東海第二発電所　審査資料	
資料番号	PD-C-1　改 101
提出年月日	平成 29 年 11 月 14 日

東海第二発電所

設計基準対象施設について

平成 29 年 11 月
日本原子力発電株式会社

本資料のうち，□は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

下線部：今回提出資料

目　　次

4 条　地震による損傷の防止

5 条　津波による損傷の防止

6 条　外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）

6 条　外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）

6 条　外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）

6 条　外部からの衝撃による損傷の防止（火山）

7 条　発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

8 条　火災による損傷の防止

9 条　溢水による損傷の防止等

10 条　誤操作の防止

11 条　安全避難通路等

12 条　安全施設（静的機器の単一故障）

14 条　全交流動力電源喪失対策設備

16 条　燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

17 条　原子炉冷却材圧力バウンダリ

23 条　計測制御系統施設（第 16 条に含む）

24 条　安全保護回路

26 条　原子炉制御室等

31 条　監視設備

33 条　保安電源設備

34 条　緊急時対策所

35 条　通信連絡設備

東海第二発電所

外部からの衝撃による損傷の防止

(その他外部事象)

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。	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。 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。	追加要求事項

2

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。）又はその組合せに遭遇した場合において，自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件において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，洪水及び地滑りについては，立地的要因により設計上考慮する必要はない。

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変化を考慮して適切に組み合わせる。

また，安全施設は，発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（航空機落下），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により発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわ

ない設計とする。

なお，発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち，飛来物（航空機落下）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。

自然現象及び発電所敷地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。）の組合せについては，地震，津波，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，森林火災等を考慮する。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を特定し，その組合せの影響に対しても安全機能を損なわない設計とする。

ここで，想定される自然現象及び発電所敷地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）】

(a-1) 風（台風）

安全施設は，設計基準風速による風荷重に対し，安全施設及び安全施設を内包する建屋の構造健全性の確保若しくは風（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修復等の対応を行

うこと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。

(a-2) 竜巻

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発電所の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，敷地内の資機材，車両等については，飛来した場合の運動エネルギ又は貫通力が設定する設計飛来物（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，固定又は防護すべき施設からの離隔を実施する。

なお，敷地近傍の他事業所等から，上述の設計飛来物（鋼製材）の運動エネルギ又は貫通力を上回る飛来物が想定される場合は，当該飛来物の衝撃荷重を考慮した設計荷重に対し，当該飛来物が衝突し得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当該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。又は，当該飛来物が安全施設及び安全施設を内包する区画に到達しないよう管理する。

(a-3) 凍結

安全施設は，凍結に対し，安全施設及び安全施設を内包する建屋の構造健全性の確保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修復等の対応を行うこと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。

(a-4) 降水

安全施設は，設計基準降水量による浸水及び荷重に対し，安全施設及び安全施設を内包する建屋の構造健全性の確保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修復等の対応を行うこと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。

(a-5) 積雪

安全施設は，設計基準積雪深による荷重及び閉塞に対し，安全施設及び安全施設を内包する建屋の構造健全性の確保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修復等の対応を行うこと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。

(a-6) 落雷

安全施設は，設計基準電流値による雷サージに対し，安全機能を損なわない設計とすること若しくは雷サージ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修復等の対応を行うこと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。

(a-7) 火山

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 50cm，粒径 8.0mm 以下，密度 0.3g／cm^3（乾燥状態）～1.5g／cm^3（湿潤状態）の降下火砕物に対し，以下のような設計とすることにより降下火砕物による直接的影響に対して機能維持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。

・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，電気系及び計装制御系に対する機械的影響（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並びに換気系，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）並びに換気系，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換気系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バグフィルタの取替え若しくは清掃又は換気空調設備の停止若しく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。

さらに，降下火砕物による間接的影響である 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，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ることにより安全機能を損なわない設計とする。

(a-8) 生物学的事象

安全施設は，生物学的事象として海生生物の襲来及び小動物の侵入に対し，その安全機能を損なわない設計とする。

海生生物の襲来に対しては，クラゲ等を含む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，小動物の侵入に対しては，屋内設備は建屋止水処置により，屋外設備は端子箱貫通部の閉止処置を行うことにより，安全施設の生物学的事象に対する健全性の確保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修復等の対応を行うこと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。

(a-9) 外部火災（森林火災，爆発及び近隣工場等の火災）

安全施設は，想定される外部火災において，最も厳しい火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

想定される森林火災の延焼防止を目的として，発電所周辺の植生を確認し，作成した植生データ等を基に求めた最大火線強度（6,278kW／m）から算出される防火帯（約 23m）を敷地内に設ける。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし，防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

また，森林火災による熱影響については，最大火炎輻射強度の影響を考慮した場合においても，離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

発電所敷地又はその周辺で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。）として，想定される近隣の産業施設の火災・爆発については，離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

また，想定される発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災については，離隔距離の確保若しくは航空機が墜落し，その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ることで，その安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部火災による屋外施設への影響については，屋外施設の温度を許容温度以下とすることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

また，外部火災の二次的影響であるばい煙及び有毒ガスによる影響については，換気空調設備等に適切な防護対策を講じることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

森林火災による津波防護施設への熱影響については，最大火炎輻射強度の影響を考慮した場合において，離隔距離の確保等により津波防護機能を損なわない設計とする。

(a-10)高潮

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，安全機能を損なわない設計とする。

(a-11)有毒ガス

安全施設は，想定される有毒ガスの発生に対し，中央制御室換気空調系等により，中央制御室の居住性を損なわない設計とする。

(a-12)船舶の衝突

安全施設は，航路を通行する船舶の衝突に対し，航路からの離隔距離を確保することにより，安全施設の船舶の衝突に対する健全性の確保若しくは船舶の衝突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修復等の対応を行うこと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。

(a-13)電磁的障害

安全施設は，電磁的障害による擾乱に対し，制御盤へ入線する電源受電部へのラインフィルタや絶縁回路の設置，外部からの信号入出力部へのラインフィルタや絶縁回路の設置，鋼製筐体や金属シールド付ケーブルの適用等により，安全施設の電磁的障害に対する健全性の確保若しくは電磁的障害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修復等の対応を行うこと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。

(2)　安全設計方針

1.1.1　安全設計の基本方針

1.1.1.4　外部からの衝撃による損傷の防止

(3)　その他の主要な構造

発電所敷地で想定される自然現象（地震及び津波を除く。）については，網羅的に抽出するために，発電所敷地及びその周辺での発生実績の有無に関わらず，国内外の基準や文献等に基づき事象を収集し，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，森林火災等を考慮する。また，これらの自然現象について関連して発生する自然現象も含める。これらの事象について，海外の評価基準を考慮の上，発電所及びその周辺での発生の可能性，安全施設への影響度，発電所敷地及びその周辺に到達するまでの時間余裕及び影響の包絡性の観点から，発電用原子炉施設に影響を与えるおそれがある事象として，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する。

安全施設は，これらの自然現象（地震及び津波を除く。）又はその組合せに遭遇した場合において，自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても，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，洪水及び地滑りについては，立地的要因により設計上考慮する必要はない。

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変化を考慮して適切に組み合わせる。

発電所敷地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。）は，網羅的に抽出するために，発電所敷地又はその周辺での発生実績の有無に関わらず，国内外の基準や文献等に基づき事象を収集し，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，電磁的障害等の事象を考慮する。これらの事象について，海外の評価基準を考慮の上，発電所又はその周辺での発生可能性，安全施設への影響度，発電所敷地及びその周辺に到達するまでの時間余裕及び影響の包絡性の観点から，発電用原子炉施設に影響を与えるおそれがある事象として，飛来物（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，これら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。）のうち，飛来物（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。

自然現象，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。）の組合せについては，地震，津波，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，火山の影響，生物学的事象及び森林火災を考慮する。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を特定

し，その組合せの影響に対しても安全機能を損なわない設計とする。

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）】

1.7　外部からの衝撃による損傷の防止に関する基本方針

安全施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く）及び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（故意によるもの除く。）に対して，安全機能を損なわない設計とする。安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を，「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に属する構築物，系統及び機器（以下 1.7 では「安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に属する構築物，系統及び機器」という。）とする。

その上で，上記構造物，系統及び機器の中から，発電用原子炉施設を停止する又は停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物，系統及び機器として安全重要度分類のクラス１，クラス２及び安全評価上その機能に期待するクラス３に属する構築物，系統及び機器に加え，それらを内包する建屋を外部事象から防護する対象（以下「外部事象防護対象施設」という。）とし，機械的強度を有すること等により安全機能を損なわない設計とする。

また，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，損傷した場合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

1.7.1　風（台風）防護に関する基本方針

設計基準風速（30m／s，地上高10m，10分間平均）の風（台風）によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を，安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に属する構築物，系統及び機器とする。

その上で，外部事象防護対象施設は設計基準風速（30m／s，地上高10m，

10分間平均）の風荷重に対し機械的強度を有することにより安全機能を損なわない設計とする。

また，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，風（台風）により損傷した場合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

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。

なお，風（台風）に伴う飛来物による影響は，竜巻影響評価にて想定する設計飛来物の影響に包絡される。

ここで，風（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，落雷及び高潮が考えられる。落雷については，同時に発生するとしても，個々の事象として考えられる影響と変わらない。高潮については，安全施設は高潮の影響を受けない敷地高さに設置する。

1.7.2　竜巻防護に関する基本方針

1.7.2.1　設計方針【「６条（竜巻）」参照】

1.7.3　凍結防護に関する基本方針

凍結によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を，安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に属する構築物，系統及び機器とする。

その上で，外部事象防護対象施設は，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すること，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，安全機能を損なわない設計とする。

また，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，凍結した場合であって

も，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

1.7.4　降水防護に関する基本方針

設計基準降水量（127.5mm／h）の降水によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を，安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に属する構築物，系統及び機器とする。

その上で，外部事象防護対象施設は，設計基準降水量（127.5mm／h）による浸水に対し，構内排水路による海域への排水及び浸水防止のための建屋止水処置により，安全機能を損なわない設計とするとともに，外部事象防護対象施設及び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，設計基準降水量（127.5mm／h）による荷重に対し，排水口及び構内排水路による海域への排水により，安全機能を損なわない設計とする。

また，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，降水により損傷した場合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

1.7.5　積雪防護に関する基本方針

設計基準積雪量（30cm）の積雪によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を，安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に属する構築物，系統及び機器とする。

その上で，外部事象防護対象施設は，設計基準積雪量（30cm）の積雪荷重に対し機械的強度を有することにより安全機能を損なわない設計とする。また．設計基準積雪量（30cm）に対し給排気口を閉塞させないことにより安全機能を損なわない設計とする。

また，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，積雪により損傷した場

合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

1.7.6　落雷防護に関する基本方針

設計基準電流値（220kA）の落雷によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を，安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に属する構築物，系統及び機器とする。

その上で，外部事象防護対象施設は，雷害防止対策として，原子炉建屋等への避雷針の設置，接地網の敷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うことにより，安全機能を損なわない設計とする。

また，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，落雷により損傷した場合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

1.7.7　火山防護に関する基本方針

1.7.7.1　設計方針【「６条（火山）」参照】

1.7.8　生物学的事象防護に関する基本方針

生物学的事象として海生生物の発生，小動物の侵入によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を，安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に属する構築物，系統及び機器とする。

その上で，外部事象防護対象施設及び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，海生生物の発生に対して，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，安全機能を損なわない設計とする。

小動物の侵入に対しては，屋内設備は建屋止水処置により，屋外設備は端子箱貫通部の閉止処置を行うことにより，安全機能を損なわない設計とする。

また，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，生物学的事象により損傷した場合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

1.7.9　外部火災防護に関する基本方針

1.7.9.1　設計方針【「６条（外部火災）」参照】

1.7.10　高潮防護に関する基本方針

高潮によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を，安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に属する構築物，系統及び機器とする。

その上で，外部事象防護対象施設及び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，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，安全機能を損なわない設計とする。

1.7.11 有毒ガス防護に関する基本方針

有毒ガスの漏えいについては固定施設（石油コンビナート施設等）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，以下の交通運輸状況及び産業施設がある。

発電所敷地境界付近には国道２４５号線があり，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。

発電所沖合の航路は，中央制御室からの離隔距離が確保されている。

発電所周辺の石油コンビナート施設については，発電所敷地外10km以内の範囲において，石油コンビナート施設は存在しない。なお，発電所に最も近い石油コンビナート地区は南方約50kmの鹿島臨海地区である。

また，発電所敷地外10km以内の範囲において，石油コンビナート施設以外の主要な産業施設がある。

これらの主要道路，鉄道路線，航路及び石油コンビナート施設は，発電所から離隔距離が確保されており，危険物を積載した車両及び船舶を含む事故等による発電所への有毒ガスの影響を考慮する必要はない。

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を損なうことはない。

また，中央制御室の換気空調設備については，外気取入ダンパを閉止し，再循環運転を行うことにより中央制御室の居住性を損なうことはない。

1.7.12 船舶の衝突防護に関する基本方針

航路を通行する船舶の衝突に対し，航路からの離隔距離を確保することにより，安全施設が安全機能を損なわない設計とする。

小型船舶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から取水機能を損なうことはない。また，万が一防波堤を通過し，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，呑み口が広いため，取水機能を損なうことはない。

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，船舶の衝突によって取水路が閉塞することはなく，安全施設の安全機能を損なうことはない。

1.7.13 電磁的障害防護に関する基本方針

安全保護系は，電磁的障害による擾乱に対して，制御盤へ入線する電源受電部へのラインフィルタや絶縁回路の設置，外部からの信号入出力部へのラインフィルタや絶縁回路の設置，鋼製筐体や金属シールド付ケーブルの適用等により，影響を受けない設計としている。

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。

(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（地震及び津波を除く。）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。

発電用原子炉施設のうち安全施設は，以下のとおり条件を設定し，自然現象によって発電用原子炉施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１（1.：1～17）（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。

安全施設は，設計基準風速（30m／s，地上高さ 10m，10 分間平均）の風（台風）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。

その上で，外部事象防護対象施設は，設計基準風速（30m／s，地上高さ 10m，10 分間平均）の風荷重に対し機械的強度を有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，風（台風）に対して機能を維持すること若しくは風（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を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，その安全機能を損なわない設計とする。

ここで，風（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，

落雷及び高潮が考えられる。落雷については，同時に発生するとしても，「(7)　落雷」に述べる個々の事象として考えられる影響と変わらない。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，安全機能を損なわない設計とする。

なお，風（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，設計竜巻の最大風速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設計飛来物等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，外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないために，以下の対策を行う。

・外部事象防護対象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，外部事象防護対象施設及び竜巻飛来物防護対策設備からの離隔，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。

・外部事象防護対象施設を内包する区画及び竜巻飛来物防護対策設備により，外部事象防護対象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。

・外部事象防護対象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，ひょう及び降水である。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。

【別添資料1（3.2:23～24）】

(4)　凍結

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

外部事象防護対象施設は，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，安全機能を損なわない設計とする。

また，上記以外の安全施設については，低温による凍結に対して機能を維持すること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を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，その安全機能を損なわない設計とする。

【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 81.7㎜（1947 年 9 月 15 日）である。

外部事象防護対象施設は，設計基準降水量（127.5mm／h）の降水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。

その上で，外部事象防護対象施設は，設計基準降水量（127.5mm／h）の降水に対し，排水口及び構内排水路による海域への排水，浸水防止のための建屋止水処置等により，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，降水に対して機能を維持すること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を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，安全機能を損なわない設計とする。

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 年～2012 年）によれば，月最深積雪は 32cm（1945 年 2 月 26 日）である。

外部事象防護対象施設は，設計基準積雪量（30cm）の積雪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。

その上で，外部事象防護対象施設は，設計基準積雪量（30cm）の積雪荷重に対し機械的強度を有することにより安全機能を損なわない設計とする。また，設計基準積雪量（30cm）に対し給排気口を閉塞させないことにより安全機能を損なわない設計とする。

なお，設計基準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及び給排気口の閉塞防止，構内道路の除雪を行うことでプラント運営に支障をきたさない措置が可能である。

また，上記以外の安全施設については，積雪に対して機能を維持すること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を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1（3.2:26～27）】

(7)　落雷

外部事象防護対象施設は，設計基準電流値（220kA）の落雷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。

その上で，外部事象防護対象施設の雷害防止対策として，原子炉建屋等への避雷針の設置，接地網の敷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うことにより，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，落雷に対して機能を維持すること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を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，安全機能を損なわない設計とする。

【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，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わない。

【別添資料1（3.2:28～29）】

(9)　火山の影響

外部事象防護対象施設は，降下火砕物による直接的影響及び間接的影響が発生した場合においても，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

外部事象防護対象施設は，直接的影響に対して，以下により安全機能を損なわない設計とする。

・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換気系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バグフィルタの取替え若しくは清掃又は換気空調設備の停止若しく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

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を維持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を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，安全機能を損なわない設計とする。

b．間接的影響に対する設計

降下火砕物による間接的影響として考慮する，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が生じた場合については，降下火砕物に対して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含む。）の安全機能を維持することで，発電用原子炉施設の停止及び停止後の発電用原子炉施設の冷却並びに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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）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。

【別添資料1（3.2:29～31）】

(10)　生物学的事象

外部事象防護対象施設は，生物学的事象として海生生物の発生及び小動物の侵入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。

その上で，外部事象防護対象施設は，海生生物の発生に対しては，海生

生物を含む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，安全機能を損なわない設計とする。

小動物の侵入に対しては，屋内設備は建屋止水処置により，屋外設備は端子箱貫通部の閉止処置を行うことにより，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，生物学的事象に対して機能を維持すること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を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1（3.2:31～32）】

(11)　森林火災

敷地外の森林から出火し，敷地内の植生へ延焼するおそれがある場合は，自衛消防隊が出動し，予防散水等の延焼防止措置を行う。また，敷地内の植生へ延焼した場合であっても，森林火災シミュレーション（ＦＡＲＳＩＴＥ）による影響評価に基づいた防火帯幅を確保すること等により，安全機能が損なわれることはない。

また，上記以外の安全施設については，建屋による防護，消火活動，代替設備により必要な機能を確保，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により，安全機能を損なわない設計とする。

森林火災に伴う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により，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1（3.2:32）】

(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，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1（3.2:32～33）】

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，網羅的に検討する。

・組み合わせた場合も影響が増長しない（影響が小さくなるものを含む）
・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，個々の事象の検討で包絡されている又は個々の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

以上の観点より，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を特定し，その中から荷重の大きさ等の観点で代表性のある，地震，津波，火山の影響，風（台風）及び積

雪の組合せの影響に対し，安全施設は安全機能を損なわない設計とする。組み合わせる事象の規模については，設計基準規模事象同士の組合せを想定する。

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.：49～73）】

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変化を考慮して，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，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，安全機能を損なわ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，個々の事象に対

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。）は，発電所及びその周辺での発生の可能性，安全施設への影響度，発電所敷地及びその周辺に到達するまでの時間余裕及び影響の包絡性の観点から，発電用原子炉施設に影響を与えるおそれがある事象として，飛来物（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（1.：1～17）（2.：18～19）】

(1)　飛来物（航空機落下）

発電用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14･7･29 原院第4号（平成14年7月30日 原子力安全・保安院制定））等に基づき評価した結果，約

8.5×10^{-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，飛来物（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。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は，発電用原子炉施設から独立して設置されていることから，個別に航空機落下確率を評価した結果，約6.1×10^{-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，飛来物（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（4.1:34）】

(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（4.1:34～35）】

(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施設はないため，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 以内の危険物貯蔵施設又は発電所敷地周辺道路の燃料輸送車両から爆発が発生する場合を想定しても，離隔距離の確保

により，安全機能を損なわない設計とする。航行中の船舶が漂流し爆発が発生する場合を想定しても，離隔距離の確保等により，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，離隔距離の確保，代替設備による必要な機能の確保，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により，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1（4.1:35）】

(4) 近隣工場等の火災

a．石油コンビナート施設等の火災

発電所敷地外 10km 以内の範囲において，火災により評価対象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。

発電所敷地外 10km 以内の範囲において，石油コンビナート施設以外の危険物貯蔵施設又は発電所敷地周辺道路の燃料輸送車両から火災が発生する場合を想定しても，離隔距離の確保等により，安全機能を損なわない設計とする。航行中の船舶が漂流し火災が発生する場合を想定しても，離隔距離の確保等により，安全機能を損なわない設計とする。

b．発電所敷地内に存在する危険物貯蔵施設等の火災

発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災発生時の輻射熱による評価対象施設の建屋（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，安全機能を損なわない設計とする。

c．航空機墜落による火災

原子炉建屋周辺に航空機が墜落し，燃料火災が発生した場合，直ちに

公設消防へ通報するとともに，自衛消防隊が出動し，速やかに初期消火活動を行う。

航空機が外部事象防護対象施設である原子炉建屋等の周辺で落下確率が 10^{-7}回／炉・年以上になる地点へ墜落することを想定しても，火災の影響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，建屋による防護，消火活動，代替設備による必要な機能の確保，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により,安全機能を損なわない設計とする。

d．二次的影響（ばい煙等）

石油コンビナート施設の火災，発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災に伴う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及び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により，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1（4.1:36～37）】

(5)　有毒ガス

有毒ガスの漏えいについては固定施設（石油コンビナート施設等）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，発電用原子炉施設と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を損なうことはない。また，敷地港湾の前面の海域を移動中の可動施設から有毒ガスの漏えいを想定した場合も同様に，離隔距離が確保されていることから，中央制御室の居住性

を損なうことはない。

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を損なうことはない。

また，中央制御室換気系については，外気取入ダンパを閉止し，再循環運転を行うことにより中央制御室の居住性を損なうことはない。

【別添資料1（4.1:37～38）】

(6)　船舶の衝突

航路を通行する船舶の衝突に対し，航路からの離隔距離を確保することにより，安全施設が安全機能を損なわない設計とする。

小型船舶が発電所近傍で漂流した場合でも，防波堤等に衝突して止まることから取水機能を損なうことはない。また，万が一防波堤を通過し，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，呑み口が広いため，取水機能を損なうことはない。

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，船舶の衝突によって取水路が閉塞することはなく，安全施設が安全機能を損なうことはない。

【別添資料1（4.1:38）】

(7)　電磁的障害

安全保護系は，電磁的障害による擾乱に対して，計装盤へ入線する電源受電部へのラインフィルタや絶縁回路の設置，外部からの信号入出力部へのラインフィルタや絶縁回路の設置，鋼製筐体や金属シールド付ケーブルの適用等により，影響を受けない設計としている。

したがって，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（4.1:38～39）】

2. 水　　理

2.1 海　　象

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（平成 2 年 12 月 2 日，平成 3 年 12 月 22 日）	H.P. －0.31m

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。

4.　社会環境

4.1　産業活動

発電所の近くには，爆発，火災及び有毒ガスにより発電用原子炉施設の安全性を損なうような石油コンビナート等の施設はない。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。

4.2　交通運輸

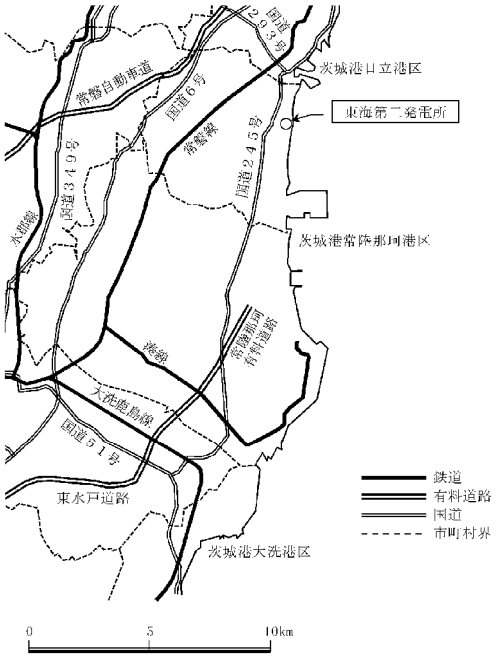
発電所に近い鉄道路線としては，東日本旅客鉄道株式会社常磐線がある。

主要な道路としては，常磐自動車道，国道２４５号，国道６号及び国道２９３号がある。

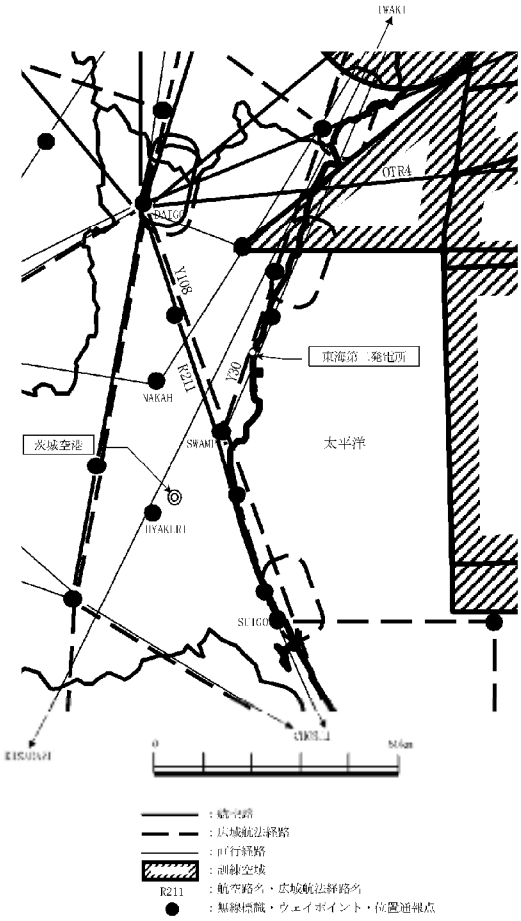
海上交通としては，発電所の北方約 3km に茨城港日立港区，南方約 6km に茨城港常陸那珂港区，南方約 18km に茨城港大洗港区があり，日立－釧路間，常陸那珂－苫小牧間，常陸那珂－北九州間，大洗－苫小牧間等の定期航路がある。

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

発電所周辺の鉄道，主要道路，港湾及び航空路を第 4.2-1 図及び第 4.2-2 図に示す。



第 4.2-1 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 4.2-2 図 航空路等図

5.　気　　象

5.2　最寄りの気象官署の資料による一般気象

5.2.3　最寄りの気象官署における一般気象（5.2.4に係るものを除く。）[(2)(3)]

（1）一般気象

水戸地方気象台，銚子地方気象台及び小名浜測候所における一般気象に関する統計を第5.2－2表～第5.2－4表に示す。

年平均気温，最高気温，最低気温，降水量，風速とも水戸地方気象台と小名浜測候所ではほぼ同様な値を示しているが,銚子地方気象台では冬期の最低気温がわずかに高くなっている。

（2）極　　値

第5.2－2表～第5.2－4表に示した，最寄りの気象官署の気候表によると，この地域は必ずしも厳しい気象条件が現われる所ではなく，温和な気候を示している。

これらの気象官署における観測開始から1980年までの極値を第5.2－5表～第5.2－31表に示す。これによれば各官署とも同程度の極値を示している。

水戸地方気象台の観測記録によれば，日最高気温36.6℃（1967年8月11日），日最低気温－12.7℃（1952年2月5日），日最大降水量276.6mm（1938年6月29日），最大積雪の深さ32cm（1945年2月26日），最大瞬間風速44.2m／s（1939年8月5日）である。

銚子地方気象台は,日最高気温35.3℃(1962年8月4日),日最低気温－6.2℃（1970年1月17日），日最大降水量311.4mm（1947年8月28日）,最大積雪の深さ17cm（1936年3月2日），最大瞬間風速49.0m／s（1971年9月8日）である。

また，小名浜測候所は，日最高気温35.4℃(1947年8月11日),日最低気温－10.7℃（1952年2月5日），日最大降水量227.2mm（1966年6月28日）,最

大積雪の深さ28cm（1945年2月26日），最大瞬間風速37.2m／s（1979年10月19日）である。

5.2.5　その他の資料による一般気象

5.2.5.1　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。

5.2.5.2　森林火災

森林火災検討に関係する発電所の最寄りの気象観測所（水戸地方気象台）の気象データ（最高気温，最大風速，最大風速記録時の風向，最小湿度）（2007年～2016年）及び発電所の位置する茨城県の「消防防災年報」（茨城県2006年～2015年）について，第5.2－53表に示す。また，森林火災発生件数の多い12月～5月における最寄りの気象観測所（水戸地方気象台）及び発電所の気象データ（卓越風向）について，第5.2－54表に示す。

第5.2－53表　気象データ（気温，風速及び湿度）及び森林火災件数

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

注１）水戸地方気象台　観測記録（2007年～2016年）より
注２）「消防防災年報」（茨城県　2006年～2015年）より

第 5.2－54 表　気象データ（卓越風向）

風　　向	最多風向（時間単位）の出現拝趨割合（%）注)	
	水戸地方気象台 気象観測データ	発電所 気象観測データ
北	15	3
北北西	17	3
北西	5	9
西北西	2	23
西	3	7
西南西	3	2
南西	4	1
南南西	6	3
南	3	4
南南東	1	5
南東	3	4
東南東	4	3
東	9	3
東北東	9	6
北東	7	14
北北東	7	9

注）観測記録（2007 年～2016 年）より

9. 生　　物

9.1 海生生物

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。

9.2 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 月の営業運転開始以降，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。

別添資料１

東海第二発電所

外部事象の考慮について

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.　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　アクセス性・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

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	○	○			○		○		○

①DIVERSE 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	ﾊﾟｲﾌﾟﾗｲﾝ事故（ｶﾞｽなど），ﾊﾟｲﾌﾟﾗｲﾝ事故によるサイト内爆発等	○		○		○		○		
2-3	交通事故（化学物質流出含む）	○		○	○	○		○		○
2-4	有毒ガス	○			○	○	○	○		
2-5	タービンミサイル	○			○	○	○	○		
2-6	飛来物（航空機落下等）	○		○	○	○	○	○	○	○
2-7	工業施設又は軍事施設事故	○				○		○		○
2-8	船舶の衝突（船舶事故）	○		○	○		○			○
2-9	自動車又は船舶の爆発	○		○						○
2-10	船舶から放出される固体液体不純物			○						○
2-11	水中の化学物質			○						
2-12	プラント外での爆発			○	○		○			○
2-13	プラント外での化学物質の流出			○						○
2-14	サイト貯蔵の化学物質の流出	○		○		○		○		
2-15	軍事施設からのミサイル			○						
2-16	掘削工事		○	○						
2-17	他のユニットからの火災			○						
2-18	他のユニットからのミサイル			○						
2-19	他のユニットからの内部溢水			○						
2-20	電磁的障害			○	○		○			○
2-21	ダムの崩壊			○	○		○			○
2-22	内部溢水				○	○	○	○		
2-23	火災（近隣工場等の火災）			○	○	○	○			○

①DIVERSE 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，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 FrequencyProbabilistic 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，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

・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

・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）	－	○	「火山の影響」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離隔距離があること，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えられるため，「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，隕石や人工衛星ににについては，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 $2010RF_{12}$ が，今後 100 年間に発電所へ落下する確率を計算する。

地球の表面積：510,072,000km^2
発電所を含む敷地面積：0.66km^2
$2012RF_{12}$ の衝突確率（2017 年現在）：5.0×10^{-2}

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。

$5.0\times10^{-2}\times(0.66\div510,072,000)=6.5\times10^{-11}$

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と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	ﾊﾟｲﾌﾟﾗｲﾝ事故（ｶﾞｽなど），ﾊﾟｲﾌﾟ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（航空機落下等）	－	○	「飛来物（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

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

↓

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

↓

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

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	○		○		○		○		○

①DIVERSE 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 FrequencyProbabilistic 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。

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 ターボミサイル）

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

・洪水	・落雷
・風（台風）	・地滑り
・竜巻	・火山の影響
・凍結	・生物学的事象
・降水	・森林火災
・積雪	・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

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

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）	○		○	○	○	○	○	○	○

①DIVERSE 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）
⑦ASME/ANS RA-Sa-2009 ″Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release FrequencyProbabilistic 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

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

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。

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 FrequencyProbabilistic 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（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 ・電磁的障害

2.　基本方針

安全施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く）及び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設計とする。安全機能を損なわないことを確認する必要がある施設を，「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に属する構築物，系統及び機器（以下「安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に属する構築物，系統及び機器」という。）とする。

上記構造物，系統及び機器の中から，発電用原子炉を停止するため又は停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物，系統及び機器として安全重要度分類のクラス１，クラス２及び安全評価上その機能に期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物，系統及び機器に加え，それらを内包する建屋を外部事象から防護する対象（以下「外部事象防護対象施設」という。）とし，機械的強度を有すること等により安全機能を損なわない設計とする。

その上で，外部事象防護対象施設のうち，屋内設備は内包する建屋等により防護する設計とし，評価対象施設を事象毎に影響を及ぼす可能性を評価し抽出する。また各外部事象の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度分類のクラスの施設に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設も評価を行う。

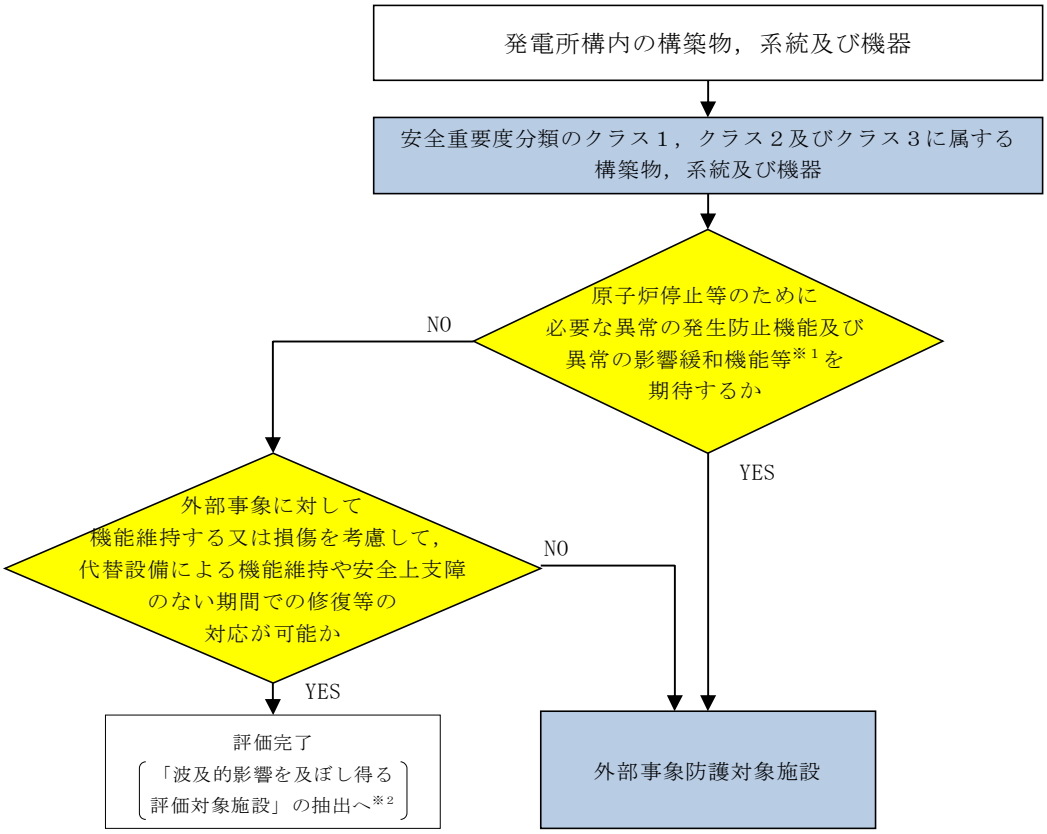
評価対象施設及びその停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設を評価対象施設等という。

また，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，機能を維持すること若しくは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を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，その安全機能を損なわない設計とする。

外部事象による外部事象防護対象施設の評価フローは第 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。



※１：発電用原子炉を停止するため又は停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物，系統及び機器として安全重要度分類のクラス１，クラス２及び安全評価上その機能に期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物，系統及び機器に加え，それらを内包する建屋

※２：「外部事象防護対象施設」に該当せず，評価対象施設等とならないが，クラス１，２施設若しくはそれらを内包する施設であることを鑑み，各外部事象に対する健全性を評価する。なお，健全性を確保できない場合，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か確認する。

第 2－1 図　外部事象防護対象施設の抽出フロー

3.　地震，津波以外の自然現象

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：火山の影響については，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

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。

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，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※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乗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。

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。

安全施設は，設計基準風速（30m／s 地上高 10m，10 分間平均）の風（台風）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。

その上で，外部事象防護対象施設は設計基準風速（30m／s，地上高 10m，10 分間平均）の風荷重に対し機械的強度を有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，風（台風）に対して機能を維持すること若しくは風（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を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，その安全機能を損なわない設計とする。

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

及び高潮が考えられる。落雷については，同時に発生するとしても，「(7)落雷」に述べる個々の事象として考えられる影響と変わらない。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，安全機能を損なわない設計とする。

なお，風（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。

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/know/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，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。

安全施設は，設計竜巻の最大風速 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設計飛来物等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，外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないために，以下の対策を行う。

・外部事象防護対象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，外部事象防護対象施設及び竜巻飛来物防護対策設備からの離隔，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。

・外部事象防護対象施設を内包する区画及び竜巻飛来物防護対策設備により，外部事象防護対象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。

・外部事象防護対象施設の構造健全性が維持できない場合には，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を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，その安全機能を損なわない設計とする。

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。

外部事象防護対象施設は，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，安全機能を損なわない設計とする。

また，上記以外の安全施設については，低温による凍結に対して機能を維持すること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を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，その安全機能を損なわない設計とする。

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

許可申請の手びき」（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。

外部事象防護対象施設は，設計基準降水量（127.5mm／h）の降水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。

その上で，外部事象防護対象施設は，設計基準降水量（127.5mm／h）の降水に対し，排水口及び構内排水路による海域への排水，浸水防止のための建屋止水処置等により，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，降水に対して機能を維持すること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を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，安全機能を損なわない設計とする。

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が生じることはない。

(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等施行細則によると，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。

外部事象防護対象施設は，設計基準積雪量（30cm）の積雪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。

その上で，外部事象防護対象施設は，設計基準積雪量（30cm）の積雪荷重に対し機械的強度を有することにより安全機能を損なわない設計とする。また，設計基準積雪量（30cm）に対し給排気口を閉塞させないことにより安全機能を損なわない設計とする。

なお，設計基準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及び給排気口の閉塞防止，構内道路の除雪を行うことでプラント運営に支障をきたさない措置が可能である。

また，上記以外の安全施設については，積雪に対して機能を維持すること，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を行うこと，又は，それらを適切に組み合わせることにより，安全機能を損なわない設計とする。

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ＪＥＡＧ4608（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ＪＩＳ 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，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，雷撃電流値は 220kA である。

よって，落雷の設計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。

外部事象防護対象施設は，設計基準電流値（220kA）の落雷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。

その上で，外部事象防護対象施設の雷害防止対策として，原子炉建屋等への避雷針の設置，接地網の敷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うことにより，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，落雷に対して機能を維持すること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を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，安全機能を損なわない設計とする。

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，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わない。

なお，評価結果の詳細は「添付資料８．地滑り影響評価について」のとおり。

※1 茨城県 土木部 河川課 発行

※2 独立行政法人防災科学技術研究所発行

(9) 火山の影響 六条（火山）において説明

設置許可基準規則を参照し，新たに設計方針を追加した事象である。

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

文献調査，地質調査及び降下火砕物シミュレーション解析の結果を踏まえ，降下火砕物の層厚を 50cm，密度を 1.5g／cm^3（湿潤状態），粒径を最大 8.0mm と評価した。

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

外部事象防護対象施設は，降下火砕物による直接的影響及び間接的影響が発生した場合においても，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

外部事象防護対象施設は，直接的影響に対して，以下により安全機能を損なわない設計とする。

・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換気系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バグフィルタの取替え若しくは清掃又は換気空調設備の停止若しく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

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を維持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に降下火砕物の除去又は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。

b．間接的影響に対する設計

降下火砕物による間接的影響として考慮する，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が生じた場合については，降下火砕物に対して

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含む。）の安全機能を維持することで，発電用原子炉施設の停止及び停止後の発電用原子炉施設の冷却並びに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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）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。

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。

外部事象防護対象施設は，生物学的事象として海生生物の発生及び小動物の侵入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。

その上で，外部事象防護対象施設は，海生生物の発生に対しては，海生生物を含む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，安全機能を損なわない設計とする。

小動物の侵入に対しては，屋内設備は建屋止水処置により，屋外設備は端子箱貫通部の閉止処置を行うことにより，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，生物学的事象に対して機能を維持すること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を行う

こと又はそれらを適切に組み合わせることにより，安全機能を損なわない設計とする。

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。

敷地外の森林から出火し，敷地内の植生へ延焼するおそれがある場合は，自衛消防隊が出動し，予防散水等の延焼防止措置を行う。また，敷地内の植生へ延焼した場合であっても，森林火災シミュレーション（ＦＡＲＳＩＴＥ）による影響評価に基づいた防火帯幅を確保すること等により，安全機能が損なわれることはない。

また，上記以外の安全施設については，建屋による防護，消火活動，代替設備により必要な機能を確保，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により，安全機能を損なわない設計とする。

森林火災に伴う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により，安全機能を損なわない設計とする。

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

(12)　高潮

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

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，安全機能を損なわない設計とする。

4.　外部人為事象

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

4.1　個別評価

(1)　飛来物（航空機落下）

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。

発電用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14･7･29 原院第4号（平成14年7月30日 原子力安全・保安院制定））等に基づき評価した結果，約8.5×10^{-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，飛来物（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。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は，発電用原子炉施設から独立して設置されていることから，個別に航空機落下確率を評価した結果，約6.1×10^{-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，飛来物（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。

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。

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く，ダムの崩壊を考慮する必要はない。

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。

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施設はないため，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 以内の危険物貯蔵施設又は発電所敷地周辺道路の燃料輸送車両から爆発が発生する場合を想定しても，離隔距離の確保により，安全機能を損なわない設計とする。航行中の船舶が漂流し爆発が発生する場合を想定しても，離隔距離の確保等により，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，離隔距離の確保，代替設備による必要な機能の確保，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により，安全機能を損なわない設計とする。

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。

a．石油コンビナート施設等の火災

発電所敷地外 10km 以内の範囲において，火災により評価対象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。

発電所敷地外 10km 以内の範囲において，石油コンビナート施設以外の危険物貯蔵施設又は発電所敷地周辺道路の燃料輸送車両から火災が発生する場合を想定しても，離隔距離の確保等により，安全機能を損なわない設計とする。航行中の船舶が漂流し火災が発生する場合を想定しても，離隔距離の確保等により，安全機能を損なわない設計とする。

b．発電所敷地内に存在する危険物貯蔵施設等の火災

発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災発生時の輻射熱による評価対象施設の建屋（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，安全機能を損なわない設計とする。

c．航空機墜落による火災

原子炉建屋周辺に航空機が墜落し，燃料火災が発生した場合，直ちに公設消防へ通報するとともに，自衛消防隊が出動し，速やかに初期消火活動を行う。

航空機が外部事象防護対象施設である原子炉建屋等の周辺で落下確率が 10^{-7}回／炉・年以上になる地点へ墜落することを想定しても，火災の影響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，建屋による防護，消火活動，代替設備による必要な機能の確保，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により，安全機能を損なわない設計とする。

d．二次的影響（ばい煙等）

石油コンビナート施設の火災，発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災に伴う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及び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により，安全機能を損なわない設計とする。

(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（石油コンビナート施設等）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，発電用原子炉施設と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を損なうことはない。また，敷地港湾の前面の海域を移動中の可動施設から有毒ガスの漏えいを想定した場合も同様に，離隔距離が確保されていることから，中央制御室の居住性を損なうことはない。

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を損なうことはない。

また，中央制御室換気系については，外気取入ダンパを閉止し，再循環運転を行うことにより中央制御室の居住性を損なうことはない。

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。

航路を通行する船舶の衝突に対し，航路からの離隔距離を確保することにより，安全施設が安全機能を損なわない設計とする。

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，防波堤等に衝突して止まることから取水機能を損なうことはない。また，万が一防波堤を通過し，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，呑み口が広いため，取水機能を損なうことはない。

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，船舶の衝突によって取水路が閉塞することはなく，安全施設が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 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。

安全保護系は，電磁的障害による擾乱に対して，計装盤へ入線する電源受電部へのラインフィルタや絶縁回路の設置，外部からの信号入出力部へのラインフィルタや絶縁回路の設置，鋼製筐体や金属シールド付ケーブルの適用等により，影響を受けない設計としている。

したがって，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。

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

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，地滑り及び高潮の自然現象，並びに飛来物（航空機落下），ダムの崩壊，有毒ガス及び船舶の衝突の外部人為事象に関しては，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（１／１０）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	外部事象防護対象施設に該当	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		降水		積雪		落雷		火山の影響		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※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	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	○	影
			配管，弁	C/S	○	○	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	○	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	○	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	○	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	○	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	○	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	○	影
			シュラウドサポート	C/S	○	○	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	○	影
			炉心支持板	C/S	○	○	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	○	影
			制御棒案内管	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			制御棒駆動機構ハウジング	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			燃料集合体（上部タイプレート）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			燃料集合体（下部タイプレート）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			燃料集合体（スペーサ）	C/S	○	○	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	○	影
			制御棒カップリング	C/S	○	○	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	○	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	○	影
	原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁（安全弁としての開機能）	逃がし安全弁（安全弁開機能）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影

※１　○：評価対象施設等に該当し，各外部事象に対し安全機能を損なわない若しくは評価対象施設等に該当せず，各外部事象による損傷を考慮して代替設備による必要な機能の維持，安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらの組合せにより安全機能を損なわない

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，付属棟，廃棄物処理棟）
NR/W：廃棄物処理建屋
D/Y：固体廃棄物貯蔵庫
T/B：タービン建屋
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（２／１０）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	外部事象防護対象施設に該当	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		降水		積雪		落雷		火山の影響		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※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果
MS-1	原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統（残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード），原子炉隔離時冷却系，高圧炉心スプレイ系，逃がし安全弁（手動逃がし機能），自動減圧系（手動逃がし機能））	残留熱除去系（ポンプ，熱交換器，原子炉停止時冷却モードのルートとなる配管，弁）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			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）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			高圧炉心スプレイ系（ポンプ，サプレッション・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，スプレイヘッダ）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			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	○	影
	炉心冷却機能	非常用炉心冷却系（低圧炉心スプレイ系，低圧注水系，高圧炉心スプレイ系，自動減圧系）	低圧炉心スプレイ系（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，スプレイヘッダ）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			残留熱除去系（低圧注水モード）（ポンプ，サプレッション・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），注水ヘッダ）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			高圧炉心スプレイ系（ポンプ，サプレッション・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，スプレイヘッダ）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			自動減圧系（逃がし安全弁）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影

※１　○：評価対象施設等に該当し，各外部事象に対し安全機能を損なわない若しくは評価対象施設等に該当せず，各外部事象による損傷を考慮して代替設備による必要な機能の維持，安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらの組合せにより安全機能を損なわない

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，付属棟，廃棄物処理棟）
NR/W：廃棄物処理建屋
D/Y：固体廃棄物貯蔵庫
T/B：タービン建屋
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（３／１０）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	外部事象防護対象施設に該当	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		降水		積雪		落雷		火山の影響		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※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	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	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）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			原子炉建屋原子炉棟	屋外	○	○	荷	○	荷，飛，補※2	○	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	○	影
			主蒸気流量制限器	C/S	○	○	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（ドライウェル及びサプレッション・プール気相部）までの配管，弁，スプレイヘッダ（ドライウェル及びサプレッション・プール））	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			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
				屋外	×	○	荷	○	荷，補	○	影	○	影	○	影	○	影	○	影	○	影	○	熱	○	爆	○	熱	○	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	○	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	○	影

※１　○：評価対象施設等に該当し，各外部事象に対し安全機能を損なわない若しくは評価対象施設等に該当せず，各外部事象による損傷を考慮して代替設備による必要な機能の維持，安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらの組合せにより安全機能を損なわない
※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）

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，付属棟，廃棄物処理棟）
NR/W：廃棄物処理建屋
D/Y：固体廃棄物貯蔵庫
T/B：タービン建屋
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（４／１０）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	外部事象防護対象施設に該当	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		降水		積雪		落雷		火山の影響		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※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果
MS-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	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	○	防
	安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系，制御室及びその遮蔽・非常用換気空調系，非常用補機冷却水系，直流電源系（いずれも，ＭＳ－１関連のもの）	非常用所内電源系（ディーゼル機関，発電機，発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	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	○	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）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
				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	○	影
				屋外	○	○	荷	○	防	○	防	○	影	○	荷	○	防	○	荷，灰	○	防	○	熱，煙	○	爆	○	熱，煙	○	影
			ディーゼル発電機海水系（ポンプ，配管，弁，ストレーナ）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
				屋外	○	○	荷	○	防	○	防	○	影	○	荷	○	防	○	荷，灰	○	防	○	熱，煙	○	爆	○	熱，煙	○	影
			直流電源系（蓄電池，蓄電池から非常用負荷までの配電設備及び電路（ＭＳ－１関連））	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	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	○	防

※１　○：評価対象施設等に該当し，各外部事象に対し安全機能を損なわない若しくは評価対象施設等に該当せず，各外部事象による損傷を考慮して代替設備による必要な機能の維持，安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらの組合せにより安全機能を損なわない

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，付属棟，廃棄物処理棟）
NR/W：廃棄物処理建屋
D/Y：固体廃棄物貯蔵庫
T/B：タービン建屋
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（５／１０）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	外部事象防護対象施設に該当	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		降水		積雪		落雷		火山の影響		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※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	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※2	○	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）	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
MS-3	放射性物質放出の防止機能	放射性気体廃棄物処理系の隔離弁，排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能以外）	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	○	内	○	補	○	影
			排気筒	屋外	×	○	荷	○	荷，補	○	影	○	影	○	影	○	影	○	影	○	影	○	熱	○	爆	○	熱	○	影
			燃料プール冷却浄化系の燃料プール入口逆止弁	C/S	○	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影

※１　○：評価対象施設等に該当し，各外部事象に対し安全機能を損なわない若しくは評価対象施設等に該当せず，各外部事象による損傷を考慮して代替設備による必要な機能の維持，安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらの組合せにより安全機能を損なわない
※２　使用済燃料乾式貯蔵容器も外郭防護施設としている。

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

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

第５－１表　外部事象による安全施設への影響（６／１０）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	外部事象防護対象施設に該当	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		降水		積雪		落雷		火山の影響		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※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果
MS-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	原子炉建屋原子炉棟	屋外	○	○	荷	○	荷，飛補※2	○	影	○	水，荷	○	荷	○	影	○	荷	○	影	○	熱	○	爆	○	熱	○	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	○	影	○	影	○	熱	○	爆	○	熱	○	影
	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	○	防
			・原子炉格納容器圧力 ・サプレッション・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	○	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 ［サプレッション・プール冷却］ ・原子炉水位（広帯域，燃料域） ・サプレッション・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	○	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	○	影
			ベント配管，弁	C/S	×	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影

※１　○：評価対象施設等に該当し，各外部事象に対し安全機能を損なわない若しくは評価対象施設等に該当せず，各外部事象による損傷を考慮して代替設備による必要な機能の維持，安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらの組合せにより安全機能を損なわない
※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）

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

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

第５－１表　外部事象による安全施設への影響（７／１０）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	外部事象防護対象施設に該当	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		降水		積雪		落雷		火山の影響		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※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果
PS-3	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	○	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	○	影
			新燃料貯蔵庫（新燃料貯蔵ラック）	C/S	×	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			給水加熱器保管庫	屋外	×	○	補	○	補	○	影	○	水，補	○	補	○	影	○	補	○	影	○	熱	○	爆	○	熱	○	影
			セメント混練固化装置及び雑固体減容処理設備（液体及び固体の放射性廃棄物処理系）	NR/W	×	○	内	○	補	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	影
	電源供給機能（非常用を除く。）	タービン，発電機及びその励磁装置，復水系（復水器を含む。），給水系，循環水系，送電線，変圧器，開閉所	発電機及びその励磁装置（発電機，励磁機）	T/B	×	○	内	○	補	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	影
			蒸気タービン（主タービン，主要弁，配管）	T/B	×	○	内	○	補	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	影
			復水系（復水器を含む）（復水器，復水ポンプ，配管／弁）	T/B	×	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			給水系（電動駆動給水ポンプ，タービン駆動給水ポンプ，給水加熱器，配管／弁）	T/B	×	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	影
			循環水系（循環水ポンプ，配管／弁）	T/B	×	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
			常用所内電源系（発電機又は外部電源系から所内負荷までの配電設備及び電路（ＭＳ－１関連以外））	C/S	×	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影

※１　○：評価対象施設等に該当し，各外部事象に対し安全機能を損なわない若しくは評価対象施設等に該当せず，各外部事象による損傷を考慮して代替設備による必要な機能の維持，安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらの組合せにより安全機能を損なわない

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

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

第５－１表　外部事象による安全施設への影響（８／１０）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	外部事象防護対象施設に該当	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		降水		積雪		落雷		火山の影響		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※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果
PS-3	電源供給機能（非常用を除く。）（つづき）	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（つづき）	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	○	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	○	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）	○	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）
			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）
			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）
	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

※１　○：評価対象施設等に該当し，各外部事象に対し安全機能を損なわない若しくは評価対象施設等に該当せず，各外部事象による損傷を考慮して代替設備による必要な機能の維持，安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらの組合せにより安全機能を損なわない

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

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

第５－１表　外部事象による安全施設への影響（９／１０）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	外部事象防護対象施設に該当	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		降水		積雪		落雷		火山の影響		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※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果
PS-3	プラント運転補助機能（つづき）	所内ボイラ，計装用圧縮空気系（つづき）	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	○	影
				T/B	×	○	補	○	補	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	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	○	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	○	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	○	影
	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	C/S	×	○	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	○	影
			タイロッド	C/S	×	○	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	○	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	○	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	○	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	○	影
				屋外	×	○	補	○	補	○	防	○	影	○	補	○	影	○	補	○	影	○	熱	○	爆	○	熱	○	影
			原子炉隔離時冷却系（ポンプ，タービン）	C/S	×	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影

※１　○：評価対象施設等に該当し，各外部事象に対し安全機能を損なわない若しくは評価対象施設等に該当せず，各外部事象による損傷を考慮して代替設備による必要な機能の維持，安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらの組合せにより安全機能を損なわない

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，付属棟，廃棄物処理棟）
NR/W：廃棄物処理建屋
D/Y：固体廃棄物貯蔵庫
T/B：タービン建屋
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（１０／１０）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	外部事象防護対象施設に該当	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		降水		積雪		落雷		火山の影響		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※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	確認結果	評価※1	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	○	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）
			放射線監視設備	屋外	×	○	代（可搬型モニタリングポスト）	○	代（可搬型モニタリングポスト）	○	代（可搬型モニタリングポスト）	○	代（可搬型モニタリングポスト）	○	代（可搬型モニタリングポスト）	○	代（可搬型モニタリングポスト）	○	代（可搬型モニタリングポスト）	○	代（可搬型モニタリングポスト）	○	代（可搬型モニタリングポスト）	○	代（可搬型モニタリングポスト）	○	代（可搬型モニタリングポスト）	○	代（可搬型モニタリングポスト）
			事故時監視計器の一部	C/S	×	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	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	○	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）	○	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）	○	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）	○	影

※１　○：評価対象施設等に該当し，各外部事象に対し安全機能を損なわない若しくは評価対象施設等に該当せず，各外部事象による損傷を考慮して代替設備による必要な機能の維持，安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらの組合せにより安全機能を損なわない

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

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」にて発電所敷地で想定される自然現象（地震及び津波除く。）として抽出した 12 事象から，「3.2　個別評価」にて発電所では被害が考えられないと評価した洪水，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（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又は個々の事象の設計余裕に包絡されているもの

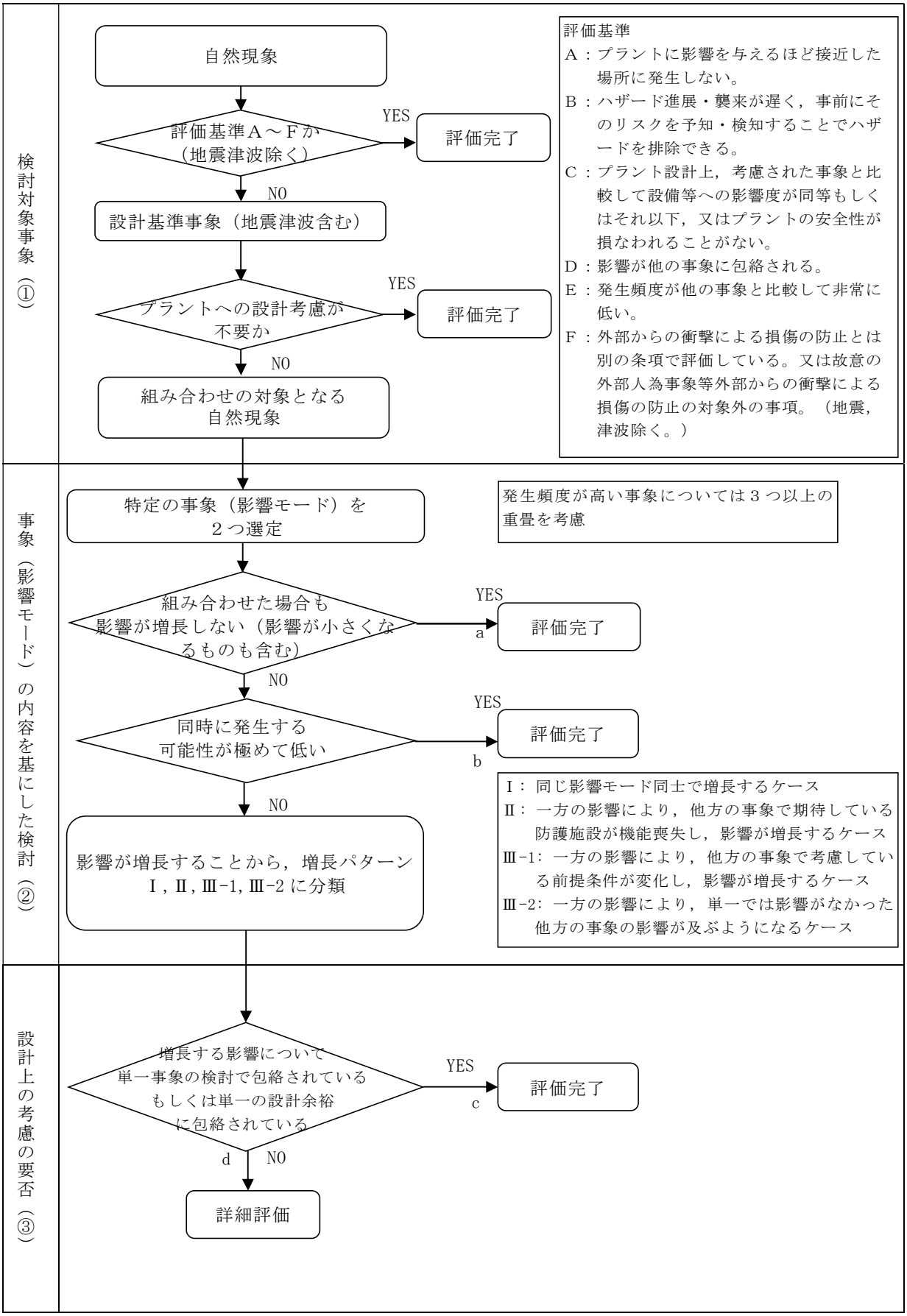
ｄ．ｃ以外で影響が増長するもの

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か否かについても考慮。

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　アクセス性・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　外部事象の収集」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　個別評価」にて発電所では被害が考えられないと評価した洪水，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，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	No.	自然現象
1-1	凍結	1-15	生物学的事象
1-3	降水	1-19	風（台風）
1-7	地震	1-20	竜巻
1-8	積雪	1-22	森林火災
1-11	津波	1-33	落雷
1-12	火山の影響		

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する，同様の原因（低気温時に頻発等）により発生する等の因果関係を有し，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。相間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	凍結，積雪
②高温系	－
③風水害系	降水，風（台風）又は竜巻※，落雷
④地震系（津波）	地震，津波
⑤地震系（火山の影響）	地震，火山の影響

※：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。

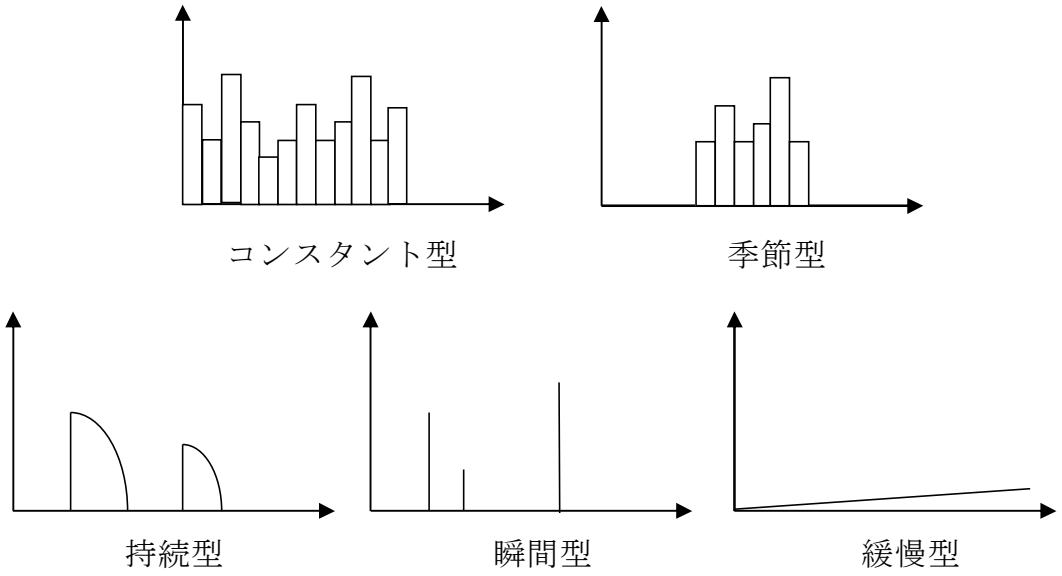
ここで生物学的事象については，海生生物（くらげ等）と動物（ネズミ等）

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	凍結，降水，積雪，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	火山の影響
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，津波，生物学的事象（小動物），竜巻，森林火災，落雷
緩慢型	事象進展が緩慢であり，発電所の運転に支障を来すほどの短時間での事象進展がないと判断される自然現象。	－

※複数の型が該当する自然現象は，保守的な型を割り当てる（上が保守的）
例えば風（台風）について，風圧力は瞬間型だが，作業性などの検討においては定常的な負荷が想定されるため，コンスタント型に分類



第 6.2－1 図　影響モード分類

6.3　重畳影響分類

6.3.1　重畳影響分類方針

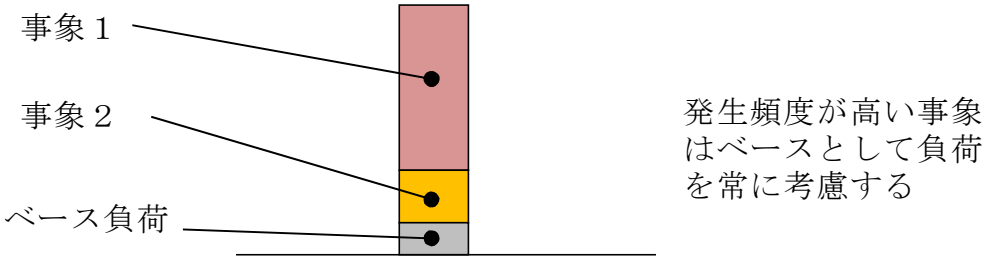
「6.1 検討対象」で選定した自然現象の組合せに対して網羅的に検討を実施する。

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

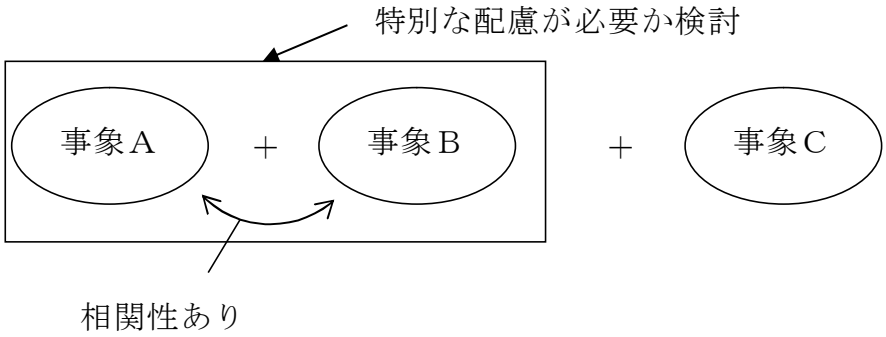
②　規模

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。

凍結と積雪には電気的影響（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，電気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	凍結	温度，電気的影響（着氷による短絡）
	積雪	荷重，電気的影響（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	電気的影響（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（火山の影響）

地震系（火山の影響）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。

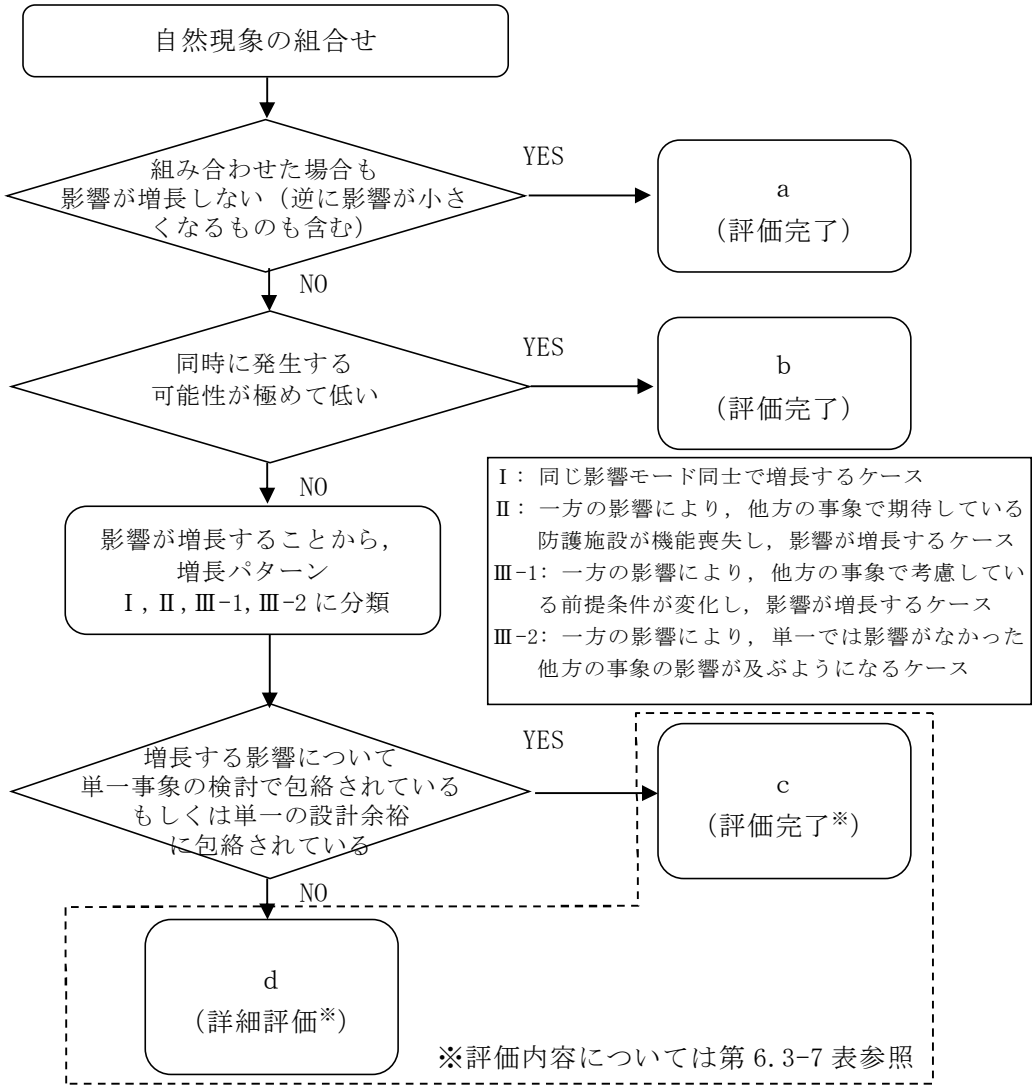
第 6.3-4 表　地震系（火山の影響）の影響モード

自然現象		影響モード
地震系	地震	荷重（地震）
	火山の影響	荷重（堆積），電気的影響（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，安全施設は安全機能を損なわない。

また，発生頻度が極めて低い事象（地震，津波，竜巻及び火山の影響）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	火山の影響
事象１	地震		①	②	③
	津波	④		⑤	⑥
	竜巻	⑦	⑧		⑨
	火山の影響	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}
	火山の影響	長（30 日）	2.2×10^{-5}※

※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）と火山の影響（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）と火山の影響（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）と火山の影響（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 火山の影響（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 火山の影響（事象１）と津波（事象２）の組合せについて

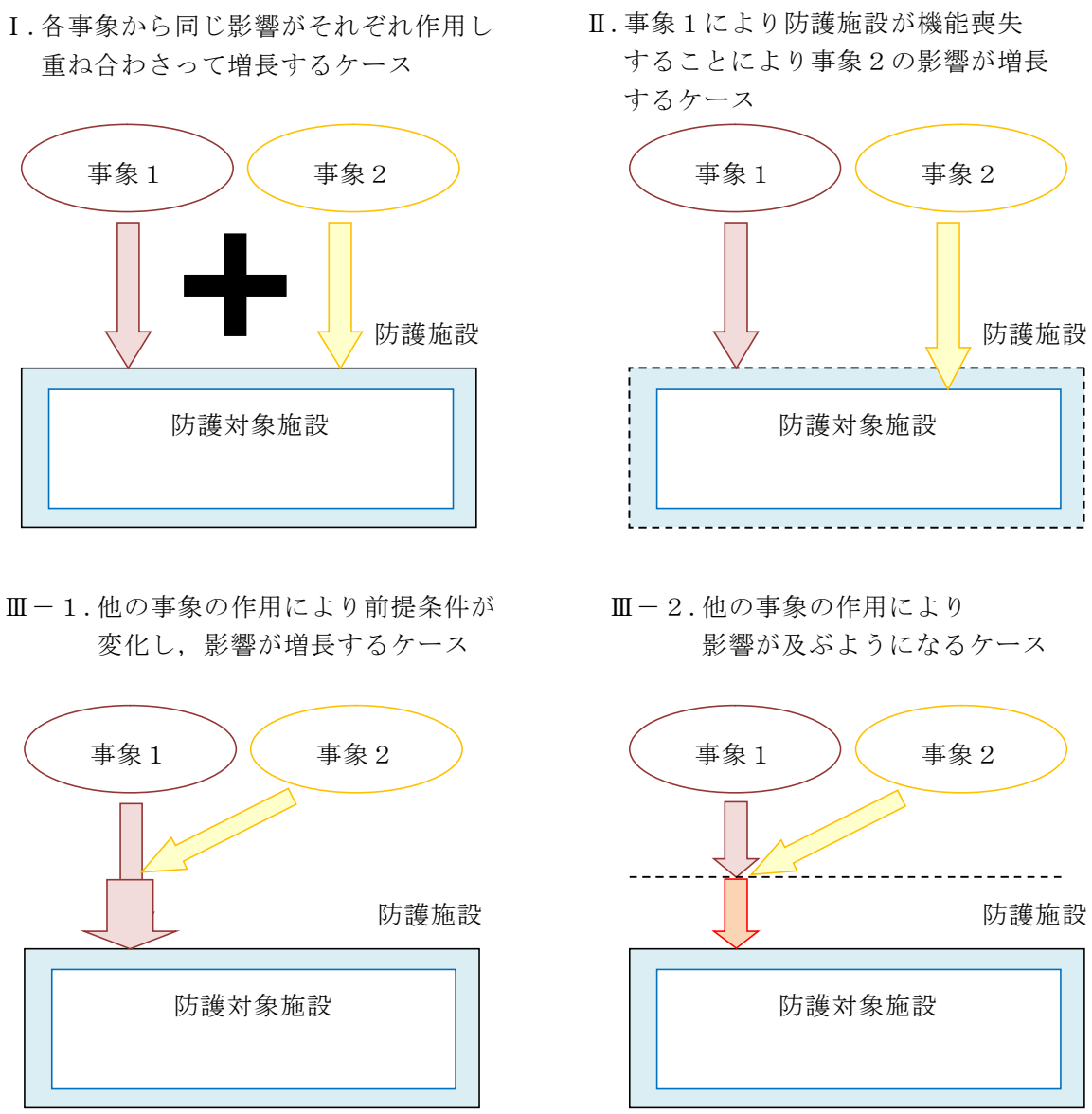
両者は独立事象であり，発生頻度は低いことから，同時に来襲する可能性は極めて低いため，重畳を考慮する必要はない。

⑫ 火山の影響（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。



第 6.3－4 図　重畳による増長パターン分類

6.3.3　重畳影響分類結果

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

第6.3－7表　自然現象の重畳マトリックス（1／2）

【凡例】
a：組み合わせた場合も影響が増長しないもの
b：同時に発生する可能性が極めて低いもの
c：増長する影響について単一事象の検討で包絡されている，若しくは単一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※
※c，dについては以下も記載
Ⅰ：各自然現象から同じ影響がそれぞれ作用し，重ね合わさって増長するケース
Ⅱ：ある自然現象の防護施設が他の自然現象によって機能喪失することにより，影響が増長するケース
Ⅲ－１：他の自然現象の作用により前提条件が変化し，影響が増長するケース
Ⅲ－２：他の自然現象の作用により影響が及ぶようになるケース

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

第6.3－7表　自然現象の重畳マトリックス（2／2）

【凡例】
a：組み合わせた場合も影響が増長しないもの
b：同時に発生する可能性が極めて低いもの
c：増長する影響について単一事象の検討で包絡されている，若しくは単一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※
※c，dについては以下も記載
Ⅰ：各自然現象から同じ影響がそれぞれ作用し，重ね合わさって増長するケース
Ⅱ：ある自然現象の防護施設が他の自然現象によって機能喪失することにより，影響が増長するケース
Ⅲ－１：他の自然現象の作用により前提条件が変化し，影響が増長するケース
Ⅲ－２：他の自然現象の作用により影響が及ぶようになるケース

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

第6.3－8表　事象の重畳 個別検討結果（1/6）

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

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（電気的影響） ×火山の影響（電気的影響）	電気的影響（相間短絡）	d	Ⅰ	付着物の増加により，送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）は相間短絡の影響を受けない。	－
積雪（荷重（堆積）） ×風（台風）（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。 →火山の影響(荷重(堆積))×風（台風）(荷重(風（台風）))にて評価を行う。	－
積雪（閉塞（吸気系）） ×風（台風）（荷重（風））	閉塞（吸気系）	d	Ⅲ－１	風（台風）の影響により，雪の吸込量が増加し，閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し，状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	－
積雪（閉塞（吸気系）） ×竜巻（荷重（風））	閉塞（吸気系）	d	Ⅲ－１	風（台風）の影響により，雪の吸込量が増加し，閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し，状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	－
積雪（閉塞（吸気系）） ×森林火災（閉塞）	閉塞（吸気系）	d	Ⅰ	雪とばい煙の吸込により，個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し，状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	－
津波（浸水） ×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	地震によりカーテンウォール等が損傷，コンクリート部材の取水設備侵入の可能性が高まると考えられる。 →コンクリート部材の倒壊による取水口の閉塞は生じない。 また，仮に取水機能が確保できないおそれがある場合においても，循環水ポンプのインペラ開度調整，発電機出力の抑制，プラント停止等の手順と同様の対応により対処可能である。	－
津波（荷重（衝突）） ×積雪（荷重（堆積））	荷重	d	Ⅲ－１	積雪による堆積荷重の作用により，地震の荷重が増大すると考えられる。 →積雪は一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用することから，組合せを考慮する。	○
津波（閉塞（海水系）） ×生物学的事象（閉塞（海水系））	閉塞（海水系）	d	Ⅰ	漂流物と海生生物の流入により，個別事象と比べ閉塞及び取水機能の低下の可能性が高まると考えられる。 →除塵装置や海水ストレーナ等により海生生物を捕獲除去し取水機能の維持を図っているが，取水機能が確保できないおそれがある場合においても，循環水ポンプのインペラ開度調整，発電機出力の抑制，プラント停止等の手順により対処可能である。	－
津波（荷重（衝突）） ×風（台風）（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（台風）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（台風）（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。	－

第6.3－8表　事象の重畳 個別検討結果（3/6）

重畳事象（事象１×事象２の順で記載）	影響モード	増長	影響	検討結果	設計上の考慮
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。	－
火山の影響（電気的影響） ×凍結（電気的影響）	電気的影響（相間短絡）	d	Ⅰ	付着物の増加により，送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）は相間短絡の影響を受けない。	－
火山の影響（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))×火山の影響(荷重(堆積))にて評価を行う。	－
火山の影響（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。 →敷地内には土石流を起こすような地形は存在しない。	－
火山の影響（荷重（堆積）） ×積雪（荷重（堆積））	荷重	d	Ⅰ	個別事象の重畳により，堆積荷重が増加すると考えられる。 →一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用するもの同士であることから，受圧面積が小さい施設又は荷重の影響が常時作用してい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。	○
火山の影響（電気的影響） ×積雪（電気的影響）	電気的影響（相間短絡）	d	Ⅰ	付着物の増加により，送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）は相間短絡の影響を受けない。	－
火山の影響（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。	－
火山の影響（閉塞（海水系）） ×生物学的事象（閉塞（海水系））	閉塞（海水系）	c	Ⅰ	降下火砕物と海生生物の流入により，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，海水ストレーナまで到達しないことから，個別事象と同等となる。	－
火山の影響（荷重（堆積）） ×風（台風）（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。 →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。	○
火山の影響（閉塞（吸気系）） ×風（台風）（荷重（風））	閉塞（吸気系）	d	Ⅲ－１	風（台風）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。	－
火山の影響（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等により海生物を捕獲除去し取水機能の維持を図っているが，取水機能が確保できないおそれがある場合においても，循環水ポンプのインペラ開度調整，発電機出力の抑制，プラント停止等の手順により対処可能である。	－

第6.3－8表　事象の重畳 個別検討結果（4/6）

重畳事象（事象１×事象２の順で記載）	影響モード	増長	影響	検討結果	設計上の考慮
生物学的事象（閉塞（海水系）） ×火山の影響（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（台風）（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等により海生物を捕獲除去し取水機能の維持を図っているが，取水機能が確保できないおそれがある場合においても，循環水ポンプのインペラ開度調整，発電機出力の抑制，プラント停止等の手順により対処可能である。	－
生物学的事象（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等により海生物を捕獲除去し取水機能の維持を図っているが，取水機能が確保できないおそれがある場合においても，循環水ポンプのインペラ開度調整，発電機出力の抑制，プラント停止等の手順により対処可能である。	－
風（台風）（荷重（風）） ×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。 →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（台風）（荷重（飛来物）） ×地震活動（荷重（地震））	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。	－
風（台風）（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（台風）（荷重(風)）×火山の影響(荷重(堆積))にて評価を行う。	－
風（台風）（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処可能である。	－
風（台風）（荷重（風）） ×津波（荷重（衝突））	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。	○
風（台風）（荷重（飛来物）） ×津波（荷重（衝突））	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。	－
風（台風）（荷重（風）） ×火山の影響（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（台風）（荷重（風）） ×火山の影響（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処可能である。	－
風（台風）（荷重（飛来物）） ×生物学的事象（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等により海生物を捕獲除去し取水機能の維持を図っているが，取水機能が確保できないおそれがある場合においても，循環水ポンプのインペラ開度調整，発電機出力の抑制，プラント停止等の手順により対処可能である。	－
風（台風）（荷重（風）） ×森林火災（温度）	温度	c	Ⅲ－１	風（台風）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　事象の重畳 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
風（台風）（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処可能である。	－
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。	－
竜巻（荷重（風）） ×森林火災（閉塞（吸気系））	閉塞（吸気系）	d	Ⅲ－１	風の影響により，ばい煙の吸込量が増加し，閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し，状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	－
竜巻（荷重（風）） ×落雷（電気的影響（直撃雷））	電気的影響（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（電気的影響（直撃雷））	電気的影響（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と考えられる。 →避雷機能を有する排気筒が設置網に接続されており，落雷電流を設置網へ導く機能は確保されることから影響はない。	－
森林火災（閉塞（吸気系）） ×積雪（閉塞（吸気系））	閉塞（吸気系）	d	Ⅰ	ばい煙と雪の吸込により，個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し，状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	－
森林火災（閉塞（吸気系）） ×火山の影響（閉塞（吸気系））	閉塞（吸気系）	d	Ⅰ	ばい煙と降下火砕物の吸込により，個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し，状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	－
森林火災（温度） ×風（台風）（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。	－
森林火災（閉塞（吸気系）） ×風（台風）（荷重（風））	閉塞（吸気系）	d	Ⅲ－１	風（台風）の影響により，ばい煙の吸込量が増加し，閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し，状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	－
森林火災（温度） ×竜巻（荷重（風））	温度	c	Ⅲ－１	風の影響により，熱影響の評価条件が変化し，個別事象での評価から増長，熱影響によるコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性が高まると考えられる。 →保守的な条件(偶発的に落下する航空機による火災と危険物タンク火災の重畳)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。	－
森林火災（閉塞（吸気系）） ×竜巻（荷重（風））	閉塞（吸気系）	d	Ⅲ－１	風の影響により，ばい煙の吸込量が増加し，閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口フィルタについてフィルタ差圧等を監視し，状況に応じ清掃や取替を実施する手順により対処可能である。	－
落雷（電気的影響（直撃雷）） ×地震活動（荷重（地震））	電気的影響（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。	－

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（電気的影響（直撃雷）） ×津波（荷重（衝突））	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。	－
落雷（電気的影響（直撃雷）） ×風（台風）（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。	－
落雷（電気的影響（直撃雷）） ×風（台風）（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（電気的影響（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（電気的影響（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（荷重）×積雪（荷重）

・地震（荷重）×風（台風）（荷重）

・積雪（荷重）×地震（荷重）

・積雪（荷重）×津波（荷重）

・積雪（荷重）×火山の影響（荷重）

・津波（荷重）×地震（荷重）

・津波（荷重）×積雪（荷重）

・津波（荷重）×風（台風）（荷重）

・火山の影響（荷重）×積雪（荷重）

・火山の影響（荷重）×風（台風）（荷重）

・風（台風）（荷重）×地震（荷重）

・風（台風）（荷重）×津波（荷重）

・風（台風）（荷重）×火山の影響（荷重）

上記組合せのうち，地震（荷重）×積雪（荷重）と積雪（荷重）×地震（荷重），地震（荷重）×風（台風）（荷重）と風（台風）（荷重）×地震（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），火山の影響（荷重）×風（荷重）と風（荷重）×火山の影響（荷重）及び積雪（荷重）×火山の影響（荷重）と火山の影響（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（荷重）×積雪（荷重）
地震（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（荷重）
火山の影響（荷重）×積雪（荷重）
火山の影響（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。

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

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. 凍結影響評価について

5. 降水影響評価について

6. 積雪影響評価について

7. 落雷影響評価について

8. 地滑り影響評価について

9. 生物学的事象に対する考慮について

10. 航空機落下確率評価について

11. ダムの崩壊影響評価について

12. 有毒ガス影響評価について

13. 船舶の衝突影響評価について

14. 安全保護回路の主な電磁波，サージ・ノイズ対策について

15. 設計上考慮すべき荷重評価における自然現象の組合せについて

16. 比較的短期での気象変動に対する考慮について

17. 設計基準事故時に生じる応力の考慮について

18. 設計基準としての設定値の妥当性について

19. 旧安全設計審査指針と設置許可基準規則との比較

20. 考慮すべき事象の除外基準と ASME 判断基準との比較

21. 考慮した外部事象についての対応状況

22. 外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備，及び津波監視設備の防護方針について

1.　防護すべき安全施設及び重大事故等対処設備への考慮

(1)　防護すべき安全施設

地震及び津波以外の自然現象及び（故意によるものを除く。）人為事象（以下「外部人為事象」という。）に対する安全施設への要求については「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」（以下，設置許可基準規則という。）にて規定されている。設置許可基準規則における安全施設は，「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」の安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス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，安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス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。 ３　安全施設は，工場等内又はその	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。 ７　第３項は，設計基準において

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。	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。

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，クラス２及びクラス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防護対象施設は，洪水により安全機能を損なわない設計とする。

(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 ㎜

・里川流域の 2 日間の総雨量 302 ㎜

・山田川流域の上流 2 日間の総雨量 315 ㎜

(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，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。

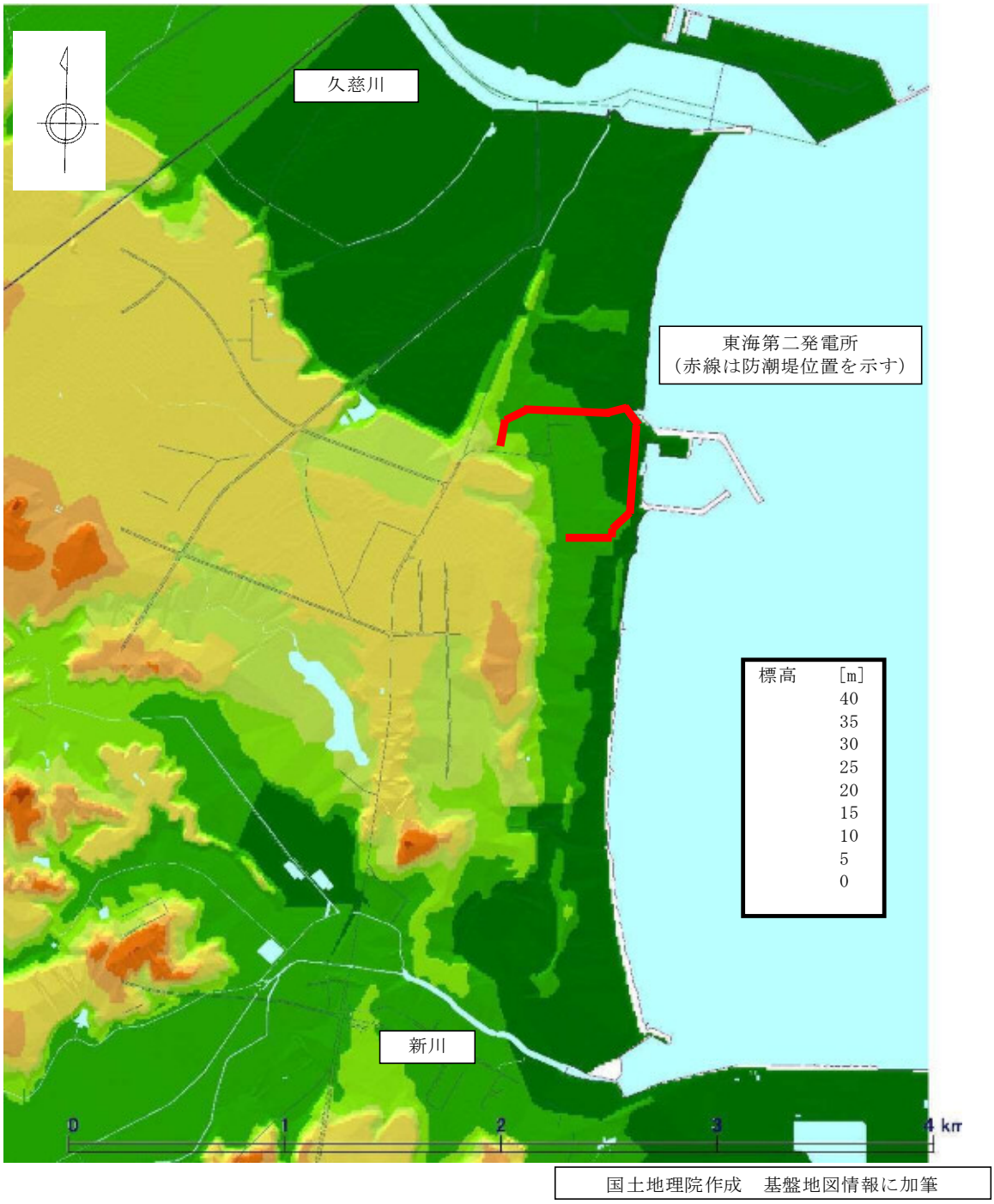
洪水発生に伴い発電所敷地内に水が浸入するルートとして，国道２４５号線から発電所構内進入道路を経て浸水するルートが考えられるが，発電所構内進入道路の入口が約 EL.＋15m の標高に位置し，最大の浸水量である約 EL.＋7m に達すると仮定しても裕度があるため，発電所に影響が及ぶことはない。

（第 2－2 図，第 2－3 図及び第 2－4 図参照）

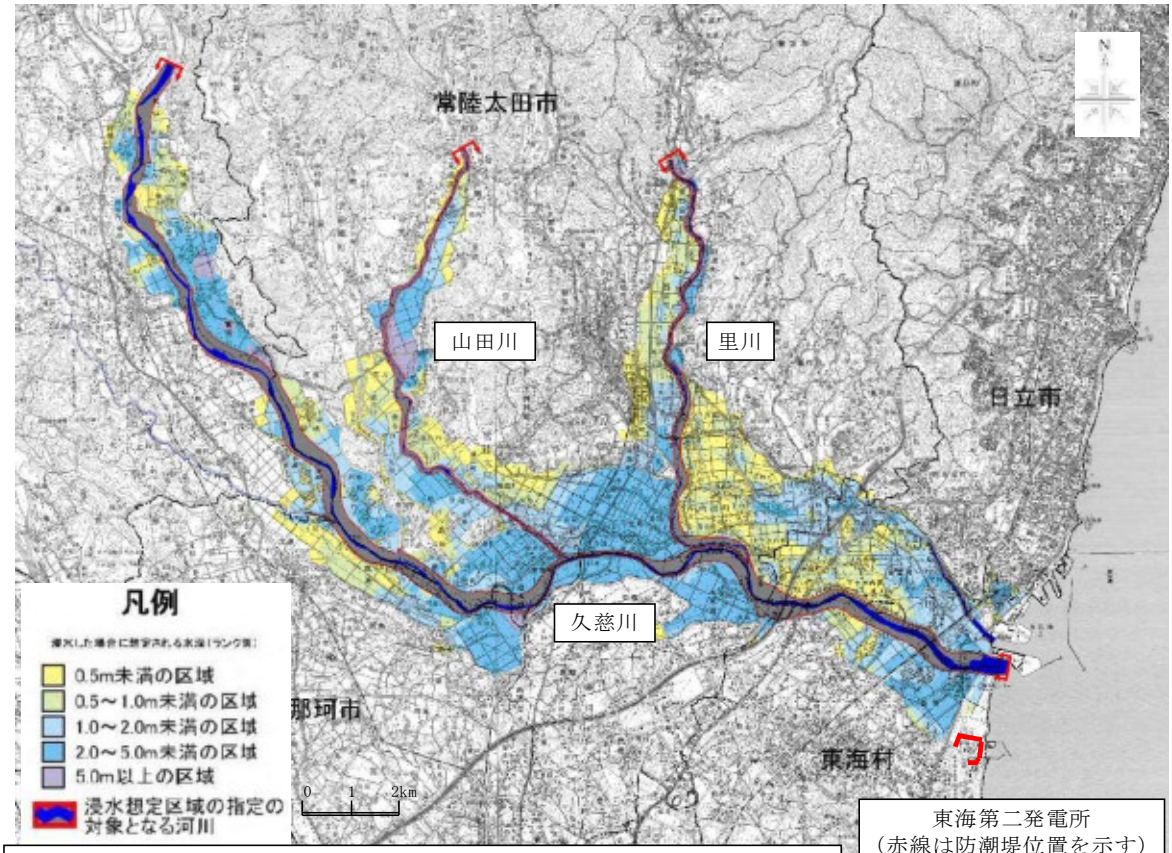
② 新川の洪水が想定を超えた場合

東海村が発行している洪水ハザードマップによれば，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，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）

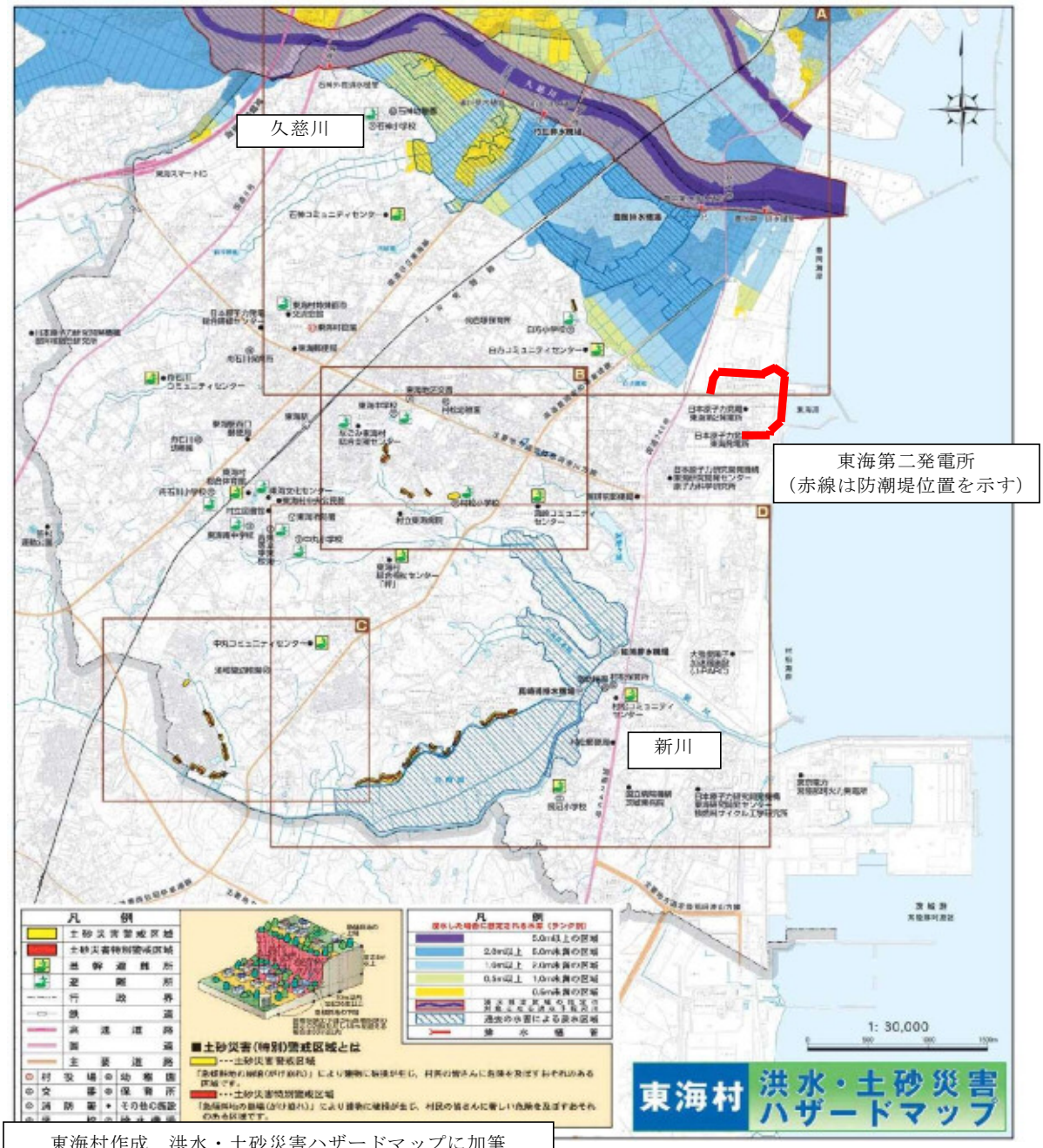


第２－１図　発電所敷地周辺の河川と標高の関係図



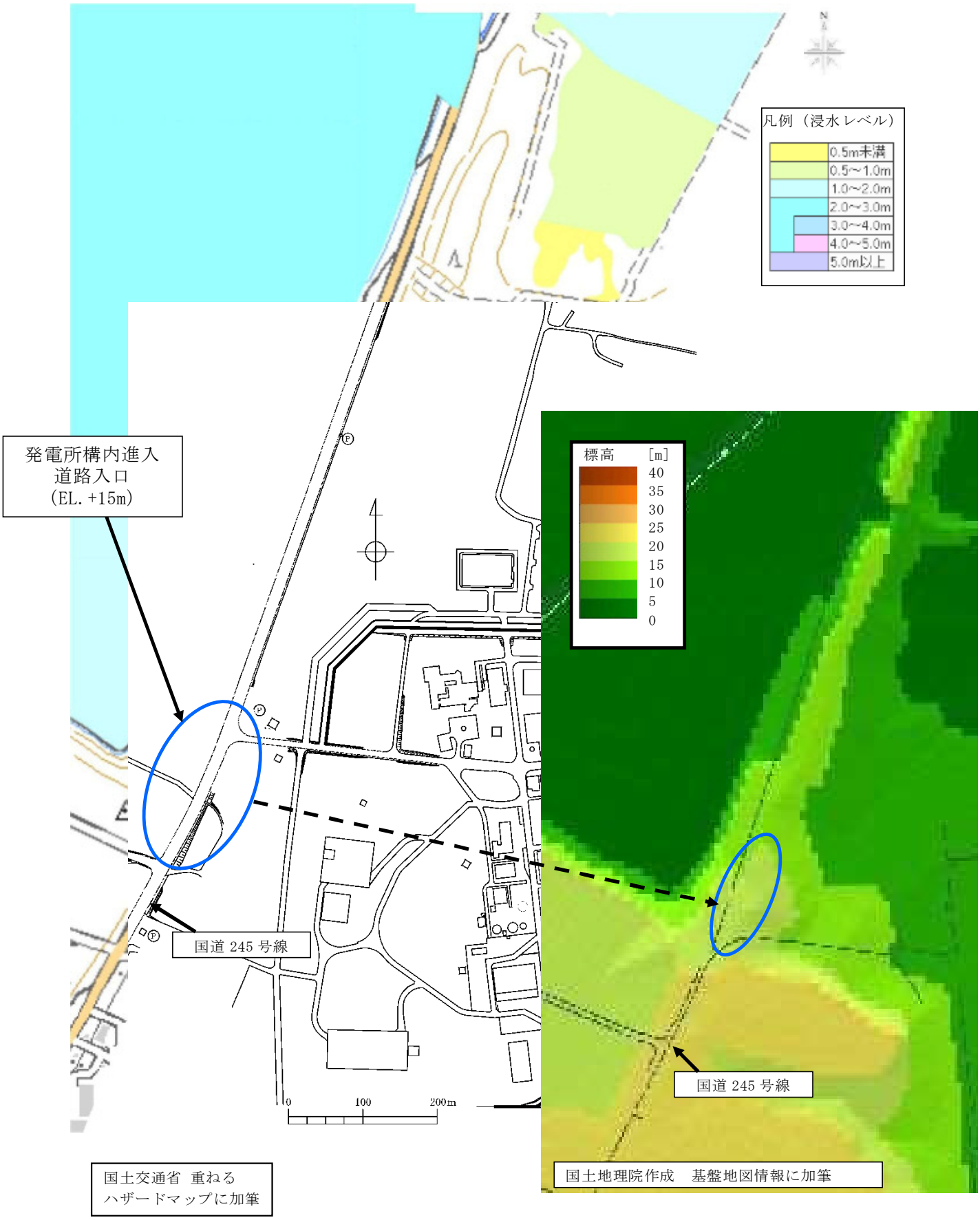
国土交通省関東地方整備局　常陸河川国道事務所作成　浸水想定区域図に加筆

第２－２図　久慈川洪水時浸水想定区域図



東海村作成　洪水・土砂災害ハザードマップに加筆

第 2－3 図　洪水ハザードマップ



第 2－4 図　発電所敷地周辺の浸水想定図及び浸水ルート付近の標高

3.　風（台風）影響評価について

(1)　基本方針

予想される最も過酷と考えられる条件として設計基準を設定の上，安全施設のうち外部事象防護対象施設は，設計基準風速の風荷重に対して機械的強度を有することにより安全機能を損なわない設計とする。

(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乗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) 評価対象施設等の健全性評価

評価対象施設等が，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。

○　評価対象施設等を評価し，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）

○　その他の構築物，系統及び機器については，機能を維持すること，若しくは損傷を考慮して，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ーナ	11	157	○
非常用ディーゼル発電機海水系ストレーナ	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/mm²]			許容応力[N/mm²]			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.　凍結影響評価について

(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，安全施設のうち外部事象防護対象施設は，低温に伴う凍結により，安全機能を損なわない設計とする。

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

水 戸 市：最低気温－12.7℃

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

(2)　評価対象施設等の健全性評価

評価対象施設等が，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。

○　評価対象施設等を評価し，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。

○　その他の構築物，系統及び機器については，機能を維持すること，若しくは損傷を考慮して，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［℃］	年	最低気温［℃］	年	最低気温［℃］
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，安全施設のうち外部事象防護対象施設は，設計基準降水量による浸水，荷重に対して維持され，安全機能を損なわない設計とする。

(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)　評価対象施設等の健全性評価

評価対象施設等が，(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。

○　評価対象施設等を評価し，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　評価対象施設等は，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 評価対象施設等は，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。

○ その他の構築物，系統及び機器については，機能を維持すること，若しくは損傷を考慮して，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

評価対象施設等は，設計基準としての降水量（127.5mm／h）による浸水に対し，排水口及び構内排水路による海域への排水，浸水防止のための建屋止水処置等により，安全機能を損なわない設計とする。

評価対象施設等は，設計基準としての降水量（127.5mm／h）による荷重に対し，排水口による排水により影響を受けない設計とし，安全機能を損なわない設計とする。

その他の構築物，系統及び機器は，降水に対して機能を維持すること若しくは，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ることにより，安全機能を損なわない設計とする。

2.　降水による敷地内浸水影響評価

2.1　雨水流出量の算出

＜条件＞

降雨強度は，設計基準としての降水量（127.5mm／h）とする。

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びき」（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。

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

ここで，

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 ：集水区域面積（ha）

また，集水区域面積は，第１表のとおり。

第１表　集水区域面積内訳

流域	流域面積（ha）	開発部面積（ha）	林地面積（ha）
①	16.8	15.9	0.9
②	16.7	11.5	5.2
③	9.17	9.17	0.0
④	0.92	0.92	0.0
⑤	2.81	2.81	0.0

2.2　流末排水路排水量の算出

＜条件＞

構内排水路における流末排水路排水量Q_2の算出には，「開発行為の技術基準」（平成 10 年 10 月茨城県）を参照し，以下のマニング式を用いる。

$Q_2 = V \cdot A$

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

ここで，

Q_2：流末排水路排水量（m^3／s）

V ：平均流速（m／s）

A ：流末排水路流水断面積（m^2）

n ：マニングの粗度係数

R ：径深＝A／S （m）（S ：潤辺（m））

Ｉ：勾配

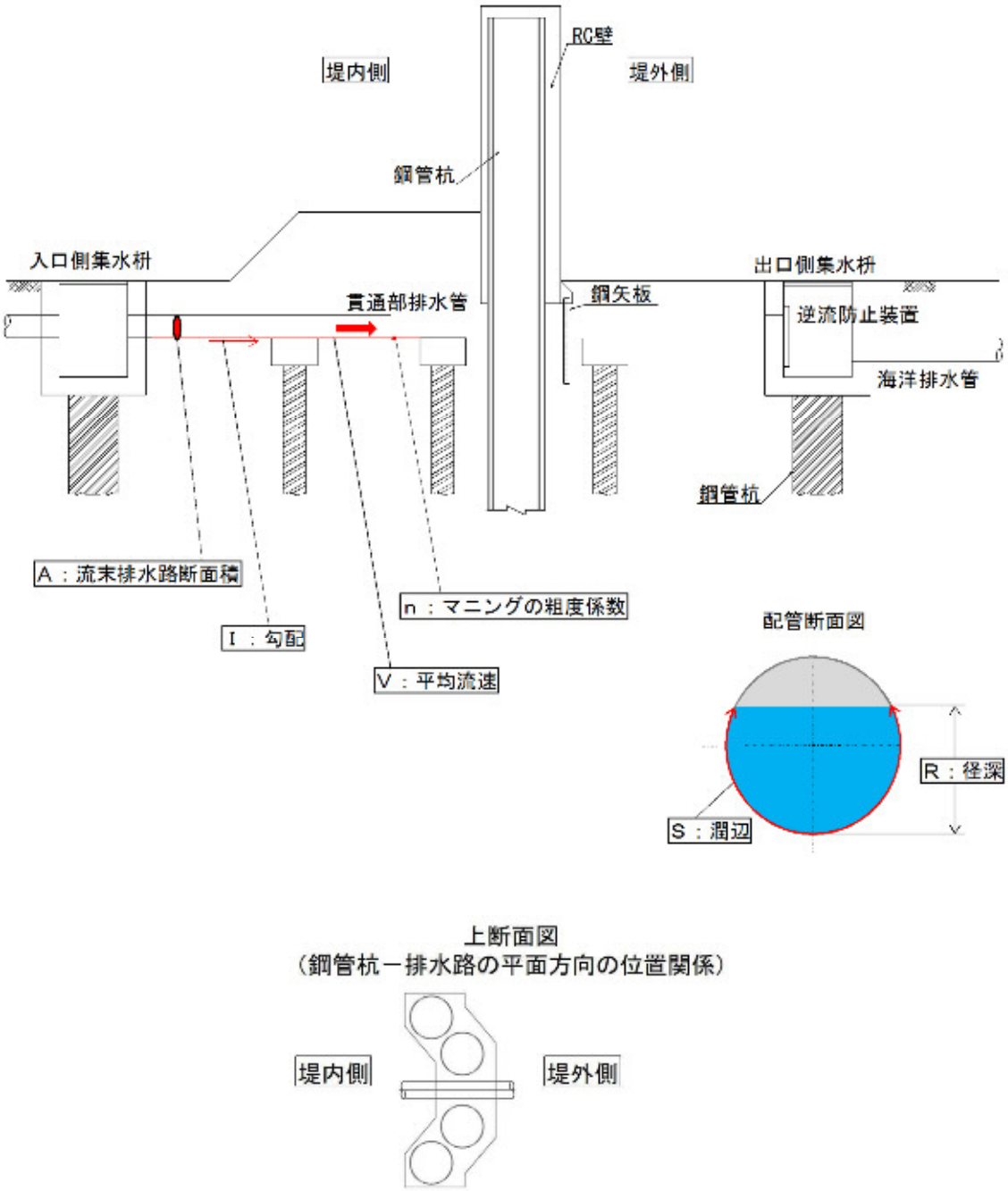
また，流末排水路は，以下を考慮して設定する。

①排水路設置位置は，集水区域毎に，敷地勾配及び流下経路を考慮し，地表面の降水の流下状況を踏まえ，敷地傾斜等に従い流下する箇所に設定する。

②排水路構造は，防潮堤部に設置することから，防潮堤断面方向の構造を考慮し，かつ敷地標高及び潮位を考慮した管径，勾配及び設置本数を設定する。

集水流域，幹線排水路及び流末排水路位置を第１図に，流末排水路構造を第２図に，敷地高さ及び地表水の流下想定を第３図に示す。

第１図　集水流域，幹線排水路及び流末排水路位置



第 2 図　流末排水路構造（案）

第 3 図　敷地高さ及び地表水流下想定

2.3　判定基準

「2.2　流末排水路排水量の算出」において算出した流末排水路排水量Q_2が，「2.1　雨水流出量の算出」において算出した雨水流出量Q_1を上回ることを確認することにより，雨水を遅滞なく海域に排水することが可能であること及び敷地内が降水によって浸水しないことを判定基準とする。

2.4　評価結果

流末排水路排水量は，雨水流出量を上回り，雨水は遅滞なく海域に排水可能であり，敷地内は浸水しないことを確認した。雨水流出量と排水路流末の設計排水量の比較結果を第2表に示す。

第2表　雨水流出量と流末排水路の設計排水量の比較結果

流域	集水区域面積A (ha)	雨水流出量 Q_1 (m^3／h)	流末	流末排水路排水量※ Q_2 (m^3／h)	判定 (Q_1＜Q_2)	備考
①	16.8	約 18,900	①-1	約 21,900	○	流末①-2で排水できない雨水は地表を流下し，流末①-1で排水される
			①-2	約 2,080		
②	16.7	約 16,600	②	約 24,000	○	
③	9.17	約 10,600	③-1	約 4,100	○	流末③-1で排水できない雨水は地表を流下し，流末③-2で排水される
			③-2	約 12,000		
④	0.92	約 1,060	④	約 1,100	○	
⑤	2.81	約 3,230	⑤	約 12,000	○	

※今後の詳細設計により，変更の可能性がある。

3.　浸水評価について

3.1　建屋廻りの浸水評価

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

3.2　取水口エリアの浸水評価

取水口エリアへの影響について，敷地傾斜に従い流下し，流末排水路より速やかに排水されることから，安全施設が浸水することはない。(「2.　降水による敷地内浸水影響評価」のとおり)

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。雨水流出量の算出は「2.1　雨水流出量の算出」のとおり，評価結果は第3表のとおり。

第3表　海水ポンプ室内における雨水流出量と排水ポンプ排水量の比較結果

流域	集水区域面積Ａ（m^2）	雨水流出量 Q_3（m^3／h）	排水ポンプ排水量 Q_4（m^3/h）	判定（$Q_3 < Q_4$）
北側海水ポンプ室	108	13.8	36.0	○
南側海水ポンプ室	108	13.8	36.0	○

以上のことから，安全重要度クラス１，２に属する構築物，系統及び機器若しくはそれらを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備が，設計

基準としての降水量による浸水によって安全機能を損なわれることはない。

4.　荷重の影響について

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

6.　積雪影響評価について

(1)　基本方針

予想される最も過酷と考えられる条件として設計基準を設定の上，安全施設のうち外部事象防護対象施設は，積雪による荷重，積雪による吸気口等の閉塞により，安全機能を損なわない設計とする。

(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等施行細則において，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

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。

建屋については，設計基準としての積雪荷重に達するおそれがある状況となる前に，人力による除雪を実施する。

給排気口については，閉塞の可能性がある開口部高さに達するおそれがある状況となる前に，人力による除雪を実施する。

構内の道路又はアクセスルートについては，車両通行が不可となるおそれがある状況となる前に，ホイルローダ等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)　評価対象施設等の健全性評価

(2)にて設定した設計基準積雪量に対する評価対象施設等への影響を評価する。設計基準の積雪量に対して，外部事象防護対象設備が積雪荷重，空気又は流体の取入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。

○　評価対象施設等を評価し，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　外部事象防護対象施設のうち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 屋外の外部事象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 流体の取入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。

○ その他の構築物，系統及び機器については，機能を維持すること，若しくは損傷を考慮して，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。

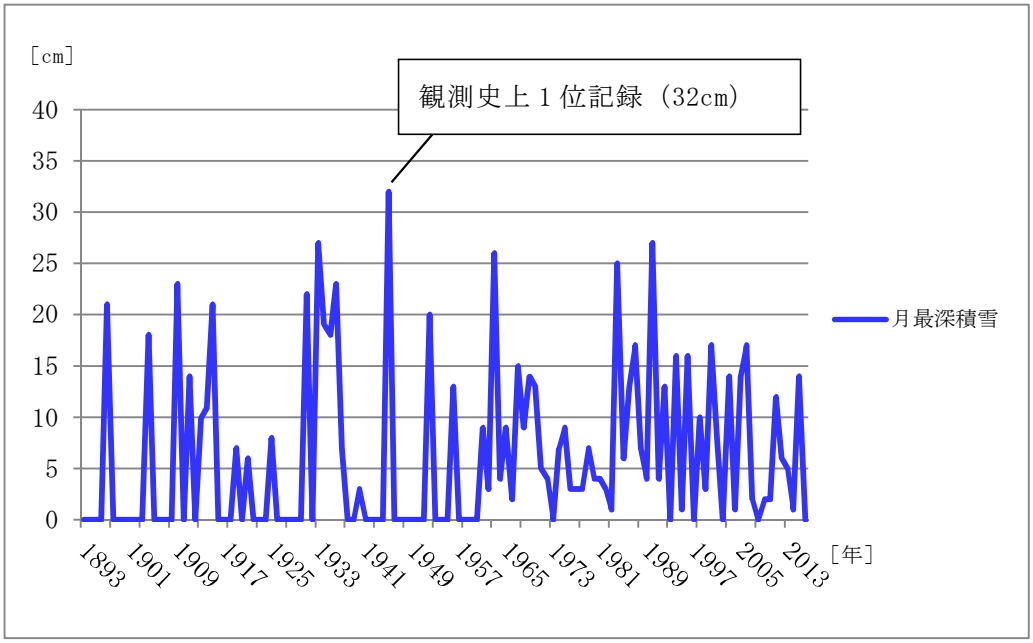
・過去の観測記録を確認した結果，月最深積雪に有意な上昇傾向は見受けられない。

・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，評価対象施設等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考える。

(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 に対する評価対象施設等への影響を評価した結果，積雪荷重は許容堆積荷重内であることを確認した。



第 6－1 図　水戸地方気象台の観測記録グラフ（月最深積雪）

第６－１表　観測記録（水戸市）（気象庁 HP より）

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

※　]：資料不足値，空白：観測を行っていない，通信障害等
　　－：該当現象，又は該当現象による量等がない

第６－２表　積雪荷重による建屋の健全性評価結果

評価対象建屋	評価部位	積雪荷重 ［N／m^2］	短期許容応力度における 許容堆積荷重　［N/m^2］	判定
原子炉建屋	屋根トラス	600	7,780	○
タービン建屋	屋根トラス		6,280	○
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	屋根トラス		49,360	○

第６－３表　積雪荷重による屋外機器の健全性評価結果

評価対象施設	評価部位	応力の種類	算出応力 ［MPa］	許容応力 ［MPa］	判定
残留熱除去系 海水系ポンプ	モータ フレーム	圧縮応力	1.83	229	○
非常用ディーゼル発電機海水系※1ポンプ	モータ フレーム	圧縮応力	0.32	240	○
残留熱除去系 海水系ストレーナ	支持脚	圧縮応力	2.10	184	○
非常用ディーゼル発電機海水系※1ストレーナ	支持脚	圧縮応力	1.18	184	○
非常用ディーゼル発電機※2 吸気口	支持脚	圧縮応力	0.27	228	○

※１：高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系含む。

※２：高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。

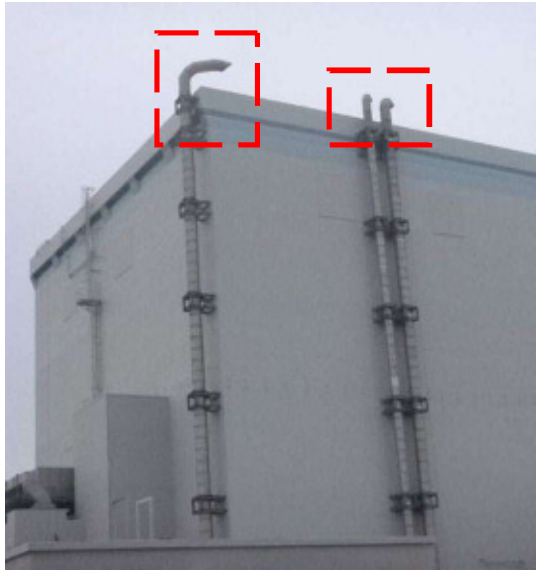
第６－４表　開口部高さ及び影響評価結果

No.	設置場所	名称	開口部高さ※1	評価※2
1	原子炉建屋（付属棟屋上）	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（付属棟屋上）	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（付属棟屋上）	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（付属棟屋上）	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（付属棟屋上）	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（付属棟屋上）	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（付属棟屋上）	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（付属棟屋上）	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（付属棟屋上）	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（付属棟壁面）	中央制御室換気系給気ルーバ	約 19m，約 5.6m	○
14	原子炉建屋（付属棟壁面）	中央制御室換気系排気ルーバ	約 5.6m	○
15	原子炉建屋（付属棟壁面）	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	○

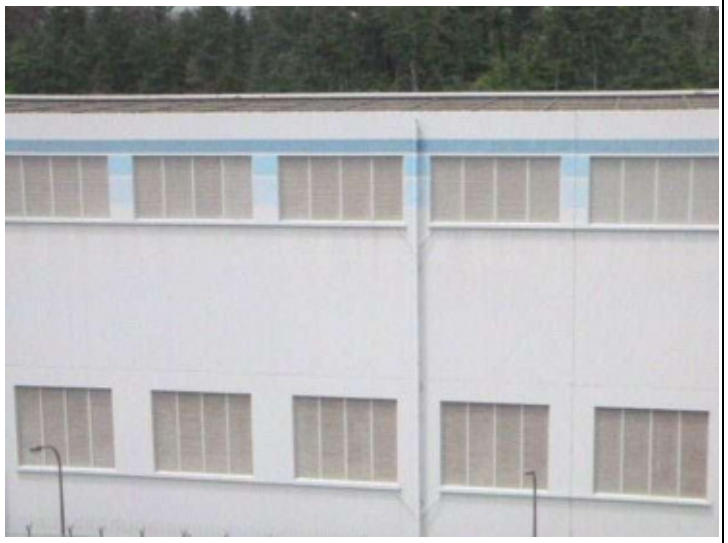
※１：地上部又は直近にある積雪のおそれのある平面部から開口部の高さ。なお，開口部が水平方向ではない場合は，開口部下端までの高さ。
※２：開口部高さが設計基準の積雪深さである 30cm より高い位置に設置している場合，閉塞しないため，○とする。
※３：閉塞しない高さに設置する。

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（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 中央制御室換気系給気ルーバ （地上部より約 18m 側）	No.13 中央制御室換気系給気ルーバ （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 中央制御室換気系排気ルーバ（写真手前側） N0.15 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，安全施設のうち外部事象防護対象施設は，落雷による雷撃電流に対して維持され，安全機能を損なわない設計とする。

(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ＪＥＡＧ4608（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)「発変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ＪＩＳ A 4201（2003）「建築物等の雷保護」や日本工業規格ＪＩＳ A 4201（1992）「建築物等の避雷設備（避雷針）」を参照している。ＪＩＳ 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。ＪＥＡＧ4608（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ＩＥＣ／ＴＳ61662（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ＪＩＳ 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 900km^{2}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。

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，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)　評価対象施設等の健全性評価

評価対象施設等が，設計基準の雷撃電流値（排気筒への 220kA の雷撃電流）によって安全機能を損なうことがない設計であることの評価・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連接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，ＪＥＣ210（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。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，ＪＥＡＧ4608

（２）　電力中央研究所（1996）：発変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, ＩＥＣ／ＴＳ61662

（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，ＪＩＳ 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，ＪＥＣ210，電気規格調査会標準規格

別紙 1

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

ＪＥＡＧ4608（2007）「原子力発電所の耐雷指針」[1]に基づくＩＥＣ／ＴＳ61662（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 900km^{2}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）を基に発電所の範囲における雷撃数からＩＥＣ／ＴＳ61662（1995）による排気筒への想定落雷数 Nd 回／年を算出後，排気筒への年超過頻度 10^{-4}／年値となる雷撃電流値を算出する。

第 7－1－1 図　評価地域及び標的面積

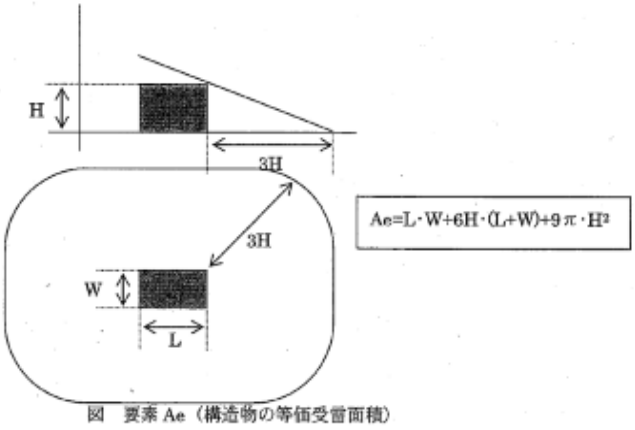
3.　雷撃対象と想定落雷数

①　雷撃対象

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

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

1)　評価対象：排気筒



第 7－1－2 図　構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

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，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 Ng 回／km^2・年を算出すると，落雷密度は，

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

となる。

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

排気筒：28m（L）×28m（W）×140m（H）

$$Ae = L \cdot W + 6H \cdot (L + W) + 9\pi \cdot H^2 = 28 \cdot 28 + 6 \cdot 140 \cdot (28 + 28) + 9 \cdot \pi \cdot 140^2$$

$$= 610000(\text{m}^2) = 0.61\ (\text{km}^2)$$

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 Ce は，第 7－1－1 表より 1.0 とする。

環境条件	Ce 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 Ce

（ＪＥＡＧ4608(2007)「原子力発電所の耐雷指針」）

以上より，想定落雷数 Nd 回／年を算出する。

$$Nd = Ng \cdot Ae \cdot Ce = 2.8 \cdot 0.61 \cdot 1.0 = 1.71\ (\text{回／年})$$

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。

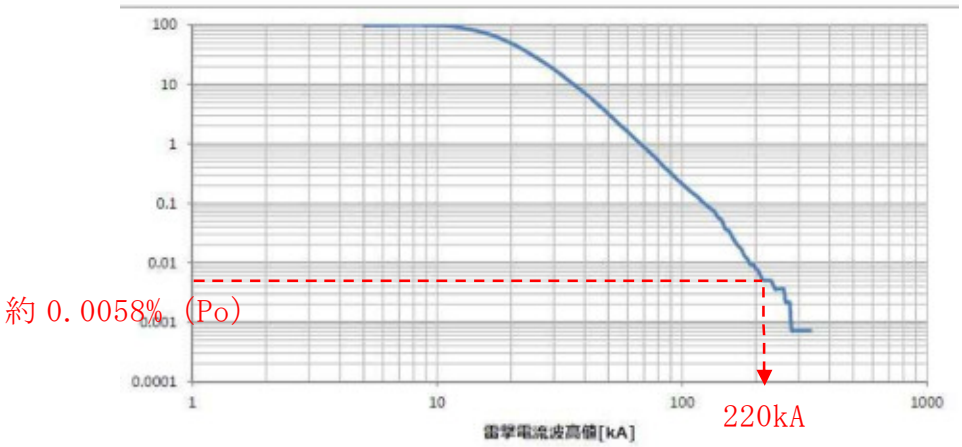
以上を考慮すると，再現期間を y として排気筒への雷撃数 Nt は以下のようになる。

$$Nt = Nd \cdot y$$

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／(Nt)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。

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

確率 Po＝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

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，ＪＥＡＧ4608

（２）　International Electrotechnical Commission (1995) : Assessment of the risk of damage due to lightning, ＩＥＣ／ＴＳ61662

別紙 2

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

ＪＥＣ210（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値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，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，ＪＥＣ210，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

別紙 3

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，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.　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，電気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防護対象施設は，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ない設計とする。

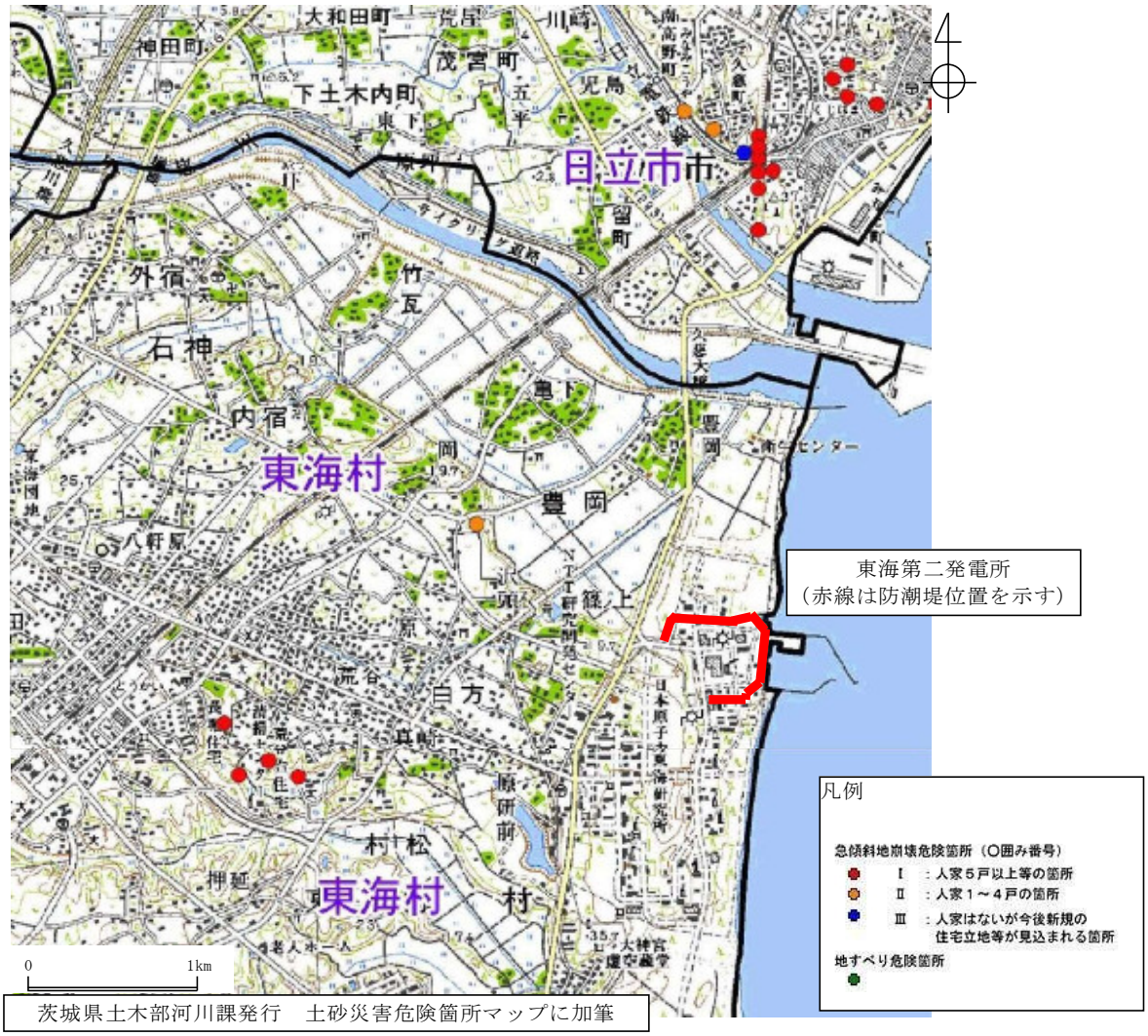
2.　周辺斜面評価

土砂災害危険箇所図（茨城県土木部河川課発行）によると，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，発電所に影響が及ぶことはない。（第 8－1 図参照）

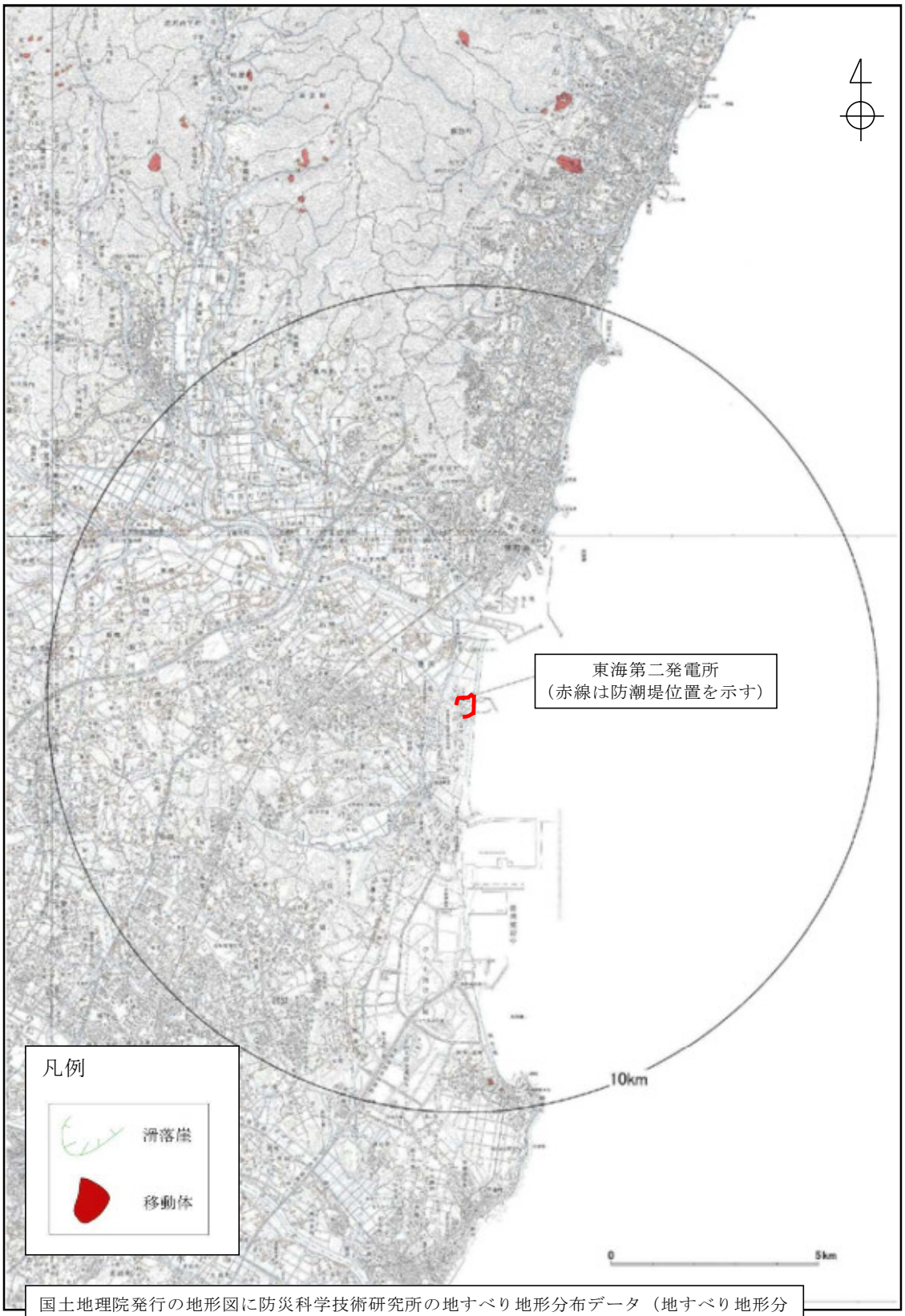
3.　地滑り地形分布

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，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，発電所に影響が及ぶことはない。

（第 8－2 図参照）



第８－１図　土砂災害危険箇所図



国土地理院発行の地形図に防災科学技術研究所の地すべり地形分布データ（地すべり地形分布図　「白河・水戸」（防災科学技術研究所(2004)）を重ねて表示し，加筆

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

発電所において想定される生物学的事象は，海生生物の発生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，海生生物の発生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，海生生物の発生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閉止処置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)　海生生物の発生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）

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。

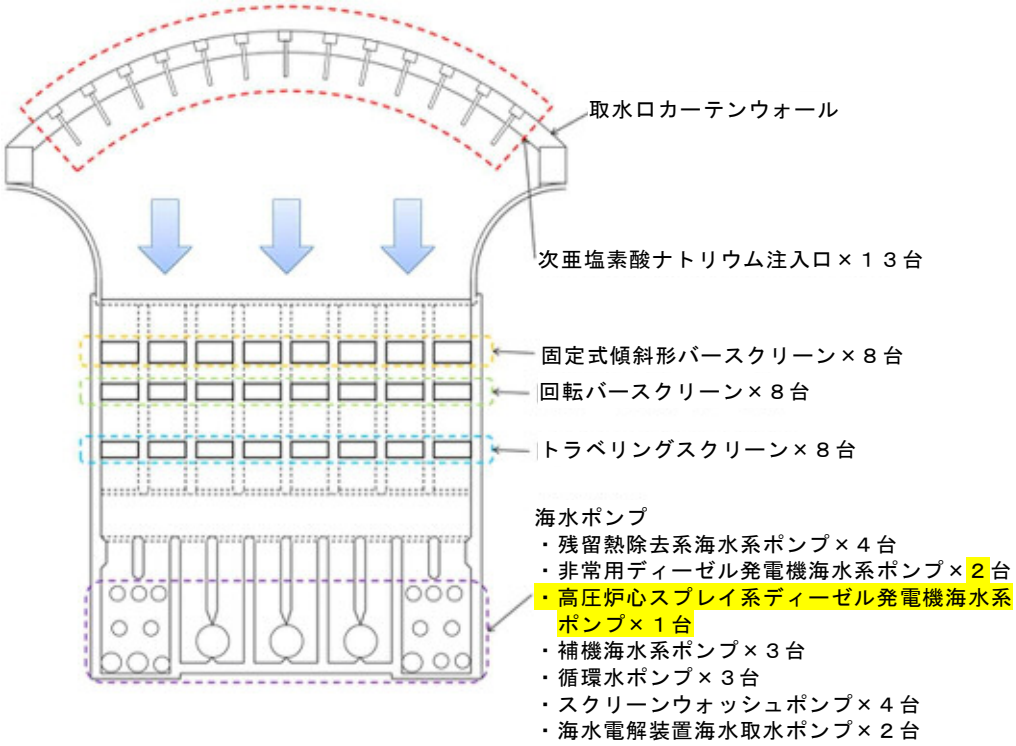
○　対策の概要

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。

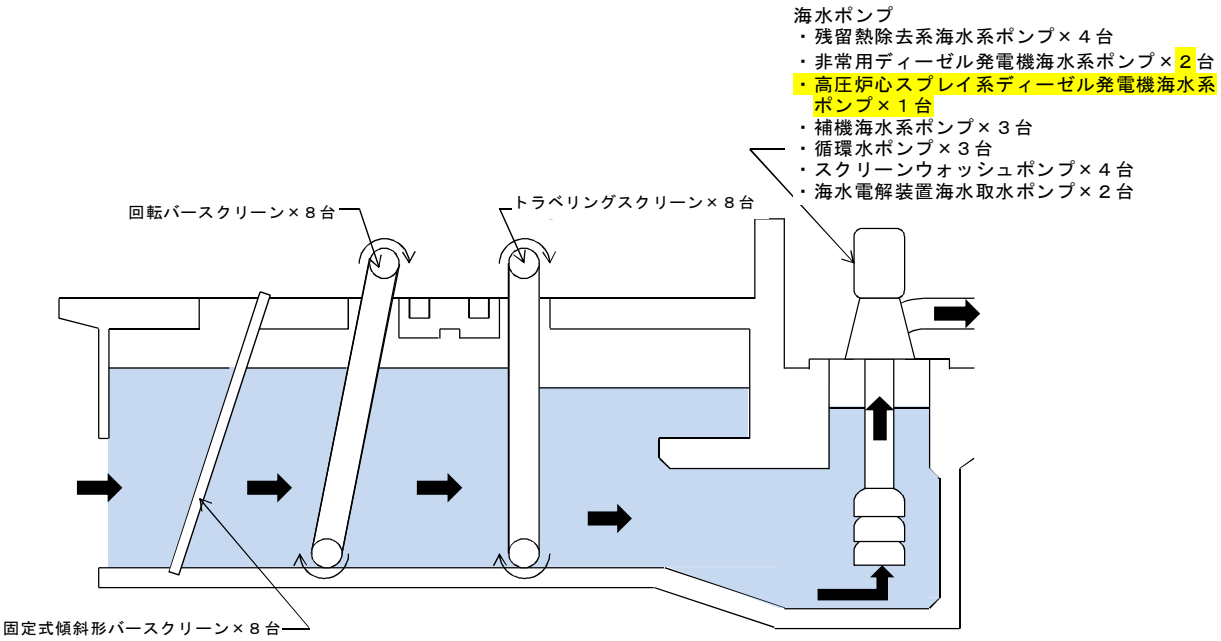
運転手順として，海生生物の発生により海水ポンプの取水機能へ影響が生じるおそれがある場合は，必要に応じ循環水ポンプのインペラ開度調整，発電機出力の抑制，及びプラント停止等の手順を整備している。

(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）

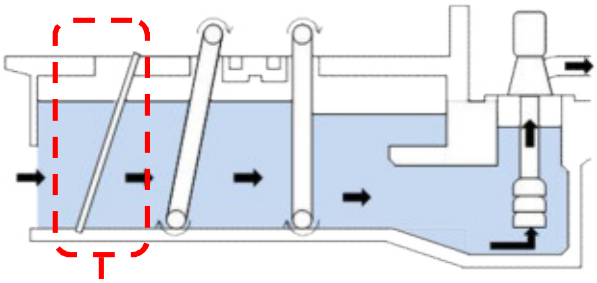


c．固定式傾斜形バースクリーン

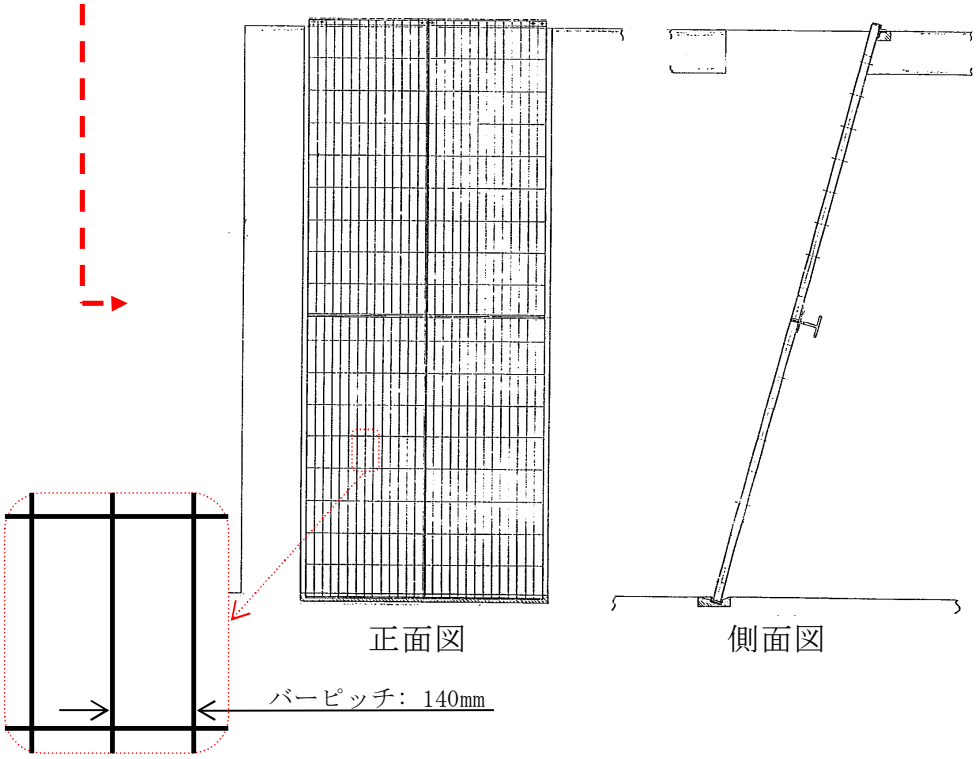
［目的］大きな塵芥を除去する。

［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



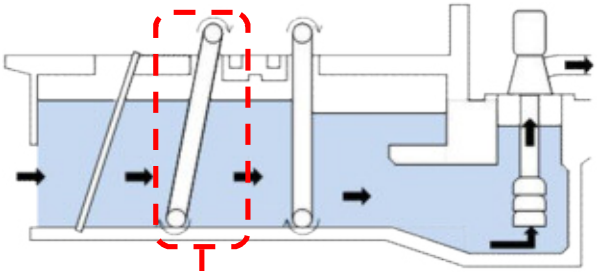
d．回転バースクリーン

［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。

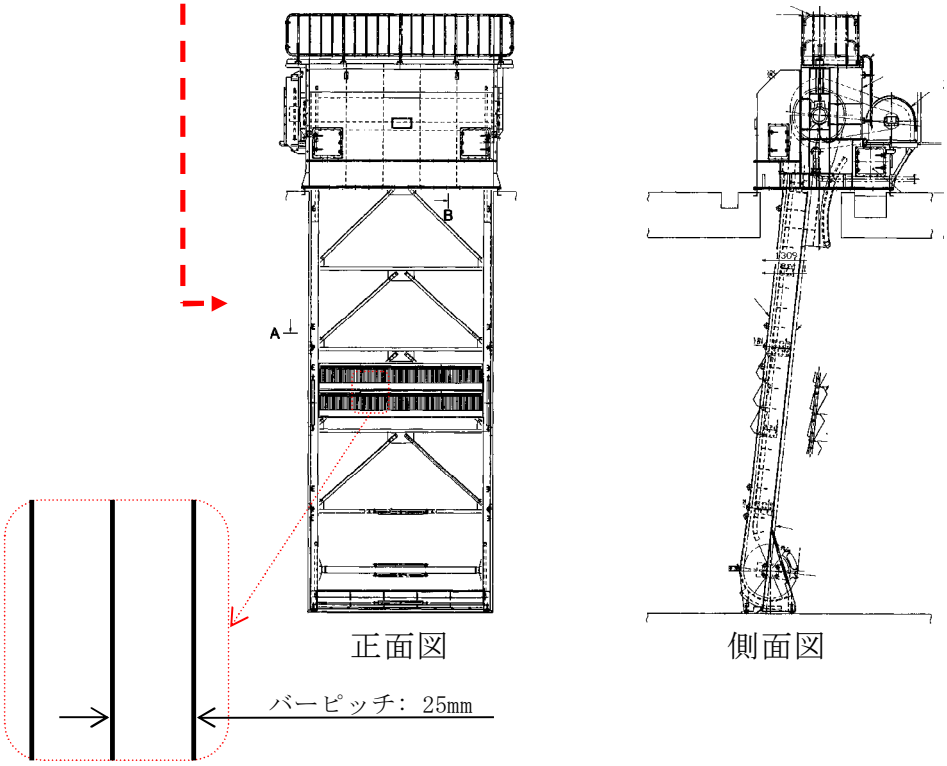
［仕様］バーピッチ：25mm 除塵能力：60ｔ／h 設置台数：8 台

キャリングチェーンシャーピン破断：392kN 以上

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



回転バースクリーン構造図



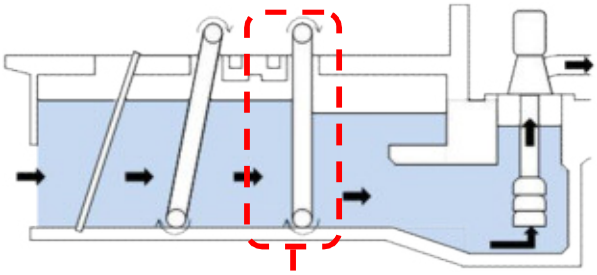
e．トラベリングスクリーン

［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。

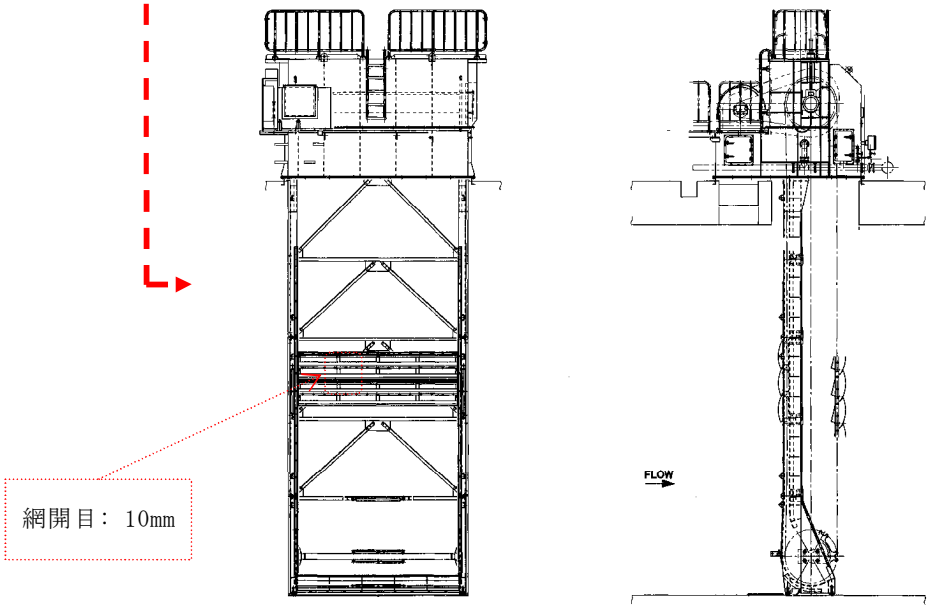
［仕様］網開目：10mm 除塵能力：20t／h 設置台数：8 台

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



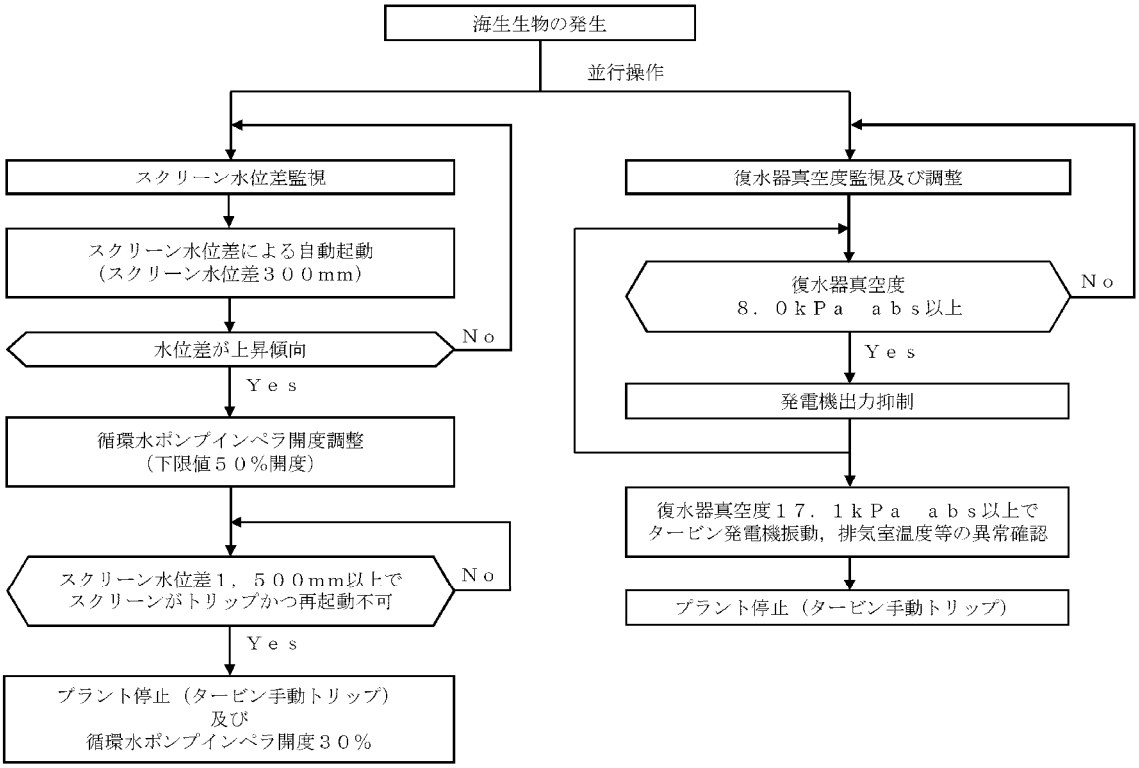
正面図　　側面図

(4)　運転操作

海生生物発生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。

○　海生生物の発生により，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。

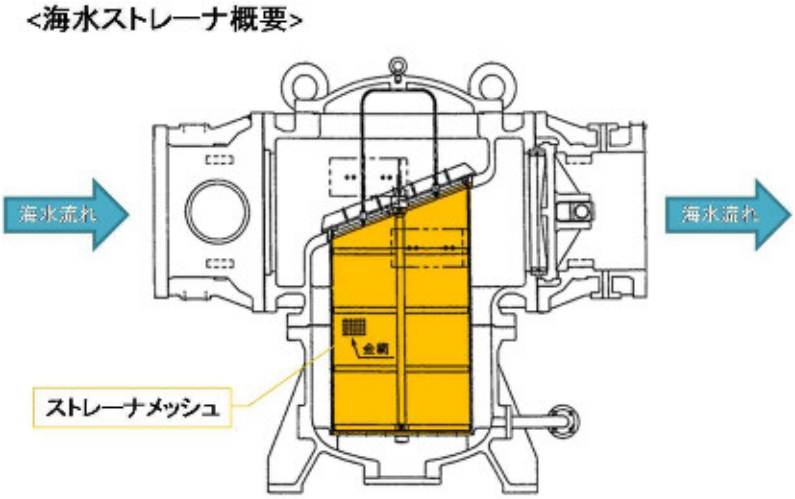
○　除塵装置のスクリーン前後の水位差がさらに大きくなれば循環水ポンプのインペラ開度による取水量の調整を行う。それに伴い，復水器真空度が基準値を上回らないよう，必要に応じて発電機出力を抑制する。スクリーン前後の水位差が回復困難な場合又は復水器真空度の悪化が継続し，主タービンパラメータに異常な変化が確認された場合，プラントを停止し，循環水ポンプのインペラ開度を 30%開度にする。



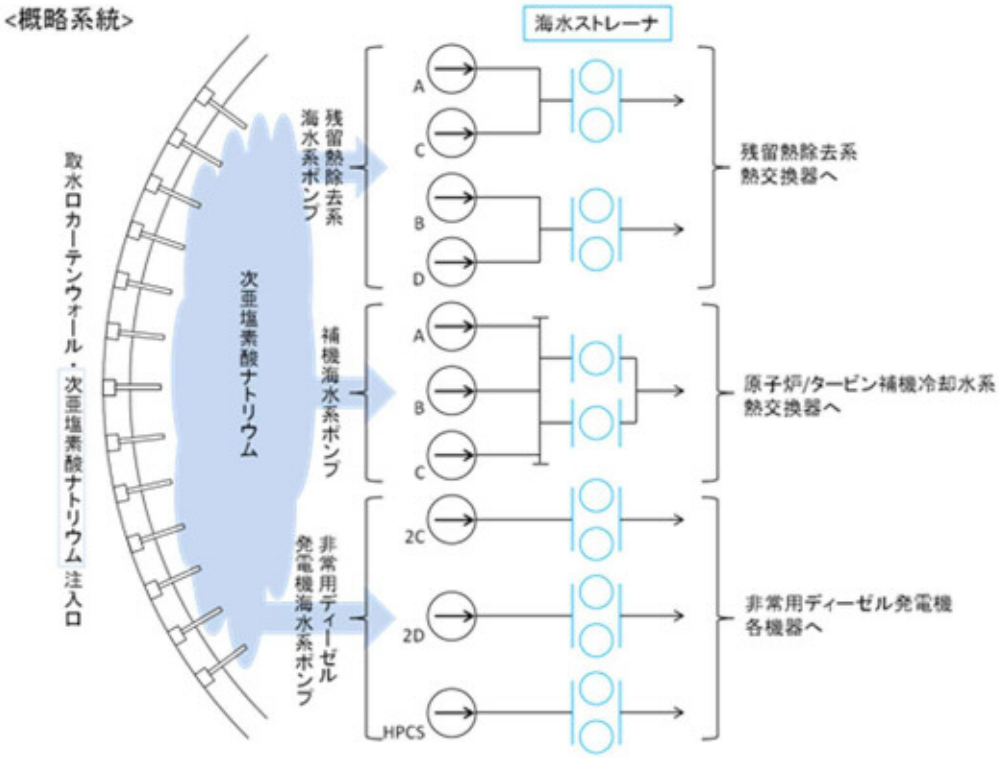
(5)　貝等の海生生物について

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に開放点検，清掃を実施し，性能維持を図っている。



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



○海水電解装置

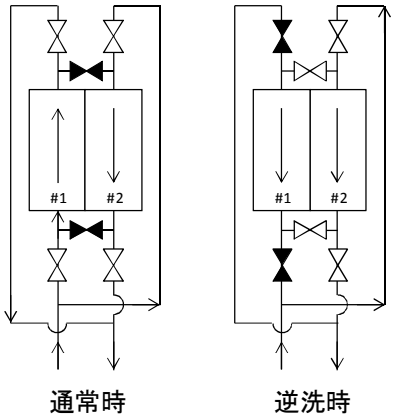
・海水を電気分解し殺菌力のある次亜塩素酸ナトリウムを発生させ，取水口カーテンウォールに設置された注入口より注入し，復水器及び熱交換器伝熱管への海生生物の付着，繁殖を防止する。

$NaCl + H_2O \rightarrow \underline{NaClO} + H_2$

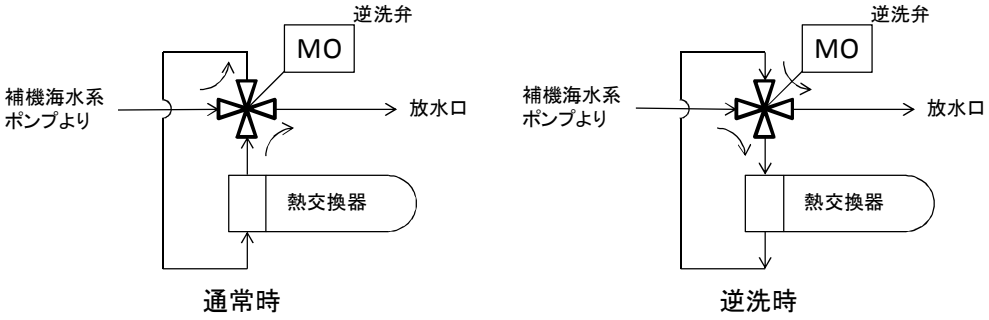
次亜塩素酸ナトリウム

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，復水器を定期的に開放点検，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

○　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，海生生物の発生による海水ポンプの取水機能への影響が挙げられる。

○　海生生物の発生に対して，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）

・海生生物の発生により，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	8.5×10^{-8}

以 上

参考資料

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：対象施設の標的面積（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）

発電所名称／パラメータ	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※3	約0.0221
$\Phi_{d,a}(r, \theta)$※4	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※5	約9.60°
最大離着陸距離※6	約56km（30nm）
$P_{d,a}$	約3.98×10^{-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6）

※５：別紙のとおり。

（添付資料1）

※６：ＡＩＰを参照した。

（添付資料7）

(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）

Pc＝fc・Nc・A／W

Pc：対象施設への巡航中の航空機落下確率（回／年）

fc＝Gc／Hc：単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率（回／（飛行回･km））

Gc：巡航中事故件数（回）

Hc：延べ飛行距離（飛行回･km）

Nc：評価対象とする航空路等の年間飛行回数（飛行回／年）

A：対象施設の標的面積（km^2）

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）
fc※2	約5.13×10^{-11}（＝0.5/9,740,013,768）	
Nc※3	365 (H24年データ)	1095 (H24年データ)
A※4	約0.0138	
W※5	14.816	18.52
Pc	約5.93×10^{-11}	

※１：別紙のとおり。

（添付資料2）

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

（添付資料4）

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

（添付資料3）

※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：別紙のとおり。

（添付資料5）

※５：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

Pv＝（fv／Sv）・A・α

Pv：対象施設への航空機落下確率（回／年）

fv：単位年当たりの落下事故率（回／年）

Sv：全国土面積（km^2）

A：対象施設の標的面積（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
fv※1	大型固定翼機　0.025（＝0.5／20） 大型回転翼機　0.05（＝1／20） 小型固定翼機　1.75（＝35／20） 小型回転翼機　1.20（＝24／20）
Sv※2	37.2万
A※3	約0.0138
α※4	1（大型機），0.1（小型機）
Pv	約1.37×10^{-8}

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

（添付資料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：別紙のとおり。

（添付資料5）

※４：「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）

Pso＝fso・A／So

Pso：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率（回／年）

fso：単位年当たりの訓練空域外落下事故率（回／年）

A：対象施設の標的面積（km^2）

So：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
fso※1	自衛隊機　0.35（＝7／20） 米軍機　　0.25（＝5／20）
So※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※2	約0.0138
Pso	約2.56×10^{-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）

※２：別紙のとおり。

（添付資料5）

(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・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（km^2）

Sse：想定飛行範囲の面積（km^2）

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所 （自衛隊機の評価）
fse※1	0.25（＝5／20）
Sse※2	175,720
fse／Sse※3	3.00×10^{-6}
A※4	約0.0138
Pse	約4.14×10^{-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，百里基地－訓練空域間の想定飛行範囲内における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件であり，全国の基地－訓練空域間往復時の事故件数（5件）を用いた。

（添付資料10，11）

※２：全国の基地－訓練空域間往復時の想定飛行範囲の面積。

（添付資料11）

※３：fse，Sseから算出された約1.42×10^{-6}回／（年・km^2）を保守的に2倍にして丸めた値。

※４：別紙のとおり。

（添付資料5）

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 3.98×10^{-9}	約 5.93×10^{-11}	約 1.37×10^{-8}	約 2.56×10^{-8}	約 4.14×10^{-8}	約 8.5×10^{-8}

添付資料１

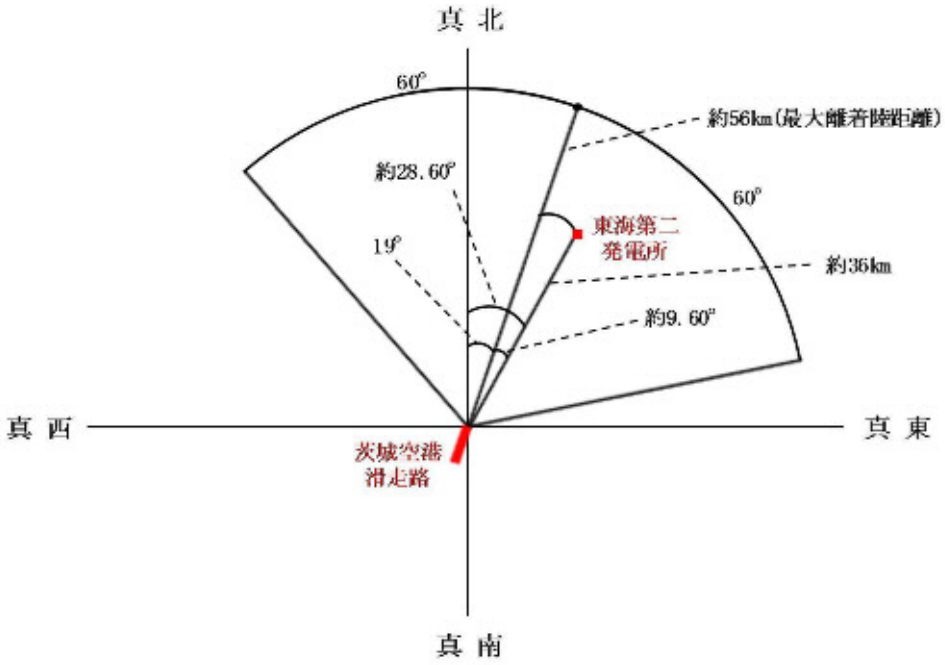
茨城空港の滑走路方向に対する茨城空港―東海第二発電所の

角度について

茨城空港の滑走路の方位は，19°（真方位）（ＡＩＰ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

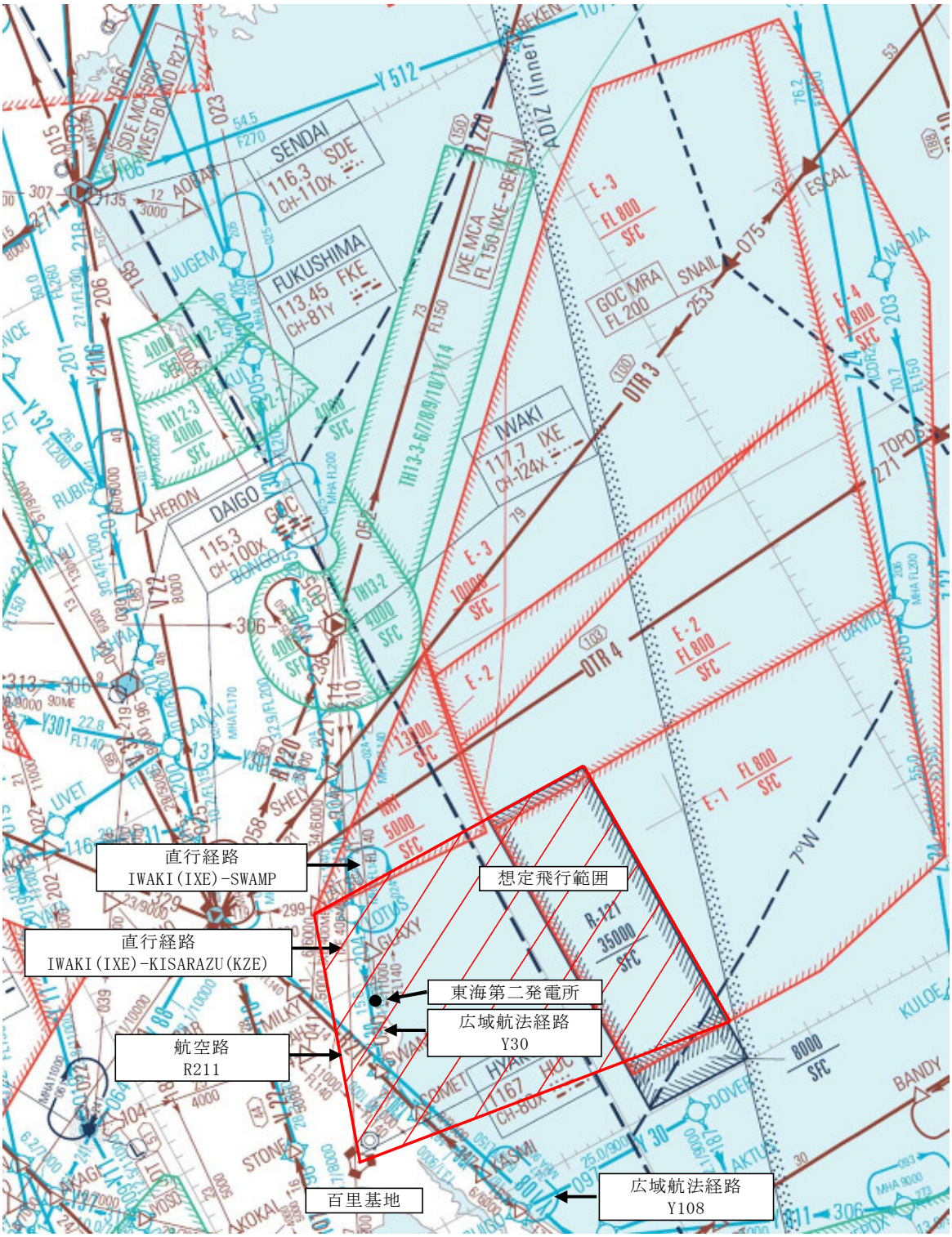
周辺の航空路の名称	航空路の中心線と発電所間の最小距離※1	片側の航空路幅※2	判定
航空路　R211 (DAIGO(GOC)－SWAMP)	約 11.36km	7km	×
直行経路 (IWAKI(IXE)－SWAMP)	約 0.68km	約 7.41km (4nm)	○
直行経路 (IWAKI(IXE)－KISARAZU(KZE))	約 4.13km	約 7.41km (4nm)	○
広域航法経路　Y30 (LOTUS－SWAMP)	約 1.18km	約 9.26km (5nm)	○
広域航法経路　Y108 (DAIGO(GOC)－CHOSHI(CVC))	約 11.44km	約 9.26km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

添付資料 3

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 滑走路上	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）

航空機落下確率評価における標的面積の考え方について

1. 基準の要求事項

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

(1) 航空機落下確率評価

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

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

(4)　原子炉施設への標的面積（A）

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

(2)　外部火災影響評価

○原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定） 附属書Ｃ　原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について １．総則 （中略） 本評価ガイドは、発電所敷地への航空機の墜落で発生する火災に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災が発電所の敷地内で起こったとしても原子炉施設（本評価ガイドにおける「原子炉施設」は、安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包するものに限る。）に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2.　航空機落下確率評価における標的面積

1.(2)の基準を踏まえ，航空機墜落による火災影響評価においては，以下の屋外の外部事象防護対象施設を標的対象として選定する。

・原子炉建屋

・使用済燃料乾式貯蔵建屋

・海水ポンプ室

また，外部事象防護対象施設には該当しないが，以下の対象については，クラス 1，2 施設若しくはそれらを内包する施設であることに鑑み，標的対象に加えて航空機墜落火災に対する健全性を評価する。なお，評価の結果，タービン建屋又は排気筒の健全性が確保できない場合は，代替設備による機

能維持や安全上支障のない期間での補修等の対応が可能か確認する。

・タービン建屋（第１図，第２図参照）

・排気筒

なお，使用済燃料乾式貯蔵建屋の安全機能については，以下のとおり使用済燃料乾式貯蔵建屋以外の原子炉施設と独立していることから，航空機落下確率評価においては使用済燃料乾式貯蔵建屋単独で評価を実施することとした。

① 使用済燃料乾式貯蔵建屋は，使用済燃料乾式貯蔵建屋以外の原子炉施設の安全機能に直接的に影響を及ぼすものではなく，また，乾式貯蔵容器本体で安全機能（臨界防止機能，密封機能，遮蔽機能，除熱機能）を確保する設計である

② 使用済燃料乾式貯蔵建屋の監視設備（乾式貯蔵容器の一・二次蓋間圧力，乾式貯蔵容器の表面温度等）及び火災防護設備（火災報知器）への電源供給については，全交流動力電源喪失時においては，事象発生後 30 分は専用の蓄電池から供給可能だが，その後は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含む。）から給電する設計である。ただし，監視設備及び火災防護設備（火災報知器）は状態監視用であり，その機能喪失は乾式貯蔵容器の安全機能に影響を及ぼすものではない

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

・原子炉建屋

・タービン建屋（第３図参照※2）

・海水ポンプ室

・使用済燃料乾式貯蔵建屋※3

※2　原子炉補機冷却系ポンプ及び熱交換器を含む区画

※3　使用済燃料乾式貯蔵建屋が各原子炉施設から独立して設置されているため，平成 21 年の実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の再評価の際は個別に航空機落下確率を評価した

第１図　タービン建屋内の安全上重要な系統及び機器の配置（地上１階）

第２図　タービン建屋内の安全上重要な系統及び機器の配置（地上２階）

第３図　タービン建屋内の原子炉補機冷却系ポンプ及び熱交換器の配置

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±60°以内の扇型に一様な分布又は周方向で正規分布を仮定し，評価結果が厳しい方を用いる。下式にて評価した結果，今回の評価では，下表に示すとおり厳しい方である正規分布を仮定した方法を用いることとする。

（一様分布）

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

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

（正規分布）

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

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

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

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

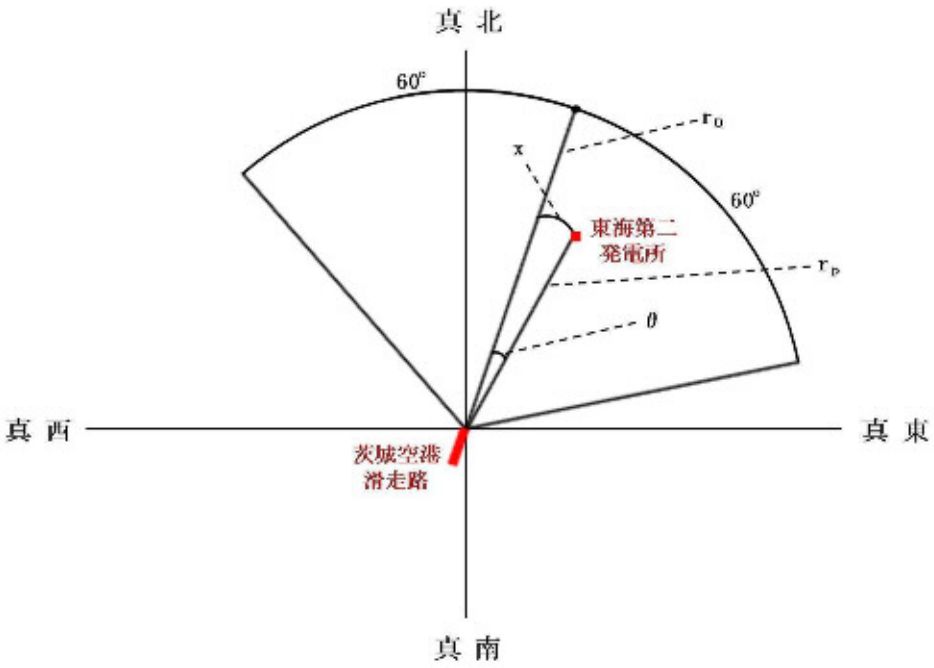
$$\sigma = \frac{\pi r}{3 \times 2.6}$$

r_P：滑走路端から原子炉施設までの距離（径方向）（km）

x：滑走路軸上から原子炉施設までの距離（周方向）（km）

$x = r_p \times \theta$

θ：滑走路方向に対する空港－原子炉施設の角度（rad）



項　　目	確率密度（／km^2）
一様分布	約 1.55×10^{-4}
正規分布	約 2.98×10^{-4}

各施設付近の空港と施設との距離について

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

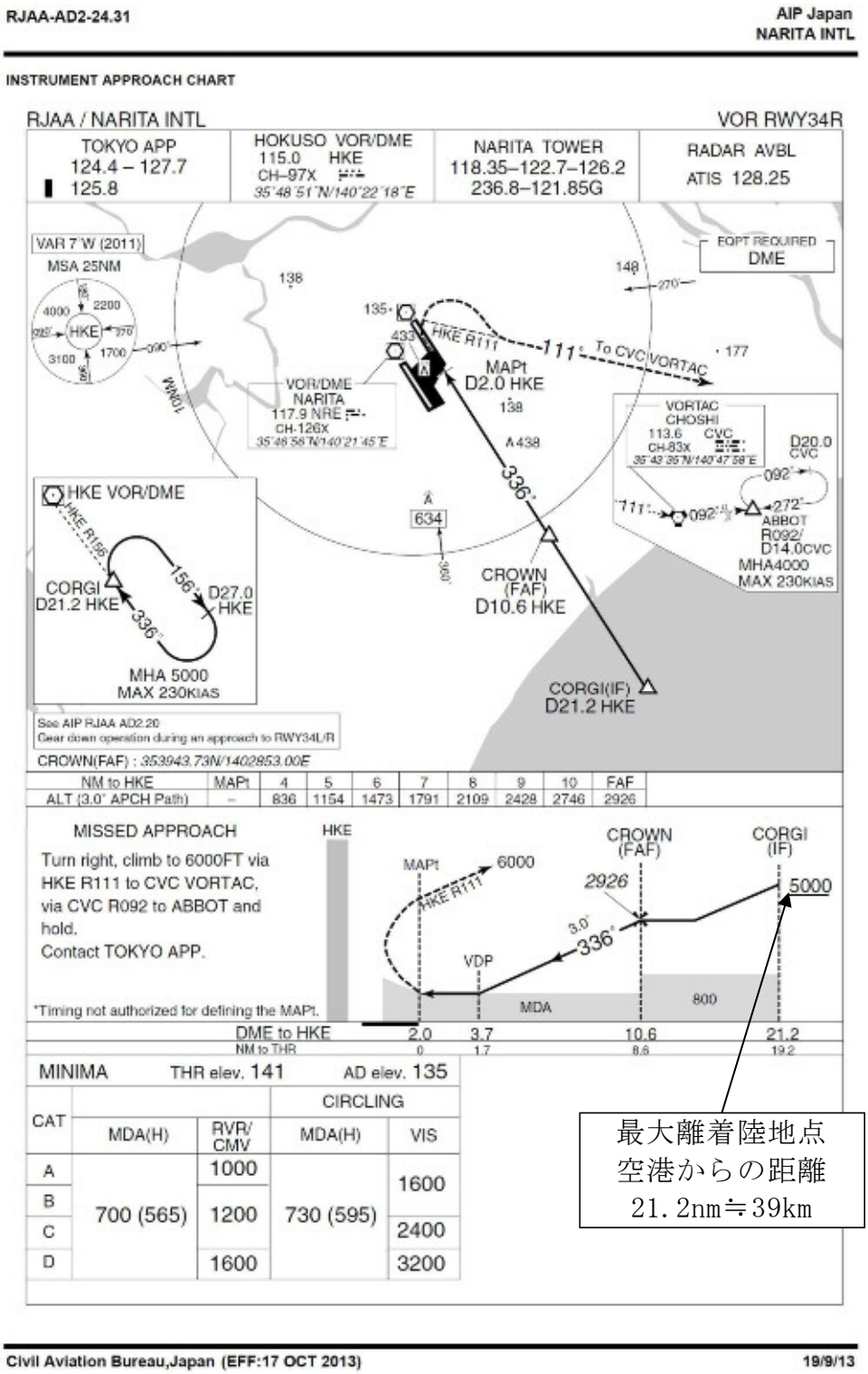
○：評価対象　×：評価対象外

※１：施設と空港の緯度，経度より計測した。

※２：ＡＩＰを参照した。

成田空港の最大離着陸地点までの距離

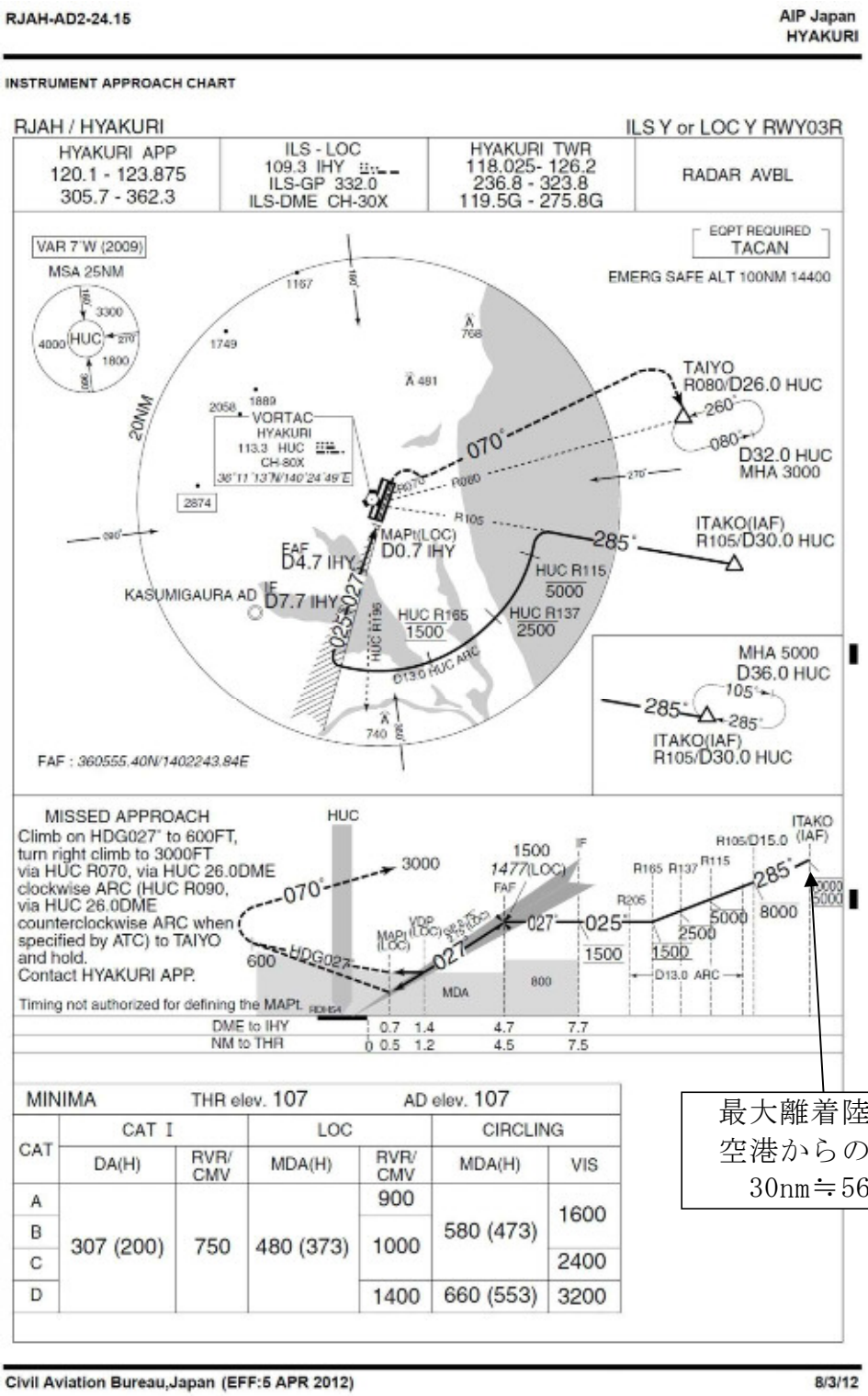
（成田空港～東海第二発電所の距離：約 80km）



出典：ＡＩＰ

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）



出典：ＡＩＰ

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	ピークデイの飛行回数※1	年間飛行回数※2
直行経路 （IWAKI(IXE)－SWAMP)	H24 年上半期：0（6 月 8 日） H24 年下半期：0（9 月 19 日）	182.5
直行経路 （IWAKI(IXE)－ KISARAZU(KZE))	H24 年上半期：0（6 月 8 日） H24 年下半期：0（9 月 19 日）	182.5
広域航法経路　Y30 （LOTUS－SWAMP)	H24 年上半期：0（6 月 8 日） H24 年下半期：3（9 月 19 日）	1,095

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

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

有視界飛行方式民間航空機　大破事故概要

（平成 5 年～平成 24 年）

（大型固定翼機）

発生年月日	場　所	型　式
該当なし	－	－

（大型回転翼機）

発生年月日	場　所	型　式
平成 13 年 5 月 19 日	三重県桑名市播磨付近	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 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	ﾌﾞﾘﾃﾝﾉｰﾏﾝ式 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	茨城県竜ケ崎市	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	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 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	茨城県霞ケ浦	ソカタ式 TB10
平成 11 年 3 月 24 日	大分県大分郡野津原町	セスナ式 172M
平成 11 年 8 月 1 日	大分県大分郡庄内町	富士重工式 FA-200-180
平成 11 年 8 月 13 日	長野県斑尾山	セスナ式 172P
平成 13 年 3 月 25 日	香川県小豆群上庄町豊島	パイパー式 PA-28-181
平成 13 年 5 月 19 日	三重県桑名市播磨付近	セスナ式 172P
平成 13 年 8 月 16 日	岡山県久米郡柵原町	セスナ式 172NAT
平成 14 年 1 月 4 日	熊本県琢磨群琢磨村	セスナ式 172P
平成 14 年 3 月 1 日	北海道帯広市美栄町	ｽﾘﾝｸﾞｽﾋﾞｰ式 T67MMKⅡ
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	ｶﾞﾙﾌｽﾄﾘｰﾑｺﾏﾝﾀﾞｰ式 695
平成 15 年 7 月 11 日	宮崎県宮崎市	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 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	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 E33
平成 19 年 9 月 1 日	宮崎空港南東約 1nm の海上	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 A36

発生年月日	場　所	型　式
平成 19 年 11 月 15 日	岐阜県中津川惠郡山山頂付近	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	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 A36 型

（小型回転翼機）

発生年月日	場　所	型　式
平成 5 年 7 月 27 日	福島県双葉郡大熊町	ベル式 206B
平成 5 年 12 月 23 日	岐阜県郡山郡八幡町	ロビンソン式 R22Beta
平成 6 年 10 月 18 日	大阪府泉佐野市	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 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	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 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	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 AS365N2
平成 9 年 5 月 21 日	長野県茅野市	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 SA315B ｱﾙｳｪｯﾄⅢ
平成 9 年 7 月 3 日	三重県名張市	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 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	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 AS350B
平成 12 年 4 月 24 日	三重県長島町木曽川左岸の河原	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	長野県木曽郡南木曽町	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 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	ﾕｰﾛｺﾌﾟﾀｰ式 EC135T2
平成 20 年 7 月 6 日	青森県下北部大間町大間崎沖の海面	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 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 R44Ⅱ

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	沖縄県宣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）	茨城県竜ケ崎市	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

基地－訓練空域間往復時の落下事故における航空機落下確率の推定について

1. 想定飛行範囲の面積を用いた評価式の保守性について

「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率は，下式のとおり評価している。

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

Pse：対象施設への航空機落下確率（回／年）

fse：基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）

A：原子炉施設の標的面積（km^2）

Sse：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（Sse）が小さいほど，大きな落下確率となる。これは，基地－訓練空域間を簡易的に一様に飛行すると仮定しているためである。

しかし，「原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）」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こと，やむを得ず原子力関連施設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原子力関連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ことから，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く，かつ，基地－訓練空域間往復時の自衛隊機が発電所に落下する確率は極めて小さいと考えられる。

以上のことから，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。(「想定飛行面積と航空機落下確率の関係（概略図)」参照)

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

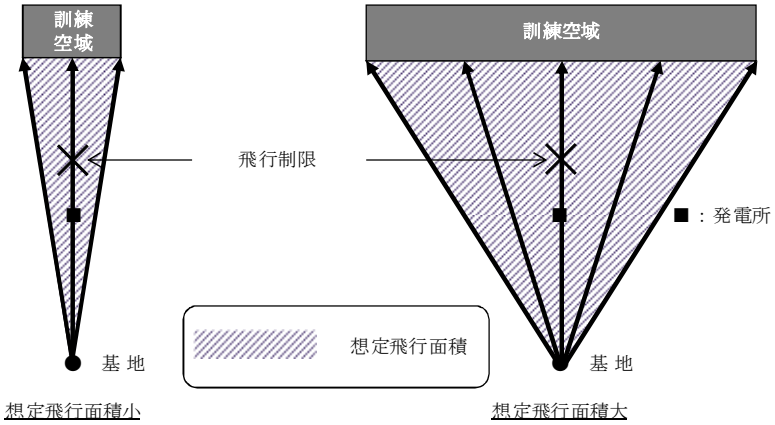
各方面総監
中央即応集団司令官　殿
中央管制気象隊長
航空学校長

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。



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等を踏まえると，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。

2.　「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率の算出について

1.のとおり，「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率は大きな保守性を含んでいることから，以下を踏まえ，本航空機落下確率の算出においては，実際に落下事故実績のある全国の基地と訓練空域間を往復時の落下事故件数及び全国の基地の想定飛行範囲の面積を用いて算出した全国平均の基地－訓練空域間往復時の航空機落下確率を2倍した値（以下「全国平均の落下確率の 2 倍値」という。）を「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率とする。

・百里基地特有の特殊な機種は配備されていないこと，全国では基地－訓練空域間往復時に合計5件の落下事故実績があるにも関わらず，百里基地では落下事故実績がないこと等を考慮すると，百里基地の落下確率は全国平均に対して同程度又はそれ以下と考えられる。

・落下事故実績が存在する全国平均の落下確率を参考とし，保守性を確保するために全国平均の落下確率の2倍値を百里基地－訓練空域間往復時の落下確率として採用。

・百里基地－訓練空域間の想定飛行範囲の面積が小さいこと，防衛省による原子力関連施設上空の飛行は原則として行わないよう制限されていること等を考慮すると，全国平均の落下確率の2倍値には実際の落下確率より十分高いと考えられる。

項　　目	航空機落下確率（回／炉・年）
全国平均の落下確率の2倍値	約 4.14×10^{-8} （$=3.00\times10^{-6}$(回／年・km^2)※$\times0.0138km^2$）

※：5 件／20 年／175,720km^2＝約 1.42×10^{-6}(回／年・km^2)を保守的に 2 倍にし，丸めた値

2.1　全国平均の落下確率の２倍値を用いることの保守性について

「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」は過去 20 年間落下実績がなく，航空機落下確率算出時の発生件数の与え方に不確かさが存在する一方で，全国の基地－訓練空域間の往復時は過去 20 年間で 5 件落下実績が存在する。全国平均の落下確率は，評価の母集団を大きくすることにより落下事故件数を実績値（5 件）に基づき評価していること，基地－訓練空域間を往復時の落下確率が基地毎に大きく異なることは考えにくいことを考慮すると，全国平均の落下確率は国内における平均的な落下確率として信頼性があると考えるが，本評価では保守的に全国平均の落下確率の 2 倍値を用いることとする。

また，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，やむを得ず原子力関連施設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原子力関連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ことについて評価上考慮しておらず，この点においても保守性は確保されている。

2.2　他の評価手法との比較

「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率の算出にあたっては，「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することも考えられる。

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

T：対象期間（＝20 年）

その適用性及び保守性については参考 1 のとおりであるが，χ二乗分布を用いた方法よりも全国平均の落下確率の２倍値は以下のとおり大きくなっている。

項　　目	航空機落下確率（回／炉・年）
全国平均の落下確率の２倍値	約 4.14×10^{-8} （$=3.00\times10^{-6}$(回／年・km^2)$\times0.0138km^2$）
χ二乗分布を用いた方法	約 3.46×10^{-8} （＝0.2275 件／20 年／4,540$km^2\times0.0138km^2$）

χ二乗分布を用いた方法の適用性及び保守性について

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「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「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「訓練空域外を飛行中」の「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「基地－訓練空域間往復時」の落下事故

そのうち，(4)のカテゴリに対する航空機落下確率の推定には，PRA 学会標準において，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用いることも考えられる。このχ二乗分布を用いた方法について，その方法の適用性（1.参照）及び保守性（2.参照）を以下に示す。

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

T：対象期間（＝20 年）

※1：導出方法は参考 2 参照

1. 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”（参考 3 参照）によると，事象発生頻度の推定方法として，χ二乗分布を用いた方法を適用するためには，事象発生頻度がポアソン分布に従っていることが条件となる。

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

適合度検定の結果を下表に示す。

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

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

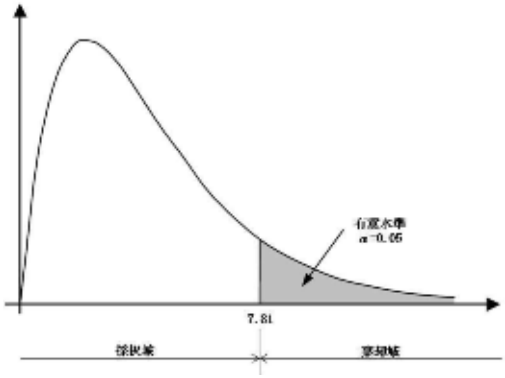
m：落下事故件数標本平均（約 0.276 件）

x：落下事故件数

※２：P(f)×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α＝0.05 を用いると，検定の判定点はχ二乗分布表より 7.81（＝χ^2（3，0.05））で与えられる。



χ二乗分布表

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

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

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

2. χ二乗分布を用いた方法の保守性について

別紙 7.12 本文 1.に記載のとおり，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こと等を考慮すると，基地－訓練空域間往復時の自衛隊機が発電所に落下する確率は極めて小さいと考えられることから，χ二乗分布を用いた方法においても保守性は確保されていると考えられる。

χ二乗分布を用いた方法による発生率の導出について

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

また，発生件数が小さい場合には，ポアソン分布での近似が可能である。

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

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

で表される。

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

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

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

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

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

により算出される。

【解　説】

(1)　確率分布

①　二項分布

離散型確率変数 x の確率関数が次の式で表される分布を二項分布という。

$$p(x)={}_nC_x p^x(1-p)^{n-x} \qquad (x=0,\ 1,\ 2,\ \cdots n)$$

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

②　ポアソン分布

離散型確率変数 x の確率関数が次の式で表される分布をポアソン分布という。

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

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

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

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

③　ガンマ分布

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

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

ここで，$\Gamma(\alpha)$ はガンマ関数であり，

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

で表される。

④　χ二乗分布

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

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

これは，α＝m／2，β＝2 のγ分布の確率密度分布である。

(2)　区間推定

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

(3)　精密法によるポアソン分布の母平均λの区間推定

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

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

一方，パラメータα，βのガンマ分布 GAM(α，β)に従う確率変数を G

とすると，

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

ここで，

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

とおくと，

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

であるから，部分積分を用いて，

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

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

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

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

となるから，

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

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

の関係が得られる。

また，ガンマ分布でα＝m／2，β＝2 のとき，GAM(α，β)は自由度 m の χ二乗分布になることに注目すると，

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

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

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

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

ここで，ポアソン分布の再生性（(1)②参照）より，

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

が成り立つ。この関係から，

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

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

より，

$$P(Y\leqq y)=\frac{\alpha}{2}=P(\chi^2_{2(y+1)}\geqq 2n\lambda)$$

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

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

となり，同様に，

$$P(Y\geqq\ y+1)=1-P(Y\leqq\ y)=1-P(\chi^2_{2y}\geqq 2n\lambda)$$

$$=P(\chi^2_{2y}\leqq\ 2n\lambda)$$

より，

$$P(Y\geqq y+1)=\frac{\alpha}{2}=P(\chi^2_{2y}\leqq 2n\lambda)$$

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

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

となる。

以上より，ポアソン分布の平均値λの(1－α)×100%信頼区間は，

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

で表される。（出典：蓑谷千凰彦，「数理統計ハンドブック」，みみずく舎，2009 年）

NUREG/CR-4407 の概要について

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

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

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

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

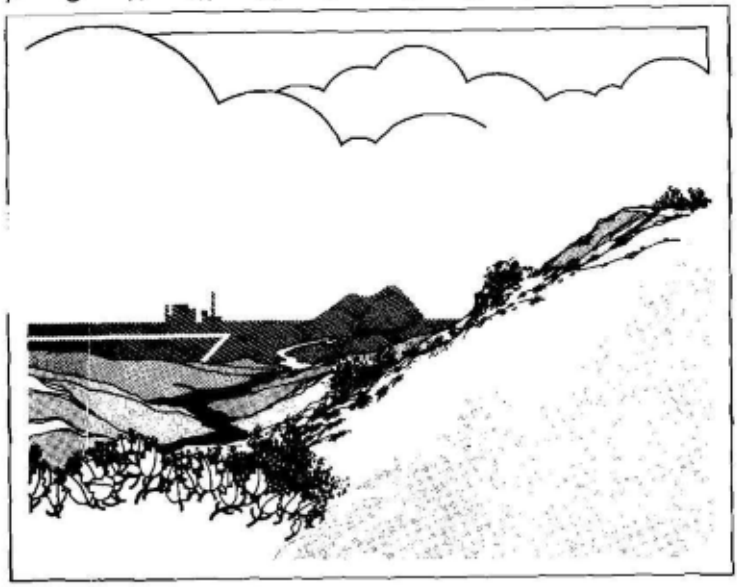
(NUREG／CR-4407 抜粋)

NUREG/CR-4407
EGG-2421
May 1987

Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants

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

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



EG&G Idaho

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

for the U.S. Nuclear Regulatory Commission

Idaho National Engineering Laboratory

Managed by the U.S. Department of Energy

CONTENTS

ABSTRACT ii

EXECUTIVE SUMMARY iii

ACKNOWLEDGMENTS vi

INTRODUCTION 1

OVERALL METHODOLOGY 3

FAILURE DATA 7

POPULATION DATA 11

RESULTS 22

REFERENCES 28

APPENDIX A—USING SUBJECTIVE DATA TO ESTIMATE PIPE BREAK FAILURE RATES A-1

APPENDIX B—INFORMATION PROVIDED TO QUESTIONNAIRE RESPONDENTS B-1

APPENDIX C—QUESTIONNAIRE RESPONSES C-1

APPENDIX D—NARRATIVE SUMMARIES OF PIPE BREAK EVENTS D-1

APPENDIX E—SUMMARIES OF SELECTED PIPE BREAK STUDIES E-1

APPENDIX F—FAILURE RATE ESTIMATION METHODS F-1

(NUREG／CR-4407　RESULTS 抜粋)

Table 15. Frequencies of pipe breaks categorized by leak rate

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

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

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

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

APPENDIX F

FAILURE RATE ESTIMATION METHODS

METHODS USED

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

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

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

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

where

λ = estimated failure rate

N = number of reported pipe failures

T = total number of operating years experienced

D = total number of transients.

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

$$\frac{\chi^2_{\alpha/2}(2N)}{2T} \le \lambda(\text{yearly}) \le \frac{\chi^2_{1-\alpha/2}(2N + 2)}{2T} \qquad \text{(F-3)}$$

and

$$\frac{\chi^2_{\alpha/2}(2N)}{2D} \le \lambda(\text{transient}) \le \frac{\chi^2_{1-\alpha/2}(2N + 2)}{2D}, \qquad \text{(F-4)}$$

where

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

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

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

$$\frac{NF_L}{D - N + 1 + NF_L} \le (\text{transient}) \le \frac{(N + 1)F_U}{D - N + (N + 1)F_U} \qquad \text{(F-5)}$$

where

$F_L = F_{\alpha/2}(2N, 2D - 2N + 2)$

$F_U = F_{1-\alpha/2}(2N + 2, 2D - 2N)$

$F_a(b,c)$ = F variate at cumulative probability "a", with "b" and "c" degrees of freedom.

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

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

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

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

$$\lambda = \frac{\chi^2_{0.50}(2N + 1)}{2T} , \qquad \text{(F-6)}$$

$$\lambda = \frac{\chi^2_{0.50}(2N + 1)}{2D} , \qquad \text{(F-7)}$$

and

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

where

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

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

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

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

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

$$(\alpha,\beta) = (N + 1/2, 1/T). \qquad \text{(F-9)}$$

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

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

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

REFERENCES

F-1. S. R. Brown, M. Trojovsky, *Data Summaries of Licensee Event Reports of Inverters at U.S. Commercial Nuclear Power Plants January 1, 1976 to December 31, 1982*, NUREG/CR-3867, Idaho National Engineering Laboratory, August 1984.

F-2. L. J. Bain, *Statistical Analysis of Reliability and Life-Testing Models*, New York: Marcel Dekker, Inc., p. 157.

F-3. *NPRDS 1978 Annual Reports of Cumulative System and Component Reliability*, NUREG/CR-0942, Southwest Research Institute, September 1979.

F-4. G. E. P. Box and G. C. Tiao, *Bayesian Inference in Statistical Analysis*, Reading, MA: Addison-Wesley, 1973.

F-5. N. R. Mann, R. E. Shafer, N. D. Singpurwalla, *Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1974.

F-6. N. L. Johnson and S. Kotz, *Discrete Distributions*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1969, pp. 58-59 and 96.

使用済燃料乾式貯蔵建屋への航空機落下確率評価について

東海第二発電所の使用済燃料乾式貯蔵建屋は、各原子炉施設から独立して設置されていることから、個別に航空機落下確率を評価した。

１．評価対象事故及び評価に用いた数値は、以下のとおり。

（１） 評価対象事故

原子炉施設に同じ。

（２） 評価に用いた数値

使用済燃料乾式貯蔵建屋の水平面積（約 0.001399km^2）及び投影面積（約 0.001887km^2）が 0.01km^{2}を下回っているため、標的面積は 0.01km^{2}とする。

それ以外の数値は原子炉施設に同じ。

２．評価結果

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評価に対する評価基準について」に定められた判断基準を満足する。

発電所名称	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	1.80×10^{-9}	4.30×10^{-11}	9.95×10^{-9}	1.86×10^{-8}	3.00×10^{-8}	約 6.1×10^{-8}

11.　ダムの崩壊影響評価について

(1)　基本方針

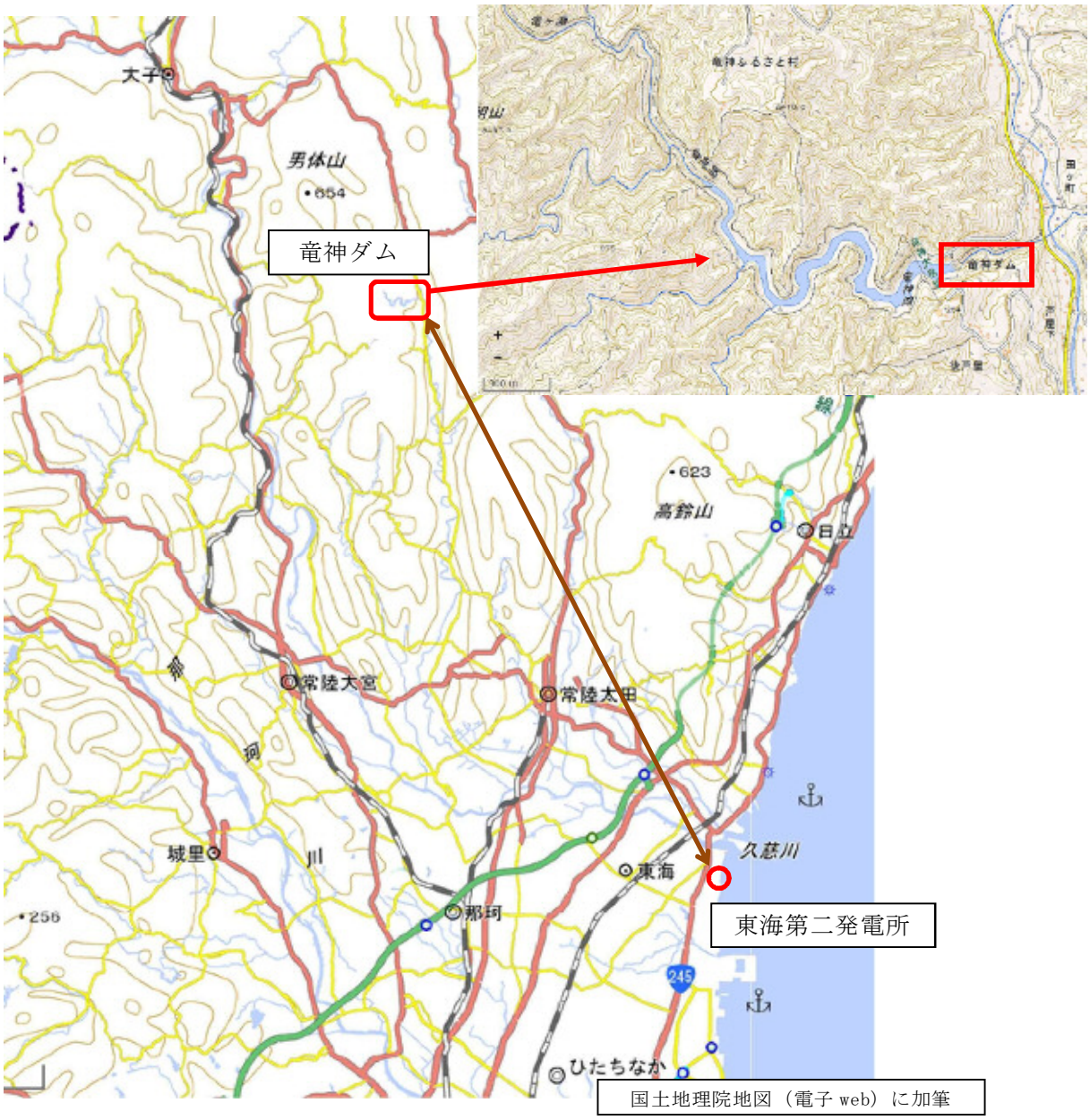
安全施設のうち外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器はダムの崩壊により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

(2)　周辺敷地評価及び確認結果

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，発電所に影響が及ぶことはない。

以上のことより，ダムの崩壊により発電所に影響が及ぶことはなく，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	４５ｍ
堤　頂　長	９０ｍ
総貯水容量	３，０００，０００㎥
有効貯水容量	２，７００，０００㎥

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。

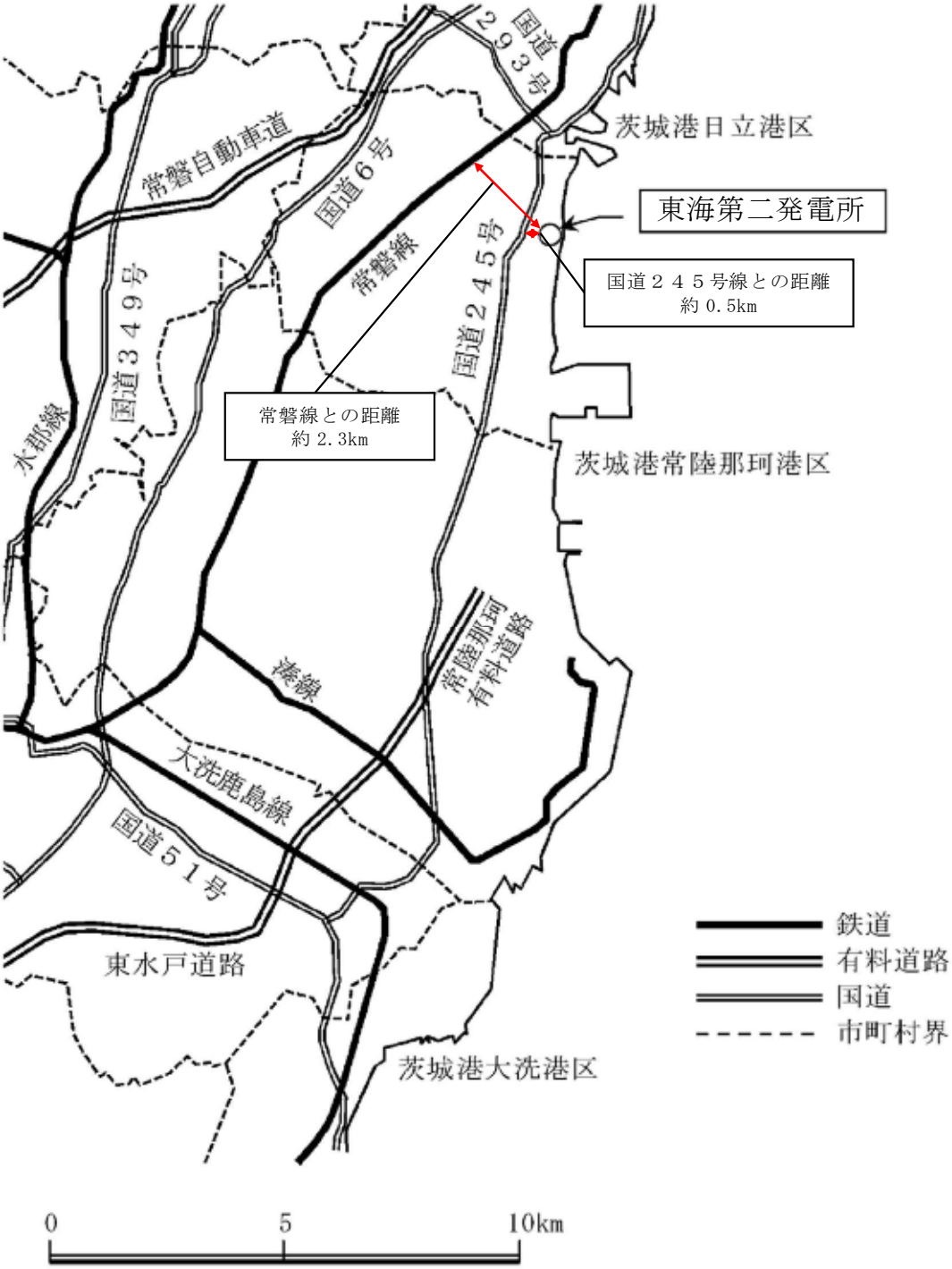
液化塩素を積載するタンクローリは，高圧ガス保安法や，毒物及び劇物取締法によって容器の設計，製造，取扱いの規制を受ける。事故等の衝撃により弁等の突出部が破損しガスが漏えいすることを防ぐための保護枠の設置や，

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，流出が生じても中和剤（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

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（O_2 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／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 10mg／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[℃]
炭酸ガス	40,000 [ppm]	-78.5（昇華点）
硫酸	15 [mg/m^3]	327
苛性ソーダ（水酸化ナトリウム）	10 [mg/m^3]	138
ポリ塩化アルミニウム(PAC)	2 [mg/m^3]※	102
アンモニア	300 [ppm]	37.7

※TLV-TWA (Threshold Limit Value-Time Weighted Average)
ACGIH(米国産業衛生専門家会議)で定められた値
毎日繰り返し暴露したときほとんどの労働者に悪影響がみられないような大気中の物質濃度の時間荷重平均値で，通常，労働時間が8時間/日及び40時間/週での値

第 12－3 表　発電所敷地内の有毒物質

名称	内容物	容量	離隔距離※[m]	
			中央制御室	緊急時対策所
復水脱塩装置薬品エリア硫酸貯蔵タンク	硫酸	50.0［m^3］	112	319
復水脱塩装置薬品エリア苛性ソーダ貯蔵タンク	苛性ソーダ	50.0［m^3］	104	319
廃棄物処理設備屋外硫酸タンク	硫酸	0.6［m^3］	65	391
給水処理設備薬品タンク硫酸貯槽	硫酸	3.0［m^3］	135	185
給水処理設備薬品タンク苛性ソーダ貯槽	苛性ソーダ	10.0［m^3］	135	186
給水処理設備薬品タンクPAC 貯槽	ポリ塩化アルミニウム	6.0［m^3］	132	189
溶融炉アンモニアタンク	アンモニア	1.0［m^3］	120	420
溶融炉苛性ソーダタンク	苛性ソーダ	3.0［m^3］	117	420
取水口 硫酸第一鉄注入タンク	硫酸	7.0［m^3］	289	604
液体窒素貯蔵タンク	液体窒素	50.0［m^3］	35	350
O_2注入系ボンベ庫炭酸ガスボンベ	炭酸ガス	30[kg]×12 本	90	290
主発電機ボンベ庫炭酸ガスボンベ	炭酸ガス	30[kg]×40 本	100	370
主発電機予備ボンベ庫炭酸ガスボンベ	炭酸ガス	30[kg]×30 本	130	410

※　各発出源と換気系給気口までの距離。また，中央制御室換気系給気口は 2 箇所のうち，放出源に近い給気口までの距離を記載

第 12－4 表　評価対象物質及び固定施設名

評価対象物質	固定施設名
アンモニア	廃棄物処理建屋
液体窒素	原子炉建屋

第 12－4 図　固定施設（屋外設備）の配置図

3.3　評価方法

3.3.1　有毒ガス影響評価（アンモニア）

3.3.1.1　評価の概要

影響評価については次の(1)～(3)を考慮し，貯蔵施設から放出された有毒ガスの中央制御室等換気系給気口における濃度（IDLH）を評価する。概要について第12－5図に示す。

(1)　貯蔵施設から流出した有毒物質の大気への放出率

敷地内の固定施設は一定水準の強度を確保して設計されていることから，現実的には損傷容器の損傷孔サイズはそれほど大きいものではなく，有毒物質水溶液の液溜りが広がるには時間を要するものと考えられる。しかし，本評価においては,保守的に貯蔵施設から流出した有毒物質水溶液の液溜まりが瞬時に堰底面全体に広がった状態を想定して評価を行う。

液溜りから大気中への有毒物質の放出率は，有毒物質水溶液の液溜りが堰底面積全面に広がった状態で，液溜りからの蒸発，及び堰内での上方への濃度拡散が最終的な定常状態にあるとして，拡散方程式に基づき評価する。

(2)　大気へ放出した有毒物質の大気拡散

有毒物質の濃度評価に用いる相対濃度（χ／Q）は,「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」の大気拡散の評価にしたがい，年間について小さい方から順に並べた累積出現頻度97％に当たる値を用いた。

(3)　中央制御室等における有毒物質の濃度評価について

中央制御室等における濃度については，有毒物質の大気への放出率及び大気拡散の評価により，中央制御室等換気系給気口における有毒物質の最大濃度を評価し，判断基準と比較する。

3.3.1.2　大気放出率の算出方法

堰内での拡散による濃度分布は次式の拡散方程式を用いて計算できる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + w\frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z}\left(D\frac{\partial C}{\partial z}\right) + q$$

ここで，

q = Q /(Adz) 但し，q = 0 for z ≠ 0

C：濃度[kg/m^3]

w：上向きの流れ[m/s]

D：分子拡散係数[m^2/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[m^3/s]

A：液溜り面積[m^2]

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[m^2/s]

C：濃度[kg/m^3]

z：液面からの高さ[m]

A：液溜り面積[m^2]

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。

$$F = D\frac{C_{p_s}}{z_0}A_0$$

$$C_{p_s} = \frac{MP_s}{1000RT}$$

F　：堰上端部からの大気放出率[kg/s]

D　：分子拡散係数[m^2/s]

C_{Ps}：水溶液面直上での濃度[kg/m^3]

z_0　：堰高さ[m]

A_0　：堰底面積[m^2]

M　：分子量[g/mol]

P_s　：飽和蒸気圧[Pa]

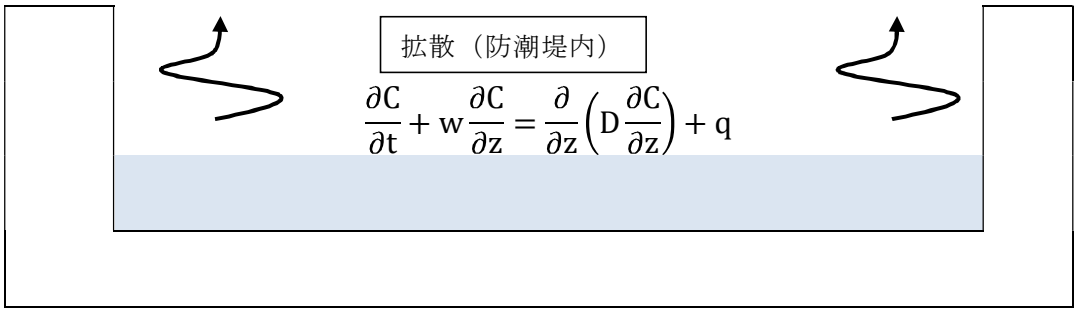
R　：気体定数[8.314 $m^2kg/(s^2\ K\ mol)$]

T　：絶対温度[303 K]

拡散（大気拡散）

$$\chi(X,Y,Z) = \frac{F}{2\pi u \sigma_Y \sigma_Z} \exp\left(-\frac{Y^2}{2\sigma_Y^2}\right) \left\{ \exp\left[\frac{(Z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[\frac{(Z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

大気放出率 $F = D\frac{C_{ps}}{z_0}A_0$



χ(X,Y,Z)：評価点（X,Y,Z）の有毒ガスの濃度（kg/m^3）
u：風速(m/s)
σ_Y：Y 方向（水平方向）の濃度の拡がりのパラメータ(m)
σ_Z：Z 方向（鉛直方向）の濃度の拡がりのパラメータ(m)
h：発生源の地上からの高さ(m)

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[m^3]

V：空間体積[m^3]

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 50m^3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 $3.5\times10^4 m^3$ 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を評価した。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（χ／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]	φ18.7（安全弁） φ72.3（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，放出エネルギによる影響は未考慮
累積出現頻度	小さい方から累積して 97%	審査ガイドに示されたとおり設定
建屋巻き込み	考慮する	放出点から近距離の建屋の影響を受けるため，建屋による巻き込み現象を考慮
巻き込みを生じる代表建屋	原子炉建屋	放出源であり，巻き込みの影響が最も大きい建屋として設定
濃度の評価点	中央制御室 緊急時対策所	審査ガイドに示されたとおり設定
着目方位	中央制御室：9 方位 (NE,NNE,N,NNW,NW,WNW,W,WSW,SW) 緊急時対策所：2 方位 (WSW,W)	審査ガイドに示された評価方法に基づき設定
建屋投影面積	3000 m^2	審査ガイドに基づき，風向に垂直な投影面積のうち最も小さいもの（2706m^2）に対し保守的に設定
形状係数	1/2	内規※2 に示されたとおり設定

※1：実用発電用原子炉に係る重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に関する審査ガイド

※2：原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について（内規）

第 12－12 表　中央制御室等換気系給気口における窒素ガス濃度

放出点	液体窒素貯蔵タンク	
評価点	中央制御室 換気系給気口	緊急時対策所 換気系給気口
貯蔵量[m^3]	50.0	
大気放出率[kg/s]	37.7	
離隔距離[m]	35※	350
相対濃度[s/m^2]	7.38×10^{-4}	1.17×10^{-4}
換気系給気口濃度[vol%]	78.4	78.1
室内最大濃度[vol%]	78.4	78.1
判断基準[vol%]	81.0	
評価結果	影響なし	影響なし

※　中央制御室換気系給気口 2 箇所のうち，最短距離のものを記載

4.　発電所敷地内の屋内設備からの影響

発電所の建屋内で貯蔵している有毒物質等については，SRV 駆動用窒素ガス及び消火用二酸化炭素ガスや，復水脱塩装置や廃液中和処理等で使用の硫酸等が挙げられる。

屋内貯蔵施設については，屋外設備と異なり外的衝撃力による損傷が想定しにくく，さらに国内の法規に従い貯蔵・管理されるとともに，万一漏えいが生じた場合でも各建屋の換気空調系により十分に換気希釈されるため，建屋外の固定施設からの流出事故に包含されるものとして，対象から除外する。

また，分析等に使用する試薬については，その種類は多いものの，使用場所が限定されており，かつ適切に保管，換気されていること，貯蔵量，使用量が少ないことから，中央制御室等への影響は無い。

5.　発電所敷地外の可動施設からの流出の影響評価

敷地外可動施設（陸上輸送，海上輸送）からの流出の影響について，以下のとおり評価し，中央制御室換気系給気口及び緊急時対策所換気系給気口における有毒ガスの濃度が IDLH 以下であり問題ないことを確認した。

なお，評価に当たっては，3.3.1 に示した条件を参照，タンク内の液化塩素全量が流出に至った場合を想定し，評価を行った。

評価条件を第 12－13 表に，大気拡散条件を第 12－14 表に，評価結果を第 12－15 表に示す。

第 12－13 表　想定する評価条件

放出対象	積載量	IDLH
タンクローリ	10t 液化塩素 （有毒物質を運搬するタンクローリの最大容量）	10
ケミカルタンカー	300t 液化塩素 （国内に現存するタンカーの最大容量）	10

第 12－14 表　大気拡散条件（液化塩素）

項目	評価条件		選定理由
	タンクローリ	ケミカルタンカー	
大気拡散評価モデル	ガウスプルームモデル		審査ガイド※1 に示されたとおり設定
気象データ	東海第二発電所における 1 年間の 1 時間ごとの気象データ(2005 年 4 月～2006 年 3 月)		建屋影響を受ける大気拡散評価を行うため地上風（地上高 10m）の気象データを使用 審査ガイドに示されたとおり，発電所において観測された 1 年間の気象データを使用
実効放出継続時間	1 時間		保守的に短期間である 1 時間と設定
放出源及び放出源高さ	放出源：国道２４５号線 放出高さ：地上 1m	放出源：港湾 放出高さ：地上 1m	
累積出現頻度	小さい方から累積して 97%		審査ガイドに示されたとおり設定
建屋巻き込み	考慮する		放出点から近距離の建屋の影響を受けるため，建屋による巻き込み現象を考慮
巻き込みを生じる代表建屋	中央制御室 ：原子炉建屋 緊急時対策所 ：緊急時対策所	中央制御室 ：原子炉建屋 緊急時対策所 ：緊急時対策所	巻き込みの影響が最も大きい建屋として設定
濃度の評価点	中央制御室 緊急時対策所		審査ガイドに示されたとおり設定
着目方位	中央制御室 ：2 方位(E,ESE) 緊急時対策所 ：2 方位(ESE,SE)	中央制御室 ：2 方位(W,WNW) 緊急時対策所 ：2 方位(W,WSW)	審査ガイドに示された評価方法に基づき設定
建屋投影面積	原子炉建屋：3000 m^2 緊急時対策所： 800 m^2		審査ガイドに示されたとおり設定
形状係数	1/2		内規※2 に示されたとおり設定

※１：実用発電用原子炉に係る重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に関する審査ガイド

※２：原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について（内規）

第 12－15 表　中央制御室等換気系給気口における有毒物質濃度（液化塩素）

放出点	タンクローリ		ケミカルタンカー	
評価点	中央制御室換気系給気口	緊急時対策所換気系給気口	中央制御室換気系給気口	緊急時対策所換気系給気口
タンク貯蔵量[m^3]	10.0		300	
大気放出率[g/s]	2.27×10^{0}		6.81×10^{1}	
離隔距離[m]	500m※1	230m	740m※1	1060m
相対濃度[s/m^2]	3.46×10^{-4}	1.15×10^{-3}	3.49×10^{-5}	3.22×10^{-5}
換気系給気口濃度[ppm]	0.248	0.825	0.751	0.693
判断基準［ppm］（IDLH：液化塩素）	10			
評価結果	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし

※1：中央制御室換気系給気口 2 箇所のうち，最短距離のものを記載

6.　隣接施設の固定施設からの流出の影響

発電所の近隣に設置されている有害物質の貯蔵状況を調査した結果，敷地の南側約 1km にアンモニアの貯蔵施設が設置されていることを確認した。また，この貯蔵施設の容量は，当発電所にて設置している溶融炉アンモニアタンクより小さいことを確認した。

溶融炉アンモニアタンクと中央制御室との離隔距離 120m より離隔距離が大きいこと，貯蔵されている有毒物質の容量は溶融炉アンモニアタンクの容量 1.0m^{3}より少ないことから，3.3.1 にて評価した有毒物質濃度（アンモニア）に包絡されることを確認した。

また，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，取水機能を損なうことはない。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，取水機能を損なうことはない。

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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）海水系（以下「非常用海水系」という。）の取水機能を損なうことはない。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，取水機能を損なうことはない。（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。），浚渫船を，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，取水機能を損なうことはない。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

能を損なうことはない。（第 13－4 図及び第 13－5 図参照）

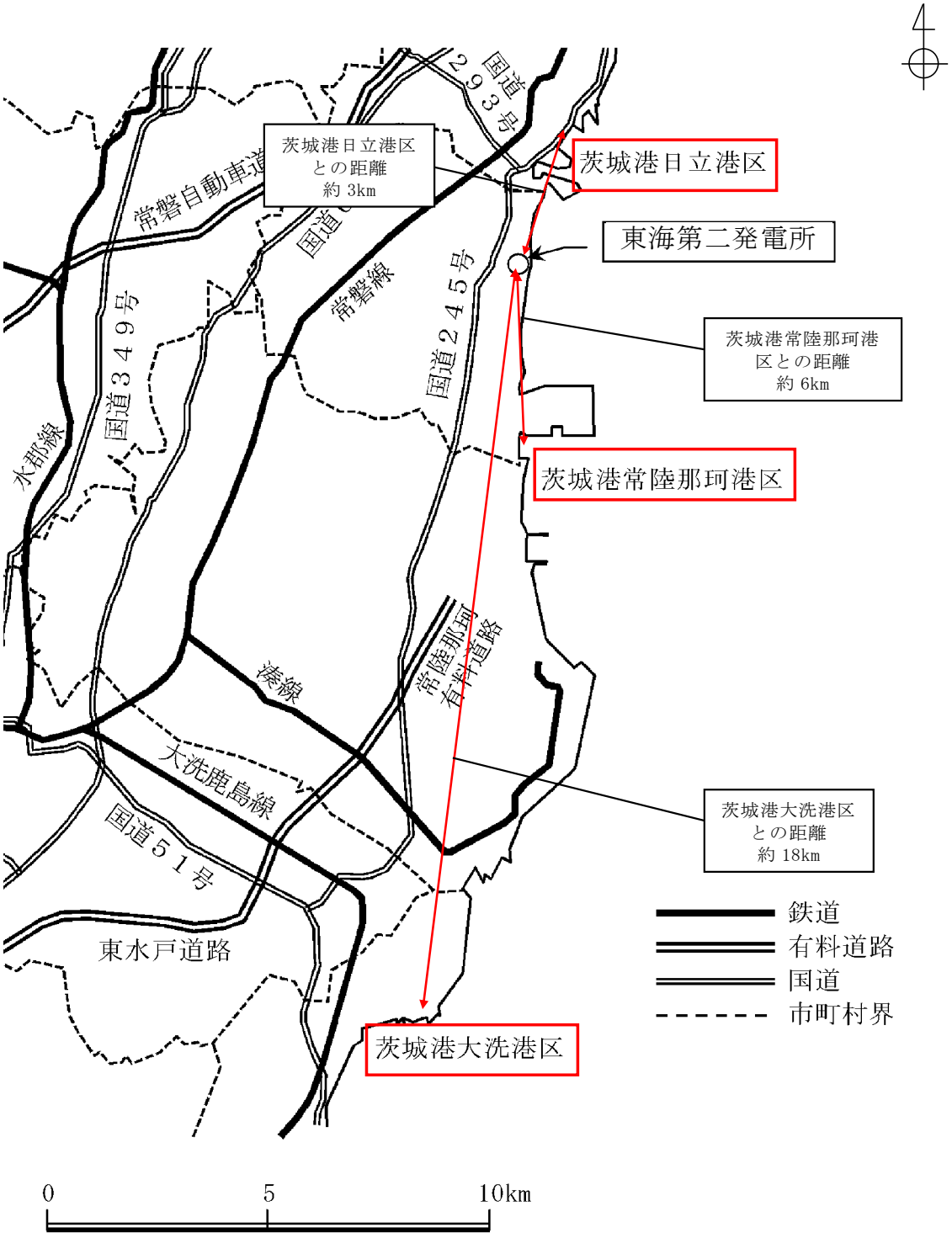
以上のことから，船舶の衝突により取水機能を損なうことはない。

4.　重油の流出による影響

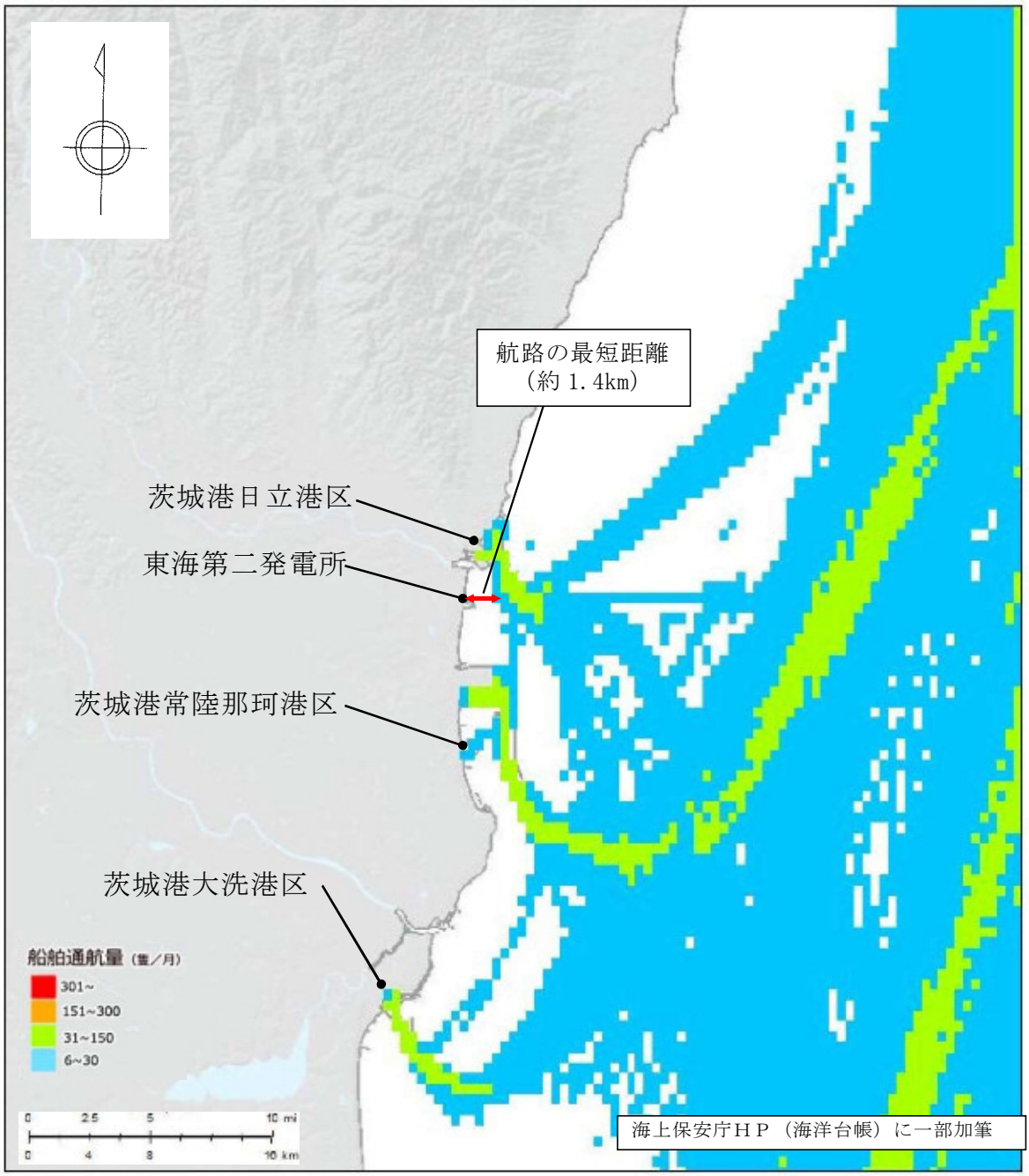
船舶の座礁により重油流出事故が発生した場合において，海水取水はカーテンウォールが設置されていることにより，取水口の低層から取水されるため，取水への油の混入の可能性は低く，非常用海水系の取水機能を損なうことはない。また，必要に応じてオイルフェンスを設置する措置を講じる。

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を損なうことはない。

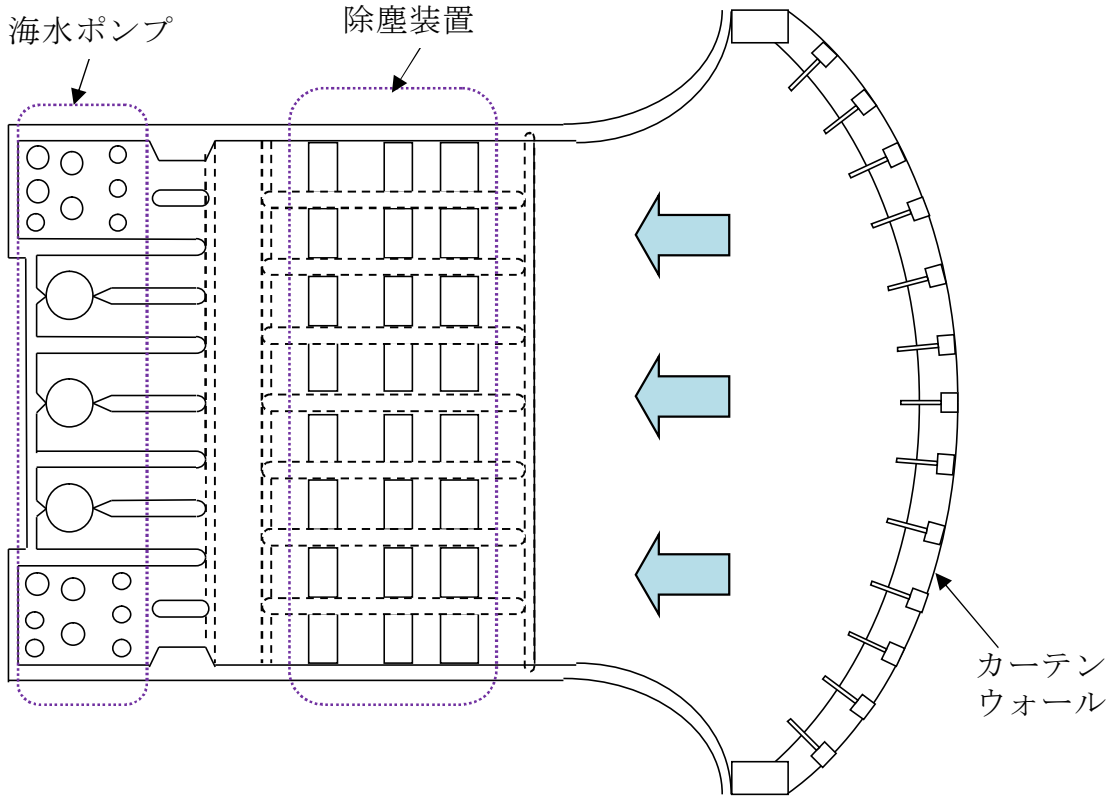


第 13－1 図　東海第二発電所周辺の港湾

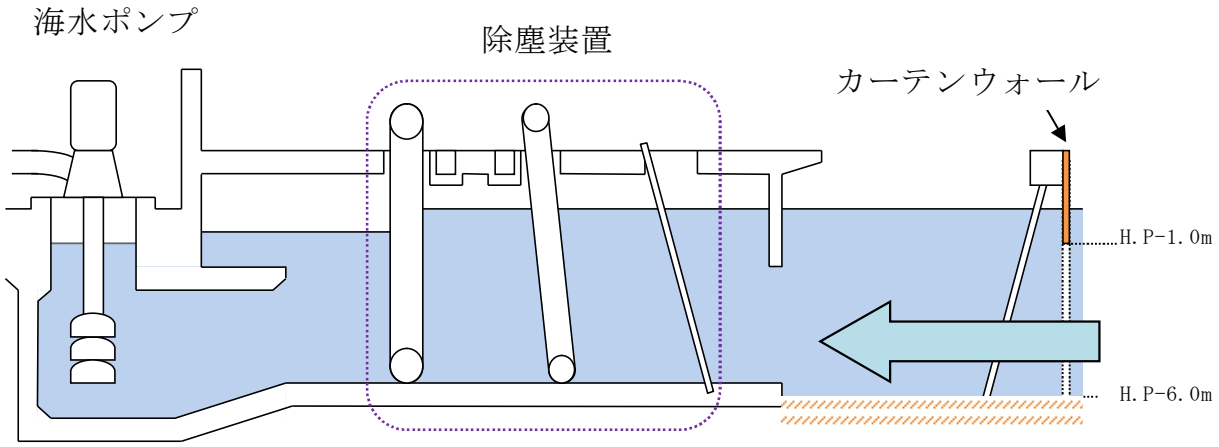


第 13－2 図　発電所周辺の航路

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

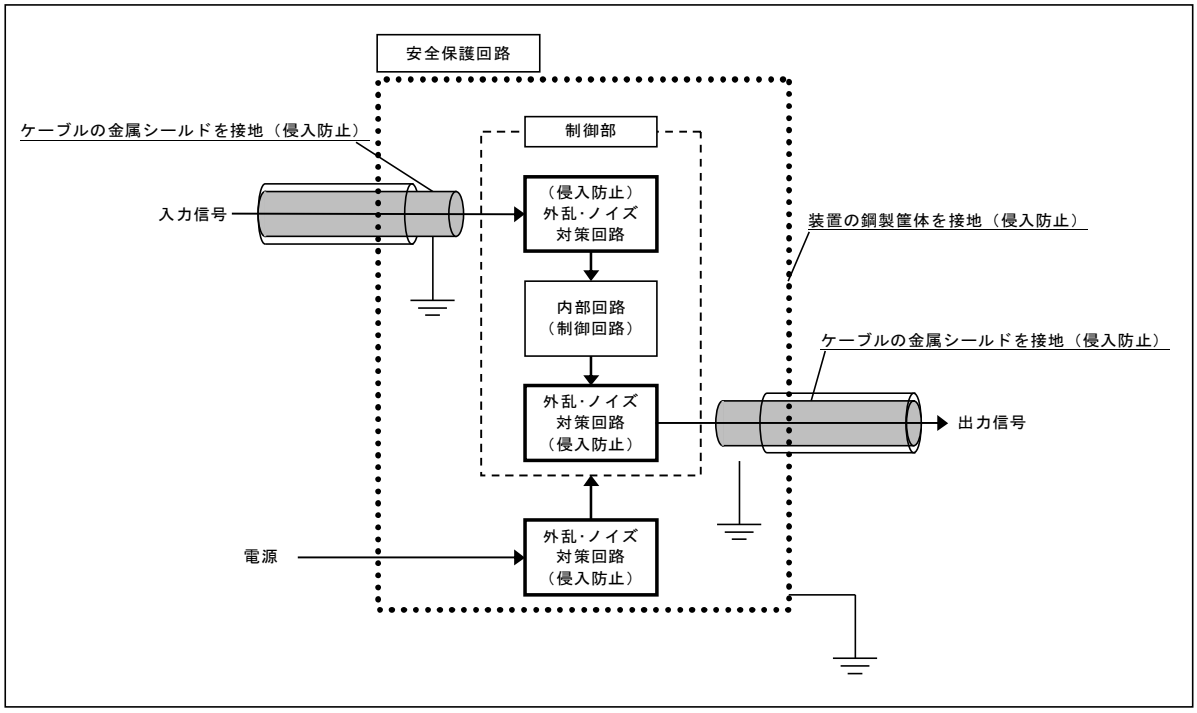
14.　安全保護回路の主な電磁波，サージ・ノイズ対策について

(1)　概要

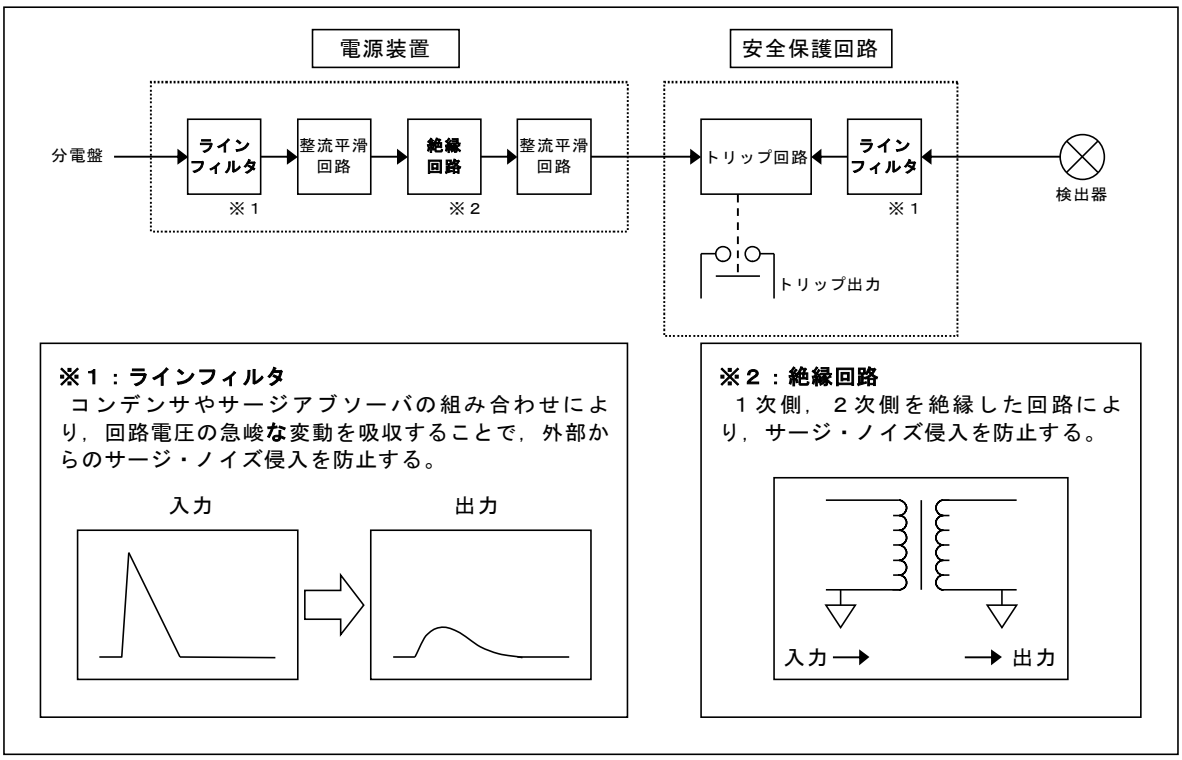
電磁的障害には，電磁波やサージ・ノイズの侵入があり，これらは低電圧の計測制御回路に対して影響を及ぼすおそれがあるため，安全保護回路を構成する計測制御回路は，ＪＥＣ210-1981（低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準）に基づく絶縁耐力を有する設計としている。

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

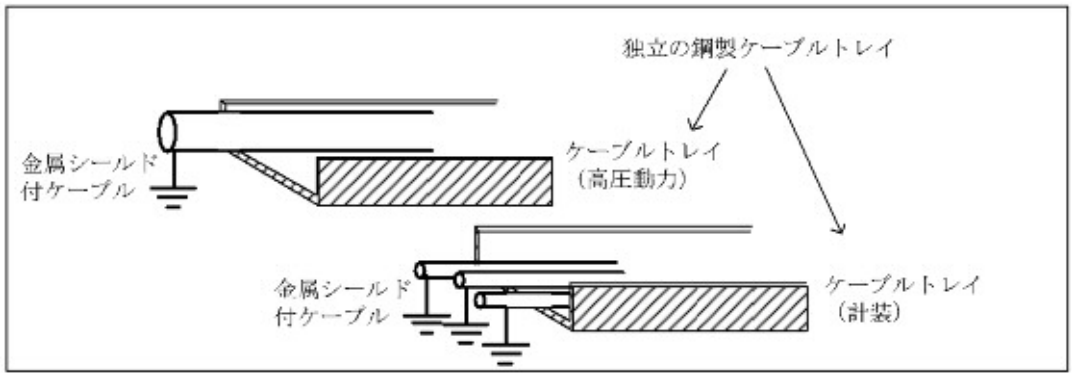
ケーブルは全て金属シールド付ケーブルを使用し，金属シールドは接地して電磁波の侵入を防止する設計とする。

(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，火山の影響，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，火山の影響，風（台風）及び竜巻による荷重のうち，地震，津波，火山の影響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，積雪及び火山の影響は，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}
	火山の影響	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	・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	・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 火山の影響	・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	・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 火山の影響	・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 火山の影響	・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	・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	・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	・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。
火山の影響と風（台風），積雪	・火山の影響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	火山の影響	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（Ｓｓ)による地震力＋風荷重※1 基準地震（Ｓｓ)による地震力＋積雪荷重※2
耐津波設計	基準津波の波力＋基準津波の波源を震源とする余震による地震力＋風荷重※1 基準津波の波力＋基準津波の波源を震源とする余震による地震力＋積雪荷重※2
耐火山設計	降下火砕物堆積荷重※3＋風荷重※1＋積雪荷重※2

※1：建設省告示第1454号に定められた基準風速30m／ｓから算出。

※2：東海村における垂直積雪量30cm。

但し，建築基準法施行令を準拠する場合は，係数0.35を考慮することが可能。

※3：堆積量50cm，降下火砕物密度1.5g／cm^3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こと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。

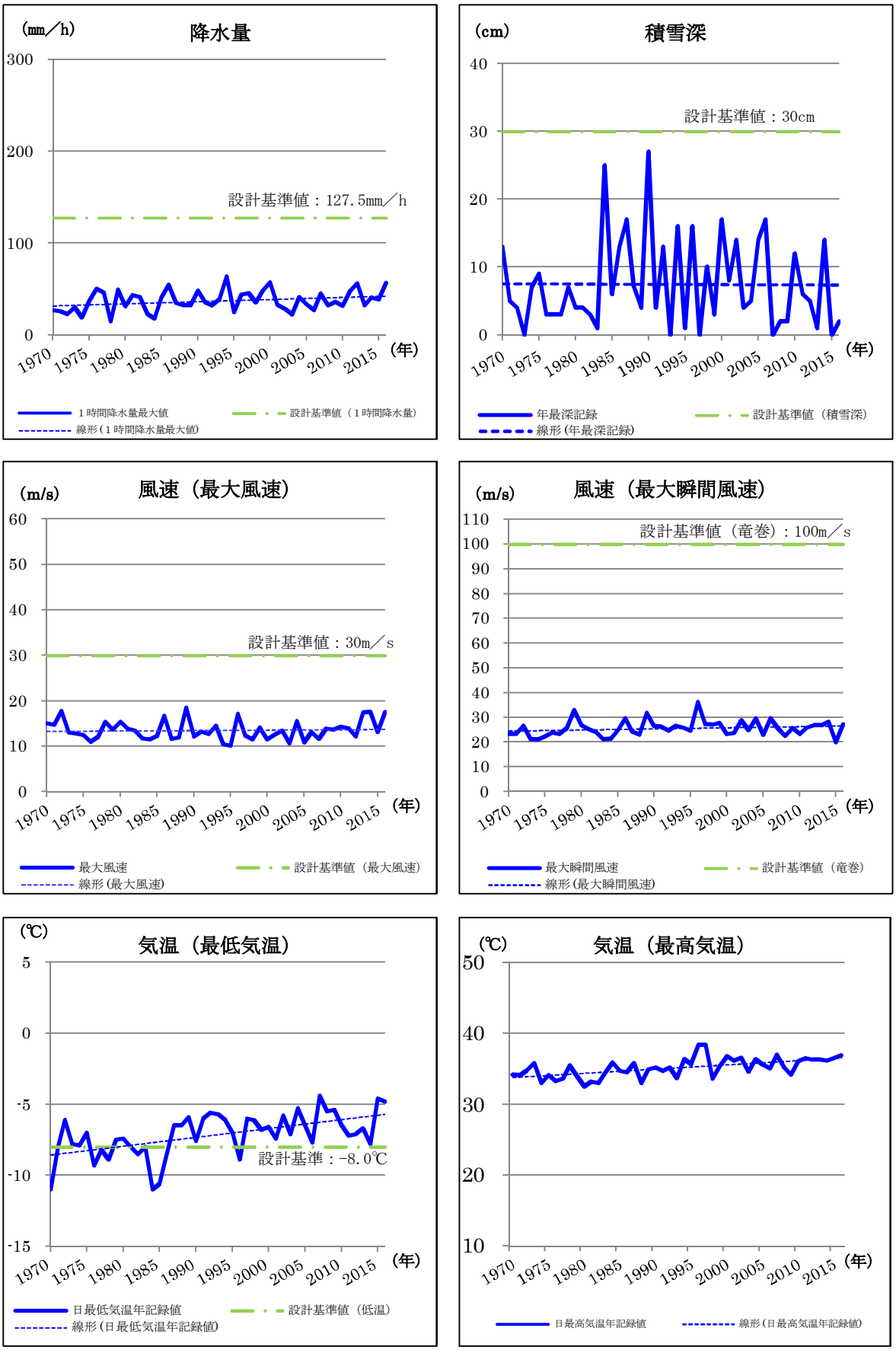
最大瞬間風速では，増加傾向が見受けられるものの，設計竜巻の最大風速 100m／s を想定しており，観測記録はこれに十分包絡される。

・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変化を考慮して，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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）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，時間的変化の観点からは，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，建屋の構造計算にあたっては，極めて稀に発生する積雪状態における荷重を考慮していること，荷重条件がさらに厳しい降下火砕物の堆積荷重による評価で健全性が確保されることを確認していることから，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，積雪によって建屋の設計基準としての積雪荷重に達する，給排気口の閉塞の可能性がある開口部高さに達する又は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。

【火山の影響】

・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	50cm	50cm （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

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）	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）
指針二 自然現象に対する設計上の考慮 ２ 安全機能を有する構築物，系統及び機器は，地震以外の想定される自然現象によって原子炉施設の安全性が損なわれない設計であること。 重要度の特に高い安全機能を有する構築物，系統及び機器は，予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件，又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。 （解釈） 「自然現象によって原子炉施設の安全性が損なわれない設計」とは，設計上の考慮を要する自然現象又はその組合わせに遭遇した場合において，その設備が有する安全機能を達成する能力が維持されることをいう。 「重要度の特に高い安全機能を有する構築物，系統及び機器」については，別に「重要度分類指針」において定める。 「予定される自然現象」とは，敷地の自然環境を基に，洪水，津波，風，凍結，積雪，地滑り等から適用されるものをいう。 「自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件」とは，対照となる自然現象に対して，過去の記録の信頼性を考慮の上，少なくともこれを下回らない苛酷なものであって，か	第６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。 （解釈） １ 第６条は，設計基準において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）に対して，安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含む。 ２ 第１項に規定する「想定される自然現象」とは，敷地の自然環境を基に，洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学的事象又は森林火災等から適用されるものをいう。 ３ 第１項に規定する「想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないもの」とは，設計上の考慮を要する自然現象又はその組合せに遭遇した場合において，自然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。 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

つ，統計的に妥当とみなされるものをいう。 なお，過去の記録，現地調査の結果等を参考にして，必要のある場合には，異種の自然現象を重畳させるものとする。 「自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合」とは，最も苛酷と考えられる自然力の事故時の最大荷重を単純に加算すること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変化を考慮して適切に組み合わせた場合をいう。	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。 （解釈） 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。 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。 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変化を考慮して適切に組み合わせた場合をいう。
指針三 外部人為事象に対する設計上の考慮 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	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

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。	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，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。 ８　第３項に規定する「発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）」とは，敷地及び敷地周辺の状況をもとに選択されるものであり，飛来物（航空機落下等），ダムの崩壊，爆発，近隣の工場等の火災，有毒ガス，船舶の衝突又は電磁的障害等をいう。なお，上記の航空機落下については，「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。

※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が，受け入れられるものとして与えられる。	－
Criterion 1: The event is of equal or lesser damage potential than the events for which the plant has been designed. This requires an evaluation of plant design bases in order to estimate the resistance of plant structures and systems to a particular external hazard.	基準１： その事象が，プラントが設計された時に考慮した事象と同じか少ない損傷をもたらす可能性のあるもの。 これには，特別の外部ハザードに対してプラントの構造及びシステム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。	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。
Criterion 2: The event has a significantly lower mean frequency of occurrence than another event, taking into account the uncertainties in the estimates of both frequencies, and the event could not result in worse consequences than the consequences from the other event.	基準２： その事象が，別の事象より，著しく低い平均頻度であるもの。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。	基準Ｅ： 発生頻度が他の事象と比較して非常に低い。
Criterion 3: The event cannot occur close enough to the plant to affect it. This criterion must be applied taking into account the range of magnitudes of the event for the recurrence frequencies of interest.	基準３： その事象が，プラントに影響を与える程十分に接近していなくて，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。	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。
Criterion 4: The event is included in the definition of another event.	基準４： その事象が，他の事象の定義に含まれる場合。	基準Ｄ： 影響が他の事象に包絡される。

ASME ANS RA-Sa-2009 EXT-B1 より	参考訳	考慮すべき事象の除外基準
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.	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。	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。
該当なし	－	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。

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。

22.外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の防護方針について

1.　概要

外部事象に対しての，津波防護施設，浸水防止設備，及び津波監視設備（以下「津波防護施設等」という。）の防護方針を以下に示す。

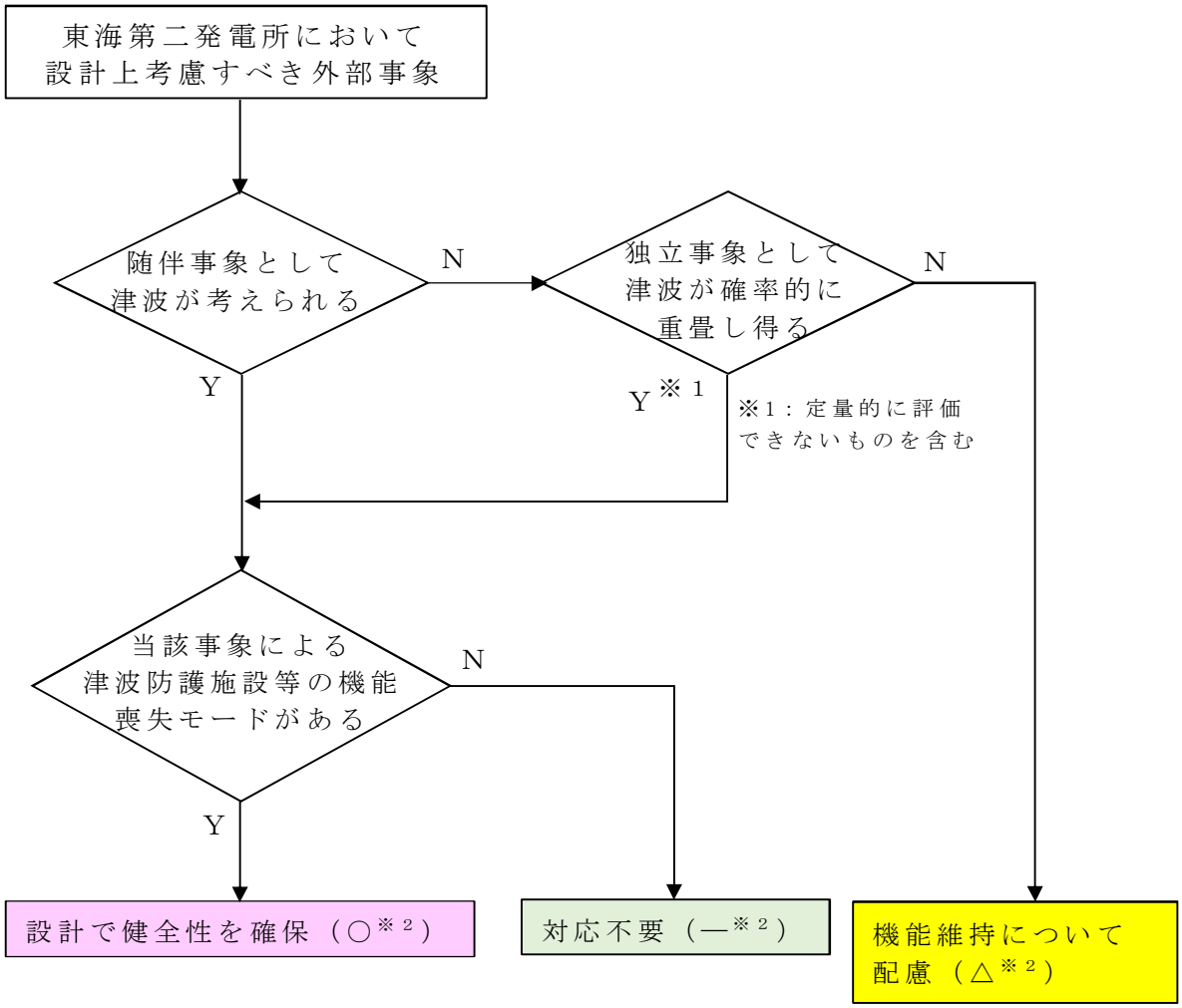
2.　防護に関する考え方

以下の考え方に基づき，東海第二発電所において設計上考慮すべき外部事象に対する，津波防護施設等の機能維持のための対応の要否について整理した。（フローを別図 1－1 に示す）

・設計上考慮すべき事象が，津波若しくは津波の随伴，重畳が否定できない事象に該当するかを確認する。定量的な重畳確率が求められない事象については，保守的にその影響を考慮する。

・津波の随伴，重畳が否定できない場合は，当該事象による津波防護施設等の機能喪失モードの有無を確認する。機能喪失モードが認められる場合は，設計により健全性を確保する。

・津波の随伴，重畳が有意でないと評価される事象についても，東海第二発電所の津波防護施設等については，基準津波の高さや防護範囲の広さ等その重要性に鑑み，自主的に機能維持のための配慮を行う。



※2：「○」，「△」，「—」は，後掲の別表 1-1 における
整理に対応している

別図 1－1　外部事象に対する津波防護施設等の

機能維持対応要否判断フロー

3.　検討結果

上記検討フローに基づく各事象に対する防護方針の検討結果を，以下に示す。（詳細は別表 1－1 のとおり）

3.1　津波の随伴，重畳が否定できない事象※に対する防護方針

これらの外部事象に対しては，津波との随伴若しくは重畳の可

能性を否定できないため，荷重の重ね合わせのタイミングも考慮した上で設計への反映の要否を検討し，津波防護施設等への影響が考えられる事象に対しては，津波防護施設等の機能を維持する設計とする。

※：地震，洪水，風（台風），凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，生物学的事象，森林火災，高潮

3.2　津波の随伴，重畳が有意ではない事象（竜巻，火山の影響）に対する防護方針

「竜巻」,「火山の影響」の 2 つの外部事象に津波は随伴せず，また敷地高さを超える津波との重畳の確率も有意ではないため，津波防護施設等を防護対象施設とはしないものの，津波防護施設等の機能が要求される時にはその機能を期待出来るよう,以下の対応を自主的に実施する。

3.2.1　「火山の影響」

設計で想定する降下火砕物の給源の噴火と安全施設の中で最も低所にある海水ポンプを内包する海水ポンプ室壁頂部の高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約 8.6×10^{-8}(1/y)であり，火山と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，降下火砕物の堆積荷重について長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に適宜除去が可能な設計とする。

3.2.2　「竜巻」

設計竜巻と安全施設の中で最も低所にある海水ポンプの設置高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約 3.8×10^{-8}(1/y)であり，竜巻と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，竜巻が襲来した場

合には必ず作用する風荷重に対しては，津波防護施設等の健全性を維持する設計とする。また，竜巻が襲来した場合でも，必ずしも津波防護施設に作用するとは限らない竜巻飛来物荷重に対しては，大規模な損傷に至り難い構造とする。

別表 1－1　外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表

：津波の随伴，重畳が否定できないため，設計で健全性を確保する事象（○）
：津波の随伴，重畳は有意ではないが，機能維持について設計上配慮する事象（△）
：対応が不要な事象（—）

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
地震	○	—	○	<u>あり</u> 地震荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	耐震Ｓクラス施設として基準地震動 Ss に対し健全性を維持し，津波に対する防護機能を維持する。 また，津波と余震（Sd-D1 地震動）の組合せも考慮する。
洪水（外部洪水）	—	○	○	<u>なし</u> 基準津波の遡上高さと洪水ハザードマップの浸水想定を重ねても，発電所敷地へ侵入し得る高さには達しない。 国道 245 号線西側田畑への洪水高さ： ～T.P.10m（審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）」より） 国道 245 号西側田畑への津波遡上分： ～＋4m※（遡上解析結果より） ⇒合計 T.P.～14m＜EL.(=T.P.)15m（国道 245 号線（発電所入口））	—	—

※：防潮堤形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
風（台風）	—	○	○	**あり** 風荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	・風荷重，津波荷重を考慮した設計とする。 ・津波監視カメラは，風荷重を考慮した設計とする。
竜巻	—	—	—	**なし** 以下のとおり，重畳の頻度は無視し得る。 設計竜巻の確率 P1： 約 3.9×10^{-6}/y（補足 1 参照） 敷地高さ超津波（＞T.P.3m）の確率 P2： 約 9.6×10^{-3}/y※ ※：飛来物による海水ポンプ室の壁の損傷を想定し，敷地の最低高とした。 ⇒重畳確率：p=約 3.8×10^{-8}/y ・・・目安値 $P_C=1\times10^{-7}$ 未満で，有意ではない。	△	防潮堤の設計においては，自主的に以下の配慮を行い，信頼性を高める。 ・風圧力に対しては，損傷しない様に構造強度を確保する。 ・飛来物については，防潮堤は鉄筋コンクリート等の堅牢な構造であり，大規模な損傷は生じないと考えられる。
極低温（凍結）	—	○	○	**あり** 凍害により止水ジョイントが損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	止水ジョイントは最低気温を考慮した設計とする。
降水（豪雨（降雨））	—	○	○	**なし** 降雨による海水面の上昇の影響は無視し得る。	—	—

※：防潮堤形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
積雪（暴風雪）	—	○	○	**あり** 積雪荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	積雪荷重と津波荷重を考慮した設計とする。
落雷	—	○	○	**あり** 落雷により津波監視設備の機能喪失が想定される	○	津波監視設備については，既設避雷設備の遮へい範囲内への設置又は避雷設備の設置，避雷設備の接地極を構内接地網と連接し接地抵抗の低減を行うとともに，ラインフィルタや絶縁回路を設置することにより，雷サージの侵入を防止する設計とする。
地滑り	—	○	○	**なし** 発電所の敷地及びその近傍には地滑りを起こすような地形は存在しない。	—	—
火山 （火山活動・降灰）	—	—	—	**なし** 以下のとおり，重畳の頻度は無視し得る。 想定する火山の確率：2.2×10^{-5}/y （審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）」より） 敷地高さ超津波（＞T.P.6m）の確率： 約 3.9×10^{-3}/y※ ※：海水ポンプ室の壁は損傷しないため，ポンプ室水密高さとする。 ⇒重畳確率：p=約 8.6×10^{-8}/y ・・・目安値 $P_C=1\times10^{-7}$ 未満で，有意ではない。	△	設計にて長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に適宜除去が可能な設計とする。

※：防潮堤形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
生物学的事象	—	○	○	なし 生物による影響（閉塞，侵入）による機能喪失モードを有しない。	—	—
森林火災	—	○	○	あり 熱影響により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	・森林火災の熱影響による強度低下及び止水ジョイントの機能喪失を起こさない設計とする。 ・防潮堤上の津波監視設備が森林火災の影響で機能を喪失した場合は，速やかに予備品と交換する。 （機能喪失の可能性があるのは，全4台中2台のみ）
高潮	—	○	○	あり 高潮に起因する潮位上昇により防潮堤を越波した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	高潮と津波の組合せを考慮した設計とする。

東海第二発電所

外部からの衝撃による損傷の防止

(竜巻)

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

1.3　気象等

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

別添資料３　運用，手順説明資料

＜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。

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。	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。 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。	追加要求事項

4

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

(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。）又はその組合せに遭遇した場合において，自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件において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，洪水及び地滑りについては，立地的要因により設計上考慮する必要はない。

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変化を考慮して適切に組み合わせる。

また，安全施設は，発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（航空機落下），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により発電用原子炉施設の

安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお，発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち，飛来物（航空機落下）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。

自然現象及び発電所敷地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の組合せについては，地震，津波，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，森林火災等を考慮する。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を特定し，その組合せの影響に対しても安全機能を損なわない設計とする。

ここで，想定される自然現象及び発電所敷地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) 竜巻

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発電所の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，敷地内の資機材，車両等については，飛来した場合の運動エネルギ又は貫通力が設定する設計飛来物（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，固定又は防護すべき施設からの離隔を実施する。

なお，敷地近傍の他事業所等から，上述の設計飛来物（鋼製材）の運動エネルギ又は貫通力を上回る飛来物が想定され

る場合は，当該飛来物の衝撃荷重を考慮した設計荷重に対し，当該飛来物が衝突し得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当該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。又は，当該飛来物が安全施設及び安全施設を内包する区画に到達しないよう管理する。

【別添資料１（3.：1-47～75）】

(2) 安全設計方針

1.7 外部からの衝撃による損傷の防止に関する基本方針

安全施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く）及び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（故意によるもの除く。）に対して，安全機能を損なわない設計とする。安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を，「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に属する構築物，系統及び機器（以下 1.7 では「安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に属する構築物，系統及び機器」という。）とする。

その上で，上記構造物，系統及び機器の中から，発電用原子炉施設を停止する又は停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物，系統及び機器として安全重要度分類のクラス１，クラス２及び安全評価上その機能に期

待するクラス３に属する構築物，系統及び機器に加え，それらを内包する建屋を外部事象から防護する対象（以下「外部事象防護対象施設」という。）とし，機械的強度を有すること等により安全機能を損なわない設計とする。

また，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，損傷した場合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

【別添資料１（1.2.1：1-2）】

1.7.2　竜巻防護に関する基本方針

1.7.2.1　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安全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，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等による衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重並びにその他の組合せ荷重（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

設計竜巻によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要が

ある施設を，安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に属する構築物，系統及び機器とする。

設計竜巻によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち，外部事象防護対象施設は，設計荷重に対し機械的強度を有することにより安全機能を損なわれない設計とする。

竜巻影響評価の対象施設としては，「1.7.2.1(3)　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設」及び「1.7.2.1(4)　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設」に示す施設を，竜巻影響評価の対象施設とする。

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施設を抽出した結果，追加で「1.7.2.1(3)　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設」に反映する施設はない。

竜巻に対する防護設計を行う，外部事象防護対象施設のうち評価対象施設及び外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設を「評価対象施設等」という。

外部事象防護対象施設の安全機能を損なわないようにするため，外部事象防護対象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外部事象防護対象施設の構造健全性の維持，外部事象防護対象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た設計とする。

屋外に設置する外部事象防護対象施設の構造健全性の維持又は外部事

象防護対象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飛来物防護対策設備は，防護ネット，防護鋼板等から構成し，飛来物から外部事象防護対象施設を防護できる設計とする。

【別添資料１（1.：1-1～14）】

(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，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，将来的な気候変動に伴う不確実性を踏まえ，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.：1-15～47）】

(3)　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設

外部事象防護対象施設は，設計荷重に対し機械的強度を有することにより安全機能を損なわない設計とする。

外部事象防護対象施設は，外殻となる施設（建屋，構築物）（以下「外殻となる施設等」という。）に内包され，外気と繋がっておらず設計竜巻荷重の影響から防護される施設（以下「外殻となる施設等に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）」という。），設計竜巻荷重の影響を受ける屋外施設（以下「屋外施設」という。），外殻となる施設等に内包されるため，設計竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物等による衝撃荷重の影響から防護されるが，外気と繋がっており設計竜巻の気圧差による荷重の影響を受ける施設（以下「屋内の施設で外気と繋がっている施設」という。）及び外殻となる施設等に内包されるが設計竜巻荷

重の影響から防護が期待できない施設（以下「外殻となる施設等による防護機能が期待できない施設」という。）に分類し，このうち，外殻となる施設等に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）は内包する建屋により防護する設計とすることから，評価対象施設は，屋外施設，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等による防護機能が期待できない施設とし，以下のように抽出する。

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，「1.7.2.1(3)a.　屋外施設」のうち外部事象防護対象施設を内包する区画の構造健全性維持可否の観点並びに設計飛来物等の衝突による開口部の開放及び開口部建具の貫通の観点から抽出する。

また，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，竜巻及びその随伴事象により損傷した場合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

ａ．屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む。）

(a)　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含む。）吸気フィルタ（非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気フィルタ）

(b)　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含む。）室ルーフベントファン（非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び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）

(c)　中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）

(d)　残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）

(e)　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含む。）海水ポンプ（非常用ディーゼル発電機海水ポンプ及び高圧炉心

スプレイ系ディーゼル発電機海水ポンプ）（配管，弁含む。）

(f)　残留熱除去系海水系ストレーナ

(g)　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含む。）海水ストレーナ（非常用ディーゼル発電機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ストレーナ）

(h)　非常用ガス処理系排気配管

(i)　排気筒

＜以下，外部事象防護対象施設を内包する区画＞

外部事象防護対象施設を内包する区画を，以下のとおり抽出する。

(j)　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）

(k)　タービン建屋（気体廃棄物処理系隔離弁等を内包）

(l)　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）

(m)　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)　非常用換気空調設備（中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む。），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及び原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト）

c．外殻となる施設等による防護機能が期待できない施設

(a)　原子炉建屋付属棟 4 階非常用換気空調設備（中央制御室換気系ファン（空気調和器含む。）及び中央制御室換気系フィルタユニット）

(b)　非常用電源盤（電気室）

(c)　原子炉建屋原子炉棟 6 階　設置設備（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）

(d)　原子炉建屋原子炉棟 6 階　燃料取扱設備（燃料交換機及び原子炉建

屋天井クレーン）

(e)　使用済燃料乾式貯蔵容器

(f)　使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

【別添資料１（1.2.2（1）：1-4～8）】

(4)　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設

外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設としては，当該施設の破損等により外部事象防護対象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。

外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る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（安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３並びにノンクラス）の中から，外部事象防護対象施設に機械的影響を及ぼし得る評価対象施設及び外部事象防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る評価対象施設を以下のとおり抽出する。

ａ．外部事象防護対象施設に機械的影響を及ぼし得る評価対象施設

外部事象防護対象施設に機械的影響を及ぼし得る評価対象施設としては，施設の高さと外部事象防護対象施設との距離を考慮して，倒壊により外部事象防護対象施設を損傷させる可能性がある施設を外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設として抽出する。

(a)　サービス建屋

(b)　海水ポンプ室

(c)　鋼製防護壁

(d)　排気筒

(e)　燃料取扱設備（燃料交換機，原子炉建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン）

ｂ．外部事象防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る評価対象施設

外部事象防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る評価対象施設としては，屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備で，気圧差等による損傷により外部事象防護対象施設の安全機能を損なわせる可能性がある施設を外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設として抽出する。

(a)　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含む。）排気消音器（非常用ディーゼル発電機排気消音器及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器）

(b)　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含む。）付属排気配管及びベント配管（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タンクベント管，非常用ディーゼル発電機機関ベント管及び非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管並びに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タンクベント管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管及び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）

(c)　残留熱除去系海水系配管（放出側）

(d)　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含む。）海水配管（放出側）（非常用ディーゼル発電機海水配管（放出側）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水配管（放出側））

【別添資料１（1.2.2（2）：1-9～12）】

(5)　設計飛来物の設定

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，評価対象施設等に衝突する可能性のある飛来物

を抽出する。

飛来物に係わる現地調査結果及び「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）」に示されている設計飛来物の設定例を参照し設定する。

設計飛来物は，浮き上がりの有無，運動エネルギ及び貫通力を踏まえ，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）を設定する。

また，竜巻飛来物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 1.7.2－1 表に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敷地内の資機材，車両等の寸法，質量及び形状から飛来の有無を判断し，運動エネルギ及び貫通力を考慮して，衝突時に建屋等又は竜巻飛来物防護対策設備に与えるエネルギ又は貫通力が設計飛来物によるものより大きく，外部事象防護対象施設を防護できない可能性があるものは固縛，固定又は外部事象防護対象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。

なお，敷地近傍の他事業所等から，上述の設計飛来物（鋼製材）の運動エネルギ又は貫通力を上回る飛来物が想定される場合は，当該飛来物の衝撃荷重を考慮した設計荷重に対し，当該飛来物が衝突し得る外部事象防護対象施設の構造健全性の確保若しくは当該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。又は，当該飛来物が外部事象防護対象施設に到達しないよう管理する。

(6)　荷重の組合せと許容限界

竜巻に対する防護設計を行うため，評価対象施設等に作用する設計竜巻荷重の算出，設計竜巻荷重の組合せの設定，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．評価対象施設等に作用する設計竜巻荷重

設計竜巻により評価対象施設等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「設計飛来物等による衝撃荷重（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等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外部事象防護対象施設を内包する区画の外壁，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等の内外の気圧差による圧力荷重が発生する。保守的に「閉じた施設」を想定し次式のとおり算出する。

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

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)　設計飛来物等による衝撃荷重（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等が評価対象施設等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　：1-49～61）】

b．設計竜巻荷重の組合せ

評価対象施設等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）及び設計飛来物等による衝撃荷重（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，評価対象施設等には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 ：1-61～62）】

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) 評価対象施設等に常時作用する荷重，運転時荷重

評価対象施設等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，ひょう及び降水である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は，以下のとおり設計竜巻荷重に包絡される。

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

冬期，竜巻が襲来する場合は竜巻通過前後に降雪を伴う可能性はあるが，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。

iii） ひょう

ひょう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 程度の大型のひょうを想定した場合でも，その重量は約 0.5kg である。竜巻とひょうが同時に発生する場合においても，直径 10cm 程度のひょうの終端速度は 59m／s[3]，運動エネルギは約 0.9kJ であり，設計飛来物の運動エネルギと比べ十分に小さく，ひょうの衝突荷重による設計竜巻荷重に包絡される。

iv） 降水

竜巻と降水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

外部事象防護対象施設は，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等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合せは考慮しない。

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，評価対象施設等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及び温度と変わらないため，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合せは考慮しない。

【別添資料１（3.3.2 ：1-62～63）】

d．許容限界

建屋及び構築物の設計において，設計飛来物等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しない部材厚（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ＪＥＡＧ4601-1987（日本電気協会）

・原子力エネルギー協会（ＮＥＩ）の基準・指針類

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，貫通が発生しない部材厚の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ＪＥＡＧ4601-1987（日本電気協会）

【別添資料１（3.4.1 ：1-64）】

(7) 評価対象施設等の防護設計方針

評価対象施設等の設計荷重に対する防護設計方針を以下に示す。

【別添資料１（3.4.2 ：1-63～76）】

a．屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）

外部事象防護対象施設のうち屋外施設は，設計荷重に対して，安全機能が維持される設計とし，必要に応じて防護ネット等の竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。

(a) 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含む。）吸気フィルタ（非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ及び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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）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，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含む。）の吸気機能が維持される設計とする。さらに，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び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含む。）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）：1-65）】

(b) 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含む。）室ルーフベントファン（非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び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）

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含む。）室ルーフベントファンは，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，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）：1-65～66）】

(c)　中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）

中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮して，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）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）：1-66）】

(d)　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ポンプ（配管，弁含む。）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）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）：1-66）】

(e)　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含む。）海水ポンプ（非常用ディーゼル発電機海水ポンプ及び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。）

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含む。）海水ポンプ（配管，弁含む。）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行う

ことにより，設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び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含む。）海水ポンプ（配管，弁含む。）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）：1-66）】

(f)　残留熱除去系海水系ストレーナ

残留熱除去系海水系ストレーナは，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び残留熱除去系海水系ストレーナ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）：1-67）】

(g)　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含む。）海水ストレーナ（非常用ディーゼル発電機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ストレーナ）

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含む。）海水ストレーナは，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び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含む。）海水ストレーナ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）：1-67）】

(h)　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，閉塞することはなく，非常用ガス処理系排気配管の排気機能が維持される設計とする。さらに，非常用ガス処理系排気配管は開かれた構造物であり気圧差荷重も作用しないことから，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。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-67）】

(i)　排気筒

排気筒は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，閉塞することはなく，排気筒の排気機能が維持される設計とする。さらに，排気筒は開かれた構造物であり気圧差荷重は作用しないことから，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。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-67～68）】

＜以下，外部事象防護対象施設を内包する区画＞

(j)　原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

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，風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物等の衝撃荷重及び常時作用する荷重に対して，構造骨組の構造健全性が維持されるとともに，屋根，壁及び開口部（扉類）の破損により当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。また，設計飛来物等の

衝突時においても，貫通及び裏面剥離の発生により，当該建屋内の外部事象防護対象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（５階及び６階部分）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を損なう可能性があるが，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。

また，ブローアウトパネル開放により発生する外壁開口部に，防護ネットの設置等の竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の侵入を防止する設計とする。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-68）】

(k)　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ことから，気圧差による荷重及び自重等の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）：1-69）】

b．屋内の施設で外気と繋がっている施設

外殻となる施設に内包され防護される外部事象防護対象施設のうち，外気と繋がっている施設は，設計荷重に対して，安全機能が維持される設計とし，必要に応じて防護ネット等の竜巻飛来物防護対策設備等による竜巻防護対策を講じる方針とする。

(a)　非常用換気空調設備（中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む。），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及び原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト）

非常用換気空調設備が，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。さらに，建屋開口部や開口部建具を設計飛来物が貫通し，非常用換気空調系隔離弁に衝突し安全機能を損なうことを考慮して，防護ネットの設置や壁面の補強等の竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，気圧差による荷重及び非常用換気空調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（2）：1-69）】

c．外殻となる施設等による防護機能が期待できない施設

外殻となる施設等に内包される外部事象防護対象施設のうち，外殻となる施設等が設計竜巻の影響により健全性が確保されず，貫通又は裏面剥離が発生し安全機能を損なう可能性がある場合には，施設の補強，竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策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。

原子炉建屋付属棟については，設計飛来物の衝突により開口部建具等に貫通が発生することを考慮し，開口部建具付近の外部事象防護対象施設のうち，設計飛来物の衝突により影響を受ける可能性がある原子炉建屋付属棟４階非常用換気空調設備及び非常用電源盤（電気室）が安全機能を損なわない設計とする。

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されることを考慮し，ブローアウトパネル開放により発生する外壁開口部付近の外部事象防護対象施設のうち，設計竜巻荷重の影響を受ける可能性がある原子炉建屋原子炉棟６階設置設備

及び燃料取扱設備が安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は，設計飛来物等の衝突に対し，建屋上部の開口部建具等に貫通が発生することを考慮し，使用済燃料乾式貯蔵建屋内部の外部事象防護対象施設で，設計飛来物等の衝突により影響を受ける可能性がある使用済燃料乾式貯蔵容器及び使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンが安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（3）：1-69～71）】

(a) 原子炉建屋付属棟４階非常用換気空調設備（中央制御室換気系ファン（空気調和器含む）及び中央制御室換気系フィルタユニット）

原子炉建屋付属棟４階非常用換気空調設備は，設計飛来物の衝突により，建屋壁面開口部建具に貫通が発生することを考慮し，壁面の補強等の竜巻防護対策を行うことにより，非常用換気空調設備への設計飛来物の衝突を防止し，非常用換気空調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）：1-69～70）】

(b) 非常用電源盤（電気室）

非常用電源盤（電気室）は，設計飛来物の衝突により，原子炉建屋付属棟１階電気室扉に貫通が発生することを考慮し，電気室扉の取替等の竜巻防護対策を行うことにより，非常用電源盤（電気室）への設計飛来物の衝突を防止し，非常用電源盤（電気室）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）：1-70）】

(c) 原子炉建屋原子炉棟６階設置設備（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）

原子炉建屋原子炉棟６階設置設備は，設計竜巻による気圧低下によ

り，ブローアウトパネルが開放されることを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，当該設備への設計飛来物の衝突を防止する。

さらに，当該設備は構造的に風圧力による影響を受けないことから，当該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）：1-70）】

(d) 原子炉建屋原子炉棟６階燃料取扱設備（燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーン）

原子炉建屋原子炉棟６階燃料取扱設備は，設計竜巻による気圧低下により，ブローアウトパネルが開放されることを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，当該設備への設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して，当該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。

また，原子炉建屋原子炉棟６階燃料取扱設備は，竜巻の襲来が予想される場合には，燃料取扱作業を中止し，待機位置への退避措置を行う運用により，ブローアウトパネル開放状態においても，当該設備の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（3）：1-70～71）】

(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。

使用済燃料乾式貯蔵建屋上部の開口部に対し，設計飛来物等の衝突により，貫通が発生することを考慮し，設計飛来物等の衝撃荷重及び

自重等の常時作用する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。

【別添資料１（3.4.2（3）：1-71）】

(f)　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天井クレーンは，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。

使用済燃料乾式貯蔵建屋上部の開口部に対し，設計飛来物等の衝突により，貫通が発生することを考慮し，竜巻の襲来が予想される場合には，燃料取扱作業を中止し，待機位置への退避措置を行う運用により，使用済燃料乾式貯蔵建屋上部の開口部に貫通が発生した状態においても，使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（3）：1-71）】

d．外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設

外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設については，設計荷重による影響を受ける場合においても，外部事象防護対象施設に影響を及ぼさないよう，設備又は運用よる竜巻防護対策を実施することにより，外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１（3.4.2　：1-71～76）】

(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撃荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して，倒壊により外部事象防護対象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）：1-72）】

(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撃荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して，補強等を行うことで，倒壊により外部事象防護対象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）：1-72）】

(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撃荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して，倒壊により外部事象防護対象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）：1-72）】

(d)　排気筒

排気筒は，外部事象防護対象施設として，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，転倒により外部事象防護対象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）：1-72）】

(e)　燃料取扱設備（燃料交換機，原子炉建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン）

燃料取扱設備のうち燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーンは，竜巻襲来が予想される場合は，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に影響を及ぼさない待機位置に退避する運用を行う。また，竜巻襲来による気圧低下によって，原子炉建屋原子炉棟６階の外壁のブローアウトパネルが開放された状態に対し，防護ネットの設置等の竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，

風圧力による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して，転落によって，外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

燃料取扱設備のうち使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは，竜巻襲来が予想される場合は，使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼさない待機位置に退避する運用を行うことにより，転落により外部事象防護対象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）：1-72～73）】

(f) 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含む。）排気消音器（非常用ディーゼル発電機排気消音器及び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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）排気消音器は，設計飛来物の衝突により貫通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，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含む。）の排気機能が維持される設計とする。さらに，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含む。）排気消音器が風圧力による荷重，気圧差による荷重及び自重等の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し，外部事象防護対象施設である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含む。）に機能的影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（4）：1-73）】

(g) 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含む。）付属排気配管及びベント配管（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タンクベント管，非常用ディーゼル発電機機関ベント管及び非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプタ

ンクベント管並びに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タンクベント管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管及び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）

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含む。）付属排気配管及びベント配管は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，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含む。）付属排気配管及びベント配管が閉塞することがなく，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含む。）の排気機能等が維持される設計とする。さらに，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含む。）付属排気配管及びベント配管が風圧力による荷重，気圧差による荷重及び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含む。）付属排気配管及びベント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し，外部事象防護対象施設である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含む。）に機能的影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（4）：1-74）】

(h)　残留熱除去系海水系配管（放出側）

残留熱除去系海水系配管（放出側）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，残留熱除去系海水系配管（放出側）が閉塞することがなく，残留熱除去系海水系ポンプの機能等が維持される設計とする。さらに，残留熱除去系海水系配管（放出側）が風圧力による荷重，気圧差による荷重及び残留熱除去系海水系配管（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

ない設計とし，外部事象防護対象施設である残留熱除去系海水系ポンプに機能的影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（4）：1-75）】

(i)　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含む。）海水配管（放出側）（非常用ディーゼル発電機海水配管（放出側）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水配管（放出側））

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含む。）海水配管（放出側）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，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含む。）海水配管（放出側）が閉塞することがなく，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含む。）海水ポンプの機能等が維持される設計とする。さらに，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含む。）海水配管（放出側）が風圧力による荷重，気圧差による荷重及び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含む。）海水配管（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し，外部事象防護対象施設である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含む。）海水ポンプに機能的影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（4）：1-75～76）】

以上の評価対象施設等の防護設計を考慮して，設計竜巻から防護する評価対象施設及び竜巻防護対策等を第 1.7.2－2 表に，外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設及び竜巻防護対策等を第 1.7.2－3 表に，外部事象防護対象施設を内包する区画及び竜巻防護対策等を第 1.7.2－4 表に示す。

(8)　竜巻随伴事象に対する評価

竜巻随伴事象として，過去の竜巻被害事例及び発電所の施設の配置から想定される事象とし，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，外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１（3.5：1-76～78）】

ａ．火災

竜巻随伴事象として，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及び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，飛来物が侵入する場合でも，建屋開口部付近には，原子炉施設の安全機能を損なわせる可能性がある発火性又は引火性物質を内包する機器は配置されておらず，また，外部事象防護対象施設を設置している建屋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飛来物が到達することはないことから，設計竜巻により建屋内に火災が発生することはなく，建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

建屋外については，発電所敷地内の屋外にある危険物タンクの火災がある。火災源と外部事象防護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，外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とすることを「1.7.9　外部火災防護に関する基本方針」に記載する。

以上より，竜巻随伴事象としての火災に対して外部事象防護対象施設は安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１（3.5（1）：1-76～77）】

ｂ．溢水

竜巻随伴事象として，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及び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。

外部事象防護対象施設を内包する建屋内については，飛来物が侵入する場合でも，建屋開口部付近に飛来物が衝突して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，また，外部事象防護対象施設を設置している建屋の開口部には，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，飛来物が到達することはないことから，設計竜巻により建屋内に溢水が発生することはなく，建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

建屋外については，設計竜巻による飛来物の衝突による屋外タンクの破損に伴う溢水を想定されるが，「1.6　溢水に関する基本方針」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，竜巻随伴事象による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，外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

以上より，竜巻随伴事象としての溢水に対して外部事象防護対象施設は安全機能を損なわない設計とする

【別添資料１（3.5（2）：1-77）】

c．外部電源喪失

設計竜巻又は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含む。）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外部事象防護対象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）：1-77～78）】

1.7.2.2　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おそれのある資機材，車両等については，飛来時の運動エネルギ及び貫通力等を評価し，外部事象防護対象施設への影響の有無を確認する。外部事象防護対象施設に影響を及ぼす資機材，車両等については，固縛，固定，外部事象防護対象施設及び竜巻飛来物防護対策設備から離隔，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。

また，隣接事業所の敷地のうち，資機材，車両等が外部事象防護対象施設に到達しないようにすることが必要な箇所については，当該箇所への資機材，車両等の配置ができないよう，当社による措置を可能とするための隣接事業所との合意文書に基づき，必要な措置を当社が実施する。

(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，外部事象防護対象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。

1.7.2.3　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

第 1.7.2－1 表　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）：1-60）】

第 1.7.2－2 表　設計竜巻から防護する評価対象施設及び竜巻防護対策等（１／４）

設計竜巻から防護する評価対象施設	竜巻の最大風速条件	飛来物発生防止対策	防護設備（外殻となる施設）	想定する飛来物	手順等
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含む。）吸気フィルタ	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設他との離隔	－	鋼製材 砂利	補修
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含む。）室ルーフベントファン			竜巻飛来物防護対策設備	砂利	防護扉の閉止確認
中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）			竜巻飛来物防護対策設備	砂利	防護扉の閉止確認
残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）			施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備	砂利	水密扉の閉止確認
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含む。）海水ポンプ（配管，弁含む。）			施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備	砂利	水密扉の閉止確認

39

第 1.7.2－2 表　設計竜巻から防護する評価対象施設及び竜巻防護対策等（２／４）

設計竜巻から防護する評価対象施設	竜巻の最大風速条件	飛来物発生防止対策	防護設備（外殻となる施設）	想定する飛来物	手順等
残留熱除去系海水系ストレーナ	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設他との離隔	施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備	砂利	水密扉の閉止確認
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含む。）海水ストレーナ			施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備	砂利	水密扉の閉止確認
非常用ガス処理系排気配管			－	鋼製材 砂利	補修
排気筒			－	鋼製材 砂利	補修
原子炉建屋付属棟 4 階　非常用換気空調設備（中央制御室換気系ファン（空気調和器含む。）及び中央制御室換気系フィルタユニット）			施設を内包する施設 補強した防護扉等	－	防護扉の閉止確認
非常用電源盤（電気室）			施設を内包する施設 取替えた防護扉	－	防護扉の閉止確認

40

第 1.7.2－2 表　設計竜巻から防護する評価対象施設及び竜巻防護対策等（３／４）

設計竜巻から防護する評価対象施設	竜巻の最大風速条件	飛来物発生防止対策	防護設備（外殻となる施設）	想定する飛来物	手順等
原子炉建屋原子炉棟 6 階　設置設備（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）	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設他との離隔	施設を内包する施設	－	－
原子炉建屋原子炉棟 6 階　燃料取扱設備（燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーン）			施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備	砂利	竜巻襲来予想時燃料取扱作業の中止
使用済燃料乾式貯蔵容器			施設を内包する施設	鋼製材	－
使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン			施設を内包する施設	鋼製材	竜巻襲来予想時燃料取扱作業の中止
非常用換気空調設備（中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む。），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及び原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト）			施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備 補強した防護扉等	－	

41

第 1.7.2－2 表　設計竜巻から防護する評価対象施設及び竜巻防護対策等（４／４）

<table>
<tr><th colspan="2">設計竜巻から防護する評価対象施設</th><th>竜巻の最大
風速条件</th><th>飛来物
発生防止対策</th><th>防護設備
（外殻となる施設）</th><th>想定する
飛来物</th><th>手順等</th></tr>
<tr><td colspan="2">安全重要度分類クラス１及びクラス２に属する施設のうち上記以外の建屋．構築物内の施設</td><td rowspan="5">100m／s</td><td rowspan="4">・固縛
・固定
・外部事象防護対象施設他との離隔</td><td>施設を内包する施設</td><td>－</td><td>－</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">安全重要度分類クラス３に属する施設
（下記以外の施設）</td><td>－</td><td>－</td><td>代替設備の確保
補修，取替等</td></tr>
<tr><td>緊急時対策所建屋内の施設</td><td>施設を内包する施設
（緊急時対策所建屋）</td><td>－</td><td>－</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>緊急時対策所建屋</td><td>－</td><td>鋼製材
砂利</td><td>補修</td></tr>
<tr><td></td><td>－</td><td>－</td><td>車両</td><td>敷地外物品のため，衝突を考慮した上で，施設の機能維持を確認</td></tr>
</table>

42

第 1.7.2－3 表　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設及び竜巻防護対策等（1／2）

外部事象防護対象施設に 波及的影響を及ぼし得る評価対象施設	竜巻の最大 風速条件	飛来物 発生防止対策	防護設備 （外殻となる施設）	想定する 飛来物	手順等
サービス建屋	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設他との離隔	－	鋼製材 砂利	－
海水ポンプ室			－	鋼製材 砂利	－
鋼製防護壁			－	鋼製材 砂利	－
排気筒			－	鋼製材 砂利	補修
燃料取扱設備（燃料交換機，原子炉建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン）			施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備	砂利	竜巻襲来予想時 外部事象防護対象施設に影響を及ぼさない待機位置に退避

43

第 1.7.2－3 表　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設及び竜巻防護対策等（２／２）

外部事象防護対象施設に 波及的影響を及ぼし得る評価対象施設	竜巻の最大 風速条件	飛来物 発生防止対策	防護設備 （外殻となる施設）	想定する 飛来物	手順等
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含む。）排気消音器	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設他との離隔	－	鋼製材 砂利	—
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含む。）付属排気配管及びベント配管			－	鋼製材 砂利	—
残留熱除去系海水系配管（放出側）			－	鋼製材 砂利	—
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含む。）海水配管（放出側）	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設他との離隔	－	鋼製材 砂利	—

44

第 1.7.2－4 表　外部事象防護対象施設を内包する区画及び竜巻防護対策等（１／２）

外部事象防護対象施設を内包する区画	竜巻の最大風速条件	飛来物発生防止対策	防護設備（外殻となる施設）	想定する飛来物	手順等
原子炉建屋 軽油貯蔵タンクタンク室	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設他との離隔	－	鋼製材 砂利	—
使用済燃料乾式貯蔵建屋	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設他との離隔	－	鋼製材 砂利	—
		－	－	車両	敷地外物品のため，衝突を考慮した上で，施設の機能維持を確認

45

第 1.7.2－4 表　外部事象防護対象施設を内包する区画及び竜巻防護対策等（２／２）

外部事象防護対象施設を内包する区画	竜巻の最大風速条件	飛来物発生防止対策	防護設備（外殻となる施設）	想定する飛来物	手順等
タービン建屋	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設他との離隔	－	鋼製材 砂利	—
		－	－	コンテナ	敷地外物品のため，衝突を考慮した上で，施設の機能維持を確認

46

(3)　適合性説明

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。

<u>適合のための設計方針</u>

第１項について

(3)　竜巻

安全施設は，設計竜巻の最大風速 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設計飛来物等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，外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないために，以下の対策を行う。

・外部事象防護対象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，外部事象防護対象施設及び竜巻飛来物防護対策設備からの離隔，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。

・外部事象防護対象施設を内包する区画及び竜巻飛来物防護対策設備により，外部事象防護対象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。

・外部事象防護対象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，ひょう及び降水である。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。

1.3　気象等

8.　竜巻

8.1　竜巻

竜巻影響評価は，「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 13061911 号　原子力規制委員会決定）」（以下「ガイド」という。）に基づき実施する。

基準竜巻及び設計竜巻の設定は，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で実施する。

【別添資料１（2.1　：1-15）】

8.1.1　竜巻検討地域の設定

発電所が立地する地域と，気象条件の類似性の観点及び局所的な地域性の観点で検討を行い，竜巻検討地域を設定する。

(1)　気象総観場の分析

気象条件の類似性の観点では，気象総観場ごとの竜巻発生位置を整理し，発電所と類似の地域を抽出する。竜巻発生要因の総観場は，気象庁「竜巻等の突風データベース」[1]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」[2]を参考に，低気圧，台風，停滞前線，局所性降雨，季節風及びその他（高気圧等）の 6 つに分類する。なお，低気圧には，暖気の移入，寒気の移入，停滞前線以外の前線を，停滞前線では梅雨前線を，局所性降雨では雷雨を含めている。第 8.1－1 図に竜巻発生時の総観場の分布を示す。

第 8.1－2 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。

【別添資料１（2.2.1 ：1-16～18）】

(2) 総観場の分析に基づく地域特性の確認

竜巻発生の地域性が見られる台風起因の発生領域から，太平洋側の宮城県から沖縄県にかけての範囲を考慮する。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TA_1の検討を行う。

発電所から半径 180km 圏内（約 10 万 km^2 圏）を含む太平洋側沿岸の海岸線から陸側海側各 5km の範囲を対象として，単位面積当たりの発生数の比較を第 8.1－3 図及び第 8.1－1 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，福島県から沖縄県にかけての範囲である$TA_{1.6}$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TA_1とする。

【別添資料１（2.2.2 ：1-19～20）】

(3) 過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認

局地的な地域性の観点では，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」[3]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，発電所は，竜巻集中地域⑰に立地している。

竜巻集中地域⑰を第 8.1－1 表の$TA_{1.1}$とし，これを竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域TA_2とする。

【別添資料１（2.2.3 ：1-21）】

(4) 竜巻検討地域

発電所に対する竜巻検討地域について，「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，福島県から沖縄県にかけての太平洋側沿岸の海岸線から海側及び陸側それぞれ5kmの範囲を竜巻検討地域に設定する。（面積約57,000km^2）。

第8.1－5図に竜巻検討地域を示す。

【別添資料１（2.2.4 ：1-22）】

8.1.2 基準竜巻の最大風速の設定

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，最も大きな風速を設定する。

(1) 過去に発生した竜巻による最大風速（V_{B1}）

過去に発生した竜巻による最大風速の設定に当たっては，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70m／s～92m／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 8.1－2 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 ：1-23）】

(2) 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，既往の算定方法に基づき，具体的には「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[2]

を参照して，算定する。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。

竜巻最大風速のハザード曲線の算定は，竜巻検討地域（海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲）の評価及び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の評価の２とおりで算定し，そのうち大きな風速を設定する。

【別添資料１（2.3 ：1-24～37）】

ａ．海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲の評価

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 ：1-24）】

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」[1]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Ｆ０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及び標準偏差を用いる。

(b) 被害が比較的軽微なＦ１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Ｆ２及びＦ３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，被害があって初めてその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Ｆ０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 8.1－3 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 ：1-25～27）】

ｃ．年発生数の確率密度分布の設定

ハザード曲線の評価に当たって竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定し，使用する竜巻年発生数の確率密度分布はポリヤ分布を採用する。

竜巻年発生数の確率分布の設定には，ポアソン分布とポリヤ分布が考えられる。

ポアソン分布は，生起確率が正確に分からないまれな現象の場合に有用な分布である。一方，ポリヤ分布は，発生状況が必ずしも独立でないまれな現象（ある事象が生ずるのはまれであるが，一旦ある現象が発生するとその周囲にもその現象が生じやすくなる性質）の場合に有用な分布である（例えば，伝染病の発生件数）。台風や前線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状況が考えられるため，

ポリヤ分布の方が実現象をより反映できると考えられる。

また，国内を対象とした竜巻の年発生数の分布の適合性に関する検討結果は，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[2]に示されており，陸上及び海上竜巻の両方の発生数について，ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れているとしている。

発電所の竜巻検討地域で発生した竜巻を対象に，発生数に関するポアソン分布及びポリヤ分布の適合性を評価した結果，竜巻検討地域においても，ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れていることを確認している。

【別添資料１（2.3.3 ：1-28～29）】

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「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[2]を参照し，対数正規分布に従うものとする。（第 8.1－6 図～第 8.1－8 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ともに，被害幅又は被害長さ０のデータについては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 8.1－4 表）

【別添資料１（2.3.4 ：1-30～32）】

e．竜巻影響エリアの設定

竜巻影響エリアは，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 7.1×10^4m^2）として設定する。（第 8.1－9 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 ：1-32～33）】

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。

前述のとおり，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。

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

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式（b）で示される。

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

ここで，

σ：竜巻の年発生数の標準偏差

竜巻影響評価の対象となる構造物が風速V_0以上の竜巻に遭遇する事象をDと定義し，竜巻影響評価の対象構造物が１つの竜巻に遭遇し，その竜巻の風速がV_0以上となる確率をR（V_0）としたとき，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。

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

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 57,000km^2），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。

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

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）[5]で示される。

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

ここで，H（α）及びG（α）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る。竜巻影響エリアを円形で設定しているため，H（α）及びG（α）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。Ｓは竜巻影響エリアの面積（直径 300m の円の面積：約 7.1×10^4m^2）を表わす。円の直径をD_0とした場合の計算式は，式（f）で示される。

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

また，風速の積分範囲の上限値はハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として 120m／s に設定する。

なお，W（V_0）は竜巻風速がV_0以上となる幅であり，式（g）[5][6]で示される。この式により，被害幅内の風速分布に応じて被害様相に分布がある（被害幅の端ほど風速が小さくなる）ことが考慮されている。

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

ここで，係数の 1.6 について，既往の研究では，例えば 0.5 又は 1.0 などの値も提案されている。ガイドにて参照している Garson et al.[6]では，観測値が不十分であるため保守的に 1.6 を用いることが推奨されており，本評価でも 1.6 を用いる。

V_{min}は，竜巻被害が発生する最小風速であり，Garson は Gale intensity velocity と呼ばれ，被害が発生し始める風速に位置づけら

れる（Gale とは非常に強い風の意）。Garson et al.[6] では，V_{min} は＝40mph≒18m／s（1mph≒1.61km／h）を提案している。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}＝25m／s とした。この値は，ＦＯ（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 の範囲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 8.1－10 図）

【別添資料１（2.3.6 ：1-34～36）】

ｇ．1km 範囲に細分化した評価

1km 範囲ごとに細分化した評価は，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，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 の範囲の評価と同様の方法でハザード曲線を算定する。

これら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 8.1－11 図）

【別添資料１（2.3.6 ：1-36～37）】

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 範囲ごと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 8.1－12 図）

【別添資料１（2.3.7 ：1-37）】

(3) 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}＝92m／s 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速V_{B2}＝80m／s より，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 ：1-41）】

8.1.3 設計竜巻の最大風速の設定

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。

(1) 発電所周辺の地形

発電所敷地周辺の地形を第 8.5－1 図に示す。

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。

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り，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（2.4.1（2）：1-43～44）】

(2)　設計竜巻の最大風速V_D

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（2.4.1（3）：1-44）】

8.1.4　設計竜巻の特性値の設定

設計竜巻の特性値は，設計竜巻の最大風速（V_D）より米国ＮＲＣの基準類[7]を参考として，以下に示す手法に基づき，第 8.1－5 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，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[2]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。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

【別添資料１（2.4.2（1）：1-45）】

(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。

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

【別添資料１（2.4.2（1）：1-45）】

(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，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[2]による日本の竜巻の観測記録を基に提案された風速場モデルに準拠して以下の値を用いる。

$R_m = 30$（m）

【別添資料１（2.4.2（1）：1-45）】

(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ＮＲＣの基準類[7]を参考に設定されてい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。

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

ここで，

ρ：空気密度（1.22kg／m^3）

【別添資料１（2.4.2（1）：1-45）】

(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。

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

【別添資料１（2.4.2（1）：1-45）】

8.2 参考文献

(1) 気象庁 竜巻等の突風データベース

(2) 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

(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

(4) 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

(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, Vol.101, No.ST5, 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.ST9, pp.1883-1897

(7) U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.76: Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1, March 2007.

第 8.1－1 表　竜巻検討地域ＴＡ$_1$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）
ＴＡ$_{1.1}$	①	福島県～神奈川県	7,900	40	0.98E-04
ＴＡ$_{1.2}$	①～②	福島県～静岡県	15,700	68	0.84E-04
ＴＡ$_{1.3}$	①～③	福島県～和歌山県	23,400	104	0.86E-04
ＴＡ$_{1.4}$	①～④	福島県～高知県	28,600	138	0.94E-04
ＴＡ$_{1.5}$	①～⑤	福島県～鹿児島県	46,700	194	0.81E-04
ＴＡ$_{1.6}$	**①～⑥**	**福島県～沖縄県**	**57,000**	**300**	**1.02E-04**
ＴＡ$_{1.7}$	①～⑦	福島県～九州全県	79,700	337	0.82E-04
ＴＡ$_{1.8}$	①～⑥,⑧	宮城県～沖縄県	59,700	302	0.98E-04

【別添資料１（2.2.2　：1-20）】

第 8.1－2 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

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

【別添資料１（2.3.1　：1-23）】

第 8.1－3 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 ：1-26）】

第 8.1－4 表　最大風速，被害幅及び被害長さの対数値の相関係数

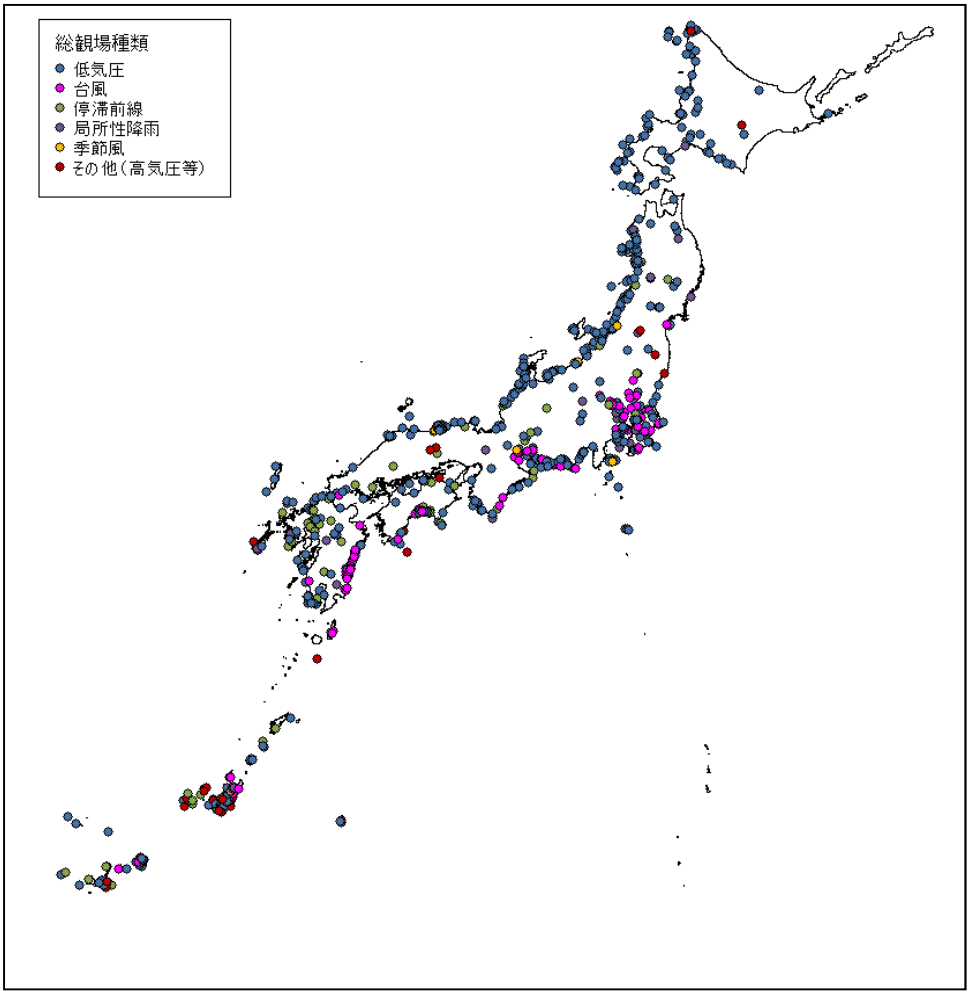
相関係数の値	最大風速	被害幅	被害長さ
最大風速	1.000	0.381	0.452
被害幅	－	1.000	0.381
被害長さ	－	－	1.000

【別添資料１（2.3.4 ：1-32）】

第 8.1－5 表　設計竜巻の特性値

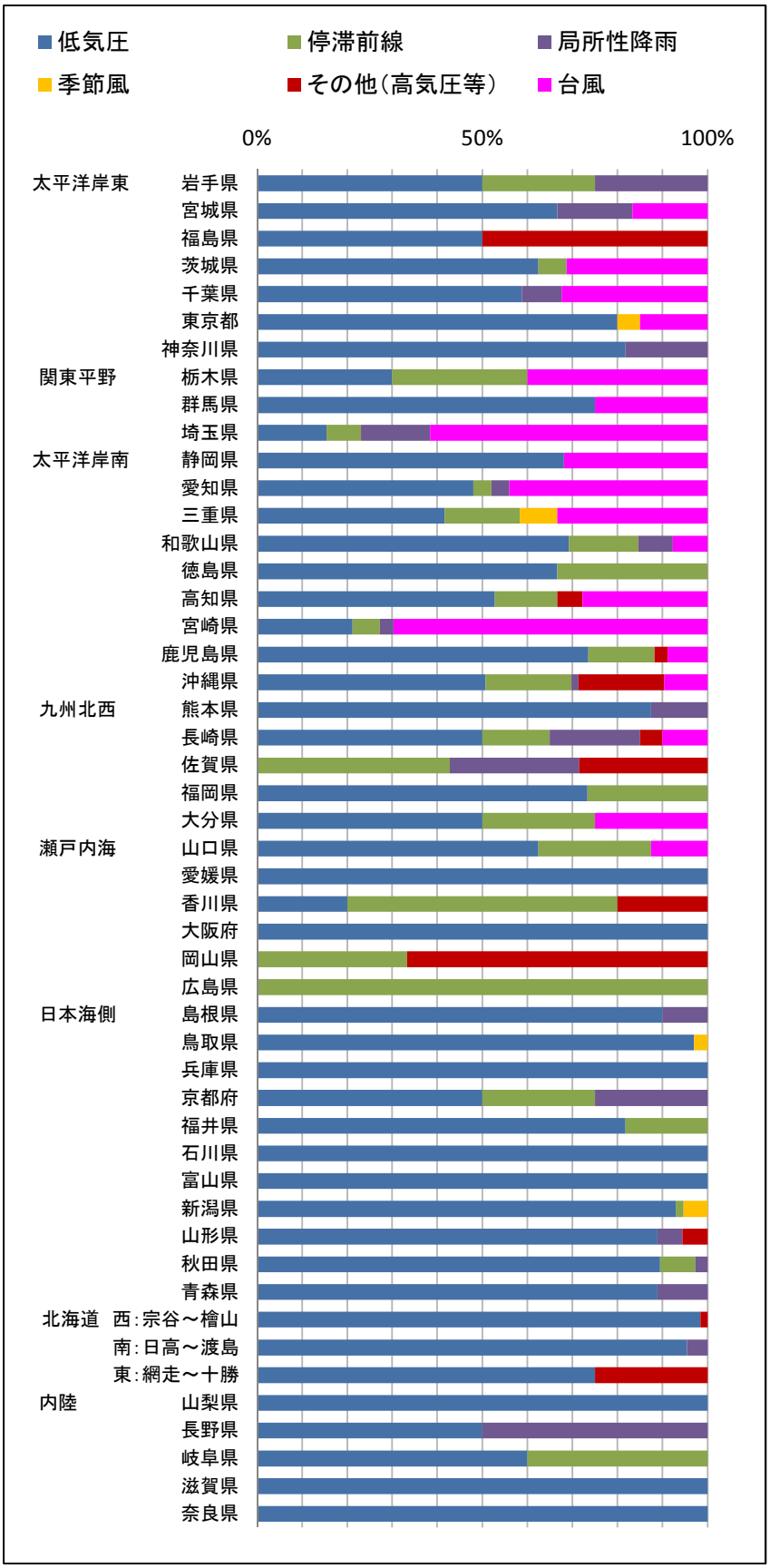
設計竜巻の最大風速 V_D (m／s)	移動速度 V_T (m／s)	最大接線風速 V_{Rm} (m／s)	最大接線風速半径 R_m (m)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (hPa)	最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa／s)
100	15	85	30	89	45

【別添資料１（2.4.2　：1-46）】



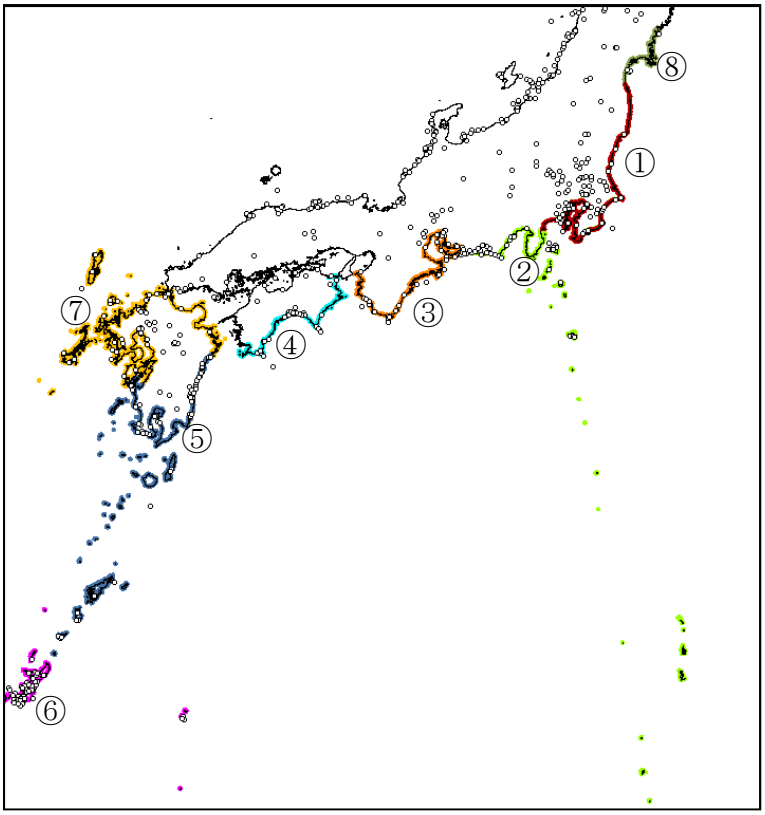
第 8.1－1 図　竜巻発生時の総観場の分布（1961 年 1 月～2012 年 6 月）

【別添資料１（2.2.1　：1-17）】



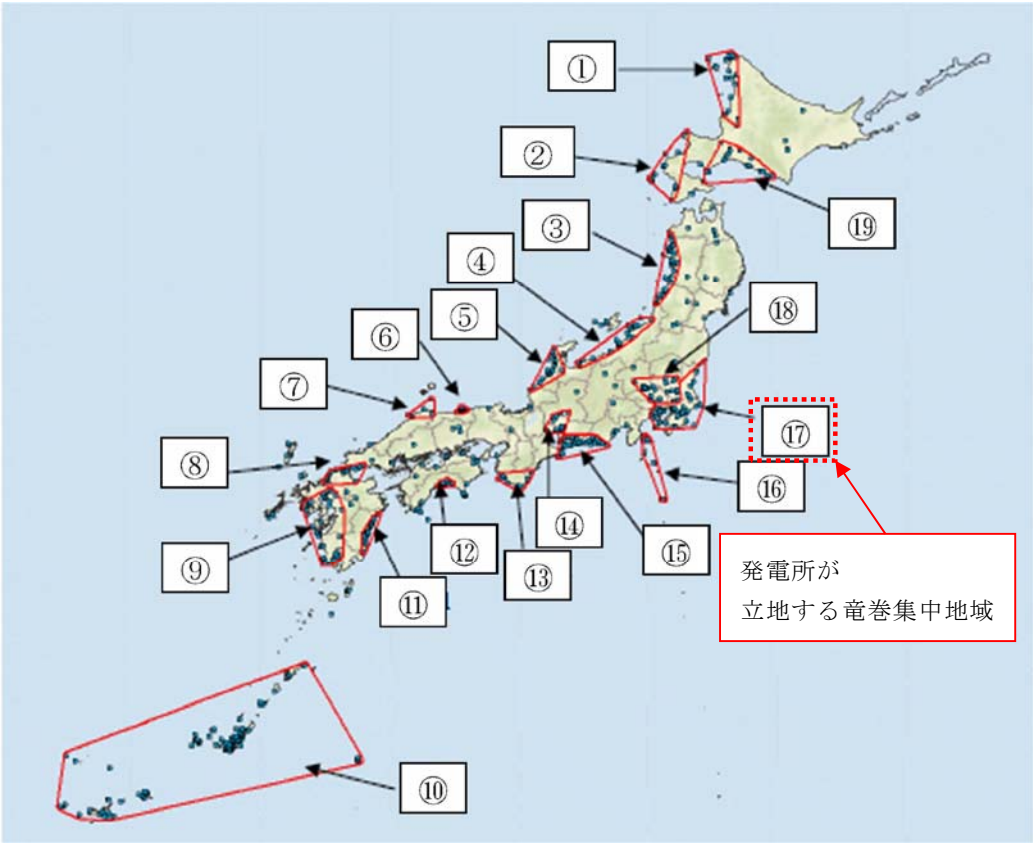
第 8.1－2 図　各都道府県での竜巻の発生要因別比率

【別添資料１（2.2.1　：1-18）】



第 8.1－3 図　竜巻検討地域ＴＡ$_1$の検討領域

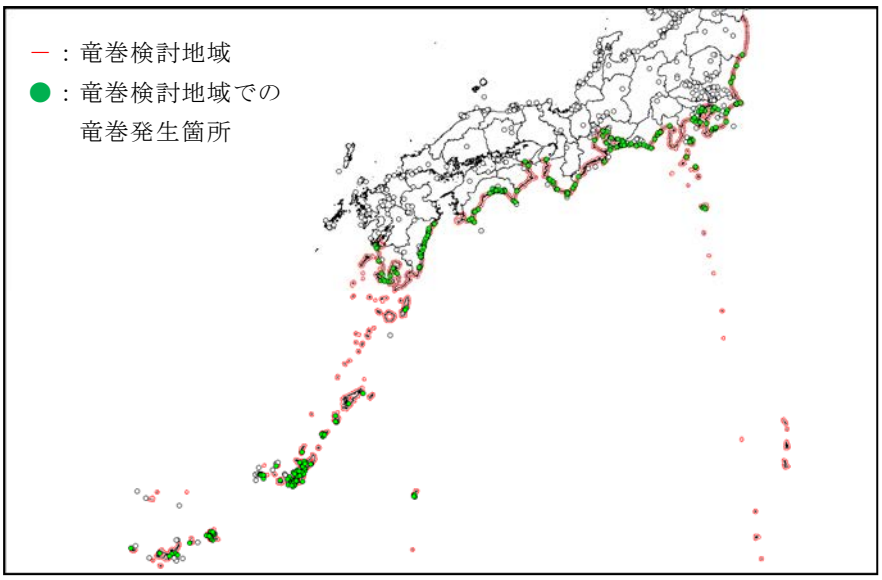
【別添資料１（2.2.2 ：1-20）】



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

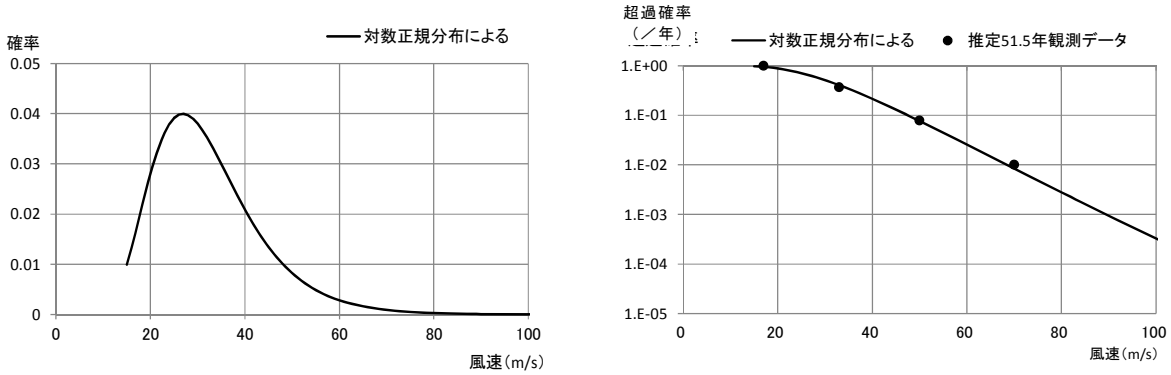
（「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」より引用）

【別添資料１（2.2.3　：1-21）】

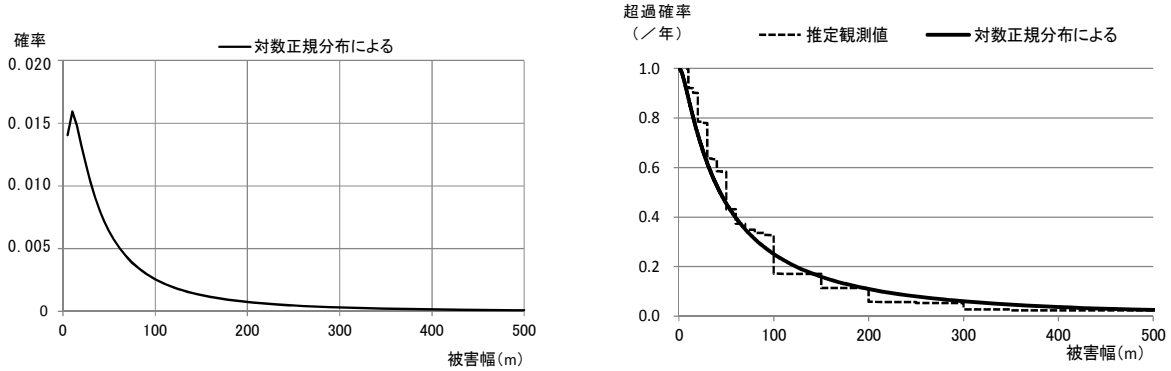


第8.1－5図　竜巻検討地域

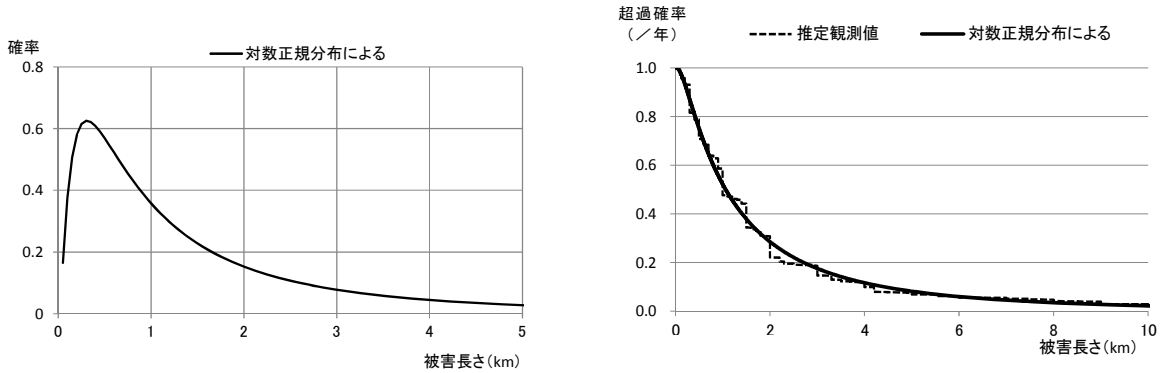
【別添資料１（2.2.4　：1-22）】



第 8.1－6 図　最大風速の確率密度分布（左）と超過確率分布（右）



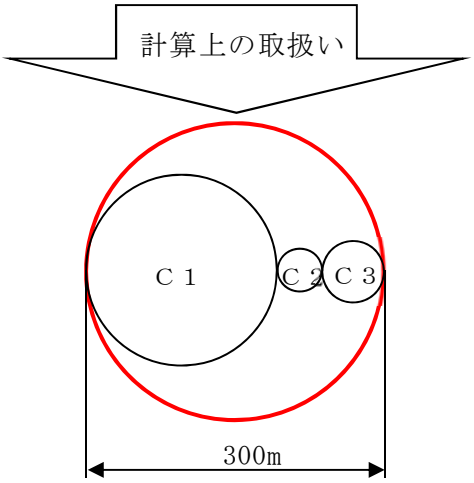
第 8.1－7 図　被害幅の確率密度分布（左）と超過確率分布（右）



第 8.1－8 図　被害長さの確率密度分布（左）と超過確率分布（右）

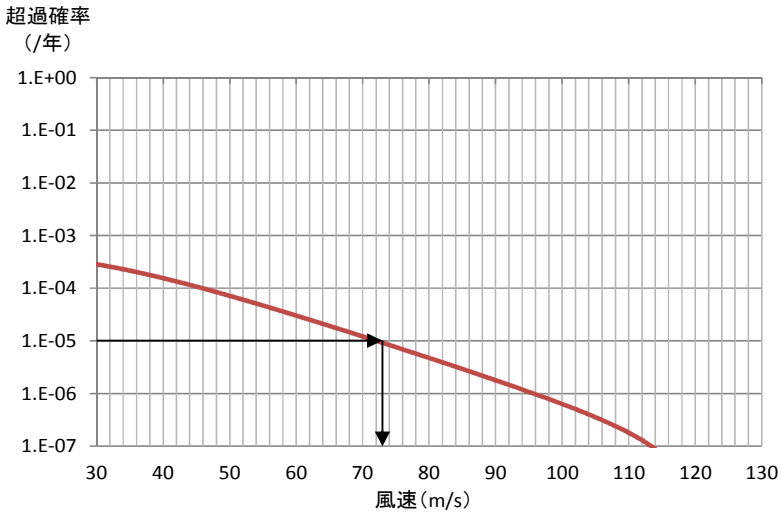
【別添資料１（2.3.4 ：1-31）】

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。



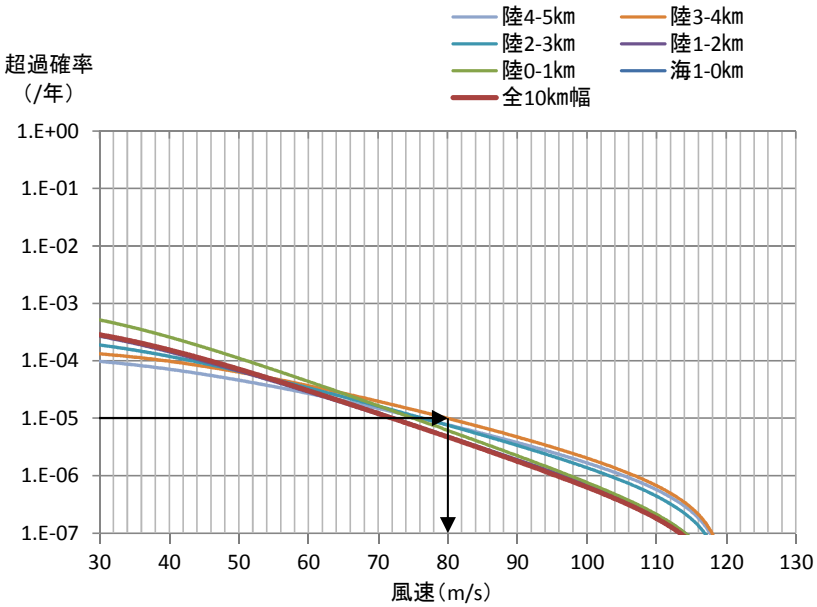
第 8.1－9 図　竜巻影響エリア

【別添資料１（2.3.5 ：1-33）】



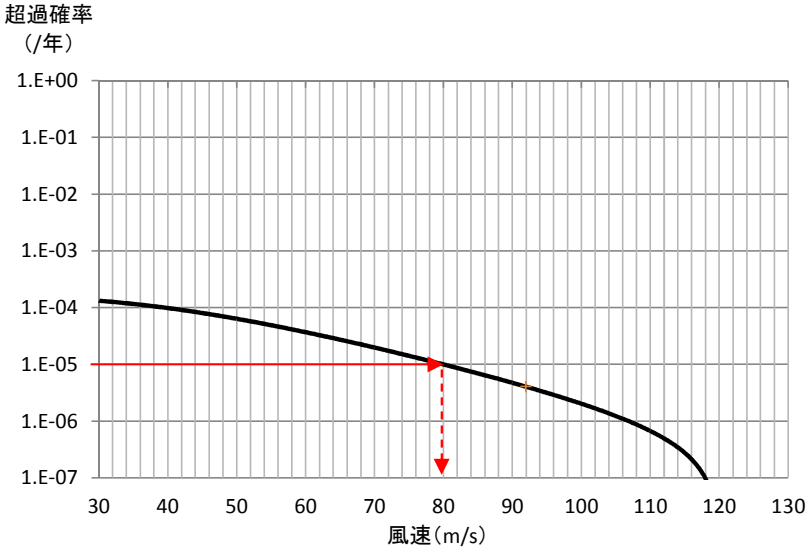
第 8.1－10 図　竜巻最大風速のハザード曲線（海側，陸側 5km 範囲）

【別添資料１（2.3.6 ：1-36）】



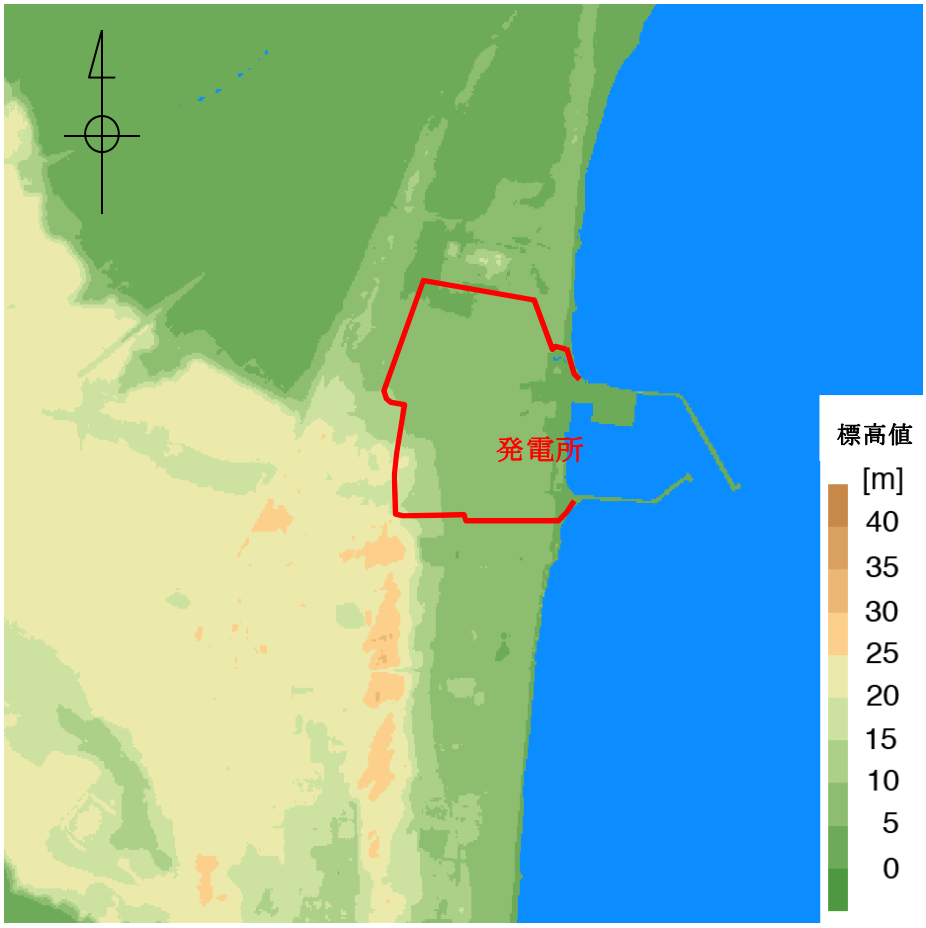
第 8.1－11 図　竜巻検討地域を 1km 幅毎に細分化した場合のハザード曲線

【別添資料１（2.3.6 ：1-37）】



第 8.1－12 図　竜巻最大風速のハザード曲線

【別添資料１（2.3.9 ：1-41）】



第 8.1－13 図　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（2.4.1 ：1-44）】

別添資料１

東海第二発電所

竜巻影響評価について

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.　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　評価対象施設等に作用する荷重 ･･････････････････････････ 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ＴＡ$_1$の設定 ･･････････ 18
2.2.3　竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_2$の設定 ･･････････････ 20
2.2.4　竜巻検討地域ＴＡ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並びに相関係数　29
2.3.5　竜巻影響エリアの設定 ･･････････････････････････････････････ 31
2.3.6　ハザード曲線の算定 ･･ 33

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}）・・・・・・ 36
2.3.8　竜巻ハザードの不確かさの検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 37
2.3.9　基準竜巻の最大風速（V_B）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 40
2.3.10　竜巻データの更新に関する対応・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 40
2.4　設計竜巻の設定・・ 42
2.4.1　設計竜巻の最大風速（V_D）の設定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 42
2.4.2　設計竜巻の特性値・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 44
3.　竜巻影響評価・・ 47
3.1　概要・・ 47
3.2　評価対象施設等・・・ 47
3.3　設計荷重の設定・・ 48
3.3.1　設計竜巻荷重の設定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 48
3.3.2　設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 60
3.4　評価対象施設等の設計方針・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 62
3.4.1　許容限界・・ 62
3.4.2　設計方針・・ 63
3.5　竜巻随伴事象に対する評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 73

添付資料

1.　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設の抽出について

別紙 1-1　緊急時対策所の竜巻防護方針について

2.　耐震Ｓクラス施設について

別紙 2-1　外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備，及び津波監視設備の防護方針について

3.　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の抽出について

4.　竜巻検討地域の設定について

5.　ハザード曲線による竜巻最大風速（V_{B2}）の計算について

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　評価対象施設等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

別紙 8-3　飛来物化する可能性がある物品の管理について

別紙 8-4　竜巻準備体制の発令の判断基準について

別紙 8-5　原子炉建屋ブローアウトパネルに対する対応方針について

別紙 8-6　南方の隣接事業所からの飛来物の影響について

別紙 8-7　北方の隣接事業所からの飛来物の影響について

別紙 8-8　西方の隣接事業所からの飛来物の影響について

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損傷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

別紙 9-3　フジタモデル採用時に「竜巻影響評価ガイド」の鋼製材を設計飛来物とすることの妥当性について

別紙 9-4　車両の飛散範囲について

別紙 9-5　東海発電所　廃止措置作業の概要及び解体・撤去物品の管理について

10.　竜巻時に発生するひょうの影響について

11.　竜巻随伴事象の抽出について

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わ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合せ荷重）の設定

(2)　発電所における飛来物に係る調査

(3)　飛来物発生防止対策

(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

※：「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」の安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３の設計を要求される構築物，系統及び機器とする。

その上で，上記構造物，系統及び機器の中から，発電用原子炉を停止する又は停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物，系統及び機器として安全重要度分類のクラス１，クラス２及び安全評価上その機能に期待するクラス３に属する構築物，系統及び機器に加え，それらを内包する建屋を外部事象から防護する対象（以下「外部事象防護対象施設」という。）とし，機械的強度を有することにより安全機能を損なわない設計とする。

また，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，竜巻により損傷した場合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

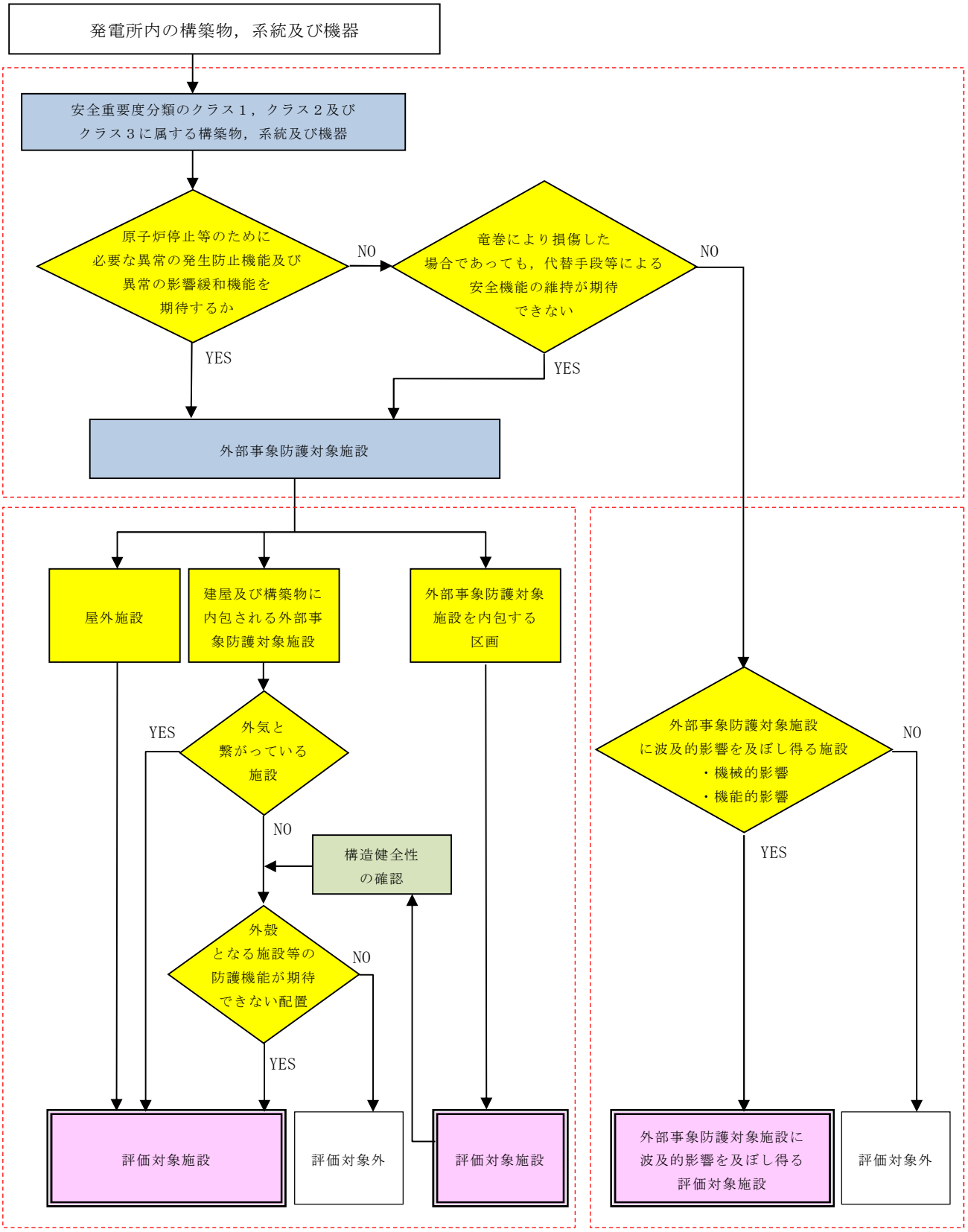
外部事象防護対象施設の抽出フローを第 1.2.1－1 図に示す。

1.2.2　竜巻影響評価の対象施設

以下の(1)外部事象防護対象施設のうち評価対象施設及び(2)外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設に示す施設を竜巻影響評価の対象施設（以下「評価対象施設等」という。）とする。

評価対象施設等の抽出フローを第 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，評価対象施設等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】



第 1.2.2－2 図　　第 1.2.2－4 図

第1.2.2－1図　評価対象施設等の抽出フロー

(1)　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設

外部事象防護対象施設のうち，評価対象施設として，屋外施設（外部事象防護対象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（建屋，構築物）（以下「外殻となる施設等」という。）による防護機能が期待できない施設を抽出する。

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,外部事象防護対象施設を内包する区画の構造健全性の確認結果を踏まえ抽出する。防護機能を期待できることが確認できた区画に内包される外部事象防護対象施設については，該当する外殻となる施設等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,外部事象防護対象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。

なお，以降における評価対象施設は，施設の構造によって分類した下記の名称とする。

a．屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する施設を含む）

(a)　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含む。）吸気フィルタ（非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気フィルタ）

(b)　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含む。）ルーフベントファン（非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び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）

(c)　中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む）

(d)　残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む）

(e)　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含む。）海水ポンプ（非常用ディーゼル発電機海水ポンプ及び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）

(f)　残留熱除去系海水系ストレーナ

(g)　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含む。）海水ストレーナ（非常用ディーゼル発電機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ストレーナ）

(h)　非常用ガス処理系排気配管

(i)　排気筒

＜以下，外部事象防護対象施設を内包する区画＞

(j)　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）

(k)　タービン建屋（気体廃棄物処理系隔離弁等を内包）

(l)　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）

(m)　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)　非常用換気空調設備（中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む），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及び原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト）

c．外殻となる施設等による防護機能が期待できない施設

(a)　原子炉建屋付属棟４階　非常用換気空調設備（中央制御室換気系ファン（空気調和器含む）及び中央制御室換気系フィルタユニット）

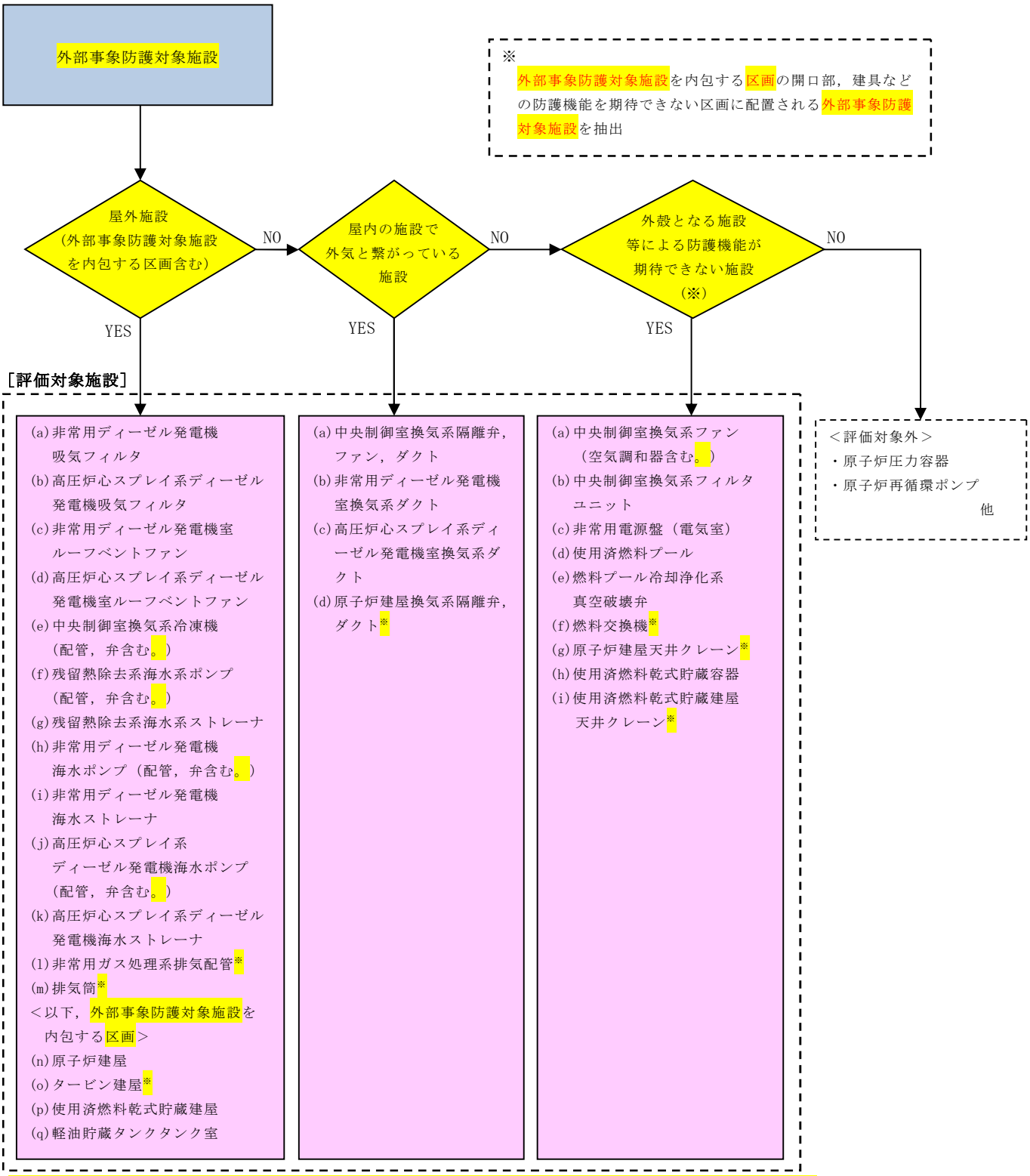
(b)　非常用電源盤（電気室）

(c)　原子炉建屋原子炉棟６階　設置設備（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）

(d)　原子炉建屋原子炉棟６階　燃料取扱設備（燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーン）

(e)　使用済燃料乾式貯蔵容器

(f)　使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン



第 1.2.2－2 図　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設の抽出フロー

※：「外部事象防護対象施設」に該当せず，評価対象施設とならないが，クラス 1，2 施設若しくはそれらを内包する区画であることを鑑み，竜巻に対する健全性を評価する。

第 1.2.2－3 図　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設（屋外施設）の配置図

(2)　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設【添付資料 3】

外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設は，発電所構内の構築物，系統及び機器のうち，倒壊により外部事象防護対象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外部事象防護対象施設の付属設備のうち，気圧差等による損傷により外部事象防護対象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，外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る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 1.2.2－4 図において抽出した外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の配置図を，第 1.2.2－5 図に示す。

なお，以降における外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設は，施設の構造によって分類した下記の名称を用いる。

a．外部事象防護対象施設に機械的影響を及ぼし得る評価対象施設

(a)　サービス建屋

(b)　海水ポンプ室

(c)　鋼製防護壁

(d)　排気筒

(e)　燃料取扱設備（燃料交換機，原子炉建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン）

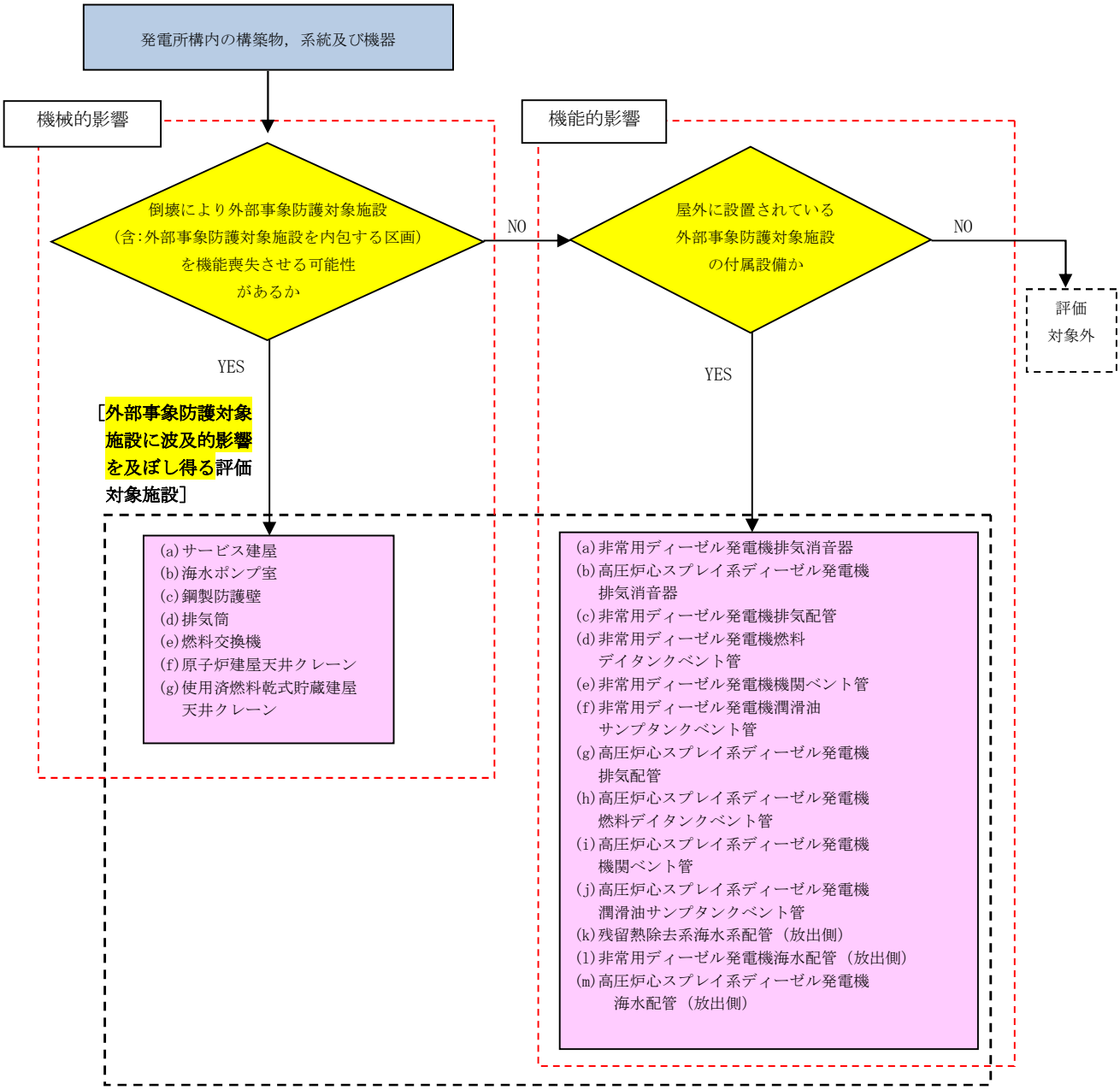
b．外部事象防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る評価対象施設

(a)　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含む。）排気消音器（非常用ディーゼル発電機排気消音器及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器）

(b)　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含む。）付属排気配管及びベント配管（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タンクベント管，非常用ディーゼル発電機機関ベント管及び非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管並びに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タンクベント管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管及び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）

(c)　残留熱除去系海水系配管（放出側）

(d)　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含む。）海水配管（放出側）（非常用ディーゼル発電機海水配管（放出側）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水配管（放出側））



第 1.2.2－4 図　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の抽出フロー

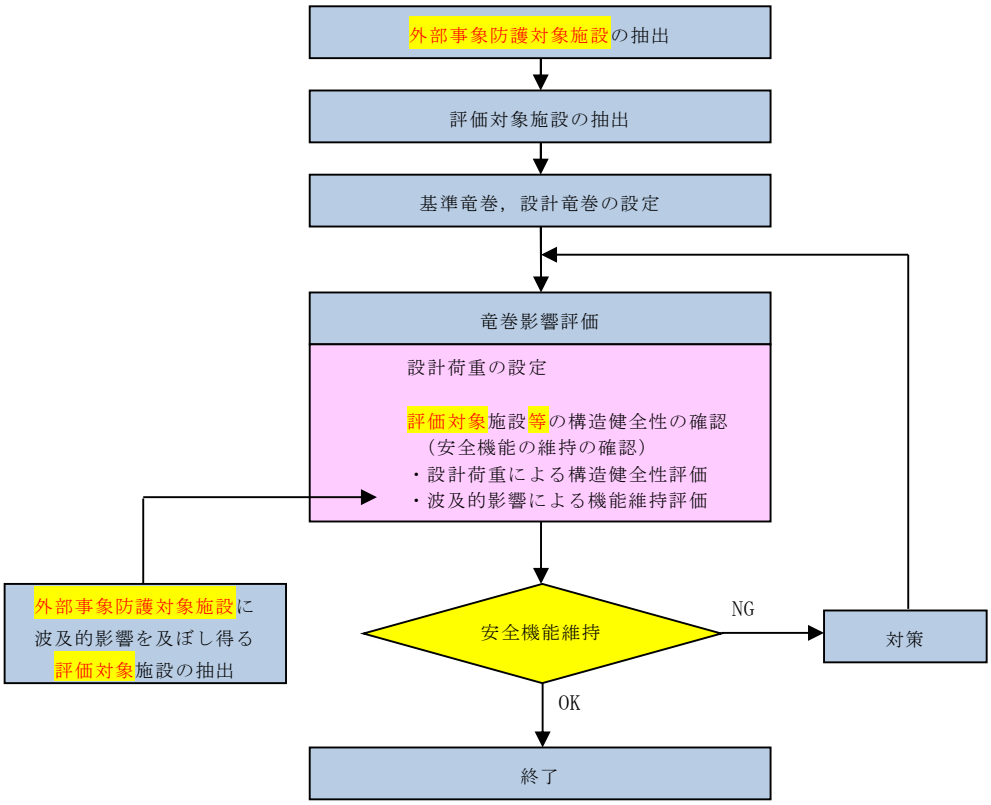
第 1.2.2－5 図　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の配置図

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，評価対象施設等を抽出し，考慮すべき設計荷重に対する評価対象施設等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　評価対象施設等に作用する荷重

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等の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等に衝突し得る飛来物（設計飛来物）が評価対象施設等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．評価対象施設等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。

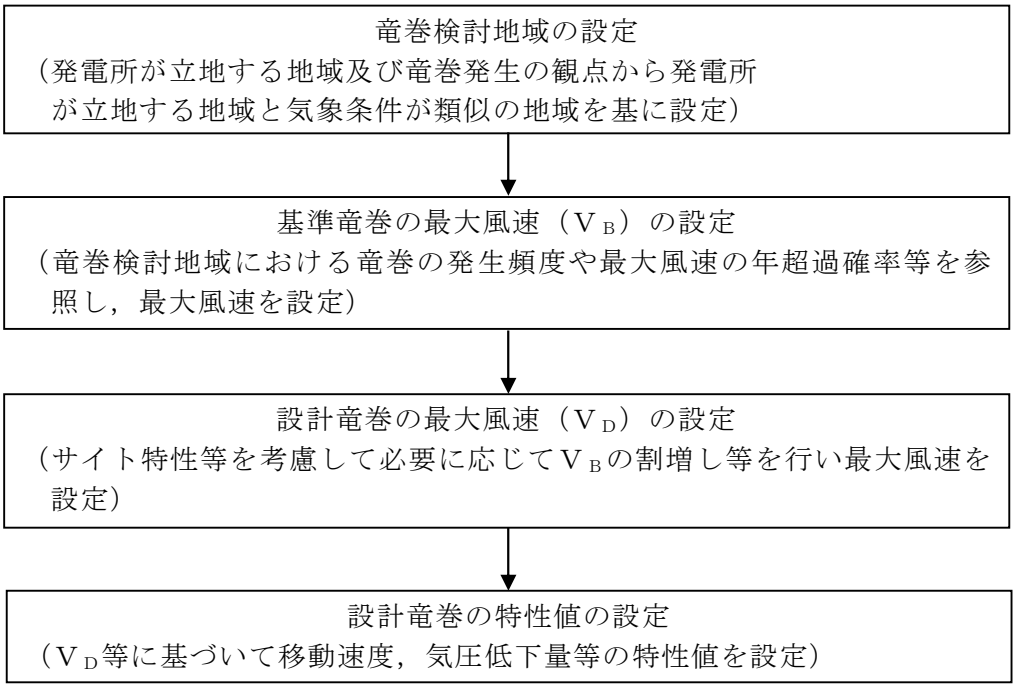
1.2.3.3　施設の安全性の確認方針

設計竜巻荷重及びその他組合せ荷重（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，評価対象施設等，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

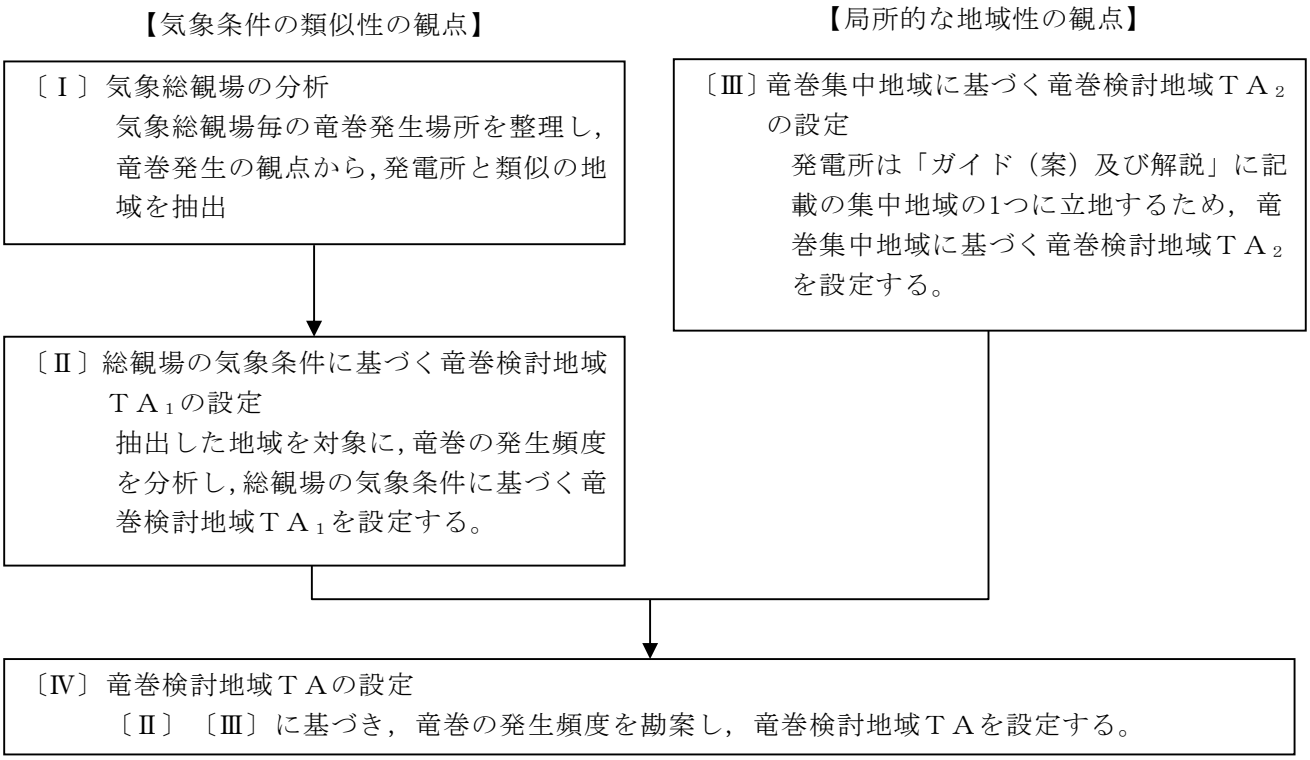
基準竜巻及び設計竜巻の設定フローを，第 2.1－1 図に示す。



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，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。



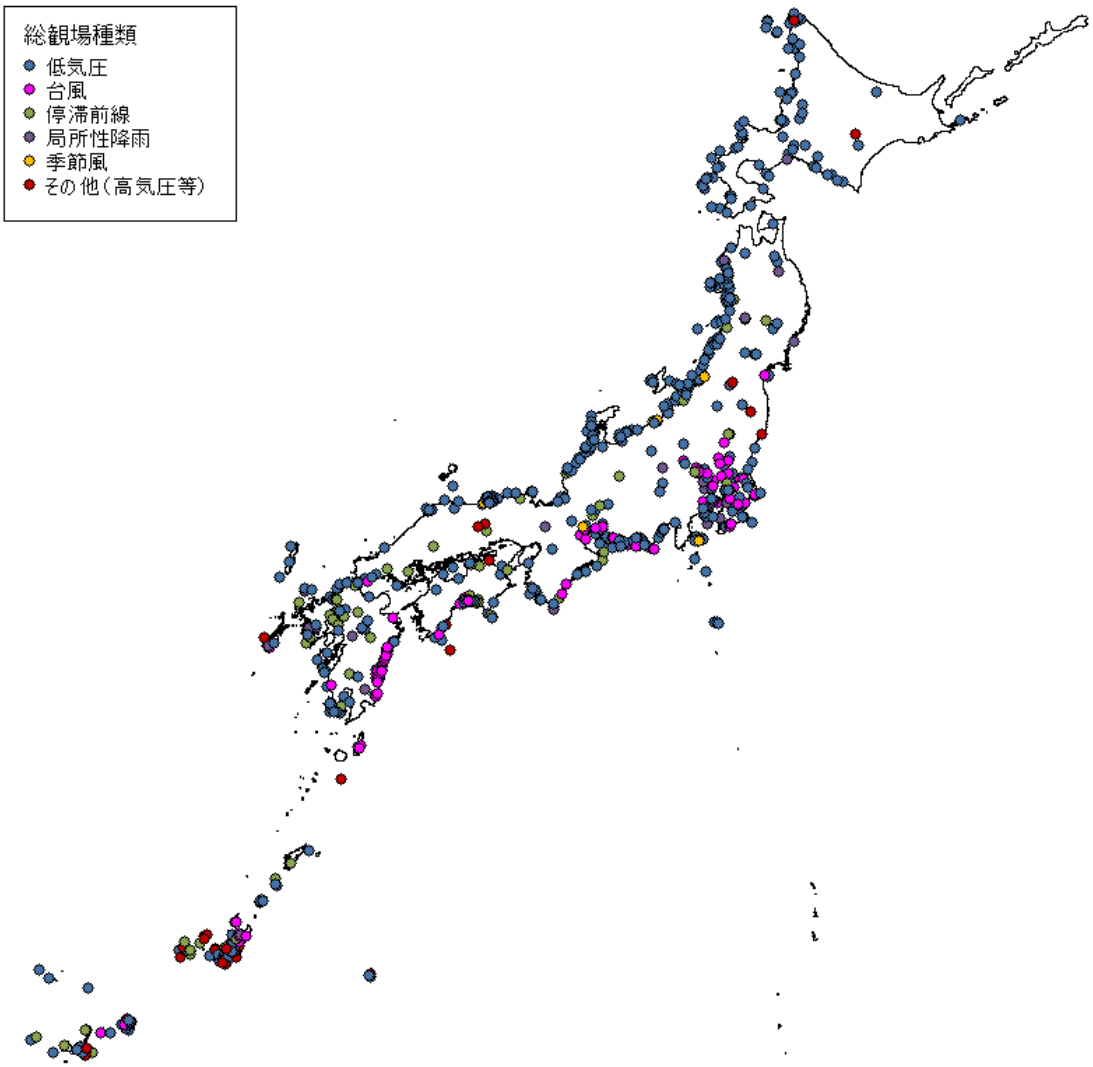
第 2.2－1 図　竜巻検討地域の設定フロー

2.2.1　気象総観場の分析

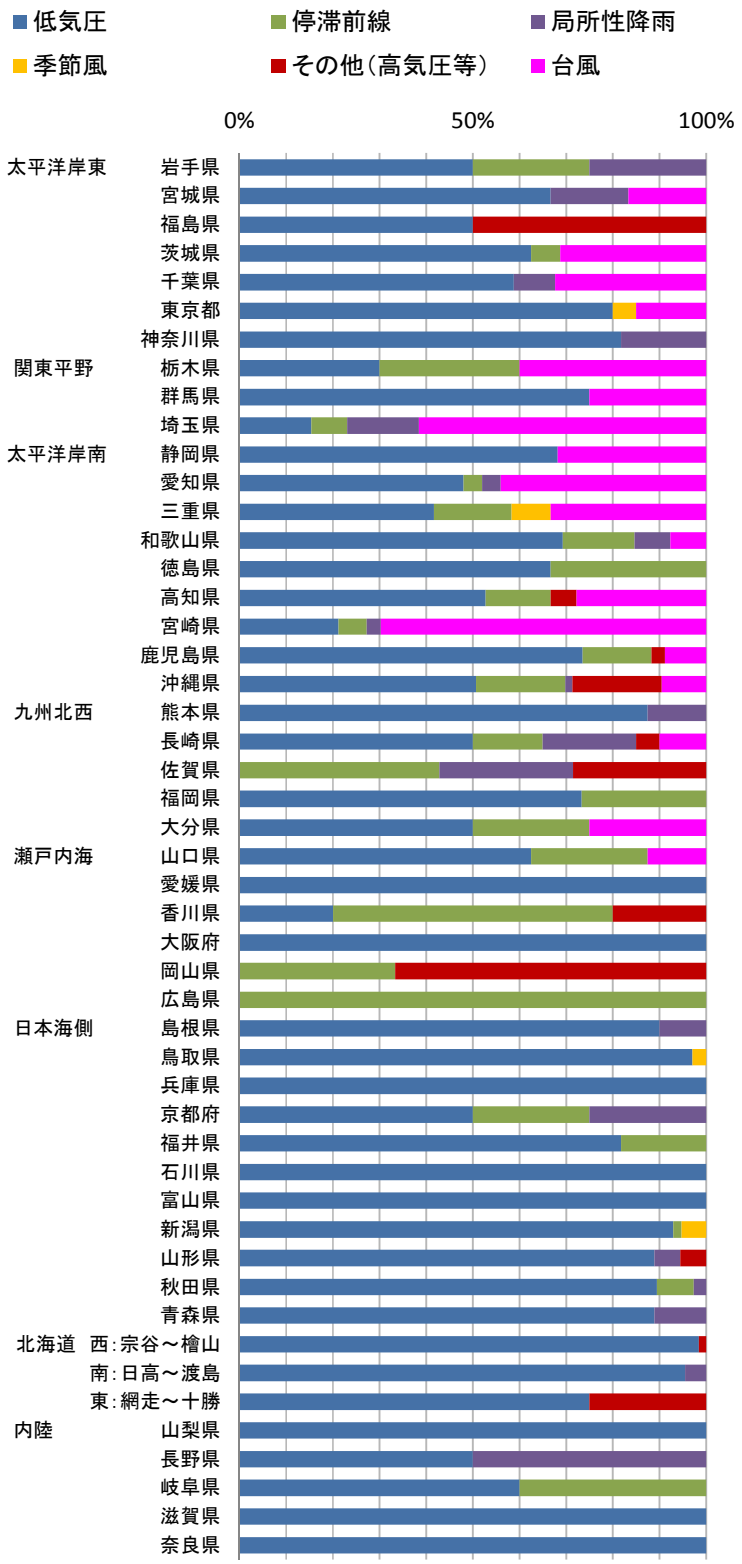
竜巻発生要因の総観場を 6 種類（低気圧，台風，停滞前線，局所性降雨，季節風，その他（高気圧等））に分類し，竜巻発生位置をこの気象要因毎に色分けした分布を，第 2.2.1－1 図に示す。

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）



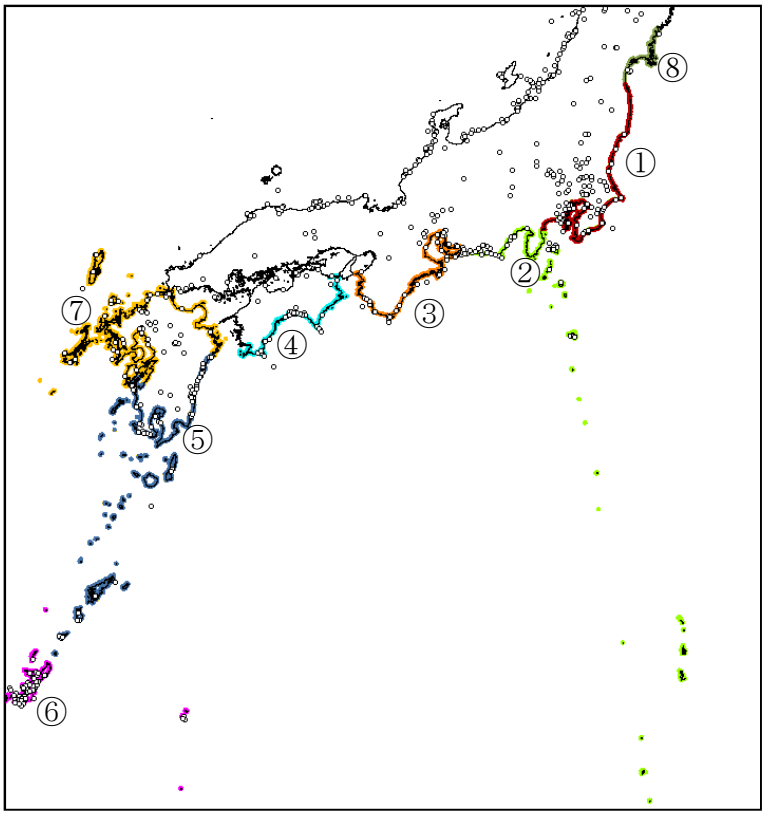
第 2.2.1－2 図　各都道府県での発生要因比率

2.2.2　総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_1$の設定

竜巻発生の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。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ＴＡ$_1$の検討を行う。

発電所から半径 180km 圏内（10 万 km^{2}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 2.2.2－1 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ごと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ＴＡ$_1$とする。



第 2.2.2－1 図　竜巻検討地域ＴＡ$_1$の検討領域

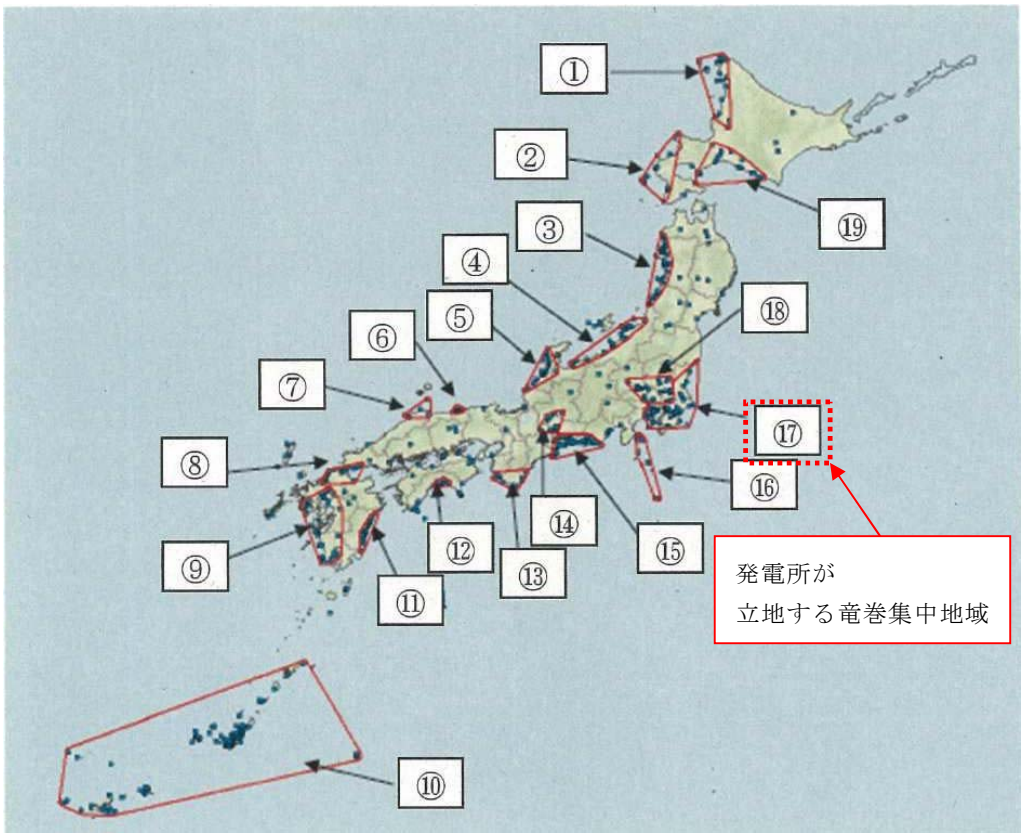
第 2.2.2－1 表　竜巻検討地域ＴＡ$_1$の候補毎の竜巻の個数と単位面積当たり発生数

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）
ＴＡ$_{1.1}$	①	福島県～神奈川県	7,900	40	0.98E-04
ＴＡ$_{1.2}$	①～②	福島県～静岡県	15,700	68	0.84E-04
ＴＡ$_{1.3}$	①～③	福島県～和歌山県	23,400	104	0.86E-04
ＴＡ$_{1.4}$	①～④	福島県～高知県	28,600	138	0.94E-04
ＴＡ$_{1.5}$	①～⑤	福島県～鹿児島県	46,700	194	0.81E-04
ＴＡ$_{1.6}$	**①～⑥**	**福島県～沖縄県**	**57,000**	**300**	**1.02E-04**
ＴＡ$_{1.7}$	①～⑦	福島県～九州全県	79,700	337	0.82E-04
ＴＡ$_{1.8}$	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ＴＡ$_2$の設定

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ＴＡ$_2$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）

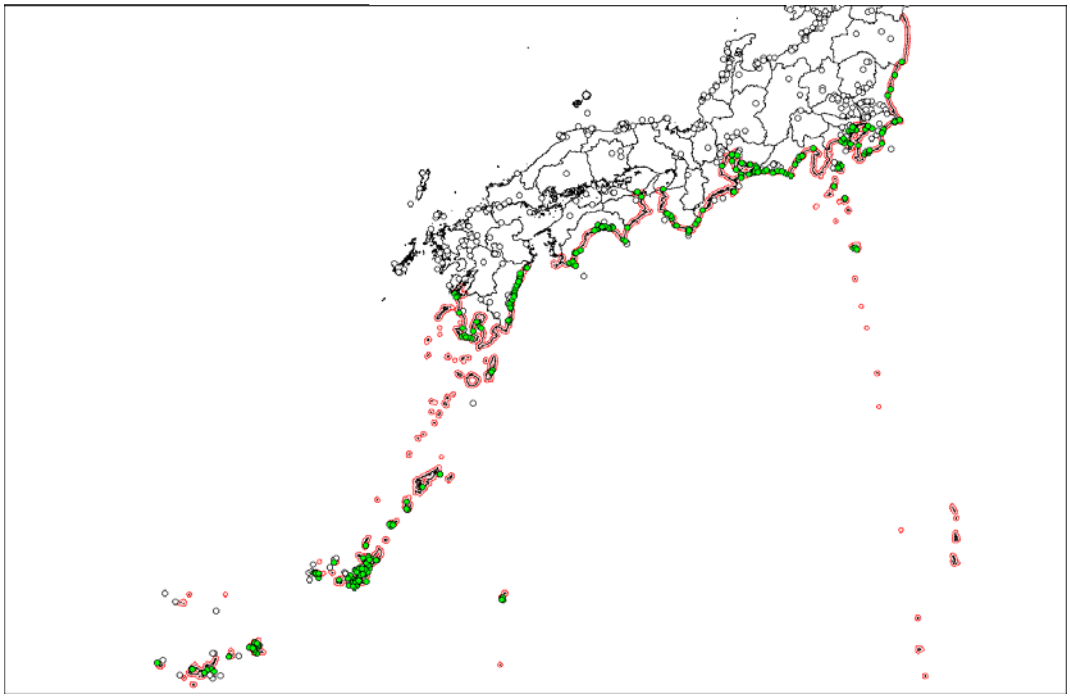
2.2.4　竜巻検討地域ＴＡの設定

総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_1$及び竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_2$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，ＴＡ$_1$を竜巻検討地域ＴＡに設定する（面積約57,000km^2）。

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}）

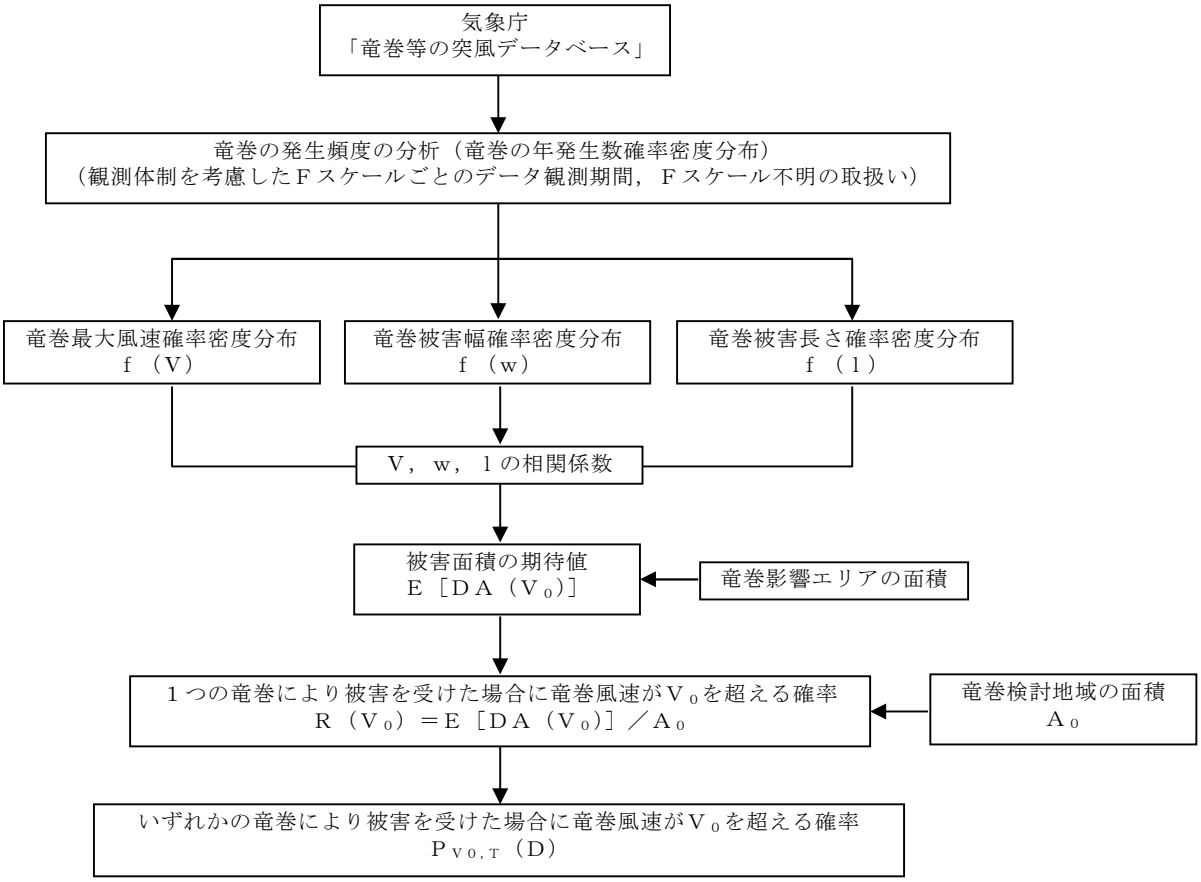
気象庁の「竜巻等の突風データベース」[2]に基づき，竜巻検討地域内で過去（1961年1月～2012年6月）に発生した竜巻のうち最大であるＦ３スケール相当以上の竜巻を第2.3.1－1表に示す。Ｆ３スケールにおける風速は70m／s～92m／sであることから，過去に発生した竜巻による最大風速V_{B1}を92m／sとする。

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 範囲ごと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～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)　Ｆ０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)　Ｆ１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)　Ｆ２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，Ｆ０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

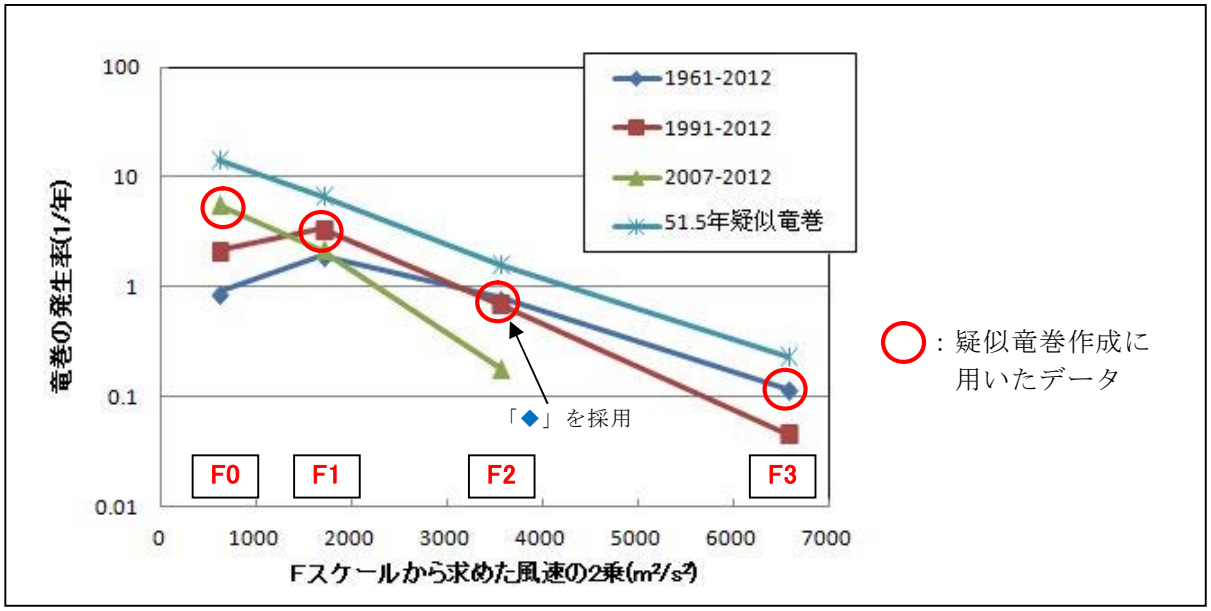
			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1～2012.6 51.5 年間	期間内個数	6	41	100	46	193	20	87	300
		平均値（個/年）	0.12	0.80	1.94	0.89	3.75	0.39	1.69	5.83
		標準偏差（個/年）	0.32	0.94	1.96	2.17	3.25	0.69	4.35	7.26
	1991.1～2012.6 21.5 年間	期間内個数	1	15	72	46	134	15	86	235
		平均値（個/年）	0.05	0.70	3.35	2.14	6.23	0.70	4.00	10.93
		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	1,188
		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。

※：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)。

(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。



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まれ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。

（参考）ポリヤ分布の適用について

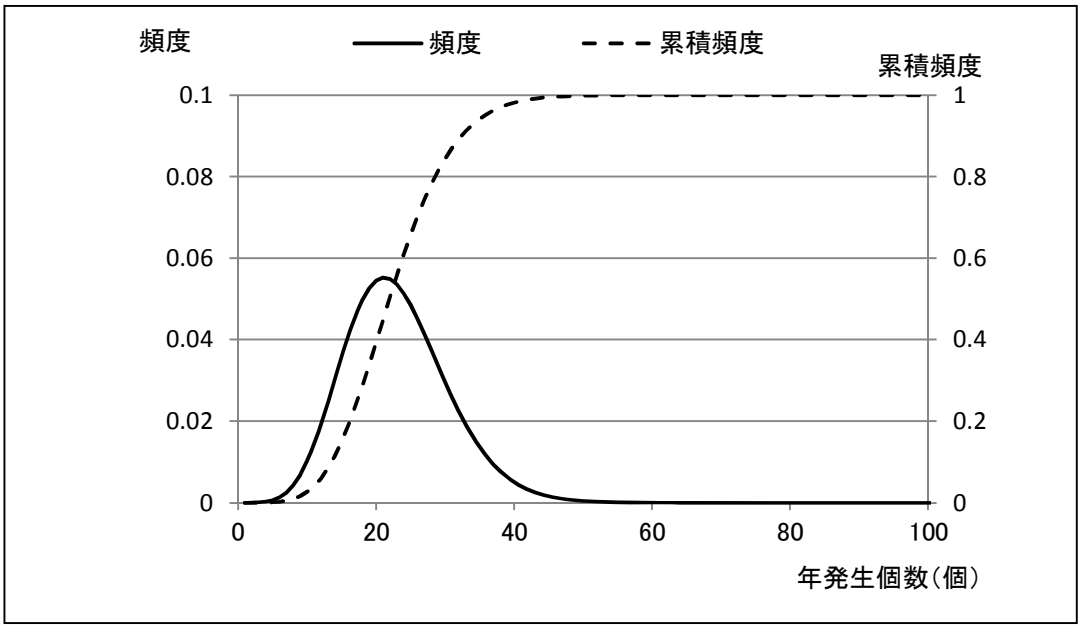
・「竜巻影響評価ガイド」にて，V_{B2}算定の参考になるとされている「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[3]によれば，Wen&Chuが，竜巻に遭遇しかつ竜巻風速がある値以上となる確率モデルの推定法を提案し，竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定した場合，竜巻の年発生数の確率密度分布はポアソン分布もしくはポリヤ分布に従うとしている。

・ポアソン分布は，生起確率が正確に分からないがまれな現象の場合に有用な分布である。一方，ポリヤ分布は，発生状況が必ずしも独立ではないまれな現象（ある現象が生ずるのはまれであるが，一旦ある現象が発生するとその周囲にもその現象が生じやすくなる性質）の場合に有用な分布である（例えば伝染病の発生件数など）。台風及び前線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状況が考えられるため，ポリヤ分布の方が実現象をより反映できると考えられる。

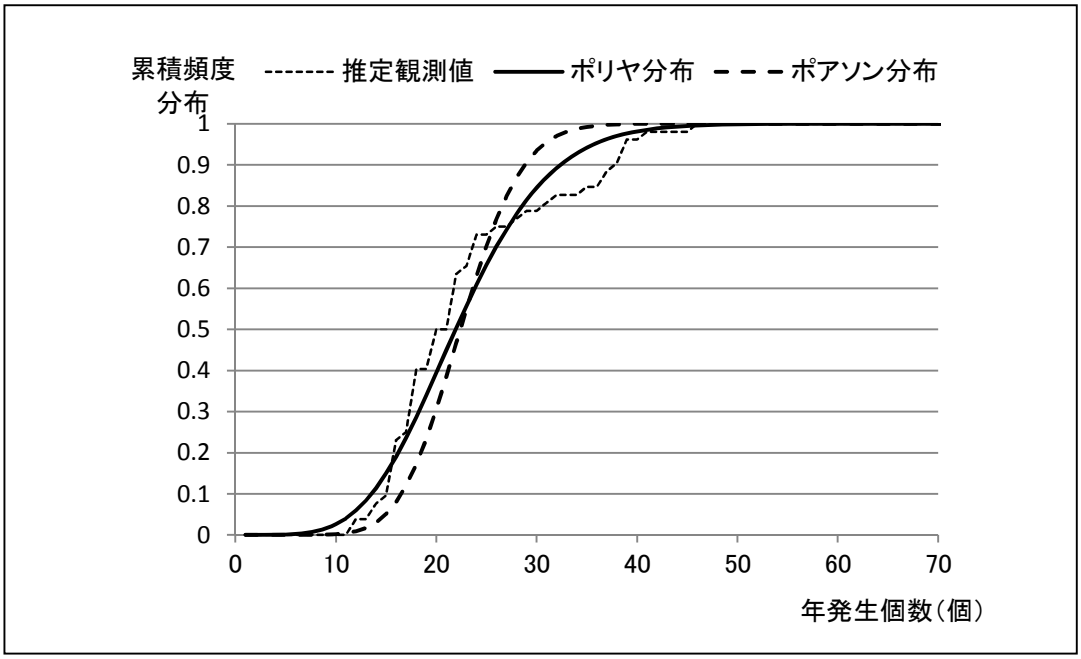
・なお，国内を対象とした竜巻の年発生数の分布の適合性に関する検討結果は，上述の「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」に示されており，陸上竜巻及び海上竜巻の両方の発生数について，ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れているとしている。

・発電所の竜巻検討地域で発生した竜巻を対象に，発生数に関するポアソン分布及びポリヤ分布の適合性を検討した。その結果，竜巻検討地域においても，ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れていることを確認した。（第2.3.3－3図）

・　以上より，ハザード曲線の評価に当たって使用する竜巻年発生数の確率密度分布は，ポリヤ分布を採用した。



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）



第 2.3.3－3 図　竜巻検討地域における竜巻の年発生数の推定値と

ポリヤ分布、ポアソン分布の累積頻度の比較

2.3.4　竜巻風速，被害幅及び被害長さの確率密度分布並びに相関係数

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。

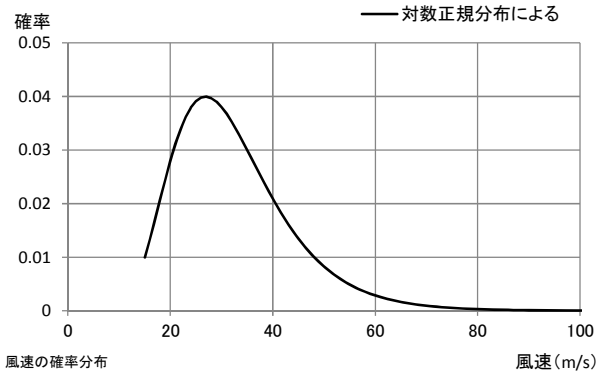
その結果を基に，最大風速，被害幅及び被害長さは対数正規分布に従うものとして求めた確率密度分布を，第 2.3.4－1 図～第 2.3.4－6 図に示す。

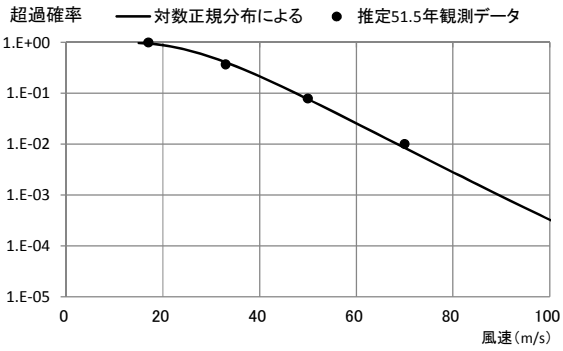
また，疑似的な竜巻の作成に伴う被害幅又は被害長さの情報がない竜巻には，被害幅又は被害長さを有する竜巻の観測値を与えている。その際は，被害幅又は被害長さが大きいほうから優先的に用いることで，被害幅又は被害長さの平均値が大きくなるように工夫しているとともに，被害幅又は被害長さが 0 のデータについては，計算に用いておらず，保守的な評価を行っている。

このように，前述のＦスケール不明の竜巻の取扱い等を含め，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。

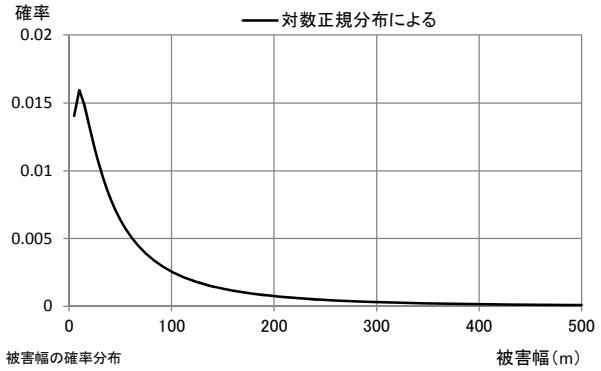
第 2.3.4－1 表　発生数，被害幅及び被害長さの統計量

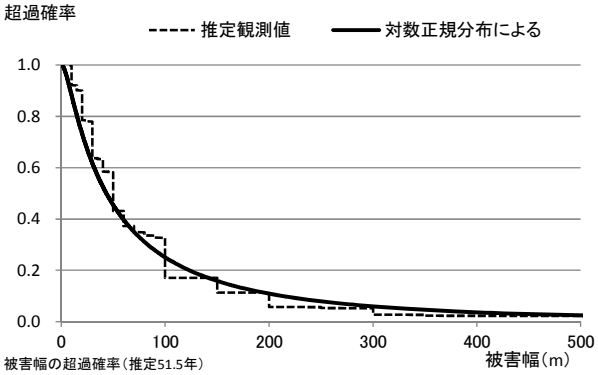
			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間	発生数	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（個/年）	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差(個/年)	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42
	被害幅	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（m）	525	250	124	56	94
		標準偏差（m）	706	408	187	45	179
	被害長さ	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（km）	14	5.63	2.43	1.18	1.98
		標準偏差（km）	14	4.94	3.03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



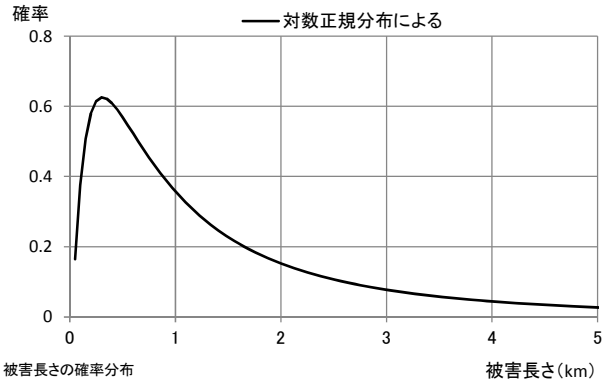


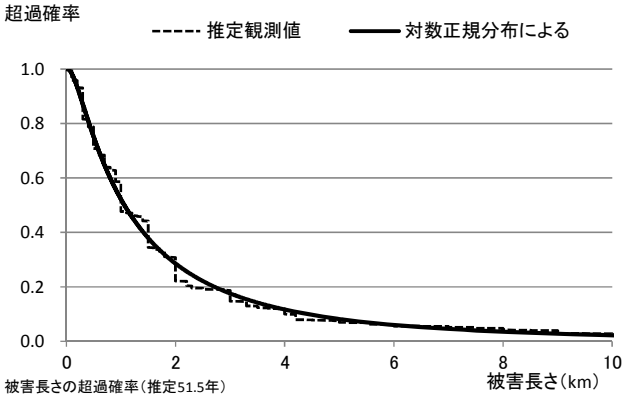
第2.3.4－1図　最大風速の確率密度分布　第2.3.4－2図　最大風速の超過確率





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

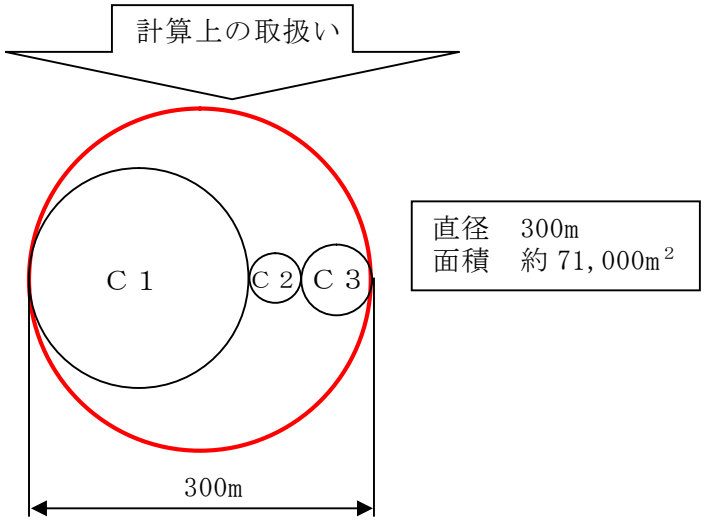
相関係数の値	最大風速	被害幅	被害長さ
最大風速	1.000	0.381	0.452
被害幅	－	1.000	0.381
被害長さ	－	－	1.000

2.3.5　竜巻影響エリアの設定

発電所の構築物，系統及び機器のうち，評価対象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 71,000m^2）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】

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

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。

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

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$R(V_0)$とすると，竜巻影響評価の対象構造物が，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$P_{V_0,T}$を算定する。

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

この$R(V_0)$は，竜巻影響評価の対象地域の面積をA_0（竜巻検討地域の面積約 57,000km^2），1 つの竜巻の風速がV_0以上となる面積を$DA(V_0)$とすると次式で示される。

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

ここで，$E[DA(V_0)]$は$DA(V_0)$の期待値を意味し，次式で算出する。

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

ここで，

p　：単位面積当たりの年被災率

$E[\quad]$　：期待値を意味する。

$DA(V_0)$　：１つの竜巻の風速がV_0以上となる面積

A_0　：竜巻検討地域の面積

V　：風速

w　：被害幅

l　：被害長さ

$f(\quad)$　：確率密度分布

D_0　：竜巻影響エリアの直径

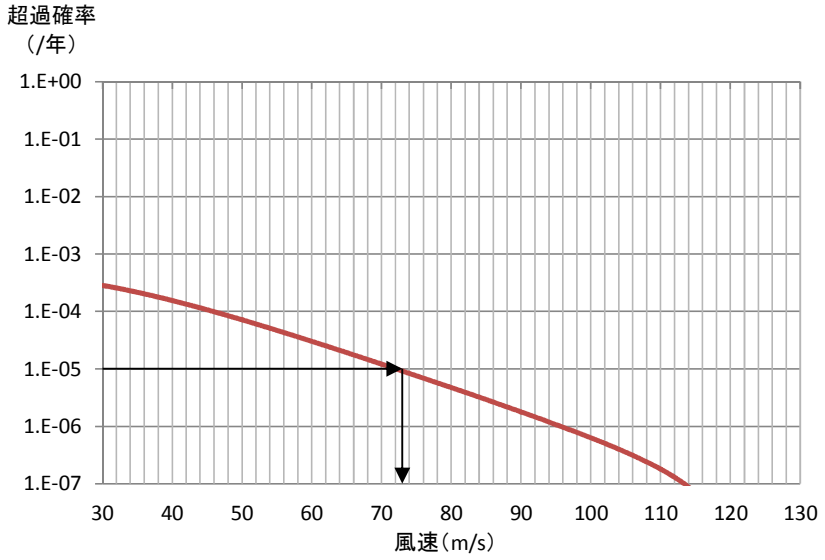
S　：竜巻影響エリアの面積

$W(V_0)$　：被害幅のうち風速がV_0を超える部分の幅

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

$V_{\min}$　：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。



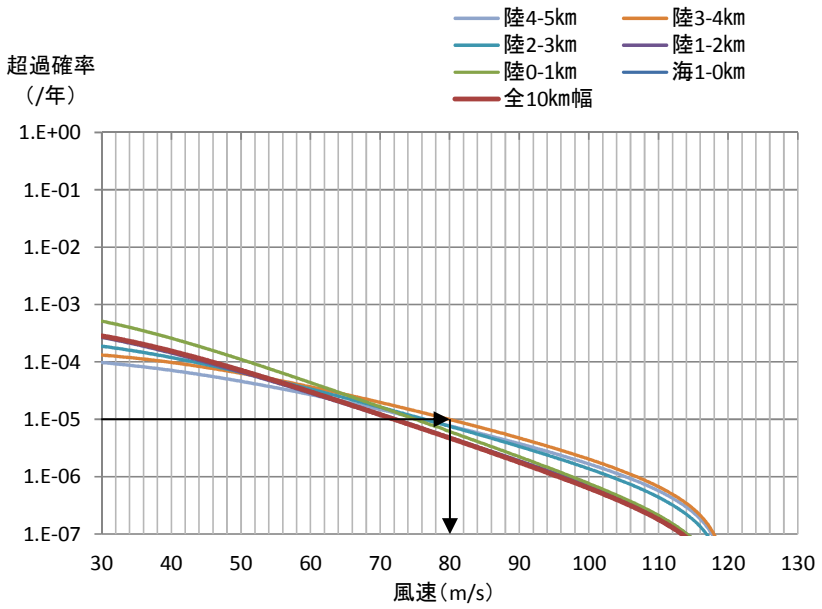
第 2.3.6－1 図　竜巻検討地域全域（10km 幅）でのハザード曲線

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 10 km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 幅ごと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 幅ごと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 幅ごと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 幅ごとの最大	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実さ（認識論的不確実さ）

確率分布形選択に伴うパラメータ不確実さ

(2)　データ量が少ないことに伴う不確実さ（認識論的不確実さ）

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実さ

(3)　データの不確実さ

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実さ

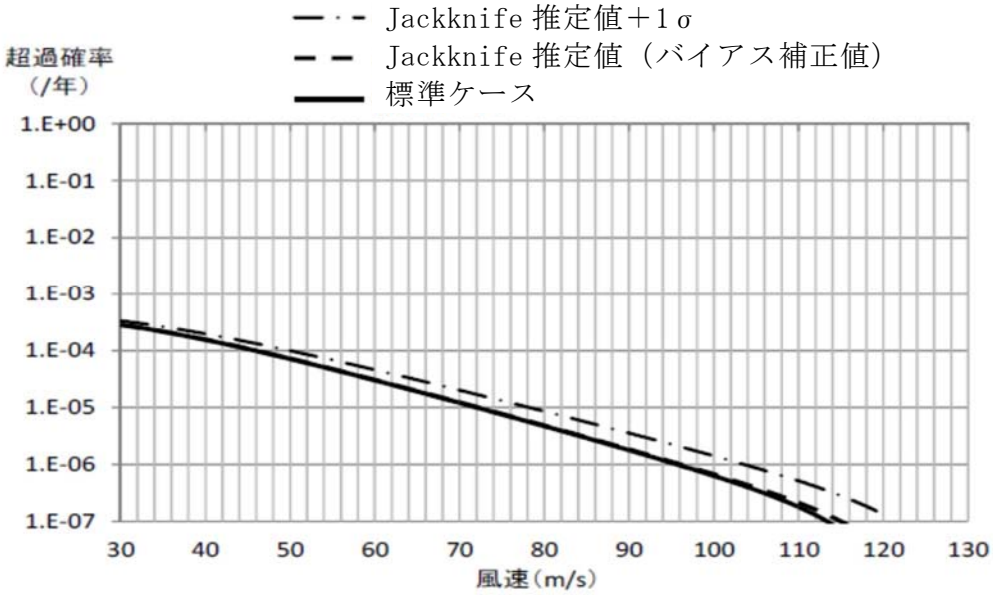
(1)　確率分布形選択に伴う不確実さ

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実さを表した第 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＋1σ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実さ

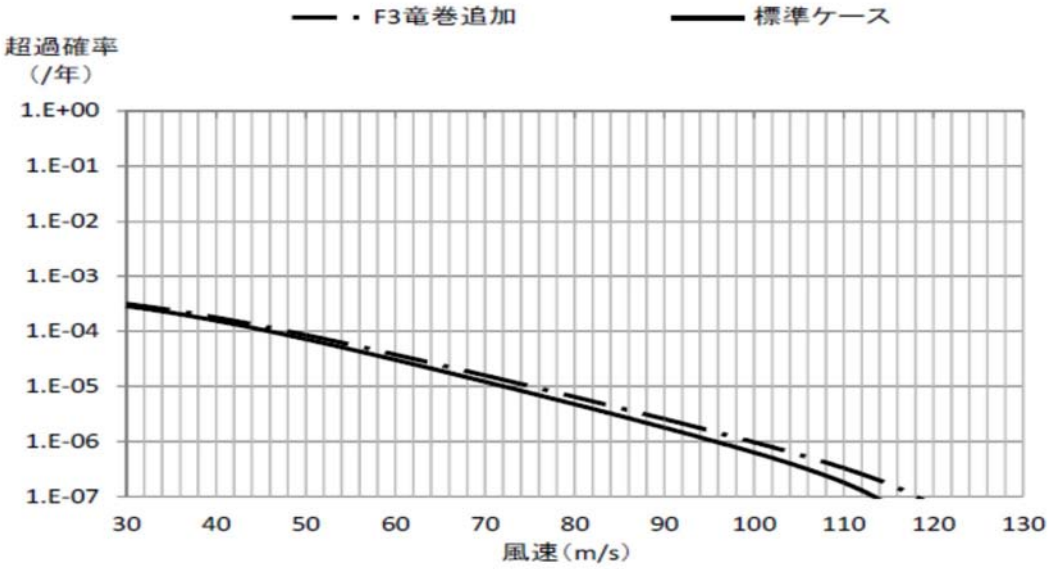
データ量が少ないことに伴う不確実さとして，竜巻検討地域で，Ｆ３竜巻が１つ見落とされていたと仮定した場合のハザードへの影響を検討した。

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＋1σ ケースのハザード算定結果の比較

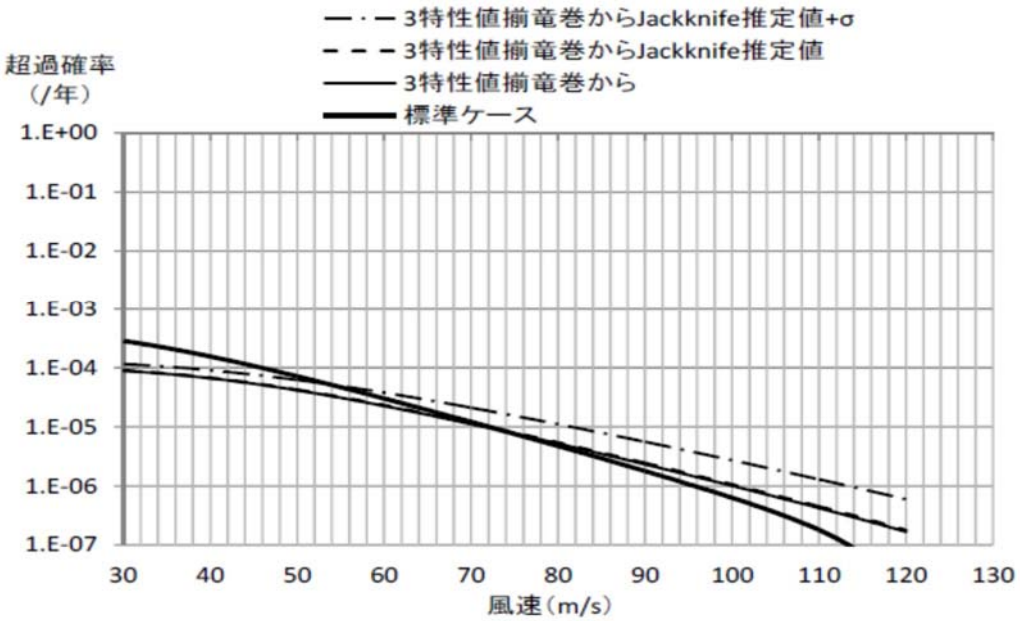


第 2.3.8－2 図　標準ケースとＦ３竜巻発生を仮定した場合の

ハザード算定結果の比較

(3)　データの不確実さ

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（最大風速，被害幅及び被害長さ）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。



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（バイアス補正値），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。

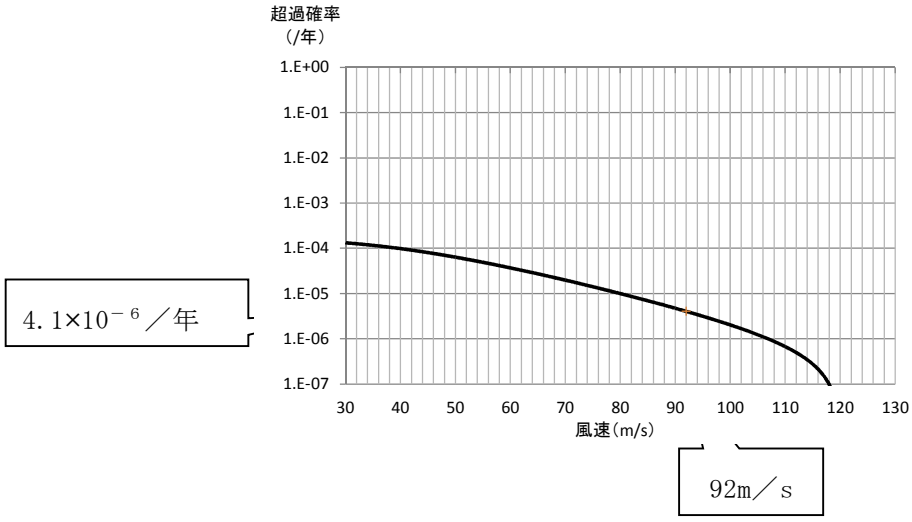
2.3.9　基準竜巻の最大風速（V_B）

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，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～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相当のものがほとんどであり，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。

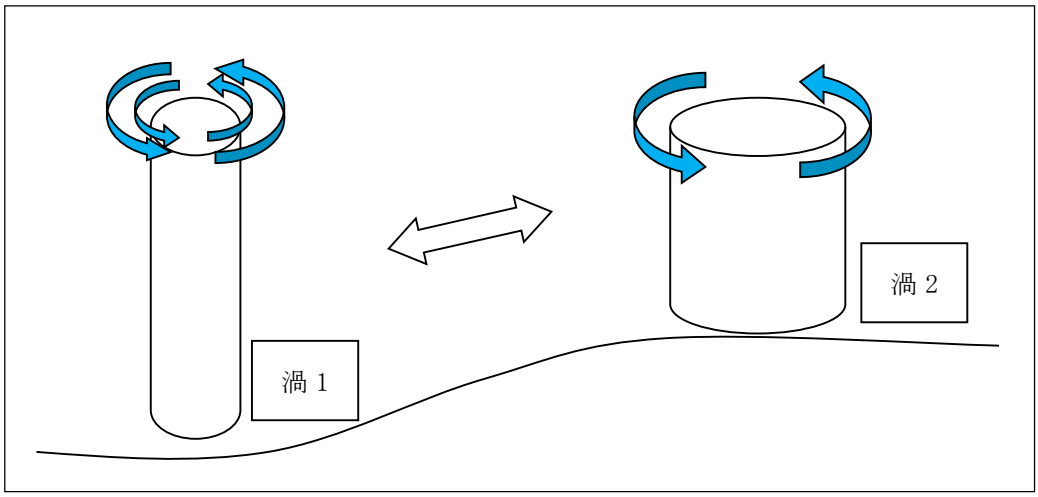
2.4　設計竜巻の設定

2.4.1　設計竜巻の最大風速（V_D）の設定

(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。



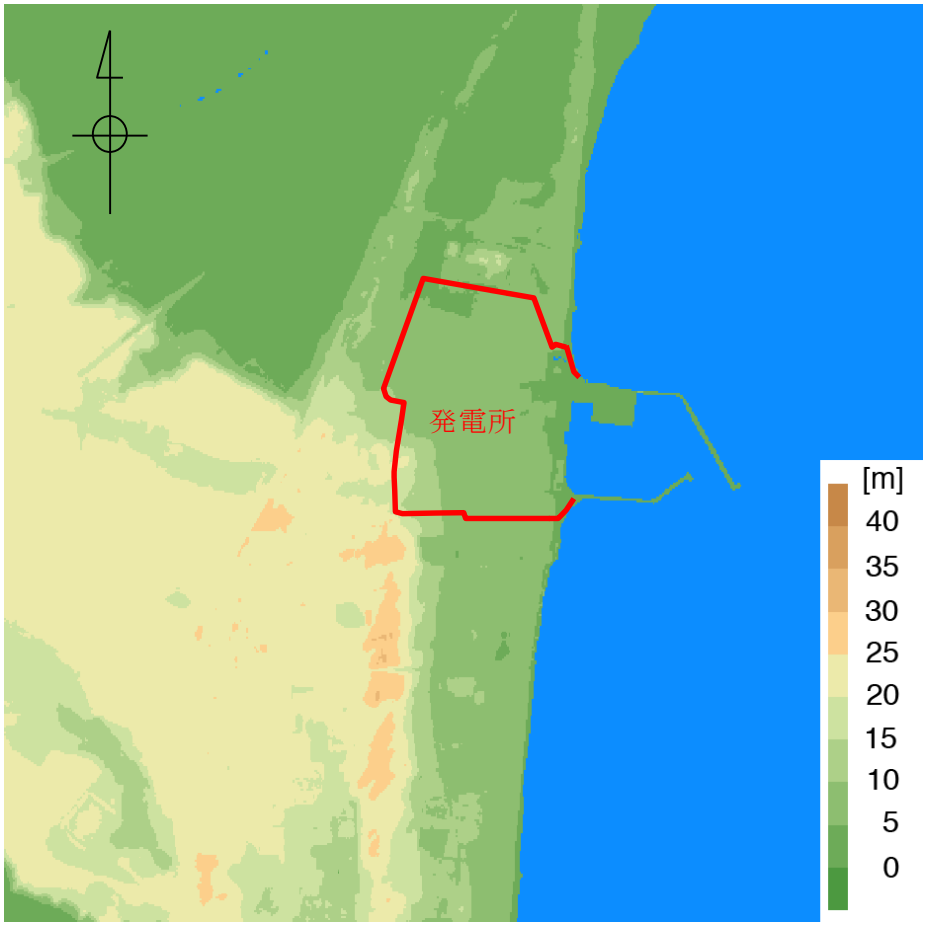
第 2.4.1－1 図竜巻旋回流の地形影響に関する模式図

(2)　発電所敷地周辺における地形と竜巻風速への影響

発電所敷地周辺の地形を第 2.4.1－2 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 2.4.1－2 図　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）

(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，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，将来的な気候変動に伴う不確実性を踏まえ，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。

2.4.2　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ため，「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2.4.2－1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）

$R_m = 30$（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／m^3））

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 2.4.2－1 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合せ荷重）の設定

(2)　発電所における設計飛来物の設定（調査含む）

(3)　飛来物発生防止対策

(4)　考慮すべき設計荷重に対する評価対象施設等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　評価対象施設等

「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，庇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，評価対象施設等には存在しないが，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等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等の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

建屋及び構築物については，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

外部事象防護対象施設を内包する建屋及び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。

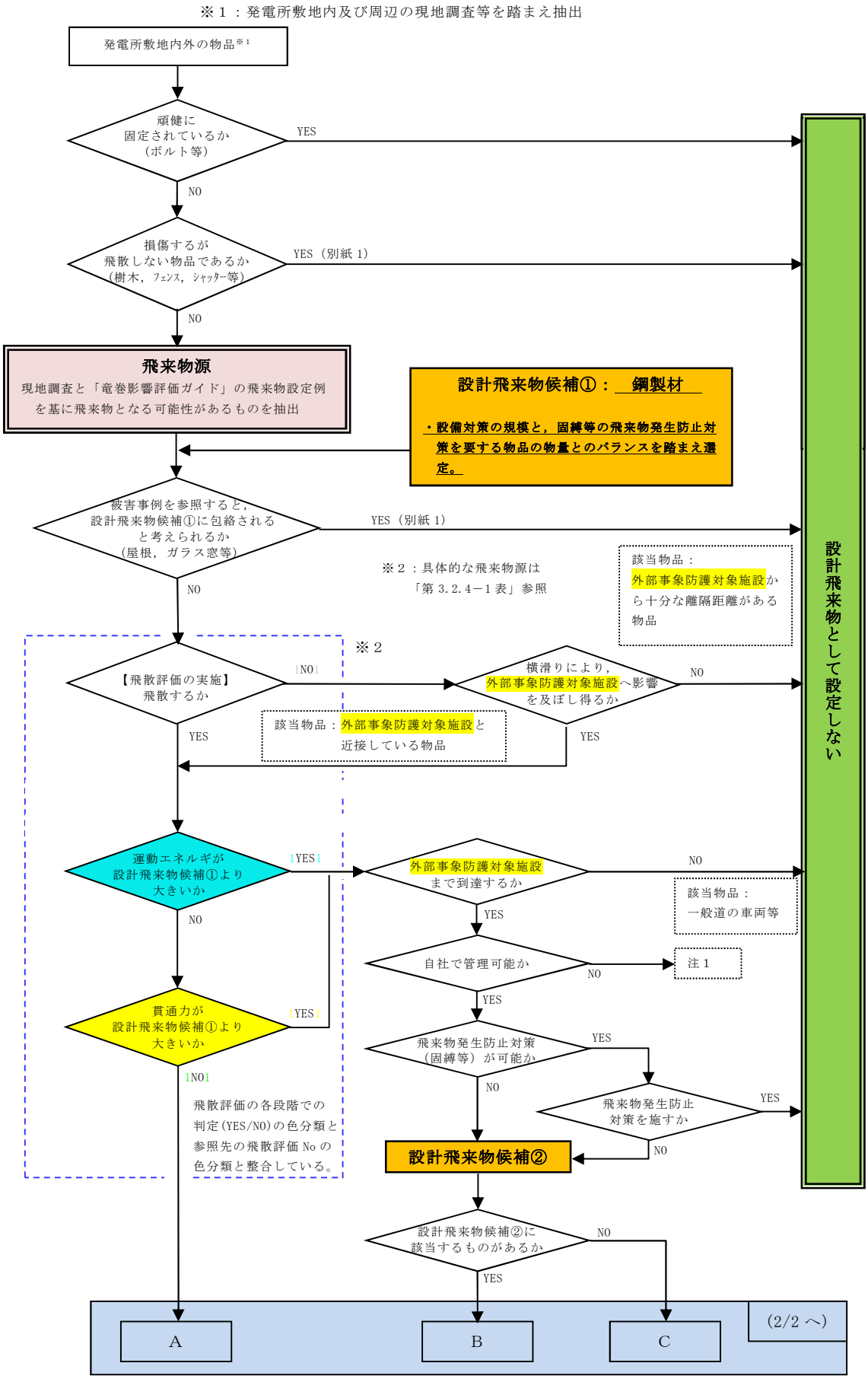
(3)　設計飛来物等による衝撃荷重の設定

a．発電所における設計飛来物等の設定【添付資料 9】

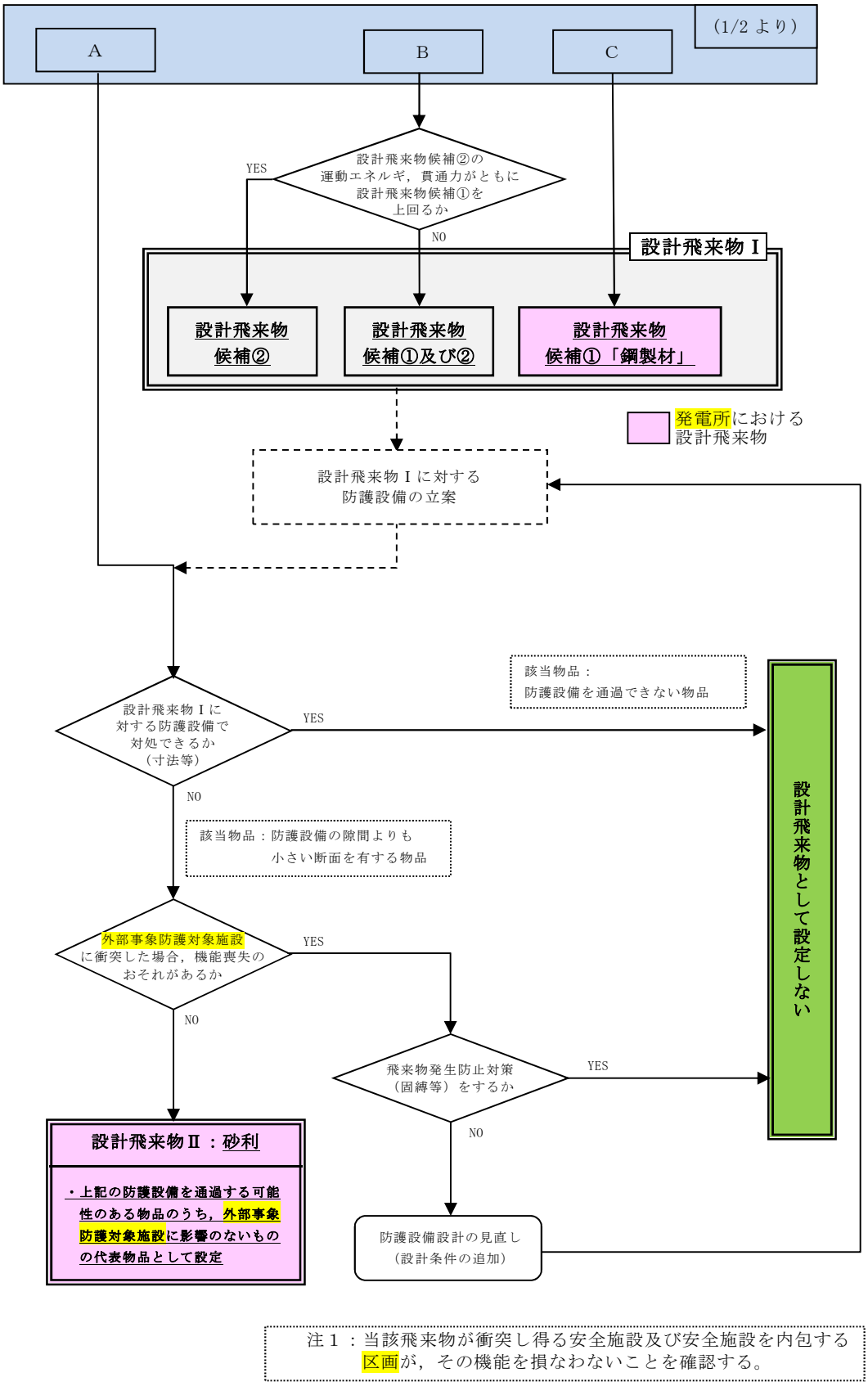
東海第二発電所の竜巻影響評価における設計飛来物等については，東海第二発電所における飛来物源の現地調査結果と，「竜巻影響評価ガイド」の解説表 4.1 に示されている設計飛来物の設定例を参照して設定す

る。

第 3.3.1－1 図に発電所における設計飛来物の設定フローを，第 3.3.1－1 表に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　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

設計竜巻の最大風速は 100m／s とする。（第 2.4.2－1 表）

(b)　設計飛来物等の設定

ⅰ）　現地調査

飛来物となり得る物品を確認するため，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，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 800m を十分に下回ることから，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発電所構内の物品に類似していた。したがって，発電所の設計飛来物の設定に際しては，発電所敷地内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，鋼製材に対する飛来物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又は貫通力の大きさを，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，以下のとおり対応する。

・発電所敷地内のものは，飛来物発生防止対策（固縛等）を施すか，外部事象防護対象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。

・敷地近傍の他事業所等から到達し得るものは，当該飛来物が衝突する可能性のある評価対象施設等について，飛来物の衝撃荷重を考慮した設計荷重に対し構造健全性が維持されることを確認するか，安全上支障のない期間での修復等の対応により，機能を損なわないようにする。

ⅱ)敷地近傍の他事業所等の飛来物源の影響について

他者の所有物で，当社による固縛等の管理ができない可能性を有する飛来物源として，当社の敷地外にある，一般道を走行する車両及び他事業所等の物品が想定されるが，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でも 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できないと考えられる施設は，第 3.3.1－2 図に示すとおり，評価対象施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋及びタービン建屋，並びに重大事故等対処設備の緊急時対策所※1，可搬型重大事故等対処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，第 3.3.1－2 図に示すとおり敷地南方の近隣事業所からの飛来物が衝突する可能性がある。これについては，風荷重及び設計飛来物等の衝撃荷重に対しても建屋が倒壊せず内包される外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼさないこと，また，設計飛来物等が衝突し得る建屋外壁の遮蔽能力の喪失を仮定した場合でも，遮蔽機能に対する要求事項は満足できることを確認した。よって，敷地南方の近隣施設内の飛来物源に対する飛来物発生防止対策は不要とする。

タービン建屋については，第 3.3.1－2 図に示すとおり，敷地北方の近隣事業所から飛来物が到達する可能性がある。これについては，風荷重及び設計飛来物等の衝撃荷重に対しても建屋が倒壊せず，建屋の外壁の貫通も生じないため内包される外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼさないことを確認した。よって，敷地北方の近隣施設内の飛来物源に対する飛来物発生防止対策は不要とする。

緊急時対策所建屋については，第 3.3.1－2 図に示すとおり，発電所西方の敷地と国道 245 号線の間にある近隣事業所から飛来物が衝突する可能性がある。重大事故等対処施設としての緊急時対策所建屋は，環境条件としては風荷重のみを考慮する方針となっているが，機能を喪失した場合の影響が大きな遮蔽能力について，念のため飛来物衝突の影響を評価したところ，建屋の外壁については貫通も裏面剥離

も生じず，遮蔽能力は確保できることを確認した。

また，可搬型重大事故等対処設備及び常設代替高圧電源装置に関しては，設計基準対象施設を含めて分散配置することにより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と判断している。（第 3.3.1－2 図参照）

※1：機能維持については第 43 条としての扱い。6 条（設計対象施設）としてはクラス 3 施設であり，損傷時は代替設備や復旧により機能を維持する。

※2：種々の車両についての飛散解析結果(添付資料 9 別紙 9-4)より，国道 245 号線から飛来する車両の飛散距離は，保守性を見込んだ上で最大でも約 190m と考えられる。

以上より，近接事業所等の飛来物源については，飛来物発生防止対策は不要と判断した。

第 3.3.1－2 図　飛来物の到達を想定する隣接事業者

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様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影響を及ぼすことはないと判断している。

・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。したがって，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である。

・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況と有意な差はないと考えられる。東海第二発電所の評価対象施設等は風荷重に対し十分に余裕があることを参照すれば，これらの設備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）であるが，このような場合に対しても，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）が設計飛来物による影響を超えることが確認された場合でも，その様な飛来物源が発生しないよう工法を工夫するなどによって対応することで，東海第二発電所に影響を及ぼす可能性のある飛来物の発生を防止できない状況は生じないと考えられる。なお，これらの運用管理については，確実に実施するために手順として原子炉施設保安規定に規定し，ＱＭＳ規程に基づき実施する。

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（${}_{M}V_{Hmax}$）及び最大鉛直速度（${}_{M}V_{Vmax}$）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※。

※：設計飛来物であることに鑑み，配置高さによって飛散速度が変わらないランキン渦モデルで数値を算出した。

第 3.3.1－2 表　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等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

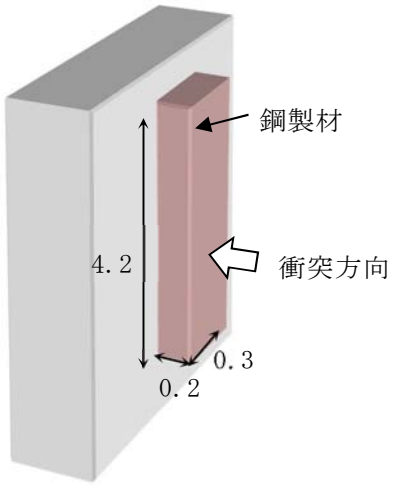
V：飛来物の衝突速度

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．設計竜巻荷重の組合せ

評価対象施設等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）及び設計飛来物等による衝撃荷重（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：設計飛来物等による衝撃荷重

ここで，竜巻襲来時のある瞬間において，各荷重の作用方向は必ずしも一様ではないが，W_{T2}の算出においてはW_W，W_P及びW_Mの作用方

向を揃えることとし，保守性を考慮する。また，評価対象施設等には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)　評価対象施設等に常時作用する荷重，運転時荷重等

評価対象施設等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，ひょう及び降水である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は，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．ひょう

ひょう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 程度の大型のひょうを想定した場合でも，その重量は約 0.5kg で

ある。直径 10cm 程度のひょうの終端速度は 59m／s[6]，運動エネルギは約 0.9kJ であり，設計飛来物の運動エネルギと比べ十分に小さく，ひょうの衝撃荷重は設計竜巻荷重に包絡される。【添付資料 10】

d．降水

竜巻と降水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

設計竜巻は原子炉冷却材喪失事故等の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合せは考慮しない。

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，評価対象施設等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及び温度が変わらないため，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合せは考慮しない。

3.4 評価対象施設等の設計方針

外部事象防護対象施設のうち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すること，又は取替，補修が可能なこと，設計上の要求を維持することにより，安全機能を損なわない設計とする。また，外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設については，竜巻及びその随伴事象に対して構造健全性を確保すること，設計上の要求を維持す

ること又は安全上支障のない期間での修復等の対応により，外部事象防護対象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

建屋及び構築物の設計において，設計飛来物等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ＪＥＡＧ4601-1987（日本電気協会）

・原子力エネルギー協会（ＮＥＩ）の基準・指針類

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ＪＥＡＧ4601-1987（日本電気協会）

3.4.2　設計方針

(1)　屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画も含む。）

設計荷重に対して，安全機能が維持される設計とし，安全機能を損なう可能性がある場合には施設の補強，防護ネット等の設置等の竜巻防護対策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。

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影響を受けない設計とする。

a．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含む。）吸気フィルタ（非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ及び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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）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，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含む。）の吸気機能が維持される設計とする。さらに，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び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含む。）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．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含む。）室ルーフベントファン（非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び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）

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含む。）室ルーフベントファンは，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，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。

c．中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む）

中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮して，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む）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．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ポンプ（配管，弁含む）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む）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含む。）海水ポンプ（非常用ディーゼル発電機海水ポンプ及び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）

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含む。）海水ポンプ（配管，弁含む）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び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含む。）海水ポンプ（配管，弁含む）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．残留熱除去系海水系ストレーナ

残留熱除去系海水系ストレーナは，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び残留熱除去系海水系ストレーナ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。

ｇ．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含む。）海水ストレーナ（非常用ディーゼル発電機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ストレーナ）

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含む。）海水ストレーナは，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び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含む。）海水ストレーナ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。

ｈ．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，閉塞することはなく，非常用ガス処理系排気配管の排気機能が維持される設計とする。さらに，非常用ガス処理系排気配管は開かれた構造物であり気圧差荷重も作用しないことから，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。

ｉ．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

することはなく，排気筒の排気機能が維持される設計とする。さらに，排気筒は開かれた構造物であり気圧差荷重も作用しないことから，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。

j．原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

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，風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物等による衝撃荷重及び常時作用する荷重に対して，構造骨組の構造健全性が維持されるとともに，屋根，壁及び開口部（扉類）の破損により当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。また，設計飛来物等の衝突時においても，貫通及び裏面剥離の発生により，当該建屋内の外部事象防護対象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（5 階及び 6 階部分）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を損なう可能性があるが，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。

また，ブローアウトパネル開放により発生する外壁開口部に，防護ネットの設置等の竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の侵入を防止する設計とする。

k．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ことから，気圧差による荷重及び自重等の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。

(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，安全機能を損なう可能性がある場合には施設の補強，防護ネットの設置等の竜巻防護対策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。

a．非常用換気空調設備（中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む），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及び原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト）

非常用換気空調設備が，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。さらに，建屋開口部や開口部建具を設計飛来物が貫通し，非常用換気空調系隔離弁に衝突し安全機能を損なうことを考慮して，防護ネットの設置や壁面の補強等の竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，気圧差による荷重及び非常用換気空調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。

(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，安全機能を損なう可能性がある場合には施設の補強等の竜巻防護対策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。

a．原子炉建屋付属棟４階　非常用換気空調設備（中央制御室換気系ファン（空気調和器含む）及び中央制御室換気系フィルタユニット）

原子炉建屋付属棟４階　非常用換気空調設備は，設計飛来物の衝突により，建屋壁面開口部建具に貫通が発生することを考慮し，壁面の補強等の竜巻防護対策を行うことにより，非常用換気空調設備への設計飛来物の衝突を防止し，非常用換気空調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。

ｂ．非常用電源盤（電気室）

非常用電源盤（電気室）は，設計飛来物の衝突により，原子炉建屋付属棟１階電気室扉に貫通が発生することを考慮し，電気室扉の取替等の竜巻防護対策を行うことにより，非常用電源盤（電気室）への設計飛来物の衝突を防止し，非常用電源盤（電気室）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。

ｃ．原子炉建屋原子炉棟６階　設置設備（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）

原子炉建屋原子炉棟６階　設置設備は，設計竜巻による気圧低下により，ブローアウトパネルが開放されることを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，当該設備への設計飛来物の衝突を防止する。

さらに，当該設備は構造的に風圧力による影響を受けないことから，当該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。

ｄ．原子炉建屋原子炉棟６階　燃料取扱設備（燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーン）

原子炉建屋原子炉棟６階　燃料取扱設備は，設計竜巻による気圧低下により，ブローアウトパネルが開放されることを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，当該設備への設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対

して，当該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。

また，原子炉建屋原子炉棟６階　燃料取扱設備は，竜巻の襲来が予想される場合には，燃料取扱作業を中止し，待機位置への退避措置を行う運用により，ブローアウトパネル開放状態においても，当該設備の安全機能を損なわない設計とする。

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。

使用済燃料乾式貯蔵建屋上部の開口部に対し，設計飛来物等の衝突により，貫通が発生することを考慮し，設計飛来物等の衝撃荷重及び自重等の常時作用する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。

ｆ．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天井クレーンは，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。

使用済燃料乾式貯蔵建屋上部の開口部に対し，設計飛来物等の衝突により，貫通が発生することを考慮し，竜巻の襲来が予想される場合には，燃料取扱作業を中止し，待機位置への退避措置を行う運用により，使用済燃料乾式貯蔵建屋上部の開口部に貫通が発生した状態においても，使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンの安全機能を損なわない設計とする。

(4)　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設

設計荷重に対して，当該施設の構造健全性を確保すること，設計上の要

求を維持すること又は安全上支障のない期間での取替え，補修が可能なことにより，外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

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撃荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して，倒壊により外部事象防護対象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撃荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して，壁面の補強等を行うことで，倒壊により外部事象防護対象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撃荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して，倒壊により，外部事象防護対象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，外部事象防護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，転倒により外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

e．燃料取扱設備（燃料交換機，原子炉建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン）

燃料取扱設備のうち燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーンは，竜巻襲来が予想される場合は，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に影響を及ぼさない待機位置に退避する運用を行う。また，竜巻襲来による気圧低下によって，原子炉建屋原子炉棟 6 階の外壁のブ

ローアウトパネルが開放された状態に対し，防護ネットの設置等の竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して，転落によって，外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

燃料取扱設備のうち使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは，竜巻襲来が予想される場合は，使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼさない待機位置に退避する運用を行うことにより，転落により外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

f．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含む。）排気消音器（非常用ディーゼル発電機排気消音器及び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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）排気消音器は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，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含む。）排気消音器が閉塞することがなく，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含む。）の排気機能が維持される設計とする。さらに，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含む。）排気消音器が風圧力による荷重，気圧差による荷重及び自重等の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。

以上より，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含む。）排気消音器が，外部事象防護対象施設である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含む。）に機能的影響を及ぼさず，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含む。）が安全機能を損なわない設計とする。

g．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含む。）付属排気配管及びベント配管（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タンクベント管，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タンクベント管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管及び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）

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含む。）付属排気配管及びベント配管は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，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含む。）付属排気配管及びベント配管が閉塞することがなく，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含む。）の排気機能等が維持される設計とする。さらに，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含む。）付属排気配管及びベント配管が風圧力による荷重，気圧差による荷重及び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含む。）付属排気配管及びベント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。

以上より，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含む。）付属排気配管及びベント配管が，外部事象防護対象施設である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含む。）に機能的影響を及ぼさず，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含む。）が安全機能を損なわない設計とする。

ｈ．残留熱除去系海水系配管（放出側）

残留熱除去系海水系配管（放出側）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，残留熱除去系海水系配管（放出側）が閉塞することがなく，残留熱除去系海水系ポンプの機能等が維持される設計とする。さらに，残留熱除去系海水系配管（放出側）が風圧力による荷重，気圧差による荷重及び残留熱除去系海水系配管（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。

以上より，残留熱除去系海水系配管（放出側）が，外部事象防護対象施設である残留熱除去系海水系ポンプに機能的影響を及ぼさず，残留熱除去系海水系ポンプが安全機能を損なわない設計とする。

ｉ．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含む。）海水配管（放出側）（非常用ディーゼル発電機海水配管（放出側）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水配管（放出側））

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含む。）海水配管（放出側）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，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含む。）海水配管（放出側）が閉塞することがなく，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含む。）海水ポンプの機能等が維持される設計とする。さらに，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含む。）海水配管（放出側）が風圧力による荷重，気圧差による荷重及び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含む。）海水配管（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。

以上より，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含む。）海水配管（放出側）が，外部事象防護対象施設である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含む。）海水ポンプに機能的影響を及ぼさず，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含む。）海水ポンプが安全機能を損なわない設計とする。

3.5　竜巻随伴事象に対する評価

竜巻随伴事象として，過去の竜巻被害事例及び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，外部事象防護対象施設の安全機能を損なわないことを確認した。【添付資料 11】

(1)　火災

竜巻随伴事象として，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，飛来物が侵入する場合でも，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おらず，また，外部事象防護対象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竜巻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ことから。設計竜巻により建屋内に火災が発生することはなく，建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

建屋外については，設計竜巻による発電所敷地内の屋外にある危険物タンクの火災があるが，外部事象防護対象施設は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に包含されることから，外部火災

評価と同様であり，外部事象防護対象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外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

(2)　溢水

竜巻随伴事象として，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。

外部事象防護対象施設を内包する建屋内については，飛来物が侵入する場合でも，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おらず，また，外部事象防護対象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竜巻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ことから，設計竜巻により建屋内に溢水が発生することはなく，建屋内の外部事象防護対象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，設計竜巻による飛来物の衝突による屋外タンクの破損に伴う溢水があるが，溢水評価における屋外タンクの評価に包絡されるため，外部事象防護対象施設の安全機能を損なわ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外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

(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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）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，気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃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，外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

なお，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含む。）の付属設備について，安全機能を損なわ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含む。）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-Bome 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/know/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.　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設の抽出について

別紙 1-1　緊急時対策所の竜巻防護方針について

2.　耐震Ｓクラス施設について

別紙 2-1　外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備，及び津波監視設備の防護方針について

3.　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の抽出について

4.　竜巻検討地域の設定について

5.　ハザード曲線による竜巻最大風速（V_{B2}）の計算について

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　評価対象施設等の設計荷重について

別紙 8-2　竜巻防護対策のうち飛来物発生防止対策の概要について

別紙 8-3　飛来物化する可能性がある物品の管理について

別紙 8-4　竜巻準備体制の発令の判断基準について

別紙 8-5　原子炉建屋ブローアウトパネルの開放後の状態における原子炉建屋への竜巻の影響について

別紙 8-6　南方の隣接事業所からの飛来物の影響について

別紙 8-7　北方の隣接事業所からの飛来物の影響について

別紙 8-8　西方の隣接事業所からの飛来物の影響について

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損傷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

別紙 9-3　フジタモデル採用時に「竜巻影響評価ガイド」の鋼製材を設計飛来物とすることの妥当性について

別紙 9-4　車両の飛散距離について

別紙 9-5　東海発電所　廃止措置作業の概要及び解体・撤去物品の管理について

10.　竜巻時に発生するひょうの影響について

11.　竜巻随伴事象の抽出について

外部事象防護対象施設のうち評価対象施設の抽出について

1. 抽出方針

発電所における外部事象防護対象施設から，以下の手順により，評価対象施設を抽出した。

Step1:安全重要度分類のクラス１,クラス２及びクラス３に属する構築物，系統及び機器のうち外部事象防護対象施設（注記）を抽出する。

注記：外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器（発電用原子炉を停止するため又は停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物，系統及び機器）として，安全重要度分類のクラス１，クラス２及び安全評価上その機能に期待するクラス３に属する構築物，系統及び機器並びにそれを内包する区画

また，上記以外の安全施設については，竜巻及びその随伴事象に対して機能維持すること，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若しくは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場合，安全機能を損なわないことから評価完了とする。

Step2：外部事象防護対象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等衝突の影響を受ける屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）を評価対象施設とする。

Step3: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施設とする。

Step4:外殻となる施設等による防護機能が期待できない区画の内部に配置されている外部事象防護対象施設は，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ため，評価対象施設とする。

なお，外殻による防護機能に期待できるかは，外殻となる施設等の竜巻荷重に対する構造健全性の確認結果により，設計飛来物等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。

2. 抽出結果

2.1 外部事象防護対象施設

第 2.1－1 図に，外部事象防護対象施設の抽出フローを示す。

(1) 外部事象防護対象施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を除く）

「1. 抽出方針」に従い，外部事象防護対象施設を抽出した。

(2) 外部事象防護対象施設を内包する区画

外部事象防護対象施設を内包する区画を以下のとおり抽出した。

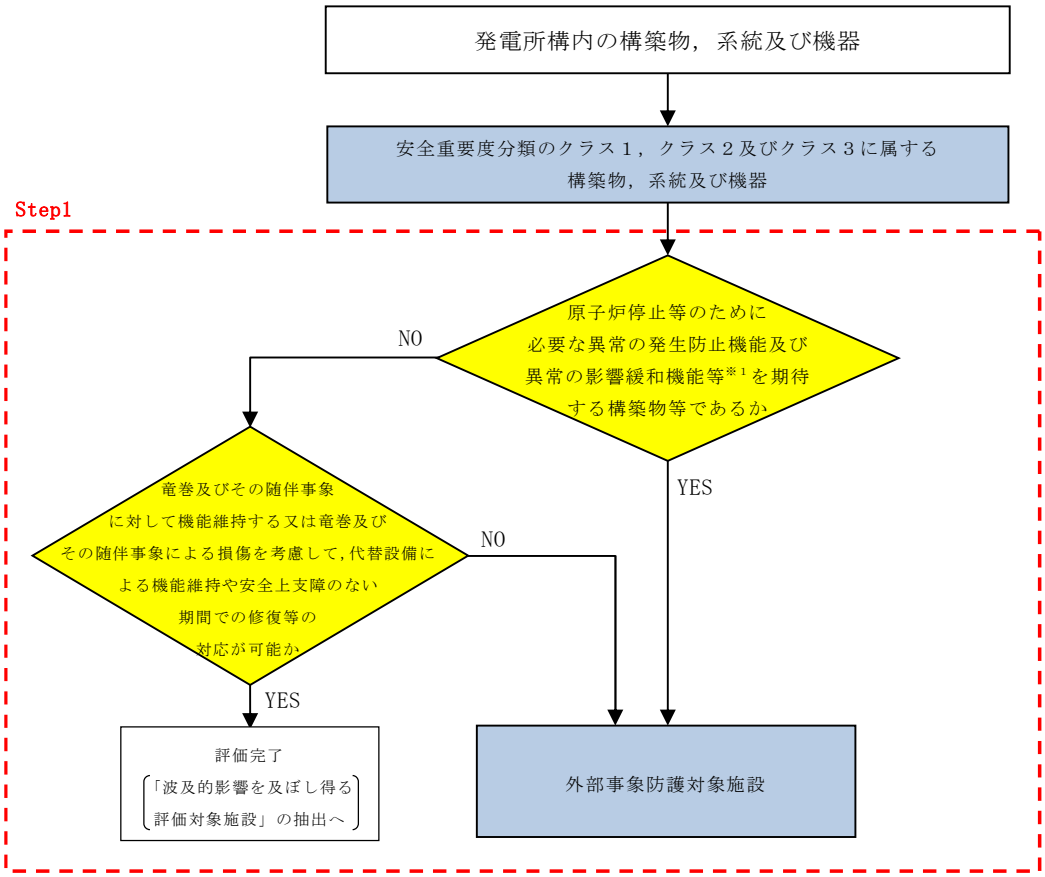
a．原子炉建屋（原子炉圧力容器，原子炉再循環ポンプ等を内包）

b．タービン建屋（気体廃棄物処理系隔離弁等を内包）

c．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）

d．軽油貯蔵タンクタンク室（軽油貯蔵タンクを内包）

なお，抽出結果は，評価対象施設の抽出結果とともに整理し，次項の第 2.2－1 表に示す。

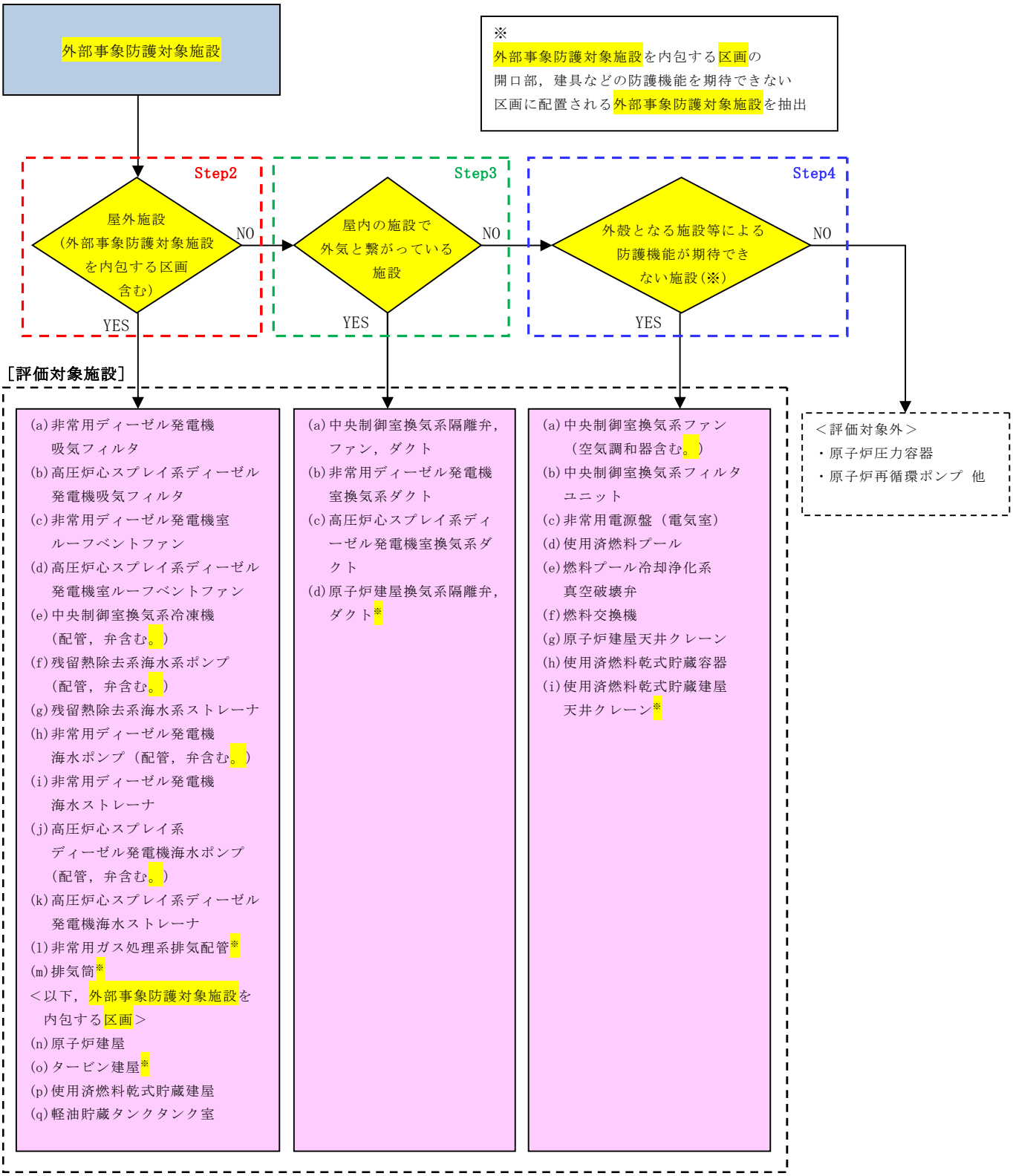


※１：発電用原子炉を停止するため，また，停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物，系統及び機器として安全重要度分類のクラス１，クラス２及び安全評価上その機能に期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物，系統及び機器に加え，それらを内包する建屋

第 2.1－1 図　外部事象防護対象施設の抽出フロー

2.2　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設

第 2.2－1 図に，外部事象防護対象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。



※：「外部事象防護対象施設」に該当せず，評価対象施設とならないが，クラス 1，2 施設若しくはそれらを内包する区画であることを鑑み，竜巻に対する健全性を評価する。
なお，健全性を確保できない場合，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か確認する。

第 2.2－1 図　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設の抽出フロー

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（1／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		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。）	・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	—※2	×	×	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	・制御棒カップリング ・制御棒駆動機構カップリング	—※2	×	×	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。）	・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）	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（2／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる：×）		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））	・制御棒 ・制御棒案内管 ・制御棒駆動機構	—※2	×	×	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）	・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）	—※2	×	×	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）	・逃がし安全弁（安全弁開機能）	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（3／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる：×）		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）	—※2	×	×	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）	—※2	×	×	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，スプレイヘッダ）	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	
				・逃がし安全弁（手動逃がし機能）	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	
				・自動減圧系（手動逃がし機能）	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（4／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる：×）		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（低圧炉心スプレイ系，低圧注水系，高圧炉心スプレイ系，自動減圧系）	・低圧炉心スプレイ系（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，スプレイヘッダ）	—※2	×	×	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），注水ヘッダ）	—※2	×	×	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，スプレイヘッダ）	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	
				・自動減圧系（逃がし安全弁）	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（5／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる：×）		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）	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	
				・原子炉建屋原子炉棟	—※2	○	×	－	－	・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	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	
				・主蒸気流量制限器	—※2	×	×	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（ドライウェル及びサプレッション・プール気相部）までの配管，弁，スプレイヘッダ（ドライウェル及びサプレッション・プール）	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（6／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる：×）		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）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，風荷重に対しは影響なし，飛来物により損傷した場合は補修を実施）	－	－	－	－	－	・非常用ガス処理系排気配管 ・排気筒 ・原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト
				・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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・遮へい設備（原子炉遮へい壁，一次遮へい壁）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・遮蔽設備（二次遮へい壁）	－※2	○	×	－	－	・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	－※2	×	×	原子炉建屋	×	－	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（7／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる：×）		評価対象施設名称	
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	・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	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	
		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）	—※2	×	×	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ベントファン ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（8／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
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	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）	—※2	○	×	－	－	・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	—※2	○	×	－	－	・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）	—※2	×	×	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，ファン及びダクト	
						×	×	原子炉建屋	○	・中央制御室換気系ファン ・中央制御室換気系フィルタユニット	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（9／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
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	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））	—※2	×	×	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 ・取水路（屋外トレンチ含む）	取水路は，竜巻の影響により閉塞することは考え難いため，評価対象施設としない。
				・ディーゼル発電機海水系（ポンプ，配管，弁，ストレーナ）	—※2	×	×	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） ・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）	取水路は，竜巻の影響により閉塞することは考え難いため，評価対象施設としない。

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（10／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる：×）		評価対象施設名称	
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	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）	・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））	—※2	×	×	原子炉建屋	×	－	
									○	・非常用電源盤（電気室）	
				・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））	—※2	×	×	原子炉建屋	×	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（11／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる：×）		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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・主蒸気系	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
		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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）	－※2	×	×	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）	－※2	×	×	原子炉建屋	×	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（12／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる：×）		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	—※2	×	×	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	○ （屋内設備のため影響なし）	—	—	—	—	—	
				・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	○ （屋内設備のため影響なし）	—	—	—	—	—	
	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）	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（13／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる：×）		評価対象施設名称	
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）	—※2	×	×	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管の支持機能以外）	・放射性気体廃棄物処理系（オフガス）隔離弁	○（屋内設備のため影響なし）	—	—	—	—	—	
				・排気筒	○（風荷重に対しては影響なし，飛来物により損傷した場合は補修を実施）	—	—	—	—	—	
				・燃料プール冷却浄化系の燃料プール入口逆止弁	○（屋内設備のため影響なし）	—	—	—	—	—	
			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	—（評価対象施設として抽出済）	—	—	—	—	—	
				・原子炉建屋ガス処理系	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，風荷重に対しは影響なし，飛来物により損傷した場合は補修を実施）	—	—	—	—	—	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（14／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		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	・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	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	
				・原子炉水位（広帯域，燃料域） ・原子炉圧力	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	
				・原子炉格納容器圧力 ・サプレッション・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）	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（15／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる：×）		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 ［サプレッション・プール冷却］ ・原子炉水位（広帯域，燃料域） ・サプレッション・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	—※2	×	×	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	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（16／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，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	・計装配管，弁 ・試料採取管，弁 ・ドレン配管，弁 ・ベント配管，弁	○ （屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
		2）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	○ （屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
		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	○ （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）	○ （補修を実施）	－	－	－	－	－	
				・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））	○ （補修を実施）	－	－	－	－	－	
				・給水加熱器保管庫	○ （補修を実施）	－	－	－	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（17／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる　：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－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）	・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）	○（補修を実施）	－	－	－	－	－	
			新燃料貯蔵庫	・新燃料貯蔵庫（新燃料貯蔵ラック）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
		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）	○（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）	○（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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（18／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる　：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，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	・循環水系（循環水ポンプ，配管／弁）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，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））	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・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））	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・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））	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・送電線	○（代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（19／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる　：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，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	・変圧器（所内変圧器，起動変圧器，予備変圧器，電路）	○（代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	
				・開閉所（母線，遮断器，断路器，電路）	○（代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	
		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	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
		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）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
				・所内蒸気系及び戻り系（ポンプ，配管／弁）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（20／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる　：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－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	・計装用圧縮空気設備（空気圧縮機，中間冷却器，配管／弁）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，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）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，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）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
				・タービン補機冷却海水系（補機冷却海水ポンプ，配管／弁，ストレーナ）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（21／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－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	・復水補給水系（復水移送ポンプ，配管／弁）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
		7）その他	使用済燃料乾式貯蔵建屋	・使用済燃料乾式貯蔵建屋	○（補修を実施）	－	－	－	－	－	
	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	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
		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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・復水浄化系（復水脱塩装置，配管／弁）	○（屋内設備のため影響なし）						

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（22／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・タービンバイパス弁	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
		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	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
		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）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，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）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（23／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
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（別紙1－1参照）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
				・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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・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）	○（代替設備（同一機能を有する設備が複数設置）し，通信連絡機能の維持可能）	－	－	－	－	－	
				・放射線監視設備	○（代替設備（可搬型モニタリングポスト）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（24／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	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※1	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設等（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
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	○（代替設備（可搬型気象観測設備）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	
				・消火系（水消火設備，泡消火設備，二酸化炭素消火設備，等）	○（代替設備（下記）により機能維持可能）［消火設備］消防自動車等［検出装置］運転員，作業員等の監視	－	－	－	－	－	
				・消火系（中央制御室排煙装置）	○（必要に応じ，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
				・安全避難通路	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・非常用照明	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

緊急時対策所の竜巻防護方針について

1.　竜巻に対する防護方針

緊急時対策所は，設計基準対象施設かつ重大事故等対処施設として位置付けられており，それぞれに対し以下の防護方針に基づき，必要とされる機能を維持する設計としている。

設計基準対象施設としては，安全重要度分類のクラス３施設（ＭＳ－３）に対する防護方針に従い，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等の対応が可能な設計とすることとしている。

また，重大事故等対処施設としては，緊急時対策所に配置される種々の重大事故等対処設備に対し，同一機能の設備には多様性を考慮する等の配慮により，共通要因である設計竜巻により同時に機能を喪失しないようにすることで，必要な機能を維持する方針としている。

2.　防護方針への適合性

緊急時対策所においては，設計基準対象施設及び重大事故等対処施設として，設置許可基準規則第 34 条及び第 61 条に示される要求に応じた各種の設備が設置される。これら設備の配置等の特徴を踏まえ，竜巻に対する機能維持のための方針を整理した結果を別表 1－1 に示す。

大部分の設備は緊急時対策所建屋に内包されるが，建屋は重大事故等対処施設として要求される遮蔽性，耐震性を考慮した堅牢な構造であり，内部の設備は設計竜巻に対し防護される。また，屋外の一部設備が仮に竜巻により損傷した場合でも，同一機能を有する他の設備が多様性をもって配備されている。こ

れより，上述の設計基準対象施設としての防護方針及び重大事故等対処施設としての防護方針に適合したものとなっている。

別表 1－1　緊急時対策所の設備と竜巻に対する設計方針

系統機能	設備		配置場所	竜巻に対する機能維持
	設計基準対象施設	重大事故等対処設備		
必要な情報の把握	・緊急時対策支援システム伝送装置 ・SPDSデータ表示装置	同左	屋内 一部 屋外	【屋内設備】 緊急時対策所建屋（もしくは原子炉建屋）による外殻防護 【屋外設備】 仮に一部の設備が損傷した場合でも，多様性を有する他の回線で代替
	・データ伝送装置	同左	屋内 屋外	
通信連絡	・統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備（テレビ会議システム，IP電話，IP－FAX） ・携行型有線通話装置 ・衛星電話設備（固定型） ・衛星電話設備（携帯型） ・無線連絡設備（携帯型）	同左	屋内 一部 屋外	
	・電力保安通信用電話設備 （固定電話機，PHS端末，FAX） ・送受話器（ページング） ・無線連絡設備（固定型） ・専用電話設備（ホットライン）（自治体向） ・テレビ会議システム（社内） ・加入電話設備（加入電話，加入FAX）	（左記設備は「自主対策設備」の位置付け）	屋内 一部 屋外	
電源の確保	・常用所内電気設備	—	屋内	【屋内設備】 緊急時対策所建屋（もしくは原子炉建屋）による外殻防護 【屋外設備】 仮に一部の設備が損傷した場合でも，多様性を有する他の設備で代替
	—	・緊急時対策所用発電機 ・緊急時対策所用発電機給油ポンプ ・緊急時対策所用M／C ・緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク	屋内	
居住性の確保	—	・緊急時対策所遮蔽	屋内 屋外	【屋内の遮蔽壁】 緊急時対策所建屋外壁により防護 【屋外の遮蔽壁】 竜巻に対し構造健全性を確保
	・酸素濃度計 ・二酸化炭素濃度計	同左	屋内	緊急時対策所建屋による外殻防護
	—	・緊急時対策所非常用送風機 ・緊急時対策所非常用フィルタ装置 ・緊急時対策所加圧設備 ・緊急時対策所差圧計 ・可搬型モニタリング・ポスト ・緊急時対策所エリアモニタ	屋内	緊急時対策所建屋による外殻防護

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わない設計であることを確認する施設（竜巻影響評価ガイドにおいては竜巻防護施設と定義）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，安全重要度分類のクラス１，クラス２及び安全評価上その機能に期待するクラス３に属する施設を外部事象防護対象施設として選定しているため，外部事象防護対象施設に該当しない耐震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。

・竜巻及びその随伴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(EL.+3.0m)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（約 9.6×10^{-3}／年）と設計竜巻（V_D=100m／s）の発生頻度（約 2.1×10^{-6}／年）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，竜巻及びその随伴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　外部事象防護対象施設以外の耐震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１or２
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	○

第１表　外部事象防護対象施設以外の耐震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１or２
S	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	○
	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	・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プレッション・プール	○
		補助設備	・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	・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	・津波監視設備	該当しない
		補助設備	・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。）	○

外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備，及び津波監視設備の防護方針について

1．概要

外部事象に対しての，津波防護施設，浸水防止設備，及び津波監視設備（以下「津波防護施設等」という。）の防護方針を以下に示す。

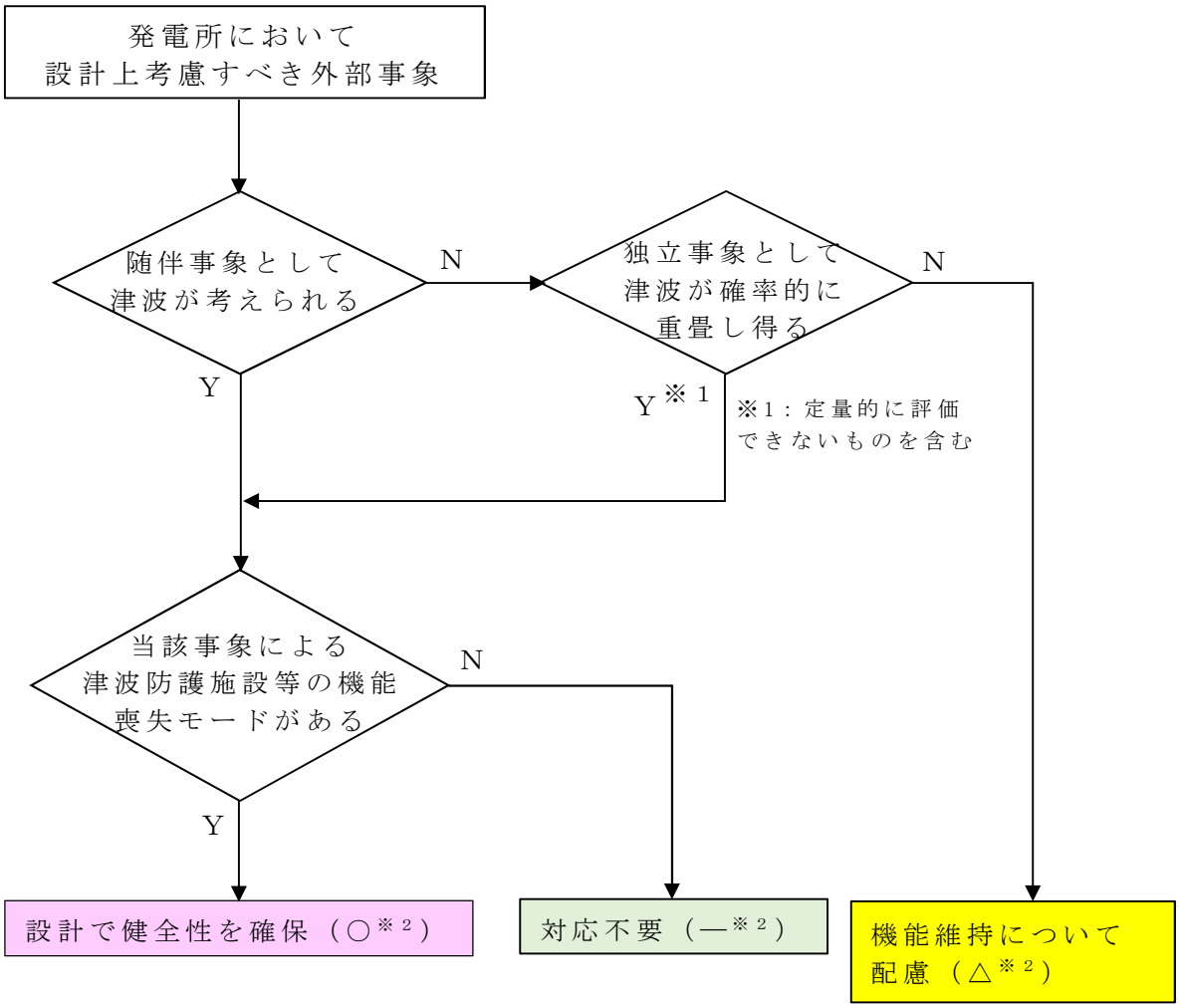
2．防護に関する考え方

以下の考え方に基づき，発電所において設計上考慮すべき外部事象に対する，津波防護施設等の機能維持のための対応の要否について整理した。（フローを別図 1－1 に示す）

・設計上考慮すべき事象が，津波もしくは津波の随伴，重畳が否定できない事象に該当するかを確認する。定量的な重畳確率が求められない事象については，保守的にその影響を考慮する。

・津波の随伴，重畳が否定できない場合は，当該事象による津波防護施設等の機能喪失モードの有無を確認する。機能喪失モードが認められる場合は，設計により健全性を確保する。

・津波の随伴，重畳が有意でないと評価される事象についても，発電所の津波防護施設等については，基準津波の高さや防護範囲の広さ等その重要性に鑑み，自主的に機能維持のための配慮を行う。



※2：「○」，「△」，「—」は，後掲の別表 1-1 における
整理に対応している

別図 1－1　外部事象に対する津波防護施設等の
機能維持対応要否判断フロー

3．検討結果

上記検討フローに基づく各事象に対する防護方針の検討結果を，以下に示す。（詳細は別表 1－1 のとおり）

3.1　津波の随伴，重畳が否定できない事象※に対する防護方針

これらの外部事象に対しては，津波との随伴もしくは重畳の可能性を否定できないため，荷重の重ね合わせのタイミングも考慮した上で設計への反映の要否を検討し，津波防護施設等への影響が考えられる事象に対しては，津波防護施設等の機能を維持する設計とする。

※：地震，洪水，風（台風），凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，生物学的事象，森林火災，高潮）

3.2　津波の随伴，重畳が有意ではない事象（竜巻，火山の影響）に対する防護方針

「竜巻」,「火山の影響」の 2 つの外部事象に津波は随伴せず，また敷地高さを超える津波との重畳の確率も有意ではないため，津波防護施設等を防護対象施設とはしないものの，津波防護施設等の機能が要求される時にはその機能を期待出来るよう，以下の対応を自主的に実施する。

3.2.1　「火山の影響」

設計で想定する降下火砕物の給源の噴火と安全施設の中で最も低所にある残留熱除去系海水系ポンプ等を内包する海水ポンプ室壁頂部の高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約 8.6×10^{-8} (1/y)であり，火山と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，降下火砕物の堆積荷重について長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に適宜除去が可能な設計とする。

3.2.2「竜巻」

設計竜巻と安全施設の中で最も低所にある残留熱除去系海水系ポンプ等の設置高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約3.8×10^{-8}(1/y)であり，竜巻と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，竜巻が襲来した場合には必ず作用する風荷重に対しては，津波防護施設等の健全性を維持する設計とする。また，竜巻が襲来した場合でも，必ずしも津波防護施設に作用するとは限らない飛来物による衝撃荷重に対しては，大規模な損傷に至り難い構造とする。

別表 1－1　外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表

：津波の随伴，重畳が否定できないため，設計で健全性を確保する事象（○）
：津波の随伴，重畳は有意ではないが，機能維持について設計上配慮する事象（△）
：対応が不要な事象（―）

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
地震	○	―	○	**<u>あり</u>** 地震荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	耐震Ｓクラス施設として基準地震動Ssに対し健全性を維持し，津波に対する防護機能を維持する。 また，津波と余震（Sd-D1 地震動）の組合せも考慮する。
洪水（外部洪水）	―	○	○	**<u>なし</u>** 基準津波の遡上高さと洪水ハザードマップの浸水想定を重ねても，発電所敷地へ侵入し得る高さには達しない。 国道 245 号線西側田畑への洪水高さ： ～T.P.10m（審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）」より） 国道 245 号西側田畑への津波遡上分： ～＋4m※（遡上解析結果より） ⇒合計 T.P.～14m＜EL.（=T.P.）15m（国道 245 号線（発電所入口））	―	―
風（台風）	―	○	○	**<u>あり</u>** 風荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	・風荷重，津波荷重を考慮した設計とする。 ・津波監視カメラは，風荷重を考慮した設計とする。

注：防潮堤形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
竜巻	—	—	—	**なし** 以下のとおり，重畳の頻度は無視し得る。 設計竜巻の確率 P1： 約 3.9×10^{-6}/y（補足 1 参照） 敷地高さ超津波（>T.P.3m）の確率 P2： 約 9.6×10^{-3}/y※ ※：飛来物による海水ポンプ室の壁の損傷を想定し，敷地の最低高とした。 ⇒重畳確率：p=約 3.8×10^{-8}/y ・・・目安値 $P_C=1\times10^{-7}$ 未満で，有意ではない。	△	防潮堤の設計においては，自主的に以下の配慮を行い，信頼性を高める。 ・風圧力に対しては，損傷しない様に構造強度を確保する。 ・飛来物については，防潮堤は鉄筋コンクリート等の堅牢な構造であり，大規模な損傷は生じないと考えられる。
極低温（凍結）	—	○	○	**あり** 凍害により止水ジョイントが損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	止水ジョイントは最低気温を考慮した設計とする。
降水（豪雨（降雨））	—	○	○	**なし** 降雨による海水面の上昇の影響は無視し得る。	—	—
積雪（暴風雪）	—	○	○	**あり** 積雪荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	積雪荷重と津波荷重を考慮した設計とする。

注：防潮堤形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
落雷	—	○	○	**<u>あり</u>** 落雷により津波監視設備の機能喪失が想定される	○	津波監視設備については，既設避雷設備の遮へい範囲内への設置又は避雷設備の設置，避雷設備の接地極を構内接地網と連接し接地抵抗の低減を行うとともに，ラインフィルタや絶縁回路を設置することにより，雷サージの侵入を防止する設計とする。
地滑り	—	○	○	**<u>なし</u>** 発電所の敷地及びその近傍には地滑りを起こすような地形は存在しない。	—	—
火山 （火山活動・降灰）	—	—	—	**<u>なし</u>** 以下のとおり，重畳の頻度は無視し得る。 想定する火山の確率：2.2×10^{-5}/y （審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）」より） 敷地高さ超津波（＞T.P.6m）の確率：約3.9×10^{-3}/y※ ※：海水ポンプ室の壁は損傷しないため，ポンプ室水密高さとする。 ⇒重畳確率：p=約8.6×10^{-8}/y ・・・目安値$P_C=1\times10^{-7}$未満で，有意ではない。	△	設計にて長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に適宜除去が可能な設計とする。
生物学的事象	—	○	○	**<u>なし</u>** 生物による影響（閉塞，侵入）による機能喪失モードを有しない。	—	—

注：防潮堤形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要(①か②が“○”)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
森林火災	—	○	○	**<u>あり</u>** 熱影響により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	・森林火災の熱影響による強度低下及び止水ジョイントの機能喪失を起こさない設計とする。 ・防潮堤上の津波監視設備が森林火災の影響で機能を喪失した場合は，速やかに予備品と交換する。 （機能喪失の可能性があるのは，全4台中2台のみ）
高潮	—	○	○	**<u>あり</u>** 高潮に起因する潮位上昇により防潮堤を越波した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	高潮と津波の組合せを考慮した設計とする。

津波防護施設等を考慮した竜巻の年超過確率の評価について

津波防護施設等を竜巻防護対象と仮定した場合の，設計竜巻（最大風速 100m/s）の年超過確率を評価した。

年超過確率の推定には，竜巻影響エリアに津波防護施設等を取り込むことになるが，補図 1―1 に示すとおり，防潮堤を囲む円がその他の竜巻防護施設を包含する形となるため，当該円を竜巻影響エリアと見なした。

この竜巻影響エリアに対する設計竜巻（風速 100m/s）時の年超過確率は，補表 1―1 に示すとおり約 3.9×10^{-6} (1/y)と評価された。

補図 1―1　津波防護施設等を考慮した場合の竜巻影響エリア

補表 1―1　年超過確率の評価結果

<table>
<tr><td>ケース</td><td>①ベース
（現ハザード）</td><td>②防潮堤考慮</td><td rowspan="2">備考</td></tr>
<tr><td>竜巻影響エリア</td><td>直列したゾーン毎の小円に外接する大円</td><td>防潮堤の外接円
（他を包含）</td></tr>
<tr><td>原子炉建屋</td><td rowspan="3">円（D=188m）</td><td rowspan="6">円（D≒800m）</td><td rowspan="6"></td></tr>
<tr><td>タービン建屋</td></tr>
<tr><td>排気筒</td></tr>
<tr><td>海水ポンプ室
エリア</td><td>円（D=44m）</td></tr>
<tr><td>使用済燃料
乾式貯蔵建屋</td><td>円（D=60m）</td></tr>
<tr><td>防潮堤</td><td>―</td></tr>
<tr><td>竜巻検討エリアとなる円の直径
(m)
（第一位 切上）</td><td>300</td><td>800</td><td>ケース①は上記3エリアの直径の和</td></tr>
<tr><td>竜巻影響エリアの面積(m^2)</td><td>約71,000</td><td>約503,000</td><td></td></tr>
<tr><td>設計竜巻
（100m/s）の
年超過確率</td><td>約2.1×10^{-6}</td><td>約3.9×10^{-6}</td><td>変化の主要因は，確率算出式におけるエリア幅寄与分（全体の約50%）の増加による。</td></tr>
</table>

外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象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，外部事象防護対象施設の機能に，次の観点から波及的影響を及ぼし得る評価対象施設を抽出する。

第 1－1 図に抽出フローを示す。

(1) 機械的影響の観点

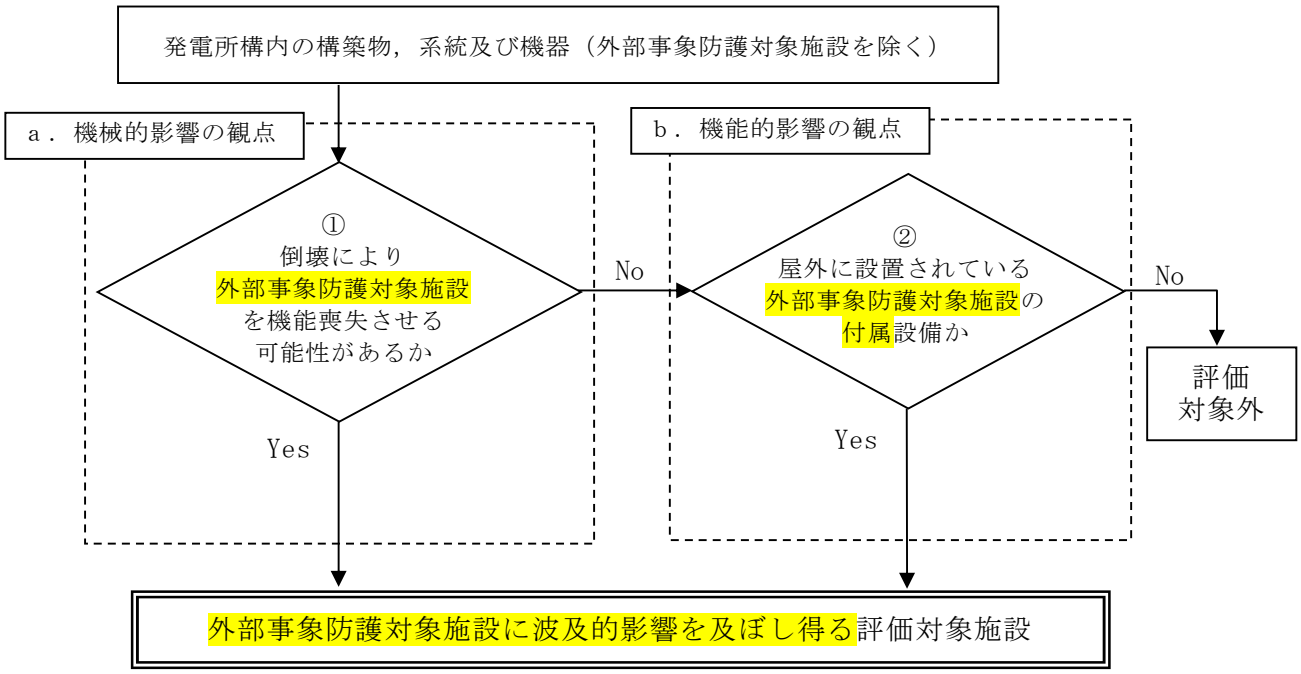
発電所構内の構築物，系統及び機器のうち，竜巻により倒壊して，外部事象防護対象施設を機能喪失させる可能性がある施設，またはその施設の特定の区画を抽出する。

(2) 機能的影響の観点

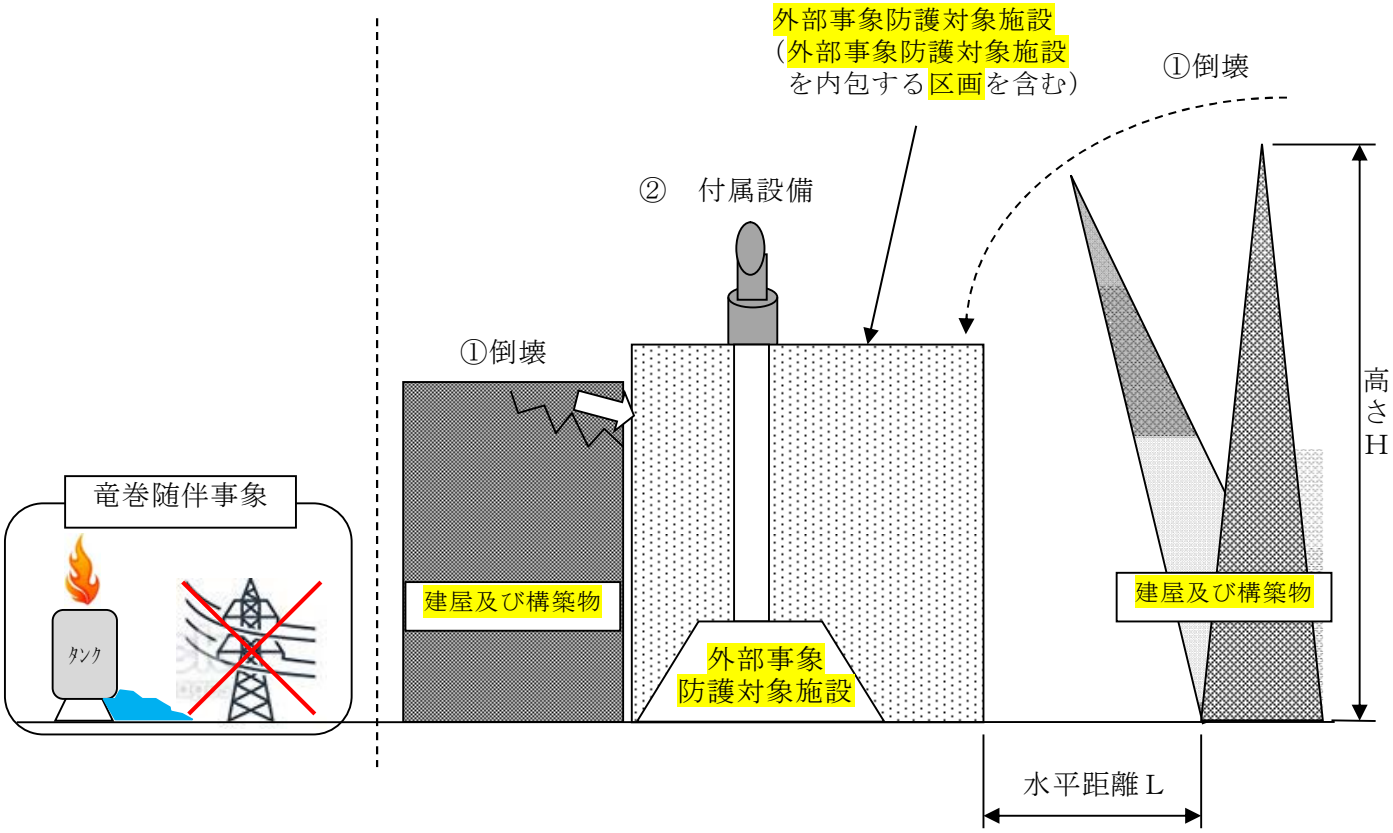
発電所構内の構築物，系統及び機器のうち，竜巻により損傷して，外部事象防護対象施設の機能喪失させる可能性がある屋外に設置されている外部事象防護対象施設の付属設備を抽出する。

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，波及的影響を及ぼす要因として，火災，溢水，外部電源喪失も考えられるが，竜巻随伴事象として「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　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る

評価対象施設のイメージ

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，「倒壊により外部事象防護対象施設を機能喪失させる可能性がある評価対象施設」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，倒壊により外部事象防護対象施設の安全機能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 7 施設を外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る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＜外部事象防護対象施設までの水平距離Ｌ」であることを確認し，外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る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

外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設	近傍の外部事象防護対象施設	高さ H	外部事象防護対象施設までの水平距離 L	波及的影響の有無
サービス建屋	・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	・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	・原子炉建屋 ・タービン建屋	約 140m	約 25m	○※1
燃料交換機 原子炉建屋天井クレーン	・使用済燃料プール ・燃料プール冷却浄化系真空破壊弁	－	直上 (使用時)	○※2
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容器	－	直上 (使用時)	○※2

※１　排気筒は，外部事象防護対象施設として，構造健全性が維持される設計とすることにより，外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼすことはない。

※２　竜巻襲来が予想される場合は，外部事象防護対象施設に影響を及ぼさない待機位置に退避する運用を行うため，外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼすことはない。

第 2.1－1 図　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の配置図

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，外部事象防護対象施設の安全機能を機能喪失させる可能性がある「屋外に設置されている外部事象防護対象施設の付属設備」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タンクベント管	○
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 燃料デイタンクベント管	○
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～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，おおむ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。

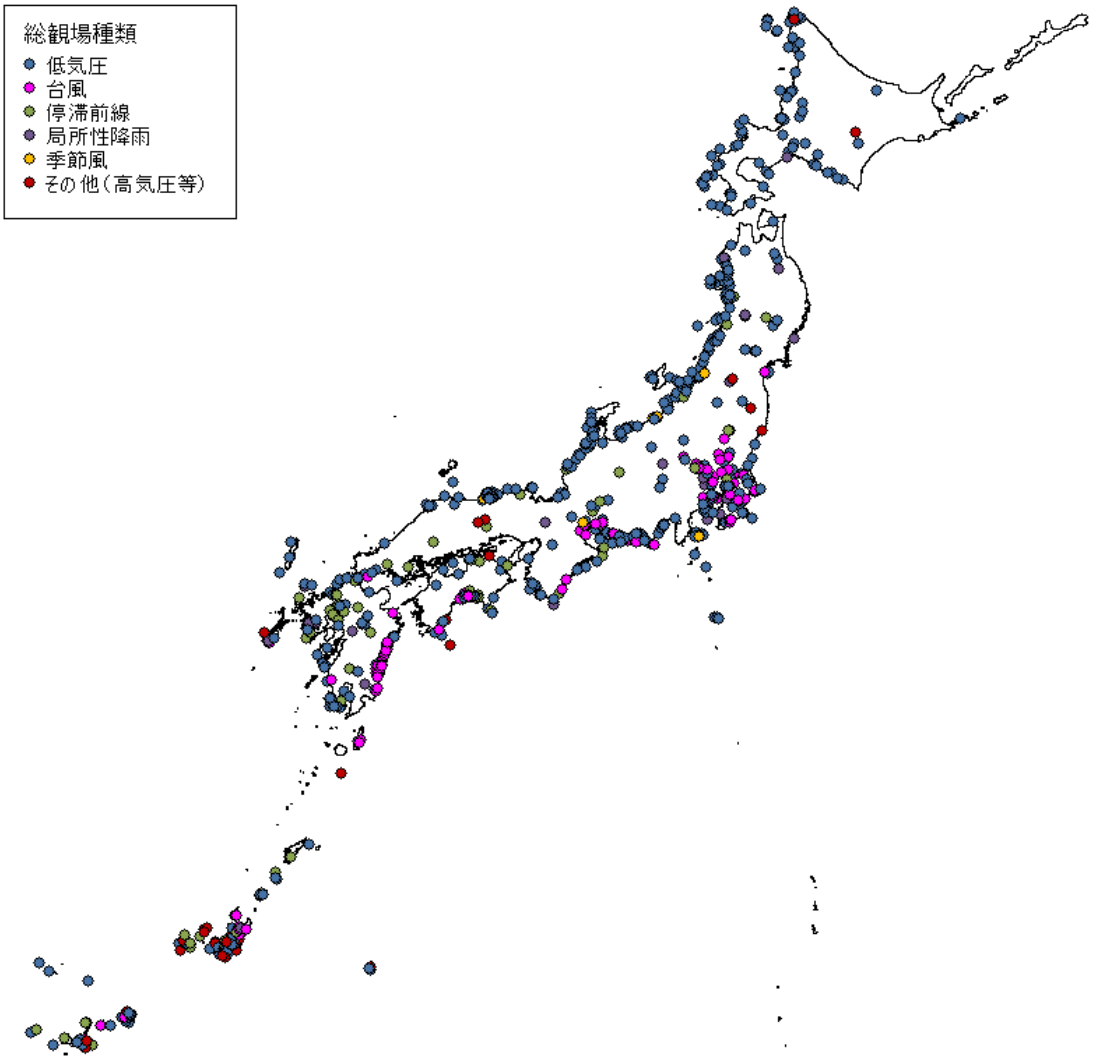
これらの特徴をさらに詳細に分析するために，各都道府県での要因別発生数及び発生要因比率を算定した結果を第 1－8 図に示す。同図では，近隣の地域との連続性を考慮し並べた。

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。

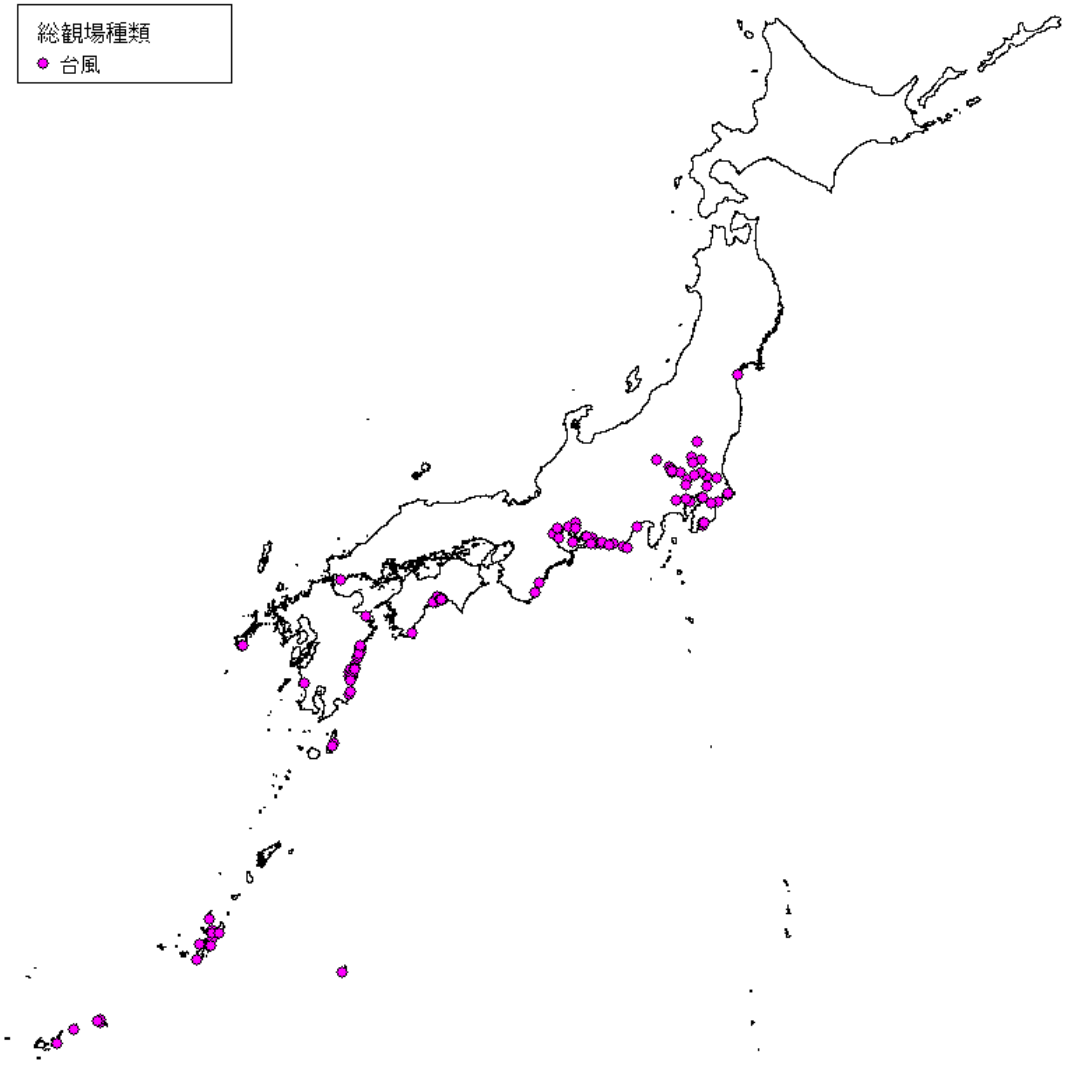
都道府県別発生要因の比率について，宮崎県，埼玉県では台風起因の比率が 60%を超える。また，茨城県，千葉県，栃木県，静岡県，愛知県，三重県で台風起因による竜巻が 30%を超える。一方，日本海側，北海道，内陸の都道府県では，台風起因による竜巻はなく，低気圧起因による竜巻が多くを占める。

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



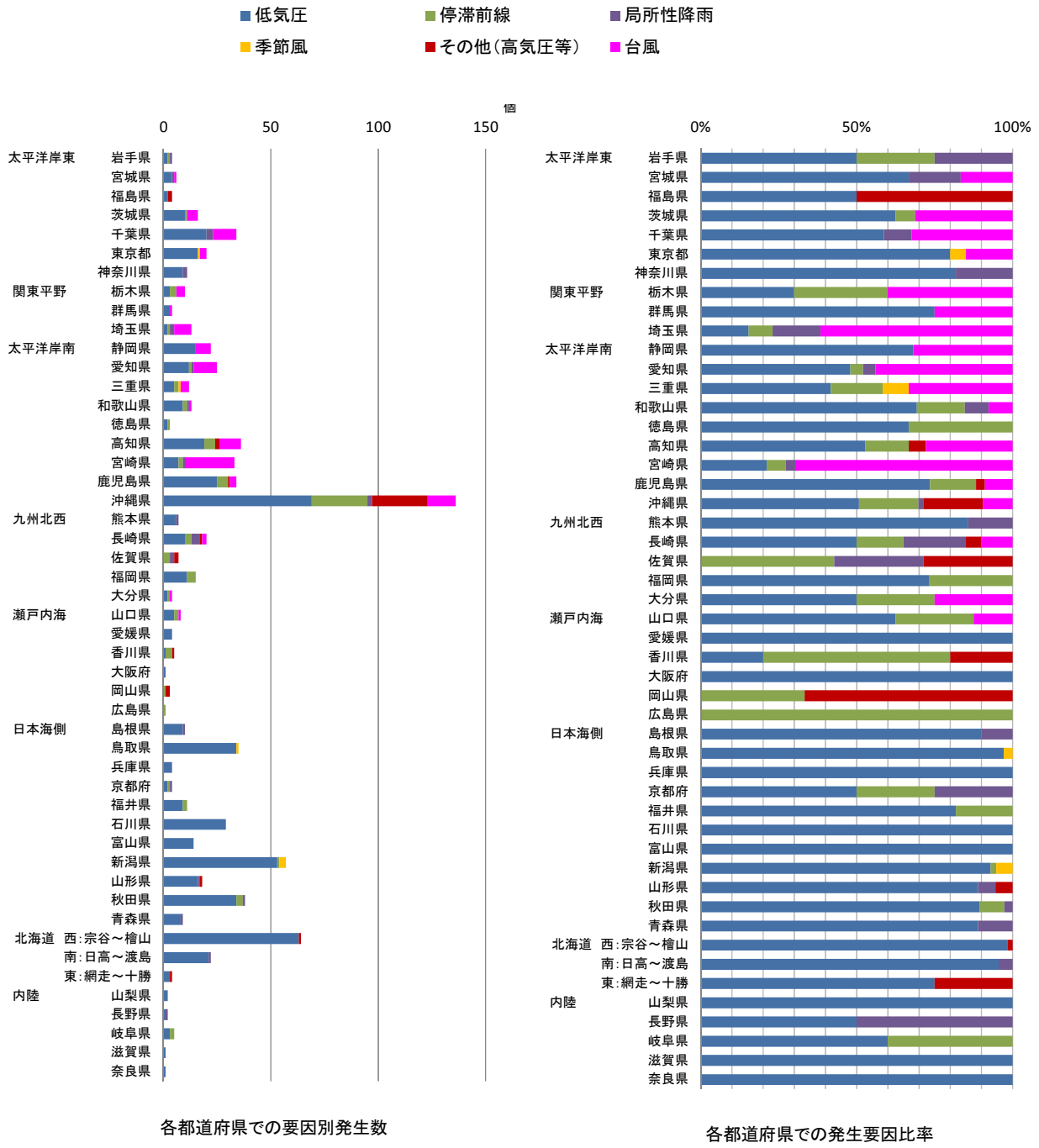
第1－3図　1961年1月～2012年6月に発生した「台風」起因の竜巻発生位置

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$_1$

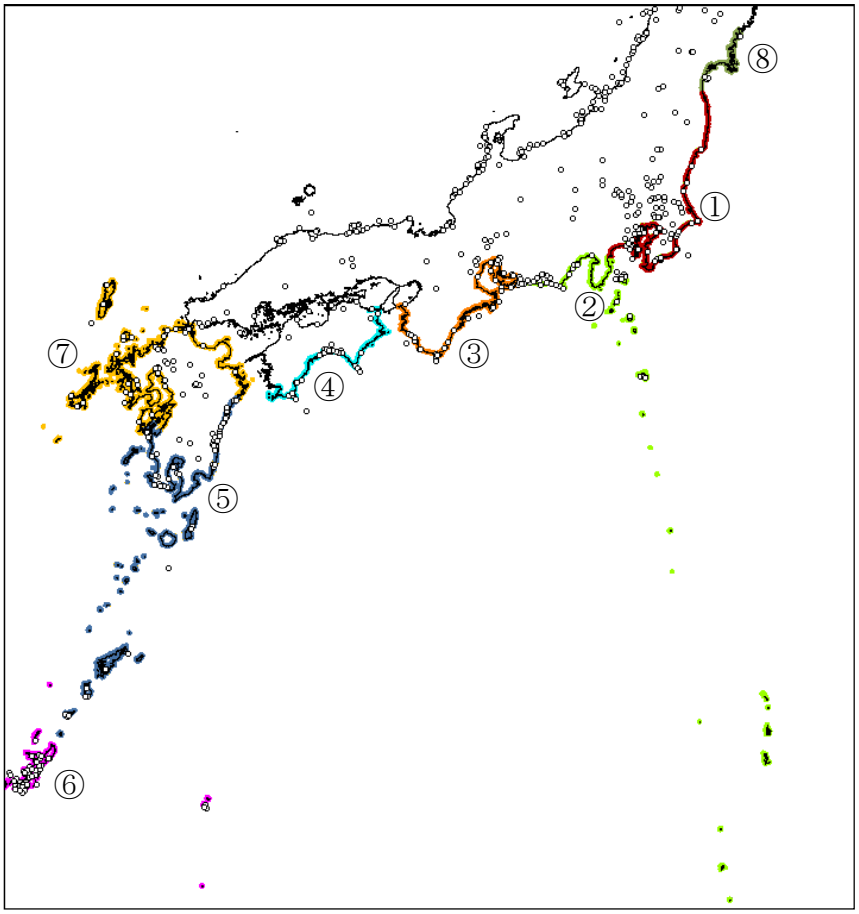
前記の総観場に基づく気象条件から，台風起因の竜巻は，太平洋側の宮城県～沖縄県で多く発生しており，この範囲に発電所が立地している。太平洋側の宮城県～沖縄県の海岸線より海側及び陸側各５㎞について，複数の竜巻検討地域ＴＡ$_1$の候補領域を想定し，各領域内での発生個数を調査し，単位面積当たりの発生数を比較する。

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㎞の地域（約57,000km^2）



第 2.1－1 図　竜巻検討地域ＴＡ$_1$の検討領域

第 2.1－1 表　竜巻検討地域ＴＡ$_1$の候補毎の竜巻の個数と単位面積当たり発生数

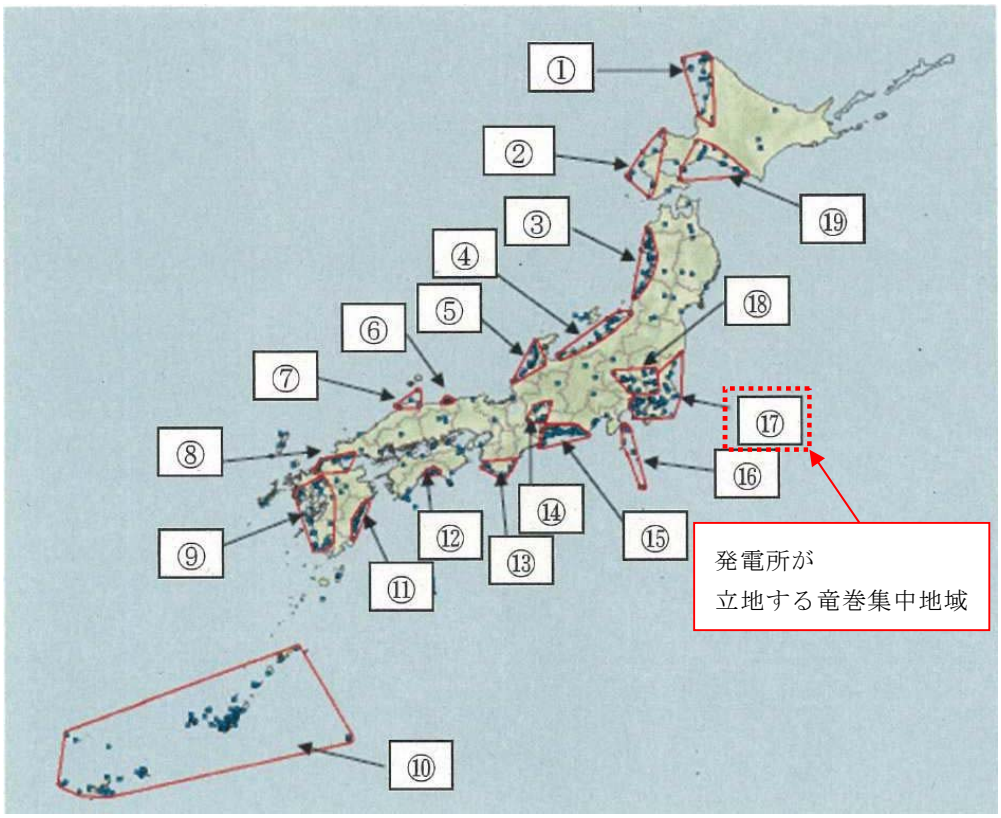
領域			領域面積（km^2）	51.5 年間に領域内で発生した個数	単位面積当たり発生数（個／年／km^2）
ＴＡ$_{1.1}$	①	福島県～神奈川県	7,900	40	0.98E-04
ＴＡ$_{1.2}$	①～②	福島県～静岡県	15,700	68	0.84E-04
ＴＡ$_{1.3}$	①～③	福島県～和歌山県	23,400	104	0.86E-04
ＴＡ$_{1.4}$	①～④	福島県～高知県	28,600	138	0.94E-04
ＴＡ$_{1.5}$	①～⑤	福島県～鹿児島県	46,700	194	0.81E-04
ＴＡ$_{1.6}$	**①～⑥**	**福島県～沖縄県**	**57,000**	**300**	**1.02E-04**
ＴＡ$_{1.7}$	①～⑦	福島県～九州全県	79,700	337	0.82E-04
ＴＡ$_{1.8}$	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ＴＡ$_2$

「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。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ＴＡ$_2$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ＴＡ$_{1.1}$に相当する。

竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_2$：

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 7,900km^2）



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ＴＡ

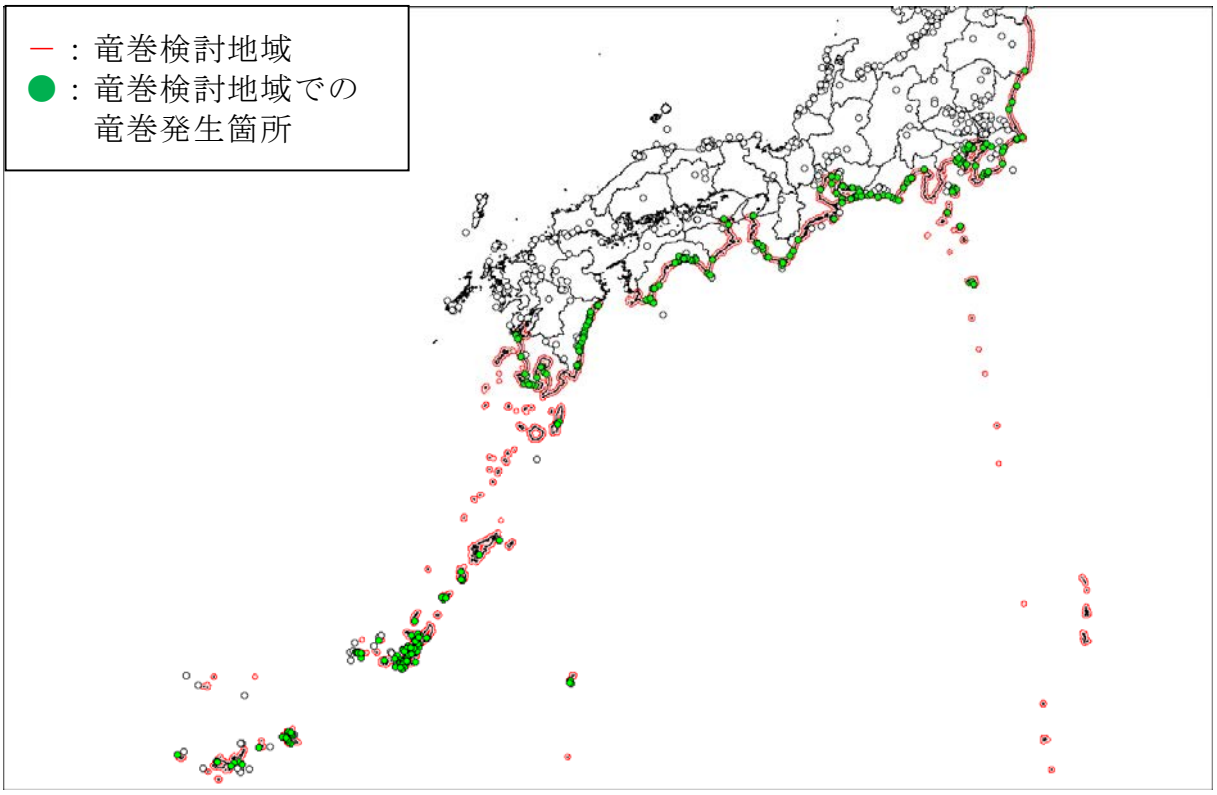
前記の竜巻検討地域ＴＡ$_1$及びＴＡ$_2$について，1961 年 1 月～2012 年 6 月（51.5 年間）の「竜巻等の突風データベース」により発生が確認された竜巻の個数を調査し，単位面積当たりの発生数を算定する。その結果を第　2.3－1 表に示す。

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（ＭａｐＩｎｆｏ）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，ＴＡ$_1$を竜巻検討地域ＴＡとする。第 2.3－1 図に竜巻検討地域ＴＡ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ＴＡ１	57,000	300	1.02×10^{-4}
竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域ＴＡ２	7,900	40	0.98×10^{-4}



第 2.3－1 図　竜巻検討地域ＴＡ

＜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ＴＡ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				藤田スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
		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	東ｼﾅ海低気圧　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	東ｼﾅ海低気圧
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	東シナ海低気圧
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	東シナ海低気圧

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 ﾀﾞｳﾝﾊﾞｰｽﾄ	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	蒲郡市	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	指宿郡頴娃町	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	東ｼﾅ海低気圧　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	東ｼﾅ海低気圧　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 ﾀﾞｳﾝﾊﾞｰｽﾄ	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	東シナ海低気圧　　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	東シナ海低気圧　　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	東ｼﾅ海低気圧　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	東ｼﾅ海低気圧　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	東ｼﾅ海低気圧
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 ﾀﾞｳﾝﾊﾞｰｽﾄ	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	東シナ海低気圧　　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	東シナ海低気圧
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	東シナ海低気圧　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	東ｼﾅ海低気圧　　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	東シナ海低気圧
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	東シナ海低気圧
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

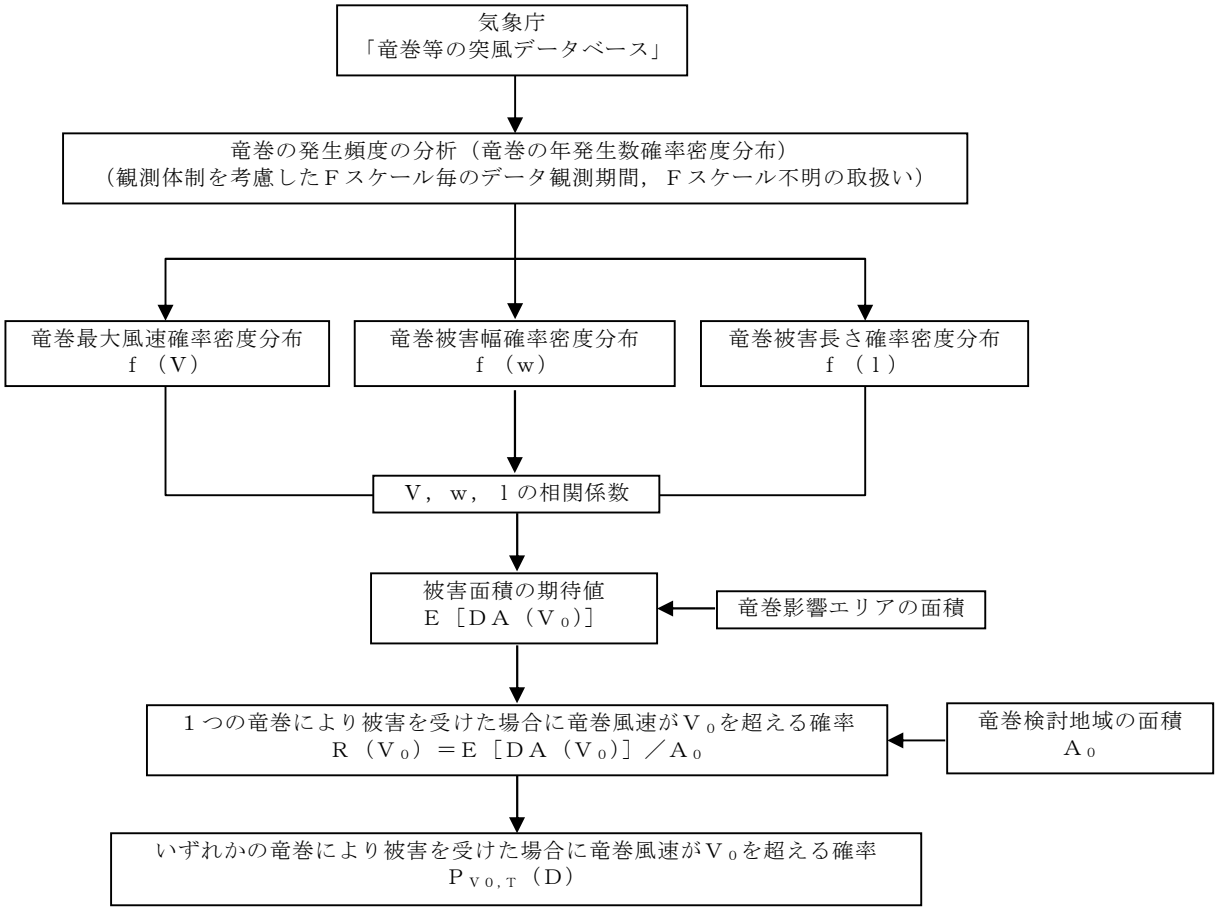
No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
294	竜巻	1994 年 10 月 04 日 17 時 05 分	33 度 31 分 15 秒	133 度 41 分 47 秒	高知県	(海上)	不明	暖気の移流
295	竜巻	1994 年 10 月 04 日 17 時 05 分	33 度 31 分 8 秒	133 度 41 分 30 秒	高知県	(海上)	不明	暖気の移流
296	竜巻	1994 年 10 月 04 日 17 時 05 分	33 度 31 分 17 秒	133 度 42 分 9 秒	高知県	(海上)	不明	暖気の移流
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	東ｼﾅ海低気圧　　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	東ｼﾅ海低気圧　　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

ハザード曲線による竜巻最大風速（V_{B2}）の計算について

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～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スケールごとに，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．Ｆ０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．Ｆ１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．Ｆ２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，Ｆ０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。

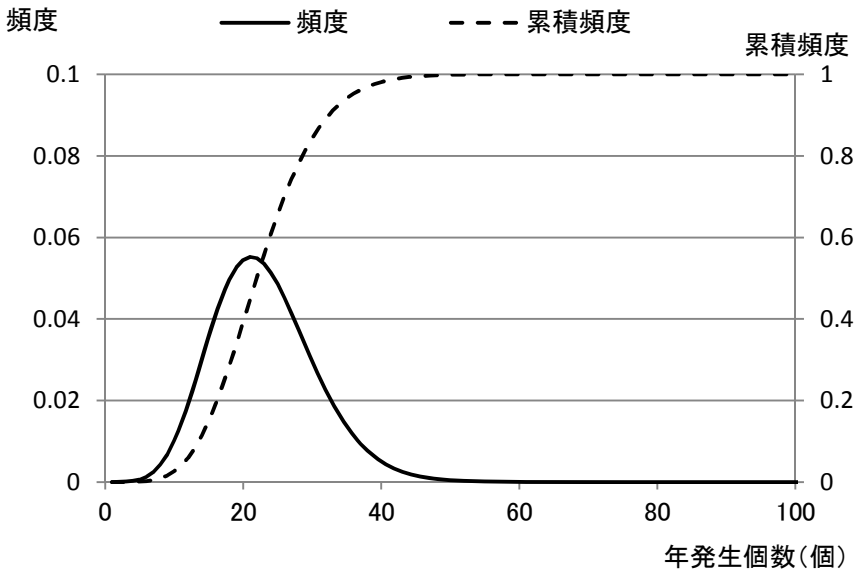
第２－１表　竜巻発生数の分析結果

			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スケールごとに仕分ける。

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，観測結果をおおむ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

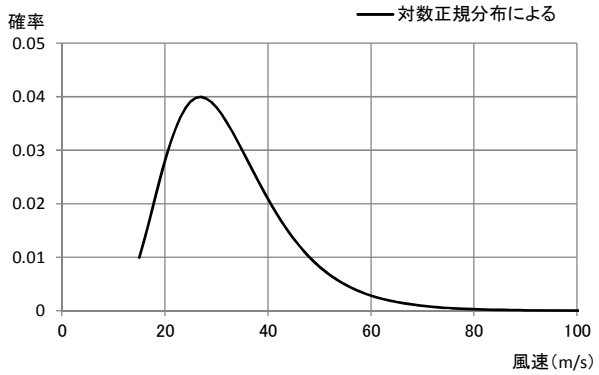
相関係数は，過去に発生した竜巻の最大風速，被害幅及び被害長さの関係を評価することから,繰り返しサンプリングを行った推定 51.5 年間ではなく，観測データを基に，その対数値の相関係数を算出した。観測データのみを用いるのは，Ｆスケール不明やＦ０の竜巻では，被害規模が小さいために，被害幅や被害長さの観測データがＦ２，Ｆ３の竜巻と比べ観測値として示されている場合が少なく，そのようなデータを繰り返しサンプリングにより増やすと，Ｆ２，Ｆ３の竜巻で見られる相関性が反映されない結果が懸念されるためである。

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。

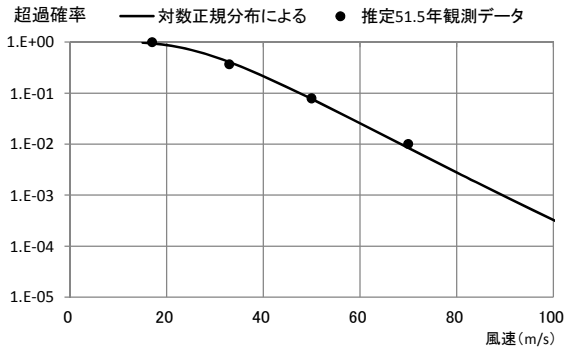
相関係数の算出結果を，第 4－2 表に示す。

第 4－1 表　発生数，被害幅及び被害長さの統計量

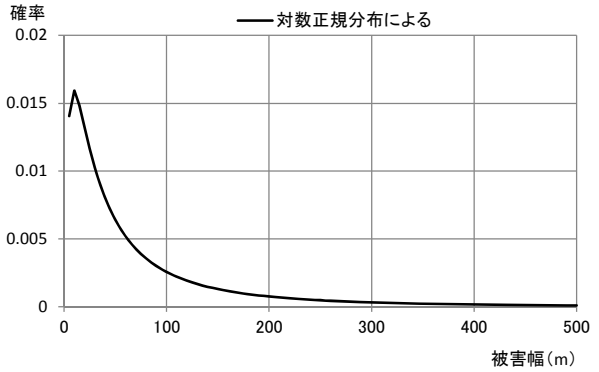
			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間	発生数	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（個/年）	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差(個/年)	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42
	被害幅	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（m）	525	250	124	56	94
		標準偏差（m）	706	408	187	45	179
	被害長さ	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（km）	14	5.63	2.43	1.18	1.98
		標準偏差（km）	14	4.94	3.03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



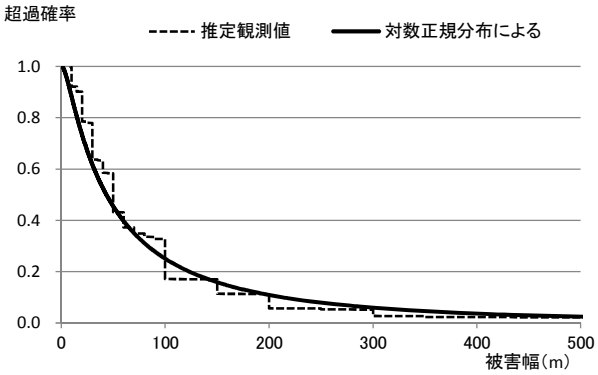
第 4－1 図　最大風速の確率密度分布



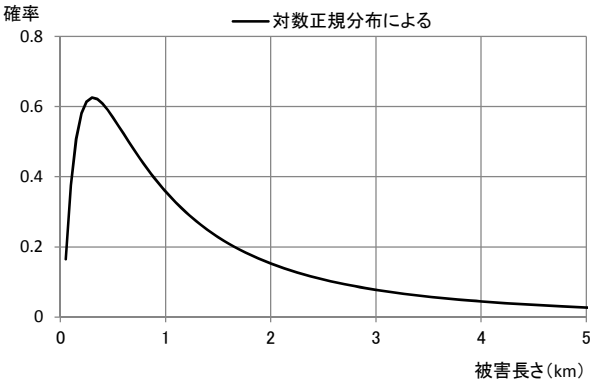
第 4－2 図　最大風速の超過確率



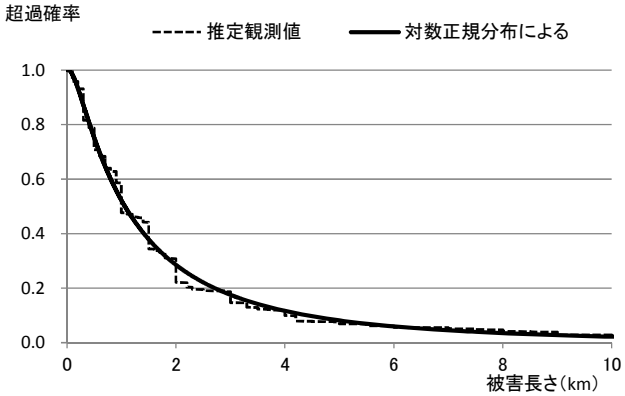
第 4－3 図　被害幅の確率密度分布



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

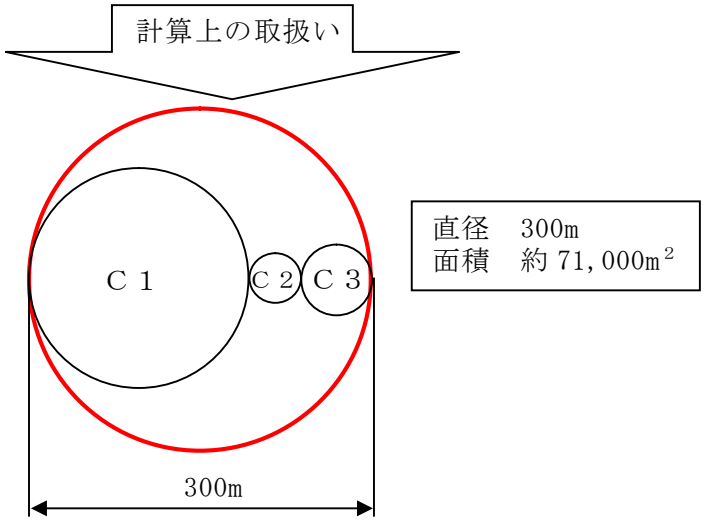
相関係数の値	最大風速	被害幅	被害長さ
最大風速	1.000	0.381	0.452
被害幅	－	1.000	0.381
被害長さ	－	－	1.000

5.　竜巻影響エリアの設定

発電所の構築物，系統及び機器のうち，外部事象防護対象施設のうち評価対象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71,000m^2)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密度分布を与える。

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

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

$\mathbf{x}$ 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，$\mathbf{\Sigma}$ 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（17.5～24.2m／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：20.8～24.4m／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，$V_{\min}$ ＝25m／sとした。なお，この値はＦ０（17～32m／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。

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

ここで，$H(\alpha)$ 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竜巻影響評価対象構造物を投影した時の長さである。

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

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

ここで，　　α ：竜巻の移動方向

竜巻影響エリアを円形で設定しているため，H 及び G ともに竜巻影響エリアの直径で一定（竜巻の移動方向に依存しない。）となる。

S は竜巻影響エリアの面積（約71,000km^2）を表わす。円の直径を D_0 とした場合は，以下の式にて表わされる。

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

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

ここで，$f(V,l)$，$f(V,w)$，$f(V)$ 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（約 57,000km^2）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．前述のとおり，竜巻の年発生数の確率密度分布としては，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。

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

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 ：分布パラメータであり次式で示される。

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

σ ：竜巻の年発生数の標準偏差

発生数ががポリヤ分布に従うものとし，年超過確率 P_{V_0} を以下の式により算出する。なお，年超過確率 P_{V_0} は，年被災確率が十分小さいことより，Garson et al.が示す近似式を用いて表すことができる。

$$P_{V_0} = 1 - [1 + \beta\nu R(V_0)]^{-1/\beta} = 1 - [1 - \tfrac{1}{\beta}\left(\beta\nu R(V_0)\right) + \cdots]$$

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

ここで，　p ：単位面積当たりの年被災確率

以上のことから，竜巻のように被災確率が非常に小さな現象に対しては，年超過確率は竜巻発生数の平均値のみに依存し，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。【添付資料 5 別紙 2】

(2)　ハザード曲線

前項で示した評価方法に基づいて，竜巻影響評価の対象構造物が，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 $P_{V_0,T}$ を次式によって算出し，ハザード曲線を算定する。

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

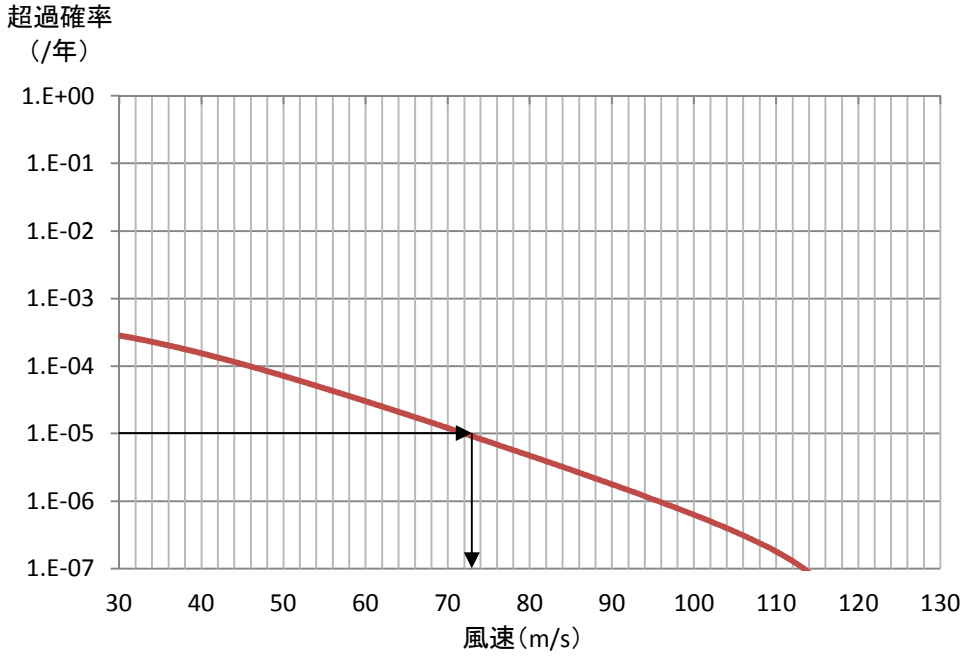
また，ハザード曲線の算定において，風速の積分範囲の上限値はハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として 120m／s に設定する。

7.　竜巻最大風速のハザード曲線

算定した竜巻最大風速のハザード曲線を，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は，以下のとおりとする。

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 幅ごと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１－０㎞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１㎞幅に掛かる長さをもとに評価

第７－２表　陸側０－１㎞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１㎞幅に掛かる長さをもとに評価

第７－３表　陸側１－２㎞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１㎞幅に掛かる長さをもとに評価

第７－４表　陸側２－３㎞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１㎞幅に掛かる長さをもとに評価

第７－５表　陸側３－４㎞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１㎞幅に掛かる長さをもとに評価

第７－６表　陸側４－５㎞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

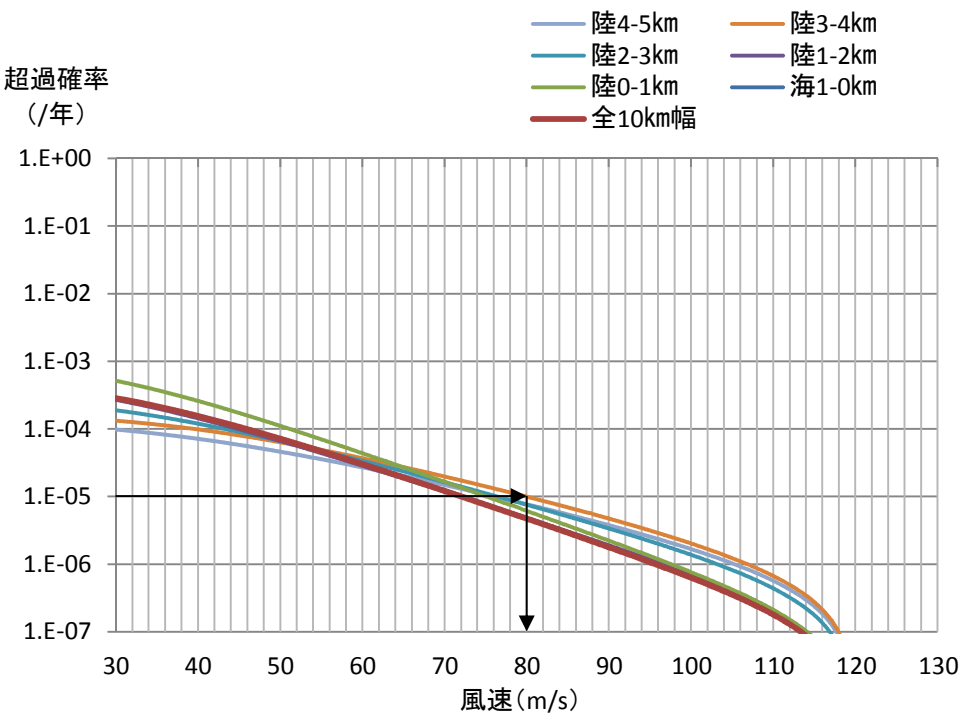
(b)　被害幅

		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１㎞幅に掛かる長さをもとに評価



第７－２図　竜巻検討地域を１km幅ごと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	**80**	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（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。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（10km幅）	73m／s
1km幅ごとの最大	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実さ（認識論的不確実さ）

確率分布形選択に伴うパラメータ不確実さ

…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実さ（認識論的不確実さ）

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実さ

…Ｆ３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 データの不確実さ

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実さ

…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。

$$P^* = P_0 + \underline{(n-1)(P_0 - \overline{P})} \qquad (1)$$

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

・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。）

・$\overline{P}$ ：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

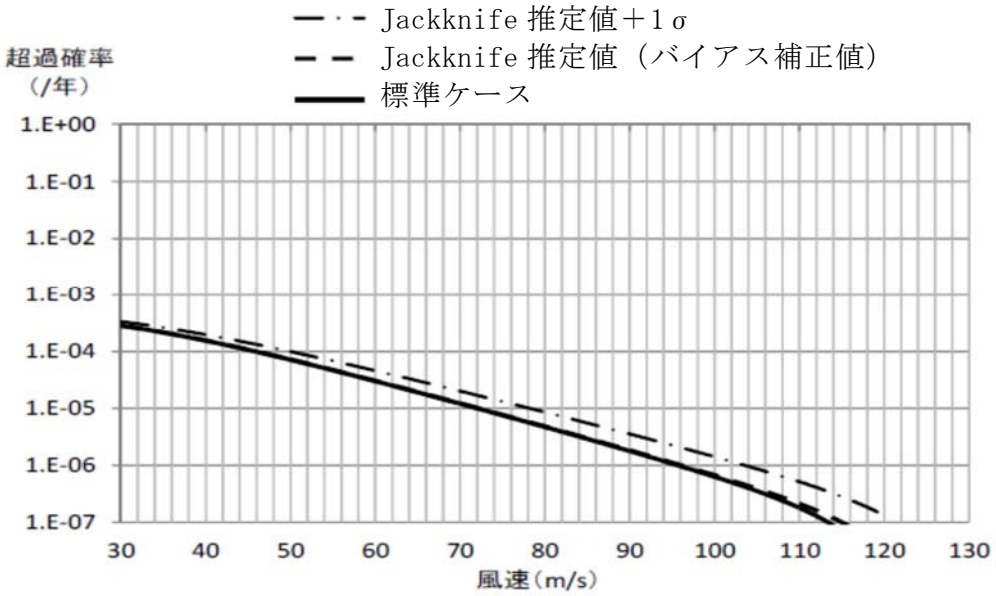
Jackknife 法を適用した特性値及びこれらの平均値と標準偏差及びそれぞれの推定幅を基に全てのパラメータを＋1σとした場合のハザードを計算した。特性値の評価結果を第 9－1 表に，また，ハザードの推定結果を第 9－2 表及び第 9－1 図に示す。

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実さについては（バイアス補正値＋1σ），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^* (バイアス補正値)	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
$P^* + \Delta P^*$ (バイアス補正値＋1σ)	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＋1σ 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* （バイアス補正値）	P*＋ΔP* （バイアス補正値＋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

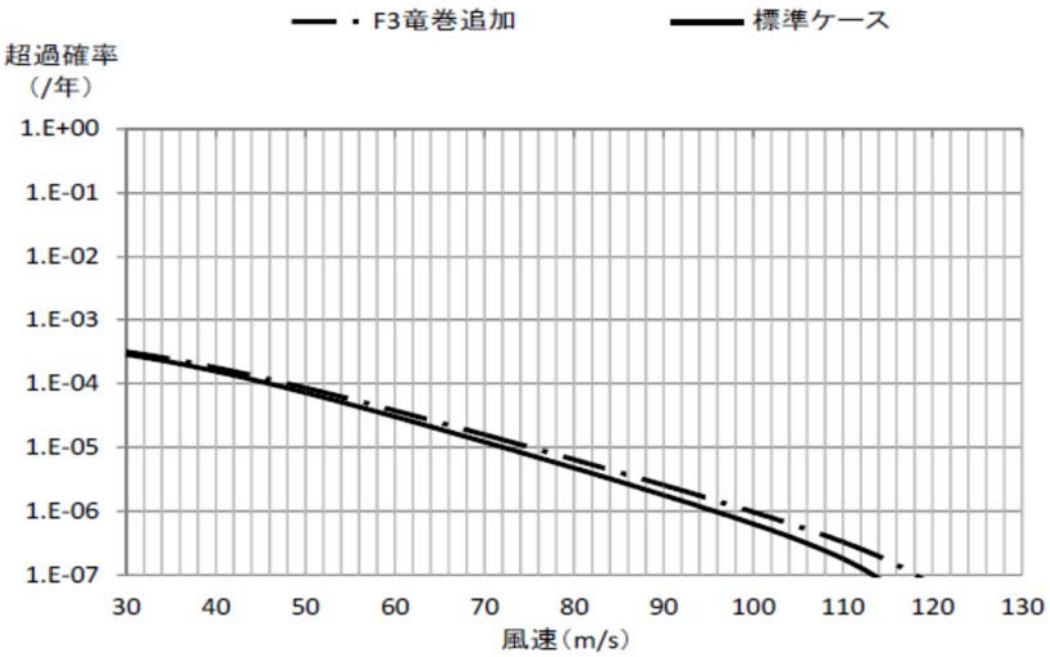
(2)　Ｆ３竜巻の見落としを仮定した場合のハザードに与える影響

竜巻検討地域で，Ｆ３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Ｆ３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Ｆ３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。

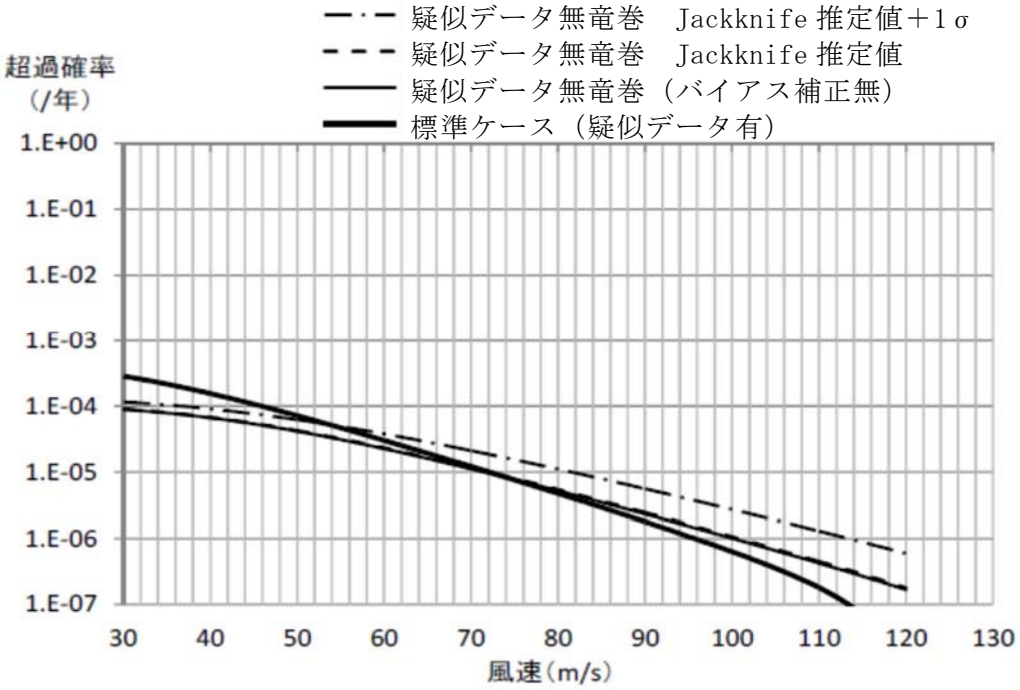
特性値の評価結果を第 9－3 表，ハザードの推定結果を第 9－4 表及び第 9－3 図に示す。疑似データ無竜巻での年超過確率 10^{-5} に相当する風速は，72m／s となり，標準ケースの 73m／s と有意な差は認められない。

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^* (バイアス補正値)	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
$P^* + \Delta P^*$ (バイアス補正値＋1σ)	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

	不明竜巻含む	疑似データ無竜巻		
ケース	標準ケース	バイアス補正無	Jackknife 推定値 P^* (バイアス補正値)	$P^*+\Delta P^*$ (バイアス補正値 $+\sigma$)
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（バイアス補正値），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実さによる，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。そこでは，「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，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。

したがって，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。

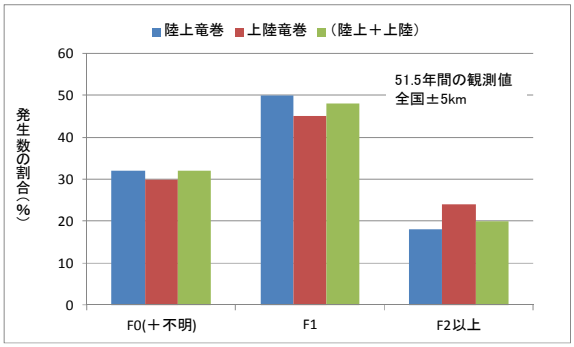
別表 1－1　Ｆスケール毎の竜巻発生数の割合

①　全国沿岸±5km

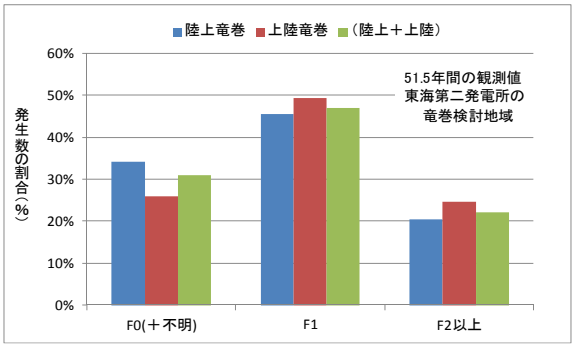
発生数の割合（％）	Ｆ0（+不明）	Ｆ1	Ｆ2以上
陸上竜巻	32	50	18
上陸竜巻	30	45	24
（陸上＋上陸）	32	48	20

②　発電所の竜巻検討地域

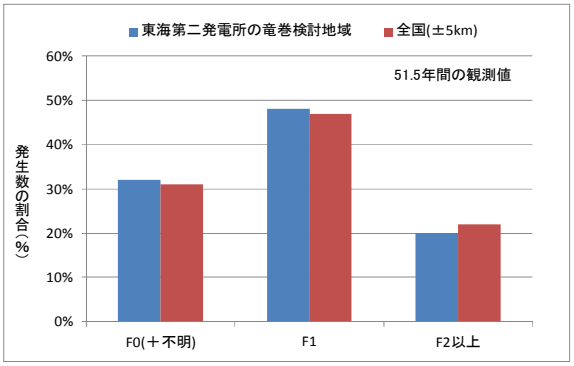
発生数の割合（％）	Ｆ0（+不明）	Ｆ1	Ｆ2以上
陸上竜巻	34	45	21
上陸竜巻	26	49	25
（陸上＋上陸）	31	47	22



① 全国沿岸±5km



② 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について

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。

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

ポリヤ分布： $P_T(N) = \dfrac{(\nu T)^N}{N!}(1+\beta\nu T)^{-(N+1/\beta)}\prod_{k=1}^{N-1}(1+\beta k)$ (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，Vo 以上の竜巻風速に見舞われる確率 $P_{Vo,T}(D)$ は次式で表される。

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

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

ここで，$R(Vo)$ 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 Vo 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，$\beta \to 0$ 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，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[3]成果では，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Vo以上となるような被害を受ける確率を$R(Vo)$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。

（被害を受けない確率）＝ $1-R(Vo)$ (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個の竜巻で被害を受けない確率）＝ $[1-R(Vo)]^N$ (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個のいずれかの竜巻で被害を受ける確率）＝ $1-[1-R(Vo)]^N$ (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，

$$\{1-[1-R(Vo)]^N\}P(N) \tag{8}$$

となる。$R(Vo)$が十分小さければ，上式は次のように近似できる。

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

ここで，次の近似を用いている。

$$[1-R(Vo)]^N \approx 1-N\times R(Vo) \tag{10}$$

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。

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

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，

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

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。

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

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。

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

従って，式(3)（あるいは式(13)）は，式(14)を用いると，

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

と表され，$R(Vo)$ が小さい場合は，次式で近似できる。

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

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。

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

$$\approx \nu R(Vo)$$

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，評価対象施設等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，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。

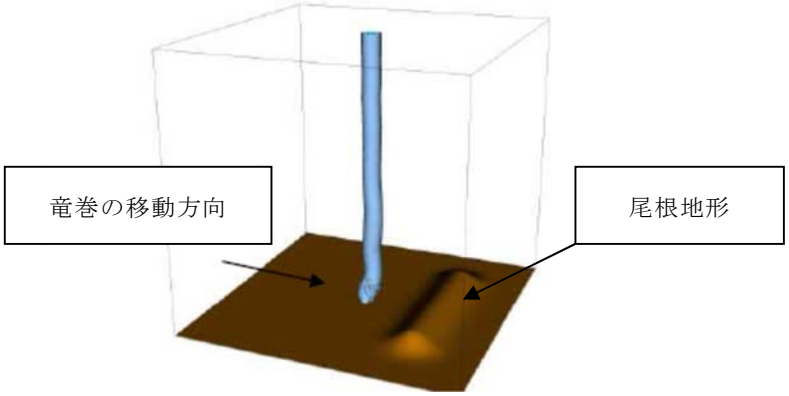
(2)　風洞実験[1]

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。

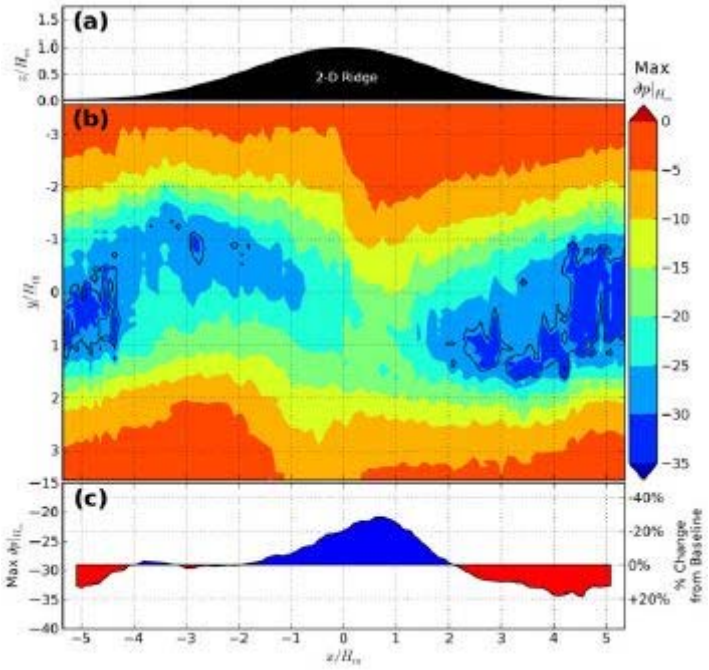
風洞実験の結果である第 3－3 図においては，竜巻を模擬した旋回流が(a)に示す二次元尾根地形※を図の左から右に移動する時に地表面で測定された圧力の最大値を(b)に，圧力勾配（風の駆動力になり，風速に相当する）を(c)に示しており，(c) から以下のことが分かる。

※：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），

竜巻の移動方向



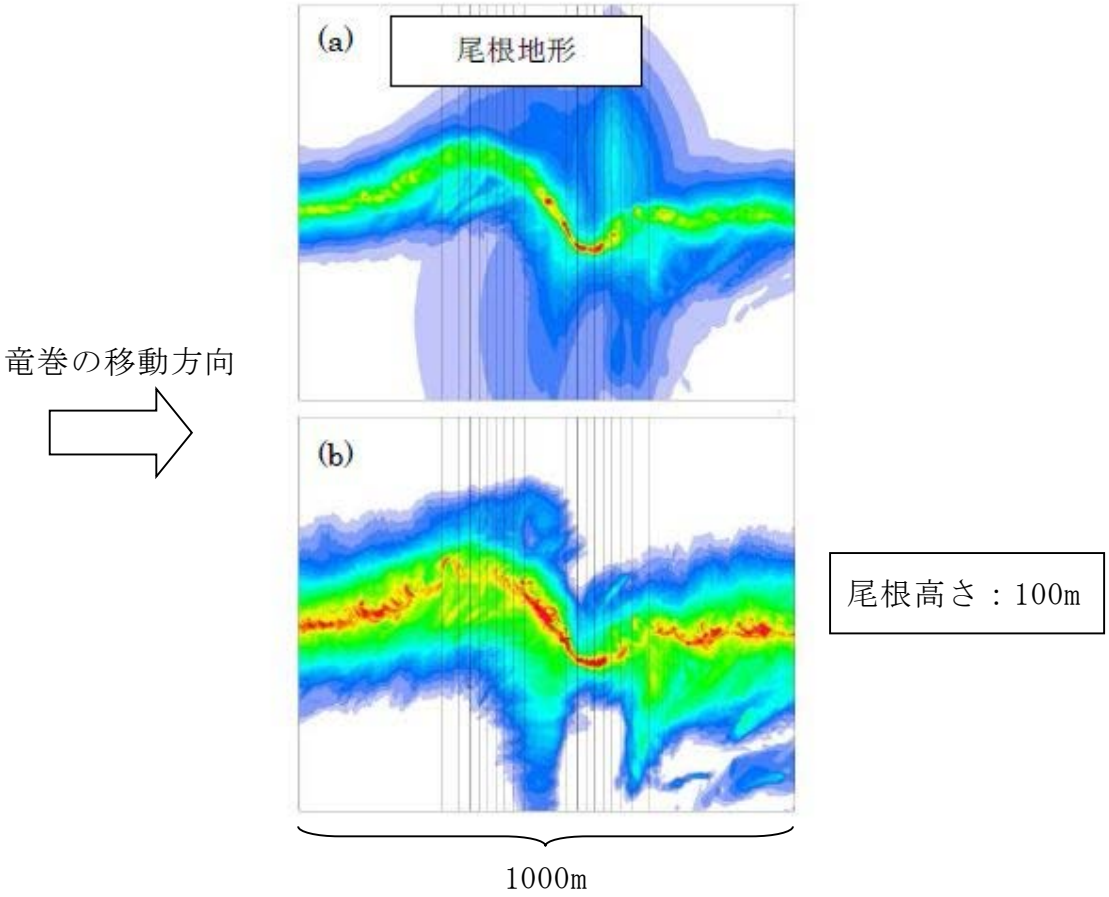
第 3－3 図　尾根地形を竜巻が通過するときの地表面圧力(b)及び圧力勾配(c)[1]

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）

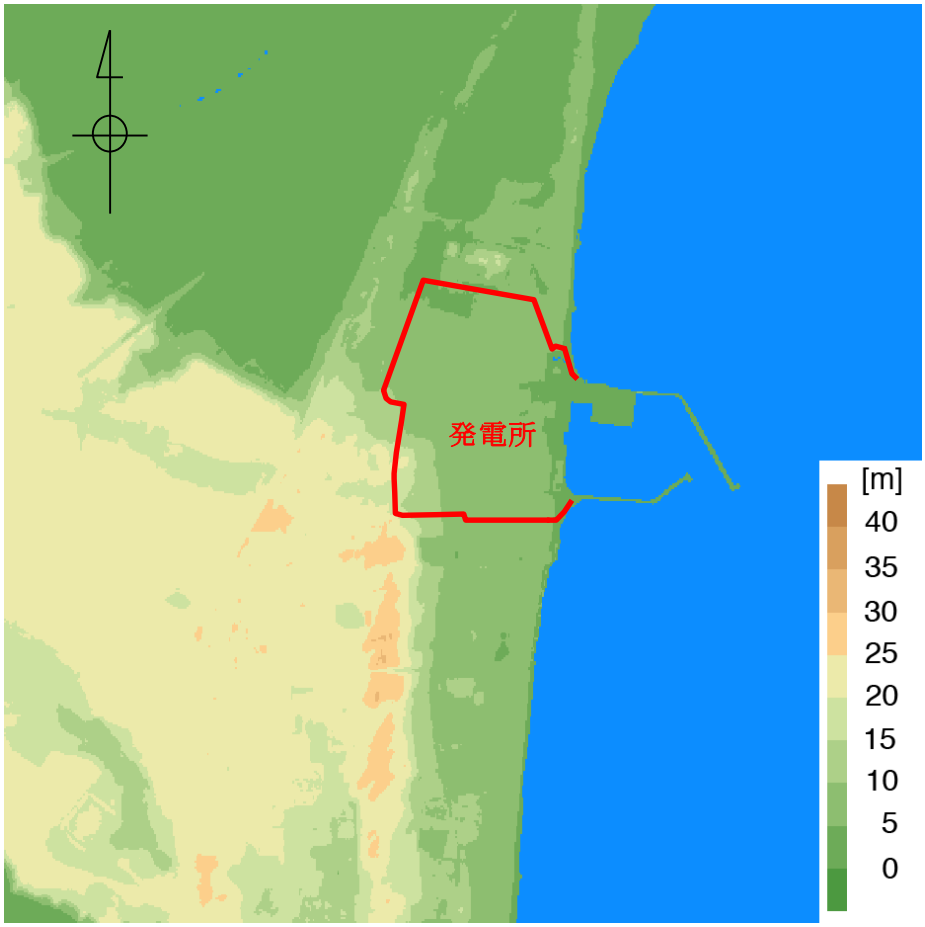
また，これらの研究結果は，地形の起伏の影響範囲が，斜面及び尾根，山の頂，裾部に限定されることを示唆しており，地形の下流側の平坦部における風速や圧力の値は，地形を乗り越える前の上流部の値に相当する。



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.　発電所敷地周辺の地形効果の考慮要否

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　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 Meteorolical 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。

$$\int_0^{2\pi}\int_0^{r_1}\int_0^{h_1}\left(\rho r^2\omega_1\right)dh\cdot rdrd\varphi=\int_0^{2\pi}\int_0^{r_2}\int_0^{h_2}\left(\rho r^2\omega_2\right)dh\cdot rdrd\varphi \qquad ①$$

$$\frac{1}{4}r_1^4\omega_1h_1=\frac{1}{4}r_2^4\omega_2h_2 \qquad ②$$

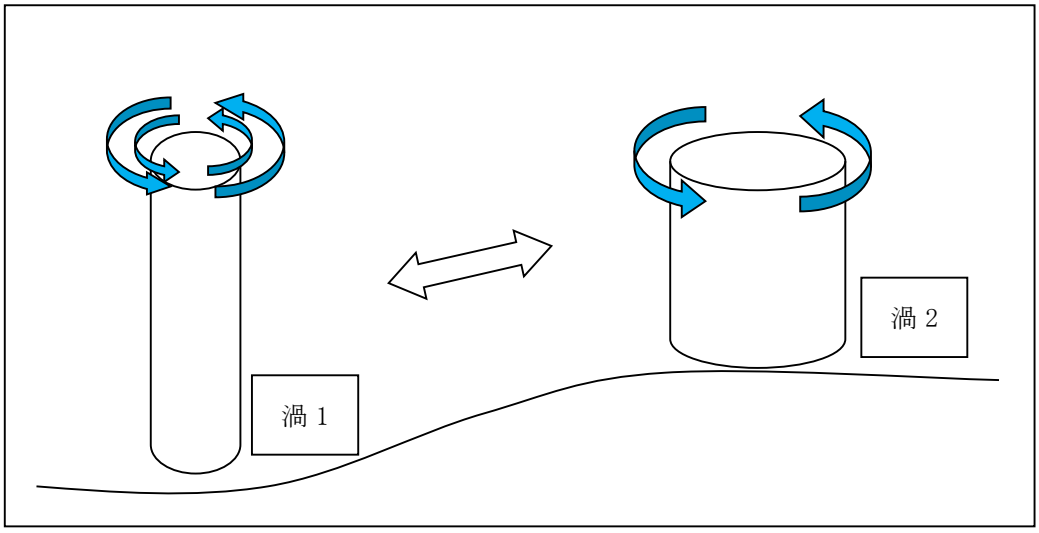
ここで，ω は角速度，r は渦コア（気柱）の半径，h は渦コア（気柱）の高さ，ρ は空気密度であり，添字の 1 と 2 はそれぞれ渦 1 と渦 2 を示す。また，気柱の体積が保存されるので，式③が成立する。

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

この関係を式②に代入すると，式④が得られる。

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

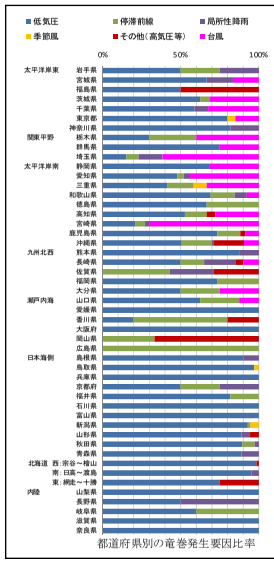
④の関係式は「渦位（ポテンシャル渦度）の保存式」に相当するものであり，角速度は地上高さｈに比例することが分かる。また，③より，渦の半径 ｒは$h^{1/2}$に反比例するので，竜巻の最大接線風速（ω×r）は$h^{1/2}$に比例する。そのため，竜巻の渦が上り斜面を移動する時，基本的に渦は弱まり，下り斜面を移動する時には強まる。



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。



【基準竜巻，設計竜巻の設定】

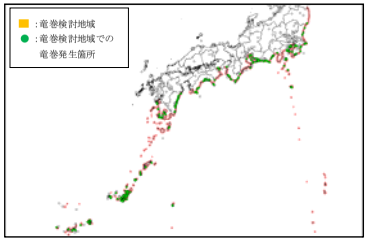
○竜巻検討地域：総観スケール（総観場）での分析（左図）を踏まえ，福島県から沖縄県にかけての太平洋沿岸を竜巻検討地域（下図左）と設定

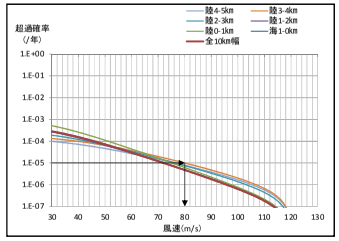
○V_{B1}：竜巻検討地域における過去最大竜巻（Ｆ３）の風速範囲の上限値92m／sと設定。

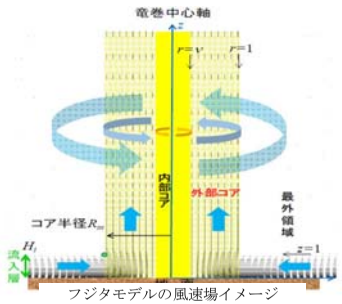
○V_{B2}：竜巻風速のハザード曲線（下図右）より，年超過確率10^{-5}における最大値80m／sと設定

○基準竜巻の最大風速V_B：V_{B1}とV_{B2}のうち大きな風速である，92m／sと設定

○将来的な気候変動については，完全に予測することは難しいため，最新のデータ及び知見をもって気候変動の影響を注視し，竜巻検討地域や基準風速は，必要に応じ見直しを実施していく。







フジタモデルの風速場イメージ

【設計竜巻の設定（最大風速及び特性値），設計荷重の設定】

○設計竜巻の最大風速：地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないが，データ数が十分とは言い切れないことを考慮し，保守的に100m／sと設定

○設計竜巻の特性値：

竜巻の接線風速	「竜巻影響評価ガイド」の式に従い設定
移動速度	
最大気圧低下量	「竜巻影響評価ガイド」の式（ランキン渦モデルに基づく）に従い設定
最大気圧低下率	

○物体の飛散解析手法：飛散解析用の風速場モデルとして，他モデルとの比較や，米国における利用実績を確認し，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いるフジタモデルを選定。また，飛散解析における物体の浮上及び飛散モデル，物体の配置等を設定。

○設計荷重：竜巻影響評価ガイドに従い，設計竜巻の風荷重，気圧差による荷重及び設計飛来物（鋼製材及び砂利）による衝撃荷重を組み合わせて設定。

【施設の構造健全性の確認】

○設計荷重に対して，建屋，構築物及び設備等の評価対象施設等の構造健全性が維持されるかを確認

【防護対策】

○設計竜巻の最大風速（100m／s）に対して，飛来物発生防止対策や評価対象施設等の防護を実施

＜基準風速における保守性＞

V_{B2}の設定においては，竜巻検討地域を1km幅に細分化した場合の竜巻風速のハザード曲線も考慮した上で，年超過確率が10^{-5}における風速の最大値を抽出した。

なお，ハザード曲線においては，データ量の少ないことによる不確かさを考慮し，以下の処理及び検証を実施した。

・フジタスケール毎に適切な観測期間のデータを用いて，擬似的な51.5年間のデータを作成
・Ｆスケール不明の海上竜巻は，陸上竜巻のＦスケール別発生比率で按分
・Jackknife法を適用した評価により，データの安定性を確認
・Ｆ３竜巻1つの見落とし（擬似データとしては2個追加）を仮定した感度解析により，データの安定性を確認

＜設計竜巻の最大風速における保守性＞

設計竜巻の最大風速は，竜巻の観測数等のデータが十分とは言い切れず将来的な気候変動に伴う不確実性があることから，基準竜巻の最大風速92m／sを切り上げ100m／sとする。

＜物体の飛散解析手法における保守性＞

①物体に働く揚力は，風を受ける方向等により様々な値を取り得るため，地面での揚力係数と物体の見付面積の積（$C_L a$）の代わりに，空中での直交3方向の流れに対する抗力係数と見付面積の積の平均値（$C_D A$）を用い，実際より大きな揚力を作用させ，浮上し易くなるよう設定。

②実際には竜巻が遠方から物体に近づき，最大風速より低い風速に曝され飛散することになるが，物体を強制的に高速域に配置するとともに，竜巻に対する物体の場所依存性を考慮し，多点配置（米国R.G. 1.76では1点配置）された物体の飛散速度の中から，最大となる飛散速度を設定。

＜設計荷重に関する保守性＞

①設計飛来物は必ずしも最大速度で評価対象施設等に衝突するとは限らないが，設計飛来物の衝突速度としては，設計竜巻による最大飛散速度（水平方向及び鉛直方向）を設定。

②実際の竜巻は，風速や気圧低下量に高さ依存性があるため，建屋や設備に対し必ずしも最大風速による風圧力や最大気圧低下量による荷重が作用するとは限らないが，設計荷重としては，最大風速による風圧力及び最大気圧低下量による荷重に基づき設定。

第７－１図　竜巻影響評価の概要及び保守性確保の状況

【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とした場合の荷重を設定する。

【設計飛来物の設定】

○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）及び建築物付属物（屋根等）の中から，それらの飛来物発生防止対策の可否，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　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表の評価対象施設等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。

＜外部事象防護対象施設のうち評価対象施設の評価＞

○評価対象施設（屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を除く），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（外部事象防護対象施設を内包する区画：第2－1表□）の構造骨組評価，設計飛来物等の衝突に関する貫通及び裏面剥離評価，局部評価及び開口部建具（扉等）に関する評価を実施し，内包する外部事象防護対象施設が影響を受けないことを確認し，外部事象防護対象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□）の外殻となる施設等の建具（扉等）に関する評価結果より，外部事象防護対象施設が影響を受けないことを確認し，外部事象防護対象施設の安全機能維持に影響を及ぼす場合には，外殻となる施設等の補強，防護対策及び運用による対策を実施する。

＜外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の評価＞

○評価対象施設（倒壊により外部事象防護対象施設を機能喪失させる可能性がある評価対象施設：第2－1表　　）の構造骨組評価を実施し，外部事象防護対象施設に影響を及ぼすことがないことを確認し，外部事象防護対象施設を機能喪失させる可能性がある場合には，防護対策（施設の補強や竜巻襲来予想時の作業中止，退避）を実施する。

○評価対象施設（屋外に設置されている外部事象防護対象施設の付属施設：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。外部事象防護対象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　評価対象施設等

外部事象防護対象施設のうち評価対象施設	屋外施設		・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含む。）吸気フィルタ ・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含む。）室ルーフベントファン ・中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。） ・残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。） ・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含む。）海水ポンプ（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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）海水ストレーナ ・非常用ガス処理系排気配管　・排気筒
		外部事象防護対象施設を内包する区画	・原子炉建屋　・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋　・軽油貯蔵タンクタンク室
	屋内の施設で外気と繋がっている施設		・非常用換気空調設備
	外殻となる施設による防護機能が期待できない施設		・原子炉建屋付属棟4階　非常用換気空調設備　・非常用電源盤（電気室） ・原子炉建屋原子炉棟6階　設置設備　・原子炉建屋原子炉棟6階　燃料取扱設備 ・使用済燃料乾式貯蔵容器　・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設	倒壊により，外部事象防護対象施設を機能喪失させる可能性がある評価対象施設		・サービス建屋　・鋼製防護壁 ・海水ポンプ室　・排気筒 ・燃料取扱設備
	屋外に設置されている外部事象防護対象施設の付属施設のうち，損傷により外部事象防護対象施設の安全機能を損なわせる可能性がある評価対象施設		・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含む。）排気消音器 ・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含む。）付属排気配管及びベント配管 ・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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）海水配管（放出側）

【3. 飛来物発生防止対策】

○設計飛来物に設定した鋼製材より運動エネルギ又は貫通力が上回る飛来物源については，評価対象施設等に衝突しないよう，別紙－2に基づき，飛来物発生防止対策を実施する。

＜対策方針＞

・物品管理エリア内に設置した資機材等の飛来物発生防止対策としては，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。

・車両管理エリア内の車両は，車両退避エリアへの退避を原則とし，浮き上がり，横滑りを考慮した固縛等も含めて飛来物発生防止対策を実施する。

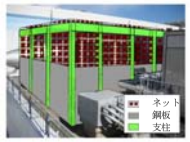
【4. 飛来物防護対策】

○設計飛来物の衝突によって損傷する可能性がある外部事象防護対象施設について，下記のとおりの飛来物防護対策を実施する。

＜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，外部事象防護対象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)

＜施設の補強による防護対策＞

・設計竜巻荷重に対する構造健全性の維持，設計飛来物に対する限界貫通厚さ以上の部材を確保により，扉の取替及び壁面の増厚を行い，外殻としての防護機能を確保する。

第4－3図　施設の補強箇所

第８－１図　竜巻影響評価及び竜巻防護対策（飛来物発生防止対策，飛来物防護対策）の概要

評価対象施設等の設計荷重について

1.　概要

設計竜巻に対し，評価対象施設等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

外部事象防護対象施設のうち評価対象施設の評価に用いる評価荷重について別表1－2－1に，外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象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　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設の評価に用いる評価荷重一覧表（1／3）

外部事象防護対象施設のうち評価対象施設	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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）吸気フィルタ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	無し
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含む。）室ルーフベントファン	屋外	○	×	×	—	○	—	—	自重
中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）	屋外	○	×	×	—	○	—	—	自重
残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）	屋外	○	×	○	○	—	○	—	無し
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含む。）海水ポンプ（配管，弁含む。）	屋外	○	×	○	○	—	○	—	無し
残留熱除去系海水系ストレーナ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	自重，内圧
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含む。）海水ストレーナ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	自重，内圧
非常用ガス処理系排気配管	屋外	○	×	○	○	—	○	—	自重，内圧
排気筒	屋外	○	○	×	—	○	—	—※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

別表 1－2－1　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設の評価に用いる評価荷重一覧表（2／3）

外部事象防護対象施設のうち評価対象施設	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（外部事象防護対象施設を内包する区画）＞									
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）	×	×	○	○	—	—	—	
＜屋内の施設で外気と繋がっている施設＞									
非常用換気空調設備	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＞									
原子炉建屋付属棟４階　非常用換気空調設備	屋内	×	×※3	○	○	—	—	—	無し
非常用電源盤（電気室）	屋内	×	×※3	×	—	—	—	—	無し
原子炉建屋原子炉棟６階　設置設備	屋内	×	×※3	×	—	—	—	—	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 1－2－1　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設の評価に用いる評価荷重一覧表（3／3）

外部事象防護対象施設のうち評価対象施設	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	$W_W+0.5W_P$	$W_W+0.5W_P+W_M$	
＜外殻となる施設による防護機能が期待できない施設＞									
原子炉建屋原子炉棟６階　燃料取扱設備	屋内	×※4	×※3	×	—	—	—	—	自重
使用済燃料乾式貯蔵容器	屋内	×	○	×	—	—	—	○	無し
使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	屋内	×※4	×※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

※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。

※4　W_Wに対して，竜巻襲来が予想される場合，燃料取扱作業を中止するため，燃料を取り扱う機能に対して評価対象とならない。

別表 1－2－2　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の評価に用いる評価荷重一覧表

外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設	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	$W_W+0.5W_P$	$W_W+0.5W_P+W_M$	
＜機械的影響を及ぼし得る評価対象施設＞									
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	自重
燃料取扱設備	屋内	○	×※3	×	—	○	—	—	自重
＜機能的影響を及ぼし得る評価対象施設＞									
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含む。）排気消音器	屋外	○	×※3	○	○	—	○	—	無し
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含む。）付属排気配管及びベント配管	屋外	○	×※3	○	○	—	○	—	自重，内圧
残留熱除去系海水系配管（放出側）	屋外	○	×※3	○	○	—	○	—	自重，内圧
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含む。）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

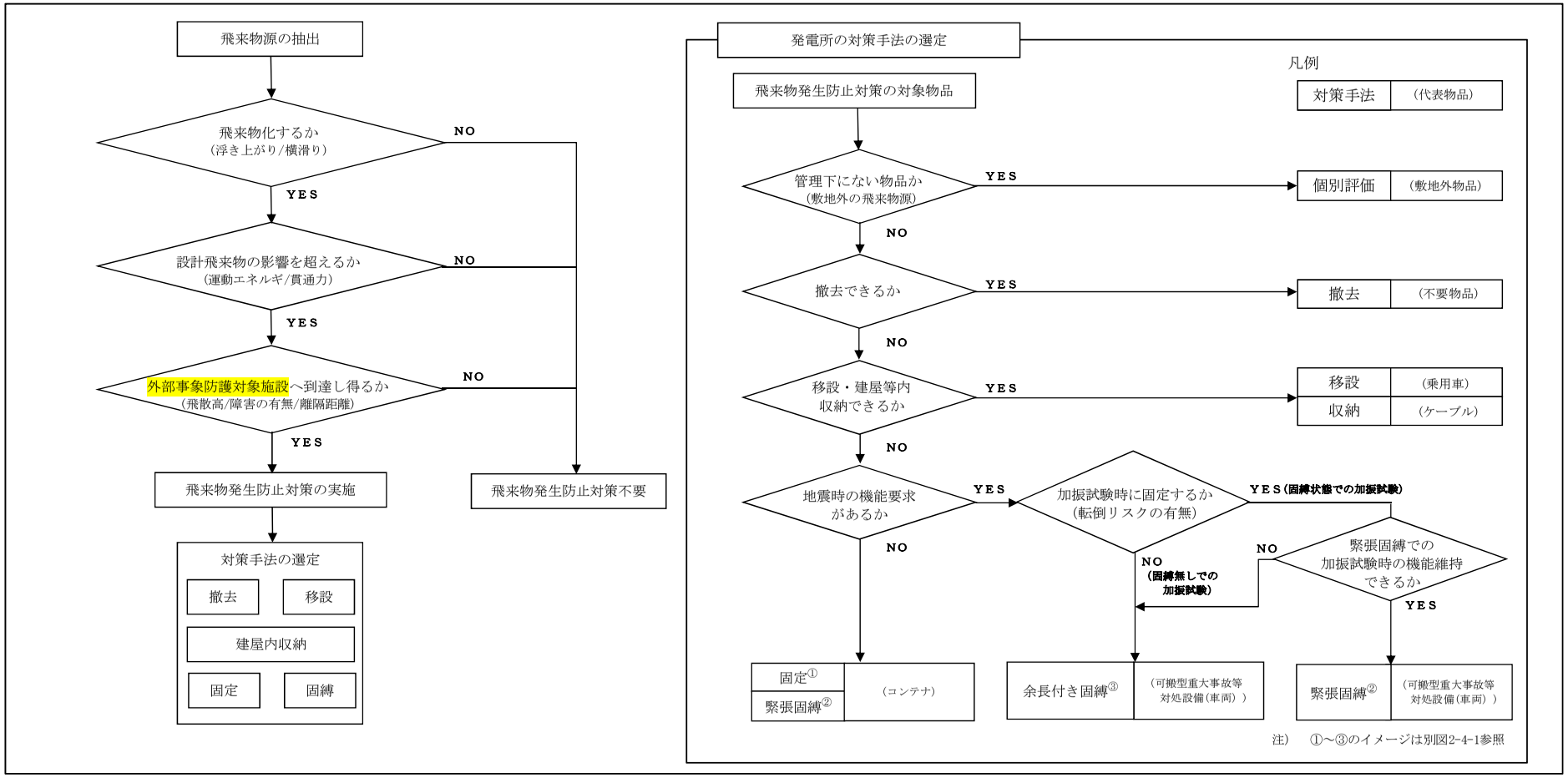
※2　複合荷重の構成について，○のついた構成で評価を実施。　○：実施ケース　－：該当しないケース

※3　W_Mに対して，防護対策を実施するため，衝撃荷重は作用しない。

竜巻防護対策のうち飛来物発生防止対策の概要について

【1. 飛来物発生防止対策のフロー】

・現地調査による飛来物源に対して，飛来物発生防止対策の選定フローを別図2－1－1に示す。



別図2－1－1　発電所の飛来物発生防止対策の選定フロー

【2. 飛来物発生防止対策の基本方針】

・評価対象施設等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。

飛来物発生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）の運動エネルギ及び貫通力を上回る。

③ 評価対象施設等に到達する。

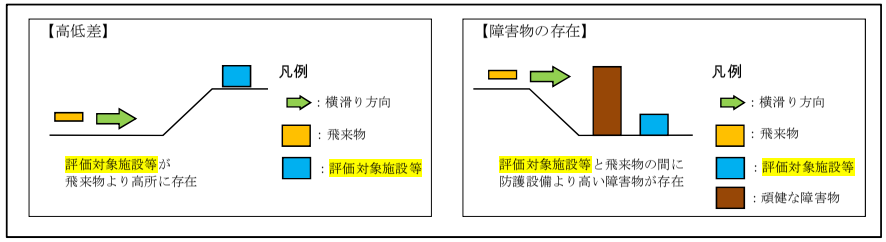
【3. 評価対象施設等への到達，離隔】

・評価対象施設等に到達しないケースを下記に示す。

① 評価対象施設等に到達できない距離を確保した配置とする。（離隔距離の確保）
（別図2－3－1に車両の離隔（退避等）が必要な範囲を示し，当該範囲内には，作業に関係のない車両は，原則立入をさせない運用を行う。）

② 評価対象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。）

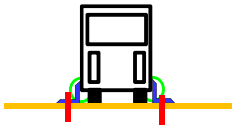
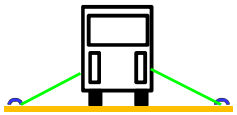
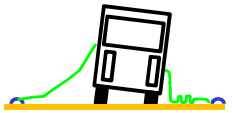
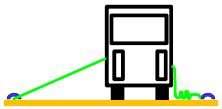
別図2－3－1　車両管理エリア



別図2－3－2　横滑りに対して未到達となる例

【4. 飛来物発生防止対策（固定，固縛）の手法の例】

・飛来物発生防止対策のうち，固定及び固縛の手法の例を別図2－4－1に示す。

手法	対策の概要図	
①固定		飛来物源に固定金具を取り付けて固定
②緊張固縛		飛来物源に車輪部を連結材と固定金具を用いて固定
		飛来物源を連結材（ロープ）を用いて固定
③余長付き固縛	（通常時） （地震時(展張の可能性もある)）  （竜巻時(展張)） 	飛来物源を連結材（ロープ）を用いて固縛【動き代がある】

別図2－4－1　飛来物発生防止対策（固定・固縛）の例

飛来物化する可能性がある物品の管理について

1. 概要

発電所内の飛来物となる可能性があるものについては，設計飛来物である鋼製材が設計竜巻により飛来した場合の運動エネルギ及び貫通力を基準として,鋼製材より運動エネルギ又は貫通力が大きい場合は固縛対策を実施する。

2. 管理方針

2.1 用語の定義

竜巻襲来に対する準備体制の状態について，以下のとおり定義する。

（準備体制については，別紙8-4にまとめる）

通　　常　　時：竜巻準備体制が発令されていない時

準備体制確認時：竜巻準備体制のアクションレベル1（準備体制の確認）が発令されている時

準備作業開始時：竜巻準備体制のアクションレベル2（準備作業開始）が発令されている時

2.2 車両の管理

2.2.1 車両の管理に際し考慮する事項

車両については，速やかに固縛することが難しい場合も想定されるため，以下の管理を行う。

・発電所構内での作業に関係のない車両については，原則として入構を禁止する。

・発電所へ入構する車両については，以下のとおり，車両の飛散の可能性，車両が置かれている場所，車両の状態及び竜巻準備体制の発令の有無に応じて対策を行う。

(1)　車両の飛散の可能性

発電所に入構する予定のある車両については，原則として事前に車両サイズ，重量から空力パラメータを算出し飛散評価を行い，飛散の可能性の有無を評価し通知する。事前の確認がなされていない場合は，確認が完了するまでは飛散するものとして取り扱う。

(2)　車両が置かれている場所

車両が飛散することによって評価対象施設等及び竜巻飛来物防護対策設備（以下「評価対象施設及び防護対策設備」という。）に衝突する可能性があるエリアを「車両管理エリア」と定め，車両が車両管理エリア内にある場合には，「2.2.2　管理方針」に示す管理を行う。

＜車両管理エリアの考え方（具体的なエリアは別図3-3参照）＞

・車両管理エリアの範囲設定には，各々の評価対象施設及び防護対策設備に対する必要離隔距離を定める必要があるが，評価対象施設及び防護対策設備と車両の位置の高さの関係によって車両の到達離隔距離は異なることから，個別設定の煩雑さを避けるため，別図3-1に示す高さの関係を踏まえ以下のように設定する。

a．緊急時対策所建屋からの必要離隔距離

緊急時対策所建屋は，車両の存在が想定される周辺の地面に比べ高い位置に設置されるため，保守性も考慮し，同じ高さからの車両の最大飛散距離を丸めた値（190m）を必要離隔距離とする。

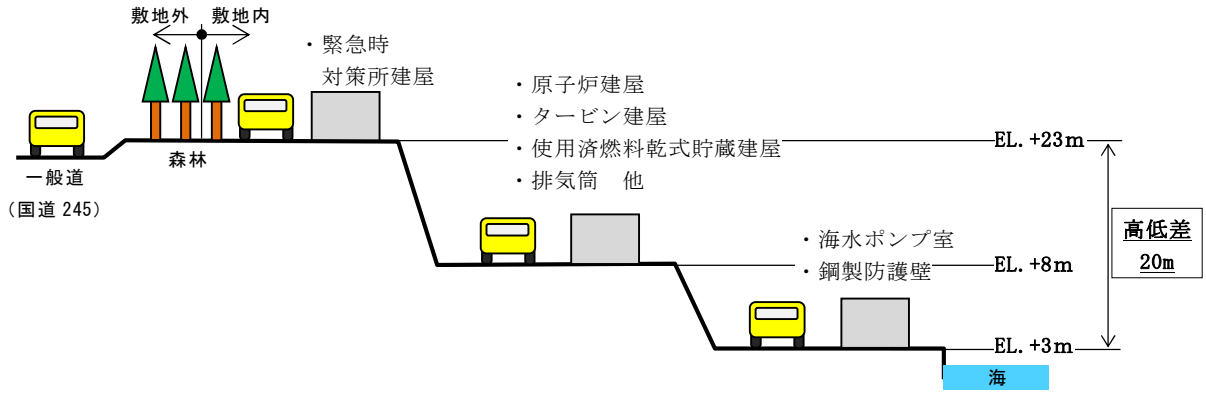
b．その他の評価対象施設及び防護対策設備からの必要離隔距離

各施設と車両の存在が想定される周辺の地面との高低差は一様ではな

いことから，下図に示す位置関係を包絡する，高さ20mからの車両の最大飛散距離を丸めた値（230m）を必要離隔距離とする。

・上記の離隔距離が当社敷地外に掛かる場合において，当該箇所が森林である場合は，車両は存在しないと考えられるため管理エリアから除外する。

・飛散しない車両であっても横滑りの検討が必要であるが，このときの移動距離は，飛散する車両の飛距離に包絡されると考えられ，車両が置かれる位置ごとに摩擦力等を適切に設定した上で，設計飛来物の影響に包絡されることの確認が必要となるため，保守的に上記車両管理エリアを横滑り対策の検討対象とする。



別図3-1　評価対象施設及び防護対策設備と車両の存在場所との高さ関係

(3)　車両の状態

以下のとおり定義する。

停車：運転手が車両に乗っている（走行中含む），または緊急時に車両に即座に駆けつけることができる状態。

駐車：停車時以外の状態。

(4)　竜巻襲来に対する体制の状態

「2.1　用語の定義」のとおり。

2.2.2　管理方針

上記の考慮事項に基づき，車両の管理方針を以下のとおり定める。

また，管理方針のまとめを別表3-1，イメージを別図3-2にそれぞれ示す。

(1)　飛散しない車両の場合

a．飛散も横滑りもしない車両

飛散も横滑りもしない車両は，車両管理エリアでの駐車時も停車時も対策不要とする。

b．飛散しないが横滑りする車両

横滑りによる悪影響を考慮し以下のとおりとする。

・駐車状態の車両は，通常時，準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても固縛する。ただし，評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないとされた場所（下記の①）に駐車する車両の固縛は不要とする。

＜横滑りへの対策が不要となる場所＞

①車両管理エリア内で，竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部

ただし，準備体制確認時以前に，作業等で既に入域している車両を対象とする。

・停車状態の車両は，通常時及び準備体制確認時では対策不要だが，準備作業開始時には固縛する，もしくは車両退避エリアに退避する。ただし，駐車時と同様に，評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された区画に準備体制確認時以前より入域している場合は退避不要とする。

・上記の退避又は固縛を速やかに開始するため，車両管理エリア内の車両については，準備体制確認時の段階で，運転者が近くに待機す

る。

(2)　飛散する車両の場合

・駐車状態の車両については，固縛する。

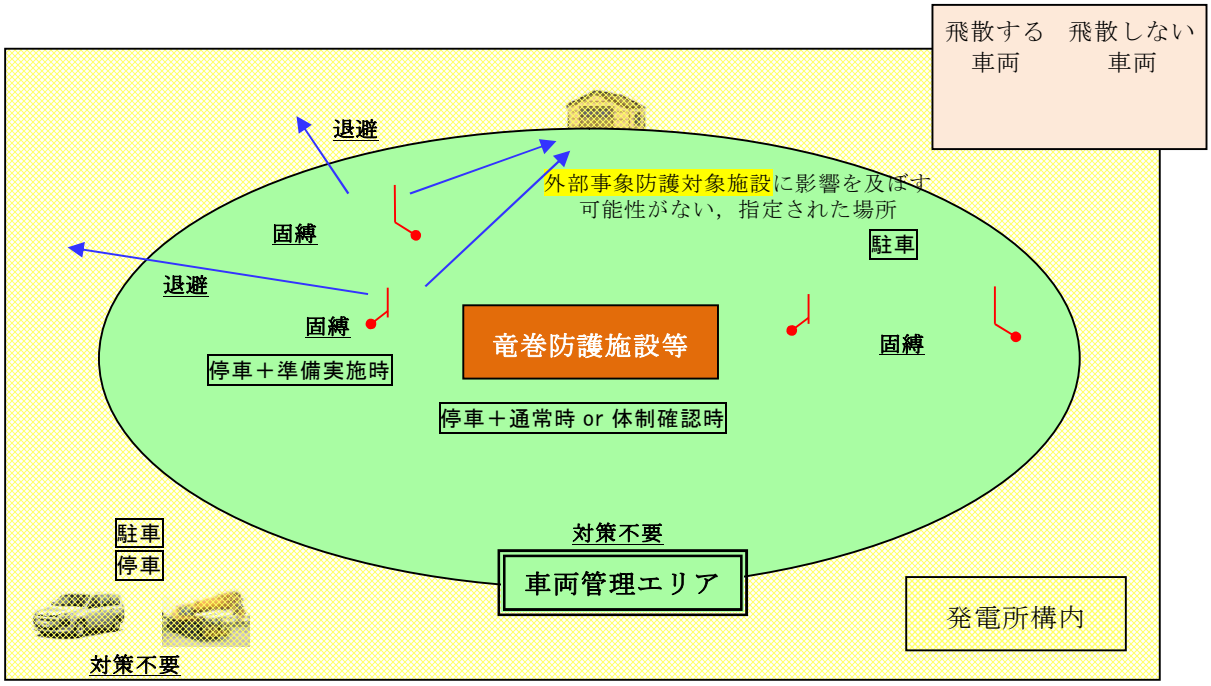
・停車状態の車両については，通常時及び準備体制確認時では対策不要だが準備作業開始時には固縛する，もしくは車両退避エリアに退避する。ただし，飛散しない車両と同様に，評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された区画に準備体制確認時以前より入域している場合は退避不要とする。

・上記の退避又は固縛を速やかに開始するため，車両管理エリア内の車両については，準備体制確認時の段階で，運転者が近くに待機する。

別表3-1　発電所への入構車両の管理方針

<table>
<tr><th rowspan="2">飛散の有無</th><th rowspan="2">配置場所</th><th rowspan="2">車両の
状態</th><th colspan="2">管理方針</th></tr>
<tr><th>通常時
準備体制確認時</th><th>準備作業開始時</th></tr>
<tr><td rowspan="2">飛散も横滑りもしない車両</td><td rowspan="2">車両管理エリア内外</td><td>駐車</td><td colspan="2" rowspan="2">対策不要</td></tr>
<tr><td>停車</td></tr>
<tr><td rowspan="4">飛散しないが横滑りはする車両</td><td rowspan="2">車両管理エリア内</td><td>駐車</td><td colspan="2">固縛※1</td></tr>
<tr><td>停車</td><td>固縛又は退避の
準備完了</td><td>固縛又は退避※1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">車両管理エリア外</td><td>駐車</td><td colspan="2" rowspan="2">対策不要</td></tr>
<tr><td>停車</td></tr>
<tr><td rowspan="4">飛散する車両</td><td rowspan="2">車両管理エリア内</td><td>駐車</td><td colspan="2">固縛</td></tr>
<tr><td>停車</td><td>固縛又は退避の
準備完了</td><td>固縛又は退避※1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">車両管理エリア外</td><td>駐車</td><td colspan="2" rowspan="2">対策不要</td></tr>
<tr><td>停車</td></tr>
</table>

※1　竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部に準備体制以前に入域している車両は，退避不要とする。



別図3-2　発電所への入構車両の管理イメージ

別図3-3　車両管理エリア及び車両退避エリア

2.2.3　車両の退避に要する時間

退避エリア①への退避に要する時間については，現時点で実施可能な，別図3-3における最長退避ルートのゲート３までの実測（2017/9/21）の結果も踏まえ以下の様に想定しており，竜巻襲来までの時間余裕として見込んでいる30分の中で，十分退避は可能と判断している。

今後，関連設備の整備完了後に全体の成立性を確認する。

最長ルートの退避に要する所要時間（　　：実測値を基に設定）

要素	想定時間	備考
搭乗～発進	約1分	予め，竜巻準備体制を確立 （運転手は車両近傍に待機）
出発～ゲート１到着	5.0分	車両6台による一斉走行 (平均速度：16km/h)
ゲート１通過	0分	緊急時として，ゲートでの停止は「なし」とする （後刻，通常時同様の退出時確認を実施）
ゲート１出発～ゲート３到着	1.5分	(平均速度：11km/h)
ゲート３通過	0分	ゲート1同様の扱いとする。
ゲート３出発～退避エリア①	3.8分※ (10km/h)	※：想定値（施設整備後に確認）
駐車，運転手退避	約5分※	
その他裕度	約13.7分	その他不測の状況に対する裕度
	約30分	竜巻襲来までの設定裕度

2.3　車両以外の物品の管理

発電所内に持ち込まれる車両以外の物品は，以下のとおり管理する。

2.3.1　管理に際し考慮する事項

発電所内に持ち込まれる車両以外の物品については，以下のとおり，物品の飛散の可能性，物品の置かれている場所，竜巻襲来に対する体制の状態に応じて対策を行う。

(1)　物品の飛散の可能性

発電所に持ち込まれる予定のある物品については，原則として事前にサイズ，重量から空力パラメータを算出し飛散評価を行い，飛散の可能性の有無を評価する。事前の確認がなされていない場合は，確認が完了するまでは飛散するものとして取り扱う。

(2)　物品が置かれている場所

物品が飛散することによって評価対象施設及び防護対策設備に衝突する可能性があるエリアを「物品管理エリア」と定め，物品が物品管理エリア内にある場合には，「2.3.2　管理方針」に示す管理を行う。

＜物品管理エリアの考え方＞

物品管理エリアの範囲は，以下の方針に基づき設定することとする。

・地表の物品については，車両と同様に設定する。

・車両以外の物品では，建屋の屋上等に置かれる場合も考えられるため，これらの高所においては，種々の飛来物源がその場所に相当する初期高さを有するとして飛散評価を行い，設計飛来物の影響を超え，且つ評価対象施設及び防護対策設備へ到達し得る物品の有無を確認する。物品の到達が想定される場合は，高所であっても物品管理エリアと位置づけ，物品の管理を行う。

・飛散しない物品であっても横滑りの検討が必要であるが，このときの移

動距離は，飛散する物品の飛距離に包絡されると考えられ，物品が置かれる位置ごとに摩擦力等を適切に設定した上で，設計飛来物の影響に包絡されることの確認が必要となるため，保守的に上記物品管理エリアを横滑り対策の検討対象とする。

(3)　竜巻襲来に対する体制の状態

「2.1　用語の定義」のとおり。

2.3.2　管理方針

上記の条件に基づき，車両以外の物品の管理方針を以下のとおり定める。

また，管理方針のまとめを別表3-2に示す。

(1)　飛散しない物品の場合

a．飛散も横滑りもしない物品

飛散も横滑りもしない物品は，物品管理エリアでの対策不要とする。

b．飛散しないが横滑りする物品

横滑りによる悪影響を考慮し以下のとおりとする。

・通常時，準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても原則として固定又は固縛しておくが，作業等で一時的に固定又は固縛を解除している物品は，準備作業開始時に移行した場合には速やかに再固定又は再固縛が可能なよう，作業者が物品から離れないようにする。

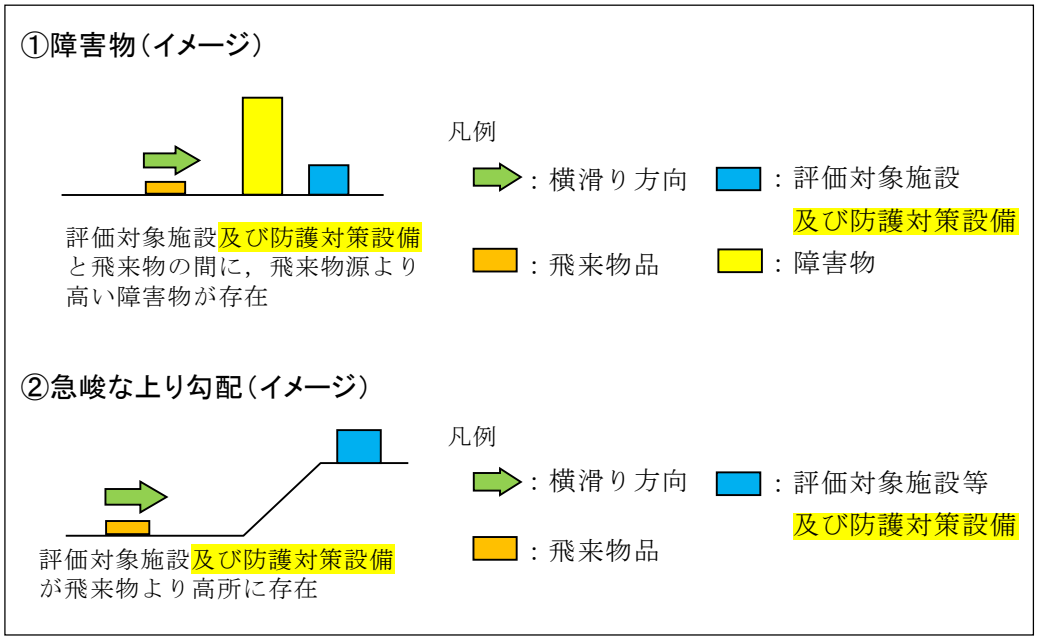
・評価対象施設及び防護対策設備との間に障害物がある場所（下記の①），評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所（下記の②）に置かれている物品については，固定又は固縛は不要とする。

＜横滑りへの対策が不要となる場所＞

① 評価対象施設及び防護対策設備との間に，物品に対し一定の高さを有する障害物（地形，建屋等）が存在する場所又は，物品が評価対象施設及び防護対策設備よりも低所にあり，横滑りにより上ることのできない急峻な上り勾配が認められる場所（別図3-4参照）

② 物品車両管理エリア内で，竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部

ただし，準備体制確認時以前に，作業等で既に搬入している物品を対象とする。



別図3-4　横滑り対策不要の場所のイメージ図

(2) 飛散する物品の場合

・通常時，準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても原則として固定又は固縛しておくが，作業等で一時的に固定又は固縛を解除している物品は，準備作業開始時に移行した場合には速やかに再固定又は再固縛が可能なように，作業者が物品から離れないようにする。

ただし，飛散しない物品と同様に，評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された区画に準備体制確認時以前より搬入している場合は固縛又は固定は不要とする。

別表3-2　車両以外の物品の管理方針

<table>
<tr><th rowspan="2">飛散の有無</th><th rowspan="2">配置場所</th><th colspan="2">管理方針</th></tr>
<tr><th>通常時
準備体制確認時</th><th>準備作業開始時</th></tr>
<tr><td>飛散も横滑りもしない物品</td><td>物品管理エリア内外</td><td colspan="2">対策不要</td></tr>
<tr><td rowspan="2">飛散しないが横滑りする物品</td><td>物品管理エリア内</td><td>固定又は固縛※1，2</td><td>固定又は固縛※2</td></tr>
<tr><td>物品管理エリア外</td><td colspan="2">対策不要</td></tr>
<tr><td rowspan="2">飛散する物品</td><td>物品管理エリア内</td><td>固定又は固縛※1</td><td>固定又は固縛※3</td></tr>
<tr><td>物品管理エリア外</td><td colspan="2">対策不要</td></tr>
</table>

※1　作業等で必要な場合は解除可能とするが，速やかに再固定又は再固縛が可能なよう，作業者が物品から離れないようにする。

※2　評価対象施設及び防護対策設備との間に障害物がある場所，竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部に準備体制以前に搬入している物品は，対策不要とする。

※3　竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部に準備体制以前に搬入している物品は，対策不要とする。

竜巻準備体制の発令の判断基準について

1. 基本方針

評価対象施設等及び竜巻飛来物防護対策設備（以下「評価対象施設及び防護対策設備」という。）の安全機能維持に影響を与えないよう，評価対象施設及び防護対策設備周辺に駐車及び停車している車両を固縛又は退避させる必要がある。

竜巻による評価対象施設及び防護対策設備への被害を防止するため，竜巻の兆候を早期に検知し，事前に準備を行うことが重要であり，兆候を早期に検知する方法として，気象庁から発表される「竜巻注意情報」及び「雷注意報」に加え，レーダーナウキャストによる予測を用いる。

気象庁による監視体制は2013年3月のドップラーレーダー化完了により強化され，さらに研究も進んでいることから，今後さらなる予測精度の向上が見込まれる。よって以下の判断基準等については，今後もデータ・知見等の収集に努め，より信頼度の高い判断基準となるよう検討を継続し，改善を図っていくものとする。

2. アクションレベルの定義

発電所での竜巻襲来時における体制（以下「竜巻準備体制」という。）の発令等の判断基準として，別表 4-1 に示す 3 段階のアクションレベルを設定する。

別表 4-1　竜巻準備体制の発令の判断基準

アクションレベル	定義
1	準備体制確認 （対応体制確認及び監視強化）
2	準備作業開始 （竜巻襲来準備作業（物品の固縛，車両の退避等）の実施）
3	人員の避難

3.　各アクションレベルにおける判断基準と対応

各アクションレベルの判断基準と対応の内容について，以下に示す。

(1)　レベル１：準備体制確認

＜判断基準＞

以下の２つの状況の「or」条件とする。（これら情報の入手は，気象協会等の情報提供サービスを利用する）

①　雷注意報（竜巻又は突風）の発報

②　竜巻注意情報の発報

＜対応＞

・判断基準情報発出の所内周知（ページング）

・竜巻発生確度ナウキャスト（以下「竜巻ＮＣ」という。）及び雷ナウキャスト（以下「雷ＮＣ」という。）の監視開始

（別図 4-1，別図 4-2 参照）

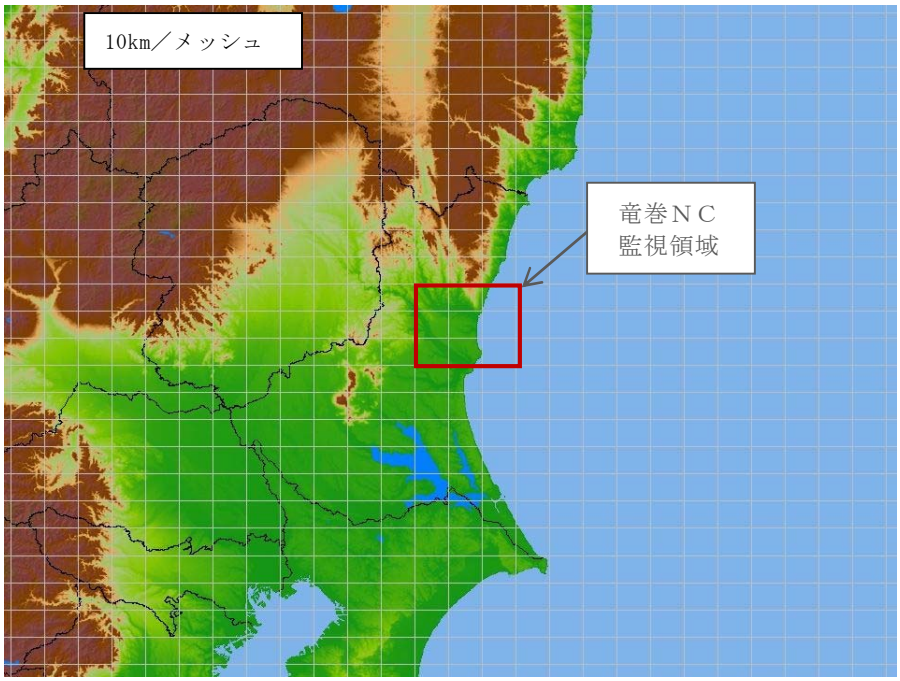
・準備作業（固縛，退避等）の対応体制確認

・屋外作業の実施状況確認

・外殻防護の障壁となる扉等の開閉状況確認

竜巻ＮＣの監視領域

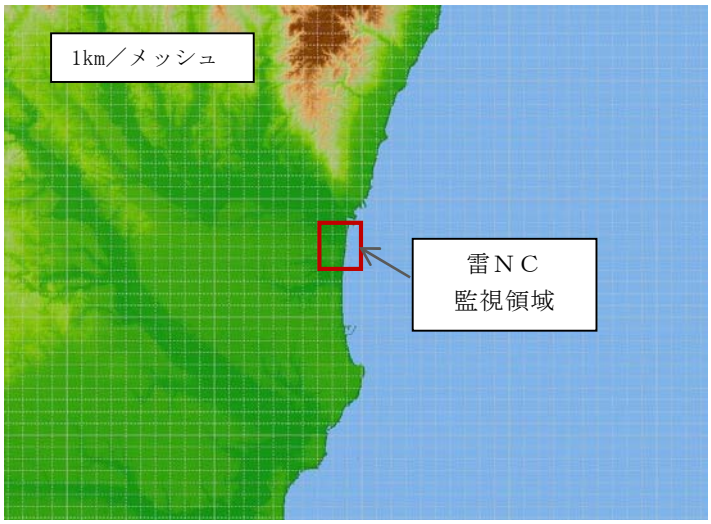
「発電所を含むメッシュ＋周囲１メッシュ」の計９メッシュを，竜巻ＮＣの監視領域とする（別図 4-1 参照）。



別図 4-1　竜巻ＮＣの監視領域

雷ＮＣの監視領域

「発電所を含む２メッシュ＋周囲１メッシュ」の計 12 メッシュを，雷ＮＣの監視領域とする（別図 4-2 参照）。



別図 4-2　雷ＮＣの監視領域

(2)　レベル２：準備作業開始

＜判断基準＞

以下の２つの情報の「and」条件とする。

①　竜巻ＮＣについて，発電所エリアに「発生確度 2」が認められる。

②　雷ＮＣについて，発電所エリアに「活動度２以上」が認められる。

＜対応＞

・準備作業開始の所内指示（ページング）

・津波監視カメラ，目視等による上空の状況監視

（補助的に，ＮＣの監視も継続）

・車両管理エリア内の車両の固縛もしくはエリア外への退避

・固縛解除中物品の再固縛

・外殻防護障壁となる扉等の閉止

(3)　レベル３：人員の避難

＜判断基準＞

以下の①及び②の情報の「and」条件もしくは③の成立とする。

①　竜巻ＮＣについて，発電所エリアに「発生確度 2」が認められる。

②　雷ＮＣについて，発電所エリアに「活動度３以上」が認められる。

③　上空の状況監視において，竜巻の兆候※が認められる

※：以下の様な状況

・「空が急に暗くなる，激しい雨やひょうが降る，雷が鳴る」（＝発達した積乱雲が近づいている兆候）

・「竜巻の漏斗雲や突風により舞い上がる飛散物が見える」

＜対応＞

・人員の退避の所内指示（ページング）

・発電所内人員の，屋内への避難

（気象庁「竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について」抜粋）

4.　各アクションレベルの判断基準に用いる気象情報の妥当性

(1)　竜巻準備体制の確認の判断

気象情報：以下の or 条件

①雷注意報（竜巻又は突風）

②竜巻注意情報

別表 4-2 に，藤田スケール 1 以上の竜巻に対し，上記条件が竜巻を捕捉した確率を調査した結果を示す。

別表 4-2　準備体制確認の判断基準による竜巻の捕捉率

（気象庁ＨＰ「竜巻注意情報の発表状況」より，2010～2017 年 8 月までのデータを調査）

年 時間余裕	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	合計	2013.3.14 以降※1	2016.12.15 以降※2
予見失敗	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
10分以内	1	1	0	3	0	0	2	0	7	5	0
10分超～30分以内	0	2	0	2	0	0	1	0	5	3	0
30分超～40分以内	2	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0
40分超～50分以内	1	0	0	0	2	1	0	0	4	3	0
50分超～60分以内	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0
60分超	4	1	8	16	4	8	10	5	56	41	6
計	8	5	10	21	6	9	14	5	78	53	6
全捕捉率	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	92.9%	100.0%	98.7%	98.1%	100.0%
猶予10分超での捕捉率	87.5%	80.0%	100.0%	85.7%	100.0%	100.0%	78.6%	100.0%	89.7%	88.7%	100.0%
猶予30分超での捕捉率	87.5%	40.0%	100.0%	76.2%	100.0%	100.0%	71.4%	100.0%	83.3%	83.0%	100.0%
猶予40分超での捕捉率	62.5%	40.0%	90.0%	76.2%	100.0%	100.0%	71.4%	100.0%	79.5%	83.0%	100.0%
猶予60分超での捕捉率	50.0%	20.0%	80.0%	76.2%	66.7%	88.9%	71.4%	100.0%	71.8%	77.4%	100.0%

※1：全国の気象レーダーのドップラーレーダー化完了日。観測精度の向上が期待できる期間として設定。
※2：竜巻注意情報の単位領域の細分化開始

捕捉率はほぼ 100％であり，また，近年のデータからは猶予時間 30 分以上での捕捉率についても改善傾向が認められる。したがって,「雷注意報（竜巻又は突風）」又は「竜巻注意情報」を判断基準とすることにより，竜巻準備体制を整えるための猶予時間は確保できると考える。

(2)　準備作業開始の判断

気象情報：以下の and 条件

①竜巻ＮＣ「発生確度２」

②雷ＮＣ「活動度２以上」

藤田スケール（Ｆスケール）の被害指標ではＦ３の場合に「自動車は持ち上げられて飛ばされる。」となっており，万一衝突した場合の影響が大きい車両が評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす竜巻のスケールはＦ３スケール以上と考えられるが，別表 4-3 のとおり，ナウキャスト運用開始後に発生したＦ３スケール以上の竜巻については竜巻発生確度 2 が事前に出されていることから,「竜巻発生確度 2」を用いることで，Ｆ３スケールの竜巻の予測は可能と考える。

別表 4-3　竜巻ＮＣによるＦ３竜巻の予測実績

発生時間	発生箇所	竜巻発生確度 及び発令時間
2012.5.6 12：35～12：53	茨城県常総市	確度 2（12：20）

また，雷は積乱雲内の上昇気流によって発生する※1ことから，雷ＮＣも考慮に加えることとした。

強い竜巻は，スーパーセルと呼ばれる発達した積乱雲の下で発生する。竜巻ＮＣの発生確度 2 は，メソサイクロン（スーパーセル中にある水平規模数 km の小さな低気圧）の検出が条件となっているが，これはメソサイクロン付近で竜巻などの激しい突風の可能性があると判断される※2ためである。更に降水強度を低めに見積もることによって，発達中の積乱雲から発生する突風を見逃さないようにしている。

積乱雲は成長期，成熟期及び衰退期の 3 段階のライフサイクルで形成，消滅する※2が，このサイクル中で竜巻及び雷が発生するのは積乱雲が最も発達した成熟期であり，この成熟期の初期段階又は発達した積乱雲の接近を把握する方法として，雷ＮＣを利用する。

雷ＮＣの活動度 2 は，上空の放電状態や発達した積乱雲の周辺を表しており，竜巻が発生する可能性が高い発達した積乱雲の発生または接近を予告する指標として活用できると考える。また，ナウキャストにおいては予測だけでなく直近の過去のデータ及び予測値を見ることが可能であるため，準備体制の確認の段階においてナウキャストを監視することにより，積乱雲の状況を確認することが可能である。

以上より，竜巻ＮＣの発生確度 2 に雷ＮＣの活動度 2 以上の組み合わせを，強い竜巻が発生する恐れが高まっていることの指標とすることは妥当

であると判断した。

(3)　人員の避難の判断

気象情報：以下の and 条件

①竜巻ＮＣ「発生確度２」

②雷ＮＣ「活動度３以上」

（また，気象情報とは別に「③上空の状況監視において，竜巻の兆候が認められる」場合も判断基準としている）

雷は積乱雲内の上昇気流によって発生するため，落雷が発生している場所（雷活動度 3 以上の地域）は強い上昇気流場であると言えるが，雷ＮＣの活動度 3 以上の場所は，既に対地放電が起きている強い放電密度を持った場所を表しており，強い雷雲の位置を示していることになる。

また，雷活動度の予測には盛衰傾向による補正が加えられており，現時点では成長期や成熟期初期にある積乱雲に対して継続時間を考慮した予測がなされている。すなわち，単純な積乱雲の移動による雷の発生の予測でなく，積乱雲の発達も考慮に加えられている※2。

以上より，竜巻ＮＣの発生確度 2 と雷ＮＣの活動度 3 以上の組み合わせを，強い竜巻の発生の指標とすることは妥当であると判断した。

なお，人員の避難はプラント運用面への負担が大きな対策であると考えられるため，ナウキャストの値だけでなく，現場の気象状況も加味して判断することが現実的と考えられる※3ことから，カメラ等を用いた上空の監視も判断基準に加えることとしている。

※1：大野久雄：雷雨とメソ気象（2001，東京堂出版）

※2：雷ナウキャストにおける雷の解析・予測技術と利用方法（測候時報 78.3 2011）

※3：竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について（H22.3 気象庁）

『竜巻注意情報や竜巻発生確度ナウキャストは，適中率が低く空振りが多く

なるため，これらの発表と連動して負担（対策に要する時間や手間，及び対策の影響）の大きな対策を実施するのは難しいのが現状である。

したがって，「空の様子に注意する」など，なるべく負担の小さな対策から実施するのが適当であり，負担の大きな対策の実施については，発生確度 1 や 2 の発表に現場の気象状況を加味して判断するのが現実的な利用方法といえる。』

（参考）

竜巻発生確度ナウキャスト及び雷ナウキャスト

(1)　竜巻発生確度ナウキャストとは

10km格子単位で「竜巻が発生する可能性の程度」を2つの階級（発生確度1,2）で解析し，10分ごとに1時間先までの予測を行うもの。

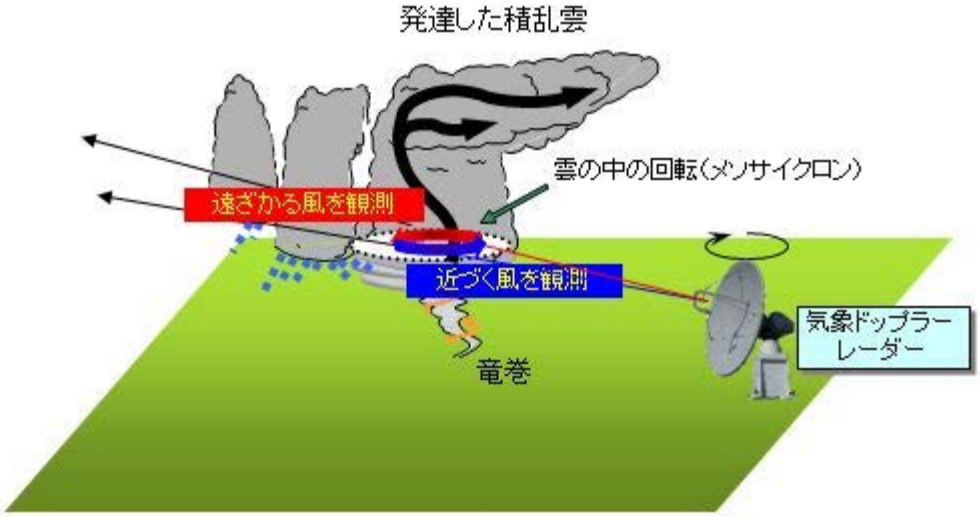
竜巻などの激しい突風は，規模が小さくレーダーなどの観測機器で直接実体を捉えることができないため，竜巻をもたらす発達した積乱雲の中にある直径数キロのメソサイクロンの検出又は，大気環境，積乱雲の発生場所・発達状況から突風の発生可能性を表す指数「突風危険指数」が基準を持たした場合に発生確度の解析を開始し，降水強度の解析と重ねて降水強度が強い格子を発生確度1,2と判定する。

・発生確度1

メソサイクロンの検出又は突風危険指数の基準を満たした（OR条件）格子の周辺100km範囲は「積乱雲が発生すれば突風の可能性がある」領域（発生確度1背景）と考え，この領域の降水強度が強い格子が「発生確度1」と判定する。

・発生確度2

メソサイクロンの検出及び突風危険指数の基準を満たした（AND条件）格子の周辺40km範囲は「積乱雲が発生すれば突風の可能性が発生確度1背景より高い」領域（発生確度2背景）と考え，この領域の降水強度が強い格子が「発生確度2」と判定する。



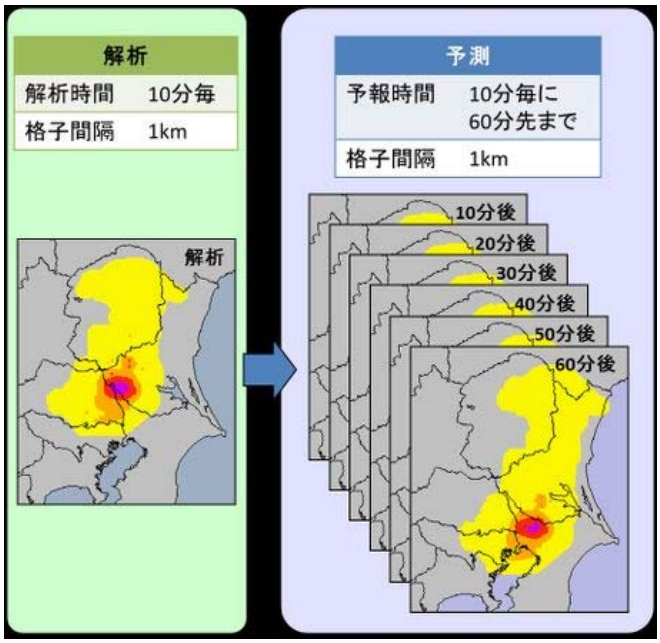
出典：竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について：平成22年3月気象庁

(2)　雷ナウキャストとは

雷ナウキャストは，雷の激しさや雷の可能性を1km格子単位で解析し，その1時間後の（10～60分先）までの予測を行うもので，10分ごとに更新して気象庁より提供される。

雷の解析は，雷監視システムによる雷放電の検知及びレーダー観測などを基にして活動度1～4で表される。予測については，雷雲の移動方向に移動させるとともに，雷雲の盛衰の傾向も考慮している。

雷ナウキャストでは，雷監視システムによる雷放電の検知数が多いほど激しい雷（活動度が高い）としており，雷放電を検知していない場合でも，雷雲の特徴から雷雲解析をするとともに，雷雲が発達する可能性のある領域も解析している。



活動度	雷の状況	
4	激しい雷	落雷が多数発生している。
3	やや激しい雷	落雷がある。
2	雷あり	電光が見えたり雷鳴が聞こえる。落雷の可能性が高くなっている。
1	雷可能性あり	現在は雷は発生していないが、今後落雷の可能性がある。

出典：雷ナウキャストとは　気象庁ＨＰ

原子炉建屋ブローアウトパネルに対する対応方針について

1. 概要

原子炉建屋原子炉棟外壁のブローアウトパネル（以下「ブローアウトパネル」という。）の竜巻に対する対応方針について整理した。

2. 竜巻によるブローアウトパネルの機能への影響と基本対応方針

竜巻襲来時にブローアウトパネルに想定される状態，プラントへの影響及び対応方針を整理した結果を，別表 5－1 に示す。

飛来物によるブローアウトパネルの損傷（貫通）については，ブローアウトパネルへの飛来物防護対策を行う方針とする。また，設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差によるブローアウトパネルの開放に伴って生じる原子炉建屋原子炉棟外壁開口部への竜巻の影響及び防護方針については，3. にて整理する。

別表 5－1　竜巻襲来時のブローアウトパネル状態とプラントへの影響と対応

竜巻襲来時のブローアウトパネルの状態	プラントへの影響	基本対応方針
気圧差による開放	原子炉建屋原子炉棟の閉じ込め機能の喪失	設計基準事故と竜巻の重畳の頻度は十分小さいため，開放した場合は再閉止措置をする。
	開口部の発生による，建屋内部の外部事象防護対象施設への竜巻荷重（風圧力，飛来物）の作用	各外部事象防護対象施設の配置状況等を踏まえて以下対策の実施 ・風圧力に対する評価 ・飛来物の侵入防止
飛来物による損傷（貫通）	原子炉建屋原子炉棟の閉じ込め機能の喪失	ブローアウトパネルへの飛来物防護対策の実施
	飛来物の侵入による，建屋内部の外部事象防護対象施設の損傷	（上記対策により包含される）

3.　竜巻によるブローアウトパネルの開放に伴う影響評価及び防護方針

ブローアウトパネルは設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差で開放する可能性があり，その際に原子炉建屋原子炉棟外壁には開口が生じた状態となることから，当該状態に対する竜巻による影響を評価し，防護方針を整理した。

3.1　竜巻によるブローアウトパネルの開放の影響を受ける原子炉建屋原子炉棟内の外部事象防護対象施設

ブローアウトパネルが設置されている，原子炉建屋原子炉棟 5 階及び 6 階の内部に配置される外部事象防護対象施設を，別表 5-2 に，外部事象防護対象施設及びブローアウトパネルの配置を別図 5-1 に示す。

なお，原子炉建屋原子炉棟 5 階の東側エリアのブローアウトパネルは閉止する方針であることから，竜巻による影響評価の対象外とする。

別表 5-2　原子炉建屋原子炉棟 5 階及び 6 階の外部事象防護対象施設

フロア		外部事象防護対象施設
6 階		・使用済燃料プール（①） ・燃料プール冷却浄化系真空破壊弁（②） ・燃料交換機（③） ・原子炉建屋天井クレーン（④）
5 階	東側	（ブローアウトパネル閉止により対象施設なし）
	西側	・ほう酸水注入系設備（⑤） （ポンプ，タンク，弁，配管等）

別図 5-1　原子炉建屋原子炉棟 5，6 階におけるブローアウトパネル及び外部事象防護対象施設の配置図

3.2　外部事象防護対象施設に作用し得る荷重

ブローアウトパネルが竜巻による気圧低下に伴う気圧差により開放した場合，当該開口部から原子炉建屋原子炉棟 5 階及び 6 階の外部事象防護対象

施設に作用し得る竜巻に関連する荷重について，別表 5-3 のとおり整理した。その結果，風圧力による荷重（W_W）及び設計飛来物による衝撃荷重（W_M）が考慮すべき荷重として抽出された。

別表 5-3　ブローアウトパネル開口部から原子炉建屋原子炉棟内部に作用し得る竜巻に関連する荷重

荷重		考慮の要否	評価
風圧力による荷重（W_W）		要	・同一の区画において複数のブローアウトパネルが開放すると風の流路が形成されることから，考慮対象とする。 ・風速は，設計竜巻の最大風速 100m/s とする。
気圧差による荷重（W_P）		否	・開口部の近傍には密閉された設備が無いことから，考慮不要とする。
設計飛来物による衝撃荷重（W_M）		要	・開口部から飛来物が侵入する可能性は否定できないことから，考慮対象とする。 ・想定する飛来物は，設計飛来物（鋼製材）とする。
随伴が考えられる事象	雷	否	開口部からの雷の侵入は考え難いため，考慮しない。
	降水	否	雨の吹込みは開口部近傍に限られるとともに，重要設備は内部溢水対策による防水措置が施されていることから，影響はない。
	ひょう	否	施設への影響が無い設計飛来物である「砂利」と，寸法及び運動エネルギが同程度であり，施設への影響はないと考える。 【添付資料 10「竜巻時に発生するひょうの影響について」参照】

3.3　外部事象防護対象施設に対する影響評価と防護方針

各外部事象防護対象施設において要求される機能が，別表 5-3 で抽出された荷重（W_W，W_M）に対して，構造健全性が維持され，安全機能を損なわないことを評価するとともに，安全機能の維持が難しいと考えられる施設とその荷重に対する防護方針を検討し，その結果を別表 5-4 に示す。

別表 5-4　竜巻荷重に対する外部事象防護対象施設の機能維持評価及び機能維持のための防護方針

外部事象防護対象施設		要求される機能	竜巻荷重に対する機能維持評価		防護の要否	機能維持のための防護方針
			荷重	評価		
6階	使用済燃料プール	放射性物質を貯蔵する機能（PS-2）	W_W	構造的に，風荷重の影響を受けない。	不要	—
			W_M	設計飛来物がプール内の使用済燃料に衝突した場合，燃料の損傷の恐れがある。	要	建屋内への飛来物侵入防止
	燃料プール冷却浄化系真空破壊弁	放射性物質放出の防止機能（MS-2）	W_W	構造的に，風荷重の影響を受けない。	不要	—
			W_M	設計飛来物が当該施設に衝突した場合，損傷し機能を喪失する恐れがある。	要	建屋内への飛来物侵入防止
	燃料交換機 原子炉建屋天井クレーン	燃料を安全に取り扱う機能（PS-2）	W_W	風荷重に対し損傷し，燃料取扱機能を喪失する可能性を否定できない。	要	竜巻の襲来が予想される場合，燃料取扱作業の中止
			W_M	設計飛来物が当該施設に衝突した場合，損傷し燃料取扱機能を喪失する可能性を否定できない。	要	
		波及的影響の防止機能	W_W	風荷重に対し損傷し，外部事象防護対象施設（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）へ波及的影響を及ぼす可能性を否定できない。	要	竜巻の襲来が予想される場合，外部事象防護対象施設に影響を及ぼさない（通常の待機）位置に退避する運用
			W_M	設計飛来物が当該施設に衝突した場合，損傷し外部事象防護対象施設（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）へ波及的影響を及ぼす可能性を否定できない。	要	
5階（西側）	ほう酸水注入系設備	未臨界維持機能（MS-1）	W_W	ブローアウトパネルから離れた場所にあり，竜巻の風の主な流路（別図 5-2 参照）を考えると，風の影響を受けない。	不要	—
			W_M	当該施設はブローアウトパネルの開口部から見通せない場所にあるため（別図 5-2 参照），飛来物が衝突することはない。	不要	—

別図 5-2　原子炉建屋原子炉棟 5 階の風の通過経路及び西側区画

ブローアウトパネルからの飛来物の到達範囲図

3.4　開口部の発生に対する防護方針

別表 5-3 の整理に基づく，5 階，6 階それぞれの防護対策は以下のとおりであり，「竜巻飛来物防護対策設備の設置」を実施する。なお，竜巻飛来物防護対策設備については，ブローアウトパネル自身への飛来物防護対策を包含する。

(1)　原子炉建屋原子炉棟 6 階の防護方針

・開口部から侵入する風の荷重に対する防護方針

なし（風荷重による影響を受けない）

（竜巻襲来予想時の燃料取扱作業の中止及び外部事象防護対象施設へ影響を及ぼさない通常待機位置への退避）

・開口部から侵入する飛来物に対する防護方針

建屋内への飛来物の侵入防止

（竜巻飛来物防護対策設備（防護ネット）の設置）

(2)　原子炉建屋原子炉棟５階の防護方針

・開口部から侵入する風の荷重に対する防護方針

なし（風荷重による影響を受けない）

・開口部から侵入する飛来物に対する防護方針

なし※（飛来物による影響を受けない）

※　ただし，ブローアウトパネル自身への飛来物防護対策として，竜巻飛来物防護対策設備（防護ネット）を設置する。

南方の隣接事業所からの飛来物の影響について

発電所の南方にある隣接事業所の施設からの飛来物の到達範囲は，別図 6-1 のとおりであり，使用済燃料乾式貯蔵建屋に車両及びその他物品の到達が考えられる。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の安全機能（遮蔽機能：ＰＳ－３[※1]）はその効果が大きいものではなく[※2]，後述のとおり，仮に飛来物により建屋が損傷した状態でも遮蔽機能に対する要求水準は維持されるものの，隣接事業所からの飛来物より建屋が損傷した場合には，補修により遮蔽機能を復旧させる方針とし，当該安全機能を損なわれない設計とする。これより，南方の隣接事業所からの物品について，飛来物発生防止のための管理は不要とする。

※1：人の居住の可能性のある敷地境界外における線量を一定値以下に抑える機能

※2：「原子力発電所内の使用済燃料の乾式キャスク貯蔵について（平成 4 年 8 月 27 日原子力安全委員会了承）」に，以下の様に整理されている。

・貯蔵建屋は，適切な格納機能及び放射線低減効果の大きい遮へい機能を必要としないため，耐震Ｃクラスとする。

別図 6－1　敷地南方の隣接事業所と飛来物到達範囲

1.　飛来物衝突時の影響確認結果

1.1　飛来物の衝突部位

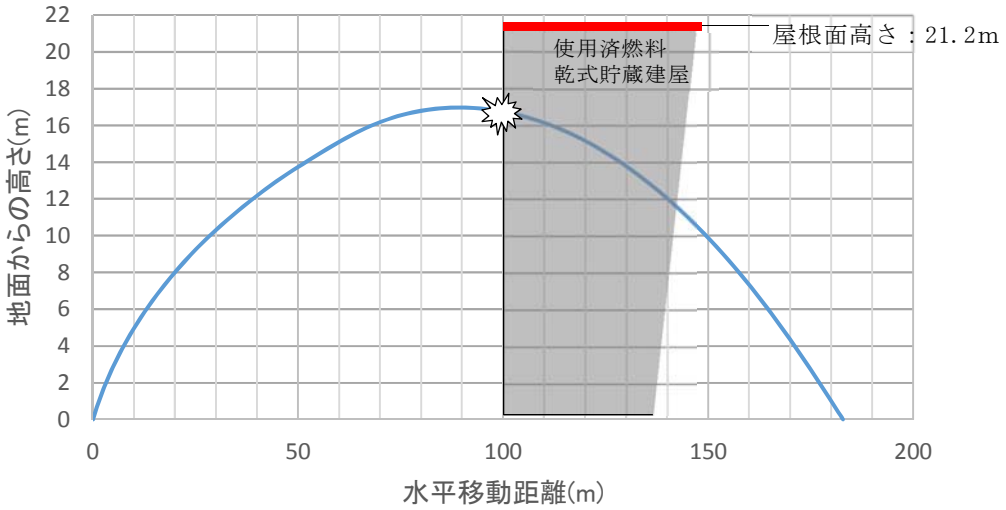
別図 6－2 イ）に，使用済燃料乾式貯蔵建屋と隣接事業所の敷地のうち飛来物が存在する可能性があるエリアとの位置関係を示す。

隣接事業所からの飛来物は，使用済燃料乾式貯蔵建屋の南東方向から飛来すると考えられることから，使用済燃料乾式貯蔵建屋に衝突する場合は，建屋の東側もしくは南側外壁に衝突すると考えられる。

また，屋根面に到達するケースを想定する。

以上より，飛来物の衝突を考慮すべき箇所として，使用済燃料乾式貯蔵建屋の東側外壁，南側外壁及び屋根面を抽出した。

イ）平面上の位置関係



ロ）鉛直方向の飛跡の例（上図Ⓐ地点からの車両の例）

別図 6－2　使用済燃料乾式貯蔵建屋と隣接事業所の敷地から
飛来物が到達し得るエリアの位置関係

1.2　損傷時の影響を考慮すべき建屋の機能

使用済燃料乾式貯蔵建屋が維持すべき機能は，安全機能である「遮蔽機能」と，内包する外部事象防護対象施設（使用済燃料乾式貯蔵容器）に対す

る「波及的影響防止（機能）」の２つとなる。建屋に飛来物が衝突した場合には，以下のとおり遮蔽機能の低下が想定されることから，以降，遮蔽機能の低下の影響について詳細評価を行う。

(1)　遮蔽機能に対する影響

使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁は遮蔽壁であり，想定される飛来物である車両等の衝突時には損傷することが想定されるため，遮蔽機能の低下の程度及び影響について確認する必要がある。

(2)　波及的影響防止に対する影響

使用済燃料乾式貯蔵建屋は鉄筋コンクリート製の厚い部材厚を有する建屋であり，設計竜巻の風荷重及び飛来物の衝撃荷重に対しても建屋の変形は十分に小さく抑えられ，倒壊には至らず，内包する外部事象防護対象施設への影響はない。（補足１参照）

1.3　遮蔽機能低下の影響を考慮すべき部位

使用済燃料乾式貯蔵建屋の東側外壁，南側外壁及び屋根面のうち，損傷時遮蔽機能の低下による線量増加の影響を考慮すべき部位を以下のとおり抽出した。

(1)　東側外壁

使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽機能に対する要求水準は，「人の居住の可能性のある敷地境界外における空気カーマが年間 50μGy 以下」※であるが，別図 6－3 に示すとおり，東側外壁は人の居住の可能性のある敷地に面していないことから，影響評価を行わない。

※「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（平成 29 年 9 月 11 日施行，原子力規制委員会）において，第 16 条（燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設）第 4 項に関する解釈に，「乾式キャスクの設計の妥

当性については，「原子力発電所内の使用済燃料の乾式キャスク貯蔵について（平成 4 年 8 月 27 日原子力安全委員会了承）に基づき確認する。」とされており，同文書において使用済燃料乾式貯蔵建屋の設計上の判断基準として定められている。なお，第 27 条（放射性廃棄物の処理施設）にある線量目標値は，使用済燃料乾式貯蔵建屋を含む使用済燃料乾式貯蔵設備は対象でなく，第 28 条（放射性廃棄物の貯蔵施設）も同様に対象ではない。第 29 条（工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護）については，同文書の設計上の判断基準と同等の要求である。

(2)　南側外壁

南側外壁については，別図 6-3 に示すとおり，人の居住の可能性のある敷地に面することから，影響評価を実施する。

(3)　屋根面

屋根面については，以下の理由から南側外壁の評価に包含されると判断し，個別の影響評価は実施しない。

・種々の飛来物源の解析結果によれば，飛来物の浮上高さは屋根面を大きく上回らないことから，下降して屋根面に衝突する時の落下速度は小さい。保守性を考慮し落下速度を大きく見積った場合においても，運動エネルギは設計飛来物である鋼製材と同程度となるため，屋根スラブ（厚さ約[redacted]の鉄筋コンクリート版）の大規模な損傷には至らず，遮蔽機能を大きく失うことはないと考えられる。

・後述のスカイシャイン線量評価では，屋根スラブと同じ厚さの南側外壁の遮蔽効果を保守的に全喪失すると見なした場合の線量の増加率を，屋根面由来の分も含めた線量に適用する手法としていることから，大きな損傷が考え難い屋根面由来の線量の増分は，この保守的な増倍率に包絡されると考えられる。

別図 6－3　東側及び南側外壁の向き並びに敷地境界の線量評価点

1.4　使用済燃料乾式貯蔵建屋の南側外壁への飛来物の衝突による影響評価

1.4.1　建屋の構造

使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造を別図 6－4 に示す。評価対象とする南側外壁は鉄筋コンクリート製で，厚さが異なる上部と下部で構成され，また建屋内部には，南方への遮蔽効果を期待できる鉄筋コンクリート製の内壁が存在する。また，屋根面は鉄筋コンクリートスラブに覆われている。

このうち，影響評価の対象として抽出した南側外壁の上部外壁はスカイシャインに対する遮蔽機能を，下部外壁は直接線に対する遮蔽機能を有している。また，内壁については直接線に対する遮蔽機能を有している。

別図 6－4　使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造

1.4.2　飛来物衝突時の南側遮蔽壁の状況想定

飛来物衝突時の使用済燃料乾式貯蔵建屋南側の遮蔽壁の状況としては，飛来物源として考えられる車両やコンテナ類の影響に近いと思われる条件での車両衝突解析の文献※を参照すると，外壁を貫通し内壁に衝突することは考

え難いため，別表 6-1 のとおり，南側外壁のうち上部外壁及び下部外壁のみに飛来物衝突時の損傷を想定した。その際，損傷を想定する部位の遮蔽能力は保守的に全喪失すると見なした。

※：参考資料（本紙の 6-9 ページ）参照

別表 6－1　飛来物の衝突箇所に対する南側遮蔽壁の状況想定

ケース		遮蔽壁の状況		スカイシャイン及び直接線に対する遮蔽厚さの変化	
1	上部外壁への衝突	上部外壁[redacted]	遮蔽能力全喪失	スカイ	[redacted]
		下部外壁[redacted]	健全	直接線	変化なし[redacted]
		内壁[redacted]	健全		
2	下部外壁への衝突	上部外壁[redacted]	健全	スカイ	変化なし[redacted]
		下部外壁[redacted]	遮蔽能力全喪失	直接線	[redacted]
		内壁[redacted]	健全		

1.4.3　南側外壁の損傷に対する影響評価

使用済燃料乾式貯蔵建屋からの南方への放射線に対する，人の居住の可能性のある敷地境界の評価点は，別図 6-5 に示す I 地点となる。

I 地点の方向に対する既存の線量率データのうち，最も I 地点に近い別図 6-5 に示す使用済燃料乾式貯蔵建屋の南側外壁から約 500m離れた地点のデータを基に※，別表 6－1 で整理した状況において，I 地点における線量が要求される水準を維持しているかを推定した。

※：建屋健全時の代表評価点は発電所敷地に近い別図 6-5 の E 地点近傍になることから，建設時に I 地点のデータは算出していない。

別図６－５　線量評価点

別表 6－1 のケース 1 及びケース 2 において，南側外壁のうち上部及び下部外壁をそれぞれ喪失した時の遮蔽厚さの減少に伴う減衰比の変化率を基に，使用済燃料乾式貯蔵建屋南壁から 500m 地点の線量率を評価した結果を別表 6－2 に示す。

別表 6－2　想定状況に対する外部線量の推定値

評価点	ケース	線種	健全時評価値（μGy/y）	減衰比変化率	線量評価値（μGy/y）	他施設の寄与（μGy/y）	合計（μGy/y）
500m 地点	1	スカイシャイン	0.470	約 31 倍※1	14.57	約 21.5※3	約 36.3
		直接線	0.218	なし	0.218		
	2	スカイシャイン	0.470	なし	0.470		約 43.8
		直接線	0.218	約 100 倍※2	21.8		

※1：（鉄筋コンクリート厚[redacted]の減衰比）／（同[redacted]の減衰比）
健全時の値(0.470)に含まれる屋根経由の分も 31 倍することになるため，屋根スラブに起こり得る軽微な損傷の影響も包含される。

※2：（鉄筋コンクリート厚[redacted]の減衰比）／（同[redacted]の減衰比）

※3：東海第二発電所の原子炉建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋，固体廃棄物保管建屋，給水加熱器保管庫及び固体廃棄物作業建屋並びに東海発電所からの線量

ケース 1 及びケース 2 ともに，「人の居住の可能性のある敷地境界外における空気カーマが年間 50μGy 以下」を 500m地点においても満足することから，減衰が見込まれるより遠方の Ⅰ 地点においても，同様に年間 50μGy 以下となる。

よって，使用済燃料乾式貯蔵建屋南壁の上部又は下部外壁に飛来物が衝突しても，使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽機能は維持されると判断した。

以　上

（参考）

鉄筋コンクリート壁への車両衝突時の影響について

文献※において，鉄筋コンクリート壁に竜巻飛来物として車両を衝突させるシミュレーションの結果が示されている。

文献では車両（質量 2t，速度 47m/s）の正面衝突及び側面衝突の両ケースを実施しているが，当社の飛散解析手法でも，同程度の車両の飛散速度は概ね 40m/s 台となる。また，車両以外の物品で影響の大きなコンテナ類についても，当社の飛散解析結果から算出した運動エネルギーは本文献の車両の運動エネルギー（約 2200kJ）と概ね同程度以下であり，使用済燃料乾式貯蔵建屋への飛来物衝突時の影響評価に対し参考になる解析と考えられる。

下図に示すように，使用済燃料乾式貯蔵建屋の[redacted]の壁面に対しては，衝突面の損傷及び裏面剥離は見られるが，その範囲は車両の大きさと同程度に留まっており，またコンクリートの大規模な脱落や鉄筋の大変形及び破断は認められていないことから，遮蔽機能についてはある程度維持されているものと考えられる。

本文 3.2 節の影響評価では，衝突面においては遮蔽機能を全喪失したものとして評価しており，上記の解析結から，この想定は保守性を有していると判断している。

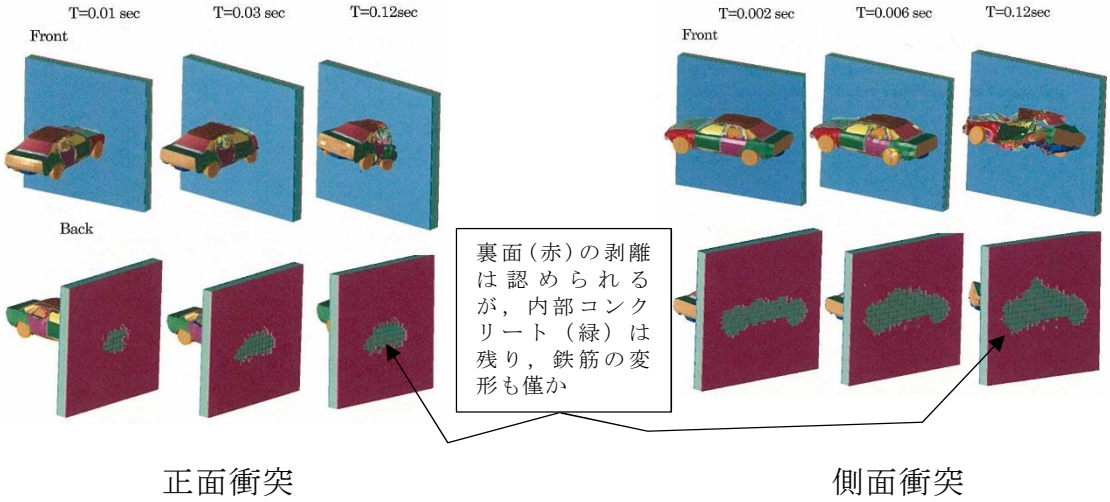


図　車両衝突時の鉄筋コンクリート壁の損傷解析

※：Madurapperuma 他，竜巻飛来物（自動車）衝突による鉄筋コンクリート構造物の挙動，土木学会第 11 回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集，2014

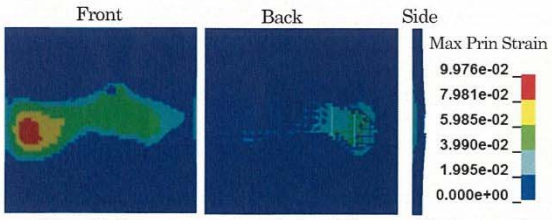


Fig. 13 Damage pattern of the 250 mm wall due to the front impact of the vehicle

Figure 14 shows damage evolution of the 450 mm wall due to the front impact of the vehicle. The damage to the wall is less compared to that of the 250 wall. The concrete in the back side has removed showing spalling damage to wall. Figure 15 shows damage is concentrated only to certain regions of the wall, and the maximum principal strain is less than one-third of the specified concrete failure strain of 0.1.

Figure 16 shows damage evolution of the 450 mm wall due to the side impact of the vehicle. The damage to the wall is less compared to that of the 250 mm wall. The spalling damage to the wall is seen at an early stage of contact. As shown in Figure 17, the maximum principal strain is 0.064 at severe damage regions of the wall, and it is less than the maximum principal stains of 150 mm and 250mm walls when the side impact of the vehicle.

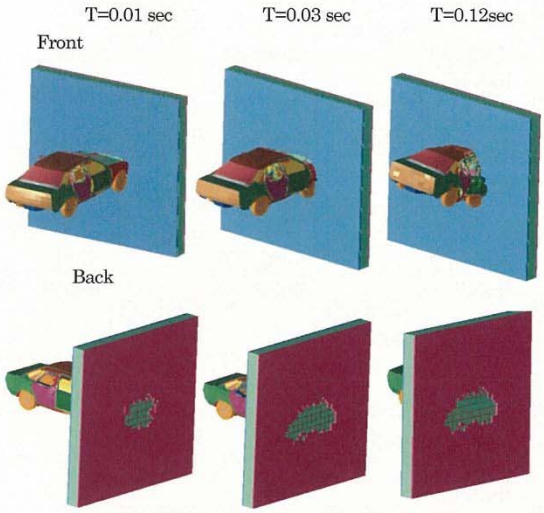


Fig. 14 Evolution of damage to the 450 mm wall due to the front impact of the vehicle

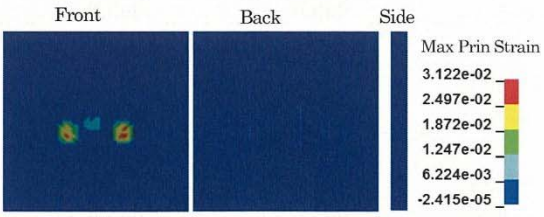


Fig. 15 Damage pattern of the 450 mm wall due to the front impact of the vehicle

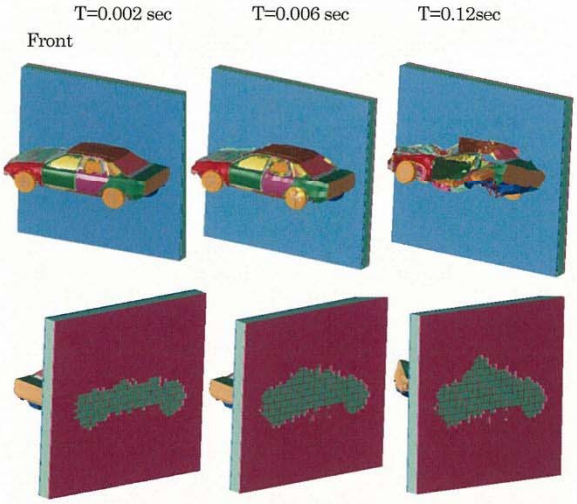


Fig. 16 Evolution of damage to the 450 mm wall due to the side impact of the vehicle

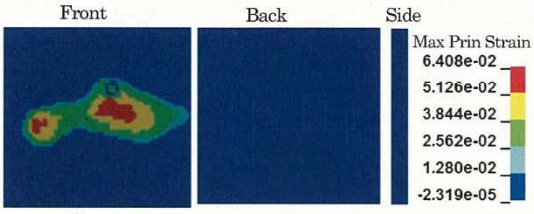


Fig. 17 Damage pattern of the 450 mm wall due to the front impact of the vehicle

5. Conclusions

For the vehicle considered, it is seen that side impact of the vehicle is more critical than front impact for the all three types of walls. Most of energy dissipators are designed for front impact of the vehicle and therefore, most of kinetic energy of the vehicle dissipated through plastic deformation of the vehicle when the vehicle front side impacts

（補足１）

隣接事業所からの飛来物の使用済燃料乾式貯蔵建屋に対する影響評価について

隣接事業所からの飛来物が使用済燃料乾式貯蔵建屋に衝突した影響について以下に示す。

1.　使用済燃料乾式貯蔵建屋全体への評価

設計竜巻による風圧力，気圧差及び飛来物による衝突に対して，構造骨組の構造健全性が維持されることを確認する。

1.1　設計竜巻荷重の組合せ

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，及び飛来物による衝撃荷重W_Mを組みわせた複合荷重とする。

複合荷重W_{T1}，W_{T2}のうち大きい方を検討荷重とする。

設計竜巻荷重は，補表 1-1 の値となる。見付面積は，補図 1-1 に示す。

$$W_{T1} = W_P$$

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

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　　：設計竜巻による気圧差による荷重

W_M　　：飛来物による衝撃荷重

$$W_M = F_{max} = MV^2/L_{min}$$

M　　：飛来物の質量（kg）

V　　：飛来物の衝突速度（m/s）

L_{min}　　：飛来物の寸法の最小長さ(m)

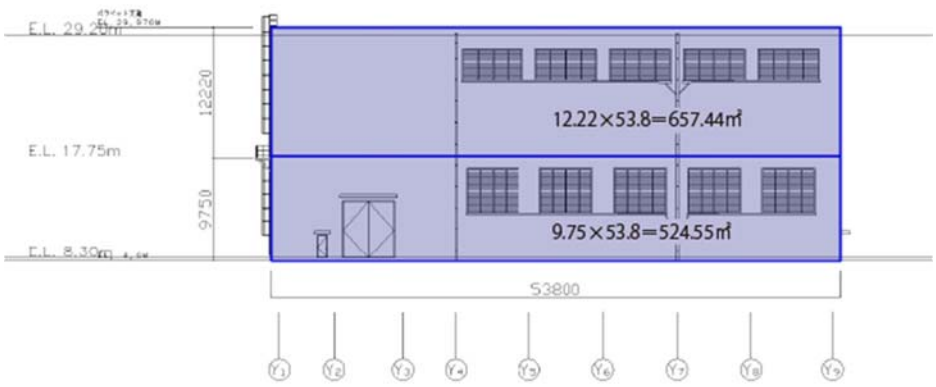
補表1-1　使用済燃料乾式貯蔵建屋に対する設計荷重

DC／Bせん断スケルトン(N-S方向)

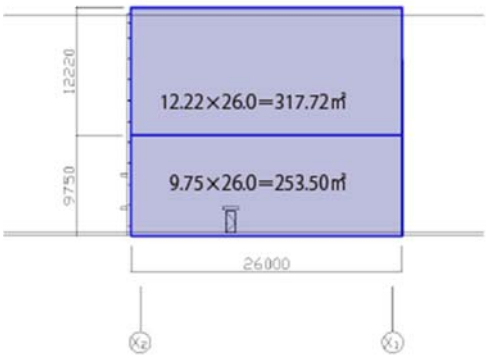
高さ EL (m)	要素番号	見付面積 Ai	風圧力による荷重 速度圧 q	ガスト影響係数 G	風力係数 C	層荷重 P_D	層せん断力 W_W	気圧差による荷重 圧力低下 ΔP	層外力 ΔP×Ai	層せん断力 W_P	飛来物による荷重 衝撃荷重 P_{WM}	層せん断力 W_M	組合せ荷重 W_{T1}	W_{T2}
		(m^2)	(N/m^2)	(−)	(−)	(kN)	(kN)	(N/m^2)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
29.200 ～ 17.750	BM03	318	6100	1	1.2	2328	2328	8815	2804	2804	3000	3000	2804	6730
17.750 ～ 8.300	BM02	254	6100	1	1.2	1860	4188	8815	2240	5044	0	3000	5044	9710

DC／Bせん断スケルトン(E-W方向)

高さ EL (m)	要素番号	見付面積 Ai	風圧力による荷重 速度圧 q	ガスト影響係数 G	風力係数 C	層荷重 P_D	層せん断力 W_W	気圧差による荷重 圧力低下 ΔP	層外力 ΔP×Ai	層せん断力 W_P	飛来物による荷重 衝撃荷重 P_{WM}	層せん断力 W_M	組合せ荷重 W_{T1}	W_{T2}
		(m^2)	(N/m^2)	(−)	(−)	(kN)	(kN)	(N/m^2)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
29.200 ～ 17.750	BM03	658	6100	1	1.2	4817	4817	8815	5801	5801	3000	3000	5801	10718
17.750 ～ 8.300	BM02	525	6100	1	1.2	3843	8660	8815	4628	10429	0	3000	10429	16875



(1)　南北　方向



(2)　東西　方向

補図 1-1　使用済燃料乾式貯蔵建屋の受圧面の面積図

1.2　設計竜巻荷重による層せん断ひずみ

設計竜巻荷重が使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐力以内であることを確認するため，使用済燃料乾式貯蔵建屋の層せん断ひずみを算出する。

各層の代表せん断力に対するせん断ひずみの数値を補表 1-2 に示す。

補表 1-2　使用済燃料乾式貯蔵建屋各層の代表せん断力に対するせん断ひずみ

方向	要素名	Q_1 ($\times 10^4$ kN)	γ_1 ($\times 10^{-4}$)	Q_2 ($\times 10^4$ kN)	γ_2 ($\times 10^{-4}$)	Q_3 ($\times 10^4$ kN)	γ_3 ($\times 10^{-4}$)
NS	BM03	4.49	1.98	6.06	5.94	13.6	40.0
	BM02	6.03	2.14	8.15	6.42	15.7	40.0
EW	BM03	4.19	1.91	5.65	5.73	11.4	40.0
	BM02	6.20	1.97	8.37	5.90	16.2	40.0

1.3　評価結果

設計竜巻荷重に対するせん断ひずみ評価は，外壁の終局せん断ひずみである 4×10^{-3} の 1/2 の 2×10^{-3} を外壁のせん断ひずみの許容限界と比較し，許容限界を下回っており変形量は小さく，使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造骨組の構造健全性は維持でき，倒壊により内包する外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼすことがないことを確認した。評価結果を補表 1-3 に示す。

補表 1-3　使用済燃料乾式貯蔵屋のせん断ひずみ評価結果

設計竜巻荷重 (kN)	せん断ひずみ ($\times10^{-3}$ (－))	許容限界 ($\times10^{-3}$ (－))
16875	0.735	2

北方の隣接事業所からの飛来物の影響について

発電所の北方にある隣接事業所の施設からの飛来物の到達範囲は，別図 7-1 のとおりであり，車両については飛散範囲と評価対象施設等との間に十分な離隔が確保されていることから，その影響は考慮不要である。

また，車両以外の物品については，設計飛来物（鋼製材）の影響を上回る物品がタービン建屋にわずかに届き得る可能性があるものの，以下の理由により，タービン建屋の機能（内包する外部事象防護対象施設の防護）に影響を与える可能性はないと判断した。

別図 7－1　敷地北方の隣接事業所及び飛来物到達範囲

1．評価内容

1.1　想定する飛来物源

種々の飛来物源の解析結果※の中から抽出した，飛散距離が200mを超える物品は，いずれも箱状で密実ではない，柔飛来物と考えられる物品であったことから，これらのうち飛距離の大きな別表7-1に示す物品を抽出し，タービン建屋への影響を評価した。

※：添付資料9　第3.2.4-1表

別表7-1　想定する飛来物源

物品	寸法(m)			質量(kg)	衝突速度(m/s)	飛散距離(m)	添付9 第3.2.4-1表のID
	高さ	幅	長さ				
プレハブ小屋	2.4	2.7	5.4	1000	65	227.2	66，75
物置	1.9	2.3	2.9	360	69	222.9	330
物置	1.8	2.0	3.0	270	71	220.9	222
プレハブ小屋	2.3	2.8	4.4	1000	63	220.3	247

1.2　評価内容及び結果

以下に示すとおり，上記飛来物の衝突により想定される影響に対し，タービン建屋に期待する機能（内包する外部事象防護対象施設の防護機能）は維持されると判断した。（補足1参照）

(1)　飛来物の衝撃荷重（タービン建屋全体への影響）

タービン建屋は鉄筋コンクリート製の厚い部材厚を有する建屋であり，設計竜巻の風荷重，気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重の組合せの設計竜巻荷重に対しても建屋の変形は十分に小さく抑えられ，倒壊には至らず，内包する外部事象防護対象施設への影響はない。

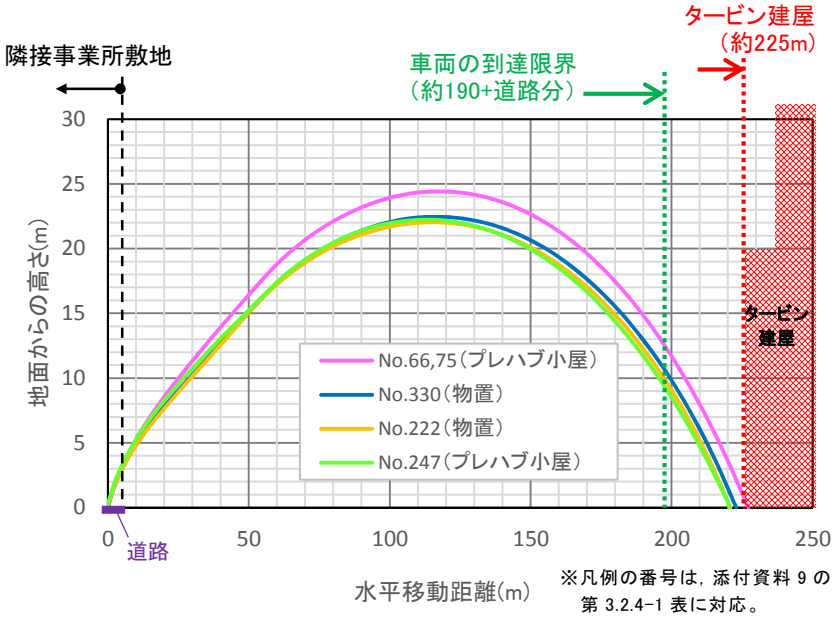
(2)　タービン建屋壁面の貫通及び裏面剥離（飛来物の侵入及び局部的損傷の影響）

上記飛来物は柔飛来物であり，衝突面も比較的鈍い形状と考えられるが，保守的に剛飛来物かつ，先端が鋭い形状と見なし，コンクリートの貫通評価式及び裏面剥離評価式にて評価したところ，別表 7-2 に示すとおり，壁面を貫通することはなく，裏面剥離は生じるものの外壁近傍に外部事象防護対象施設は配置されていないことから，タービン建屋が内包する外部事象防護対象施設に対する防護機能が達成できることを確認した。

別表 7－2　貫通，裏面剥離に関する評価結果

場所	厚さ	車両の貫通，裏面剥離防止限界		判定
壁	[redacted]	貫通	約 37.3cm※	外壁を貫通することはない。
		裏面剥離	約 76.4cm※	外壁の裏面剥離は生じるが，外壁近傍に外部事象防護対象施設は配置されていないため，波及的影響はない
屋根	別図 7-1 の飛跡を考慮すると，屋根（地上から約 20m）には到達しない。			

※：飛来物は別表 7-1 の想定飛来物のうち最も厳しい条件となるプレハブ小屋として評価し，当該飛来物は柔飛来物であり，衝突面も比較的鈍い形状と考えられるが，保守的に剛飛来物且つ先端が鋭い形状と見なし，コンクリートの貫通評価式及び裏面剥離評価式にて評価した。



別図 7－1　北方の隣接事業所南端からタービン建屋への飛来物の飛跡

以　上

（補足１）

隣接事業所からの飛来物のタービン建屋に対する影響評価について

隣接事業所からの飛来物がタービン建屋に衝突した影響について以下に示す。

1.　タービン建屋全体への評価

設計竜巻による風圧力，気圧差及び設計飛来物による衝突に対して，構造骨組の構造健全性が維持されることを確認する。

1.1　設計竜巻荷重の組合せ

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，及び飛来物による衝撃荷重W_Mを組みわせた複合荷重とする。

複合荷重W_{T1}，W_{T2}のうち大きい方を検討荷重とする。

設計竜巻荷重は，補表 1-1 の値となる。見付面積は，補図 1-1 に示す。

$$W_{T1} = W_P$$

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

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　　：設計竜巻による気圧差による荷重

W_M　　：飛来物による衝撃荷重

$$W_M = F_{max} = MV^2/L_{min}$$

M　　：飛来物の質量（kg）

V　　：飛来物の衝突速度（m/s）

L_{min}　　：飛来物の寸法の最小長さ(m)

補表1-1　タービン建屋に対する設計荷重

高さ EL (m)	要素番号		風圧力による荷重					気圧差による荷重			飛来物による荷重		組合せ荷重	
		見付面積 A_i	速度圧 q	ガスト影響係数 G	風力係数 C	層荷重 P_D	層せん断力 W_W	圧力低下 ΔP	層外力 $\Delta P \times A_i$	層せん断力 W_P	衝撃荷重 P_{WM}	層せん断力 W_M	W_{T1}	W_{T2}
		(m^2)	(N/m^2)	(−)	(−)	(kN)	(kN)	(N/m^2)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
40.64 ～ 28.00	1	1408	6100	1	1.2	10307	10307	8900	12532	12532	3000	3000	12532	19573
28.00 ～ 18.00	2	1129	6100	1	1.2	8265	18572	8900	10049	22581	0	3000	22581	32863
18.00 ～ 8.20	3	1034	6100	1	1.2	7569	26141	8900	9203	31784	0	3000	31784	45033

補図 1-1　タービン建屋の受圧面の面積図（建屋南北方向）

1.2　設計竜巻荷重による層せん断ひずみ

設計竜巻荷重がタービン建屋の耐力以内であることを確認するため，タービン建屋の層せん断ひずみを算出する。

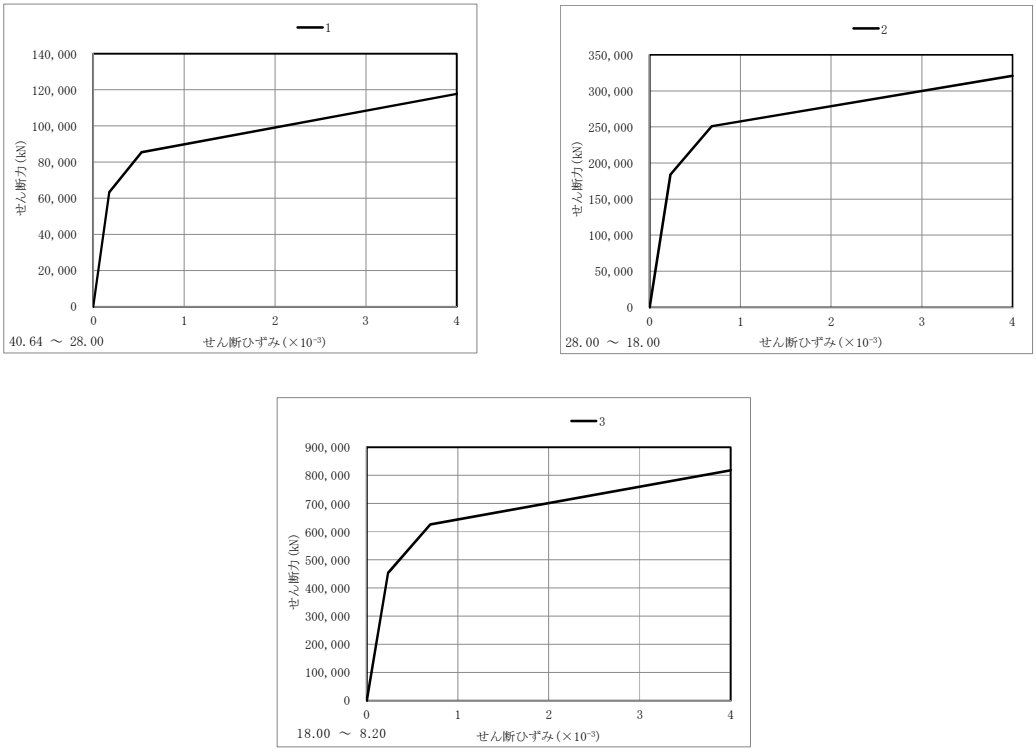
各層の代表せん断力に対するせん断ひずみの数値を補表 1-2 に，せん断力－せん断ひずみ図を補図 1-2 に示す。

補表 1-2　タービン建屋各層の代表せん断力に対するせん断ひずみ

（NS 方向）

高さ	要素番号	せん断断面積	Q-γスケルトン(NS方向)					
			せん断力			せん断ひずみ		
			第1折点	第2折点	第3折点	第1折点	第2折点	第3折点
EL m		As m^2	Q_1 kN	Q_2 kN	Q_3 kN	γ_1 $\times 10^{-3}$	γ_2 $\times 10^{-3}$	γ_3 $\times 10^{-3}$
40.64 ～ 28.00	1	39.0	63200	85400	118000	0.176	0.528	4.0
28.00 ～ 18.00	2	89.5	184000	251000	321000	0.228	0.684	4.0
18.00 ～ 8.20	3	211	454000	626000	818000	0.233	0.699	4.0

補図 1-2　タービン建屋各層の代表せん断ひずみ－せん断力図



1.3　評価結果

設計竜巻荷重に対するせん断ひずみ評価は，外壁の終局せん断ひずみである 4×10^{-3} の 1/2 の 2×10^{-3} を外壁のせん断ひずみの許容限界と比較し，許容限界を下回っており変形量は小さく，タービン建屋の構造骨組の構造健全性は維持でき，倒壊による内包する竜巻防護施設への波及的影響はないこと

を確認した。評価結果を補表 1-3 に示す。

補表 1-3　タービン建屋のせん断ひずみ評価結果

設計竜巻荷重 (kN)	せん断ひずみ （×10^{-3}（－））	許容限界 （×10^{-3}（－））
45033	0.0545	2

2.　飛来物による外壁面の貫通及び裏面剥離への評価

2.1　貫通評価

タービン建屋外壁（鉄筋コンクリート製）に対する貫通評価は，飛来物の衝突に対する評価として，ＮＥＩ07-13 及び米国ＮＲＣの基準類に算定式として記載されている修正ＮＤＲＣ式（①式）を用いて貫入深さx_cを求め，Ｄｅｇｅｎ式（②式）により貫通限界厚さt_pを算定する。

$$\left.\begin{array}{ll} \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 2 \text{ の場合} & \dfrac{x_c}{d} = 2\left\{\left(\dfrac{12145}{\sqrt{Fc}}\right) N d^{0.2} \dfrac{M}{d^3}\left(\dfrac{V}{1000}\right)^{1.8}\right\}^{0.5} \\ \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \geq 2 \text{ の場合} & \dfrac{x_c}{d} = \left(\dfrac{12145}{\sqrt{Fc}}\right) N d^{0.2} \dfrac{M}{d^3}\left(\dfrac{V}{1000}\right)^{1.8} + 1 \end{array}\right\} \cdots ①$$

$$\left.\begin{array}{ll} \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 1.52 \text{ の場合} & t_p = \alpha_p d\left\{2.2\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right) - 0.3\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right)^2\right\} \\ 1.52 \leq \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 13.42 \text{ の場合} & t_p = \alpha_p d\left\{0.69 + 1.29\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right)\right\} \end{array}\right\} \cdots ②$$

t_p　：貫通限界厚さ(cm)

x_c　：貫入深さ(cm)

Fc ：コンクリートの設計基準強度(kgf/cm^2)：225 kgf/cm^2

d ：飛来物の直径(cm)

（飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径）

M ：飛来物の重量(kg)

V ：飛来物の最大水平速度(m/s)

N ：飛来物の先端形状係数：1.14

「構造工学シリーズ6 構造物の衝撃挙動と設計法」（土木学会）を参考に設定。

保守的に，非常に鋭い場合の数値を使用した。

α_c ：飛来物の低減係数：1.0

α_p ：飛来物の低減係数：1.0

保守的に，剛の場合の数値を使用した。

2.2　裏面剥離評価

タービン建屋外壁（鉄筋コンクリート製）に対する裏面剥離評価は，飛来物の衝突に対する評価として，「構造物の衝撃挙動と設計法（土木学会）」において適用性高いとされているＣｈａｎｇ式（③）を用いて裏面剥離限界厚さt_Sを算定する。

$$t_s = 1.84\alpha_s\left(\frac{6096}{V}\right)^{0.13}\frac{\left(\frac{WV^2}{980}\right)^{0.4}}{d^{0.2}(Fc)^{0.4}} \cdot\cdot\cdot ③$$

t_s ：裏面剥離限界厚さ(cm)

Fc ：コンクリートの設計基準強度(kgf/cm^2) ：225 kgf/cm^2

d ：飛来物の直径(cm)

（飛来物外形の最小投影面積に等しい円の直径）

W　：飛来物の重量(kg)

V　：飛来物の衝突速度(cm/s)

α_s　：飛来物の低減係数：1.0

保守的に，剛の場合の数値を使用した。

2.3　評価結果

設計飛来物によるタービン建屋外壁に対する貫通及び裏面剥離への評価結果を補表 2-1 に示す。貫通に対しては，貫通が生じる限界厚以上の外壁厚が確保されており，裏面剥離に対しては，裏面剥離が生じる限界厚より外壁厚が下回るため，裏面剥離は生じると考えられるが，内包する外部事象防護対象施設（気体廃棄物処理系隔離弁等）は飛来物が衝突する外壁の近傍には配置されていないため，内包する外部事象防護対象施設に対し，波及的影響を及ぼさないことを確認した。

補表2-1　貫通・裏面剥離に対する評価結果

飛来物	衝突箇所	質量	衝突速度	貫通限界厚さ	裏面剥離限界厚さ	外壁厚
		(kg)	(m/s)	t_p(cm)	t_s(cm)	t(cm)
プレハブ小屋	外壁	1000	65	37.3	76.4	□
物置		360	69	25.6	54.9	
物置		270	71	23.6	50.9	
プレハブ小屋		1000	63	36.3	74.8	

以　　上

西方の隣接事業所からの飛来物の影響について

緊急時対策所建屋に対して想定する竜巻荷重は，環境条件として考慮する風圧力による荷重であり，飛来物による衝撃荷重は考慮しない。

ただし，発電所の西方にある隣接事業所の施設からの飛来物の到達範囲は，別図 8-1 のとおりであり，緊急時対策所建屋に車両及びその他物品の到達が考えられることから，緊急時対策所建屋への飛来物の影響を確認した結果，以下に示すとおり緊急時対策所建屋の機能を喪失することはないと判断した。これより，西方の隣接事業所からの物品について，飛来物発生防止のための管理は不要とする。

別図 8－1　敷地西方の隣接事業所と飛来物到達範囲

1．評価内容

1.1.　緊急時対策所建屋の設計方針及び構造

別図 8－2 に示すとおり，緊急時対策所においては建屋の外壁により大部分の設備を防護し，必要な遮蔽厚さを確保する設計としている。

緊急時対策所建屋は，別途要求される耐震性及び遮蔽能力を踏まえ，別図 8-2 に示すとおり鉄筋コンクリート製の厚い外壁を有する設計とすることに加え，設計竜巻による風圧力による荷重を設計荷重として考慮している。

緊急時対策所建屋の遮蔽機能を喪失した場合の影響の大きさを鑑み，飛来物が衝突しても，機能を損なわないことを確認する。

別図 8－2　緊急時対策所建屋の構造概要

1.2　想定する飛来物源

西方の隣接事業所としては，敷地に近い位置に道路（隣接事業所の管理道路であり，一般車両は通行しない）があり，また 100m程度離れた場所に敷地がある。種々の飛来物源の解析結果※の中から抽出した，飛散距離が 100m を超える物品は，いずれも箱状で密実ではない，コンテナ等の柔飛来物と考えられる物品であったことから，同じく柔飛来物で，コンテナ等と同程度の寸法，重量を有し，且つ当社敷地に近い道路を走行する可能性がある車両を飛来物として想定し，緊急時対策所建屋への影響を評価した。

想定した車両の諸元について，別表 8-1 に示す。

別表 8-1　想定する飛来物源（車両）

車種	寸法(m)			質量(kg)	衝突速度(m/s)	浮上高さ(m)	備考
	高さ	幅	長さ				
A	1.880	1.980	4.950	2430	44	4.1	SUV 車クラスを想定
B	1.690	1.835	4.725	1660	48	4.8	
C	1.610	1.775	4.175	1210	51	6.0	

1.3　評価内容及び結果

緊急時対策所建屋に対する飛来物の影響評価として，建屋の外壁面の貫通，裏面剥離（飛来物の侵入，局部的損傷の影響）に対して評価を行った。

飛来物としての車両は柔飛来物であり，衝突面も比較的鈍い形状と考えられるが，保守的に剛飛来物，かつ先端が鋭い形状と見なし，コンクリートの貫通評価式及び裏面剥離評価式にて評価した結果，別表 8-2 に示すとおり，緊急時対策所建屋の外壁面に対して貫通及び裏面剥離が生じないことから，緊急時対策所建屋に期待する機能（内包する緊急時対策所の各設備の外殻防

護機能（DB 及び SA），遮蔽（SA のみ））は維持されると判断した。（補足1参照）

別表 8－2　貫通，裏面剥離に関する評価結果（車両衝突時）

<table>
<tr><th>場所</th><th>厚さ</th><th colspan="2">車両の貫通，
裏面剥離防止限界</th><th>判定</th></tr>
<tr><td rowspan="3">外壁</td><td rowspan="4">[redacted]</td><td>貫通</td><td>約 43cm※</td><td>外壁を貫通することはない。</td></tr>
<tr><td>裏面剥離</td><td>約 80cm※</td><td>裏面剥離は生じない</td></tr>
<tr><td colspan="2">遮蔽に対する評価</td><td>必要遮蔽厚さ[redacted]以上は確保される。また，貫通を生じず損傷は局部的であるため，気密性についても影響を受けない。</td></tr>
<tr><td>屋根</td><td colspan="3">飛来物として設定した車両の浮上高さは 5m 程度であり，緊急時対策所内の対策本部直上の建屋屋根（道路から約 30m の高さ）には到達しない※。

※種々の車両の解析結果でも，浮上高さは20mを下回る結果が得られている（添付資料-9 別紙 4 参照）。仮に屋根高さを上回る様に保守側に評価したとしても，ピーク高さから屋根落下する際の速度は小さく，屋根の必要遮蔽厚さ[redacted]を割り込むような大きな損傷を与えるものではない。</td></tr>
</table>

※：飛来物は，別表 8-1 の想定飛来物のうち最も厳しい条件となる車両Ａとして評価し，当該飛来物としての車両は柔飛来物であり，衝突面も比較的鈍い形状と考えられるが，保守的に剛飛来物且つ先端が鋭い形状と見なし，コンクリートの貫通評価式及び裏面剥離評価式にて評価した

以　上

（補足１）

隣接事業所からの飛来物の緊急時対策所建屋に対する影響評価について

隣接事業所からの飛来物が緊急時対策所建屋に衝突した影響について以下に示す。

1.　飛来物による外壁面の貫通及び裏面剥離への評価

1.1　貫通評価

緊急時対策所建屋の外壁（鉄筋コンクリート製）に対する貫通評価は，飛来物の衝突に対する評価として，ＮＥＩ07-13 及び米国ＮＲＣの基準類に算定式として記載されている修正ＮＤＲＣ式（①式）を用いて貫入深さ x_c を求め，Ｄｅｇｅｎ式（②式）により貫通限界厚さ t_pを算定する。

$$\left.\begin{array}{ll} \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 2 \text{ の場合} & \dfrac{x_c}{d} = 2\left\{\left(\dfrac{12145}{\sqrt{Fc}}\right) N d^{0.2} \dfrac{M}{d^3}\left(\dfrac{V}{1000}\right)^{1.8}\right\}^{0.5} \\ \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \geq 2 \text{ の場合} & \dfrac{x_c}{d} = \left(\dfrac{12145}{\sqrt{Fc}}\right) N d^{0.2} \dfrac{M}{d^3}\left(\dfrac{V}{1000}\right)^{1.8} + 1 \end{array}\right\} \cdots ①$$

$$\left.\begin{array}{ll} \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 1.52 \text{ の場合} & t_p = \alpha_p d\left\{2.2\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right) - 0.3\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right)^2\right\} \\ 1.52 \leq \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 13.42 \text{ の場合} & t_p = \alpha_p d\left\{0.69 + 1.29\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right)\right\} \end{array}\right\} \cdots ②$$

t_p　：貫通限界厚さ(cm)

x_c　：貫入深さ(cm)

Fc ：コンクリートの設計基準強度(kgf/cm^2)：300 kgf/cm^2

（コンクリートの設計基準強度 30N/mm^{2}を保守的に換算）

d ：飛来物の直径(cm)

（飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径）

M ：飛来物の重量(kg)

V ：飛来物の最大水平速度(m/s)

N ：飛来物の先端形状係数：1.14

「構造工学シリーズ 6 構造物の衝撃挙動と設計法」（土木学会） を参考に設定。

保守的に，非常に鋭い場合の数値を使用した。

α_c ：飛来物の低減係数：1.0

α_p ：飛来物の低減係数：1.0

保守的に，剛の場合の数値を使用した。

2.2 裏面剥離評価

緊急時対策所建屋の外壁（鉄筋コンクリート製）に対する裏面剥離評価は，飛来物の衝突に対する評価として，「構造物の衝撃挙動と設計法（土木学会）」において適用性高いとされているＣｈａｎｇ式（③）を用いて裏面剥離限界厚さ t_S を算定する。

$$t_s = 1.84\alpha_s\left(\frac{6096}{V}\right)^{0.13}\frac{\left(\frac{WV^2}{980}\right)^{0.4}}{d^{0.2}(Fc)^{0.4}} \cdots ③$$

t_s ：裏面剥離限界厚さ(cm)

Fc ：コンクリートの設計基準強度(kgf/cm^2) ：300 kgf/cm^2

（コンクリートの設計基準強度 30N/mm^{2}を保守的に換算）

d　：飛来物の直径(cm)

（飛来物外形の最小投影面積に等しい円の直径）

W　：飛来物の重量(kg)

V　：飛来物の衝突速度(cm/s)

α_s　：飛来物の低減係数：1.0

保守的に，剛の場合の数値を使用した。

1.3　評価結果

設計飛来物による貫通及び裏面剥離への評価結果，補表 1-1 に示すとおりであり，貫通及び裏面剥離が生じる限界厚以上の外壁厚が確保されており，緊急時対策所建屋の外壁の遮蔽機能は損なわないことを確認した。

補表1-1　貫通・裏面剥離に対する評価結果

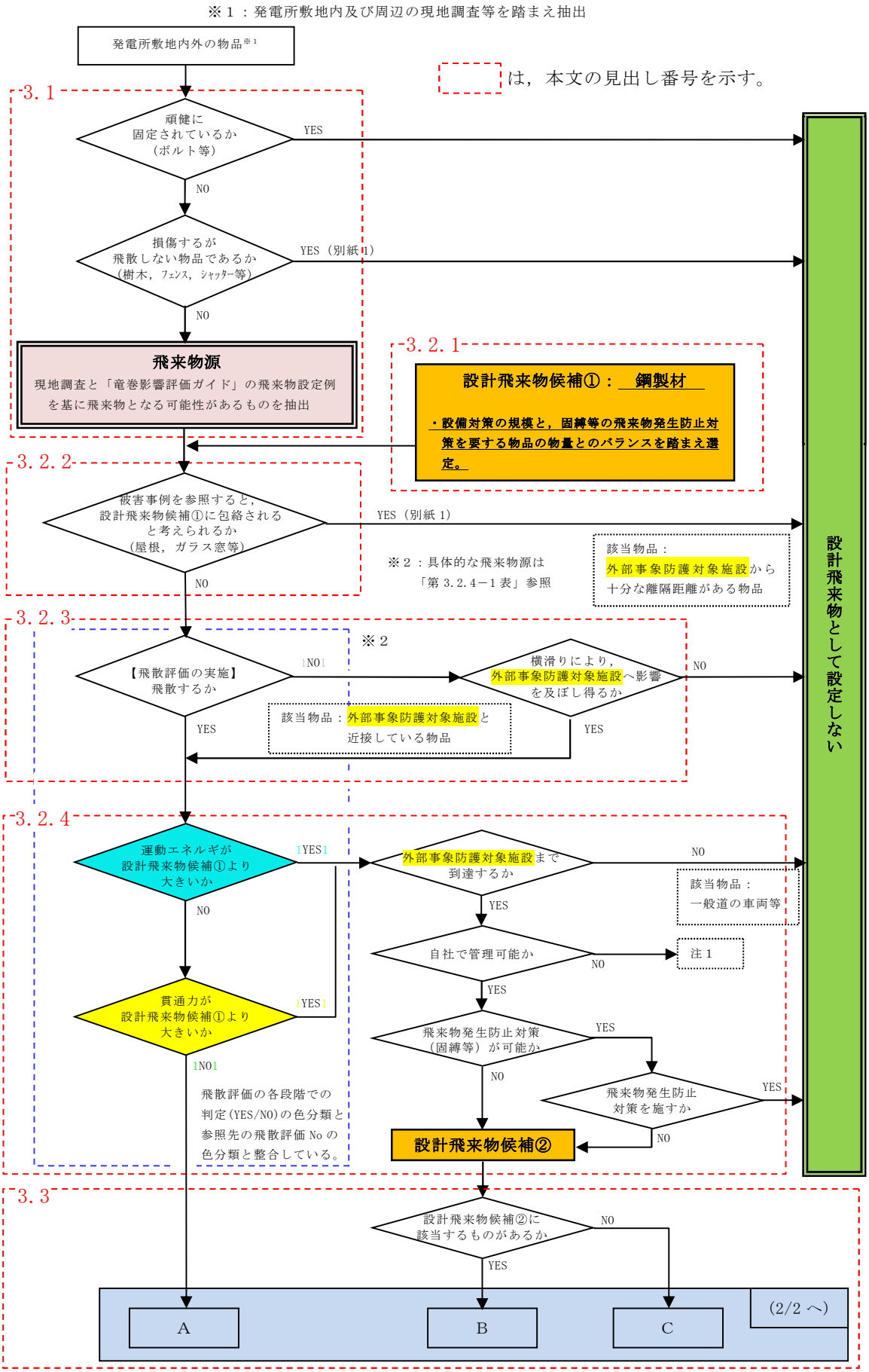
飛来物	衝突箇所	質量	衝突速度	貫通限界厚さ	裏面剥離限界厚さ	外壁厚
		(kg)	(m/s)	t_p(cm)	t_s(cm)	t(cm)
車両A	外壁	2430	44	42.3	79.1	[redacted]
車両B		1660	48	36.3	73.2	
車両C		1210	51	39.3	67.8	

以　　上

設計飛来物の設定について

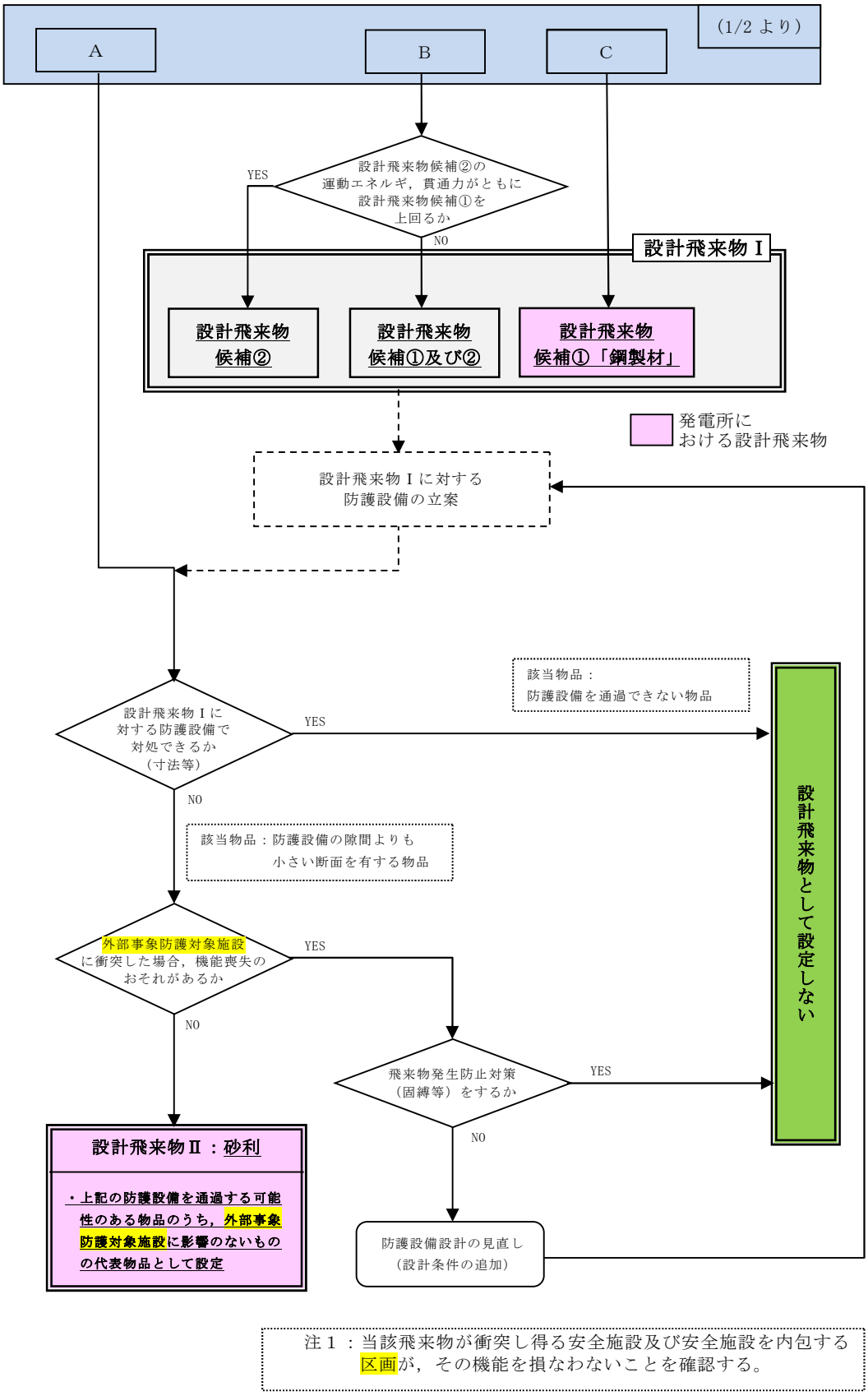
1. 設計飛来物の設定方針

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。



第１－１図　設計飛来物の設定フロー(1／2)

3.3（続き）



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

発電所構内の物品調査は，1回目を平成26年1月15日～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　発電所における主な飛来物源の種類

棒状※	板状※	塊状※	
・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	・樹脂製蓋 ・コンクリート製蓋 ・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） ・時計 ・仮囲い板，仮設フェンス	・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 ・バイク，自転車 ・土のう ・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 ・コンクリート製ブロック ・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　ボンベ

#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

#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　コンクリート製蓋

#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

#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　コンクリート製蓋

#121　コンクリート製ブロック

#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

#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

#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

#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　コンクリート製ブロック

#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

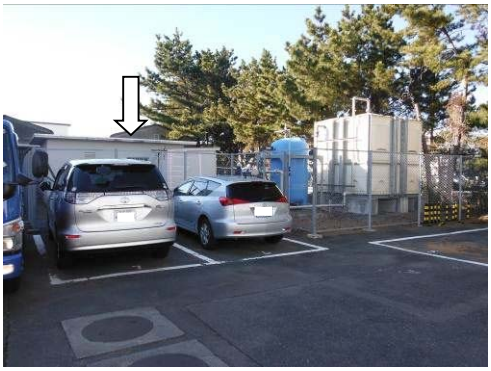
#219　乗用車

#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　コンクリート製蓋

#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　コンクリート製ブロック

#418　コンクリート製蓋

#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（仮設）

#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　ボンベ

#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）

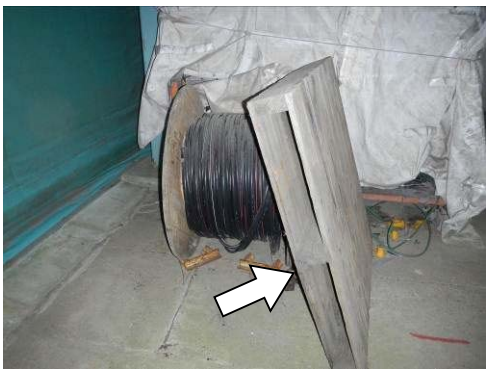
#330　物置

#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

#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 9-1】）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

設計飛来物候補は，現場調査結果を踏まえ，飛来物防護対策として設置する設備の規模と固縛等の飛来物発生防止対策を要する物品の物量のバランスを考えて設定した。（第 3.2.1－1 表　参照）

発電所における現場調査結果，第 3.2.1－1 表に示すような，上記の竜巻防護対策（飛来物防護対策と飛来物発生防止対策）のバランス，先行プラントにおける設定実績並びに竜巻飛来物防護ネットの存在を踏まえ，「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。

第 3.2.1－1 表　設計飛来物候補と竜巻防護対策の関係

設計飛来物候補の例	竜巻防護対策				採用
	飛来物防護対策		飛来物発生防止対策		
	規模		物量		
車両	大	配置，耐震面の制約が大きい可能性がある。 （建屋壁の増改築，小型の施設でも車両寸法をカバーする規模の設備が必要となる。）	少	対象と物品は少ない。 （多くの物品は車両の影響を下回る。）	－
鋼製材	中	先行プラント事例等から成立性が見通しやすい。 （竜巻飛来物防護対策設備の規模，鋼製材を念頭に置いた防護ネットの実績等，具体的なイメージが容易である。）	中	先行プラント事例等から対策が必要となる物品が見通しやすい。 （細々した物品についておおむね対策が不要と判断できる。）	○
木片	小	防護設備を必要とする施設は少ない。 （衝撃力，貫通力共に小さい。）	大	処置する物量が膨大かつ運用面の負担大きい。 （大多数の物品が木片の影響を超える。）	－

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 9-1）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。

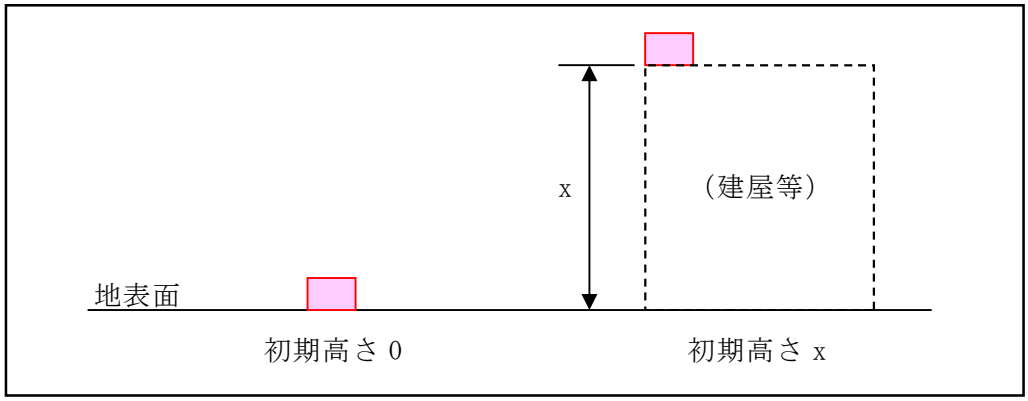
3.2.3　飛来物源の飛散評価

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。

なお，発電所は，敷地近傍に一般道や隣接事業所が存在することから，管理が困難な一般道（国道 245 号線）からの車両の飛散の影響を現実的に評価することとし，保守性を確保した上で，ランキン渦モデルに比べ物品の飛散挙動をより実現象に近く捉えることができるフジタモデルを，飛散評価の風速場モデルとして適用する。

(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，第 3.2.3－1 図に示すように，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等を踏まえて設定するものとするが，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，使用場所が地表高さであるか高所であるかを考慮の上，適切な初期高さを設定する。



第 3.2.3―1 図　初期高さのイメージ図

(2)　空力パラメータ

飛散評価に用いる空力パラメータは，物品の形状及び重量に応じて算出する。【添付資料 9　別紙 9-2】

(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評価対象施設等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　飛来物発生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（運動エネルギ又は貫通力）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来物発生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。

(1)　運動エネルギ

飛来物源の運動エネルギ　E　は下式によって算出する。

$$E = \frac{1}{2} M \cdot V^2$$

M　：飛来物の重量(kg)

V　：飛来物の衝突速度(m/s)

(2)　コンクリートに対する貫通力

コンクリートに対する貫通力は，飛来物の衝突に対する評価として，ＮＥＩ07-13 及び米国ＮＲＣの基準類に算定式として記載されている修正ＮＤＲＣ式（①式）を用いて貫入深さx_cを求め，Ｄｅｇｅｎ式（②式）により貫通限界厚さt_pを算定する。

$$\left.\begin{array}{ll} \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 2 \text{ の場合} & \dfrac{x_c}{d} = 2\left\{\left(\dfrac{12145}{\sqrt{Fc}}\right) N d^{0.2} \dfrac{M}{d^3}\left(\dfrac{V}{1000}\right)^{1.8}\right\}^{0.5} \\ \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \geq 2 \text{ の場合} & \dfrac{x_c}{d} = \left(\dfrac{12145}{\sqrt{Fc}}\right) N d^{0.2} \dfrac{M}{d^3}\left(\dfrac{V}{1000}\right)^{1.8} + 1 \end{array}\right\} \cdots ①$$

$$\left.\begin{array}{ll} \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 1.52 \text{ の場合} & t_p = \alpha_p d\left\{2.2\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right) - 0.3\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right)^2\right\} \\ 1.52 \leq \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 13.42 \text{ の場合} & t_p = \alpha_p d\left\{0.69 + 1.29\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right)\right\} \end{array}\right\} \cdots ②$$

t_p　：貫通限界厚さ(cm)

x_c　：貫入深さ(cm)

Fc　：コンクリートの設計基準強度(kgf/cm^2)：250 kgf/cm^2

d　：飛来物の直径(cm)

（飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径）

M　：飛来物の重量(kg)

V　：飛来物の最大水平速度(m/s)

N　：飛来物の先端形状係数：1.14

「構造工学シリーズ 6 構造物の衝撃挙動と設計法」(土木学会)を参考に設定。

保守的な評価となる,非常に鋭い場合の数値を一律使用した。

α_c ：飛来物の低減係数：1.0

α_p ：飛来物の低減係数：1.0

保守的な評価となる，剛の場合の数値を一律使用した。

(3) 鋼板に対する貫通力

鋼板に対する貫通力は，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日　原子炉安全専門審査会）」の中で，鋼板に対する貫通厚さの算出式に使用されているＢＲＬ式(③式)を用いて貫通限界厚さ T を算定する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5MV^2}{1.4396\times10^9 K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot ③$$

T ：鋼板貫通限界厚さ（m）

M ：飛来物の重量(kg)

V ：飛来物の最大水平速度(m/s)

d ：飛来物の直径(m)

（飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径）

K ：鋼板の材質に関する係数（≒1）

(4) 代表的な飛来物源の飛散評価結果及びスクリーニング

現場調査によって確認された飛来物源に対して，初期高さを設定し，飛散評価を実施する。飛散評価結果とスクリーニングの結果の例として，第 3.2.4―1 表に示す。

なお，飛来物源の特徴を考慮し，仮設材等の建屋屋上に配置されることが考えられる物品については，一例として初期高さ 40m での結果も並列して記載している。

第 3.2.4―1 表における飛来物源は，初期高さ 0m での運動エネルギ及び貫通力の評価結果によって分類している。（表中の No. のハッチング色）

また，初期高さ 40m の飛散評価結果による分類は，表中の飛来物発生要否の欄のハッチング色により示しており，初期高さの設定により分類が変更となるものは，ハッチング色により判別できる。

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例）

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2/kg)	初期高さ (m)	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 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超（E＞176kJ）【条件①】	貫通力（コンクリート） 貫通限界厚さ (cm)	貫通力（コンクリート） 鋼製材超（tp＞25.9cm）【条件②】	貫通力（鋼板） 貫通限界厚さ (mm)	貫通力（鋼板） 鋼製材超（T＞9mm）【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
＜運動エネルギが鋼製材より大きいもの＞																	
340	プレハブ小屋	2.2	6	10	0.0115	0	56	185.1	15.786	5500	8624	○	64.4	○	9	×	○
19	物置	2.3	3.2	6.5	0.0057	0	43	88.5	4.726	5000	4623	○	54.4	○	8	×	○
252	トラック	2.24	2.445	7.54	0.0073	0	48	120.2	6.56	3700	4263	○	54.7	○	8	×	○
260	プレハブ小屋	2.6	2.86	6.05	0.0090	0	52	172.2	13.803	3000	4056	○	49.9	○	7	×	○
216	社用バス	2.34	2.96	8.99	0.0037	0	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	0	49	146.8	7.625	3000	3602	○	49	○	7	×	○
115	トラック	2.22	3.16	7.56	0.0040	0	30	42.1	1.97	7970	3587	○	50.2	○	7	×	○
182	消防車	2.49	3.04	8	0.0033	0	25	30.7	1.216	10620	3319	○	48.4	○	6	×	○
155	プレハブ小屋	2.5	3.6	5	0.0145	0	59	210.8	21.932	1800	3133	○	41.8	○	5	×	○
215	社用バス	2.08	2.82	6.99	0.0041	0	30	41.3	1.907	6605	2973	○	47.3	○	6	×	○
183	消防車	2.28	2.8	7.15	0.0033	0	23	26.6	1.008	8635	2284	○	42	○	5	×	○
20	物置	2.3	3.05	3.05	0.0103	0	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	0	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	0	65	227.2	27.502	1000	2113	○	36.3	○	5	×	○
247	プレハブ小屋	2.3	2.8	4.4	0.0191	0	63	220.3	24.49	1000	1985	○	35.4	○	5	×	○
2	プレハブ小屋	2.3	2.6	4.6	0.0189	0	63	219.9	24.347	1000	1985	○	35.9	○	5	×	○
237	プレハブ小屋	2	3	4	0.0172	0	61	209.6	20.915	1000	1861	○	34.8	○	5	×	○
373	物置	1.9	2.2	4.4	0.0052	0	36	53.4	2.951	2836	1838	○	39.1	○	6	×	○
259	物置	1.9	2.2	4.4	0.0052	0	36	53.4	2.951	2836	1838	○	39.1	○	6	×	○
228	物置	2.4	2.65	3.5	0.0159	0	60	213.9	22.626	1000	1800	○	33.9	○	5	×	○
479	プレハブ小屋	2.4	2.4	3.6	0.0153	0	60	211.9	22.074	1000	1800	○	34.6	○	5	×	○
370	プレハブ小屋	2.4	2.4	3.6	0.0153	0	60	211.9	22.074	1000	1800	○	34.6	○	5	×	○
28	乗用車	1.69	1.81	4.39	0.0067	0	43	73.9	3.801	1825	1688	○	39.1	○	6	×	○

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例）

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2/kg)	初期高さ (m)	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 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超（E＞176kJ）【条件①】	貫通力（コンクリート） 貫通限界厚さ (cm)	貫通力（コンクリート） 鋼製材超（tp＞25.9cm）【条件②】	貫通力（鋼板） 貫通限界厚さ (mm)	貫通力（鋼板） 鋼製材超（T＞9mm）【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
22	トラック	1.695	1.9	4.69	0.0057	0	37	55.2	3.007	2340	1602	○	38.3	○	6	×	○
106	コンテナ	1.8	1.8	3.7	0.0116	0	55	170.1	12.251	950	1437	○	34.9	○	5	×	○
73	コンテナ	1.5	2.1	3.7	0.0115	0	54	163.1	8.195	950	1386	○	34.5	○	5	×	○
219	乗用車	1.39	1.86	4.615	0.0074	0	42	63.4	3.28	1570	1385	○	36.7	○	6	×	○
307	プレハブ小屋	1.85	2.6	3.65	0.0193	0	62	211.5	21.333	720	1384	○	31.4	○	4	×	○
1	乗用車	1.6	2	4.5	0.0052	0	33	44.3	2.293	2500	1362	○	35.8	○	5	×	○
424	プレハブ小屋	1.7	2.5	2.6	0.0147	0	59	186.9	15.804	685	1193	○	30	○	4	×	○
383	物置	1.9	1.9	2.25	0.0101	0	53	165.3	10.111	801	1126	○	30.4	○	4	×	○
371	物置	2	2	2.3	0.0137	0	58	194.1	17.348	640	1077	○	28.9	○	4	×	○
347	物置	1.9	2.05	2.4	0.0177	0	61	208.6	20.542	500	931	○	26.9	○	4	×	○
330	物置	1.9	2.3	2.9	0.0304	0	69	222.9	30.192	360	857	○	24.9	×	4	×	○
177	鋼製ステップ	1	1.3	4.3	0.0185	0	60	164.2	9.74	400	720	○	29.3	○	5	×	○
						40	55	257.5	28.913		605	○	27.1	○	5	×	○
409	物置	1.4	2.1	3	0.0296	0	68	212.9	24.183	300	694	○	24.3	×	4	×	○
222	物置	1.8	2	3	0.0367	0	71	220.9	33.633	270	681	○	23	×	3	×	○
21	コンテナ	1	1.4	3.2	0.0134	0	54	141.3	4.521	450	657	○	27.9	○	5	×	○
85	物置	2	2.1	3.5	0.0583	0	78	※		210	639	○	21.5	×	3	×	○
79	消防車	2.5	2.5	8	0.0025	0	10	4.9	0.068	12500	625	○	24.1	×	3	×	○
63	仮設電源	1.68	2.12	3.69	0.0034	0	19	17.8	0.574	3460	625	○	25.2	×	3	×	○
145	空調室外機	1	2.1	2.9	0.0074	0	35	40.3	2.065	1000	613	○	26	○	4	×	○
						40	45	183.8	3.092		1013	○	32.5	○	5	×	○
435	コンテナ	1.2	1.712	3.7	0.0044	0	23	23.2	0.886	1960	519	○	25.1	×	4	×	○
398	仮設トイレ	0.9	1.4	2.5	0.0133	0	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	0	74	210.3	33.081	156	428	○	19	×	3	×	○

※　評価計算上，設定時間(30 秒)では運動が終了しないため、数値なし。
（運動エネルギ評価にて飛来物発生防止対策要否判断可能）

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例）

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2/kg)	初期高さ (m)	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 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超（E＞176kJ）【条件①】	貫通力（コンクリート） 貫通限界厚さ (cm)	貫通力（コンクリート） 鋼製材超（tp＞25.9cm）【条件②】	貫通力（鋼板） 貫通限界厚さ (mm)	貫通力（鋼板） 鋼製材超（T＞9mm）【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
485	樹木（倒木，伐採木），材木	1	1	14.2	0.0471	0	73	202.3	28.145	151	403	○	23.7	×	5	×	○
217	鋼製ステップ	1	1	4	0.0192	0	61	161.3	10.533	200	373	○	22.2	×	4	×	○
286	鋼管	0.8	1	3.4	0.0092	0	38	40.3	2.005	500	361	○	23.9	×	4	×	○
						40	48	205.6	6.080		576	○	29.4	○	6	×	○
143	鋼管	0.65	0.65	8	0.0138	0	46	98.7	2.467	320	339	○	25.6	×	6	×	○
						40	52	242.3	16.496		433	○	28.5	○	7	×	○
437	鋼製ボックス	1.05	1.35	1.35	0.0154	0	57	157.9	6.793	200	325	○	19.6	×	3	×	○
262	仮設電源	1.05	1.2	1.5	0.0153	0	57	157.2	6.695	200	325	○	20	×	3	×	○
478	物置	1.1	1.3	2	0.0288	0	67	200.3	19.881	143	321	○	19.1	×	3	×	○
89	鋼製ステップ	1	1.8	2.4	0.0469	0	73	202.3	28.025	120	320	○	18.1	×	3	×	○
90	ケーブルドラム	0.9	1.5	1.5	0.0165	0	56	151.9	5.244	199	313	○	19.4	×	3	×	○
421	ケーブルドラム	0.9	1.5	1.5	0.0183	0	59	163.7	7.113	179	312	○	19.3	×	3	×	○
210	空調室外機	0.9	1.3	1.8	0.0100	0	42	53.2	2.69	340	300	○	20.1	×	3	×	○
						40	49	214	7.485		409	○	23.1	×	4	×	○
486	バイク，自転車	0.76	1.2	2.1	0.0160	0	53	128.8	3.615	209	294	○	20.4	×	4	×	○
142	仮設トイレ	0.876	1.598	2.572	0.0458	0	72	207.1	25.417	112	291	○	18.1	×	3	×	○
17	ケーブルドラム	0.8	1.5	1.5	0.0218	0	61	164.4	8.387	141	263	○	18	×	3	×	○
144	空調室外機	1	1	1.3	0.0114	0	50	126.7	3.592	210	263	○	19.1	×	3	×	○
						40	50	227.1	10.210		263	○	19.1	×	3	×	○
350	鋼製ボックス	0.98	1.65	1.8	0.0420	0	72	201.5	25.554	100	260	○	16.7	×	3	×	○
84	ケーブルドラム	0.8	1.5	1.5	0.0218	0	61	164.4	8.387	141	263	○	18	×	3	×	○
488	バイク，自転車	0.74	1.09	1.915	0.0219	0	61	160.7	6.681	130	242	○	18.7	×	4	×	○
487	バイク，自転車	0.725	1.07	2.04	0.0146	0	49	111.2	3.049	201	242	○	19.3	×	4	×	○

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例）

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2/kg)	初期高さ (m)	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 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超（E＞176kJ）【条件①】	貫通力（コンクリート） 貫通限界厚さ (cm)	貫通力（コンクリート） 鋼製材超（tp＞25.9cm）【条件②】	貫通力（鋼板） 貫通限界厚さ (mm)	貫通力（鋼板） 鋼製材超（T＞9mm）【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
422	鋼製ボックス	0.9	1	1.9	0.0082	0	36	39.3	2.041	366	238	○	19.1	×	3	×	○
						40	47	194.2	4.291		405	○	24.2	×	5	×	○
205	自動販売機	0.9	1.2	1.8	0.0064	0	30	30	1.438	508	229	○	18.5	×	3	×	○
225	鋼製ステップ	0.6	1.2	2.2	0.0155	0	47	101.4	2.478	200	221	○	18.8	×	3	×	○
475	鋼製ステップ	0.6	1.2	2.2	0.0155	0	47	101.4	2.478	200	221	○	18.8	×	3	×	○
						40	54	249.8	22.517		292	○	21.2	×	4	×	○
287	鋼製ボックス	0.75	1.3	1.6	0.0094	0	37	38	1.887	300	206	○	17.5	×	3	×	○
						40	48	207.8	6.397		346	○	22	×	4	×	○
410	自動販売機	0.7	1.4	1.8	0.0090	0	34	32.5	1.638	350	203	○	17.5	×	3	×	○
258	プラスチック容器	0.9	1.2	1.2	0.0238	0	63	163.9	12.946	100	199	○	16	×	3	×	○
138	鋼管	0.65	0.65	5	0.0116	0	40	52.1	2.007	247	198	○	20	×	4	×	○
						40	50	229.1	10.664		309	○	24.3	×	5	×	○
165	バリケード	1.1	1.1	1.4	0.0354	0	70	205	23.884	80	196	○	15.4	×	3	×	○
436	鋼製ボックス	0.8	1.05	1.38	0.0112	0	43	58.5	2.565	200	185	○	16.8	×	3	×	○
						40	50	225.5	9.769		250	○	19.3	×	4	×	○
236	仮設トイレ	0.8	1.1	2	0.0436	0	71	200.7	22.91	71	179	○	15.6	×	3	×	○
76	ケーブルドラム	0.8	1.12	1.12	0.0210	0	61	161.8	7.538	96	179	○	15.8	×	3	×	○
77	建設機械	0.99	1.65	2.63	0.0037	0	15	10.1	0.26	1570	177	○	16.1	×	2	×	○
＜運動エネルギ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																	
＜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	0	66	167.4	14.694	80	175	×	15.5	×	3	×	×
						40	60	268.8	44.981		144	×	14.3	×	3	×	×
288	鋼製ボックス	0.75	0.8	4.3	0.0061	0	25	22.2	1.011	500	157	×	17.4	×	3	×	×
						40	44	166.3	0.896		484	○	28.7	○	6	×	○

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例）

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2/kg)	初期高さ (m)	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 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超（E＞176kJ）【条件①】	貫通力（コンクリート） 貫通限界厚さ (cm)	貫通力（コンクリート） 鋼製材超（tp＞25.9cm）【条件②】	貫通力（鋼板） 貫通限界厚さ (mm)	貫通力（鋼板） 鋼製材超（T＞9mm）【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
423	鋼製ステップ	0.6	0.9	1.8	0.0264	0	62	157.2	6.077	81	156	×	16.2	×	3	×	×
						40	59	267.9	41.786		141	×	15.5	×	3	×	×
281	空調室外機	0.75	0.9	1.4	0.0104	0	40	43.8	2.185	190	152	×	16.1	×	3	×	×
						40	49	218.3	8.195		229	○	19.2	×	4	×	○
62	鋼製ボックス	1	1.5	1.6	0.0040	0	18	13.6	0.428	923	150	×	14.8	×	2	×	×
						40	40	129	0		739	○	30	○	5	×	○
74	空調室外機	0.7	1.2	1.3	0.0078	0	31	28	1.362	283	136	×	14.9	×	3	×	×
						40	46	189.4	3.710		300	○	21.2	×	4	×	○
121	コンクリートブロック	0.6	1.2	1.2	0.0381	0	69	173.4	14.715	50	120	×	13.3	×	2	×	×
56	バリケード	0.635	0.82	6.5	0.1301	0	86	244.3	37.614	31.4	117	×	13.7	×	3	×	×
						40	77	310.5	57.827		94	×	12.4	×	2	×	×
53	看板，標識	0.2	0.85	4.85	0.0318	0	48	149.6	1.121	100	116	×	17.8	×	4	×	×
						40	61	268.9	47.221		187	○	22	×	6	×	○
101	ホース，ケーブル類	0.4	1.5	1.5	0.0456	0	68	197.2	10.441	50	116	×	13.6	×	3	×	×
						40	65	272.9	54.162		106	×	13.1	×	3	×	×
472	運搬台車	0.765	0.9	1.215	0.0407	0	70	195	20.842	44	108	×	12.8	×	2	×	×
						40	63	269.8	52.463		88	×	11.6	×	2	×	×
117	バイク，自転車	0.5	0.55	1.915	0.0159	0	45	114.4	1.983	95	97	×	15	×	3	×	×
490	空調室外機	0.6	0.7	1.45	0.0102	0	35	31.3	1.545	150	92	×	13.9	×	3	×	×
						40	49	216.3	7.848		181	○	18.7	×	4	×	○
376	鋼管	0.55	0.55	2.4	0.0233	0	58	142.6	3.317	53.7	91	×	14	×	3	×	×
						40	58	264.8	37.449		91	×	14	×	3	×	×
267	物置	0.75	1.08	1.5	0.0047	0	18	14	0.484	500	81	×	12.3	×	2	×	×

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例）

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2/kg)	初期高さ (m)	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 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超（E＞176kJ）【条件①】	貫通力（コンクリート） 貫通限界厚さ (cm)	貫通力（コンクリート） 鋼製材超（tp＞25.9cm）【条件②】	貫通力（鋼板） 貫通限界厚さ (mm)	貫通力（鋼板） 鋼製材超（T＞9mm）【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
194	看板，標識	0.6	0.6	1.4	0.0449	0	71	202.9	18.726	30	76	×	12.1	×	3	×	×
						40	65	272.4	53.966		64	×	11.2	×	2	×	×
68	プラスチック容器	0.6	0.7	1.3	0.0481	0	72	238.9	20.237	29	76	×	11.7	×	2	×	×
						40	65	274	54.848		62	×	10.7	×	2	×	×
382	看板，標識	0.1	1.8	2	0.0351	0	45	147	0.533	72	73	×	14.2	×	3	×	×
						40	62	269.8	49.605		139	×	18.8	×	5	×	×
164	鋼製蓋	0.15	2.3	2.3	0.0086	0	17	12.5	0.193	441	64	×	12.9	×	2	×	×
495	仮設電源	0.6	0.9	1.1	0.0067	0	24	19.8	0.867	216	63	×	11.3	×	2	×	×
						40	45	175.2	1.869		219	○	19.8	×	4	×	○
152	消火設備格納箱	0.5	0.5	1.2	0.0192	0	49	132.9	2.372	50	61	×	12	×	3	×	×
						40	56	259.6	30.281		79	×	13.6	×	3	×	×
13	ケーブルドラム	0.5	0.9	0.9	0.0093	0	29	24.1	1.096	122	52	×	10.5	×	2	×	×
11	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	0.0472	0	72	214	19.804	20	52	×	10.1	×	2	×	×
						40	65	273.6	54.608		43	×	9.2	×	2	×	×
93	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	0.0460	0	71	210.3	19.251	20.5	52	×	10.1	×	2	×	×
						40	65	273	54.296		44	×	9.3	×	2	×	×
131	コンテナ	1	2.1	3.4	0.0031	0	6	1.4	0.017	2746	50	×	8.9	×	1	×	×
253	鋼製蓋	0.1	1.3	3.7	0.0141	0	20	15.4	0.24	241	49	×	13.4	×	3	×	×
181	バリケード	0.5	0.5	1.1	0.0446	0	70	196.3	14.822	20	49	×	10.5	×	2	×	×
						40	66	272.3	53.877		44	×	10	×	2	×	×
338	ケーブルドラム	0.7	0.95	0.95	0.0049	0	18	14.7	0.495	302	49	×	10	×	2	×	×
153	消火設備格納箱	0.3	0.7	1.2	0.0233	0	47	143.4	1.442	40	45	×	10.8	×	2	×	×
						40	58	265	37.449		68	×	12.9	×	3	×	×

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例）

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2/kg)	初期高さ (m)	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 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超（E＞176kJ）【条件①】	貫通力（コンクリート） 貫通限界厚さ (cm)	貫通力（コンクリート） 鋼製材超（tp＞25.9cm）【条件②】	貫通力（鋼板） 貫通限界厚さ (mm)	貫通力（鋼板） 鋼製材超（T＞9mm）【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
201	コンクリートブロック	0.5	0.8	0.8	0.0096	0	30	24.6	1.139	100	45	×	10	×	2	×	×
46	洗濯機	0.5	0.5	0.8	0.0148	0	43	84.2	1.855	47	44	×	10.4	×	2	×	×
203	ベンチ（常設）	0.4	0.6	0.9	0.0195	0	47	119.9	1.786	38.7	43	×	10.3	×	2	×	×
392	鋼製蓋	0.055	1.5	3.5	0.0127	0	17	12.3	0.099	283	41	×	13.6	×	3	×	×
190	ベンチ（常設）	0.4	0.4	1.2	0.0193	0	46	119.5	1.769	38.4	41	×	10.9	×	3	×	×
320	パレット（鋼製）	0.17	1.3	1.3	0.0382	0	49	144.7	1.06	33.8	41	×	10.2	×	2	×	×
						40	63	269.9	51.322		68	×	12.7	×	3	×	×
139	仮設電源	0.598	0.687	0.713	0.0066	0	24	19.8	0.84	134	39	×	9.5	×	2	×	×
						40	45	173.8	1.699		136	×	16.5	×	3	×	×
92	仮設電源	0.3	0.7	0.9	0.0194	0	44	113.6	1.227	37.8	37	×	9.9	×	2	×	×
						40	56	260.2	30.654		60	×	12.2	×	3	×	×
122	コンクリートブロック	0.45	0.5	0.8	0.0131	0	38	71.5	1.394	50	37	×	9.8	×	2	×	×
483	ベンチ（常設）	0.5	0.75	1.8	0.1733	0	86	268.8	38.374	10	37	×	8.3	×	2	×	×
204	下駄箱	0.4	0.6	1	0.0108	0	30	21.3	0.979	76	35	×	9.7	×	2	×	×
6	パレット（木製または樹脂製）	0.15	1.1	1.1	0.0282	0	45	144.1	0.723	33	34	×	9.9	×	2	×	×
						40	60	269	43.851		60	×	12.7	×	3	×	×
339	パレット（木製または樹脂製）	0.14	1.1	1.1	0.0279	0	44	139.6	0.661	33	32	×	9.8	×	2	×	×
						40	59	268.9	43.534		58	×	12.7	×	3	×	×
301	足場板，足場枠	0.24	0.36	3	0.0136	0	32	41.4	0.66	57	30	×	10.8	×	3	×	×
						40	52	241.5	15.824		78	×	16.5	×	5	×	×
379	パレット（木製または樹脂製）	0.13	1.1	1.1	0.0385	0	48	146.7	0.774	23.7	28	×	9.1	×	2	×	×
						40	63	270	51.491		48	×	11.6	×	3	×	×
251	ベンチ（仮設）	0.3	0.42	1.8	0.0395	0	57	147.5	2.329	15.1	25	×	8.7	×	2	×	×

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例）

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2/kg)	初期高さ (m)	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 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超（E＞176kJ）【条件①】	貫通力（コンクリート） 貫通限界厚さ (cm)	貫通力（コンクリート） 鋼製材超（tp＞25.9cm）【条件②】	貫通力（鋼板） 貫通限界厚さ (mm)	貫通力（鋼板） 鋼製材超（T＞9mm）【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
298	鋼製スロープ	0.12	0.5	1.5	0.0213	0	39	103.2	0.439	27.7	22	×	9.6	×	3	×	×
						40	57	263.5	34.643		45	×	13.4	×	4	×	×
176	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	0.0045	0	14	9.1	0.259	211	21	×	7.5	×	1	×	×
						40	41	139.7	0		178	○	19.5	×	4	×	○
220	カーブミラー	0.084	1	1	0.0369	0	44	148.7	0.453	19.7	20	×	8.5	×	2	×	×
47	プラスチック容器	0.6	0.6	0.7	0.1584	0	87	256.7	39.584	5	19	×	6	×	1	×	×
						40	79	323.9	57.649		16	×	5.5	×	1	×	×
405	樹脂製パイプ	0.3	0.3	6	0.0059	0	14	8.1	0.21	150	15	×	8.7	×	2	×	×
						40	44	163.7	0.596		146	×	23.4	×	8	×	×
33	消火設備格納箱	0.3	0.3	0.7	0.0337	0	54	147.3	1.997	10	15	×	7.2	×	2	×	×
						40	61	269.4	48.653		19	×	8.1	×	2	×	×
272	足場板，足場枠	0.04	0.25	4	0.0582	0	43	126.1	0.278	12.5	12	×	9.8	×	4	×	×
						40	68	278.5	56.577		29	×	14.3	×	7	×	×
188	カラーコーン	0.4	0.4	0.7	0.1584	0	86	283.2	34.391	3	12	×	5.4	×	1	×	×
						40	79	324.1	57.649		10	×	5	×	1	×	×
351	木片，木製品	0.26	0.26	0.77	0.0119	0	29	35	0.632	26	11	×	7	×	2	×	×
						40	51	231.8	11.316		34	×	11.6	×	3	×	×
87	グレーチング	0.065	1	1	0.0113	0	15	8.8	0.101	63.3	8	×	6.1	×	2	×	×
295	ホース，ケーブル類	0.35	0.6	0.6	0.0052	0	12	7	0.169	100	8	×	5	×	1	×	×
						40	42	152.2	0.047		89	×	15.3	×	4	×	×
51	カーブミラー	0.05	0.6	0.6	0.0297	0	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	0	22	17.5	0.277	20	5	×	6.9	×	3	×	×

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例）

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2/kg)	初期高さ (m)	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 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超（E＞176kJ）【条件①】	貫通力（コンクリート） 貫通限界厚さ (cm)	貫通力（コンクリート） 鋼製材超（tp＞25.9cm）【条件②】	貫通力（鋼板） 貫通限界厚さ (mm)	貫通力（鋼板） 鋼製材超（T＞9mm）【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
58	樹脂製蓋	0.02	1	1	0.0188	0	15	9.2	0.046	36	5	×	5.8	×	2	×	×
						40	55	258.9	29.521		55	×	17.6	×	8	×	×
34	鋼製スロープ	0.05	0.55	1.1	0.0203	0	21	17.1	0.152	21.4	5	×	5.7	×	2	×	×
						40	56	262.1	33.14		34	×	13.4	×	5	×	×
198	プラスチック容器	0.7	0.7	0.9	0.0034	0	5	1.2	0.013	346	5	×	3.6	×	1	×	×
						40	38	114.3	0		250	○	21.9	×	4	×	○
32	消火器	0.153	0.154	0.5	0.0117	0	22	19.7	0.324	10	3	×	4.2	×	1	×	×
						40	50	230.3	10.886		13	×	8.6	×	3	×	×
50	バイク，自転車	0.05	0.51	0.54	0.0163	0	19	14	0.122	12.5	3	×	4.1	×	1	×	×
431	樹脂製蓋	0.015	0.5	0.67	0.0253	0	16	11.3	0.045	9	2	×	3.8	×	1	×	×
						40	61	267.3	40.355		17	×	11.7	×	6	×	×
336	什器類	0.06	0.36	0.36	0.0227	0	25	25	0.207	4.5	2	×	3.3	×	1	×	×
						40	57	264.5	36.482		8	×	6.7	×	2	×	×
244	グレーチング	0.1	0.9	1	0.0059	0	5	1.2	0.016	115	2	×	2.9	×	1	×	×
305	鋼製敷板	0.005	0.5	0.9	0.0181	0	8	2.9	0.007	16.6	1	×	3.4	×	1	×	×
316	マンホール蓋	0.006	0.65	0.65	0.0181	0	9	3.6	0.009	15.6	1	×	3.4	×	1	×	×
232	コンクリート製蓋	0.03	0.5	0.6	0.0102	0	9	3.3	0.026	20.7	1	×	3	×	1	×	×
233	グレーチング	0.1	0.5	0.6	0.0063	0	7	2	0.03	38.4	1	×	2.6	×	1	×	×
110	鉄骨	0.15	0.2	6	0.0048	0	2	0.1	0	179	1	×	2	×	1	×	×
						40	42	145.6	0	179	158	×	27.7	○	12	○	○
418	コンクリ製蓋	0.022	0.26	0.26	0.0144	0	12	6.3	0.035	3.4	1	×	1.9	×	1	×	×
250	運搬台車	0.29	0.49	0.77	0.0041	0	3	0.3	0.001	120	1	×	1.8	×	1	×	×
						40	40	131.8	0		96	×	17.2	×	4	×	×
81	コンクリート製蓋	0.05	0.2	0.5	0.0070	0	5	0.9	0.01	11.5	1	×	1.5	×	1	×	×

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例）

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2/kg)	初期高さ (m)	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 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超（E＞176kJ）【条件①】	貫通力（コンクリート） 貫通限界厚さ (cm)	貫通力（コンクリート） 鋼製材超（tp＞25.9cm）【条件②】	貫通力（鋼板） 貫通限界厚さ (mm)	貫通力（鋼板） 鋼製材超（T＞9mm）【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
246	マンホール蓋	0.045	0.75	0.75	0.0063	0	1	0	0	64	1	×	0.7	×	1	×	×
＜浮上しないもの＞ …初期高さ0mで最大浮上高さ0mである物品（初期高さが0を超えると初期位置が空中となり、最大浮上高さ0mでも落下時に竜巻影響によって水平速度が発生する）																	
8	鋼管	0.17	0.17	5.5	0.0042	0	0	0	0	109	—	—	0	×	0	×	×
						40	40	134	0		88	×	22.1	×	10	○	○
9	ボンベ	0.25	0.25	1.4	0.0038	0	0	0	0	52	—	—	0	×	0	×	×
						40	39	125	0		40	—	13.5	×	4	×	×
27	フォークリフト	1.19	1.38	1.38	0.0011	0	0	0	0	3320	—	—	0	×	0	×	×
49	マンホール蓋	0.05	1	1	0.0058	0	0	0	0	122	—	—	0	×	0	×	×
54	コンクリート製蓋	0.13	0.7	1	0.0027	0	0	0	0	209	—	—	0	×	0	×	×
61	鋼製敷板	0.019	1.55	6	0.0045	0	0	0	0	1387	—	—	0	×	0	×	×
64	仮設電源	1.3	1.75	3.7	0.0022	0	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	0	1000	—	—	0	×	0	×	×
						40	34	81.2	0		578	○	28.2	○	5	×	○
69	鉄骨	0.15	0.15	1	0.0043	0	0	0	0	31.1	—	—	0	×	0	×	×
						40	41	136.1	0		27	×	12.6	×	5	×	×
97	鉄骨	0.125	0.125	4.5	0.0043	0	0	0	0	106	—	—	0	×	0	×	×
						40	41	136.1	0		90	×	23.3	×	12	○	○
100	ケーブルドラム	0.9	1.5	1.5	0.0024	0	0	0	0	1399	—	—	0	×	0	×	×
112	鋼管	0.15	0.15	4	0.0034	0	0	0	0	86	—	—	0	×	0	×	×
						40	38	114.7	0		63	×	19.7	×	9	○	○
141	建設機械	2.2	2.69	2.69	0.0016	0	0	0	0	8000	—	—	0	×	0	×	×
163	鉄骨	0.1	0.1	5.4	0.0048	0	0	0	0	91.3	—	—	0	×	0	×	×
						40	42	145.6	0		81	×	23.2	×	14	○	○

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例）

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外	寸法(m) 高さ以外	C_DA/m (m^2/kg)	初期高さ (m)	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 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超（E＞176kJ）【条件①】	貫通力（コンクリート） 貫通限界厚さ (cm)	貫通力（コンクリート） 鋼製材超（tp＞25.9cm）【条件②】	貫通力（鋼板） 貫通限界厚さ (mm)	貫通力（鋼板） 鋼製材超（T＞9mm）【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
186	マンホール蓋	0.05	1	1	0.0058	0	0	0	0	122	—	—	0	×	0	×	×
199	オブジェ	2	2	4	0.0006	0	0	0	0	22000	—	—	0	×	0	×	×
226	トラック	1.695	2.15	5.14	0.0021	0	0	0	0	7635	—	—	0	×	0	×	×
231	マンホール蓋	0.045	0.7	0.7	0.0062	0	0	0	0	57	—	—	0	×	0	×	×
234	マンホール蓋	0.045	0.7	0.7	0.0062	0	0	0	0	57	—	—	0	×	0	×	×
276	建設機械	0.72	1.2	2.39	0.0016	0	0	0	0	2250	—	—	0	×	0	×	×
284	鋼製敷板	0.019	1.5	6	0.0045	0	0	0	0	1342	—	—	0	×	0	×	×
289	空調室外機	0.4	0.8	0.95	0.0020	0	0	0	0	500	—	—	0	×	0	×	×
						40	30	66	0		225	○	23	×	5	×	○
293	ボンベ	0.25	0.25	1.4	0.0035	0	0	0	0	57	—	—	0	×	0	×	×
						40	39	117.4	0		44	—	14.2	×	4	×	×
309	プラスチック容器	0.68	0.87	1.07	0.0029	0	0	0	0	516	—	—	0	×	0	×	×
						40	36	99.2	0		335	○	24.5	×	5	×	○
314	コンクリートブロック	0.15	0.25	0.6	0.0036	0	0	0	0	51.8	—	—	0	×	0	×	×
335	鋼製スロープ	0.15	0.5	1.6	0.0041	0	0	0	0	180	—	—	0	×	0	×	×
						40	40	131.9	0		144	×	23.3	×	7	×	×
337	鋼製スロープ	0.18	1.6	3.3	0.0038	0	0	0	0	1011	—	—	0	×	0	×	×
						40	39	125	0		769	○	41.4	○	11	○	○
372	フォークリフト	1.48	2.07	2.23	0.0010	0	0	0	0	7400	—	—	0	×	0	×	×
380	鋼製ブロック	0.4	0.4	0.75	0.0006	0	0	0	0	942	—	—	0	×	0	×	×
381	鋼製ブロック	0.4	0.5	0.75	0.0005	0	0	0	0	1178	—	—	0	×	0	×	×
388	コンクリート製蓋	0.25	1.25	5	0.0029	0	0	0	0	1655	—	—	0	×	0	×	×
394	鋼製敷板	0.016	1.53	6	0.0053	0	0	0	0	1153	—	—	0	×	0	×	×
400	鋼製ボックス	1.5	2.1	2.1	0.0019	0	0	0	0	3800	—	—	0	×	0	×	×

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例）

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m)			C_DA/m (m^2/kg)	初期高さ (m)	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		貫通力（コンクリート）		貫通力（鋼板）		飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
		高さ	高さ以外								最大運動E (kJ)	鋼製材超（E＞176kJ）【条件①】	貫通限界厚さ (cm)	鋼製材超（tp＞25.9cm）【条件②】	貫通限界厚さ (mm)	鋼製材超（T＞9mm）【条件③】	
411	鋼製蓋	0.07	1.2	3.7	0.0026	0	0	0	0	1220	—	—	0	×	0	×	×
412	鋼製蓋	0.03	2.1	2.1	0.0037	0	0	0	0	816	—	—	0	×	0	×	×
413	鋼製蓋	0.07	0.4	1.1	0.0014	0	0	0	0	242	—	—	0	×	0	×	×
						40	23	41.3	0		65	×	19.6	×	7	×	×
417	コンクリートブロック	0.15	0.16	0.6	0.0042	0	0	0	0	33.1	—	—	0	×	0	×	×
469	鋼管	0.3	0.6	5.5	0.0028	0	0	0	0	745	—	—	0	×	0	×	×
						40	36	96.2	0		483	○	36.2	○	11	○	○

3.3　設計飛来物の設定

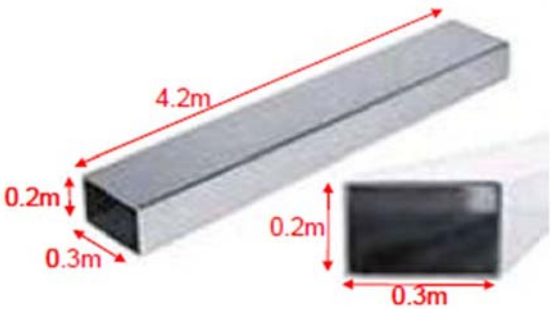
3.2 におけるスクリーニングの結果，鋼製材の影響を上回る飛来物源については飛来物発生防止対策を施すことが可能であると判断したため，鋼製材を設計飛来物として決定した。

また，設計飛来物に対する竜巻飛来物防護対策設備として設置する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，発電所における設計飛来物の仕様を示す。

第 3.3－1 表　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 (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こと,また「損傷するが飛散しない物品」は飛散しないことから，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等から，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等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，Ｆ０～Ｆ３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Ｆ２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

カーポート屋根の損傷

別図 1－2　平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市で発生したＦ２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Ｆ１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Ｆ０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

飛散した飛来物（鋼板製屋根材）

飛散した折板屋根の損傷状況

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Ｆ３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，Ｆ０～Ｆ３及びＥＦ５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損壊

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Ｆ２竜巻による
ガラス窓の被害状況[2]

バスの窓ガラス損壊

別図 1－7　平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生したＥＦ５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Ｆ１（Ｆ２）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

窓ガラスの損壊

出窓部の窓ガラスの損壊

エントランスのガラス損壊

別図 1－9　平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生したＦ１竜巻による

ガラス窓の被害状況[3]

体育館窓ガラスの損壊

教室

廊下

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Ｆ０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）

ガラスの被害状況（飛来物衝突痕）

ガラスの被害状況（飛来物衝突痕）

別図 1－11　平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻による

ガラス窓の被害状況[5]

(2)　発電所の屋外屋根及びガラス窓の状況

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。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　発電所における屋外屋根の状況

別図 1－13　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，原子炉建屋ブローアウトパネル）

竜巻の被害概要調査結果等における「損傷するが飛散しない物品」に関し，発電所に存在する物品としてシャッター，樹木，フェンス及び原子炉建屋原子炉棟ブローアウトパネルが確認できた。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，Ｆ１～Ｆ３及びＥＦ５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ＥＦ５竜巻による
シャッター被害状況[6]

シャッターの変形

別図 1－15　平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生したＦ１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Ｆ１（Ｆ２）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変形

別図 1－17　平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻によるシャッターの被害状況[5]

シャッターの外れ

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，Ｆ１～Ｆ３及びＥＦ５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るためと考えられ，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Ｆ２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Ｆ２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ＥＦ５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Ｆ２竜巻による樹木被害状況[10]

倒木

別図 1－23　平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生したＦ１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

倒木と社の被害

別図 1－24　平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻による樹木被害状況[5]

樹木の被害

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Ｆ２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，Ｆ１～Ｆ３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Ｆ１（Ｆ２）竜巻によるフェンスの被害状況[7]

フェンスの変形

道路標識の倒壊

別図 1－27　平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻によるフェンス類の被害状況[5]

フェンスの倒壊

屋上フェンスの変形

フェンスの変形

フェンス支柱部の破損

フェンスの変形（工事中の建築物）

フェンスの倒壊

電柱の倒壊

看板の変形

別図 1－28　平成 25 年 9 月 2 日埼玉県で発生したＦ２竜巻による

フェンス類の被害状況[8]

6 条(竜巻)-1-添付 9-別紙 1-18

ｄ．原子炉建屋原子炉棟ブローアウトパネル

原子炉建屋原子炉棟ブローアウトパネルには開放時の落下を防止する機構が付けられており，竜巻によって外れた場合でも，落下時の挙動は通常の開放時と変わりないと考えられることから，落下防止機構が破断して飛来物となることはないと考えられる。また，ブローアウトパネルの開放後には竜巻は速やかに遠ざかっていくと考えられることから，開放したブローアウトパネルが強風に煽られ，落下防止機構が破断し飛来物化する可能性も小さいと考えられる。

(4)　発電所のシャッター，樹木，フェンス及びブローアウトパネルの状況

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き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　発電所におけるシャッターの状況

別図 1－30　発電所における樹木の状況

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　発電所におけるフェンスの状況

発電所における原子炉建屋原子炉棟ブローアウトパネルの設置状況を別図 1－32 に示す。ブローアウトパネルには 4 本のチェーンが落下防止機構として取り付けられており，これらは落下時の衝撃荷重に対して破断しないと考えられる。また，竜巻が遠ざかるまでの短時間に 4 本のチェーンが全て破断する可能性も小さいと考えられる。

別図 1－32　発電所における原子炉建屋原子炉棟ブローアウトパネルの設置状況

以上より，シャッター，樹木，フェンス及び原子炉建屋原子炉棟ブローアウトパネルは，竜巻により損傷もしくは脱落するが，飛散せず設計飛来物として選定が不要と判断した。

＜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]に引用されている文献[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　(m^2／kg)

m ：物品の質量　(kg)

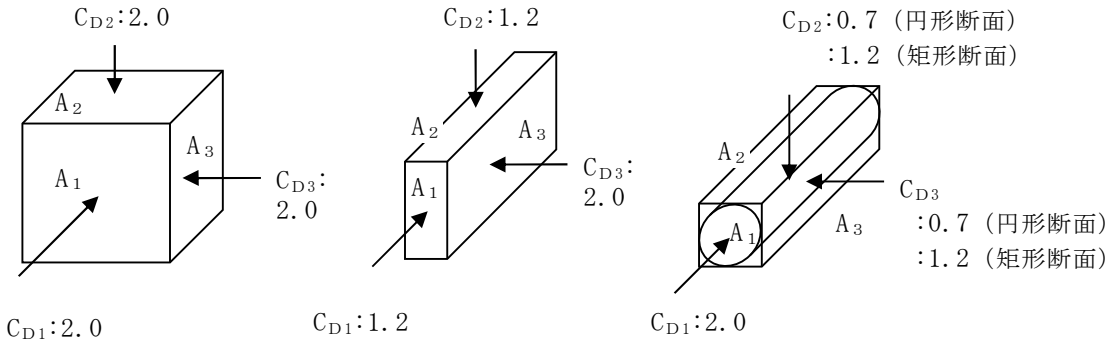
c ：係数（0.33）

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} ～ C_{D3}を定義した各方向に対する見付面積　(m^2)

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	2.0	2.0
板状	1.2	1.2	2.0
棒状	2.0	0.7（円形断面） 1.2（矩形断面）	0.7（円形断面） 1.2（矩形断面）



・$A_3 > A_2, A_1$

・円形断面の場合，A_2, A_3は
「見付面積（直径×長さ）」

塊状物体　　板状物体　　棒状物体

＜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,” StandardReview Plan, NUREG-0800, 1996.

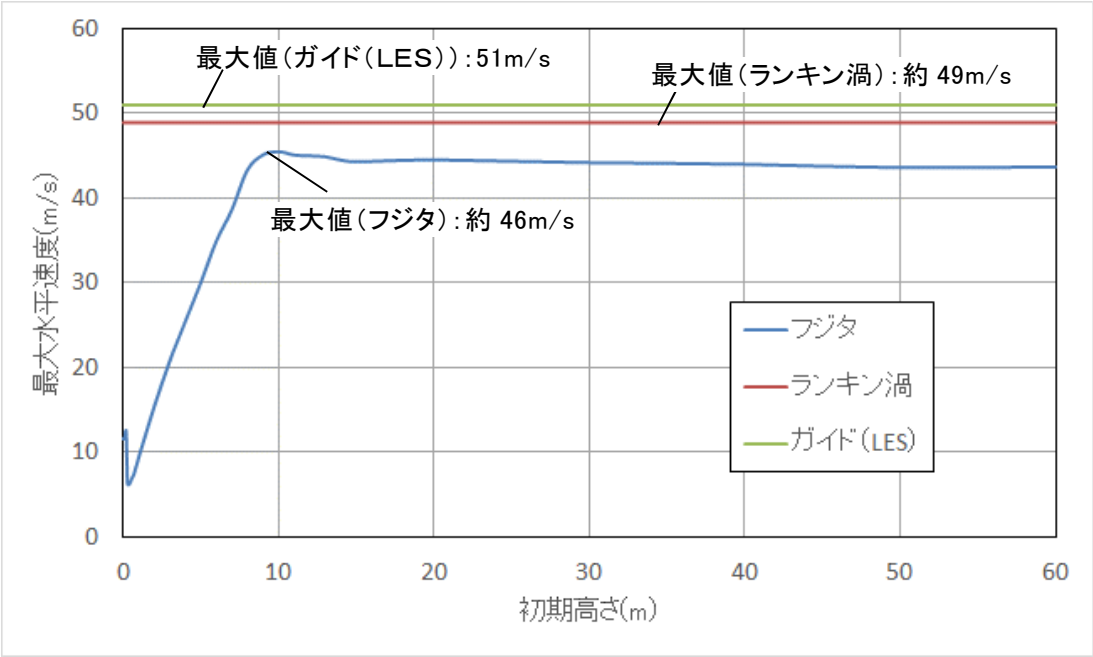
(3) E.Simiu, M. Cordes:“Tornado-Borne Missile Speeds,” NBSIR76-1050,National Bureau of Standards, Washington D.C.,1976.

フジタモデル採用時に「竜巻影響評価ガイド」の鋼製材を設計飛来物とすることの妥当性について

発電所の竜巻影響評価に用いる設計飛来物である鋼製材は，「竜巻影響評価ガイド」に示されている数値を採用しているが，その最大水平速度（51m／s）は非定常乱流渦モデルによるシミュレーション（ＬＥＳ）にて導出されている。

一方，発電所の竜巻影響評価における物品の飛散解析にはフジタモデルを適用する方針としており，フジタモデルでは風速が地表からの高さによって変化するため，飛来物源の地表面からの初期高さにより飛散時の挙動が異なる。

このため，任意の初期高さにある鋼製材をフジタモデルで飛散させた場合でも，その最大水平速度が 51m／s を超えることがないことを確認した。結果を別図 3－1 に示す。また，別図 3－1 には参考としてランキン渦モデルによる最大水平速度も記す。



別図 3－1　各風速場モデルの初期高さ－最大水平速度

別図 3－1 から，いずれの高さから飛散した場合でも，その最大水平速度は 51m／s を上回ることはないことが分かる。よって，フジタモデルを採用する場合においても，設計飛来物の最大水平速度には「竜巻影響評価ガイド」の数値である 51m／s を用いることは問題なく，かつ保守性を有すると判断している。

以　上

車両の飛散範囲について

車両管理エリアの設定に必要な離隔距離等を考慮するための車両の飛散範囲（飛散距離及び浮上高さ）については，以下の方針に基づきフジタモデルを用いて算出した。

(1)　車両の飛散解析条件

ａ．飛散し易い形状を考慮し，代表的な寸法及び重量※を選定する。

※：「箱状（表面積大）」かつ「密度が低い」物品が飛散し易いことから，以下の車種を代表として選定した。

・トラック（大型～小型のバン及び平型）
・バス（大型～マイクロバス）
・軽自動車（最大高（面積大），最軽量）
・軽トラック
・ＳＵＶ（パトロール車想定）

ｂ．車両は地表面に位置する（地面からの初期高さ０）と見なす。

ｃ．飛散距離に影響を与える飛散の出発点と到達点の高低差は，評価対象施設等の配置状況を考慮し別表4－1のとおり余裕をもって設定した。

別表4－1　出発点と到達点の高低差

対象施設	原子炉建屋，タービン建屋，排気筒，海水ポンプ室内設備※，使用済燃料乾式貯蔵建屋	緊急時対策所建屋
高低差	20m	0m
根拠	対象施設の配置高さ（3m盤，8m盤）と敷地内の車両通行箇所の高低差に余裕を見た値	緊急時対策所建屋と周辺の車両通行箇所の高低差に余裕を見た値

※：以下の評価対象施設を示す。

残留熱除去系海水系ポンプ
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含む。）
海水ポンプ
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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）
海水ストレーナ

別表4－2に，車両の寸法，重量，空力パラメータ，最大浮上高さ及び上記の2種類の高低差に対する最大飛散距離を示す。

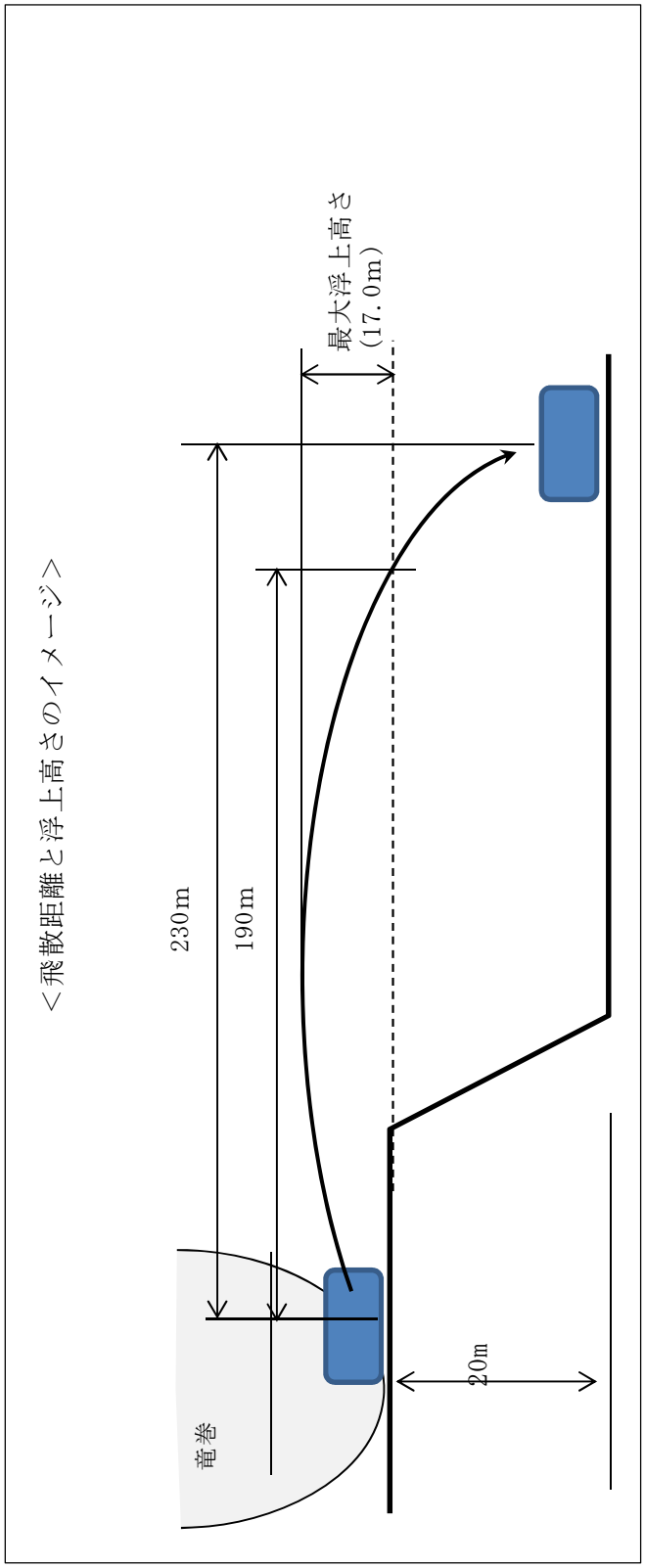
この結果より，車両の最大浮上高さはおおむね20m未満に留まると考えられ，また高低差20m及び0mの最大飛散距離から，車両管理エリアの設定に用いる必要離隔距離をそれぞれ230m，190mとした。飛散解析においては上記の高低差の他にも保守的な取扱いがなされており，上記数値は保守性を有したものとなっている。

別表４－２　車両の飛散距離

車種	車高 (m)	その他寸法 (m)		重量 (kg)	空力パラメータ C_DA/m (m^2/kg)	最大飛散距離(m)		最大浮上高さ (m)
						高低差20m	高低差0m	
大型トラック　バン（25t）	3.790	2.495	11.990	10900	0.0052	184	134	9.0
大型トラック　平（25t）①	3.255	2.490	11.990	9180	0.0056	180	128	7.9
大型トラック　平（25t）②	3.460	2.490	11.990	9310	0.0057	186	136	9.5
大型トラック　平（25t）③	3.035	2.490	11.950	9210	0.0053	172	115	6.5
大型トラック　平（25t）④	3.180	2.490	11.810	8970	0.0056	178	126	7.6
大型トラック　平（11t）	2.485	2.470	9.440	4750	0.0074	202	147	8.7
中型トラック　バン（8t）	3.525	2.495	8.565	4925	0.0081	226	183	17.0
中型トラック　バン（7t）	3.135	2.200	6.920	3490	0.0083	222	179	15.6
中型トラック　平（8t）①	2.550	2.470	8.485	3690	0.0088	224	170	13.1
中型トラック　平（8t）②	2.425	2.240	8.130	3220	0.0089	215	166	12.4
中型トラック　平（8t）③	2.435	2.470	9.440	4120	0.0084	222	162	11.4
中型トラック　バン（5t）	2.830	1.885	4.845	2795	0.0067	186	135	8.8
中型トラック　平（4t）	1.990	1.695	4.690	1990	0.0069	167	101	5.1
小型トラック　平（2t）	2.250	2.170	6.790	2710	0.0085	199	149	10.1
小型トラック　平（1.5t）	1.970	1.695	4.690	2160	0.0063	156	87	4.4
大型バス　①	3.045	2.485	10.430	9260	0.0047	155	90	5.2
大型バス　②	3.130	2.490	11.450	10190	0.0047	158	94	5.4
大型バス　③	3.190	2.490	11.280	10310	0.0047	160	97	5.6
大型バス　④	3.750	2.490	11.990	12840	0.0044	168	109	6.0
大型バス　⑤	3.485	2.490	8.990	10090	0.0041	151	86	4.7
大型バス　⑥	3.520	2.490	11.990	13000	0.0042	157	94	5.0
中型バス　①	3.045	2.300	8.990	7800	0.0047	155	90	5.2
中型バス　②	2.910	2.300	8.990	8100	0.0044	136	74	4.1

別表４－２　車両の飛散距離

車種	車高 (m)	その他寸法 (m)		重量 (kg)	空力パラメータ C_DA/m (m^2/kg)	最大飛散距離(m)		最大浮上高さ (m)
						高低差20m	高低差0m	
中型バス　③	3.035	2.340	8.990	7100	0.0052	170	113	6.3
マイクロバス　①	2.635	2.065	6.995	3830	0.0067	181	128	7.6
マイクロバス　②	2.735	2.010	7.730	4190	0.0067	184	131	8.2
軽自動車（車高最大レベル）	1.880	1.475	3.395	960	0.0098	213	161	9.3
軽自動車（車高最大レベル）	1.910	1.475	3.395	950	0.0100	220	166	10.1
軽自動車（車高最小レベル）	1.180	1.475	3.395	830	0.0086	138	65	3.2
軽自動車（車高最小レベル）	1.280	1.475	3.395	850	0.0088	152	77	3.7
軽自動車（最軽量レベル）	1.475	1.475	3.395	610	0.0132	222	172	10.9
軽自動車（最軽量レベル）	1.525	1.475	3.395	650	0.0127	223	172	10.8
軽トラック　平　①	1.745	1.475	3.395	780	0.0115	219	167	11.5
軽トラック　平　②	1.765	1.475	3.395	680	0.0133	227	180	14.6
軽トラック　平　③	1.885	1.475	3.395	1220	0.0077	173	111	5.5
ＳＵＶ①	1.880	1.980	4.950	2430	0.0063	150	80	4.1
ＳＵＶ②	1.690	1.835	4.725	1660	0.0079	168	101	4.8
ＳＵＶ③	1.610	1.775	4.175	1210	0.0093	204	143	6.0
					最大値	227	183	17.0
					必要離隔距離	**230**	**190**	


<飛散距離と浮上高さのイメージ>
230m
190m
最大浮上高さ
(17.0m)
竜巻
20m

東海発電所　廃止措置作業の概要及び解体・撤去物品の管理について

東海発電所の廃止措置工事の概要は,以下に示す３つに区分することができ,それぞれの段階での解体撤去作業の内容を示す。別図 5-1 図には，各段階での東海発電所の状態とその作業概要を示す。

(1)　原子炉領域以外の解体撤去　【屋内作業】

原子炉領域の解体撤去にて発生する解体撤去物の搬出ルート確保，放射性廃棄物保管エリア確保等のため，原子炉領域以外の設備を解体撤去。

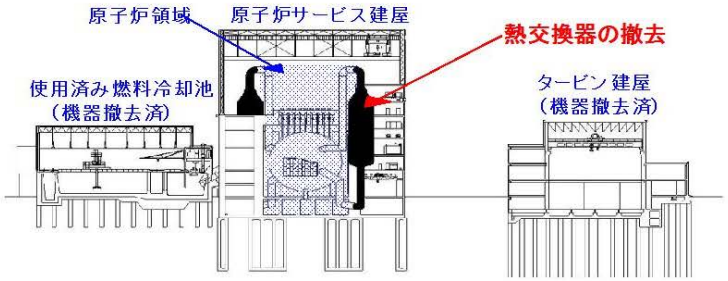
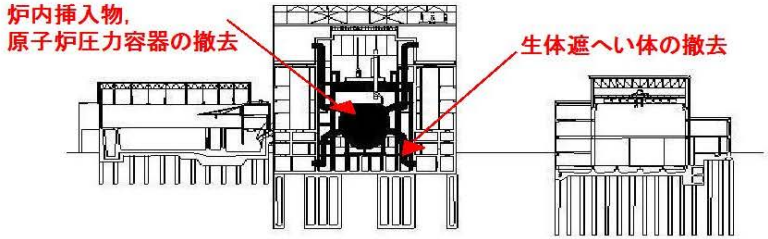
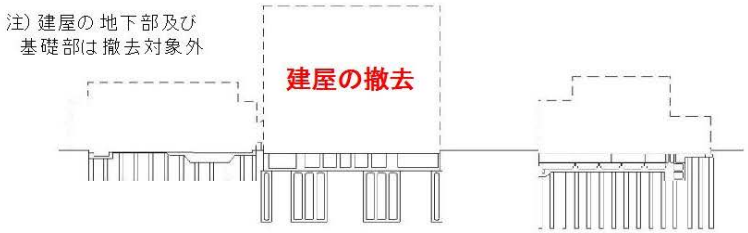
(2)　原子炉領域解体撤去　【屋内作業】

原子炉領域は放射能を減衰させるため，安全貯蔵状態とし，放射能を減衰させた後，原子炉領域の解体撤去。

(3)　建屋等解体撤去　【屋外作業あり】

原子炉領域の解体撤去後、各建屋等は汚染を除去し管理区域を解除して解体撤去。

また，別図 5-1 において，東海発電所の廃止措置の上記の各段階での解体,撤去作業の各段階での物品の管理方法を示す。

作業概要			竜巻防護に関する解体撤去物の管理
①原子炉領域以外の解体撤去		・原子炉サービス建屋内で遠隔装置等により，解体・撤去し，解体撤去物は鉄箱等へ収納する。 ・鉄箱を既設の建屋搬出入口より，東海発電所固体廃棄物貯蔵庫へ保管，又は敷地外（L3廃棄物埋設施設含む）へ搬出する。	・解体作業に関わる資機材，車両は，東二と同様の管理を行い，設計飛来物の影響を超えることのないように管理する。
②原子炉領域解体撤去		・原子炉サービス建屋内で遠隔装置等により，解体・撤去し，解体撤去物は鉄箱等へ収納する。 ・鉄箱を既設の建屋搬出入口より，東海発電所固体廃棄物貯蔵庫へ保管，又は敷地外（L3廃棄物埋設施設含む）へ搬出する。	
③建屋等解体撤去		・原子炉サービス建屋内の設備が全て解体され，解体撤去物が建屋内より搬出された後，建屋外壁を掘削機により解体する。	・解体作業に関わる資機材，車両は，東二と同様の管理を行い，設計飛来物の影響を超えることのないように管理する。 ・建屋の解体作業時は，設計飛来物の影響を超える解体撤去物が発生しないように予め飛散評価を行った区画を設定するなどの管理を行う。

別図５－１図　東海発電所の廃止措置作業の概要及び解体，撤去された物品管理

竜巻時に発生するひょうの影響について

竜巻においてはひょうを伴うことがあるため，ひょうの影響について検討を行った。

ひょう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。ひょうの粒径の上限は，文献[1]によれば通常は直径が 5mm～50mm とされているが，ひょう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]に記載のひょうのうち最大の 10cm のひょう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。空気中を落下するひょうもこの終端速度で落下する。ひょうの粒径毎の終端速度を第 1－1 表に示す。

第 1－1 表　ひょう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，ひょうの影響を評価するため，運動エネルギ，貫通力（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 1－2 表に示す。

その結果，ひょう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1－2表　粒径5cm及び10cmひょうの影響評価

及び設計飛来物との比較結果

評価対象	運動エネルギ	貫通限界厚さ（鉛直）	
		コンクリート（F_C＝225kgf／cm^2）	鋼板
粒径5cmひょう	0.04kJ	0.8cm	0.2mm
粒径10cmひょう	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

竜巻随伴事象の抽出について

1. 概要

過去の竜巻被害事例及び発電所の施設の配置から想定される竜巻の随伴事象を検討し，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Ｆ３クラスの竜巻を示す。

第 2－1 表　1990 年以降のＦ３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	Ｆ３	1	37	76	158
2006 年 11 月 7 日	北海道佐呂間町	Ｆ３	9	31	7	7
1999 年 9 月 24 日	愛知県豊橋市	Ｆ３	0	415	40	309
1990 年 12 月 11 日	千葉県茂原市	Ｆ３	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，竜巻の随伴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.　発電所にて考慮すべき竜巻随伴事象

上述の過去の竜巻による被害事例及び第 3－1 図に示す発電所の施設の配置から判断すると，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及び溢水が発生する可能性がある。

以上のことから，発電所における竜巻随伴事象として，火災，溢水及び外部電源喪失を抽出する。

第３－１図　発電所の評価対象施設のうち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！－茂原で最大スケールの竜巻が発生－，平成 22 年 3 月

別添資料2

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

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.　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……10
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 ……35
6.　実際の飛散状況に対する検証……37
6.1　フジタスケールとの比較 ……37
6.2　米国Grand Gulf原子力発電所への竜巻来襲事例との比較 ……38
6.3　佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較 ……40
7.　飛散以外の挙動に対する考慮……48
8.　まとめ……50
＜参考文献＞……51

別紙１「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

別紙２ 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

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」の報告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。

各風速場モデルに関する調査・検討
・各風速場モデルの概要及び比較
・米国におけるフジタモデルの利用実績

↓

風速場モデルの選定
・地面に置かれた物体へ影響を与える風速場を良く表現できている「フジタモデル」を選定

↓

入力パラメータの設定
・フジタモデルの入力パラメータ（竜巻の移動速度V_T，最大接線風速V_{Rm}，最大接線風速半径R_m）について，適用性を確認の上適切な値を設定

↓

物体の浮上，飛散モデルに関する検討
・揚力係数の設定（抗力係数と見付面積の積の平均値C_DAによる代用）
・揚力係数の適用性（風の受け方や高度依存性）の確認
・地面効果による揚力を考慮した飛来物の運動方程式

↓

物体が受ける風速に関する検討
・竜巻内の風速の不均一性を考慮し，物体を多点配置
（物体を強制的に高速域に配置し，物体が最大風速を受けるよう設定）

↓

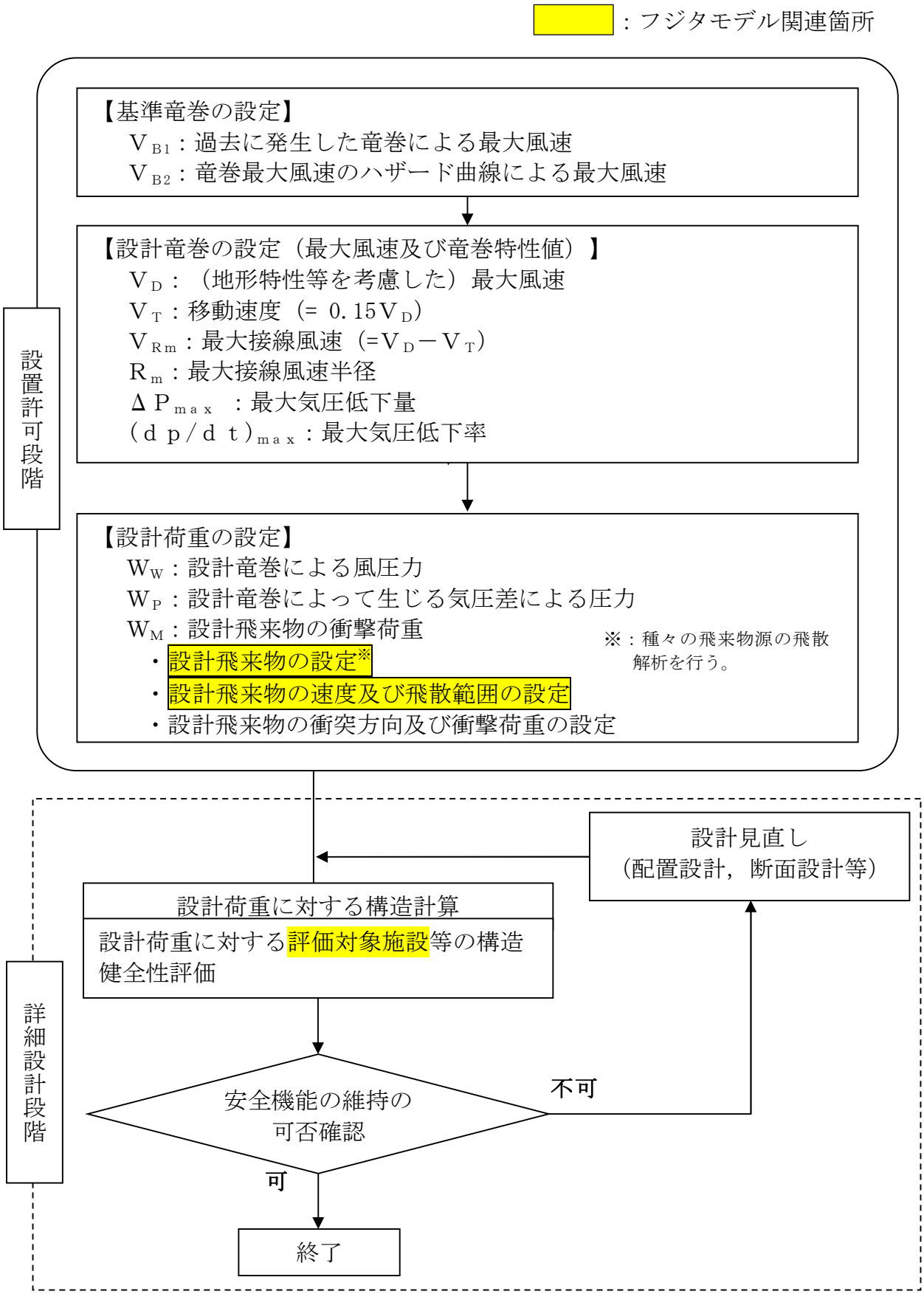
実際の飛散事例に対する検証
・フジタモデルを用いた評価が，事例におおむね合致することを確認
・上記の飛散解析手法を用いた評価が，保守的な結果となることを確認
（・ランキン渦モデルの評価では，過度に保守的な結果となることを確認）

風速場モデルの検討（実現象に即したモデルの選定）

飛散解析手法の検討（不確実性を考慮）

風速場モデル，飛散解析手法の検証

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

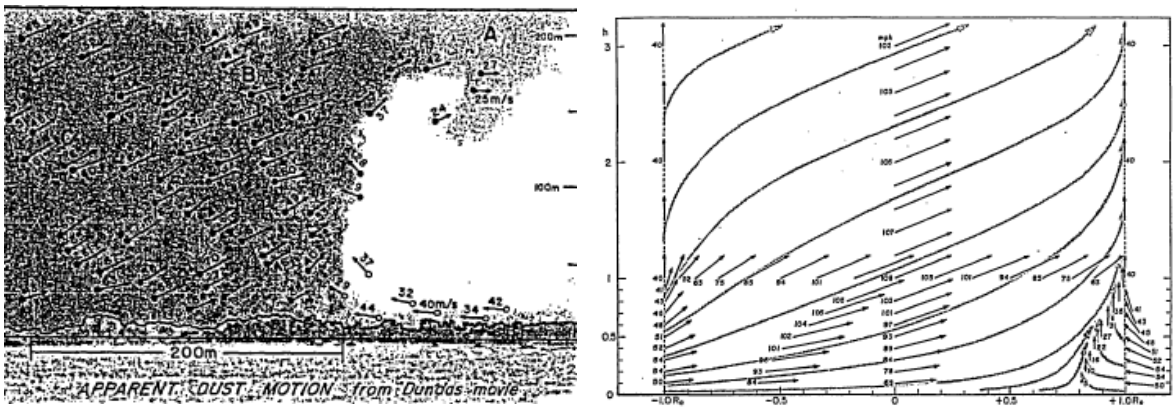
2　各風速場モデルの概要

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（ＤＢＴ-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

$$V_r = \begin{cases} 0 & (r \leq \nu) \\ \dfrac{V_\theta \tan\alpha_0}{1-\nu^2}\left(1-\dfrac{\nu^2}{r^2}\right) & (\nu < r < 1) \\ V_\theta \tan\alpha_0 & (r \geq 1) \end{cases}$$

$$\tan\alpha_0 = \begin{cases} -A(1-z^{1.5}) & (z<1) \\ B\{1-\exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

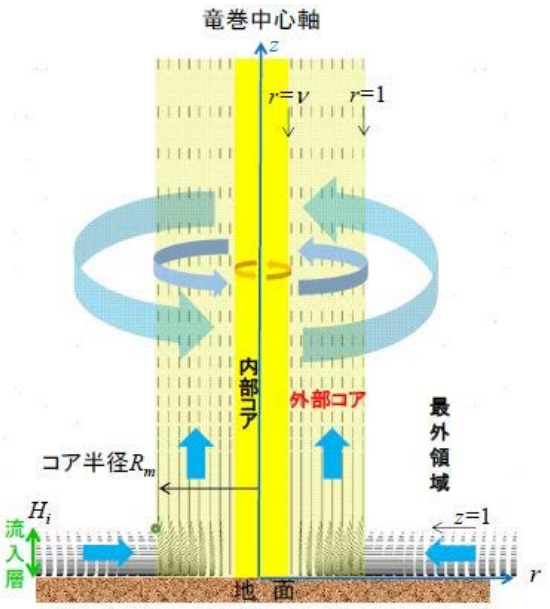
上昇風速

$$V_z = \begin{cases} \dfrac{3}{28}\dfrac{\eta V_m}{1-\nu^2} A(16 z^{\frac{7}{6}} - 7 z^{\frac{8}{3}}) & (z<1) \\ \dfrac{\eta V_m B \exp(-k(z-1))}{k(1-\nu^2)}\{2-\exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

k_0, k, ν, 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_νと外部コアの半径R_mの比ν（$=R_\nu / R_m$）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。

$$\nu = 0.9 - 0.7 exp(-0.005 R_m) \tag{1}$$

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。

$$H_i = \eta R_m \tag{2}$$

ここで，ηは1以下の正の値であり，下式で定義される。

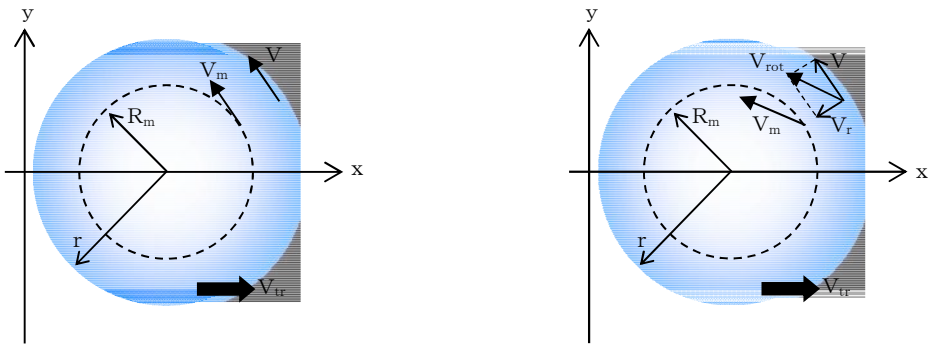
$$\eta = 0.55\left(1-\nu^2\right) \tag{3}$$

上式において，外部コア半径R_m= 30m の場合，η = 0.50（H_i= 15m）となり，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]の図 2.2.3.10 における流入層高さと竜巻半径の比（η = 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）とおおむね同じである。

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。



$$\begin{pmatrix} V_r \\ V_\theta \\ V_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ f(r) \\ 0 \end{pmatrix} \qquad f(r) = \begin{cases} \dfrac{V_m r}{R_m} & (0 \leqq r \leqq R_m) \\ \dfrac{R_m V_m}{r} & (R_m < r) \end{cases} \qquad \begin{pmatrix} V_r \\ V_\theta \\ V_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f(r)/\sqrt{5} \\ 2f(r)/\sqrt{5} \\ 4f(r)/3\sqrt{5} \end{pmatrix}$$

(a)圧力評価用　　(b)飛散解析用

第 2.2－1 図　ランキン渦モデル

無次元座標　$r = R / R_m$

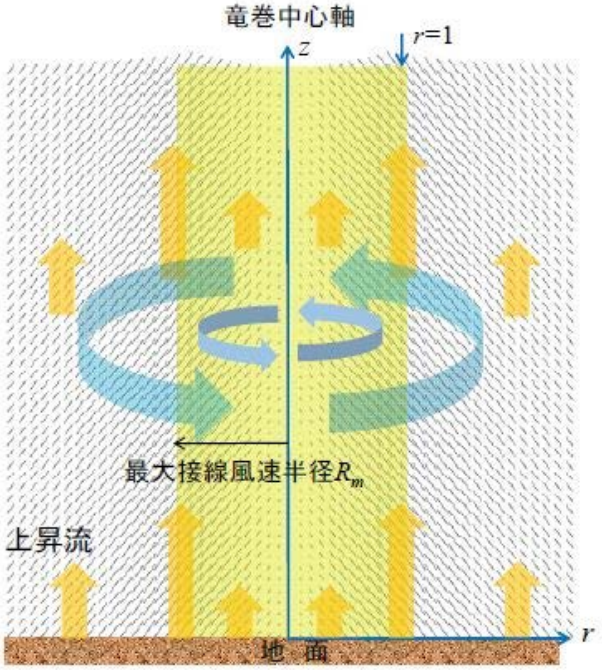
接線風速　$V_\theta = \frac{2V_m}{\sqrt{5}} F_r(r)$

$$F_r(r) = \begin{cases} r & (r<1) \\ 1/r & (r \geq 1) \end{cases}$$

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。

$$c \equiv \frac{1}{R_m r}\frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r}\frac{\partial (r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i}\frac{\partial V_z}{\partial z} = \begin{cases} -\frac{2V_m}{\sqrt{5}R_m} \cdot (r<1) \\ 0 \quad (r>1) \end{cases}$$

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。

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_1 \frac{\partial U_i}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial U_i}{\partial x_2} + U_3 \frac{\partial U_i}{\partial x_3} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x_i} + (\nu + \nu_s)\left(\frac{\partial^2 U_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_3^2}\right) - f_i \qquad (i = 1,2,3)$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (4)

$$\frac{\partial U_1}{\partial x_1}+\frac{\partial U_2}{\partial x_2}+\frac{\partial U_3}{\partial x_3}=0 \tag{5}$$

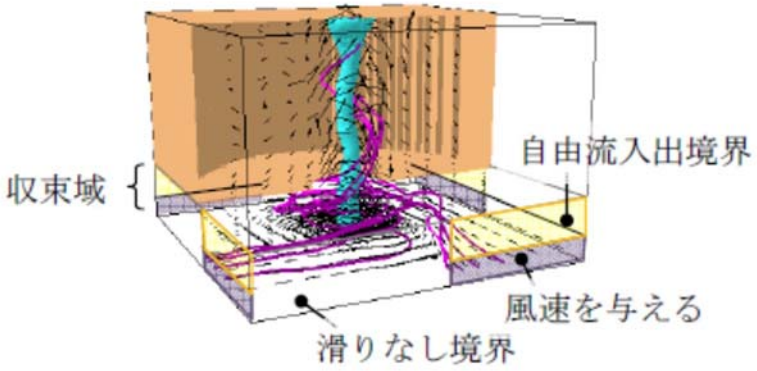
ここで，Ui 及び P は，i 方向の流速ベクトル及び圧力を表し，ν は動粘性係数を，f_i は i 方向の外力加速度を表す。また，x_i は i 方向の座標を表す。

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。

$$\nu_s=(C_s h)^2\sqrt{\sum_{i,j=1}^{3}2S_{ij}{}^2} \tag{6}$$

ここで，h は解像スケール（メッシュ幅相当），Cs 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，渦の生成に当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の局所的配置等）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。

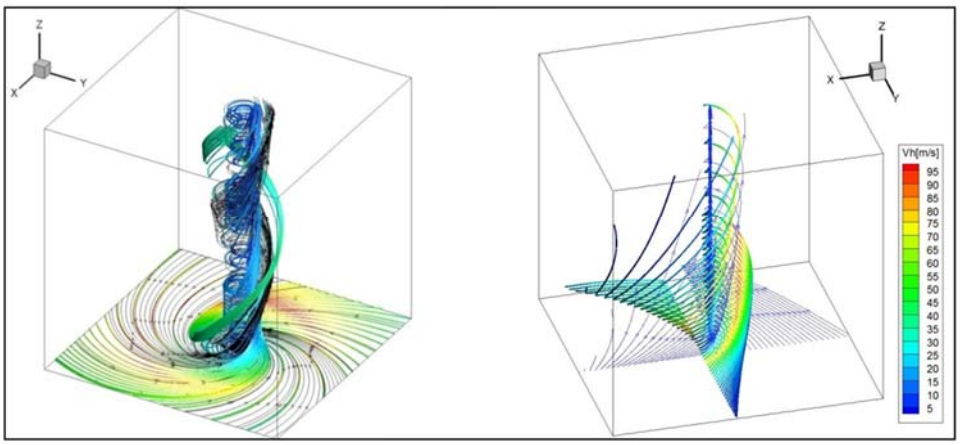
3. 各風速場モデルの比較

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よく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	・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）	・実観測に基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	・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。	・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）	・「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。	・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ＤＢＴ-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ＤＢＴ-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ＬＥＳ（Louisiana Energy Services）の濃縮施設ＮＥＦ（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ＮＲＣは当該施設に対する安全評価報告書（ＮＵＲＥＧ-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

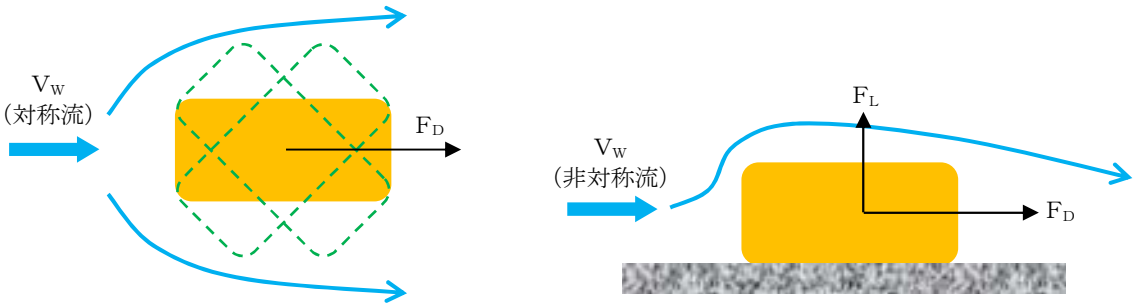
本評価における物体の浮上・飛散モデルの考え方と，その中で保守性の観点から考慮している点について説明する。

(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。



(a)空中　　(b)地表付近

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（風向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。

$$F_L = \frac{1}{2}\rho C_L a \left|\mathbf{V_W} - \mathbf{V_M}\right|_{x,y}^{2} \tag{7}$$

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，$|\boldsymbol{\alpha}|_{x,y}$はベクトル$\boldsymbol{\alpha}$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_{LO}は以下で与えられる。

$$F_{L0} = -p_0 A + p_0 (A - s) = -p_0 s \tag{8}$$

ここで，0＜ s ≦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）。

$$F_L = -p_1 A + p_2 (A - s) \tag{9}$$

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。

(a) 無風時　　(b) 強風時

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，$C_L a$ 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。

$$C_D A = \frac{1}{3}\left(C_{Dx} A_x + C_{Dy} A_y + C_{Dz} A_{xz}\right) \tag{10}$$

ここで，C_{Di}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。

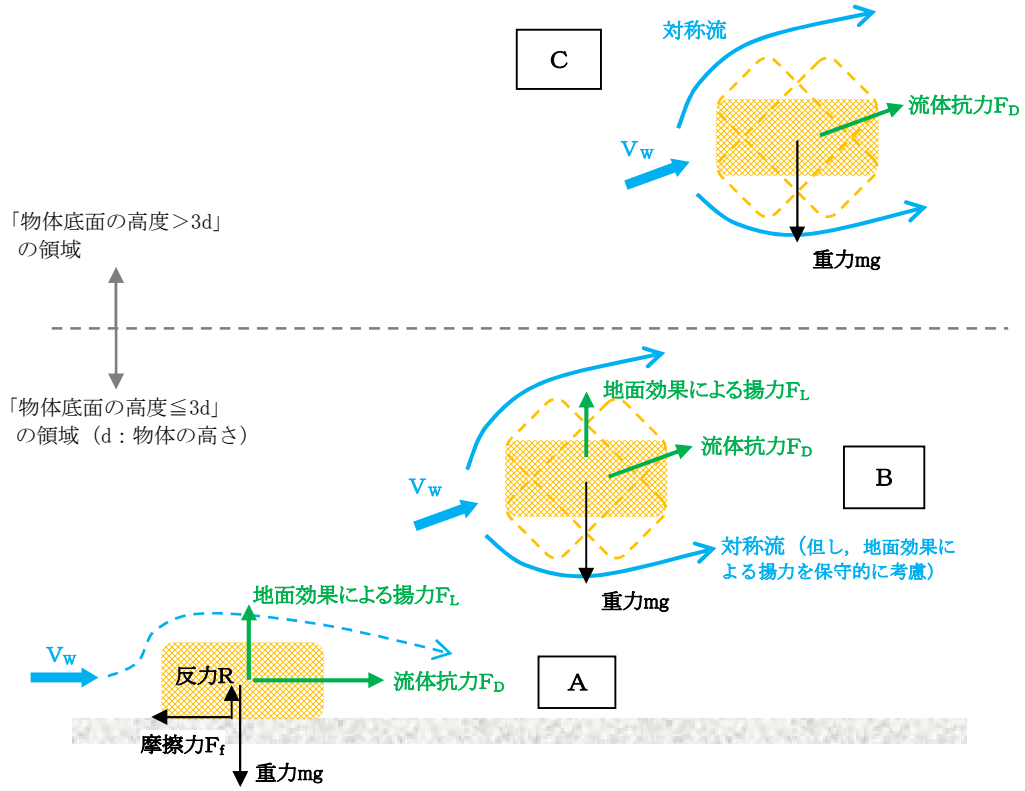
・物体がある程度浮き上がった後の状態（B）であれば，物体はランダムに回転し，物体各面に均等に風を受けるものと考えられる。

・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。

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。



第 5.1－3 図　物体の運動モデルの模式図

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。

$$F_L = \frac{1}{2}\rho U^2 C_L a$$

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}	・風洞試験(15)（風速 22～31m/s，Re=2.8×10^6～4×10^6） ・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	・風洞試験(16)（風速 0～150m/s，Re=0～3×10^6） ・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/ρU^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	0.2D^{2}程度	・水路試験(17)（Re=8,000～28,000） ・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	0.47Dλ	0.2Dλ	・風洞試験(15)（Re=1.3×10^6） ・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
				0.05Dλ～0.23Dλ	・風洞試験（Re=3.5×10^4～1.2×10^5） ・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	0.8Dλ (1.3Dλ)※2	0.5Dλ～0.7Dλ程度	・水路試験(17)（Re=8,000～28,000） ・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	0.4(D＋B)λ	負値（地面との隙間が 0.167D 以上の場合）	・風洞試験（Re=3.8×10^4） ・流入方向と角柱の軸方向が垂直になる配置（角柱の軸方向は地面と平行）

※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_DA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_DA※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 ㎜，D=5 ㎜，λ=1000㎜の場合）	0.66Bλ	0に近い値（地面から0.25B離れた位置でC_La=0.04Bλ）	・風洞試験[18]（幅Bに基づくRe=2×10^5） ・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㎜，D=15㎜，λ=300㎜）		0.2Bλ程度	・風洞試験[19]（幅B（参考文献(19)ではc）に基づくRe=2.2×10^5） ・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	0.66Bλ 0.66(Bλ+D(B+λ))※2	0.1Bλ程度	・水路試験[20]（Re=5×10^4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，10^4～10^6の範囲にある。

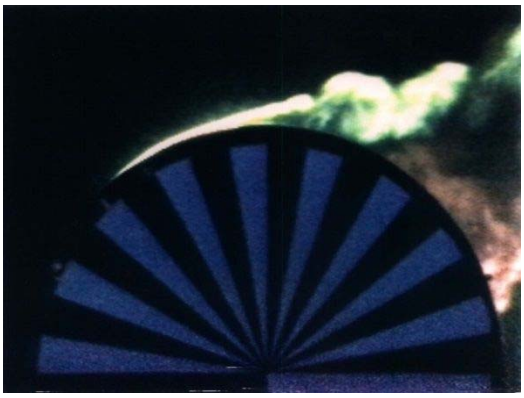
ここで，実物の自動車（Dodge Dart：長さ 16.7ft.，幅 5.8ft.，高さ 4.3ft.）では風速を 30mph（13m／s）～120mph（54m／s）まで変化させてレイノルズ数の影響を調べた結果，風速は各空力係数に対して顕著な影響がないことが確認されている[15]。これは，剥離点が物体角部等に固定されてレイノルズ数にほとんど依存しないためであり，このような特性を有する立方体等についてもレイノルズ数依存性はないものと考えられる。

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，レイノルズ数が変化すると剥離点が移動し，抗力係数等が変化することが知られている。第 5.1－1 表のＥＰＲＩの円柱の風洞試験結果[15]は Re=1.3×10^6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=3×10^4～1×10^5程度までの揚力係数の測定試験が行われている。

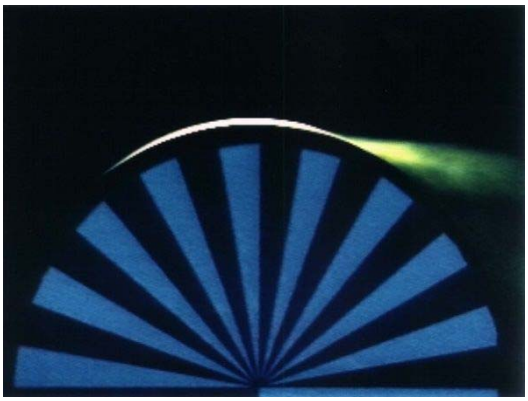
ＥＰＲＩの風洞試験と電力中央研究所の風洞試験にはレイノルズ数条件に大きな違いがあるが，第 5.1－5 図に示す通り，風洞試験で得られた円柱揚力係数に顕著な相違は認められない。

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

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。

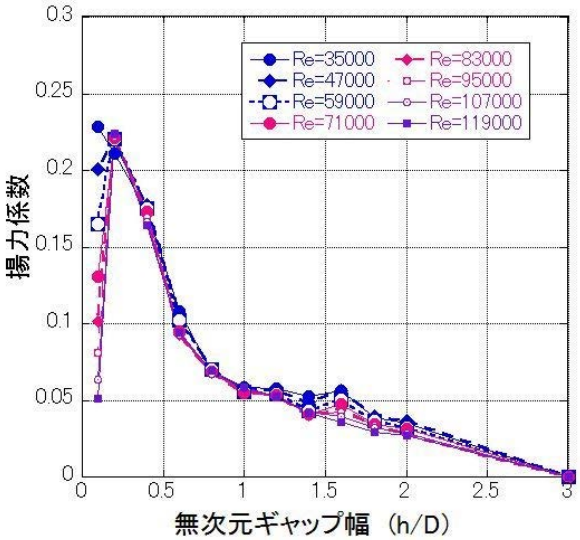


(a) Re≒4×10^4

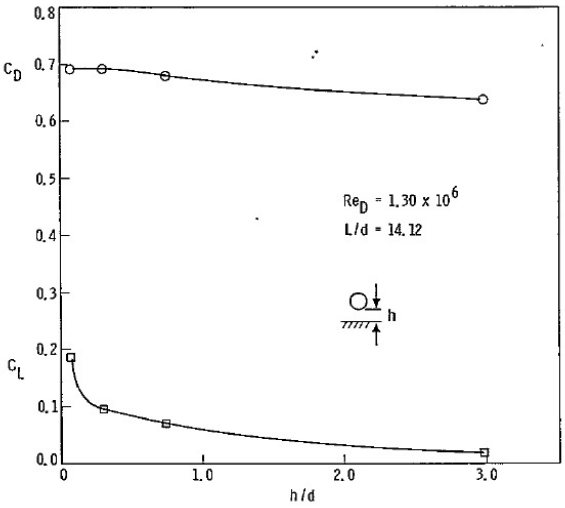


(b) Re≒2×10^5

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=3×10^4～1×10^5)



(b) ＥＰＲＩ
(Re=1.3×10^6) [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。

$$L=\frac{1}{2}\rho\frac{C_D A}{m}\left|\mathbf{V_W}-\mathbf{V_M}\right|_{x,y}{}^{2} f(Z/d) \tag{11}$$

f(Z/d)は，ＥＰＲＩの風洞実験結果[15]を参考に，以下の反比例式とした。

$$f(Z/d)=\{1-(Z/3d)\}/\{1+(Z/d)\} \tag{12}$$

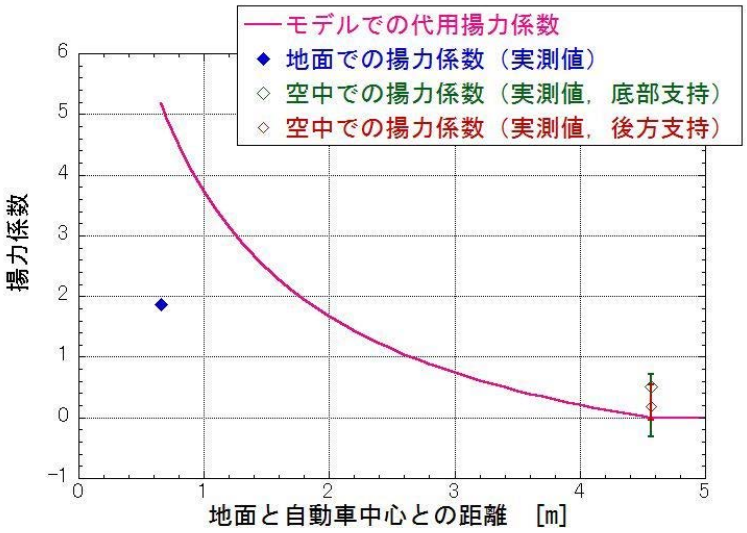
ここで，Ｚは下式により定義される（ｚ：物体中心の高度）

$$Z=\begin{cases} z-(d/2) & (d/2 \leqq z \leqq 7d/2) \\ 0 & (7d/2 \leqq z) \end{cases} \tag{13}$$

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，ＥＰＲＩ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，ＥＰＲＩ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。ＥＰＲＩ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。



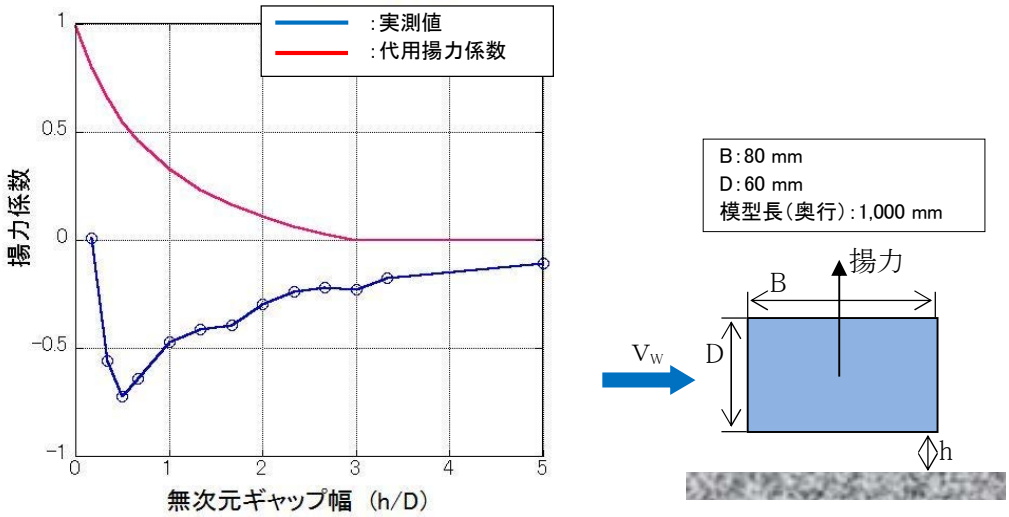
第 5.1－6 図　自動車の風洞実験による揚力係数と代用揚力係数

（文献[15]を基に作成及び代用揚力係数を加筆）

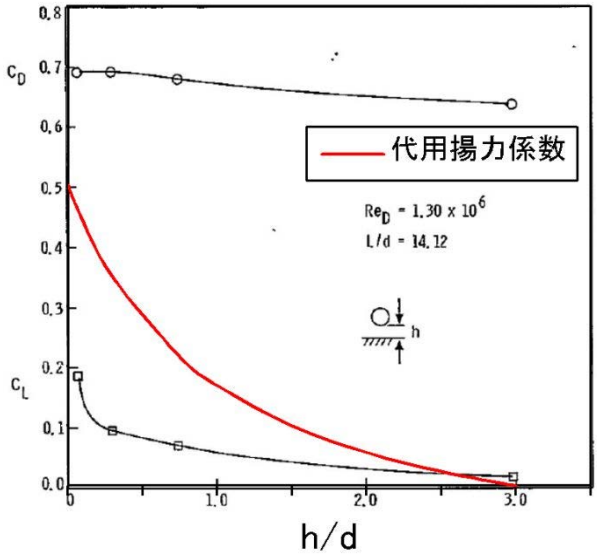
b．柱状物体（角柱及び円柱）の揚力の高さ依存性

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：3.0～16.5m／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，ＥＰＲＩ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



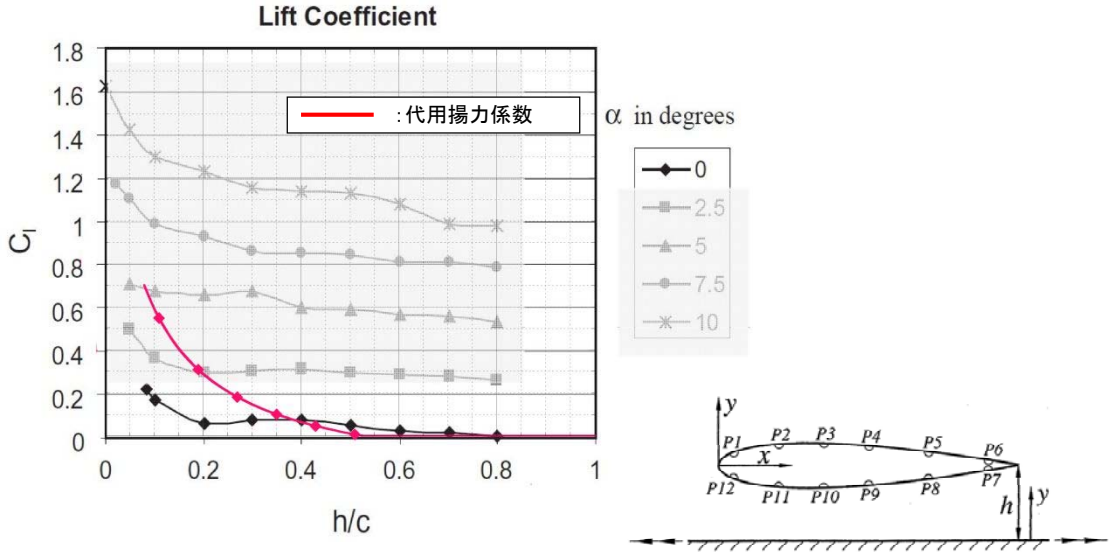
第 5.1－8 図　円柱の風洞試験による揚力係数と代用揚力係数

（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おおむね大きな値と

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。

$$\frac{d\mathbf{V}_{\mathrm{M}}}{dt}=\frac{1}{2}\rho\frac{C_D A}{m}\left|\mathbf{V}_{\mathrm{W}}-\mathbf{V}_{\mathrm{M}}\right|\left(\mathbf{V}_{\mathrm{W}}-\mathbf{V}_{\mathrm{M}}\right)-\left(g-L\right)\mathbf{k} \tag{14}$$

物体の位置 $\mathbf{X}_{\mathrm{M(t)}}$ と速度 $\mathbf{V}_{\mathrm{M(t)}}$ 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 $\mathbf{X}_{\mathrm{M}(\tau)}$ と速度 $\mathbf{V}_{\mathrm{M}(\tau)}$ 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。

$$\mathbf{V}_{\mathrm{M}}(\tau+\Delta\tau)=\mathbf{V}_{\mathrm{M}}(\tau)+\mathbf{A}(\tau)\Delta\tau \tag{15}$$

$$\mathbf{X_M}(\tau+\Delta\tau)=\mathbf{X_M}(\tau)+\mathbf{V_M}(\tau)\Delta\tau+\frac{\mathbf{A}(\tau)\Delta\tau^2}{2} \tag{16}$$

A（τ）の計算には，時刻 t=τ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。

$$\frac{dV_{Mx}}{dt}=\frac{1}{2}\rho\frac{C_D A}{m}\sqrt{(V_{w,x}-V_{M,x})^2+(V_{w,y}-V_{M,y})^2+(V_{w,z}-V_{M,z})^2}\times(V_{w,x}-V_{M,x}) \tag{17}$$

$$\frac{dV_{My}}{dt}=\frac{1}{2}\rho\frac{C_D A}{m}\sqrt{(V_{w,x}-V_{M,x})^2+(V_{w,y}-V_{M,y})^2+(V_{w,z}-V_{M,z})^2}\times(V_{w,y}-V_{M,y}) \tag{18}$$

$$\frac{dV_{Mz}}{dt}=\frac{1}{2}\rho\frac{C_D A}{m}\sqrt{(V_{w,x}-V_{M,x})^2+(V_{w,y}-V_{M,y})^2+(V_{w,z}-V_{M,z})^2}\times(V_{w,z}-V_{M,z})-g+L \tag{19}$$

ここで，物体速度$\boldsymbol{V_M}$=（$V_{M,x}$，$V_{M,y}$，$V_{M,z}$），竜巻風速$\boldsymbol{V_w}$=（$V_{W,x}$，$V_{W,y}$，$V_{W,z}$）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$\boldsymbol{V_M=0}$）を仮定すると，以下の式となる。

$$\frac{dV_{Mx}}{dt}=\frac{1}{2}\rho\frac{C_D A}{m}\sqrt{V_{w,x}{}^2+V_{w,y}{}^2+V_{w,z}{}^2}\times V_{w,x} \tag{17'}$$

$$\frac{dV_{My}}{dt}=\frac{1}{2}\rho\frac{C_DA}{m}\sqrt{V_{w,x}{}^2+V_{w,y}{}^2+V_{w,z}{}^2}\times V_{w,y} \qquad (18')$$

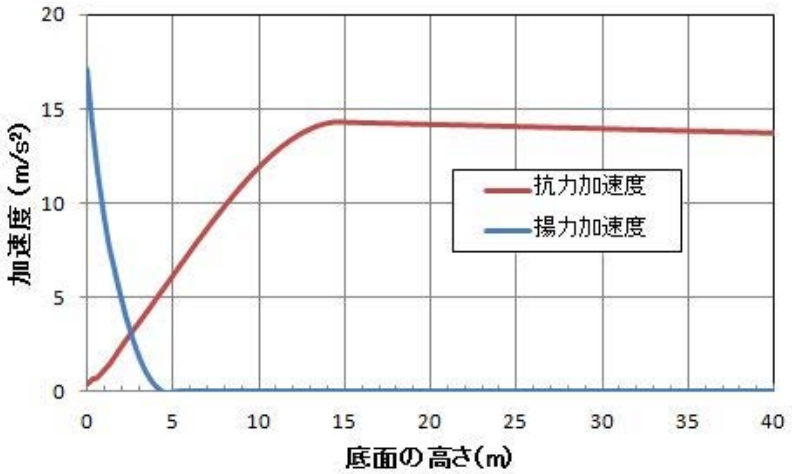
$$\frac{dV_{Mz}}{dt}=\frac{1}{2}\rho\frac{C_DA}{m}\sqrt{V_{w,x}{}^2+V_{w,y}{}^2+V_{w,z}{}^2}\times V_{w,z}-g+L \qquad (19')$$

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 $V_{w,z}$はゼロに近いため，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。

$$\frac{dV_{Mz}}{dt}\approx -g+L \qquad (20)$$

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。

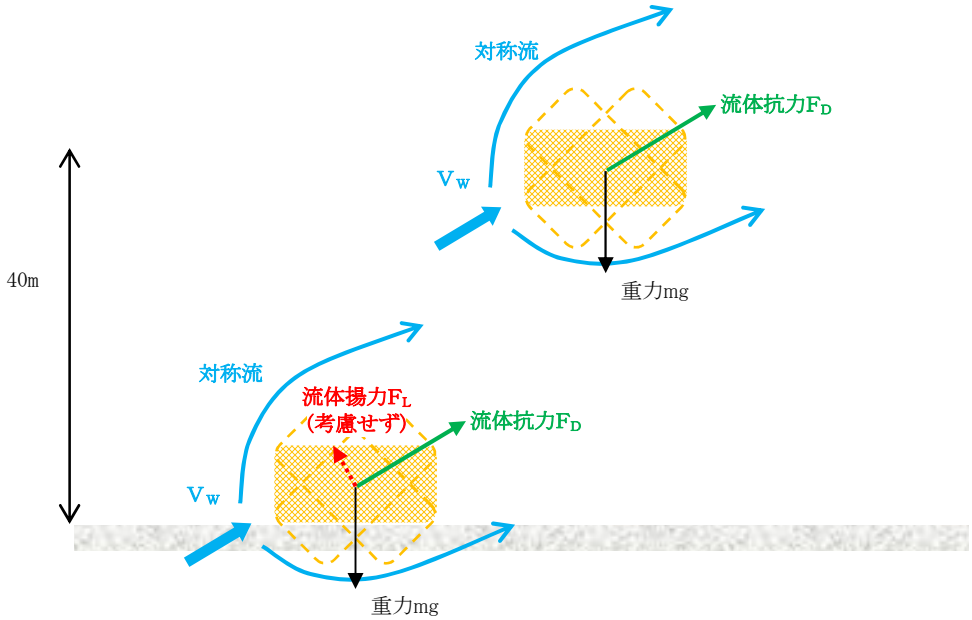


第 5.1－10 図　地面近傍の物体に作用する z 方向の加速度

((1/2) ρ C_DA/m=0.004m^{-1}，d=1.31m)

6条(竜巻)-2-30

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）

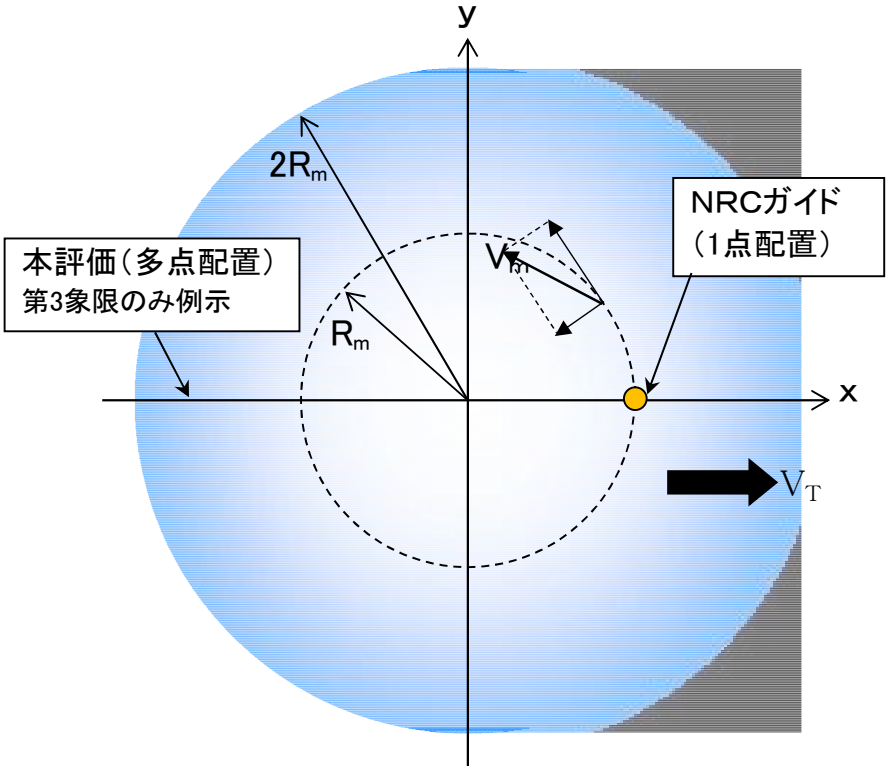


第 5.1－11 図　ランキン渦の場合の物体の運動モデルの模式図

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。



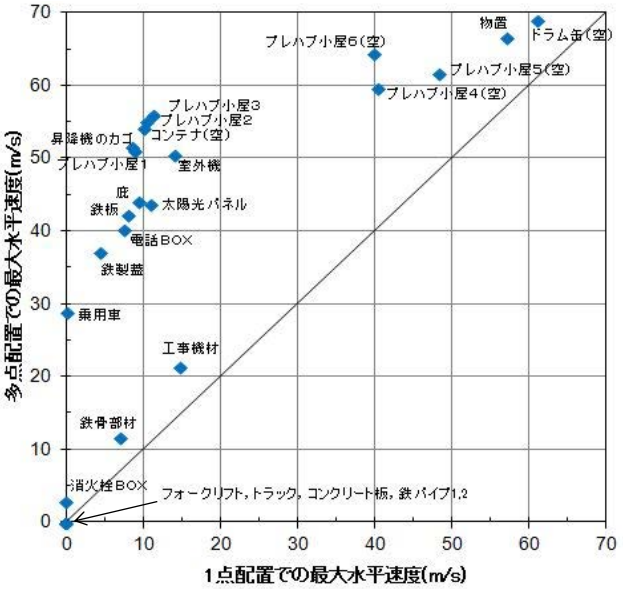
第 5.2－1 図　飛散解析における竜巻と物体の位置関係

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，「竜巻影響評価ガイド」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，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[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_DA/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

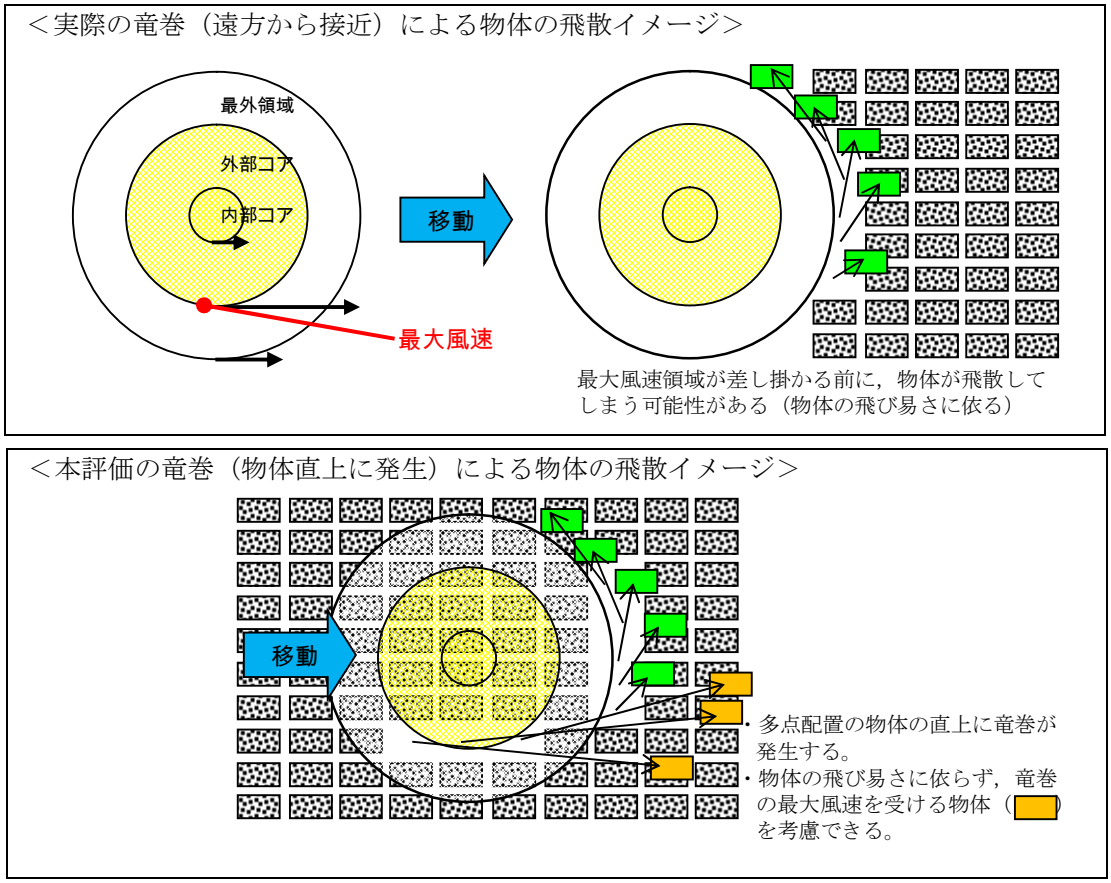


第 5.2－2 図　1 点配置時と多点配置時における物体の最大速度の比較

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。

また，この多点配置を初期状態として適用する手法は，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っている。　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した上で包絡できると考えられる。



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

また第 5.2-2 図の結果から，多点配置は 1 点配置より全体的に大きな保守性を与えると考えられ，よってフジタモデルの風速場に関する不確実性についても，その保守性で包絡出来ていると考えられる。

フジタモデルの風速場に関する不確実性として，フジタモデルの特徴的なパラメータである流入層高さ Hi の影響を検証した。外部コア半径 Rm=30m の場合モデルでは Hi＝15m となり，これは 2.1 に記載のとおり他の文献[(3)(5)]ともおおむね整合しているが，不確実性を考慮し，流入層高さ H_i を±10%変化させた場合にコンテナ(長さ 6m×幅 2.4m×高さ 2.6m，質量 2,300kg，$C_D A/m$=0.0105)の最大飛散距離，最大飛散距離及び飛散高さがどの様に変化するかを確認した。

コンテナの 1 点配置及び多点配置時の飛散距離等も含めた評価結果を第 5.2－1 表に示す。流入層高さ H_i に対するこれらの感度は小さく，多点評価の保守性に包絡されることが分かる。

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

パラメータ及び変化率		飛散特性の変化率			備考
		最大水平速度	最大飛散距離	最大浮上高さ	
流入層高さ Hi	－10%	0.4%	－3.2%	－4.9%	
	＋10%	－0.6%	2.8%	5.1%	
多点配置（1点配置からの変化率）		420%	1411%	957%	

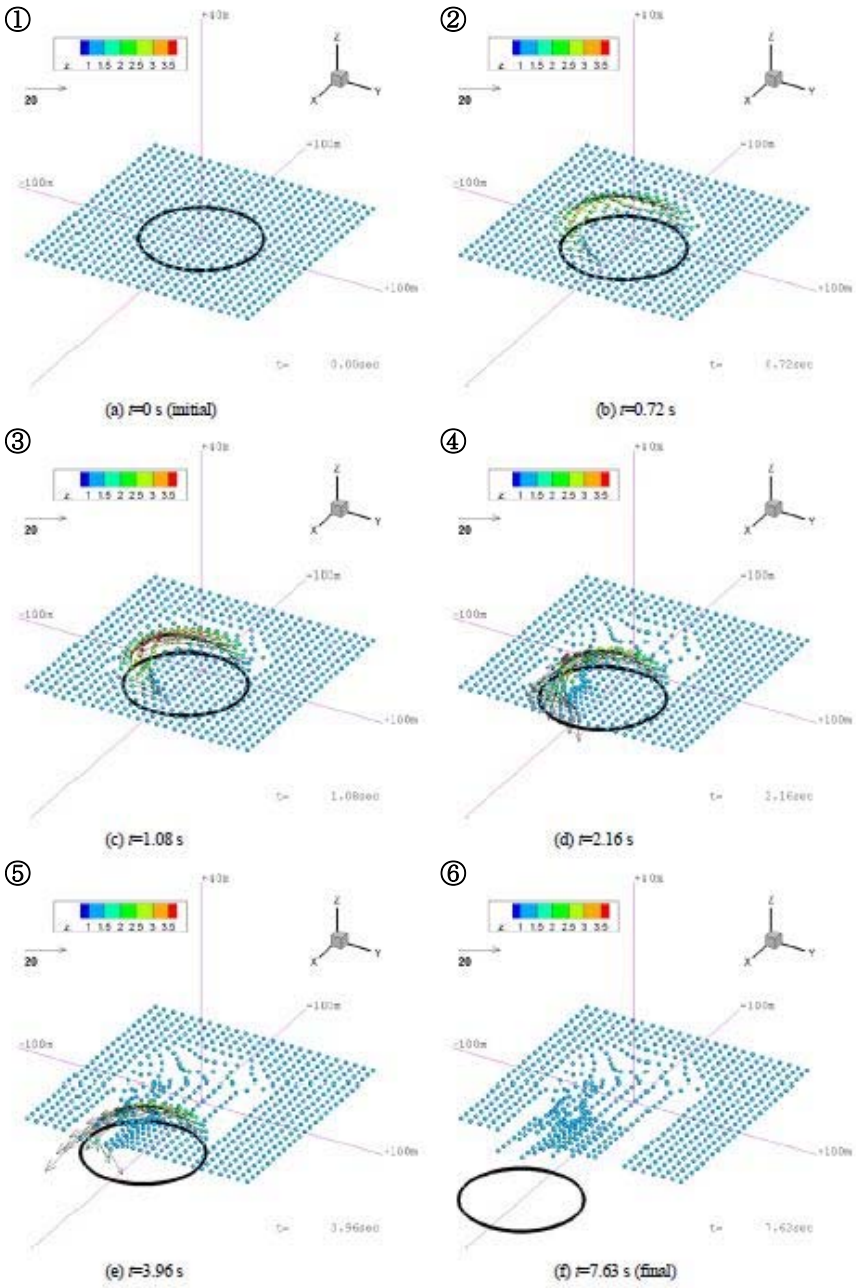
5.3　飛散解析手法まとめ

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が分かる。



第 5.3－1 図　竜巻によるトラックの飛散イメージ(23)

（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おおむ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，Ｆ２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
Ｆ２	50～69	cars blown off highway （自動車が道路から逸れる。）
Ｆ３	70～92	cars lifted off the ground （自動車が地面から浮上する。）
Ｆ４	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（$C_DA/m=0.0052m^2/kg$）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)
Ｆ２	69	59	10	1.0	1,4	0
Ｆ３	92	79	13	23	34	1.1
Ｆ４	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，米国のミシシッピー州にて建設中のGrand Gulf原子力発電所にＦ３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ハウスが荷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Ｆ２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表のとおりとした。

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　Gland 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	・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，パイプがほとんど飛散せず，収納箱が倒れた影響で散乱したと思われる状況とおおむね合致している。

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。

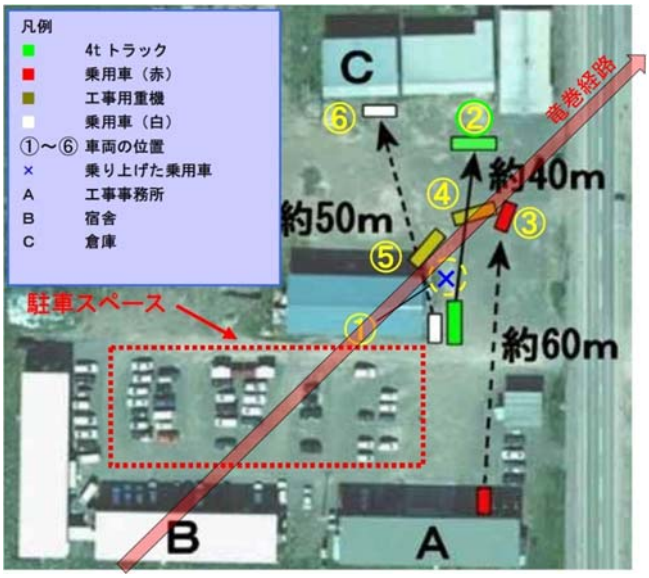
第 6.2－2 表　Gland Gulf 原子力発電所のパイプ飛散解析結果[25]

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ほとん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 とおりとした。

- 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おおむね合致しており，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。

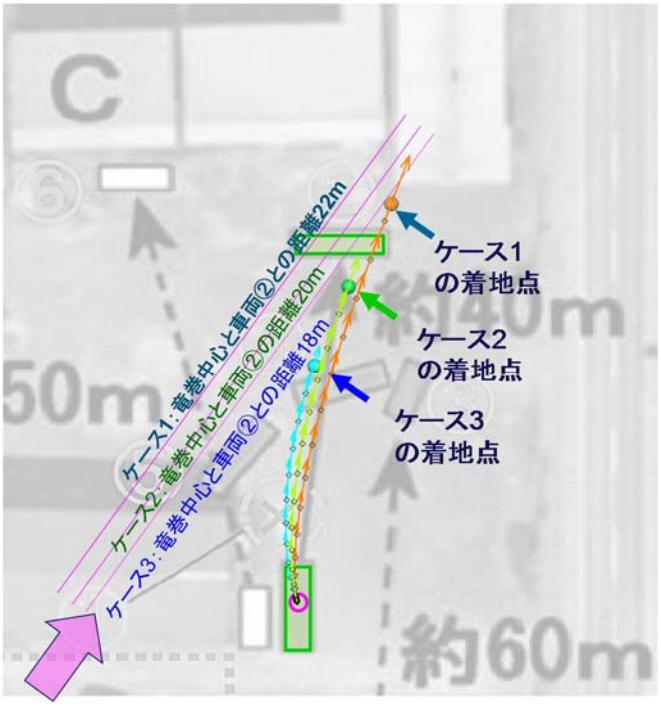
第 6.3－1 表　佐呂間竜巻による 4t トラックの飛散解析条件[25]

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	・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（Ｆ３）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_DA/m）	0.0097 m^2/kg
初期配置等	・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（Ｆ３）に基づく。
※2：車種不明のため，トヨタカローラを仮定。

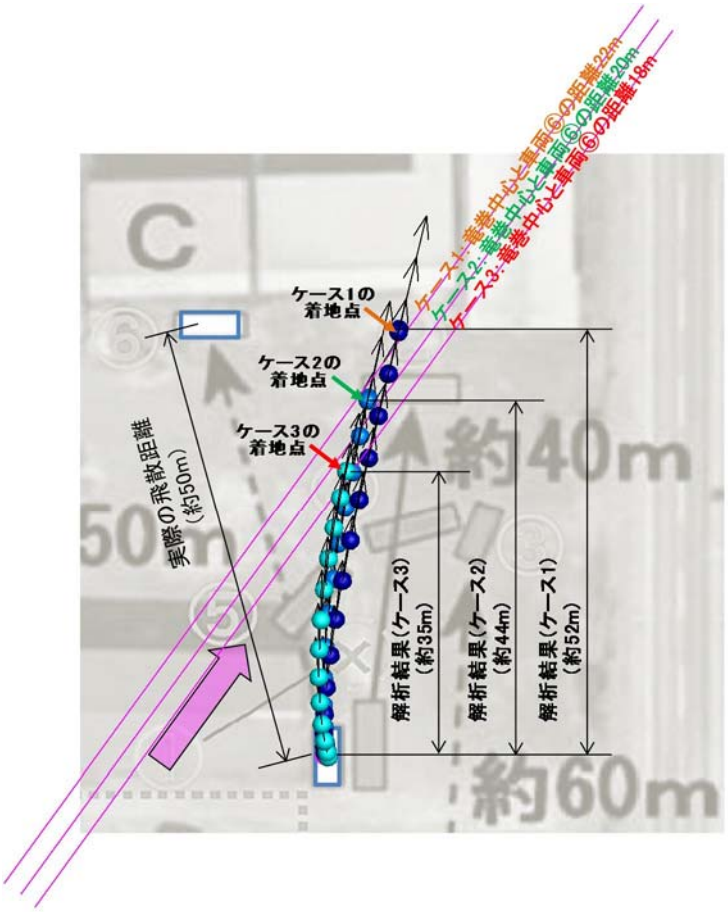
乗用車と竜巻中心との距離を 18m，20m 及び 22m とした場合の解析結果を，第 6.3－4 表及び第 6.3－3 図に示す。飛散距離については，ケース 1 でおおむね合致している。

飛散方向については，飛び出し方向はおおむ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）のすぐ下流側に駐車しており，そのがれき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	・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とど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	トラックはおおむね外形をとどめていることから，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，物体と評価対象施設等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評価対象施設等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評価対象施設等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。固縛等の措置に当たっては，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おおむね合致していることからも確認できる。

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当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等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２１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）江口譲，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桟粗度の流体力,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 譲，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）江口譲，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)

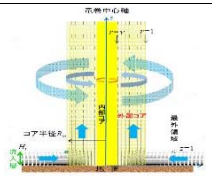
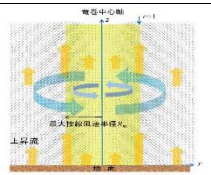
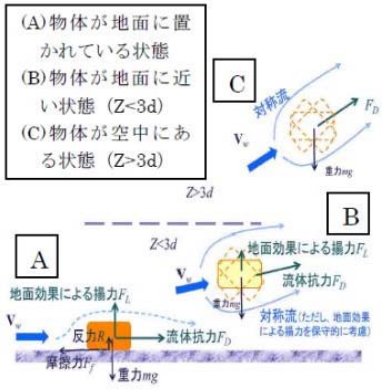
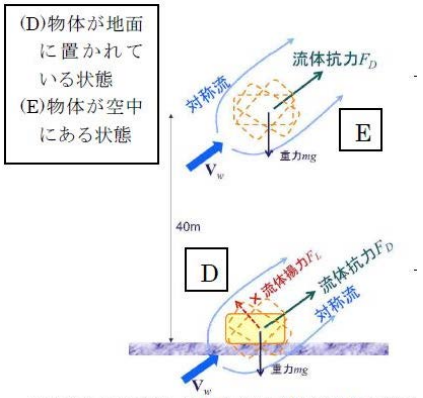
（２６）Fujita, T. T., and J. R. McDonald, Tornado damage at the Grand Gulf, Mississippi nuclear power plant site: Aerial and ground surveys, U.S. Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR-0383, 1978.

（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）	飛散解析に用いるランキン渦モデル（及び同モデルを用いた飛散解析手法）
風速場モデル	モデルの概要	 フジタモデルの風速場 ・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，実際に近い風速場構造を有する ・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 ・風速分布が高さによって変化する ・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	 ランキン渦モデルの風速場 ・簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現 ・数学的なランキン渦モデルは接線方向のみ速度を持つが，飛散解析用に，鉛直方向と半径方向の風速を付加している。（文献※に基づく） ・上昇流は全領域に存在 ・風速分布が高さによって変化せず一様となる ・米国ＮＲＣ Regulatory Guide 1.76にて採用
	メリット	・風速場をよく表現できており，物体の高さ情報に基づいた物体の浮上，飛散解析をより実現象に近い形で評価できる **→地上の物品に対する飛散防止対策の範囲や強度をより現実的に設定可能。**	・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	特になし。 （ランキン渦モデルに比べパラメータが多く解析が複雑になるが，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）	・地面から上昇流が吹き出すモデルとなっており，特に地表面に近い領域で，物品の飛散状況が大きく保守側になる。 →地上の物品に対し，過度に保守的な飛散防止対策となり得る。
	主なパラメータ（設計竜巻の最大風速100m／sの場合）	竜巻の移動速度 V_T ：15（m／s） 最大接線風速 V_{Rm} ：85（m／s） 最大接線風速半径 R_m ：30（m） 竜巻影響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 内部コア半径と外部コア半径の比 ν ：0.3 流入層高さHi ：15（m） Fujitaにより提案された経験式より算出 ・流入層高さは他の文献に示されている値とおおむね同じであることを確認 ・その他の定数についても，Fujitaにより提案された値を採用	竜巻の移動速度 V_T ：15（m／s） 最大接線風速 V_{Rm} ：85（m／s） 最大接線風速半径 R_m ：30（m） 竜巻影響評価ガイドの値や式より算出
物品の飛散モデル	物体の浮上，飛散モデル	 フジタモデルの場合の飛来物の運動モデル ≪物体の浮上，飛散モデル≫ ・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 ≪抗力係数C_DA≫ ・地面効果の無い高さ領域では，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，抗力係数は3方向の平均値を設定 ≪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，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）	 ランキン渦モデルの場合の飛来物の運動モデル ≪物体の浮上，飛散モデル≫ ・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≫ ・高さ方向全領域で，フジタモデルと同じ値を用いる。 ≪揚力に関するパラメータ≫ 設定なし（全域について抗力係数で評価）
	竜巻が物体に与える速度に関する設定	・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，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 ・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，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	同左

※：J.R McDonald, K.C.Mehta and J.E.Minor “Tornado-Resistant Design of nuclear Power-Plant Structures(NUCLEAR SAFETY,Vol.15,No.4,July-August 1974)

発電所における竜巻風速場モデルの適用方針

発電所の竜巻影響評価における竜巻風速場モデルの適用状況を，先行審査プラントの状況と合わせ，別表 2―1 のとおり整理した。

これより，竜巻影響評価における設計荷重（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）の設定においては，

・W_W：竜巻風速場モデルに依存しない

・W_P，W_M：竜巻風速場モデルを選択する必要がある

ことが分かるが，W_P，W_Mの設定においては，以下のとおりモデルを適用した。

1. W_P，W_Mの設定に用いる竜巻風速場モデルの選定の考え方

1.1 W_Pについて

「竜巻影響評価ガイド」に示される，ランキン渦モデルに基づく評価式を採用した。

1.2 W_Mについて

発電所は敷地近傍に一般道や隣接事業所の施設等があり，これらの場所からの物品の飛来を完全に管理することは難しいことから，その影響を現実的に評価することとし，多数の飛来物源が想定される地表付近の物品の飛散挙動を，より実現象に近く評価できるという特徴を踏まえ，フジタモデルを採用した。

なお，フジタモデルを用いた飛散評価についても，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」に示すとおり保守性を確保した手法となっている。

2.　設計竜巻による複合荷重W_{T1}，W_{T2}の設定の考え方

竜巻影響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，以下の式によって算出する。

$W_{T1}=W_P$

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

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，複合荷重W_{T2}の算出は，W_W，W_P及びW_Mの作用方向が同一となる様に扱うこととしており，ランキン渦モデルベースのW_Pを用いることは，複合荷重としても保守側になる。

以　上

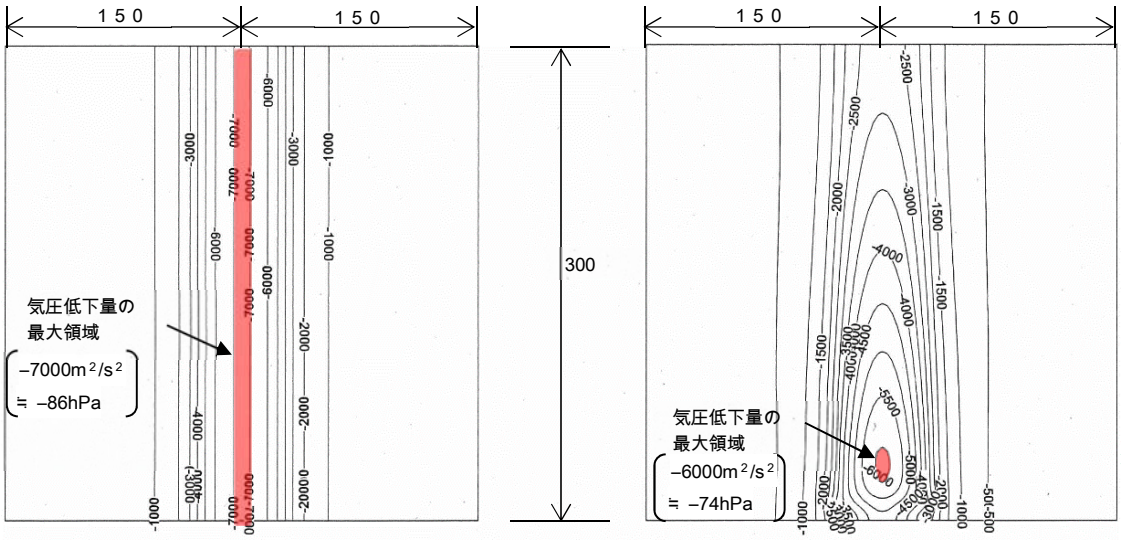
別表 2—1　東海第二発電所と先行審査プラントにおける竜巻風速場モデルの適用状況

設計荷重設定要素 （：風速場モデルに無関係 ：風速場モデルの影響あり）		荷重設定への適用			竜巻風速場モデルの適用 （：フジタモデル，：ランキン渦モデル）		備考
		W_W	W_P	W_M	東海第二	大飯３／４，高浜１～４，美浜３，伊方３，川内１／２，玄海３／４【許可済】	
竜巻の基本特性	最大接線風速V_{Rm}	○	(○)	○	85m/s	85m/s	
	竜巻の移動速度V_T	○		○	15m/s	15m/s	
	最大接線風速半径R_m			○	30m	30m	
	最大気圧低下量ΔP_{max}		○		89hPa※1	89hPa	
	最大気圧低下率$(dp/dt)_{max}$		○		45hPa/s※2	45hPa/s	
飛散解析に関する設定	設計飛来物の設定			○	竜巻影響評価ガイドに例示の「鋼製材」	竜巻影響評価ガイドに例示の「鋼製材」	「基準」として，設計者が任意に設定可能。
	飛来物源の飛散解析における初期高さ			○	物品毎に設定	40m（各社の設定値）	・フジタモデルは風速分布が高さ方向で変化するため，設置高さを個別に設定する。 ・ランキン渦モデルは風速分布が高さによらず一様なので，米国基準等を参考に一律で設定
	内部コア／外部コア半径比ν			○	0.3	—	フジタモデルの風速場の形を決めるパラメータ（文献値）（ランキン渦はV_{Rm}，R_mだけで決まる）
	流入層高さH_i			○	15m	—	

注：他プラントの状況は，当社調べによる。

※１：簡便でフジタモデルの値（約 76hPa）より保守側となる，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。

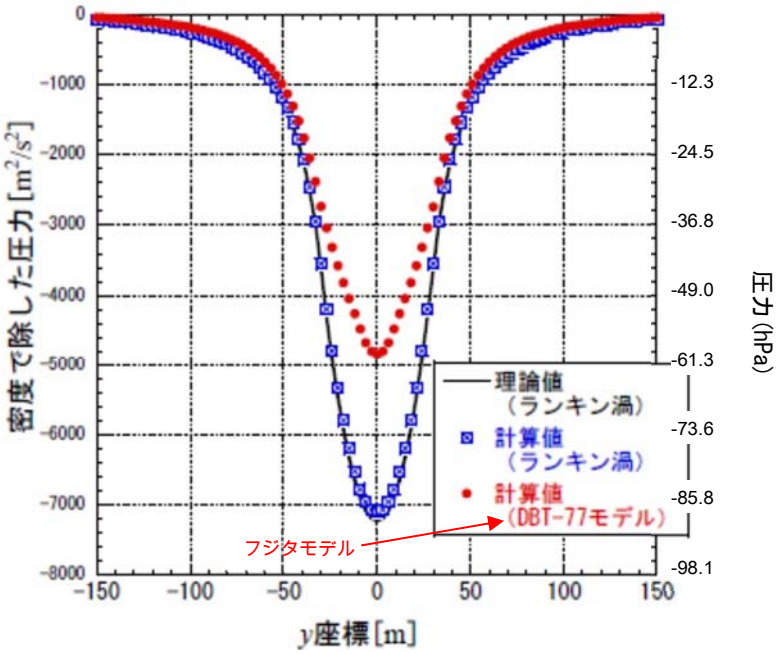
※２：フジタモデルの値（約 53hPa/s）を下回るが，設備影響評価には用いない。



(a) ランキン渦　　(b) Fujita モデル

x=0 断面（−150m<y<150m，0<z<300m）での密度で除した圧力分布

（最大接線風速 85m/s の場合）



竜巻中心軸断面での圧力分布（最大接線風速 85m/s の場合）

別図 2―1　設計竜巻（最大接線風速 V_{Rm}：85m／s）における圧力分布

（文献[1]の図に一部加筆）

＜参考文献＞

（1）江口譲，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

別添資料 3

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

（竜巻）

（第６条　竜巻）

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。

安全施設

※発電用原子炉を停止する又は停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能

添付六，八への反映事項（設計に関する事項）

※の機能を期待する安全重要度分類のクラス１，クラス２及び安全評価上その機能に期待するクラス３に属する構築物，系統及び機器

＋

外部事象防護対象施設を内包する区画
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設

工・保

除外

右記以外の安全重要度分類のクラス１及びクラス２及び安全評価上その機能に期待するクラス３に属する構築物，系統及び機器

代替手段等により必要な機能を確保する等の対応が可能

送電線，変圧器，開閉所等

設計竜巻の設定

設計竜巻最大風速 100m/s

継続的に新たな知見等の収集に取組み，変更の必要があれば再評価を行い変更手続き等適切に対応する。

設計飛来物の設定

設計飛来物よりも運動エネルギ等が大きく，評価対象施設等へ影響を及ぼすものは飛来物発生防止対策をする

資機材，車両等の飛来物発生防止対策（固縛，固定，評価対象施設等から隔離，建屋内収納又は撤去） 保

新規品の飛来の有無，飛来時の運動エネルギ等の評価及び管理 保

荷重の設定

設計竜巻荷重＋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＋設計基準事故時荷重

建屋・構築物

構造骨組
部位（扉類）
部位（屋根・壁）
の評価（貫通及び強度）

損傷しない設計とすること

竜巻飛来物防護対策施設による竜巻防護対策を実施 工

原子炉建屋等の開口部
（原子炉建屋付属棟１階電気室扉
非常用換気空調設備の取入口　等）

損傷しても外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼさないこと

サービス建屋，海水ポンプ室，鋼製防護壁

除外

評価 OK

評価対象施設等※のうち，設備（系統・設備）

防護が期待できる

外部事象防護対象施設を内包する区画による防護

原子炉建屋，タービン建屋
使用済燃料乾式貯蔵建屋
軽油貯蔵タンクタンク室

扉の閉止確認 保

原子炉建屋付属棟１階電気室扉
原子炉建屋機器搬入口水密扉　等

防護が期待できる区画に内包される設備（系統・機器）

原子炉圧力容器，
原子炉再循環ポンプ等

除外

設備（系統・機器）

貫通評価

強度評価

評価 OK

（使用燃料乾式貯蔵容器は建屋による防護が期待できないが，評価の結果，設計荷重に対して安全裕度を有していることを確認）

損傷しない設計とすること

竜巻飛来物防護対策施設による竜巻防護対策を実施 工

非常用ディーゼル発電機室（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）ループベントファン
中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む）
残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む）
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含む。）海水ポンプ（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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）海水ストレーナ

竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱い作業の中止 保

原子炉建屋原子炉棟６階　燃料取扱設備，使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

損傷しても外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼさないこと

燃料交換機，原子炉建屋天井クレーン
使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱い作業の中止評価対象施設等に影響を及ぼさない位置に退避 保

評価 OK　除外　火災

評価 OK　除外　溢水

評価 OK　除外　外部電源喪失

竜巻随伴事象（火災・溢水・外部電源喪失）に対する評価

損傷した場合においても機能維持ができること

・設計対象施設が損傷したとしても，要求される機能は維持されるため，安全施設の安全機能を損なわない
・損傷した場合の補修・取替等の実施 保

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含む。）
吸気フィルタ
非常用ガス処理系排気配管
排気筒
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含む。）
排気消音器
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含む。）
付属排気配管及びベント配管
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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）
海水配管（放出側）

※評価対象施設等とは，外部事象防護対象施設のうち評価対象施設・外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設を示す

添付六，八への反映事項（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（下位文書含む）

【添付六，八の反映事項】
：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

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

重要安全施設

添付六，八への反映事項
（設計に関する事項）

工・保

発電用原子炉を停止する又は停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を期待する安全重要度分類のクラス１，クラス２のうち，自然現象の影響を受けやすい構築物，系統及び機器

設計竜巻の設定

設計竜巻最大風速 100m/s

継続的に新たな知見等の収集に取組み，変更の必要があれば再評価を行い変更手続き等適切に対応する。

設計飛来物の設定

設計飛来物よりも運動エネルギ等が大きく，評価対象施設等へ影響を及ぼすものは飛来物発生防止対策をする

資機材，車両等の飛来物発生防止対策（固縛，固定，評価対象施設等から隔離，建屋内収納又は撤去） 保

新規品の飛来の有無，飛来時の運動エネルギ等の評価及び管理 保

荷重の設定

評価 OK

除外

建屋・構築物

構造骨組

部位（扉類）

部位（屋根・壁）

の評価（貫通及び強度）

損傷しない設計とすること

竜巻飛来物防護対策施設による竜巻防護対策を実施 保

原子炉建屋等の開口部
（原子炉建屋付属棟１階電気室扉
非常用換気空調設備の取入口　等）

評価対象施設等※のうち，設備（系統・設備）

防護が期待できる

外部事象防護対象施設を内包する区画による防護

原子炉建屋，タービン建屋
使用済燃料乾式貯蔵建屋
軽油貯蔵タンクタンク室

扉の閉止確認 保

原子炉建屋付属棟１階電気室扉
原子炉建屋機器搬入口水密扉　等

防護が期待できる区画に内包される設備（系統・機器）

原子炉圧力容器，
原子炉再循環ポンプ等

除外

評価 OK

（使用燃料乾式貯蔵容器は建屋による防護が期待できないが，評価の結果，設計荷重に対して安全裕度を有していることを確認）

除外

設備（系統・機器）

貫通評価

強度評価

損傷しない設計とすること

竜巻飛来物防護対策施設による竜巻防護対策を実施 工

非常用ディーゼル発電機室（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）ループベントファン
中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む）
残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む）
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含む。）海水ポンプ（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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）海水ストレーナ

竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱い作業の中止 保

原子炉建屋原子炉棟６階　燃料取扱設備，使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

※評価対象施設等とは，外部事象防護対象施設のうち評価対象施設・外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設を示す

添付六，八への反映事項
（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（下位文書含む）

【添付六，八の反映事項】
：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

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	資機材，車両等管理 資機材，車両等の飛来物発生防止対策（固縛，固定，評価対象施設等からの隔離，建屋内収納又は撤去）	運用・手順	・屋外に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等を評価し，評価対象施設等への影響の有無を確認する。評価対象施設等への影響を及ぼす資機材，車両等については，固縛，固定，評価対象施設等からの隔離，建屋内収納又は撤去の飛来物発生防止対策について手順等を定める。 ・資機材，車両等の質量，寸法，形状から算出した飛来の有無，飛来時の運動エネルギ等による飛来物発生防止対策（固縛，固定，評価対象施設等からの隔離，建屋内収納又は撤去）の評価方法手順及び評価結果の管理
		体制	・担当室による保守・点検の体制
		保守・点検	・日常点検 ・定期点検 ・損傷時の補修
		教育・訓練	・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	評価対象施設等を防護するための操作・確認事項	運用・手順	・竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後において，評価対象施設等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等を定める。 ［操作・確認事項］ ・竜巻に関する情報入手及び情報入手後の対応 （情報の入手，周知，体制判断，実施方法と手順） ・竜巻襲来が予想される場合の対応に関する運用・手順 （竜巻襲来が予想される場合の使用中の資機材の固縛等） ・竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業の運用，手順 ・水密扉（原子炉建屋機器搬入口水密扉）及び，防護扉（原子炉建屋付属棟１階電気室扉）の閉止確認手順 ［補修］ ・設備が損傷した場合の代替設備の確保及び補修・取替等の運用，手順
		体制	・担当室による作業中止等の実施体制 ・担当室による扉閉止確認体制 ・竜巻襲来に備えた体制の構築，実施及び解除の判断基準，実施手順，連絡方法等 ・担当室による保守・点検の体制 ・担当室による損傷箇所の補修体制
		保守・点検	・日常点検 ・定期点検 ・損傷時の補修
		教育・訓練	・運用・手順，体制，保守・点検に関する教育

東海第二発電所

外部からの衝撃による損傷の防止

（外部火災）

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６条：外部からの衝撃による損傷の防止

（外部火災）

＜目　次＞

1.　基本方針

1.1　要求事項の整理

1.2　追加要求事項に対する適合性（手順等含む）

（1）　位置，構造及び設備

（2）　安全設計方針

（3）　適合性説明

2.　外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）

（別添資料 1）　外部火災影響評価について

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（外部火災）

4.　現場確認プロセス

（別添資料 3）　森林火災評価に係る植生確認プロセスについて

＜概　　要＞

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

2. において，設計基準対象施設について，追加要求事項に適合するために必要となる機能を達成するための設備又は運用について説明する。

3. において，追加要求事項に適合するための技術的能力（手順等）を抽出し，必要となる運用対策等を整理する。

4. において，森林火災影響評価に必要な入力条件等の設定を行うため必要となる植生確認プロセスについて説明する。

1.　基本方針

1.1　要求事項の整理

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

表１　設置許可基準規則第６条及び技術基準規則第７条　要求事項

設置許可基準規則 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。	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。 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。	追加要求事項

3

1.2　追加要求事項に対する適合性（手順等含む）

(1)　位置，構造及び設備

ロ　発電用原子炉施設の一般構造

(3)　その他の主要な構造

(a)　外部からの衝撃による損傷の防止

安全施設は，発電所敷地で想定される洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学的事象，森林火災及び高潮の自然現象（地震及び津波を除く。）又はその組合せに遭遇した場合において，自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件において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，洪水及び地滑りについては，立地的要因により設計上考慮する必要はない。

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変化を考慮して適切に組み合わせる。

また，安全施設は，発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（航空機落下），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により発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお，発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち，飛来物（航空機落下）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。

自然現象及び発電所敷地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の組合せについては，地震，津波，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，森林火災等を考慮する。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を特定し，その組合せの影響に対しても安全機能を損なわない設計とする。

ここで，想定される自然現象及び発電所敷地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-9) 外部火災（森林火災，爆発及び近隣工場等の火災）

安全施設は，想定される外部火災において，最も厳しい火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(1.1～1.2：1)】

想定される森林火災の延焼防止を目的として，発電所周辺の植生を確認し，作成した植生データ等を基に求めた最大火線強度（6,278kW／m）から算出される防火帯（約 23m）を敷地内に設ける。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし，防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

【別添資料 1(2.1.3.2：9～11)】

また，森林火災による熱影響については，最大火炎輻射強度の影響を考慮した場合においても，離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.1.3.3：12～15)】

発電所敷地又はその周辺で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。）として，想定される近隣の産業施設の火災・爆発については，離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2：17～29)】

また，想定される発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災については，離隔距離の確保，若しくは，航空機が墜落し，その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ることで，その安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部火災による屋外施設への影響については，屋外施設の温度を許容温度以下とすることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.5～2.3：30～39)】

また，外部火災の二次的影響であるばい煙及び有毒ガスによる影響については，換気空調設備等に適切な防護対策を講じることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4：40～46)】

森林火災による津波防護施設への熱影響については，最大火炎輻射強度の影響を考慮した場合において，離隔距離の確保等により津波防護機能を損なわない設計とする。

(2)　安全設計方針

1.7.9　外部火災防護に関する基本方針

1.7.9.1　設計方針

安全施設が外部火災（火災・爆発（森林火災，近隣工場等の火災・爆発，航空機墜落火災等））に対して，発電用原子炉施設の安全性を確保するために想定される最も厳しい火災が発生した場合においても必要な安全機能を損なわないよう，防火帯の設置，離隔距離の確保，建屋による防護，代替手段等によって，安全機能を損なわない設計とする。

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を，安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に属する構築物，系統及び機器とする。

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち，外部事象防護対象施設は，防火帯の設置，離隔距離の確保，建屋による防護等により安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(1.1～1.2：1～2)】

想定する外部火災として，森林火災，近隣の産業施設の火災・爆発，発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災，航空機墜落による火災を選定する。外部火災にて想定する火災を第 1.7.9－1 表に示す。

【別添資料 1(1.1～1.2：1～2)】

また，想定される火災及び爆発の二次的影響（ばい煙等）に対して，安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(1.1～1.2：1～2)】

森林火災による津波防護施設への熱影響については，最大火炎輻射強度の影響を考慮した場合において，離隔距離の確保等により津波防護機能を損なわない設計とする。

(1)　評価対象施設

外部事象防護対象施設のうち，屋内設備は内包する建屋により防護する設計とし，評価対象施設を，建屋，屋外設備並びに外部火災の二次的影響を受ける構築物，系統及び機器に分類し，抽出する。

上記に含まれない構築物，系統及び機器は，原則として，防火帯により防護し，外部火災により損傷した場合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

外部事象防護対象施設及び評価対象施設を第 1.7.9－2 表に示す。

a．外部火災の直接的な影響を受ける評価対象施設

外部事象防護対象施設のうち，評価対象施設を以下のとおり抽出する。

(a)　屋内の評価対象施設

屋内設置の外部事象防護対象施設は，内包する建屋により防護する設計とし，以下の建屋を評価対象施設とする。

ⅰ）　原子炉建屋

ⅱ）　タービン建屋

ⅲ）　使用済燃料乾式貯蔵建屋

(b)　屋外の評価対象施設

屋外の評価対象施設は，以下の施設を対象とする。

ⅰ）　海水ポンプ

ⅱ）　排気筒

ⅲ）　ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ

ｂ．外部火災の二次的影響を受ける評価対象施設

外部火災の二次的影響を受ける評価対象施設を以下のとおり抽出する。

(a)　ディーゼル発電機機関

(b)　換気空調設備

(c)　海水ポンプ電動機

【別添資料 1(1.3：3～4)】

(2)　森林火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し，発電所周辺の植生，過去 10 年間の気象条件を調査し，発電所から直線距離 10km の間に発火点を設定し，森林火災シミュレーション解析コード（以下「ＦＡＲＳＩＴＥ」という。）を用いて影響評価を実施し，森林火災の延焼を防ぐための手段として防火帯を設け，火炎が防火帯外縁に到達するまでの時間，評価対象施設への熱影響及び危険距離を評価し，必要な防火帯幅，評価対象施設との離隔距離を確保すること等により，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

ａ．森林火災の想定

(a)　森林火災における各樹種の可燃物量は，茨城県から入手した森林簿データと現地調査等により得られた樹種を踏まえて補正した植生を用いる。また，林齢は，樹種を踏まえて地面草地の可燃物量が多くなるように保守的に設定する。

(b)　気象条件は，水戸地方気象台の過去 10 年間の気象データを調査し，茨城県における森林火災発生頻度が年間を通じて比較的高い月の最小湿度，最高気温及び最大風速の組合せとする。

(c)　風向については，最大風速記録時における風向と卓越風向を調査

し，森林火災の発生件数及び森林と発電所の位置関係を考慮して，最大風速記録時の風向を設定する。

(d)　発火点については，防火帯幅の設定及び熱影響評価に際し，ＦＡＲＳＩＴＥより出力される最大火線強度及び反応強度を用いて評価するため，発電所から直線距離 10km の間で風向及び人為的行為を考慮し，7 地点を設定する。

(d-1)　人為的行為を考慮し，火を扱う可能性がある箇所で，火災の発生頻度が高いと想定される道路沿い，海岸等を選定する。

(d-2)　風向は卓越方向（北，西北西）及び最大風速記録時の方向（北東，南西）とし，火災規模に対する風向の影響を考慮し，発火点は，陸側方向（発電所の東側が海）の発電所の風上を選定する。

ⅰ）　発電所周辺のうち，卓越風向である西北西の風による延焼を考慮し，霊園における線香等の裸火の使用と残り火の不始末，国道 245 号を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し，国道 245 号沿いの霊園（発電所敷地から約 20m の距離）を「発火点１」として設定する。

ⅱ）　発電所周辺のうち，卓越風向である北の風による延焼を考慮し，バーベキュー及び花火の不始末等を想定し，海岸沿い(発電所敷地から約 550m の距離)を「発火点２」として設定する。

ⅲ）　発電所周辺のうち，卓越風向である西北西の風による延焼を考慮し，火入れ・たき火等を想定し，県道 284 号線沿いの水田(発電所敷地から約 560m の距離)に，発火点１より遠方となる「発火点３」として設定する。

ⅳ）　発電所周辺のうち，卓越風向である北の風による延焼を考慮し，釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，海岸沿い(発電所敷地

から約 1,280m の距離)に発火点２より遠方となる「発火点４」として設定する。

ⅴ） 森林火災シミュレーションを保守的に行うため，最大風速記録時の風向の南西の風による延焼を考慮し，発電所南方向にある危険物貯蔵施設の屋外貯蔵タンク(発電所敷地から約 890m の距離)からの火災が森林に延焼することを想定し，南方向の危険物施設の近くに「発火点５」として設定する。

ⅵ） 森林火災シミュレーションを保守的に行うため，最大風速記録時の風向の南西の風による延焼を考慮し，交通量が多い交差点(発電所敷地から約 550m の距離)での交通事故による車両火災を想定し，国道 245 号沿いに「発火点６」として設定する。

ⅶ） 森林火災シミュレーションを保守的に行うため，最大風速記録時の風向の北東の風による延焼を考慮し，釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，一般の人が発電所に最も近づくことが可能である海岸沿い(発電所敷地から約 60m の距離)に「発火点７」として設定する。

【別添資料 1(2.1.2：4～7)】

(e) 森林火災の発火時刻については，日照による草地及び樹木の乾燥に伴い，火線強度が変化することから，これらを考慮して火線強度が最大となる時刻を設定する。

【別添資料 1(2.1.2：4～7)】

b．評価対象範囲

発電所近傍の発火想定地点を 10km 以内とし，評価対象範囲は東側が

海岸という発電所周辺の地形を考慮し，発電所から南北及び西側に12kmの範囲を対象に評価を行う。

【別添資料1(2.1.2：4～7)】

c．必要データ（ＦＡＲＳＩＴＥ入力条件）

(a)　地形データ

現地状況をできるだけ模擬するため，発電所周辺の土地の標高，地形等のデータについては，公開情報の中でも高い空間解像度である10m メッシュの「基盤地図情報 数値標高モデル」（国土地理院データ）を用いる。

(b)　土地利用データ

現地状況をできるだけ模擬するため，発電所周辺の建物用地，交通用地等のデータについては，公開情報の中でも高い空間解像度である100m メッシュの「国土数値情報 土地利用細分メッシュ」（国土交通省データ）を用いる。

(c)　植生データ

現地状況をできるだけ模擬するため，樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを地方自治体（茨城県）より入手する。森林簿の情報を用いて，土地利用データにおける森林領域を樹種・林齢によりさらに細分化する。

発電所構内及び発電所周辺の植生データについては，現地調査し，ＦＡＲＳＩＴＥ入力データとしての妥当性を確認のうえ植生区分を設定する。

【別添資料1(2.1.2：4～7)】

(d)　気象データ

現地にて起こり得る最も厳しい条件を検討するため，「水戸地方気象台」の過去 10 年間の気象データにおける茨城県で発生した森林火災の実績を考慮し，比較的発生頻度が高い 12 月から 5 月の気象条件（最多風向，最大風速記録時の風向，最大風速，最高気温及び最小湿度）の最も厳しい条件を用いる。なお，最多風向については，より発電所周辺の状況を考慮するため，発電所の過去 10 年間の観測データも参照した。

【別添資料 1(2.1.2：4～7)】

d．延焼速度及び火線強度の算出

ホイヘンスの原理に基づく火炎の拡大モデルを用いて延焼速度（0.45m／s（発火点１））や火線強度（6,278kW／m（発火点３））を算出する。

e．火炎到達時間による消火活動

延焼速度より，発火点から防火帯までの火炎到達時間(0.2 時間（約 12 分）（発火点１))を算出する。

森林火災が防火帯に到達するまでの間に発電所に常駐している自衛消防隊による防火帯付近の予防散水活動（飛び火を抑制する効果を期待）を行うことが可能であり，防火帯をより有効に機能させる。

また，万が一の飛び火等による火炎の延焼を確認した場合には，自衛消防隊による初期消火活動を行うことで，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.1.3.1：8～9)】

なお，外部からの情報により森林火災を認識し，防火帯に到達するまでに時間的な余裕がある場合には，発電所構内への延焼を抑制するために防火帯近傍への予防散水を行う。

防火帯の外側にある安全重要度分類のクラス３施設としては，モニタリングポストがある。火災発生時には、モニタリングポストについては代替設備を確保することにより防護する設計とする。

【別添資料 1(2.1.3.1：8～9)】

ｆ．防火帯幅の設定

ＦＡＲＳＩＴＥから出力される最大火線強度(6,278kW／m（発火点３）)により算出される防火帯幅 21.4m に対し，約 23m の防火帯幅を確保することにより評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし，防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

設置する防火帯について，第 1.7.9－1 図に示す。

【別添資料 1(2.1.3.2：9～11)】

ｇ．評価対象施設への熱影響

森林火災の直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し，離隔距離の確保，建屋による防護により，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。なお，影響評価に用いる火炎輻射強度は，ＦＡＲＳＩＴＥから出力される反応強度から求める。

(a)　火災の想定

ｉ）　森林火災による熱を受ける面と森林火災の火炎輻射強度が発する地点が同じ高さにあると仮定し，離隔距離は最短距離とする。

ⅱ） 森林火災の火炎は，円筒火炎モデルとする。火炎の高さは燃焼半径の３倍とし，燃焼半径から円筒火炎モデルの数を算出することにより火炎到達幅の分だけ円筒火炎モデルが横一列に並ぶものとする。

(b) 原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

最大の火炎輻射強度（444kW／m^2）となる発火点５に基づき算出する，防火帯の外縁（火炎側）から最も近くに位置する使用済燃料乾式貯蔵建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した，火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度を，火災時における短期温度上昇を考慮した場合のコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である 200℃[1] 以下とすることで，当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(c) 海水ポンプ室への熱影響

最大の火炎輻射強度（444kW／m^2）となる発火点 5 に基づき算出する海水ポンプ室（垂直外壁面及び天井部から選定した，火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度を，火災時における短期温度上昇を考慮した場合のコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である 200℃[1] 以下とすることで，海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(d) 排気筒への熱影響

最大の輻射強度（0.07kW／m^2）となる発火点３に基づき算出する排気筒表面の温度を，鋼材の強度が維持される温度である 325℃[1] 以下とすることで，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(e) ディーゼル発電機機関吸気系フィルタへの熱影響

最大の輻射強度（0.07kW／m^2）となる発火点３に基づき算出するディーゼル発電機機関吸気系フィルタ内への流入空気の温度を，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下とすることで，ディーゼル発電機機関の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.1.3.3：12～15)】

h．評価対象施設の危険距離の確保

森林火災の直接的な影響を受ける評価対象施設の危険距離について評価を実施し，防火帯の外縁（火炎側）からの離隔距離を最大の火炎輻射強度に基づき算出する危険距離以上確保することにより，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(a) 原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び海水ポンプ室の危険距離の確保

最大の火炎輻射強度（444kW／m^2）となる発火点５に基づき危険距離を算出し，発電所周囲に設置される防火帯の外縁（火炎側）からの離隔距離を危険距離以上確保することにより，各建屋及び当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) 排気筒及びディーゼル発電機機関吸気系フィルタの危険距離の確保

最大の輻射強度（0.07kW／m^2）となる発火点３に基づき危険距離を算出し，発電所周囲に設置される防火帯の外縁（火炎側）からの離隔距離を危険距離以上確保することにより，安全機能を損なわない設計とする。

(3) 近隣産業施設の火災･爆発

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し，発電所敷地外10km 以内の産業施設を抽出したうえで発電所との離隔距離を確保すること及び発電所敷地内で火災を発生させるおそれのある危険物貯蔵施設等を選定し，危険物貯蔵施設等の燃料量と評価対象施設との離隔距離を考慮して，輻射強度が最大となる火災を設定し，直接的な影響を受ける評価対象施設への熱影響評価を行い，離隔距離の確保等により，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

ａ．石油コンビナート施設等の影響

発電所敷地外 10km 以内の範囲において，石油コンビナート施設を調査した結果，当該施設は存在しないことを確認している。なお，発電所に最も近い石油コンビナート地区は南約 50km の鹿島臨海地区である。

【別添資料 1(2.2.2：17)】

ｂ．危険物貯蔵施設の影響

(a)　火災の影響

発電所敷地外 10km 以内の危険物貯蔵施設の火災による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し，離隔距離の確保，建屋による防護により，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

発電所敷地外 10km 以内のうち，発電所近辺の危険物貯蔵施設[注1]を第 1.7.9－2 図に示す。

注１：石油コンビナートの大規模な危険物タンクを想定し危険距離 1,400m を火災影響が及ぶ可能性がある範囲と設定し，この範囲内の屋外貯蔵タンクを抽出した。

【別添資料 1(2.2.2.2：18～20)】

ⅰ） 火災の想定

・危険物貯蔵施設の貯蔵量は，危険物を満載した状態する。

・離隔距離は，評価上厳しくなるよう危険物貯蔵施設の位置から評価対象施設までの直線距離とする。

・火災は円筒火災モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

・気象条件は無風状態とする。

ⅱ） 評価対象範囲

評価対象は，発電所敷地外 10km 以内の危険物貯蔵施設とする。

【別添資料 1(2.2.2.2：18～20)】

ⅲ） 評価対象施設への熱影響

・原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し，危険物貯蔵施設から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（41m）以上確保することにより，当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

・海水ポンプ室への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し，危険物貯蔵施設から海水ポンプ室までの離隔距離を必要とされる危険距離（41m）以上確保することにより，海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・排気筒への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し，危険物貯蔵施設から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（10m）以上確保することにより，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

・ディーゼル発電機機関吸気系フィルタへの熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し，危険物貯蔵施設からディーゼル発電機機関吸気系フィルタまでの離隔距離を必要とされる危険距離（23m）以上確保することにより，ディーゼル発電機機関の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.2：18～20)】

(b)　ガス爆発の影響

発電所敷地外 10km 以内の高圧ガス貯蔵施設の爆発による直接的な影響を受ける，評価対象施設への影響評価を実施し，離隔距離の確保により安全機能を損なわない設計とする。

発電所敷地外 10km 以内のうち，10km 以内で最大の高圧ガス貯蔵施設である日立ＬＮＧ基地を第 1.7.9－3 図に示す。

【別添資料 1(2.2.2.2：21～24)】

ｉ）　爆発の想定

・高圧ガス漏えい，引火によるガス爆発とする。

・気象条件は無風状態とする。

ⅱ）　評価対象範囲

評価対象は，発電所敷地外 10km 以内の高圧ガス貯蔵施設とする。

ⅲ）　評価対象施設への影響

想定される高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による爆風圧の影響に対

し，高圧ガス貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（373m）以上確保することにより，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.2：21～24)】

また，想定される高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による飛来物の影響については，高圧ガス貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離を，「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき算出する容器破損時における破片の最大飛散距離（1,406m）以上確保することにより，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.2：21～24)】

c．燃料輸送車両の影響

(a)　火災の影響

発電所敷地外 10km 以内の燃料輸送車両の火災による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し，離隔距離の確保，建屋による防護により，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.3：25)】

i）　火災の想定

・最大規模の燃料輸送車両が発電所敷地周辺道路で火災を起こすものとする。

・燃料積載量は燃料輸送車両の中で最大規模とする。

・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。

・輸送燃料はガソリンとする。

・発電所敷地周辺道路での燃料輸送車両の全面火災を想定する。

・気象条件は無風状態とする。

・火災は円筒火災をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

ⅱ） 評価対象範囲

評価対象は，最大規模の燃料輸送車両とする。

【別添資料 1(2.2.2.3：25)】

ⅲ） 評価対象施設への熱影響

・原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送車両から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（15m）以上確保することにより，当該建屋内の外部事象防護対象施設のの安全機能を損なわない設計とする。

・海水ポンプ室への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送車両から海水ポンプ室までの離隔距離を必要とされる危険距離（15m）以上確保することにより，海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・排気筒への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送車両から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（9m）以上確保することにより，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

・ディーゼル発電機機関吸気系フィルタの熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し，燃

料輸送車両からディーゼル発電機機関吸気系フィルタまでの離隔距離を必要とされる危険距離（17m）以上確保することにより，ディーゼル発電機機関の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.3：25)】

(b)　ガス爆発の影響

発電所敷地外 10km 以内の燃料輸送車両の爆発による直接的な影響を受ける，評価対象施設の影響評価を実施し，離隔距離の確保により，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.3：26)】

ｉ）　爆発の想定

・最大規模の燃料輸送車両が発電所敷地周辺道路で爆発を起こすものとする。

・燃料積載量は燃料輸送車両の中で最大規模とする。

・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。

・輸送燃料は液化天然ガス（ＬＮＧ）及び液化石油ガス（ＬＰＧ）とする。

・発電所敷地境界の道路での高圧ガス漏えい，引火によるガス爆発を想定する。

・気象条件は無風状態とする。

ⅱ）　評価対象範囲

評価対象は，最大規模の燃料輸送車両とする。

【別添資料 1(2.2.2.3：26)】

ⅲ） 評価対象施設への影響

想定される燃料輸送車両のガス爆発による爆風圧の影響に対して，発電所敷地周辺道路から発電用原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（88m）以上確保することにより，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.3：26)】

また，想定される燃料輸送車両のガス爆発による飛来物の影響に対して，発電所敷地周辺道路から発電用原子炉施設までの離隔距離を，「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき算出する容器破損時における破片の最大飛散距離（435m）以上確保することにより，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.3：26)】

d．漂流船舶の火災・爆発

(a) 火災の影響

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し，発電所敷地外で発生する漂流船舶を選定し，船舶の燃料量と評価対象施設との離隔距離を考慮して，輻射強度が最大となる火災を設定し，直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し，離隔距離の確保，建屋による防護により，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.4：27～29)】

ⅰ） 火災の想定

・発電所から約 1,500m の位置で稼働中の日立ＬＮＧ基地の高圧ガス貯蔵施設に入港する燃料輸送船及び発電所港湾内に定期的に入港する船舶（以下「定期船」という。）の火災を想定した。

・燃料輸送船は，日立ＬＮＧ基地に実際に入港する最大規模の船舶及び発電所港湾内に実際に入港する最大規模の船舶を想定する。

【別添資料 1(2.2.2.4：27～29)】

・漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。

・燃料は重油とする。

・離隔距離は，評価上厳しくなるよう漂流想定位置から評価対象施設までの直線距離とする。（第 1.7.9－4 図，第 1.7.9－5 図）

・漂流船舶の全面火災を想定する。

・火災は円筒火災モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

・気象条件は無風状態とする。

ⅱ） 評価対象範囲

漂流船舶は発電所周辺の海域を航行する燃料輸送船及び発電所港湾内に定期的に入港する船舶を評価対象とする。

【別添資料 1(2.2.2.4：27～29)】

ⅲ） 評価対象施設への熱影響

・原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し，燃料輸

送船から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（165m）以上，定期船から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（54m）以上確保することにより，当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

・海水ポンプへの熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送船から海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（165m）以上，定期船から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（54m）以上確保することにより，海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・排気筒への熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送船から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（87m）以上，定期船から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（29m）以上確保することにより，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

・ディーゼル発電機機関吸気系フィルタの熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送船からディーゼル発電機機関吸気系フィルタまでの離隔距離を必要とされる危険距離（128m）以上，定期船からディーゼル発電機機関吸気系フィルタまでの離隔距離を必要とされる危険距離（42m）以上確保することにより，ディーゼル発電機機関の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.4：27～29)】

(b)　ガス爆発の影響

発電所周辺の海域を航行する燃料輸送船の爆発による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し，離隔距離の確保により，安全機能を損なわない設計とする。

ｉ）　爆発の想定

・燃料輸送船は，日立ＬＮＧ基地に実際に入港する最大規模の船舶を想定する。

・漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。

・輸送燃料は液化天然ガス（ＬＮＧ）及び液化石油ガス（ＬＰＧ）とする。

・離隔距離は，評価上厳しくなるよう想定位置から評価対象施設までの直線距離とする。

・漂流船舶の高圧ガス漏えい，引火によるガス爆発を想定する。

・気象条件は無風状態とする。

ⅱ）　評価対象範囲

発電所周辺海域で航行する燃料輸送船を評価対象とする。

【別添資料 1(2.2.2.4：28～29)】

ⅲ）　評価対象施設への影響

想定される燃料輸送船のガス爆発による爆風圧の影響に対して，漂流船舶から発電用原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（ＬＮＧ輸送船（335m），ＬＰＧ輸送船（340m），内航船（165m））以上確保することにより，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.4：28～29)】

発電所周辺を航行する船舶として，日立ＬＮＧ基地に出入りする輸送船があるが，これらの船舶が停泊しているときに津波警報等が発表された場合には，荷役及び作業を中止した上で，緊急退避又は係留避泊する運用としており，実際に漂流し発電所に接近する可能性は低いことから，想定した漂流船舶の飛来物が発電所に影響を及ぼすことはない。

【別添資料 1(2.2.2.4：28～29)】

ｅ．発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災・爆発

(a)　火災の影響

発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し，離隔距離の確保，建屋による防護等により，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.5：30)】

発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等を第 1.7.9－3 表並びに第 1.7.9－6 図に示す。

ｉ）　火災の想定

・危険物貯蔵施設等の貯蔵量は，危険物施設として許可された貯蔵容量とする。

・変圧器の防火設備の消火機能等には期待しない。

・離隔距離は，評価上厳しくなるよう危険物貯蔵施設等の位置か

ら評価対象施設までの直線距離とする。

・危険物貯蔵施設等の破損等による防油堤内又は設備本体内での全面火災を想定する。

・火災は円筒火災モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

・気象条件は無風状態とする。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

ⅱ） 評価対象範囲

評価対象は，発電所敷地内の屋外に設置する引火等のおそれのある危険物貯蔵施設等のうち，離隔距離や危険物貯蔵量から発電用原子炉施設への熱影響が大きくなると想定される溶融炉灯油タンク，主要変圧器，所内変圧器及び起動変圧器とする。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

なお，屋外に設置する危険物貯蔵施設等のうち，屋内設置の設備，地下設置の設備，常時「空」で運用する設備及び火災源となる設備から評価対象施設を直接臨まないものに関しては評価対象外とする。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

また，危険物を内包する車両等は，溶融炉灯油タンクに比べ貯蔵量が少なく，また溶融炉灯油タンクと発電用原子炉施設の距離に比べ離隔距離が長いことから，評価対象とした溶融炉灯油タンク火災の評価に包絡される。

iii） 評価対象施設への熱影響

（ｉ） 原子炉建屋，タービン建屋への熱影響

・溶融炉灯油タンク

溶融炉灯油タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度（原子炉建屋：298W／m^2，タービン建屋：101W／m^2）で各建屋外壁が昇温されるものとして算出する各建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した，火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である 200℃以下とすることで，当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

・主要変圧器

主要変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度（タービン建屋：2,337W／m^2）でタービン建屋外壁が昇温されるものとして，算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した，火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200℃以下とすることで，当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

・所内変圧器

所内変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度（タービン建屋：3,479W／m^2）でタービン建屋外壁が昇温されるものとして，算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した，火災の輻射に対して最も

厳しい箇所）の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である 200℃以下とすることで，当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

・起動変圧器

起動変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度（タービン建屋：3,464W／m^2）でタービン建屋外壁が昇温されるものとして，算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した，火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である 200℃以下とすることで，当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

（ⅱ） 海水ポンプ室への熱影響

・溶融炉灯油タンク

溶融炉灯油タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度（17W／m^2）で海水ポンプ室外壁が昇温されるものとして，算出する建屋（垂直外壁面及び天井部から選定した，火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である 200℃以下とすることで，海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

（ⅲ） 排気筒への熱影響

・溶融炉灯油タンク

溶融炉灯油タンクを対象に火災が発生してから一定の輻射強度（1,343W／m^2）で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の表面温度を鋼材の強度が維持される温度である 325℃以下とす

ることで，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

(b)　ガス爆発の影響

発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の爆発による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し，離隔距離の確保により，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等をを第 1.7.9－4 表並びに第 1.7.9－6 図に示す。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

ⅰ）　爆発の想定

・離隔距離は，評価上厳しくなるよう想定位置から評価対象施設までの直線距離とする。

・爆発源は燃料を満載した状態を想定する。

・危険物貯蔵施設等の高圧ガス漏えい，引火によるガス爆発を想定する。

・気象条件は無風状態とする。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

ⅱ）　評価対象範囲

評価対象は，発電所敷地内の屋外に設置する引火等のおそれのある危険物貯蔵施設等のうち，屋外で爆発する可能性がある水素貯槽とする。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

iii） 評価対象施設への熱影響

水素貯槽のガス爆発による爆風圧の影響に対して，水素貯槽から発電用原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（7m）以上確保することにより，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

(4) 航空機墜落による火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し，航空機墜落による火災について落下カテゴリ毎に選定した航空機を対象に，直接的な影響を受ける，評価対象施設への影響評価を実施し，離隔距離の確保及び建屋による防護により，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。また，航空機墜落による火災と発電所敷地内の危険物貯蔵施設等による火災の重畳を考慮する設計とする。

【別添資料 1(2.3：34～39)】

a．対象航空機の選定方法

航空機落下確率評価においては，過去の日本国内における航空機落下事故の実績をもとに，落下事故を航空機の種類及び飛行形態に応じてカテゴリに分類し，カテゴリ毎に落下確率を求める。

ここで，落下事故の実績がないカテゴリのうち自衛隊機の「基地－訓練空域間往復時」の落下確率には，百里基地－訓練空域間往復時に落下事故は発生していないが，全国の基地－訓練空域間往復時に 5 件の落下事故が発生していること及び百里基地－訓練空域間を飛行する際の自衛

隊機の機種，飛行環境が全国と比較して大きな相違がないものであることを踏まえ，全国の各基地－訓練空域間往復時の落下確率を参考にし，保守性を確保するため2倍にした値を用いることとした。一方，計器飛行方式民間航空機の「航空路を巡航時」等，その他の落下事故の実績がないカテゴリの落下確率の評価に当たっては，落下事故が保守的に 0.5 件発生したものとして評価した。

また，カテゴリ毎の対象航空機の民間航空機と自衛隊機又は米軍機では，訓練中の事故等，その発生状況が必ずしも同一ではなく，自衛隊機又は米軍機の中でも機種によって飛行形態が同一ではないと考えられ，かつ，民間航空機では火災影響は評価対象航空機の燃料積載量に大きく依存すると考えられる。これらを踏まえて選定した発電用原子炉施設及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の落下事故のカテゴリと対象航空機を第1.7.9－5表並び第1.7.9－6表に示す。

【別添資料1(2.3：34～39)】

b．航空機墜落による火災の想定

(a)　航空機は，発電所における航空機落下確率評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。

(b)　航空機は燃料を満載した状態を想定する。

(c)　航空機の墜落によって燃料に着火し火災が起こることを想定する。

(d)　気象条件は無風状態とする。

(e)　火災は円筒火災をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

【別添資料1(2.3：34～39)】

c．評価対象範囲

評価対象範囲は，発電所敷地内であって発電用原子炉施設を中心にして墜落確率が 10^{-7}（回/炉・年）以上になる範囲のうち発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域に設置する評価対象施設とする。

【別添資料 1(2.3：34～39)】

d．評価対象施設への熱影響

(a) 原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

落下事故のカテゴリ毎に選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして算出する各建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した，火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である 200℃以下とすることで，当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

各航空機の輻射強度（発電用原子炉施設）を第 1.7.9－5 表に，各航空機の輻射強度（使用済燃料乾式貯蔵建屋）を第 1.7.9－6 表に示す。

(b) 排気筒への熱影響

落下事故のカテゴリ毎に選定した航空機を対象に一定の輻射強度で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の表面温度を，鋼材の強度が維持される温度である 325℃以下とすることで，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(c) ディーゼル発電機機関吸気系フィルタへの熱影響

落下事故のカテゴリ毎に選定した航空機を対象に一定の輻射強度で昇温されるものとして算出するディーゼル発電機機関吸気系フィルタ内への流入空気の温度を，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な

温度 53℃以下とすることで，ディーゼル発電機機関の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.3：34～39)】

e．航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災の重畳評価

航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災による重畳評価を実施した。

航空機墜落火災として想定する機種は，評価結果が最も厳しいＦ－１５とする。

危険物貯蔵施設等の火災として想定する設備は，Ｆ－１５の墜落火災想定位置近傍にある溶融炉灯油タンクと主要変圧器とする。

(a)　原子炉建屋及びタービン建屋への熱影響

Ｆ－１５の墜落火災と危険物貯蔵施設等の重畳火災が発生した場合を想定し，火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で評価対象施設の建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した，火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度を，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である 200℃以下とすることで，当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b)　海水ポンプへの熱影響

Ｆ－１５の墜落火災と危険物貯蔵施設等の重畳火災が発生した場合を想定し，火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で海水ポンプ室外壁が昇温されるものとして算出する外壁（垂直外壁面及び天井部から選定した，火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度を，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である 200℃以下とすることで，海水ポンプの安全機能を損なわない

設計とする。

(c)　排気筒への熱影響

Ｆ－１５の墜落火災と危険物貯蔵施設等の重畳火災が発生した場合を想定し，一定の輻射強度で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の表面温度を鋼材の強度が維持される温度である 325℃以下とすることで，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.3：34～39)】

(5)　二次的影響（ばい煙等）

外部火災による二次的影響として，ばい煙等による影響を抽出し，外気を取り込む評価対象施設を抽出したうえで，第 1.7.9－7 表の分類のとおり評価を行い，必要な場合は対策を実施することで評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

ａ．換気空調設備

外気を取り込む空調系統として，中央制御室換気系，電気室換気系，原子炉建屋換気系及びディーゼル発電機室換気系がある。

これらの外気取入口には，フィルタを設置することにより，ばい煙が外気取入口に到達した場合であっても，粒径 2μｍ 以上の粒径のばい煙粒子については，フィルタにより侵入しにくい設計とする。2μｍ 以下の粒子の侵入により，中央制御室等に設置されている計測制御設備（安全保護系）への影響が考えられるが，集積回路（ＩＣ）をモールド（樹脂）で保護することにより，ばい煙の侵入を阻止する設計とする。

これらにより，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお，外気取入ダンパが設置されており再循環運転が可能である中央制御室の換気空調設備については，外気取入ダンパを閉止し，再循環運転を行うことで評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また，それ以外の換気空調設備については，空調ファンを停止し，外気取入れを遮断することで評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

b．ディーゼル発電機機関吸気系

ディーゼル発電機機関の吸気系統に付属するフィルタを設置し，粒径5μm 以上のばい煙粒子が侵入しにくい設計とする。フィルタを通過したばい煙粒子（数 μm～10 数 μm）が過給機，空気冷却器に侵入するものの，機器の隙間はばい煙粒子に比べて十分大きく，閉塞に至ることを防止することでディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

c．海水ポンプ電動機

(a)　残留熱除去系海水系ポンプ電動機

残留熱除去系海水系ポンプ電動機は，全閉防まつ型屋外形構造であり，下部に設置した外扇で外気を空気冷却器冷却管内に直接取り込み，冷却管壁で電動機内部空気と熱交換することで冷却を行う構造であり，冷却管内を通った空気は全て排気口に導かれるため，ばい煙が電動機内部に侵入することはない。

また，ばい煙粒子の粒径は，空気冷却器冷却管の内径に比べて十分に小さく，閉塞を防止することにより残留熱除去系海水系ポンプ電動

機の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

(b)　非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機は，外扇から吸引した外気をファンカバーから下向きに本体放熱フィンに沿って流し，電動機本体を冷却する構造であり，ばい煙が電動機内部に侵入することはない。

また，ばい煙の粒径は，冷却流路出口幅に比べて十分に小さく，閉塞を防止することにより非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

d．火災時の有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響評価

有毒ガスの発生については，中央制御室換気系における外気取入遮断時の室内に滞在する人員の環境劣化防止のため，酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより，居住空間へ影響を及ぼさない設計とする。

なお，外気取入ダンパが設置されており再循環運転が可能である中央制御室換気系については，外気取入ダンパを閉止し，再循環運転を行う。また，それ以外の換気空調設備については，空調ファンを停止し，外気取入れを遮断する。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

1.7.9.2　体制

火災発生時の発電用原子炉施設の保全のための活動を行うため，連絡責任者，運転員及び消防要員が常駐するとともに，所員により編成する自衛消防組織を設置する。

自衛消防組織の組織体制を，第 1.7.9－7 図に示す。

1.7.9.3　手順

外部火災における手順については，火災発生時の対応，防火帯の維持・管理並びにばい煙及び有毒ガス発生時の対応を適切に実施するための対策を火災防護計画に定める。

(1)　防火帯の維持・管理においては，定期的な点検等の方法を火災防護計画に定め，実施する。また，津波防護施設と植生の間の離隔距離を確保するために管理が必要となる隣接事業所敷地については，当社による当該敷地の植生管理を可能とするための隣接事業所との合意文書に基づき，必要とする植生管理を当社が実施する。

(2)　予防散水においては，手順を整備し，予防散水エリアごとに使用水源箇所を定め，消火栓及び消防車を使用し，消防隊長の指揮のもと自衛消防隊が実施する。なお，万一，防火帯の内側に飛び火した場合は，自衛消防隊の活動を予防散水から防火帯内火災の初期消火活動に切り替え，消火栓及び消防車を使用し，継続して消防隊長の指揮のもと初期消火活動・延焼防止活動を行う。

(3)　外部火災によるばい煙発生時には，外気取入口に設置しているフィルタの交換，外気取入ダンパの閉止，換気空調設備の停止又は再循環運転により，建屋内へのばい煙の侵入を阻止する。

(4)　外部火災による有毒ガス発生時には，外気取入ダンパの閉止，換気空調設備の停止又は再循環運転により，建屋内への有毒ガスの侵入を阻止

する。

(5)　外部火災による中央制御室へのばい煙等の侵入阻止に係る教育を定期的に実施する。

(6)　森林火災から評価対象施設を防護するための防火帯の点検等に係る火災防護に関する教育を定期的に実施する。

(7)　近隣の産業施設の火災・爆発から評価対象施設を防護するために，離隔距離を確保すること等の火災防護に関する教育を定期的に実施する。

(8)　外部火災発生時の予防散水に必要な消火対応力を維持するため，自衛消防隊を対象とした教育・訓練を定期的に実施する。

【別添資料 2(1～3)】

第 1.7.9－1 表　外部火災にて想定する火災

火災種別	考慮すべき火災
森林火災	発電所敷地外 10km 以内に発火点を設定した発電所に迫る森林火災
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外 10km 以内の石油コンビナート等の火災・爆発
	発電所敷地内の危険物貯蔵施設等の火災・爆発
航空機墜落による火災	発電所敷地への航空機墜落時の火災

【別添資料 1(1.1～1.2：1～2)】

第 1.7.9－2 表　評価対象施設

防護対象	防護方法	評価対象施設
外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器を内包する建屋	防火帯の内側に設置 消火活動による防護手段を期待しない条件のもと，火元からの離隔距離で防護 （熱影響評価を実施）	原子炉建屋 タービン建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋
外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器に属する屋外施設		海水ポンプ 排気筒 ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ

【別添資料 1(1.3：3～4)】

第 1.7.9－3 表　発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等の一覧
（火災源）（１／３）

設備名	製造所等区分	設置場所	危険物の類		品名	最大数量（m^3）	詳細評価要否（○:対象,×:対象外）
油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	0.90	×（屋内設置 → A）
			第四類	第二石油類	軽油・灯油	2.20	×（屋内設置 → A）
			第四類	第三石油類	重油	18.20	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	潤滑油	21.00	×（屋内設置 → A）
			第四類	アルコール類	アルコール類	0.20	×（屋内設置 → A）
重油貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	500.00	×（地下式 → B）
非常用ディーゼル発電機用タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	800.00	×（地下式 → B）
原子炉建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	33.20	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	潤滑油	16.50	
タービン建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	0.36	×（屋内設置 → A）
			第四類	第三石油類	重油	1.90	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	潤滑油	185.23	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	ﾘﾝ酸ｴｽﾃﾙ油	7.93	×（屋内設置 → A）
サービス建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第三石油類	重油	2.40	×（屋内設置 → A）
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**	**○**
可搬型設備用軽油タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	210.00	×（地下式 → B）
ディーゼル発電機用燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.97	×（他評価に包絡 → E）

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 1.7.9－3 表　発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等の一覧（火災源）（２／３）

設備名	製造所等区分	設置場所	危険物の類		品名	最大数量（m^3）	詳細評価要否（○:対象,×:対象外）
No.1 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	0.10	×（屋内設置 → A）
			第四類	第二石油類	ラッカー等	4.00	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	潤滑油	90.00	×（屋内設置 → A）
No.2 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第四石油類	潤滑油	100.00	×（屋内設置 → A）
保修用屋外油貯蔵所	屋外貯蔵所	屋外	第四類	第四石油類	潤滑油	80.00	×（他評価に包絡 → D）
緊急時対策所建屋（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）
緊急時対策所建屋地下タンク（旧緊急時対策室）	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	20.00	×（地下式 → B）
絶縁油保管タンク	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	200.00	×（常時「空」→C）
常設代替高圧電源装置置場	一般取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	5.97	×（他評価に包絡 → D）
			第四類	第四石油類	潤滑油	0.94	×（他評価に包絡 → D）
緊急時安全対策用地下タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	90.00	×（地下式 → B）
構内服洗濯用タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第三石油類	重油	1.82	×（他評価に包絡 → D）
廃棄物処理建屋廃油タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	廃油	1.90	×（屋内設置 → A）
雑固体減容処理設備用バーナ	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第二石油類	灯油	0.93	×（屋内設置 → A）
緊急用エンジン発電機燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.80	×（常時「空」→C）
緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	150.00	×（地下式 → B）
少量危険物貯蔵所 No.1	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	×（屋内設置 → B）
少量危険物貯蔵所 No.2	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	×（屋内設置 → B）
少量危険物貯蔵所 No.3	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	×（屋内設置 → B）

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 1.7.9－3 表　発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等の一覧
（火災源）（３／３）

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）
主要変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	136.00	○
所内変圧器　２Ａ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	21.00	○
所内変圧器　２Ｂ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	21.00	×（他評価に包絡 → Ｄ）
起動変圧器　２Ａ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	45.95	×（他評価に包絡 → Ｄ）
起動変圧器　２Ｂ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	46.75	○
予備変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	35.90	×（他評価に包絡 → Ｄ）
1号エステート変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	1.10	×（他評価に包絡 → Ｄ）
2号エステート変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	1.10	×（他評価に包絡 → Ｄ）
６６ｋＶ非常用変電所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	6.60	×（他評価に包絡 → Ｄ）
中央制御室計器用エンジン発電機	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.026	×（常時「空」 → Ｃ）

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 1.7.9－4 表　発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等の一覧（爆発源）

設備名	内容物	本数（本）	1本当たり容量（m^3）	総容量（m^3）	詳細評価要否（○：対象，×：対象外）
協力会社ボンベ小屋	アセチレン	50	6	300	×（屋内配置→A）
	フロン	10	2	20	
	プロパン	10	5	50	
Ｈ２，ＣＯ２ボンベ庫	水素	20	7	140	×（屋内配置→A）
水素貯槽	**水素**	**―**	**―**	**6.7**	**○**
予備ボンベ庫①	水素	40	7	280	×（屋内配置→A）
予備ボンベ庫②	水素	20	7	140	×（屋内配置→A）
所内ボイラー プロパンボンベ庫	プロパン	4	50	200	×（屋内配置→A）
焼却炉用 プロパンボンベ庫	プロパン	5	500	2500	×（屋内配置→A）
サービス建屋 ボンベ庫	アセチレン	3	6	18	×（屋内配置→A）
廃棄物処理建屋 化学分析用ボンベ庫	アセチレン	1	6	6	×（屋内配置→A）
	ﾒﾀﾝ＋ｱﾙｺﾞﾝ	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

【別添資料 1(2.2.2.5：31～34)】

第 1.7.9－5 表　落下事故のカテゴリと対象航空機（発電用原子炉施設）

落下事故のカテゴリ			対象航空機	離隔距離（m）	輻射強度（W／m^2）
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		Ｂ７３７－８００	245	57
	航空路を巡航時		Ｂ７４７－４００	1,873	×※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	229	416
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）		Ｄｏ２２８－２００	89	×※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	217	311
		その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	Ｆ－１５	43	×※3
	基地－訓練空域間往復時		Ｆ－１５	22	3,095

※１：「計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航時」の落下事故については，「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の落下事故の対象機種と同じＢ７４７－４００であり，離隔距離の短い「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※２：「有視界飛行方式民間航空機の小型機」の落下事故の対象航空機のうち，燃料積載量が最大となるＤｏ２２８－２００であっても 3m^{3}と少量であることから，Ｄｏ２２８－２００よりも燃料積載量が多く，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。

第 1.7.9－6 表　落下事故のカテゴリと対象航空機
（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

落下事故のカテゴリ			対象航空機	離隔距離（m）	輻射強度（W／m²）
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		Ｂ７３７－８００	393	22
	航空路を巡航時		Ｂ７４７－４００	2,695	×※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	372	157
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）		Ｄｏ２２８－２００	175	×※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	355	116
		その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	Ｆ－１５	111	×※3
	基地－訓練空域間往復時		Ｆ－１５	78	265

※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，燃料積載量が最大となるＤｏ２２８－２００であっても 3m³と少量であることから，Ｄｏ２２８－２００よりも燃料積載量が多く，かつ離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 基地-訓練空域間往復時」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※３：「その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機」については，「基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象航空機と同じＦ－１５であるため，離隔距離の短い「基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

【別添資料 1(2.3：35～36)】

第 1.7.9－7 表　ばい煙による影響評価

分　　類		評価対象設備
機器への影響	外気を直接設備内に取り込む機器	ディーゼル発電機機関
	外気を取り込む空調系統	換気空調設備
	屋外設置機器	海水ポンプ電動機
居住性への影響	中央制御室	

【別添資料 1(2.4：41～42)】

第 1.7.9－1 図　防火帯設置図

【別添資料 1(1.3：3～4)】

第 1.7.9－2 図　発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に位置する
危険物貯蔵施設（火災源）

【別添資料 1(2.2.2.2：18～21)】

第 1.7.9－3 図　発電所と日立ＬＮＧ基地の位置関係

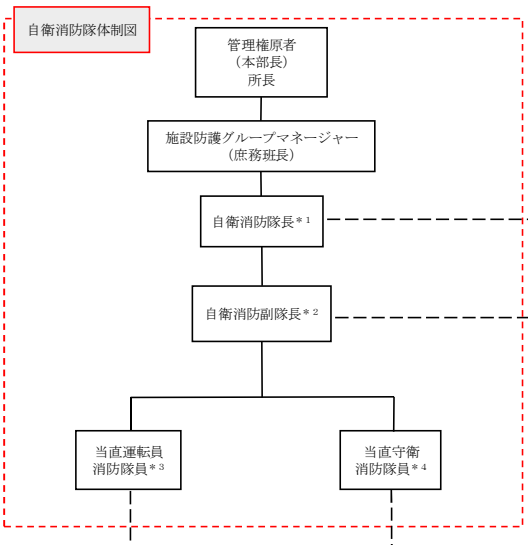
【別添資料 1(2.2.2.2：22～25)】

第 1.7.9－4 図　評価で想定する漂流船舶（燃料輸送船）

第 1.7.9－5 図　評価で想定する漂流船舶（定期船）

第 1.7.9－6 図　危険物貯蔵施設等配置図（１／２）

第 1.7.9－6 図　危険物貯蔵施設等配置図（２／２）



初期消火要員の人数と役割

担当	人数	役割
現場指揮者	1	・出動の準備／火災現場への移動 ・火災状況の把握 ・現場状況の所内関係者への伝達 ・火災現場での初期消火活動への指揮 ・消防機関到着後の状況報告
現場連絡責任者	1	・消防機関への情報提供 ・消防機関の現場誘導
通報連絡責任者	1	・消防機関への通報 ・所内関係者への連絡及び出動指示 ・避難周知
連絡担当	1	・火災現場への移動および状況確認 ・現場状況の所内関係者への伝達 ・可能な範囲での初期消火
消火担当	7	・出動の準備／火災現場への移動 ・消防自動車，消火器，消火栓等による初期消火活動

注：（　）内は，災害対策本部設置後の体制を示す。
＊1：現場指揮者（夜間・休日は宿直当番者対応）
＊2：現場連絡責任者（夜間・休日は宿直当番者対応）
＊3：東海第二発電所の管理区域及び周辺防護区域内における初期消火活動等
＊4：構内全域における初期消火活動等

第 1.7.9－7 図　自衛消防組織体制表

【別添資料 2(1～3)】

(3)　適合性説明

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。

発電用原子炉施設のうち安全施設は，以下のとおり条件を設定し，自然現象によって発電用原子炉施設の安全機能を損なわない設計とする。

(11)　森林火災

敷地外の森林から出火し，敷地内の植生へ延焼するおそれがある場合は，自衛消防隊が出動し，予防散水等の延焼防止措置を行う。また，敷地内の植生へ延焼した場合であっても，森林火災シミュレーション（ＦＡＲＳＩＴＥ）による影響評価に基づいた防火帯幅を確保すること等により，安全機能が損なわれることはない。

また，上記以外の安全施設については，建屋による防護，消火活動，代替設備により必要な機能を確保，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ることにより，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.1：4～16)】

森林火災に伴う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により，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

第３項について

発電所敷地又はその周辺で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。）は，発電所及びその周辺での発生の可能性，安全施設への影響度，発電所敷地及びその周辺に到達するまでの時間余裕及び影響の包絡性の観点から，発電用原子炉施設に影響を与えるおそれがある事象として，飛来物（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。ここで，発電所敷地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。

(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 以内の危険物貯蔵施設，発電所敷地周辺道路の燃料輸送車両から爆発が発生する場合を想定しても，離隔距離の確保により，安全機能を損なわない設計とする。航行中の船舶が漂流し爆発が発生する場合を想定しても，離隔距離の確保等により，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，離隔距離の確保，代替設備による必要な機能の確保，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により，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2：17～22)】

(4) 近隣工場等の火災

a．石油コンビナート施設等の火災

発電所敷地外 10km 以内の範囲において，火災により評価対象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。

発電所敷地外 10km 以内の範囲において，石油コンビナート施設以外の危険物貯蔵施設，発電所敷地周辺道路の燃料輸送車両から火災が発生する場合を想定しても，離隔距離の確保等により，安全機能を損なわない設計とする。航行中の船舶が漂流し火災が発生する場合を想定しても，離隔距離の確保等により，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2：17～20)】

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貯蔵施設等の火災発生時の輻射熱による安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する安全施設の建屋（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，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

ｃ．航空機墜落による火災

原子炉建屋周辺に航空機が墜落し，燃料火災が発生した場合，直ちに公設消防へ通報するとともに，自衛消防隊が出動し，速やかに初期消火活動を行う。

航空機が外部事象防護対象施設である原子炉建屋等の周辺で落下確率が 10^{-7}回／炉・年以上になる地点へ墜落することを想定しても，火災の影響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，建屋による防護，消火活動，代替設備による必要な機能の確保，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により，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.3：34～40)】

ｄ．二次的影響（ばい煙等）

石油コンビナート施設の火災，発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災に伴う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及び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により，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

(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，発電用原子炉施設と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を損なうことはない。また，敷地港湾の前面の海域を移動中の可動施設から有毒ガスの漏えいを想定した場合も同様に，離隔距離が確保されていることから，中央制御室の居住性を損なうことはない。

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を損なうことはない。

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，再循環運転を行うことにより中央制御室の居住性を損なうことはない。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

1.9.3　参考文献

(1)　「建築火災のメカニズムと火災安全設計」原田和典　　財団法人　日本建築センター

4.　社会環境

4.1　産業活動

発電所の近くには，爆発，火災及び有毒ガスにより本原子炉施設の安全性を損なうような石油コンビナート等の施設はない。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。

5.6.　発電用原子炉設置変更許可申請(平成 26 年 5 月 20 日申請)に係る気象，地盤，水理，地震，社会環境等

5.6.1　気象

5.6.1.2　その他の資料による一般気象

5.6.1.2.2　森林火災

森林火災検討に関係する東海第二発電所の最寄りの気象観測所（水戸地方気象台）の気象データ（最高気温，最大風速，最大風速記録時の風向，最小湿度）（2007 年～2016 年）及び東海第二発電所の位置する茨城県の「消防防災年報」（茨城県 2006 年～2015 年）について，第 5.2－53 表に示す。また，森林火災発生件数の多い 12 月～５月における最寄りの気象観測所（水戸地方気象台）及び東海第二発電所の気象データ（卓越風向）について，第 5.2－54 表に示す。

第 5.2－53 表　気象データ（気温，風速及び湿度）及び森林火災件数

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

（注1）水戸地方気象台 観測記録（2007年 ～ 2016年）

（注2）「消防防災年報」（茨城県 2006年～2015年）より

第 5.2－54 表　気象データ（卓越風向）

風　向	最多風向（時間単位）の出現回数割合（%）（注1）	
	水戸地方気象台 気象観測データ	発電所 気象観測データ
北	15	3
北北西	17	3
北西	5	9
西北西	2	23
西	3	7
西南西	3	2
南西	4	1
南南西	6	3
南	3	4
南南東	1	5
南東	3	4
東南東	4	3
東	9	3
東北東	9	6
北東	7	14
北北東	7	9

（注1）観測記録（2007年 ～ 2016年）

9.　生物

9.1　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。

9.2　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。

別添資料１

東海第二発電所

外部火災影響評価について

目　　次

1.　基本方針

1.1　基本事項 …… 1

1.2　想定する外部火災 …… 1

1.3　防護対象施設 …… 3

2.　火災の影響評価

2.1　森林火災 …… 4

2.2　近隣の産業施設の火災・爆発 …… 17

2.3　航空機墜落による火災 …… 34

2.4　二次的影響 …… 41

添付資料

1. 外部事象防護対象施設と評価対象施設の考え方について

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，外部事象防護対象施設，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

<table>
<tr><th>火災種別</th><th>考慮すべき火災</th><th>評価内容</th><th colspan="2">評価項目</th></tr>
<tr><td>森林火災</td><td>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</td><td>・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</td><td>・火炎の到達時間
・防火帯幅
・熱影響
・危険距離</td><td rowspan="4">二次的影響（ばい煙等，有毒ガス）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">近隣の産業施設の火災・爆発</td><td>発電所敷地外10km 以内の石油ｺﾝﾋﾞﾅｰﾄ等の火災・爆発</td><td>・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</td><td>・危険距離
・危険限界距離</td></tr>
<tr><td>発電所敷地内の危険物貯蔵施設等の火災・爆発</td><td>・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</td><td>・熱影響
・危険限界距離</td></tr>
<tr><td>航空機墜落による火災</td><td>発電所敷地への航空機墜落時の火災</td><td>・墜落を想定する航空機に相当する火災を想定した評価対象施設の影響評価</td><td>・熱影響</td></tr>
</table>

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，安全機能を有する構築物，系統及び機器として定義されているクラス１，２及び３に属する構築物，系統及び機器を外部火災に対する防護対象とする。外部火災に対する評価対象施設配置図を第 1.3-1 図に示す。防護対象とする構築物，系統及び機器に対しては，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に属する構築物，系統及び機器については，消火活動等の防護手段に期待しない条件のもと，想定される外部火災に対する影響評価を実施し，耐性が十分でない場合においては，対策を行うこととする。

第 1.3-1 図　発電所構内全体図

2.　火災の影響評価

2.1　森林火災（添付資料-2）

2.1.1　評価内容

発電所敷地外で発生する森林火災が，発電所に迫った場合でも発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを以下の項目により評価した。

(1)　火炎の到達時間

(2)　防火帯幅

(3)　熱影響

(4)　危険距離

2.1.2　評価要領

評価ガイドに従い森林火災を想定し，発電所への影響について評価した。

なお，森林火災の解析に当たっては，評価ガイドにおいて推奨されている森林火災シミュレーション解析コード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ＦＡＲＳＩＴＥ入力条件として設定した。

(5)　最大風速記録時の風向は 1 月～5 月の北東に加え，第 2 位の最大風速記録時の風向となる 3 月の南西を選定した。

卓越風向は，水戸地方気象台観測データの高い割合を占める北と，発電所の気象観測データの最多割合を占める西北西を選定した。

(6)　発火点は以下の 7 地点を設定した。各発火点を第 2.1.2-1 図に示す。

発火点 1：卓越風向である西北西方向で，霊園における線香等の裸火の使用と残り火の不始末，国道２４５号を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し，国道２４５号沿いの霊園に設定。

発火点 2：卓越風向である北方向で，バーベキュー及び花火の不始末等を想定し，海岸沿いに設定。

発火点 3：卓越風向である西北西方向で，火入れ・たき火等を想定し，発火点１より遠方となる県道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　発火点と発電所の位置関係

2.1.3　評価結果

2.1.3.1　火炎の到達時間の評価

(1)　火炎到達時間

各発火点における防火帯外縁に最も早く火炎が到達する火炎到達時間を第 2.1.3.1-1 表に示す。

第 2.1.3.1-1 表　各発火点の火炎到達時間

発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
火炎到達時間（hr）	0.2	4.0	0.7	6.0	2.9	1.1	0.7

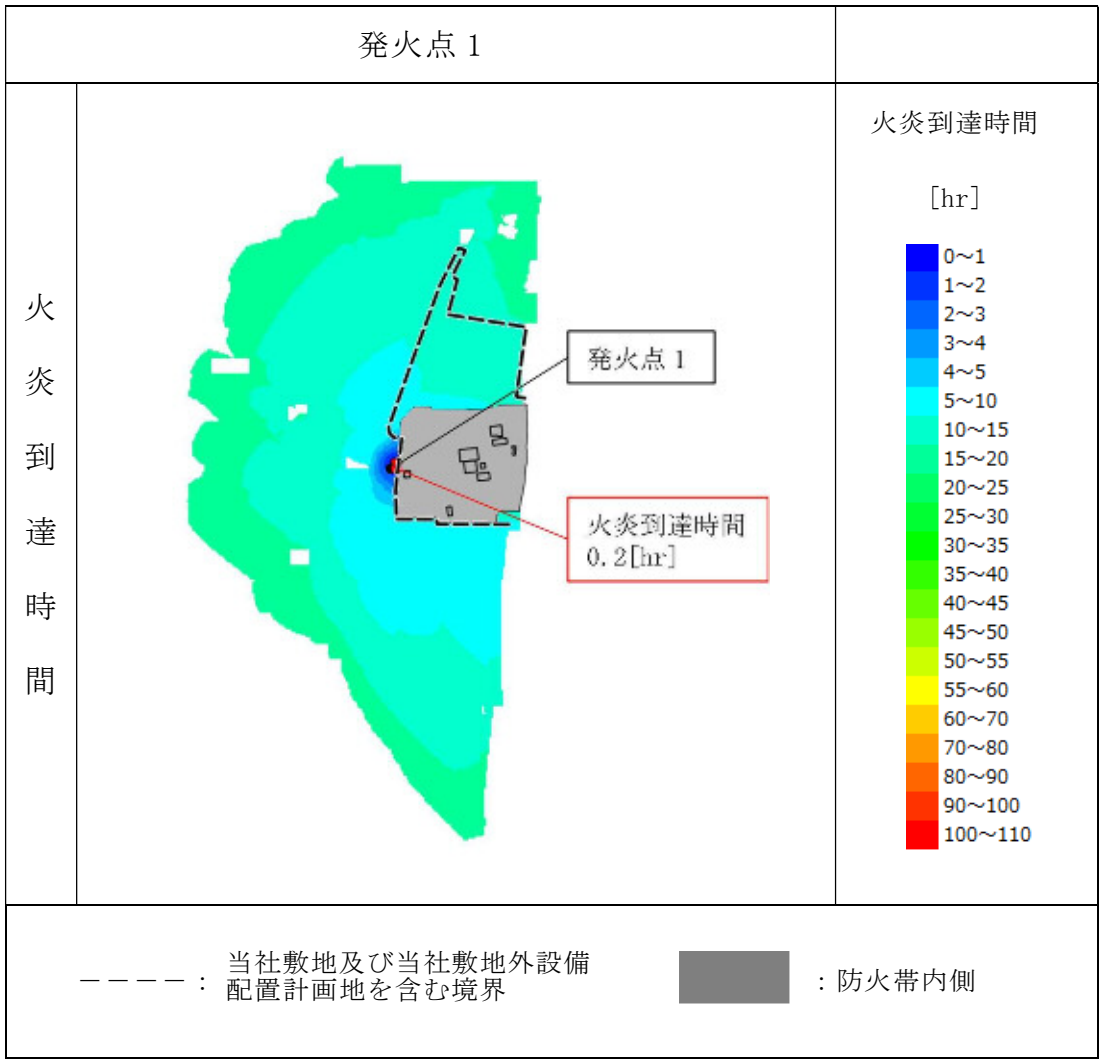
(2)　初期消火活動及び体制

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ることから，最短の火炎到達時間である 0.2 時間（約 12 分）以内に防火帯付近での予防散水が可能である。

また，自衛消防隊による予防散水は，外部電源喪失時においても，防火水槽を活動用水とした消防車による予防散水が可能である。

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 の火炎到達時間分布



2.1.3.2　防火帯幅の評価

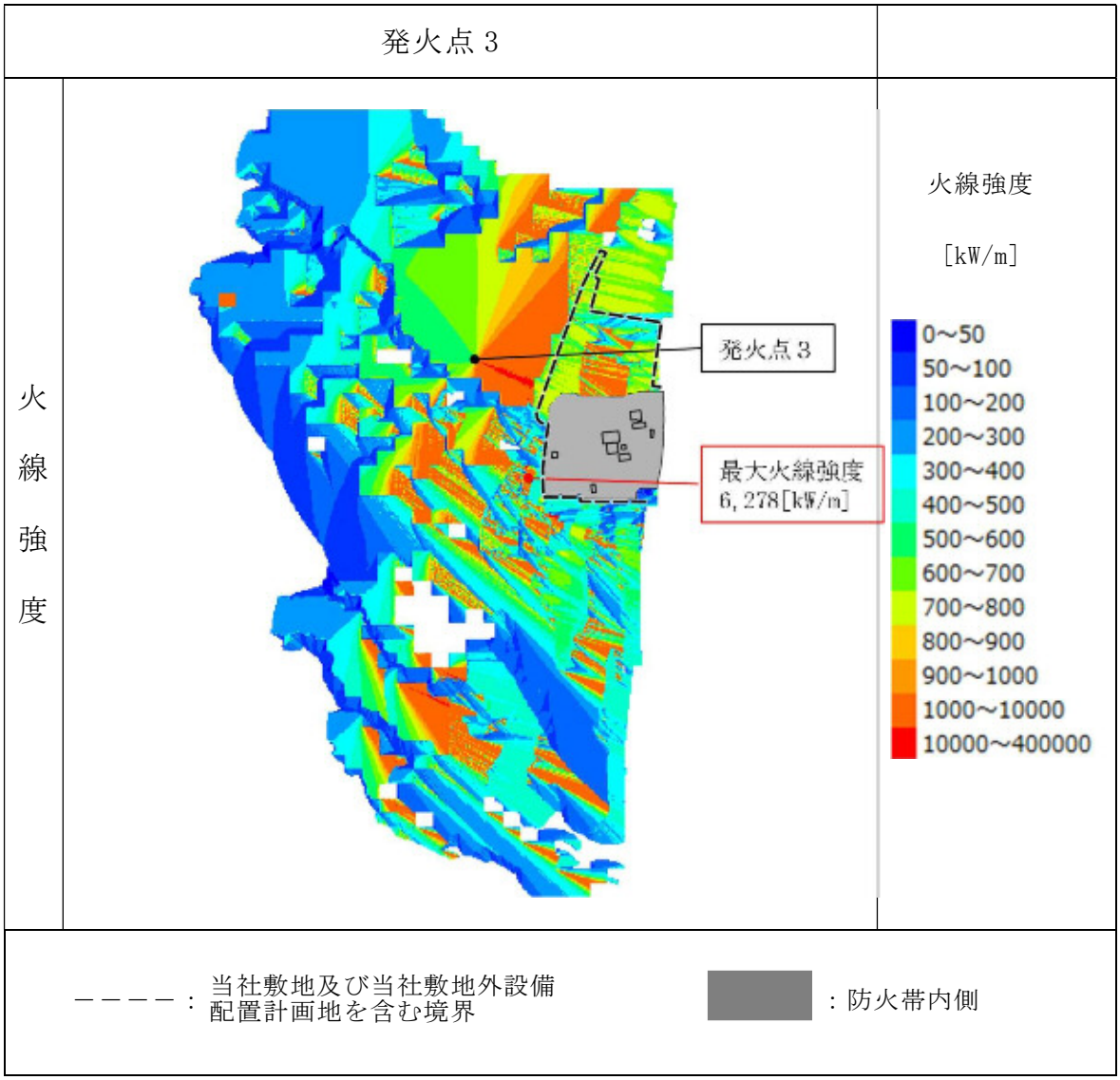
(1)　最大火線強度

各発火点における防火帯外縁より 100m の範囲における最大火線強度を第 2.1.3.2-1 表に示す。発火点 3 において火線強度（6,278kW／m）が最大となることを確認した。発火点 3 の火線強度分布を第 2.1.3.2-2 表に示す。

第 2.1.3.2-1 表　各発火点の最大火線強度

発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
最大火線強度 (kW／m)	4,167	4,771	6,278	5,961	5,006	5,890	3,391

第 2.1.3.2-2 表　発火点 3 の火線強度分布



(2)　防火帯幅の設定

評価ガイドに基づき，最大火線強度（6,278kW／m）から「Alexander and Fogarty の手法（風上に樹木が有る場合）」を用いて，必要な防火帯幅を算出した結果，評価上必要とされる防火帯幅 21.4m に対し，森林火災の延焼を防止するために，約 23m の防火帯を設定する。

最大火線強度 6,278kW／m （発火点3）

⇩

風上に樹木が有る場合の火線強度と最小防火帯幅の関係（火炎の防火帯到達確率1%）

火線強度 (kW/m)	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	16	16.4	17.4	18.3	19.3	20.2	24.9	29.7	34.4	39.1

⇩

評価上必要とされる防火帯幅 21.4m

⇩

想定する防火帯幅 約23m

第 2.1.3.2-1 図　防火帯幅の設定

(3)　防火帯の設定方針

・　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。

・　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。

2.1.3.3　熱影響評価

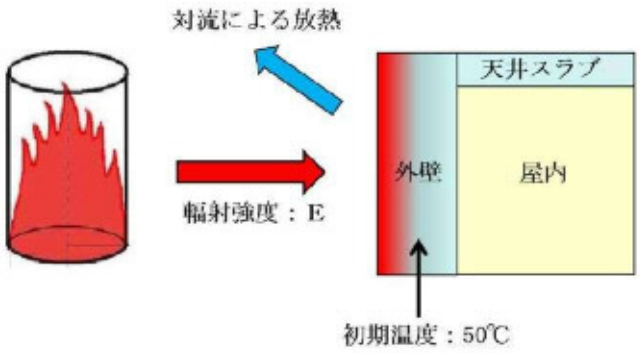
ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果である火炎到達時間，反応強度及び火炎長から，温度評価に必要なデータを算出し，熱影響評価を行った結果，対象施設に影響がない事を確認した。

(1)　評価対象施設外壁

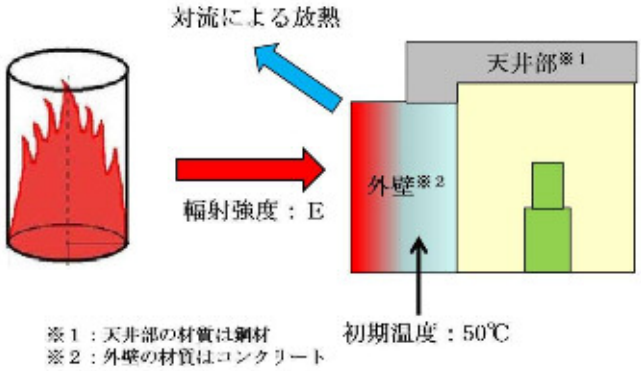
森林火災によって上昇するコンクリート外壁表面温度が，許容温度200℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.1.3.3-1 表に，建屋外壁の評価概念図を第 2.1.3.3-1 図に，海水ポンプ室の評価概念図を第 2.1.3.3-2 図に示す。

第 2.1.3.3-1 表　外壁表面の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点1	発火点2	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
原子炉建屋	51	51	52	52	52	52	52	＜200
海水ポンプ室	52	52	52	52	52	52	52	
使用済燃料乾式貯蔵建屋	79	77	85	82	88	83	83	
タービン建屋	52	52	52	52	52	52	52	



第 2.1.3.3-1 図　建屋外壁の評価概念図



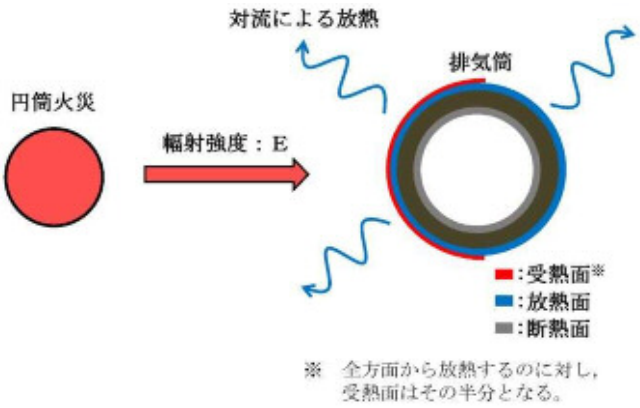
第 2.1.3.3-2 図　海水ポンプ室の評価概念図

(2)　排気筒

森林火災によって上昇する排気筒鉄塔表面温度が，許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.1.3.3-2 表に，排気筒の評価概念図を第 2.1.3.3-3 図に示す。

第 2.1.3.3-2 表　排気筒の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
排気筒	51	52	52	52	52	52	52	＜325



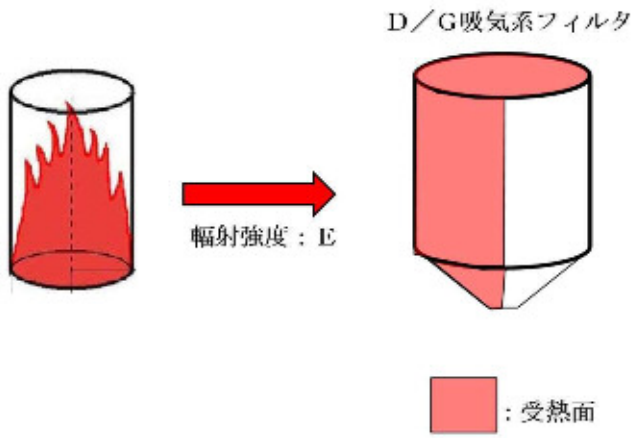
第 2.1.3.3-3 図　排気筒の評価概念図

(3)　ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ

森林火災によって上昇するディーゼル発電機機関吸気系フィルタ（以下「Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ」という。）に流入する空気の温度が，許容温度53℃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

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点1	発火点2	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ	43	43	43	43	43	43	43	＜53



第 2.1.3.3-4 図　D／G吸気系フィルタの評価概念図

2.1.3.4　危険距離の算出

熱影響が最大となる発火点に対し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)　評価対象施設外壁

熱影響が最大となる発火点 5 に対し各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　評価対象施設に対する危険距離

影響評価対象施設	危険距離（m）							離隔距離（m）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	14	13	15	15	16	15	15	267
海水ポンプ室	14	13	15	15	16	15	15	242
使用済燃料乾式貯蔵建屋	14	13	15	15	16	15	15	37
タービン建屋	14	13	15	15	16	15	15	221

(2)　排気筒

熱影響が最大となる発火点3に対し，排気筒までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第2.1.3.4-2表に示す。

第2.1.3.4-2表　排気筒に対する危険距離

評価対象施設	危険距離（m）							離隔距離(m)
	発火点1	発火点2	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
排気筒	12	14	20	15	19	20	19	266

(3)　ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ

熱影響が最大となる発火点3に対し，D／G吸気系フィルタまでの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第2.1.3.4-3表に示す。

第2.1.3.4-3表　D／G吸気系フィルタに対する危険距離

評価対象施設	危険距離（m）							離隔距離(m)
	発火点1	発火点2	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
D／G吸気系フィルタ	16	18	25	20	25	25	24	267

2.2　近隣の産業施設の火災・爆発（添付資料―3,4,5,6）

2.2.1　評価内容

発電所敷地外 10km 以内に設置されている石油コンビナート，危険物貯蔵施設，燃料輸送車両及び漂流船舶の火災・爆発が，評価対象施設に影響を及ぼさないことを評価した。

また，発電所敷地内における危険物貯蔵施設等の火災・爆発が，評価対象施設に影響を及ぼさないことを評価した。

2.2.2　評価結果

2.2.2.1　石油コンビナートの火災・爆発（添付資料-3）

「茨城県石油コンビナート等特別防災計画」（昭和 52 年 12 月 5 日 茨城県）により，茨城県内で石油コンビナート等特別防災区域に指定されている地区は，鹿島臨海地区石油コンビナート等特別防災区域のみであり，発電所からこの特別防災区域までは，約 50km の距離がある。以上から，発電所敷地外 10km 以内に石油コンビナートがないと判断した。発電所との位置関係を第 2.2.2.1-1 図に示す。

第 2.2.2.1-1 図　発電所と鹿島臨海地区石油コンビナートの位置

2.2.2.2　発電所敷地外の危険物貯蔵施設の火災・爆発

発電所敷地外半径 10km 以内（敷地内を除く。）に位置する危険物貯蔵施設のうち，評価対象施設に影響を及ぼすおそれのある施設を抽出し，その火災・爆発の影響を評価した。

(1)　火災の影響評価

a．対象貯蔵施設の抽出

発電所敷地外半径 10km 以内（敷地内を除く。）に，第一類から第六類の危険物貯蔵施設（屋内貯蔵及び少量のものは除く）が約 500 カ所存在することから，以下のとおり抽出範囲を絞り込み，対象貯蔵施設の抽出を行った。

(a)　発電所敷地外半径 10km 以内に石油コンビナートはないことから，半径 10km 以内に存在する危険物貯蔵施設の貯蔵容量は最大でも石油コンビナート相当の 10 万 kL※1 とした。ここで，第四類危険物のうち，最も輻射発散度が高い n-ヘキサン※2 が 10 万 kL 貯蔵された危険物貯蔵施設を想定し，その危険距離を算出した結果 1,329m となった。

※1：「石油コンビナート等災害防止法施行令」（昭和 51 年 5 月 31 日政令第 129 号）の第 2 条で規定する基準総貯蔵量
※2：算出方法は別紙 3.1 参照

(b)　(a)項の結果を踏まえ，発電所から 1.4km 以遠には発電所に影響を及ぼす危険物貯蔵施設は存在しないと判断し，抽出範囲を発電所敷地から 1.4km 以内に絞り込んだ。発電所周辺に位置する危険物貯蔵施設を第 2.2.2.2-1 図に示す。

(c)　(b)項の抽出範囲内を含む危険物貯蔵施設を調査し，屋外貯蔵である[redacted]について影響評価を実施した。

第 2.2.2.2-1 図　発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に位置する危険物貯蔵施設

b．火災の影響評価結果

抽出した危険物貯蔵施設について評価した結果，各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 （m³）	評価対象施設	危険距離 （m）	離隔距離 （m）
			原子炉建屋	41	1,100
			海水ポンプ室		1,300
			タービン建屋		1,200
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋		800
			排気筒	10	1,200
			D／G 吸気系フィルタ	23	1,100

(2)　爆風圧の影響評価

a．対象貯蔵施設の抽出

爆発影響を及ぼす可能性のある高圧ガス貯蔵施設として，発電所より10km 以内で最大規模の高圧ガス貯蔵施設（東京ガス（株）が所有する日立ＬＮＧ基地のＬＮＧタンク及びＬＰＧタンク）を選定した。位置関係を第 2.2.2.2-2 図に示す。

第 2.2.2.2-2 図　発電所と日立ＬＮＧ基地の位置関係

ｂ．爆風圧の影響評価結果

抽出した高圧ガス貯蔵施設について評価した結果，危険限界距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第 2.2.2.2-2 表に示す。

第 2.2.2.2-2 表　抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆風圧影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
ＬＮＧタンク	メタン	97,704	373	1,500
ＬＰＧタンク	プロパン	31,000		

※：敷地境界までの距離

(3)　爆発飛来物の影響評価

ａ．評価対象施設の抽出

高圧ガス貯蔵タンクの大規模な爆発火災事象（ＢＬＥＶＥ：Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion（沸騰液膨張蒸気爆発））は，可燃性ガスが加圧され液体で貯蔵されているタンクが，加熱されることによってタンク内の圧力が上昇し，タンクの一部破損により起こる液体の急激な気化に伴い発生するため，ガスを加圧し貯蔵している加圧貯蔵型のタンクについて爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。

また，大気圧に近い低圧・低温で貯蔵されている低温貯蔵タンクは内部が保冷層で覆われ外部から熱が入り難く，ＢＯＧ圧縮機※1等でタンク内圧を一定に制御しているため，加圧貯蔵タンクと比較して内圧が上昇し難く，ＢＬＥＶＥは発生し難いが※2，ＢＬＥＶＥ以外の爆発形態を想定し，発電所から1,500m先にある日立ＬＮＧ基地の低温貯蔵型タンクについて，爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。

※１：タンクから発生するボイルオフガスを再液化し，タンク内圧を一定に制御する。
※２：出典「Environmental Assessment for the Sabine Pass Liquefaction Project」

ｂ．爆発飛来物の影響評価結果

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成25年3月　消防庁特殊災害室）に基づき，抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆発による破片の飛散範囲を算出した。

高圧ガス貯蔵タンクについて飛来物の飛散距離を算出した結果，評価対象施設までの飛散距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第2.2.2.2-3表に示す。

第 2.2.2.2-3 表　爆発飛来物の影響評価結果

施設名称	貯蔵量 (kg)	飛散距離 (m)	離隔距離※ (m)

※：敷地境界までの距離

また，低温貯蔵型タンクは，日立ＬＮＧ基地の大規模な低温貯蔵型タンクを想定しても，想定飛散距離は約 570m であり，発電所から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設までの離隔距離 900m を下回ることから，低温貯蔵型タンク爆発による飛来物の影響はないと評価できる。

2.2.2.3　燃料輸送車両の火災・爆発（添付資料-4）

発電所敷地外の国道２４５号での燃料輸送車両による火災・爆発の影響を評価した。

(1)　火災の影響評価

ａ．対象車両

消防法令※で定められた公道を通行可能な上限量（30m^3）のガソリンが積載された燃料輸送車両について評価を行う。

※：危険物の規則に関する政令第 15 条第 1 項三号

ｂ．火災の影響評価結果

対象車両について評価した結果，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)	評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
燃料輸送車両	ガソリン	30	原子炉建屋	15	510
			海水ポンプ室		760
			タービン建屋		450
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋		520
			排気筒	9	610
			Ｄ／Ｇ吸気系 フィルタ	17	510

(2)　爆風圧の影響評価

ａ．対象車両

液化天然ガス（ＬＮＧ）及び液化石油ガス（ＬＰＧ）が積載された最大クラスの燃料輸送車両（積載量：15.1t）について評価を行う。

ｂ．爆風圧の影響評価結果

対象車両について評価した結果，タービン建屋までの危険限界距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第 2.2.2.3-2 表に示す。

第 2.2.2.3-2 表　燃料輸送車両の爆風圧の影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
燃料輸送車両	ＬＮＧ (メタン)	15.1	81	450
	ＬＰＧ (プロパン)	15.1	88	

※：評価対象施設のなかで国道２４５号から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離

ｃ．爆発飛来物の影響評価結果

燃料輸送車両からの飛来物を想定した上での評価を実施したところ，最大飛散距離（435m）が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，評価対象施設への影響はないことを確認した。

2.2.2.4　漂流船舶の火災・爆発（添付資料-5）

発電所の近くを航行する船舶による火災・爆発の影響を評価した。

(1)　火災の影響評価

ａ．対象船舶

発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設及び発電所港湾内に定期的に入港する船舶について評価を行う。

ｂ．火災の影響評価結果

対象船舶について評価した結果，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 (m³)	評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
			原子炉建屋	165	1,100
			海水ポンプ室		940
			タービン建屋		1,100
			使用済燃料乾式貯蔵建屋		1,300
			排気筒	87	1,100
			D／G吸気系フィルタ	128	1,100
			原子炉建屋	54	300
			海水ポンプ室		70
			タービン建屋		280
			使用済燃料乾式貯蔵建屋		530
			排気筒	29	250
			D／G吸気系フィルタ	42	330

※1：ＬＰＧ輸送船は燃料の種類が同じであることから，燃料量が多いＬＮＧ輸送船の評価に包絡されるため評価対象外とした。
※2：内航船は燃料の種類が同じであることから，燃料量が多い定期船の評価に包絡されるため評価対象外とした。

(2)　爆風圧の影響評価

ａ．対象船舶

発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設に定期的に入港する船舶の爆発を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。

ｂ．爆風圧の影響評価結果

対象船舶について評価した結果，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

日立ＬＮＧ基地に出入りする輸送船は，基地設置のタンクより小規模であるため，船舶爆発により想定される飛来物の飛散距離は，基地設置タンクの飛散距離以下であり，飛来物が発電所に到達することはない。

2.2.2.5　敷地内の火災・爆発（添付資料-6）

2.2.2.5.1　火災源又は爆発源となる設備の影響評価

発電所敷地内に設置している危険物貯蔵施設等の火災・爆発を想定し熱影響評価を実施した。熱影響評価を実施する危険物貯蔵施設は，溶融炉灯油タンクとした。

また，発電所敷地内に設置しているガス貯蔵施設の爆発を想定し爆発影響評価を実施した。爆発影響評価を実施するガス貯蔵施設は，水素貯槽とした。

なお，水素貯槽以外に，屋外に設置されているガス貯蔵設備はない。

第 2.2.2.5.1-1 図に火災と爆発を想定する施設と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評価対象施設の位置

(1)　外壁に対する熱影響評価

溶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	評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
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	

(2)　排気筒に対する熱影響評価

溶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	評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
溶融炉灯油タンク	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，危険限界距離が水素貯槽に最も近いタービン建屋までの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	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，主要変圧器，所内変圧器２Ａ及び起動変圧器２Ｂとした。なお，評価では防火設備の消火機能等には期待しない。

第 2.2.2.5.2-1 図に火災源となる変圧器と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	評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
主要変圧器	タービン建屋	149	＜200
所内変圧器２Ａ		187	
起動変圧器２Ｂ		182	

2.3　航空機墜落による火災（添付資料-7）

2.3.1　評価内容

発電所の敷地内への航空機の墜落で発生する火災に対してより一層の安全性向上の観点から，その火災が発電所の敷地内で起こったとしても評価対象施設に影響を及ぼさないことを確認した。

2.3.2　評価結果

2.3.2.1　評価方法

航空機落下確率評価については，評価条件の違いに応じたカテゴリに分けて落下確率を求めている。また，機種によって装備，飛行形態等が同一ではなく，落下事故件数及び火災影響の大きさに差がある。したがって，これらを考慮したカテゴリごとに航空機墜落による火災の影響評価を実施する。落下事故のカテゴリを第2.3.2.1-1表に示す。

第2.3.2.1-1表　落下事故のカテゴリ

<table>
<tr><td rowspan="2">1)計器飛行方式民間航空機</td><td colspan="2">①飛行場での離着陸時</td></tr>
<tr><td colspan="2">②航空路を巡航時</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2)有視界飛行方式民間航空機</td><td colspan="2">③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）</td></tr>
<tr><td colspan="2">④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">3)自衛隊機又は米軍機</td><td rowspan="2">⑤訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中</td><td>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</td></tr>
<tr><td>⑤-2 その他の大型固定翼機，
小型固定翼機及び回転翼機</td></tr>
<tr><td colspan="2">⑥基地－訓練空域間往復時</td></tr>
</table>

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

評価対象施設として原子炉建屋，海水ポンプ室，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋，排気筒及びＤ／Ｇ吸気系フィルタを考慮し，落下確率 10^{-7}（回／炉・年）に相当する面積からカテゴリごとの離隔距離を算出した。各カテゴリの発電用原子炉施設の離隔距離及び輻射強度を第 2.3.2.2-1 表に，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離及び輻射強度を第 2.3.2.2-2 表に，自衛隊機の基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する発電用原子炉施設の離隔距離を第2.3.2.2-1図に，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離を第2.3.2.2-2 図に示す。

第 2.3.2.2-1 表　落下事故のカテゴリごとの離隔距離及び輻射強度

（発電用原子炉施設）

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	245	56.60
	②航空路を巡航中		B747-400	1,873	—※1
2)有視界飛行方式民間航空機	③大型機		B747-400	229	416.40
	④小型機		Do228-200	89	—※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	217	311.08
		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	43	—※3
	⑥基地－訓練空域間往復時		F-15	22	3,095.33

※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，燃料積載量が最大となる Do228-200 であっても 3m^3 と少量であることから，Do228-200 よりも燃料積載量が多く，

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 2.3.2.2-2 表　落下事故のカテゴリごとの離隔距離及び輻射強度
（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

落下事故のカテゴリ			対象航空機	離隔距離 (m)	輻射強度 (W／m^2)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	393	21.89
	航空路を巡航時		B747-400	2,695	－※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	372	157.23
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）		Do228-200	175	－※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	355	115.58
		その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	F-15	111	－※3
	基地－訓練空域間往復時		F-15	78	264.85

※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，燃料積載量が最大となる Do228-200 であっても 3m^{3}と少量であることから，Do228-200 よりも燃料積載量が多く，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。

第 2.3.2.2-1 図　基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する
発電用原子炉施設の離隔距離

第 2.3.2.2-2 図　基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する
使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離

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（発電用原子炉施設）を第2.3.2.3-1表に，評価結果（使用済燃料乾式貯蔵建屋）を第2.3.2.3-2表に示す。

第2.3.2.3-1表　建屋表面の到達温度（発電用原子炉施設）

<table>
<tr><th colspan="3">落下事故のカテゴリ</th><th>対象
航空機</th><th>輻射強度
[W／m²]</th><th>評価温度※
(℃)</th><th>許容温度
(℃)</th></tr>
<tr><td>計器飛行
方式民間
航空機</td><td colspan="2">飛行場での離着陸時</td><td>B737
-800</td><td>56.60</td><td>52</td><td rowspan="4">＜200</td></tr>
<tr><td>有視界
飛行方式
民間航空機</td><td colspan="2">大型機（大型固定翼機
及び大型回転翼機）</td><td>B747
-400</td><td>416.40</td><td>63</td></tr>
<tr><td rowspan="2">自衛隊機
又は
米軍機</td><td>訓練空域外
を飛行中</td><td>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</td><td>KC
-767</td><td>311.08</td><td>59</td></tr>
<tr><td colspan="2">基地－訓練空域間往復時</td><td>F-15</td><td>3,095.33</td><td>133</td></tr>
</table>

※：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，タービン建屋及び海水ポンプ室はすべて同じ評価結果となる。

第2.3.2.3-2表　建屋表面の到達温度（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

<table>
<tr><th colspan="3">落下事故のカテゴリ</th><th>対象
航空機</th><th>輻射強度
[W／m²]</th><th>評価温度
(℃)</th><th>許容温度
(℃)</th></tr>
<tr><td>計器飛行
方式民間
航空機</td><td colspan="2">飛行場での離着陸時</td><td>B737
-800</td><td>21.89</td><td>51</td><td rowspan="4">＜200</td></tr>
<tr><td>有視界
飛行方式
民間航空機</td><td colspan="2">大型機（大型固定翼機
及び大型回転翼機）</td><td>B747
-400</td><td>157.23</td><td>55</td></tr>
<tr><td rowspan="2">自衛隊機
又は
米軍機</td><td>訓練空域外
を飛行中</td><td>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</td><td>KC
-767</td><td>115.58</td><td>54</td></tr>
<tr><td colspan="2">基地－訓練空域間往復時</td><td>F-15</td><td>264.85</td><td>58</td></tr>
</table>

(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 2.3.2.3-3 表に示す。

第 2.3.2.3-3 表　排気筒に対する熱影響評価結果

<table>
<tr><th colspan="3">落下事故のカテゴリ</th><th>対象
航空機</th><th>輻射強度
[W／m²]</th><th>評価温度
(℃)</th><th>許容温度
(℃)</th></tr>
<tr><td>計器飛行
方式民間
航空機</td><td colspan="2">飛行場での離着陸時</td><td>B737
-800</td><td>56.60</td><td>52</td><td rowspan="5">＜325</td></tr>
<tr><td>有視界
飛行方式
民間航空機</td><td colspan="2">大型機（大型固定翼機
及び大型回転翼機）</td><td>B747
-400</td><td>416.40</td><td>63</td></tr>
<tr><td rowspan="2">自衛隊機
又は
米軍機</td><td>訓練空域外
を飛行中</td><td>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</td><td>KC
-767</td><td>311.08</td><td>60</td></tr>
<tr><td colspan="2">基地－訓練空域間往復時</td><td>F-15</td><td>3,095.33</td><td>142</td></tr>
</table>

(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 2.3.2.3-4 表に示す。

第 2.3.2.3-4 表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタを通して流入する空気の到達温度

<table>
<tr><th colspan="3">落下事故のカテゴリ</th><th>対象
航空機</th><th>輻射強度
[W／m²]</th><th>評価温度
(℃)</th><th>許容温度
(℃)</th></tr>
<tr><td>計器飛行
方式民間
航空機</td><td colspan="2">飛行場での離着陸時</td><td>B737
-800</td><td>56.60</td><td>43</td><td rowspan="5">＜53</td></tr>
<tr><td>有視界
飛行方式
民間航空機</td><td colspan="2">大型機（大型固定翼機
及び大型回転翼機）</td><td>B747
-400</td><td>416.40</td><td>43</td></tr>
<tr><td rowspan="2">自衛隊機
又は
米軍機</td><td>訓練空域外
を飛行中</td><td>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</td><td>KC
-767</td><td>311.08</td><td>43</td></tr>
<tr><td colspan="2">基地－訓練空域間往復時</td><td>F-15</td><td>3,095.33</td><td>48</td></tr>
</table>

2.3.2.4　危険物貯蔵施設等の火災と航空機墜落火災の重畳

危険物貯蔵施設等と航空機墜落火災との重畳を想定し，熱影響評価を実施した。想定する航空機は対象航空機の中で最も熱影響が大きい F-15 を想定した。重畳する危険物貯蔵施設等は溶融炉灯油タンク及び主要変圧器とした。

評価結果を第 2.3.2.4-1 表に，航空機墜落位置と敷地内の危険物貯蔵施設等の重畳を考慮する位置を第 2.3.2.4-1 図に示す。

第 2.3.2.4-1 表　重畳火災による熱影響評価結果

重畳評価の想定ケース	対象施設	評価温度（℃）	許容温度（℃）
溶融炉灯油タンク及び F-15	原子炉建屋	141	＜200
	海水ポンプ室	133	
	タービン建屋	135	
	排気筒	181	＜325
主要変圧器及び F-15	タービン建屋	195	＜200

第 2.3.2.4-1 図　航空機墜落位置と危険物貯蔵施設等の位置

2.4　二次的影響（添付資料-8）

2.4.1　評価内容

森林火災，近隣の産業施設の火災・爆発及び航空機墜落による火災において発生するばい煙及び有毒ガスに対して，影響が想定される設備並びに居住性に与える影響について評価を実施した。

2.4.2　評価結果

ばい煙及び有毒ガスが，安全上重要な設備及び居住性に影響を及ぼさないことを確認した。

評価結果を第 2.4.2-1 表に示す。

第 2.4.2-1 表　ばい煙等による影響評価結果

分類		対象設備	評価結果
機器への影響	外気を直接設備内に取り込む機器	ディーゼル発電機機関	外気取入フィルタにより一定以上の粒径のばい煙は捕獲される。それ以下のばい煙は機関内に送気されるが，機器の間隙は，ばい煙に比べて十分大きく，閉塞に至ることはない。通常運転時はシリンダ内には燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生しているが，定期的な点検において，ばい煙によるシリンダへの不具合は認められない。（第 2.4.2-1 図）
	外気を取り込む空調系統	換気空調設備	外気取入運転を行っている換気空調設備は，外気取入口に設置されたフィルタにより，一定以上の粒径のばい煙は捕獲される。また，中央制御室換気系は再循環運転を行うことで，ばい煙の侵入を阻止可能である。 （第 2.4.2-2 図，第 2.4.2-3 図，第 2.4.2-4 図，第 2.4.2-5 図）
	屋外設置機器	海水ポンプ電動機	外気を電動機内部に取り込まない構造であり，電動機内部にばい煙が侵入することはない。また，ばい煙の粒径は冷却流路及び冷却流路出口の口径と比べて十分小さいことから，閉塞することはない。 （第 2.4.2-6 図，第 2.4.2-7 図）
居住性への影響	中央制御室 緊急時対策所		再循環運転により，酸素濃度及び炭酸ガス濃度を考慮しても長時間室内へのばい煙の侵入を阻止可能である。中央制御室給気口位置における航空機墜落火災で発生する有毒ガス濃度を求め，中央制御室の運転員に影響を及ぼさないことを確認した。 （第 2.4.2-2～6 表）

第 2.4.2-2 表　中央制御室換気系再循環運転時の酸素濃度

時間	12 時間	24 時間	48 時間	73 時間
酸素濃度	20.6%	20.3%	19.6%	19.0%

第 2.4.2-3 表　中央制御室換気系再循環運転時の炭酸ガス濃度

時間	12 時間	24 時間	48 時間	51.7 時間
炭酸ガス濃度	0.26%	0.48%	0.93%	1.00%

第 2.4.2-4 表　緊急時対策所外気遮断時の酸素濃度

時間	2 時間	4 時間	6 時間	8.6 時間
酸素濃度	20.4%	20.0%	19.5%	19.0%

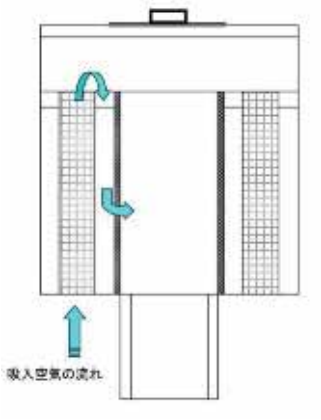
第 2.4.2-5 表　緊急時対策所外気遮断時の炭酸ガス濃度

時間	1 時間	2 時間	4 時間	6.1 時間
炭酸ガス濃度	0.19%	0.35%	0.67%	1.00%

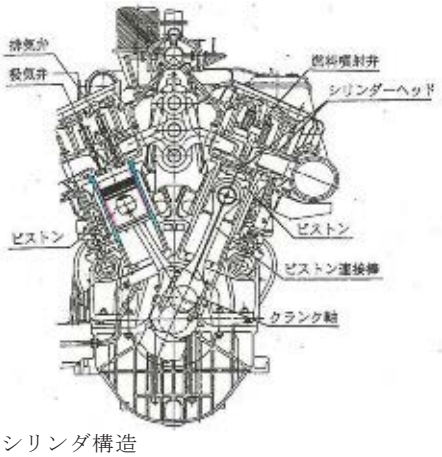
第 2.4.2-6 表　火災発生による有毒ガス濃度

想定火災源	影響評価対象	ガス濃度（ppm）			
		CO_2	CO	SO_2	NO_2
航空機墜落火災 (F-15)	中央制御室 換気系 吸気口 B2-19A	7,883	116	3	15
判断基準：ＩＤＬＨ※		40,000	1,200	100	20

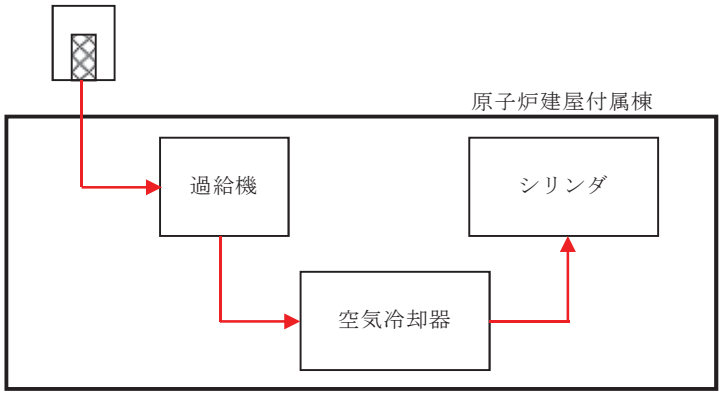
※：30 分曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値

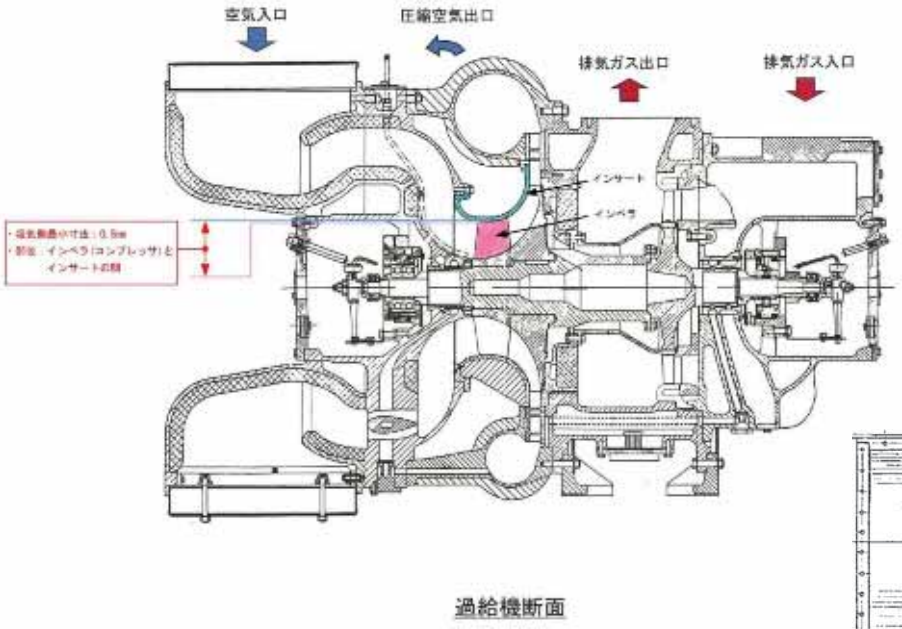


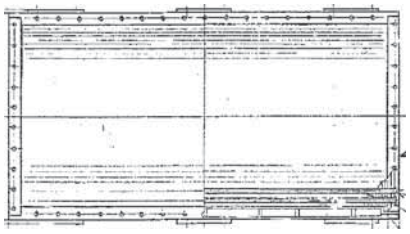
フィルタ構造



シリンダ構造
（シリンダ／ピストン間隙：数μm～数十μm）

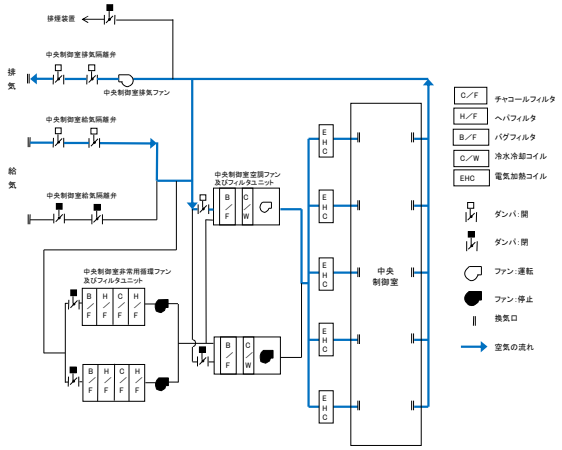




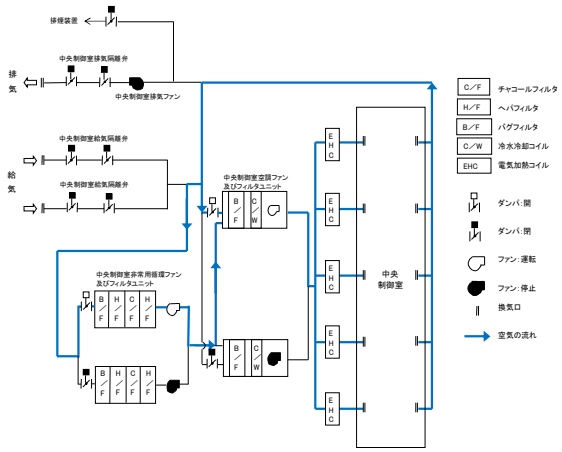


空気冷却器構造
（狭隘部寸法 伝熱フィン間隙：2.47mm）

第 2.4.2-1 図　ディーゼル発電機吸気系統構造図

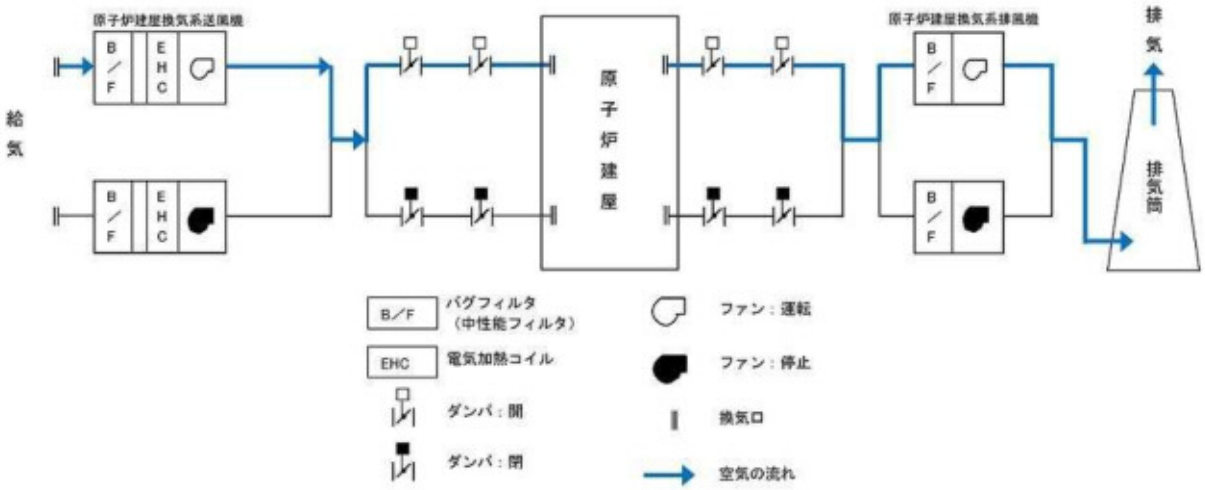


（通常時）

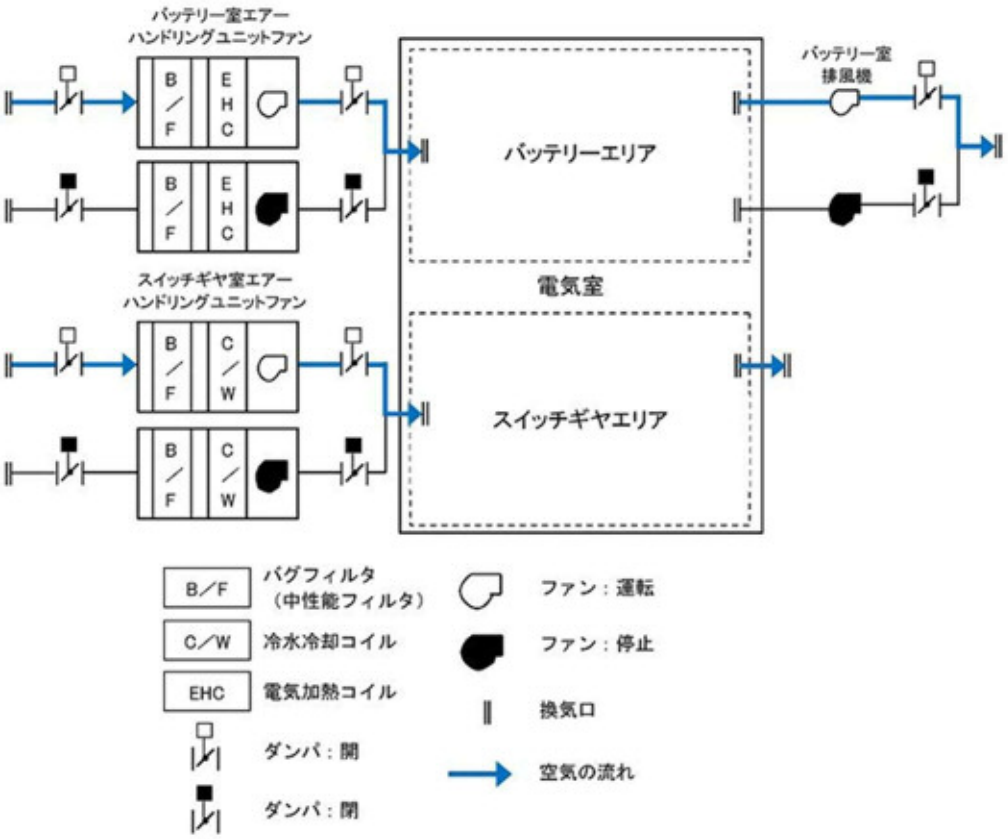


（再循環運転時）

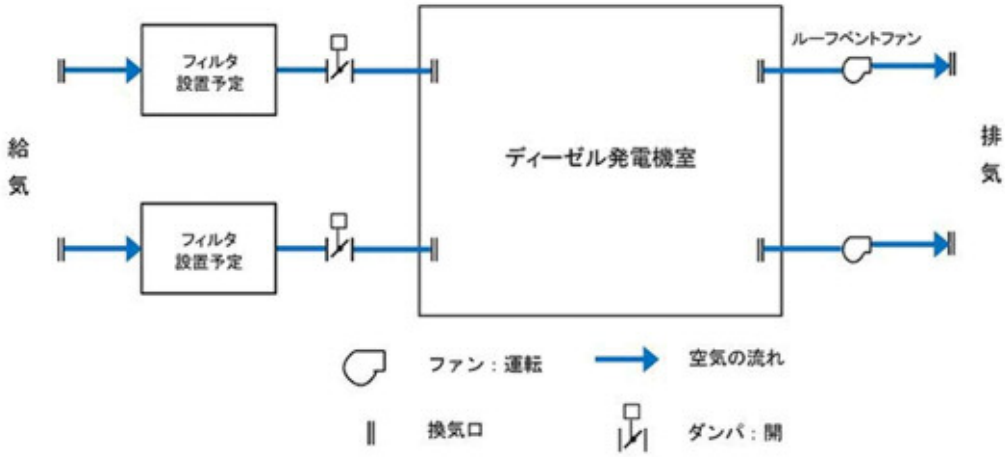
再循環運転第 2.4.2-2 図　中央制御室換気系の系統概略図



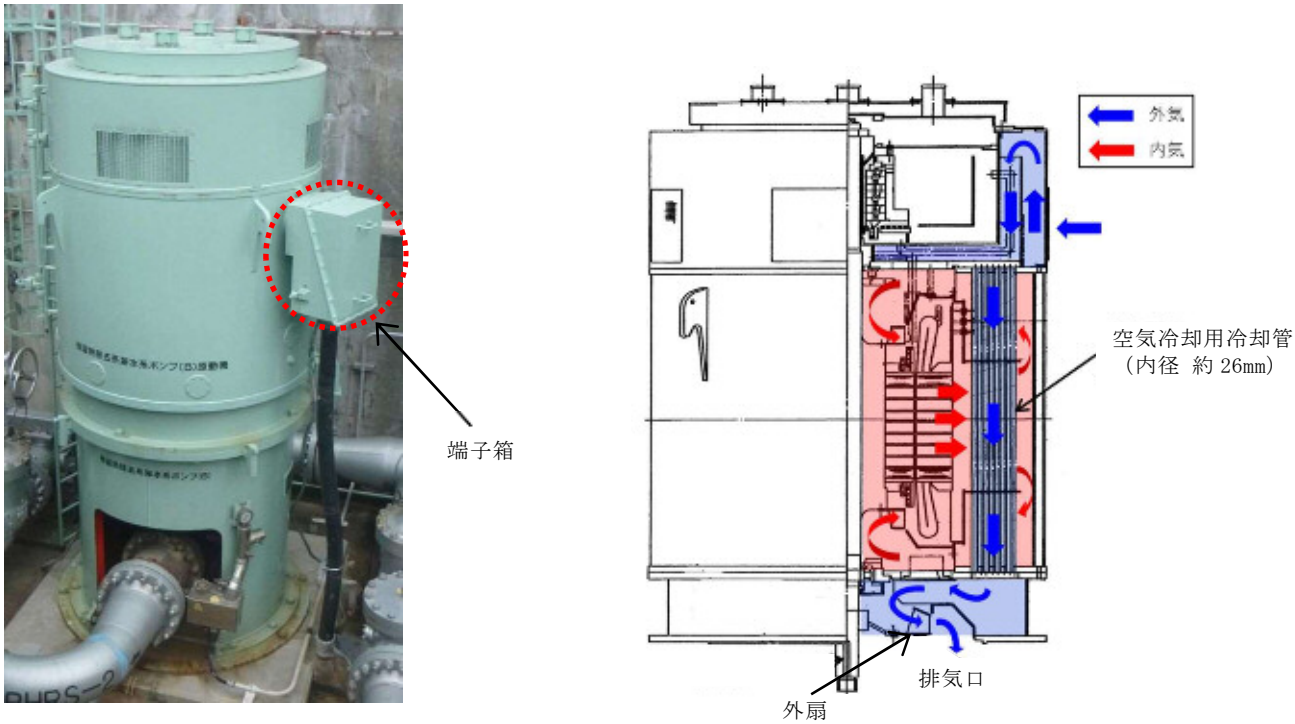
第 2.4.2-3 図　原子炉建屋換気系の系統概略図



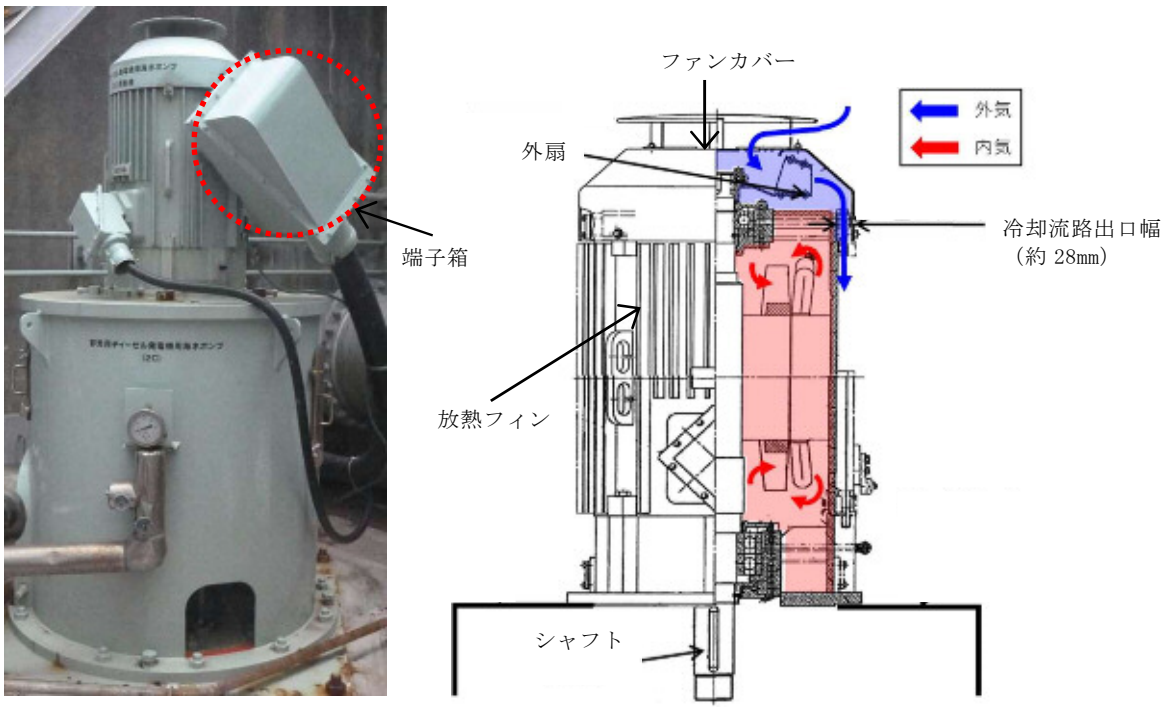
第 2.4.2-4 図　電気室換気系の系統概略図



第 2.4.2-5 図　ディーゼル発電機室換気系の系統概略図



第2.4.2-6図　残留熱除去系海水系ポンプ電動機 構造図



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

外部事象防護対象施設と評価対象施設の考え方について

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

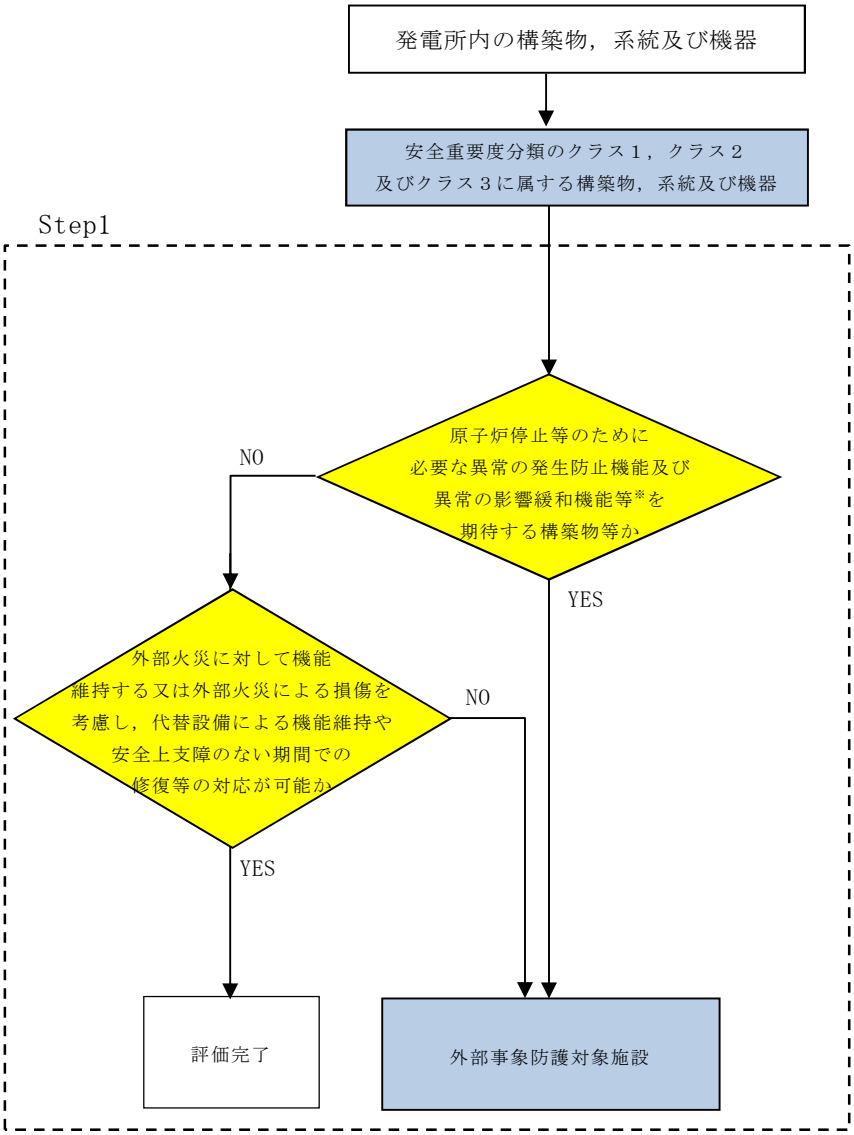
原子力規制委員会が定める「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」の第六条においては，外部からの衝撃による損傷の防止として，安全機能を有する構築物，系統及び機器が，想定される自然現象(地震及び津波を除く。)又は人為事象(故意によるものを除く。)に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。

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，安全機能を有する構築物，系統及び機器として定義されている安全重要度分類のクラス１，２及び３に属する構築物，系統及び機器を外部火災に対する防護対象とする。防護対象とする構築物，系統及び機器に対しては，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。

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち，外部事象防護対象施設は，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器（発電用原子炉を停止するため，また，停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物，系統及び機器として安全重要度分類のクラス１，クラス２及び安全評価上その機能に期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物，系統及び機器）に加え，それらを内包する建屋とする。その上で，消火活動等の防護手段を期待しない条件のもと，火元からの離隔で防護するため，想定される外部火災に対して熱影響評価を実施する。

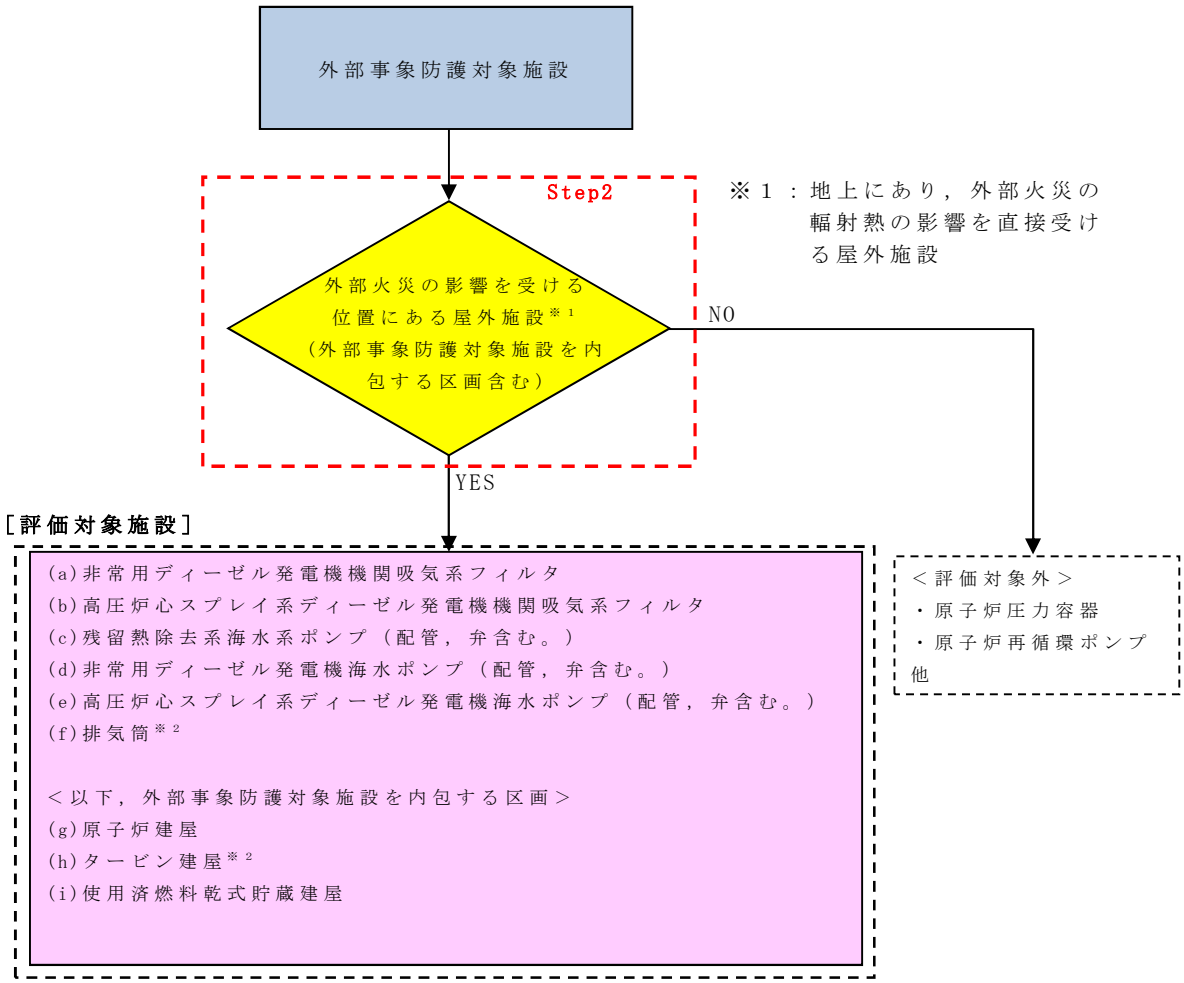
その他の安全施設は，原則的に防火帯により防護し，建屋内の設備は建屋による防護，屋外設備は代替手段等で安全機能に影響がないことを確認する。

外部事象防護対象施設及び評価対象施設の抽出フローを第 1-1 図，第 1-2 図に示す。評価対象施設の抽出結果を第 1-1 表に示す。



※：発電用原子炉を停止するため，また，停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物，系統及び機器として安全重要度分類のクラス１，クラス２及び安全評価上その機能に期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物，系統及び機器に加え，それらを内包する建屋

第１－１図　外部事象防護対象施設の抽出フロー



※2：「外部事象防護対象施設」に該当せず，評価対象施設とならないが，クラス1，2施設若しくはそれらを内包する区画であることを鑑み，外部火災に対する健全性を評価する。なお，健全性を確保できない場合，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か確認する。

第1－2図　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設の抽出フロー

第 1－1 表　評価対象施設の抽出結果（1／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	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。）	・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	－※2	×	－	
		2) 過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	・制御棒カップリング ・制御棒駆動機構カップリング	－※2	×	－	
		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。）	・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）	－※2	×	－	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第 1－1 表　評価対象施設の抽出結果（2／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	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））	・制御棒 ・制御棒案内管 ・制御棒駆動機構	－※2	×	－	
		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）	－※2	×	－	
		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）	・逃がし安全弁 （安全弁開機能）	－※2	×	－	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第 1－1 表　評価対象施設の抽出結果（3／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	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）	－※2	×	－	
				・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）	－※2	×	－	

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
				・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，スプレイヘッダ）	－※2	×	－	
				・逃がし安全弁（手動逃がし機能）	－※2	×	－	
				・自動減圧系（手動逃がし機能）	－※2	×	－	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。
（評価対象施設に関するものを記載）
※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第 1－1 表　評価対象施設の抽出結果（4／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	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（低圧炉心スプレイ系，低圧注水系，高圧炉心スプレイ系，自動減圧系）	・低圧炉心スプレイ系（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，スプレイヘッダ）	－※2	×	－	
				・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），注水ヘッダ）	－※2	×	－	
				・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，スプレイヘッダ）	－※2	×	－	
				・自動減圧系（逃がし安全弁）	－※2	×	－	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第 1－1 表　評価対象施設の抽出結果（5／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	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）	－※2	×	－	
				・原子炉建屋原子炉棟	－※2	○	・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	－※2	×	－	
				・主蒸気流量制限器	－※2	×	－	
				・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（ドライウェル及びサプレッション・プール気相部）までの配管，弁，スプレイヘッダ（ドライウェル及びサプレッション・プール）	－※2	×	－	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第 1－1 表　評価対象施設の抽出結果（6／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・遮へい設備（原子炉遮へい壁，一次遮へい壁）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・遮蔽設備（二次遮へい壁）	－※2	○	・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	－※2	×	－	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第 1－1 表　評価対象施設の抽出結果（7／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
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	・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	－※2	×	－	
		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）	－※2	×	－	
						○	・非常用ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第 1－1 表　評価対象施設の抽出結果（8／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
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	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）	－※2	×	－	
				・中央制御室及び中央制御室遮へい	－※2	○	・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）	－※2	×	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第 1－1 表　評価対象施設の抽出結果（9／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
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	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））	－※2	○	・残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む）	
						○	・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）	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第１－１表　評価対象施設の抽出結果（10／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
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	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）	・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））	－※2	×	－	
				・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））	－※2	×	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第1－1表　評価対象施設の抽出結果（11／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・主蒸気系	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
		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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）	－※2	×	－	
				・新燃料貯蔵庫（臨界防止する機能）（新燃料貯蔵ラック）	－※2	×	－	

※1：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第１－１表　評価対象施設の抽出結果（12／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	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	－※2	○	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	・燃料交換機 ・原子炉建屋クレーン	○ （屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	○ （屋内設備のため影響なし）	－	－	
	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）	－※2	×	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第１－１表　評価対象施設の抽出結果（13／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
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）	－※2	×	－	
		2）放射性物質放出の防止機能	放射性気体廃棄物処理系の隔離弁，排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能以外）	・放射性気体廃棄物処理系（オフガス）隔離弁	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・排気筒	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・燃料プール冷却浄化系の燃料プール入口逆止弁	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
			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	－（評価対象施設として抽出済）	－	－	
				・原子炉建屋ガス処理系	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第１－１表　評価対象施設の抽出結果（14／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	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	・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	－※2	×	－	
				・原子炉水位（広帯域，燃料域） ・原子炉圧力	－※2	×	－	
				・原子炉格納容器圧力 ・サプレッション・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）	－※2	×	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第１－１表　評価対象施設の抽出結果（15／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	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 [サプレッション・プール冷却] ・原子炉水位（広帯域，燃料域） ・サプレッション・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	－※2	×	－	
		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	－※2	×	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第１－１表　評価対象施設の抽出結果（16／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，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	・計装配管，弁 ・試料採取管，弁 ・ドレン配管，弁 ・ベント配管，弁	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
		2）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	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
		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	○（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）	○（補修を実施）	－	－	
				・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））	○（補修を実施）	－	－	
				・給水加熱器保管庫	○（補修を実施）	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第１－１表　評価対象施設の抽出結果（17／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－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）	・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）	○（補修を実施）	－	－	
			新燃料貯蔵庫	・新燃料貯蔵庫（新燃料貯蔵ラック）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
		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）	○（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）	○（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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第１－１表　評価対象施設の抽出結果（18／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，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	・循環水系 （循環水ポンプ，配管／弁）	○ （屋内設備のため影響なし） （屋外設備は，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））	○ （屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・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））	○ （屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・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））	○ （屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・送電線	○ （代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第１－１表　評価対象施設の抽出結果（19／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，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	・変圧器（所内変圧器，起動変圧器，予備変圧器，電路）	○（代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	
				・開閉所（母線，遮断器，断路器，電路）	○（代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	
		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	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
		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）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	
				・所内蒸気系及び戻り系（ポンプ，配管／弁）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第１－１表　評価対象施設の抽出結果（20／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－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	・計装用圧縮空気設備（空気圧縮機，中間冷却器，配管／弁）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，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）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，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）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	
				・タービン補機冷却海水系（補機冷却海水ポンプ，配管／弁，ストレーナ）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第１－１表　評価対象施設の抽出結果（21／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－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	・復水補給水系（復水移送ポンプ，配管／弁）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	
		7）その他	使用済燃料乾式貯蔵建屋	・使用済燃料乾式貯蔵建屋	○（補修を実施）	－	－	
	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	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
		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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・復水浄化系（復水脱塩装置，配管／弁）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第１－１表　評価対象施設の抽出結果（22／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・タービンバイパス弁	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
		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	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
		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）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，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）	○（屋内設備のため影響なし（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第１－１表　評価対象施設の抽出結果（23／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
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（別紙１－１参照）	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	
				・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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・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）	○（代替設備（同一機能を有する設備が複数設置）し，通信連絡機能の維持可能）	－	－	
				・放射線監視設備	○（代替設備（可搬型モニタリングポスト）により機能維持可能）	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第１－１表　評価対象施設の抽出結果（24／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	抽出結果	備考
	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※1	外部火災に対して機能維持する又は外部火災による損傷を考慮し，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か	外部火災の影響を受ける位置にある屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画含む）	評価対象施設名称	
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	○ （代替設備（可搬型気象観測設備）により機能維持可能）	－	－	
				・消火系 （水消火設備，泡消火設備，二酸化炭素消火設備，等）	○ （代替設備（下記）により機能維持可能）［消火設備］消防自動車等 ［検出装置］運転員，作業員等の監視	－	－	
				・消火系 （中央制御室排煙装置）	○ （必要に応じ，補修を行う。）	－	－	
				・安全避難通路	○ （屋内設備のため影響なし）	－	－	
				・非常用照明	○ （屋内設備のため影響なし）	－	－	

※１：電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※２：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

2.　影響評価内容

(1)　熱影響評価

評価対象施設のうち，原子炉建屋内，タービン建屋内及び使用済燃料乾式貯蔵建屋内に設置されている施設については,「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に基づき，当該建屋の外側コンクリート壁の温度評価を実施し，コンクリートの健全性が確保されることを確認する。

また，評価対象施設のうち，海水ポンプ室（海水ポンプ），排気筒及びＤ／Ｇ吸気系フィルタについては，屋外に設置されていることから，これらの施設の設置状況等を考慮して熱影響を評価する。（第 2-1 図参照）

第 2-1 図　外部火災に対する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，ばい煙等による機器への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評価対象設備として選定し評価する。

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.　重大事故等対処設備について

評価対象施設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。

4.　津波防護施設について

以下の対応を行い，津波防護施設の機能維持を図る。

・森林火災に対しては，離隔距離を確保する。

・可燃物火災に対しては，散水を行い津波防護施設の温度上昇を抑制し，万が一，津波防護施設に熱影響が及んでいる可能性がある場合は，当該箇所の健全性を評価し，機能に支障がある場合は，プラントを停止し速やかに強度を保つよう補修を行う。

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発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを以下の項目により評価した。

(1)　火炎の到達時間

(2)　防火帯幅

(3)　熱影響

(4)　危険距離

2.　森林火災の影響評価要領

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書Ａ 森林火災の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に従い森林火災を想定※し，発電所への影響について評価した。

なお，森林火災の解析に当たっては，評価ガイドにおいて推奨されている森林火災シミュレーション解析コードＦＡＲＳＩＴＥを使用し解析を実施した。

※森林火災の想定（評価ガイドより）
（１）　森林火災における各樹種の可燃物量は現地の植生から求める。
（２）　気象条件は過去 10 年間を調査し，森林火災の発生件数の多い月の最小湿度，最高気温，及び最大風速の組合せとする。
（３）　風向は卓越方向とし，発電所の風上に発火点を設定する。ただし，発火源と発電所の位置関係から風向きを卓越方向に設定することが困難な場合は，風向データ等から適切に設定できるものとする。
（４）　発電所からの直線距離 10km の間で設定する。
（５）　発火源は最初に人為的行為を考え，道路沿いを発火点とする。さらに，必要に応じて想定発火点を考え評価する。

2.1　ＦＡＲＳＩＴＥ評価に用いたデータ

(1)　各種入力データ

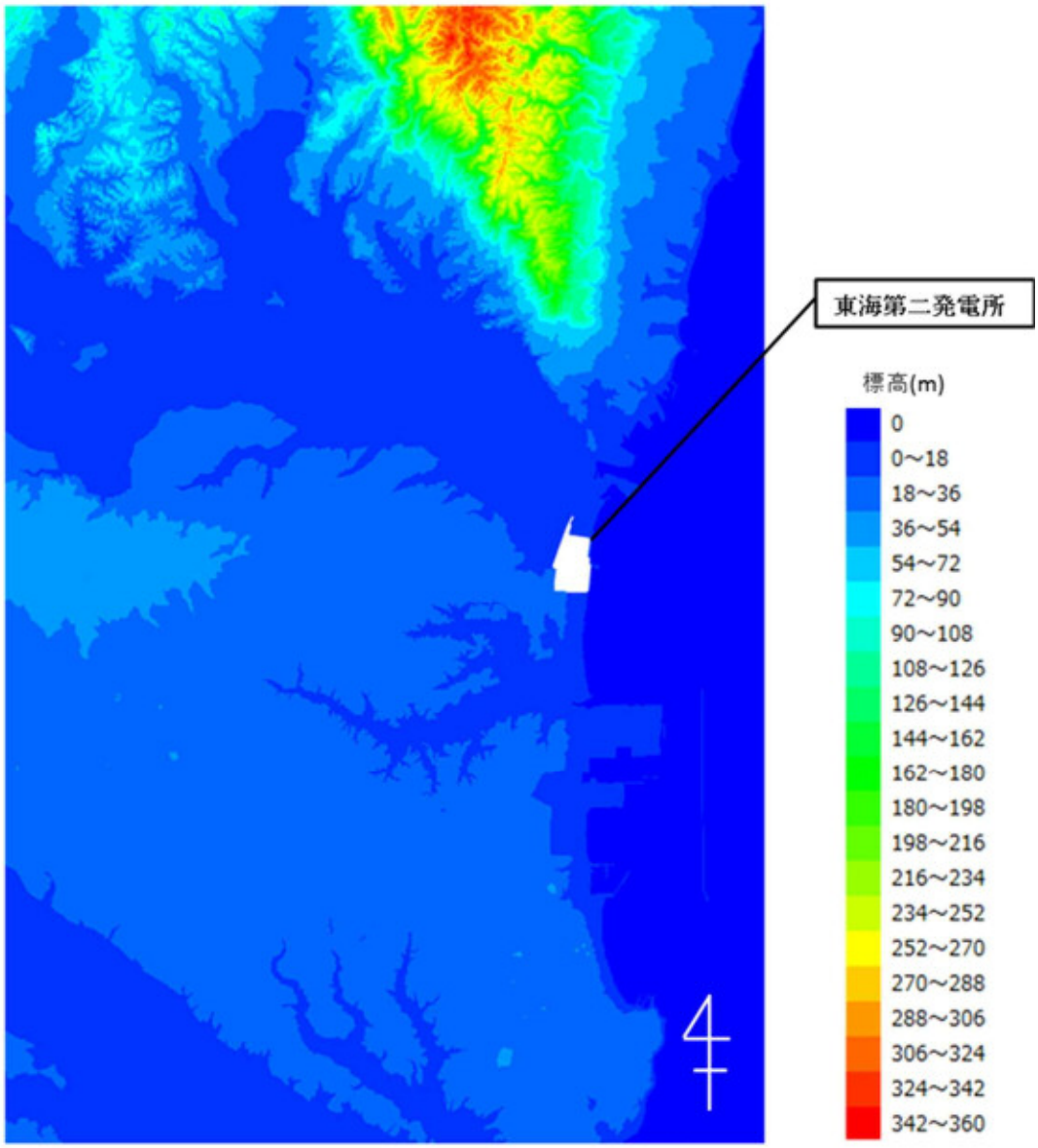
ＦＡＲＳＩＴＥに入力したデータは評価ガイド記載に対し第 2.1-1 表のとおりとした。

第 2.1-1 表　ＦＡＲＳＩＴＥ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，卓越風向及び最大風速時の風向を用いた。

(2)　地形データの設定

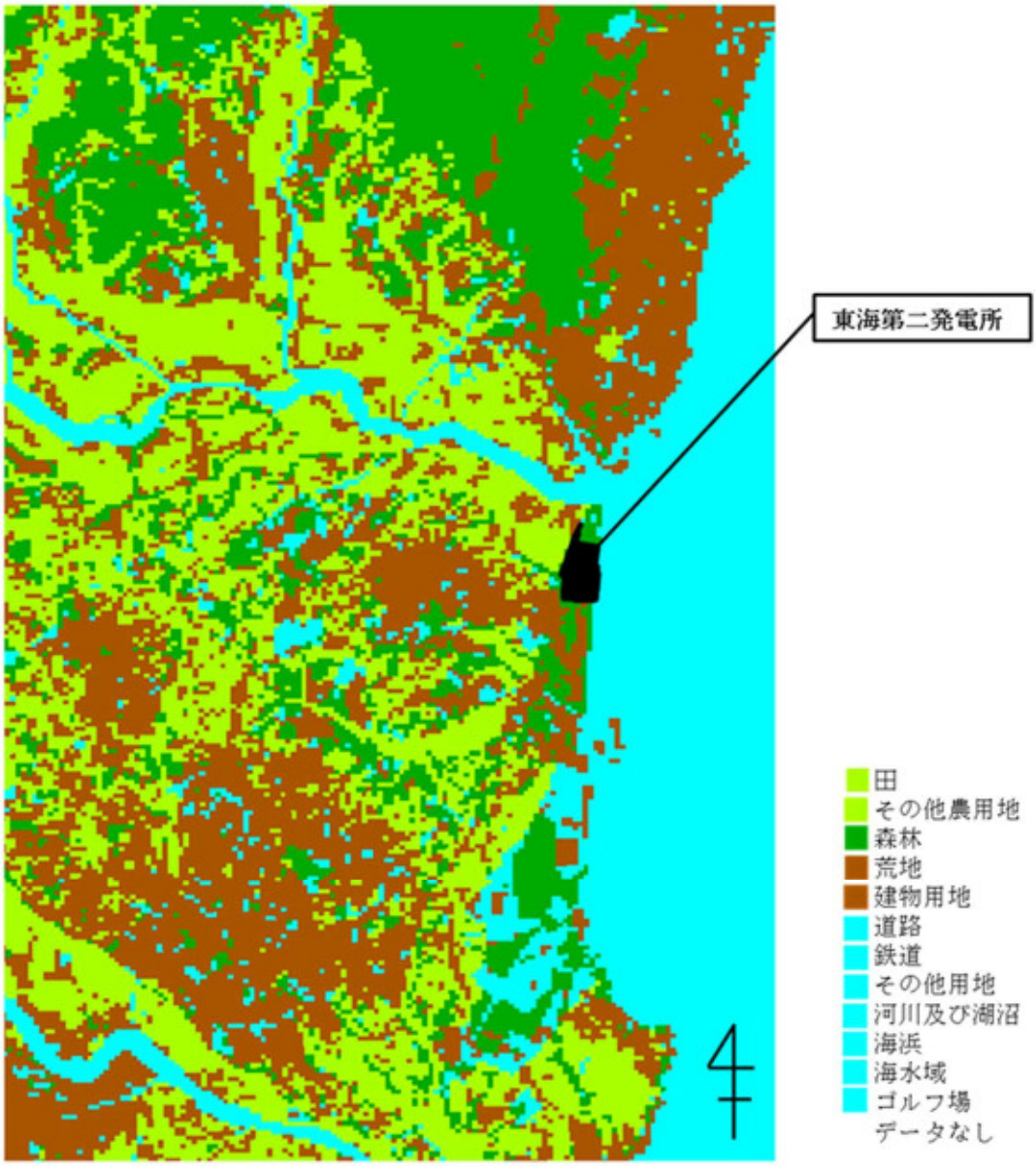
公開情報の中でも高い空間解像度である「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データを用いた。傾斜，傾斜方位については標高データから計算した。設定した地形データを第 2.1-1 図に示す。



第 2.1-1 図　地形データ

(3)　土地利用データの設定

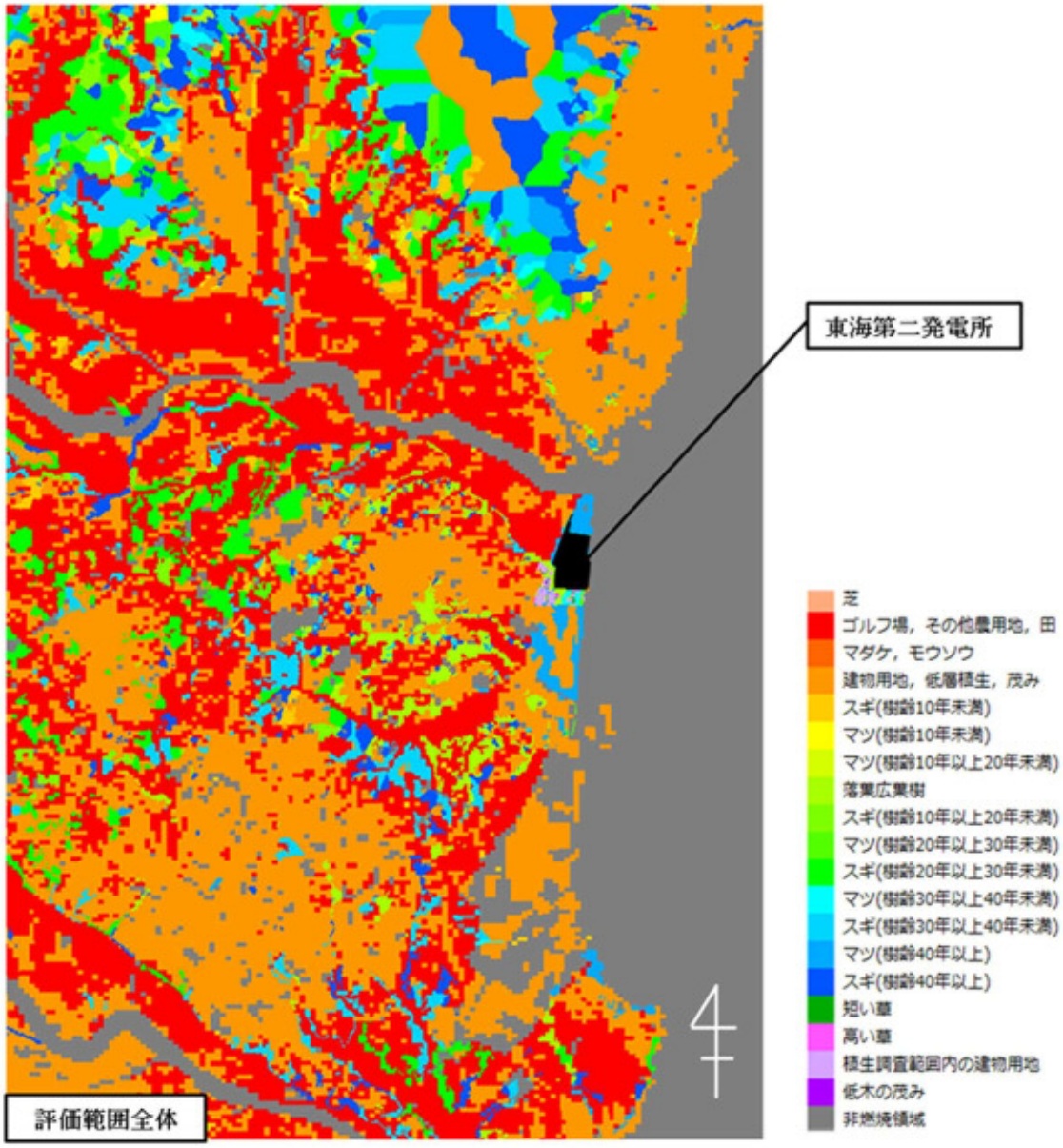
公開情報の中でも高い空間解像度である「国土数値情報　土地利用細分メッシュ（100m）」の土地利用データを用いた。設定した土地利用データを第 2.1-2 図に示す。



第 2.1-2 図　土地利用データ

(4)　植生データの設定

茨城県より受領した森林簿（東西南北 12km）の情報を用いて，土地利用データにおける森林領域を，樹種・林齢にて細分化し 10m メッシュで入力した。発電所敷地周辺は，植生調査を実施し，入力データに反映した。設定した植生データを第 2.1-3 図に示す。



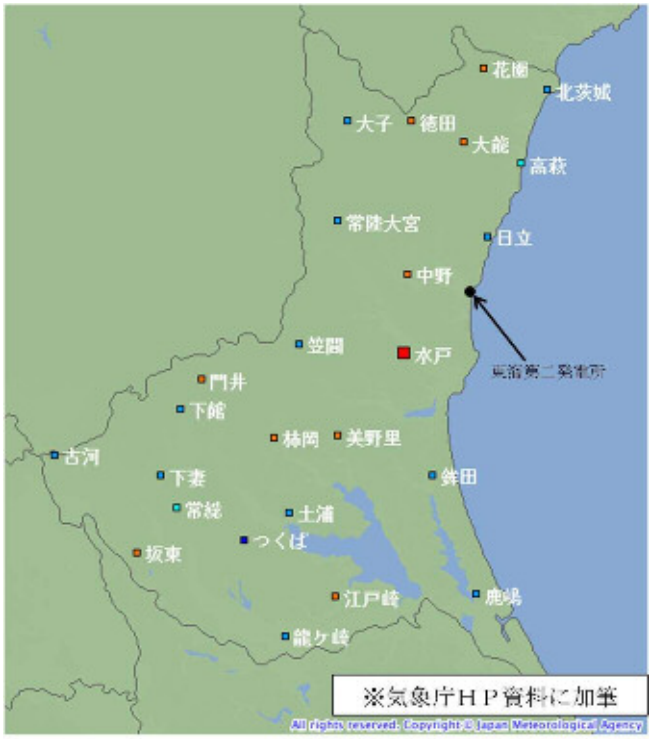
第 2.1-3 図　植生データ

(5)　気象条件の設定

a．気象データの整理

気象データは気象庁が公開している気象統計情報を用い，第 2.1-2 表に示すＦＡＲＳＩＴＥ入力に必要なデータ（最高気温，最大風速，最大風速記録時の風向，最小湿度）を全て観測・記録している観測所のうち，東海第二発電所に最も近い距離（約 15km）にある水戸地方気象台の気象観測データをそれぞれ過去 10 年間（2007 年～2016 年）の月別データから第 2.1-2 表のとおり抽出・整理した。

茨城県内における気象庁気象観測所位置を第 2.1-4 図に示す。



シンボル	観測所の種類	観測要素
■	気象台	気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深・湿度・気圧
■	地域気象観測所(アメダス)	降水量
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速・日照時間
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深

（出典）気象庁ＨＰ
http://www.jma.go.jp/jp/amedas_h/map26.html

第 2.1-4 図　茨城県内の気象観測所位置

卓越風向は，水戸地方気象台と発電所の過去 10 年間（2007 年～2016 年）の観測データから第 2.1-5 図，第 2.1-6 図のとおり抽出・整理した。

b．森林火災発生件数の整理

「消防防災年報」（茨城県 2006 年～2015 年）により，茨城県内の月別森林火災件数を第 2.1-2 表のとおり抽出・整理した。

c．気象データの選定

森林火災件数の多い 12 月から 5 月の最高気温（30.8℃），最大風速（17.5m／s）及び最小湿度（11%）を選定した。

最大風速記録時の風向は第１位の北東に加え，第２位の最大風速記録時の風向となる 3 月の南西を選定した。

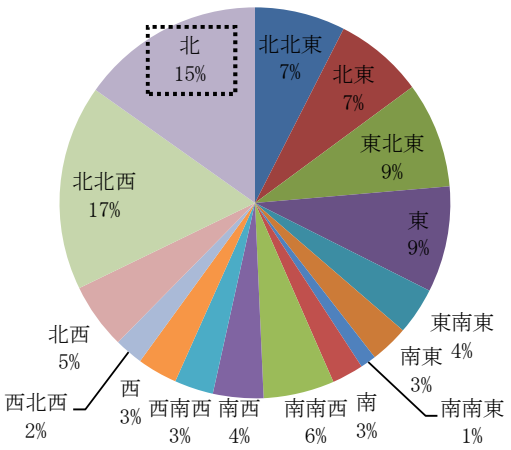
卓越風向は，水戸地方気象台観測データの高い割合を占める北と，発電所の気象観測データの最多割合を占める西北西を選定した。

上記で選定したデータを第 2.1-2 表に赤枠で示す。

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）

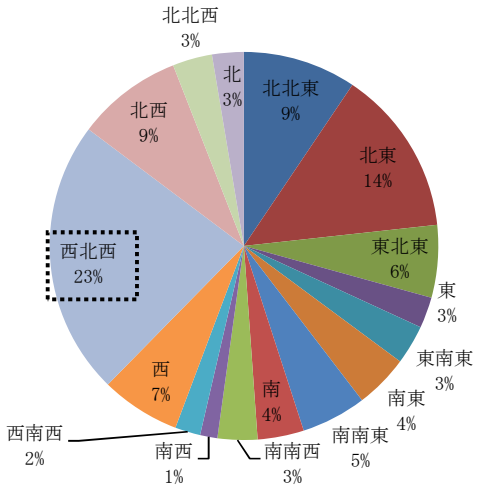
月	水戸地方気象台　気象観測データ					茨城県内の月別森林火災件数※
	最高気温（℃）	最大風速（m／s）	最大風速記録時の風向		最小湿度（%）	
			第 1 位	第 2 位		
1	16.9	17.5	北東	北東	17	79
2	24.3	17.5	北北東	北東	13	86
3	25.9	14.3	北東	北北東，南西	11	131
4	29.3	15.1	北北東	北東	13	126
5	30.8	13.5	北東	北北東	13	54
6	33.5	14.2	北北東	北北東	21	10
7	36.4	11.8	北北東	北北東	35	13
8	37.0	12.9	北東	北北東	35	24
9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

※：「消防防災年報」（茨城県 2006 年～2015 年）より



第 2.1-5 図　卓越風向割合

（水戸地方気象台：2007 年～2016 年）



第 2.1-6 図　卓越風向割合

（発電所：2007 年～2016 年）

(6)　発火点の設定

a．発火点の設定方針

評価ガイドにある森林火災の想定に基づき，発火点の設定は以下の方針とした。

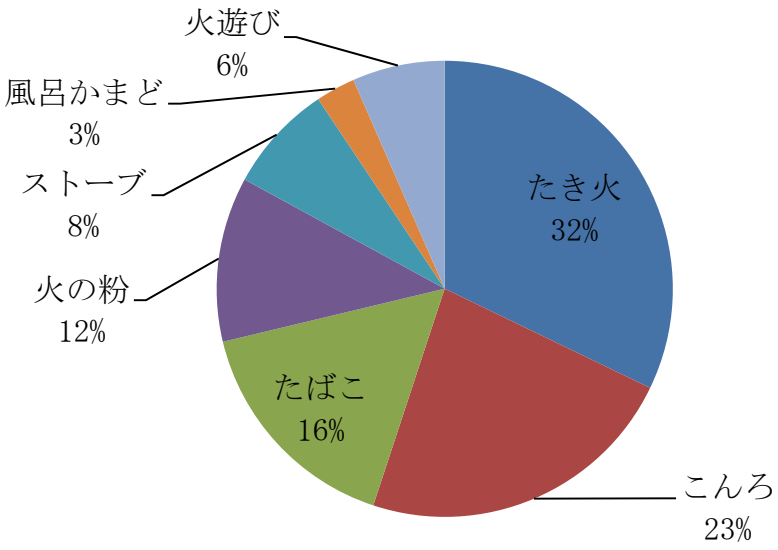
・卓越風向及び最大風速記録時の風向が発電所の風上になる地点

・たき火等の人為的な火災発生原因が想定される地点

なお，茨城県内での主な火災発生原因は．「消防防災年報」（茨城県 2006 年～2015 年）によると，たき火，こんろ，たばこである。

第 2.1-7 図に出火原因割合を示す。

この結果に加え，発電所周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 2006 年～2015 年）より

第 2.1-7 図　出火原因割合

b．立地条件を考慮した発火点の設定

発電所周囲の特徴としては，以下の４点が挙げられる。

・発電所周囲は平坦な地形であり，住宅街や水田が多い。

・発電所のすぐ脇を国道が通る。

・発電所近傍に砂浜海岸がある。

・発電所に産業施設が隣接する。

このため，上記を踏まえ，卓越風向及び最大風速記録時の風向として抽出した4方向（西北西，北，南西，北東）に対し，発火点を以下のとおり設定した。設定した発火点を第2.1-8図，発火点と植生データの関係を第2.1-9図，発火点と標高データとの関係図を第2.1-10図に示す。

(a)　西北西方向（発火点1，3）

霊園における線香等の裸火の使用と残り火の不始末，国道２４５号を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し，国道２４５号沿いの霊園に発火点1を設定した。

火入れ・たき火等を想定し，県道２８４号線沿いの水田に，発火点1より遠方となる発火点3を設定した。

(b)　北方向（発火点2，4）

バーベキュー及び花火の不始末等を想定し，海岸沿いに発火点2を設定した。

釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，海岸沿いに発火点2より遠方となる発火点4を設定した。

(c)　南西方向（発火点５，６）

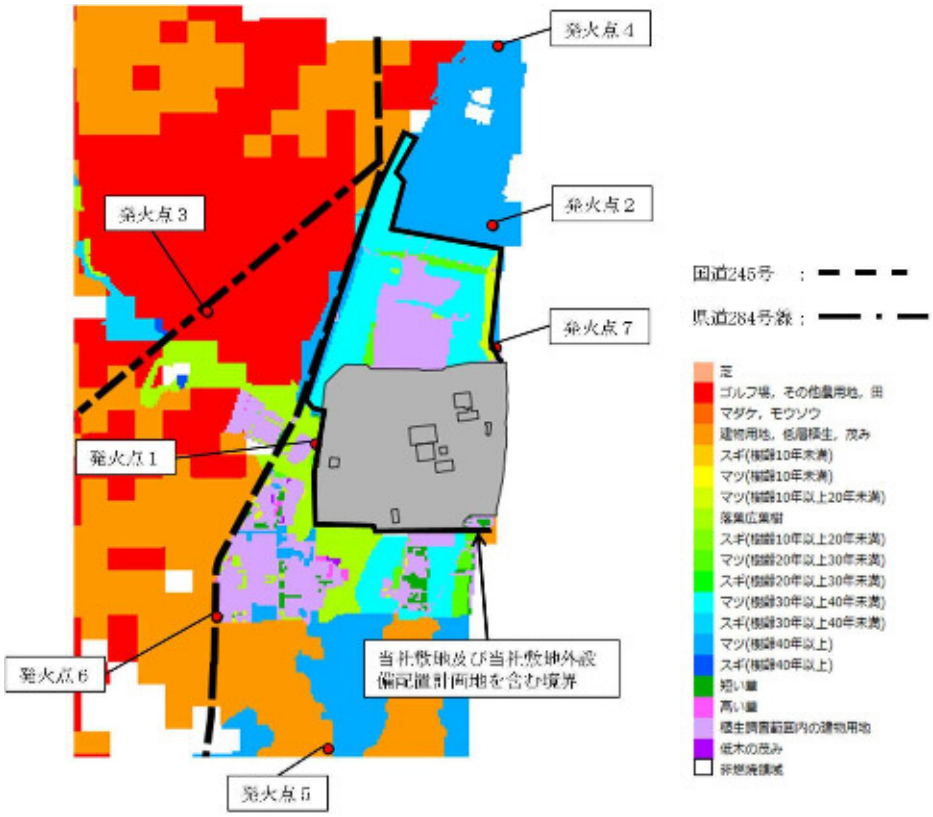
発電所南方向にある危険物貯蔵施設の屋外貯蔵タンクからの火災が森林に延焼することを想定し，南方向の危険物貯蔵施設の近くに発火点５を設定した。

交通量が多い交差点での交通事故による車両火災を想定し，国道２４５号沿いに発火点６を設定した。

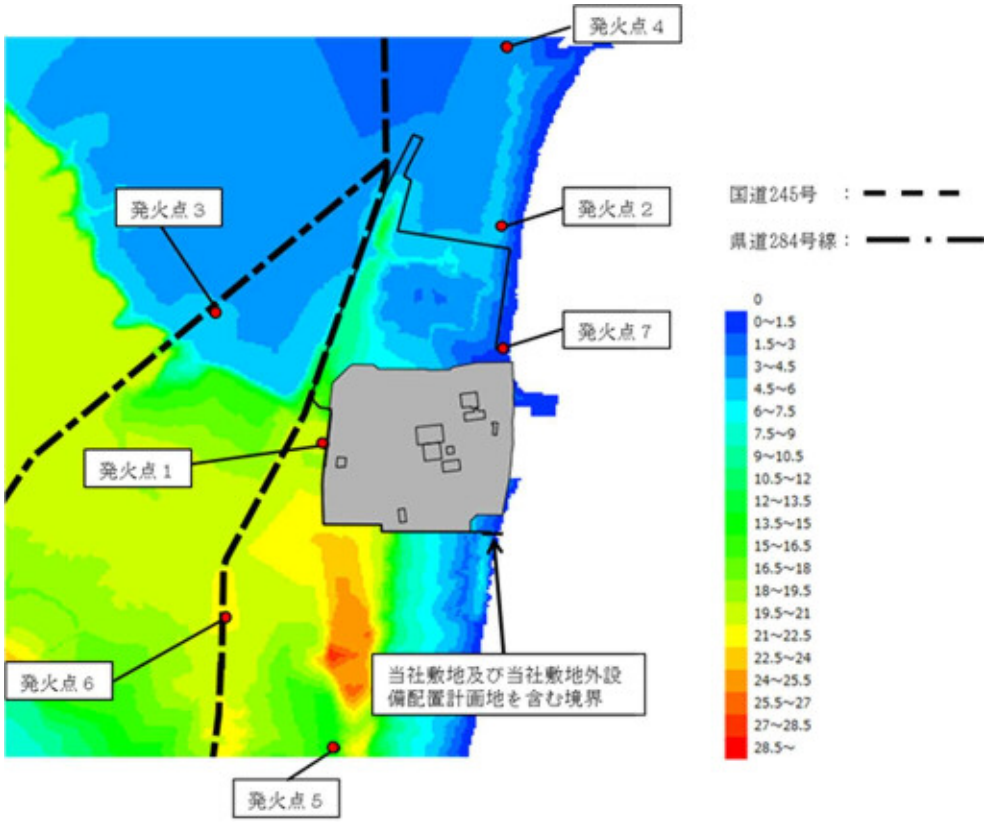
(d)　北東方向（発火点７）

釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，一般の人が発電所に最も近づくことが可能である海岸沿いに発火点７を設定した。

第 2.1-8 図　発火点と発電所の位置関係



第 2.1-9 図　発火点位置と植生データ



第 2.1-10 図　発火点位置と標高データ

c．森林火災評価における発火点の妥当性

(a)　発火点 1，3 の妥当性

発火点 1 の周辺はマツ 40 年以上（評価ではマツ 10 年以上 20 年未満を入力）と広葉樹の森林，発火点 3 の周辺は水田（評価では Tall grass を入力）である。発火点を多少移動させたとしても周囲の植生・標高差に大きな違いはないことから，風が発電所に向う発火点 1，3 の評価結果に包絡される。また，同じ風向で評価を行う発火点 1，3 を比較することで，発火地点から発電所までの距離の違いによる延焼速度，火災規模等の確認が可能である。

(b)　発火点 2，4，7 の妥当性

発火点 2，4，7 の周辺は，マツ 40 年以上（評価ではマツ 10 年以上 20 年未満を入力）の植生が支配的である。北側森林内で発火点を移動させたとしても，植生・標高差に違いはないことから，評価結果は発火点 2，4，7 の結果に包絡される。また，同じ風向・同じ植生で評価を行う発火点 2，4 を比較することで，発火地点から発電所までの距離の違いによる延焼速度，火災規模等の確認が可能である。

(c)　発火点 5，6 の妥当性

発火点 5 は，発電所に影響を及ぼすおそれのある危険物貯蔵施設がある地点に設定した。

発火点 6 は，最大風速記録時の風向を考慮し，発火点 1 と発火点 5 から比較的離れた間の地点を補間するよう設定した。

(d)　発火点 1～7 以外の火災について

設定した発火点以外の火災については，発火点 1～7 の評価結果に包絡される。以下の 2 か所において，評価結果が包絡される理由を示す。

・北西方向の居住地域

北西方向の居住地域で発生した火災が発電所へ延焼する場合，まず発電所北側森林に延焼する。北側森林の火災は風が発電所に向う発火点 2，3，4，7 の評価結果に包絡される。

・ガソリンスタンド及び周辺居住区域

発電所に最も近いガソリンスタンド（県道２８４号線沿い）及び周辺居住区で発生した火災が発電所へ延焼する場合，まず発電所西側森林が火災になる。西側森林の火災は風が発電所に向う発火点 1，3，6 の結果に包絡される。

d．出火時刻の設定

日照による草地及び樹木の乾燥に伴い，火線強度が増大することから，これらを考慮して火線強度が最大となる出火時刻を設定する。

e．評価対象範囲

評価対象範囲は発電所から南北及び西側に12km，東側は海岸線までとする。

2.2　ＦＡＲＳＩＴＥ入出力データについて

(1)　ＦＡＲＳＩＴＥ入力データ

ＦＡＲＳＩＴＥ入力データとして気象，位置，時刻等に関するデータを第 2.2-1 表，土地利用に関するデータを第 2.2-2 表，植生に関するデータを第 2.2-3 表，植生入力に関するフローを第 2.2-1 図に示す。

第 2.2-1 表　ＦＡＲＳＩＴＥ入力データ（地形・気象等）

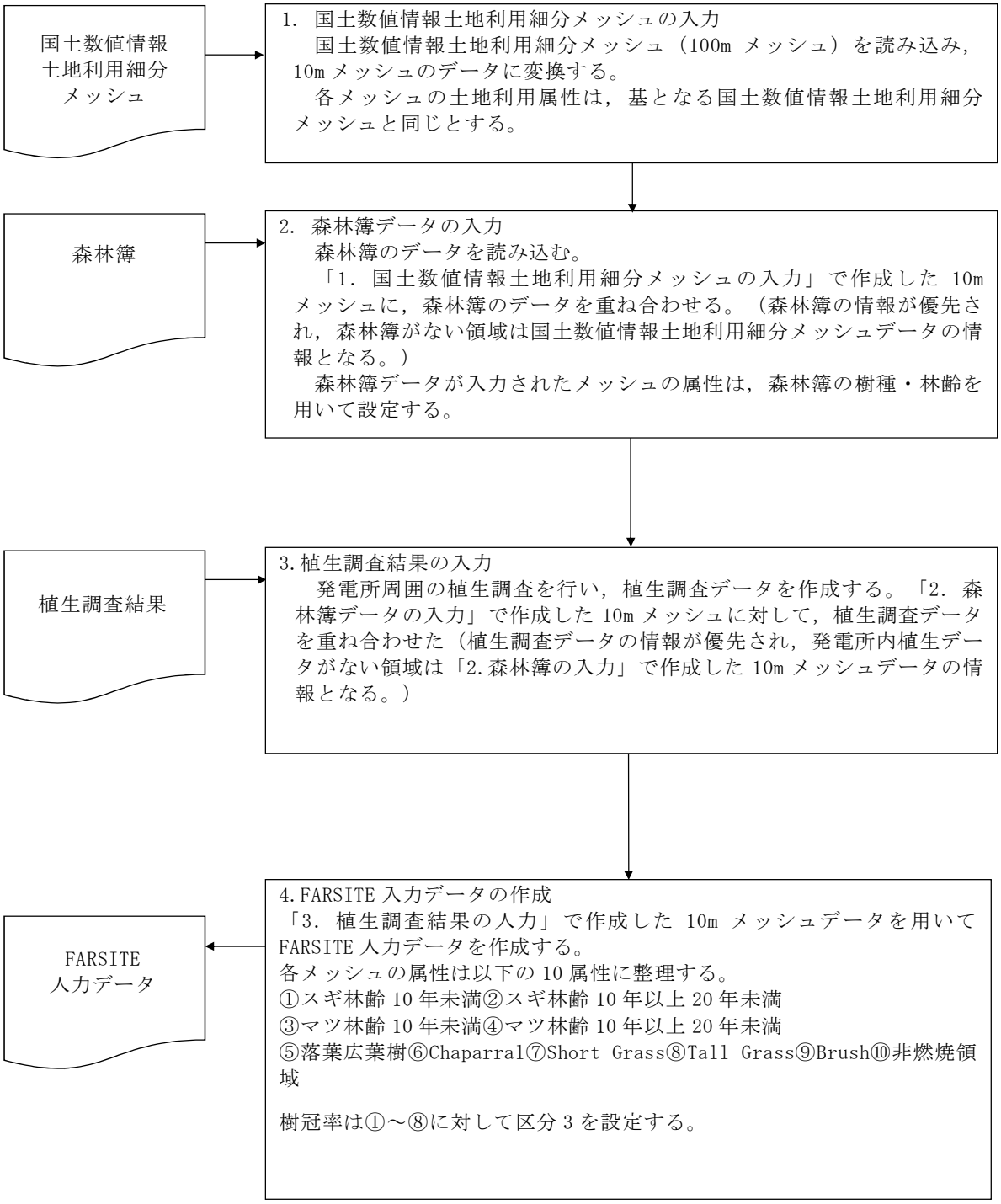
項目		入力データ	備考
地形	標高	第 2.1-1 図参照	「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データ及び標高データから算出した傾斜，傾斜方位を入力（評価ガイド通り）
	傾斜，傾斜方位		
気象	風速（km/hr）	63	評価ガイドに基づき，茨城県内で森林火災発生件数が多い（12 月から 5 月）の水戸地方気象台で観測された最大風速（17.5m/s）に相当する 63km/hr を入力（評価ガイド通り）
	風向（deg）	239（西北西）	評価ガイドに基づき，茨城県内で森林火災発生件数が多い月（12 月から 5 月）の卓越風向と最大風速記録時の風向を入力（評価ガイド通り）
		0（北）	
		225（南西）	
		45（北東）	
	最高気温（℃）	31	茨城県内で森林火災発生件数が多い月（12 月から 5 月）の最高気温（30.8℃）に対して，小数点以下を切り上げた 31℃を最高気温・最低気温として入力。最低気温に対しても 31℃を入力することで保守的に気温の変化を考慮しない。（評価ガイド通り）
	最低気温（℃）	31	
	最高湿度（%）	11	茨城県内で森林火災発生件数が多い月（12 月から 5 月）の最小湿度（11%）を入力。最高湿度に対しても 11%を入力することで，保守的に湿度の変化を考慮しない。（評価ガイド通り）
	最小湿度（%）	11	
	降水量（mm）	0	降水が無い方が可燃物の水分量が少なくなり燃えやすくなるため，保守性を考慮して，降水量は 0 を入力
	雲量（%）	0	日射が多い方が可燃物の水分量が少なくなり燃えやすくなるため，保守性を考慮して，雲量は 0 を入力
位置	緯度（deg）	0	日射が多い方が可燃物の水分量が少なくなり燃えやすくなることから，保守性考慮して，日射強度の高い赤道に設定
	発火点位置	第 2.1-8 図参照	航空写真から位置を確認し，発電所から 10km 以内の当座標位置に設定（評価ガイド通り）
時刻	発火日時	3 月	茨城県内で森林火災発生件数が最も多い 3 月に設定
	発火時刻	10 時～14 時に火災が到達する時刻	日射が多い方が可燃物の水分量が少なくなり燃えやすくなることから，日射が多い時刻（10 時～14 時）に発電所に火災が到達するように設定
樹冠	樹冠率	区分 3	日照や風速への影響を考慮し，植生調査結果を踏まえ保守性考慮して，樹冠率区分 3（一般的な森林）を入力
	樹高（m）	15	評価結果への寄与が大きい発電所周囲の植生調査結果（平均樹高 13.4m）を踏まえた場合でも保守的となる，デフォルト値を一律に適用した。
	樹冠下高さ（m）	4	
	樹冠かさ密度（kg／m^3）	0.2	

第 2.2-2 表　ＦＡＲＳＩＴＥ入力データ（土地利用データ）

<table>
<tr><th>土地利用
区分</th><th>入力データ</th><th>備　　考</th></tr>
<tr><td>田</td><td rowspan="3">Tall Grass
（高草：2.5ft）</td><td>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</td></tr>
<tr><td>その他農用地</td><td>草地・畑が多いが保守的に Tall Grass を入力</td></tr>
<tr><td>ゴルフ場</td><td>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</td></tr>
<tr><td>森林</td><td>森林簿及び植生調査結果に従い，樹種・林齢毎に設定</td><td>第 2.2-3 表 FARSITE 入力データ（植生データ）参照</td></tr>
<tr><td>荒地</td><td rowspan="2">Brush
（茂み：2.0ft）</td><td>草の繁殖を考慮し，Brush を入力</td></tr>
<tr><td>建物用地</td><td>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</td></tr>
<tr><td>道路</td><td rowspan="6">非燃焼領域</td><td rowspan="6">FARSITE 内蔵値を設定</td></tr>
<tr><td>鉄道</td></tr>
<tr><td>その他用地</td></tr>
<tr><td>河川
及び湖沼</td></tr>
<tr><td>海浜</td></tr>
<tr><td>海水域</td></tr>
</table>

第 2.2-3 表　ＦＡＲＳＩＴＥ入力データ（植生データ）

	樹種・林齢 区分	入力データ	備　　考
森林簿・植生調査結果	スギ・ヒノキ・ｶｲｽﾞｶｲﾌﾞｷ 林齢 10 年未満	スギ林齢 10 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	スギ・ヒノキ・ｶｲｽﾞｶｲﾌﾞｷ 林齢 10 年以上 20 年未満	スギ林齢 10 年以上 20 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	スギ・ヒノキ・ｶｲｽﾞｶｲﾌﾞｷ 林齢 20 年以上 30 年未満	スギ林齢 10 年以上 20 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用 20 年以上のスギに対しては保守性を考慮して全て「林齢 10 年以上 20 年未満」を入力する
	スギ・ヒノキ・ｶｲｽﾞｶｲﾌﾞｷ 林齢 30 年以上 40 年未満		
	スギ・ヒノキ・ｶｲｽﾞｶｲﾌﾞｷ 林齢 40 年以上		
	マツ・クロマツ林齢 10 年未満	マツ林齢 10 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	マツ・クロマツ林齢 10 年以上 20 年未満	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	マツ・クロマツ林齢 20 年以上 30 年未満	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用 20 年以上のマツに対しては保守性を考慮して全て「林齢 10 年以上 20 年未満」を入力する
	マツ・クロマツ林齢 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 Tall Grass を入力
	植生が存在しない 範囲	Brush （茂み：2.0ft）	コンクリート等の非植生が多く延焼しにくいと考えられるが，保守性を考慮して Brush を入力
	防潮堤の火災防護のため管理が必要となる敷地外の範囲	非燃焼領域	定期的に管理を行い，植生がない状態を維持するため非燃焼領域を入力



第 2.2-1 図　ＦＡＲＳＩＴＥ植生データ入力フロー

(2)　発電所周囲の植生調査

発電所周囲の森林に対して植生調査を行い，樹種，林齢等の状況を確認し，ＦＡＲＳＩＴＥ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ＦＡＲＳＩＴＥ入力データを第 2.2-5 表に示す。発電所周囲のマツは植生調査から 20 年生以上であることを確認したが下草及び保守性を考慮しマツ 10 年以上 20 年未満を入力する。代表的な植生の写真を第 2.2-3 図に示す。

第 2.2-5 表　植生調査結果

ポイント No.	植生区分	特　徴	林齢根拠	FARSITE 入力データ	保守性
1	クロマツ 40 年以上	海岸植生の特徴として強風の影響により矮性化している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
2	クロマツ 40 年以上	強風の影響化にあり，一般的な成長と比較して樹高は低めである。常緑広葉樹の低木が繁茂している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
3	クロマツ 20 年以上	造成後に植栽された林分であり，一般的な成長を示している。立木密度が高く，低木は見られない。	1980 年代（空中写真から判読）に植栽。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
4	－	開発されて植生なし（2017 年現在）	－	－	－
5	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に，クロマツが一部補植されている。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○

ポイント No.	植生区分	特　徴	林齢根拠	FARSITE 入力データ	保守性
6	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に，クロマツが自然発生している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上20 年未満	○
7	アカマツ 40 年以上	アカマツの下層には常緑広葉樹の低木が繁茂している。	1975 年（空中写真から判読）においてアカマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上20 年未満	○
8	アカマツ 40 年以上	アカマツの下層は低木を取り払い管理されている。	1975 年（空中写真から判読）においてアカマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上20 年未満	○
9	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に落葉広葉樹の低木が繁茂している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上20 年未満	○
10	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に，自然に発生したと見られるアカマツが生育している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上20 年未満	○
11	アカマツ 40 年以上	アカマツの下層に常緑広葉樹の低木が繁茂している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上20 年未満	○
12	常緑 広葉樹林	アカマツの下層低木であった常用広葉樹が生育し支配的となった。	－	落葉広葉樹	－
13	アカマツ 10 年以上	極地的にアカマツが植栽されている。植生図に反映するほどの面積はない。	節の数。	落葉広葉樹	－

ポイント No.	植生区分	特　徴	林齢根拠	FARSITE 入力データ	保守性
14	クロマツ 20 年以上	1986 年以前に植栽された林分であり，一般的な成長を示している。低木は見られない。	1980 年代（空中写真から判読）に植栽。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
15	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に常緑広葉樹の低木が繁茂している。	1975 年（空中写真から判読）において森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
16	落葉 広葉樹	クロマツ林の下層低木であった落葉広葉樹が生育し支配的になった。	－	落葉広葉樹	－
17	落葉 広葉樹	クロマツ林の下層低木であった落葉広葉樹が生育し支配的になった。	－	落葉広葉樹	－
18	低草地	雑草等の 0.3m 低草地。	－	Short Grass （低草：1ft）	－
19	高草地	セイタカ等の 1.0m 程度の草地。	－	草刈りを行い Brush 管理とする。	－
20	建物用地	－	－	コンクリート等の非植生が多く延焼しにくいと考えられるが，保守性を考慮して Brush を入力	－

ﾎﾟｲﾝﾄ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用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）

ﾎﾟｲﾝﾄ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

ﾎﾟｲﾝﾄ No.	ha 当たりの材積（m^3／ha）				支配的な樹種とその材積割合
	マツ 胸高直径		広葉樹 胸高直径		
	8cm 以上	8cm 未満	8cm 以上	8cm 未満	
2	196	0	9	0	マツ 8cm 以上 95%
5	166	0	2	1	マツ 8cm 以上 98%
6	103	4	0	0	マツ 8cm 以上 96%
7	443	0	11	1	マツ 8cm 以上 97%
9	287	0	0	2	マツ 8cm 以上 99%
10	342	1	0	0	マツ 8cm 以上 99%
11	232	0	0	1	マツ 8cm 以上 99%
12	60	0	236	0	広葉樹 8cm 以上 79%
15	55	0	3	1	マツ 8cm 以上 93%

(d)　今後の植生管理について

植生管理については火災防護計画に定め，設定した防火帯幅が変わることがないよう，定期的に植生調査を実施し植生の管理を行う。また，防潮堤と植生の間の離隔距離を確保するために管理が必要となる隣接事業所敷地については，隣接事業所が有する当該箇所の敷地において，当社が必要とする植生管理を当社が実施（維持・管理）する。（別添 3）

(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ＦＡＲＳＩＴＥ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。

ＦＡＲＳＩＴＥ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。

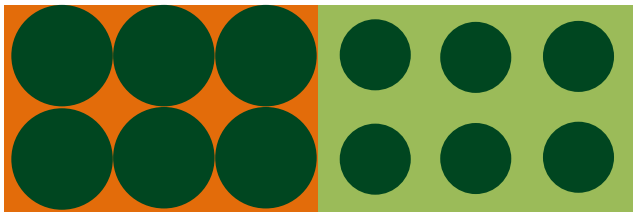
第 2.2-7 表　針葉樹と広葉樹の林齢による地面下草の違い（イメージ）

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。ＦＡＲＳＩＴＥ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，ＦＡＲＳＩＴＥ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ＦＡＲＳＩＴＥ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　ＦＡＲＳＩＴＥ上の樹冠率設定

FARSITE 区分	樹冠率％	備考
1	～20	－
2	21～50	森林を含む区分
3	51～80	一般的な森林
4	81～100	原生林等

第 2.2-9 表　ＦＡＲＳＩＴＥ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.　ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果

3.1　ＦＡＲＳＩＴＥ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。

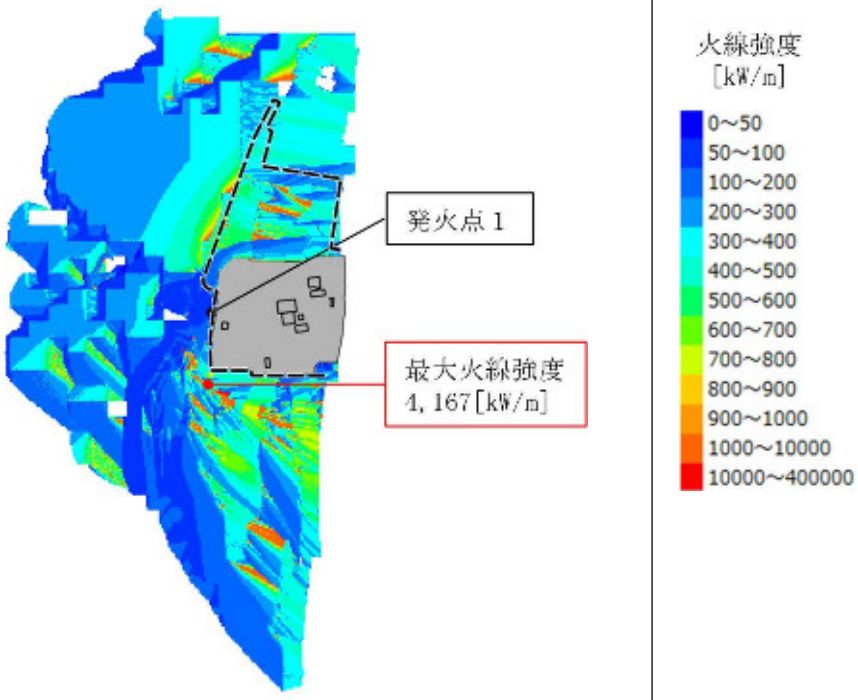
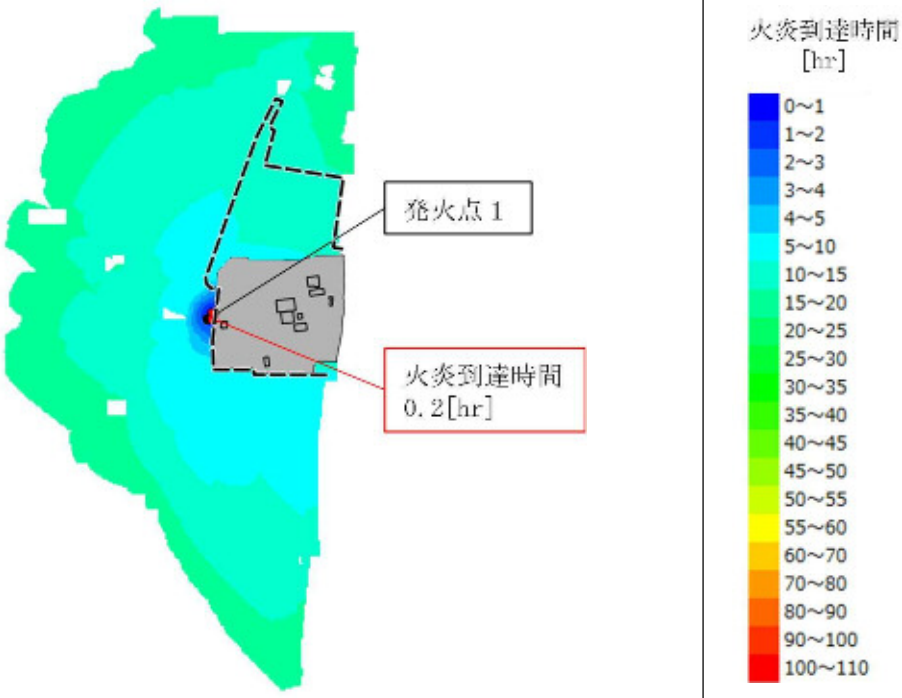
第 3.1-1 表　解析結果

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
延焼速度 (m／s)	0.45	0.52	0.69	0.65	0.64	0.67	0.37
最大火線強度 (kW／m)	4,167	4,771	6,278	5,961	5,006	5,890	3,391
火炎到達時間 (hr)	0.2	4.0	0.7	6.0	2.9	1.1	0.7

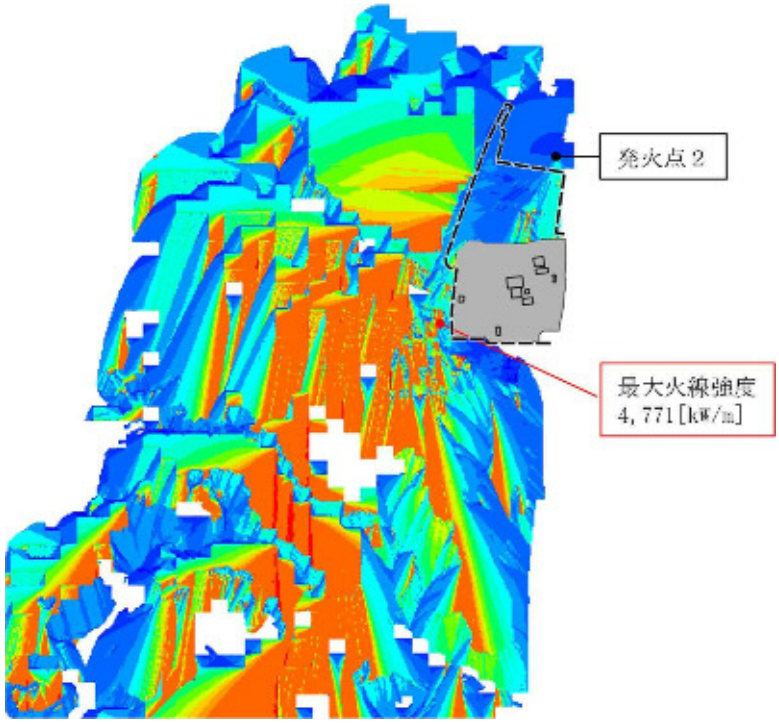
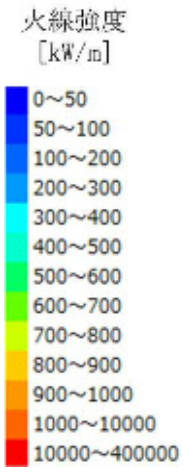
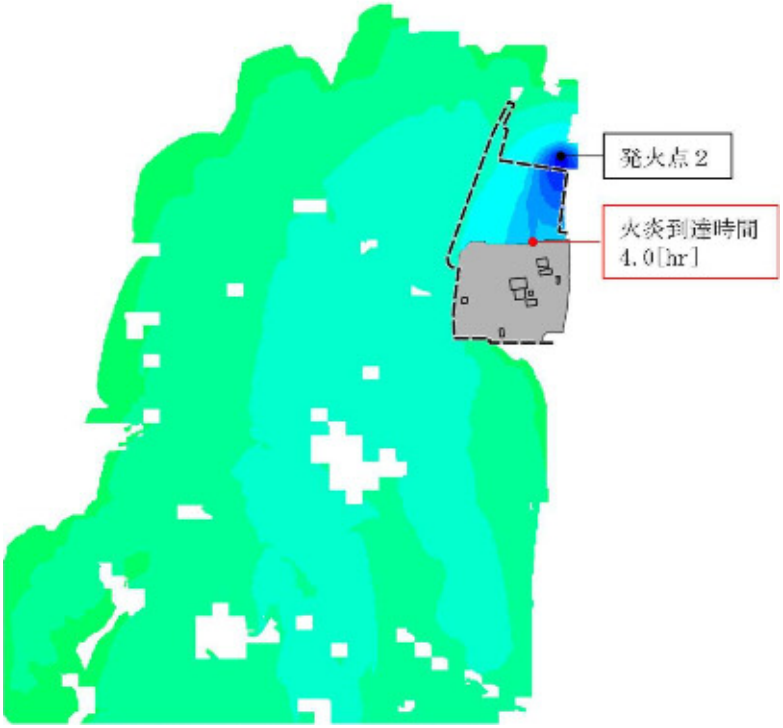
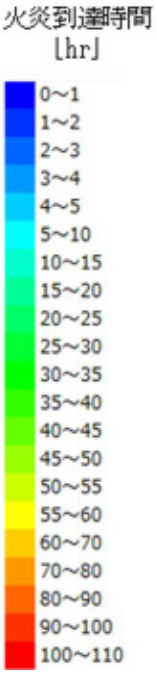
(2)　延焼状況

各発火点の延焼状況を第 3.1-2 表から第 3.1-8 表に示す。

第 3.1-2 表　発火点 1 の延焼状況

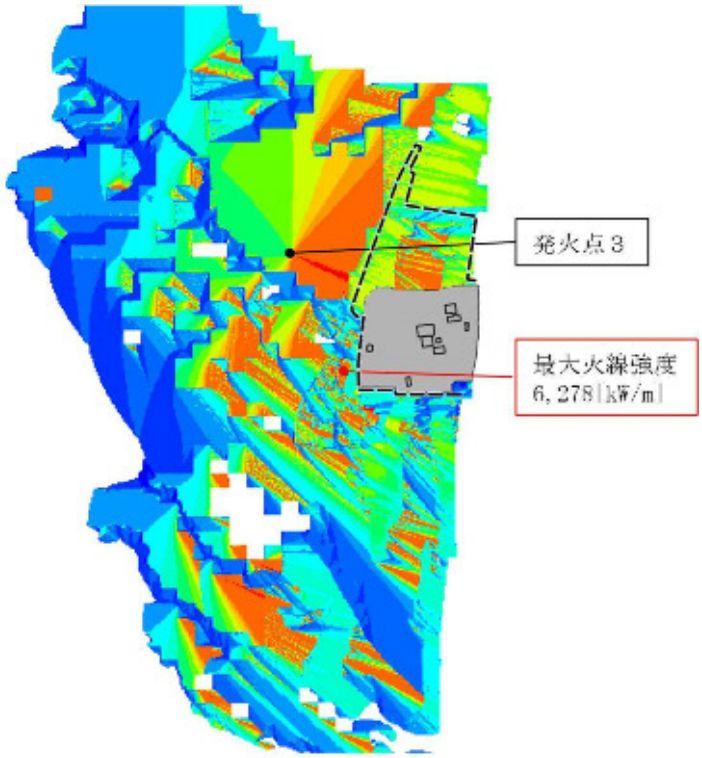
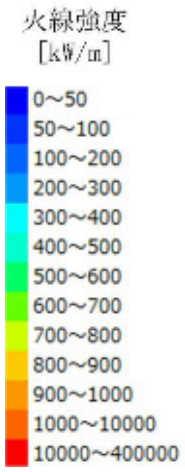
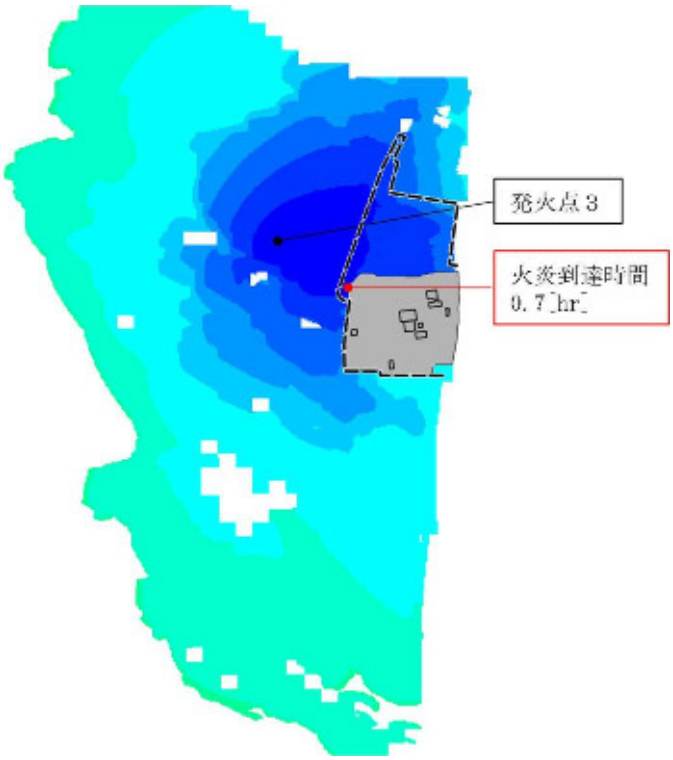
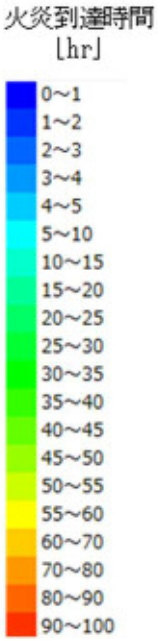
<table>
<tr><td colspan="2">発火点 1</td><td></td></tr>
<tr><td>火線強度</td><td> 
</td><td></td></tr>
<tr><td>火炎到達時間</td><td> 
</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">－－－－：　当社敷地及び当社敷地外設備配置計画地を含む境界　　：防火帯内側</td></tr>
</table>

第 3.1-3 表　発火点 2 の延焼状況

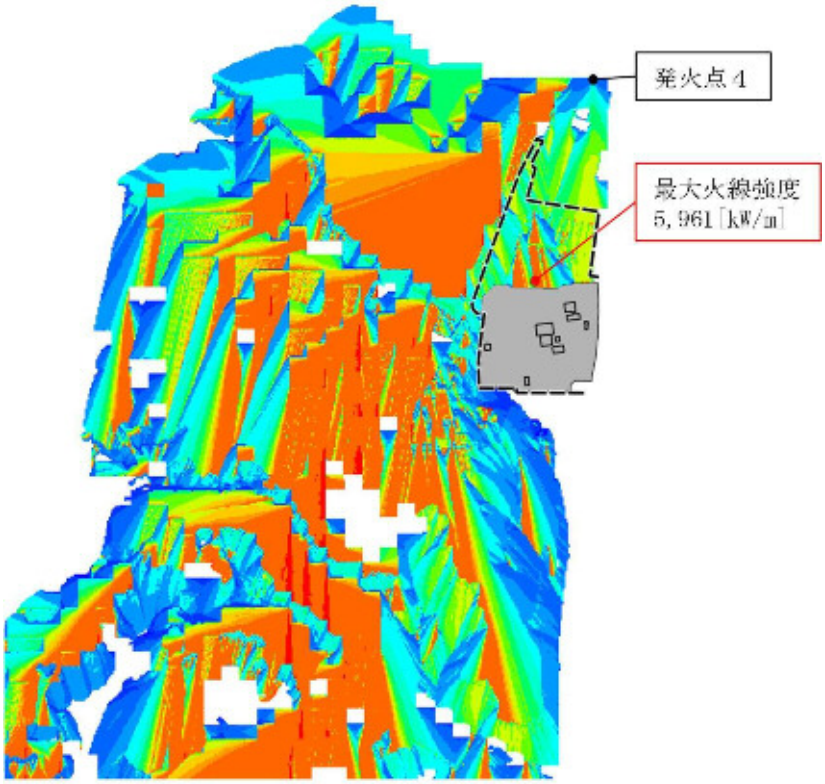
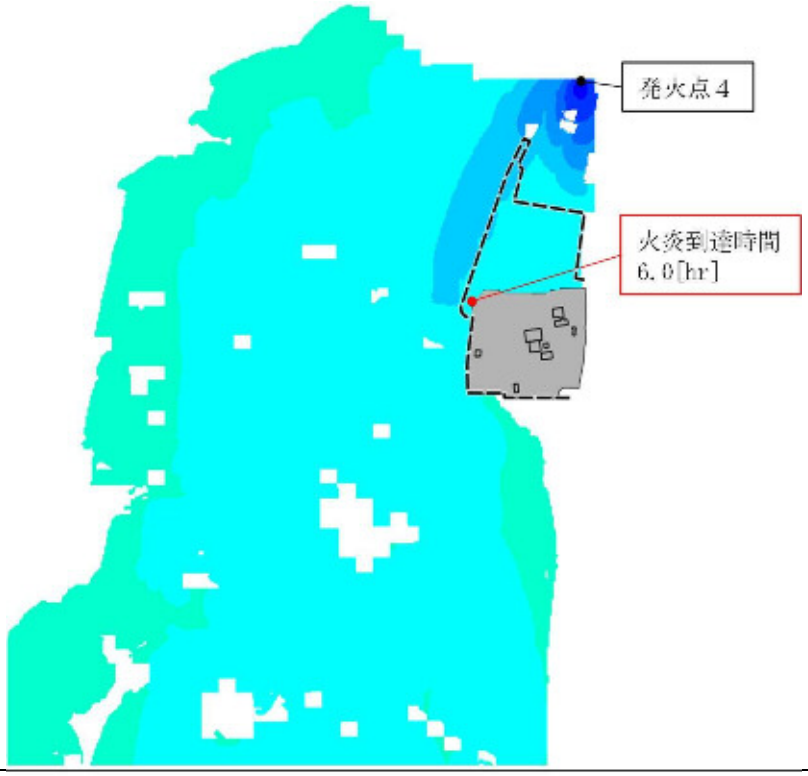
発火点 2		
火線強度		
火炎到達時間		

－－－－：当社敷地及び当社敷地外設備配置計画地を含む境界　　：防火帯内側

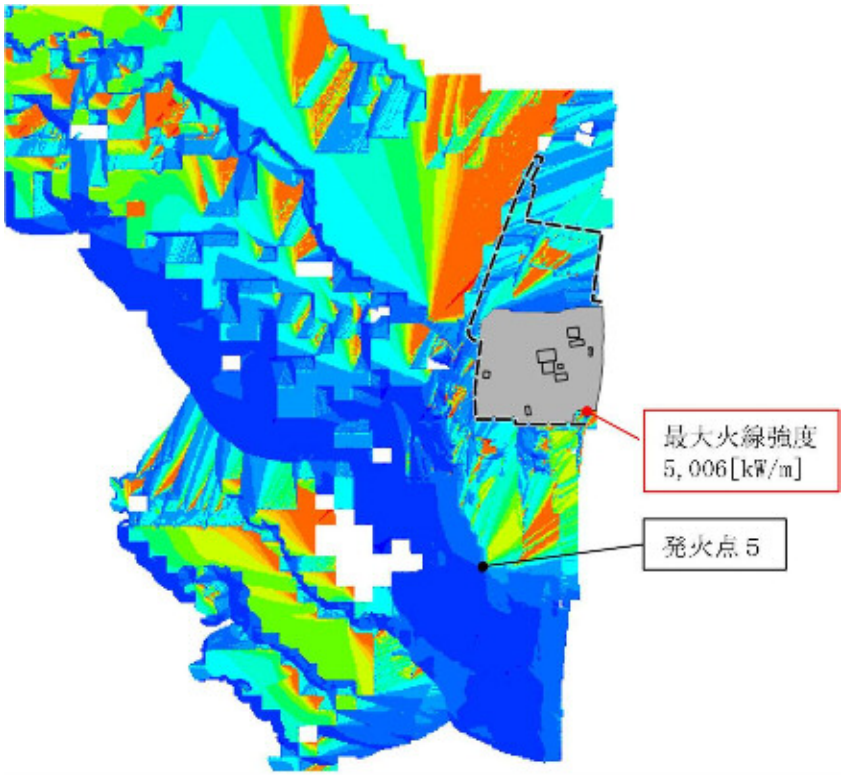
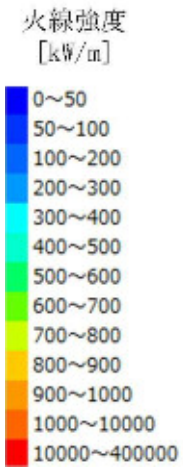
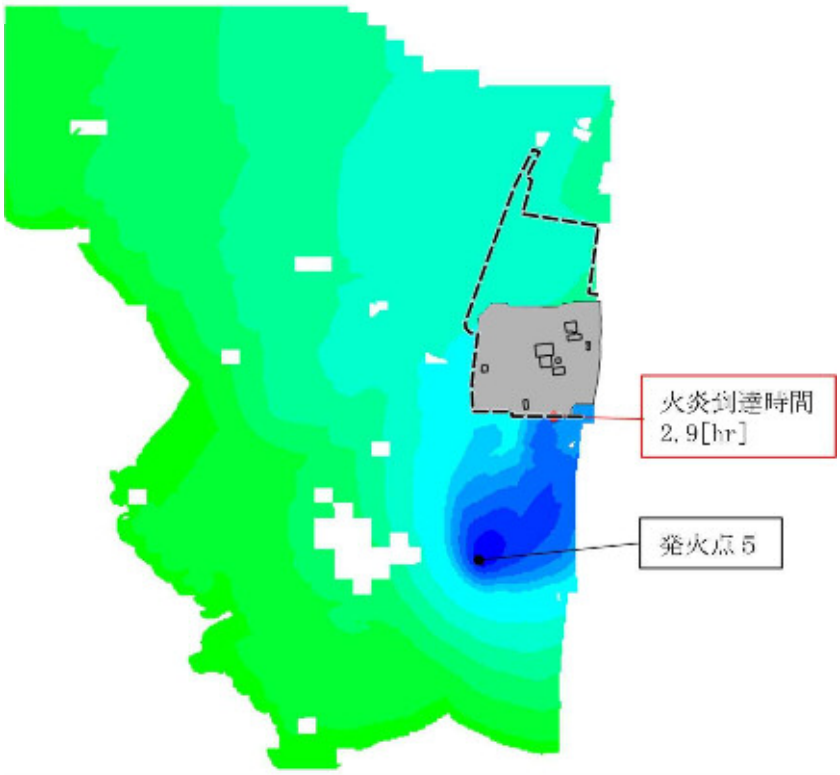
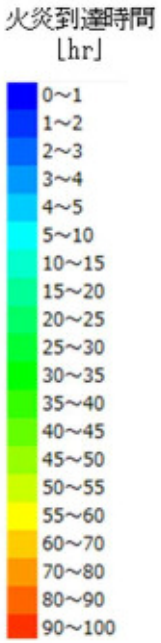
第 3.1-4 表　発火点 3 の延焼状況

発火点 3		
火線強度		
火炎到達時間		
― ― ― ―：当社敷地及び当社敷地外設備配置計画地を含む境界		：防火帯内側

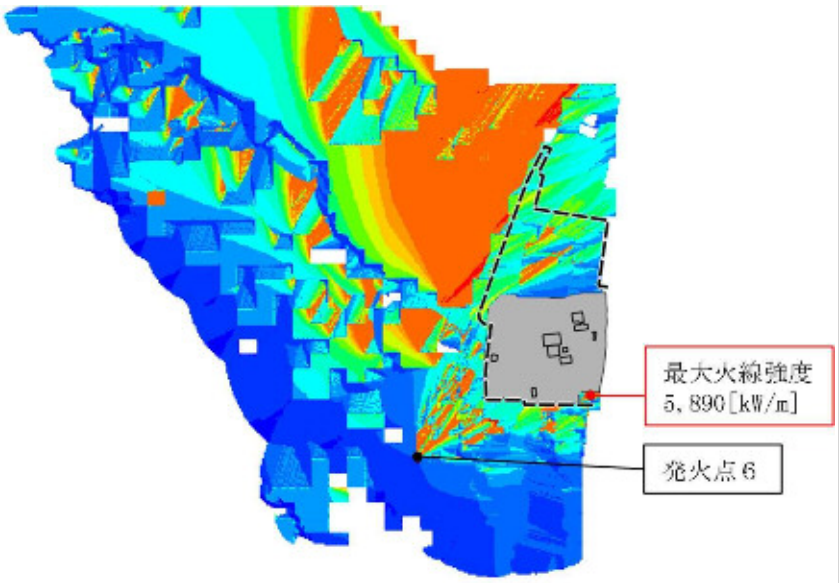
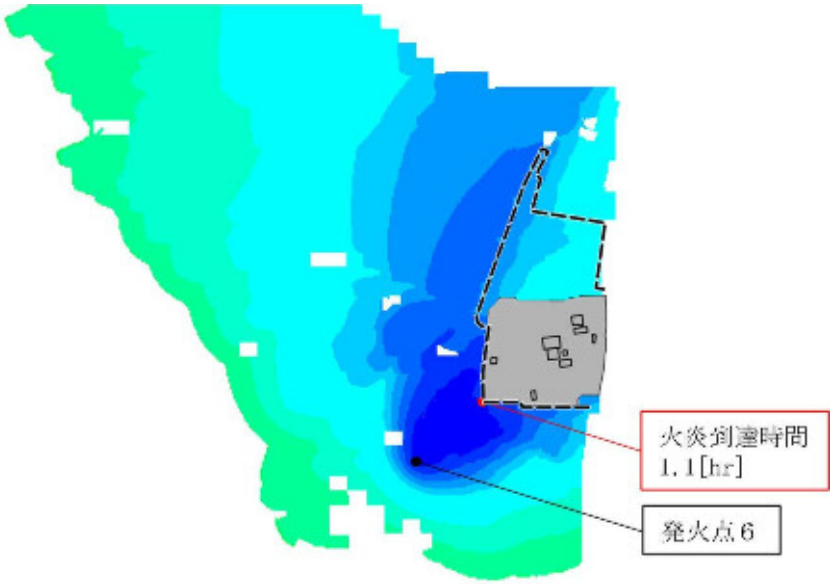
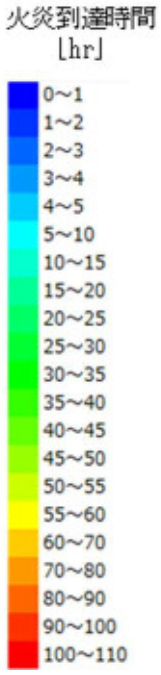
第 3.1-5 表　発火点 4 の延焼状況

<table>
<tr><td colspan="2">発火点 4</td><td></td></tr>
<tr><td>火線強度</td><td> 
</td><td>火線強度
[kW/m]
0～50
50～100
100～200
200～300
300～400
400～500
500～600
600～700
700～800
800～900
900～1000
1000～10000
10000～400000</td></tr>
<tr><td>火炎到達時間</td><td> 
</td><td>火炎到達時間
[hr]
0～1
1～2
2～3
3～4
4～5
5～10
10～15
15～20
20～25
25～30
30～35
35～40
40～45
45～50
50～55
55～60
60～70
70～80
80～90
90～100</td></tr>
<tr><td colspan="3">－－－－：当社敷地及び当社敷地外設備配置計画地を含む境界　　：防火帯内側</td></tr>
</table>

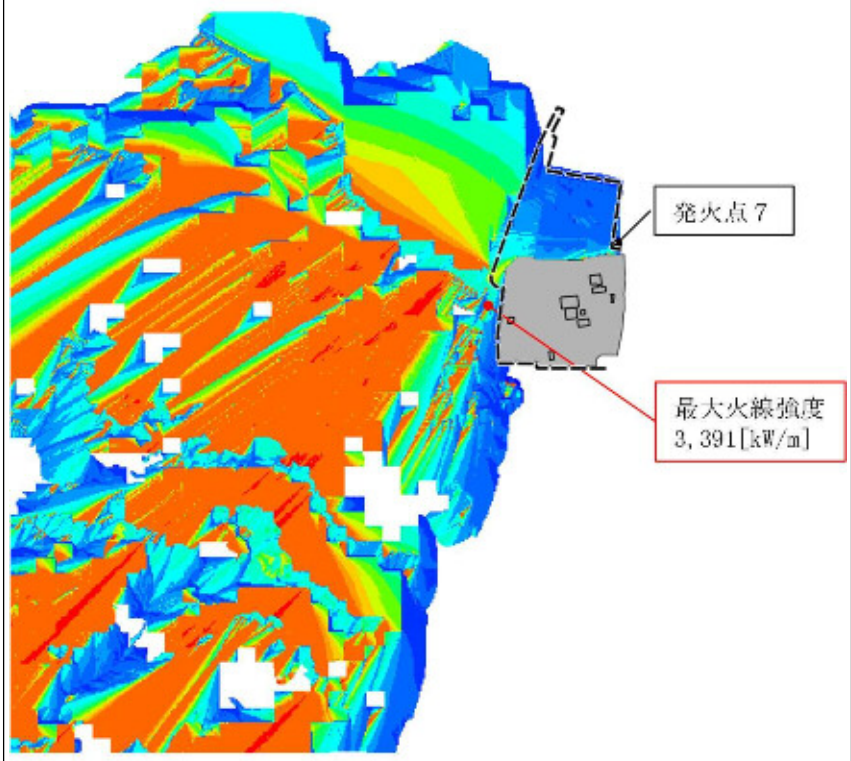
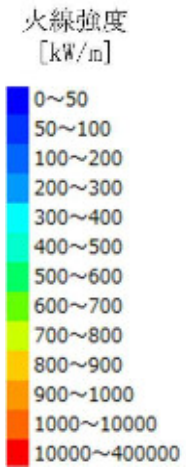
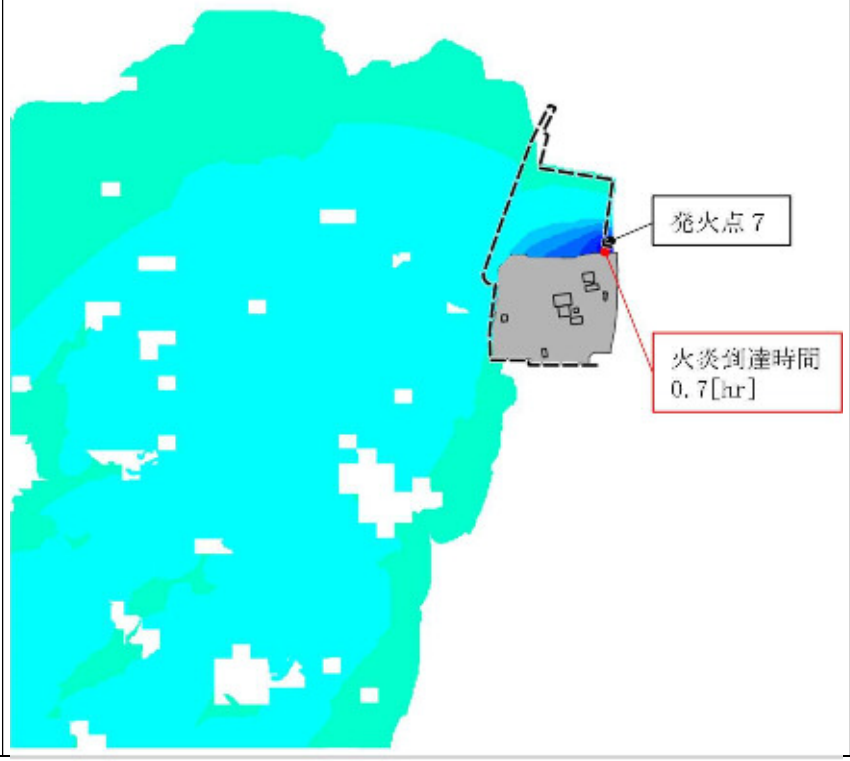
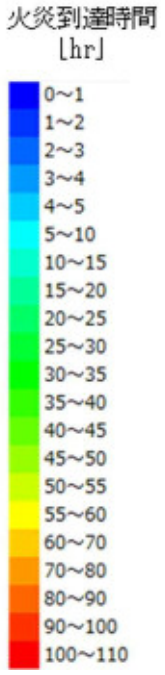
第 3.1-6 表　発火点 5 の延焼状況

<table>
<tr><td colspan="2">発火点 5</td><td></td></tr>
<tr><td>火線強度</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>火炎到達時間</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">－－－－：当社敷地及び当社敷地外設備配置計画地を含む境界　　：防火帯内側</td></tr>
</table>

第 3.1-7 表　発火点 6 の延焼状況

<table>
<tr><td colspan="2">発火点 6</td><td></td></tr>
<tr><td>火線強度</td><td> 
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>火炎到達時間</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">－－－－：当社敷地及び当社敷地外設備配置計画地を含む境界　　：防火帯内側</td></tr>
</table>

第 3.1-8 表　発火点 7 の延焼状況

<table>
<tr><td colspan="2">発火点 7</td><td></td></tr>
<tr><td>火線強度</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>火炎到達時間</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">－－－－：当社敷地及び当社敷地外設備配置計画地を含む境界　　：防火帯内側</td></tr>
</table>

4.　森林火災の影響評価結果

4.1　火炎到達時間の評価結果

(1)　火炎到達時間

防火帯を設置することで，森林火災が発電用原子炉施設へ延焼する可能性は低いが，森林火災の状況に応じて防火帯付近にて散水を行い，万が一の飛び火による延焼を防止する。

ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果より，発火点１の火災が防火帯外縁に到達する最短時間は 0.2 時間（約 12 分）であるため，この時間以内で予防散水が可能であることを確認する。

発火点１の位置関係を第 4.1-1 図に示す。

第 4.1-1 図　発火点１との位置関係

(2)　火災の覚知

発電所敷地及び敷地境界付近における火災については以下の方法で早期覚知が可能である。

a．発電所構内で作業を行う者に対し，火災を発見した場合，当直守衛員に速やかに通報する事を，社内規程で定めている。通報を受けた通報連絡責任者は現場指揮者，消火担当及び所内関係者に連絡するとともに，消防機関（119 番）に連絡を行う。

b．想定される自然現象等の影響について，昼夜にわたり発電所周辺の状況を把握する目的で設置する津波・構内監視カメラを使用して森林火災に対する監視を行う。津波・構内監視カメラは，発電所周辺の森林火災を監視できる位置に設置し，24 時間要員が常駐する中央制御室及び守衛所からの監視が可能な設計とする。

c．火災感知器（サーモカメラ）を設けることで早期覚知が可能な設計とする。火災感知器が火災を感知した場合，中央制御室及び守衛所に警報がなる設計とすることに加え，中央制御室及び守衛所から可視カメラで現場の状況が瞬時に確認でき，速やかに火災現場に向かえる設計とする。

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

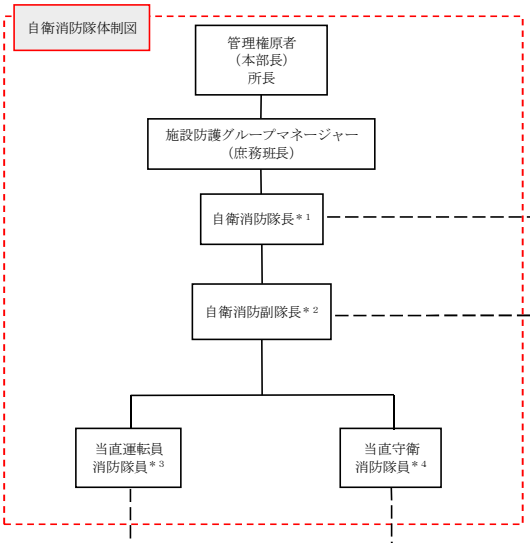
(3)　消火活動

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 4.1-1 表，消防訓練の実績と頻度を第 4.1-2 表，消防訓練の状況を第 4.1-2 図に示

す。なお，消火担当７名のうち一部は委託員となるが，社員同様の教育，訓練を実施しており，必要となる力量を有している。

第 4.1-1 表　森林火災発生時の初期消火活動要員の人数と役割



初期消火要員の人数と役割

担当	人数	役割
現場指揮者	1	・出動の準備／火災現場への移動 ・火災状況の把握 ・現場状況の所内関係者への伝達 ・火災現場での初期消火活動への指揮 ・消防機関到着後の状況報告
現場連絡責任者	1	・消防機関への情報提供 ・消防機関の現場誘導
通報連絡責任者	1	・消防機関への通報 ・所内関係者への連絡及び出動指示 ・避難周知
連絡担当	1	・火災現場への移動および状況確認 ・現場状況の所内関係者への伝達 ・可能な範囲での初期消火
消火担当	7	・出動の準備／火災現場への移動 ・消防自動車，消火器，消火栓等による初期消火活動

注：（　）内は，災害対策本部設置後の体制を示す。
＊１：現場指揮者（夜間・休日は宿直当番者対応）
＊２：現場連絡責任者（夜間・休日は宿直当番者対応）
＊３：東海第二発電所の管理区域及び周辺防護区域内における初期消火活動等
＊４：構内全域における初期消火活動等

第 4.1-2 表　消防訓練実績と頻度（平成 27 年度）

訓練項目	頻度	実績	対象者	訓練内容
油火災消火訓練	4 回/年	実績無し	自衛消防隊	油火災（タンク火災等）を想定した消火訓練
消防車放水訓練他	1 回以上/月	99 回	自衛消防隊	建物火災を想定した消火訓練
消防機関との合同訓練	1 回/年	H27.10.28	自衛消防隊	管理区域内建物火災を想定した通報連絡，消火訓練
海上災害防止センター消防訓練	4 回/年	H27.9.24～25 H27.11.26～27 H27.12/14～18 H28.2.1～2	自衛消防隊	外部施設（横須賀）による実火訓練
総合火災訓練	1 回/年	H27.10.28	発電所全体自衛消防隊	管理区域内建物火災を想定した通報連絡，避難，消火訓練
防火訓練	2 回/年	H27.9.19 H28.3.9	一般所員 協力会社	初期消火の基本動作訓練
森林火災 散水訓練	－	実績無し	自衛消防隊	森林火災を想定した散水訓練

第 4.1-2 図　消防訓練状況

b．散水開始までの所要時間

(a)　防火帯への散水

ⅰ）　火炎到達時間が最短となる発火点1から出火した森林火災が，最短で発電所に到達する散水地点Ａにおいて散水活動を行う。散水位置を第4.1-3図に示す。

ⅱ）　水源は散水地点に最も近い屋外消火栓※を使用する。なお，屋外消火栓の水源は原水タンクであり，このタンクの水源は工業用水より自動補給されるため，連続散水が可能である。原水タンクは防火帯の内側に設置されているため，森林火災の影響は受けない。

ⅲ）　消防車1台を使用したときの対応人数を第4.1-3表に，消防自動車仕様を第4.1-4表に示す。

ⅳ）　万が一の飛び火等による火炎の延焼を確認した場合には，自衛消防隊による初期消火活動を行う。なお，外部からの情報により森林火災を認識し，防火帯に到達するまでに時間的な余裕がある場合には，発電所構内への延焼を抑制するために防火帯近傍への予防散水を行う。

※：外部電源喪失により屋外消火栓の駆動ポンプである構内消火用ポンプが使用不能となった場合には，防火水槽を水源とし，消防車を用いて散水する。なお，消防車のポンプ圧力性能（約2.1MPa）は，防火水槽から最も遠い防火帯外縁への散水を想定した最大の損失圧力（約1.2MPa）を上回るため，防火帯外縁の全ての箇所について散水可能である。

第 4.1-3 表　散水地点及び対応人数（防火帯）

散水地点	発電所西側 散水地点Ａ
消火栓位置	屋外消火栓（設置予定）
ホース展張距離	約 100m
消防車台数	1 台
対応人数	現場指揮者　：1 名　現場連絡責任者　：1 名 散水筒先　：2 名　ホース展張　：3 名 ホース監視　：1 名　燃料補給　：1 名 連絡責任者　：1 名　連絡担当　：1 名 合計　：11 名

第 4.1-3 図　散水位置（防火帯）

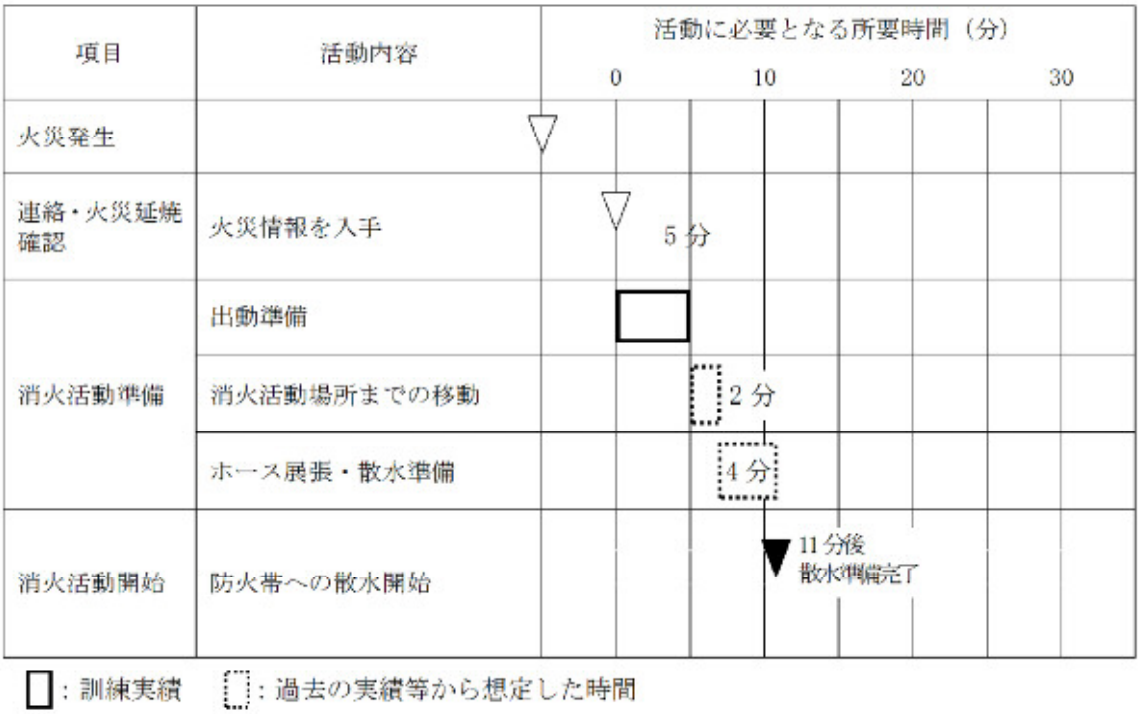
第 4.1-4 表　消防自動車仕様

設備	数量 (台)	水槽容量 (L)	薬液槽容量 (L)
化学消防自動車	1	1,500	300
水槽付消防ﾎﾟﾝﾌﾟ自動車	1	2,000	－

(b)　所要時間

第 4.1-5 表に示すとおり，火災情報入手後，11 分で散水活動を開始可能である。

第 4.1-5 表　散水開始までの所要時間（防火帯）



(c)　評価結果

発火点 1 の火炎到達時間 0.2 時間（約 12 分）以内で散水が可能である。なお，発火点 1 と防火帯の間は幅 7m の道路があり，解析モデルへは保守的に周囲と同じ植生※を入力し，火炎到達時間を算出している。実際には非燃焼領域であるこの道路があることによって，火炎到達時間はより長くなると考えられる。

※：解析上は，道路周囲と同じ植生（落葉広葉樹）を入力

(4)　森林火災時のモニタリングポストへの対応

モニタリングポストについては，発電所周辺監視区域付近における空間線量率の監視を行うために発電所敷地境界付近（防火帯の外側）に4箇所設置している。

モニタリングポストは防火帯外側に設置されているため，森林火災による影響を確実に防止できるとは考えていない。

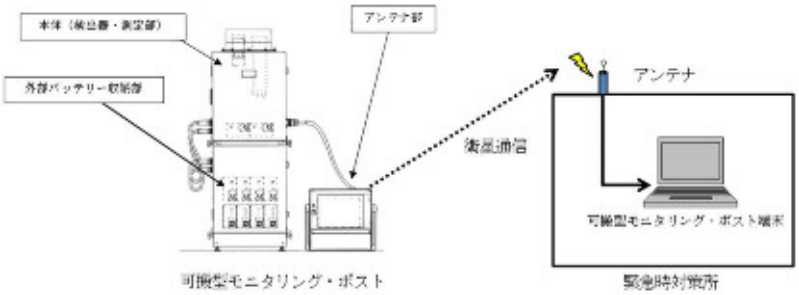
モニタリングポストが森林火災の影響を受け機能を喪失した場合は，防火帯内側に保管してある可搬型モニタリングポストを設置し，代替監視を行う。可搬型モニタリングポストはモニタリングポスト用として4台準備する。また，電源は外部バッテリーを適時交換することで連続供給可能であり，データ伝送は衛星回線による通信機能を有しており，中央制御室及び緊急時対策所にて，常時監視が可能である。

なお，可搬型モニタリングポストを配置場所まで運搬・設置し，監視・測定を監視するまでの所要時間は，1台当たり約50分を想定（10台設置する場合は，約8時間10分を想定）。

可搬型モニタリングポストのイメージ図を第4.1-4図，配置図を第4.1-5図に示す。

森林火災が発生した場合，防火帯内側にある発電用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発電用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：40m^3）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）

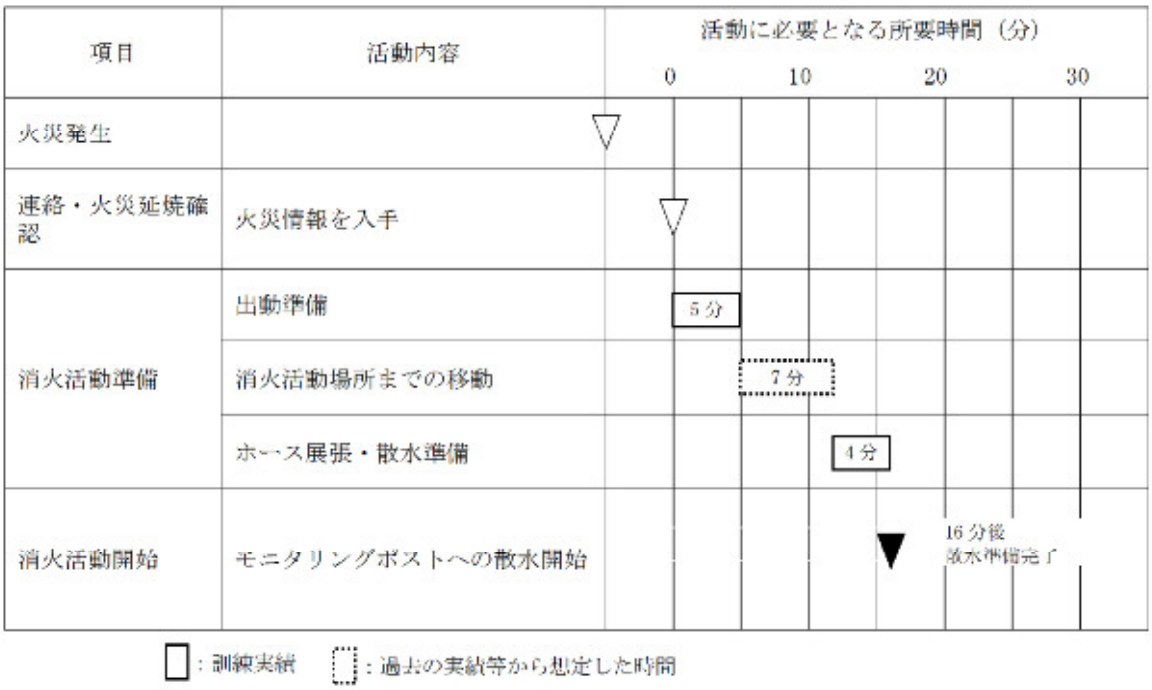
散水地点	モニタリングポスト D	
防火水槽位置	北地区防火水槽（北側）	
ホース展張距離	150m	
消防車台数	1 台	
対応人数	現場指揮者　：1 名 散水筒先　：2 名 ホース監視　：1 名 連絡責任者　：1 名 合計　：11 名	現場連絡責任者　：1 名 ホース展張　：3 名 燃料補給　：1 名 連絡担当　：1 名

第 4.1-5 図　モニタリングポスト位置及び可搬型モニタリングポスト設置位置

(b)　訓練結果

第 4.1-7 表に示すとおり，火災情報入手後，約 16 分で散水活動を開始可能である。ただし，この結果は防潮堤を考慮していないため，防潮堤設置後に再訓練を実施し，散水開始までの所要時間を確認する。

第 4.1-7 表　散水開始までの所要時間（モニタリングポスト）



(5) ホース展張距離を踏まえた散水可能範囲

これまでのホース展張検証により，約 900m のホース展張が可能であることを確認している。防火帯内の屋外消火栓から防火帯周辺までの離隔距離は，最長でも 300m 未満であるため，防火帯内の散水は可能である。（別紙 2.9）

4.2　防火帯幅

(1)　防火帯幅の設定

ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果から算出された，防火帯外縁から 100m の範囲における最大火線強度は，発火点 3 の 6,278kW／m であり，「Alexander and Fogarty の手法（風上に樹木が有る場合）」を用いて，防火帯幅（火炎の防火帯突破確率 1%の値）を算出した結果，評価上必要とされる防火帯幅 21.4m に対して，約 23m 幅の防火帯を設定する。火線強度に対する防火帯の相関図を第 4.2-1 図に示す。

最大火線強度 6,278kW／m （発火点3）

⇩

風上に樹木が有る場合の火線強度と最小防火帯幅の関係（火炎の防火帯突破確率1%）

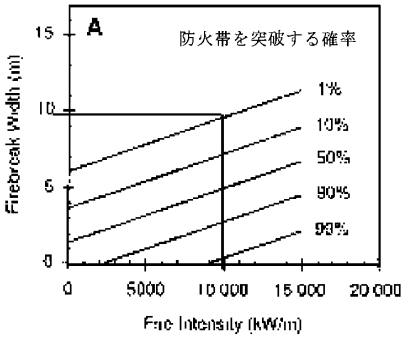
火線強度 (kW/m)	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	16	16.4	17.4	18.3	19.3	20.2	24.9	29.7	34.4	39.1

⇩

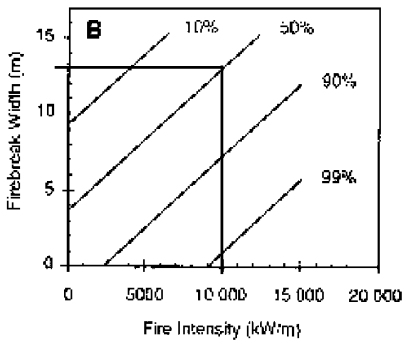
評価上必要とされる防火帯幅 21.4m

⇩

想定する防火帯幅 約23m



A：防火帯幅と防火帯の風上20m内に樹木が存在しない場合



B：防火帯幅と防火帯の風上20m内に樹木が存在する場合

第 4.2-1 図　火線強度に対する防火帯の相関図

(2)　火線強度抽出範囲の設定について

防火帯幅は，防火帯外縁に存在する植生からの延焼を考慮して，防火帯外縁の最大火線強度に基づき算出するが，防火帯外縁から離れた地点でより大きい火線強度が存在する可能性を考慮して，防火帯外縁から 100m 範囲の火線強度を確認している。この結果から得られた最大火線強度 6,278kW／m に基づく防火帯幅 21.4m に保守性を持たせた約 23m の防火帯を設定する。なお，防火帯外縁から 100m より遠くに存在するメッシュについて，必要な防火帯幅が 100m 以上となるものはないことを確認しているため，防火帯幅の決定において考慮する必要はない。

(3)　出火時刻の違いによる感度解析について

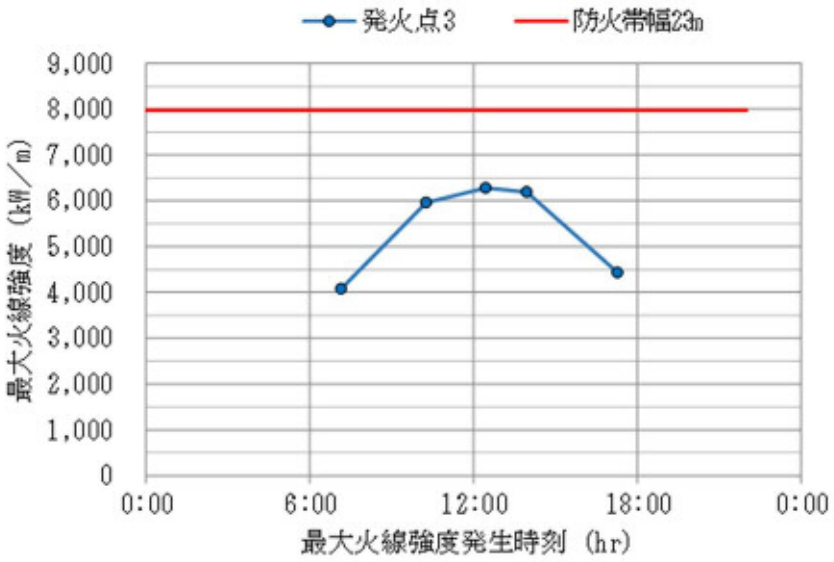
ＦＡＲＳＩＴＥでは日射量が可燃物の水分量に影響を与えるため，日射量が多くなる日中時間帯に火線強度が高くなる。同じ発火点からの火災であっても，出火時刻によって最大火線強度に違いが生じるため，全発火点のうち最も高い最大火線強度となった発火点 3 に対して 4 パターンの出火時刻を設けて，感度解析を行った。解析結果を第 4.2-1 表に示す。

第 4.2-1 表　感度解析結果

発火点位置	発火点3				
最大火線強度発生時刻	7:09	10:16	12:27	13:57	17:17
最大火線強度(kW／m)	4,080	5,959	6,278	6,193	4,436

設定する防火帯幅約 23m に相当する火線強度 7,978kW／m は，第 4.2-2 図に示すとおり，感度解析から算出された火線強度を十分に上回ることを

確認した。



第 4.2-2 図　感度解析結果と防火帯 23m の火線強度

(4)　防火帯の設定

a．防火帯の設定方針

(a)　防火帯幅は，防護対象設備（安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３のうち防火帯幅の確保により防護する設備）を囲むように設定する。

(b)　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。

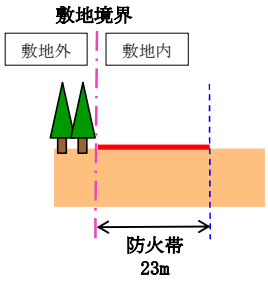
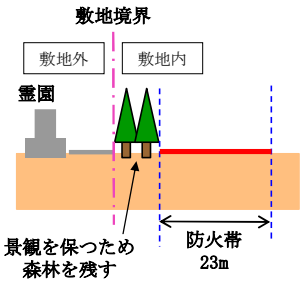
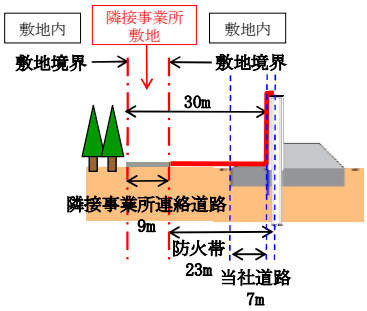
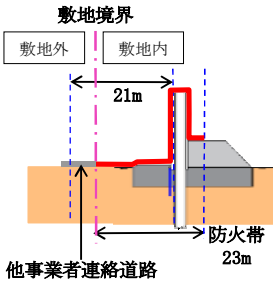
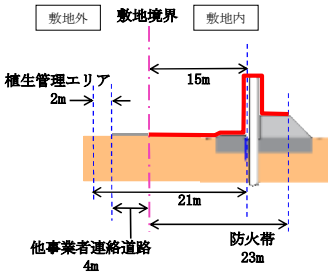
b．防火帯の設定方法

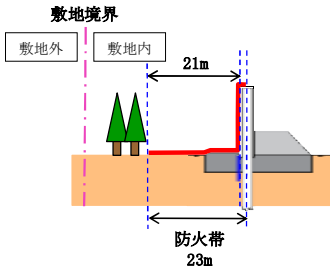
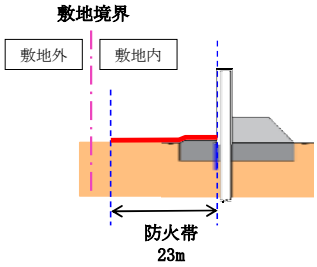
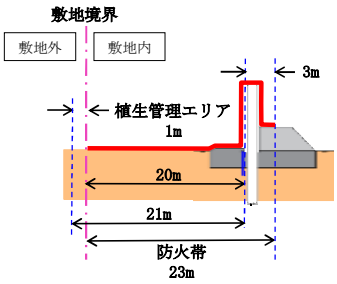
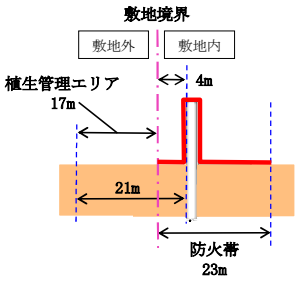
防火帯の設定方法を第 4.2-3 図に示す。

なお，防火帯を 9 のエリアに分割し，設定方法の違いと特徴について第 4.2-2 表に示す。

第 4.2-3 図　防火帯の配置図

第 4.2-2 表　エリア別防火帯の設定方法

①		【防潮堤がないエリア】 防火帯の外側のラインが敷地境界に接するように防火帯を設定する。
②		【防潮堤がないエリア】 霊園付近は，霊園からの景観を考慮し，敷地境界内側に幅 10m 程度の森林を残し，その内側に防火帯を設定する。
③		【防潮堤から敷地境界の距離が 21m 以上のエリア】 　他事業者連絡道路と防潮堤の間に 21m の離隔距離をもたせ，21m のラインに接するように防火帯を設定する。
④		【防潮堤から敷地境界の距離が 21m 以内のエリア】 防火帯の外側のラインが敷地境界に接するように防火帯を設定する。 なお，他事業者連絡道路を含めて防潮堤に対する 21m の離隔距離を確保する。
⑤		【防潮堤から敷地境界の距離が 21m 以内のエリア】 防火帯の外側のラインが敷地境界に接するように防火帯を設定する。 なお，植生管理エリアを設定し，他事業者連絡道路を含めて防潮堤に対する 21m の離隔距離を確保する。

⑥		【防潮堤から敷地境界の距離が 21m 以上のエリア】 防潮堤のある領域については，防火帯外側のラインが防潮堤外側から 21m のラインに接するように防火帯を設定する。 防潮堤と接していない領域については，23m の幅で東側の海に到達させる。
⑦		【防潮堤から敷地境界の距離が 21m 以上のエリア】 防潮堤のある領域については，防火帯内側が防潮堤外側のラインに接するように防火帯を設定する。 防潮堤と接していない領域については，23m の幅で東側の海に到達させる。
⑧		【防潮堤から敷地境界の距離が 21m 以内のエリア】 防火帯の外側のラインが敷地境界に接するように防火帯を設定する。 なお，植生管理エリアを設定し，防潮堤に対する 21m の離隔距離を確保する。
⑨		【防潮堤から敷地境界の距離が 21m 以内のエリア】 防火帯の外側のラインが敷地境界に接するように防火帯を設定する。 なお，植生管理エリアを設定し，防潮堤に対する 21m の離隔距離を確保する。

d．防火帯の管理

防火帯の管理については火災防護計画に定め，駐車車両等の可燃物及び消火活動に支障となるものは原則として配置しない管理を行う。（別紙 2.6）

4.3　熱影響と危険距離の評価

影響評価対象施設に対して，森林火災による熱影響評価を行った。

4.3.1　パラメータの算出

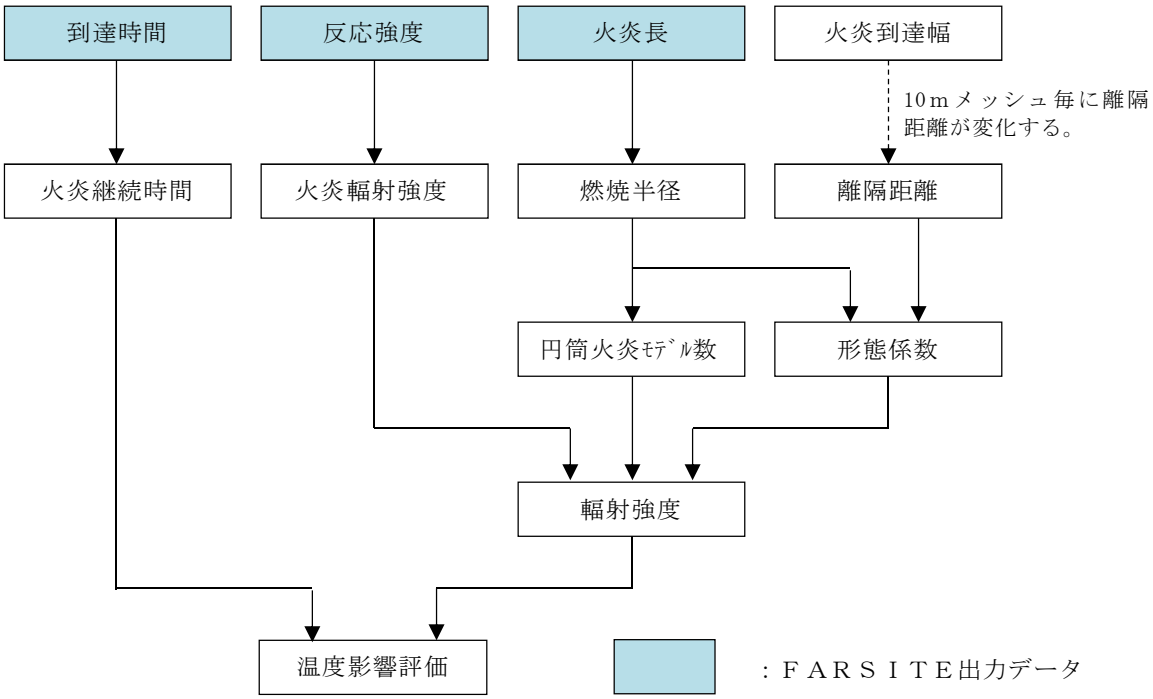
ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果である火炎到達時間，反応強度，火炎長から，温度評価に必要なデータを算出した。温度評価に用いたデータの説明を第4.3.1-1表，ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果及び算出データを第4.3.1-2表，温度評価の流れを第4.3.1-1図に示す。

第4.3.1-1表　温度評価に用いたデータ内容

項　　目		内　　容
FARSITE 解析結果	火炎到達時間 (hr)	出火から火炎の前線が該当地点に到達するまでの時間。火炎継続時間の算出に使用する。
	反応強度 (kW/m^2)	単位面積当たりの熱放出速度であり，火炎輻射強度の根拠となる火災規模。火炎輻射強度の算出に使用する。
	火炎長 (m)	反応強度が最大位置の火炎の高さ。円筒火炎モデルの形態係数の算出に使用する。
FARSITE 解析結果 より算出 したデータ	火炎継続時間 (hr)	到達時間から算出され，円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出に使用する。
	火炎輻射強度 (kW/m^2)	反応強度に米国NFPAの係数0.377を乗じて算出され，円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出に使用する。
	燃焼半径 (m)	火炎長に基づき算出され，円筒火炎モデルの形態係数の算出に使用する。
	火炎到達幅 (m)	防火帯外縁における火炎到達セル数×セル幅（10m）

第 4.3.1-2 表　ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果及び算出データ

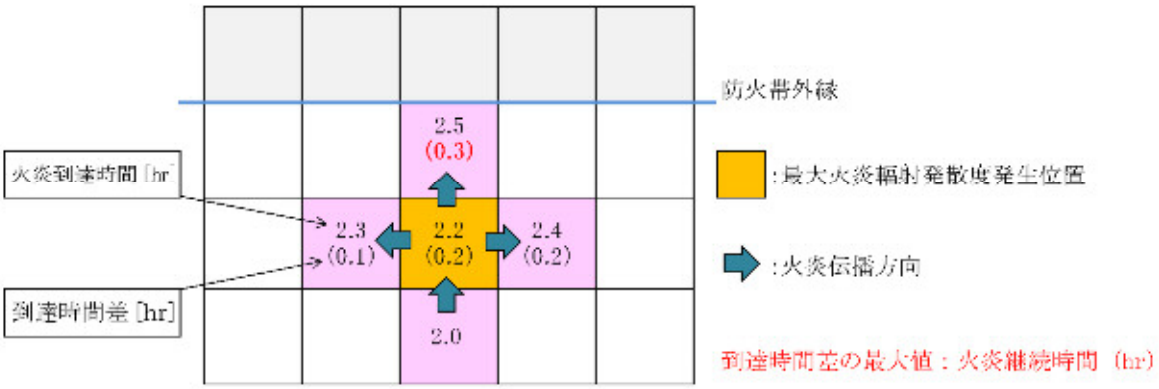
項　目	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
火炎到達時間 (hr)	0.2	4.0	0.7	6.0	2.9	1.1	0.7
火炎長 (m)	0.7	0.9	1.6	1.1	1.5	1.6	1.5
火炎継続時間 (hr)	0.36	0.16	0.07	0.16	0.10	0.06	0.08
火炎輻射強度 (kW/m^2)	442	441	442	440	444	443	439
燃焼半径 (m)	0.2	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
火炎到達幅 (m)	1,960	1,550	1,960	1,460	1,960	1,960	1,330



第 4.3.1-1 図　温度評価流れ図

(1)　火炎継続時間

最大火炎輻射強度の発生メッシュと隣接メッシュにおける火炎到達時間の差を火炎継続時間とする。2 つ以上の伝播方向がある場合は，最大時間を選択する。火炎継続時間の概念図を第 4.3.1-2 図に示す。



第 4.3.1-2 図　火炎継続時間の概念図

(2)　火炎輻射強度

火炎輻射強度はＦＡＲＳＩＴＥ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と，火炎・煙として対流放出される熱エネルギの和から求められることから，反応強度に対する火炎輻射強度の割合を求めることで，反応強度から火炎輻射強度を算出する。「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」から各樹木の発熱量を引用し，反応強度に対する火炎輻射強度の割合を算出する。

東海第二発電所の周囲は，針葉樹で囲まれていることから，針葉樹の係数 0.377 を使用する。火炎輻射強度と反応強度の発熱量の関係を第 4.3.1-3 表に示す。

反応強度（W／m^2）＝火炎輻射強度（W／m^2）＋火炎対流発散度（W／m^2）

第 4.3.1-3 表　火炎輻射強度と反応強度の発熱量

発熱量（⊿H）	火炎輻射強度 （⊿Hrad）	火炎対流発散度 （⊿Hcon）	反応強度 （⊿Hch）	係数 （⊿Hrad/⊿Hch）
レッドオーク 発熱量 (落葉広葉樹の代表種)	4.6kJ／g	7.8kJ／g	12.4kJ／g	0.371
米松 発熱量 (針葉樹の代表種)	4.9kJ／g	8.1kJ／g	13.0kJ／g	0.377

※：「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」
（SFPE:米国防火技術者協会）より

(3)　燃焼半径

燃焼半径は，火炎長から算出する。

$$R = \frac{H}{3}$$

R ：燃焼半径(m)　　H ：火炎長(m)

(4)　火炎到達幅

発電所周囲の森林境界に到達した火炎のセル数×10m（セル幅）を火炎到達幅 W として算出する。

(5)　円筒火炎モデル数

円筒火炎モデル数及び 10m メッシュ内の円筒火炎モデル数を，火炎到達幅，燃焼半径から算出する。

$$F = \frac{W}{2R} \qquad F' = \frac{10}{2R}$$

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。

$$\emptyset_i = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left[\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right) - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right)\right]$$

$$m = \frac{H}{R},\quad n = \frac{L_i}{R},\quad A = (1+n)^2 + m^2,\quad B = (1-n)^2 + m^2$$

$\emptyset_i$：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。

$E_0 = \emptyset_0 \times F' \times R_f$　　（中心火炎の場合）

$E_i = \emptyset_i \times F' \times R_f \times 2$　（中心以外の火炎の場合）

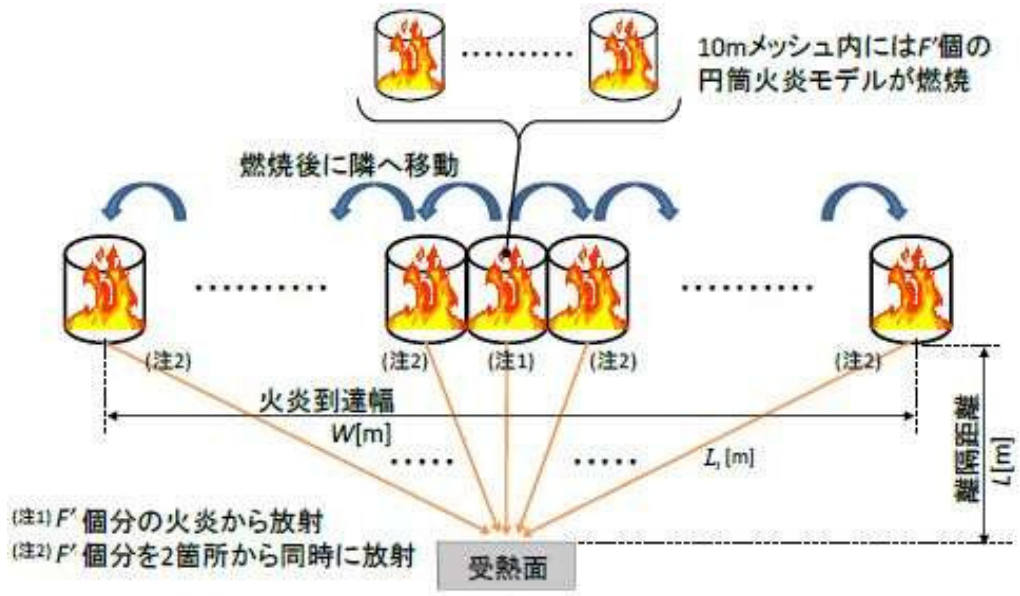
$\emptyset_i$：形態係数

R_f：最大火炎輻射強度(kW/m^2)

F’：円筒火炎モデル数（10m メッシュ）

(8)　温度評価条件

受熱面への輻射強度は，円筒火炎モデルを火炎到達幅の長さ分並べて，各々の輻射強度を積算し評価した。火炎輻射強度は各々の位置で強度の違いがあるが，本評価では保守的に最大火炎輻射強度の円筒火炎モデルが一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

4.3.2.1　建屋外壁の熱影響評価

(1)　影響評価対象範囲

影響評価対象施設の外壁について，森林火災を想定して評価を実施した。

(2)　影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を用いて評価を行う。影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第4.3.2.1-1図，第4.3.2.1-1表に示す。

第4.3.2.1-1図　影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

第4.3.2.1-1表　影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

影響評価対象施設	原子炉建屋	海水ポンプ室	使用済燃料乾式貯蔵建屋	タービン建屋
離隔距離(m)	267	242	37	221

(3)　判断の考え方

a．許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。なお，外壁にはガラリ，配管貫通部等が存在するが，これらに対する火災影響は敷地内火災に包絡されるため本評価では対象外とした。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式１の一次元非定常熱伝導方程式を差分法より解くことで，外壁表面の温度及び外壁表面の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を算出する。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right) \qquad \text{（式 1）}$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E - h\left(T - T_0\right) \quad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (x=L)$$

（出典：伝熱工学，東京大学出版会）

T	：表面温度(℃)	E	：輻射強度(W／m^2)
T_0	：周囲温度（50℃）※1	h	：熱伝達率（17.0W／m^2／K）※2
ρ	：密度（2,400kg／m^3）	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／m^2／K を用いる。）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad (式2)$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad (式3)$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ:形態係数，Ｌ:離隔距離(m)，Ｈ:炎の高さ(m)，Ｒ:燃焼半径(m)

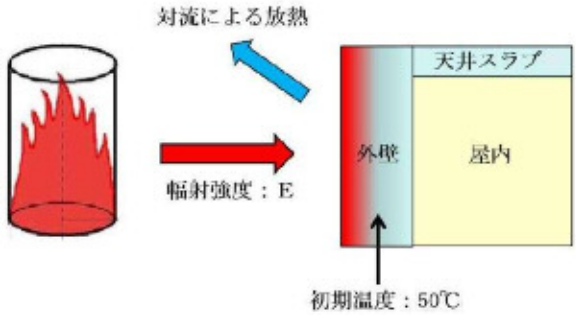
（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，最も近い防火帯外縁から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。建屋外壁の評価概念図を第 4.3.2.1-2 図，海水ポンプ室の評価概念図を第 4.3.2.1-3 図，天井スラブへの輻射熱の影響の概念図を第 4.3.2.1-4 図に示す。

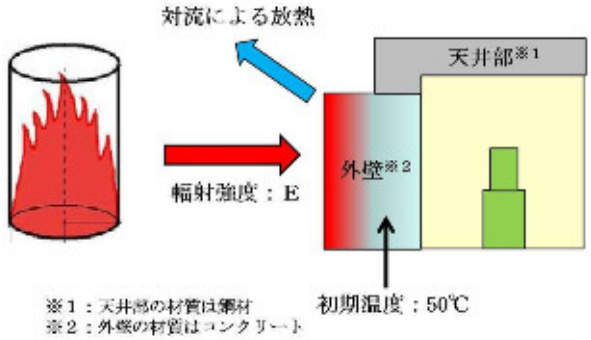
・火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。

・火炎長が天井スラブより長い場合，天井スラブに輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。

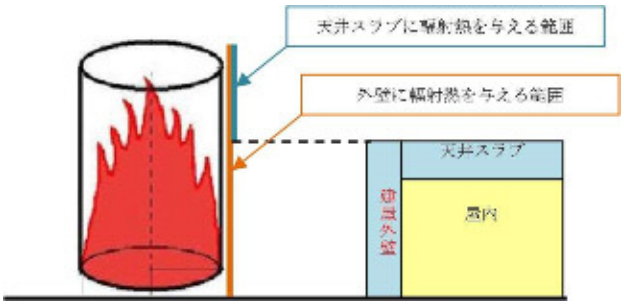
・海水ポンプ室の天井は鋼材，外壁はコンクリートであるため，許容温度が低い外壁の方が評価上厳しい。



第 4.3.2.1-2 図　建屋外壁の評価概念図



第 4.3.2.1-3 図　海水ポンプ室の評価概念図



第 4.3.2.1-4 図　天井スラブへの輻射熱の影響

c．評価結果

影響評価対象施設の外壁外面温度，外壁内面温度及び外壁外面温度が200℃となる危険距離を評価した結果，各評価結果が許容値以下であることを確認した。外壁外面温度の評価結果を第 4.3.2.1-2 表に，危険距離の評価結果を第 4.3.2.1-3 表に示す。

第 4.3.2.1-2 表　外壁外面の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点1	発火点2	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
原子炉建屋	51	51	52	52	52	52	52	＜200
海水ポンプ室	52	52	52	52	52	52	52	
使用済燃料乾式貯蔵建屋	79	77	85	82	88	83	83	
タービン建屋	52	52	52	52	52	52	52	

第 4.3.2.1-2 表　外壁内面の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点1	発火点2	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
原子炉建屋	51	51	51	51	51	51	51	＜200
海水ポンプ室	51	51	51	51	51	51	51	
使用済燃料乾式貯蔵建屋	54	52	52	53	52	52	52	
タービン建屋	51	51	51	51	51	51	51	

第 4.3.2.1-3 表　影響評価対象施設に対する危険距離

影響評価対象施設	危険距離（m）							離隔距離（m）
	発火点1	発火点2	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
原子炉建屋	14	13	15	15	16	15	15	267
海水ポンプ室	14	13	15	15	16	15	15	242
使用済燃料乾式貯蔵建屋	14	13	15	15	16	15	15	37
タービン建屋	14	13	15	15	16	15	15	221

4.3.2.2　建屋内部の室内温度評価

(1)　評価対象範囲

影響評価対象施設に対し，室内で人員の活動が必要な中央制御室について，森林火災を想定し，室内温度を評価した。

(2)　判断の考え方

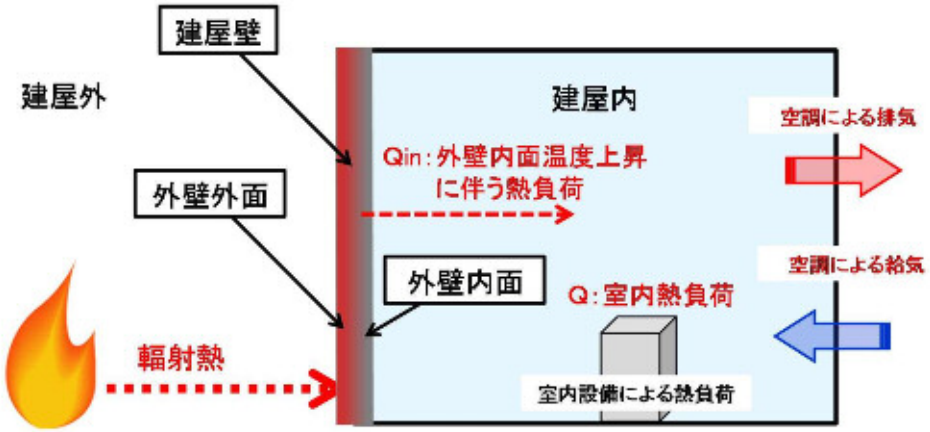
a．許容温度

中央制御室の設計室温から 40℃とする。

b．評価方法

4.3.2.1 の原子炉建屋の評価結果より，外壁内面温度は 51℃を想定した。なお，4.3.2.1 の外壁外面の評価結果は，原子炉建屋南側の壁であり，中央制御室のある東側の壁とは異なるが，保守的に南側の壁の評価結果を想定することとした。

室内温度評価の概念図を第 4.3.2.2-1 図，室内温度評価の評価条件を第 4.3.2.2-1 表に示す。



第 4.3.2.2-1 図　室内温度評価の概念図

第 4.3.2.2-1 表　室内温度評価の評価条件

評価条件項目		中央制御室 (原子炉建屋)
壁面寸法	壁面 表面積 (m^2)	188
熱負荷情報	室内熱負荷(W)	210,579
	風量(m^3／h)	42,504
	空調給気温度(℃)	15.5
室内許容温度	室内許容温度(℃)	40

4.3.2.1 の一次元非定常熱伝導方程式を用いて算出した第 4.3.2.2-2 表の外壁内面温度より，下式を用いて室内温度評価を算出した。

第 4.3.2.2-2 表　熱評価結果

火災源	評価対象	外壁内面温度[℃]
森林火災 (発火点 1)	中央制御室 (原子炉建屋)	51

$$Q_{in} = h_{in} A \ (T_{in} - T_{room})$$

Q_{in}：外壁内面温度上昇に伴う熱負荷(W)
h_{in}：外壁内面熱伝達率(8.29W/m^2/K)
A　：受熱壁の表面積 (m^2)
T_{in}：外壁内面最高温度(℃)，T_{room}：室温(℃)

室内温度の評価は，森林火災による外壁内面温度上昇に伴う熱負荷と室内の熱負荷及び空調による除熱を考慮し算出した。

$$T_{room} = \frac{Q + Q_{in}}{m \rho C_P} + T_a$$

Q：室内熱負荷(210,579W)，m：風量(42,504m^3／h)
ρ：空気密度 (1.2kg／m^3)
C_P：空気比熱(1,007 J／kg／K)，T_a：空調給気温度 (℃)

c．評価結果

森林火災を想定した中央制御室の室内温度を算出した結果，室内温度は許容温度以下であることを確認した。

評価結果を第 4.3.2.2-3 表に示す。

第 4.3.2.2-3 表　室内温度評価結果

火災源	評価対象	建屋内部の到達温度 (℃)	許容温度 (℃)
森林火災 (発火点 1)	中央制御室 (原子炉建屋)	33	＜40℃

4.3.2.3　排気筒に対する熱影響評価と危険距離の算出

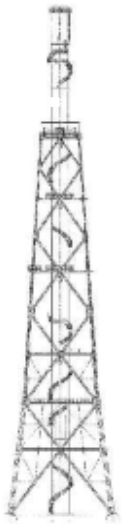
(1)　評価対象範囲

排気筒について，森林火災を想定して評価を実施した。

(2)　排気筒仕様を第 4.3.2.3-1 表に，排気筒外形図を第 4.3.2.3-1 図に示す。

第 4.3.2.3-1 表　排気筒仕様

名称		排気筒
種　類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個　数		1



第 4.3.2.3-1 図　排気筒外形図

(3)　影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第4.3.2.3-2表に示す。

第4.3.2.3-2表　影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設	排気筒
離隔距離 (m)	266

(4)　判断の考え方

a．許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度325℃以下とする。

b．評価方法

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により排気筒鉄塔表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。評価において対流による放熱を考慮している。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0 \qquad \text{（式1）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

Ｅ：輻射強度(W／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年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2：「空気調和ハンドブック」に記載されている表面熱伝達率のうち，保守的に最小となる垂直外壁面における夏場の表面熱伝達率（空気）を採用

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad (式2)$$

E：輻射強度(W／m^2)，Rf：火炎輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを，式3より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad (式3)$$

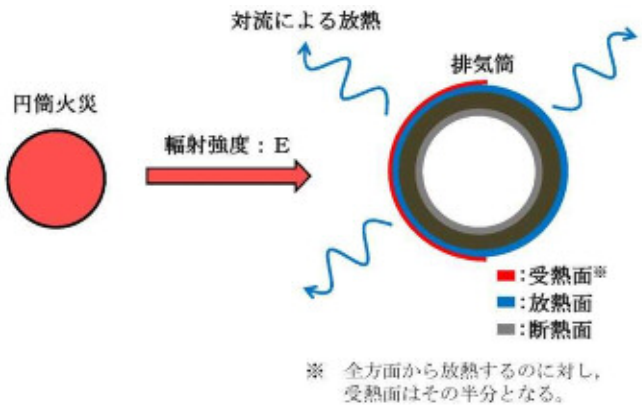
ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，L：離隔距離(m)，H：炎の高さ(m)，R：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，最も近い防火帯外縁から影響評価対象までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

なお，排気筒は鉄塔と筒身で構成されるが，鉄塔は筒身よりも火災源との距離が近いこと，材質も鉄塔はSS400，STK400，筒身はSS400であり物性値が共に軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。排気筒の評価概念図を第4.3.2.3-2図に示す。



第 4.3.2.3-2 図　排気筒の評価概念図

c．評価結果

森林火災によって上昇する排気筒鉄塔表面温度及び，排気筒鉄塔表面温度が 325℃となる危険距離を評価した結果，各評価結果が許容値以下であることを確認した。排気筒鉄塔表面温度を第 4.3.2.3-3 表に，排気筒に対する危険距離を第 4.3.2.3-4 表に示す。

第 4.3.2.3-3 表　排気筒の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
排気筒	51	52	52	52	52	52	52	＜325

第 4.3.2.3-4 表　排気筒に対する危険距離

評価対象施設	危険距離（m）							離隔距離（m）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
排気筒	12	14	20	15	19	20	19	266

4.3.2.4　ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する熱影響評価と危険距離の算出

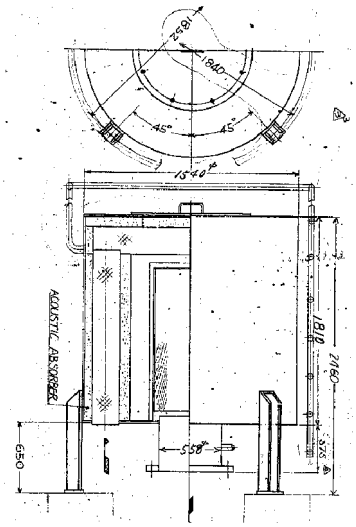
(1)　評価対象範囲

ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるＤ／Ｇ吸気系フィルタの流入空気温度について，森林火災を想定して評価を実施した。

(2)　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様を第 4.3.2.4-1 表に，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの外形図を第 4.3.2.4-1 図に示す。

第 4.3.2.4-1 表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様

名称	Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ
種　類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径　　：1.54m フィルタ円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第 4.3.2.4-1 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ外形図

(3)　影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第 4.3.2.4-2 表に示す。

第 4.3.2.4-2 表　影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設	Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ
離隔距離 (m)	267

(4)　判断の考え方

a．許容温度

Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの流入空気の許容温度は，火災時における温度上昇を考慮した場合において，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※：Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの流入空気温度が上昇すると，空気冷却出口温度が上昇し，シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱がＤ／Ｇ吸気系フィルタに流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式１により，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタに流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T \qquad (式1)$$

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（5℃）※4

※１：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間（2007 年～2016 年）の最高気温

※２：ディーゼル発電機機関の内，給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。
ディーゼル発電機機関吸気流量（228m^3/min）×空気密度（1.17kg/m^3）÷60

※３：日本機械学会 伝熱工学資料

※４：最高到達温度 150℃を介した温度上昇（5℃）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad (式2)$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

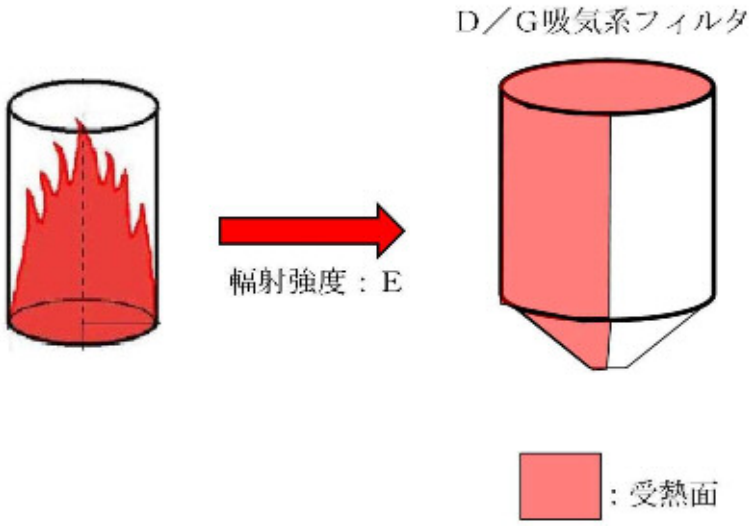
$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad （式３）$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，森林火災によって上昇するＤ／Ｇ吸気系フィルタを通して流入する空気の温度が，許容温度 53℃以下であるか評価を実施した。また，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの危険距離が離隔距離以下となるか評価を実施した。Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図を第 4.3.2.4-2 図に示す。



第 4.3.2.4-2 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図

c．評価結果

森林火災によって上昇するＤ／Ｇ吸気系フィルタを通して流入する空気の温度及び，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタを通して流入する空気の温度が53℃となる危険距離を評価した結果，各評価結果が許容値以下であることを確認した。

Ｄ／Ｇ吸気系フィルタを通して流入する空気の温度を第4.3.2.4-3表に，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタに対する危険距離を第4.3.2.4-4表に示す。

第4.3.2.4-3表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点1	発火点2	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
Ｄ／Ｇ吸気系ﾌｨﾙﾀ	43	43	43	43	43	43	43	＜53

第4.3.2.4-4表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタに対する危険距離

評価対象施設	危険距離（m）							離隔距離（m）
	発火点1	発火点2	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
Ｄ／Ｇ吸気系ﾌｨﾙﾀ	16	18	25	20	25	25	24	267

許容温度について

1. コンクリート及び鋼材の許容温度

「建築火災のメカニズムと火災安全設計（財団法人 日本建築センター）」に基づき，常温時の強度が維持される保守的な温度（コンクリートは 200℃，鋼材は 325℃）を許容温度とする。

以下に「建築火災のメカニズムと火災安全設計」の抜粋を示す。

コンクリートの許容温度に係る抜粋

（1）素材の高温強度

常温時のコンクリートの圧縮強度低下率を図 14 に示す。圧縮強度は 200℃程度までは常温と殆ど変わらないか，むしろ上昇する。しかし，その後は徐々に低下して 500℃で常温強度の 2／3 に，800℃では殆ど零となる。2／3 はコンクリートの短期許容応力に相当するので，500℃が素材としての限界温度と考えられる。また，図 15 に示すように高温から冷却した後の残存強度は，高温時の強度よりもさらに低下する。長期許容応力度を加熱前強度の 1／3 相当と考えると，火災後の残存強度を確保する場合には 450℃が限界となる。

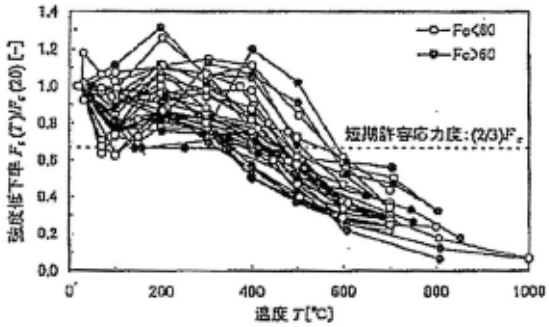


図 14 コンクリートの高温時圧縮強度（常温温度に対する比）
（参考文献 18）～23)のデータより作成

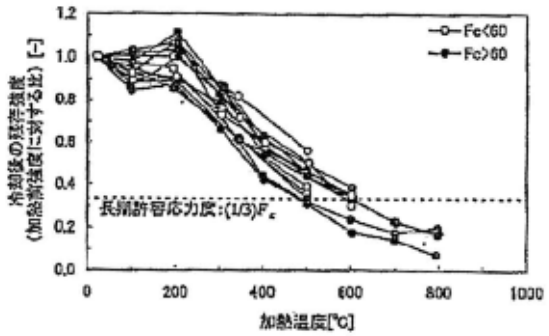


図 15 加熱後のコンクリート残存圧縮強度（加熱前強度に対する比）
（参考文献 24）～26)）のデータより作成

(1) 鋼材の高温耐力

図 4 は，各種温度における構造用鋼材（SM490A，基準強度[2]325N／mm[2]）の応力―ひずみ曲線の測定例である。常温での応力―ひずみ関係は，よく知られたように 0.2%程度まで弾性変形し，その後は耐力がほぼ 1 定のままひずみが増加する領域（ひずみ硬化域）がある。

高温での応力―ひずみ曲線の形は常温とことなる。降伏棚が消滅し，曲線は全体的に丸みを帯びる。耐力値そのものは，300℃では常温よりも上昇し，400℃を超えると急激に低下し始める。600℃以上ではひずみが増加しても耐力が減少する領域（ひずみ軟化域）がある。この領域に入ってしまうと，変形が歯止めなく進行して崩壊に向かう。

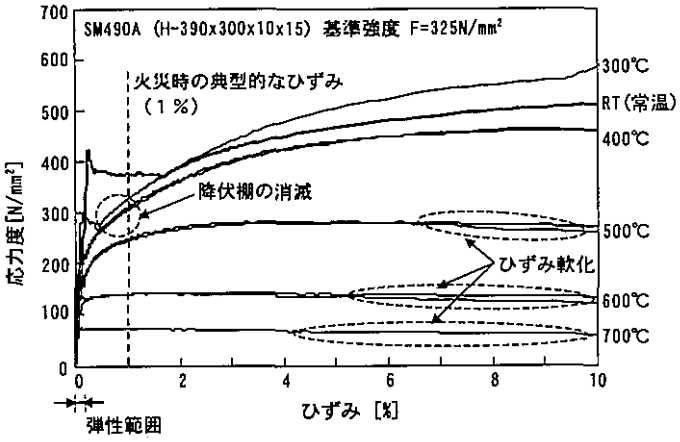


図 4　構造用鋼材の応力ー歪曲線の例[2)]
(出典：「2001年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説」、井上書院)

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)]。

$$\kappa(T) = \frac{\sigma_y(T)}{F} = \begin{cases} \boxed{} \\ \dfrac{700-T}{375} \quad (325 < T \leq 700) \end{cases} \qquad (4)$$

強度が変わらない最高温度である 325℃を許容温度に設定

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，

$$0.667 = \frac{700-T}{375} \qquad (5)$$

より，450℃が許容鋼材温度となる。

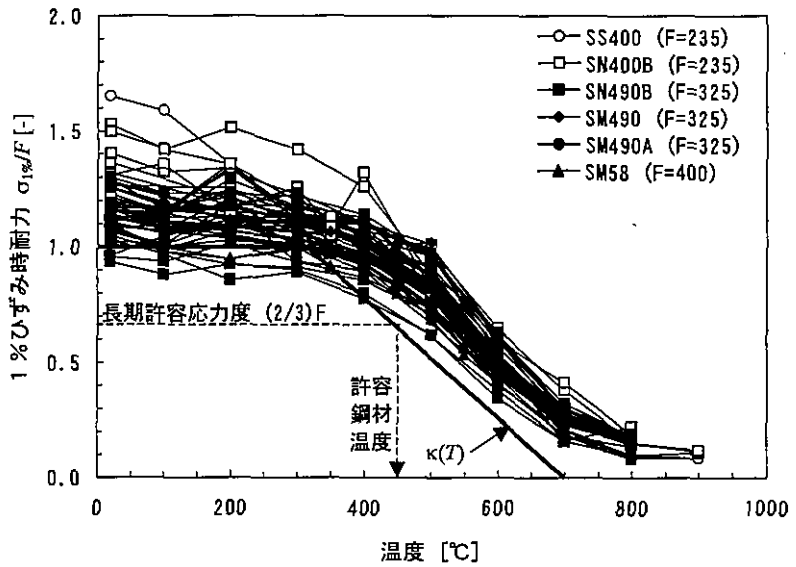


図５　各種鋼材の高温時の１％歪時耐力（参考文献[2)~6)] のデータから作成）

2. ディーゼル発電機吸気系の許容温度

過給機効率η_cの算出式①より，流入空気温度を求める式②に変換し，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な流入空気温度 53℃を算出し許容温度に設定した。

$$\eta_c = T_0 \times \{ (P_1 / P_0)^{0.286} - 1 \} / (t_1 - t_0) \quad \cdots ①$$

$$t_1 = T_0 \times \{ (P_1 / P_0)^{0.286} - 1 \} / \eta_c + t_0 \quad \cdots ②$$

T_0：流入空気温度（K）(＝t_0＋273)
t_1：ｼﾘﾝﾀﾞへの必要空気量を確保するための過給機出口最高温度（142℃）※1
t_0：流入空気温度(℃)，P_0：過給機入口圧力（0.101MPa）※2
P_1：過給機出口圧力（0.186MPa）※2，η_c：過給機効率（0.7）※3
※１：空気冷却器での冷却が可能な最高温度
※２：試験記録より
※３：製品仕様より

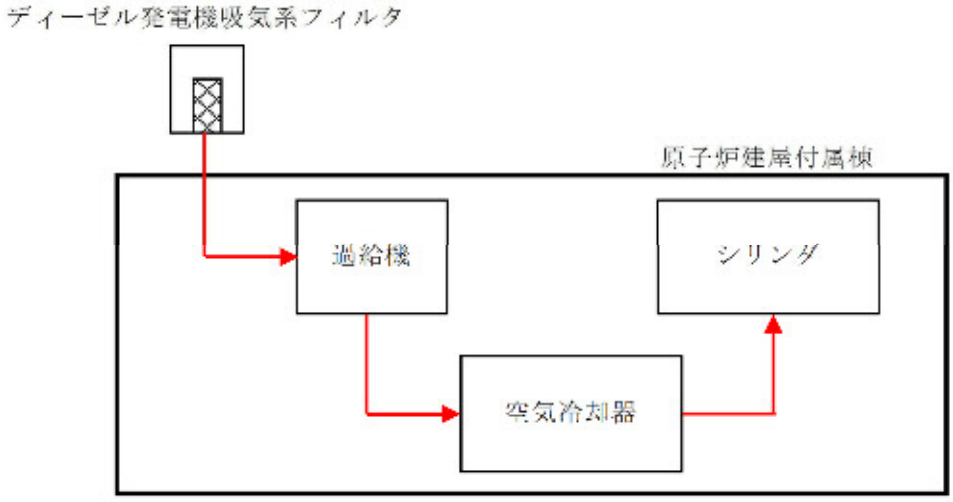


図 ディーゼル発電機吸気系統概略図

初期温度の考え方について

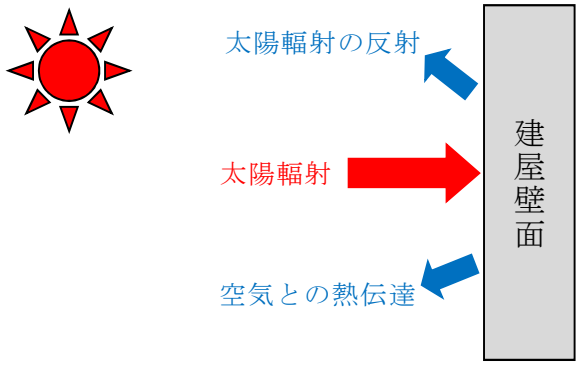
1. 外壁の初期温度

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。



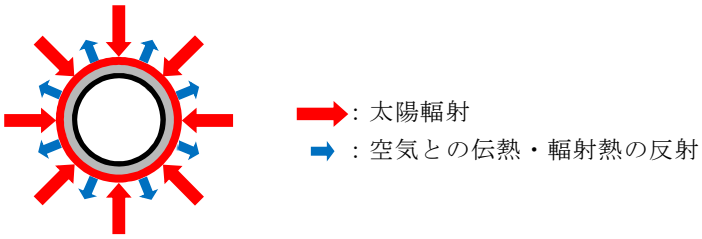
最　高　気　温：37.0℃
相 当 外 気 温：44.1℃
初　期　温　度：50.0℃

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。

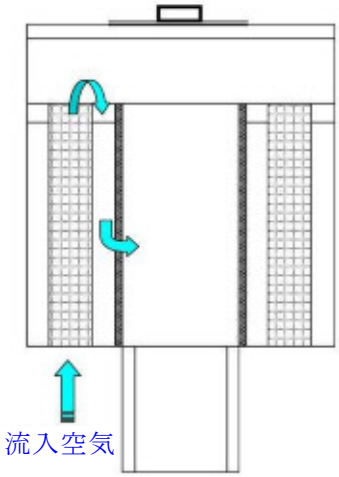
水戸地方気象台の過去１０年間の最高気温 37.0℃に，外気温度が最も高くなる時間帯（11～15 時）の日射量と排気筒の日射吸収率 1.0 を考慮すると，排気筒の相当外気温度の最大値は 47.2℃となり，これを切り上げ，50℃を初期温度として設定する。

最　高　気　温：37.0℃
相 当 外 気 温：47.2℃
初　期　温　度：50.0℃



3.　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ内への流入空気の初期温度

水戸地方気象台の過去 10 年間の最高気温 37.0℃を流入空気の初期温度とした。



防火帯内植生による評価対象施設への火災影響について

防火帯内の植生調査結果（平成 28 年 8 月現在）を基に作成した防火帯内植生図を下図に示す。

発電所敷地内で，現場作業に伴い「屋外の危険物保管」や「火気の使用」をする場合は，社内文書に基づき危険物や火気を管理した状態で取り扱うことから，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，防火帯内の発電用原子炉施設周囲の主な植生は，火線強度が低い，マツ（樹齢 10 年以上）や短い草であり，道路（幅約 10m）や非植生のエリアも多くあることに加え，防火の観点から定期的なパトロール等にて現場の状況を確認しており，迅速に消火対応が可能であるため発電用原子炉施設への影響はない。

図　防火帯内植生図

斜面に設定している防火帯の地盤安定性について

斜面に設定する防火帯範囲を下図に示す。この斜面については，基準地震動を想定した地盤安定性評価を実施しており，崩落しないことを確認している。このため，斜面に設定している防火帯が斜面の崩落により機能を喪失することはない。

図　崩落評価の実施箇所と防火帯位置の関係

防潮堤等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

対象名	設置箇所	構造概要
鋼管杭鉄筋 ｺﾝｸﾘｰﾄ防潮壁	全体	・丸ﾊﾟｲﾌﾟ形状の鋼管を地下に埋設 ・地上部は厚さ 70cm のｺﾝｸﾘｰﾄ被覆 ・地上高さ（上端）：T.P.+18～20m
止水ｼﾞｮｲﾝﾄ部	上記①のうち一定間隔の施工ﾌﾞﾛｯｸの境界	・鋼製ｱﾝｶｰ，止水ｺﾞﾑ，鋼製防護部材等から構成される。 ・地上高さ（上端）：T.P.+18～20m
防潮扉	敷地南側境界付近	・鋼材製 ・地上高さ（上端）：T.P.+17m

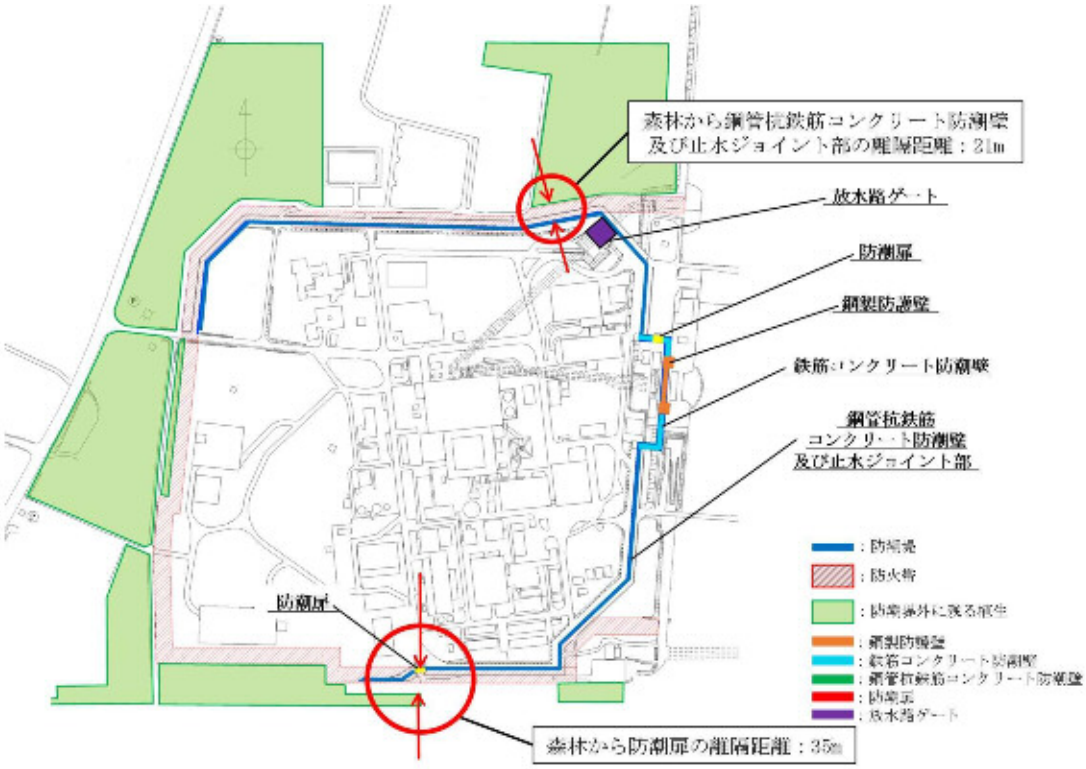


図 1　防潮堤における森林火災の評価対象施設

2.　防潮堤等に対する影響評価

2.1　鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁に対する熱影響評価

(1) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の概要図

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁（以下「防潮壁」という。）は，地上部表面は鉄筋コンクリート製であるため，評価対象は鉄筋コンクリートとして熱影響評価を実施した。

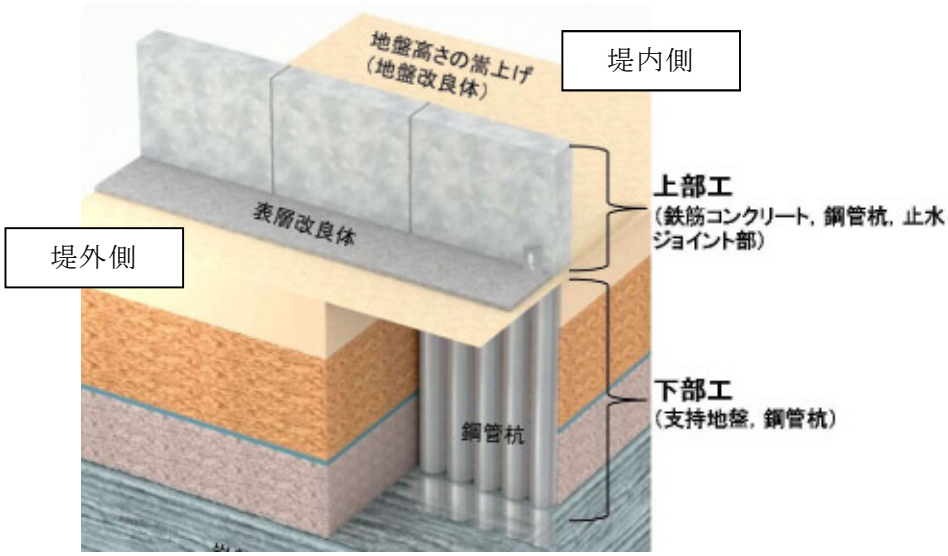


図 2　防潮壁の概要図

(2)　影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を表 2 に示す。

表 2 影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

影響評価 対象施設	防潮壁
離隔距離 (m)	21

(3)　判断の考え方

a．許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式１の一次元非定常熱伝導方程式を差分法より解くことで，外壁表面の温度及び外壁表面の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を算出する。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right) \qquad \text{（式 1）}$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E - h\left(T - T_0\right) \quad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \qquad (x=L)$$

（出典：伝熱工学，東京大学出版会）

T	：表面温度(℃)	E	：輻射強度(W／m^2)
T_0	：周囲温度（50℃）※1	h	：熱伝達率（17.0W／m^2／K）※2
ρ	：密度（2,400kg／m^3）	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／m^2／K を用いる。）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式 2）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad (式3)$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

防潮壁の危険距離を算出した結果，森林からの離隔距離が危険距離を上回ることを確認した。防潮壁の評価結果を表３に示す。

表３　防潮壁の評価結果

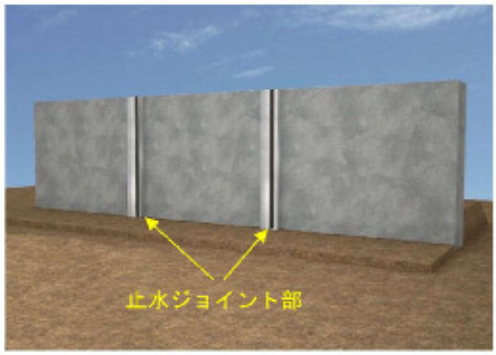
評価対象施設	危険距離 (m)	森林からの離隔距離 (m)
防潮壁	16	21

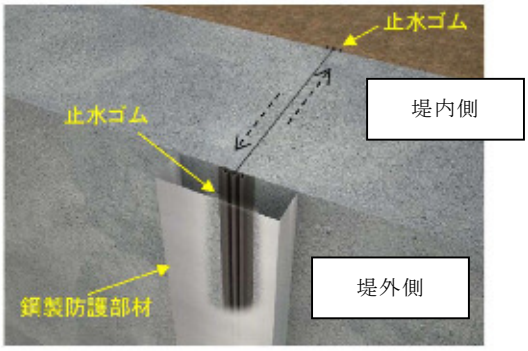
2.2　止水ジョイント部及び防潮扉に対する熱影響評価

(1)　止水ジョイント部及び防潮扉の概要図

止水ジョイント部は鋼製防護部材で表面を覆っているため，鋼製防護部材を熱影響対象として評価を実施した。

防潮扉は鋼製の防潮扉を熱影響対象として評価を実施した。





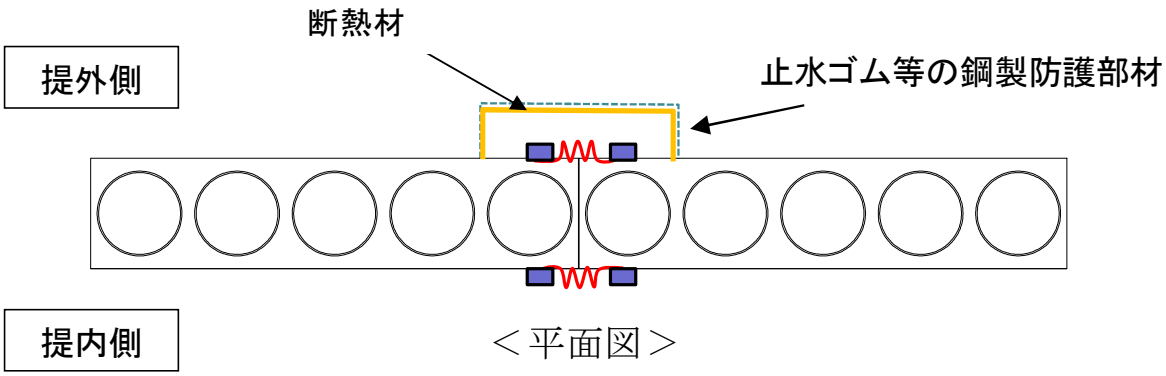


図 3　止水ジョイント部の概要図

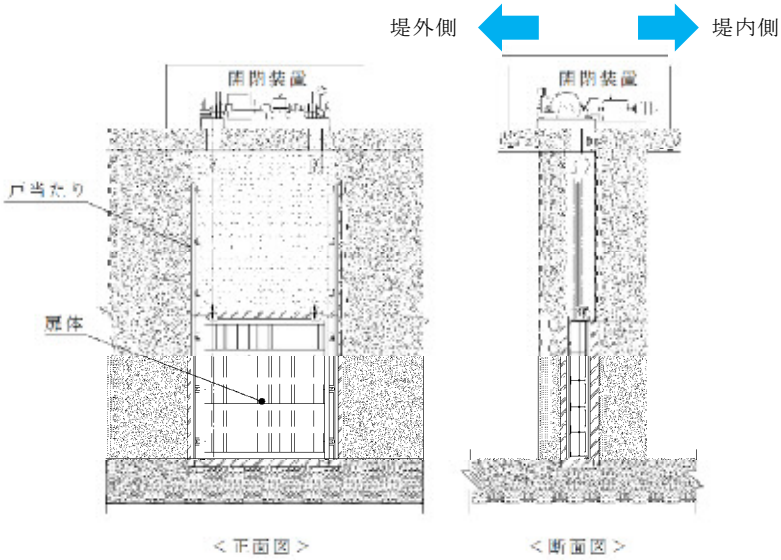


図 4　防潮扉の概要図

(2)　各評価対象施設から最も近い森林火災位置までの離隔距離

各評価対象施設から最も近い森林火災位置までの離隔距離を表 4 に示す。

表 4　各対象から最も近い森林火災位置までの離隔距離

評価対象施設	止水ｼﾞｮｲﾝﾄ部	防潮扉
離隔距離 (m)	21	35

(4)　判断の考え方

a．許容温度

鋼製防護部材及び防潮扉の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

b．評価方法

一定の輻射強度で鋼製防護部材及び防潮扉が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により鋼製防護部材及び防潮扉の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0 \qquad \text{（式 1）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

Ｅ：輻射強度(W／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 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2：「空気調和ハンドブック」に記載されている表面熱伝達率のうち，保守的に最小となる垂直外壁面における夏場の表面熱伝達率（空気）を採用

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式 2）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式 3）}$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，最も近い森林火災位置から影響評価対象までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

ｃ．評価結果

止水ジョイント部は，止水ゴム等を防護する鋼製防護部材の危険距離を算出した結果，森林火災位置からの離隔距離が危険距離を上回ることを確認した。また，止水ゴム等を防護する鋼製防護部材の裏面には不燃性の断熱材を設置するため，止水ジョイント部への影響はない。（別紙2.10）

防潮扉は，鋼製の扉に対して危険距離を算出した結果，森林火災位置からの離隔距離が危険距離を上回ることを確認した。また，防潮扉には水密ゴムがあるが，直接火災の影響を受けることはなく，周囲に火災が迫った際は必要に応じ散水し温度上昇を抑制する。また万が一，防潮扉からの熱により水密ゴムの機能が喪失した場合には，速やかに取り替え等の対応を図る。

表５　止水ジョイント部及び防潮扉の評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	森林からの離隔距離 (m)
止水ｼﾞｮｲﾝﾄ部 （鋼製防護部材で評価）	20	21
防潮扉	20	35

(4) その他の設備

その他の設備として津波監視設備がある。防潮堤上部に設置している④北西側及び⑦南西側の津波・構内監視カメラは森林から近い位置にあるため，火災の影響を受け機能を喪失する可能性があるが，他の津波・構内監視カメラを用いて監視することで対応は可能である。また，状況を確認し速やかに予備品と交換する対応をとる。各津波・構内監視カメラの位置を図 5 に，主な監視範囲を表 4 に示す。

図 5　津波・構内監視カメラの配置図

表 4　津波・構内監視カメラの主な監視範囲

設置場所		主な監視範囲							
		敷地				防潮堤			放水路ｹﾞｰﾄ等
		東側	西側	南側	北側	東側	南側	北側	
原子炉建屋屋上	① 北東側	○			○				
	② 北西側		○		○				
	③ 南東側	○		○					
防潮堤上部	④ 北西側		○		○			○	
	⑤ 北東側	○			○	○		○	○
	⑥ 南東側	○		○		○	○		○
	⑦ 南西側		○	○			○		○

※：　は森林との距離が近いため，森林火災時に機能を喪失する可能性あり。

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，森林火災による発電用原子炉施設への延焼防止対策として，発電所構内道路及び地形を考慮し，23m 幅の防火帯を設定する。

防火帯内に他の法令要求等による可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とし，防火帯の延焼防止効果を損なわない設計とする。防火帯の管理方法について以下に示す。

2. 防火帯の管理方針

防火帯の設定に当たっては，樹木を伐採する等，可燃物を排除し，モルタル吹付け等を行う。また，防火帯は表示板等で明確に区別するとともに，構内道路の一部を防火帯として使用している箇所については，駐車禁止の措置等により，原則的に可燃物がない状態を維持する。

防火帯には延焼防止効果に影響を与えるような可燃物を含む機器等は，原則的に設置しない方針であるが，防火帯の位置設定においては構内道路等の条件を考慮して設定するため，他の法令要求等により標識等を設置する場合は，延焼防止効果への影響の有無を評価し，必要な対策を講じる設計とする。

表 1 に防火帯内に設置される機器等の例について示す。

表１　防火帯内に設置される機器等の評価及び管理方針の例

分類		対象例	評価及び管理方針
不燃性の機器等		・送電線 ・防潮堤 ・防潮扉 ・ｹｰﾌﾞﾙ	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	・標識 ・津波・構内監視カメラ	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	・道路	道路上に設定される防火帯内は車両の駐車禁止，可燃物を配置しない管理を行うことで，延焼防止効果に影響を与えない。

以　　上

特定のクラス３施設に対する熱影響評価

放射性物質を内包する施設及び人員が長時間居住する可能性があるクラス３施設に対して，森林火災により上昇する外壁表面温度が許容温度 200℃以下であることを確認した。各外壁表面温度を下表，該当する施設の位置と離隔距離を下図に示す。

表　該当するクラス３施設の外壁表面温度

放射性物質を内包する クラス３施設	評価温度 （℃）
固体廃棄物貯蔵庫※	57
廃棄物処理建屋	53
緊急時対策所	79

※：防火帯外縁からの距離が近く火災影響が大きいＢ棟を代表として評価

図　該当する施設の位置と離隔距離

可搬型重大事故等対処設備及びアクセスルートへの熱影響について

1. 概要

森林火災の延焼による影響を防止するため，可搬型重大事故等対処設備及びアクセスルートは防火帯の内側に配備している。

このうち，防火帯近傍に配備する可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートについては，森林外縁からの必要な離隔距離を確保しており，森林火災による熱影響を受けることはない。

2. 森林火災の熱影響評価

ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果に基づき，防火帯外縁において最も高い火炎輻射強度が，一様に防火帯外縁に存在すると保守的に仮定し，一定の離隔距離において物体が受ける輻射強度を算出した。離隔距離と輻射強度の関係を図 1 に示す。

図１より，防火帯外縁から 53m 以上の離隔距離を確保することにより，輻射強度は，「人が長時間さらされても苦痛を感じない輻射強度」とされる 1.6kW／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（＝輻射強度）の影響に関する知見を表 1 に示す。

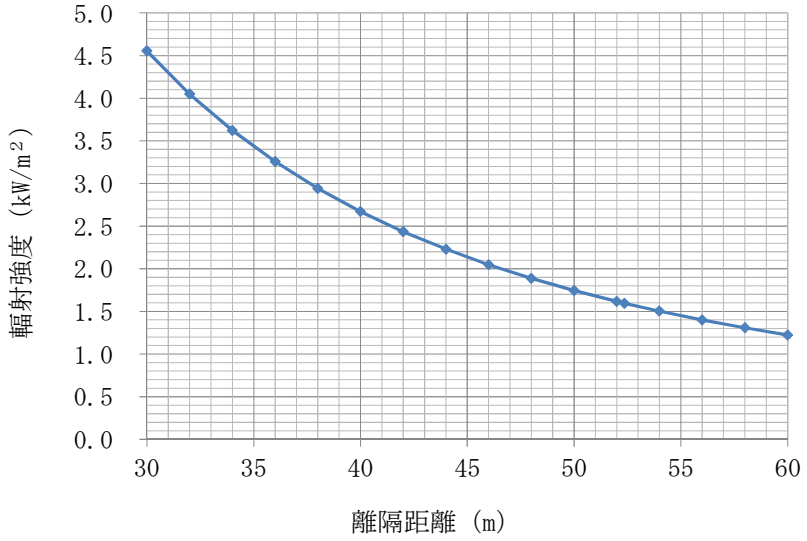


図１　離隔距離と輻射強度の相関図

表１　放射熱の影響（石油ｺﾝﾋﾞ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。皮膚に水疱を生じる場合があるが、致死率 0%	*5)
4.6	4,000	10～20 秒で苦痛を感じる強度 古い木板が長時間受熱すると引火する強度 フレアスタック直下での熱量規制（高圧ガス保安法他）	*2)
8.1	7,000	10～20 秒で火傷となる強度	*2)
9.5	8,200	8 秒で痛みの限界に達し、20 秒で第 2 度の火傷（赤く斑点ができ水疱が生じる）を負う	*5)
11.6	10,000	**現指針（平成 13 年）に示されているファイヤーボールの基準値（ファイヤーボールの継続時間は概ね数秒以下と考えられることによる）**	*3)
11.6～	10,000～	約 15 分間に木材繊維などが発火する強度	*2)
12.5	10,800	木片が引火する、あるいはプラスチックチューブが溶ける最小エネルギー	*5)
25.0	21,500	長時間暴露により木片が自然発火する最小エネルギー	*5)
37.5	32,300	プロセス機器に被害を与えるのに十分な強度	*5)

*1) 理科年表
*2) 高圧ガス保安協会：コンビナート保安・防災技術指針（1974）
*3) 消防庁特殊災害室：石油コンビナートの防災アセスメント指針（2001）
*4) 長谷見雄二，重川希志依：火災時における人間の耐放射限界について，日本火災学会論文集，Vol.31，No.1(1981)
*5) Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques, ed.P.J.Kayes. Washington, DC: Office of Environmental and Scientific Affairs, World Bank. (1985)

3.　森林火災による熱影響評価結果

保管場所に近接した場所で森林火災が発生し，火炎が防火帯外縁まで到達した場合，輻射強度が 1.6kW／m^2※以下となる森林からの離隔距離は 53m となるが，西側及び南側保管場所の可搬型重大事故等対処設備保管スペースは，森林から 53m 以上の離隔を確保しているため，熱影響を受けない。また，熱影響を受けないアクセスルートを確保していることから，可搬型設備の走行及び運搬に影響はない。輻射強度が 1.6kW／m^2以上となる範囲を図 2 に示す。

※：人が長時間さらされても苦痛を感じない強度（出典：石油コンビナートの防災アセスメント指針）

図２　輻射強度が 1.6kW／m^2以上となる範囲

外部火災を想定したモニタリングポストＡへのホース展張検証

1．ホース展張距離が長いケース

(1) 検証日時，場所

日時：平成 26 年 11 月 18 日(火) 14:00～15:00

場所：モニタリングポストＡエリア

(2) 検証内容

水槽ポンプ車及び化学消防車を連結させ，約 900m のホース展張検証を行い，自衛消防隊が集合した時点から 20 分で展張可能であることを確認した。

(3) 検証結果の分析

防火帯内の屋外消火栓から防火帯周辺までの最も離隔距離が長い敷地北西側は，300m 程度のホース展張が必要となる。この敷地南西側に，最も早く到達する発火点３の結果（火炎到達時間 0.7 時間（約 40 分））を考慮しても，検証結果はホース展張 900m を 20 分で実施しているため，長いホース展張が必要となる箇所であっても火炎到達前に散水活動を行うことは可能である。

図１　検証概要図（モニタリングポストＡ消火）

2.　火炎到達時間が短いケース

(1)　検証日時，場所

日時：平成 26 年 10 月 23 日(木) 14:30～15:30

場所：モニタリングポストＤエリア

(2)　検証内容

水槽ポンプ車及び化学消防車を用いて，約 150m のホース展張検証を行い，自衛消防隊が集合した時点から 10 分で展張可能であることを確認した。

(3)　検証結果の分析

防火帯外縁に最も早く到達する発火点１の結果（火炎到達時間 0.2 時間（約 12 分））を考慮しても，検証結果はホース展張 150m を 10 分で実施しているため，防火帯外縁に最も早く到達する火災であっても火炎到達前に散水活動を行うことは可能である。

図２　検証概要図（モニタリングポストＤ消火）

止水ゴム等を防護する鋼製防護部材について

1. 鋼製防護部材の裏面に設置する断熱材

鋼製防護部材が火災影響になり高温になると，裏面にある止水ゴム等に影響を与える可能性があるため，鋼製防護部材の裏面に断熱材を設置する。

断熱材は一般的なグラスウールを想定した場合，断熱材厚さが約 1cm 程度で，裏面の止水ゴム等に影響を与えないことを確認した。評価概念図と評価結果を以下に示す。

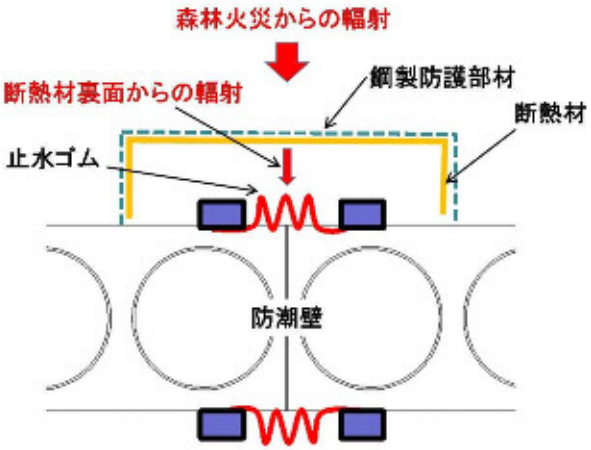


図 1 鋼製防護部材と断熱材の概念図

$$d = \frac{\lambda \times (T_{out} - T_{in})}{h \times (T_{in} - T)} = 0.015 \text{ m}$$

（出典：JIS 9501 2016）

d ：断熱材の厚さ（m）
λ ：断熱材の熱伝導率（0.034W／(m・K)）※1
T_{out}：断熱材表面（鋼製部材側）温度(325℃)※2
T_{in} ：断熱材裏面（止水ゴム側）温度(100℃)※3
T ：周囲空気温度(37℃)※4
h：熱伝達率（8.29W/(m^2・K)）※5

※1：伝熱工学資料（グラスウールの値）
※2：短期温度上昇時において鋼材の強度が維持される温度
※3：裏面への放熱が太陽輻射熱強度（0.9kW／m^2）未満となる温度（100℃）
※4：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温
※5：空気調和･衛生工学便覧（静止空気に対する垂直表面の値）

2.　鋼製防護部材の構造

鋼製防護部材は，止水ジョイント部の側面を防護するよう設置する。ＦＡＲＳＩＴＥ解析の結果，防潮堤周囲で発生する森林火災の最長の火炎長1.6m であり，防潮堤の地上高さは約 3m 以上で火炎長よりも高くなるため，防潮堤上部が熱影響を受ける可能性は低い。万が一，火炎長が高い森林火災が発生した際には，必要に応じ，地上高さが低い敷地北西側の防潮堤を優先して散水活動により温度上昇を抑制する。

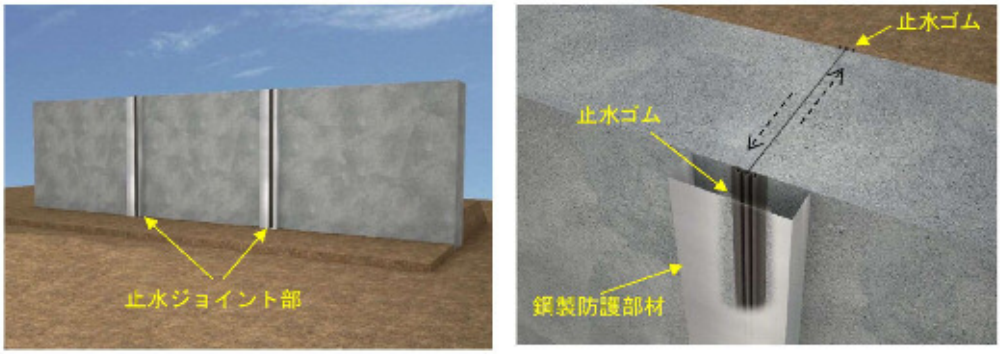


図　止水ジョイント部と鋼製防護部材

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発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書Ｂ 石油コンビナート等火災･爆発の原子力発電所への影響評価について」(以下「評価ガイド」という。）に基づき，評価を実施する。

2.　危険物貯蔵施設等の抽出の考え方

発電所周辺 10km 以内の石油コンビナートの有無を確認した。また，石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設及び高圧ガス貯蔵施設については，周辺自治体に資料開示請求を行い，必要に応じてこれらの施設を有する事業者への聞き取り調査を行い確認し，ガスパイプラインについては周辺事業者への聞き取り調査を行い確認した。

3.　石油コンビナート等に対する評価

3.1　評価対象範囲

評価対象は,発電所敷地外の半径 10km 圏内に存在する石油コンビナート等とする。

茨城県内において石油コンビナート等災害防止法により石油コンビナート等特別防災区域に指定されているのは以下の区域である。

石油コンビナート等特別防災区域を指定する政令【別表抜粋】

十三　鹿島臨海地区

イ　茨城県鹿嶋市大字国末字北浜山，字南浜山及び字海岸砂地，大字泉川字北浜山，字南浜山，字浜屋敷及び字沢東，大字新浜並びに大字粟生字海岸の区域　同市大字光字光並びに大字粟生字東山及び字浜の区域のうち主務大臣の定める区域　これらの区域に介在する道路の区域

ロ　茨城県神栖市光，居切字海岸砂地並びに深芝字海辺，字藤豊及び字原芝の区域　同市北浜，奥野谷字浜野及び字東和田，東和田並びに東深芝の区域のうち主務大臣の定める区域

3.2　評価結果

第 3.2-1 図に示すとおり，茨城県内において石油コンビナート等災害防止法により石油コンビナート等特別防災区域に指定されている鹿島臨海地区は東海第二発電所から約 50km 離れており，評価対象範囲の 10km 以上離れていることから,評価対象となる石油コンビナートは存在しないことを確認した。

第 3.2-1 図　鹿島臨海地区と発電所の位置関係

4.　石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設に対する評価

発電所から 10km 以内に位置する危険物貯蔵施設のうち,影響評価対象施設に影響を及ぼすおそれのある施設を抽出し，その火災影響又は爆発影響を評価した。

4.1　危険物貯蔵施設

4.1.1　評価対象施設の抽出

発電所から 10km 以内（敷地内を除く）に，第一類から第六類の危険物貯蔵施設（屋内貯蔵及び少量のものは除く）が約 500 カ所存在することを自治体への聞き取り調査から確認した。

第一類から第六類の危険物のうち，周辺での取扱量が多く，引火性液体であるため広範囲に漏えいし大規模火災発生の可能性がある第四類危険物貯蔵施設を火災源と想定する。ここで，発電所 10km 以内には多数の第四類危険物貯蔵施設が存在するため，影響評価を行う第四類危険物貯蔵施設の絞り込みを以下の方法で行った。

ｉ）　発電所敷地外半径 10km 以内に石油コンビナートはないことから，半径 10km 以内に存在する危険物貯蔵施設の貯蔵容量は最大でも石油コンビナート相当の 10 万 kL※1 とした。ここで，第四類危険物のうち，最も輻射発散度が高い n-ヘキサン※2 が 10 万 kL 貯蔵された危険物貯蔵施設を想定し，その危険距離を算出した結果 1,329m※2 となった。

※１：「石油コンビナート等災害防止法施行令」（昭和 51 年 5 月 31 日政令 129 号）の第 2 条で規定する基準総貯蔵量
※２：算出方法は別紙 3.1 参照

ⅱ）　ｉ)項の結果と別紙 3.1 の評価結果を踏まえ，発電所から 1.4km 以遠には発電所に影響を及ぼす危険物貯蔵施設は存在しないと判断し，発

電所から 1.4km 以内に存在する第四類危険物貯蔵施設に対して影響評価を行う。発電所周辺に存在する第四類危険物貯蔵施設を第 4.1.1-1 表に，発電所との位置関係を第 4.1.1-1 図に示す。

第 4.1.1-1 表　発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に存在する第四類危険物貯蔵施設

施設区分	No.	事業所名	油種	数量(L)	位置が1.4km以内 ○：1.4km以内 ×：1.4km以遠
屋外タンク貯蔵所又は屋外貯蔵所					
給油取扱所					

第 4.1.1-1 表の 1.4km 以内に存在する危険物貯蔵施設のうち，屋外貯蔵である

について，影響評価を実施した。なお，

の危険物タンクは地下貯蔵であるため，評価対象外とした。

第 4.1.1-1 図　発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に位置する危険物貯蔵施設

4.1.2　火災の影響評価

4.1.2.1　評価条件

危険物貯蔵施設の火災の想定は以下のとおりとした。

(1)　想定の条件

a．評価対象とする危険物貯蔵施設は4.1.1で抽出した[redacted]を想定した。

b．評価対象とする危険物タンクの燃料は満載した状態を想定した。

c．離隔距離は，評価上厳しくなるよう，a．で想定した危険物タンク位置から影響評価対象施設までの直線距離とした。

d．危険物タンクの破損等により危険物が流出しても，防油堤内に留まるものとする。

e．気象条件は無風状態とした。

f．火災は円筒火炎モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の3倍とした。

g．火災の形態はタンク内及び防油堤内の全面火災とした。

(2)　輻射強度の算定

油の液面火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため，半径が1.5m以上の場合で火炎の高さ（輻射体）を半径の3倍にした円筒火炎モデルを採用した。

4.1.2.2　共通データの算出

各外壁，排気筒及びD／G吸気系フィルタに対する危険距離評価に必要となる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）(m^2)

第 4.1.2.2-2 表　危険物タンクの燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)

(3)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 4.1.2.2-3 表に示す。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

ｔ：燃焼継続時間(s)，Ｖ：燃料量(m^3)
Ｒ：燃焼半径(m)，ｖ：燃焼速度＝Ｍ／ρ(m／s)
Ｍ：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第 4.1.2.2-3 表　危険物タンクの燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg／m^2／s)	燃料密度 ρ (kg／m^3)	燃焼継続時間 t (s)

4.1.2.3　外壁に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

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)　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 4.1.2.3-1 表に示す。

第 4.1.2.3-1 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	海水ポンプ室 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料乾式貯蔵建屋(m)
	1,100	1,300	1,200	800

(3)　判断の考え方

ａ．許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。

ｂ．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式１の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面（x=0）の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を算出する。

$$T-T_0=\frac{2E\sqrt{\kappa t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right)-\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)\right] \quad （式１）$$

（出典：伝熱工学，東京大学出版会）

Ｔ：許容温度(200℃)，T_0：初期温度(50℃)※，Ｅ：輻射強度(W／m^2)
κ：ｺﾝｸﾘｰﾄ温度伝導率(=λ／ρC_p)(7.7×$10^{-7}$$m^2$／s)
ρ：ｺﾝｸﾘｰﾄ密度(2,400kg／m^3)，C_p：ｺﾝｸﾘｰﾄ比熱(880J／kg／K)
λ：ｺﾝｸﾘｰﾄ熱伝導率(1.63W／m／K)，ｔ：燃焼継続時間(28,701s)
ｘ：温度評価の対象となる深さ位置(外壁表面：0m)
※：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを,式２より算出する。

Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２）

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad （式３）$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ:形態係数，Ｌ:離隔距離(m)，Ｈ:炎の高さ(m)，Ｒ:燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

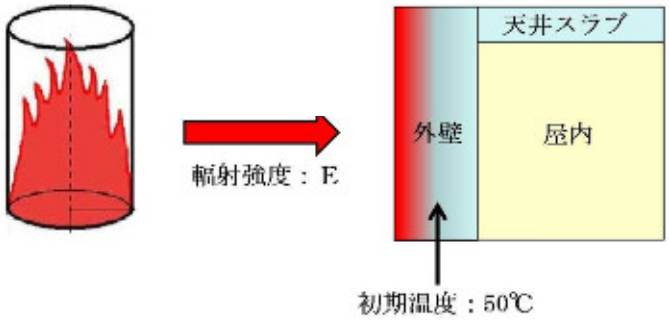
上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物タンクから評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。建屋外壁の評価概念図を第 4.1.2.3-1 図に示す。

・火炎長が天井より短い場合，天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。

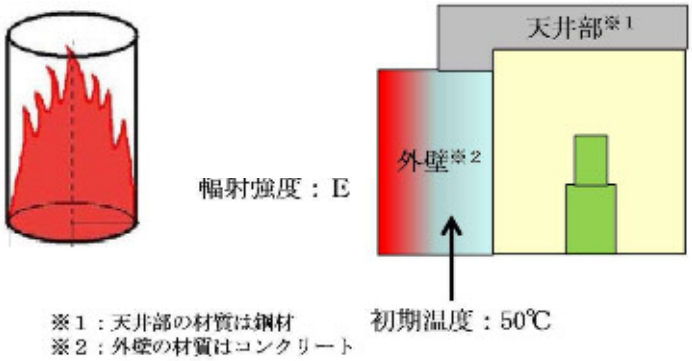
・海水ポンプ室の側面壁は鋼材，外壁はコンクリートであるが，危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。海水ポンプ室の評価概念図を第 4.1.2.3-2 図に示す。

・火炎長が天井より長い場合，天井に輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 4.1.2.3-3 図に示す。

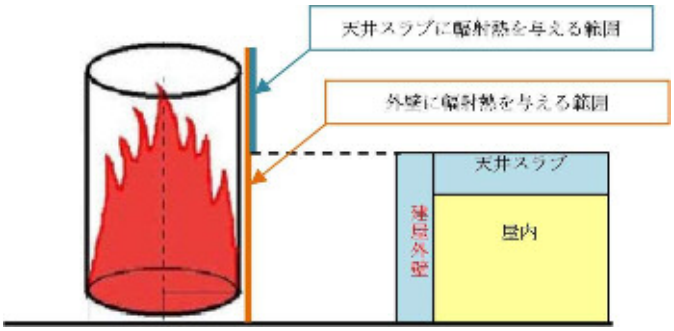
・火炎からの距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井の熱影響は外壁に比べて小さい。



第 4.1.2.3-1 図　建屋外壁の評価概念図



第 4.1.2.3-2 図　海水ポンプ室の評価概念図



第 4.1.2.3-3 図　天井スラブの評価概念図

c．評価結果

評価対象施設の外壁表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果，各評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.1.2.3-2 表に示す。

第 4.1.2.3-2 表　外壁への危険物タンク火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
原子炉建屋	41	1,100
海水ポンプ室		1,300
タービン建屋		1,200
使用済燃料乾式貯蔵建屋		800

4.1.2.4　排気筒に対する危険距離評価

(1)　影響評価対象範囲

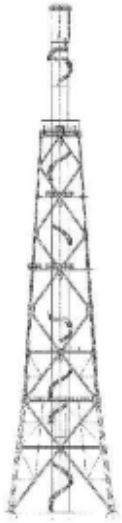
排気筒について，危険物タンクの火災を想定して評価を実施した。

なお，排気筒の評価に当たっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2)　排気筒仕様を第4.1.2.4-1表に,排気筒外形図を第4.1.2.4-1図に示す。

第4.1.2.4-1表　排気筒仕様

名称		排気筒
種　類		鉄塔支持型
主要寸法		内径4.5m
		地表高さ140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400,STK400
個　数		1



第4.1.2.4-1図　排気筒外形図

(3)　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第4.1.2.4-2表に示す。

第4.1.2.4-2表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	排気筒(m)
	1,200

(4)　判断の考え方

a．許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度325℃以下とする。

b．評価方法

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により排気筒鉄塔表面の温度が325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$E = 2h\left(T - T_0\right) \qquad \text{（式1）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：周囲温度(50℃)※1
Ｅ：輻射強度(W／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。）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを,式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式２）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

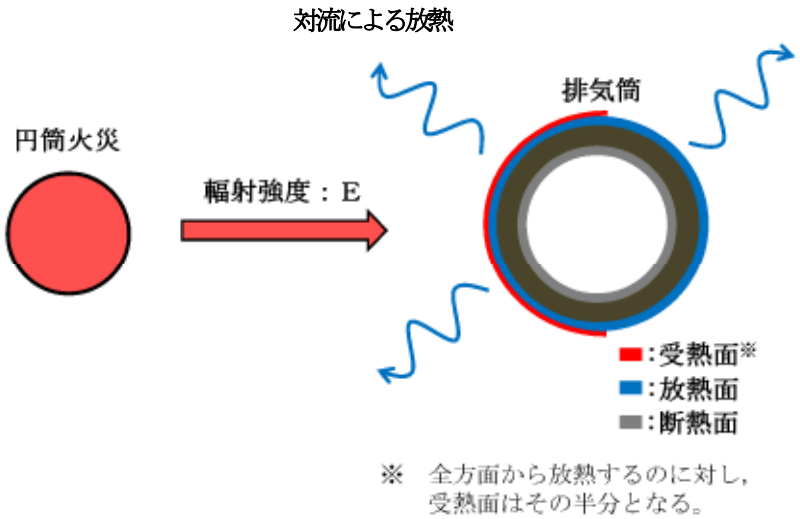
$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式３）}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，L：離隔距離(m)，H：炎の高さ(m)，R：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物タンクから評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，評価に当たって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が危険物タンクとの距離が近いこと，材質も鉄塔は SS400，STK400，筒身では SS400 であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。排気筒の評価概念図を第 4.1.2.4-2 図に示す。



第 4.1.2.4-2 図　排気筒の評価概念図

c．評価結果

排気筒鉄塔の表面温度が325℃となる危険距離を算出した結果，排気筒までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第4.1.2.4-3表に示す。

第4.1.2.4-3表　排気筒への危険物タンク火災影響評価結果

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

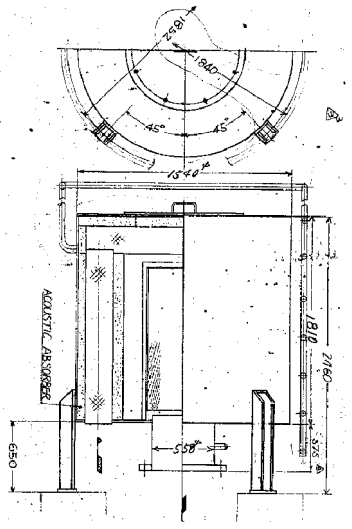
(1)　評価対象範囲

ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるD／G吸気系フィルタの流入空気温度について，危険物タンクの火災を想定して評価を実施した。

(2)　D／G吸気系フィルタ仕様を第4.1.2.5-1表に，D／G吸気系フィルタの外形図を第4.1.2.5-1図に示す。

第4.1.2.5-1表　D／G吸気系フィルタ仕様

名称	D／G吸気系フィルタ
種　類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径　　：1.54m フィルタ円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第4.1.2.5-1図　D／G吸気系フィルタ外形図

(3)　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 4.1.2.5-2 表に示す。

第 4.1.2.5-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	D／G吸気系フィルタ (m)
	1,100

(4)　判断の考え方

a．許容温度

D／G吸気系フィルタの流入空気の許容温度は，火災時における温度上昇を考慮した場合において，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※：D／G吸気系フィルタの流入空気温度が上昇すると，空気冷却出口温度が上昇し，シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱がD／G吸気系フィルタに流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式１により，D／G吸気系フィルタに流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T \qquad (式1)$$

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 年間の最高気温

※２：ディーゼル発電機機関の内，給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。
ディーゼル発電機機関吸気流量（228m^3/min）×空気密度（1.17kg/m^3）÷60

※３：日本機械学会 伝熱工学資料

※４：鋼材の許容温度 325℃を介した温度上昇

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを,式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式２）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m²)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m²)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

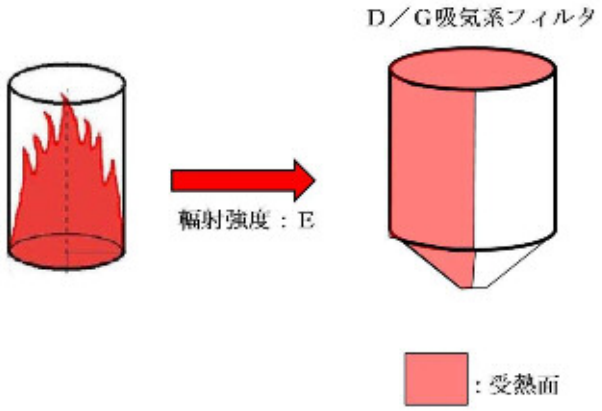
$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式３）}$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ:形態係数，Ｌ:離隔距離(m)，Ｈ:炎の高さ(m)，Ｒ:燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物タンクから評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図を第 4.1.2.5-2 図に示す。



第 4.1.2.5-2 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図

c．評価結果

Ｄ／Ｇ吸気系フィルタを通して流入する空気の温度が 53℃となる危険距離を算出した結果，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタまでの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.1.2.5-3 表に示す。

第 4.1.2.5-3 表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタへの危険物タンク火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ	23	1,100

4.2　高圧ガス貯蔵施設

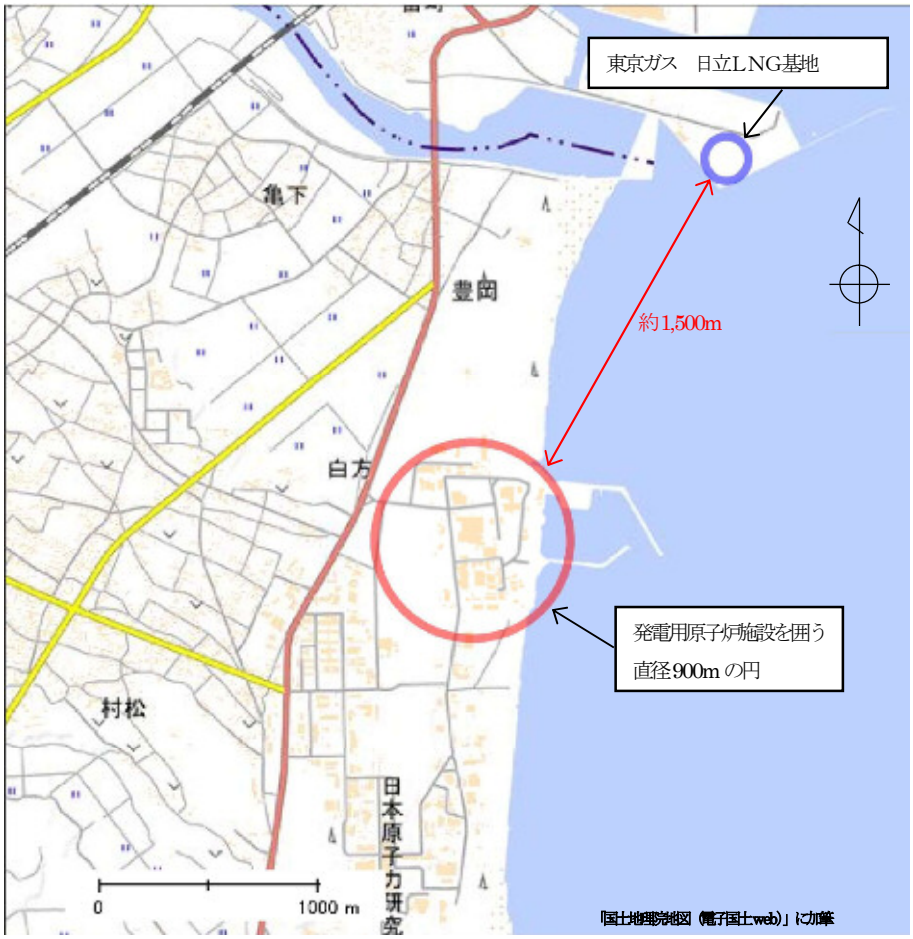
4.2.1　爆風圧の影響評価

(1)　評価対象施設の抽出及び評価に係るデータ

東海第二発電所から10km以内（敷地内を除く）には高圧ガス貯蔵施設が多数存在することから，以下のとおり抽出範囲を絞り込み，評価対象施設の抽出を行った。

ｉ）　発電所から約1,500mの位置に，10km以内（敷地内を除く）で最大の高圧ガス貯蔵施設が稼働中であるため，この高圧ガス貯蔵施設（東京ガス（株）が所有する日立ＬＮＧ基地のＬＮＧタンク及びＬＰＧタンク）を選定した。位置関係を第4.2.1-1図に示す。

ⅱ）　当該ＬＮＧ基地に設置されるＬＮＧタンク及びＬＰＧタンクについて危険限界距離を算出し，この危険限界距離の範囲内に位置する高圧ガス貯蔵施設を評価対象として抽出した。評価条件を第4.2.1-1表に示す。



第 4. 2. 1-1 図　発電所と日立ＬＮＧ基地の位置関係

第 4.2.1-1 表　爆風圧影響評価で想定した評価条件

	日立ＬＮＧ基地※1	
	ＬＮＧタンク	ＬＰＧタンク
貯蔵ガス	液化天然ガス （メタン）	液化石油ガス （プロパン）
貯蔵量（m^3）	230,000	50,000
貯蔵量（t）	97,704	31,000
密度（t／m^3）	0.4248※2	0.62※3
貯蔵ガスＫ値※4	714	888
貯蔵設備Ｗｔ値※5	358.7533	

※１：2016 年 3 月より稼働中
※２：伝熱工学資料第５版記載値
※３：ＪＩＳ Ｋ 2240-2013 記載値
※４：コンビナート等保安規則第５条別表第二記載値
※５：合計貯蔵量が 1t 以上となるため，合計貯蔵量の平方根の数値

日立ＬＮＧ基地にはＬＮＧタンク及びＬＰＧタンクの２種類が設置されるため，評価ガイドに基づき，以下のとおり危険限界距離を算出した。

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド【一部抜粋】

貯蔵設備内に２つ以上のガスがある場合においては、それぞれのガスの量（単位　トン）の合計量の平方根の数値にそれぞれのガスの量の当該合計量に対する割合を乗じて得た数値に、それぞれのガスに係るＫを乗じて得た数値の合計により、危険限界距離を算出する。また、処理設備内に２以上のガスがある場合においては、それぞれのガスについてＫ・Ｗを算出し、その数値の合計により、危険限界距離を算出する。

次の式から危険限界距離を算出する。ここで算出した危険限界距離が石油コンビナート等と原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。

$$X = 0.04\lambda\sqrt[3]{K \times W}$$

X:危険限界距離[m]、λ:換算距離 14.4[m・$kg^{-1/3}$]、K: 石油類の定数[-]、W:設備定数[-]

上記のとおり，ガス量の当該合計量に対する割合は，

ＬＮＧタンク：A＝97,704÷(97,704＋31,000)＝0.759

ＬＰＧタンク：B＝31,000÷(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

$$X=0.04\times14.4\sqrt[3]{(714\times1,000\times A\times Wt)+(888\times1,000\times B\times Wt)}=373$$

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[redacted]であり，発電所敷地から 400m 以内に，高圧ガス貯蔵施設が存在しないことを確認した。これにより発電所より 10km 以内において，日立ＬＮＧ基地の爆発影響を超える高圧ガス貯蔵施設はないことを確認した。

発電所に最も近いパイプラインは，日立ＬＮＧ基地内のパイプラインであり，日立ＬＮＧ基地内のパイプラインの影響はタンクの影響に包絡される。また，日立ＬＮＧ基地構外へ延びるパイプラインは埋設され，発電所から遠ざかるため影響はない。

(2)　爆風圧の影響評価結果

抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆発における危険限界距離は 373m であり，敷地境界までの危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.2.1-2 表に，位置関係を第 4.2.1-2 図に示す。

第 4.2.1-2 表　抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆風圧影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
ＬＮＧタンク	メタン	97,704	373	1,500
ＬＰＧタンク	プロパン	31,000		

※：敷地境界までの距離

第 4.2.1-2 図　発電所敷地から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設

4.2.2　爆発飛来物の影響評価

(1)　評価対象施設の抽出

高圧ガス貯蔵タンクの大規模な爆発火災事象（ＢＬＥＶＥ：Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion（沸騰液膨張蒸気爆発））は，可燃性ガスが加圧され液体で貯蔵されているタンクが，加熱されることによってタンク内の圧力が上昇し，タンクの一部破損により起こる液体の急激な気化に伴い発生するため，ガスを加圧し貯蔵している加圧貯蔵型のタンクについて爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。

また，大気圧に近い低圧・低温で貯蔵されている低温貯蔵タンクは内部が保冷層で覆われ外部から熱が入り難く，ＢＯＧ圧縮機※1等でタンク内圧を一定に制御しているため,加圧貯蔵タンクと比較して内圧が上昇し難く，ＢＬＥＶＥは発生し難いが※2，ＢＬＥＶＥ以外の爆発形態を想定し，発電所から 1,500m 先にある日立ＬＮＧ基地の低温貯蔵型タンクについて,爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。

※１：タンクから発生するボイルオフガスを再液化し，タンク内圧を一定に制御する。
※２：出典「Environmental Assessment for the Sabine Pass Liquefaction Project」

(2)　爆発飛来物の影響評価結果

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成 25 年 3 月　消防庁特殊災害室）に基づき，抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆発による破片の飛散範囲を以下の式にて算出した。

$L = 90M^{0.333}$　（容積 $5m^3$ 未満の容器）

$L = 465M^{0.10}$　（容積 $5m^3$ 以上の容器）

Ｌ：破片の最大飛散範囲，Ｍ：破裂時の貯蔵物質量

飛来物の飛散距離を算出した結果，飛散距離は離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.2.2-2 表に示す。

また，低温貯蔵型タンクは，日立ＬＮＧ基地の大規模な低温貯蔵型タンクを想定しても，想定飛散距離は約 570m であり，発電所から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設までの離隔距離 900m を下回ることから,低温貯蔵型タンク爆発による飛来物の影響はないと評価できる。(別紙 3.3)

第 4.2.2-2 表　爆発飛来物の影響評価結果

施設名称	貯蔵量 (kg)	飛散距離 (m)	離隔距離※ (m)

※：敷地境界までの距離

以下に，「石油コンビナートの防災アセスメント指針」の抜粋を示す。

（６）飛散物

容器の破損による破片の飛散範囲は，破裂エネルギーのほか，破片の数，重量や形状，射出角度や初速度によって異なってくる。文献 11)には飛散物に関するいくつかの推定式が示されているが，防災アセスメントのような事前評価において，これらの飛散条件を考慮して評価を行うことは事実上困難といえる。ただし，ＬＰＧ容器のＢＬＥＶＥに伴う破片の飛散範囲に関しては，次のような簡易式が示されている[11)]。

$L = 90M^{0.333}$　（容積 $5m^3$ 未満の容器）

$= 465M^{0.10}$　（容積 $5m^3$ 以上の容器）　（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。

$L = 465 \times 300000^{0.10} = 1640m$

この事故では，タンク破片が最大約 1,300m，板金が最大約 6,200m まで飛散している。板金は厚さ 0.5mm の薄板であり，揚力によって遠方まで達したものと考えられる。一方，タンク本体の破片や付属重量物が飛散した場合には，落下・衝突による被害が懸念されるが，この事故によるタンク破片の飛散距離最大約 1,300m と照らし合わせると，式 31 により大まかな推定は可能と考えられる。なお，プラントの異常反応に伴う容器破裂に関しては式 31 は適用できないため，過去の事故事例などをもとに推定することになる。

仮想危険物タンクの危険距離の算出について

1. 評価条件

(1) 想定の条件

a．評価対象とする危険物貯蔵施設は熱影響が最大となる仮想危険物タンク（n-ヘキサンを 10 万 kL 貯蔵）を想定した。

b．評価対象とする危険物タンクの燃料は満載した状態を想定した。

c．離隔距離は，評価上厳しくなるよう，a．で想定した危険物タンク位置から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（80,000m^2）内の全面火災を想定した。

e．気象条件は無風状態とした。

f．火災は円筒火炎モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

(2) 輻射強度の算定

油の液面火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため，半径が 1.5m 以上の場合で火炎の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火炎モデルを採用した。

(3) 危険物タンク及び燃料に係るデータ

危険物タンク及び燃料に係るデータを第 1 表に示す。

第 1 表　危険物タンク及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 V (m^3)	輻射発散度 Rf (kW／m^2)※1	質量低下速度 M (kg／m^2／s)※2	燃料密度 ρ (kg／m^3)※2	防油堤面積 S (m^2)
仮想危険物タンク	n-ヘキサン	100,000	85	0.074	650	80,000

※1：評価ガイド記載値
※2：NUREG-1805 記載値

2.　評価結果

(1)　燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第2表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R：燃焼半径(m)，S：防油堤面積（＝燃焼面積）(m^2)

第2表　危険物タンクの燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)
仮想危険物タンク	80,000	160

(2)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第3表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$$

t：燃焼継続時間(s)，V：燃料量(m^3)
R：燃焼半径(m)，v：燃焼速度＝M／ρ(m／s)
M：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第３表　危険物タンクの燃焼継続時間

想定 火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg／m^2／s)	燃料密度 ρ (kg／m^3)	燃焼継続時間 t (s)
仮想 危険物 タンク	100,000	160	0.074	650	10,984

(3)　危険距離の算出

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より求まるコンクリート表面の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を，評価ガイドに基づく形態係数の算出式に代入し，危険距離について解くと結果は1,329mとなるため,保守的に1.4kmを抽出範囲とした。

なお，排気筒及びＤ／Ｇ吸気系フィルタは以下の理由により，外壁の評価に包絡される。評価結果を第４表に示す。

・排気筒は鋼材，外壁はコンクリートであるが，危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。

・Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ内の空気は流れており，熱が蓄積される効果が小さいため，外壁の方が評価上厳しい。

$$T-T_0=\frac{2E\sqrt{\kappa t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right)-\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)\right]$$

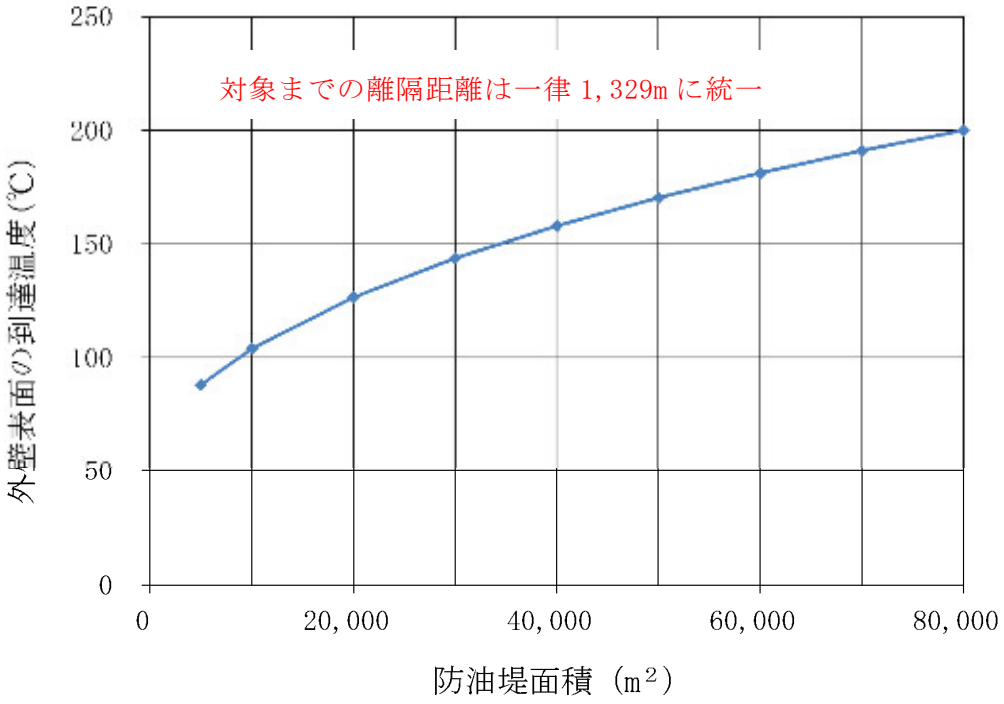
Ｔ：許容温度(200℃)，T_0：初期温度(50℃)，Ｅ：輻射強度(W／m^2)
κ：コンクリート温度伝導率(=λ／ρC_p)($7.7\times10^{-7}m^2$／s)
ρ：コンクリート密度(2,400kg／m^3)，C_p：コンクリート比熱(880J／kg／K)
λ：コンクリート熱伝導率(1.63W／m／K)，ｔ：燃焼継続時間(10,984s)
ｘ：コンクリート壁表面深さ(0m)

第４表　外壁への危険物タンク火災影響評価結果

想定火災源	危険距離 (m)
仮想危険物タンク	1,329

(4)　想定した防油堤面積の保守性について

下図に示すとおり，防油堤面積は大きいほど外壁表面の到達温度が上昇することから，消防法で定める最大の防油堤面積を評価で用いることは保守的である。



第１図　防油堤面積と外壁表面の到達温度の関係

排気筒の評価結果 10m の妥当性について

排気筒の許容温度 325℃に到達する危険輻射強度は以下のとおりとなる。

$$E = 2h\left(T - T_0\right) = 2 \times 17 \times (325 - 50) = 9,350$$

T：許容温度(325℃)，T_0：周囲温度(50℃)※1

h：熱伝達率(17W／m^2／K)※2，E：輻射強度(W／m^2)

※1：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2：空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である17W／m^2K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。

$$E = Rf \times \Phi \quad \Rightarrow \quad \Phi = Rf \div E = \square \div 9,350 = 0.00245989$$

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。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

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,[redacted]の他の燃料と比較すると[redacted]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。

[redacted]

第1図　離隔距離と輻射強度の関係

地上設置の低温貯蔵タンク爆発による飛来物影響評価について

1. 評価の概要

添付 3 の 4.2 で示した低温貯蔵タンクの爆発により発生する飛来物の最高速度を評価し,この最高速度を初速度とした場合の最大飛散距離を評価した。この最大飛散距離が爆発地点から発電用原子炉施設までの離隔距離より短いことを確認し，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，発電用原子炉施設の近くに位置する貯蔵タンクのうち，容量が最大となるものを評価対象候補として抽出した。抽出した対象は第 1 表のとおり。

第 1 表　添付 3 の 4.2 で抽出した評価対象候補

タンクの種類	内容物	貯蔵容量 (m^3)	発電用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:

$$v_i = \sqrt{\frac{2 \times A_{ke} \times E_{av}}{M_v}} \quad \text{(m/s)} \qquad (7.15)$$

where

E_{av} = liberated energy [J]

M_v = total mass of empty vessel [kg]

A_{ke} is the fraction of the liberated energy that goes into kinetic energy of the fragments. It depends on the situation.

Upper limit $A_{ke} = 0.6$

Rough estimate $A_{ke} = 0.2$

BLEVE $A_{ke} = 0.04$

(1) 評価対象タンクのデータ

評価対象タンクのデータは第２表のとおり。なお，タンク材重量については，保守的に評価を行うため，各タンクを球状タンクと仮定して算出した。

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad \Rightarrow \quad r = \left(\frac{3V}{4\pi}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$S = 4\pi r^2$$

$$M = S t \rho$$

Ｖ：タンクの体積(m^3)，Ｓ：タンクの表面積(m^2)

ｒ：球状タンクと仮定した場合のタンクの半径(m)

Ｍ：タンクの質量(kg)，ｔ：タンク外層の厚さ(m)

ρ：タンク材密度（kg／m^3），

第２表　評価対象タンクのデータ

タンクの種類	内容物	貯蔵容量 (m^3)	タンク体積※1 (m^3)	タンク材密度※2 (kg/m^3)	比熱比 (-)	タンク壁厚※3 (m)	タンク材重量※4 (kg)
ＬＮＧ貯蔵タンク	ＬＮＧ	230,000	253,000	7,850	1.3	0.01	7.6×10^6
ＬＰＧ貯蔵タンク	ＬＰＧ	50,000	55,000	7,850	1.1	0.01	2.7×10^6

※１：消防法に基づき空間容積を 10%として算出
※２：合金鋼の密度
※３：多層構造となっているが，保守的に内槽側板の平均厚さを設定
※４：タンク材重量＝タンク表面積×タンク材質密度×タンク壁厚

(2)　飛来物の最高速度の算出

爆発により発生するエネルギが，ある割合で飛来物に移行すると仮定して最高速度を算出した。算出に用いた式は以下，評価結果は第３表のとおり。

$$E=\frac{(\rho_1-\rho_2)V}{\gamma-1}$$

$$v=\sqrt{\frac{2AE}{M}}$$

ｖ：飛来物の最高速度（m／s）
Ｍ：タンクの質量(kg)，Ｅ：タンク爆発により発生するエネルギ(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（m^3），γ：比熱比（-）
Ａ：爆発エネルギの飛来物への移行係数（0.2※2）

※１：代表とした日立ＬＮＧ基地のＬＮＧ貯蔵タンクの値を設定
※２：Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E(Part 1),3rd edn), van den Bosch, C. J. H. & Weterings

第３表　飛来物の最高速度の評価結果

タンクの種類	爆発エネルギ (J)	飛来物の最高速度 (m／s)	発電用原子炉施設までの 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，発電用原子炉施設までの離隔距離が同じであれば，最高速度が速いほど遠くまで飛散する。このため，同じ離隔距離にあるタンクのうち最高速度が速い，ＬＰＧ貯蔵タンクを対象に以下で最大飛散距離の算出を実施する。

2.2　最大飛散距離の算出

大気圧に近い低圧・低温で貯蔵されている低温貯蔵タンクでは大規模な爆発は発生し難いが,小規模な爆発は発生するおそれがあるため評価を行った。

飛来物の想定に当たり，日立ＬＮＧ基地のＬＮＧタンク構造図を参考とした。飛来物化することが想定される爆風の影響を直接受ける可能性がある部位を選定したところ，タンク本体及び配管(鋼製パイプ)を抽出した。ステージなどタンク屋根部に位置する部品は，鋼板で構成されており，その大きさからタンク本体の評価に包絡される。抽出した飛来物に対して，第１図のとおりの日立ＬＮＧ基地のＬＮＧタンクより推定したＬＰＧタンク構造図を基に,「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に例示の飛来物から，包絡的な飛来物を設定した。

タンク高さは 13m 程度である。棒状の物体は長くなるほど飛距離が長くなる傾向にあることから，保守的な評価として配管(鋼製パイプ)についてはタンク高さの 13m での評価を実施する。また，タンク本体の破片としてはタン

ク側面部分の破損を想定し 13m×22m 程度が最大と考えられ,平板状の物体は幅，長さが長くなるほど，飛距離が長くなる傾向にあることから，保守的な評価としてタンク屋根部分を包絡する破片を想定する。厚さについては，ＬＮＧタンクの構造から 0.01m とする。ＬＰＧタンク概要図を第１図に示す。

空中では物体はランダムに回転すると仮定し，外力としては重力及び平均抗力（各方向に平均化した抗力係数と投影面積の積に比例して定義されるもの）を受けるものとし，放出角は感度解析の結果，最も遠くまで到達する角度とした。

水平方向：$m\frac{dv_x}{dt}=F\frac{v_x}{V(t)}$

鉛直方向：$m\frac{dv_y}{dt}=F\frac{v_y}{V(t)}-mg$

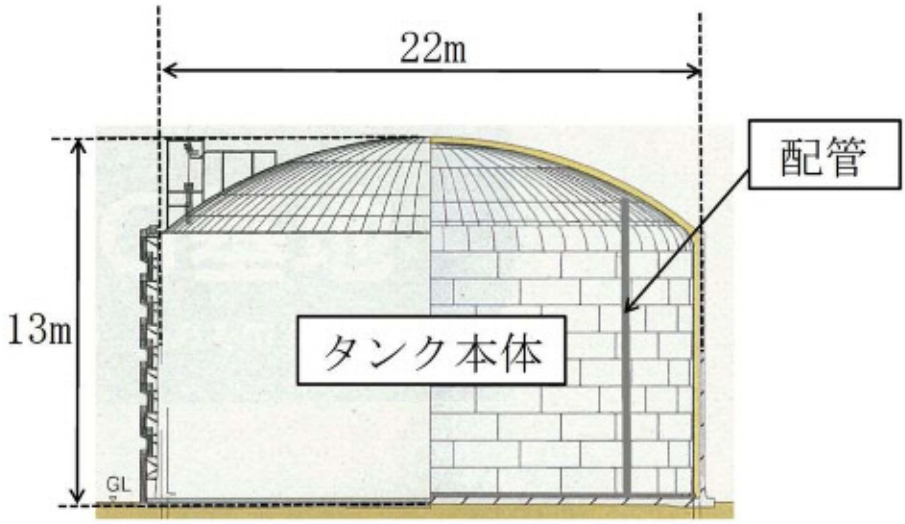
$F=-\frac{1}{2}C_D A\rho V(t)^2$

$V(t)=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$

ｍ：飛来物の質量(kg)，Ｆ：空気抵抗による外力(-)
ｇ：重力加速度（m/s^2），C_D：流体抗力係数（－）
Ａ：飛来物の速度方向に対する投影面積（m^2）
Ｖ：飛来物の速度(m／s)，ρ：空気密度(kg/m^3)

想定飛来物の諸元及び，飛散距離の計算結果を第 4 表に示す。離隔距離 1,500m は，最大飛散距離である鋼製パイプの 557m を上回ることから，飛来物が発電用原子炉施設に到達することはなく，影響はない。

以上より，地上設置の低温貯蔵タンク爆発飛来物が発電所に到達することはない。評価結果を第 4 表に示す。



第１図　ＬＰＧタンク概要図

第４表　想定飛来物の諸元・飛散距離

飛来物の種類	鋼製パイプ （配管）	コンクリート板 （タンク本体）
サイズ（m）	長さ×直径 （13×1）	長さ×幅×厚さ （13×22×0.01）
質量（t）	5※1	22※2
放出角（°）	40	35
飛散距離（m）	557	244
離隔距離（m）	1,500 （日立ＬＮＧ基地から発電所敷地境界までの距離）	

※1：鋼製パイプの質量は，厚さ 15.9mm の配管を参考に設定した。
※2：実際のＬＮＧタンクを参考に設定した。

燃料輸送車両の火災・爆発について

1.　目　　的

発電所敷地外で発生する燃料輸送車両の火災やガス爆発により，安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書Ｂ 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき，評価を実施する。

2.　燃料輸送車両の火災影響評価

発電所敷地外の公道上での燃料輸送車両の火災を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。

燃料輸送車両は，消防法令（危険物の規則に関する政令第 15 条第 1 項三号）において，移動タンク貯蔵所の上限量が定められており，公道を通行可能な上限量（＝30m^3）のガソリンが積載された状況を想定した。

また，火災発生場所としては，発電所敷地外の近隣の国道２４５号上の評価対象施設に最も近い場所を想定した。

2.1　共通データの算出

各外壁，排気筒及びディーゼル発電機機関の吸気系フィルタ（以下「Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ」という。）に対する影響評価に必要となる共通データを算出する。

(1)　燃料輸送車両及び燃料に係るデータ

燃料輸送車両及び燃料に係るデータを第 2.1-1 表に示す。

第 2.1-1 表　燃料輸送車両及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 (m^3)	輻射発散度 (kW/m^2)※1	質量低下速度 ($kg/m^2/s$)※2	燃料密度 (kg/m^3)※3	燃焼面積 (m^2)
燃料輸送車両	ガソリン	30	58	0.055	783	28.8

※１：評価ガイド 記載値
※２：NUREG-1805 記載値
※３：ＭＳＤＳ(製品データ安全シート)

(2)　燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は延焼面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 2.1-2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Ｒ：燃焼半径(m)，Ｓ：燃焼面積(m^2)

第 2.1-2 表　燃料輸送車両の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)
燃料輸送車両	28.8※	3.029

※：28kL タンクローリのトレーラ全長（11.57m）と全幅（2.49m）の積

(3)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 2.1-3 表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$$

ｔ：燃焼継続時間(s)，Ｖ：燃料量(m^3)
Ｒ：燃焼半径(m)，ｖ：燃焼速度＝Ｍ／ρ(m／s)

M：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第 2.1-3 表　燃料輸送車両火災の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg／m^2／s)	燃料密度 ρ (kg／m^3)	燃焼継続時間 t (s)
燃料輸送車両	30	3.029	0.055	783	14,826

2.2　評価結果

2.2.1　外壁に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

評価対象施設の外壁について，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

(2)　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.1-1 表に，位置関係を第 2.2.1-1 図に示す。

第 2.2.1-1 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	海水ポンプ室 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料乾式貯蔵建屋(m)
燃料輸送車両	510	760	450	520

第 2.2.1-1 図　火災発生場所と評価対象施設の位置関係

(3)　判断の考え方

a．許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式１の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面（x=0）の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を算出する。

$$T=T_0+\left(\frac{E}{a}\right)\left[1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)-\exp\left(\frac{a}{\lambda}x+\frac{a^2}{\lambda^2}\kappa t\right)\left\{1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}+\frac{a}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right)\right\}\right] \quad \text{（式１）}$$

（出典：安全工学講座，安全工学協会）

Ｔ：ｺﾝｸﾘｰﾄ許容温度(200℃)　　T_0：初期温度(50℃)※1

ａ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

κ：ｺﾝｸﾘｰﾄ温度伝導率(=λ／ρC_p)　(7.7×$10^{-7}$$m^2$／s)

ρ：ｺﾝｸﾘｰﾄ密度(2,400kg／m^3)　　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／m^2)

ｔ：燃焼継続時間(14,826s)

ｘ：温度評価の対象となる深さ位置(外壁表面：0m)

※１：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

※２：空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である17W／m^2Kを用いる。）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式２）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式３）}$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ:形態係数，Ｌ:離隔距離(m)，Ｈ:炎の高さ(m)，Ｒ:燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から各評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブ及び海

水ポンプ室天井は以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。

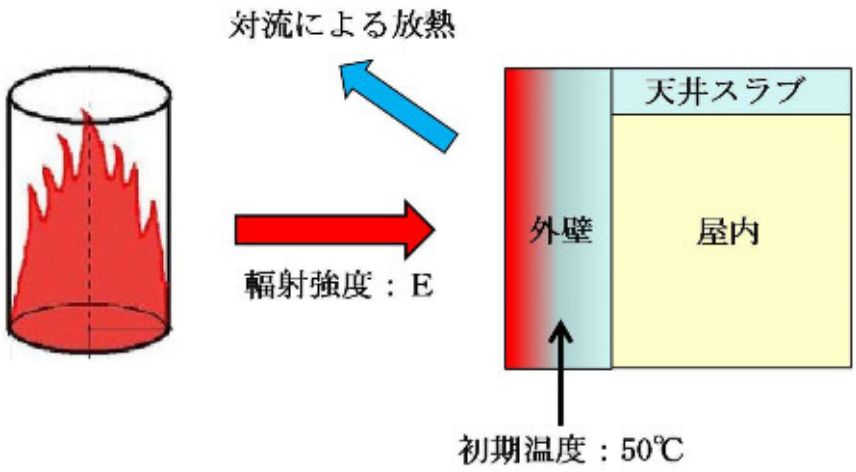
・火炎長が天井より短い場合，天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。

・火炎長が天井より長い場合，天井に輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。

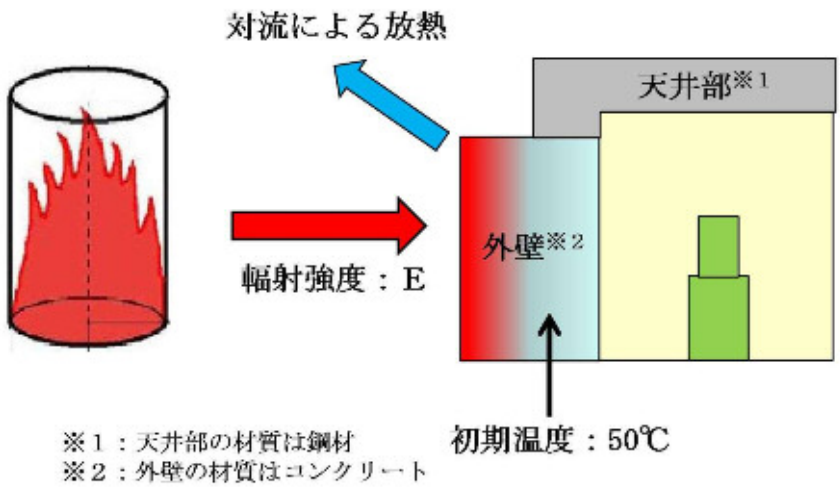
・火炎からの距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井の熱影響は外壁に比べて小さい。

・海水ポンプ室の天井（一部の側面壁含む）は鋼材，外壁はコンクリートであるが，危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。

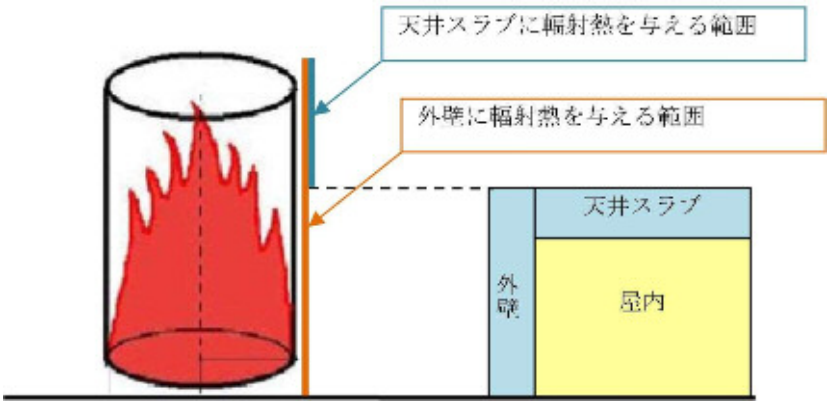
建屋外壁の評価概念図を第 2.2.1-2 図に，海水ポンプ室の評価概念図を第 2.2.1-3 図に，天井スラブの評価概念図を第 2.2.1-4 図に示す。



第 2.2.1-2 図　建屋外壁の評価概念図



第 2.2.1-3 図　海水ポンプ室の評価概念図



第 2.2.1-4 図　天井スラブの評価概念図

c．評価結果

評価対象施設の外壁表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果，各評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。

評価結果を第 2.2.1-2 表に示す。

第 2.2.1-2 表　外壁への燃料輸送車両火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
原子炉建屋	15	510
海水ポンプ室		760
タービン建屋		450
使用済燃料乾式貯蔵建屋		520

2.2.2　排気筒に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

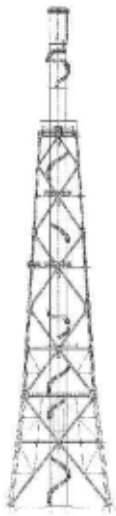
排気筒について，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

なお，排気筒の評価にあたっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2)　排気筒仕様を第 2.2.2-1 表に，排気筒外形図を第 2.2.2-1 図に示す。

第 2.2.2-1 表　排気筒仕様

名称		排気筒
種　類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個　数		1



第 2.2.2-1 図　排気筒外形図

(3)　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.2-2 表に示す。

第 2.2.2-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	排気筒 (m)
燃料輸送車両	610

(4)　判断の考え方

a．許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度325℃以下とする。

b．評価方法

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により排気筒鉄塔表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$E = 2h\left(T - T_0\right) \qquad \text{（式 1）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：周囲温度(50℃)※1
Ｅ：輻射強度(W／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。）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad (式２)$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad (式３)$$

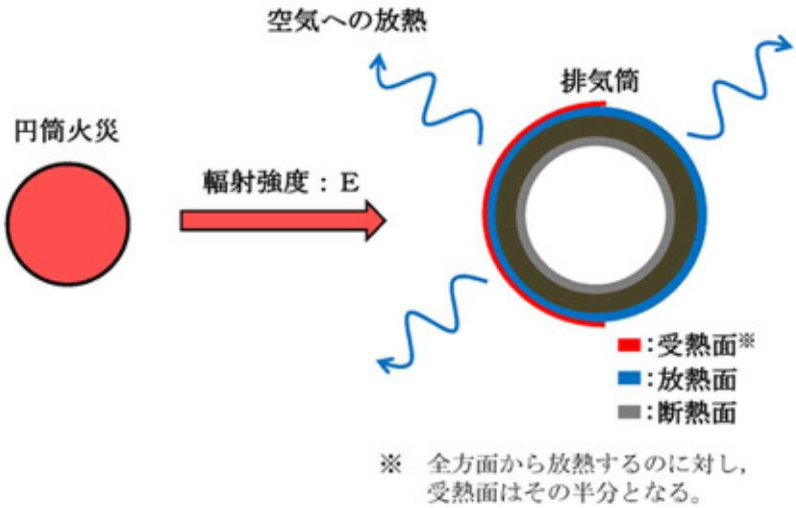
ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ:形態係数，Ｌ:離隔距離(m)，Ｈ:炎の高さ(m)，Ｒ:燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，評価に当たって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が燃料輸送車両との距離が近いこと，材質も鉄塔はSS400，STK400，筒身ではSS400であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

排気筒の評価概念図を第2.2.2-2図に示す。



第 2.2.2-2 図　排気筒の評価概念図

c．評価結果

排気筒鉄塔の表面温度が 325℃となる危険距離を算出した結果，排気筒の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.2-3 表に示す。

第 2.2.2-3 表　排気筒への燃料輸送車両火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
排気筒	9	610

2.2.3　ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する危険距離評価

(1)　影響評価対象範囲

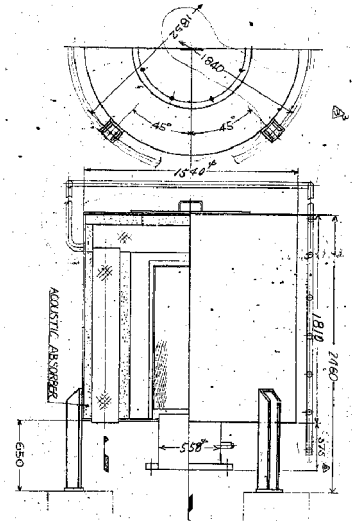
ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるＤ／Ｇ吸気系フィルタの流入空気温度について，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

(2)　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様を第 2.2.3-1 表に，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ外

形図を第 2.2.3-1 図に示す。

第 2.2.3-1 表　D／G吸気系フィルタ仕様

名称	D／G吸気系フィルタ
種　類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径　　：1.54m フィルタ円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第 2.2.3-1 図　D／G吸気系フィルタ外形図

(3)　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.3-2 表に示す。

第 2.2.3-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	D／G吸気系フィルタ (m)
燃料輸送車両	510

(4)　判断の考え方

a．許容温度

D／G吸気系フィルタの流入空気の許容温度は，火災時における温度上昇を考慮した場合において，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※：D／G吸気系フィルタの流入空気温度が上昇すると，空気冷却出口温度が上昇し，シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱がＤ／Ｇ吸気系フィルタに流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式１によりＤ／Ｇ吸気系フィルタに流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T \qquad \text{（式 1）}$$

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 年間の最高気温

※２：ディーゼル発電機機関の内，給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。
ディーゼル発電機機関吸気流量（228m^3/min）×空気密度（1.17kg/m^3）÷60

※３：日本機械学会 伝熱工学資料

※４：鋼材の許容温度 325℃を介した温度上昇

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式２）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

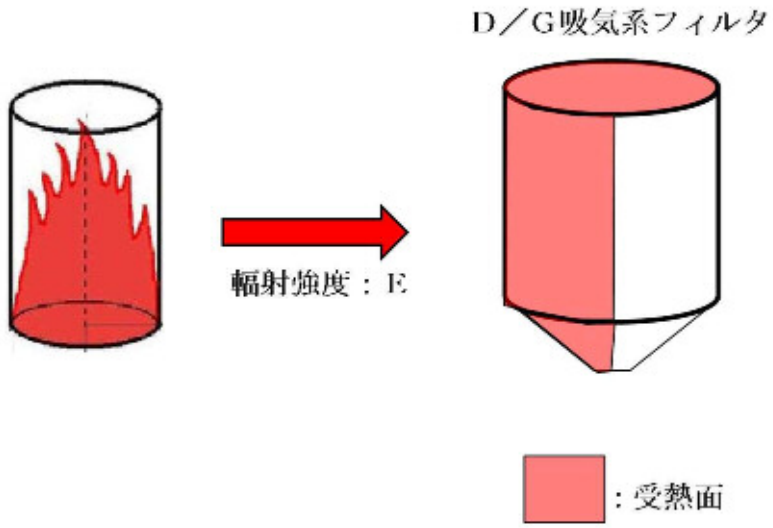
$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式３）}$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ:形態係数，Ｌ:離隔距離(m)，Ｈ:炎の高さ(m)，Ｒ:燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図を第 2.2.3-2 図に示す。



第 2.2.3-2 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図

ｃ．評価結果

Ｄ／Ｇ吸気系フィルタを通して流入する空気の温度が 53℃となる危険距離を算出した結果，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.3-3 表に示す。

第 2.2.3-3 表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタへの燃料輸送車両火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ	17	510

3.　燃料輸送車両の爆発影響評価

(1)　燃料輸送車両及び燃料に係るデータ

発電所敷地外の公道上での燃料輸送車両の爆発を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。

可燃性ガスを輸送する燃料輸送車両は，最大クラスの燃料輸送車両（積載量：15.1t）に液化天然ガス（ＬＮＧ）及び液化石油ガス（ＬＰＧ）が積載された状況を想定した。評価条件を第 3-1 表に示す。

また，爆発発生場所としては，発電所敷地外の近隣の国道２４５号上の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

	燃料輸送車両	
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。

$$X=0.04\times14.4\sqrt[3]{(K\times1,000\times W)}$$

X:危険限界距離(m)，K：石油類の定数(-)，W：設備定数(-)

第 3-2 表　外壁への燃料輸送車両爆発影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
燃料輸送車両	メタン	15.1	81	450
	プロパン	15.1	88	

※：防護対象施設のなかで国道 245 号から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離

4.　燃料輸送車両の爆発飛来物影響評価

4.1　飛来物の最大飛散距離の簡易評価

国道２４５号を通る加圧貯蔵の燃料輸送車両について，「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成 25 年 3 月　消防庁特殊災害室）に基づき，下式よりタンクの破損による破片の飛散範囲を算出した。

$L = 465M^{0.10}$　（容積 $5m^3$ 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

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，飛来物が発電用原子炉施設に到達するおそれがあることから，燃料輸送車両（第 4.2.2-1 図参照）から発生すると考えられる飛来物を想定した上での評価を行った。

飛来物の想定に当たり，BLEVE を引き起こす可能性がある加圧貯蔵の燃料輸送車両のうち積載量が国内最大クラスの構造図を基に，飛来物化することが想定される爆風の影響を直接受ける可能性がある部位を選定したところ，タンク本体(鋼板)及びはしご(鋼製パイプ)を抽出した。

台車部などタンク下部に位置する部品は，爆発力の方向を踏まえると，発電用原子炉施設に到達せず，また横転した場合を考えても，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発電用原子炉施設に到達しないことから影響はない。

抽出した飛来物に対して，第 4.2.2-1 図のとおり燃料輸送車両の構造図，車両制限令に定められる限界値，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に例示の飛来物から，包絡的な飛来物を設定した。

トラクターについては，鋼板で構成されており，その大きさからタンク本体の評価に包絡される。

はしご(鋼製パイプ)の長さは 2.5m 程度である。棒状の物体は長くなるほど飛距離が長くなる傾向にあることから，保守的な評価としてはしご(鋼製パイプ)については車両制限令に定められる車両長さの最大限度の 17.0m での評価を実施する。

また，タンク本体(鋼板)の破片としては鏡板部分の破損を想定し 2.5m×2.5m 程度が最大と考えられるが，平板状の物体は幅，長さが長くなるほど，飛距離が長くなる傾向にあることから，保守的な評価としてタンクの半

分が破片となる想定をする。幅は車両制限令に定められる車両の幅の最大限度の 2.5m，長さを車両制限令に定められる車両長さの最大限度の 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。

※：高圧ガスタンクローリーの事故防止について（高圧ガス保安協会）

4.2.1　タンク爆発により発生する飛来物の最高速度の算出

タンク爆発により発生する飛来物の最高速度の算出は，別紙 3.3 と同様に「Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E(Part 1),3rd edn)」に基づき求めた。以下に抜粋を示す。

Step 3a2　Calculate the liberated energy, E_{av}

Calculate the liberated energy in accordance with the method for blast effects, see paragraph 7.5.2.

Step 3a3　Calculate initial velocity, v_i

This initial velocity of a fragment can be calculated by using of the following equation:

$$v_i = \sqrt{\frac{2 \times A_{ke} \times E_{av}}{M_v}} \quad \text{(m/s)} \qquad (7.15)$$

where

E_{av} = liberated energy [J]

M_v = total mass of empty vessel [kg]

A_{ke} is the fraction of the liberated energy that goes into kinetic energy of the fragments. It depends on the situation.

Upper limit $A_{ke} = 0.6$

Rough estimate $A_{ke} = 0.2$

BLEVE $A_{ke} = 0.04$

なお，タンク材重量については，タンク体積が最大の 33m^3 となる円筒型のタンク形状を想定して算出した。評価条件を第 4.2.1-1 表に示す。

$$V = \pi r^2 L \Rightarrow L = \frac{V}{\pi r^2}$$

$$M = 2\pi r L \rho + 2 t \pi r^2 \rho$$

V：タンクの体積(33m^3)，L：タンク長さ(m)

r ：円筒状タンク底面の半径(1.25m)※1

M：タンクの質量(kg)，t ：タンク外層の厚さ(0.01m)※2

ρ ：タンク材密度（7,850kg／m^3）※3

※１：車両制限令（積載物），道路運送車両の保安基準（車両）により制限される最大幅 2.5m を直径と想定した場合の半径
※２：高圧ガスタンクローリーの事故防止について（高圧ガス保安協会）に記載のタンク厚さ（0.012m）を参考に，薄いほど評価上保守的になるため，厚さを 0.01m に設定
※３：合金鋼の密度

第 4.2.1-1 表　評価対象タンクの評価条件

タンクの種類	内容物	貯蔵容量 (m^3)	タンク体積※1 V (m^3)	タンクの質量※2 M (kg)
燃料輸送車両	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 $33m^3$ 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(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（$33m^3$），γ：比熱比（1.1）
Ａ：爆発エネルギの飛来物への移行係数（0.04※2）
※１：高圧ガス例示基準を参考とし，安全弁設定圧力×1.2 と設定
※２：Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E(Part 1),3rd edn), van den Bosch, C. J. H. & Weterings

第 4.2.1-2 表　飛来物の最高速度の評価結果

タンクの種類	爆発エネルギ E (J)	飛来物の最高速度 v (m／s)
燃料輸送車両	1.1×10^{9}	133

4.2.2　最大飛散距離の算出

空中では物体はランダムに回転すると仮定し，外力としては重力及び，平均抗力（各方向に平均化した抗力係数と投影面積の積に比例して定義されるもの）を受けるものとし，放出角は感度解析の結果，最も遠くまで到達する角度とした。

水平方向：$m\frac{dv_x}{dt}=F\frac{v_x}{V(t)}$

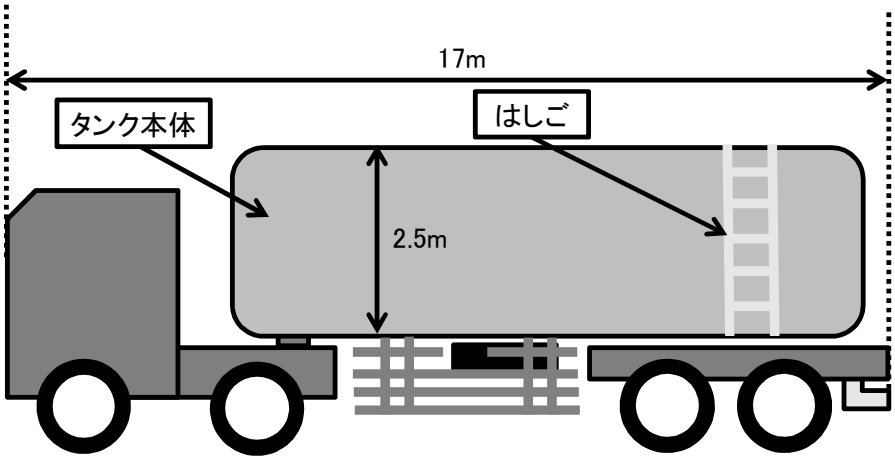
鉛直方向：$m\frac{dv_y}{dt}=F\frac{v_y}{V(t)}-mg$

$F=-\frac{1}{2}C_D A\rho V(t)^2$

$V(t)=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$

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)

燃料輸送車両概要図を第 4.2.2-1 図に，想定飛来物の諸元及び，飛散距離の計算結果を第 4.2.2-1 表に示す。



第 4.2.2-1 図　燃料輸送車両概要図

第 4.2.2-1 表　想定飛来物の諸元・飛散距離

飛来物の種類	鋼製パイプ （はしご）	鋼板 （タンク本体）
サイズ（m）	長さ×直径 （17.0※1×0.05※2）	長さ×幅×厚さ （17.0※1×2.5※1×0.01※4）
質量（kg）	71※2	3,336※3
飛散距離（m）	435	330
離隔距離（m）	450 （国道２４５号から最も近い発電用原子炉施設（タービン建屋）までの距離）	

※1：車両制限令第 3 条 3 項及び通達で定められた指定道路を通行できるセミトレーラー車両の最大限度（長さ 17.0m，幅 2.5m）
※2：鋼製パイプの直径及び，質量については，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考に設定した。直径 0.05m は，構造図上のはしごの直径約 0.04m を包絡する。
※3：鋼板の質量については，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考に設定した。
※4：「高圧ガスタンクローリーの事故防止について」（高圧ガス保安協会）の構造図よりタンク板厚 0.01m と設定した。

鋼製パイプの評価結果である最大飛散距離 435m は，離隔距離 450m を下回ることから，燃料輸送車両の爆発飛来物により評価対象施設の安全機能を喪失することはない。

漂流船舶の火災・爆発について

1.　目　　的

発電所敷地外で発生する漂流船舶の火災やガス爆発により，安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書Ｂ 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき，評価を実施する。

2.　漂流船舶の火災影響評価

発電所敷地周辺に漂流物を想定した軌跡解析を実施した結果，いずれの評価点においても最初の地点の近辺に留まるか，発電所から離れていく結果となったことから，発電所敷地外で発生する漂流物は発電所へ接近してくることはないが，本評価では保守的に対象船舶の喫水位置から火災発生位置を特定し評価することとした。

ａ．発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設（東京ガス（株）が所有する日立ＬＮＧ基地のＬＮＧタンク及びＬＰＧタンク）にＬＮＧ及びＬＰＧを輸送する輸送船（以下「ＬＮＧ輸送船」及び「ＬＰＧ輸送船」という。），内航船及び発電所港湾内に定期的に入港する燃料等輸送船（以下「定期船」という。）の火災を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。

ｂ．輸送船の喫水は[redacted]であり，水深 11m である発電所岸壁から[redacted]の位置までしか近づけないことから，[redacted]のポイントから評価対象施設までの離隔距離が最も短くなる地点での火災を想定した。

ｃ．内航船及び定期船のうち火災影響が最大となる船舶の火災を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。内航船及び定期船は満載時でも喫水が[redacted]と浅く，発電所岸壁まで接近可能であるため，発

電所岸壁から評価対象施設までの離隔距離が最も短くなる地点での火災を想定した。

2.1　共通データの算出

各外壁，排気筒及びＤ／Ｇ吸気系フィルタに対する影響評価に必要となる共通データを算出する。

(1)　船舶及び燃料に係るデータ

船舶及び燃料に係るデータを第 2.1-1 表に，各対象との位置関係を第 2.1-2 図に示す。

第 2.1-1 表　船舶及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 (m^3)	輻射発散度 (kW/m^2)※1	質量低下速度 ($kg/m^2/s$)※2	燃料密度 (kg/m^3)※3	燃焼面積 (m^2)

※１：評価ガイド 記載値
※２：NUREG-1805 記載値
※３：ＭＳＤＳ(製品データ安全シート)
※４：ＬＰＧ輸送船は燃料の種類が同じであることから，燃料量が多いＬＮＧ輸送船に包絡されるため評価対象外とした。
※５：内航船は燃料の種類が同じであることから，燃料量が多い定期船に包絡されるため評価対象外とした。

第 2.1-1 図　ＬＮＧ輸送船火災と評価対象施設の位置関係

第 2.1-2 図　定期船火災と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。

なお，船舶の燃料タンクの破損等による火災を想定し、燃焼面積は船舶の全長と船幅より四角形として算出している。

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(m^2)

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(m^3)
R：燃焼半径(m)，v：燃焼速度＝M／ρ(m／s)
M：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第 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

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)　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.2-1 表に示す。

第 2.2-1 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	海水ポンプ室 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料 乾式貯蔵建屋(m)
	1,100	940	1,100	1,300
	300	70	280	530

(3)　判断の考え方

a．許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式 1 の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面（x=0）の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を算出する。

$$T=T_0+\left(\frac{E}{a}\right)\left[1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)-\exp\left(\frac{a}{\lambda}x+\frac{a^2}{\lambda^2}\kappa t\right)\left\{1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}+\frac{a}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right)\right\}\right] \quad (式1)$$

（出典：安全工学講座，安全工学協会）

T：表面からx(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

a：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

κ：ｺﾝｸﾘｰﾄ温度伝導率(=λ／ρC_p)($7.7\times10^{-7}m^2$／s)

ρ：ｺﾝｸﾘｰﾄ密度(2,400kg／m^3)，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／m^2)

t：燃焼継続時間(s)，x：温度評価の対象となる深さ位置(外壁表面：0m)

※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間（最高気温に保守性を持たせた値）

※2：空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である17W／m^2Kを用いる。）

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを，式2より算出する。

$$E=Rf\cdot\Phi \quad (式2)$$

E：輻射強度(W／m^2)，Rf：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを，式3より算出する。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad (式3)$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ:形態係数，L:離隔距離(m)，H:炎の高さ(m)，R:燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。

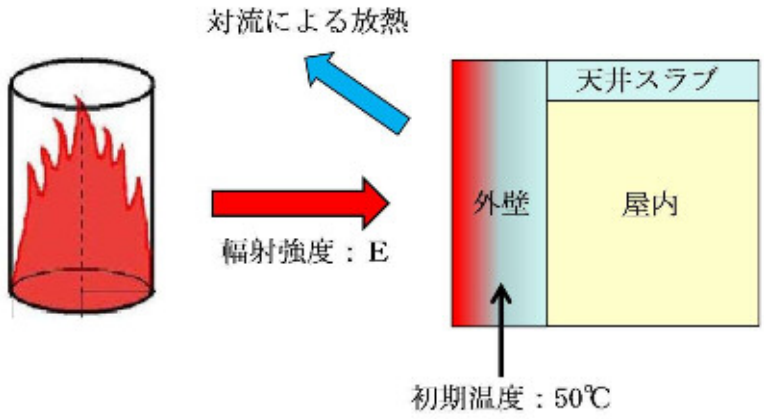
・火炎長が天井より短い場合，天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。

・火炎長が天井より長い場合，天井に輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。

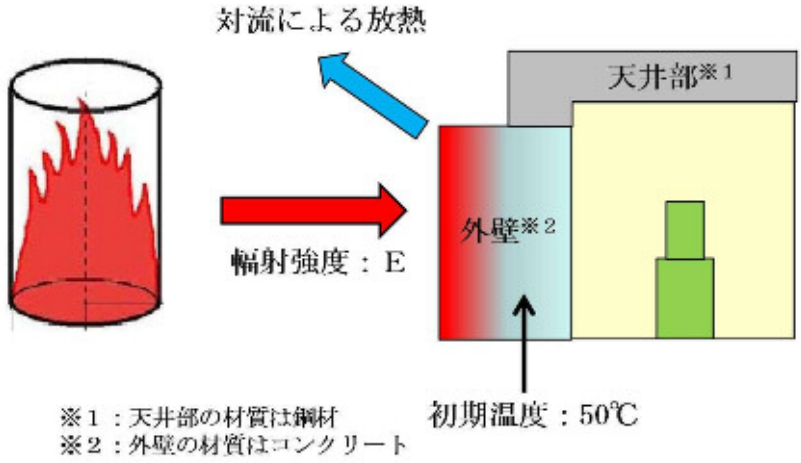
・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井の熱影響は外壁に比べて小さい。

・海水ポンプ室の天井（一部の側面壁含む）は鋼材，外壁はコンクリートであるが，危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。

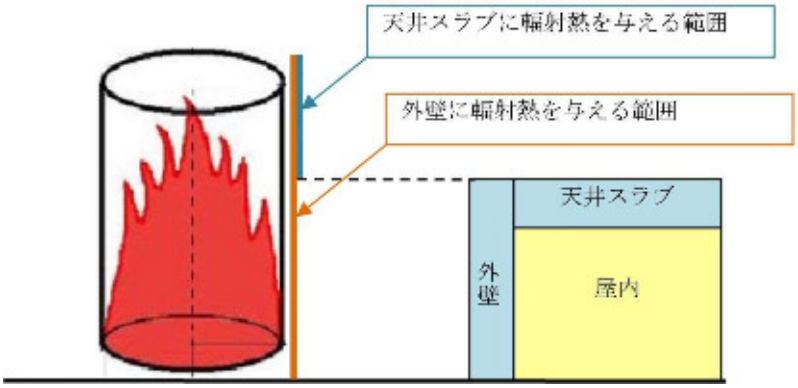
建屋外壁の評価概念図を第 2.2-1 図に，海水ポンプ室の評価概念図を第 2.2-2 図に，天井スラブの評価概念図を第 2.2-3 図に示す。



第 2.2-1 図　建屋外壁の評価概念図



第 2.2-2 図　海水ポンプ室の評価概念図



第 2.2-3 図　天井スラブの評価概念図

c．評価結果

評価対象施設の外壁表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果，各評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。

なお，ＬＮＧ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 680m（海水ポンプ室）であり危険距離以上であるため，積載量が少ない場合の火災位置を想定しても危険距離が離隔距離を上回ることはない。評価結果を第 2.2-2 表に示す。

第 2.2-2 表　外壁への船舶火災影響評価結果

想定火災源	評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	原子炉建屋	165	1,100
	海水ポンプ室		940
	タービン建屋		1,100
	使用済燃料乾式貯蔵建屋		1,300
	原子炉建屋	54	300
	海水ポンプ室		70
	タービン建屋		280
	使用済燃料乾式貯蔵建屋		530

2.3　排気筒に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

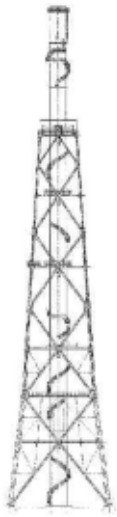
排気筒について，船舶の火災を想定して評価を実施した。

なお，排気筒の評価に当たっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2)　排気筒仕様を第 2.3-1 表に，排気筒外形図を第 2.3-1 図に示す。

第 2.3-1 表　排気筒仕様

名称		排気筒
種　類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400,STK400
個　数		1



第 2.3-1 図　排気筒外形図

(3)　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.3-2 表に示す。

第 2.3-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	排気筒 (m)
	1,100
	250

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度325℃以下とする。

ｂ．評価方法

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により排気筒鉄塔表面の温度が325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$E = 2h\left(T - T_0\right) \qquad \text{（式 1）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：周囲温度(50℃)※1
Ｅ：輻射強度(W／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（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。）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式 2）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式 3）}$$

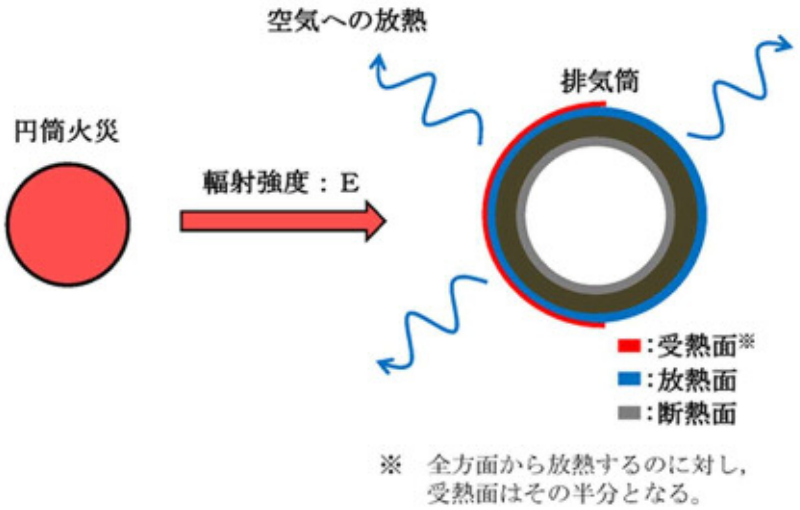
ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，評価に当たって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が当該船舶との距離が近いこと，材質も鉄塔はSS400，STK400，筒身ではSS400であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

排気筒の評価概念図を第2.3-2図に示す。



第2.3-2図　排気筒の評価概念図

ｃ．評価結果

排気筒鉄塔の表面温度が325℃となる危険距離を算出した結果，排気筒の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。なお，ＬＮＧ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

850m であり危険距離以上であるため，積載量が少ない場合の火災位置を想定しても危険距離が離隔距離を上回ることはない。評価結果を第2.3-3 表に示す。

第 2.3-3 表　排気筒への船舶火災影響評価結果

想定火災源	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	87	1,100
	29	250

2.4　ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する危険距離評価

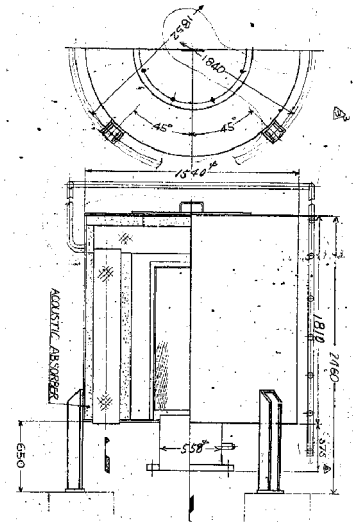
(1)　評価対象範囲

ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるＤ／Ｇ吸気系フィルタの流入空気温度について，船舶の火災を想定して評価を実施した。

(2)　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様を第 2.4-1 表に，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ外形図を第 2.4-1 図に示す。

第 2.4-1 表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様

名称	Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ
種　類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径　　：1.54m フィルタ円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第 2.4-1 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ外形図

(3)　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.4-2 表に示す。

第 2.4-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ (m)
[redacted]	1,100
	330

(4)　判断の考え方

a．許容温度

Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの流入空気の許容温度は，火災時における温度上昇を考慮した場合において，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※：Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの流入空気温度が上昇すると，空気冷却出口温度が上昇し，シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱がＤ／Ｇ吸気系フィルタに流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式１によりＤ／Ｇ吸気系フィルタに流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T \qquad \text{（式 1）}$$

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（5℃）※4

※１：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温

※２：ディーゼル発電機機関の内，給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。
ディーゼル発電機機関吸気流量（228m^3/min）×空気密度（1.17kg/m^3）÷60

※３：日本機械学会 伝熱工学資料

※４：最高到達温度 150℃を介した温度上昇（5℃）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式２）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

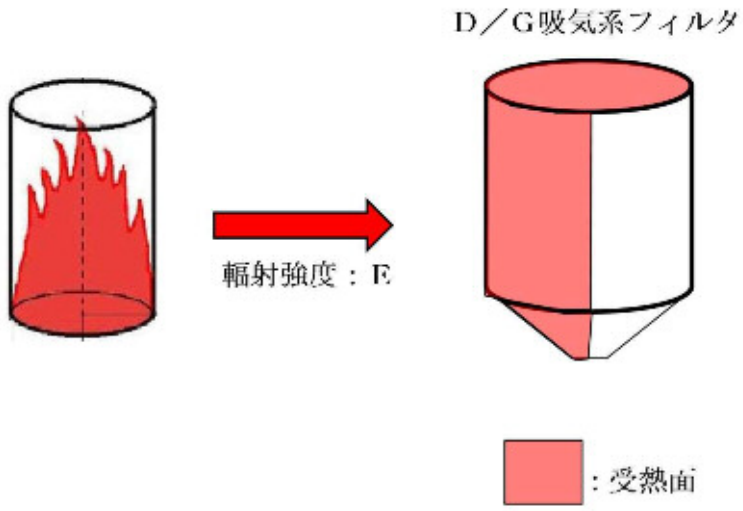
$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad （式３）$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図を第 2.4-2 図に示す。



第 2.4-2 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図

ｃ．評価結果

Ｄ／Ｇ吸気系フィルタに流入する空気の温度が 53℃となる危険距離を算出した結果，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.4-3 表に示す。

第 2.4-3 表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタへの船舶火災影響評価結果

想定火災源	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	128	1,100
	42	330

3.　漂流船舶の爆発影響評価

(1)　評価対象船舶の抽出

発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設（東京ガス（株）が所有する日立ＬＮＧ基地）にＬＮＧ及びＬＰＧを輸送する輸送船（内航船含む）の爆発を想定し，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ＬＮＧ，ＬＰＧ輸送船の位置関係

第 3-2 図　発電所と内航船の位置関係

(2)　危険限界距離の算出

評価ガイドに基づき，下式より危険限界距離を算出した結果，危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。

なお，それぞれの輸送船について積載量が 0m^{3}の場合の喫水を考慮しても最短の離隔距離は，ＬＮＧ輸送船で 680m，ＬＰＧ輸送船で 560m となり危険距離以上となるため，積載量が少ない場合の爆発位置を想定しても危険限界距離が離隔距離を上回ることはない。評価結果を第 3-2 表に示す。

$$X=0.04\times14.4\sqrt[3]{(K\times1,000\times W)}$$

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，海水ポンプ室は評価対象外とする。離隔距離は海水ポンプ室を除いて最も近い排気筒までの距離とする。

4.　漂流船舶の爆発飛来物影響評価

発電所周辺を航行する船舶として，日立ＬＮＧ基地に出入りする輸送船があるが，これらの船舶が停泊しているときに津波警報等が発表された場合には，荷役及び作業を中止した上で，緊急退避又は係留避泊する運用としており，実際に漂流し発電所に接近する可能性は低いことから，想定した漂流船舶の飛来物が発電所に影響を及ぼすことはない。

5.　漂流船舶の二次的影響

発電所港湾内で漂流船舶が出火し油が流出したとしても，港湾内の取水口にはカーテンウォールが設置されており，深層取水していることから発電用原子炉施設（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，発電用原子炉施設への影響がないよう対応する。

敷地内における危険物貯蔵施設等の火災・爆発について

1.　目的

東海第二発電所敷地内の危険物貯蔵設備の火災・爆発が，安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書Ｂ石油コンビナート火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」及び，「附属書Ｃ「原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」（共に以下「評価ガイド」という。）に基づき，評価を実施する。

2.　火災源又は爆発源となる設備の影響評価

2.1　評価対象の考え方

評価ガイドに基づき，発電所敷地内の火災源又は爆発源となる石油類等の危険物貯蔵設備について，火災・爆発の影響評価を実施する。第 2.1-1 図のフローに基づき評価対象を抽出した。火災源の抽出結果を第 2.1-1 表に，爆発源の抽出結果を第 2.1-2 表に示す。

・屋内貯蔵所は評価対象外とした。

・地下タンク貯蔵所については，地表面で火災が発生する可能性は低いことから，評価対象外とした。

・常時「空」状態で運用する設備については，評価対象外とした。

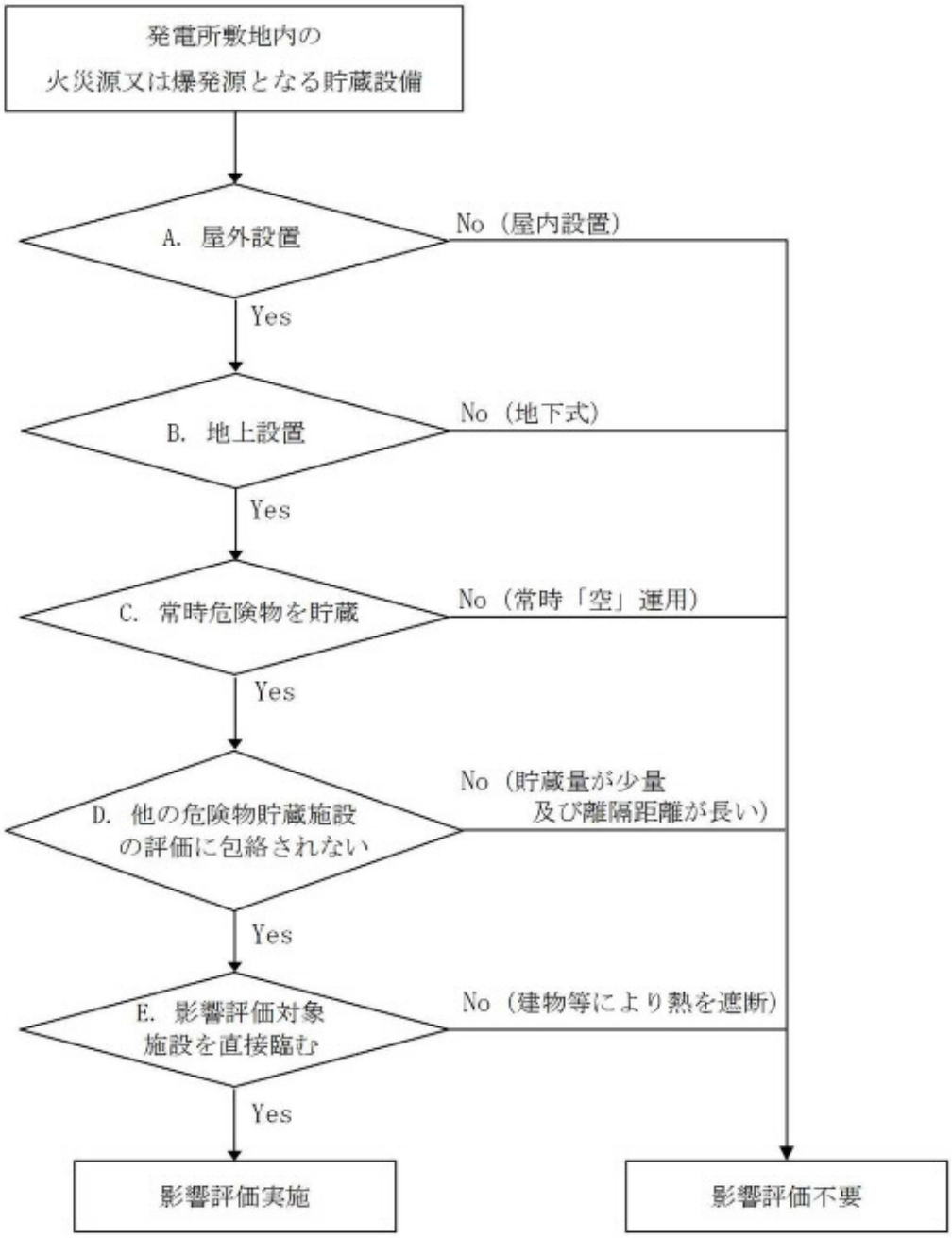
・貯蔵燃料の種類が同じ場合，貯蔵量が少なくかつ評価対象施設までの離隔距離が長い設備は，貯蔵量が多くかつ評価対象施設までの離隔距離が短い他設備に包絡されるため，評価対象外とした。

・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，当該危険物貯蔵設備において火災・爆発が発生しても，その影響が及ばないため，評価対象外とした。

・発電所構外より入所してくるタンクローリについては，燃料補給時は監

視人が立会を実施し，万が一の火災発生時は速やかに消火活動が可能であることから，評価対象外とした。

敷地内の火災源及び爆発源となる設備及び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評価対象抽出フロー

第 2.1-1 表　敷地内の火災源となる設備一覧（１／２）

設備名	製造所等区分	設置場所	危険物の類		品名	最大数量（m^3）	詳細評価要否（○:対象，×:対象外）
油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	0.90	×（屋内設置 → A）
			第四類	第二石油類	軽油・灯油	2.20	×（屋内設置 → A）
			第四類	第三石油類	重油	18.20	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	潤滑油	21.00	×（屋内設置 → A）
			第四類	アルコール類	アルコール類	0.20	×（屋内設置 → A）
重油貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	500.00	×（地下式 → B）
非常用ディーゼル発電機用タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	800.00	×（地下式 → B）
原子炉建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	33.20	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	潤滑油	16.50	
タービン建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	0.36	×（屋内設置 → A）
			第四類	第三石油類	重油	1.90	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	潤滑油	185.23	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	ﾘﾝ酸ｴｽﾃﾙ油	7.93	×（屋内設置 → A）
サービス建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第三石油類	重油	2.40	×（屋内設置 → A）
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**	**○**
可搬型設備用軽油タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	210.00	×（地下式 → B）
ディーゼル発電機用燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.97	×（他評価に包絡 → E）

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 2.1-1 表　敷地内の火災源となる設備一覧（２／２）

設備名	製造所等区分	設置場所	危険物の類		品名	最大数量（m^3）	詳細評価要否（○:対象，×:対象外）
No.1 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	0.10	×（屋内設置 → A）
			第四類	第二石油類	ラッカー等	4.00	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	潤滑油	90.00	×（屋内設置 → A）
No.2 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第四石油類	潤滑油	100.00	×（屋内設置 → A）
保修用屋外油貯蔵所	屋外貯蔵所	屋外	第四類	第四石油類	潤滑油	80.00	×（他評価に包絡 → D）
緊急時対策所建屋（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）
緊急時対策所建屋地下タンク（旧緊急時対策室）	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	20.00	×（地下式 → B）
絶縁油保管タンク	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	200.00	×（常時「空」→C）
常設代替高圧電源装置置場	一般取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	5.97	×（他評価に包絡 → D）
			第四類	第四石油類	潤滑油	0.94	×（他評価に包絡 → D）
緊急時安全対策用地下タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	90.00	×（地下式 → B）
構内服洗濯用タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第三石油類	重油	1.82	×（他評価に包絡 → D）
廃棄物処理建屋廃油タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	廃油	1.90	×（屋内設置 → A）
雑固体減容処理設備用バーナ	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第二石油類	灯油	0.93	×（屋内設置 → A）
緊急用エンジン発電機燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.80	×（常時「空」→C）
緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	150.00	×（地下式 → B）
少量危険物貯蔵所 No.1	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	×（屋内設置 → B）
少量危険物貯蔵所 No.2	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	×（屋内設置 → B）
少量危険物貯蔵所 No.3	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	×（屋内設置 → B）

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 2.1-2 表　敷地内の爆発源となる設備一覧

設備名	内容物	本数 (本)	1本当たり容量 (m^3)	総容量 (m^3)	詳細評価要否 (○:対象,×:対象外)
協力会社ボンベ小屋	アセチレン	50	6	300	× (屋内配置→A)
	フロン	10	2	20	
	プロパン	10	5	50	
H2,CO2ボンベ庫	水素	20	7	140	× (屋内配置→A)
水素貯槽	**水素**	**―**	**―**	**6.7**	**○**
予備ボンベ庫①	水素	40	7	280	× (屋内配置→A)
予備ボンベ庫②	水素	20	7	140	× (屋内配置→A)
所内ボイラー プロパンボンベ庫	プロパン	4	50	200	× (屋内配置→A)
焼却炉用 プロパンボンベ庫	プロパン	5	500	2500	× (屋内配置→A)
サービス建屋 ボンベ庫	アセチレン	3	6	18	× (屋内配置→A)
廃棄物処理建屋 化学分析用ボンベ庫	アセチレン	1	6	6	× (屋内配置→A)
	ﾒﾀﾝ+ｱﾙｺﾞﾝ	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評価対象施設の位置

2.2　発電所敷地内危険物貯蔵設備の熱影響評価

2.2.1　火災源となる設備の火災の想定

火災源となる設備の火災の想定は以下のとおりとした。

(1)　想定条件

ａ．火災源となる設備は 2.1 で抽出した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)　評価対象施設

原子炉建屋，タービン建屋，海水ポンプ室（海水ポンプ），排気筒を評価対象施設とし，直接臨まない使用済燃料乾式貯蔵建屋，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタは対象外とする。

2.2.2　共通データの算出

各対象施設の外壁及び排気筒に対する熱影響評価に必要となる共通データを算出する。

(1)　火災源となる設備及び燃料に係るデータ

火災源となる設備及び燃料に係るデータを第 2.2.2-1 表に示す。

第 2.2.2-1 表　火災源となる設備及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 V (m^3)	輻射発散度 Rf (kW／m^2)※1	質量低下速度 M (kg／m^2／s)※2	燃料密度 ρ (kg／m^3)※3	防油堤面積 S (m^2)
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）(m^2)

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	2.483

(3)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 2.2.2-3 表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

ｔ：燃焼継続時間(s)，Ｖ：燃料量(m^3)

R：燃焼半径(m)，v：燃焼速度＝M／ρ(m／s)
M：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第 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	2.483	0.039	830	11,008

2.2.3　外壁に対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

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評価対象施設までの離隔距離

火災源となる設備と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。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

第 2.2.3-2 表　火災源となる設備の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
溶融炉 灯油タンク	45 (原子炉建屋)	2.483	5.9639×10^{-3}
	185 (海水ポンプ室)	2.483	3.4734×10^{-4}
	77 (タービン建屋)	2.483	2.0248×10^{-3}

(4)　輻射強度の算出

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 2.2.3-3 表に示す。

$E=Rf\cdot\Phi$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

第 2.2.3-3 表　火災源となる設備の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	離隔距離 L (m)	輻射発散度 Rf (kW／m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W／m^2)
溶融炉灯油タンク	灯油	45 (原子炉建屋)	50	5.9639×10^{-3}	298.20
		185 (海水ポンプ室)		3.4734×10^{-4}	17.37
		77 (タービン建屋)		2.0248×10^{-3}	101.24

(5)　判断の考え方

a．許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。

b．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱と対流による放熱を考慮した，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め，コンクリート表面の温度が許容温度以下であるか評価した。なお，天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。建屋外壁の評価概念図を第 2.2.3-1 図に示す。

・火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。

・海水ポンプ室の天井（一部の側面壁含む）は鋼材，外壁はコンクリートであるが，危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。海水ポンプ室の評価概念図を第 2.2.3-2 図に示す。

・火炎長が天井スラブより長い場合，天井スラブに輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 2.2.3-3 図に示す。

・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。

$$T=T_0+\left(\frac{E}{a}\right)\left[1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)-\exp\left(\frac{a}{\lambda}x+\frac{a^2}{\lambda^2}\kappa t\right)\left\{1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}+\frac{a}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right)\right\}\right]$$

T：表面から x(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

a：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

κ：コンクリート温度伝導率(=λ／ρC_p)(7.7×$10^{-7}$$m^2$／s)

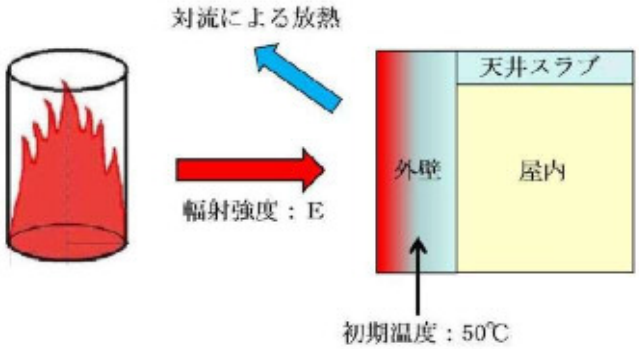
ρ：コンクリート密度(2,400kg／m^3)，C_p：コンクリート比熱(880J／kg／K)

λ：コンクリート熱伝導率(1.63W／m／K)，E：輻射強度(W／m^2)

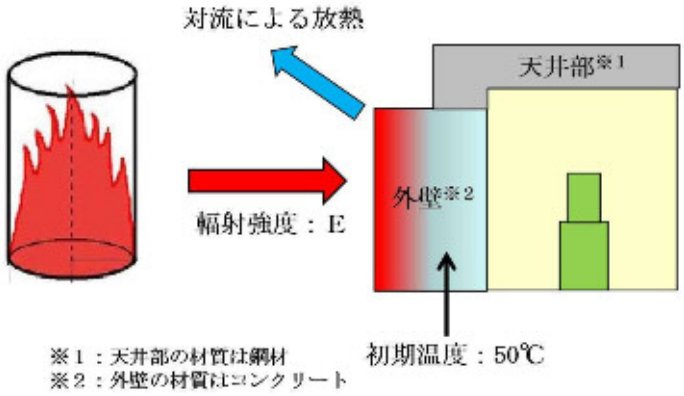
t：燃焼継続時間(11,008s)，x：コンクリート壁表面深さ(0m)

※1：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

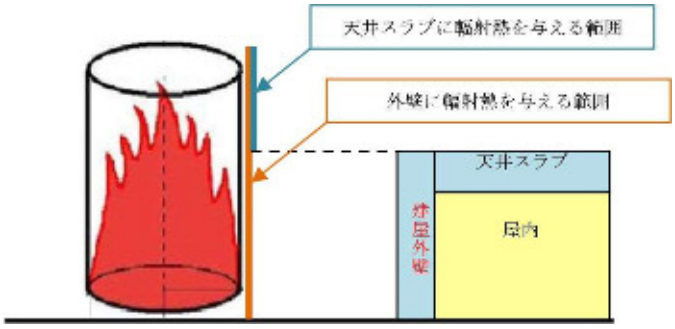
※2：空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2K を用いる。）



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

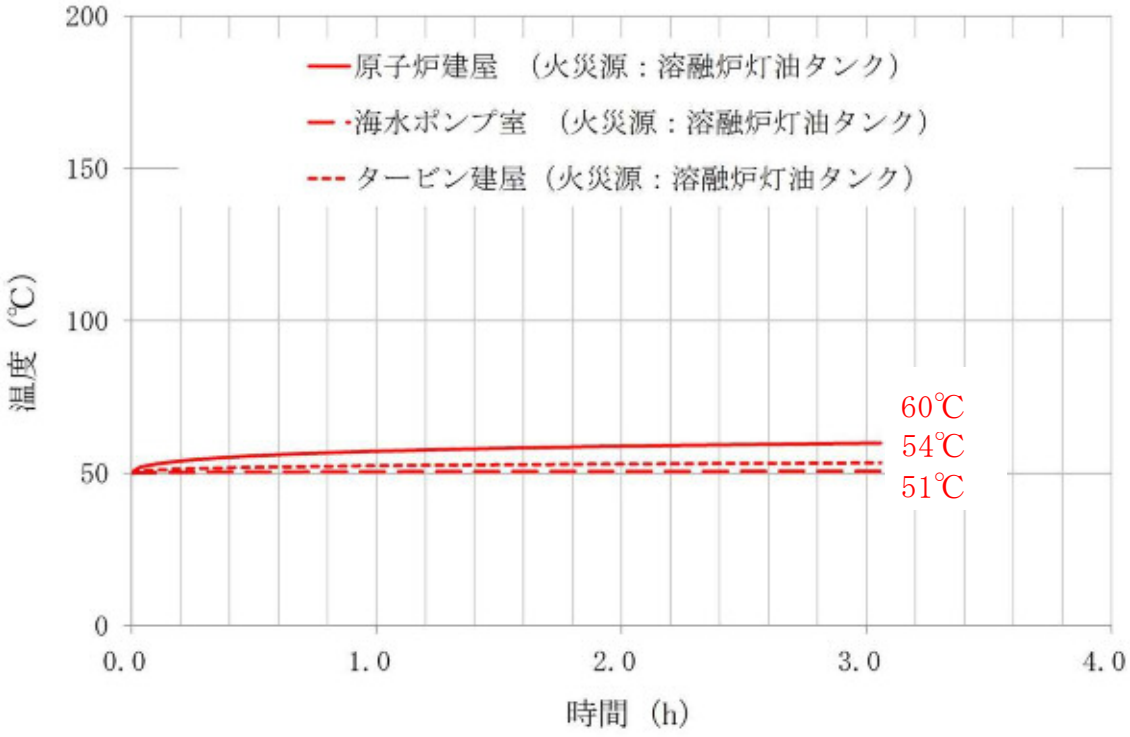


第 2.2.3-3 図　天井スラブへの輻射熱の影響

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	評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
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　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)　評価対象範囲

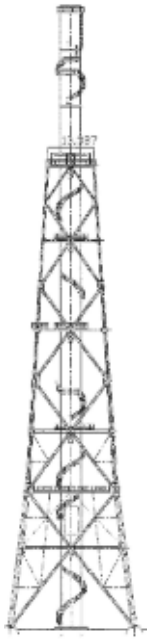
排気筒について，溶融炉灯油タンクの火災を想定して評価を実施した。

なお，排気筒の評価に当たっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2)　排気筒仕様を第 2.2.4-1 表に，排気筒外形図を第 2.2.4-1 図に示す。

第 2.2.4-1 表　排気筒仕様

名称		排気筒
種　類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400,STK400
個　数		1



第 2.2.4-1 図　排気筒外形図

(3)　火災源となる設備から排気筒までの離隔距離

火災源となる設備から排気筒までの離隔距離を第 2.2.4-2 表に示す。

第 2.2.4-2 表　火災源となる設備から排気筒までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 L (m)
溶融炉灯油タンク	21

(4)　形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 2.2.4-3 表に示す。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

第 2.2.4-3 表　火災源となる設備の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
溶融炉 灯油タンク	21	2.483	2.6826×10^{-2}

(5)　輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 2.2.4-4 表に示す。

Ｅ＝Ｒｆ・Φ

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

第 2.2.4-4 表　火災源となる設備の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 Rf (kW／m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W／m^2)
溶融炉 灯油タンク	灯油	50	2.6826×10^{-2}	1343.13

(6)　判断の考え方

a．許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度325℃以下とする。

b．評価結果

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式により排気筒鉄塔表面の温度上昇を求め，表面温度が許容温度以下であるか評価した。

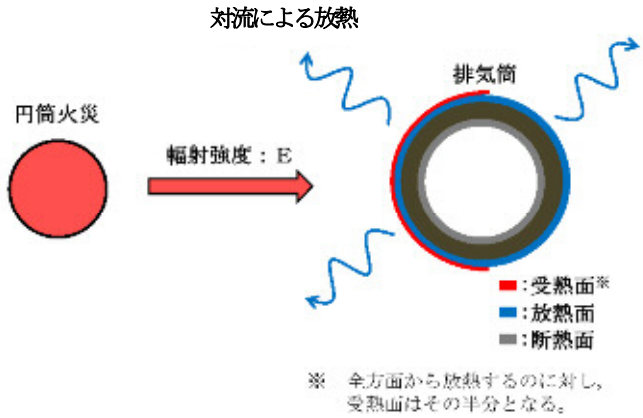
なお，評価に当たって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が火災源との距離が近いこと，材質も鉄塔はSS400，STK400，筒身ではSS400であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。排気筒の評価概念図を第2.2.4-2図に示す。

$$T=\frac{E}{2h}+T_0$$

T：許容温度(325℃)，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。）



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 2.2.4-5 表に示す。

第 2.2.4-5 表　評価対象施設に対する熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度 （℃）	許容温度 （℃）
排気筒	90	＜325

2.3　爆風圧影響評価

2.3.1　想定事象

(1)　評価対象とする爆発源となる設備は 2．1 で抽出した，水素貯槽とした。

(2)　水素貯槽は，ガスを満載した状態を想定した。

2.3.2　爆発源となる設備及びガスに係るデータ

爆発源となる設備及びガスに係るデータを第 2.3.2-1 表に示す。

第 2.3.2-1 表　爆発源となる設備及びガスに係るデータ

	水素貯槽
貯蔵ガス	水素
貯蔵量(m^3)	6.7
密度(kg／m^3)	0.08988※1
貯蔵ガスＫ値※2	2,860
貯蔵設備Ｗ値	0.0006

※１：一般社団法人 水素エネルギー協会 記載値
※２：コンビナート等保安規定第５条別表第二記載値

2.3.3　危険限界距離の算出

評価ガイドに基づき，下式より危険限界距離を算出した結果，危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.3.3-1 表に示す。

$$X=0.04\times14.4\sqrt[3]{(K\times1,000\times W)}$$

X:危険限界距離(m)，K：石油類の定数(-)，W：設備定数(-)

第 2.3.3-1 表　爆発源となる設備と評価対象施設までの離隔距離

評価対象施設	危険限界距離(m)	離隔距離※(m)
タービン建屋	7	35

※：評価対象施設のなかで水素貯槽から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離

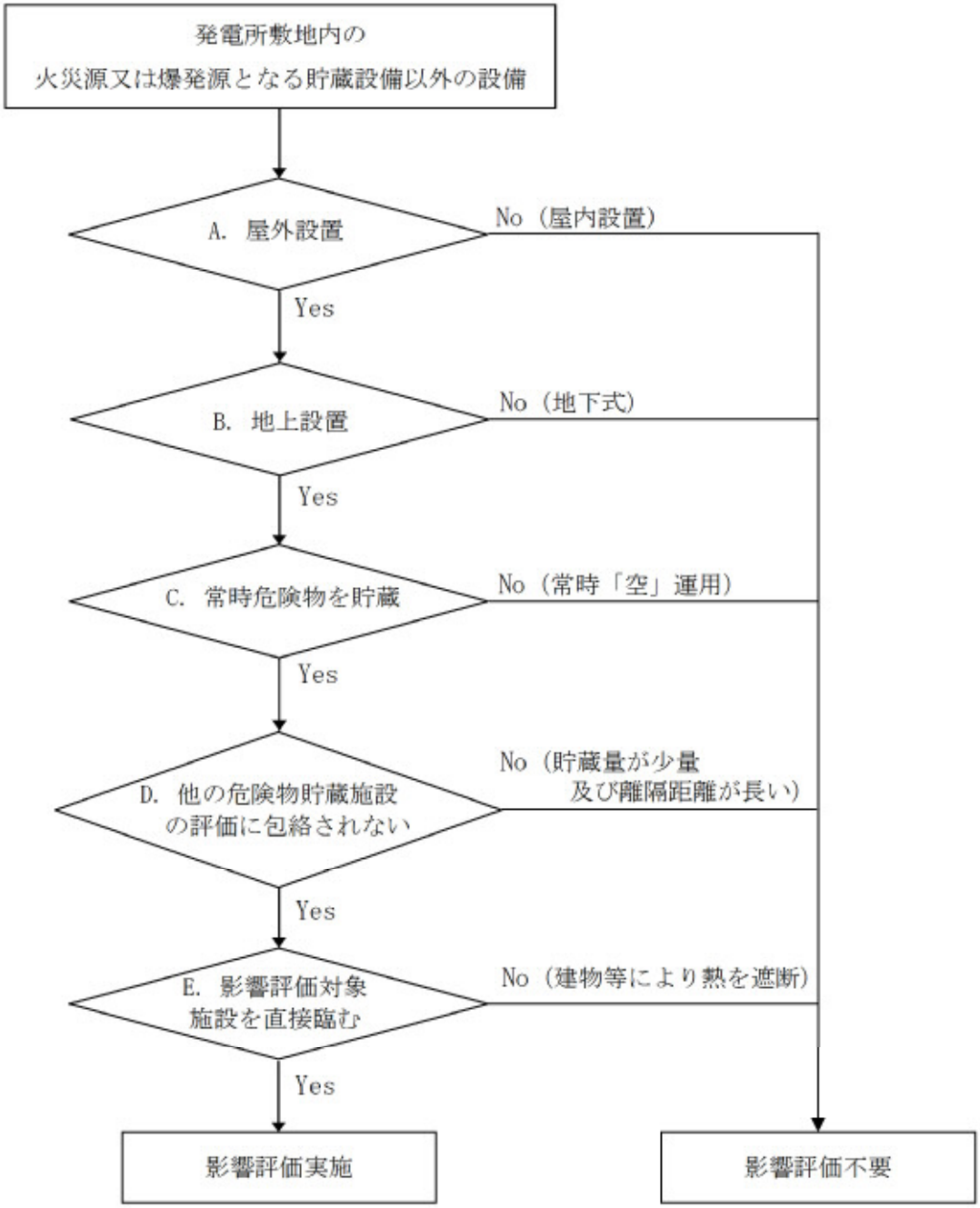
3.　敷地内貯蔵設備以外の影響評価

3.1　評価対象範囲

敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備を，第 3.1-1 図のフローに基づき抽出した。抽出結果を第 3.1-1 表に示す。

・貯蔵燃料の種類が同じ場合，貯蔵量が少なくかつ評価対象施設までの離隔距離が長い設備は，貯蔵量が多くかつ評価対象施設までの離隔距離が短い他設備に包絡されるため，評価対象外とした。可搬型重大事故等対処設備及び自主設備（第 3.1-2 表）についても，同じフローに基づき評価対象を抽出した。

敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備及び評価対象施設の位置を第 3.1-2 図に，可搬型重大事故等対処設備及び自主設備の保管位置を第 3.1-3 図に示す。



第 3.1-1 図　敷地内貯蔵設備以外の設備の対象抽出フロー

第 3.1-1 表　敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備一覧

設備名	設置場所	危険物の類		品名	最大数量 (m^3)	詳細評価要否 (○:対象,×:対象外)
主要変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	136.00	○
所内変圧器　２Ａ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	21.00	○
所内変圧器　２Ｂ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	21.00	× (他評価に包絡 → D)
起動変圧器　２Ａ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	45.95	× (他評価に包絡 → D)
起動変圧器　２Ｂ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	46.75	○
予備変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	35.90	× (他評価に包絡 → D)
1号エステート変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	1.10	× (他評価に包絡 → D)
2号エステート変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	1.10	× (他評価に包絡 → D)
６６ｋＶ非常用変電所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	6.60	× (他評価に包絡 → D)
中央制御室計器用エンジン発電機	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.026	× (常時「空」 → C)

第 3.1-2 図　火災源となる変圧器及び評価対象施設の設置位置

第 3.1-2 表　可搬型重大事故等対処設備及び，自主設備一覧

設備名	数量	危険物の類		品名	燃料量[L] (1数量あたり)	配備位置	詳細評価要否 (○:対象,×:対象外)
可搬型代替注水大型ポンプ※1※3	7台	第四類	第二石油類	軽油	200（車 両） 900（ﾎﾟﾝﾌﾟ）	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
可搬型代替低圧電源車※1※3	5台	第四類	第二石油類	軽油	250	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
タンクローリ※1※3	5台	第四類	第二石油類	軽油	100（車　両） 4,000（タンク）	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
ホイールローダ※1※3	5台	第四類	第二石油類	軽油	177	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
窒素供給装置※1※3	2台	第四類	第二石油類	軽油	300（車両） 380（装置）	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
油圧ショベル※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	65	南側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
ブルドーザ※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	470	南側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
大型ポンプ用送水ホース運搬車※2	10台	第四類	第二石油類	軽油	200	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
可搬型ケーブル運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	100	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
可搬型整流器運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	70	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
放水砲／泡消火薬剤運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
汚濁防止膜運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
小型船舶運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
可搬型代替注水中型ポンプ※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	200（車 両） 125（ﾎﾟﾝﾌﾟ）	西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
中型ポンプ用送水ホース運搬車※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	130	西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
消防車※2	4台	第四類	第二石油類	軽油	200（車 両） 100（ﾎﾟﾝﾌﾟ）	南側保管場所 西側保管場所 監視所付近	× （他評価に包絡 →D）
予備電動機運搬用トレーラー※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	390	西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
予備電動機交換用クレーン※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	500（車両） 300（ｸﾚｰﾝ）	西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
可搬型高圧窒素供給装置※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	300（車両） 350（装置）	予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
放射能観測車※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	70	予備機置場	× （他評価に包絡 →D）

※１：可搬型重大事故等対処設備
※２：自主設備
※３：予備設備

第 3.1-3 図　可搬型重大事故等対処設備及び自主設備保管場所の設置位置

3.2　熱影響評価

3.2.1　変圧器火災の想定

変圧器火災の想定は以下のとおりとした。

(1)　想定条件

a．評価対象とする火災源は 3.1 で抽出した主要変圧器，所内変圧器２Ａ及び起動変圧器２Ｂとした。なお，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。

b．変圧器の防火設備の消火機能等※には期待しない。

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。

※：変圧器の防火対策として，水噴霧の自動消火設備を設置していることに加え，耐震性向上対策を行っている。（別紙 6.4）

(2)　輻射強度の算定

油火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため，火炎の高さ（輻射体）を半径の３倍にした円筒火炎モデルを採用した。

3.2.2　共通データの算出

各対象施設の外壁に対する熱影響評価に必要となる共通データを算出する。

(1)　変圧器及び燃料に係るデータ

変圧器及び燃料に係るデータを第 3.2.2-1 表に示す。

第 3.2.2-1 表　火災源の輻射強度

想定火災源	油の種類	油量 (m^3)	輻射発散度 Rf (kW/m^2)※1	質量低下速度 M ($kg/m^2/s$)※2	燃料密度 ρ (kg/m^3)※2
主要変圧器	絶縁油	136.00	23	0.035	900
所内変圧器２Ａ		21.00			
起動変圧器２Ｂ		46.75			

※１：絶縁油は重油と同じ第３石油類であるため，重油の評価ガイド附録Ｂ記載値を採用
※２：NUREG-1805 記載値

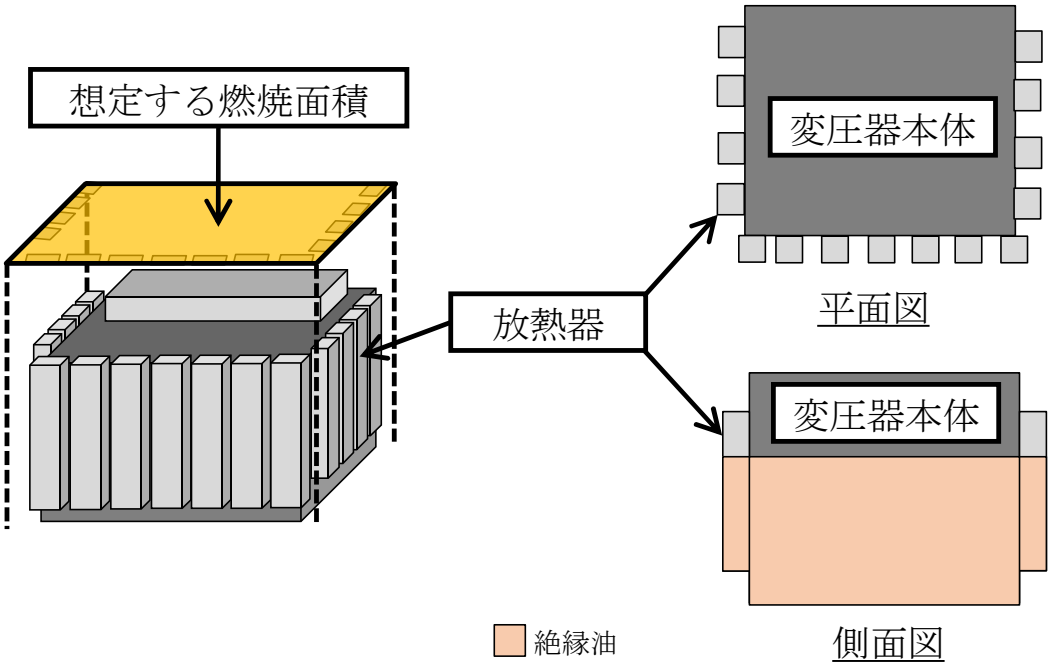
(2)　燃焼半径の算出

変圧器周りの防油堤には玉砂利が敷き詰められていること及び漏えいした油を回収する地下タンクを設置していることから，防油堤の全面火災が生じることはない。したがって，変圧器本体の全面火災により円筒火災を

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）(m^2)



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)
主要変圧器	97.00	5.557
所内変圧器２Ａ	22.45	2.674

起動変圧器２Ｂ	58.91	4.331

(3)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 3.2.2-3 表に示す。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

ｔ：燃焼継続時間(s)，Ｖ：燃料量(m^3)
Ｒ：燃焼半径(m)，ｖ：燃焼速度＝Ｍ／ρ(m／s)
Ｍ：質量低下速度($kg／m^2／s$)，ρ：燃料密度($kg／m^3$)

第 3.2.2-3 表　各変圧器の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M ($kg／m^2／s$)	燃料密度 ρ ($kg／m^3$)	燃焼継続時間 t (s)
主要変圧器	136.00	5.557	0.035	900	36,131
所内変圧器２Ａ	21.00	2.674			24,094
起動変圧器２Ｂ	46.75	4.331			20,447

3.2.3　外壁に対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

評価対象施設の外壁について，主要変圧器，所内変圧器２Ａ及び起動変圧器２Ｂの火災を想定して評価を実施した。

(2)　変圧器と評価対象施設までの離隔距離

変圧器と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)
主要変圧器	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　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

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 (-)
主要変圧器	22 (タービン建屋)	5.557	1.0160×10^{-1}
所内変圧器２Ａ	8 (タービン建屋)	2.674	1.5128×10^{-1}
起動変圧器２Ｂ	13 (タービン建屋)	4.331	1.5063×10^{-1}

(4)　輻射強度の評価

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。

$E = Rf \cdot \Phi$

E：輻射強度(W／m^2)，Rf：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 Rf (kW／m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W／m^2)
主要変圧器	絶縁油	23	1.0160×10^{-1}	2,336.84
所内変圧器２Ａ	絶縁油		1.5128×10^{-1}	3,479.47
起動変圧器２Ｂ	絶縁油		1.5063×10^{-1}	3,464.49

(5)　判断の考え方

ａ．許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃を許容温度とする。

ｂ．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め，コンクリート表面の温度が許容温度以下であるか評価した。建屋外壁の評価概念図を第 3.2.3-1 図に示す。

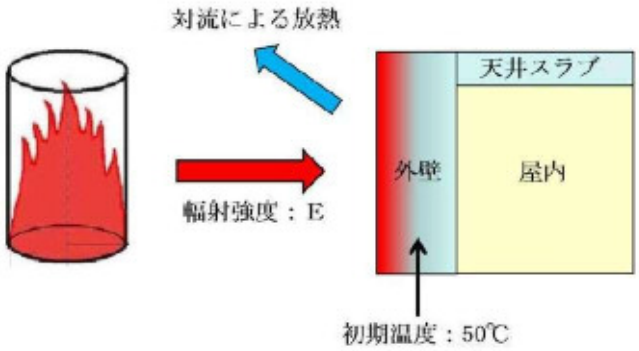
・火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。

・火炎長が天井スラブより長い場合，天井スラブに輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 3.2.3-2 図に示す。

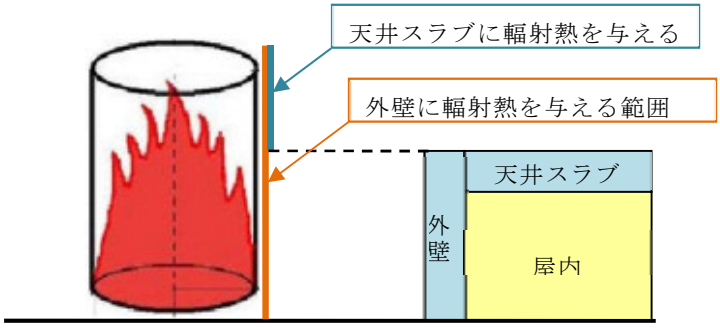
・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。

$$T=T_0+\left(\frac{E}{a}\right)\left[1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)-\exp\left(\frac{a}{\lambda}x+\frac{a^2}{\lambda^2}\kappa t\right)\left\{1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}+\frac{a}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right)\right\}\right]$$

T：表面から x(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)
a：熱伝達率(17W／m^2／K)
κ：コンクリート温度伝導率(=λ／ρC_p)(7.7×$10^{-7}$$m^2$／s)
ρ：コンクリート密度(2,400kg／m^3)，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／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。）



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	評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
主要変圧器	タービン建屋	149	＜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

軽油貯蔵タンク及び重油タンクは「危険物の規則に関する政令」第十三条第1項，第二十条第3項及び「危険物の規制に関する規則」第三十五条第1項第1号に適合する地下タンク貯蔵所のため，地表面で火災が発生する可能性は低い。

また，タンク地上部のマンホールも含め，地上で発生する火炎からの輻射熱の影響を受けない構造とする。

以上から，軽油貯蔵タンク及び重油タンクは，外部火災の火災源の対象から除外する。

「危険物の規則に関する政令」及び「危険物の規制に関する規則」の抜粋を以下に示す。

「危険物の規則に関する政令」【一部抜粋】

（地下タンク貯蔵所の基準）
第十三条　地下タンク貯蔵所（次項及び第三項に定めるものを除く。）の位置，構造及び設備の技術上の基準は，次のとおりとする。
一　危険物を貯蔵し，又は取り扱う地下タンク（以下この条，第十七条及び第二十六条において「地下貯蔵タンク」という。）は，地盤面下に設けられたタンク室に設置すること。

－略－

（消火設備の基準）
第二十条　消火設備の技術上の基準は，次のとおりとする。
三　前二号の総務省令で定める製造所等以外の製造所等にあっては、総務省令で定めるところにより、別表第五に掲げる対象物について同表においてその消火に適応するものとされる消火設備のうち、第五種の消火設備を設置すること。

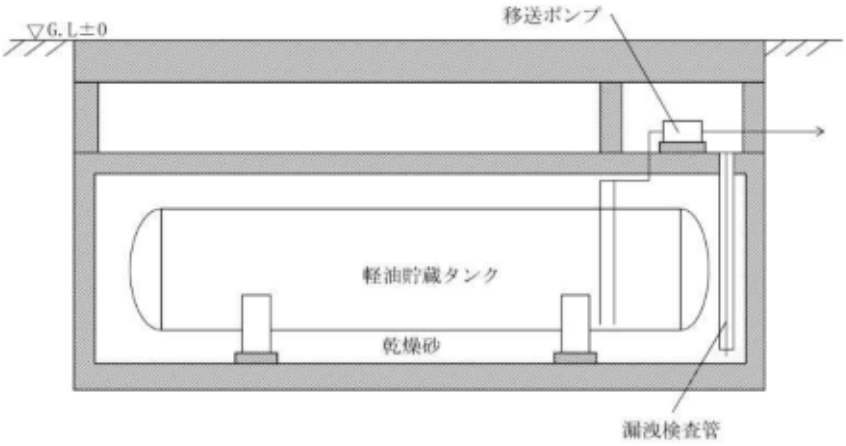
－略－

「危険物の規制に関する規則」【一部抜粋】

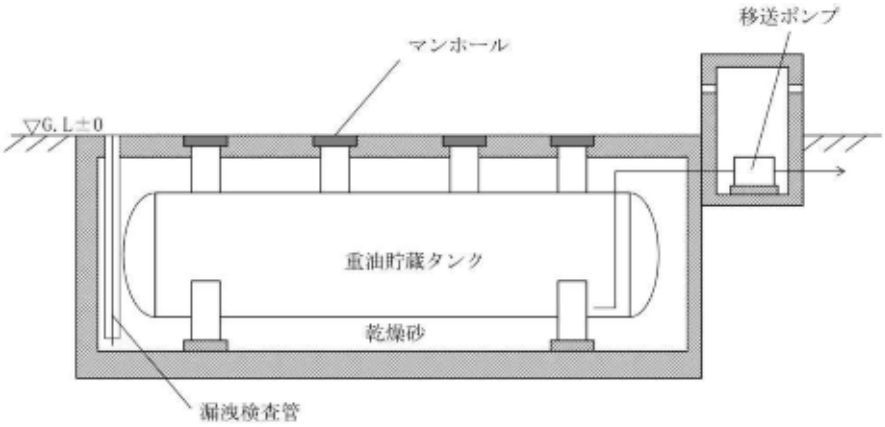
（その他の製造所等の消火設備）
第三十五条　令第二十条第一項第三号の規定により，第三十三条第一項及び前条第一項に掲げるもの以外の製造所等の消火設備の設置の基準は，次のとおりとする。
一　地下タンク貯蔵所にあっては，第五種の消火設備を二個以上設けること。

－略－

また，軽油貯蔵タンク及び重油タンクの地下化イメージを第１図及び第２図に示す。



第１図　軽油貯蔵タンクの地下化イメージ



第２図　重油タンクの地下化イメージ

薬品タンクの影響評価について

薬品タンクの影響評価については，森林火災発生時の消火活動の成立性という観点で評価を実施している。

森林火災発生時には，防火帯に沿った消火活動を実施することとしている。一方で，敷地内の屋外薬品タンクにおいて，防火帯付近には設置されていないため，森林火災の影響を受けて消火活動に影響を及ぼすことはない。また，森林火災の影響を受けて薬品がタンク外に漏れ出したとしても，タンク周辺には堰を設置しているため，薬品は堰内に収まり，消火活動中に劇薬の影響を受けることもない。

毒性ガスを発生する可能性のある屋外薬品タンクの位置を以下の図に示す。毒性ガスを発生する可能性のある屋外薬品タンクは防火帯から離れているため，薬品が漏えいし，毒性ガスを拡散する可能性は低いと考えられる。仮に薬品が漏洩したとしても，薬品を特定した後は防護具を着用し，安全を確保した上で通行及び作業を行うこととしている。評価結果を下表に示す。

以上より，森林火災発生時の消火活動に支障を及ぼすことはない。

図　屋外薬品タンクの位置

表　屋外薬品タンクの火災時の影響

No.	屋外薬品タンク	薬品の種類	容量 （m^3）	火災時の 危険有害性
①	硫酸貯蔵タンク	硫酸	50.0	※１
②	苛性ソーダ貯蔵タンク	苛性ソーダ	50.0	※１
③	屋外硫酸タンク	硫酸	0.6	※１
④	硫酸貯槽	硫酸	3.0	※１
⑤	苛性ソーダ貯槽	苛性ソーダ	10.0	※１
⑥	硫酸希釈槽	硫酸	1.2	※１
⑦	希硫酸槽	硫酸	0.4	※１
⑧	PAC 貯槽	ポリ塩化アルミニウム	6.0	※２
⑨	薬品混合槽	ポリ塩化アルミニウム 希釈硫酸	8.4	※２
⑩	溶融炉アンモニアタンク	アンモニア	1.0	※３
⑪	溶融炉苛性ソーダタンク	苛性ソーダ	3.0	※１
⑫	硫酸第一鉄注入タンク	硫酸第一鉄	7.0	※３

※１：刺激性，腐食性又は毒性のガスを発生するおそれがある。
※２：塩化水素ガスを発生するおそれがある。
※３：刺激性又は毒性のガスを発生するおそれがある。

構内危険物タンク等における延焼の危険性について

1．溶融炉灯油タンクの火災

溶融炉灯油タンク近傍で危険物を保管している設備はなく，現場作業に伴い「屋外の危険物保管」や「火気の使用」をする場合は，社内規程に基づき危険物や火気を管理した状態で取り扱っている。また，防火の観点から定期的なパトロール等にて現場の状況を確認している。

以上により，溶融炉灯油タンクの火災を想定したとしても周囲の可燃物への延焼の可能性は低い。

2．車両（可搬型重大事故等対処設備及び自主設備）の火災

2.1　車両（可搬型重大事故等対処設備及び自主設備）の延焼

可搬型重大事故等対処設備及び自主設備保管場所（以下「保管場所」という。）において，可搬型重大事故等対処設備及び自主設備（以下「車両」という。）の火災が起こったとしても周囲の車両に影響を及ぼさないことを評価する。

なお，保管場所の一部は防火帯に近接しているが，当該箇所における森林火災時の輻射強度が 1.6kw／m^2※以下となるように離隔距離を確保するため，車両が延焼するようなことはない。

※：人が長時間さらされても苦痛を感じない輻射強度

(1)　車両火災の想定条件

ａ．周囲への熱影響を考慮し，コンテナにより燃料タンクが露出している車両と隔離する大型ポンプを除いて，燃料積載量が最大となる予備電動機用クレーンの走行用燃料タンク（以下「クレーン燃料タンク」と

いう。）の火災を想定した。

b．タンク内の燃料の温度上昇を評価するため，燃料が少ないほど温度上昇がし易く評価は保守的となることから，受熱側として，燃料タンクが露出している車両のうち，燃料積載量が最小となるユニック車を選定し，ユニック車底部に設置されている直方体構造の燃料タンク（100L）（以下「ユニック車燃料タンク」という。）が輻射熱を受ける状態を想定した。燃料タンクは直方体構造であり，一方の面が受熱した場合その反対面は影になるため，燃料タンクの受熱面は表面積の半分とし，全ての受熱面が火災源に最も近い表面と同等の輻射熱を受けるものとした。

c．発熱側となるクレーン燃料タンクは全燃料分（500L）を想定した。

d．積載している燃料は軽油とした。

e．タンク内での全面火災を想定した。

f．気象条件は無風状態とした。

g．火災は円筒火炎モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の3倍とした。

(2)　評価対象範囲

評価対象範囲は，保管場所で出火する車両とする。

(3)　必要データ

危険距離評価に必要となるデータを第1表に示す。

第１表　想定火災源及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 V (m^3)	輻射発散度 Rf (kW／m^2)※1	質量低下速度 M (kg／m^2／s)※2	燃料密度 ρ (kg／m^3)※3	燃焼面積 S (m^2)
クレーン燃料タンク	軽油	0.5	42	0.044	870	1.1

※１：評価ガイド 記載値
※２：NUREG-1805 記載値
※３：ＭＳＤＳ（製品安全データシート）記載値

(4)　燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，クレーン燃料タンクの投影面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第２表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Ｒ：燃焼半径(m)，Ｓ：燃焼面積（＝燃焼面積）(m^2)

第２表　想定火災源の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)
クレーン燃料タンク	1.1	0.6

(5)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第３表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$$

ｔ：燃焼継続時間(s)，Ｖ：燃料量(m^3)

R：燃焼半径(m)，v：燃焼速度＝M／ρ(m／s)
M：質量低下速度(kg／m²／s)，ρ：燃料密度(kg／m³)

第3表　想定火災源の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m³)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg／m²／s)	燃料密度 ρ (kg／m³)	燃焼継続時間 t (s)
クレーン燃料タンク	0.5	0.6	0.044	870	8,754

(6)　危険距離の算出

a．許容温度

軽油の自然発火温度240℃を許容温度とする。

b．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で昇温されるものとして，下記の温度評価式によりユニック車燃料タンク（100L）が内包する軽油の温度が240℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求め，クレーン燃料タンクからの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離（=危険距離）を算出した。

$$T - T_0 = \frac{E\,t\,A}{\rho_w C_{pw} V_w + \rho_s C_{ps} V_s}$$

T：許容温度(240℃)，T_0：初期温度(50℃)※1，E：輻射強度(W／m²)，
t：燃焼継続時間(8,754s)，A：受熱面積(0.8m²)
ρ_w：受熱側燃料密度(870kg／m³)，C_{pw}：受熱側液体比熱(1.700J／kg／K)
V_w：受熱側液体体積(0.1m³)，ρ_s：燃料タンク密度(7,860kg／m³)
C_{ps}：燃料タンク比熱(473J／kg／K)，V_s：燃料タンク体積(0.003m³)
※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

軽油の温度が240℃となる危険距離を算出した結果，危険距離は2.4mであることを確認した。算出結果を第4表に示す。

第4表　火災影響評価結果

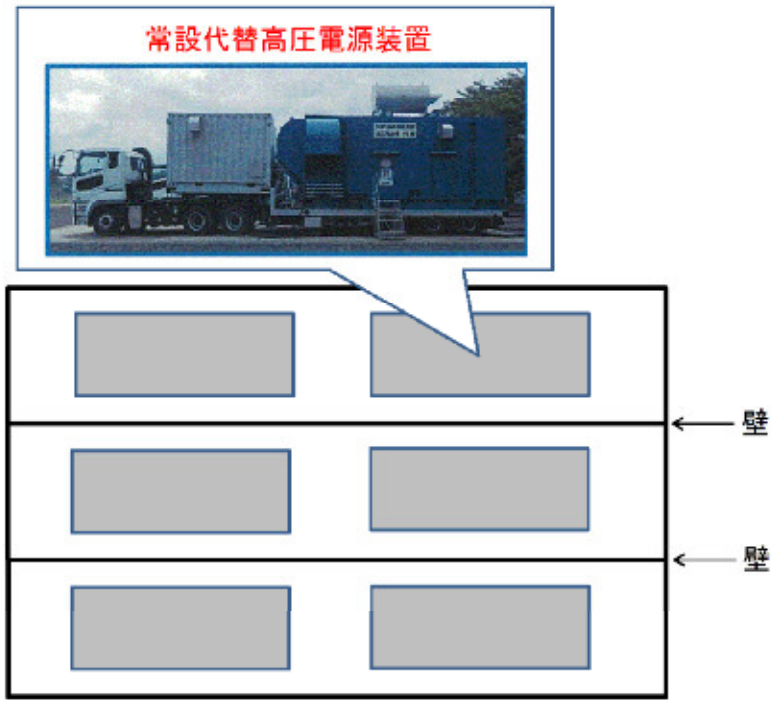
想定火災源	受熱対象	危険距離 (m)
クレーン燃料タンク	ユニック車燃料タンク	2.4

(7)　保管場所に保管する車両の配置設計

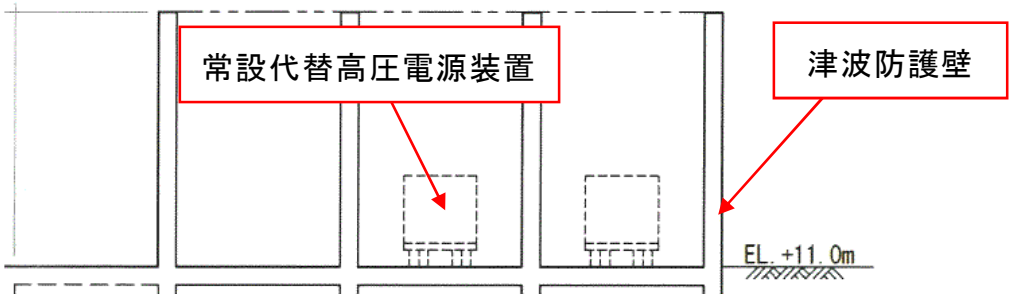
クレーン燃料タンクの火災を想定しても，車両同士の最低離隔距離2.5mが危険距離2.4mを上回ることから，周囲の車両に影響を及ぼすことはない。

2.2　常設代替高圧電源装置の火災

常設代替高圧電源装置の駆動燃料は，トレーラー上のコンテナ内にあるため，隣接する車両に影響を及ぼすことはない。配置を第1図に示す。また，第2図のとおり津波防護壁で四方を取り囲んだ構造となっており，周囲の可燃物への延焼の可能性もない。



第１図　常設代替高圧電源装置の配置



第２図　津波防護壁と常設代替高圧電源装置の位置関係

変圧器の防火対策について

1.　変圧器の防火対策を以下に示す。

(1)　熱感知により作動する水噴霧の自動消火設備を設置している。

(2)　変圧器には，内部圧力の上昇，又は電気回路の異常を検知すると，瞬時に電源を自動的に切る保護機能が備わっている。

(3)　金属躯体に覆われており火災が発生する可能性は低い。

(4)　万一油が漏えいした場合においても，地下の油水分離槽を経由して，廃油槽に溜まる構造となっている。変圧器の地下構造を第 1 図に示す。

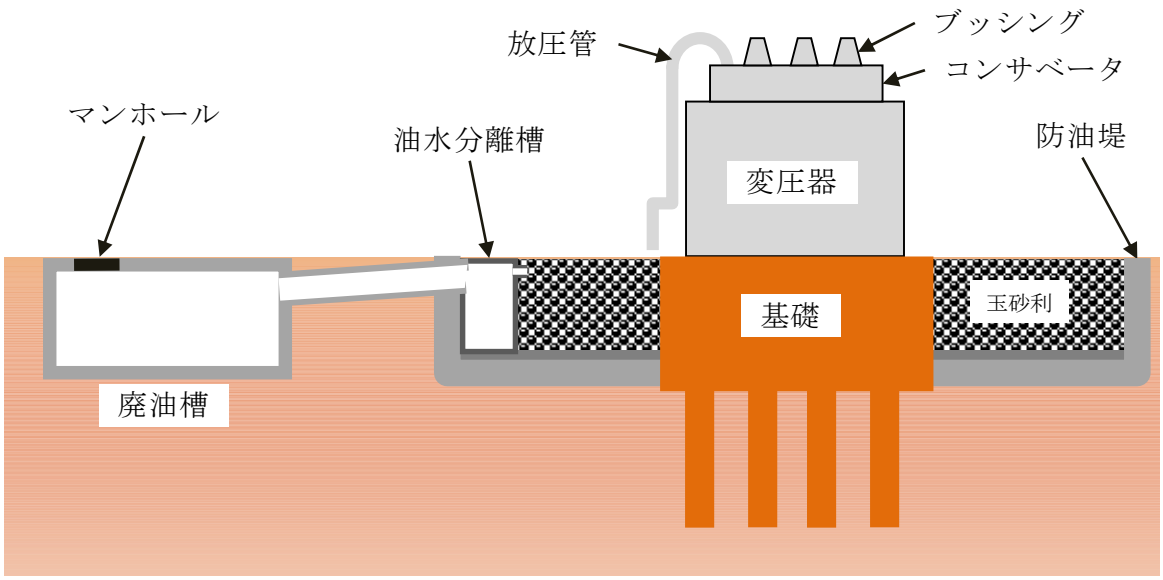
(5)　変圧器と二次側接続母線部ダクトの基礎は，建屋と同じ岩盤に支持されており，地震時の沈下量の差の発生を防止する構造となっていることから，相対変位が発生し難く，ブッシング部破損による漏油と，地絡，短絡によるアーク発生での火災が発生する可能性は低い。変圧器基礎の概要を第 2 図に示す。

(6)　相対変位による破損を防止するため，屋外消火配管を地上化した。地上化された屋外消火配管を第 3 図に示す。

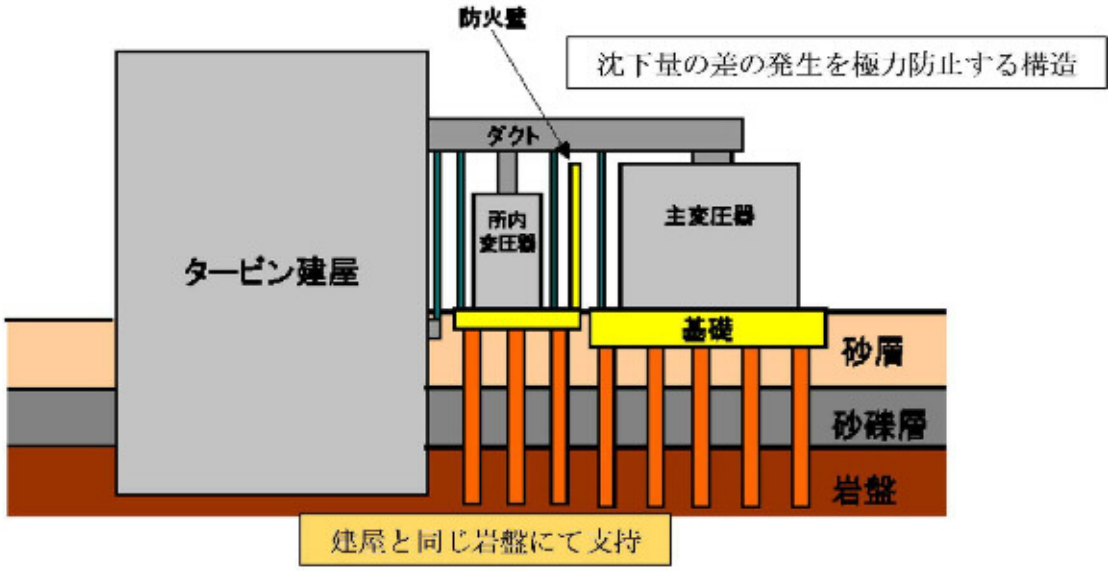
(7)　万一の火災発生に備え，変圧器には消火設備配管を設置している。変圧器の外観及び消火設備配管を第 4 図に示す。

(8)　平成 19 年に発生した新潟県中越沖地震による被害を踏まえ，耐震性向上対策を行っており，ＪＥＡＧ5003-2010※に基づく静的水平加速度 0.5G に対して 2 倍程度の裕度を確保している。

※：変電所等における電気設備の耐震設計指針

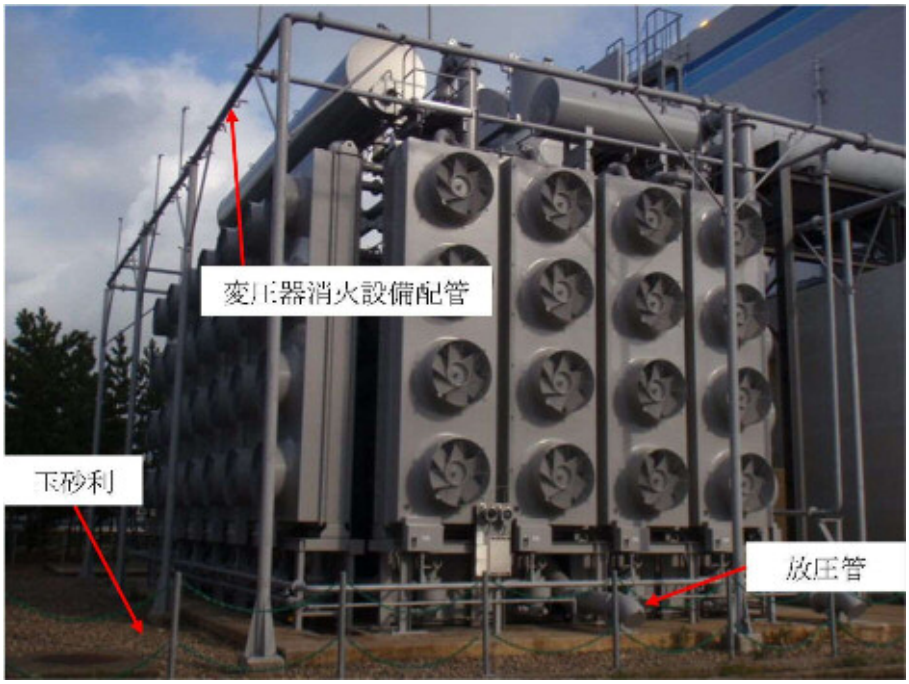


第 1 図　変圧器地下構造



第 2 図　変圧器基礎概要

第 3 図　屋外消火配管の地上化



第 4 図　変圧器外観

原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災について

1.　目　　的

本評価は，東海第二発電所の発電所敷地への航空機の墜落によって発生する火災が，添付資料-1 で選定した評価対象施設に影響を与えないことについて，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド　附属書Ｃ　原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」に基づき，評価を実施する。

2.　航空機墜落の火災影響評価

航空機墜落による火災の想定は以下のとおりとする。

(1)　航空機は，当該発電所における航空機落下確率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発電用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。

<table>
<tr><th colspan="3">落下事故のカテゴリ</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1)計器飛行方式
民間航空機</td><td colspan="2">①飛行場での離着陸時</td></tr>
<tr><td colspan="2">②航空路を巡航中</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2)有視界飛行方式
民間航空機</td><td colspan="2">③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）</td></tr>
<tr><td colspan="2">④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">3)自衛隊機又は米軍機</td><td rowspan="2">⑤訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中</td><td>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</td></tr>
<tr><td>⑤-2 その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機</td></tr>
<tr><td colspan="2">⑥基地－訓練空域間往復時</td></tr>
</table>

(2)　カテゴリ別の対象航空機（別紙 7.1）

a．計器飛行方式民間航空機

計器飛行方式民間航空機の落下事故には，「①飛行場での離着陸時」における落下事故と「②航空路を巡航中」の落下事故がある。

①については，東海第二発電所から約 36km 離れた位置に茨城空港があり，茨城空港の最大離着陸地点（航空路誌（以下「ＡＩＰ」という。）に記載された離着陸経路において着陸態勢に入る地点又は離陸態勢を終える地点）までの直線距離（以下「最大離着陸距離」という。）を半径とし，滑走路端から滑走路方向に対して±60°の扇型区域内に発電所が存在するため，評価対象とする。

（別紙 7.2，7.3）

②については，東海第二発電所上空に航空路が存在するため，評価対

象とする。

（別紙 7.4）

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。①の対象航空機は，茨城空港を離着陸する航空機が発電所に落下する事故を対象としていることから，茨城空港の定期便（B737 及び A320）※のうち燃料積載量が多い航空機（B737）を選定した。また，②については，評価対象航空路を飛行すると考えられる定期便のうち燃料積載量が最大の航空機を選定した。

※茨城空港ホームページ（H29 年 7 月確認）

落下事故のカテゴリ		対象航空機
1)計器飛行方式民間航空機	①飛行場での離着陸時	B737-800
	②航空路を巡航中	B747-400

b．有視界飛行方式民間航空機

有視界飛行方式民間航空機の落下事故には，「③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）」の落下事故と「④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）」の落下事故がある。

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。有視界飛行方式民間航空機の落下事故においては，全国の有視界飛行が可能な民間航空機のうち，燃料積載量が最大の航空機を選定した。

（別紙 7.5）

落下事故のカテゴリ		対象航空機
2)有視界飛行方式民間航空機	③大型機	B747-400
	④小型機	Do228-200

c．自衛隊機又は米軍機

自衛隊機又は米軍機の落下事故には，「⑤訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中」の落下事故と「⑥基地－訓練空域間往復時」の落下事故がある。

⑤については，東海第二発電所周辺上空には，自衛隊機又は米軍機の訓練空域はないため，訓練空域外を飛行中の落下事故を評価対象とする。

⑥については，東海第二発電所周辺の太平洋沖合上空に自衛隊機の訓練空域があり，発電所は自衛隊の百里基地と訓練空域間の想定飛行範囲（基地と訓練空域間を往復時の飛行範囲として，想定される区域）内に位置することから，自衛隊機の落下事故を評価対象とする。

（別紙 7.4）

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。

⑤の対象航空機は，全国の自衛隊機及び米軍機のうち，用途別に燃料積載量が最大の航空機を選定した。

⑥については，百里基地と訓練空域を往復時に発電所に落下することを想定するため，百里基地に所属する自衛隊機のうち燃料積載量が最大の航空機を選定した。

（別紙 7.6）

<table>
<tr><th colspan="3">落下事故のカテゴリ</th><th>対象航空機</th></tr>
<tr><td rowspan="3">3) 自衛隊機又は米軍機</td><td rowspan="2">⑤訓練空域外を飛行中</td><td>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</td><td>KC-767</td></tr>
<tr><td>⑤-2 その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機</td><td>F-15</td></tr>
<tr><td colspan="2">⑥基地－訓練空域間往復時</td><td>F-15</td></tr>
</table>

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，その結果を用いて評価対象施設に対する離隔距離を求める。

（別紙 7.7，7.8）

4.1　計器飛行方式民間航空機の落下事故

(1)　飛行場での離着陸時における落下事故

a．標的面積

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

$P_{d,a}$：対象施設への離着陸時の航空機落下確率（回／年）

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

$D_{d,a}$：国内での離着陸時事故件数（回）

$E_{d,a}$：国内での離着陸回数（離着陸回）

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

A：対象施設の標的面積（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
fd,a※1	約 1.43×10^{-7}（＝4/27,887,158）
Nd,a※2	4,210
Φd,a(r，θ)※3	約 2.98×10^{-4}
発電所からの距離	約 36km
滑走路方向に対する角度※4	約 9.60°
最大離着陸距離※5	約 56km（30nm）

※１：離着陸時の事故件数は，「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月　原子力規制委員会）より，平成 5 年～平成 24 年において離陸時に 1 件，着陸時に 3 件。

（別紙 7.9）

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

（別紙 7.10）

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

※３：別紙のとおり。

（別紙 7.11）

※４：別紙のとおり。

（別紙 7.3）

※５：ＡＩＰを参照した。

（別紙 7.2）

これらの式より，Pd,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，発電用原子炉施設（原子炉建屋，タービン建屋，海水ポンプ室，排気筒）の離隔距離 L は 245m とする（評価結果は，約 245.9m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 393m とする（評価結果は，約 393.4m）。

(2)　航空路を巡航中の落下事故

a．標的面積

Pc＝fc・Nc・A／W

Pc：対象施設への巡航中の航空機落下確率（回／年）

fc＝Gc／Hc：単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率（回／（飛行回･km））

Gc：巡航中事故件数（回）

Hc：延べ飛行距離（飛行回･km）

Nc：評価対象とする航空路等の年間飛行回数（飛行回／年）

A：対象施設の標的面積（km^2）

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）
fc※2	約 5.13×10^{-11}（＝0.5/9,740,013,768）	
Nc※3	365 （平成 24 年データ）	1095 （平成 24 年データ）
W※4	14.816	18.52

※１：別紙のとおり。

（別紙 7.4）

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

（別紙 7.10）

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

（別紙 7.9）

※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。

（別紙 7.13）

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

これらの式より，Pc＝10^{-7}（回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 23km^{2}となる。

ｂ．離隔距離

ａ．で求めた標的面積より，発電用原子炉施設の離隔距離 L は 1,873m とする（評価結果は，約 1,873.5m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 2,695m とする（評価結果は，約 2,695.5m）。

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

Pv＝（fv／Sv）・A・α

Pv：対象施設への航空機落下確率（回／年）

fv：単位年当たりの落下事故率（回／年）

Sv：全国土面積（km^2）

A：対象施設の標的面積（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
fv※1	大型固定翼機　0.025（＝0.5／20） 大型回転翼機　0.05（＝1／20）
Sv※2	37.2 万
α※3	1

※1：「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月　原子力規制委員会）による。なお，大型固定翼機の事故件数は平成 5 年～平成 24 年において 0 件であるため，0.5 件発生したものとして評価した。
（別紙 7.14）

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

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

これらの式より，Pv＝10^{-7}（回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.50km^2となる。

b．離隔距離

a．で求めた標的面積より，発電用原子炉施設の離隔距離 L は 229m とする（評価結果は，約 229.4m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 372m とする（評価結果は，約 372.2m）。

(2)　有視界飛行方式民間航空機（小型機）の落下事故

a．標的面積

Pv＝（fv／Sv）・A・α

Pv：対象施設への航空機落下確率（回／年）

fv：単位年当たりの落下事故率（回／年）

Sv：全国土面積（km^2）

A：対象施設の標的面積（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
fv※1	小型固定翼機 1.75（＝35／20） 小型回転翼機 1.20（＝24／20）
Sv※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，Pv＝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，発電用原子炉施設の離隔距離 L は 89m とする（評価結果は，約 89.4m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 175m とする（評価結果は，約 175.4m）。

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

Pso＝fso・A／So

Pso：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率（回／年）

fso：単位年当たりの訓練空域外落下事故率（回／年）

A：対象施設の標的面積（km^2）

So：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
fso※1	自衛隊機　0.025（＝0.5／20） 米軍機　0.05（＝1／20）
So※2	自衛隊機 29.5 万（＝37.2 万－7.72 万） 米軍機　37.2 万（＝37.2 万－0.05 万）

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

（別紙 7.15）

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

これらの式より，Pso＝10^{-7}（回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.46km^2となる。

b．離隔距離

a．で求めた標的面積より，発電用原子炉施設の離隔距離 L は 217m とする（評価結果は，約 217.8m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 355m とする（評価結果は，約 355.97m）。

(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

Pso＝fso・A／So

Pso：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率（回／年）

fso：単位年当たりの訓練空域外落下事故率（回／年）

A：対象施設の標的面積（km^2）

So：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
fso※1	自衛隊機 0.35（＝7／20） 米軍機　0.20（＝4／20）
So※1	自衛隊機 29.5 万（＝37.2 万－7.72 万） 米軍機　37.2 万（＝37.2 万－0.05 万）

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

（別紙 7.15）

これらの式より，Pso＝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，発電用原子炉施設の離隔距離 L は 43m とする（評価結果は，約 43.0m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 111m とする（評価結果は，約 111.2m）。

(3)　基地－訓練空域間を往復時の落下事故（想定飛行範囲内に発電用原子炉施設が存在する場合）

ａ．標的面積

Pse＝fse・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：対象施設の標的面積（km^2）

Sse：想定飛行範囲の面積（km^2）

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所 （自衛隊機の評価）
fse※1	0.25（＝5／20）
Sse※2	175,720
fse／Sse※3	3.00×10^{-6}

※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，百里基地－訓練空域間の想定飛行範囲内における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 件であり，全国の基地－訓練空域間往復時の落下実績（5 件）を用いた。
（別紙 7.15，7.16）

※２：全国の基地－訓練空域間往復時の想定飛行範囲の面積。
（別紙 7.16）

※３：fse，Sse から算出された約 1.42×10^{-6}回／（年・km^2）を保守的に 2 倍にして丸めた値。

これらの式より，Pse＝10^{-7}（回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.033km^2となる。

ｂ．離隔距離

ａ．で求めた標的面積より，発電用原子炉施設の離隔距離 L は 22m とする（評価結果は，約 22.1m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔

距離Ｌは 78m とする（評価結果は，約 78.6m）。

自衛隊機の基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する離隔距離を第 4.3-1 図及び第 4.3-2 図に示す。

第 4.3-1 図　基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する
発電用原子炉施設の離隔距離

第 4.3-2 図　基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する
使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離

5.　熱影響評価結果

5.1　評価機種の選定

評価機種は「3.　落下事故のカテゴリと対象航空機について」で抽出した航空機より選定し，他のカテゴリの評価に包絡されるものは評価対象外とした。

第 5.1-1 表にカテゴリごとの離隔距離と評価機種を示す。

第 5.1-1 表　落下事故のカテゴリごとの離隔距離と評価機種

（発電用原子炉施設）

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	245	○
	航空路を巡航時		B747-400	1,873	×※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	229	○
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）		Do228-200	89	×※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	217	○
		その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	F-15	43	×※3
	基地－訓練空域間往復時		F-15	22	○

※１：「計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航時」の落下事故については，「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の落下事故の対象機種と同じ B747-400 であり，離隔距離の短い「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※２：「有視界飛行方式民間航空機の小型機」の落下事故の対象航空機のうち，燃料搭載量が最大となる Do228-200 であっても $3m^3$ 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 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。

第 5.1-2 表　落下事故のカテゴリごとの離隔距離と評価機種

（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

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	393	○
	航空路を巡航時		B747-400	2,695	×※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	372	○
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）		Do228-200	175	×※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	355	○
		その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	F-15	111	×※3
	基地－訓練空域間往復時		F-15	78	○

※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 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 基地-訓練空域間往復時」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※３：「その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機」については，「基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象航空機と同じＦ－１５であるため，離隔距離の短い「基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

5.2　共通データの算出

各建屋外壁，排気筒及びＤ／Ｇ吸気系フィルタに対する火災影響評価に必要となる共通データを算出する。

(1)　各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータ

各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータを第 5.2-1 表に示す。

第 5.2-1 表　各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータ

落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃料の種類	燃料量 V (m^3)	燃料密度 ρ (kg/m^3)	質量低下速度 M ($kg/m^2/s$)	燃焼面積 S (m^2)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	JET A-1	26.02※3	840※2	0.039※1	110.0※4
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	JET A-1	216.84※3	840※2	0.039※1	700.0※5
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	JP-4	145.03※6	760※1	0.051※1	405.2※7
	基地－訓練空域間往復時		F-15	JP-4	14.87※8	760※1	0.051※1	44.6※9

※１：NUREG-1805　記載値

※２：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)」の機体図面より，主翼・主翼と交差する胴体部面積が燃料タンク面積と同等と想定し，これらの面積を算出した値

※５：ボーイング社ホームページ資料「747 airplane Characteristics for Airport Planning (document D6-58326-1, December 2002)」の機体図面より，主翼・主翼と交差する胴体部及び水平尾翼部面積が燃料タンク面積と同等と想定し，これらの面積を算出した値

※６：世界航空機年鑑 2012-2013 に記載の値及び燃料密度から算出した値

※７：ボーイング社ホームページ資料「767 airplane Characteristics for Airport Planning (Document D6-58328, September 2005)」

※８：航空ジャーナル２月号増刊Ｆ-15 イーグル（航空ジャーナル社　昭和 55 年２月５日発行）

※９：※８記載の機体図面より，燃料タンクの配置及び大きさを想定し，これらの面積を算出した値

(2)　燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は燃焼面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 5.2-2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R：燃焼半径(m)，S：燃焼面積(m^2)

第 5.2-2 表　各航空機の燃焼半径

落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃焼面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	110.0	5.918
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	700.0	14.928
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	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	11.357
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3.768

(3)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 5.2-3 表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$$

t：燃焼継続時間(s)，V：燃料量(m^3)
R：燃焼半径(m)，v：燃焼速度＝M／ρ(m／s)
M：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第 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 (m³)	燃焼半径 R (m)	燃焼速度 v (m／s)	燃焼継続時間 t (s)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	26.02	5.918	4.64×10^{-5}	5,097 (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	14.928	4.64×10^{-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	11.357	6.71×10^{-5}	5,334 (約 1.5h)
	基地－訓練空域間往復時		F-15	14.87	3.768	6.71×10^{-5}	4,968 (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　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

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（発電用原子炉施設）

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	245	5.918	1.1319×10^{-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	229	14.928	8.3278×10^{-3}
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	217	11.357	5.3634×10^{-3}
	基地－訓練空域間往復時		F-15	22	3.768	5.3368×10^{-2}

第 5.2-5 表　各航空機の形態係数（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

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	393	5.918	4.3767×10^{-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	372	14.928	3.1444×10^{-3}
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	355	11.357	1.9926×10^{-3}
	基地－訓練空域間往復時		F-15	78	3.768	4.5663×10^{-3}

(5)　輻射強度の評価

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 5.2-5 表に示す。

$E = Rf \cdot \Phi$

E：輻射強度(W／m^2)，Rｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数(-)

第 5.2-6 表　各航空機の輻射強度（発電用原子炉施設）

落下事故のカテゴリ			対象航空機	輻射発散度 Rｆ (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	1.1319×10^{-3}	56.60
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	8.3278×10^{-3}	416.40
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	5.3634×10^{-3}	311.08
	基地－訓練空域間往復時		F-15	58	5.3368×10^{-2}	3,095.33

第 5.2-7 表　各航空機の輻射強度（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

落下事故のカテゴリ			対象航空機	輻射発散度 Ｒｆ (kW／m²)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W／m²)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	50	4.3767×10^{-4}	21.89
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	3.1444×10^{-3}	157.23
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	1.9926×10^{-3}	115.58
	基地－訓練空域間往復時		F-15	58	4.5663×10^{-3}	264.85

5.3　建屋外壁に対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

評価対象の建屋外壁について，前項で分類したカテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

(2)　判断の考え方

ａ．許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。

ｂ．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱と対流による放熱を考慮した，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め，コンクリート表面の温度が許容温度以下であるか評価した。

$$T=T_0+\left(\frac{E}{\alpha}\right)\left[1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)-\exp\left(\frac{\alpha}{\lambda}x+\frac{\alpha^2}{\lambda^2}\kappa t\right)\left\{1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}+\frac{\alpha}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right)\right\}\right]$$

T：表面からx(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

α：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

κ：コンクリート温度伝導率(=λ／ρC_p)(7.7×$10^{-7}$$m^2$／s)

ρ：コンクリート密度(2,400kg／m^3)，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／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^2／Kを用いる。）

なお，天井スラブ及び海水ポンプ室天井の評価は以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。

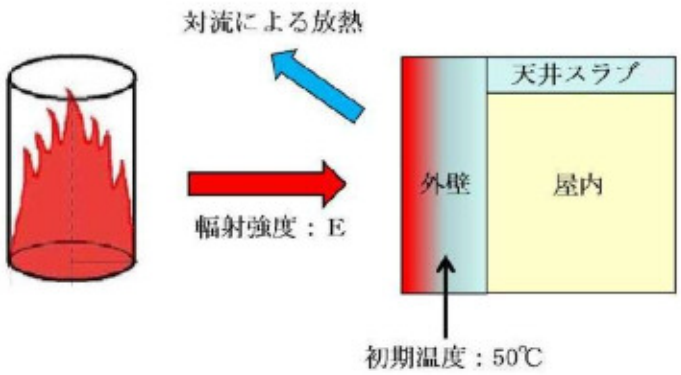
・火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。

・火炎長が天井スラブより長い場合，天井スラブに輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。

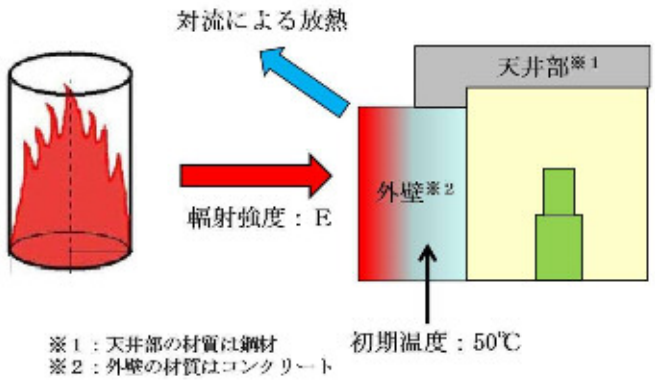
・海水ポンプ室の天井（一部の側面壁含む）は鋼材，外壁はコンクリートであるが，危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。

・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。

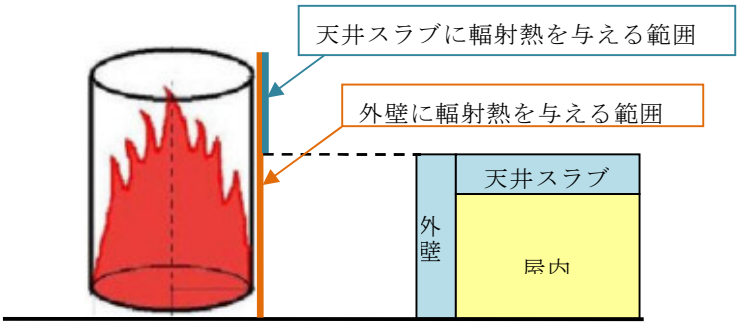
建屋外壁の評価概念図を第5.3-1図に，海水ポンプ室の評価概念図を第5.3-2図に，天井スラブの評価概念図を第5.3-3図に示す。



第 5.3-1 図　建屋外壁の評価概念図



第 5.3-2 図　海水ポンプ室の評価概念図



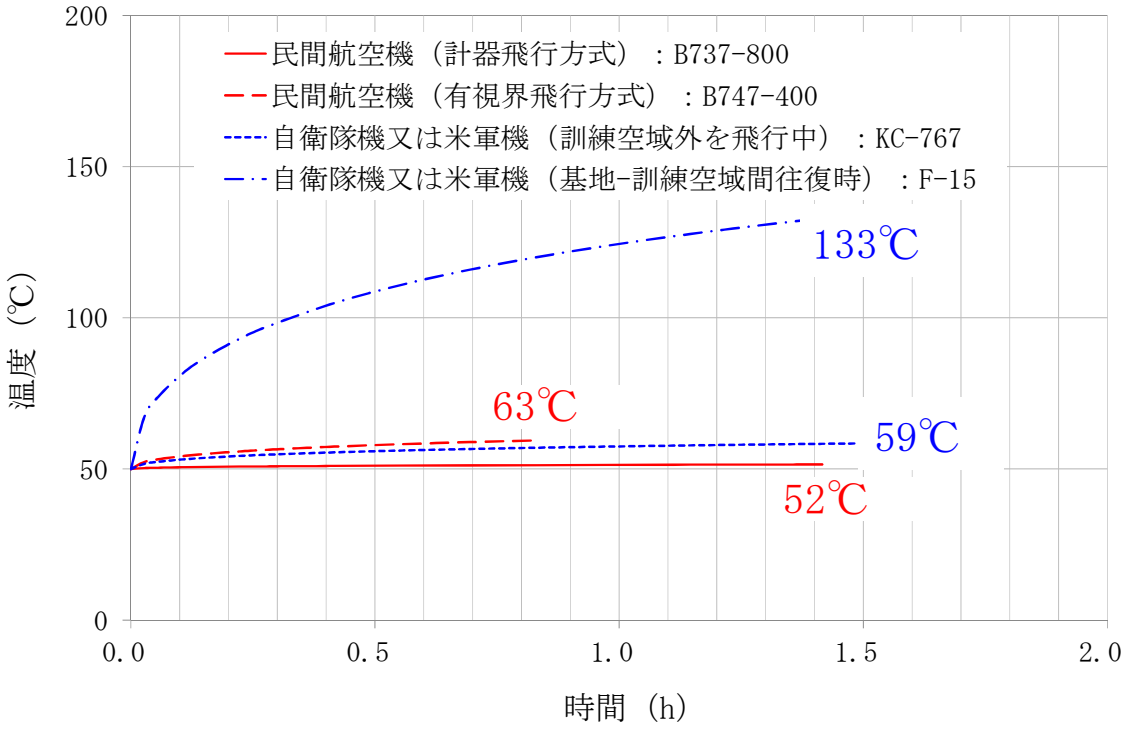
第 5.3-3 図　天井スラブへの輻射熱の影響

コンクリート表面の温度上昇を評価した結果，許容温度 200℃以下となることを確認した。評価結果を第 5.3-1 表，温度変化を第 5.3-4 図に示す。

第 5.3-1 表　建屋表面の到達温度（発電用原子炉施設）

落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃焼面積 S [m²]	輻射強度 E [W／m²]	燃焼継続時間 t (s)	評価温度※ (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	110.0	56.60	5,097 (約 1.4h)	52	＜200
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	700.0	416.40	6,675 (約 1.9h)	63	
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	311.08	5,334 (約 1.5h)	59	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33	4,968 (約 1.4h)	133	

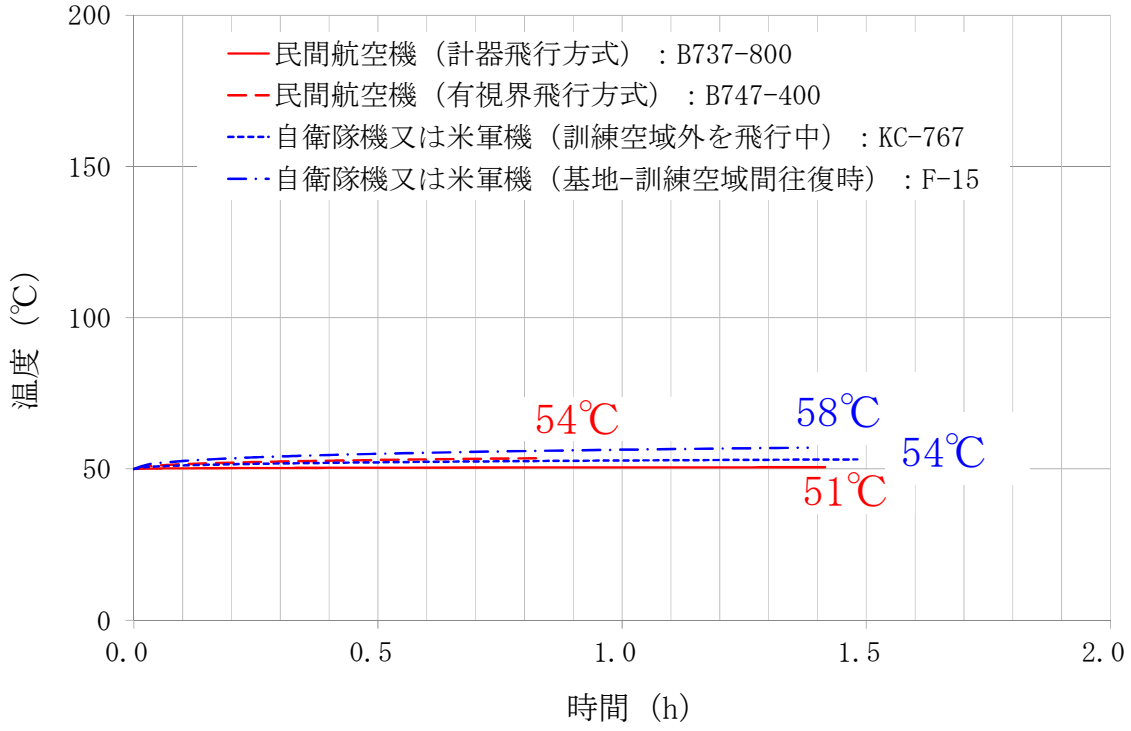
※：半無限固体を想定した評価をしているため，離隔距離が同じとなる本評価では，原子炉建屋，タービン建屋及び海水ポンプ室はすべて同じ評価結果となる。



第 5.3-4 図　原子炉建屋外壁の温度変化

第 5.3-1 表　建屋表面の到達温度（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃焼面積 S [m²]	輻射強度 E [W／m²]	燃焼継続時間 t (s)	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	110.0	21.89	5,097 (約 1.4h)	51	＜200
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	700.0	157.23	6,675 (約 1.9h)	55	
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	115.58	5,334 (約 1.5h)	54	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	264.85	4,968 (約 1.4h)	58	



第 5.3-4 図　使用済燃料乾式貯蔵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使用済燃料の除熱，閉じ込め機能の監視に影響を与えることはない。

5.4　排気筒に対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

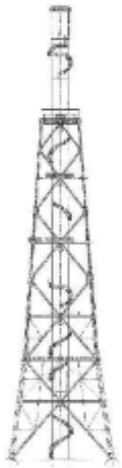
排気筒について，カテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

なお，排気筒の評価に当たっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2)　排気筒仕様を第 5.4-1 表に，排気筒外形図を第 5.4-1 図に示す。

第 5.4-1 表　排気筒仕様

名称		排気筒
種　類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400,STK400
個　数		1



第 5.4-1 図　排気筒外形図

(3)　判断の考え方

a．許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度325℃以下とする。

b．評価結果

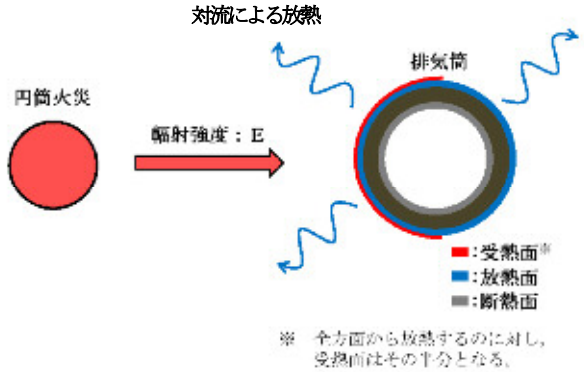
一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式によ

り排気筒鉄塔表面の最大温度を求め，表面温度が許容温度以下であるか評価した。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

T ：許容温度(325℃)，T_0 ：初期温度(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。）

なお，評価に当たって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が火災源との距離が近いこと，材質も鉄塔は SS400，STK400，筒身では SS400 であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。排気筒の評価概念図を第 5.4-2 図に示す。



第 5.4-2 図　排気筒の評価概念図

排気筒鉄塔表面の温度上昇を評価した結果，許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 5.4-2 表に示す。

第 5.4-2 表　排気筒鉄塔表面の到達温度

落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃焼面積 S [m²]	輻射強度 E [W／m²]	評価温度※ (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737 -800	110.0	56.60	52	＜325
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747 -400	700.0	416.40	63	
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	311.08	60	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33	142	

5.5　ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する熱影響評価

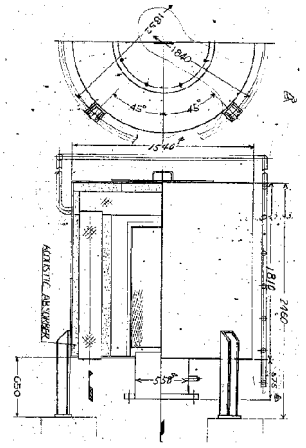
(1)　評価対象範囲

ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるＤ／Ｇ吸気系フィルタの流入空気温度について，カテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

(2)　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様を第 5.5-1 表に，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ外形図を第 5.5-1 図に示す。

第 5.5-1 表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様

名称	Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ
種　類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径　　：1.54m フィルタ円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第 5.5-1 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ外形図

(3)　判断の考え方

a．許容温度

Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの流入空気の許容温度は，火災時における温度上昇を考慮した場合において，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度53℃以下※とする。

※：Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの流入空気温度が上昇すると，空気冷却出口温度が上昇し，シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱がＤ／Ｇ吸気系フィルタに流入する空気の温度上昇に寄与することを表した下記の温度評価式によりＤ／Ｇ吸気系フィルタに流入する空気の温度が53℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求め，当該火災源からの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離（=危険距離）を算出し，当該火災源から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図を第5.5-2図に示す。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T$$

Ｔ：許容温度(53℃)，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)

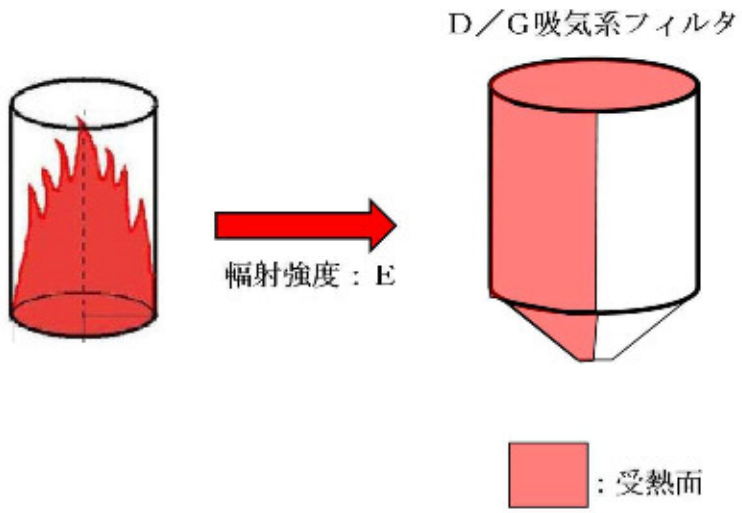
C_p：空気比熱(1,007J／kg／K)※3，ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※4

※１：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温

※２：ディーゼル発電機機関の内，給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。
ディーゼル発電機機関吸気流量（228m^3/min）×空気密度（1.17kg/m^3）÷60

※３：日本機械学会 伝熱工学資料

※４：最高到達温度150℃を介した温度上昇（5℃）



第 5.5-2 図　D／G吸気系フィルタの評価概念図

D／G吸気系フィルタに流入する空気の温度が 53℃となる危険距離を算出した結果，D／G吸気系フィルタまでの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 5.5-2 表に示す。

第 5.5-2 表　D／G吸気系フィルタを通して流入する空気の到達温度

落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃焼面積 [m²]	輻射強度 [W／m²]	評価温度※ (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	110.0	56.60	43	＜53
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	700.0	416.40	43	
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	311.08	43	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33	48	

5.6　外壁に設置されている機器に対する熱影響評価

発電用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

発電用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)　想定の条件

a．航空機火災については，5.3 等の火災影響評価と同様の想定とした。

b．扉は，表面の最も熱影響を受けやすい金属を扉の構造材(均質体)とした。

c．火災が発生した時間から，燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度を受けるものとした。

d．扉までの離隔距離は，電気室入口扉までの直線距離 27m とした。

(3)　必要データ

評価に必要なデータは 5.2 のとおり。

(4)　扉内外面温度の評価結果

a．許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃とする。

b．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度

で扉が昇温されるものとして，下記の１次元非定常熱伝導方程式を差分法より解くことで扉内外面温度が許容温度以下であるか評価した。評価において対流による放熱を考慮している。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E - h\left(T - T_0\right) \qquad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \qquad (x=L)$$

Ｔ：表面からｘ(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2，ｋ：扉の温度伝導率(=λ／ρC_p)(m^2／s)

ρ：扉の密度(7,920kg／m^3)，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／m^2)

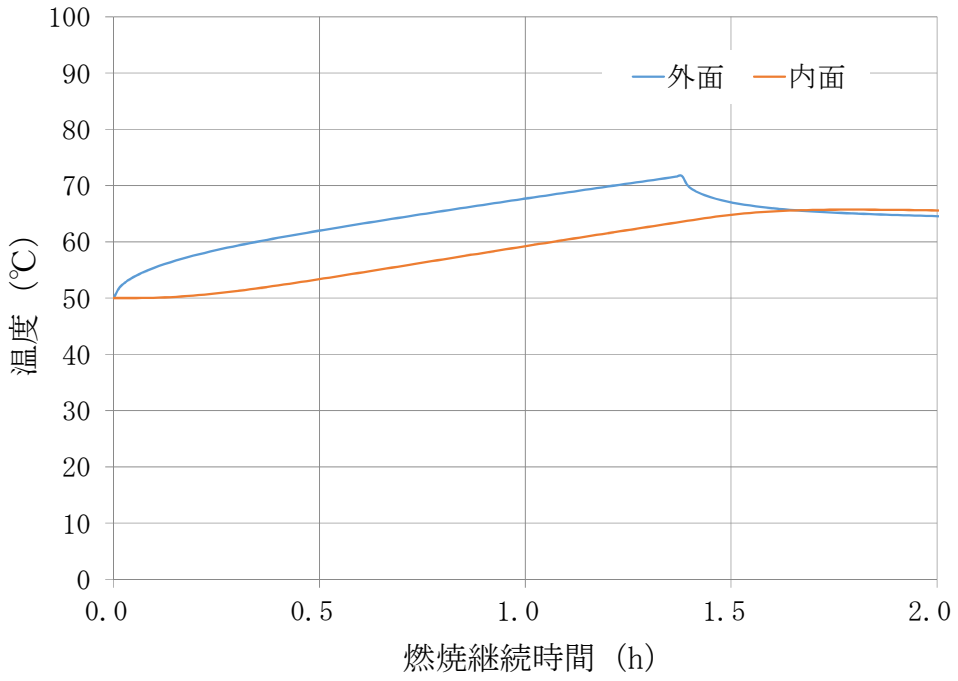
※１：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※２：空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2K 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	評価対象	評価温度（℃）		許容温度（℃）
		外　面	内　面	
F-15	原子炉建屋 電気室入口扉	72	66	＜325



第 5.6.1.1-2 図　扉の到達温度

5.6.1.2　扉内側（電気室）の室内温度評価

(1)　評価条件

a．火災が発生した時間から，燃料が燃え尽きるまでの間，扉内面温度66℃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℃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室温である 40℃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。

$$Q_{in} = h_{in} \times A \times (T_{in} - T_a)$$

$$T_{room} = \frac{Q_{in}}{m \rho C_P} + T_a$$

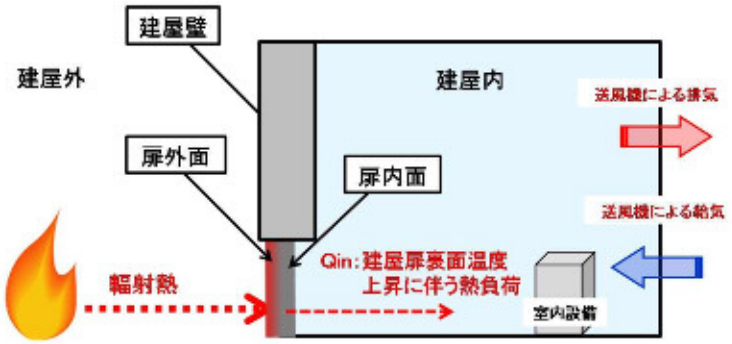
Q_{in}：温度上昇に伴う熱負荷(W)，h_{in}：内面熱伝達率(8.29W／m^2／K)

A ：扉の表面積(3.5m^2)，T_{in}：扉内面温度(66℃)

T_a：室内初期温度(35℃)，T_{room}：室内温度(℃)

m ：給気風量(4m^3／s)，ρ：空気密度（1.1kg／m^3）

C_P：空気比熱（1,007J／kg／K）



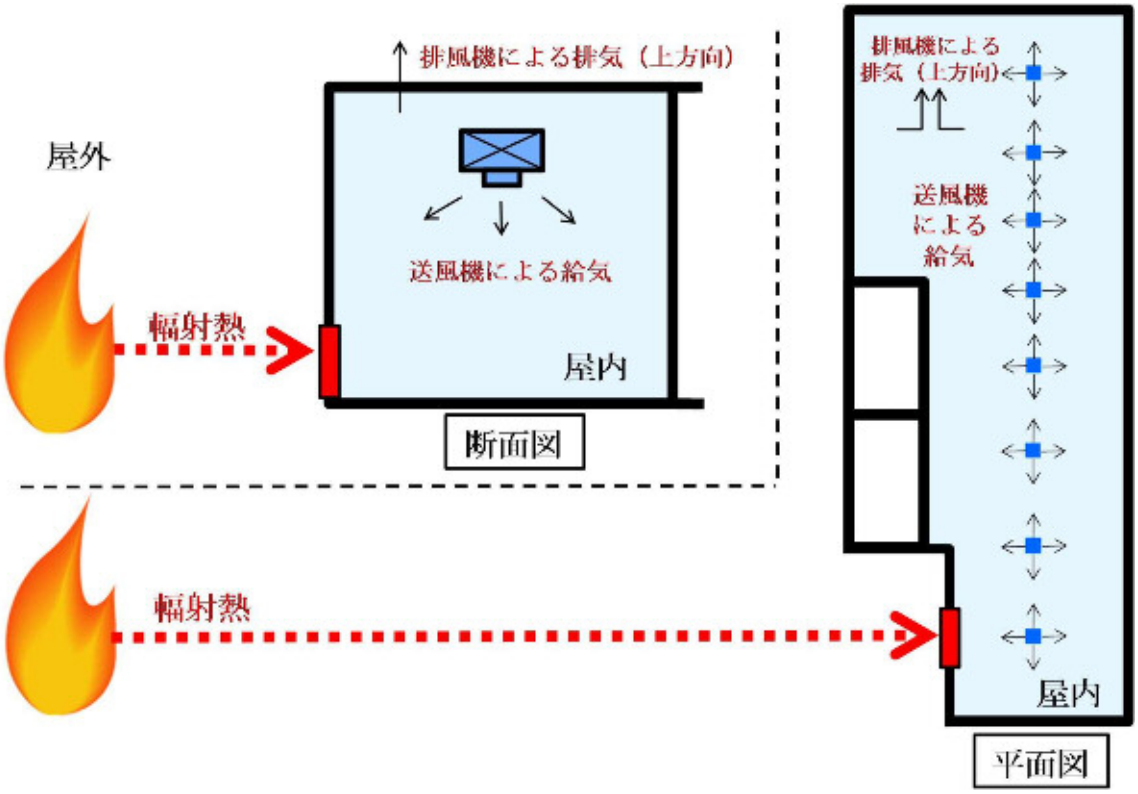
第 5.6.1.2-1 図　室内温度評価の概念図

電気室室温を評価した結果，室内温度が許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 5.6.1.2-1 表に示す。なお，室内温度については扉内面の最高温度を一定として想定する等，保守的な評価を行っていることから，実際の温度上昇は更に低く抑えられると考えられる。

また，室内の給排気は，第 5.6.1.2-2 図のとおり，ホットスポット等が生じにくいレイアウトにすることで，室内の温度分布が不均一とならない設計としている。

第 5.6.1.2-1 表　室内温度の評価結果

想定火災源	評価対象	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
F-15	原子炉建屋 電気室入口扉	35.3	40



第 5.6.1.2-2 図　電気室内の給排気の概念図

5.6.2　ルーバの火災影響評価について

発電用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)　想定の条件

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

一定の輻射強度でルーバが昇温されるものとして，輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式によりルーバ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(℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

Ｅ：輻射温度(3,095W／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。）

対象のルーバ表面の最大温度を求め，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（℃）	許容温度（℃）
F-15	142	＜325

5.6.3　配管貫通部の火災影響評価について

発電用原子炉施設の脆弱箇所の一つである配管貫通部について，火災影響評価を実施する。

(1)　評価対象

内側にクラス１，２設備がある外壁のうち，火災源から最も近い外壁に位置する配管貫通部を想定して評価を実施した。

(2)　想定の条件

ａ．航空機火災については，5.3 等の火災影響評価と同様の想定とした。

ｂ．配管貫通部は，不燃材料であるモルタルによる穴仕舞がされているため，モルタルを熱影響対象とした。

ｃ．火災が発生した時間から，燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度を受けるものとした。

ｄ．火災源から配管貫通部までの離隔距離が最短となるよう，火災源から配管貫通部までの離隔距離を，F-15 の離隔距離である 22m として熱影響評価を実施した。

(3)　判断の考え方

許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，圧

縮強度が維持される保守的な温度 200℃※以下とする。

※：「高温加熱を受けた高強度モルタルの力学的性状，コンクリート工学年次論文集，Vol32，No.1，pp1121-1126，2010」

(4)　評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で配管貫通部が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より配管貫通部表面の上昇温度を算出した。評価結果を第5.6.3-1 表に示す。

$$T=T_0+\left(\frac{E}{\alpha}\right)\left[1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)-\exp\left(\frac{\alpha}{\lambda}x+\frac{\alpha^2}{\lambda^2}\kappa t\right)\left\{1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}+\frac{\alpha}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right)\right\}\right]$$

T：表面から x(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

α：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

κ：モルタル温度伝導率(=λ／ρC_p)($1.7\times10^{-6}m^2$／s)

ρ：モルタル密度(1,870kg／m^3)，C_p：モルタル比熱(548J／kg／K)

λ：モルタル熱伝導率(1.71W／m／K)，E：輻射強度(W／m^2)

t：燃焼継続時間(4,968s)

※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／m^2／K を用いる。）

第 5.6.3-1 表　配管貫通部の到達温度

対象航空機	燃焼面積 [m^2]	輻射強度 [W／m^2]	燃焼継続時間 t (s)	評価温度※ (℃)	許容温度 (℃)
F-15	44.6	3,095.33	4,968 (約 1.4h)	150	200

以上の評価により，配管貫通部表面の到達温度が許容温度以下であることを確認した。

5.6.4　ブローアウトパネルの火災影響評価について

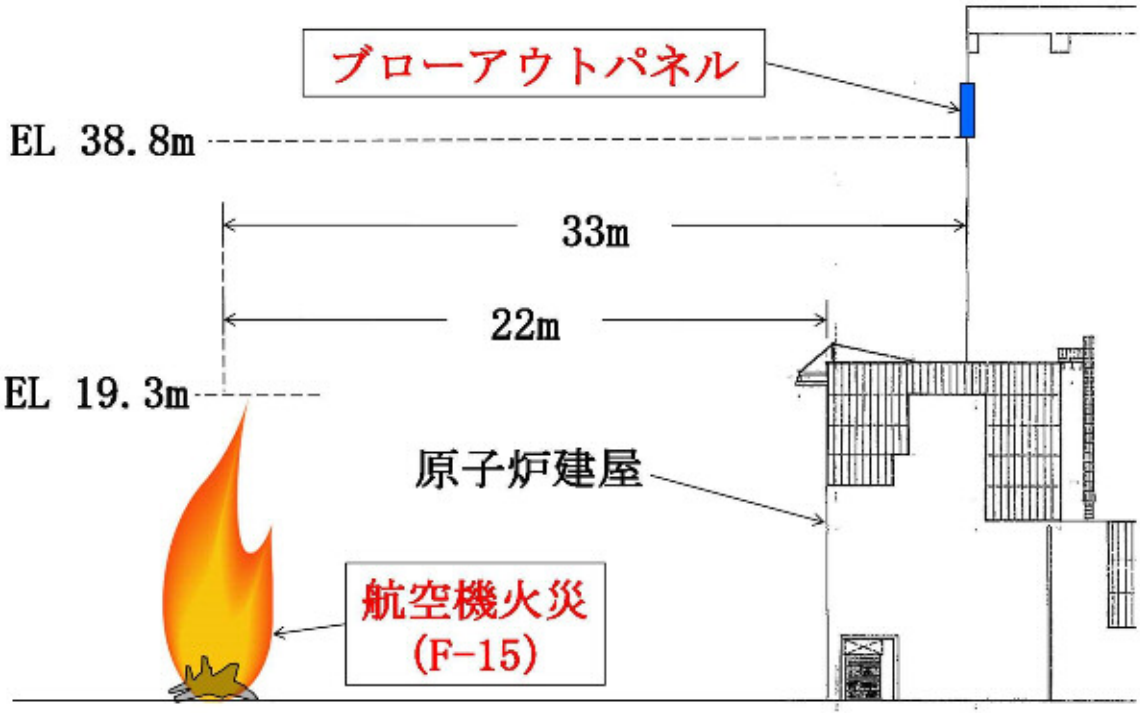
ブローアウトパネル（以下「Ｂ．Ｐ」という。）は，それぞれ原子炉建屋全方位に各３箇所設置されているが，想定する航空機火災からＢ．Ｐまでの水平距離及び鉛直高さを考慮すると，Ｂ．Ｐに影響を与えるような輻射強度が届くことはない。位置関係を第 5.6.4-1 表，第 5.6.4-1 図に示す。

第 5.6.4-1 表　火災源とブローアウトパネルとの位置関係

想定火災源	離隔距離（m）	
	水平方向	鉛直方向
F-15	33m※1	19.5m※2

※１：F-15 の航空機墜落距離 22m に，原子炉建屋最外壁からブローアウトパネルまでの距離 11m を加えた距離

※２：F-15 の最高火炎高さ（EL.19.3m）とＢ．Ｐ下端高さ（EL.38.8m）の離隔距離



第 5.6.4-1 図　火災源とブローアウトパネルとの位置関係

5.7　航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災の重畳評価

(1)　重畳評価で想定するケースの検討

航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災による重畳評価を実施した。

航空機墜落火災として想定する機種は，5.3，5.4，5.5 の評価結果より，最も熱影響が大きいF-15 とする。

危険物貯蔵施設等の火災として想定する設備は，F-15 の墜落火災想定位置近傍にある溶融炉灯油タンクと主要変圧器とする。

重畳評価で想定するケースを第 5.7-1 表に，航空機墜落位置と危険物貯蔵施設等の位置を第 5.7-1 図に示す。

第 5.7-1 表　重畳評価で想定するケース

想定ケース	評価対象施設
溶融炉灯油タンク及び F-15	原子炉建屋
	海水ﾎﾟﾝﾌﾟ室
	ﾀｰﾋﾞﾝ建屋
	排気筒
主要変圧器及び F-15	ﾀｰﾋﾞﾝ建屋

第 5.7-1 図　航空機墜落位置と危険物貯蔵施設等の位置

(2)　評価に必要となるデータ

第 5.7-2 表　重畳評価に必要となるデータ

火災源	燃料の種類	燃料量 (m^3)	輻射発散度 (kW/m^2)	燃焼面積 (m^2)	燃焼半径 (m)	燃焼継続時間 (s)
溶融炉灯油ﾀﾝｸ	灯油	10	50	19.36	2.483	11,008
主要変圧器	絶縁油	136	23	97	5.6	36,131
F-15	JP-4	14.87	58	44.6	3.8	4,968

以下の式から形態係数及び輻射強度を算出した。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ:形態係数，L:離隔距離(m)，H:炎の高さ(m)，R:燃焼半径(m)

$E=R_f\cdot\Phi$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数(-)

第 5.7-3 表　形態係数の算出結果

火災源	評価対象施設	対象までの離隔距離 (m)	形態係数 (-)	輻射強度 E (W／m^2)
溶融炉灯油タンク	原子炉建屋	45	5.9639×10^{-3}	298.20
	海水ﾎﾟﾝﾌﾟ室	185	3.4734×10^{-4}	17.37
	ﾀｰﾋﾞﾝ建屋	77	2.0248×10^{-3}	101.24
	排気筒	21	2.6826×10^{-2}	1343.13
主要変圧器	ﾀｰﾋﾞﾝ建屋	22	1.0160×10^{-1}	2,336.84
F-15	全対象	22	5.3368×10^{-2}	3,095.33

(3)　評価結果

重畳評価で想定される輻射強度及び燃焼継続時間を用いて，以下の式から評価温度を算出した。

・建屋（原子炉建屋，海水ポンプ室及びタービン建屋）に係る評価式

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E - h\left(T - T_0\right) \quad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (x=L)$$

Ｔ：許容温度(200℃)，Ｅ：輻射強度(W／m^2)
T_0：初期温度(50℃)※1，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2
ρ：密度（2,400kg／m^3），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／m^2／K を用いる。）

・排気筒に係る評価式：

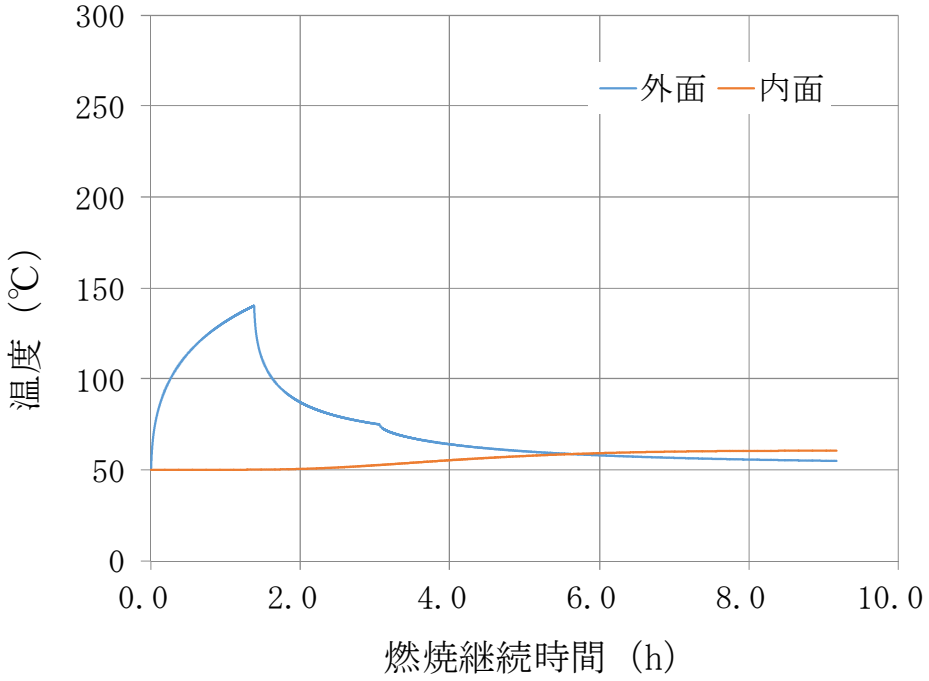
$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

T：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(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。）

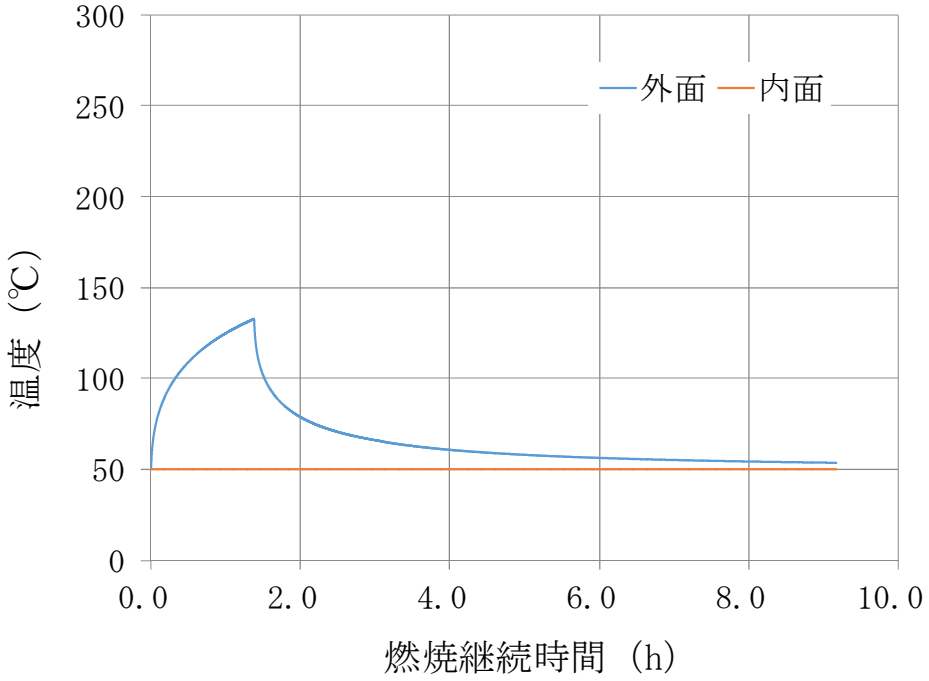
この結果，第5.7-4表に示すとおり，どのケースにおいても許容温度を下回ることを確認した。

第5.7-4表　重畳評価結果

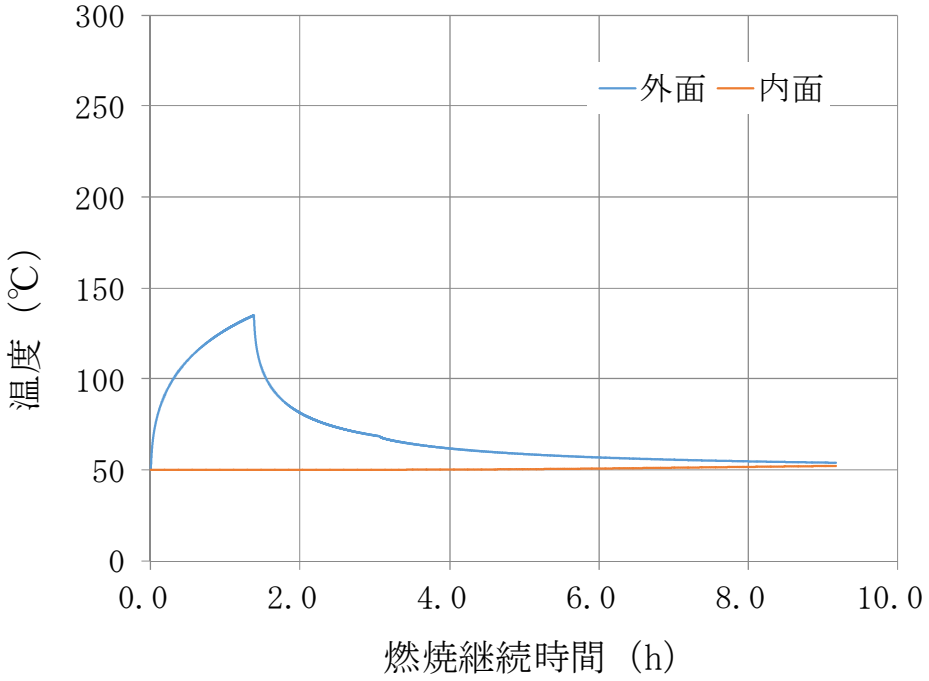
重畳評価の想定ケース	評価対象施設	評価温度(℃)	許容温度(℃)
溶融炉灯油タンク及びF-15	原子炉建屋	141	＜200
	海水ポンプ室	133	
	タービン建屋	135	
	排気筒	181	＜325
主要変圧器及びF-15	タービン建屋	195	＜200



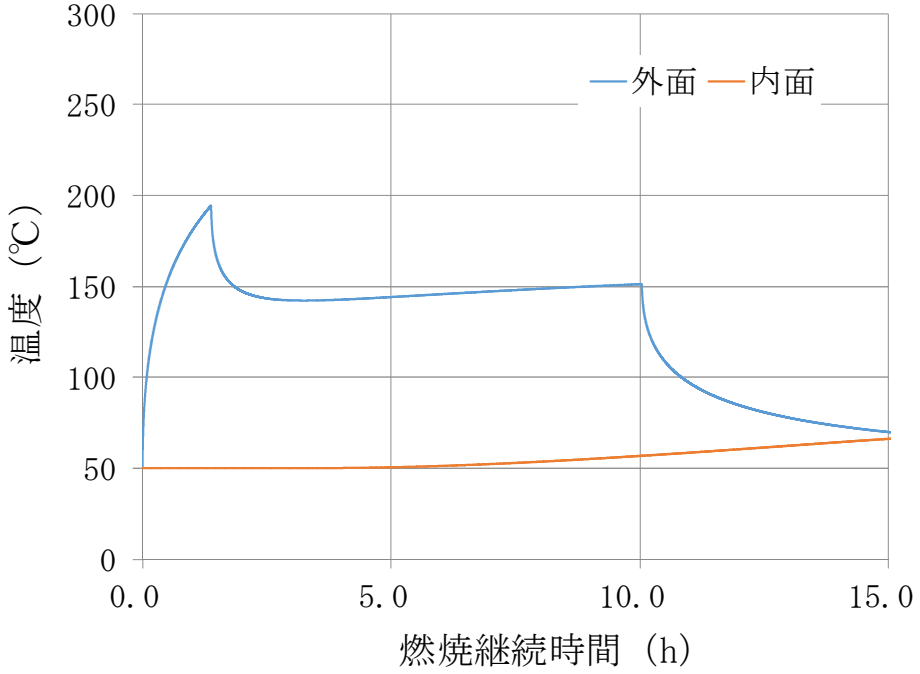
第 5.7-2 図　航空機火災と溶融炉灯油タンク火災の重畳評価結果
（対象：原子炉建屋）



第 5.7-3 図　航空機火災と溶融炉灯油タンク火災の重畳評価結果
（対象：海水ポンプ室）



第 5.7-4 図　航空機火災と溶融炉灯油タンク火災の重畳評価結果
（対象：タービン建屋）



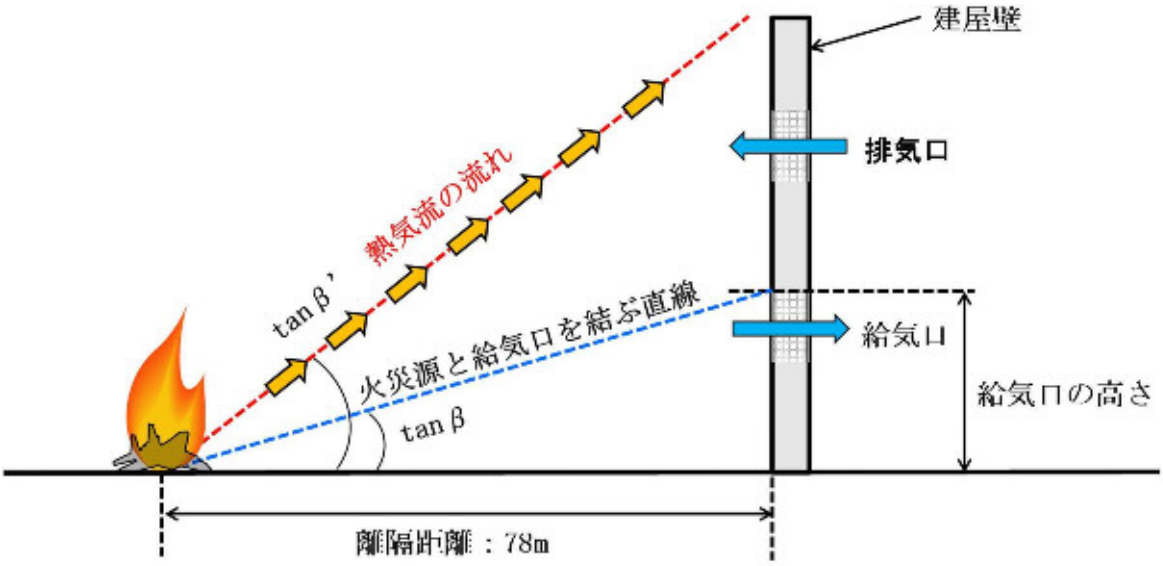
第 5.7-5 図　航空機火災と主要変圧器火災の重畳評価結果
（対象：タービン建屋）

5.8　航空機墜落火災からの熱気流による影響評価

クラス１，２設備が給気口のすぐ内側にあるＤ／Ｇ吸気系フィルタ及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は，外部火災により発生する熱気流が周囲の風況の影響により建屋に向かうことが想定されるため，火災源から発生した熱気流が風により直接給気口から流入する事象を想定する。

評価の概念図を第 5.8-1 図に示す。火災による熱気流の主軸傾き角(tan β’)が，火災発生源と給気口とを結ぶ直線の傾き角(tan β)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 β’=tan β)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流入することは考えにくいが，本評価においては保守的に火災源から発生する熱気流が直接給気口に流入するような風速を設定して評価した。



第 5.8-1 図　使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価概念図

5.8.1　想定条件

・評価対象とする火災源は，最も近い位置で発生する航空機火災（対象航空機：Ｆ－１５）とした。

・離隔距離は，評価上厳しくなるよう，想定する火災源から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流入するような風速を設定した。

5.8.2　評価に必要となるデータの算出

(1)　火災源と給気口を結ぶ直線の傾き

以下の式から火災源と給気口を結ぶ直線の傾きを算出した。算出結果を第 5.8.2-1 表に示す。

$$\tan\beta = \frac{\text{給気口の高さ}}{\text{火災源から給気口までの水平距離}}$$

第 5.8.2-1 表　火災源と各対象の給気口を結ぶ直線の傾き

評価対象施設	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 tanβ (rad)
使用済燃料乾式貯蔵建屋	8.8	78	0.1
Ｄ／Ｇ吸気系ﾌｨﾙﾀ	4.9	24	0.2

(2)　熱源寸法

以下の式から熱源寸法を算出した。算出結果を第 5.8.2-2 表に示す。

$$D=2\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Ｄ：熱源寸法（m）
Ｓ：航空機火災（F-15）の燃焼面積(44.6m^2)

第 5.8.2-2 表　各対象の熱源寸法

火災源	熱源寸法Ｄ（m）
航空機火災 （Ｆ－１５）	7.5

(3)　発生熱量

以下の式から発生熱量を算出した。算出結果を第 5.8.2-3 表に示す。

$$Q = (1-\chi)\ \Delta H_{c,\ eff} S M$$

Ｑ：発生熱量（kW），χ：放射分率(0.05)
$\Delta H_{c,\ eff}$：発熱量(43，500kJ／kg)
Ｓ：航空機火災（F-15）の燃焼面積(44.6m^2)
Ｍ：質量低下速度(kg／m^2／s)

第 5.8.2-3 表　想定する火災源の発生熱量

火災源	発生熱量Ｑ（kW）
航空機火災 （Ｆ－１５）	9.4×10^4

(4)　熱気流が直接給気口に流入する風速

以下の式を満たす熱気流が直接給気口に流入する風速を算出した。算出結果を第 5.8.2-4 表に示す。

$$\tan\beta = 0.37\Lambda^{-9/8}Fr^{0.0975}$$

$$\Lambda = \frac{UD^{1/3}}{\left(Qg/C_p\rho T_0\right)^{1/3}}$$

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{Dg}}$$

$\tan\beta$：火災源と給気口を結ぶ直線の傾き（rad）

Λ：無次元ﾊﾟﾗﾒｰﾀ，Fr：フルード数（-）
C_p：空気比熱(1.007kJ／kg／K)
ρ：空気密度（1.17kg／m^3），T_0：周囲温度（310K）
D：航空機火災（F-15）の燃焼面積(44.6m^2)
g：質量低下速度(kg／m^2／s)

第 5.8.2-4 表　火災源と各対象の給気口を結ぶ直線の傾き

評価対象施設	無次元ﾊﾟﾗﾒｰﾀΛ（-）	ﾌﾙｰﾄﾞ数 Fr（-）	熱気流が直接開口に流入する風速U（m／s）	水戸地方気象台で観測した過去 10 年間の最大風速（m／s）
使用済燃料乾式貯蔵建屋	3.1	2.5	21.6 ～ 40.1	17.5
D／G吸気系ﾌｨﾙﾀ	1.7	1.4	12.1 ～ 12.8	

(5)　評価結果

使用済燃料乾式貯蔵建屋に対し，熱気流が直接開口に流入する風速は，水戸地方気象台で観測した過去 10 年間の最大風速未満となることから，熱気流が直接開口に流入することはなく上方へ拡散するため，熱気流の影響はない。

D／G吸気系フィルタに対する熱気流の影響は，以下理由により熱気流の回避が可能であるため，熱気流が流入することはない。

・D／G吸気系フィルタは，開口面積が狭いことから熱気流を直接取り込むため必要となる風速が狭い範囲に限定されるため，直接熱気流を取り込む可能性は低い。

・D／G吸気系フィルタは位置的分散が図られているため，同時に全ての設備が直接熱気流の影響を受けることは想定し難い。

・万が一，熱気流を取り込む可能性がある場合は，影響を受けない方角に位置するディーゼル発電機を起動し，熱気流を取り込む可能性があ

る設備は起動しない（起動している場合は停止する）ことにより熱気流の影響を回避し，消火が確認された時点で，停止していたディーゼル発電機の運転を再開する。

対象航空機の種類

		民間航空機		自衛隊機，在日米軍機
		計器飛行方式	有視界飛行方式	
固定翼（ジェット旅客機）	大型機	定期便：評価対象 （例） B747，B737 等	定期便：該当なし	評価対象 （例） F-15 等
		不定期便：評価対象外 ※1	不定期便：評価対象 （例） B747 等	
	小型機	定期便：評価対象外 ※2	定期便：評価対象外	評価対象 （例） LC-90 等
		不定期便：評価対象 ※3	不定期便：評価対象 （例） Do228 等	
回転翼（ヘリコプター）	大型機	定期便：評価対象外 ※2	定期便：評価対象外 ※2	評価対象 （例） CH-47J 等
		不定期便：評価対象 ※3	不定期便：評価対象 （例） AS332L 等	
	小型機	定期便：評価対象外 ※2	定期便：評価対象外 ※2	評価対象 （例） AH-1S 等
		不定期便：評価対象 ※3	不定期便：評価対象 （例） AS365N3 等	

※１：計器飛行方式で飛行する大型固定翼機の不定期便は，定期便と比べて運航回数が極めて少ないことから，評価対象外とする。

※２：小型固定翼機及び回転翼機の定期便については，定期航空運送事業者の登録機数の割合から，運航頻度が大型機の定期便の数％であると判断できることから評価対象外とする。

※３：小型固定翼機及び回転翼機では，リクエストベースで計器飛行方式による飛行が可能となっているが，原則としては，有視界飛行方式による飛行形態を取っていることから，全て有視界飛行方式として評価することとする。

出典：「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」

■計器飛行方式民間航空機

■有視界飛行方式民間航空機（大型機）

■有視界飛行方式民間航空機（小型機）

■自衛隊機又は米軍機

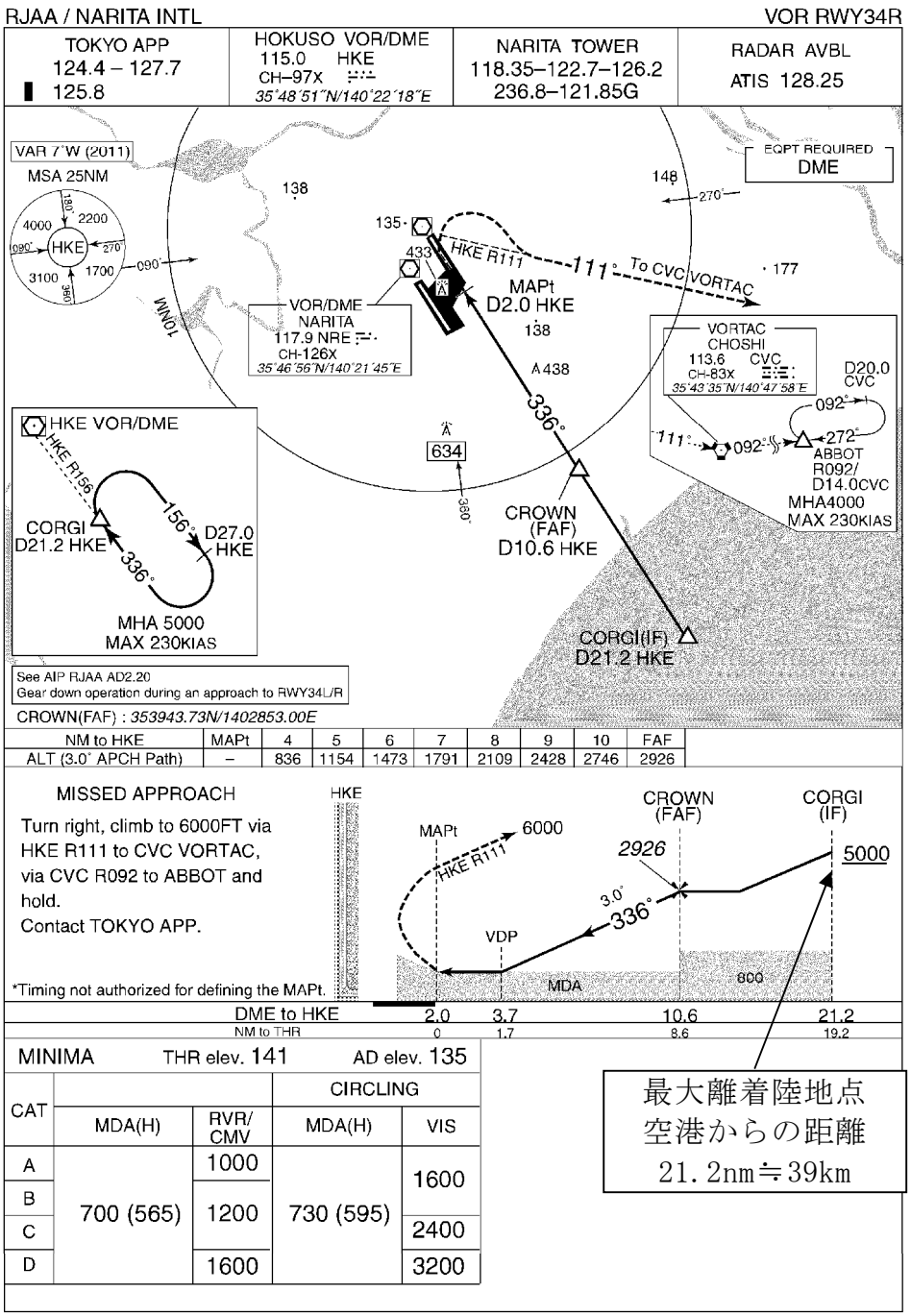
各施設付近の空港と施設との距離について

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

○：評価対象　×：評価対象外
※１：施設と空港の緯度，経度より計測した。
※２：ＡＩＰを参照した。

成田空港の最大離着陸地点までの距離

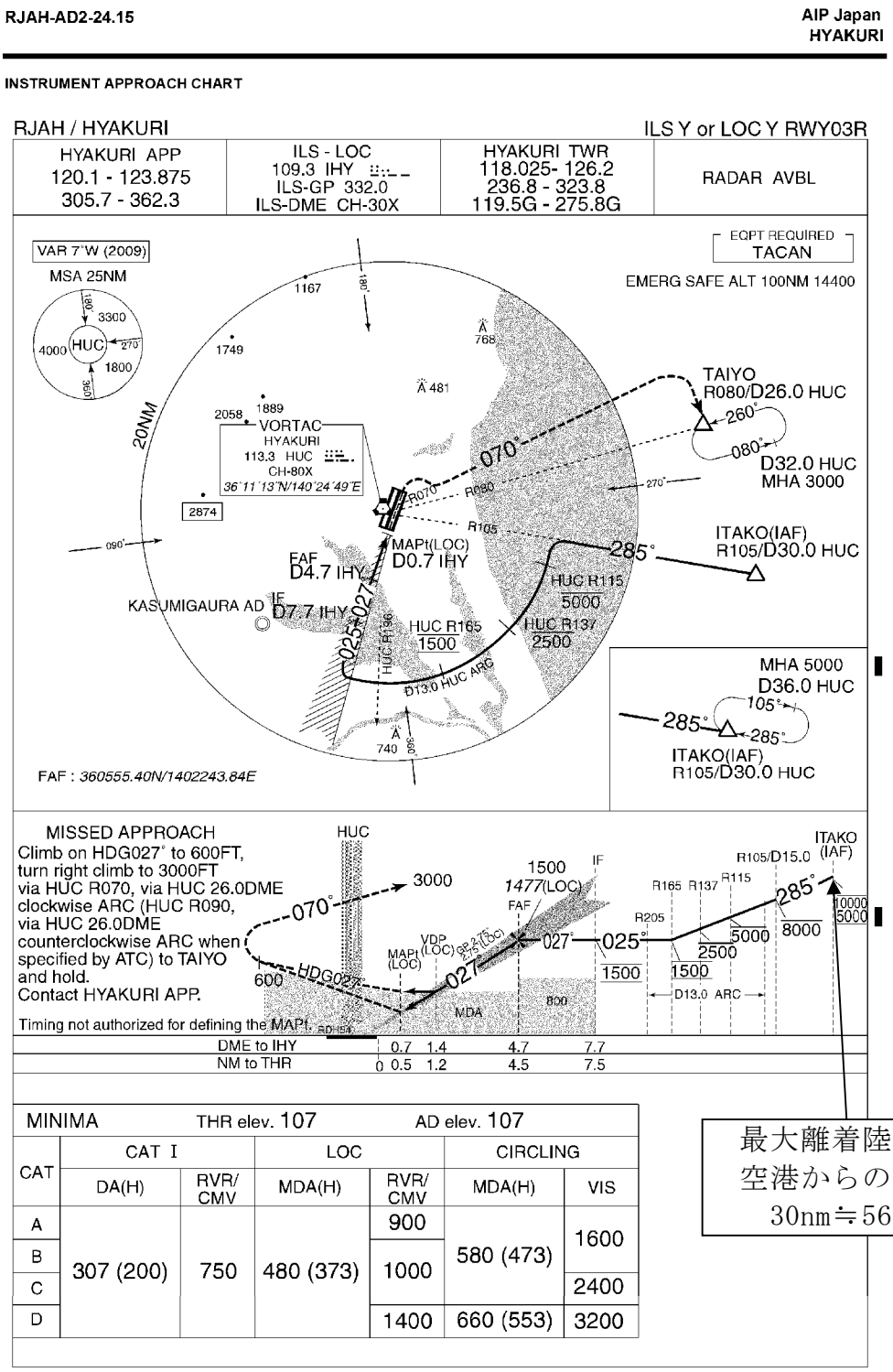
（成田空港～東海第二発電所の距離：約 80km）



出典：ＡＩＰ

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）



最大離着陸地点
空港からの距離
30nm≒56km

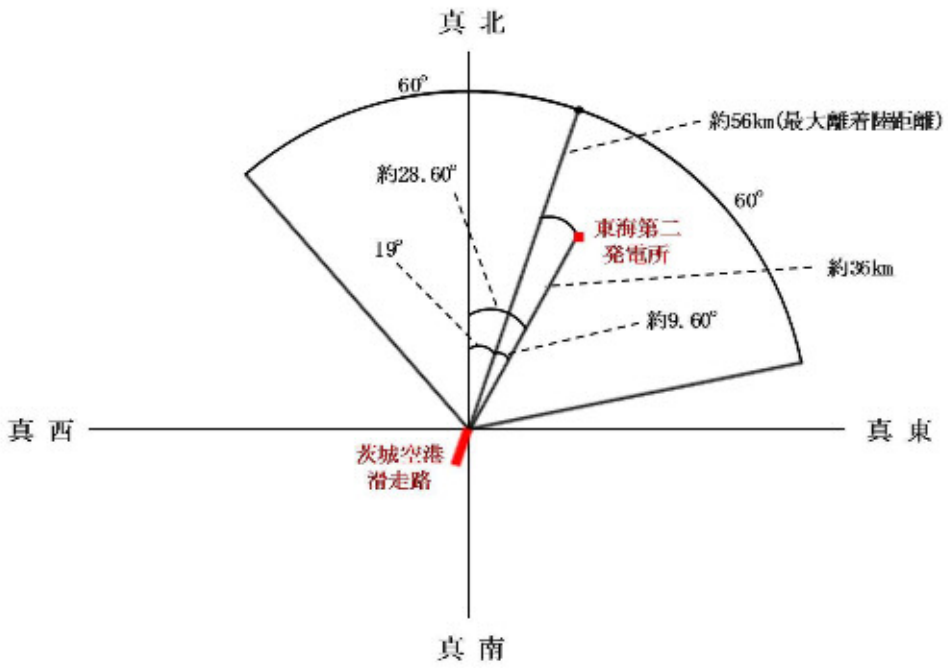
出典：ＡＩＰ

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）（ＡＩＰ記載のデータ）である。

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

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



各施設周辺における航空路と各航空路の幅について

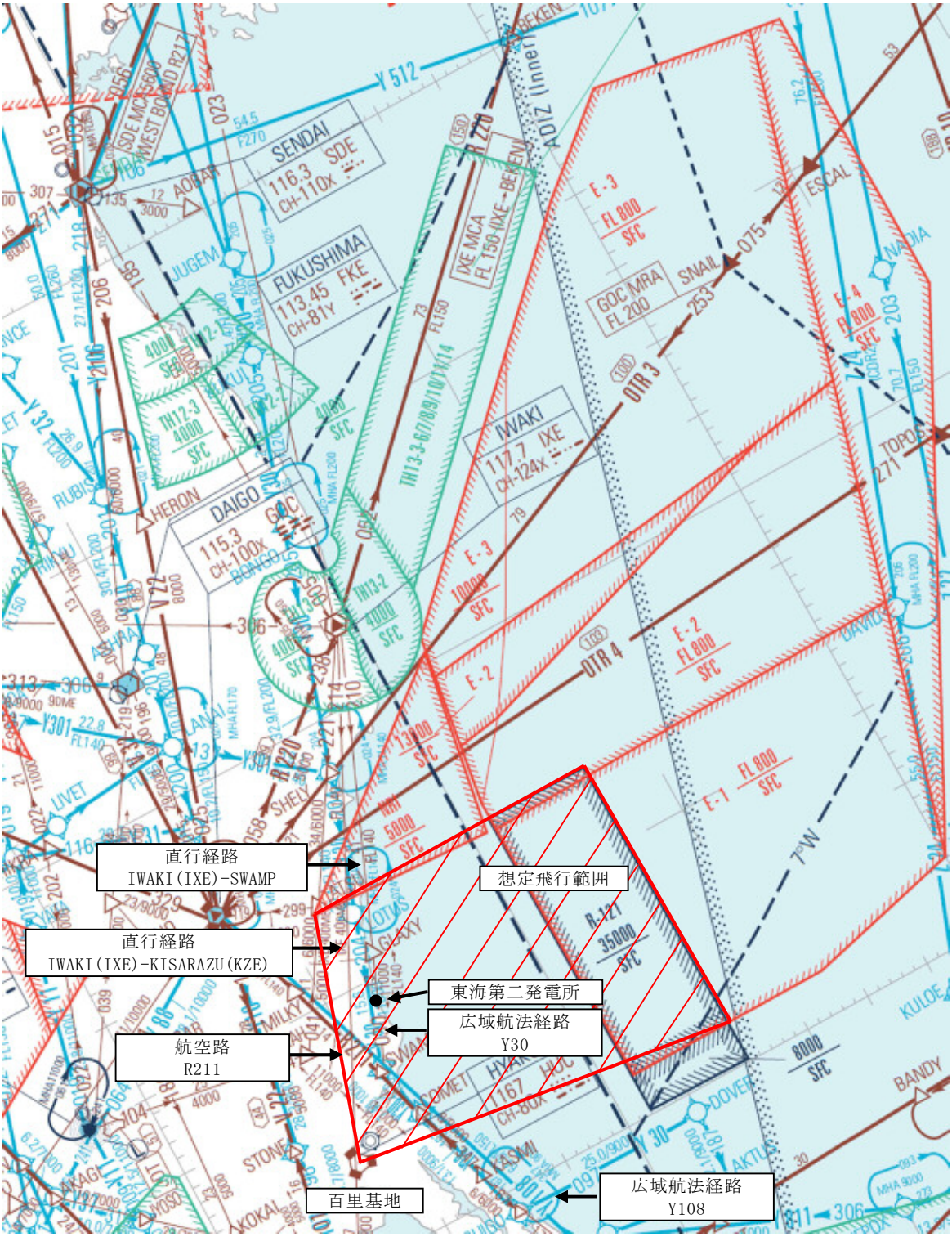
周辺の航空路の名称	航空路の中心線と発電所間の最小距離※1	片側の航空路幅※2	判定
航空路　R211 (DAIGO(GOC)－SWAMP)	約 11.36km	7km	×
直行経路 (IWAKI(IXE)－SWAMP)	約 0.68km	約 7.41km (4nm)	○
直行経路 (IWAKI(IXE)－KISARAZU(KZE))	約 4.13km	約 7.41km (4nm)	○
広域航法経路　Y30 (LOTUS－SWAMP)	約 1.18km	約 9.26km (5nm)	○
広域航法経路　Y108 (DAIGO(GOC)－CHOSHI(CVC))	約 11.44km	約 9.26km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

○：評価対象　×：評価対象外

※１：施設と航空路の緯度及び経度より計測した。

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

エンルートチャート（東海第二発電所付近）



出典：ENROUTE CHART（2014 年 3 月 6 日改定）

「有視界飛行方式民間航空機（小型機）」の落下事故で考慮している航空機の燃料量

機　　種		燃料量（m^3）
小型固定翼機	ドルニエ Do228-200	2.4
	パイパーPA-42-1000	2.2
	セスナ 501	2.2
	ビーチ B200	2.1
	ガルフストリーム・コマンダ 695	1.8
	セスナ 525/525A サイテーションジェット	1.8
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS365N3	1.6
	ベル 412	1.5
	シコルスキ S-76A	1.5
	ビーチ C90A	1.5
	セスナ 510	1.5
	セスナ 425	1.4
	セスナ 404	1.3
	セスナ 208	1.3
	セスナ 208B	1.3
	ユーロコプターEC155B/B1	1.3
	ベル 412EP	1.2
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS365N1	1.2
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS365N2	1.2
	ベル 430	1.1
	ソカタ TBM700	1.1
	シコルスキ S-76B	1.1
	シコルスキ S-76A+/S-76C/S-76C+/S-76C++	1.1
	ユーロコプターEC135P1/P2	0.9
	川崎 BK117B-1/B-2	0.9
	ピラタス PC-6/B2-H4	0.9
	セスナ 150L/M/A150L	0.9
	川崎 BK117C-2	0.9
	カマン K-1200	0.9
	ベル 212	0.8
	ベル 429	0.8
	富士ベル 205B	0.8
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS355F2	0.7
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS355F1	0.7
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS355N	0.7
	ユーロコプターEC135T1/T2	0.7
	パイパーPA-31-350/PA-31P-350	0.7
	ベル 427	0.7
	川崎 BK117C-1	0.7
	ビーチ G58	0.7
	ビーチ 58	0.6
	セスナ 340	0.6

機　　種		燃料量（m^3）
小型固定翼機	アグスタ A109K2	0.6
	富士ベル 204B-2	0.6
	アグスタ A109E	0.6
	マグドネル・ダグラス 900	0.6
	アグスタ AW119Ke	0.6
	セスナ T303	0.6
	ユーロコプター(MBB)Bo105S	0.6
	アグスタ AW109SP	0.6
	ユーロコプター(アエロスパシアル)SA315B	0.6
	セスナ 182P/Q/R	0.6
	セスナ TU206F	0.6
	セスナ 207/T207	0.6
	アグスタ 109AⅡ	0.6
	アグスタ A109C	0.6
	パイパーPA-23-250	0.5
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS350B2	0.5
	ユーロコプターEC130B4	0.5
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS350B3	0.5
	セスナ TU206G	0.5
	セスナ U206G	0.5
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS350B/BA	0.5
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS350BI	0.5
	ブリテン・ノーマン BN-2B-20	0.5
	ビーチ E33	0.5
	ビーチ 35-C33A/F33A/F33C	0.5
	ビーチ 36/A36	0.5
	ベル 407	0.5
	パイパーPA-46-310P	0.5
	パイパーPA-46-350P	0.5
	MD ヘリコプターズ 600N	0.5
	ロックウェル・コマンダ 112	0.5
	ベル 206L-4	0.4
	セスナ 172P	0.4
	ソカタ/モランソルニエ MS885/893A	0.4
	ベル 206L-3	0.4
	ユーロコプターEC120B	0.4
	ビーチ B36TC	0.4
	パイパーPA-32R-301T	0.4
	パイパーPA-34-200	0.4
	パイパーPA-34-200T	0.4
	パイパーPA-34-220T	0.4
	セスナ 172N	0.4
	セスナ 172K/L/M	0.4
	セスナ 182S	0.3
	セスナ T206H	0.3
	シーラス SR22/SR22T	0.3

機　　種		燃料量（m^3）
小型固定翼機	セスナ P210N	0.3
	セスナ T210M/N	0.3
	エンストロム 480B/TH480B	0.3
	ソカタ TB-20	0.3
	ソカタ TB21	0.3
	ビーチ A36TC	0.3
	ムーニーM20K	0.3
	パイパーPA-28RT-201T	0.3
	ベル 206B	0.3
	ロビンソン R66	0.3
	シュワイザー269D-A	0.3
	セスナ 172RG	0.3
	セスナ 210-5A	0.2
	セスナ 152	0.2
	ムーニーM20J	0.2
	ヒューズ/川崎 369E	0.2
	セスナ 150B/C	0.2
	ビーチ B24R	0.2
	ワコー・クラシック・エアクラフト YMF ワコーF5C	0.2
	セスナ 172S	0.2
	シーラス SR20	0.2
	ソカタ TB200	0.2
	エンストロム 280FX	0.2
	富士 FA-200-160	0.2
	富士 FA-200-180	0.2
	富士 FA-200-180AO	0.2
	ソカタ TB10	0.2
	セスナ 172R	0.2
	クリスティン・インダストリーA-1	0.2
	ガルフストリーム・エアロスペース AG-5B	0.2
	セスナ R172K	0.2
	ムーニーM20C	0.2
	ダイヤモンド DA42/DA42NG	0.2
	ロビンソン R44 アストロ/レイベン	0.2
	ダイヤモンド DA40	0.2
	パイパーPA-28-140	0.2
	パイパーPA-28-151	0.2
	パイパーPA-28-161	0.2
	パイパーPA-28-180	0.2
	パイパーPA-28-181	0.2
	パイパーPA-28R-200	0.2
	ロビンソン R44Ⅱ	0.2
	モール M-7-235C	0.2
	エクストラ EA300S,300/L	0.2
	ジャイロフルーク SC01B-160	0.2
	セスナ 172	0.2

機　　種		燃料量（m^3）
小型固定翼機	ソカタ TB9	0.2
	セスナ 172B,D,G,H	0.1
	パイパーPA-28R-201	0.1
	パイパーPA-28R-201T	0.1
	ベランカ 7GCBC/8KCAB	0.1
	パイパーPA-18-150	0.1
	シュワイザー269C-1	0.1
	エクストラ EA300/200	0.1
	ロビンソン R22Beta/Mariner	0.1
	ヒューズ 269C	0.1
	リバティーXL-2	0.1
	アビオン・ピエール・ロバン DR400/180R	0.1
	ピッツ S-2B/S-2C	0.1

自衛隊機又は米軍機の用途による分類について

自衛隊機又は米軍機の落下事故には，「⑤訓練空域外を飛行中」の落下事故と「⑥基地－訓練空域間を往復時」の落下事故がある。

⑤及び⑥について，自衛隊機が保有する機種を代表として，用途による飛行形態を踏まえてカテゴリを分類し，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
				全長	全幅	（m^3）
陸上自衛隊	LR-1	小型固定翼	連絡偵察	10	12	約 0.9
	LR-2	大型固定翼	連絡偵察	14	18	約 2
	AH-1S	小型回転翼	対戦車	14	3	約 1
	OH-6D	小型回転翼	観測	7	2	約 0.2
	OH-1	小型回転翼	観測	12	3	約 1
	UH-1H/J	小型回転翼	多用途	12/13	3	約 0.8
	CH-47J/JA	大型回転翼	輸送	16	4/5	約 4
	UH-60JA	大型回転翼	多用途	16	3	約 3
	AH-64D	大型回転翼	戦闘	18	6	約 1
海上自衛隊	P-3C	大型固定翼	哨戒	36	30	約 35
	P-1	大型固定翼	哨戒	38	35	≦ KC-767※2
	SH-60J	大型回転翼	哨戒	15	3	約 1
	SH-60K	大型回転翼	哨戒	16	3	約 1
	MH-53E	大型回転翼	掃海・輸送	22	6	約 12
	MCH-101	大型回転翼	掃海・輸送	23	19	約 5
航空自衛隊	F15J/DJ	大型固定翼	戦闘	19	13	約 15
	F-4EJ	大型固定翼	戦闘	19	12	約 12
	F-2A/B	大型固定翼	戦闘	16	11	約 11
	RF-4E/EJ	大型固定翼	偵察	19	12	約 13
	C-1	大型固定翼	輸送	29	31	約 16
	C-130H	大型固定翼	輸送	30	40	約 37
	KC-767	大型固定翼	空中給油・輸送	49	48	約 145
	KC-130H	大型固定翼	空中給油機能付加	30	40	約 37
	E-2C	大型固定翼	早期警戒	18	25	約 7
	E-767	大型固定翼	早期警戒管制	49	48	≦ KC-767※2
	CH-47J	大型回転翼	輸送	16	4	約 4

出典：平成 28 年度版防衛白書等

※１：増槽（機体の外部に装着して使用する燃料タンク）の燃料量を考慮した値。

※２：P-1 及び E-767 の燃料量は不明であるが，P-1 については KC-767 より寸法が小さく空中給油機能を備えていないこと，E-767 については KC-767 と寸法は同一であるものの空中給油機能を備えていないことから，KC-767 に比べて燃料量は少ないと想定される。

以下の機種については，原子力発電所付近で低高度での飛行を行うことはないため，「⑤-1 空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機」として整理し，その他については，「⑤-2 その他の大型固定翼機及び回転翼機」として整理した。

・高高度での巡航が想定される「空中給油」及び「早期警戒」を用途とした機種

・目的地付近で低高度での飛行となるものの移動は高高度の巡航を行うものと想定される「哨戒」及び「輸送」を用途とした機種（「哨戒」の目的地は海上，「輸送」の目的地は基地又は空港）

下表に代表的な自衛隊機のうち燃料量の観点から大型機のみについて，上記のカテゴリで整理した結果を示す。

カテゴリ	用　途	該当する航空機	寸法（m）		燃料量※1（m³）
			全長	全幅	
空中給油機，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	「空中給油」，「早期警戒」，「哨戒」，「輸送」を用途とする大型固定翼機	P-3C	36	30	約 35
		P-1	38	35	≦KC-767
		C-1	29	31	約 16
		C-130H	30	40	約 37
		KC-767	49	48	約 145
		KC-130H	30	40	約 37
		E-2C	18	25	約 7
		E-767	49	48	≦KC-767
その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	上記以外を用途とする大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	LR-2	14	18	約 2
		CH-47J	16	4	約 4
		UH-60JA	16	3	約 3
		AH-64D	18	6	約 1
		SH-60J	15	3	約 1
		SH-60K	16	3	約 1
		MH-53E	22	6	約 12
		MCH-101	23	19	約 5
		F-15J/DJ	19	13	約 15
		F-4EJ	19	12	約 12
		F-2A/B	16	11	約 11
		RF-4E/J	19	12	約 13

出典：平成 28 年度版防衛白書等

※１：増槽の燃料量を考慮した値。

上記の分類を踏まえ，「⑤訓練空域外を飛行中の落下事故」で考慮するカテゴリとして，燃料量が最大となる航空機を下表に示すとおり整理した。

カテゴリ	対象とする航空機の内訳	対象航空機	燃料量※1（m³）
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「⑥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 (m³)
				全長	全幅	
航空自衛隊	F15J/DJ	大型固定翼	戦闘	19	13	約 15
	F-4EJ	大型固定翼	戦闘	19	12	約 12
	T-4	大型固定翼	中等練習	13	10	約 3
	RF-4E/EJ	大型固定翼	偵察	19	12	約 13
	U-125A	大型固定翼	救難捜索	16	16	約 6
	UH-60J	大型回転翼	救難救助	20	16	約 3

出典：平成 28 年度版防衛白書，航空自衛隊ウェブページ（H29 年 7 月確認）等
※１：増槽の燃料量を考慮した値。

百里基地に所属する自衛隊機のうち燃料量が最大の航空機を対象とし，下表のとおり整理した。

カテゴリ	対象とする航空機の内訳	対象航空機	燃料量※1 (m³)
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るとしている。

(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

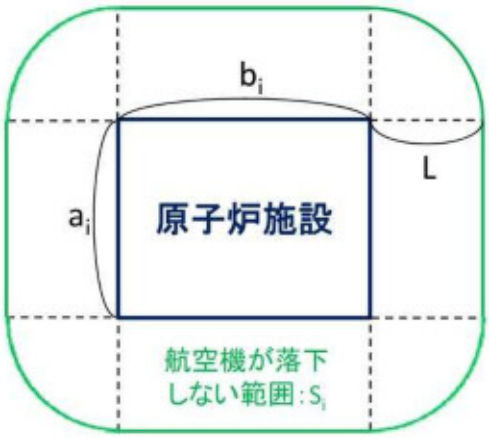
1. 考え方

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，評価対象施設近辺の航空機が落下しない範囲の面積の和が落下確率 10^{-7}（回／炉・年）に相当する面積となるまで標的面積を拡大させたときの離隔距離を算出する方法を用いた。

2. 離隔距離算出方法

評価対象施設の各辺の長さを（a_i，b_i）とした場合，離隔距離を L とすると，当該評価対象施設近辺の航空機が落下しない範囲（面積：S_i）は以下の式で表される。

$$Si = \pi L^2 + 2L(a_i + b_i) + a_i b_i$$



離隔距離の概念図

上記の式を用いて，全ての評価対象施設に対して S_i を計算し，それらを合計した上で L について解くことで離隔距離が得られる。

なお，各施設間の距離が近く，航空機が落下しない範囲が重なる範囲が重なる場合は，重なった範囲の面積を分配して再計算することで，航空機落下確率 10^{-7}（回／炉・年）に相当する面積に近づける。

計器飛行方式民間航空機　大破事故概要

（平成 5 年～平成 24 年）

離着陸時の大破事故

（離陸時）

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

（着陸時）

発生年月日	場 所	機 種	機体の損傷	運航形態
平成 5 年 4 月 18 日	花巻空港	ダグラス DC-9-41 型	大破	着陸
平成 6 年 4 月 26 日	名古屋空港	エアバス・インダストリー A300B4-622R 型	大破	着陸
平成 21 年 3 月 23 日	成田国際空港 滑走路上	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±60°以内の扇型に一様な分布又は周方向で正規分布を仮定し，評価結果が厳しい方を用いる。下式にて評価した結果，今回の評価では，下表に示すとおり厳しい方である正規分布を仮定した方法を用いることとする。

（一様分布）

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

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

（正規分布）

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

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

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

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

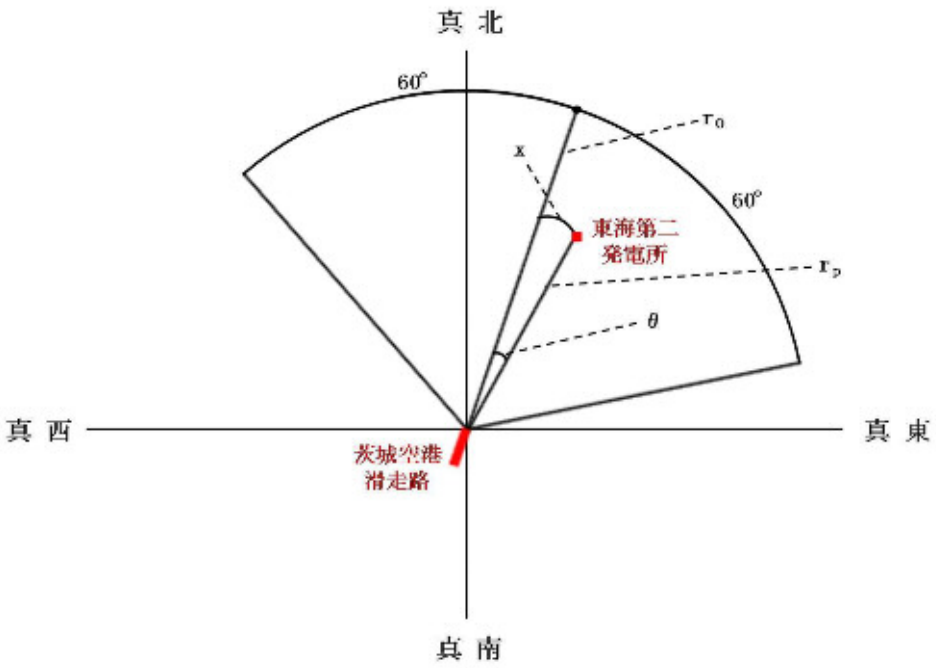
$$\sigma = \frac{\pi r}{3 \times 2.6}$$

r_P：滑走路端から発電用原子炉施設までの距離（径方向）（km）

x：滑走路軸上から発電用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－発電用原子炉施設の角度（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}

航空機落下確率評価における標的面積の考え方について

1. 基準の要求事項

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

(1) 航空機落下確率評価

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

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

(4)　原子炉施設への標的面積（A）

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

(2)　外部火災影響評価

○原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定） 附属書Ｃ　原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について １．総則 （中略） 本評価ガイドは、発電所敷地への航空機の墜落で発生する火災に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災が発電所の敷地内で起こったとしても原子炉施設（本評価ガイドにおける「原子炉施設」は、安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包するものに限る。）に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2.　航空機落下確率評価における標的面積

1.(2)の基準を踏まえ，航空機墜落による火災影響評価においては，以下の屋外の外部事象防護対象施設を標的対象として選定する。

・原子炉建屋

・使用済燃料乾式貯蔵建屋

・海水ポンプ室

また，外部事象防護対象施設には該当しないが，以下の対象については，クラス 1，2 施設若しくはそれらを内包する施設であることに鑑み，標的対象に加えて航空機墜落火災に対する健全性を評価する。なお，評価の結果，タービン建屋又は排気筒の健全性が確保できない場合は，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での補修等の対応が可能か確認する。

・タービン建屋（第 1 図，第 2 図参照）

・排気筒

なお，使用済燃料乾式貯蔵建屋の安全機能については，以下のとおり使用済燃料乾式貯蔵建屋以外の東海第二発電所原子炉施設と独立していることから，航空機落下確率評価においては使用済燃料乾式貯蔵建屋単独で評価を実施することとした。

① 使用済燃料乾式貯蔵建屋は，使用済燃料乾式貯蔵建屋以外の東海第二発電所原子炉施設の安全機能に直接的に影響を及ぼすものではなく，また，乾式貯蔵容器本体で安全機能（臨界防止機能，密封機能，遮蔽機能，除熱機能）を確保する設計である。

② 使用済燃料乾式貯蔵建屋の監視設備（乾式貯蔵容器の一・二次蓋間圧力，乾式貯蔵容器の表面温度等）及び火災防護設備（火災報知器）への電源供給については，全交流動力電源喪失時においては，事象発生後 30 分は専用の蓄電池から供給可能だが，その後は東海第二発電所の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含む。）から給電する設計である。ただし，監視設備及び火災防護設備（火災報知器）は状態監視用であり，その機能喪失は乾式貯蔵容器の安全機能に影響を及ぼすものではない。

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

・原子炉建屋

・タービン建屋（第 3 図参照※2）

・海水ポンプ室

・使用済燃料乾式貯蔵建屋※3

※2　原子炉補機冷却系ポンプ及び熱交換器を含む区画

※3　使用済燃料乾式貯蔵建屋が各発電用原子炉施設から独立して設置されているため，平成 21 年の実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の再評価の際は個別に航空機落下確率を評価した

第１図　タービン建屋内の安全上重要な系統及び機器の配置（地上１階）

第２図　タービン建屋内の安全上重要な系統及び機器の配置（地上２階）

第３図　タービン建屋内の原子炉補機冷却系ポンプ及び熱交換器の配置

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	ピークデイの飛行回数※1	年間飛行回数※2
直行経路 （IWAKI(IXE)－SWAMP)	H24 年上半期：0（6 月 8 日） H24 年下半期：0（9 月 19 日）	182.5
直行経路 （IWAKI(IXE)－ KISARAZU(KZE))	H24 年上半期：0（6 月 8 日） H24 年下半期：0（9 月 19 日）	182.5
広域航法経路　Y30 （LOTUS－SWAMP)	H24 年上半期：0（6 月 8 日） H24 年下半期：3（9 月 19 日）	1,095

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

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

有視界飛行方式民間航空機　大破事故概要

（平成 5 年～平成 24 年）

（大型固定翼機）

発生年月日	場 所	型 式
該当なし	－	－

（大型回転翼機）

発生年月日	場 所	型 式
平成 13 年 5 月 19 日	三重県桑名市播磨付近	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 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	ﾌﾞﾘﾃﾝﾉｰﾏﾝ式 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	茨城県竜ケ崎市	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	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 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	茨城県霞ケ浦	ソカタ式 TB10
平成 11 年 3 月 24 日	大分県大分郡野津原町	セスナ式 172M
平成 11 年 8 月 1 日	大分県大分郡庄内町	富士重工式 FA-200-180
平成 11 年 8 月 13 日	長野県斑尾山	セスナ式 172P
平成 13 年 3 月 25 日	香川県小豆群上庄町豊島	パイパー式 PA-28-181
平成 13 年 5 月 19 日	三重県桑名市播磨付近	セスナ式 172P
平成 13 年 8 月 16 日	岡山県久米郡柵原町	セスナ式 172NAT
平成 14 年 1 月 4 日	熊本県琢磨群琢磨村	セスナ式 172P
平成 14 年 3 月 1 日	北海道帯広市美栄町	ｽﾘﾝｸﾞｽﾋﾞｰ式 T67MMKⅡ
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	ｶﾞﾙﾌｽﾄﾘｰﾑｺﾏﾝﾀﾞｰ式 695
平成 15 年 7 月 11 日	宮崎県宮崎市	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 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	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 E33
平成 19 年 9 月 1 日	宮崎空港南東約 1nm の海上	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 A36
平成 19 年 11 月 15 日	岐阜県中津川惠郡山山頂付近	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	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 A36 型

（小型回転翼機）

発生年月日	場 所	型 式
平成 5 年 7 月 27 日	福島県双葉郡大熊町	ベル式 206B
平成 5 年 12 月 23 日	岐阜県郡山郡八幡町	ロビンソン式 R22Beta
平成 6 年 10 月 18 日	大阪府泉佐野市	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 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	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 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	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 AS365N2
平成 9 年 5 月 21 日	長野県茅野市	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 SA315B ｱﾙｳｪｯﾄⅢ
平成 9 年 7 月 3 日	三重県名張市	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 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	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 AS350B
平成 12 年 4 月 24 日	三重県長島町木曽川左岸の河原	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	長野県木曽郡南木曽町	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 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	ﾕｰﾛｺﾌﾟﾀｰ式 EC135T2
平成 20 年 7 月 6 日	青森県下北部大間町大間崎沖の海面	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 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 R44Ⅱ
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	沖縄県宣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）	茨城県竜ケ崎市	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

基地－訓練空域間往復時の落下事故における航空機落下確率の推定について

1. 想定飛行範囲の面積を用いた評価式の保守性について

「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率は，下式のとおり評価している。

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

Pse：対象施設への航空機落下確率（回／年）

fse：基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）

A：発電用原子炉施設の標的面積（km^2）

Sse：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（Sse）が小さいほど，大きな落下確率となる。これは，基地－訓練空域間を簡易的に一様に飛行すると仮定しているためである。

しかし，「原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）」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こと，やむを得ず原子力関連施設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原子力関連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ことから，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く，かつ，基地－訓練空域間往復時の自衛隊機が発電所に落下する確率は極めて小さいと考えられる。

以上のことから，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。（「想定飛行面積と航空機落下確率の関係（概略図）」参照）

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

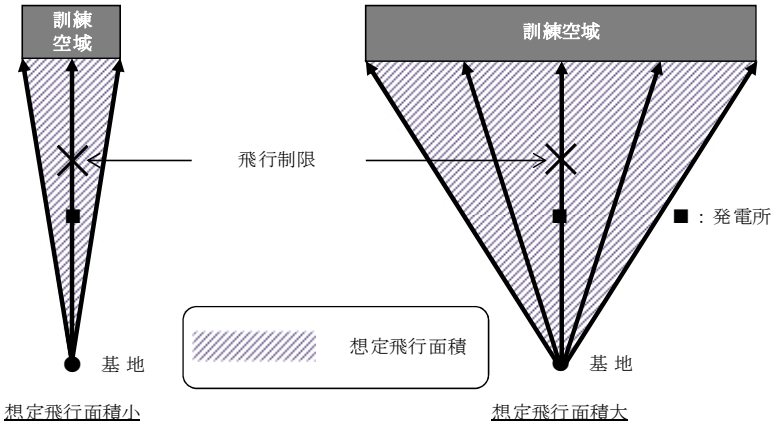
各方面総監
中央即応集団司令官　殿
中央管制気象隊長
航空学校長

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。



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等を踏まえると，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。

2.　「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率の算出について

1.のとおり，「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率は大きな保守性を含んでいることから，以下を踏まえ，本航空機落下確率の算出においては，実際に落下事故実績のある全国の基地と訓練空域間を往復時の落下事故件数及び全国の基地の想定飛行範囲の面積を用いて算出した全国平均の基地－訓練空域間往復時の航空機落下確率を2倍した値（以下「全国平均の落下確率の2倍値」という。）を「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率とする。

・百里基地－訓練空域間往復時に落下事故は発生していないが，全国の基地－訓練空域間往復時に5件の落下事故が発生していること及び百里基地－訓練空域間を飛行する際の自衛隊機の機種，飛行環境が全国と比較して大きな相違がないことを考慮すると，百里基地の落下確率は全国平均に対して同程度又はそれ以下と考えられる。

・落下事故実績が存在する全国平均の落下確率を参考とし，保守性を確保するために全国平均の落下確率の2倍値を百里基地－訓練空域間往復時の落下確率として採用。

・百里基地－訓練空域間の想定飛行範囲の面積が小さいこと，防衛省による原子力関連施設上空の飛行は原則として行わないよう制限されていること等を考慮すると，全国平均の落下確率の2倍値には実際の落下確率より十分高いと考えられる。

項　　目	航空機落下確率（回／炉・年）
全国平均の落下確率の2倍値	約 4.14×10^{-8} （$=3.00\times10^{-6}$（回／年・km^2）※$\times0.0138km^2$）

※：5件／20年／175,720km^2＝約 1.42×10^{-6}（回／年・km^2）を保守的に2倍にし，丸めた値

2.1　全国平均の落下確率の2倍値を用いることの保守性について

「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」は過去 20 年間落下実績がなく，航空機落下確率算出時の発生件数の与え方に不確かさが存在する一方で，全国の基地－訓練空域間の往復時は過去 20 年間で 5 件落下実績が存在する。全国平均の落下確率は，評価の母集団を大きくすることにより落下事故件数を実績値（5 件）に基づき評価していること，基地－訓練空域間を往復時の落下確率が基地毎に大きく異なることは考えにくいことを考慮すると，全国平均の落下確率は国内における平均的な落下確率として信頼性があると考えるが，本評価では保守的に全国平均の落下確率の 2 倍値を用いることとする。

また，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，やむを得ず原子力関連施設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原子力関連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ことについて評価上考慮しておらず，この点においても保守性は確保されている。

2.2　他の評価手法との比較

「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率の算出にあたっては，「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することも考えられる。

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

T：対象期間（＝20 年）

その適用性及び保守性については参考 1 のとおりであるが，χ二乗分布を用いた方法よりも全国平均の落下確率の 2 倍値は以下のとおり大きくなっている。

項　　目	航空機落下確率（回／炉・年）
全国平均の落下確率の 2 倍値	約 4.14×10^{-8} （$= 3.00 \times 10^{-6}$（回／年・km^2）$\times 0.0138 km^2$）
χ二乗分布を用いた方法	約 3.46×10^{-8} （＝0.2275 件／20 年／4,540km^2 $\times 0.0138 km^2$）

χ二乗分布を用いた方法の適用性及び保守性について

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「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「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「訓練空域外を飛行中」の「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「基地－訓練空域間往復時」の落下事故

そのうち，評価上の保守性が大きい(4)のカテゴリに対する航空機落下確率の推定には，PRA 学会標準において，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用いることも考えられる。このχ二乗分布を用いた方法について，その方法の適用性（1.参照）及び保守性（2.参照）を以下に示す。

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

T：対象期間（＝20 年）

※1：導出方法は参考 2 参照

1.　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”（参考 3 参照）によると，事象発生頻度の推定方法として，χ二乗分布を用いた方法を適用するためには，事象発生頻度がポアソン分布に従っていることが条件となる。

ポアソン分布は，一般的に確率が極めて小さい事象（例えば，交通事故に

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

適合度検定の結果を下表に示す。

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

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

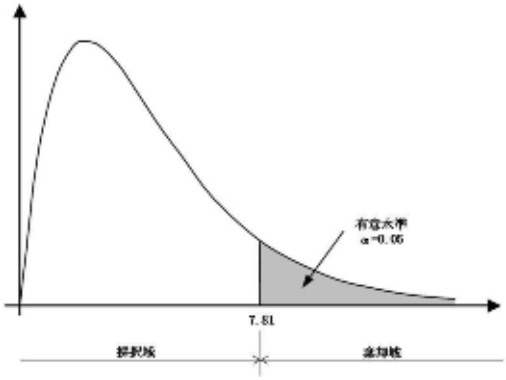
m：落下事故件数標本平均（約 0.276 件）

x：落下事故件数

※２：P(f)×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α＝0.05 を用いると，検定の判定点はχ二乗分布表より 7.81（＝χ^2（3，0.05））で与えられる。



χ二乗分布表

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

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

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

2. χ二乗分布を用いた方法の保守性について

別紙 7.12 本文 1.に記載のとおり，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こと等を考慮すると，基地－訓練空域間往復時の自衛隊機が発電所に落下する確率は極めて小さいと考えられることから，χ二乗分布を用いた方法においても保守性は確保されていると考えられる。

χ二乗分布を用いた方法による発生率の導出について

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

また，発生件数が小さい場合には，ポアソン分布での近似が可能である。

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

$$\frac{\chi^2(2N,1-\frac{\alpha}{2})}{2T} \leqq \lambda \leqq \frac{\chi^2(2N+2,\frac{\alpha}{2})}{2T}$$

（N：発生件数，T：期間）

で表される。

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

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

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

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

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

により算出される。

【解　説】

(1)　確率分布

①　二項分布

離散型確率変数 x の確率関数が次の式で表される分布を二項分布という。

$$p(x)={}_nC_x p^x(1-p)^{n-x} \qquad (x=0,\ 1,\ 2,\ \cdots n)$$

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

②　ポアソン分布

離散型確率変数 x の確率関数が次の式で表される分布をポアソン分布という。

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

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

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

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

③　ガンマ分布

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

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

ここで，$\Gamma(\alpha)$ はガンマ関数であり，

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

で表される。

④　χ二乗分布

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

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

これは，α＝m／2，β＝2 のγ分布の確率密度分布である。

(2)　区間推定

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

(3)　精密法によるポアソン分布の母平均λの区間推定

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

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

一方，パラメータα，βのガンマ分布 GAM(α，β)に従う確率変数を G

とすると，

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

ここで，

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

とおくと，

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

であるから，部分積分を用いて，

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

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

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

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

となるから，

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

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

の関係が得られる。

また，ガンマ分布でα＝m／2，β＝2 のとき，GAM(α，β)は自由度 m の χ二乗分布になることに注目すると，

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

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

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

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

ここで，ポアソン分布の再生性（(1)②参照）より，

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

が成り立つ。この関係から，

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

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

より，

$$P(Y\leqq y)=\frac{\alpha}{2}=P(\chi^2_{2(y+1)}\geqq 2n\lambda)$$

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

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

となり，同様に，

$$P(Y\geqq y+1)=1-P(Y\leqq y)=1-P(\chi^2_{2y}\geqq 2n\lambda)$$

$$=P(\chi^2_{2y}\leqq 2n\lambda)$$

より，

$$P(Y\geqq y+1)=\frac{\alpha}{2}=P(\chi^2_{2y}\leqq 2n\lambda)$$

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

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

となる。

以上より，ポアソン分布の平均値λの(1－α)×100%信頼区間は，

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

で表される。（出典：蓑谷千凰彦，「数理統計ハンドブック」，みみずく舎，2009 年）

NUREG/CR-4407 の概要について

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

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

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

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

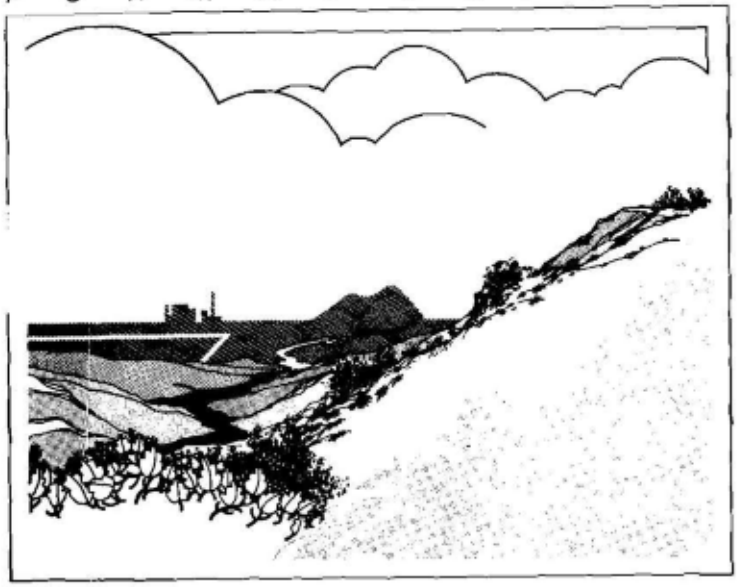
(NUREG／CR-4407 抜粋)

NUREG/CR-4407
EGG-2421
May 1987

Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants

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

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



EG&G Idaho

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

for the U.S. Nuclear Regulatory Commission

Idaho National Engineering Laboratory

Managed by the U.S. Department of Energy

CONTENTS

ABSTRACT ii

EXECUTIVE SUMMARY iii

ACKNOWLEDGMENTS vi

INTRODUCTION 1

OVERALL METHODOLOGY 3

FAILURE DATA 7

POPULATION DATA 11

RESULTS 22

REFERENCES 28

APPENDIX A—USING SUBJECTIVE DATA TO ESTIMATE PIPE BREAK FAILURE RATES A-1

APPENDIX B—INFORMATION PROVIDED TO QUESTIONNAIRE RESPONDENTS B-1

APPENDIX C—QUESTIONNAIRE RESPONSES C-1

APPENDIX D—NARRATIVE SUMMARIES OF PIPE BREAK EVENTS D-1

APPENDIX E—SUMMARIES OF SELECTED PIPE BREAK STUDIES E-1

APPENDIX F—FAILURE RATE ESTIMATION METHODS F-1

Table 15. Frequencies of pipe breaks categorized by leak rate

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

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

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

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

APPENDIX F

FAILURE RATE ESTIMATION METHODS

METHODS USED

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

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

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

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

where

λ = estimated failure rate

N = number of reported pipe failures

T = total number of operating years experienced

D = total number of transients.

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

$$\frac{\chi^2_{\alpha/2}(2N)}{2T} \le \lambda(\text{yearly}) \le \frac{\chi^2_{1-\alpha/2}(2N + 2)}{2T} \tag{F-3}$$

and

$$\frac{\chi^2_{\alpha/2}(2N)}{2D} \le \lambda(\text{transient}) \le \frac{\chi^2_{1-\alpha/2}(2N + 2)}{2D}, \tag{F-4}$$

where

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

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

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

$$\frac{NF_L}{D - N + 1 + NF_L} \le (\text{transient}) \le \frac{(N + 1)F_U}{D - N + (N + 1)F_U} \tag{F-5}$$

where

$F_L = F_{\alpha/2}(2N, 2D - 2N + 2)$

$F_U = F_{1-\alpha/2}(2N + 2, 2D - 2N)$

$F_a(b,c)$ = F variate at cumulative probability "a", with "b" and "c" degrees of freedom.

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

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

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

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

$$\lambda = \frac{\chi^2_{0.50}(2N + 1)}{2T} , \qquad \text{(F-6)}$$

$$\lambda = \frac{\chi^2_{0.50}(2N + 1)}{2D} , \qquad \text{(F-7)}$$

and

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

where

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

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

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

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

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

$$(\alpha,\beta) = (N + 1/2, 1/T). \qquad \text{(F-9)}$$

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

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

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

REFERENCES

F-1. S. R. Brown, M. Trojovsky, *Data Summaries of Licensee Event Reports of Inverters at U.S. Commercial Nuclear Power Plants January 1, 1976 to December 31, 1982*, NUREG/CR-3867, Idaho National Engineering Laboratory, August 1984.

F-2. L. J. Bain, *Statistical Analysis of Reliability and Life-Testing Models*, New York: Marcel Dekker, Inc., p. 157.

F-3. *NPRDS 1978 Annual Reports of Cumulative System and Component Reliability*, NUREG/CR-0942, Southwest Research Institute, September 1979.

F-4. G. E. P. Box and G. C. Tiao, *Bayesian Inference in Statistical Analysis*, Reading, MA: Addison-Wesley, 1973.

F-5. N. R. Mann, R. E. Shafer, N. D. Singpurwalla, *Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1974.

F-6. N. L. Johnson and S. Kotz, *Discrete Distributions*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1969, pp. 58-59 and 96.

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

東海第二発電所の航空機落下確率評価結果及び標的面積を下表に示す。

なお，航空機落下に対する設計上の考慮の要否を確認するための従来の評価では，落下事故が発生していないカテゴリに対して発生件数を 0.5 件としていたが，別紙 7.16 に記載のとおり「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率の評価では，想定飛行範囲の面積を用いた評価式の保守性等を踏まえ，全国平均の落下確率の 2 倍値を用いている。

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	
		発電用原子炉施設	使用済燃料乾式貯蔵建屋
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 3.98×10^{-9}	約 1.80×10^{-9}
	② 航空路を巡航中の落下事故	約 5.93×10^{-11}	約 4.30×10^{-11}
2)有視界飛行方式民間航空機		約 1.37×10^{-8}	約 9.95×10^{-9}
3)自衛隊機又は米軍機	① 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	約 2.56×10^{-8}	約 1.86×10^{-8}
	② 基地－訓練空域間往復時	約 4.14×10^{-8}	約 3.00×10^{-8}
合　　計		約 8.5×10^{-8}	約 6.1×10^{-8}

航空機落下確率評価に係る標的面積

単位：m^2

	原子炉建屋	タービン建屋	海水ポンプ室	排気筒	合　計※
水平面積	約 4,489	約 7,315	約 1,212	約 784	約 13,800
投影面積	約 6,940	約 8,394	約 1,212	約 5,599	約 22,145

※：使用済燃料乾式貯蔵建屋の水平面積及び投影面積は，それぞれ約 1,399m^2及び約 1,887m^2

ばい煙及び有毒ガスの影響について

1. 目　　的

外部火災で発生するばい煙及び有毒ガスは，火炎により発生する上昇気流によって上空に運ばれるため，ばい煙及び有毒ガスが防護対象設備の周辺に滞留する可能性は低いと考えられるが，保守的にばい煙及び有毒ガスが設備並びに居住性に与える影響について，評価を実施する。

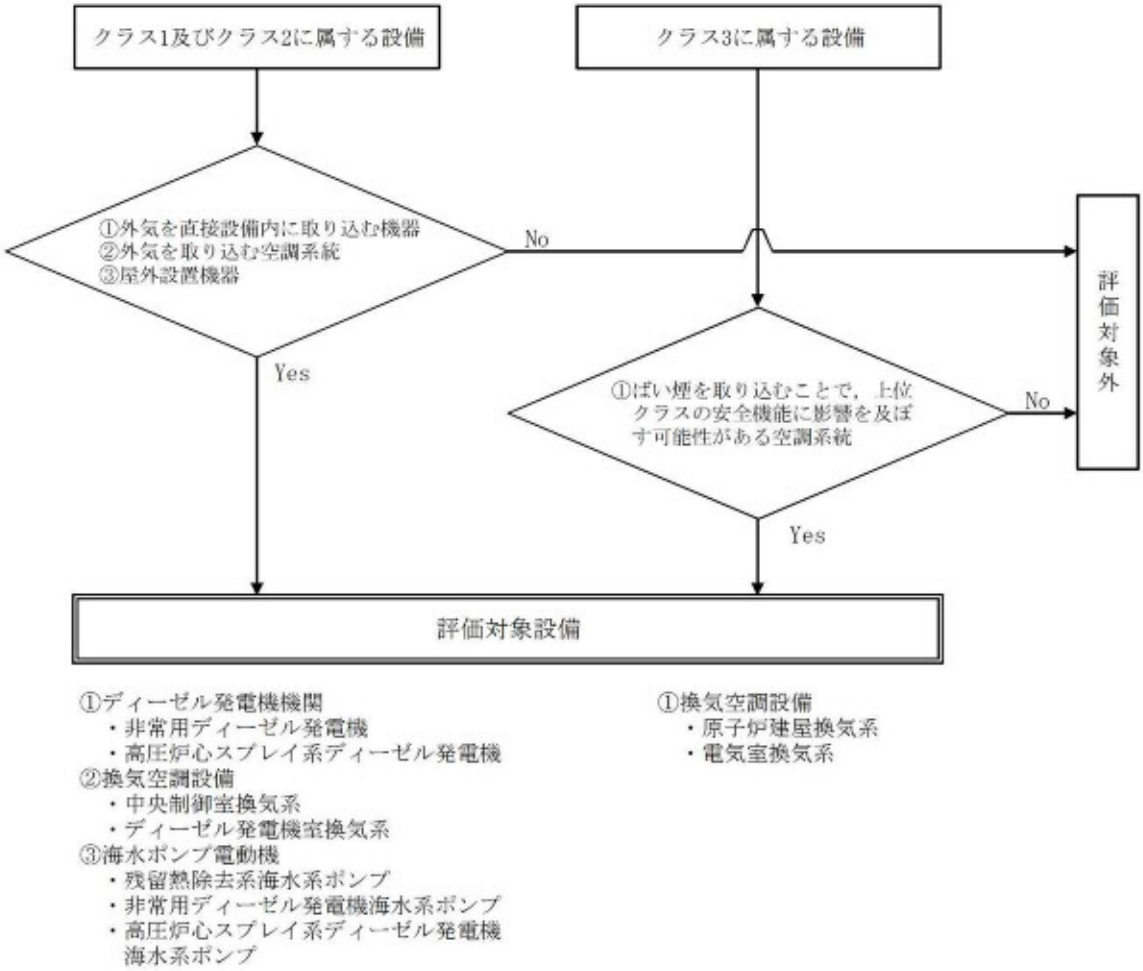
2. 評価対象

評価ガイドでは，ばい煙による安全上重要な設備に対する影響として，燃焼生成物の換気又は空気供給系からの侵入による電気故障，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む）の故障，有毒ガスによる影響等が挙げられている。

ばい煙の影響が想定される設備として，「外気を直接設備内に取り込む機器」，「外気を取り込む空調系統」及び「屋外設置機器」について評価を実施する。また，建屋内にばい煙及び有毒ガスを含んだ外気が取り込まれた場合の居住性の観点から評価を実施する。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
居住性への影響	外気を取り込む空調系統	中央制御室，緊急時対策所



第 2-1 図　機器への影響評価を行う評価対象設備抽出フロー図

3.　評価結果

3.1　外気を直接設備内に取り込む機器

ディーゼル発電機機関の吸気系統は，吸気フィルタを介して吸気している。

吸気フィルタ（粒径 5μm 以上において約 56%捕獲）で粒径の大きいばい煙粒子は捕獲される。

吸気フィルタを通過したばい煙（数μm～10 数μm）が過給機，空気冷却器に侵入するが，それぞれの機器の間隙は，ばい煙に比べて十分大きく，閉塞に至ることはない。

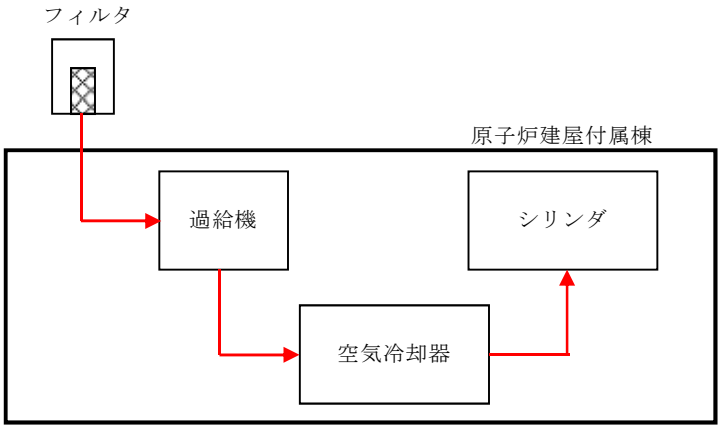
シリンダ／ピストン間隙まで到達したばい煙（数μm～10 数μm）は，当

該間隙内において摩擦発生が懸念されるが，ばい煙粒子の主成分は炭素であり，シリンダ／ピストンより軟らかいため，ばい煙粒子による摩擦が発生することはないと判断される。

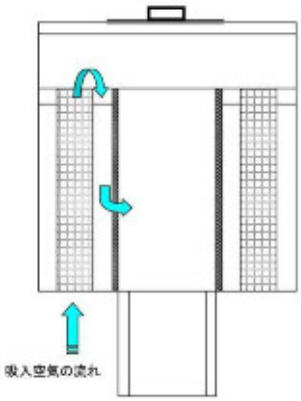
また，通常運転時はシリンダ内には燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生しているが，定期的な点検において，ばい煙によるシリンダへの不具合は認められない。

以上のことから，外部火災で発生するばい煙が，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む）の機能に影響を与えることはないと判断した。

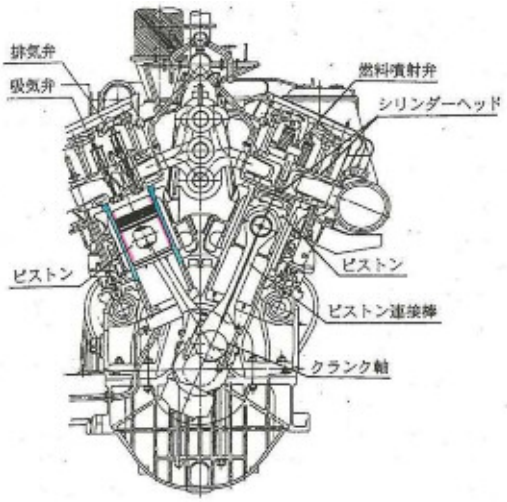
ディーゼル発電機吸気系統概略図を第 3.1-1 図に，ディーゼル発電機吸気系統構造図を第 3.1-2 図に示す。



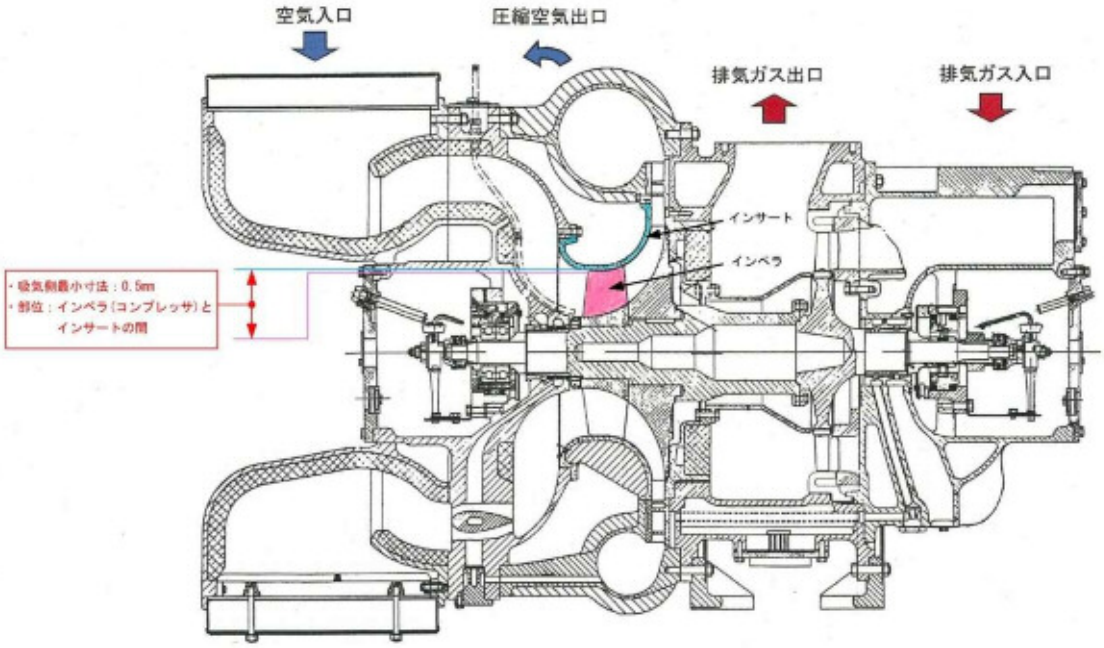
第 3.1-1 図　ディーゼル発電機吸気系統概略図



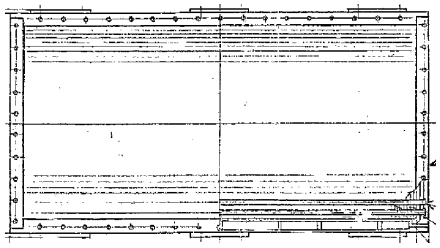
フィルタ構造



シリンダ構造
（シリンダ／ピストン間隙：数μm～数十μm）



過給機断面



空気冷却器構造
（狭隘部寸法 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　試験用紛体11種　粒径約2μm）の性能を有しているため，外部火災で発生する粒径が一定以上のばい煙は，このフィルタにより侵入を阻止可能である。また，ばい煙によるフィルタの閉塞については，フィルタ出入口差圧又は排気ファン出口流量を監視することで検知可能である。

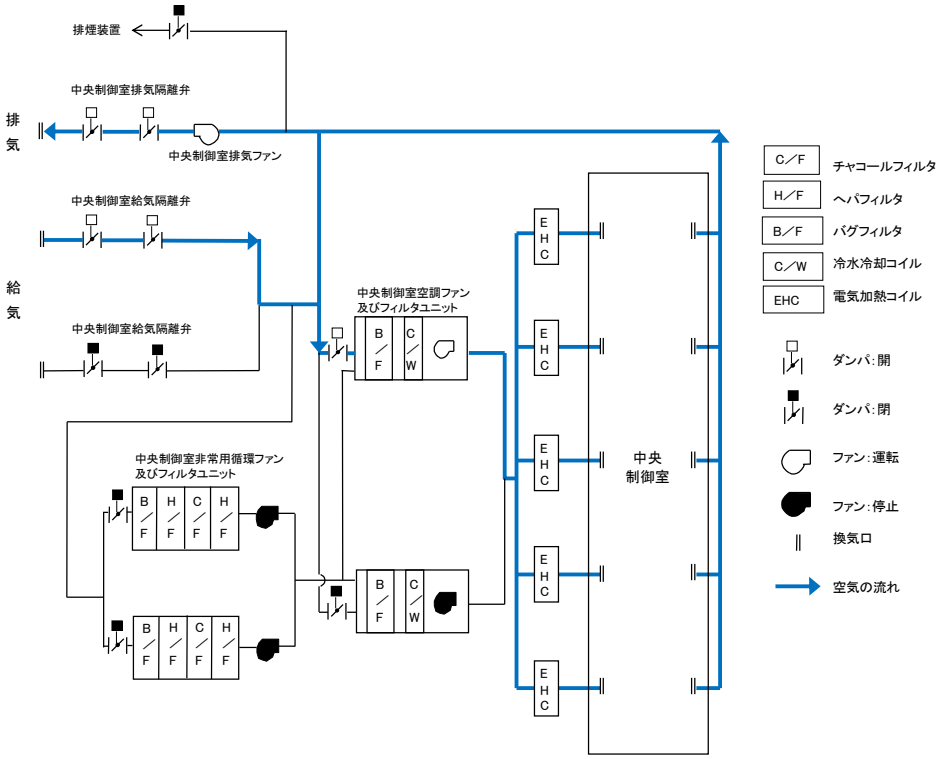
中央制御室換気系については，隔離弁を閉止し，再循環運転を行うことにより，ばい煙等の侵入を阻止可能である。

なお，中央制御室に侵入する可能性のあるばい煙の粒径は，ほぼ 2μm以下の細かな粒子であると推定される。

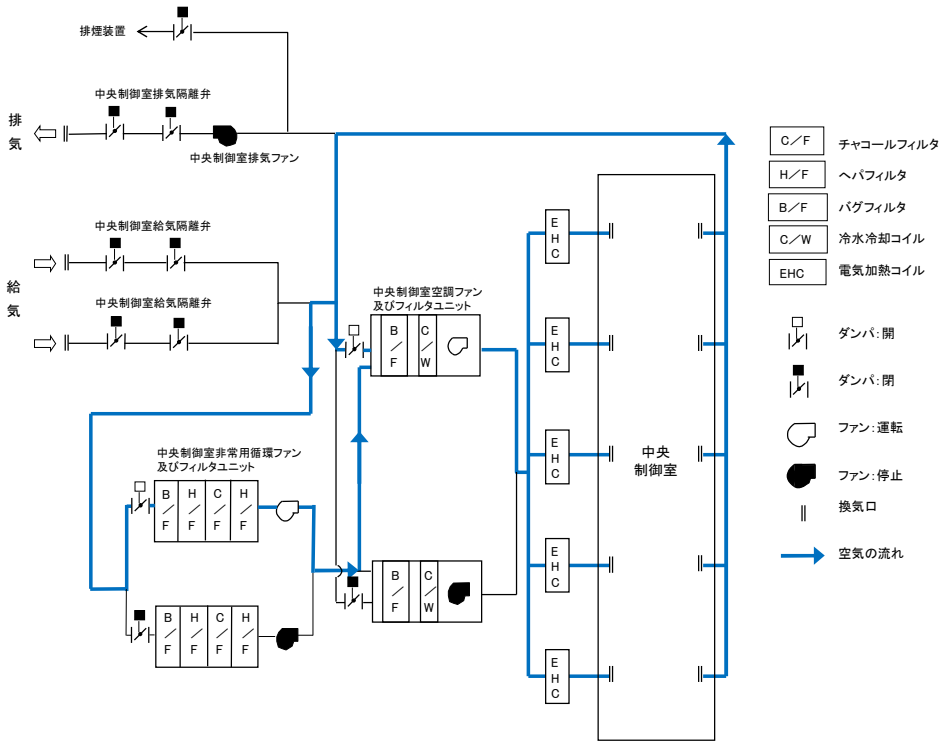
計測制御設備（安全保護系）において，数 μm程度の線間距離となるのは，集積回路（ＩＣなど）の内部であり，これら部品はモールド（樹脂）で保護されているため，ばい煙が侵入することはない。

したがって，万が一，細かな粒子のばい煙が盤内に侵入した場合でおいても，ばい煙の付着等により，直ちに短絡等を発生させる可能性はない。

中央制御室換気系の系統概略図を第3.2-1図に，原子炉建屋換気系の系統概略図を第3.2-2図に，電気室換気系の系統概略図を第3.2-3図に示す。

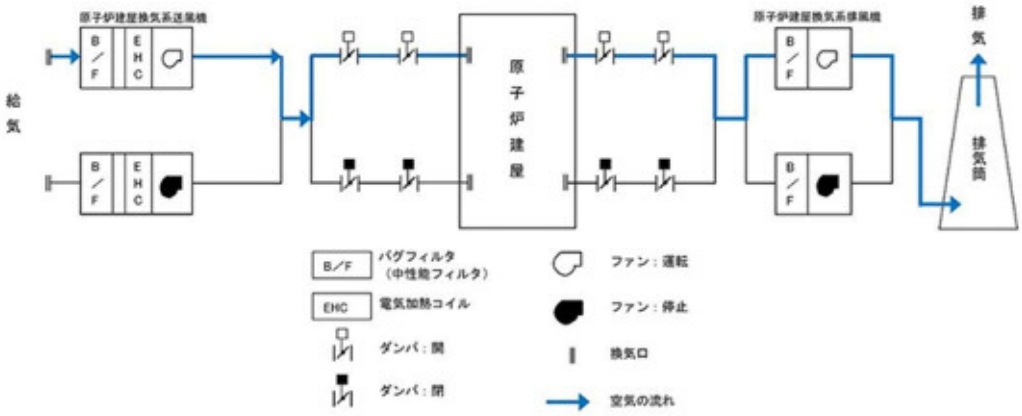


（通常時）

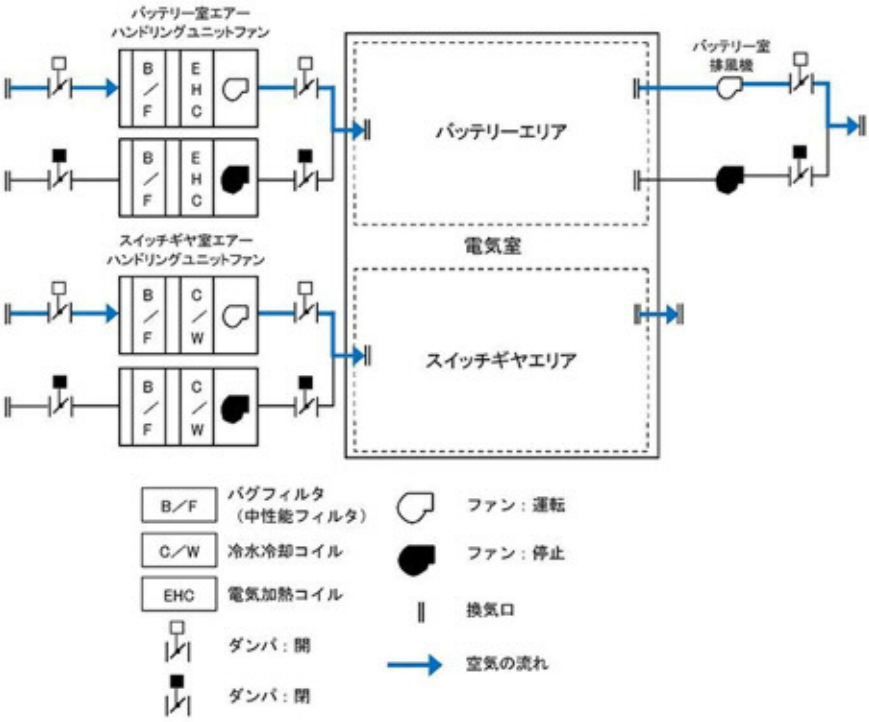


（再循環運転時）

第 3. 2-1 図　中央制御室換気系の系統概略図



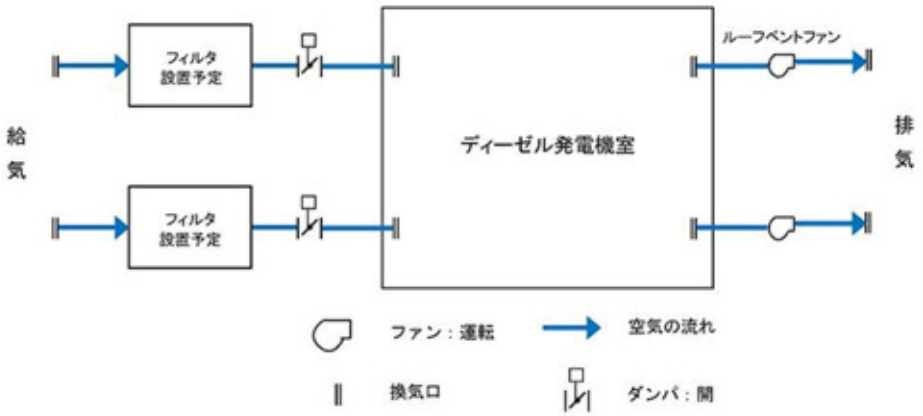
第 3.2-2 図　原子炉建屋換気系の系統概略図



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

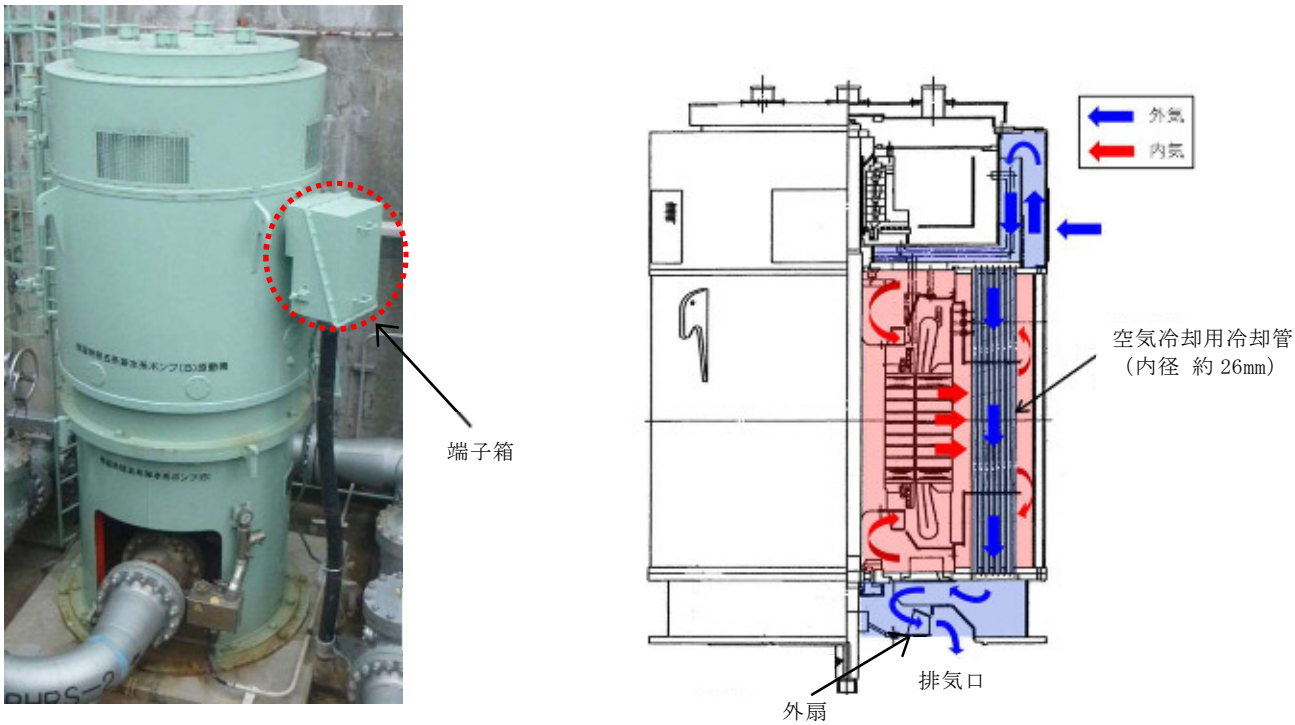
(1)　残留熱除去系海水系ポンプ電動機

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。

電動機端子箱は，端子箱内部と外部（大気）に圧力差がなく，端子箱蓋はパッキンでシールされているため，ばい煙の侵入による短絡は発生しない。

電動機の構造を第 3.3-1 図に示す。



第 3.3-1 図　残留熱除去系海水系ポンプ電動機 構造図

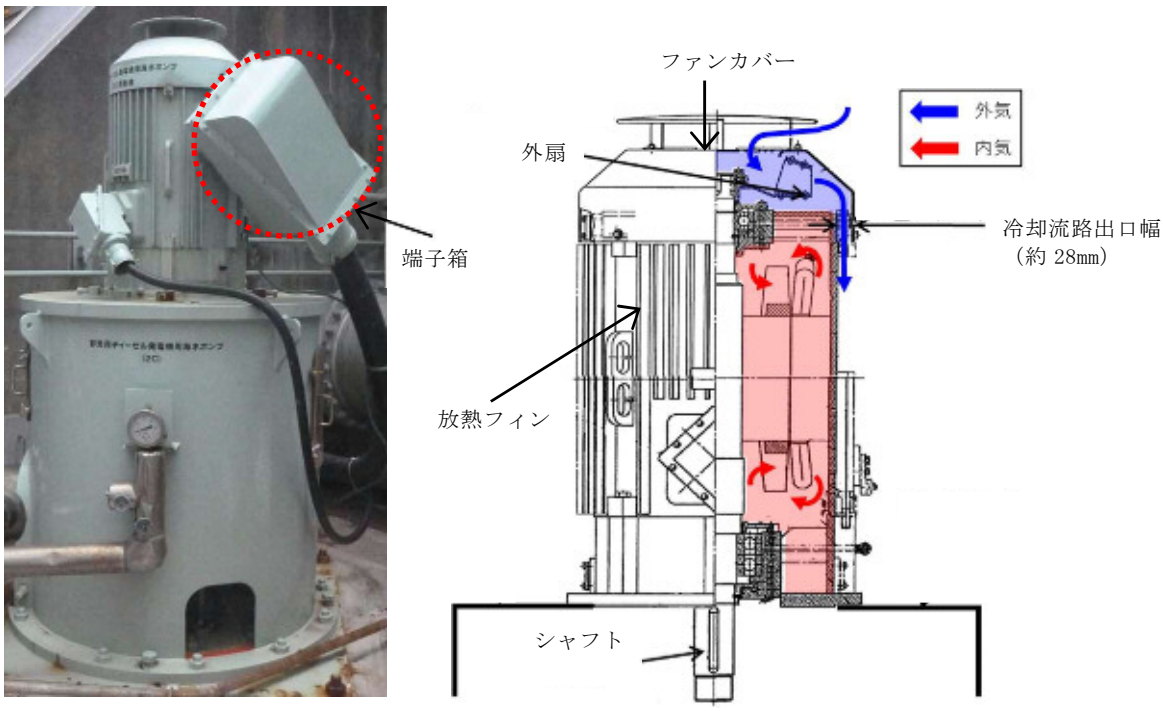
(2)　非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機は，外扇から吸引した外気をファンカバーから下向きに本体放熱フィンに沿って流し，電動機本体を冷却する構造であり，外気が電動機内部に侵入することはない。

また，冷却流路出口幅は約 28mm であり，ばい煙の粒径はこれに比べて十分小さいことから，閉塞することはない。

電動機端子箱は，端子箱内部と外部（大気）に圧力差がなく，端子箱蓋はパッキンでシールされているため，ばい煙の侵入による短絡は発生しない。

電動機の構造を第 3.3-2 図に示す。



第 3.3-2 図　ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機 構造図

3.4　中央制御室の居住性評価

「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」第38条第13項に規定する「原子炉制御室外の火災等により発生した有毒ガスに対する換気設備の隔離その他の適切な防護措置」として，中央制御室換気系は外気の取入れを遮断することができる。

中央制御室換気系の外気取入を遮断することで，運転員の作業環境に影響を及ぼさないことを確認するため，酸素濃度及び炭酸ガス濃度について評価した。

また，発電所敷地内で多量の油を内蔵する施設及び中央制御室給気口までの距離が近い設備（主要変圧器）からの火災を想定し，中央制御室内に侵入する有毒物質（CO，CO_2，SO_2，NO_2）の最大濃度を判断基準であるImmediately Dangerous to Life of Health※（以下「ＩＤＬＨ」という。）と比較することで，有毒ガスに対する評価を実施し，中央制御室の運転員に影響を及ぼさないことを評価した。

※：30分曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値であり，脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている。

(1)　酸素濃度

中央制御室換気系再循環運転時の中央制御室内の酸素濃度について評価した。

ａ．評価条件

・在室人員11人(運転員7人に余裕を持たせた人数)

・中央制御室バウンダリ内体積2,700m^3

・初期酸素濃度20.95%※1

・評価結果が保守的になるよう空気流入は無いものとして評価する。

・1人あたりの呼吸量は事故時の運転操作を想定し，歩行時の呼吸量※1

を適用して，24L／min とする。

・1 人あたりの酸素消費量は，成人吸気酸素濃度※1（20.95%），成人呼気酸素濃度※2（16.40%）から 1.092L／min とする。

・許容酸素濃度　19.0%以上※3

※1：空気調和・衛生工学便覧　第 14 版　3 空気調和設備編
※2：呼気には肺胞から蒸発した水蒸気が加わっており，吸気と等容積ではないため，酸素消費量を計算するには，乾燥空気換算（%）を使用する。
※3：鉱山保安法施行規則

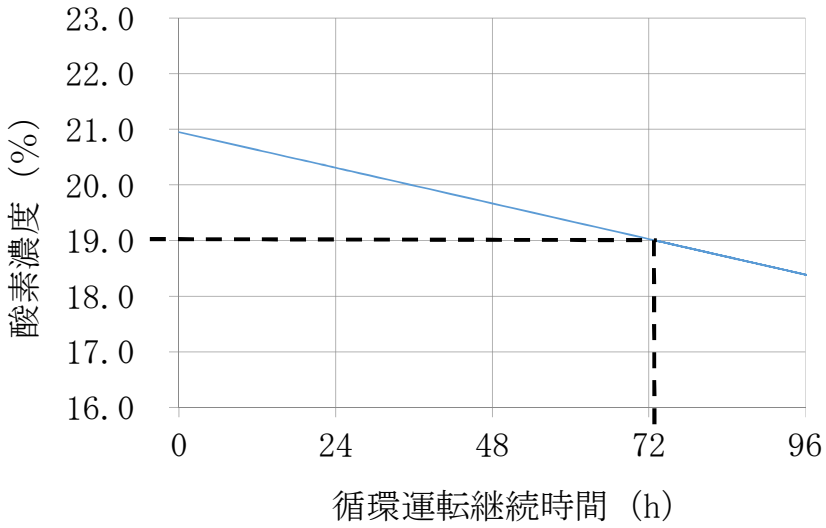
b．評価結果

評価条件から求めた酸素濃度は，第 3.4-1 表，第 3.4-1 図のとおりであり，外気取入を遮断しても約 73 時間まで中央制御室内に滞在可能である。

敷地内で発生する火災の最長燃焼継続時間（主要変圧器約 7 時間）に対して，余裕があり運転員の作業環境に影響を及ぼすことはない。

第 3.4-1 表　中央制御室換気系再循環運転時の酸素濃度

時間	12 時間	24 時間	48 時間	73 時間
酸素濃度	20.6%	20.3%	19.6%	19.0%



第 3.4-1 図　中央制御室換気系再循環運転時の酸素濃度

(2)　炭酸ガス濃度

中央制御室再循環運転時の中央制御室内の炭酸ガス濃度について評価した。

a．評価条件

・在室人員 11 人(運転員 7 人に余裕を持たせた人数)

・中央制御室バウンダリ内体積 2,700m^3

・初期炭酸ガス濃度 0.03%

・評価結果が保守的になるよう空気流入は無いものとして評価する。

・1人あたりの炭酸ガス吐出量は，事故時の運転操作を想定し，中等作業での吐出量※1を適用して，0.046m^3／hrとする。

・許容炭酸ガス濃度　1.0%未満※2

※1：空気調和・衛生工学便覧　第14版　3空気調和設備編
※2：鉱山保安法施行規則

b．評価結果

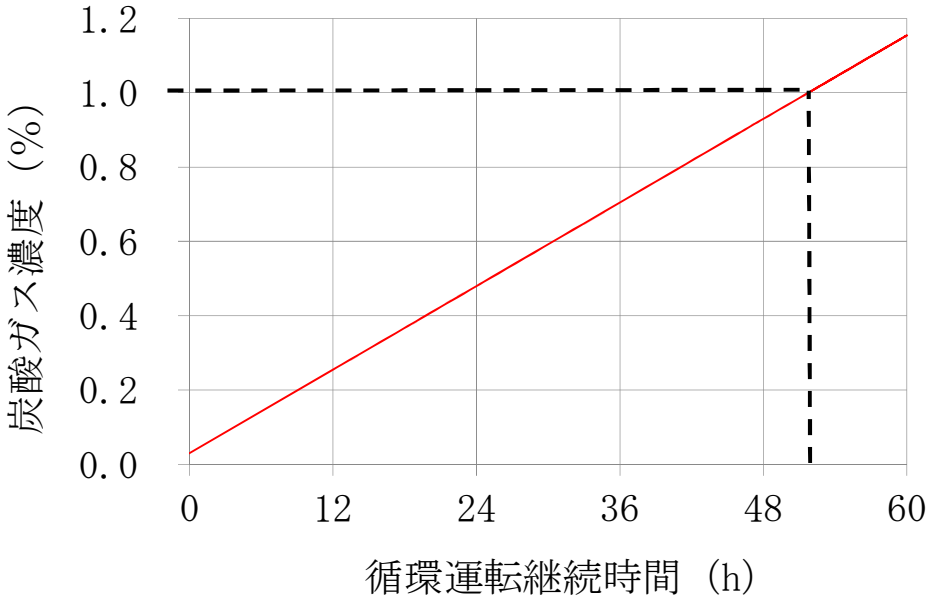
評価条件から求めた炭酸ガス濃度は，第 3.4-2 表，第 3.4-2 図のとお

りであり，外気取入を遮断しても約 51.7 時間まで中央制御室内に滞在可能である。

敷地内で発生する火災の最長燃焼継続時間（主要変圧器約 7 時間）に対して，余裕があり運転員の作業環境に影響を及ぼすことはない。

第 3.4-2 表　中央制御室換気系再循環運転時の炭酸ガス濃度

時間	12 時間	24 時間	48 時間	51.7 時間
炭酸ガス濃度	0.26%	0.48%	0.93%	1.00%



第 3.4-2 図　中央制御室換気系再循環運転時の炭酸ガス濃度

(3)　有毒ガス

中央制御室換気系給気口の風上で発生し，給気口を直接臨むことができる火災源を対象とし，中央制御室換気系給気口位置における有毒ガス濃度の評価を実施した。

ａ．評価手法

火災源から放出された有毒ガスは中央制御室換気系給気口に向う風によって，風下直線方向に拡散していくものとして，Briggs の排煙上昇過程式により求めた評価対象ガスの風速と，有風時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。

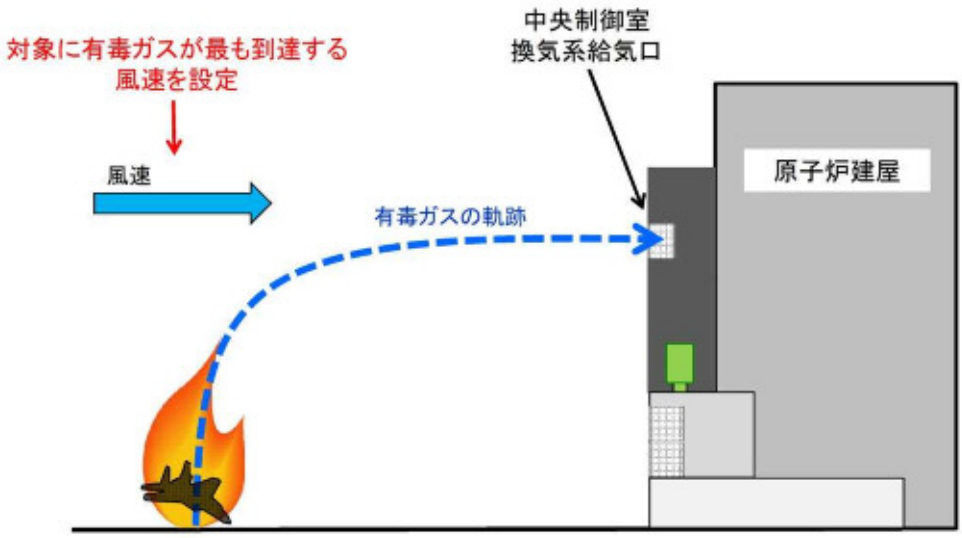
(有風時プルーム式)

$$C_{xyz}=\frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u}\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)\cdot\left(\exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\}+\exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\}\right) \quad (1)$$

(Briggsの排煙上昇過程式)

$$H_e=1.6F^{1/3}\cdot x^{2/3}\cdot u^{-1} \quad (2)$$

C_{xyz}　：濃度（ppm）
Q　：有毒ガス発生量（Nm^3／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（m^4／s^3）$=0.037Q_H$
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（m^2）
$\dot{m}$　：質量低下速度（kg／m^2／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　：排気プルーム軸からの距離(m)



第 3.4-3 図　中央制御室換気系給気口における有毒ガス濃度評価手法の概要

火災によって発生する有毒ガスの中央制御室換気系給気口位置での濃度を求め，判断基準であるＩＤＬＨ※1と比較評価を実施する。

※1：30 分の曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限界値であり，脱出を妨げる目や呼吸器官への刺激の予防も考慮されている。

評価手順は以下の通り。

(a)　火災源から発生する有毒ガス発生量Ｑ(Nm^3／s)を算出する。

(b)　式(2)を用いて，火災源の排煙上昇高度Ｈe が給気口中央の地表面からの高さと等しくなる風速ｕを求める。

(c)　式(1)を用いて，給気口における有毒ガス濃度を求める。なお，ｚ＝高低差，ｙ＝0 とする。

なお，Briggs の排煙上昇過程式の適用条件※2は，以下のとおりであり，火災源毎に下記条件を満たすことを確認した。このため，Briggs の排煙上昇過程式を用いて，排煙高さが給気口高さと同じになる風速を

求めることは妥当である。

※２：G.A.Briggs, ”Plume Rise”, U.S.Atomic Energy Commission, 1969

$x \leq x'$

$x' = 2.16F^{2/5} \cdot \Delta h^{2/5}$

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）（Δh＜305m）

ｂ．評価データ

(a)　評価対象となる給気口及び火災源との距離

評価対象となる給気口と火災源の水平方向の位置関係を第 3.4-4 図に，離隔距離及び鉛直方向距離を第 3.4-3 表に，高さ方向の位置関係を第 3.4-5 図に示す。

第 3.4-3 表　給気口と火災源との距離

評価対象	中央制御室換気系 給気口 B2-18A	中央制御室換気系 給気口 B2-19A
航空機(F-15)		

第 3.4-4 図　評価対象となる給気口と火災源との位置関係（水平方向）

第 3.4-5 図　評価対象となる給気口と火災源との位置関係（高さ方向）

航空機火災に対する離隔距離は，最も保守的な評価となる「自衛隊機又は米軍機基地－訓練空域間往復時（F-15）」の離隔距離を採用した。

また，中央制御室換気系給気口は 2 つあるが，評価は，火災源から

の距離が近く，高さが高い方が保守的となるため，B2-19A を対象に評価を実施した。

(b)　火災発生時の有毒ガス発生量

第 3.4-4 表に燃料の燃焼特性を示す。

燃料 1kg 当たりの有毒ガスの発生量は，各文献に掲載されている単位重量当たりのガス発生量より単位換算することにより求められる。ただし，単位重量当たりのガス発生量は幅をもった値ではないため，保守性の観点から航空機燃料のうち，JP-４より保守的となる JET A-１の値を設定する。

第 3.4-4 表　燃焼特性に関するデータ

油　種		JP-4	JET A-1
有毒ガス発生量※ (kg／kg)	CO_2	3.053	3.237
	CO	0.030	0.030
	SO_2	0.001	0.0011
	NO_2	0.005	0.006

※：有毒ガスの発生量は以下の文献より算出した。
CO_2：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)
SO_2：U.S.EPA AP-42,”Compilation of Air Pollutant Emission Factors Volume I:Stationary Point and Area Sources”
NO_2：SO_2と同

(c)　評価対象及び火災源に関するデータ

第 3.4-5 表に火災源に関するデータ，第 3.4-6 表に有毒ガス発生量に関するデータを示す。

第 3.4-5 表　火災源に関するデータ

想定 火災源	油種	燃焼面積 (m^2)	質量低下速度 (kg／m^2／s)	発熱量 (kcal／kg)	燃焼 消費速度 (kg／s)	排出熱量 (kcal／s)	排熱ﾌﾗｯｸｽ (m^4／s^3)
航空機 (F-15)	JP-4	44.6	0.051	10,300	2.27	23，300	862

第 3.4-6 表　有毒ガス発生量に関するデータ

想定火災源	ガス発生量(Nm^3／s)			
	CO_2	CO	SO_2	NO_2
航空機 (F-15)	3.741	0.055	0.001	0.007

(d)　拡散パラメータ

式(2)より，各火災による排煙上昇高度が敷地からの給気口高さと等しくなるものとして風速を算出した。算出結果を第 3.4-7 表に示す。

第 3.4-7 表　算出結果

評価対象		風速(m／s)
中央制御室 給気口 B2-19A	航空機(F-15)	5.9

また，算出した風速と第 3.4-8 表に示す大気安定度分類表より，保守性を考慮して大気拡散の弱い安定度Ｄの式を採用し，第 3.4-9 表を用いて拡散パラメータを算出した。

算出した拡散パラメータは風による拡散しか考慮されていないため，想定する火災の熱気による鉛直方向への浮力拡散を考慮することとし，第 3.4-10 表に示すガウスプルームモデルにおける大気拡散パラメータより $\Delta He^2/10$ を加えた値を採用した。

第 3.4-8 表　大気安定度分類表※

風速(U) m／s	日射量(T) kw／m²				放射収支量(Q) kw／m²		
	T＞0.60	0.60＞T ≧0.30	0.30＞T ≧0.15	0.15＞T	Q≧ 0.020	－0.020＞ Q≧0.040	－0.040 ＞Q
U＜2	A	A－B	B	D	D	G	G
2≦U＜3	A－B	B	C	D	D	E	F
3≦U＜4	B	B－C	C	D	D	D	E
4≦U＜6	C	C－D	D	D	D	D	D
6≦U	C	D	D	D	D	D	D

※：発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針

第 3.4-9 表　拡散パラメータ　Pasquill-Gifford 図の近似関係※

$$\sigma_y(x)=\gamma_y \cdot x^{\alpha_y}$$

安定度	σ_y	γ_y	風下距離(x)
A	0.901	0.426	0～1，000
	0.851	0.602	1，000～
B	0.914	0.282	0～1，000
	0.865	0.396	1，000～
C	0.924	0.1772	0～1，000
	0.885	0.232	1，000～
D	0.929	0.1107	0～1，000
	0.889	0.1467	1，000～
E	0.921	0.0864	0～1，000
	0.897	0.1019	1，000～
F	0.929	0.0554	0～1，000
	0.889	0.0733	1，000～
G	0.921	0.0380	0～1，000
	0.896	0.0452	1，000～

$$\sigma_z(x)=\gamma_z \cdot x^{\alpha_z}$$

安定度	σ_y	γ_y	風下距離(x)
A	1.122	0.0800	0～　300
	1.514	0.00855	300～　500
	2.109	0.000212	500～
B	0.964	0.1272	0～　500
	1.094	0.0570	500～
C	0.918	0.1068	0～
D	0.826	0.1046	0～ 1，000
	0.632	0.400	1，000～10，000
	0.555	0.811	10，000～
E	0.788	0.0928	0～ 1，000
	0.565	0.433	1，000～10，000
	0.415	1.732	10，000～
F	0.784	0.0621	0～ 1，000
	0.526	0.370	1，000～10，000
	0.323	2.41	10，000～
G	0.794	0.0373	0～ 1，000
	0.637	0.1105	1，000～ 2，000
	0.431	0.529	2，000～10，000
	0.222	3.62	10，000～

※：窒素酸化物総量規制マニュアル

第 3.4-10 表　拡散パラメータ σz※

TABLE 2. SUMMARY OF RECOMMENDATIONS FOR INTERIM CHANGES IN THE WORKBOOK VALUES OF THE DISPERSION PARAMETERS σ_y AND σ_z

For crosswind spread σ_y, irrespective of the terrain roughness, release height and sampling duration up to up to about 1 hour, use the formula*

$$\sigma_y/x = \sigma_\theta f(x),\ \sigma_\theta \text{ in radians}$$

with σ_θ† the best available estimate of the standard deviation of the wind direction fluctuation for the sampling time of interest and for the height at which $\bar{u}$ is specified, and with values of f(x) as follows:

x(km)	0.1	0.2	0.4	1	2	4	10	>10
f(x)	0.8	0.7	0.65	0.6	0.5	0.4	0.33	$0.33(10/x)^{1/2}$

For $x \geq 20$ km add to the square of the σ_y as obtained above the quantity $0.03\Delta\theta^2 x^2$ and take the square root to give the total σ_y, with $\Delta\theta$ the total change of mean wind direction over the depth of the plume.

For vertical spread σ_z, for any sampling time for a surface release, and say >10 min for an elevated release (see Section 2), use the existing Workbook curves with adjustment or constraint as follows:

(a) 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)

(b) To allow for 'urban heating' adopt a stability category one-half category more unstable than that prescribed in the normal way in the Workbook

(c) 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 (4).

(d) 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。

第3.4-11表　評価結果

評価対象	想定発火源	[redacted]	風速 (m／s]	拡散パラメータ(m)	
				σ_y	σ_z
中央制御室 換気系給気口 B2-19A	航空機火災 (F-15)		5.9	1.956	1.344

評価対象	想定発火源	ガス濃度（ppm）			
		CO_2	CO	SO_2	NO_2
中央制御室 換気系給気口 B2-19A	航空機火災 (F-15)	7,883	116	3	15
判断基準：ＩＤＬＨ※		40，000	1，200	100	20

※：30分曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値

以上の結果から，全ての評価に対しＩＤＬＨ以下であり，中央制御室の居住性が損なわれることはないと評価できる。

また，中央制御室に有毒ガスが流入してくる場合は，中央制御室の外気取り入れを遮断し，再循環させる非常時モードで運転を行うことが可能であり，この非常時モードへの切換は火災発生後10分程度※で実施可能であることを実測により確認している。

※：火報発生→現場確認→火災発生（有毒ガスの流入）を確認→非常時モードへ切替操作

(4)　森林火災時における防火帯外に位置する放射性物質保管施設の東海第二発電所への影響

ａ．概要

防火帯外の防火帯近傍に放射性物質の保管施設※がある（第 3.4-6 図参照）。森林火災時におけるこれら保管施設からの東海第二発電所への影響を評価した。

ｂ．放射性物質の保管状態と発電所への影響

防火帯外の防火帯近傍には当社が管理する施設として，旧レーザー濃縮技術研究組合東海濃縮実験所の固体廃棄物貯蔵庫（当社が保管業務を受託中。以下「固体廃棄物貯蔵庫（レーザー）」という。）及び東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所の廃棄物埋設施設（事業許可申請中。以下「Ｌ３事業所」という。）がある。その他の施設としては，日本原子力研究開発機構（以下「機構」という。）の使用済燃料貯蔵施設（北地区），第２保管廃棄施設及び廃棄物埋設施設がある。森林火災時において，以下のとおり，これら施設が影響を受け，保管物質等が流出する可能性は低い。

①固体廃棄物貯蔵庫（レーザー）は，コンクリート構造であり延焼しにくく，保管物質である未照射の劣化ウラン，天然ウラン及び濃縮ウランはドラム管で保管されているため，森林火災の影響を受け保管物質が流出する可能性は低い。

②Ｌ３事業所については，放射能レベルの極めて低いＬ３廃棄物が 2m 以上の覆土により埋設されるため，森林火災の影響を受け埋設物が流出することはない。

③使用済燃料貯蔵施設（北地区）については，コンクリート構造であり

延焼しにくく，保管物質である天然ウラン燃料は鉄箱で地下ピット保管されているため，森林火災の影響を受け保管物質が流出する可能性は低い。

④第２保管廃棄施設（廃棄物保管棟Ⅰ，廃棄物保管棟Ⅱ，保管廃棄施設ＮＬ）については，コンクリート構造であり延焼しにくく，保管物質である低レベル放射性廃棄物はドラム管で保管されているため，森林火災の影響を受け保管物質が流出する可能性は低い。

⑤廃棄物埋設施設については，低レベル放射性廃棄物が 2m 以上の覆土により埋設されるため，森林火災の影響を受け埋設物が流出することはない。

上記のとおり，施設の構造及び状態を踏まえると，②及び⑤の埋設物は流出することはなく，①，③及び④の保管物質が流出する可能性は低いが，仮に流出したとしても，中央制御室の外気取り入れを遮断し再循環運転を行うことで，中央制御室の居住性を確保可能である。また，予防散水対応については，線量を確認しつつ実施する。

第 3.4-6 図　東海第二発電所に影響を与える可能性のある保管施設

3.5　緊急時対策所の居住性評価

外部火災時の緊急時対策所の居住性の評価として，外気取入れ遮断時の緊急時対策所内に滞在する緊急時対策要員の作業環境の劣化防止のため，酸素濃度及び炭酸ガス濃度について評価を行った。

緊急時対策所の位置を第 3.5-1 図に示す。

第 3.5-1 図　緊急時対策所の位置

(1)　酸素濃度

外気遮断時の緊急時対策所内の酸素濃度について評価した。

a．評価条件

・在室人員 100 人（緊急時対策本部に収容する最大の対策要員数）

・加圧エリア内空気量 2,900m^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，24L／minとする。

・1 人あたりの酸素消費量は，成人吸気酸素濃度※1（20.95%），成人呼気酸素濃度※2（16.40%）から 1.092L／minとする。

・許容酸素濃度　19.0%以上※3

※1：空気調和・衛生工学便覧　第 14 版　3 空気調和設備編
※2：呼気には肺胞から蒸発した水蒸気が加わっており，吸気と等容積ではない

ため，酸素消費量を計算するには，乾燥空気換算（%）を使用する。
※３：鉱山保安法施行規則

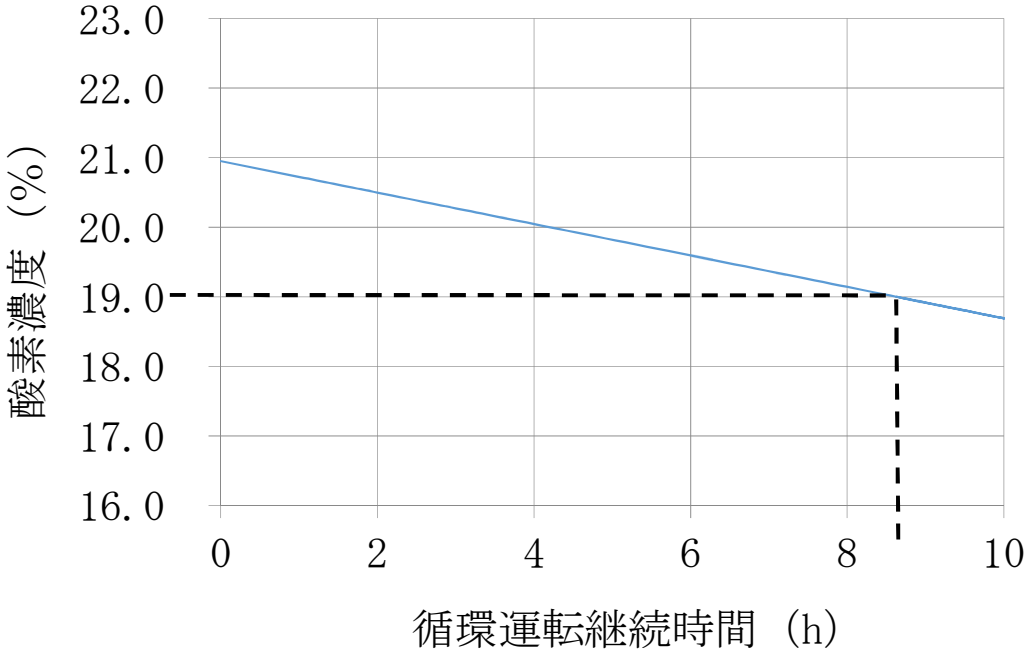
ｂ．評価結果

評価条件から求めた酸素濃度は，第 3.5-1 表，第 3.5-2 図のとおりであり，外気取入を遮断しても約 8.6 時間まで緊急時対策所内に滞在可能である。

緊急時対策所周囲で発生する火災として想定される航空機墜落火災のうち，最も長い燃焼継続時間である B747-400 の約 1.9 時間に対して余裕があり，運転員の作業環境に影響を及ぼすことはない。

第 3.5-1 表　外気遮断時の酸素濃度

時間	2 時間	4 時間	6 時間	8.6 時間
酸素濃度	20.4%	20.0%	19.5%	19.0%



第 3.5-2 図　在室人員数に対する居住性に影響を及ぼさない時間（酸素）

(2)　炭酸ガス濃度

外気遮断時の緊急時対策所内の炭酸ガス濃度について評価した。

a．評価条件

・在室人員 100 人（緊急時対策本部に収容する最大の対策要員数）

・加圧エリア内空気量 2,900m^3

・初期炭酸ガス濃度 0.03％

・評価結果が保守的になるよう空気流入は無いものとして評価する。

・1 人あたりの炭酸ガス吐出量は，事故時の運転操作を想定し，中等作業での吐出量※1 を適用して，0.046m^3／h とする。

・許容炭酸ガス濃度　1.0％未満※2

※1：空気調和・衛生工学便覧　第 14 版　3 空気調和設備編
※2：鉱山保安法施行規則

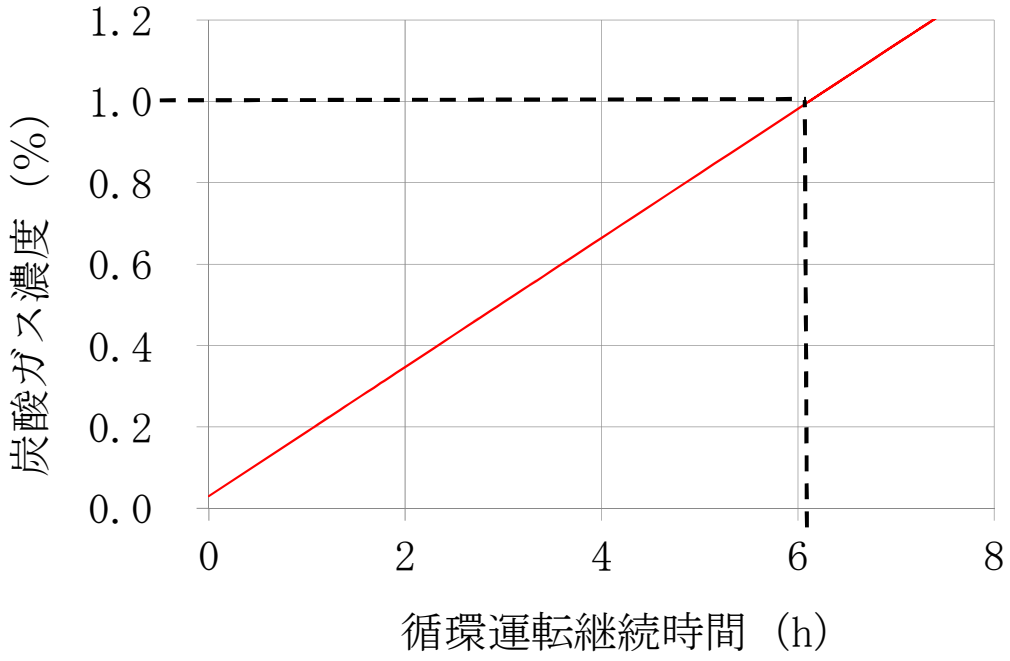
b．評価結果

評価条件から求めた炭酸ガス濃度は，第 3.5-2 表，第 3.5-3 図のとおりであり，外気取入を遮断しても約 6.1 時間まで緊急時対策所内に滞在可能である。

緊急時対策所周囲で発生する火災として想定される航空機墜落火災のうち，最も長い燃焼継続時間である B747-400 の約 1.9 時間に対して余裕があり，運転員の作業環境に影響を及ぼすことはない。

第 3.5-2 表　外気遮断時の炭酸ガス濃度

時間	1 時間	2 時間	4 時間	6.1 時間
炭酸ガス濃度	0.19％	0.35％	0.67％	1.00％



第 3.5-3 図　在室人員数に対する居住性に影響を及ぼさない時間（炭酸ガス）

東海第二発電所

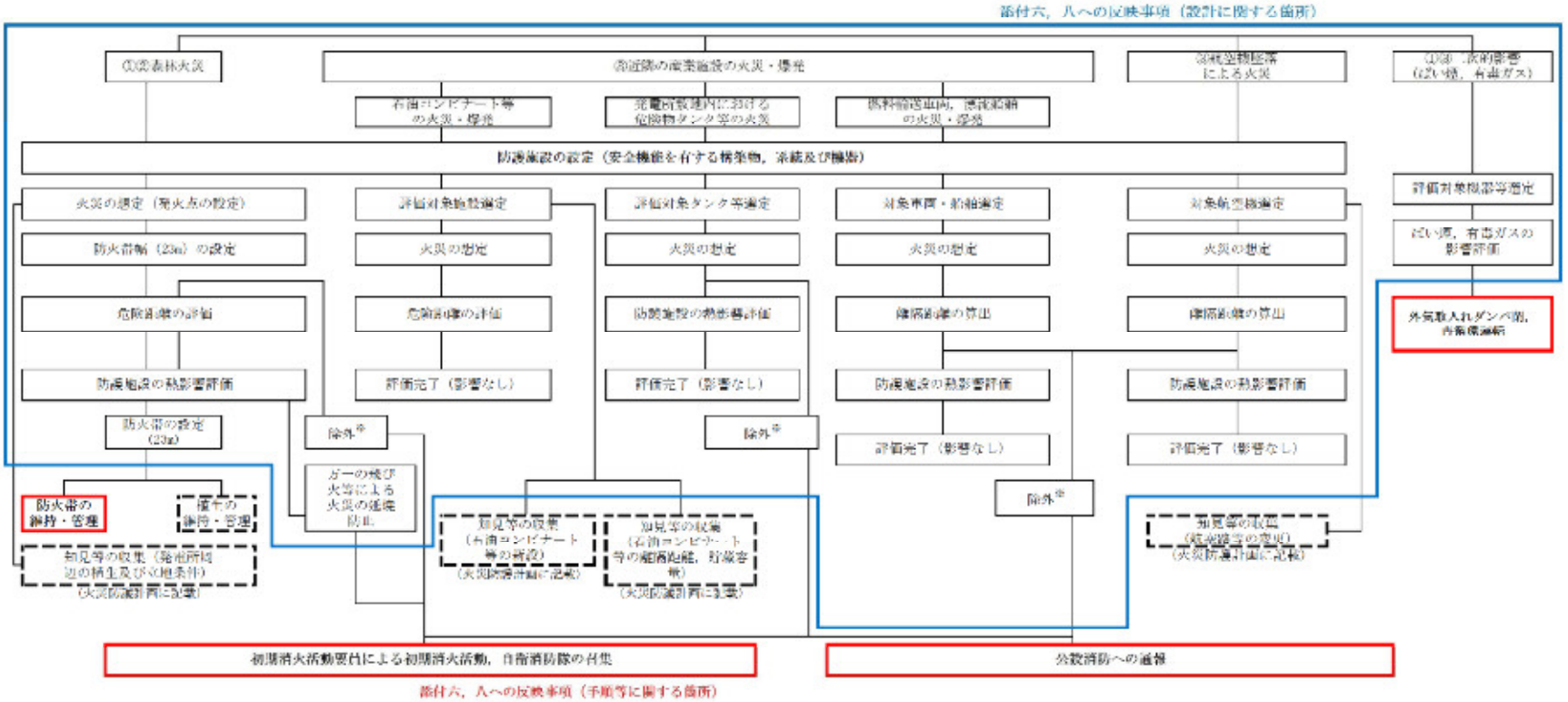
運用，手順説明資料

外部からの衝撃による損傷の防止

（外部火災）

（第６条　外部火災）

① 安全施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項についても同じ）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。
② 重要安全施設は，当該重要安全施設に大きな影響を及ぼす恐れがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。
③ 安全施設は，工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為的によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。



※：クラス3設備のうち，屋内に設置している設備は建屋により防護し，屋外機器については，消火活動により防護しているため，個別の影響評価を行わない

設計基準に係る運用対策等　（1／2）

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第六条　外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）	防火帯の維持・管理	運用・手順	・防火帯上への駐車禁止等の措置，防火帯のパトロール
		体制	・担当Ｇｒによる防火帯の維持・管理
		保守・点検	・防火帯の維持・管理
		教育・訓練	・火災防護に関する教育（防火帯の目的，点検・維持）
	植生の維持・管理	運用・手順	・発電所敷地内外のパトロール，植生の維持・管理
		体制	・担当Ｇｒによる植生の維持・管理
		保守・点検	・解析で想定した植生の維持・管理
		教育・訓練	・火災防護に関する教育（植生の維持・管理の目的，点検・維持）
	知見の収集（発電所周辺の植生及び立地条件）	運用・手順	・外部火災影響評価ガイドに伴い，外部火災影響評価を行う。
		体制	・担当Ｇｒによる外部火災影響評価
		保守・点検	－
		教育・訓練	・火災防護に関する教育
	知見の収集（石油コンビナート等の新設，離隔距離，貯蔵容量）	運用・手順	・外部火災影響評価ガイドに伴い，外部火災影響評価を行う。
		体制	・担当Ｇｒによる外部火災影響評価
		保守・点検	－
		教育・訓練	・火災防護に関する教育
	知見の収集（航空路等の変更）	運用・手順	・外部火災影響評価ガイドに伴い，外部火災影響評価を行う。
		体制	・担当Ｇｒによる外部火災影響評価
		保守・点検	－
		教育・訓練	・火災防護に関する教育

設計基準に係る運用対策等　（2／2）

※：自衛消防隊の体制については，添付書類2「第4.1-2表」に記載

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第六条　外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）	初期消火活動要員による初期消火活動	運用・手順	・火災発生現場の確認，中央制御室への連絡 ・消火器，消火栓を用いた消火活動及び化学消防自動車，水槽付消防自動車を用いた消火活動
		体制	・自衛消防隊※
		保守・点検	・化学消防自動車及び水槽付消防ポンプ自動車の点検 ・消火設備（消火器，消火栓等）の点検 ・消防用資機材（防火服，空気呼吸器等）の点検 ・故障時の補修
		教育・訓練	・初期消火対応要員の力量を維持するための教育，訓練 ・自衛消防隊に対する消火訓練，資機材取扱訓練 ・外部機関（海上災害防止センター等）での消火訓練　等
	自衛消防隊への連絡	運用・手順	・通報連絡責任者による自衛消防隊への連絡
		体制	・自衛消防隊への連絡
		保守・点検	・通報設備の点検
		教育・訓練	・火災防護に関する教育 ・消防要員等による総合的な初期消火訓練
	公的消防への通報	運用・手順	・通報連絡責任者による公的消防への通報
		体制	・自衛消防隊
		保守・点検	・通報設備の点検
		教育・訓練	・火災防護に関する教育（公的消防への通報）
	外気取入ダンパ閉，再循環運転	運用・手順	・外気取入れダンパ閉，再循環運転の手順
		体制	・運転員による運転操作
		保守・点検	・換気空調設備の点検
		教育・訓練	・操作手順の教育（運転員による外部火災発生時の外気取入れダンパ閉，再循環運転） ・補修に関する教育・訓練（換気空調設備）

東海第二発電所

森林火災評価に係る植生確認プロセスについて

1. 植生確認プロセスについて

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下「評価ガイド」という。）において，発電所周囲で発生する森林火災を想定した発電所に与える影響について評価することが要求されている。

当該評価は，評価ガイドにおいて推奨されている，森林火災シミュレーション解析コードＦＡＲＳＩＴＥ（以下「ＦＡＲＳＩＴＥ」という。）を用いて行う。

ＦＡＲＳＩＴＥの主なインプットデータのうち，樹種，林齢等の植生データについては，影響評価範囲内の森林簿による植生確認及びウォークダウンによる植生確認結果を反映する。以降に植生確認のプロセスを示す。

2. 植生確認の内容

(1) 森林簿による植生確認

東海第二発電所の立地自治体である茨城県から交付を受けた森林簿により，影響評価範囲の植生確認を行う。

(2) 発電所周囲のウォークダウンによる植生確認

植生確認に適した資格・経験年数を有する調査者が発電所周辺のウォークダウンを行い以下の植生確認を行う。

・森林簿データを基にした発電所周辺植生の妥当性確認

・森林簿データの範囲外となる草等の植生確認

3. 植生データの作成と記録の取扱い

3.1 植生データの作成

(1) 森林簿のデータを，国土数値情報土地利用細分メッシュを 100m メッシュから 10m メッシュに変換したデータにオーバーレイする。

(2) (1)で作成したデータに発電所周囲の植生データとして，現場の植生確認結果のデータをオーバーレイする。

3.2 記録の取扱い

森林簿データ，現場確認結果及びＦＡＲＳＩＴＥに入力した植生データを記録として保管する。

4. 定期的な植生の管理

・植生の妥当性判断に資格・経験年数が必要となる樹木については，定期的に資格・経験年数を有する調査員による植生確認を行い，発電所周辺の植生とＦＡＲＳＩＴＥに入力した植生データに相違がないことを確認する。

・生育状況のみで判断が可能な草等の植生は，定期的に植生確認を行い，発電所周辺の

植生とＦＡＲＳＩＴＥに入力した植生データに相違がないことを確認する。また，必要に応じ草刈り等を行い植生の維持管理を行う。

・植生の変更が森林火災評価へ与える影響に応じて再評価の必要性を検討する。

以上

東海第二発電所

外部からの衝撃による損傷の防止

（火山）

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（手順等含む）

(1)　位置，構造及び設備

(2)　安全設計方針

(3)　適合性説明

2.　外部からの衝撃による損傷の防止（火山）

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。

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

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。（第 1.1－1 表）

第 1.1－1 表　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。	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。 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。	追加要求事項

2

1.2　追加要求事項に対する適合性（手順等含む）

(1)　位置，構造及び設備

ロ　発電用原子炉施設の一般構造

(3)　その他の主要な構造

ａ．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。）又はその組合せに遭遇した場合において，自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件において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，洪水及び地滑りについては，立地的要因により設計上考慮する必要はない。

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変化を考慮して適切に組み合わせる。

また，安全施設は，発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（航空機落下），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により発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお，発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち，飛来物（航空機落下）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。

自然現象及び発電所敷地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の組合せについては，地震，津波，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，森林火災等を考慮する。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を特定し，その組合せの影響に対しても安全機能を損なわない設計とする。

ここで，想定される自然現象及び発電所敷地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-7) 火山

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 50cm，粒径 8.0mm 以下，密度 0.3g／cm^3（乾燥状態）～1.5g／cm^3（湿潤状態）の降下火砕物に対し，以下のような設計とすることにより降下火砕物による直接的影響に対して機能維持するこ

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。

・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，電気系及び計装制御系に対する機械的影響（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並びに換気系，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）並びに換気系，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換気系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バグフィルタの取替え若しくは清掃又は換気空調設備の停止若しく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。

さらに，降下火砕物による間接的影響である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，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ることにより安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１：(3.2：1-6)】

(2)　安全設計方針

1.7.7　火山防護に関する基本方針

1.7.7.1　設計方針

(1)　火山事象に対する施設の基本方針

安全施設は，火山事象に対して，発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能（以下「安全機能」という。）を損なわない設計とする。このため，「添付書類六　7 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，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。

降下火砕物によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に属する構築物，系統及び機器とする。

降下火砕物によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち，外部事象防護対象施設は，建屋による防護又は構造健全性の維持により安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１：(3.2：1-6)】

(2)　降下火砕物の設計条件

ａ．設計条件の検討・設定

発電所の敷地において考慮する火山事象は，「添付書類六　7 火山」に示すとおり降下火砕物のみである。

降下火砕物の層厚は，降下火砕物の分布状況，シミュレーション及び分布事例による検討結果から総合的に判断し，保守的に 50cm と設定する。なお，鉛直荷重については，湿潤状態の降下火砕物に，建築基準法

の考え方に基づいた東海村における平均的な積雪量を踏まえて設定する。

粒径及び密度については，文献調査及び地質調査の結果を踏まえ，粒径 8.0mm 以下，密度 0.3g／cm^3（乾燥状態）～1.5g／cm^3（湿潤状態）と設定する。

【別添資料１：(3.1：1-5)】

(3)　評価対象施設等の抽出

外部事象防護対象施設のうち，屋内設備は外殻となる建屋により防護する設計とし，評価対象施設を，建屋，屋外に設置されている施設，降下火砕物を含む海水の流路となる施設，降下火砕物を含む空気の流路となる施設，外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設に分類し抽出する。また，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も評価を行う。評価対象施設及びその停止等により，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を評価対象施設等という。

また，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，降下火砕物により損傷した場合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

ａ．建屋

・原子炉建屋

・タービン建屋

・使用済燃料乾式貯蔵建屋

ｂ．屋外に設置されている施設

・海水ポンプ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系）

・海水ストレーナ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系）

・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含む。）吸気口

・中央制御室換気系冷凍機

・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含む。）室ルーフベントファン

・排気筒

・非常用ガス処理系排気配管

c．降下火砕物を含む海水の流路となる施設

・海水ポンプ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系）

・海水ストレーナ及び下流設備（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系）

d．降下火砕物を含む空気の流路となる施設

・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含む。）機関

・換気空調設備（外気取入口）のうち中央制御室換気系，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含む。）室換気系

・排気筒

・非常用ガス処理系排気配管

e．外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

・計装制御設備（安全保護系）

f．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

・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含む。）排気消音器及び排気管

・海水取水設備（除塵装置）

・換気空調設備（外気取入口）

上記により抽出した評価対象施設等を第 1.7.7－1 表に示す。

【別添資料１：(3.3：1-6～18)】

(4)　降下火砕物による影響の選定

降下火砕物の特徴及び降下火砕物の影響から防護する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。）とそれ以外の影響（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，鉱物結晶片から成る[(1)]。ただし，砂よりもろく硬度は低く[(2)]，主要な鉱物結晶片の硬度は砂同等又はそれ以下である[(3)][(4)]。

(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[(5)]。

(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℃であり，一般的な砂に比べ低い[(1)]。

【別添資料１：(3.4.1：1-19)】

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」及び建屋及び屋外設備に対し降灰時に衝撃を与える「粒子の衝突」である。

評価に当たっては以下の荷重の組合せを考慮する。

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を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。

また，評価対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じる屋外設備としては，海水ポンプ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系）が考えられるが，設計基準事故時においても，通常運転時の系統内圧力及び温度と変わらず，機械的荷重が変化することはないため，設計基準事故時荷重と降下火砕物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

降下火砕物と組合せを考慮すべき火山以外の自然現象は，荷重の影響において風（台風）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」及び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）」及び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及び降下火砕物の除去，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：(3.4.2：1-19～21)】

c．間接的影響

(a)　外部電源喪失及びアクセス制限

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」及び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：(3.4.3：1-21)】

(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，外気吸入及び海水通水の有無）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等が安全機能を損なわない以下の設計とする。

a．降下火砕物による荷重に対する設計

(a)　構造物への静的負荷

評価対象施設等のうち，構造物への静的負荷を考慮すべき施設は，降下火砕物が堆積する以下の施設である。

・建屋

原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

・屋外に設置されている施設

海水ポンプ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系），海水ストレーナ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系），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含む。）吸気口，中央制御室換気系冷凍機，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含む。）室ルーフベントファン

・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

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含む。）排気消音器及び排気管

当該施設の許容荷重が，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，構造健全性を失わず安全機能を損なわない設計とする。若しくは，降下火砕物が堆積しにくい又は直接堆積しない構造とすることで，安全機能を損なわない設計とする。

評価対象施設の建屋においては，建築基準法における一般地域の積雪の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，降下火砕物による荷重を短期に生じる荷重として扱う。また，降下火砕物による荷重と他の荷重を組合せた状態に対する許容限界は次のとおりとする。

・原子炉建屋

原子炉建屋に要求されている気密性及び遮蔽性並びに構造強度を

担保する屋根スラブは，建築基準法の短期許容応力度を許容限界とする。また，屋根スラブと共に建屋の構造強度を担保する主トラスは，終局耐力に対して妥当な安全余裕を有する許容限界とする。

・タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

屋根スラブの落下によって内包する安全重要度分類のクラス２に属する構築物，系統及び機器が損傷することを防止するため，屋根スラブは部材の終局耐力を許容限界とする。また，複数部材で構成されている主トラスの崩壊によって内包する安全重要度分類のクラス２に属する構築物，系統及び機器が損傷することを防止するため，主トラスは構造物全体として崩壊機構が形成されないことを許容限界とする。

建屋を除く評価対象施設等においては，許容応力を「原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ4601-1987（日本電気協会）」に準拠する。

【別添資料１：(3.6.1：1-22～24)】

(b)　粒子の衝突

評価対象施設等は，降下火砕物の衝突によって構造健全性が失われないことにより，安全機能を損なわない設計とする。

なお，粒子の衝突による影響については，「1.7.2　竜巻防護に関する基本方針」に包絡される。

【別添資料１：(3.6.2：1-24)】

ｂ．降下火砕物による荷重以外に対する設計

降下火砕物による荷重以外の影響は，構造物への化学的影響（腐食），水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食），電気系及

び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）等により安全機能を損なわない設計とする。

外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計については，「ｃ．外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計」に示す。

(a)　構造物への化学的影響（腐食）

評価対象施設等のうち，構造物への化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，降下火砕物の直接的な付着による影響が考えられる以下の施設である。

・建屋

原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

・屋外に設置されている施設

海水ポンプ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系），海水ストレーナ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系），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含む。）吸気口，中央制御室換気系冷凍機，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含む。）室ルーフベントファン，排気筒，非常用ガス処理系排気配管

・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

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含む。）排気消音器及び排気管

金属腐食研究の結果より，降下火砕物に含まれる腐食性ガスによって直ちに金属腐食を生じないが，外装の塗装等によって短期での腐食

により安全機能を損なわない設計とする。なお，降灰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：(3.6.2：1-24～25)】

(b)　水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食）

評価対象施設等のうち，水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，以下の施設である。

・降下火砕物を含む海水の流路となる施設

海水ポンプ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系），海水ストレーナ及び下流設備（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系）

・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

海水取水設備（除塵装置）

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，当該施設については，降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設けることにより，海水の流路となる施設が閉塞しない設計とする。

内部における摩耗については，主要な降下火砕物は砂と同等又は砂より硬度が低くもろいことから，摩耗による影響は小さい。また当該施設については，定期的な内部点検及び日常保守管理により，状況に応じて補修が可能であり，摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

化学的影響（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が，耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって，腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお，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：(3.6.2：1-25～26)】

(c)　電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）

評価対象施設等のうち，電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，以下の施設である。

・屋外に設置されている施設

海水ポンプモータ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系）

機械的影響（閉塞）については，海水ポンプモータ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）本体は外気と遮断された全閉構造，空気冷却器の冷却管内径及び冷却流路は降下火砕物粒径以上の幅を設ける構造とすることにより，機械的影響（閉塞）により安全機能を損なわない設計とする。

化学的影響（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が，耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって，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，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：(3.6.2：1-26～27)】

(d)　絶縁低下及び化学的影響（腐食）

評価対象施設等のうち，絶縁低下及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，以下の施設である。

・外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

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系にて空調管理されており，本換気空調系の外気取入口にはバグフィルタを設置していることから，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。

また，本換気空調系については，外気取入ダンパを閉止し再循環運転を行うことにより侵入を阻止することも可能である。

バグフィルタの設置により降下火砕物の侵入に対する高い防護性能を有すること，また外気取入ダンパの閉止による侵入防止が可能な設計とすることにより，降下火砕物の付着に伴う絶縁低下及び化学的影響（腐食）による影響を防止し，計装制御設備（安全保護系）の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１：(3.6.2：1-27～28)】

c．外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計

外気取入口からの降下火砕物の侵入に対して，以下のとおり安全機能を損なわない設計とする。

(a)　機械的影響（閉塞）

評価対象施設等のうち，外気取入口からの降下火砕物の侵入による

機械的影響（閉塞）を考慮すべき施設は，降下火砕物を含む空気の流路となる以下の施設である。

・降下火砕物を含む空気の流路となる施設

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含む。）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含む。）吸気口，換気空調設備（外気取入口），排気筒，非常用ガス処理系排気配管

各施設の構造上の対応として，ディーゼル発電機吸気口の外気取入口は開口部を下向きの構造とすることにより，降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。

排気筒は，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。非常用ガス処理系排気配管は，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，外気を取り入れる換気空調設備（外気取入口）及びディーゼル発電機吸気口にそれぞれ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にくい設計とし，さらに降下火砕物がフィルタに付着した場合でも取替又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。

ディーゼル発電機機関は，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。

【別添資料１：(3.6.3：1-28～29)】

(b)　機械的影響（摩耗）

評価対象施設等のうち，外気取入口からの降下火砕物の侵入による

機械的影響（摩耗）を考慮すべき施設は，以下の施設である。

・降下火砕物を含む空気の流路となる施設のうち摺動部を有する施設

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含む。）機関

主要な降下火砕物は砂と同等又は砂より硬度が低くもろいことから，摩耗の影響は小さい。

構造上の対応として，ディーゼル発電機吸気口の開口部を下向きとすることによりディーゼル発電機機関に降下火砕物が侵入しにくい構造とする。

また，仮にディーゼル発電機機関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。

外気を取り入れるディーゼル発電機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にくい設計とし，摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１：(3.6.3：1-29～30)】

(c)　化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち，外気取入口からの降下火砕物の侵入による化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，以下の施設である。

・降下火砕物を含む空気の流路となる施設

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含む。）機関，換気空調設備（外気取入口），排気筒，非常用ガス処理系排気管

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が，塗装の実施等によって，腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお，降灰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：(3.6.3：1-30)】

(d)　大気汚染（発電所周辺の大気汚染）

評価対象施設等のうち，大気汚染を考慮すべき中央制御室は，降下火砕物により汚染された発電所周辺の大気が，中央制御室換気系の外気取入口を通じて中央制御室に侵入しないようバグフィルタを設置することにより，降下火砕物が外気取入口に到達した場合であっても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にくい設計とする。

また，中央制御室換気系については，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。

【別添資料１：(3.6.3：1-31)】

(6)　降下火砕物による間接的影響に対する設計方針

降下火砕物による間接的影響として考慮する，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が生じた場合については，降下火砕物に対して，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を含む。）の安全機

能を維持することで，発電用原子炉の停止及び停止後の発電用原子炉の冷却並びに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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）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：(3.8：1-35)】

1.7.7.2　手順

降下火砕物の降灰時における手順について，降下火砕物の除去（資機材含む。）等の対応を適切に実施するため，以下について手順を定める。

(1)　降灰が確認された場合には，建屋や屋外の設備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手順を定める。

(2)　降灰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再循環運転により，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)　降灰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，バグフィルタ差圧又は流量を確認するとともに，状況に応じて取替え又は清掃を実施する手順を定める。

【別添資料１：(3.7：1-32～35)】

1.7.7.3　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，Vol42，2004

(3)　「新編火山灰アトラス［日本列島とその周辺］第 2 刷 町田洋ほか，東京大学出版会，2011

(4)　「理科年表（2017）」国立天文台編

(5)　「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.39，1990

第 1.7.7－1 表　評価対象施設等の抽出結果

	設備区分	評価対象施設等
外部事象防護対象施設	建屋	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋
	屋外に設置されている施設	・海水ポンプ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系） ・海水ストレーナ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系） ・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含む。）吸気口 ・中央制御室換気系冷凍機 ・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含む。）室ルーフベントファン ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管
	降下火砕物を含む海水の流路となる施設	・海水ポンプ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系） ・海水ストレーナ及び下流設備（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系）
	降下火砕物を含む空気の流路となる施設	・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含む。）機関 ・換気空調設備（外気取入口） ［中央制御室換気系，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含む。）室換気系］ ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管
	外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設	・計装制御設備（安全保護系）
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施設		・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含む。）排気消音器及び排気管 ・海水取水設備（除塵装置） ・換気空調設備（外気取入口）

(3)　適合性説明

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。

<u>適合のための設計方針</u>

第１項について

発電所敷地で想定される自然現象（地震及び津波を除く。）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。

発電用原子炉施設のうち安全施設は，以下のとおり条件を設定し，自然現象によって発電用原子炉施設の安全機能を損なわない設計とする。

(9)　火山の影響

外部事象防護対象施設は，降下火砕物による直接的影響及び間接的影響が発生した場合においても，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

外部事象防護対象施設は，直接的影響に対して，以下により安全機能を損なわない設計とする。

・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換気系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バグフィルタの取替え若しくは清掃又は換気空調設備の停止若しく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

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を維持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を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，安全機能を損なわない設計とする。

b．間接的影響に対する設計

降下火砕物による間接的影響として考慮する，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が生じた場合については，降下火砕物に対してディーゼル発電機の安全機能を維持することで，発電用原子炉施設の停止及び停止後の発電用原子炉施設の冷却並びに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ディーゼル発電機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。

別添資料 1

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　火山事象（降下火砕物）から防護する施設

3.4　降下火砕物による影響の選定

3.4.1　降下火砕物の特徴

3.4.2　直接的影響

3.4.3　間接的影響

3.5　設計荷重の設定

3.6　降下火砕物の直接的影響に対する設計方針

3.6.1　降下火砕物による荷重に対する設計方針

3.6.2　降下火砕物による荷重以外に対する設計方針

3.6.3　外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計方針

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

3.7.2　手順

3.8　降下火砕物の間接的影響に対する設計方針

4.　まとめ

資料

－１　降下火砕物の特徴について

－２　評価すべき影響の要因と評価手法

－３　直接的影響の評価結果

－４　建屋構築物に係る影響評価

－５　海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ含む）に係る影響評価

－６　海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（下流設備含む）に係る影響評価

－７　海水取水設備に係る影響評価

－８　計装制御設備（安全保護系）に係る影響評価

－９　換気空調設備に係る影響評価

－１０　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含む。）に係る影響評価

－１１　排気筒（非常用ガス処理系排気配管含む）に係る影響評価

－１２　間接的影響の評価結果

参考資料

－１　発電用原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な設備について

－２　降下火砕物堆積荷重評価への材料強度×1.1 の適用について

－３　降下火砕物の海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）基礎部堆積による影響評価について

－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　　給水処理設備に係る影響評価について

－８　　降下火砕物のその他の設備への影響評価について

－９　　降下火砕物の除去に要する時間及び灰置場について

－１０　降水による降下火砕物の固結の影響について

－１１　火山影響評価ガイドとの整合性について

－１２　原子炉建屋の健全性評価について

－１３　タービン建屋の健全性評価について

－１４　外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の防護方針について

－１５　降下火砕物の偏りによる影響評価について

－１６　除灰時の人員荷重の考え方について

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，火山影響評価を行い，発電用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

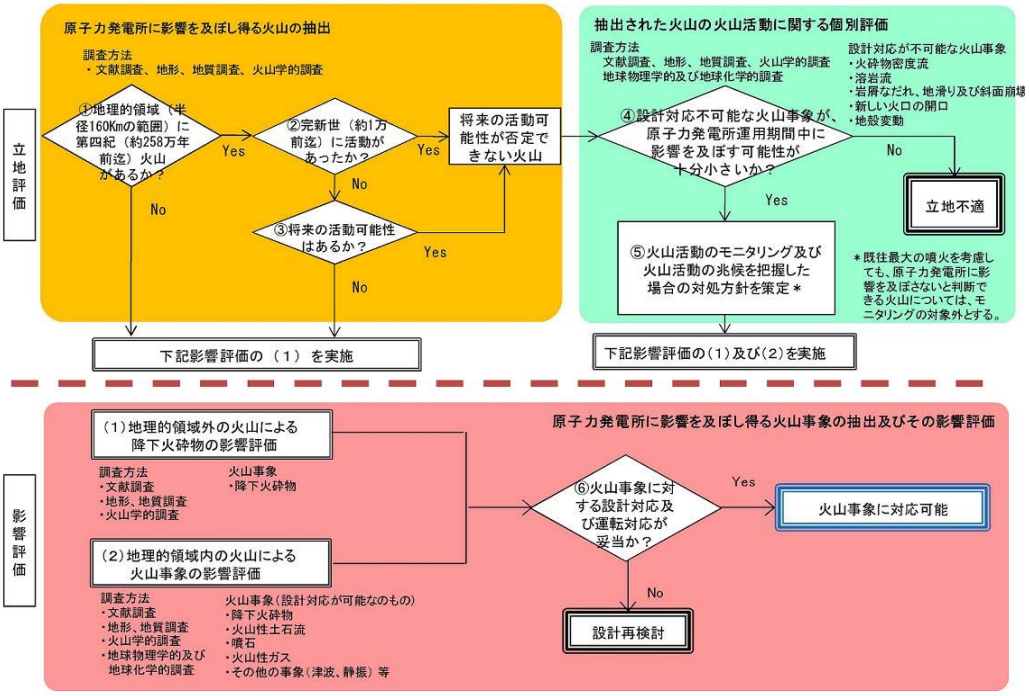
火山影響評価は，「原子力発電所の火山影響評価ガイド」を参照し，第 1.2－1 図のフローに従い立地評価と影響評価の 2 段階で行う。

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。

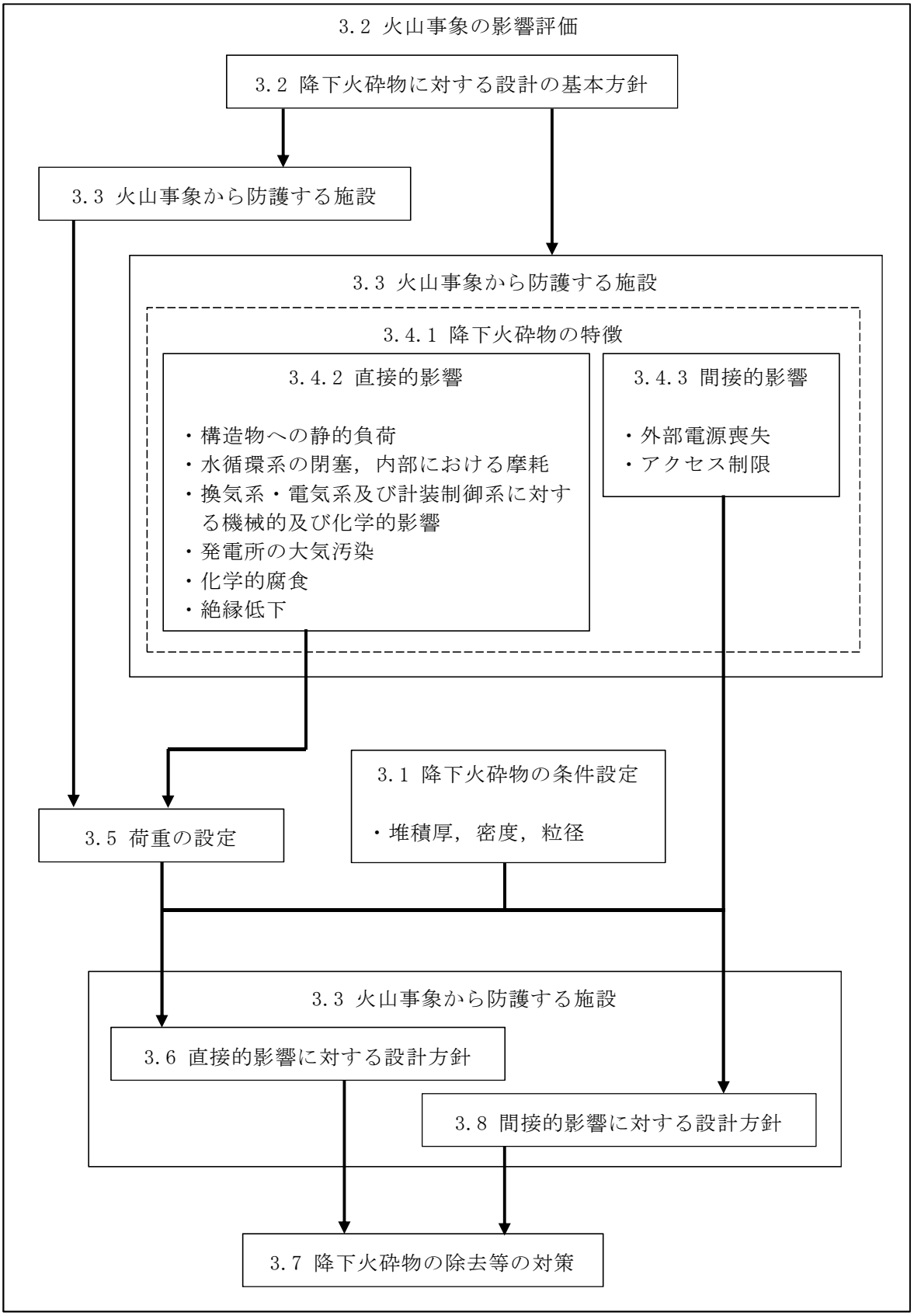
設計対応不可能な火山事象が影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された場合は，原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象の抽出とその影響評価を行う。

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）

なお，立地評価及び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については，「添付書類六 7.火山」にて示す。



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，燧ケ岳，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，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として，降下火砕物の分布状況，シミュレーション及び分布状況から総合的に判断し，保守的に堆積厚さ 50cm と設定する。また，粒径及び密度については，文献調査及び地質調査の結果を踏まえ粒径 8mm 以下，密度 0.3 g／cm^3（乾燥状態）～1.5g／cm^3（湿潤状態）と設定した。第 3.1－1 表に設計条件を示す。

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	50cm	鉛直荷重に対する健全性評価に使用
密度	0.3g/cm^3 ～ 1.5g/cm^3 （乾燥状態）　（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，発電所の運用期間中の噴火規模を考慮し，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であり，地理的領域（160km）の広範囲に影響を及ぼす降下火砕物に対し，安全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（降下火砕物）に対する設計の基本方針を示す。

(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　火山事象（降下火砕物）から防護する施設

「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。」とされていることから，降下火砕物の影響から防護する施設は，発電用原子炉施設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」で規定されている安全重要度分類クラス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。

また，以下の点を踏まえ，降下火砕物によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち，外部事象防護対象施設は，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器（発電用原子炉を停止するため又は停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物，系統及び機器として安全重要度分類のクラス１，クラス２及び安全評価上その機能に期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物，系統及び機器）に加え，それらを内包する建屋とする。

・降下火砕物襲来時の状況を踏まえ，必要に応じプラント停止の措置をとること

・プラント停止後は，その状態を維持することが重要であること

その上で，外部事象防護対象施設のうち，屋内設備は内包する建屋により防護する設計とし，評価対象施設を，建屋，屋外に設置されている施設，降下火砕物を含む海水の流路となる施設，降下火砕物を含む空気の流路となる施設，外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設に分類し抽出する。また，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も評価を行う。

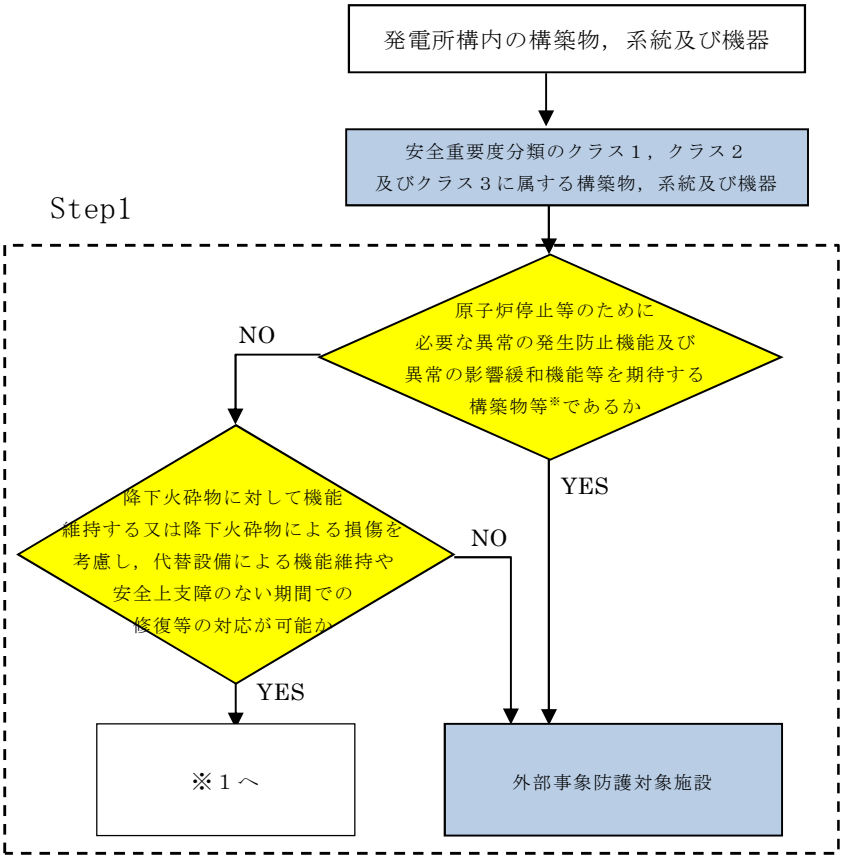
評価対象施設及びその停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設を評価対象施設等という。

なお，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を維持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除灰，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。

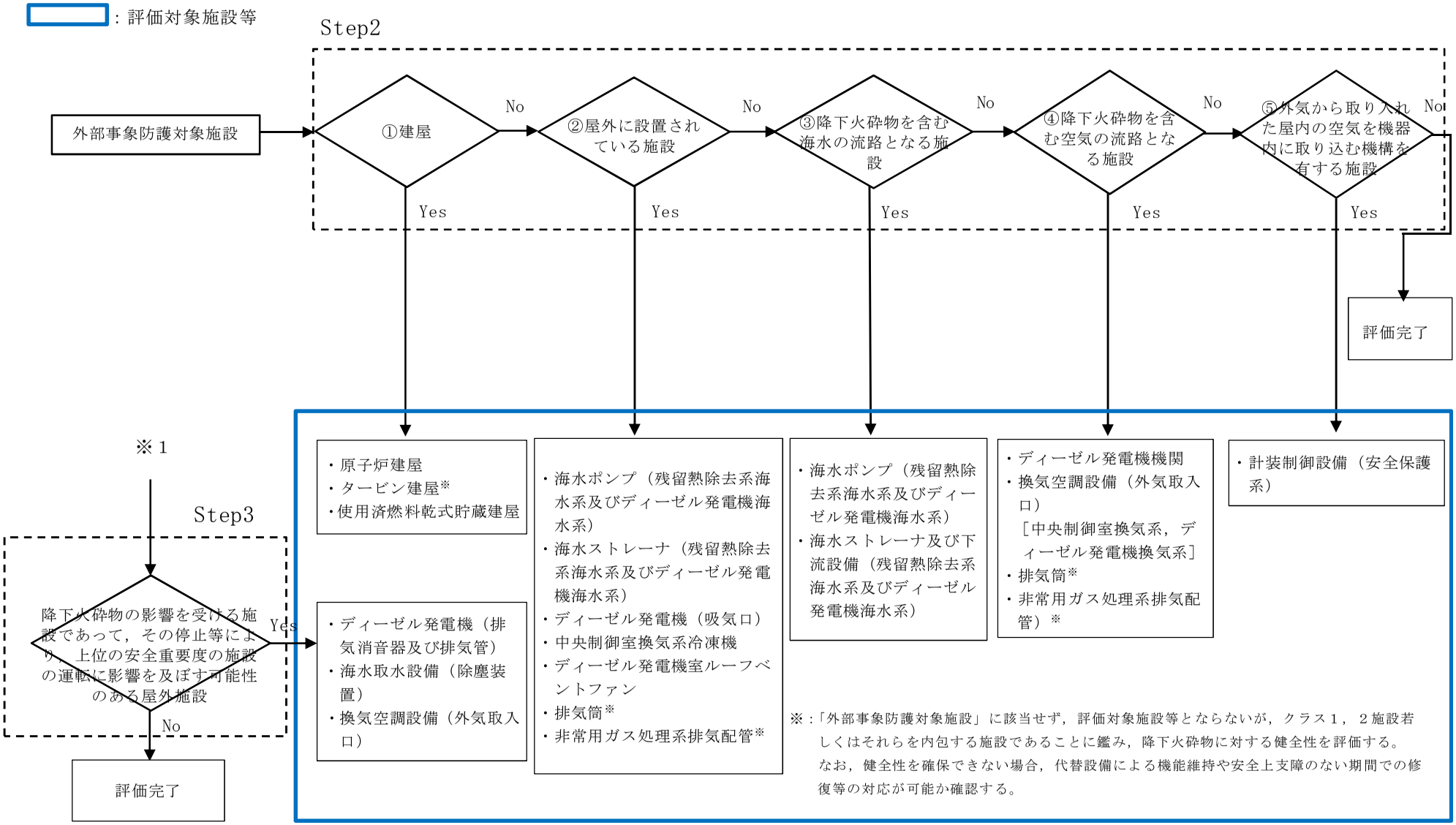
以上を踏まえた評価フローを第3.3－1図に示す。評価フローに基づき抽出した評価対象施設等を第3.3－1表，第3.3－2表に示すとともに，評価対象施設等の設置場所を第3.3－2図に示す。

また，発電用原子炉の高温停止，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施設を参考資料－１に示す。



※：発電用原子炉を停止するため，また，停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物，系統及び機器として安全重要度分類のクラス１，クラス２及び安全評価上その機能に期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物，系統及び機器に加え，それらを内包する建屋

第 3.3－1 図　外部事象防護対象施設の抽出フロー（１／２）



第 3.3－1 図　評価対象施設等の抽出フロー（２／２）

第 3.3－1 表　評価対象施設等の抽出結果

	設備区分	評価対象施設等
外部事象防護対象施設	建屋	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋
	屋外に設置されている施設	・海水ポンプ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系） ・海水ストレーナ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系） ・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含む。）吸気口 ・中央制御室換気系冷凍機 ・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含む。）室ルーフベントファン ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管
	降下火砕物を含む海水の流路となる施設	・海水ポンプ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系） ・海水ストレーナ及び下流設備（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系）
	降下火砕物を含む空気の流路となる施設	・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含む。）機関 ・換気空調設備（外気取入口） ［中央制御室換気系，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含む。）換気系］ ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管
	外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設	・計装制御設備（安全保護系）
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施設		・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含む。）排気消音器及び排気管 ・海水取水設備（除塵装置） ・換気空調設備（外気取入口）

第 3.3－2 表　評価対象施設等の抽出について（1／6）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類			Step1	Step2					Step3	評価対象施設等
	定義	機能	構築物，系統又は機器※1	降下火砕物に対して機能維持する，又は降下火砕物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可能	①建屋	②屋外施設	③海水流路施設	④空気流路施設	⑤外気取入空気を機器内に取り込む機構を有する施設	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施設	
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	×	×	×	×	×	－	－
		2）過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	－※2	×	×	×	×	×	－	－
		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。）	－※2	×	×	×	×	×	－	－
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	×	×	×	×	×	－	－
		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）	－※2	×	×	×	×	×	－	－
		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）	－※2	×	×	×	×	×	－	－
		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）	－※2	×	×	×	×	×	－	－
			原子炉隔離時冷却系	－※2	×	×	×	×	×	－	－
			高圧炉心スプレイ系	－※2	×	×	×	×	×	－	－
			逃がし安全弁（手動逃がし機能）	－※2	×	×	×	×	×	－	－
			自動減圧系（手動逃がし機能）	－※2	×	×	×	×	×	－	－

※1：間接関連系は，当該系の機能に直接必要ない構築物，系統及び機器であるため，記載は省略した（評価対象施設等に関するものを記載）

※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 3.3－2 表　評価対象施設等の抽出について（２／６）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類			Step1	Step2					Step3	評価対象施設等
	定義	機能	構築物，系統又は機器※1	降下火砕物に対して機能維持する，又は降下火砕物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可能	①建屋	②屋外施設	③海水流路施設	④空気流路施設	⑤外気取入空気を機器内に取り込む機構を有する施設	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施設	
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（低圧炉心スプレイ系，低圧注水系，高圧炉心スプレイ系，自動減圧系）	－※2	×	×	×	×	×	－	－
		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	－※2	×	×	×	×	×	－	－
			原子炉格納容器隔離弁	－※2	×	×	×	×	×	－	－
			原子炉格納容器スプレイ冷却系	－※2	×	×	×	×	×	－	－
			原子炉建屋	－※2	○	×	×	×	×	－	原子炉建屋
			原子炉建屋（ＭＳ－３（間接関連系））	○（補修の実施により対応）	－	－	－	－	－	○（換気空調設備（外気取入口））	換気空調設備（外気取入口）
			非常用ガス処理系	○（屋内設備のため影響なし（排気配管については，降下火砕物侵入防止構造物により流路は確保可能））	－	－	－	－	－	×	－
			非常用再循環ガス処理系	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
			可燃性ガス濃度制御系	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
			遮蔽設備（原子炉遮蔽壁，一次遮蔽壁）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
			遮蔽設備（二次遮蔽壁）	－※2	○	×	×	×	×	－	原子炉建屋
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	－※2	×	×	×	×	○	－	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）	－※2	×	○（吸気口）	×	○（機関）	×	－	ディーゼル発電機
			非常用所内電源系（ＭＳ－３（間接関連系））	○（補修の実施により対応）	－	－	－	－	－	○（排気消音機及び排気管）	ディーゼル発電機
			制御室及びその遮蔽・非常用換気空調系（ＭＳ－１関連のもの）	－※2	×	○（冷凍機，ルーフベントファン）	×	○（外気取入口）	×	－	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）	－※2	×	○（ポンプ，ストレーナ）	○（ポンプ，ストレーナ）	×	×	○（排気消音機及び排気管）	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，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系）

※1：間接関連系は，当該系の機能に直接必要ない構築物，系統及び機器であるため，記載は省略した（評価対象施設等に関するものを記載）

※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 3.3－2 表　評価対象施設等の抽出について（３／６）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類			Step1	Step2					Step3	評価対象施設等
	定義	機能	構築物，系統又は機器※1	降下火砕物に対して機能維持する，又は降下火砕物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可能	①建屋	②屋外施設	③海水流路施設	④空気流路施設	⑤外気取入空気を機器内に取り込む機構を有する施設	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施設	
	２）安全上必須なその他の構築物，系統及び機器（続き）	２）安全上特に重要な関連機能（続き）	非常用補機冷却水系（ＭＳ－３（間接関連系））	○（補修の実施により対応）	－	－	－	－	－	○（除塵装置）	海水取水設備（除塵装置）
			直流電源系（ＭＳ－１関連のもの）	－※2	×	×	×	×	×	－	－
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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
			原子炉冷却材浄化系（格納容器隔離弁の外側のみ）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
		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）（活性炭式希ガスホールドアップ装置）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
			使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む。）	－※2	×	×	×	×	×	－	－
			使用済燃料乾式貯蔵容器	－※2	○	×	×	×	×	－	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	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
	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）	－※2	×	×	×	×	×	－	－

※1：間接関連系は，当該系の機能に直接必要ない構築物，系統及び機器であるため，記載は省略した（評価対象施設等に関するものを記載）
※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 3.3－2 表　評価対象施設等の抽出について（４／６）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類			Step1	Step2					Step3	評価対象施設等
	定義	機能	構築物，系統又は機器※1	降下火砕物に対して機能維持する，又は降下火砕物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可能	①建屋	②屋外施設	③海水流路施設	④空気流路施設	⑤外気取入空気を機器内に取り込む機構を有する施設	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施設	
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	－※2	×	×	×	×	×	－	－
		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	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
			排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能以外）	○（降下火砕物堆積時も流路は確保可能）	－	－	－	－	－	×	－
			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）	－（評価対象施設として抽出済）	－	－	－	－	－	－	－
			燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系（非常用ガス処理系）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	－	－
	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（格納容器雰囲気放射線モニタ等）	－※2	×	×	×	×	×	－	－
		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）	－※2	×	×	×	×	×	－	－
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	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
		２）原子炉冷却材の循環機能	原子炉再循環系	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
		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）	○（補修を実施（放射性物質の拡散防止について適切な措置を実施））	－	－	－	－	－	×	－
		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	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
			循環水系	○（補修の実施により対応）	－	－	－	－	－	×	－
			送電線，変圧器，開閉所	○（代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	×	－

※1：間接関連系は，当該系の機能に直接必要ない構築物，系統及び機器であるため，記載は省略した（評価対象施設等に関するものを記載）

※2：外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 3.3－2 表　評価対象施設等の抽出について（５／６）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類			Step1	Step2					Step3	評価対象施設等
	定義	機能	構築物，系統又は機器※1	降下火砕物に対して機能維持する，又は降下火砕物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可能	①建屋	②屋外施設	③海水流路施設	④空気流路施設	⑤外気取入空気を機器内に取り込む機構を有する施設	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施設	
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（続き）	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。）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
			原子炉核計装，原子炉プロセス計装	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
		６）プラント運転補助機能	所内ボイラ	○（補修の実施により対応）	－	－	－	－	－	×	－
			計装用圧縮空気系	○（建屋内は，外気取入口にバグフィルタが設置されている換気空調系によって空調管理されているため，屋内の空気取り込みによる影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
	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	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
		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	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
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）原子炉圧力の上昇の緩和機能	逃がし安全弁（逃がし弁機能）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
			タービンバイパス弁	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
		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）	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
			制御棒引抜監視装置	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
		３）原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
			原子炉隔離時冷却系	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
	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	○（降下火砕物荷重に対し影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
			試料採取系	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
			通信連絡設備	○（屋内設備のため影響なし（屋外設備は除灰，補修により対応））	－	－	－	－	－	×	－
			放射能監視設備	○（除灰又は代替設備により機能維持可能）	－	－	－	－	－	×	－
			事故時監視計器の一部	○（屋内設備のため影響なし（気象観測設備は代替設備により機能維持可能））	－	－	－	－	－	×	－
			消火系	○（補修の実施により対応）	－	－	－	－	－	×	－

※1：間接関連系は，当該系の機能に直接必要ない構築物，系統及び機器であるため，記載は省略した（評価対象施設等に関するものを記載）

3.3－2表　評価対象施設等の抽出について（6／6）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類			Step1	Step2					Step3	評価対象施設等
	定義	機能	構築物，系統又は機器※1	降下火砕物に対して機能維持する，又は降下火砕物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可能	①建屋	②屋外施設	③海水流路施設	④空気流路施設	⑤外気取入空気を機器内に取り込む機構を有する施設	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施設	
MS-3	2）異常状態への対応上必要な構築物，系統及び機器（続き）	1）緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能（続き）	安全避難通路	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
			非常用照明	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	×	－

※1：間接関連系は，当該系の機能に直接必要ない構築物，系統及び機器であるため，記載は省略した（評価対象施設等に関するものを記載）

第 3.3－2 図　評価対象施設等（１／２）

第 3.3－2 図　評価対象施設等（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等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。

(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く，主要な鉱物結晶辺の硬度は砂同等又はそれ以下である。

(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。

（資料－１）

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，評価対象施設等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。

(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降灰時に衝撃を与える「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」及び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」及び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）」及び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及び屋外設備の点検等の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。（参考資料－７）

(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。

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」及び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。

3.5　設計荷重の設定

設計荷重は，以下のとおり設定する。

(1)　評価対象施設等に常時作用する荷重，運転時荷重

評価対象施設等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

評価対象施設等は，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，評価対象施設等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（残留熱除去系海水系，ディー

ゼル発電機海水系）が考えられるが，設計基準事故時において海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）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。

（参考資料－４）

3.6　降下火砕物の直接的影響に対する設計方針

直接的影響については，評価対象施設等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等が安全機能を損なわない以下の設計とする。

（資料－２）

3.6.1　降下火砕物による荷重に対する設計方針

(1)　構造物への静的負荷

評価対象施設等のうち，降下火砕物が堆積する建屋及び屋外施設は，以下である。

ａ．建屋

原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

ｂ．屋外に設置されている施設

海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），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含む。）吸気

ロ，中央制御室換気系冷凍機，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含む。）室ルーフベントファン

c．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

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系含む。）排気消音器及び排気管

当該施設の許容荷重が，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，構造健全性を失わず安全機能を損なわない設計とする。若しくは，降下火砕物が堆積しにくい，又は直接堆積しない構造とすることで，安全機能を損なわない設計とする。

設計対象施設の建屋においては，建築基準法における一般地域の積雪の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て扱う。また，降下火砕物による荷重と他の荷重を組み合せた状態に対する許容限界は次の通りとする。

・原子炉建屋

原子炉建屋に要求されている気密性及び遮蔽性並びに構造強度を担保する屋根スラブは，建築基準法の短期許容応力度を許容限界とする。また，屋根スラブと共に建屋の構造強度を担保する主トラスは，終局耐力に対して妥当な安全余裕を有する許容限界とする。

・タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

屋根スラブの落下によってないほうする安全重要度分類のクラス２に属する構築物，系統及び機器が損傷することを防止するため，屋根スラブは部材の終局耐力を許容限界とする。また，複数部材で構成されている主トラスの崩壊によって内包する安全重要度分類のクラス２

に属する構築物，系統及び機器が損傷することを防止するため，主トラスは構造物全体として崩壊機構が形成されないことを許容限界とする。

また，建屋を除く評価対象施設等においては，許容応力を「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ4601-1987（日本電気協会）」に準拠する。

（資料－４～６，９，１０）

(2)　粒子の衝突

評価対象施設等のうち，粒子の衝突を考慮すべき建屋及び屋外施設は，降下火砕物の衝突によって構造健全性が失われないことにより，安全機能を損なわない設計とする。

なお，粒子の衝突による影響については，竜巻の影響について評価している設計飛来物に包絡される。

3.6.2　降下火砕物による荷重以外に対する設計方針

降下火砕物による荷重以外の影響は，構造物への化学的影響（腐食），水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食），電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）等により安全機能を損なわない設計とする。

外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計については，「3.6.3 外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計」に示す。

(1)　構造物への化学的影響（腐食）

評価対象施設等のうち，降下火砕物による構造物への化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，降下火砕物の直接的な付着による影響が考えられる以下の施設である。

ａ．建屋

原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

ｂ．屋外に設置されている施設

海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），ディーゼル発電機，中央制御室換気系冷凍機，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含む。）室ルーフベントファン，排気筒，非常用ガス処理系排気配管

ｃ．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

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含む。)排気消音器及び排気管

金属腐食研究の結果より，降下火砕物に含まれる腐食性ガスによって直ちに金属腐食を生じないが，外装の塗装等によって短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお，降灰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。

（資料－４～６，９～１１　参考資料－５，６）

(2)　水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食）

評価対象施設等のうち，水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，降下火砕物を含む海水の流路となる以下の施設である。

ａ．降下火砕物を含む海水の流路となる施設

海水ポンプ（残留熱除去系海水系及びディーゼル発電機海水系），

海水ストレーナ及び下流設備（残留熱除去系及びディーゼル発電機海水系）

ｂ．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

海水取水設備（除塵装置）

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，当該施設については，降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設けることにより，海水の流路となる施設が閉塞しない設計とする。

内部における摩耗については，　降下火砕物は砂よりも硬度が低くもろいことから摩耗による影響は小さい。また当該施設については，定期的な内部点検及び日常保守管理により，状況に応じて補修が可能であり，摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

化学的影響（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が，耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって，腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお，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。

（資料－５～７，参考資料－５，６，１０）

(3)　電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）

評価対象施設等のうち，電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，電気系及び計装制御系のうち屋外に設置されている以下の施設である。

ａ．屋外に設置されている施設

海水ポンプモータ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）

機械的影響（閉塞）については，海水ポンプモータ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）本体は外気と遮断された全閉構造，空気冷却器の冷却管内径及び冷却流路は降下火砕物粒径以上の幅を設ける構造とすることにより，機械的影響（閉塞）により安全機能を損なわない設計とする。

化学的影響（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が，耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって，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，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。

（資料－５，参考資料－５，６）

(4)　絶縁低下及び化学的影響（腐食）

評価対象施設等のうち，絶縁低下及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，電気系及び計装制御系のうち外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する以下の施設である。

ａ．外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

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していることから，

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。

また，本換気空調設備については，外気取入ダンパを閉止し再循環運転を行うことにより侵入を阻止することも可能である。

これらフィルタの設置により降下火砕物の侵入に対する高い防護性能を有すること，また外気取入ダンパの閉止による侵入防止が可能な設計とすることにより，降下火砕物の付着に伴う絶縁低下及び化学的影響（腐食）による影響を防止し，計装制御設備（安全保護系）の安全機能を損なわない設計とする。

（資料－８）

3.6.3　外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計方針

外気取入口からの降下火砕物の侵入に対して，以下のとおり安全機能を損なわない設計とする。

(1)　機械的影響（閉塞）

評価対象施設等のうち，外気取入口からの降下火砕物の侵入による機械的影響（閉塞）を考慮すべき施設は，降下火砕物を含む空気の流路となる以下の施設である。

ａ．降下火砕物を含む空気の流路となる施設

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含む。）機関，デ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含む。）吸気口，換気空調設備（外気取入口），排気筒，非常用ガス処理系排気配管

各施設の構造上の対応として，ディーゼル発電機吸気口の外気取入口は

開口部を下向きの構造とすることにより，降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。

排気筒は，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。非常用ガス処理系排気配管は，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，外気を取り入れる換気空調設備（外気取入口）及びディーゼル発電機吸気口にそれぞれ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にくい設計とし，さらに降下火砕物がフィルタに付着した場合でも取替又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。

ディーゼル発電機機関は，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。

（資料－９～１１）

(2)　機械的影響（摩耗）

評価対象施設等のうち，外気取入口からの降下火砕物の侵入による機械的影響（摩耗）を考慮すべき施設は，外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構及び摺動部を有する以下の施設である。

ａ．外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構及び摺動部を有する施設

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含む。）ディーゼル発電機機関

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。

構造上の対応として，ディーゼル発電機（吸気口）の開口部を下向きとすることによりディーゼル発電機機関に降下火砕物が侵入しにくい構造とする。

また，仮にディーゼル発電機機関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。

外気を取り入れるディーゼル発電機（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にくい設計とし，摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

（資料－１０）

(3)　化学的影響（腐食）

評価対象施設等のうち，外気取入口からの降下火砕物の侵入による化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，降下火砕物を含む空気の流路となる以下の施設である。

ａ．降下火砕物を含む空気の流路となる施設

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含む。）機関，換気空調設備（外気取入口），排気筒，非常用ガス処理系排気配管

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が，塗装の実施等によって，腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお，降灰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。

（資料－９～１１，参考資料－５，６）

(4)　大気汚染（発電所周辺の大気汚染）

評価対象施設等のうち，大気汚染を考慮すべき中央制御室は，降下火砕物により汚染された発電所周辺の大気が，中央制御室空調装置の外気取入口を通じて中央制御室に侵入しないようバグフィルタを設置することにより，降下火砕物が外気取入口に到達した場合であっても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にくい設計とする。

また，中央制御室空調装置については，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。

（資料－９）

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。

(1) 通常時の対応

↓ ・資機材の配備状況

(2) 近隣火山に噴火兆候がある場合（噴火警報レベル「レベル４」以上）

↓ ・火山情報等の収集

(3) 気象庁による降灰予報発令時※1
（発電所への「やや多量」※2又は「多量」※3の降灰予報発令時）

↓ ・火山注意喚起の実施又は火山非常体制の発令
・建屋等の開口部閉鎖

(4) 降下火砕物の降灰が確認された場合

・状況把握及び巡視点検
・降下火砕物の侵入防止処置及び除去作業

※１　降灰予報の情報に係らず，発電所に影響を及ぼす降灰が認められた場合は，状況に応じた対応を行う。

※２　降灰時の厚さ 0.1mm 以上 1.0mm 未満

※３　降灰時の厚さ 1.0mm 以上

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

(1)　通常時の対応

火山の噴火事象発生に備え，担当箇所は降下火砕物の除去等に使用する資機材等（シャベル，ゴーグル及び防護マスク等）については，定期的に配備状況を確認する。

(2)　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。

(3)　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，取水路前面にオイルフェンスを設置することで，取水路への降下火砕物の流入量を低減する，とともに屋外機器・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。

(4)　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。

(1)　発電所内に降灰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に係る手順を定める。

(2)　降灰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再循環運転により，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)　降灰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，状況に応じて清掃や取替を実施する。

(4)　降灰が確認された場合には，取水路前面にオイルフェンスを設置するこ

とで，取水路への降下火砕物の流入量を低減する手順を定める。

3.8　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，発電用原子炉の停止並びに停止後の発電用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（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）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（400kL／基）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。

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，発電用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。

降下火砕物の特徴について

第１表　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砕･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	・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_2S），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	・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	・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	・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	・高温部における溶融及び固着※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，降下火砕物は溶融しない。

評価すべき影響の要因と評価手法

降下火砕物による直接的影響の要因については，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摩耗，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が，発電所で想定される降下火砕物の条件を考慮し，第１表に示す項目について評価を実施する。

(1)　直接的影響の要因の選定と評価手法

①　構造物への静的負荷

評価対象とした建屋構築物，屋外機器について，降下火砕物の静的な堆積を想定し，許容堆積荷重または許容応力値以下であることを確認する。荷重条件として，湿潤状態における降下火砕物に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荷重を重畳させ，弾性範囲内とする。なお，構造物の形状により降下火砕物が堆積し難い場合は，降下火砕物の影響はないと判断する。

②　粒子の衝突

想定する降下火砕物は微細な粒子である。粒子の衝突による影響については，「竜巻に対する防護」で評価している設計飛来物（0.04m×0.04m×0.04m）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。したがって，詳細検討は不要とする。

③　水循環系の閉塞

評価対象とした機器について，降下火砕物が内部流体中に混入する可能性を検討し，可能性のある機器に対し，狭隘部の寸法を明らかにし，降下火砕物の粒径との関係から流路閉塞の可能性を評価する。

④　水循環系の内部における摩耗

評価対象とした機器について，降下火砕物が内部流体中に混入する可能性を検討し，可能性のある機器に対し，狭隘部の寸法を明らかにし，接液面との材質等との関係から摩耗の可能性を評価する。

⑤　換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

評価対象とした機器について，屋外に連通する開口部の形状等から，降下火砕物が侵入する可能性とその影響程度について検討する。換気系のフィルタについては，清掃，取替え可能な構造となっていること，また閉塞の有無を点検できることを確認する。

さらに，必要に応じて換気系からの給気先への影響についても検討する。

⑥　換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響

評価対象とした機器について，降下火砕物の付着に伴う腐食により，その機能に影響がないことを内外面の材質，塗装の有無等によって評価する。

⑦　発電所周辺の大気汚染

汚染された大気が換気空調系を通じて中央制御室に侵入し，居住性を

阻害することがないか検討する。

⑧　化学的腐食

評価対象とした建屋・構築物，屋外機器について，降下火砕物が接触し，又は降下火砕物から溶出した成分によって腐食等が発生しないことを機器表面の材質，塗装の有無等によって評価する。

⑨　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。したがって，詳細検討は不要とする。

⑩　絶縁低下

電気系及び計装制御系の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は，影響がないことを評価する。

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等に対して評価する必要がない項目もあることから，各評価対象施設等と評価すべき直接的要因について，第2表のとおり整理し，評価対象施設の特性を踏まえて必要な評価項目を選定した。

なお，津波防護施設は「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」で規定されているクラス１，クラス２及びクラス３に該当はしないが，外部事象に対する防護方針について参考資料－１４に示す。

第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	建屋構築物，屋外機器において降下火砕物堆積荷重による影響を考慮する。なお，降雨，降雪などにより水を含んだ場合の負荷が大きくなるため，水を含んだ場合（湿潤状態）における負荷を考慮する。	○
②	粒子の衝突	想定する降下火砕物の粒径は8mmと微細である。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（0.04m×0.04m×0.04m）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。	－
③	水循環系の閉塞	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。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。	○
④	水循環系の内部における摩耗	海水系において影響を考慮すべき要因であり，降下火砕物による設備内部における摩耗の影響を考慮する。また，必要に応じて，海水を供給している下流設備への影響についても考慮する。	○
⑤	換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外設備において影響を考慮すべき要因である。なお，必要に応じて，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	○
⑥	換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外設備等において影響を考慮すべき要因である。なお，必要に応じて，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。	○
⑦	発電所周辺の大気汚染	運転員が常時滞在する中央制御室において影響を考慮すべき要因である。	○
⑧	化学的腐食	・建屋構築物，屋外機器において降下火砕物の付着により懸念される腐食についての影響を評価する。 ・海水系において考慮すべき要因であり，降下火砕物が海水中に溶出した場合に懸念される腐食についての影響を評価する。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。	○
⑨	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。（参考資料－７）	－
⑩	絶縁低下	電気及び計装制御系の盤のうち屋内にある空気を取り込む機構を有するものについての影響を考慮する。	○

第2表　評価対象施設等と降下火砕物による直接的影響の要因対比（１／２）

評価対象施設等	直接的影響の要因							
	①構造物への静的負荷	③水循環系の閉塞	④水循環系の内部における摩耗	⑤換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	⑥換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	⑦発電所周辺の大気汚染	⑧化学的影響	⑩絶縁低下
・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋	○	－ ※2	－ ※2	－ ※3	－ ※3	－ ※4	○	－ ※5
・海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）	○	○ （ポンプ）	○ （ポンプ）	○ （モータ）	○ （モータ）	－ ※4	○ （ポンプ．モータ）	－ ※5
・海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）	○	○ （下流設備含む）	○ （下流設備含む）	－ ※3	－ ※3	－ ※4	○ （下流設備含む）	－ ※5
・海水取水設備	－ ※1	○	○	－ ※3	－ ※3	－ ※4	○	－ ※5
・計装制御設備（安全保護系）	－ ※6	－ ※2	－ ※2	－ ※3	－ ※3	－ ※4	○	○

○：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：水循環系の機能と直接関連がない

※3：屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない

※4：中央制御室の居住性と直接関連がない

※5：絶縁低下と直接関連がない

※6：屋内設置設備であり，静的負荷の影響を直接受けない

第2表　評価対象施設等と降下火砕物による直接的影響の要因対比（２／２）

評価対象施設等		直接的影響の要因							
		①構造物への静的負荷	③水循環系の閉塞	④水循環系の内部における摩耗	⑤換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	⑥換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	⑦発電所周辺の大気汚染	⑧化学的影響	⑩絶縁低下
・換気空調設備	屋内設備	－ ※6	－ ※2	－ ※2	○	○	○	－ （⑥で評価）	－ ※5
	屋外設備	○	－ ※2	－ ※2	○	－ （⑧で評価）	－ ※4	○	－ ※5
・ディーゼル発電機	屋内設備	－ ※6	○ （海水ポンプ下流側設備として評価）	○ （海水ストレーナ下流側設備として評価）	○	－ （⑧で評価）	－ ※4	○	－ ※5
	屋外設備	○	－ ※2	－ ※2	○	－ （⑧で評価）	－ ※4	○	－ ※5
・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管		－ ※1	－ ※2	－ ※2	○	－ ※3	－ ※4	○	－ ※5

○：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：水循環系の機能と直接関連がない

※3：屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない

※4：中央制御室の居住性と直接関連がない

※5：絶縁低下と直接関連がない

※6：屋内設置設備であり，静的負荷の影響を直接受けない

直接的影響の評価結果

資料－２の第２表に基づき評価した結果，評価対象施設等において降下火砕物の直接的影響がないことを確認した。評価結果を第１表に示す。

なお，詳細な評価結果を資料－４～１１に示す。また，降下火砕物の影響を受ける可能性のある，その他の施設についての評価結果を参考資料－７～８に示す。

第１表　評価対象施設等の評価結果（１／２）

評価対象施設等	確認結果	確認結果	個別評価
・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋	①降下火砕物等の堆積荷重は，各建屋の許容堆積荷重以下であることから，各建屋の健全性に影響を及ぼすことはない。 ⑧各建屋は，外装塗装及び屋上防水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。	○	資料－４
・海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）	①降下火砕物等の堆積荷重により発生する応力は，海水ポンプモータフレームの許容応力値以下であることから，海水ポンプ（モータ含む）の機能に影響を及ぼすことはない。 ③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。 ④降下火砕物は砂等に比べ破砕し易く，硬度が小さいが，これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって海水ポンプの機能が喪失した事例はないことから，降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。 ⑤海水ポンプモータは外気を直接電動機内部に取り込まない冷却方式であり，モータの冷却流路は降下火砕物の粒径より大きいことから，機能に影響を及ぼすことはない。 ⑥⑧海水ポンプ（モータ含む）は，外装塗装等を実施しており，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。	○	資料－５
・海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）	①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。 ③想定する降下火砕物の粒径は，ストレーナメッシュ径以下であり，ストレーナが閉塞することはない。また，下流設備であるディーゼル発電機用空気冷却器等の熱交換器伝熱管についても，降下火砕物の粒径以上の内径を確保することにより，伝熱管が閉塞することはない。 ④降下火砕物は砂等に比べ破砕し易く，硬度が小さいが，これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって海水ストレーナ及び下流設備の機能が喪失した事例はないことから，降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。 ⑧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，化学的腐食により直ちに機器の機能に影響を及ぼすことはない。また，下流設備の熱交換器の伝熱管は耐食性のある材料を用いていることから，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。	○	資料－６
・海水取水設備（除塵装置）	③想定する降下火砕物の粒径は海水取水設備のバーピッチ及び網枠メッシュ間隔より小さいため閉塞することはない。 ④降下火砕物は砂等に比べ破砕し易く，硬度が小さいが，これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって海水ストレーナ及び下流設備の機能が喪失した事例はないことから，降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。 ⑧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。	○	資料－７

※：確認結果内の丸数字は，資料－２ 第１表記載 影響を与える可能性のある因子 No．を示す

第１表　評価対象施設等の評価結果（２／２）

評価対象施設等	確認結果	確認結果	詳細評価
・計装制御設備 （安全保護系）	⑧⑩計装制御設備（安全保護系）が設置されている部屋の空調系の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，さらに，外気取入ダンパを閉止し再循環運転が可能であることなどから，化学的腐食及び絶縁低下により計装制御設備（安全保護系）の機能に影響を及ぼすことはない。	○	資料－８
・換気空調設備 （外気取入口）	①⑥⑧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ことから，堆積荷重及び化学的影響により機能に影響を及ぼすことはない， ⑤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おり，フィルタは交換・清掃が可能であること等から，フィルタ及び流路が閉塞することはない。 ⑦中央制御室換気空調系は，外気取入ダンパを閉止した再循環運転により中央制御室の居住性を維持することができるため，発電所周辺の大気汚染による短期的な影響はない。	○	資料－９
・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含む。）	①降下火砕物の堆積荷重により吸気口に発生する応力は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。また，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。 ⑤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，及びディーゼル機関に侵入した場合でも降下火砕物の硬度が低く破砕しやすいことから，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 ⑧吸気口，排気消音器及び排気管は，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直ちに影響を及ぼすことはない。	○	資料－10
・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管	⑤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。また，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。 ⑧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直ちに影響を及ぼすことはない。	○	資料－11

※：確認結果内の丸数字は，資料－２ 第１表記載 影響を与える可能性のある因子 No．を示す

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，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 構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重により原子炉建屋，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，設置許可においては，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）及びMS-2（放射性物質放出の防止機能）の機能を有する原子炉建屋と建屋自身がクラス1，2施設に該当しない建屋のうち，構造的にもスパンが長く評価結果が厳しくなるタービン建屋を代表として評価概要及び評価結果を示す。

また，工事計画認可においては，原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋について屋根スラブ，主トラス及び二次部材の構造性性能を確認し，各建屋に求められる機能設計上の性能目標を確保していることを計算書に示す。

② 構造物への化学的影響（腐食）

降下火砕物の構造物への付着や堆積による化学的腐食により，構造物へ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：50cm

b．密度：1.5g／cm^3（湿潤状態）

$$0.5(\mathrm{m}) \times 1{,}500(\mathrm{kg/m^3}) \times 9.80665(\mathrm{m/s^2}) = 7{,}355(\mathrm{N/m^2})$$

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／m^2（建築基準法より）

$$10.5(\mathrm{cm}) \times 20(\mathrm{N/m^2/cm}) = 210(\mathrm{N/m^2})$$

③ 固定荷重

a．原子炉建屋：5,364N／m^2

b．タービン建屋：4,669N／m^2

④ 積載荷重

「建築構造設計規準の資料（国土交通省 平成27年版）」における「屋上（通常人が使用しない場合）」の床版計算用積載荷重における980N／m^2を包絡するように，除灰時の人員荷重として1,000N／m^2とする。

(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

a．評価対象部位の選定

以下の理由から各建屋の屋根スラブと主トラスを評価対象部位として選定する。

(a) 主要な部位のうち，梁間方向に配されている主トラスと，屋根スラブが主体構造として，降下火砕物の鉛直方向に対して抵抗している。

(b) 原子炉建屋の屋根スラブは 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）及び MS-2（放射性物質放出の防止機

能）の安全機能を担保しているため

b．許容限界の設定

(a)　原子炉建屋

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界
－	構造強度を有すること	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界※1
		主トラス		終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界※2
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	屋根スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度※3
遮蔽性	遮蔽生体の損傷により遮蔽機能を損なわないこと	屋根スラブ	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度※3

※1　構造強度に対しては，「終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界」が許容限界となるが，気密性，遮蔽性において「短期許容応力度」を許容限界としていることから，「短期許容応力度」で評価

※2　弾性限耐力として「S 規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用

※3　「RC 規準」の短期許容応力度で評価

(b)　タービン建屋

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界
－	構造強度を有すること	屋根スラブ	落下しないことを確認※1	終局耐力※3
		主トラス	崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと

※1　屋根スラブの落下により，内包するクラス 2 設備を損傷させる可能性があることから，機能維持のために落下しないことを確認

※2　機能に対しては終局耐力が許容限界となるが，「RC 規準」の短期許容応力度で評価

c．評価方法

(a)　屋根スラブ

「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会)」(以下RC規準という。）に基づき，評価対象部位に生じる曲げモーメント及び面外せん断応力度が，許容限界を超えないことを確認する。

(b)　主トラス

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法（日本建学会)」(S規準という。）に基づき，評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントが，許容限界を超えないことを確認する。

d．評価結果

降下火砕物の堆積荷重に対して，各建屋の許容限界を超えることはない。評価結果を第1表～第7表に示す。なお，一部の部材について座屈耐力で評価したタービン建屋については，工事計画認可において荷重増分解析を実施し，改めて屋根部が崩壊しないことを確認する。

第1表　原子炉建屋 屋根スラブ（曲げモーメント）評価結果
（検定：短期許容応力度）

部位	設計配筋量 (mm^2)		発生曲げモーメント（kN・m)		必要鉄筋量 (mm^2)		検定比	
	端部	中央	端部	中央	端部	中央	端部	中央
EL 64.08 (S1-1)	705.6	705.6	5.17	2.59	323.1	161.6	0.46	0.23
EL 64.08 (S1-2)	705.6	705.6	3.52	1.98	220.2	123.9	0.32	0.18

第２表　原子炉建屋 屋根スラブ（せん断力）評価結果

（検定：短期許容応力度）

部位	発生せん断力 (KN)	せん断応力度 (N／mm^2)	検定比
EL 64.08 (S1-1)	13.67	0.295	0.28
EL 64.08 (S1-2)	9.21	0.199	0.19

第３表　原子炉建屋　主トラス評価結果（検定：弾性限耐力）

部材	発生応力	応力度 (N／mm^2)	許容値 (N／mm^2)	検定値
上弦材 (H-400×400×13×21)	(圧縮)	112.7	257.3	0.60
	(曲げ)	40.3	255.4	
下弦材 (H-400×400×13×21)	(圧縮)	157.6	258.5	0.79
	(曲げ)	44.9	195.9	
斜材 (2Ls-150×150×15)	(引張)	207.8	258.5	0.81
束材 (2Ls-150×150×15)	(圧縮)	152.0	158.2	0.97

第４表　タービン建屋 屋根スラブ（曲げモーメント）評価結果

（検定：短期許容応力度）

部位	設計配筋量 (mm^2)		発生曲げモーメント（kN・m）		必要鉄筋量 (mm^2)		検定比	
	端部	中央	端部	中央	端部	中央	端部	中央
EL 40.65	635.0	635.0	7.36	4.14	460.0	258.7	0.73	0.41

第５表　タービン建屋 屋根スラブ（せん断力）評価結果

（検定：短期許容応力度）

部位	発生せん断力 (KN)	せん断応力度 (N／mm^2)	検定比
EL 40.65	17.69	0.381	0.36

第６表　タービン建屋　主トラス評価結果（検定：弾性限耐力）

部材	発生応力	応力度 (N／mm^2)	許容値 (N／mm^2)	検定値
上弦材 (H-428×407×20×35)	(圧縮)	179.9	250.0	0.96
	(曲げ)	59.9	258.0	
下弦材 (H-428×407×20×35)	(圧縮)	55.2	152.0	1.04※1
	(曲げ)	162.1	241.0	
斜材 (2Ls-200×200×20)	(引張)	201.7	258.0	0.70
束材 (2Ls-200×200×15)	(圧縮)	184.7	184.7	0.88

※1　検定値を超過した下弦材は，終局耐力に対して評価を行う。

第７表　タービン建屋　主トラス評価結果（検定：終局耐力）

部材	発生応力	応力度 (N／mm^2)	許容値 (N／mm^2)	検定値
下弦材 (H-428×407×20×35)	(圧縮)	55.2	152.0	0.94
	(曲げ)	162.1	241.0	

評価の詳細は，参考資料－１２「原子炉建屋の健全性評価について」及び参考資料－１３「タービン建屋の健全性評価について」を参照。

② 構造物への化学的影響（腐食）

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外壁塗装及び屋上防水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。

また，降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検等において，必要に応じて補修作業を実施する。

(4) 個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第 8 表に示す。

第 8 表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
水循環系の閉塞	水循環系の機能と直接関連がない
水循環系の内部における摩擦	水循環系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

資料－５

海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（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（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ含む）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

・ディーゼル発電機海水系（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　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，軸受部等が閉塞せず，機器の機能に影響がないことを評価する。

③　水循環系の内部における摩耗

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，降下火砕物と内部構造物との摩耗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

却器冷却管等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。

⑤　化学的腐食（換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響を含む）

降下火砕物の付着，堆積による構造物の化学的腐食及び降下火砕物が混入した海水を取水したことによる構造物内部の化学的腐食により，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：50cm

ｂ．粒　径：8mm 以下

ｃ．密　度：1.5g／cm^3（湿潤状態）

ｄ．荷　重：7,355N／m^2

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／m^2（建築基準法より）

ｃ．荷　重：210N／m^2

(3)　評価結果

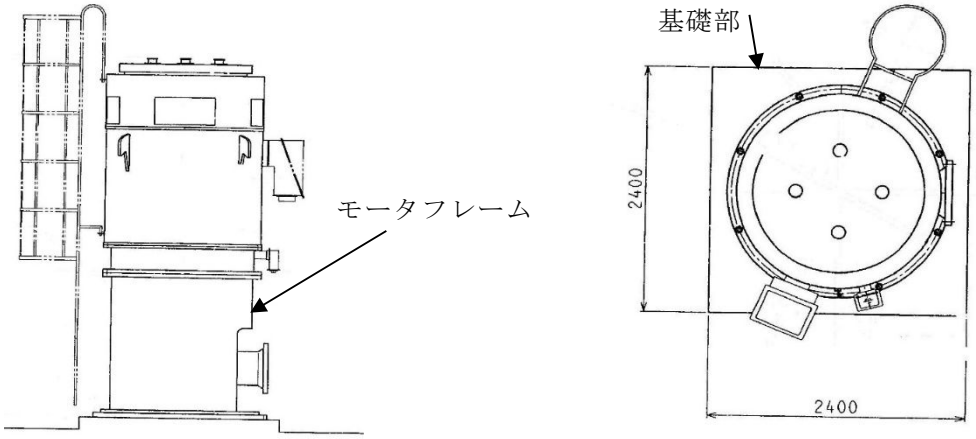
①　構造物への静的負荷

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。なお，海水ポンプ上部には降下火砕物が一様に堆積し，荷重の偏りは発生

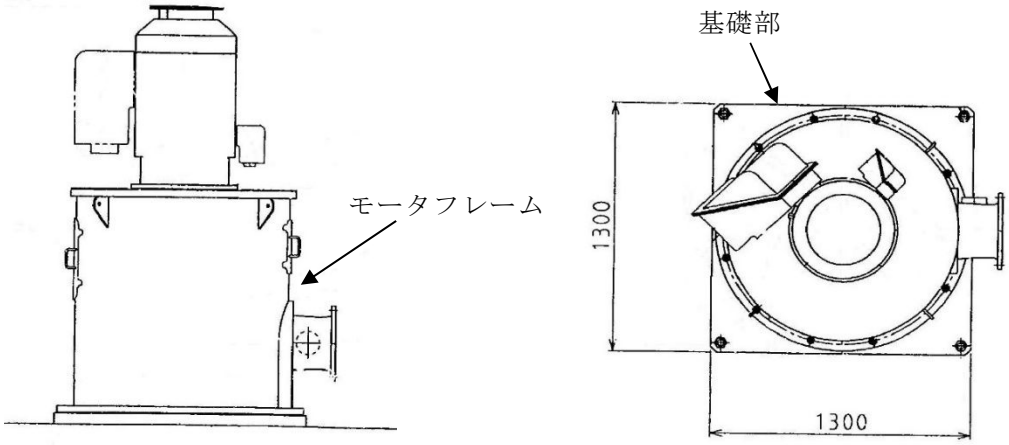
しないこと及び周囲が壁に覆われて風荷重が考慮不要であることから，評価応力は圧縮応力のみとする。（第１表，第１図，第２図）

第１表　海水ポンプモータの評価条件

項目	評価条件	
	残留熱除去系海水系	ディーゼル発電機海水系
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



第1図　残留熱除去系海水系海水ポンプ　評価部位概要図



第２図　ディーゼル発電機海水系海水ポンプ　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鉛直荷重

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。

$$A = 2.4 \times 2.4 = 5.76(m^2)$$

よって，降下火砕物による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 7{,}355 \times 5.76 = 4.24 \times 10^4(N)$$

同様に，積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 5.76 = 1.21 \times 10^3(N)$$

b．モータ及びポンプロータによる軸方向荷重

$$\text{軸方向荷重}F_3 = (13{,}700 + 1{,}500) \times 9.80665 = 1.49 \times 10^5(N)$$

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。

$$S = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \times (1{,}680^2 - 1{,}648^2) = 8.36 \times 10^{-2}(m^2)$$

D：フレーム外径（㎜）

d：フレーム内径（㎜）

よって，圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{4.24 \times 10^4 + 1.21 \times 10^3 + 1.49 \times 10^5}{8.36 \times 10^{-2}} = 2.31\text{MPa}$$

d．評価結果

当該ポンプの許容応力 σ_c は，ＪＥＡＧ4601 の「その他の支持構造物」における Ⅲ_AS の許容応力より，

$\sigma_c = 229\mathrm{MPa}$

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。

【ディーゼル発電機海水系】

a．降下火砕物と積雪による鉛直荷重

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。

$A = 1.3 \times 1.3 = 1.69(\mathrm{m}^2)$

よって，降下火砕物による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$F_1 = 7{,}355 \times 1.69 = 12.43 \times 10^3(\mathrm{N})$

同様に，積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$F_2 = 210 \times 1.69 = 3.55 \times 10^2(\mathrm{N})$

b．モータ及びポンプロータによる軸方向荷重

軸方向荷重$F_3 = (630 + 600) \times 9.80665 = 1.21 \times 10^4(\mathrm{N})$

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。

$$S = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \times (1{,}100^2 - 1{,}076^2) = 4.10 \times 10^{-2}(\mathrm{m}^2)$$

D：フレーム外径（㎜）

d：フレーム内径（㎜）

よって，圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{12.43 \times 10^3 + 3.55 \times 10^2 + 1.21 \times 10^4}{4.10 \times 10^{-2}}$$

$$= 0.61\mathrm{MPa}$$

d．評価結果

当該ポンプの許容応力 σ_c は，ＪＥＡＧ4601 の「その他の支持構造

物」におけるⅢ$_{A}$Sの許容応力より，

$$\sigma_{c} = 240\mathrm{MPa}$$

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海水系海水ポンプの健全性を損なうことはない。

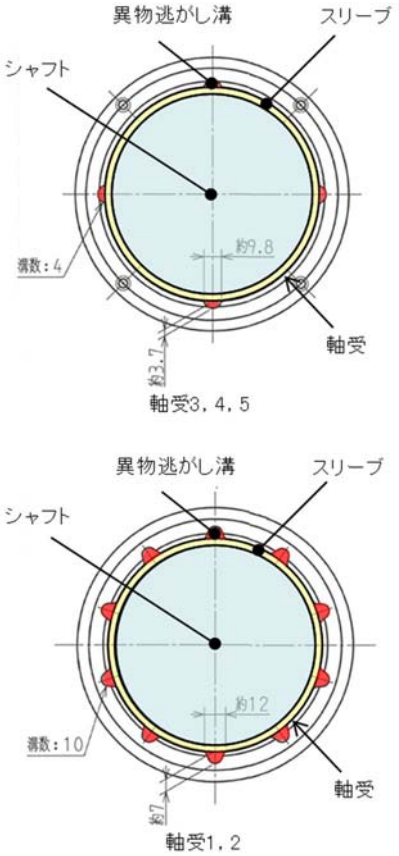
② 水循環系の閉塞

a．流水部の閉塞

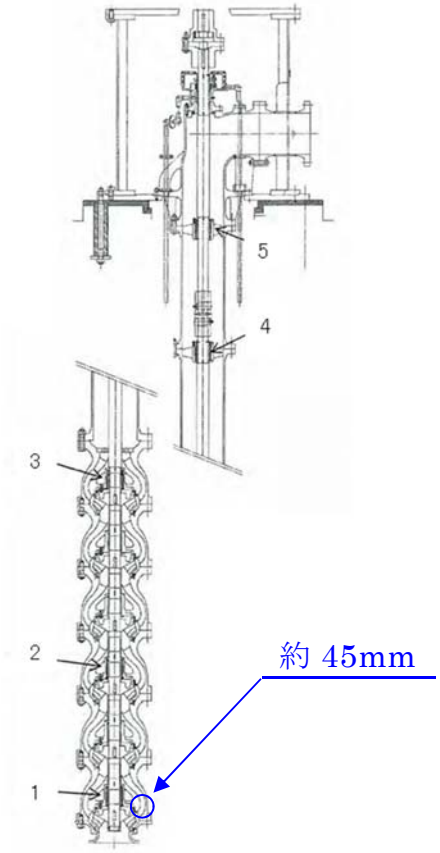
海水ポンプ流水部の最も狭い箇所は，ディーゼル発電機海水系海水ポンプ流水部の約24mmであり，想定する降下火砕物の粒径（8mm）より大きいため，閉塞には至らない。

b．軸受部への影響

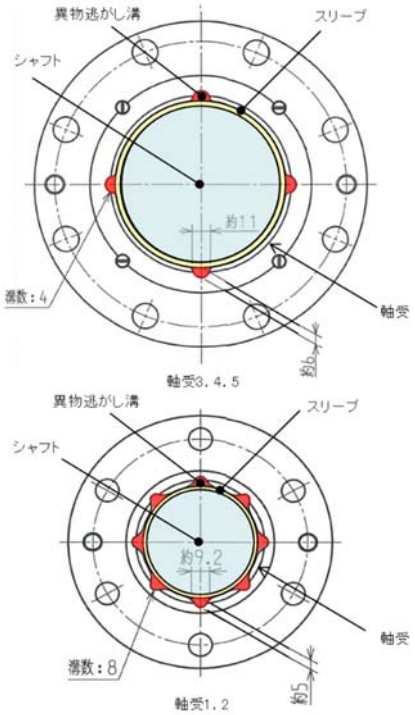
海水ポンプの軸受の隙間は，約1.0mmの許容値で管理されている。一部の降下火砕物は，軸受けの隙間より，軸受け内部に侵入する可能性があるが，異物逃がし溝（最小約3.7mm）が設けられており，軸受部の閉塞には至らない。また，異物逃がし溝より粒径の大きい降下火砕物は軸受隙間に入り込まずにポンプ揚水とともに吐出口へ流されるため閉塞することはない。



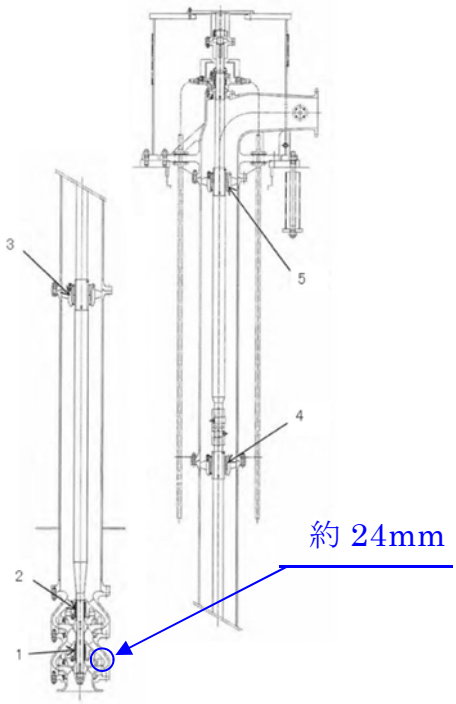
第 3 図　残留熱除去系海水系
海水ポンプ軸受部



第 4 図　残留熱除去系海水系
海水ポンプ断面図



第 5 図　ディーゼル発電機海水系
海水ポンプ軸受部



第 6 図　ディーゼル発電機海水系
海水ポンプ断面図

③　水循環系の摩耗

降下火砕物は砂等に比べて破砕し易く※1，硬度が小さい※2。これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）の機能が喪失した事例はなく，砂より硬度が小さい降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。

※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

④　換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

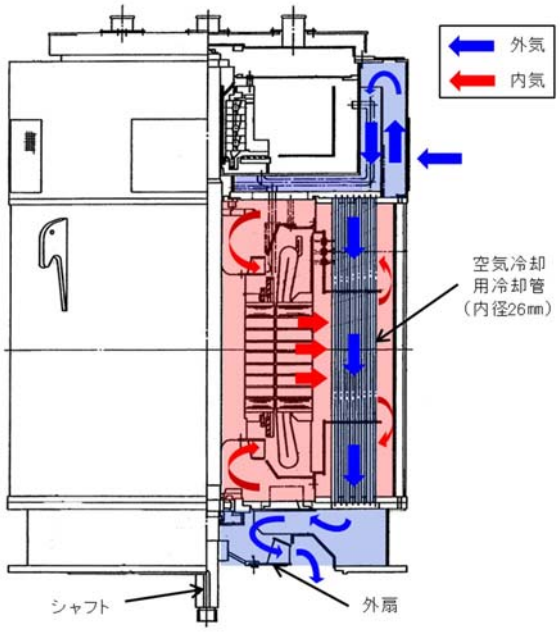
【残留熱除去系海水系】

ａ．電動機への冷却空気侵入による地絡・短絡

海水ポンプモータは第７図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７に示すとおり，冷却管の内径（約 26mm）は想定する降下火砕物の粒径（8mm）より大きいため，降下火砕物が侵入としても冷却管が閉塞することはなく機能を損なうことはない。



第７図　残留熱除去系海水系海水ポンプ電動機の冷却方式

【ディーゼル発電機海水系】

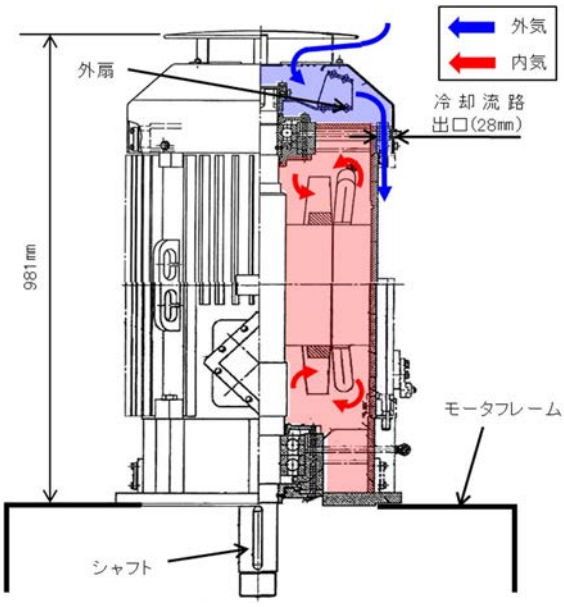
ａ．電動機冷却空気への侵入による地絡・短絡

海水ポンプモータは第８図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．冷却流路への侵入による閉塞

図８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。

降下火砕物が侵入したとしても，冷却流路の出口径（約 28mm）は想定する降下火砕物の粒径（8mm）より大きいため，冷却流路が閉塞することはなく機能を損なうことはない。



第８図　ディーゼル発電機海水系海水ポンプ電動機の冷却方式

⑤　化学的腐食（換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響を含む）

海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）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ることはなく，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。

また，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ）についても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く，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，長期的な影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検において，必要に応じて補修作業を実施する。

(4)　個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第２表に示す。

第 2 表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

資料－６

海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（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（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（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

・ディーゼル発電機海水系（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　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。

③　水循環系の内部における摩耗

降下火砕物が混入した海水を取水することによる降下火砕物と構造物との摩耗により機器の機能に影響がないことを評価する。

④　化学的影響

降下火砕物の付着による構造物の腐食及び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：50cm

ｂ．粒　径：8mm 以下

ｃ．密　度：1.5g／cm^3（湿潤状態）

ｄ．荷　重：7,355N／m^2

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／m^2（建築基準法より）

ｃ．荷　重：210N／m^2

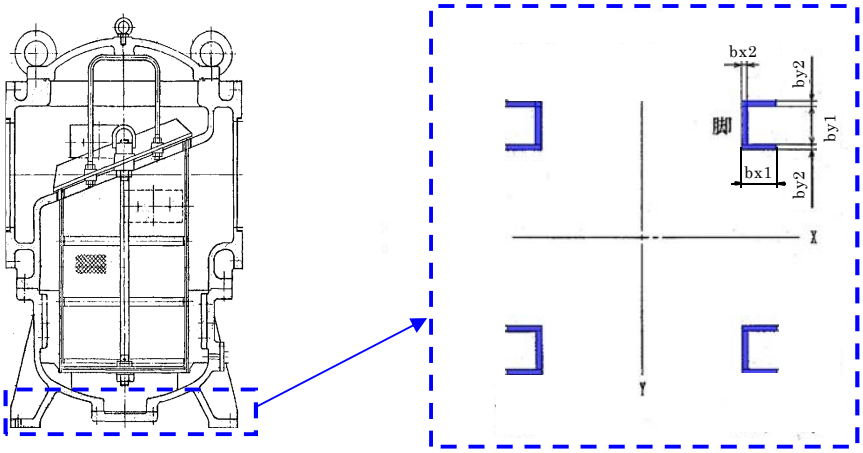
(3)　評価結果

①　構造物への静的負荷

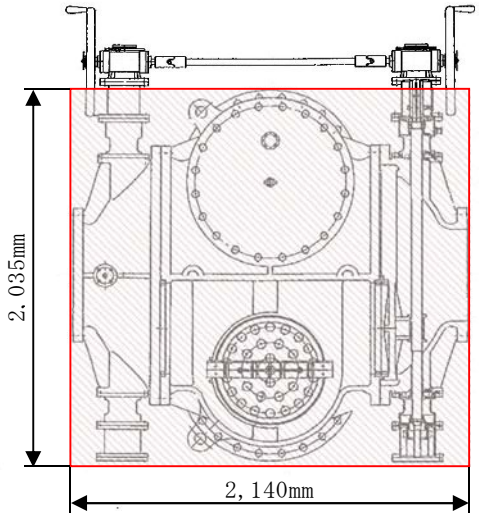
降下火砕物の堆積荷重の影響に係る評価部位は，荷重の影響を受けやすい支持脚とし，堆積面積は保守的に基礎部面積とする。なお，海水ストレーナ上部には降下火砕物が一様に堆積し，荷重の偏りは発生しないこと及び周囲が壁に覆われて風荷重が考慮不要であることから，評価応力は圧縮応力のみとする。（第 1 表，第 1 図～第 3 図）

第１表　海水ストレーナの評価条件

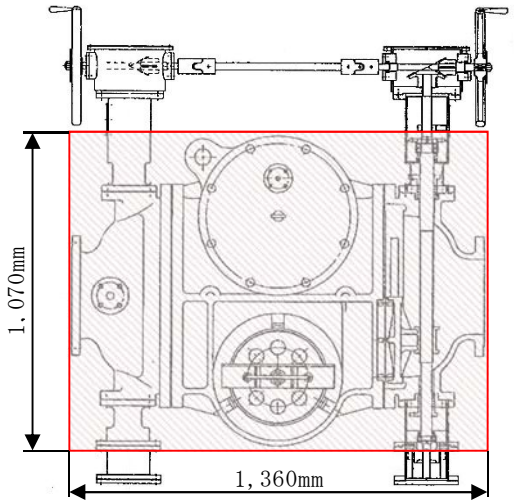
項目	評価条件			
	残留熱除去系海水系		ディーゼル発電機海水系	
機器重量（運転質量）	9,850kg		2,030kg	
支持脚寸法	bx1	150mm	bx1	100mm
	bx2	25mm	bx2	15mm
	by1	174mm	by1	95mm
	by2	25mm	by2	15mm



第１図　海水ストレーナ評価部位概要図（共通）



第２図　海水ストレーナ堆積部分（残留熱除去系海水系）



第 3 図　海水ストレーナ堆積部分（ディーゼル発電機海水系）

【残留熱除去系海水系】

a．降下火砕物と積雪による鉛直荷重

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。

$$A = 2.140 \times 2.035 = 4.35(\mathrm{m}^2)$$

よって，降下火砕物による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 7{,}355 \times 4.35 = 3.20 \times 10^4(\mathrm{N})$$

同様に，積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 4.35 = 9.14 \times 10^2(\mathrm{N})$$

b．機器重量による鉛直荷重

機器重量荷重$F_3 = 9{,}850 \times 9.80665 = 9.66 \times 10^4(\mathrm{N})$

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。

$$S = (150 \times 25 \times 2 + 25 \times 174) \times 4 = 4.74 \times 10^{-2}(\mathrm{m}^2)$$

よって，圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{3.20 \times 10^4 + 9.14 \times 10^2 + 9.66 \times 10^4}{4.74 \times 10^{-2}} = 2.74(\mathrm{MPa})$$

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，ＪＥＡＧ4601 の「その他の支持構造物」における $\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$ の許容応力より，

$$\sigma_c = 184\mathrm{MPa}$$

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。

【ディーゼル発電機海水系】

a．降下火砕物と積雪による鉛直荷重

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。

$$A = 1.360 \times 1.070 = 1.46(\mathrm{m}^2)$$

よって，降下火砕物による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 7{,}355 \times 1.46 = 10.74 \times 10^3(\mathrm{N})$$

同様に，積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 1.46 = 3.07 \times 10^2(\mathrm{N})$$

b．機器重量による鉛直荷重

$$\text{機器重量荷重}F_3 = 2{,}030 \times 9.80665 = 1.99 \times 10^4(\mathrm{N})$$

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。

$$S = (100 \times 15 \times 2 + 15 \times 95) \times 4 = 1.77 \times 10^{-2}(\mathrm{m}^2)$$

よって，圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{10.74 \times 10^3 + 3.07 \times 10^2 + 1.99 \times 10^4}{1.77 \times 10^{-2}} = 1.75(\mathrm{MPa})$$

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，ＪＥＡＧ4601 の「その他の支持構造物」における $\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$ の許容応力より，

$$\sigma_c = 184\mathrm{MPa}$$

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 水循環系の閉塞

海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）は粒径 8mm の降下火砕物に対して，ストレーナのメッシュ径を降下火砕物の粒径以上とすることで，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。

海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）より下流の機器の伝熱管等は，第 2 表のとおり，降下火砕物の粒径以上の内径を確保することにより閉塞することがない設計とする。

また，降灰が確認された場合は，取水路内への降下火砕物の流入量を低減するために，取水路前面にオイルフェンスを設置する。

第 2 表　海水ストレーナより下流の機器の伝熱管

機　　器		伝熱管内径 （狭隘部）
ディーゼル発電機用冷却器 （非常用，高圧炉心スプレイ系）	空気冷却器	取替（8mm 以上）
	潤滑油冷却器	13.6mm
	清水冷却器	13.6mm
	燃料弁冷却油冷却器	13.6mm
残留熱除去系熱交換器		20.4mm
RCIC，RHR，LPCS，HPCS ポンプ室空調器		13.5mm
格納容器雰囲気モニタリング系冷却器		取替（8mm 以上）

③　水循環系の内部における摩耗

降下火砕物は砂等に比べて破砕し易く※1，硬度が小さい※2。これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって，海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）及び下流設備の機能が喪失した事例はなく，砂より硬度が小さい降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。

※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

④　化学的腐食

海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）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ることはなく，化学的腐食により直ちに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。

なお，長期的な影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検において，必要に応じて補修作業を実施する。

(4)　個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第2表に示す。

第 2 表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

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)　評価項目及び内容

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　水循環系の内部における摩耗

降下火砕物が混入した海水を取水することによる降下火砕物と構造物との摩耗により機器の機能に影響がないことを評価する。

③　化学的腐食

降下火砕物の付着による構造物の腐食及び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

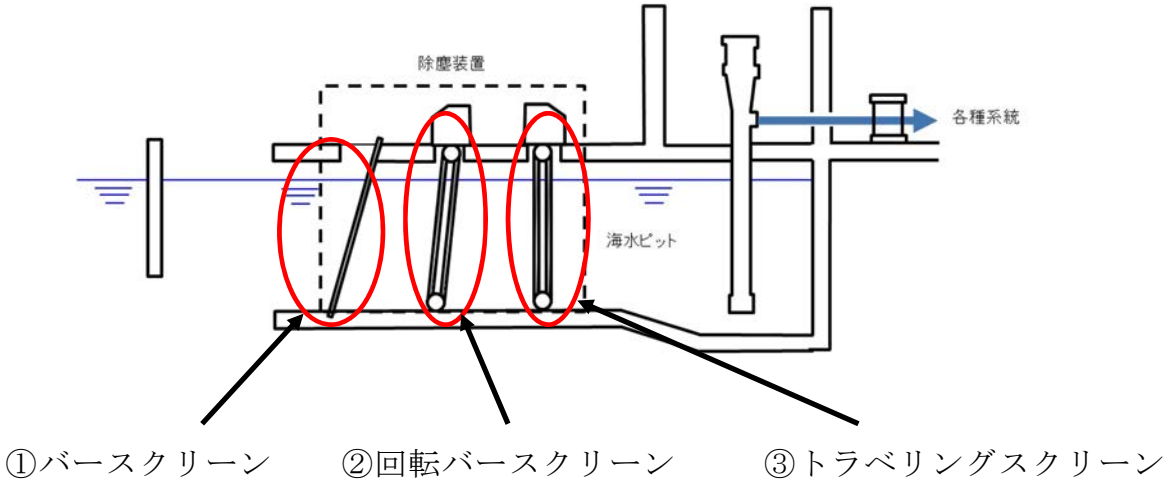
(3)　評価結果

①　水循環系の閉塞

第１図に示すとおり，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）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バー枠，網枠が設置されており，それらのバーピッチ及び網枠メッシュに対して，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。各海水取水設備のバーピッチ及びメッシュ間隔を第１表に示す。



第１図　海水取水設備概略図

第１表　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	網枠メッシュ：10mm

②　水循環系の内部における摩耗

降下火砕物は砂等に比べて破砕し易く※1，硬度が小さい※2。これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって，海水取水設備の機能が喪失した事例はなく，砂より硬度が小さい降下火砕物が設備に影響を与える可能

性は小さい。

※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　化学的腐食

海水取水設備は防汚塗装等を施しており，化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。また，電気，計装設備等の付帯設備については端子箱等に納入されており，降下火砕物の直接的影響は受けない。

なお，長期的な影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検において，必要に応じて補修作業を実施する。

(4)　個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第2表に示す。

第2表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
構造物への堆積負荷	静的負荷の影響を受けにくい構造
換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

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。

空気を取り込む機構の考え方については，資料－８（添付資料－１）に示す。

(1)　評価項目及び内容

①　化学的腐食

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）の腐食により機器の機能に影響がないことを評価する。

②　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

①　化学的腐食

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（ＪＩＳ 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。

このため，仮に室内に侵入する場合でも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。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再循環運転を行うことにより降下火砕物の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。

② 絶縁低下

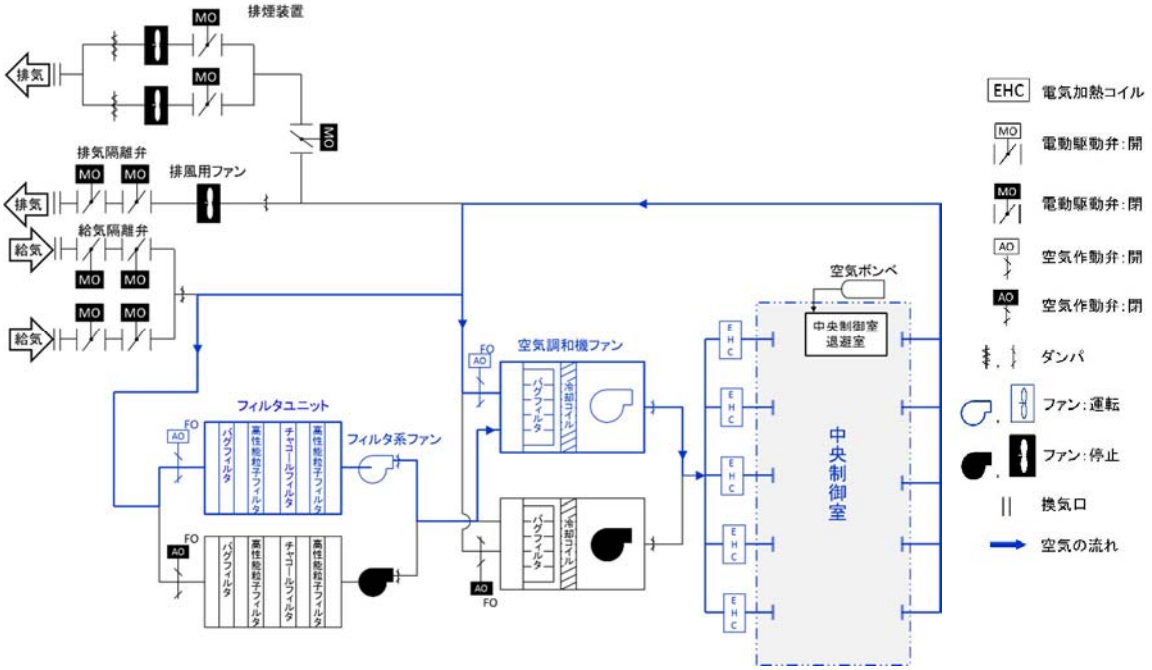
計装制御設備（安全保護系）については，その発熱量に応じて盤内に換気ファンを設置している場合があるため，換気に伴い降下火砕物が計装制御設備（安全保護系）の盤内に侵入する可能性がある。

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（ＪＩＳ 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再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。



第 1 図　中央制御室換気空調設備（再循環運転）概要図

(4)　個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第１表に示す。

第１表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

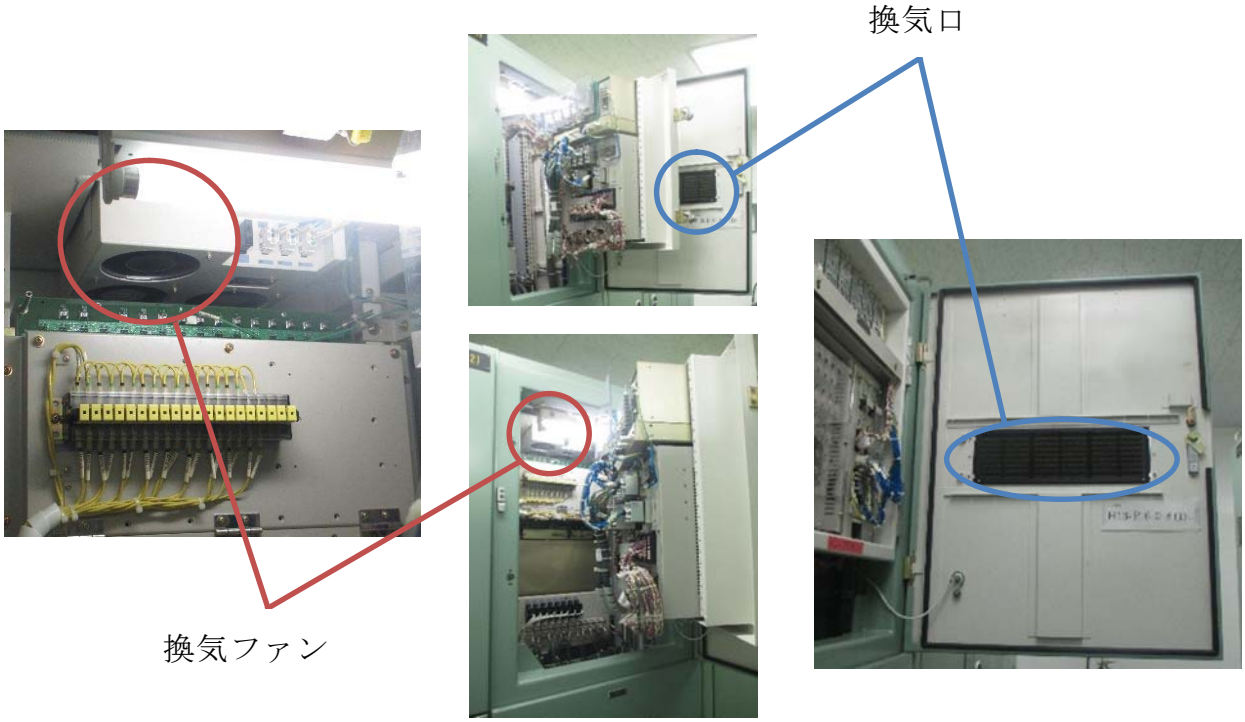
直接的影響の要因	理由
構造物への静的負荷	屋内設置設備であり，静的負荷の影響を直接受けない
水循環系の閉塞	水循環系の機能と直接関連がない
水循環系の内部における摩擦	水循環系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

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盤について

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盤についての考え方を以下に示す。

○外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する盤

屋内の空気を機器内に取り込む機構とは換気ファンのことであり，安全保護系盤への信号発生元であるロジック盤は発熱量が高いため，盤内に換気ファンが設置されている。（第１図）

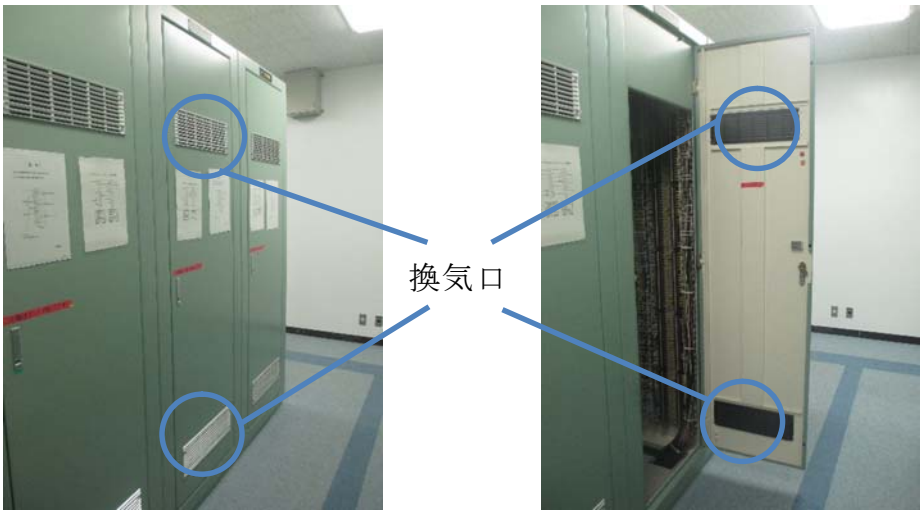


第１図　安全保護系ロジック盤

○外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有しない盤

中央制御室に設置されている安全保護系盤はアナログリレー式のため，換気ファンは設置されていない。

また，原子炉制御盤等には換気口はなく，裏側が開放されているため換気ファンは設置されていない。（第 2 図～第 3 図）



第 2 図　安全保護系盤

第 3 図　原子炉制御盤（換気口無し）

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　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（給気系外気取入口）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。

③　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）

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。

④　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：50cm

ｂ．粒　径：8mm 以下

ｃ．密　度：1.5g／cm^3（湿潤状態）

ｄ．荷　重：7,355N／m^2

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）

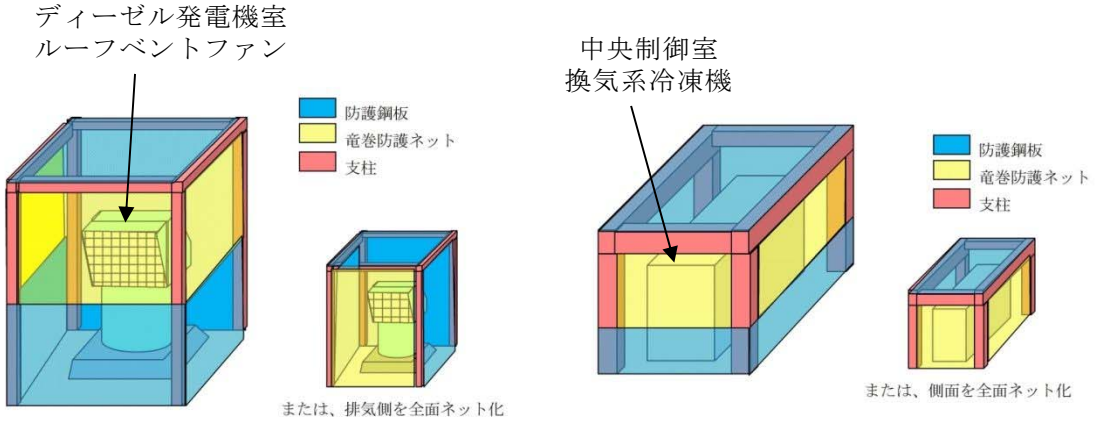
ｂ．単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N／m^2（建築基準法より）

ｃ．荷　重：210N／m^2

(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，第１図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。



第１図　換気空調設備　防護イメージ

② 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，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，給気を供給する系統及び機器に対して，降下火砕物が与える影響は小さい。また，外気取入口は，地上面又は直下にある平面部から 50cm 以上の高さを確保していることから，堆積によって外気取入口が閉塞に至ることはない。

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取り替え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。

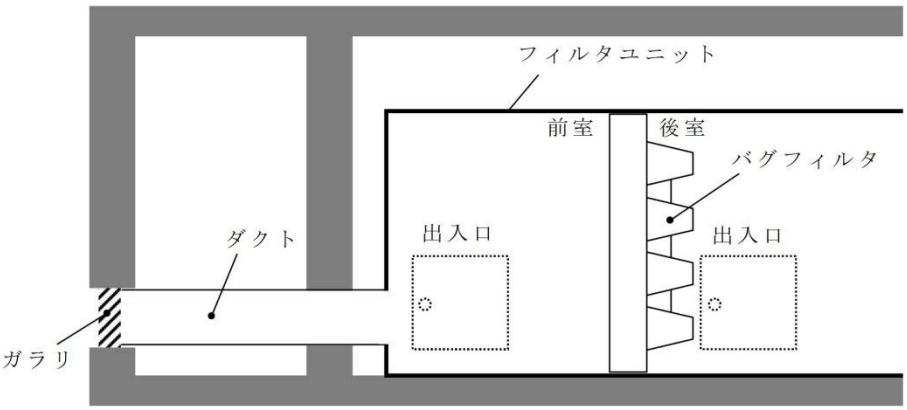
その他の換気空調設備（外気取入口）には，バグフィルタが設置されており，必要に応じて清掃及び取り替えることが可能な設計とする。

また，各換気空調設備（外気取入口）は，外気取入口の直近にある平面部から 50cm 以上を確保していることから，周囲に降下火砕物が堆積したとしても，閉塞に至ることは無い。

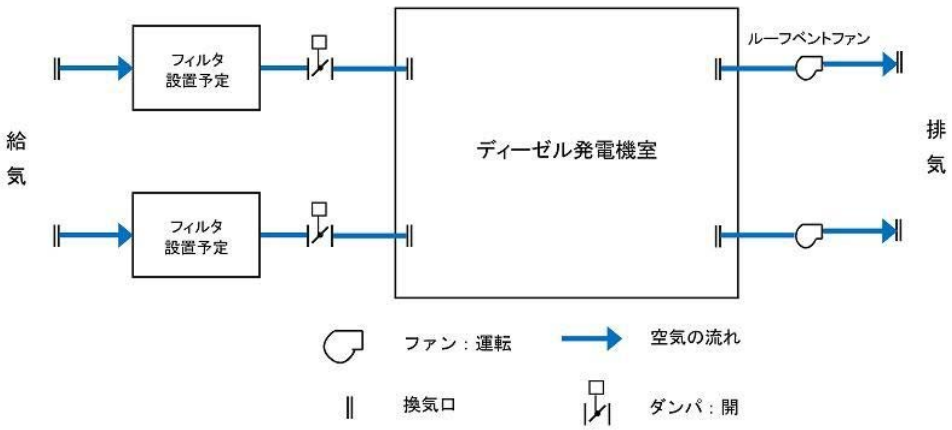
使用済燃料乾式貯蔵建屋の給気口については，給気口の直近にある平面部から 50cm 以上を確保していることから，周囲に降下火砕物が堆積したとしても，閉塞に至ることは無い。

また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の給気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にくい構造となっている。

第 2 図　外気取入口（中央制御室換気空調系）



第 3 図　換気空調設備（外気取入口）イメージ図



第 4 図　ディーゼル発電機室換気系　概要図

③　換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的腐食

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，第１図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。

④　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（ＪＩＳ 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，降下火砕物が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，再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　2,700m^3

・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，第１表のとおりであり，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。

第１表　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．二酸化炭素濃度

「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，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　2,700m^3

・空気流入はないものとする。

・初期二酸化炭素濃度　0.03%

・１人あたりの二酸化炭素吐出量は，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 0.046m^3／h とする。

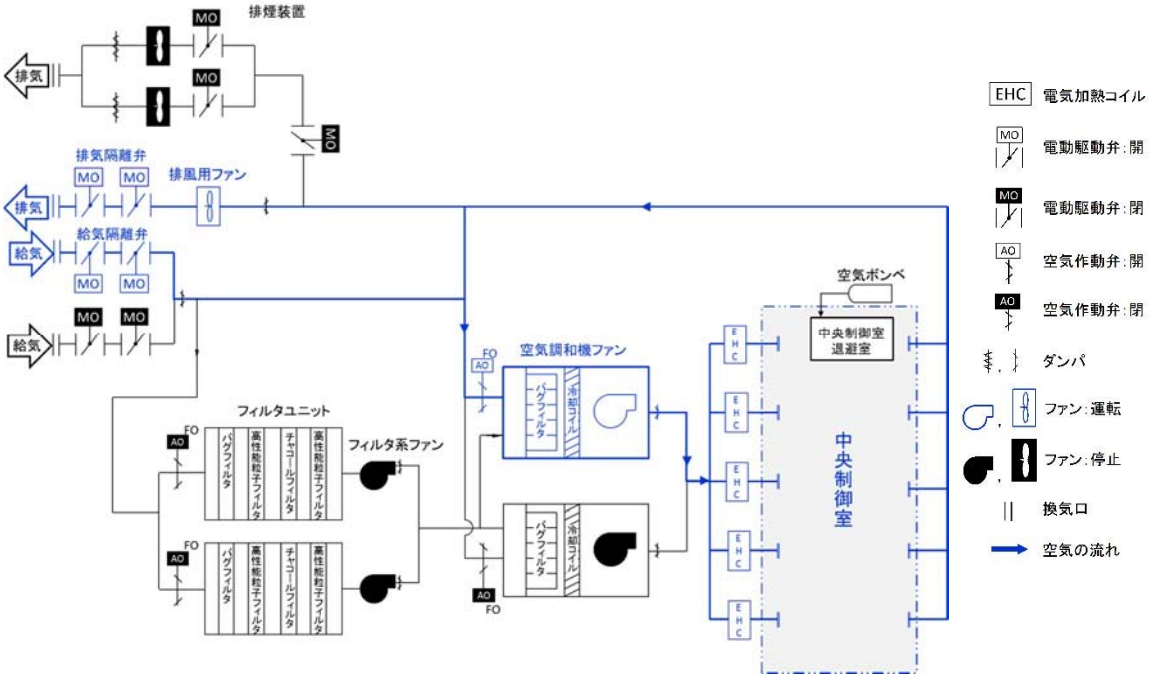
・管理濃度は 1.0%未満とする。（鉱山保安法施行規則）

【評価結果】

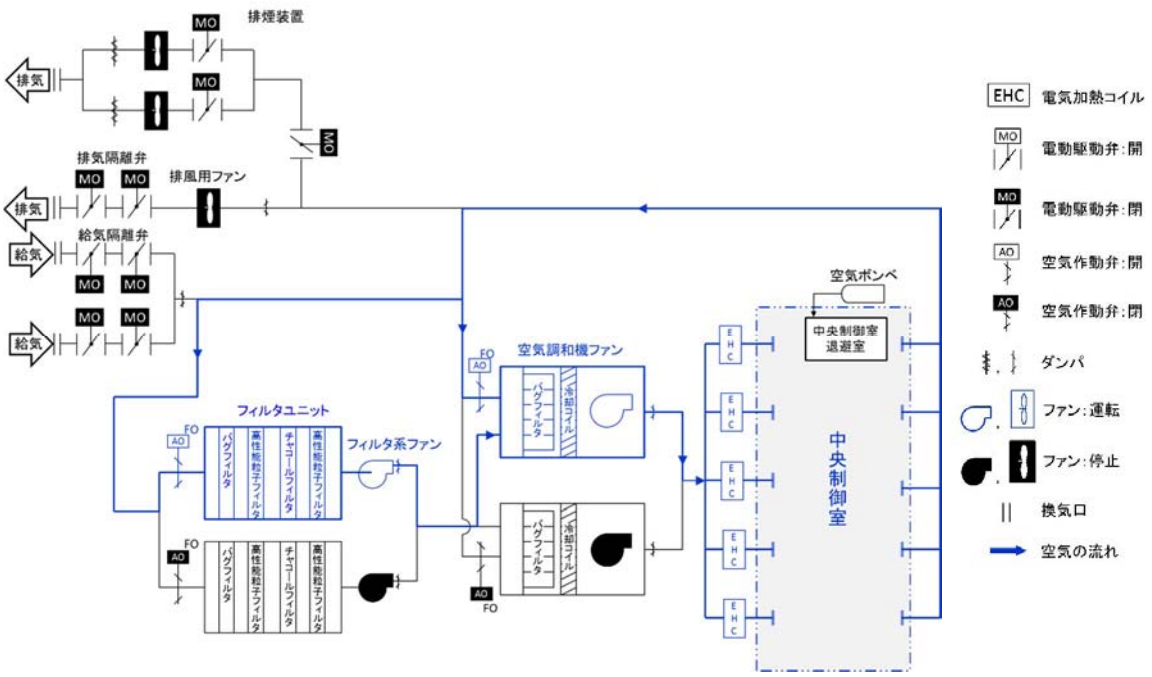
上記評価条件から求めた二酸化炭素濃度は，第 2 表のとおりであり，約 51.7 時間外気取入を遮断したままでも，中央制御室内に滞在する運転員の操作環境に影響を与えない。

第 2 表　中央制御室再循環運転における二酸化炭素濃度

時間	12時間	24時間	48時間	51.7時間	管理値
二酸化炭素濃度	0.26%	0.48%	0.93%	1.00%	1.00%



第 5 図　中央制御室換気空調設備（通常運転）概要図



第 6 図　中央制御室換気空調設備（再循環運転）概要図

(4)　個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第 3 表に示す。

第 3 表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
構造物への静的負荷	屋内設置設備であり，静的負荷の影響を直接受けない
水循環系の閉塞	水循環系の機能と直接関連がない
水循環系の内部における摩擦	水循環系の機能と直接関連がない
化学的影響	換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響として評価
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

バグフィルタの取替手順について

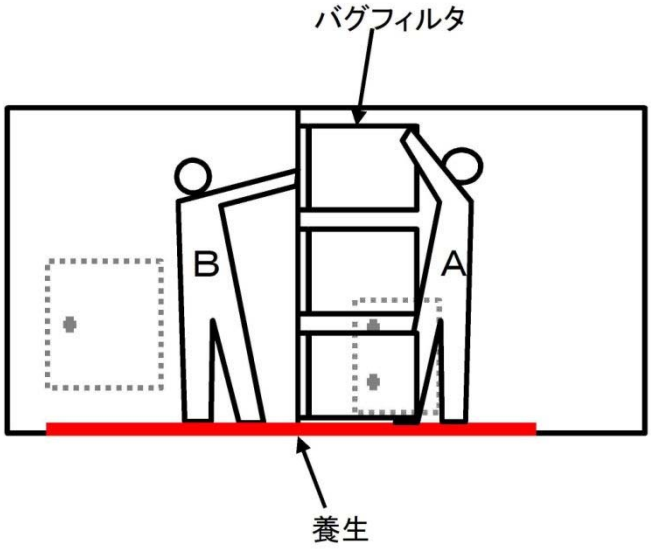
換気空調系の外気取入口のバグフィルタの取替作業を行う際は，対象となる系統の運転を停止し，ダンパを閉め，系統を隔離してから行う。また，バグフィルタの取替作業は建屋（ガラリ）内で行うため，降下火砕物の影響を受けにくい。

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，バグフィルタ取り替えを行う場合，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。

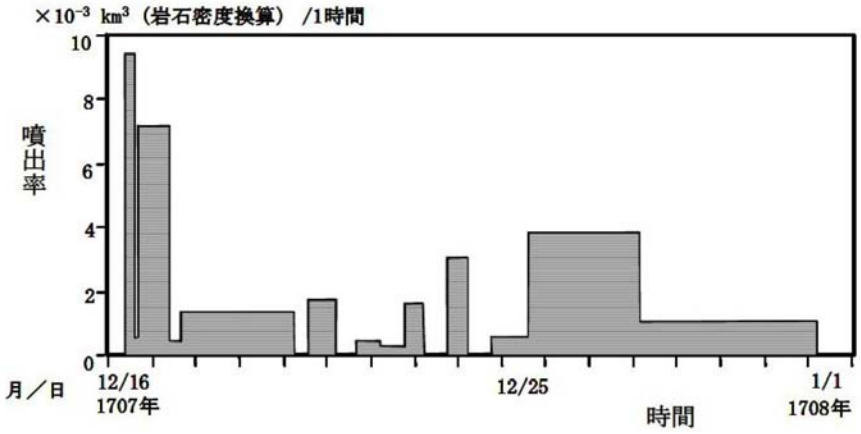
・取替作業終了後は降下火砕物の再浮遊の影響を低減させるため，作業エリアの清掃を行う。



第1図　バグフィルタ取替作業イメージ

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。



第１図　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，噴火の継続時間はほとんどが数時間程度であり，長いものでも 36 時間程度である。

第１表　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

資料－１０

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含む。）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

降下火砕物の堆積荷重によりディーゼル発電機吸気口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。また，風の影響を考慮し，曲げ応力に対する評価も行う。

また，屋外に設置されている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，荷重の影響を受けることはない。

②　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，ディーゼル発電機の機能に影響がないことを評価する。

③　化学的腐食

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。

(2)　評価条件

①　降下火砕物条件

ａ．堆積量：50cm

ｂ．粒　径：8mm 以下

ｃ．密　度：1.5g／cm^3（湿潤状態）

ｄ．荷　重：7,355N／m^2

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／m^2（建築基準法より）

ｃ．荷　重：210N／m^2

③　風条件

ａ．風速：30m／s

(3)　評価結果

①　構造物への静的負荷

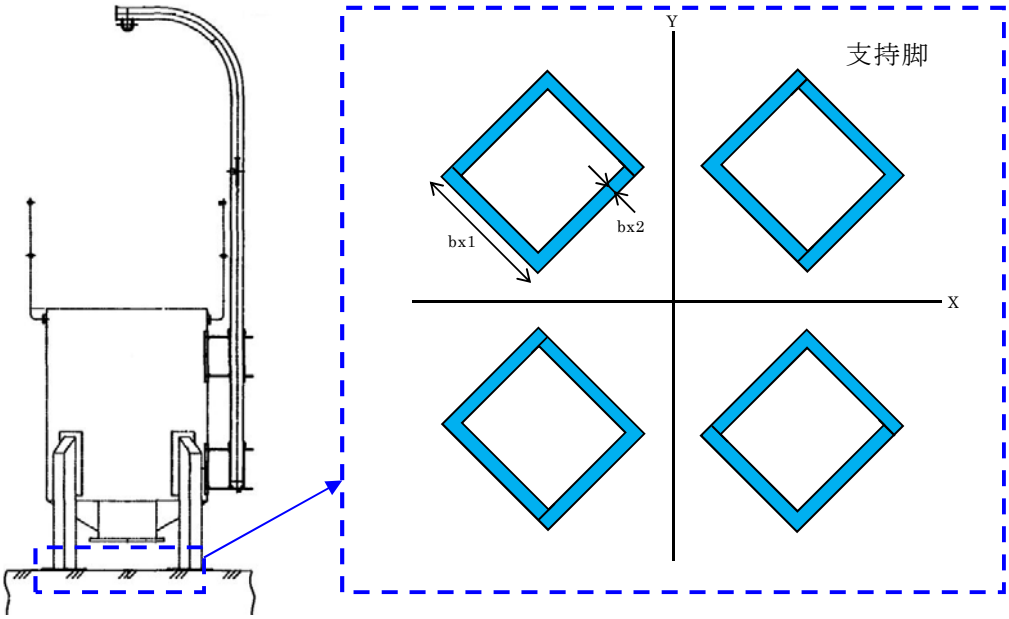
ａ．圧縮応力

堆積荷重の影響に係る評価部位は支持脚とする。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。（第１表，第１図）

第１表　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	bx1	150mm
	bx2	15mm



第 1 図　吸気口　評価部位概要図（共通）

(a) 降下火砕物と積雪による鉛直荷重

吸気口の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり。

$$A = \frac{\pi}{4} \times 1.540^2 = 1.87(\mathrm{m}^2)$$

よって，降下火砕物及び積雪による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 7{,}355 \times 1.87 = 1.38 \times 10^4(\mathrm{N})$$

同様に，積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 1.87 = 3.93 \times 10^2(\mathrm{N})$$

(b) 機器重量による鉛直荷重

機器重量荷重$F_3 = 800 \times 9.80665 = 7.85 \times 10^3(\mathrm{N})$

(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。

$$S = \{(150 \times 165) - (120 \times 135)\} \times 4 = 3.42 \times 10^{-2}(\mathrm{m}^2)$$

よって，圧縮応力σは次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{1.38 \times 10^4 + 3.93 \times 10^2 + 7.85 \times 10^3}{3.42 \times 10^{-2}}$$

$$= 0.65(\mathrm{MPa})$$

(d) 評価結果

当該吸気口支持脚の許容応力σ_cは，ＪＥＡＧ4601の「その他の支持構造物」におけるⅢ$_A$Sの許容応力より，

$$\sigma_c = 228\mathrm{MPa}$$

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。

b．曲げ応力

堆積荷重の影響に係る評価部位は平板，胴板，支持脚とする。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。

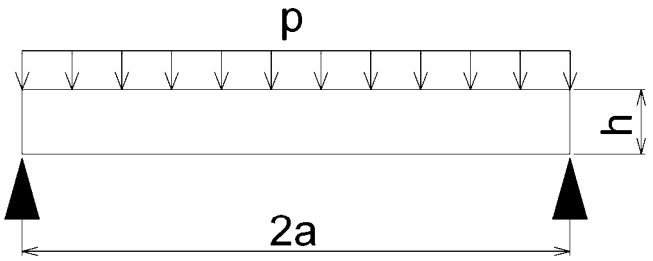
(a) 等分布荷重による評価

平板は等分布荷重による評価を行う。平板評価における荷重条件を第2表に示す。

第2表　平板評価における荷重条件

荷重条件	降下火砕物等堆積荷重
降下火砕物と積雪による鉛直荷重	7,565N／m^2

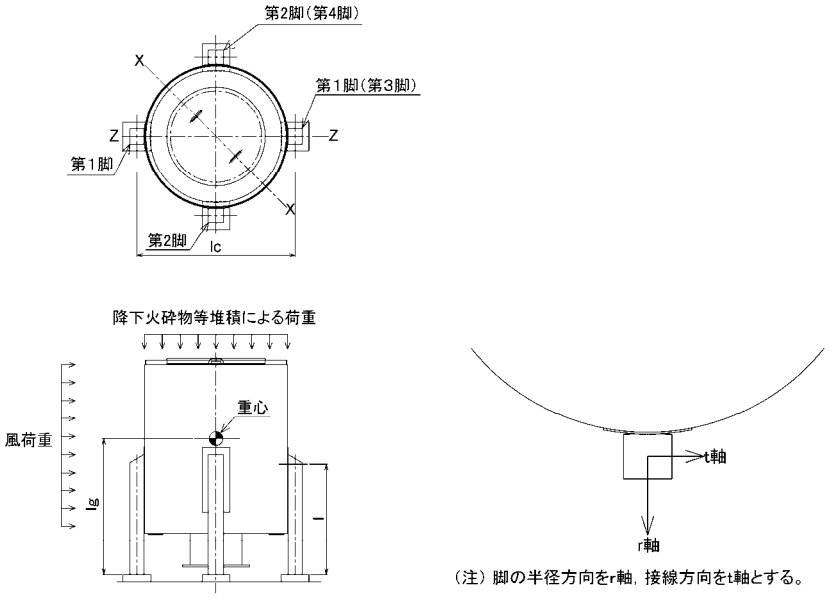
平板は円形であるため，等分布荷重は作用する周辺支持円盤として評価する。平板モデル図を第 2 図に示す。



第 2 図　平板モデル図

(b)　１質点系モデルによる評価

降下火砕物等堆積荷重，自重（鉛直荷重）及び風荷重（水平荷重）の影響に係る評価部位は，胴板，支持脚とする。ＪＥＡＧ 4601 の「四脚たて置円筒形容器」の応力評価を準用し，風荷重による応力を求める。ディーゼル発電機吸気口のモデル図を第 3 図に示す。



第３図　ディーゼル発電機吸気口　モデル図

(c)　評価結果

評価結果を第３表に示す。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。許容値は，平板については，弾性範囲である設計降伏点とし，胴板については，ＪＥＡＧ4601の「クラス２，３容器」における許容応力状態$Ⅲ_AS$から算出した許容応力，支持脚については，ＪＥＡＧ4601の「その他の支持構造物」における許容応力状態$Ⅲ_AS$から算出した許容応力を用いた。

第３表　降下火砕物等の荷重による健全性評価結果

評価部位	応力	許容応力［MPa］	発生応力［MPa］	評価結果
平板	曲げ	211	1.13	○
胴板	一次一般膜	236	1.31	○
	一次	354	3.37	○
	一次＋二次	482	8.11	○
支持脚	組合せ	241	3.86	○
	座屈（圧縮＋曲げ）	1※	0.02※	○

※：検定比（下式）による。

$\sigma_{sr}/f_{br}+\sigma_{st}/f_{bt}+\sigma_{sc}/f_{c}\leqq 1$

②　換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

ａ．ディーゼル発電機機関への影響評価

ディーゼル発電機の吸入空気は第４図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 5～75μm 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，第 4 図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砕し易く※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砕され，破砕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，潤滑油系にはフィルタが設置されているが，メッシュ寸法が約 100μm 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。

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.32-4

ｂ．空気冷却器への影響評価

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，冷却器内が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（冷却器出口温度）が目安となるが，吸気管吸気温度（冷却器出口温度）は，吸入空気の温度（外気温度）よりも常に高い状態で運転している。

したがって，空気冷却器内の結露により降下火砕物が付着する可能性は極めて低く，降下火砕物による空気冷却器への影響はない。

ｃ．排気管への影響評価

排気管は第 5 図に示すとおり，横方向を向いており降下火砕物が侵入し難い構造となっている。また，運転中は排気していること，待機

中であっても外気を吸い込む構造ではないため，降下火砕物が侵入することはない。

② 化学的腐食

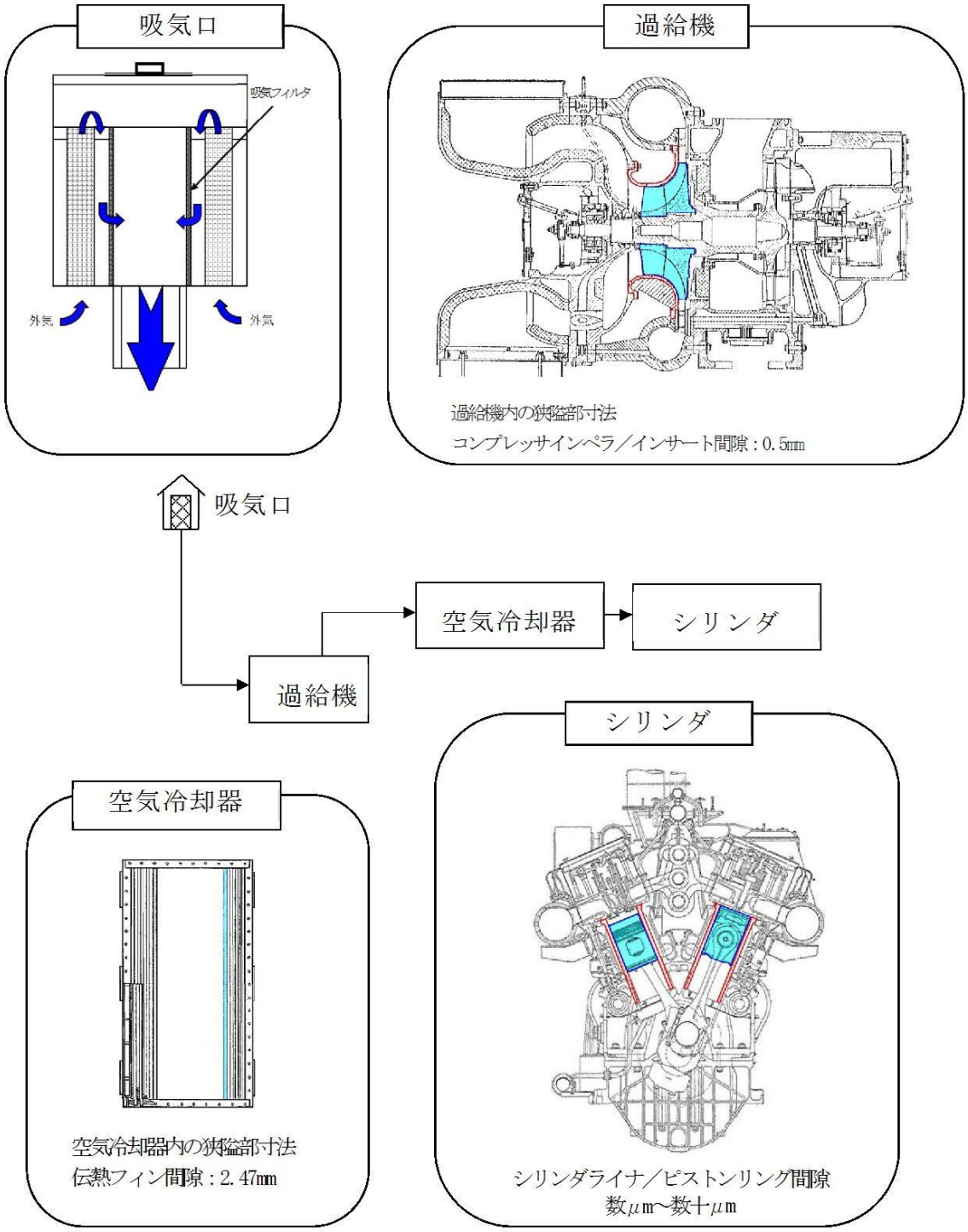
ディーゼル発電機吸気口，排気消音器及び排気管は，外装塗装を実施しており，降下火砕物と金属が直接接触することはなく，化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。また，その内外面の腐食によりディーゼル発電機の機能に有意な影響を与えにくい構造である。

なお，長期的な影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検等において必要に応じて補修作業を実施する。

③ 関連設備

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。



第４図　ディーゼル機関吸気系統構造図

第 5 図　ディーゼル発電機　排気管

(4)　個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第 4 表に示す。

第 4 表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

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 5～75μｍ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，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

非常用ディーゼル発電機の吸気フィルタが閉塞するまでの時間を，米国セントヘレンズ火山噴火の濃度値（33,400 μg／m^3）を用いて試算した。

(1)　セントヘレンズの火山噴火データを用いた試算

第１表より，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。

第１表　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.　吸気フィルタ取替に必要な時間について

吸気フィルタ取替は下記に示すとおり，複雑な作業が必要はなく，フィルタ取替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，あらかじめフィルタを取り付けたフィルタ枠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，さらなる取替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。

【吸気フィルタ取替手順：1 基あたり約 1.5 時間（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）

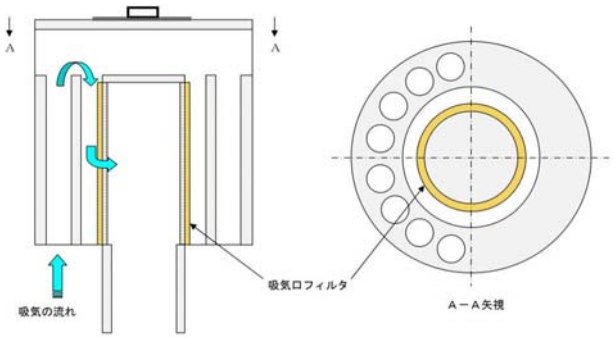
b．フィルタケーシングの上蓋を開放する（約 10 分）

c．フィルタケーシングからフィルタエレメントを抜き出す（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）



第 1 図　非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ 概略図

3.　非常用ディーゼル発電機切替に必要な時間について

非常用ディーゼル発電機切替に必要な時間は下記に示すとおり，負荷切替時間を考慮しても約 0.5 時間である。

【非常用ディーゼル発電機切替手順：約 0.5 時間（30 分）】

ａ．待機側の非常用ディーゼル発電機起動・並列（約 5 分）

ｂ．運転中のＲＨＲ停止時冷却モードを停止（約 2 分）

ｃ．計測制御系負荷切替（約 10 分）

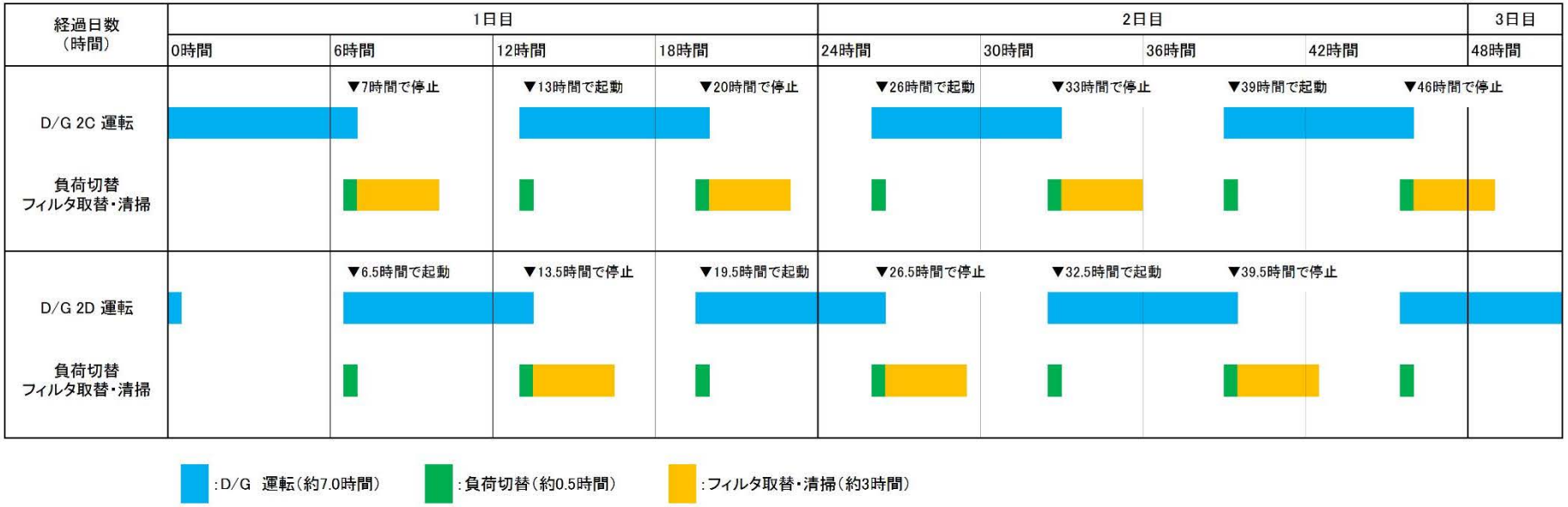
ｄ．待機側のＲＨＲ停止時冷却モード起動（約 3 分）

ｅ．運転中の非常用ディーゼル発電機解列・停止（約 10 分）

4.　まとめ

セントヘレンズ火山噴火の濃度におけるフィルタ閉塞時間（約 7.14 時間）に対して，フィルタ取替・清掃は約 3.0 時間，非常用ディーゼル発電機の切替は約 0.5 時間で対応可能であり，フィルタ閉塞前に，フィルタの取替・清掃は可能である。フィルタ取替のタイムチャートを第 2 図に示す。

また，閉塞時間の試算においては，非常用ディーゼル発電機吸気口は下方向から吸気することにより降下火砕物を吸い込みにくい構造としている点を考慮せず，大気中濃度のまますべて吸い込まれてフィルタに補集されることを前提とした計算をしているため，実際には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。



第２図　非常用ディーゼル発電機吸気口フィルタ取替のタイムチャート

排気筒（非常用ガス処理系排気配管含む）に係る影響評価

降下火砕物による排気筒及び非常用ガス処理系排気配管への影響について，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(化学的腐食含む)

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

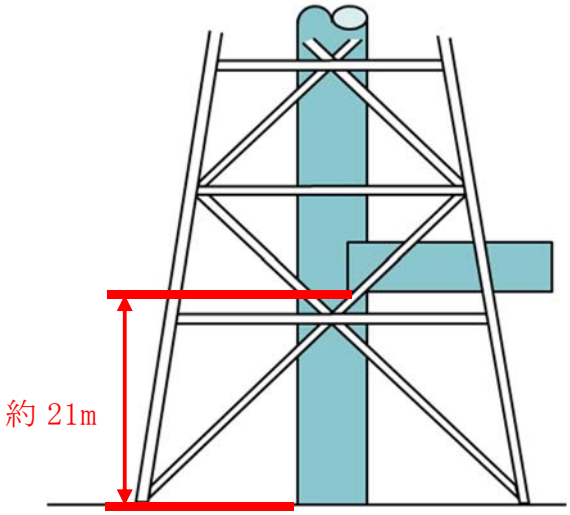
①　堆積量：50cm

(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

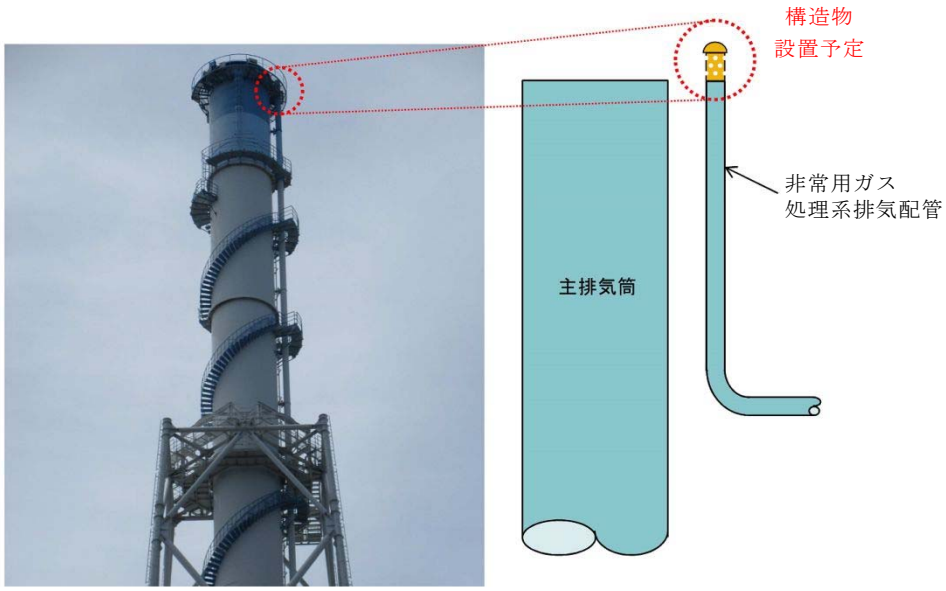
降下火砕物が排気筒に侵入した場合，第１図に示すとおり排気筒の底部から流路まで約 21m あり，降下火砕物が 50cm 堆積した場合でも流路が閉塞することはなく，排気筒の機能を損なうことはない。



第 1 図　排気筒下部の構造

b．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第 2 図に示すとおり，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。



第 2 図　非常用ガス処理系排気配管　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（非常用ガス処理系排気配管含む）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，長期的な影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検等において，必要に応じて補修作業を実施する。

(4) 個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第 1 表に示す。

第 1 表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
構造物への静的負荷	静的負荷の影響を受けにくい構造
水循環系の閉塞	水循環系の機能と直接関連がない
水循環系の内部における摩擦	水循環系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

間接的影響の評価結果

間接的影響について，以下のとおり評価する。

(1)　評価項目及び内容

降下火砕物による間接的影響は，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の交通の途絶によるアクセス制限に対する評価を行う。

(2)　評価結果

外部電源の喪失に対して，ディーゼル発電機（2 基）及び耐震 S クラスの燃料貯蔵タンク（2 基：800kL 以上）を有する設計とする。

これにより，7 日間の外部電源喪失及び外部との交通の途絶に対して，発電用原子炉の停止，停止後の発電用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継続できることから影響はない。

発電用原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な設備について

降下火砕物に起因する外部電源喪失事象により，発電用原子炉の停止が想定されることから，発電用原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な機能を以下のとおり抽出した。

(1)　原子炉停止　　：原子炉停止系（制御棒による系）

(2)　崩壊熱除去　　：残留熱除去系，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）

(3)　放射能放出防止　：原子炉格納容器隔離弁，非常用再循環ガス処理系，非常用ガス処理系

(4)　上記系統の関連系（安全保護系，非常用所内電源系，中央制御室換気空調系，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，直流電源系等）

以上の機能を達成するために必要な設備は，第１表に示すとおり「1.2　追加要求事項に対する適合性」にて抽出した構築物，系統又は機器に含まれていることを確認した。

第１表　発電用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）過剰反応度の印加防止機能	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，スペーサ	○		
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），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，スプレイヘッダ）　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，スプレイヘッダ），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），注水ヘッダ）　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

第１表　発電用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）	○		
			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）	○		
		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

降下火砕物堆積荷重評価への材料強度×1.1の適用について

降下火砕物の堆積荷重に対する評価に，材料強度（以下Ｆ値という。）×1.1を適用することが可能であると判断した理由について以下に示す。

１．Ｆ値×1.1を適用可能な理由

Ｆ値×1.1を適用可能であると判断した理由を以下に示す。また，理由の詳細について２．以降に示す。

・降下火砕物の堆積荷重と同種の荷重である，極めて稀な積雪荷重に対して，Ｆ値×1.1を適用可能なことが，建築基準法等に定められている。

２．降下火砕物の堆積荷重と積雪荷重について

・積雪荷重は，鉛直方向の短期荷重として各応力度を超えないことを建築基準法にて要求されている。

・降下火砕物の堆積荷重は，鉛直方向の短期荷重※として各強度を超えないことを確認する。

※ 降灰作業を行うことにより，短期荷重として取り扱う。

・降下火砕物及び積雪は共に，敷地に一様に堆積される荷重である。

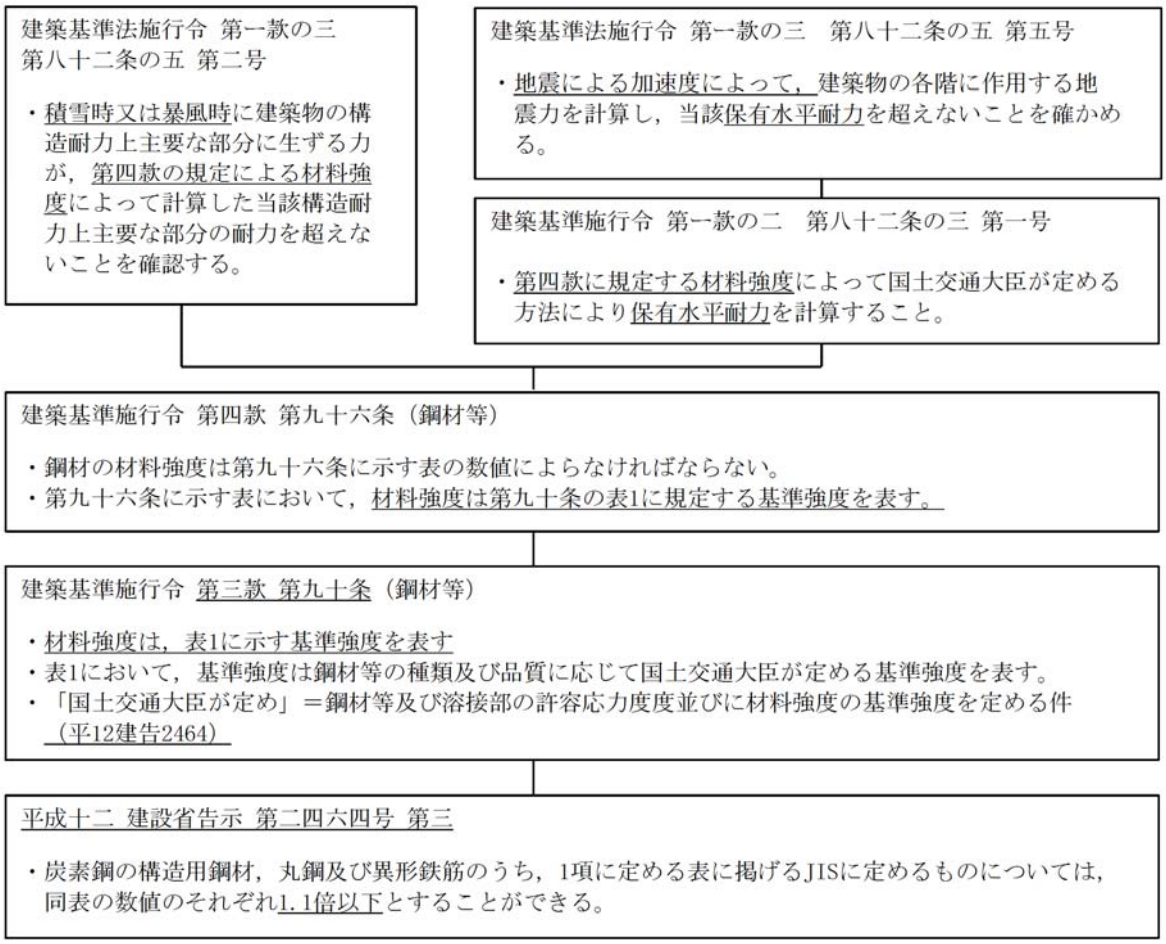
・発電所に50cmの堆積をもたらすような火山事象も極めて稀な事象である。

３．積雪への適用及び適用事例

積雪時の評価について記載されている建築基準法施行令第82条の5第2号から，平成12年建設省告示2464号第3が導かれることを確認し，材料強度×1.1倍が適用可能であると判断した。また，建築基準法施行令第82条の

5 は地震，積雪時又は暴風時に適用される。地震及び暴風時に該当する事例として，既許可プラントの耐震評価及び竜巻影響評価において，材料強度×1.1 倍を適用していることを確認している。

建築基準法施行令と平成 12 年建設省告示 2464 号の概略を第 1 図に示す。



第 1 図　建築基準法施行令と平成 12 年建設省告示 2464 号の概要

4．指針類の扱い

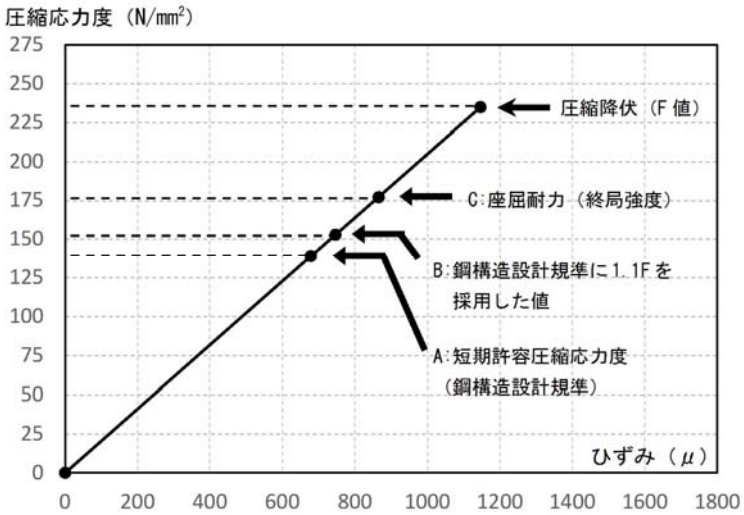
「建築物の構造関係技術基準解説書（建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会）」において，JIS 適合品は，材料強度の数値を 1.1 倍以下の数値をとることができることを平成 12 年建設省告示 2464 号の解説として記載している。

また，「鋼構造塑性設計指針（日本建築学会）」において，適用する荷重（地

震時・暴風時・積雪時等）に対して，主要な構造用鋼材の降伏応力度 σ_y を1.1倍することができると記載されており，参考文献として「建築物の構造関係技術基準解説書」を挙げている。

指針類には，積雪荷重へのF値の1.1倍を使用した事例は確認できなかったが，建築基準法施行令第82条の5は極めて稀である地震，積雪時又は暴風時に適用される。地震及び暴風時に該当する事例として，既許可プラントの耐震評価及び竜巻影響評価において，材料強度の1.1倍を適用していることを確認している。

第2図に圧縮強度の算出例を示す。



第2図　F値×1.1を適用し算定した強度と座屈耐力の比較例

第2図に示した圧縮強度の算出方法を以下に示す。

A：鋼構造設計規準から求めた短期許容圧縮応力度は 以下の式※1を用いて算出する。

※1 短期許容応力度は，fcを1.5倍した強度

$$f_c = \frac{\left\{1-0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\times F}{\nu} \quad (\lambda \leqq \Lambda \text{のとき}) \qquad \nu = \frac{3}{2}+\frac{2}{3}\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

f_c ：許容圧縮応力度　λ ：圧縮材の細長比

Λ ：限界細長比　　ν ：安全率

B：鋼構造設計規準にF値×1.1を適用して求めた圧縮強度は，Aで使用した式※2に対して，F値のみ1.1倍する。

※2 終局強度に対する評価で算定する圧縮強度は，fc’を1.5倍とする。

$$f_c' = \frac{\left\{1-0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\times 1.1F}{\nu} \quad (\lambda \leqq \Lambda \text{のとき}) \quad \nu = \frac{3}{2}+\frac{2}{3}\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

f_c' ：圧縮強度　　λ ：圧縮材の細長比

Λ ：限界細長比　　ν ：安全率

C：座屈耐力として求めた圧縮強度は，初期座屈耐力を求める式において，Aで使用した式において，分母に記載されているν＝1とした式と同様。

$$n_o = 1-0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \quad (\lambda \leqq \Lambda \text{のとき}) \qquad n_o : \text{無次元化初期座屈耐力}$$

建令一〇号

一号イ及び第百九条の二の二において「層間変形角」という。）が二百分の一（地震力による構造耐力上主要な部分の変形によつて建築物の部分に著しい損傷が生ずるおそれのない場合にあつては、百二十分の一）以内であることを確かめなければならない。

（昭三五建一九六・追加、昭六二建三四八・平五建一二〇・平一二建二一一・平一三建三二一・平一九建四九・一部改正）

〔注〕「国土交通大臣が定める」＝保有水平耐力計算及び許容応力度等計算の方法を定める件（平一九国交告五九五号）

（保有水平耐力）

第八十二条の三　建築物の地上部分については、第一号の規定によつて計算した各階の水平力に対する耐力（以下この条及び第八十二条の五において「保有水平耐力」という。）が、第二号の規定によつて計算した必要保有水平耐力以上であることを確かめなければならない。

一　第四款に規定する材料強度によつて国土交通大臣が定める方法により保有水平耐力を計算すること。

二　地震力に対する各階の必要保有水平耐力を次の式によつて計算すること。

Qun = Ds Fes Qud

この式において、Qun、Ds、Fes及びQudは、それぞれ次の数値を表すものとする。

Ds　各階の構造特性を表すものとして、建築物の構造耐力上主要な部分の構造方法に応じた減衰性及び各階の靭性を考慮して国土交通大臣が定める数値

Fes　各階の形状特性を表すものとして、各階の偏心率に応じて国土交通大臣が定める方法により算出した数値

Qud　地震力によつて各階に生ずる水平力（単位　キロニュートン）

（昭三五建一九六・追加、昭六二建三四八・平一二建二一一・平一三建三二一・一部改正、平一九国交告九五九・旧第八十二条の四追加）

〔注〕第一号「国土交通大臣が定める」＝保有水平耐力計算及び許容応力度等計算の方法を定める件（平一九国交告五九五号）

第二号「国土交通大臣が定める」＝Ds及びFesを算出する方法（昭五五建告一七九二）

（屋根ふき材等の構造計算）

第八十二条の四　屋根ふき材が、外装材及び屋外に面する帳壁については、国土交通大臣が定める基準に従つた構造計算によつて風圧に対して構造耐力上安全であることを確かめなければならない。

（平一二建二一一・追加、平一三建三二一・一部改正、平一九国交告九五九・旧第八十二条の四追加）

〔注〕「国土交通大臣が定める」＝屋根ふき材及び屋外に面する帳壁の風圧に対する構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件（平一二建告一四三五号）

第二款の三　限界耐力計算

第八十二条の五　第八十二条第二項第一号ロに規定する限界耐力計算とは、次に定めるところにより行う構造計算をいう。

一 地震時を除き、第八十二条第一号から第三号まで（地震に係る部分を除く。）に定めるところによること。

二 積雪時又は暴風時に、建築物の構造耐力上主要な部分に生ずる力を次の表に掲げる式によつて計算し、当該構造耐力上主要な部分に生ずる力が、それぞれ第四款の規定による材料強度によつて計算した当該構造耐力上主要な部分の耐力を超えないことを確かめること。

荷重及び外力について想定する状態	積雪時	暴風時	備考
一般の場合	G + P + 1.4S	G + P + 1.6W	
第八十六条第二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	G + P + 1.4S	G + P + 1.6W G + P + 0.35S + 1.6W	建築物の転倒、柱の引抜き等を検討する場合においては、Pについては、建築物の実況に応じて積載荷重を減らした数値によるものとする。

この表において、G、P、S及びWは、それぞれ次の力（積方向力、曲げモーメント、せん断力等をいう。）を表すものとする。

G 第八十四条に規定する固定荷重によつて生ずる力

P 第八十五条に規定する積載荷重によつて生ずる力

S 第八十六条に規定する積雪荷重によつて生ずる力

W 第八十七条に規定する風圧力によつて生ずる力

三 地震による加速度によつて建築物の地上部分の各階に作用する地震力及び各階に生ずる層間変位を次に定めるところによつて計算し、当該地震力が、損傷限界耐力（建築物の各階の構造耐力上主要な部分の断面に生ずる応力度が第三款の規定による短期に生ずる力に対する許容応力度に達する場合の建築物の各階の水平力に対する耐力をいう。以下この号において同じ。）を超えないことを確かめるとともに、層間変位の当該各階の高さに対する割合が二百分の一（地震力による構造耐力上主要な部分の変形によつて建築物の部分に著しい損傷が生ずるおそれのない場合にあつては、百二十分の一）を超えないことを確かめること。

イ 各階が、損傷限界耐力に相当する水平力その他のこれに作用する力に耐えている時に当該階に生ずる水平方向の層間変位（以下この号において「損傷限界変位」という。）を国土交通大臣が定める方法により計算すること。

ロ 建築物のいずれかの階において、イによつて計算した損傷限界変位に相当する変位が生じている時の建築物の固有周期（以下この号及び第七号において「損傷限界固有周期」という。）を国土交通大臣が定める方法により計算すること。

ハ 地震による建築物の各階に作用する地震力を、損傷限界固有周期に応じて次の表に掲げる式によつて計算した当該階以上の各階に水平方向に生ずる力の総和として計算すること。

Td＜0.16の場合	Pdi＝(0.64＋6Td)mi　Bdi　Z　Gs
0.16≦Td＜0.64の場合	Pdi＝1.6mi　Bdi　Z　Gs
0.64≦Td の場合	$Pdi=\frac{1.024mi\ Bdi\ Z\ Gs}{Td}$

この表において、Td、Pdi、mi、Bdi、Z及びGsは、それぞれ次の数値を表すものとする。

Td 建築物の損傷限界固有周期（単位 秒）

Pdi 各階に水平方向に生ずる力（単位 キロニュートン）

mi 各階の質量（各階の固定荷重及び積載荷重との和（第八十六条第二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いては、更に積雪荷重を加えたものとする。）を重力加速度で除したもの）（単位 トン）

Bdi 建築物の各階に生ずる加速度の分布を表すものとして、損傷限界固有周期に応じて国土交通大臣が定める表に従つて算出した数値

Z 第八十八条第一項に規定するZの数値

Gs 表層地盤による加速度の増幅率を表すものとして、表層地盤の種類に応じて国土交通大臣が定める方法により算出した数値

建三九六号

ニ 各階が、ハによつて計算した地震力その他のこれに作用する力に耐えている時に当該階に生ずる水平方向の層間変位を国土交通大臣が定める方法により計算すること。

四 第八十八条第四項に規定する地震力により建築物の地下部分の構造耐力上主要な部分の断面に生ずる応力度を第八十二条第一号及び第二号の規定によつて計算し、それぞれ第三款の規定による短期に生ずる力に対する許容応力度を超えないことを確かめること。

五 地震による加速度によつて建築物の各階に作用する地震力を次に定めるところによつて計算し、当該地震力が保有水平耐力を超えないことを確かめること。

建四一〇号

（鋼材等）

第九十六条 鋼材等の材料強度は、次の表一又は表二の数値によらなければならない。

一

種類			材料強度（単位 一平方ミリメートルにつきニニ・ニ・ニ・ニ）			
			圧縮	引張り	曲げ	せん断
炭素鋼	構造用鋼材		F	F	F	$\frac{F}{\sqrt{3}}$
	高力ボルト		—	F	—	$\frac{F}{\sqrt{3}}$
	ボルト	黒皮	—	F	—	—
		仕上げ	—	F	—	大臣が三四〇ボルトについて、国土交通大臣が三四〇ボルトについて、$\frac{3F}{4}$（Fが三四〇を超える場合に
鋳鋼	構造用鋼材		F	F	F	$\frac{F}{\sqrt{3}}$
	鋳鋼		F	F	F	$\frac{F}{\sqrt{3}}$
	リベット鋼		—	F	—	$\frac{3F}{4}$
	構造用ケーブル		—	F	—	—
						数の定めた場合は、その定められた数値を

建二二四・二二五号

二

種類			材料強度（単位 一平方ミリメートルにつきニニ・ニ・ニ・ニ）		
			圧縮	引張り	
				せん断補強以外に用いる場合	せん断補強に用いる場合
丸鋼			F	F	F（当該数値が二九五を超える場合には、二九五）
異形鉄筋			F	F	F（当該数値が三九〇を超える場合には、三九〇）
鋳鋼			F	—	—	—

この表において、Fは、第九十条の表一に規定する基準強度を表すものとする。

（コンクリート）

第九十七条 コンクリートの材料強度は、次の表の数値によらなければならない。ただし、異形鉄筋を用いた柱について、国土交通大臣が異形鉄筋の種類及び品質に応じて別に数値を定めた場合は、当該数値によることができる。

材料強度（単位 一平方ミリメートルにつきニニ・ニ・ニ・ニ）			
圧縮	引張り	せん断	付着
F	$\frac{F}{10}$（Fが二二を超えるコンクリートにあつては、二二・二（軽量		

建二七三号

【建築基準法施行令 第九十条（抜粋）】

第三款　許容応力度

（木材）

第八十九条　木材の繊維方向の許容応力度は、次の表の数値によらなければならない。ただし、第八十二条第一号から第三号までの規定によつて積雪時の構造計算をするに当たつては、長期に生ずる力に対する許容応力度は同表の数値に一・三を乗じて得た数値と、短期に生ずる力に対する許容応力度は同表の数値に〇・八を乗じて得た数値としなければならない。

長期に生ずる力に対する許容応力度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）				短期に生ずる力に対する許容応力度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）			
圧縮	引張り	曲げ	せん断	圧縮	引張り	曲げ	せん断
$\frac{1.1Fc}{3}$	$\frac{1.1Ft}{3}$	$\frac{1.1Fb}{3}$	$\frac{1.1Fs}{3}$	$\frac{2Fc}{3}$	$\frac{2Ft}{3}$	$\frac{2Fb}{3}$	$\frac{2Fs}{3}$

この表において、Fc、Ft、Fb及びFsは、それぞれ木材の種類及び品質に応じて国土交通大臣が定める圧縮、引張り、曲げ及びせん断に対する基準強度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）を表すものとする。

2　かた木で特に品質優良なものをしやち、込み栓の類に使用する場合においては、その許容応力度は、それぞれ前項の表の数値の二倍まで増大することができる。

3　基礎ぐい、水槽、浴室その他これらに類する常時湿潤状態にある部分に使用する場合においては、その許容応力度は、それぞれ前二項の規定による数値の七十パーセントに相当する数値としなければならない。

（昭三四政三四四・昭四五政三三三・昭五五政一九六・昭六二政三四八・平一二政二一一・平一二政三一二・一部改正）

（注）第一項「国土交通大臣が定め」＝木材の基準強度Fc、Ft、Fb及びFsを定める件（平一二建告一四五二）

（鋼材等）

第九十条　鋼材等の許容応力度は、次の表一又は表二の数値によらなければならない。

一

種類		長期に生ずる力に対する許容応力度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン） 圧縮	引張り	曲げ	せん断	短期に生ずる力に対する許容応力度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）
炭素鋼	構造用鋼材	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	長期に生ずる力に対する圧縮、引張り、曲げ又はせん断の許容応力度のそれぞれの数値の一・五倍とする。
炭素鋼	ボルト　黒皮	—	$\frac{F}{1.5}$	—	—	
炭素鋼	ボルト　仕上げ	—	$\frac{F}{1.5}$	—	$\frac{F}{2}$（Fが二四〇を超えるボルトについて、国土交通大臣がこれと異なる数値を定めた場合は、その定めた数値）	
炭素鋼	構造用ケーブル	—	$\frac{F}{1.5}$	—	—	
炭素鋼	リベット鋼	—	$\frac{F}{1.5}$	—	$\frac{F}{2}$	
炭素鋼	鋳鋼	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	
ステンレス鋼	構造用鋼材	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	
ステンレス鋼	ボルト	—	$\frac{F}{1.5}$	—	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	
ステンレス鋼	構造用ケーブル	—	$\frac{F}{1.5}$	—	—	
ステンレス鋼	鋳鋼	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	
鋳鉄		$\frac{F}{1.5}$	—	—	—	

この表において、Fは、鋼材等の種類及び品質に応じて国土交通大臣が定める基準強度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）を表すものとする。

【平成 12 建設省告示第 2464 号 3（抜粋）】

○鋼材等及び溶接部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件

（平一二・一二・二六建告二四六四）

改正　平一二・一二・二六建告二四六五
平一三・一一・一五国交告一六三九
平一四・七・二三同　六六五
平一九・五・一八同　六二三

建築基準法施行令（昭和二十五年政令第三百三十八号）第九十条、第九十二条、第九十六条及び第九十八条の規定に基づき、鋼材等及び溶接部の許容応力度並びに鋼材等及び溶接部の材料強度の基準強度を次のように定める。

第一　鋼材等及び溶接部の許容応力度の基準強度

一　鋼材等の許容応力度の基準強度は、次号に定めるもののほか、次の表の数値とする。

鋼材等の種類及び品質			基準強度（単位一平方ミリメートルにつきニュートン）
炭素鋼	構造用鋼材	SSK四〇〇 SHK四〇〇	二三五
	鋼材の厚さが四十ミリメートル以下のもの	SHK四〇〇M SS四〇〇 SM四〇〇A SM四〇〇B SM四〇〇C SMA四〇〇AW SMA四〇〇AP SMA四〇〇BW SMA四〇〇BP SMA四〇〇CW SMA四〇〇CP SN四〇〇A SN四〇〇B SN四〇〇C SNR四〇〇A SNR四〇〇B SSC四〇〇 SWH四〇〇 SWH四〇〇L STK四〇〇 STKR四〇〇 STKN四〇〇W STKN四〇〇B	二一五
	鋼材の厚さが四十ミリメートルを超え百ミリメートル以下のもの	SGH四〇〇 SGC四〇〇 CGC四〇〇 SGLH四〇〇 SGLC四〇〇 CGLC四〇〇	二八〇

を受けた鋼材に係る溶接部の許容応力度の基準強度は、その種類及び品質に応じてそれぞれ国土交通大臣が指定した数値とする。

第三　鋼材等の材料強度の基準強度

一　鋼材等の材料強度の基準強度は、次号に定めるもののほか、第一の表の数値とする。ただし、炭素鋼の構造用鋼材、丸鋼及び異形鉄筋のうち、同表に掲げるJISに定めるものについては、同表の数値のそれぞれ一・一倍以下の数値とすることができる。

二　法第三十七条第一号の国土交通大臣の指定するJISに適合するもののうち第一の表に掲げる種類以外の鋼材等及び同条第二号の国土交通大臣の認定を受けた鋼材等の材料強度の基準強度は、その種類及び品質に応じてそれぞれ国土交通大臣が指定した数値とする。

三　第一第三号の規定は、前二号の場合に準用する。

第四　溶接部の材料強度の基準強度

一　溶接部の材料強度の基準強度は、次号に定めるもののほか、第二の表の数値とする。ただし、炭素鋼の構造用鋼材、丸鋼及び異形鉄筋のうち、同表に掲げるJISに定めるものについては、同表の数値のそれぞれ一・一倍以下の数値とすることができる。

二　法第三十七条第一号の国土交通大臣の指定するJISに適合するもののうち第二の表に掲げる種類以外の鋼材等及び同条第二号の国土交通大臣の認定を受けた鋼材に係る溶接部の材料強度の基準強度は、その種類及び品質に応じてそれぞれ国土交通大臣が指定した数値とする。

附　則　抄

1　昭和五十五年建設省告示第千七百九十四号は、廃止する。

附　則（平一二建告二四六五）

この告示は、内閣法の一部を改正する法律（平成十一年法律第八十八号）の施行の日（平成十三年一月六日）から施行する。

附　則（平一九国交告六二三）

この告示は、平成十九年六月二十日から施行する。

【建築物の構造関係技術基準解説書 9.2.1 許容応力度及び材料強度の数値（抜粋）】

(3) 平12建告第2464号第1は令第90条の規定に基づき，同告示第3は令第96条の規定に基づき，それぞれ鋼材等の許容応力度及び材料強度の基準強度 F の数値を定めたものである。鋼材等の許容応力度及び材料強度については，法第37条第二号の規定に基づく大臣の認定を受けたものは，大臣が指定する数値とすることとしている。JIS 適合品の基準強度 F については，鋼材等の種類及び品質に応じて定められた数値とし，炭素鋼の構造用鋼材等については，材料強度の数値を計算する際には規定された数値の1.1倍以下の数値をとることができることとしている。

いずれの鋼材等の場合においても，それらを加工する場合は，告示第1第三号イからハまでに該当する場合を除き，加工後の機械的性質等の品質が加工前の品質と同等以上であることを確かめなければならないことが規定されている。加工の影響を受ける部分の品質が加工前と同等以上であることが確かめられない場合には，法第37条第二号に基づく大臣の認定を受けた上で，基準強度 F については，第3第二号に基づき大臣が指定した数値を用いる必要がある。

【鋼構造塑性設計指針（抜粋）】

1.7 降伏応力度

塑性設計に用いる主要な構造用鋼材の降伏応力度 σ_Y および引張強さ σ_u は，表C1.7.1～C1.7.5に示す値を用いる．なお，同表に掲げる降伏応力度 σ_Y は，同表の数値の1.1倍以下とすることができる[1.13)]．

降下火砕物の海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）基礎部堆積による影響評価について

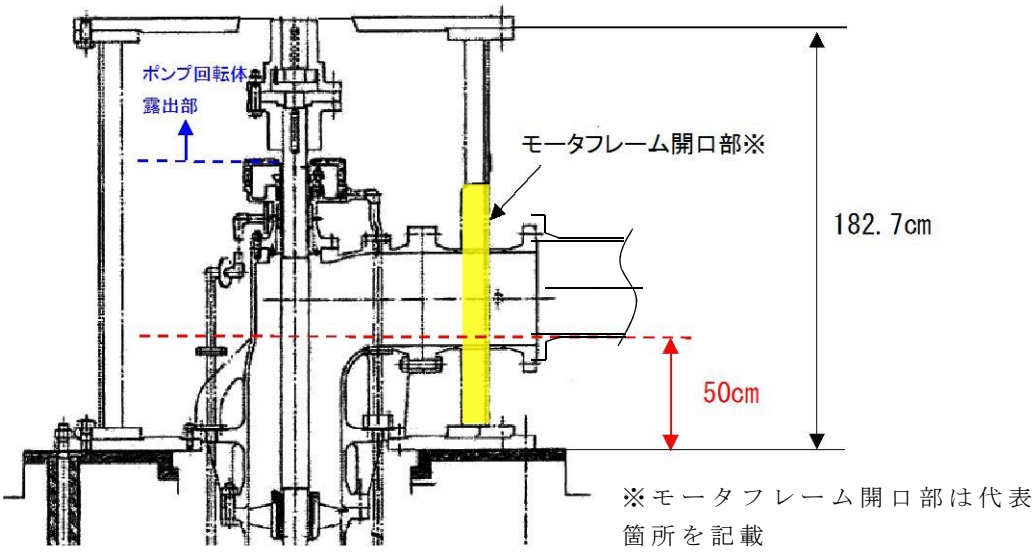
１．評価内容

降下火砕物が海水ポンプ基礎部に堆積し，モータフレーム開口部から降下火砕物が侵入，堆積することにより，海水ポンプの運転を阻害する可能性について評価する。

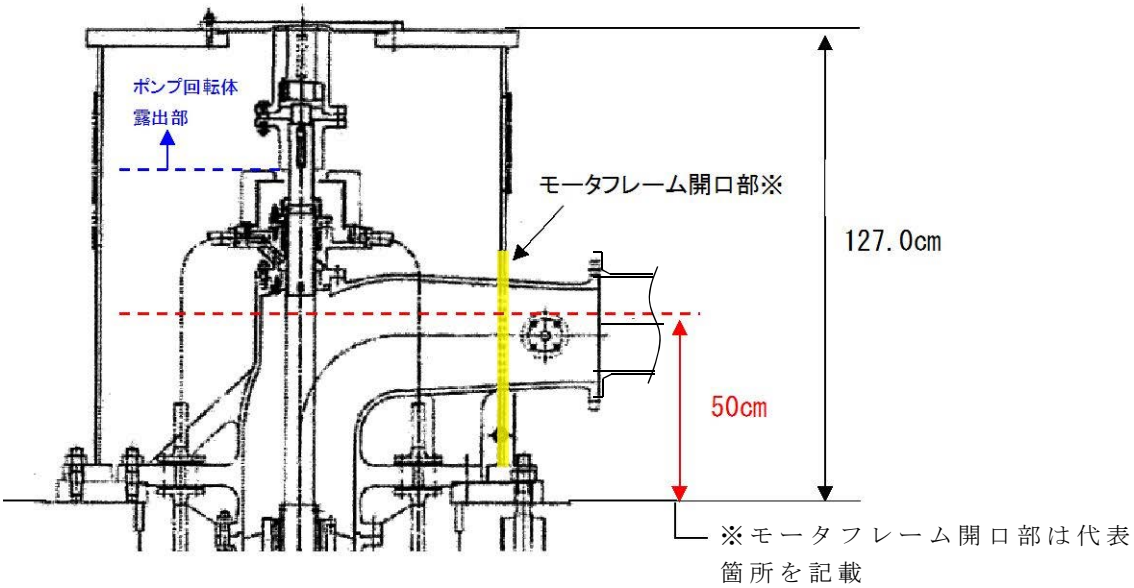
２．評価結果

第１図，第２図に示すとおり，仮にモータフレーム内に降下火砕物が 50cm 堆積した場合でも，ポンプ回転体露出部まで到達することはなく，海水ポンプの運転を阻害することはない。

また，屋外にポンプを停止させるインターロック機能を持つ計器類もないため，海水ポンプの運転に影響はない。



第１図　残留熱除去系海水系海水ポンプ



第２図　ディーゼル発電機海水系海水ポンプ

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。

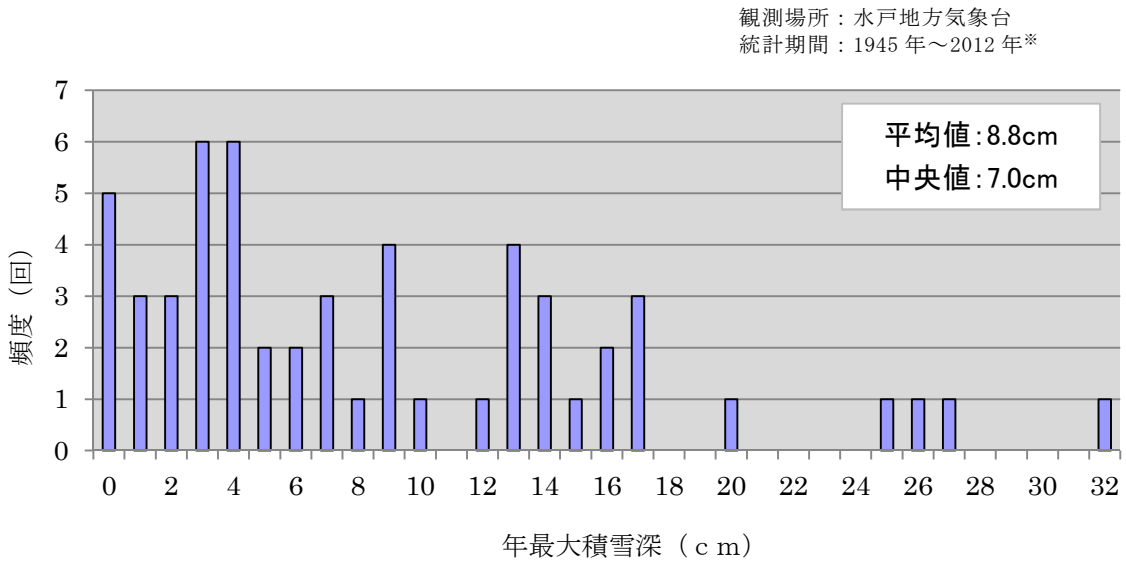
同法を参考とすると東海第二発電所は多雪区域ではないことから積雪との重ね合わせを考慮する必要はなく，また，降下火砕物及び積雪はともに予見性があり緩和措置を講じる十分な時間猶予がある事象であるが，積雪により湿潤状態の降下火砕物以上の荷重の負荷が生じる可能性があることを踏まえ，同法の考え方（主と従の考え方）を参考として評価を実施する。

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第 1 図に示す。



※ 観測を行っていない年については統計から除外

第 1 図　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第１表に示す。

第１表　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＋0.7S
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

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年ごと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当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おおむね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／m^2）

d：垂直積雪量※3（cm）

ρ：積雪の単位荷重※4（N／cm／m^2）

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，おおむね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 当たり 20N/m^2（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，暴風時又は地震時において組み合わせるべき雪荷重の値として，第 1 表のとおり積雪期間 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。

第 1 表　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

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，直ちに金属表面等の腐食が進むことはない。

また，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）及び残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系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。

※：塗装ハンドブック（石塚末豊，中道敏彦 編集）によると，「酸，アルカリなどに水分の加わった強度腐食環境での塗装には，フェノール樹脂塗料，塩化ゴム系塗料，エポキシ樹脂塗料，タールエポキシ樹脂塗料，ウレタン樹脂塗料，シリコーンアルキド樹脂塗料，フッ素樹脂塗料などの耐薬品性のある塗料が使用される。」と記載あり。

第１表　使用塗料の例

設備名称	塗料の種類		
	下塗り	中塗り	上塗り
原子炉建屋 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 吸気口	－	－	フタル酸樹脂系
海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）	変性エポキシ樹脂系	塩化ゴム系	塩化ゴム系
海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）	変性エポキシ樹脂系	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，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

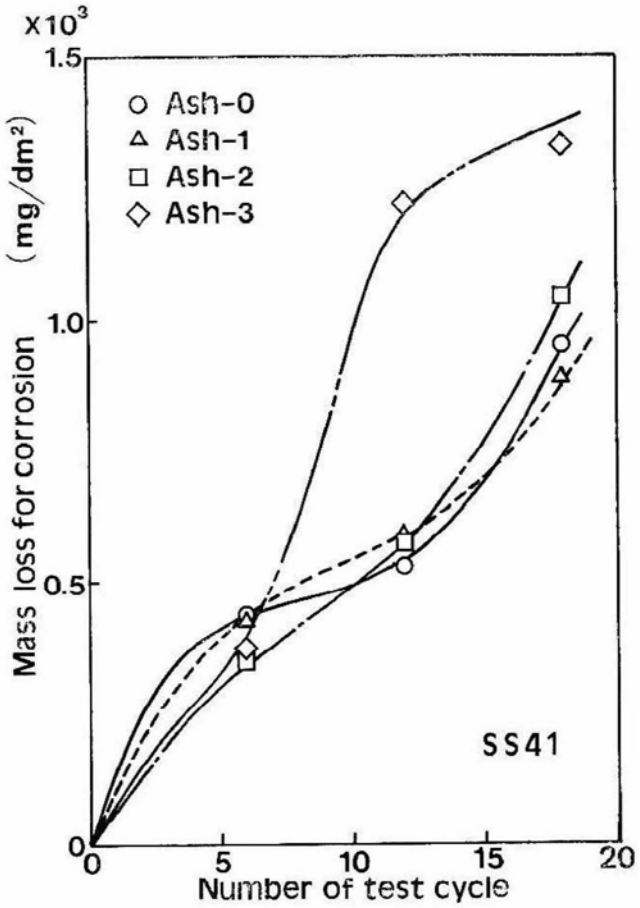
第１図に示すとおり，降下火砕物の堆積量が多い場合は，降下火砕物の堆積なし又は堆積量が少ない場合と比較して，金属試験片の腐食が促進されるが,腐食量は表面厚さにして十数μｍ程度との結果が得られ，降下火砕物層では結露しやすいこと並びに保水効果が大きいことにより腐食が促進されると結論づけられている。

(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,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。

※・三宅島火山の噴火口付近の観測記：20～30ppm（「三宅島火山ガスに関する検討会報告書」より）
・桜島火山上空の噴煙中火山ガスの観測記録：17～68ppm（「京大防災研究年報」より）



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

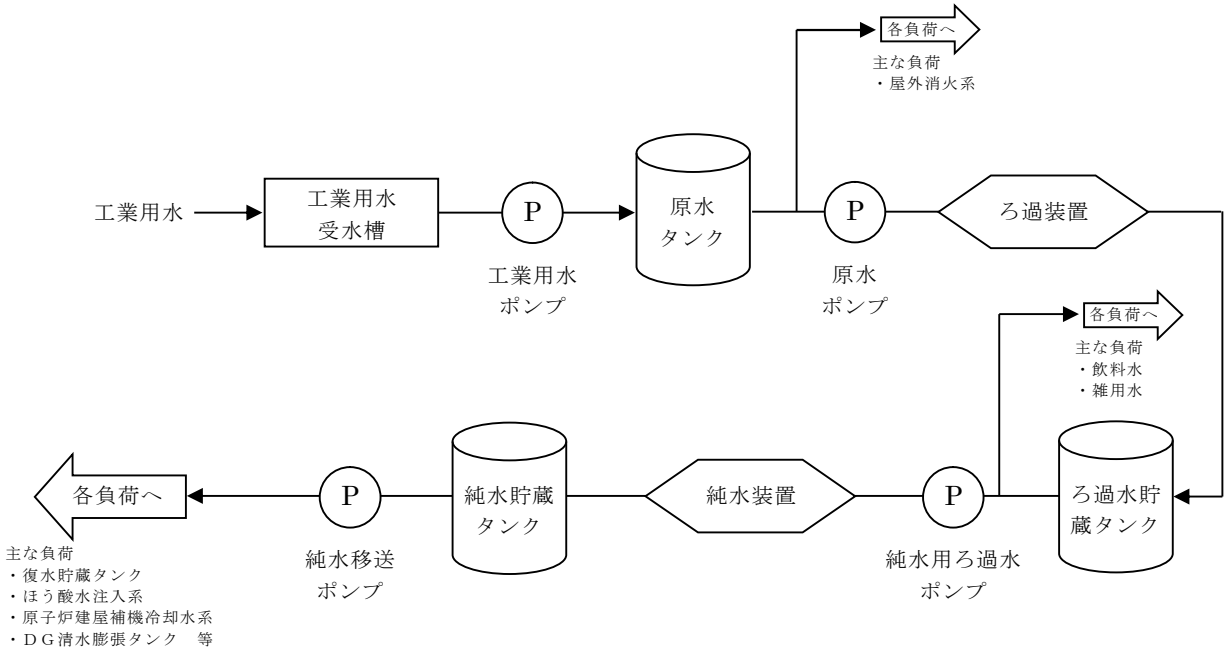
第１図　ＳＳ４１の腐食による質量変化

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。

第１図に示すとおり，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，いずれも，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。



第１図　外部から供給される水源の概略系統図

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，第１図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。

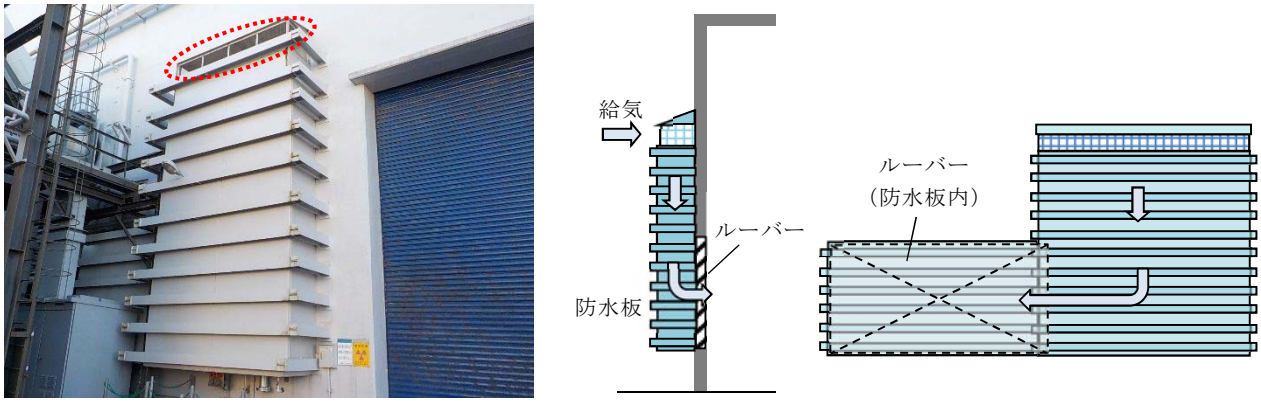
したがって，降下火砕物によりモニタリング設備の機能に影響を及ぼすことはない。

第１図　モニタリング設備検出器

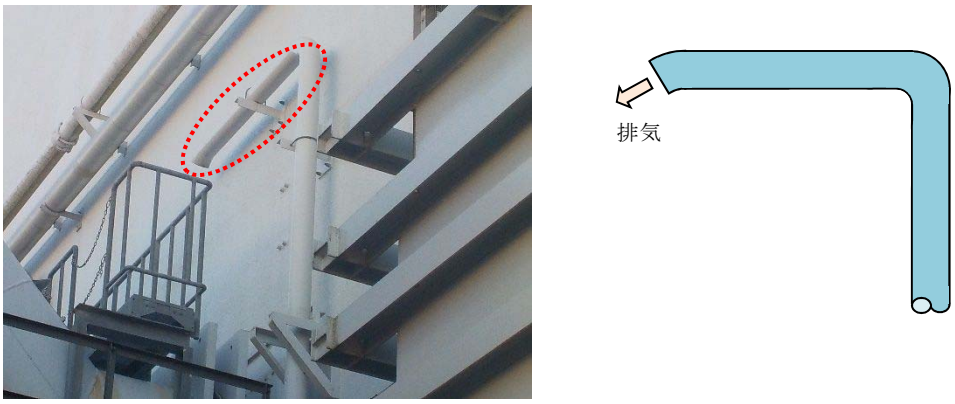
(2)　消火設備

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第 2 図のとおり空気が曲がりながら流れる構造となっており，建屋壁面にはルーバーも設置されているため，多量の降下火砕物が侵入する可能性は小さいと考えられるが，適宜現場の状況を確認し，必要に応じルーバーを閉止もしくは換気空調系を停止することで，降下火砕物の侵入を防止する。

ディーゼル駆動消火ポンプの排気管は，第 3 図のとおり，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。また，運転中は排気していること，待機中であっても外気を吸い込む構造ではないため，降下火砕物が侵入することはない。



第 2 図　ディーゼル駆動消火ポンプ室給気口



第３図　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，第１表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。

第１表　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
・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	・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：2,900m^3（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】

第2表　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：2,900m^3（基本設計値）

・空気流入はないものとする。

・初期二酸化炭素濃度　0.03%

・１人あたりの二酸化炭素吐出量は，中等作業での吐出量を適用して0.046m^3／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】

第 3 表　緊急時対策所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
二酸化炭素濃度	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。

降下火砕物の除去に要する時間及び灰置場について

1．降下火砕物の除去に要する時間

降下火砕物の除去に要する時間について，土木工事の人力掘削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^{2}あたりの作業人工等の評価条件を第１表に示す。

第１表　降下火砕物の除去に要する時間の評価条件

項目		評価値
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）		0.5
③堆積量＝①×②（m^3）		6,605
④１m^{3}当たりの作業人工※		0.39

※：「国土交通省土木工事積算基準（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。

$$0.39\ 人/日\cdot m^3 \times 6{,}605m^3 = 約\ 2{,}576\ 人日$$

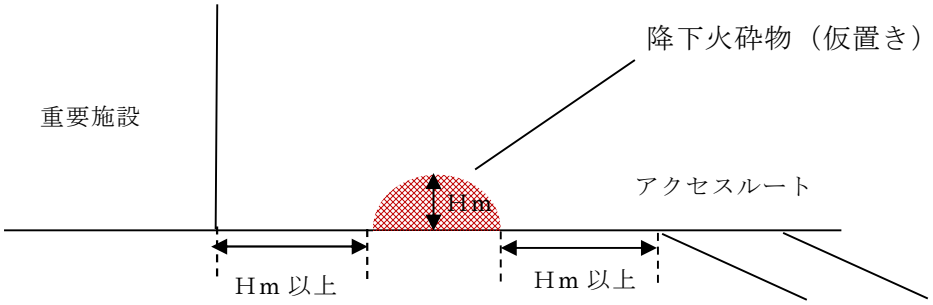
以上の結果から，降下火砕物の除去に人員を約 120 人動員した場合，3 週間程度で降下火砕物を除去できる。また，人員を増やすことによりさらに期間の短縮が可能である。

2．灰置場について

灰置場については，積んだ降下火砕物が崩れることにより発電所の重要施設に想定外の荷重が負荷されないよう，また，SA 時に必要なアクセスルートの通行に影響を及ぼすことがないよう，それらから十分に離れた場所に降下火砕物を集積する運用とする。

仮に，一時的に発電所設備の近傍に降下火砕物を積む場合は，降下火砕物が崩れることにより重要施設に想定外の荷重が負荷されないよう，また，SA 時に必要なアクセスルートの通行に影響を及ぼさない離隔距離を確保する運用とする。

第 1 図　灰置場の候補地



第 2 図　降下火砕物仮置時のイメージ

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等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。

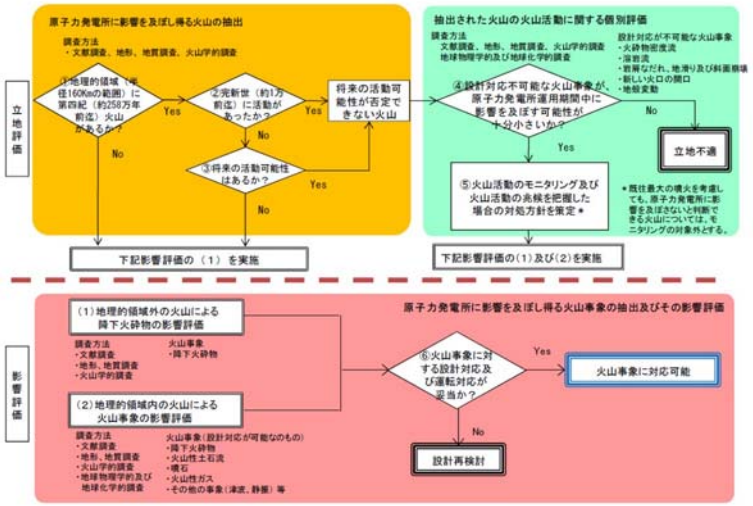
換気系，電気系及び計装制御系に対する閉塞としては，換気空調系のフィルタの閉塞が考えられるが，換気空調系の外気取入口はガラリ等が設置されており下方向から吸い込む構造となっていることから，平時に比べ降水の際は降下火砕物の侵入は減少すると考えられる。なお，侵入した降下火砕物は外気取入口のフィルタによって除去されるが，湿った降下火砕物がフィルタに付着し固結した場合においても，フィルタ部の取替が可能なことから，固結による影響はない。

一方，評価対象施設等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，評価対象施設等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。

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
１．　総則 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。 １．１　一般 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。 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 Hazardsin 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。 本評価ガイドは、新規制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。 １．２　適用範囲 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。 １．３　関連法規等 本評価ガイドは、以下を参考としている。 （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） （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） （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) （４）IAEA Safety Standards “Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” (No. SSG-21, 2012)	１．はじめに 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。 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。 ・立地評価 ・影響評価

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
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。  	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
【立地評価】（項目名のみ記載） 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 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 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	【立地評価】 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。 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。

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
6．原子力発電所への火山事象の影響評価 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。 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。 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） 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） 以下に、各火山事象の影響評価の方法を示す。 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。 解説-15．原子力発電所との位置関係について 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。 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。	【影響評価】 6．原子力発電所への火山事象の影響評価 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。 考慮すべき降下火砕物の層厚は，地質調査，文献調査及び降下火砕物シミュレーション結果から総合的に判断し50cmとした。

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
６．１　降下火砕物 （１）降下火砕物の影響 （a）直接的影響 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。 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。 （b）間接的影響 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。 （２）降下火砕物による原子力発電所への影響評価 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付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）	６．１　降下火砕物 （１）降下火砕物の影響 （a）直接的影響 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。 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。 （b）間接的影響 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。 （２）降下火砕物による原子力発電所への影響評価 降下火砕物の影響評価を考慮すべき施設（評価対象施設等）としては，外部事象防護施設のうち，屋内設備は内包する建屋により防護する設計とし，評価対象施設を，建屋，屋外に設置されている施設，降下火砕物を含む海水の流路となる施設，降下火砕物を含む空気の流路となる施設，外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設に分類し抽出した。また，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も評価を行った。 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。

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
（３）確認事項 （a）直接的影響の確認事項 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。 （b）間接的影響の確認事項 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。 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。 ✓ 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。 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。 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。	（３）降下火砕物の影響の確認結果 （a）直接的影響の確認事項 ① 降下火砕物堆積荷重に対して，原子炉建屋，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）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（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），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再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。 （b）間接的影響の確認事項 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。

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
【立地評価の結果を考慮し評価する項目】（項目名のみ記載） 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 ７．　附則 この規定は、平成２５年７月８日より施行する。 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。	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。 以　上

原子炉建屋の建屋健全性評価について

1. 基本方針

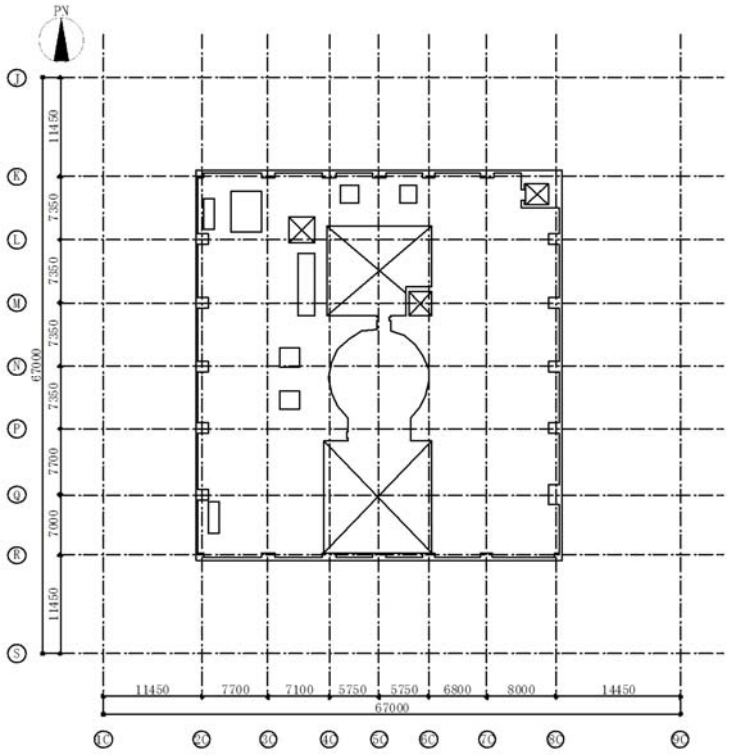
(1) 概要

降下火砕物の堆積荷重に対して各建屋が健全性を有することを，応力解析による評価によって確認する。設置許可においては，自身が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）及びMS-2(放射性物質放出の防止機能)の安全機能を有する原子炉建屋と，自身がクラス1及び2施設に該当しない建屋のうち，構造的にもスパンが長いタービン建屋を代表として,評価内容及び評価結果を示す。工事計画認可においては，屋根スラブ，主トラス及び二次部材の構造性能を確認し，建屋に求められる機能設計上の性能目標を満足していることを示す。参考資料－１２では，原子炉建屋について評価内容及び評価結果を示す。

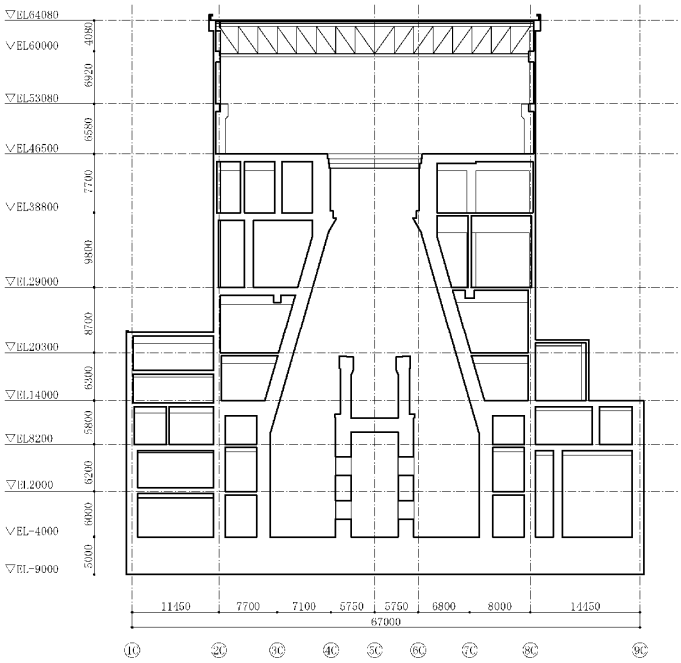
(2) 構造概要

原子炉建屋は，地上6階，地下2階建で，平面が約67 m（南北方向）×約67 m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物である。

原子炉建屋の概略平面図を第1-1図に，概略断面図を第1-2図に示す



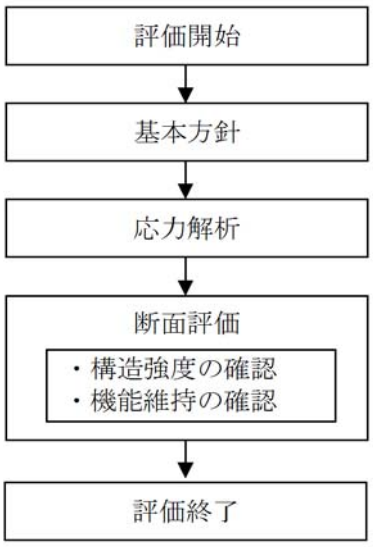
第 1-1 図　原子炉建屋の概略平面図（EL.＋46.5 m）



第 1-2 図　原子炉建屋の概略断面図（ＥＷ方向）

(3)　評価方針

降下火砕物の堆積荷重に対して，応力解析による断面の評価を行うことで，建物の構造強度及び機能維持の確認を行う。第 1-3 図に評価フローを示す。



第 1-3 図　建屋の評価フロー

(4)　適用規格・基準等

本評価において，準拠する規格基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令

・平成 12 年建設省告示第 2464 号

・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会）

・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）

・2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）

2. 応力解析による評価方法

原子炉建屋の応力解析による評価対象部位は屋根スラブ及び主トラスとする。

(1) 評価対象部位及び評価方針

評価対象部位は，以下の理由から屋根スラブと主トラスを選定する。

・主要な部位のうち，梁間方向に配されている主トラスと，屋根スラブが主体構造として,降下火砕物の鉛直荷重に対して抵抗しているため。

・原子炉建屋の屋根スラブは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）及びMS-2（放射性物質放出の防止機能）の安全機能を担保しているため。

降下火砕物の堆積荷重と堆積荷重以外の荷重の組合せの結果，発生する応力が屋根スラブについては「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下RC規準という。），主トラスについては「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」（以下S規準という。）を参考に，各々設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2) 荷重及び荷重の組合せ

ａ．荷重

(a) 固定荷重（DL）

固定荷重を第2-1表に示す。

第2-1表　固定荷重

固定荷重（DL）
5,364N／m^2

(b)　積載荷重（LL）

積載荷重を第 2-2 表に示す。

第 2-2 表　積載荷重（LL）

積載荷重（LL）
1,000N／m^2

(c)　積雪荷重（SNL）

積雪荷重を第 2-3 表に示す。

第 2-3 表　積雪荷重（SNL）

積雪荷重（SNL）
210N／m^2

(d)　降下火砕物の堆積荷重（VAL）

降下火砕物の堆積荷重を第 2-4 表に示す。

第 2-4 表　降下火砕物の堆積荷重（VAL）

降下火砕物の堆積荷重（VAL）
7,355N／m^2

(e)　荷重の組合せ

荷重の組合せを第 2-5 表に示す。

第 2-5 表　荷重の組合せ

荷重の組合せ
DL＋LL＋SNL＋VAL

(3)　許容限界

応力解析による評価における原子炉建屋の許容限界を第 2-6 表に示す。また，鋼材，コンクリート及び鉄筋の基準強度及び評価基準値を第 2-7，2-8，2-9 表に示す。

第 2-6 表 応力評価解析における許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界
－	構造強度を有すること	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界※1
		主トラス		終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界※2
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	屋根スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度※3
遮蔽性	遮蔽体の損傷により射影機能を損なわないこと	屋根トラス	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度※3

※1 構造強度に対しては，「終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界」が許容限界となるが，気密性，遮蔽性において「短期許容応力度」を許容限界としていることから，短期許容応力度で評価

※2 弾性限耐力として「S 規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用

※3 「RC 規準」の短期許容応力度で評価

以上より，屋根スラブは短期許容応力度，主トラスは終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界（以下，弾性限耐力という。）を用いて評価を行う。

第 2-7 表　鋼材の基準強度及び評価基準値

鋼材種類	板厚 (mm)	基準強度 F (N／mm^2)	評価基準値（N／mm^2）	
			引張	圧縮及び曲げ
SS400 (SS41)	t≦40	235	258.5	258.5

第 2-8 表　コンクリートの基準強度及び評価基準値

Fc (N／mm^2)	評価基準値（N／mm^2）	
	圧縮	せん断
22.1	14.7	1.06

第 2-9 表　鉄筋の基準強度及び評価基準値

鉄筋種類	評価基準値（N／mm^2）	
	引張及び圧縮	面外せん断補強
SD345 (SD35)	345	345

3.　解析モデル及び緒元

屋根スラブ及び主トラスの解析モデル及び緒元を以下に示す。

(1)　屋根スラブ　モデル化の基本方針

「RC 規準」に基づいて，屋根スラブは一方向版として曲げモーメント及びせん断力を算出し，応力比を算出する。屋根スラブの検討条件を第 3-1 表，使用材料の物性値を第 3-2 表に示す。

第 3-1 表　屋根スラブの検討条件

位置	厚さ (mm)	短辺長さ (m)	長辺長さ (m)	配筋			
				短辺		長辺	
				端部	中央部	端部	中央部
EL 64.08m (S1-1)	100	2.27	7.30	D13@180	D13@180	D13@200	D13@200
EL 64.08m (S1-2)	100	1.53	7.30	D13@180	D13@180	D13@200	D13@200

位置	配筋量			
	短辺		長辺	
	端部 (mm^2)	中央部 (mm^2)	端部 (mm^2)	中央部 (mm^2)
EL 64.08m (S1-1)	705.6	705.6	635.0	635.0
EL 64.08m (S1-2)	705.6	705.6	635.0	635.0

第 3-2 表　使用材料の物性値

使用材料	単位体積重量 γ	ヤング係数 E	せん断弾性係数 G	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0kN／m^3	22.1kN／mm^2	9.21kN／mm^2	0.2

(2)　主トラス モデル化の基本方針

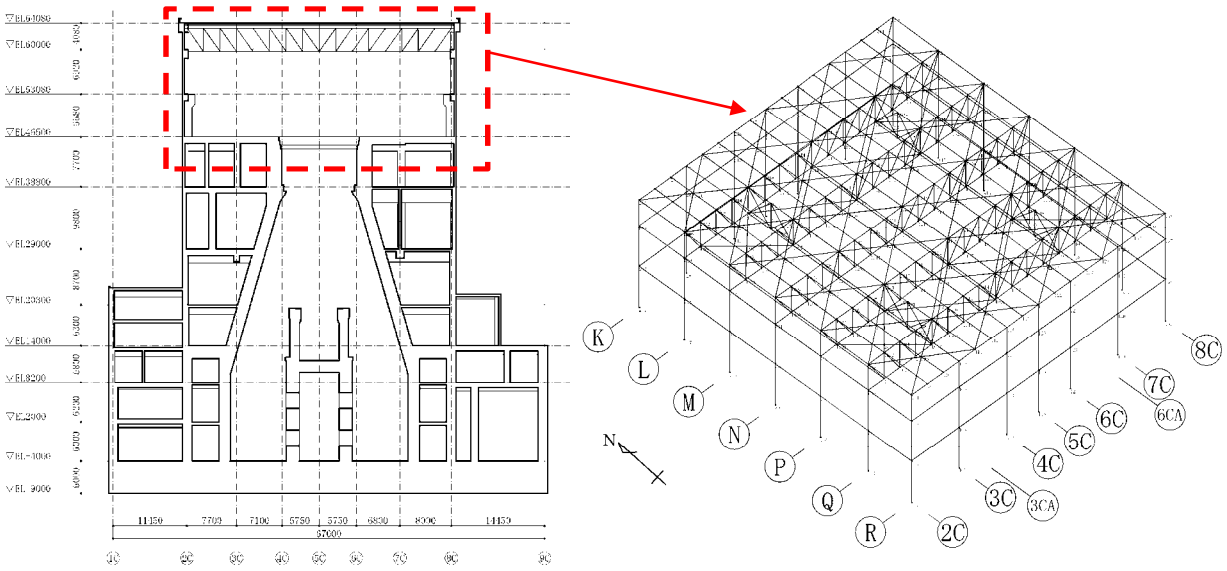
a．応力解析モデルの概要

・主トラス上・下弦材は，軸・曲げ・せん断剛性のある梁要素，斜材と束材は軸剛性だけのトラス要素とする。

・各部材長さは部材芯位置でモデル化する。

・オペレーティングフロアより上部構造を 3 次元の立体架構でモデルする。

原子炉建屋断面図と主トラスの検討モデルを第 3-1 図に示す。



第 3-1 図　原子炉建屋断面図（ＥＷ側）及び立体架構モデル

b．解析コード

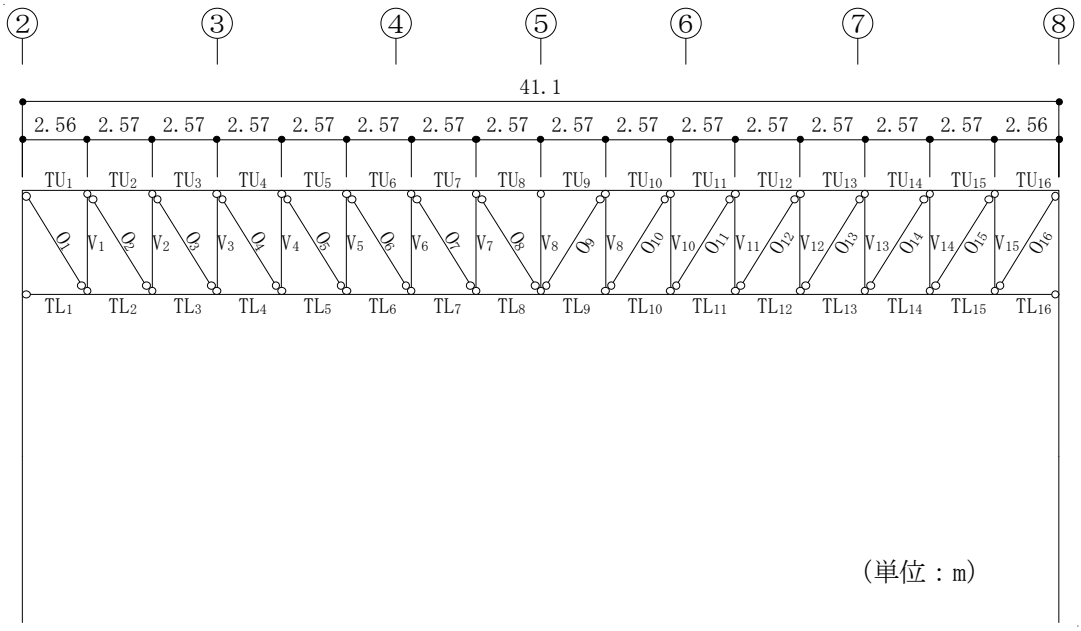
ＤＹＮＡ２Ｅ Ver.8.0

c．検討部材の形状・寸法

検討部材の形状と寸法を第 3-1 表に示す。また，部材位置を第 3-2 図に示す。

第 3-1 表　検討部材の形状・寸法

部位	部材符号	形状寸法	材質
上弦材	TU_1～TU_{16}	H-400×400×13×21	SS400 (SS41)
下弦材	TL_1～TL_{16}	H-400×400×13×21	
斜材	O_1, O_2, O_{15}, O_{16}	2Ls-200×200×15	
	O_3, O_4, O_{13}, O_{14}	2Ls-150×150×15	
	O_5～O_{12}	2Ls-150×100×12	
束材	V_1, V_2, V_{14}, V_{15}	2Ls-200×200×15	
	V_3, V_{13}	2Ls-150×150×15	
	V_4, V_{12}	2Ls-150×150×15	
	V_5～V_7, V_9～V_{11}	2Ls-150×100×12	
	V_8	2Ls-150×100×12	



第 3-2 図　部材位置図

d．使用材料の物性値

使用材料の物性値を第 3-2 表に示す。

第 3-2 表　使用材料の物性値

項目	物性値
単位体積重量	77.0kN／m^3
ヤング係数	205.0kN／mm^2
せん断弾性係数	79.0kN／mm^2

(3)　評価方法

a．屋根スラブの評価方法

「RC 規準」に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が許容応力度を超えないことを確認する。

$$M = a_t f_t j$$

M　：許容曲げモーメント　　a_t　：引張鉄筋断面積

j　：応力中心間距離（7/8）d　　d　：有効せい

f_t　：鉄筋の短期許容引張応力度

また，「RC 規準」に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる面外せん断応力度が，許容面外せん断応力度を超えないことを確認する。

$$Q_A = bj\{\alpha f_s + 0.5_w f_t (p_w - 0.002)\}$$

ただし，　$\alpha = \dfrac{4}{\dfrac{M}{Qd}+1}$　　$1 \leqq \alpha \leqq 2$

b　：幅

j　：応力中心間距離7/8）d

d　：有効せい

p_w：せん断補強筋比 $p_w = \dfrac{a_w}{bx}$

a_w：せん断補強筋の断面積

x　：せん断補強筋の間隔

f_s　：コンクリートの短期許容せん断応力度

${}_w f_t$　：せん断補強筋の短期許容引張応力度

α　：せん断スパン比 $\dfrac{M}{Qd}$ による割増係数

M　：設計する梁の最大曲げモーメント

Q　：設計する梁の最大せん断力

b．主トラスの評価方法

「S 規準」に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる軸応力及び曲げモーメントによる応力度が許容応力度を超えないことを確認する。

(a)　軸力のみを負担する部材の評価方法

軸力のみを負担するトラス要素（斜材，束材等）に発生する応力度 σ_c、σ_t が，以下の式による応力度比は 1 以下となることを確認する。

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{f_c}, \frac{\sigma_t}{f_t}\right) \leqq 1$$

f_c，f_t は以下の式により求める。

$$f_t = \frac{F}{1.5}$$

$$f_c = \frac{\left\{1-0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}F}{\nu} \qquad (\lambda \leqq \Lambda \text{のとき})$$

$$f_c = \frac{0.277F}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2} \qquad (\lambda > \Lambda \text{のとき})$$

f_c ：許容圧縮応力度（N／mm²）　Λ ：限界細長比　$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$

f_t ：許容引張応力度（N／mm²）　E ：ヤング係数

λ ：圧縮材の細長比　$\nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3}\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$

(b)　軸力と曲げを負担する部材の評価方法

軸力と曲げを負担する梁要素（上・下弦材等）は，軸力により生じる軸応力度 σ_c，σ_t と曲げモーメントにより生じる曲げ応力度 σ_b の組合せに対して，以下の式により応力度比が 1 以下となることを確認する。

【圧縮と曲げにより生じる応力度の確認】

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$$

【引張りと曲げにより生じる応力度の確認】

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leqq 1$$

f_c，f_t は軸力を負担する場合と同じ。 f_b は以下の式により求める。

$$f_b = \frac{F}{\nu} \quad (\lambda_b \leqq {}_p\lambda_b)$$

$$f_b = \frac{\left\{1 - 0.4\left(\frac{\lambda_b - {}_p\lambda_b}{{}_e\lambda_b - {}_p\lambda_b}\right)\right\}}{\nu} F \quad ({}_p\lambda_b < \lambda_b \leqq {}_e\lambda_b)$$

$$f_b = \frac{1}{2.17\lambda_b{}^2} F \quad ({}_e\lambda_b < \lambda_b)$$

ここに,

$$\lambda_b = \sqrt{\frac{M_y}{M_e}} \quad {}_e\lambda_b = \frac{1}{\sqrt{0.6}}$$

i）補剛区間内で曲げモーメントが直線的に変化する場合

$${}_p\lambda_b = 0.6 + 0.3\left(\frac{M_2}{M_1}\right) \quad C = 1.75 + 1.05\left(\frac{M_2}{M_1}\right) + 0.3\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 \leq 2.3$$

ii）補剛区間内で曲げモーメントが最大となる場合

$$M_e = C\sqrt{\frac{\pi^4 EI_Y \cdot EI_w}{l_b{}^4} + \frac{\pi^2 EI_Y \cdot GJ}{l_b{}^2}}$$

f_b ：許容曲げ応力度　　λ_b ：曲げ部材の細長比

l_b ：圧縮フランジの支点間距離　　${}_e\lambda_b$ ：弾性限界細長比

${}_p\lambda_b$ ：塑性限界細長比　　C ：許容曲げ応力度の補正係数

M_e ：弾性横座屈モーメント　　Z ：断面係数

I_Y ：弱軸まわりの断面2次モーメント

I_w ：曲げねじり定数　　G ：せん断弾性係数

J ：サンブナンのねじり定数　　M_y ：降伏モーメント（$F \cdot Z$）

$$\nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3}\left(\frac{\lambda_b}{{}_e\lambda_b}\right)^2$$

4.　評価結果

屋根スラブの評価結果を第 4-1，4-2 表，主トラスの評価結果を第 4-3 表に示す。降下火砕物の堆積時において，発生応力度が検定値を超えないことを確認した。

第 4-1 表　屋根スラブ（曲げモーメント）　評価結果
（短期許容応力度）

部位	設計配筋量 (mm^2)		発生曲げモーメント (kN・m)		必要鉄筋量 (mm^2)		検定比	
	端部	中央	端部	中央	端部	中央	端部	中央
EL 64.08 (S1-1)	705.6	705.6	5.17	2.59	323.1	161.6	0.46	0.23
EL 64.08 (S1-2)	705.6	705.6	3.52	1.98	220.2	123.9	0.32	0.18

第 4-2 表　屋根スラブ（せん断力）　評価結果
（短期許容度応力度）

部位	発生せん断力 (KN)	せん断応力度 (N／mm^2)	検定比
EL 64.08 (S1-1)	13.67	0.295	0.28
EL 64.08 (S1-2)	9.21	0.199	0.19

第 4-3 表　主トラス 評価結果

部材	発生応力	応力度 (N／mm^2)	許容値 (N／mm^2)	検定値	位置
上弦材 H-400×400×13×21	(圧縮)	112.7	257.3	0.60	P 通り TU8,TU9
	(曲げ)	40.3	255.4		
	(引張)	37.7	258.5	0.55	L 通り TU1,TU16
	(曲げ)	103.1	256.5		
下弦材 H-400×400×13×21	(圧縮)	78.9	248.9	0.46	Q 通り TL1
	(曲げ)	34.3	256.3		
	(引張)	157.6	258.5	0.79	P 通り TL8,TL9
	(曲げ)	44.9	195.9		
斜材 2Ls-150×150×15	(引張)	207.8	258.5	0.81	L 通り 03,014
束材 2Ls-150×150×15	(圧縮)	152.0	158.2	0.97	P 通り V13

タービン建屋の建屋健全性評価について

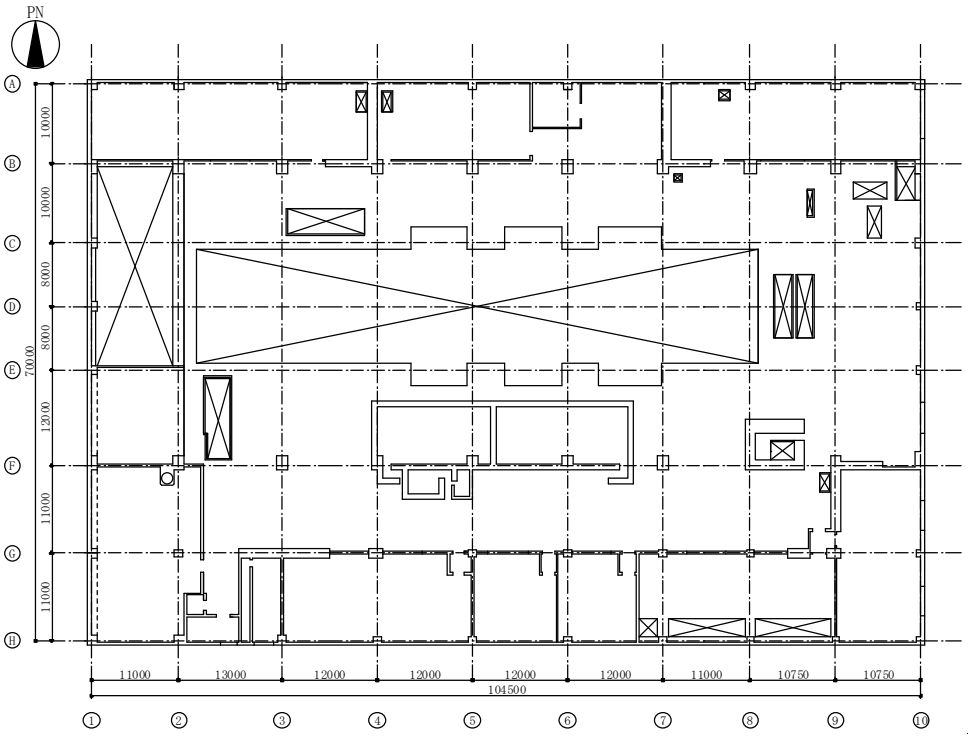
1.　基本方針

(1)　概要

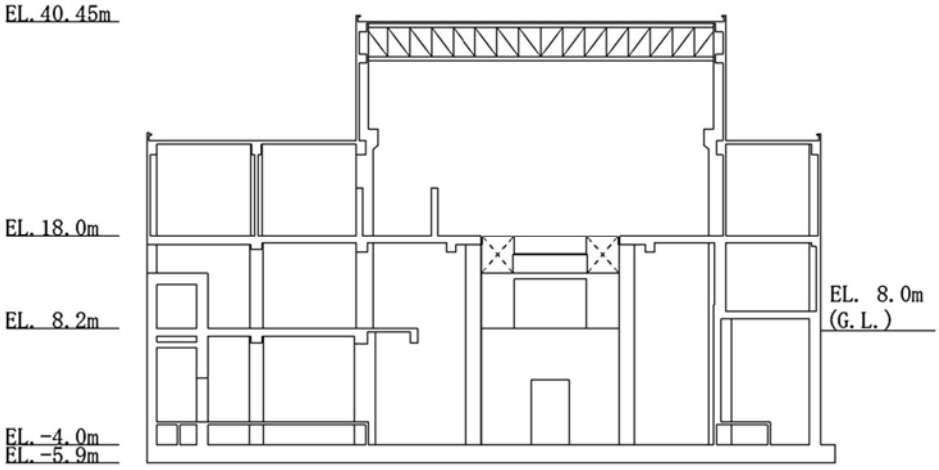
降下火砕物の堆積荷重に対して各建屋が健全性を有することを，応力解析による評価によって確認する。設置許可においては，自身がMS-1（放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮蔽及び放出低減機能）及びMS-2(放射性物質放出の防止機能)の安全機能を有する原子炉建屋と，自身がクラス1及び2施設に該当しない建屋のうち，構造的にもスパンが長いタービン建屋を代表として,評価内容及び評価結果を示す。工事計画認可においては，屋根スラブ，主トラス及び二次部材の構造性能を確認し，建屋に求められる機能設計上の性能目標を満足していることを示す。参考資料－１３では，タービン建屋について評価内容及び評価結果を示す。

(2)　構造概要

タービン建屋は，地上 2 階，地下 1 階建で，平面が約 70 m（南北方向）×約 105m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物である。タービン建屋の概略平面図を第 1-1 図に，概略断面図を第 1-2 図に示す



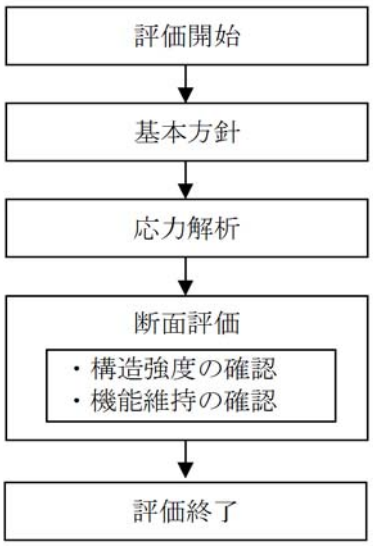
第 1-1 図　タービン建屋の概略平面図（EL.＋18.0 m）



第 1-2 図　タービン建屋の概略断面図（ＮＳ方向）

(3)　評価方針

降下火砕物の堆積荷重に対して，応力解析による断面の評価を行うことで，建物の構造強度及び機能維持（タービン建屋が内包するクラス 2 設備に波及的影響を及ぼさない)の確認を行う。第 1-3 図に評価フローを示す。



第 1-3 図　各建屋の評価フロー

(4)　適用規格

本評価において，準拠する規格基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令

・平成 12 年建設省告示第 2464 号

・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会）

・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）

・2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）

2.　応力解析による評価方法

タービン建屋応力解析による評価対象部位は屋根スラブ及び主トラスとする。

(1)　評価対象部位及び評価方針

評価対象部位は，以下の理由から屋根スラブと主トラスを選定する。

・主要な部位のうち，梁間方向に配されている主トラスと，屋根スラブが主体構造として，降下火砕物の鉛直荷重に対して抵抗しているため

降下火砕物の堆積荷重と堆積荷重以外の荷重の組合せの結果，発生する応力が屋根スラブについては「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下 RC 規準という。），主トラスについては「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」（以下 S 規準という。）を参考に，各々設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2)　荷重及び荷重の組合せ

a．荷重

(a)　固定荷重（DL）

固定荷重を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表　固定荷重

固定荷重（DL）
4,669N／m^2

(b)　積載荷重（LL）

積載荷重を第 2-2 表に示す。

第 2-2 表　積載荷重（LL）

積載荷重（LL）
1,000N／m^2

(c)　積雪荷重（SNL）

積雪荷重を第 2-3 表に示す。

第 2-3 表　積雪荷重（SNL）

積雪荷重（SNL）
210N／m^2

(d)　降下火砕物の堆積荷重（VAL）

降下火砕物の堆積荷重を第 2-4 表に示す。

第 2-4 表　降下火砕物の堆積荷重（VAL）

降下火砕物の堆積荷重（VAL）
7,355N／m^2

(e)　荷重の組合せ

荷重の組合せを第 2-5 表に示す。

第 2-5 表　荷重の組合せ

荷重の組合せ
DL＋LL＋SNL＋VAL

(3)　許容限界

応力解析による評価におけるタービン建屋の許容限界を第 2-6 表に示す。また，鋼材，コンクリート及び鉄筋の基準強度及び評価基準値を第 2-7，2-8，2-9 表に示す。

第 2-6 表 応力解析評価における許容限界

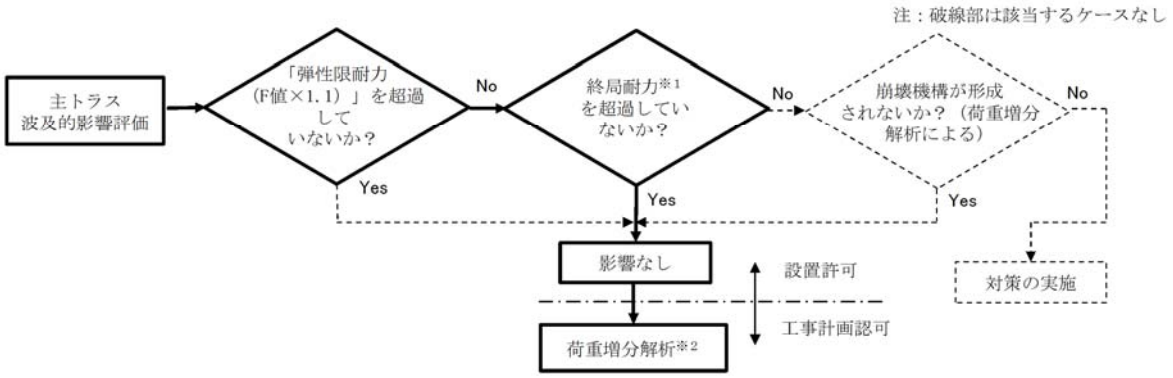
要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界
－	上位クラス設備に波及的影響を及ぼさないこと	屋根スラブ	落下しないことを確認※1	終局耐力※2
		主トラス	崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと※3

※1 屋根スラブの落下により，内包するクラス 2 設備を損傷させる可能性があることから，機能維持のために落下しないことを確認

※2 機能に対しては終局耐力が許容限界となるが「RC 規準」の短期許容応力度で評価

※3 第 2-1 図のフローに基づき評価

主トラスの波及的影響評価のフローを第 2-1 図に示す。



※1　座屈耐力（修正若林式及び「鋼構造限界状態設計指針・同解説（日本建築学会）」

※2　一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は，荷重増分解析により崩壊機構が形成されないことを確認する。

第 2-1 図　主トラス波及的影響評価フロー

第 2-7 表　鋼材の基準強度及び評価基準値

鋼材種類	板厚 (mm)	基準強度 F (N／mm^2)	評価基準値（N／mm^2）	
			引張	圧縮及び曲げ
SS400 (SS41)	t≦40	235	258.5	258.5

第 2-8 表　コンクリートの基準強度及び評価基準値

Fc (N／mm^2)	評価基準値（N／mm^2）	
	圧縮	せん断
22.1	14.7	1.06

第 2-9 表　鉄筋の基準強度及び評価基準値

鉄筋種類	評価基準値（N／mm^2）	
	引張及び圧縮	面外せん断補強
SD345 (SD35)	345	345

3.　応力解析モデル及び緒元

屋根スラブ及び主トラスの解析モデル及び緒元を以下に示す。

(1)　屋根スラブ モデル化の基本方針

「RC 規準」に基づいて，スラブは一方向版として曲げモーメント及びせん断力を算出し，応力比を算出する。屋根スラブの検討条件を第 3-1 表，使用材料の物性値を第 3-2 表に示す。

第 3-1 表　屋根スラブの検討条件

位置	厚さ (mm)	短辺長さ (m)	長辺長さ (m)	配筋			
				短辺		長辺	
				端部	中央部	端部	中央部
EL 40.65m	100	2.08	11.60	D13@200	D13@200	D13@200	D13@200

位置	配筋量			
	短辺		長辺	
	端部 (mm^2)	中央部 (mm^2)	端部 (mm^2)	中央部 (mm^2)
EL 40.65m	635.0	635.0	635.0	635.0

第 3-2 表　使用材料の物性値

使用材料	単位体積重量 γ	ヤング係数 E	せん断弾性係数 G	ポアソン比
鉄筋 コンクリート	24.0kN／m^3	22.1kN／mm^2	9.21kN／mm^2	0.2

(2)　主トラス モデル化の基本方針

a．応力解析モデルの概要

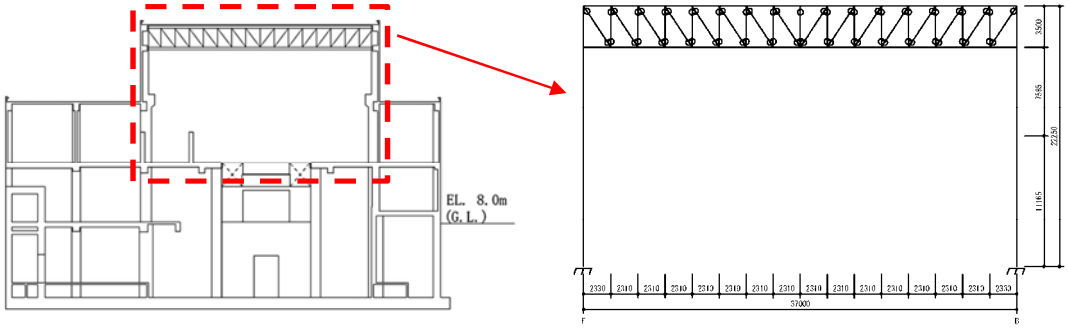
・主トラス上・下弦材は，軸・曲げ・せん断剛性のある梁要素，斜材，束材は軸剛性だけのトラス要素とする。

・各部材長さは部材芯位置でモデル化する。

・オペレーティングフロアより上部構造のうち，最も応力が厳しくなる 1 構面を取り出した 2 次元モデル※とする。

※ 荷重増分解析を実施する場合は，3 次元モデルで実施する。

タービン建屋断面図と主トラスの検討モデルを第 3-1 図に示す。



第 3-1 図　タービン建屋断面図（ＮＳ側）及び主トラス検討モデル

ｂ．解析コード

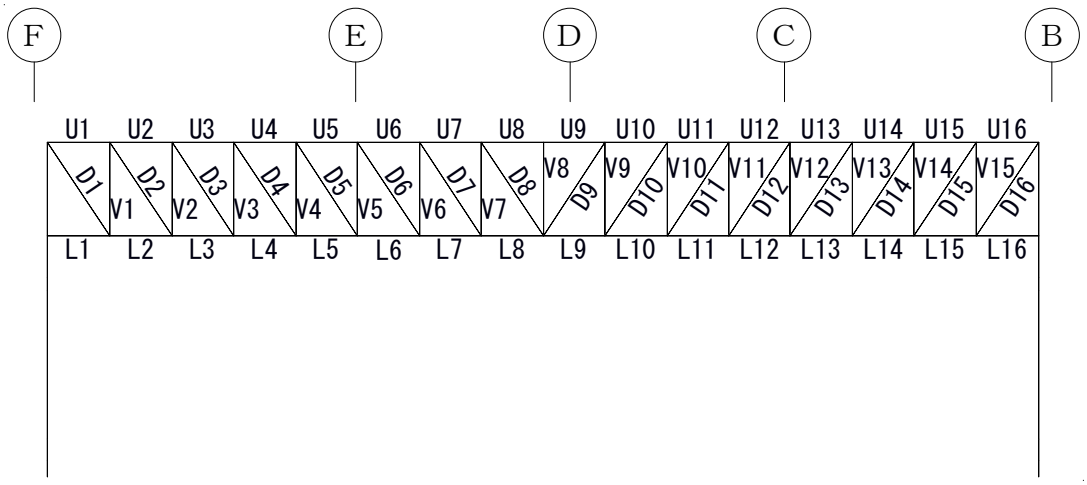
ＦＡＰ３ Ver.5.0

ｃ．検討部材の形状・寸法

検討部材の形状と寸法を第 3-1 表に示す。また，部材位置を第 3-2 図に示す。

第 3-1 表　検討部材の形状・寸法

部位	部材符号	形状寸法	材質
上弦材	U_1～U_{16}	H-428×407×20×35	SS400 (SS41)
下弦材	L_1～L_{16}	H-428×407×20×35	
斜材	D_1～D_3 D_{14}～D_{16}	2Ls-200×200×20	
	D_4, D_5, D_{12}, D_{13}	2Ls-150×150×19	
	D_6, D_{11}	2Ls-130×130×12	
	D_7, D_8, D_9, D_{10}	2Ls-100×100×10	
束材	V_1, V_2, V_{14}, V_{15}	2Ls-200×200×20	
	V_3, V_4, V_{12}, V_{13}	2Ls-200×200×15	
	V_5, V_6, V_{10}, V_{11}	2Ls-150×150×15	
	V_7～V_9	2Ls-130×130×9	



第 3-2 図　部材位置図

d．使用材料の物性値

使用材料の物性値を第 3-2 表に示す。

第 3-2 表　使用材料の物性値

項目	物性値
単位体積重量	77.0kN／m^3
ヤング係数	205.0kN／mm^2
せん断弾性係数	79.0kN／mm^2

(3)　評価方法

a．屋根スラブの評価方法

「RC 規準」に基づき，評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が許容応力度を超えないことを確認する。また，評価対象部位に生じる面外せん断応力度が，許容面外せん断応力度を超えないことを確認する。

評価式は，参考資料－１２「原子炉建屋の建屋健全性評価について」に記載と同様。

b．主トラスの評価方法

「S 規準」に基づき，評価対象部位に生じる軸応力及び曲げモーメントによる応力度が許容応力度を超えないことを確認する。

評価式は，参考資料－１２「原子炉建屋の建屋健全性評価について」に記載と同様。また，主トラスの崩壊機構が形成されないことを確認する終局耐力の評価は以下の式を用いる。

・軸力のみを負担する部材の評価方法

$$n_0 = 1 - 0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \quad (\lambda \leqq \Lambda)$$

n_0 ：無次元初期座屈耐力
λ ：圧縮材の細長比
Λ ：限界細長比　$\Lambda = \sqrt{\dfrac{\pi^2 E}{0.6F}}$ ※2
E ：ヤング係数

【修正若林力※1：圧縮側耐力曲線】

$$\frac{n}{n_0} = \frac{1}{\left(\overline{\zeta} - P_n\right)^{1/6}} \leq 1$$

$n = N / N_y$　N：軸力　N_y：降伏軸力
n_0：無次元化初期座屈耐力※2
$\overline{\zeta}$：無次元化圧縮側累積塑性歪
$P_n = (n_E/4) - 5$　$n_E = \dfrac{\pi^2 E}{\lambda_e{}^2 \sigma_y}$

・軸力と曲げを負担する部材の評価方法※3

$$M_c = M_p \quad (\lambda_b \leqq {}_p\lambda_b)$$

$$M_c = \left(1.0 - 0.4\frac{\lambda_b - {}_p\lambda_b}{{}_e\lambda_b - {}_p\lambda_b}\right)M_p \quad ({}_p\lambda_b < \lambda_b \leqq {}_e\lambda_b)$$

$$M_c = \frac{1}{\lambda_b{}^2}M_p \quad (\lambda_b < {}_e\lambda_b)$$

$$M_e = C_b\sqrt{\frac{\pi^4 EI_Y \cdot EI_w}{{}_k l_b{}^4} + \frac{\pi^2 EI_Y \cdot GJ}{l_b{}^2}}$$

$$C_b = 1.75 + 1.05\left(\frac{M_2}{M_1}\right) + 0.3\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 \leq 2.3$$

M_c：横座屈限界耐力

λ_b：横座屈細長比 $\lambda_b = \dfrac{M_p}{M_e}$

${}_e\lambda_b$：弾性限界細長比 ${}_e\lambda_b = 1/\sqrt{0.6}$

${}_p\lambda_b$：塑性限界細長比 ${}_p\lambda_b = 0.6 + 0.3\left(\dfrac{M_2}{M_1}\right)$

M_e：弾性横座屈モーメント

EI_y：弱軸まわりの曲げ剛性

EI_w：曲げねじり剛性

GJ：サンブナンねじり剛性

l_b：材長あるいは横座屈補剛間長さ

${}_k l_b$：横座屈長さ

M_p：全塑性モーメント $M_p = F_y \cdot Z_p$

F_y：降伏強さ

Z_p：塑性断面係数

※1　谷口，加藤，他「鉄骨Ｘブレース架構の復元力特性に関する研究」日本建築学会 構造工学論文集　Vol.37B(1991 年 3 月)

※2　「鋼構造設計規準（日本建築学会：1973 年 5 月）」

※3　「鋼構造限界状態設計指針・同解説（日本建築学会：2010 年 2 月）」

4.　評価結果

屋根スラブの評価結果を第 4-1，4-2 表，主トラスの評価結果を第 4-3 表に示す。主トラスは，弾性限耐力を適用した評価において，一部の部材が検定値 1.0 を上回る結果となったが，当該部材は座屈耐力に対して検定値は 1.0 以下であり，構造体が崩壊することはない。

第 4-1 表　屋根スラブ（曲げモーメント）評価結果
（検定：短期許容応力度）

部位	設計配筋量 (mm²)		発生曲げモーメント (kN・m)		必要鉄筋量※ (mm²)		検定比	
	端部	中央	端部	中央	端部	中央	端部	中央
EL 40.65	635.0	635.0	7.36	4.14	460.0	258.7	0.73	0.41

第 4-2 表　屋根スラブ（曲げモーメント）評価結果
（検定短期許容応力度）

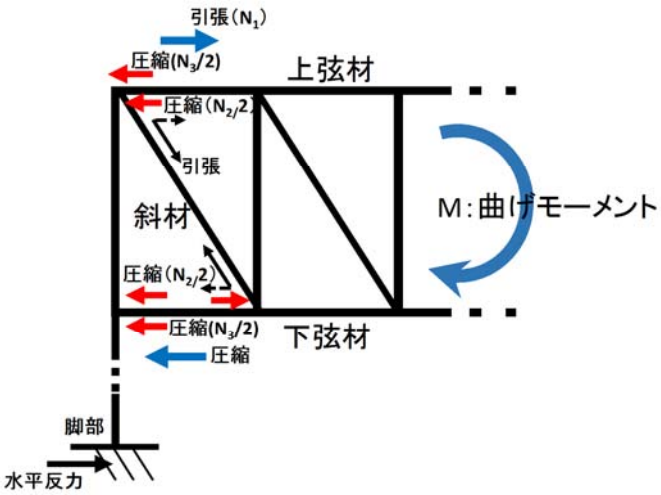
部位	発生せん断力 (KN)	せん断応力度 (N／mm²)	検定比
EL 40.65	17.69	0.381	0.36

第 4-3 表　主トラスの評価結果（検定：弾性限耐力）

部材	発生応力	応力度 (N／mm²)	許容値 (N／mm²)	検定値	位置
上弦材 H-428×407×20×35	（圧縮）	179.9	250.0	0.96	U8,U9
	（曲げ）	59.9	258.0		
	（引張）	0※1	258.0	0.53	U1,U16
	（曲げ）	136.0	258.0		
下弦材 H-428×407×20×35	（圧縮）	55.2	152.0	1.04※2	L1,L16
	（曲げ）	162.1	241.0		
	（引張）	160.3	258.0	0.90	L8,L9
	（曲げ）	70.8	219.0		
斜材 2Ls-200×200×20	（引張）	201.7	258.0	0.79	D2,D15
束材 2Ls-200×200×15	（圧縮）	184.7	212.0	0.88	V3,V13

※1　主トラスに作用する曲げモーメントは，上下弦材の軸力に置換され，トラス端部では上弦材に引張軸力が作用する。また，斜材に生じる引張軸力に対して釣り合うため，上弦材には圧縮軸力が作用し，門型フレーム脚部の水平反力に対して上弦材には圧縮軸力が作用する。従って，上弦材に生じる軸力は，曲げによる引張よりも圧縮が支配的となり，引張が 0 となる。（概略を第 4-1 図に示す）

※2　検定値を超過した下弦材（L1，L16）は座屈耐力に対して評価を行う。



上弦材：（N2+N3）/2－N1
下弦材：（N2+N3）/2＋N1
N1：トラスに生じる曲げ応力
N2：斜材軸力の水平成分に対する軸力
N3：柱脚部の水平反力に対する圧縮力

第 4-1 図 発生応力の概略図

第 4-4 表　主トラスの評価結果（検定：弾性限耐力）

部材	発生応力	応力度 (N／mm^2)	許容値 (N／mm^2)	検定値	位置
下弦材 H-428×407×20×35	(圧縮)	55.2	177.3	0.94	L1,L16
	(曲げ)	162.1	258.5		

外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の防護方針について

1.　概要

外部事象に対しての，津波防護施設，浸水防止設備，及び津波監視設備（以下「津波防護施設等」という。）の防護方針を以下に示す。

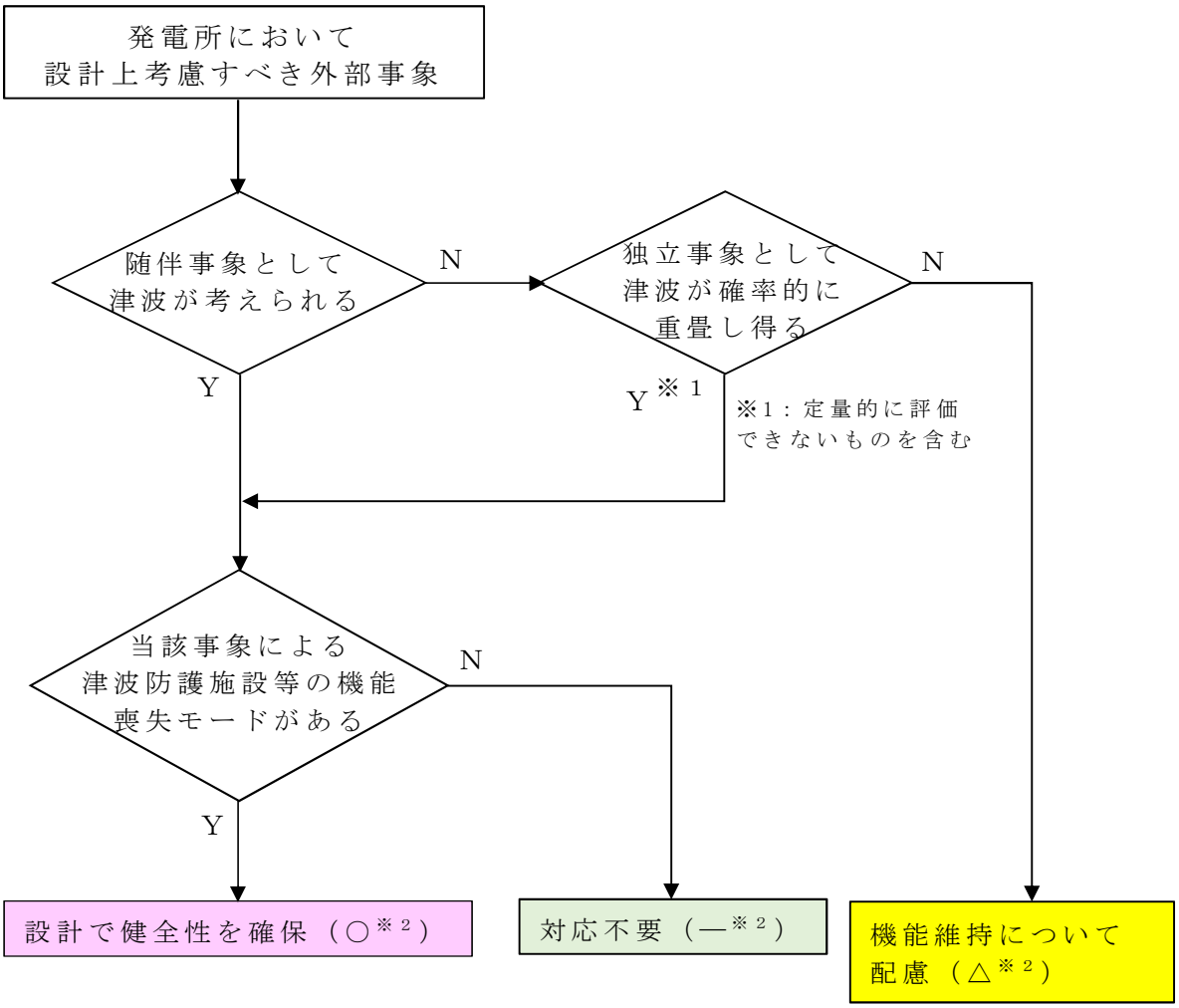
2.　防護に関する考え方

以下の考え方に基づき，発電所において設計上考慮すべき外部事象に対する，津波防護施設等の機能維持のための対応の要否について整理した。(フローを第１図に示す)

・設計上考慮すべき事象が，津波若しくは津波の随伴，重畳が否定できない事象に該当するかを確認する。定量的な重畳確率が求められない事象については，保守的にその影響を考慮する。

・津波の随伴，重畳が否定できない場合は，当該事象による津波防護施設等の機能喪失モードの有無を確認する。機能喪失モードが認められる場合は，設計により健全性を確保する。

・津波の随伴，重畳が有意でないと評価される事象についても，発電所の津波防護施設等については，基準津波の高さや防護範囲の広さ等その重要性に鑑み，自主的に機能維持のための配慮を行う。



※2：「○」，「△」，「—」は，後掲の第１表における
整理に対応している

第１図　外部事象に対する津波防護施設等の

機能維持対応要否判断フロー

3.　検討結果

上記検討フローに基づく各事象に対する防護方針の検討結果を，以下に示す。（詳細は第１表のとおり）

3.1　津波の随伴，重畳が否定できない事象※に対する防護方針

これらの外部事象に対しては，津波との随伴若しくは重畳の可

能性を否定できないため，荷重の重ね合わせのタイミングも考慮した上で設計への反映の要否を検討し，津波防護施設等への影響が考えられる事象に対しては，津波防護施設等の機能を維持する設計とする。

※：地震，洪水，風（台風），凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，生物学的事象，森林火災，高潮

3.2　津波の随伴，重畳が有意ではない事象（竜巻，火山の影響）に対する防護方針

「竜巻」,「火山の影響」の 2 つの外部事象に津波は随伴せず，また敷地高さを超える津波との重畳の確率も有意ではないため，津波防護施設等を防護対象施設とはしないものの，津波防護施設等の機能が要求される時にはその機能を期待出来るよう,以下の対応を自主的に実施する。

3.2.1　「火山の影響」

設計で想定する降下火砕物の給源の噴火と安全施設の中で最も低所にある海水ポンプを内包する海水ポンプ室壁頂部の高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約 8.6×10^{-8} (1/y)であり，火山と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，降下火砕物の堆積荷重について長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に適宜除去が可能な設計とする。

3.2.2　「竜巻」

設計竜巻と安全施設の中で最も低所にある海水ポンプの設置高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約 3.8×10^{-8} (1/y)であり，竜巻と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，竜巻が襲来した場

合には必ず作用する風荷重に対しては，津波防護施設等の健全性を維持する設計とする。また，竜巻が襲来した場合でも，必ずしも津波防護施設に作用するとは限らない竜巻飛来物荷重に対しては，大規模な損傷に至り難い構造とする。

第１表　外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表

：津波の随伴，重畳が否定できないため，設計で健全性を確保する事象（○）
：津波の随伴，重畳は有意ではないが，機能維持について設計上配慮する事象（△）
：対応が不要な事象（―）

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
地震	○	―	○	**あり** 地震荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	耐震Ｓクラス施設として基準地震動 Ss に対し健全性を維持し，津波に対する防護機能を維持する。 また，津波と余震（Sd-D1 地震動）の組合せも考慮する。
洪水（外部洪水）	―	○	○	**なし** 基準津波の遡上高さと洪水ハザードマップの浸水想定を重ねても，発電所敷地へ侵入し得る高さには達しない。 国道 245 号線西側田畑への洪水高さ： ～T.P.10m（審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）」より） 国道 245 号西側田畑への津波遡上分： ～＋4m※（遡上解析結果より） ⇒合計 T.P.～14m＜EL.(=T.P.)15m（国道 245 号線（発電所入口））	―	―

※：防潮壁形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
風（台風）	—	○	○	**あり** 風荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	・風荷重，津波荷重を考慮した設計とする。 ・津波監視カメラは，風荷重を考慮した設計とする。
竜巻	—	—	—	**なし** 以下のとおり，重畳の頻度は無視し得る。 設計竜巻の確率 P1： 約 3.9×10^{-6}/y（補足 1 参照） 敷地高さ超津波（＞T.P.3m）の確率 P2： 約 9.6×10^{-3}/y※ ※：飛来物による海水ポンプ室の壁の損傷を想定し，敷地の最低高とした。 ⇒重畳確率：p=約 3.8×10^{-8}/y ・・・目安値 PC=1×10^{-7}未満で，有意ではない。	△	防潮壁の設計においては，自主的に以下の配慮を行い，信頼性を高める。 ・風圧力に対しては，損傷しない様に構造強度を確保する。 ・飛来物については，防潮堤は鉄筋コンクリート等の堅牢な構造であり，大規模な損傷は生じないと考えられる。
極低温（凍結）	—	○	○	**あり** 凍害により止水ジョイントが損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	止水ジョイントは最低気温を考慮した設計とする。
降水（豪雨（降雨））	—	○	○	**なし** 降雨による海水面の上昇の影響は無視し得る。	—	—

※：防潮壁形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
積雪（暴風雪）	—	○	○	**あり** 積雪荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	積雪荷重と津波荷重を考慮した設計とする。
落雷	—	○	○	**あり** 落雷により津波監視設備の機能喪失が想定される	○	津波監視設備については，既設避雷設備の遮へい範囲内への設置又は避雷設備の設置，避雷設備の接地極を構内接地網と連接し接地抵抗の低減を行うとともに，ラインフィルタや絶縁回路を設置することにより，雷サージの侵入を防止する設計とする。
地滑り	—	○	○	**なし** 発電所の敷地及びその近傍には地滑りを起こすような地形は存在しない。	—	—
火山（火山活動・降灰）	—	—	—	**なし** 以下のとおり，重畳の頻度は無視し得る。 想定する火山の確率：2.2×10^{-5}/y （審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）」より） 敷地高さ超津波（＞T.P.6m）の確率： 約 3.9×10^{-3}/y※ ※：海水ポンプ室の壁は損傷しないため，ポンプ室水密高さとする。 ⇒重畳確率：約 8.6×10^{-8}/y ・・・1×10^{-7}未満で，有意ではない。	△	設計にて長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に適宜除去が可能な設計とする。

※：防潮壁形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
生物学的事象	—	○	○	なし 生物による影響（閉塞，侵入）による機能喪失モードを有しない。	—	—
森林火災	—	○	○	あり 熱影響により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	・森林火災の熱影響による強度低下及び止水ジョイントの機能喪失を起こさない設計とする。 ・防潮堤上の津波監視設備が森林火災の影響で機能を喪失した場合は，速やかに予備品と交換する。 （機能喪失の可能性があるのは，全4台中2台のみ）
高潮	—	○	○	あり 高潮に起因する潮位上昇により防潮堤を越波した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	高潮と津波の組合せを考慮した設計とする。

※：防潮壁形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

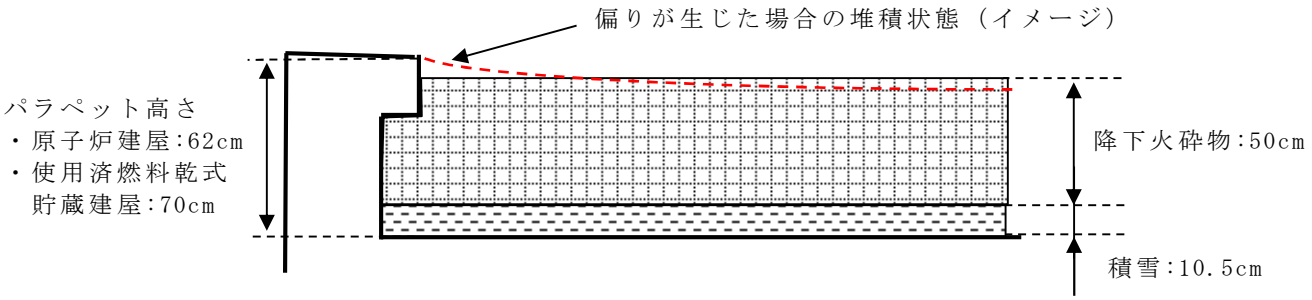
降下火砕物の偏りによる影響評価について

原子炉建屋及びタービン建屋には，屋上端部にパラペットが設置されているため，風向き等により降下火砕物の偏りが生じる可能性があることから，建屋発生応力への影響について評価する。

1．風向きによる偏り

(1)原子炉建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

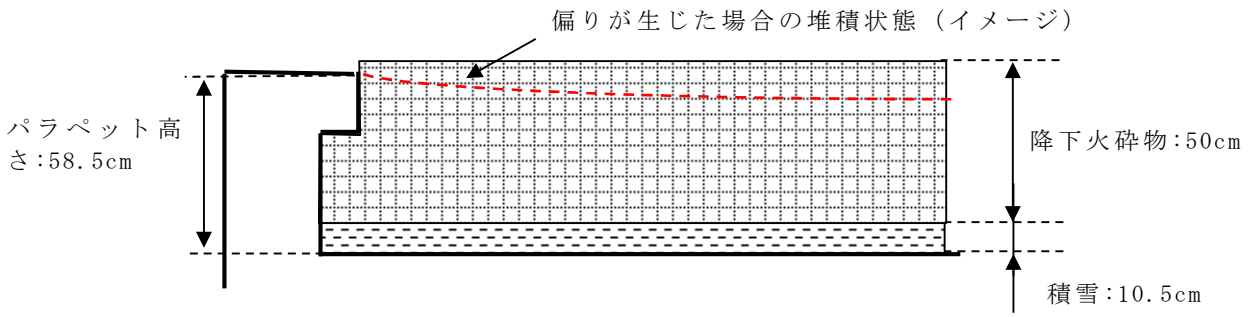
原子炉建屋のパラペット高さは屋上階から 62cm，使用済燃料乾式貯蔵建屋のパラペット高さは屋上階から 70cm であるのに対し，降下火砕物堆積厚さに積雪厚さを加えた堆積高さは 60.5cm となり，仮に風向きにより堆積厚さに偏りが生じた場合においても増加分は軽微であること及び，屋上端部近傍以外の堆積量は相対的に減少することとなるため，現状想定している垂直に堆積する場合の応力評価を上回ることはないと考える。



第１図　原子炉建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋における
降下火砕物及び積雪の堆積状態（イメージ）

(2)タービン建屋

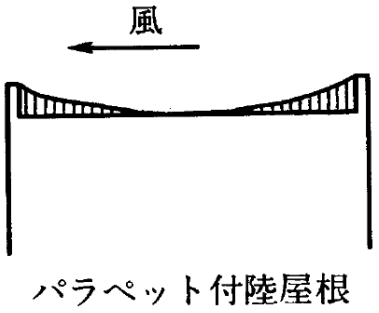
タービン建屋のパラペット高さは屋上階から 58.5cm であるのに対し，降下火砕物堆積厚さに積雪厚さを加えた堆積高さは 60.5cm であり， 風による堆積の偏りを想定した場合，堆積厚さは減少することとなるため，現状想定している垂直に堆積する場合の応力評価を上回ることはないと考える。



第 2 図　タービン建屋における降下火砕物及び積雪の堆積状態（イメージ）

なお，降下火砕物の堆積が 50cm より少ない場合は，風により屋上端部に偏る降下火砕物の割合は多くなることが考えられるが，屋上端部近傍以外の堆積量は相対的に減少することとなり，屋上中央部に発生する応力は小さくなることから，現状想定している垂直に堆積する場合の応力評価を上回ることはないと考える。

第 3 図に積雪におけるパラペット付屋根の堆積イメージを示す。



第 3 図　カナダにおける屋上積雪に関する調査結果の概要
（建築物荷重指針・同解説（2004）図 5.4.1 抜粋）

2．降下火砕物除灰時の偏り

降下火砕物の除灰作業時の荷重の偏りを防止するため,以下のとおり運用することとする。

・屋上面の荷重を均等化するため，堆積した降下火砕物について部分的に掘り下げることはせず，可能な限り降下火砕物上面を平滑に削って除灰することとする。

・除灰した降下火砕物について屋上面で集積せず，速やかに下ろすこととする。

除灰時の人員荷重の考え方について

降下火砕物を除灰する際の人員の荷重については，建屋健全性評価において以下のとおり考慮している。

1．屋根スラブ

「建築構造設計基準の資料」（国土交通省　平成 27 年版）における「屋上（通常人が使用しない場合）」の床版計算用積載荷重における 980N/m^{2}を包絡するよう，除灰時人員荷重として 1,000 N/m^2※を考慮し，健全性評価を行っている。

2．主トラス

「建築構造設計基準の資料」（国土交通省　平成 27 年版）における「屋上(通常人が使用しない場合)」の大梁計算用積載荷重における 600 N/m^{2}に対し，屋根スラブと同じ値で設定することとし，除灰時人員荷重として 1,000 N/m^2※を考慮し，健全性評価を行っている。

なお，建屋屋上の除灰時はスコップ，土のう袋，集じんマスク，ゴーグル，ほうき等軽量な資機材を使用し，重機等の大きな荷重を伴う資機材は使用しない。

※原子炉建屋頂部の場合，約 100kg の人員が約 1,800 人，1m^{2}毎に配置されているのと同様な荷重状態となる。

第１表　「建築構造設計基準の資料」（国土交通省　平成 27 年版）

表 4.2　積　載　荷　重

（単位：N/m²）

室　名　等		床版又は小梁計算用	大梁、柱又は基礎計算用	地震力計算用	備　考
屋上	常時人が使用する場合（学校、百貨店の類を除く）	1,800	1,300	600	「令」第 85 条の屋上広場を準用。
	〃（学校、百貨店の類）	2,900	2,400	1,300	
	通常人が使用しない場合	980	600	400	
	鉄骨造体育館、武道場等	980	0	0	短期荷重とする（作業荷重を考慮）。積雪荷重及び風荷重との組合せは行わない。
事務室、会議室及び食堂		2,900	1,800	800	「令」第 85 条による。

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）

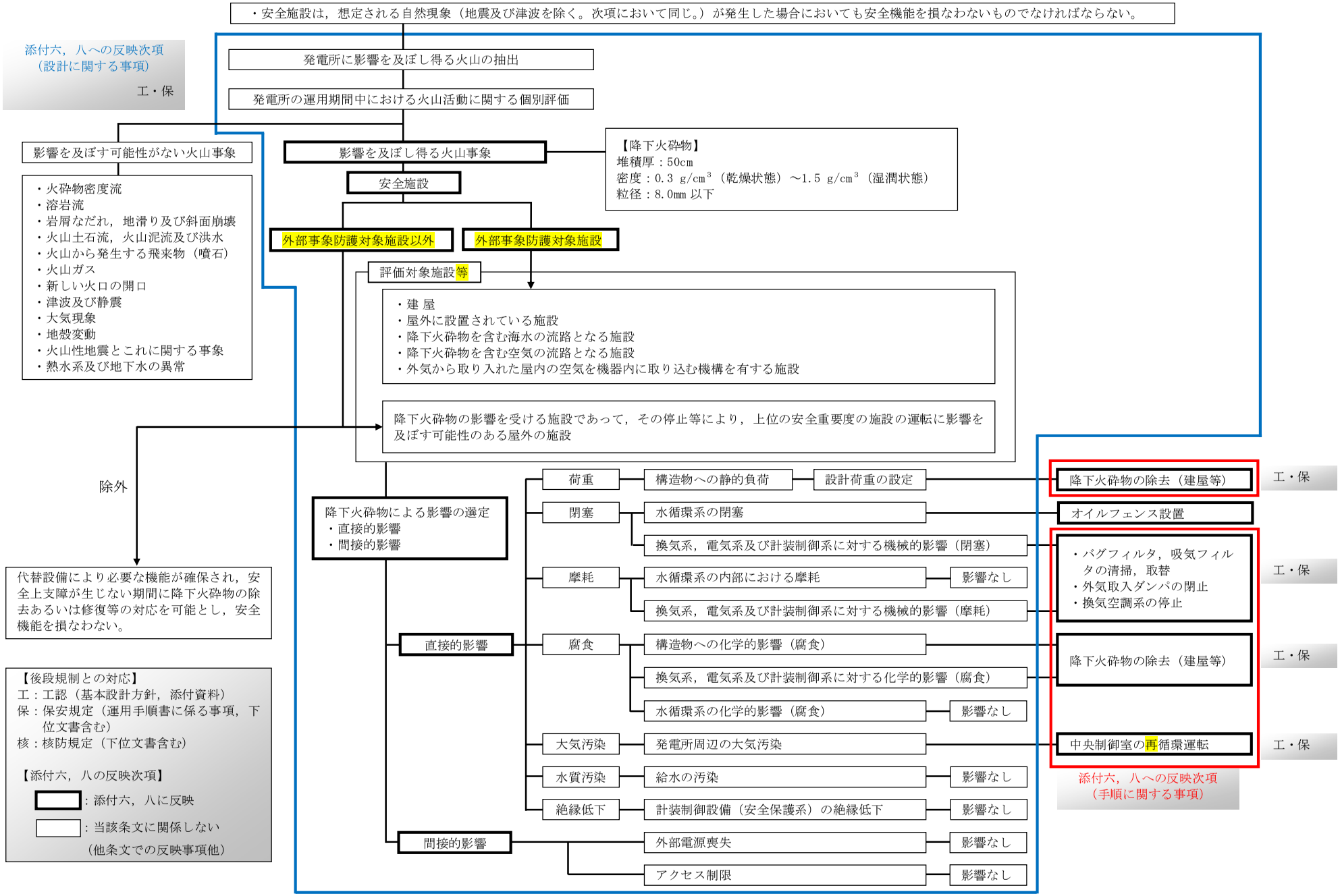
（第六条　火山）

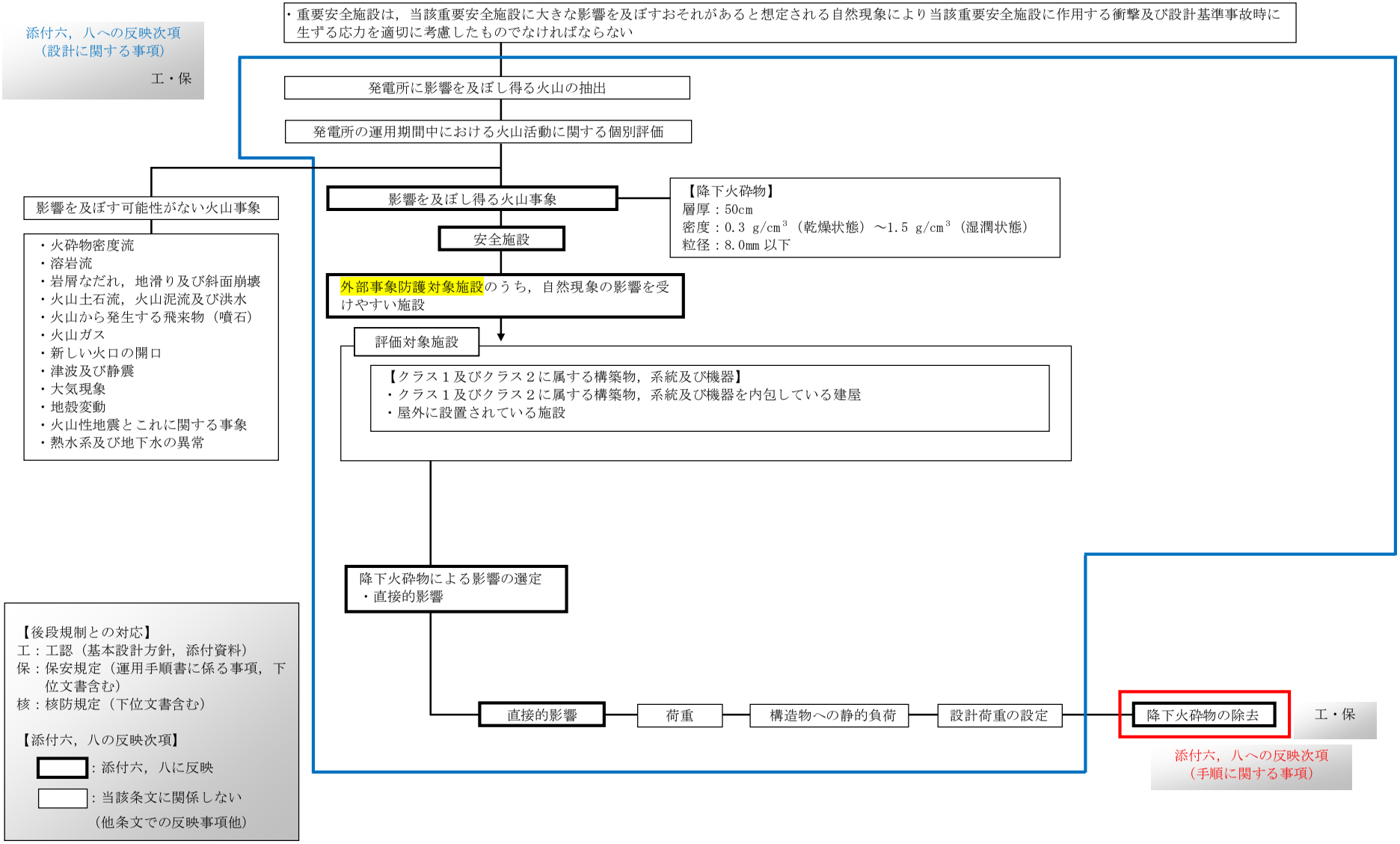
安全施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項について同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

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
発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
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】
堆積厚：50cm
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
外部事象防護対象施設以外
外部事象防護対象施設
評価対象施設等
・建 屋
・屋外に設置されている施設
・降下火砕物を含む海水の流路となる施設
・降下火砕物を含む空気の流路となる施設
・外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設
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
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。
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
荷重
構造物への静的負荷
設計荷重の設定
降下火砕物の除去（建屋等）
工・保
閉塞
水循環系の閉塞
オイルフェンス設置
換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）
・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
工・保
摩耗
水循環系の内部における摩耗
影響なし
換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響（摩耗）
腐食
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対する化学的影響（腐食）
降下火砕物の除去（建屋等）
工・保
水循環系の化学的影響（腐食）
影響なし
大気汚染
発電所周辺の大気汚染
中央制御室の再循環運転
工・保
水質汚染
給水の汚染
影響なし
絶縁低下
計装制御設備（安全保護系）の絶縁低下
影響なし
間接的影響
外部電源喪失
影響なし
アクセス制限
影響なし
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）


・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
添付六，八への反映次項（設計に関する事項）
工・保
発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
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：50cm
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
外部事象防護対象施設のうち，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】
・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
・屋外に設置されている施設
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
構造物への静的負荷
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	・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	・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	・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，再循環運転	運用・手順	・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再循環運転により，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	・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
第六条　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	・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