクリートと同様に衝突方向の断面は中実断面として評価している。

第 3.2.4-1 表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表 (8/9)

No.	カテゴリ (品目に則った整理)	寸法(m)			C _D A/m (m ² /kg)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギー		貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		固縛等の 検討が必要 【①,②,③の 何れかが“○”】
		高さ	高さ以外							最大 運動E (kJ)	鋼製材超 (E>176k J) 【条件①】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>25.9mm) 【条件②】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>9 [*] mm) 【条件②】	
50	バイク, 自転車	0.05	0.51	0.54	0.0043	0	0	0	12.5	—	—	0	×	0	×	×
54	コンクリ製蓋	0.13	0.7	1	0.0027	0	0	0	209	—	—	0	×	0	×	×
61	鋼製敷板	0.019	1.55	6	0.0045	0	0	0	1387	—	—	0	×	0	×	×
64	仮設電源	1.3	1.75	3.7	0.0022	0	0	0	4190	—	—	0	×	0	×	×
65	フレコンバッグ入資材	1.1	1.1	1.1	0.0024	0	0	0	1000	—	—	0	×	0	×	×
69	鉄骨	0.15	0.15	1	0.0043	0	0	0	31.1	—	—	0	×	0	×	×
77	建設機械	0.99	1.65	2.63	0.0025	0	0	0	1570	—	—	0	×	0	×	×
87	グレーチング	0.065	1	1	0.0027	0	0	0	63.3	—	—	0	×	0	×	×
97	鉄骨	0.125	0.125	4.5	0.0043	0	0	0	106	—	—	0	×	0	×	×
100	ケーブルドラム	0.9	1.5	1.5	0.0021	0	0	0	1399	—	—	0	×	0	×	×
112	鋼管	0.15	0.15	4	0.0034	0	0	0	86	—	—	0	×	0	×	×
141	建設機械	2.2	2.69	2.69	0.0016	0	0	0	8000	—	—	0	×	0	×	×
163	鉄骨	0.1	0.1	5.4	0.0048	0	0	0	91.3	—	—	0	×	0	×	×
186	マンホール蓋	0.05	1	1	0.0058	0	0	0	122	—	—	0	×	0	×	×
199	オブジェ	2	2	4	0.0003	0	0	0	22000	—	—	0	×	0	×	×
226	トラック	1.695	2.15	5.14	0.0021	0	0	0	7635	—	—	0	×	0	×	×
231	マンホール蓋	0.045	0.7	0.7	0.0062	0	0	0	57	—	—	0	×	0	×	×
233	グレーチング	0.1	0.5	0.6	0.0021	0	0	0	38.4	—	—	0	×	0	×	×
234	石碑	0.2	1	2	0.0015	0	0	0	1080	—	—	0	×	0	×	×
244	グレーチング	0.1	0.9	1	0.0016	0	0	0	115	—	—	0	×	0	×	×
250	運搬台車	0.29	0.49	0.77	0.0039	0	0	0	120	—	—	0	×	0	×	×
276	建設機械	0.72	1.2	2.39	0.0016	0	0	0	2250	—	—	0	×	0	×	×
284	鋼製敷板	0.019	1.5	6	0.0045	0	0	0	1342	—	—	0	×	0	×	×
289	空調室外機	0.4	0.8	0.95	0.002	0	0	0	500	—	—	0	×	0	×	×

※ 鋼板貫通評価においても、コンクリートと同様に衝突方向の断面は中実断面として評価している。

第 3.2.4-1 表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表 (9/9)

No.	カテゴリ (品目に則った整理)	寸法(m)			C _D A/m (m ² /kg)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギー		貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		固縛等の 検討が必要 【①,②,③の 何れかが“○”】
		高さ	高さ以外							最大 運動E (kJ)	鋼製材超 (E>176k J) 【条件①】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>25.9mm) 【条件②】	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>9 [*] mm) 【条件②】	
293	ボンベ	0.25	0.25	1.4	0.0035	0	0	0	57	—	—	0	×	0	×	×
309	プラスチック容器	0.68	0.87	1.07	0.0029	0	0	0	516	—	—	0	×	0	×	×
314	コンクリートブロック	0.15	0.25	0.6	0.0036	0	0	0	51.8	—	—	0	×	0	×	×
335	鋼製スロープ	0.15	0.5	1.6	0.004	0	0	0	180	—	—	0	×	0	×	×
337	鋼製スロープ	0.18	1.6	3.3	0.0037	0	0	0	1011	—	—	0	×	0	×	×
372	フォークリフト	1.48	2.07	2.23	0.0009	0	0	0	7400	—	—	0	×	0	×	×
380	鋼製ブロック	0.4	0.4	0.75	0.0006	0	0	0	942	—	—	0	×	0	×	×
381	鋼製ブロック	0.4	0.5	0.75	0.0005	0	0	0	1178	—	—	0	×	0	×	×
388	コンクリ製蓋	0.25	1.25	5	0.0029	0	0	0	1655	—	—	0	×	0	×	×
394	鋼製敷板	0.016	1.53	6	0.0053	0	0	0	1153	—	—	0	×	0	×	×
400	鋼製ボックス	1.5	2.1	2.1	0.0019	0	0	0	3800	—	—	0	×	0	×	×
411	鋼製蓋	0.07	1.2	3.7	0.0016	0	0	0	1220	—	—	0	×	0	×	×
412	鋼製蓋	0.03	2.1	2.1	0.0037	0	0	0	816	—	—	0	×	0	×	×
413	鋼製蓋	0.07	0.4	1.1	0.0014	0	0	0	242	—	—	0	×	0	×	×
417	コンクリートブロック	0.15	0.16	0.6	0.0042	0	0	0	33.1	—	—	0	×	0	×	×
469	鋼管	0.3	0.6	5.5	0.0028	0	0	0	745	—	—	0	×	0	×	×

※ 鋼板貫通評価においても、コンクリートと同様に衝突方向の断面は中実断面として評価している。

3.3 設計飛来物の設定

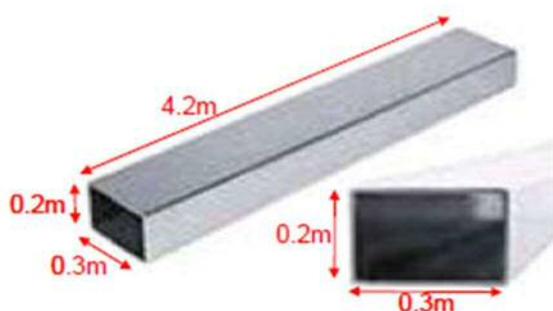
3.2におけるスクリーニングの結果，鋼製材の影響を上回る飛来物源については飛散防止対策を施すことが可能であると判断したため，鋼製材を設計飛来物として決定した。

また，設計飛来物に対する防護対策として想定する飛来物防護ネットを通過する可能性があり，鋼製材にて包含できないものとして，砂利も設計飛来物に設定した。

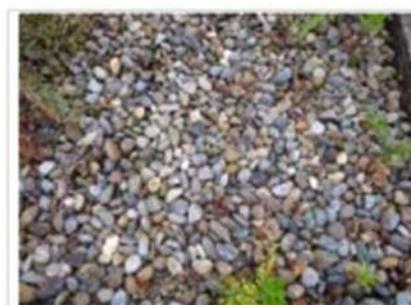
第3.3-1表に，東海第二発電所における設計飛来物の仕様を示す。

第3.3-1表 東海第二発電所における設計飛来物

名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	空力 パラメータ (m^2/kg)	速度 (m/s)	運動 エネルギー (kJ)
砂利	0.04	0.04	0.04	0.18	0.0176	62	0.35
鋼製材	4.2	0.3	0.2	135	0.0065	51	176



(鋼製材のイメージ)



(砂利)

鋼製材の水平，鉛直速度については，竜巻風速場をLES（非定常乱流渦モデル）による乱流場とし飛来物速度を求めた「竜巻影響評価ガイド」の値を用いる。

また、砂利については、「竜巻影響評価ガイド」に記載がないことから、竜巻風速場をランキン渦モデルとした場合の水平速度を求め、鉛直速度については「竜巻影響評価ガイド」に基づき水平速度の2/3とした。

分解され小型軽量となる物品
及び損傷するが飛来物とならない物品について

設計飛来物の抽出フローにおいて、「分解され小型軽量となる物品」は設計飛来物のうち鋼製材に包絡されるため、また「損傷するが飛散しない物品」は飛散しないため、いずれも設計飛来物として選定しないとしている。これは、過去の主な竜巻の被害概要の調査結果から、このような物品の状況について検討を行った結果より判断した。

以下に、平成2年以降の主な竜巻による被害概要の調査結果に基づく検討結果を示す。

(1) 分解され小型軽量となる物品（屋外屋根及びガラス窓）

竜巻の被害概要調査結果において、分解され小型軽量となる物品として屋外屋根及びガラス窓が確認できた。これらの被害状況を以下に示す。

a. 屋外屋根

別図 1-1～5 に屋外屋根の被害状況を示す。これらより，屋外屋根については，F 0～F 3 の竜巻において，形を保ったままではなく，分解された状態で飛来していることが分かる。また，厚みが薄いことから形状が変形しており柔飛来物と見なせると考えられることから，衝突の際に与える衝撃荷重及び貫通力については，設計飛来物である鋼製材の評価に包絡されると考えられる。



別図 1-1 平成 16 年 6 月 27 日佐賀県で発生した F 2 竜巻による
屋外屋根の被害状況⁽¹⁾



屋外トイレ屋根の損傷



カーポート屋根の飛散及び骨組の損傷



カーポート屋根の破損

別図 1-2 平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市で発生した F 2 竜巻による
屋外屋根の被害状況⁽²⁾



折板の損傷



カーポートの被害

別図 1-3 平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生した F 1 竜巻による
屋外屋根の被害状況⁽³⁾



周囲の田に散乱した屋根ふき材

別図 1-4 平成 24 年 2 月 1 日島根県出雲市で発生した F 0 竜巻による
屋外屋根の被害状況⁽⁴⁾



電線等に引っ掛かった飛来物（鋼板製屋根材）



飛来物（鋼板製屋根材）の衝突



飛散した鋼板製屋根材



飛散した折板屋根の状況



ガソリンスタンドの折板屋根の脱落



駐車場の折板屋根の著しい変形

別図 1-5 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生した F 3 竜巻による
屋外屋根の被害状況⁽⁵⁾

b. ガラス窓

別図 1-6~11 にガラス窓の被害状況を示す。これらより、ガラス窓については、F 0 ~ F 3 及び E F 5 の竜巻において損壊し、分解されていることが確認できる。分解された状態では小型軽量となっており、その影響は設計飛来物である鋼製材もしくは砂利に包絡されると考えられる。



エントランスの窓ガラスの破損



破損した窓ガラス片の屋内壁面への突き刺さり

別図 1-6 平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市で発生した F 2 竜巻による
ガラス窓の被害状況⁽²⁾



バスの窓ガラス破損

別図 1-7 平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生した E F 5 竜巻による
ガラス窓の被害状況⁽⁶⁾



窓ガラスの損壊



窓ガラスの飛来物衝突痕

別図 1-8 平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市での F 1 (F 2) 竜巻による
ガラス窓の被害状況⁽⁷⁾



倉庫の窓ガラスと屋根の被害状況



窓ガラスの破損



出窓部の窓ガラスの被害



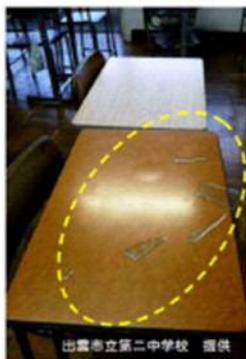
エントランスのガラス破損

別図 1-9 平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生した F 1 竜巻による
ガラス窓の被害状況⁽³⁾



出雲市立第二中学校 提供

体育館窓ガラスの破損



出雲市立第二中学校 提供

教室



出雲市立第二中学校 提供

廊下



出雲市立第二中学校 提供

屋外に面した窓ガラス

別図 1-10 平成 24 年 2 月 1 日島根県出雲市で発生した F 0 竜巻による
ガラス窓の被害状況⁽⁴⁾



店舗の窓ガラスの被害状況



店舗の窓ガラスの被害状況（飛来物衝突痕）



ガラスへの飛来物の衝突痕

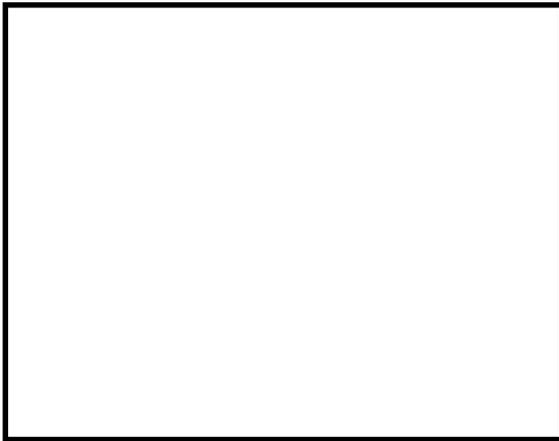


ガラスへの飛来物の衝突痕

別図 1-11 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生した F 3 竜巻による
ガラス窓の被害状況⁽⁵⁾

(2) 東海第二発電所の屋外屋根及びガラス窓の状況

東海第二発電所における屋外屋根の状況を別図 1-12、ガラス窓の状況を別図 1-13 に示す。東海第二発電所におけるこれらの物品の構造については、上記の被害にあった物品の構造と大きく変わらないことから、竜巻通過時には同様の被害状況になると考えられ、飛来物としては設計飛来物の影響に包絡されると考えられる。



別図 1-12 東海第二発電所における屋外屋根の状況



別図 1-13 東海第二発電所におけるガラス窓の状況

(3) 損傷するが飛散しない物品（樹木，フェンス）

竜巻の被害概要調査結果における「損傷するが飛散しない物品」に関し，東海第二発電所に存在する類似物品としてシャッター，樹木及びフェンスが確認できた。これらの被害状況を以下に示す。

a. シャッター

別図 1-14～18 にシャッターの被害状況を示す。これらより、シャッターについては、F 1～F 3 及び E F 5 の竜巻において形状は変形しているが、固定部は外れていないことが確認できる。なお、外れて飛来物となったとしても、衝突の際に与える衝撃荷重及び貫通力については、上記の屋外屋根と同様、設計飛来物である鋼製材の評価で包絡されると考えられる。



シャッターの外れ

別図 1-14 平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生した E F 5 竜巻による
シャッター被害状況⁽⁶⁾



シャッターの破損

別図 1-15 平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生した F 1 竜巻による
シャッターの被害状況⁽³⁾



シャッターの外れ

別図 1-16 平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生した F 1 (F 2) 竜巻
によるシャッターの被害状況⁽⁷⁾



消防団施設のシャッターの被害状況

別図 1-17 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生した F 3 竜巻による
シャッターの被害状況⁽⁵⁾



シャッターの被害

別図 1-18 平成 25 年 9 月 2 日埼玉県発生した F2 竜巻による
シャッターの被害状況⁽⁸⁾

b. 樹木

別図 1-19～25 に樹木の被害状況を示す。これらより、樹木については、F 1～F 3 及び E F 5 の竜巻において幹の折損、根の引き抜き等が見られるが、折れた場合もしくは引き抜かれた場合のいずれにおいても、その場で倒壊しているのみであることが確認できる。これは、竜巻の風荷重により樹木が損壊を受けた後では、竜巻が既に通り過ぎていたためと考えられ、樹木が折損もしくは引き抜かれた後、さらに竜巻により巻き上げられ、飛来物となることは考え難い。



倒木（南から見る）
倒れなかった樹木も点在している。



倒木（北西から見る）

別図 1-19 平成 14 年 7 月 26 日群馬県境町で発生した F 2 竜巻による
樹木被害状況⁽⁹⁾



樹木の転倒



樹木の転倒

別図 1-20 平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市で発生した F 2 竜巻による
樹木被害状況⁽²⁾



樹木の折損

別図 1-21 平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生した E F 5 竜巻による
樹木被害状況⁽⁶⁾



倒木

別図 1-22 平成 21 年 7 月 19 日岡山県美作市で発生した F 2 竜巻による
樹木被害状況⁽¹⁰⁾



樹木の被害

別図 1-23 平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生した F 1 竜巻による
樹木被害状況⁽³⁾



樹木の折損



樹木の折損と鳥居の被害



樹木の倒木



倒木による社の倒壊

別図 1-24 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生した F 3 竜巻による
樹木被害状況⁽⁵⁾



樹木の倒壊



樹木の倒壊による小屋組の被害



樹木の被害



樹木の被害



樹木の被害



樹木の被害

別図 1-25 平成 25 年 9 月 2 日埼玉県で発生した F 2 竜巻による
樹木被害状況⁽⁸⁾

c. フェンス

別図 1-26～28 にフェンスの被害状況を示す。これらより，フェンス類については，F 1～F 3 の竜巻において傾き，倒壊等が見られるが，樹木と同様にその場で倒壊しているのみであり，倒壊した後では，竜巻は既に通り過ぎていると考えられることから，竜巻により巻き上げられ，飛来物となることは考え難い。



フェンスの著しい変形



フェンスの変形

別図 1-26 平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生した F 1 (F 2) 竜巻によるフェンスの被害状況⁽⁷⁾



フェンスの被害状況



道路標識の折損

別図 1-27 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生した F 3 竜巻によるフェンス類の被害状況⁽⁵⁾



フェンスの倒壊



屋上フェンスの被害



フェンスの倒壊



支柱部の破断



フェンスの被害（工事中の建築物）



フェンスの被害



電柱の倒壊



看板の被害

別図 1-28 平成 25 年 9 月 2 日埼玉県で発生した F 2 竜巻による
フェンス類の被害状況⁽⁸⁾

(4) 東海第二発電所のシャッター，樹木及びフェンスの状況

東海第二発電所におけるシャッターの状況を別図 1-29 に，樹木の状況を別図 1-30 に示す。上記の被害実績に示された樹木と大きく変わらないと考えられることから，竜巻通過時には，同様の被害状況になり，幹の折損もしくは根の引抜きによりその場で倒壊するのみと考えられる。



別図 1-29 東海第二発電所におけるシャッターの状況



別図 1-30 東海第二発電所におけ樹木の状況

東海第二発電所におけるフェンスの状況を別図 1-31 に示す。上記にて示した被害にあったフェンスの構造と大きく変わらないことから，竜巻通過時には，同様の被害状況になり変形もしくは倒壊すると考えられる。



別図 1-31 東海第二発電所におけるフェンスの状況

以上より，シャッター，樹木及びフェンスは，竜巻により損傷するが，飛散せず設計飛来物として選定が不要として，設計飛来物として選定しない。

<参考文献>

- (1) 「佐賀市・鳥栖市竜巻現地被害調査報告」 (平成 16 年 7 月 13 日)
- (2) 「2006 年台風 13 号被害調査報告 -延岡市の竜巻被害と飯塚市文化施設の屋根被害-」 (平成 18 年 10 月 10 日)
- (3) 「平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市竜巻被害調査報告」 (平成 21 年 10 月 13 日)
- (4) 「平成 24 年 2 月 1 日島根県出雲市で発生した突風被害調査報告」 (平成 24 年 2 月 14 日)
- (5) 「平成 24 年 (2012 年) 5 月 6 日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害調査報告」 (ISSN 1346-7328 国総研資料第 703 号 ISSN 0286-4630 建築研究資料第 141 号 平成 25 年 1 月)
- (6) 「米国アイオワ州におけるトルネード被害調査報告」 (平成 20 年 6 月 9 日)
- (7) 「平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市竜巻被害調査報告」 (平成 21 年 8 月 17 日一部修正)
- (8) 「平成 25 年 9 月 2 日に発生した竜巻による埼玉県越谷市, 北葛飾郡松伏町及び千葉県野田市での建築物等被害 (速報)」 (国土交通省国土技術政策総合研究所独立行政法人建築研究所平成 25 年 9 月 10 日一部修正)
- (9) 「群馬県境町で発生した突風による建築物等の被害について」 (平成 14 年 7 月 26 日独立行政法人建築研究所)
- (10) 「平成 21 年 7 月 19 日岡山県美作市竜巻被害調査報告」 (平成 21 年 8 月 4 日)

空力パラメータについて

物品の飛散解析に用いる空力パラメータは「竜巻影響評価ガイド」の参考文献⁽¹⁾及び米国NRCの竜巻設計のための飛来物特性を与えるNUREG-0800(1996)⁽²⁾に引用されていた文献⁽³⁾を参照し、下式により算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = c \frac{(C_{D1} A_1 + C_{D2} A_2 + C_{D3} A_3)}{m}$$

ここで、

$\frac{C_D A}{m}$: 空力パラメータ (m²/kg)

m : 物品の質量 (kg)

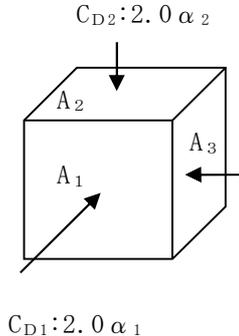
c : 係数 (0.33)

C_{D1}, C_{D2}, C_{D3} : 直交3方向における物品の抗力係数(別表2-1より選定)

A_1, A_2, A_3 : $C_{D1} \sim C_{D3}$ を定義した各方向に対する見付面積 (m²)

別表 2-1 空力パラメータ算出のための抗力係数

物体の形状	C_{D1}	C_{D2}	C_{D3}
塊状	$2.0 \alpha_1$	$2.0 \alpha_2$	$2.0 \alpha_3$
板状	$1.2 \alpha_1$	$1.2 \alpha_2$	$2.0 \alpha_3$
棒状	$2.0 \alpha_1$	$0.7 \alpha_2$ (円形断面) $1.2 \alpha_2$ (矩形断面)	$0.7 \alpha_3$ (円形断面) $1.2 \alpha_3$ (矩形断面)

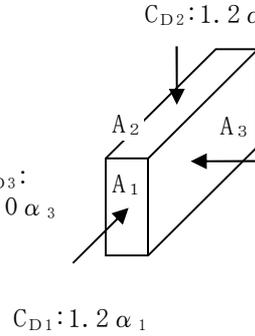


$C_{D2}: 2.0 \alpha_2$

$C_{D3}: 2.0 \alpha_3$

$C_{D1}: 2.0 \alpha_1$

塊状物体



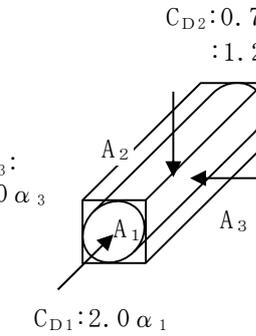
$C_{D2}: 1.2 \alpha_2$

$C_{D3}: 2.0 \alpha_3$

$C_{D1}: 1.2 \alpha_1$

板状物体

・ $A_3 > A_2, A_1$



$C_{D2}: 0.7 \alpha_2$ (円形断面)
: $1.2 \alpha_2$ (矩形断面)

$C_{D3}: 0.7 \alpha_3$ (円形断面)
: $1.2 \alpha_3$ (矩形断面)

$C_{D1}: 2.0 \alpha_1$

棒状物体

・ 円形断面の場合、 A_2, A_3 は「見付面積 (直径×長さ)」

また、抗力係数に対し、「建設省告示第 1454 号(平成 12 年 5 月 31 日)」⁽⁴⁾を参考とし、下記に示すような物品の見付面の充実率の影響に応じた割増係数を考慮する。

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: $C_{D1} \sim C_{D3}$ を定義した各方向に対する見付面の充実率の影響により設定される割増係数で、下式による。

$$\alpha = 1.8 \quad (\phi \leq 0.1)$$

$$\alpha = 1.96 - 1.6\phi \quad (0.1 < \phi < 0.6)$$

$$\alpha = 1.0 \quad (\phi \geq 0.6) \quad (\text{別図 2-1 参照})$$

ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 : $C_{D1} \sim C_{D3}$ を定義した各方向に対する見付面の充実率

図5 ラチス構造物(表7を用いるものとする。)

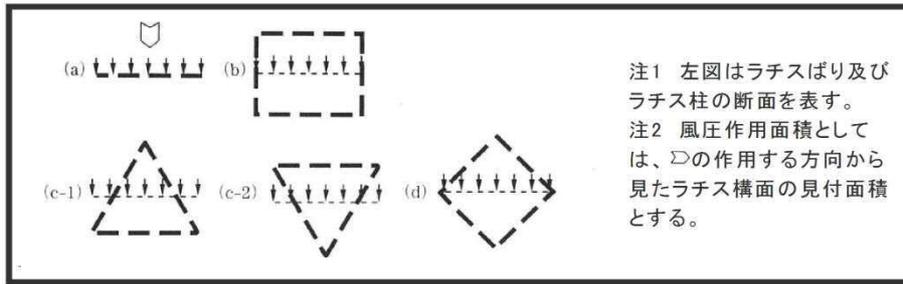


表7 ラチス構造物のCf

種類	ϕ	(1)	(2)	(3)
		0.1以下	0.1を超え0.6未満	0.6
鋼管	(a)	1.4kz	(1)と(3)とに掲げる数値を直線的に補間した数値	1.4kz
	(b)	2.2kz		1.5kz
	(c-1、2)	1.8kz		1.4kz
	(d)	1.7kz		1.3kz
形鋼	(a)	2.0kz	最大比 1.8 倍	1.6kz
	(b)	3.6kz		2.0kz
	(c-1、2)	3.2kz		1.8kz
	(d)	2.8kz		1.7kz

ここで、表7の記号は以下を示す。

ϕ : 充実率

kz : 高さ方向分布係数

【割増係数 α の設定】

表7のうち、最大の割増率である 1.8 (=3.6kz/2.0kz) を用い、密実面 (=充実率 1) に対する割増し係数 α を以下のとおり定める。

① $\phi \leq 0.1$ のとき

$$\alpha = 1.8$$

② $0.1 < \phi < 0.6$ のとき

$$\begin{aligned} \alpha &= 1.8 - \{(1.8 - 1.0) / (0.6 - 0.1)\} \times (\phi - 0.1) \\ &= 1.96 - 1.6\phi \end{aligned}$$

③ $0.6 \leq \phi$ のとき

$$\alpha = 1.0$$

別図 2-1 「建設省告示第 1454 号」⁽⁴⁾ 及び割増係数の設定

<参考文献>

- (1) 東京工芸大学 (2011) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構
- (2) US-NRC: “3.5.1.4 MISSILE GENERATED BY NATURAL PHENOMENA,” Standard Review Plan, NUREG-0800, 1996.
- (3) E. Simiu, M. Cordes: “Tornado-Borne Missile Speeds,” NBSIR76-1050, National Bureau of Standards, Washington D.C., 1976.
- (4) 建設省告示第 1454 号 平成 12 年 5 月 31 日
「E の数値を算出する方法並びに V_0 及び風力係数の数値を定める件」

竜巻時に発生する雹の影響について

竜巻においては雹を伴うことがあるため、雹の影響について検討を行った。

雹はあられが大きく成長したもので、直径 5mm 以上の氷の粒子である。雹の粒径の上限は、文献⁽¹⁾によれば通常は直径が 5mm～50mm とされているが、雹の粒径の変化に対する影響度を確認するため、別の文献⁽²⁾に記載の雹のうち最大の 10cm の雹までを想定した評価を実施した。

空気中を落下する物体は空気抵抗を受けるので、時間が経てば空気抵抗と重力とが釣り合い等速運動となり、一定の速度（終端速度）となる。空気中を落下する雹もこの終端速度で落下する。雹の粒径毎の終端速度を第 1 表に示す。

第 1 表 雹の粒径毎の終端速度⁽²⁾

粒径 (cm)	終端速度 (m/s)
1	9
2	16
5	33
10	59

ここで、雹の影響を評価するため、運動エネルギー、貫通のしやすさ（貫通限界厚さ）を評価した結果を設計飛来物（鋼製材）と比較し第 2 表に示す。

その結果、雹の影響は設計飛来物（鋼製材）に十分包絡できると言える。

第2表 粒径5cm及び10cm雹の影響評価及び設計飛来物との比較結果

評価対象	運動エネルギー	貫通限界厚さ（鉛直）	
		コンクリート ($F_c = 225 \text{kgf/cm}^2$)	鋼板
粒径5cm雹	0.04kJ	0.8cm	0.2mm
粒径10cm雹	0.85kJ	2.9cm	0.8mm
設計飛来物（鋼製材）	79kJ	18.8cm	19mm

<参考文献>

- (1) 白木正規, 百万人の天気教室, 成山堂書店
- (2) 小倉義光, 一般気象学, 東京大学出版会

竜巻随件事象の抽出について

1. 概要

過去の竜巻被害事例及び東海第二発電所の施設の配置から想定される竜巻の随件事象を検討し、東海第二発電所において考慮する必要がある事象として、火災、溢水及び外部電源喪失を抽出した。

2. 過去の竜巻被害について

1990 年以降の主な竜巻による被害概要を調査した文献から検討を行った。第 2-1 表に、1990 年以降に日本で発生した最大級の竜巻である F 3 クラスの竜巻を示す。

第 2-1 表 1990 年以降の F 3 クラス竜巻

発生日時	発生場所	藤田 スケール	死者	負傷者	住宅 全壊	住宅 半壊
2012 年 5 月 6 日	茨城県常総市	F 3	1	37	76	158
2006 年 11 月 7 日	北海道佐呂間町	F 3	9	31	7	7
1999 年 9 月 24 日	愛知県豊橋市	F 3	0	415	40	309
1990 年 12 月 11 日	千葉県茂原市	F 3	1	73	82	161

竜巻被害の状況写真（第 2-1～3 図）から、竜巻被害としては風圧力及び気圧差による被害及び飛来物の衝突による損傷のみであり、また、竜巻の随件事象として電柱や電線の損傷による停電が発生していると判断される。



全壊した家屋



飛来物により被害を受けた住宅等



倒れた電柱(復旧作業時)



倒壊電柱に直撃された家屋

第2-1 図 2012年5月6日茨城県にて発生したF3竜巻による被害⁽¹⁾



全壊した工事事務所周辺



飛来物による被害を受けた建物



倒壊した道路標識支柱



道路側へ倒壊した電柱

第2-2 図 2006年11月7日北海道にて発生したF3竜巻による被害⁽²⁾⁽³⁾



残骸(飛散物)で埋め尽された道路



吹き飛ばされた建物



横転したバス



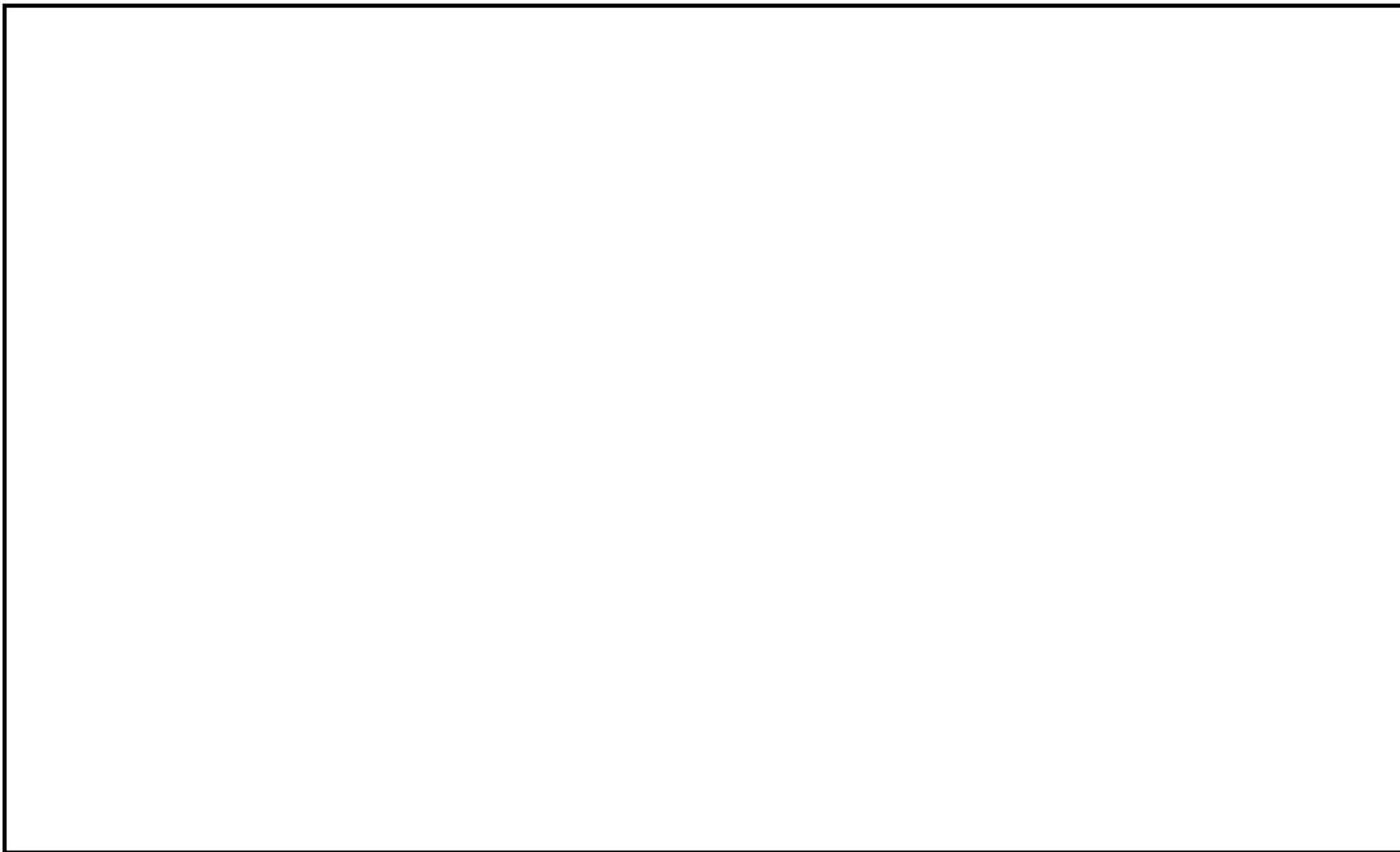
曲がった鉄筋 (工事現場)

第2-3図 1990年12月11日千葉県にて発生したF3竜巻による被害⁽⁴⁾

3. 東海第二発電所にて考慮すべき竜巻随件事象

上述の過去の竜巻による被害事例及び第3-1図に示す東海第二発電所の施設の配置から判断すると、東海第二発電所においては送電線等が竜巻による被害を受けることにより、外部電源喪失事象の発生が考えられる。さらに、屋外に油タンク及び水タンクが配備されていることから、飛来物の衝突により火災事象及び溢水事象が発生する可能性がある。

以上のことから、東海第二発電所における竜巻随件事象として、火災、溢水及び外部電源喪失を抽出する。



第 3-1 図 東海第二発電所の評価対象施設（屋外施設）及び竜巻随伴事象の検討対象施設の配置図

<参考文献>

- (1) (財) 消防科学総合センター, 平成24年(2012年)5月6日茨城県つくば市
竜巻災害写真報告, 2012
- (2) (財) 消防科学総合センター, 平成18年11月7日北海道佐呂間町竜巻災害
写真報告, 2006
- (3) (社) 土木学会 北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査団, 平成18年11月
北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査, 2007年4月
- (4) 千葉県総務部消防地震防災課, 防災誌「風水害との闘い」第3章 90m
超えの突風に街が飛ばされた!ー茂原で最大スケールの竜巻が発生ー,
平成22年3月

東海第二発電所

竜巻影響評価における フジタモデルの適用について

目 次

1. はじめに	1
2 各風速場モデルの概要	4
2.1 フジタモデル	4
2.2 ランキン渦モデル	7
2.3 非定常乱流渦モデル（LESによる数値解析）	8
3. 各風速場モデルの比較	11
4. 米国におけるフジタモデルの取扱い	12
4.1 フジタモデルの利用実績	12
4.2 NRCガイドでの取扱い	14
5. 飛散解析における保守性の考慮	15
5.1 物体の浮上，飛散モデルにおける保守性の考慮	15
5.2 物体が受ける風速における保守性の考慮	31
5.3 飛散解析手法まとめ	34
6. 実際の飛散状況に対する検証	36
6.1 フジタスケールとの比較	36
6.2 米国Grand Gulf原子力発電所への竜巻来襲事例との比較	37
6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較	39
7. 飛散以外の挙動に対する考慮	47
8. まとめ	49
<参考文献>	51

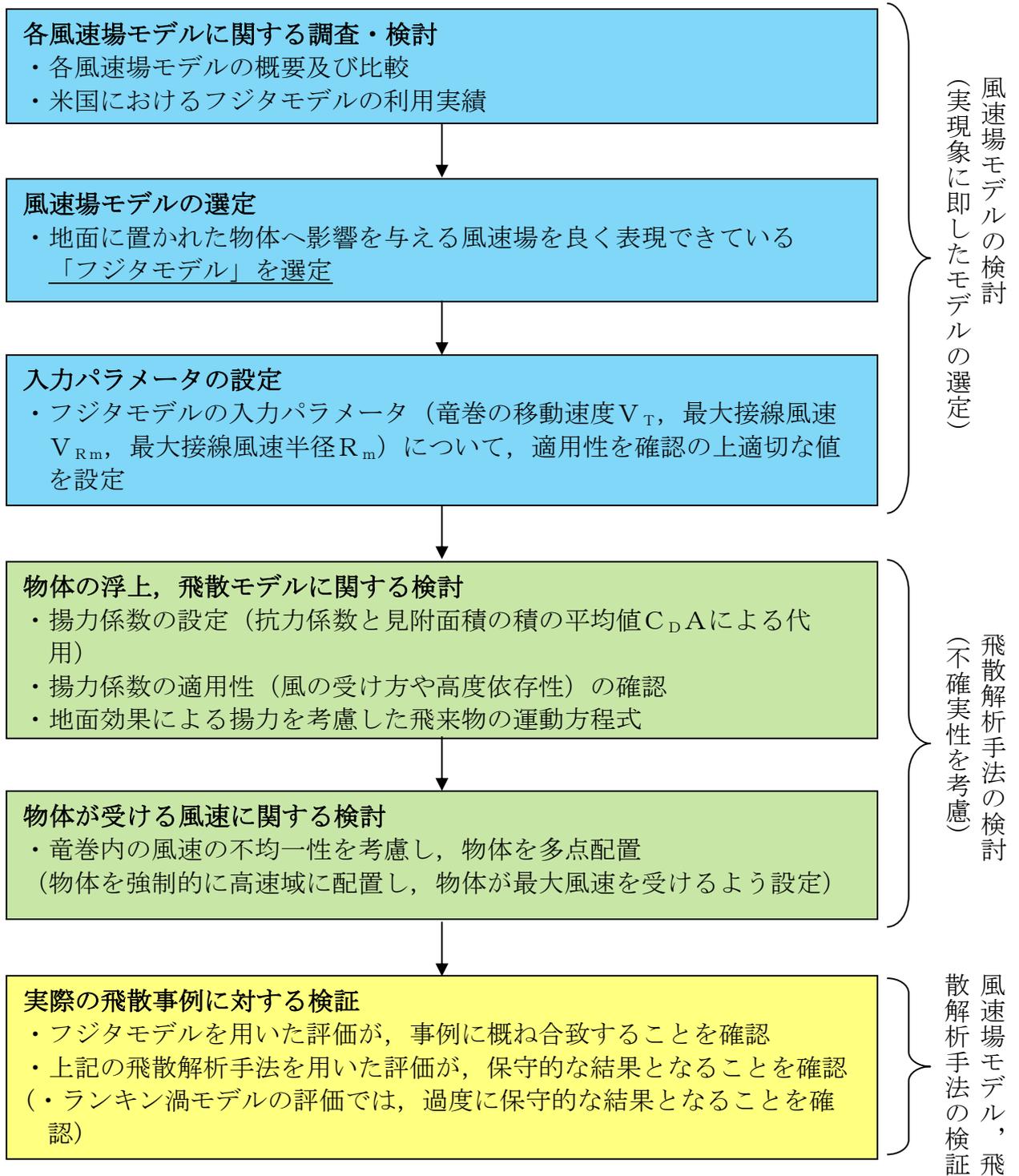
別紙「フジタモデル」及び「ランキン渦モデル」並びに「それぞれの風速場モデルを用いた際の飛散解析手法」の比較

1. はじめに

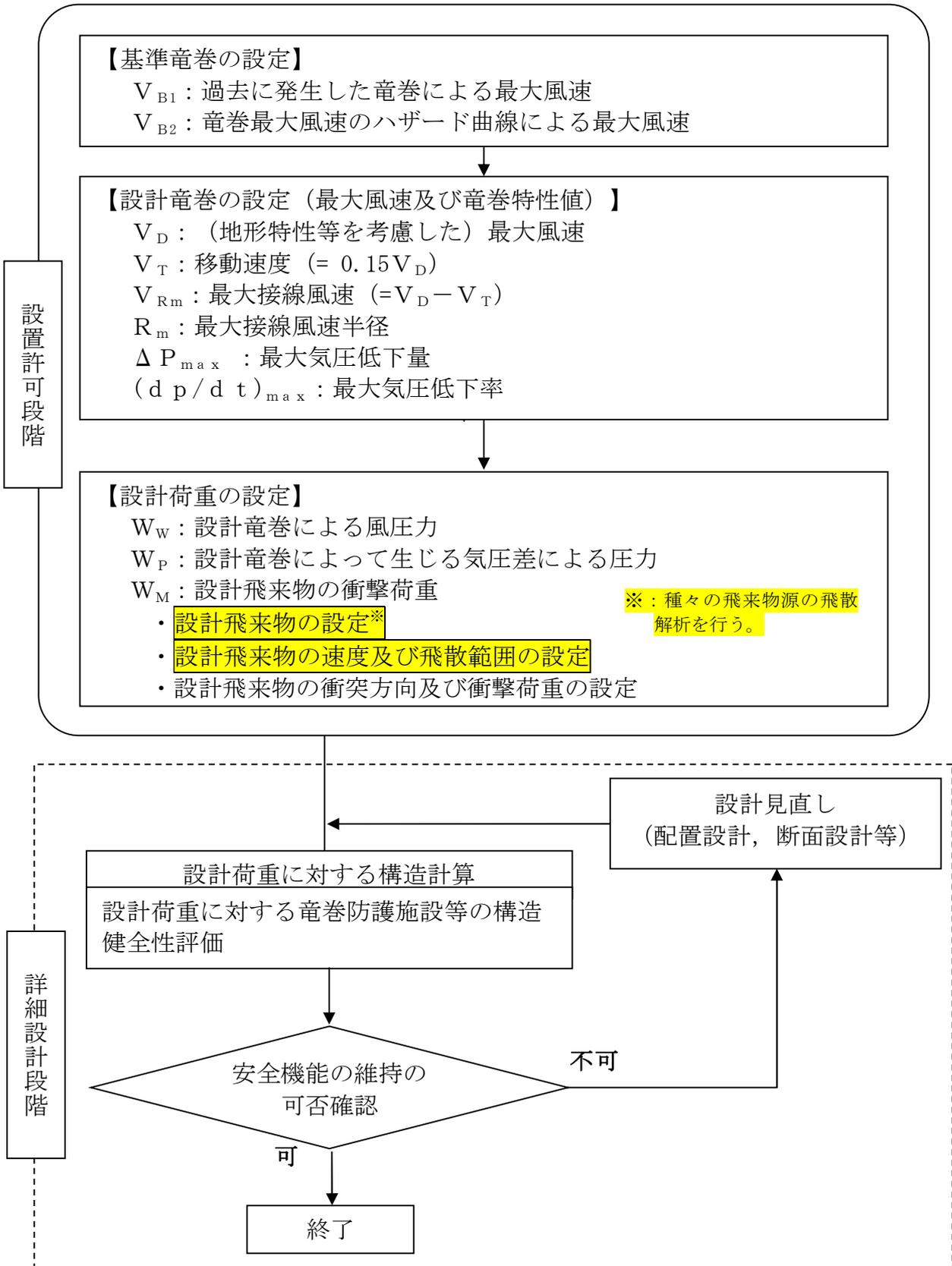
「竜巻影響評価ガイド」に従い竜巻影響評価を行う上で、飛来物の挙動（飛散速度、飛散距離等）を評価するための竜巻風速場モデルを選定する必要がある。これまでの竜巻飛来物評価において用いられている風速場モデルとしては、米国NRCの基準類に記載されている「ランキン渦モデル⁽¹⁾⁽²⁾」及び原子力安全基盤機構の「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」書に記載されている「非定常乱流渦モデル（LES:Large Eddy Simulation）」の数値解析⁽³⁾があるが、今回の評価においては、地面に置かれた物体への影響をより良く表現できている風速場モデルとして、藤田哲也シカゴ大学名誉教授が考案した竜巻工学モデルDBT-77(DBT: Design Basis Tornado)⁽⁴⁾（以下「フジタモデル」という。）を選定した。

第1-1図に、風速場モデルの選定及び飛散解析手法に関する検討フローを示す。また、第1-2図に、竜巻影響評価の基本フローとフジタモデルを適用する箇所を示す。

次節以降にて、フジタモデルの詳細やフジタモデルを適用した理由等を説明する。



第1-1図 風速場モデルの選定及び飛散解析手法に関する検討フロー



第 1-2 図 竜巻影響評価フローとフジタモデルの関連箇所

2 各風速場モデルの概要

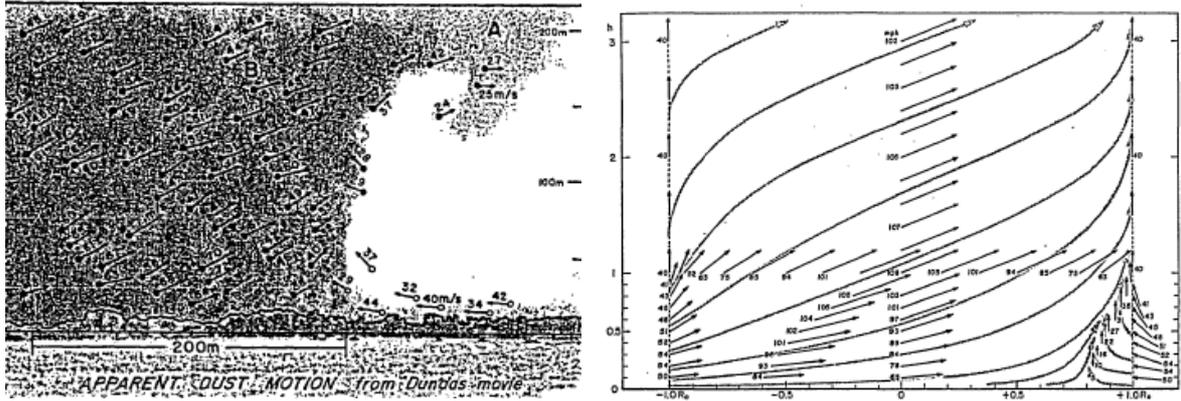
2.1 フジタモデル

フジタモデルは、米国NRCの実際の竜巻風速場をモデル化したいという要望により、藤田名誉教授が1978年に竜巻観測記録を基に考案した工学モデルである。モデル作成に当たっては、1974年8月に米国カンザス州 Ash Valley 等で発生した竜巻（第2.1-1図）のビデオ画像の写真図化分析を行い、竜巻の地上痕跡調査及び被災状況調査結果と照合することで風速ベクトルを作成し、そのベクトル図を基に作成した流線モデルから、竜巻風速場を代数式で表現している。（第2.1-2図）

フジタモデルの特徴は、地表面付近における竜巻中心に向かう強い水平方向流れ及び外部コアにおける上昇流といった、実際の竜巻風速場を良く表現している点にある。



第2.1-1図 Ash Valley 竜巻(1974.8.30)のビデオ画像



第 2.1-2 図 風速ベクトルの分析図 (左) とフジタモデルの流線 (右) ⁽⁴⁾

フジタモデルの風速場は、第 2.1-3 図に示すように半径方向に 3 つの領域 (内部コア、外部コア及び最外領域) で構成され、内部コアと外部コアの接線 (周) 方向風速 V_θ は半径に比例し、その外側の最外領域では周方向風速は半径に反比例するモデルとなっている。内部コアには上昇風速 V_z や半径方向風速 V_r は存在しないが、外部コアには存在する。高さ方向には地面から高さ H_i までを流入層としてモデル化しており、竜巻中心方向に向かう半径方向風速 V_r があり、この空気の流れ込みが外部コア内での上昇流となる。流入層より上部では外向きの半径方向風速が存在し、各風速成分は上部に向かうにつれて減衰する。フジタモデルは、流体力学の連続の式を満たす形で定式化されており、力学的に根拠のある風速場となっている。

フジタモデル (D B T-77) における接線風速等の関係式については、Fujita Work Book⁽⁴⁾の第 6 章に、第 2.1-3 図のとおり記載されている。

無次元座標 $r = R/R_m, z = Z/H_i$

接線風速 $V_\theta = F_r(r)F_h(z)V_m$

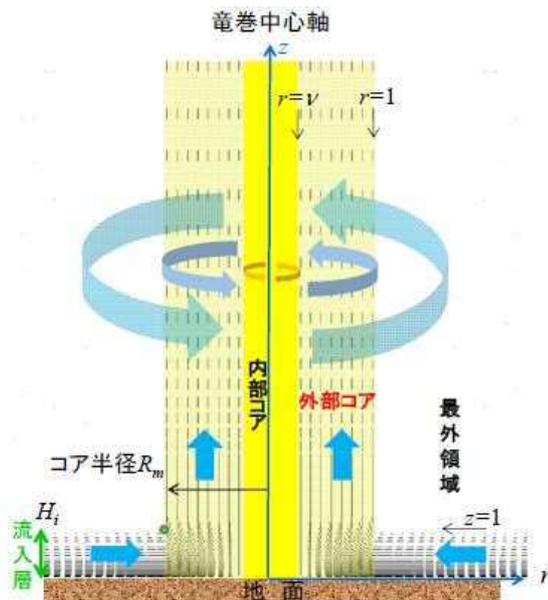
$$F_r(r) = \begin{cases} r & (r < 1) \\ 1/r & (r \geq 1) \end{cases} \quad F_h(z) = \begin{cases} z^{k_0} & (z < 1) \\ \exp(-k(z-1)) & (z \geq 1) \end{cases}$$

半径方向風速 $V_r = \begin{cases} 0 & (r \leq v) \\ \frac{V_\theta \tan \alpha_0}{1-v^2} \left(1 - \frac{v^2}{r^2}\right) & (v < r < 1) \\ V_\theta \tan \alpha_0 & (r \geq 1) \end{cases}$

$$\tan \alpha_0 = \begin{cases} -A(1-z^{1.5}) & (z < 1) \\ B\{1 - \exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

上昇風速 $V_z = \begin{cases} \frac{3}{28} \frac{\eta V_m}{1-v^2} A(16z^{\frac{7}{5}} - 7z^{\frac{8}{3}}) & (z < 1) \\ \frac{\eta V_m B \exp(-k(z-1))}{k(1-v^2)} \{2 - \exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$

k_0, k, v, η, A, B は定数



また、以下の連続の式を満足する。

$$c \equiv \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i} \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$

V_θ	接線方向風速
V_r	半径方向風速 (内向きが正)
V_z	上昇風速
V_m	最大接線風速
R_m	外部コア半径

第 2.1-3 図 フジタモデルの概要

ここで、内部コアの半径 R_v と外部コアの半径 R_m の比 $v (=R_v/R_m)$ については、Fujita⁽⁴⁾ が以下の経験式を提案しているので、これを用いた。

$$v = 0.9 - 0.7 \exp(-0.005 R_m) \quad (1)$$

また、流入層は、地面との摩擦により低下した遠心力と圧力分布のバランスが崩れ、流体が竜巻中心方向の低圧部に引き込まれることにより形成されることから、摩擦の影響が及ぶ範囲のみで形成される。Fujita⁽⁴⁾ は、流入層高さ H_i を竜巻中心の低圧部の大きさ (外部コア半径) R_m に比例するものとして、以下の経験式を提案しており、これを用いた。

$$H_i = \eta R_m \quad (2)$$

ここで、 η は 1 以下の正の値であり、下式で定義される。

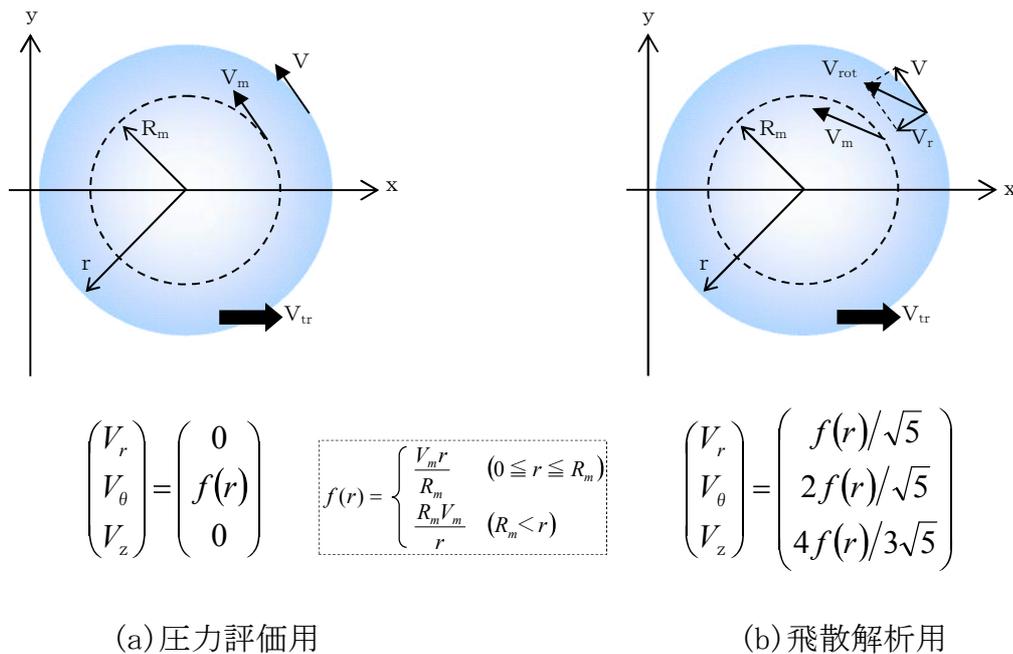
$$\eta = 0.55 (1 - v^2) \quad (3)$$

上式において、外部コア半径 $R_m = 30\text{m}$ の場合、 $\eta = 0.50$ ($H_i = 15\text{m}$) となり、「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」⁽³⁾の図 2.2.3.10 における流入層高さと竜巻半径の比 ($\eta = 0.4$ 程度) や、Kosiba⁽⁵⁾により示されている流入層高さ ($H_i = 10$ から 14m 以下) と概ね同じである。

なお、その他の定数についても、Fujita⁽⁴⁾の提案している値として、 $k_0 = 1/6$, $k = 0.03$, $A = 0.75$, $B = 0.0217$ を用いた。

2.2 ランキン渦モデル

ランキン渦モデルは米国NRCガイドでも採用されており、設計竜巻の特性値を設定する際に用いられている。しかし、第 2.2-1 図(b)に示す飛散解析用のモデル⁽²⁾では、竜巻中心に向かう半径方向風速 V_r と上昇風速 V_z を特別に付加しているため、流体力学の連続の式を満たしておらず、第 2.2-2 図の様な地面から吹き出しが生じる流れとなっており、地上からの物体の浮上、飛散を現実的に模擬することができない。ランキン渦モデルを用いて飛散解析を行う場合、地上の物体であっても空中浮遊状態を仮定して評価することになる。



第 2.2-1 図 ランキン渦モデル

無次元座標 $r = R / R_m$

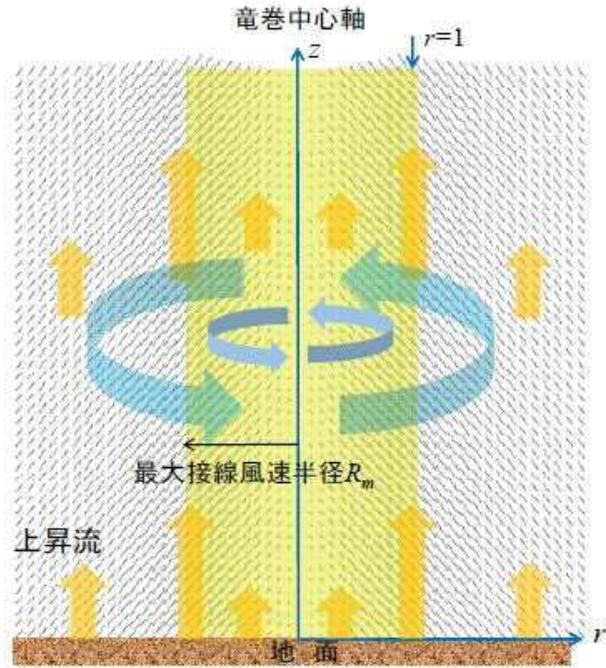
接線風速 $V_\theta = \frac{2V_m}{\sqrt{5}} F_r(r)$

$$F_r(r) = \begin{cases} r & (r < 1) \\ 1/r & (r \geq 1) \end{cases}$$

半径方向風速 $V_r = -\frac{1}{2} V_\theta$

上昇風速 $V_z = \frac{2}{3} V_\theta$

水平方向風速 $V_h = \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2} = V_m F_r(r)$



$r < 1$ の領域では、（流体が消滅するため）以下の連続の式を満足しない。

$$c \equiv \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i} \frac{\partial V_z}{\partial z} = \begin{cases} -\frac{2V_m}{\sqrt{5}R_m} \cdot (r < 1) \\ 0 & (r > 1) \end{cases}$$

第 2.2-2 図 飛来物速度評価用ランキン渦モデル

2.3 非定常乱流渦モデル（LESによる数値解析）

LESは、非定常な乱流場を数値的に計算する手法として、「竜巻評価ガイド」における飛来物の最大速度の設定例にも活用されている。第 2.3-1 図に LESによる渦の発生状況を示す。

古典的な Smagorinsky モデルに基づく LESの基礎方程式（運動量保存式及び質量保存式）は、流体を非圧縮性と仮定する場合、以下のようになる。

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_1 \frac{\partial U_i}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial U_i}{\partial x_2} + U_3 \frac{\partial U_i}{\partial x_3} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + (\nu + \nu_s) \left(\frac{\partial^2 U_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_3^2} \right) - f_i \quad (i=1,2,3)$$

..... (4)

$$\frac{\partial U_1}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2}{\partial x_2} + \frac{\partial U_3}{\partial x_3} = 0 \quad (5)$$

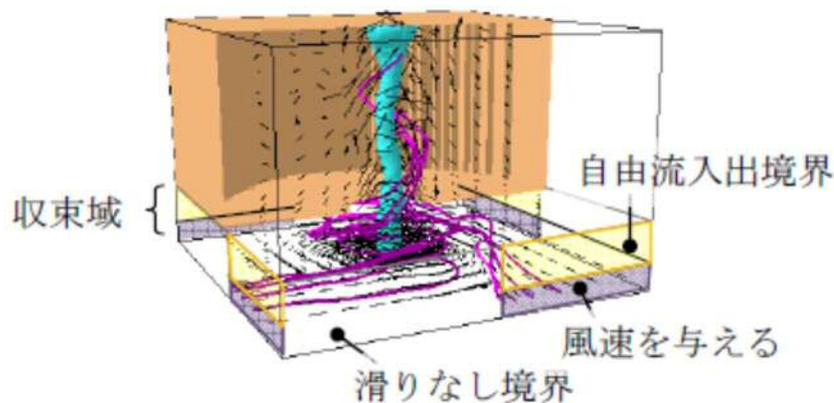
ここで、 U_i 及び P は、 i 方向の流速ベクトル及び圧力を表し、 ν は動粘性係数を、 f_i は i 方向の外力加速度を表す。また、 x_i は i 方向の座標を表す。

一方、Smagorinsky モデルの渦粘性係数 ν_s は以下のように定義される。

$$\nu_s = (C_s h)^2 \sqrt{\sum_{i,j=1}^3 2S_{ij}^2} \quad (6)$$

ここで、 h は解像スケール（メッシュ幅相当）、 C_s は Smagorinsky 定数を表し、ひずみ速度テンソル S_{ij} は $S_{ij} = 0.5(\partial U_i / \partial x_j + \partial U_j / \partial x_i)$ で定義される。

以上の通り、LES は風速の時間的な変動（乱流）を考慮できる点が特長となっている。



第 2.3-1 図 LES 計算領域内での竜巻状の渦の作成状況⁽⁶⁾

LES の手法自体は広く活用されているものであるが、実スケールでの精緻な評価を行うためには、必要なメッシュ解像度の確保に膨大な計算機資源が必要となる。また、「竜巻影響評価ガイド」で例示されている LES による数値解析については、条件設定等に関して下記のような問題点がある。

- ・「竜巻影響評価ガイド」で例示されている LES による解析では、境界条件（側面からの流入風速の分布等）や解析領域の形状（流入箇所を局所的に配

置等)を調整して人為的な乱れを与え、竜巻状の渦を生成しているが、渦の生成にあたって以下のような条件を仮定していることから、実スケールでの評価を実施するには課題があるものと考えられる。

➤ 人為的な流入境界条件(流入風速分布や流入箇所(局所的配置等)を設定していることから、流入境界条件の影響を受ける地表面付近の実際の竜巻風速場の再現はできていないものと考えられる。

➤ 小規模な計算領域によるシミュレーションであり、実スケールへの適用(飛散解析)の際には単純に速度を規格化して適用している。

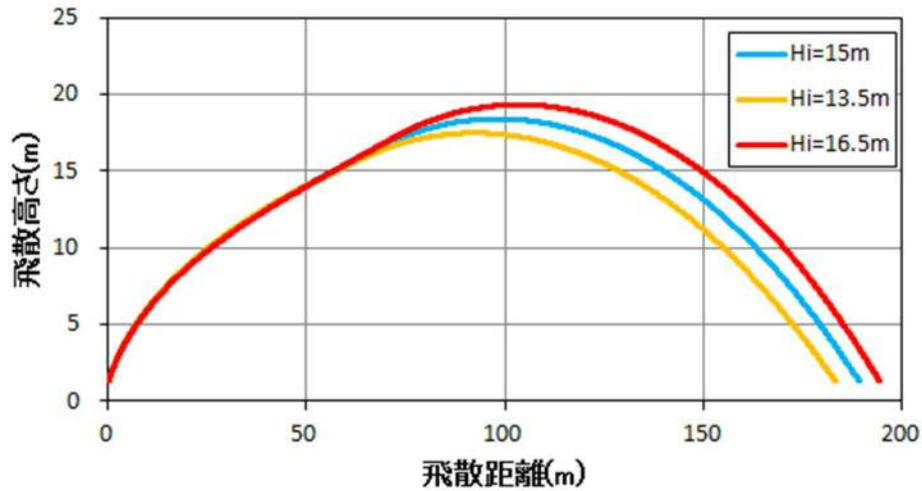
⇒風速の規格化の際には、時間平均の最大風速を 100m/s (風速+移動速度)に設定している。Maruyama⁽⁷⁾によれば、瞬間的な周方向風速は1.7倍程度まで大きくなる場合があり、移動速度と合わせると最大 160m/s 程度まで達するため、飛散解析の際に非常に保守的な結果が算出されることが考えられる。

⇒流速が早い場合には粘性の影響は小さくなる傾向となるが、その影響については考慮していないことから、特に地表面付近については実際の風速場の再現はできていないものと考えられる。

(参考:フジタモデルを適用した場合の飛来物の飛跡)

第2.3-2図に、フジタモデルを適用したコンテナの飛散解析(長さ 6m ×幅 2.4m ×高さ 2.6m , 質量 2300kg , $C_D A/m=0.0105$, 最大風速 100m/s)における飛跡を示す。

また、フジタモデルの流入層高さ H_i は、外部コア半径 $R_m=30\text{m}$ の場合、 $H_i=15\text{m}$ であり、2.1に記載のとおり他の文献⁽³⁾⁽⁵⁾とも概ね整合しているが、ここでは、その不確実性を考慮し、流入層高さ H_i を $\pm 10\%$ 変化させた場合の飛跡も示す。 $H_i=15\text{m}$ の際のコンテナの最大飛散距離 189.4m に対し、流入層高さ H_i を $\pm 10\%$ 変化された場合の最大飛散距離は $183.4\text{m}(-3.2\%)$, $194.7\text{m}(+2.8\%)$ となり、流入層高さ H_i に対する最大飛散距離の感度は小さいことが分かる。



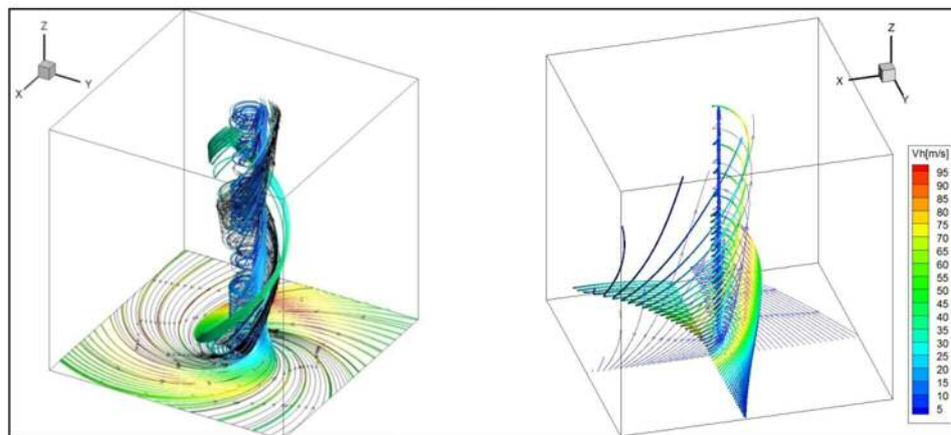
第 2.3-2 図 流入層高さを変化させた場合のコンテナの飛跡

3. 各風速場モデルの比較

上述の各風速場モデルの特徴の比較を第 3-1 表に示す。また、フジタモデルとランキン渦モデルの風速場構造の比較を第 3-1 図に示す。フジタモデルの風速場構造の流線は、地面付近を含めより実際の風速場に即した形で表現されており、これがフジタモデルの大きなメリットとなっている。それに対し、ランキン渦モデルは上空での水平方向風速の観点からは比較的良好に表現できると言えるものの、地上付近では実現象と乖離している。LES も同様に地上付近での風速場が実現象と乖離している。また、他のモデルと比較して、フジタモデルは特に問題となるような点も無いことから、竜巻影響評価に用いる風速場モデルとしてフジタモデルを選定することは妥当であると考えられる。

第3-1表 各風速場モデルの特徴の比較

風速場モデル	使用実績	特徴
フジタモデル	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻飛来物設計速度及び飛散高さに関する，米国DOE重要施設の設計基準作成に利用されている。（「4 米国におけるフジタモデルの取扱い」参照） 	<ul style="list-style-type: none"> 実観測にもとづいて考案されたモデルであり，実際に近い風速場構造を表現している。 比較的簡易な代数式により風速場を表現できる。（ランキン渦モデルよりは複雑だが，計算機能力の向上及び評価ツールの高度化により実用可能となった） 流体の連続式を満足する
ランキン渦モデル	<ul style="list-style-type: none"> 米国NRCのR.G 1.76に採用されている。 「竜巻影響評価ガイド」（竜巻の特性値の設定）において例示されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 簡易な式により風速場を表現できる。 風速場に高度依存性がなく，上昇流が全領域に存在し，地表近傍の風速場を模擬していない。 流体の連続式を満足しない。 。
非定常乱流渦モデル（LES）	<ul style="list-style-type: none"> 「竜巻影響評価ガイド」において，飛来物の飛散速度等の評価例が示されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 風速の時間的な変動や乱れを，ある程度模擬できる。 人為的な境界条件を設定しており，地面や境界近傍で実現象と乖離している。 小規模領域での計算結果を実スケールに規格化した場合，最大瞬間風速が相当に保守的となる場合がある。 実スケールでの解析には膨大な計算機資源が必要であり，実用に供しにくい。



第3-1図 フジタモデル（左）とランキン渦モデル（右）の風速場の構造

4. 米国におけるフジタモデルの取扱い

4.1 フジタモデルの利用実績

米国エネルギー省DOE（Department of Energy）が管理するエネルギー関連施設等に適用する基準⁽⁸⁾において，竜巻飛来物速度，飛散高さの設定にフジタモデルを用いた計算結果が使用されている⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾（文献⁽⁸⁾のD.4節：

Windborne missile criteria specified herein are based on windstorm

damage documentation and computer simulation of missiles observed in the field. . . . Computer simulation of tornado missiles is accomplished using a methodology developed at Texas Tech University.) 。

この基準では、施設に要求される性能ごとにカテゴリ 0 から 4 まで分類し、カテゴリ 0 から 2 は一般的な建築物、カテゴリ 3 及び 4 は核物質や危険物質を取り扱う施設に適用される。カテゴリ 3 及び 4 に該当する施設として、Pantex Plant, Oak Ridge (X-10, K-25, Y-12), Savannah River Site が挙げられている。

フジタモデルの技術的な妥当性の検証については、米国 DOE 管轄のローレンス・リバモア国立研究所報告書⁽¹¹⁾にてまとめられている。この報告書では、フジタモデル D B T-77 を他の風速場モデルと比較検討しており、「流体力学の連続の式を満足する (Fluid mechanics equations of continuity are satisfied)」こと、「モデル流況は、竜巻の映像分析で得られる流れの空間分布と整合する (Flow patterns are consistent with the spatial distribution of flow observed in photogrammetric analysis of tornado movies)」こと等を利点として挙げている。

また、実際の事例に対するフジタモデルの検証としては、1978 年 12 月 3 日に米国ルイジアナ州 Bossier 市で発生した F4 竜巻による鋼製材の飛散について、フジタモデル D B T-77 で再現した事例⁽⁹⁾がローレンス・リバモア国立研究所報告書⁽¹¹⁾及び米国気象学会論文集⁽¹²⁾に掲載されている。

なお、米国 L E S (Louisiana Energy Services) の濃縮施設 N E F (National Enrichment Facility) では、上記の DOE 施設の基準に基づき竜巻飛来物 (鋼製パイプや木材の板等) を設定しており、米国 N R C は当該施設に対する安全評価報告書 (N U R E G-1827)⁽¹³⁾の中で竜巻飛来物に対する L

ES の設計を是認している。

(“Based on the review of the information concerning tornados and tornado-generated missiles, NRC concludes: (i) the information is accurate and is from reliable sources; and (ii) the design bases tornado-generated missiles are acceptable because they were determined based on an appropriate DOE standard. The use of a DOE standard is an acceptable approach to NRC staff.”)

4.2 NRCガイドでの取扱い

2.1 節でも述べた通り、フジタモデルは実際の竜巻風速場をモデル化したいという米国NRCの要請を受けて考案されたものであるが、米国NRCのRegulatory Guide 1.76⁽¹⁾では、フジタモデルについて “The NRC staff chose the Rankine combined vortex model for its simplicity, as compared to the model developed by T. Fujita.” と述べられており、数式の簡易さを理由にランキン渦モデルが選定されている。また、NRCスタッフ自身で水平方向の飛散速度 (Simiu らの運動方程式⁽²⁾) を計算するプログラムを開発している (“The NRC staff developed a computer program to calculate the maximum horizontal missile speeds by solving these equations.”) ことが明記されている。

したがって、米国NRCガイドでランキン渦モデルが採用されているのは、フジタモデルより簡易であるという理由が主であり、竜巻風速場としての優劣を指摘されたものではない。

(参考) 米国におけるランキン渦モデル以外の風速場モデルの利用実績

米国NRCでは、竜巻防護対策の追加を検討しているプラントに対し、確率

論的竜巻飛来物評価手法TORMISの利用を承認している。

TORMISは、米国のEPRIで開発された原子力発電所の構造物、機器への竜巻飛来物の衝突及び損傷確率を予測する計算コードであり、同コードでは、ランキン渦モデル以外の風速場モデル（統合風速場モデル）が利用されている。（米国NRCにおいても、ランキン渦モデル以外の風速場モデルが認められていないわけではない）

5. 飛散解析における保守性の考慮

前節までに述べてきたとおり、フジタモデルの風速場を適用することで、より現実的な竜巻影響評価を行うことが可能と考えられるが、一方で、実際の竜巻による物体の飛散挙動の保守性についても考慮する必要がある。

本節では、フジタモデルを用いた地上からの飛散挙動解析に関する保守性や、物体が竜巻に晒される際の風速に関する不確定性等について、飛散解析の中でどのように考慮しているかについて説明する。

5.1 物体の浮上、飛散モデルにおける保守性の考慮

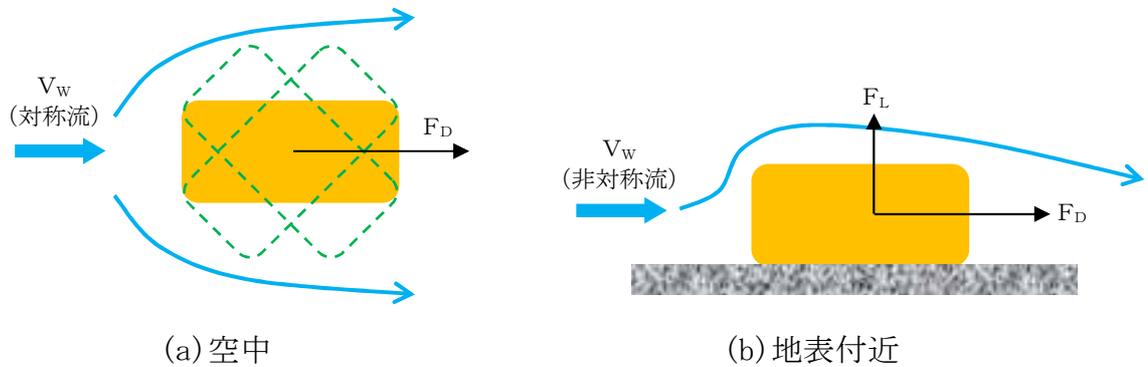
本評価における物体の浮上・飛散モデルの考え方と、その中で保守性の観点から考慮している点について説明する。

(1) 物体の揚力の計算式

物体が空中にある場合、物体に作用する力は、「竜巻影響評価ガイド」の飛来物運動モデル⁽²⁾⁽³⁾と同様に、飛来物は第5.1-1図(a)のようにランダムに回転しているものとし、平均的な抗力(流れの速度方向に平行な力) F_D と重力のみが作用する飛行モデルを採用している。

一方、物体が地面に置かれている場合や地面に近い場合は、地面効果による揚力を考慮している⁽¹⁴⁾。具体的には、物体の形状が流れ方向の軸に関し

て対称であっても，第 5.1-1 図(b)に示すように地面の存在により流れが非対称になり，物体上部の圧力が低くなることで物体を浮上させる駆動力が生じることから，これを揚力 F_L として考慮する。



第 5.1-1 図 物体へ作用する力

このような揚力 F_L は，地表付近での揚力係数 C_L 及び物体の見付面積（風方向から見た投影面積） a を用いて，以下のように表される。

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L a |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 \quad (7)$$

ここで， ρ は空気密度， \mathbf{V}_M は飛来物の速度ベクトル， \mathbf{V}_w は風速ベクトル， $|\alpha|_{x,y}$ はベクトル α の x, y 成分（水平成分）の大きさを表す。

(参考) 地上の物体における地面効果による揚力について

物体や地面は完全な滑面ではなく凹凸を有しているため，完全接触と非接触の領域に区別される。物体の地面への投影面積を A とし，物体と地面の完全接触面積を s とした場合，無風時（第 5.1-2 図の(a)）は物体が流体に接する全表面で圧力は一定（ p_0 ）と見なせるため，鉛直方向（上向きを正とする）に作用する揚力 F_{L0} は以下で与えられる。

$$F_{L0} = -p_0 A + p_0 (A - s) = -p_0 s \quad (8)$$

ここで， $0 < s \leq A$ であることから， F_{L0} は負の値となり，揚力は発生しな

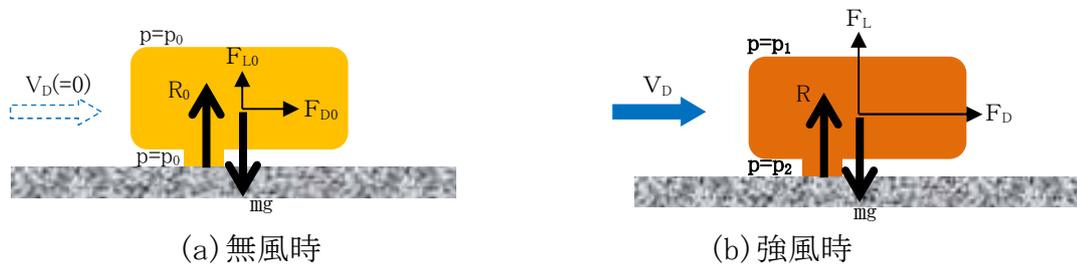
いことが分かる。

一方、竜巻通過時（第 5.1-2 図の(b)）の物体に圧力差に伴う流体力が作用（簡単のため上面での圧力を p_1 、下面での圧力を p_2 と仮定）する場合、鉛直方向の流体力 F_L は以下で与えられる（圧力分布がある任意形状の物体についても、圧力の表面積分を用いれば同様に計算可能）。

$$F_L = -p_1 A + p_2 (A - s) \quad (9)$$

吸盤の様に完全に地面に密着している場合は $s = A$ となるため、上面の圧力 p_1 に投影面積 A を乗じた力が下向きに作用するが、物体と地面の間に僅かに空隙が生じる場合には、地面と物体の接触状態によっては上向きの力が発生することがある。

実際には、地面と物体の接触状態を確認することは難しいことから、本評価においては、保守的に地上における物体に揚力が作用することとしている。



第 5.1-2 図 部分的に地面に接する物体に作用する力

(2) 揚力係数の設定

(7) 式の $C_L a$ は風洞実験から求められる値であるが、実験条件（風を受ける方向等）により様々な値を取り得るため、それを包含するような係数を設定することが望ましい。本評価では、条件によらず保守性を確保できるように、 $C_L a$ に代わり、以下で定義される抗力係数と見付面積の積の平均値 $C_D A$ を用いることとする。

$$C_D A = \frac{1}{3} (C_{Dx} A_x + C_{Dy} A_y + C_{Dz} A_{xz}) \quad (10)$$

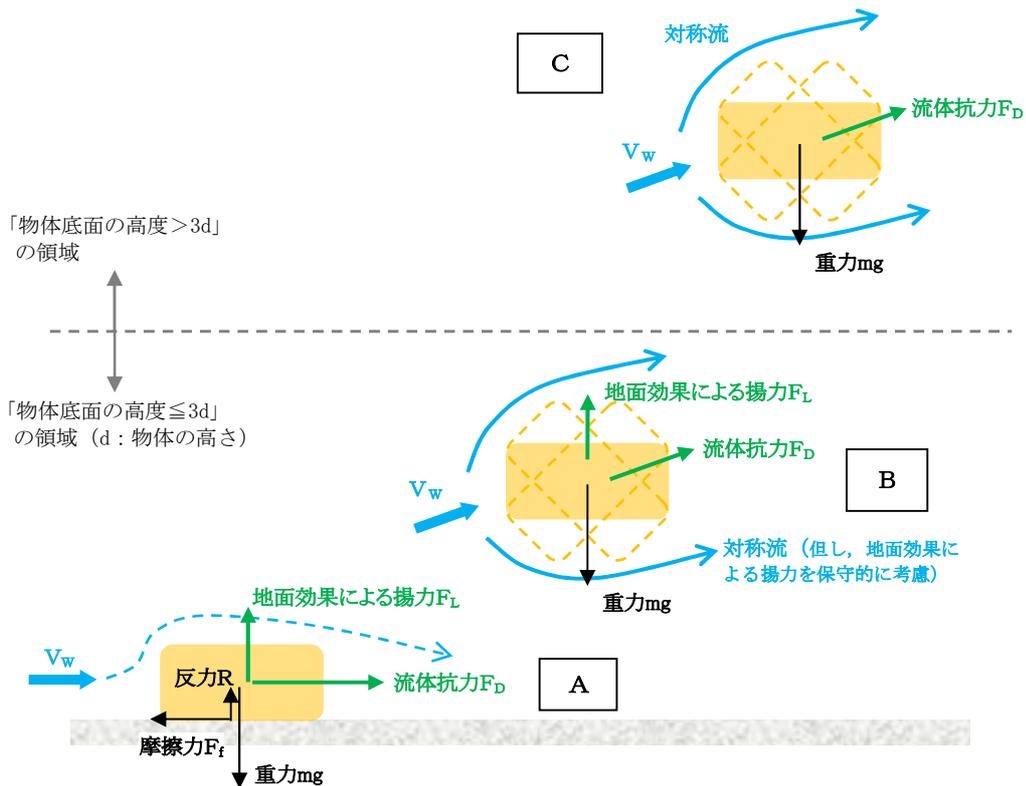
ここで、 C_{D_i} は空中での i 軸方向流れに対する抗力係数、 A_i は i 軸方向流れに対する見付面積を示す。

物体の運動モデルを第 5.1-3 図に示す。上述の、 $C_L a$ を $C_D A$ で代用する考え方を本図に基づき整理すると、以下の通りとなる。

- ・物体がある程度浮き上がった後の状態(B)であれば、物体はランダムに回転し、物体各面に均等に風を受けるものと考えられる。
- ・物体が地面に置かれた状態(A)から浮き上がる場合、実際には物体の上面や下面での圧力が均一ではなく、傾きながら浮き上がるようなことも考えられるが、このような挙動を理論的に評価することは難しい。

そのため、これに準ずる方法として、地面から浮かせた状態で実測された $C_L a$ のうち、物体が地面に置かれた状態(A)にできる限り近い場合の値よりも大きな係数 $C_D A$ を用いることで、保守性は確保できると考えられる（「 $C_D A > C_L a$ 」となることの説明は後述）。

- ・物体が地面に置かれた状態(A)と物体がある程度浮き上がった状態(B)での評価にて共通の係数を用いることは、地上からの物体浮上及び飛散解析における実用性の観点からも望ましい。



第 5.1-3 図 物体の運動モデルの模式図

物体の飛散解析におけるモデル化の基本的な考え方は、地面における揚力係数 C_L 見付面積 a の積 $C_L a$ をより大きな値で置き換えて、浮上現象を保守的に評価できるようにすることであり、この保守的な代用値として $C_D A$ の利用が適切であることを以下に説明する。

物体が風速 U を受ける場合の揚力係数 C_L は、一般にその定義により揚力 F_L と以下の関係にある。

$$F_L = \frac{1}{2} \rho U^2 C_L a$$

$$C_L a = F_L / (\rho U^2 / 2)$$

ここで、典型的な塊状物体、柱状物体及び板状物体が地面に置かれた場合の $C_L a$ の最大値（または、それに近い値）の実測結果と、物体の幾何学形状のみで決定される $C_D A$ の値を比較した。（第 5.1-1 表）

同表より、「 $C_D A > C_L a$ 」の関係が成立しており、揚力の評価モデルとして $C_L a$ の代わりに $C_D A$ を用いることで保守性は確保できる。

また、以上の揚力のモデル化の説明は浮上時（第 5.1-3 図の状態 A）に対するものであるが、この揚力が物体高さの 3 倍までの飛散高度の範囲で連続的に低減するように作用するようにモデル化しており、第 5.1-3 図の状態 A, B 及び C の全領域で揚力の連続性が確保されている。

第 5.1-1 表 主な物体の C_{DA} と地面に置かれた物体の C_{La} (実測値) (1/2)

形状	物体	仕様	C_{DA} ※1	C_{La} (実測値)	C_{La} (実測値) に係る試験条件等
塊状	自動車	実物の Dodge Dart (長さ 16.7ft., 幅 5.8ft., 高さ 4.3ft.)	129ft. ²	48.7ft. ²	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽¹⁵⁾ (風速 22~31m/s, $Re=2.8 \times 10^6 \sim 4 \times 10^6$) C_{La} が最大となる流入角での値を C_{La} (実測値) として記載
		1/6 縮尺模型 (セダン: 長さ 4.85m, 幅 1.79m, 高さ 1.42m, 質量 1633kg)	12.07m ²	7.76m ²	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽¹⁶⁾ (風速 0~150m/s, $Re=0 \sim 3 \times 10^6$) 4 つのタイヤに作用する地面からの反力のうち, 少なくとも 1 つが 0 となった時点の風速 U から C_{La} 値を計算 ($C_{La}=2mg/\rho U^2$) C_{La} が最大となる流入角での値を C_{La} (実測値) として記載
		1/6 縮尺模型 (ミニバン: 長さ 5.12m, 幅 1.94m, 高さ 1.69m, 質量 2086kg)	14.58m ²	7.89m ²	
	立方体	一辺の長さ D	$2D^2$	0.2 D^2 程度	<ul style="list-style-type: none"> 水路試験⁽¹⁷⁾ ($Re=8000 \sim 28000$) 流入方向と立方体面の一面が垂直になる配置における値を C_{La} (実測値) として記載
柱状	円柱	長さ λ , 直径 D	0.47 $D\lambda$	0.2 $D\lambda$	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽¹⁵⁾ ($Re=1.3 \times 10^6$) 流入方向と円柱の軸直角方向が垂直になる配置 (円柱の軸方向は地面と平行) における値を C_{La} (実測値) として記載
				0.05 $D\lambda \sim 0.23D\lambda$	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験 ($Re=3.5 \times 10^4 \sim 1.2 \times 10^5$) 流入方向と円柱の軸直角方向が垂直になる配置 (円柱の軸方向は地面と平行) における値を C_{La} (実測値) として記載
	角柱	長さ λ , 断面が一辺 D の正方形	0.8 $D\lambda$ (1.3 $D\lambda$)※2	0.5 $D\lambda \sim 0.7D\lambda$ 程度	<ul style="list-style-type: none"> 水路試験⁽¹⁷⁾ ($Re=8000 \sim 28000$) 長方形断面 (アスペクト比 4:3) の角柱は地面から 0.167D 以上離れると揚力は負となる (電中研風洞実験) 流入方向と角柱の軸方向が垂直となる配置 (角柱の軸方向は地面と平行) における値を C_{La} (実測値) として記載
					長さ λ , 高さ D , 幅 B の長方形断面

※1: 柱状及び板状では微小項を無視して記載

※2: 塊状と見なせる場合

第 5.1-1 表 主な物体の $C_D A$ と地面に置かれた物体の C_{La} (実測値) (2/2)

形状	物体	仕様	$C_D A$ ※1	C_{La} (実測値)	C_{La} (実測値) に係る試験条件等
板状	薄い平板	長さ λ , 幅 B , 厚さ D ($B=200$ mm, $D=5$ mm, $\lambda=1000$ mm の場合)	0.66 $B\lambda$	0 に近い値 (地面から 0.25 B 離れた位置で $C_{La}=0.04B\lambda$)	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽¹⁸⁾ (幅 B に基づく $Re=2 \times 10^5$) 流入方向と平板の長さ方向が垂直になる配置 (平板は地面と平行) における値を C_{La} (実測値) として記載
	薄い翼	長さ λ , 幅 B , 厚さ D ($B=100$ mm, $D=15$ mm, $\lambda=300$ mm)		0.2 $B\lambda$ 程度	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽¹⁹⁾ (幅 B (参考文献(19)では c) に基づく $Re=2.2 \times 10^5$) 流入方向と翼の長さ方向が垂直になる配置 (翼面は地面と平行)
	平板状ブロック	長さ λ , 幅 B , 厚さ D	0.66 $B\lambda$ 0.66($B\lambda + D(B + \lambda)$)※2	0.1 $B\lambda$ 程度	<ul style="list-style-type: none"> 水路試験⁽²⁰⁾ ($Re=5 \times 10^4$ 程度) 流入方向と平板状ブロックの長さ方向が垂直になる配置 (平板状ブロックは地面と平行) における値を C_{La} (実測値) として記載

※1: 柱状及び板状では微小項を無視して記載

※2: 塊状と見なせる場合

(3) 設定した揚力係数の適用性の確認

第 5.1-1 表における $C_L a$ (実測値) が竜巻における物体の飛散解析に適用可能であることについて、レイノルズ数の観点から確認を行った。

第 5.1-1 表の各文献中の実験におけるレイノルズ数は、同表の備考欄に示す通り、 10^4 から 10^6 の範囲にある。

ここで、実物の自動車 (Dodge Dart : 長さ 16.7ft. , 幅 5.8ft. , 高さ 4.3ft.) では風速を 30mph (13m/s) から 120mph (54m/s) まで変化させてレイノルズ数の影響を調べた結果、風速は各空力係数に対して顕著な影響がないことが確認されている⁽¹⁵⁾。これは、剥離点が物体角部等に固定されてレイノルズ数にほとんど依存しないためであり、このような特性を有する立方体等についてもレイノルズ数依存性はないものと考えられる。

一方、円柱周りの流れのように剥離点が曲面上にある場合については、第 5.1-4 図に示すように、レイノルズ数が増加すると剥離点が移動し、抗力係数等が増加することが知られている。第 5.1-1 表の E P R I の円柱の風洞試験結果⁽¹⁵⁾は $Re=1.3 \times 10^6$ の高レイノルズ数条件で得られたものであり、竜巻中の円柱状の飛来物のレイノルズ数範囲に入るものと考えられる (例えば、相対風速 92m/s の直径 0.1m のパイプのレイノルズ数は 6×10^5 程度)。また、電力中央研究所の吹出式開放型風洞 (吹出口寸法 : 高さ 2.5m × 幅 1.6m, 風速 : 3.0~16.5m/s) においても、壁 (地面) 近くに設置した円柱 (直径 100mm × 模型長 1000mm) を対象として、 $Re=3 \times 10^4$ から 1×10^5 程度までの揚力係数の測定試験が行われている。

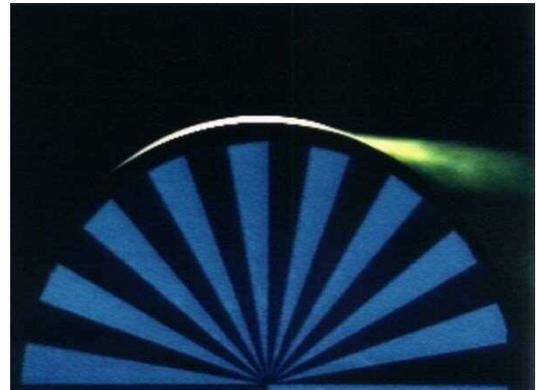
E P R I の風洞試験と電力中央研究所の風洞試験にはレイノルズ数条件に大きな違いがあるが、第 5.1-5 図に示す通り、風洞試験で得られた円柱揚力係数に顕著な相違は認められない。

以上より、地面における各物体の揚力係数 C_L と見付面積 a の積 $C_L a$ はレ

レイノルズ数にほとんど依存せず，第 5.1-1 表に示す風洞試験結果に基づくモデル化は妥当であると考えられる。

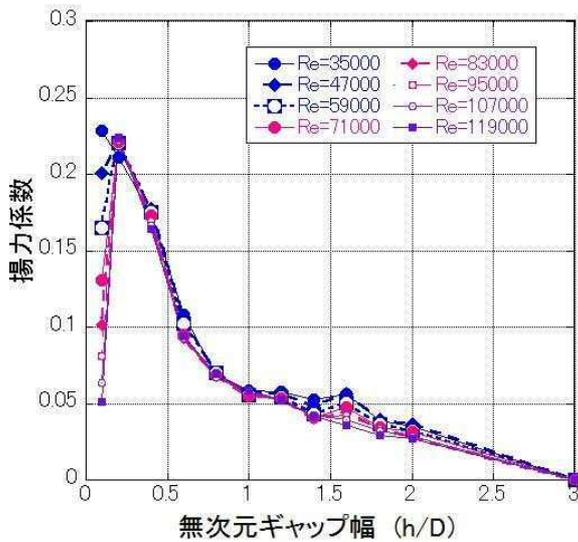


(a) $Re \approx 4 \times 10^4$

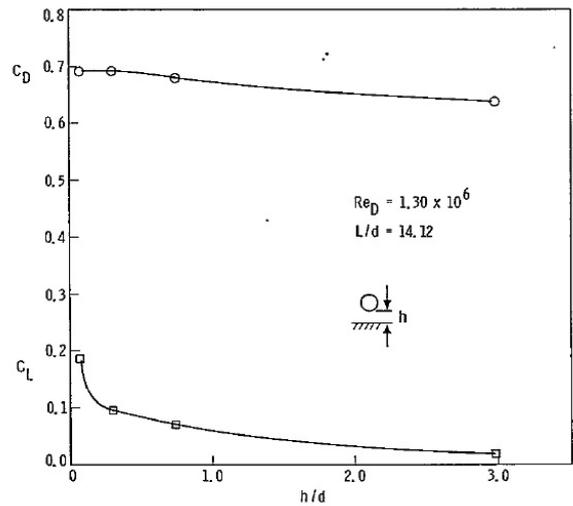


(b) $Re \approx 2 \times 10^5$

第 5.1-4 図 可視化した円柱まわりの流れ⁽²¹⁾



(a) 電力中央研究所
($Re=3 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$)



(b) E P R I
($Re=1.3 \times 10^6$)⁽¹⁵⁾

第 5.1-5 図 風洞実験による円柱の揚力係数

(4) 揚力の高さ依存性

地面効果による揚力は物体の上昇とともに減衰するので，既往の風洞実験の結果⁽¹⁵⁾⁽²²⁾を考慮して，高さ寸法 d の物体に働く揚力は，物体底面の高度

が地面から 3d となった時に消滅すると設定した。

具体的には、底面が地面から Z の距離（高度）にある物体に作用する揚力加速度 L を以下の関数形でモデル化した。

$$L = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 f(Z/d) \quad (11)$$

f(Z/d) は、E P R I の風洞実験結果⁽¹⁵⁾を参考に、以下の反比例式とした。

$$f(Z/d) = \{1 - (Z/3d)\} / \{1 + (Z/d)\} \quad (12)$$

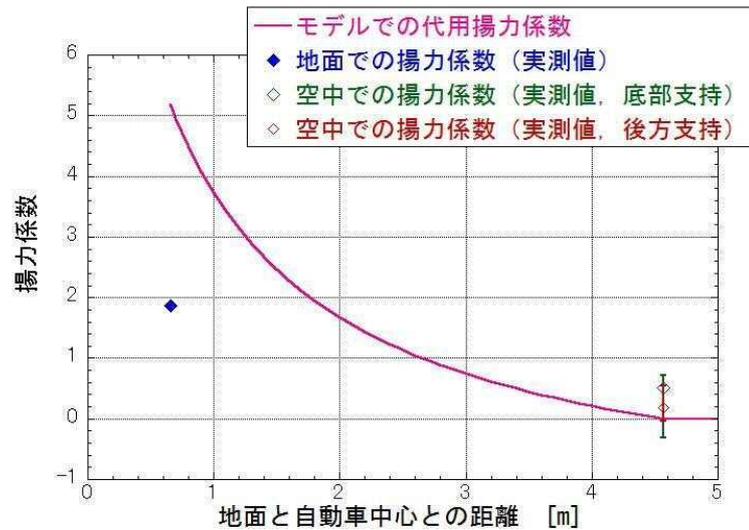
ここで、Z は下式により定義される（z : 物体中心の高度）

$$Z = \begin{cases} z - (d/2) & (d/2 \leq z \leq 7d/2) \\ 0 & (7d/2 \leq z) \end{cases} \quad (13)$$

また以下において、塊状物体（自動車）、柱状物体（角柱及び円柱）及び板状物体（平板）の風洞試験結果を踏まえ、「高さ寸法 d の物体に働く揚力は、物体底面の高度が地面から 3d となった時に消滅する」とした設定が適切であることを確認する。

a. 塊状物体（自動車）の揚力の高さ依存性

自動車の揚力係数は、E P R I の風洞試験⁽¹⁵⁾にて、地面及び風洞中央（h/d ≒ 3.5）に設置した場合にて計測されており、第 5.1-6 図に、E P R I の風洞試験によって得られた揚力係数と本モデルにて代用した揚力係数の関係を示す。E P R I の風洞試験では空中での自動車の姿勢は地面設置と同じ姿勢に保たれているため、空中においても揚力係数が 0 とはならないが、実際に飛散する自動車の姿勢はランダムに変化することから、平均的な揚力係数は本モデルでの代用揚力係数に近いものと考えられる。



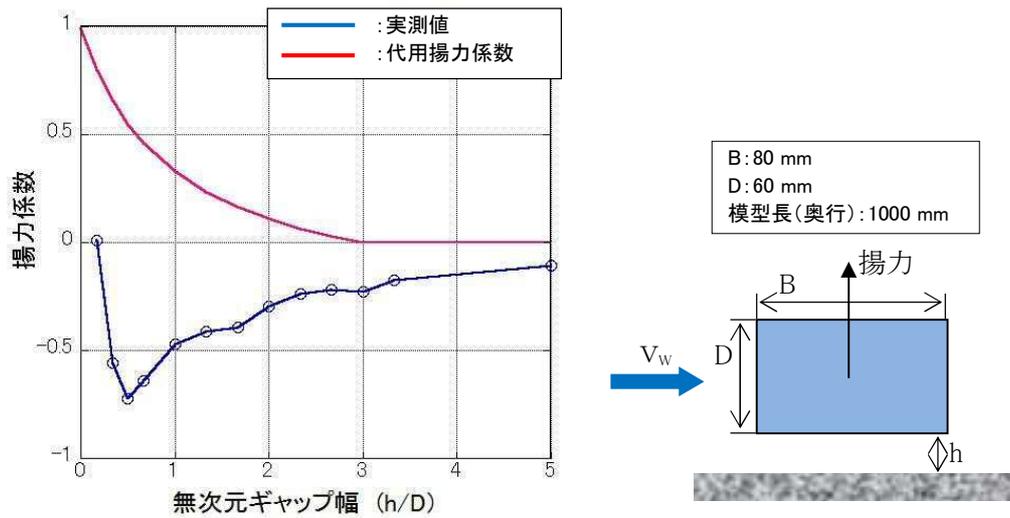
第 5.1-6 図 自動車の風洞実験による揚力係数と代用揚力係数

(文献⁽¹⁵⁾を基に作成及び代用揚力係数を加筆)

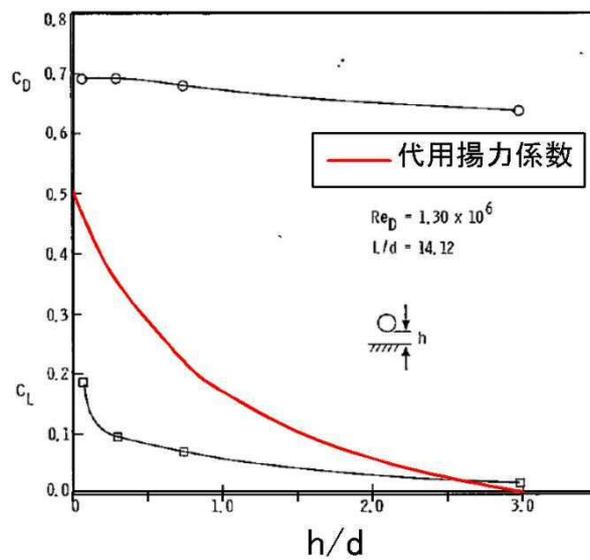
b. 柱状物体（角柱及び円柱）の揚力の高さ依存性

角柱の揚力係数は、電力中央研究所の吹出式開放型風洞（吹出口寸法：高さ 2.5m×幅 1.6m，風速：3.0 から 16.5m/s）にて測定しており，第 5.1-7 図に示すように，地面から 0.167D 以上離れると揚力は負となるので，正の揚力を与える本モデルの代用揚力係数（第 5.1-7 図の赤線）は保守的な結果となっていることが分かる。

円柱の揚力係数は，E P R I の風洞試験⁽¹⁵⁾にて測定しており，第 5.1-8 図に示すように，本モデルの代用揚力係数（第 5.1-8 図の赤線）は実際の円柱に働く揚力の最大揚力係数よりも大きな値となっているため，保守的な結果となっていることが分かる。



第 5.1-7 図 角柱の風洞試験による揚力係数と代用揚力係数



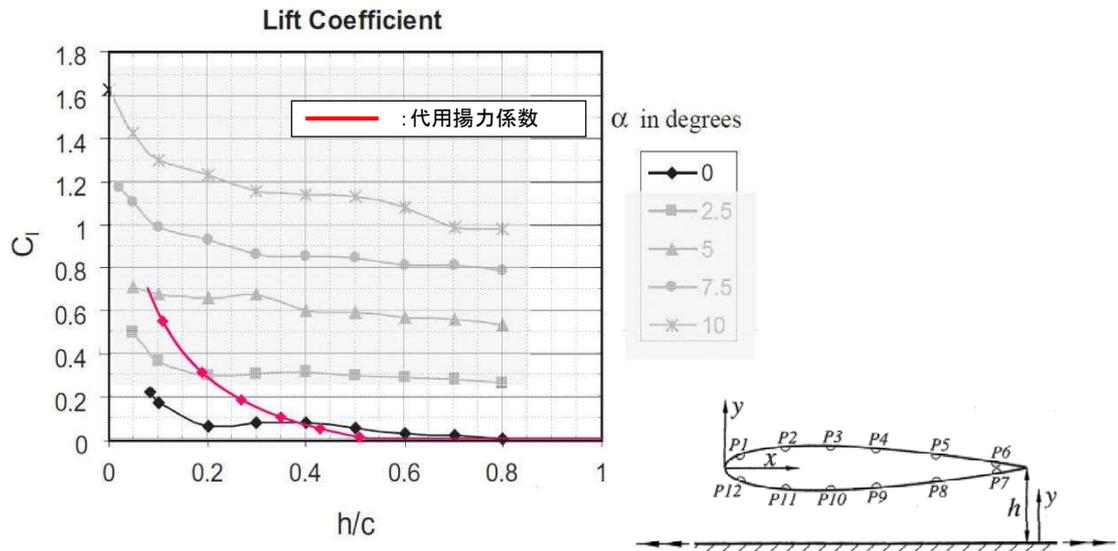
第 5.1-8 図 円柱の風洞試験による揚力係数と代用揚力係数

(文献⁽¹⁵⁾に代用揚力係数を加筆)

c. 板状物体（平板）の揚力の高さ依存性

平板の揚力係数は、平面的な形状を有する翼（迎角 0° ）の試験結果⁽¹⁹⁾に基づき考察すると、本モデルの代用揚力係数（第 5.1-9 図の赤線）は、実際の翼に働く地面効果による揚力係数よりも概ね大きな値となって

いる。また、この翼は奥行方向が長い形状で流れに直交するような配置となっており、実際の平板に比べて揚力が作用しやすいことを考慮すると、実際の平板の揚力係数はさらに小さいものと考えられる。



第 5.1-9 図 翼の風洞試験による揚力係数と平板の代用揚力係数

(文献⁽¹⁹⁾に代用揚力係数を加筆)

(5) 物体の運動方程式

上記(1)から(4)を踏まえ、重力加速度 g 、上向きの単位ベクトル \mathbf{k} を用いて、飛行物体の運動方程式は以下のように記述される。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{l}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - (g - L) \mathbf{k} \quad (14)$$

物体の位置 $\mathbf{X}_{M(t)}$ と速度 $\mathbf{V}_{M(t)}$ の時刻歴の計算には陽解法（一定加速度法）を用いた。具体的には、時刻 $t = \tau$ における物体の位置 $\mathbf{X}_{M(\tau)}$ と速度 $\mathbf{V}_{M(\tau)}$ を既知として、時刻 $t = \tau + \Delta \tau$ における物体の速度と位置を以下の式で求めた。ただし、 $\mathbf{A}(\tau)$ は上記運動方程式の右辺に対応する時刻 $t = \tau$ における加速度ベクトルである。

$$\mathbf{V}_M(\tau + \Delta \tau) = \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau) \Delta \tau \quad (15)$$

$$\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau)\Delta\tau + \frac{\mathbf{A}(\tau)\Delta\tau^2}{2} \quad (16)$$

$\mathbf{A}(\tau)$ の計算には、時刻 $t = \tau$ における風速場も必要であるが、初期に原点に位置する竜巻の中心が x 軸上を移動速度 V_{tr} で移動することを仮定しており、任意の時刻での風速場を陽的に求められるため、物体の速度及び位置を算出することができる。

(6) 物体の運動方程式 ((14)式) に関する考察

地上面の物体 (第 5.1-3 図A) が浮上するには、地面からの反力が消滅する ($R < 0$, つまり $mg < F_L$) 条件で浮上し、浮上後は(14)式を成分表示した以下の運動方程式に従って飛散する。

$$\frac{dV_{Mx}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,x} - V_{M,x}) \quad (17)$$

$$\frac{dV_{My}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,y} - V_{M,y}) \quad (18)$$

$$\frac{dV_{Mz}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,z} - V_{M,z}) - g + L$$

..... (19)

ここで、物体速度 $\mathbf{V}_M = (V_{M,x}, V_{M,y}, V_{M,z})$ 、竜巻風速 $\mathbf{V}_w = (V_{w,x}, V_{w,y}, V_{w,z})$ であり、右辺第 1 項が流体抗力 F_D による加速度を、(19)式の右辺第 3 項が地面効果による揚力 F_L による加速度を表している。上記の式で、物体が静止している状態 ((17)式~(19)式で物体速度 $\mathbf{V}_M = \mathbf{0}$) を仮定すると、以下の式となる。

$$\frac{dV_{Mx}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,x} \quad (17')$$

$$\frac{dV_{My}}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,y} \quad (18')$$

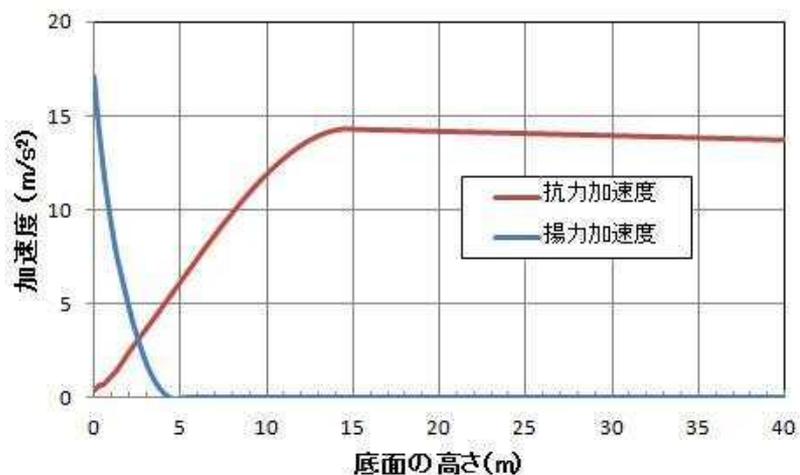
$$\frac{dV_{Mz}}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,z} - g + L \quad (19')$$

フジタモデルでは、物体が地面近傍にある場合（第 5.1-3 図(A)）では鉛直方向の風速 $V_{w,z}$ はゼロに近いので、式(19')の右辺第 1 項は右辺第 2 項及び第 3 項に比べてはるかに小さな量となり、以下のとおり物理的に合理的な関係式が成立する。

$$\frac{dV_{Mz}}{dt} \approx -g + L \quad (20)$$

例として、竜巻コア半径 30m、最大風速 100m/s の竜巻が原点に位置し、x 方向に 15m/s で移動する場合、点(0, -30m)における式(19')の右辺第 1 項の値（z 方向抗力（流体抗力）による加速度）と第 3 項の値（地面効果による揚力加速度）を第 5.1-10 図に示す。

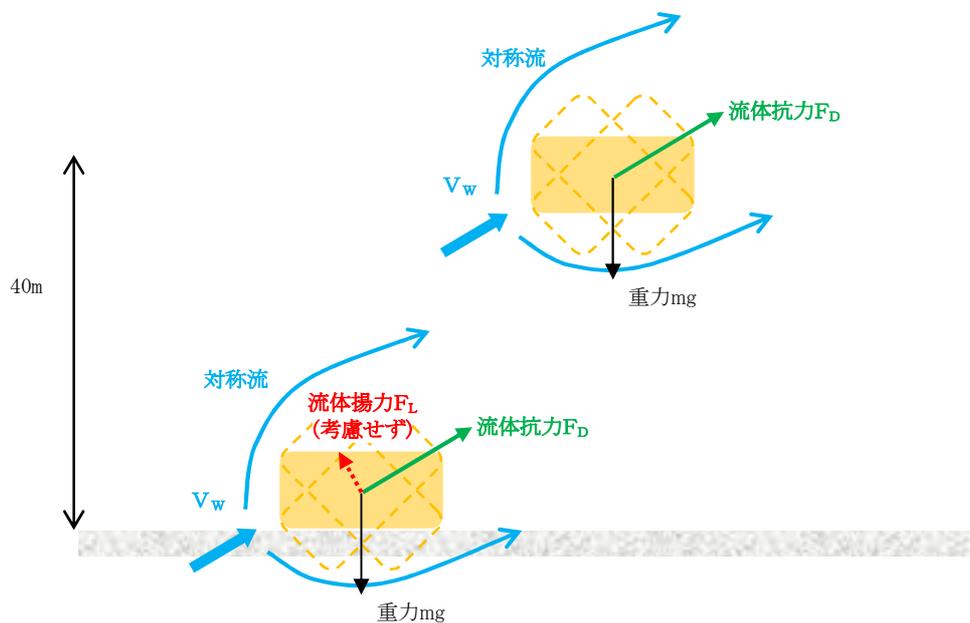
同図より、地面上（z=0）近傍においては、z 方向の抗力による加速度は十分小さく、地面効果による揚力加速度の影響が大きいことが分かる。



第 5.1-10 図 地面近傍の物体に作用する z 方向の加速度

$$\left(\frac{1}{2} \right) \rho C_D A / m = 0.004 \text{m}^{-1}, \quad d = 1.31 \text{m}$$

なお、高さ方向の依存性が考慮されていないランキン渦（飛散解析用）の場合は、地面から水平風速の約 60%にも達する上昇流の噴出を設定する。地面効果は地面の存在によって水平な風が物体付近で湾曲・剥離することによって生じるものであるが、ランキン渦の風速場では地面の有無によって物体周りの流況が大きく変化せず、地面効果は物理的に発現しにくいいため、ランキン渦モデルを用いた解析においては鉛直方向の揚力 L を付加していない（第 5.1-11 図）

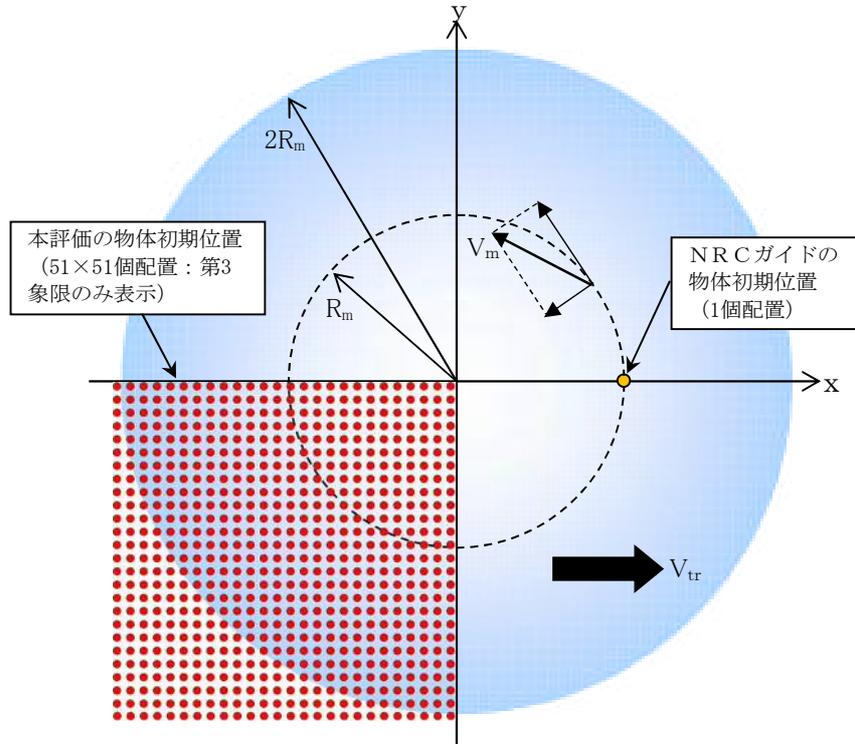


第 5.1-11 図 ランキン渦の場合の物体の運動モデルの模式図

5.2 物体が受ける風速における保守性の考慮

竜巻によって飛散する物体の飛散速度や飛散距離は、同じ竜巻内であっても物体が受ける風速（物体がある位置の竜巻風速）によって大きく変動する。その影響度合いを確認するため、米国 NRC ガイド⁽¹⁾に記載されている方法（物体の 1 点配置）と、物体を多点配置した場合の飛散速度の違いを比較した。配置の違いについて、第 5.2-1 図に示す。1 点配置の場合は、特定の位置（竜巻進行方向の最大接線風速半径の位置 $(x, y) = (R_m, 0)$ ）に物体 1 個を設置す

る。また多点配置の場合は、竜巻半径の4倍の辺長の正方形領域に51×51個の物体を配置する。その上で飛散させた物体の内、最も速度が大きくなったものをその物体の飛散速度とする。



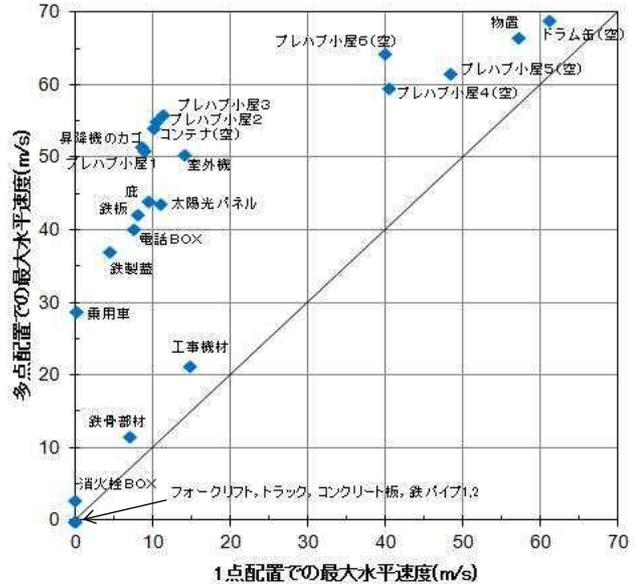
第 5.2-1 図 飛散解析における竜巻と物体の位置関係

評価条件として、竜巻の最大風速を 100m/s とし、フジタモデルの風速場を用いて地上から飛散させるものとする。また、評価ガイドの記載より竜巻の移動速度 V_{tr} を 15m/s 、竜巻コア半径 R_m を 30m とする。飛散させる物体としては、原子力安全基盤機構の調査研究報告書⁽³⁾に掲載されている物体を用いた。第 5.2-2 図に比較結果を示す。

米国 NRC で用いられている 1 点配置の手法と比較し、多点配置の手法では 1 点配置に比べて大きな飛散速度となった。多点配置することで、その竜巻風速場における最大風速（最大接線風速と半径方向風速のベクトル和が竜巻移動方向と重なる点）を受ける物体が出てくるため、このような結果になったと考えられる。

したがって、物体を多点配置することは、竜巻から受ける風速に関する不確
定性を考慮できるものと考えられるため、本検討における方法として適用する
こととする。

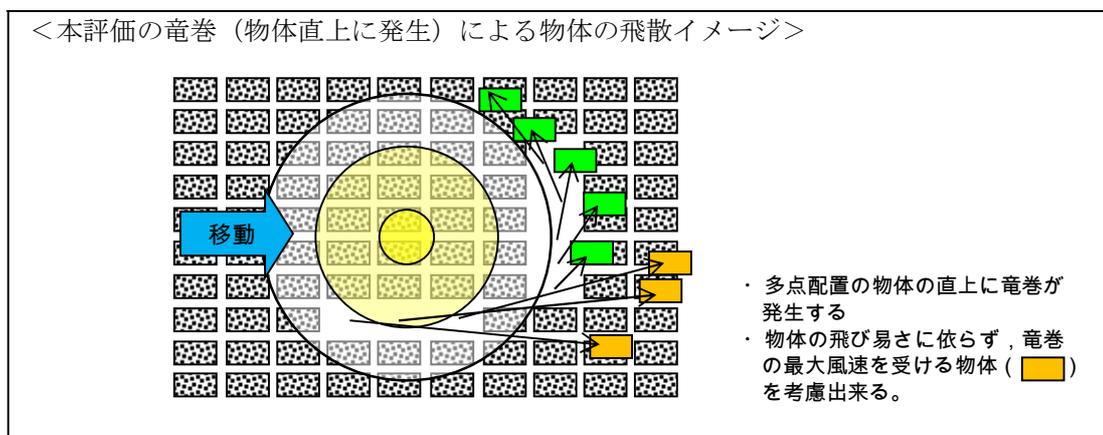
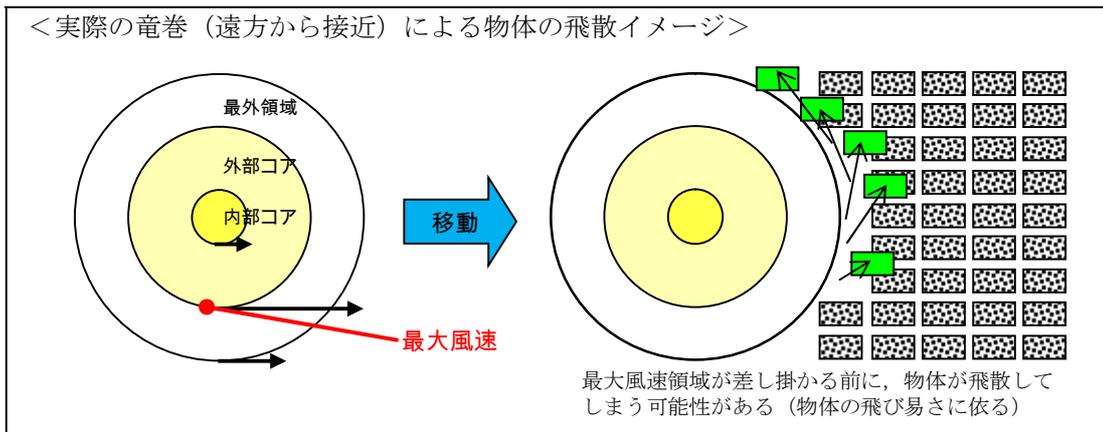
物品	高さ (m)	他の寸法		C _D A/m (m ² /kg)
		(m)	(m)	
フォークリフト	1.10	1.10	3.60	0.0026
トラック	1.30	1.90	5.00	0.0026
消火栓BOX	0.50	0.50	0.50	0.0036
乗用車	1.30	1.60	3.10	0.0052
工事機材	0.65	0.65	2.44	0.0058
プレハブ小屋1	3.00	5.00	5.00	0.0083
コンテナ(空)	2.40	2.40	2.60	0.0105
昇降機のカゴ	1.20	1.20	1.20	0.0113
プレハブ小屋2	1.85	1.85	1.85	0.0119
プレハブ小屋3	2.30	2.30	4.60	0.0120
プレハブ小屋4(空)	3.00	5.00	5.00	0.0153
電話BOX	0.30	0.30	0.30	0.0169
プレハブ小屋5(空)	1.85	1.85	1.85	0.0189
プレハブ小屋6(空)	2.30	2.30	4.60	0.0222
物置	0.90	0.90	1.80	0.0315
室外機	0.25	0.25	0.80	0.0343
コンクリート板	0.15	1.00	1.50	0.0021
庇	0.20	2.10	11.00	0.0242
鉄製蓋	0.03	0.50	0.70	0.0364
鉄板	0.04	0.25	2.00	0.0486
太陽光パネル	0.05	1.00	1.20	0.0582
鉄骨部材	0.20	0.30	4.20	0.0065
鉄パイプ1	0.05	0.05	2.00	0.0057
鉄パイプ2	0.05	0.05	1.00	0.0059
ドラム缶(空)	0.60	0.60	0.90	0.0400



第 5.2-2 図 1 点配置時と多点配置時における物体の最大速度の比較

本評価においては第 5.2-1 図に示す物体の多点配置（竜巻半径の 4 倍の辺長の正方形領域に 51×51 個の物体を配置）を初期状態として適用したが、この手法は、物体の直上に竜巻を発生させており、竜巻発生地点の不確定性についても考慮した設定となる。

第 5.2-3 図に、遠方から物体に接近する竜巻と物体直上に発生する竜巻による飛散の比較イメージ図を示す。実際の竜巻に遭遇する状況（海上で竜巻が発生して上陸する場合など）を考慮すると、竜巻は遠方から物体に近づくため、最大風速より低い風速に曝された時点で飛散する可能性がある。しかし、物体の直上に竜巻を発生させることで、実際の竜巻による飛散と比較して、より厳
しい結果を与えることになる。



第 5.2-3 図 物体に接近する竜巻と物体直上に発生する竜巻のイメージ

この物体を多点配置する方法と，竜巻を直上に発生させる方法を組み合わせることにより，必ずその竜巻の最大風速に曝される物体が発生するため，竜巻が物体に与える速度の不確定性を考慮することができると考えられる。

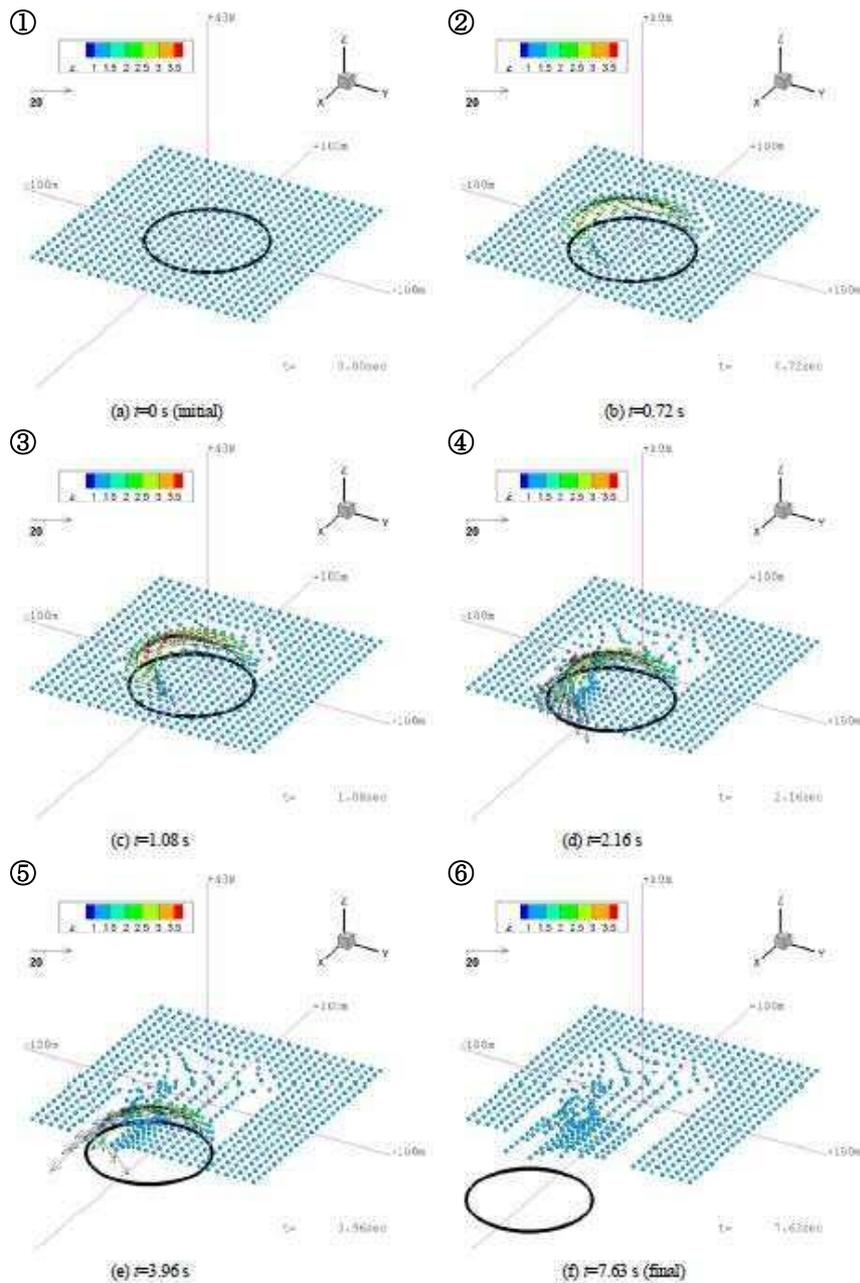
5.3 飛散解析手法まとめ

物体の浮上及び飛散モデルにおいて，実際の実験結果よりも浮上しやすい係数を設定することで，浮上に関する保守性を考慮できるような設定とした。

また，物体を多点配置し，その物体直上で竜巻が発生するという設定を組み合わせることにより，竜巻風速場内での物体が受ける風速の不確定性を考慮し，その竜巻において最大となる飛散速度が評価できるような設定とした。

以上により、フジタモデルを用いて物体の飛散解析を行う場合でも、保守性や不確定性を考慮した評価結果が得られると考えられる。

なお、参考として、第 5.3-1 図に本条件設定によるトラックの飛散イメージを示す。同じ物体でも、受ける風速によって大きく飛散状況が変わる様子分かる。



第 5.3-1 図 竜巻によるトラックの飛散イメージ^(2,3)

(第 6.3-5 表 (後述) の条件による)

6. 実際の飛散状況に対する検証

前節までで、フジタモデルの風速場を用いる利点や、飛散解析を行う上で考慮している事項等について説明した。

本節では、フジタモデルの風速場や前節の飛散解析手法を適用した場合、実際の事例等に比べて妥当な結果となるかどうかの検証を行った。

6.1 フジタスケールとの比較

フジタスケールは、竜巻等の突風により発生した建築物や車両等の被害状況から竜巻風速を推定するために考案された指標である。フジタスケールで示されている自動車の被災状況を第 6.1-1 表に示す。

ここで、各スケールに対応する最大風速（69m/s, 92m/s, 116m/s）を用いて、フジタモデルによる自動車飛散解析を行った結果を第 6.1-2 表に示す。

フジタモデルによる自動車飛散解析の結果は、各スケールに対応する自動車の被災状況と概ね合致していると考えられる。なお、ランキン渦モデルを用いた場合は、F 2 相当の風速（69m/s）でも大きく飛散することになり、フジタスケールの定義との比較からは過度に保守的な結果となる。

第 6.1-1 表 フジタスケールによる自動車の被災分類⁽²⁴⁾

フジタスケール	風速 (m/s)	自動車の被災状況
F 2	50~69	cars blown off highway (自動車が道路から逸れる。)
F 3	70~92	cars lifted off the ground (自動車が地面から浮上する。)
F 4	93~116	cars thrown some distances or rolled considerable distances (自動車がある距離を飛ばされる、またはかなりの距離を転がる。)

第 6.1-2 表 フジタモデルによる自動車 ($C_D A/m=0.0052\text{m}^2/\text{kg}$) の

飛散評価結果⁽²⁵⁾

フジタ スケール	竜巻の 最大水平風速 (m/s)	竜巻の 接線風速 (m/s)	竜巻の 移動速度 (m/s)	計算結果		
				最大水平速度 (m/s)	飛散距離 (m)	飛散高さ (m)
F 2	69	59	10	1.0	1, 4	0
F 3	92	79	13	23	34	1. 1
F 4	116	99	17	42	59	3. 1

6.2 米国 Grand Gulf 原子力発電所への竜巻来襲事例との比較

1978 年 4 月 17 日に、米国のミシシッピ州にて建設中の Grand Gulf 原子力発電所に F 3 の竜巻が来襲した。主な被害として、建設中の冷却塔内部に設置されていたクレーンが倒壊し、冷却塔の一部が破損したことが挙げられる。また、竜巻によりトレーラーが台から剥がれ移動したことや、直径 8 から 10 インチの木が折れた事例等も確認されている。

第 6.2-1 図は、竜巻による飛来物の飛散状況が定量的に分かる事例として、資材置場のパイプの飛散状況を示したものである。なお、資材置場通過時の竜巻規模は F 2 であったと考えられている。このパイプはコンクリート・石綿製で、長さは 8 フィート、直径（内径）は 8 インチであった。このパイプの飛散状況に対して、フジタモデル及びランキン渦モデルを風速場として用いた飛散解析を行った⁽²⁵⁾。解析条件は、過去の記録に基づき第 6.2-1 表の通りとした。



パイプを収納した木箱（一部 2 段重ね）は浮上せずに転倒し、パイプが周囲 7m～9m に散乱
 (Pieces of pipe were scattered over the area, but none travelled more than 25-30ft. The pipe joints are 8in. dia. x 8ft. long.)

第 6.2-1 図 Grand Gulf 原子力発電所資材置場におけるパイプの散乱状況⁽²⁶⁾

第 6.2-1 表 Grand Gulf 原子力発電所のパイプ飛散解析条件⁽²⁵⁾

竜巻条件	竜巻の最大風速	67 m/s
	最大接線風速	53.6 m/s
	移動速度	13.4 m/s
	コア半径	45.7 m
飛来物条件	直径（外径）	0.2286 m (=9 in.)
	物体高さ	0.229 m
	密度	1700 kg/m ³
	飛行定数 (C _D A/m)	0.0080 m ² /kg
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 物体個数：51×51 本を，最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内(x, y=[-2R_m, +2R_m]) に等間隔配置。 ・ 設置高さ：1 m (パイプ収納箱が 2 段重ねされた状況を想定) 	

解析結果を第 6.2-2 表に示す。フジタモデルを風速場とした場合は、パイプが殆ど飛散せず、収納箱が倒れた影響で散乱したと思われる状況と概ね合致している。

なお、ランキン渦モデルで評価した場合は、飛散距離や最大水平速度に実際の報告と大きな違いがあり、過度に保守的な評価結果となる。

第 6.2-2 表 Gland Gulf 原子力発電所のパイプ飛散解析結果⁽²⁵⁾

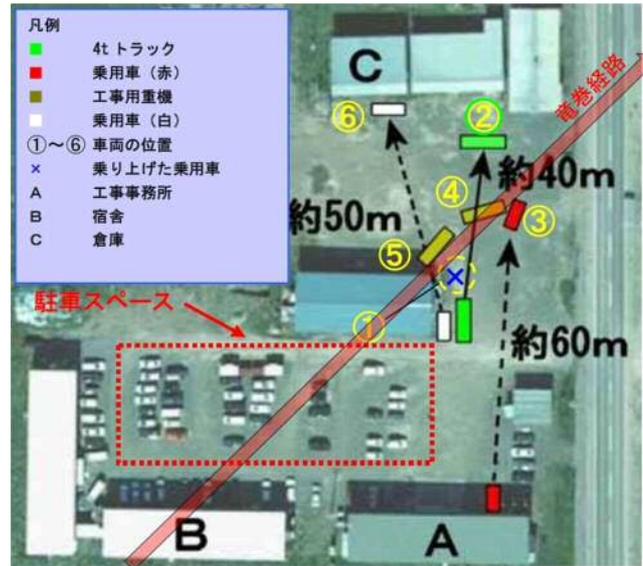
風速場モデル	初期 物体高さ	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ ^{※2}	最大水平速度
フジタモデル	1 m (地上)	1.2 m	0.0 m	4.9 m/s
ランキン渦モデル	1 m ^{※1}	42.6 m	0.34 m	30.7 m/s
	40 m	227 m		40.9 m/s

※1：比較のため、フジタモデルと同条件とした。

※2：初期物体高さからの飛散（浮上）高さ。

6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較

2006 年 11 月 7 日に北海道網走支庁佐呂間町に発生した竜巻（以下「佐呂間竜巻」という。）により、4t トラックが約 40m 移動したことが報告⁽²⁷⁾されている。被災状況を第 6.3-1 図に示す。この事例では被災時に 4t トラックに乗員 2 名が乗車しており、4t トラックの初期位置と移動位置が分かっている(②)。また、4t トラックの他に、2 台の自動車(③と⑥)の初期位置と被災後の移動位置が分かっている。このように竜巻被災前後で車両等の位置が明確になっている事例は極めて稀である。なお、竜巻による飛散物の再現計算は、竜巻が頻発する米国でも殆ど実施されていない。この理由としては、来襲した実際の竜巻特性を精度良く計測、推測することが困難であることや、自動車等の移動前後の位置が不明確な場合が多いことが挙げられる。



第 6.3-1 図 佐呂間竜巻による被災状況（工事事務所敷地内の車両被災）

（文献⁽²⁷⁾の写真に竜巻被害の方向を加筆）

ここでは、フジタモデルを風速場として用いた車両（4tトラック及び乗用車）の飛散解析を行い、実際の被害状況と比べて妥当な結果となるかどうかの確認を行った。方法としては、下記の2通りとした。

- ・ 竜巻特性や飛来物（4tトラック及び乗用車）の状況を現実的に設定した場合の再現解析
- ・ 今回の飛散解析手法による検証

(1) 竜巻特性や飛来物（4tトラック及び乗用車）の状況を現実的に設定した場合の再現解析

a. 4tトラックの飛散解析

解析条件として、入手可能なデータ⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾に基づき、合理的と考えられる竜巻特性条件と飛来物（4tトラック）の条件を第 6.3-1 表のとおり設定した。初期配置の条件として、配置数は1台とし、竜巻が遠方から近づく状況設定としている。また、風速 60m/s 以下では浮上しない設定⁽¹⁶⁾

とした。その上で、竜巻との距離を合理的な範囲で変化させ、佐呂間竜巻の再現性を確認した。

車両と竜巻中心との距離を 18m, 20m, 22m とした場合の解析結果を第 6.3-2 表及び第 6.3-2 図に示す。車両の軌跡は竜巻中心との相対位置関係に敏感であるが、各ケースとも飛散方向が実際の移動方向と概ね合致しており、特に車両と竜巻中心との距離を 20m としたケース 2 では飛散距離もほぼ正確に再現されている。このように、フジタモデルを風速場とした飛散解析で、物体が地上に設置された状況からの飛散挙動が再現できることが確認できた。

第 6.3-1 表 佐呂間竜巻による 4t トラックの飛散解析条件^(2 5)

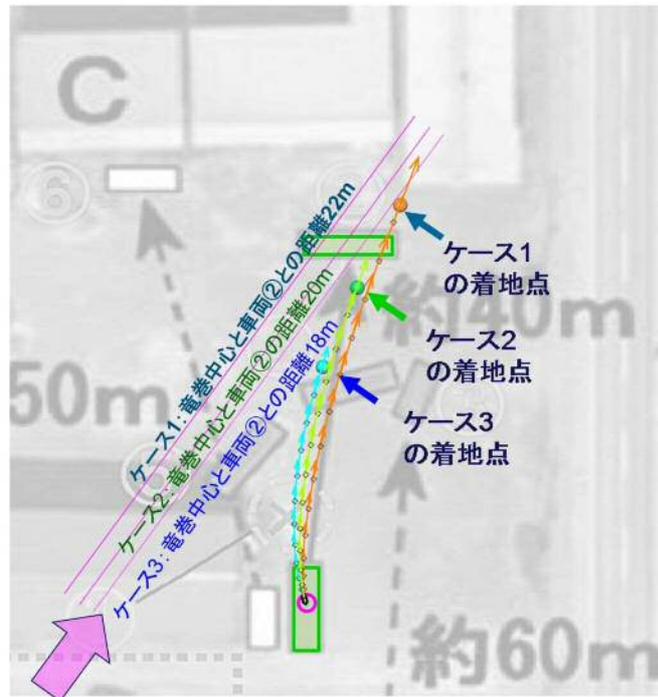
竜巻条件	竜巻の最大風速	92 m/s ^{※1}
	最大接線風速	70 m/s
	移動速度	22 m/s
	コア半径	20 m
飛来物条件	車両長さ ^{※2}	8.1 m
	車両幅 [*]	2.24 m
	車両高さ [*]	2.5 m
	車両重量	4000 kg
	飛行定数 (C _D A/m)	0.0056 m ² /kg
初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> ・物体個数：1 台 ・設置高さ：0 m (地上) ・「竜巻は遠方から物体に近づくが、風速 60m/s 以下では浮上しない」ことを条件として付加 	

※1：佐呂間竜巻のフジタスケール (F 3) に基づく。

※2：車種不明のため、三菱ふそう PA-FK71D を仮定。

第 6.3-2 表 佐呂間竜巻による 4t トラックの飛散解析結果

ケース	車両と竜巻中心との距離	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度
1	22 m	45.4 m	2.8 m	25.8 m/s
2	20 m	35.5 m	2.3 m	22.2 m/s
3	18 m	25.9 m	1.7 m	18.8 m/s



第 6.3-2 図 フジタモデルによる 4t トラックの飛散解析結果

(文献⁽²⁷⁾の写真に軌跡を加筆)

b. 乗用車の飛散解析

白い乗用車（第 6.3-1 図の⑥）の被災事例を対象として、物体を 1 点初期配置した条件で最大水平速度等を計算した。

乗用車の計算条件について、第 6.3-3 表に示す。

第 6.3-3 表 佐呂間竜巻による乗用車の飛散解析条件

竜巻条件	トラック（第 6.3-1 表）に同じ	
飛来物条件	車両長さ ^{※2}	4.4 m
	車両幅 [*]	1.7 m
	車両高さ [*]	1.5 m
	飛行定数（ $C_D A/m$ ）	0.0097 m ² /kg
初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> ・ 物体個数：1 台 ・ 設置高さ：0 m（地上） ・ 「竜巻は遠方から物体に近づくが、風速 60m/s 以下では浮上しない」ことを条件として付加 	

※1：佐呂間竜巻のフジタスケール（F 3）に基づく。

※2：車種不明のため、トヨタカローラを仮定。

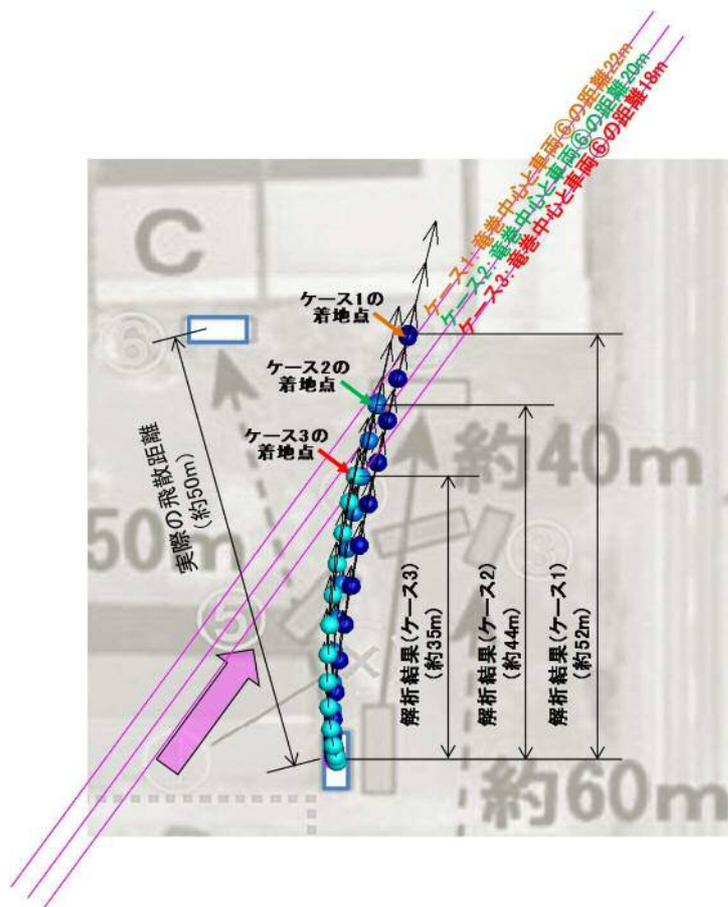
乗用車と竜巻中心との距離を 18m、20m 及び 22m とした場合の解析結果を、第 6.3-4 表及び第 6.3-3 図に示す。飛散距離については、ケース 1 で概ね合致している。

飛散方向については、飛び出し方向は概ね合致しているものの、最終的な着地点には多少のずれが生じている。これは乗用車（白）が建物（A 棟）に近接して駐車していたため、この建物の倒壊の影響を受けて飛散方向のずれが生じたものと推定される。

なお、赤い乗用車（第 6.3-1 図の③）について評価した場合は、竜巻中心との距離が大きいため飛散しない結果となった。ただし、実際には、赤い乗用車は全壊、飛散したプレハブ建物（軽量鉄骨造 2 階建、第 6.3-1 図の A）の直ぐ下流側に駐車しており、その瓦礫の影響を受けて一緒に移動したものと考えられる。

第 6.3-4 表 佐呂間竜巻による乗用車の飛散解析結果

ケース	車両と竜巻中心との距離	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度
1	22 m	51.9 m	3.6 m	28.9 m/s
2	20 m	43.5 m	3.4 m	24.7 m/s
3	18 m	34.7 m	2.9 m	21.1 m/s



第 6.3-3 図 フジタモデルによる乗用車の飛散解析結果⁽²³⁾

(別文献⁽²⁸⁾の写真に軌跡を加筆)

(2) 今回の飛散解析手法による検証

ここでは、今回の飛散解析手法で、前述の佐呂間竜巻における 4t トラック及び乗用車の被災事例を評価し、実際の被災状況（飛散距離等）と比較する。

a. 4tトラックの飛散解析

解析条件について第 6.3-5 表に示す。竜巻条件としては、最大風速を 92m/s とし、その他の特性量については、竜巻影響評価ガイドに例示されている方法に従い、移動速度 V_{tr} を 14m/s（最大風速の 15%）、竜巻コア半径 R_m を 30m とした。

第 6.3-5 表 今回の飛散解析手法に基づく計算条件

竜巻条件	設計竜巻風速	92 m/s
	最大接線風速	78 m/s
	移動速度	14 m/s
	コア半径	30 m
飛来物条件	トラック（第 6.3-1 表）に同じ	
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> 物体個数：51×51 台を、最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 ($x, y = [-2R_m, +2R_m]$) に等間隔配置。 設置高さ：0 m（地上） 	

第 6.3-6 表に実際の被災状況と、今回の飛散解析手法による結果との比較を示す。また、第 6.3-4 図に被災後の 4t トラックの状況を示す。

フジタモデルによる評価結果として、4t トラックの最大飛散速度は 36m/s、最大飛散高さは 3.6m、最大飛散距離は 63.4m となった。

実際の 4t トラック飛散距離は約 40m であり、フジタモデルによる評価結果はこれを上回った。また、飛散高さや最大水平速度については、直接の比較は出来ないものの、4t トラックの乗員 2 名が存命であったこと、被災後の 4t トラックがほぼ元の外形を留めていることなどから、今回の飛散解析手法で評価をした場合でも、実際の被災状況と比較して妥当な結果となるものと考えられる。

なお、参考として同様の検証をランキン渦モデルでも実施した。ランキ

ン渦モデルによる評価では、最大飛散高さ、最大飛散距離ともに実際の被災状況と比較して非常に保守的な結果となっていることが分かる。

第 6.3-6 表 実際の被災状況と今回の飛散解析手法による評価結果
(4t トラック)

風速場モデル	初期 物体高さ	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ※ ²	最大水平速度
フジタモデル	0 m (地上)	63.4 m	3.6 m	36.0 m/s
ランキン渦モデル 【参考】	0 m (地上※ ¹)	193.7 m	11.7 m	43.9 m/s
	40 m	254.9 m		
実際の被災状況	0 m (地上)	約 40 m	乗員 2 名が存命で、病院にて聞き取り調査が可能であったことから ⁽²⁷⁾ 、3.6m を超える高さからトラックが落下したとは考え難い	トラックは概ね外形を留めていることから、36m/s (約 130km/h) を超える飛散速度であったとは考え難い。

※1：比較のため、フジタモデルと同条件とした。

※2：初期物体高さからの飛散（浮上）高さ。



第 6.3-4 図 竜巻による被災後の 4 t トラックの様子⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾

b. 乗用車（白）の飛散解析

4tトラックの場合と同様に、今回の飛散解析手法で乗用車の評価を行った結果を第6.3-7表に示す。

乗用車の場合も、フジタモデルによる評価が、実際の被災状況を包含する結果となっている。

第6.3-7表 実際の被災状況と今回の飛散解析手法による評価結果（乗用車）

風速場モデル	初期 物体高さ	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ※2	最大水平速度
フジタモデル	0 m（地上）	82.3 m	4.2 m	44.1 m/s
ランキン渦モデル 【参考】	0 m （地上※1）	269.6 m	39.4 m	49.6 m/s
	40 m	305.8 m		
実際の被災状況	0 m（地上）	約50 m	—	—

※1：比較のため、フジタモデルと同条件とした。

※2：初期物体高さからの飛散（浮上）高さ。

7. 飛散以外の挙動に対する考慮

前節までで、飛来物の竜巻による挙動のうち、飛散に関する評価手法について説明をしたが、実際の竜巻による飛来物の挙動としては、飛散だけではなく横滑りや転がりが発生することも考えられる。

本節では、横滑りや転がりの影響について、以下2点に分けて考察する。

- ・ 飛散する物体における横滑りや転がりの影響
- ・ 飛散しない物体における横滑りや転がりの影響

(1) 飛散する物体における横滑りや転がりの影響

「5.2 物体が受ける風速における保守性の考慮」に記載の通り、本検討においては、竜巻を直上に発生させる方法を採用していることから、実際には

横滑りや転がりを伴い移動する物体も強制的に高速域に配置され、浮上をして飛散することになる。この場合、空中では地面の摩擦力を受けないため、実際に比べて大きな水平速度が得られることになる。

また、浮上後に地面に衝突する場合は、運動エネルギーの大部分は物体や地面の変形、破損等で消費されることから、落下後の横滑りや転がりによる移動距離は実際には小さいものと考えられる。

「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較」における飛散した4tトラックや乗用車は、実際には飛散だけではなく横滑りや転がりを伴ったものと考えられるが、飛散解析より得られた飛散距離や最大水平速度は、実際の被災状況よりも保守的な評価となっていることから、飛散過程における不確実性を裕度として包含している。

(2) 飛散しない物体における横滑りや転がりの影響

飛散しない物体においても、竜巻による風荷重が静止摩擦力より大きい場合には、横滑りをする。また、横滑りをしない場合でも、風荷重によるモーメントが自重のモーメントよりも大きい場合には転がることになる。このように、竜巻により横滑りや転がりが生じる場合には、地面での摩擦力の影響を受けながら移動することから、移動距離や水平速度は十分に小さいものと考えられる。

また、物体と竜巻防護施設の間に障害物となるフェンス等がある場合には、横滑りや転がった物体が竜巻防護施設に到達することは阻止される。

以上より、飛散しない物体が、障害物の影響を受けずに、横滑りや転がりによって竜巻防護施設と衝突することが想定される場合については、横滑りや転がった物体の影響が設計飛来物の影響に包含されることを確認し、包含されない場合には固縛等の措置を実施する。固縛等の措置にあたっては、フ

ジタモデルの風速場より求まる風荷重や地面での摩擦力を適切に考慮した上で、設計用荷重を設定する。

8. まとめ

フジタモデルは、米国NRCの要望により実際の竜巻観測記録を基に考案された風速場モデルであり、米国DOEの重要施設に対する設計基準の作成の際にも用いられている。フジタモデルは、他のモデルではできなかった地上からの物体の浮上を現実的に評価することができる点が大きなメリットである。これは、「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較」の「(1)竜巻特性や飛来物(4tトラック及び乗用車)の状況を現実的に設定した場合の再現解析」において、フジタモデルを風速場とした飛散解析結果が実際の飛散状況と概ね合致していることから確認できる。

また、フジタモデルにより算出される風速(V_w)は、飛来物の飛散評価のインプットとして用いるものであり、設計竜巻の最大風速の算出にあたっては保守性を確保したうえで、「5. 飛散解析における保守性の考慮」のとおり、竜巻を多数の物体の直上に瞬時に発生させて物体が最大風速を受けるような初期条件を用いる等の評価手法により、不確実性も含めて飛来物速度等を保守的に評価できるようにしている。

これにより、「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較」の「(2)今回の飛散解析手法による検証」では、本評価手法を用いることで、フジタモデルにおいても実際の飛散状況に対し保守性を有した妥当な結果となることを確認している。

地上からの浮上、飛散評価を行うことのメリットは、発電所敷地内に数多く存在する物品の中から、竜巻による飛来物化の影響度合いを、浮上の有無の観点を含めより正確に把握できることである。竜巻飛来物の影響(浮上の有無、

飛散高さ、飛散距離、最大速度等)を正確に捉えることにより、飛来物発生防止対策や評価対象施設の防護対策の範囲や強度について、適切な保守性を確保した上で実効性の高い竜巻防護対策を実施することが可能になると考えられる。

評価全体として一定の保守性を確保しつつ、適切な竜巻対策によりプラント全体の安全性を向上させるため、竜巻影響評価における物体の浮上、飛散評価については、フジタモデルを適用することとする。

<参考文献>

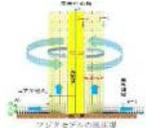
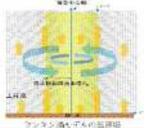
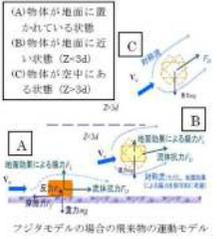
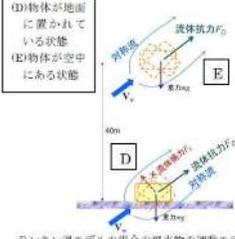
- (1) U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.76: Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1, March 2007.
- (2) Simiu, E. and Cordes, M., Tornado-Borne Missile Speeds, NBSIR 76-1050, 1976.
- (3) 東京工芸大学 (2011) : 平成21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構
- (4) Fujita, T. T., Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications, U. Chicago, 1978.
- (5) Karen A. Kosiba and Joshua Wurman, 2013: The Three-Dimensional Structure and Evolution of a Tornado Boundary Layer. *Wea. Forecasting*, 28, 1552-1561.
- (6) 数値的に生成された竜巻状の渦の性質, 平成 2 1 年度京都大学防災研究所研究発表要
- (7) Maruyama, T., Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol.99(4), pp.249-256, 2011.
- (8) U.S. Department of Energy, Natural Phenomena Hazards Design and Evaluation Criteria for Department of Energy Facilities, OE-STD-1020-2002, 2002.
(<http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0302/ML030220224.pdf>)

-
- (9) Malaeb, D. A., Simulation of tornado-generated missiles. M.S. thesis, Texas Tech University, 1980
- (10) P.-H. Luan, Estimates of Missile Speeds in Tornadoes, M.S. thesis, Texas Tech University, 1987.
- (11) J. R. McDonald, Rationale for Wind-Borne Missile Criteria for DOE facilities, UCRL-CR-135687, Lawrence Livermore National Laboratory, 1999.
(<https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/236459.pdf>)
- (12) McDonald, J. R., T. Theodore Fujita: His contribution to tornado knowledge through damage documentation and the Fujita scale. Bull. Amer. Meteor. Soc., 82, pp.63-72, 2001
- (13) NUREG-1827 Safety Evaluation Report for the National Enrichment Facility in Lea County, New Mexico (Docket No. 70-3103)
- (14) 江口讓, 杉本聡一郎, 服部康男, 平口博丸, 竜巻による物体の浮上・飛来解析コードTONBOSの開発, 電力中央研究所 研究報告N14002, 2014.
- (15) EPRI, Wind field and trajectory models for tornado-propelled objects, report NP-2898, 1978.
- (16) Schmidlin, T., B. Hammer, P. King, Y. Ono, L. S. Miller, and G. Thumann, 2002: Unsafe at any (wind) speed? Testing the stability of motor vehicles in severe winds. Bull. Amer. Meteor. Soc., 83, 1821-1830.
- (17) 林建二郎・大井邦昭・前田稔・斉藤良, 開水路中に水没設置された立方体及び棧粗度の流体力, 土木学会論文集B1(水工学) Vol. 67, No. 4, I_1141-I_1146, 2011.

-
- (18) 松宮央登, 中岡宏一, 西原 崇, 木村吉郎: 太陽光発電パネルに作用する空気力の地面効果に関する風洞実験, 構造工学論文集, Vol. 60A, pp. 446-454, 2014.
- (19) M.R. Ahmed, S.D. Sharma, An investigation on the aerodynamics of a symmetrical airfoil in ground effect, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 29, pp. 633-647, 2005.
- (20) 山本晃一, 林建二郎, 関根正人, 藤田光一, 田村正秀, 西村晋, 浜口憲一郎, 護岸ブロックの抗力・揚力係数, 及び相当粗度の計測方法について, 水工学論文集, 第44 巻, pp1053~1058, 2000.
- (21) 江口 讓, 西原 崇, 水流動試験による電線の風荷重低減化のメカニズム解明, 電力中央研究所 研究報告U96050, 1997.
- (22) Lei, C., Cheng, L. and Kavanagh, K., Re-examination of the effect of a plane boundary on force and vortex shedding of a circular cylinder, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 80, pp. 263-286, 1999.
- (23) 江口讓, 杉本聡一郎, 服部康男, 平口博丸, 原子力発電所での竜巻飛来物速度の合理的評価法 (Fujita の竜巻モデルを用いた数値解析コードの妥当性確認),
- (24) Fujita, T. T., 1971: Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. SMRP Research Paper 91, University of Chicago, Chicago, IL, 42 pp
- (25) 日本保全学会 原子力規制関連事項検討会, 2015: 軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速および飛来物速度の設定に関するガイドライン (JSM-NRE-009)

-
- (26) Fujita, T. T., and J. R. McDonald, Tornado damage at the Grand Gulf, Mississippi nuclear power plant site: Aerial and ground surveys, U.S. Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR-0383, 1978.
- (27) 札幌管区気象台:平成18年11月7日から9日に北海道(佐呂間町他)で発生した竜巻等の突風. 災害時気象調査報告, 災害時自然現象報告書, 2006年第1号, 2006.
- (28) 奥田泰雄, 喜々津仁密, 村上知徳, 2006年佐呂間町竜巻被害調査報告. 建築研究所災害調査, 46, 2006.
- (29) 土木学会 平成18年11月北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査報告書

「フジタモデル」及び「ランキン渦モデル」並びに「それぞれの風速場モデルを用いた際の飛散解析手法」の比較

	フジタモデル（及び同モデルを用いた飛散解析手法）	ランキン渦モデル（及び同モデルを用いた飛散解析手法）																													
モデルの概要	 <ul style="list-style-type: none"> ・Fujitaにより実観測に基づき考案された竜巻風速場モデルであり、<u>実際に近い風速場構造を有する</u> ・半径方向に3つの領域（内部コア、外部コア及び最外領域）を有し、外部コアに上昇流が存在する ・接線風速や上昇風速に高さ依存性がある ・米国DOEの重要施設の基準において、竜巻飛来物の速度及び飛散高さの設定に使用 	 <ul style="list-style-type: none"> ・<u>簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現</u> ・上昇流は全領域に存在 ・<u>接線風速や上昇風速に高さ依存性がなく、地面から吹出しが生じる流れとなっている</u> (飛散評価を行う場合、<u>地上からの物体の浮上、飛散挙動を表現できない</u>ため、地上の物体であっても空中浮遊状態を仮定し評価することになる) ・米国NRC Regulatory Guide 1.76にて採用 																													
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・地面に置かれた物体へ影響を与える風速場をよく表現できており、地上からの物体の浮上、飛散解析が可能 →地上にある物体に対する力や挙動を表現するのに適しているモデルであり、<u>防護対策や固縛対策の範囲や強度について、実効性の高い対策とすることが可能。</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現可能 																													
デメリット	<p>特になし。 (ランキン渦モデルに比べ解析プログラムが複雑になるが、近年の計算機能力の向上や評価ツールの高度化により問題とならない)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・風速場に高度依存性がなく、上昇流が全領域に存在する（地面からも吹き出しがある）ため、<u>実現象から乖離しており、地上からの物体の浮上、飛散挙動を表現できない</u> →<u>地上における構造物に対し、過度に保守的な防護対策や固縛対策が必要となる。</u> 																													
主なパラメータ (設計竜巻の最大風速100m/sの場合)	<table border="1"> <tr> <td>竜巻の移動速度 V_T</td> <td>15 (m/s)</td> <td rowspan="3">評価ガイドの値や式が風速場モデルによらないことを確認のうえ、評価ガイドの値や式より算出</td> </tr> <tr> <td>最大接線風速 V_{Rm}</td> <td>85 (m/s)</td> </tr> <tr> <td>最大接線風速半径 R_m</td> <td>30 (m)</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>最大気圧低下量 ΔP_{max}</td> <td>76 (hPa)</td> <td rowspan="2">フジタモデルの圧力分布は複雑であるため、有限要素法の数値解析により算出</td> </tr> <tr> <td>最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$</td> <td>53 (hPa/s)</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>内部コア半径と外部コア半径の比 ν</td> <td>0.3</td> <td rowspan="2">Fujitaにより提案された経験式より算出</td> </tr> <tr> <td>流入層高さ H_i</td> <td>15 (m)</td> </tr> </table>	竜巻の移動速度 V_T	15 (m/s)	評価ガイドの値や式が風速場モデルによらないことを確認のうえ、評価ガイドの値や式より算出	最大接線風速 V_{Rm}	85 (m/s)	最大接線風速半径 R_m	30 (m)	最大気圧低下量 ΔP_{max}	76 (hPa)	フジタモデルの圧力分布は複雑であるため、有限要素法の数値解析により算出	最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$	53 (hPa/s)	内部コア半径と外部コア半径の比 ν	0.3	Fujitaにより提案された経験式より算出	流入層高さ H_i	15 (m)	<table border="1"> <tr> <td>竜巻の移動速度 V_T</td> <td>15 (m/s)</td> <td rowspan="3">評価ガイドの値や式より算出</td> </tr> <tr> <td>最大接線風速 V_{Rm}</td> <td>85 (m/s)</td> </tr> <tr> <td>最大接線風速半径 R_m</td> <td>30 (m)</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>最大気圧低下量 ΔP_{max}</td> <td>89 (hPa)</td> <td rowspan="2">フジタモデルの圧力分布は複雑であるため、有限要素法の数値解析により算出</td> </tr> <tr> <td>最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$</td> <td>45 (hPa/s)</td> </tr> </table>	竜巻の移動速度 V_T	15 (m/s)	評価ガイドの値や式より算出	最大接線風速 V_{Rm}	85 (m/s)	最大接線風速半径 R_m	30 (m)	最大気圧低下量 ΔP_{max}	89 (hPa)	フジタモデルの圧力分布は複雑であるため、有限要素法の数値解析により算出	最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$	45 (hPa/s)
竜巻の移動速度 V_T	15 (m/s)	評価ガイドの値や式が風速場モデルによらないことを確認のうえ、評価ガイドの値や式より算出																													
最大接線風速 V_{Rm}	85 (m/s)																														
最大接線風速半径 R_m	30 (m)																														
最大気圧低下量 ΔP_{max}	76 (hPa)	フジタモデルの圧力分布は複雑であるため、有限要素法の数値解析により算出																													
最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$	53 (hPa/s)																														
内部コア半径と外部コア半径の比 ν	0.3	Fujitaにより提案された経験式より算出																													
流入層高さ H_i	15 (m)																														
竜巻の移動速度 V_T	15 (m/s)	評価ガイドの値や式より算出																													
最大接線風速 V_{Rm}	85 (m/s)																														
最大接線風速半径 R_m	30 (m)																														
最大気圧低下量 ΔP_{max}	89 (hPa)	フジタモデルの圧力分布は複雑であるため、有限要素法の数値解析により算出																													
最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$	45 (hPa/s)																														
物体の浮上、飛散モデル	 <p>《物体の浮上、飛散モデル》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地面の存在により物体上面と下面の流れが非対象となることで生じる地面効果による揚力（左図A/B）と流れの速度方向に平行な抗力（左図A～C、但し地面付近では抗力の影響は小さい）を考慮し、地面に置かれた状態からの浮上高さや飛散速度等を評価 《揚力係数 C_{La}》 ・地面から浮き上がる際の物体挙動を理論的に評価することは困難であるため、<u>翼のような極端な形状を除き保守的となるよう、風洞実験の結果を踏まえ、代用の揚力係数を設定（物体の風の受け方や高度を変化させた場合でも、代用揚力係数が実測値より保守的になっていることを確認）</u> 	 <p>《物体の浮上、飛散モデル》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・物体に働く流れの速度方向に平均的な抗力（左図D/E）と自重の関係から、物体が飛来するか否かを判定し、飛来する場合には、風速場を表現できている空中浮遊状態からの浮上高さや飛散速度等を評価 《抗力係数 C_{DA}》 ・物体がランダム回転し、物体の各面に均等に力を受けるものとして、<u>抗力係数は3方向の平均値を設定</u> 																													
竜巻が物体に与える速度に関する設定	<ul style="list-style-type: none"> ・竜巻内の物体の場所依存性（風速場における竜巻風速の不均一性）を考慮し、<u>風速場における物体の中から、最大の飛散速度や飛散距離を設定</u> ・実際に竜巻が遠方から近づく場合には、最大風速より低い風速に曝された時点で飛散する可能性があるが、<u>物体を強制的に高速域に配置し、物体が瞬時に最大風速を受けるよう設定</u> 	<p>同左</p>																													

東海第二発電所及び先行プラントのフジタモデル及びランキン渦モデル適用状況

先行プラントと東海第二発電所における、フジタモデル及びランキン渦モデルの適用状況を下表のとおり整理した。

1. 東海第二と既許可PWRプラントの比較

- ・東海第二の基本的な方針は、「先行PWRの手法に対し、竜巻風速場を単純にランキン渦モデルからフジタモデルに置換する」というもの。
- ・東海第二で飛散解析の初期高さを個別設定するのは、風速が高さ方向に変化するフジタモデルの特徴を利用し、特に地表付近の物品の飛散をより合理的に評価したいという目的に応じた扱い。（先行プラントは、ランキン渦では飛散速度が初期高さに依存しないことも踏まえ、一律高さで評価したと推定される）

2. 東海第二と柏崎刈羽の比較

- ・気圧低下関係の評価は、東海第二では単に簡便のためランキン渦の式を採用。
- ・設計飛来物の設定では、柏崎刈羽は現地調査やその他想定飛来物をフジタモデルで飛散解析し、その中から設計飛来物を選定している。一方東海第二は竜巻影響評価ガイドに例示された物品を採用したため、設計飛来物の設定に際し、特に風速場を考慮していない。
- ・その他飛来物源の飛散解析における初期高さ扱いは、実際の状況を考慮し個々に定める、という意味で同等と考えられる。

: フジタモデルを適用 : ランキン渦モデルを適用

	東海第二	柏崎刈羽 6, 7 【審査中】	高浜1～4 美浜3 【認可済】	伊方3 【認可済】	川内1, 2 玄海3, 4 【認可済】
＜竜巻モデル＞					
設計竜巻の最大風速 V_D	100m/s	92m/s	100m/s	100m/s	100m/s
竜巻の移動速度 V_T	15m/s	14m/s	15m/s	15m/s	15m/s
最大接線風速 V_{Rm}	85m/s	78m/s	85m/s	85m/s	85m/s
最大接線風速半径 R_m	30m	30m	30m	30m	30m
最大気圧低下量 ΔP_{max}	89hPa ^{※1}	64hPa ^{※2}	89hPa	89hPa	89hPa
最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$	45hPa/s ^{※1}	42hPa/s ^{※2}	45hPa/s	45hPa/s	45hPa/s
内部コア／外部コア半径比 ν	0.3	0.3	—	—	—
流入層高さ H_i	15m	15m	—	—	—
＜飛散解析＞					
設計飛来物の設定	竜巻影響評価ガイドに例示の物品	想定飛来物のうち特性値最大の物	竜巻影響評価ガイドに例示の物品	竜巻影響評価ガイドに例示の物品	竜巻影響評価ガイドに例示の物品
飛来物源の飛散解析における初期高さ	—	現場確認値（仮設物は想定最大値）	—	—	—
その他飛来物源の飛散解析における初期高さ	現物の高さに合わせ都度設定	同上	40m	40m	40m

注：他プラントの状況は、当社調べによる。

※1：簡便で保守側となる、ランキン渦モデルベースの評価式（竜巻影響評価ガイド）を用いた。

※2：フジタモデルの風速場に基づく数値解析にて算出。

東海第二発電所

外部火災影響評価について

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

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	5
2.2 近隣の産業施設の火災・爆発	16
2.3 航空機墜落による火災	31
2.4 二次的影響	37

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

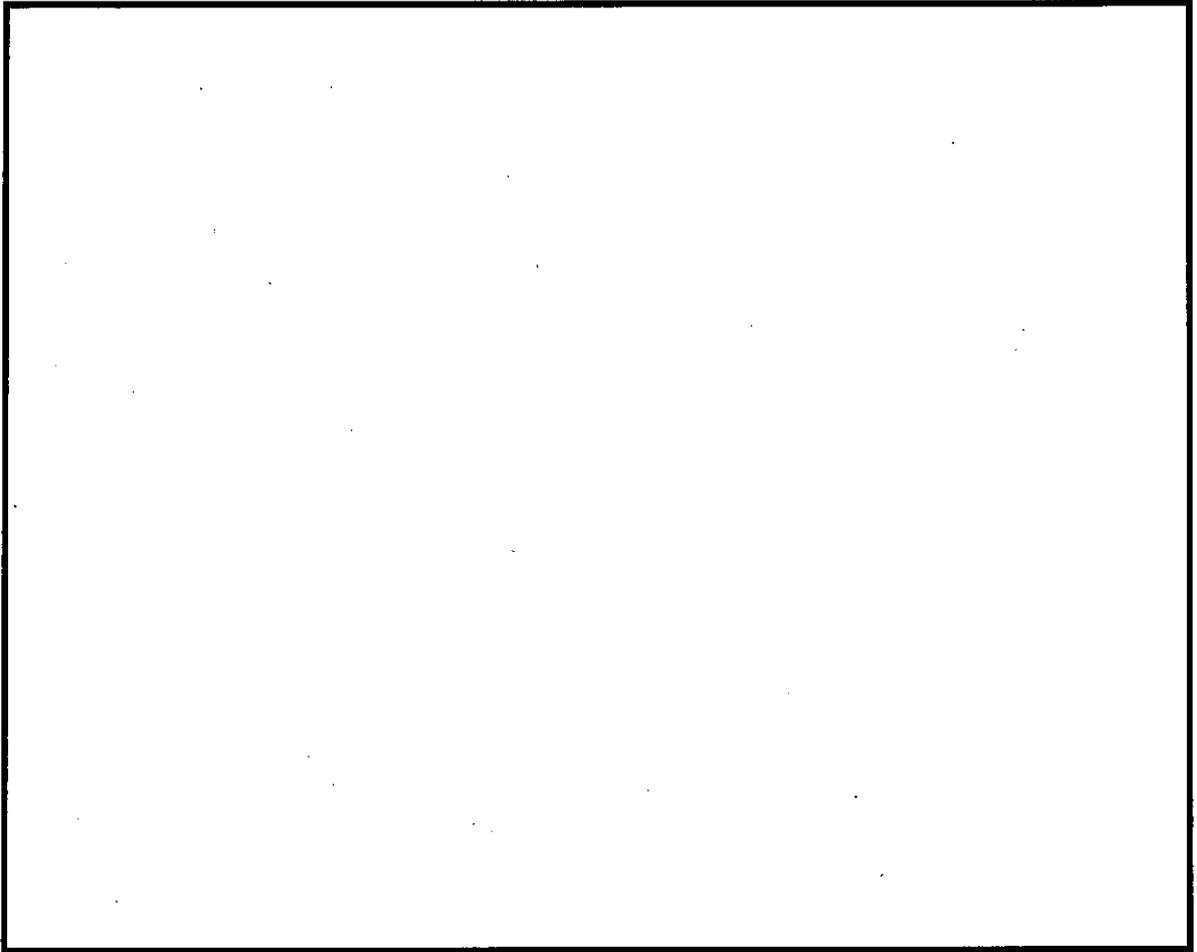
火災種別	考慮すべき火災	評価内容	評価項目	
森林火災	発電所敷地外 10km 以内に発火点を設定した発電所に迫る森林火災	<ul style="list-style-type: none"> 森林火災シミュレーション解析コード (FARSITE) を用いた森林火災評価 森林火災評価に基づく評価対象施設への影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 火炎の到達時間 防火帯幅 熱影響 危険距離 	二次的影響 (ばい煙等, 有毒ガス)
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外 10km 以内の石油コンビナート等の火災・爆発	<ul style="list-style-type: 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 外部火災に対する影響評価対象施設配置図

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) 火災の到達時間
- (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FARSITE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、12 月の南西、卓越風向は、水戸地方気象台観測データの最多割合を占める北と、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 号線を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し、国道 245 号線沿いの霊園に設定。

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 284 号線沿いの水田に設定。

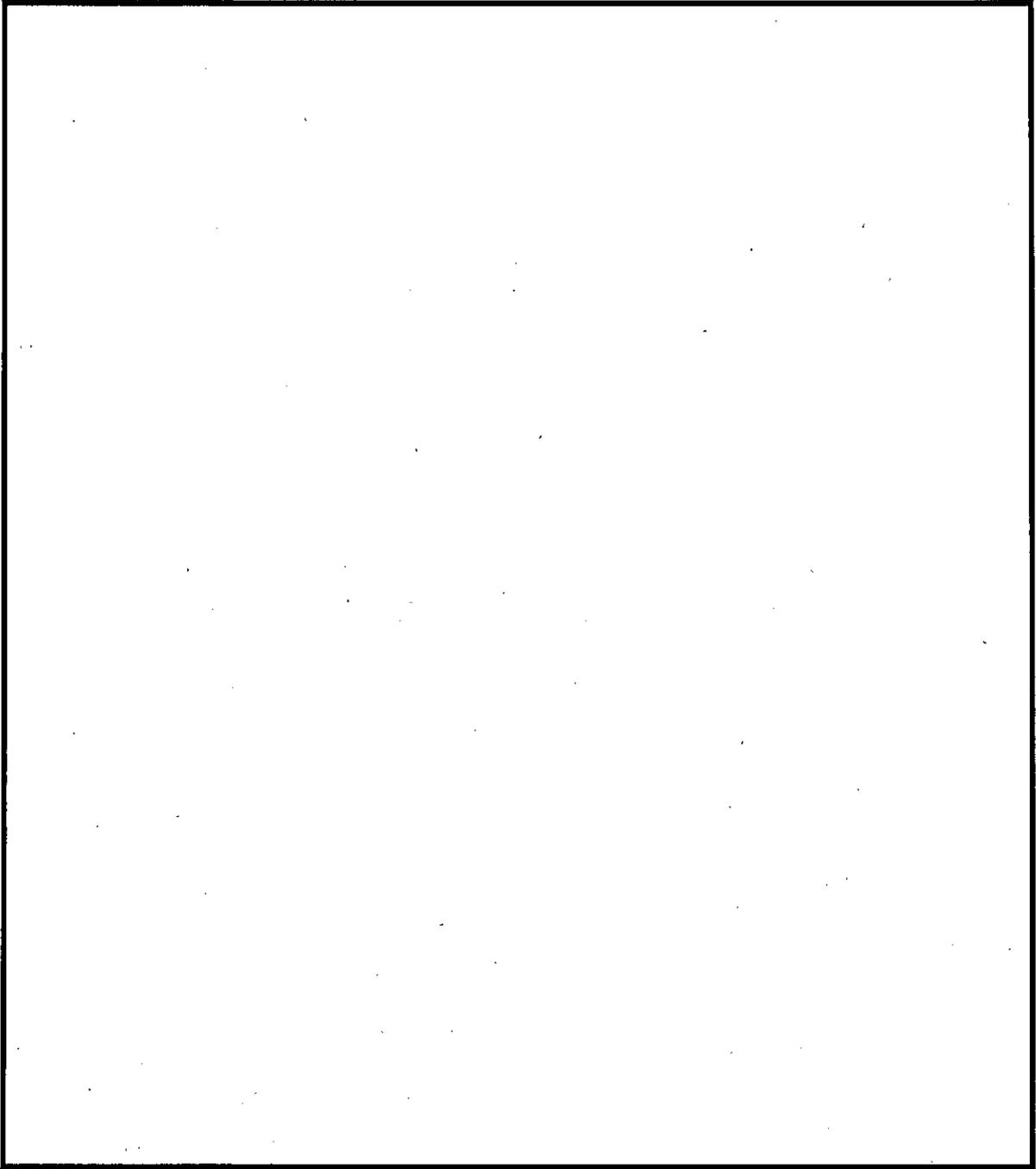
発火点 4：卓越風向である北方向で、釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し、発火点 2 より遠方となる海岸沿いに設定。

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 245 号線沿いに設定。

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)	0.32	2.8	0.9	5.9	6.4	4.3	0.26

(2) 初期消火活動及び体制

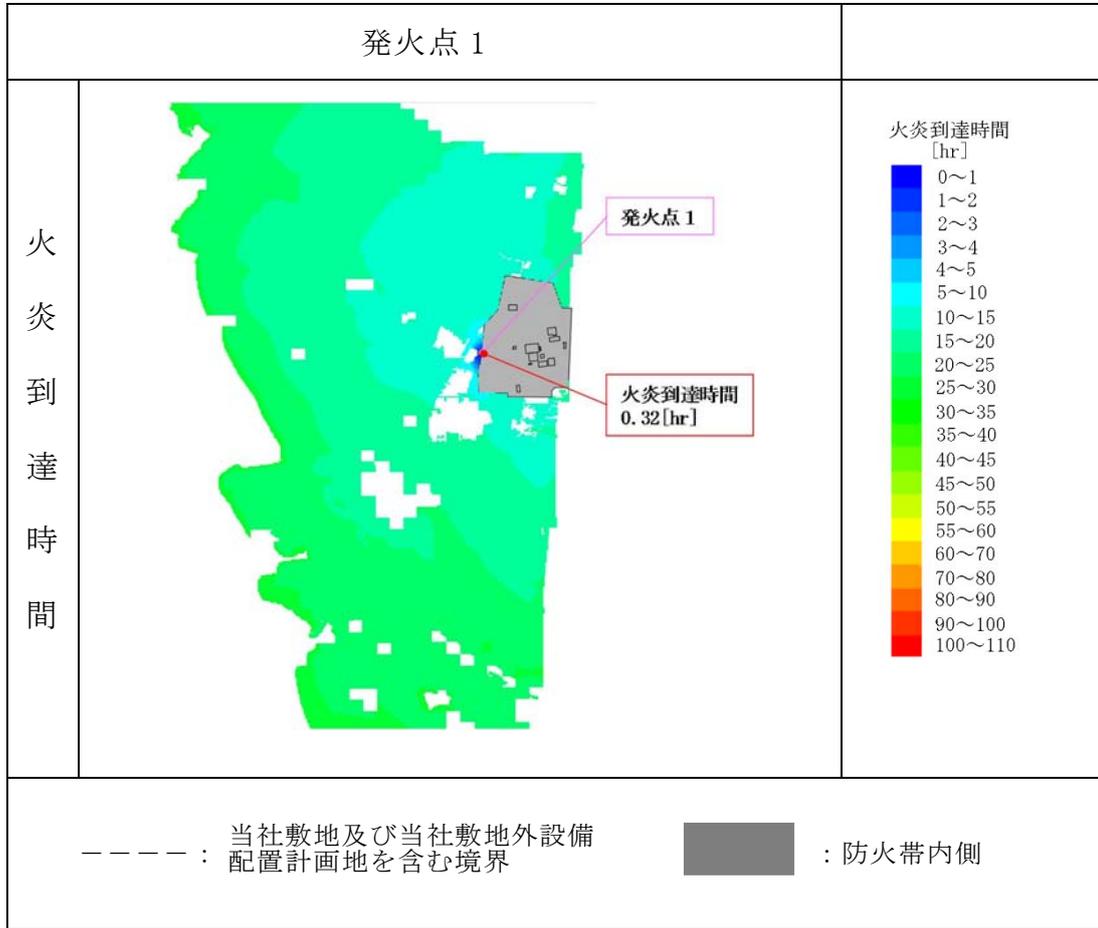
発電所の大部分は防潮堤に囲われ、この防潮堤が防火帯と障壁の両役割を果たし、飛び火が防火帯を突破することはない。このため、発電所周圍で森林火災が発生した際は、防潮堤に囲われていない範囲への散水を優先することとし、防潮堤に囲われていない範囲へ最も早く火炎が到達する発火点 1 を対象に、火炎到達時間に対する評価を行う。発火点 1 の火炎到達時間分布を第 2.1.3.1-2 表に示す。防潮堤に囲われていない範囲の防火帯外縁に到達する最短時間は、発火点 1 の 0.32 時間（19 分）であるため、この時間以内で散水が可能であることを確認する。

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、0.32 時間（19 分）時間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

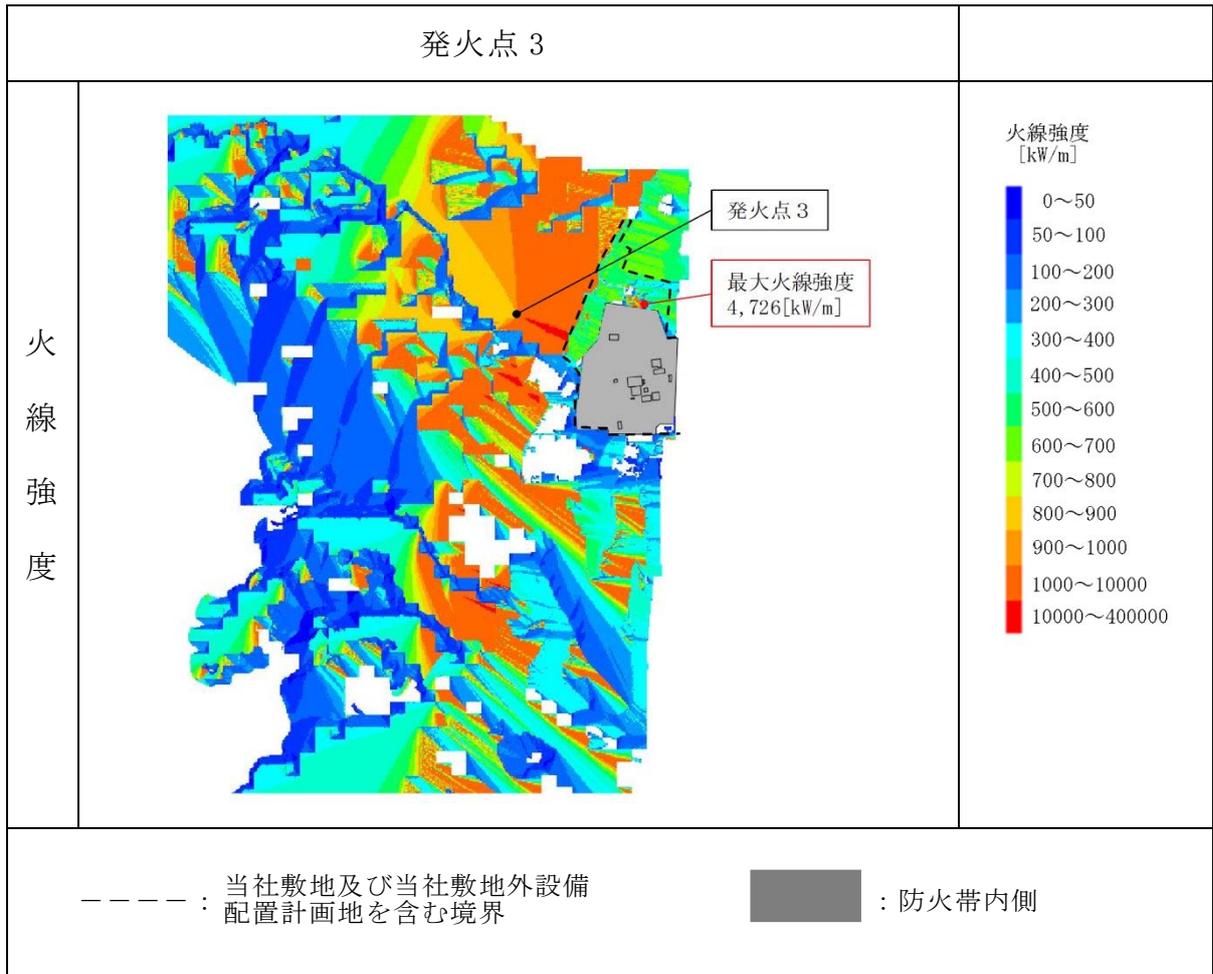
(1) 最大火線強度

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 (4,726kW/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)	4,705	1,565	4,726	3,522	2,078	2,614	594

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（4,726kW/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 20.0m に対し，森林火災の延焼を防止するために，21m の防火帯を設定する。

(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

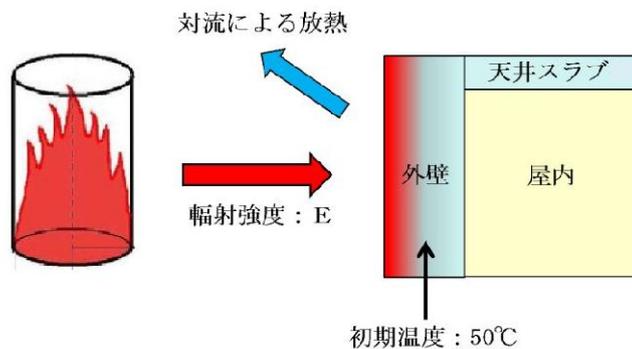
F A R S I T E解析結果である火炎到達時間，反応強度，火炎長から，温度評価に必要なデータを算出し，熱影響評価を行った結果，対象施設に影響が無い事を確認した。

(1) 影響評価対象施設外壁

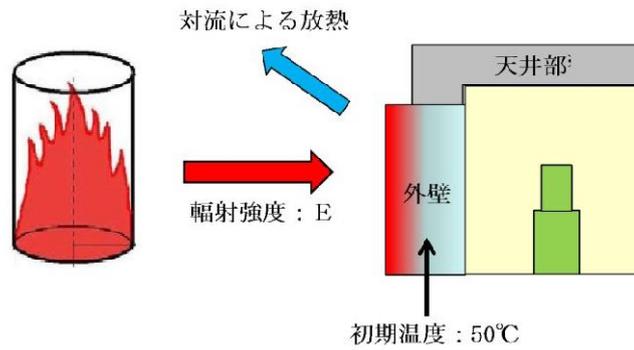
森林火災によって上昇するコンクリート外壁表面温度が，許容温度200℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.1.3.3-1 表に，建屋外壁の評価概念図を第 2.1.3.3-1 図に，海水ポンプ室の評価概念図を第 2.1.3.3-2 図に示す。

第 2.1.3.3-1 表 外壁に対する熱影響評価結果

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	52	52	52	52	52	52	52	< 200
海水ポンプ室	51	51	52	52	51	51	52	
タービン建屋	51	51	51	51	51	51		
使用済燃料乾式貯蔵建屋	76	80	79	80	76	79	84	



第 2.1.3.3-1 図 建屋外壁の評価概念図



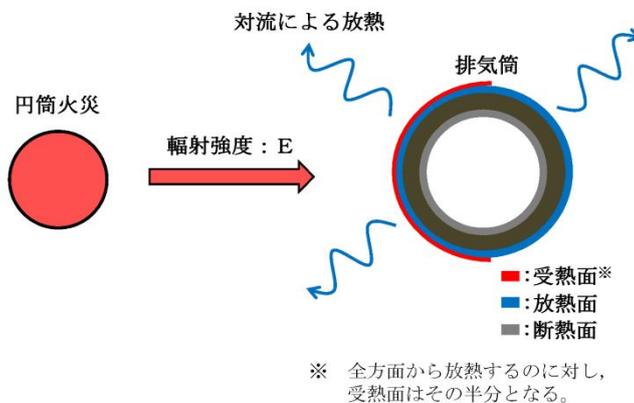
第 2. 1. 3. 3-2 図 海水ポンプ室の評価概念図

(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 排気筒に対する熱影響評価結果

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	52	52	52	52	52	52	52	< 325



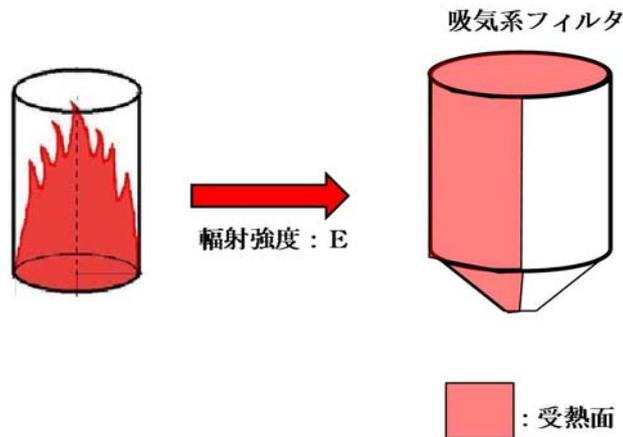
第 2. 1. 3. 3-3 図 排気筒の評価概念図

(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吸気系フィルタ（以下「D/G 吸気フィルタ」という。）に流入する空気の温度が、許容温度 53℃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	48	48	48	48	48	48	48	< 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

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

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 外壁に対する危険距離

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	13	15	14	14	13	14	16	258
海水ポンプ室	13	15	14	14	13	14	16	279
タービン建屋	13	15	14	14	13	14	16	315
使用済燃料乾式貯蔵建屋	13	15	14	14	13	14	16	38

(2) 排気筒

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	15	14	19	19	15	16	16	257

(3) ディーゼル発電機吸気系フィルタ

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	6	6	8	8	6	7	6	258

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、原子炉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、原子炉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）に設置されている危険物貯蔵施設のうち、発電所に影響を及ぼす恐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 以内には、第 4 類危険物を貯蔵する石油類貯蔵施設が約 500 カ所（屋内貯蔵及び少量のものは除く）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。

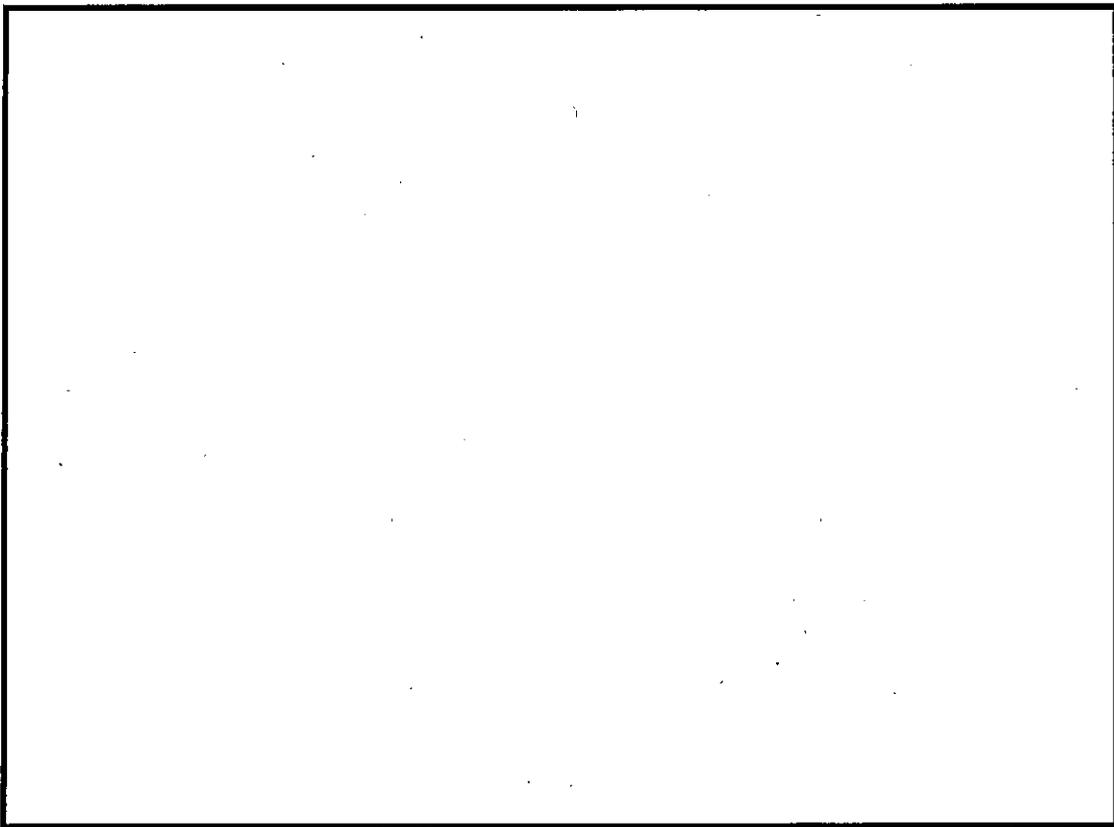
- (a) 熱影響が最大となる仮想危険物貯蔵タンク（n-ヘキサン^{※1}を 10 万 kL^{※2}貯蔵）を想定し、その危険距離を算出した結果、1,329m となった。

※1：評価ガイドに記載の第 1 石油類の中で最も輻射発散度が高い物質

※2：「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

(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石油類貯蔵施設を第 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）に位置する石油類貯蔵施設

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（LNGタンク、LPGタンク）を抽出した。発電所に爆発影響が及ぶ可能性のある敷地外の高圧ガス貯蔵施設位置を第2.2.2.2-2図に示す。



第2.2.2.2-2図 発電所に爆発影響が及ぶ可能性のある敷地外の高圧ガス貯蔵施設

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 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)
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. 対象貯蔵施設の抽出

東日本大震災で爆発火災が起きた加圧貯蔵型のLPGタンク（発電所敷地外半径 10km 以内に存在するタンク）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。

b. 爆発飛来物の影響評価結果

抽出した加圧貯蔵型のLPGタンクについて評価した結果、各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

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 号線での燃料輸送車両（以下「タンクローリー」という。）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タンクローリーについて評価を行う。

b. 火災の影響評価結果

対象車両について評価した結果、各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)
タンク ローリー	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タンクローリー（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 爆風圧の影響評価結果

想定爆発源	燃料種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
LNG ローリー	メタン	15.1	81	450
LPG ローリー	プロパン	15.1	88	

※：国道 245 号線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

タンクローリー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。

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

高圧ガス貯蔵施設に [] と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、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 2.2.2.4-1 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		900
			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	213	1,100
			原子炉建屋	54	300
			海水ポンプ室		70
			タービン建屋		270
			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	70	300

※： [] と比較して少量のため、 [] の影響評価に包絡される。

(2) 爆風圧の影響評価

a. 対象船舶

高圧ガス貯蔵施設に

について評価を行う。

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。

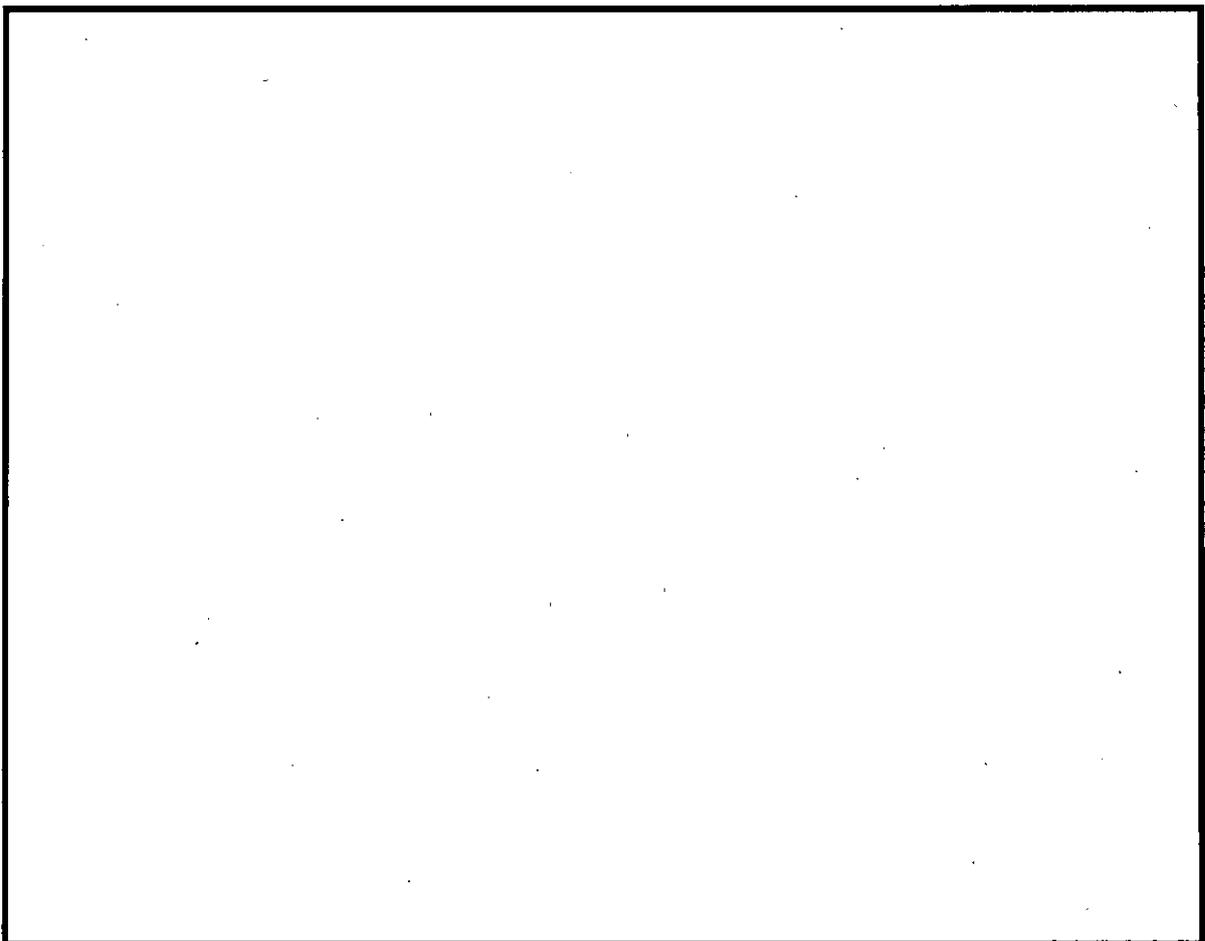
2.2.2.5 敷地内の火災・爆発（添付資料-6）

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。

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設置位置

(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

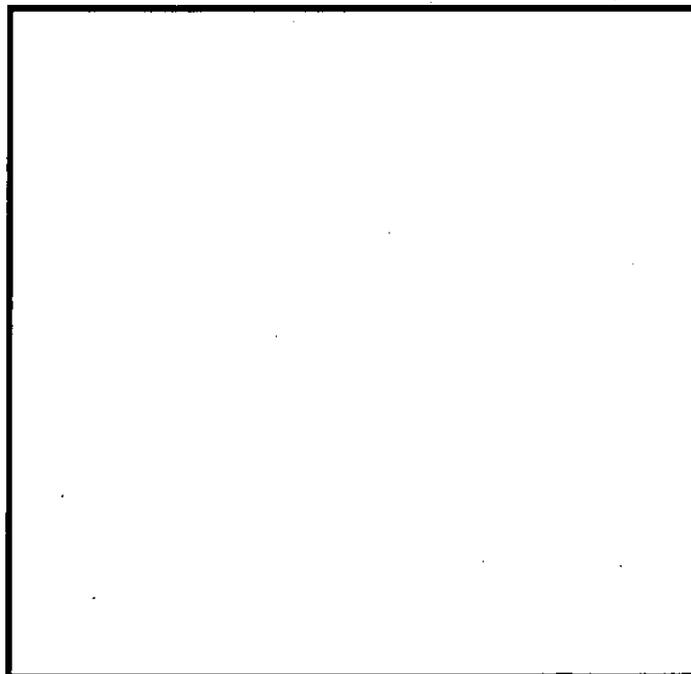
想定爆発源	影響評価対象施設	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
水素貯槽	タービン建屋	7	35

※：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 及び起動変圧器 2 B とした。また、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. 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	171	<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毎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。

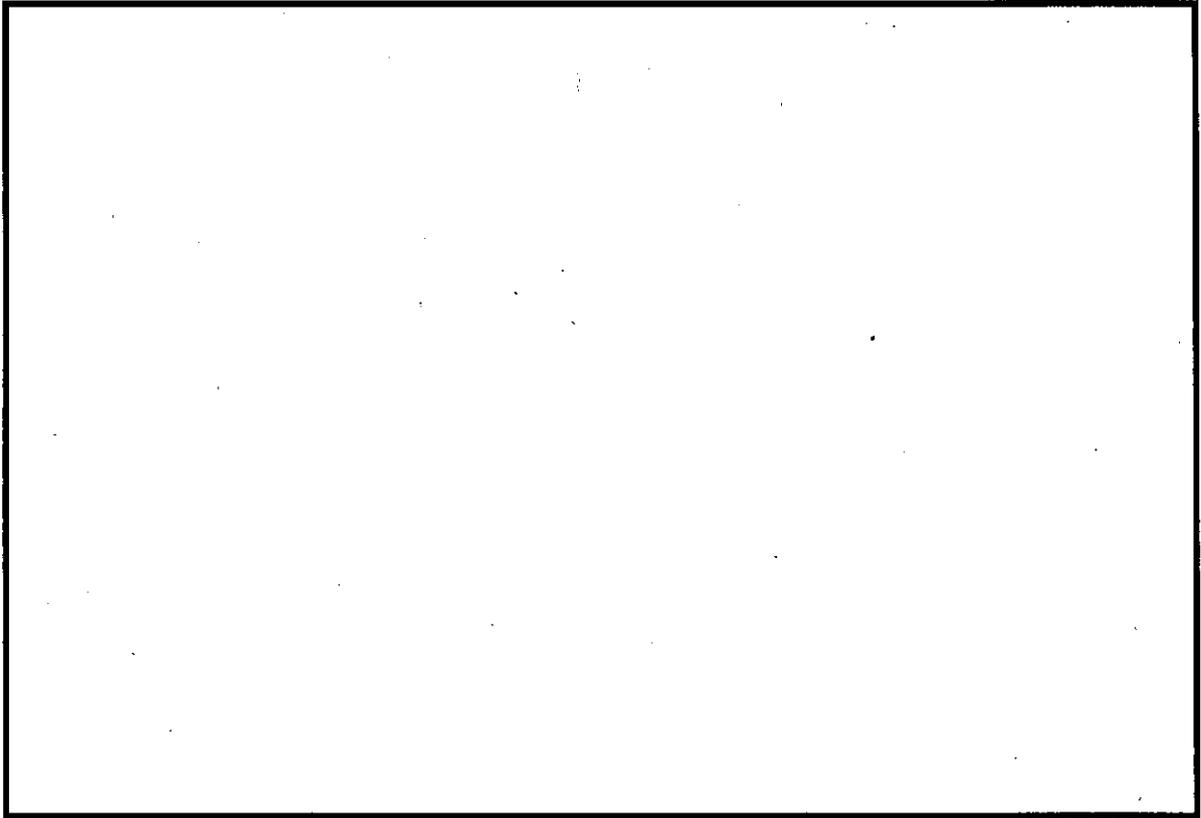
第2.3.2.2-1表 各カテゴリの離隔距離及び輻射強度

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	171	117	
	② 航空路を巡航中	B747-400	1,989	—※1	
2) 有視界飛行方式民間航空機	③ 大型機	B747-400	192	592	
	④ 小型機	Do228-200	73	—※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	187	419
		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	41	—※3
	⑥ 基地-訓練空域間往復時	F-15	30	1,748	

※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	評価温度※ (℃)	許容温度 (℃)	
1) 計器飛行方式 民間航空機	①飛行場での離着陸時	B737-800	54	< 200	
2) 有視界飛行方式 民間航空機	③大型機	B747-400	68		
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		62
	⑥基地－訓練空域間往復時	F-15	97		

※: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	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
1) 計器飛行方式民間航空機	①飛行場での離着陸時	B737-800	54	< 325
2) 有視界飛行方式民間航空機	③大型機	B747-400	68	
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	63	
	⑥基地－訓練空域間往復時		F-15	

(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℃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	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	48	< 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	49	
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	48	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	

2.3.2.4 危険物貯蔵施設火災と航空機墜落火災の重畳

危険物貯蔵施設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。想定する危険物貯蔵施設は熔融炉灯油タンク、航空機は対象航空機の中で最も熱影響が大きいF-15とした。

また、輻射強度と燃焼継続時間はそれぞれ保守的に、危険物貯蔵施設火災と航空機墜落火災の合計値で評価を行った。評価結果を第2.3.2.4-1表に示す。

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	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 及び F-15	原子炉建屋	124	<200
	海水ポンプ室	114	
	排気筒	141	<325

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，影響が想定される系統及び機器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		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 表，第 2.4.2-3 表，第 2.4.2-4 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

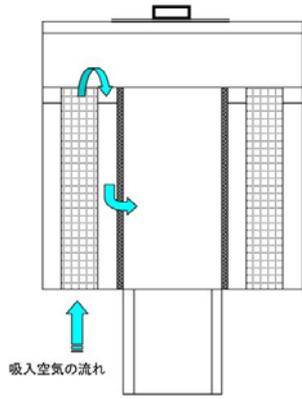
時間	12 時間	24 時間	48 時間	73 時間
酸素濃度	20.63%	20.31%	19.67%	19.0%

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 時間
炭酸ガス濃度	0.25%	0.48%	0.93%	1.0%

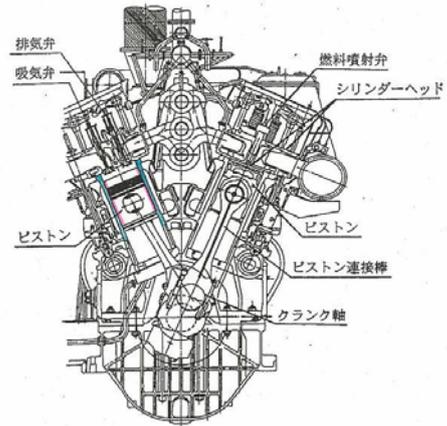
第 2.4.2-4 表 火災発生による有毒ガス濃度

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	5,224	70	11	12
判断基準 : IDLH		40,000	1,200	100	20



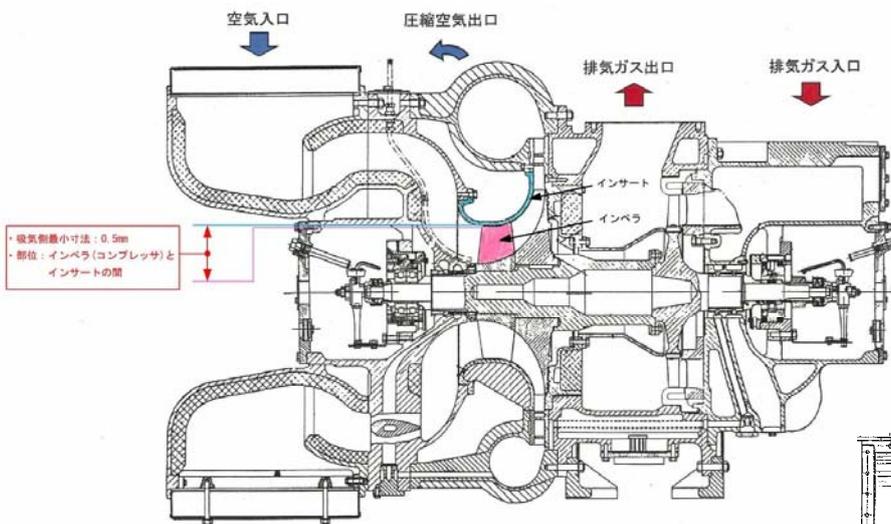
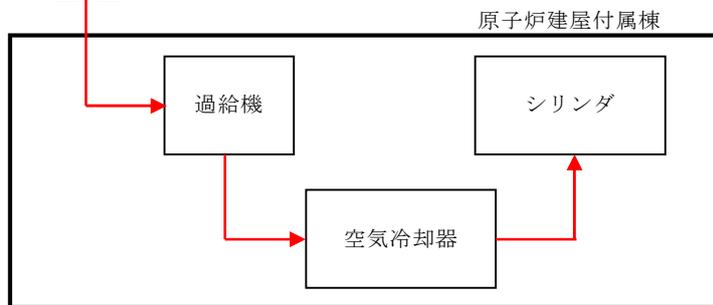
フィルタ構造

フィルタ

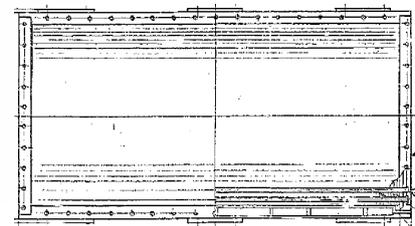


シリンダ構造

(シリンダ/ピストン間隙：数 μm ~数十 μm)



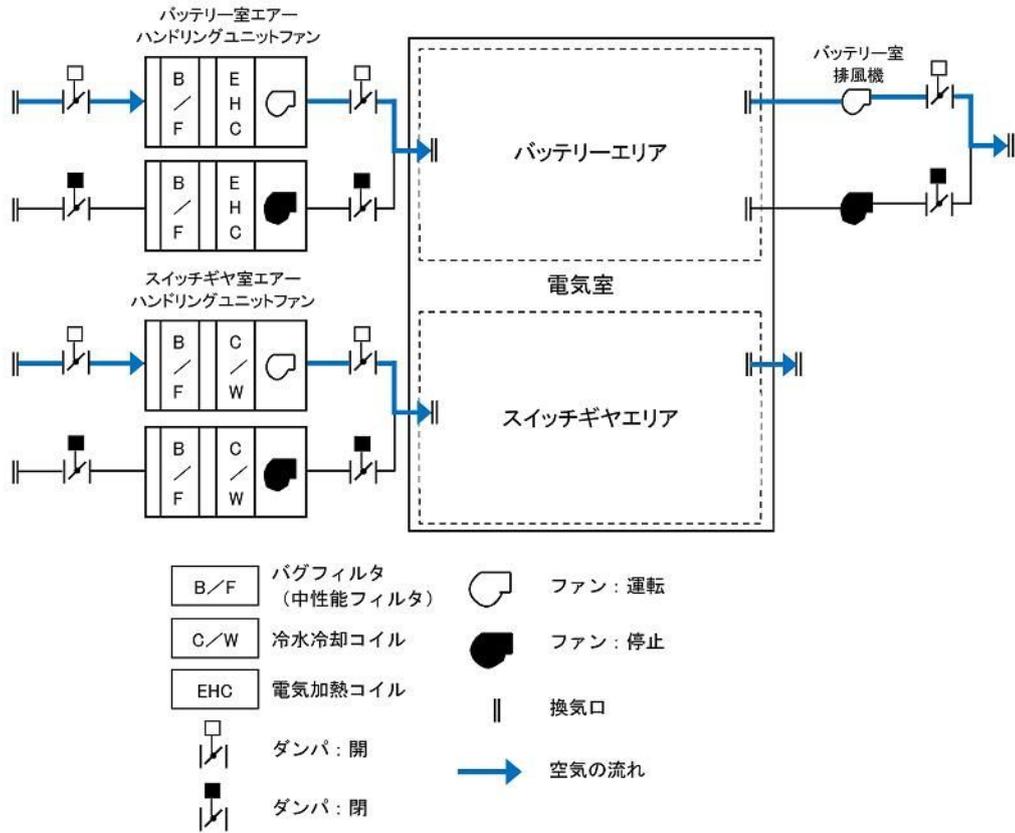
過給機断面



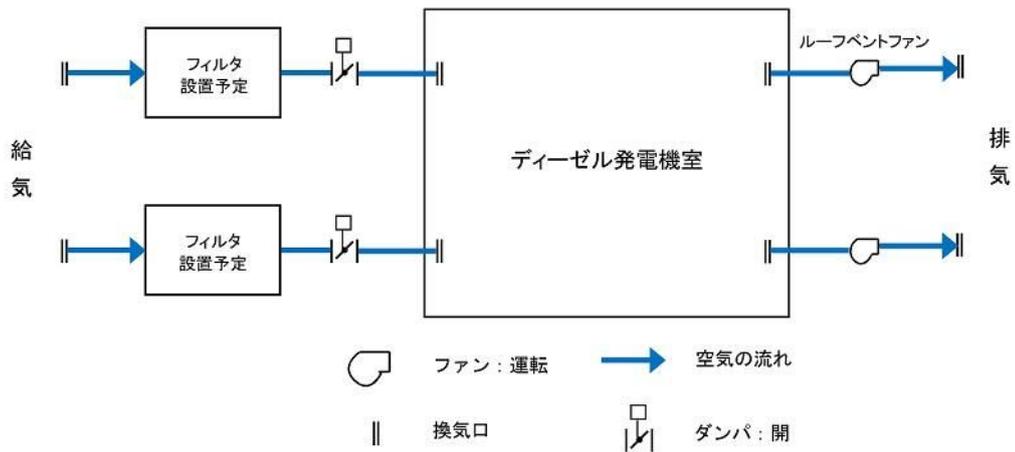
空気冷却器構造

(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



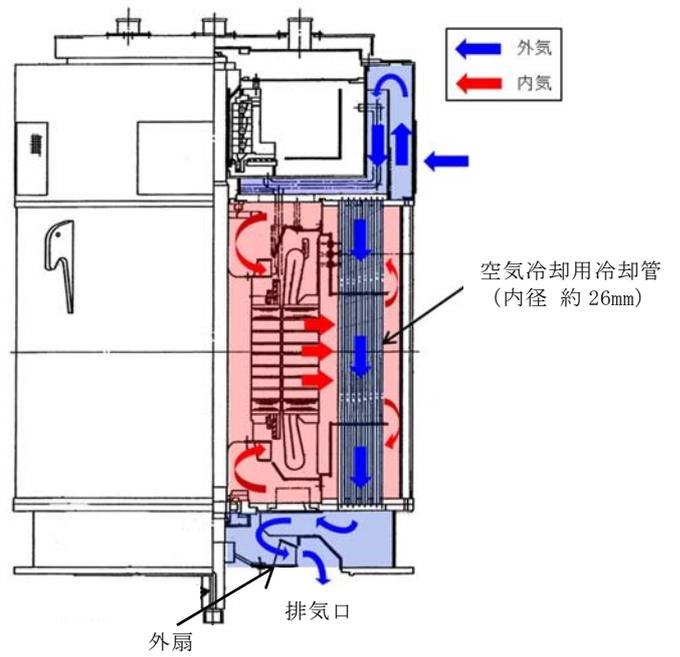
第 2.4.2-4 図 電気室換気系の系統概略図



第 2.4.2-5 図 ディーゼル発電機室換気系の系統概略図



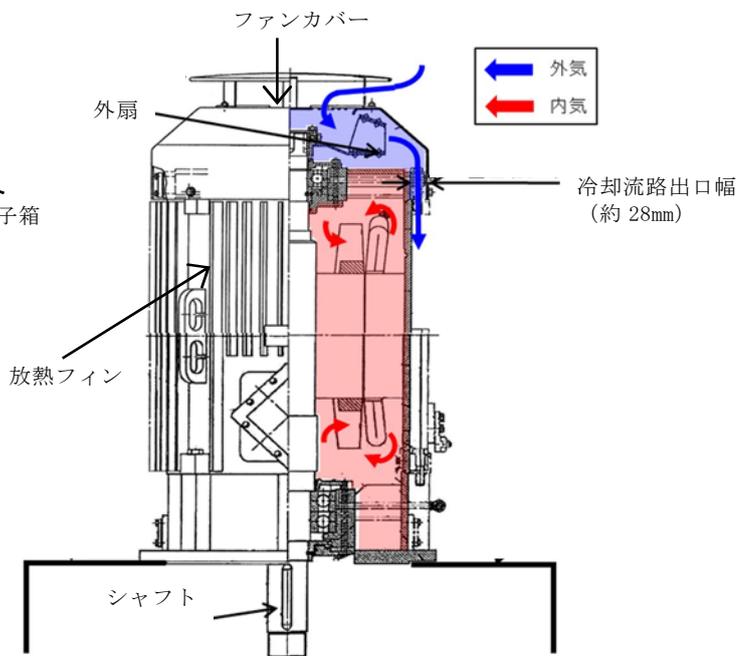
端子箱



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停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却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いため、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損は、著しい損傷を引起こすが、過度性の放射物のおおきい構造及び機器	1) 原子炉冷却材を内蔵する炉心冷却材圧力容器及び炉心冷却材圧力容器の破損は、著しい損傷を引起こすが、過度性の放射物のおおきい構造及び機器	主蒸気系 (格納容器隔離弁の外側のみ)	○	○ (タービン建屋)	○	※2	
			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)	○		○		
	2) 通常運転時及び過渡時に要するもので、放射性物質を貯蔵する機能	1) 安全弁及び逃がし止り機能	使用済燃料プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む。)	○		○		
			使用済燃料乾式貯蔵容器	○		○		
			燃料取扱設備 ・燃料交換機 ・原子炉建屋クレーン等	○		○		
2) 通常運転時及び過渡時に要するもので、放射性物質を貯蔵する機能	1) 安全弁及び逃がし止り機能	逃がし安全弁 (吹き止り機能に関連する部分)	○		○			

※1: 原子炉建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋。

※2: 主蒸気系 (格納容器隔離弁の外側のみ) の破損により、周辺の公衆に対し、著しい被ばくリスクを与えない (別紙 1.1) ことから、影響評価対象外とし、「タービン建屋外壁」、「防火帯幅の確保」及び「消火活動」により防護を図る。

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公衆に与える放射線の影響を小さくする構築物, 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			○ (タービン建屋)	※2	※2	
	排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能以外)				○ (屋外)		○		
	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			○		○			
	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	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 : 原子炉建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋。

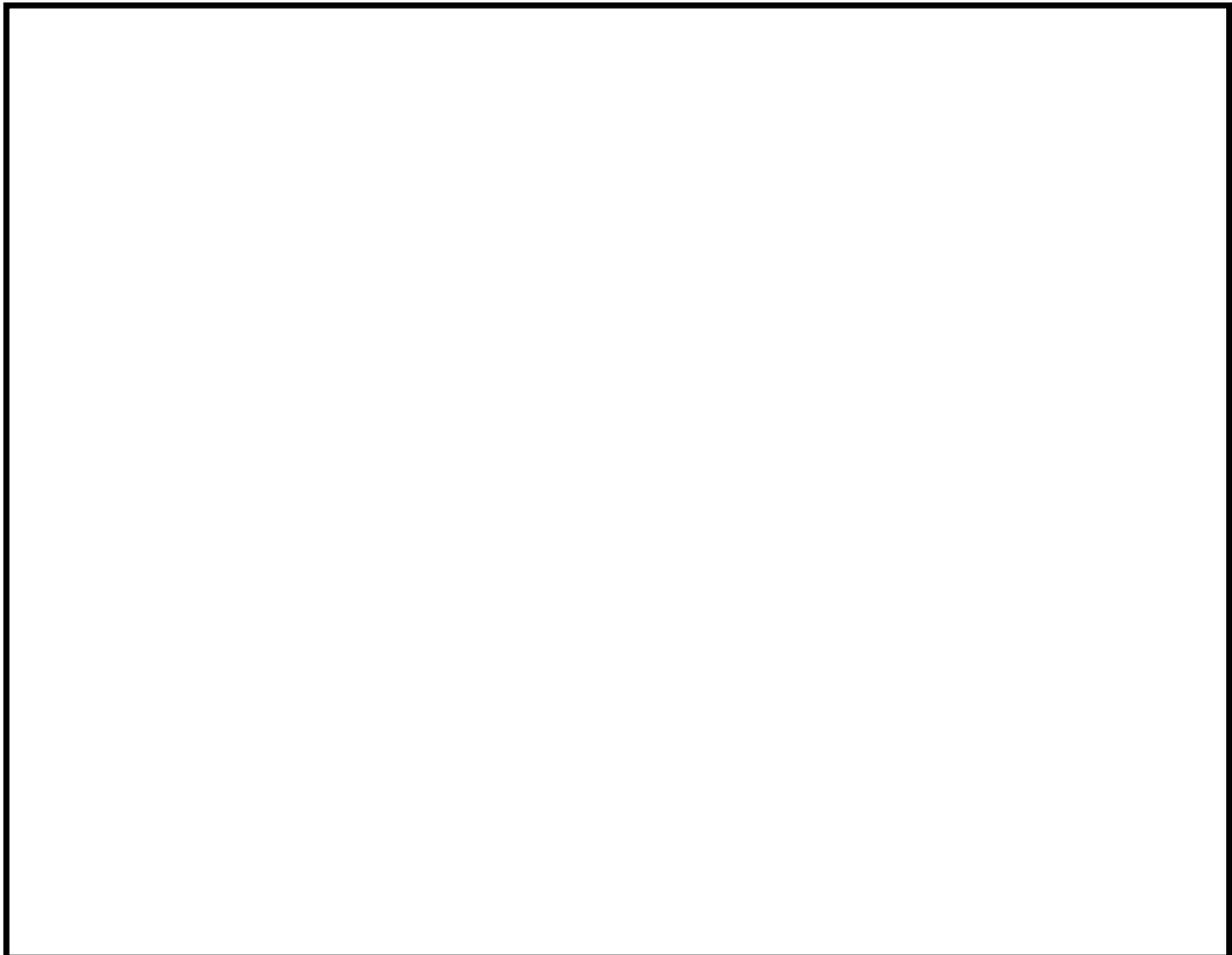
※2 : 航空機墜落による火災に対しては, 航空機墜落発生によりタービン建屋に影響を及ぼす可能性がある場合は, 即座に原子炉手動スクラム及び主蒸気隔離弁手動閉とする手順とするため, 火災の影響で放射性気体廃棄物処理系の隔離弁が破損したとしても, 周辺の公衆に対し, 著しい被ばくリスクを与えない (別紙 1.2) ことから, 影響評価対象外とし, 「タービン建屋外壁」, 「防火帯幅の確保」及び「消火活動」により防護を図る。

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、排気筒及びディーゼル発電機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 S S C 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	建屋内設備			屋外		
				原子炉建屋等 ^{※1}	タービン建屋	個別建屋			
PS-3	1) 異常状態の起る事象となつて、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			○			②, ③
			復水系 (復水器を含む)			○			②, ③
			給水系			○			②, ③
			循環水系			○		○	②, ③
			送電線					○	②, ③
			変圧器					○	②, ③
		開閉所					○	②, ③	
		5) 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	○					①, ②
			運転監視補助装置 (制御棒価値ミニマイザ)	○					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		
6) プラント運転補助機能	補助ボイラ設備	○	○	○	○		【原子炉建屋等】 ①, ② 【その他】 ②, ③		
	計装用圧縮空気系	○	○	○	○		【原子炉建屋等】 ①, ② 【その他】 ②, ③		
2) 原子炉冷却材中放射性を通常運転に支障なく抑える構築物、系統及び機器	1) 核分裂生成物の原子炉冷却材中の拡散防止機能	燃料被覆管	○				①, ②		
		原子炉冷却材の浄化機能	○				①, ②		
	復水浄化系			○			②, ③		

※1：原子炉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			屋外	
				原子炉建屋等 ^{※1}	タービン建屋	個別建屋		
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		○			②, ③
		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) 緊急時対策上重要な状態の把握機能	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。

設置変更許可申請書 添付資料十 主蒸気管破断事故評価の概要

「設置変更許可申請書 添付資料十」の主蒸気管破断事故の線量評価において、非居住区域境界外での実効線量は約 1.8×10^{-1} mSv と評価しており、本事故による周辺の公衆に与える放射線被ばくのリスクは十分に小さい。

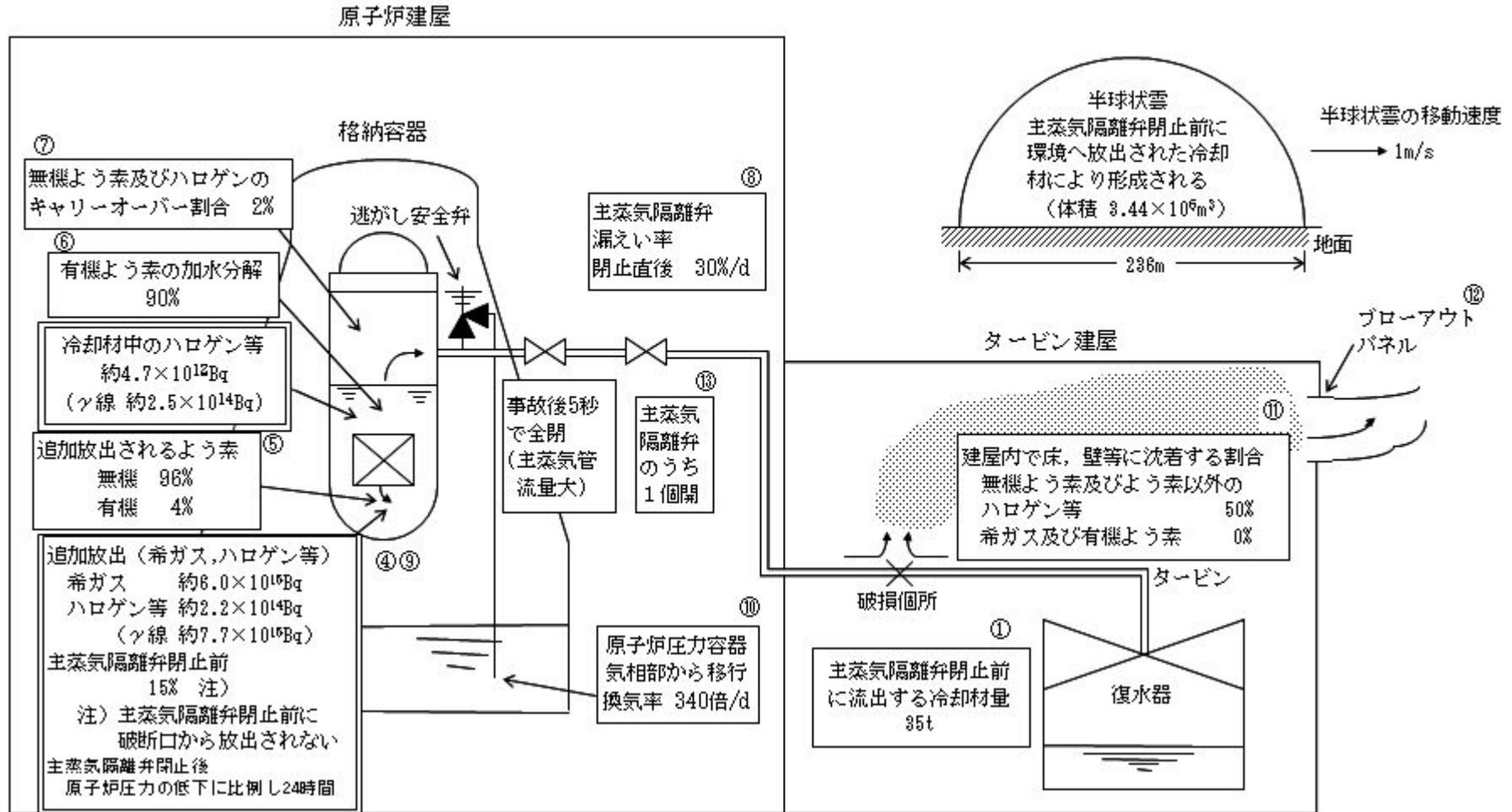
主蒸気管破断時の核分裂生成物の放出経路の概略を別第 1.1-1 図に示す。

また、主蒸気管破断時の評価条件及び評価結果を別第 1.1-1 表に示す。

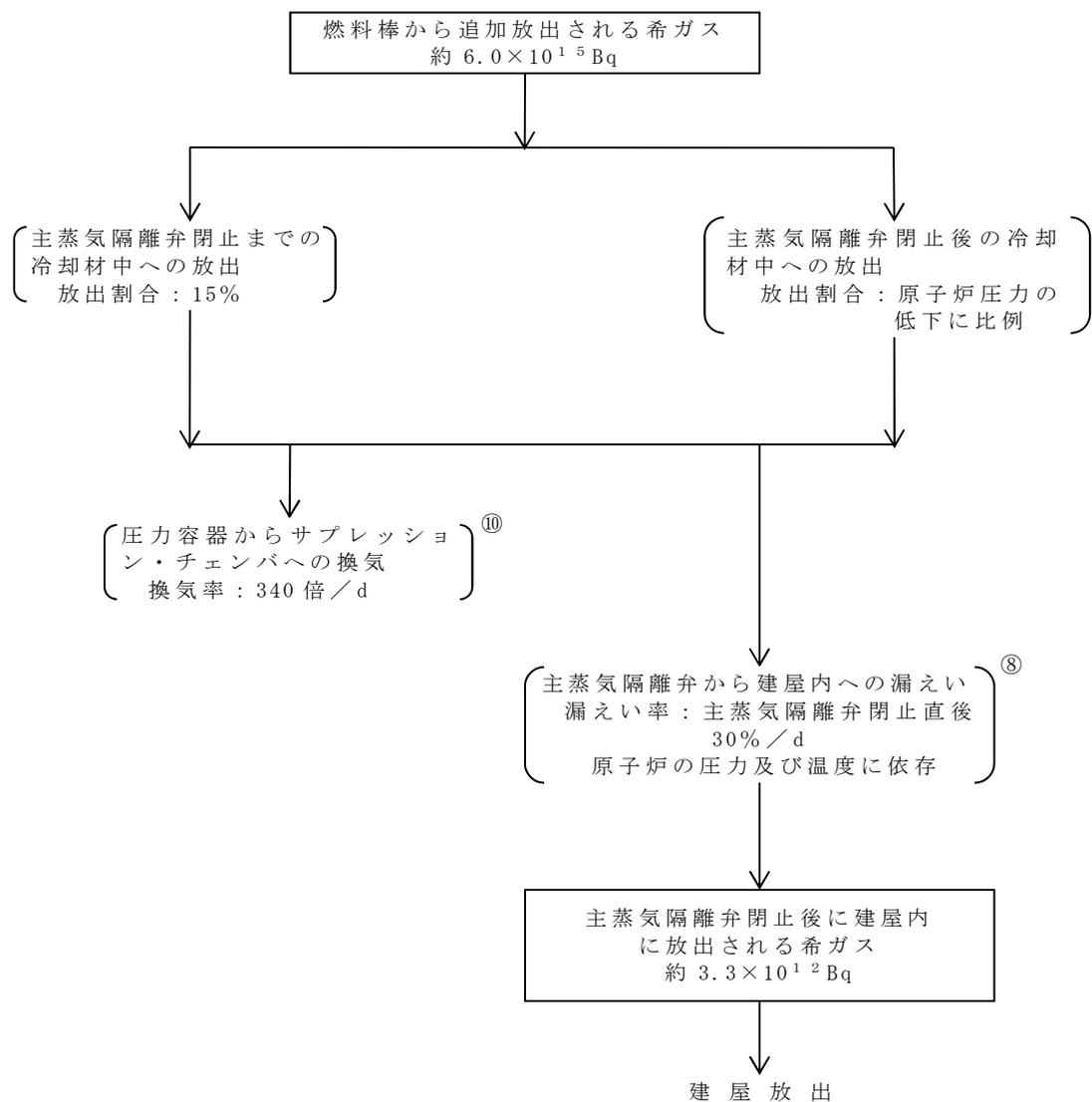
希ガス及びハロゲン等が大気中に放出されるまでの過程を別第 1.1-2 図及び別第 1.1-3 図に示す。

注1) : □ はソースタームを示す

注2) : 丸数字は別第1.1-1図の番号に対応



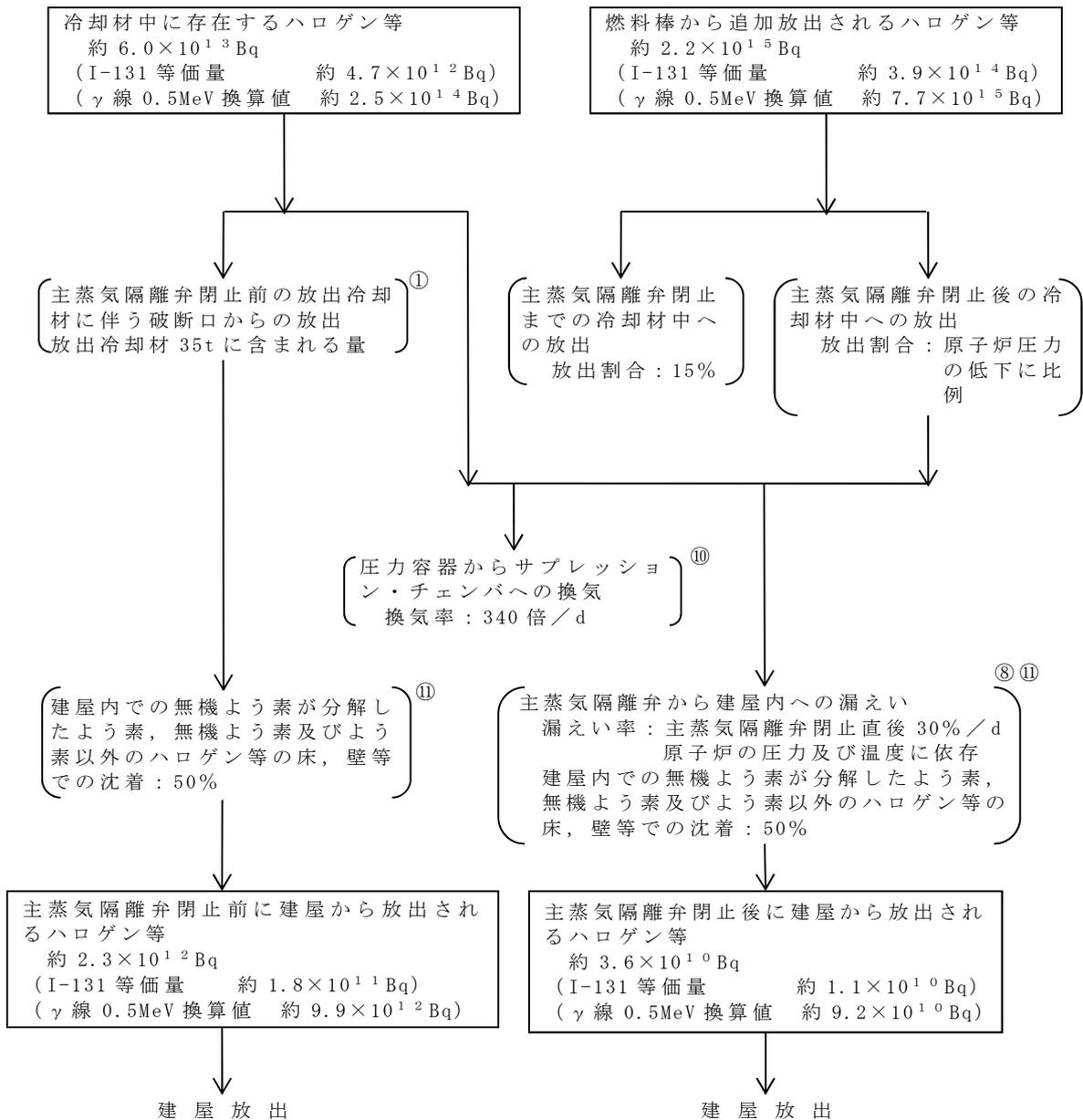
別第 1.1-1 図 主蒸気管破断（事故）時の核分裂生成物の放出経路



注：丸数字は別第 1.1-1 表の番号に対応

別第 1.1-2 図 主蒸気管破断（事故）時の希ガスの大気放出過程

（ γ 線 0.5MeV 換算値）



(※は希ガスとともに外部被ばくによる実効線量当量評価に用いる)

注: 丸数字は別第 1.1-1 表の番号に対応

別第 1.1-3 図 主蒸気破断 (事故) のハロゲン等の大気放出過程

別第 1.1-1 表 主蒸気破断（事故）時の評価

項 目		評 価 値	選 定 理 由
① 冷却材流出量		35t	解析結果による
② 冷却材中のよう素濃度		I-131 を $4.6 \times 10^3 \text{ Bq/g}$ とし、それに応じ他のよう素の組成を拡散組成として考慮	運転上許容される最大値
③ 燃料から追加放出される核分裂生成物の量		I-131 を 2.22×10^{14} とし、それに応じ他のよう素及び希ガスの組成を平衡組成として考慮、希ガスについてはよう素の 2 倍とする	実測値の平均値に適切な余裕を見た値
④ 主蒸気隔離弁閉止前に破断口より放出される追加放出核分裂生成物		0%	解析結果による
⑤ 有機よう素の割合		4%	指針による (注)指針とは「安全評価審査指針」を示す 以下同じ
⑥ 有機よう素が気相部に達する割合		10%	指針による
⑦ 無機よう素が気相部に達する割合		2%	指針による
⑧ 主蒸気隔離弁初期漏えい期間		$30\% / \text{d}$ (圧力・温度依存)	設計漏えい率 $10\% / \text{d}$ (1 弁当たり) に基づき、1 弁開を仮定
⑨ 主蒸気隔離弁からの漏えい期間		24 時間	解析結果は 24 時間未満であるが、24 時間を仮定
⑩ 圧力容器からのサブプレッション・チェンバへの換気率		圧力容器気相体積の $340 \text{ 倍} / \text{d}$	崩壊熱相当の蒸気がサブプレッション・チェンバ内のプール水中に移行する割合を等価的に表した値
⑪ タービン建屋内で床、壁等に沈着する割合		無機よう素及びよう素以外のハロゲン等：50% 希ガス及び有機よう素：0%	指針による
⑫ 放出位置		タービン建屋	地上放散を仮定
⑬ 単一故障		主蒸気隔離弁 1 弁	放射能閉じ込め機能の観点から単一故障を仮定
核 分 裂 生 成 物 の 大 気 拡 散	主蒸気隔離弁閉止前	半球状雲 直径 236m 移動速度 風速 1 m/s	指針に従い蒸気雲を仮定し、大気中での移動、拡散等を保守的に仮定
	主蒸気隔離弁閉止後	D / Q	$4.4 \times 10^{-19} \text{ Gy/Bq}$
		χ / Q	$1.4 \times 10^{-5} \text{ s/m}^3$
			気象指針に従って算出

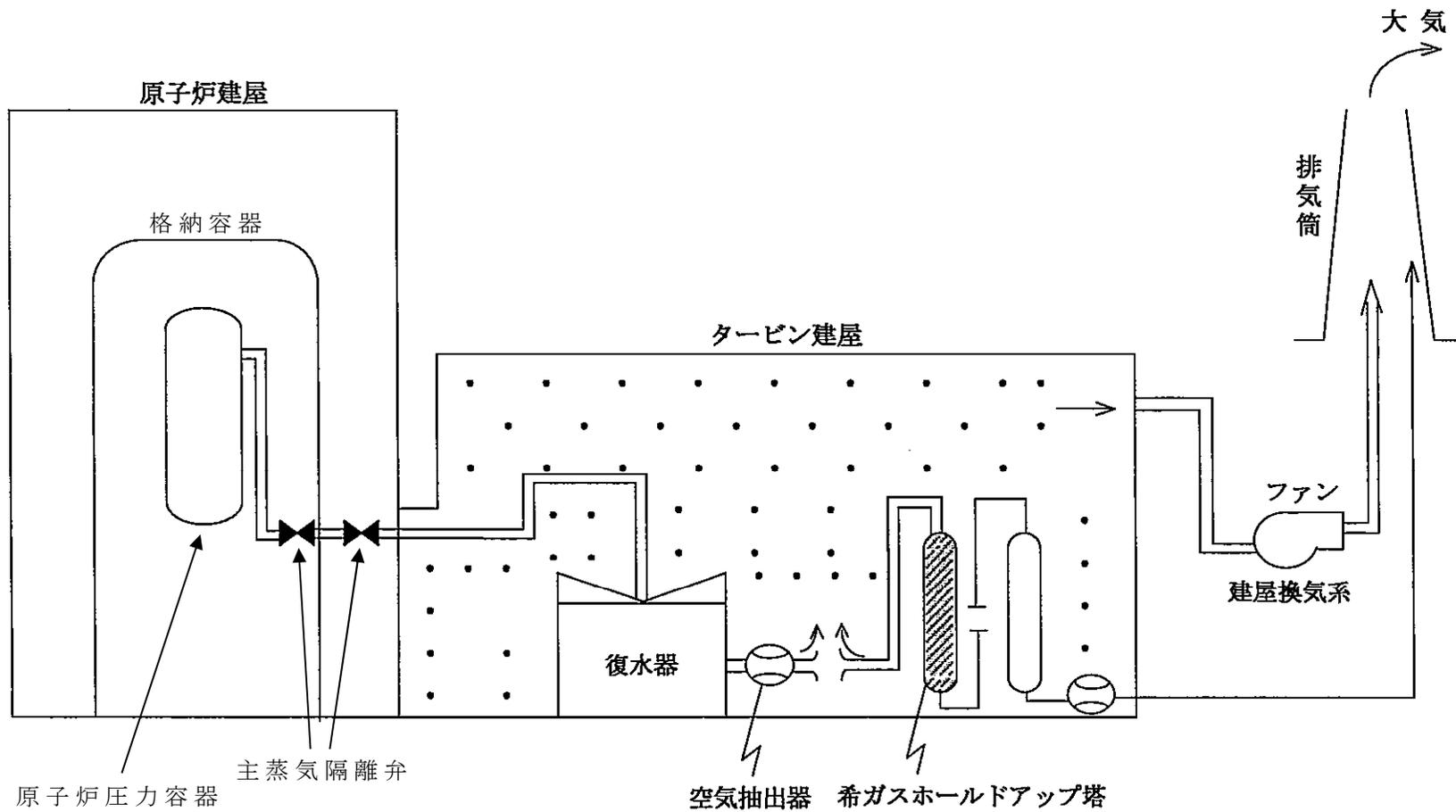
評 価 結 果	項 目	結 果			判 断 基 準 へ の 適 合 性
		主蒸気隔離弁閉止前	主蒸気隔離弁閉止後	合 計	
	希ガス及びハロゲン等放出量 (γ 線 0.5MeV 換算値)	約 $9.9 \times 10^{12} \text{ Bq}$	約 $3.4 \times 10^{12} \text{ Bq}$	約 $1.3 \times 10^{13} \text{ Bq}$	周辺の公衆に対し、著しい放射線被ばくのリスクを与えることなく、判断基準を満足する
	よう素放出量 (I-131 等価量)	約 $1.8 \times 10^{11} \text{ Bq}$	約 $1.1 \times 10^{10} \text{ Bq}$	約 $1.9 \times 10^{11} \text{ Bq}$	
	実効線量	約 $1.8 \times 10^{-1} \text{ mSv}$	約 $3.6 \times 10^{-3} \text{ mSv}$	約 $1.8 \times 10^{-1} \text{ mSv}$	

航空機墜落による火災により放射性気体廃棄物処理系の隔離弁が
破損した場合の影響について

「設置変更許可申請書 添付書類十 放射性気体廃棄物処理施設の破損」では、放射性気体廃棄物処理系の配管破損によりタービン建屋内に放出された希ガスが、タービン建屋換気系を介して排気筒より放出される場合の非居住区域境界外での実効線量を評価し、判断基準である 5mSv を超えないことを確認している。なお、この評価では、破損箇所のうち空気抽出器側（別第 1.2-1 図参照）については事故後 30 分後に隔離されるとして評価を実施している。

一方、航空機墜落による火災により放射性気体廃棄物処理系の隔離弁が破損する場合は、タービン建屋換気系が機能喪失している可能性があるため、タービン建屋換気系に期待せず、タービン建屋内に放出された希ガスが地上より放出されるとして非居住区域境界外での実効線量を評価した。その結果は約 0.6mSv であり、判断基準である 5mSv を超えていない。なお、この評価では、上記と同様、破損箇所のうち空気抽出器側については事故後 30 分後に隔離されるとして評価を実施しているが、今後は航空機墜落発生によりタービン建屋に影響を及ぼす可能性がある場合は、即座に原子炉手動スクラム及び主蒸気隔離弁手動閉とする手順とするため、隔離時間は事故後 30 分後よりも早くなり、保守性を有した評価結果となっている。

以上より、航空機墜落による火災により放射性気体廃棄物処理系の隔離弁が破損したとしても、周辺の公衆に対し、著しい被ばくリスクを与えることはない。



「沸騰水型原子力発電所 事故時の被ばく評価手法について」

(株式会社日立製作所, H L R - 021 訂 9, 平成 16 年 1 月) に加筆

別第 1.2-1 図 放射性気体廃棄物処理施設の破損時の放射能放出経路

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F A R S I T E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 評価に用いたデータ

(1) 各種入力データ

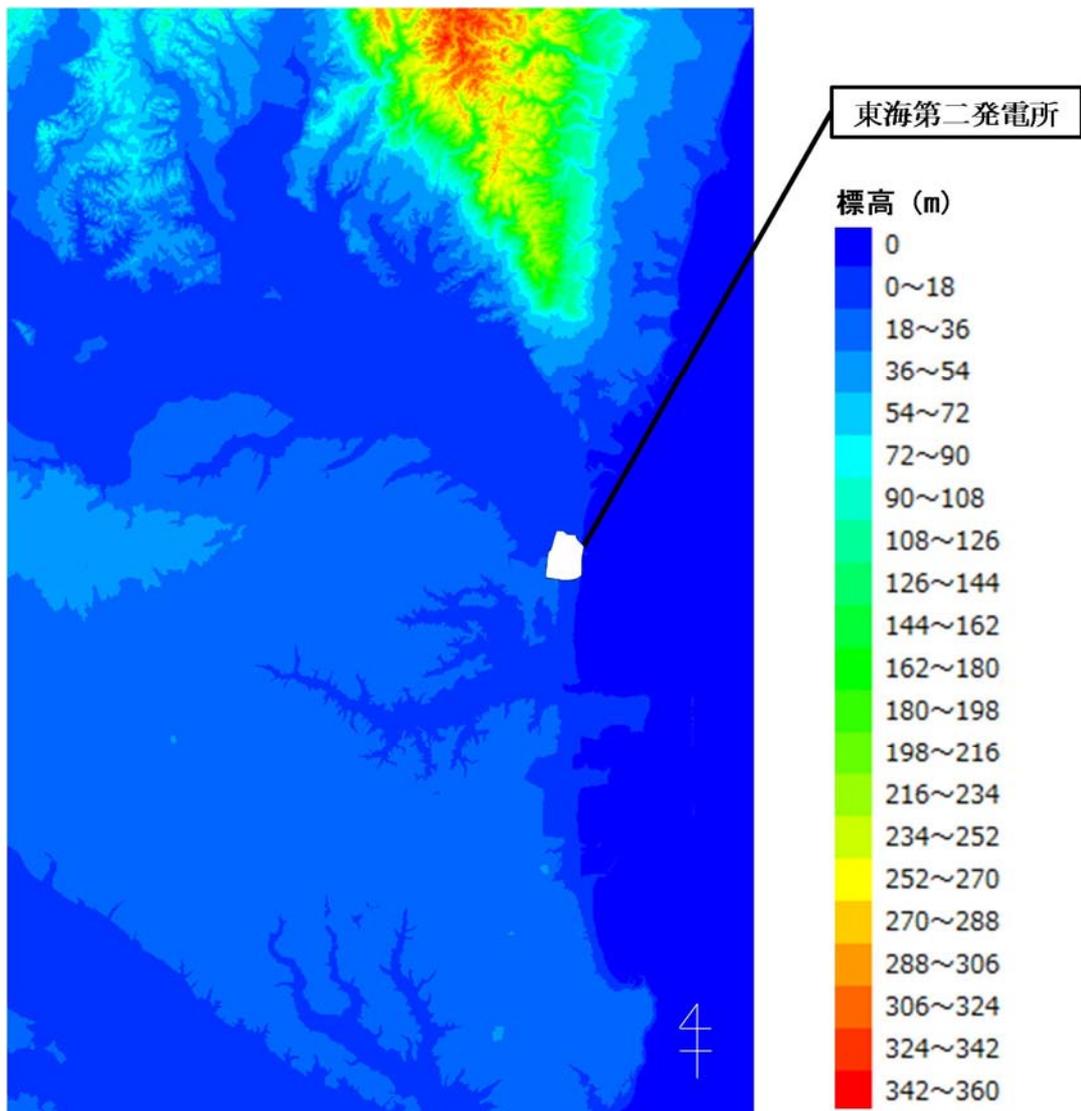
F A R S I T E に入力したデータは評価ガイド記載に対し第 2.1-1 表のとおりとした。

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

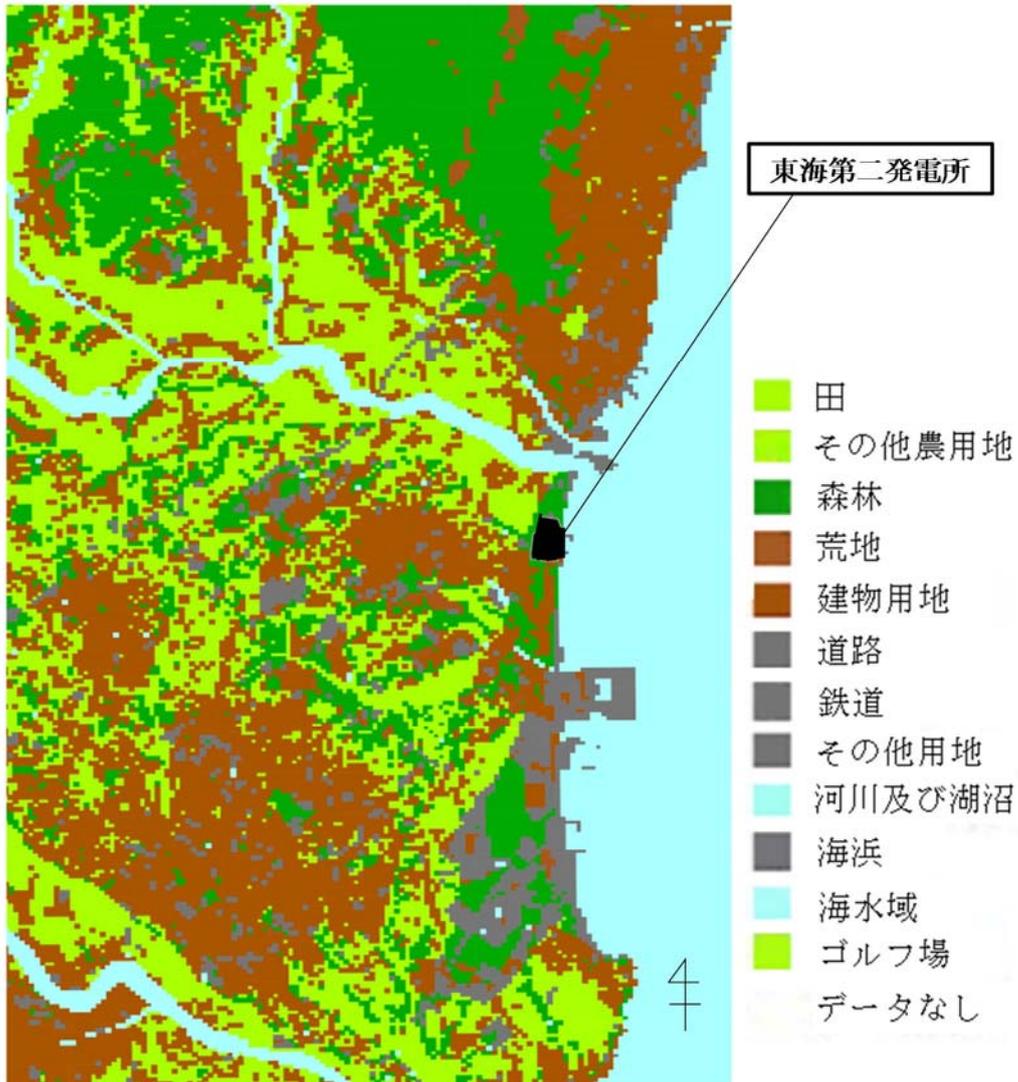
公開情報の中でも高い空間解像度である「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データを用いた。傾斜，傾斜方位については標高データから計算した。設定した地形データを第 2.1-1 図に示す。



第 2.1-1 図 地形データ

(3) 土地利用データの設定

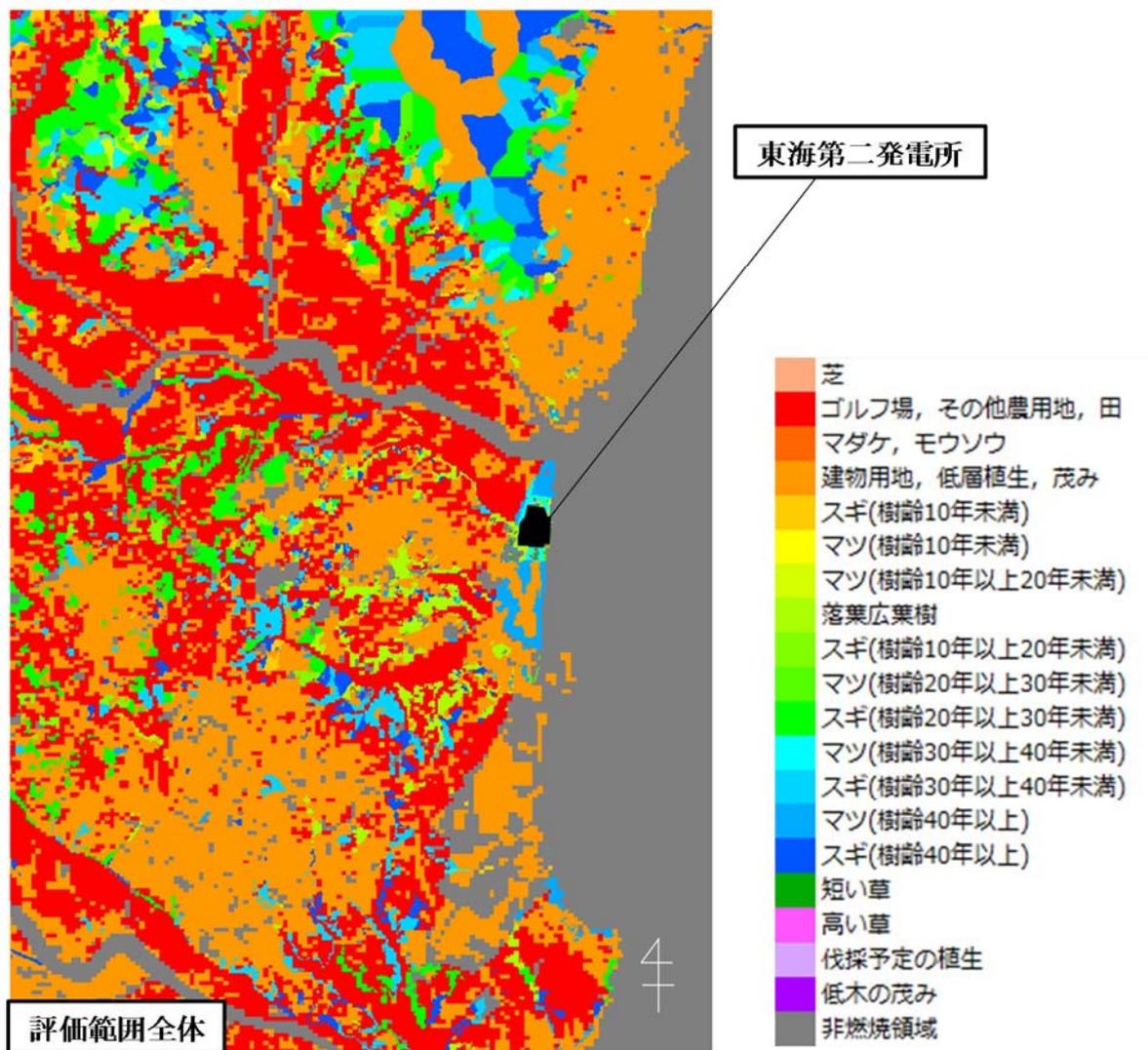
公開情報のなかでも高い空間解像度である「国土数値情報 土地利用細分メッシュ（100m）」の土地利用データを用いた。設定した土地利用データを第 2.1-2 図に示す。



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

a. 気象データの整理

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から最高気温，最大風速，最大風速記録時の風向及び最小湿度をそれぞれ過去 10 年間（2003 年～2012 年）の月別データから第 2.1-2 表のとおり抽出・整理した。

卓越風向は，水戸地方気象台と発電所の過去 10 年間（2003 年～2012 年）の観測データから第 2.1-4 図，第 2.1-5 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 2003 年～2012 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（31.4℃），最大風速（14.3m/s），及び最小湿度（11%）を選定した。

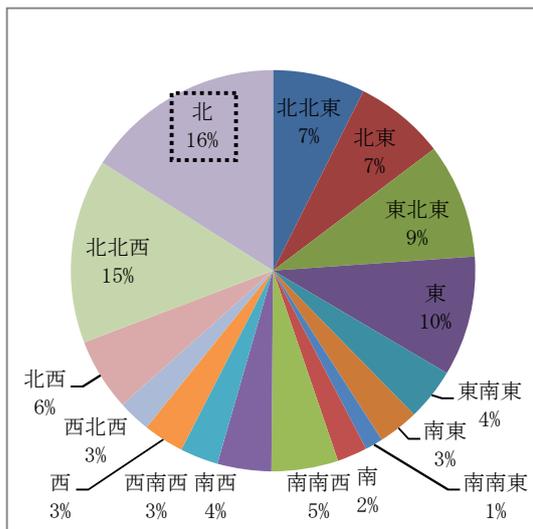
最大風速記録時の風向は 1 月～5 月の北東，12 月の南西を選定した。

卓越風向は，水戸地方気象台観測データの最多割合を占める北と，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。

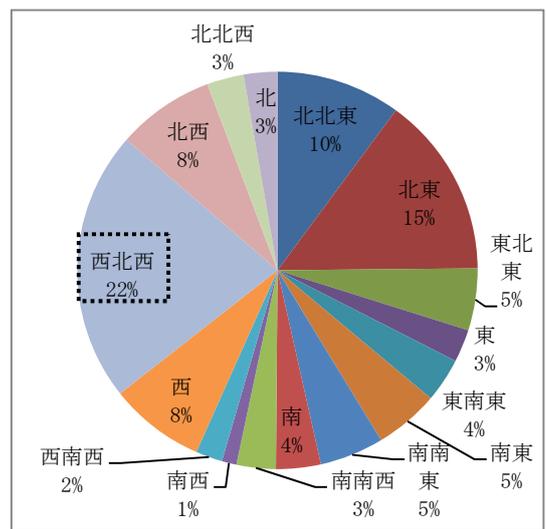
第 2.1-2 表 気象観測データと月別火災発生件数（過去 10 年間）

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 (℃)	最大風速 (m/s)	最大風速記録 時の風向	最小湿度 (%)	
1	16.9	13.4	北東	14	87
2	24.3	11.9	北東	14	124
3	25.2	14.3	北東	11	168
4	29.8	14.0	北東	14	126
5	31.4	13.5	北東	13	52
6	33.5	14.2	北北東	21	16
7	36.4	11.8	北北東	38	18
8	37.0	10.4	南南西	27	21
9	36.1	13.9	北北東	29	21
10	31.1	15.5	北東	25	14
11	24.5	11.8	北北東	18	6
12	25.0	11.2	南西	17	56

※：「消防防災年報」（茨城県 2003 年～2012 年）より



第 2.1-4 図 卓越風向割合
(水戸気象台：2003 年～2012 年)



第 2.1-5 図 卓越風向割合
(発電所：2003 年～2012 年)

(6) 発火点の設定

a. 発火点の設定方針

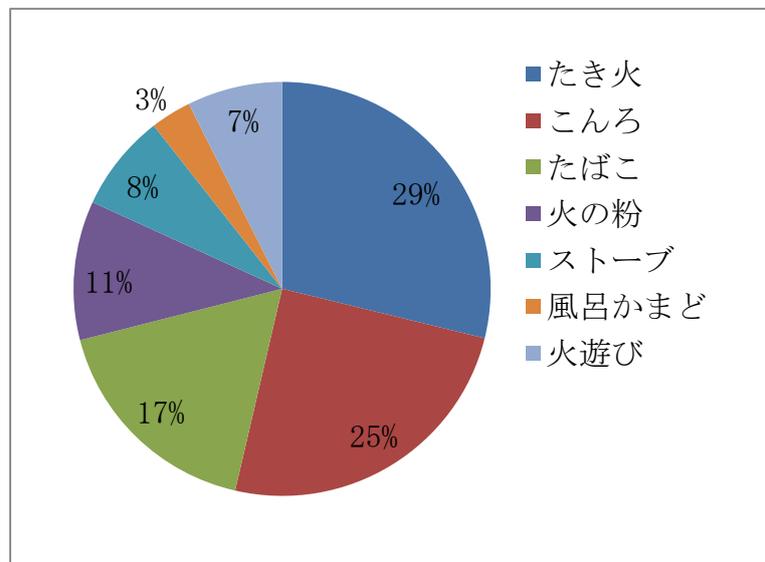
評価ガイドにある森林火災の想定に基づき、発火点の設定は以下の方針とした。

- ・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 2003年～2012年）によると、たき火、こんろ、たばこである。

第 2.1-6 図に出火原因割合を示す。

この結果に加え、発電所周囲の地理的状況等を考慮し、人為的な火災発生原因を想定した。



「消防防災年報」（茨城県 2003年～2012年）より

第 2.1-6 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2.1-7図，発火点と植生データの関係を図第2.1-8図，発火点と標高データとの関係図を図第2.1-9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号線を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し，国道245号線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。

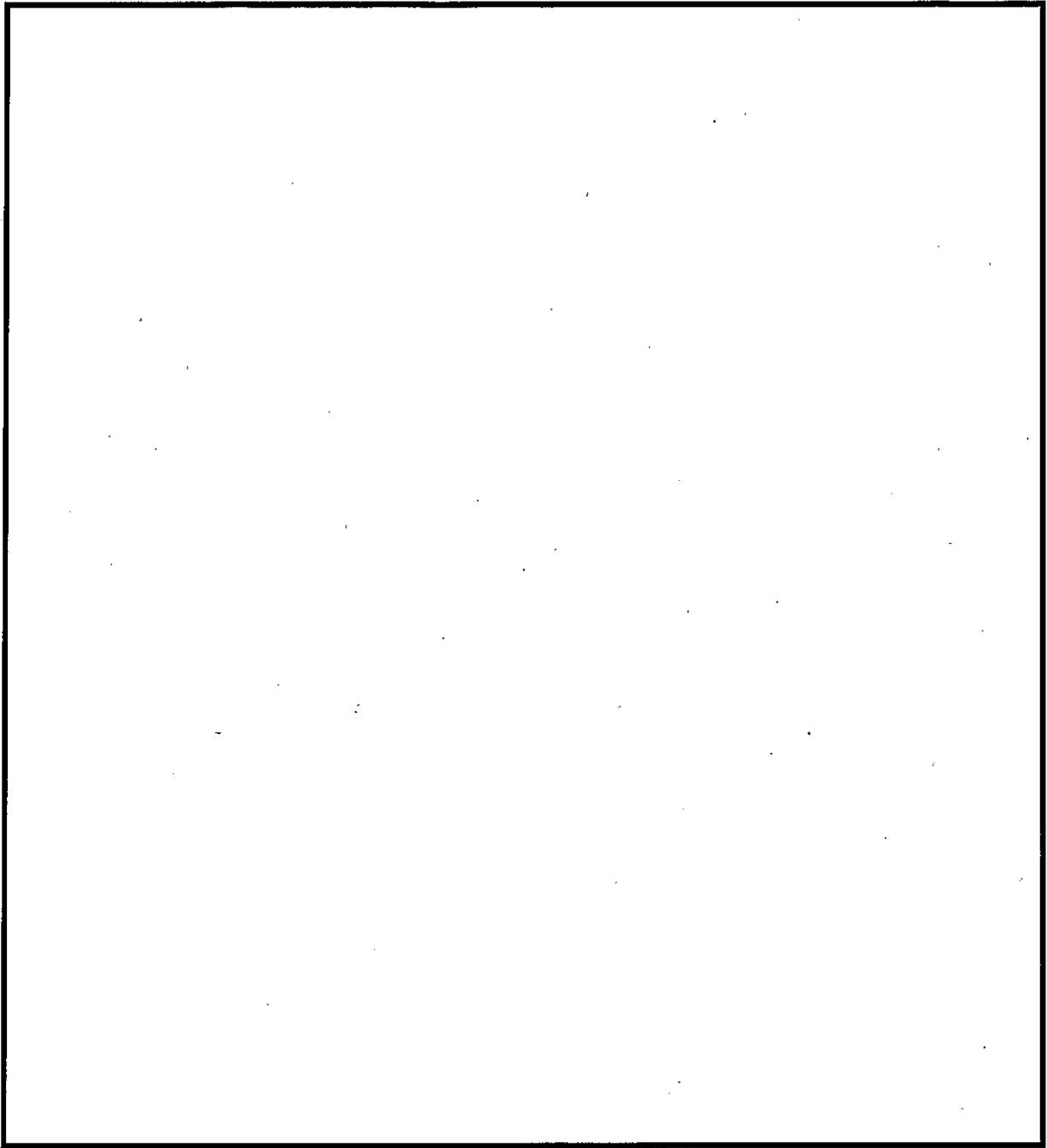
(c) 南西方向（発火点5，6）

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。

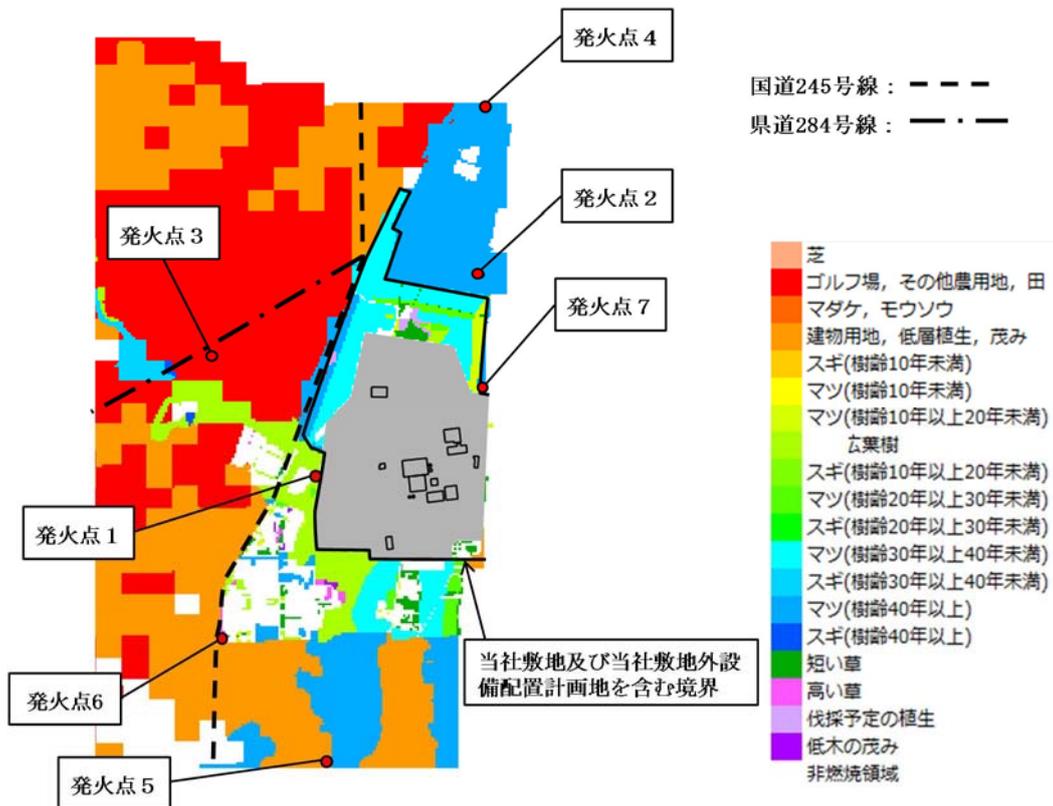
交通量が多い交差点での交通事故による車両火災を想定し、国道 245 号線沿いに発火点 6 を設定した。

(d) 北東方向（発火点 7）

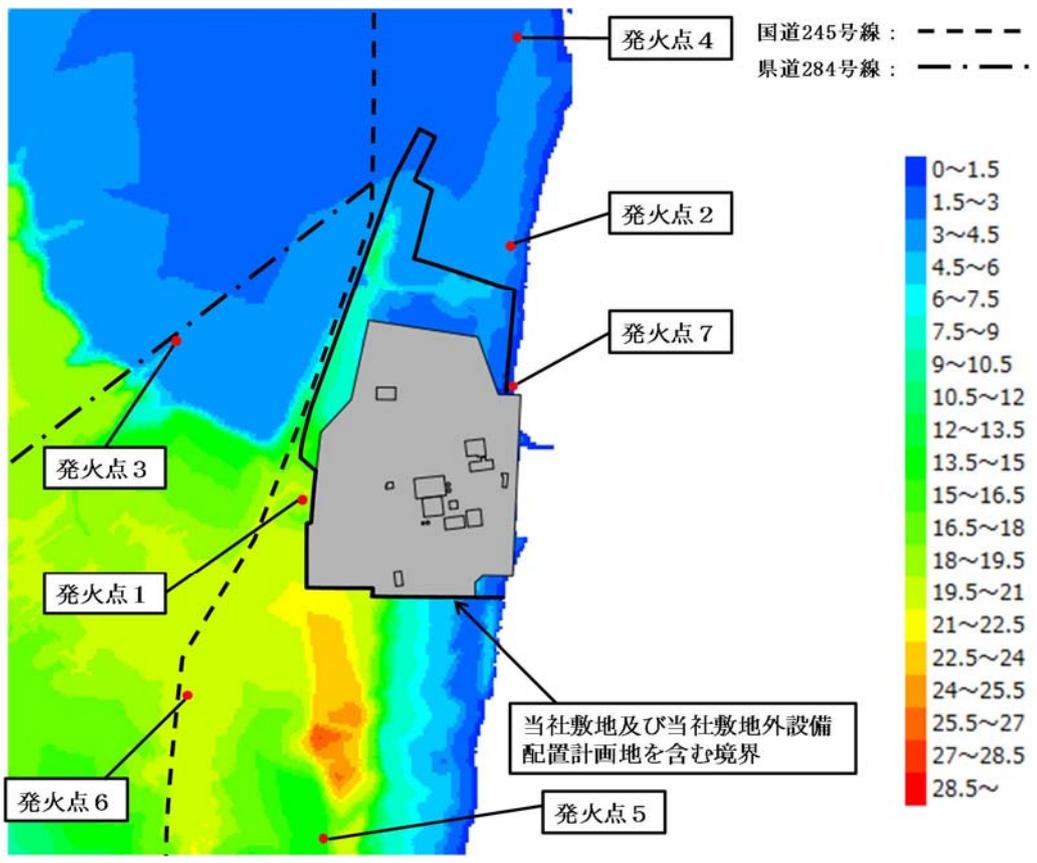
釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し、一般の人が発電所に最も近づくことが可能である海岸沿いに発火点 7 を設定した。



第 2.1-7 図 発火点位置と風向



第 2.1-8 図 発火点位置と植生データ



第 2.1-9 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 は危険物施設の火災が森林火災に延焼することを想定したものであり，発火点としては妥当である。

発火点 6 の周辺は居住地域（評価では Brush 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 6 の評価結果に包絡される。

(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。保守的に設定したパラメータを各表に示す。

第 2.2-1 表 F A R S I T E 入力データ (地形・気象等)

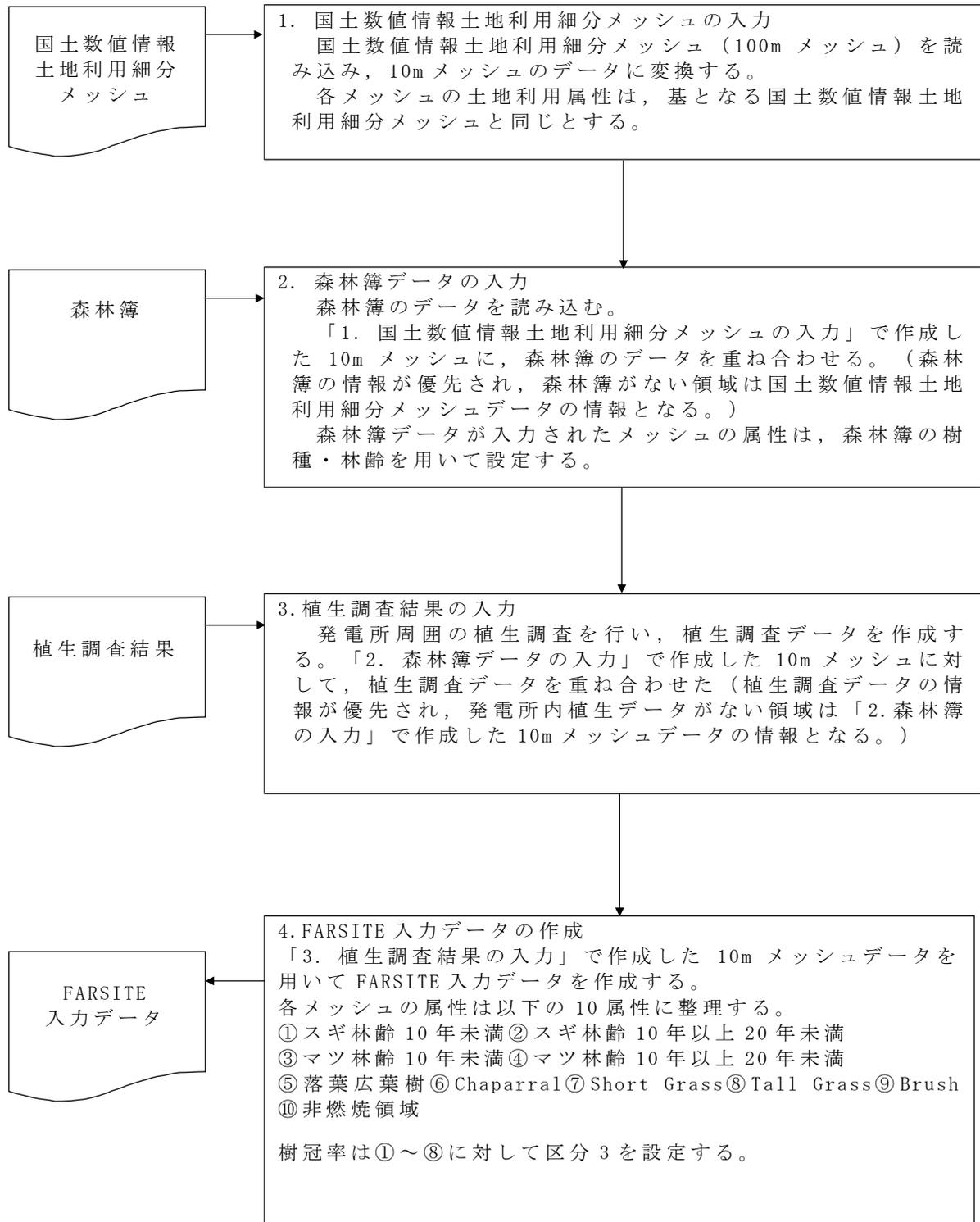
項目		入力データ	保守性	
地形	標高	「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データ, 及び標高データから算出した傾斜, 傾斜方位を入力	-	
	傾斜			
	傾斜方位			
気象	風速	茨城県内で森林火災発生件数が多い (12 月から 5 月) の水戸地方気象台で観測された最大風速 (14.3m/s) に相当する 52km/hr を入力	○	
	風向	茨城県内で森林火災発生件数が多い月 (12 月から 5 月) の卓越風向と最大風速時の風向を下記の発火点に対して入力		○
		発火点①③	卓越風向 (西北西)	
		発火点②④	卓越風向 (北)	
		発火点⑤⑥	最大風速記録時の風向 (南西)	
	発火点⑦	最大風速記録時の風向 (北東)		
	最高気温	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 (31.4℃) に対して, 小数点以下を切り上げた 32℃を最高気温・最低気温として入力。最低気温に対しても 32℃を入力することで保守的に気温の変化を考慮しない。	○	
	最低気温			
	最高湿度	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。	○	
	最小湿度			
降水量	保守性を考慮して, 降水量は 0 を入力	○		
雲量	保守性を考慮して, 雲量は 0 を入力	○		
位置	緯度	0 度 (保守性考慮して日射強度の高い赤道に設定)	○	
	発火点位置	空中写真から位置を確認し, 当座標位置に設定	-	
時刻	発火日時	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	日照による感度解析を実施し, 最大火線強度発生時刻が 10 時~14 時になるように設定	○	
樹冠	樹冠率	植生調査結果を反映し, 樹冠率区分 3 (一般的な森林) を入力	-	
	樹高	15m (デフォルト値)	-	
	樹冠下高さ	4m (デフォルト値)	-	
	樹冠かさ密度	0.2kg/m ³ (デフォルト値)	-	

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	保守性
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	可燃物データは 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	保守性	
森 林 簿 ・ 植 生 調 査 結 果	スギ・ヒノキ・カス ^カ イ ^フ 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 10 年以上のスギ及びマツに 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	—	
	スギ・ヒノキ・カス ^カ イ ^フ キ 林齢 10 年以上 20 年未満	スギ林齢 10 年以上 20 年未満		○	
	スギ・ヒノキ・カス ^カ イ ^フ キ 林齢 20 年以上 30 年未満			マツ林齢 10 年未満	
	スギ・ヒノキ・カス ^カ イ ^フ キ 林齢 30 年以上 40 年未満				—
	スギ・ヒノキ・カス ^カ イ ^フ 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		—	
	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		○	
	マツ・クロマツ林齢 20 年以上 30 年未満				
	マツ・クロマツ林齢 30 年以上 40 年未満				
	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なた め, Short Grass を入力	—	
Tall Grass (高草: 2.5ft)		敷地外は保守的に Tall Grass を入力	○		



第 2.2-1 図 F A R S I T E 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	—	—	—
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。	—	草刈りを行いBrush管理とする。	○
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	—	—	建物用地であるが保守的にBrush管理とする。	○

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

評価結果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、植生調査のポイント No.19 は高草が点在しているが、このエリアは工事に伴う残土置き場等にする計画であるため、実際の植生状況は S h o r t G r a s s (低草：1ft) が生える程度となる。これを踏まえ、評価上保守的となるよう F A R S I T E 入力データを S h o r t G r a s s よりもよく燃える B r u s h (茂み：2ft) とした。

(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）

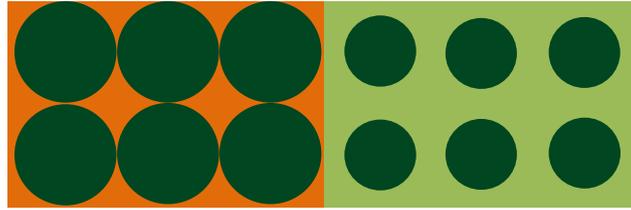
樹種/林齢	10 年生未満の場合	10～20 年生の場合	30 年生以上の場合
針葉樹	日照が入りやすい 	日照が少し入りやすい 	日照が入りにくい 
広葉樹	日照が入りやすい 		

(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	81～50	森林を含む区分
3	50～80	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。

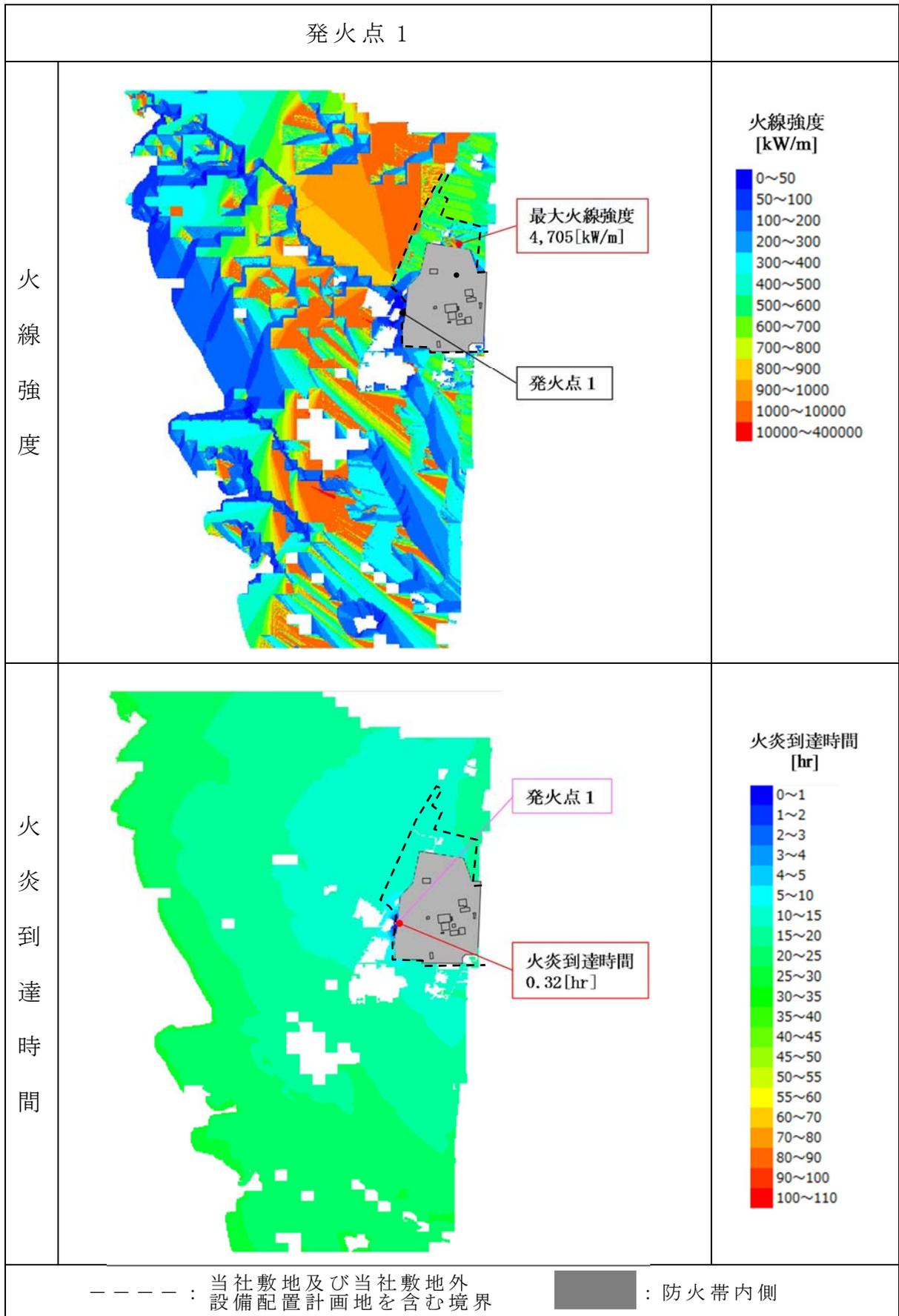
第 3.1-1 表 解析結果

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
火炎到達時間 (hr)	0.32	2.8	0.9	5.9	6.4	4.3	0.26
最大火線強度 (kW/m)	4,705	1,565	4,726	3,522	2,078	2,614	594

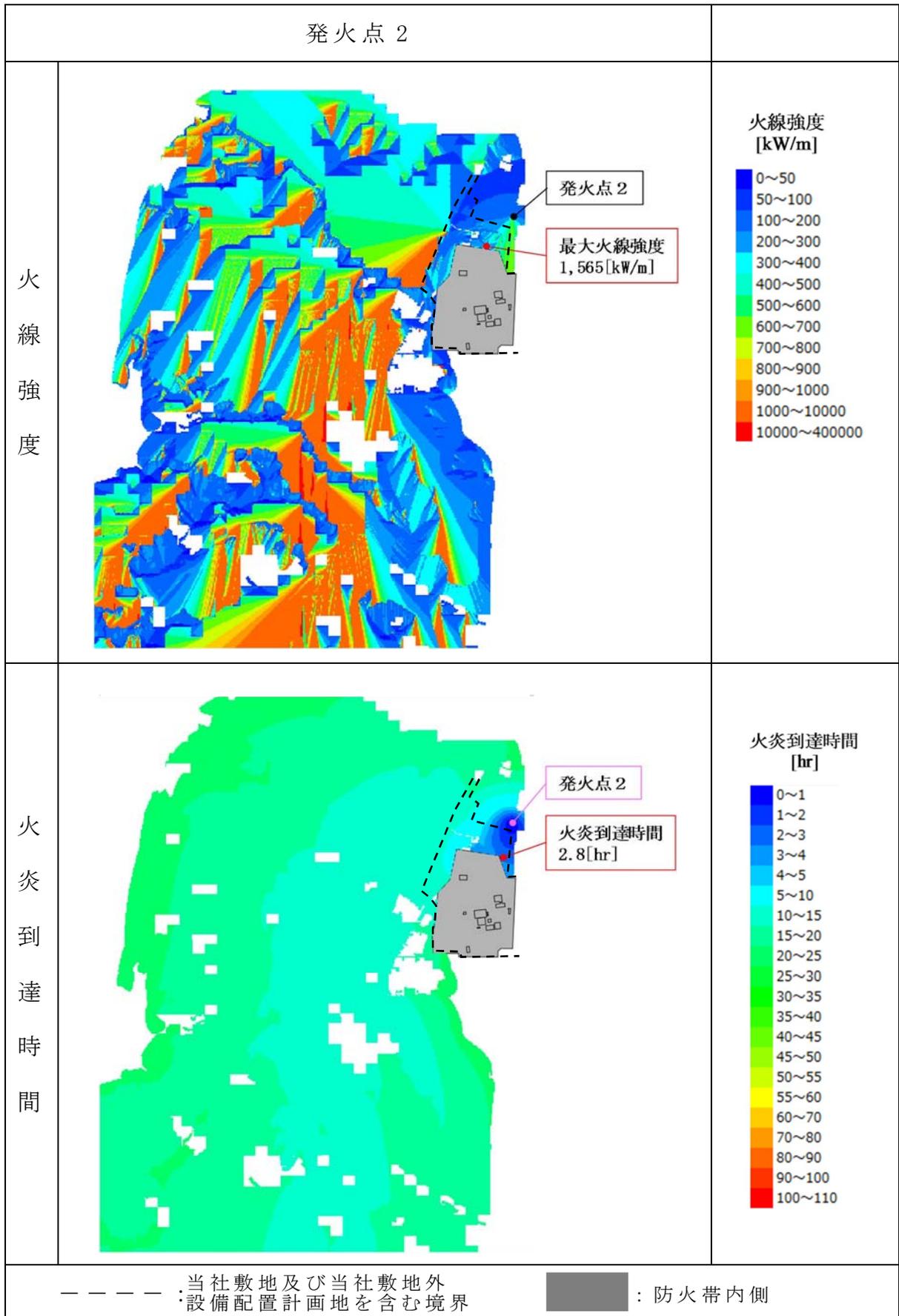
(2) 延焼状況

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。

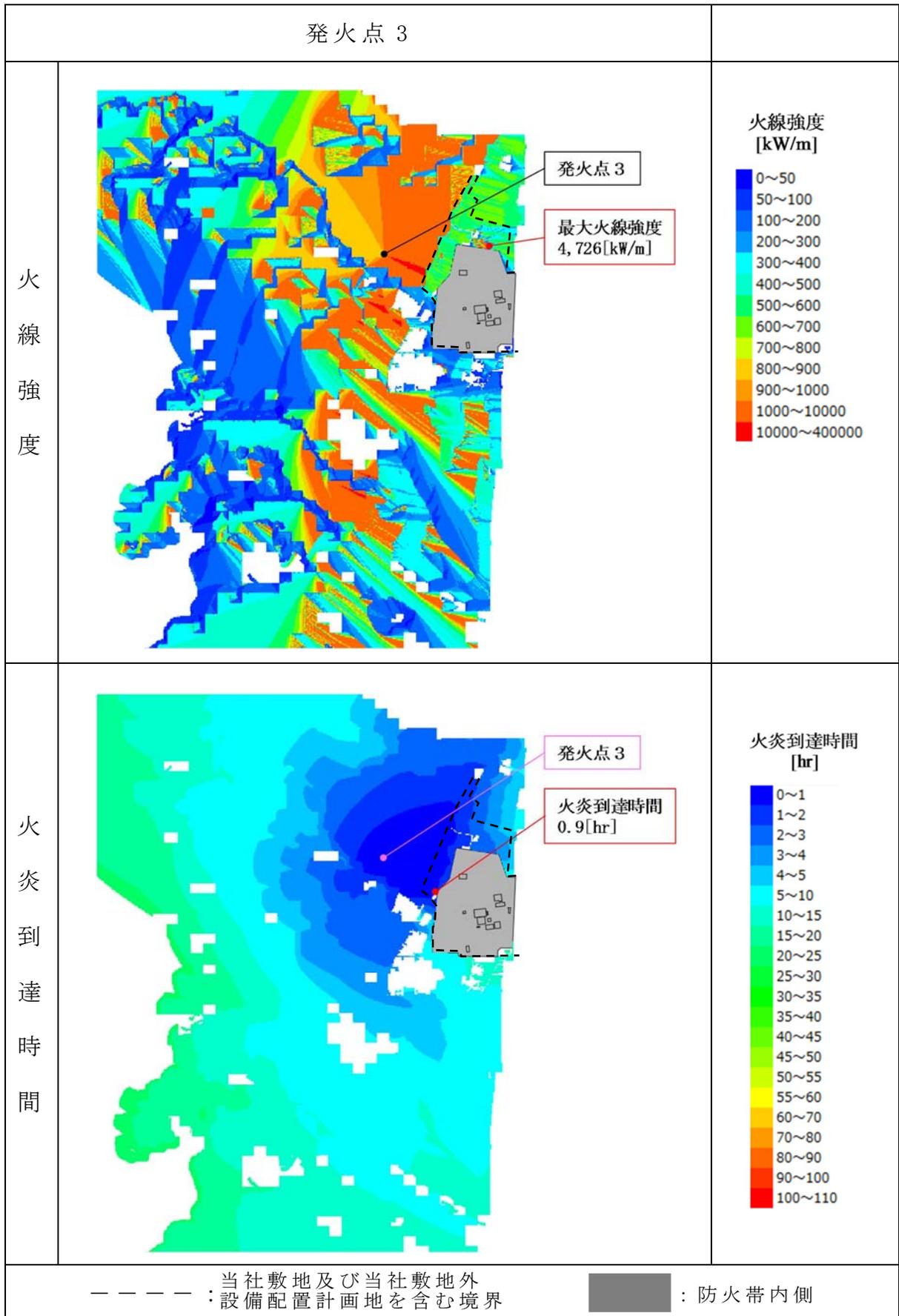
第 3.1-2 表 発火点 1 の延焼状況



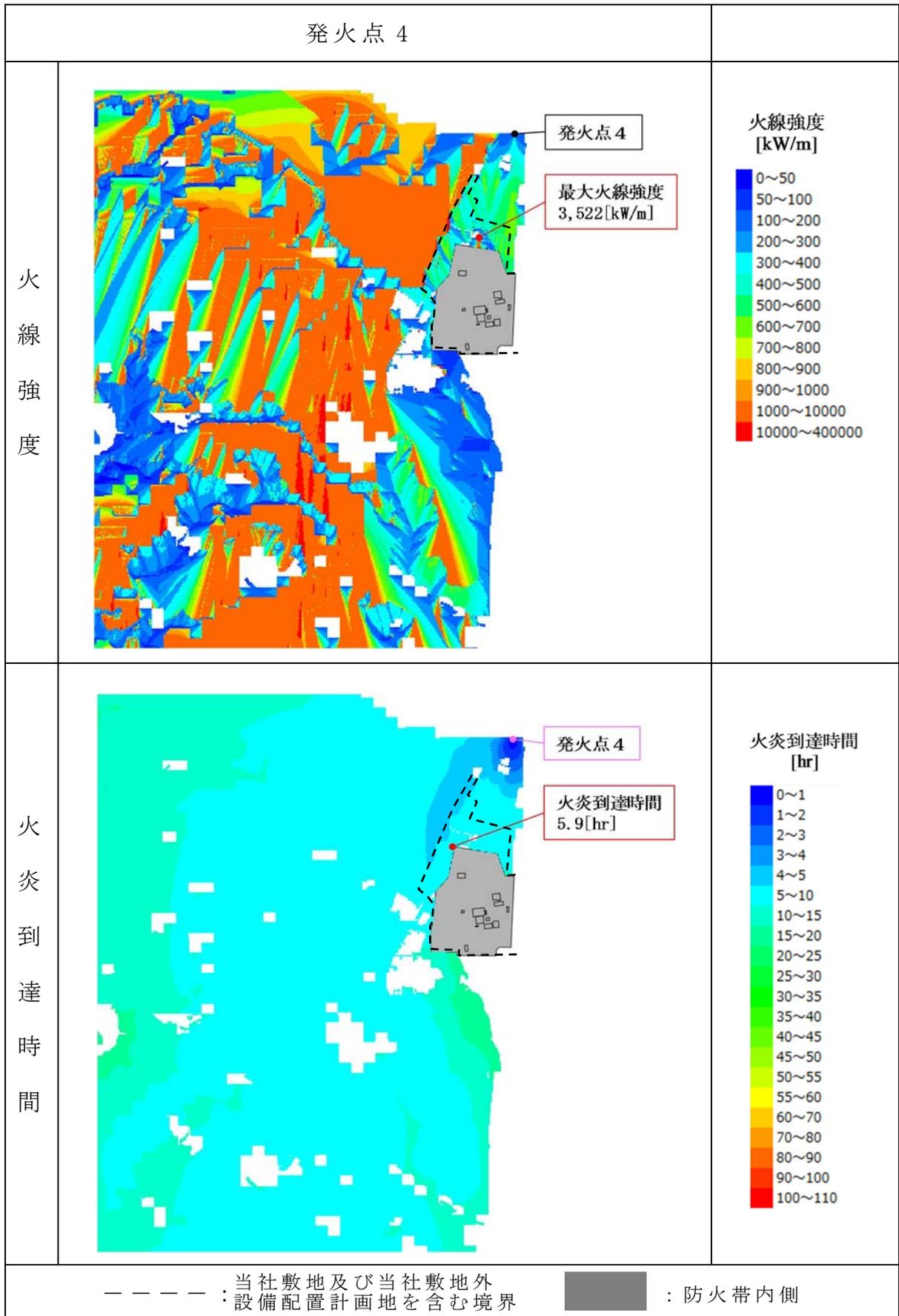
第 3.1-3 表 発火点 2 の延焼状況



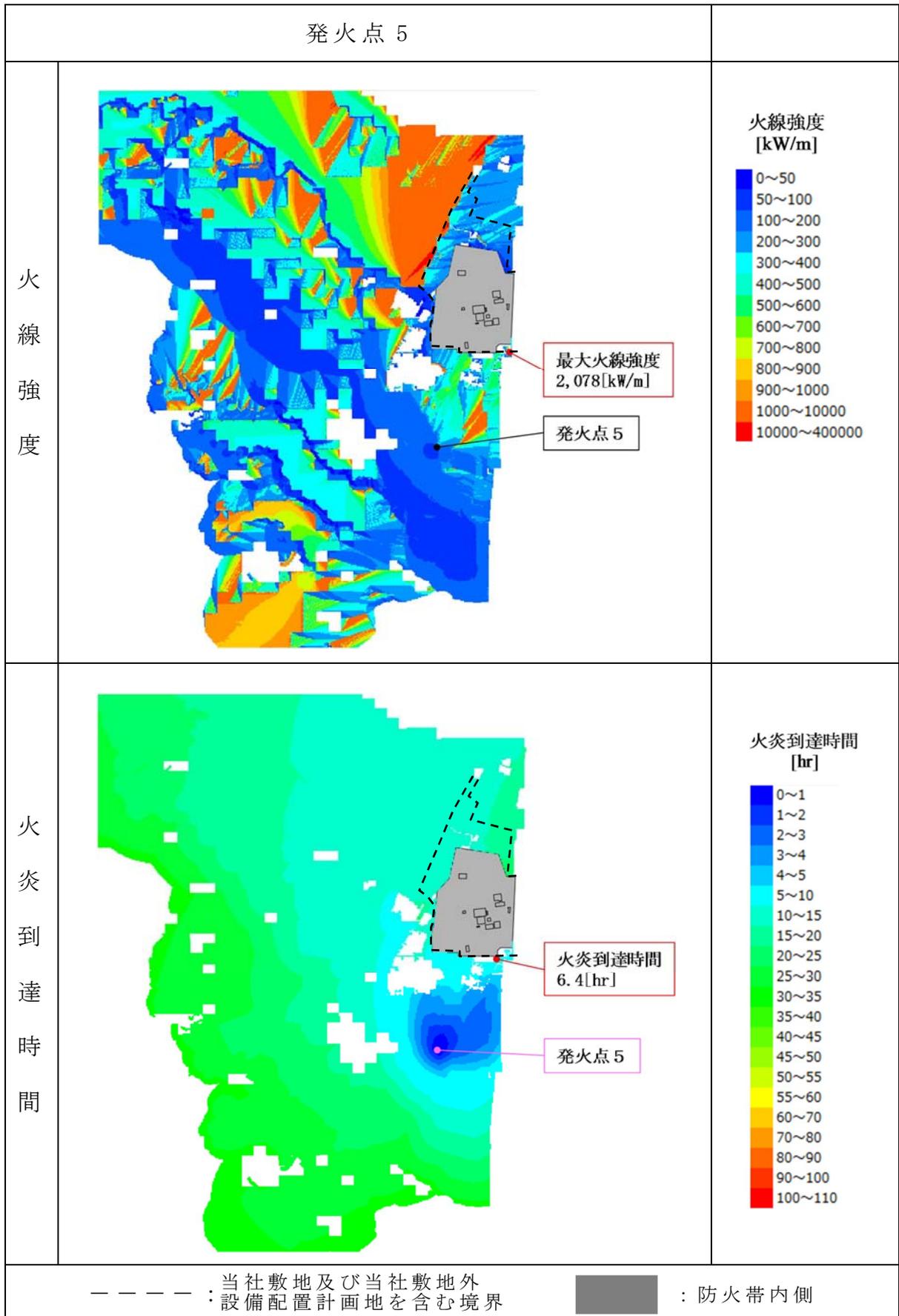
第 3.1-4 表 発火点 3 の延焼状況



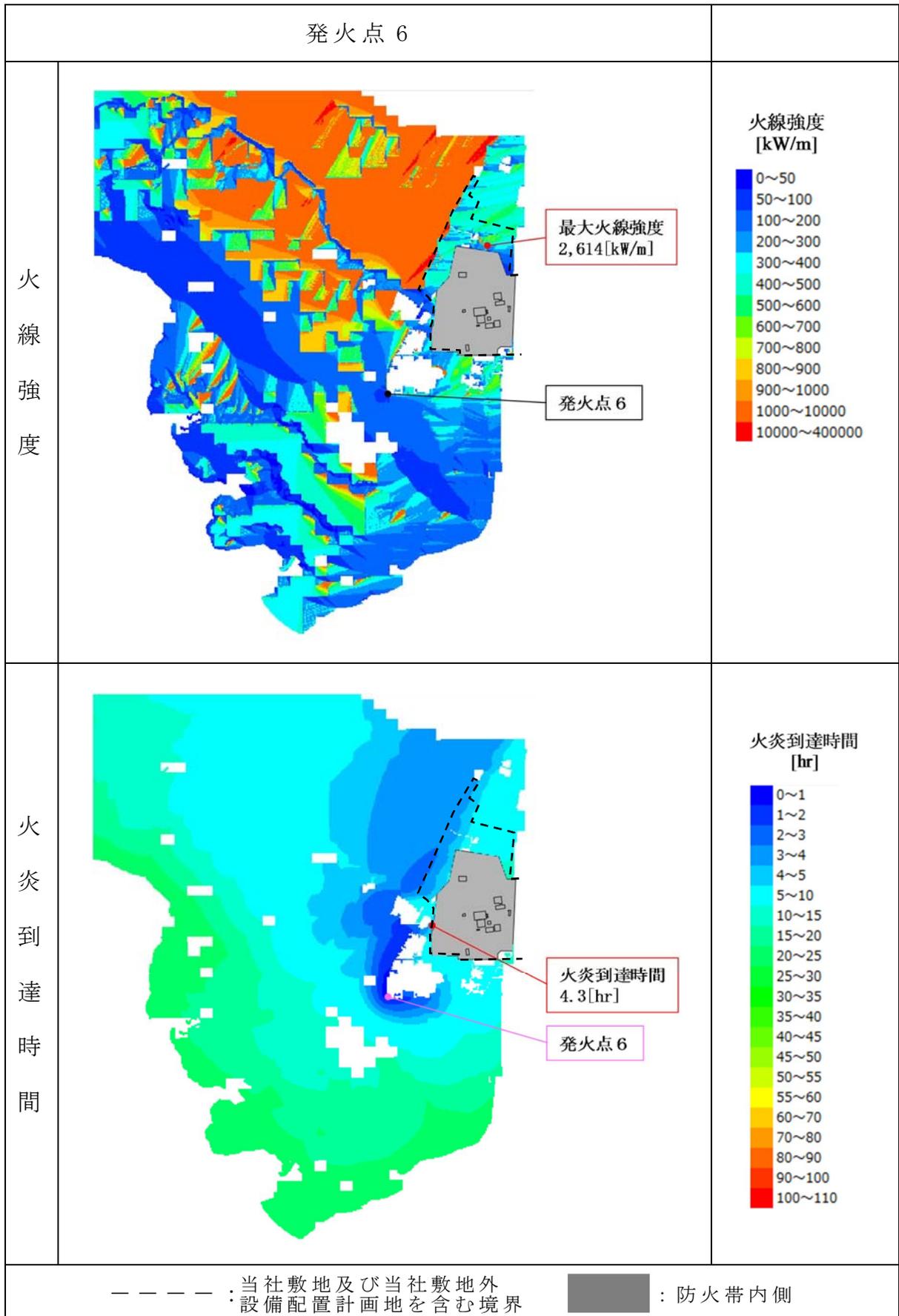
第 3.1-5 表 発火点 4 の延焼状況



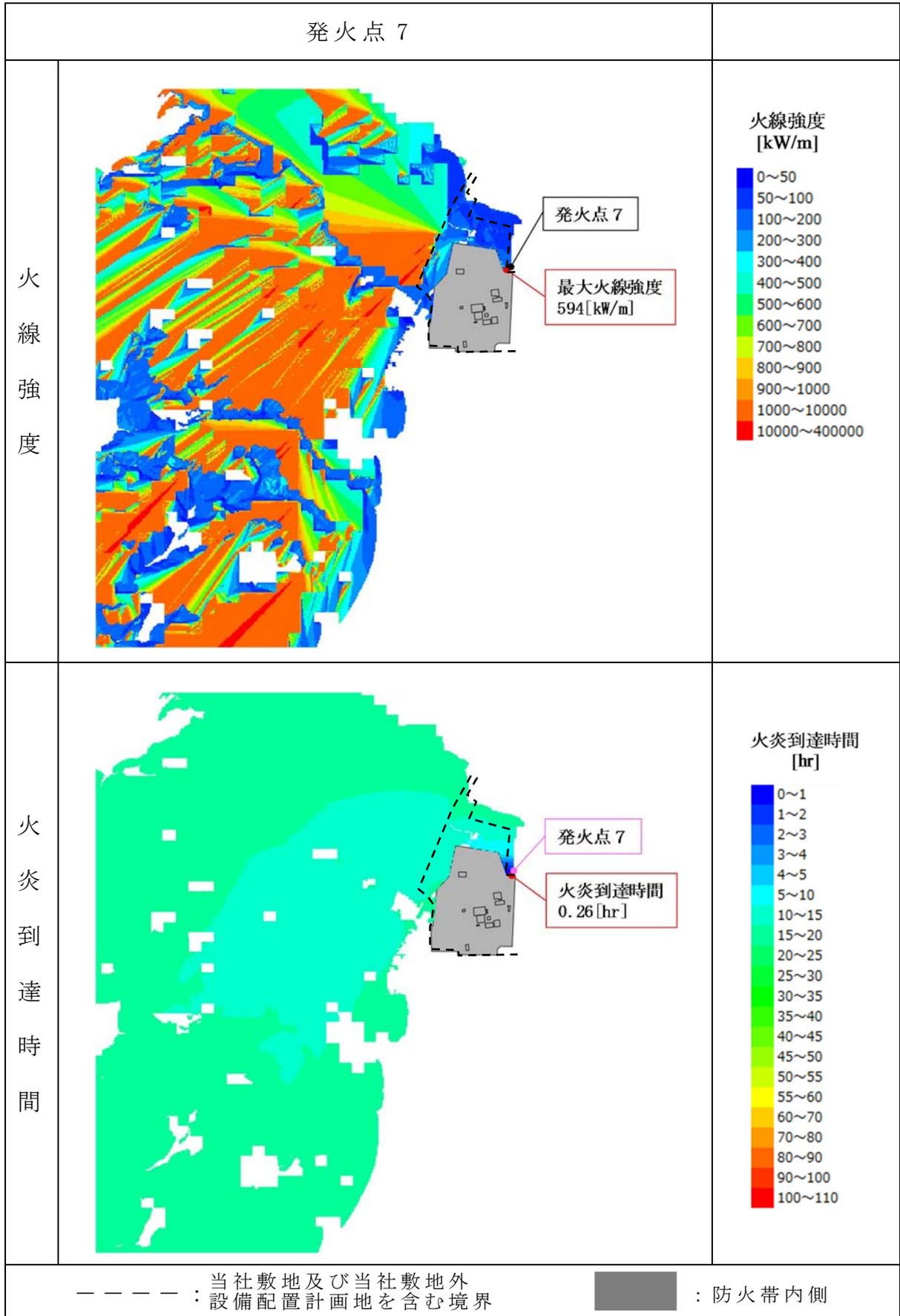
第 3.1-6 表 発火点 5 の延焼状況



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



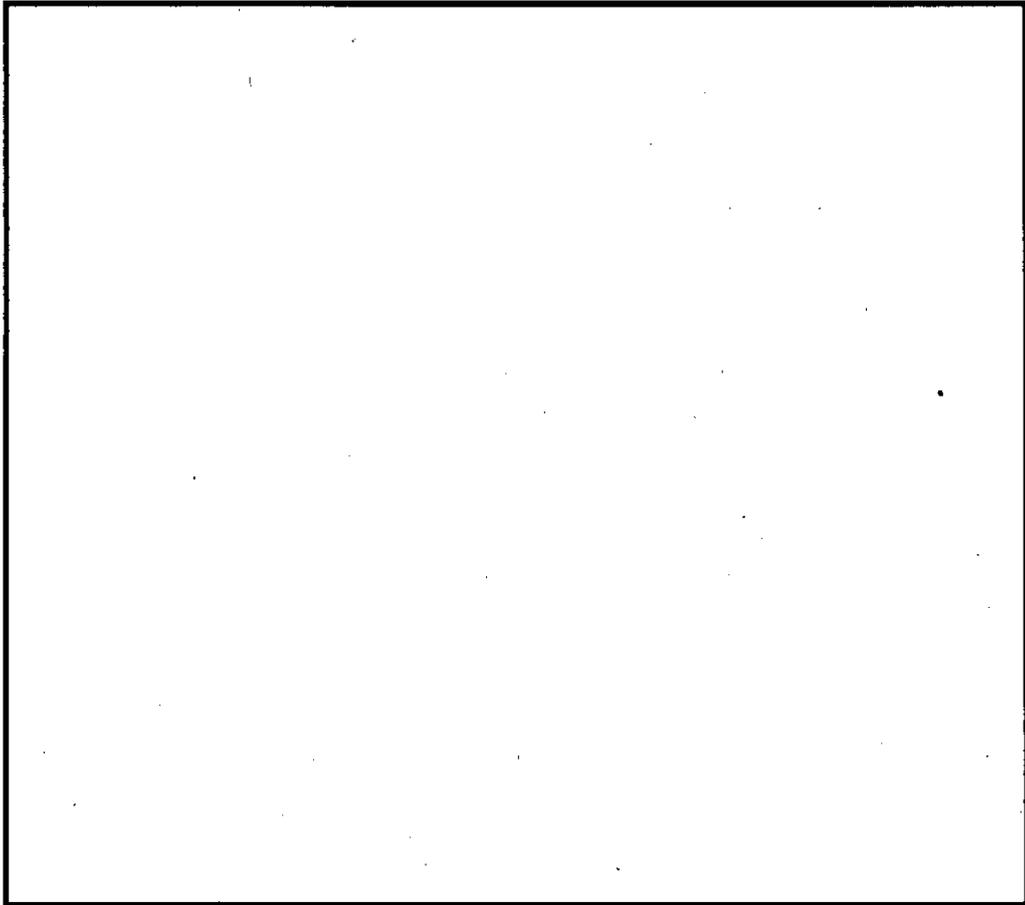
4. 森林火災の影響評価結果

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影響を及ぼすことはないが、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。ただし、発電所の大部分は防潮堤に囲われ、防潮堤の地上高さは防潮堤付近の森林火災を上回り、防火帯を上回る幅もあることから、飛び火が防火帯を突破することはない。このため、発電所周囲で森林火災が発生した際は、防潮堤に囲われていない範囲への予防散水を優先する。防潮堤に囲われていない範囲を第 4.1-1 図、森林火災の火災長と防潮堤の地上高さとの関係を第 4.1-1 表に示す。なお、万が一、発電所に延焼する可能性がある火災が複数地点確認された場合は、原子炉施設の近傍から優先して活動を行う。

F A R S I T E 解析結果より、防潮堤に囲われていない範囲に最短で火災が到達するのは発火点 1 である。発火点 1 の火災が防火帯外縁に到達する最短時間は 0.32 時間（19 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。



第 4.1-1 図 散水を優先する範囲

第 4.1-1 表 防潮堤と火炎長との関係

ポイント	防潮堤		森林火災 最大火炎長 ^{※1} (m)
	幅 (m)	地上高 (m)	
①	35	2.8 ^{※2}	1.5
②	41	8	1.5
③	42	10	3.8
④	44	12	1.5
⑤	37	10	1.2
⑥	3.0 ^{※3}	6.0	1.2

※1 : 熱影響が最大となる発火点 3 (10:00 出火ケース)

※2 : 防火帯と防潮堤が重なる範囲のうち、地上高さが最低となる箇所

※3 : 防潮堤幅が防火帯幅を下回るため、可燃物がない範囲は防火帯幅の 21m となる。

(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。

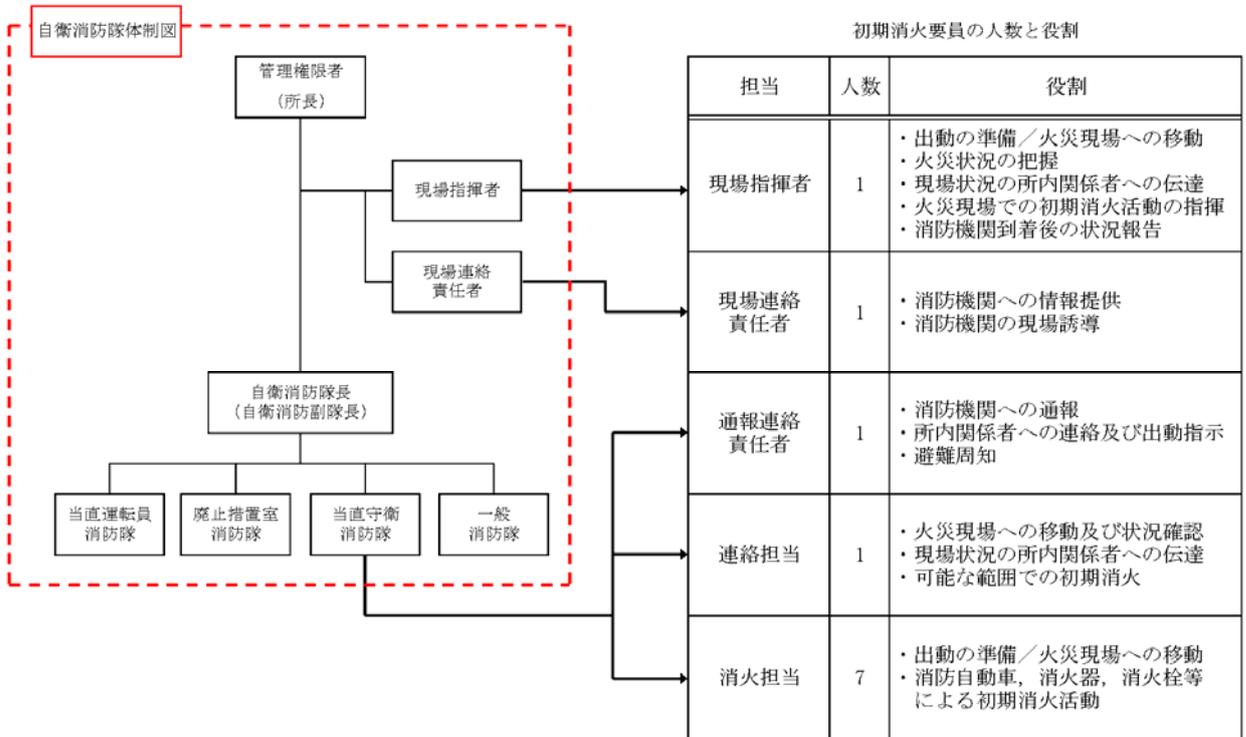
- a. 発電所に出入りする全ての人は、火災を発見した場合、当直守衛員に速やかに通報する事を、社内規程で定めている。通報を受けた者は所内関係者に連絡するとともに、消防機関（119番）に連絡を行う。
- b. カメラを使用して森林火災に対する監視を行う。カメラは、発電所周辺の森林火災を監視できる位置に設置し、24時間要員が常駐する中央制御室及び守衛所からの監視が可能な設計とする。
- c. 防潮堤に囲まれていない範囲を監視する火災感知器（サーモカメラ）を設けることで早期覚知が可能な設計とする。
- d. 下記の火災が発生した場合、消防機関から発電所へ連絡が入る。
 - ・ 発電所周辺で発生した森林火災
 - ・ 発電所へ迫る可能性があるると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4.1-2表、消防訓練の実績と頻度を第4.1-3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 4.1-2 表 森林火災発生時の初期消火活動要員の人数と役割



第 4.1-3 表 消防訓練実績と頻度

訓練項目	頻度	対象者	訓練内容
油火災消火訓練	4回/年	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	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	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	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	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	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	—	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。

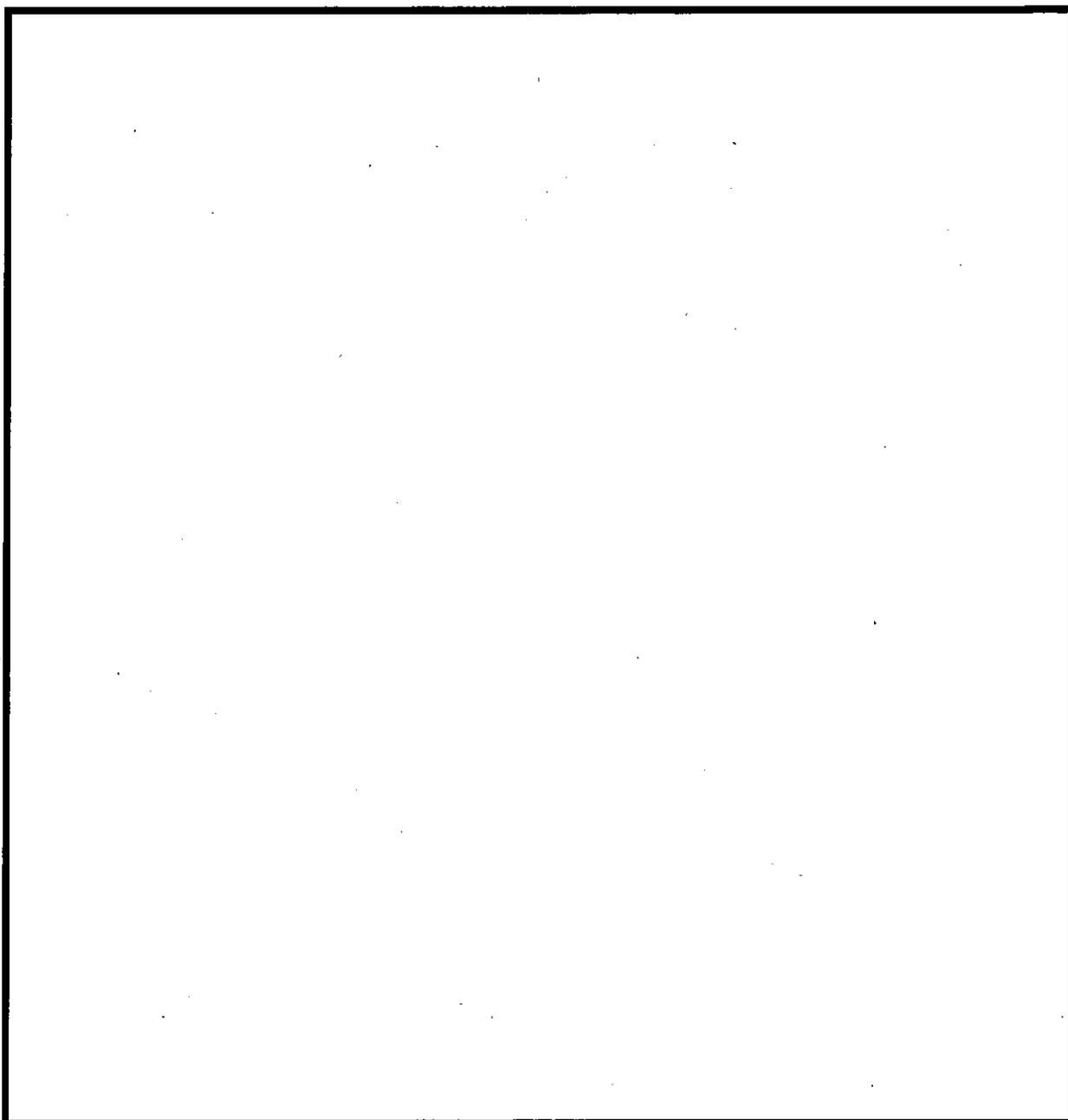
ii) 水源は散水地点に最も近い屋外消火栓※を使用する。なお、屋外消火栓の水源は原水タンクであり、このタンクの水源地は工業用水より自動補給されるため、連続散水が可能である。原水タンクは防火帯の内側に設置されているため、森林火災の影響は受けない。

iii) 消防車 1 台を使用したときの対応人数を第 4.1-4 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。

第 4.1-4 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)

(b) 所要時間

第 4.1-5 表に示すとおり，森林火災覚知後，12 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	森林火災覚知後の経過時間（分）					
		0	10	20	30		
火災延焼中の連絡	当直守衛員への火災延焼中の連絡	▽					
各所連絡・通報	119 番通報及び所内連絡		5分				
消火活動準備	初期消火活動要員出動準備		5分				
	消火活動場所までの移動			2分			
	ホース展長・散水準備			5分			
消火活動開始	防火帯への散水開始				▼ 12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

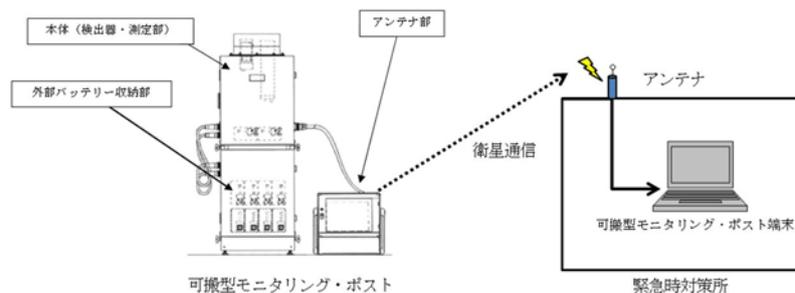
発火点 1 の火炎到達時間 0.32 時間（19 分）以内で散水が可能である。

(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

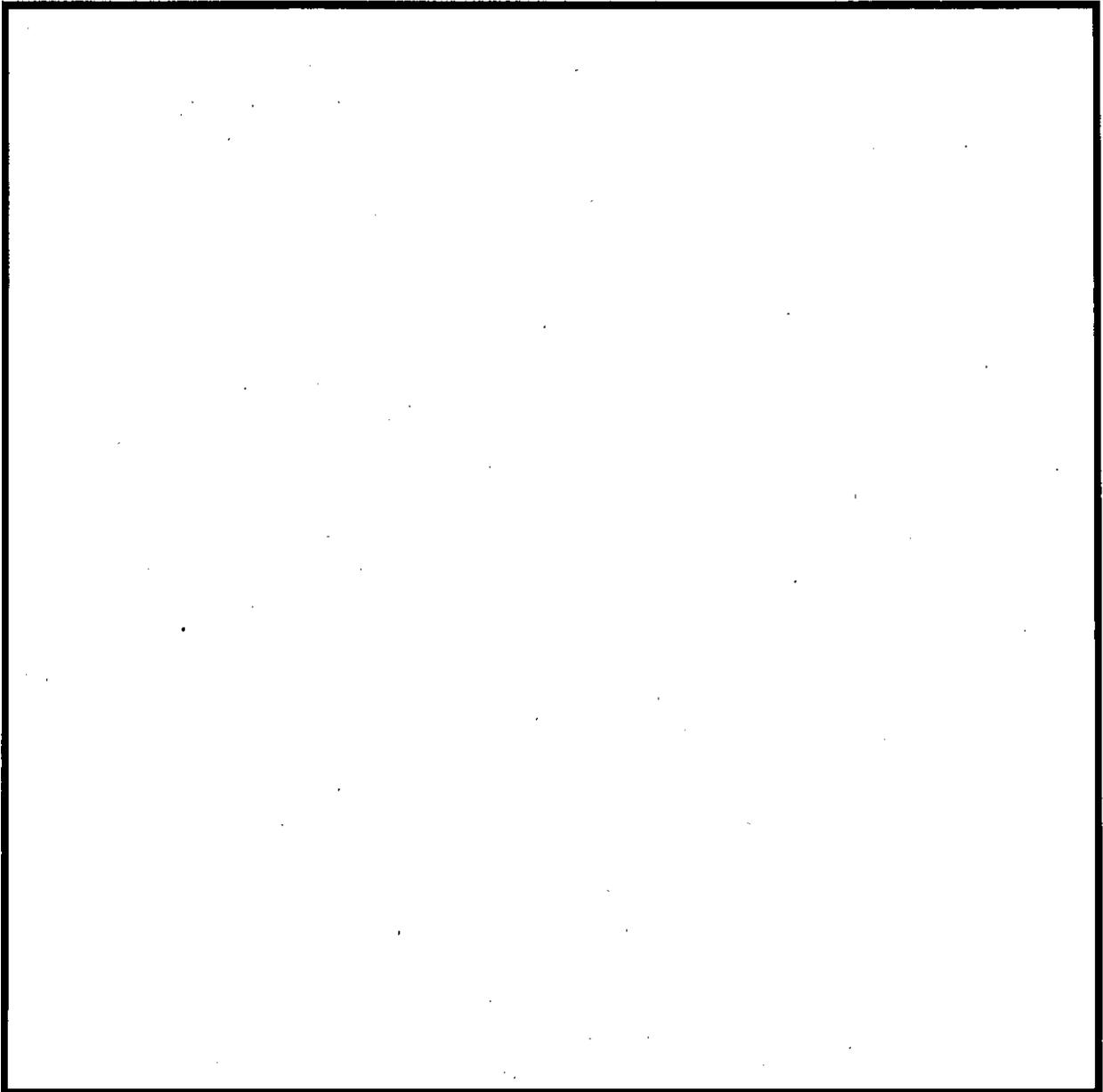
a. 散水開始までの所要時間

(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 散水位置（モニタリングポスト）

(b) 訓練結果

第 4.1-7 表に示すとおり，森林火災覚知後，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）

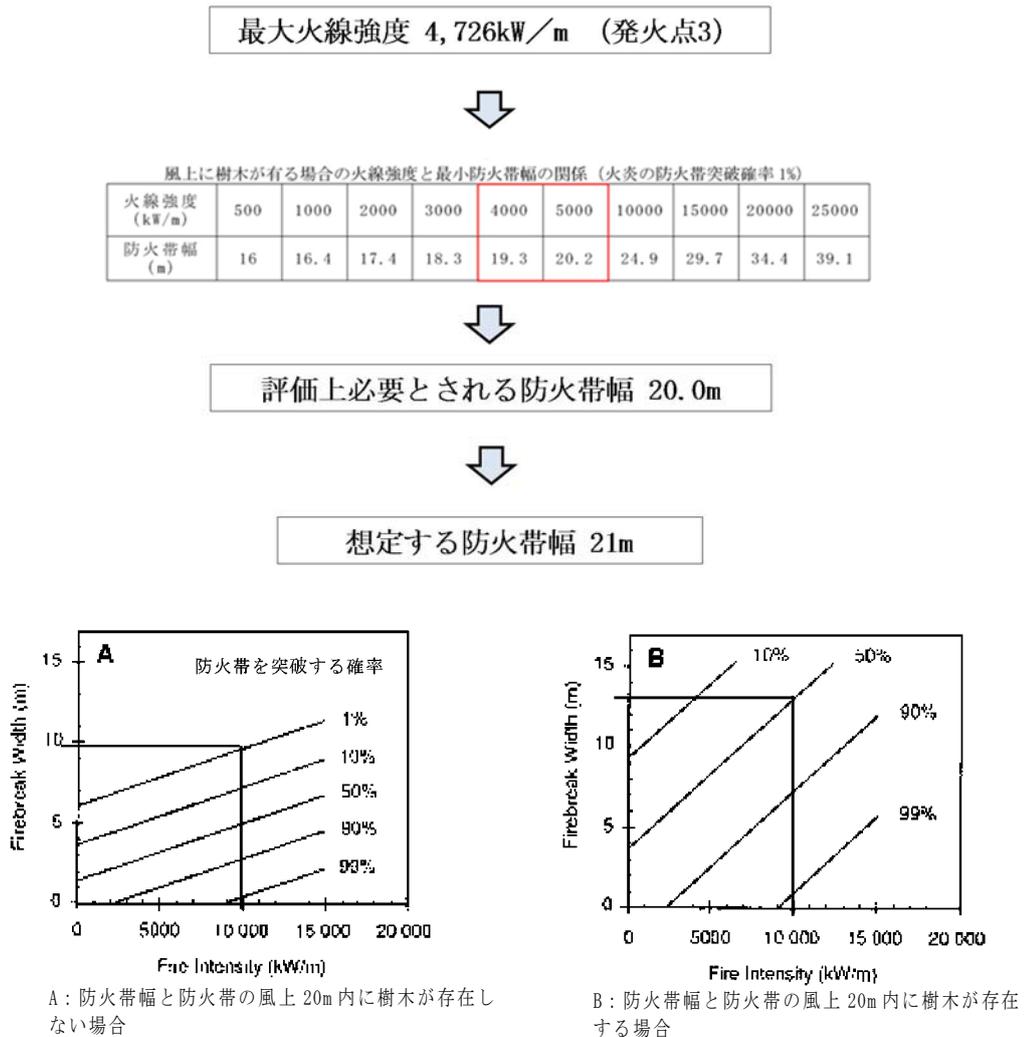
項目	活動内容	森林火災覚知後の経過時間（分）			
		0	10	20	30
火災延焼中の連絡	当直守衛員への火災延焼中の連絡	▽			
各所連絡・通報	119 番通報及び所内連絡	5分			
消火活動準備	初期消火活動要員出動準備	5分			
	消火活動場所までの移動		7分		
	ホース展長・散水準備			4分	
消火活動開始	モニタリングポストへの散水開始			▼	16分後 散水準備完了

□ : 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 4,726kW/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 20.0m に対して、21m 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 4,726kW/m に基づく防火帯幅 20.0m に保守性を持たせた 21m の防火帯を設定する。なお、防火帯外縁より 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 以上となるものは無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。

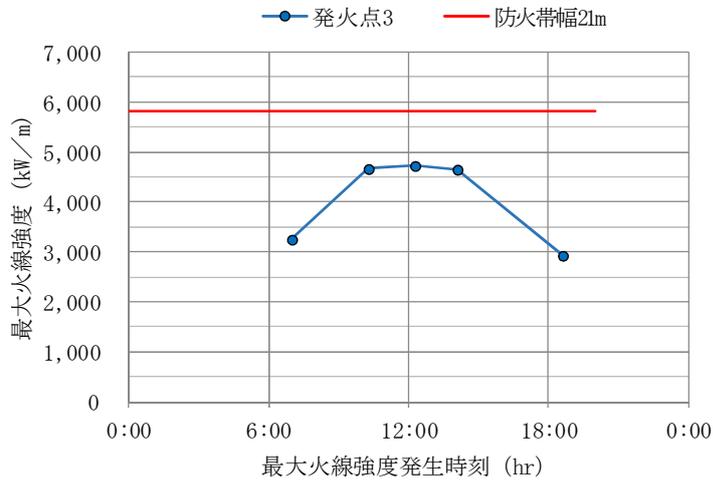
(3) 出火時刻の違いによる感度解析について

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、全発火点のうち最大の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	7:00	10:17	12:17	14:06	18:37
最大火線強度 (kW/m)	3,251	4,665	4,726	4,650	2,929

設定する防火帯幅 21m に相当する火線強度 5,803kW/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 21m の火線強度

(4) 防火帯の設定

防火帯を第 4.2-3 図に示す。

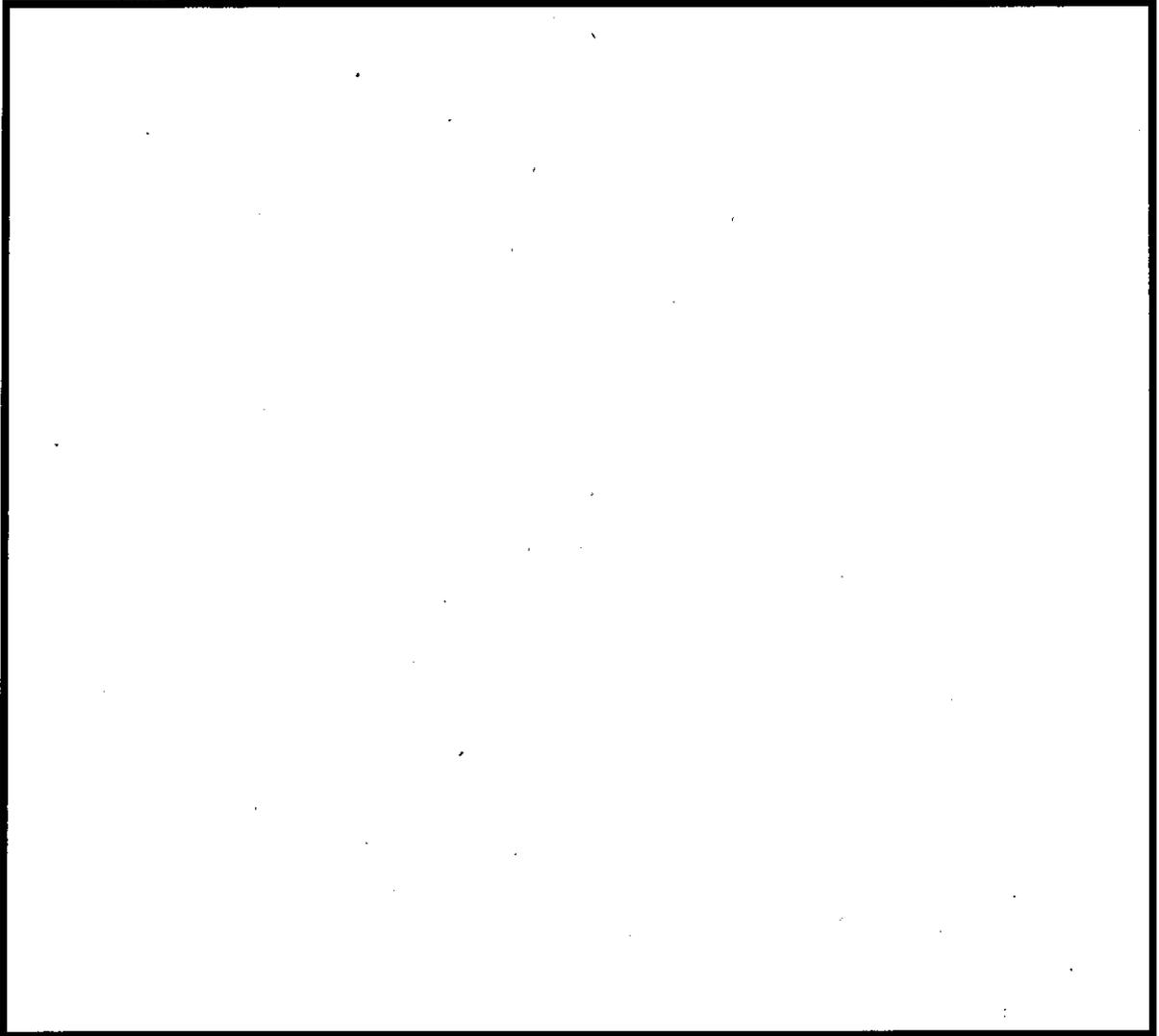
a. 防火帯の設定

- (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) 防潮堤を以下の理由から防火帯として兼用する。

- i) 防潮堤はセメント改良盛土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、防火帯上に駐車車両等の可燃物及び消火活動に支障となるものが存在しない管理を行う。(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

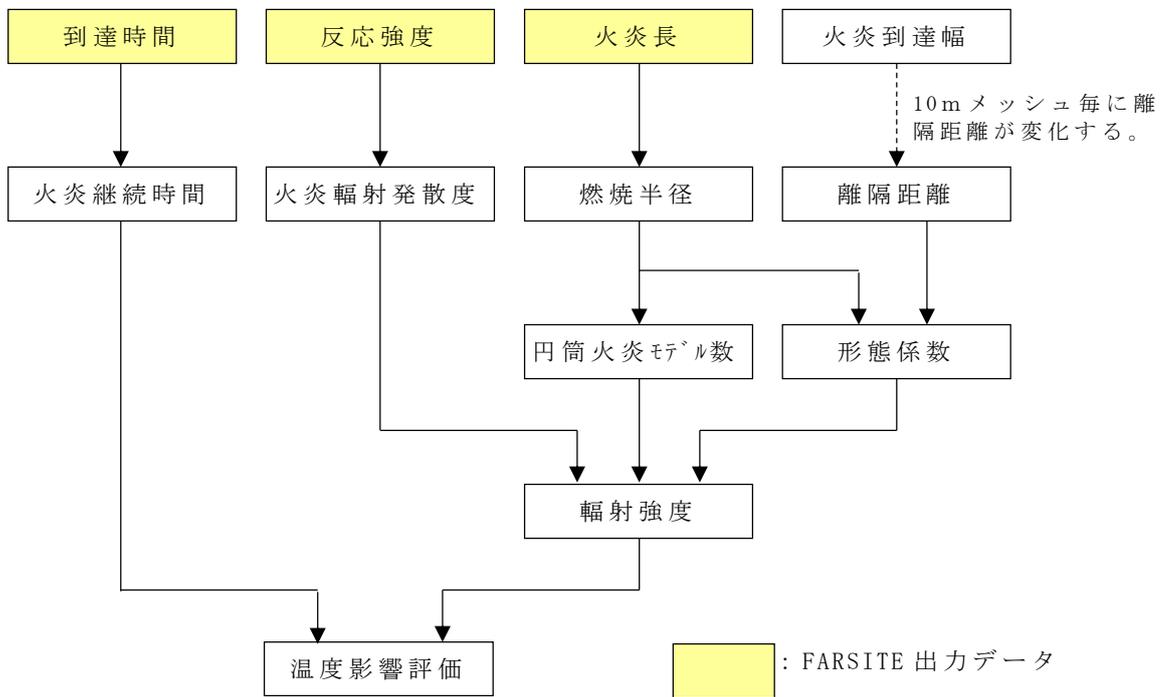
F A R S I T E 解析結果である火炎到達時間，反応強度，火炎長から，温度評価に必要なデータを算出した。温度評価に用いたデータの説明を第 4.3.1-1 表，F A R S I T E 解析結果及び算出データを第 4.3.1-2 表，温度評価の流れを第 4.3.1-1 図に示す。

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。火炎輻射発散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。
	火炎輻射発散度 (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

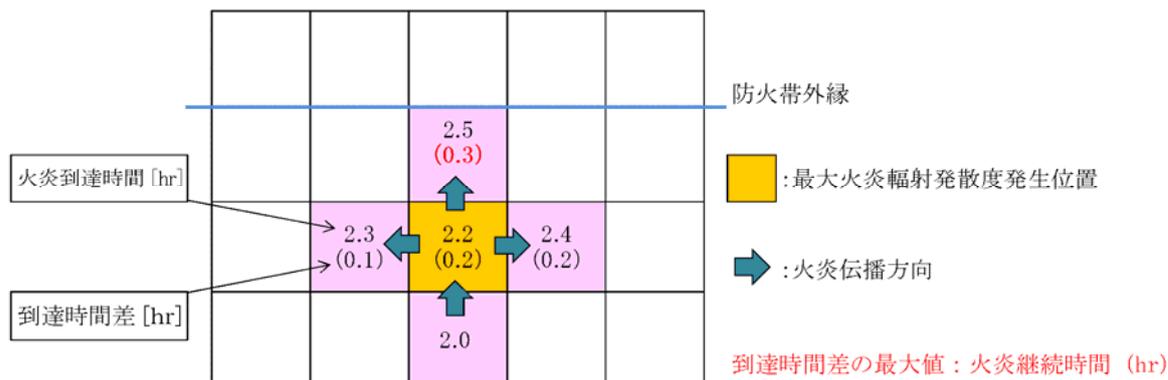
項 目	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
火炎到達時間 (hr)	0.32	2.8	0.9	5.9	6.4	4.3	0.26
火炎長 (m)	1.0	1.0	1.5	1.5	1.1	1.2	1.1
火炎継続時間 (hr)	0.13	0.22	0.07	0.08	0.12	0.12	0.20
火炎輻射発散度 (kW/m ²)	450	445	445	443	440	443	445
燃焼半径 (m)	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
火炎到達幅 (m)	1,940	1,600	1,940	1,750	1,940	1,940	1,220



第 4.3.1-1 図 温度評価流れ図

(1) 火炎継続時間

最大火炎輻射発散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) 火炎輻射発散度

火炎輻射発散度は 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・煙として対流放出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発散度の割合を求めることで，反応強度から火炎輻射発散度を算出する。「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。

反応強度 (W/m²) = 火炎輻射発散度 (W/m²) + 火炎対流発散度 (W/m²)

第 4.3.1-3 表 火炎輻射強度と反応強度の発熱量

発熱量 (ΔH)	火炎輻射発散度 (ΔHrad)	火炎対流発散度 (ΔHcon)	反応強度 (ΔHch)	係数 (ΔHrad/ΔHch)
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。

$$E_0 = \phi_0 \times F' \times R_f \quad (\text{中心火炎の場合})$$

$$E_i = \phi_i \times F' \times R_f \times 2 \quad (\text{中心以外の火炎の場合})$$

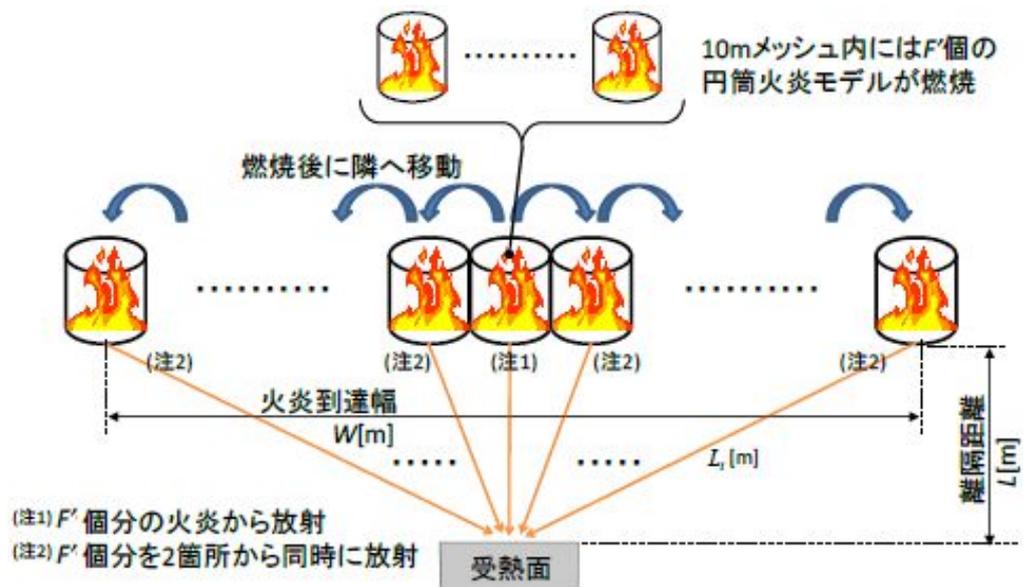
ϕ_i : 形態係数

R_f : 最大火炎輻射発散度 (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。火炎輻射発散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発散度の円筒火炎モデルが一様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 熱影響評価と危険距離の算出

(1) 建屋に対する熱影響評価

i) 外壁に対する熱影響評価と危険距離の算出

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℃を許容温度とする。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1次元非定常熱伝導方程式を差分法より解くことで外壁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。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図、海水ポンプ室の評価概念図を第4.3.2-2図、天井スラブへの輻射熱の影響の概念図を第4.3.2-3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。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E - h(T - T_0) \quad (x = 0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (x = L)$$

T : 表面温度 (°C) E : 輻射強度 (W/m²)

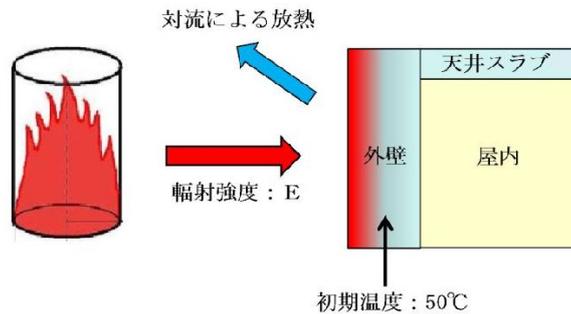
T₀ : 周囲温度 (50°C) ※¹ h : 熱伝達率 (17.0W/m²/K) ※²

ρ : 密度 (2,400kg/m³) k : 熱伝導率 (1.63W/m/K)

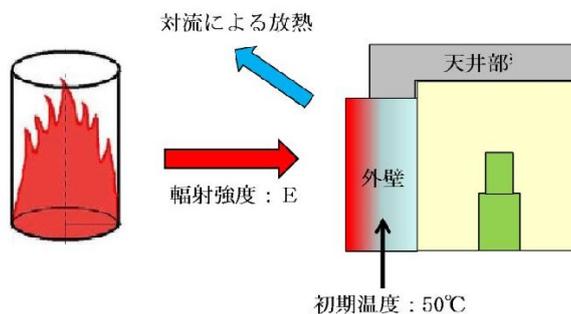
C_p : 比熱 (880J/kg/K) L : 厚さ [m]

※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

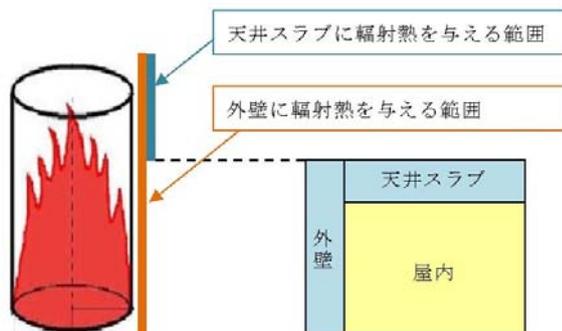
※2 : 空気調和・衛生工学便覧 (外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である 17W/m²/K を用いる。)



第 4.3.2-1 図 建屋外壁の評価概念図



第 4.3.2-2 図 海水ポンプ室の評価概念図



第 4.3.2-3 図 天井スラブへの輻射熱の影響

森林火災によって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。また，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。各外壁表面温度を第 4.3.2-1 表に，影響評価対象施設に対する危険距離を第 4.3.2-2 表に示す。

第 4.3.2-1 表 外壁表面の熱影響評価結果

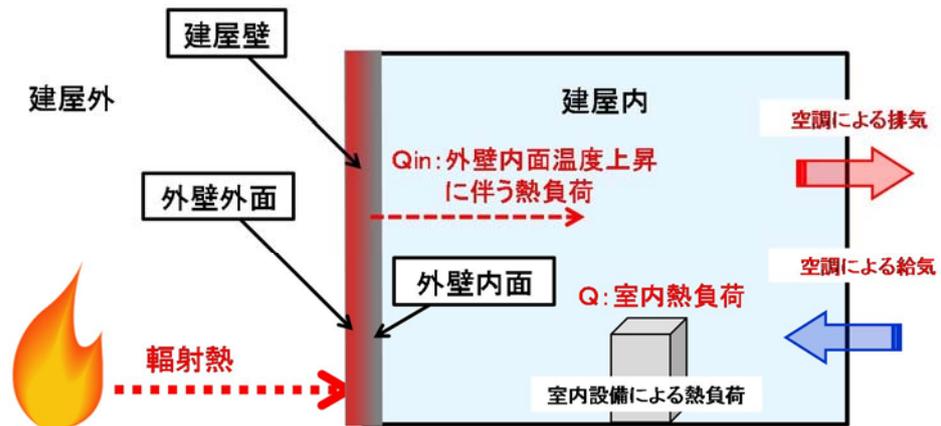
影響評価対象施設	評価温度 (°C)							許容温度 (°C)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	52	52	52	52	52	52	52	< 200
海水ポンプ室	51	51	52	52	51	51	52	
使用済燃料乾式貯蔵建屋	76	80	79	80	76	79	84	
タービン建屋	51	51	51	51	51	51	51	

第 4.3.2-2 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	13	15	14	14	13	14	16	258
海水ポンプ室	13	15	14	14	13	14	16	279
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	13	15	14	14	13	14	16	38
タービン建屋	13	15	14	14	13	14	16	315

ii) 建屋内部の室内温度評価

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、室内温度を評価した。室内温度評価の概念図を第 4.3.2-4 図、室内温度評価の評価条件を第 4.3.2-3 表に示す。



第 4.3.2-4 図 室内温度評価の概念図

第 4.3.2-3 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

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°C とする。

b. 評価結果

(a) 評価条件

i) の一次元非定常熱伝導方程式を用いて算出した第 4.3.2-4 表の外壁内面温度より，室内温度の評価を下式を用いて実施した。

第 4.3.2-4 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 7)	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。算出した結果は、第 4.3.2-5 表とおりであり、室内温度は許容温度以下であることを確認した。

$$T_{\text{room}} = \frac{Q + Q_{\text{in}}}{m \rho C_p} + T_a$$

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)

第 4.3.2-5 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 7)	中央制御室 (原子炉建屋)	33	< 40°C

(2) 排気筒に対する熱影響評価と危険距離の算出

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℃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，下記の温度評価式により排気筒鉄塔表面の温度を求め，表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。

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 4.3.2-5 図に示す。

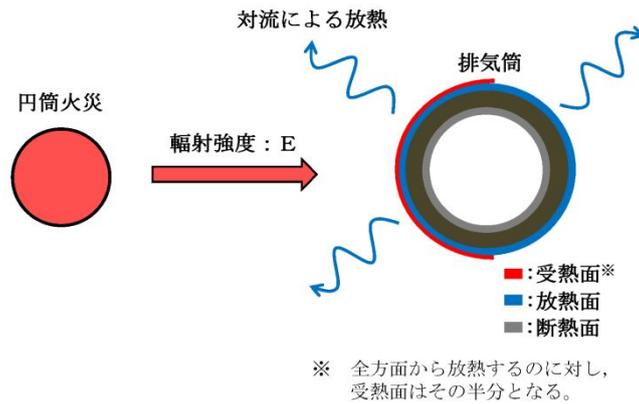
$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

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



第 4.3.2-5 図 排気筒の評価概念図

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。また，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。排気筒鉄塔表面温度を第 4.3.2-6 表に，排気筒に対する危険距離を第 4.3.2-7 表に示す。

第 4.3.2-6 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	52	52	52	52	52	52	52	< 325

第 4.3.2-7 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	15	14	19	19	15	16	16	257

(2) 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

a. 許容温度

吸気系フィルタ内へ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が担保される温度である 53℃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が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、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、当該危険物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、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。吸気系フィルタの評価概念図を第 4.3.2-6 図に示す。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T$$

T : 許容温度 (53℃), T_0 : 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 (10℃)^{*4}

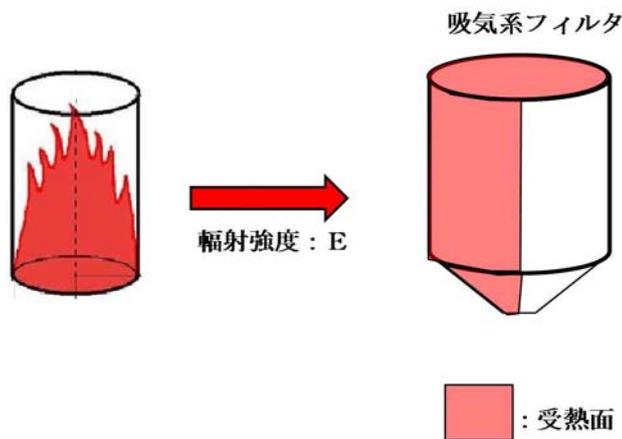
*1 : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間 (2003 年～2012 年) の最高気温

*2 : ディーゼル発電機機関の内、給気流量が少ない HPCS 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 : 鋼材の許容温度 325℃の構造材を介した温度上昇 (10℃)



第 4.3.2-6 図 吸気系フィルタの評価概念図

森林火災によって上昇する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℃以下であることを確認した。また，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。吸気系フィルタを通して流入する空気の温度を第 4.3.2-8 表に，吸気系フィルタに対する危険距離を第 4.3.2-9 表に示す。

第 4.3.2-8 表 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	
吸気系フィルタ	48	48	48	48	48	48	48	< 53

第 4.3.2-9 表 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	
吸気系フィルタ	6	6	8	8	6	7	6	258

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。

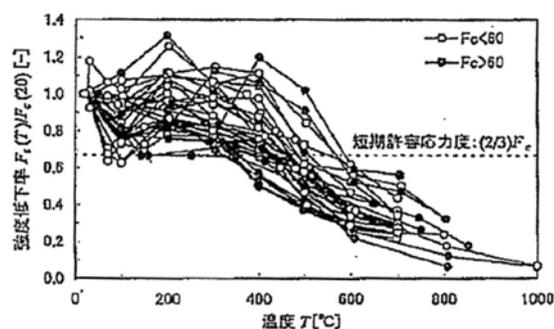


図 14 コンクリートの高温時圧縮強度（常温温度に対する比）（参考文献 18）～23）のデータより作成

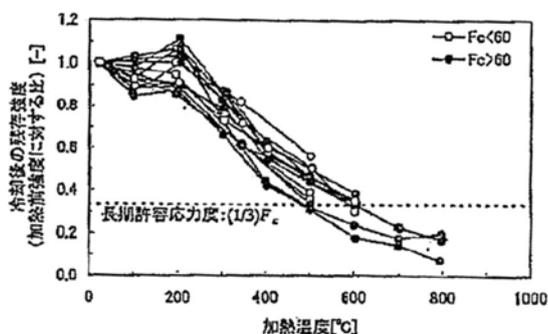


図 15 加熱後のコンクリート残存圧縮強度（加熱前強度に対する比）（参考文献 24）～26）のデータより作成

鋼材の許容温度に係る抜粋

(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一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。

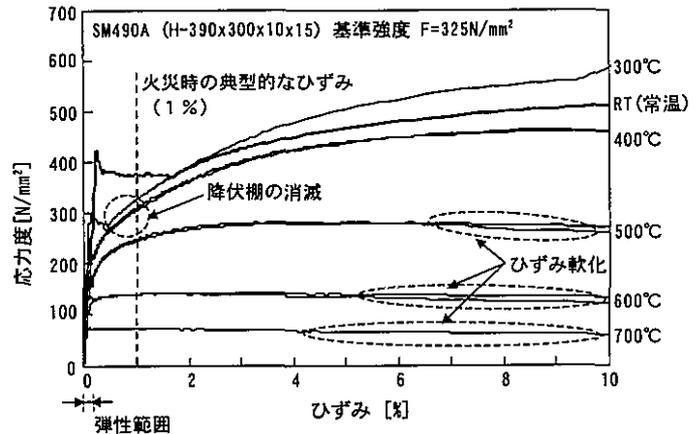


図4 構造用鋼材の応力—歪曲線の例²⁾
(出典：「2001年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説」、井上書院)

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。

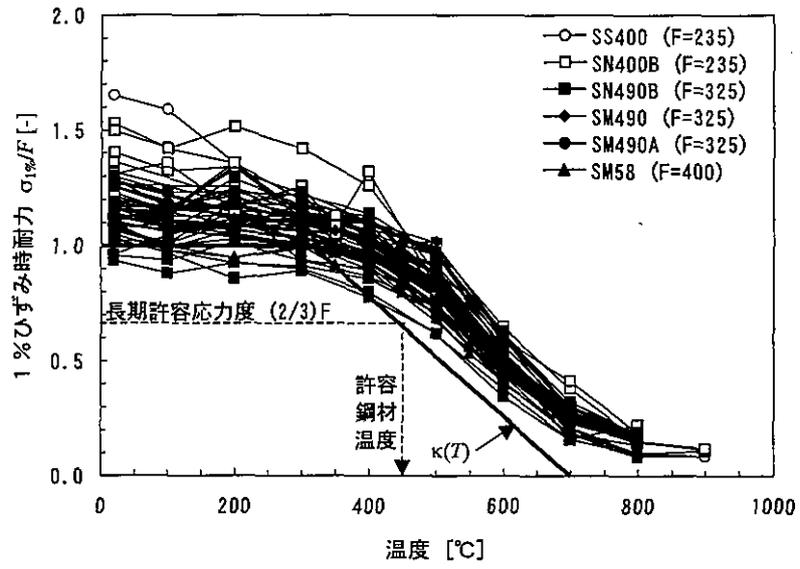


図5 各種鋼材の高温時の1%歪時耐力 (参考文献^{2)~6)} のデータから作成)

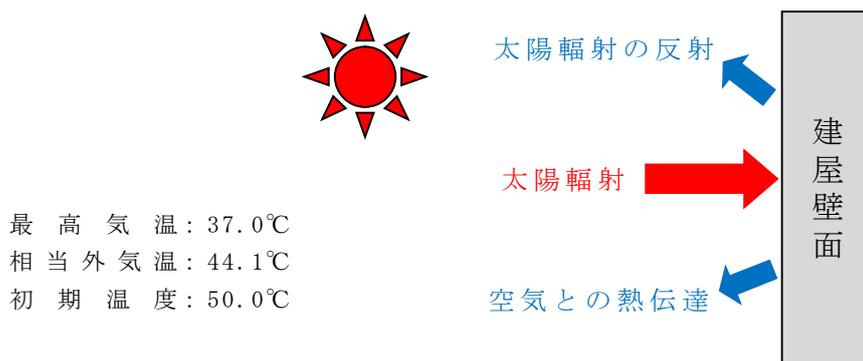
初期温度の考え方について

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：47.2℃
初期温度：50.0℃



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、すぐ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。

なお、可搬型重大事故等対処設備の保管場所からの出火を想定した場合、炎感知器やサーモカメラにて火災の早期検知が可能であり、すぐに消火対応が可能であることから周囲の広葉樹等に延焼する可能性は低い。

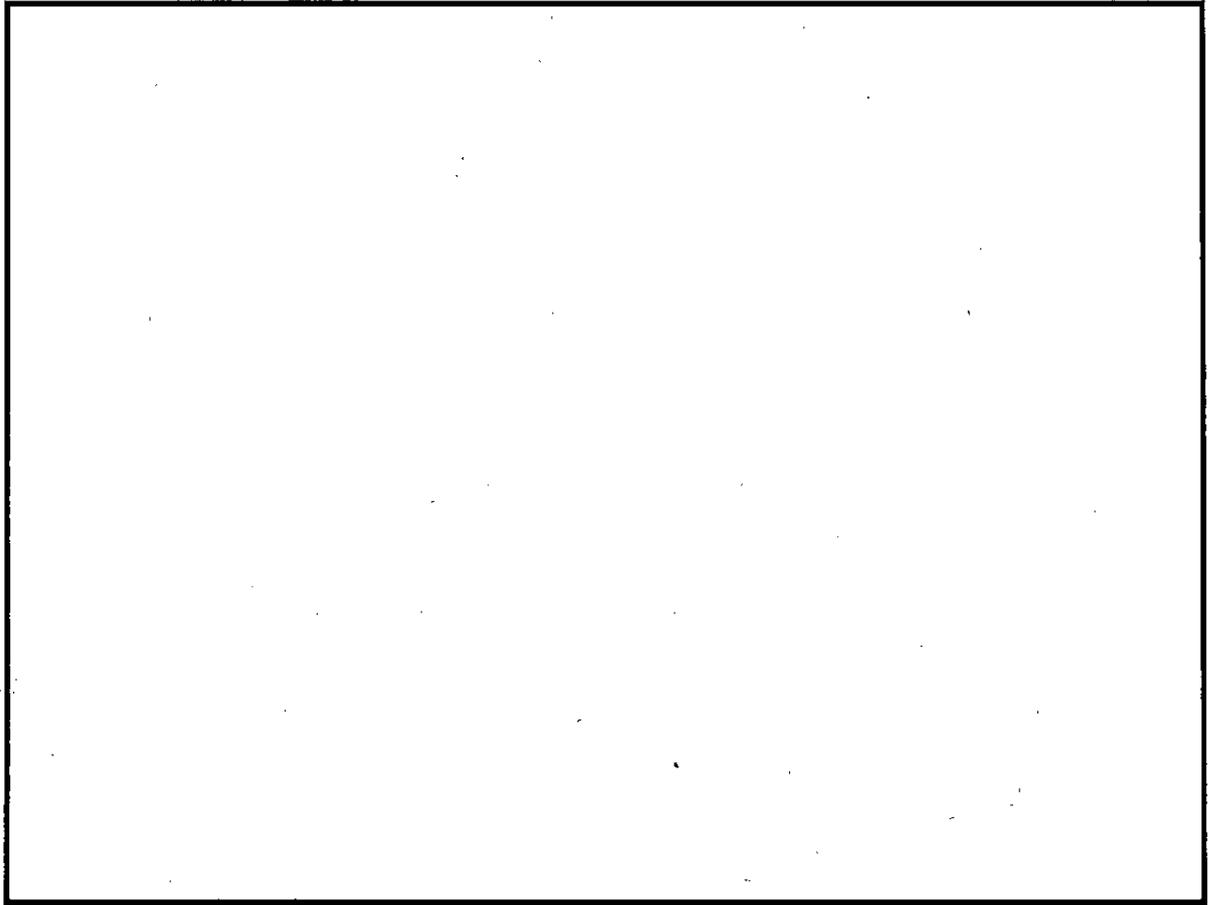


図 防火帯内植生図

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。

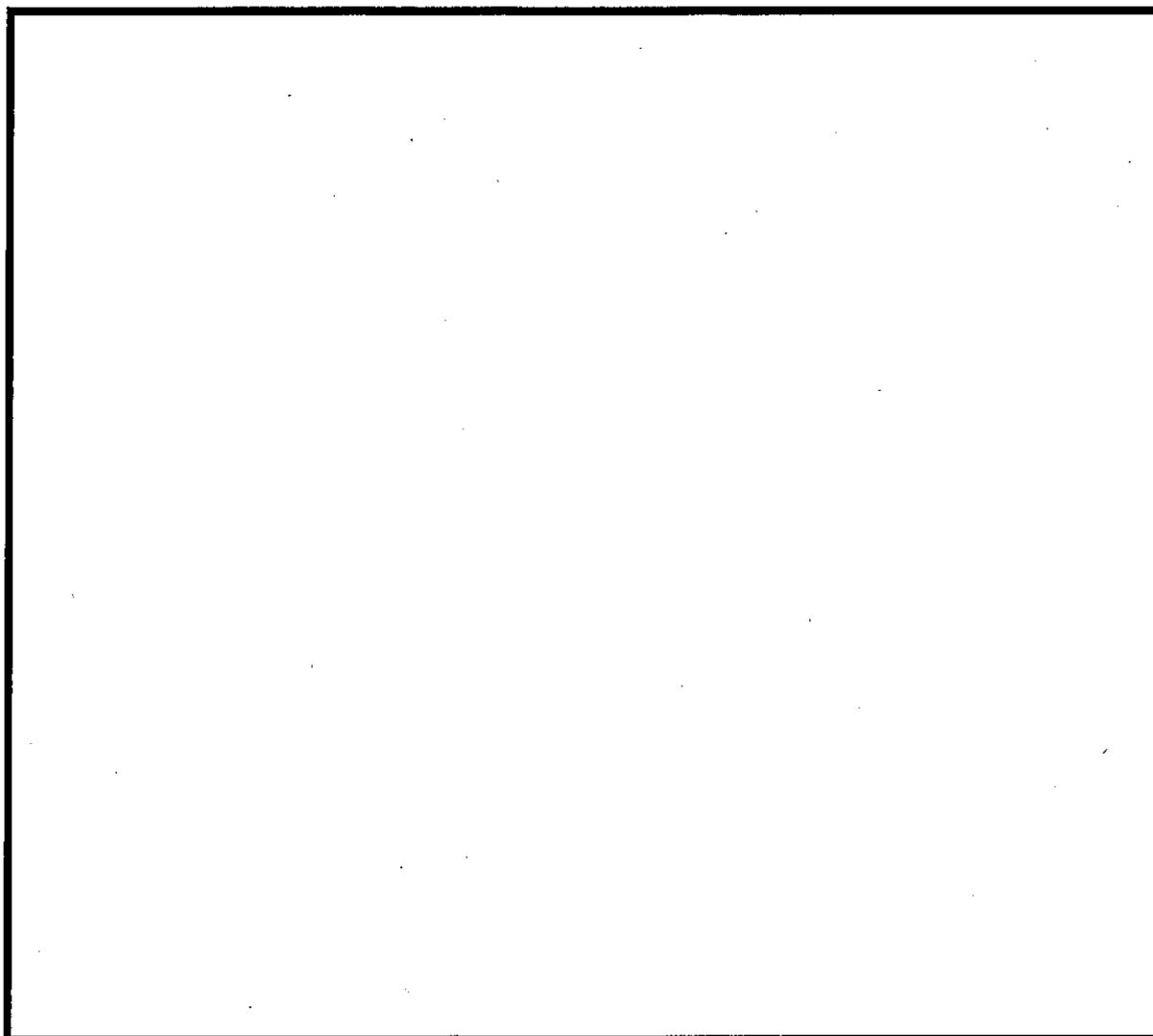


図 崩落評価の実施箇所と防火帯位置の関係

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

	設置箇所	内 容
①盛土壁	全体	<ul style="list-style-type: none"> ・盛土構造 ・セメント改良土を使用 ・地上高さ：1m～16m
②鋼管壁	使用済燃料乾式貯蔵建屋付近	<ul style="list-style-type: none"> ・丸パイプ形状の鋼管を地下に埋め込み ・地上部は厚さ 50cm のコンクリートで板張り ・地上高さ：10m
③ゲート	敷地南側境界付近	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管壁の道路部分に設置 ・鋼材製 ・地上高さ：17m

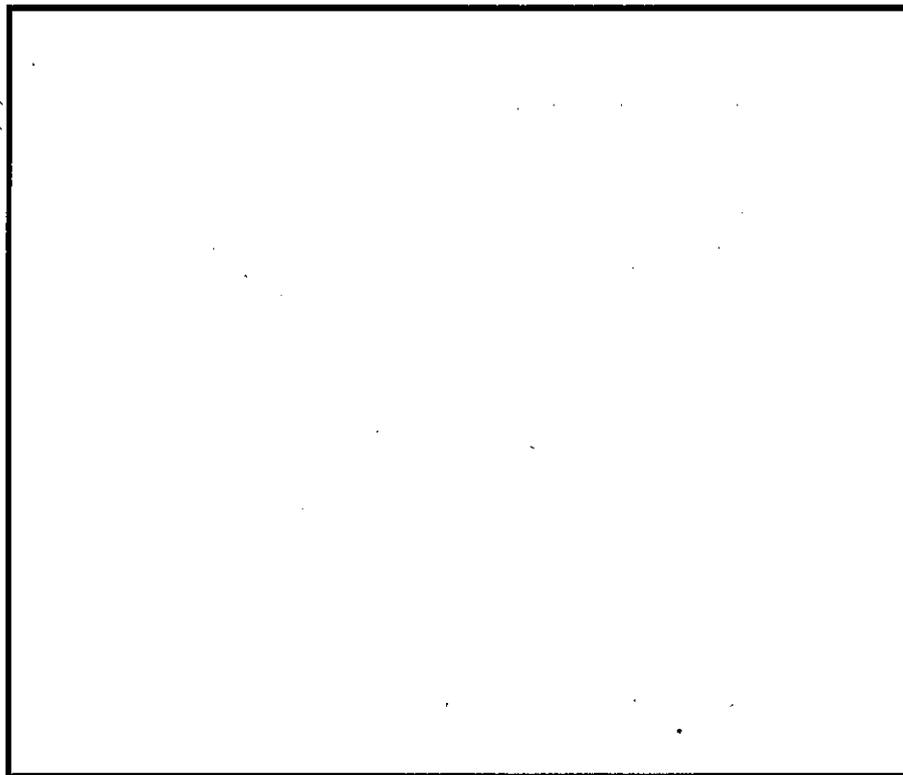


図 1 防潮堤における森林火災影響評価対象

2. 防潮堤に対する影響評価

(1) 盛土壁

防潮堤脇には幅 8m の道路があるため，森林外縁から 8m の位置にある盛土壁に対して，輻射熱の影響評価を行った。防潮堤への森林火災の概念図を図 2，モルタル厚さと上昇温度の関係を図 3 に示す。図 3 のとおり盛土壁表面に吹付けるモルタルにより，盛土壁表面の上昇温度を抑えることが可能である。これを踏まえ，耐火試験により求めるセメント改良土の許容値をもとに，この許容値を超えないために必要なモルタル厚さを設定する。

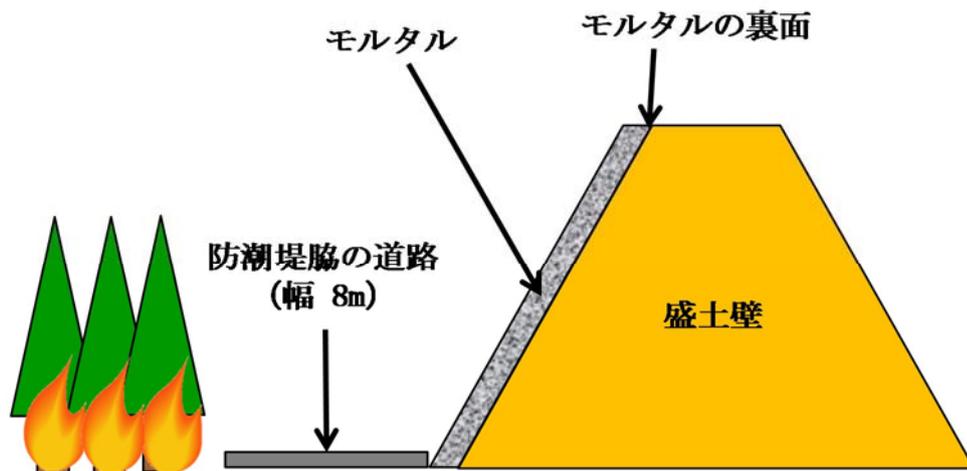


図 2 防潮堤に対する森林火災評価の概念図

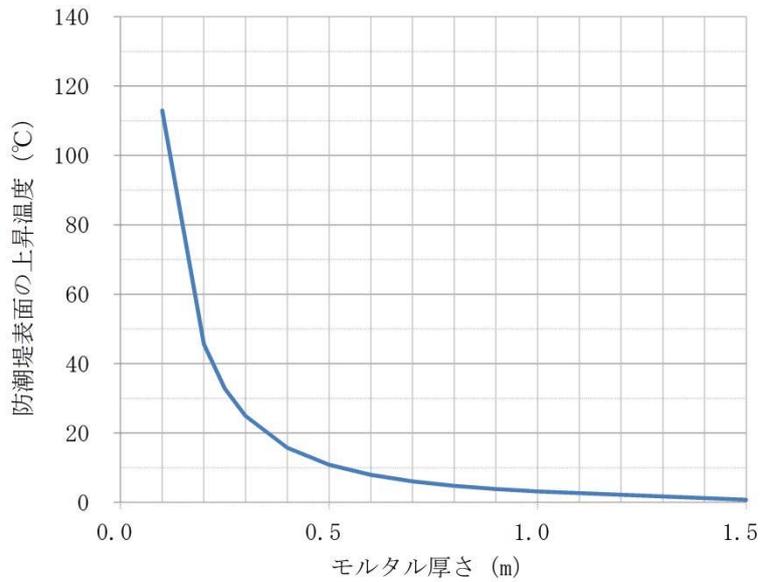


図 3 モルタル厚さと上昇温度の関係

(2) 鋼管壁，ゲート

鋼管壁はコンクリート，ゲートは鋼材を代表部材と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。鋼管壁及びゲートの評価結果を表 2 に示す。

表 2 鋼管壁及びゲートの評価結果

	森林からの離隔距離	危険距離
② 鋼管壁	19 m	16 m
③ ゲート	35 m	19 m

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，21m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

防火帯の設定にあたっては，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 	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"> ・ 表示板 	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※	53
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

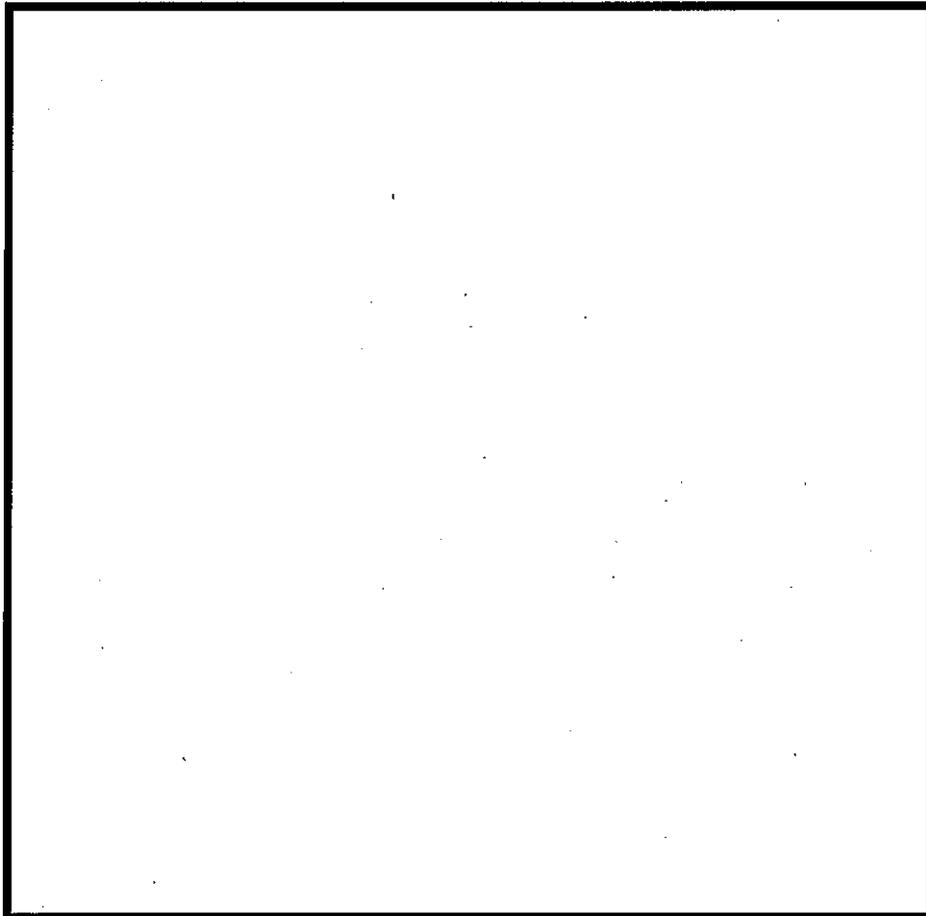


図 該当する施設の位置と離隔距離

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の保管場所及びアクセスルートについては、森林火災による熱影響を受けないよう森林外縁からの必要な離隔距離を確保するため、熱影響緩和措置等を行う。

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発散度が、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う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 51m 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るおそれが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。

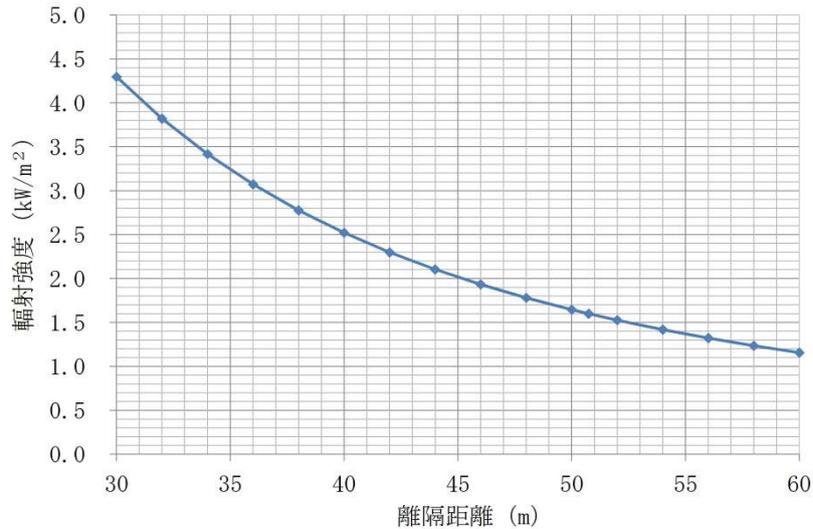


図 1 離隔距離と輻射強度の相関図

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/m²)	(kcal/m²h)		
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。皮膚に水泡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 フレア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（赤く斑点ができ水泡が生じる）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. 熱影響対策

可搬型重大事故等対処設備及びアクセスルートを移動する人員に対する熱影響の防止を目的として、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を確保する。

可搬型重大事故等対処設備及び一部のアクセスルートにおいて、必要な離隔距離を確保できない箇所があるが、可搬型重大事故等対処設備については、輻射強度が $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ 以下となるように熱影響緩和措置を実施し、アクセスルートについてはルートに多重性を設けることで、人員が受ける森林火災からの輻射強度が以下となるようなアクセスルートを必ず1つ以上確保する設計としている。輻射強度が $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ 以下となる範囲を図2に示す。

以上より、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、防火帯付近で森林火災が発生している場合であっても影響はない。

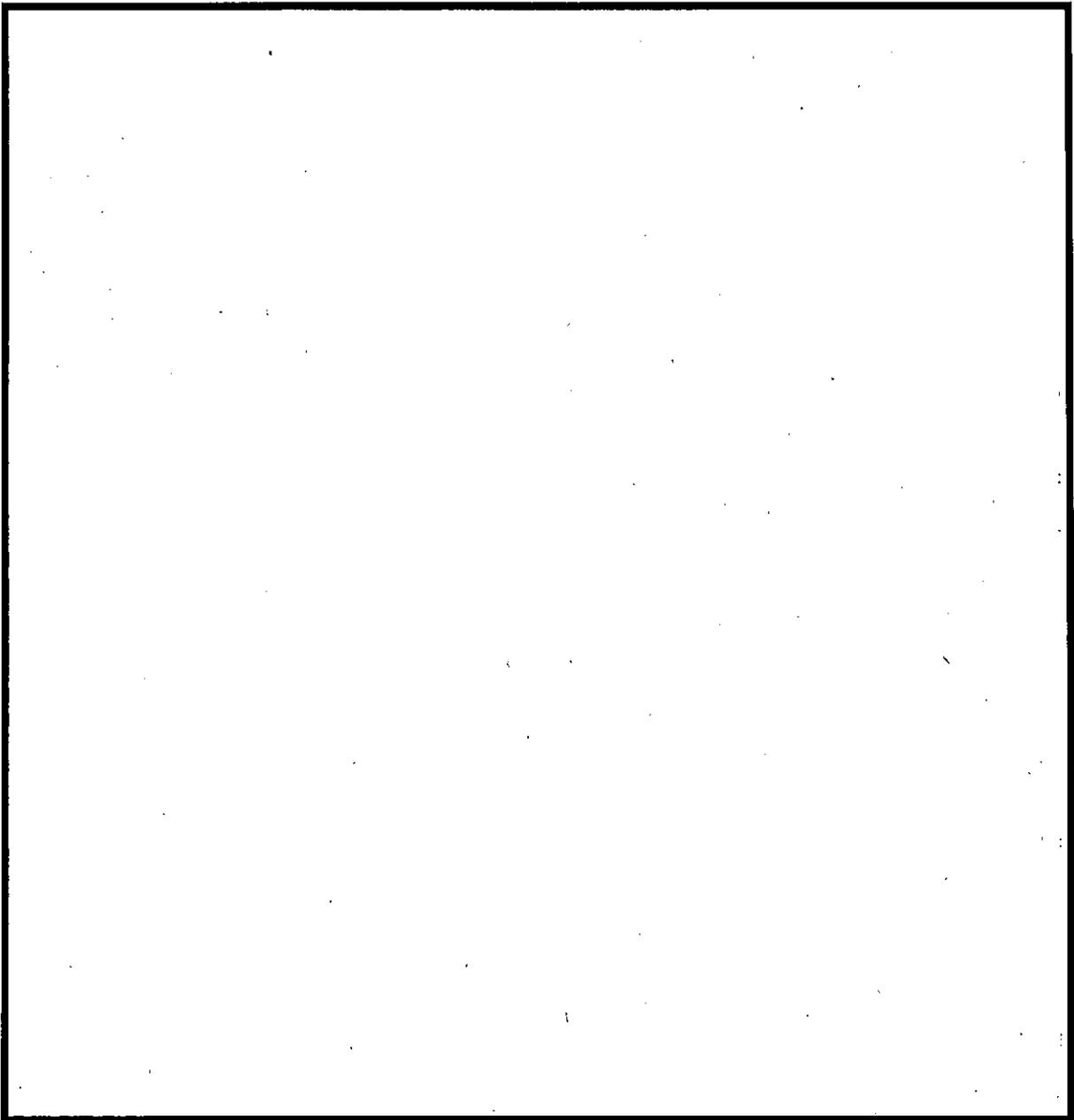


図 2 輻射強度が $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ 以下となる範囲

以 上

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、評価を実施するものである。

2. 危険物貯蔵施設抽出の考え方

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、必要に応じて危険物貯蔵施設を有する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

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

第3-1図に示すとおり鹿島臨海地区は東海第二発電所から約50km離れていることを確認した。



第3-1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、発電所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 石油類貯蔵施設

4.1.1 評価対象施設の抽出

第1類危険物から第6類危険物のうち、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な火災になる可能性のある第四類危険物について調査を実施し、発電所から10km以内（敷地内を除く）に、第1類から第6類までの危険物を貯蔵する石油類貯蔵施設が約500カ所（屋内貯蔵及び少量のものは除く）存在することを確認した。

この調査結果を基に、以下の通り抽出範囲を絞り込み、評価対象施設の抽

出を行った。

- i) 熱影響が最大となる仮想危険物タンク (n-ヘキサン^{※1}を 10 万 kL^{※2}貯蔵) を想定し, その危険距離を算出した結果, 1,329m となった。(別紙

3.1 参照)

※1: 評価ガイドに記載の第 1 石油類の中で最も輻射発散度が高い物質

※2: 「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

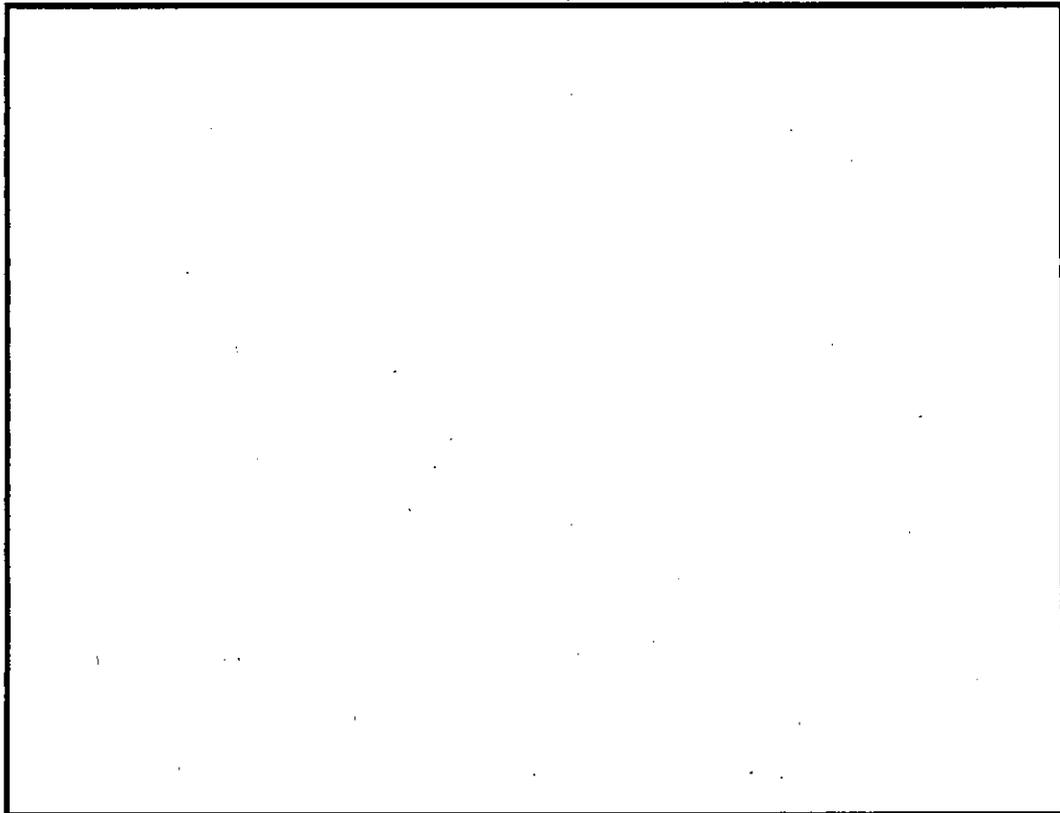
- ii) i) 項の結果と別紙 3.1 の評価結果を踏まえ, 発電所から 1.4km 以遠には発電所に影響を及ぼす石油類貯蔵施設は存在しないと判断し, 抽出範囲を発電所敷地から 1.4km 以内に絞り込んだ。調査結果を第

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 発電所周辺に位置する石油類貯蔵施設

施設区分	
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 以内に存在する石油類貯蔵施設のうち、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
位置する石油類貯蔵施設

4.1.2 火災の影響評価

4.1.2.1 評価条件

石油類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. 評価対象とする石油類貯蔵施設は 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) 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 (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 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 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)	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℃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が 200℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求め、当該危険物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、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。

$$T - T_0 = \frac{2E \sqrt{\kappa t}}{\lambda} \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) \right]$$

T : 許容温度 (200°C), T₀ : 初期温度 (50°C)*, E : 輻射強度 (W/m²)

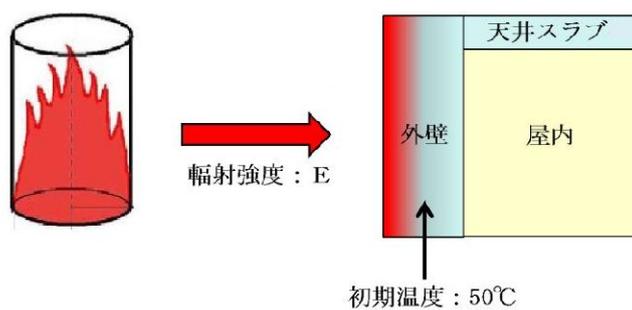
κ : コンクリート温度伝導率 (= λ / ρ C_p) (7.7E-07m²/s)

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)

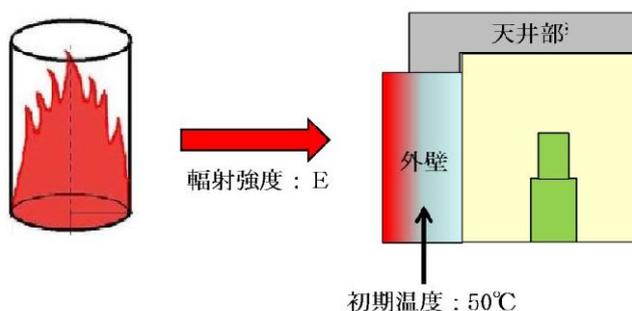
λ : コンクリート熱伝導率 (1.63W/m/K), t : 燃焼継続時間 (28,701s)

x : コンクリート壁表面深さ (0m)

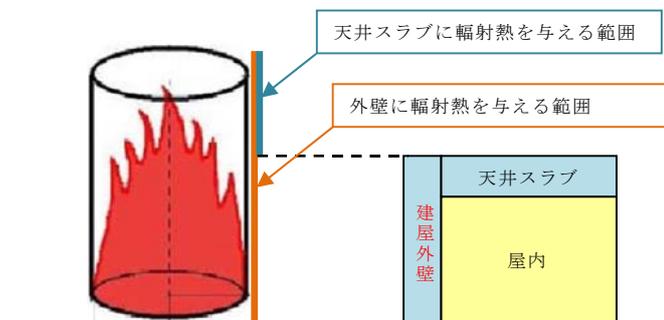
※ : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間 (2003 年~2012 年) (2003 年~2012 年) の最高気温に保守性を持たせた値



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

影響評価対象施設のコンクリート表面温度が 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. 3-1 表に示す。

第 4. 1. 2. 3-1 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

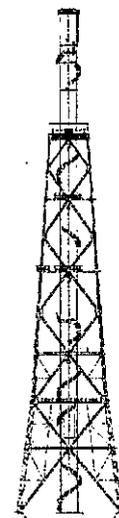
(1) 影響評価対象範囲

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。排気筒外形図を第 4. 1. 2. 4-1 図に示す。

(2) 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℃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熱伝達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が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求め，当該危険物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，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，評価にあ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。

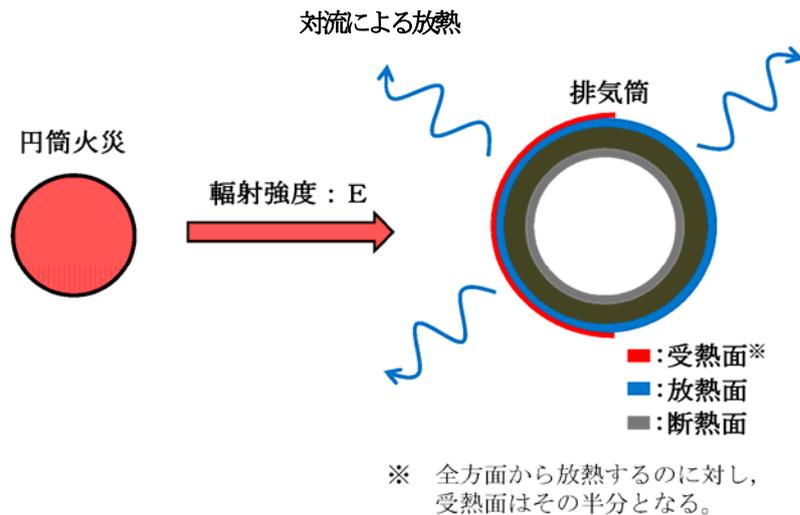
$$E = 2h(T - T_0)$$

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（2003 年～2012 年）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 4. 1. 2. 4-2 図 排気筒の評価概念図

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. 4-1 表に示す。

第 4. 1. 2. 4-1 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

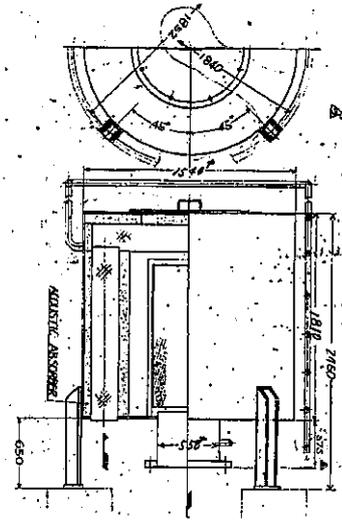
4. 1. 2. 5 ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する危険距離評価

(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。吸気系フィルタの外形図を第 4. 1. 2. 5-1 図に示す。

(2) 吸気系フィルタ仕様

名称	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 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距離

想定火災源	吸気系フィルタ (m)
	1,100

(4) 判断の考え方

a. 許容温度

吸気系フィルタ内へ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が担保される温度である 53℃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が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、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、当該危険物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、

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。吸気系フィルタの評価概念図を第 4.1.2.5-2 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 (10℃)^{※4}

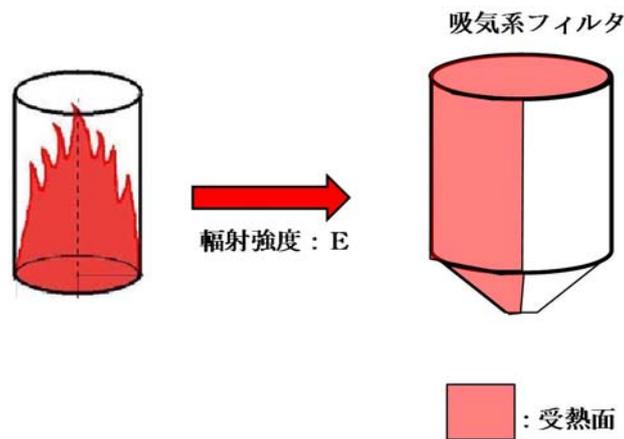
※1 : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間 (2003 年~2012 年) の最高気温

※2 : ディーゼル発電機機関の内, 給気流量が少ない HPCS 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 : 鋼材の許容温度 325℃の構造材を介した温度上昇 (10℃)



第 4.1.2.5-2 図 吸気系フィルタの評価概念図

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, 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 4.1.2.5-1 表に示す。

第 4.1.2.5-1 表 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)
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 W 値 ^{※5}	313	176

※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 K2240-2013 記載値

※4：評価ガイド 記載値

※5：貯蔵量は1t以上となるため、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、

$$\text{LNG タンク : } A = 97,704 \div (97,704 + 31,000) = 0.759$$

$$\text{LPG タンク : } B = 31,000 \div (97,704 + 31,000) = 0.241$$

$$Wt = \sqrt{97,704 + 31,000} = 358.753$$

第 4.2.1-1 表の評価条件より

$$X = 0.04 \times 14.4 \sqrt{(714 \times 1,000 \times A \times Wt) + (888 \times 1,000 \times B \times Wt)} = 373$$

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。

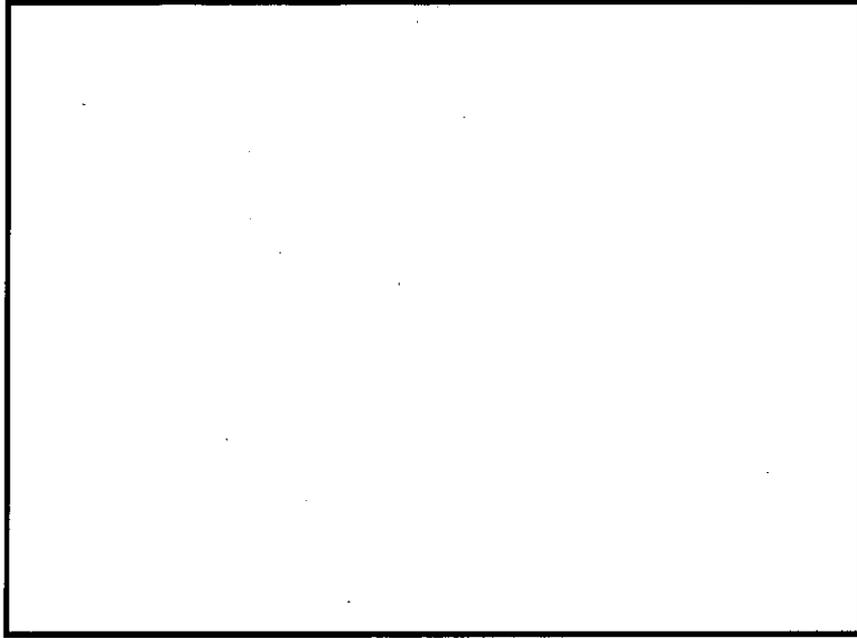
(2) 爆風圧の影響評価結果

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タンクで発生し易く、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発生し難い。

また、低温貯蔵タンク内部は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^{*2}。

さらに、タンク破損の際に放出されるエネルギーはガスタンクの内圧と気相部容積により算出できることから、「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、加圧貯蔵LPGタン

クと低温貯蔵LNGタンク及び低温貯蔵LPGタンクが持つ放出エネルギーを以下の式により算出した。評価結果を第4.2.2-1表に示す。

$$E = \left(\frac{P - P_0}{\gamma - 1} \right) V$$

E : 放出されるエネルギー [MJ] P : 放出前の容器内圧力 (絶対圧) [MPa]

P₀ : 放出後の圧力 (0.101MPa) V : 気相部容積 [m³]

γ : 容器内の気体の比熱比

第4.2.2-1表 放出エネルギー比較

対象施設	絶対圧 ^{※3} (MPa)	比熱比	気相部容積 ^{※4} (m ³)	放出エネルギー (MJ)
加圧貯蔵LPGタンク	1.831	1.1	1,200	20,760
低温貯蔵LNGタンク	0.123	1.3	1,200	88
低温貯蔵LPGタンク	0.123	1.1	1,200	264

- ※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」
- ※3 : 安全弁作動圧力に大気圧を加えた値
- ※4 : 一般的なガスタンクの容量

算出した結果、低温貯蔵タンクの放出エネルギーは加圧貯蔵LPGタンクと比較して1/240~1/80と小さいことを確認した。

したがって、東日本大震災で爆発火災が起きた加圧貯蔵型のLPGタンク（発電所10km以内に存在するタンク）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。

(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。

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⁾。

$$\begin{aligned} L &= 90M^{0.333} && (\text{容積 } 5\text{m}^3 \text{ 未満の容器}) \\ &= 465M^{0.10} && (\text{容積 } 5\text{m}^3 \text{ 以上の容器}) \end{aligned} \quad (\text{式 31})$$

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、過去の事件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. 評価対象とする石油類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表 1 に示す。

表 1 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) ^{※2}	防油堤面積 (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。算出結果を表 2 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)

表 2 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。算出結果を表 3 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)

表 3 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、排気筒及びディーゼル発電機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。評価結果を表4に示す。

- ・排気筒は鋼材、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。
- ・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) (7.7E-07m²/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)

表4 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。

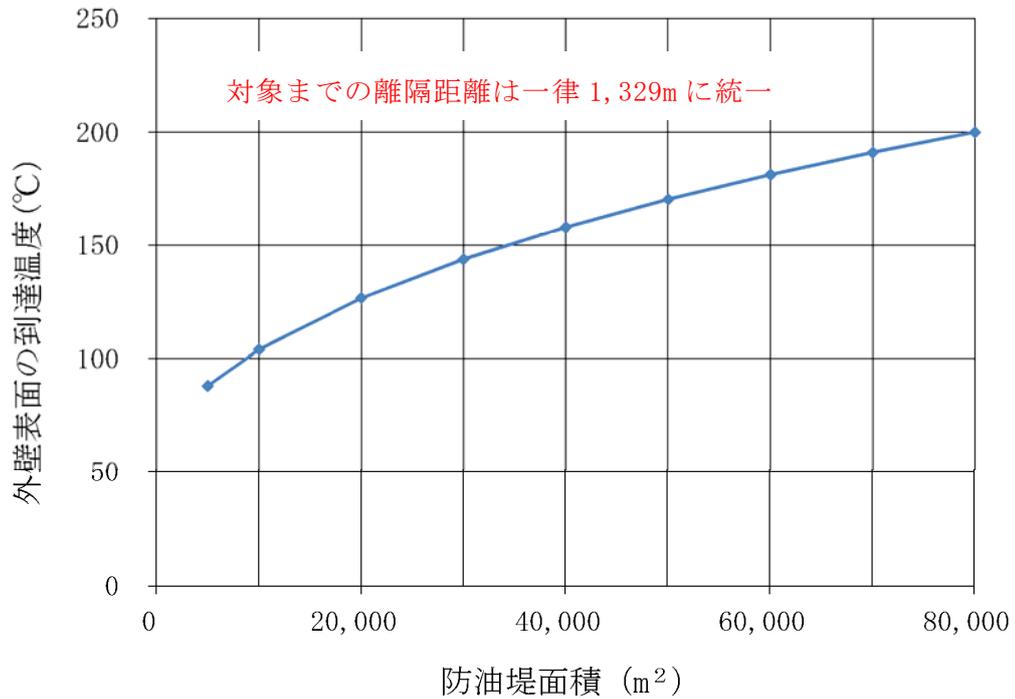


図 防油堤面積と外壁表面の到達温度の関係

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℃ に到達する危険輻射強度は以下のとおりとなる。

$$E = 2h (T - T_0) = 2 \times 17 \times (325 - 50) = 9,350$$

T : 許容温度 (325℃), T_0 : 周囲温度 (50℃) ※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 (2003 年～2012 年) 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, 評価ガイドに基づく算出式より, この火災の形態係数は以下の通り算出される。

$$E = R f \times \Phi \Rightarrow \Phi = R f \div E = \text{} \div 9,350 = 0.00245989$$

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。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n \sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{A(n-1)}}{\sqrt{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\frac{(n-1)}{\sqrt{(n+1)}} \right] \right\}$$

$$\text{ただし } m = \frac{H}{R} \div 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

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。

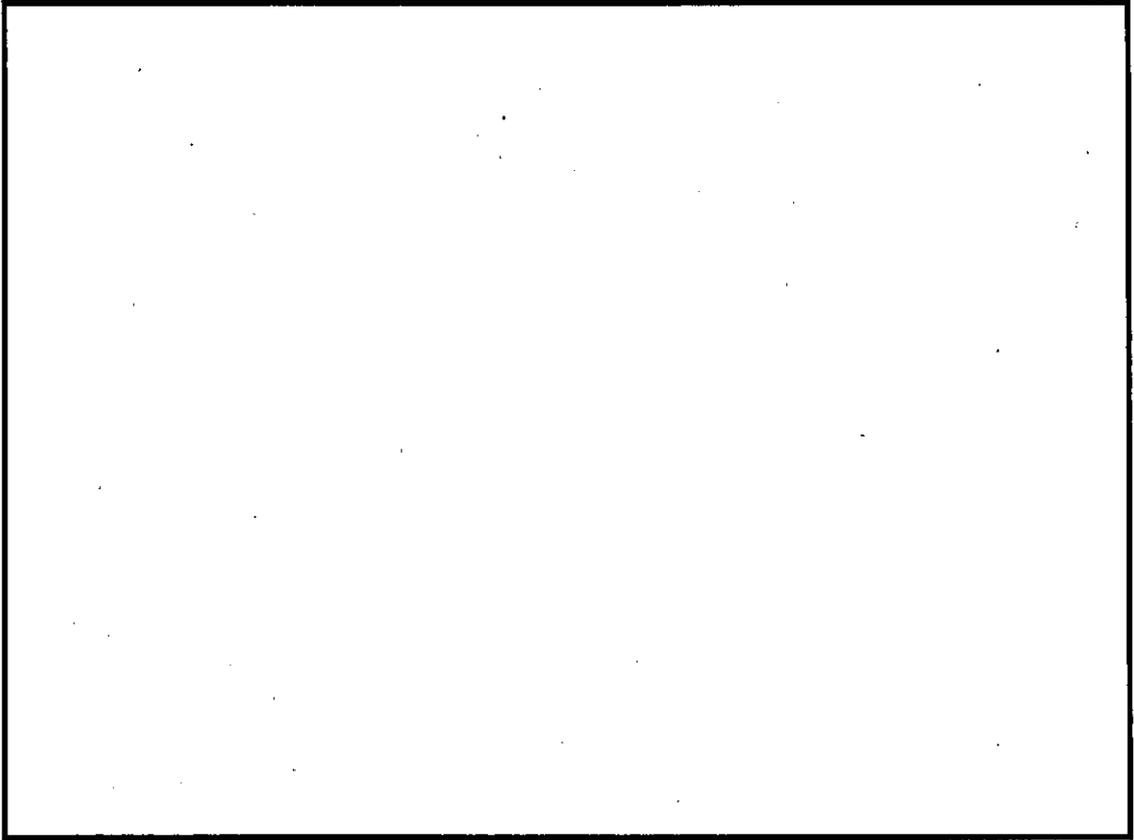


図 離隔距離と輻射強度の関係

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。抽出した対象は表 1 のとおり。

表 1 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表 2 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),

表 2 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、評価結果は表3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

表 3 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。飛来物の想定にあたり，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タンク構造図をもとに，「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、外力としては重力および平均抗力（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もっと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)

想定飛来物の諸元および、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。評価結果を表4に示す。

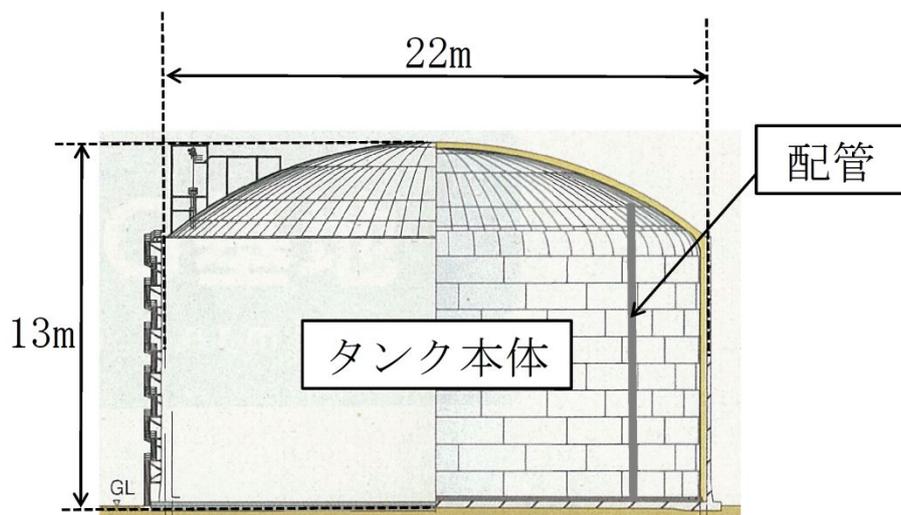


図1 LPGタンク概要図

表4 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、評価を実施するものである。

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（以下「タンクローリー」という。）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。

タンクローリーは、消防法（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号線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「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) タンクローリー及び燃料に係るデータ

タンクローリー及び燃料に係るデータを第2.1-1表に示す。

第 2.1-1 表 タンクローリー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)
タンクローリー	ガソリン	30	58	0.055	783	28.8093

※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 タンクローリーの燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m ²)	燃焼半径 R (m)
タンクローリー	28.8093 [※]	3

※：28kL タンクローリーのトレーラ全長 (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 (kg/m²/s)， ρ：燃料密度 (kg/m³)

第 2.1-3 表 タンクローリー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)
タンクローリー	30	3	0.055	783	14,826

2.2 評価結果

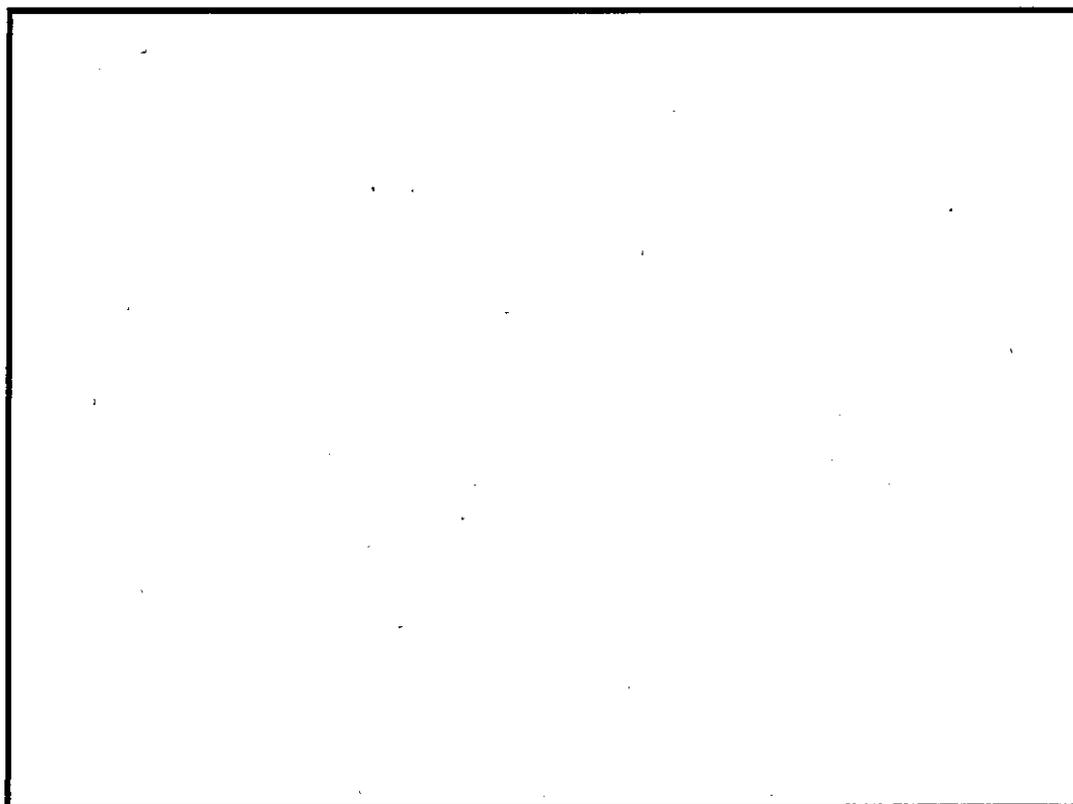
2.2.1 外壁に対する危険距離評価

(1) 影響評価対象範囲

影響評価対象施設の外壁について、タンクローリーの火災を想定して評価を実施した。位置関係を第 2.2.1-1 図に示す。

(2) 想定火災源から影響評価対象施設までの距離

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)
タンクローリー	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℃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が 200℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求め、当該タンクローリー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、当該タンクローリー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。

$$T = T_0 + \left(\frac{E}{a} \right) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \right) - \exp \left(\frac{a}{\lambda} x + \frac{a^2}{\lambda^2} \kappa t \right) \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} + \frac{a}{\lambda} \sqrt{\kappa t} \right) \right\} \right]$$

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) (7.7E-07m²/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 : 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 (2003 年～2012 年) 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。)

影響評価対象施設のコンクリート表面温度が 200°C となる危険距離を算出した結果, 各影響評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.1-1 表に示す。

第 2.2.1-1 表 外壁へのタンクローリー火災影響評価結果

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

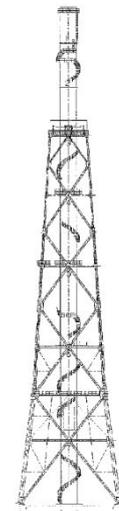
(1) 評価対象範囲

排気筒について、タンクローリー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。排気筒外形図を第 2.2.2-1 図に示す。

(2) 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距離

想定火災源	排気筒 (m)
タンクローリー	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℃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熱伝達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が 325℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求め、タンクローリー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、タンクローリー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、評価にあたって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも鉄塔がタンクローリー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。

$$E = 2h(T - T_0)$$

T : 許容温度 (325℃), T_0 : 周囲温度 (50℃)※¹

E : 輻射強度 (W/m^2), h : 熱伝達率 ($17W/m^2/K$)※²

※¹ : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間 (2003 年～2012 年) 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 $17W/m^2K$ を用いる。)

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 2.2.2-1 表に示す。

第 2.2.2-1 表 排気筒へのタンクローリー火災影響評価結果

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

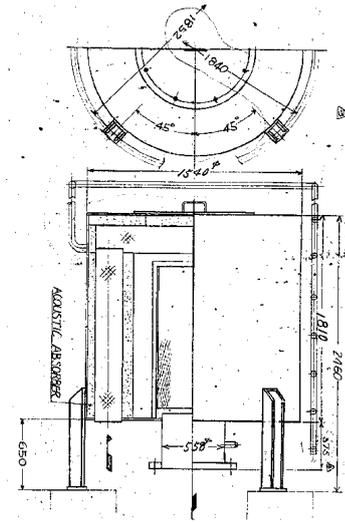
(1) 影響評価対象範囲

ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響がある吸気系フィルタの流入空気温度について、タンクローリーの火災を想定して評価を実施した。

吸気系フィルタ外形図を第 2.2.3-1 図に示す。

(2) 吸気系フィルタ仕様

名称	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 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距離

想定火災源	吸気系フィルタ (m)
タンクローリー	510

(4) 判断の考え方

a. 許容温度

吸気系フィルタ内へ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が担保される温度である 53℃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が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、当該タンクローリー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、当該タンクローリー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。吸気系フィルタの評価概念図を第2.2.3-2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(10℃)^{※4}

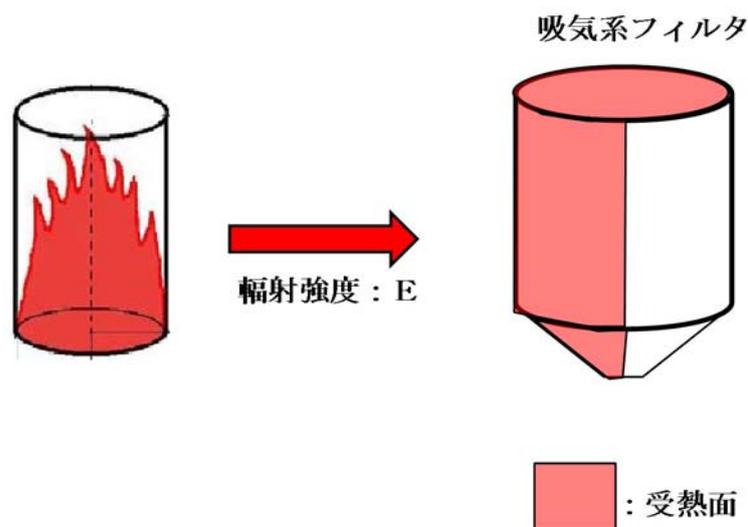
※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間(2003年～2012年)の最高気温

※2：ディーゼル発電機機関の内、給気流量が少ないHPCS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：鋼材の許容温度325℃の構造物を介した温度上昇(10℃)



第2.2.3-2図 吸気系フィルタの評価概念図

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、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 2.2.3-1 表に示す。

第 2.2.3-1 表 吸気系フィルタへのタンクローリー火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
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タンクローリーの爆発を想定し、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タンクローリーは、最大クラスのタンクローリー（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 号線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

	LNG ローター	LPG ローター
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(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 外壁へのタンクローリー爆発影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量(t)	危険限界距離(m)	離隔距離※(m)
LNGローリー	メタン	15.1	81	450
LPGローリー	プロパン	15.1	88	

※:防護対象施設のなかで国道245号線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号線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、タンクローリー（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。飛来物の想定にあたり、BLEVEを引き起こす可能性がある加圧貯蔵のタンクローリーのうち積載量が国内最大クラスの構造図をもとに、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、爆発力の方向をふまえると、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 図のとおりタンクローリーの構造図、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度の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。

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)

M : タンクの質量 (kg), t : タンク外層の厚さ (0.01m)※¹

ρ : タンク材密度 ($7,850\text{kg}/\text{m}^3$)※²

※¹ : 薄いほど評価上保守的になるため、最も薄い外層部材の厚さを設定

※² : 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} (m ³)	タンクの質量 ^{※2} (kg)
タンクローリー	LPG	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：安全弁設定圧力×1.2

※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 (J)	飛来物の最高速度 (m/s)
タンクローリー	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、外力としては重力および平均抗力（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もっとも遠くまで到達する角度とした。

$$\text{水平方向} : m \frac{dv_x}{dt} = F \frac{v_x}{V(t)}$$

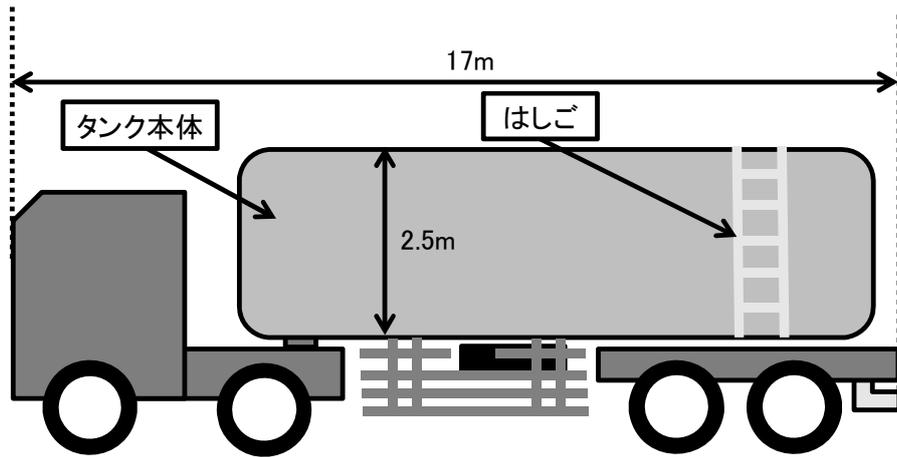
$$\text{鉛直方向} : m \frac{dv_y}{dt} = F \frac{v_y}{V(t)} - m g$$

$$F = -\frac{1}{2} C_D A \rho V(t)^2$$

$$V(t) = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

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/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 (1.2kg/m^3)

タンクローリー概要図を第 4.2.2-1 図に、想定飛来物の諸元および、飛散距離の計算結果を第 4.2.2-1 表に示す。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、タンクローリー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。



第 4. 2. 2-1 図 タンクローリー概要図

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)	69.3 ^{*2}	3238.1 ^{*3}
飛散距離 (m)	435	353
離隔距離 (m)	450 (国道 245 号線から最も近い原子炉施設 (タービン建屋) までの距離)	

※1：車両制限令に定められる車両の最大限度

※2：鋼製パイプの直径および質量については、「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：積載 16t ガスタンクローリーの構造図よりタンク板厚 0.01m

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、評価を実施するものである。

2. 漂流船舶の火災影響評価

発電所から約 1,500m の位置に、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）が稼働中であるため、

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。

なお、である発電所の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。

また、発電所港湾内に定期的に入港する船舶（以下「定期船」という。）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。定期船は以下と浅く、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、排気筒及びディーゼル発電機機関の吸気系フィルタ（以下「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) 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 2.1-1 図、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)

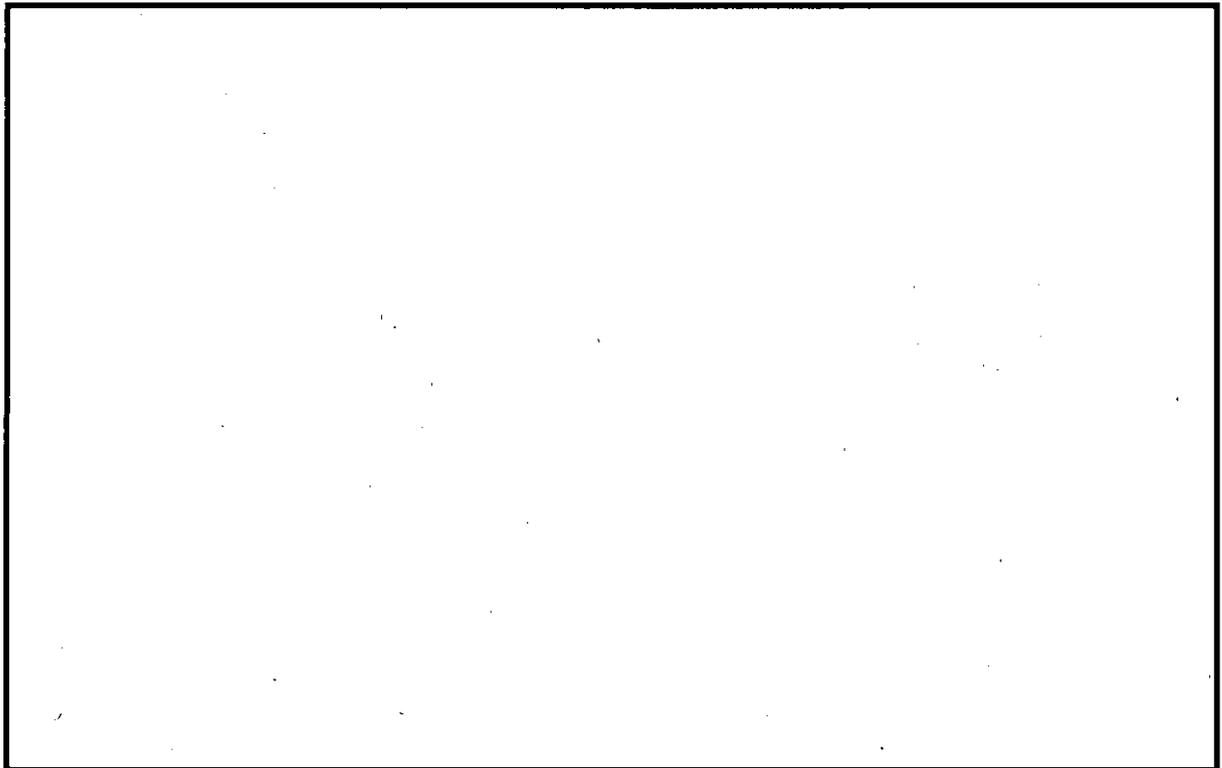
※1：評価ガイド 記載値

※2：NUREG-1805 記載値

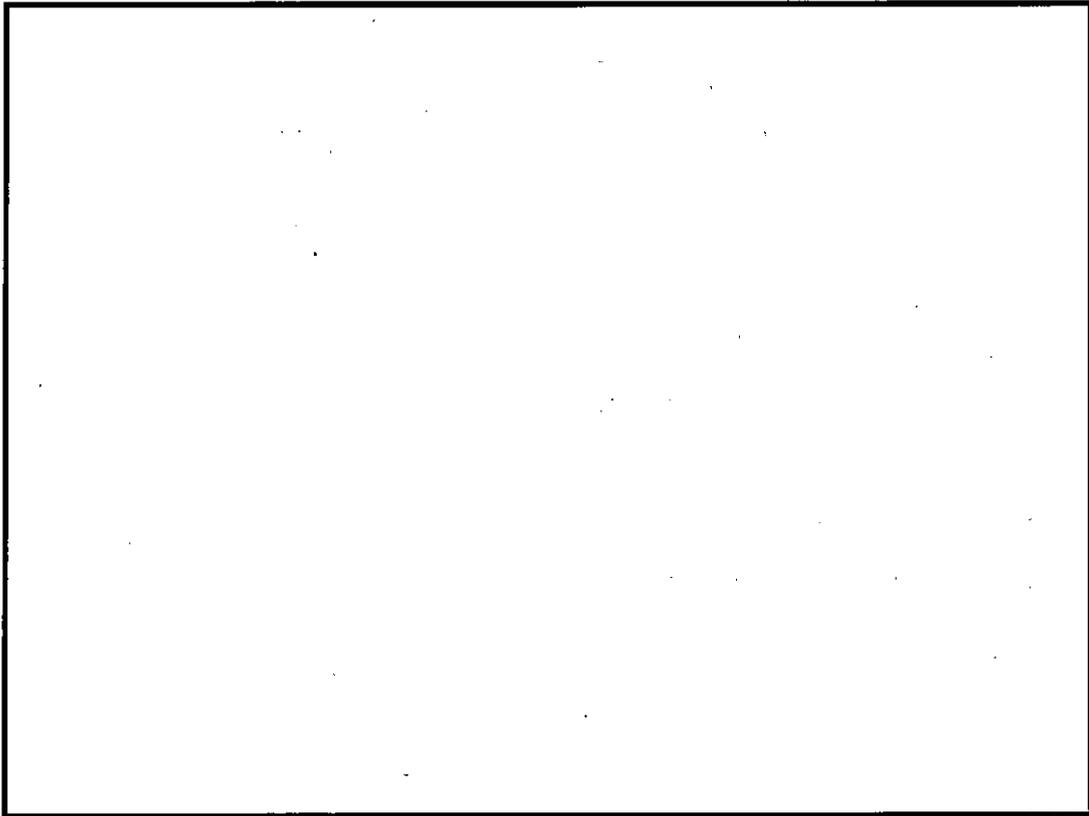
※3：MSDS (製品データ安全シート)

※4：[] に包絡されるため影響評価対象外とした。

※5：[] 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 定期船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	900	1, 100	1, 300
	300	70	270	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℃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が 200℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求め、当該船舶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。

$$T = T_0 + \left(\frac{E}{a}\right) \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) - \exp\left(\frac{a}{\lambda}x + \frac{a^2}{\lambda^2}\kappa t\right) \left\{ 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} + \frac{a}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right) \right\} \right]$$

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) (7.7E-07m²/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 (2003 年～2012 年) 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。)

影響評価対象施設のコンクリート表面温度が 200°C となる危険距離を算出した結果, 各影響評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を下表に示す。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 420m (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 2.2-1 表に示す。

第 2.2-1 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		900
	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		270
	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

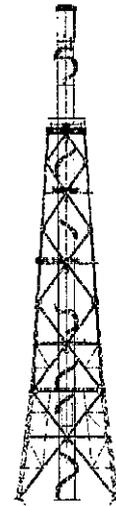
(1) 評価対象範囲

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。排気筒外形図を第 2.3-1 図に示す。

(2) 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℃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熱伝達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が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求め，当該船舶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，評価にあ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。

$$E = 2h(T - T_0)$$

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（2003 年～2012 年）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。）

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。評価結果を下表に示す。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 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 2.3-1 表に示す。

第 2.3-1 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

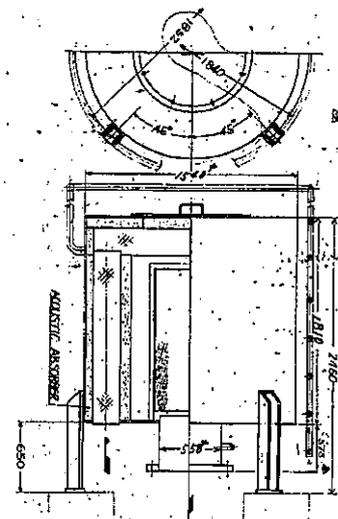
2.4 ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する危険距離評価

(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。吸気系フィルタ外形図を第 2.4-1 図に示す。

(2) 吸気系フィルタ仕様

名称	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 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距離

想定火災源	吸気系フィルタ (m)
	1,100
	300

(4) 判断の考え方

a. 許容温度

吸気系フィルタ内へ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が担保される温度である 53℃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が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、当該船舶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。吸気系フィルタの評価概念図を第 2.4-2 図に示す。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T$$

T : 許容温度 (53℃), T_0 : 初期温度 (37℃) ※1, E : 輻射強度 (W/m^2),

G : 重量流量 ($4kg/s$) ※2, A : 輻射を受ける面積 ($7.8m^2$)

C_p : 空気比熱 ($1,007J/kg/K$) ※3, ΔT : 構造物を介した温度上昇 (10℃) ※4

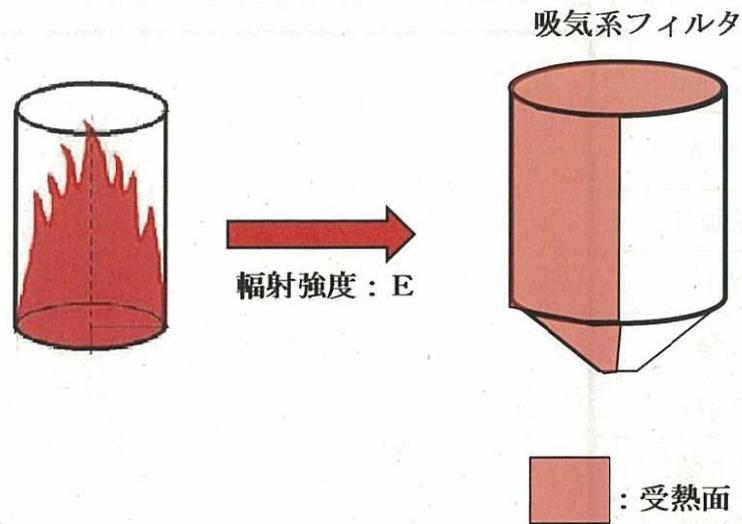
※1 : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間 (2003 年~2012 年) の最高気温

※2 : ディーゼル発電機機関の内、給気流量が少ない HPCS 系を評価対象とする。

ディーゼル発電機機関吸気流量 ($228m^3/min$) \times 空気密度 ($1.17kg/m^3$) $\div 60$

※3 : 日本機械学会 伝熱工学資料

※4 : 鋼材の許容温度 325℃の構造物を介した温度上昇 (10℃)



第 2.4-2 図 吸気系フィルタの評価概念図

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、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 2.4-1 表に示す。

第 2.4-1 表 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)
	213	1,100
	70	300

3. 漂流船舶の爆風影響評価

(1) 評価対象船舶の抽出

2. 漂流船舶の火災影響評価と同様、

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

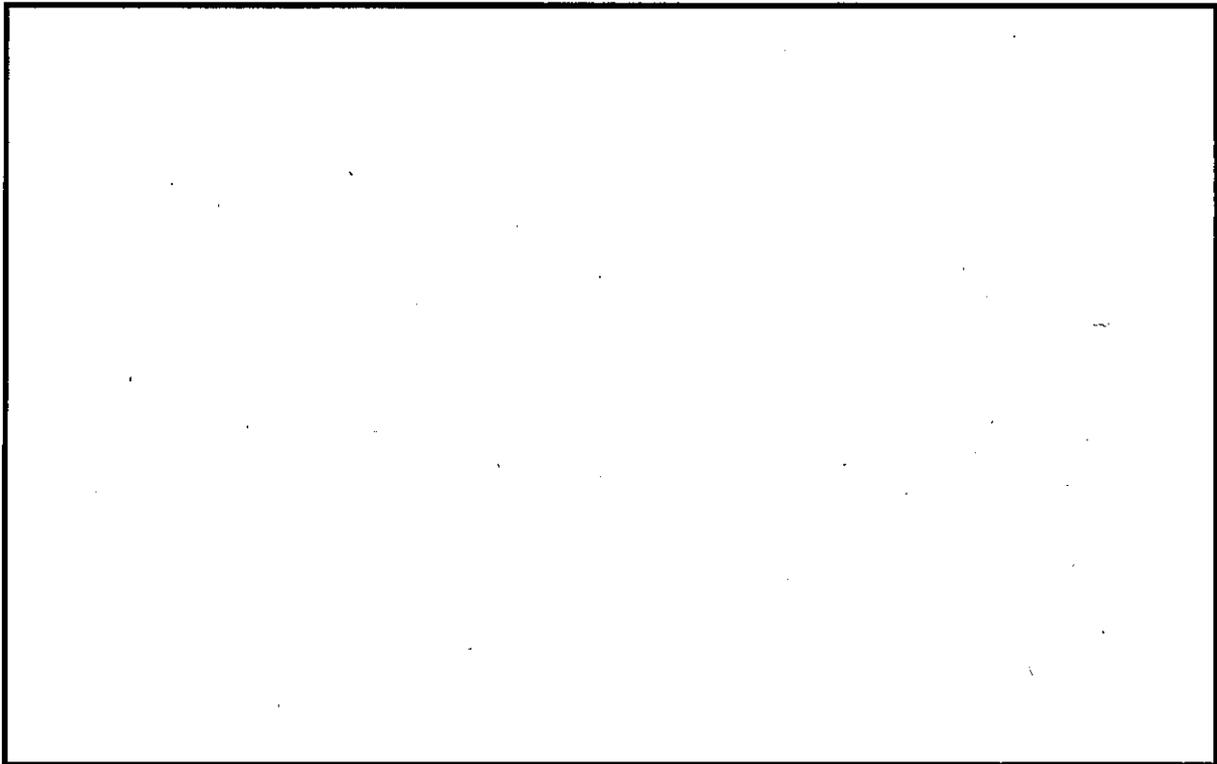
貯蔵ガス	
貯蔵量 (m ³)	
貯蔵量 (t)	
密度 (t/m ³)	
喫水 (m)	
貯蔵ガス k 値 ^{※3}	
貯蔵設備 W 値 ^{※4}	

※ 1 : 伝熱工学資料第 5 版記載値

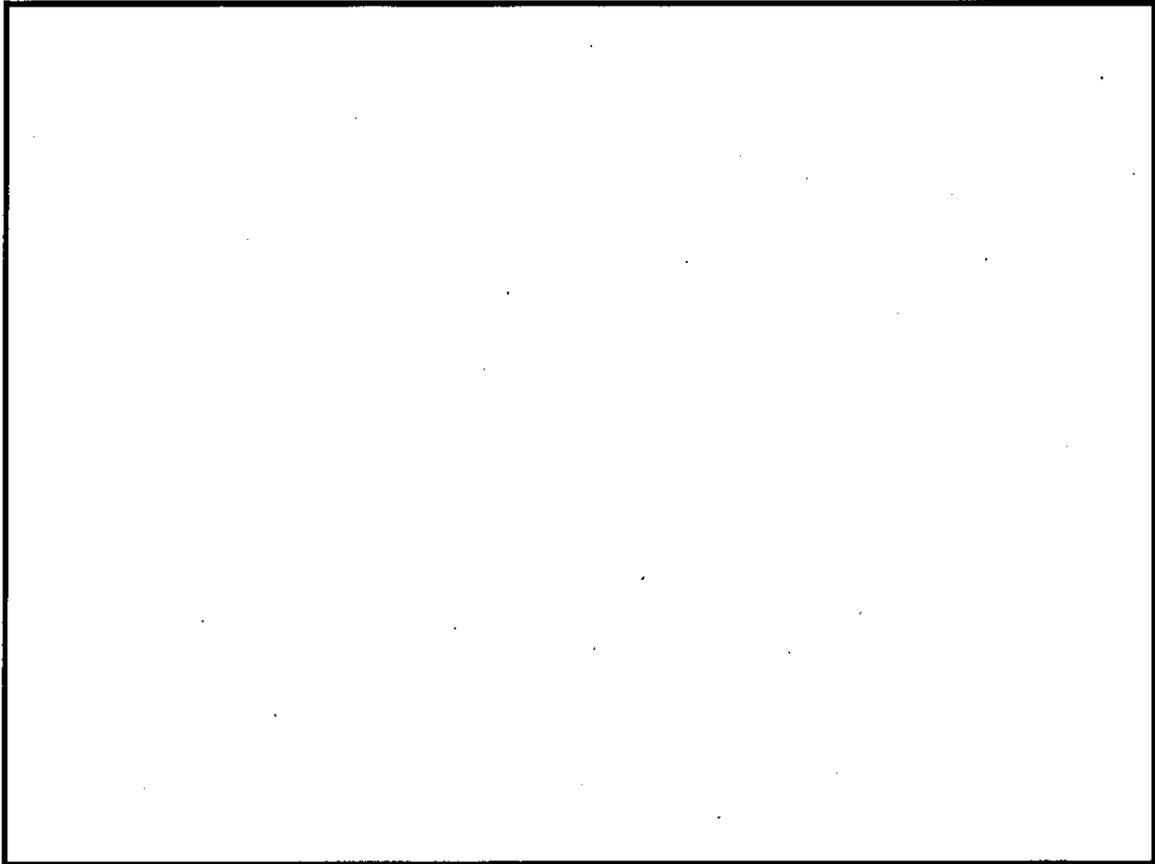
※ 2 : JIS K2240-2013 記載値

※ 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 [] 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。評価結果を下表に示す。なお、それぞれの輸送船について積載量が 0m^3 の場合の喫水を考慮しても最短の離隔距離は、 [] で 680m 、 [] で 430m 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

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。

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火災が、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、評価を実施するものである。

2. 火災源又は爆発源となる設備の影響評価

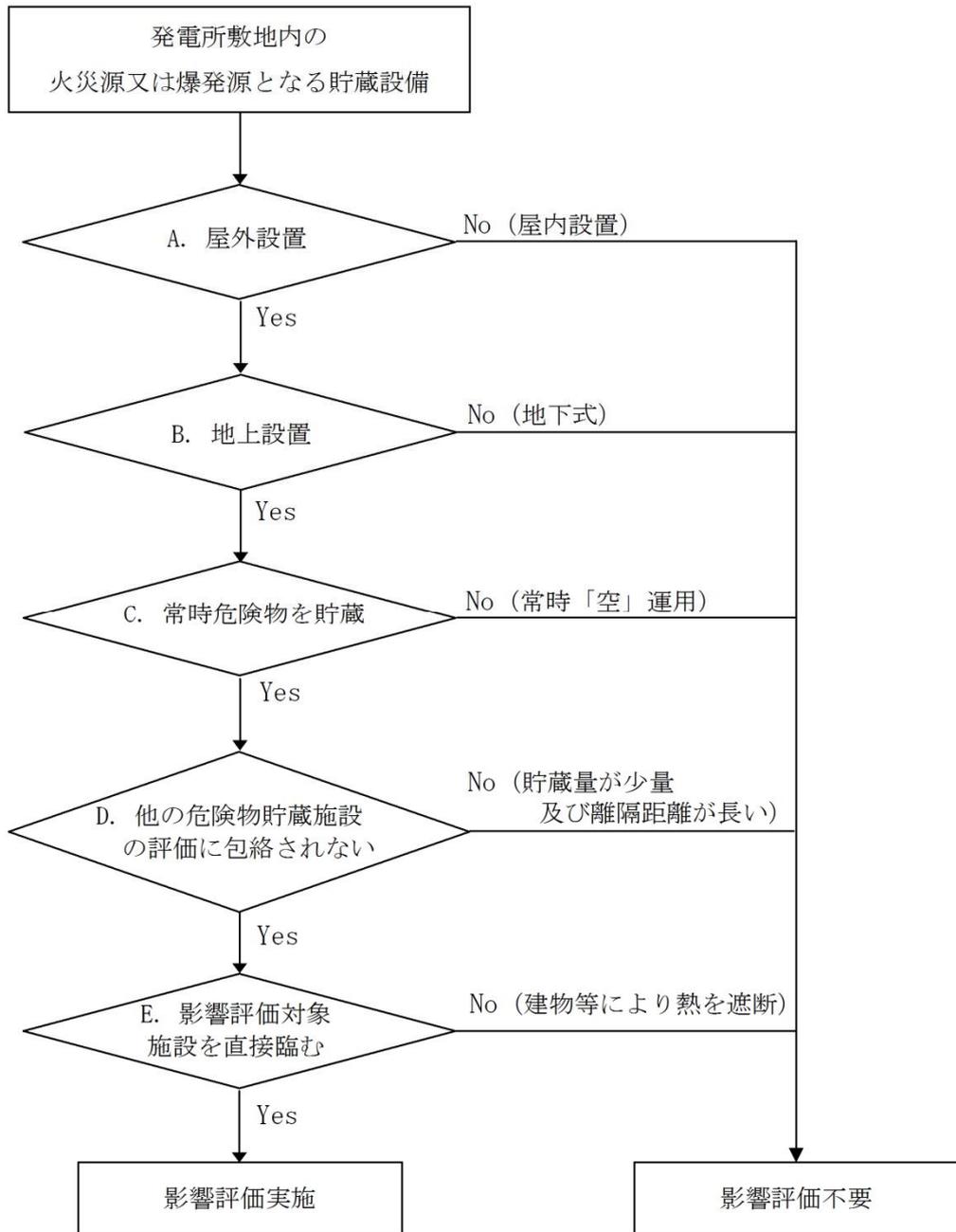
2.1 評価対象の考え方

発電所敷地内の火災源又は爆発源となる設備について、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評価対象施設を直接臨まないものについては、当該タンクにおいて火災が発生しても、その影響が及ばないため、評価対象外とした。

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	2.20	× (屋内設置 → A)
			第四類	第三石油類	排油	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)
重油タンク	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)
軽油貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	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)
溶融炉灯油タンク	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第二石油類	灯油	10.00	○
チェックポイント建屋 暖房用タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	3.00	× (地下式 → B)
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)

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)

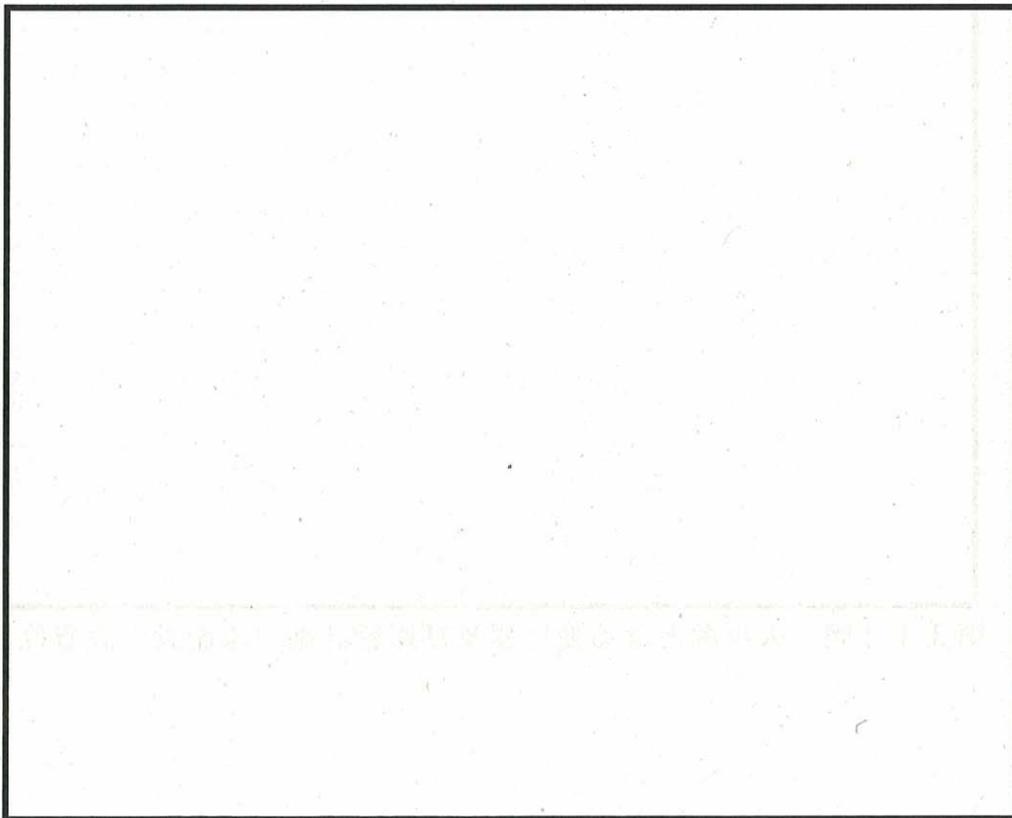
設備名	製造所等区分	設置場所	危険物の類		品名	最大数量 (m ³)	詳細評価要否 (○:対象, ×:対象外)
			第四類	第二石油類			
No. 1 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	4.00	× (屋内設置 → A)
			第四類	第四石油類	潤滑油	90.00	× (屋内設置 → A)
No. 2 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第四石油類	潤滑油	100.00	× (屋内設置 → A)
保修用屋外油貯蔵所	屋外貯蔵所	屋外	第四類	第四石油類	潤滑油	80.00	× (他評価に包絡 → D)
工事協力会油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	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	× (直接臨まない → E)
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	7.74	× (他評価に包絡 → D)
			第四類	第四石油類	潤滑油	0.78	× (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	1.92	× (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	第四石油類	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	200.00	× (地下式 → 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)
	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)
	アセチレン	1	6	6	
	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 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. 評価対象とする火災源となる設備は 2.1 で抽出した溶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) 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、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。

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 (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)
溶融炉 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)
溶融炉 灯油タンク	19.36	2

(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(kg/m²/s)， ρ：燃料密度(kg/m³)

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 (kg/m ² /s)	燃料密度 ρ (kg/m ³)	燃焼継続時間 t (s)
溶融炉 灯油タンク	10	2	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、溶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
溶融炉 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。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

$$\text{ただし } m = \frac{H}{R} \div 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

Φ:形態係数, L:離隔距離(m), H:炎の高さ(m), R:燃焼半径(m)

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	6.0×10^{-3}
	185 (海水ポンプ室)	2	3.5×10^{-4}
	77 (タービン建屋)	2	2.0×10^{-3}

(4) 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 2.2.3-3 表に示す。

$$E = R f \cdot \Phi$$

E:輻射強度(W/m²), R f:輻射発散度(W/m²), Φ:形態係数

第 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 R f (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	6.0×10^{-3}	298
		185 (海水ポンプ室)		3.5×10^{-4}	17
		77 (タービン建屋)		2.0×10^{-3}	101

(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 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。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 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) (7.7E-07m²/s)

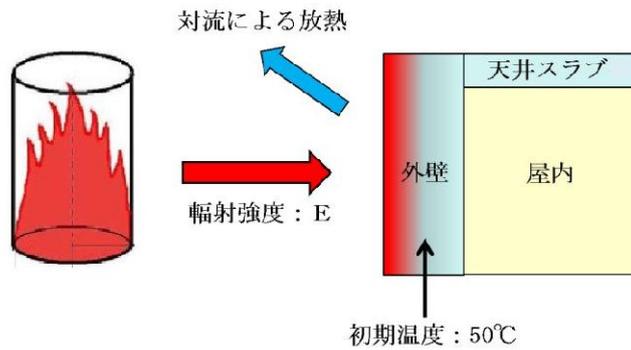
ρ : コンクリート密度 ($2,400\text{kg}/\text{m}^3$), C_p : コンクリート比熱 ($880\text{J}/\text{kg}/\text{K}$)

λ : コンクリート熱伝導率 ($1.63\text{W}/\text{m}/\text{K}$), E : 輻射強度 (W/m^2)

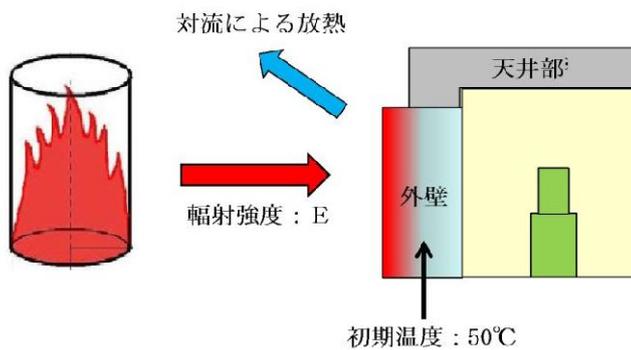
t : 燃焼継続時間 ($11,008\text{s}$), x : コンクリート壁表面深さ (0m)

※1 : 水戸地方気象台で観測された過去10年間(2003年~2012年)の最高気温に保守性を持たせた値

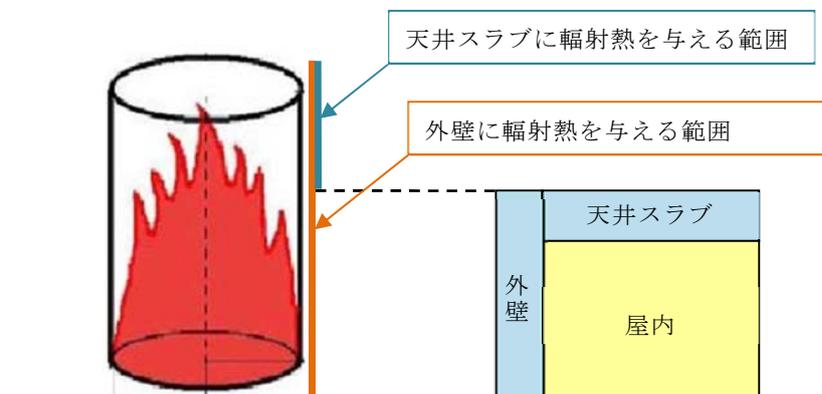
※2 : 空調和・衛生工学便覧(外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である $17\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ を用いる。)



第 2. 2. 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

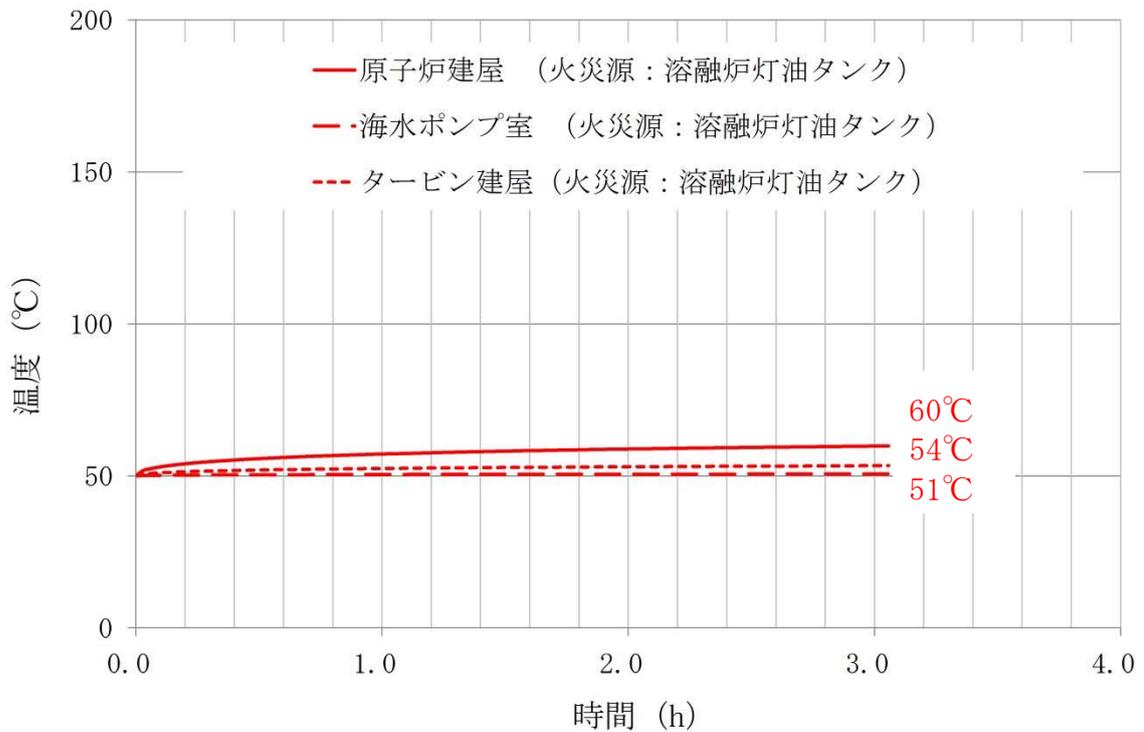


第 2. 2. 3-3 図 天井スラブへの輻射熱の影響

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

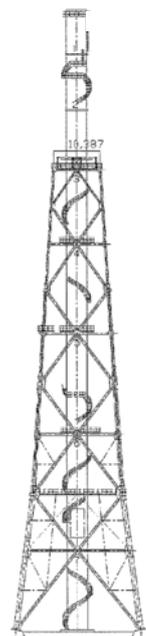
(1) 影響評価対象範囲

排気筒について、溶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。排気筒外形図を第 2.2.4-1 図に示す。

(2) 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 2.2.4-1 表に示す。

第 2.2.4-1 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 2.2.4-2 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 $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ : 形態係数, L : 離隔距離 (m), H : 炎の高さ (m), R : 燃焼半径 (m)

第 2.2.4-2 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	21	2	2.7×10^{-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 2.2.4-3 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 2.2.4-3 表 火災源となる設備の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 $R f$ (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	50	2.7×10^{-2}	1343

(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℃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熱伝達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，評価にあ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。

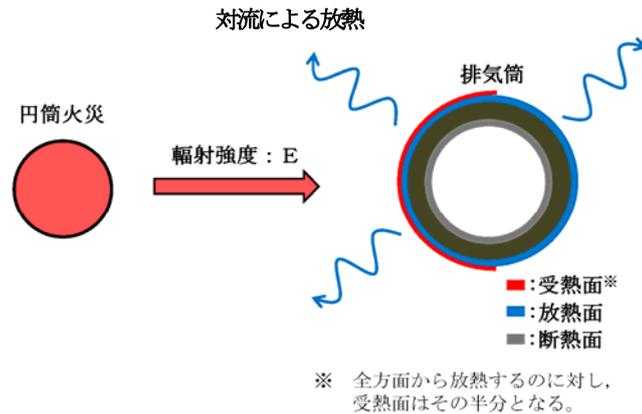
$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

T：許容温度(325℃)， 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（2003 年～2012 年）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. 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℃以下であることを確認した。評価結果を第 2. 2. 4-4 表に示す。

第 2. 2. 4-4 表 排気筒に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
熔融炉灯油タンク	90	< 325

2. 3 爆風圧影響評価

2. 3. 1 想定事象

- a. 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。
- b. 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：評価ガイド 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 爆発源となる設備の爆風圧影響評価結果

想定爆発源	危険限界距離 (m)	離隔距離 [※] (m)
水素貯槽	7	35

※：防護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

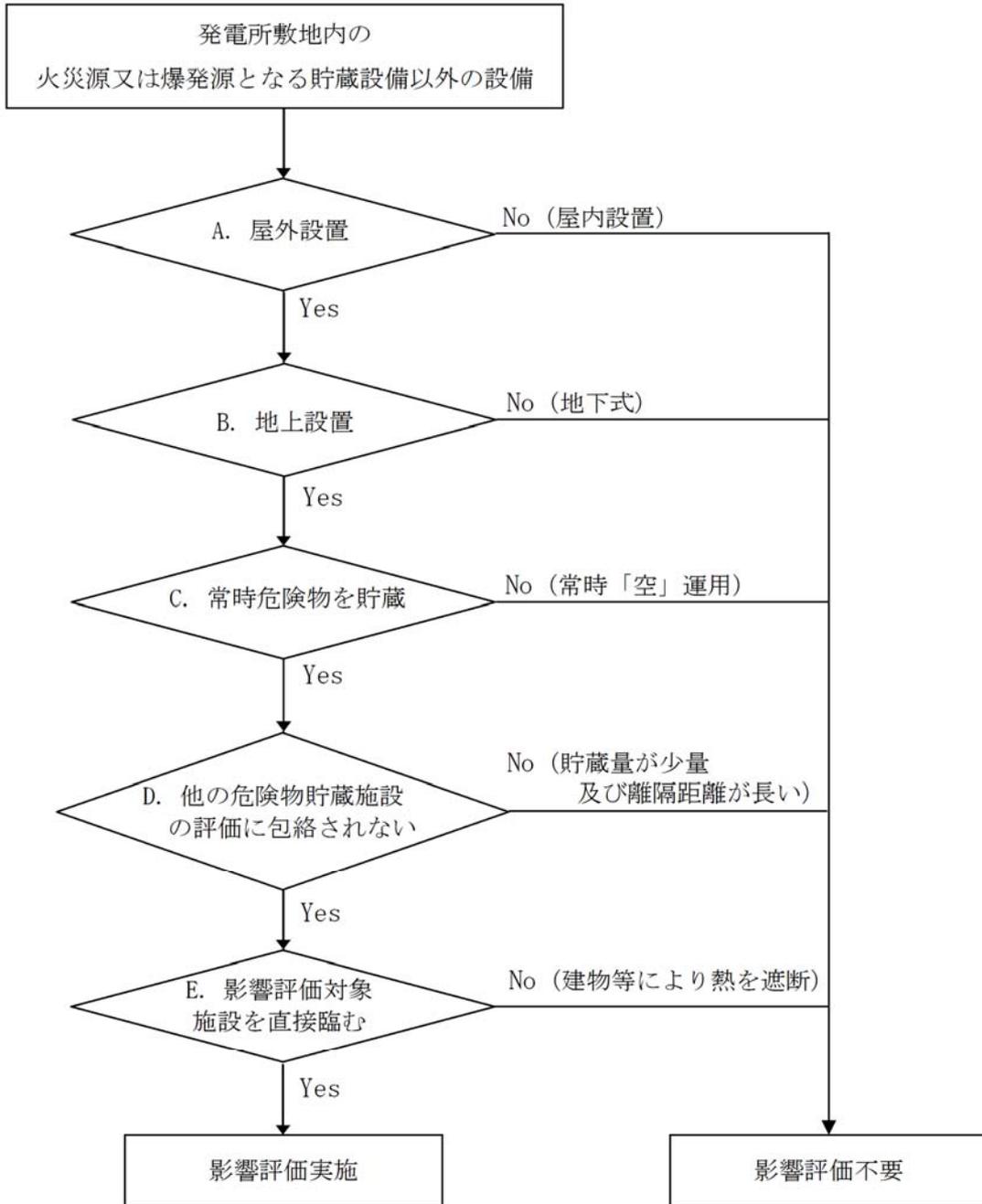
3. 敷地内貯蔵設備以外の影響評価

3.1 評価対象の考え方

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等（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。

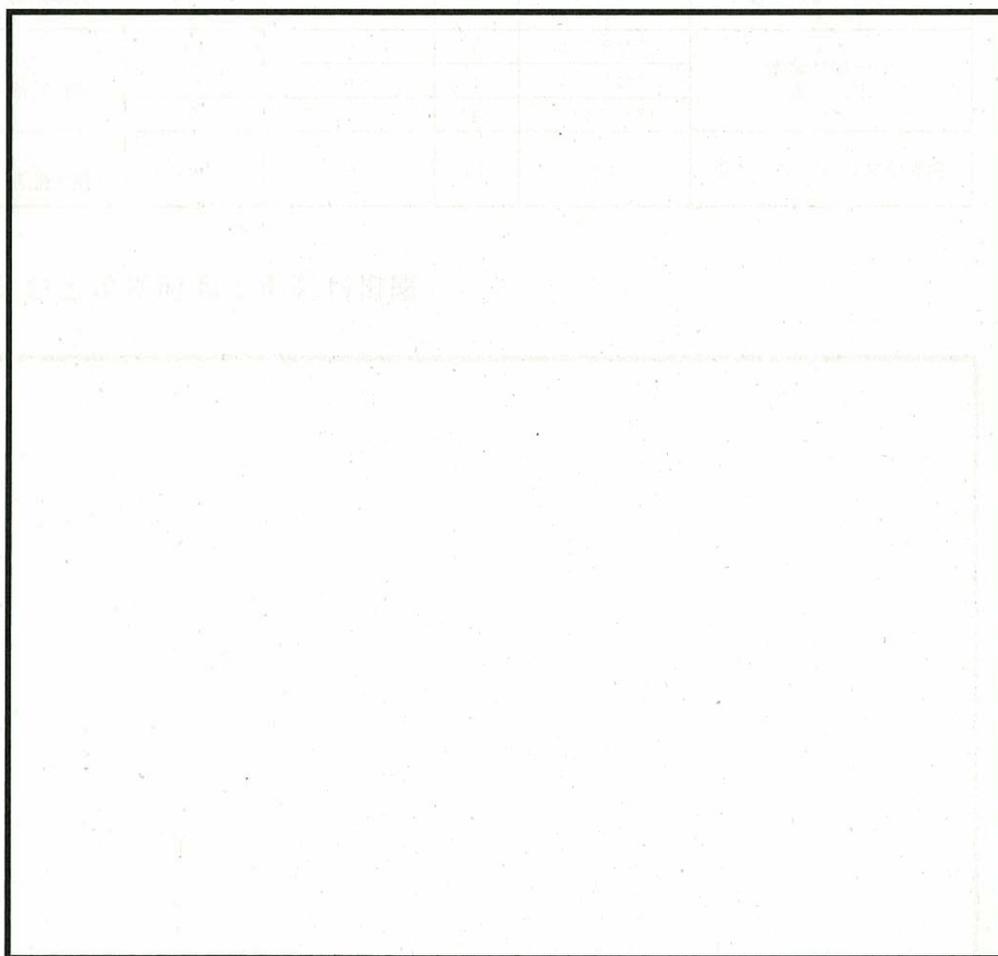
敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備及び影響評価対象施設の位置を第 3.1-2 図に、可搬型重大事故等対処設備等の保管位置を第 3.1-3 図に示す。



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	19.00	○
所内変圧器 2B	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	19.00	× (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)
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	× (他評価に包絡 → D)

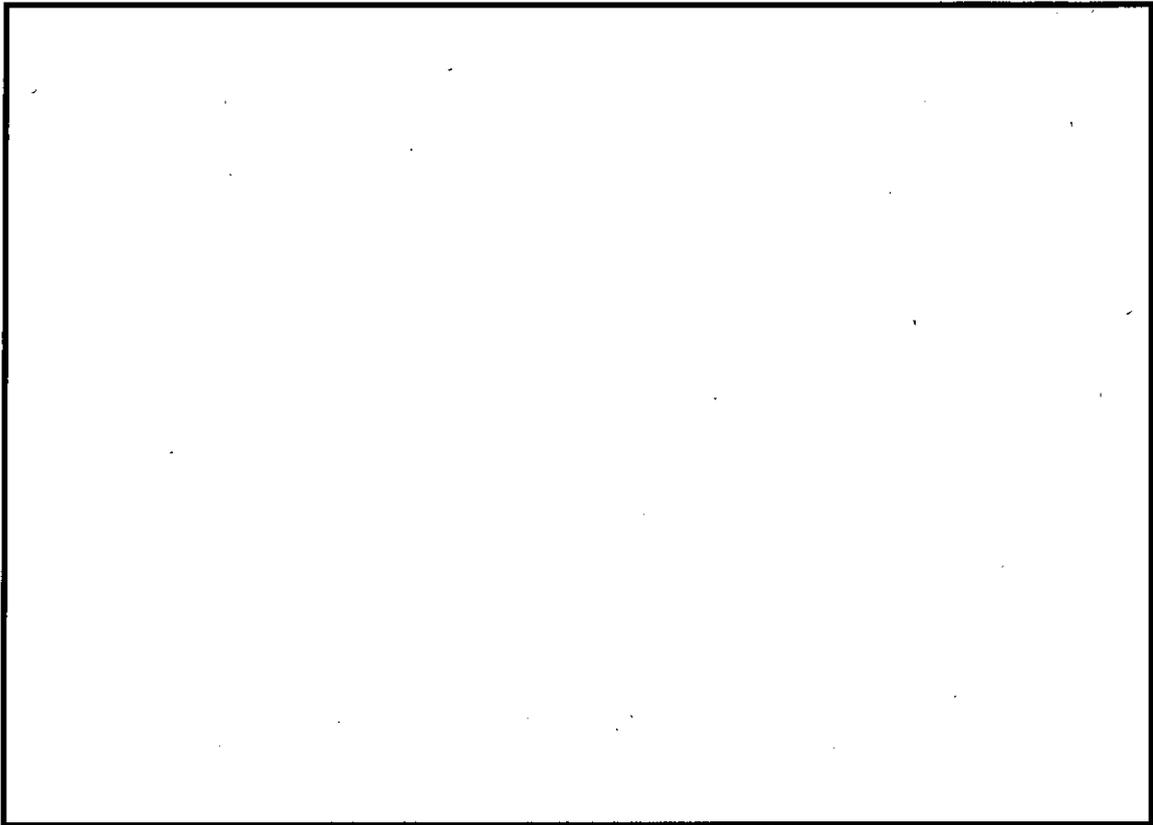


第 3. 1-2 図 火災源となる変圧器及び影響評価対象施設の設置位置

第 3.1-2 表 可搬型重大事故等対処設備等一覧

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)
可搬型代替注水中型ポンプ※ ³	1台	第四類	第二石油類	軽油	200 (車両) 125 (ポンプ)	予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
可搬型代替注水大型ポンプ※ ² ※ ⁴	6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)
中型ポンプ用送水ホース運搬車※ ³	1台	第四類	第二石油類	軽油	130	予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
可搬型代替低圧電源車※ ² ※ ⁴	6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)
可搬型ケーブル運搬車※ ² ※ ⁴	4台	第四類	第二石油類	軽油	100	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
可搬型整流器運搬車※ ²	1台	第四類	第二石油類	軽油	70	西側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
大型ポンプ用送水ホース運搬車※ ² ※ ⁴	12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)
タンクローリー※ ² ※ ⁴	6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)
シルトフェンス積載トラック (シルトフェンス含む)※ ¹ ※ ² ※ ⁴	5台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
放射性物質吸着剤積載トラック (放射性物質吸着剤含む)※ ¹ ※ ² ※ ⁴							
海上モニタリング船※ ² ※ ⁴	3艇	第四類	第二石油類	軽油	150	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
海上モニタリング船積載トラック※ ² ※ ⁴	3台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
ブルドーザ※ ³	2台	第四類	第二石油類	軽油	470	南側保管場所 西側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
可搬型窒素供給装置※ ² ※ ⁴	3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 予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
泡消火薬剤運搬車※ ² ※ ⁴	3台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
予備電動機運搬用トレーラー※ ³	1台	第四類	第二石油類	軽油	390	南側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
予備電動機交換用クレーン※ ³	1台	第四類	第二石油類	軽油	500 (車両) 300 (クレーン)	南側保管場所	× (他評価に包絡 →D)
消防車※ ³	2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	× (他評価に包絡 →D)
可搬型高圧窒素供給装置※ ³	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)
モニタリングカー※ ³	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)
油圧ショベル※ ³	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)
不整地運搬車※ ³	1台	第四類	第二石油類	軽油	130	予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
ユニック車※ ³	1台	第四類	第二石油類	軽油	100	予備機置場	× (他評価に包絡 →D)
ホイールローダ※ ² ※ ⁴	6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)
シルトフェンス設置用運搬船※ ³	1艇	第四類	第一石油類	ガソリン	24	予備機置場	× (他評価に包絡 →D)

※1：シルトフェンスと放射性物質吸着剤の積載トラックは予備を兼用
 ※2：可搬型重大事故等対処設備
 ※3：自主設備
 ※4：予備設備



第 3.1-3 図 可搬型重大事故等対処設備等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な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 (kW/m ²) ^{※1}	質量低下速度 (kg/m ² /s) ^{※2}	燃料密度 (kg/m ³) ^{※2}
主変圧器	絶縁油	136	23	0.035	900
所内変圧器 2A		19			
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

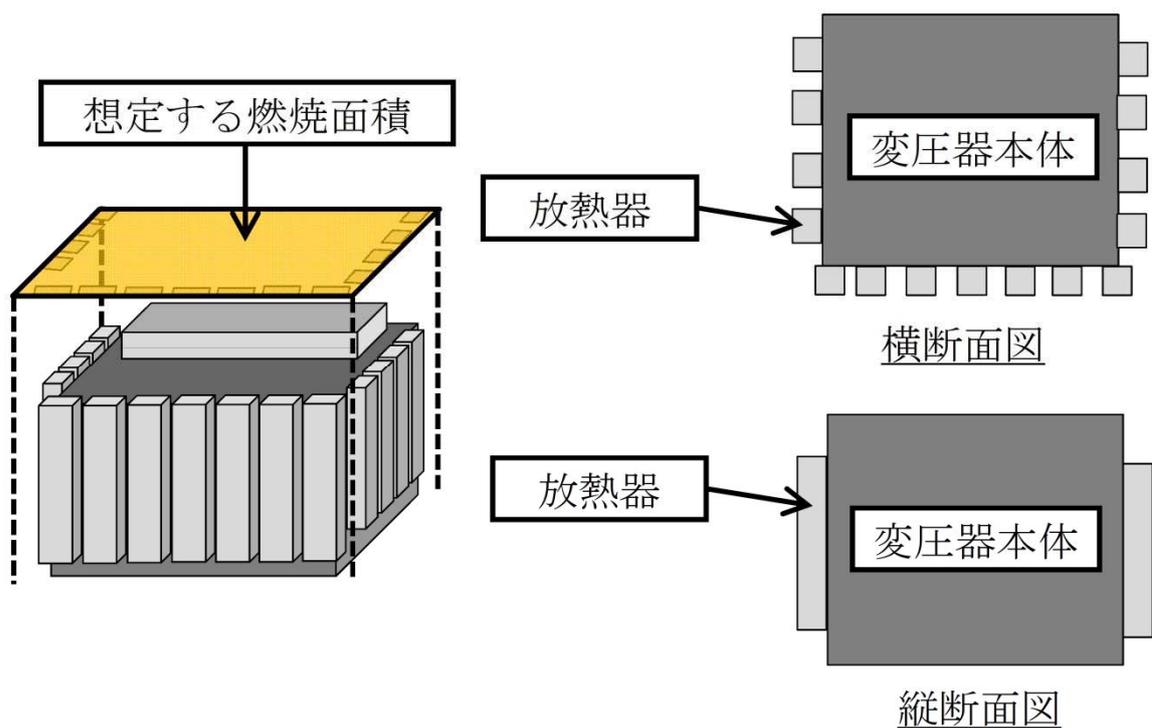
※2：NUREG-1805 記載値

(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災を生じることとし、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	140	6.7
所内変圧器 2A	22	2.7
起動変圧器 2B	59	4.3

(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 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$), ρ : 燃料密度 (kg/m^3)

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 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)	燃料密度 ρ (kg/m^3)	燃焼継続時間 t (s)
主変圧器	136	6.7	0.035	900	25,004
所内変圧器 2A	21	2.7			24,094
起動変圧器 2B	47	4.3			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 2A	タービン建屋	8
起動変圧器 2B	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。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

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 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)	6.7	1.3×10^{-1}
所内変圧器 2A	8 (タービン建屋)	2.7	1.5×10^{-1}
起動変圧器 2B	13 (タービン建屋)	4.3	1.5×10^{-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	1.3×10^{-1}	3,055

所内変圧器 2A	絶縁油		1.5×10^{-1}	3,479
起動変圧器 2B	絶縁油		1.5×10^{-1}	3,464

(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 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 ($^{\circ}\text{C}$), T_0 : 初期温度 (50°C)

a : 熱伝達率 ($17\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)

κ : コンクリート温度伝導率 ($=\lambda / \rho C_p$) ($7.7\text{E-}07\text{m}^2/\text{s}$)

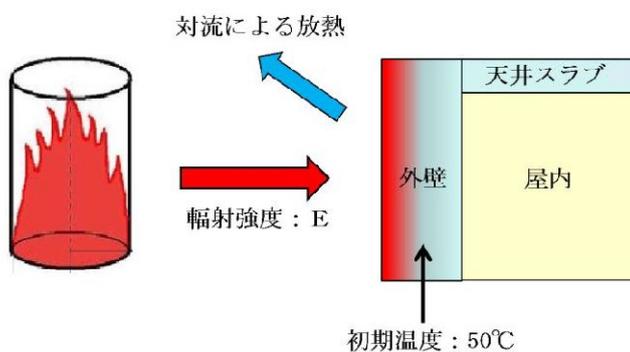
ρ : コンクリート密度 ($2,400\text{kg}/\text{m}^3$), C_p : コンクリート比熱 ($880\text{J}/\text{kg}/\text{K}$)

λ : コンクリート熱伝導率 ($1.63\text{W}/\text{m}/\text{K}$), E : 輻射強度 (W/m^2)

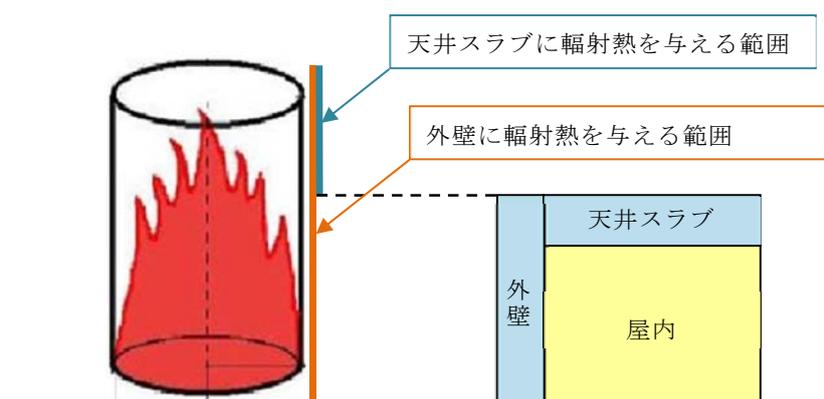
t : 燃焼継続時間 (s), x : コンクリート壁表面深さ (0m)

※1 : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間 (2003 年~2012 年) 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 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 (℃)	許容温度 (℃)
主変圧器	タービン建屋	171	< 200
所内変圧器 2A		187	
起動変圧器 2B		182	

軽油貯蔵タンク及び重油タンクの地下化について

地下埋設する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13条第1項による地下タンク貯蔵所とし、同第20条（消火設備）によって、その他の製造所等に該当する地下タンク貯蔵所のため、「危険物の規制に関する規則」第35条第1項第1号より、第5種の消火設備を2個設置する計画としているため、地表面で火災が発生する可能性は低いと考えられる。また、タンク地上部のマンホールも含め、地上で発生する火炎からの輻射熱の影響を受けない構造とする。

このため、軽油貯蔵タンク及び重油タンクは、外部火災の熱源対象から除外することとした。軽油貯蔵タンクの地下化イメージを図1に、重油タンクの地下化イメージを図2に示す。

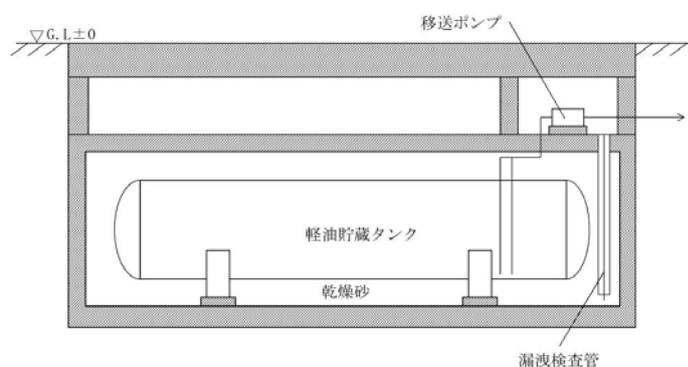


図1 軽油貯蔵タンクの地下化イメージ

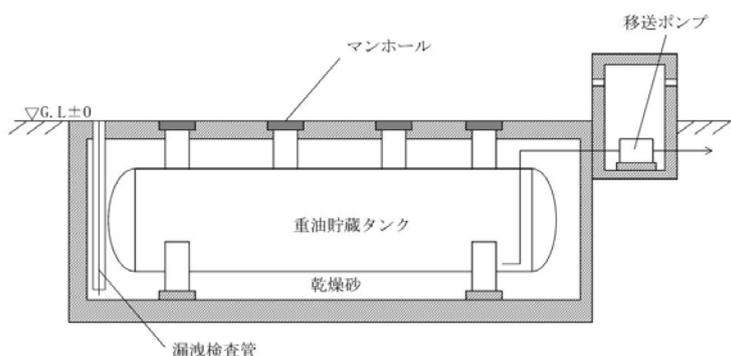


図2 重油タンクの地下化イメージ

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事としている。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事もない。

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事はない。

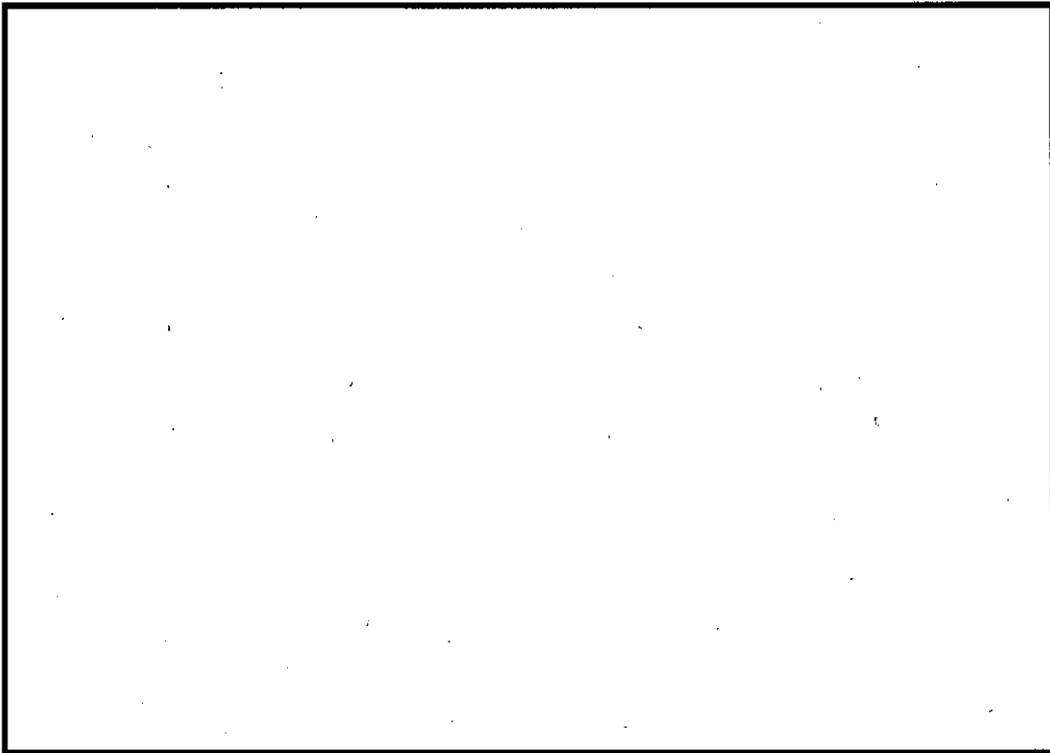


図 屋外薬品タンクの位置

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恐れがある。

※2：塩化水素ガスを発生する恐れがある。

※3：刺激性又は毒性のガスを発生する恐れがある。

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、社内文書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等）の火災

2.1 車両（可搬型重大事故等対処設備等）の延焼

可搬型重大事故等対処設備等保管場所（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等（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 $1.6\text{kw}/\text{m}^2$ *以下となるように熱影響緩和措置を実施するため、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. 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想定し、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. 火災は円筒火災をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とした。

(2) 必要データ

危険距離評価に必要なデータを表1に示す。

表1 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 (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)
クレーン燃料タンク	軽油	0.5	42	0.044	870	0.8

※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

(3) 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。算出結果を表2に示す。

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R : 燃焼半径 (m), S : 燃焼面積 (= 燃焼面積) (m²)

表 2 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	0.8	0.6

(4) 燃焼半径の算出

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。算出結果を表 3 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)

表 3 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

(5) 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クレーン燃料タンク（500L）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：受熱側燃料密度(7,860kg/m³)
C_{ps}：受熱側液体比熱(473J/kg/K)， V_s：受熱側液体体積(0.003m³)

※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間（2003年～2012年）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。算出結果を表 4 に示す。

表 4 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	トラック燃料タンク	2.4

(6) 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。配置を図1に示す。また、図2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。

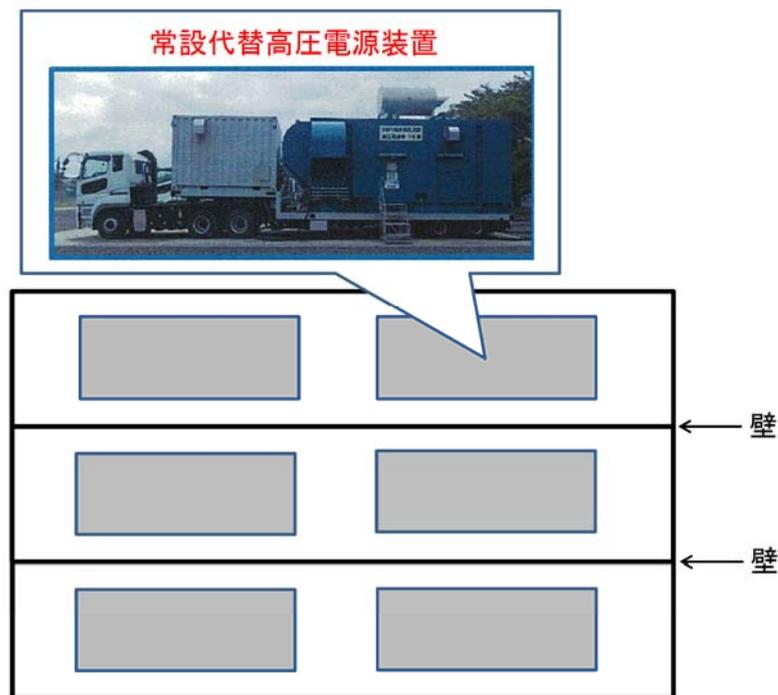


図1 常設代替高圧電源装置の配置

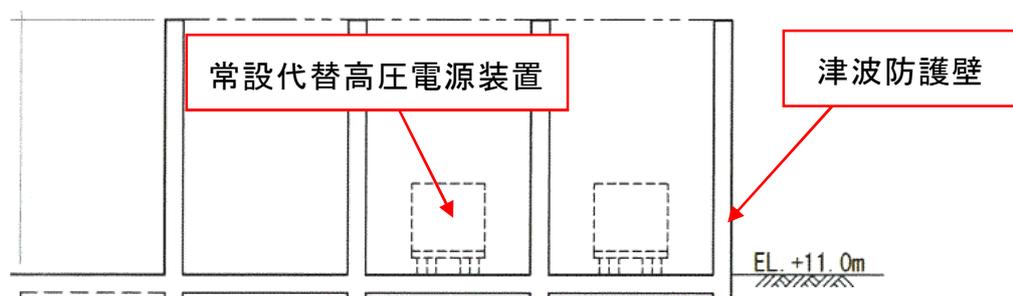


図2 津波防護壁と常設代替高圧電源装置の位置関係

新潟県中越沖地震を踏まえた東海第二発電所における対応について

【変圧器の防火対策について】

- ・変圧器には、内部圧力の上昇、また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。
- ・金属躯体に覆われており火災が発生する可能性は低い。
- ・万一油が漏えいした場合においても、地下の防災地下タンクに溜まる構造となっている。

【中越沖地震による柏崎刈羽3号炉所内変圧器火災の事象】

- ・二次側接続母線部ダクトの基礎が沈下し、変圧器との相対変異が発生。
- ・ブッシング部破損による漏油と、地絡・短絡によるアークの発生により火災発生。
- ・屋外消火設備の損傷により消火活動に支障をきたしたが、当該変圧器横に設置されている防火壁により、隣接する変圧器や他設備に延焼することはなかった。

【東海第二発電所内の変圧器の地盤沈下による相対変異の発生防止について】

- ・変圧器とダクトの基礎は、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。変圧器基礎概要図を下図に示す。

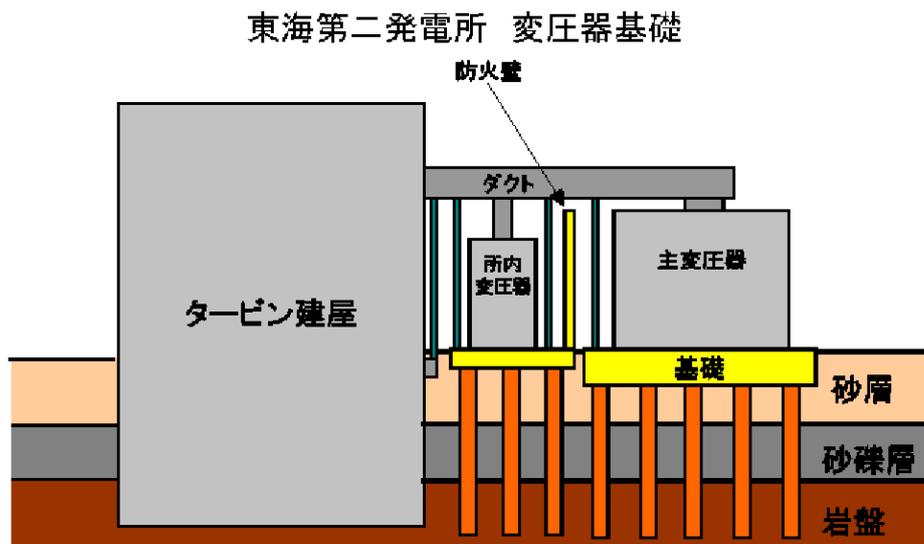


図 東海第二発電所 変圧器基礎概要図

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、評価を実施するものである。

2. 火災の想定

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 $\pm 60^\circ$ 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、茨城空港の定期便のうち燃料積載量が最大の航空機を選定した。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。

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。

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 7.5)

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	KC-767
		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
	⑥ 基地－訓練空域間往復時	F-15	

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 7.6, 7.7)

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 ($1/\text{km}^2$)

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7.8)

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7.9)

※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7.10)

※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171mとする。(評価結果は、約171.69m)

(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 2.34×10^{-11} (=0.2275/9,740,013,768)	
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7.9)

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、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7.8, 7.11)

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

(別紙7.12)

※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51km²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1,989mとする。(評価結果は、約1989.59m)

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 約0.0114 (=0.2275/20) 大型回転翼機 0.05 (=1/20)
$S_v^{※2}$	37.2万
$\alpha^{※3}$	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、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7.11, 7.13)

※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 0.61km^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192mとする。(評価結果は、約192.52m)

(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
α^{*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73mとする。(評価結果は, 約73.40m)

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	約0.0114（=0.2275／20）
	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，落下事故率の算出には χ^2 二乗分布を用いた方法を使用した。
（別紙7.11，7.14）

※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。

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 0.58km^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187mとする。（評価結果は，約187.40m）

(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7.14）

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41mとする。（評価結果は，約41.45m）

(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7.11, 5.14)

※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。

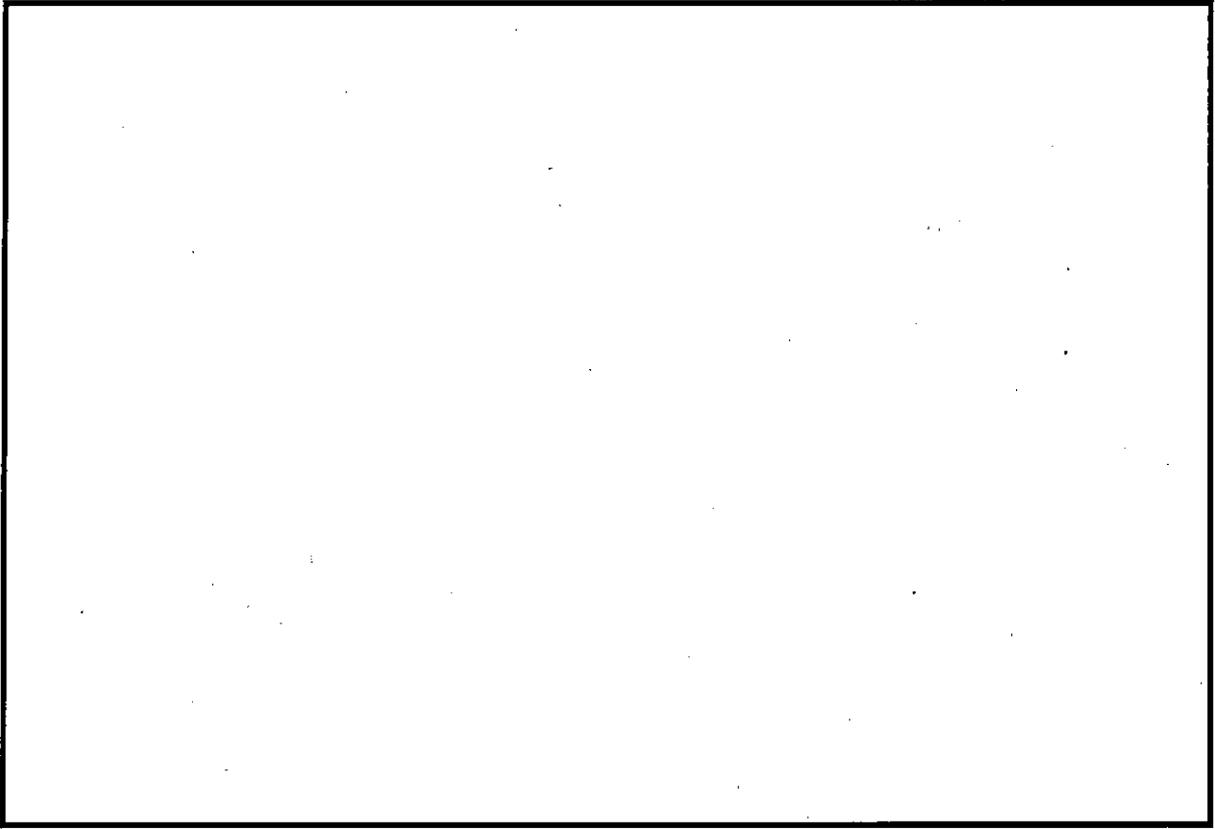
(別紙7.4)

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30mとする。（評価結果は、約30.05m）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

評価機種は前項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 表にカテゴリ毎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毎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	171	○	
	航空路を巡航時	B747-400	1,989	×※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	192	○	
	小型機（小型固定翼機及び小型 回転翼機）	Do228-200	73	×※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	187	○
		その他の大型固定 翼機、小型固定翼 機及び回転翼機	F-15	41	×※3
	基地－訓練空域間往復時	F-15	30	○	

※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，排気筒及びディーゼル発電機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 (m ³)	燃料密度 (kg/m ³)	質量低下速度 (kg/m ² /s)	燃焼面積 (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 ^{※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 ^{※4}	
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 ^{※5}	760 ^{※1}	0.051 ^{※1}	405.2 ^{※6}
	基地－訓練空域間往復時		F-15	JP-4	14.87 ^{※7}	760 ^{※1}	0.051 ^{※1}	44.6 ^{※8}

※1：NUREG-1805 記載値

※2：JIS-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)」，「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尾翼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：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

※6：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)」

※7：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）

※8：※7 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	6
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	15
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
	基地－訓練空域間往復時	F-15	44.6	4

(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	6	4.6×10 ⁻⁵	5,097 (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	15	4.6×10 ⁻⁵	6,675 (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	6.7×10 ⁻⁵	5,334 (約 1.5h)
	基地-訓練空域間往復時	F-15	14.87	4	6.7×10 ⁻⁵	4,968 (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	171	6	2.3×10 ⁻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	192	15	1.2×10 ⁻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	187	11	7.2×10 ⁻³

	基地－訓練空域間往復時	F-15	30	4	3.0×10^{-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/m²)，R_f：輻射発散度(W/m²)，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 (kW/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	2.3×10^{-3}	117
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	1.2×10^{-2}	592
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	7.2×10^{-3}	419
	基地－訓練空域間往復時	F-15	58	3.0×10^{-2}	1,748

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毎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℃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、一定の輻射強度で建屋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。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 5.3-1 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 5.3-2 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 5.3-3 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。

$$T = T_0 + \left(\frac{E}{\alpha} \right) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \right) - \exp \left(\frac{\alpha}{\lambda} x + \frac{\alpha^2}{\lambda^2} \kappa t \right) \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} + \frac{\alpha}{\lambda} \sqrt{\kappa t} \right) \right\} \right]$$

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) (7.7E-07m²/s)

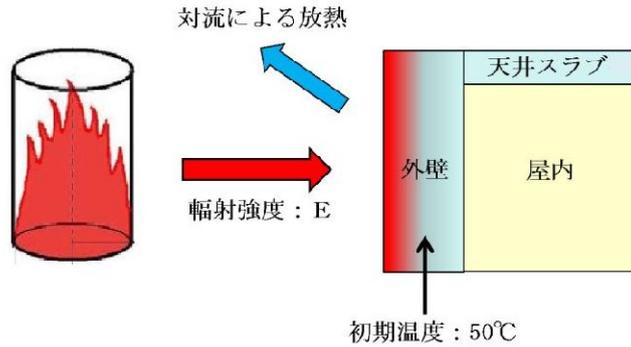
ρ : コンクリート密度 ($2,400\text{kg}/\text{m}^3$), C_p : コンクリート比熱 ($880\text{J}/\text{kg}/\text{K}$)

λ : コンクリート熱伝導率 ($1.63\text{W}/\text{m}/\text{K}$), E : 輻射強度 (W/m^2)

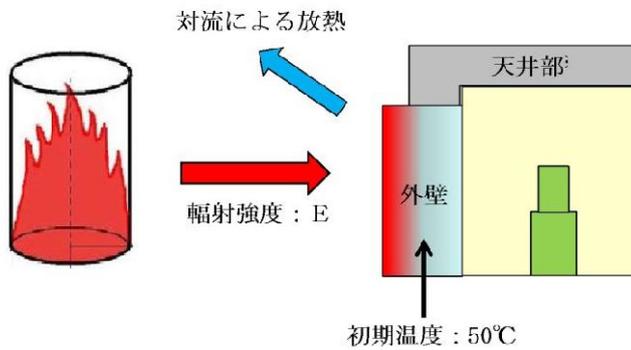
t : 燃焼継続時間 (s), x : コンクリート壁表面深さ (0m)

※1 : 水戸地方気象台で観測された過去10年間 (2003年~2012年) の最高気温に保守性を持たせた値

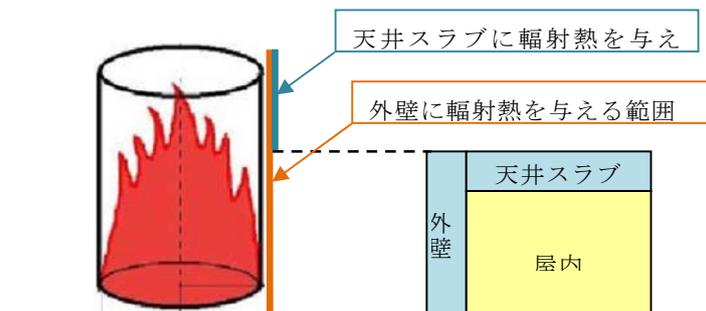
※2 : 空気調和・衛生工学便覧 (外表面の熱伝達率は, 受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが, 一般的な値として垂直外壁面, 屋根面及び上げ裏面の夏季, 冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから, これらのうち最も小さい値である $17\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$ を用いる。)



第 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



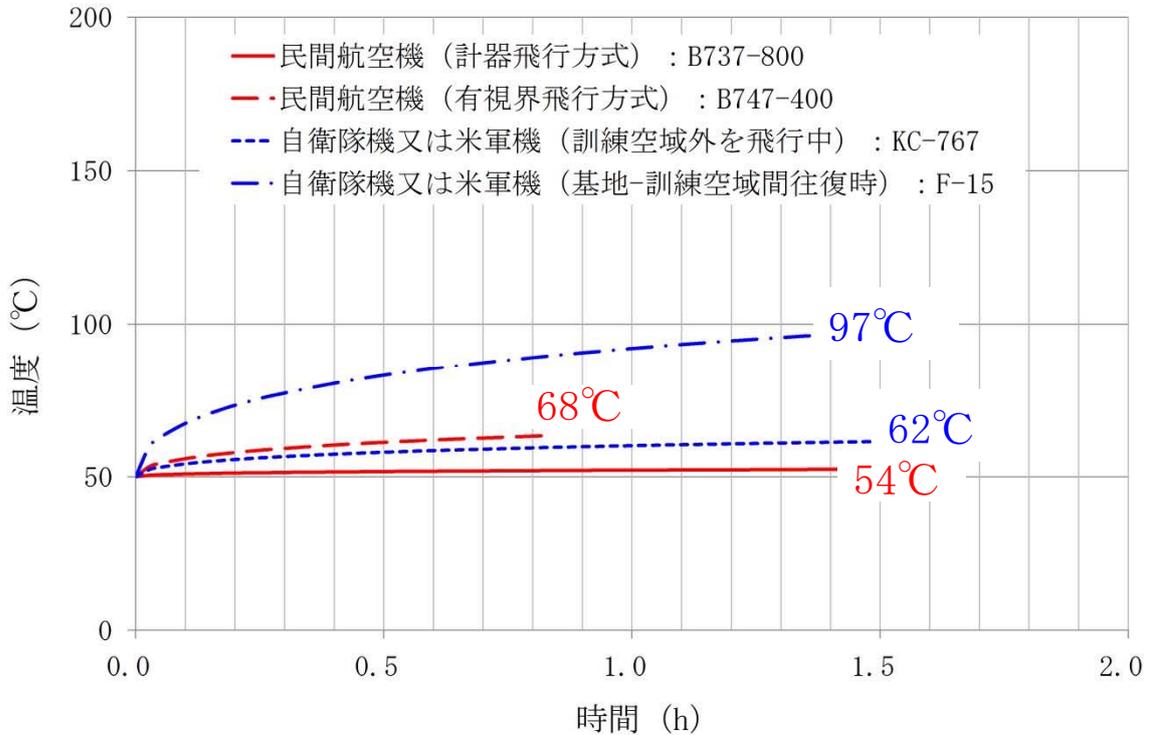
第 5.3-3 図 天井スラブへの輻射熱の影響

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	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	54	< 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	68	
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外を飛行中	KC -767	62	
	基地－訓練空域間往復時	F-15	97	

※ 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

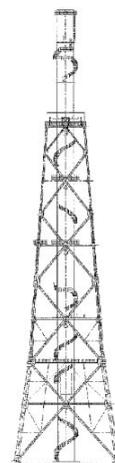
(1) 評価対象範囲

排気筒について、前項で分類したカテゴリ毎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部について評価した。排気筒外形図を第 5.4-1 図に示す。

(2) 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℃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熱伝達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。

なお，評価にあ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。

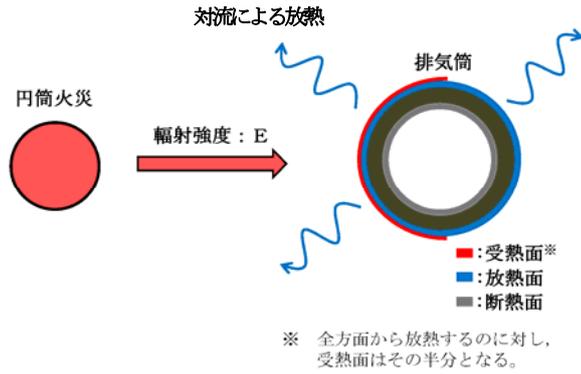
$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

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（2003 年～2012 年）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 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. 4-1 表に示す。

第 5. 4-1 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	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	54	< 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	68		
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		63
	基地 - 訓練空域間往復時	F-15	102		

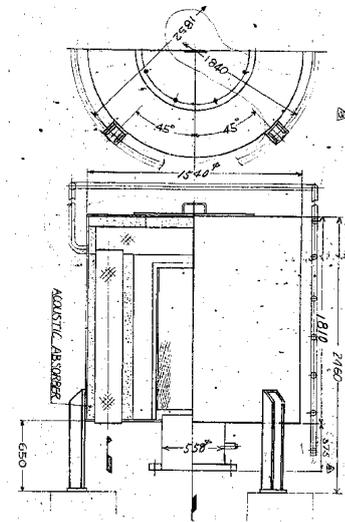
5.5 ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する熱影響評価

(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吸気系フィルタの流入空気温度について、前項で分類したカテゴリ毎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。吸気系フィルタ外形図を第5.5-1図に示す。

(2) 吸気系フィルタ仕様

名称	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 吸気系フィルタ外形図

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

吸気系フィルタ内へ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が担保される温度である 53°C 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が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。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 (10℃)^{※4}

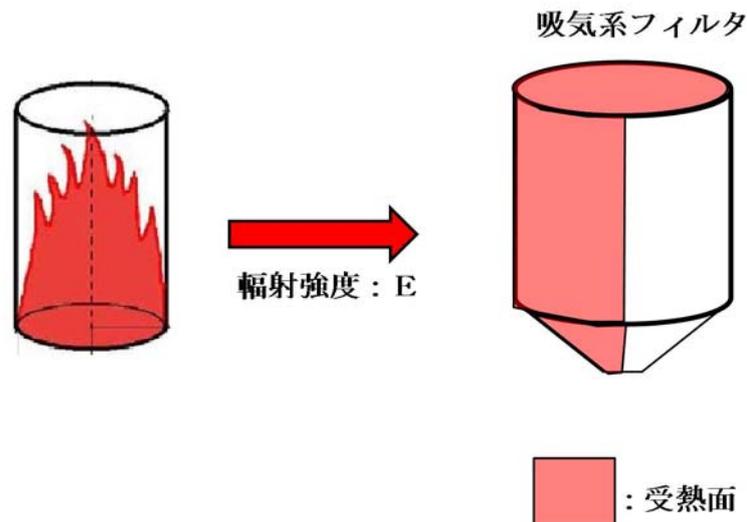
※1 : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間 (2003 年～2012 年) の最高気温

※2 : ディーゼル発電機機関の内、給気流量が少ない HPCS 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 : 鋼材の許容温度 325℃の構造物を介した温度上昇 (10℃)



第 5.5-2 図 吸気系フィルタの評価概念図

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、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 5.5-1 表に示す。

第 5.5-1 表 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	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	48	< 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	49		
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		48
	基地－訓練空域間往復時	F-15	51		

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。

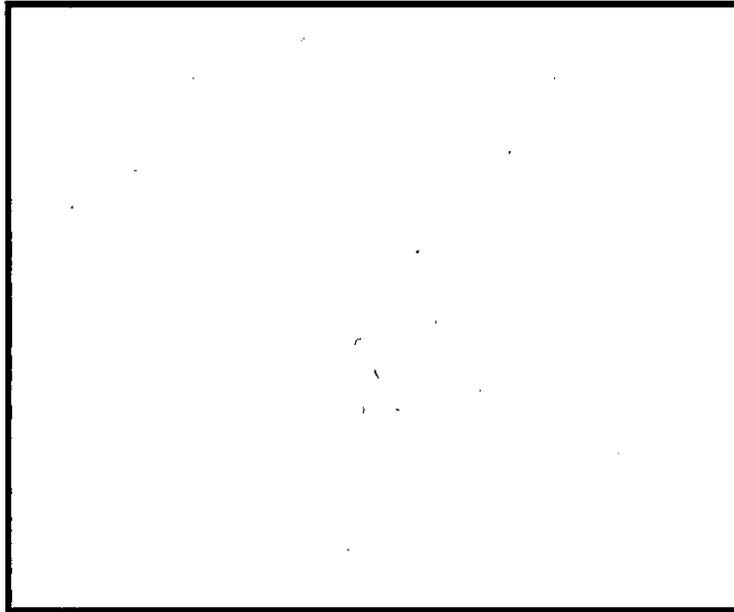
5.6.1 扉の火災影響評価について

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 35m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)

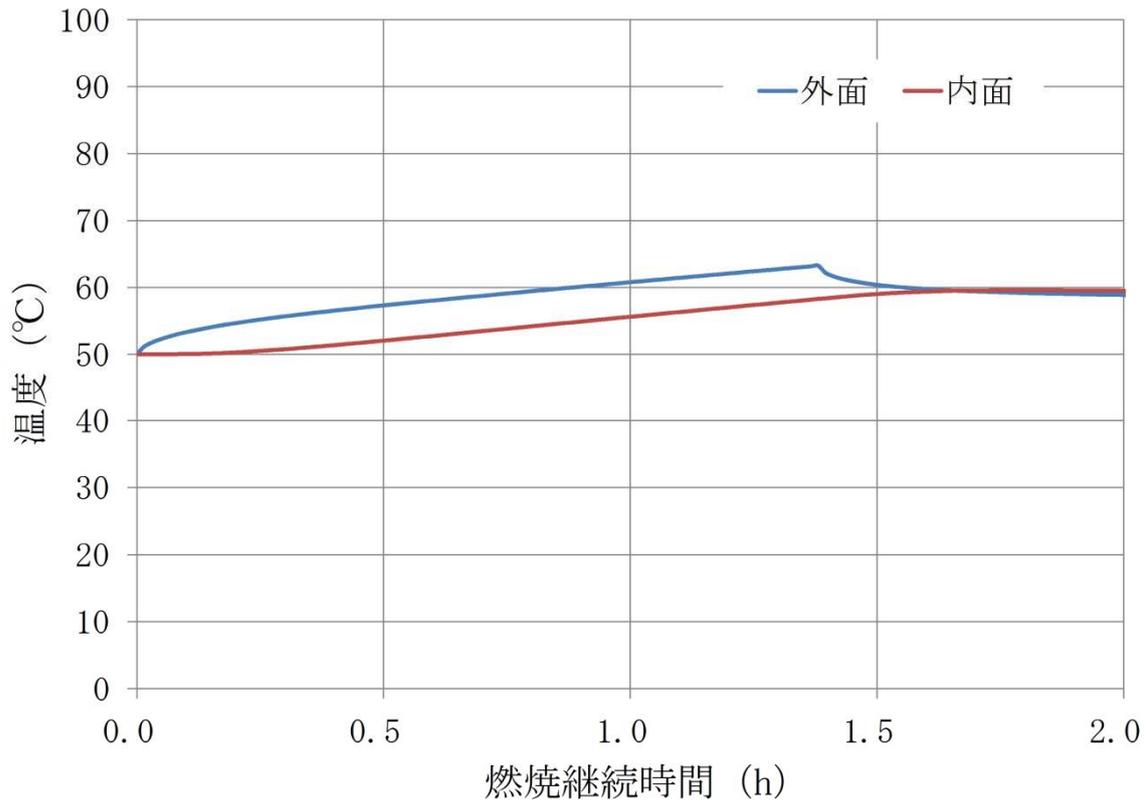
※1 : 水戸地方気象台で観測された過去10年間(2003年~2012年)の最高気温に保守性を持たせた値

※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	64	60	<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 60°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。

$$Q_{in} = h_{in} \times A \times (T_{in} - T_a)$$

$$T_{room} = \frac{Q_{in}}{m \rho C_p} + T_a$$

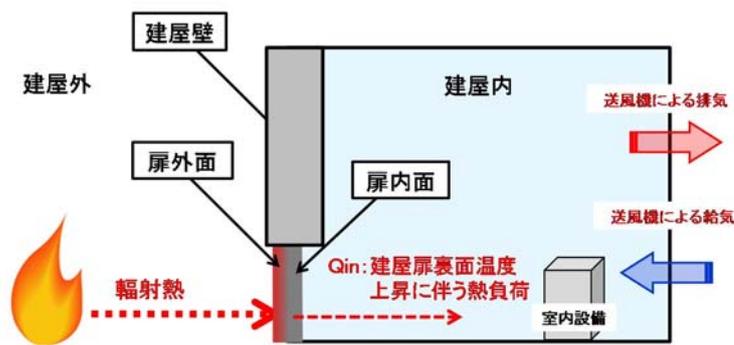
Q_{in} : 温度上昇に伴う熱負荷(W), h_{in} : 内面熱伝達率(8.29W/m²/K)

A : 扉の表面積(3.5m²), T_{in} : 扉内面温度(61°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)



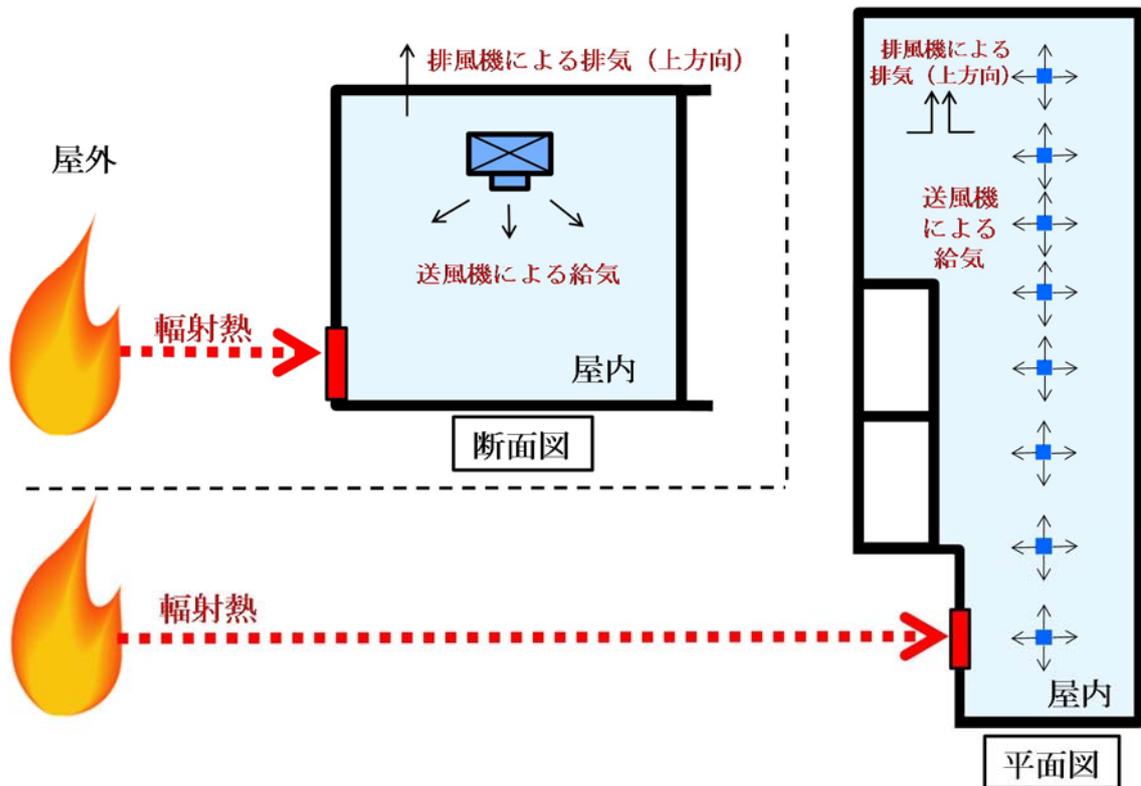
第 5.6.1.2-1 図 室内温度評価の概念図

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ないレイアウトとしていることから、室内の温度分布が不均一となることはない。

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	35.2	40



第 5.6.1.2-2 図 電気室内の給排気の概念図

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熱伝達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：輻射温度(W/m²)，h：熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}

※1：水戸地方气象台で観測された過去10年間（2003年～2012年）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	102	<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 設備がある配管貫通部のうち、火災源から最も近く、輻射強度が最も大きくなる高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室を貫通する消火系配管（離隔距離：31.9m）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

配管貫通部の判断基準値は、人が長時間受けても影響がない輻射強度なのである $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ とする。

(4) 評価結果

火災から対象となる配管貫通部の位置にある点（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。

$$E = R f \cdot \Phi$$

E：輻射強度 (W/m^2)

R f : 輻射発散度 ($58\text{W}/\text{m}^2$)^{*}, Φ : 形態係数 (2.7×10^{-2})^{*}
 ※ : 「5.2 共通データの算出」で算出したF-15の値

対象の配管貫通部が受ける輻射強度を評価した結果、判断基準値以下であることを確認した。評価結果を第5.6.3-1表に示す。

第 5.6.3-1 表 配管貫通部の評価結果

想定火災源	対象の配管貫通部が受ける 輻射強度 (kW/m^2)	判断基準 (kW/m^2)
F-15	1.56	< 1.6

5.6.4 ブローアウトパネルの火災影響評価について

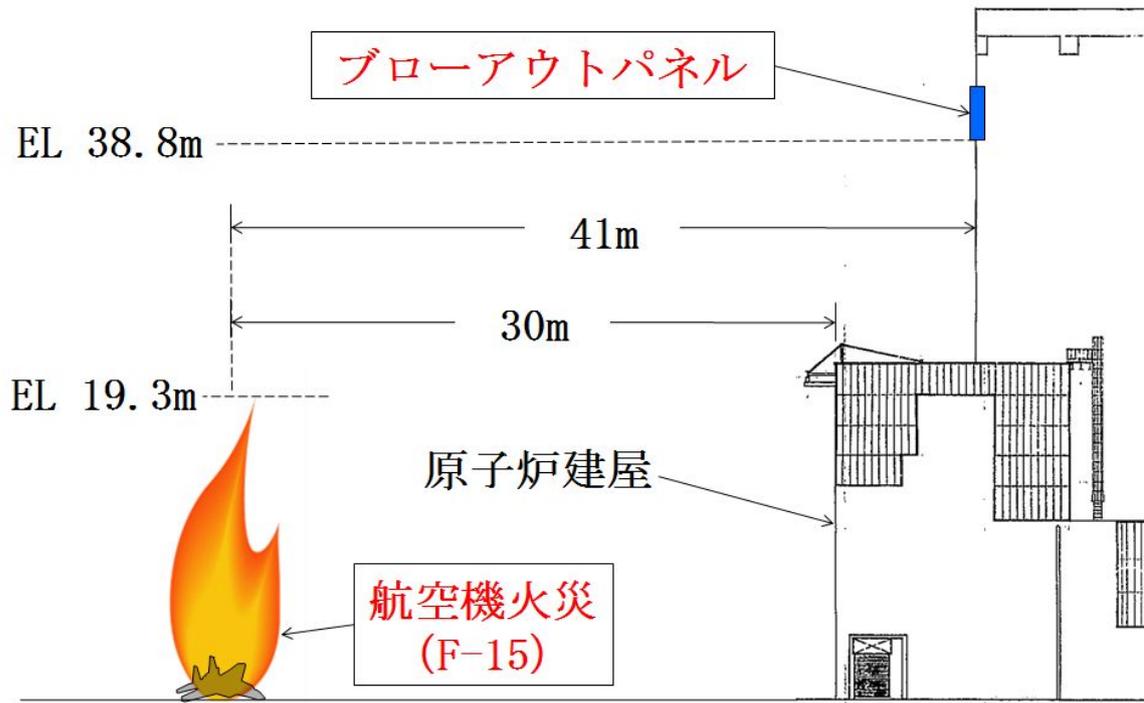
ブローアウトパネル(以下「B.P」という。)は、それぞれ原子炉建屋全方位に3箇所設置されているが、想定する航空機火災からB.Pまでの水平距離及び鉛直高さを考慮すると、B.Pに影響を与えるような輻射強度が届くことはない。位置関係を第5.6.4-1表、第5.6.4-1図に示す。

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	$41\text{m}^{\ast 1}$	$19.5\text{m}^{\ast 2}$

※1 : F-15 の航空機墜落距離 30m 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 危険物タンク火災と航空機墜落火災の重畳評価

5.7.1 熱影響評価

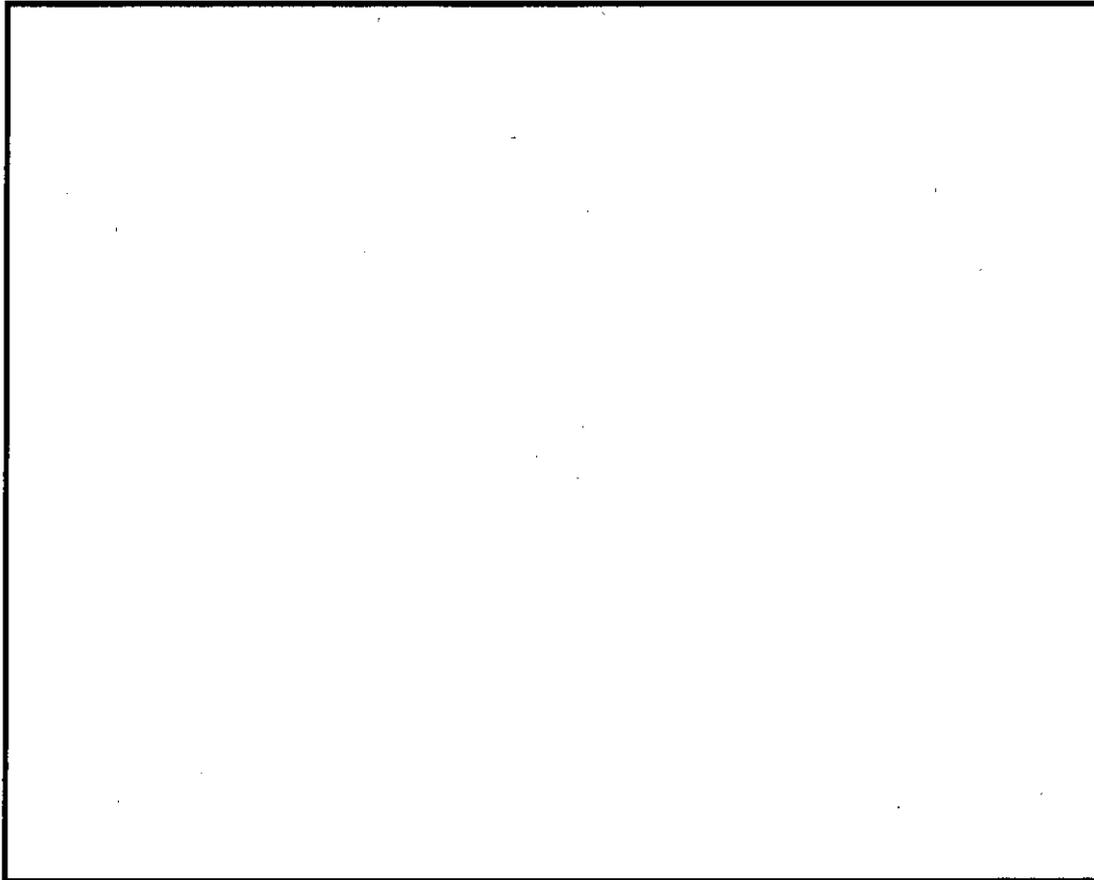
(1) 重畳評価で想定するケースの検討

敷地内危険物タンク火災影響評価の実施ケースは第5.7.1-1表のとおりであり、これらの敷地内危険物タンク火災と航空機墜落火災の重畳評価を実施した。敷地内の危険物タンクの位置を第5.7.1-1図に示す。なお、危険物タンク火災に重畳させる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とした。

第 5.7.1-1 表 敷地内危険物タンク火災影響評価の実施ケース

影響評価 対象施設	敷地内タンク火災影響評価実施の有無 (○:実施, ×:未実施)
	火災源となる危険物タンク
	熔融炉灯油タンク、 (容量:10m ³)
原子炉建屋	○
海水ポンプ室	○
使用済燃料建屋	× *
排気筒	○

※: 建屋等の障壁により対象施設を臨まないため火災影響を受けない。



第 5.7.1-1 図 敷地内の危険物タンクの位置

(2) 重畳評価の評価方法

航空機墜落に起因する敷地内タンク火災が原子炉施設へ影響を及ぼす可

能性としては、航空機墜落による火災でタンク火災が誘発される場合、危険物タンクに直接航空機が墜落し同時に火災が発生する場合等、様々なケースが想定される。このため、熱影響評価に用いる輻射強度及び燃焼継続時間を以下のとおり保守的に設定し評価を実施した。なお、評価式は 5.3, 5.4, 5.5 の評価と同じものとした。

a. 重畳評価で用いる輻射強度の設定

5.3, 5.4, 5.5 の評価と同様、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ことを想定するため、タンク火災と航空機墜落火災の重畳評価で想定される最大輻射強度は両火災による輻射強度の和となる。これより、重畳評価で用いる輻射強度を以下のとおり算出した。算出結果を第 5.7.1-2 表に示す。

第 5.7.1-2 表 重畳評価で用いる輻射強度

火災源となる危険物タンク	影響評価対象施設	①タンク単独火災の輻射強度 (W/m ²)	②F-15 の航空機墜落火災の輻射強度 (W/m ²)	①と②の重畳火災の輻射強度 (W/m ²)
溶融炉灯油タンク	原子炉建屋	298	1,748	2,046
	海水ポンプ室	17		1,766
	排気筒	1,343		3,091
備考		敷地内タンク火災評価で算出した値	5.2 (5) で算出した値を再掲	① ②の和

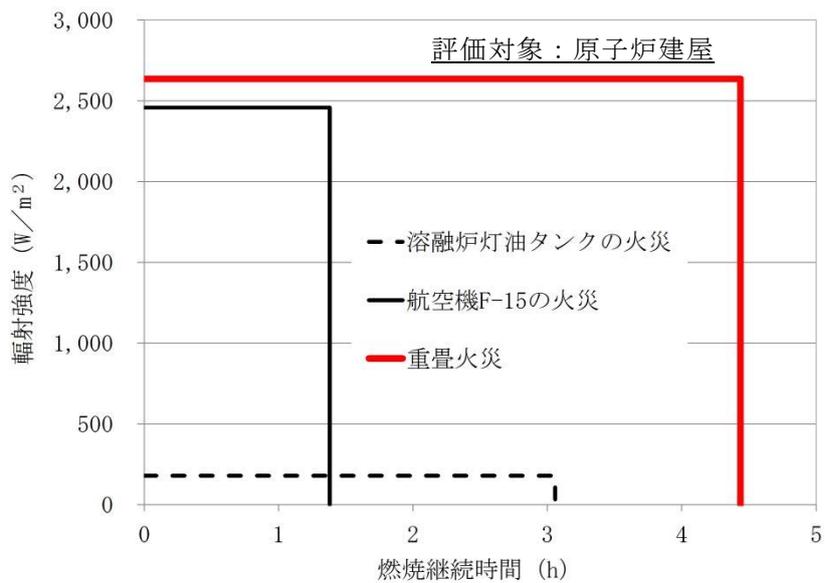
b. 重畳評価で用いる燃焼継続時間の設定

危険物タンク火災と航空機墜落火災の重畳評価で想定される最長の燃焼継続時間は、両火災による燃焼継続時間の和となる。これより、重畳

評価で用いる燃焼継続時間を以下のとおり算出した。算出結果を第 5.7.1-3 表に、重畳評価で用いる輻射強度と燃焼継続時間の例を第 5.7.1-2 図に示す。

第 5.7.1-3 表 重畳評価で用いる燃焼継続時間

火災源となる危険物タンク	①タンク単独火災の燃焼継続時間 (s)	②F-15 の航空機墜落火災の燃焼継続時間 (s)	①と②の重畳火災の燃焼継続時間 (s)
熔融炉灯油タンク	11,008 (約 3.1h)	4,968 (約 1.4h)	15,977 (約 4.4h)
備考	敷地内タンク火災評価で算出した値	5.2 (5) で算出した値を再掲	① ②の和



第 5.7.1-2 図 重畳評価で用いる輻射強度と燃焼継続時間の例

(3) 評価結果

重畳評価で想定される保守的な輻射強度及び燃焼継続時間を用いて、5.3, 5.4, 5.5 と同じ評価を実施した。

この結果、第 5.7.1-4 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 5.7.1-4 表 重畳評価結果

重畳評価の想定ケース	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 及び F-15	原子炉建屋	124	< 200
	海水ポンプ室	114	
	排気筒	141	< 325

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)	○

※1：施設と空港の緯度，経度より計測した。

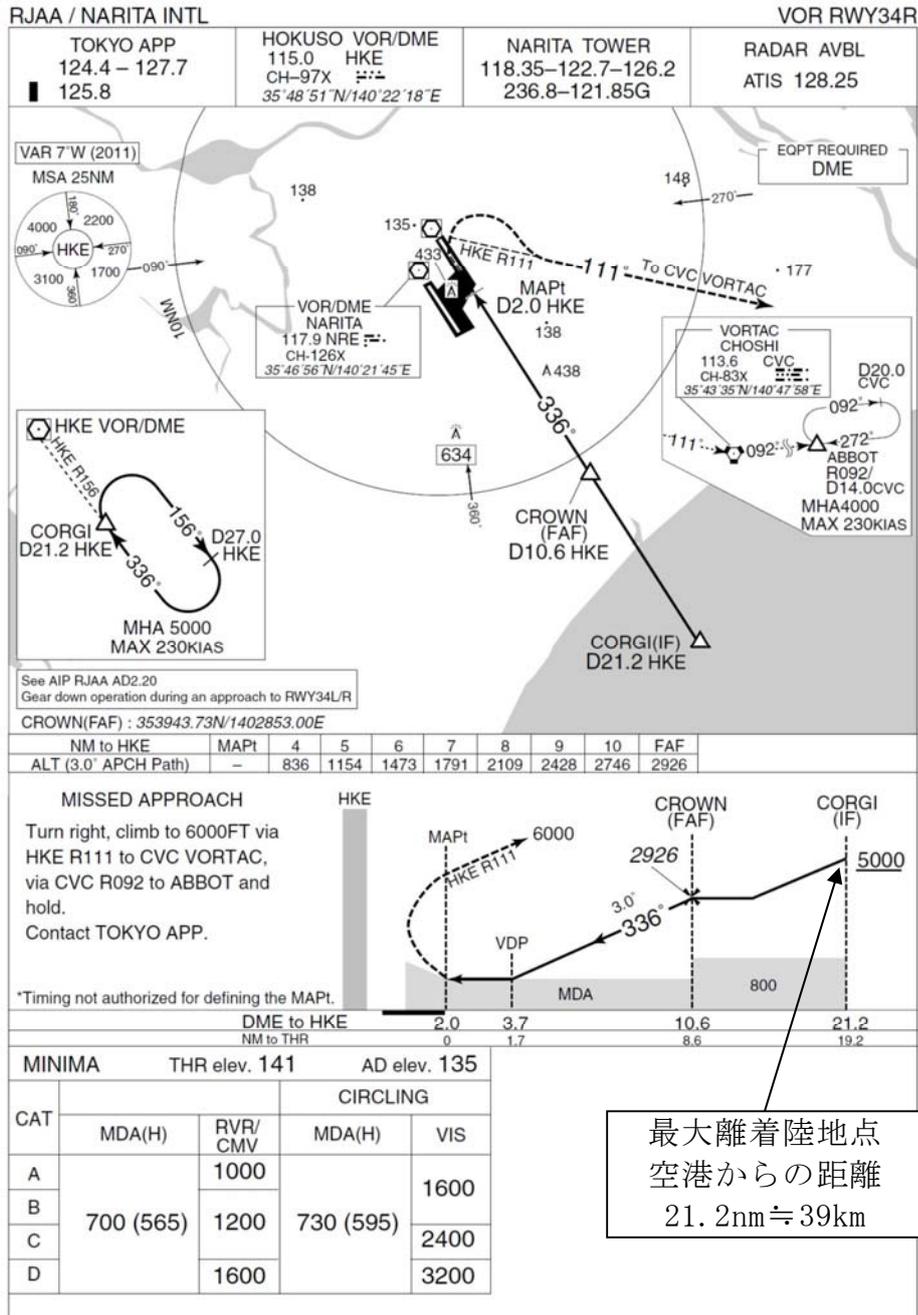
※2：A I Pを参照した。

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

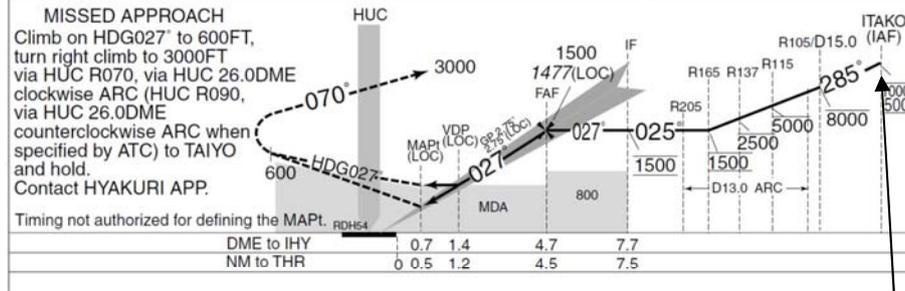
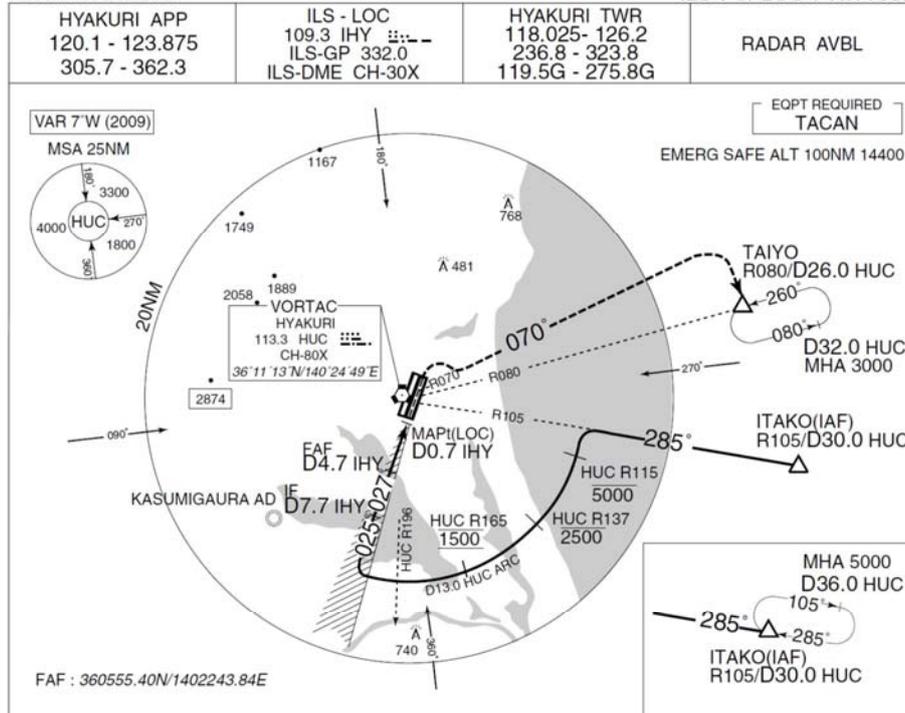
茨城空港の最大離着陸地点までの距離
 (茨城空港～東海第二発電所の距離：約 36km)

RJAH-AD2-24.15

AIP Japan
 HYAKURI

INSTRUMENT APPROACH CHART

RJAH / HYAKURI ILS Y or LOC Y RWY03R



CAT	THR elev. 107		AD elev. 107			
	DA(H)	RVR/CMV	MDA(H)	RVR/CMV	MDA(H)	VIS
A	307 (200)	750	480 (373)	900	580 (473)	1600
B				1000		
C				1400	660 (553)	3200
D						

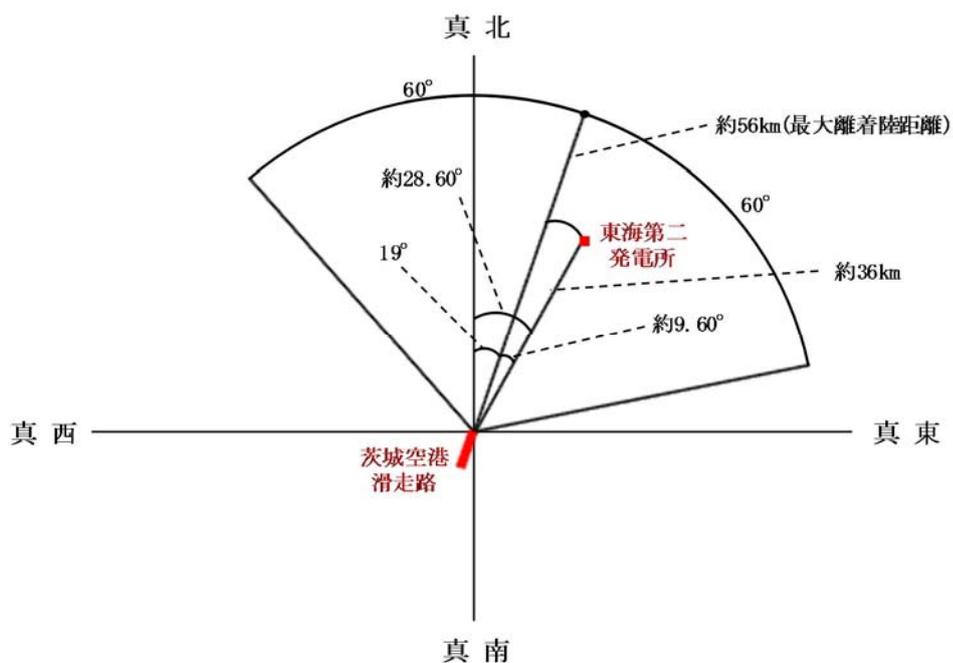
最大離着陸地点
 空港からの距離
 30nm ≒ 56km

出典：A I P

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

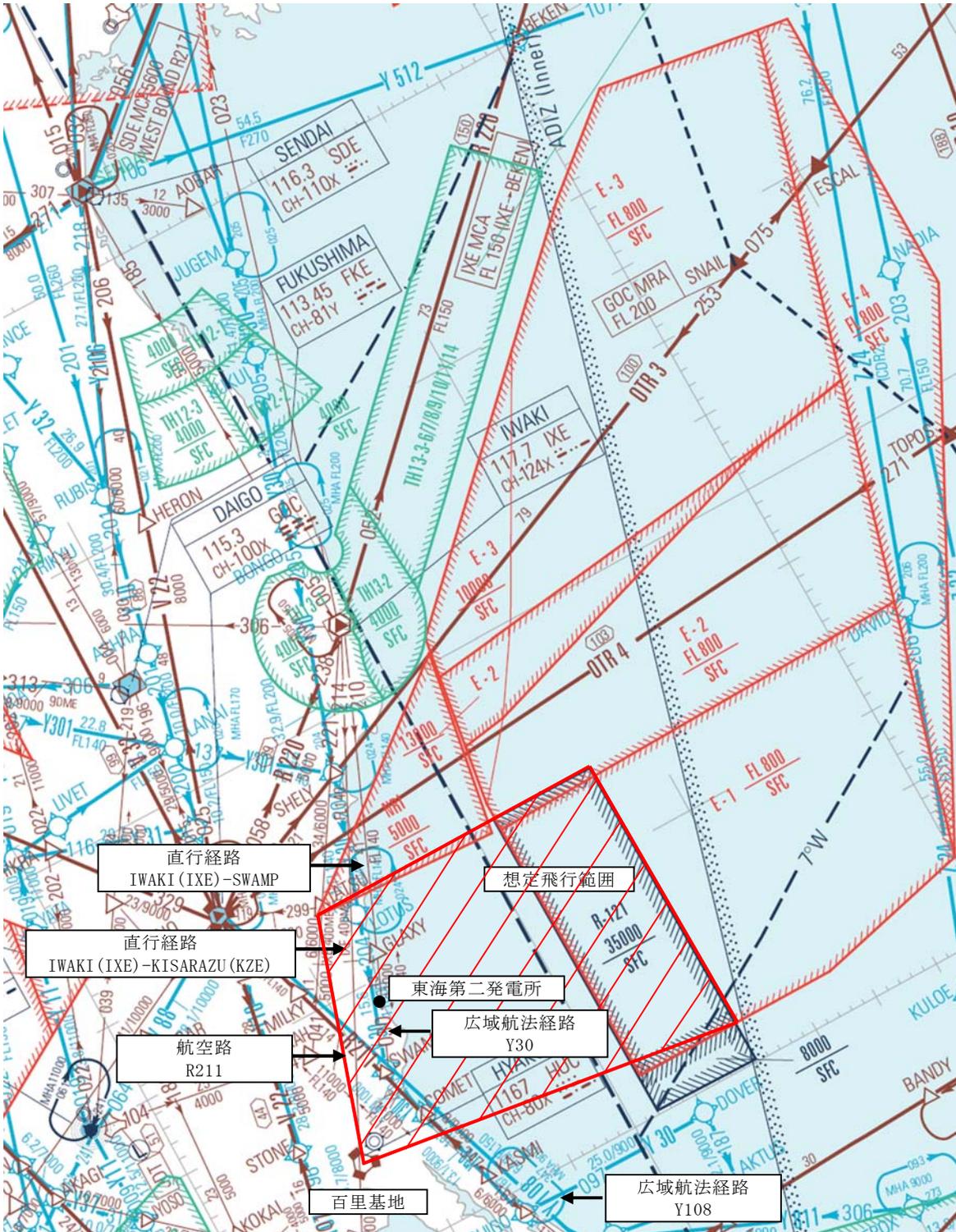
周辺の航空路の名称	航空路の中心線と 発電所間の 最小距離※1	片側の 航空路幅※2	判定
航空路 R211 (DAIGO(GOC)－SWAMP)	約 11.36km	7km	×
直行経路 (IWAKI(IXE)－SWAMP)	約 0.68km	約 7.41km (4nm)	○
直行経路 (IWAKI(IXE)－KISARAZU(KZE))	約 4.13km	約 7.41km (4nm)	○
広域航法経路 Y30 (LOTUS－SWAMP)	約 1.18km	約 9.26km (5nm)	○
広域航法経路 Y108 (DAIGO(GOC)－CHOSHI(CVC))	約 11.44km	約 9.26km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

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を分類し、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 25 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 25 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 25 年度版防衛白書，航空自衛隊ウェブページ等

※ 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

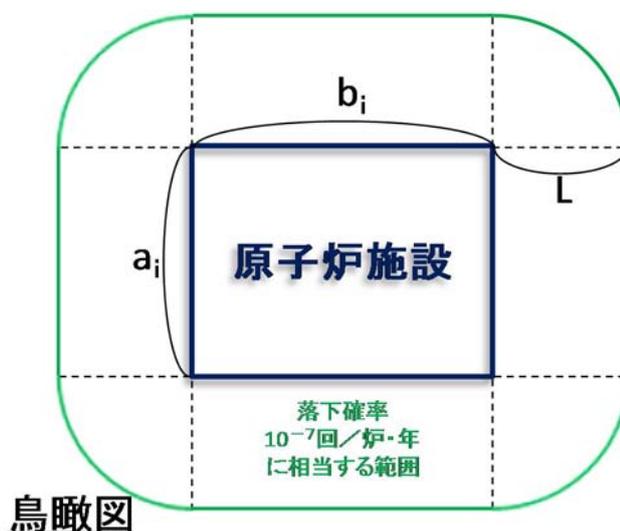
各影響評価対象施設における離隔距離が一定に確保されるように、面積の和が落下確率 10^{-7} (回/炉・年) に相当する面積となるまで標的面積を拡大させたときの離隔距離を算出する方法を用いた。

なお、本方法では各施設間の距離が短い場合 (原子炉建屋と排気筒等), 落下確率 10^{-7} (回/炉・年) に相当する範囲が重なるが、保守的に重なった部分の面積を重複してカウントした。

2. 離隔距離算出方法

各影響評価対象施設 (今回の場合, 原子炉建屋, 使用済燃料乾式貯蔵建屋, 海水ポンプ室及び排気筒) の各辺の長さを (a_1, b_1) , \dots , (a_4, b_4) とし, 離隔距離を L とすると, 落下確率 10^{-7} (回/炉・年) に相当する面積 S は以下で表される。

$$S = 4\pi L^2 + 2L \sum_{i=1}^4 (a_i + b_i) + \sum_{i=1}^4 a_i b_i$$



各カテゴリの落下確率の計算式より 10^{-7} (回/炉・年) に相当する面積が求められるため、上記方程式を L について解くことで、影響評価対象施設に対する離隔距離 L が得られる。

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）

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

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

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

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

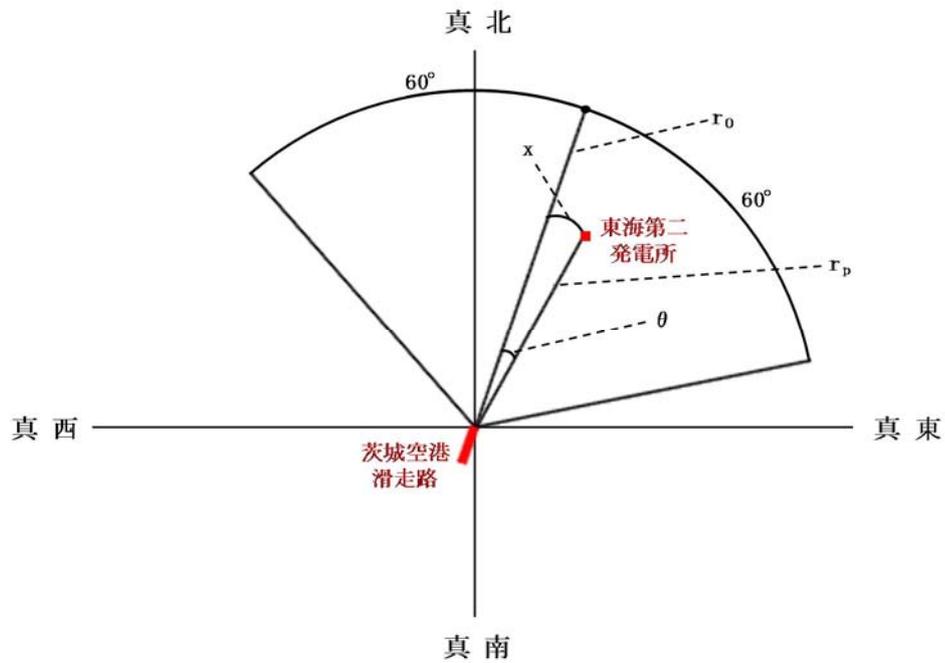
$$\sigma = \frac{\pi r}{3 \times 2.6}$$

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}

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

そこで、上記カテゴリに対する航空機落下確率の推定には、「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「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：延べ飛行距離 (=9,740,013,768km) 又は対象期間 (=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

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年間の民間航空機及び自衛隊機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。

民間航空機の χ 二乗検定

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
0～1	3	約 0.0713	約 2.07	約 0.420
2～3	9	約 0.304	約 8.82	約 0.00386
4～5	9	約 0.360	約 10.4	約 0.196
6～7	6	約 0.193	約 5.60	約 0.0279
8 以上	2	約 0.0718	約 2.08	約 0.00323
合 計	29	1.00	29.0	約 0.651

自衛隊機の χ 二乗検定

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	2	約 0.103	約 2.98	約 0.321
1	8	約 0.234	約 6.78	約 0.220
2	6	約 0.266	約 7.71	約 0.381
3	8	約 0.202	約 5.85	約 0.789
4 以上	5	約 0.196	約 5.68	約 0.0808
合 計	29	1.00	29.0	約 1.79

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

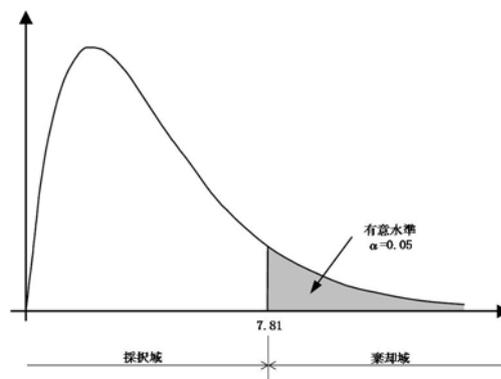
m : 落下事故件数標本平均（民間航空機：約 4.31 件，自衛隊機：約 2.28 件）

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

民間航空機及び自衛隊機の χ 二乗値はそれぞれ約 0.651, 約 1.79 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, 国内の民間航空機及び自衛隊機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。

f_{se} : 基地と訓練空域間を往復中の落下事故率 (回/年)

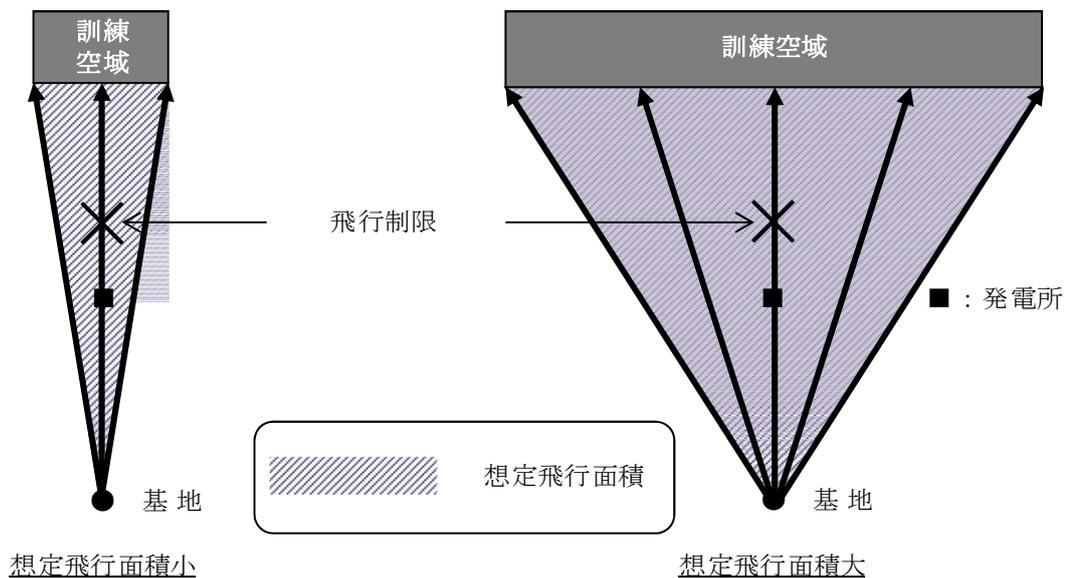
A : 原子炉施設の標的面積 (km^2)

S_{se} : 想定飛行範囲の面積 (km^2)

(A)式によると、想定飛行範囲の面積 (S_{se}) 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、p. 別 5-28 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

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. 落下事故実績がないその他のカテゴリの評価方法について

上記 3. では、『(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』のカテゴリについて述べたが、評価の一貫性の観点から、その他の(1)～(3)のカテゴリについても、(4)のカテゴリと同様に「 χ 二乗分布を用いる方法」を使用した。

5. 確率論的リスク評価における扱いについて

航空機落下確率評価では、2. のとおり χ 二乗分布を用いた方法の適用性及び 3.1 のとおり χ 二乗分布を用いた方法の保守性を確認した上でこれを使用した。さらに、外部火災影響評価では以下のように評価全体の中で保守性を確保している。

- ・航空機落下確率評価手法の保守性（別紙 7.6）

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、これを考慮していない。

- ・ 離隔距離評価上の保守性（別紙 7.7）

各施設間の距離が短い場合（原子炉建屋と復水貯蔵タンク等），落下確率 10^{-7} （回／炉・年）に相当する範囲が重なるが，当該範囲の面積を重複してカウントしている。

- ・ コンクリート許容温度の判断基準の保守性（別紙 2.1）

コンクリート圧縮強度が維持される温度を 200°C として，余裕を持たせた許容温度としている。

一方，今回の申請における確率論的リスク評価の起因事象発生頻度の評価では，発生実績がない起因事象に対して発生件数を 0.5 件と仮定して発生頻度を算出している（以下「0.5 件を用いる方法」という。）。学会標準では，発生実績がない起因事象の発生頻度を評価する方法として，0.5 件を用いる方法， χ 二乗分布を使用する方法等が認められているが，今回の確率論的リスク評価の目的が事故シーケンス選定であることを踏まえ，発生実績のない起因事象であっても炉心損傷頻度の観点から重要な事故シーケンスがあれば抽出する必要があることから， χ 二乗分布を用いた方法よりも保守的な 0.5 件を用いる方法を使用した。

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。

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
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 アルヴェット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
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。

航空機落下確率評価結果

単位：回／炉・年

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 2.81×10^{-9}		
	②航空路を巡航中の落下事故	約 1.96×10^{-11}		
2) 有視界飛行方式 民間航空機	③大型機	約 1.65×10^{-9}		
	④小型機	約 7.93×10^{-9}		
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 1.73×10^{-9}	約 1.90×10^{-8}
		⑤-2 その他の大型固定翼機, 小型固定翼機	約 1.72×10^{-8}	
	⑥基地－訓練空域間往復時	約 2.51×10^{-8}		
合 計		約 5.7×10^{-8}		

航空機落下確率評価に係る標的面積

単位：m²

	原子炉 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 1,399	約 1,212	約 784	約 7,884
投影 面積	約 6,940	約 1,887	約 1,212	約 5,599	約 15,638

ばい煙及び有毒ガスの影響について

1. 目的

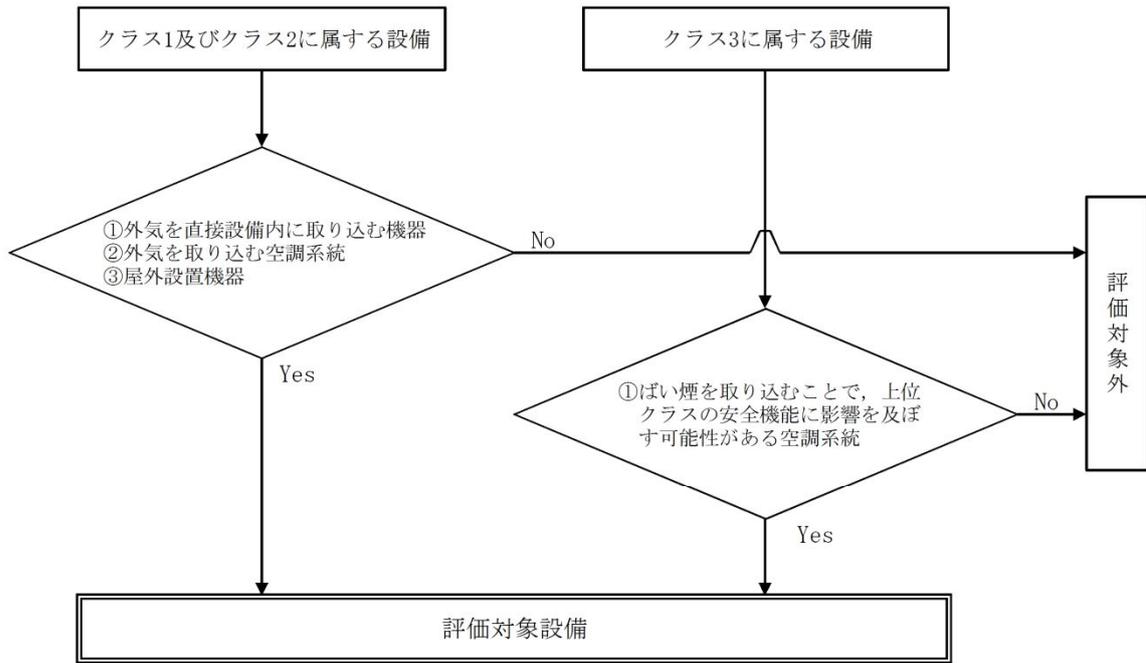
外部火災で発生するばい煙及び有毒ガスは、火炎により発生する上昇気流によって上空に運ばれるため、ばい煙及び有毒ガスが防護対象設備の周辺に滞留する可能性は低いと考えられるが、保守的にばい煙及び有毒ガスが設備並びに居住性に与える影響について、評価を実施する。

2. 評価対象設備

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。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設備

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



- ①ディーゼル発電機機関
 - ・非常用ディーゼル発電機
 - ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機
- ②換気空調設備
 - ・中央制御室換気系
 - ・ディーゼル発電機室換気系
- ③海水ポンプ電動機
 - ・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
 - ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系ポンプ

- ①換気空調設備
 - ・原子炉建屋換気系
 - ・電気室換気系

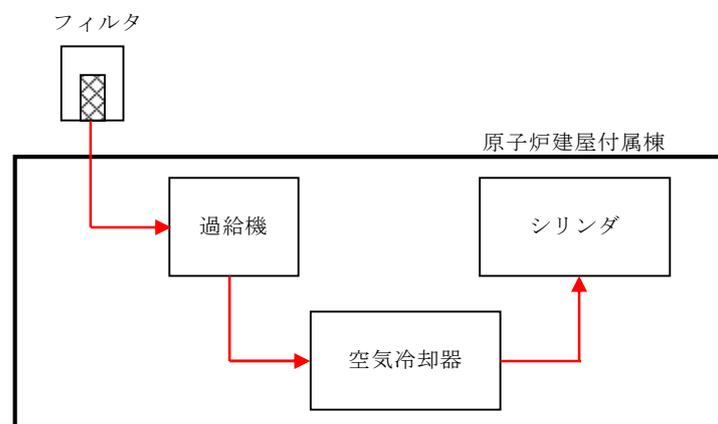
第 2-1 図 評価対象設備抽出フロー図

3. 評価結果

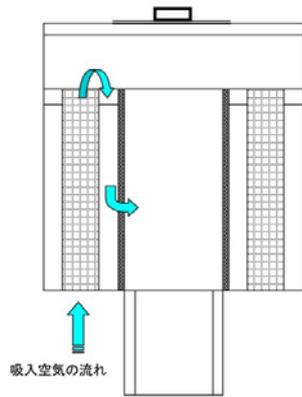
3.1 外気を直接設備内に取り込む機器

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。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。

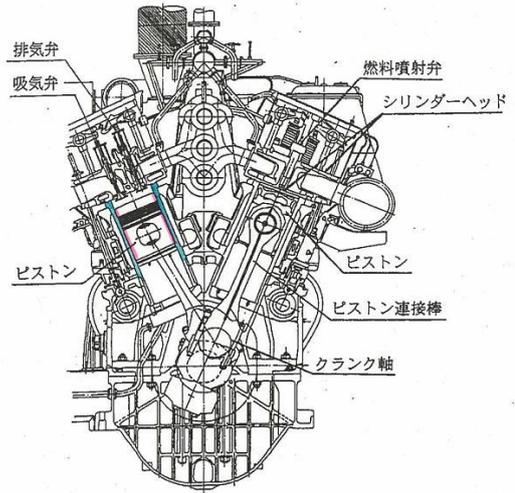
以上のことから、外部火災で発生するばい煙が、非常用ディーゼル発電機の機能に影響与えることはないと判断した。



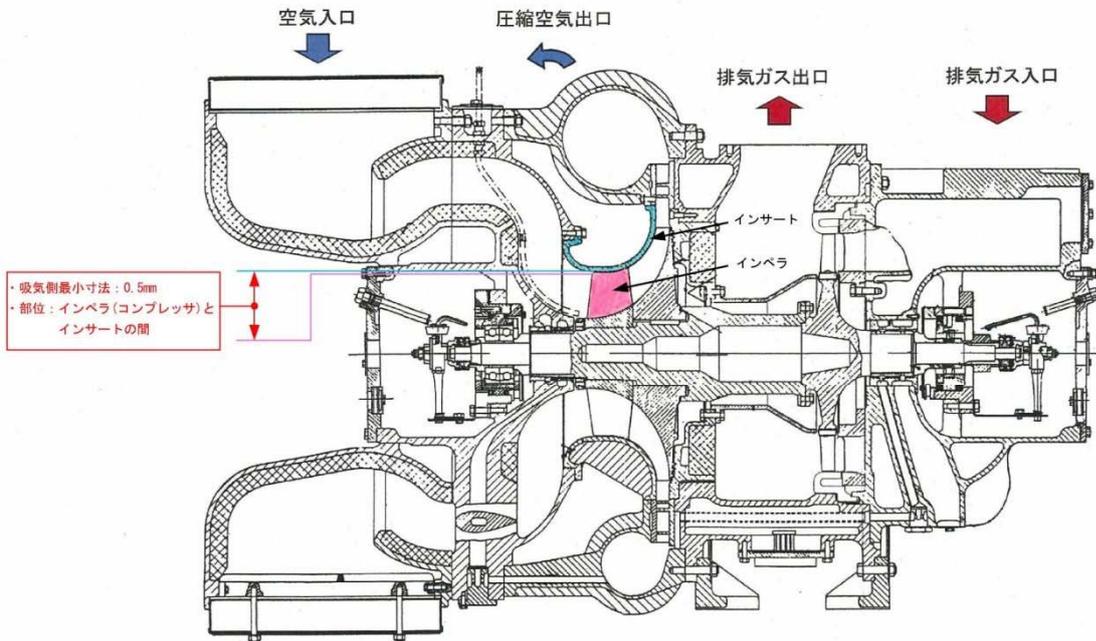
第 3.1-1 図 ディーゼル発電機吸気系統概略図



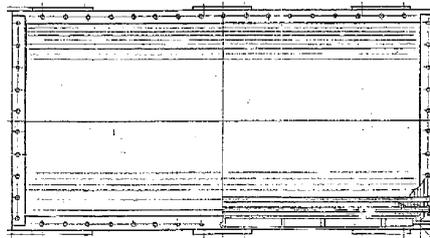
フィルタ構造



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

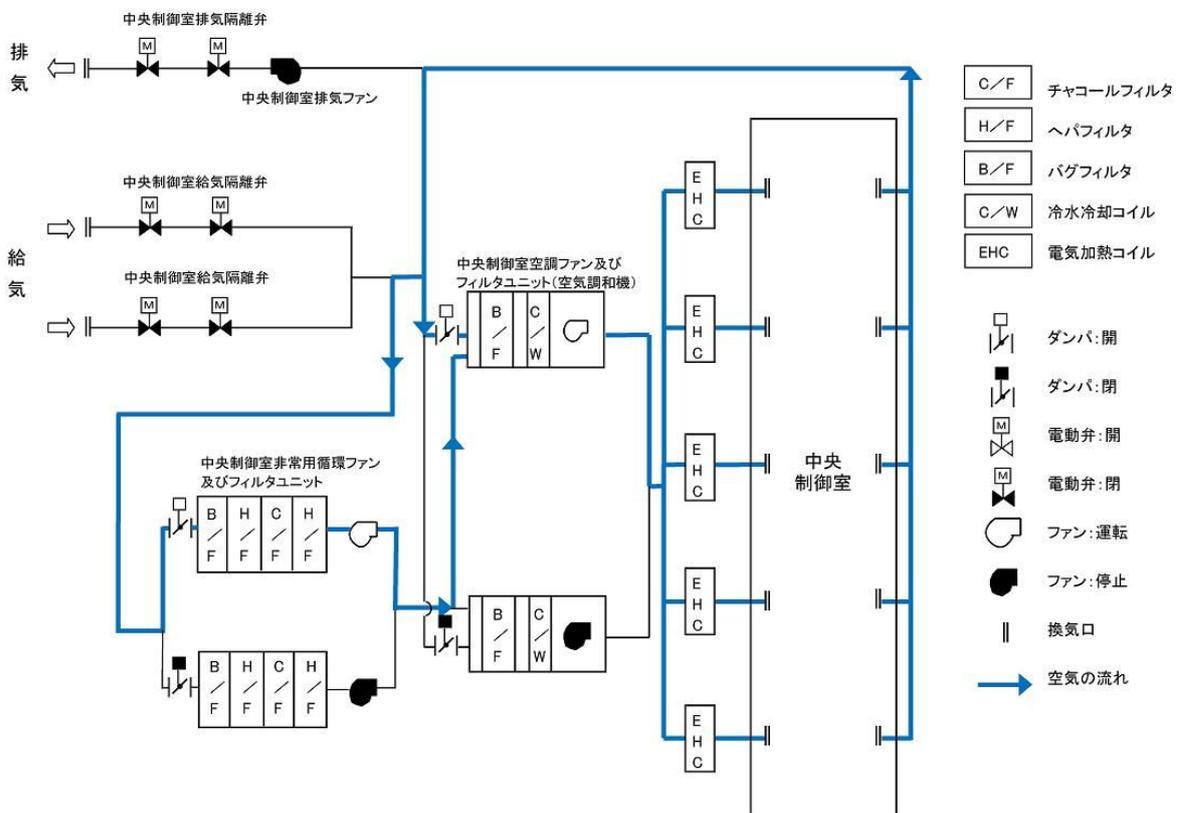
3.2 外気を取り込む空調系統

(1) 中央制御室換気系，電気室換気系，原子炉建屋換気系

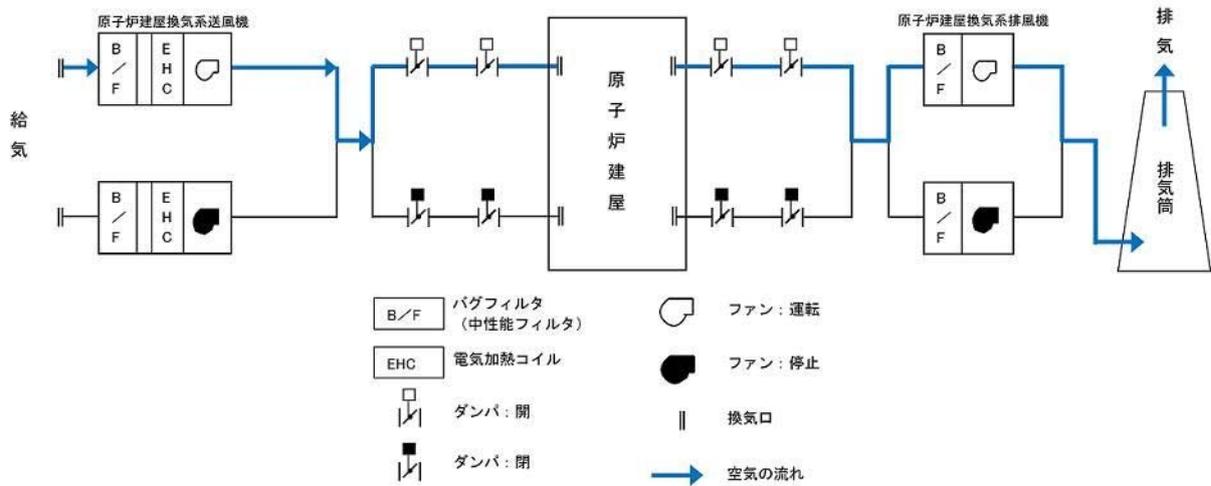
これらの系統の給気用のファン入口にはフィルタが設置されている。

フィルタは捕集率 80%以上 (JIS 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ため，外部火災で発生する一定以上の粒径のばい煙は，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。中央制御室換気系の系統概略図を第 3.2-1 図，原子炉建屋換気系の系統概略図を第 3.2-2 図，電気室換気系の系統概略図を第 3.2-3 図に示す。

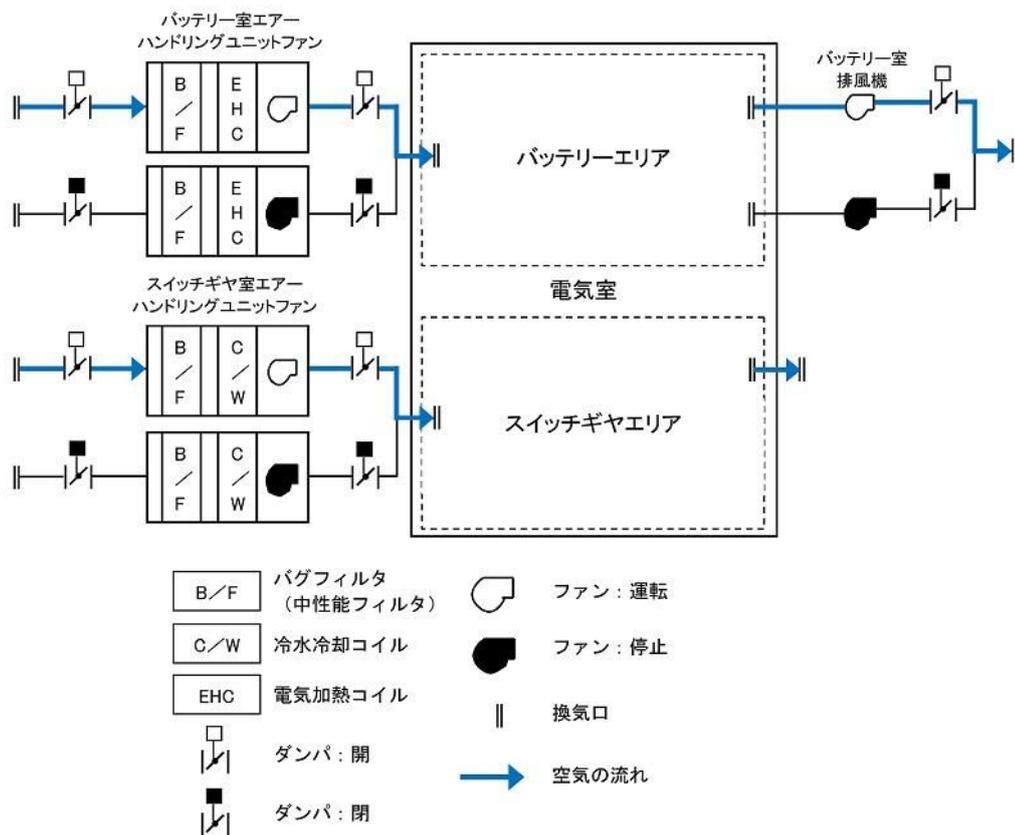
中央制御室換気系については，隔離弁を閉止し，閉回路循環運転を行うことにより，ばい煙等の侵入を阻止可能である。



第 3.2-1 図 中央制御室換気系の系統概略図



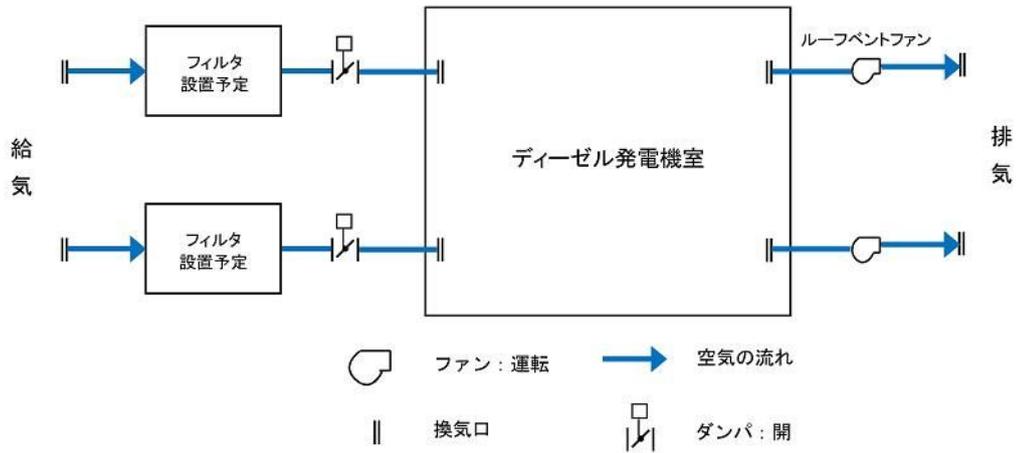
第 3.2-2 図 原子炉建屋換気系の系統概略図



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

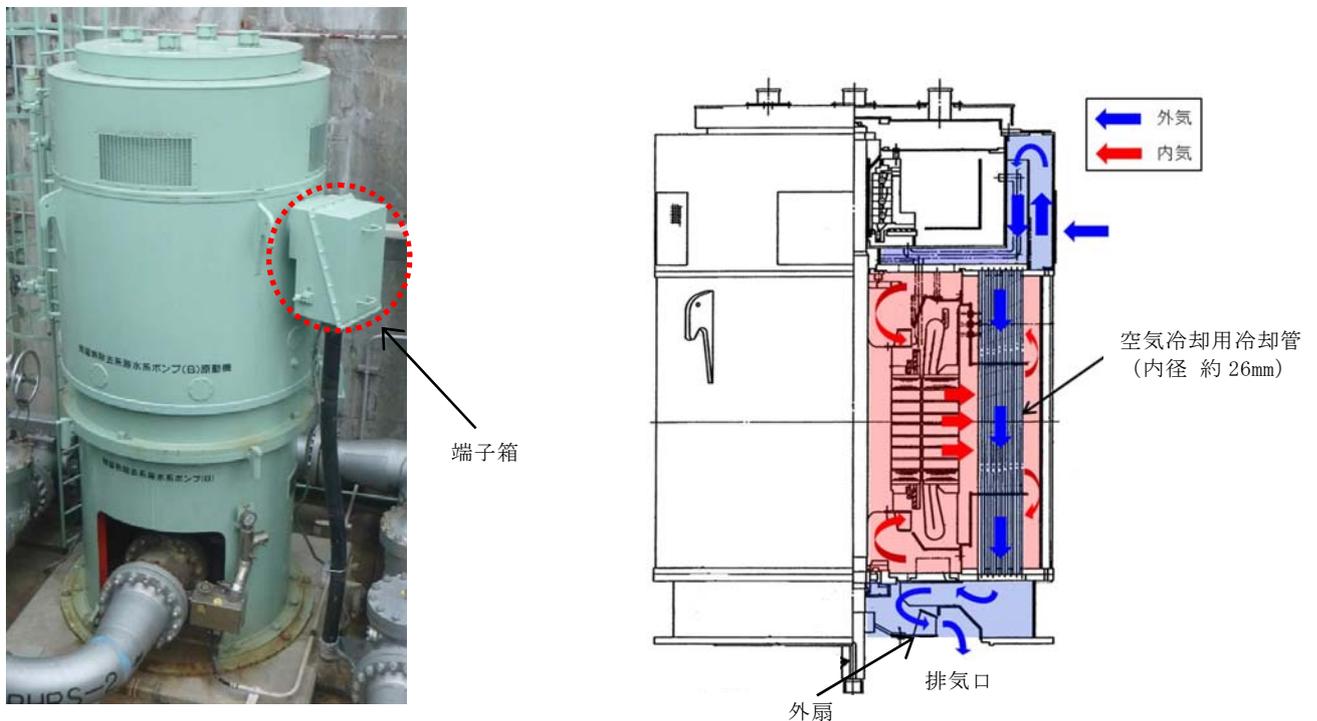
3.3 屋外設置機器

(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。

電動機の構造を第 3.3-1 図に示す。

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。



第 3.3-1 図 残留熱除去系海水系ポンプ電動機 構造図

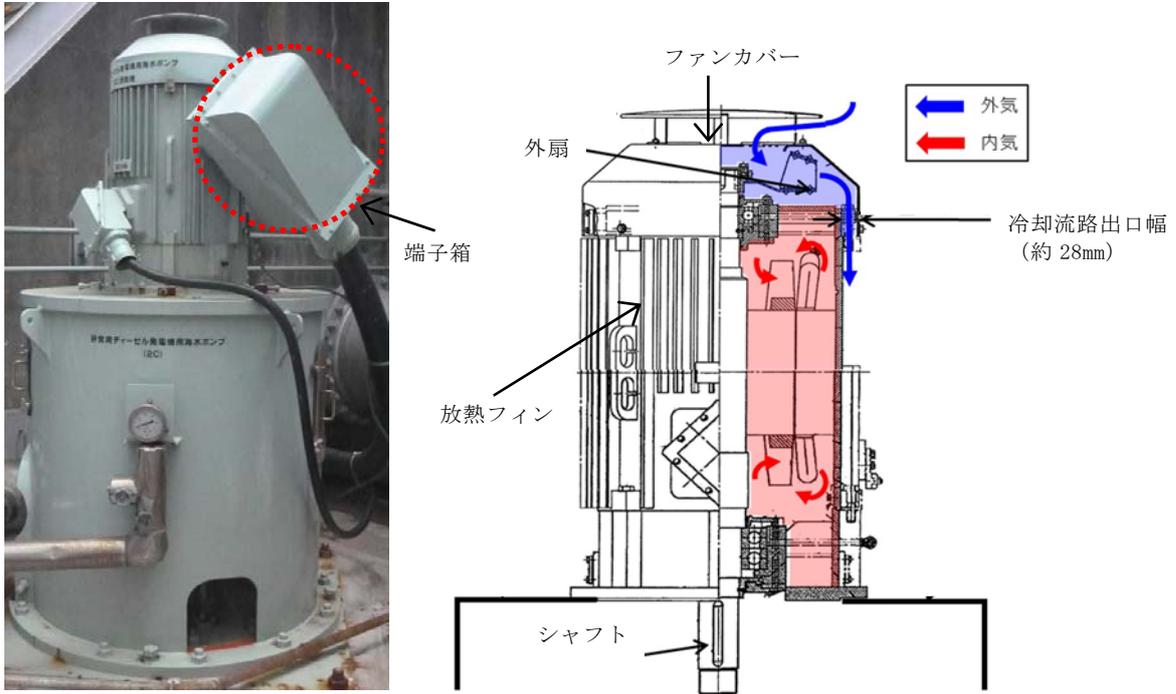
(2) 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機

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。

電動機の構造を第 3.3-2 図に示す。

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。



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、中央制御室給気口位置における、航空機墜落火災と危険物タンク火災で発生する有毒ガスの最大濃度を求め、中央制御室の運転員に影響を及ぼさないことを評価した。

(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 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%
- ・ 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，CO₂排出量を計算するには，乾燥空気換算（%）を使用する。

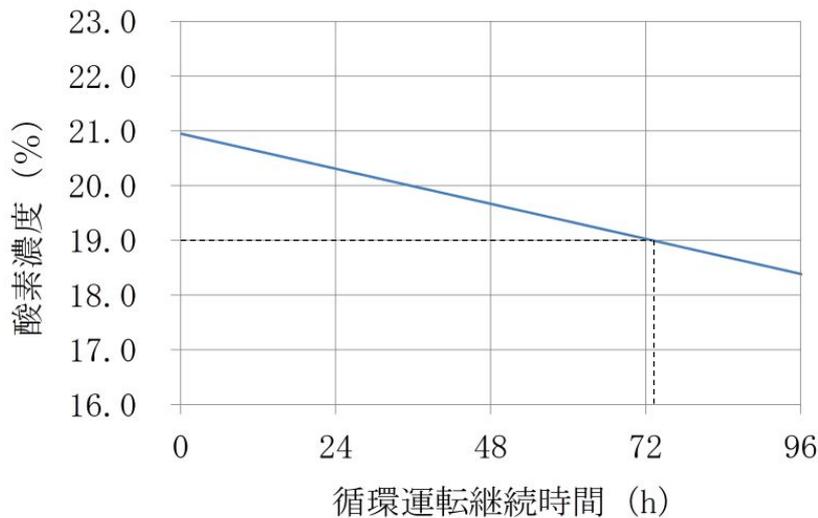
※3：鉱山保安法施工規則

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，80時間まで外気取入を遮断しても，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	20.63%	20.31%	19.67%	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 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 2,700m³
- ・ 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/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

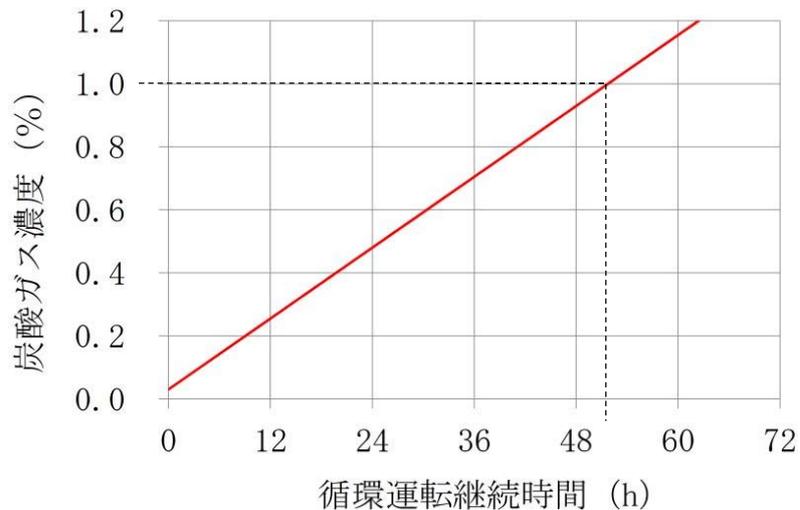
※2：鉱山保安法施工規則

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 図のとおりであり、56 時間まで外気取入を遮断しても、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 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 時間
炭酸ガス濃度	0.25%	0.48%	0.93%	1.0%



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に位置する設備のうち、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、有風時プルーム式を用いて、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。

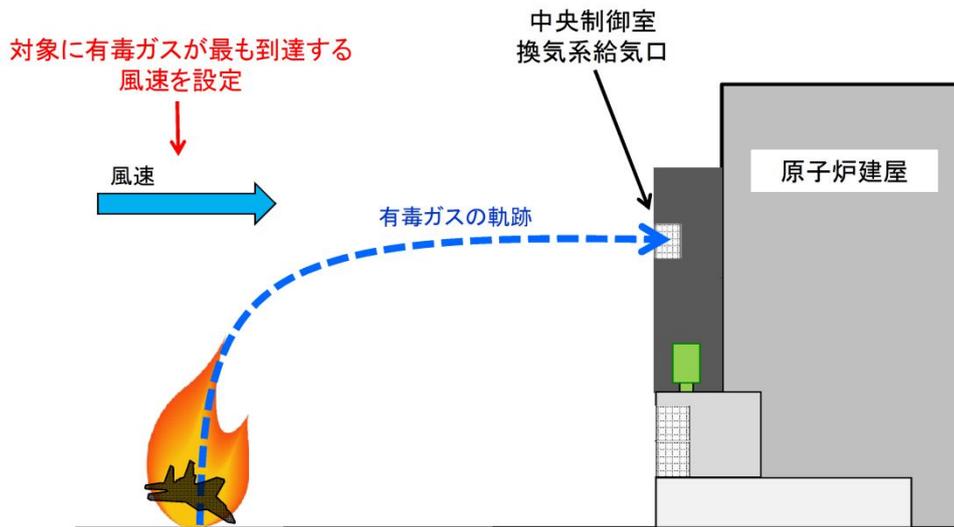
(有風時ブルーム式)

$$C_{xyz} = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left(\exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right) \quad (1)$$

(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

第 3.4-3 図に評価手法の概要を示す。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 (Immediately Dangerous to Life of Health^{※1}) と比較評価を実施する。

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。

※1 : 30 分の暴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。

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。

$$x \leq x'$$

$$x' = 2.16 F^{2/5} \cdot \Delta h^{2/5}$$

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) ($\Delta h < 305\text{m}$)

※2 G. A. Briggs, "Plume Rise", U. S. Atomic Energy Commission, 1969

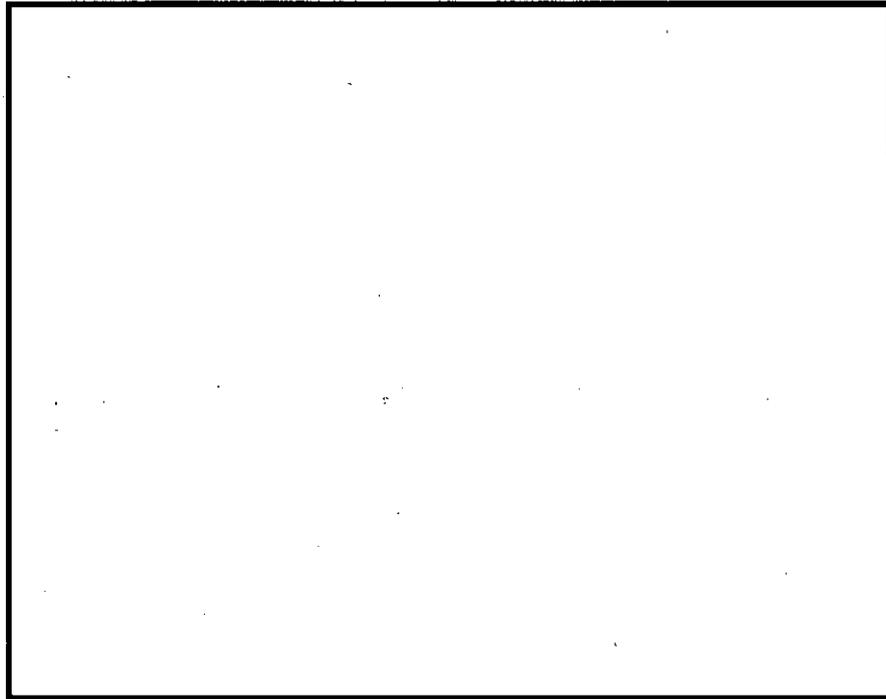
b. 評価データ

(a) 評価対象となる給気口及び火災源との距離

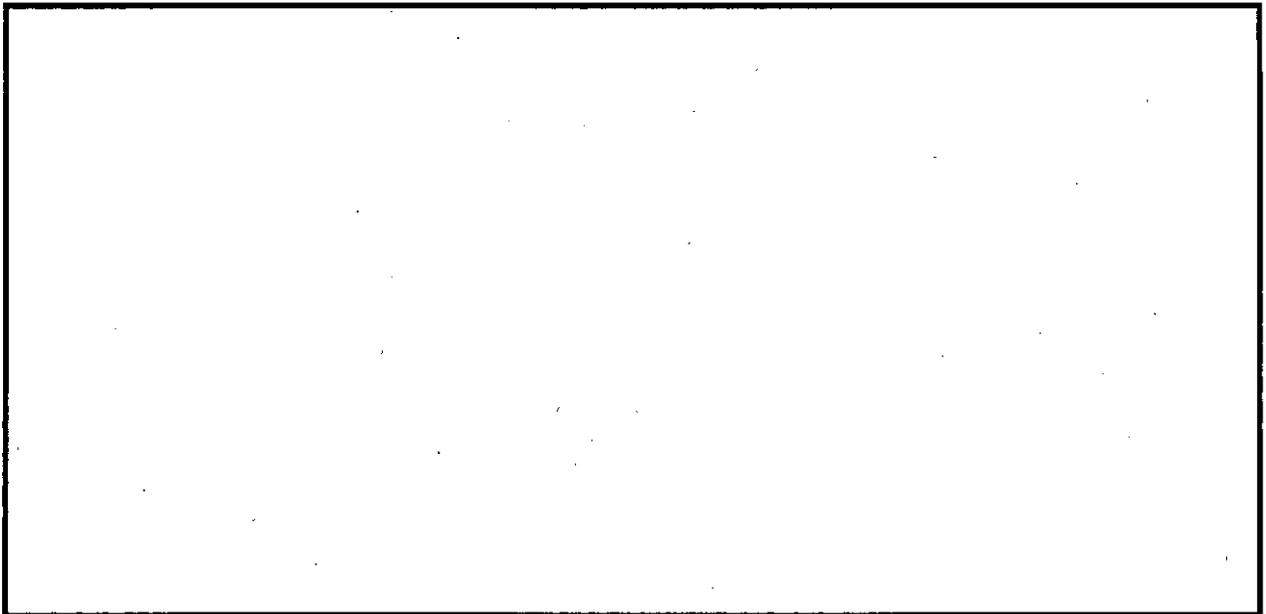
評価対象となる給気口と火災源との位置関係を第 3.4-4 図に、離隔距離及び鉛直方向距離を第 3.4-3 表に、水平方向の位置関係を第 3.4-4 図に、高さ方向の位置関係を第 3.4-5 図に示す。航空機火災に対する離隔距離は、最も保守的な評価となる「自衛隊機又は米軍機基地－訓練空域間往復時 (F-15)」の離隔距離を採用した。また、中央制御室換気系給気口は 2 つあるが、評価は、火災源からの距離が近く、高さが高い方が保守的となるため、B2-19A を対象に評価を実施した。

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）

(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 JP-4 のガス発生量を包絡する重油の値を設定する。

第 3.4-4 表 燃焼特性に関するデータ

油種		JP-4	重油
有毒ガス発生量※ (kg/kg)	CO ₂	3.053	3.566
	CO	0.030	0.030
	SO ₂	0.001	0.010
	NO ₂	0.005	0.008

※：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)	4.121	0.055	0.008	0.009

(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。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。これより求め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 3.4-7 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)	7.2

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 < 5	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_z	γ_z	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*

$$\sigma_y/x = \sigma_0 f(x), \sigma_0 \text{ in radfms}$$

with σ_0 † 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.

*. † 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。

下表より、すべての評価に対し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。

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

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)		7.2	2.608	1.736

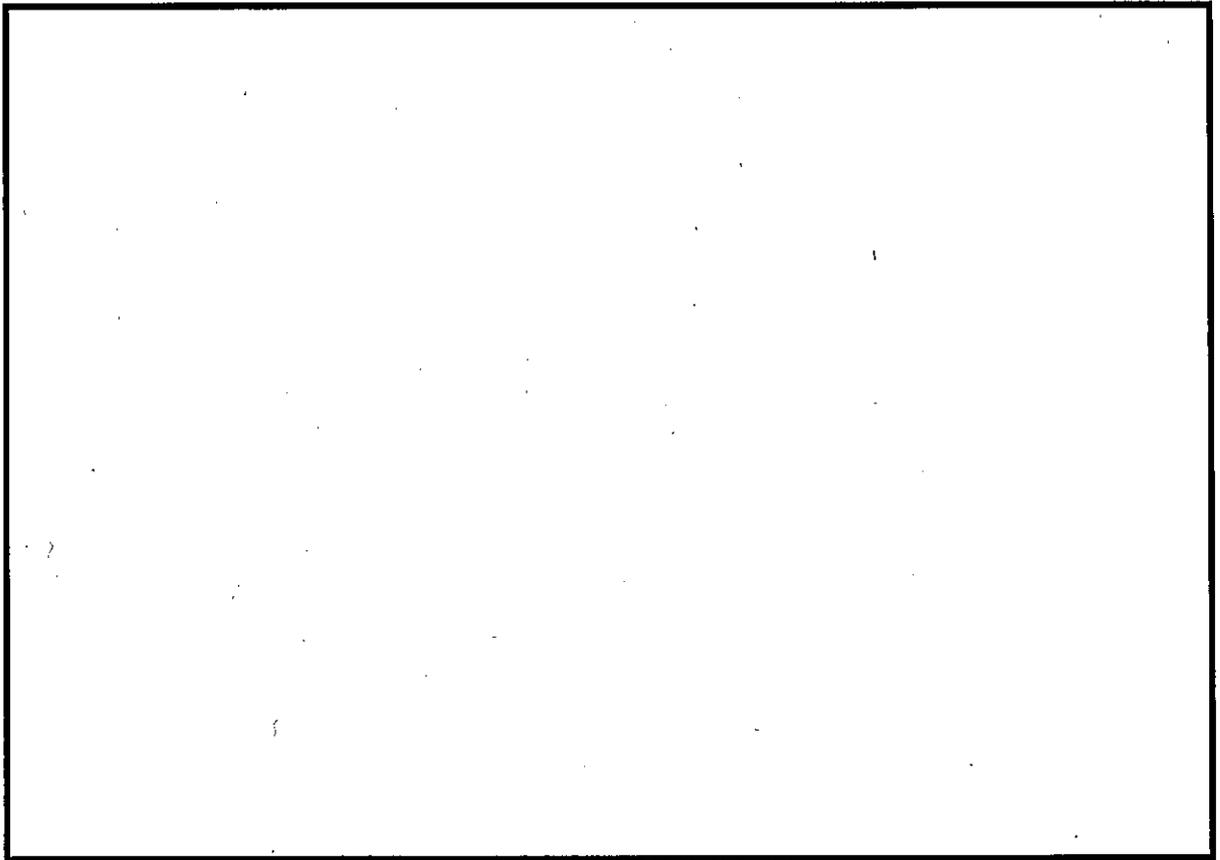
評価対象	想定発火源	ガス濃度 (ppm)			
		CO ₂	CO	SO ₂	NO ₂
中央制御室 換気系給気口 B2-19A	航空機火災 (F-15)	5,224	70	11	12
判断基準: IDLH		40,000	1,200	100	20

(4) 火災による放射性廃棄物の放出

固体廃棄物貯蔵庫で火災が発生した場合の放射性廃棄物の放出に対する影響評価を、(3)の評価と同様式(2)を用いて実施した。想定する固体廃棄物貯蔵庫は、中央制御室換気系給気口が風下となる固体廃棄物貯蔵庫（レーザー）（原子炉建屋までの離隔距離は約360m）とし、位置を第3.4-6図に示す。

評価をした結果、火災による排煙上昇高度が給気口高さと同しくなる風速は風速37m/sとなり、水戸地方気象台で過去10年間（2003年～2012年）に観測された最大風速15.5m/sに比べ倍以上大きいことを確認した。

以上より、固体廃棄物貯蔵庫で火災が発生した場合の放射性廃棄物の放出に対する影響はない。

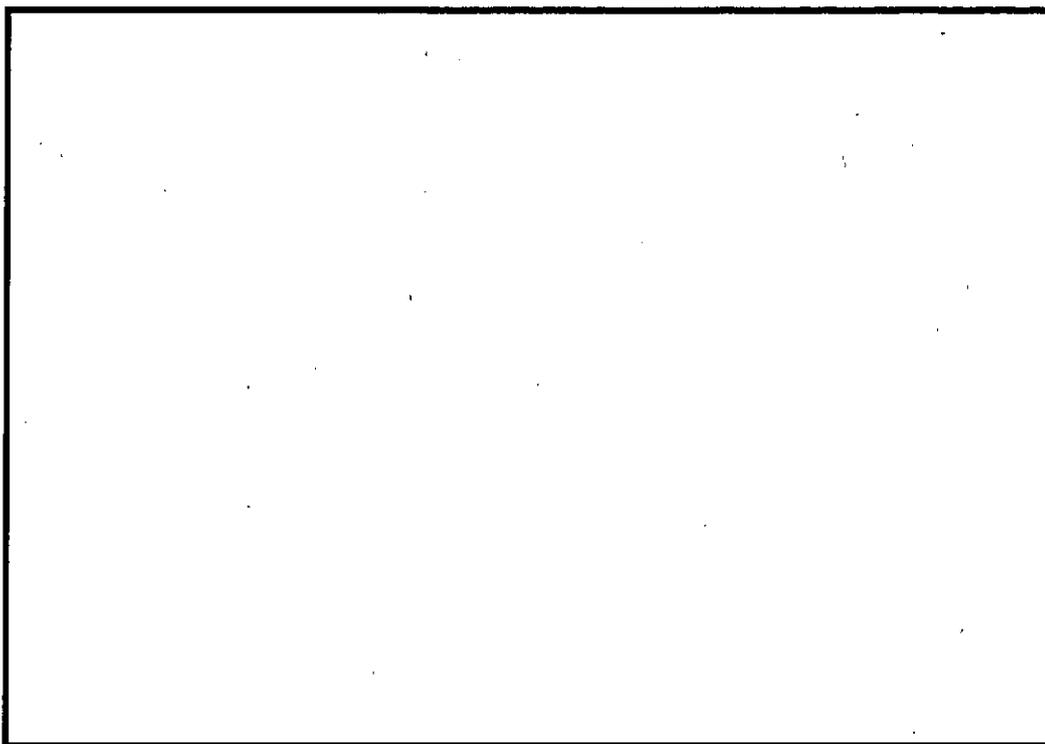


第 3.4-6 図 評価対象となる給気口と固体廃棄物貯蔵庫との位置関係

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 $1,400\text{m}^3$
- ・ 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、 $24\text{L}/\text{min}$ 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、CO₂排出量を計算するには、乾燥空気換算（%）を使用する。

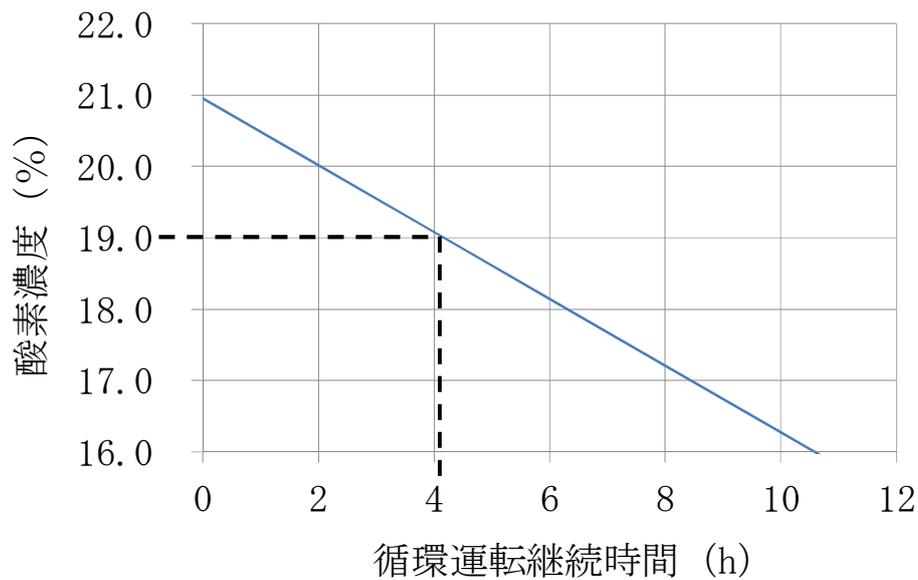
※3：鉱山保安法施工規則

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、4時間まで外気取入を遮断しても、緊急時対策所内に滞在可能である。緊急時対策所周圍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
酸素濃度	20.01%	19.08%	18.14%



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 1, 400m³
- ・ 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

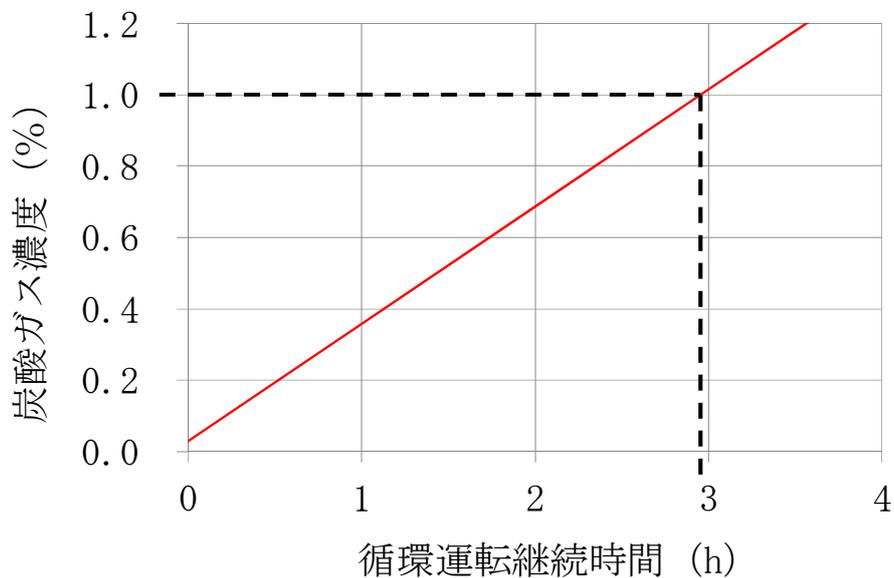
※2：鉱山保安法施工規則

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、2.9 時間まで外気取入を遮断しても、緊急時対策所内に滞在可能である。緊急時対策所周围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 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	3 時間	4 時間
炭酸ガス濃度	0.36%	0.69%	1.02%	1.34%

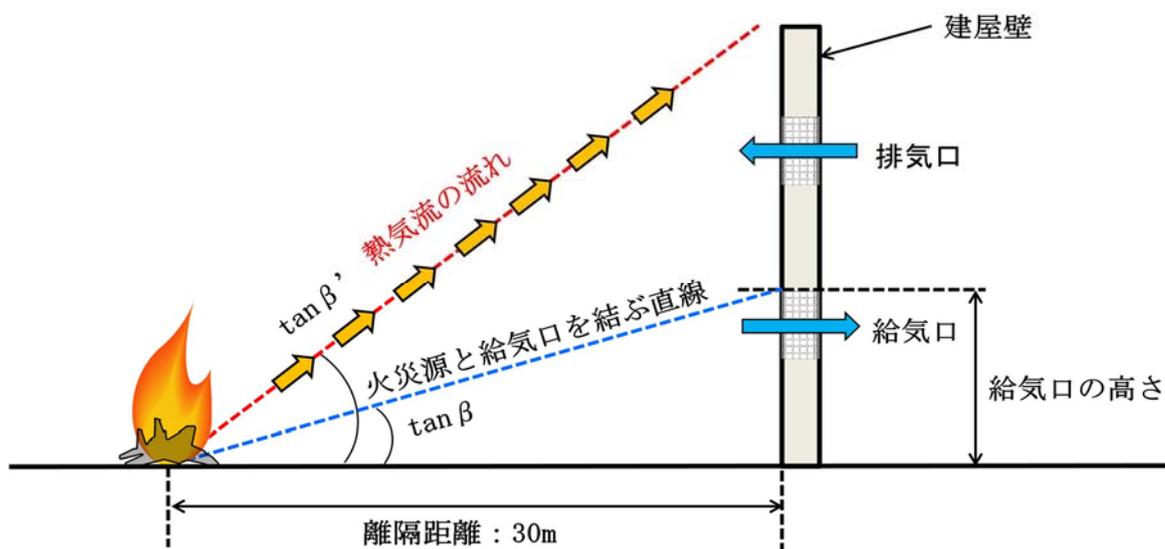


第 3.5-3 図 在室人員数に対する居住性に影響を及ぼさない時間 (炭酸ガス)

3.6 熱気流による影響評価

給気口のすぐ内側にクラス1, 2設備がある, ディーゼル発電機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。

第3.6-1図に評価の概念図を示す。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, 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3.6-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価概念図

3.6.1 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。

3.6.2 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

3.6.2-1 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 3.6.2-1 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)
ディーゼル発電機 吸気系フィルタ	4.9	32	0.15
使用済燃料乾式 貯蔵建屋	8.8	30	0.29

(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 3.6.2-2 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 3.6.2-2 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 3.6.2-3 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 3.6.2-3 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 ³

(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 3.6.2-4 表に示す。

$$\tan \beta = 0.37 \Lambda^{-8/9} Fr^{0.0975}$$

$$\Lambda = \frac{UD^{1/3}}{\left(Q g / C_p \rho T_0 \right)^{1/3}}$$

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{Dg}}$$

$\tan \beta$: 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 (1.168kg/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 3.6.2-4 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 (-)	熱気流が直接給気口に侵入する風速 U (m/s)	過去 10 年間 (2003 年～2012 年) の最大風速 (m/s)
ディーゼル発電機 吸気系フィルタ	2.3	1.9	16.0	15.5
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	1.2	1.0	8.6	

以上の結果、ディーゼル発電機吸気系フィルタへ熱気流が侵入する風速は 16.0m/s となり、過去 10 年間 (2003 年～2012 年) の最大風速 15.5m/s を超える値となることから、ディーゼル発電機吸気系フィルタへ侵入する可能性は低いため、以降では評価対象外とし、使用済燃料乾式貯蔵建屋のみ評価対象とする。

3.6.3 評価結果

(1) 火災に伴う建屋内の空気温度の上昇量

佐賀の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。

$$\Psi_{xm} = \frac{1.32}{\Lambda^{1/2} Fr^{-0.8833}}$$

$$\Delta \theta_m = \frac{\Psi_{xm} \left(Q^2 T_0 / C_p^2 \rho^2 g \right)^{1/3}}{D^{1/3} X^{4/3}}$$

Ψ_{xm} : 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 ($9.4 \times 10^3 \text{ kW}$), C_p : 空気比熱 (1.007 kJ/kg/K)
 T_0 : 周囲温度 (310K), ρ : 空気密度 (1.168 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 (30m)

建屋内の最高温度を評価した結果、許容温度 99℃以下であることを確認した。評価結果を第 3.6.3-1 表に示す。

第 3.6.3-1 表 熱気流の主軸温度

影響評価対象	熱気流の主軸温度 (°C)	建屋内の最高温度* (°C)	許容温度 (°C)
使用済燃料乾式貯蔵建屋	39	84	<99

※ : 建屋内の最高温度 (84°C) = 周囲温度 (45°C) + 熱気流の主軸温度 (39°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 39℃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 39℃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 39℃上昇したと仮定した場合 84℃（周囲温度 45℃+熱気流による温度上昇 39℃）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 3.6.3-2 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 3.6.3-2 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 (℃)	二次蓋金属 ガスケット (℃)	外筒 (℃)	胴 (℃)	側部 レジン (℃)	燃料 被覆管 (℃)
①周囲温度 45℃ 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 3.6.3-3 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 3.6.3-3 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。

東海第二発電所

外部からの衝撃による損傷の防止

(火山)

第6条 外部からの衝撃による損傷の防止
(火山)

<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) 適合性説明

2. 外部からの衝撃による損傷の防止
別添資料1 火山影響評価について

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 (火山)

< 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 第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）	技術基準規則 第7条（外部からの衝撃による損傷の防止）	備考
<p>安全施設は、想定される自然事象（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。</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ない。</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ない。</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)

(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-2) 安全施設は、発電所の運用期間中において発電所の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象として設定した層厚 40cm、粒径 8mm 以下、密度 $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ （乾燥状態） $\sim 1.5\text{g}/\text{cm}^3$ （湿潤状態）の降下火砕物に対し、その直接的影響である構造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、電気系及び計測制御系に対する機械的影響（摩耗）に対して摩耗しにくい設計とすること、構造物の化学的影響（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

系に対する化学的影響（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難く，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装制御設備（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，降下火砕物による静的負荷や腐食等の影響に対して，降下火砕物の除去や換気空調設備外気取入口のフィルタの取替，清掃，換気空調設備の停止又は再循環運転の実施により安全機能を損なわない設計とすること，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ることで，その安全機能を損なわない設計とする。さらに，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，発電所の安全性を維持するために必要となる電源の供給が継続でき，安全機能を損なわない設計とする。

（2）安全設計方針

1.8 火山防護に関する基本方針

1.8.1 設計方針

（1）火山事象に対する施設の基本方針

安全施設が火山事象に対して，原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能を損なわないよう，「添付書類六 6.6 火山」で評価し抽出された発電所に影響を及ぼし得る火山事象である降下火砕物に対して，対策を行い，建屋による防護，構造健全性の維持又は代替設備の確保等によって，

安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (1.1 : 1-1~4),
(第 3.6.1-1 表 : 1-28, 29)】

(2) 降下火砕物の設計条件

地盤・津波側にて別途審議中

a. 設計条件の検討・設定

東海第二発電所の敷地において考慮する火山事象として、「添付書類六 6.6 火山」に示すとおり、文献調査、地質調査結果等から総合的に判断し、設計条件となる降下火砕物堆積量は 40cm と設定した。

密度及び粒径については、文献調査の結果を踏まえ、密度 $0.3\text{g}/\text{m}^3$ (乾燥状態) $\sim 1.5\text{g}/\text{m}^3$ (湿潤状態)、粒径 8mm 以下と設定する。

【別添資料 1 : (3.1 : 1-5)】

(3) 評価対象施設の抽出

降下火砕物の影響から防護する施設としては、発電所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、系統及び機器とする。

【別添資料 1 : (3.3 : 1-6)】

上記施設が降下火砕物の影響により安全機能を損なわないように、降下火砕物の影響を設計に考慮する施設（以下「設計対象施設」という。）として、以下を抽出する。

- a. クラス 1 及びクラス 2 に属する施設のうち、屋外に設置されている施設
- b. クラス 1 及びクラス 2 に属する施設のうち、屋外に開口しており降下火砕物を含む海水の流路となる施設
- c. クラス 1 及びクラス 2 に属する施設のうち、屋外に開口しており降下

火砕物を含む空気の流路となる施設

- d. クラス 1 及びクラス 2 に属する施設のうち、屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設
- e. クラス 1 及びクラス 2 に属する施設を内包し、降下火砕物から防護する建屋
- f. クラス 3 に属する施設のうち降下火砕物の影響を受ける可能性がある施設で、クラス 1 及びクラス 2 に属する施設に影響を及ぼし得る施設。

なお、その他のクラス 3 に属する施設は、損傷する場合を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること又は安全上支障のない期間に除灰、修復等の対応を可能とすることにより安全機能を損なわない設計とする。

上記に該当する主な設計対象施設を以下に示すとともに、第 1.8-1 表に示す。

【別添資料 1 : (1-3~15)】

(4) 降下火砕物による影響の選定

降下火砕物の特徴及び評価対象施設の構造や設置状況等を考慮して、降下火砕物が直接及ぼす影響（以下「直接的影響」という。）と発電所外での影響（以下「間接的影響」という。）を選定する。

a. 降下火砕物の特徴

各種文献の調査結果より、降下火砕物は以下の特徴を有する。

- (a) 火山ガラス片、鉍物結晶片から成る⁽¹⁾。ただし、砂よりもろく硬度は低い⁽²⁾。
- (b) 硫酸等を含む腐食性のガス（以下「腐食性ガス」という。）が付着している⁽¹⁾。ただし、金属腐食研究の結果より、直ちに金属腐食を

生じさせることはない⁽³⁾。

- (c) 水に濡れると導電性を生じる⁽¹⁾。
- (d) 湿った降下火砕物は乾燥すると固結する⁽¹⁾。
- (e) 降下火砕物粒子の融点は約 1,000°Cであり、一般的な砂に比べ低い⁽¹⁾。

b. 直接的影響

降下火砕物の特徴から直接的影響の要因となる荷重、閉塞、摩耗、腐食、大気汚染、水質汚染及び絶縁低下を抽出し、評価対象施設の構造や設置状況等を考慮して直接的な影響因子を以下のとおり選定する。

(a) 荷重

「荷重」について考慮すべき影響因子は、建屋及び屋外設備の上に堆積し静的な負荷を与える「構造物への静的負荷」、並びに建屋及び屋外設備に対し衝撃を与える「粒子の衝突」である。なお、粒子の衝突による影響については、「1.7 竜巻防護に関する基本方針」に包絡される。

評価に当たっては以下の荷重の組み合わせ等を考慮する。

i) 評価対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重

評価対象施設に作用する荷重として、自重等の常時作用する荷重、内圧等の運転時荷重であり、降下火砕物との荷重と適切に組み合わせる。

ii) 設計基準事故時荷重

評価対象施設は、降下火砕物によって安全機能を損なわない設計とするため、設計基準事故とは独立事象である。

なお、評価対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じ得る設備としては、屋外設備の動的機器である海水ポンプが考えられるが、設計基準事故時において海水ポンプに有意な機械的荷重は発生しない

ことから、設計基準事故時に生じる荷重との組合せは考慮しない。

iii) その他の自然現象の影響を考慮した荷重の組合せ

降下火砕物と組み合わせを考慮すべき自然現象は、荷重の影響において風及び積雪であり、降下火砕物との荷重と適切に組み合わせる。

(b) 閉塞

「閉塞」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物を含む海水が流路の狭隘部等を閉塞させる「水循環系の閉塞」、並びに降下火砕物を含む空気が機器の狭隘部や換気系の流路を閉塞させる「換気系、電気系及び計装制御系の機械的影響（閉塞）」である。

(c) 摩耗

「摩耗」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物を含む海水が流路に接触することにより配管等を摩耗させる「水循環系の内部における摩耗」、並びに降下火砕物を含む空気が動的機器の摺動部に侵入し摩耗させる「換気系、電気系及び計装制御系の機械的影響（摩耗）」である。

(d) 腐食

「腐食」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物に付着した腐食性ガスにより建屋及び屋外施設の外面を腐食させる「構造物への化学的影響（腐食）」、換気系、電気系及び計装制御系において降下火砕物を含む空気の流路等を腐食させる「換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）」、並びに海水に溶出した腐食性成分により海水管等を腐食させる「水循環系の化学的影響（腐食）」である。

(e) 大気汚染

「大気汚染」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物により汚染された発電所周辺の大気が運転員の常駐する中央制御室内に侵入することによる居住性の劣化、並びに降下火砕物の除去、屋外設備の点検等、屋外における作業環境を劣化させる「発電所周辺の大気汚染」である。

(f) 水質汚染

「水質汚染」については、給水等に使用する工業用水に降下火砕物が混入することによる汚染が考えられるが、発電所では給水処理設備により水処理した給水を使用しており、降下火砕物の影響を受けた工業用水を直接給水として使用しないこと、また水質管理を行っていることから、安全施設の安全機能には影響しない。

(g) 絶縁低下

「絶縁低下」について考慮すべき影響因子は、湿った降下火砕物が、電気系及び計装制御系絶縁部に導電性を生じさせることによる「盤の絶縁低下」である。

【別添資料 1 : (3.4.2:1-16~19)】

c. 間接的影響

降下火砕物によって発電所に間接的な影響を及ぼす因子は、湿った降下火砕物が送電線の碍子、特高開閉所の充電露出部等に付着し絶縁低下を生じさせることによる広範囲にわたる送電網の損傷に伴う「外部電源喪失」、並びに降下火砕物が道路に堆積することによる交通の途絶に伴う「アクセス制限」である。

【別添資料 1 : (3.4.3:1-20)】

(5) 降下火砕物の直接的影響に対する設計

直接的影響については、評価対象施設の構造や設置状況等（形状、機能、外気吸入や海水通水の有無等）を考慮し、想定される各影響因子に対して、影響を受ける各評価対象施設が安全機能を損なわない以下の設計とする。

a. 建屋構築物

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は、「荷重」について、当該施設の許容堆積荷重が、降下火砕物による荷重に対して安全裕度を有することにより、健全性を損なわない設計とする。なお、建築基準法における積雪荷重の考え方に準拠し、降下火砕物の除去を適切に行うことから、降下火砕物の荷重を短期に生じる荷重とし、建築基準法における材料強度による許容値を許容限界とする。

「腐食」については、耐食性のある材料や塗装の実施等によって、短期的な腐食により安全機能を損なうことのない設計とする。なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

b. 海水ポンプ

「荷重」について、当該施設の許容応力が、降下火砕物による荷重に対して安全裕度を有することにより、健全性を損なわない設計とする。

「閉塞」については、降下火砕物は粘土質ではないことから水中で固まり閉塞することはないが、降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設ける設計とするとともに、ポンプ軸受部が閉塞しない設計とする。

「腐食」については、耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって、短期的な腐食により安全機能を損なうことのない設計とする。なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

c. 海水ストレーナ

「荷重」について、当該施設の許容応力が、降下火砕物による荷重に対して安全裕度を有することにより、健全性を損なわない設計とする。

「閉塞」については、降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設けるまたは差圧管理が可能な設計とする。

「腐食」については、耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって、短期的な腐食により安全機能を損なうことのない設計とする。なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

d. 海水取水設備

「閉塞」については、降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設ける設計とする。

「腐食」については、耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって、短期的な腐食により安全機能を損なうことのない設計とする。なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

e. 計装制御設備（安全保護系）

当該機器の設置場所は中央制御室換気空調系にて空調管理されており、本換気空調設備の外気取入口にはバグフィルタを設置することで、降下火砕物が流路に侵入し難い設計とする。したがって、仮に室内に侵入した場合でも降下火砕物は微量であり、粒径は極めて細かな粒子である。

f. 換気空調設備

「荷重」について、中央制御室換気系冷凍機及びディーゼル発電機室ルーフベントファンは全体を防護する構造物を設置することにより、当該機器に降下火砕物が直接堆積しない設計とし、構造物は降下火砕物の

堆積により健全性を損なわない設計とする。

「閉塞」については、中央制御室換気空調系及びディーゼル発電機室換気系は、外気取入口にガラリを取り付ける等により、下方から吸い込む構造とすること、換気空調系のフィルタを設置することで、降下火砕物が流路に侵入し難い設計とする。さらに降下火砕物がフィルタに付着した場合でも取替または清掃が可能な構造とすること、降下火砕物により閉塞しない設計とする。ディーゼル発電機室ルーフベントファンは全体を防護する構造物の設置、開口部を横方向に向けるなど降下火砕物により閉塞しない設計とする。

「腐食」については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないことから、金属材料を用いることで安全機能を損なうことのない設計とする。なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

また、中央制御室換気空調系については、外気取入ダンパの閉止及び再循環運転を可能とすることにより、中央制御室内への降下火砕物の侵入を防止すること、さらに外気取入遮断時において室内の居住性を確保するため、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。

g. ディーゼル発電機

「荷重」について、当該施設は降下火砕物が堆積し難いまたは直接堆積しない構造とすること、若しくは許容応力が、降下火砕物による荷重に対して安全裕度を有することにより、健全性を損なわない設計とする。

「閉塞」については、ディーゼル発電機の吸気口及び排気管は開口部を下方向若しくは横方向の構造とすること、吸気口にはフィルタを設置

することで、降下火砕物が流路に侵入し難い設計とする。また、吸気口にフィルタを設置することにより、フィルタメッシュより大きな降下火砕物が内部に侵入し難い設計とし、さらに降下火砕物がフィルタに付着した場合でも取替または清掃が可能な構造とすることで、降下火砕物により閉塞しない設計とする。

なお、フィルタを通過した小さな粒径の降下火砕物が侵入した場合でも、降下火砕物により閉塞しない設計とする。

「摩耗」については、降下火砕物は砂よりも硬度が低くもろいことから、摩耗の影響は小さい。

構造上に対応として、吸気口は下方から吸い込む構造であること、フィルタを設置することで、降下火砕物が流路に侵入し難い設計とし、仮に当該施設の内部に降下火砕物が侵入した場合でも耐摩耗性のある材料を使用することで、摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

「腐食」については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないことから、金属材料を用いることで安全機能を損なうことのない設計とする。なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

h. 排気筒

「閉塞」については、降下火砕物の侵入を防止、若しくは降下火砕物が侵入した場合でも、排気筒の構造から排気流路が閉塞しない設計とする。また、降下火砕物が侵入した場合でも、排気筒内部の点検、状況に応じた除去等の対応が可能な設計とする。

「腐食」については、塗装の実施等によって、短期的な腐食により安全機能を損なうことのない設計とする。なお、降下火砕物堆積後の長期

的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

【別添資料 1 : (3.4.4 : 1-20, 21),
(3.5 : 1-22), (3.6.1 : 1-22~29)】

(6) 降下火砕物の間接的影響に対する設計

広範囲にわたる送電網の損傷による 7 日間の外部電源喪失及び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 (2 基) 及びそれぞれに必要な耐震 S クラスの軽油貯蔵タンク (2 基 : 800kL 以上) により継続できる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。電源の供給に関する設計方針は「10.1 非常用電源設備」に記載する。

【別添資料 1 : (3.6.2 : 1-27)】

1.8.2 手順等

- (1) 降下火砕物が確認された場合には、建屋及び屋外の設備等に長期間降下火砕物による荷重を掛け続けないこと、また降下火砕物の付着による腐食等が生じる状況を緩和するために、評価対象施設等に堆積した降下火砕物の除去を適切に実施する。
- (2) 降下火砕物が確認された場合には、状況に応じて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、建屋内への降下火砕物の侵入を防止する手順を定める。
- (3) 降下火砕物が確認された場合には、換気空調設備の外気取入口のフィルタについて、フィルタ差圧又は流量を確認するとともに、状況に応じて清掃又は取替を実施する。

1.8.3 参考文献

- (1) 広域的な火山防災対策に係る検討会（第3回）資料2 内閣府
- (2) 「シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状」武若耕司，コンクリート工学，Vo139，2004
- (3) 「火山環境における金属材料の腐食」出雲茂人，末吉秀一他，防食技術 Vo1. 39，1990

表 1.8-1 表 評価対象施設

設備区分		評価対象施設
クラス1及びクラス2に属する構築物，系統及び機器	クラス1及びクラス2に属する構築物，系統及び機器を内包する建屋	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋（原子炉棟） ・原子炉建屋（附属棟） ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋
	屋外の施設	<ul style="list-style-type: none"> ・海水ポンプ ・海水ストレーナ ・ディーゼル発電機 ・換気空調設備 ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気筒
	屋外に開口している施設	<ul style="list-style-type: none"> ・海水ポンプ ・海水ストレーナ ・ディーゼル発電機 ・換気空調設備 ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気筒
	屋内の空気を取り込む施設	<ul style="list-style-type: none"> ・計装制御設備（安全保護系）
クラス3に属する構築物，系統及び機器	<p>降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・海水取水設備（除塵装置）

【別添資料1：(3.3：1-6～15)】

東海第二発電所

火山影響評価について

目 次

1. 基本方針
 - 1.1 概要
 - 1.2 火山影響評価の流れ
2. 立地評価
 - 2.1 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
 - 2.2 抽出された火山の火山活動に関する個別評価
3. 影響評価
 - 3.1 火山事象の影響評価
 - 3.2 火山事象（降下火砕物）に対する設計の基本方針
 - 3.3 火山防護施設のうち評価対象施設の抽出
 - 3.4 降下火砕物による影響の選定
 - 3.5 設計荷重の設定
 - 3.6 降下火砕物に対する設計方針
 - 3.7 降下火砕物の除去等の対策
4. まとめ

補足資料

1. 原子炉の高温停止及び低温停止に必要な設備について
2. 降下火砕物の特徴について
3. 降水による降下火砕物の固結の影響について
4. 降下火砕物と積雪の重ね合わせの考え方について
5. 原子力発電所で使用する塗料について
6. 降下火砕物の金属腐食研究について
7. 許容堆積荷重の考え方について

8. 粒径の大きな降下火砕物の取水路内への流入と影響について
9. 給水処理設備に係る影響評価について
10. 非常用ディーゼル発電機吸気フィルタの閉塞について
11. アイスランド火山を用いる基本的考え方とセントヘレンズ火山による影響評価について
12. 降下火砕物のその他設備への影響評価について
13. 降下火砕物の除去に要する時間について
14. 観測された諸噴火の最盛期における噴出率と継続時間について
15. バグフィルタの取替手順について
16. 火山影響評価ガイドとの整合性について

1. 基本方針

1.1 概要

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（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第五号）」第六条において、外部からの衝撃による損傷防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）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としており、敷地周辺の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして、火山の影響を挙げている。

火山の影響により原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを評価するため、火山影響評価を行い、原子炉施設へ影響を与えないことを評価する。

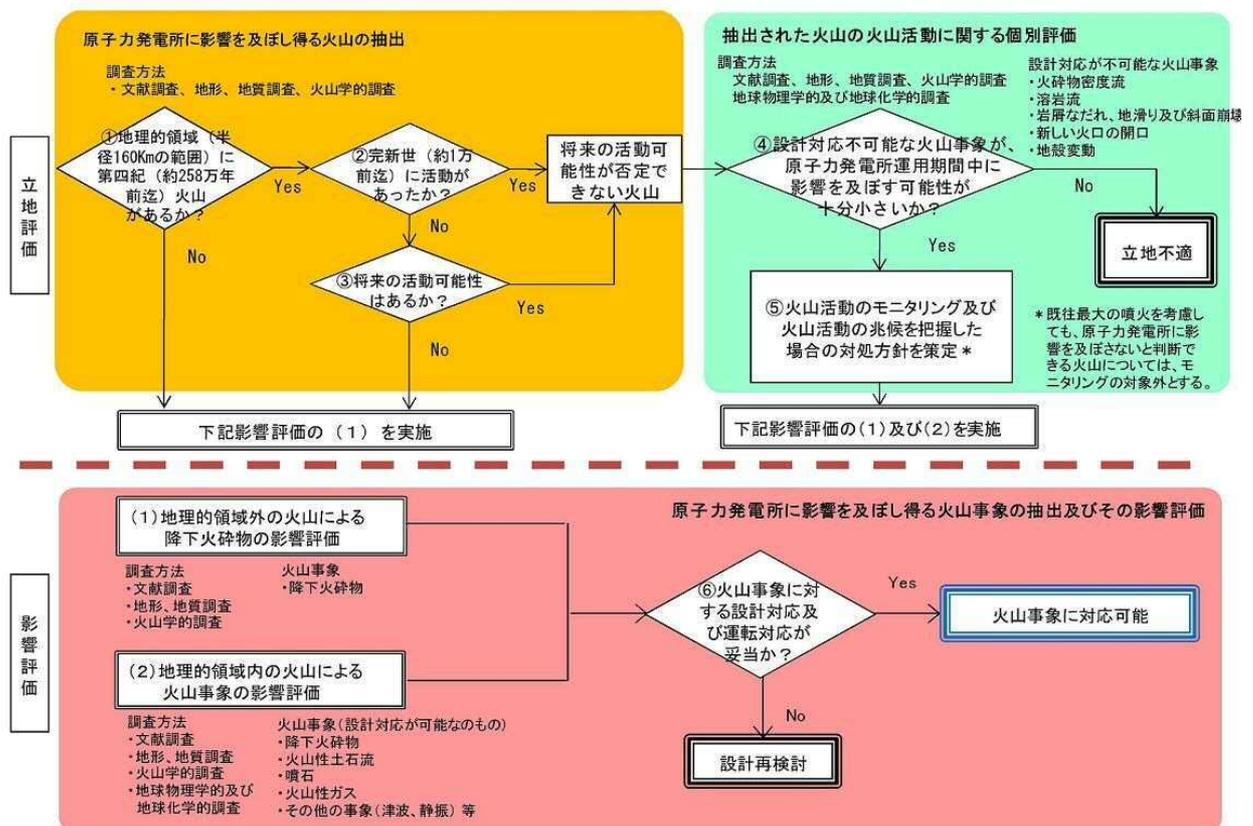
1.2 火山影響評価の流れ

火山影響評価は、「原子力発電所の火山影響評価ガイド」を参照し、第1.2-1図のフローに従い立地評価と影響評価の2段階で行う。

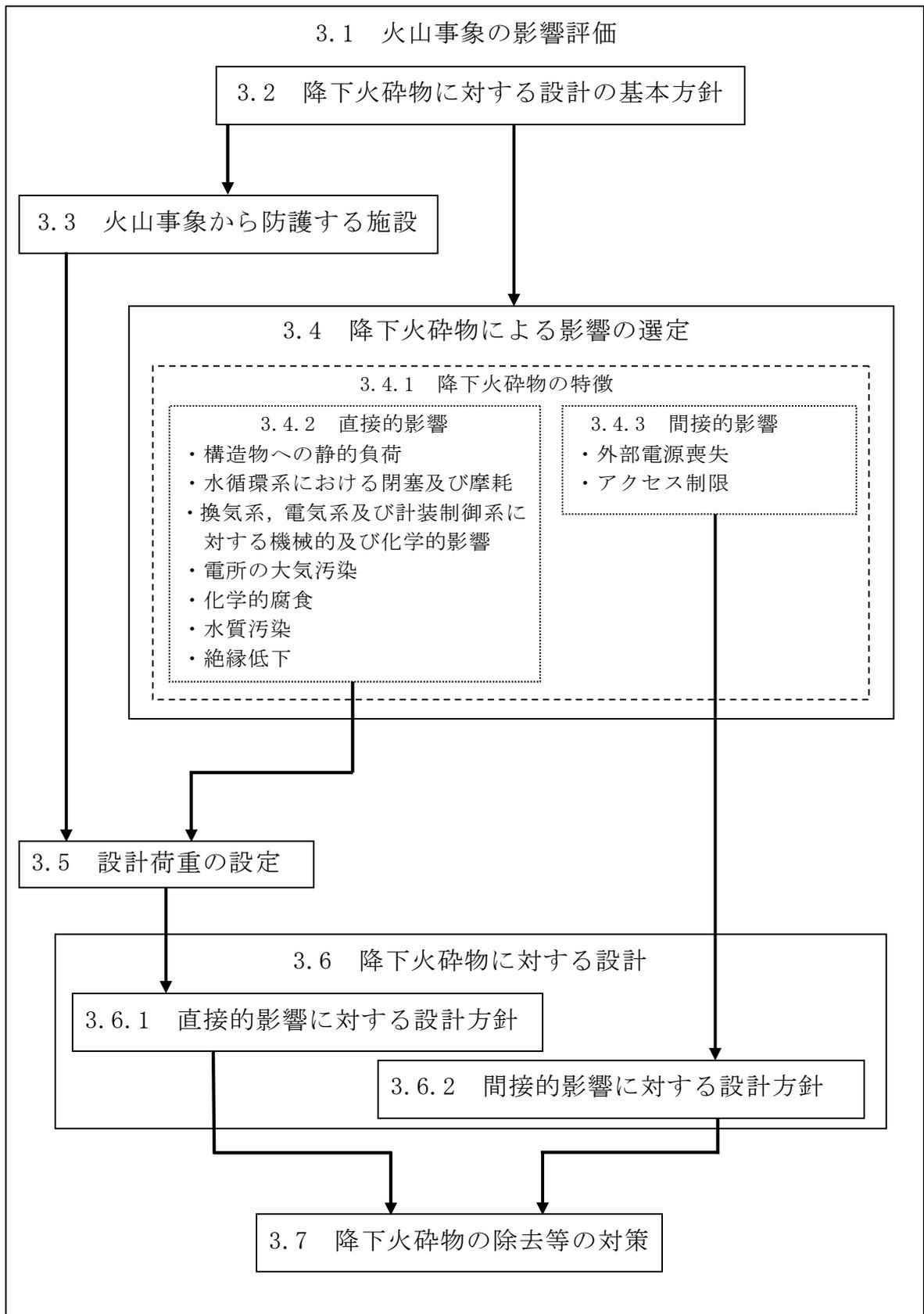
立地評価では、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出を行い、抽出された火山の火山活動に関する個別評価を行う。具体的には設計対応不可能な火山事象が東海第二発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性の評価を行う。

設計対応不可能な火山事象が影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された場合は、原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象の抽出とその影響評価を行う。

影響評価では、個々の火山事象への設計対応及び運転対応の妥当性について「3.1 火山事象の影響評価」にて評価を行う。(第1.2-2図)



第1.2-1図 火山影響評価の基本フロー



第 1.2-2 図 影響評価のフロー

2. 立地評価

2.1 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

地理的領域（160km）に位置する第四紀火山（32火山）について、完新世の活動の有無、将来の活動性を検討した結果、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として、高原山、那須岳、男体・女峰火山群、日光白根山、赤城山、燧ヶ岳、安達太良山、磐梯山、沼沢、吾妻山、榛名山、笹森山、子持山の13火山を抽出した。

2.2 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として抽出した13火山について、設計対応不可能な火山事象（火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊、新しい火口の開口、地殻変動）が影響を及ぼす可能性について個別評価を行った。

火砕物密度流については、敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価した。

溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊については、敷地と火山の距離から発電所に影響を及ぼす可能性はないと評価した。

新しい火口の開口、地殻変動については、敷地は火山フロントより前弧側（東方）に位置すること、敷地周辺では火成活動は確認されていないことから、この事象が発電所の運転期間中に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価した。

以上から、設計対応不可能な火山事象が発電所に影響を及ぼす可能性はなく、この結果から、抽出した13火山はモニタリングの対象とならないと判断した。

3. 影響評価

3.1 火山事象の影響評価

将来の活動可能性のある火山若しくは将来の活動可能性を否定できない火山について、東海第二発電所の運用期間中の噴火規模を考慮し、原子力発電所の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象を抽出した結果、降下火砕物のみが東海第二発電所に影響を及ぼし得る火山事象となった。よって、降下火砕物による安全施設への影響評価を行う。

影響評価に用いる条件は、地質調査結果及び文献調査結果を参考に第 3.1-1 表のとおり、堆積厚さ 40cm、粒径 8mm 以下、密度 $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ (乾燥状態) ~ $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ (湿潤状態) と設定した。

第 3.1-1 表 降下火砕物の設計条件

項目	設定条件	備考
堆積厚さ	40cm	垂直荷重に対する健全性評価に使用
密度	$0.3\text{g}/\text{cm}^3$ (乾燥密度) ~ $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ (湿潤状態)	
粒径	8mm 以下	水循環系の閉塞及び換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響評価に使用

3.2 火山事象（降下火砕物）に対する設計の基本方針

将来の活動可能性を否定できない火山について、東海第二発電所の運用期間中の噴火規模を考慮し、東海第二発電所の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象を抽出した結果、「3.1 火山事象の影響評価」に示すとおり該当する火山事象は降下火砕物のみが東海第二発電所に影響を及ぼし得る火山事象であるという結果となった。

降下火砕物に対し、防護すべき評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。以下に火山事象に対する防護の基本方針を示す。

- (1) 降下火砕物による直接的な影響（荷重、閉塞、摩耗、腐食等）に対して、安全機能を損なわない設計とする。
- (2) 発電所内の構築物、系統及び機器における降下火砕物の除去等の対応が可能な設計とする。
- (3) 降下火砕物による間接的な影響である7日間の外部電源の喪失、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、発電所の安全性を維持するために必要となる電源の供給が継続でき、安全機能を損なわない設計とする。

3.3 火山防護施設のうち評価対象施設の抽出

「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日原子炉規制委員会規則第五号）」第六条において、「安全施設は、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ものでなければならない。」とされている。

また、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おいて安全機能を有する構築物、系統及び機器に対する設計上の考慮として、以下のとおり定められている。

- ① クラス 1 : 合理的に達成し得る最高度の信頼性を確保し、かつ、維持すること。
- ② クラス 2 : 高度の信頼性を確保し、かつ、維持すること。
- ③ クラス 3 : 一般の産業施設と同等以上の信頼性を確保し、かつ、維持すること。

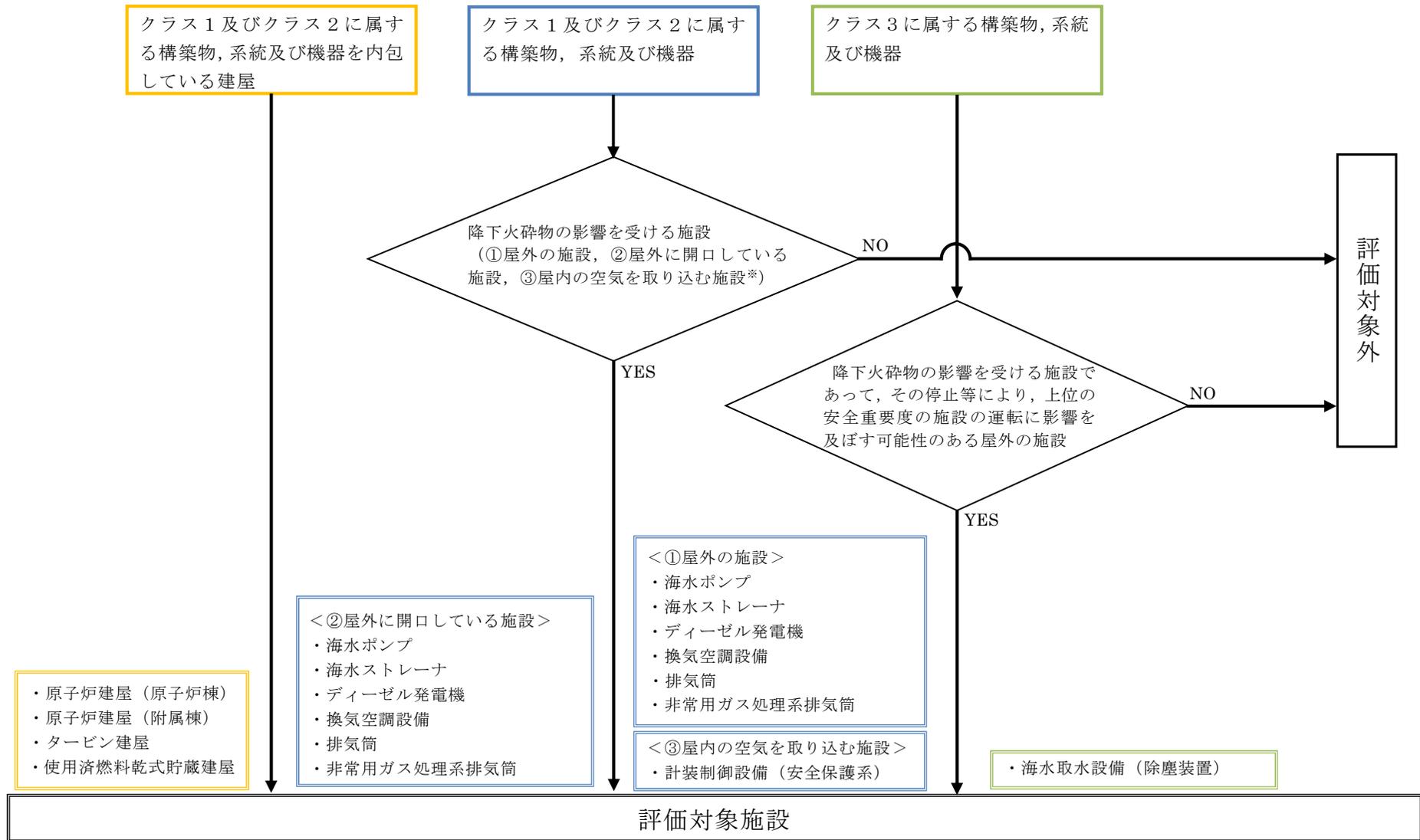
以上のことから、第3.3-1図の抽出フローにより一般産業施設を超える機能維持を要求しているクラス 1 及びクラス 2 に属する構築物、系統及び機器のうち、降下火砕物の影響を考慮し、安全機能を損なうおそれがある施設を評価対象施設として抽出する。

また、安全重要度の低い構築物、系統及び機器であっても、評価対象施設の停止により、プラント高温停止及び冷温停止に影響を及ぼす場合は評価対象施設として抽出するとともに、クラス 1 及びクラス 2 に属する構築物、系統及び機器を設置している建屋についても評価対象施設とする。

なお、その他クラス 3 に属する施設については、降下火砕物による影響を受ける場合を考慮して、代替設備により必要な機能を確保できること、または安全上支障が生じない期間に除去あるいは修復等による対応が可能とすることにより、安全機能を損なわない設計とするため、評価対象施設から除外する。

さらに、降下火砕物の間接的影響を考慮し、原子炉の高温停止、冷温停止に必要となる機能を達成するために必要となる設備を評価対象施設として抽出した。(補足資料-1)

評価対象施設の抽出結果を第 3.3-1 表、第 3.3-2 表に示すとともに、評価対象施設の設置場所を第 3.3-2 図に示す。



※ 降下火砕物を含む外気、室内空気を機器内に取り込む機構を有しない施設又は、取り込んだ場合でもその影響が非常に小さいと考えられる施設（ポンプ、モータ、弁、盤内に換気ファンを有しない制御盤、計器等）については、評価対象外とする。

第 3.3-1 図 評価対象施設の抽出フロー

第 3.3-1 表 評価対象施設の抽出結果

設備区分		評価対象施設
クラス 1 及びクラス 2 に属する構築物，系統及び機器	クラス 1 及びクラス 2 に属する構築物，系統及び機器を内包している建屋	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋（原子炉棟） ・原子炉建屋（附属棟） ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋
	屋外の施設	<ul style="list-style-type: none"> ・海水ポンプ ・海水ストレーナ ・ディーゼル発電機 ・換気空調設備 ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気筒
	屋外に開口している施設	<ul style="list-style-type: none"> ・海水ポンプ ・海水ストレーナ ・ディーゼル発電機 ・換気空調設備 ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気筒
	屋内の空気を取り込む施設	<ul style="list-style-type: none"> ・計装制御設備（安全保護系）
クラス 3 に属する構築物，系統及び機器	<p>降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・海水取水設備（除塵装置）

第 3.3-2 表 評価対象施設の抽出について (1 / 4)

分類	安全機能の重要度分類			降下火砕物の影響を受ける施設 (屋外に設置されている施設, 屋外に開口している施設, 又は外気から取り入れた屋内の空気を取り込む機構を有する施設)	クラス 3 に属する施設のうち降下火砕物の影響を受ける可能性がある施設で, クラス 1 及びクラス 2 に属する施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設
	定義	機能	構築物, 系統又は機器			
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。)	-	-	-
		2) 過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	-	-	-
		3) 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。)	-	-	-
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し, 残留熱を除去し, 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し, 敷地周辺公衆への過度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))	-	-	-
		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)	-	-	-
		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)	-	-	-
		4) 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)	-	-	-
		5) 炉心冷却機能	自動減圧系 (手動逃がし機能)	-	-	-
			非常用炉心冷却系 (低圧炉心スプレイ系)	-	-	-
			非常用炉心冷却系 (低圧注水系)	-	-	-
			非常用炉心冷却系 (高圧炉心スプレイ系)	-	-	-
		6) 放射性物質の閉じ込め機能放射線の遮へい及び放出低減機能	非常用炉心冷却系 (自動減圧系)	-	-	-
			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	原子炉建屋 (原子炉棟・附属棟)		-	原子炉建屋 (原子炉棟・附属棟)		
非常用ガス処理系	排気筒, 非常用ガス処理系排気筒		-	排気筒, 非常用ガス処理系排気筒		
非常用再循環ガス処理系	-	-	-			
可燃性ガス濃度制御系	-	-	-			

第 3.3-2 表 評価対象施設の抽出について (2 / 4)

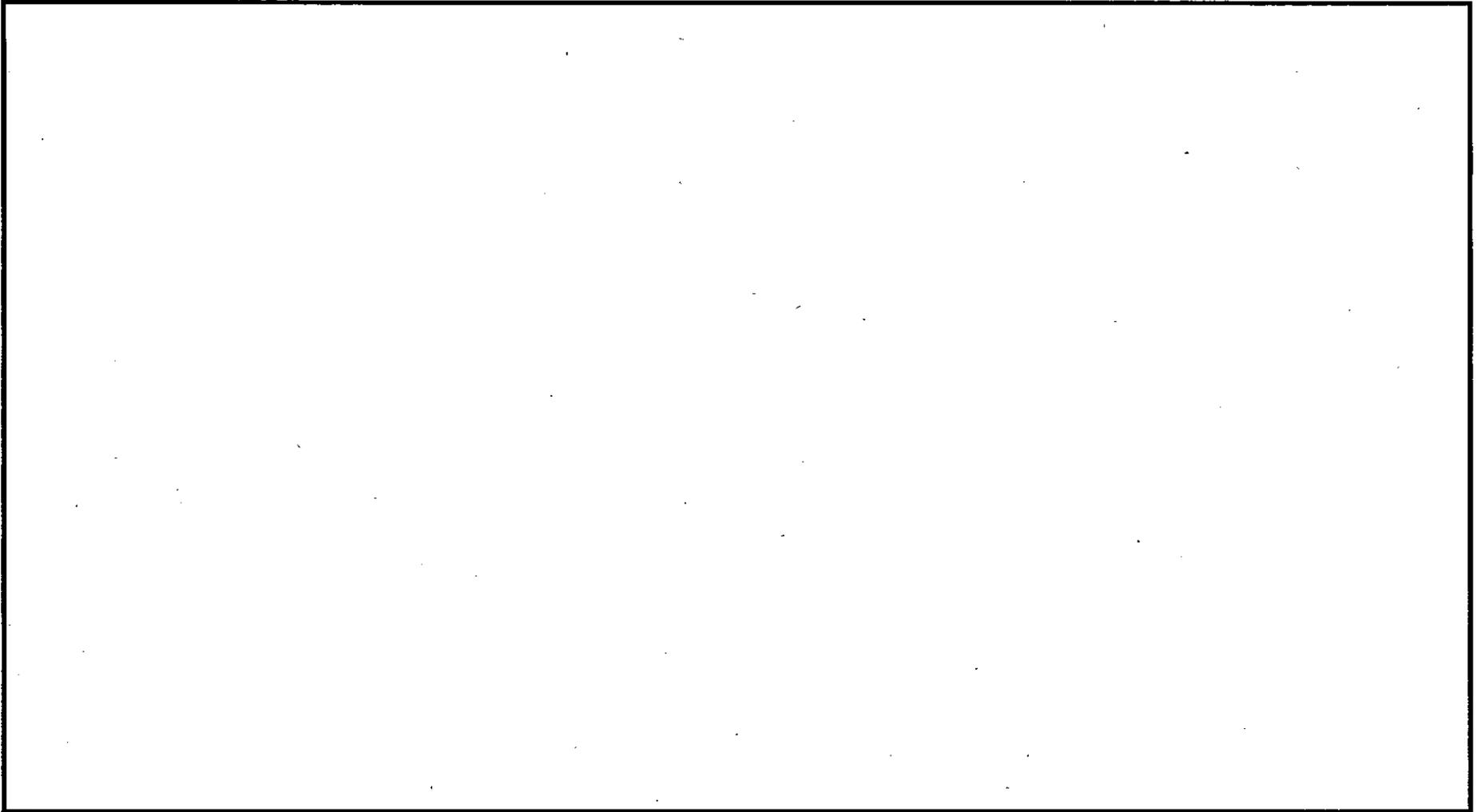
分類	安全機能の重要度分類			降下火砕物の影響を受ける施設 (屋外に設置されている施設, 屋外に開口している施設, 又は外気から取り入れた屋内の空気を取り込む機構を有する施設)	クラス 3 に属する施設のうち降下火砕物の影響を受ける可能性がある施設で, クラス 1 及びクラス 2 に属する施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設
	定義	機能	構築物, 系統又は機器			
MS-1	2) 安全上必要なその他の構築物, 系統及び機器	1) 工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系	計装制御設備 (安全保護系)	—	計装制御設備 (安全保護系)
		2) 安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系 (MS-1 関連のもの)	ディーゼル発電機 (非常用ディーゼル発電機, 高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機)	—	ディーゼル発電機 (非常用ディーゼル発電機, 高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機)
			制御室及びその遮へい・非常用換気空調系 (MS-1 関連のもの)	換気空調設備 (中央制御室換気空調系, ディーゼル発電機室換気系)	—	換気空調設備 (中央制御室換気空調系, ディーゼル発電機室換気系)
			非常用補機冷却水系 (MS-1 関連のもの)	海水ポンプ, 海水ストレーナ (下流設備含む) (残留熱除去系海水系, 非常用ディーゼル発電機海水系, 高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機海水系)	取水設備 (除塵装置)	海水ポンプ, 海水ストレーナ (下流設備含む) (残留熱除去系海水系, 非常用ディーゼル発電機海水系, 高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機海水系) 取水設備 (除塵装置)
			直流電源系 (MS-1 関連のもの)	—	—	—

第 3.3-2 表 評価対象施設の抽出について (3 / 4)

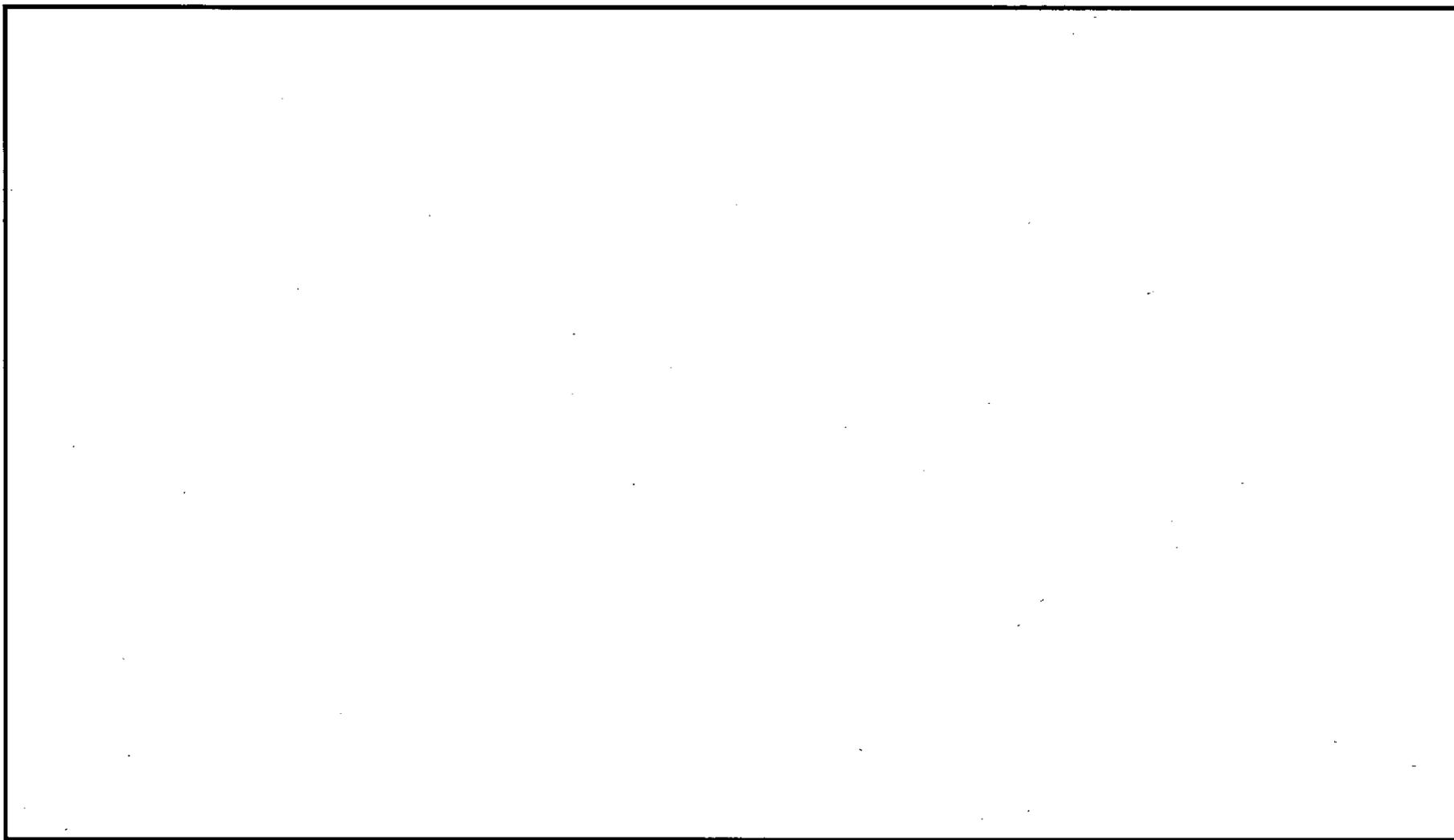
分類	安全機能の重要度分類			降下火砕物の影響を受ける施設 (屋外に設置されている施設, 屋外に開口している施設, 又は外気から取り入れた屋内の空気を取り込む機構を有する施設)	クラス 3 に属する施設のうち降下火砕物の影響を受ける可能性がある施設で, クラス 1 及びクラス 2 に属する施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設
	定義	機能	構築物, 系統又は機器			
PS-2	1) その損傷又は故障により発生する事象によって, 炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが, 敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物, 系統及び機器	1) 原子炉冷却材を内蔵する機能 (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 (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)	-	-	-
		2) 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) 注 1) 注 1) 現状では, 放射性気体廃棄物処理系が考えられる。	-	-	-
			使用済燃料プール (使用済燃料貯蔵ラック)	-	-	-
			使用済燃料乾式貯蔵容器	使用済燃料乾式貯蔵建屋	-	-
	3) 燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備	-	-	-	
	2) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって, その故障により, 炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物, 系統及び機器	1) 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)	-	-	-
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にする構築物, 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	-	-	-
			放射性気体廃棄物処理系の隔離弁	-	-	-
		2) 放射性物質放出の防止機能	排気筒 (非常用ガス処理系排気筒の支持機能以外) 燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系	排気筒 原子炉建屋 (原子炉棟・附属棟)	-	-
	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把握機能	事故時監視計器の一部 注 2) 注 2) 現状では, 格納容器雰囲気放射線モニタが考えられる。	-	-	-
		2) 異常状態の緩和機能	BWR には対象機能なし	-	-	-
	3) 制御室外からの安全防止機能	制御室外原子炉停止装置 (安全停止に関連するもの)	-	-	-	
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって, 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)	計装配管 試料採取管	- -	- -	- -
		2) 原子炉冷却材の循環機能	原子炉再循環系	-	-	-
		3) 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) 注 3) 注 3) 現状では, 液体及び固体の放射性廃棄物処理系が考えられる。	-	-	-

第 3.3-2 表 評価対象施設の抽出について (4 / 4)

分類	安全機能の重要度分類			降下火砕物の影響を受ける施設 (屋外に設置されている施設, 屋外に開口している施設, 又は外気から取り入れた屋内の空気を取り込む機構を有する施設)	クラス 3 に属する施設のうち降下火砕物の影響を受ける可能性がある施設で, クラス 1 及びクラス 2 に属する施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設	
	定義	機能	構築物, 系統又は機器				
PS-3	1) 異常状態の起回事象となるものであって, PS-1 及び PS-2 以外の構築物, 系統及び機器	4) 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	-	-	-	
			5) 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	-		-	-		
	6) プラント運転補助機能	所内ボイラ	-	-	-		
		計装用圧縮空気系	-	-	-		
	2) 原子炉冷却材放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物, 系統及び機器	1) 核分裂生成物の原子炉冷却材中への放散防止機能	燃料被覆管	-	-	-	
原子炉冷却材浄化系			-	-	-		
2) 原子炉冷却材の浄化機能		復水浄化系	-	-	-		
			-	-	-		
MS-3	1) 運転時の異常な過渡変化があっても, MS-1, MS-2 とあわせて, 事象を緩和する構築物, 系統及び機器	1) 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	-	-	-	
		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)	-	-	-	
			制御棒引抜監視装置	-	-	-	
		3) 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	-	-	-	
	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			-	-	-		



第3.3-2図 評価対象施設(1/2)



第3.3-2図 評価対象施設(2/2)

3.4 降下火砕物による影響の選定

降下火砕物の特徴及び評価対象施設の構造や設置状況を考慮して、降下火砕物が直接及ぼす影響（以下「直接的影響」という。）と発電所外での影響（以下「間接的影響」という。）を選定する。

3.4.1 降下火砕物の特徴

各種文献の調査結果より、降下火砕物は以下の特徴を有する。（補足資料一
2）

- (1) 火山ガラス片，鉱物結晶片から成る。ただし，砂よりもろく硬度は低い。
- (2) 硫酸等を含む腐食性のガス（以下「腐食性ガス」という。）が付着している。ただし，金属腐食研究の結果より，直ちに金属腐食を生じさせることはない。
- (3) 水に濡れると導電性を生じる。
- (4) 湿った降下火砕物は乾燥すると固結する。
- (5) 降下火砕物粒子の融点は約 1,000℃であり，一般的な砂に比べ低い。

3.4.2 直接的影響

降下火砕物の特徴から直接的影響の要因となる荷重，閉塞，摩耗，腐食，大気汚染，水質汚染及び絶縁低下を抽出し，評価対象施設の構造や設置状況等を考慮して直接的な影響因子を第 3.4.2-1 表のとおり選定する。

(1) 荷重

「荷重」について考慮すべき影響因子は，建屋及び屋外設備の上に堆積し静的な負荷を与える「構造物への静的負荷」，並びに建屋及び屋外設備に対し衝撃を与える「粒子の衝突」である。

(2) 閉塞

「閉塞」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物を含む海水が流路の狭隘部等を閉塞させる「水循環系の閉塞」、並びに降下火砕物を含む空気が機器の狭隘部や換気系の流路を閉塞させる「換気系、電気系及び計装制御系の機械的影響（閉塞）」である。

(3) 摩耗

「摩耗」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物を含む海水が流路に接触することにより配管等を摩耗させる「水循環系の内部における摩耗」、並びに降下火砕物を含む空気が動的機器の摺動部に侵入し摩耗させる「換気系、電気系及び計装制御系の機械的影響（摩耗）」である。

(4) 腐食

「腐食」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物に付着した腐食性ガスにより建屋及び屋外施設の外面を腐食させる「構造物への化学的影響（腐食）」、換気系、電気系及び計装制御系において降下火砕物を含む空気の流路等を腐食させる「換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）」、並びに海水に溶出した腐食性成分により海水管等を腐食させる「水循環系の化学的影響（腐食）」である。

(5) 大気汚染

「大気汚染」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物により汚染された発電所周辺の大気が運転員の常駐する中央制御室内に侵入することによる居住性の劣化、並びに降下火砕物の除去、屋外設備の点検等、屋外における作業環境を劣化させる「発電所周辺の大気汚染」である。

(6) 水質汚染

「水質汚染」については、給水等に使用する工業用水に降下火砕物が混入することによる汚染が考えられるが、発電所では給水処理設備により水

処理した給水を使用しており，降下火砕物の影響を受けた工業用水を直接給水として使用しないこと，また水質管理を行っていることから，安全施設の安全機能には影響しない。（補足資料－ 9）

(7) 絶縁低下

「絶縁低下」について考慮すべき影響因子は，湿った降下火砕物が，電気系及び計装制御系絶縁部に導電性を生じさせることによる「盤の絶縁低下」である。

第3.4.2-1表 降下火砕物が設備に影響を与える可能性のある因子

No	影響を与える可能性のある因子	評価方法と詳細検討の要否	詳細検討すべきもの
①	構築物への静的負荷	屋外の構築物において降下火砕物による堆積荷重として考慮すべき因子である。なお、荷重条件は水を含んだ場合の負荷が大きくなるため、湿潤状態を考慮する。	○
②	構築物への化学的影響（腐食）	屋外設備において影響を考慮すべき要因であり、影響がないことを確認する。	○
③	粒子の衝突	降下火砕物は微細な粒子である。粒子の衝突については「竜巻に対する防護」で評価している設計飛来物に包絡されており、衝突により建屋・構築物、屋外機器に影響を与えないことを確認している。	-
④	水循環系の閉塞	海水系において影響を考慮すべき因子であり、降下火砕物の粒径によって懸念される狭隘部等における閉塞への影響を考慮する。	○
⑤	水循環系の内部における摩耗	水循環系において最も摩耗の影響を受けやすい箇所は多イニングが施されていない各冷却器の伝熱管と考えられるが、原子力発電所の運用期間中に海水取水中に含まれる砂等の摩耗によるトラブルは発生していない。降下火砕物は砂等に比べて破碎しやすく ^{*1} 、硬度が低い ^{*2} ことから、降下火砕物による摩耗が設備に影響を与える可能性はない。	-
⑥	水循環系の化学的影響（腐食）	海水系において影響を考慮すべき要因であり、降下火砕物成分が海水中に溶出した場合に懸念される腐食について短期的に影響がないことを確認する。また、必要に応じて、海水を供給している下流の設備への影響についても考慮する。	○
⑦	換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞・摩耗）	屋外設備において影響を考慮すべき要因である。また、換気系の給気を供給している範囲への影響についても考慮する	○
⑧	換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）	屋外設備において影響を考慮すべき要因である。影響がないことを確認する。	○
⑨	発電所周辺の大気汚染	外気を取り入れている換気空調系等において影響を考慮すべき要因である。	○
⑩	水質汚染（給水の汚染）	発電所では給水処理装置により水処理した給水を使用しており、降下火砕物の影響を受ける可能性のある海水及び淡水を直接給水として使用していない。また、給水は水質管理を行っており、給水の汚染が設備に影響を与える可能性はない。（補足資料-8）	-
⑪	絶縁低下	ガス絶縁開閉装置を使用しており、開閉装置本体に充電露出部がないこと、及び碍子洗浄装置により洗浄が可能であることから設備に影響はない。なお、絶縁破壊により外部電源が喪失した場合でも非常用ディーゼル発電機により電源の供給が可能である。計装盤のうち屋内の空気を取り込む機構を有するものについて影響がないことを確認する。	○

※1：武若耕司（2004）：シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状，コンクリート工学，vol.42，No.3，p.38-47

※2：恒松修二・井上耕三・松田応作（1976）：シラスを主原料とする結晶化ガラス，窯業協会誌84[6]，p.32-40

3.4.3 間接的影響

降下火砕物によって発電所に間接的な影響を及ぼす因子は、湿った降下火砕物が送電線の碍子、特高開閉所の充電露出部等に付着し絶縁低下を生じさせることによる広範囲にわたる送電網の損傷に伴う「外部電源喪失」、並びに降下火砕物が道路に堆積することによる交通の途絶に伴う「アクセス制限」である。

3.4.4 評価対象施設に対する影響因子の想定

評価すべき直接的影響の要因については、その内容によりすべての評価対象施設に対して評価する必要がない項目もあることから、各評価対象施設と評価すべき直接的影響の要因について整理し、評価対象施設の特性を踏まえて必要な評価項目を第3.4.4-1表のとおり選定した。

第 3.4.4-1 表 降下火砕物が影響を与える評価対象施設と影響因子の組み合わせ

評価対象施設	①構造物への静的負荷	②構造物への化学的影響(腐食)	③水循環系の閉塞	④水循環系の化学的影響(腐食)	⑤換気系, 電気系及び計装制御系に対する機械的影響(閉塞・摩耗)	⑥換気系, 電気系及び計装制御系に対する化学的影響(腐食)	⑦発電所周辺の大気汚染	⑧絶縁低下
・原子炉建屋(附属棟含む) ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋	○	○	— ④	— ④	— ⑤	— ⑤	— ⑥	— ⑦
・海水ポンプ(残留熱除去系, ディーゼル発電機用)	○	○	○ (ポンプ)	○ (ポンプ)	○ (モータ)	○ (モータ)	— ⑥	— ⑦
・海水ストレーナ(残留熱除去系, ディーゼル発電機用)	○	○	○ (下流側の設備含む)	○ (下流側の設備含む)	— ⑤	— ⑤	— ⑥	— ⑦
・海水取水設備	— ①	— ③	○	○	— ⑤	— ⑤	— ⑥	— ⑦
・計装制御設備(安全保護系)	— ②	— ②	— ④	— ④	— ⑤	— ⑤	— ⑥	○
・換気空調設備	○	○	— ④	— ④	○	○	○	— ⑦
・ディーゼル発電機(非常用, 高圧炉心スプレイ系)	○	○	— ④	— ④	○	○	— ⑥	— ⑦
・排気筒 ・非常用ガス処理系排気筒	— ①	— ③	— ④	— ④	○	○	— ⑥	— ⑦

○：影響因子に対する個別評価を実施

—：評価対象外

(除外理由)

①：静的負荷の影響を受けにくい構造

②：屋内施設

③：腐食があっても、機能に有意な影響を受けにくい

④：水循環系の機能と直接関連がない

⑤：屋外に面した換気系、電気系及び計装制御系と直接関連がない

⑥：大気汚染でも有意な影響をうけにくい

⑦：絶縁低下と直接関連がない又は設計上考慮されている施設

3.5 設計荷重の設定

設計荷重は、以下のとおり設定する。

(1) 評価対象施設に常時作用する荷重，運転時荷重

評価対象施設に作用する荷重として，自重等の常時作用する荷重，内圧等の運転時荷重であり，降下火砕物との荷重と適切に組み合わせる。

(2) 設計基準事故時荷重

評価対象施設は，降下火砕物によって安全機能を損なわない設計とするため，設計基準事故とは独立事象である。

なお，評価対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じ得る設備としては，屋外設備の動的機器である海水ポンプが考えられるが，設計基準事故時において海水ポンプに有意な機械的荷重は発生しないことから，設計基準事故時に生じる荷重の組み合わせは考慮しない。

(3) その他の自然現象の影響を考慮した荷重の組み合わせ

降下火砕物と組み合わせを考慮すべき自然現象は，荷重の影響において風及び積雪であり，降下火砕物との荷重と適切に組み合わせる。

3.6 降下火砕物に対する設計方針

3.6.1 直接的影響に対する設計方針

直接的影響については，評価対象施設の構造や設置状況等（形状，機能，外気吸入や海水通水の有無等）を考慮し，想定される各影響因子に対して，影響を受ける各評価対象施設が安全機能を損なわない以下の設計とする。（個別評価－1～8）

また，評価対象施設の評価結果を第3.6.1-1表に示す。

a. 建屋構築物

原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は，「荷重」について，当該施設の許容堆積荷重が，降下火砕物による荷重に対して安全裕度を有することにより，健全性を損なわない設計とする。なお，建築基準法における積雪荷重の考え方に準拠し，降下火砕物の除去を適切に行うことから，降下火砕物の荷重を短期に生じる荷重とし，建築基準法における材料強度による許容値を許容限界とする。

「腐食」については，耐食性のある材料や塗装の実施等によって，短期的な腐食により安全機能を損なうことのない設計とする。なお，降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については，日常保守管理等により，状況に応じて補修が可能な設計とする。

b. 海水ポンプ

「荷重」について，当該施設の許容応力が，降下火砕物による荷重に対して安全裕度を有することにより，健全性を損なわない設計とする。

「閉塞」については，降下火砕物は粘土質ではないことから水中で固まり閉塞することはないが，降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設ける設計とするとともに，ポンプ軸受部が閉塞しない設計とする。

「腐食」については，耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって，短期的な腐食により安全機能を損なうことのない設計とする。なお，降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については，日常保守管理等により，状況に応じて補修が可能な設計とする。

c. 海水ストレーナ

「荷重」について，当該施設の許容応力が，降下火砕物による荷重に対

して安全裕度を有することにより、健全性を損なわない設計とする。

「閉塞」については、降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設けるまたは差圧管理が可能な設計とする。

「腐食」については、耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって、短期的な腐食により安全機能を損なうことのない設計とする。なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

d. 海水取水設備

「閉塞」については、降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設ける設計とする。

「腐食」については、耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって、短期的な腐食により安全機能を損なうことのない設計とする。なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

e. 計装制御設備（安全保護系）

当該機器の設置場所は中央制御室換気空調系にて空調管理されており、本換気空調設備の外気取入口にはバグフィルタを設置することで、降下火砕物が流路に侵入し難い設計とする。従って、仮に室内に侵入した場合でも降下火砕物は微量であり、粒径は極めて細かな粒子である。

f. 換気空調設備

「荷重」について、中央制御室換気系冷凍機及びディーゼル発電機室ルーフトファンは全体を防護する構造物を設置することにより、当該機器に降下火砕物が直接堆積しない設計とし、構造物は降下火砕物の堆積に

より健全性を損なわない設計とする。

「閉塞」については、中央制御室換気空調系及びディーゼル発電機室換気系は、外気取入口にガラリを取り付ける等により、下方から吸い込む構造とすること、換気空調系のフィルタを設置することで、降下火砕物が流路に侵入し難い設計とする。さらに降下火砕物がフィルタに付着した場合でも取替または清掃が可能な構造とすることで、降下火砕物により閉塞しない設計とする。ディーゼル発電機室ルーフベントファンは全体を防護する構造物の設置、開口部を横方向に向けるなど降下火砕物により閉塞しない設計とする。

「腐食」については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないことから、金属材料を用いることで安全機能を損なうことのない設計とする。なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

また、中央制御室換気空調系については、外気取入ダンパの閉止及び再循環運転を可能とすることにより、中央制御室内への降下火砕物の侵入を防止すること、さらに外気取入遮断時において室内の居住性を確保するため、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。

g. ディーゼル発電機

「荷重」について、当該施設は降下火砕物が堆積し難いまたは直接堆積しない構造とすること、若しくは許容応力が、降下火砕物による荷重に対して安全裕度を有することにより、健全性を損なわない設計とする。

「閉塞」については、ディーゼル発電機の吸気口及び排気管は開口部を

下方向若しくは横方向の構造とすること、吸気口にはフィルタを設置することで、降下火砕物が流路に侵入し難い設計とする。また、吸気口にフィルタを設置することにより、フィルタメッシュより大きな降下火砕物が内部に侵入し難い設計とし、さらに降下火砕物がフィルタに付着した場合でも取替または清掃が可能な構造とすることで、降下火砕物により閉塞しない設計とする。

なお、フィルタを通過した小さな粒径の降下火砕物が侵入した場合でも、降下火砕物により閉塞しない設計とする。

「摩耗」については、降下火砕物は砂よりも硬度が低くもろいことから、摩耗の影響は小さい。

構造上に対応として、吸気口は下方から吸い込む構造であること、フィルタを設置することで、降下火砕物が流路に侵入し難い設計とし、仮に当該施設の内部に降下火砕物が侵入した場合でも耐摩耗性のある材料を使用することで、摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

「腐食」については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないことから、金属材料を用いることで安全機能を損なうことのない設計とする。なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

h. 排気筒（非常用ガス処理系含む）

「閉塞」については、降下火砕物の侵入を防止、若しくは降下火砕物が侵入した場合でも、排気筒の構造から排気流路が閉塞しない設計とする。また、降下火砕物が侵入した場合でも、排気筒内部の点検、状況に応じた除去等の対応が可能な設計とする。

「腐食」については、塗装の実施等によって、短期的な腐食により安全

機能を損なうことのない設計とする。なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

3.6.2 降下火砕物の間接的影響に対する設計方針

広範囲にわたる送電網の損傷による7日間の外部電源喪失及び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（2基）及びそれぞれに必要な耐震Sクラスの軽油貯蔵タンク（2基：800kL以上）により継続できる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。

第 3.6.1-1 表 降下火砕物による直接的影響の評価結果（1 / 2）

評価対象施設	確認結果	確認結果	個別評価
原子炉建屋（附属棟含む） タービン建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋	各建屋の許容堆積荷重は降下火砕物等の堆積荷重より大きいことから、健全性への影響はない。また、外装塗装がなされていることから、降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。	○	1
海水ポンプ（残留熱除去系，ディーゼル発電機用）	降下火砕物等の堆積荷重により発生する応力は、海水ポンプの許容応力値以下であることから、海水ポンプの健全性に影響を及ぼすことはない。また、防汚塗装（ライニング含む）がなされていることから、降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。 ポンプの狭隘部は降下火砕物の粒径より大きく、軸受には異物逃がし溝が設けられているため、流水部の閉塞、軸受部での軸固着はなく、機能に影響を及ぼすことはない。	○	2
海水ストレーナ（残留熱除去系，ディーゼル発電機用）	降下火砕物の堆積荷重により発生する応力は、海水ストレーナの許容応力値以下であることから、海水ストレーナの健全性に影響を及ぼすことはない。また、海水ストレーナは2系統あり必要に応じて切替を行い清掃・取替が可能であるため機能に影響を及ぼすことはない。 海水ストレーナはステンレス製で内部に防食亜鉛を設ける等の対応を実施しており、海水と金属が直接接することはなく、化学的腐食により短期的に機器の機能に影響を及ぼすことはない。また、下流設備の機器の伝熱管（細管）は耐食性のある材料を用いていること及び連続通水状態であり、著しい腐食環境にならないことから、化学的腐食により短期的に機器の機能に影響を及ぼすことはない。 また、外装塗装がなされていることから、降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。	○	3
海水取水設備	想定する降下火砕物の粒径は海水取水設備のメッシュより小さいため閉塞することはない。また、海水取水設備は防汚塗装がなされていることから、降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。	○	4

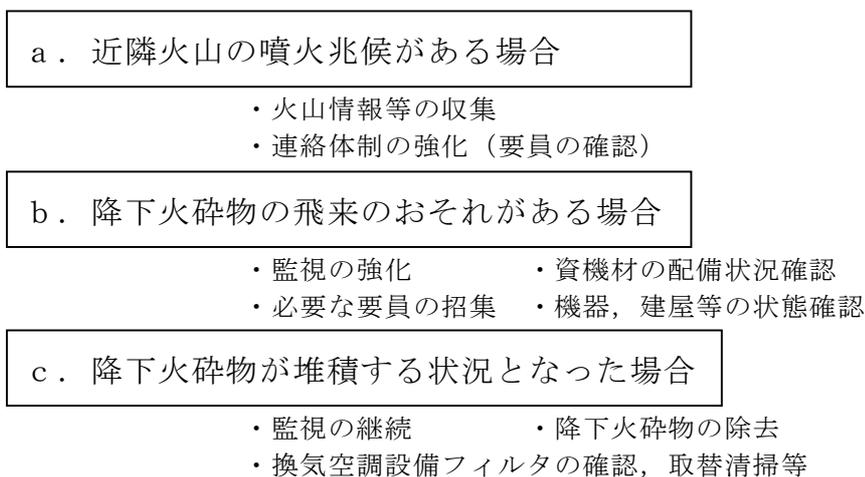
第 3.6.1-1 表 降下火砕物による直接的影響の評価結果（2 / 2）

評価対象施設	確認結果	確認結果	個別評価
計装制御設備（安全保護系）	計装制御設備（安全保護系）が設置されている部屋は、中央制御室換気空調系にて空調管理されており、本空調系の外気取入口にはガラリが取り付けられており降下火砕物が侵入し難い構造となっている。また、外気取入口にはバグフィルタが設置されているため侵入する降下火砕物は微細なものに限られ、大量に盤内に侵入する可能性は小さく、その付着等により絶縁低下を発生させることはないことから、計装制御設備（安全保護系）の機能に影響を及ぼすことはない。	○	5
換気空調設備	中央制御室換気系冷凍機及びディーゼル発電機室ルーフベントファンについては、全体を防護する構造物を設置することで降下火砕物が直接堆積しない設計とする。 中央制御室換気系冷凍機及びディーゼル発電機室ルーフベントファンは降下火砕物が侵入し難い構造となっている。なお、ディーゼル発電機運転中は排気されているため降下火砕物が侵入することはない。外気取入口にはガラリ及びフィルタが取り付けられており降下火砕物が侵入し難い構造となっている。また、フィルタは交換・清掃が可能である。 外気取入口（フィルタ部）は、化学的腐食が生じた場合でもその機能に有意な影響を与えにくい構造である。 また、中央制御室換気空調系は、外気取入ダンパを閉止した閉回路循環運転が可能であり、中央制御室の居住性を維持することができる。	○	6
ディーゼル発電機（非常用、高圧炉心スプレイ系）	降下火砕物の堆積荷重により発生する応力は、吸気口の許容応力値以下であることから、吸気口の健全性に影響を及ぼすことはない。なお、ディーゼル発電機排気消音器及び排気管は降下火砕物が堆積し難い形状になっているため、影響はない。 また、耐食性のある材料の使用や塗装の実施から、化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。吸気口及び排気管は降下火砕物が侵入し難い構造であり、また、吸気口はフィルタにより降下火砕物が捕集されること、及び侵入した場合でも降下火砕物の硬度が低く破碎しやすいことから、機能に影響を及ぼすことはない。また、吸気フィルタは必要に応じて清掃及び交換することができる。 なお、降下火砕物がディーゼル機関に侵入した場合でも、シリンダ部の摩耗に与える影響は小さい。	○	7
排気筒（非常用ガス処理系含む）	排気筒は降下火砕物が侵入しても排気流路を閉塞されることはなく、機能に影響を及ぼすことはない。非常用ガス処理系排気配管については、降下火砕物に対して健全性を損なわない設計とすることから、機能に影響を及ぼすことはない。 排気筒外面は外装塗装を実施しており、降下火砕物による化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。	○	8

3.7 降下火砕物の除去等の対策

3.7.1 降下火砕物に対応するための運用管理

降下火砕物に備え、手順を整備し、第 3.7.1-1 図のフローのとおり段階的に対応することとしている。その体制については、地震、津波、火山事象等の自然災害に対し、保安規定に基づく保安管理体制として整備し、その中で体制の移行基準、活動内容についても明確にする。なお、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、事前に対策準備が可能である。



第 3.7.1-1 図 降下火砕物に対応するための運用管理フロー

a. 近隣火山の噴火兆候がある場合

近隣火山で噴火警戒レベル 3（注意）、4（避難準備）となる引上げが発表され発電所において災害の発生のおそれがあると判断された場合、担当箇所は防災管理者の承認を得た上で、監視強化準備体制を発令し、発電所の保安管理体制下において、火山情報等を把握し、連絡体制を強化（要員の確認）する。

b. 降下火砕物の飛来のおそれがある場合

近隣火山で噴火警戒レベル5（避難）が発表され発電所において災害の発生のおそれがあると判断された場合、防災管理者は監視強化体制を発令し、発電所の各マネージャーは、発電所の保安管理下において、資機材の配備状況確認等に必要な要員を招集する。

また、屋外機器・建屋等の降下火砕物の除去のため、発電所内に保管しているスコップ、ほうき、マスク等の資機材の配備状況の確認を行う。

c. 降下火砕物が堆積する状況となった場合

降下火砕物が確認され発電所の安全機能を有する設備が損傷等により機能を失うおそれがある場合、防災管理者は発生事象の災害区分を「警戒事態」とし、発電所警戒本部を設置する。

発電所警戒本部の指揮の下、発電所及び屋外廻りの監視を強化する。また、屋外機器・建屋等の降下火砕物の除去を行うとともに、換気空調設備のフィルタを確認し、フィルタの取替、清掃を行う。

さらに、降下火砕物により安全機能を有する設備が損傷等により機能を失った場合、災害区分を「非常事態」に移行し、発電所対策本部を設置してその指揮の下、必要な処置を行う。

3.7.2 手順

火山に対する防護については、降下火砕物に対する影響評価を行い、安全施設が安全機能を損なわないように手順を定める。

- a. 降下火砕物が確認された場合には、建屋及び屋外の設備等に長期間降下火砕物による荷重を掛け続けないこと、また降下火砕物の付着による腐食等が生じる状況を緩和するために、評価対象施設等に堆積した降下火砕物の除去を適切に実施する。
- b. 降下火砕物が確認された場合には、状況に応じて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、建屋内への降下火砕物の侵入を防止する手順を定める。
- c. 降下火砕物が確認された場合には、換気空調設備の外気取入口のフィルタについて、フィルタ差圧又は流量を確認するとともに、状況に応じて清掃又は取替を実施する。

4. まとめ

降下火砕物による直接的影響及び間接的影響のすべての項目について評価した結果、降下火砕物による直接的及び間接的影響はなく、原子炉施設の安全機能を損なうことはないことを確認した。

降下火砕物の飛来のおそれがある場合は、火山事象対策を行うための体制を構築し、発電所及び屋外廻りの監視の強化、降下火砕物の除去等を実施する。

建屋構築物に係る影響評価

降下火砕物による原子炉建屋（附属棟含む）、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への影響について、以下のとおり評価する。

(1) 評価項目及び内容

① 構築物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重により原子炉建屋（附属棟含む）、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の健全性に影響がないことを評価する。なお、堆積荷重は積雪との重畳を考慮する。

② 構築物への化学的影響（腐食）

降下火砕物の構築物への付着や堆積による化学的腐食により、構築物への影響がないことを評価する。

(2) 評価条件

① 降下火砕物条件

a. 堆積量：40cm

b. 密度：1.5g/cm³（湿潤状態）

② 積雪条件

a. 堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）

b. 単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N/m²（建築基準法より）

(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重は以下のとおりとなる。

$$0.4(\text{m}) \times 1,500(\text{kg}/\text{m}^3) \times 9.80665(\text{m}/\text{s}^2) = 5,884(\text{N}/\text{m}^2)$$

次に重畳する積雪荷重は以下のとおりとなる。

$$10.5(\text{cm}) \times 20(\text{N}/\text{m}^2) = 210(\text{N}/\text{m}^2)$$

以上を足し合わせ、構造物への堆積荷重は 6,094 (N/m²) となる。

表 1 のとおり、各建屋は降下火砕物と積雪を足し合わせた荷重に対して裕度を有しているため、原子炉建屋（附属棟含む）、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の健全性を損なうことはない。

表 1 降下火砕物等の荷重による建屋健全性評価結果

対象建屋	評価部位	許容堆積荷重※1 [N/m ²]	降下火砕物等 堆積荷重 [N/m ²]	評価結果
原子炉建屋 (附属棟含む)	屋根トラス	12,000	6,094	○
タービン建屋	屋根トラス	9,200		○
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	屋根トラス	48,000		○

※ 1：許容堆積荷重は以下の方法で算出した。（補足資料－7）

- ① 建屋のフレームモデルを用いて、屋根部を構成する構造部材に発生する応力が材料強度による許容値となる荷重 $V L_{s_{\max}}$ （耐荷重）を算出。
- ② 屋根部に作用する荷重として、常時作用する荷重（DL：固定荷重，LL：積載荷重）があるため、①で算出した $V L_{s_{\max}}$ （耐荷重）から常時作用する荷重（DL：固定荷重，LL：積載荷重）を差し引いた値を許容堆積荷重として設定する。（有効数字 2 桁で切り下げ）

② 構造物への化学的影響（腐食）

原子炉建屋（附属棟含む）、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は外壁塗装がなされていることから、降下火砕物による化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

海水ポンプ（モータ含む）に係る影響評価

降下火砕物による海水ポンプへの影響について、以下のとおり評価する。

<評価対象>

- ・ 残留熱除去系海水系
- ・ ディーゼル発電機用（非常用， 高圧炉心スプレイ系）

(1) 評価項目及び内容

① 構造物への静的負荷

降下火砕物が堆積した場合に堆積荷重が厳しい条件となるモータフレームについて健全性に影響がないことを評価する。なお， 堆積荷重は積雪との重畳を考慮する。

② 構造物への化学的影響（腐食）

降下火砕物の海水ポンプへの付着や堆積による化学的腐食により海水ポンプの機能への影響がないことを評価する。

③ 水循環系の閉塞

降下火砕物が混入した海水を海水ポンプにより取水した場合でも， 流水部， 軸受部等が閉塞し， 機器の機能に影響がないことを評価する。

④ 水循環系の化学的影響（腐食）

降下火砕物が混入した海水を海水ポンプにて取水することによる， 内部構造物の化学的影響（腐食）により機器の機能に影響がないことを評価する。

⑤ 換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

降下火砕物の電動機冷却空気への侵入により，地絡，短絡及び空気冷却管への侵入による閉塞等，機器の機能に影響がないことを評価する。

⑥ 換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）

降下火砕物の電動機冷却空気への侵入による，内部構造物の化学的影響（腐食）により機器の機能に影響がないことを評価する。

(2) 評価条件

① 降下火砕物条件

- a. 堆積量：40cm
- b. 粒 径：8mm 以下
- c. 密 度：1.5g/cm³（湿潤状態）
- d. 荷 重：5,884N/m²

② 積雪条件

- a. 堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）
- b. 単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N/m²（建築基準法より）
- c. 荷 重：210N/m²

(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重の影響に係る評価部位は，荷重の影響を受けやすいモータフレームとし、堆積面積は保守的に基礎部面積とする。（表 1，図 1，図 2）

表 1 海水ポンプモータの評価条件

項目	条件	
	残留熱除去系海水系	ディーゼル発電機用
モータ荷重	13,700kg	630kg
ポンプロータ荷重	1,500kg	600kg
モータフレーム外径D	1,680mm	1,100mm
モータフレーム内径d	1,648mm	1,076mm

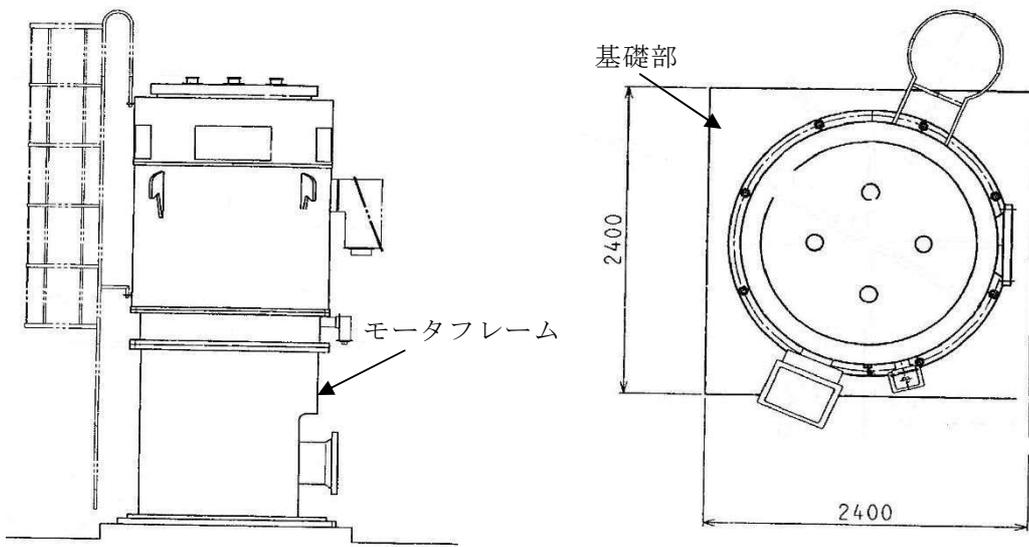


図 1 残留熱除去系海水系ポンプ 評価部位概要図

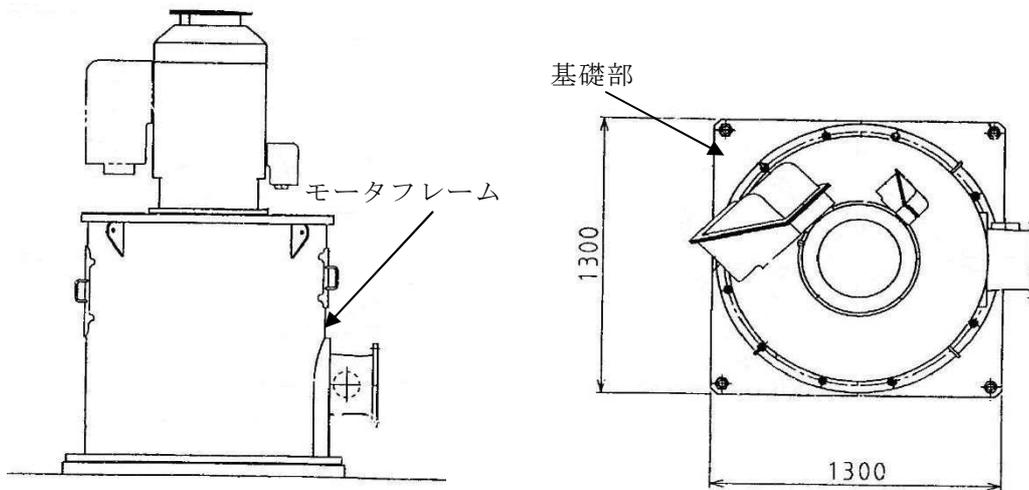


図 2 ディーゼル発電機用海水ポンプ 評価部位概要図

【残留熱除去系海水系】

a. 降下火砕物と積雪による垂直荷重

$$A = 2.4 \times 2.4 = 5.76(\text{m}^2)$$

よって、降下火砕物による垂直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 5,884 \times 5.76 = 3.38 \times 10^4(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 5.76 = 1.20 \times 10^3(\text{N})$$

b. モータ及びポンプロータによる軸方向荷重

$$\text{軸方向荷重 } F_3 = (13,700 + 1,500) \times 9.80665 = 1.49 \times 10^5(\text{N})$$

c. フレームに生じる圧縮応力

モータフレームの断面積 S は次のとおり。

$$S = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \times (1,680^2 - 1,648^2) = 8.36 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

D : フレーム外径 (mm)

d : フレーム内径 (mm)

よって、圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{3.38 \times 10^4 + 1.20 \times 10^3 + 1.49 \times 10^5}{8.36 \times 10^{-2}} = 2.20\text{MPa}$$

d. 評価結果

当該ポンプの許容応力 σ_c は、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」における III_AS の許容応力より、

$$\sigma_c = 229\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$ となり、発生応力は許容応力を十分下回っており、残留熱除去系海水系海水ポンプの健全性を損なうことはない。

【ディーゼル発電機用】

a. 降下火砕物と積雪による垂直荷重

モータ上面の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり。

$$A = 1.3 \times 1.3 = 1.69(\text{m}^2)$$

よって、降下火砕物による垂直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 5,884 \times 1.69 = 9.94 \times 10^3(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 1.69 = 3.54 \times 10^2(\text{N})$$

b. モータ及びポンプロータによる軸方向荷重

$$\text{軸方向荷重 } F_3 = (630 + 600) \times 9.80665 = 1.20 \times 10^4(\text{N})$$

c. フレームに生じる圧縮応力

モータフレームの断面積 S は次のとおり。

$$S = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \times (1,100^2 - 1,076^2) = 4.10 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

D : フレーム外径 (mm)

d : フレーム内径 (mm)

よって、圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{9.94 \times 10^3 + 3.54 \times 10^2 + 1.20 \times 10^4}{4.10 \times 10^{-2}} = 0.54\text{MPa}$$

d. 評価結果

当該ポンプの許容応力 σ_c は、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」におけるⅢ_ASの許容応力より、

$$\sigma_c = 240\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$ となり、発生応力は許容応力を十分下回っており、ディーゼル発電機用海水ポンプの健全性を損なうことはない。

② 構造物への化学的影響（腐食）

外部塗装がなされていることから、降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。

なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

③ 水循環系の閉塞

a. 流水部の閉塞

海水ポンプ流水部の最も狭い箇所（約 24mm）は、想定する降下火砕物の粒径より大きいため、閉塞には至らない。

b. 軸受部への影響

粒径の小さい降下火砕物は軸受隙間に侵入する可能性があるが、軸受部には異物逃がし溝が設けられているため閉塞することはない。また、異物逃がし溝より粒径の大きい降下火砕物は軸受隙間に入り込まずにポンプ揚水とともに吐出口へ流されるため閉塞することはない。なお、降下火砕物は砂等に比べて破碎し易く^{※1}、硬度が小さい^{※2}ことから、軸受隙間部の摩耗が設備に影響を与える可能性は小さいと考えられる。

※1 武若耕司(2004)：シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状、コンクリート工学, Vol. 42, No. 3, p. 38-47

※2 恒松修二・井上耕三・松田応作(1976)：シラスを主原料とする結晶化ガラス、窯業協会誌84[6], p. 32-40

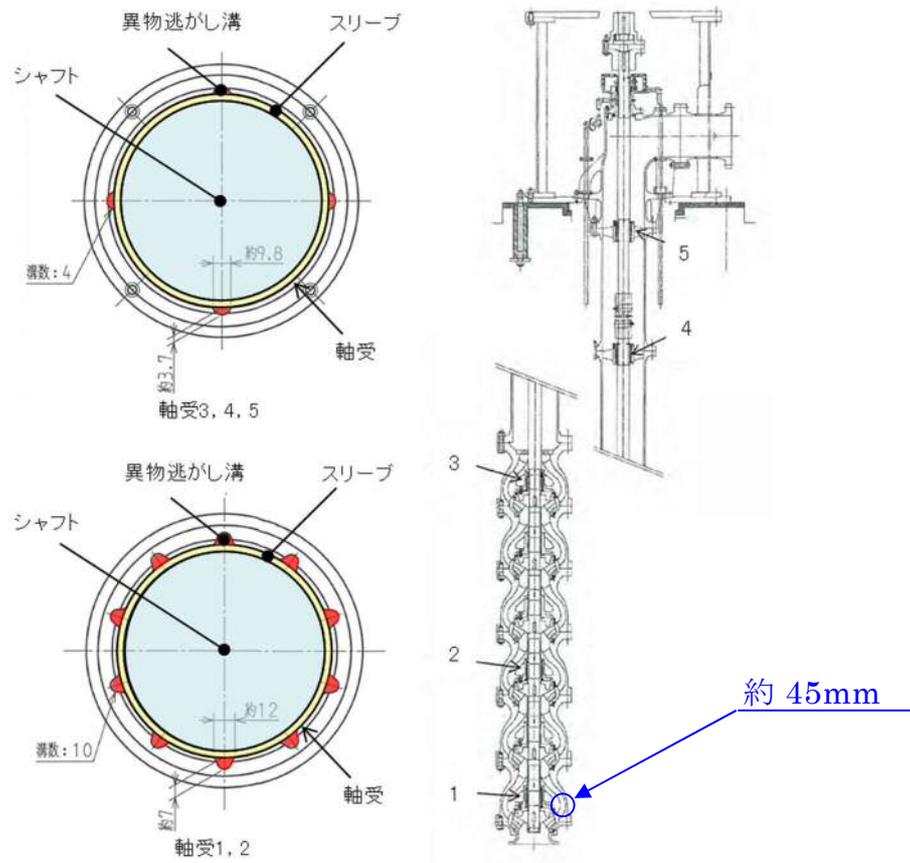


図3 残留熱除去系海水系ポンプ軸受部

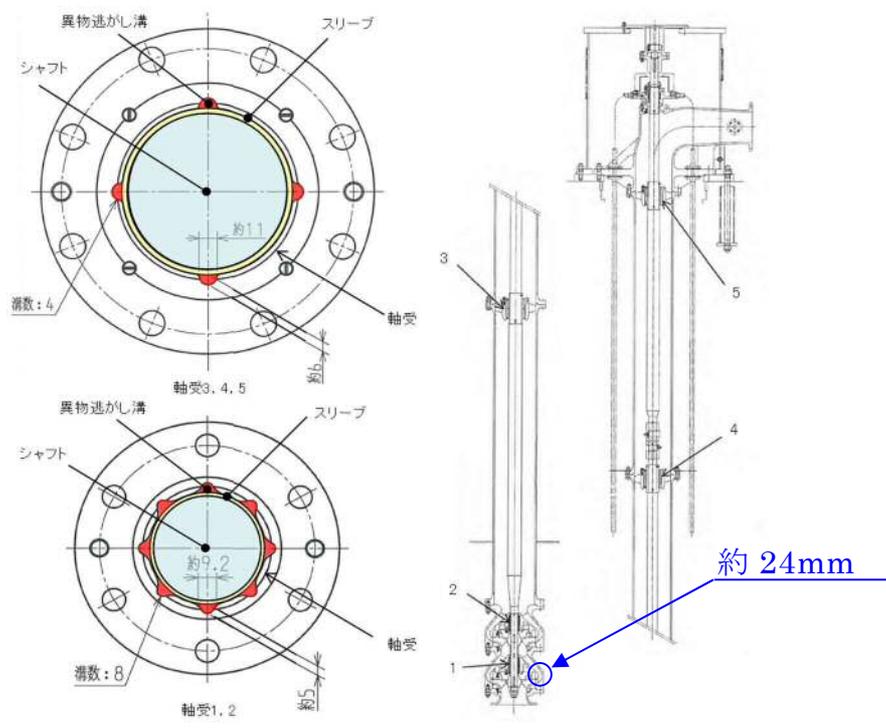


図4 ディーゼル発電機用海水ポンプ軸受部

④ 水循環系の化学的影響（腐食）

海水ポンプの接液部は、耐食性に優れたオーステナイト系ステンレス鋼を採用していること、並びに連続通水状態であり、著しい腐食環境にならないことから、化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。

⑤ 換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響

【残留熱除去系海水系】

a. 電動機冷却空気への侵入による地絡・短絡

海水ポンプモータは図5に示すとおり電動機本体を全閉構造とし、空気冷却器を電動機側面に設置して外気を直接電動機内部に取り込まない全閉防まつ屋外型の冷却方式であり、降下火砕物が電動機内部に侵入することはない。

b. 空気冷却器冷却管への侵入による閉塞

図5に示すとおり外気は側面方向から取り込まれる構造となっており、降下火砕物が侵入し難い構造となっている。

仮に降下火砕物が侵入したとしても、冷却管の内径（約26mm）は想定する降下火砕物の粒径より大きいため、冷却管が閉塞することはなく機能を損なうことはない。

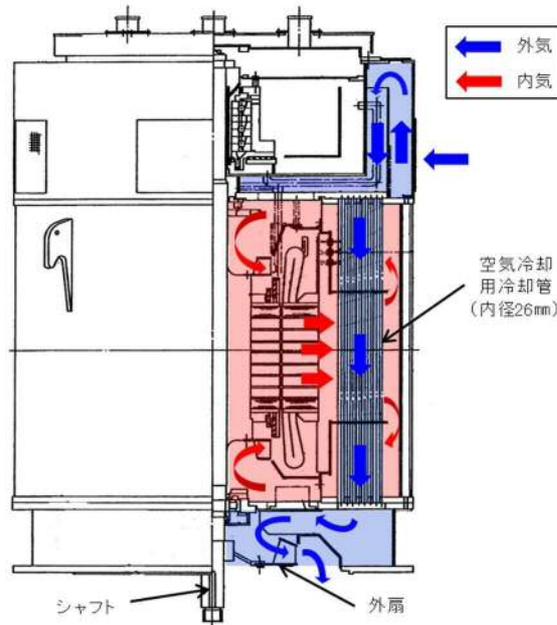


図5 残留熱除去系海水系ポンプ電動機の冷却方式

【ディーゼル発電機用】

a. 電動機冷却空気への侵入による地絡・短絡

海水ポンプモータは図6に示すとおり電動機本体を全閉構造とし、電動機上端ファン（外扇）によりハウジングを冷却する構造のため外気を直接電動機内部に取り込まない冷却方式であり、降下火砕物が電動機内部に侵入することはない。

b. 空気冷却器冷却管への侵入による閉塞

図6に示すとおり電動機上端ファン（外扇）にはキャップが取り付けられており降下火砕物が侵入しにくい構造となっている。

仮に降下火砕物が侵入したとしても、冷却管の内径（約28mm）は想定する降下火砕物の粒径より大きいため、冷却管が閉塞することなく機能を損なうことはない。

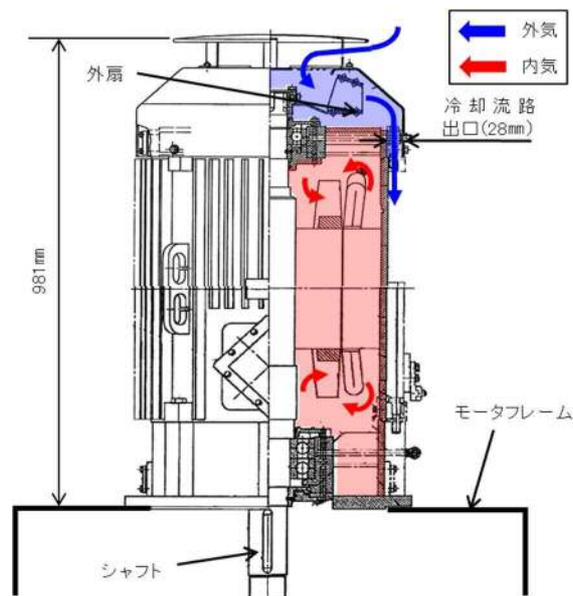


図6 ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機の冷却方式

⑥ 換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）

海水ポンプモータは，上述のとおり電動機本体を全閉構造とし，空冷式空気冷却器を電動機の側面に設置して外気を直接電動機内部に取り込まない冷却方式であり，降下火砕物の侵入はないため，化学的影響はない。

海水ストレーナ（下流設備含む）に係る影響評価

降下火砕物による海水ストレーナ（下流設備含む）への影響について、以下のとおり評価する。

<評価対象>

- ・ 残留熱除去系海水系
- ・ ディーゼル発電機用（非常用， 高圧炉心スプレイ系）

(1) 評価項目及び内容

① 構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重により海水ストレーナの健全性に影響がないことを評価する。なお，堆積荷重は積雪との重畳を考慮する。

② 構造物への化学的影響（腐食）

降下火砕物の海水ストレーナへの付着や堆積による化学的腐食により海水ストレーナの機能への影響がないことを評価する。

③ 水循環系の閉塞

降下火砕物が混入した海水を取水することにより，海水ストレーナ（下流設備含む）が閉塞しないことを評価する。

④ 水循環系の化学的影響（腐食）

降下火砕物が混入した海水を取水することによる構造物内部の腐食により，機器の機能に影響がないことを評価する。

(2) 評価条件

① 降下火砕物条件

- a. 堆積量：40cm
- b. 粒 径：8mm 以下
- c. 密 度：1.5g/cm³（湿潤状態）
- d. 荷 重：5,884N/m²

② 積雪条件

- a. 堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）
- b. 単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N/m²（建築基準法より）
- c. 荷 重：210N/m²

(3) 評価結果

① 構造物への静的

降下火砕物の堆積荷重の影響に係る評価部位は、荷重の影響を受けやすい支持脚とする。（表 1，図 1）

表 1 海水ストレーナの評価条件

項目	条件			
	残留熱除去系海水系		ディーゼル発電機用	
機器重量（運転質量）	9,850kg		2,030kg	
支持脚寸法	bx1	150mm	bx1	100mm
	bx2	25mm	bx2	15mm
	by1	174mm	by1	95mm
	by2	25mm	by2	15mm

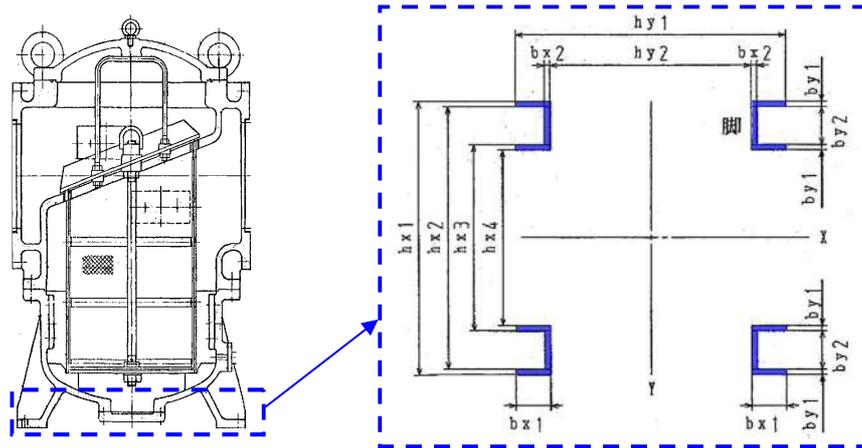


図1 海水ストレーナ評価部位概要図（共通）

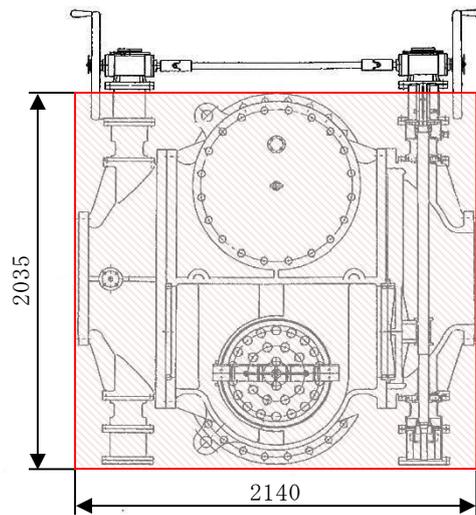


図2 海水ストレーナ堆積部分（残留熱除去系海水系）

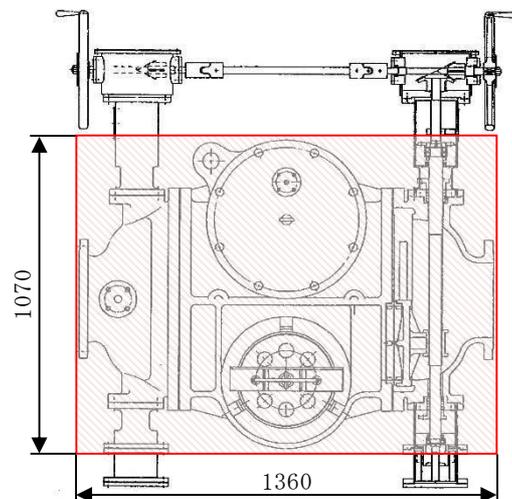


図3 海水ストレーナ堆積部分（ディーゼル発電機用）

【残留熱除去系海水系】

a. 降下火砕物と積雪による垂直荷重

ストレーナ上面の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり

$$A = 2.140 \times 2.035 = 4.35(\text{m}^2)$$

よって、降下火砕物による垂直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 5,884 \times 4.35 = 2.55 \times 10^4(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 4.35 = 9.14 \times 10^2(\text{N})$$

b. 機器重量による垂直荷重

$$\text{機器重量荷重 } F_3 = 9,850 \times 9.80665 = 9.65 \times 10^4(\text{N})$$

c. 支持脚に生じる圧縮応力

支持脚の断面積 S は次のとおり。

$$S = (150 \times 25 \times 2 + 25 \times 174) \times 4 = 4.74 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

よって、圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{2.55 \times 10^4 + 9.14 \times 10^2 + 9.65 \times 10^4}{4.74 \times 10^{-2}} = 2.59(\text{MPa})$$

d. 評価結果

当該海水ストレーナ支持脚の許容応力 σ_c は、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」における III_AS の許容応力より、

$$\sigma_c = 184\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$ となり、発生応力は許容応力を十分下回っており残留熱除去系海水系ストレーナの健全性を損なうことはない。

【ディーゼル発電機用】

a. 降下火砕物と積雪による垂直荷重

ストレーナ上面の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり

$$A = 1.360 \times 1.07 = 1.45(\text{m}^2)$$

よって、降下火砕物による垂直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 5,884 \times 1.45 = 8.53 \times 10^3(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 1.45 = 3.04 \times 10^2(\text{N})$$

b. 機器重量による垂直荷重

$$\text{機器重量荷重 } F_3 = 2,030 \times 9.80665 = 1.99 \times 10^4(\text{N})$$

c. 支持脚に生じる圧縮応力

支持脚の断面積 S は次のとおり。

$$S = (100 \times 15 \times 2 + 15 \times 95) \times 4 = 1.77 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

よって、圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{8.53 \times 10^3 + 3.04 \times 10^2 + 1.99 \times 10^4}{1.770 \times 10^{-2}} = 1.62(\text{MPa})$$

d. 評価結果

当該海水ストレーナ支持脚の許容応力 σ_c は、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」における III_AS の許容応力より、

$$\sigma_c = 184\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$ となり、発生応力は許容応力を十分下回っておりディーゼル発電機用海水ストレーナの健全性を損なうことはない。

② 構造物への化学的影響（腐食）

外装塗装がなされていることから、降下火砕物による化学的腐食により直ちに機能に影響を及ぼすことはない。

なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

③ 水循環系の閉塞

海水ストレーナのメッシュ径は 6.5mm であり、6.5mm 以下の粒径の降下火砕物は海水ストレーナを通過するため閉塞することはない。海水ストレーナを通過した降下火砕物の粒子は、下流設備の熱交換器の伝熱管内径に対して小さいため、伝熱管等の機能を損なうことはない。

6.5mm を超える粒径の降下火砕物については、取水口からポンプ取水箇所までは距離が数十mあるため降下火砕物は沈み、海水ストレーナが閉塞する可能性は低い。また、降下火砕物には粘性を生じさせる粘土鉱物等は含まれていないことから海水ストレーナが閉塞することはない。なお、海水ストレーナは2系統あり、一定の差圧となった場合は切替を行うことが可能である。

④ 水循環系の化学的影響（腐食）

海水ストレーナはステンレス製で内部に防食亜鉛を設けていること、並びに連続通水状態であり、著しい腐食環境にならないことから、腐食により機能に影響を及ぼすことはなく、下流設備（伝熱管）は耐食性のある材料を用いていることから、腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

海水取水設備に係る影響評価

降下火砕物による海水取水設備への影響について、以下のとおり評価する。

(1) 水循環系の閉塞

① 水循環系の閉塞

降下火砕物が混入した海水を取水することにより、除塵装置が閉塞しないことを評価する。

② 水循環系の化学的影響（腐食）

降下火砕物が混入した海水を取水することによる構造物内部の腐食により機器の機能に影響がないことを評価する。

(2) 評価条件

降下火砕物粒径：8mm 以下

(3) 評価結果

① 水循環系の閉塞

図1に示すとおり、海水ポンプ前面には、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からなる海水取水設備（除塵装置）を設置している。

スクリーンにはそれぞれ網枠が設置されており、それらのバーピッチ及びメッシュに対して、想定する降下火砕物の粒径は十分小さく、また、粘性を生じさせる粘土鉱物等は含まれていないことから、海水取水設備（除塵装置）が閉塞することはなく、機能を損なうことはない。

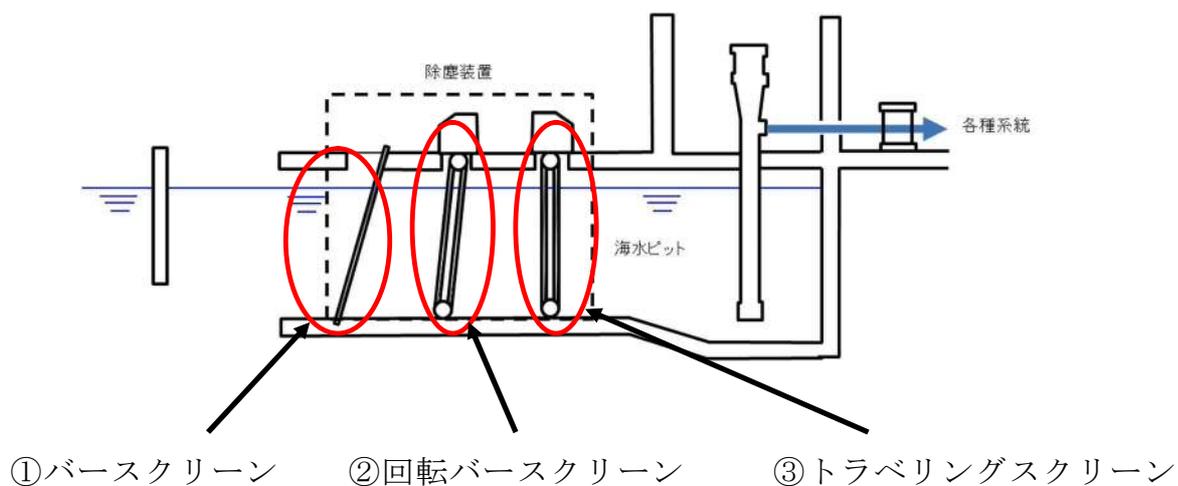


図1 海水取水設備概略図

表1 海水取水設備のバーピッチ及びメッシュ間隔

設備	①バースクリーン	②回転バースクリーン	③トラベリングスクリーン
間隔	バーピッチ：140mm	バーピッチ：25mm	メッシュ：10mm

② 水循環系の化学的影響（腐食）

海水取水設備は防汚塗装等の対応を実施しており、降下火砕物による化学的腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

計装制御設備（安全保護系）に係る影響評価

降下火砕物により電気系及び計装制御系の盤のうち空気を取り込む機構を有する計装制御設備（安全保護系）への影響について、以下のとおり評価する。

(1) 評価項目及び内容

① 絶縁低下

降下火砕物が盤内に侵入する可能性及び侵入した場合の計装制御設備（安全保護系）の絶縁低下により機器の機能に影響がないことを評価する。

(2) 評価条件

降下火砕物粒径：8mm 以下

(3) 評価結果

計装制御設備（安全保護系）については、その発熱量に応じて盤内に換気ファンを設置している場合があるため、換気に伴い降下火砕物が計装制御設備（安全保護系）の盤内に侵入する可能性がある。

計装制御設備（安全保護系）が設置されているエリアは、中央制御室換気空調系にて空調管理されており、外気取入口にはバグフィルタ（J I S Z 8901 試験用紛体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）が設置されているため、室内に侵入する降下火砕物は微量で、微細な粒子と推定される。

微細な粒子が計装制御設備（安全保護系）の盤内に侵入した場合、その付着等により短絡等の影響が懸念される箇所は数 μm の線間距離となってい

る集積回路の内部であり，これらはモールド（樹脂）で保護されているため降下火砕物が侵入することはないため，絶縁低下を発生させることはない。

また，端子台等の充電部が露出している箇所については，端子間の距離が数 mm 程度あることから，降下火砕物の付着等により短絡等を発生させることはない。さらに，降下火砕物が確認された場合は，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侵入を阻止することが可能であることから，計装制御設備（安全保護系）の機能を損なうことはない。

換気空調設備に係る影響評価

降下火砕物による換気空調設備への影響について、以下のとおり評価する。

<評価対象>

- ・中央制御室換気空調系（外気取入口・冷凍機）
- ・ディーゼル発電機室換気系（外気取入口・ルーフベントファン）

(1) 評価項目及び内容

① 構造物への静的負荷

屋外に設置されている中央制御室換気系冷凍機及びディーゼル発電機室ルーフベントファンについては、降下火砕物の堆積を考慮した防護対策を実施する。

② 構造物への化学的影響（腐食）

降下火砕物の中央制御室換気系冷凍機及びディーゼル発電機室ルーフベントファンへの付着や堆積による化学的腐食により、機能への影響がないことを評価する。

③ 換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

降下火砕物が換気空調設備（外気取入口）への侵入等により、機器の機能に影響がないことを評価する。

④ 換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）

降下火砕物の付着による構造物の腐食により、機器の機能に影響がないことを評価する。

⑤ 大気汚染

降下火砕物により汚染された発電所周辺の大気が換気空調設備を経て

運転員が常時居住している中央制御室へ侵入することがないことを評価する。

(2) 評価条件

① 降下火砕物条件

- a. 堆積量：40cm
- b. 粒径：8mm 以下
- c. 密度：1.5g/cm³（湿潤状態）
- d. 荷重：5,884N/m²

② 積雪条件

- a. 堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）
- b. 単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N/m²（建築基準法より）
- c. 荷重：210N/m²

(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

中央制御室換気系冷凍機及びディーゼル発電機室ルーフベントファンについては、図 1 のように全体を防護する構造物を設置し、降下火砕物が直接堆積しない設計とする。また、構造物は降下火砕物の荷重を考慮し、降下火砕物荷重により健全性を損なわない設計とする。

② 構造物への化学的影響（腐食）

中央制御室換気系冷凍機及びディーゼル発電機室ルーフベントファンへの化学的影響については、図 1 のように全体を防護する構造物を設置することにより、降下火砕物が直接堆積することはないため、直ちに化

学的腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

③ 換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

中央制御室換気空調設備の外気取入口にはガラリが取り付けられており，下方方向から吸い込む構造となっていることから，降下火砕物が侵入しにくい構造となっている。また，外気取入口にはバグフィルタ（JIS Z 8901 試験用粉体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）が設置されており，想定する降下火砕物は十分除去されることから，給気を供給する系統及び機器に対して，降下火砕物を与える影響は小さい。

ディーゼル発電機室換気系については，適切なバグフィルタを設置する。また，バグフィルタには差圧計を設置し，必要に応じて清掃及び交換することが可能な設計とする。

ルーフベントファンは開口部が横方向を向いているため降下火砕物により閉塞することはない。

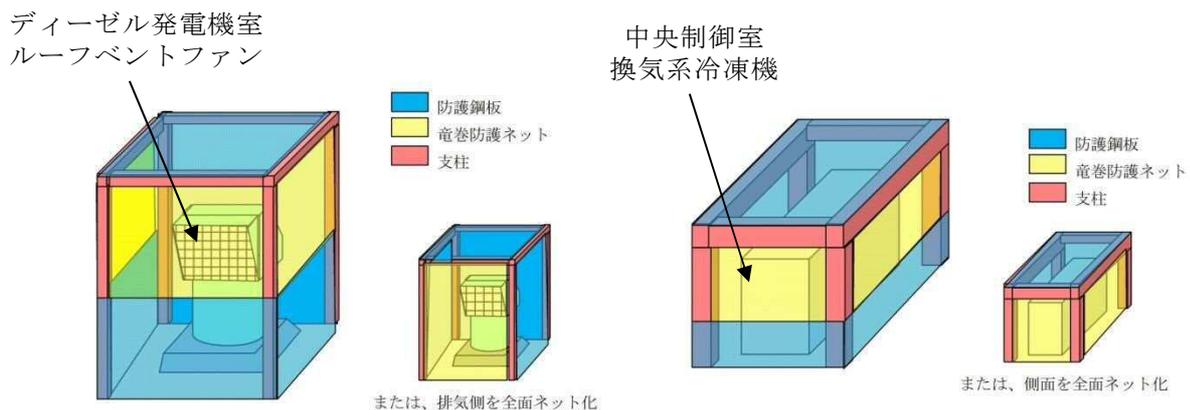


図 1 換気空調設備 防護イメージ

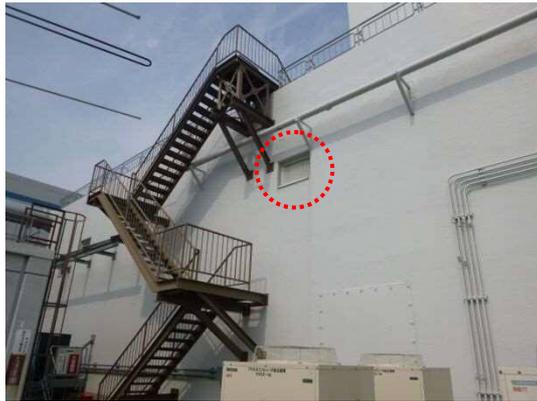


図2 外気取入口（中央制御室換気空調系）

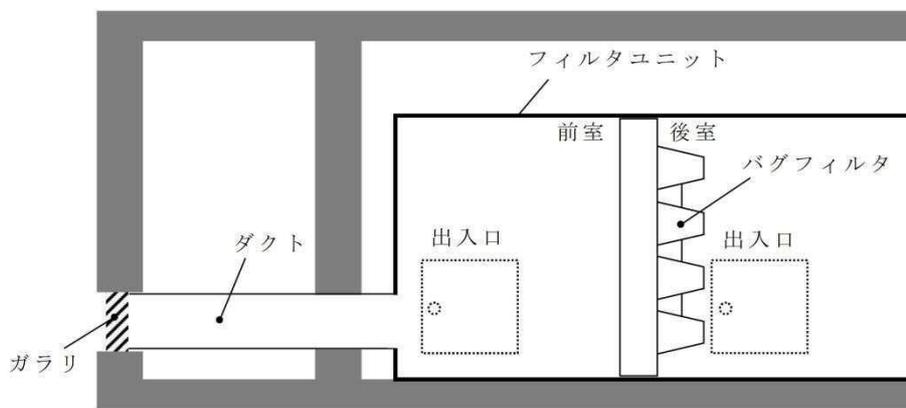


図3 換気空調設備（外気取入口）イメージ図

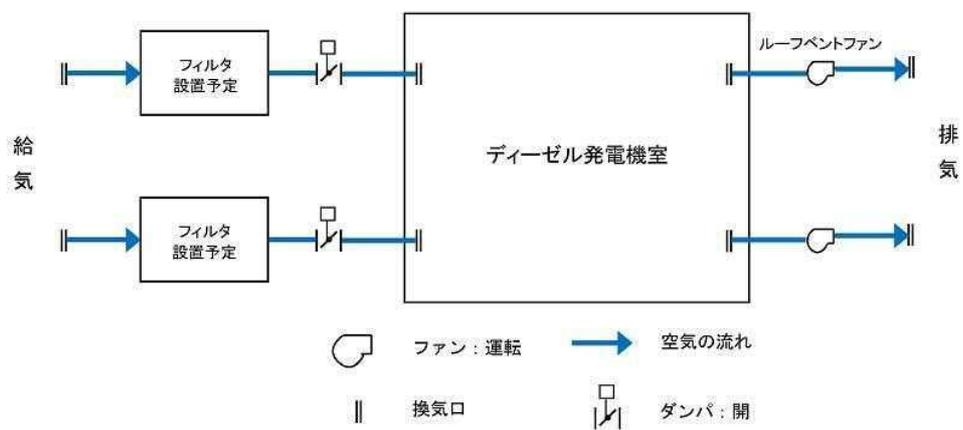


図4 ディーゼル発電機室換気系 概要図

④ 換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）

金属腐食研究の結果より，降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないことから，金属材料を用いることで換気空調設備（外気取入口）の機能に影響を及ぼすことはない。

なお，長期的な腐食の影響については，日常の保守管理等により，状況に応じて補修が可能な設計とする。

⑤ 発電所周辺の大気汚染

運転員が常駐している中央制御室は，中央制御室換気空調設備によって空調管理されており，外気取入口にはガラリが設置されている。これにより下方から吸い込む構造となっていることから，降下火砕物が侵入しにくい構造となっている。また，外気取入口にはバグフィルタ（J I S Z 8901 試験用紛体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）が設置されており，想定する降下火砕物は十分除去されることから，降下火砕物を与える影響は少ない。

また，大気汚染による人に対する居住性の観点から，運転員が常駐する中央制御室については，外気取入口ダンパを閉止し，閉回路循環運転をすることにより，中央制御室の居住性を維持できる。

外気取入ダンパを閉止した場合の中央制御室の酸素濃度等の評価を以下に示す。

a. 酸素濃度

「空気調和・衛生工学便覧 第 13 版 第 5 編 空気調和設備設計」に基づき，酸素濃度について評価した。

【評価条件】

- ・在室人員は運転員定数に保守性を加え 11 人とする。

- ・中央制御室バウンダリ内体積 2,700m³
- ・空気流入はないものとする。
- ・初期酸素濃度 20.95%
- ・1人あたりの呼吸量は、事故時の運転操作を想定し、歩行時の呼吸量を適用して、24L/min とする。
- ・1人あたりの酸素消費量は、呼気の酸素濃度 16.40%から 65.52L/h とする。
- ・管理濃度は 19%以上とする。(鉱山保安法施行規則)

【評価結果】

上記評価条件から求めた酸素濃度は、表 1 のとおりであり、72 時間外気取入を遮断したままでも、中央制御室内に滞在する運転員の操作環境に影響を与えない。

表 1 中央制御室再循環運転における酸素濃度

時間	12時間	24時間	48時間	73時間	管理値
酸素濃度	20.6%	20.3%	19.6%	19.0%	19.0%

b. 炭酸ガス濃度

「空気調和・衛生工学便覧 第 13 版 第 5 編 空気調和設備設計」に基づき、二酸化炭素濃度について評価した。

【評価条件】

- ・在室人員は運転員定数に保守性を加え 11 人とする。
- ・中央制御室バウンダリ内体積 2,700m³
- ・空気流入はないものとする。
- ・初期炭酸ガス濃度 0.03%

- ・ 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を適用して $0.046\text{m}^3/\text{h}$ とする。
- ・ 管理濃度は 1.0%未満とする。(鉱山保安法施行規則)

【評価結果】

上記評価条件から求めた炭酸ガス濃度は、表2のとおりであり、51時間外気取入を遮断したままでも、中央制御室内に滞在する運転員の操作環境に影響を与えない。

表2 中央制御室再循環運転における炭酸ガス濃度

時間	12時間	24時間	48時間	51時間	管理値
炭酸ガス濃度	0.26%	0.48%	0.93%	0.99%	1.00%

ディーゼル発電機に係る影響評価

降下火砕物によるディーゼル発電機への影響について、以下のとおり評価する。

<評価対象>

- ・ 非常用ディーゼル発電機
- ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機

(1) 評価項目及び内容

① 構造物への静的負荷

屋外に設置されている排気消音器、排気管及び吸気口について、排気消音器及び排気管は降下火砕物が堆積し難い形状をしているため、降下火砕物による荷重の影響を受けない。

よって、屋外に設置されている吸気口に降下火砕物が堆積した場合の影響評価を行う。評価部位は堆積荷重が厳しい条件となる支持脚とし、降下火砕物の荷重により健全性に影響がないことを評価する。

なお、堆積荷重は積雪との重畳を考慮する。

② 構造物への化学的影響（腐食）

降下火砕物の付着、堆積による構造物の腐食により、機器の機能に影響がないことを評価する。

③ 換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響

降下火砕物のディーゼル発電機への侵入等により、機器の機能に影響がないことを評価する。

(2) 評価条件

① 降下火砕物条件

- a. 堆積量：40cm
- b. 粒 径：8mm 以下
- c. 密 度：1.5g/cm³（湿潤状態）
- d. 荷 重：5,884N/m²

② 積雪条件

- a. 堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）
- b. 単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N/m²（建築基準法より）
- c. 荷 重：210N/m²

(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

屋外に設置されているディーゼル発電機吸気口の評価を以下に示す。
なお、非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口は同形状，同寸法である。（表 1，図 1）

表 1 吸気口の評価条件

項目	非常用ディーゼル発電機及び 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用	
吸気口荷重	800kg	
支持脚寸法	b×1	150mm
	b×2	15mm

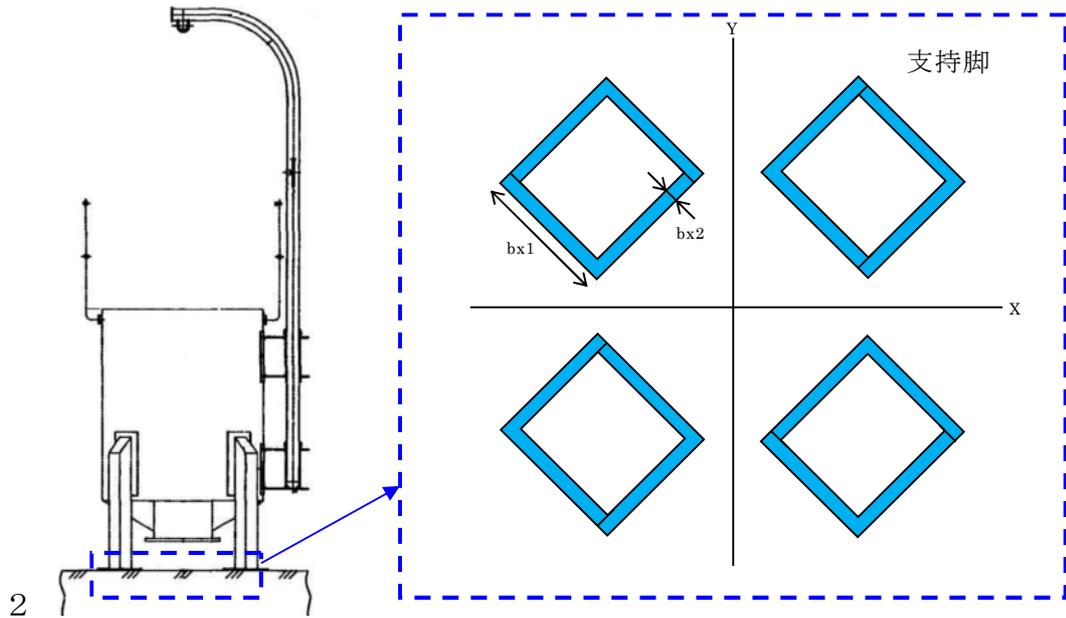


図1 吸気口 評価部位概要図（共通）

a. 降下火砕物と積雪による垂直荷重

吸気口の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり。

$$A = \frac{\pi}{4} \times 1.540^2 = 1.86(\text{m}^2)$$

よって、降下火砕物及び積雪による垂直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 5,884 \times 1.86 = 1.09 \times 10^4(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 1.86 = 3.90 \times 10^2(\text{N})$$

b. 機器重量による垂直荷重

$$\text{機器重量荷重 } F_3 = 800 \times 9.80665 = 7.84 \times 10^3(\text{N})$$

c. 支持脚に生じる圧縮応力

支持脚の断面積 S は次のとおり。

$$S = (150 + (150 - 15)) \times 15 \times 8 = 3.42 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

よって、圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{1.09 \times 10^4 + 3.90 \times 10^2 + 7.84 \times 10^3}{3.42 \times 10^{-2}} = 0.55(\text{MPa})$$

d. 評価結果

当該吸気口支持脚の許容応力 σ_c は、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」における III_AS の許容応力より、

$$\sigma_c = 229\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$ となり、発生応力は許容応力を十分下回っており、ディーゼル発電機吸気口の健全性を損なうことはない。

② 構造物への化学的影響（腐食）

ディーゼル発電機吸気口及び排気管は、外装塗装を実施しており、降下火砕物と金属が直接接触することはない。また、その内外面の腐食によりディーゼル発電機の機能に有意な影響を与えにくい構造である。

③ 換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響

ディーゼル発電機の吸入空気は図 2 に示すように吸気口下部から吸い込まれる流れとなっているため、降下火砕物が侵入し難い構造であり、吸気口に附属する吸気フィルタ（粒径 5～75 μm 程度において約 56% 以上捕集可能であり粒径が大きいほど捕集率が上がる）で比較的大粒径の降下火砕物は捕集される。想定する降下火砕物の粒径は 8mm 以下であり、粒径が数 μm ～数十 μm 程度のものについては、図 2 に示すように過給機、空気冷却器に侵入するものの、機器の間隙は降下火砕物の粒径に比べて十分大きいことから閉塞することはない。

また、機関シリンダ内に降下火砕物が侵入した場合でも、粒径がシリンダライナとピストンリングの間隙（油膜厚さ相当：数 μm ～十数 μm ）

と同程度のものは、当該間隙内に侵入し、摩耗発生が懸念されるが、降下火砕物は砂と比較しても破碎し易く^{*1}、硬度が低い^{*2}こと、またシリンダライナ及びピストンリングはブリネル硬さで230程度（SUS材180程度）の耐摩耗性を有する鋳鉄材であり、これまでの定期点検において有意な摩耗は確認されていないことから降下火砕物による摩耗が設備に影響を与える可能性は小さい。長期的な影響についても、シリンダライナとピストンリングの間隙内に侵入した降下火砕物は、シリンダとピストン双方の往復運動が繰り返されるごとに、更に細かな粒子に破碎され、破碎された粒子はシリンダライナとピストンリング間隙に付着している潤滑油により機関外へ除去される。また、潤滑油系には機関付フィルタが設置されているが、メッシュ寸法が約100 μ mであり、取り込んだ降下火砕物によって閉塞することはなく、長期的な影響も少ないと考えられる。加えて、潤滑油に降下火砕物が混入した場合の影響については、吸気により侵入する降下火砕物はフィルタを通過する際に大部分が捕集され、その後は排気により機関外へ排出されるため、潤滑油に混入する降下火砕物は微細なものに限られ、なおかつ少量なので潤滑油への影響は少ないと考えられる。

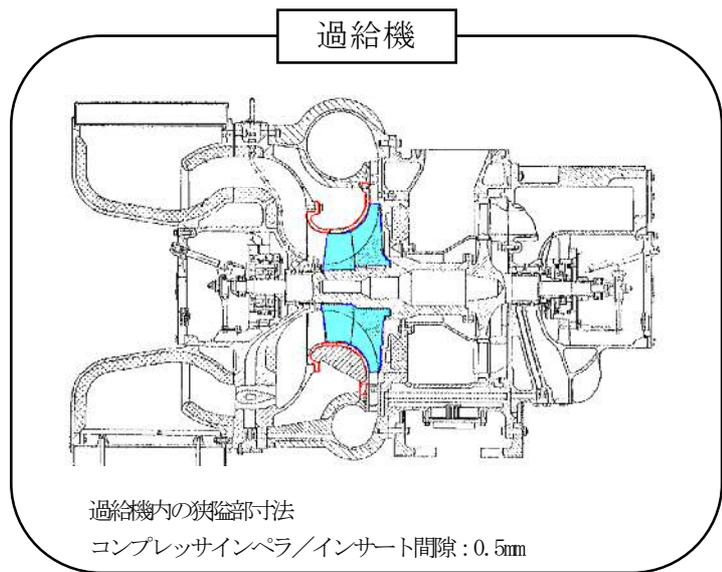
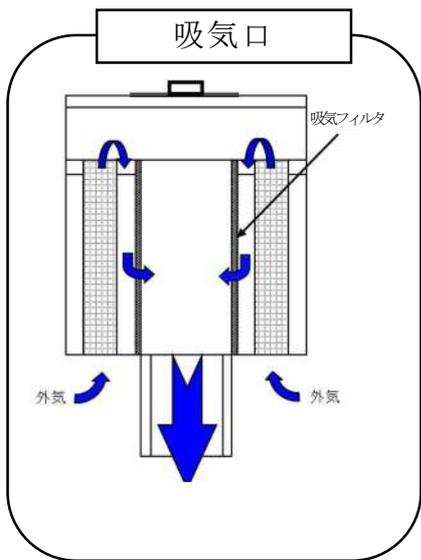
また、シリンダから排出される排気ガスの温度は、約500～600℃であることから、融点が1,000℃である降下火砕物の溶融による影響はない。

ディーゼル発電機排気管は図3に示すとおり横方向を向いており降下火砕物は侵入し難い構造となっている。なお、ディーゼル発電機運転中は排気されていることから降下火砕物が侵入することはない。

以上のことから、ディーゼル機関に降下火砕物が侵入した場合においても、運転を阻害するに至らない。なお、降下火砕物が確認された場合

は、必要に応じて点検等を行う。

- ※1 武若耕司(2004)：シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状，コンクリート工学，Vol. 42，No. 3，p. 38-47
- ※2 恒松修二・井上耕三・松田応作(1976)：シラスを主原料とする結晶化ガラス，窯業協会誌84[6]，p. 32-40



吸気口

過給機

空気冷却器

シリンダ

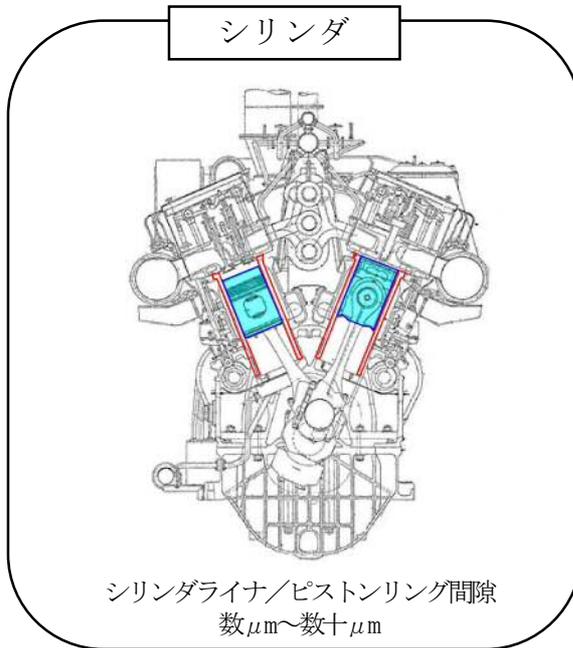
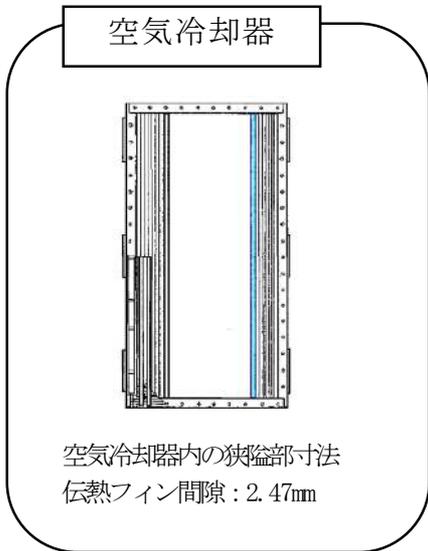


図2 ディーゼル機関吸気系統構造図



図3 ディーゼル発電機 排気管

④ 換気系, 電気系及び計装制御系に対する化学的影響(化学的腐食含む)

金属腐食研究の結果より, 降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないことから, 金属材料を用いることでディーゼル発電機の機能に影響を及ぼすことはない。

なお, 長期的な腐食の影響については, 日常の保守管理等により, 状況に応じて補修が可能な設計とする。

⑤ その他評価

a. 空気冷却器

空気冷却器への降下火砕物による影響は, 降下火砕物が混入した吸入空気が空気冷却器を通過する際に, 冷却器内に結露することにより, 冷却器伝熱管表面に水滴とともに降下火砕物が付着し, 熱効率が低下することが考えられる。

結露の有無については吸気管吸気温度(空気冷却器出口温度)が目安となるが, 吸気管吸気温度(空気冷却器出口温度)は年間を通じて吸入空気の温度(外気温度)よりも高い状態で運転されるため冷却器内で結露することはなく, 降下火砕物の付着による冷却機能への影響はない。

b. 軽油貯蔵タンク

軽油貯蔵タンクは地下埋設化することにより，降下火砕物の影響により健全性を損なわない設計とする。また，燃料移送ポンプ等についても同様に地下埋設化とし降下火砕物の影響により健全性を損なわない設計とする。

ベント管は開口部を下向きにする等の降下火砕物が侵入し難い構造とし，地表からの吹き上がりによる侵入も考慮した位置にベント管の開口部を設置することにより降下火砕物の影響を受けない設計とする。

排気筒に係る影響評価

降下火砕物による排気筒（非常用ガス処理系含む）への影響について、以下のとおり評価する。

(1) 評価項目及び内容

① 換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

降下火砕物の排気筒への侵入により，その機能に影響がないことを評価する。具体的には，降下火砕物が侵入したとしても流路が閉塞しないことを確認する。

② 換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）

降下火砕物の付着に伴う構造物の腐食により，機器の機能に影響がないことを確認する。

(2) 評価条件

① 堆積量：40cm

(3) 評価結果

① 換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

a. 排気筒

降下火砕物が排気筒に侵入した場合，図1に示すとおり排気筒の底部から流路まで約21mあり，降下火砕物が40cm堆積した場合でも流路が閉塞することはなく，排気筒の機能を損なうことはない。

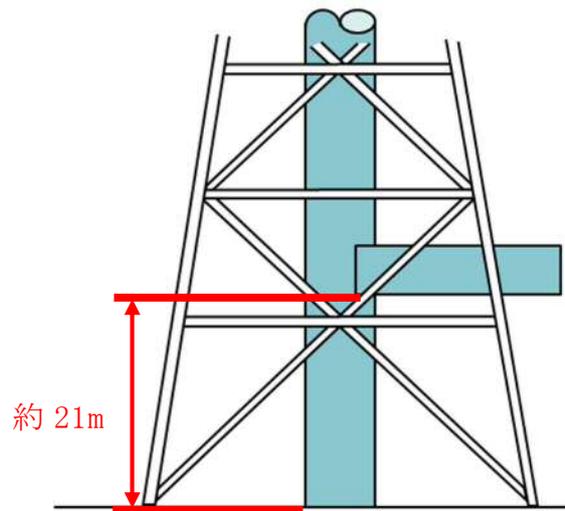


図1 排気筒下部の構造

b. 非常用ガス処理系排気筒

非常用ガス処理系排気筒は図2に示すとおり、降下火砕物の侵入防止を目的とする構造物を取り付けることにより、降下火砕物の影響に対して機能を損なわない設計とする。また、取り付ける構造物は降下火砕物が堆積し難い形状とすることにより、降下火砕物の影響に対して健全性を損なわない設計とする。

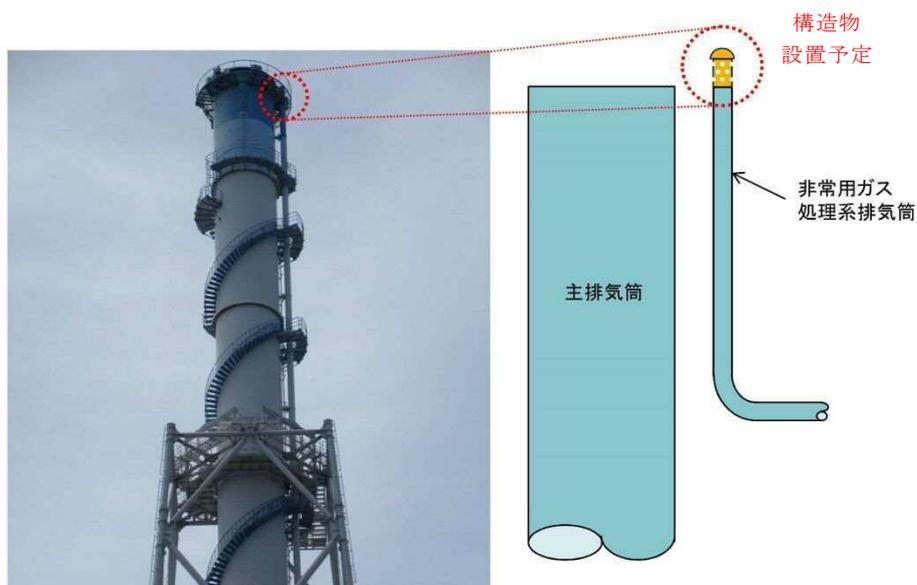


図2 非常用ガス処理系排気筒 概略図

② 換気系, 電気系及び計装制御系に対する化学的影響(化学的腐食含む)

排気筒(非常用ガス処理系含む)は, 外装塗装を実施しており, 降下火砕物による化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。

なお, 降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については, 日常保守管理等により, 状況に応じて補修が可能な設計とする。

表1 原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な設備に関する防護対象 (1/2)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		高温停止及び冷温停止に必要な機能
	定義	機能	構築物、系統又は機器	建屋内設置※1	屋外設備等	
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築する機器・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) 過剰反応度の抑制防止機能	制御棒カップリング ・制御棒カップリング、制御棒駆動機構カップリング	○		
		3) 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 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、スパーサ	○ ○		
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、 残留熱を除去し、原子炉冷却材バウンダリの 過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射 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	○		原子炉停止
		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 等	○		原子炉停止
		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（安全弁開機能）	○		
		4) 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（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）、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）、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） 等	○		崩壊熱除去
		5) 炉心冷却機能	非常用炉心冷却系 ・低圧炉心スプレイ系（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）、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） 等	○		
		6) 放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器 ・格納器本体、貫通部 等	○		
			原子炉格納容器隔離弁	○		放射能放出防止
			原子炉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 非常用再循環ガス処理系 ・排風機 等	○		放射能放出防止
		非常用ガス処理系 ・排風機 等	○		放射能放出防止	
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）		○ (屋外)	放射能放出防止			
可燃ガス濃度制御系	○					

※1 : 原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

表1 原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な設備に関する防護対象 (2/2)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		高温停止及び冷温停止に必要な機能
	定義	機能	構築物、系統又は機器	建屋内設置 ^{※1}	屋外設備等	
MS-1	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への作動信号の発生機能	安全保護系	○		関連系
		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	○		関連系
			非常用所内電源系 (MS-1 関連のもの) ・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)	関連系
			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 等	○		関連系
			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、非常用ディーゼル発電機海水系、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系 等		○ (屋外)	関連系
直流電源系 (MS-1 関連のもの) ・蓄電池 等	○		関連系			
PS-2	1) その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	1) 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 (格納容器隔離弁の外側のみ)	○	○ (T/B)	
		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	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。)	○			
	使用済燃料乾式貯蔵容器	○				
3) 燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備 ・燃料交換機、原子炉建屋クレーン 等	○				
2) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって、その故障により、炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器	1) 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)	○			
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にする構築物、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 (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)	○		
		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		○ (T/B)	
			排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能以外)		○ (屋外)	
			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 (原子炉棟)、非常用再循環ガス処理系及び非常用ガス処理系	○		
	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	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：原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

降下火砕物の特徴について

表 1 降下火砕物の特徴

特徴※ ¹	影響モード	影響因子
マグマが噴火時に破碎・急冷したものであり、ガラス片・鉱物結晶からなる。※ ²	荷重 閉塞 摩耗	<ul style="list-style-type: none"> ・堆積による構造物への静的負荷 ・粒子の衝突 ・水循環系の閉塞 ・水循環系の内部における摩耗 ・換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響
亜硫酸ガス（SO ₂ ），硫化水素（H ₂ S），フッ化水素（HF）等の火山ガス成分が付着している。	腐食 大気汚染 水質汚染	<ul style="list-style-type: none"> ・換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響 ・化学的腐食※³ ・発電所周辺の大気汚染 ・給水の汚染
水に濡れると硫酸イオン等が溶出する。		
乾燥した降下火砕物は絶縁体だが，水に濡れると酸性を呈し導電性を生じる	絶縁低下	<ul style="list-style-type: none"> ・開閉所の絶縁低下
溶出した硫酸イオンは降下火砕物に含まれるカルシウムイオンと反応し硫酸カルシウム（石膏）となるため，湿った降下火砕物は乾燥すると固結する。	閉塞	<ul style="list-style-type: none"> ・固結※⁴
降下火砕物粒子の融点は約 1,000℃であり，一般的な砂に比べ低い。	閉塞	<ul style="list-style-type: none"> ・高温部における熔融および固着※⁵

※ 1：(参考資料) 広域的な火山防災対策に係る検討会（平成 25 年 5 月 16 日）

※ 2：降下火砕物の主成分はガラスであり，粘性を生じさせるような鉱物は含まれていない。

※ 3：降下火砕物による金属腐食の研究報告では，4種類の金属材料（Znメッキ，Al，SS41，Cu）に対して，桜島の降下火砕物による金属腐食の程度は，実際の自然条件より厳しい条件においても表面厚さに対して十数μmオーダーの腐食であり，設計時の腐食代（数mmオーダー）を考慮すると，構造健全性に影響を与えることはないと考えられる。

※ 4：流水等により除去が可能である。

※ 5：発電所内で 1,000℃を超える所はないので，降下火砕物は熔融しない。

降水による降下火砕物の固結の影響について

降下火砕物は、湿ったのちに乾燥すると固結する特徴を持っており、影響モードとして閉塞が考えられるが、一般的に流水等で除去可能である。

降下火砕物が固結した場合の評価対象施設に対する影響モードとしては、水循環系の閉塞及び換気系、電気系及び計装制御系に対する閉塞が考えられるが、水循環系においては大量の海水が通水しているため、固結による影響はない。

換気系、電気系及び計装制御系に対する閉塞としては、換気空調系のフィルタの閉塞が考えられるが、換気空調系の外気取入口はガラリ等が設置されており下方向から吸い込む構造となっていることから、平時に比べ降水の際は降下火砕物の侵入は減少すると考えられる。なお、侵入した降下火砕物は外気取入口のフィルタによって除去されるが、湿った降下火砕物がフィルタに付着し固結した場合においても、フィルタ部の取替が可能なことから、固結による影響はない。

一方、評価対象施設に対して間接的な影響を与え得る事象としては、降下火砕物による排水路の閉塞時の降水事象が考えられるが、評価対象施設に有意な影響を及ぼし得る大雨に対しては、雨水が排水路に流れ込むことで、降下火砕物は除去されるため影響はない。なお、少量の降水に対しては有意な影響を及ぼさないと考えられる。

降下火砕物と積雪の重ね合わせの考え方について

「原子力発電所の火山影響評価ガイド」では、降雨・降雪などの自然現象は、降下火砕物等堆積物の静的負荷を著しく増大させる可能性があるとしており、降下火砕物による荷重評価では降下火砕物荷重が保守的となるよう湿潤状態を考慮している。また、冬季には積雪により湿潤状態以上の荷重が生じる可能性があることから、湿潤状態の降下火砕物に積雪を重ね合わせた評価を実施している。

重ね合わせる降雪量については自然現象の重ね合わせを考慮している建築基準法を参考とすると、同法では添付資料１のとおり多雪区域^{*1}においては暴風時あるいは地震時の荷重評価を実施する際、積雪の重ね合わせた評価を求めているが、多雪区域以外の区域においては積雪の重ね合わせを要求していない。

また、荷重を評価する際、風圧力や地震力を主たる荷重、重ね合わせる積雪荷重を従の荷重とし、従の荷重は稀に起こる積雪荷重ではなく平均的な積雪荷重としており、平均的な積雪荷重は短期積雪荷重の 0.35 倍としている。

同法を参考とすると東海第二発電所は多雪区域ではないことから積雪との重ね合わせを考慮する必要はなく、また、降下火砕物及び積雪はともに予見性があり緩和措置を講じる十分な時間猶予がある事象であるが、積雪により湿潤状態の降下火砕物以上の荷重の負荷が生じる可能性があることを踏まえ、同法の考え方（主と従の考え方）を参考として評価を実施する。

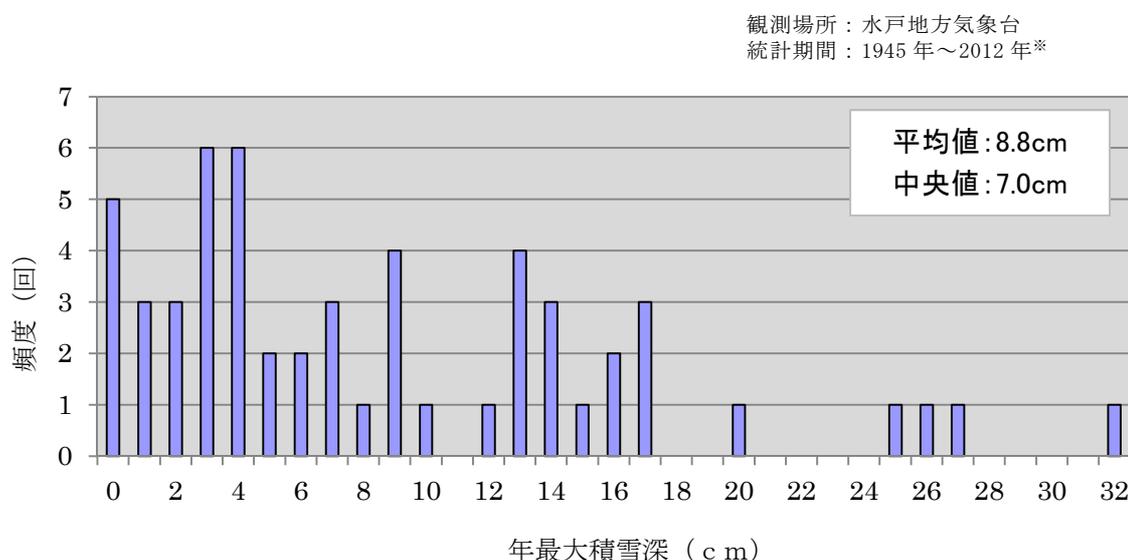
降下火砕物と積雪の重ね合わせにおいて、降下火砕物の荷重条件は積雪の荷重条件より厳しく、発生した際の荷重が比較的大きいことから、降下火砕物が主荷重となる。したがって、今回の評価においては降下火砕物を主の荷重、積

雪を従の荷重として評価を実施する。

従の荷重となる東海村における平均的な積雪量は、茨城県建築基準法施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）による東海村の垂直積雪量 30cm に 0.35 を乗じた 10.5cm となる。また、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を適用することは平均的な値として保守性を有していることを添付資料 2 に示す。

10.5cm は水戸地方気象台の年最大積雪深の平均値（1945 年～2012 年）と同等の値である。参考として積雪量のヒストグラムを図 1 に示す。

なお、念のため、より保守的な評価条件として水戸地方気象台の年最大積雪深の最大値である 32cm（1945 年～2012 年）を重ね合わせた場合においても添付資料 3 のとおり建屋及び設備に影響がないことを確認している。



※ 観測を行っていない年については統計から除外

図 1 積雪量ヒストグラム

※1 垂直積雪量が 1m を超える場合又は 1 年ごとの積雪の継続期間が 30 日を超える場合で、管轄の特定行政庁が規則で指定した区域（建築基準法より）

建築基準法における自然現象の組み合わせによる荷重の考え方

「建築物荷重指針・同解説(2004)」によると、建築基準法における組み合わせは、基本的には Turkstra の経験則^{※1}と同様の考え方であり、同経験則に従えば、考慮すべきは主たる荷重が最大を取る時点の荷重の組み合わせであり、従たる荷重の値としては、その確率過程的な意味での平均的な値を採用することができるとしている。

組み合わせは、一般には短期においてのみであり、固定荷重と積載荷重に組み合わせる自然現象による荷重は単独の「積雪」、「風」及び「地震」である。また、それらを組み合わせることはない。建築基準法における荷重の考え方を表 1 に示す。

表 1 建築基準法施行令からの抜粋

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 + 0.35 S + W
	地震時	G + P + K	G + P + 0.35 S + K

ここで、 G : 第 84 条に規定する固定荷重によって生ずる力
 P : 第 85 条に規定する積載荷重によって生ずる力
 S : 第 86 条に規定する積雪荷重によって生ずる力
 W : 第 87 条に規定する風圧力によって生ずる力
 K : 第 88 条に規定する地震力によって生ずる力

東海第二発電所は該当しないが、建築基準法では、その地方における垂直積雪量が1mを超える場合又は1年毎の積雪の継続時間が30日を超える場合は、管轄の特定行政庁が規定でその地方を多雪区域に指定するとともに、その地方における積雪荷重を規定している。一方、東海第二発電所が存在する多雪区域指定のない地域においては、暴風時及び地震時の積雪荷重に関する組み合わせを考慮する必要はないとされている。

構築物の構造計算にあたって考慮すべき積雪荷重として、次の4つの状態が設定されている。^{※2}

① 短期に発生する積雪状態

この状態に対する積雪荷重は、短期積雪荷重と呼ばれており、冬季の最大積雪として概ね3日程度の継続期間を想定した50年再現期待値として設定される値である。

$$S = d \cdot \rho$$

ここで、

S：短期積雪荷重 (N/m²)

d：垂直積雪量^{※3} (cm)

ρ：積雪の単位荷重^{※4} (N/cm/m²)

② 長期に発生する積雪状態

この状態に対する積雪荷重は、長期積雪荷重と呼ばれ、概ね3か月程度の継続期間を想定したものである。この荷重は多雪区域における建築物の構造計算を行うときにのみ用いられる荷重であり、その値は短期積雪荷重の0.7倍である。

③ 冬季の平均的な積雪状態

この状態は、多雪区域において積雪時に強い季節風等の暴風又は地震に襲われたときに想定するものである。この場合の荷重・外力を「主の荷重」と「従の荷重」に区分すると、風圧力又は地震力を「主の荷重」、積雪荷重を「従の荷重」とみなすことができる。「従の荷重」として想定する積雪はその地方における冬季の平均的な積雪で、①項の短期積雪荷重の 0.35 倍である。

④ 極めて稀に発生する積雪状態

この状態に対する積雪荷重は、構築物が想定すべき最大級の荷重として、①項の短期積雪荷重の 1.4 倍である。

※1 基準期間中の最大値はある荷重（主荷重）の最大値とその他の荷重（従荷重）の任意時刻における値との和によって近似的に評価できるとするもの

※2 「2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書」

※3 東海村における垂直積雪量は 30cm（茨城県建築基準法施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）より）

※4 積雪量 1cm あたり 20N/m²（建築基準法より）

建築基準法における平均的な積雪量について

建築基準法において従の荷重として積雪を重ね合わせる場合、その積雪量(荷重)は、その地方における冬季の平均的な積雪量であり、短期積雪荷重の 0.35 倍としている。

平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 については、有識者によりその妥当性が考察されており、それらの結果を踏まえ、「建築物荷重指針・同解説(2004)」では、暴風時または地震時において組み合わせるべき雪荷重の値として、表 1 のとおり積雪期間 3 ヶ月以上の地点では 0.3 を推奨しており、積雪期間が 1 ヶ月以上 3 ヶ月未満の場合は、積雪期間に応じて直線補正すればよいとしている。

表 1 組み合わせ荷重のための係数

積雪期間	1 ヶ月未満	1 ヶ月以上 3 ヶ月未満	3 ヶ月以上
係数	0	積雪期間に応じて 直線補正	0.3

上記考察の一例として神田^{*1}により、積雪深の推移過程を矩形と仮定して、許容応力度設計下で風荷重または地震荷重と組み合わせる時の荷重係数が試算されている。そこでは、積雪期間を 3 ヶ月、平年の積雪深(年最大積雪深の平均値)を 50 年期待値の 1/2(年最大積雪深の平均値=0.5)としたときの荷重係数は、0.2~0.36 になることが得られており、比較的積雪深が大きく積雪期間が長い場合には 0.35 を用い、積雪深、期間に応じて 0.1 以下程度まで低減して用いることが合理的であるとされている。

神田の評価手法に水戸地方気象台の観測データ等(積雪期間を 1 ヶ月^{*2}、平

年の積雪深を 50 年期待値の 0.35^{※3)} を当てはめてみると、荷重係数は 0.05～0.19 となる。

※1 神田 順：雪荷重用荷重組合せ係数に関する一考察，日本建築学会大会学術講演梗概集 B, pp, 127-128, 1990

※2 気象庁 HP より，雪日数（雪が降った日）の最大値は 32 日であり，保守的に積雪期間として設定

※3 年最大積雪深の平均値（10.5cm）／50 年期待値（30cm）＝0.35

なお，30cm は茨城県建築基準法施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）における東海村の垂直積雪量

水戸地方気象台の年最大積雪深の最大値を重ね合わせた評価結果

1. 荷重条件

積雪量：32cm（水戸地方気象台の年最大積雪深の最大値（1941年～2012年））

積雪荷重 = $32\text{cm} \times 20\text{N}/\text{m}^2/\text{cm} = 640\text{N}/\text{m}^2$

降下火砕物荷重 = $0.4\text{m} \times 1,500\text{kg}/\text{m}^3 \times 9.80665\text{m}/\text{s}^2 = 5,884\text{N}/\text{m}^2$

重ね合わせた荷重 = $5,884\text{N}/\text{m}^2 + 640\text{N}/\text{m}^2 = 6,524\text{N}/\text{m}^2$

2. 評価結果

(1) 建屋

表1に示すとおり許容堆積荷重の余裕は、降下火砕物等による堆積荷重を上回っているため、原子炉建屋等へ影響を及ぼすことはない。

表1 積載荷重の余裕と降下火砕物等荷重の比較^{注1}

評価対象	評価部位	許容堆積荷重 [N/m ²]	降下火砕物等荷重 [N/m ²]
原子炉建屋	屋根トラス	12,000	6,524
タービン建屋	屋根トラス	9,200	
使用済燃料乾式 貯蔵建屋	屋根トラス	48,000	

注1 東海第二発電所の立地地域は、建築基準法施行令に基づく地震荷重と積雪荷重の組み合わせを要しない地域であり、降下火砕物の堆積は積雪頻度と同等以下であることから、地震荷重との組み合わせは考慮しない。ただし、降下火砕物の除去による堆積荷重の提言は速やかに実施する。

(2) 設備

表 2 に示すとおりディーゼル発電機吸気口，海水ポンプ及び海水ストレーナの評価値は，許容値と比較し十分小さく，機能に影響を及ぼすことはない。

表 2 評価結果

設備		部位	応力の種類	評価値 [MPa]	許容値※ [MPa]	裕度
海水ポンプ	残留熱除去	モータ	圧縮	2.30	229	102
	ディーゼル発電機	フレーム		0.56	240	428
海水ストレーナ	残留熱除去	支持脚	圧縮	2.63	184	69
	ディーゼル発電機			1.65	184	111
ディーゼル発電機吸気口		支持脚	圧縮	0.58	229	394

※ 許容値は，JEAG4601-1987 における「その他の支持構造物」のⅢ_AS の許容応力に基づく。

原子力発電所で使用する塗料について

炭素鋼，低合金鋼及びステンレス鋼の機器，配管，制御盤及びダクト等の屋外設備の外表面に対する塗装には，耐食性等を考慮した塗料を使用している。

屋外設備については，海塩粒子等の腐食性有害物質が付着しやすく，厳しい腐食環境にさらされるため，エポキシ樹脂系等の塗料が複数層で塗布されている。エポキシ樹脂系は，耐薬品性が強く，酸性物質を帯びた降下火砕物が付着，堆積したとしても，直ちに金属表面の腐食が進むことはない。

また，海水ポンプ，海水配管等の海水と直接接する系統については，ポリエチレン系やゴム系等のライニングが施されている。

したがって，降下火砕物の屋外設備への付着や堆積及び海水系等への混入により，直ちに金属表面の腐食が進むことはない。

表1 東海第二発電所の使用塗料の例

設備名称	塗料の系統		
	下塗り	中塗り	上塗り
・原子炉建屋 （附属棟含む） ・タービン建屋	変性エポキシ樹脂系	ウレタンゴム系	ポリウレタン樹脂系
・使用済燃料乾式 貯蔵建屋	ウレタンゴム系	ウレタンゴム系	ウレタンゴム系
・ディーゼル発電機 吸気フィルタ	—	—	フタル酸樹脂系
・海水ポンプ	エポキシ樹脂系	塩化ゴム系	塩化ゴム系
・海水ストレナ	エポキシ樹脂系	塩化ゴム系	塩化ゴム系

降下火砕物の金属腐食研究について

桜島降下火砕物による金属腐食研究成果を東海第二発電所における降下火砕物による金属腐食の影響評価に適用する考え方について、以下に示す。

1. 適用の考え方

降下火砕物による金属腐食については、主として火山ガス(SO_2)が付着した降下火砕物の影響によるものである。

降下火砕物による腐食影響において引用した研究文献「火山環境における金属材料の腐食」では、実降下火砕物である桜島降下火砕物を用いて、実際の火山環境に近い状態を模擬するため、高濃度の亜硫酸ガス(SO_2)雰囲気を保った状態で金属腐食試験を行なったものであり、降下火砕物の腐食成分濃度を高濃度で模擬した腐食試験結果であることから、東海第二発電所で考慮する火山についても本研究結果が十分適用可能と考える。

2. 研究文献「火山環境における金属材料の腐食」の概要

(1) 試験概要

「火山環境における金属材料の腐食（出雲茂人，末吉秀一他），防食技術 Vol. 39, pp. 247-253, 1990」によると、降下火砕物を水で洗浄し、可溶性の成分を除去した後、金属試験片に堆積させ、高濃度の SO_2 ガス雰囲気（150～200ppm）で、加熱（温度 40℃，湿度 95%を 4 時間），冷却（温度 20℃，湿度 80%を 2 時間）を最大

18回繰り返すことにより、結露、蒸発を繰り返し金属試験片の腐食を観察している。

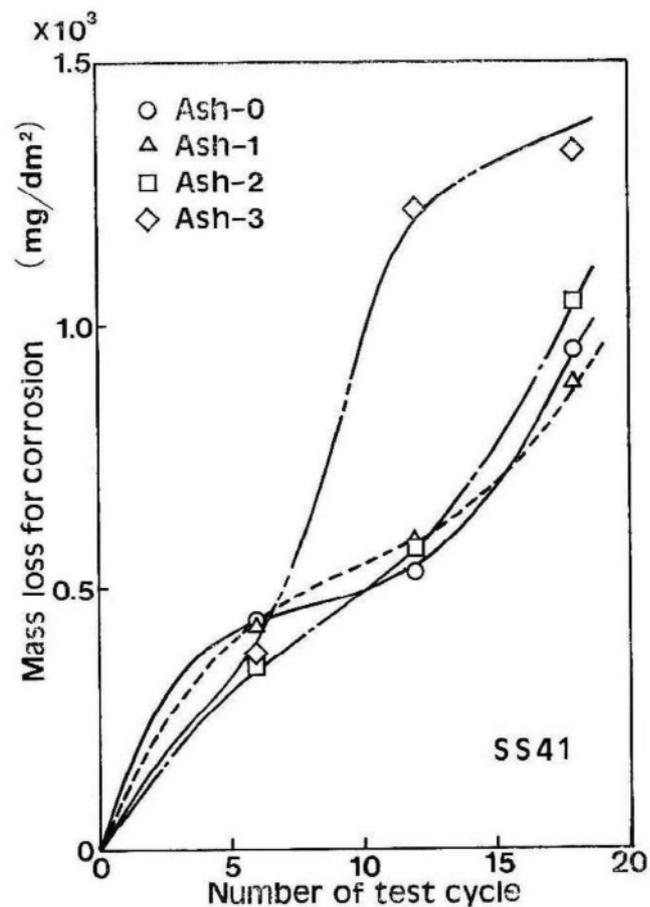
(2) 試験結果

図1に示すとおり、降下火砕物の堆積量が多い場合は、降下火砕物の堆積なし又は堆積量が少ない場合と比較して、金属試験片の腐食が促進されるが、腐食量は表面厚さにして十数 μm 程度との結果が得られ、降下火砕物層では結露しやすいこと並びに保水効果が大きいことにより腐食が促進されると結論づけられている。

(3) 試験結果からの考察

降下火砕物による腐食については、主として火山ガスが付着した降下火砕物の影響によるものであり、本研究においては、金属試験片の表面に降下火砕物を堆積させ、実際の火山環境を模擬して高濃度の SO_2 雰囲気中で暴露し、腐食実験を行っている。

腐食の要因となる火山ガスを常に高濃度の雰囲気に保った状態で行っている試験であり、自然環境に存在する降下火砕物よりも高い腐食条件*で金属腐食量を求めており、東海第二発電所で考慮する降下火砕物についても十分適用可能である。



- Ash-0 : 降下火砕物のない状態
- Ash-1 : 表面が見える程度に積もった状態
- Ash-2 : 表面が見えなくなる程度に積もった状態
- Ash-3 : 約 0.8mm の厚さに積もった状態

図 1 SS41 の腐食による質量変化

許容堆積荷重の考え方について

建屋の許容堆積荷重について、東海第二発電所は建設以降に屋根部の補強及び積載物の低減化を行っており、建設当時の設計荷重から変更が生じている。

よって、それらを反映した建屋のフレームモデルを用いて許容堆積荷重を算出した。

算出にあたっては、降下火砕物等の荷重に対して建屋の構造部材に発生する応力が弾性範囲内であることを確認するため、弾性限界となる荷重を耐荷重として許容堆積荷重を設定し、以下の方法で算出した。

- ① 建屋のフレームモデルを用いて、屋根部を構成する構造部材に発生する応力が材料強度による許容値となる荷重（ $VL_{s_{max}}$ ：耐荷重）を算出。
- ② 屋根部に作用する荷重として、常時作用する荷重（DL：固定荷重，LL：積載荷重）があるため、①で算出した荷重（ $VL_{s_{max}}$ ：耐荷重）から常時作用する荷重（DL：固定荷重，LL：積載荷重）を差し引いた値を許容堆積荷重として設定（有効数字2桁で切り下げ）。摩耗

【先行電力の考え方】

許容堆積荷重： $1.5VL - VL = 0.5VL$

・VL：設計上考慮する長期荷重（固定荷重，積雪荷重等）

・1.5：部材の許容応力度の比（短期／長期＝1.5）*

※建設基準法施行令

【東海第二発電所の考え方（原子炉建屋）】

許容堆積荷重： $VL_{s_{max}} - (DL + LL) = 12,000\text{N}/\text{m}^2$

- ・ $VL_{s_{max}}$ ：構造部材が負担できる最大の短期荷重(耐荷重)※
- ・DL：固定荷重(建築物を構成する部材の自重による荷重)
- ・LL：積載荷重(機器荷重, 配管荷重 等)

※平 12 建設省告示第 2464 に基づき, 鋼材の材料強度 F 値を 1.1 倍とした値

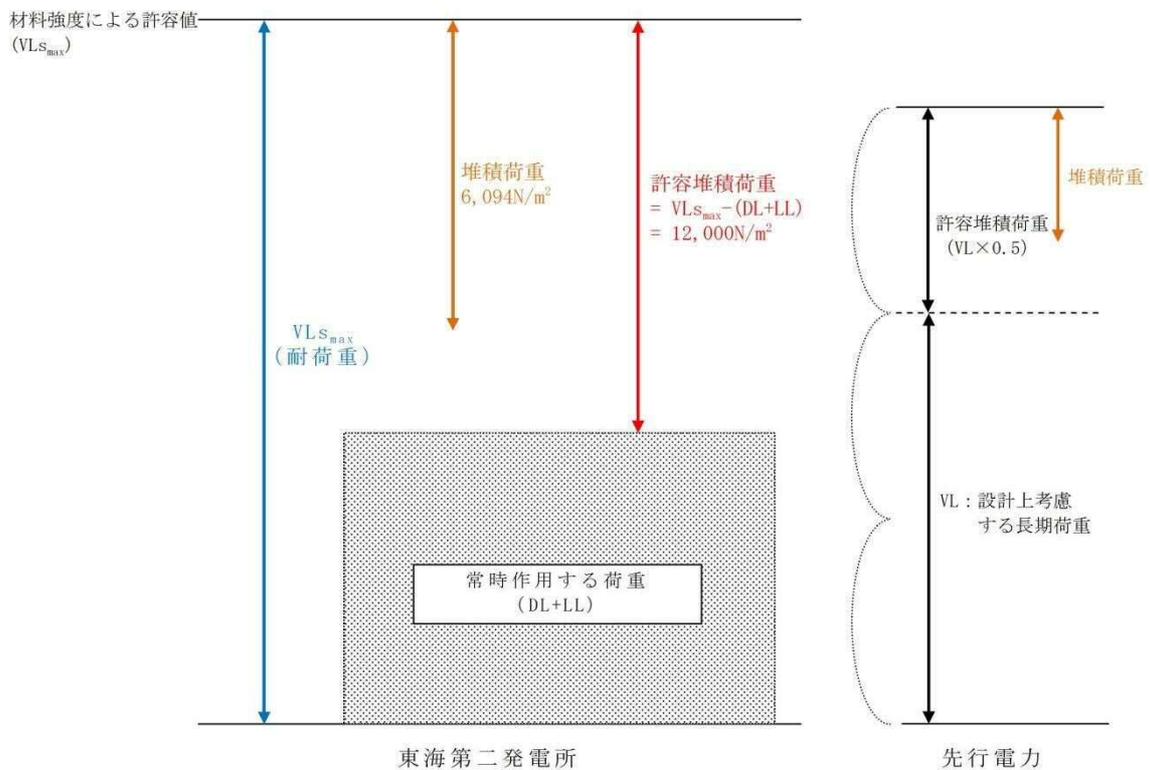


図 1 許容堆積荷重の考え方（原子炉建屋）イメージ図

粒径の大きな降下火砕物の取水路内への流入と影響について

海面に降下した粒径の大きい降下火砕物は、ある程度水分を含まなければ水面に浮くため、取水路前面にオイルフェンスを設置することにより、降下火砕物が取水路に流入することはない。

ただし、水分を含み、海水密度より重くなれば沈降し、取水路に侵入することも考えられるため、海水ストレーナのメッシュ径以上の粒径の降下火砕物について、沈降速度と取水路内の流速から到達距離を試算した。

降下火砕物の沈降速度は以下の式で与えられる。

$$\text{沈降速度} : W_f = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_w} \cdot \frac{(\rho_k - \rho_l)}{\rho_l} \cdot d_x}$$

G : 重力加速度[m/s²](9.80665)

C_w : 抵抗係数(0.44) ※¹

ρ_k : 降下火砕物の密度[g/cm³](1.06) ※²

ρ_l : 海水の密度[g/cm³](1.05) ※³

d_x : 降下火砕物の粒径[m] (0.0065) ※⁴

※ 1 : 粉体工学便覧第 2 編

※ 2 : 降下火砕物が湿潤し海水より重くなり沈むと想定される密度

※ 3 : 理科年表における海水密度

※ 4 : 海水ストレーナのメッシュ径と同じ粒径

以上より沈降速度を計算すると、

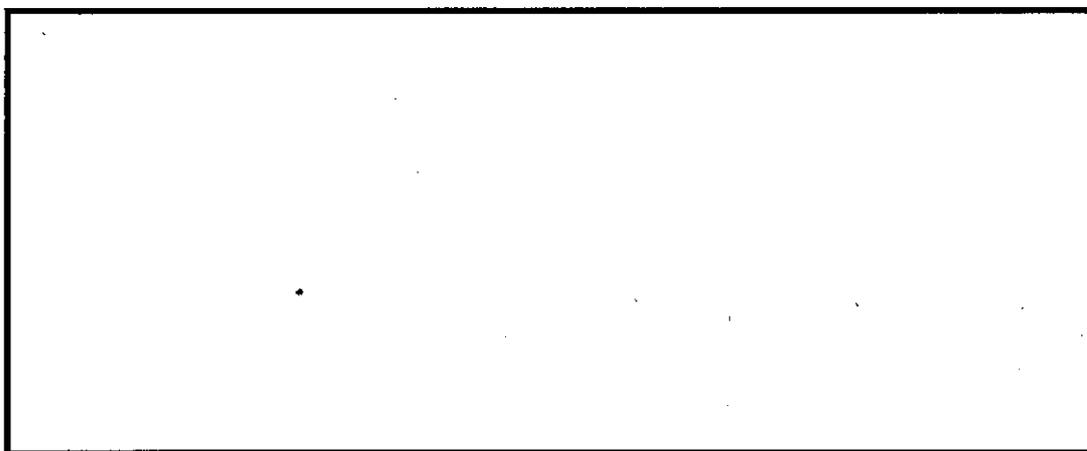
$$W_f = 0.043\text{m/s} \text{ ①}$$

一方、取水路内流速は残留熱除去系海水ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプの運転時は外部電源喪失等の影響により循環水ポンプは停止していると想定され、その場合の取水路内流速は低水位時の 0.019m/s ② であることから、①、②より

$$\text{到達距離} : \text{低水位} : 5.15\text{m} \div 0.043\text{m/s} \times 0.019\text{m/s} = 2.28\text{m}$$

降下火砕物の到達距離=2.28m< (取水路入口から海水ポンプまでの距離) となることから、粒径の大きな降下火砕物は取水路に流入するが、途中で降下し取水路内に沈殿する結果となった。

以上より、海水ストレーナのメッシュ径以上の粒径の降下火砕物については、取水路内に沈殿し海水ポンプへ到達するものは極めて少ないと考えられ、海水ポンプ及び海水ストレーナへの影響は少ないと考えられる。



給水処理設備に係る影響評価について

水質汚染については、工業用水に降下火砕物が混入することによる汚染が考えられる。

図 1 に示すとおり、給水に使用する工業用水はろ過装置、純水装置を経て純水貯蔵タンクに供給される。ろ過水貯蔵タンクに貯留された水は飲料水及び雑用水に供給されるが、降下火砕物襲来時に必要な構築物、系統及び機器は含まれていない。

純水貯蔵タンクに貯留された純水は補給水系に供給され、復水貯蔵タンク及びほう酸水注入系等へ給水されるが、何れも、点検時の水張りや系統内でリークが生じた際に補給等が必要になるもので、降下火砕物襲来時に補給が必要ではなく、水質汚染はプラントの安全機能に影響を及ぼさない。

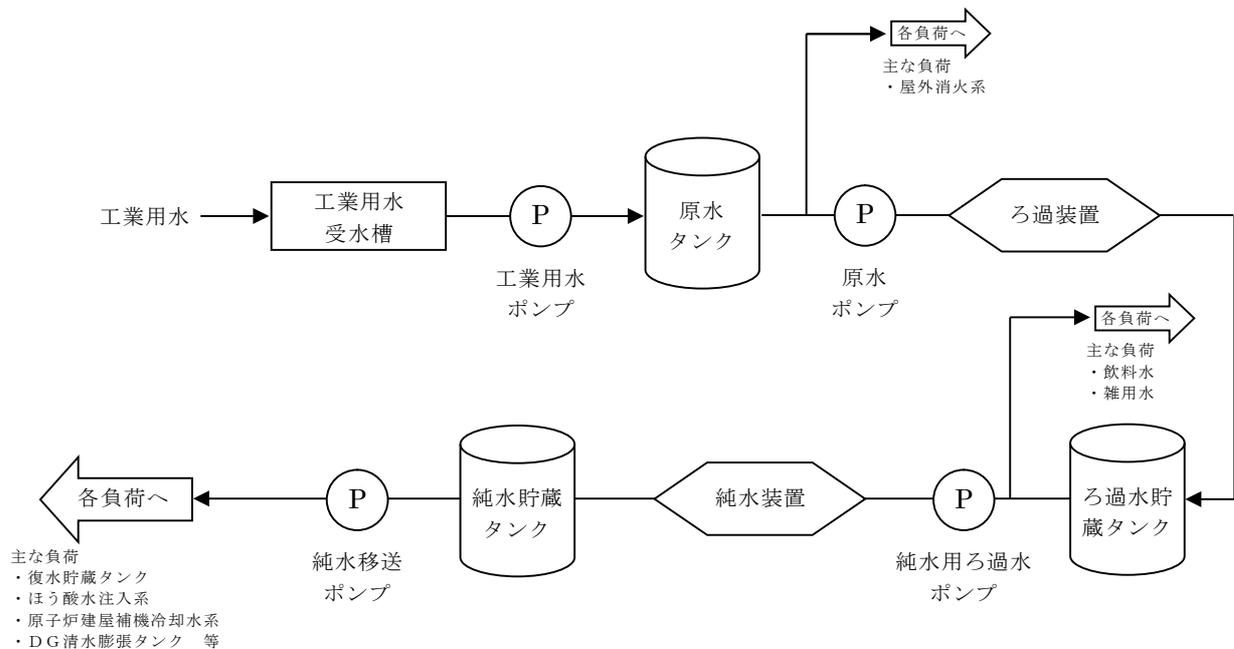


図 1 外部から供給される水源の概略系統図

非常用ディーゼル発電機吸気フィルタの閉塞について

非常用ディーゼル発電機の吸気は吸気フィルタ（粒径 5～75 μm 程度において約 56%以上捕集可能であり粒径が大きいほど捕集率が上がる）を介して吸入しているため、降下火砕物の侵入による非常用ディーゼル発電機への影響は小さいと考えられる。なお、非常用ディーゼル発電機の吸気フィルタは、個別評価－7に示すとおり下方から吸気する構造となっており、降下火砕物により容易に閉塞しないものであると考えられるが、万一閉塞した場合の影響について、以下のとおり評価する。

1. 閉塞までに要する時間について

以下の想定における非常用ディーゼル発電機の吸気フィルタの閉塞までの時間を試算した。降下火砕物の大気中濃度には、比較的噴火規模が大きく、地表レベルでの観測データがあるアイスランド南部エイヤヒャトラ氷河で発生した火山噴火の際のヘイマランド地区の濃度値（3,241 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を用いるが、米国セントヘレンズ火山噴火の際の濃度値（33,400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を用いた場合についても試算した。

(1) アイスランドの火山噴火データを用いた試算

表1より、吸気フィルタの閉塞時間を試算した結果、約73時間となった。

表1 吸気フィルタ閉塞までの時間

①非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ捕集容量[g/m ²]	1,580
②非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ表面積[m ²]	2.9
③非常用ディーゼル発電機吸気フィルタでのダスト捕集量[g] =①×②	4,582
④降下火砕物の大気中濃度[μg/m ³]	3,241*
⑤非常用ディーゼル発電機吸気流量[m ³ /h]	19,200
⑥閉塞までの時間[h] =③/④/⑤	73.6

※アイスランド南部エイヤヒャトラ氷河で2010年4月に発生した火山噴火地点から約40km離れたヘイマランド地区における大気中の降下火砕物濃度(24時間観測のピーク値)

(2) セントヘレンズの火山噴火データを用いた試算

表2より、吸気フィルタの閉塞時間を試算した結果、約7時間となった。

表2 吸気フィルタ閉塞までの時間

①非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ捕集容量[g/m ²]	1,580
②非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ表面積[m ²]	2.9
③非常用ディーゼル発電機吸気フィルタでのダスト捕集量[g] =①×②	4,582
④降下火砕物の大気中濃度[μg/m ³]	33,400*
⑤非常用ディーゼル発電機吸気流量[m ³ /h]	19,200
⑥閉塞までの時間[h] =③/④/⑤	7.14

※米国セントヘレンズ火山で発生(1980年5月)した火山噴火地点から約135km離れた場所における大気中の火山灰濃度(1日平均値)

2. フィルタ交換に必要な時間について

フィルタ交換は下記に示すとおり、複雑な作業が必要はなく、フィルタ交換に要する時間は要員4名で3時間程度を見込んでいる。また、予めフィルタを取り付けたフィルタエレメントの予備品を持つことによりフィルタ清掃の手間を省くことができ、さらなる交換時間の短縮が可能である。なお、吸気フィルタは1系統につき2基設置されている。

【吸気フィルタ交換手順：1基あたり約90分】

- a. フィルタエレメント吊上げ用治具を設置する（約5分）
- b. フィルタケーシングの上蓋を開放する（約10分）
- c. フィルタケーシングからフィルタエレメント抜き出す（約25分）
- d. フィルタエレメントの内部確認及び清掃を行う（約30分）
- e. フィルタエレメントを挿入する（約15分）
- f. フィルタケーシングの上蓋を復旧する（約5分）

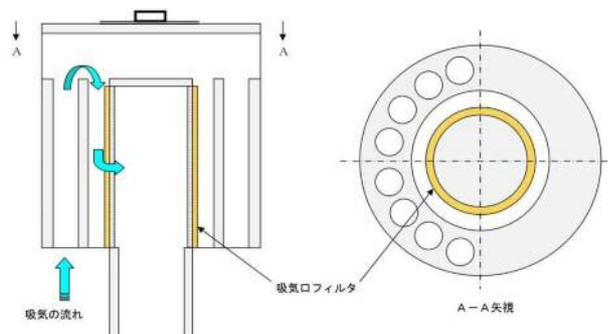


図1 非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ 概略図

3. まとめ

非常用ディーゼル発電機は2系統設置されていることから、フィルタが閉塞するような場合には、必要に応じ片系列を停止しフィルタを交換することが可能である。

アイスランド火山を用いる基本的考え方と
セントヘレンズ火山による影響評価について

東海第二発電所において、フィルタ閉塞の評価対象となる施設は、ディーゼル発電機吸気口フィルタ、換気空調設備のフィルタ（外気取入口）が該当するが、ディーゼル発電機吸気口フィルタについては吸気口が下向きに設置されており、降下火砕物が内部に侵入し難い構造となっている。また、換気空調設備については降下火砕物が確認された場合には空調の停止や外気取入口のダンパを閉止する運用としており、フィルタへの降下火砕物の付着を抑制できる設計となっている。

この前提のもと、降下火砕物によるフィルタ閉塞に対する評価に当たっては、参考としてアイスランド南部エイヤヒャトラ氷河で発生（2010年4月）した火山噴火地点から約40km離れたヘイマランド地区において観測された大気中の降下火砕物濃度のピーク値 $3,241\mu\text{g}/\text{m}^3$ を用いている。

これは、

- ①比較的規模が大きい噴火であること（VEI4以上）
- ②原子炉施設が設置されている地表レベルで観測された降下火砕物の大気中濃度がデータとして存在すること

という条件に照らして、学会誌等の関係図書を確認したところ、上記のアイスランド南部のエイヤヒャトラ氷河で発生した大規模噴火における噴火口より約40km離れた地域での地表における大気中濃度を参照したものである。

また、東海第二発電所で想定する降下火砕物の給源となる火山については、赤城山などいずれも発電所から40km以遠にある（第四紀火山のうち発電所から最も近い火山は約88km離れた高原山）ことから、参照したアイスランド火山の観測データは噴火口からより近距離の観測データである。

なお、噴火口からの観測地点の距離が135kmであるセントヘレンズ火山噴火の観測データ（観測濃度：33,400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）について、当該濃度による影響評価を以下のとおり行った。

各施設のフィルタが閉塞するまでの時間は、ディーゼル発電機吸気口フィルタが約7時間、換気空調設備のフィルタで約4時間となる。フィルタ交換に要する時間はディーゼル発電機吸気口フィルタで約3時間程度である。換気空調設備のフィルタについても、外気取入を約51時間停めることができるため、その間にフィルタ交換が可能であり、セントヘレンズ火山の濃度を用いて評価を行った場合でも影響が生じることはない。

なお、ディーゼル発電機吸気口フィルタは下方から吸い込むことにより降下火砕物が侵入しにくい構造としているが、上記試算ではこうした点を考慮せず、しかも大気中に存在する降下火砕物を粒子径に関係なく全量がフィルタに捕集されることを前提とした計算となっているため、実際は吸気口フィルタが閉塞するまでの時間にはさらに余裕があると考えられること、さらに、換気空調設備のフィルタに関しては、フィルタを通過する降下火砕物は細かな粒子ではあるが、降下火砕物が建屋内へ侵入することを抑制するため、降下火砕物が確認された時点で空調停止やダンパ閉止の運用により影響防止を図ることとし

ており、機能に影響を及ぼすことはないと考えます。

また、上記以外の大気中の降下火砕物濃度に関する知見として、電力中央研究所及び国立研究開発法人産業技術総合研究所にて以下のとおり報告がされている。本報告書で報告されている降下火砕物濃度に対して以下のとおり見解を示す。

電力中央研究所が公開した「数値シミュレーションによる降下火山灰の輸送・堆積特性評価法の開発（その2）－気象条件の選定法およびその関東地方での堆積量・気中濃度に対する影響評価－」（H28.4）の研究は、火山灰の性状に対して影響が大きい風速・風速分布の特徴に注視した気象条件の設定法の検討、火山灰の性状への噴火・気象条件の影響を把握することを目的として実施したものである。

本論文で使用している「FALL3D」による数値シミュレーション手法については、今後更なる研究・開発を進め、将来的に発電所敷地での大気中の火山灰濃度を求める計算手法の確立を目指しているが、シミュレーションで用いられている噴煙柱モデルでは、噴出量が過大との報告がされた。また、バグの存在が確認されており、現在のところ研究・開発段階と評価する。

上記に加え、本論文で公表した富士山宝永噴火の数値シミュレーション結果に記載されている大気中濃度（ $10^{-1} - 10^{-0} \text{ g/m}^3$ ）については、実測データとの検証を踏まえた計算結果ではなく、種々の仮定を前提に実施した研究結果であり、現段階では原子力発電所の安全評価において火山灰の大気中濃度として用いることはできない。

国立研究開発法人産業技術総合研究所が公開した「吸気フィルタの火山灰目詰試験」（H28.4）の研究は、供試フィルタに火山灰を供給し

てフィルタの性能変化を確認する目的として実施したものである。試験は、日本工業規格 J I S B 9908「換気用エアフィルタユニット・換気用電気集じん器の性能試験方法」に準拠した方法で実施され、試験で供給した火山灰濃度は、当該 J I S 規格の試験条件である粉じん濃度の $70\text{mg}/\text{m}^3$ 及びその10倍、100倍の濃度となっているが、試験条件の一例として示されている値であり、原子力発電所の安全評価に用いるものではないと考える。

なお、降下火砕物の影響については、安全機能を損なわない設計であることを確認しているが、原子炉施設へ影響を及ぼす可能性があるような知見に対しては、適切に対応することで更なる安全性向上に向けた取り組みを着実にやっていくこととする。

降下火砕物のその他設備への影響評価について

降下火砕物のその他設備への影響について、以下のとおり評価する。

1. 評価対象設備

降下火砕物の影響を受ける可能性のあるその他設備について評価を実施する。

- (1) モニタリング設備
- (2) 消火設備
- (3) 通信連絡設備
- (4) 緊急時対策所

2. 評価結果

(1) モニタリング設備

モニタリング設備の検出器は、図1のとおり半球型の構造であり降下火砕物が堆積し難い構造である。

したがって、降下火砕物によりモニタリング設備の機能に影響を及ぼすことはない。



図1 モニタリング設備検出器

(2) 消火設備

電動消火ポンプ及びディーゼル駆動消火ポンプは屋内（タービン建屋）に設置されている。それらが設置されている部屋の給気設備は図2のとおり開口部が横方向でありルーバーが設置されているため、降下火砕物は侵入し難い構造となっている。また、ディーゼル駆動消火ポンプの排気管については、図3のとおり、開口部が横方向であり、降下火砕物は侵入し難い構造となっている。

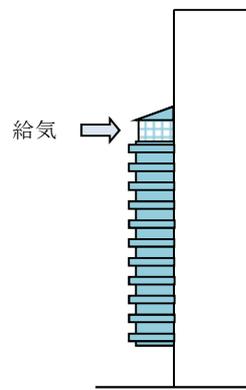


図2 ディーゼル駆動消火ポンプ室給気口

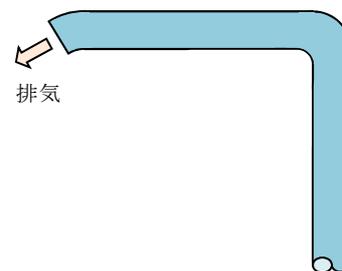
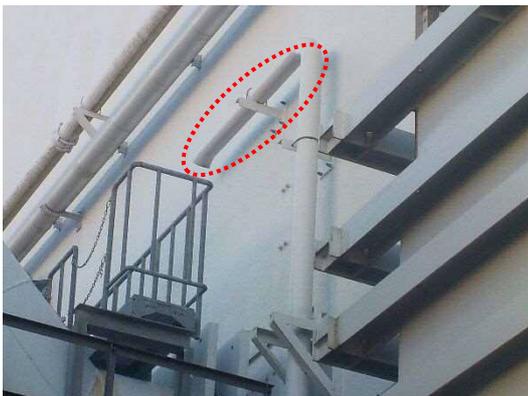


図3 ディーゼル駆動消火ポンプ排気管

(3) 通信連絡設備

通信連絡設備は、表1のとおり多様化を図っており、降下火砕物の影響によりすべての通信機能を喪失することは考え難い。

表1 主な通信設備

発電所外通信連絡設備	発電所内通信連絡設備
<ul style="list-style-type: none">・電力保安通信用電話設備・衛星電話設備・加入電話・テレビ会議システム・統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備	<ul style="list-style-type: none">・電力保安通信用電話設備・衛星電話設備・無線連絡設備・運転指令設備・携行型有線電話設備

(4) 緊急時対策所

緊急時対策所については、降下火砕物等の荷重に対して、健全性を損なわない設計とする。

また、大気汚染に対する居住性の観点から、外気取入遮断時の緊急時対策所の居住環境について、「空気調和・衛生工学便覧 第13版 第5編 空気調和設備設計」に基づき、酸素濃度及び炭酸ガス濃度について評価した。

a. 酸素濃度

【評価条件】

- ・在室人数：100人（緊急時対策本部に収容する最大の対策要員数）
- ・緊急時対策所バウンダリ内体積：2,900m³（基本設計値）
- ・空気流入はないものとする。
- ・初期酸素濃度：20.95%
- ・1人あたりの呼吸量は、歩行時の呼吸量を適用して、24L/minとする。
- ・1人あたりの酸素消費量は、呼気の酸素濃度16.40%から65.52L/

hとする。

- ・管理濃度は19%以上とする。(鉱山保安法施行規則)

【評価結果】

表1 緊急時対策所における酸素濃度の時間変化

時間	2時間	4時間	6時間	8.6時間	管理値
酸素濃度	20.4%	20.0%	19.5%	19.0%	19.0%

b. 炭酸ガス濃度

【評価条件】

- ・在室人数：100人（緊急時対策本部に収容する最大の対策要員数）
- ・緊急時対策所バウンダリ内体積：2,900m³（基本設計値）
- ・空気流入はないものとする。
- ・初期炭酸ガス濃度 0.03%
- ・1人あたりの炭酸ガス吐出量は、中等作業での吐出量を適用して0.046m³/hとする。
- ・管理濃度は1.0%未満とする。(鉱山保安法施行規則)

【評価結果】

表2 緊急時対策所における炭酸ガス濃度

時間	1時間	2時間	4時間	6.1時間	管理値
炭酸ガス濃度	0.19%	0.35%	0.67%	1.00%	1.00%

以上の結果から、緊急時対策所において、外気取入を遮断した場合においても6時間程度の居住性が確保される結果となった。なお、本評価は保守的に外気取入を遮断して評価しているが、間欠して外気を取り入れることで、緊急時対策所の居住性がより長時間維持される。

観測された諸噴火の最盛期における噴出率と継続時間について

富士山（宝永噴火1707年）の噴出は、断続的に16日間継続している。

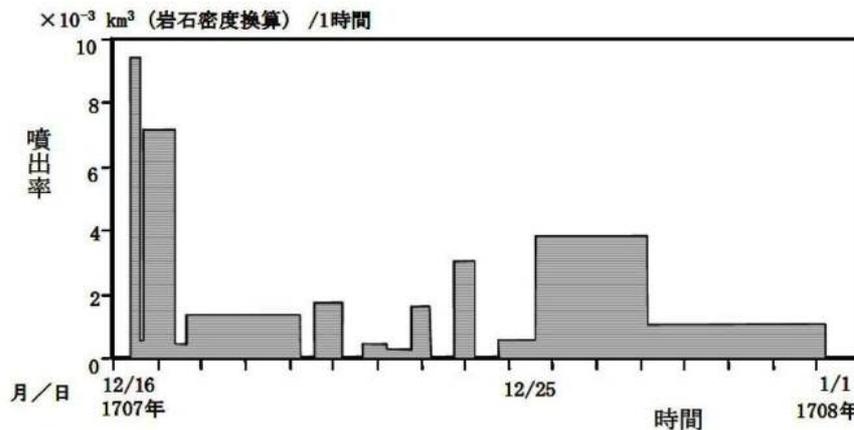


図1 富士山（宝永噴火 1707 年）の噴出率の推移（宮地 他（2002））

火山観測データが存在する最近の観測記録では、噴火の継続時間は殆どが数時間程度であり、長いものでも 36 時間程度である。

表 1 観測された諸噴火の最盛期における噴出率と継続時間

噴火年 (地域名)	噴煙柱高度 (km)	噴出率 (m ³ /s)	継続時間 (h)
Pinatubo 1991 (フィリピン)	35	250,000	9
Bezymianny 1956 (カムチャツカ)	36	230,000	0.5
Santa Maria 1902 (グアテマラ)	34	17,000-38,000	24-36
Hekla 1947 (アイスランド)	24	17,000	0.5
Soufriere 1979 (西インド諸島)	16	6,200	9
Mt. St. Helens 1980 (アメリカ合衆国)	18	12,600	0.23
伊豆大島 1986 (伊豆)	16	1,000	3
Soufriere 1902 (西インド諸島)	14.5-16	11,000-15,000	2.5-3.5
Hekla 1970 (アイスランド)	14	3,333	2
駒ヶ岳 1929 (北海道)	13.9	15,870	7
有珠山 1977-I (#)	12	3,375	2
Fuego 1971 (グアテマラ)	10	640	10
桜島 1914 (九州)	7-8	4,012	36
三宅島 1983A-E (伊豆)	6	570	1.5
Heimaey 1973 (アイスランド)	2-3	50	8.45
Ngauruhoe 1974 (ニュージーランド)	1.5-3.7	10	14

バグフィルタの取替手順について

換気空調系の外気取入口のバグフィルタの取換作業を行う際は、対象となる系統の運転を停止し、ダンパを閉め、系統を隔離してから行う。また、バグフィルタの取替作業は建屋（ガラリ）内で行うため、降下火砕物の影響を受けにくい。

バグフィルタ取替作業時は、作業前に建屋（ガラリ）内を養生し、作業後は清掃を行う。

これらに加え、バグフィルタ交換を行う場合、以下の対応を行う。

- ・フィルタの取替作業は建屋（ガラリ）内で行うが、降下火砕物の影響を考慮し保護具（マスク、めがね）を装備する
- ・取替作業終了後は降下火砕物の再浮遊の影響を低減させるため、作業エリアの清掃を行う。

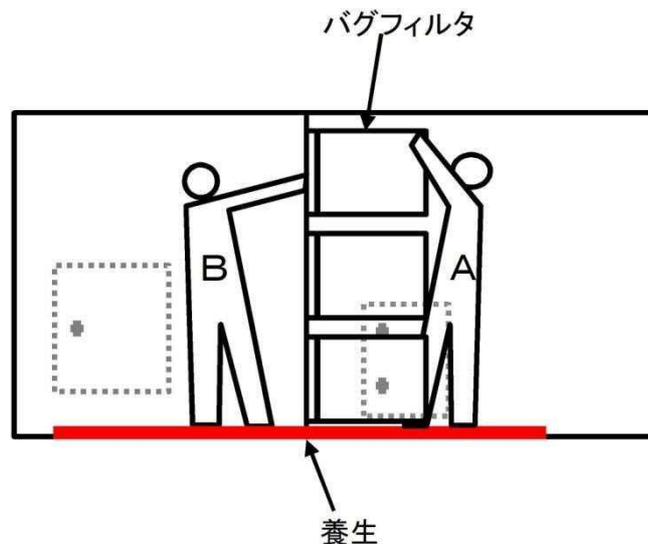


図1 バグフィルタ取替作業イメージ

降下火砕物の除去に要する時間について

降下火砕物の除去に要する時間について，土木工事の人力作業を参考に評価した結果を以下に示す。

1. 評価条件

堆積面積 1m^3 あたりの作業人工等の評価条件を表 1 に示す。

表 1 降下火砕物の除去に要する時間の評価条件

項目		評価条件
①堆積面積 (m^2)	原子炉建屋 (附属棟含む)	約4,490
	タービン建屋	約7,320
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	約1,400
	合計	約13,210
②堆積厚さ (m)		0.40
③堆積量 = ① × ② (m^3)		5,284
④ 1m^3 あたりの作業人工*		0.39

※：「国土交通省土木積算基準 (H24)」における人力掘削での人工

2. 評価結果

降下火砕物の除去に要する作業量は以下のとおり。

$$0.39 \text{ 人/日} \cdot \text{m}^3 \times 5,284\text{m}^3 = \text{約 } 2,061 \text{ 人日}$$

以上の結果から，降下火砕物の除去に人員を 100 人動員した場合，3 週間ほどで降下火砕物を除去できる。また，人員を増やすことによりさらに期間の短縮が可能である。

火山影響評価ガイドとの整合性について

原子力発電所の火山影響評価ガイドと降下火砕物に対する設備影響の評価の整合性について、以下の表に示す。

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所 火山影響評価
<p>1. 総則</p> <p>本評価ガイドは、原子力発電所への火山影響を適切に評価するため、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出、抽出された火山の火山活動に関する個別評価、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価のための方法と確認事項をとりまとめたものである。</p> <p>1. 1 一般</p> <p>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」第6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。）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としており、敷地周辺の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして、火山の影響を挙げている。</p> <p>火山の影響評価としては、最近では使用済燃料中間貯蔵施設の安全審査において評価実績があり、2009年に日本電気協会が「原子力発電所火山影響評価技術指針」（JEAG4625-2009）を制定し、2012年にIAEAがSafety Standards “Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” (No. SSG-21)を策定した。近年、火山学は基本的記述科学から、以前は不可能であった火山システムの観察と複雑な火山プロセスの数値モデルの使用に依存する定量的科学へと発展しており、これらの知見を基に、原子力発電所への火山影響を適切に評価する一例を示すため、本評価ガイドを作成した。</p> <p>本評価ガイドは、新規基準が求める火山の影響により原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることの評価方法の一例である。また、本評価ガイドは、火山影響評価の妥当性を審査官が判断する際に、参考とするものである。</p> <p>1. 2 適用範囲</p> <p>本評価ガイドは、実用発電用原子炉及びその附属施設に適用する。</p> <p>1. 3 関連法規等</p> <p>本評価ガイドは、以下を参考としている。</p> <p>(1) 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年原子力規制委員会規則第5号）</p> <p>(2) 使用済燃料中間貯蔵施設の安全審査における「自然環境」の考え方について（平成20年10月27日原子力安全委員会了承）</p> <p>(3) 日本電気協会 「原子力発電所火山影響評価技術指針」（JEAG4625-2009）</p> <p>(4) IAEA Safety Standards “Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” (No. SSG-21, 2012)</p>	<p>1. はじめに</p> <p>原子力規制委員会の定める「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日原子力規制委員会規則第五号）」第6条において、外部からの衝撃による損傷防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）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としており、敷地周辺の自然現象を基に想定される自然現象の一つとして、火山の影響を挙げている。</p> <p>火山の影響により原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを評価するための「原子力発電所の火山影響評価ガイド」を参照し、以下のとおり火山影響評価を行い、安全機能が維持されることを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・立地評価 ・影響評価

原子力発電所の火山影響評価ガイド

2. 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の流れ

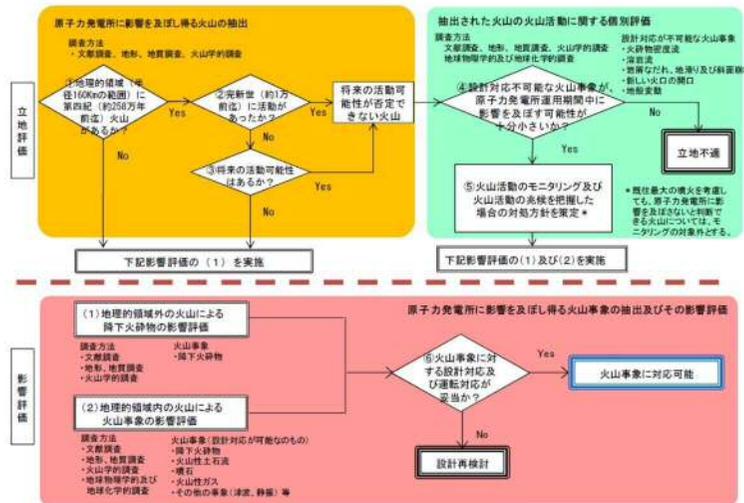
火山影響評価は、図1 に従い、立地評価と影響評価の2段階で行う。

立地評価では、まず原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出を行い、影響を及ぼし得る火山が抽出された場合には、抽出された火山の火山活動に関する個別評価を行う。即ち、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性の評価を行う。(解説-1)

影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された場合は、火山活動のモニタリングと火山活動の兆候把握時の対応を適切に行うことを条件として、個々の火山事象に対する影響評価を行う。一方、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所運用期間中に影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価されない場合は、原子力発電所の立地は不適と考えられる。

影響評価では、個々の火山事象への設計対応及び運転対応の妥当性について評価を行う。

解説-1. IAEA SSG-21 では、火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれ・地滑り及び斜面崩壊、新しい火道の開通及び地殻変動を設計対応が不可能な火山事象としており、本評価ガイドでも、これを適用する。



東海第二発電所 火山影響評価

2. 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の流れ (ガイドどおり)

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所 火山影響評価
<p>【立地評価】(項目名のみ記載)</p> <ul style="list-style-type: none">3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出3. 1 文献調査3. 2 地形・地質調査及び火山学的調査3. 3 将来の火山活動可能性 <ul style="list-style-type: none">4. 原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価4. 1 設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価4. 2 地球物理学的及び地球化学的調査 <ul style="list-style-type: none">5. 火山活動のモニタリング5. 1 監視対象火山5. 2 監視項目5. 3 定期的評価5. 4 火山活動の兆候を把握した場合の対処	<p>【立地評価】</p> <p>立地評価及び原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出の結果、降下火砕物(発電所敷地の層厚40cm)のみが東海第二発電所に影響を及ぼし得る火山事象であるという結果となった。</p> <p>よって、以降の評価は降下火砕物による影響評価について記す。</p>

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所 火山影響評価
<p>6. 原子力発電所への火山事象の影響評価</p> <p>原子力発電所の運用期間中において設計対応不可能な火山事象によって原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された火山について、それが噴火した場合、原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象を表1に従い抽出し、その影響評価を行う。</p> <p>ただし、降下火砕物に関しては、火山抽出の結果にかかわらず、原子力発電所の敷地及びその周辺調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火砕物が降下するものとする。なお、敷地及び敷地周辺で確認された降下火砕物で、噴出源が同定でき、その噴出源が将来噴火する可能性が否定できる場合は考慮対象から除外する。</p> <p>また、降下火砕物は浸食等で厚さが低く見積もられるケースがあるので、文献等も参考にして、第四紀火山の噴火による降下火砕物の堆積量を評価すること。(解説-14)</p> <p>抽出された火山事象に対して、4章及び5章の調査結果等を踏まえて、原子力発電所への影響評価を行うための、各事象の特性と規模を設定する。(解説-15)</p> <p>以下に、各火山事象の影響評価の方法を示す。</p> <p>解説-14. 文献等には日本第四紀学会の「日本第四紀地図」を含む。</p> <p>解説-15. 原子力発電所との位置関係について</p> <p>表1に記載の距離は、原子力発電所火山影響評価技術指針(JEAG4625)から引用した。JEAG4625では、調査対象火山事象と原子力発電所との距離は、わが国における第四紀火山の火山噴出物の既往最大到達距離を参考に設定している。また、噴出中心又は発生源の位置が不明な場合には、第四紀火山の火山噴出物等の既往最大到達距離と噴出物の分布を参考にしてその位置を想定する。</p> <p>例えば、噴出中心と原子力発電所との距離が、表中の位置関係に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があると考えられる。</p>	<p>【影響評価】</p> <p>6. 原子力発電所への火山事象の影響評価</p> <p>原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について、運用期間中の噴火規模を考慮し、敷地において考慮する火山事象として、降下火砕物の堆積量を評価した。</p> <p>考慮すべき降下火砕物の層厚は、地質調査及び文献調査結果から40cmとした。</p>

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所 火山影響評価
<p>6. 1 降下火砕物</p> <p>(1) 降下火砕物の影響</p> <p>(a) 直接的影響</p> <p>降下火砕物は、最も広範囲に及ぶ火山事象で、ごくわずかな火山灰の堆積でも、原子力発電所の通常運転を妨げる可能性がある。降下火砕物により、原子力発電所の構造物への静的負荷、粒子の衝突、水循環系の閉塞及びその内部における磨耗、換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的及び化学的影響、並びに原子力発電所周辺の大気汚染等の影響が挙げられる。</p> <p>降雨・降雪などの自然現象は、火山灰等堆積物の静的負荷を著しく増大させる可能性がある。火山灰粒子には、化学的腐食や給水の汚染を引き起こす成分（塩素イオン、フッ素イオン、硫化物イオン等）が含まれている。</p> <p>(b) 間接的影響</p> <p>前述のように、降下火砕物は広範囲に及ぶことから、原子力発電所周辺の社会インフラに影響を及ぼす。この中には、広範囲な送電網の損傷による長期の外部電源喪失や原子力発電所へのアクセス制限事象が発生しうることも考慮する必要がある。</p> <p>(2) 降下火砕物による原子力発電所への影響評価</p> <p>降下火砕物の影響評価では、降下火砕物の堆積物量、堆積速度、堆積期間及び火山灰等の特性などの設定、並びに降雨等の同時期に想定される気象条件が火山灰等特性に及ぼす影響を考慮し、それらの原子炉施設又はその附属設備への影響を評価し、必要な場合には対策がとられ、求められている安全機能が担保されることを評価する。（解説-16、17、18）</p>	<p>6. 1 降下火砕物</p> <p>(1) 降下火砕物の影響</p> <p>(a) 直接的影響</p> <p>降下火砕物は、最も広範囲に及ぶ火山事象で、ごくわずかな火山灰の堆積でも、原子力発電所の通常運転を妨げる可能性がある。原子力発電所の構造物への静的負荷（降雨等の影響を含む）、粒子の衝突等、降下火砕物が設備に影響を与える可能性のある因子を網羅的に抽出・評価し、その中から詳細に検討すべき影響因子を選定した。</p> <p>影響評価において必要となる降下火砕物の粒径及び密度については、地質調査及び文献調査を基に設定した。なお、降下火砕物の密度については、降雨の影響を考慮した。</p> <p>(b) 間接的影響</p> <p>降下火砕物は広範囲に及ぶことから、広範囲にわたる送電網の損傷による長期の外部電源喪失の可能性や原子力発電所への交通の途絶の可能性も考慮し、間接的影響を確認した。</p> <p>(2) 降下火砕物による原子力発電所への影響評価</p> <p>降下火砕物の影響評価を考慮すべき施設（評価対象施設）としては、重要安全施設のうち、屋外の構築物、系統及び機器、または、屋外設置であるが屋外に開口している設備を抽出し、評価対象施設としている。ただし、その構築物、系統及び機器であっても、機能喪失することで、当該施設の運転に影響を及ぼす場合は評価対象施設として抽出する。なお、建物については、クラス1及びクラス2の安全施設、及びその機能に影響を及ぼし得る建物を評価対象施設として抽出した。</p> <p>抽出した評価対象施設について影響を評価し、原子炉施設の安全性を損なわないことを確認した。</p>

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所 火山影響評価
<p>(3) 確認事項</p> <p>(a) 直接的影響の確認事項</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 降下火砕物堆積荷重に対して、安全機能を有する構築物、系統及び機器の健全性が維持されること。 ② 降下火砕物により、取水設備、原子炉補機冷却海水系統、格納容器ベント設備等の安全上重要な設備が閉塞等によりその機能を喪失しないこと。 ③ 外気取入口からの火山灰の侵入により、換気空調系統のフィルタの目詰まり、非常用ディーゼル発電機の損傷等による系統・機器の機能喪失がなく、加えて中央制御室における居住環境を維持すること。 ④ 必要に応じて、原子力発電所内の構築物、系統及び機器における降下火砕物の除去等の対応が取れること。 <p>(b) 間接的影響の確認事項</p> <p>原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。</p> <p>解説-16. 原子力発電所内及びその周辺敷地において降下火砕物の堆積が観測されない場合は、次の方法により堆積物量を設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 類似する火山の降下火砕物堆積物の情報を基に求める。 ✓ 対象となる火山の噴火量、噴煙柱高、全体粒度分布、及びその領域における風速分布の変動を高度及び関連パラメータの関数として、原子力発電所における降下火砕物の数値シミュレーションを行うことより求める。数値シミュレーションに際しては、過去の噴火履歴等の関連パラメータ、並びに類似の火山降下火砕物堆積物等の情報を参考とすることができる。 <p>解説-17. 堆積速度、堆積期間については、類似火山の事象やシミュレーション等に基づいて、原子力発電所への間接的な影響も含めて評価する。</p> <p>解説-18. 火山灰の特性としては粒度分布、化学的特性等がある。</p>	<p>(3) 降下火砕物の影響の確認結果</p> <p>(a) 直接的影響の確認事項</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 降下火砕物堆積荷重に対して、原子炉建屋、タービン建屋、海水ポンプ等の健全性が維持されることを確認した。 ② 降下火砕物により、海水ポンプ、海水ストレーナ、非常用ディーゼル発電機、取水設備等が閉塞等によりその機能を喪失しないことを確認した。 ③ 降下火砕物が外気取入口に侵入した場合であっても、フィルタによって大部分の降下火砕物は除去されることから、給気を供給する系統及び機器の機能喪失がなく、加えて、中央制御室換気空調系については、外気取入ダンパを閉止し閉回路循環運転をすることにより、中央制御室の居住性に影響を及ぼさないことを確認した。 ④ 必要に応じて、構築物、系統及び機器における降下火砕物の除去、換気空調系フィルタの清掃・取替が可能な設計であることを確認した。 <p>(b) 間接的影響の確認事項</p> <p>原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮した場合においても、発電所内に貯蔵されている燃料油等により、7日間は原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れることを確認した。</p>

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所 火山影響評価
<p>【立地評価の結果を考慮し評価する項目】(項目名のみ記載)</p> <ul style="list-style-type: none">6. 2 火砕物密度流6. 3 溶岩流6. 4 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊6. 5 火山性土石流、火山泥流及び洪水6. 6 火山から発生する飛来物(噴石)6. 7 火山ガス6. 8 新しい火口の開口6. 9 津波及び静振6. 10 大気現象6. 11 地殻変動6. 12 火山性地震とこれに関連する事象6. 13 熱水系及び地下水の異常 <p>7. 附則</p> <p>この規定は、平成25年7月8日より施行する。</p> <p>評価方法は、本評価ガイドに掲げるもの以外であっても、その妥当性が適切に示された場合には、その方法を用いることを妨げない。また、本評価ガイドは、今後の新たな知見と経験の蓄積に応じて、それらを適切に反映するように見直して行くものとする。</p>	<p>原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について、運用期間中の噴火規模を考慮し、敷地において考慮する火山事象を評価した結果、降下火砕物以外の火山事象については、原子炉施設の安全機能に影響を及ぼすことはないと評価した。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>

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

(火山)

(第6条 火山)

- 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。

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。

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。

・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。

添付六、八への反映次項
(設計に関する事項)

工・保

東海第二発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
東海第二発電所の運用期間中における火山活動に関する個別評価

- 影響を及ぼす可能性がない火山事象
- ・火砕物密度流
 - ・溶岩流
 - ・岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊
 - ・火山土石流、火山泥流及び洪水
 - ・火山から発生する飛来物（噴石）
 - ・火山ガス
 - ・新しい火口の開口
 - ・津波及び静震
 - ・大気現象
 - ・地殻変動
 - ・火山性地震とこれに関する事象
 - ・熱水系及び地下水の異常

影響を及ぼし得る火山事象

【降下火砕物】
層厚：40cm
密度：0.3 g/cm³（乾燥状態）～1.5 g/cm³（湿潤状態）
粒径：8.0mm以下

安全施設

クラス3に属する施設 クラス1及びクラス2に属する構築物、系統及び機器

評価対象施設

【クラス1及びクラス2に属する構築物、系統及び機器】
・クラス1及びクラス2に属する構築物、系統及び機器を内包している建屋
・屋外の施設
・屋外に開口している施設
・屋内の空気を取り込む施設

【クラス3に属する構築物、系統及び機器】
降下火砕物の影響を受ける施設であって、その停止等により、上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設

除外

降下火砕物の影響を受けた場合においてもクラス1及びクラス2に属する施設に影響を及ぼさない施設

代替設備により必要な機能が確保され、安全上支障が生じない期間に降下火砕物の除去あるいは修復等の対応を可能とし、安全機能を損なわない。

【後段規制との対応】
工：工認（基本設計方針、添付資料）
保：保安規定（運用手順書に係る事項、下位文書含む）
核：核防規定（下位文書含む）

【添付六、八への反映次項】
■：添付六、八に反映
□：当該条文に関係しない（他条文での反映事項他）

降下火砕物による影響の選定
・直接的影響
・間接的影響

直接的影響

間接的影響



降下火砕物の除去（建屋等）

・バグフィルタ、吸気フィルタの清掃、取替
・外気取入ダンパの閉止
・換気空調系の停止

降下火砕物の除去（建屋等）

中央制御室の閉回路循環運転

添付六、八への反映次項
(手順に関する事項)

添付六、八への反映次項
(設計に関する事項)

工・保

・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

東海第二発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

東海第二発電所の運用期間中における火山活動に関する個別評価

影響を及ぼす可能性がない火山事象

- ・火砕物密度流
- ・溶岩流
- ・岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊
- ・火山土石流、火山泥流及び洪水
- ・火山から発生する飛来物(噴石)
- ・火山ガス
- ・新しい火口の開口
- ・津波及び静震
- ・大気現象
- ・地殻変動
- ・火山性地震とこれに関する事象
- ・熱水系及び地下水の異常

影響を及ぼし得る火山事象

重要安全施設

クラス1及びクラス2に属する構築物、系統及び機器のうち、自然現象の影響を受けやすい施設

評価対象施設

- 【クラス1及びクラス2に属する構築物、系統及び機器】
- ・屋外の施設
 - ・屋外に開口している施設
 - ・屋内の空気を取り込む施設

【降下火砕物】
層厚：40cm
密度：0.3 g/cm³ (乾燥状態) ~ 1.5 g/cm³ (湿潤状態)
粒径：8.0mm 以下

降下火砕物による影響の選定
・直接的影響

直接的影響

荷重

構築物への静的負荷

設計荷重の設定

降下火砕物の除去

工・保

添付六、八への反映次項
(手順に関する事項)

【後段規制との対応】

- 工：工認(基本設計方針、添付資料)
保：保安規定(運用手順書に係る事項、下位文書含む)
核：核防規定(下位文書含む)

【添付六、八への反映次項】

■：添付六、八に反映

□：当該条文に関係しない
(他条文での反映事項他)

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止	降下火砕物の除去作業及び除去後における降下火砕物による静的荷重や腐食等の影響に対する保守管理	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> 降下火砕物が確認された場合には、建屋や屋外の設備等に長期間降下火砕物の荷重を掛け続けないこと、また降下火砕物の付着による腐食等が生じる状況を緩和するために、評価対象施設等に堆積した降下火砕物の除去を実施する。 降下火砕物による影響がみられた場合、必要に応じて補修を行う。
		体制	(担当室による保守・点検の体制) (降下火砕物確認時の体制)
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> 日常点検 定期点検 火山事象時及び火山事象後の巡視点検
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> 運用・手順・保守・点検に関する教育
	外気取入ダンパの閉止，換気空調系の停止，閉回路循環運転	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> 降下火砕物が確認された場合には、外気取入口に設置しているバグフィルタ，状況に応じて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、建屋内への降下火砕物の侵入を防止する。
		体制	(運転員の当直体制) (降下火砕物確認時の体制)
		保守・点検	—
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> 運用・手順・体制・保守点検に関する教育

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止	バグフィルタ，吸気フィルタ取替・清掃作業	運用・手順	<ul style="list-style-type: none">降下火砕物が確認された場合には，換気空調設備の外気取入口のバグフィルタについて，差圧を確認するとともに，状況に応じて清掃や取替を実施する。ディーゼル発電機運転時は，吸気フィルタの巡視点検を行い，必要に応じて取替・清掃を行う。
		体制	(運転員の当直体制) (降下火砕物確認時の体制)
		保守・点検	・火山事象時の巡視点検
		教育・訓練	・防護施設の保守・点検に関する教育

東海第二発電所

発電用原子炉施設への 人の不法な侵入等の防止

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。

第7条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

<目次>

1. 基本方針	2
1.1 要求事項の整理	2
1.2 追加要求事項に対する適合性	3
(1) 位置、構造及び設備	3
(2) 安全設計方針（手順等含む）	4
(3) 適合性説明	8
1.3 気象等	9
1.4 設備等	9
2. 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	10
2.1 概要	10
2.2 区域管理	11
2.2.1 物理的障壁による区画	11
2.2.2 出入管理	11
2.3 探知施設	12
2.4 通信連絡設備	13
2.5 持込み確認	13
2.6 不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）への対応	13
3. 別添	
別添 東海第二発電所 運用、手順説明資料	
発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	

< 概 要 >

1. において、設計基準事故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、設計基準事故対処設備について、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。
3. において、追加要求事項に適合するための運用、手順等を抽出し、必要となる運用対策等を整理する。

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止について、設置許可基準規則第7条及び技術基準規則第9条において、追加要求事項を明確化する。

設置許可基準規則第7条及び技術基準規則第9条の要求事項を、第1.1-1表に示す。

第1.1-1表 設置許可基準規則第7条及び技術基準規則第9条 要求事項

設置許可基準規則 第7条（発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止）	技術基準規則 第9条（発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止）	備考
工場等には，発電用原子炉施設への人の不法な侵入，発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件が持ち込まれること及び不正アクセス行為（不正アクセス行為の禁止等に関する法律（平成十一年法律第百二十八号）第二条第四項に規定する不正アクセス行為をいう。第二十四条第六号において同じ。）を防止するための設備を設けなければならない。	工場等には，発電用原子炉施設への人の不法な侵入，発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件が持ち込まれること及び不正アクセス行為（不正アクセス行為の禁止等に関する法律（平成十一年法律百二十八号）第二条第四項に規定する不正アクセス行為をいう。以下第三十五条第五号において同じ。）を防止するため，適切な措置を講じなければならない。	追加要求事項

1.2 追加要求事項に対する適合性

(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

(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

(b) 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

発電用原子炉施設への人の不法な侵入を防止するための区域を設定し，核物質防護対策として，その区域を人の容易な侵入を防止できる柵，鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁によって区画して，巡視，監視等を行うことにより，侵入防止及び出入管理を行うことができる設計とする。

また，探知施設を設け，警報，映像等を集中監視するとともに，核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡を行うことができる設計とする。さらに，防護された区域内においても，施錠管理により，発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムへの不法な侵入を防止する設計とする。

発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による発電所外からの爆発物及び有害物質の持込みを含む。）を防止するため，核物質防護対策として，持込み点検を行うことができる設計とする。

不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するため，核

物質防護対策として、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムが、電気通信回線を通じた不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を受けることがないように、当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する設計とする。

(2) 安全設計方針（手順等含む）

1. 安全設計

1.1 安全設計の方針

1.1.1 安全設計の基本方針

1.1.1.5 人の不法な侵入等の防止

(1) 設計方針

発電用原子炉施設への人の不法な侵入を防止するための区域を設定し、核物質防護対策として、その区域を人の容易な侵入を防止できる柵、鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁によって区画して、巡視、監視等を行うことにより、侵入防止及び出入管理を行うことができる設計とする。

また、探知施設を設け、警報、映像等を集中監視するとともに、核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡を行うことができる設計とする。さらに、防護された区域内においても、施錠管理により、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムへの不法な侵入を防止する設計とする。

発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による発電所外からの爆破物及び有害物質の持込みを含む。）を防止するため、核物質防護対策として、持込み点検を行うことができる設計とす

る。

不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するため、核物質防護対策として、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムが、電気通信回線を通じた不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を受けないように、当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する設計とする。

(2) 体制

発電用原子炉施設への人の不法な侵入等を防止するため、核物質防護対策として、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づき核物質防護管理者を選任し、所長の下、核物質防護管理者が核物質防護に関する業務を統一的に管理する体制を整備する。

人の不法な侵入等が行われるおそれがある場合又は行われた場合に備え、核物質防護に関する緊急時の対応体制を整備する。

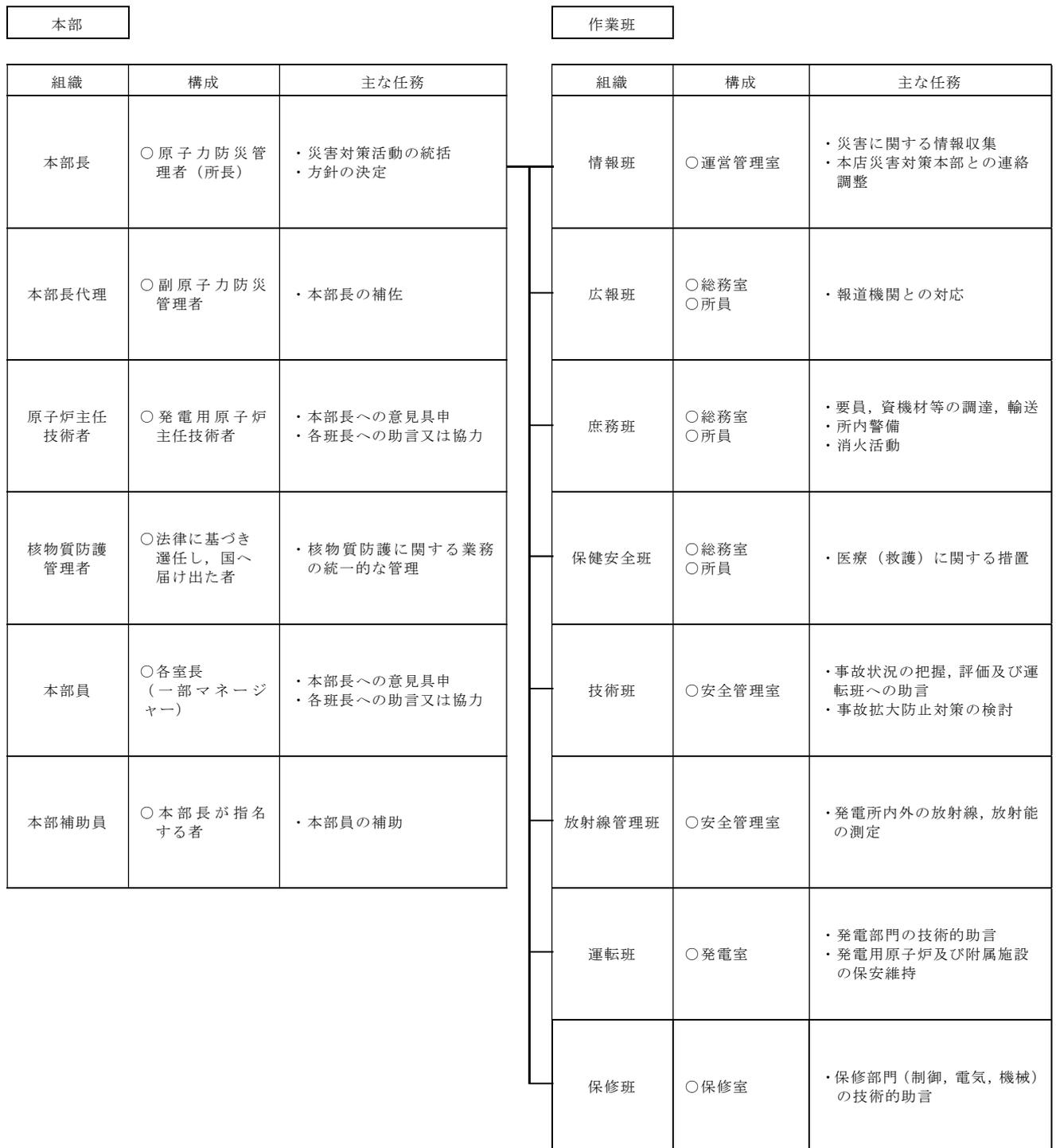
核物質防護に関する緊急時の組織体制を第 1.1.1-1 図に示す。

(3) 手順等

a. 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等のうち、不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止することを目的に、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムにおいて、核物質防護対策として、電気通信回線を通じた外部からのアクセス遮断措置を実施する。

- ・外部からのアクセス遮断措置については、予め手順を整備し、的確に実施する。
- ・外部からのアクセス遮断措置に係る設備の機能を維持するため、保守の計画に基づき適切に保守管理、点検を実施するとともに、必要に応じ補修を行う。

- ・外部からのアクセス遮断措置に係る教育を定期的実施する。
- b. 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等のうち、不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止することを目的に、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムにおいて、核物質防護対策として、侵入防止及び出入管理を実施する。侵入防止及び出入管理は、区域の設定、人の容易な侵入を防止できる柵、鉄筋コンクリート造りの壁等による防護、探知施設による集中監視、外部との通信連絡、物品の持込み点検並びに警備員による監視及び巡視を行う。
- ・侵入防止及び出入管理については、予め手順を整備し、的確に実施する。
 - ・侵入防止及び出入管理に係る設備の機能を維持するため、保守の計画に基づき適切に保守管理、点検を実施するとともに、必要に応じ補修を行う。
 - ・侵入防止及び出入管理に係る教育を定期的実施する。



第 1.1.1-1 図 核物質防護に関する緊急時の体制図

(3) 適合性説明

第七条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

工場等には，発電用原子炉施設への人の不法な侵入，発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件が持ち込まれること及び不正アクセス行為（不正アクセス行為の禁止等に関する法律（平成十一年法律第二百二十八号）第二条第四項に規定する不正アクセス行為をいう。第二十四条第六号において同じ。）を防止するための設備を設けなければならない。

適合のための設計方針

発電用原子炉施設への人の不法な侵入，郵便物等による発電所外からの爆破物や有害物質の持込み及び不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）に対し，これを防護するため，核物質防護対策として以下の措置を講じた設計とする。

(1) 人の不法な侵入の防止措置

- a. 区域を設定し，区域の境界を物理的障壁により区画し，侵入防止及び出入管理を行うことができる設計とする。
- b. 探知施設を設け，警報，映像監視等，集中監視する設計とする。
- c. 外部との通信連絡設備を設け，関係機関等との通信連絡を行うことができる設計とする。
- d. 防護された区域内においても，施錠管理により，発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムへの不法な侵入を防止する設計とする。

(2) 爆発性又は易燃性を有する物件等の持込みの防止措置

- a. 区域を設定し，区域の境界を物理的障壁により区画し，侵入防止及び出入管理を行うことができる設計とする。
- b. 区域の出入口において，発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による発電所外からの爆破物及び有害物質の持込みを含む。）が行われないように物品の持込み点検を行うことができる設計とする。

(3) 不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）の防止措置

- a. 発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムについては，電気通信回線を通じた当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する設計とする。

1.3 気象等

該当なし

1.4 設備等

10. その他発電用原子炉の附属施設

10.10 構内出入監視装置

発電用原子炉施設に対する人の不法な侵入等を防止するため，核物質防護対策として，通信連絡設備，監視装置，検知装置，施錠装置等を設ける。

2. 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

2.1 概要

発電用原子炉施設への人の不法な侵入を防止するための区域を設定し、核物質防護対策として、その区域を人の容易な侵入を防止できる柵、鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁によって区画して、巡視、監視等を行うことにより、侵入防止及び出入管理を行うことができる設計とする。

また、探知施設を設け、警報、映像等を集中監視するとともに、核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡を行うことができる設計とする。さらに、防護された区域内においても、施錠管理により、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムへの不法な侵入を防止する設計とする。

発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による発電所外からの爆発物及び有害物質の持込みを含む。）を防止するため、核物質防護対策として、持込み点検を行うことができる設計とする。

不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するため、核物質防護対策として、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムが、電気通信回線を通じた不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を受けないように、当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する設計とする。

発電用原子炉施設への人の不法な侵入等を防止するため、核物質防護対策として、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づき核物質防護管理者を選任し、所長の下、核物質防護管理者が核物質防護に関する業務を統一的に管理する体制を整備する。人の不法な侵入等が行われるおそれがある場合又は行われた場合に備え、核物質防護に関する緊

急時の対応体制を整備する。核物質防護に関する緊急時の組織体制を第1.1.1-1図に示す。

【説明資料（2.2～2.6：7条-11～14）】

2.2 区域管理

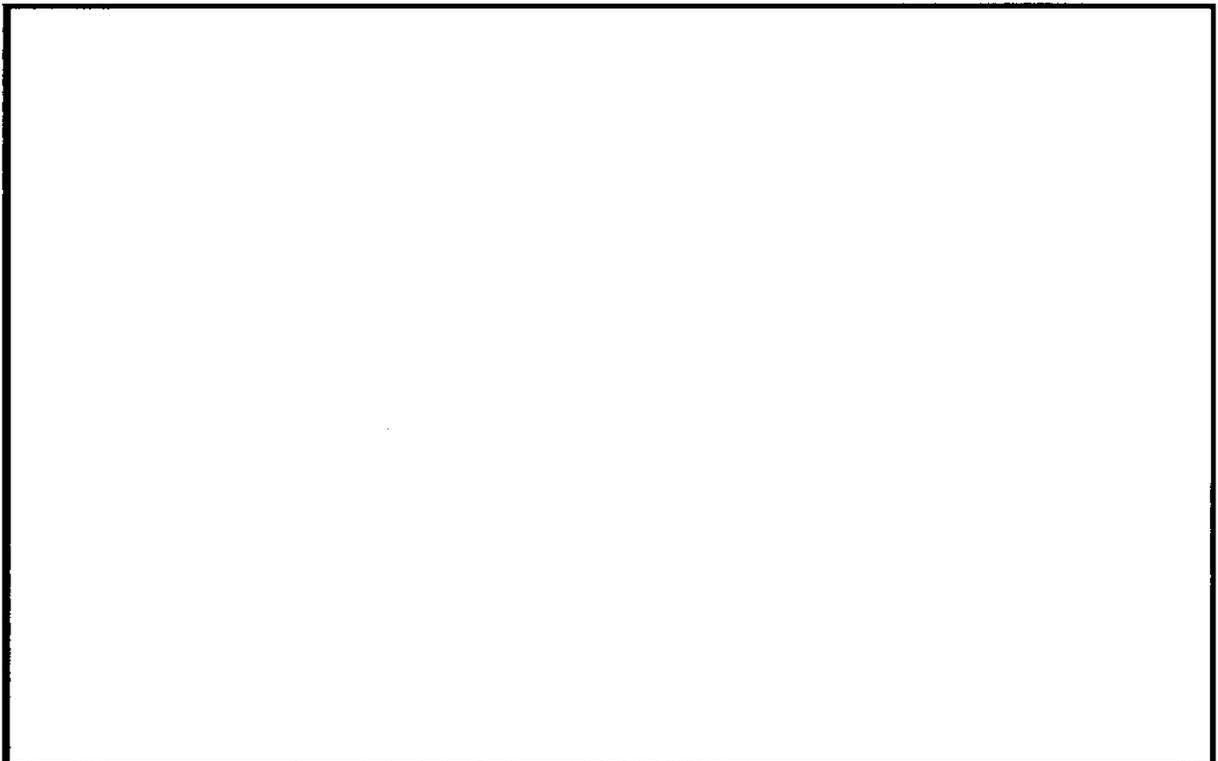
2.2.1 物理的障壁による区画

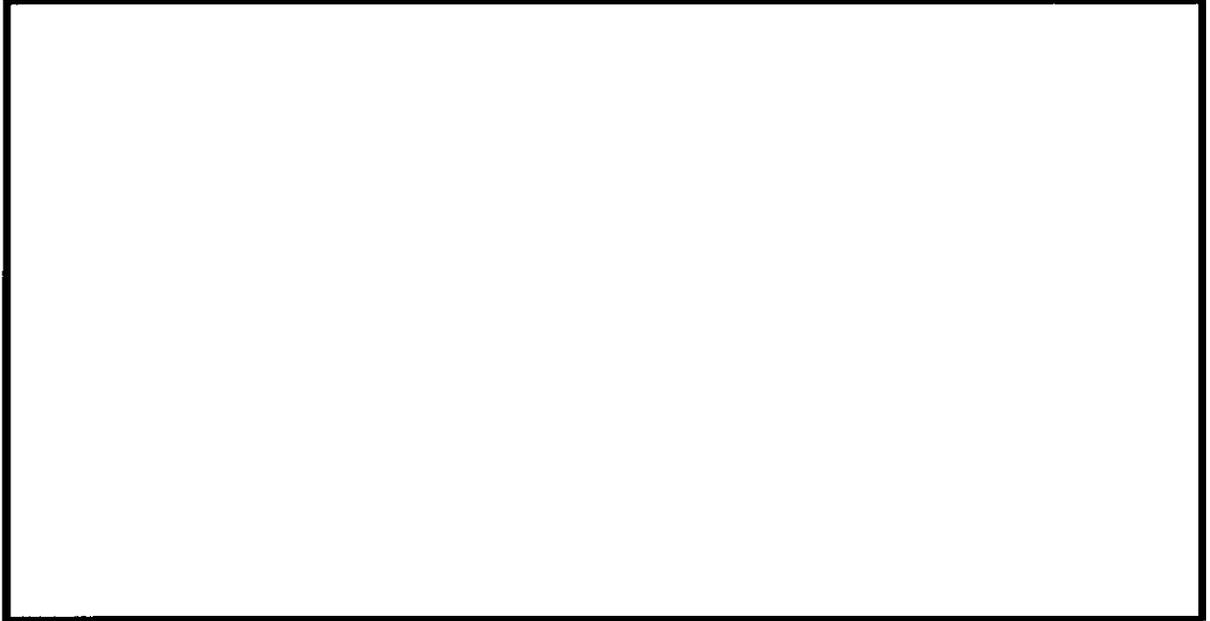
特定核燃料物質の防護のための区域（以下、「防護区域」という。）、その外周に周辺防護区域、さらにその外周に立入制限区域を設定し、区域の境界を物理的障壁により区画しており、人が侵入することを防止している。

防護区域の境界は、鉄筋コンクリート造りその他の堅固な障壁としている。また、周辺防護区域及び立入制限区域の境界には人が容易に侵入できないよう柵等を設置している。

〔 実用炉規則第91条第2項第1号、第2号、第3号 〕

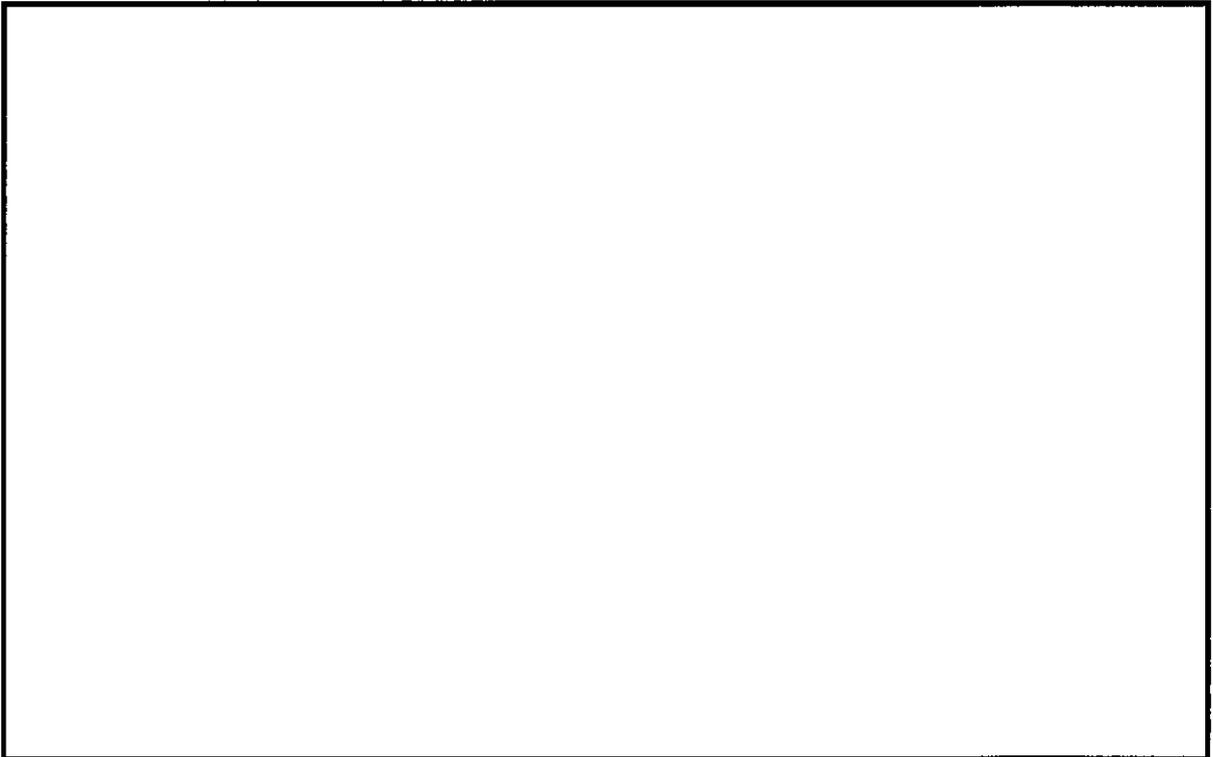
2.2.2 出入管理





[実用炉規則第 91 条第 2 項第 5 号, 第 6 号]

2.3 探知施設



[実用炉規則第 91 条第 2 項第 4 号, 第 8 号, 第 11 号, 第 12 号, 第 22 号]

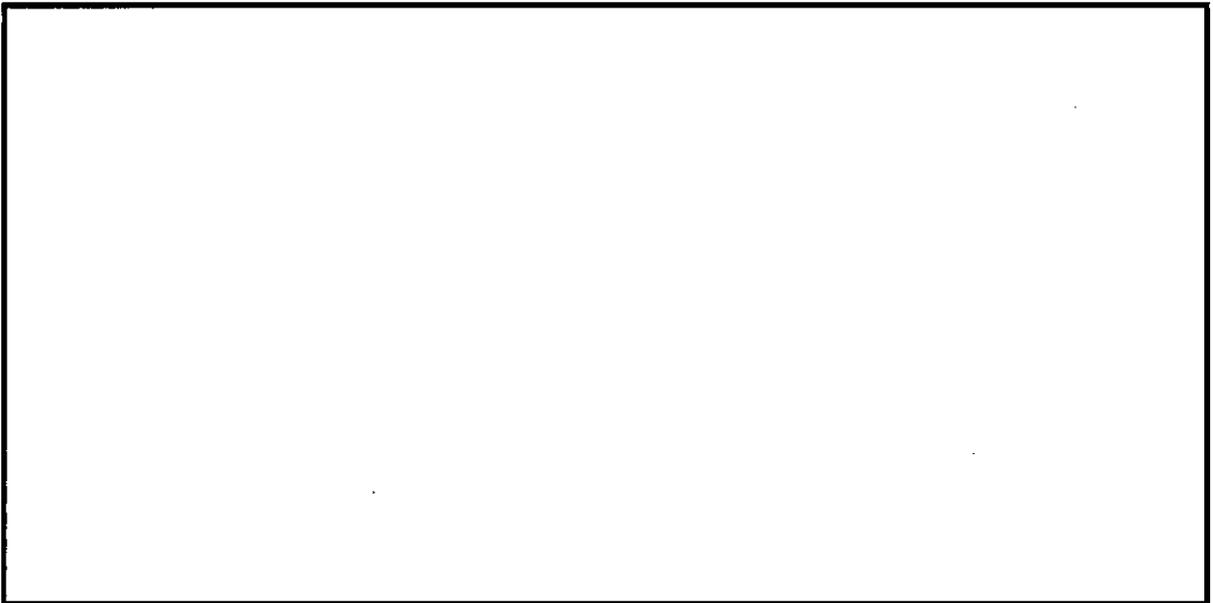
2.4 通信連絡設備



〔 実用炉規則第 91 条第 2 項第 22 号 〕

2.5 持込み確認

防護区域、周辺防護区域及び立入制限区域の出入口において、発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による発電所外からの爆発物及び有害物質の持込みを含む。）が行われないように持込み点検を行っている。



〔 実用炉規則第 91 条第 2 項第 8 号 〕

2.6 不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）への対応

不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）に対しては、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムが、電気通信回線を通じて妨害行為又は破壊行為を受けること

がないように、電気通信回線を通じた当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する措置を講じている。



[実用炉規則第 91 条第 2 項第 18 号, 第 19 号]

3. 別添

別添 東海第二発電所 運用, 手順説明資料

発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

別添

東海第二発電所

運用，手順説明資料

発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

第7条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

設置許可基準

不正アクセス行為（不正アクセス行為の禁止等に関する法律（平成十一年法律第二百二十八号）第二条第四項に規定する不正アクセス行為をいう。第二十四条第六号において同じ。）を防止するための設備を設けなければならない。

発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システム※

不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するための設備を設けなければならない。

電気通信回線のアクセス遮断

不審者の侵入の防止

不正アクセスを防ぐための物理的対策

不正アクセスを防ぐための人的対策

不審者の侵入防止に係る物的対策

不審者の侵入防止に係る人的対策

- 電気通信回線のアクセス遮断に係る設計（安全保護回路）
- 電気通信回線のアクセス遮断に係る設計（上記以外）
- 許可されていない機器の接続防止

- 電気通信回線のアクセス遮断措置に係る手順及び教育
- 日常点検，定期点検及び必要時の補修
- 平常時の警備体制
- 核物質防護上の緊急時の体制
- 特定核燃料物質防護に係る教育

- 柵や鉄筋コンクリート壁等による防護
- 探知施設による集中監視
- 通信連絡設備の設置
- 施錠管理

- 侵入防止及び出入管理
 - ・防護区域，周辺防護区域及び立入制限区域の設定
 - ・侵入防止及び出入管理に係る手順及び教育
 - ・人及び車両の監視等の侵入防止及び出入管理
 - ・物品の持込み点検
 - ・警備員による監視及び巡視
- 核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡
- 日常点検，定期点検及び必要時の補修
- 平常時の警備体制
- 核物質防護上の緊急時の体制
- 特定核燃料物質防護に係る教育



: 工認（基本設計方針，添付書類）



: 核物質防護規定（下位文書含む）

※核物質防護措置として，実用炉規則に規定

7条-別添1-2

運用, 手順に係る運用対策等 (設計基準)

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第7条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止 ※核物質防護対策として実施	電気通信回線のアクセス遮断	運用・手順	・アクセス遮断措置に係る手順
		体制	・平常時の警備体制 ・核物質防護上の緊急時の体制
		保守管理	・日常点検, 定期点検及び必要時の補修
		教育・訓練	・特定核燃料物質防護教育 ・アクセス遮断措置に係る教育
	不審者の侵入防止	運用・手順	・侵入防止及び出入管理 防護区域, 周辺防護区域及び立入制限区域の設定 侵入防止及び出入管理に係る手順 人及び車両の監視等の侵入防止及び出入管理 物品の持込み点検 警備員による監視及び巡視 核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡
		体制	・平常時の警備体制 ・核物質防護上の緊急時の体制
		保守管理	・日常点検, 定期点検及び必要時の補修
		教育・訓練	・特定核燃料物質防護に係る教育 ・侵入防止及び出入管理に係る教育