

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	PD-C-1 改 70
提出年月日	平成 29 年 9 月 6 日

## 東海第二発電所

### 設計基準対象施設について

平成 29 年 9 月  
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

目 次

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

# 東海第二発電所

## 外部からの衝撃による損傷の防止

### (火山)

第6条 外部からの衝撃による損傷の防止  
(火山)

<目次>

1. 基本方針
  - 1.1 要求事項の整理
  - 1.2 追加要求事項に対する適合性（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。（表 1）

表 1 設置許可基準規則第 6 条及び技術基準規則第 7 条 要求事項

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

## 1.2 追加要求事項に対する適合性（手順等含む）

### (1) 位置，構造及び設備

#### ロ 発電用原子炉施設の一般構造

### (3) その他の主要な構造

#### (a) 外部からの衝撃による損傷の防止

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

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

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

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

また，安全施設は，発電所敷地又はその周辺において想定される航空機落下，ダムの崩壊，爆発，近隣工場等の火災，有毒ガス，船舶の衝突及び電磁的障害の発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

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

ここで、想定される自然現象及び発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

(a-2)

安全施設は、発電所の運用期間中において発電所の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象として設定した層厚 50cm, 粒径 8mm 以下, 密度  $0.3\text{g}/\text{cm}^3$  (乾燥状態)  $\sim 1.5\text{g}/\text{cm}^3$  (湿潤状態) の降下火砕物に対し、その直接的影響である構造物への静的負荷に対して安全裕度を有する設計とすること、水循環系の閉塞に対して狭隘部等が閉塞しない設計とすること、換気系、電気系及び計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の換気空調設備は降下火砕物が侵入しにくく、さらに外気を遮断できる設計とすること、電気系及び計装制御系の盤の絶縁低下に

対して空気を取り込む機構を有する計装制御設備（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により、安全機能を損なわない設計とする。

また、安全施設は、降下火砕物による静的負荷や腐食等の影響に対して、降下火砕物の除去や換気空調設備外気取入口のフィルタの取替え、清掃、換気空調設備の停止又は閉回路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、降下火砕物の間接的影響である7日間の外部電源喪失、発電所外での交通の途絶によるアクセス制限事象に対し、発電所の安全性を維持するために必要となる電源の供給が継続でき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

### 1.8 火山防護に関する基本方針

#### 1.8.1 設計方針

##### (1) 火山事象に対する施設の基本方針

安全施設が火山事象に対して、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を損なわないよう、「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、構造健全性の維持又は代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 : (3.2 : 1-6)】

##### (2) 降下火砕物の設計条件

###### a. 設計条件の検討

東海第二発電所の敷地において考慮する火山事象として、「添付書類六 7. 火山」に示すとおり降下火砕物のみである。

敷地における降下火砕物の層厚は、文献調査、地質調査及び降下火砕物シミュレーション結果等から総合的に判断した結果から、層厚 50cm と評価する。また、密度及び粒径については、文献調査及び地質調査等の結果から、密度  $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ （乾燥状態）～ $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ （湿潤状態）、粒径 8mm 以下と評価する。

###### b. 設計条件の設定

降下火砕物の設計条件は、「a. 設計条件の検討」に示す各種調査、検討の結果を踏まえ堆積厚 50cm、密度  $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ （乾燥状態）～ $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ （湿潤状態）、粒径 8mm 以下と設定する。

(3) 火山活動から防護する施設

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。

(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，鉍物結晶片から成る<sup>(1)</sup>。ただし，砂よりもろく硬度は低い<sup>(2)</sup>。
- (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<sup>(1)</sup>。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<sup>(3)</sup>。
- (c) 水に濡れると導電性を生じる<sup>(1)</sup>。
- (d) 湿った降下火砕物は乾燥すると固結する<sup>(1)</sup>。
- (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<sup>(1)</sup>。

b. 直接的影響



降下火砕物の特徴から直接的影響の要因となる荷重，閉塞，摩耗，腐食，大気汚染，水質汚染及び絶縁低下を抽出し，評価対象施設の構造や設置状況等を考慮して直接的な影響因子を以下のとおり選定する。

(a) 荷重

「荷重」について考慮すべき影響因子は，建屋及び屋外設備の上に堆積し静的な負荷を与える「構造物への静的負荷」，並びに建屋及び屋外設備に対し降灰時に衝撃を与える「粒子の衝突」である。

【別添資料 1 : (3.4.2 : 1-16)】

評価に当たっては以下の荷重の組み合わせ等を考慮する。

i) 施設に常時作用する荷重，運転時荷重

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

降下火砕物の影響から防護する施設は，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が発生しないことから，設計基準事故時に生じる荷重の組合せは考慮しない。

iii) その他の自然現象の影響を考慮した荷重の組合せ

降下火砕物と組み合わせを考慮すべき火山以外の自然現象は、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。

【別添資料 1 : (3.5 : 1-18~19)】

(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」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。

【別添資料 1 : (3.4.2 : 1-17)】

(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。

【別添資料 1 : (3.4.2 : 1-17)】

(d) 腐食

「腐食」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物に付着した腐食性ガスにより建屋及び屋外施設の外面を腐食させる「構造物への化学的影響（腐食）」、換気系、電気系及び計装制御系において降下火砕物を含む空気の流路等を腐食させる「換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）」、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。

【別添資料 1 : (3.4.2 : 1-17)】

(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。

【別添資料 1 : (3.4.2 : 1-17)】

(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。

【別添資料 1 : (3.4.2 : 1-17~18)】

(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 : 1-18)】

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 : 1-18)】

(5) 降下火砕物の直接的影響に対する設計

降下火砕物の影響から防護する施設が降下火砕物の影響により安全機能を損なわないよう、降下火砕物の影響を設計に考慮すべき施設（以下「評価対象施設」という。）を、各施設の構造や設置状況等（形状、機能、外気吸入や海水通水の有無等）を考慮して以下のとおり分類する。

- ・クラス 1 及びクラス 2 に属する構築物、系統及び機器

屋外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

- ・クラス 3 に属する構築物、系統及び機器

降下火砕物の影響を受ける施設であって、その停止等により、上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設

なお、それ以外のクラス 3 に属する施設については、降下火砕物による影響を受ける場合を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、又は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が可能とすることにより、安全機能を損なわない設計とするため、評価対象施設から除外する。

上記により抽出した評価対象施設を第1.8-1表に示す。

【別添資料 1 : (3.3 : 1-6~15)】

直接的影響については、想定される各影響因子に対して、影響を受ける

各評価対象施設が安全機能を損なわないよう以下の設計とする。

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。

・屋外に設置されている施設

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），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（吸気口，排気消音器，排気管），中央制御室換気系冷凍機，ディーゼル発電機室ルーフトファン

・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

タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

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，構造部材の材料強度による許容値を許容限界とする。

また、建屋を除く評価対象施設においては、許容応力を「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1987（日本電気協会）」に準拠する。

(b) 粒子の衝突

評価対象施設のうち、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、「1.7 竜巻防護に関する基本方針」に包絡される。

【別添資料 1 : (3.6.1 : 1-19~20)】

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。

・屋外に設置されている施設

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)，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（吸気口，排気消音器，排気管），中央制御室換気系冷凍機，ディーゼル発電機室ルーフトファン，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タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

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 : 1-21)】

- (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。

- ・ 降下火砕物を含む海水の流路となる施設

残留熱除去海水系設備（海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備含む），ディーゼル発電機海水系設備（海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備含む），海水取水設備

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。

【別添資料 1 : (3.6.2 : 1-21~22)】

(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。

・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）

（モータ）

機械的影響（閉塞）については、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）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 : 1-22~23)】

(d) 絶縁低下及び化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち、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。

- ・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閉回路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。

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

ディーゼル発電機機関，ディーゼル発電機（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 : 1-24~25)】

(b) 機械的影響（摩耗）

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。

・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

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。

【別添資料 1 : (3.6.3 : 1-25~26)】

(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、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

ディーゼル発電機機関，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 : 1-26)】

(d) 大気汚染（発電所周辺の大気汚染）

評価対象施設のうち、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、中央制御室換気空調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、中央制御室換気空調系については、外気取入ダンパの閉止及び閉回路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 : 1-26～27)】

(6) 降下火砕物の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に対し，原子炉の停止並びに停止後の原子炉及び使用済燃料プールの冷却に係る機能を担うために必要となる電源の供給が非常用ディーゼル発電機により継続でき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：(3.8：1-31)】

1.8.2 手順等

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手順等を定める。

- (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閉回路循環運転により，建屋内への降下火砕物の侵入を防止する手順を定める。
- (3) 降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、取水路前面へ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侵入を低減する手順を定める。

### (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。

以下にこれら自然現象に対する設計方針を示す。

#### (9) 火山の影響

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

##### a. 直接的影響に対する設計

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



また、安全施設は、降下火砕物の除去や換気空調設備外気取入口のフィルタの点検、清掃や取替え、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止又は閉回路循環運転、必要な保守管理等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

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

#### 1.8.3 参考文献

- (1) 広域的な火山防災対策に係る検討会（第3回）資料2 内閣府
- (2) 「シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状」武若耕司，コンクリート工学，Vol139，2004
- (3) 「火山環境における金属材料の腐食」出雲茂人，末吉秀一他，防食技術 Vol.39，1990

第 1.8-1 表 評価対象施設の抽出結果

	設備区分	評価対象施設
クラス 1 及びクラス 2 に属する構造物，系統及び機器	屋外に設置されている施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉建屋</li> <li>・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）</li> <li>・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）</li> <li>・ディーゼル発電機（吸気口，排気消音器，排気管）</li> <li>・中央制御室換気系冷凍機</li> <li>・ディーゼル発電機室ルーフベントファン</li> <li>・排気筒</li> <li>・非常用ガス処理系排気配管</li> </ul>
	降下火砕物を含む海水の流路となる施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・残留熱除去海水系設備 （海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備）</li> <li>・ディーゼル発電機海水系設備 （海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備）</li> </ul>
	降下火砕物を含む空気の流路となる施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディーゼル発電機機関</li> <li>・換気空調設備（外気取入口）</li> <li style="margin-left: 20px;"> <span style="font-size: 2em;">[</span> <ul style="list-style-type: none"> <li>中央制御室換気空調系</li> <li>ディーゼル発電機室換気系</li> </ul> <span style="font-size: 2em;">]</span> </li> <li>・排気筒</li> <li>・非常用ガス処理系排気配管</li> </ul>
	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計装制御設備（安全保護系）</li> </ul>
クラス 3 に属する構造物，系統及び機器	降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・タービン建屋</li> <li>・使用済燃料乾式貯蔵建屋</li> <li>・海水取水設備（除塵装置）</li> <li>・換気空調設備（外気取入口）</li> </ul>

【別添資料 1 : (3.3 : 1-9)】

## 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 ディーゼル発電機に係る影響評価
- － 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 原子炉の高温停止及び低温停止に必要な設備について
- － 2 降下火砕物堆積荷重評価への材料強度×1.1倍の適用について
- － 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について
- － 1 0 降水による降下火砕物の固結の影響について
- － 1 1 火山影響評価ガイドとの整合性について
- － 1 2 原子炉建屋の健全性評価について
- － 1 3 タービン建屋の健全性評価について
- － 1 4 防潮堤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. 基本方針

### 1.1 概要

原子力規制委員会の定める「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第五号）」第六条において、外部からの衝撃による損傷防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならないとしており、敷地周辺の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして、火山の影響を挙げている。

火山の影響により原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを評価するため、火山影響評価を行い、原子炉施設へ影響を与えないことを評価する。

## 1.2 火山影響評価の流れ

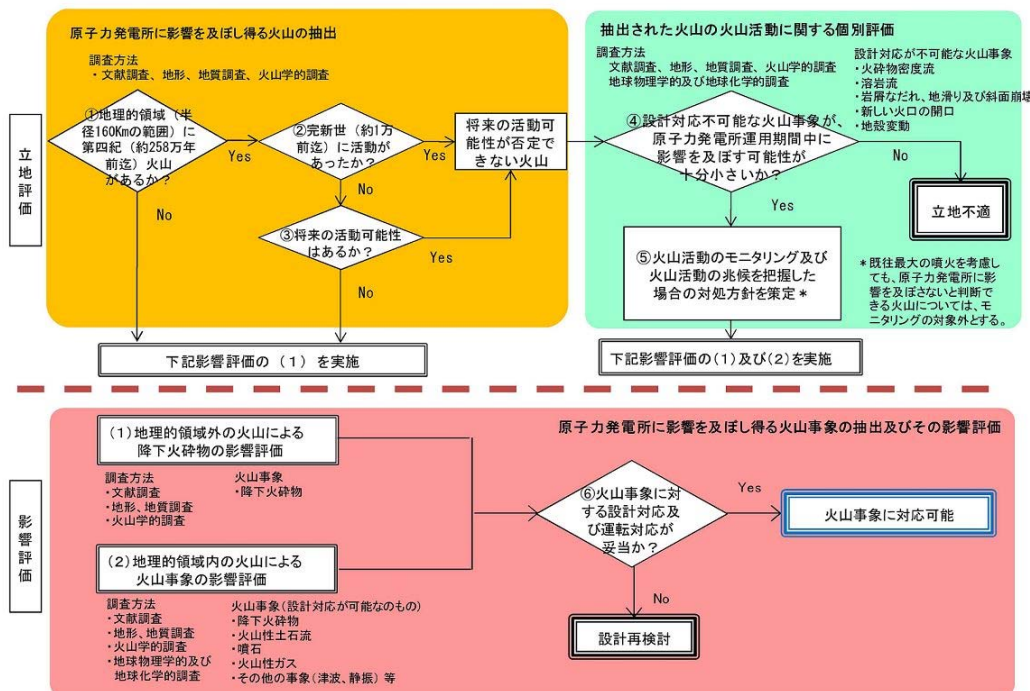
火山影響評価は、「原子力発電所の火山影響評価ガイド」を参照し、第 1.2-1 図のフローに従い立地評価と影響評価の 2 段階で行う。

立地評価では、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出を行い、抽出された火山の火山活動に関する個別評価を行う。具体的には設計対応不可能な火山事象が東海第二発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性の評価を行う。

設計対応不可能な火山事象が影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された場合は、原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象の抽出とその影響評価を行う。

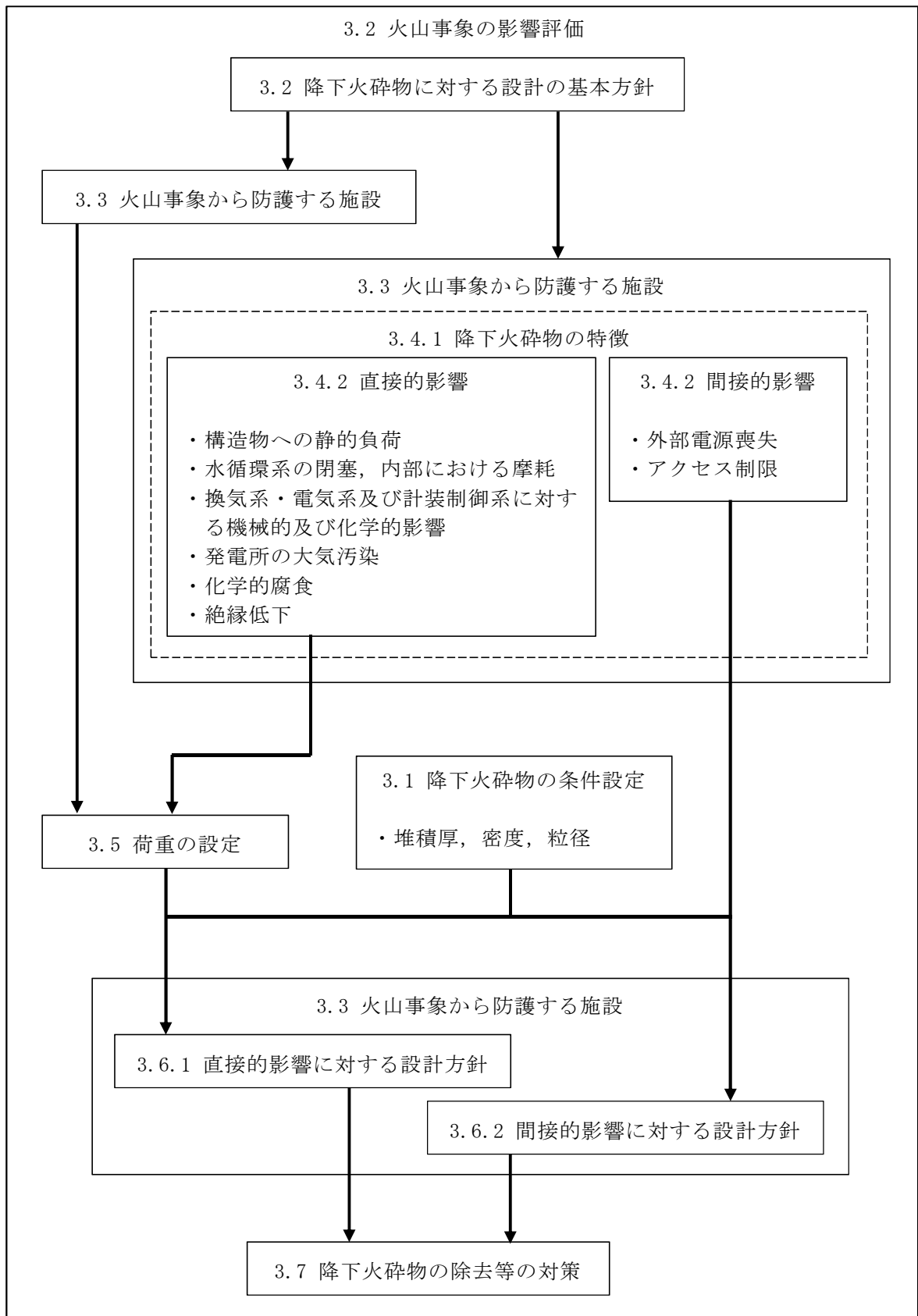
影響評価では、個々の火山事象への設計対応及び運転対応の妥当性について「3.1 火山事象の影響評価」にて評価を行う。(第 1.2-2 図)

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、燧ヶ岳、安達太良山、磐梯山、沼沢、吾妻山、榛名山、笹森山、子持山の13火山を抽出した。

### 2.2 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として抽出した13火山について、設計対応不可能な火山事象（火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊、新しい火口の開口、地殻変動）が影響を及ぼす可能性について個別評価を行った。

火砕物密度流については、敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価した。

溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊については、敷地と火山の距離から発電所に影響を及ぼす可能性はないと評価した。

新しい火口の開口、地殻変動については、敷地は火山フロントより前弧側（東方）に位置すること、敷地周辺では火成活動は確認されていないことから、この事象が発電所の運転期間中に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価した。

以上から、設計対応不可能な火山事象が発電所に影響を及ぼす可能性はなく、この結果から、抽出した13火山はモニタリングの対象とならないと判断した。

### 3. 影響評価

#### 3.1 火山事象の影響評価

将来の活動可能性のある火山若しくは将来の活動可能性を否定できない火山について、東海第二発電所の運用期間中の噴火規模を考慮し、原子力発電所の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象を抽出した結果、降下火砕物のみが東海第二発電所に影響を及ぼし得る火山事象となった。よって、降下火砕物による安全施設への影響評価を行う。

影響評価に用いる条件は、文献調査、地質調査及び降下火砕物シミュレーション結果等から総合的に判断し、第 3.1-1 表のとおり、堆積厚さ 50cm、粒径 8mm 以下、密度  $0.3 \text{ g/cm}^3$  (乾燥状態)  $\sim 1.5 \text{ g/cm}^3$  (湿潤状態) と設定した。

第 3.1-1 表 降下火砕物の設計条件

項目	設定条件	備考
堆積厚さ	50cm	鉛直荷重に対する健全性評価に使用
密度	$0.3 \text{ g/cm}^3 \sim 1.5 \text{ g/cm}^3$ (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、東海第二発電所の運用期間中の噴火規模を考慮し、東海第二発電所の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象を抽出した結果、「3.1 火山事象の影響評価」に示すとおり該当する火山事象は降下火砕物のみであり、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。

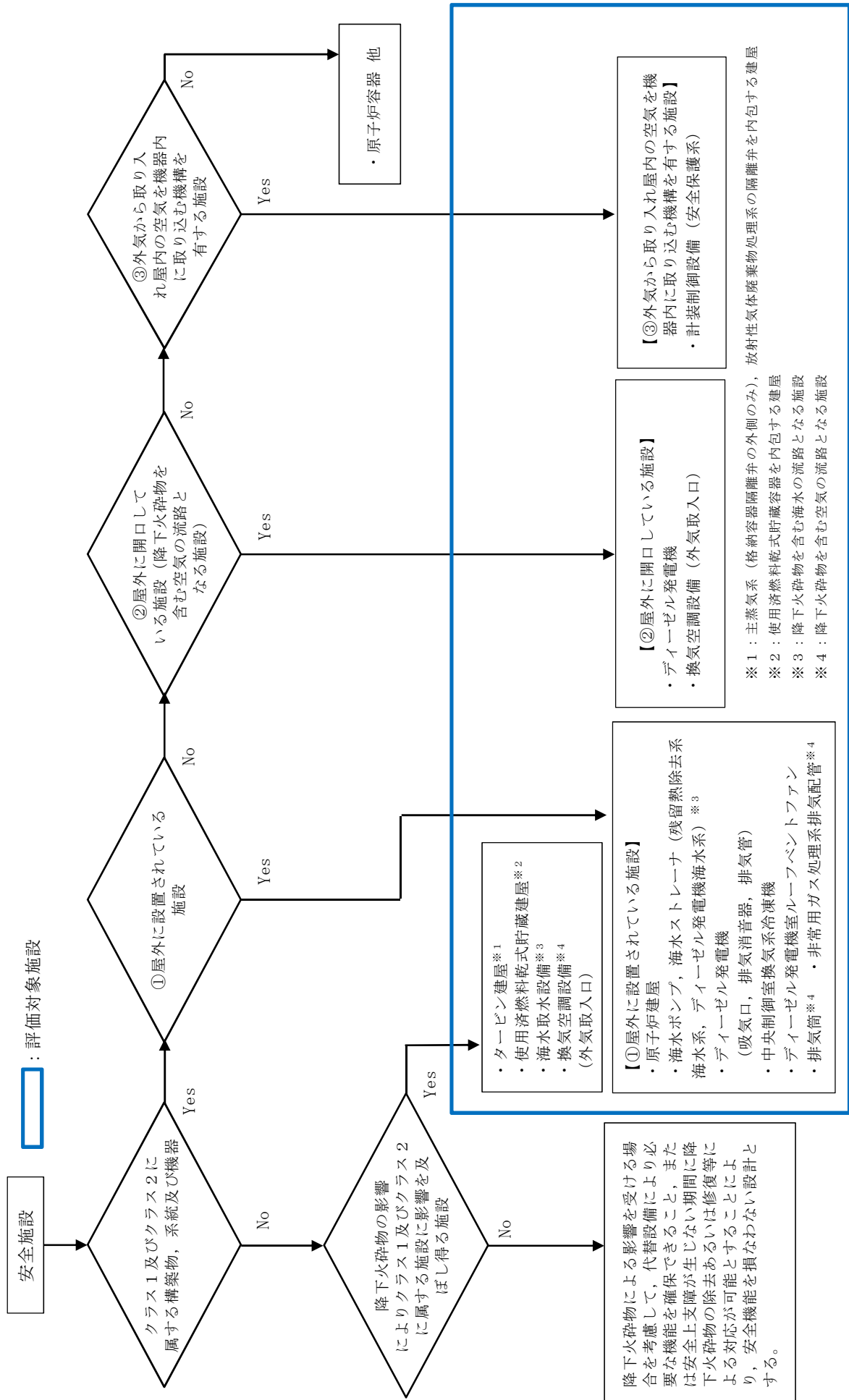
当該施設が降下火砕物の影響により安全機能を損なわないよう、降下火砕物の影響を評価すべき施設（以下「評価対象施設」という。）として各施設の構造や設置状況等を考慮して以下のとおり抽出する。

- (1) クラス 1 及びクラス 2 に属する構築物，系統及び機器
  - a. 屋外に設置されている施設
  - b. 降下火砕物を含む海水の流路となる施設
  - c. 降下火砕物を含む空気の流路となる施設
  - d. 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
- (2) クラス 3 に属する構築物，系統及び機器
  - a. 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

なお，それ以外の，クラス 3 に属する施設については，降下火砕物による影響を受ける場合を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること，又は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が可能とすることにより，安全機能を損なわない設計とするため，評価対象施設から除外する。

また，降下火砕物の間接的影響を考慮し，原子炉の高温停止，冷温停止に必要な機能を達成するために必要となる施設を評価対象施設として抽出した。（参考資料－1）

評価対象施設の抽出フローを第 3.3-1 図に，抽出結果を第 3.3-1 表，第 3.3-2 表に示すとともに，評価対象施設の設置場所を第 3.3-2 図に示す。



6条(火山)-1-8

第3.3-1 図 評価対象施設の抽出フロー

第 3.3-1 表 評価対象施設の抽出結果

	設備区分	評価対象施設
クラス 1 及びクラス 2 に属する構築物、系統及び機器	屋外に設置されている施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉建屋</li> <li>・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）</li> <li>・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）</li> <li>・ディーゼル発電機（吸気口，排気消音器，排気管）</li> <li>・中央制御室換気系冷凍機</li> <li>・ディーゼル発電機室ルーフベントファン</li> <li>・排気筒</li> <li>・非常用ガス処理系排気配管</li> </ul>
	降下火砕物を含む海水の流路となる施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・残留熱除去海水系設備 （海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備）</li> <li>・ディーゼル発電機海水系設備 （海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備）</li> </ul>
	降下火砕物を含む空気の流路となる施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディーゼル発電機機関</li> <li>・換気空調設備（外気取入口）  <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px; margin: 0 10px;">                     中央制御室換気空調系                      ディーゼル発電機室換気系                 </div> </li> <li>・排気筒</li> <li>・非常用ガス処理系排気配管</li> </ul>
	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計装制御設備（安全保護系）</li> </ul>
クラス 3 に属する構築物、系統及び機器	降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・タービン建屋</li> <li>・使用済燃料乾式貯蔵建屋</li> <li>・海水取水設備（除塵装置）</li> <li>・換気空調設備（外気取入口）</li> </ul>

第 3.3-2 表 評価対象施設の抽出について (1/4)

分類	安全機能の重要度分類		評価対象施設	クラス 3 に属する施設のうち降下火砕物の影響を受ける可能性がある施設で、クラス 1 及びクラス 2 に属する施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設
	定義	機能			
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造物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系(計装等の小口径配管・機器は除く)	-	-
		2) 過剰反応度の印加防止機能	制御棒カププリング	-	-
		3) 炉心形状の維持機能	炉心支持構造物(炉心シェラウド、シェラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、制御棒案内管)、燃料集合体(ただし、燃料を除く)	-	-
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構造物、系統及び機器	1) 原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系(制御棒及び制御棒駆動系(スクラム機能))	-	-
		2) 未臨界維持機能	原子炉停止系(制御棒による系、ほう酸水注入系)	-	-
		3) 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁(安全弁としての間機能)	-	-
		4) 原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統(残留熱除去系、原子炉停止時冷却モード) 原子炉隔離時冷却系 高圧炉心スプレイ系 逃がし安全弁(手動逃がし機能) 自動減圧系(手動逃がし機能)	-	-
		5) 炉心冷却機能	非常用炉心冷却系(低圧炉心スプレイ系) 非常用炉心冷却系(低圧注水系) 非常用炉心冷却系(高圧炉心スプレイ系) 非常用炉心冷却系(自動減圧系)	-	-
		6) 放射性物質の閉じ込め機能放射線の遮へい及び放出低減機能	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 排気筒、非常用ガス処理系排気配管	原子炉建屋 排気筒、非常用ガス処理系排気配管



第 3.3-2 表 評価対象施設の抽出について (2 / 4)

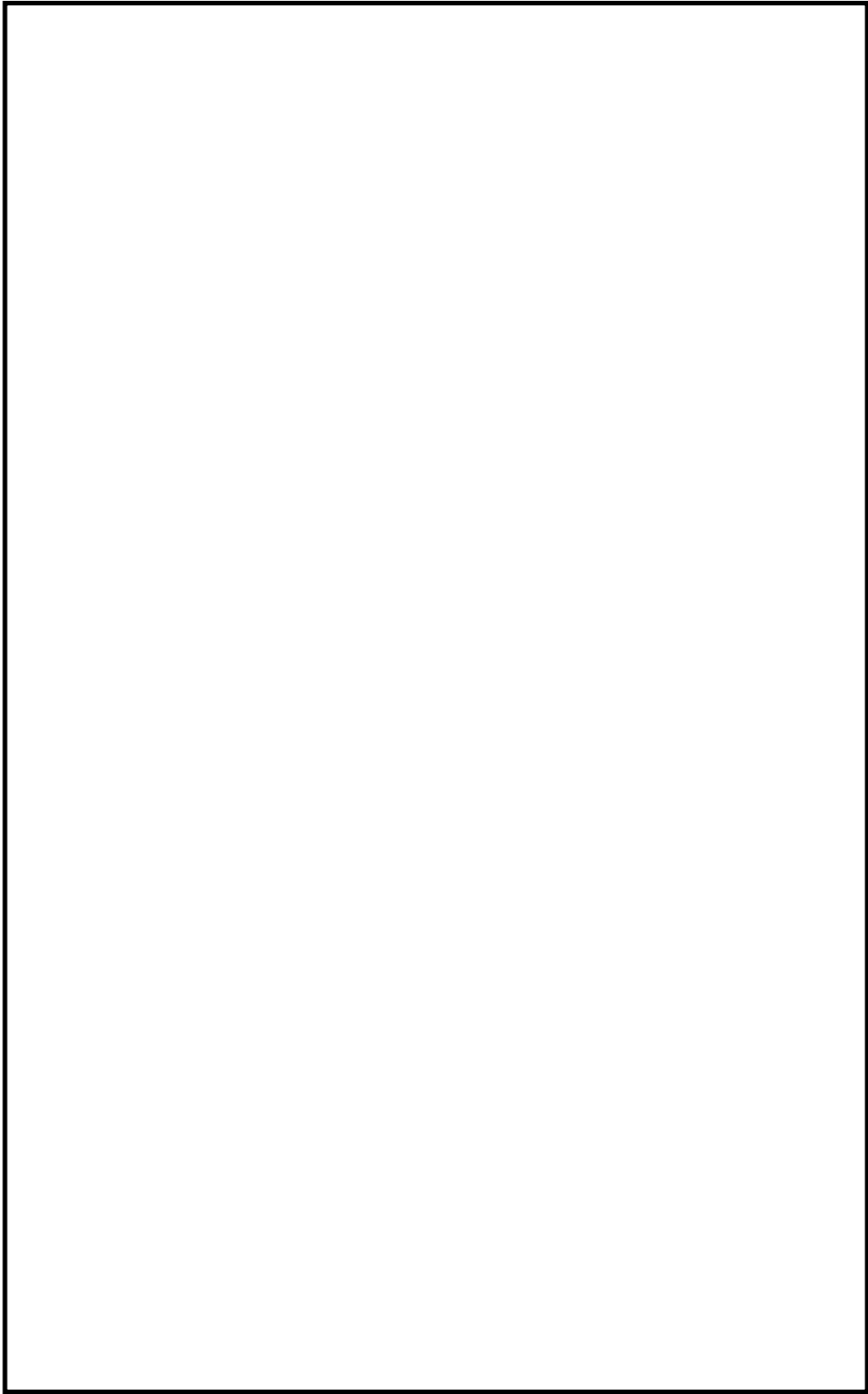
分類	安全機能の重要度分類		降下火砕物の影響を受ける施設 (屋外に設置されている施設、屋外に 開口している施設、又は外気から取り 入れた屋内の空気を取り込む機構を 有する施設)	クラス 3 に属する施設のうち降下火 砕物の影響を受ける可能性がある施 設で、クラス 1 及びクラス 2 に属する 施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設	
	定義	機能 構造物、系統又は機器				
MS-1	1) 工学的安全施設及び原子炉停 止系への作動信号の発生機能	安全保護系	計装制御設備 (安全保護系)	-	計装制御設備 (安全保護系)	
		非常用所内電源系 (MS-1 関連のもの)	ダイゼル発電機 (非常用ダイゼル発電機、高圧炉心 スプレイスプレイル発電機)	-	ダイゼル発電機 (非常用ダイゼル発電機、高圧炉心ス プレイスプレイル発電機)	
	2) 安全上必須なその他の 構造物、系統及び機器	制御室及びその連へい・非常用換気空調系 (MS-1 関連のもの)	換気空調設備 (中央制御室換気空調系、 ダイゼル発電機換気系)	-	-	換気空調設備 (中央制御室換気空調系、 ダイゼル発電機換気系)
		非常用補機冷却水系 (MS-1 関連のも の)	海水ポンプ、海水ストレーナー (下流設備 含む) (残留熱除去系海水系、非常用ダイ ゼル発電機海水系、高圧炉心スプレ イスダイゼル発電機海水系)	海水取水設備 (除塵装置)	海水ポンプ、海水ストレーナー (下流設備 含む) (残留熱除去系海水系、非常用ダイ ゼル発電機海水系、高圧炉心スプレ イスダイゼル発電機海水系) 海水取水設備 (除塵装置)	
		直流電源系 (MS-1 関連のもの)	-	-	-	

第 3.3-2 表 評価対象施設の抽出について (3 / 4)

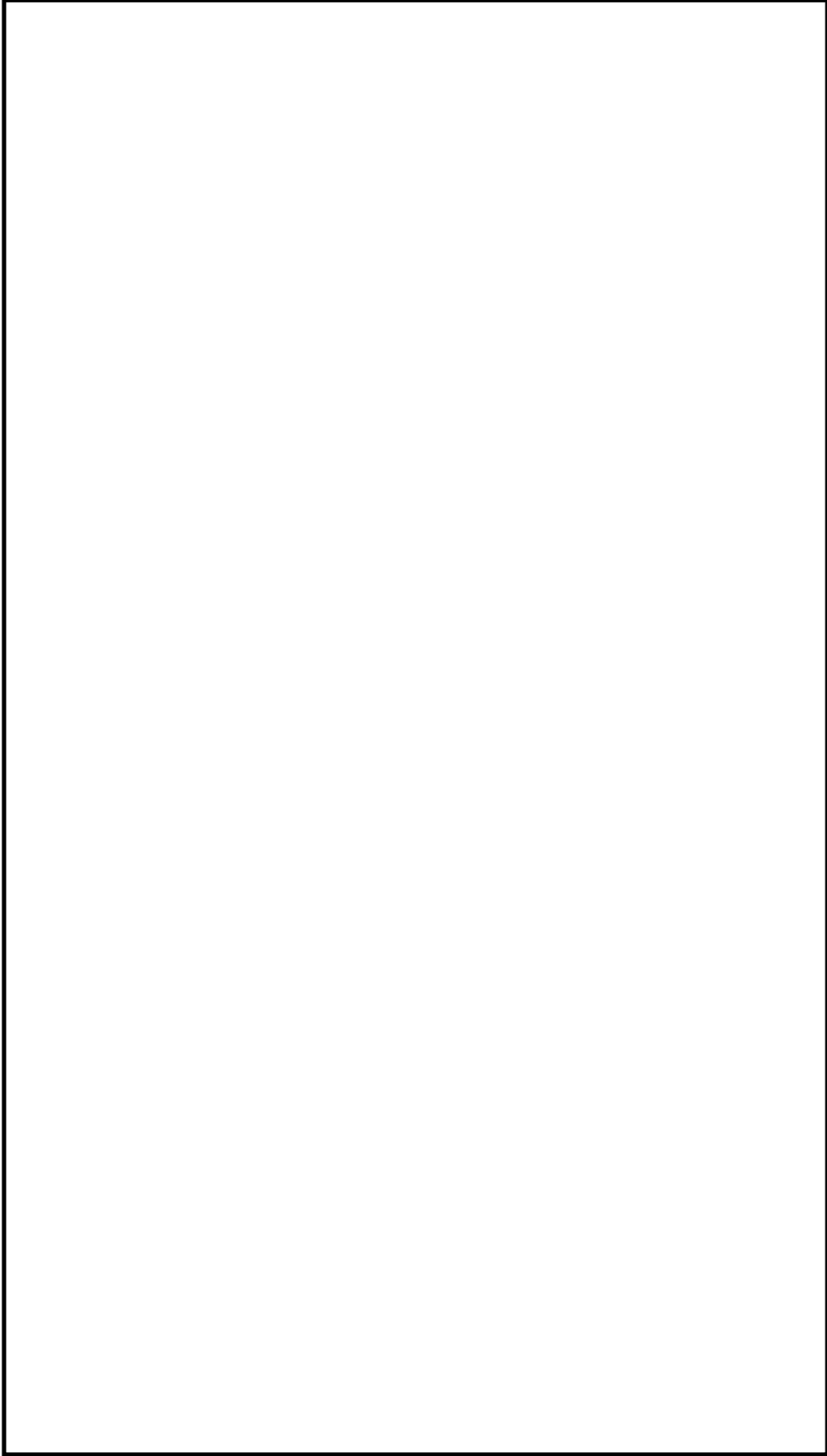
分類	安全機能の重要度分類		降下火砕物の影響を受ける施設 (屋外に設置されている施設、屋外に 開口している施設、又は外気から取り 入れた屋内の空気を取り込む機構を 有する施設)	クラス 3 に属する施設のうち降下火 砕物の影響を受ける可能性がある施 設で、クラス 1 及びクラス 2 に属する 施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設	
	定義	機能				
PS-2	<p>1) その損傷又は故障によ り発生する事象によっ て、炉心の著しい損傷又 は燃料の大量の破損を 直ちに引き起こすおそ れはないが、敷地外への 過度の放射性物質の放 出のおそれのある構築 物、系統及び機器</p>	<p>1) 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。)</p>	<p>主蒸気系 (格納容器隔離弁の外 側のみ)</p> <p>原子炉冷却材浄化系 (格納容器隔離弁の外 側のみ)</p>	-	-	
		<p>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</p>	<p>放射性廃棄物処理施設 (放射能インベント リの大きいもの) 注 1)</p> <p>注 1) 現状では、放射性気体廃棄物処理系 が考えられる。</p>	-	-	
		<p>3) 燃料を安全に取り扱う機能 (ただし、燃料取扱設備)</p>	<p>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 燃料取扱設備)</p>	使用済燃料乾式貯蔵建屋	使用済燃料乾式貯蔵建屋	-
MS-2	<p>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</p> <p>1) P S - 2 の構築物、系統 及び機器の損傷又は故 障により敷地周辺公衆 に与える放射線の影響 を十分小さくするよう にする構築物、系統及び 機器</p> <p>2) 異常状態への対応上特 に重要な構築物、系統及 び機器</p>	<p>1) 燃料プールの補給機能</p>	<p>非常用補給水系</p> <p>放射性気体廃棄物処理系の隔離弁</p> <p>排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機 能以外)</p> <p>燃料集合体落下事故時放射能放出を低減 する系</p>	-	-	
		<p>2) 放射性物質放出の防止機能</p>	<p>排気筒</p>	排気筒	-	-
		<p>3) 事故時のプラント状態把握機 能</p> <p>2) 異常状態の緩和機能</p> <p>3) 制御室外からの安全防止機能</p>	<p>事故時監視計器の一部 注 2)</p> <p>注 2) 現状では、格納容器雰囲気放射線モニ タが考えられる。</p> <p>DWR には対象機能なし</p> <p>制御室外原子炉停止装置 (安全停止に関連 するもの)</p>	原子炉建屋	原子炉建屋	-
PS-3	<p>1) 異常状態の起因事象と なるものであって、P S - 1 及び P S - 2 以外の構築 物、系統及び機器</p>	<p>1) 原子炉冷却材保持機能 (P S - 1, P S - 2 以外のもの)</p>	<p>計装配管</p> <p>燃料採取管</p>	-	-	
		<p>2) 原子炉冷却材の循環機能</p>	<p>原子炉再循環系</p>	-	-	
		<p>3) 放射性物質の貯蔵機能</p>	<p>サブレンションプール排水系、復水貯蔵 タンク、放射性廃棄物処理施設 (放射能イ ンベントリの小さいもの) 注 3)</p> <p>注 3) 現状では、液体及び固体の放射性廃 棄物処理系が考えられる。</p>	-	-	

第 3.3-2 表 評価対象施設の抽出について (4/4)

分類	安全機能の重要度分類		降下火砕物の影響を受ける施設 (屋外に設置されている施設、屋 外に開口している施設、又は外気 から取り入れた屋内の空気を取 り込む機構を有する施設)	クラス3に属する施設のうち降下火 砕物の影響を受ける可能性のある施 設で、クラス1及びクラス2に属する 施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設
	定義	機能 構築物、系統又は機器			
PS-3	1) 異常状態の起因事象と 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	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	-	-
			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	-	-			
所内ボイラ	-	-			
計装用圧縮空気系	-	-			
燃料被覆管	-	-			
原子炉冷却材浄化系	-	-			
復水浄化系	-	-			
速がし安全弁 (速がし弁機能)	-	-			
タービンバイパス弁	-	-			
原子炉冷却材再循環系 (再循環ポンプトリップ 機能)	-	-			
制御棒引技監視装置	-	-			
制御棒駆動水圧系	-	-			
原子炉隔離時冷却系	-	-			
原子炉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	-	-			
MS-3	1) 運転時の異常な過渡変 化があっても、MS-1、M S-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	-	-	-
		2) 出力上昇の抑制機能	-	-	-
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	-	-	-
			-	-	-



第3.3-2 図 評価対象施設 (1 / 2)



第3.3-2 図 評価対象施設 (2 / 2)

### 3.4 降下火砕物による影響の選定

降下火砕物の特徴及び評価対象施設の構造や設置状況を考慮して、降下火砕物が直接及ぼす影響（以下「直接的影響」という。）と発電所外での影響（以下「間接的影響」という。）を選定する。

#### 3.4.1 降下火砕物の特徴

各種文献の調査結果より、降下火砕物は以下の特徴を有する。

- (1) 火山ガラス片，鉱物結晶片から成る。ただし，砂よりもろく硬度は低い。
- (2) 硫酸等を含む腐食性のガス（以下「腐食性ガス」という。）が付着している。ただし，金属腐食研究の結果より，直ちに金属腐食を生じさせることはない。
- (3) 水に濡れると導電性を生じる。
- (4) 湿った降下火砕物は乾燥すると固結する。
- (5) 降下火砕物粒子の融点は約 1,000℃であり，一般的な砂に比べ低い。

（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－6）

#### (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) 評価対象施設に常時作用する荷重，運転時荷重

評価対象施設に作用する荷重として，自重等の常時作用する荷重，内圧等の運転時荷重であり，降下火砕物との荷重と適切に組み合わせる。

#### (2) 設計基準事故時荷重

評価対象施設は，降下火砕物によって安全機能を損なわない設計とするため，設計基準事故とは独立事象である。

なお，評価対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じ得る設備としては，屋外設備の動的機器である海水ポンプ（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-2)

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, 評価対象施設の構造や設置状況等 (形状, 機能, 外気吸入や海水通水の有無等) を考慮し, 想定される各影響因子に対して, 影響を受ける各評価対象施設が安全機能を損なわない以下の設計とする。

(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. 屋外に設置されている施設

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), 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 (吸気口, 排気消音器, 排気管), 中央制御室換気系冷凍機, ディーゼル発電機室ルーフベントファン

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

## タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

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，建築基準法における材料強度による許容値を許容限界とする。

また，建屋を除く評価対象施設においては，許容応力を「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1 9 8 7（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. 屋外に設置されている施設

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），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，ディーゼル発電機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

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

タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

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－4，5）

(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

残留熱除去海水系設備（海水ポンプ、海水ストレーナ及び下流設備含む）、ディーゼル発電機海水系設備（海水ポンプ、海水ストレーナ及び下流設備含む）、海水取水設備

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－４，５，９）

(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（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ）

機械的影響（閉塞）については，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）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－ 4， 5）

(4) 絶縁低下及び化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち，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閉回路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

ディーゼル発電機機関，ディーゼル発電機（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 ～ 1 1）

## (2) 機械的影響（摩耗）

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

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

ディーゼル発電機機関，中央制御室換気空調系，ディーゼル発電機室換気系，排気筒

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－４，５）



(4) 大気汚染（発電所周辺の大気汚染）

評価対象施設のうち、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。

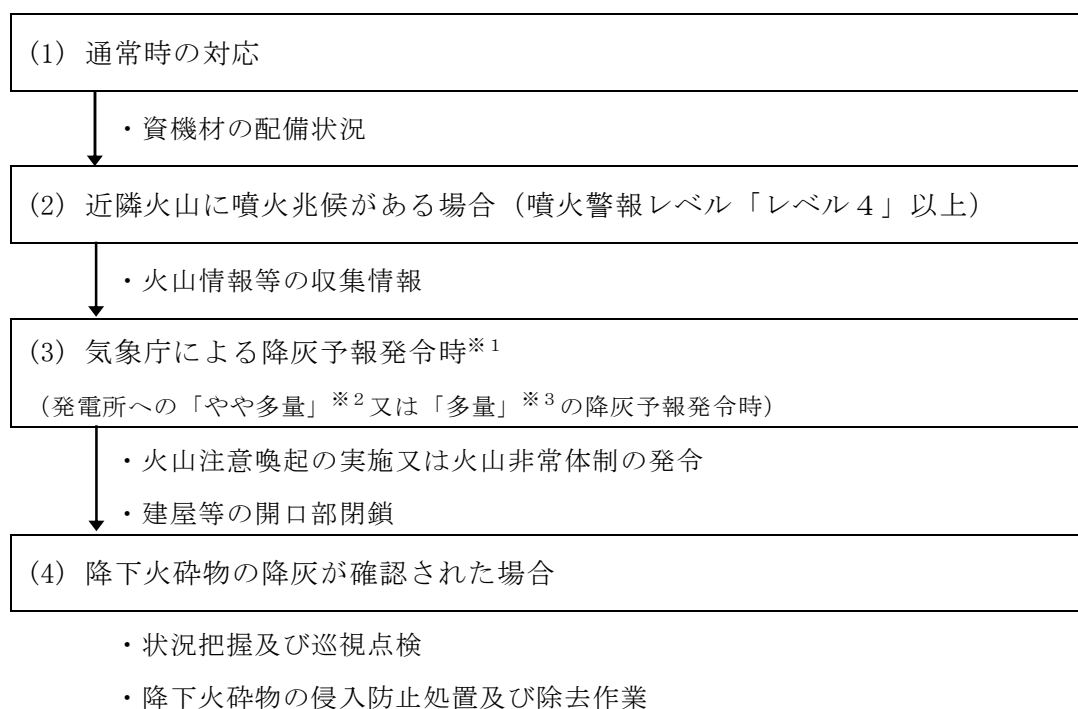
また、中央制御室空調装置については、外気取入ダンパの閉止及び閉回路循環運転を可能とすることにより、中央制御室内への降下火砕物の侵入を防止すること、さらに外気取入遮断時において室内の居住性を確保するため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

（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 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閉回路循環運転により，建屋内への降下火砕物の侵入を防止する手順を定める。
- (3) 降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、原子炉の停止並びに停止後の原子炉及び使用済燃料プールの冷却に係る機能を担うために必要となる電源の供給が非常用ディーゼル発電機（2基）及びそれぞれに必要な耐震Sクラスの軽油貯蔵タンク（2基：800kL以上）により継続できる設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

## 4. まとめ

降下火砕物による直接的影響及び間接的影響のすべての項目について評価した結果、降下火砕物による直接的及び間接的影響はなく、原子炉施設の安全機能を損なうことはないことを確認した。

降下火砕物の飛来のおそれがある場合は、火山事象対策を行うための体制を構築し、発電所及び屋外廻りの監視の強化、降下火砕物の除去等を実施する。

降下火砕物の特徴について

表 1 降下火砕物の特徴

特徴 <sup>※1</sup>	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。 <sup>※2</sup>	荷重 閉塞 摩耗	<ul style="list-style-type: none"> <li>・堆積による構造物への静的負荷</li> <li>・粒子の衝突</li> <li>・水循環系の閉塞</li> <li>・水循環系の内部における摩耗</li> <li>・換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響</li> </ul>
亜硫酸ガス (SO <sub>2</sub> )、硫化水素 (H <sub>2</sub> S)、フッ化水素 (HF) 等の火山ガス成分が付着している。	腐食 大気汚染 水質汚染	<ul style="list-style-type: none"> <li>・換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響</li> <li>・化学的腐食<sup>※3</sup></li> <li>・発電所周辺の大気汚染</li> <li>・給水の汚染</li> </ul>
水に濡れると硫酸イオン等が溶出する。	絶縁低下	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開閉所の絶縁低下</li> </ul>
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	閉塞	<ul style="list-style-type: none"> <li>・固結<sup>※4</sup></li> </ul>
溶出した硫酸イオンは降下火砕物に含まれるカルシウムイオンと反応し硫酸カルシウム (石膏) となるため、湿った降下火砕物は乾燥すると固結する。	閉塞	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高温部における溶融及び固着<sup>※5</sup></li> </ul>
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	

※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, S41, 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mm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、東海第二発電所で想定される降下火砕物の条件を考慮し、表1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(4cm×4cm×4cm)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、狹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、狹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に対して評価する必要がない項目もあることから，各評価対象施設と評価すべき直接的要因について，表2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。

表1 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も影響を考慮する。	○
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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。</li> <li>・ 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。</li> </ul>	○
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うる可能性はない。（参考資料-6）	-
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。	○

表2 評価対象施設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	直接的影響の要因							
	①構造物への静的負荷	②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
<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉建屋</li> <li>タービン建屋</li> <li>使用済燃料乾式貯蔵建屋</li> </ul>	○	— ※2	— ※2	— ※3	— ※3	— ※4	○	— ※5
<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> </ul>	○	○ (ポンプ)	○ (ポンプ)	○ (モータ)	○ (モータ)	— ※4	○ (ポンプ, モータ)	— ※5
<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> </ul>	○	○ (下流設備含む)	○ (下流設備含む)	— ※3	— ※3	— ※4	○ (下流設備含む)	— ※5
<ul style="list-style-type: none"> <li>海水取水設備</li> </ul>	— ※1	○	○	— ※3	— ※3	— ※4	○	— ※5
<ul style="list-style-type: none"> <li>計装制御設備 (安全保護系)</li> </ul>	— ※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けない

表 2 評価対象施設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		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)	○	－ ※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)	○	－ ※5
	屋外設備	○	－ ※2	－ ※2	○	○	－ (⑧で評価)	○	－ ※5
・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管		－ ※1	－ ※2	－ ※2	○	○	－ ※3	○	－ ※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 の表 2 に基づき評価した結果，評価対象施設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。評価結果を表 1 に示す。

なお，詳細な評価結果を資料－ 4 ～ 1 1 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－ 6 ～ 7 に示す。

表1 評価対象施設の評価結果 (1 / 2)

評価対象施設	確認結果	個別評価
<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉建屋</li> <li>・タービン建屋</li> <li>・使用済燃料乾式貯蔵建屋</li> </ul>	<p>確認結果</p> <p>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。</p> <p>③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。</p>	<p>資料-4</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・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)</li> </ul>	<p>①降下火砕物等の堆積荷重により発生する応力は、海水ポンプモーターフレームの許容応力値以下であることから、海水ポンプ (モーター含む) の機能に影響を及ぼすことはない。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>⑤海水ポンプモーター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、モーター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。</p> <p>⑥⑧海水ポンプ (モーター含む) 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。</p>	<p>資料-5</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・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)</li> </ul>	<p>①降下火砕物等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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>資料-6</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・海水取水設備</li> </ul>	<p>③想定する降下火砕物の粒径は海水取水設備のパ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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>資料-7</p>

※：確認結果内の丸数字は、資料-2 表1 記載 影響を与える可能性のある因子 No. を示す

表 1 評価対象施設の評価結果 (2 / 2)

評価対象施設	確認結果	確認結果	詳細評価
<ul style="list-style-type: none"> <li>計装制御設備 (安全保護系)</li> </ul>	<p>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、外気取入ダンプを閉止し閉回路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。</p>	○	資料-8
<ul style="list-style-type: none"> <li>換気空調設備</li> </ul>	<p>①④⑧中央制御室換気系冷凍機及びびディーゼル発電機室ルーフベントファーンについては、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、外気取入ダンプを閉止した閉回路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とともに、発電所周辺の大気汚染による短期的な影響はない。</p>	○	資料-9
<ul style="list-style-type: none"> <li>ディーゼル発電機</li> </ul>	<p>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。</p>	○	資料-10
<ul style="list-style-type: none"> <li>排気筒 (非常用ガス処理系排気配管含む)</li> </ul>	<p>⑤排気筒は降下火砕物が侵入しても排気流路を閉塞させることはなく、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。</p>	○	資料-11

※：確認結果内の丸数字は、資料-2 表 1 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 構築物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重により原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の健全性に影響がないことを評価する。なお，堆積荷重は積雪との重畳を考慮する。

## ② 構築物への化学的影響（腐食）

降下火砕物の構築物への付着や堆積による化学的腐食により，構築物への影響がないことを評価する。

## (2) 評価条件

## ① 降下火砕物条件

a. 堆積量：50cm

b. 密度：1.5g/cm<sup>3</sup>（湿潤状態）

## ② 積雪条件

a. 堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）

b. 単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N/m<sup>2</sup>（建築基準法より）

## ③ 堆積荷重

降下火砕物の堆積荷重は以下のとおりとなる。



$$0.5(\text{m}) \times 1,500(\text{kg}/\text{m}^3) \times 9.80665(\text{m}/\text{s}^2) = 7,355(\text{N}/\text{m}^2)$$

次に重畳する積雪荷重は以下のとおりとなる。

$$10.5(\text{cm}) \times 20(\text{N}/\text{m}^2/\text{cm}) = 210(\text{N}/\text{m}^2)$$

以上を足し合わせ、構造物への堆積荷重は 7,565 (N/m<sup>2</sup>) となる。

### (3) 評価結果

#### ① 構造物への静的負荷

原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は短期許容応力度を許容堆積荷重とし、タービン建屋は短期許容応力度及び終局強度を許容堆積荷重として健全性評価を行った。建屋の健全性評価の考え方を添付資料－1 に示す。

表1のとおり、各建屋は降下火砕物と積雪を足し合わせた荷重に対して裕度を有しているため、原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の健全性を損なうことはない。

表1 降下火砕物等の荷重による建屋健全性評価結果

対象建屋	評価部位	降下火砕物等堆積荷重 (N/m <sup>2</sup> )	短期許容応力度に対する判定		終局強度に対する判定		総合判定
			許容堆積荷重 (N/m <sup>2</sup> )	評価結果	許容堆積荷重 (N/m <sup>2</sup> )	評価結果	
原子炉建屋	屋根トラス	7,565 <sup>*1</sup>	7,780 <sup>*1</sup>	○	— <sup>*2</sup>	—	○
タービン建屋			6,280	×	7860 <sup>*1</sup>	○	○
使用済燃料乾式貯蔵建屋			49,360 <sup>*1</sup>	○	— <sup>*3</sup>	—	○

※1: 堆積荷重には、降下火砕物の他に積雪 10.5cm 分を含む。

※2: 安全施設であるため、適用しない

※3: ①で“○”であるため評価不要

## 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表2に示す。

表2 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

降下火砕物等の荷重による建屋健全性評価の考え方について

建屋の健全性評価については、短期許容応力度又は終局強度を用いて許容堆積荷重を算出している。

建屋健全性評価の考え方について、フローを図1に示す。

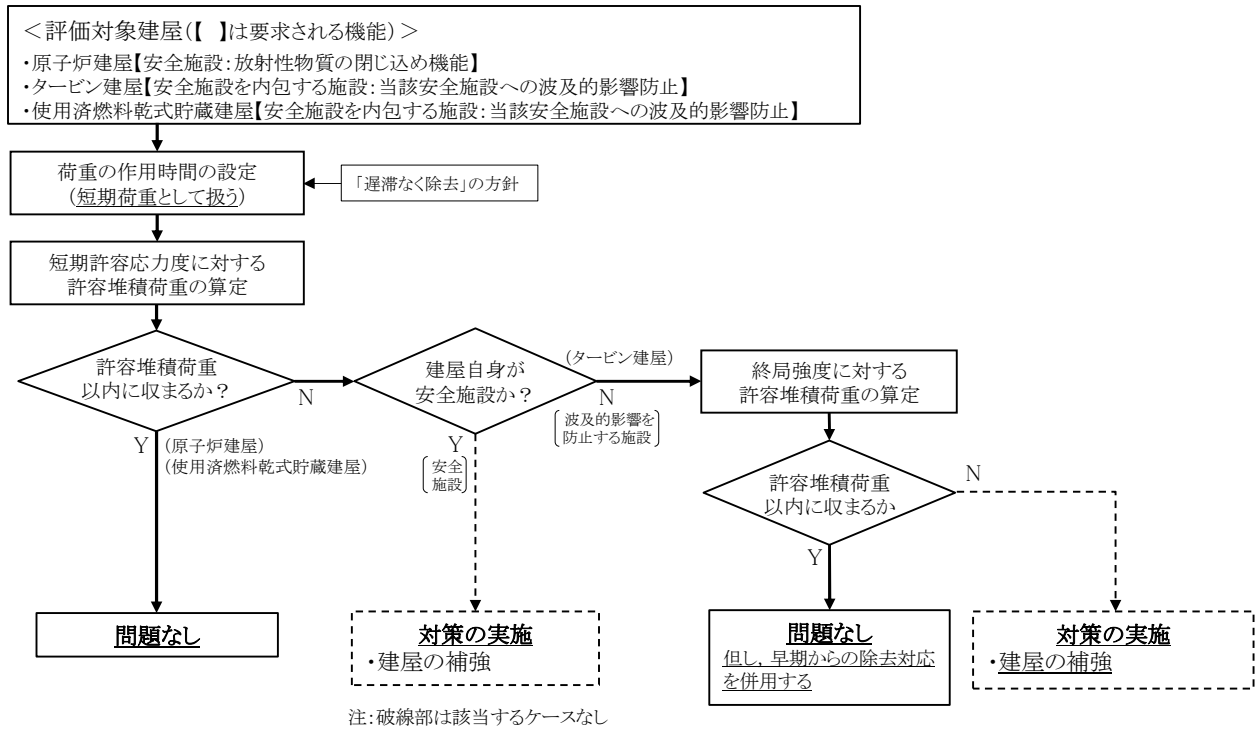


図1 建屋健全性評価のフロー

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<sup>3</sup>（湿潤状態）
- d. 荷 重：7,355N/m<sup>2</sup>

- 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<sup>2</sup>（建築基準法より）
- c. 荷 重：210N/m<sup>2</sup>

## (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。(表1, 図1, 図2)

表1 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

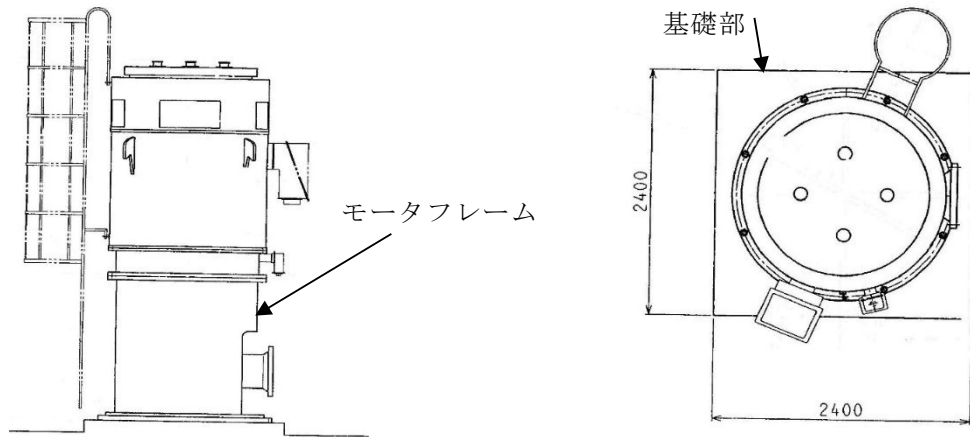


図1 残留熱除去系海水系ポンプ 評価部位概要図

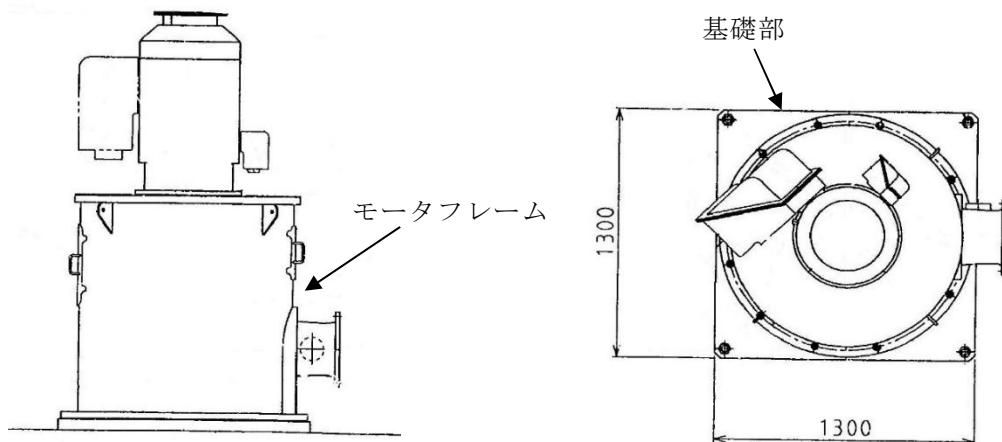


図2 ディーゼル発電機用海水ポンプ 評価部位概要図

【残留熱除去系海水系】

- a. 降下火砕物と積雪による鉛直荷重

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。

$$A = 2.4 \times 2.4 = 5.76(\text{m}^2)$$

よって、降下火砕物による鉛直荷重  $F_1$  は次のとおり。

$$F_1 = 7,355 \times 5.76 = 4.24 \times 10^4(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重  $F_2$  は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 5.76 = 1.21 \times 10^3(\text{N})$$

- b. モータ及びポンプロータによる軸方向荷重

$$\text{軸方向荷重 } F_3 = (13,700 + 1,500) \times 9.80665 = 1.49 \times 10^5(\text{N})$$

- c. フレームに生じる圧縮応力

モータフレームの断面積  $S$  は次のとおり。

$$S = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \times (1,680^2 - 1,648^2) = 8.36 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

$D$  : フレーム外径 (mm)

$d$  : フレーム内径 (mm)

よって、圧縮応力  $\sigma$  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  $\sigma_c$  は、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」における III<sub>A</sub>S の許容応力より、

$$\sigma_c = 229\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$ となり、発生応力は許容応力を十分下回っており、残留熱除去系海水系海水ポンプの健全性を損なうことはない。

#### 【ディーゼル発電機海水系】

##### 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。

$$A = 1.3 \times 1.3 = 1.69(\text{m}^2)$$

よって、降下火砕物による鉛直荷重  $F_1$  は次のとおり。

$$F_1 = 7,355 \times 1.69 = 12.43 \times 10^3(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重  $F_2$  は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 1.69 = 3.55 \times 10^2(\text{N})$$

##### b. モータ及びポンプロータによる軸方向荷重

$$\text{軸方向荷重 } F_3 = (630 + 600) \times 9.80665 = 1.21 \times 10^4(\text{N})$$

##### c. フレームに生じる圧縮応力

モータフレームの断面積  $S$  は次のとおり。

$$S = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \times (1,100^2 - 1,076^2) = 4.10 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

$D$  : フレーム外径 (mm)

$d$  : フレーム内径 (mm)

よって、圧縮応力  $\sigma$  は次のとおり。

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{12.43 \times 10^3 + 3.55 \times 10^2 + 1.21 \times 10^4}{4.10 \times 10^{-2}} \\ &= 0.61\text{MPa} \end{aligned}$$

##### d. 評価結果

当該ポンプの許容応力  $\sigma_c$  は、J E A G 4601 の「その他の支持構造



物」におけるⅢ<sub>A</sub>Sの許容応力より、

$$\sigma_c = 240\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$ となり、発生応力は許容応力を十分下回っておりディーゼル発電機用海水ポンプの健全性を損なうことはない。

## ② 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、ディーゼル発電機用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。

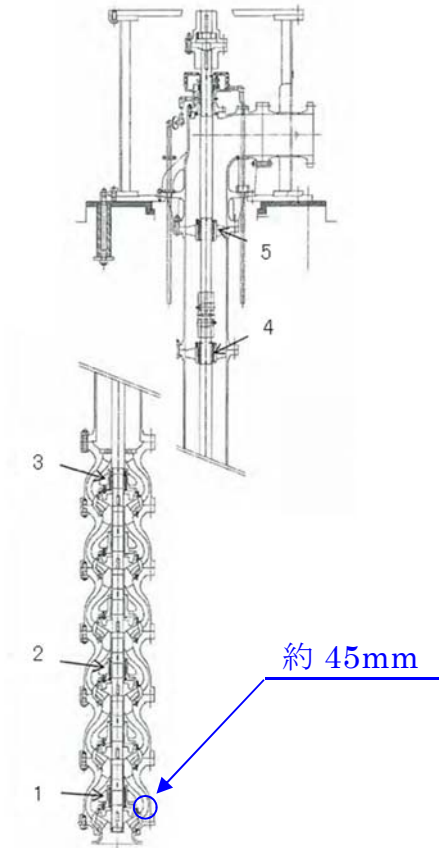
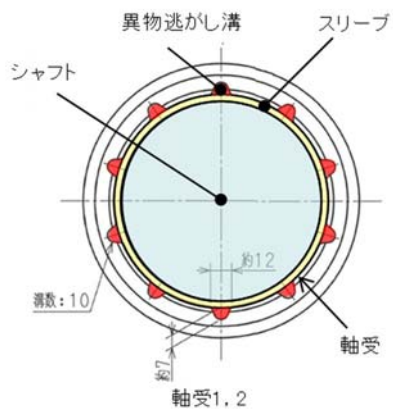


図3 残留熱除去系海水系ポンプ軸受部

図4 残留熱除去系海水系ポンプ断面図

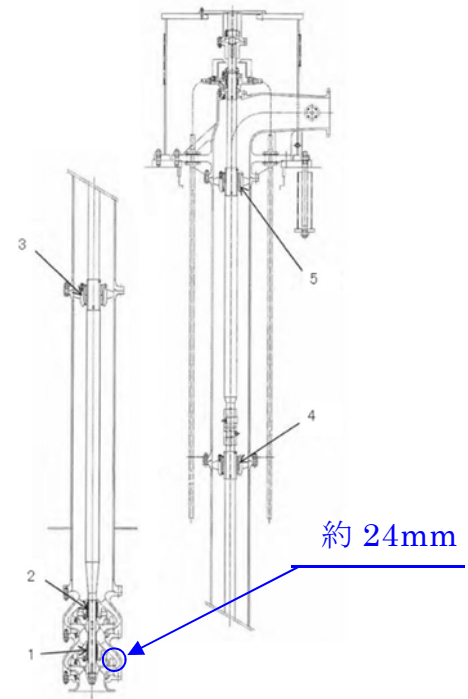
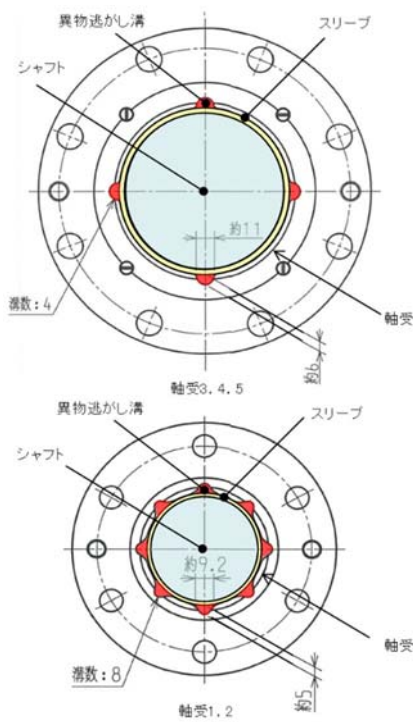


図5 ディーゼル発電機用海水ポンプ軸受部

図6 ディーゼル発電機用海水ポンプ断面図

### ③ 水循環系の摩耗

降下火砕物は砂等に比べて破碎し易く<sup>※1</sup>，硬度が小さい<sup>※2</sup>。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図7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い。

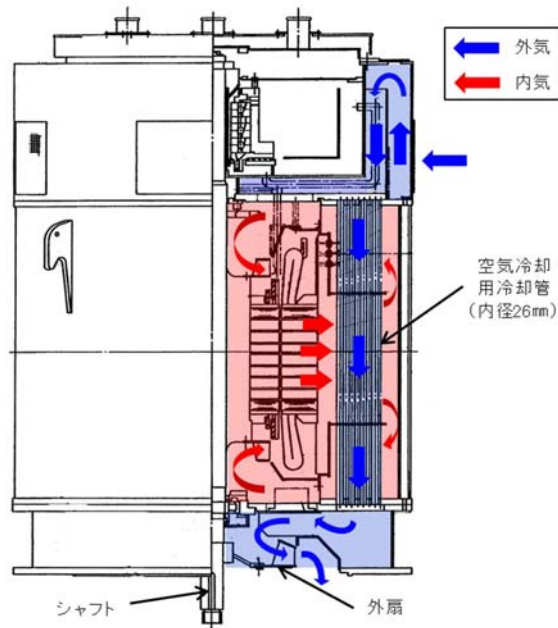


図7 残留熱除去系海水系ポンプ電動機の冷却方式

【ディーゼル発電機海水系】

a. 電動機冷却空気への侵入による地絡・短絡

海水ポンプモータは図8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なく機能を損なうことはない。

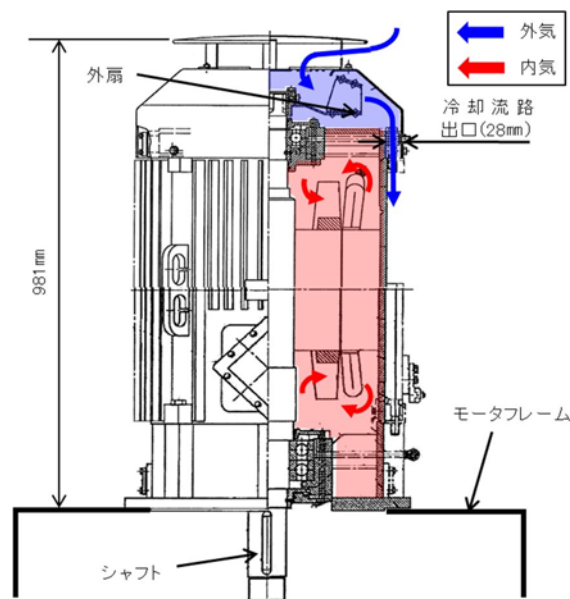


図8 ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機の冷却方式

- 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い，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表2に示す。

表2 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

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<sup>3</sup>（湿潤状態）
- d. 荷 重：7,355N/m<sup>2</sup>

### 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<sup>2</sup>（建築基準法より）
- c. 荷 重：210N/m<sup>2</sup>

## (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。（表 1，図 1）



表 1 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

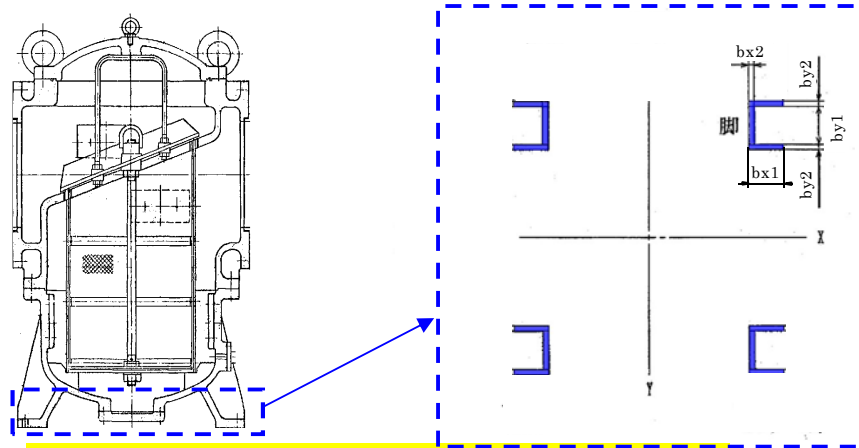


図 1 海水ストレーナ評価部位概要図 (共通)

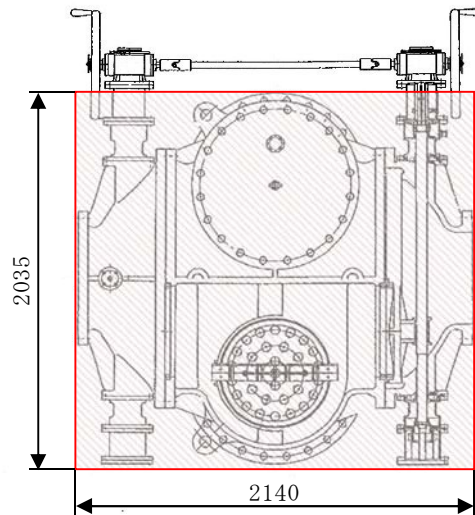


図 2 海水ストレーナ堆積部分 (残留熱除去系海水系)

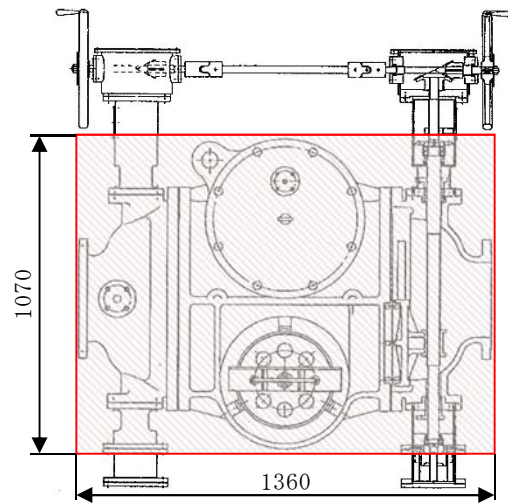


図3 海水ストレーナ堆積部分（ディーゼル発電機海水系）

【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。

$$A = 2.140 \times 2.035 = 4.35(\text{m}^2)$$

よって、降下火砕物による鉛直荷重  $F_1$  は次のとおり。

$$F_1 = 7,355 \times 4.35 = 3.20 \times 10^4(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重  $F_2$  は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 4.35 = 9.14 \times 10^2(\text{N})$$

b. 機器重量による鉛直荷重

$$\text{機器重量荷重 } F_3 = 9,850 \times 9.80665 = 9.66 \times 10^4(\text{N})$$

c. 支持脚に生じる圧縮応力

支持脚の断面積  $S$  は次のとおり。

$$S = (150 \times 25 \times 2 + 25 \times 174) \times 4 = 4.74 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

よって、圧縮応力  $\sigma$  は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{3.20 \times 10^4 + 9.14 \times 10^2 + 9.66 \times 10^4}{4.74 \times 10^{-2}} = 2.74(\text{MPa})$$

d. 評価結果

当該海水ストレーナ支持脚の許容応力  $\sigma_c$  は、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」における III<sub>A</sub>S の許容応力より、

$$\sigma_c = 184\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$  となり、発生応力は許容応力を十分下回っており残留熱除去系海水系ストレーナの健全性を損なうことはない。

【ディーゼル発電機海水系】

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。

$$A = 1.360 \times 1.070 = 1.46(\text{m}^2)$$

よって、降下火砕物による鉛直荷重  $F_1$  は次のとおり。

$$F_1 = 7,355 \times 1.46 = 10.74 \times 10^3(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重  $F_2$  は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 1.46 = 3.07 \times 10^2(\text{N})$$

b. 機器重量による鉛直荷重

$$\text{機器重量荷重 } F_3 = 2,030 \times 9.80665 = 1.99 \times 10^4(\text{N})$$

c. 支持脚に生じる圧縮応力

支持脚の断面積 S は次のとおり。

$$S = (100 \times 15 \times 2 + 15 \times 95) \times 4 = 1.77 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

よって、圧縮応力  $\sigma$  は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{10.74 \times 10^3 + 3.07 \times 10^2 + 1.99 \times 10^4}{1.77 \times 10^{-2}} = 1.75(\text{MPa})$$

d. 評価結果

当該海水ストレーナ支持脚の許容応力  $\sigma_c$  は、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」における III<sub>A</sub>S の許容応力より、

$$\sigma_c = 184\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$  となり、発生応力は許容応力を十分下回っておりディーゼル発電機用海水ストレーナの健全性を損なうことはない。

② 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，表 2 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。

表 2 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碎し易く<sup>※1</sup>，硬度が小さい<sup>※2</sup>。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表2に示す。

表2 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

図 1 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表1に示す。

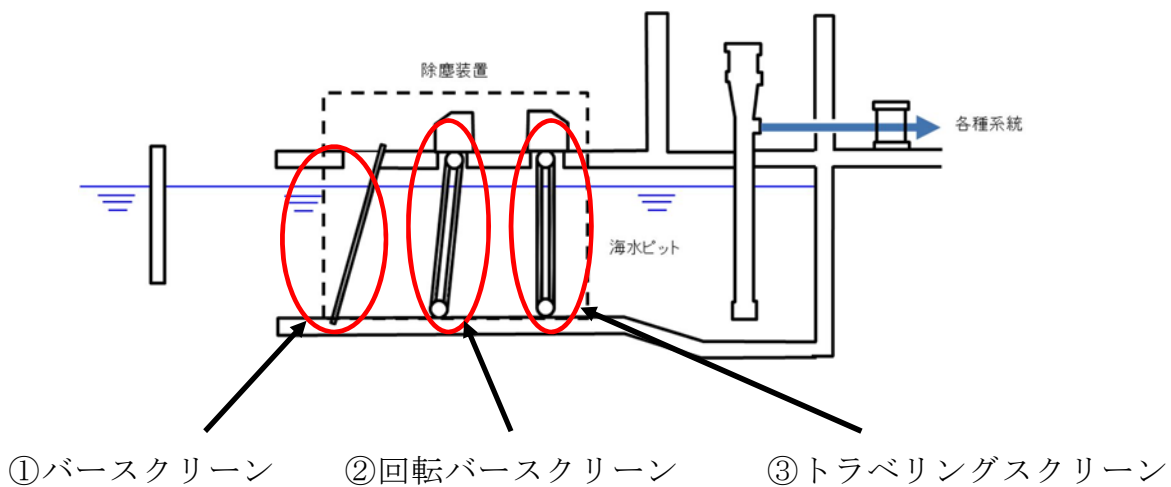


図1 海水取水設備概略図

表1 海水取水設備のバーピッチ及びメッシュ間隔

設備	①バースクリーン	②回転バースクリーン	③トラベリングスクリーン
間隔	バーピッチ：140mm	バーピッチ：25mm	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碎し易く<sup>※1</sup>，硬度が小さい<sup>※2</sup>。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表2に示す。

表2 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閉回路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 $\mu\text{m}$ の線間距離となっている集積回路の内部であり、これらはモールド（樹脂）で保護されているため降下火砕物が侵入することはないため、絶縁低下を発生させる

ことはない。

また、端子台等の充電部が露出している箇所については、端子間の距離が数 mm 程度あることから、降下火砕物の付着等により短絡等を発生させることはない。さらに、降下火砕物が確認された場合は、外気取入ダンパを閉止し閉回路循環運転を行うことにより侵入を阻止することが可能であることから、計装制御設備（安全保護系）の機能を損なうことはない。

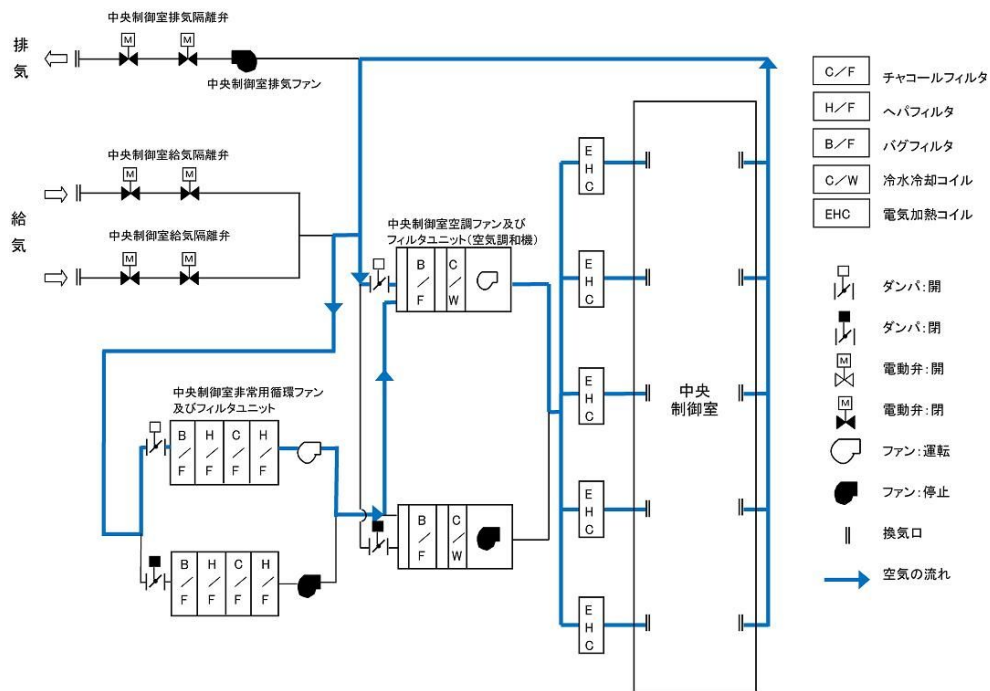


図1 中央制御室換気空調系（閉回路循環運転）概要図

(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表2に示す。

表1 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。(図1)

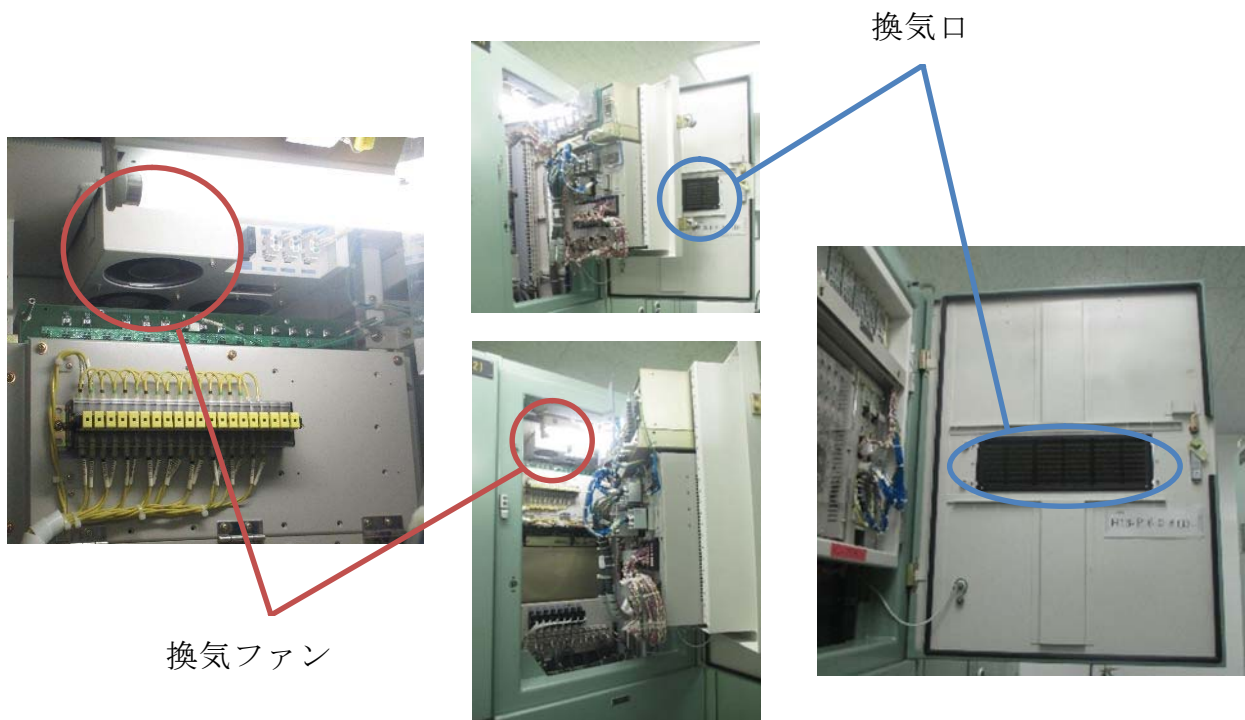


図1 安全保護系ロジック盤

○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。(図2～5)

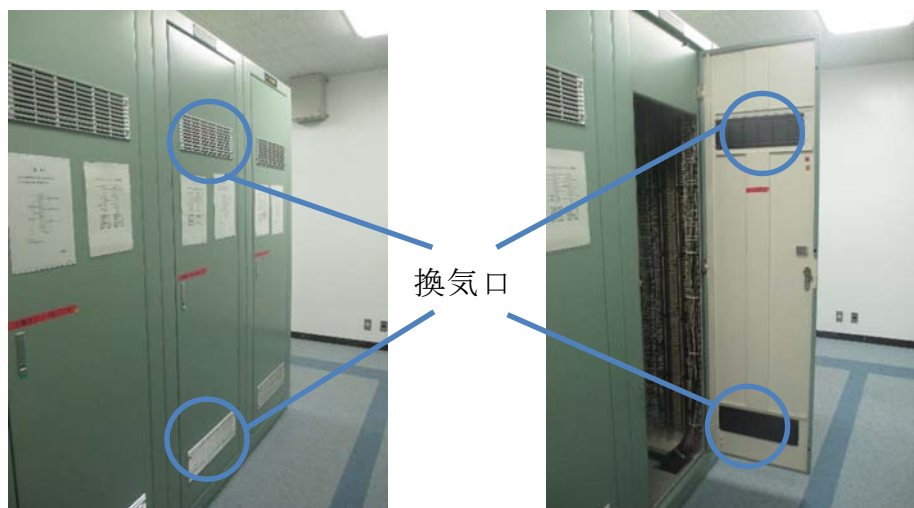


図2 安全保護系盤



図3 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<sup>3</sup>（湿潤状態）
- d. 荷 重：7,355N/m<sup>2</sup>

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<sup>2</sup>（建築基準法より）
- c. 荷 重：210N/m<sup>2</sup>

(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

中央制御室換気系冷凍機及びディーゼル発電機室ルーフベントファンについては、図1のように全体を防護する構造物を設置し、降下火砕物が直接堆積しない設計とする。また、構造物は降下火砕物の荷重を考慮し、降下火砕物荷重により健全性を損なわない設計とする。

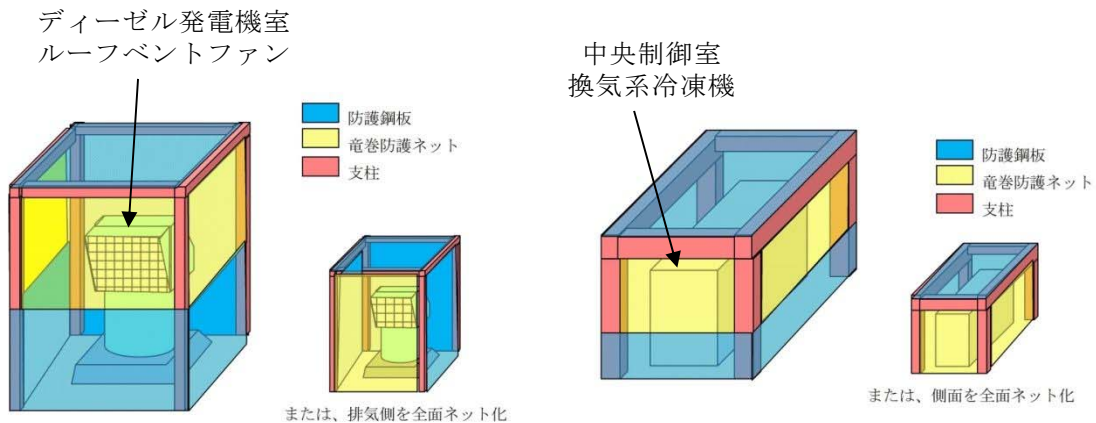


図1 換気空調設備 防護イメージ

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（J I S Z 8901 試験用紛体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）が設置されており，想定する降下火砕物は十分除去されることから，給気を供給する系統及び機器に対して，降下火砕物を与える影響は小さい。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。



図2 外気取入口（中央制御室換気空調系）

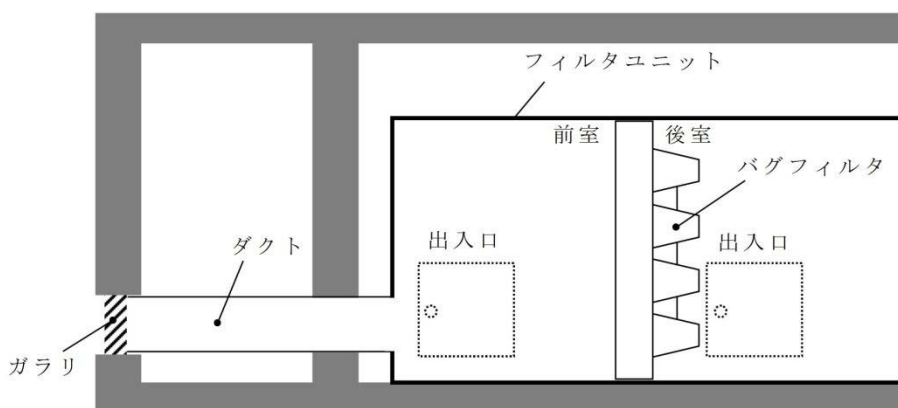


図3 換気空調設備（外気取入口）イメージ図

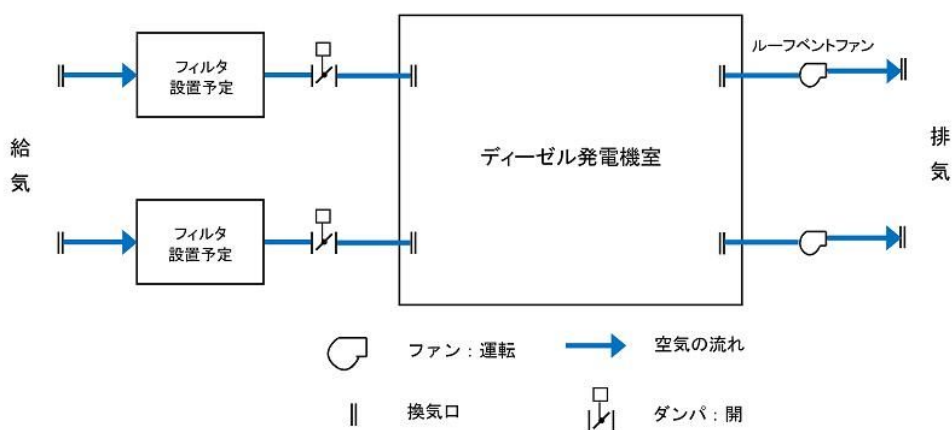


図4 ディーゼル発電機室換気系 概要図

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，図1のように全体を防護する構造物を設置することにより，降下火砕物が直接堆積することはないため，直ちに化学的腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

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 試験用粉体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）が設置されており，想定する降下火砕物は十分除去されることから，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，閉回路循環運転をすることにより，中央制御室の居住性を維持できる。

外気取入ダンパを閉止した場合の中央制御室の酸素濃度等の評価を以下に示す。

a. 酸素濃度

「空気調和・衛生工学便覧 第13版 第5編 空気調和設備設計」に基づき，酸素濃度について評価した。

【評価条件】

- ・在室人員は運転員定数に保守性を加え 11 人とする。

- ・中央制御室バウンダリ内体積 2,700m<sup>3</sup>
- ・空気流入はないものとする。
- ・初期酸素濃度 20.95%
- ・1人あたりの呼吸量は、事故時の運転操作を想定し、歩行時の呼吸量を適用して、24L/min とする。
- ・1人あたりの酸素消費量は、呼気の酸素濃度 16.40%から 65.52L/h とする。
- ・管理濃度は 19%以上とする。(鉱山保安法施行規則)

**【評価結果】**

上記評価条件から求めた酸素濃度は、表1のとおりであり、72時間外気取入を遮断したままでも、中央制御室内に滞在する運転員の操作環境に影響を与えない。

表1 中央制御室再循環運転における酸素濃度

時間	12時間	24時間	48時間	73時間	管理値
酸素濃度	20.6%	20.3%	19.6%	19.0%	19.0%

b. 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<sup>3</sup>
- ・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  $0.046\text{m}^3/\text{h}$  とする。
- ・管理濃度は1.0%未満とする。(鉱山保安法施行規則)

【評価結果】

上記評価条件から求めた二酸化炭素濃度は、表2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。

表2 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%

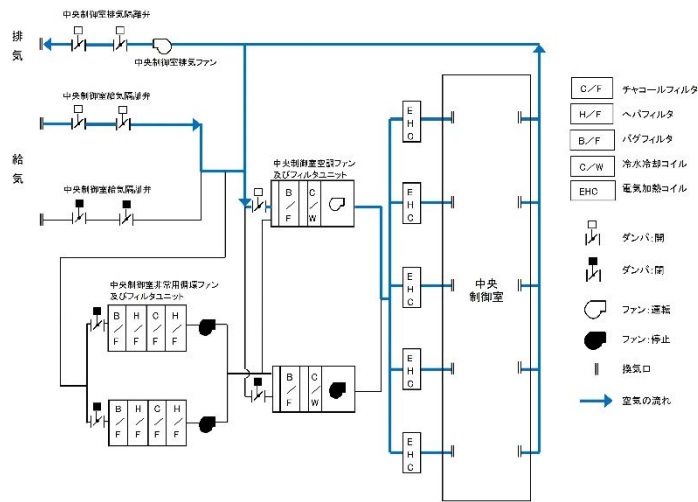


図5 中央制御室換気空調系（通常運転）概要図

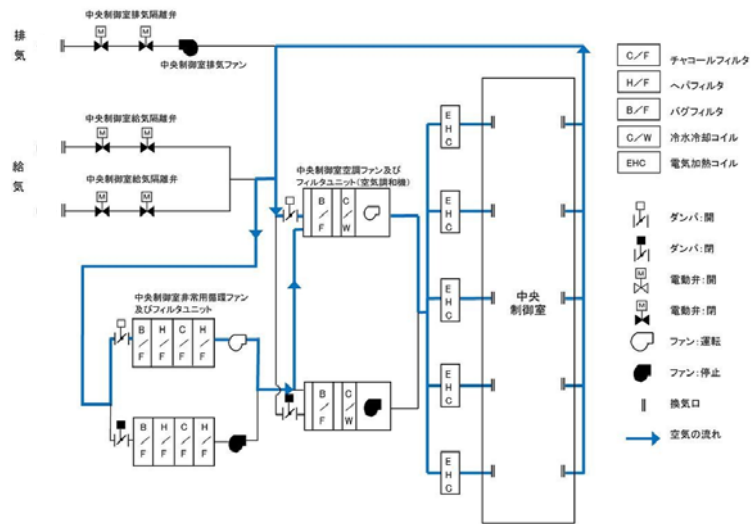


図6 中央制御室換気空調系（閉回路循環運転）概要図

(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表2に示す。

表3 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。

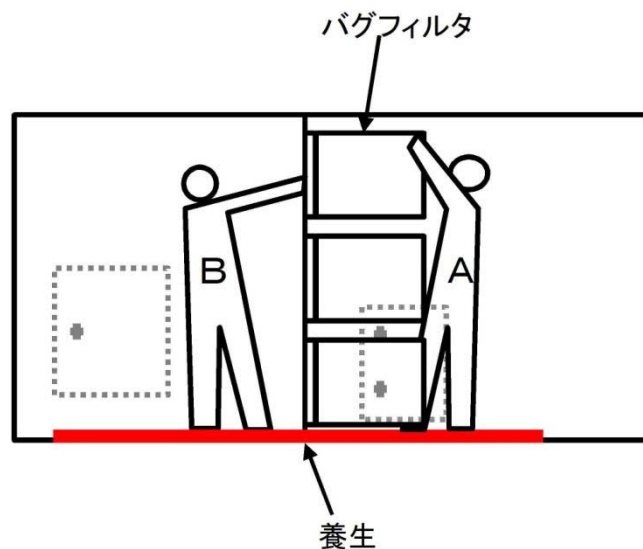


図1 バグフィルタ取替作業イメージ

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。

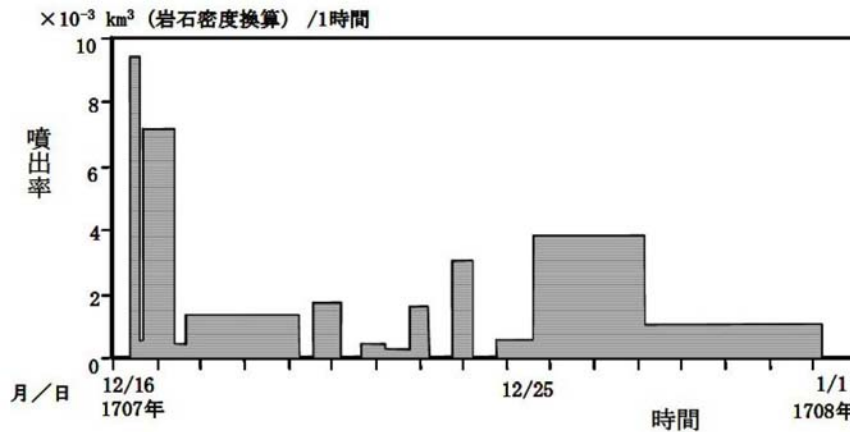


図1 富士山（宝永噴火 1707 年）の噴出率の推移（宮地 他（2002））

火山観測データが存在する最近の観測記録では、噴火の継続時間は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。

表1 観測された諸噴火の最盛期における噴出率と継続時間

噴火年 (地域名)	噴煙柱高度 (km)	噴出率 (m <sup>3</sup> /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

## ディーゼル発電機に係る影響評価

降下火砕物によるディーゼル発電機への影響について、以下のとおり評価する。

### <評価対象>

- ・ 非常用ディーゼル発電機,
- ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機

### (1) 評価項目及び内容

#### ① 構造物への静的負荷

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<sup>3</sup>（湿潤状態）
- d. 荷 重：7,355N/m<sup>2</sup>

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<sup>2</sup>（建築基準法より）
- c. 荷 重：210N/m<sup>2</sup>

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。（表 1，図 1）

表 1 吸気口の評価条件

項目	非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用	
吸気口荷重	800kg	
支持脚寸法	bx1	150mm
	bx2	15mm

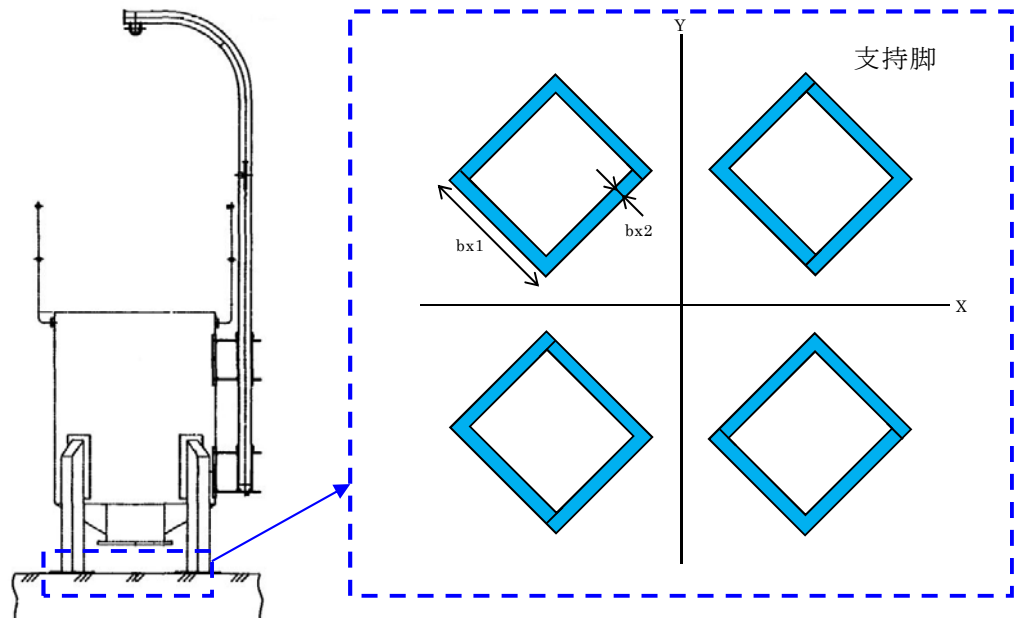


図1 吸気口 評価部位概要図（共通）

(a) 降下火砕物と積雪による鉛直荷重

吸気口の降下火砕物が堆積する面積  $A$  は次のとおり。

$$A = \frac{\pi}{4} \times 1.540^2 = 1.87(\text{m}^2)$$

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。

$$F_1 = 7,355 \times 1.87 = 1.38 \times 10^4(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重  $F_2$  は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 1.87 = 3.93 \times 10^2(\text{N})$$

(b) 機器重量による鉛直荷重

$$\text{機器重量荷重 } F_3 = 800 \times 9.80665 = 7.85 \times 10^3(\text{N})$$

(c) 支持脚に生じる圧縮応力

支持脚の断面積  $S$  は次のとおり。

$$S = \{(150 \times 165) - (120 \times 135)\} \times 4 = 3.42 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

よって、圧縮応力  $\sigma$  は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{1.38 \times 10^4 + 3.93 \times 10^2 + 7.85 \times 10^3}{3.42 \times 10^{-2}}$$

$$= 0.65(\text{MPa})$$

(d) 評価結果

当該吸気口支持脚の許容応力  $\sigma_c$  は、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」における III<sub>A</sub>S の許容応力より、

$$\sigma_c = 228\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$  となり、発生応力は許容応力を十分下回っており、ディーゼル発電機吸気口の健全性を損なうことはない。

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表 2 に示す。

表 2 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 <sup>2</sup>

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。平板モデル図を図 2 に示す。

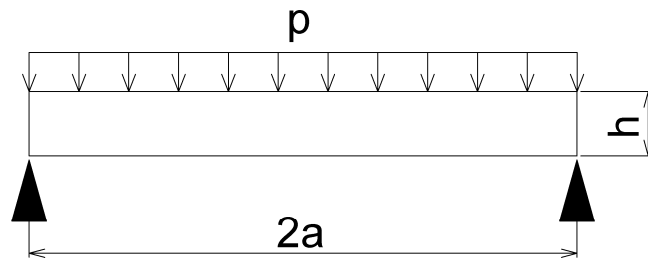


図2 平板モデル図

(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。J E A G 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図3に示す。

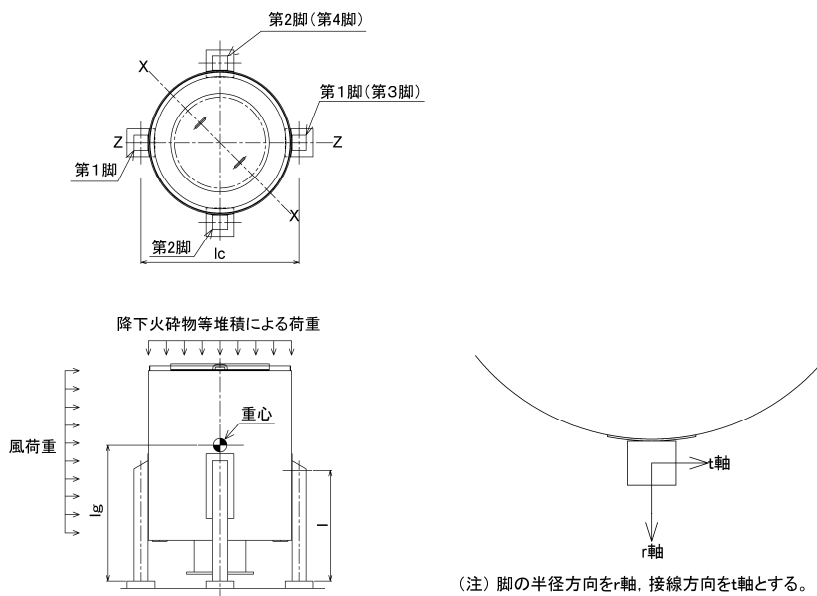


図3 ディーゼル発電機吸気口 モデル図

(c) 評価結果

評価結果を表 3 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、J E A G 4601 の「クラス 2, 3 容器」における許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub> から算出した許容応力、支持脚については、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」における許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub> から算出した許容応力を用いた。

表 3 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。  

$$\sigma_{st}/f_{br} + \sigma_{st}/f_{bt} + \sigma_{sc}/f_c \leq 1$$

② 換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響

a. ディーゼル機関への影響評価

ディーゼル発電機の吸入空気は図 4 に示すように吸気口下部から吸い込まれる流れとなっているため、降下火砕物が侵入し難い構造であり、吸気口に附属する吸気フィルタ（粒径 5~75 μm 程度において約



56%以上捕集可能であり粒径が大きいほど捕集率が上がる) で比較的大粒径の降下火砕物は捕集される。想定する降下火砕物の粒径は8mm以下であり、粒径が数 $\mu\text{m}$ ~数十 $\mu\text{m}$ 程度のものについては、図2に示すように過給機、空気冷却器に侵入するものの、機器の間隙は降下火砕物の粒径に比べて十分大きいことから閉塞することはない。

また、機関シリンダ内に降下火砕物が侵入した場合でも、粒径がシリンダライナとピストンリングの間隙(油膜厚さ相当:数 $\mu\text{m}$ ~十数 $\mu\text{m}$ )と同程度のものは、当該間隙内に侵入し、摩耗発生が懸念されるが、降下火砕物は砂と比較しても破碎し易く<sup>\*1</sup>、硬度が低い<sup>\*2</sup>こと、またシリンダライナ及びピストンリングはブリネル硬さで230程度(SUS材180程度)の耐摩耗性を有する鋳鉄材であり、これまでの定期点検において有意な摩耗は確認されていないことから降下火砕物による摩耗が設備に影響を与える可能性は小さい。長期的な影響についても、シリンダライナとピストンリングの間隙内に侵入した降下火砕物は、シリンダとピストン双方の往復運動が繰り返されるごとに、更に細かな粒子に破碎され、破碎された粒子はシリンダライナとピストンリング間隙に付着している潤滑油により機関外へ除去される。また、潤滑油系にはフィルタが設置されているが、メッシュ寸法が約100 $\mu\text{m}$ であり、取り込んだ降下火砕物によって閉塞することはなく、長期的な影響も少ないと考えられる。加えて、潤滑油に降下火砕物が混入した場合の影響については、吸気により侵入する降下火砕物はフィルタを通過する際に大部分が捕集され、その後は排気により機関外へ排出されるため、潤滑油に混入する降下火砕物は微細なものに限られ、なおかつ少量なので潤滑油への影響は少ないと考えられる。

また、シリンダから排出される排気ガスの温度は、約 500～600℃であることから、融点が 1,000℃である降下火砕物の溶融による影響はない。

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

排気管は図 5 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。

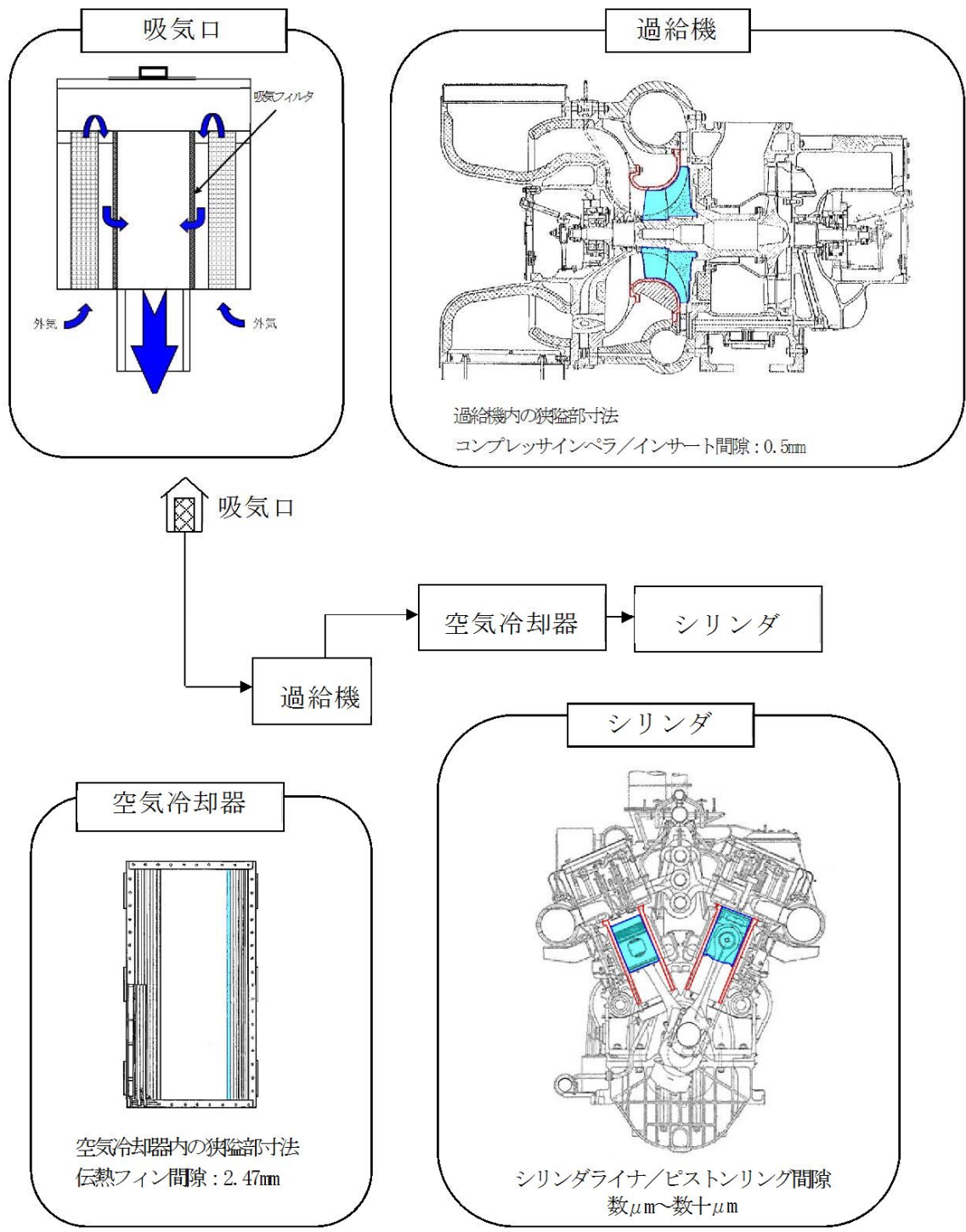


図4 ディーゼル機関吸気系統構造図



図5 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表2に示す。

表3 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 5～75  $\mu\text{m}$  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されるが、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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）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

表 1 より、吸気フィルタの閉塞時間を試算した結果、約 7 時間となった。

表 1 吸気フィルタ閉塞までの時間

①非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ捕集容量[ $\text{g}/\text{m}^2$ ]	1,580
②非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ表面積[ $\text{m}^2$ ]	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[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	33,400 <sup>*</sup>
⑤非常用ディーゼル発電機吸気流量[ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	19,200
⑥閉塞までの時間[h] =③/④/⑤	7.14

※米国セントヘレンズ火山で発生（1980年5月）した火山噴火地点から約135km離れた場所における大気中の火山灰濃度（1日平均値）

## 2. フィルタ取替に必要な時間について

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）

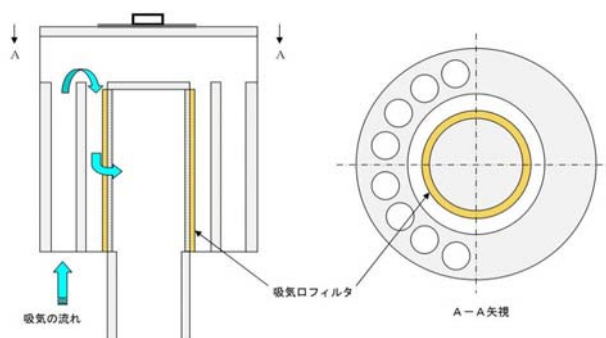


図1 非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ 概略図

## 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）】

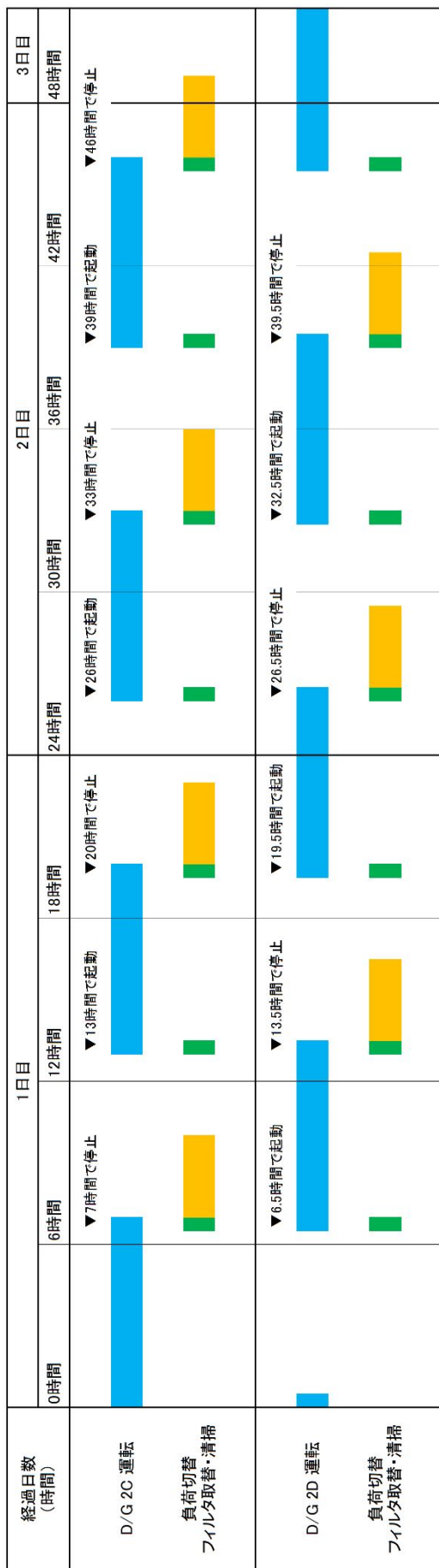
- a. 待機側の非常用ディーゼル発電機起動・並列（約 5 分）
- b. 運転中の R H R 停止時冷却モードを停止（約 2 分）
- c. 計測制御系負荷切替（約 10 分）
- d. 待機側の R H R 停止時冷却モード起動（約 3 分）
- e. 運転中の非常用ディーゼル発電機解列・停止（約 10 分）

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図 2 に示す。

また、閉塞時間の試算においては、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。





■ : D/G 運転(約7.0時間)
 ■ : 負荷切替(約0.5時間)
 ■ : フィルタ取替・清掃(約3時間)

図2 デイジ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，図1に示すとおり排気筒の底部から流路まで約21mあり，降下火砕物が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。

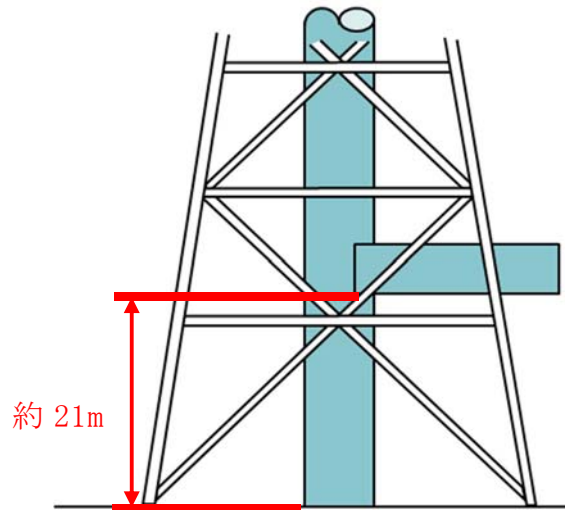


図1 排気筒下部の構造

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図2に示すとおり、降下火砕物の侵入防止を目的とする構造物を取り付けることにより、降下火砕物の影響に対して機能を損なわない設計とする。また、取り付ける構造物は降下火砕物が堆積し難い形状とすることにより、降下火砕物の影響に対して健全性を損なわない設計とする。

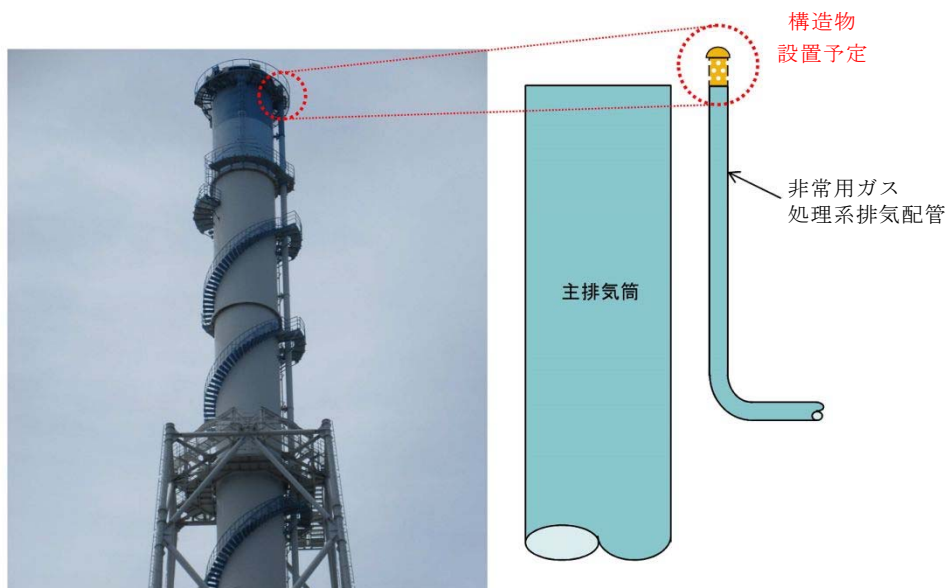


図2 非常用ガス処理系排気配管 概略図

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表 2 に示す。

表 1 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、原子炉の停止、停止後の原子炉及び使用済燃料貯蔵プールの冷却に係る機能を担うために必要とされる電力の供給が継続できることから影響はない。

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，原子炉の停止が想定されることから，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，表 1 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。

表 1 原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な設備に関する防護対象 (1/2)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	高温停止及び冷温停止に必要な機能	
	定義	機能	構築物、系統又は機器			
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 (非圧等の小口径配管・機器を除く。) ・原子炉圧力容器、原子炉再循環ポンプ、配管・弁、隔離弁 等	○		
		2) 過剰反応度の増加防止機能	制御棒カププリング	・制御棒カププリング、制御棒駆動機構カププリング	○	
		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。) ・上部タイラート、下部タイラート、スベーサ	・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。) ・上部タイラート、下部タイラート、スベーサ	○	
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、原子炉冷却材圧力バウンダリの 過圧を防止し、輻射面が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) 未聴察維持機能	原子炉停止系 (制御棒による系、ほう酸水注入系) ・制御棒、制御棒駆動機構カププリング、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 (安全弁閉機能) 残留熱を除去する系 ・残留熱除去系 (ポンプ、熱交換器、原子炉停止時冷却モードとなる配管、弁)、原子炉再循環ポンプ等 (ポンプ、サブプレッション・プール、タービン、サブプレッション・プールから注水先までの配管、弁)、高圧炉心スプレイ系 (ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールから注水先までの配管、弁、スプレイヘッド) 等	○	崩壊熱除去	
		4) 原子炉停止後の除熱機能	非常用炉心冷却系 ・低圧炉心スプレイ系 (ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからサブプレッション・プールまでの配管、弁、スプレイヘッド)、残留熱除去系 (低圧注水モード) (ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールから注水先までの配管、弁) (熱交換器、バイパスライン含む)、注水ヘッド) 等	○		
		5) 炉心冷却機能	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 原子炉格納容器スプレイ冷却系 ・ポンプ、熱交換器、サブプレッション・プール 等	○ ○ ○ ○	放射能放出防止	
		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	原子炉建屋 非常用循環ガス処理系 ・排風機 等 非常用ガス処理系 ・排風機 等 非常用ガス処理系 ・排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能) 可燃ガス濃度制御系	○ ○ ○ ○ ○ ○	放射能放出防止 放射能放出防止 放射能放出防止 放射能放出防止 ○ (屋外)	

※1 : 原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

表1 原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な設備に関する防護対象 (2/2)

分類	安全機能の重要度分類		機能	構築物、系統又は機器	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			建屋内部設置※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	非常用炉内電源系 (MS-1 関連のもの) ・ディーゼル機関、発電機 等 非常用炉内電源系 (MS-1 関連のもの) ・非常用ディーゼル発電機燃料移送系 ・駆動貯蔵タンク 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 非常用補給冷却水系 (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、高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電機海水系 等 直流電源系 (MS-1 関連のもの) ・蓄電池 等	○	○ (屋外)	○ (屋外)	○ (屋外)
PS-2	1) その損傷又は故障により発生する事象によつて、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、敷地外への過剰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 (格納容器補給弁の外側のみ)	○	○ (7/F)		
		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	放射形廃棄物処理施設 (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 燃料回収設備 ・燃料交換機、原子炉建屋クレーン 等	○	○		
MS-2	2) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時動作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) 燃料プールの水の補給機能	非常用補給水系 ・残留熱除去系 (ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールから燃料プールまでの配管、弁) 放射形気体廃棄物処理系の隔離弁	○	○ (7/F)	○ (屋外)	
MS-2	2) 異常事態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	1) 事故時のアラウンド状態の把握機能	燃料集合体落下事故時放出を低減する系 ・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 事故時監視器の一部	○			
		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



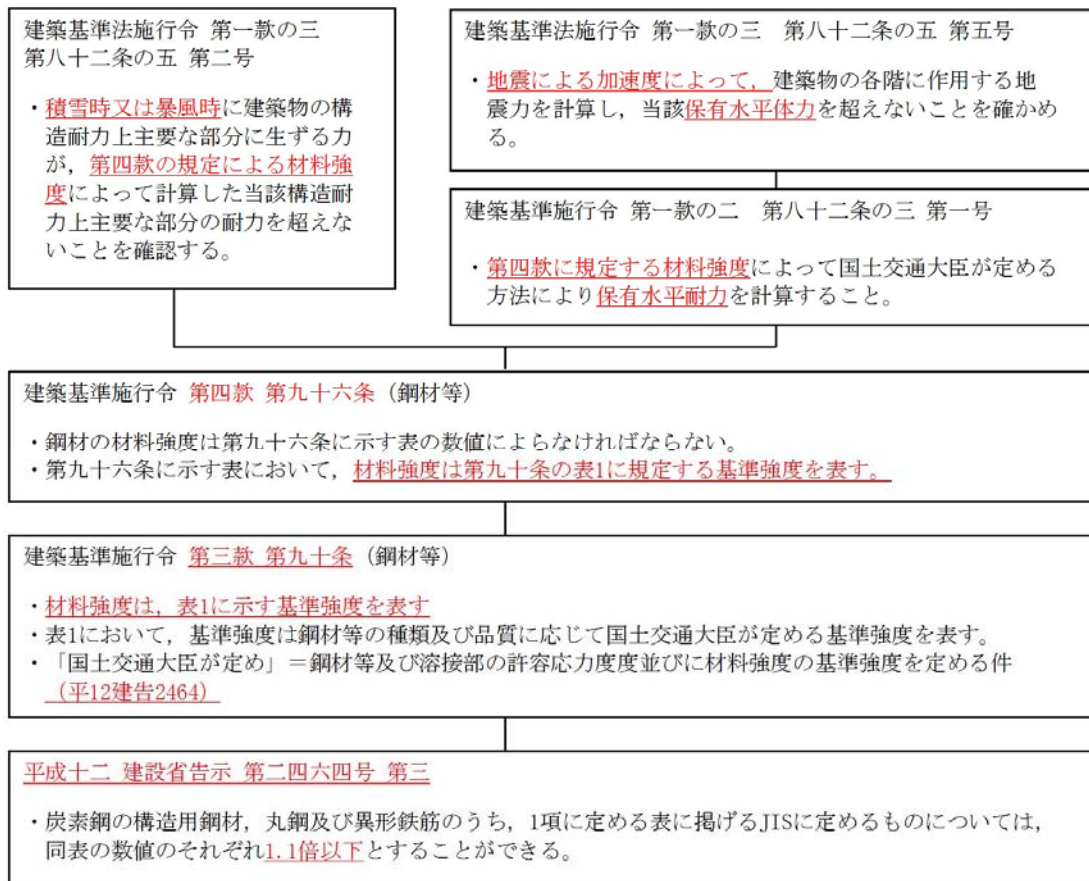
## 降下火砕物堆積荷重評価への材料強度×1.1 倍の適用について

降下火砕物の堆積荷重の評価において、材料強度×1.1 倍を適用可能であることを、降下火砕物と同種の荷重である積雪荷重から確認する。

## 1. 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工令第 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、建築基準法施工令第 82 条の 5 第は地震、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

## 2. 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 $\sigma_y$ 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。

以下に、建築基準法施行令等の抜粋を示す。

<p>二号イ及び第九条の二において「震害軽減」というものが二百分の一（地震力による構造耐力上主要な部分の震害によつて建築物の崩壊に類しい損傷が生ずるおそれのない場合）によつては、百分の二以内であることを確かめなければならない。</p> <p>(第五五條 九六、附則、第六三條、第六七〇、第六二二、第六二二、第六二二、第六二二、第六二二、第六二二)</p> <p>(五) 「国土交通大臣が定める」必要保有耐力計算及び許容耐力算出の方法は、第六一九條第五項を準用する。</p> <p>(必要保有耐力)</p> <p>第八十二条の三 建築物の地上部分については、第九号の規程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「必要保有耐力」という。）が、第九号の規程によつて計算した必要保有耐力以上であることを確かめなければならない。</p> <p>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つて必要保有耐力を計算すること。</p> <p>二 地震力に対する各階の必要保有耐力を次式によつて計算するものとする。</p> $Q_{un} = D_s F_e Q_d$ <p>この式において、<math>Q_{un}</math>、<math>D_s</math>、<math>F_e</math> 及び <math>Q_d</math> は、それぞれ次の数値を表すものとする。</p> <p><math>Q_{un}</math> 各階の必要保有水平耐力（単位 キロニュートン）</p> <p><math>D_s</math> 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震害軽減率の値の総積を表すものとする。</p>	<p>第八十二条の四 震害軽減、外装材及び屋外に面する壁面については、国土交通大臣が定める基準に従つた構造計算によつて震害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。</p> <p>(第六二二条、附則、第六二二条、第六二二条、第六二二条、第六二二条、第六二二条)</p> <p>(五) 「国土交通大臣が定める」震害軽減及び屋外に面する壁面の震害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方法は、第六一九條第五項を準用する。</p> <p>第一節の三 限界耐力計算</p> <p>第八十二条の五 第八十一条第三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する構造計算をいう。</p> <p>第一節の三 限界耐力計算</p> <p>第八十二条の五 第八十一条第三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する構造計算をいう。</p> <p>第一節の三 限界耐力計算</p> <p>第八十二条の五 第八十一条第三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する構造計算をいう。</p>
---	---

一 地震による地震時、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)に定めることによること。

二 地震時又は風速時に、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	一般の場合	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	備考
積雪時	$G + P + 1.4S$	$G + P + 1.4S$	
暴風時	$G + P + 1.6W$	$G + P + 1.6W$ 建築物の軒向柱の引抜き等を検討する場合においては、 $P$ については、建築物の美観に依	

この表において、 $G$ 、 $P$ 、 $S$ 及び $W$ は、それぞれ次の力(垂直方向力、曲げモーメント、せん断力等をいう)を算ずるものとする。

$G$  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下部分の各階に作用する地盤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、当該地盤力が、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は、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免れ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形状によつて建築物の部分に著しい損傷が生ずるおそれのある場合は、三十百分の一)を超えないことを確かめること。

イ 各階が、積載耐力、引抜きする水平力その他のこれに作用す

建四一〇号

建二九六号

る力に相当す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「積載層間変位」といふ)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積載層間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「積載固有周期」といふ)を国土交通大臣が定める方法により計算すること。

ハ 地震により建築物の各階に作用する地盤力を、積載層固有周期に基づい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。

$T_d < 0.16$ の場合	$P_d = (0.64 + 6T_d) m_i B_d Z G_s$
$0.16 \leq T_d < 0.64$ の場合	$P_d = 1.6 m_i B_d Z G_s$
$0.64 \leq T_d$ の場合	$P_d = \frac{1.02 m_i B_d Z G_s}{T_d}$

この表において、 $T_d$ 、 $P_d$ 、 $m_i$ 、 $B_d$ 、 $Z$ 及び $G_s$ は、それぞれ次の数値を表すものとする。

$T_d$  建築物の積載層固有周期(単位:秒)  
 $P_d$  各階に水平方向に生ずる力(単位:キロニュートン)

$m_i$  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つて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)を重力加速度を除いたもの)(単位:ト)  
 $B_d$  建築物の各階に生ずる加速度の分布を表すものとして、積載層固有周期に応じて国土交通大臣が定める係数に依つて算出した数値  
 $Z$  第八十八条第一項に規定する $Z$ の数値  
 $G_s$  表層地盤による加速度の増幅率を表すものとして、表層地盤の硬軟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

ニ 各階が、ハによつて計算した地盤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盤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盤力を次に定めるところによつて計算し、当該地盤力が保有水平耐力を超えないことを確かめること。

【建築基準法施行令 第九十六条 (抜粋)】

一般編 I 建築基準 (基本法) 建築基準法施行令 (九六条)

100/四

(鋼材等)  
第九十六条 鋼材の材料強度は、次の表一又は表二の範囲によらなければならない。

種類	材料強度 (単位 一平方メートルにつきニュートン)				
	圧縮	引張り	曲げ	せん断	
炭素鋼	F	F	F	F	$F \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$
高力ボルト	F	F	F	F	$F \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$
ボルト	F	F	F	F	$F \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$
鋼線	F	F	F	F	$F \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$

種類	材料強度 (単位 一平方メートルにつきニュートン)				
	圧縮	引張り	曲げ	せん断	
炭素鋼	F	F	F	F	$F \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$
高力ボルト	F	F	F	F	$F \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$
ボルト	F	F	F	F	$F \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$
鋼線	F	F	F	F	$F \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$

表二四・二五号

表二七号

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。

種類	材料強度 (単位 一平方メートルにつきニュートン)				
	圧縮	引張り	曲げ	せん断	
丸鋼	F	F	F	F	(当該数値が二九五を超える場合は、二九五)
異形鉄筋	F	F	F	F	(当該数値が三九〇を超える場合は、三九〇)

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。

(第五五条 九六・項四、第五五七〇・平二四三二・平二四三三二・一節五三)

(表一) 「国土交通大臣(……等)」が鋼筋のボルトのせん断強度を計算するに用いる材料強度は、鋼筋のせん断強度(平二四三二)と鋼筋の引張強度(平二四三三)のいずれか低い値とする。ただし、鋼筋のせん断強度を計算するに用いる材料強度は、鋼筋のせん断強度(平二四三二)と鋼筋の引張強度(平二四三三)のいずれか低い値とする。

第九十条 コンクリートの材料強度は、次の表の範囲によらなければならない。ただし、異形鉄筋を用いた場合については、国土交通大臣が異形鉄筋の種別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となる。

材料強度 (単位 一平方メートルにつきニュートン)					
圧縮	引張り	せん断	付着	せん断	付着
F	$F \cdot \frac{1}{10}$	F	F	F	F

100/五

一般編 I 建築基準 (基本法) 建築基準法施行令 (九七条)

鋼リベット	構造用ケ	ホルト	鋼板	鋼線	鋼線	鋼線
F 1.5	F 1.5	F 1.5	F 1.5	F 1.5	F 1.5	F 1.5
F 2	F 1.5	F 1.5	F 1.5	F 1.5	F 1.5	F 1.5

この表において、Fは、鋼材等の種類及び規格に応じて国土交通大臣が定める規格、引張り、曲げ及びせん断に対する基準強度（単位：平方ミリメートルにつきニュートン）を表すものとする。

一般鋼 I 建築基準法（基本法） 建築基準法施行令（五〇条）

九六

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、第八十二条第三号から第三号までの規定によつて積算時の基準強度を算するに当たつては、短期に生ずる力に対する許容応力度は、同表の数値に一・三を乗じた値を強度とし、長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。

短期に生ずる力に対する許容応力度（単位：平方ミリメートルにつきニュートン）				長期に生ずる力に対する許容応力度（単位：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：平方ミリメートルにつきニュートン）を表すものとする。

一般鋼 I 建築基準法（基本法） 建築基準法施行令（八九条・一〇条）

九七

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。

種類	許容応力度（単位：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：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
鋼材	F 1.5	F 1.5	F 1.5	F 1.5	F 1.5/3	F 1.5/3	F 1.5/3	F 1.5/3

この表において、Fは、鋼材等の種類及び規格に応じて国土交通大臣が定める基準強度（単位：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 かたぐいで特に品質優良なものを用いる場合には、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、木橋、海堤その他これらに類する常設建築物に於ける部分に用いる場合においては、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なければならない。

(第三四五条三四・四五五五三三・四五五五二九六・四五五三四八・五二二五二二・五二二五二二二・五二二五二二二)

(注) 第三号「国土交通大臣が定める」は、本条の基準強度Fc、Ft、Fb及びFsを定める中（第一二五五二四二二）

建二四・二二五号

建二四・二二五号





【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  $\sigma_y$  および引張強さ  $\sigma_u$  は、表 C 1.7.1~C 1.7.5 に示す値を用いる。なお、同表に掲げる降伏応力度  $\sigma_y$  は、同表の数値の 1.1 倍以下とすることができる<sup>1.13)</sup>。



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

図1，図2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。

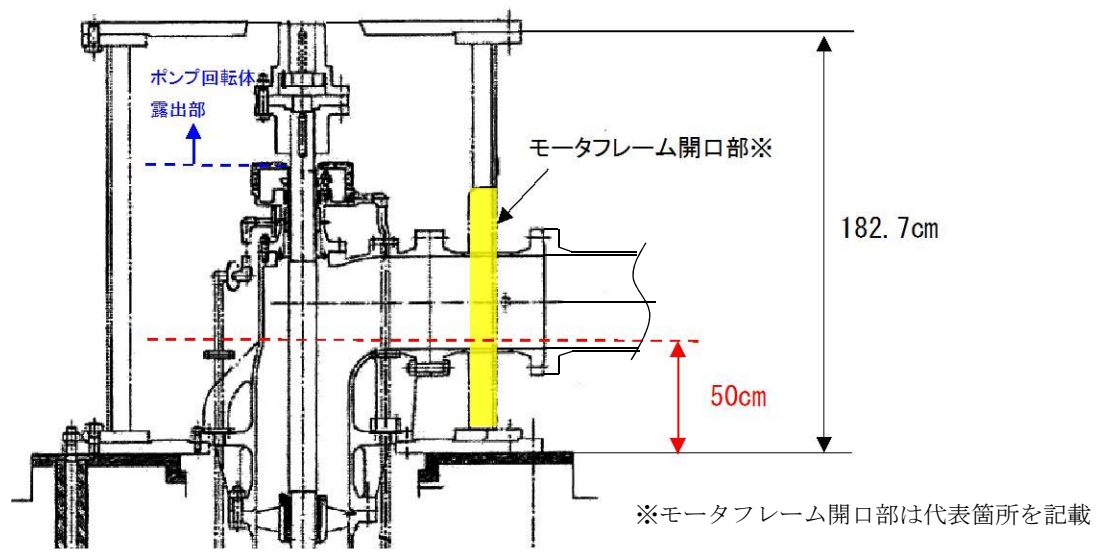


図1 残留熱除去系海水系ポンプ

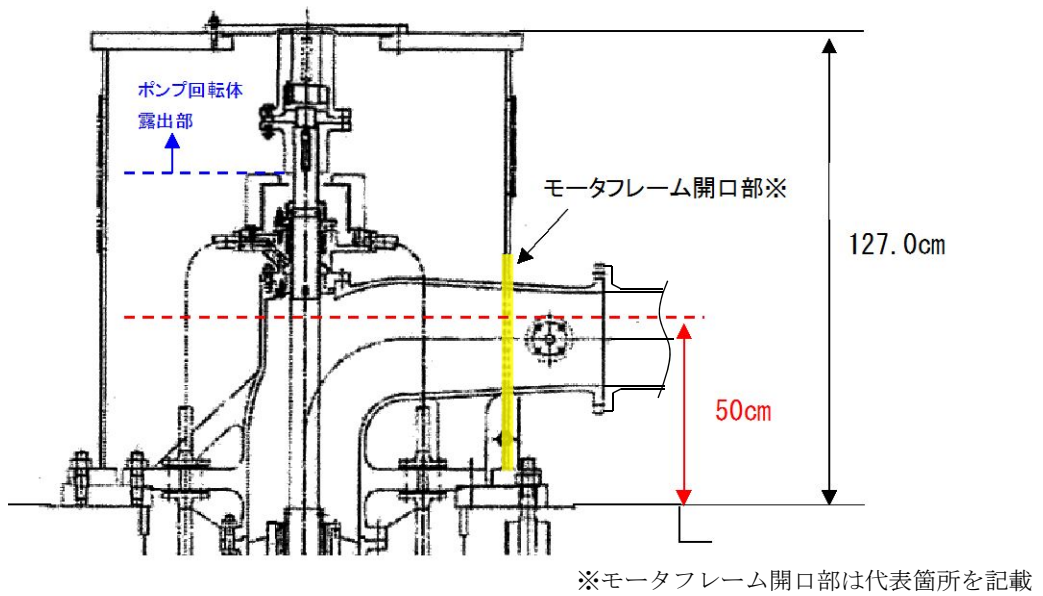


図2 ディーゼル発電機用海水ポンプ

## 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<sup>\*1</sup>においては暴風時あるいは地震時の荷重評価を実施する際、積雪の重ね合わせた評価を求めているが、多雪区域以外の区域においては積雪の重ね合わせを要求していない。

また、荷重を評価する際、風圧力や地震力を主たる荷重、重ね合わせる積雪荷重を従の荷重とし、従の荷重は稀に起こる積雪荷重ではなく平均的な積雪荷重としており、平均的な積雪荷重は短期積雪荷重の 0.35 倍としている。

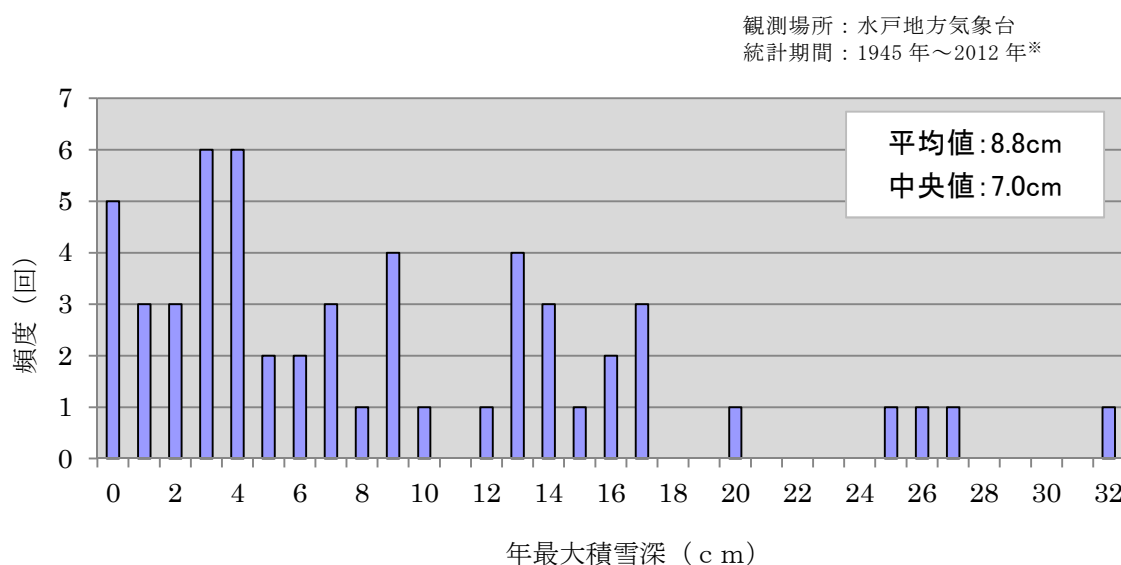
同法を参考とすると東海第二発電所は多雪区域ではないことから積雪との重ね合わせを考慮する必要はなく、また、降下火砕物及び積雪はともに予見性があり緩和措置を講じる十分な時間猶予がある事象であるが、積雪により湿潤状態の降下火砕物以上の荷重の負荷が生じる可能性があることを踏まえ、同法の考え方（主と従の考え方）を参考として評価を実施する。

降下火砕物と積雪の重ね合わせにおいて、降下火砕物の荷重条件は積雪の荷重条件より厳しく、発生した際の荷重が比較的大きいことから、降下火砕物が主荷重となる。したがって、今回の評価においては降下火砕物を主の荷重、積

雪を従の荷重として評価を実施する。

従の荷重となる東海村における平均的な積雪量は、茨城県建築基準法施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）による東海村の垂直積雪量 30cm に 0.35 を乗じた 10.5cm となる。また、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を適用することは平均的な値として保守性を有していることを添付資料-2 に示す。

10.5cm は水戸地方気象台の年最大積雪深の平均値（1945 年～2012 年）と同等の値である。参考として積雪量のヒストグラムを図 1 に示す。



※ 観測を行っていない年については統計から除外

図 1 積雪量ヒストグラム

※1 垂直積雪量が 1m を超える場合又は 1 年ごとの積雪の継続期間が 30 日を超える場合で、管轄の特定行政庁が規則で指定した区域（建築基準法より）

建築基準法における自然現象の組み合わせによる荷重の考え方

「建築物荷重指針・同解説(2004)」によると、建築基準法における組み合わせは、基本的にはTurkstraの経験則<sup>\*1</sup>と同様の考え方であり、同経験則に従えば、考慮すべきは主たる荷重が最大を取る時点の荷重の組み合わせであり、従たる荷重の値としては、その確率過程的な意味での平均的な値を採用することができるとしている。

組み合わせは、一般には短期においてのみであり、固定荷重と積載荷重に組み合わせる自然現象による荷重は単独の「積雪」、「風」及び「地震」である。また、それらを組み合わせることはない。建築基準法における荷重の考え方を表1に示す。

表1 建築基準法施行令からの抜粋

力の種類	荷重及び外力について想定する状態	一般の場合	第86条第2項ただし書の規定により特定行政庁が指定する多雪区域における場合
長期に生ずる力	常時	G + P	G + P
	積雪時		G + P + 0.7S
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。<sup>※2</sup>

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<sup>2</sup>)

d：垂直積雪量<sup>※3</sup> (cm)

ρ：積雪の単位荷重<sup>※4</sup> (N/cm/m<sup>2</sup>)

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  $20\text{N/m}^2$ （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、表1のとおり積雪期間3ヶ月以上の地点では0.3を推奨しており、積雪期間が1ヶ月以上3ヶ月未満の場合は、積雪期間に応じて直線補正すればよいとしている。

表1 組み合わせ荷重のための係数

積雪期間	1ヶ月未満	1ヶ月以上3ヶ月未満	3ヶ月以上
係数	0	積雪期間に応じて直線補正	0.3

上記考察の一例として神田<sup>\*1</sup>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<sup>※2</sup>、平年の積雪深を50年期待値の0.35<sup>※3</sup>）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。

表 1 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東海第二発電所における降下火砕物による金属腐食の影響評価に適用する考え方について、以下に示す。

## 1. 適用の考え方

降下火砕物による金属腐食については、主として火山ガス( $\text{SO}_2$ )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( $\text{SO}_2$ )雰囲気を保った状態で金属腐食試験を行なったものであり、降下火砕物の腐食成分濃度を高濃度で模擬した腐食試験結果であることから、東海第二発電所で考慮する火山についても本研究結果が十分適用可能と考える。

## 2. 研究文献「火山環境における金属材料の腐食」の概要

## (1) 試験概要

「火山環境における金属材料の腐食（出雲茂人，末吉秀一他），防食技術 Vol. 39, pp. 247-253, 1990」によると、降下火砕物を水で洗浄し、可溶性の成分を除去した後、金属試験片に堆積させ、高濃度の $\text{SO}_2$ ガス雰囲気（150～200ppm）で、加熱（温度 40℃，湿度 95%を 4 時間），冷却（温度 20℃，湿度 80%を 2 時間）を最大

18回繰り返すことにより、結露、蒸発を繰り返し金属試験片の腐食を観察している。

## (2) 試験結果

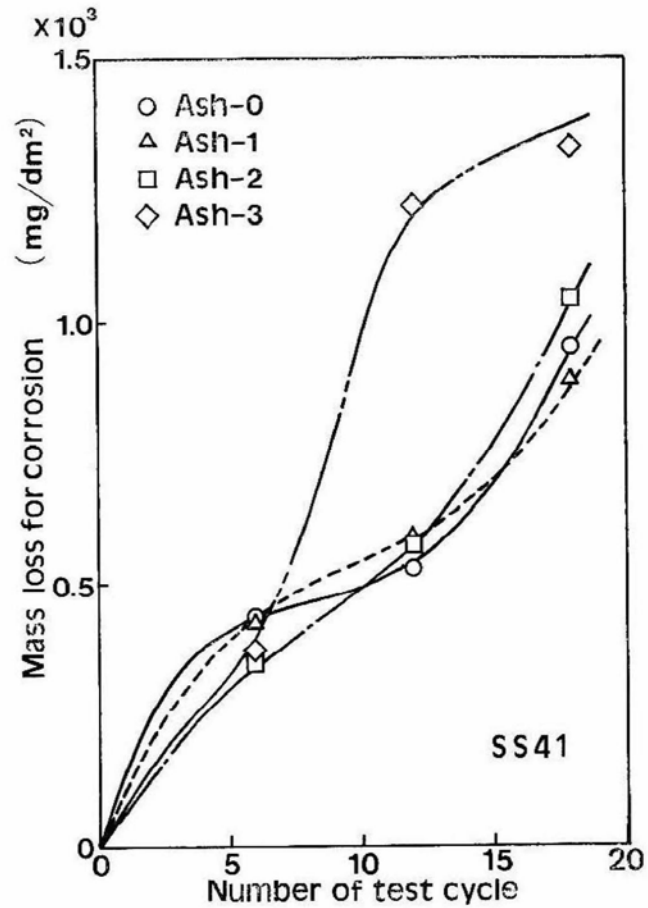
図1に示すとおり、降下火砕物の堆積量が多い場合は、降下火砕物の堆積なし又は堆積量が少ない場合と比較して、金属試験片の腐食が促進されるが、腐食量は表面厚さにして十数 $\mu\text{m}$ 程度との結果が得られ、降下火砕物層では結露しやすいこと並びに保水効果が大きいことにより腐食が促進されると結論づけられている。

## (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 $\text{SO}_2$ 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<sup>\*</sup>で金属腐食量を求めており、東海第二発電所で考慮する降下火砕物についても十分適用可能である。

- ※ ・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

図 1 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。

図 1 に示すとおり、給水に使用する工業用水はろ過装置、純水装置を経て純水貯蔵タンクに供給される。ろ過水貯蔵タンクに貯留された水は飲料水及び雑用水に供給されるが、降下火砕物襲来時に必要な構築物、系統及び機器は含まれていない。

純水貯蔵タンクに貯留された純水は補給水系に供給され、復水貯蔵タンク及びほう酸水注入系等へ給水されるが、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。

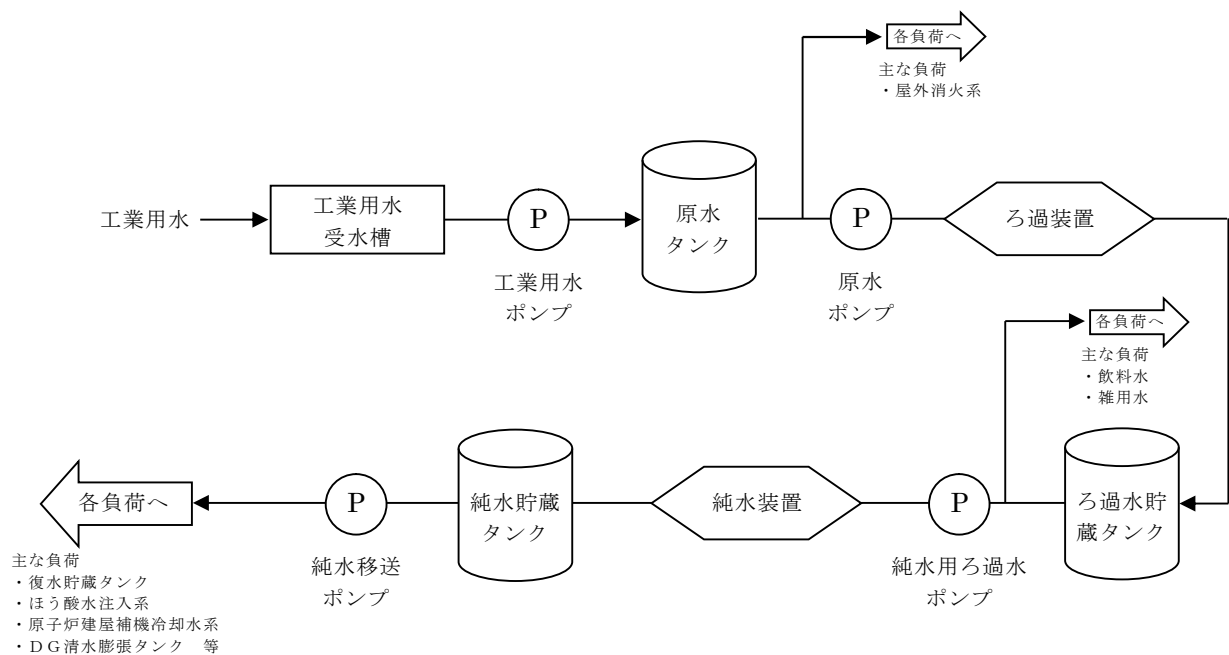


図 1 外部から供給される水源の概略系統図

## 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、図1のとおり半球型の構造であり降下火砕物が堆積し難い構造である。

したがって、降下火砕物によりモニタリング設備の機能に影響を及ぼすことはない。



図1 モニタリング設備検出器



## (2) 消火設備

電動消火ポンプ及びディーゼル駆動消火ポンプは屋内（タービン建屋）に設置されている。それらが設置されている部屋の給気設備は図2のとおり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、図3のとおり、開口部が横方向であり、降下火砕物は侵入し難い構造となっている。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。

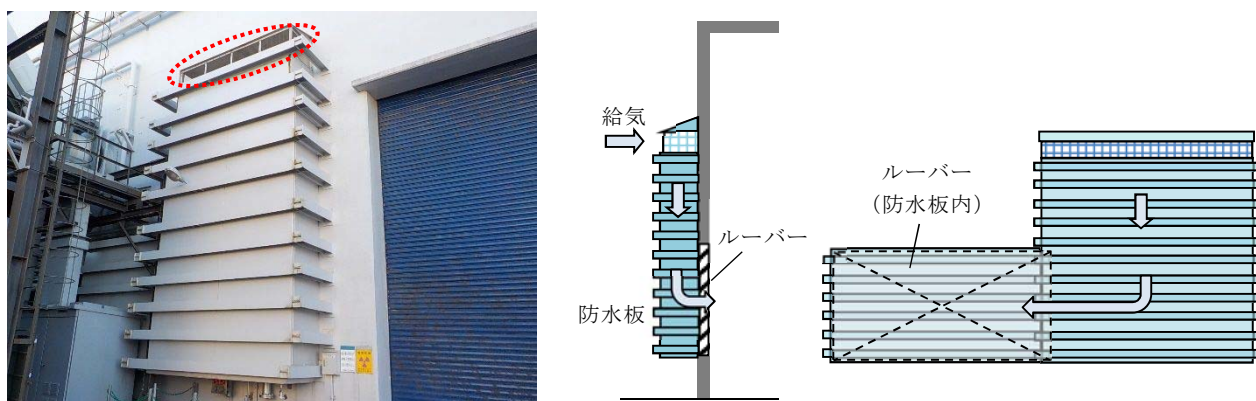


図2 ディーゼル駆動消火ポンプ室給気口

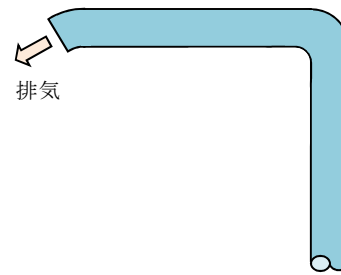
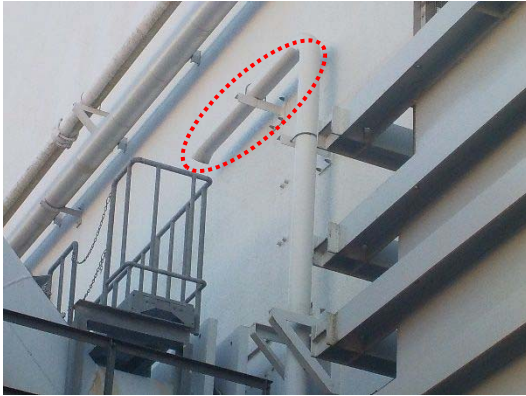


図3 ディーゼル駆動消火ポンプ排気管

(3) 通信連絡設備

通信連絡設備は、表1のとおり多様化を図っており、降下火砕物の影響によりすべての通信機能を喪失することは考え難い。

表1 主な通信設備

発電所外通信連絡設備	発電所内通信連絡設備
<ul style="list-style-type: none"> <li>・電力保安通信用電話設備</li> <li>・衛星電話設備</li> <li>・加入電話</li> <li>・テレビ会議システム</li> <li>・統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電力保安通信用電話設備</li> <li>・衛星電話設備</li> <li>・無線連絡設備</li> <li>・運転指令設備</li> <li>・携行型有線電話設備</li> </ul>

#### (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<sup>3</sup>（基本設計値）
- ・ 空気流入はないものとする。
- ・ 初期酸素濃度：20.95%
- ・ 1人あたりの呼吸量は、歩行時の呼吸量を適用して、24L/minとする。
- ・ 1人あたりの酸素消費量は、呼気の酸素濃度16.40%から65.52L/hとする。
- ・ 管理濃度は19%以上とする。（鉱山保安法施行規則）

###### 【評価結果】

表1 緊急時対策所における酸素濃度の時間変化

時間	2時間	4時間	6時間	8.6時間	管理値
酸素濃度	20.4%	20.0%	19.5%	19.0%	19.0%

##### b. 炭酸ガス濃度

###### 【評価条件】

- ・ 在室人数：100人（緊急時対策本部に収容する最大の対策要員数）

- ・緊急時対策所バウンダリ内体積：2,900m<sup>3</sup>（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<sup>3</sup>/hとする。
- ・管理濃度は1.0%未満とする。（鉱山保安法施行規則）

【評価結果】

表2 緊急時対策所における炭酸ガス濃度

時間	1時間	2時間	4時間	6.1時間	管理値
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について

降下火砕物の除去に要する時間について，土木工事の人力作業を参考に評価した結果を以下に示す。

## 1. 評価条件

堆積面積  $1\text{m}^3$  あたりの作業人工等の評価条件を表 1 に示す。

表 1 降下火砕物の除去に要する時間の評価条件

項目	評価値	
①堆積面積 ( $\text{m}^2$ )	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 ( $\text{m}^3$ )	6,605	
④ $1\text{m}^3$ 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。

$$0.39 \text{ 人/日} \cdot \text{m}^3 \times 6,605\text{m}^3 = \text{約 } 2,576 \text{ 人日}$$

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。

## 降水による降下火砕物の固結の影響について

降下火砕物は、湿ったのちに乾燥すると固結する特徴を持っており、影響モードとして閉塞が考えられるが、一般的に流水等で除去可能である。

降下火砕物が固結した場合の評価対象施設に対する影響モードとしては、水循環系の閉塞及び換気系、電気系及び計装制御系に対する閉塞が考えられるが、水循環系においては大量の海水が通水しているため、固結による影響はない。

換気系、電気系及び計装制御系に対する閉塞としては、換気空調系のフィルタの閉塞が考えられるが、換気空調系の外気取入口はガラリ等が設置されており下方向から吸い込む構造となっていることから、平時に比べ降水の際は降下火砕物の侵入は減少すると考えられる。なお、侵入した降下火砕物は外気取入口のフィルタによって除去されるが、湿った降下火砕物がフィルタに付着し固結した場合においても、フィルタ部の取替が可能なことから、固結による影響はない。

一方、評価対象施設に対して間接的な影響を与え得る事象としては、降下火砕物による排水路の閉塞時の降水事象が考えられるが、評価対象施設に有意な影響を及ぼし得る大雨に対しては、雨水が排水路に流れ込むことで、降下火砕物は除去されるため影響はない。なお、少量の降水に対しては有意な影響を及ぼさないと考えられる。

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。

東海第二発電所 火山影響評価	原子力発電所の火山影響評価ガイド
<p>1. はじめに</p> <p>原子力規制委員会の定める「発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第五号）」第六条において、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れないものでなければならず、敷地周辺の自然現象を基に想定される自然現象の一つとして、火山の影響を挙げている。</p> <p>火山の影響により原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であること</p> <p>を評価するための「原子力発電所の火山影響評価ガイド」を参照し、以下のとおり火山影響評価を行い、安全機能が維持されることを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 立地評価</li> <li>・ 影響評価</li> </ul>	<p>1. 総則</p> <p>本評価ガイドは、原子力発電所への火山影響を適切に評価するため、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出、抽出された火山の火山活動に関する個別評価、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価のための方法と確認事項をとりまとめたものである。</p> <p>1. 1 一般</p> <p>原子力規制委員会の定める「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第6条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわれないものでなければならず、敷地周辺の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして、火山の影響を挙げている。</p> <p>火山の影響評価としては、最近では使用済燃料中間貯蔵施設の安全審査において評価実績があり、2009年に日本電気協会が「原子力発電所火山影響評価技術指針」（JEA4625-2009）を制定し、2012年にIAEAがSafety Standards “Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” (No. SSG-21)を策定した。</p> <p>近年、火山学は基本的記述科学から、以前は不可能であった火山システムの観察と複雑な火山プロセスの数値モデルの使用に依存する定量的科学へと発展しており、これらの知見を基に、原子力発電所への火山影響を適切に評価する一例を示すため、本評価ガイドを作成した。</p> <p>本評価ガイドは、新規基準が求める火山の影響により原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることの評価方法の一例である。また、本評価ガイドは、火山影響評価の妥当性を審査官が判断する際に、参考とするものである。</p> <p>1. 2 適用範囲</p> <p>本評価ガイドは、実用発電用原子炉及びその附属施設に適用する。</p> <p>1. 3 関連法規等</p> <p>本評価ガイドは、以下を参考としている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(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）</li> <li>(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）</li> <li>(3) 日本電気協会「原子力発電所火山影響評価技術指針」（JEA4625-2009）</li> <li>(4) IAEA Safety Standards “Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” (No. SSG-21, 2012)</li> </ul>



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

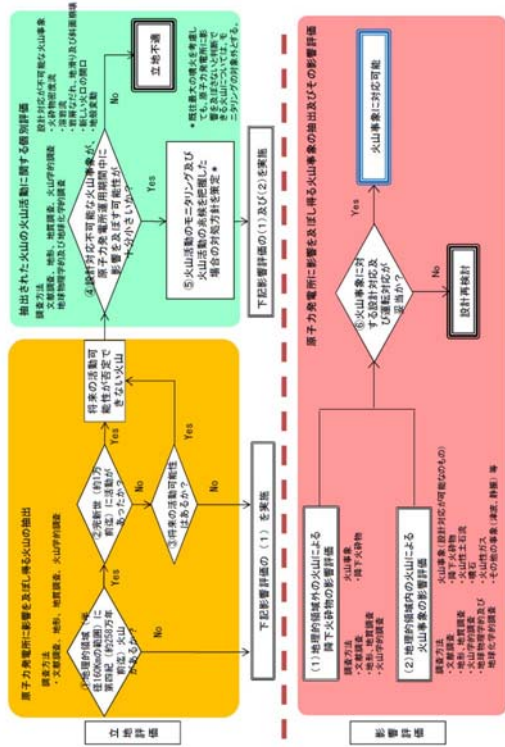
2. 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の流れ

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、岩層なだれ・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
<p>【立地評価】（項目名のみ記載）</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出</li> <li>3. 1 文献調査</li> <li>3. 2 地形・地質調査及び火山学的調査</li> <li>3. 3 将来の火山活動可能性</li> <li>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</li> <li>4. 1 設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価</li> <li>4. 2 地球物理学的及び地球化学的調査</li> <li>5. 火山活動のモニタリング</li> <li>5. 1 監視対象火山</li> <li>5. 2 監視項目</li> <li>5. 3 定期的評価</li> <li>5. 4 火山活動の兆候を把握した場合の対処</li> </ol>	<p>【立地評価】</p> <p>立地評価及び原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出の結果、降下火砕物のみが東海第二発電所に影響を及ぼし得る火山事象であるという結果となった。</p> <p>よって、以降の評価は降下火砕物による影響評価について記す。</p>

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所 火山影響評価
<p>6. 原子力発電所への火山事象の影響評価</p> <p>原子力発電所の運用期間中において設計対応不可能な火山事象によって原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された火山について、それが噴出した場合、原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象を表1に従い抽出し、その影響評価を行う。</p> <p>ただし、降下火砕物に関しては、火山抽出の結果にかかわらず、原子力発電所の敷地及びその周辺調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火砕物が降下するものとする。なお、敷地及び敷地周辺で確認された降下火砕物で、噴出源が同定でき、その噴出源が将来噴火する可能性が否定でき見積もられる場合は考慮対象から除外する。</p> <p>また、降下火砕物は浸食等で厚さが低く見積もられるケースがあるので、文献等も参考にして、第四紀火山の噴火による降下火砕物の堆積量を評価すること。(解説-14)</p> <p>抽出された火山事象に対して、4章及び5章の調査結果等を踏まえて、原子力発電所への影響評価を行うための、各事象の特性と規模を設定する。(解説-15)</p> <p>以下に、各火山事象の影響評価の方法を示す。</p> <p>解説-14. 文献等には日本第四紀学会の「日本第四紀地図」を含む。</p> <p>解説-15. 原子力発電所との位置関係について</p> <p>表1に記載の距離は、原子力発電所火山影響評価技術指針(JEAG4625)から引用した。JEAG4625では、調査対象火山事象と原子力発電所との距離は、わが国における第四紀火山の火山噴出物の既往最大到達距離を参考に設定している。また、噴出中心又は発生源の位置が不明な場合には、第四紀火山の火山噴出物等の既往最大到達距離と噴出物の分布を参考にしてその位置を想定する。</p> <p>例えば、噴出中心と原子力発電所との距離が、表中の位置関係に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があると考えられる。</p>	<p>【影響評価】</p> <p>6. 原子力発電所への火山事象の影響評価</p> <p>原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について、運用期間中の噴火規模を考慮し、敷地において考慮する火山事象として、降下火砕物の堆積量を評価した。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コミュニケーション結果から総合的に判断し50cmとした。</p>

東海第二発電所 火山影響評価	原子力発電所の火山影響評価ガイド
<p>6. 1 降下火砕物</p> <p>(1) 降下火砕物の影響</p> <p>(a) 直接的影響</p> <p>降下火砕物は、最も広範囲に及ぶ火山事象で、ごくわずかな火山灰の堆積でも、原子力発電所の通常運転を妨げる可能性がある。降下火砕物の閉塞及びその内部に負荷（降雨等の影響を含む。）、粒子の衝突、水循環系の機械的及び化学的影響、おける磨耗、換気系、電気系及び計装制御系に対する影響が挙げられる。</p> <p>並びに原子力発電所周辺の大気汚染等の影響が著しく増大させ</p> <p>降雨・降雪などの自然現象は、火山灰等堆積物の静的負荷を著しく増大させる可能性がある。火山灰粒子には、化学的腐食や給水の汚染を引き起こす成分（塩素イオン、フッ素イオン、硫化物イオン等）が含まれている。</p> <p>(b) 間接的影響</p> <p>前述のように、降下火砕物は広範囲に及ぶことから、原子力発電所周辺の社会インフラに影響を及ぼす。この中には、広範囲な送電網の損傷による長期の外部電源喪失や原子力発電所へのアクセス制限事象が発生しうることも考慮する必要がある。</p> <p>(2) 降下火砕物による原子力発電所への影響評価</p> <p>降下火砕物の影響評価では、降下火砕物の堆積物量、堆積速度、堆積期間及び火山灰等の特性などの設定、並びに降雨等の同時期に想定される気象条件が火山灰等特性に及ぼす影響を考慮し、それらの原子炉施設又はその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、求められられている安全機能が担保されることを評価する。（解説-16、17、18）</p>	<p>6. 1 降下火砕物</p> <p>(1) 降下火砕物の影響</p> <p>(a) 直接的影響</p> <p>降下火砕物は、最も広範囲に及ぶ火山事象で、ごくわずかな火山灰の堆積でも、原子力発電所の通常運転を妨げる可能性がある。原子力発電所の構造物への静的負荷（降雨等の影響を含む。）、粒子の衝突等、降下火砕物が設備に影響を与える可能性のある因子を網羅的に抽出・評価し、その中から詳細に検討すべき影響因子を選定した。</p> <p>影響評価において必要となる降下火砕物の粒径及び密度については、地質調査及び文献調査を基に設定した。なお、降下火砕物の密度については、降雨の影響を考慮した。</p> <p>(b) 間接的影響</p> <p>降下火砕物は広範囲に及ぶことから、広範囲にわたる送電網の損傷による長期の外部電源喪失の可能性や原子力発電所への交通の途絶の可能性も考慮し、間接的影響を確認した。</p> <p>(2) 降下火砕物による原子力発電所への影響評価</p> <p>降下火砕物の影響評価を考慮すべき施設（評価対象施設）としては、重要安全施設のうち、屋外の構築物、系統及び機器、又は、屋外設置であるが屋外に開口している設備を抽出し、評価対象施設としている。ただし、その構築物、系統及び機器であっても、機能喪失すること、当該施設の運転に影響を及ぼす場合は評価対象施設として抽出する。なお、建物については、クラス1及びクラス2の安全施設及びその機能に影響を及ぼし得る建物を評価対象施設として抽出した。抽出した評価対象施設について影響を評価し、原子炉施設の安全性を損なわないことを確認した。</p>

東海第二発電所 火山影響評価	原子力発電所の火山影響評価ガイド
<p>(3) 降下火砕物の影響の確認結果</p> <p>(a) 直接的影響の確認事項</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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、給水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、外気取入ダンプを閉止し閉回路循環運転をすることにより、中央制御室の居住性に影響を及ぼさないことを確認した。</p> <p>④ 必要に応じて、構造物、系統及び機器における降下火砕物の除去、換気空調系フィルタの清掃・取替が可能な設計であることを確認した。</p> <p>(b) 間接的影響の確認事項</p> <p>原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮した場合には、発電所内に貯蔵されている燃料油等により、7日間は原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れることを確認した。</p>	<p>(3) 確認事項</p> <p>(a) 直接的影響の確認事項</p> <p>① 降下火砕物堆積荷重に対して、安全機能を有する構造物、系統及び機器の健全性が維持されること。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>④ 必要に応じて、原子力発電所内の構造物、系統及び機器における降下火砕物の除去等の対応が取れること。</p> <p>(b) 間接的影響の確認事項</p> <p>原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。</p> <p>解説-16. 原子力発電所内及びその周辺敷地において降下火砕物の堆積が観測されない場合は、次の方法を基に堆積物量を設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 類似する火山の降下火砕物堆積物の情報を基に求める。</li> <li>✓ 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。</li> </ul> <p>解説-17. 堆積速度、堆積期間については、類似火山の事象やシミュレーション等に基づいて、原子力発電所への間接的な影響も含めて評価する。</p> <p>解説-18. 火山灰の特性としては粒度分布、化学的特性等がある。</p>

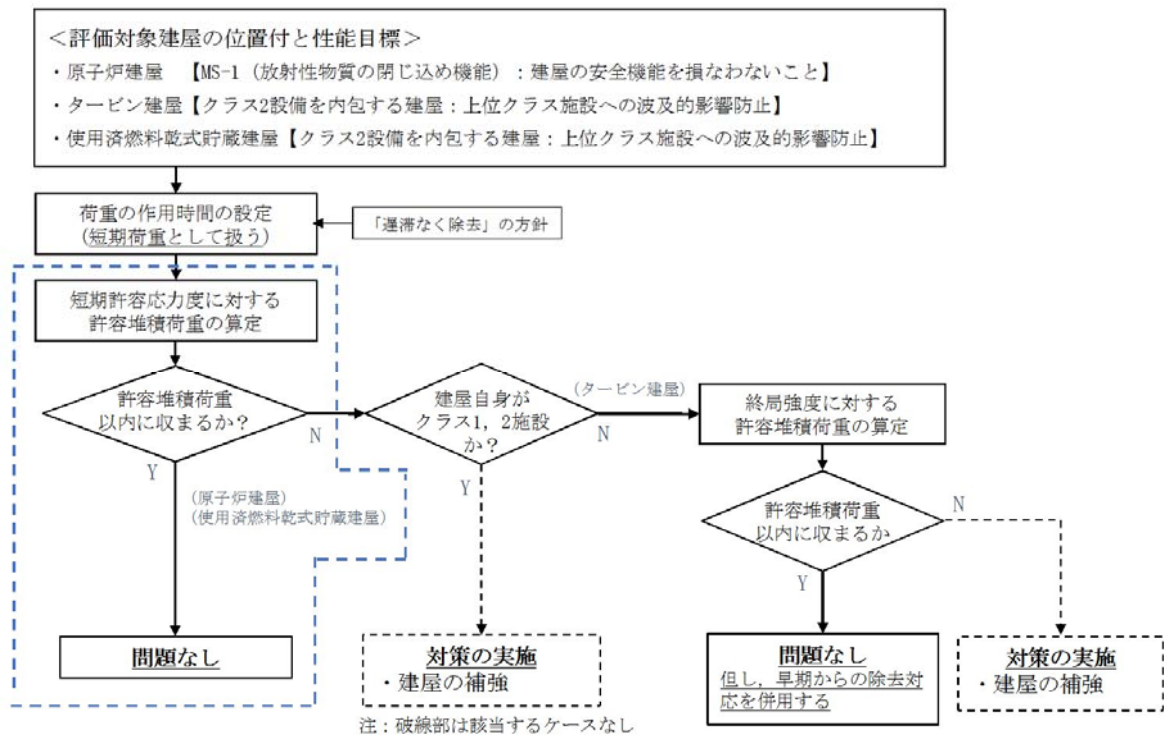
東海第二発電所 火山影響評価	原子力発電所の火山影響評価ガイド
<p>原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について、運用期間中の噴火規模を考慮し、敷地において考慮する火山事象を評価した結果、降下火砕物以外の火山事象については、原子炉施設の安全機能に影響を及ぼすことはないとして評価した。</p> <p style="text-align: center;">以 上</p>	<p>【立地評価の結果を考慮し評価する項目】（項目名のみ記載）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>6. 2 火砕物密度流</li> <li>6. 3 溶岩流</li> <li>6. 4 岩層なだれ、地滑り及び斜面崩壊</li> <li>6. 5 火山性土石流、火山泥流及び洪水</li> <li>6. 6 火山から発生する飛来物（噴石）</li> <li>6. 7 火山ガス</li> <li>6. 8 新しい火口の開口</li> <li>6. 9 津波及び崩振</li> <li>6. 1 0 大気現象</li> <li>6. 1 1 地殻変動</li> <li>6. 1 2 火山性地震とこれに関連する事象</li> <li>6. 1 3 熱水系及び地下水の異常</li> </ul> <p>7. 附則</p> <p>この規定は、平成25年7月8日より施行する。</p> <p>評価方法は、本評価ガイドに掲げるものを以外であつても、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して行くものとする。</p>

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原子炉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。第 1-1 図に示す建屋健全性評価の考え方フローに従い，原子炉建屋については短期許容応力度に対する評価内容及び評価結果を示す。

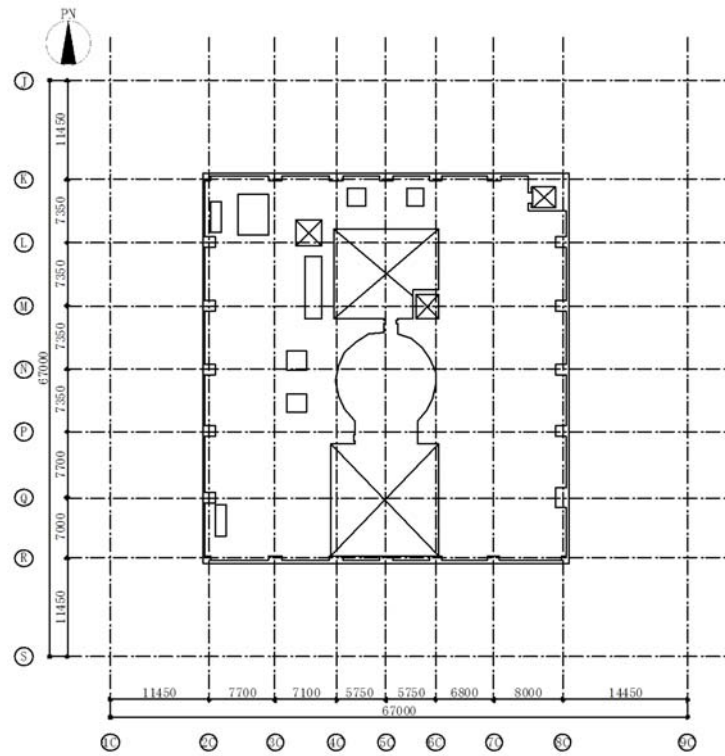


第 1-1 図 建屋健全性評価の考え方

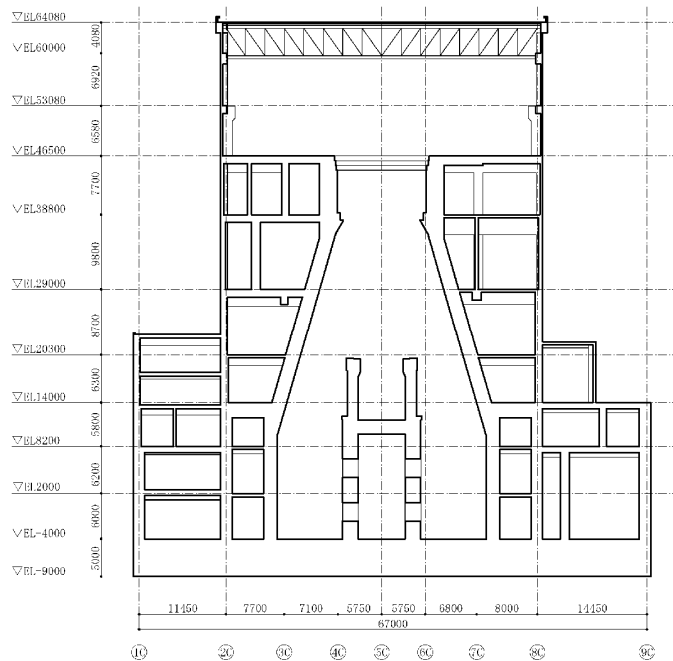
(2) 構造概要

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 1-2 図に，概略断面図を第 1-3 図に示す



第 1-2 図 原子炉建屋の概略平面図 (EL. +46.5 m)

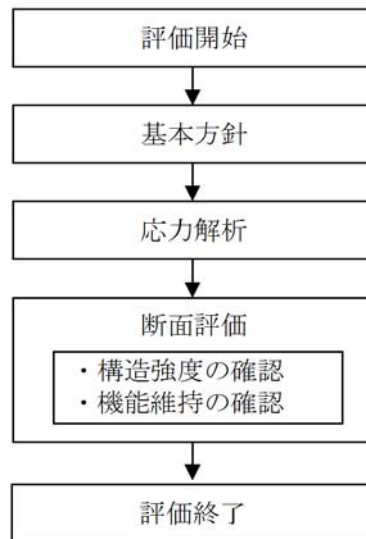


第 1-3 図 原子炉建屋の概略断面図 (E W方向)



### (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 1-4 図に評価フローを示す。



第 1-4 図 各建屋の評価フロー

### (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－（（社）日本建築学会，2005）
- ・ 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）（以下「技術基準解説書」という。）

## 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トラスとする。

### (1) 評価方針及び評価対象部位

- ・屋根トラスの応力解析による評価は、「鋼構造設計基準—許容応力度設計法—」に準じて行う。
- ・評価対象部位は、主要な部材のうち、本構造物では、梁間方向に主トラスが配されており、これが主体構造として降下火砕物等の鉛直荷重に対して抵抗しているため、主トラス（上下弦材，斜材，束材）を選定した。

### (2) 荷重及び荷重の組合せ

#### a. 荷重

考慮する荷重を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 考慮する荷重

荷重名称	内容
固定荷重 (DL)	構造物の自重
雪荷重 (SNL)	積雪荷重
降下火砕物荷重 (VAL)	降下火砕物の堆積荷重

#### b. 荷重の組合せ

荷重の組合せを第 2-2 表に示す。

第 2-2 表 荷重の組合せ

検討部位	外力の状態	荷重の組合せ
屋根トラス	降下火砕物+積雪	DL+SNL+VAL

### (3) 許容限界

原子炉建屋については、短期許容応力度に対する評価を行う。主トラスの許容限界の考え方を第2-3表に、鉄骨の基準強度及び評価基準値を第2-4表に示す。

第2-3表 応力評価における主トラスの許容限界

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
原子炉建屋の安全機能を損なわないこと	主トラス 上弦材 下弦材 斜材 束材	降下火砕物の荷重（積雪荷重を含む）を作用させ各部の発生応力が許容限界（評価基準値）を下回ることを確認	「鋼構造設計基準－許容応力度設計法－」に準じて短期許容応力度以下とする。

第2-4表 鉄骨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 <sup>2</sup> )	評価基準値 (N/mm <sup>2</sup> )
SS400 (SS41)	t ≤ 40	235	235

### 3. 応力解析モデル及び緒元

屋根トラスの応力解析モデル及び緒元を以下に示す。

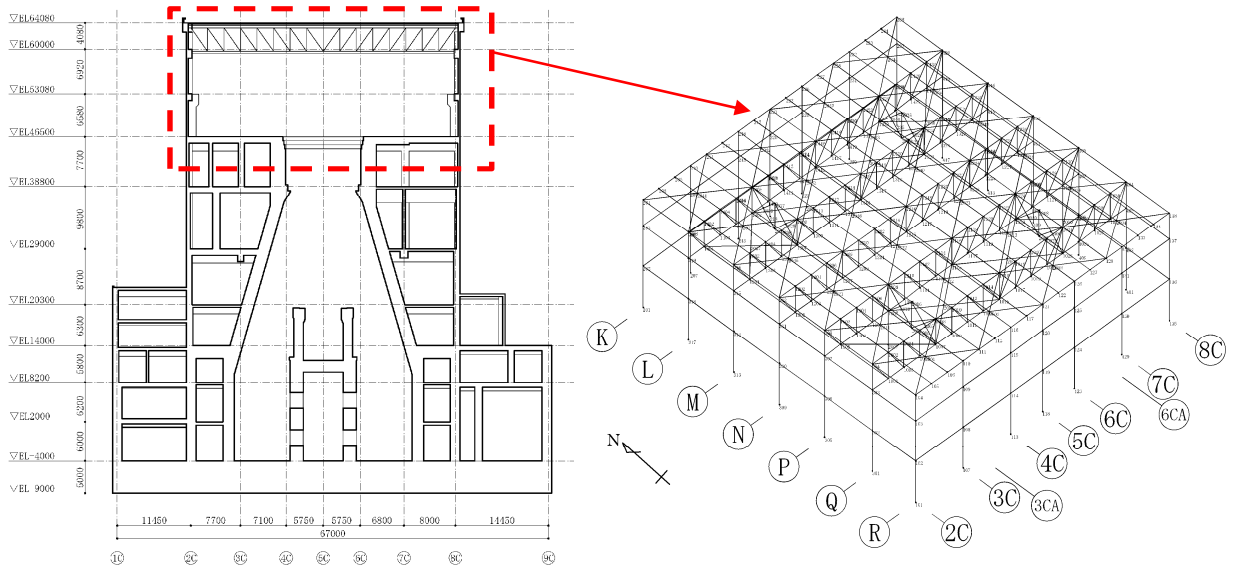
#### (1) モデル化の基本方針

##### 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屋根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（E W側）及び立体架構モデル

b. 解析コード

D Y N A 2 E

c. 応力解析モデルの物性値

応力解析モデルの物性値を第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 応力解析モデルの物性値

項目	採用値
単位体積重量	77.0kN/m <sup>3</sup>
ヤング係数	205.0kN/mm <sup>2</sup>
せん断弾性係数	79.0kN/mm <sup>2</sup>

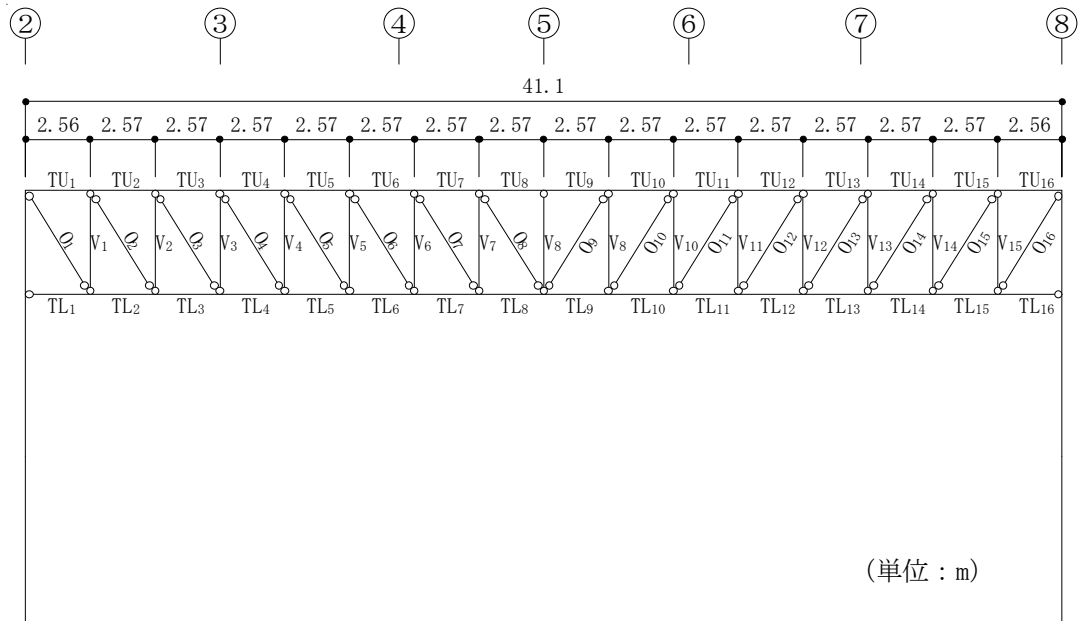
d. 検討部材の形状・寸法

検討部材の形状と寸法を第 3-2 表に示す。また、部材位置を第 3-2 図に示す。

第 3-2 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 <sub>1</sub> ~TU <sub>16</sub>	H-400×400×13×21	SS400* (SM41)
下弦材	TL <sub>1</sub> ~TL <sub>16</sub>	H-400×400×13×21	
斜材	O <sub>1</sub> , O <sub>2</sub> , O <sub>15</sub> , O <sub>16</sub>	2Ls-200×200×15	
	O <sub>3</sub> , O <sub>4</sub> , O <sub>13</sub> , O <sub>14</sub>	2Ls-150×150×15	
	O <sub>5</sub> ~O <sub>12</sub>	2Ls-150×100×12	
東材	V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub> , V <sub>14</sub> , V <sub>15</sub>	2Ls-200×200×15	
	V <sub>3</sub> , V <sub>13</sub>	2Ls-150×150×15	
	V <sub>4</sub> , V <sub>12</sub>	2Ls-150×150×15	
	V <sub>5</sub> ~V <sub>7</sub> , V <sub>9</sub> ~V <sub>11</sub>	2Ls-150×100×12	
	V <sub>8</sub>	2Ls-150×100×12	

※ JIS G3101 一般構造用圧延鋼材



第 3-2 図 部材位置図

(2) 評価方法

応力解析より求めた各部材の発生応力が許容限界を超過しないことを確認する。許容限界は「鋼構造設計基準—許容応力度設計法—」に準拠し、短期許容応力度を用いる。

#### 4. 評価結果

応力評価の結果,主トラス部材の応力度比が1を超えないことを確認した。

主トラス部材のうち, 応力度比が最も大きい部位の応力比等を第4-1表に示す。

第4-1表 評価結果

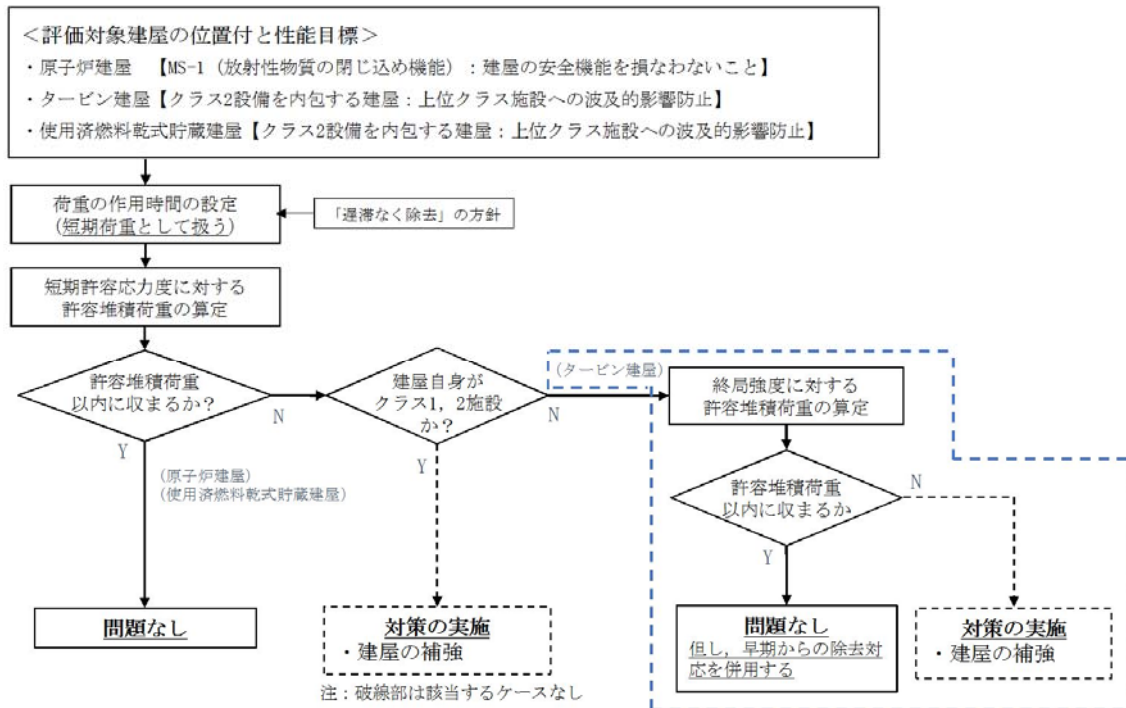
部材	発生応力	応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容値 (N/mm <sup>2</sup> )	検定値	位置
上弦材 H-400×400×13×21	(圧縮)	105	234	0.62	P 通り TU8, TU9
	(曲げ)	38	232		
	(引張)	35	235	0.56	L 通り TU1, TU16
	(曲げ)	96	233		
下弦材 H-400×400×13×21	(圧縮)	73	226	0.46	Q 通り TL1
	(曲げ)	32	233		
	(引張)	147	235	0.81	P 通り TL8, TL9
	(曲げ)	42	178		
斜材 2Ls-150×150×15	(引張)	192	235	0.82	L 通り 03, 014
束材 2Ls-150×150×15	(圧縮)	141	144	0.98	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タービン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。第 1-1 図に示す建屋健全性評価の考え方フローに従い、タービン建屋については終局強度に対する評価内容及び評価結果を示す。

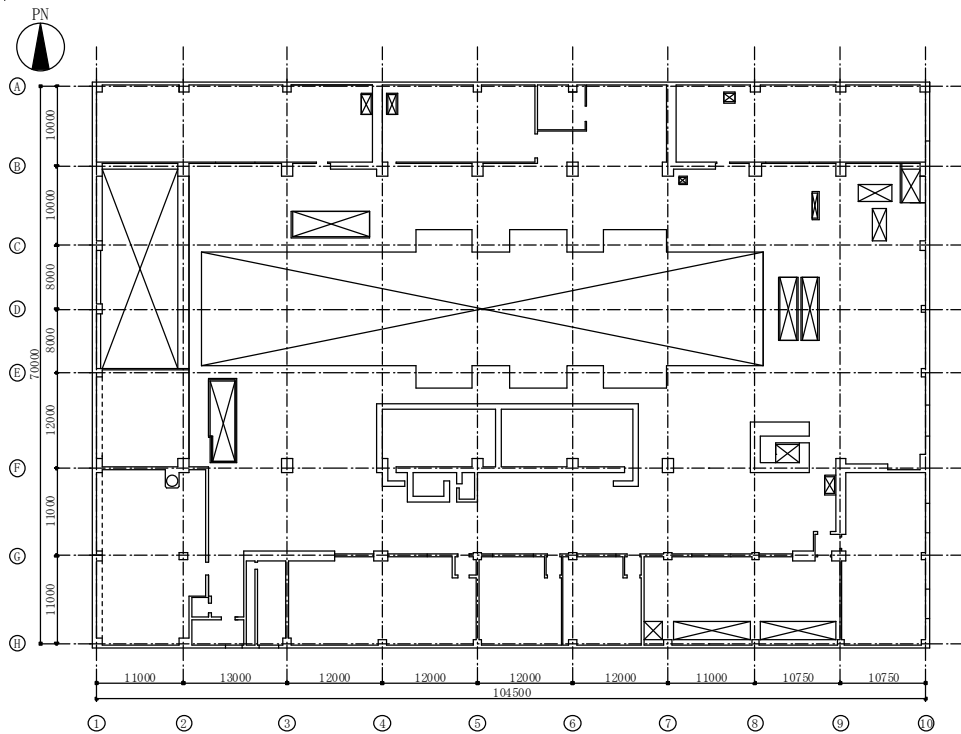


第 1-1 図 建屋健全性評価の考え方

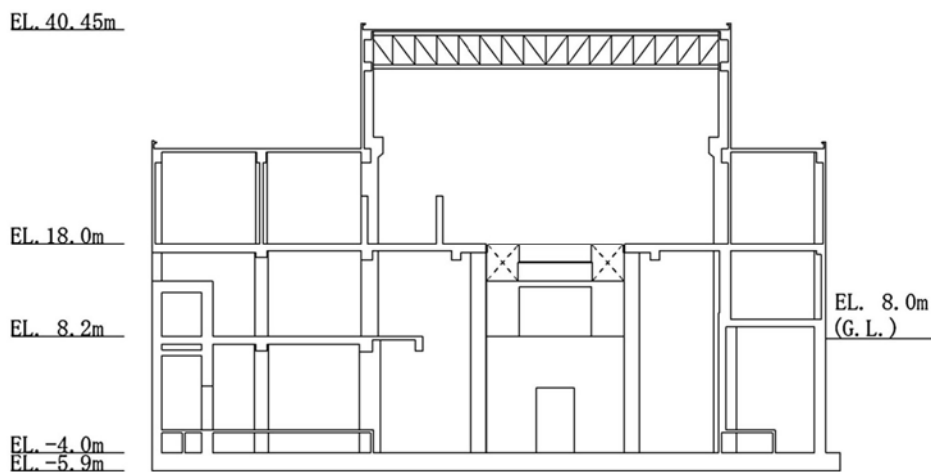
(2) 構造概要

タービン建屋は、地上 2 階、地下 1 階建で、平面が約 105 m（南北方向）×約 70 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。タービン建屋の概略平面図を第 1-2 図に、概略断面図を第 1-3 図に示す





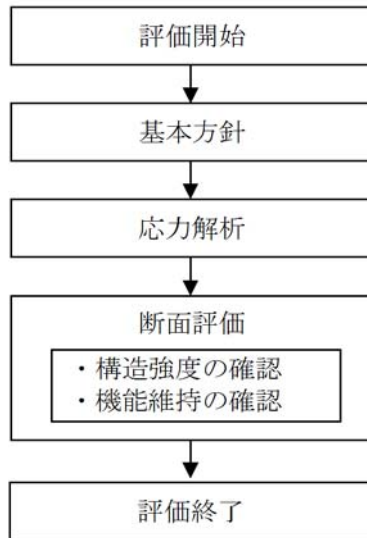
第 1-2 図 タービン建屋の概略平面図 (EL. +18.0 m)



第 1-3 図 タービン建屋の概略断面図 (N S 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 1-4 図に評価フローを示す。



第 1-4 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－（（社）日本建築学会，2005）
- ・ 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）（以下「技術基準解説書」という。）

## 2. 応力解析による評価方法

タービン建屋の応力解析による評価対象部位は屋根トラスとする。

### (1) 評価対象部位及び評価方針

- ・屋根トラスの応力解析による評価は、「鋼構造設計基準 - 許容応力度設計法 - 」に準じて行う。
- ・評価対象部位は、主要な部材のうち、本構造では、梁間方向に主トラスが配されており、これが主体構造として降下火砕物等の鉛直荷重に対して抵抗しているため、主トラス（上下弦材，斜材，束材）を選定した。

### (2) 荷重及び荷重の組合せ

#### a. 荷重

考慮する荷重を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 考慮する荷重

荷重名称	内容
固定荷重 (DL)	構造物の自重
雪荷重 (SNL)	積雪荷重
降灰荷重 (VAL)	降下火砕物の堆積荷重

#### b. 荷重の組合せ

荷重の組合せを第 2-2 表に示す。

第 2-2 表 荷重の組合せ

検討部位	外力の状態	荷重の組合せ
屋根トラス	降下火砕物+積雪	DL+SNL+VAL

(3) 許容限界

タービン建屋に内包するクラス 2 に属する系統，機器及び構築物に波及的影響を及ぼさない観点から，タービン建屋については，平成 12 年建設省告示 2464 号に準じて，鋼材の許容応力度の基準強度 F 値を 1.1 倍した値を評価基準値とする。なお，F 値とは，鋼材の許容応力度を定める際の基準値となる値であり，平成 12 年建設省告示第 2464 号に，J I S 規格品の場合は，F 値を 1.1 倍以下とすることができるとされている。主トラスの許容限界の考え方を第 2-3 表に，鉄骨の基準強度及び評価基準値を第 2-4 表に示す。

第 2-3 表 応力評価における主トラスの許容限界

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
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こと	主トラス 弦材 斜材 束材	降下火砕物の荷重（積雪荷重を含む）を作用させ各部の発生応力が許容限界（評価基準値）を下回ることを確認	終局強度※

※：平成 12 年建設省告示 2464 号の第 3 に基づき F 値×1.1 倍

第 2-4 表 鉄骨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 <sup>2</sup> )	評価基準値 (N/mm <sup>2</sup> )
SS400 (SS41)	t ≤ 40	235	258

### 3. 応力解析モデル及び緒元

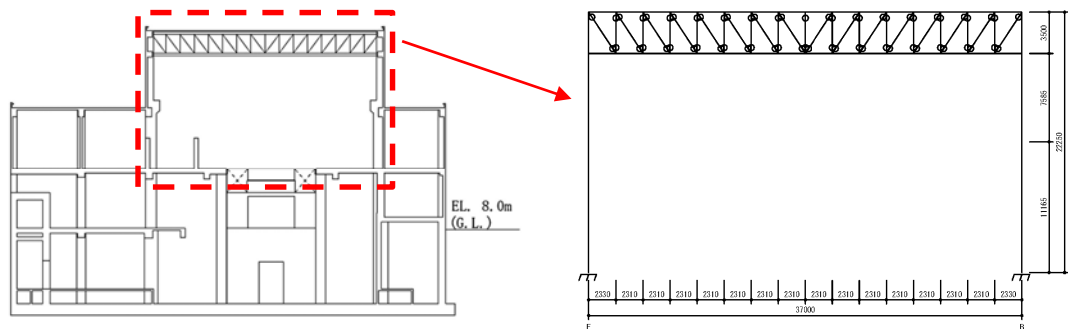
屋根トラスの応力解析モデル及び緒元を以下に示す。

#### (1) 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，1 構面を取り出した 2 次元モデルとする。

タービン建屋断面図と屋根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）及び屋根トラス検討モデル

##### b. 解析コード

F A P 3（構造解析）

c. 応力解析モデルの物性値

応力解析モデルの物性値を第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 応力解析モデルの物性値

項目	採用値
単位体積重量	77.0kN/m <sup>3</sup>
ヤング係数	205.0kN/mm <sup>2</sup>
せん断弾性係数	79.0kN/mm <sup>2</sup>

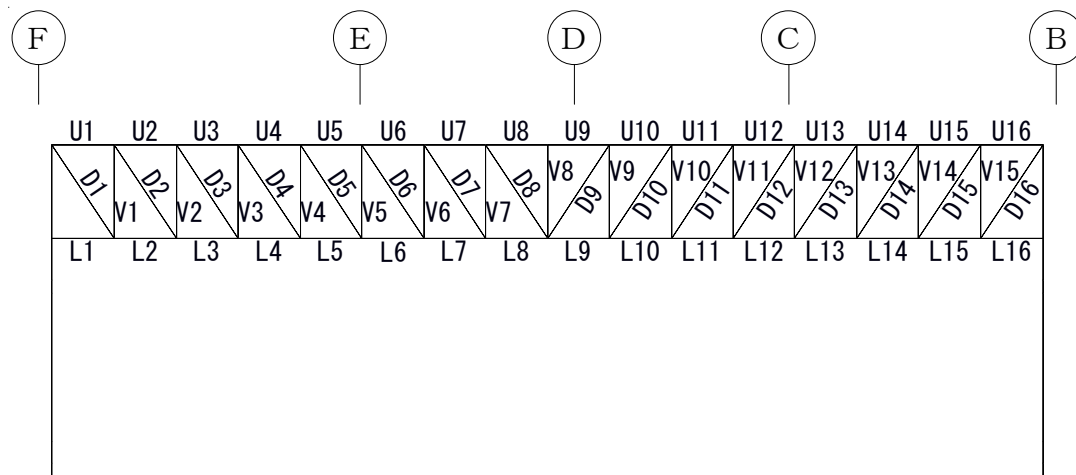
d. 検討部材の形状・寸法

検討部材の形状と寸法を第 3-2 表に示す。また、部材位置を第 3-2 図に示す。

第 3-2 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 <sub>1</sub> ~U <sub>16</sub>	H-428×407×20×35	SS400* (SM41)
下弦材	L <sub>1</sub> ~L <sub>16</sub>	H-428×407×20×35	
斜材	D <sub>1</sub> ~D <sub>3</sub> D <sub>14</sub> ~D <sub>16</sub>	2Ls-200×200×20	
	D <sub>4</sub> , D <sub>5</sub> , D <sub>12</sub> , D <sub>13</sub>	2Ls-150×150×19	
	D <sub>6</sub> , D <sub>11</sub>	2Ls-130×130×12	
	D <sub>7</sub> , D <sub>8</sub> , D <sub>9</sub> , D <sub>10</sub>	2Ls-100×100×10	
束材	V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub> , V <sub>14</sub> , V <sub>15</sub>	2Ls-200×200×20	
	V <sub>3</sub> , V <sub>4</sub> , V <sub>12</sub> , V <sub>13</sub>	2Ls-200×200×15	
	V <sub>5</sub> , V <sub>6</sub> , V <sub>10</sub> , V <sub>11</sub>	2Ls-150×150×15	
	V <sub>7</sub> ~V <sub>9</sub>	2Ls-130×130×9	

※ JIS G3101 一般構造用圧延鋼材



第 3-2 図 部材位置図

(2) 評価方法

応力解析より求めた各部材の発生応力が許容限界を超過しないことを確認する。許容限界は、「鋼構造設計基準—許容応力度設計法—（日本建築学会）」に準拠し、「平成 12 年建設省告示第 2464 号」に従った評価基準値を用いて、終局強度以下であることを確認する。

#### 4. 評価結果

応力評価の結果,主トラス部材の応力度比が1を超えないことを確認した。

主トラス部材のうち, 応力度比が最も大きい部位の応力比等を第4-1表に示す。

第4-1表 評価結果

部材	発生応力	応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容値 (N/mm <sup>2</sup> )	検定値	位置
上弦材 H-428×407×20×35	(圧縮)	167	250	0.89	U8, U9
	(曲げ)	56	258		
	(引張)	0	258	0.50	U1, U16
	(曲げ)	127	258		
下弦材 H-428×407×20×35	(圧縮)	52	153	0.97	L1, L16
	(曲げ)	151	241		
	(引張)	149	258	0.84	L8, L9
	(曲げ)	66	219		
斜材 2Ls-200×200×20	(引張)	188	258	0.73	D2, D15
束材 2Ls-200×200×15	(圧縮)	172	212	0.82	V3, V13



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

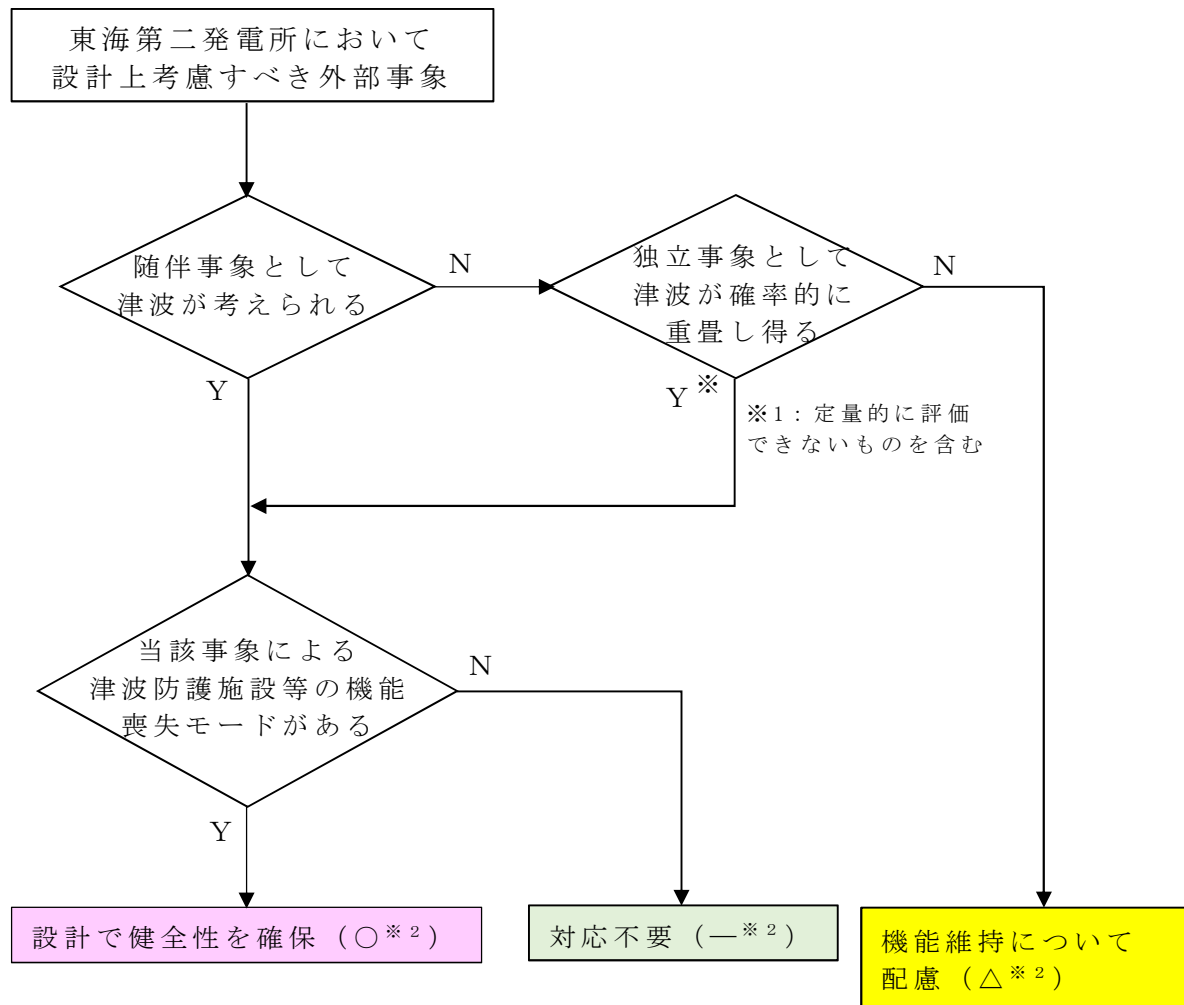
### 1. 概要

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

### 2. 防護に関する考え方

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

- ・設計上考慮すべき事象が，津波もしくは津波の随伴，重畳が否定できない事象に該当するかを確認する。定量的な重畳確率が求められない事象については，保守的にその影響を考慮する。
- ・津波の随伴，重畳が否定できない場合は，当該事象による津波防護施設等の機能喪失モードの有無を確認する。機能喪失モードが認められる場合は，設計により健全性を確保する。
- ・津波の随伴，重畳が有意でないと評価される事象についても，東海第二発電所の津波防護施設等については，基準津波の高さや防護範囲の広さ等その重要性に鑑み，自主的に機能維持のための配慮を行う。



※2: 「○」、「△」、「ー」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<sup>※</sup>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  $8.6 \times 10^{-8}$  (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  $3.8 \times 10^{-8}$  (1/y) であり、竜巻と津波の重畳は有意ではないと評価されるが、竜巻が襲来した場合には必ず作用する風荷重に対しては、津波防護施設等の健全性を維持する設計とする。また、竜巻が襲来した場合でも、必ずしも津波防護施設に作用するとは限らない竜巻飛来物荷重に対しては、大規模な損傷に至り難い構造とする。

別表 1-1 外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表

: 津波の随伴, 重量が否定できないため, 設計で健全性を確保する事象 (○)  
 : 津波の随伴, 重量は有意ではないが, 機能維持について設計上配慮する事象 (△)  
 : 津波の随伴, 重量は有意ではないが, 機能維持について設計上配慮する事象 (○)

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮	②独立事象として津波が重なり得る	津波との重量を考慮か②が(“○”)	津波防護施設等の機能喪失の可能性がある	設計への反映	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 $S_s$ 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( $S_d-D1$ 地震動)の組合せも考慮する。

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮(①か②が“○”)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
洪水 (外部洪水)	—	○	○	<p><u>なし</u></p> <p>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。</p> <p>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)</p> <p>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&lt;EL.(=T.P.)15m(国道 245 号線(発電所入口))</p>	—	—
風 (台風)	—	○	○	<p><u>あり</u></p> <p>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。</p>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 風荷重, 津波荷重を考慮した設計とする。</li> <li>・ 津波監視カメラは, 風荷重を考慮した設計とする。</li> </ul>

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

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮(①か②が“○”)	津波防護施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
竜巻	—	—	—	<p><u>なし</u></p> <p>以下のとおり、重畳の頻度は無視し得る。  設計竜巻の確率 P1：  約 <math>3.9 \times 10^{-6} / y</math> (補足 1 参照)  敷地高さ超津波 (&gt;T.P. 3m) の確率 P2：  約 <math>9.6 \times 10^{-3} / y</math> ※  ※：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 <math>3.8 \times 10^{-8} / y</math>  …目安値 PC=1 <math>\times 10^{-7}</math> 未満で、有意ではない。</p>	△	<p>防潮壁の設計においては、自主的に以下の配慮を行い、信頼性を高める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>風圧力に対しては、損傷しない様に構造強度を確保する。</li> <li>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。</li> </ul>
極低温 (凍結)	—	○	○	<p><u>あり</u></p> <p>凍害により止水ジョイントが損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。</p>	○	止水ジョイントは最低気温を考慮した設計とする。
降水 (豪雨 (降雨))	—	○	○	<p><u>なし</u></p> <p>降雨による海水面の上昇の影響は無視し得る。</p>	—	—
積雪 (暴風雪)	—	○	○	<p><u>あり</u></p> <p>積雪荷重により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。</p>	○	積雪荷重と津波荷重を考慮した設計とする。

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

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮(①か②が“○”)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
落雷	—	○	○	<u>あり</u> 落雷により津波監視設備の機能喪失が想定される	○	津波監視設備については、既設避雷設備の遮へい範囲内への設置又は避雷設備の設置、避雷設備の接地極を構内接地網と接続し接地抵抗の低減を行うとともに、ライントアース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。	—	—



設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮(①か②が“○”)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
火山 (火山活動・降灰)	—	—	—	<p><u>なし</u></p> <p>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：<math>2.2 \times 10^{-5}/y</math>            (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(&gt;T.P.6m)の確率：            約 <math>3.9 \times 10^{-3}/y</math> ※            ※：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 <math>8.6 \times 10^{-8}/y</math>            …… <math>1 \times 10^{-7}</math> 未満で、有意ではない。</p>	△	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	—	○	○	<p><u>なし</u></p> <p>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。</p>	—	—

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

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮か②が“○”	津波防護施設等の機能喪失の可能性がある	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
森林火災	—	○	○	<u>あり</u> 熱影響により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>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引き起こさない設計とする。</li> <li>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)</li> </ul>
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は、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

## 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)

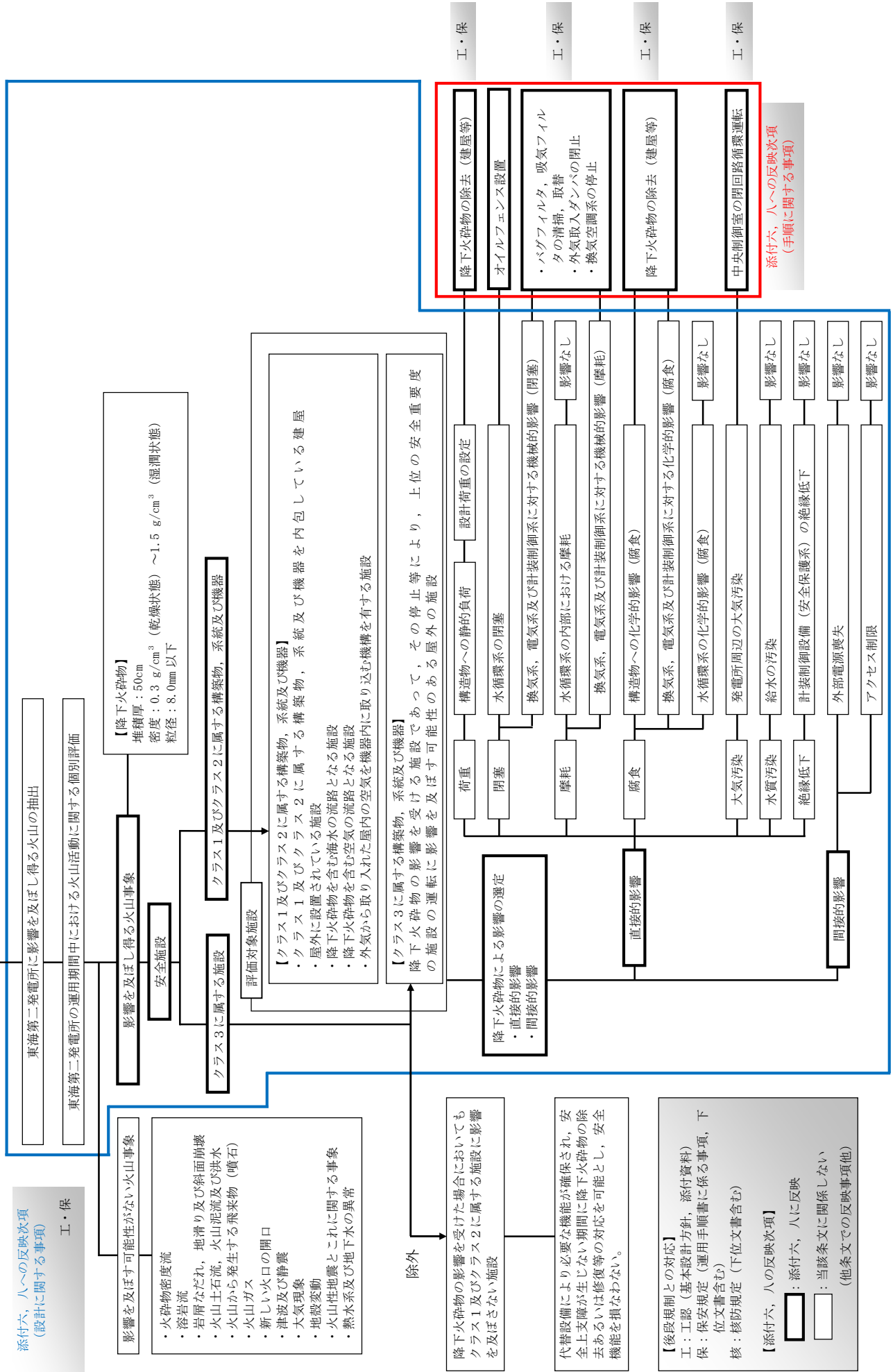
安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項について同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

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ぬ。

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

・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思定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ

東海第二発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

東海第二発電所の運用期間中における火山活動に関する個別評価

影響を及ぼす可能性がない火山事象

- ・火砕物密度流
- ・溶岩流
- ・岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊
- ・火山土石流、火山泥流及び洪水
- ・火山から発生する飛来物(噴石)
- ・火山ガス
- ・新しい火口の開口
- ・津波及び静震
- ・大気現象
- ・地殻変動
- ・火山性地震とこれに関する事象
- ・熱水系及び地下水の異常

影響を及ぼし得る火山事象

重要安全施設

クラス1及びクラス2に属する構築物、系統及び機器のうち、自然現象の影響を受けやすい施設

評価対象施設

- ・クラス1及びクラス2に属する構築物、系統及び機器
- ・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】

層厚：50cm  
密度：0.3 g/cm<sup>3</sup> (乾燥状態) ~ 1.5 g/cm<sup>3</sup> (湿潤状態)  
粒径：8.0mm 以下

降下火砕物による影響の選定  
・直接的影響

【後段規制との対応】  
工：工認(基本設計方針、添付資料)  
保：保安規定(運用手順書に係る事項、下位文書含む)  
核：核防規定(下位文書含む)  
【添付六、八への反映次項】  
□：添付六、八に反映  
□：当該条文に関係しない  
(他条文での反映事項他)

降下火砕物の除去

添付六、八への反映次項  
(手順に関する事項)

設計荷重の設定

構造物への静的負荷

荷重

直接的影響

降下火砕物による影響の選定  
・直接的影響

工・保

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止	降下火砕物の除去作業及び除去後における降下火砕物による静的荷重や腐食等の影響に対する保守管理	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>
	外気取入ダンパの閉止，換気空調系の閉止，閉回路循環運転	体制	(担当室による保守・点検の体制) (降下火砕物確認時の体制)
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>日常点検</li> <li>定期点検</li> <li>火山事象時及び火山事象後の巡視点検</li> </ul>
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>運用・手順・保守・点検に関する教育</li> </ul>
		運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>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，換気空調設備の閉止又は閉回路循環運転により、建屋内への降下火砕物の侵入を防止する。</li> </ul>
		体制	(運転員の当直体制) (降下火砕物確認時の体制)
		保守・点検	—
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>運用・手順・体制・保守点検に関する教育</li> </ul>

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	バグフイルタ, 吸気フイルタ取替・清掃作業	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>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イルタについて, 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。</li> <li>デューゼル発電機運転時は, 吸気フイルタの巡視点検を行い, 必要に応じて取替・清掃を行う。</li> </ul>
		体制	(運転員の当直体制) (降下火砕物確認時の体制)
		保守・点検	・火山事象時の巡視点検
		教育・訓練	・防護施設の保守・点検に関する教育



# 東海第二発電所

## 外部からの衝撃による損傷の防止

(竜巻)

## 第6条 外部からの衝撃による損傷の防止

(竜巻)

### <目次>

1. 基本方針
  - 1.1 要求事項の整理
  - 1.2 追加要求事項に対する適合性
    - (1) 位置, 構造及び設備
    - (2) 安全設計方針
    - (3) 適合性説明
  - 1.3 気象等
  - 1.4 設備等
  
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東海第二発電所における適合性を示す。

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

## 1. 基本方針

### 1.1 要求事項の整理

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

表 1 設置許可基準規則第 6 条及び技術基準規則第 7 条 要求事項

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

## 1.2 追加要求事項に対する適合性

### (1) 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。）又は地震及び津波を含む自然現象の組合せに遭遇した場合において，自然事象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

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

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

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

また，安全施設は，発電所敷地又はその周辺において想定され

る、航空機落下、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害の原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

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

ここで、想定される自然現象及び発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

- (a-1) 安全施設は、想定される竜巻が発生した場合においても、作用する設計荷重に対して、その安全機能を損なわない設計とする。また、安全施設は、過去の竜巻被害状況及び東海第二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、 $100\text{m/s}$  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た設計とする。

飛来物の発生防止対策として、飛来物となる可能性のあるもののうち、資機材、車両等については、飛来した場合の運動エネルギー又は貫通力が設定する設計飛来物である鋼製材（長さ 4.2m×幅 0.3m×高さ 0.2m、質量 135kg、飛来時の水平速度 51m/s、飛来時の鉛直速度 34m/s）より大きなものに対し、固縛、固定又は竜巻防護施設からの離隔を実施する。

【別添資料 1（3. : 1-47～72）】

## (2) 安全設計方針

### 1.7 竜巻防護に関する基本方針

#### 1.7.1 設計方針

##### (1) 竜巻に対する設計の基本方針

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



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

- a. 飛来物の衝突による施設の貫通及び裏面剥離
- b. 設計竜巻による風圧力による荷重，気圧差による荷重，及び設計飛来物による衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重（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

竜巻から防護する施設としては、安全施設が竜巻の影響を受ける場合においても、発電用原子炉施設の安全性を確保するために、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス1，クラス2及びクラス3に該当する構築物，系統及び機器とする。

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

竜巻防護施設については「1.7.1(3) 竜巻防護施設」にて記載する。竜巻防護施設を内包する施設については、「1.7.1(4) 竜巻防護施設を内包する施設」にて記載する。竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設については、「1.7.1(5) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設」にて記載する。

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

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

竜巻防護施設の安全機能を損なわないようにするため，竜巻防護施設に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策をするとともに，作用する設計荷重に対する竜巻防護施設の構造健全性の維持，竜巻防護施設を内包する区画の構造健全性の確保，若しくは，飛来物による損傷を考慮し安全上支障のない期間での修復等の対応，又は，それらを適切に組み合わせた設計とする。

屋外に設置する竜巻防護施設の構造健全性の維持又は竜巻防護施設を内包する区画の構造健全性の確保において，それらを防護するために設置する竜巻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，飛来物から竜巻防護施設を防護できる設計とする。

【別添資料1（1. : 1-1～13）】

## (2) 設計竜巻の設定

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

設計竜巻の設定に際して，東海第二発電所は敷地が平坦であるため，地形効果による風の増幅を考慮する必要はないことを確認したが，基準竜巻

の最大風速を安全側に切り上げて、設計竜巻の最大風速は 100m/s とする。

【別添資料 1 (2. : 1-14~46)】

(3) 竜巻防護施設

竜巻防護施設は、外殻となる施設（建屋，構築物）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「外殻となる施設による防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。））」という。），外殻となる施設（建屋，構築物）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「外殻となる施設による防護機能が期待できない施設」という。），外殻となる施設（建屋，構築物）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。）に分類し、以下のように抽出する。

a. 外殻となる施設による防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）

b. 外殻となる施設による防護機能が期待できない施設

外殻となる施設による防護機能が期待できない施設は、「1.7.1(4) 竜巻防護施設を内包する施設」として、抽出した建屋，構築物の構造健全性の評価を行い、外殻となる施設による防護機能が期待できない施設を抽出する。

(a) 中央制御室換気系ファン（空気調和器含む）

(b) 中央制御室換気系フィルタユニット

（以下(a)(b)を区別不要の場合は「中央制御室換気系ファン」という。）

- (c) 非常用電源盤
  - (d) 非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備
  - (e) 使用済燃料プール
  - (f) 燃料プール冷却浄化系真空破壊弁
  - (g) 使用済燃料乾式貯蔵容器
- c. 屋内の施設で外気と繋がっている施設及び屋外施設
- ＜屋内の施設で外気と繋がっている施設＞
- (a) 中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む）
  - (b) 非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト
  - (c) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト
- （以下(b)(c)を区別不要の場合は「ディーゼル発電機室換気系ダクト」という。）
- (d) 原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト
- ＜屋外施設＞
- (a) 非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ
  - (b) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気フィルタ
- （以下(a)(b)を区別不要の場合は「ディーゼル発電機吸気フィルタ」という。）
- (c) 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン
  - (d) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン
- （以下(c)(d)を区別不要の場合は「ディーゼル発電機室ルーフベントファン」という。）
- (e) 中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む）
  - (f) 残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む）
  - (g) 残留熱除去系海水系ストレーナ

- (h) 非常用ディーゼル発電機海水ポンプ（配管，弁含む）
- (i) 非常用ディーゼル発電機海水ストレーナ
- (j) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ポンプ（配管，弁含む）
- (k) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ストレーナ

（以下(f)～(k)を区別不要の場合は「海水ポンプ室内設備」という。）

- (l) 非常用ガス処理系排気配管
- (m) 排気筒

【別添資料 1（1.2.2（1）：1-3～7）】

(4) 竜巻防護施設を内包する施設

竜巻防護施設を内包する施設を，以下のとおり抽出する。

- (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）

【別添資料 1（1.2.2（1）：1-3～7）】

(5) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設としては，当該施設の破損等により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を損なわ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。

具体的には，発電所構内の構築物，系統及び機器（安全重要度クラス1，2，3及びノンクラス）の中から，竜巻防護施設に機械的影響を及ぼし得る施設及び竜巻防護施設に機能的影響を及ぼし得る施設を以下のとおり抽出する。

a. 竜巻防護施設に機械的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護施設に機械的影響を及ぼし得る施設としては、施設の高さと、竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設との距離を考慮して、竜巻防護施設を内包する施設に隣接している施設、倒壊により竜巻防護施設を損傷させる可能性がある施設を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る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

b. 竜巻防護施設に機能的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護施設に機能的影響を及ぼし得る施設としては、屋外にある竜巻防護施設の附属設備で、気圧差等による損傷により竜巻防護施設の安全機能を損なわせる可能性がある施設を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

- (a) 非常用ディーゼル発電機排気消音器
- (b) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器

(以下(a)(b)を区別不要の場合は「ディーゼル発電機排気消音器」という。)

- (c) 非常用ディーゼル発電機排気配管
- (d) 非常用ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管
- (e) 非常用ディーゼル発電機機関ベント管
- (f) 非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプルタンクベント管
- (g) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管
- (h) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管

- (i) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管
- (j) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機潤滑油サンプタンク  
ベント管

(以下(c)～(j)を区別不要の場合は「ディーゼル発電機附属設備配管」という。)

- (k) 残留熱除去系海水系配管（放出側）
- (l) 非常用ディーゼル発電機海水配管（放出側）
- (m) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水配管（放出側）

(以下(k)～(m)を区別不要の場合は「海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）」という。)

【別添資料 1 (1.2.2 (2) : 1-8～11)】

#### (6) 設計飛来物の設定

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

設計飛来物は、浮き上がりの有無、運動エネルギー及び貫通力を踏まえ、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原規技発 13061911 号 原子力規制委員会決定）」を参照して鋼製材を設定する。

また、竜巻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 1.7-1 表に東海第二発電所における設計飛来物を示す。

飛来物の発生防止対策については、現地調査により抽出した飛来物や持ち込まれる資機材、車両等の寸法、質量及び形状から飛来の有無を判断し、運動エネルギー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ー又は貫通力が設計飛来物によるものより大きく、竜巻防護施設を防護できない可能性があるものは固縛、固定又は竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設からの離隔を実施し、確実に飛来物とならない運用とする。

【別添資料 1 (3.3.1 (3) : 1-49~58)】

#### (7) 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. 評価対象施設に作用する設計竜巻荷重

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

##### (a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

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

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

ここで、

$W_w$  : 風圧力による荷重

$q$  : 設計用速度圧

$G$  : ガスト影響係数 (=1.0)

$C$  : 風力係数（施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）



に応じて設定する。)

A : 施設の受圧面積

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

ここで,

$\rho$  : 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せい弱と考えられる評価対象施設が存在する場合には、鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮した設計とする。

(b) 気圧差による荷重 ( $W_P$ )

外気と隔離されている区画の境界部が気圧差による圧力影響を受ける設備及び竜巻防護施設を内包する施設の建屋壁、屋根等においては、設計竜巻による気圧低下によって生じる評価対象施設の内外の気圧差による圧力荷重が発生し、保守的に「閉じた施設」を想定し次式のとおり算出する。

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

ここで,

$W_P$  : 気圧差による荷重

$\Delta P_{max}$  : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

(c) 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

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

【別添資料 1 (3.3.1 : 1-48~58)】

b. 設計竜巻荷重の組合せ

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

$$W_{T1} = W_P$$

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

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

【別添資料 1 (3.3.1 : 1-58~59)】

c. 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおり設定する。

(a) 評価対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重

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

(b) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は、積乱雲及び積雲に伴って発生する現象であり<sup>(1)</sup>、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、雹及び大雨である。これらの自然現象の組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ことから、設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として考慮しない。

i) 雷

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

ii) 雪

上昇流の竜巻本体周辺では、竜巻通過時に雪は降らない。また、下降流の竜巻通過時は、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) 雹

雹は積乱雲から降る直径 5mm 以上の氷の粒<sup>(2)</sup>であり、仮に直径 10cm 程度の大型の雹を想定した場合でも、その重量は約 0.5kg である。竜巻と雹が同時に発生する場合においても、直径 10cm 程度の雹の終端速度は  $59\text{m/s}$ <sup>(3)</sup>、運動エネルギーは約 0.9kJ であり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、雹の衝突荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

iv) 大雨

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

(c) 設計基準事故時荷重

竜巻防護施設は、設計竜巻によって安全機能を損なわない設計とするため、設計竜巻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、評価対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じ、竜巻による風荷重等の影響を受ける屋外設備としては動的機器である残

留熱除去系海水系ポンプ等が考えられるが、設計基準事故時においても残留熱除去系海水系ポンプ等の圧力及び温度が変わらず、運転時荷重が変化することはないため、設計基準事故により考慮すべき荷重はなく、竜巻と設計基準事故時荷重の組合せは考慮しない。

【別添資料 1 (3.3.2 : 1-60)】

#### d. 許容限界

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

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

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

- ・ 日本工業規格
- ・ 日本機械学会の基準、指針類

・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1987（日本電気協会）

等

【別添資料 1（3.4.1 : 1-61～62）】

(8) 評価対象施設の防護設計方針

評価対象施設の設計荷重に対する防護設計方針を以下に示す。

- a. 竜巻防護施設のうち、外殻となる施設による防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）

竜巻防護施設のうち、外殻となる施設による防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）は、建屋、構築物の外殻となる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。

ただし、外殻となる施設（建屋、構築物）の防護機能が期待できない場合には、「b. 外殻となる施設による防護機能が期待できない施設」のとおりとする。

- b. 竜巻防護施設のうち、外殻となる施設による防護機能が期待できない施設

外殻となる施設（建屋、構築物）に内包される竜巻防護施設のうち、外殻となる施設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。

- c. 竜巻防護施設のうち、屋内の施設で外気と繋がっている施設及び屋外施設

外殻となる施設に内包され防護される竜巻防護施設のうち、外気と繋がる施設は、設計荷重の影響を受けても、安全機能を損なわない設計とする。

屋外の竜巻防護施設は、設計荷重による影響により安全機能を損なわない設計とする。安全機能を損なう場合には、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実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

d. 竜巻防護施設を内包する施設

竜巻防護施設を内包する施設は、設計荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁、開口部（扉類）の破損により内包される竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突に対しては、貫通及び裏面剥離の発生により内包される竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

e. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設については、設計荷重による影響を受ける場合においても、竜巻防護施設に影響を及ぼさないよう、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、竜巻防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

以上の評価対象施設の防護設計を考慮して、設計竜巻から防護する施設及び竜巻防護対策等を第 1.7-2 表に、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設及び竜巻防護対策等を第 1.7-3 表に、竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻防護対策等を第 1.7-4 表に示す。

【別添資料 1（3.4.2 : 1-62～69）】

(9) 竜巻防護施設を内包する施設の設計

竜巻防護施設を内包する施設の設計においては、設計荷重に対して、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）の破損により施設内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により施設内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (1) : 1-64)】

a. 原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋は，風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物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，開口部（扉類）の破損により当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また，設計飛来物の衝突時においても，貫通及び裏面剥離の発生により，当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

なお，原子炉建屋原子炉棟外壁のブローアウトパネルについては，設計竜巻による気圧低下により開放する可能性があり，原子炉建屋原子炉棟の放射性物質の閉じ込め機能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。

【別添資料 1 (3.4.2 (1) : 1-64)】

b. 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) : 1-64)】

(10) 竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の設計

竜巻防護施設は、構造健全性を損なわないこと又は取替え、補修が可能なことにより、安全機能を損なわない設計とする。また、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設は、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、竜巻防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 : 1-62~69)】

- a. 竜巻防護施設のうち、外殻となる施設による防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）

外殻となる施設による防護される竜巻防護施設（外気と繋がっている施設を除く。）は、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に内包され、設計荷重から防護されることによつて、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (1) : 1-62)】

- b. 竜巻防護施設のうち、外殻となる施設による防護機能が期待できない施設

原子炉建屋附属棟については、設計飛来物の衝突により開口部建具等を貫通することを考慮し、開口部建具付近の竜巻防護施設のうち、設計飛来物の衝突により影響を受ける可能性がある中央制御室換気系ファン、非常用電源盤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部付近の竜巻防護施設のうち、設計飛来物の衝突により影響を受ける可能性がある非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備、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、設計飛来物の衝突に対し、建屋上部の開口部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竜巻防護施設で、設計飛来物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) : 1-66~67)】

(a) 中央制御室換気系ファン

中央制御室換気系ファンは、設計飛来物の衝突により、原子炉建屋附属棟 4 階開口部建具に貫通が発生することを考慮し、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、中央制御室換気系ファンの構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (3) : 1-66)】

(b) 非常用電源盤

非常用電源盤は、設計飛来物の衝突により、原子炉建屋附属棟 1 階電気室扉に貫通が発生することを考慮し、電気室扉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、非常用電源盤の構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (3) : 1-66)】

(c) 非常用ガス処理系設備，非常用ガス再循環系設備

非常用ガス処理系設備，非常用ガス再循環系設備は、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。また、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、竜巻襲来による気圧低下により開放されることを考慮しても、ブローアウトパネルの配置高さを考慮すると、設計飛来物は到達しな

いため、衝撃荷重は作用しない。

以上より、非常用ガス処理系設備、非常用ガス再循環系設備には、設計竜巻荷重は作用せず、構造健全性が維持され安全機能を損なわない。

【別添資料 1 (3.4.2 (3) : 1-66)】

(d) 使用済燃料プール、燃料プール冷却浄化系真空破壊弁

使用済燃料プール、燃料プール冷却浄化系真空破壊弁は、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。また、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、竜巻襲来による気圧低下により開放されることを考慮しても、ブローアウトパネルの配置高さを考慮すると、設計飛来物は到達しないため衝撃荷重は作用しない。

以上より、使用済燃料プール、燃料プール冷却浄化系真空破壊弁には設計竜巻荷重が作用せず、構造健全性が維持され安全機能を損なわない。

【別添資料 1 (3.4.2 (3) : 1-67)】

(e) 使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器は、建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び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貫通が発生することを考慮し、設計飛来物の衝撃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 (3) : 1-67)】

c. 竜巻防護施設のうち、屋内の施設で外気と繋がっている施設及び屋外施設

<屋内の施設で外気と繋がっている施設>

(a) 中央制御室換気系隔離弁，ファン

中央制御室換気系隔離弁，ファンは，建屋に内包されていることを考慮すると，風圧力による荷重は作用しない。さらに，中央制御室換気系の取入口の建屋開口部を設計飛来物が貫通し，中央制御室換気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，中央制御室換気系に常時作用する荷重に対して，構造健全性が維持され，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (2) : 1-65)】

(b) ディーゼル発電機室換気系ダクト

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

【別添資料 1 (3.4.2 (2) : 1-65)】

(c) 原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト

原子炉建屋換気系隔離弁，ダクトは，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，原子炉建屋附属棟 4 階開口部建具に貫通が発生することを考慮し，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，原子炉建屋換気系に常時作用する荷重に対して，構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (2) : 1-65)】

<屋外施設>

(a) ディーゼル発電機吸気フィルタ

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

【別添資料1 (3.4.2 (1) : 1-62)】

(b) ディーゼル発電機室ルーフトファン

ディーゼル発電機室ルーフトファンは，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) : 1-62~63)】

(c) 中央制御室換気系冷凍機

中央制御室換気系冷凍機は，設計飛来物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) : 1-63)】

(d) 海水ポンプ室内設備

海水ポンプ室内設備は，設計飛来物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海水ポンプ室内設備に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (1) : 1-63)】

(e) 非常用ガス処理系排気配管

非常用ガス処理系排気配管は、設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても、閉塞することはなく、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) : 1-63)】

(f) 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) : 1-63～64)】

d. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

(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、倒壊により竜巻防護施設を内包する施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (4) : 1-67)】

(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、倒壊により竜巻防護施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (4) : 1-68)】

(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、倒壊により竜巻防護施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (4) : 1-68)】

(d) 排気筒

排気筒は、竜巻防護施設として、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計としており、転倒により竜巻防護施設を内包する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) : 1-68)】

(e) ディーゼル発電機排気消音器

ディーゼル発電機排気消音器は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、ディーゼル発電機排気消音器が閉塞することがなく、ディーゼル発電機等の排気機能が維持される設計とする。さらに、ディーゼル発電機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、ディーゼル発電機排気消音器が、竜巻防護施設であるディーゼル発電機等に機能的影響を及ぼさず、ディーゼル発電機等が安全機能を損なうことのない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (4) : 1-68)】

(f) ディーゼル発電機附属設備配管

ディーゼル発電機附属設備配管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、ディーゼル発電機附属設備配管が閉塞することがなく、ディーゼル発電機等の排気機能等が維持される設計とする。さらに、ディーゼル発電機附属設備配管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及びディーゼル発電機附属設備配管に常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

以上より、ディーゼル発電機附属設備配管が、竜巻防護施設であるディーゼル発電機等に機能的影響を及ぼさず、ディーゼル発電機等が安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (4) : 1-68～69)】

(g) 海水ポンプ室内設備配管（放出側）

海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）が閉塞することがなく、海水ポンプ室内設備の機能等が維持される設計とする。さらに、海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）に常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

以上より、海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）が、竜巻防護施

設である海水ポンプ室内設備に機能的影響を及ぼさず、海水ポンプ室内設備が安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.4.2 (4) : 1-69)】

(11) 竜巻随件事象に対する評価

竜巻随件事象として、過去の竜巻被害事例及び東海第二発電所の施設の配置から想定される事象とし、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、竜巻防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (3.5 : 1-69～71)】

a. 火災

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

建屋内については、設計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、竜巻防護施設を設置している区画の開口部には防護ネット設置等の飛来物防護対策を行うことを考慮すると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、建屋内の竜巻防護施設の安全機能を損なうことはない。

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。竜巻防護施設は外部火災影響評価対象施設に包含されることから、外部火災評価における発電所敷地内の危険物タンクの火災影響評価と同様であり、火災源と外部火災影響評価対象施設の位置関係を踏まえて火



災の影響を評価した上で、外部火災影響評価対象施設が安全機能を損なわない設計とすることを「1.9 外部火災防護に関する基本方針」に記載する。

以上より、竜巻随件事象としての火災に対して竜巻防護施設は安全機能を損なわない。

【別添資料1 (3.5 (1) : 1-70)】

#### b. 溢水

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

竜巻防護施設を内包する建屋内については、設計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、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、竜巻防護施設を設置している区画の開口部には、原子炉施設の安全機能を損なう可能性がある溢水源が配置されておらず、防護ネット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い、建屋内の竜巻防護施設の安全機能を損なうことはない。

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、竜巻随件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、竜巻防護施設の安全機能維持に損なわない。

以上より、竜巻随件事象としての溢水に対して竜巻防護施設は安全機能を損なわない。

【別添資料 1 (3.5 (2) : 1-70～71)】

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

【別添資料 1 (3.5 (3) : 1-71)】

1.7.2 手順等

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

- (1) 屋外の作業区画で飛散する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ー及び貫通力等を評価し、竜巻防護施設への影響の有無を確認する。竜巻防護施設への影響を及ぼす資機材、車両等については、固縛、固定、竜巻防護施設、竜巻防護施設を内包する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。

【別添資料 1 (3.3.1 (3) : 1-54～56)】

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

第 1.7-1 表 東海第二発電所における設計飛来物

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

【別添資料 1 (3.3.1 (3) : 1-57)】

第 1.7-2 表 設計竜巻から防護する施設及び竜巻対策等 (1 / 3)

設計竜巻から防護する施設	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)	想定する設計飛来物	手順等	
ディーゼル発電機吸気フィルタ	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 固縛</li> <li>・ 固定</li> <li>・ 竜巻防護施設他との離隔</li> </ul>	—	鋼製材 砂利	補修	
ディーゼル発電機室ルーフトファン			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	
海水ポンプ室内設備			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	
中央制御室換気系ファン			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

第 1.7-2 表 設計竜巻から防護する施設及び竜巻対策等 (2 / 3)

設計竜巻から防護する施設	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)	想定する設計飛来物	手順等
非常用電源盤	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 固縛</li> <li>・ 固定</li> <li>・ 竜巻防護施設他との離隔</li> </ul>	施設を内包する施設増厚した防護扉	—	防護扉の閉止確認
非常用ガス処理系設備			施設を内包する施設	—	—
非常用ガス再循環系設備			施設を内包する施設	—	—
使用済燃料プール			施設を内包する施設	—	—
燃料プール冷却浄化系真空破壊弁			施設を内包する施設	—	—
使用済燃料乾式貯蔵容器			施設を内包する施設	鋼製材	—
中央制御室換気系隔離弁, ファン (ダクト含む)			施設を内包する施設	—	—
ディーゼル発電機換気系ダクト			施設を内包する施設	—	—
原子炉建屋換気系隔離弁, ダクト	施設を内包する施設	施設を内包する施設補強した防護扉等	—	—	

第1.7-2表 設計竜巻から防護する施設及び竜巻対策等 (3/3)

設計竜巻から防護する施設	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)	想定する設計飛来物	手順等
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	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 固縛</li> <li>・ 固定</li> <li>・ 竜巻防護施設他との離隔</li> </ul>	施設を内包する施設	—	—
安全重要度分類クラス3に属する施設					
上記以外の耐震Sクラス施設			—	—	代替設備の確保 補修, 取替等

第 1.7-3 表 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設及び竜巻対策等

竜巻防護施設を内包する施設	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)	想定する設計飛来物	手順等
サービス建屋	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 固縛</li> <li>・ 固定</li> <li>・ 竜巻防護施設他との離隔</li> </ul>	—	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
ディーゼル発電機排気消音器			—	鋼製材 砂利	—
ディーゼル発電機附属設備配管			—	鋼製材 砂利	—
海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）			—	鋼製材 砂利	—

第1.7-4表 竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻対策等

竜巻防護施設を内包する施設	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)	想定する設計飛来物	手順等
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	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 固縛</li> <li>・ 固定</li> <li>・ 竜巻防護施設他との離隔</li> </ul>	—	鋼製材 砂利	—



### (3) 適合性説明

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ。

3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

#### 適合のための設計方針

##### 1 について

##### (2) 竜巻

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

##### a. 飛来物の発生防止対策

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

- ・ 竜巻防護施設へ影響を及ぼす資機材及び車両については、固縛、固定、

竜巻防護施設からの離隔，頑健な建屋内収納又は撤去する。

b. 竜巻防護対策

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

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

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

1.12 参考文献

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

## 1.3 気象等

### 8. 竜巻

#### 8.1 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 : 1-14）】

##### 8.1.1 竜巻検討地域の設定

東海第二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、東海第二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」<sup>(1)</sup>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」<sup>(2)</sup>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 つに分類する。なお、低気圧には、暖気のみ移入、寒気のみ移入、停滞前線以外の前線を、停滞前線では梅雨前線を、局所的降雨では雷雨を含めている。第 8.1-1 図に総観場ごとの竜巻発生位置の分布を示す。

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 : 1-15~17)】

## (2) 総観場の分析に基づく地域特性の確認

竜巻発生地域性が見られる台風起因の発生領域から、太平洋側の宮城県～沖縄県にかけての範囲を考慮する。東海第二発電所はこの範囲に立地しており、太平洋側の宮城県～沖縄県を基本として、竜巻の発生頻度の観点から総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域  $TA_1$  の検討を行う。

東海第二発電所から半径 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、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 : 1-18~19)】

## (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」<sup>(3)</sup> に、全国 19 箇所の竜巻集中地域が示されており、第 8.1-4 図に示すとおり、東海第二発電所は、竜巻集中地域⑰に立地している。

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 : 1-20)】

#### (4) 竜巻検討地域

東海第二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沿岸の海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲を竜巻検討地域に設定する。(面積約 57,000km<sup>2</sup>)。

第 8.1-5 図に竜巻検討地域を示す。

【別添資料 1 (2.2.4 : 1-21)】

### 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 F 3 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 F 3 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 F 3 スケール相当以上の竜巻の観測記録を示す。

【別添資料 1 (2.3.1 : 1-22)】

(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」<sup>(2)</sup>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 全域の範囲）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 : 1-23~36)】

a. 海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km 全域の評価

本評価では、竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した陸上発生竜巻も発生数にカウントする。被害幅及び被害長さは、それぞれ被害全幅及び被害全長を用いる。

【別添資料 1 (2.3.2 : 1-23)】

b. 竜巻の発生頻度の分析

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

- (a) 被害が小さくて見過ごされやすい F 0 及び F スケール不明竜巻に対しては、観測体制が強化された 2007 年以降の年間発生数及び標準偏

差を用いる。

(b) 被害が比較的軽微な F 1 竜巻に対しては、観測体制が整備された 1991 年以降の年間発生数や標準偏差を用いる。

(c) 被害が比較的大きく見逃されることがないと考えられる F 2 及び F 3 竜巻に対しては、観測記録が整備された 1961 年以降の全期間の年間発生数や標準偏差を用いる。

また、F スケール不明の竜巻については、以下の取扱いを行う。

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

海上で発生し、その後上陸しなかった竜巻（以下「海上竜巻」という。）については、その竜巻のスケールを推定することは困難であることから、「海岸線から海上 5km の範囲における海上竜巻の発生特性が、海岸線から内陸 5km の範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である。」という仮定に基づいて各 F スケールに分類する。その結果、F スケール不明の海上竜巻の取扱いにより、第 8.1-3 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 : 1-24~26)】

#### 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」<sup>(2)</sup>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。

東海第二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 : 1-27~28)】

#### 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」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 : 1-29~31）】

e. 竜巻影響エリアの設定

竜巻影響エリアは、東海第二発電所の評価対象施設の面積及び設置位置を考慮して、評価対象施設を包絡する円形のエリア（直径 300m、面積約  $7.1 \times 10^4 \text{m}^2$ ）として設定する。（第 8.1-9 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 : 1-31~32）】

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) <sup>(4)</sup> で示される。

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

ここで,

N : 竜巻の年発生数

$\nu$  : 竜巻の年平均発生数

T : 年数

$\beta$  は, 分布パラメータであり式 (b) で示される。

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

ここで,

$\sigma$  : 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。

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

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<sup>2</sup>) , 1 つの竜巻の風速が  $V_0$  以上となる面積を  $DA(V_0)$  とすると式 (d) で示される。

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

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<sub>0</sub>) の期待値を算出し、式 (d) によりR (V<sub>0</sub>) を推定し、式 (c) によりP<sub>V<sub>0</sub>, T</sub> (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<sub>0</sub>) の期待値は式 (e) <sup>(5)</sup> で示される。

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

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<sup>4</sup>m<sup>2</sup>）を表わす。円の直径をD<sub>0</sub>とした場合の計算式は、式 (f) で示される。

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

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<sub>0</sub>) は竜巻風速がV<sub>0</sub>以上となる幅であり、式 (g) <sup>(5)</sup> <sup>(6)</sup> 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。

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

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. <sup>(6)</sup> 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. <sup>(6)</sup> では、 $V_{\min}$  は  $=40\text{mph} \doteq 18\text{m/s}$  ( $1\text{mph} \doteq 1.61\text{km/h}$ ) 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、 $V_{\min} = 25\text{m/s}$  とした。この値は、F0（17～32 m/s）のほぼ中央値に相当する。

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

（第 8.1-10 図）

【別添資料 1（2.3.6 : 1-33～35）】

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 全域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  $80\text{m/s}$  が最大となる。（第 8.1-11 図）

【別添資料 1（2.3.6 : 1-35～36）】

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、 $80\text{m/s}$  とする。（第 8.1-12 図）

【別添資料 1（2.3.7 : 1-36）】

(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  $V_{B1} = 92\text{m/s}$  及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速  $V_{B2} = 80\text{m/s}$  より、東海第二発電所における基準竜巻の最大風速  $V_B$  は  $92\text{m/s}$  とする。

【別添資料 1（2.3.9 : 1-40）】

### 8.1.3 設計竜巻の最大風速の設定

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

#### (1) 東海第二発電所周辺の地形

東海第二発電所敷地周辺の地形を第 8.5-1 図に示す。

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。

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

【別添資料 1 (2.4.1 (2) : 1-42~43)】

#### (2) 設計竜巻の最大風速 $V_D$

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

【別添資料 1 (2.4.1 (3) : 1-43)】

#### 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<sup>(7)</sup>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」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）：1-44）】

##### (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<sup>(7)</sup>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）：1-44）】

##### (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」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。

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

【別添資料 1 (2.4.2 (1) : 1-44)】

(4) 設計竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ )

設計竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ ) は、ガイドに基づき、米国 NRC の基準類<sup>(7)</sup>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、

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

【別添資料 1 (2.4.2 (1) : 1-44)】

(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<sup>(7)</sup>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) : 1-44)】

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

【別添資料 1 (2.2.2 : 1-19)】

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 F 3 スケール相当以上の竜巻の観測記録

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

【別添資料 1 (2.3.1 : 1-22)】

第 8.1-3 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	<b>1188</b>
		平均値 (個/年)	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差 (個/年)	0.46	1.33	2.87	6.8	7.42

【別添資料 1 (2.3.2 : 1-25)】

第 8.1-4 表 最大風速，被害幅及び被害長さの対数値の相関係数

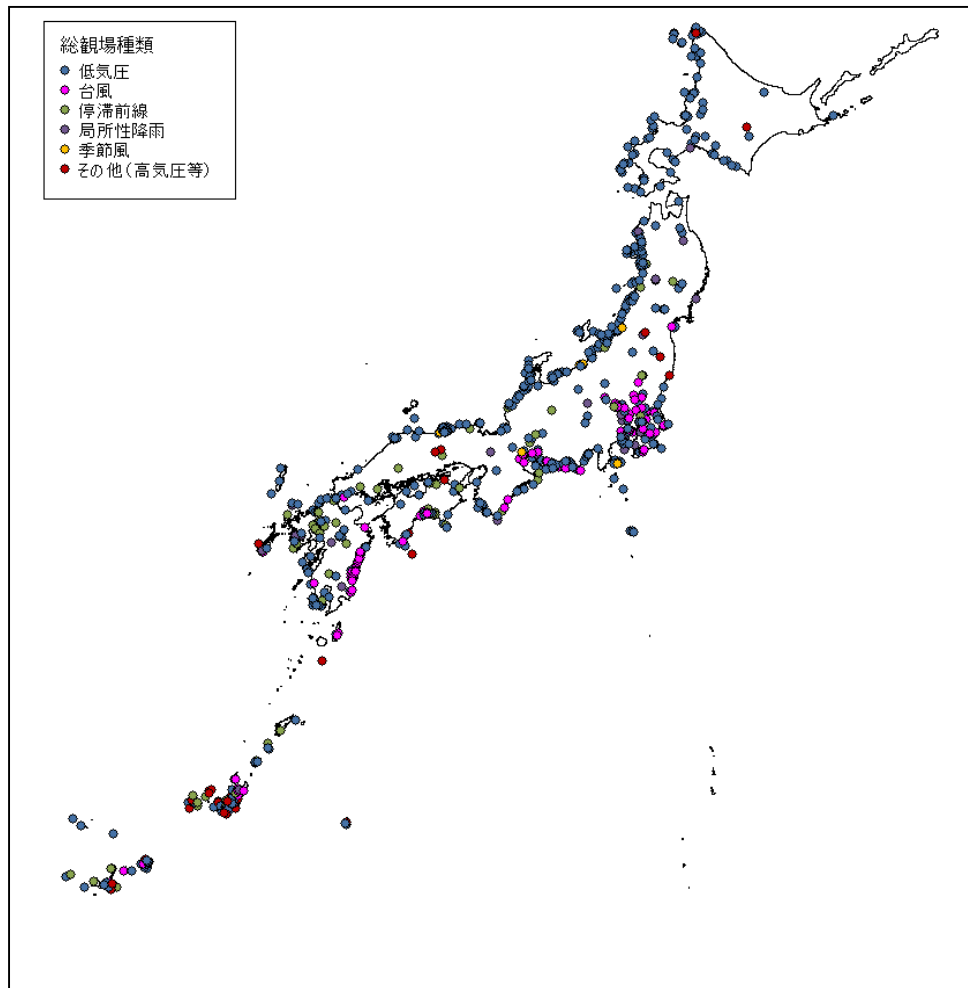
相関係数の値	最大風速	被害幅	被害長さ
最大風速	1.000	0.381	0.452
被害幅	—	1.000	0.381
被害長さ	—	—	1.000

【別添資料 1 (2.3.4 : 1-31)】

第 8.1-5 表 設計竜巻の特性値

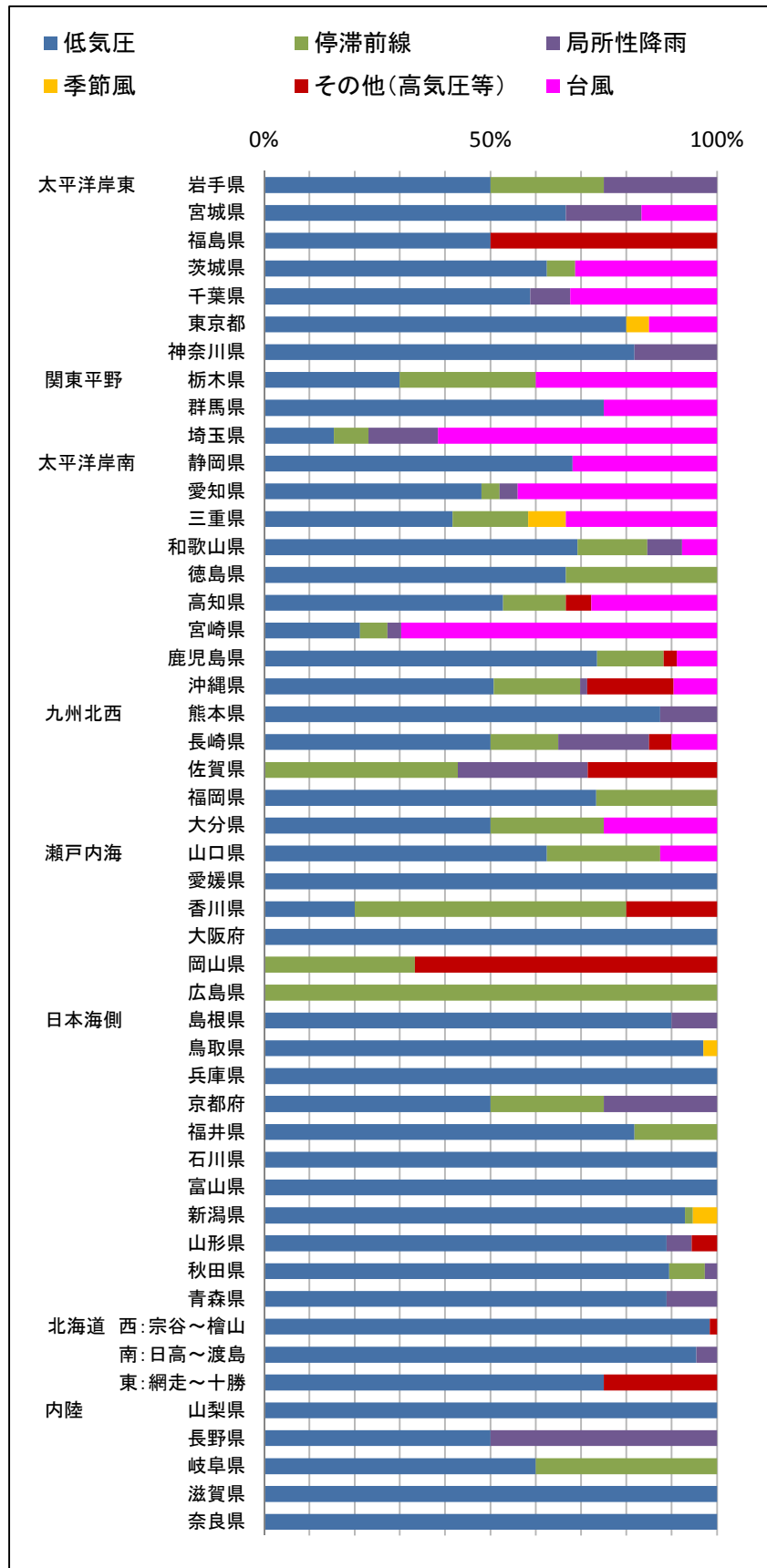
設計竜巻の 最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線 風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大接線 風速半径 $R_m$ (m)	最大気圧 低下量 $\Delta P_{max}$ (hPa)	最大気圧 低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

【別添資料 1 (2.4.2 : 1-45)】



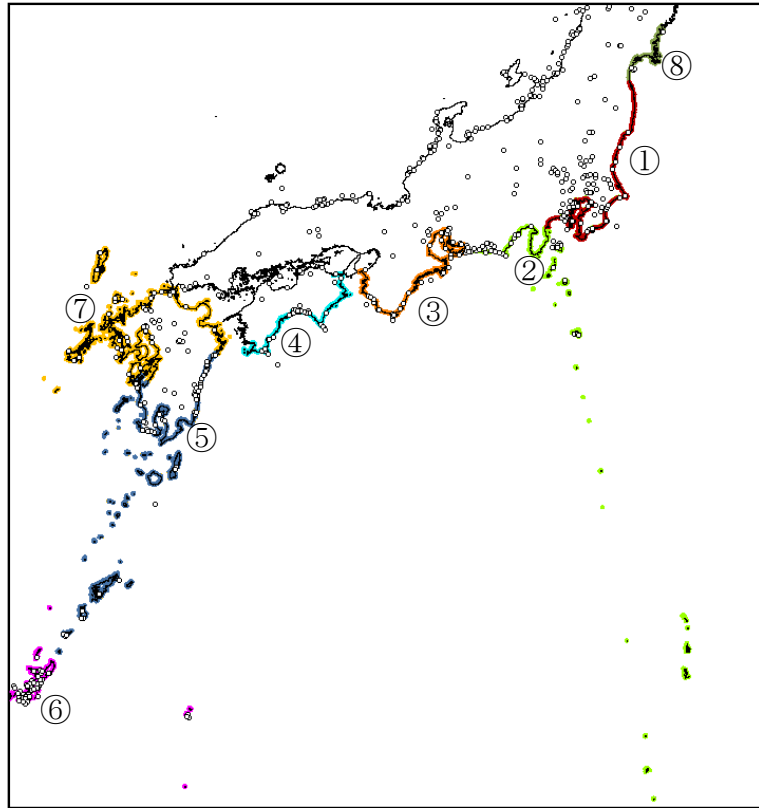
第 8.1-1 図 竜巻発生時の総観場の分布(1961年1月~2012年6月)

【別添資料 1 (2.2.1 : 1-16)】



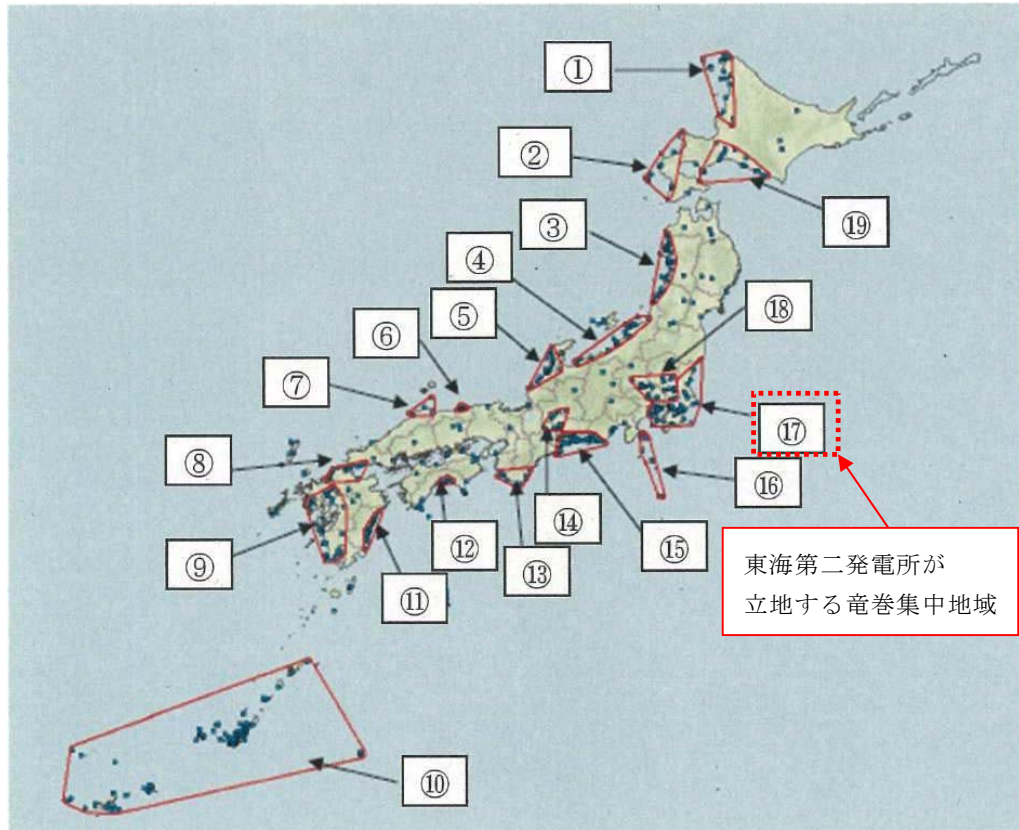
第 8.1-2 図 各都道府県での発生要因別比率

【別添資料 1 (2.2.1 : 1-17)】



第 8.1-3 図 竜巻検討地域 T A<sub>1</sub> の検討領域

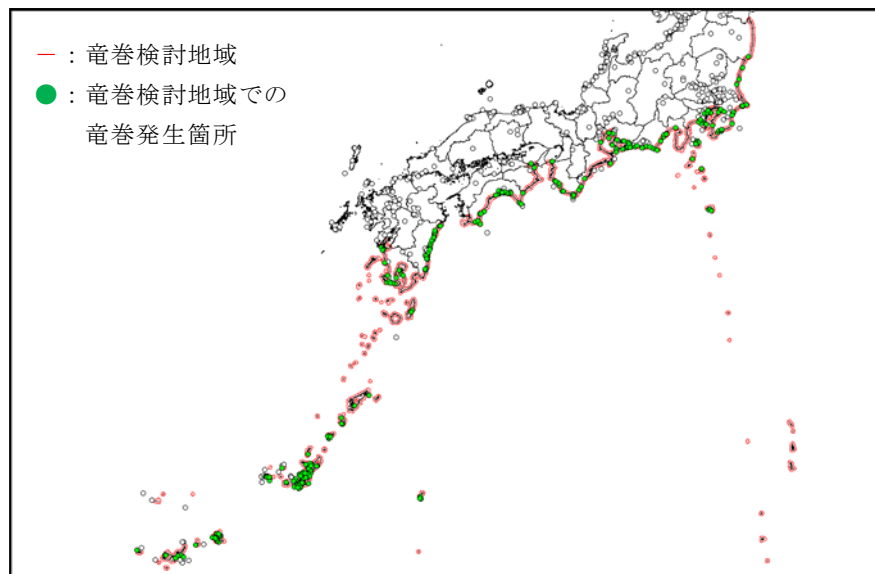
【別添資料 1 (2.2.2 : 1-19)】



第 8.1-4 図 竜巻の発生する地点と竜巻が集中する 19 の地域

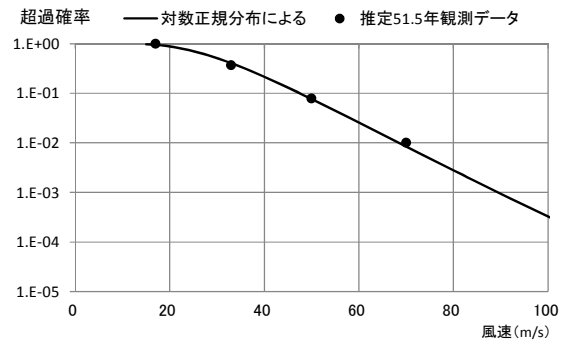
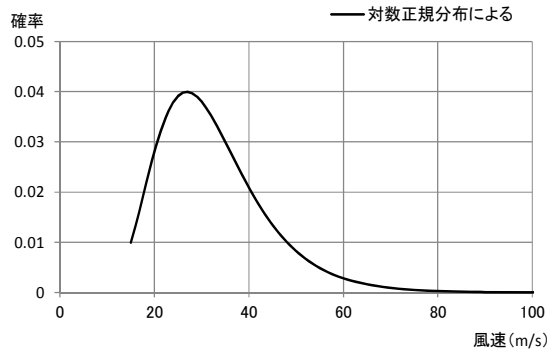
(「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説」より引用)

【別添資料 1 (2.2.3 : 1-20)】

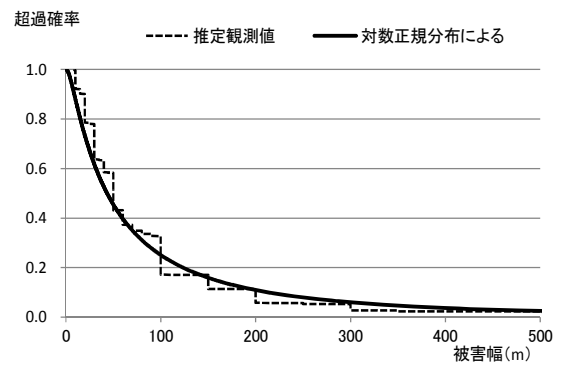
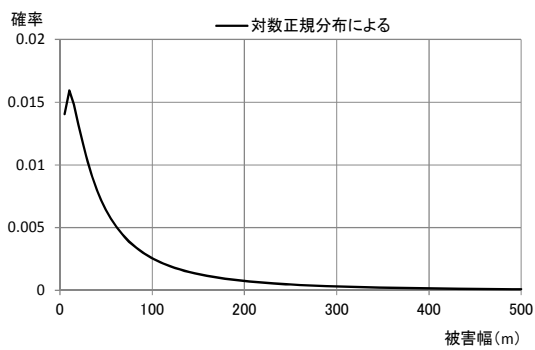


第8.1-5図 竜巻検討地域

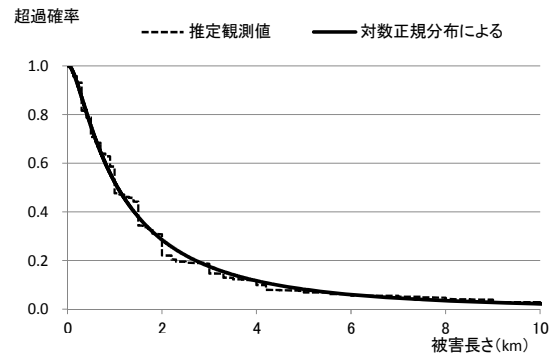
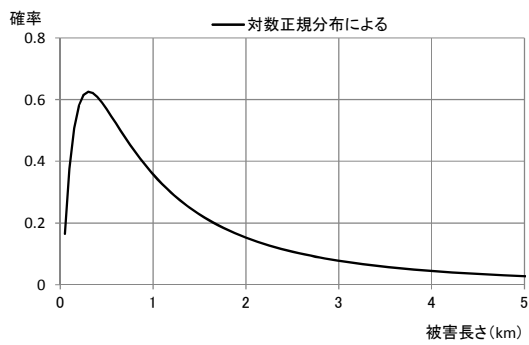
【別添資料 1 (2.2.4 : 1-21)】



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）



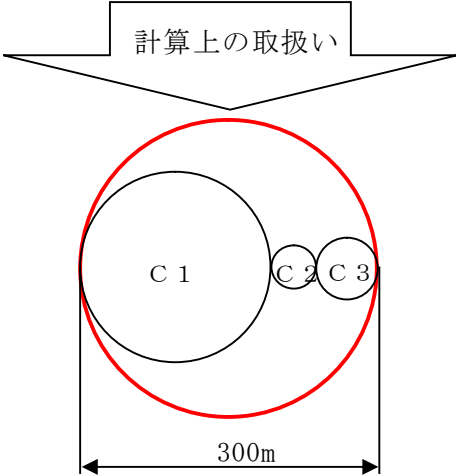
第 8.1-8 図 被害長さの確率密度分布（左）と超過確率分布（右）

【別添資料 1（2.3.4 : 1-30）】



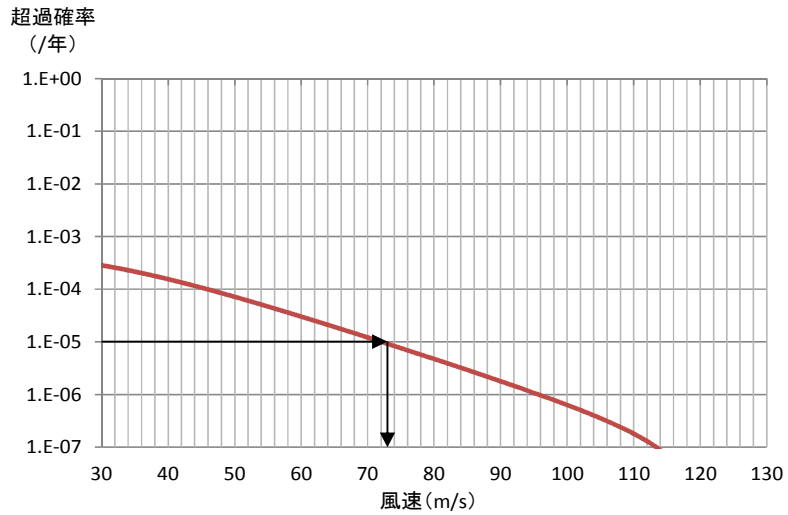


は、商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。



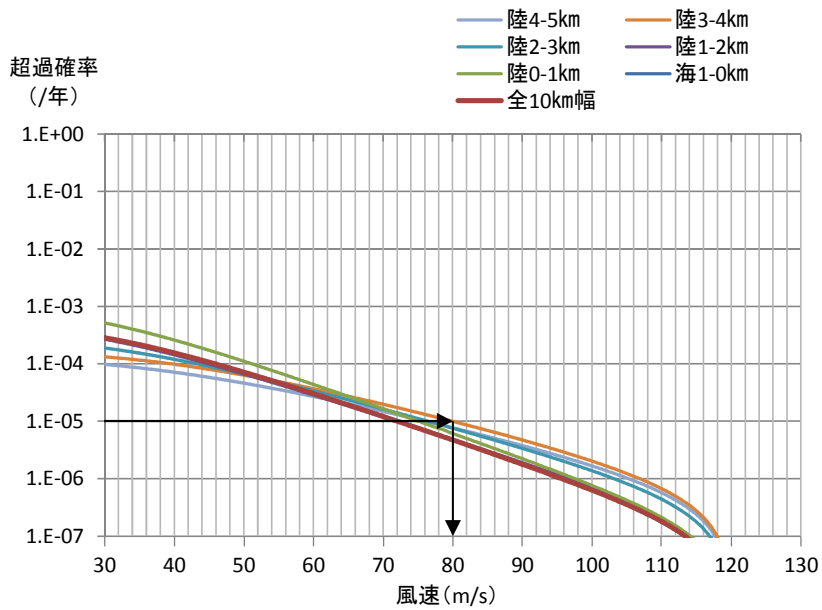
第 8.1-9 図 竜巻影響エリア

【別添資料 1 (2.3.5 : 1-32)】



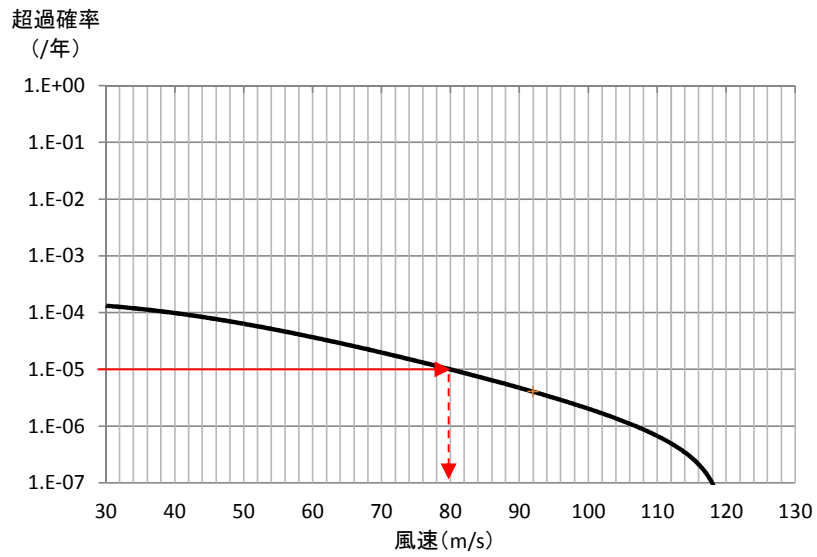
第 8.1-10 図 竜巻最大風速のハザード曲線（海側，陸側 5km 範囲）

【別添資料 1（2.3.6 : 1-35）】



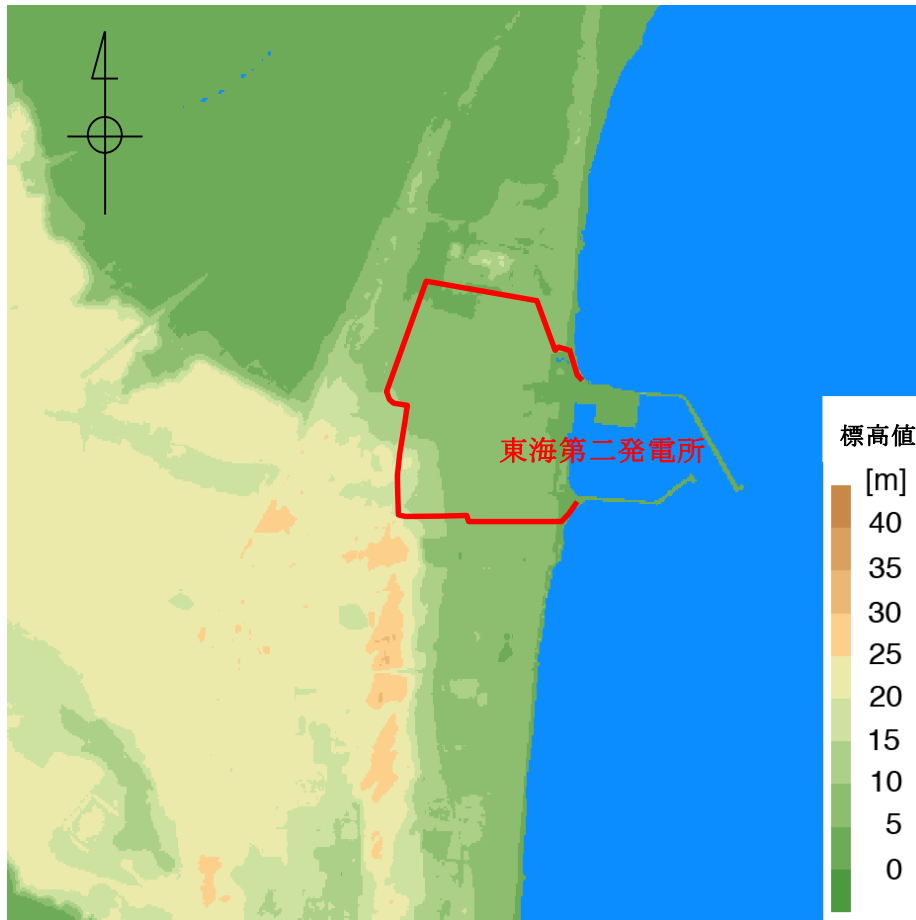
第 8.1-11 図 竜巻検討地域を 1km 幅毎に細分化した場合のハザード曲線

【別添資料 1（2.3.6 : 1-36）】



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 : 1-40)】



第 8.1-13 図 東海第二発電所を中心とした東西 3km×南北 3km の地形  
 (国土地理院 5m メッシュ標高データに加筆)

【別添資料 1 (2.4.1 : 1-43)】

## 8.7 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.

#### 1.4 気象等

該当なし

## 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。

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 評価対象施設に作用する荷重	12
1.2.3.3 施設の安全性の確認方針	13
2. 基準竜巻・設計竜巻の設定	14
2.1 概要	14
2.2 竜巻検討地域の設定	14
2.2.1 気象総観場の分析	15
2.2.2 総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域 $T A_1$ の設定	18
2.2.3 竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域 $T A_2$ の設定	20
2.2.4 竜巻検討地域 $T A$ の設定	21
2.3 基準竜巻の最大風速 ( $V_B$ ) の設定	22
2.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速 ( $V_{B1}$ )	22
2.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 ( $V_{B2}$ )	23
2.3.3 発生頻度の分析	24
2.3.4 竜巻風速, 被害幅, 被害長さの確率密度分布並びに相関係数	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	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	59
3.4	評価対象施設の設計方針	61
3.4.1	許容限界	61
3.4.2	設計方針	62
3.5	竜巻随伴事象に対する評価	69

## 添付資料

1. 竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出について  
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. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出について
4. 竜巻検討地域の設定について
5. 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
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

10. 竜巻時に発生する雹の影響について
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件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) 東海第二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竜巻防護施設の構造健全性等の評価を行い、必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることの確認

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

## 1.2 評価の基本方針

### 1.2.1 竜巻から防護する施設の抽出【添付資料1】

竜巻から防護する施設（以下「竜巻防護施設」という。）は、安全施設が竜巻の影響を受ける場合においても原子炉施設の安全性を確保するために、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」のクラス1、2及び3の設計を要求される構築物、系統及び機器とする。

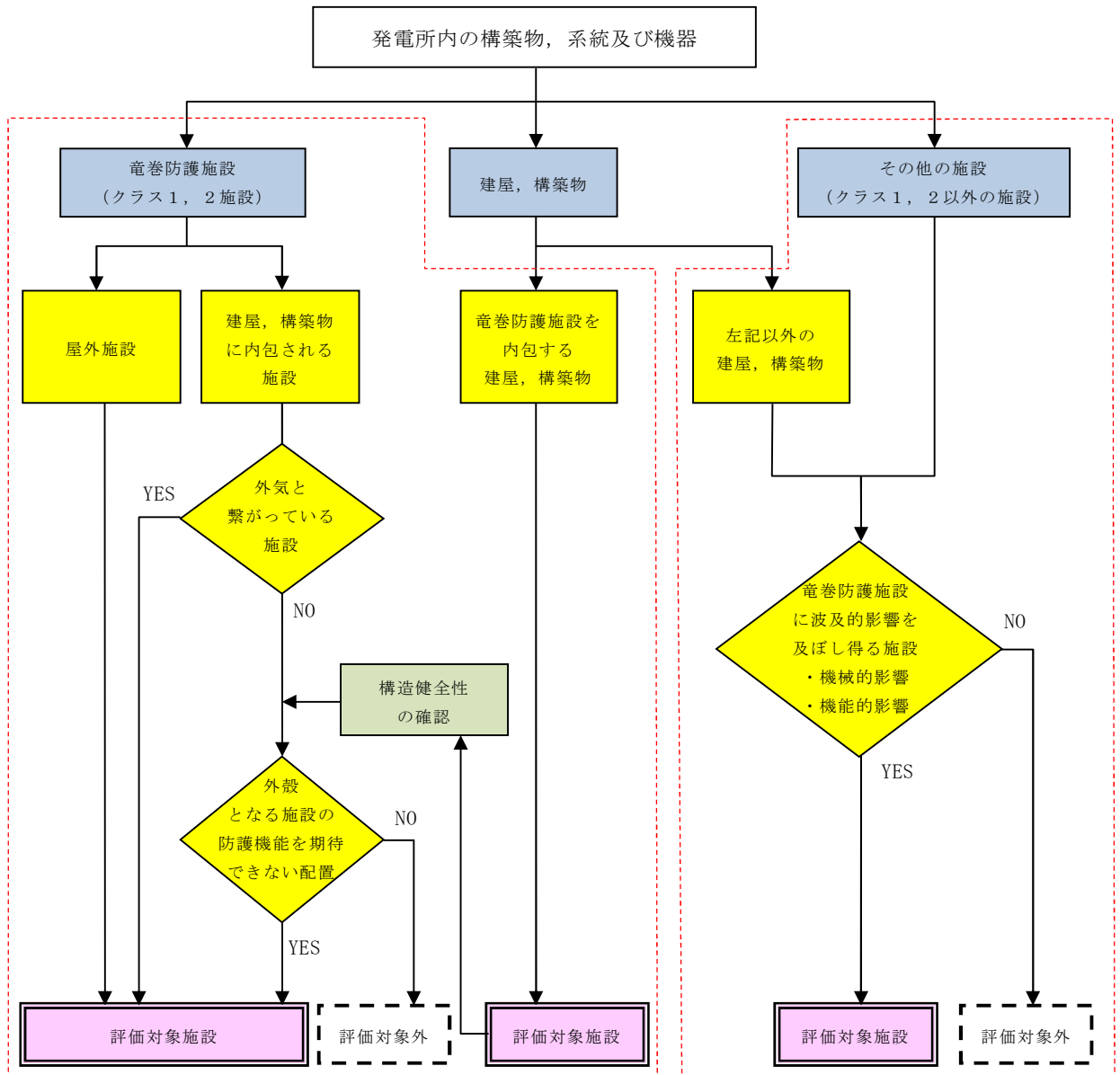
ただし、クラス3に属する施設については、竜巻及びその随件事象による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な設計とすることで、安全機能を損なわない設計とすることから、以降「竜巻防護施設」という場合は、クラス1及び2に属する施設を指すものとする。

### 1.2.2 竜巻影響評価の対象施設

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

評価対象施設の抽出フローを第1.2.2-1図に示す。

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



第 1.2.2-2 図

第 1.2.2-4 図

第 1.2.2-1 図 評価対象施設の抽出フロー

(1) 竜巻防護施設

竜巻防護施設のうち、評価対象施設として、屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む）、屋内の施設で外気と繋がっている施設及び外殻となる施設（建屋、構築物）による防護機能が期待できない施設を抽出する。

なお、外殻となる施設による防護機能が期待できない施設については、竜巻防護施設を内包する施設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施設（の区画）に内包される竜巻防護施設については、当該外殻施設により防護されることから、個別評価は実施しない。

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

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

a. 屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む）

(a) 非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ

(b) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気フィルタ

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

(c) 非常用ディーゼル発電機室ルーフトファン

(d) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフトファン

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

(e) 中央制御室換気系冷凍機（配管， 弁含む）

(以下(e)を「中央制御室換気系冷凍機」という。)

(f) 残留熱除去系海水系ポンプ（配管， 弁含む）

(g) 残留熱除去系海水系ストレーナ

(h) 非常用ディーゼル発電機海水ポンプ（配管， 弁含む）

(i) 非常用ディーゼル発電機海水ストレーナ

(j) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ポンプ（配管， 弁含む）

(k) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ストレーナ

(以下(f)～(k)を区別不要の場合は、「海水ポンプ室内設備」という。)



- (l) 非常用ガス処理系排気配管
- (m) 排気筒

<以下、竜巻防護施設を内包する施設>

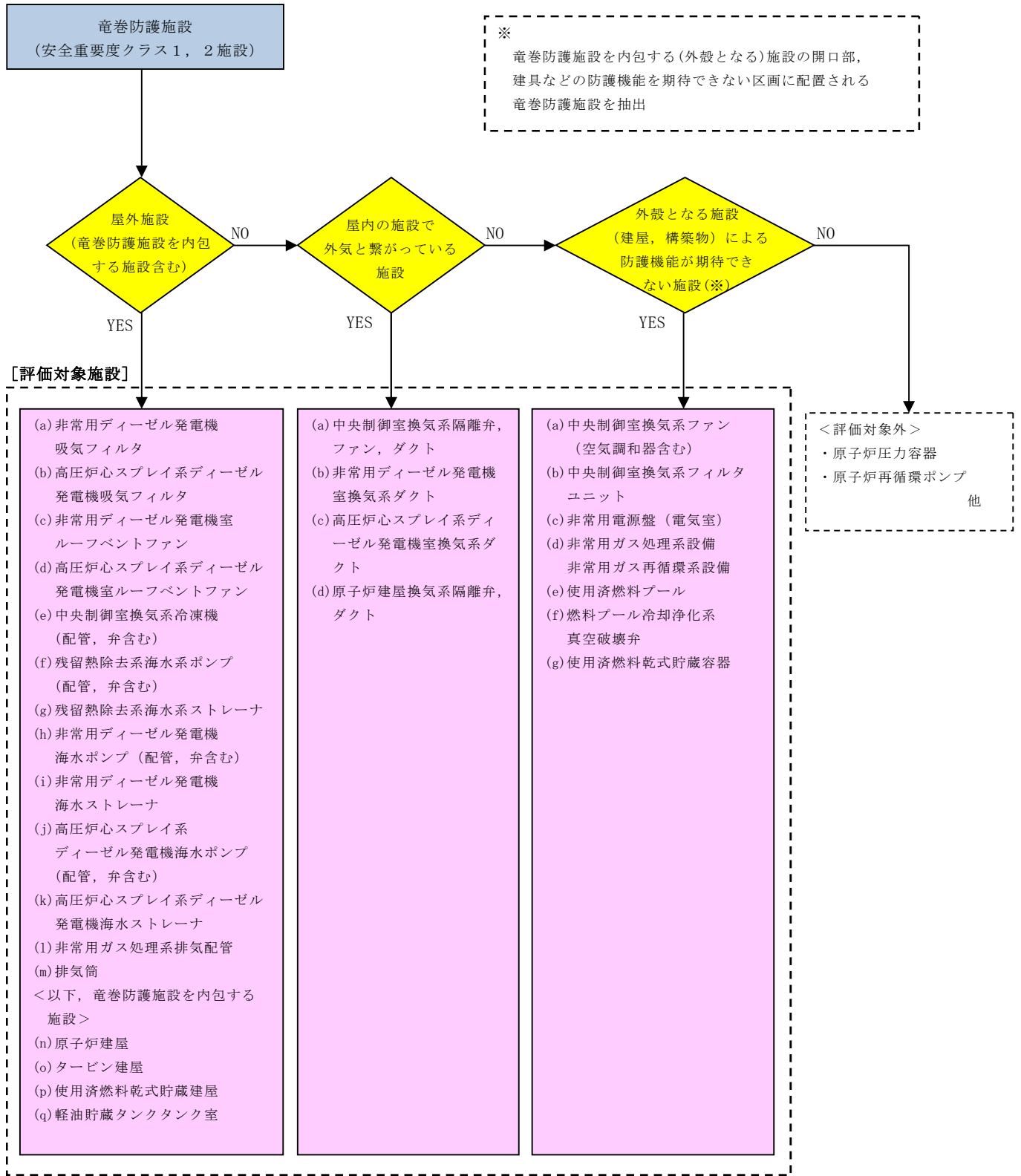
- (n) 原子炉建屋（原子炉圧力容器，原子炉再循環ポンプ等を内包）
- (o) タービン建屋（気体廃棄物処理系隔離弁等を内包）
- (p) 使用済燃料乾式貯蔵建屋（使用済燃料乾式貯蔵容器を内包）
- (q) 軽油貯蔵タンクタンク室（軽油貯蔵タンクを内包）

b. 屋内の施設で外気と繋がっている施設

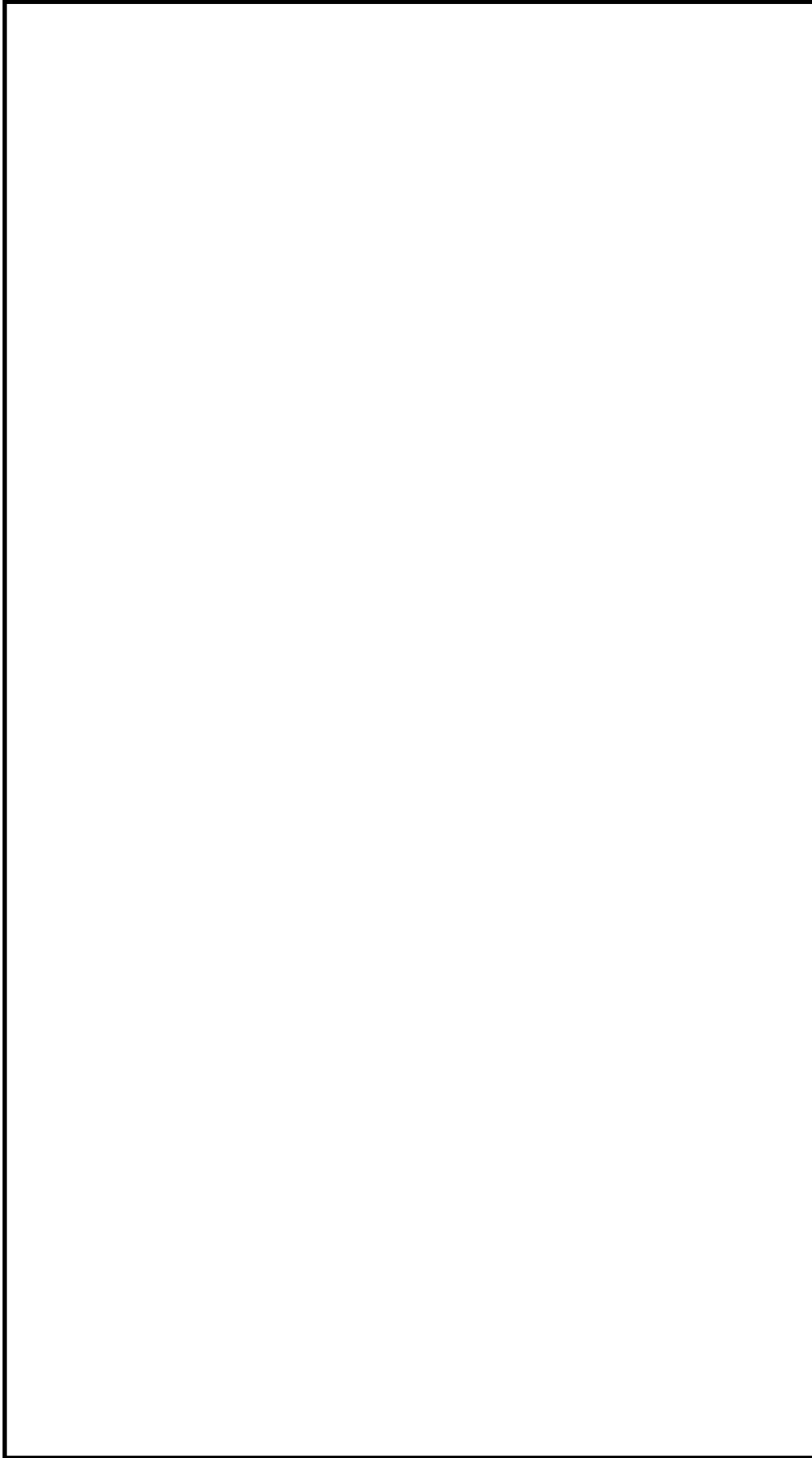
- (a) 中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む）
- (b) 非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト
- (c) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト  
(以下(b)(c)を区別不要の場合は，「ディーゼル発電機室換気系ダクト」という。)
- (d) 原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト

c. 外殻となる施設（建屋，構築物）による防護機能が期待できない施設

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



第 1.2.2-2 図 竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フロー



第1.2.2-3 図 竜巻防護施設のうち評価対象施設（屋外施設）の配置図

(2) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設【添付資料3】

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

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

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

a. 機械的影響

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

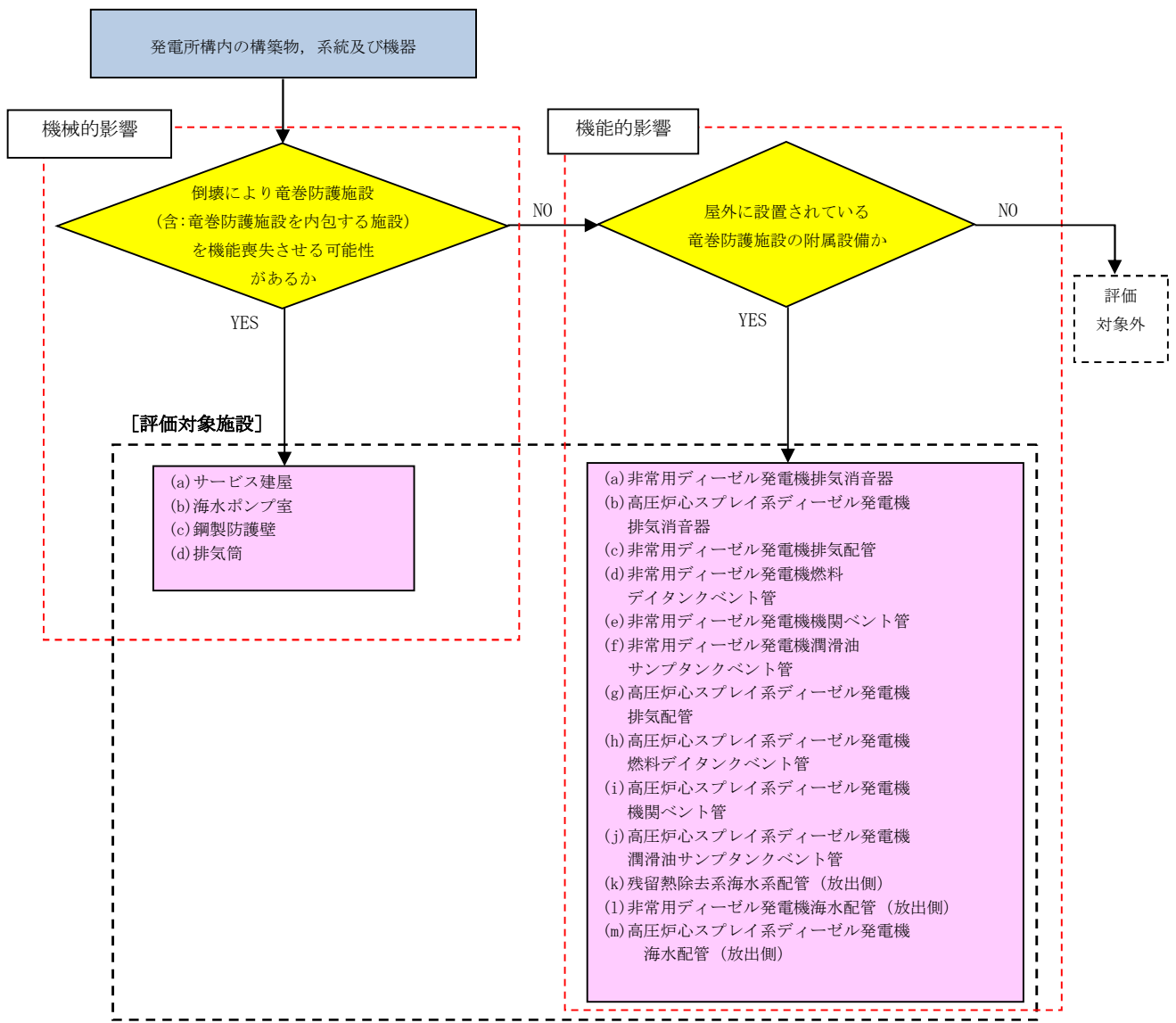
b. 機能的影響

- (a) 非常用ディーゼル発電機排気消音器
- (b) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器

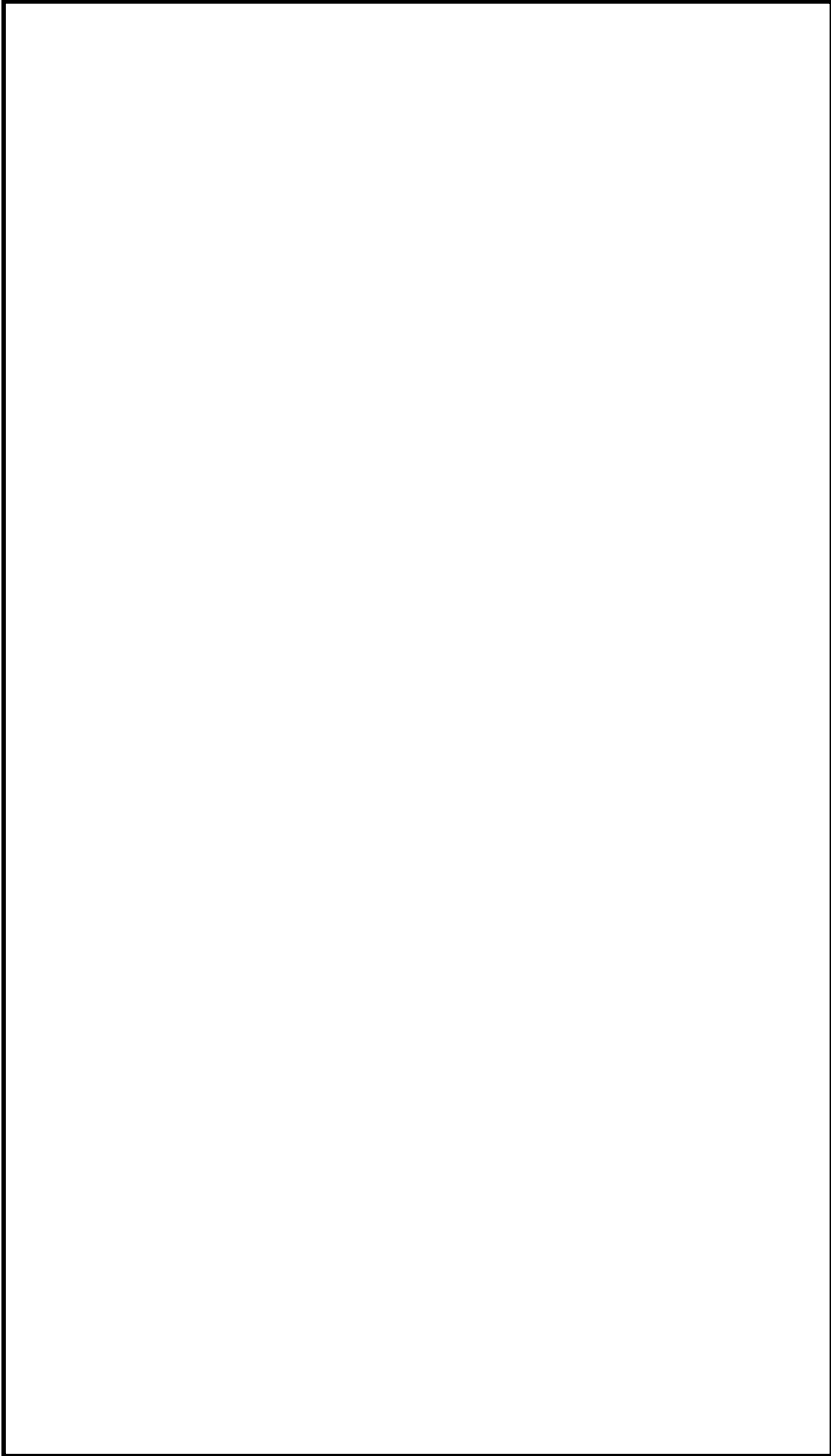
(以下(a)(b)を区別不要の場合は、「ディーゼル発電機排気消音器」という。)

- (c) 非常用ディーゼル発電機排気配管
- (d) 非常用ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管
- (e) 非常用ディーゼル発電機機関ベント管
- (f) 非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプルタンクベント管
- (g) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管

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



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



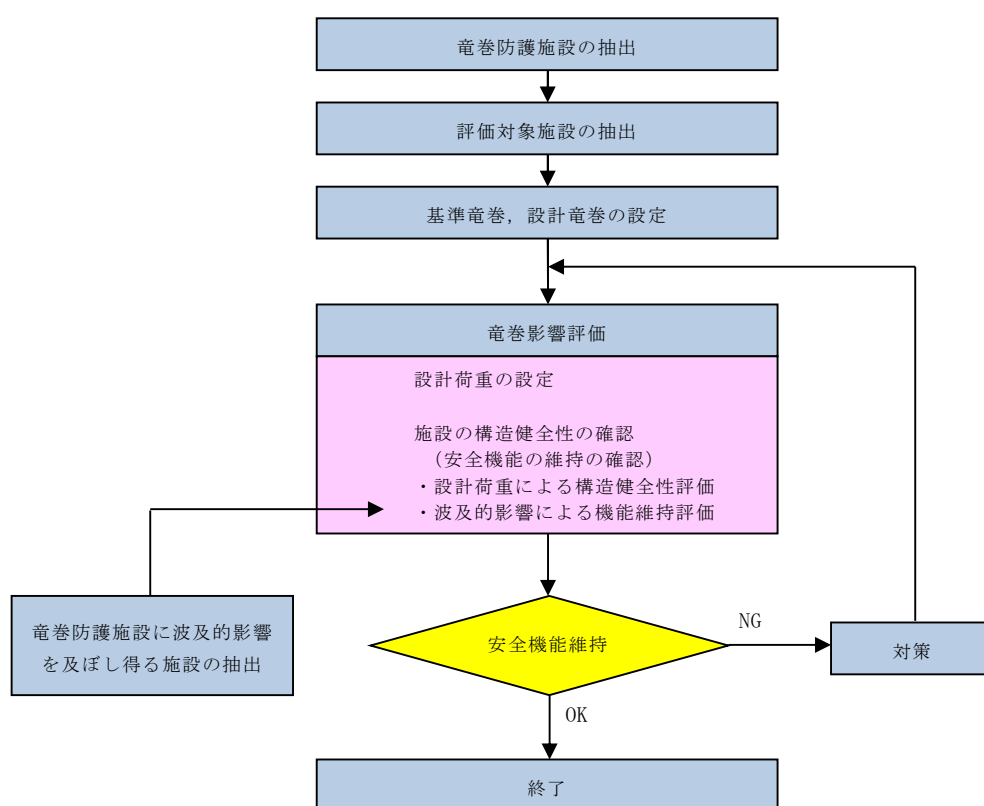
第 1.2.2-5 図 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の配置図

### 1.2.3 評価の基本的な考え方

#### 1.2.3.1 評価方法

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

竜巻影響評価の基本フローを第 1.2.3.1-1 図に示す。



第 1.2.3.1-1 図 竜巻影響評価の基本フロー

#### 1.2.3.2 評価対象施設に作用する荷重

以下に示す設計荷重を適切に設定する。

##### (1) 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重を以下に示す。



a. 風圧力による荷重

設計竜巻の最大風速による風圧力による荷重

b. 気圧差による荷重

設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設内外の気圧差による荷重

c. 設計飛来物の衝撃荷重

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

(2) 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重を以下に示す。

a. 評価対象施設に常時作用する荷重，運転時荷重等

b. 竜巻以外の自然現象による荷重，設計基準事故時荷重等

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

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

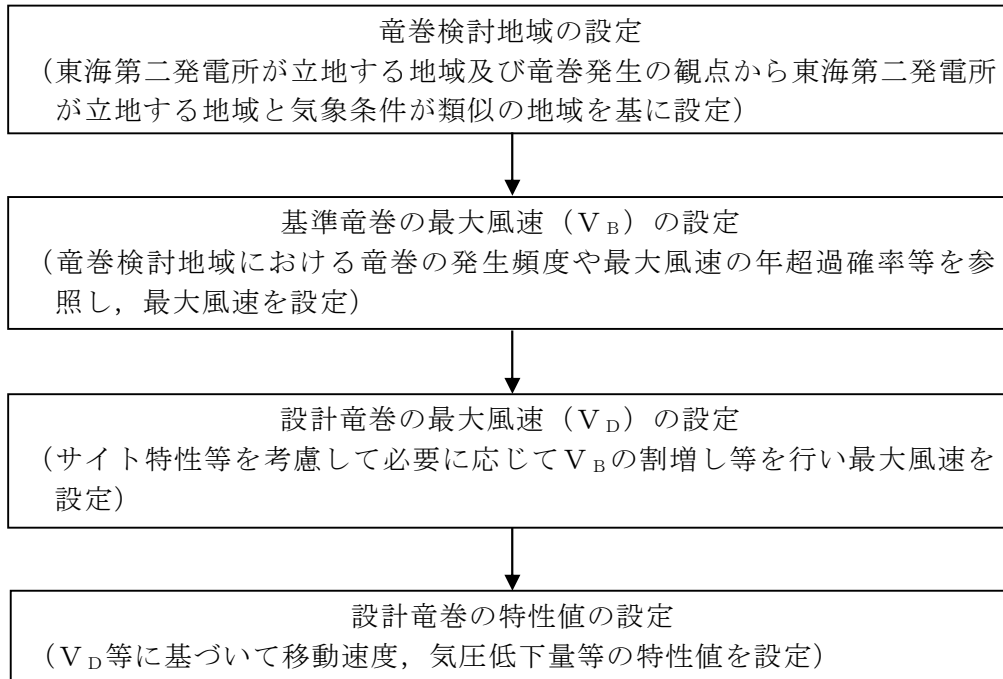
### 1.2.3.3 施設の安全性の確認方針

設計竜巻荷重及びその他組合せ荷重（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，あるいはその特定の区画の構造健全性等の確認を行い，必要に応じて対策を行うことで安全機能が維持されることを確認する。

## 2. 基準竜巻・設計竜巻の設定

### 2.1 概要

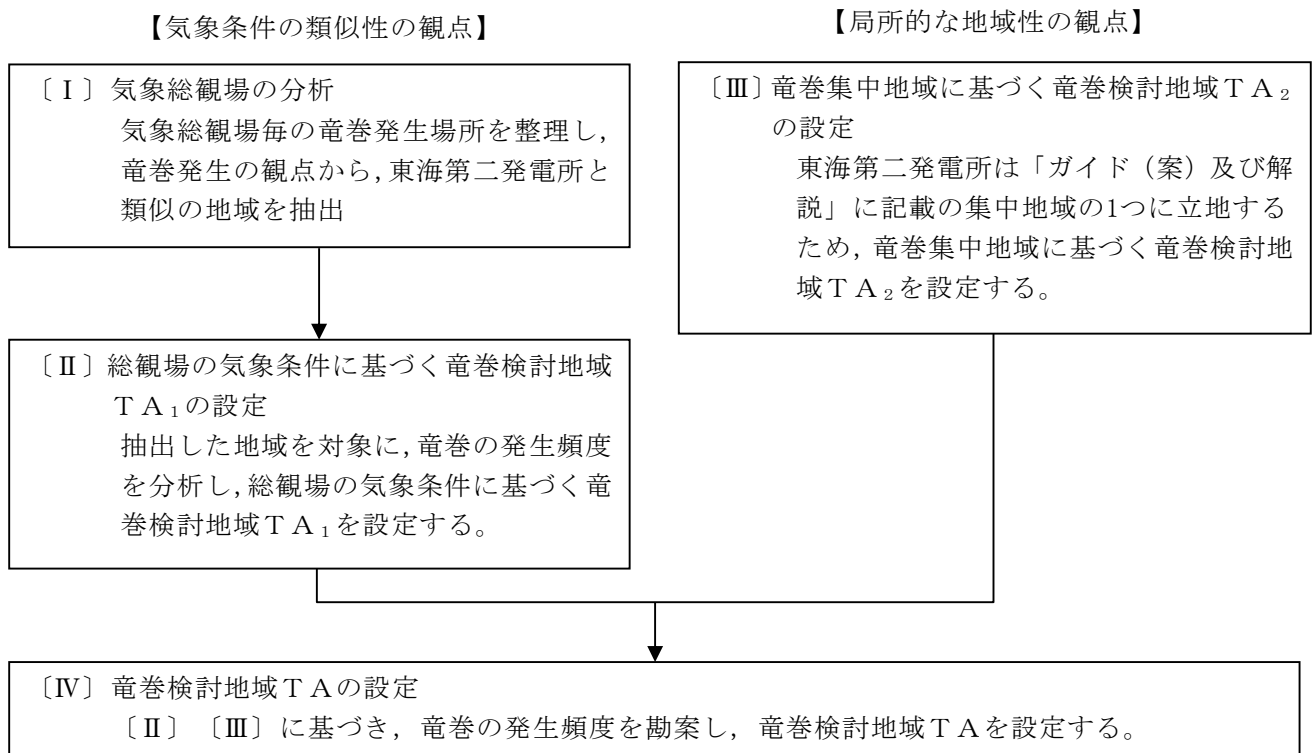
基準竜巻及び設計竜巻の設定フローを，第 2.1-1 図に示す。



第 2.1-1 図 基準竜巻及び設計竜巻の設定フロー

### 2.2 竜巻検討地域の設定【添付資料 4】

竜巻検討地域は，東海第二発電所が立地する地域及び竜巻発生  
の観点から，「総観場の分析に基づく竜巻検討地域 T A<sub>1</sub>の検討」及び「過去の竜巻集中  
地域に基づく竜巻検討地域 T A<sub>2</sub>の検討」により「竜巻検討地域 T A」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。



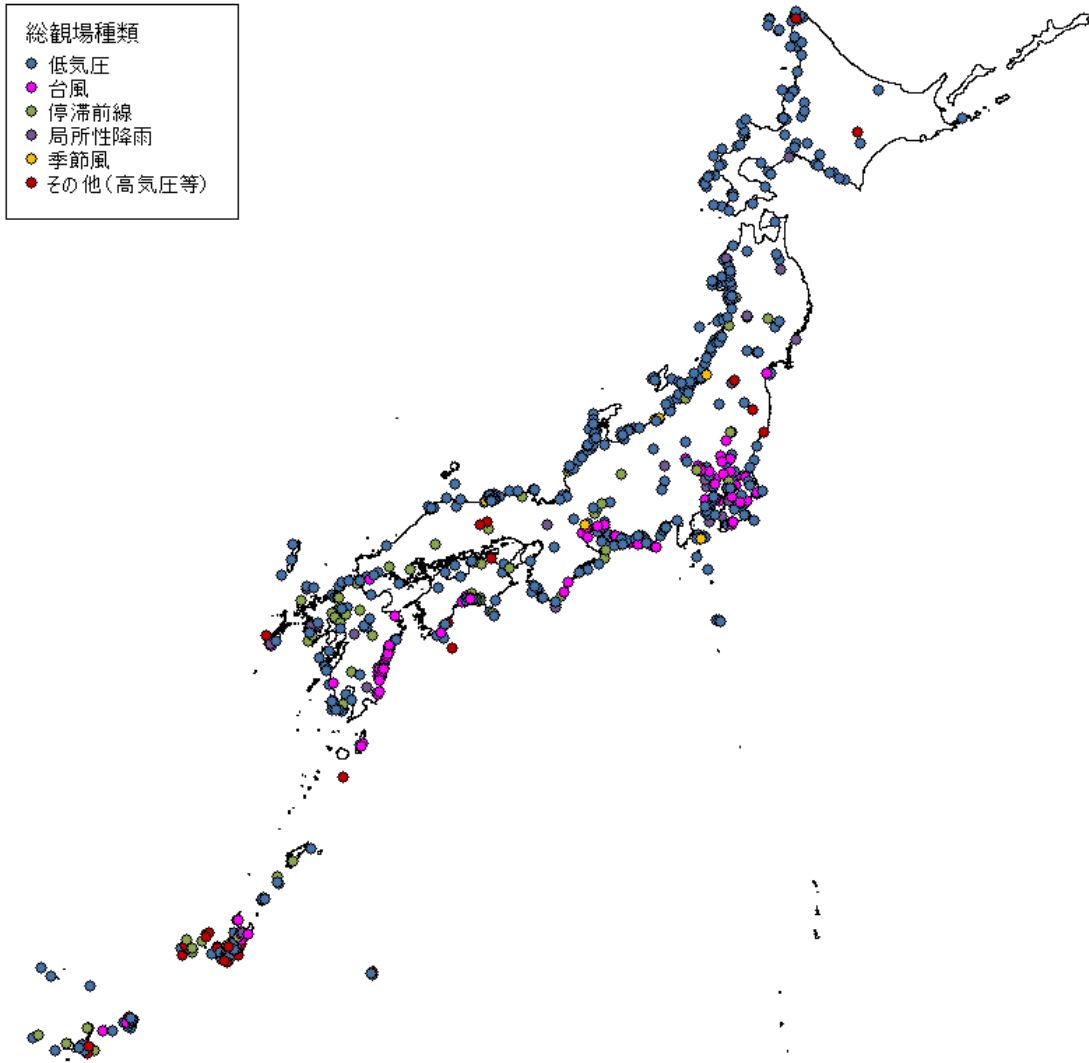
第 2.2-1 図 竜巻検討地域の設定フロー

### 2.2.1 気象総観場の分析

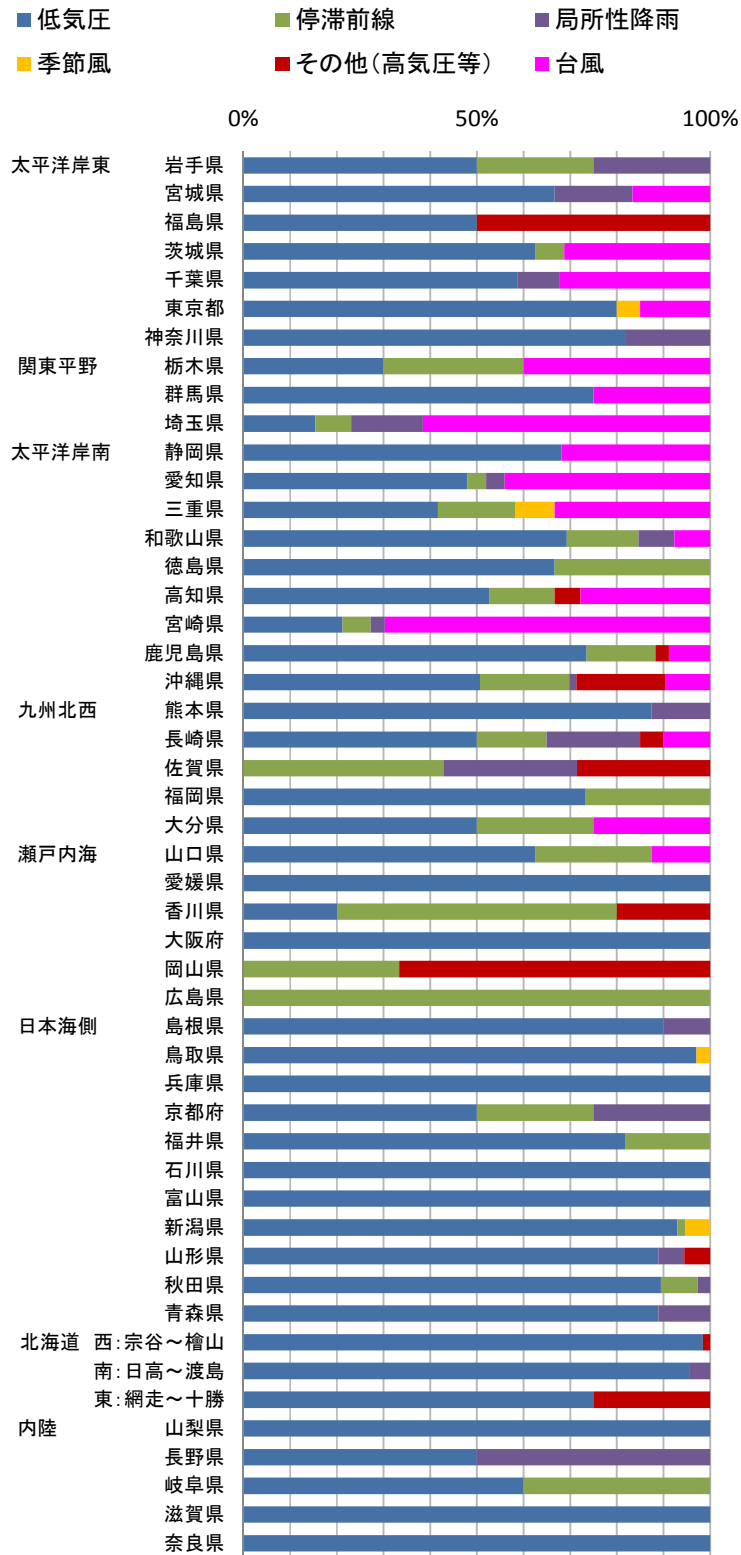
竜巻発生要因の総観場を 6 種類（低気圧，台風，停滞前線，局所性降雨，季節風，その他（高気圧等））に分類し，竜巻発生位置をこの気象要因毎に色分けした分布を，第 2.2.1-1 図に示す。

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)



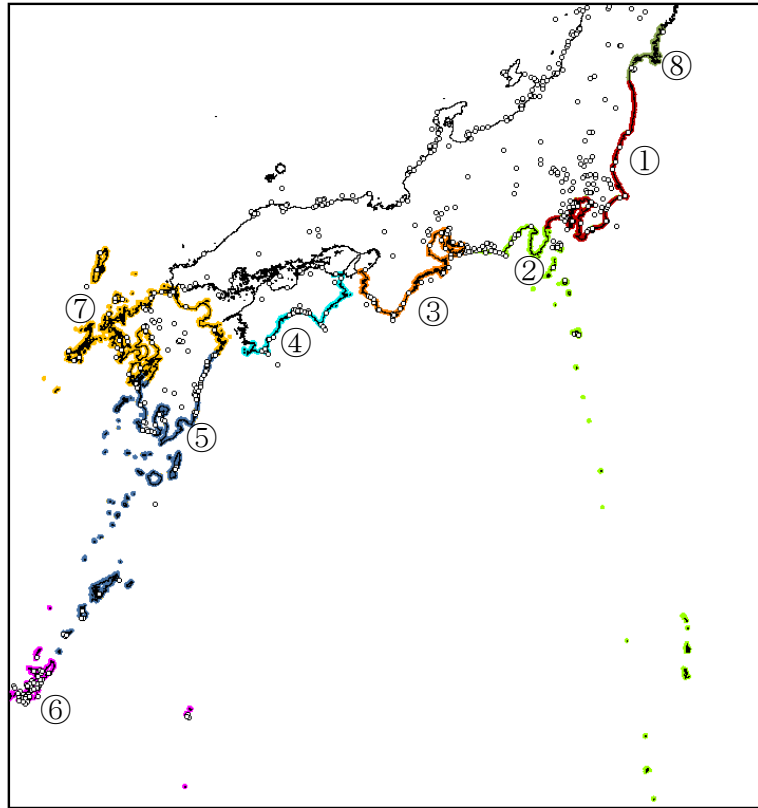
第 2.2.1-2 図 各都道府県での発生要因比率

## 2.2.2 総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域TA<sub>1</sub>の設定

竜巻発生地域性が見られる台風起因の発生領域から、太平洋側の宮城県～沖縄県にかけての範囲を考慮する。東海第二発電所はこの範囲に立地しており、太平洋側の宮城県～沖縄県を基本として、竜巻の発生頻度の観点から総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域TA<sub>1</sub>の検討を行う。

東海第二発電所から半径180km圏内(10万km<sup>2</sup>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<sub>1</sub>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<sub>1.6</sub>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<sub>1</sub>とする。



第 2.2.2-1 図 竜巻検討地域 T A<sub>1</sub> の検討領域

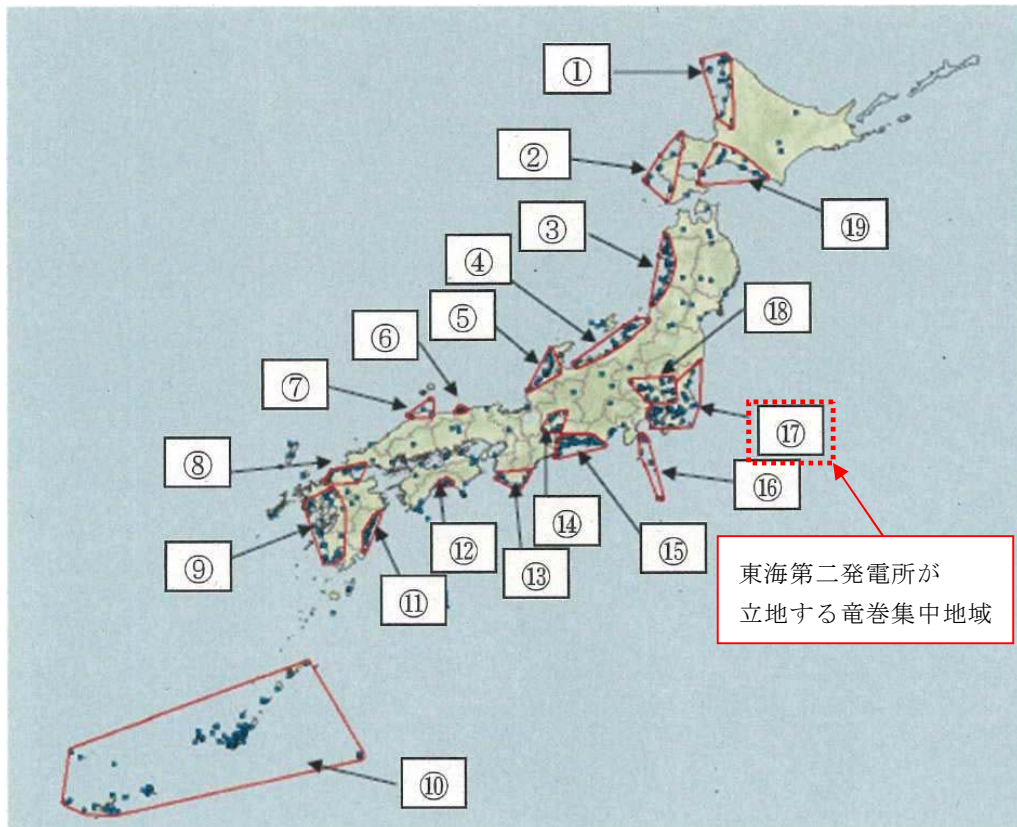
第 2.2.2-1 表 竜巻検討地域 T A<sub>1</sub> の候補毎の竜巻の個数と  
単位面積当たり発生数

領域			領域面積 (km <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )
T A <sub>1.1</sub>	①	福島県～神奈川県	7,900	40	0.98E-04
T A <sub>1.2</sub>	①～②	福島県～静岡県	15,700	68	0.84E-04
T A <sub>1.3</sub>	①～③	福島県～和歌山県	23,400	104	0.86E-04
T A <sub>1.4</sub>	①～④	福島県～高知県	28,600	138	0.94E-04
T A <sub>1.5</sub>	①～⑤	福島県～鹿児島県	46,700	194	0.81E-04
<b>T A<sub>1.6</sub></b>	<b>①～⑥</b>	<b>福島県～沖縄県</b>	<b>57,000</b>	<b>300</b>	<b>1.02E-04</b>
T A <sub>1.7</sub>	①～⑦	福島県～九州全県	79,700	337	0.82E-04
T A <sub>1.8</sub>	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<sub>2</sub>の設定

東海第二発電所は、第 2.2.3-1 図に示す「ガイド（案）及び解説」<sup>(1)</sup> 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<sub>1.1</sub>とみなし、これを竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域TA<sub>2</sub>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)



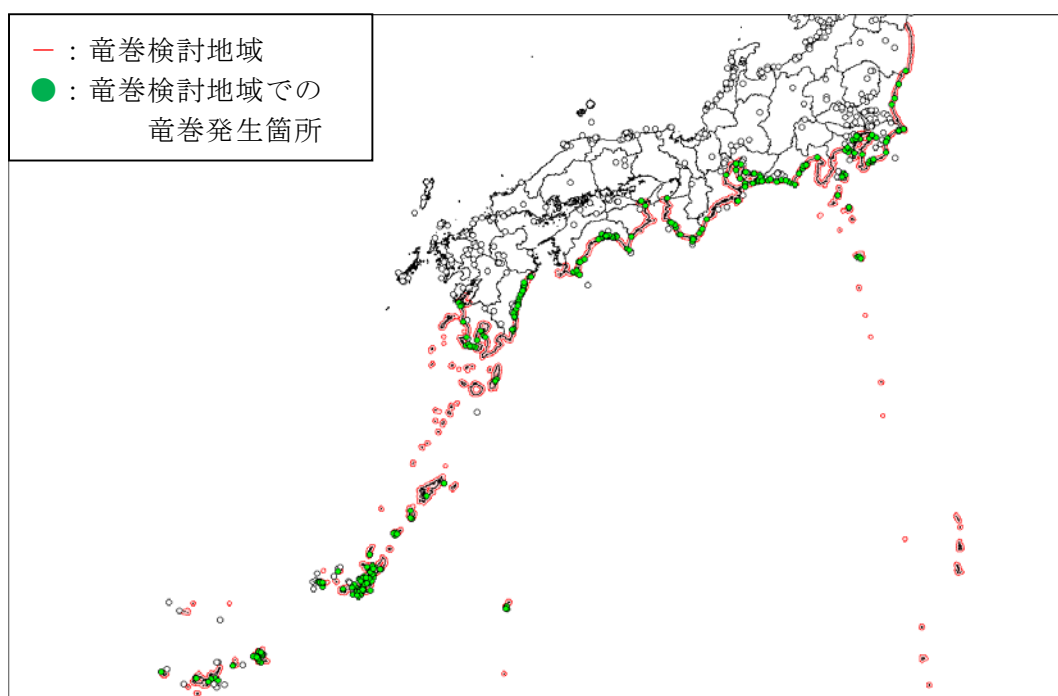
## 2.2.4 竜巻検討地域 T A の設定

総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域 T A<sub>1</sub> 及び竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域 T A<sub>2</sub> 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、T A<sub>1</sub> を竜巻検討地域 T A に設定する（面積約 57,000km<sup>2</sup>）。

竜巻検討地域 T A 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 <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )
総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域 T A <sub>1</sub>	57,000	300	$1.02 \times 10^{-4}$
竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域 T A <sub>2</sub>	7,900	40	$0.98 \times 10^{-4}$



第 2.2.4-1 図 竜巻検討地域 T A

## 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 ( $V_{B1}$ )

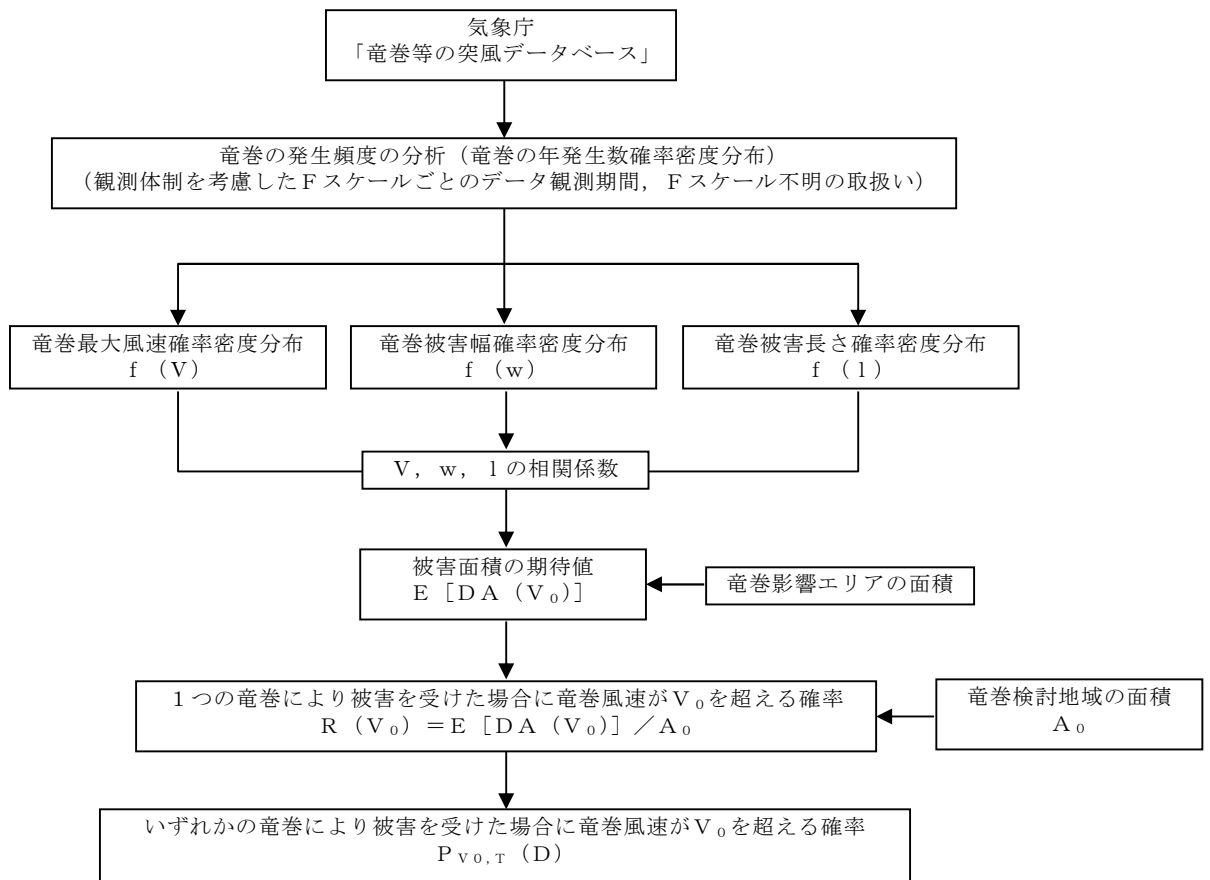
気象庁の「竜巻等の突風データベース」<sup>(2)</sup>に基づき、竜巻検討地域内で過去(1961年1月～2012年6月)に発生した竜巻のうち最大であるF3スケール相当以上の竜巻を第2.3.1-1表に示す。F3スケールにおける風速は70m/s～92m/sであることから、過去に発生した竜巻による最大風速 $V_{B1}$ を92m/sとする。

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<sup>(2)</sup>

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

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

さらに、竜巻が上陸したか否かは、観測データの詳細情報を基本として、発生地点座標と消滅地点座標を結ぶ線分が、陸地境界内に掛かるか否かも加えて判定する。

第 2.3.3-1 表 竜巻発生数の分析結果

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

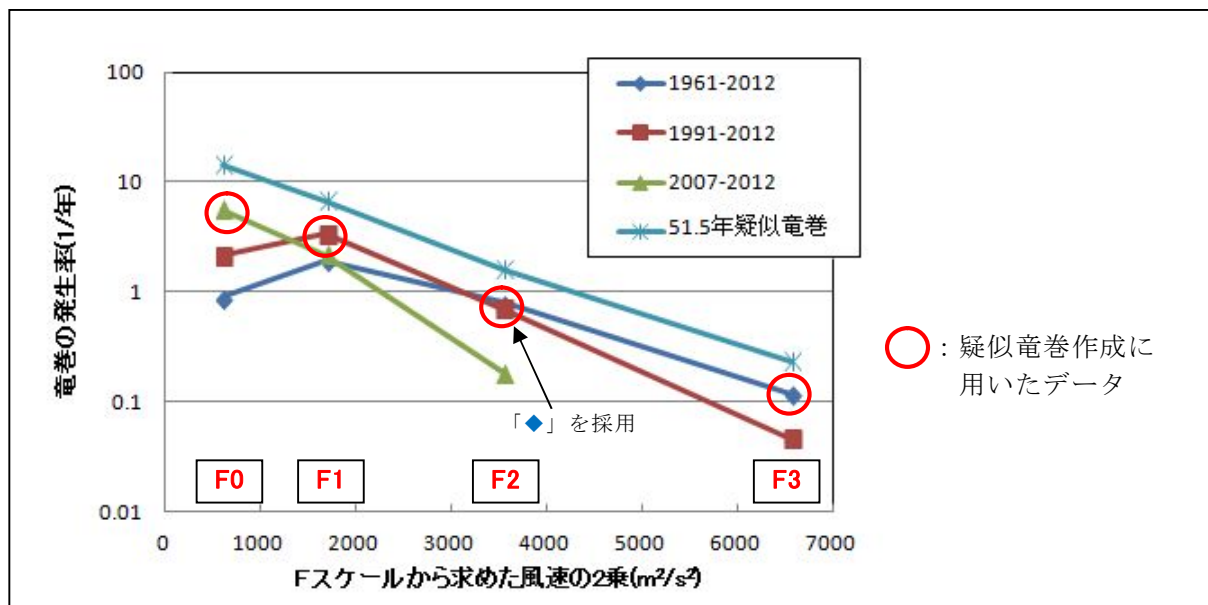
		F3	F2	F1	F0	計	
疑似51.5年間の竜巻	疑似51.5年間 (陸上竜巻)	期間内個数	6	41	173	376	596
		平均値 (個/年)	0.12	0.80	3.36	7.30	11.57
		標準偏差 (個/年)	0.32	0.94	2.03	4.74	5.25
	疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	12	82	345	749	<b>1,188</b>
		平均値 (個/年)	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差 (個/年)	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42

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。

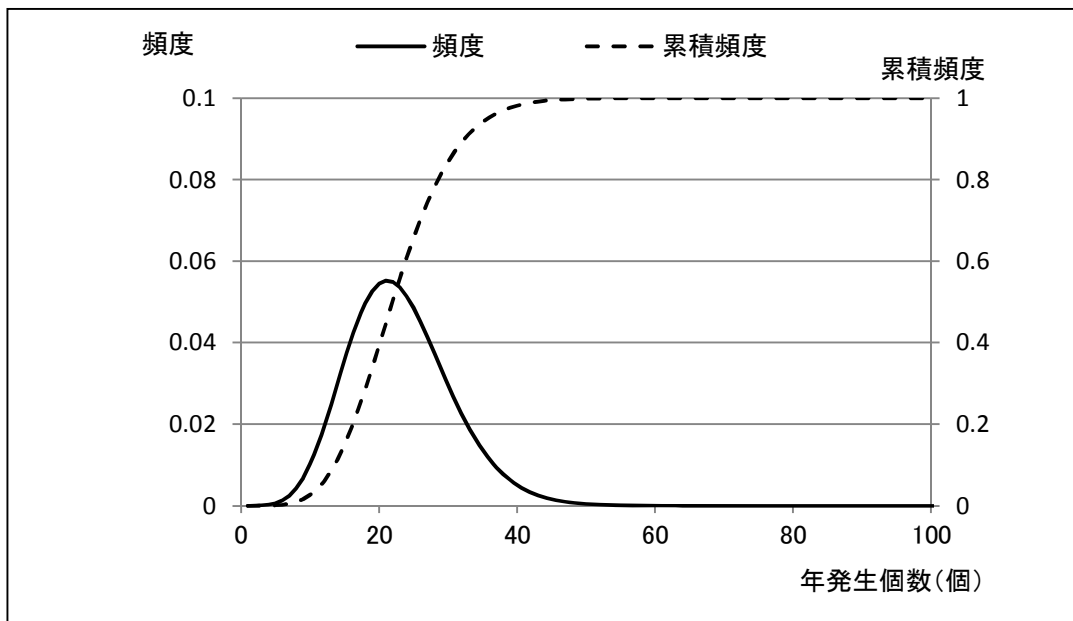


第 2.3.3-1 図 疑似竜巻作成に採用したデータ及び疑似竜巻の強度分布

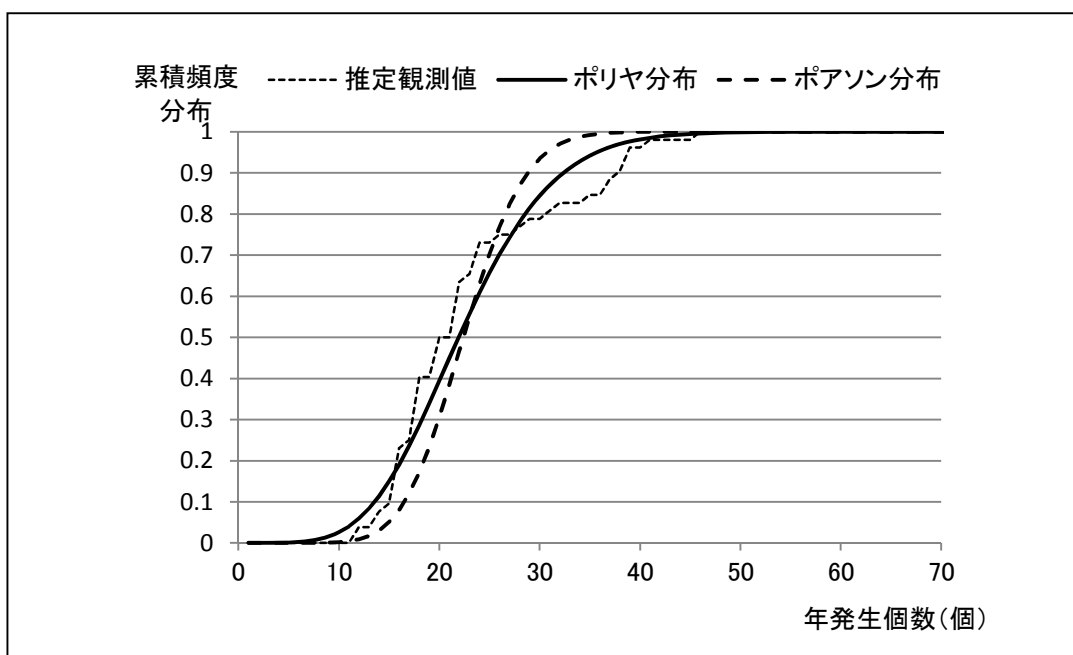
竜巻の年発生数の確率密度分布の設定に当たっては、竜巻は気象事象の中でも極めてまれに発生する事象であり、発生数の変動（標準偏差）が大きいことから、「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」の成果を参考とし、第 2.3.3-2 図に示すポリヤ分布とした。

(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」<sup>(3)</sup>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。
- ・東海第二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。

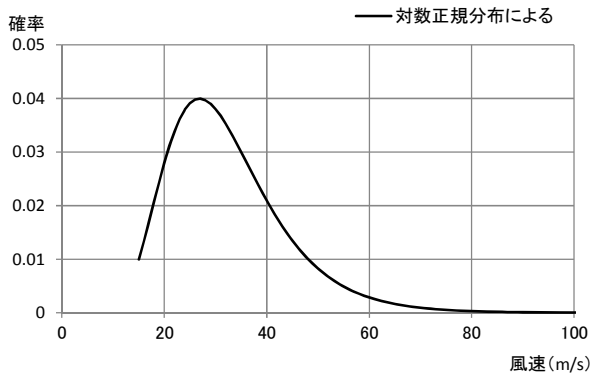
その結果を基に，最大風速，被害幅及び被害長さは対数正規分布に従うものとして求めた確率密度分布を，第 2.3.4-1 図～第 2.3.4-6 図に示す。

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。

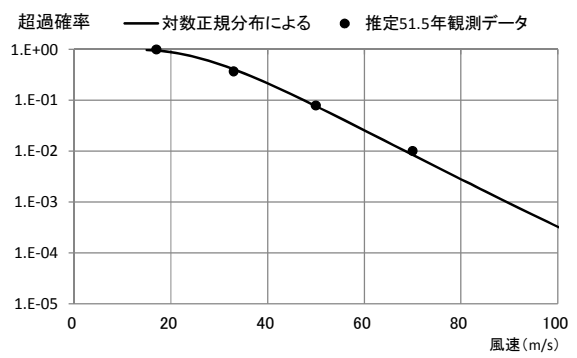
このように，前述の F スケール不明の竜巻の取扱い等を含め，データについては保守的な評価となる取扱いを行っている。

第 2.3.4-1 表 発生数，被害幅及び被害長さの統計量

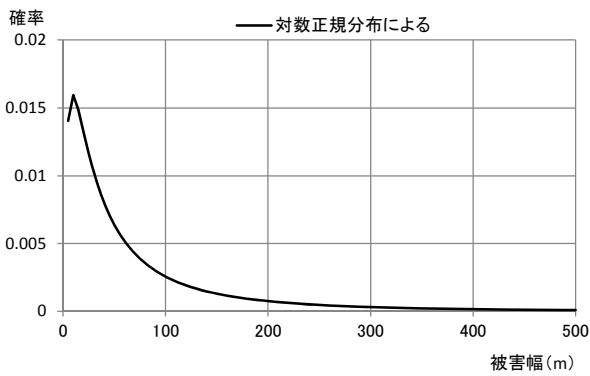
		F3	F2	F1	F0	計	
疑似 51.5 年間	発生数	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値 (個/年)	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差 (個/年)	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42
	被害幅	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値 (m)	525	250	124	56	94
		標準偏差 (m)	706	408	187	45	179
	被害長さ	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値 (km)	14	5.63	2.43	1.18	1.98
		標準偏差 (km)	14	4.94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



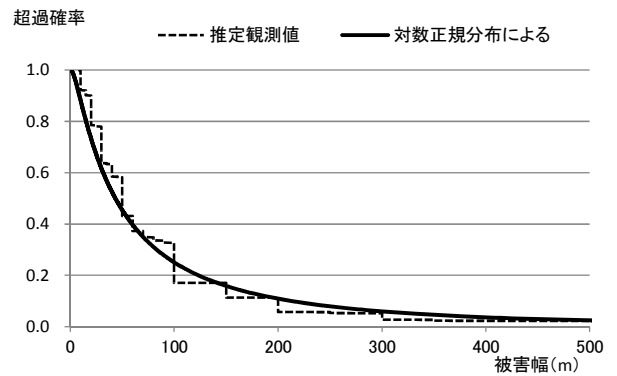
第 2.3.4-1 図 最大風速の確率密度分布



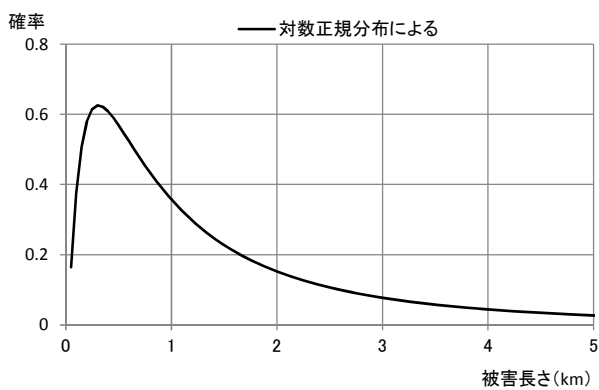
第 2.3.4-2 図 最大風速の超過確率



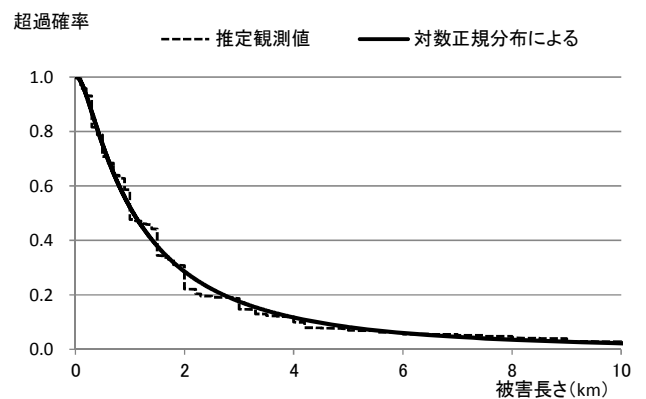
第 2.3.4-3 図 被害幅の確率密度分布



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

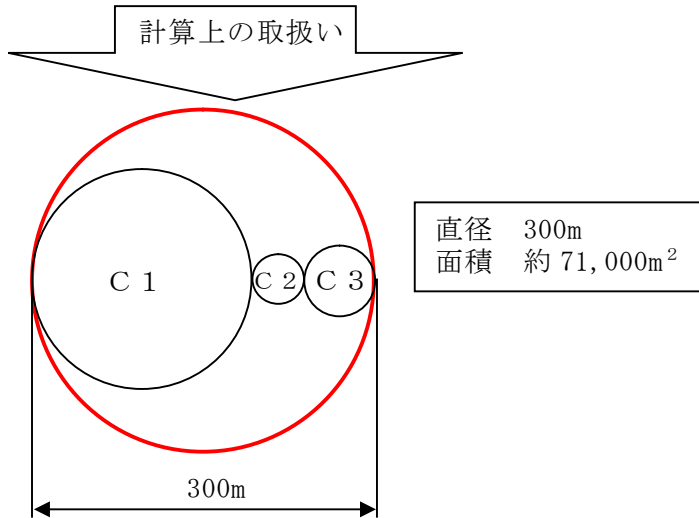
相関係数の値	最大風速	被害幅	被害長さ
最大風速	1.000	0.381	0.452
被害幅	—	1.000	0.381
被害長さ	—	—	1.000

### 2.3.5 竜巻影響エリアの設定

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

なお，竜巻影響エリアは，原子炉建屋周辺，海水ポンプ室及び使用済燃料乾式貯蔵建屋が離れているため，それぞれをまず直径 188m，直径 44m 及び直径 60m の円形領域に包絡させ，さらにこれらの領域を包絡させた直径 300m の円形領域（面積 約 71,000m<sup>2</sup>）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

6 条(竜巻)-1-32

### 2.3.6 ハザード曲線の算定

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

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

ここで、 $N$ ：竜巻の年発生数

$\nu$ ：竜巻の年平均発生数

$T$ ：年数

$\beta$ 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、 $\sigma$ ：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<sup>2</sup>）、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。

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

ここで、

$p$  : 単位面積当たりの年被災率

$E[ ]$  : 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

$f( )$  : 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

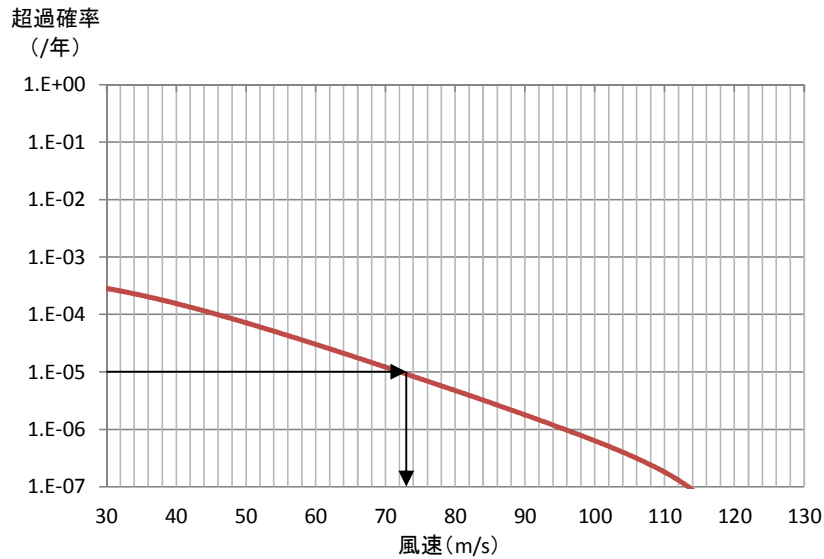
$W(V_0)$  : 被害幅のうち風速が $V_0$ を超える部分の幅

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

$V_{\min}$  : 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。



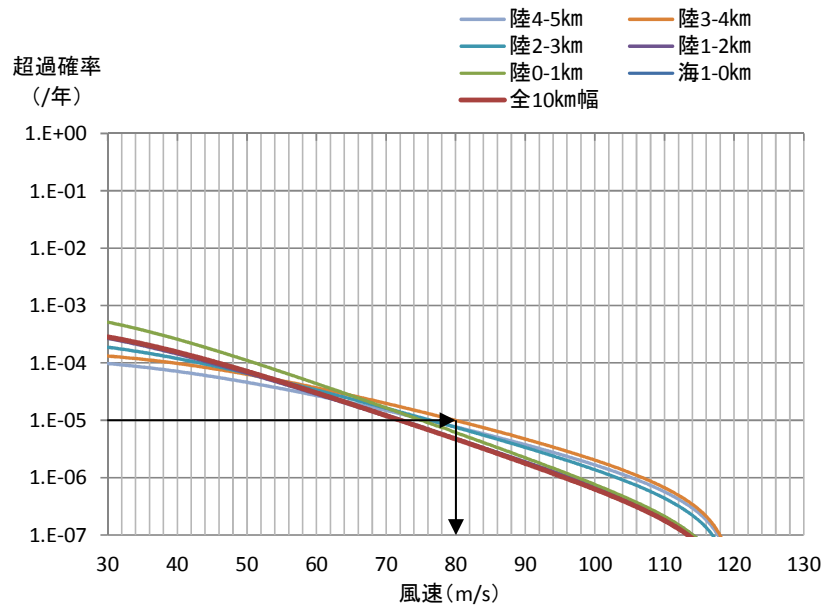
第 2.3.6-1 図 竜巻検討地域全域（10km 幅）でのハザード曲線

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 10km 幅でのケースも重ねたハザード曲線を、それぞれ第 2.3.6-1 表及び第 2.3.6-2 図に示す。なお、海側 1km 以遠の海上竜巻については全て F スケール不明であるため、ハザード曲線の算定は不可能である。

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

第 2.3.6-1 表 1km 幅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  $80\text{m/s}$  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)	$73\text{m/s}$
1km 幅ごとの最大	$80\text{m/s}$ (陸側 3-4km)



### 2.3.8 竜巻ハザードの不確かさの検討

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

(1) 確率分布形選択に伴う不確かさ（認識論的不確かさ）

確率分布形選択に伴うパラメータ不確かさ

(2) データ量が少ないことに伴う不確かさ（認識論的不確かさ）

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

(3) データの不確かさ

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

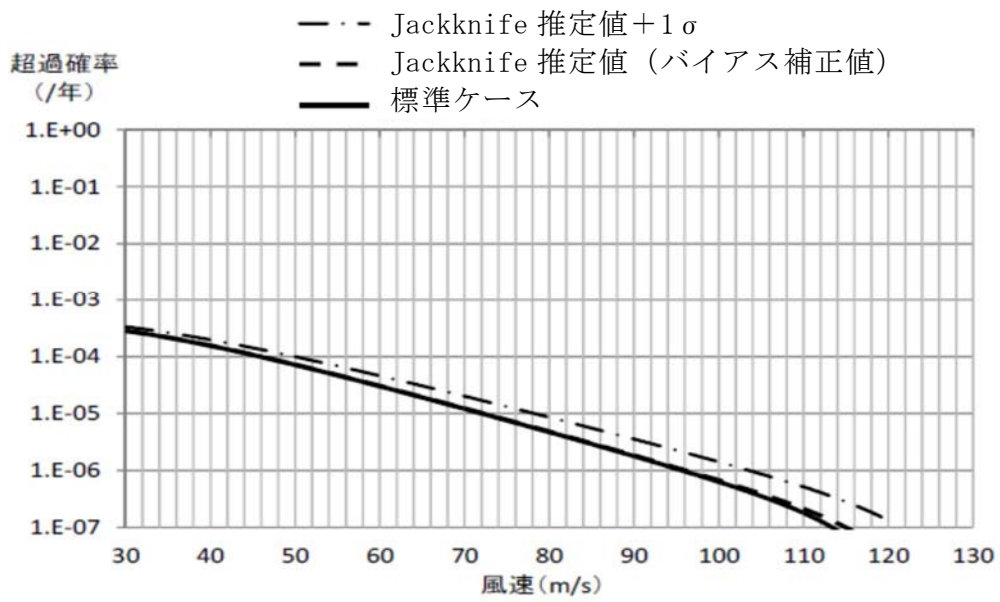
(1) 確率分布形選択に伴う不確かさ

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

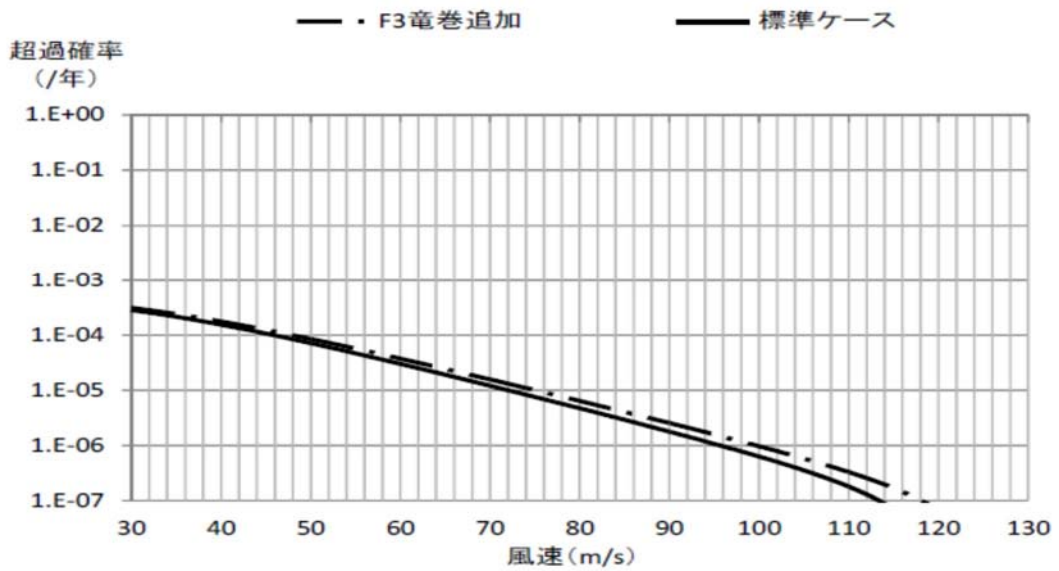
(2) データ量が少ないことに伴う不確かさ

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

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



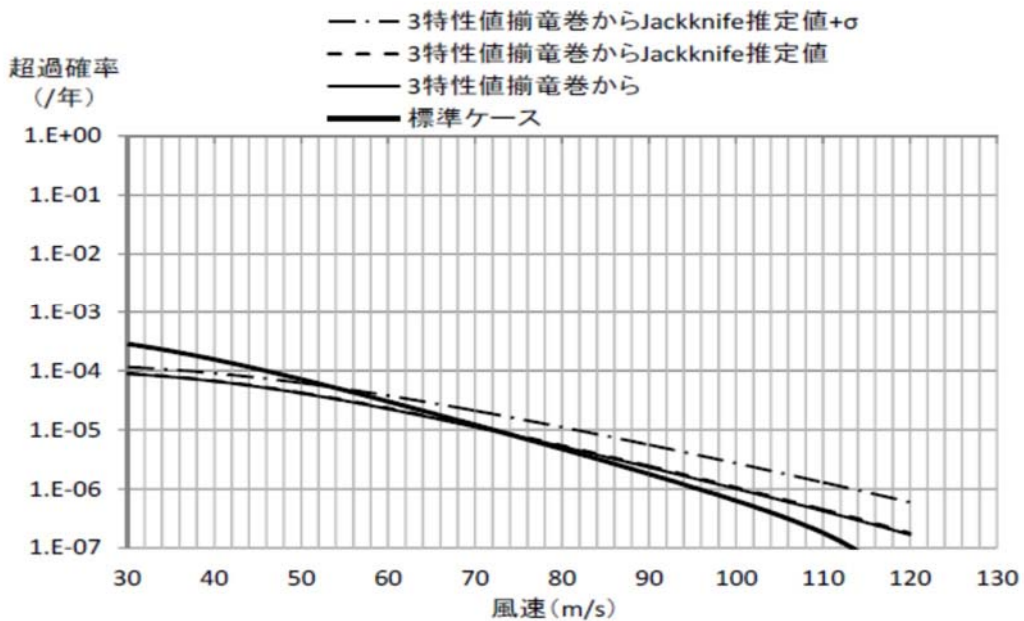
第 2.3.8-1 図 標準ケースと Jackknife 推定値ケース,  
Jackknife 推定値+1 $\sigma$  ケースのハザード算定結果の比較



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

(3) データの不確かさ

データの不確かさとして、疑似データを考慮した場合、Fスケールの小さな竜巻の割合が多くなるため、3種類の竜巻のパラメータ（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（バイアス補正值），Jackknife 推定値+1σのハザード算定結果の比較

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

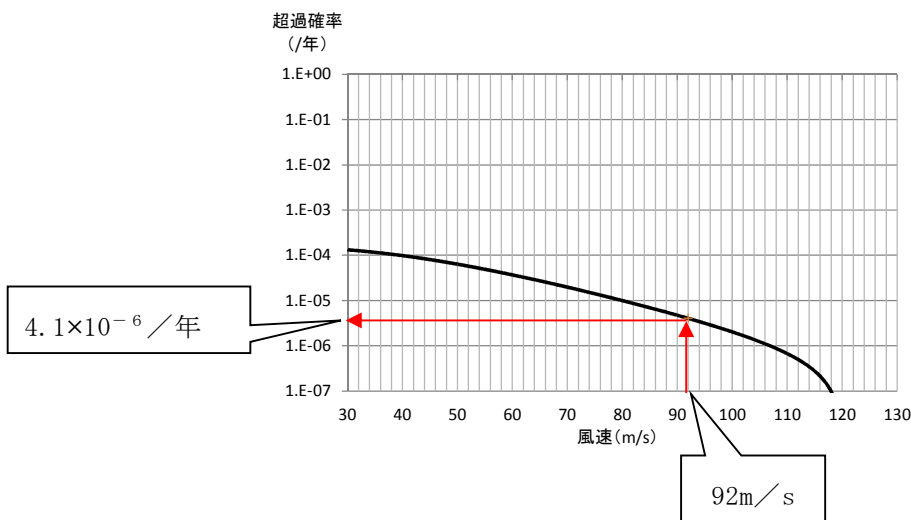
### 2.3.9 基準竜巻の最大風速 ( $V_B$ )

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

$V_B$  の年超過確率は、第 2.3.9-1 図に示すとおり、 $4.1 \times 10^{-6}$  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<sup>\*1</sup>。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 $92\text{m/s}$ を超える竜巻<sup>※2</sup>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。

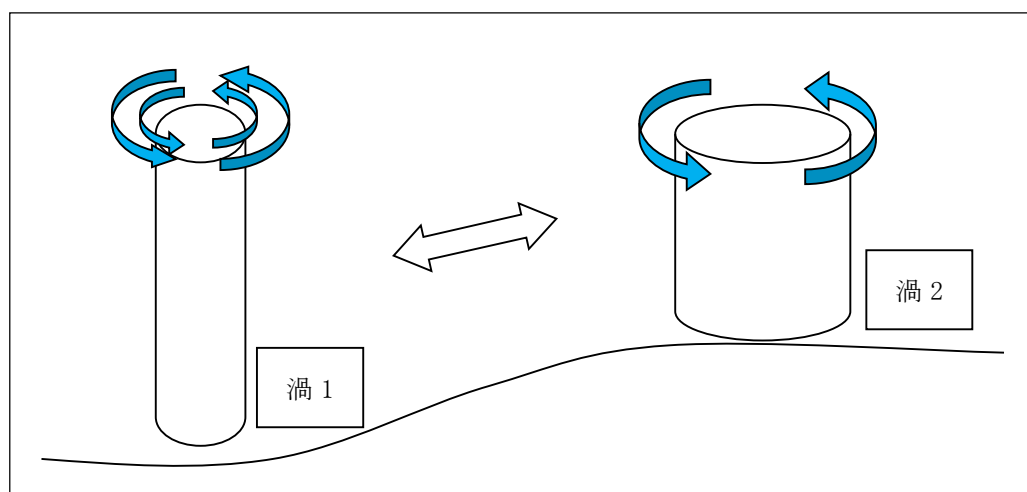
## 2.4 設計竜巻の設定

### 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。



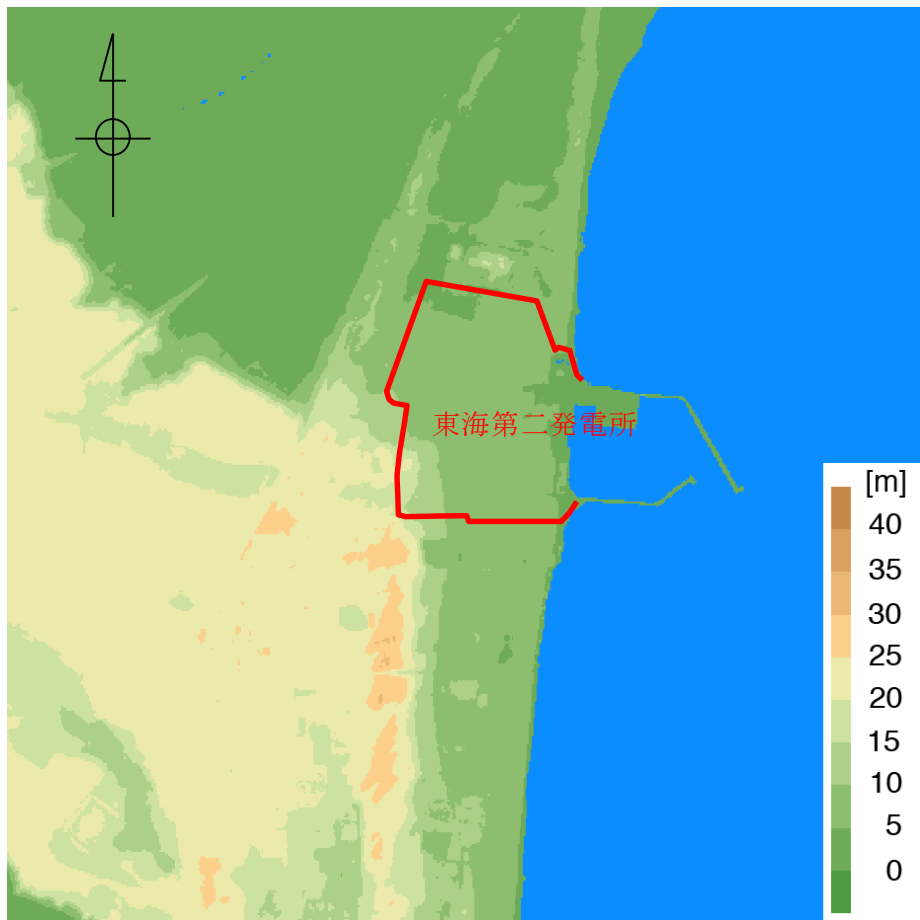
第 2.4.1-1 図 竜巻旋回流の地形影響に関する模式図

#### (2) 東海第二発電所敷地周辺における地形と竜巻風速への影響

東海第二発電所敷地周辺の地形を第 2.4.1-2 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 東海第二発電所を中心とした東西 3km×南北 3km の地形標高  
(国土地理院 5m メッシュ標高データに加筆)

(3) 設計竜巻の最大風速 ( $V_D$ )

設計竜巻の最大風速  $V_D$  の設定においては、上述のとおり、東海第二発電所敷地周辺の地形効果の影響による竜巻の増幅を考慮する必要はないものと判断するが、現状では竜巻の観測数等のデータが十分とまでは言い切れず不確実性があることを考慮し、設計竜巻の最大風速  $V_D$  は、基準竜巻の最大風速  $92\text{m/s}$  を安全側に切り上げた  $100\text{m/s}$  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場合，「竜巻影響評価ガイド」に示される方法に基づき，下記の5項目に従い設定する。その結果を第2.4.2-1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 ( $R_m$ )

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

- (4) 設計竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ )

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

$\rho$  : 空気密度 (1.22 (kg/m<sup>3</sup>))

$V_{Rm}$  (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 $\Delta P_{max}$ (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) 東海第二発電所における設計飛来物の設定（調査含む）
- (3) 飛来物発生防止対策
- (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

#### 3.2 評価対象施設

「1.2.2 竜巻影響評価の対象施設」に示したとおりとする。

### 3.3 設計荷重の設定

#### 3.3.1 設計竜巻荷重の設定

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

##### (1) 風圧力による荷重の設定

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

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

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

$\rho$  : 空気密度

$G$  : ガスト影響係数（ $= 1.0$ ）

$C$  : 風力係数

（施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて設定）

$A$  : 施設の受圧面積

なお、鉛直方向の風圧力については以下のとおりとする。

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

## (2) 気圧差による荷重の設定

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

### a. 建屋，構築物

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

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

$\Delta P_{max}$  : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

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

### b. 設備（系統，機器）

設備（系統，機器）についても，上記と同様に  $W_P$  を設定する。

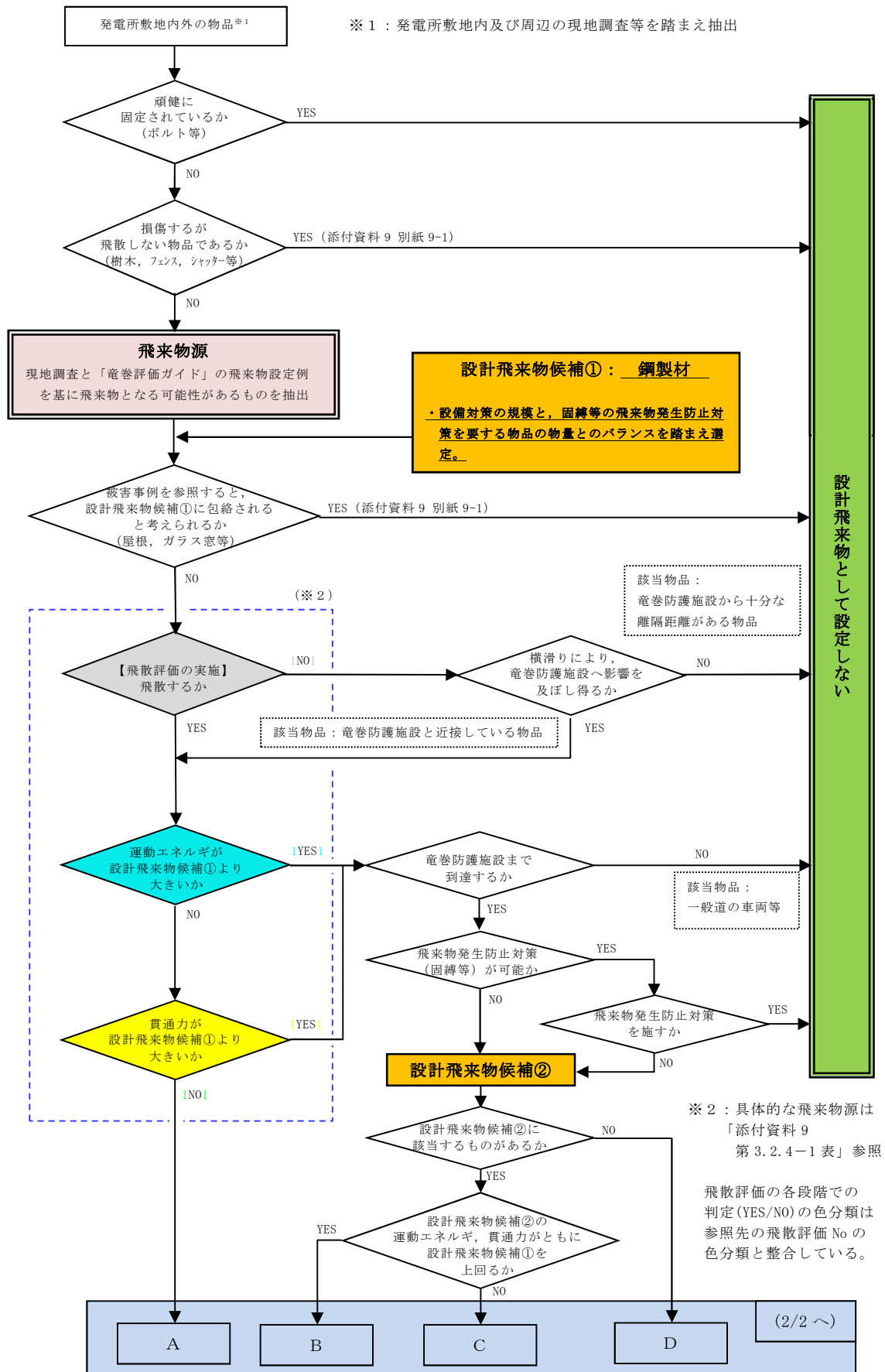
換気空調系のように外気と隔離されている区画の境界部等，気圧差による圧力影響を受ける設備について，気圧差により作用する応力が許容値以内であるか確認し，許容値を上回る場合には安全機能維持への影響について確認する。

## (3) 設計飛来物による衝撃荷重の設定

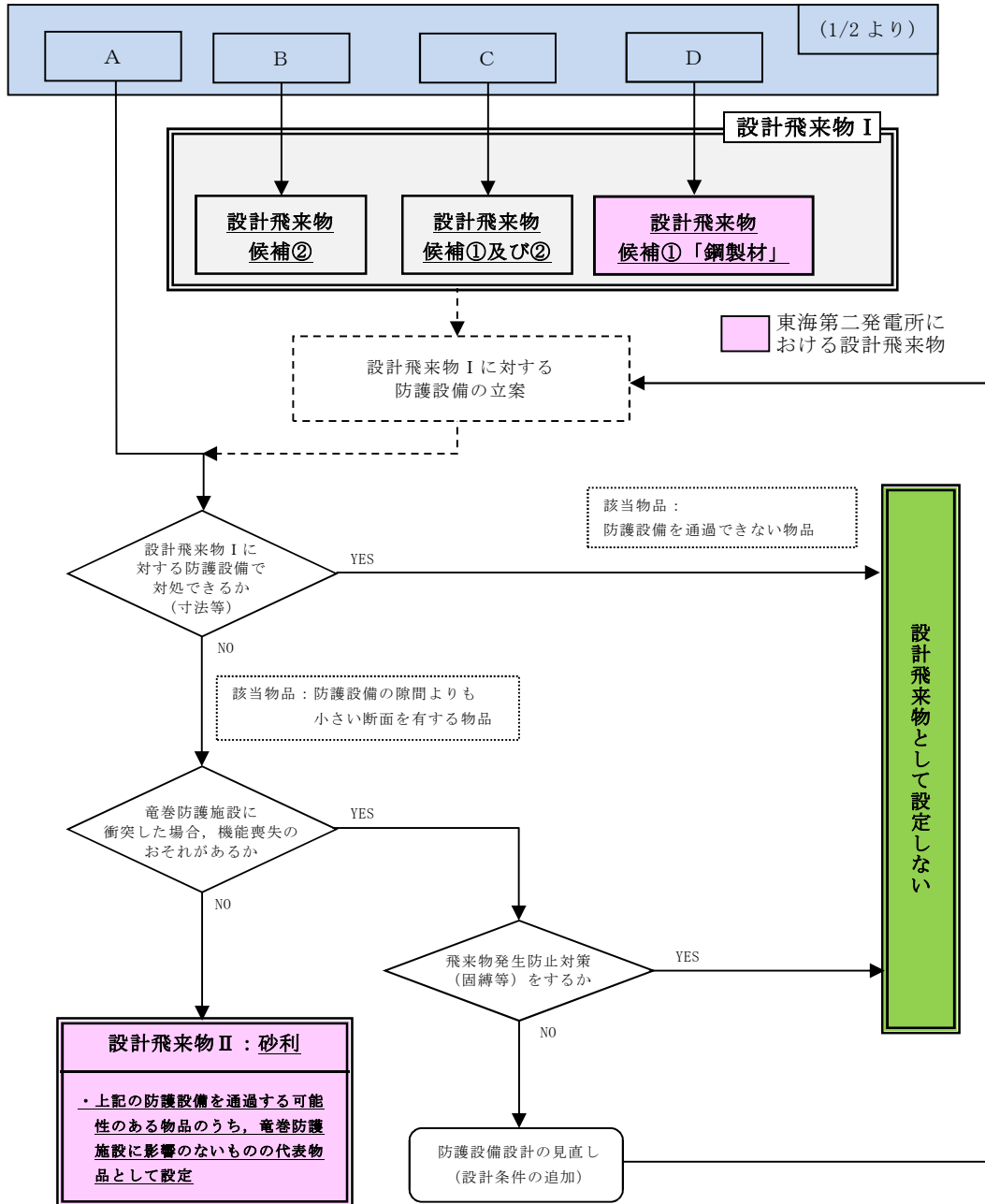
### a. 東海第二発電所における設計飛来物の設定【添付資料 9】

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

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



第 3.3.1-1 図 設計飛来物の設定フロー (1/2)



第 3.3.1-1 図 設計飛来物の設定フロー (2/2)

第 3.3.1-1 表 東海第二発電所における設計飛来物

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



(a) 評価に用いる設計竜巻の特性

設計竜巻の最大風速は  $100\text{m/s}$  とする。(第 2.4.2-1 表)

(b) 設計飛来物の設定

i) 現地調査

飛来物となり得る物品を確認するため、東海第二発電所の現地調査を実施した。調査範囲は、発電所の敷地のみならず、隣接する日本原子力研究開発機構の敷地や、東海第二発電所敷地近傍の墓地、宅地等も含んだ、原子炉建屋から半径  $800\text{m}$  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  $800\text{m}$  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  $400\text{m}$  程度と評価されたことに加え、近隣施設内での現場調査による物品は東海第二発電所構内の物品に類似していた。したがって、東海第二発電所の設計飛来物の設定に際しては、東海第二発電所敷地内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ー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、飛来物発生防止対策（固縛等）を施すか、竜巻防護施設等からの離隔及び頑健な建物内への移動等の運用により、設計飛来物による影響を上回らないものとする。

ii) 他者の所有する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近隣施設内の物品が想定されるが、上述のとおり、保守性を含めた解析によれば設計飛来物よりも影響の大きな飛来物源の飛散距離が最大でも 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、評価対象施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋に加え、重大事故等対処設備の緊急時対策所<sup>\*1</sup>、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 図に示すとおり最も近い一般道である国道 245 号線とは十分な離隔を有しており、一般道からの車両が衝突することは考え難い<sup>\*2</sup>が、敷地南側の近隣施設からの車両が衝突する可能性がある。これについては、近隣施設内に車両管理エリアを設け、飛散防止の措置を行う方針とする。また、車両以外の飛来物についても近隣施設から到達する可能性があるが、これらについても、近隣施設内に管理エリアを設け、設計飛来物の影

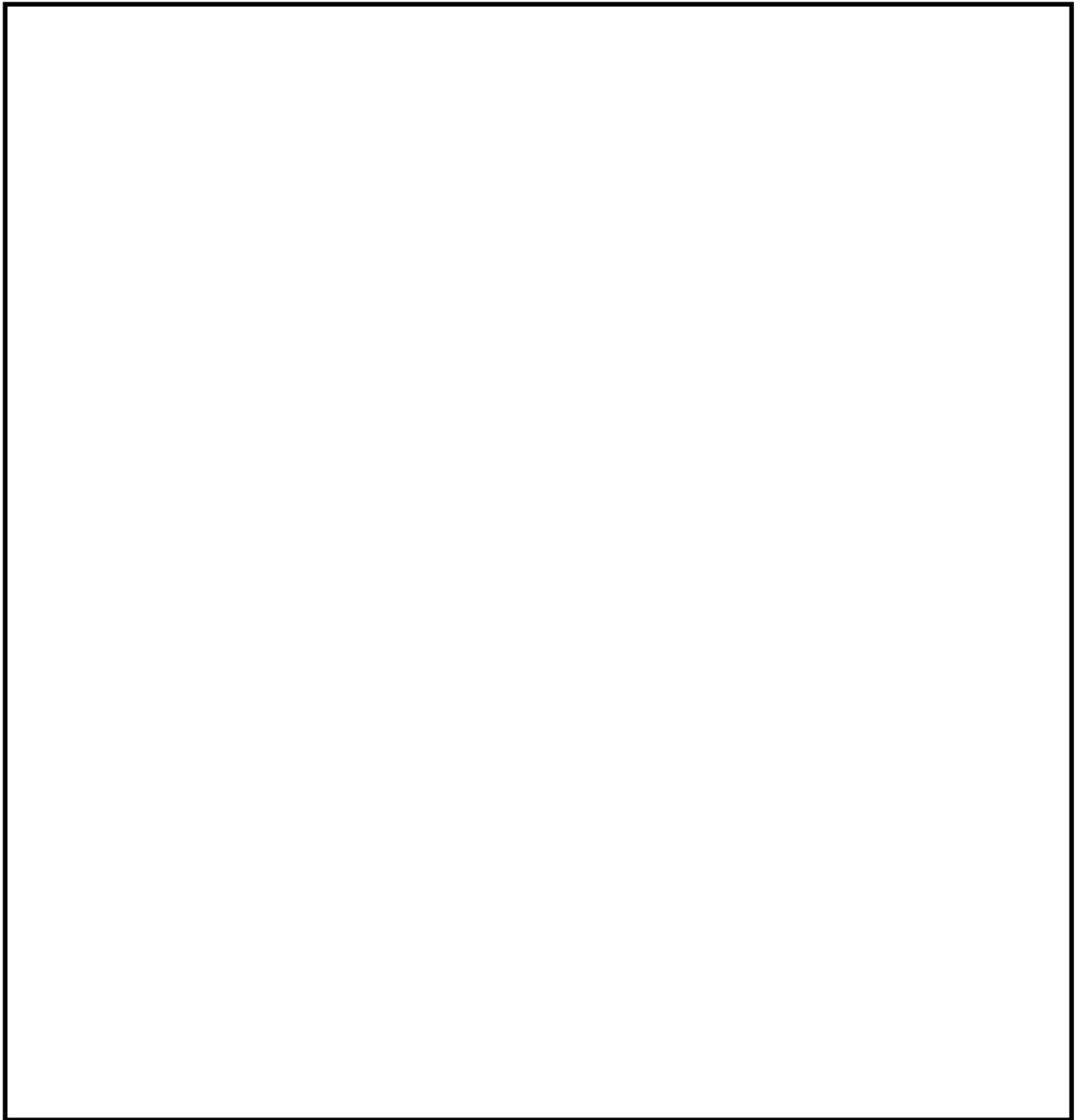
響を超える物品については飛散防止措置を行うこととする。

緊急時対策所についても、一般道から約 200m の離隔を有しており、車両の最大飛散距離として保守性をもって設定した約 190m を上回っていること、また第 3.3.1-2 図に示すとおり敷地南側とは十分な離隔を有していることから、車両が飛来することは考え難い。また、建屋の壁は十分な厚さのある鉄筋コンクリート構造であることから、車両以外の飛来物によりその機能に影響を及ぼす可能性も低いと判断している。

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。



第 3.3.1-2 図 他者の所有する飛来物源の影響範囲

iii) 東海発電所廃止措置に伴い生じ得る飛来物源への対応

東海第二発電所に隣接する東海発電所においては廃止措置関連作業が実施されている。施設の解体作業等に関連してどのような飛来物源が生じ得るかを現時点で正確に特定することは困難であるが、以下のとおり東海第二発電所へ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、隔離、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。東海第二発電所の防護対象施設は風荷重に対し十分に余裕があることを参照すれば、これら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、撤去の途中の状況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、そのよう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<sup>(1)(2)</sup>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 東海第二発電所における設計飛来物の速度

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

c. 設計飛来物の衝撃荷重の設定

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

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

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

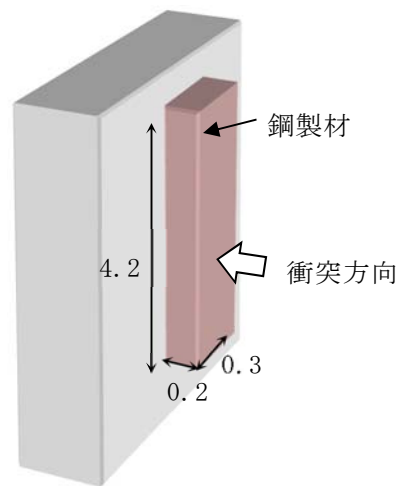
M：飛来物の質量

V：飛来物の衝突速度

$L_{MIN}$  : 飛来物の衝突方向長さ

この場合、衝撃荷重が最大となるのは第 3.3.1-3 図に示す向きの衝突(荷重：1760kN)となるが、評価においては、対象部位の構造を考慮した上で衝突姿勢を決定し、上記式の考え方にに基づき、その都度衝撃荷重を算出する。

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



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

#### d. 設計竜巻荷重の組合せ

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

$$W_{T1} = W_P$$

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

$W_{T1}$ 、 $W_{T2}$  : 設計竜巻による複合荷重

$W_W$  : 設計竜巻の風圧力による荷重

$W_P$  : 設計竜巻の気圧差による荷重

$W_M$  : 設計飛来物による衝撃荷重

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

### 3.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおりとする。

#### (1) 評価対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重等

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

#### (2) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は積乱雲や積雲に伴って発生する現象であり<sup>(4)</sup>、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、雹及び大雨である。これらの自然現象の組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. 雹

雹は積乱雲から降る直径 5mm 以上の氷の粒<sup>(5)</sup>であり、仮に直径 10cm 程度の大型の雹を想定した場合でも、その重量は約 0.5kg である。直径 10cm 程度の雹の終端速度は 59m/s<sup>(6)</sup>、運動エネルギーは約 0.9kJ であり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、雹の衝突荷重は設計竜巻荷重に包絡される。【添付資料 10】

#### d. 大雨

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

### (3) 設計基準事故時荷重

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

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

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、評価対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じる設備としては動的機器である残留熱除去系海水系ポンプ等が考えられるが、設計基準事故時においても残留熱除去系海水系ポンプ等の圧力、温度が変わらず、機械的荷重が変化することはないため、設計基準事故により考慮すべき荷重はなく、竜巻と設計基準事故時荷重の組合せは考慮しない。

### 3.4 評価対象施設の設計方針

評価対象施設のうち竜巻防護施設については、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，竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設については，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，竜巻防護施設の安全機能を損なうことのない設計とする。

#### 3.4.1 許容限界

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

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

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

- ・ 日本工業規格

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

等

### 3.4.2 設計方針

#### (1) 屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設も含む。）

設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、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. ディーゼル発電機吸気フィルタ

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

##### b. ディーゼル発電機室ルーフベントファン

ディーゼル発電機室ルーフベントファンは、設計飛来物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。

##### c. 中央制御室換気系冷凍機

中央制御室換気系冷凍機は、設計飛来物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、中央制御室換気系冷凍機に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

d. 海水ポンプ室内設備

海水ポンプ室内設備は、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、海水ポンプ室内設備に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

e. 非常用ガス処理系排気配管

非常用ガス処理系排気配管は、設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても、閉塞することではなく、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。

f. 排気筒

排気筒は、設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても、閉塞することではなく、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。

g. 原子炉建屋, タービン建屋, 使用済燃料乾式貯蔵建屋

原子炉建屋, タービン建屋, 使用済燃料乾式貯蔵建屋は、風圧力による荷重, 気圧差による荷重, 設計飛来物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, 開口部（扉類）の破損により当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により、当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

なお、原子炉建屋原子炉棟外壁のブローアウトパネルについては、設計竜巻による気圧低下により開放する可能性があり、原子炉建屋原子炉棟の放射性物質の閉じ込め機能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。

h. 軽油貯蔵タンクタンク室

軽油貯蔵タンクタンク室は地下埋設されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しないことから、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. 中央制御室換気系隔離弁，ファン

中央制御室換気系隔離弁，ファンは，建屋に内包されていることを考慮すると，風圧力による荷重は作用しない。さらに，中央制御室換気系の取入口の建屋開口部を設計飛来物が貫通し，中央制御室換気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，中央制御室換気系に常時作用する荷重に対して，構造健全性が維持され，安全機能を損なわない設計とする。

b. ディーゼル発電機室換気系ダクト

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

c. 原子炉建屋換気系隔離弁，ダクト

原子炉建屋換気系隔離弁，ダクトは，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，原子炉建屋附属棟4階開口部建具に貫通が発生することを考慮し，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，原子炉建屋換気系に常時作用する荷重に対して，構造健全性が維持され，安全機能を損なわない設計とする。

(3) 外殻となる施設（建屋，構築物）による防護機能が期待できない施設設計荷重に対して，安全機能が維持される設計とし，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. 中央制御室換気系ファン

中央制御室換気系ファンは，設計飛来物の衝突により，原子炉建屋附属棟 4 階開口部建具に貫通が発生することを考慮し，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，中央制御室換気系ファンの構造健全性が維持され，安全機能を損なわない設計とする。

b. 非常用電源盤

非常用電源盤は，設計飛来物の衝突により，原子炉建屋附属棟 1 階電気室扉に貫通が発生することを考慮し，電気室扉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，非常用電源盤の構造健全性が維持され，安全機能を損なわない設計とする。

c. 非常用ガス処理系設備，非常用ガス再循環系設備

非常用ガス処理系設備，非常用ガス再循環系設備は，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。また，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，竜巻襲来による気圧低下により開放されることを考慮しても，ブローアウトパネルの配置高さを考慮すると，設計飛来物は到達しないため，衝撃荷重は作用しない。

以上より，非常用ガス処理系設備，非常用ガス再循環系設備には，設計竜巻荷重が作用せず，構造健全性が維持され，安全機能を損なわない。

d. 使用済燃料プール，燃料プール冷却浄化系真空破壊弁

使用済燃料プール，燃料プール冷却浄化系真空破壊弁は，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。また，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，竜巻襲来による気圧低下により開放されることを考慮しても，ブローアウトパネルの配置高さを考慮すると，設計飛来物は到達しないため衝撃荷重は作用しない。

以上より，使用済燃料プール，燃料プール冷却浄化系真空破壊弁には設計竜巻荷重が作用せず，構造健全性が維持され，安全機能を損なわない。

e. 使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器は，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貫通が発生することを考慮し，設計飛来物の衝撃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。

(4) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

設計荷重に対して，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，竜巻防護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突荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して，倒壊により竜巻防護施設を内包する施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。



b. 海水ポンプ室

海水ポンプ室は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝突荷重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、倒壊により竜巻防護施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

c. 鋼製防護壁

鋼製防護壁は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝突荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、倒壊により、竜巻防護施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

d. 排気筒

排気筒は、竜巻防護施設として構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計としており、転倒により竜巻防護施設を内包する施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

e. ディーゼル発電機排気消音器

ディーゼル発電機排気消音器は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、ディーゼル発電機排気消音器が閉塞することがなく、ディーゼル発電機等の排気機能が維持される設計とする。さらに、ディーゼル発電機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、ディーゼル発電機排気消音器が、竜巻防護施設であるディーゼル発電機等に機能的影響を及ぼさず、ディーゼル発電機等が安全機能を損なわない設計とする。

f. ディーゼル発電機附属設備配管

ディーゼル発電機附属設備配管は、設計飛来物の衝突により貫通する

ことを考慮しても、ディーゼル発電機附属設備配管が閉塞することがなく、ディーゼル発電機等の排気機能等が維持される設計とする。さらに、ディーゼル発電機附属設備配管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及びディーゼル発電機附属設備配管に常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

以上より、ディーゼル発電機附属設備配管が、竜巻防護施設であるディーゼル発電機等に機能的影響を及ぼさず、ディーゼル発電機等が安全機能を損なわない設計とする。

#### g. 海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）

海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）が閉塞することがなく、海水ポンプ室内設備の機能等が維持される設計とする。さらに、海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）に常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

以上より、海水ポンプ室内設備附属配管（放出側）が、竜巻防護施設である海水ポンプ室内設備に機能的影響を及ぼさず、海水ポンプ室内設備が安全機能を損なわない設計とする。

### 3.5 竜巻随件事象に対する評価

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

## (1) 火災

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

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

建屋外については、設計竜巻による発電所敷地内の危険物タンクの火災があり、外部火災評価における発電所敷地内の危険物タンクの火災影響評価と同様であり、竜巻防護施設の安全機能を損なうことのないことを確認している。なお、建屋外の火災については、竜巻通過後、速やかに消火活動を行う運用により対応する。

以上により、竜巻による火災により竜巻防護施設の安全機能を損なわない。

## (2) 溢水

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

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

護施設の安全機能を損なうことはないことを確認している。

建屋外については、溢水評価における屋外タンクの評価に包絡されるため、竜巻防護施設の安全機能を損な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竜巻防護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は原子炉建屋内に収納しており、外殻機能が期待できることから、設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝突荷重による機関への影響はないため、竜巻による外部電源喪失により、竜巻防護施設の安全機能を損なわない。

なお、非常用ディーゼル発電機の附属設備について、安全機能を損な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ディーゼル発電機運転に支障をきたすことはない。

<参考文献>

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

## 添付資料 目次

1. 竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出について  
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. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出について
4. 竜巻検討地域の設定について
5. 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
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

10. 竜巻時に発生する雹の影響について
11. 竜巻随件事象の抽出について

竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出について

1. 抽出方針

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

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

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

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

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



## 2. 抽出結果

### 2.1 竜巻防護施設を内包する施設

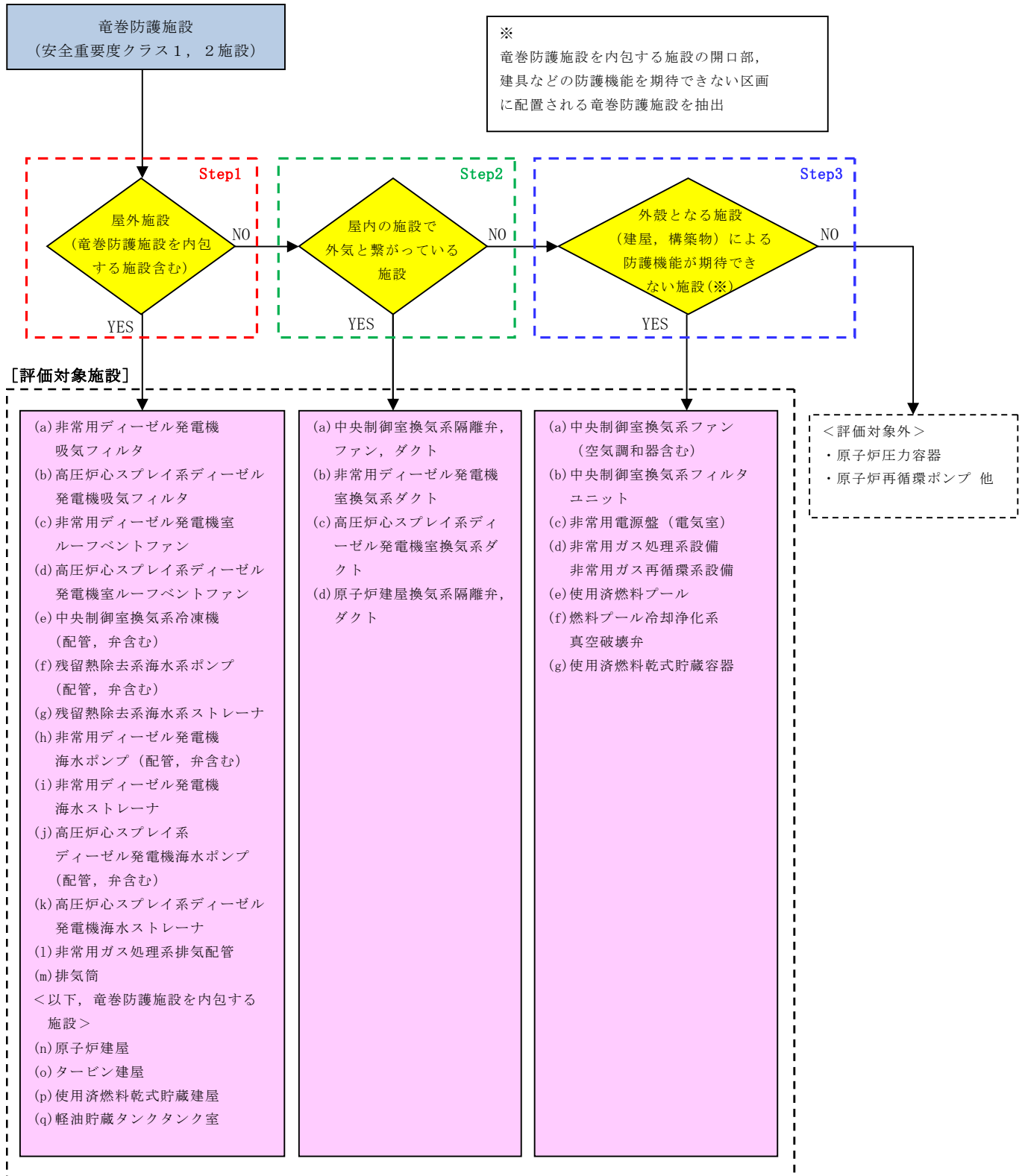
竜巻防護施設を内包する施設を以下のとおり抽出した。

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

### 2.2 竜巻防護施設

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

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



第 2.2-1 図 竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フロー

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

分類	定義	安全機能の重要度分類					抽出結果		
		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	Step1 屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設を含む)	Step2 屋内の施設 で外気と繋がっている施設	Step3 外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によって、 (a) 炉心の著しい損傷又は (b) 燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材圧力バウダンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウダンダリを構成する機器・配管系（計装等の小口径配管・機器は除く。）	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉圧力容器</li> <li>原子炉再循環ポンプ</li> <li>配管、弁</li> <li>隔離弁</li> <li>制御棒駆動機構ハウジング</li> <li>中性子束計装管ハウジング</li> </ul>	×	×	×	—	—
		2) 過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>制御棒カップリング</li> <li>制御棒駆動機構カップリング</li> </ul>	×	×	×	—	—
		3) 炉心形状の維持機能	炉心支持構造物（炉心シユラウド、シユラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、燃料集合体（ただし、燃料を除く。）	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉心シユラウド</li> <li>シユラウドサポート</li> <li>上部格子板</li> <li>炉心支持板</li> <li>燃料支持金具</li> <li>制御棒案内管</li> <li>制御棒駆動機構ハウジング</li> <li>燃料集合体の下記部分  <ul style="list-style-type: none"> <li>上部タイブレート</li> <li>下部タイブレート</li> </ul> </li> <li>燃料集合体（スベーサ）</li> </ul>	×	×	×	—	—

○：Yes    ×：No    —：該当せず

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

分類	定義	安全機能の重要度分類				Step1 屋外施設 (竜巻防護施設 を内包する施 設含む)	Step2 屋内の施設 で外気と繋 がっている 施設	Step3		抽出結果
		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	外殻と なる施設 (建屋, 構築物)			外殻防護 機能を期待 できない	評価 対象	
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 2) 未臨界維持機能 3) 原子炉冷却材圧力 バウンダリの過圧 防止機能	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) ) 原子炉停止系 (制御棒 による系, ほう酸水注 入系)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・制御棒</li> <li>・制御棒案内管</li> <li>・制御棒駆動機構</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・制御棒</li> <li>・制御棒カププリング</li> <li>・制御棒駆動機構カププリ ング</li> <li>・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)</li> </ul>	×	×	×	×	×	—
				<ul style="list-style-type: none"> <li>・逃がし安全弁 (安全弁開機能)</li> </ul>	×	×	×	×	×	—

○ : Yes    × : No    — : 該当せず

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

分類	定義	機能	安全機能の重要度分類				抽出結果		
			該当する電気、機械装置のうち主な施設	Step1 屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む）	Step2 屋内の施設で外気と繋がっている施設	Step3 外殻と外殻となる施設（建屋、構築物）		評価対象	評価対象施設名称
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	4) 原子炉停止後の除熱機能	<p>構築物、系統又は機器</p> <p>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、高圧炉心スプレイス、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））</p>	<p>該当する電気、機械装置のうち主な施設</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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）</li> </ul>	×	×	×	×	—
				<p>該当する電気、機械装置のうち主な施設</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉隔離時冷却系（ポンプ、サブレーション・プール、タービン、サブレーション・プールから注水先までの配管、弁）</li> </ul>	×	×	×	×	—
				<p>該当する電気、機械装置のうち主な施設</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高圧炉心スプレイス（ポンプ、サブレーション・プール、サブレーション・プールからスプレイ先までの配管、弁、スプレイヘッダ）</li> <li>・逃がし安全弁（手動逃がし機能）</li> <li>・自動減圧系（手動逃がし機能）</li> </ul>	×	×	×	×	—

○：Yes    ×：No    —：該当せず

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

		安全機能の重要度分類					抽出結果		
分類	定義	機能	構造物、系統又は機器	該当する電気、機械装置のうち主な施設	Step1	Step2	Step3	評価対象	評価対象施設名称
					屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻と外殻となる施設（建屋、構造物）		
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造物、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、サブレッション・プール、サブレッション・プールからスプレイ先までの配管、弁、スプレイヘッド）	×	×	×	×	—
				・残留熱除去系（低圧注水モータード）（ポンプ、サブレッション・プール、サブレッション・プールから注水先までの配管、弁（熱交換器バイパスライン含む）、注水ヘッド）	×	×	×	×	—
				・高圧炉心スプレイ系（ポンプ、サブレッション・プール、サブレッション・プールからスプレイ先までの配管、弁、スプレイヘッド）	×	×	×	×	—
				・自動減圧系（逃がし安全弁）	×	×	×	×	—

○：Yes    ×：No    —：該当せず

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

分類	安全機能の重要度分類					抽出結果					
	定義	機能	構築物、系統又は機器	該当する電気、機械装置のうち主な施設	Step1 屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む）	Step2 屋内の施設で外気と繋がっている施設	Step3 外殻と外殻となる施設（建物、構築物）	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称	
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	6) 放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレッド冷却系、原子炉建屋、非常用ガス処理系、非常用再循環ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	・格納容器 (格納容器本体、貫通部、所員用エアロック、機器搬入ハッチ)	×	×	×	×	×	—	
				・原子炉建屋原子炉棟	○	×	—	—	○	・原子炉建屋	
				・格納容器隔離弁及び格納容器バウンダリ配管	×	×	×	×	×	×	—
				・主蒸気流量制限器	×	×	×	×	×	×	—
				・残留熱除去系（格納容器スプレッド冷却モード） (ポンプ、熱交換器、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからスプレッド先（ドライウエル及びサブプレッション・プール気相部）までの配管、弁、スプレッドヘッド（ドライウエル及びサブプレッション・プール）	×	×	×	×	×	—	

○：Yes    ×：No    —：該当せず

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

		安全機能の重要度分類					抽出結果			
分類	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	Step1 屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む）	Step2 屋内の施設で外気と繋がっている施設	Step3		評価対象	評価対象施設名称
							外殻と外殻となる施設（建屋、構築物）	外殻防護機能を期待できない		
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>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）</li> </ul>	×	×	×	×	×	—
					○	×	—	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>非常用ガス処理系配管</li> <li>排気筒</li> </ul>	
					×	○	×	×	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉建屋換気系隔離弁、ダクト</li> </ul>
					×	×	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>非常用ガス処理系設備</li> <li>非常用ガス再循環系設備</li> </ul>

○：Yes    ×：No    —：該当せず



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

分類	安全機能の重要度分類					Step1 屋外施設 (竜巻防護施設 を内包する施 設含む)	Step2 屋内の施設 で外気と繋 がっている 施設	Step3		抽出結果
	定義	機能	構築物、系統又は 機器	該当する 電気、機械装置 のうち主な施設	外殻と 外殻と繋 がる施設 (建物、 構築物)			外殻防護 機能を期待 できない	評価 対象	
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> <li>遮へい設備(原子炉遮へい壁、一次遮へい壁、二次遮へい壁)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> </ul>	×	×	×	—	
	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉緊急停止の安全保護回路</li> <li>非常用炉心冷却系作動の安全保護回路</li> <li>原子炉格納容器隔離の安全保護回路</li> <li>原子炉建屋ガス処理系作動の安全保護回路</li> <li>主蒸気隔離の安全保護回路</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> </ul>	×	×	×	—	

○：Yes    ×：No    —：該当せず

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

		安全機能の重要度分類					抽出結果		
分類	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	Step1	Step2	Step3	評価対象	評価対象施設名称
					屋外施設（電巻防護施設を内包する施設を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻と外殻となる施設（建屋、構築物）		
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）	×			×	—
					×	×	×	×	—
					○	×	—	○	・非常用ディーゼル発電機 吸気フィルタ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 吸気フィルタ  ・非常用ディーゼル発電機室 ルーフバントファン ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室 ルーフバントファン

○：Yes    ×：No    —：該当せず

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

		安全機能の重要度分類					抽出結果			
分類	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	Step1 屋外施設（電巻防護施設を内包する施設を含む）	Step2 屋内の施設で外気と繋がっている施設	Step3 外殻と外殻となる施設（建屋、構築物）	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
MS-1	2) 安全上必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）	<ul style="list-style-type: none"> <li>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）</li> </ul>	×	○	原子炉建屋	×	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>非常用ディーゼル発電機室</li> <li>換気系ダクト</li> <li>高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室</li> <li>換気系ダクト</li> </ul>
					○	×	－	－	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉建屋</li> </ul>
					×	×	原子炉建屋	×	×	－
					○	×	－	－	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>中央制御室</li> <li>換気系冷凍機（配管、弁含む）</li> </ul>
					×	×	原子炉建屋	×	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>中央制御室</li> <li>換気系隔離弁、ファン、ダクト</li> </ul>
					×	×	原子炉建屋	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>中央制御室換気系ファン</li> <li>中央制御室換気系フィルタユニット</li> </ul>

※1：原子炉建屋としての評価に包絡される。

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

		安全機能の重要度分類					抽出結果		
分類	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	Step1	Step2	Step3	評価対象	評価対象施設名称
					屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（建屋、構築物）		
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）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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））</li> </ul>	×	×	×	×	—
					○	×	—	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・残留熱除去系海水系ポンプ（配管、弁含む）</li> <li>・残留熱除去系海水系ストレーナ</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディーゼル発電機海水系（ポンプ、配管、弁、ストレーナ）</li> </ul>	×	×	×	×	—
					○	×	—	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非常用ディーゼル発電機海水系ポンプ（配管、弁含む）</li> <li>・高圧炉心スプレイスディーゼル発電機海水系ポンプ（配管、弁含む）</li> </ul>

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

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

		安全機能の重要度分類					抽出結果						
分類	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	Step1 屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む）	Step2 屋内の施設で外気と繋がっている施設	外設となる施設（建屋、構築物）	Step3		評価対象	評価対象施設名称		
								外設防護機能を期待できない	評価対象				
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）	<ul style="list-style-type: none"> <li>ディーゼル発電機海水系（ポンプ、配管、弁、ストレートレーナ）</li> <li>（続き）</li> </ul>	○	×	—				<ul style="list-style-type: none"> <li>非常用ディーゼル発電機海水ストレートレーナ</li> <li>高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水ストレートレーナ</li> </ul>		
					×				×	×	×	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>取水路（屋外トレンチ含む）</li> </ul>
					×						×	×	×
				<ul style="list-style-type: none"> <li>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））</li> <li>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））</li> </ul>	×	×	原子炉建屋		○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>非常用電源盤（電気室）</li> </ul>		
					×	×	原子炉建屋		×	×	—		

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

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

分類	安全機能の重要度分類					Step1	Step2	Step3		抽出結果		
	定義	機能	構築物、系統又は機器	該当する電気、機械装置のうち主な施設	屋外施設（電巻防護施設を内包する施設を含む）			屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（建屋、構築物）	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
P S - 2	1) その損傷又は故障により発生する事象によつて、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）	<ul style="list-style-type: none"> <li>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）</li> <li>主蒸気系</li> <li>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つて外側隔離弁下流からタービン止め弁まで）</li> <li>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）</li> <li>使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）</li> <li>新燃料貯蔵庫（臨界防止する機能）（新燃料貯蔵ラック）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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）</li> <li>主蒸気系</li> <li>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つて外側隔離弁下流からタービン止め弁まで）</li> <li>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）</li> <li>使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）</li> <li>新燃料貯蔵庫（臨界防止する機能）（新燃料貯蔵ラック）</li> </ul>	×	×	×	×	×	—	
		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つて、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。）		<ul style="list-style-type: none"> <li>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）</li> <li>使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）</li> <li>新燃料貯蔵庫（臨界防止する機能）（新燃料貯蔵ラック）</li> </ul>	×	×	×	×	×	○	— ・使用済燃料プール
						×	×	×	×	×	×	—

○：Yes    ×：No    —：該当せず

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

		安全機能の重要度分類					Step1		Step2		Step3		抽出結果	
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	該当する電気、機械装置のうち主な施設	屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（建屋、構築物）	外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称				
PS-2	1) その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	2) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	放射性廃棄物処理施設（放射能インベントリの大きいもの）、使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む。）	・使用済燃料乾式貯蔵容器	×	×	使用済燃料乾式貯蔵建屋	○	○	・使用済燃料乾式貯蔵容器				
		3) 燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備	・燃料交換機 ・原子炉建屋クレーン	×	×	原子炉建屋	○	×	—				
	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、炉心の冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器	1) 安全弁及び逃げがし弁の吹き止まり機能	逃げがし安全弁（吹き止まり機能に連する部分）	・逃げがし安全弁（吹き止まり機能に連する部分）	×	×	使用済燃料乾式貯蔵建屋	○	×	—				

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

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

分類	安全機能の重要度分類						抽出結果			
	定義	機能	構築物、系統又は機器	該当する電気、機械装置のうち主な施設	Step1 屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む）	Step2 屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻と外殻となる施設（建屋、構築物）	Step3 外殻防護機能を期待できない	評価対象	評価対象施設名称
MS-2	1) P S-2 の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物、系統及び機器	1) 燃料プールの補給機能 2) 放射性物質放出の防止機能	非常用補給水系	<ul style="list-style-type: none"> <li>残留熱除去系（ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールから燃料プールまでの配管、弁）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> </ul>	原子炉建屋	×	×	—
MS-2			放射性気体廃棄物処理系の隔離弁、排気筒（非常用ガス処理系排気筒の支持機能以外）	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射性気体廃棄物処理系（オフガス）隔離弁</li> <li>排気筒</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> </ul>	原子炉建屋	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料プール冷却浄化系真空破棄弁</li> </ul>
MS-2		燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系		<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉建屋原子炉棟</li> <li>原子炉建屋ガス処理系</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>×</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> <li>×</li> </ul>	— 原子炉建屋	— × <td rowspan="2">○ ×</td> <td rowspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉建屋</li> </ul> </td>	○ ×	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉建屋</li> </ul>

○：Yes    ×：No    —：該当せず



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

		安全機能の重要度分類					抽出結果			
分類	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	Step1 屋外施設（電巻防護施設を内包する施設を含む）	Step2 屋内の施設で外気と繋がっている施設	Step3		評価対象	評価対象施設名称
							外殻となる施設（建屋、構築物）	外殻防護機能を期待できない		
MS-2	1) P S - 2 の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物、系統及び機器	2) 放射性物質放出の防止機能	燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系	・原子炉建屋ガス処理系	×	○	×	×	○	・原子炉建屋換気系隔離弁、ダクト
					×	×	○	○	・非常用ガス処理系設備	
					×	×	×	×	・非常用ガス再循環系設備	
	2) 異常状態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	1) 事故時のプラント状態の把握機能	事故時監視計器の一部	・中性子束（起動領域計装） ・原子炉スクラム用電磁接触器の状態 ・制御棒位置 ・原子炉水位（広帯域、燃料域） ・原子炉圧力 ・原子炉格納容器圧力 ・サブレッション・プールの温度 ・原子炉格納容器エリア放射線量率（高レンジ）	×	×	×	×	×	—
					×	×	×	×	—	
					×	×	×	×	—	

○：Yes    ×：No    —：該当せず

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

分類	定義	安全機能の重要度分類					抽出結果		
		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	Step1 屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む）	Step2 屋内の施設で外気と繋がっている施設	Step3 外殻と外殻となる施設（建物、構築物）	外殻防護機能を期待できない	評価対象
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 2) 異常状態の緩和機能 3) 制御室外からの安全停止機能	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） [ドライウェルズブレイ] ・原子炉水位（広帯域、燃料域） ・原子炉格納容器圧力 [サブレーション・プールの冷却] ・原子炉水位（広帯域、燃料域） ・サブレーション・プールの温度 [可燃性ガス濃度制御系起動] ・原子炉格納容器水素濃度 ・原子炉格納容器酸素濃度	×	×	原子炉建屋	×	—
			BWR には対象機能なし	—	—	—	—	×	—
			制御室外原子炉停止装置（安全停止に関連するもの）	・制御室外原子炉停止装置（安全停止に関連するもの）の操作回路	×	×	原子炉建屋	×	—

○：Yes    ×：No    —：該当せず

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (1/10)

分類	定義	安全機能の重要度分類				Step1 屋外施設	Step2 屋内の施設で外気と繋がっている施設	Step3 外設となる施設 (建物, 構築物) 外設防護機能を期待できない: ○ 期待できる: ×	確認結果 主な対象施設の名称	代替措置等
		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	確認結果					
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	×	×	原子炉建屋	—	—	
		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	×	×	原子炉建屋	—	—	
		3) 放射性物質の貯蔵機能	サブレーションポンプ 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)	<ul style="list-style-type: none"> <li>復水貯蔵タンク</li> <li>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)</li> <li>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))</li> <li>新燃料貯蔵庫 (新燃料貯蔵ラック)</li> </ul>	○	×	原子炉建屋 原子炉建屋 廃棄物処理建屋	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 復水貯蔵タンク</li> <li>・ 低電導度廃液収集槽</li> <li>・ 高電導度廃液収集槽</li> <li>・ CUW 粉末樹脂沈降分離槽</li> <li>・ 使用済樹脂槽</li> <li>・ 濃縮廃液タンク</li> <li>・ 固体廃棄物貯蔵庫 (ドラム缶)</li> </ul>	必要に応じアラームを停止し, 補修を行う。  補修を実施  補修を実施	

○ : Yes    × : No    — : 該当せず

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (2/10)

		安全機能の重要度分類					確認結果				
分類	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	Step1	Step2	Step3	主な対象施設の名称	代替措置等		
					屋外施設	屋内の施設で外気が繋がっている施設	外設となる施設(建物、構築物) 外設防護機能を期待できない: ○ 期待できる : ×				
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	サブレーションポンプ、復水貯蔵タンク、放射能廃棄物処理施設 (放射能インベントリの小さいもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>給水加熱器保管庫</li> </ul>	○	×	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>給水加熱器保管庫</li> </ul>	補修を実施		
					×	×	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>セメント混練固化装置</li> <li>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)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>セメント混練固化装置</li> <li>雑固体減容処理設備</li> </ul>	補修を実施	
					×	×	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電機及びその励磁装置 (発電機、励磁器)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電機</li> <li>励磁器</li> </ul>	必要に応じプラントを停止し、補修を行う。	
					×	×	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>蒸気タービン (主タービン、主要弁、配管)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>主タービン</li> </ul>	必要に応じプラントを停止し、補修を行う。	
		×	×	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>復水系 (復水器を含む) (復水器、復水ポンプ、配管/弁)</li> </ul>	×	×	×	—	—	
		×	×	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> </ul>	×	×	×	×	—	—

○ : Yes    × : No    — : 該当せず

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (3/10)

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	確認結果			
	定義	機能	構築物、系統又は機器	該当する電気、機械装置のうち主な施設				屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋、構築物) 外殻防護機能を期待できない: ○ 期待できる : ×	主な対象施設の名称	代替措置等
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・循環水系 (循環水ポンプ、配管/弁)</li> <li>・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))</li> <li>・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))</li> <li>・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))</li> <li>・送電線</li> </ul>	×	×	×	×	—	—	
					○	×	—	—	—	—	必要に応じプラントを停止し、補修を行う。
					×	×	×	×	—	—	—
				×	×	×	×	×	×	—	
				×	×	×	×	×	×	—	
				○	×	—	—	—	—	補修を行う。	

○ : Yes    × : No    — : 該当せず

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (4/10)

		安全機能の重要度分類					確認結果		代替措置等	
分類	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	Step1 屋外施設	Step2 屋内の施設で外気と繋がっている施設	Step3 外設となる施設(建屋、構築物) 外設防護機能を期待できない: ○ 期待できる: ×	主な対象施設の名称		
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)	○	×	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>所内変圧器</li> <li>起動変圧器</li> <li>予備変圧器</li> </ul>	必要に応じプラントを停止し、補修を行う。	
		5) プラント計測・制御機能(安全保護機能を除く)	原子炉制御系、運転監視補助装置(制御棒価値ミニマイザ)、原子炉核計装の一部、原子炉プラントプロセス計装の一部	開閉所(母線、遮断器、断路器、電路)	×	×	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>母線</li> <li>遮断器</li> <li>断路器</li> </ul>	必要に応じプラントを停止し、補修を行う。	
		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)	×	×	×	—	—	—
					○	×	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>配管/弁</li> </ul>	必要に応じプラントを停止し、補修を行う。	

○ : Yes    × : No    — : 該当せず

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (5/10)

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	確認結果		代替措置等		
	定義	機能	構築物、系統又は機器	該当する電気、機械装置のうち主な施設				屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建物、構築物) 外殻防護機能を期待できない: ○ 期待できる: ×		主な対象施設の名称	
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>該当する電気、機械装置のうち主な施設</li> <li>・ 所内蒸気系及び戻り系 (ポンプ、配管/弁)</li> </ul>	×	×	×	×	—	—		
					○	×	—	—	・ 配管/弁	必要に応じプラントを停止し、補修を行う。		
					×	×	×	×	○	・ ポンプ ・ 配管/弁	必要に応じプラントを停止し、補修を行う。	
					×	×	×	×	×	×	—	—
					×	×	×	×	○	・ 配管/弁	必要に応じプラントを停止し、補修を行う。	
					×	×	×	×	×	×	—	—
					×	×	×	×	○	・ 原子炉補機冷却水系 ・ 原子炉補機冷却ポンプ、熱交換器、配管/弁	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)	必要に応じプラントを停止し、補修を行う。	

○ : Yes    × : No    — : 該当せず

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (6/10)

		安全機能の重要度分類				確認結果			
分類	定義	機能	構造物、系統又は機器	該当する電気、機械装置のうち主な施設	Step1	Step2	Step3	主な対象施設の名称	代替措置等
					屋外施設	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外設となる施設(建物、構造物) 外設防護機能を期待できない:○ 期待できる:×		
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 以外の構造物、系統及び機器	6) プラント運転補助機能	所内ボイラ, 計装用圧縮空気系	・タービン補機冷却海水系 (補機冷却海水ポンプ, 配管/弁, ストレーナ)	×	×	×	—	—
					○	×	—	・補機冷却海水ポンプ ・配管/弁 ・ストレーナ	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
				・復水補給水系 (復水移送ポンプ, 配管/弁)	×	×	×	—	—
				・使用済燃料乾式貯蔵建屋	○	×	—	・復水貯蔵タンク	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
		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	○	×	—	・使用済燃料乾式貯蔵建屋	補修を行う。

○: Yes    ×: No    —: 該当せず



第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (7/10)

分類	安全機能の重要度分類					Step3 外設となる施設 (建屋, 構築物) 外設防護機能を 期待できない:○ 期待できる :×	確認結果	代替措置等
	定義	機能	構築物, 系統又は 機器	該当する 電気, 機械装置 のうち主な施設	Step1 屋外 施設			
PS - 3	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射能止機能	燃料被覆管	・燃料被覆管 ・上/下部端栓 ・タイロッド	×	×	×	—
		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, ち過脱塩装置, 配管/弁) ・復水浄化系 (復水脱塩装置, 配管/弁)	×	×	×	—
					×	×	×	—

○ : Yes    × : No    — : 該当せず

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (8/10)

分類	安全機能の重要度分類				Step1	Step2	Step3	確認結果	
	定義	機能	構築物、系統又は機器	該当する電気、機械装置のうち主な施設				屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建屋、構築物) 外殻防護機能を期待できない: ○ 期待できる : ×
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 (逃がし安全弁機能), タービンバイパス弁	<ul style="list-style-type: none"> <li>逃がし安全弁 (逃がし弁機能)</li> <li>タービンバイパス弁</li> </ul>	×	×	×	—	—
		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	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉再循環制御系</li> <li>制御棒引抜阻止インターロック</li> <li>選択制御棒挿入系の操作回路</li> </ul>	×	×	×	—	—
		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	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> <li>原子炉隔離時冷却系 (ポンプ, タービン)</li> </ul>	○	×	—	—	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。
				×	×	—	—	—	—
				○	×	—	—	—	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。

○ : Yes    × : No    — : 該当せず

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (9/10)

安全機能の重要度分類		Step1	Step2	Step3	確認結果	代替措置等				
分類	定義	屋外施設	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設 (建物, 構築物) 外殻防護機能を期待できない: ○ 期待できる: ×	主な対象施設の名称					
MS - 3	2) 異常状態への対応上必要な構築物, 系統及び機器	○	×	-	緊急時対策所 (別紙1-1参照)	<ul style="list-style-type: none"> <li>緊急時対策所 (建物)</li> <li>緊急時対策支援システム (無線系)</li> <li>所内電気設備 (常用)</li> <li>緊急時対策支援システム (有線系)</li> <li>所内電気設備 (非常用)</li> <li>酸素濃度計</li> </ul>	必要に応じプラントを停止し, 補修を行う。			
					<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>					
					1) 緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能					
	該当する電気, 機械装置のうち主な施設	×	×	緊急時対策所 原子炉建屋	×					
	構築物, 系統又は機器	×	×	緊急時対策所建屋 原子炉建屋	×					
	機能	×	×	緊急時対策所建屋 原子炉建屋	×					
	試料採取系 (異常時に必要な下記の機能を有するもの。原子炉冷却放射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)	×	×	緊急時対策所建屋	×					

○ : Yes    × : No    - : 該当せず

第 2.2-2 表 安全重要度クラス 3 に属する施設の確認結果 (10/10)

分類		安全機能の重要度分類					Step3 外設となる施設 (建屋, 構築物) 外設防護機能を 期待できない: ○ 期待できる : ×	確認結果	代替措置等
		定義	機能	構築物, 系統又は 機器	該当する 電気, 機械装置 のうち主な施設	Step1 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	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, 試験採取系, 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	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)	×	×	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・携帯型有線通話装置</li> <li>・衛星連絡設備 (固定型, 携帯型)</li> <li>・無線連絡設備 (携帯型)</li> <li>・送受話器 (ページング)</li> <li>・モニタリングポスト</li> </ul>	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が可能な設計とする
					○	×	○		
				放射線監視設備	×	×	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象観測装置</li> </ul>	可搬型気象観測設備にて代替
					○	×	×		
				事故時監視計器の一部	×	×	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>・消火系 (水消火設備, 泡消火設備, 二酸化炭素消火設備, 等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水消火設備</li> <li>・火災検出装置 (受信機含む)</li> </ul>
					○	×	×		
				安全避難通路	×	×	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全避難通路</li> <li>・非常用照明</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・消防自動車等にて代替</li> </ul>
					×	×	×		
				非常用照明	×	×	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全避難通路</li> <li>・非常用照明</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・消防自動車等にて代替</li> </ul>
					×	×	×		

○ : Yes    × : No    - : 該当せず

## 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、安全機能の重要度分類におけるクラス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	<ul style="list-style-type: none"> <li>緊急時対策支援システム伝送装置</li> <li>SPDSデータ表示装置</li> </ul>	同左	屋内 一部屋外	【屋内設備】 緊対所建屋(もしくは原子炉建屋)による外殻防護
	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ伝送装置</li> </ul>	同左	屋内 屋外	
通信連絡	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> <li>携行型有線通話装置</li> <li>衛星電話設備(固定型)</li> <li>衛星電話設備(携帯型)</li> <li>無線連絡設備(携帯型)</li> </ul>	同左	屋内 一部屋外	【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
	<ul style="list-style-type: none"> <li>電力保安通信用電話設備(固定電話機, PHS端末, FAX)</li> <li>送受話器(ページング)</li> <li>無線連絡設備(固定型)</li> <li>専用電話設備(ホットライン)(自治体向)</li> <li>テレビ会議システム(社内)</li> <li>加入電話設備(加入電話, 加入FAX)</li> </ul>	(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>常用所内電気設備</li> <li>非常用所内電気設備</li> </ul>	—	屋内 一部屋外	【屋内設備】 緊対所建屋(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
	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>緊急時対策所用発電機</li> <li>緊急時対策所用発電機給油ポンプ</li> <li>緊急時対策所用M/C</li> <li>緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク</li> </ul>	屋内	
居住性の確保	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>緊急時対策所遮蔽</li> </ul>	屋内 屋外	【屋内の遮蔽壁】 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
	—	—	—	—
居住性の確保(続き)	<ul style="list-style-type: none"> <li>酸素濃度計</li> <li>二酸化炭素濃度計</li> </ul>	同左	屋内	緊対所建屋による外殻防護
	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>緊急時対策所非常用送風機</li> <li>緊急時対策所非常用フィルタ装置</li> <li>緊急時対策所加圧設備</li> <li>緊急時対策所差圧計</li> <li>可搬型モニタリング・ポスト</li> <li>緊急時対策所エリアモニタ</li> </ul>	屋内	緊対所建屋による外殻防護

### 3. 緊急時対策所建屋による外殻防護能力について

別表 1-1 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た、別表 1-2 に示すとおり厚い鉄筋コンクリート製の外壁を有する設計とすることから、設計竜巻の風荷重に対してもその変形が十分に小さく抑えられ、建屋の損傷には至らない。また、同じく第 2 表に示すとおり、設計飛来物である鋼製材の貫通及び裏面剥離防止に対する必要厚さに対しても十分な余裕があり、設計飛来物の衝突に対しても内部の設備を防護可能な設計とする。

別表 1-2 緊急時対策所の外壁の概要

場所	材質	厚さ	設計飛来物の 貫通, 裏面剥離防止限界	
			貫通	裏面剥離
壁 (鉛直面)	鉄筋コンクリート		貫通	
			裏面剥離	
屋根 (水平面)	同上		貫通	
			裏面剥離	

以 上

## 耐震 S クラス施設について

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

〈津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を評価対象施設としない理由〉

- ・津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備は、津波に対して機能を発揮する施設であり、竜巻と津波の重畳の考慮要否を検討することで、竜巻に対する機能維持の要否が判断可能である。
- ・竜巻及びその随件事象によりこれらの施設が損傷することを想定した場合、敷地レベル(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  $9.6 \times 10^{-3}$  /年）と設計竜巻（ $V_D=100\text{m/s}$ ）の発生頻度（約  $2.1 \times 10^{-6}$  /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、竜巻及びその随件事象により津波防護施設等が損傷した場合でも当該機能が必要となる前に修復等の対応が可能と考えられる。



第1表 安全重要度クラス1, 2以外の耐震Sクラス施設の確認結果(1/2)

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

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

耐震重要度	機能別分類	設備別分類	対象施設	安全重要度クラス1 or 2
S	放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設であり、上記の「放射性物質の放散を直接防ぐための施設」以外の施設	主要設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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）</li> <li>・可燃性ガス濃度制御系</li> <li>・原子炉建屋</li> <li>・非常用ガス処理系</li> <li>・非常用ガス再循環系</li> <li>・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）</li> <li>・冷却水源としてのサブプレッション・プール</li> </ul>	○
		補助設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・残留熱除去系海水系</li> <li>・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。）</li> </ul>	○
	津波防護機能を有する設備及び浸水防止機能を有する設備	主要設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・津波防護施設</li> <li>・浸水防止設備</li> </ul>	該当しない
		補助設備	—	—
	敷地における津波監視機能を有する施設	主要設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・津波監視設備</li> </ul>	該当しない
		補助設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。）</li> </ul>	○

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

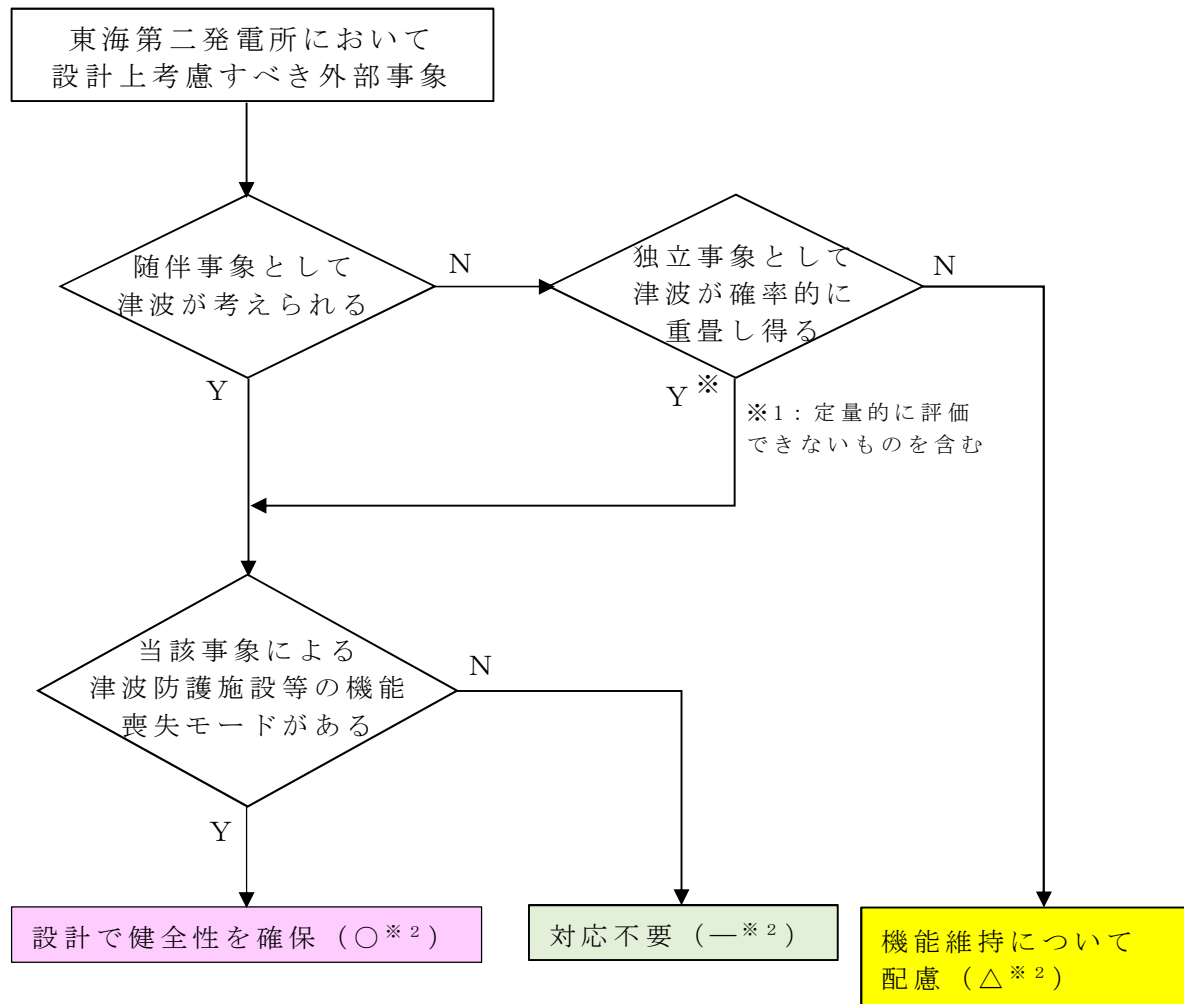
1. 概要

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

2. 防護に関する考え方

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

- ・設計上考慮すべき事象が，津波もしくは津波の随伴，重畳が否定できない事象に該当するかを確認する。定量的な重畳確率が求められない事象については，保守的にその影響を考慮する。
- ・津波の随伴，重畳が否定できない場合は，当該事象による津波防護施設等の機能喪失モードの有無を確認する。機能喪失モードが認められる場合は，設計により健全性を確保する。
- ・津波の随伴，重畳が有意でないと評価される事象についても，東海第二発電所の津波防護施設等については，基準津波の高さや防護範囲の広さ等その重要性に鑑み，自主的に機能維持のための配慮を行う。



別図 1-1 外部事象に対する津波防護施設等の機能維持対応要否判断フロー

### 3. 検討結果

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

### 3.1 津波の随伴，重畳が否定できない事象<sup>\*</sup>に対する防護方針

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

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

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

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

#### 3.2.1 「火山の影響」

設計で想定する降下火砕物の給源の噴火と安全施設の中で最も低所にある海水ポンプを内包する海水ポンプ室壁頂部の高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約  $8.6 \times 10^{-8}$  (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  $3.8 \times 10^{-8}$  (1/y) であり、竜巻と津波の重畳は有意ではないと評価されるが、竜巻が襲来した場合には必ず作用する風荷重に対しては、津波防護施設等の健全性を維持する設計とする。また、竜巻が襲来した場合でも、必ずしも津波防護施設に作用するとは限らない竜巻飛来物荷重に対しては、大規模な損傷に至り難い構造とする。

別表 1-1 外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表

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

設計上考慮すべき外部事象	①随件事象として津波を考慮	②独立事象として津波が重量し得る	津波との重量を考慮要(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。	○	耐震スクラス施設として基準地震動 Ss に対し健全性を維持し, 津波に対する防護機能を維持する。 また, 津波と余震 (Sd-DI 地震動) の組合せも考慮する。
洪水 (外部洪水)	—	○	○	<u>なし</u> 基準津波の遡上高さと洪水ハザードマップの浸水想定を重ねても, 発電所敷地へ侵入し得る高さには達しない。 国道 245 号線西側田畑への洪水高さ: ~T.P. 10m (審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止(その他外部事象)」より) 国道 245 号西側田畑への津波遡上分: ~+4m (遡上解析結果より) ⇒合計 T.P. ~14m < E.L. (=T.P.) 15m (国道 245 号線 (発電所入口))	—	—
風 (台風)	—	○	○	<u>あり</u> 風荷重により損傷した場合, 安全施設等への津波の到達, 浸水による機能喪失が想定される。	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>風荷重, 津波荷重を考慮した設計とする。</li> <li>津波監視カメラは, 風荷重を考慮した設計とする。</li> </ul>

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

設計上考慮すべき外部事象	①随件事象として津波を考慮	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮 (①か②が“○”)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
竜巻	—	—	—	<p><u>なし</u></p> <p>以下のとおり、重畳の頻度は無視し得る。 設計竜巻の確率 P1： 約 <math>3.9 \times 10^{-6}/y</math> (補足 1 参照) 敷地高さ超津波 (&gt;T.P. 3m) の確率 P2： 約 <math>9.6 \times 10^{-3}/y</math> ※ ※：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 <math>3.8 \times 10^{-8}/y</math> ・・・目安値 PC=1 <math>\times 10^{-7}</math> 未満で、有意ではない。</p>	△	<p>防潮壁の設計においては、自主的に以下の配慮を行い、信頼性を高める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・風圧力に対しては、損傷しない様に構造強度を確保する。</li> <li>・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。</li> </ul>
極低温 (凍結)	—	○	○	<p><u>あり</u></p> <p>凍害により止水ジョイントが損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。</p>	○	止水ジョイントは最低気温を考慮した設計とする。
降水 (豪雨 (降雨))	—	○	○	<p><u>なし</u></p> <p>降雨による海水面の上昇の影響は無視し得る。</p>	—	—
積雪 (暴風雪)	—	○	○	<p><u>あり</u></p> <p>積雪荷重により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。</p>	○	積雪荷重と津波荷重を考慮した設計とする。

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



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

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

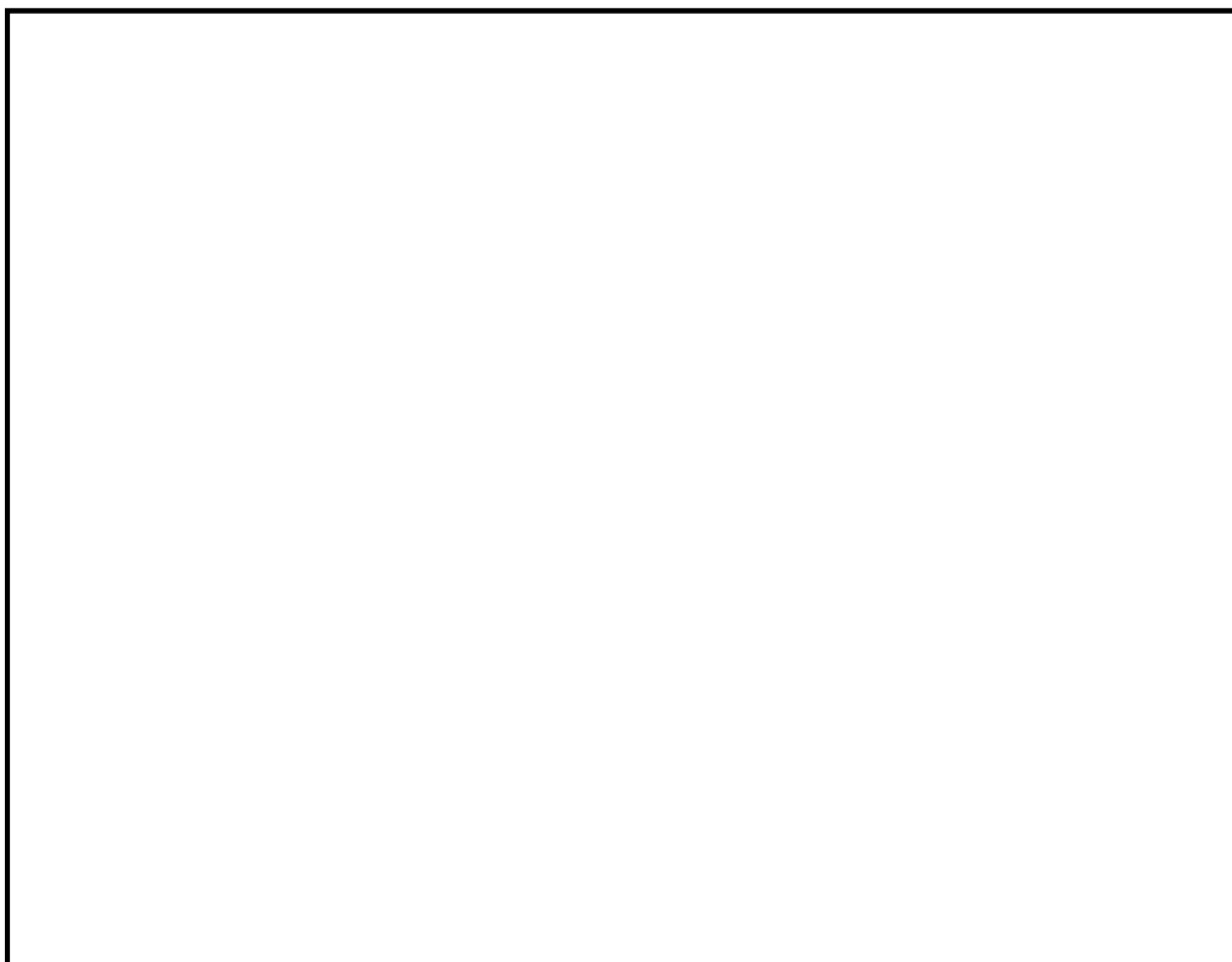
設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮(①か②が“○”)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
森林火災	—	○	○	<u>あり</u> 熱影響により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>森林火災の熱影響による強度低下及び止水ジョイントの機能喪失を起こさない設計とする。</li> <li>防潮堤上の津波監視設備が森林火災の影響で機能を喪失した場合、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)</li> </ul>
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  $3.9 \times 10^{-6}$  (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

ケース	①ベース (現ハザード)	②防潮堤考慮	備考
竜巻影響エリア	直列したゾーン毎の 小円に外接する大円	防潮堤の外接円 (他を包含)	
R/B	円 (D=188m)	円 (D≒800m)	
T/B			
排気筒			
海水Pエリア			
D/C建屋			
防潮堤	—		
竜巻検討エリア となる円の直径 (m) (1の位切上)	300	800	ケース①は上記 3エリアの直径 の和
竜巻影響エリア の面積 (m <sup>2</sup> )	約71,000	約503,000	
設計竜巻 (100m/s) の 年超過確率	約 $2.1 \times 10^{-6}$	約 $3.9 \times 10^{-6}$	変化の主要因 は、確率算出式 におけるエリア 幅寄与分 (全体 の約50%) の増 加による。

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出について

1. 抽出方針

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

第 1-1 図に抽出フローを示す。

(1) 機械的影響の観点

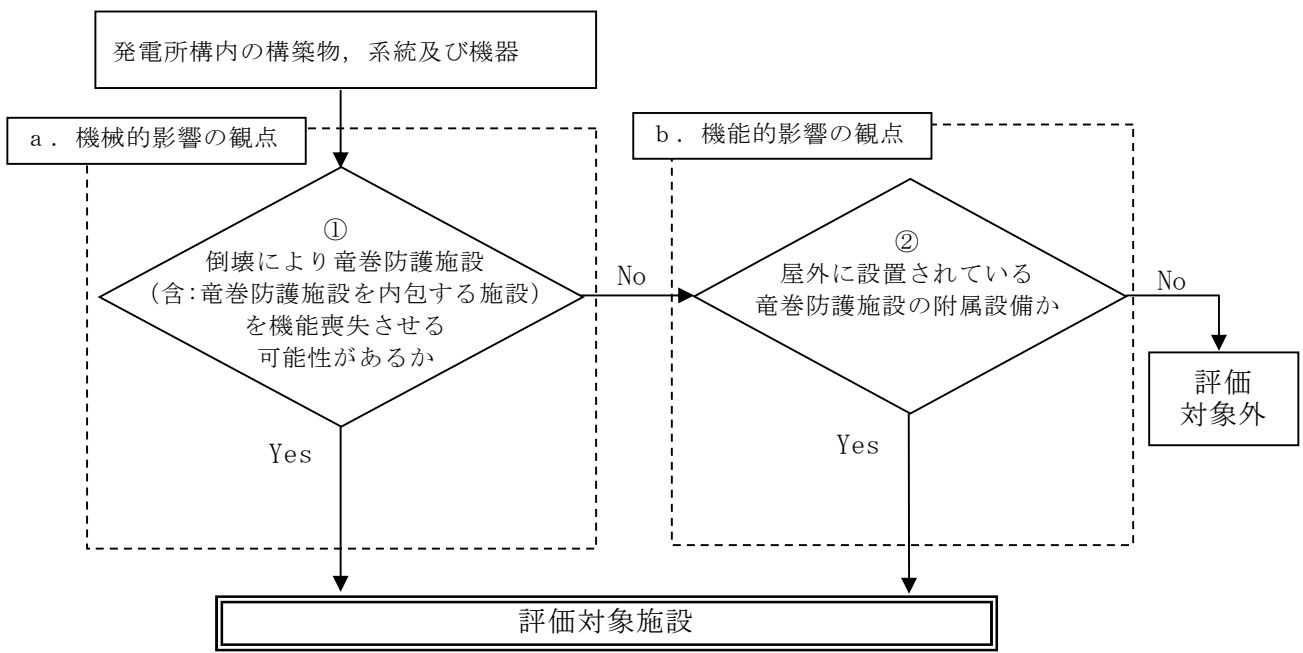
発電所構内の構築物，系統及び機器のうち，竜巻により倒壊して，竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設を機能喪失させる可能性がある施設，またはその施設の特定の区画を抽出する。

(2) 機能的影響の観点

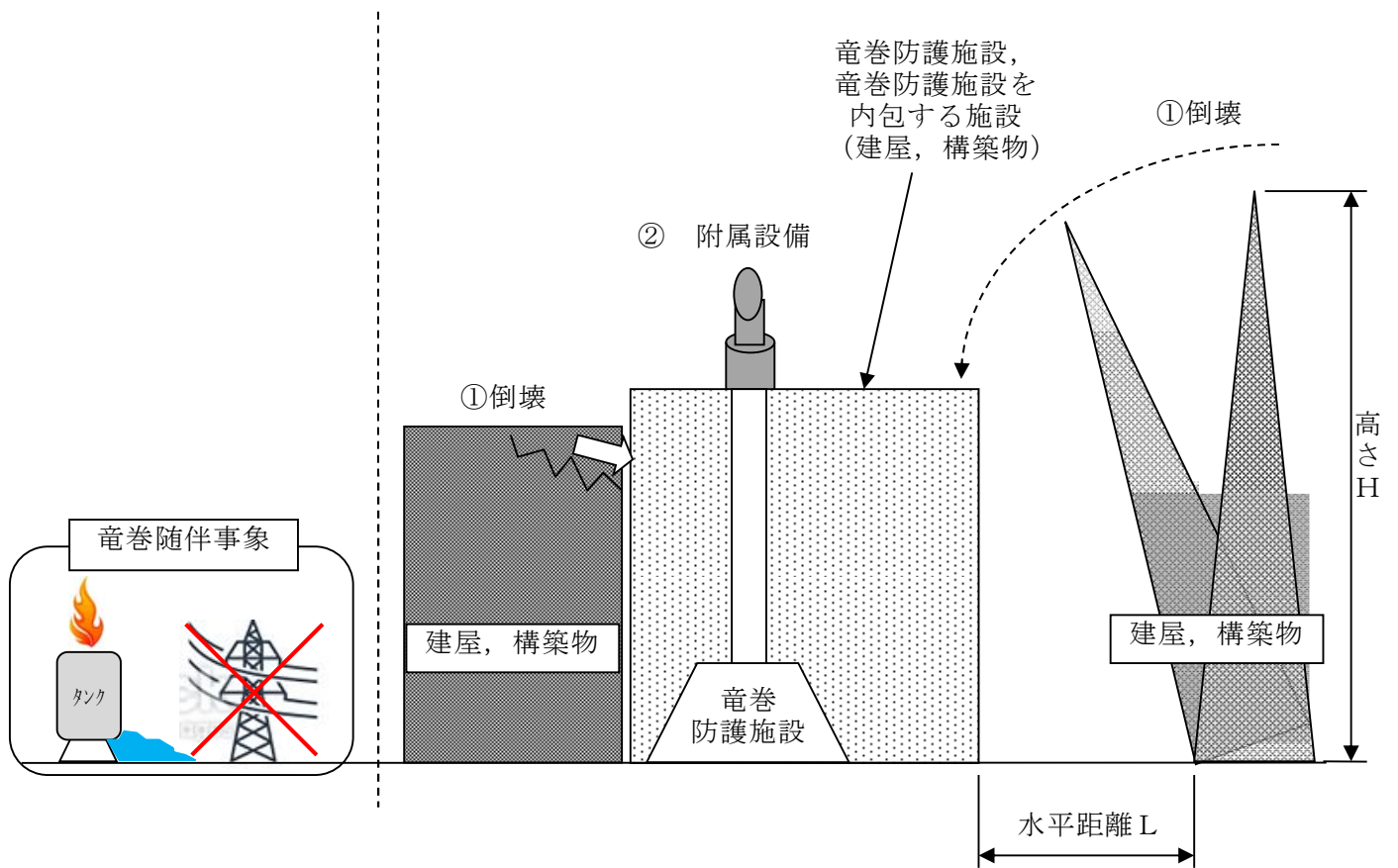
発電所構内の構築物，系統及び機器のうち，竜巻により損傷して，竜巻防護施設の機能喪失させる可能性がある屋外に設置されている竜巻防護施設の附属設備を抽出する。

第 1-2 図に波及的影響を及ぼし得る施設のイメージを示す。

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



第1-1図 評価対象抽出フロー



第1-2図 波及的影響を及ぼし得る施設のイメージ

## 2. 抽出結果

### 2.1 機械的影響の観点

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

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

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

第 2.1-1 表 機械的影響の観点の抽出結果

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

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





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

## 2.2 機能的影響の観点

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

第 2.2-1 表 機能的影響の観点の抽出結果

設備名称	波及的影響の有無
非常用ディーゼル発電機排気消音器	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器	○
非常用ディーゼル発電機排気配管	○
非常用ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管	○
非常用ディーゼル発電機機関ベント管	○
非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプルタンクベント管	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機潤滑油サンプルタンクベント管	○
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」<sup>(1)</sup>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」<sup>(2)</sup>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。

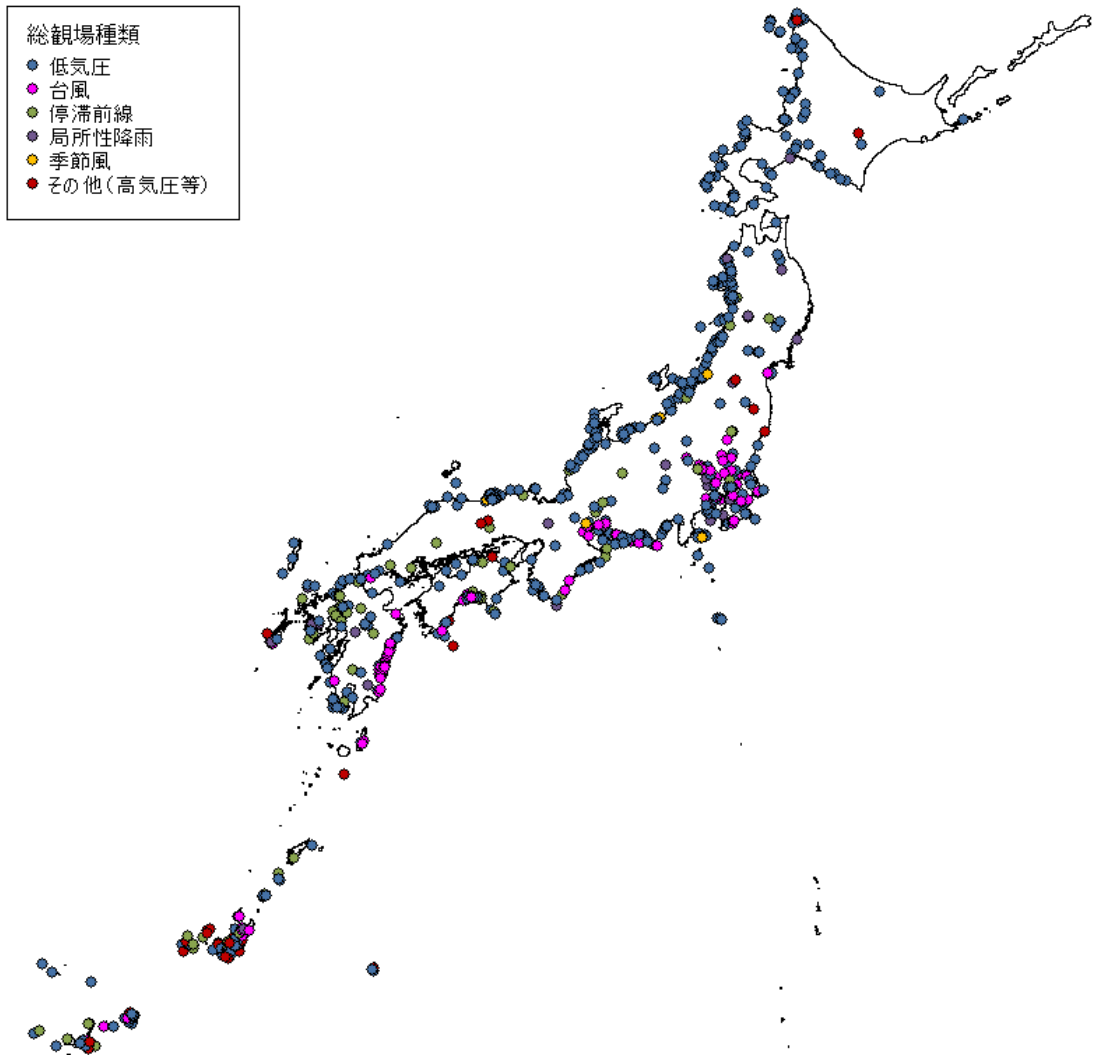
これらの特徴をさらに詳細に分析するために、各都道府県での要因別発生数及び発生要因比率を算定した結果を第1-8図に示す。同図では、近隣の地域との連続性を考慮し並べた。

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

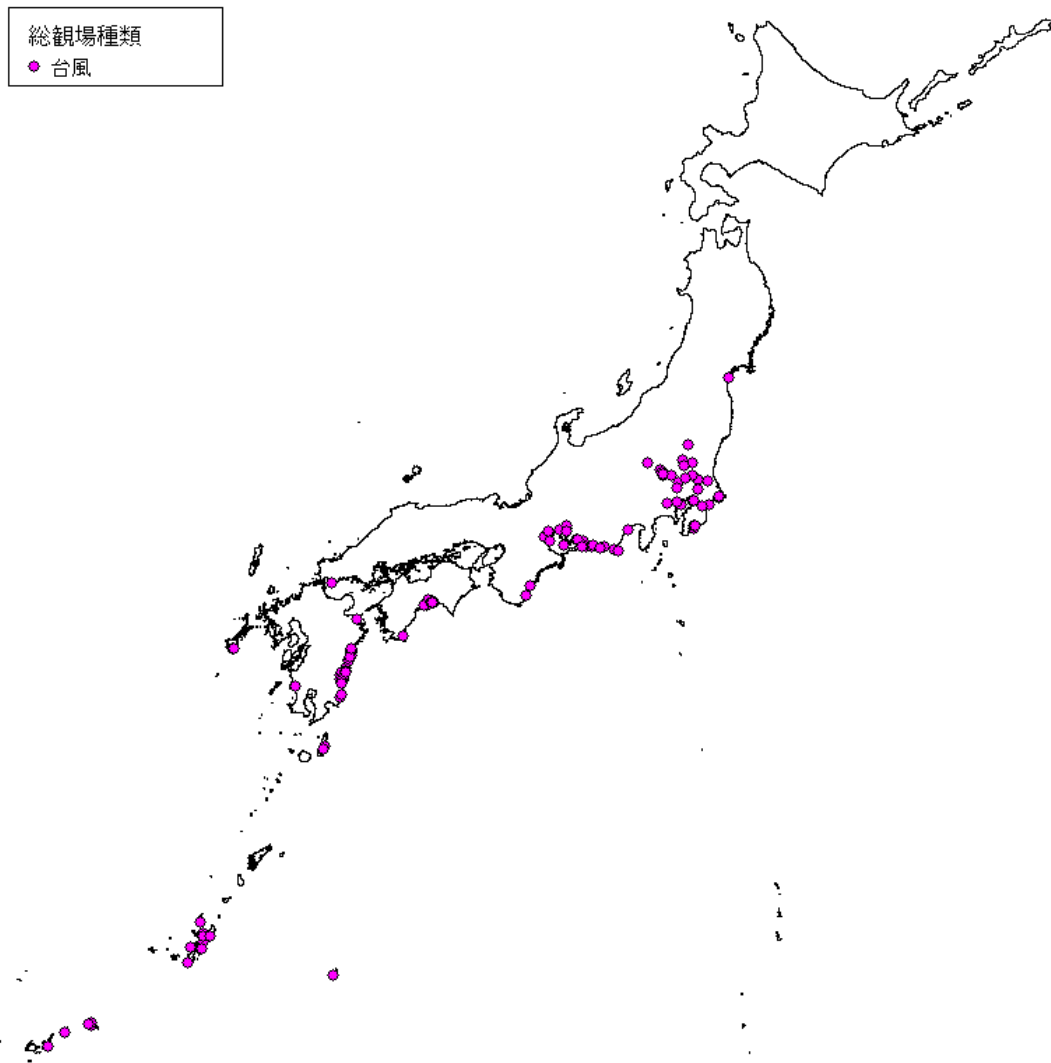
以上より、台風起因以外の竜巻については、地域性が見られない。台風起因の竜巻については、日本海側では発生しておらず、太平洋側の宮城県～沖縄県で多く発生している。



第1-1図 1961年1月～2012年6月に発生した竜巻の総観場の分布



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



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

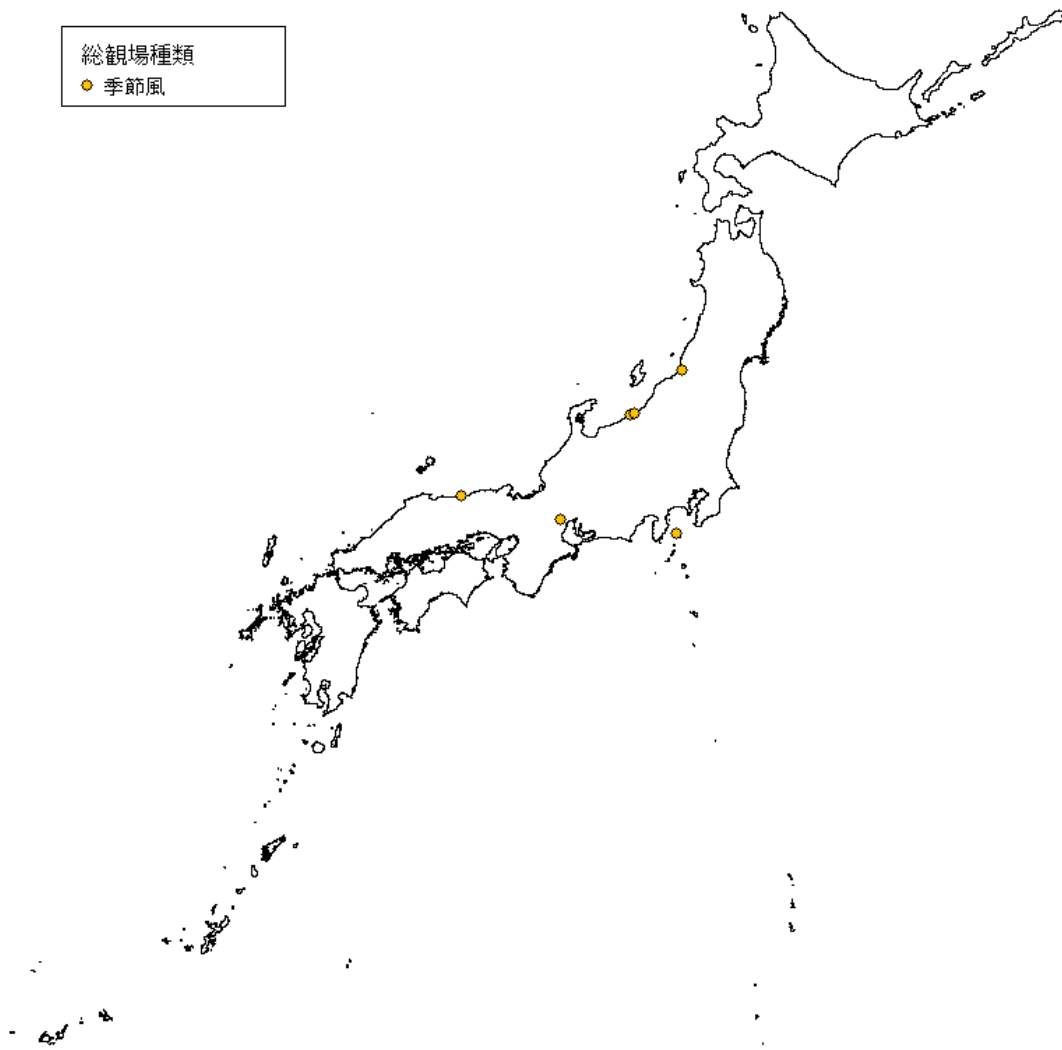


第1-4図 1961年1月～2012年6月に発生した「停滞前線」起因の  
竜巻発生位置





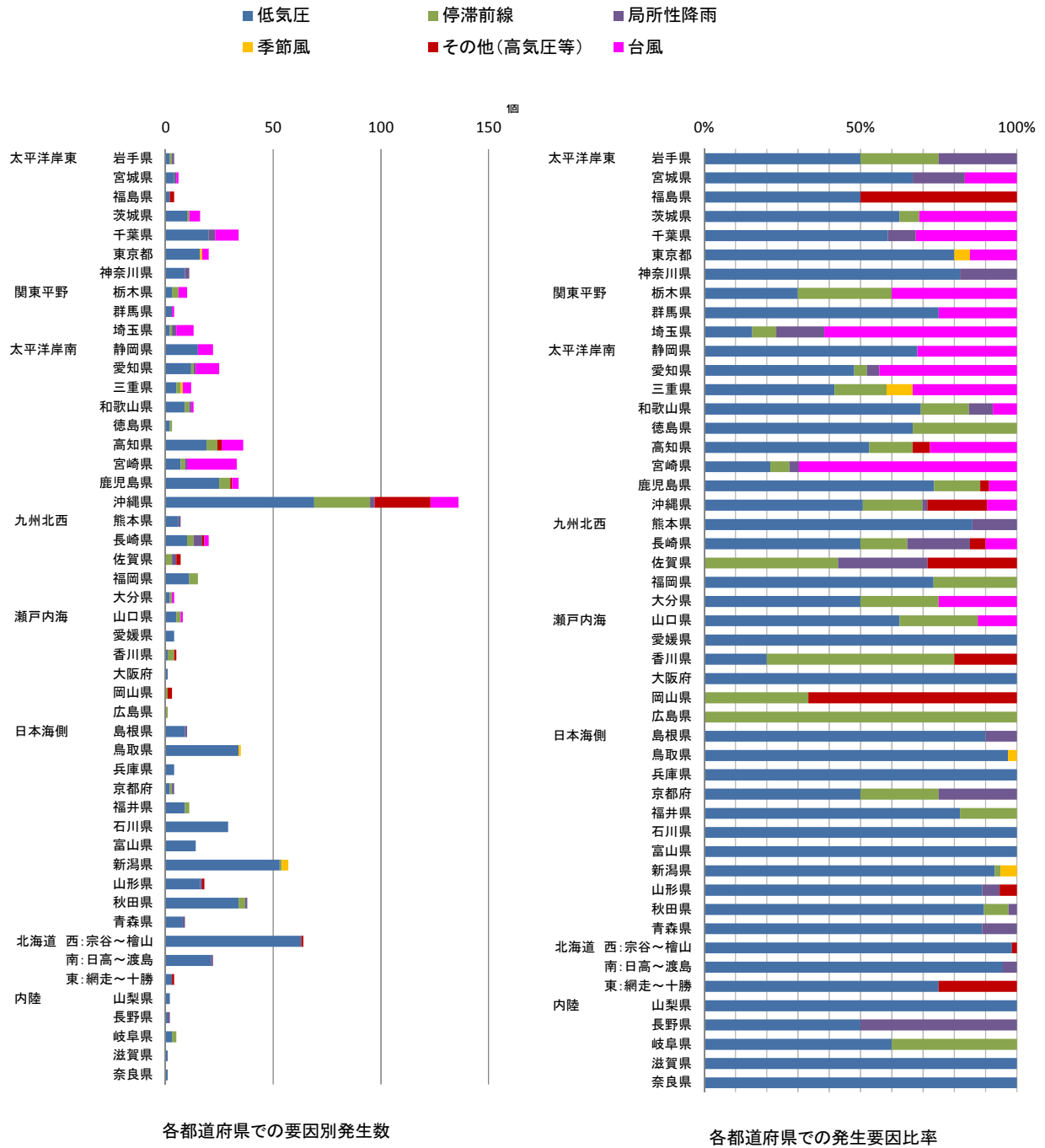
第1-5図 1961年1月～2012年6月に発生した「局所性降雨」起因の竜巻発生位置



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



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



第1-8図 各都道府県での竜巻の要因別発生数と発生要因比率

## 2. 竜巻検討地域の設定

### 2.1 総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域 $TA_1$

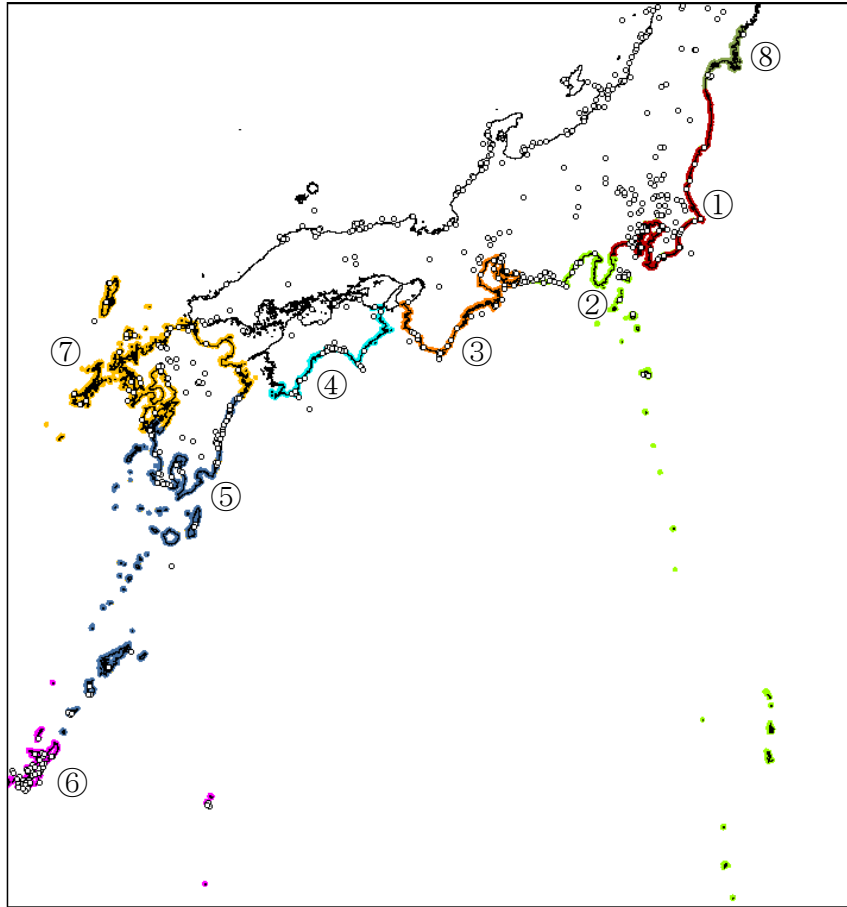
前記の総観場に基づく気象条件から、台風起因の竜巻は、太平洋側の宮城県～沖縄県で多く発生しており、この範囲に東海第二発電所が立地している。太平洋側の宮城県～沖縄県の海岸線より海側及び陸側各 5 km について、複数の竜巻検討地域  $TA_1$  の候補領域を想定し、各領域内での発生個数を調査し、単位面積当たりの発生数を比較する。

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

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

総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域  $TA_1$  :

福島県、茨城県、千葉県、東京都、神奈川県、静岡県、愛知県、  
三重県、和歌山県、徳島県、高知県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県の  
海岸線より海側及び陸側各 5 km の地域 (約 57,000km<sup>2</sup>)



第 2.1-1 図 竜巻検討地域 T A<sub>1</sub> の検討領域

第 2.1-1 表 竜巻検討地域 T A<sub>1</sub> 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 <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	
T A <sub>1.1</sub>	①	福島県～神奈川県	7,900	40	0.98E-04
T A <sub>1.2</sub>	①～②	福島県～静岡県	15,700	68	0.84E-04
T A <sub>1.3</sub>	①～③	福島県～和歌山県	23,400	104	0.86E-04
T A <sub>1.4</sub>	①～④	福島県～高知県	28,600	138	0.94E-04
T A <sub>1.5</sub>	①～⑤	福島県～鹿児島県	46,700	194	0.81E-04
<b>T A<sub>1.6</sub></b>	<b>①～⑥</b>	<b>福島県～沖縄県</b>	<b>57,000</b>	<b>300</b>	<b>1.02E-04</b>
T A <sub>1.7</sub>	①～⑦	福島県～九州全県	79,700	337	0.82E-04
T A <sub>1.8</sub>	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<sub>2</sub>

「ガイド（案）及び解説」<sup>(3)</sup>では、19箇所の竜巻集中地域として、第2.2-1図を示している。東海第二発電所は、これらの竜巻集中地域のうち、⑰に立地している。これに基づき、近接地域の180km圏を考慮した上で、下記を竜巻検討地域TA<sub>2</sub>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<sub>1.1</sub>に相当する。

竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域TA<sub>2</sub>：

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<sup>2</sup>）



第2.2-1図 竜巻の発生する地点と竜巻が集中する19の地域

（「ガイド（案）及び解説」より引用）

## 2.3 竜巻検討地域 T A

前記の竜巻検討地域 T A<sub>1</sub> 及び T A<sub>2</sub> 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。

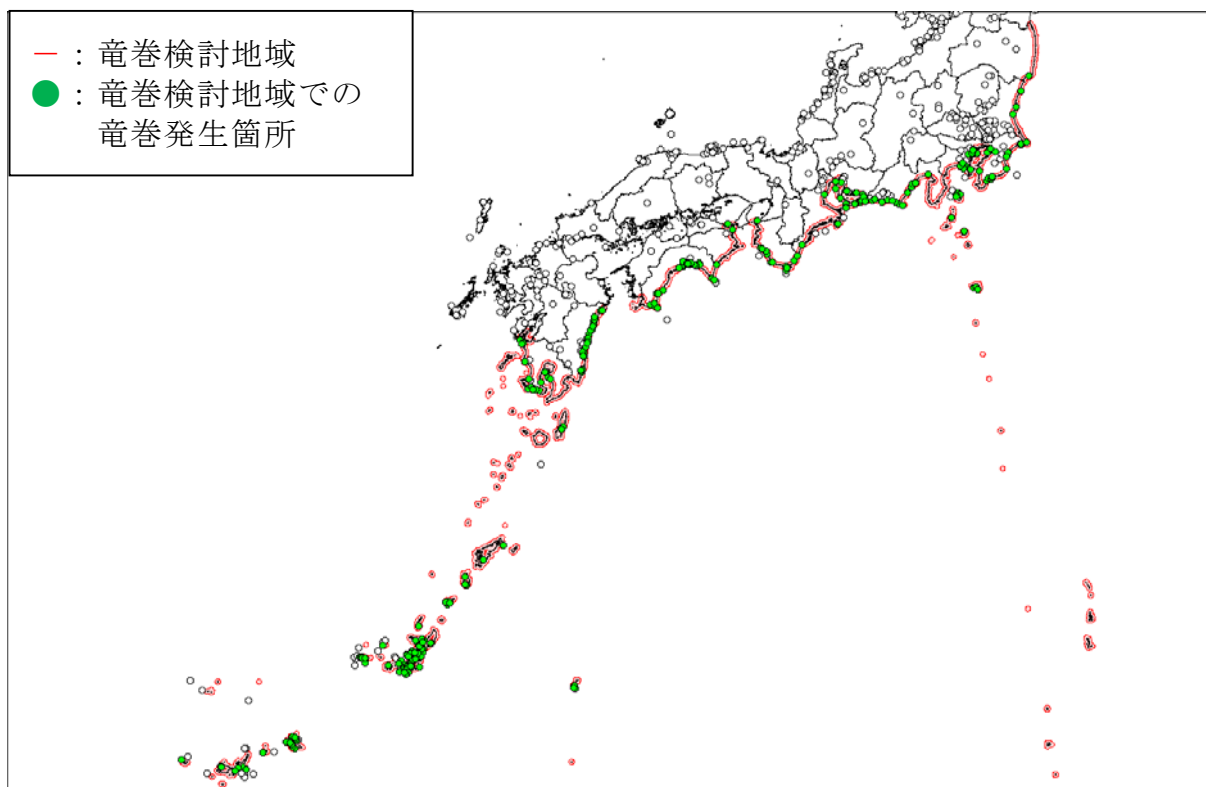
ここで、竜巻検討地域内の竜巻の発生個数の評価は、地理情報システム (Map Info) を用い、発生地点と消滅地点を結ぶ線分が当該地域に掛かるか否かで判断した。

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

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

	領域面積 (km <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )
総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域 T A <sub>1</sub>	57,000	300	$1.02 \times 10^{-4}$
竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域 T A <sub>2</sub>	7,900	40	$0.98 \times 10^{-4}$





第 2.3-1 図 竜巻検討地域 T A

<参考文献>

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

【参考】 竜巻検討地域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	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	宮城県 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	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	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	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	東シベ低気圧 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	台風	
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	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	久米島県志川村	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	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	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	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	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	島尻郡志川村	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	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	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	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	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	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	東シベ気圧	
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	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	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	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	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	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	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	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	東シ海低気圧 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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	東シベ低気圧	
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	東シベ低気圧	

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

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



No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
80	竜巻または ダウンバースト	2002年10月06日22時38分	34度43分13秒	136度53分46秒	愛知県	南知多町	F1	二つ玉低気圧
81	竜巻	2002年10月06日14時50分	31度33分38秒	130度37分11秒	鹿児島県	鹿児島市	F1	寒冷前線
82	竜巻	2002年01月21日12時15分	34度38分57秒	137度19分36秒	愛知県	田原町	F1	二つ玉低気圧 温暖前線 暖気の移流
83	竜巻	2001年10月01日07時00分	33度45分36秒	135度18分50秒	和歌山県	南部町	F0~F1	日本海低気圧 暖気の移流
84	竜巻	2000年12月25日13時37分	34度45分00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	指宿郡穎娃町	F1	寒冷前線 暖気の移流
111	竜巻	1993年09月03日15時45分	32度30分31秒	131度40分30秒	宮崎県	延岡市	F0~F1	台風
112	竜巻	1993年09月03日13時00分	32度49分23秒	132度56分45秒	高知県	土佐清水市	F1	台風
113	竜巻	1993年05月27日01時50分	26度13分56秒	127度45分8秒	沖縄県	西原町	F1	梅雨前線
114	竜巻	1992年09月22日10時00分	26度38分0秒	128度2分6秒	沖縄県	名護市	F1	台風
115	竜巻	1992年02月15日09時25分	26度21分36秒	126度43分31秒	沖縄県	島尻郡志川村	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	東シベ低気圧 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	東シベ低気圧 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 ターンのスト	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	東シベ低気圧 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	東シベ低気圧 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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	東シベ低気圧 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	東シベ低気圧 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	東シベ低気圧
178	竜巻	2008年04月07日11時20分	32度43分21秒	133度0分30秒	高知県	土佐清水市	F0	その他(低気圧)
179	竜巻	2006年09月25日11時40分	25度51分20秒	131度15分10秒	沖縄県	南大東村	F0	その他
180	竜巻	2003年10月12日04時25分	32度32分49秒	131度40分54秒	宮崎県	延岡市	F0	その他(低気圧)
181	竜巻または ダウンバースト	2002年10月15日21時30分	34度40分8秒	137度59分34秒	静岡県	磐田郡浅羽町,小笠 郡大須賀町,小笠郡 大東町	F0	日本海低気圧 寒冷前線
182	竜巻	2001年05月29日13時00分	35度0分20秒	136度55分5秒	愛知県	東海市	F0	局地性降水
183	竜巻	2001年01月13日07時35分	26度8分43秒	127度41分26秒	沖縄県	糸満市	F0	寒冷前線
184	竜巻	1999年06月30日09時30分	35度9分8秒	138度45分55秒	静岡県	富士市	F0	日本海低気圧 寒冷前線
185	竜巻	1998年10月17日15時00分	32度25分13秒	131度39分49秒	宮崎県	日向市	F0	台風
186	竜巻	1998年02月14日19時55分	24度23分26秒	123度44分55秒	沖縄県	竹富町	F0	寒冷前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
187	竜巻	1998年01月14日10時50分	26度10分23秒	127度38分51秒	沖縄県	豊見城村	F0 寒冷前線 暖気の移流	
188	竜巻	1997年11月28日09時30分	27度19分45秒	128度33分35秒	鹿児島県	知名町	F0 東シベ低気圧 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)	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	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	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	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	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	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)	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)	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	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	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	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	東シベ低気圧 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	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	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	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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	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)	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)	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)	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)	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	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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	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)	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)	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)	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)	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)	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)	寒冷前線	

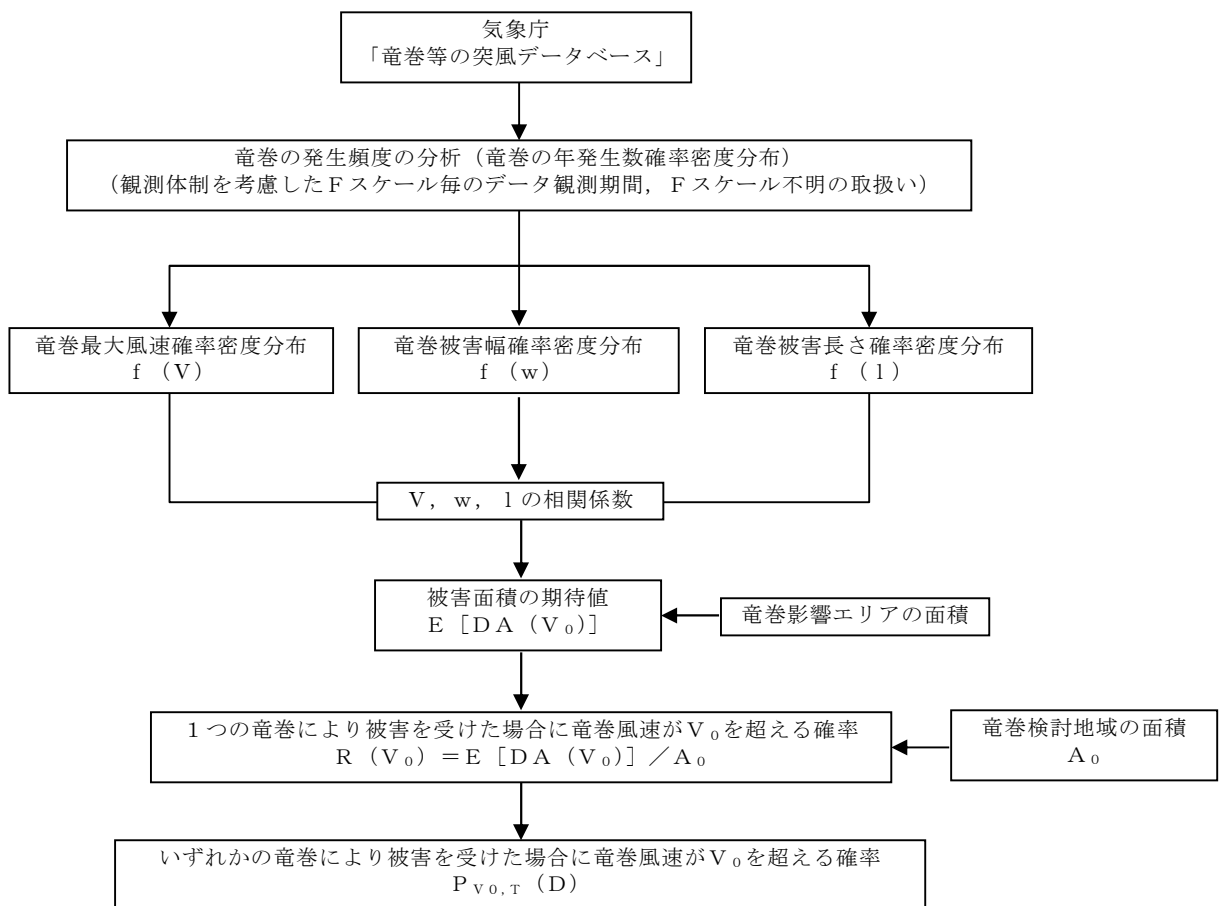
No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
294	竜巻	1994年10月04日17時05分	33度31分15秒	133度41分47秒	高知県	(海上)	暖気の移流	
295	竜巻	1994年10月04日17時05分	33度31分8秒	133度41分30秒	高知県	(海上)	暖気の移流	
296	竜巻	1994年10月04日17時05分	33度31分17秒	133度42分9秒	高知県	(海上)	暖気の移流	
297	竜巻	1992年05月17日14時33分	26度21分49秒	126度41分8秒	沖縄県	(海上)	東シナ海低気圧 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	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)	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	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」<sup>(1)</sup>の解説 3.3.2 に例示された Wen & Chu<sup>(2)</sup>及び Garsonet al.<sup>(3)(4)</sup>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」<sup>(5)</sup>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」<sup>(6)</sup>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. F 2以上の竜巻については、見逃されることが少なかったとして、1961年以降の全期間の統計量を基にする。
- f. 51.5年間の発生数を、(a)～(c)の観測期間との比率からFスケール毎に推計する。
- g. 海上竜巻でFスケール不明の場合、被害痕跡等が残っていないため、そのFスケールを推定することは難しい。そこで、沿岸部近傍では竜巻の発生状況については陸上と海上で変わらないと仮定し、「海岸線から海上5kmの範囲における海上竜巻の発生特性が、海岸線から内陸5kmの範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である」という仮定に基づいて、陸上竜巻（上陸竜巻含む）でのFスケール別発生比率で按分し、各Fスケールで発生した竜巻に加える。【添付資料5 別紙1】
- 一方、Fスケール不明の陸上竜巻は、痕跡等が残らないほど小さかったとし、F 0相当の竜巻であったとする。

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

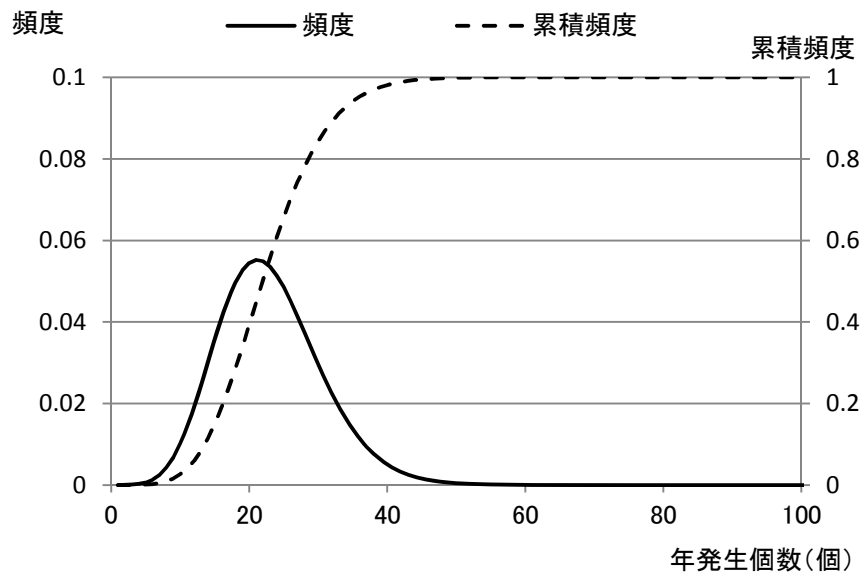
第2-1表 竜巻発生数の分析結果

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

		F3	F2	F1	F0	計	
疑似51.5年間の竜巻	疑似51.5年間 (陸上竜巻)	期間内個数	6	41	173	376	596
		平均値(個/年)	0.12	0.80	3.36	7.30	11.57
		標準偏差(個/年)	0.32	0.94	2.03	4.74	5.25
	疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	12	82	345	749	<b>1188</b>
		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

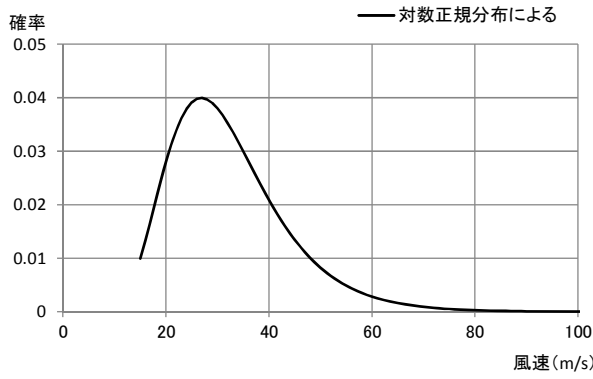
相関係数は，過去に発生した竜巻の最大風速，被害幅及び被害長さの関係を評価することから，繰り返しサンプリングを行った推定 51.5 年間ではなく，観測データを基に，その対数値の相関係数を算出した。観測データのみを用いるのは，F スケール不明や F 0 の竜巻では，被害規模が小さいために，被害幅や被害長さの観測データが F 2，F 3 の竜巻と比べ観測値として示されている場合が少なく，そのようなデータを繰り返しサンプリングにより増やすと，F 2，F 3 の竜巻で見られる相関性が反映されない結果が懸念されるためである。

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

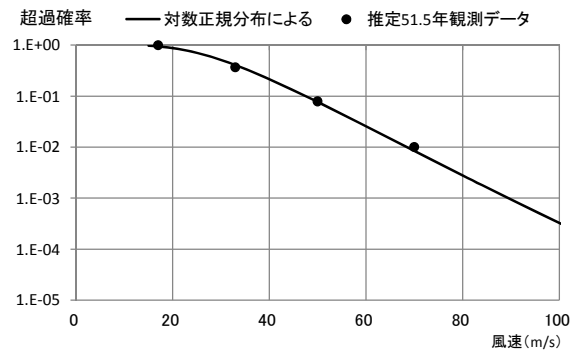
相関係数の算出結果を，第 4-2 表に示す。

第 4-1 表 発生数，被害幅及び被害長さの統計量

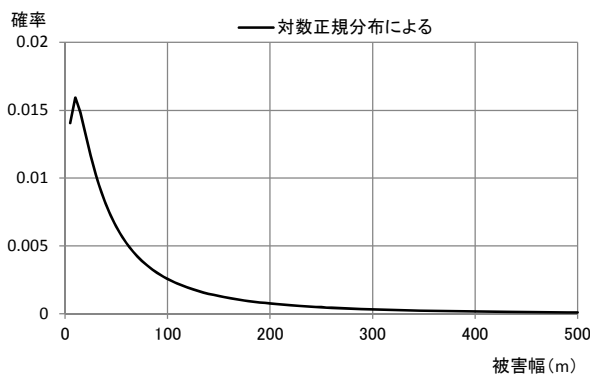
			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間	発生数	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値 (個/年)	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差 (個/年)	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42
	被害幅	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値 (m)	525	250	124	56	94
		標準偏差 (m)	706	408	187	45	179
	被害長さ	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値 (km)	14	5.63	2.43	1.18	1.98
		標準偏差 (km)	14	4.94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



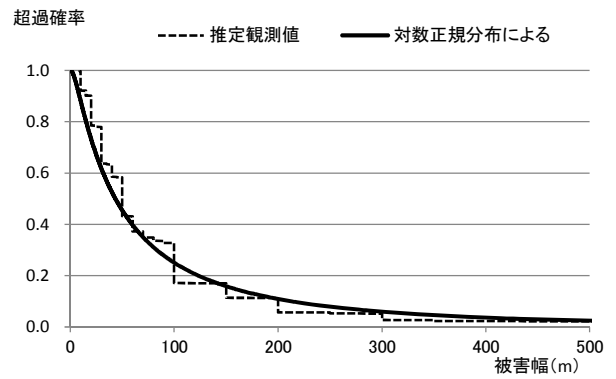
第4-1図 最大風速の確率密度分布



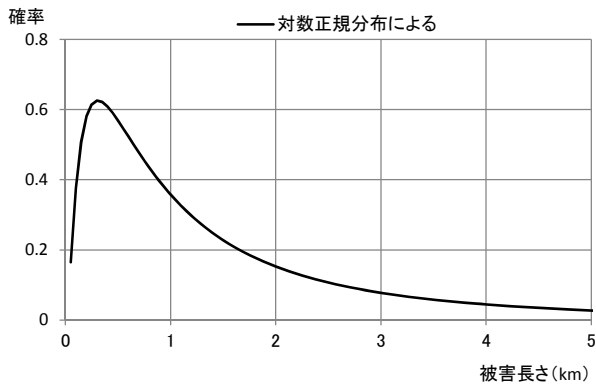
第4-2図 最大風速の超過確率



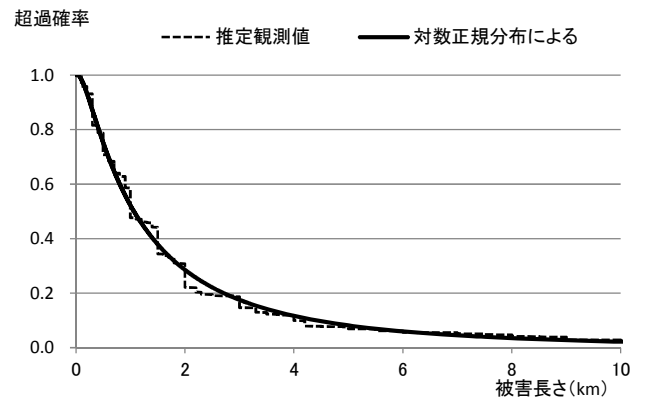
第4-3図 被害幅の確率密度分布



第4-4図 被害幅の超過確率



第4-5図 被害長さの確率密度分布



第4-6図 被害長さの超過確率

第4-2表 最大風速，被害幅及び被害長さの対数値の相関係数

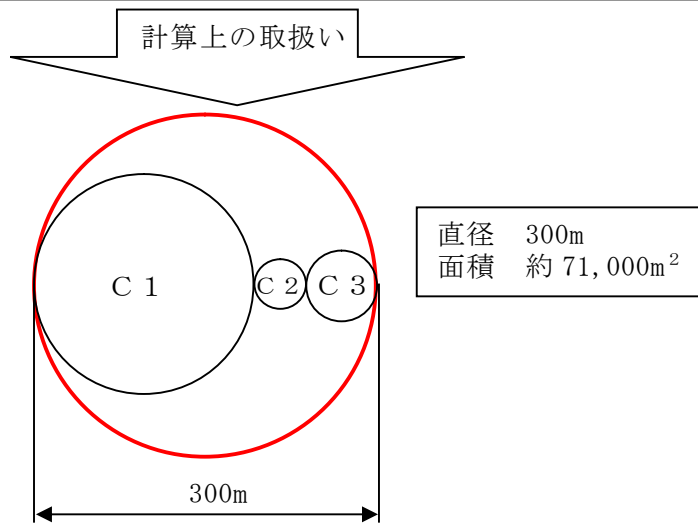
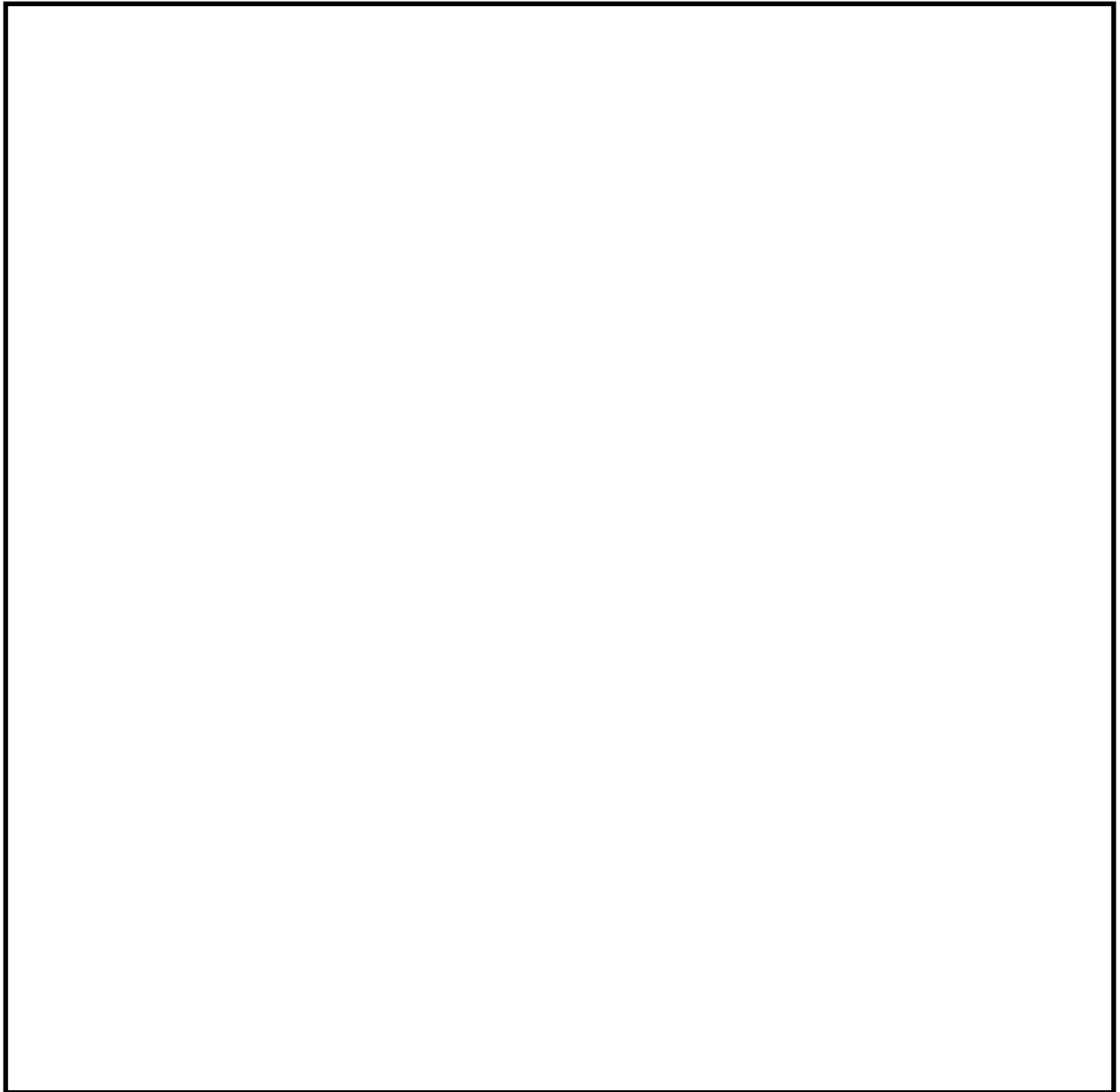
相関係数の値	最大風速	被害幅	被害長さ
最大風速	1.000	0.381	0.452
被害幅	—	1.000	0.381
被害長さ	—	—	1.000

## 5. 竜巻影響エリアの設定

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

なお，竜巻影響エリアは，原子炉建屋周辺，海水ポンプ室及び使用済燃料乾式貯蔵建屋が離れているため，それぞれをまず直径188m，直径44m及び直径60mの円形領域に包絡させ，さらにこれらの領域を包絡させた直径300mの円形領域(面積約71,000m<sup>2</sup>)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 条(竜巻)-1-添付 5-10

## 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。

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

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

$\mathbf{X}$  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、 $\Sigma$  は  $\ln(V)$ 、 $\ln(w)$ 、 $\ln(l)$  から評価した標準偏差  $\sigma_V$ 、 $\sigma_w$ 、 $\sigma_l$  と相関係数  $\rho_{Vw}$ 、 $\rho_{wl}$ 、 $\rho_{Vl}$  からなる分散共分散行列である。

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

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

ここで、 $V_{\min}$  は、Gale intensityと呼ばれ（Galeは「非常に強い風」という意味）、被害が発生し始める風速に位置づけられる。米国気象局NWS（National Weather Service）では、34～47ノット（17.5～24.2 m/s）とされ、また、気象庁が使用している風力階級では、風力9は大強風（strong gale：20.8～24.4m/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、 $V_{\min} = 25\text{m/s}$ 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。

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

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、 $\alpha$ ：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<sup>2</sup>）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。

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

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<sup>2</sup>) 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。

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

ここで、 $N$  : 竜巻の年発生数

$\nu$  : 竜巻の年平均発生数

$T$  : 年数

$\beta$  : 分布パラメータであり次式で示される。

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

$\sigma$  : 竜巻の年発生数の標準偏差



発生数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。

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

$$\approx v R(V_0) = \frac{V}{A_0} E[DA(V_0)] = p E[DA(V_0)]$$

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。

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

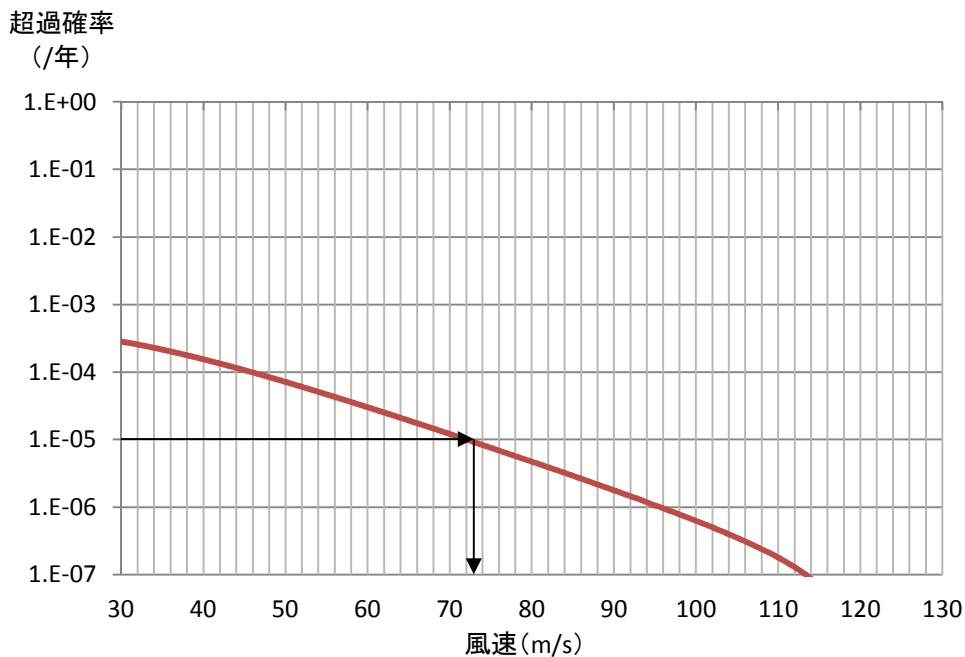
また、ハザード曲線の算定において、風速の積分範囲の上限値はハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として 120m/s に設定する。

## 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1-0kmでの統計量

(a) 発生数

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

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

(b) 被害幅

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

(c) 被害長さ

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

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

第7-2表 陸側0-1kmでの統計量

(a) 発生数

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

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

(b) 被害幅

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

(c) 被害長さ

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

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

第7-3表 陸側1-2kmでの統計量

(a) 発生数

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

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

(b) 被害幅

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

(c) 被害長さ

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

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

第7-4表 陸側2-3kmでの統計量

(a) 発生数

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

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

(b) 被害幅

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

(c) 被害長さ

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

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

第7-5表 陸側3-4kmでの統計量

(a) 発生数

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

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

(b) 被害幅

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

(c) 被害長さ

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

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



第7-6表 陸側4-5kmでの統計量

(a) 発生数

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

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

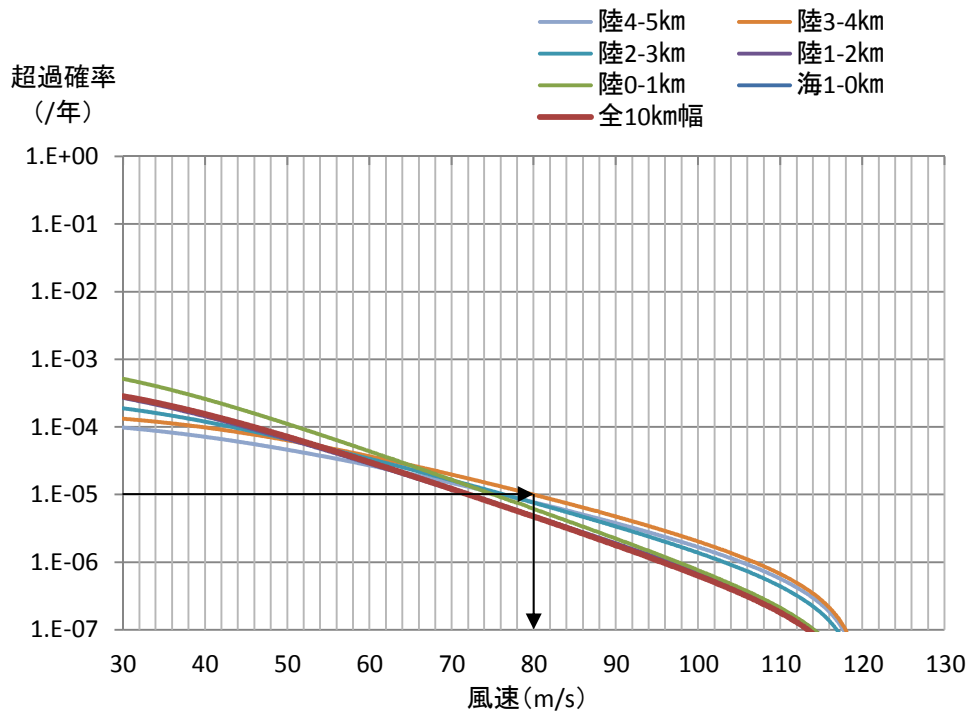
(b) 被害幅

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

(c) 被害長さ

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

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



第7-2図 竜巻検討地域を1km幅ごとに細分化した場合のハザード曲線  
(10km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 <sup>-5</sup> /年での 最大風速* (m/s)	73	73	76	72	77	<u>80</u>	77

\*太字下線ありの値は最大値

8. 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 ( $V_{B2}$ )

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

第8-1表 ハザード曲線による最大風速評価結果

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

## 9. 竜巻ハザードの不確かさの検討

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

### ① 確率分布形選択に伴う不確かさ（認識論的不確かさ）

確率分布形選択に伴うパラメータ不確かさ

…Jackknife 法を用いたハザードの推定誤差の検討

### ② データ量が少ないことに伴う不確かさ（認識論的不確かさ）

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

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

### ③ データの不確かさ

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

…疑似データ無しの場合の解析

## (1) Jackknife 法を用いたハザードの推定誤差の検討

### a. Jackknife 法について

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

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

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

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

- $P_0$  :  $n$  個の全データを使って求められた再現期待値  
(例えば風速平均値の場合  $n$  セットの風速平均の平均)
- $P^*$  : バイアス補正した推定値 (以下「Jackknife 推定値」という。)
- $\Delta P^*$  :  $P^*$  の標準偏差の推定値 (以下「Jackknife 推定幅」という。)
- $\bar{P}$  : 分布を仮定した場合の推定値 (以下「推定値」という。)
- $\Delta P$  :  $n$  セットの風速平均データの標準偏差
- (1) 式の下線部 : バイアス (母数の真の値と推定値の差)

## b. 検討結果

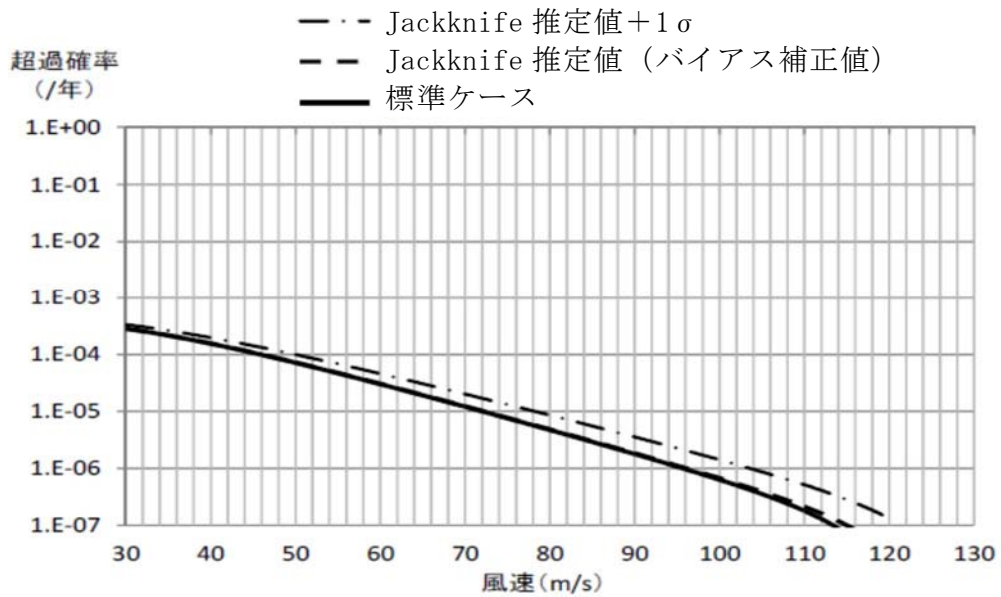
Jackknife 法を適用した特性値及びこれらの平均値と標準偏差及びそれぞれの推定幅を基に全てのパラメータを  $+1\sigma$  とした場合のハザードを計算した。特性値の評価結果を第 9-1 表に、また、ハザードの推定結果を第 9-2 表及び第 9-1 図に示す。

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

ハザード評価の結果、年超過確率  $10^{-5}$  に相当する風速は、Jackknife 法によるバイアス補正後で  $73\text{m/s}$  となり、標準ケースの  $73\text{m/s}$  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 (バイアス補正值  $+1\sigma$ )、年超過確率  $10^{-5}$  において  $79\text{m/s}$  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 $\Delta P$	32.28	93.8	1.98	11.63	179.1	3.10	0.381	0.452	0.381
バイアス値	0.00	0.0	0.00	-0.01	-1.4	-0.02	-0.002	-0.001	-0.003
Jackknife 推定値 $P^*$ (バイアス補正值)	32.28	93.8	1.98	11.64	180.5	3.12	0.382	0.453	0.385
Jackknife 推定幅 $\Delta P^*$	0.34	5.2	0.09	0.36	21.8	0.34	0.065	0.057	0.077
$P^* + \Delta P^*$ (バイアス補正值+1 $\sigma$ )	32.62	99.0	2.07	12.00	203.0	3.47	0.447	0.510	0.462



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

第9-2表 ハザードの推定結果の比較表

ケース	標準ケース	Jackknife 推定値 P* (バイアス補正值)	P* + ΔP* (バイアス補正值 + σ)
領域面積 (km <sup>2</sup> )	57000	57000	57000
想定総数 (個)	1188	1188	1188
被災確率 (個/年/km <sup>2</sup> )	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 <sup>-5</sup> 年での最大風速 (m/s)	73	73	79

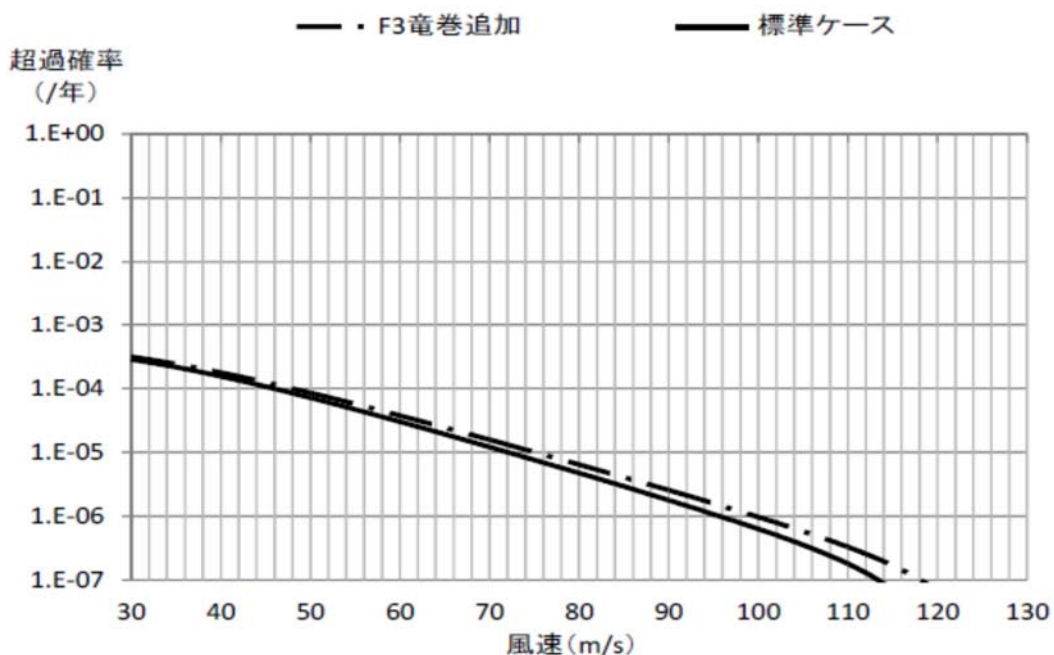
(2) F 3 竜巻の見落としを仮定した場合のハザードに与える影響

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

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

ハザードの推定結果を、第 9-2 図に示す。

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



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



(3) 疑似データ無しの場合の解析

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

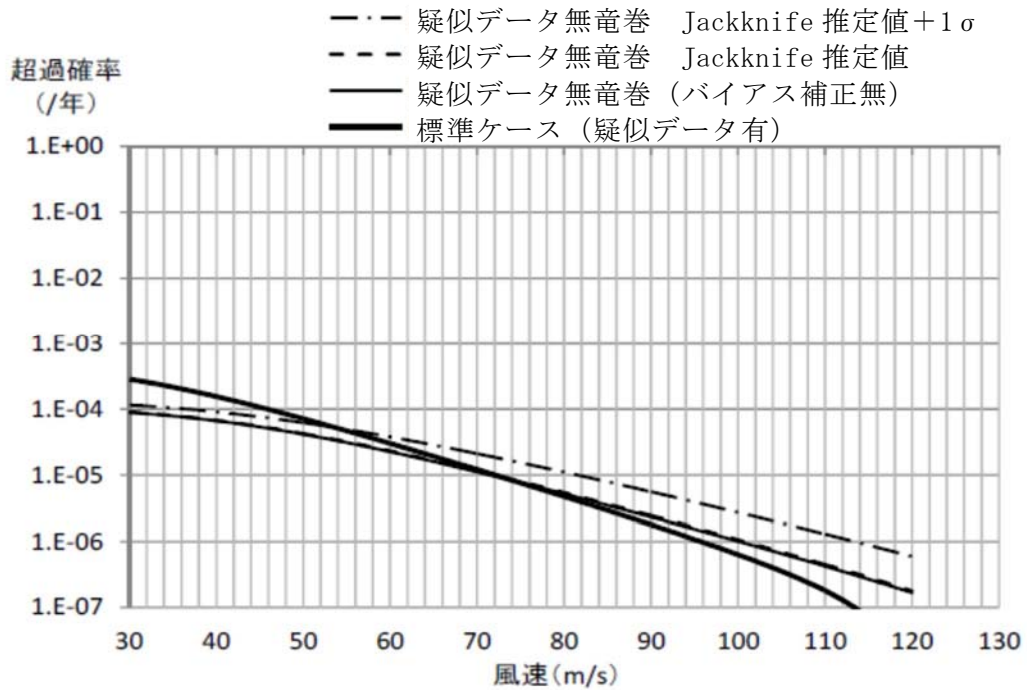
特性値の評価結果を第9-3表，ハザードの推定結果を第9-4表及び第9-3図に示す。疑似データ無竜巻での年超過確率 $10^{-5}$ に相当する風速は，72m/sとなり，標準ケースの73m/sと有意な差は認められない。

第9-3表 Jackknife法による特性値の評価結果（疑似データ無）

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

第9-4表 ハザードの推定結果の比較表

ケース	不明竜巻含む	疑似データ無竜巻		
	標準ケース	バイアス補正無	Jackknife 推定値 P* (バイアス補正值)	P* + ΔP* (バイアス補正值 + σ)
領域面積 (km <sup>2</sup> )	57000	57000	57000	57000
想定総数 (個)	1188	161	161	161
被災確率 (個/年/km <sup>2</sup> )	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 <sup>-5</sup> 年での最大風速 (m/s)	73	72	72	82



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

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

<参考文献>

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

## 海上のFスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について

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

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

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

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

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

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。

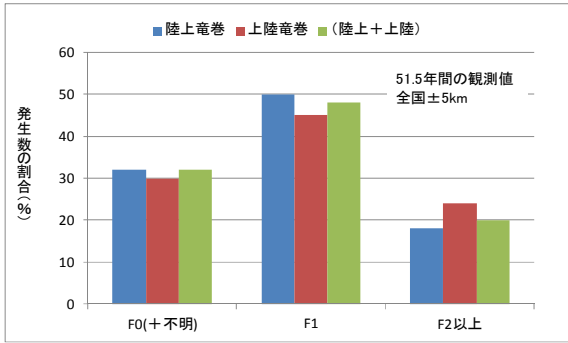
別表 1-1 Fスケール毎の竜巻発生数の割合

① 全国沿岸±5km

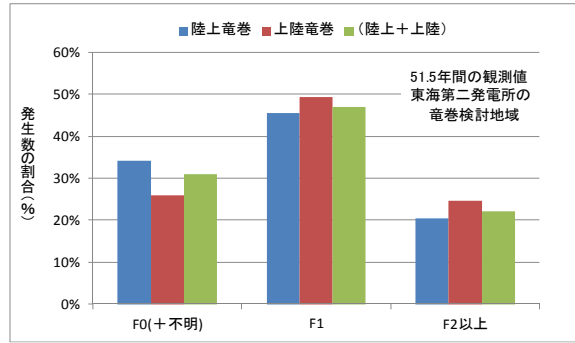
発生数の割合 (%)	F 0 (+不明)	F 1	F 2以上
陸上竜巻	32	50	18
上陸竜巻	30	45	24
(陸上＋上陸)	32	48	20

② 東海第二発電所の竜巻検討地域

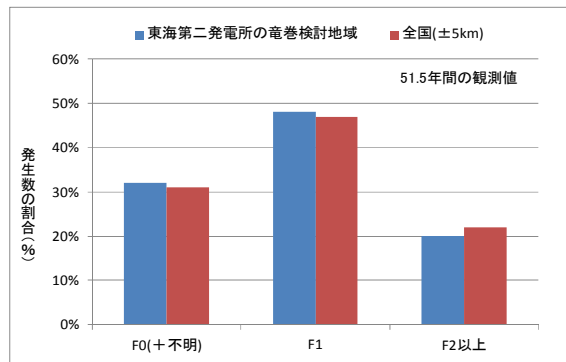
発生数の割合 (%)	F 0 (+不明)	F 1	F 2以上
陸上竜巻	34	45	21
上陸竜巻	26	49	25
(陸上＋上陸)	31	47	22



① 全国沿岸±5km



② 東海第二発電所の竜巻検討地域



③ (陸上+上陸) 竜巻

別図 1-1 F スケール毎の発生数の割合

竜巻発生数の確率分布(ポアソン, ポリヤ分布)が  
ハザード結果に及ぼす影響について

1. 竜巻発生確率とハザード曲線

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

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

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

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

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

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

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



## 2. ポアソン分布とポリヤ分布

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

- ① 事象は時間・空間のいかなる場所でもランダムに発生する。
- ② 与えられた時間・空間の区間内で、事象の発生は他の任意の区間に対して独立である
- ③ 微小区間  $\Delta t$  における事象発生確率は  $\Delta t$  に比例する。 $\Delta t$  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、 $\beta$  が大きい場合は分散の大きな分布形を表し、 $\beta \rightarrow 0$  のときにはポアソン分布に近づく。Thom(1963)<sup>(2)</sup>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可能性があることを指摘するとともに、ポリヤ分布による適合性が高いことを示した。また、東京工芸大学委託成果<sup>(3)</sup>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) <sup>(1)</sup>

### 3. 確率論から見た近似式

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

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

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

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

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

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

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

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

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

となる。 $R(V_0)$  が十分小さければ、上式は次のように近似できる。

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

ここで、次の近似を用いている。

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

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

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

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

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

#### 4. ポアソン分布とポリヤ分布のハザードの近似式

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

式(8)の  $P(N)$  としてポアソン分布を仮定し，

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

となることを考慮すると，(11) 式の厳密な式は以下のとおりである。

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

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

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

従って、式(3)（あるいは式(13)）は、式(14)を用いると、

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

と表され、 $R(V_0)$ が小さい場合は、次式で近似できる。

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

ポリヤ分布の場合も同様に、一般の2項定理を用いると、次式で近似できる。

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

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

#### <参考文献>

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

## 地形効果による竜巻の増幅の可能性について

## 1. 概要

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

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

## 2. 考慮対象となる地形のスケール

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

## 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

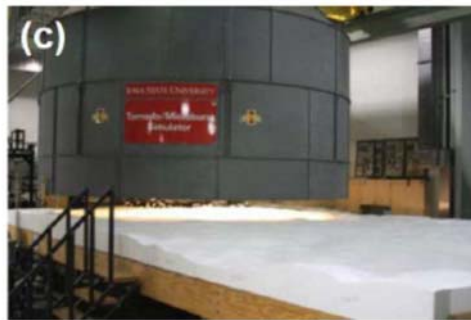
マイクロスケールの地形の起伏が竜巻の旋回流及び強風に与える影響について、定性的な知見を与える研究で用いられる主な手法としては、以下の 3 つが挙げられる。

(1) 被害状況調査<sup>(1)(3)</sup>

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<sup>(1)</sup>

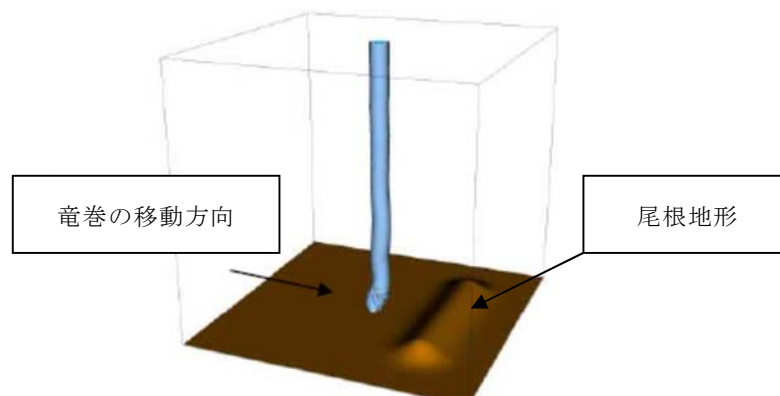
風洞実験の測定部に尾根や斜面といった地形模型を入れ，その上部に竜巻発生装置を設置し，それを移動させたときの，地表面近傍の圧力，風速の分布を調べる。



第3-1図 風洞実験の様子(Karstens 2012)<sup>(1)</sup>

(3) 数値シミュレーション<sup>(2)</sup>

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

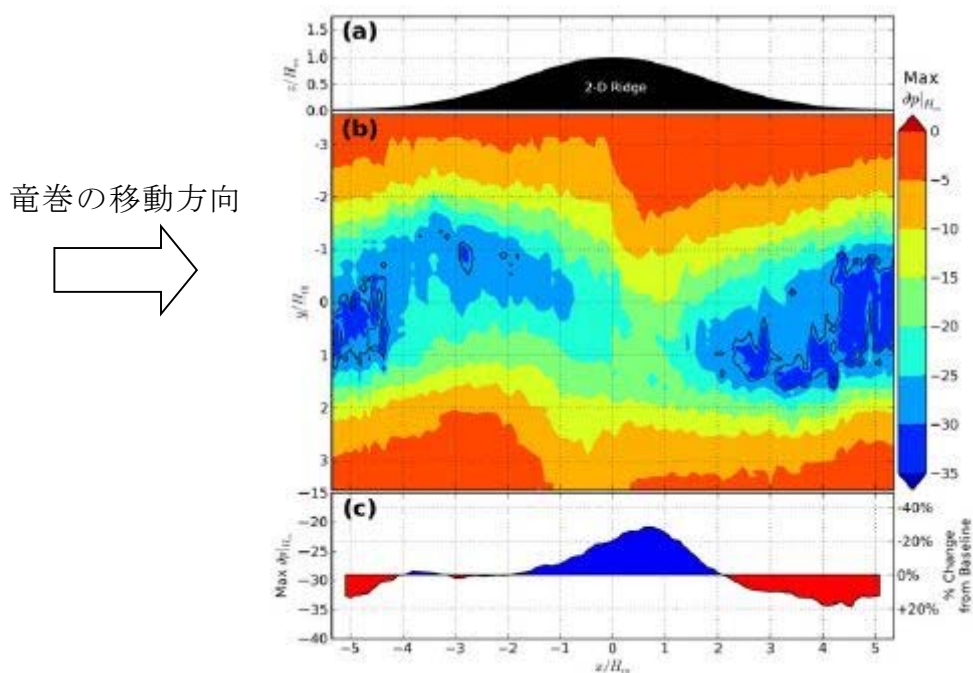
被害状況調査によれば、竜巻の強化が下り斜面や尾根の裾で生じる可能性が示唆されている<sup>(1)(3)</sup>。

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<sup>(1)</sup>及び数値シミュレーション<sup>(2)</sup>の結果を、それぞれ第3-3図及び第3-4図に示す。

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

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

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

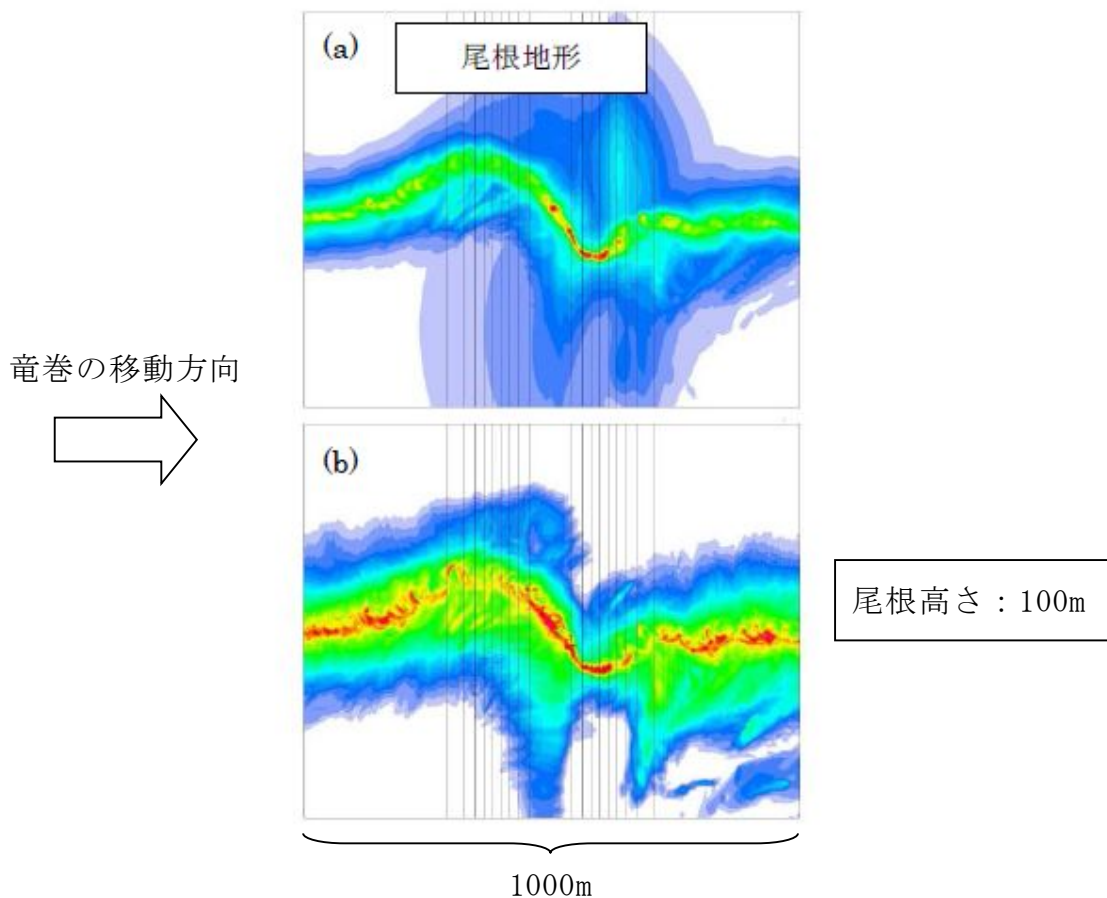


第3-3図 尾根地形を竜巻が通過するときの地表面圧力(b)及び圧力勾配(c)<sup>(1)</sup>

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。

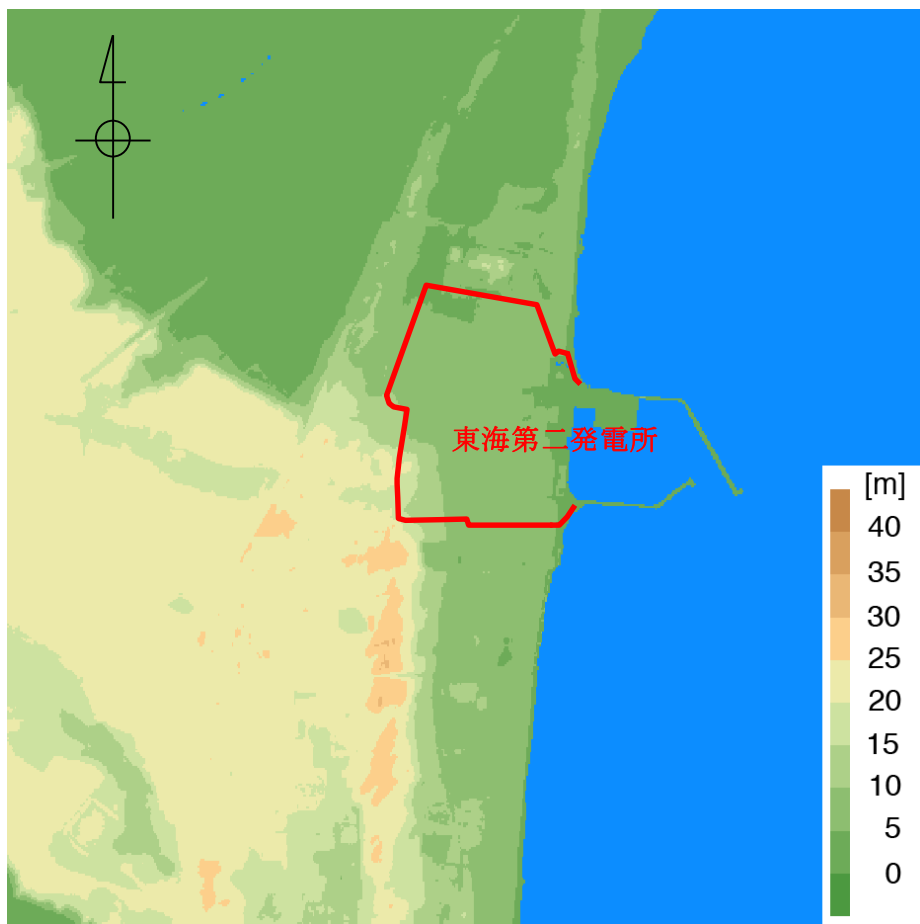


第3-4図 尾根地形を竜巻が通過するときの地表面ピーク圧力(a)及び風速(b)<sup>(2)</sup>



#### 4. 東海第二発電所敷地周辺の地形効果の考慮要否

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



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

<参考文献>

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

参考資料：地形の起伏に起因する竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈

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

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

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

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

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

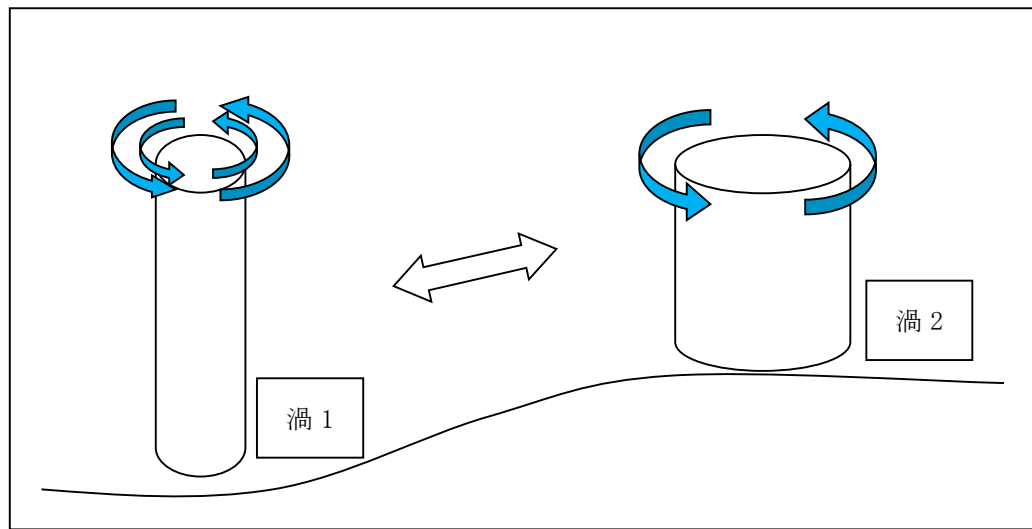
ここで、 $\omega$  は角速度、 $r$  は渦コア (気柱) の半径、 $h$  は渦コア (気柱) の高さ、 $\rho$  は空気密度であり、添字の1と2はそれぞれ渦1と渦2を示す。また、気柱の体積が保存されるので、式③が成立する。

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

この関係を式②に代入すると、式④が得られる。

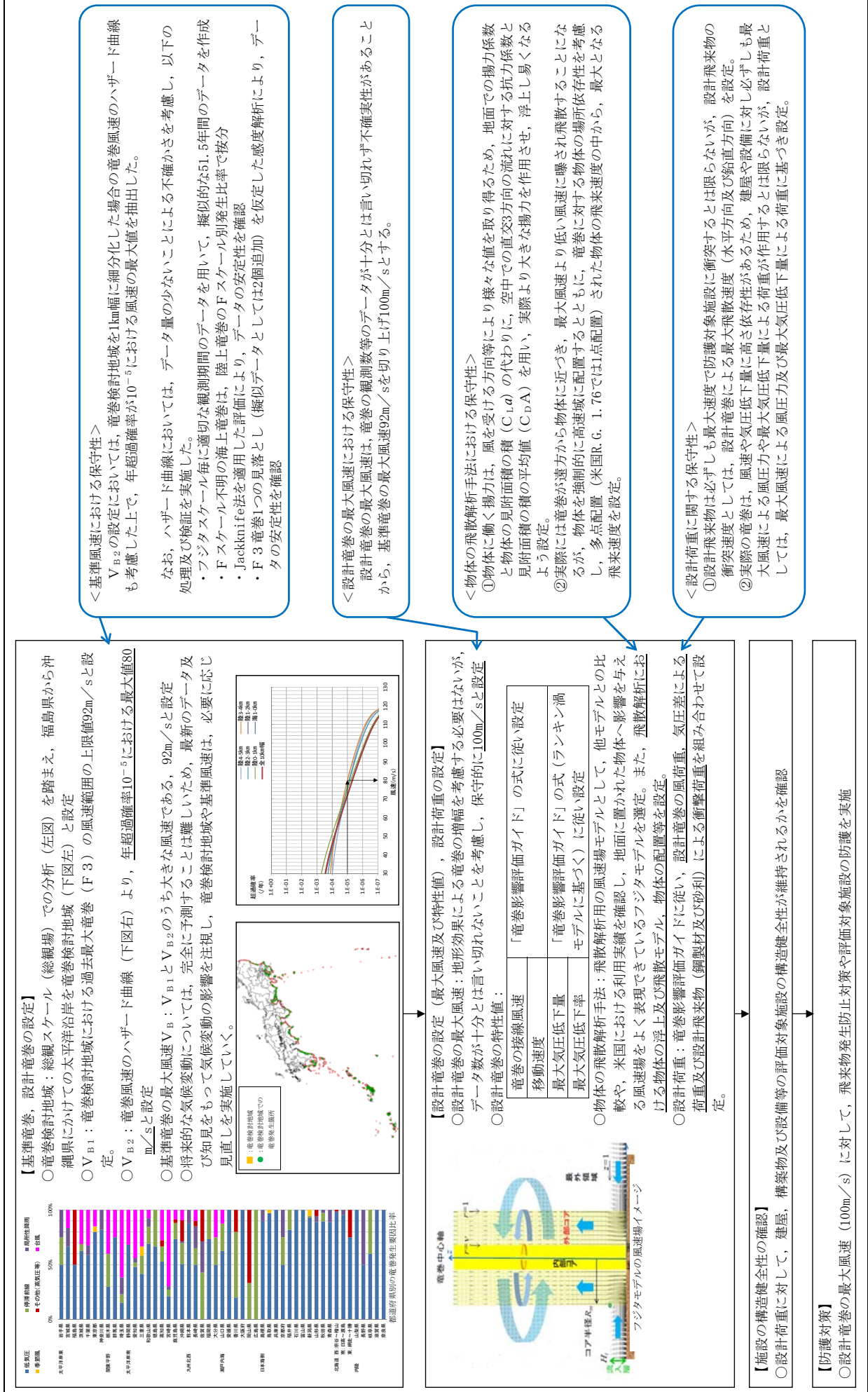
$$\frac{\omega_1}{h_1} = \frac{\omega_2}{h_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{d}{dt} \left( \frac{\omega}{h} \right) = 0 \quad \text{④}$$

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



第 1 図 竜巻の旋回流の地形影響に関する模式図

第 7-1 図に竜巻影響評価の概要及び保守性の確保の状況を示す。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。



第 7-1 図 竜巻影響評価の概要及び保守性の確保の状況

添付資料 8. 竜巻影響評価及び竜巻防護対策の概要

【1. 設計竜巻荷重, 設計荷重の設定】(別紙-1参照)

○「竜巻影響評価ガイド」に基づき、設計竜巻荷重は、設計竜巻の風圧力による荷重 ( $W_p$ )、気圧差による荷重 ( $W_w$ )、及び設計飛来物による衝突荷重 ( $W_c$ ) 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た荷重 (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  $V_D=100\text{m/s}$  とした場合の荷重を設定する。

【設計飛来物の設定】

○東海第二発電所の飛来物に係る現地調査を行い、発電所構内の常設物 (マンホール蓋等)、仮設物 (資機材等) 及び建築物附属物 (屋根等) の中から、それらの飛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 (運動エネルギー及び貫通力) を踏まえ、第1-1図のとおり設計飛来物を設定した。



鋼製材 (イメージ)



砂利

第1-1図 東海第二発電所の設計飛来物

【2. 竜巻影響評価】

○設計荷重に対し、第2-1表の評価対象施設 (構築物、系統及び機器) の構造安全性が維持され安全機能が維持されていることを確認する。

<竜巻防護施設の評価>

○評価対象施設 (屋外施設 (竜巻防護施設を除く)、屋内の施設で外気と繋がっている施設: 第2-1表 □) に対する設計飛来物による貫通評価, 設計荷重に対する強度評価を実施し、評価対象施設の構造健全性が維持されることを確認し、評価対象施設の安全機能維持に影響を及ぼす場合には、防護対策を実施する。

○評価対象施設 (竜巻防護施設を内包する施設: 第2-1表 □) の構造骨組評価, 設計飛来物の衝突に関する貫通及び裏面剥離評価, 局部評価及び建屋外周部建具 (扉等) に関する評価を実施し、内包する竜巻防護施設が影響を受けないことを確認し、竜巻防護施設の安全機能維持に影響を及ぼす場合には、評価対象施設の補強, 防護対策を実施する。

○評価対象施設 (外殻となる施設による防護機能が期待できない施設: 第2-1表 □) の外殻となる施設の外周部建具 (扉等) に関する評価結果より、評価対象施設が影響を受けないことを確認し、評価対象施設の安全機能維持に影響を及ぼす場合には、外殻となる施設の建具の補強, 防護対策及び運用による対策を実施する。

<竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の評価>

○評価対象施設 (倒壊により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある施設: 第2-1表 □) の構造骨組評価を実施し、竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設に影響を及ぼすことがないことを確認し、竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある場合には、防護対策を実施する。

○評価対象施設 (屋外に設置されている竜巻防護施設の附属施設: 第2-1表 □) に対する設計飛来物による貫通評価, 設計荷重に対する強度評価を実施し、評価対象施設の構造健全性が維持されることを確認する。竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある場合には、損傷箇所の補修及び取替等の対策を実施するものとし、手順と必要部材の整備を実施する。

第2-1表 評価対象施設

施設種別	評価対象施設	評価対象施設
屋外施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディーゼル発電機燃料フィルタ</li> <li>・ディーゼル発電機燃料ルーフベントファン</li> <li>・中央制御室換気系冷風機</li> <li>・海水ポンプ室内設備</li> <li>・非常用ガス処理系排気管</li> <li>・排気筒</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディーゼル発電機燃料系冷風機</li> <li>・中央制御室換気系冷風機</li> <li>・原予付建屋, タービン建屋, 使用済燃料乾式貯蔵建屋</li> <li>・船舶防風タンククランプ室</li> </ul>
竜巻防護施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中央制御室換気系排風弁, ファン (ダクト含む)</li> <li>・ディーゼル発電機換気系ダクト</li> <li>・原予付建屋換気系排風弁</li> <li>・原予付建屋換気系排風弁</li> <li>・中央制御室換気系ファン</li> <li>・非常用電源機</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非常用ガス処理系設備, 非常用ガス再循環気設備</li> <li>・使用済燃料プール, 燃料プール冷却浄化系真空破砕弁</li> <li>・使用済燃料乾式貯蔵装置</li> <li>・海水ポンプ室</li> <li>・排気筒</li> </ul>
竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排気筒</li> <li>・船舶防護壁</li> <li>・海水ポンプ室</li> <li>・ディーゼル発電機換気系排風弁</li> <li>・ディーゼル発電機換気系排風管</li> <li>・海水ポンプ室内設備換気排風管</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排気筒</li> <li>・船舶防護壁</li> <li>・海水ポンプ室</li> <li>・ディーゼル発電機換気系排風管</li> <li>・ディーゼル発電機換気系排風管</li> <li>・海水ポンプ室内設備換気排風管</li> </ul>

【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ー又は貫通力が上回る飛来物源については、竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼさないよう、別紙-2に基づき、飛来物発生防止対策を実施する。

<対策方針>

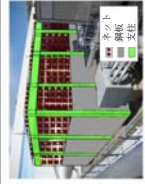
- ・対策エリア内に設置した資機材等の飛来物発生防止対策としては、移設, 撤去又は浮き上がりや横滑りを考慮した固縛等を実施する。
- ・対策エリア内の車両は、浮き上がり, 横滑り及び転倒を考慮した固縛等に加え、可能な限りエリア外への退避を実施する。

【4. 飛来物防護対策】

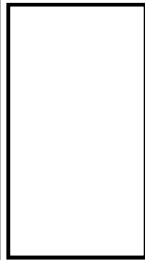
○設計飛来物の衝突によって損傷する可能性がある竜巻防護施設について、下記のとおり飛来物防護対策を実施する。

<防護ネット等による飛来物防護対策>

- ・設計飛来物に対する防護として、竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設に対し防護ネット等を設置する。
- ・防護ネットは設計飛来物の運動エネルギーを吸収可能な設計とするともに小径の飛来物 (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換気系冷風機防護壁 (案)



第4-2図 海水ポンプ室防護壁 (案)

<鋼製扉取替による防護対策>

- ・設計飛来物の衝突により既設扉が破損し、竜巻防護施設への影響を及ぼし得ることから、**十分な厚みを有する鋼製扉と取替え、外殻として**の防護機能対策を実施する。

第4-3図 鋼製扉取替箇所

第8-1-1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

## 評価対象施設の設計荷重について

### 1. 概要

設計竜巻に対し，評価対象施設の構造健全性の安全機能が維持されることの確認を行った結果を整理する。

### 2. 評価結果

#### 2.1 評価荷重の設定

竜巻防護施設の評価に用いる評価荷重について別表1-2-1に，竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の評価に用いる評価荷重について別表1-2-2に整理する。

別表 1-2-1 電巻防護施設の評価に用いる評価荷重一覧表 (1/3)

評価対象施設	設計電巻荷重										その他の 評価荷重 <sup>※1</sup>
	W <sub>w</sub> , W <sub>M</sub> , W <sub>P</sub> の選定				複合荷重の設定 <sup>※2</sup>						
	設置 場所	W <sub>w</sub> <sup>※1</sup>	W <sub>M</sub> <sup>※1</sup>	W <sub>P</sub> <sup>※1</sup>	W <sub>T1</sub>	W <sub>w</sub>	W <sub>w</sub> +0.5W <sub>P</sub>	W <sub>T2</sub>	W <sub>w</sub> +0.5W <sub>P</sub> +W <sub>M</sub>		
<屋外施設>											
非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	—	—	無し
高圧炉心スプレイスレー系ディーゼル発電機吸気フィルタ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	—	—	無し
非常用ディーゼル発電機室ルーフバントファン	屋外	○	×	×	—	○	—	—	—	—	自重
高圧炉心スプレイスレー系ディーゼル発電機室ルーフバントファン	屋外	○	×	×	—	○	—	—	—	—	自重
中央制御室換気系冷凍機	屋外	○	×	×	—	○	—	—	—	—	自重
残留熱除去系海水系ポンプ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	—	—	無し
残留熱除去系海水系ストレーナ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	—	—	自重
非常用ディーゼル発電機海水ポンプ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	—	—	無し
非常用ディーゼル発電機海水ストレーナ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	—	—	自重
高圧炉心スプレイスレー系ディーゼル発電機海水ポンプ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	—	—	無し
高圧炉心スプレイスレー系ディーゼル発電機海水ストレーナ	屋外	○	×	○	○	—	○	—	—	—	自重
非常用ガス処理系排気配管	屋外	○	×	○	○	—	○	—	—	—	自重, 内圧
排気筒	屋外	○	○	×	—	○	—	—	— <sup>※3</sup>	—	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 竜巻防護施設の評価に用いる評価荷重一覧表 (2/3)

評価対象施設	設計竜巻荷重							その他の 評価荷重※1
	W <sub>w</sub> , W <sub>M</sub> , W <sub>P</sub> の選定			複合荷重の設定※2				
	設置 場所	W <sub>w</sub> ※1	W <sub>M</sub> ※1	W <sub>P</sub> ※1	W <sub>T1</sub>	W <sub>T2</sub>	W <sub>w</sub> +0.5W <sub>P</sub>	
<屋外施設 (竜巻施設を内包する施設) >								
原子炉建屋	屋外	○	○	○	○	—	○	無し
タービン建屋	屋外	○	○	○	○	—	○	無し
使用済燃料乾式貯蔵建屋	屋外	○	○	○	○	—	○	無し
軽油貯蔵タンクタンク室	屋外 (埋設)	×	×	○	○	—	—	

注記) ※1 表中記号について対象とする荷重の有無を示す。 ○：考慮する ×：考慮しない  
 ※2 複合荷重の構成について、○のついた構成で評価を実施。 ○：実施ケース —：該当しないケース

別表 1-2-1 電巻防護施設評価に用いる評価荷重一覧表 (3/3)

評価対象施設	設計電巻荷重								その他の 評価荷重 <sup>※1</sup>
	W <sub>w</sub> , W <sub>M</sub> , W <sub>P</sub> の選定				複合荷重の設定 <sup>※2</sup>				
	設置 場所	W <sub>w</sub> <sup>※1</sup>	W <sub>M</sub> <sup>※1</sup>	W <sub>P</sub> <sup>※1</sup>	W <sub>T1</sub>	W <sub>T2</sub>	W <sub>w</sub> +0.5W <sub>P</sub>	W <sub>w</sub> +0.5W <sub>P</sub> +W <sub>M</sub>	
<屋内の施設で外気と繋がっている施設>									
中央制御室換気系隔離弁, ファン	屋内	×	×	○	○	—	—	—	自重, 運転圧力
非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト	屋内	×	×	○	○	—	—	—	自重, 運転圧力
高圧炉心スプレイスディーゼル発電機室換気系ダクト	屋内	×	×	○	○	—	—	—	自重, 運転圧力
原子炉建屋換気系隔離弁, ダクト	屋内	×	×	○	○	—	—	—	自重, 運転圧力
<外設となる施設による防護機能が期待できない施設>									
中央制御室換気系ファン	屋内	×	× <sup>※3</sup>	○	○	—	—	—	無し
中央制御室換気系フィルタユニット	屋内	×	×	○	○	—	—	—	無し
非常用電源盤	屋内	×	× <sup>※3</sup>	×	—	—	—	—	無し
非常用ガス処理系設備, 非常用ガス再循環系設備	屋内	×	× <sup>※3</sup>	×	—	—	—	—	無し
使用済燃料プール	屋内	×	× <sup>※3</sup>	×	—	—	—	—	無し
燃料プール冷却浄化系真空破壊弁	屋内	×	× <sup>※3</sup>	×	—	—	—	—	無し
使用済燃料乾式貯蔵容器	屋内	×	○	×	—	—	○	—	無し

注記) ※1 表中記号について対象とする荷重の有無を示す。 ○：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<sub>M</sub>に対して、防護対策を実施するため、衝撃荷重は作用しない。

別表 1-2-2 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の評価に用いる評価荷重一覧表 (1/2)

評価対象施設	設計竜巻荷重								その他の 評価荷重 <sup>※1</sup>	
	W <sub>w</sub> , W <sub>M</sub> , W <sub>P</sub> の選定				複合荷重の設定 <sup>※2</sup>					
	設置 場所	W <sub>w</sub> <sup>※1</sup>	W <sub>M</sub> <sup>※1</sup>	W <sub>P</sub> <sup>※1</sup>	W <sub>T1</sub>	W <sub>T2</sub>	W <sub>w</sub>	W <sub>w</sub> +0.5W <sub>P</sub>		W <sub>w</sub> +0.5W <sub>P</sub> +W <sub>M</sub>
<機械的影響の観点>										
サービズ建屋	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	○	○	×	—	○	—	— <sup>※3</sup>		自重
<機能的影響の観点>										
非常用ディーゼル発電機排気消音器	屋外	○	×	○	○	—	○	—		無し
非常用ディーゼル発電機排気配管	屋外	○	×	○	○	—	○	—		自重, 内圧
非常用ディーゼル発電機燃料ダイタックベント管	屋外	○	×	○	○	—	○	—		自重, 内圧
非常用ディーゼル発電機機関ベント管	屋外	○	×	○	○	—	○	—		自重, 内圧
非常用ディーゼル発電機潤滑油サンクタンクベント管	屋外	○	×	○	○	—	○	—		自重, 内圧

注記) ※1 表中記号について対象とする荷重の有無を示す。 ○：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<sub>M</sub>に対して、防護対策を実施するため、衝撃荷重は作用しない。

別表 1-2-2 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の評価に用いる評価荷重一覧表 (2/2)

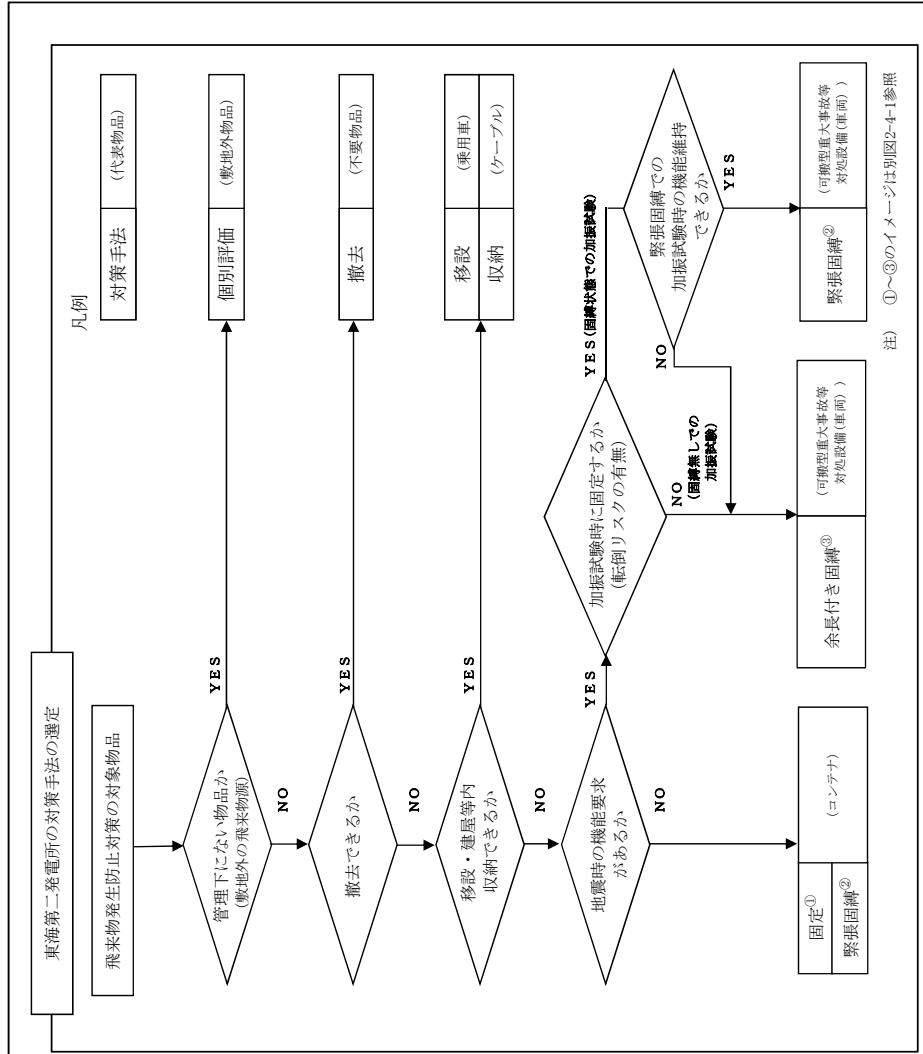
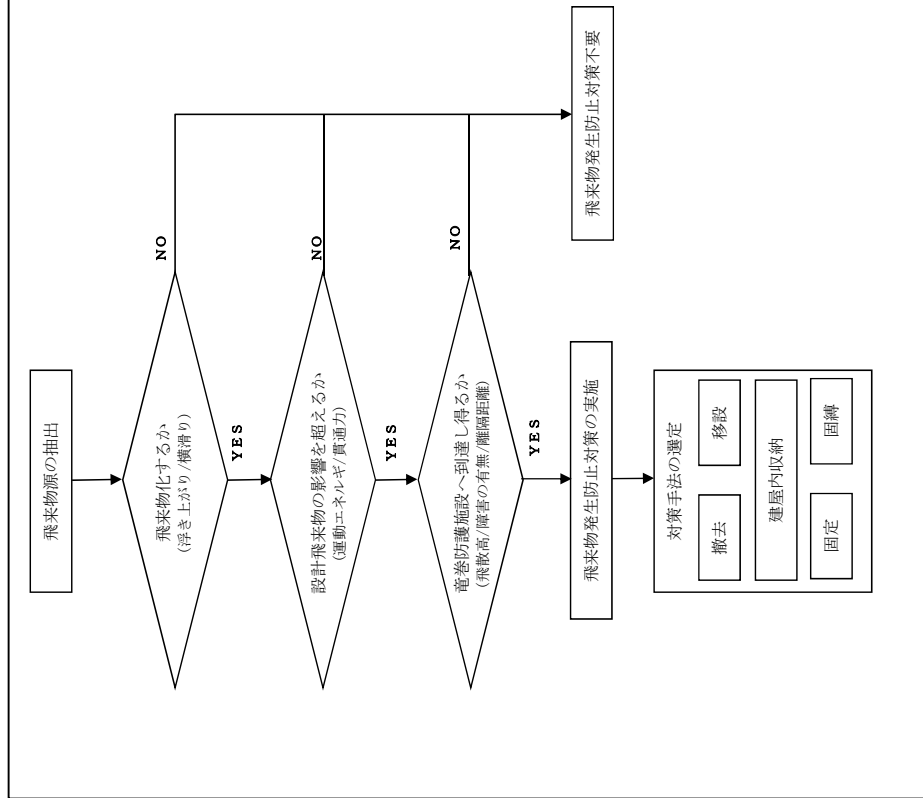
評価対象施設	設計竜巻荷重								その他の 評価荷重 <sup>※1</sup>	
	W <sub>w</sub> , W <sub>M</sub> , W <sub>P</sub> の選定				複合荷重の設定 <sup>※2</sup>					
	設置 場所	W <sub>w</sub> <sup>※1</sup>	W <sub>M</sub> <sup>※1</sup>	W <sub>P</sub> <sup>※1</sup>	W <sub>T1</sub>	W <sub>T2</sub>				
<機能的影響の観点>										
高圧炉心スプレイスライ系ディーゼル発電機排気消音器	屋外	○	× <sup>※4</sup>	○	○	—	○	—	—	自重
高圧炉心スプレイスライ系ディーゼル発電機排気配管	屋外	○	× <sup>※4</sup>	○	○	—	○	—	—	自重, 内圧
高圧炉心スプレイスライ系ディーゼル発電機燃料ダイタック ベント管	屋外	○	× <sup>※4</sup>	○	○	—	○	—	—	自重, 内圧
高圧炉心スプレイスライ系ディーゼル発電機機関ベント管	屋外	○	× <sup>※3</sup>	○	○	—	○	—	—	自重, 内圧
高圧炉心スプレイスライ系ディーゼル発電機潤滑油サンブタンク ベント管	屋外	○	× <sup>※3</sup>	○	○	—	○	—	—	自重, 内圧
残留熱除去系海水系配管 (放出側)	屋外	○	× <sup>※3</sup>	○	○	—	○	—	—	自重, 内圧
非常用ディーゼル発電機海水配管 (放出側)	屋外	○	× <sup>※3</sup>	○	○	—	○	—	—	自重, 内圧
高圧炉心スプレイスライ系ディーゼル発電機海水配管 (放出側)	屋外	○	× <sup>※3</sup>	○	○	—	○	—	—	自重, 内圧

注記) ※1 表中記号について対象とする荷重の有無を示す。 ○：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<sub>M</sub>により、対象が破損することを想定するため、設計荷重としては考慮しない。  
 ※4 W<sub>M</sub>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。



注) ①～③のイメージは別図2-4-1参照

別図2-1-1 東海第二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】**

- ・ 竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす施設に悪影響を及ぼす可能性のある飛来物源に対して飛来物発生防止対策を実施する。

飛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

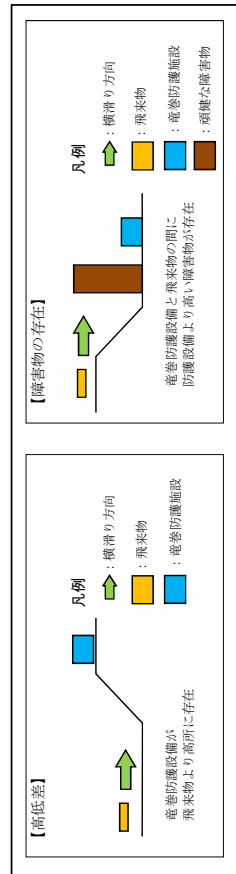
- ① 飛散（浮き上がり、横滑り）する。
- ② 設計飛来物（鋼製材）の運動エネルギー及び貫通力を上回る。
- ③ 竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす施設に到達する。

**【3. 竜巻防護施設等への到達、隔離】**

- ・ 竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす施設に到達しないケースを下記に示す。
  - ① 竜巻防護施設等に到達できない距離を確保した配置とする。（隔離距離の確保）  
（別図2-3-1に車両の隔離（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 竜巻防護施設等に対して高低差や到達できない障害物が配置されている。  
（別図2-3-2に、横滑りする飛来物に対して未到達となる例を示す。）



別図2-3-1 車両管理エリア



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		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

東海第二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ー及び貫通力を基準として、鋼製材より運動エネルギー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

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

準備実施時：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・固定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。

## 2.2.2 車両の管理に際し考慮する事項

車両の管理に際し考慮する事項を以下に示す。

### (1) 車両の飛散可能性

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・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及び竜巻飛来物防護対策設備（以下「評価対象施設等」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等に対する必要離隔距離を定める必要があるが、評価対象施設等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。



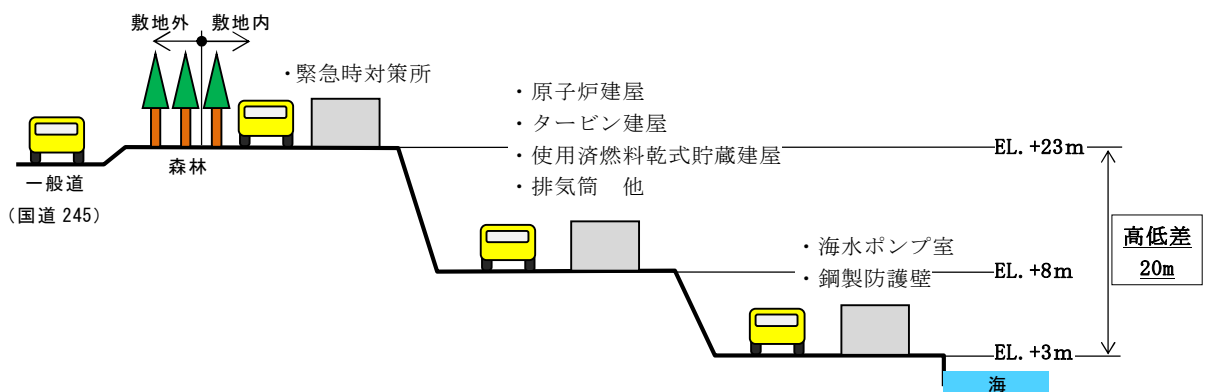
a. 緊急時対策所からの必要離隔距離

緊急時対策所は、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等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。
- ・飛散しない車両の横滑りにおける移動距離は、飛散する車両の飛距離に包絡されると考えられるため、摩擦力等を適切に設定することが難しく、設計飛来物の影響に包絡されることの確認が難しい車両については、保守的に上記車両管理エリア内のものを横滑り対策の検討対象とする。



別図3-1 評価対象施設等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 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

飛散はしないが、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、体制確認時及び準備実施時のいずれにおいても固縛する。ただし、評価対象施設等との間に障害物がある場所（下記の①及び②）もしくは評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所（下記の③）に駐車する車両の固縛は不要とする。

<横滑りの影響が考慮不要となる場所>

①評価対象施設等との間に、横滑り物品に対し一定の高さを有する障害物（地形、建屋・構築物等）が存在する場所

②評価対象施設等との間に風荷重では登れない急峻な上り勾配が認められる場所

③車両管理エリア内で、竜巻の風荷重に対し健全性を維持することが確認され、物品への風当たりを防止できると評価された建屋、構築物の内部

- ・ 停車状態の車両は、通常時及び体制確認時では対策不要だが、準備実施時には固縛する、もしくは車両管理エリア外、評価対象施設等との間に障害物がある場所、評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所のいずれかへ退避する。
- ・ 上記の退避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、運転者が常時近くに滞在する。

(2) 飛散する車両の場合

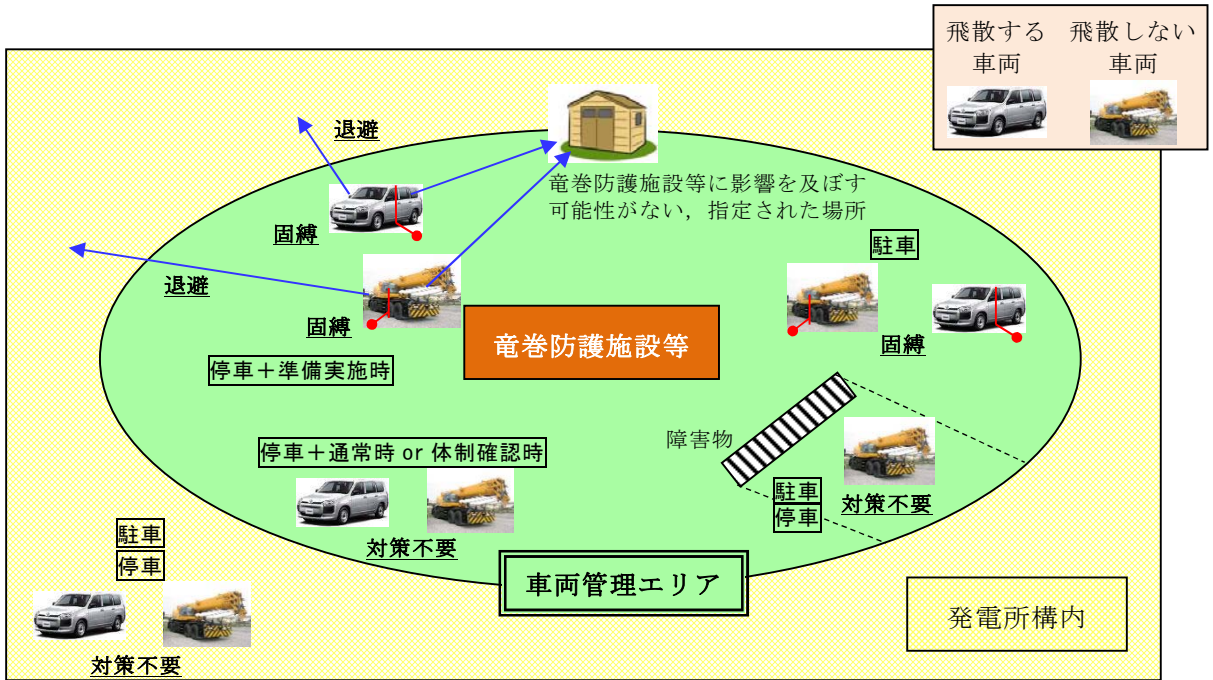
- ・ 駐車状態の車両については、固縛する。
- ・ 停車状態の車両については、通常時及び体制確認時では対策不要だが、準備実施時には固縛する、もしくは車両管理エリア外、評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所のいずれかへ退避する。
- ・ 上記の退避を速やかに開始するため、車両管理エリア内の車両については、運転者が常時近くに滞在する。

別表3-1 発電所への入構車両の管理方針

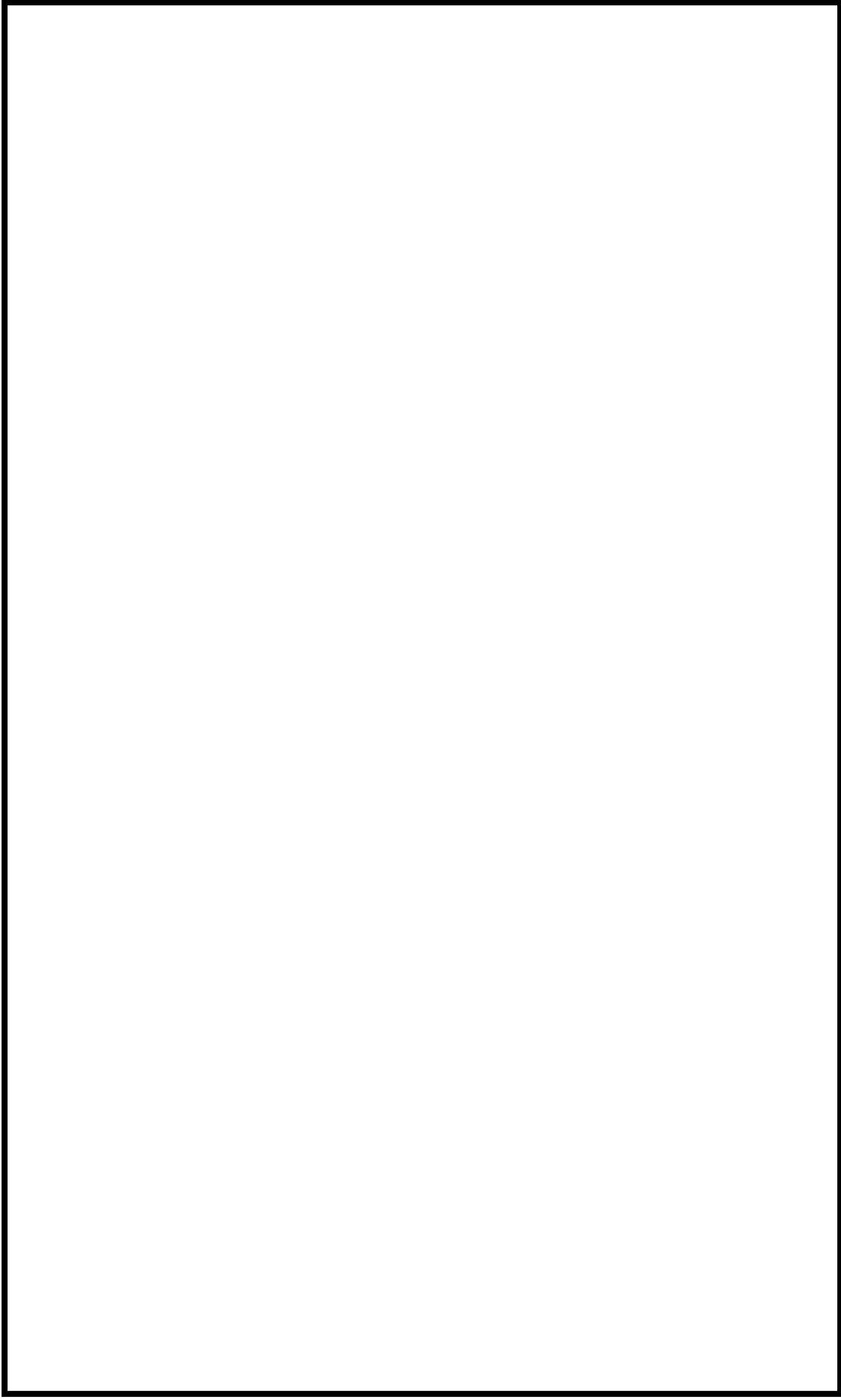
飛散の有無	配置場所	車両の状態	管理方針	
			通常時 体制確認時	準備実施時
飛散しない 車両 (横滑りを考慮)	車両管理エリア内	駐車	固縛 <sup>※1</sup>	
		停車	対策不要	固縛又は退避 <sup>※1</sup>
	車両管理エリア外	駐車	対策不要	
		停車		
飛散する 車両	車両管理エリア内	駐車	固縛	
		停車	対策不要	固縛又は退避 <sup>※2</sup>
	車両管理エリア外	駐車	対策不要	
		停車		

※1 防護施設との間に障害物がある場所又は防護施設に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所に駐車する車両については、不要とする。

※2 防護施設に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所に駐車する車両については、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

## 2.3. 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、飛散可能性、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) 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) 物品の置かれている場所

物品が飛散することによって評価対象施設等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解析を行い、設計飛来物の影響を超え、且つ評価対象施設へ到達し得る物品の有無を確認する。そのような物品が想定される場合は、当該の高所も物品管理エリアと位置づけ、物品の管理を行う。

- ・飛散しない物品の横滑りにおける移動距離は、飛散する物品の飛距離に包絡されると考えられるため、摩擦力等を適切に設定することが難しく、設計飛来物の影響に包絡されることの確認が難しい物品については、保守的に上記物品管理エリア内のもの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 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

飛散はしないが、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、体制確認時及び準備実施時のいずれにおいても原則として固定・固縛しておくが、作業等で一時的に固定・固縛を解除している物品は、準備実施時に移行した場合には速やかに再固定・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。
- ・防護施設との間に障害物がある場所、防護施設に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所に置かれている物品については、固定・固縛は不要とする。

##### (2) 飛散する物品の場合

- ・通常時、体制確認時及び準備実施時のいずれにおいても原則として固定・固縛しておくが、作業等で一時的に固定・固縛を解除している物品は、準備実施時に移行した場合には速やかに再固定・再固縛が可能

な様、作業者が物品から離れないようにする。

別表3-2 車両以外の物品の管理方針

飛散の有無	配置場所	管理方針	
		通常時 体制確認時	準備実施時
飛散しない 物品 (横滑りを考慮)	物品管理エリア内	固定・固縛 <sup>※1, 2</sup>	固定・固縛 <sup>※2</sup>
	物品管理エリア外	固定・固縛	
飛散する 物品	物品管理エリア内	固定・固縛 <sup>※1</sup>	固定・固縛
	物品管理エリア外	固定・固縛	
		対策不要	

※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・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 防護施設との間に障害物がある場所、防護施設に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所に置かれている物品については、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

竜巻防護施設，竜巻防護施設の外殻となる施設及び竜巻飛来物防護対策設備（以下「防護施設」という。）の安全機能維持に影響を与えないよう，防護施設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。

竜巻による防護施設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

東海第二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	準備体制の確認 (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：準備体制の確認

<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)

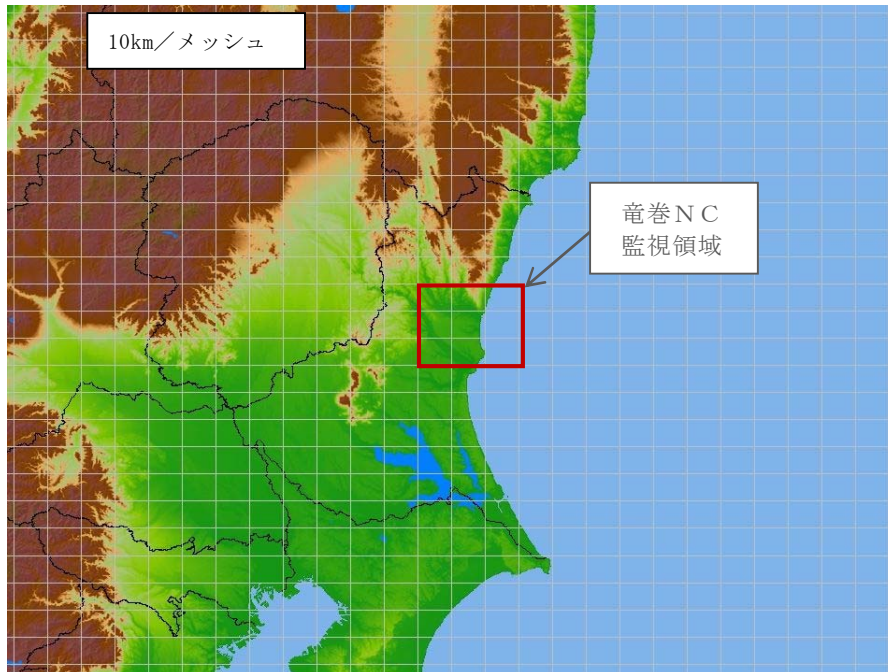
- ①雷注意報(竜巻又は突風)の発報
- ②竜巻注意情報の発報

<対応>

- ・判断基準情報発出の所内周知
- ・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

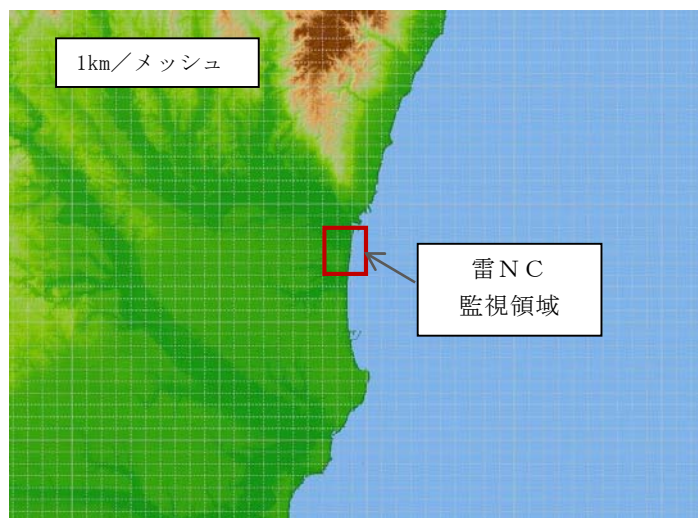
「発電所を含むメッシュ+周囲1メッシュ」の計9メッシュを、竜巻NCの監視領域とする（別図4-1参照）。



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
- ・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<sup>\*</sup>が認められる

※：以下の様な状況

- ・「空が急に暗くなる，激しい雨や雹が降る，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>

- ・ 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) 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 準備体制の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 <sup>※1</sup>	2016.12.15 以降 <sup>※2</sup>
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、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 F 3 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に影響を及ぼす竜巻のスケールは F 3 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 F 3 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、F 3 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<sup>\*1</sup>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<sup>\*2</sup>と判断されるためである。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<sup>\*2</sup>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<sup>※</sup>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<sup>※2</sup>。

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<sup>※3</sup>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。』

## 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。

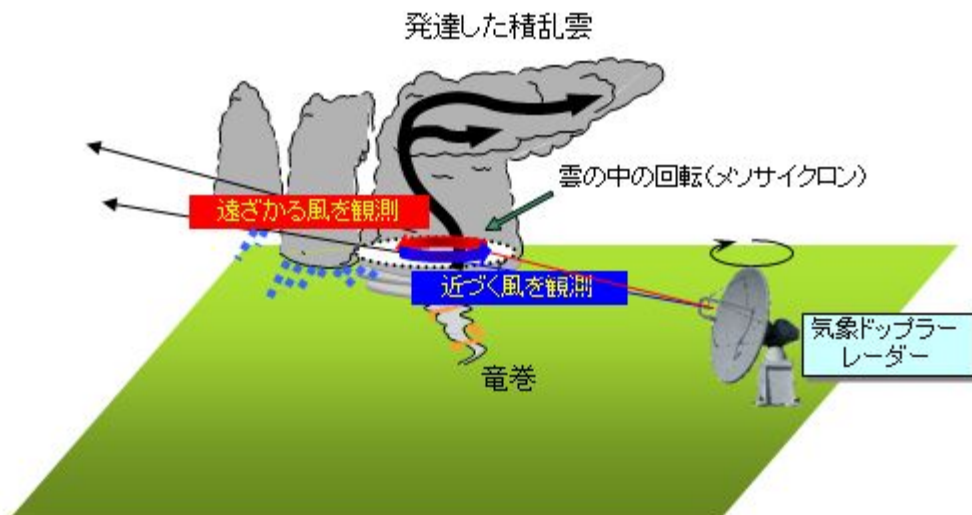
竜巻などの激しい突風は、規模が小さくレーダーなどの観測機器で直接実体を捉えることができないため、竜巻をもたらす発達した積乱雲の中にある直径数キロのメソサイクロンの検出又は、大気環境、積乱雲の発生場所・発達状況から突風の発生可能性を表す指数「突風危険指数」が基準を持たした場合に発生確度の解析を開始し、降水強度の解析と重ねて降水強度が強い格子を発生確度1, 2と判定する。

#### ・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ある発生確度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。



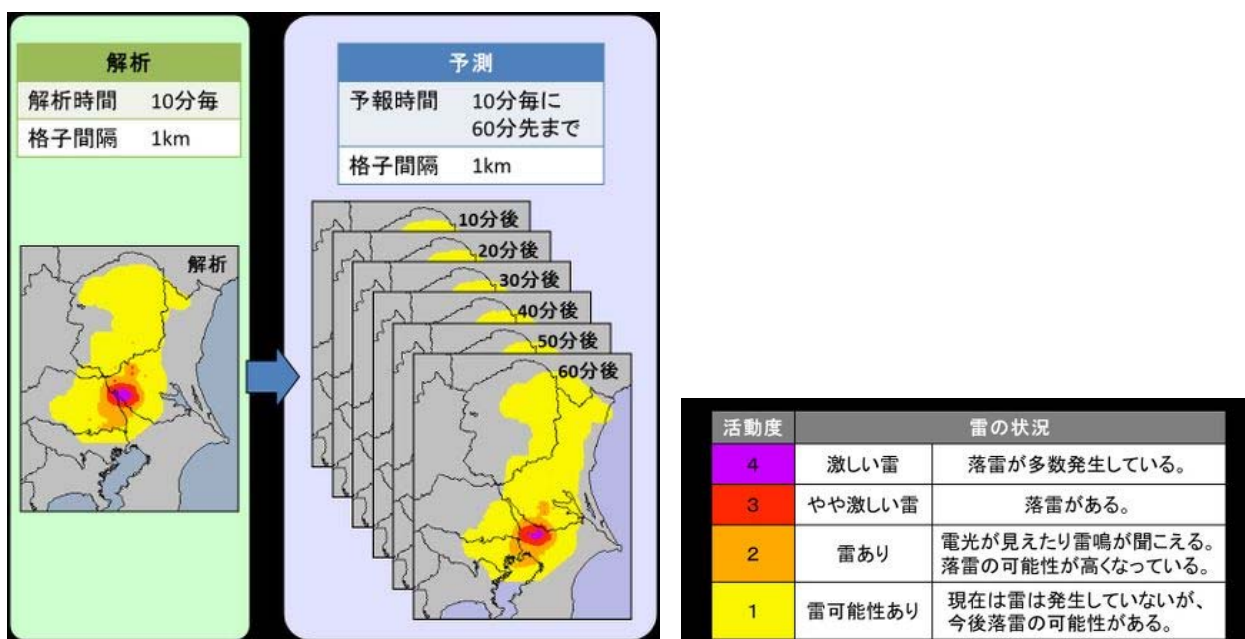
出典：竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について：平成22年3月気象庁

(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。



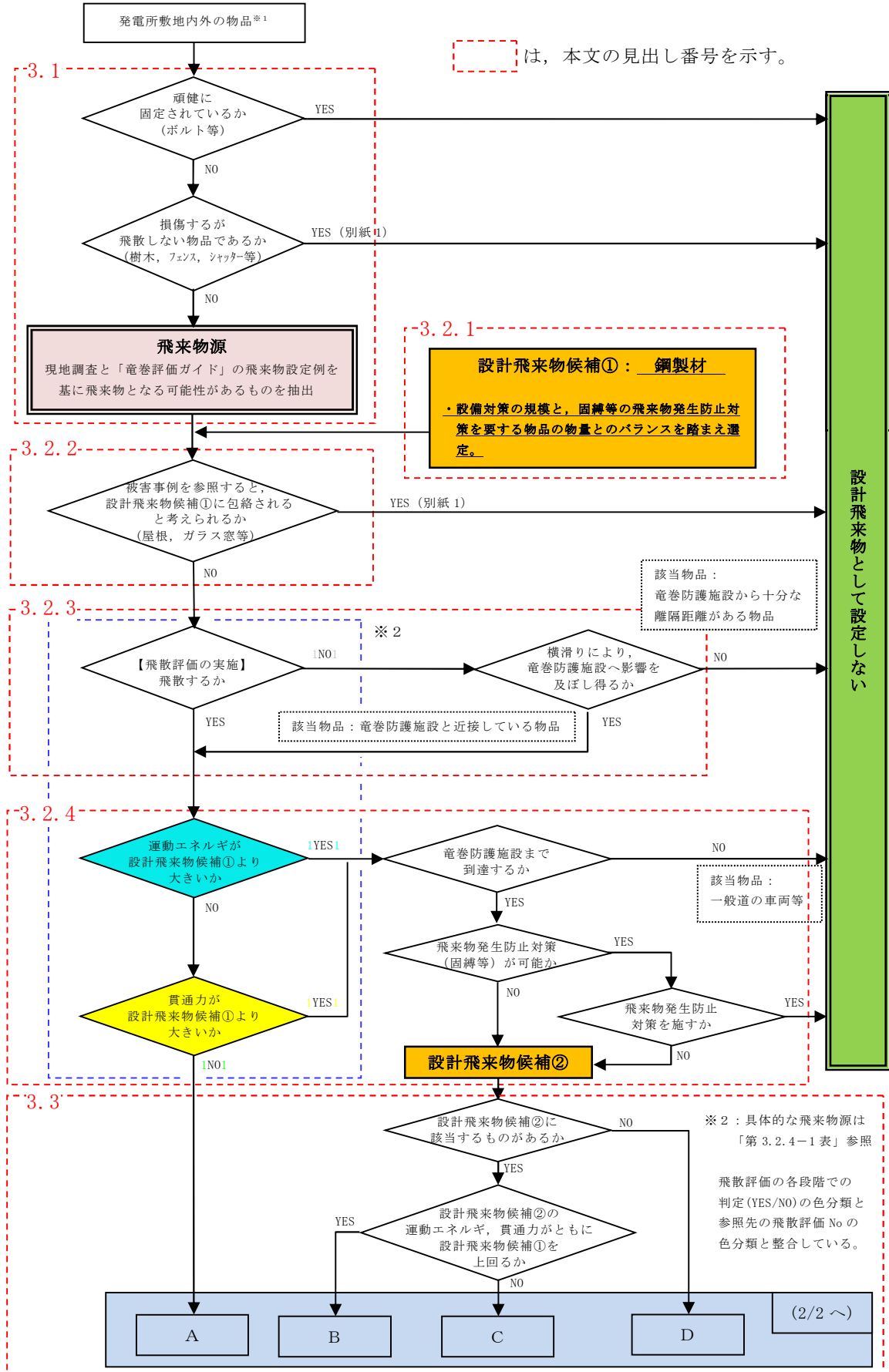
出典：雷ナウキャストとは 気象庁HP

設計飛来物の設定について

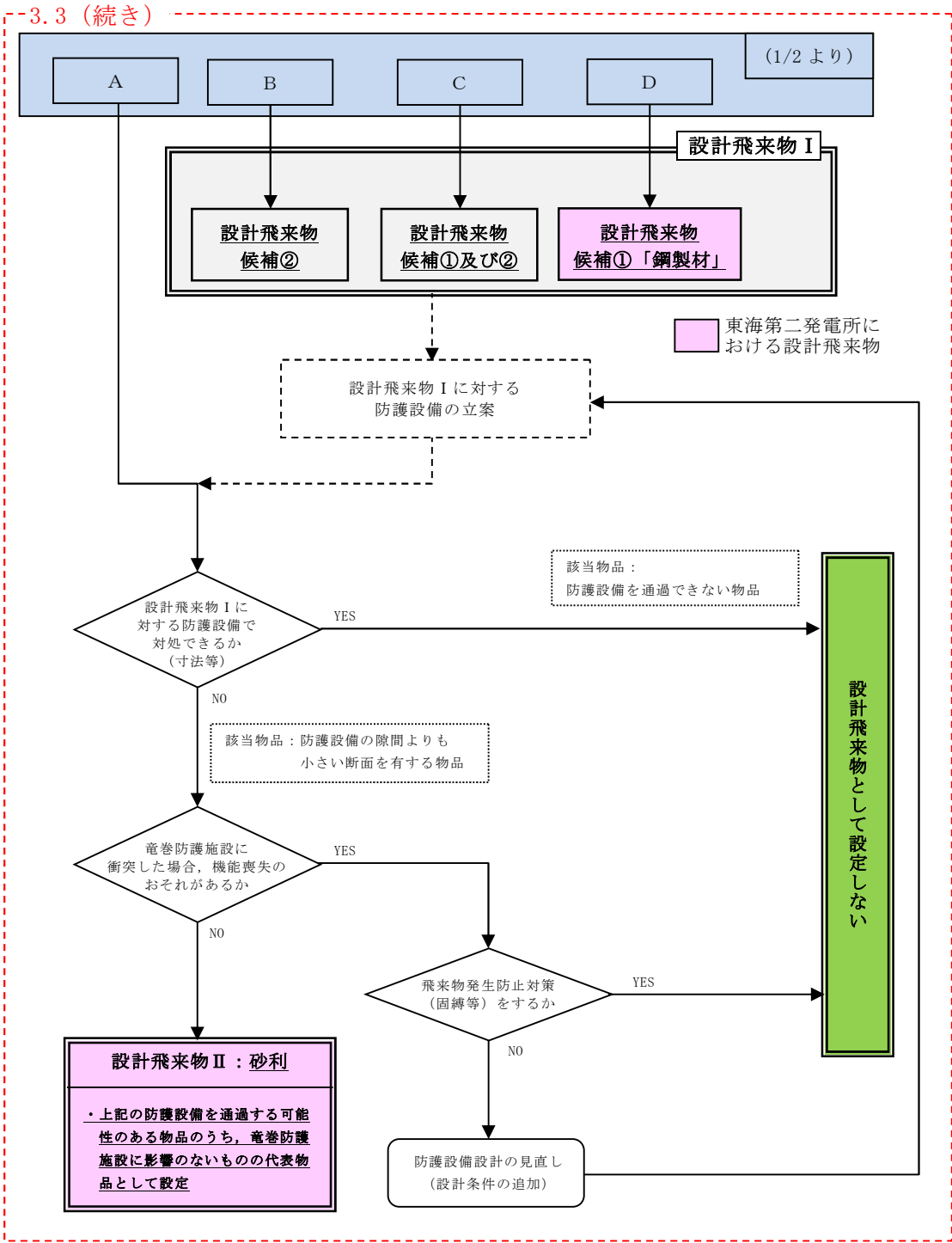
1. 設計飛来物の設定方針

東海第二発電所の竜巻影響評価に用いる設計飛来物を, 第 1-1 図に示すフローに基づき設定した。

※1：発電所敷地内及び周辺の現地調査等を踏まえ抽出



第1-1図 設計飛来物の設定フロー(1/2)



第 1-1 図 設計飛来物の設定フロー (2/2)

## 2. 発電所構内の物品調査

### 2.1 調査範囲

東海第二発電所構内の物品調査は、1回目を平成26年1月15日～16日（発電所敷地内）、及び2回目を平成28年7月22日に実施した。調査範囲は、米国 Regulatory Guide を参考に、第2.1-1図に示すとおり、原子炉建屋から半径800mの範囲とした。なお、後述の代表的な飛来物源の飛散評価結果において、飛散距離は最大でも400m程度であることから、調査範囲は十分と考えられる。

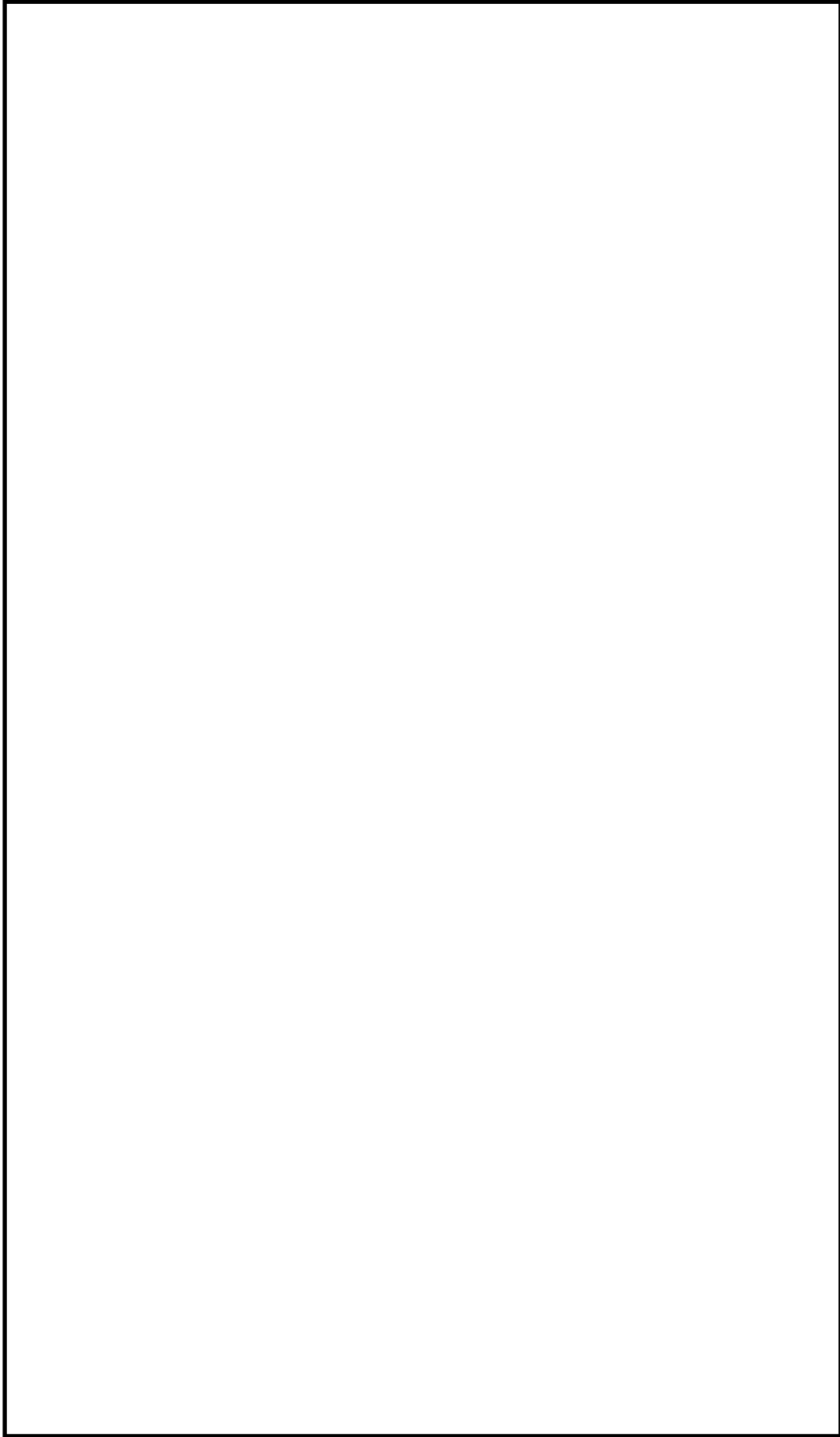
2回の調査において認められた物品の種類に有意な違いは認められなかったことから、定期検査の有無や季節性を加味しても、考慮すべき物品の種類としては、今回認められたものの中に包絡されるものと考えられる。

なお、今後も飛来物源について継続的に確認し、新たに考慮すべき物品の種類が認められた場合は、新たな飛来物源として評価する。

第2.1-1表 調査エリア区分

エリア番号	エリア内の主な施設
①	東海発電所 タービン建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋外開閉所，事務本館
②	資材置場，駐車場
③	東海発電所 取水口，放水口 資材倉庫
④	固体廃棄物貯蔵庫 東海第二発電所 取水口，放水口，海水ポンプ室
⑤	東海発電所 原子炉建屋 東海第二発電所 原子炉建屋，タービン建屋 廃棄物処理建屋





第2.1-1 図 物品調査エリア

## 2.2 発電所構内の物品の調査結果

調査の結果、第 2.2-1 表に示す種類の物品が東海第二発電所において確認された。調査エリア毎の主な物品を以降に示す。

第 2.2-1 表 東海第二発電所における主な飛来物源の種類

棒状※	板状※	塊状※	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・バリケード</li> <li>・ベンチ（常設）</li> <li>・樹木（倒木，伐採木），材木</li> <li>・鉄骨</li> <li>・鋼管</li> <li>・ボンベ</li> <li>・樹脂製パイプ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・樹脂製蓋</li> <li>・コンクリート製蓋</li> <li>・マンホール蓋</li> <li>・グレーチング</li> <li>・カーブミラー</li> <li>・看板，標識</li> <li>・鋼製敷板</li> <li>・鋼製スロープ</li> <li>・鋼製蓋</li> <li>・ベンチ（仮設）</li> <li>・足場板，足場枠</li> <li>・パレット（鋼製）</li> <li>・パレット（木製，樹脂製）</li> <li>・時計</li> <li>・仮囲い板，仮設フェンス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドラム缶</li> <li>・消防車</li> <li>・トラック</li> <li>・社用バス</li> <li>・乗用車</li> <li>・コンテナ</li> <li>・物置</li> <li>・洗濯機</li> <li>・仮設電源</li> <li>・建設機械</li> <li>・運搬台車</li> <li>・鋼製ボックス</li> <li>・下駄箱</li> <li>・カラーコーン</li> <li>・消火器</li> <li>・消火設備格納箱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フォークリフト</li> <li>・バイク，自転車</li> <li>・土のう</li> <li>・自動販売機</li> <li>・ケーブルドラム</li> <li>・仮設トイレ</li> <li>・オブジェ</li> <li>・鋼製ブロック</li> <li>・コンクリート製ブロック</li> <li>・木片，木製品</li> <li>・プレハブ小屋</li> <li>・プラスチック容器</li> <li>・什器類</li> <li>・ホース，ケーブル類</li> <li>・空調室外機</li> <li>・鋼製ステップ</li> </ul>

※：各ジャンルにおける代表的な形状にて整理した表であり，ジャンル内の物品全てが同一の形状となる訳ではない。

エリア①で確認された主な飛来物源



#1 乗用車



#2 プレハブ小屋



#6 パレット（木製又は樹脂製）



#8 鋼管



#9 ポンペ



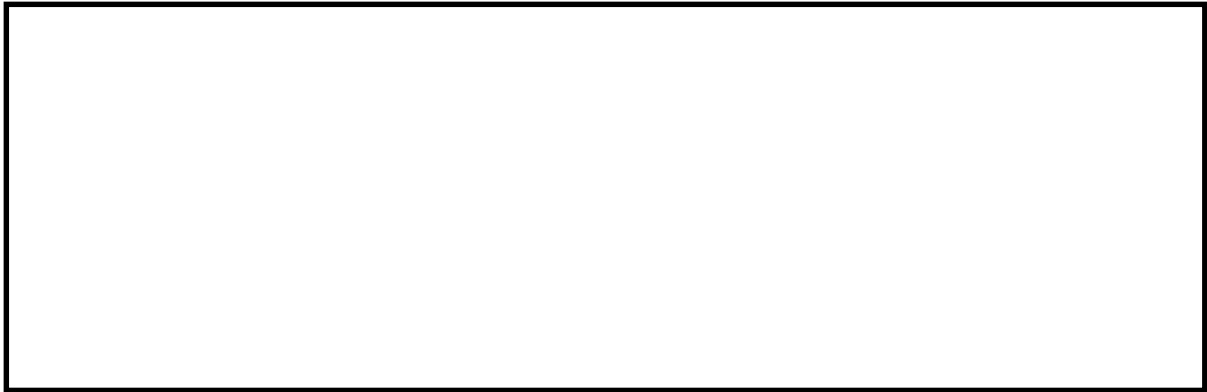
#11 ドラム缶



#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



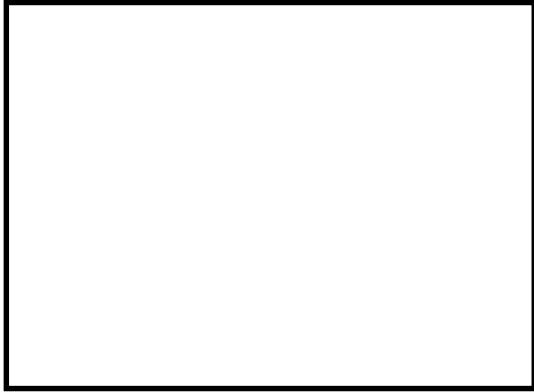
#176 ドラム缶



#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



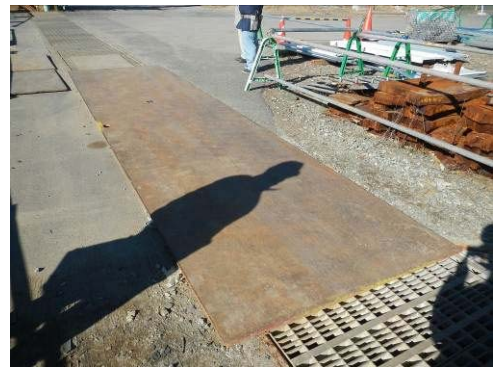
#383 物置



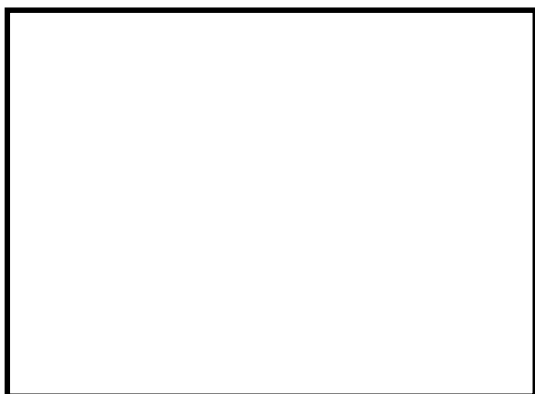
#388 コンクリート製蓋



#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 ポンプ



#295 ホース, ケーブル類



#298 鋼製スロープ



#301 足場板, 足場枠



#305 鋼製敷板



#307 プレハブ小屋



#309 プラスチック容器



#314 コンクリートブロック



#316 マンホール蓋



#320 パレット (鋼製)



#330 物置



#335 鋼製スロープ





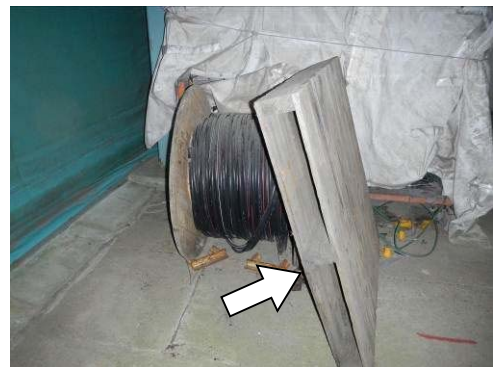
#336 什器類



#337 敷鉄板



#338 ケーブルドラム



#339 パレット (木製又は樹脂製)



#340 プレハブ小屋



#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）

東海第二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。

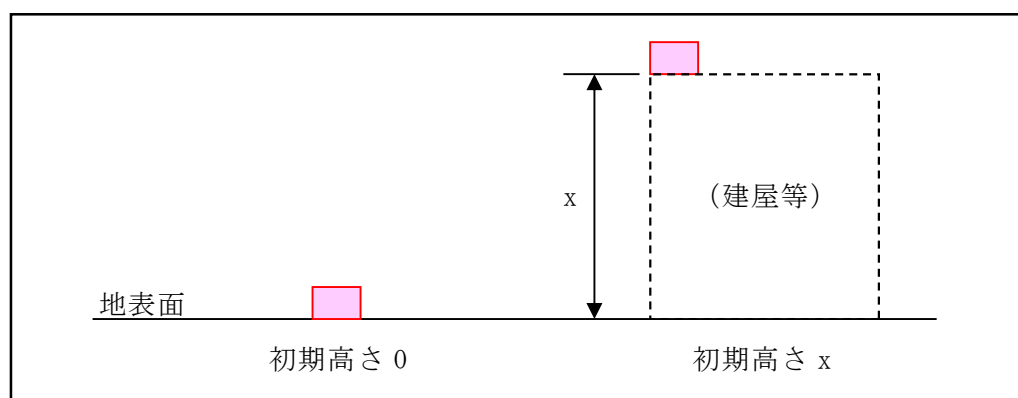
### 3.2.3 飛来物源の飛散評価

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  $100\text{m/s}$ 、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、東海第二発電所は、敷地近傍に一般道や近隣施設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竜巻防護施設に影響を与え得る物品については、浮上する物品同様、3.3の結果を踏まえ設計飛来物として選定する必要があるかを判断する。

3.2.4 飛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（運動エネルギー又は貫通力）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) 運動エネルギー

飛来物源の運動エネルギー  $E$  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、N E I 07-13 及び米国 N R C の基準類に算定式として記載されている修正 N D R C 式 (①式) を用いて貫入深さ  $x_c$  を求め、D e g e n 式 (②式) により貫通限界厚さ  $t_p$  を算定する。

$$\left. \begin{array}{l} \frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 2 \text{ の場合} \quad \frac{x_c}{d} = 2 \left\{ \left( \frac{12145}{\sqrt{Fc}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left( \frac{V}{1000} \right)^{1.8} \right\}^{0.5} \\ \frac{x_c}{\alpha_c d} \geq 2 \text{ の場合} \quad \frac{x_c}{d} = \left( \frac{12145}{\sqrt{Fc}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left( \frac{V}{1000} \right)^{1.8} + 1 \end{array} \right\} \dots \textcircled{1}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 1.52 \text{ の場合} \quad t_p = \alpha_p d \left\{ 2.2 \left( \frac{x_c}{\alpha_c d} \right) - 0.3 \left( \frac{x_c}{\alpha_c d} \right)^2 \right\} \\ 1.52 \leq \frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 13.42 \text{ の場合} \quad t_p = \alpha_p d \left\{ 0.69 + 1.29 \left( \frac{x_c}{\alpha_c d} \right) \right\} \end{array} \right\} \dots \textcircled{2}$$

$t_p$  : 貫通限界厚さ (cm)

$x_c$  : 貫入深さ (cm)

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm<sup>2</sup>) : 250 kgf/cm<sup>2</sup>

$d$  : 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。



$\alpha_c$  : 飛来物の低減係数 : 1.0

$\alpha_p$  : 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 B R L 式(③式)を用いて貫通限界厚さ  $T$  を算定する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5MV^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}} \quad \dots \quad \textcircled{3}$$

$T$  : 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 での運動エネルギー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.	カテゴリー (品目に則った整理)	寸法(m)		C <sub>D</sub> A/m <sup>2</sup> /kg (m <sup>2</sup> /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)	最大 運動 E (kJ)	運動エネルギー		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								貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T> 9mm) 【条件③】	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】		
<b>&lt;運動エネルギーが鋼製材より大きいもの&gt;</b>																		
340	プレハブ小屋	2.2	6	10	0.0115	0	56	185.1	15.786	8624	○	○	64.4	○	9	×	○	
19	物置	2.3	3.2	6.5	0.0057	0	43	88.5	4.726	4623	○	○	54.4	○	8	×	○	
252	トラック	2.24	2.445	7.54	0.0073	0	48	120.2	6.56	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	4056	○	○	49.9	○	7	×	○	
216	社用バス	2.34	2.96	8.99	0.0037	0	28	37.3	1.675	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	3602	○	○	49	○	7	×	○	
115	トラック	2.22	3.16	7.56	0.0040	0	30	42.1	1.97	3587	○	○	50.2	○	7	×	○	
182	消防車	2.49	3.04	8	0.0033	0	25	30.7	1.216	10620	○	○	48.4	○	6	×	○	
155	プレハブ小屋	2.5	3.6	5	0.0145	0	59	210.8	21.932	3133	○	○	41.8	○	5	×	○	
215	社用バス	2.08	2.82	6.99	0.0041	0	30	41.3	1.907	6605	○	○	47.3	○	6	×	○	
183	消防車	2.28	2.8	7.15	0.0033	0	23	26.6	1.008	8635	○	○	42	○	5	×	○	
20	物置	2.3	3.05	3.05	0.0103	0	54	176.9	14.187	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	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	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	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	1985	○	○	35.9	○	5	×	○	
237	プレハブ小屋	2	3	4	0.0172	0	61	209.6	20.915	1861	○	○	34.8	○	5	×	○	
373	物置	1.9	2.2	4.4	0.0052	0	36	53.4	2.951	1838	○	○	39.1	○	6	×	○	
259	物置	1.9	2.2	4.4	0.0052	0	36	53.4	2.951	1838	○	○	39.1	○	6	×	○	
228	物置	2.4	2.65	3.5	0.0159	0	60	213.9	22.626	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	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	1800	○	○	34.6	○	5	×	○	
28	乗用車	1.69	1.81	4.39	0.0067	0	43	73.9	3.801	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)		C <sub>D</sub> A/m (m <sup>2</sup> /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)	最大 運動 E (kJ)	運動エネルギー		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								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】		
22	トラック	1.695	1.9	4.69	0.0057	0	55.2	3.007	2340	1602	○	38.3	○	×	6	×	○
106	コンテナ	1.8	1.8	3.7	0.0116	0	170.1	12.251	950	1437	○	34.9	○	×	5	×	○
73	コンテナ	1.5	2.1	3.7	0.0115	0	163.1	8.195	950	1386	○	34.5	○	×	5	×	○
219	乗用車	1.39	1.86	4.615	0.0074	0	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	211.5	21.333	720	1384	○	31.4	○	×	4	×	○
1	乗用車	1.6	2	4.5	0.0052	0	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	186.9	15.804	685	1193	○	30	○	×	4	×	○
383	物置	1.9	1.9	2.25	0.0101	0	165.3	10.111	801	1126	○	30.4	○	×	4	×	○
371	物置	2	2	2.3	0.0137	0	194.1	17.348	640	1077	○	28.9	○	×	4	×	○
347	物置	1.9	2.05	2.4	0.0177	0	208.6	20.542	500	931	○	26.9	○	×	4	×	○
330	物置	1.9	2.3	2.9	0.0304	0	222.9	30.192	360	857	○	24.9	×	×	4	×	○
177	鋼製ステップ	1	1.3	4.3	0.0185	0 40	164.2 257.5	9.74 28.913	400	720 605	○ ○	29.3 27.1	○ ○	×	5 5	×	○ ○
409	物置	1.4	2.1	3	0.0296	0	212.9	24.183	300	694	○	24.3	×	×	4	×	○
222	物置	1.8	2	3	0.0367	0	220.9	33.633	270	681	○	23	×	×	3	×	○
21	コンテナ	1	1.4	3.2	0.0134	0	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	0.068	12500	625	○	24.1	×	×	3	×	○
63	仮設電源	1.68	2.12	3.69	0.0034	0	19	0.574	3460	625	○	25.2	×	×	3	×	○
145	空調室外機	1	2.1	2.9	0.0074	0 40	35 183.8	2.065 3.092	1000	613 1013	○ ○	26 32.5	○ ○	×	4 5	×	○ ○
435	コンテナ	1.2	1.712	3.7	0.0044	0	23	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	350	474	○	24.3	×	×	4	×	○
279	プレハブ小屋	1.3	2.2	2.4	0.0477	0	74	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。  
(運動エネルギー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.	カテゴリー (品目に則った整理)	寸法(m)		C <sub>D</sub> A/m (m <sup>2</sup> /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)	運動エネルギー		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】		
485	樹木(倒木、伐採 木), 材木	1	14.2	0.0471	0	73	202.3	28.145	151	403	○	×	23.7	×	5	×	○
217	鋼製ステップ	1	4	0.0192	0	61	161.3	10.533	200	373	○	×	22.2	×	4	×	○
286	鋼管	0.8	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	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	0.0154	0	57	157.9	6.793	200	325	○	×	19.6	×	3	×	○
262	仮設電源	1.05	1.2	0.0153	0	57	157.2	6.695	200	325	○	×	20	×	3	×	○
478	物置	1.1	1.3	0.0288	0	67	200.3	19.881	143	321	○	×	19.1	×	3	×	○
89	鋼製ステップ	1	1.8	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	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	0.0183	0	59	163.7	7.113	179	312	○	×	19.3	×	3	×	○
					0	42	53.2	2.69		300	○	×	20.1	×	3	×	○
210	空調室外機	0.9	1.3	0.0100	0	49	214	7.485	340	409	○	×	23.1	×	4	×	○
486	バイク, 自転車	0.76	1.2	0.0160	0	53	128.8	3.615	209	294	○	×	20.4	×	4	×	○
142	仮設トイレ	0.876	1.598	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	0.0218	0	61	164.4	8.387	141	263	○	×	18	×	3	×	○
					0	50	126.7	3.592		263	○	×	19.1	×	3	×	○
144	空調室外機	1	1.3	0.0114	0	50	227.1	10.210	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	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	0.0218	0	61	164.4	8.387	141	263	○	×	18	×	3	×	○
488	バイク, 自転車	0.74	1.09	0.0219	0	61	160.7	6.681	130	242	○	×	18.7	×	4	×	○
487	バイク, 自転車	0.725	1.07	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.	カテゴリー (品目に則った整理)	寸法(m)		C <sub>D</sub> A/m (m <sup>2</sup> /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)	運動エネルギー		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】	
422	鋼製ボックス	0.9	1	0.0082	0	36	39.3	2.041	366	238	○	19.1	×	3	×	○
205	自動販売機	0.9	1.2	0.0064	40	47	194.2	4.291	508	405	○	24.2	×	5	×	○
225	鋼製ステップ	0.6	1.2	0.0155	0	30	30	1.438	200	229	○	18.5	×	3	×	○
475	鋼製ステップ	0.6	1.2	0.0155	0	47	101.4	2.478	200	221	○	18.8	×	3	×	○
287	鋼製ボックス	0.75	1.3	0.0094	40	54	249.8	22.517	300	292	○	21.2	×	4	×	○
410	自動販売機	0.7	1.4	0.0090	0	37	38	1.887	350	206	○	17.5	×	3	×	○
258	プラスチック容器	0.9	1.2	0.0238	0	48	207.8	6.397	100	346	○	22	×	4	×	○
138	鋼管	0.65	0.65	0.0116	0	34	32.5	1.638	199	203	○	17.5	×	3	×	○
165	バリケード	1.1	1.1	0.0354	0	63	163.9	12.946	198	199	○	16	×	3	×	○
436	鋼製ボックス	0.8	1.05	0.0112	0	40	52.1	2.007	247	309	○	20	×	4	×	○
236	仮設トイレ	0.8	1.1	0.0436	0	50	229.1	10.664	80	196	○	24.3	×	5	×	○
76	ケーブルドラム	0.8	1.12	0.0210	0	70	205	23.884	200	250	○	15.4	×	3	×	○
77	建設機械	0.99	1.65	0.0037	0	43	58.5	2.565	71	185	○	16.8	×	3	×	○
＜運動エネルギーは鋼製材を下回るが、貫通力が鋼製材より大きいもの＞ …該当なし																
＜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	0.0293	0	66	167.4	14.694	80	175	×	15.5	×	3	×	×
288	鋼製ボックス	0.75	0.8	0.0061	40	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)		C <sub>D</sub> A/m (m <sup>2</sup> /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)	運動エネルギー		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】				
423	鋼製ステップ	0.6	0.9	1.8	0	62	157.2	6.077	81	156	×	×	×	×	×	×	×		
281	空調室外機	0.75	0.9	1.4	0	40	43.8	2.185	190	152	×	×	×	×	×	×	×		
					40	49	218.3	8.195		229	○	×	×	×	×	×	○		
62	鋼製ボックス	1	1.5	1.6	0	18	13.6	0.428	923	150	×	×	×	×	×	×	×	×	
74	空調室外機	0.7	1.2	1.3	0	31	28	1.362	283	136	×	×	×	×	×	×	×	×	
					40	46	189.4	3.710		300	○	×	×	×	×	×	×	○	
121	コンクリートブロック	0.6	1.2	1.2	0	69	173.4	14.715	50	120	×	×	×	×	×	×	×	×	
56	バリケード	0.635	0.82	6.5	0	86	244.3	37.614	31.4	117	×	×	×	×	×	×	×	×	×
					40	77	310.5	57.827		94	×	×	×	×	×	×	×	×	×
53	看板, 標識	0.2	0.85	4.85	0	48	149.6	1.121	100	116	×	×	×	×	×	×	×	×	×
101	ホース, ケーブル類	0.4	1.5	1.5	0	68	197.2	10.441	50	116	×	×	×	×	×	×	×	×	×
					40	65	272.9	54.162		106	×	×	×	×	×	×	×	×	×
472	運搬台車	0.765	0.9	1.215	0	70	195	20.842	44	108	×	×	×	×	×	×	×	×	×
					40	63	269.8	52.463		88	×	×	×	×	×	×	×	×	×
117	バイク, 自転車	0.5	0.55	1.915	0	45	114.4	1.983	95	97	×	×	×	×	×	×	×	×	×
490	空調室外機	0.6	0.7	1.45	0	35	31.3	1.545	150	92	×	×	×	×	×	×	×	×	×
					40	49	216.3	7.848		181	○	×	×	×	×	×	×	×	×
376	鋼管	0.55	0.55	2.4	0	58	142.6	3.317	53.7	91	×	×	×	×	×	×	×	×	×
					40	58	264.8	37.449		91	×	×	×	×	×	×	×	×	×
267	物置	0.75	1.08	1.5	0	18	14	0.484	500	81	×	×	×	×	×	×	×	×	×

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 <sub>D</sub> A/m (m <sup>2</sup> /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)	運動エネルギー		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】	
194	看板, 標識	0.6	0.6	1.4	0	71	202.9	18.726	30	76	×	12.1	×	3	×	×
				0.0449	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	72	238.9	20.237	29	76	×	11.7	×	2	×	×
				0.0481	40	65	274	54.848		62	×	10.7	×	2	×	×
382	看板, 標識	0.1	1.8	2	0	45	147	0.533	72	73	×	14.2	×	3	×	×
				0.0351	40	62	269.8	49.605		139	×	18.8	×	5	×	×
164	鋼製蓋	0.15	2.3	2.3	0	17	12.5	0.193	441	64	×	12.9	×	2	×	×
				0.0086	0	24	19.8	0.867		63	×	11.3	×	2	×	×
495	仮設電源	0.6	0.9	1.1	40	45	175.2	1.869	216	219	○	19.8	×	4	×	○
				0.0067	0	49	132.9	2.372		61	×	12	×	3	×	×
152	消火設備格納箱	0.5	0.5	1.2	40	56	259.6	30.281	50	79	×	13.6	×	3	×	×
13	ケーブドラム	0.5	0.9	0.9	0	29	24.1	1.096	122	52	×	10.5	×	2	×	×
				0.0093	0	72	214	19.804		52	×	10.1	×	2	×	×
11	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	40	65	273.6	54.608	20	43	×	9.2	×	2	×	×
				0.0472	0	71	210.3	19.251		52	×	10.1	×	2	×	×
93	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	40	65	273	54.296	20.5	44	×	9.3	×	2	×	×
				0.0460	0	6	1.4	0.017		50	×	8.9	×	1	×	×
131	コンテナ	1	2.1	3.4	0	20	15.4	0.24	241	49	×	13.4	×	3	×	×
253	鋼製蓋	0.1	1.3	3.7	0	70	196.3	14.822	20	49	×	10.5	×	2	×	×
				0.0446	40	66	272.3	53.877		44	×	10	×	2	×	×
181	バリケード	0.5	0.5	1.1	0	18	14.7	0.495	302	49	×	10	×	2	×	×
				0.0049	0	47	143.4	1.442		45	×	10.8	×	2	×	×
338	ケーブドラム	0.7	0.95	0.95	40	58	265	37.449	40	68	×	12.9	×	3	×	×
				0.0233	0	47	143.4	1.442		45	×	10.8	×	2	×	×
153	消火設備格納箱	0.3	0.7	1.2	40	58	265	37.449	40	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.	カテゴリー (品目に則った整理)	寸法(m)		C <sub>D</sub> A/m (m <sup>2</sup> /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)	運動エネルギー		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】	
201	コンクリートブロック	0.5	0.8	0.0096	0	30	24.6	1.139	100	45	×	×	×	×	×	×
46	洗濯機	0.5	0.5	0.0148	0	43	84.2	1.855	47	44	×	×	×	×	×	×
203	ベンチ(常設)	0.4	0.6	0.0195	0	47	119.9	1.786	38.7	43	×	×	×	×	×	×
392	鋼製蓋	0.055	1.5	0.0127	0	17	12.3	0.099	283	41	×	×	×	×	×	×
190	ベンチ(常設)	0.4	0.4	0.0193	0	46	119.5	1.769	38.4	41	×	×	×	×	×	×
320	パレット(鋼製)	0.17	1.3	0.0382	0	49	144.7	1.06	33.8	41	×	×	×	×	×	×
					40	63	269.9	51.322		68	×	×	×	×	×	×
139	仮設電源	0.598	0.687	0.713	0	24	19.8	0.84	134	39	×	×	×	×	×	×
					40	45	173.8	1.699		136	×	×	×	×	×	×
92	仮設電源	0.3	0.7	0.0194	0	44	113.6	1.227	37.8	37	×	×	×	×	×	×
					40	56	260.2	30.654		60	×	×	×	×	×	×
122	コンクリートブロック	0.45	0.5	0.0131	0	38	71.5	1.394	50	37	×	×	×	×	×	×
483	ベンチ(常設)	0.5	0.75	0.1733	0	86	268.8	38.374	10	37	×	×	×	×	×	×
204	下駄箱	0.4	0.6	0.0108	0	30	21.3	0.979	76	35	×	×	×	×	×	×
6	パレット(木製または樹 脂製)	0.15	1.1	0.0282	0	45	144.1	0.723	33	34	×	×	×	×	×	×
					40	60	269	43.851		60	×	×	×	×	×	×
339	パレット(木製または樹 脂製)	0.14	1.1	0.0279	0	44	139.6	0.661	33	32	×	×	×	×	×	×
					40	59	268.9	43.534		58	×	×	×	×	×	×
301	足場板, 足場枠	0.24	0.36	0.0136	0	32	41.4	0.66	57	30	×	×	×	×	×	×
					40	52	241.5	15.824		78	×	×	×	×	×	×
379	パレット(木製または樹 脂製)	0.13	1.1	0.0385	0	48	146.7	0.774	23.7	28	×	×	×	×	×	×
					40	63	270	51.491		48	×	×	×	×	×	×
251	ベンチ(仮設)	0.3	0.42	0.0395	0	57	147.5	2.329	15.1	25	×	×	×	×	×	×

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 <sub>0</sub> A/m (m <sup>2</sup> /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)	運動エネルギー		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】	
298	鋼製スロープ	0.12	0.5	1.5	0	39	103.2	0.439	27.7	22	×	9.6	×	3	×	×
				0.0213	40	57	263.5	34.643		45	×	13.4	×	4	×	×
176	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	0	14	9.1	0.259	211	21	×	7.5	×	1	×	×
				0.0045	40	41	139.7	0		178	○	19.5	×	4	×	○
220	カーブミラー	0.084	1	1	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	87	256.7	39.584	5	19	×	6	×	1	×	×
				0.1584	40	79	323.9	57.649		16	×	5.5	×	1	×	×
405	樹脂製パイプ	0.3	0.3	6	0	14	8.1	0.21	150	15	×	8.7	×	2	×	×
				0.0059	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	54	147.3	1.997	10	15	×	7.2	×	2	×	×
				0.0337	40	61	269.4	48.653		19	×	8.1	×	2	×	×
272	足場板, 足場枠	0.04	0.25	4	0	43	126.1	0.278	12.5	12	×	9.8	×	4	×	×
				0.0582	40	68	278.5	56.577		29	×	14.3	×	7	×	×
188	カラーコーン	0.4	0.4	0.7	0	86	283.2	34.391	3	12	×	5.4	×	1	×	×
				0.1584	40	79	324.1	57.649		10	×	5	×	1	×	×
351	木片, 木製品	0.26	0.26	0.77	0	29	35	0.632	26	11	×	7	×	2	×	×
				0.0119	40	51	231.8	11.316		34	×	11.6	×	3	×	×
87	グレーチング	0.065	1	1	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	12	7	0.169	100	8	×	5	×	1	×	×
				0.0052	40	42	152.2	0.047		89	×	15.3	×	4	×	×
51	カーブミラー	0.05	0.6	0.6	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	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.	カテゴリー (品目に則った整理)	寸法(m)		C <sub>D</sub> A/m (m <sup>2</sup> /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)	運動エネルギー		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】	
58	樹脂製蓋	0.02	1	0.0188	0	15	9.2	0.046	36	5	×	5.8	×	2	×	×
34	鋼製スロープ	0.05	0.55	0.0203	0	21	17.1	0.152	21.4	5	×	5.7	×	2	×	×
198	プラスチック容器	0.7	0.9	0.0034	0	5	1.2	0.013	346	5	×	3.6	×	1	×	×
32	消火器	0.153	0.154	0.0117	0	22	19.7	0.324	10	3	×	4.2	×	1	×	×
50	バイク, 自転車	0.05	0.51	0.0163	0	19	14	0.122	12.5	3	×	4.1	×	1	×	×
431	樹脂製蓋	0.015	0.5	0.0253	0	16	11.3	0.045	9	2	×	3.8	×	1	×	×
336	什器類	0.06	0.36	0.0227	0	25	25	0.207	4.5	2	×	3.3	×	1	×	×
244	グレーチング	0.1	0.9	0.0059	0	5	1.2	0.016	115	2	×	2.9	×	1	×	×
305	鋼製敷板	0.005	0.5	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	0.0181	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	0.0102	0	9	3.3	0.026	20.7	1	×	3	×	1	×	×
233	グレーチング	0.1	0.5	0.0063	0	7	2	0.03	38.4	1	×	2.6	×	1	×	×
110	鉄骨	0.15	0.2	0.0048	0	2	0.1	0	179	1	×	2	×	1	×	×
418	コンクリート製蓋	0.022	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	0.0041	0	3	0.3	0.001	120	1	×	1.8	×	1	×	×
81	コンクリート製蓋	0.05	0.2	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.	カテゴリー (品目に則った整理)	寸法(m)		C <sub>D</sub> A/m <sup>2</sup> /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)	運動エネルギー		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】		
246	マンホール蓋	0.045	0.75	0.0063	0	1	0	0	64	1	×	×	0.7	×	×	×	
<b>&lt;浮上しないもの&gt; …初期高さが0を超え、最大浮上高さが0mでも落下時に竜巻影響によって水平速度が発生する</b> (初期高さが0を超え、最大浮上高さが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	40	40	134	109	88	×	×	22.1	×	10	○	○
9	ボンベ	0.25	0.25	1.4	0.0038	40	39	125	52	40	—	—	13.5	×	4	×	×
27	フオークリフト	1.19	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	122	—	—	—	0	×	0	×	×
54	コンクリート製蓋	0.13	0.7	1	0.0027	0	0	0	209	—	—	—	0	×	0	×	×
61	鋼製敷板	0.019	1.55	6	0.0045	0	0	0	1387	—	—	—	0	×	0	×	×
64	仮設電源	1.3	1.75	3.7	0.0022	0	0	0	4190	—	—	—	0	×	0	×	×
65	フレコンバッグ 入資材	1.1	1.1	1.1	0.0024	40	34	81.2	1000	578	○	○	28.2	○	5	×	○
69	鉄骨	0.15	0.15	1	0.0043	40	41	136.1	31.1	27	×	×	12.6	×	5	×	×
97	鉄骨	0.125	0.125	4.5	0.0043	40	41	136.1	106	90	×	×	23.3	×	12	○	○
100	ケーブドラム	0.9	1.5	1.5	0.0024	0	0	0	1399	—	—	—	0	×	0	×	×
112	鋼管	0.15	0.15	4	0.0034	40	38	114.7	86	63	×	×	19.7	×	9	○	○
141	建設機械	2.2	2.69	2.69	0.0016	0	0	0	8000	—	—	—	0	×	0	×	×
163	鉄骨	0.1	0.1	5.4	0.0048	40	42	145.6	91.3	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.	カテゴリー (品目に則った整理)	寸法(m)		C <sub>D</sub> A/m (m <sup>2</sup> /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)	運動エネルギー		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】		
186	マンホール蓋	0.05	1	0.0058	0	0	0	0	122	—	—	×	×	×	×	×	×
199	オブジェ	2	2	0.0006	0	0	0	0	22000	—	—	×	×	×	×	×	×
226	トラック	1.695	2.15	0.0021	0	0	0	0	7635	—	—	×	×	×	×	×	×
231	マンホール蓋	0.045	0.7	0.0062	0	0	0	0	57	—	—	×	×	×	×	×	×
234	マンホール蓋	0.045	0.7	0.0062	0	0	0	0	57	—	—	×	×	×	×	×	×
276	建設機械	0.72	1.2	0.0016	0	0	0	0	2250	—	—	×	×	×	×	×	×
284	鋼製敷板	0.019	1.5	0.0045	0	0	0	0	1342	—	—	×	×	×	×	×	×
289	空調室外機	0.4	0.8	0.0020	0	0	0	0	500	—	—	×	×	×	×	×	×
293	ポンベ	0.25	0.25	0.0035	40	30	66	0	225	○	○	×	×	×	×	×	○
309	プラスチック容器	0.68	0.87	0.0029	40	39	117.4	0	57	—	—	×	×	×	×	×	×
314	コンクリートブロック	0.15	0.25	0.0036	40	36	99.2	0	516	—	—	×	×	×	×	×	×
335	鋼製スロープ	0.15	0.5	0.0041	0	0	0	0	180	—	—	×	×	×	×	×	×
337	鋼製スロープ	0.18	1.6	0.0038	40	40	131.9	0	144	×	×	×	×	×	×	×	×
372	フォークリフト	1.48	2.07	0.0010	40	39	125	0	1011	○	○	○	○	○	○	○	○
380	鋼製ブロック	0.4	0.4	0.0006	0	0	0	0	7400	—	—	×	×	×	×	×	×
381	鋼製ブロック	0.4	0.5	0.0005	0	0	0	0	942	—	—	×	×	×	×	×	×
388	コンクリート製蓋	0.25	1.25	0.0029	0	0	0	0	1655	—	—	×	×	×	×	×	×
394	鋼製敷板	0.016	1.53	0.0053	0	0	0	0	1153	—	—	×	×	×	×	×	×
400	鋼製ボックス	1.5	2.1	0.0019	0	0	0	0	3800	—	—	×	×	×	×	×	×

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 <sub>D</sub> A/m (m <sup>2</sup> /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)	運動エネルギー		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	0	0	0	1220	—	—	0	×	×	×	×
412	鋼製蓋	0.03	2.1	2.1	0	0	0	0	816	—	—	0	×	×	×	×
413	鋼製蓋	0.07	0.4	1.1	0	0	0	0	242	—	—	0	×	×	×	×
417	コンクリートブロック	0.15	0.16	0.6	40	23	41.3	0	65	×	×	19.6	×	×	×	×
469	鋼管	0.3	0.6	5.5	0	0	0	0	745	—	—	0	×	×	×	×
					40	36	96.2	0	483	○	○	36.2	○	○	○	○

### 3.3 設計飛来物の設定

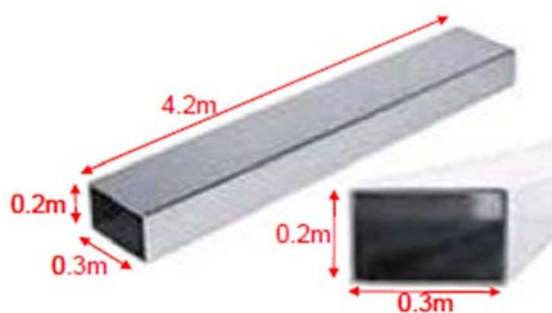
3.2におけるスクリーニングの結果，鋼製材の影響を上回る飛来物源については飛来物発生防止対策を施すことが可能であると判断したため，鋼製材を設計飛来物として決定した。

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，東海第二発電所における設計飛来物の仕様を示す。

第3.3-1表 東海第二発電所における設計飛来物

名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	空力 パラメータ ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )	速度 ( $\text{m}/\text{s}$ )	運動 エネルギー (kJ)
砂利	0.04	0.04	0.04	0.18	0.0176	62	0.35
鋼製材	4.2	0.3	0.2	135	0.0065	51	176



(鋼製材のイメージ)



(砂利)

鋼製材の水平，鉛直速度については，竜巻風速場をLES（非定常乱流渦モデル）による乱流場とし飛来物速度を求めた「竜巻影響評価ガイド」の値を用いる。

また、砂利については、「竜巻影響評価ガイド」に記載がないことから、竜巻風速場をランキン渦モデルとした場合の水平速度を求め、鉛直速度については「竜巻影響評価ガイド」に基づき水平速度の2/3とした。



分解され小型軽量となる物品  
及び損傷するが飛来物とならない物品について

設計飛来物の抽出フローにおいて、「分解され小型軽量となる物品」は設計飛来物のうち鋼製材に包絡されること、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、F 0 ~ F 3 の竜巻において、形を保ったままではなく、分解された状態で飛来していることが分かる。また、厚みが薄いことから形状が変形しており柔飛来物と見なせると考えられることから、衝突の際に与える衝撃荷重及び貫通力については、設計飛来物である鋼製材の評価に包絡されると考えられる。



別図 1-1 平成 16 年 6 月 27 日佐賀県で発生した F 2 竜巻による  
屋外屋根の被害状況<sup>(1)</sup>



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 F 2 竜巻による  
屋外屋根の被害状況<sup>(2)</sup>



折板の損傷



カーポートの被害

別図 1-3 平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生した F 1 竜巻による  
屋外屋根の被害状況<sup>(3)</sup>



周囲の田に散乱した屋根ふき材

別図 1-4 平成 24 年 2 月 1 日島根県出雲市で発生した F 0 竜巻による  
屋外屋根の被害状況<sup>(4)</sup>



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 F 3 竜巻による  
屋外屋根の被害状況<sup>(5)</sup>

b. ガラス窓

別図 1-6~11 にガラス窓の被害状況を示す。これらより、ガラス窓については、F 0 ~ F 3 及び E F 5 の竜巻において損壊し、分解されていることが確認できる。分解された状態では小型軽量となっており、その影響は設計飛来物である鋼製材もしくは砂利に包絡されると考えられる。



エントランスの窓ガラスの損壊



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 F 2 竜巻による  
ガラス窓の被害状況<sup>(2)</sup>



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 E F 5 竜巻による  
ガラス窓の被害状況<sup>(6)</sup>



窓ガラスの損壊



窓ガラスの飛来物衝突痕

別図 1-8 平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市での F 1 ( F 2 ) 竜巻による  
ガラス窓の被害状況<sup>(7)</sup>





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 F 1 竜巻による  
ガラス窓の被害状況<sup>(3)</sup>



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 F 0 竜巻による  
ガラス窓の被害状況<sup>(4)</sup>



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 F 3 竜巻による  
ガラス窓の被害状況<sup>(5)</sup>

(2) 東海第二発電所の屋外屋根及びガラス窓の状況

東海第二発電所における屋外屋根の状況を別図 1-12, ガラス窓の状況を別図 1-13 に示す。東海第二発電所におけるこれらの物品の構造については, 上記の被害にあった物品の構造と大きく変わらないことから, 竜巻通過時には同様の被害状況になると考えられ, 飛来物としては設計飛来物の影響に包絡されると考えられる。



別図 1-12 東海第二発電所における屋外屋根の状況





別図 1-13 東海第二発電所におけるガラス窓の状況

- (3) 損傷するが飛散しない物品（樹木，フェンス，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，東海第二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，F 1～F 3 及び E F 5 の竜巻において形状は変形しているが，固定部は外れていないことが確認できる。なお，外れて飛来物となったとしても，衝突の際に与える衝撃荷重及び貫通力については，上記の屋外屋根と同様，設計飛来物である鋼製材の評価で包絡されると考えられる。



シャッターの外れ

別図 1-14 平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生した E F 5 竜巻による  
シャッター被害状況<sup>(6)</sup>



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 F 1 竜巻による  
シャッターの被害状況<sup>(3)</sup>



シャッターの外れ

別図 1-16 平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生した F 1 (F 2) 竜巻によるシャッターの被害状況<sup>(7)</sup>



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 F 3 竜巻によるシャッターの被害状況<sup>(5)</sup>



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<sup>(8)</sup>

## b. 樹木

別図 1-19～25 に樹木の被害状況を示す。これらより、樹木については、F 1～F 3 及び E F 5 の竜巻において幹の折損、根の引き抜き等が見られるが、折れた場合もしくは引き抜かれた場合のいずれにおいても、その場で倒壊しているのみであることが確認できる。これは、竜巻の風荷重により樹木が損壊を受けた後では、竜巻が既に通り過ぎていたためと考えられ、樹木が折損もしくは引き抜かれた後、さらに竜巻により巻き上げられ、飛来物となることは考え難い。



倒木（南から見る）  
倒れなかった樹木も点在している。



倒木（北西から見る）

別図 1-19 平成 14 年 7 月 26 日群馬県境町で発生した F 2 竜巻による  
樹木被害状況<sup>(9)</sup>



樹木の転倒



樹木の転倒

別図 1-20 平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市で発生した F 2 竜巻による  
樹木被害状況<sup>(2)</sup>



樹木の折損

別図 1-21 平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生した E F 5 竜巻による  
樹木被害状況<sup>(6)</sup>



倒木

別図 1-22 平成 21 年 7 月 19 日岡山県美作市で発生した F 2 竜巻による  
樹木被害状況<sup>(10)</sup>





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 F 1 竜巻による  
樹木被害状況<sup>(3)</sup>



樹木の折損



樹木の折損と鳥居の被害



樹木の倒木

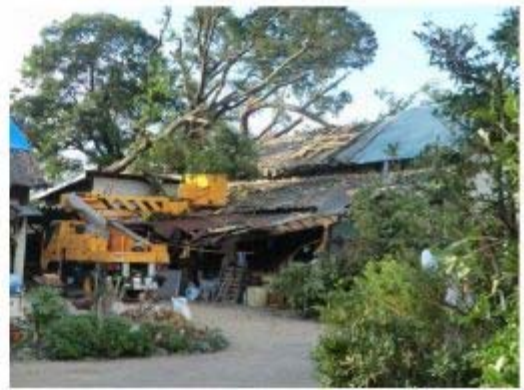


倒木と社の被害

別図 1-24 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生した F 3 竜巻による  
樹木被害状況<sup>(5)</sup>



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 F 2 竜巻による  
樹木被害状況<sup>(8)</sup>



c. フェンス

別図 1-26～28 にフェンスの被害状況を示す。これらより，フェンス類については，F 1～F 3 の竜巻において傾き，倒壊等が見られるが，樹木と同様にその場で倒壊しているのみであり，倒壊した後では，竜巻は既に通り過ぎていていると考えられることから，竜巻により巻き上げられ，飛来物となることは考え難い。



フェンスの著しい変形



フェンスの変形

別図 1-26 平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生した F 1 (F 2) 竜巻によるフェンスの被害状況<sup>(7)</sup>



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 F 3 竜巻によるフェンス類の被害状況<sup>(5)</sup>



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 F 2 竜巻による  
フェンス類の被害状況<sup>(8)</sup>

6 条(竜巻)-1-添付 9-別紙 1-18

d. 原子炉建屋ブローアウトパネル

原子炉建屋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ら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) 東海第二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

東海第二発電所におけるシャッターの状況を別図 1-29 に、樹木の状況を別図 1-30 に示す。上記の被害実績に示された樹木と大きく変わらないと考えられることから、竜巻通過時には、同様の被害状況になり、幹の折損もしくは根の引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 東海第二発電所におけるシャッターの状況





別図 1-30 東海第二発電所における樹木の状況

東海第二発電所におけるフェンスの状況を別図 1-31 に示す。上記にて示した被害にあったフェンスの構造と大きく変わらないことから、竜巻通過時には、同様の被害状況になり変形もしくは倒壊すると考えられる。



別図 1-31 東海第二発電所におけるフェンスの状況

東海第二発電所における原子炉建屋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しする可能性も小さいと考えられる。



別図 1-32 東海第二発電所における原子炉建屋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<sup>(1)</sup>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)<sup>(2)</sup>に引用されている文献<sup>(3)</sup>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、

$$\frac{C_D A}{m} : \text{空力パラメータ} \quad (\text{m}^2 / \text{kg})$$

$$m : \text{物品の質量} \quad (\text{kg})$$

$$c : \text{係数} \quad (0.33)$$

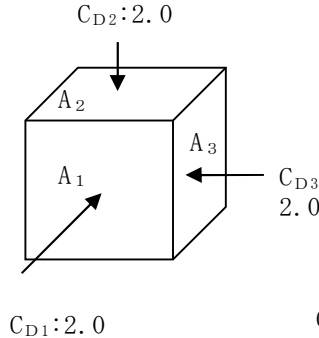
$C_{D1}, C_{D2}, C_{D3}$  : 直交3方向における物品の抗力係数(別表2-1より選定)

$A_1, A_2, A_3$  :  $C_{D1} \sim C_{D3}$ を定義した各方向に対する見付面積 ( $\text{m}^2$ )

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)

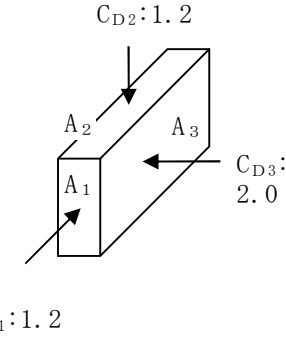


$C_{D2}: 2.0$

$C_{D3}: 2.0$

$C_{D1}: 2.0$

塊状物体



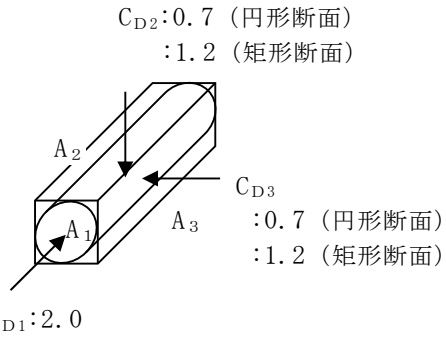
$C_{D2}: 1.2$

$C_{D3}: 2.0$

$C_{D1}: 1.2$

・  $A_3 > A_2, A_1$

板状物体



$C_{D2}: 0.7$  (円形断面)  
: 1.2 (矩形断面)

$C_{D3}: 0.7$  (円形断面)  
: 1.2 (矩形断面)

$C_{D1}: 2.0$

・ 円形断面の場合,  $A_2, A_3$  は  
「見付面積 (直径×長さ)」

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,” Standard Review Plan, NUREG-0800, 1996.
- (3) E. Simiu, M. Cordes: “Tornado-Borne Missile Speeds,” NBSIR76-1050, National Bureau of Standards, Washington D.C., 1976.

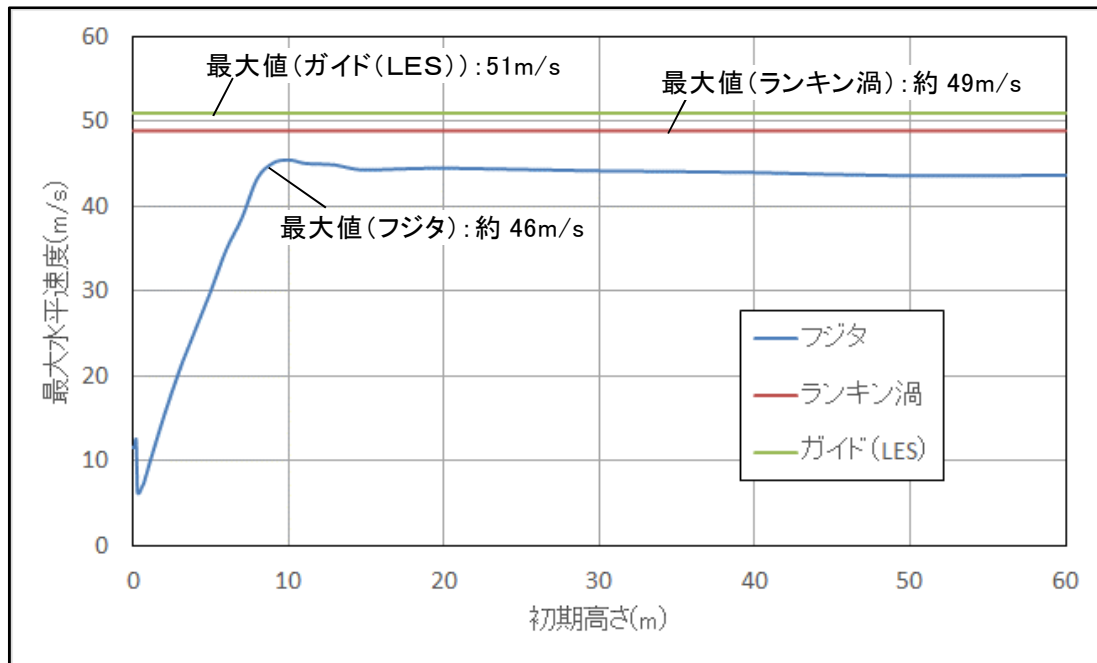


フジタモデル採用時に「竜巻影響評価ガイド」の鋼製材を  
設計飛来物とすることの妥当性について

東海第二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、東海第二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

## 車両の飛散距離について

車両の飛来物発生防止対策としての管理において必要な離隔距離については、以下の方針に基づきフジタモデルを用いて算出した、車両の飛散距離を用いた。

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

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. 飛散の出発点と到達点の高低差は、防護対象の施設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
高低差	20m	0m
根拠	これら設備の配置高さ（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	緊急時対策所と周辺の車両 通行箇所の高低差に余裕を 見た値

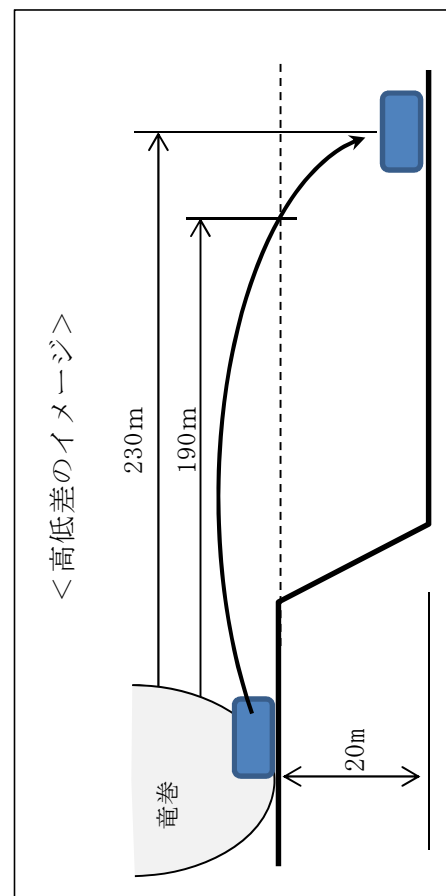
別表4-2に、車両の寸法，重量，空力パラメータ並びに上記の2種類の高低差に対する最大飛散距離を示す。この結果より，高低差20mの及び0mのケースについて，必要離隔距離をそれぞれ230m，190mとした。飛散解析においては上記の高低差の他にも保守的な取扱いがなされており，上記数値は保守性を有したものである。

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 $C_D A/m$ ( $m^2/kg$ )	最大飛散距離(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
大型トラック 平 (25t) ①	3.255	2.490	11.990	9180	0.0056	180	128
大型トラック 平 (25t) ②	3.460	2.490	11.990	9310	0.0057	186	136
大型トラック 平 (25t) ③	3.035	2.490	11.950	9210	0.0053	172	115
大型トラック 平 (25t) ④	3.180	2.490	11.810	8970	0.0056	178	126
大型トラック 平 (11t)	2.485	2.470	9.440	4750	0.0074	202	147
中型トラック バン (8t)	3.525	2.495	8.565	4925	0.0081	226	183
中型トラック バン (7t)	3.135	2.200	6.920	3490	0.0083	222	179
中型トラック 平 (8t) ①	2.550	2.470	8.485	3690	0.0088	224	170
中型トラック 平 (8t) ②	2.425	2.240	8.130	3220	0.0089	215	166
中型トラック 平 (8t) ③	2.435	2.470	9.440	4120	0.0084	222	162
中型トラック バン (5t)	2.830	1.885	4.845	2795	0.0067	186	135
中型トラック 平 (4t)	1.990	1.695	4.690	1990	0.0069	167	101
小型トラック 平 (2t)	2.250	2.170	6.790	2710	0.0085	199	149
小型トラック 平 (1.5t)	1.970	1.695	4.690	2160	0.0063	156	87
大型バス ①	3.045	2.485	10.430	9260	0.0047	155	90
大型バス ②	3.130	2.490	11.450	10190	0.0047	158	94
大型バス ③	3.190	2.490	11.280	10310	0.0047	160	97
大型バス ④	3.750	2.490	11.990	12840	0.0044	168	109
大型バス ⑤	3.485	2.490	8.990	10090	0.0041	151	86
大型バス ⑥	3.520	2.490	11.990	13000	0.0042	157	94
中型バス ①	3.045	2.300	8.990	7800	0.0047	155	90
中型バス ②	2.910	2.300	8.990	8100	0.0044	136	74

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 $C_D A/m$ ( $m^2/kg$ )	最大飛散距離(m)	
		2.340	2.010			高低差20m	高低差0m
中型バス ③	3.035	2.340	2.010	7100	0.0052	170	113
マイクロボス ①	2.635	2.065	2.010	3830	0.0067	181	128
マイクロボス ②	2.735	2.010	2.010	4190	0.0067	184	131
軽自動車 (車高最大レベル)	1.880	1.475	1.475	960	0.0098	213	161
軽自動車 (車高最大レベル)	1.910	1.475	1.475	950	0.0100	220	166
軽自動車 (車高最小レベル)	1.180	1.475	1.475	830	0.0086	138	65
軽自動車 (車高最小レベル)	1.280	1.475	1.475	850	0.0088	152	77
軽自動車 (最軽量レベル)	1.475	1.475	1.475	610	0.0132	222	172
軽自動車 (最軽量レベル)	1.525	1.475	1.475	650	0.0127	223	172
軽トラック 平 ①	1.745	1.475	1.475	780	0.0115	219	167
軽トラック 平 ②	1.765	1.475	1.475	680	0.0133	227	180
軽トラック 平 ③	1.885	1.475	1.475	1220	0.0077	173	111
最大値						227	183
必要離隔距離						<b>230</b>	<b>190</b>



## 竜巻時に発生する雹の影響について

竜巻においては雹を伴うことがあるため、雹の影響について検討を行った。

雹はあられが大きく成長したもので、直径 5mm 以上の氷の粒子である。雹の粒径の上限は、文献<sup>(1)</sup>によれば通常は直径が 5mm～50mm とされているが、雹の粒径の変化に対する影響度を確認するため、別の文献<sup>(2)</sup>に記載の雹のうち最大の 10cm の雹までを想定した評価を実施した。

空気中を落下する物体は空気抵抗を受けるので、時間が経てば空気抵抗と重力とが釣り合い等速運動となり、一定の速度（終端速度）となる。空気中を落下する雹もこの終端速度で落下する。雹の粒径毎の終端速度を第 1 表に示す。

第 1 表 雹の粒径毎の終端速度<sup>(2)</sup>

粒径 (cm)	終端速度 (m/s)
1	9
2	16
5	33
10	59

ここで、雹の影響を評価するため、運動エネルギー、貫通力（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 2 表に示す。

その結果、雹の影響は設計飛来物（鋼製材）に十分包絡できると言える。

第2表 粒径5cm及び10cm雹の影響評価及び設計飛来物との比較結果

評価対象	運動エネルギー	貫通限界厚さ（鉛直）	
		コンクリート ( $F_c = 225 \text{kgf/cm}^2$ )	鋼板
粒径5cm雹	0.04kJ	0.8cm	0.2mm
粒径10cm雹	0.85kJ	2.9cm	0.8mm
設計飛来物（鋼製材）	79kJ	18.8cm	19mm

<参考文献>

- (1) 白木正規, 百万人の天気教室, 成山堂書店
- (2) 小倉義光, 一般気象学, 東京大学出版会

## 竜巻随件事象の抽出について

## 1. 概要

過去の竜巻被害事例及び東海第二発電所の施設の配置から想定される竜巻の随件事象を検討し、東海第二発電所において考慮する必要がある事象として、火災、溢水及び外部電源喪失を抽出した。

## 2. 過去の竜巻被害について

1990 年以降の主な竜巻による被害概要を調査した文献から検討を行った。第 2-1 表に、1990 年以降に日本で発生した最大級の竜巻である F 3 クラスの竜巻を示す。

第 2-1 表 1990 年以降の F 3 クラス竜巻

発生日時	発生場所	藤田 スケール	死者	負傷者	住宅 全壊	住宅 半壊
2012 年 5 月 6 日	茨城県常総市	F 3	1	37	76	158
2006 年 11 月 7 日	北海道佐呂間町	F 3	9	31	7	7
1999 年 9 月 24 日	愛知県豊橋市	F 3	0	415	40	309
1990 年 12 月 11 日	千葉県茂原市	F 3	1	73	82	161

竜巻被害の状況写真（第 2-1～3 図）から、竜巻被害としては風圧力及び気圧差による被害及び飛来物の衝突による損傷のみであり、また、竜巻の随件事象として電柱や電線の損傷による停電が発生していると判断される。





全壊した家屋



飛来物により被害を受けた住宅等



倒れた電柱(復旧作業時)



倒壊電柱に直撃された家屋

第2-1 図 2012年5月6日茨城県にて発生したF3竜巻による被害<sup>(1)</sup>



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<sup>(2)</sup><sup>(3)</sup>



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



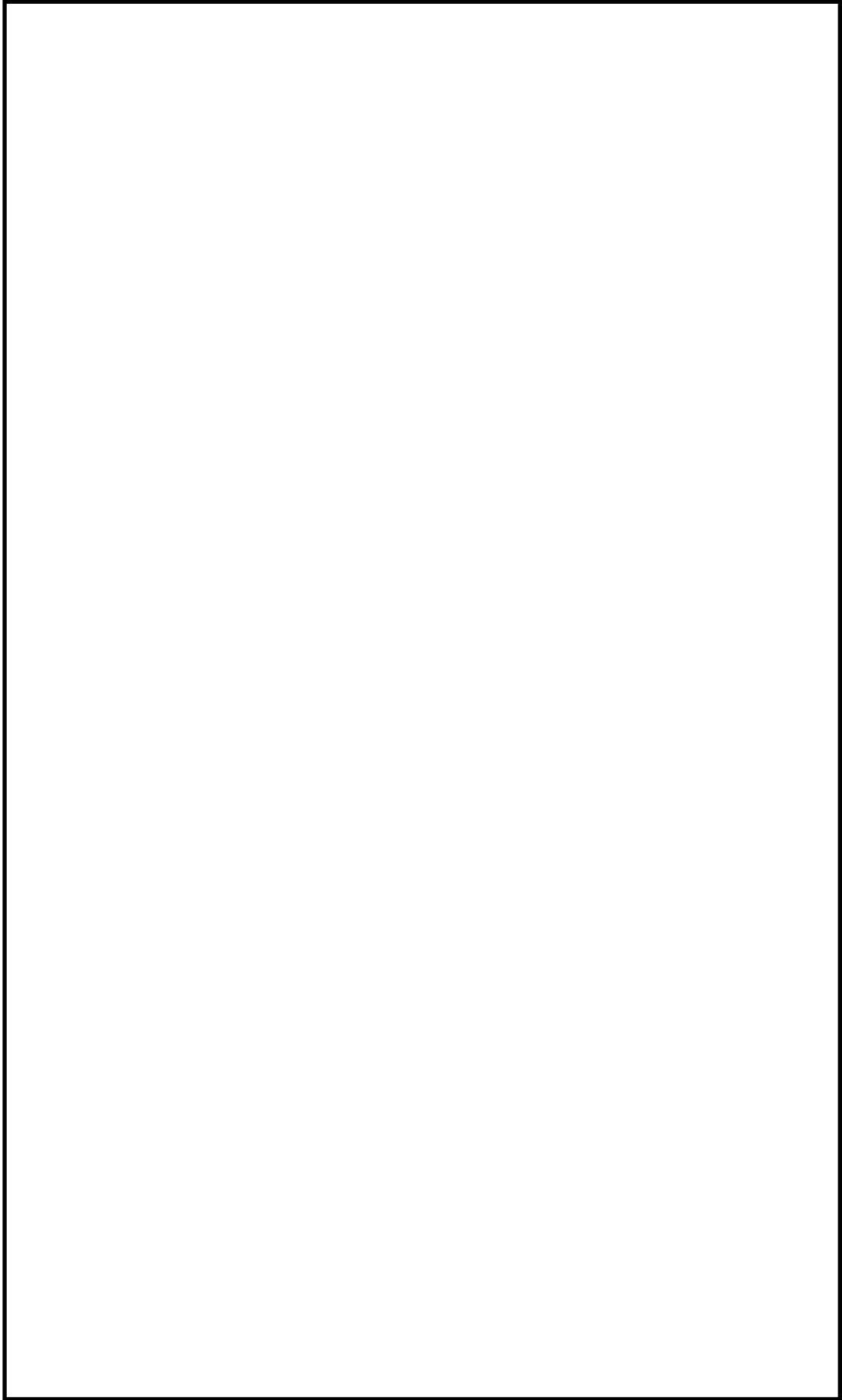
曲がった鉄筋 (工事現場)

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<sup>(4)</sup>

### 3. 東海第二発電所にて考慮すべき竜巻随件事象

上述の過去の竜巻による被害事例及び第3-1図に示す東海第二発電所の施設の配置から判断すると、東海第二発電所においては送電線等が竜巻による被害を受けることにより、外部電源喪失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、東海第二発電所における竜巻随件事象として、火災、溢水及び外部電源喪失を抽出する。



第3-1 図 東海第二発電所の評価対象施設（屋外施設）及び竜巻随伴事象の検討対象施設の配置図

<参考文献>

- (1) (財) 消防科学総合センター, 平成24年(2012年)5月6日茨城県つくば市  
竜巻災害写真報告, 2012
- (2) (財) 消防科学総合センター, 平成18年11月7日北海道佐呂間町竜巻災害  
写真報告, 2006
- (3) (社) 土木学会 北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査団, 平成18年11月  
北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査, 2007年4月
- (4) 千葉県総務部消防地震防災課, 防災誌「風水害との闘い」第3章 90m  
超えの突風に街が飛ばされた!ー茂原で最大スケールの竜巻が発生ー,  
平成22年3月

## 東海第二発電所

### 竜巻影響評価における フジタモデルの適用について

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 東海第二発電所及び先行プラントのフジタモデル及びランキン渦モデル適用状況

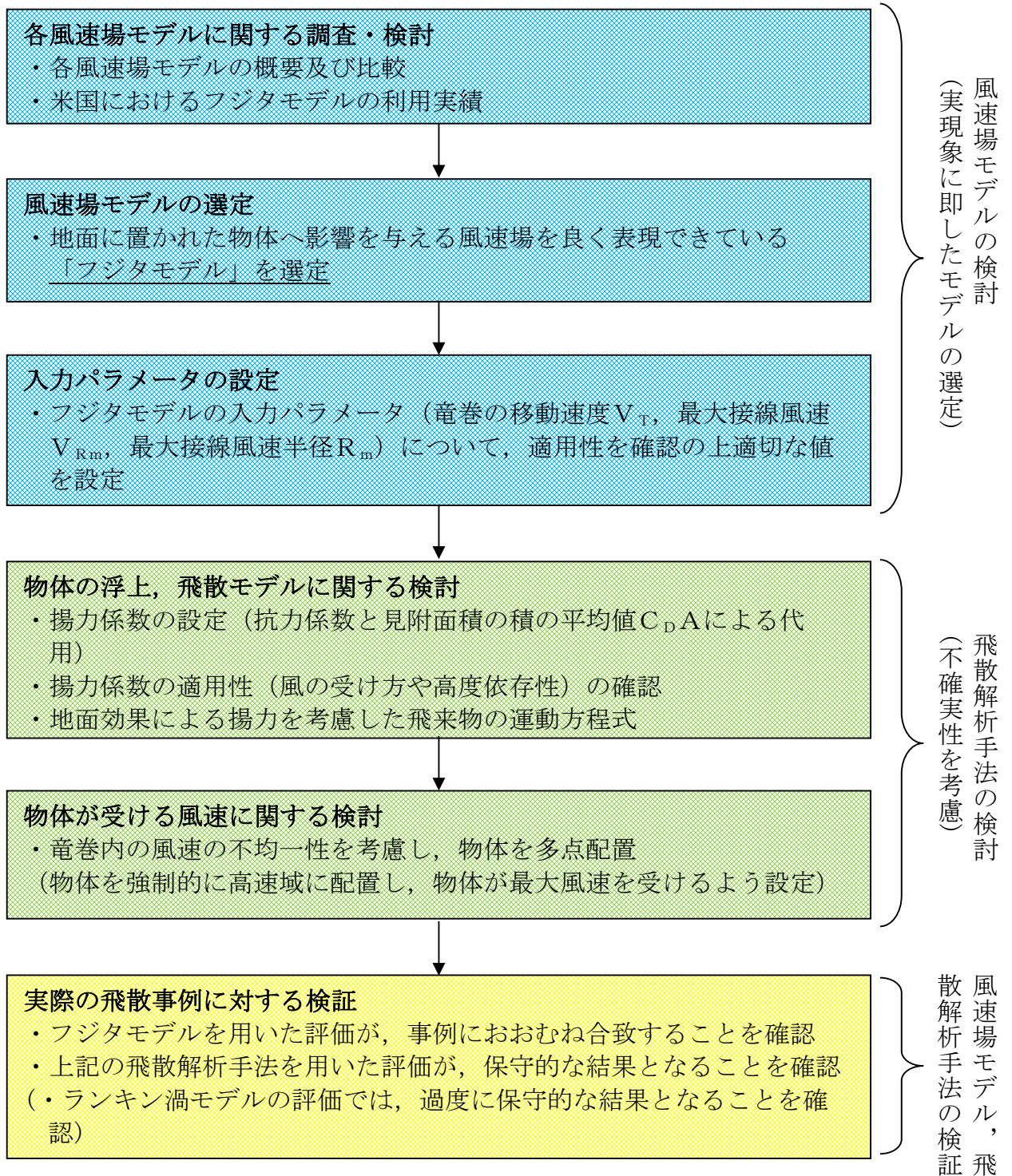
## 1. はじめに

「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<sup>(1)(2)</sup>」及び原子力安全基盤機構の「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」書に記載されている「非定常乱流渦モデル（LES:Large Eddy Simulation）」の数値解析<sup>(3)</sup>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)<sup>(4)</sup>（以下「フジタモデル」という。）を選定した。

第1-1図に、風速場モデルの選定及び飛散解析手法に関する検討フローを示す。また、第1-2図に、竜巻影響評価の基本フローとフジタモデルを適用する箇所を示す。

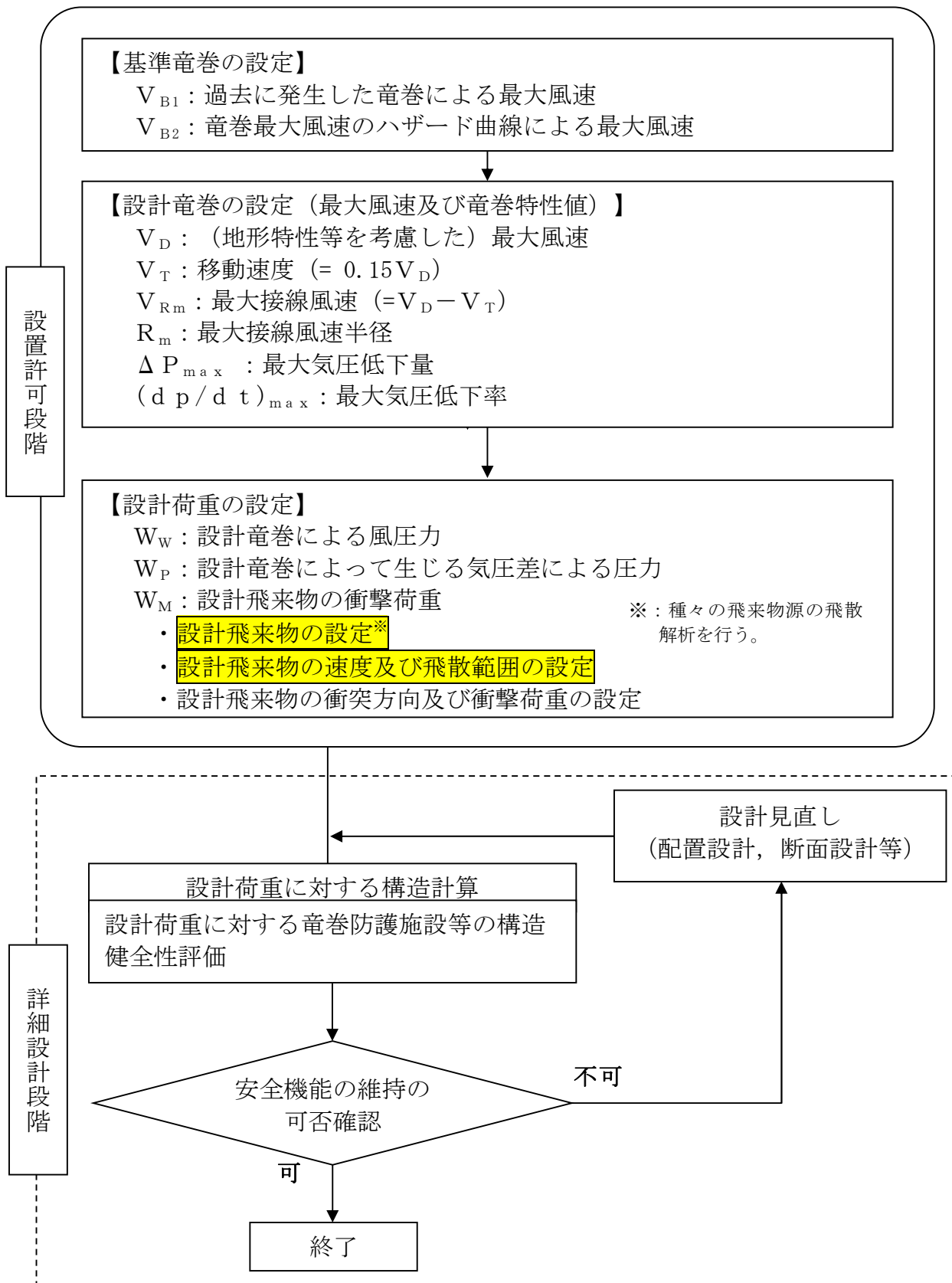
次節以降にて、フジタモデルの詳細やフジタモデルを適用した理由等を説明する。





第1-1図 風速場モデルの選定及び飛散解析手法に関する検討フロー





第 1-2 図 竜巻影響評価フローとフジタモデルの関連箇所

## 2 各風速場モデルの概要

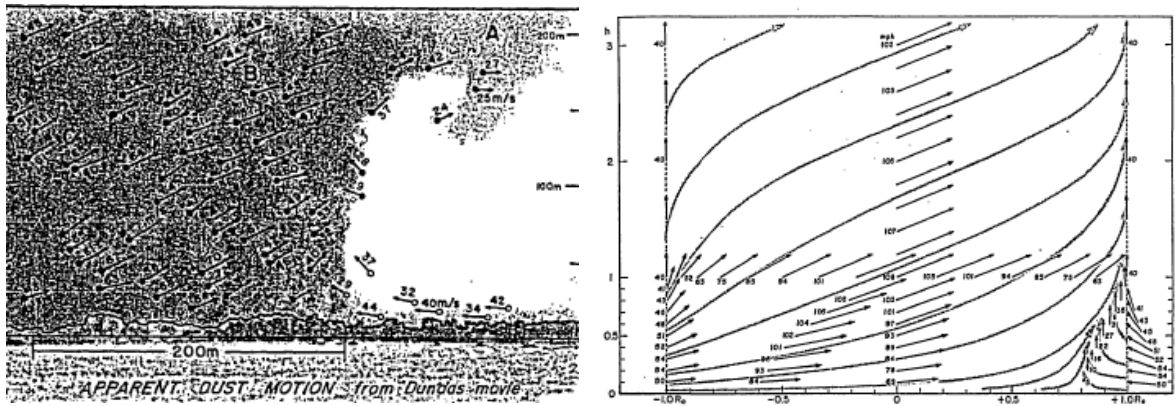
### 2.1 フジタモデル

フジタモデルは、米国NRCの実際の竜巻風速場をモデル化したいという要望により、藤田名誉教授が1978年に竜巻観測記録を基に考案した工学モデルである。モデル作成に当たっては、1974年8月に米国カンザス州 Ash Valley 等で発生した竜巻（第2.1-1図）のビデオ画像の写真図化分析を行い、竜巻の地上痕跡調査及び被災状況調査結果と照合することで風速ベクトルを作成し、そのベクトル図を基に作成した流線モデルから、竜巻風速場を代数式で表現している。（第2.1-2図）

フジタモデルの特徴は、地表面付近における竜巻中心に向かう強い水平方向流れ及び外部コアにおける上昇流といった、実際の竜巻風速場を良く表現している点にある。



第2.1-1図 Ash Valley 竜巻(1974.8.30)のビデオ画像



第 2.1-2 図 風速ベクトルの分析図 (左) とフジタモデルの流線 (右) <sup>(4)</sup>

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  $V_\theta$  は半径に比例し、その外側の最外領域では周方向風速は半径に反比例するモデルとなっている。内部コアには上昇風速  $V_z$  や半径方向風速  $V_r$  は存在しないが、外部コアには存在する。高さ方向には地面から高さ  $H_i$  までを流入層としてモデル化しており、竜巻中心方向に向かう半径方向風速  $V_r$  があり、この空気の流れ込みが外部コア内での上昇流となる。流入層より上部では外向きの半径方向風速が存在し、各風速成分は上部に向かうにつれて減衰する。フジタモデルは、流体力学の連続の式を満たす形で定式化されており、力学的に根拠のある風速場となっている。

フジタモデル (D B T-77) における接線風速等の関係式については、Fujita Work Book<sup>(4)</sup>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  $V_\theta = F_r(r)F_h(z)V_m$

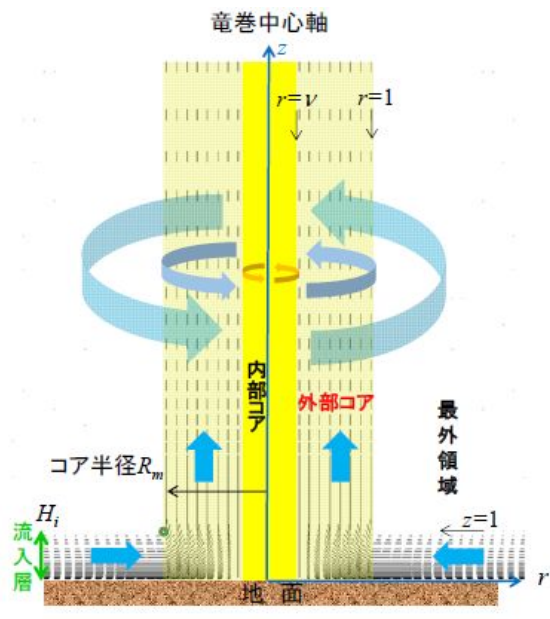
$$F_r(r) = \begin{cases} r & (r < 1) \\ 1/r & (r \geq 1) \end{cases} \quad F_h(z) = \begin{cases} z^{k_0} & (z < 1) \\ \exp(-k(z-1)) & (z \geq 1) \end{cases}$$

半径方向風速  $V_r = \begin{cases} 0 & (r \leq \nu) \\ \frac{V_\theta \tan \alpha_0}{1-\nu^2} \left(1 - \frac{\nu^2}{r^2}\right) & (\nu < r < 1) \\ V_\theta \tan \alpha_0 & (r \geq 1) \end{cases}$

$$\tan \alpha_0 = \begin{cases} -A(1-z^{1.5}) & (z < 1) \\ B\{1 - \exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

上昇風速  $V_z = \begin{cases} \frac{3}{28} \frac{\eta V_m}{1-\nu^2} A(16z^{\frac{7}{5}} - 7z^{\frac{8}{3}}) & (z < 1) \\ \frac{\eta V_m B \exp(-k(z-1))}{k(1-\nu^2)} \{2 - \exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$

$k_0, k, \nu, \eta, A, B$ は定数



$V_\theta$	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

また、以下の連続の式を満足する。

$$c \equiv \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i} \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$

第 2.1-3 図 フジタモデルの概要

ここで、内部コアの半径  $R_\nu$  と外部コアの半径  $R_m$  の比  $\nu (=R_\nu/R_m)$  については、Fujita<sup>(4)</sup> が以下の経験式を提案しているのので、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<sup>(4)</sup> 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、 $\eta$  は 1 以下の正の値であり、下式で定義される。

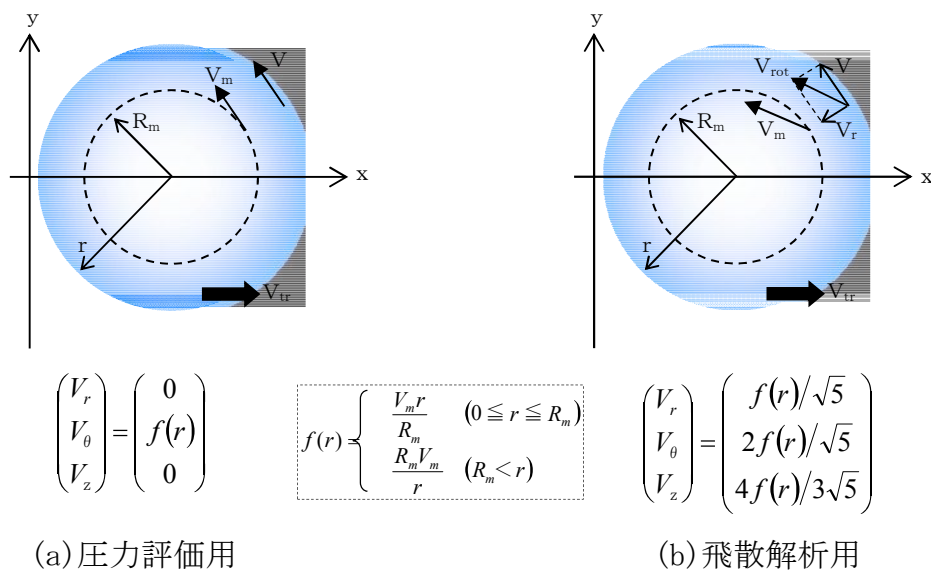
$$\eta = 0.55 (1 - \nu^2) \tag{3}$$

上式において、外部コア半径  $R_m = 30\text{m}$  の場合、 $\eta = 0.50$  ( $H_i = 15\text{m}$ ) となり、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」<sup>(3)</sup>の図 2.2.3.10 における流入層高さ と竜巻半径の比 ( $\eta = 0.4$  程度) や、Kosiba<sup>(5)</sup>により示されている流入層高さ ( $H_i = 10$  から  $14\text{m}$  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<sup>(4)</sup>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<sup>(2)</sup>では、竜巻中心に向かう半径方向風速  $V_r$  と上昇風速  $V_z$  を特別に付加しているため、流体力学の連続の式を満たしておらず、第 2.2-2 図の様な地面から吹き出しが生じる流れとなっており、地上からの物体の浮上、飛散を現実的に模擬することができない。ランキン渦モデルを用いて飛散解析を行う場合、地上の物体であっても空中浮遊状態を仮定して評価することになる。



第 2.2-1 図 ランキン渦モデル

無次元座標  $r = R / R_m$

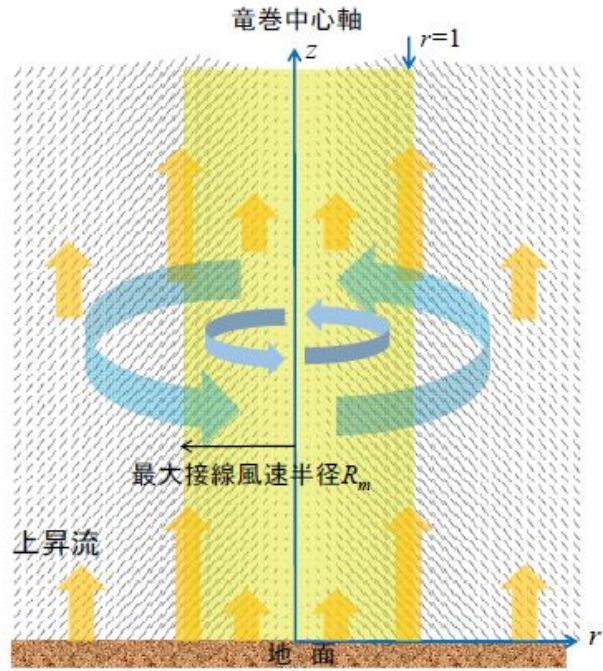
接線風速  $V_\theta = \frac{2V_m}{\sqrt{5}} F_r(r)$

$$F_r(r) = \begin{cases} r & (r < 1) \\ 1/r & (r \geq 1) \end{cases}$$

半径方向風速  $V_r = -\frac{1}{2} V_\theta$

上昇風速  $V_z = \frac{2}{3} V_\theta$

水平方向風速  $V_h = \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2} = V_m F_r(r)$



$r < 1$  の領域では、（流体が消滅するため）以下の連続の式を満足しない。

$$c \equiv \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i} \frac{\partial V_z}{\partial z} = \begin{cases} -\frac{2V_m}{\sqrt{5}R_m} \cdot (r < 1) \\ 0 & (r > 1) \end{cases}$$

第 2.2-2 図 飛来物速度評価用ランキン渦モデル

### 2.3 非定常乱流渦モデル（LESによる数値解析）

LESは、非定常な乱流場を数値的に計算する手法として、「竜巻評価ガイド」における飛来物の最大速度の設定例にも活用されている。第 2.3-1 図に LESによる渦の発生状況を示す。

古典的な Smagorinsky モデルに基づく LESの基礎方程式（運動量保存式及び質量保存式）は、流体を非圧縮性と仮定する場合、以下のようになる。

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_1 \frac{\partial U_i}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial U_i}{\partial x_2} + U_3 \frac{\partial U_i}{\partial x_3} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + (\nu + \nu_s) \left( \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_3^2} \right) - f_i \quad (i=1,2,3)$$

..... (4)



$$\frac{\partial U_1}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2}{\partial x_2} + \frac{\partial U_3}{\partial x_3} = 0 \quad (5)$$

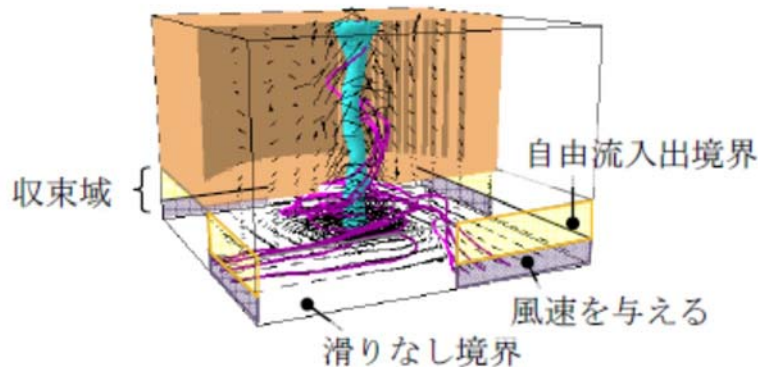
ここで、 $U_i$  及び  $P$  は、 $i$  方向の流速ベクトル及び圧力を表し、 $\nu$  は動粘性係数を、 $f_i$  は  $i$  方向の外力加速度を表す。また、 $x_i$  は  $i$  方向の座標を表す。

一方、Smagorinsky モデルの渦粘性係数  $\nu_s$  は以下のように定義される。

$$\nu_s = (C_s h)^2 \sqrt{\sum_{i,j=1}^3 2S_{ij}^2} \quad (6)$$

ここで、 $h$  は解像スケール（メッシュ幅相当）、 $C_s$  は Smagorinsky 定数を表し、ひずみ速度テンソル  $S_{ij}$  は  $S_{ij} = 0.5(\partial U_i / \partial x_j + \partial U_j / \partial x_i)$  で定義される。

以上の通り、LES は風速の時間的な変動（乱流）を考慮できる点が特長となっている。



第 2.3-1 図 LES 計算領域内での竜巻状の渦の作成状況<sup>(6)</sup>

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 of 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  $100\text{m/s}$ (風速+移動速度)に設定している。Maruyama<sup>(7)</sup>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  $160\text{m/s}$  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

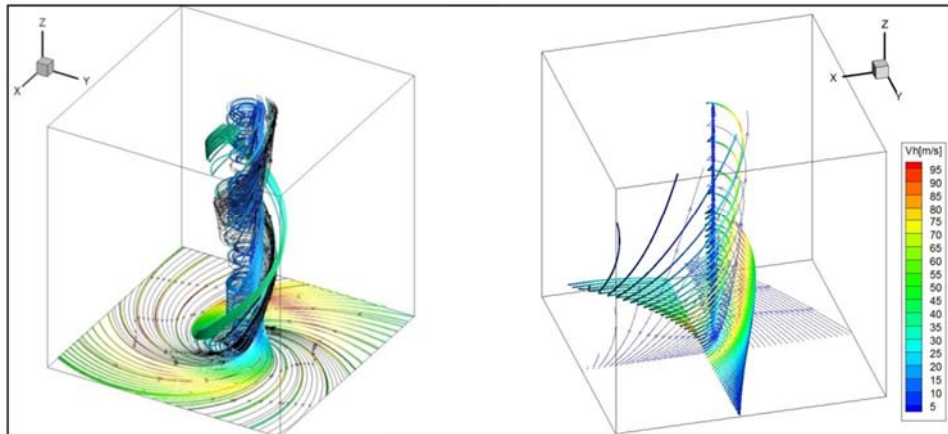
上述の各風速場モデルの特徴の比較を第3-1表に示す。また、フジタモデルとランキン渦モデルの風速場構造の比較を第3-1図に示す。フジタモデルの風速場構造の流線は、地面付近を含めより実際の風速場に即した形で表現されており、これがフジタモデルの大きなメリットとなっている。それに対し、ランキン渦モデルは上空での水平方向風速の観点からは比較的よく表現できると言えるものの、地上付近では実現象と乖離している。LESも同様に地上付近で



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	<ul style="list-style-type: none"> <li>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）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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）</li> <li>流体の連続式を満足する</li> </ul>
ランキン渦モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>米国NRCのR.G 1.76に採用されている。</li> <li>「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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>簡易な式により風速場を表現できる。</li> <li>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。</li> <li>流体の連続式を満足しない。</li> </ul>
非定常乱流渦モデル（LES）	<ul style="list-style-type: none"> <li>「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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風速の時間的な変動や乱れを，ある程度模擬できる。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>



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<sup>(8)</sup>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<sup>(9)(10)</sup>（文献<sup>(8)</sup>のD.4節：

Windborne missile criteria specified herein are based on windstorm

6条(竜巻)-2-12

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<sup>(11)</sup>にてまとめられている。この報告書では、フジタモデル D B T-77 を他の風速場モデルと比較検討しており、「流体力学の連続の式を満足する (Fluid mechanics equations of continuity are satisfied)」こと、「モデル流況は、竜巻の映像分析で得られる流れの空間分布と整合する (Flow patterns are consistent with the spatial distribution of flow observed in photogrammetric analysis of tornado movies)」こと等を利点として挙げている。

また、実際の事例に対するフジタモデルの検証としては、1978 年 12 月 3 日に米国ルイジアナ州 Bossier 市で発生した F4 竜巻による鋼製材の飛散について、フジタモデル D B T-77 で再現した事例<sup>(9)</sup>がローレンス・リバモア国立研究所報告書<sup>(11)</sup>及び米国気象学会論文集<sup>(12)</sup>に掲載されている。

なお、米国 L E S (Louisiana Energy Services) の濃縮施設 N E F (National Enrichment Facility) では、上記の DOE 施設の基準に基づき竜巻飛来物 (鋼製パイプや木材の板等) を設定しており、米国 N R C は当該施設に対する安全評価報告書 (N U R E G-1827) <sup>(13)</sup>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<sup>(1)</sup>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<sup>(2)</sup>) 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

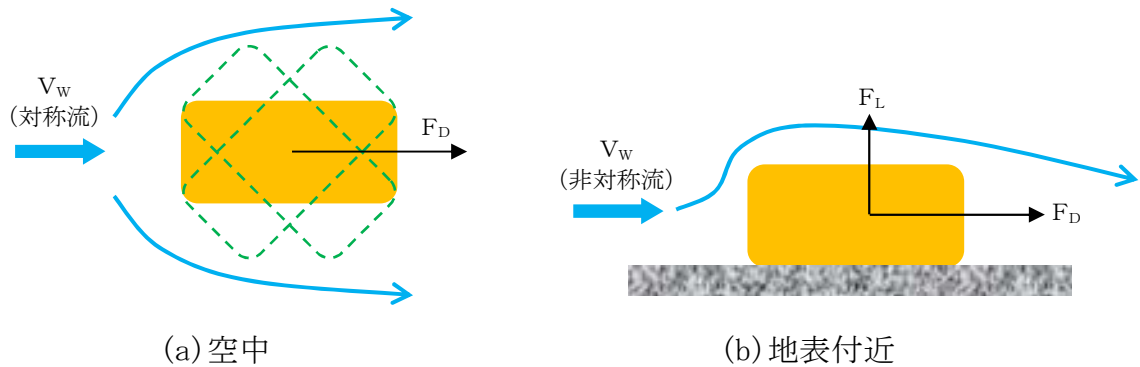
本評価における物体の浮上・飛散モデルの考え方と、その中で保守性の観点から考慮している点について説明する。

#### (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<sup>(2)(3)</sup>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<sup>(14)</sup>。具体的には、物体の形状が流れ方向の軸に関し

て対称であっても、第 5.1-1 図(b)に示すように地面の存在により流れが非対称になり、物体上部の圧力が低くなることで物体を浮上させる駆動力が生じることから、これを揚力 $F_L$ として考慮する。



第 5.1-1 図 物体へ作用する力

このような揚力 $F_L$ は、地表付近での揚力係数 $C_L$ 及び物体の見付面積（風方向から見た投影面積） $a$ を用いて、以下のように表される。

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L a |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 \quad (7)$$

ここで、 $\rho$ は空気密度、 $\mathbf{V}_M$ は飛来物の速度ベクトル、 $\mathbf{V}_w$ は風速ベクトル、 $|\alpha|_{x,y}$ はベクトル $\alpha$ 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 $F_{L0}$ は以下で与えられる。

$$F_{L0} = -p_0 A + p_0 (A - s) = -p_0 s \quad (8)$$

ここで、 $0 < s \leq A$ であることから、 $F_{L0}$ は負の値となり、揚力は発生しな

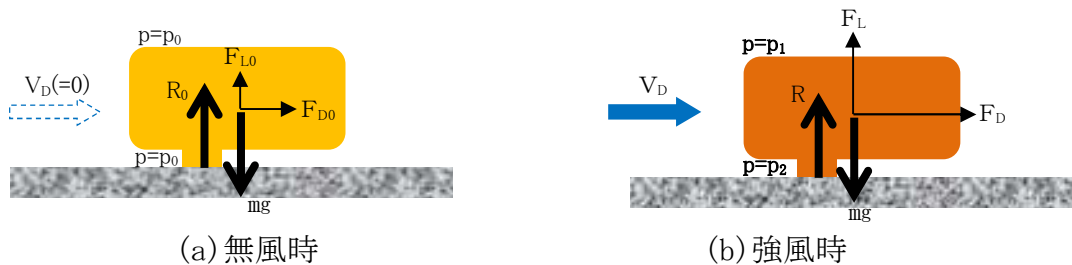
いことが分かる。

一方、竜巻通過時（第 5.1-2 図の(b)）の物体に圧力差に伴う流体力が作用（簡単のため上面での圧力を  $p_1$ 、下面での圧力を  $p_2$  と仮定）する場合、鉛直方向の流体力  $F_L$  は以下で与えられる（圧力分布がある任意形状の物体についても、圧力の表面積分を用いれば同様に計算可能）。

$$F_L = -p_1 A + p_2 (A - s) \quad (9)$$

吸盤の様に完全に地面に密着している場合は  $s = A$  となるため、上面の圧力  $p_1$  に投影面積  $A$  を乗じた力が下向きに作用するが、物体と地面の間に僅かに空隙が生じる場合には、地面と物体の接触状態によっては上向きの力が発生することがある。

実際には、地面と物体の接触状態を確認することは難しいことから、本評価においては、保守的に地上における物体に揚力が作用することとしている。



第 5.1-2 図 部分的に地面に接する物体に作用する力

## (2) 揚力係数の設定

(7) 式の  $C_L a$  は風洞実験から求められる値であるが、実験条件（風を受ける方向等）により様々な値を取り得るため、それを包含するような係数を設定することが望ましい。本評価では、条件によらず保守性を確保できるように、 $C_L a$  に代わり、以下で定義される抗力係数と見付面積の積の平均値  $C_D A$  を用いることとする。

$$C_D A = \frac{1}{3} (C_{D_x} A_x + C_{D_y} A_y + C_{D_z} A_z) \quad (10)$$

ここで、 $C_{D_i}$ は空中での  $i$  軸方向流れに対する抗力係数、 $A_i$ は  $i$  軸方向流れに対する見付面積を示す。

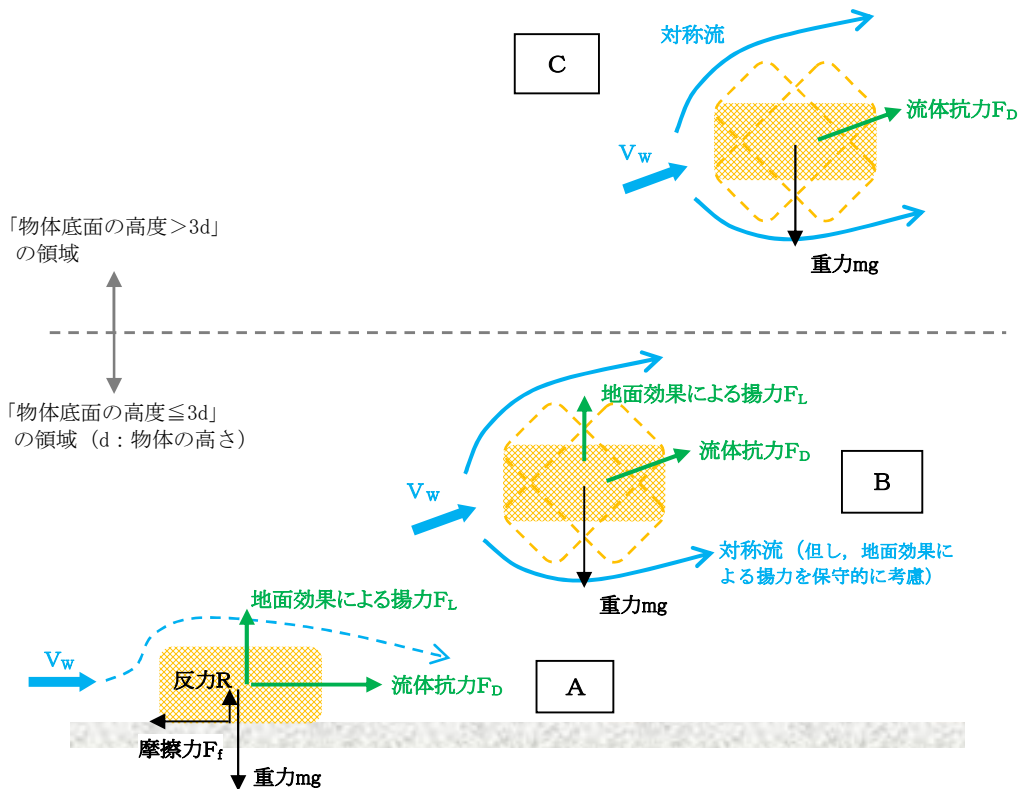
物体の運動モデルを第 5.1-3 図に示す。上述の、 $C_L a$ を $C_D A$ で代用する考え方を本図に基づき整理すると、以下の通りとなる。

- ・物体がある程度浮き上がった後の状態(B)であれば、物体はランダムに回転し、物体各面に均等に風を受けるものと考えられる。
- ・物体が地面に置かれた状態(A)から浮き上がる場合、実際には物体の上面や下面での圧力が均一ではなく、傾きながら浮き上がるようなことも考えられるが、このような挙動を理論的に評価することは難しい。

そのため、これに準ずる方法として、地面から浮かせた状態で実測された $C_L a$ のうち、物体が地面に置かれた状態(A)にできる限り近い場合の値よりも大きな係数 $C_D A$ を用いることで、保守性は確保できると考えられる（「 $C_D A > C_L a$ 」となることの説明は後述）。

- ・物体が地面に置かれた状態(A)と物体がある程度浮き上がった状態(B)での評価にて共通の係数を用いることは、地上からの物体浮上及び飛散解析における実用性の観点からも望ましい。





第 5.1-3 図 物体の運動モデルの模式図

物体の飛散解析におけるモデル化の基本的な考え方は、地面における揚力係数  $C_L$  見付面積  $a$  の積  $C_L a$  をより大きな値で置き換えて、浮上現象を保守的に評価できるようにすることであり、この保守的な代用値として  $C_D A$  の利用が適切であることを以下に説明する。

物体が風速  $U$  を受ける場合の揚力係数  $C_L$  は、一般にその定義により揚力  $F_L$  と以下の関係にある。

$$F_L = \frac{1}{2} \rho U^2 C_L a$$

$$C_L a = F_L / (\rho U^2 / 2)$$

ここで、典型的な塊状物体、柱状物体及び板状物体が地面に置かれた場合の  $C_L a$  の最大値（または、それに近い値）の実測結果と、物体の幾何学形状のみで決定される  $C_D A$  の値を比較した。（第 5.1-1 表）

同表より、「 $C_D A > C_L a$ 」の関係が成立しており、揚力の評価モデルとして $C_L a$ の代わりに $C_D A$ を用いることで保守性は確保できる。

また、以上の揚力のモデル化の説明は浮上時（第 5.1-3 図の状態 A）に対するものであるが、この揚力が物体高さの 3 倍までの飛散高度の範囲で連続的に低減するように作用するようにモデル化しており、第 5.1-3 図の状態 A, B 及び C の全領域で揚力の連続性が確保されている。

第5.1-1表 主な物体の $C_{DA}$ と地面に置かれた物体の $C_{La}$  (実測値) (1/2)

形状	物体	仕様	$C_{DA}$ ※1	$C_{La}$ (実測値)	$C_{La}$ (実測値)に係る試験条件等
塊状	自動車	実物の Dodge Dart (長さ 16.7ft., 幅 5.8ft., 高さ 4.3ft.)	129ft. <sup>2</sup>	48.7ft. <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験<sup>(15)</sup> (風速 22~31m/s, <math>Re=2.8 \times 10^6 \sim 4 \times 10^6</math>)</li> <li><math>C_{La}</math> が最大となる流入角での値を<math>C_{La}</math> (実測値)として記載</li> </ul>
		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 <sup>2</sup>	7.76m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験<sup>(16)</sup> (風速 0~150m/s, <math>Re=0 \sim 3 \times 10^6</math>)</li> <li>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<math>U</math>から<math>C_{La}</math>値を計算 (<math>C_{La}=2mg/\rho U^2</math>)</li> <li><math>C_{La}</math> が最大となる流入角での値を<math>C_{La}</math> (実測値)として記載</li> </ul>
		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 <sup>2</sup>	7.89m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水路試験<sup>(17)</sup> (<math>Re=8,000 \sim 28,000</math>)</li> <li>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<math>C_{La}</math> (実測値)として記載</li> </ul>
柱状	円柱	長さ $\lambda$ , 直径 $D$	0.47D $\lambda$	0.05D $\lambda \sim 0.23D\lambda$	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験<sup>(15)</sup> (<math>Re=1.3 \times 10^6</math>)</li> <li>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<math>C_{La}</math> (実測値)として記載</li> <li>風洞試験 (<math>Re=3.5 \times 10^4 \sim 1.2 \times 10^5</math>)</li> <li>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<math>C_{La}</math> (実測値)として記載</li> </ul>
		長さ $\lambda$ , 断面が一边 $D$ の正方形	0.8D $\lambda$ (1.3D $\lambda$ )※2	0.5D $\lambda \sim 0.7D\lambda$ 程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>水路試験<sup>(17)</sup> (<math>Re=8,000 \sim 28,000</math>)</li> <li>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)</li> <li>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<math>C_{La}</math> (実測値)として記載</li> </ul>
		長さ $\lambda$ , 高さ $D$ , 幅 $B$ の長方形断面	0.4(D+B) $\lambda$	負値 (地面との隙間が 0.167D 以上の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験 (<math>Re=3.8 \times 10^4</math>)</li> <li>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)</li> </ul>

※1: 柱状及び板状では微小頂を無視して記載

※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 $\lambda$ , 幅 $B$ , 厚さ $D$ ( $B=200$ mm, $D=5$ mm, $\lambda=1000$ mmの場合)	0.66 $B\lambda$	0に近い値 (地面から0.25 $B$ 離れた位置で $C_{La}=0.04B\lambda$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験<sup>(18)</sup> (幅<math>B</math>に基づき<math>Re=2\times 10^5</math>)</li> <li>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<math>C_{La}</math> (実測値)として記載</li> </ul>
	薄い翼	長さ $\lambda$ , 幅 $B$ , 厚さ $D$ ( $B=100$ mm, $D=15$ mm, $\lambda=300$ mm)		0.2 $B\lambda$ 程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験<sup>(19)</sup> (幅<math>B</math> (参考文献(19)では<math>c</math>)に基づき<math>Re=2.2\times 10^5</math>)</li> <li>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)</li> </ul>
	平板状ブロック	長さ $\lambda$ , 幅 $B$ , 厚さ $D$	0.66 $B\lambda$ 0.66( $B\lambda+D(B+\lambda)$ )※2	0.1 $B\lambda$ 程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>水路試験<sup>(20)</sup> (<math>Re=5\times 10^4</math>程度)</li> <li>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<math>C_{La}</math> (実測値)として記載</li> </ul>

※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、 $10^4 \sim 10^6$  の範囲にある。

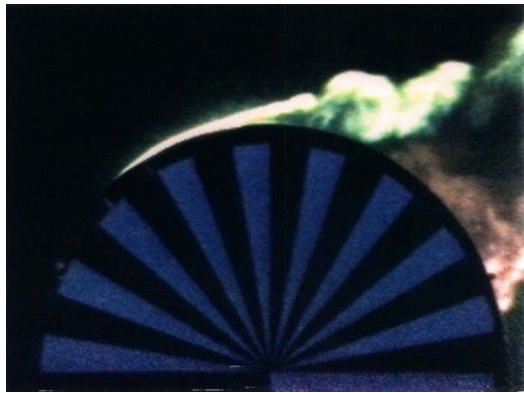
ここで、実物の自動車 (Dodge Dart : 長さ 16.7ft. , 幅 5.8ft. , 高さ 4.3ft. ) では風速を 30mph (13m/s) ~120mph (54m/s) まで変化させてレイノルズ数の影響を調べた結果、風速は各空力係数に対して顕著な影響がないことが確認されている<sup>(15)</sup>。これは、剥離点が物体角部等に固定されてレイノルズ数にほとんど依存しないためであり、このような特性を有する立方体等についてもレイノルズ数依存性はないものと考えられる。

一方、円柱周りの流れのように剥離点が曲面上にある場合については、第 5.1-4 図に示すように、レイノルズ数が増加すると剥離点が移動し、抗力係数等が増加することが知られている。第 5.1-1 表の E P R I の円柱の風洞試験結果<sup>(15)</sup>は  $Re=1.3 \times 10^6$  の高レイノルズ数条件で得られたものであり、竜巻中の円柱状の飛来物のレイノルズ数範囲に入るものと考えられる (例えば、相対風速 92m/s の直径 0.1m のパイプのレイノルズ数は  $6 \times 10^5$  程度)。また、電力中央研究所の吹出式開放型風洞 (吹出口寸法 : 高さ 2.5m × 幅 1.6m, 風速 : 3.0~16.5m/s) においても、壁 (地面) 近くに設置した円柱 (直径 100mm × 模型長 1000mm) を対象として、 $Re=3 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$  程度までの揚力係数の測定試験が行われている。

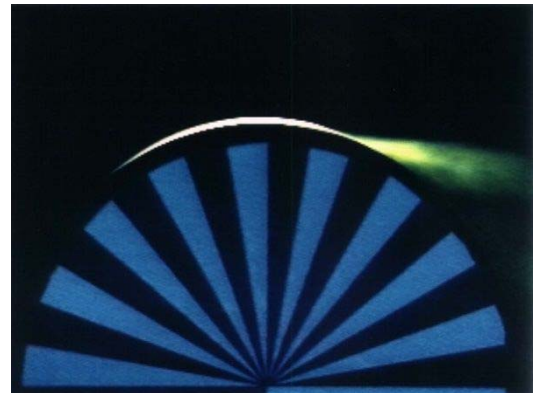
E P R I の風洞試験と電力中央研究所の風洞試験にはレイノルズ数条件に大きな違いがあるが、第 5.1-5 図に示す通り、風洞試験で得られた円柱揚力係数に顕著な相違は認められない。

以上より、地面における各物体の揚力係数  $C_L$  と見付面積  $a$  の積  $C_L a$  はレ

レイノルズ数にほとんど依存せず，第 5.1-1 表に示す風洞試験結果に基づくモデル化は妥当であると考えられる。

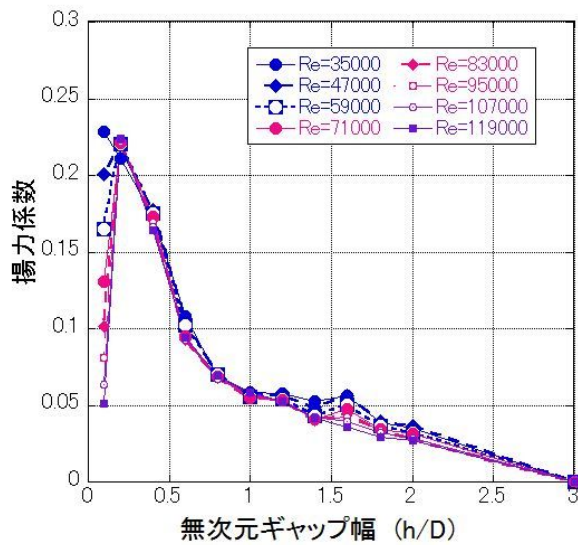


(a)  $Re \approx 4 \times 10^4$

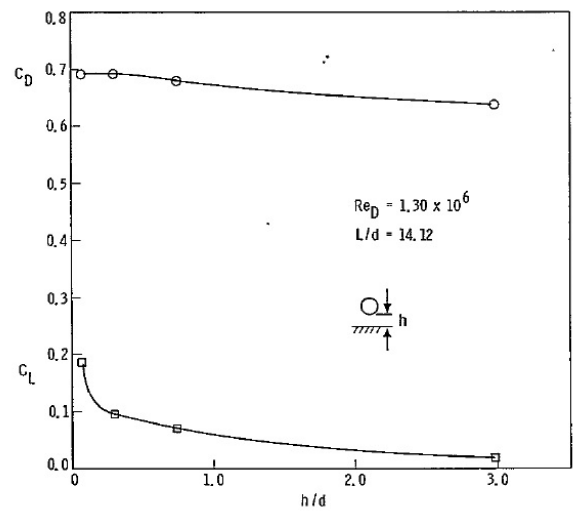


(b)  $Re \approx 2 \times 10^5$

第 5.1-4 図 可視化した円柱まわりの流れ<sup>(21)</sup>



(a) 電力中央研究所  
( $Re=3 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$ )



(b) E P R I  
( $Re=1.3 \times 10^6$ )<sup>(15)</sup>

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<sup>(15)(22)</sup>を考慮して，高さ寸法  $d$  の物体に働く揚力は，物体底面の高度

が地面から 3d となった時に消滅すると設定した。

具体的には、底面が地面から Z の距離（高度）にある物体に作用する揚力加速度 L を以下の関数形でモデル化した。

$$L = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 f(Z/d) \quad (11)$$

f(Z/d) は、E P R I の風洞実験結果<sup>(15)</sup>を参考に、以下の反比例式とした。

$$f(Z/d) = \{1 - (Z/3d)\} / \{1 + (Z/d)\} \quad (12)$$

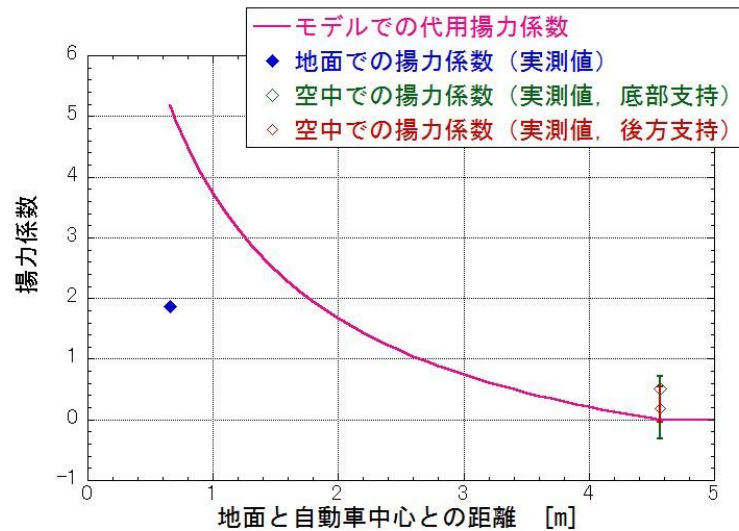
ここで、Z は下式により定義される（z : 物体中心の高度）

$$Z = \begin{cases} z - (d/2) & (d/2 \leq z \leq 7d/2) \\ 0 & (7d/2 \leq z) \end{cases} \quad (13)$$

また、以下において、塊状物体（自動車）、柱状物体（角柱及び円柱）及び板状物体（平板）の風洞試験結果を踏まえ、「高さ寸法 d の物体に働く揚力は、物体底面の高度が地面から 3d となった時に消滅する」とした設定が適切であることを確認する。

#### a. 塊状物体（自動車）の揚力の高さ依存性

自動車の揚力係数は、E P R I の風洞試験<sup>(15)</sup>にて、地面及び風洞中央（h/d ≒ 3.5）に設置した場合にて計測されており、第 5.1-6 図に、E P R I の風洞試験によって得られた揚力係数と本モデルにて代用した揚力係数の関係を示す。E P R I の風洞試験では空中での自動車の姿勢は地面設置と同じ姿勢に保たれているため、空中においても揚力係数が 0 とはならないが、実際に飛散する自動車の姿勢はランダムに変化することから、平均的な揚力係数は本モデルでの代用揚力係数に近いものと考えられる。



第 5.1-6 図 自動車の風洞実験による揚力係数と代用揚力係数

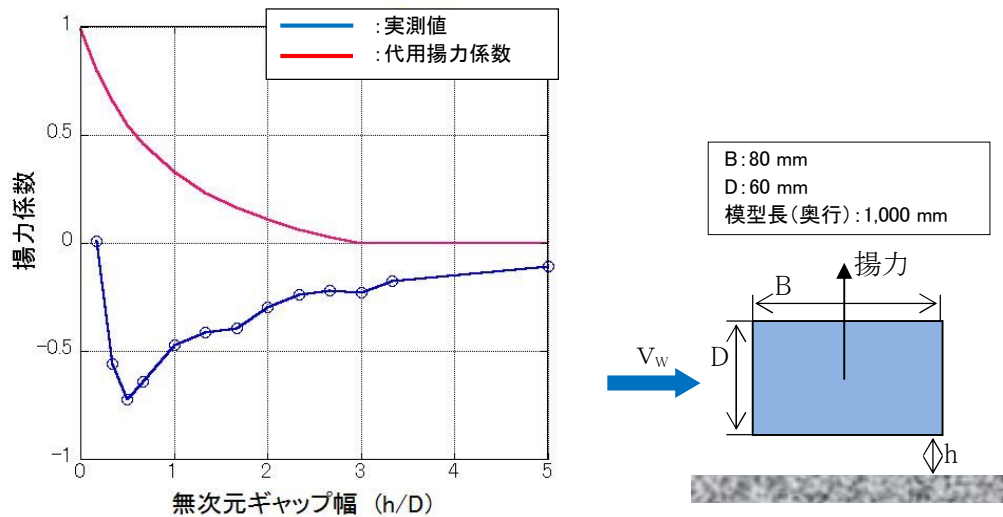
(文献<sup>(15)</sup>を基に作成及び代用揚力係数を加筆)

b. 柱状物体（角柱及び円柱）の揚力の高さ依存性

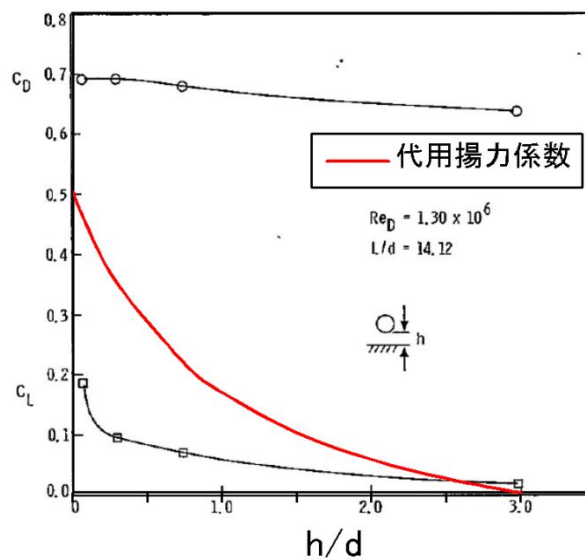
角柱の揚力係数は、電力中央研究所の吹出式開放型風洞（吹出口寸法：高さ 2.5m×幅 1.6m，風速：3.0～16.5m/s）にて測定しており，第 5.1-7 図に示すように，地面から 0.167D 以上離れると揚力は負となるので，正の揚力を与える本モデルの代用揚力係数（第 5.1-7 図の赤線）は保守的な結果となっていることが分かる。

円柱の揚力係数は，E P R I の風洞試験<sup>(15)</sup>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



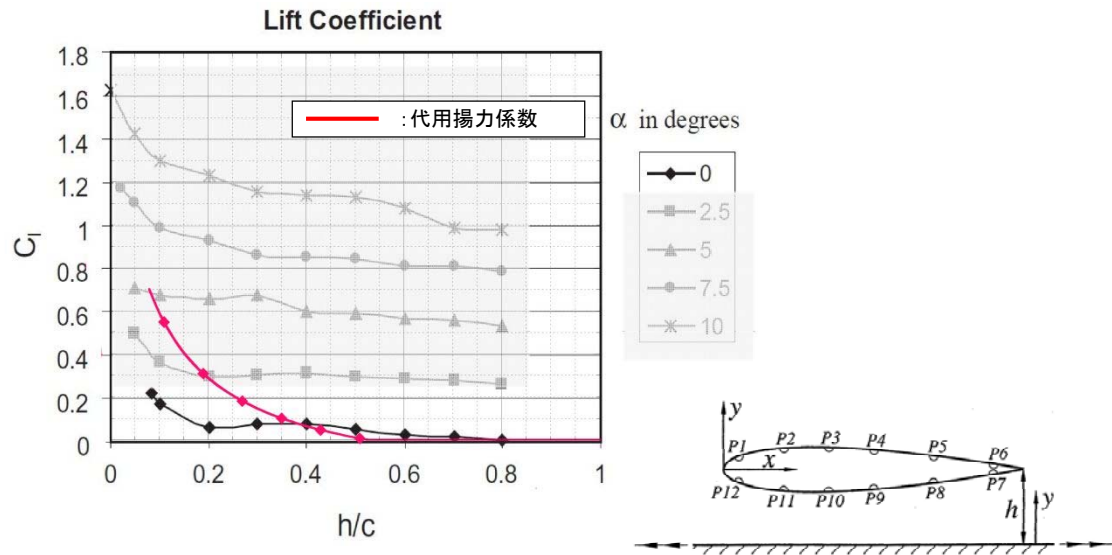
第 5.1-8 図 円柱の風洞試験による揚力係数と代用揚力係数

(文献<sup>(15)</sup>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  $0^\circ$ ）の試験結果<sup>(19)</sup>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<sup>(19)</sup>に代用揚力係数を加筆)

(5) 物体の運動方程式

上記(1)から(4)を踏まえ、重力加速度  $g$ 、上向きの単位ベクトル  $\mathbf{k}$  を用いて、飛行物体の運動方程式は以下のように記述される。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{l}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - (g - L)\mathbf{k} \quad (14)$$

物体の位置  $\mathbf{X}_{M(t)}$  と速度  $\mathbf{V}_{M(t)}$  の時刻歴の計算には陽解法（一定加速度法）を用いた。具体的には、時刻  $t = \tau$  における物体の位置  $\mathbf{X}_{M(\tau)}$  と速度  $\mathbf{V}_{M(\tau)}$  を既知として、時刻  $t = \tau + \Delta \tau$  における物体の速度と位置を以下の式で求めた。ただし、 $\mathbf{A}(\tau)$  は上記運動方程式の右辺に対応する時刻  $t = \tau$  における加速度ベクトルである。

$$\mathbf{V}_M(\tau + \Delta \tau) = \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau) \Delta \tau \quad (15)$$

$$\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau)\Delta\tau + \frac{\mathbf{A}(\tau)\Delta\tau^2}{2} \quad (16)$$

$\mathbf{A}(\tau)$  の計算には、時刻  $t = \tau$  における風速場も必要であるが、初期に原点に位置する竜巻の中心が  $x$  軸上を移動速度  $V_{tr}$  で移動することを仮定しており、任意の時刻での風速場を陽的に求められるため、物体の速度及び位置を算出することができる。

(6) 物体の運動方程式 ((14)式) に関する考察

地上面の物体 (第 5.1-3 図 A) が浮上するには、地面からの反力が消滅する ( $R < 0$ , つまり  $mg < F_L$ ) 条件で浮上し、浮上後は(14)式を成分表示した以下の運動方程式に従って飛散する。

$$\frac{dV_{Mx}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,x} - V_{M,x}) \quad (17)$$

$$\frac{dV_{My}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,y} - V_{M,y}) \quad (18)$$

$$\frac{dV_{Mz}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,z} - V_{M,z}) - g + L$$

..... (19)

ここで、物体速度  $\mathbf{V}_M = (V_{M,x}, V_{M,y}, V_{M,z})$ 、竜巻風速  $\mathbf{V}_w = (V_{w,x}, V_{w,y}, V_{w,z})$  であり、右辺第 1 項が流体抗力  $F_D$  による加速度を、(19)式の右辺第 3 項が地面効果による揚力  $F_L$  による加速度を表している。上記の式で、物体が静止している状態 ((17)式~(19)式で物体速度  $\mathbf{V}_M = \mathbf{0}$ ) を仮定すると、以下の式となる。

$$\frac{dV_{Mx}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,x} \quad (17')$$

$$\frac{dV_{My}}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,y} \quad (18')$$

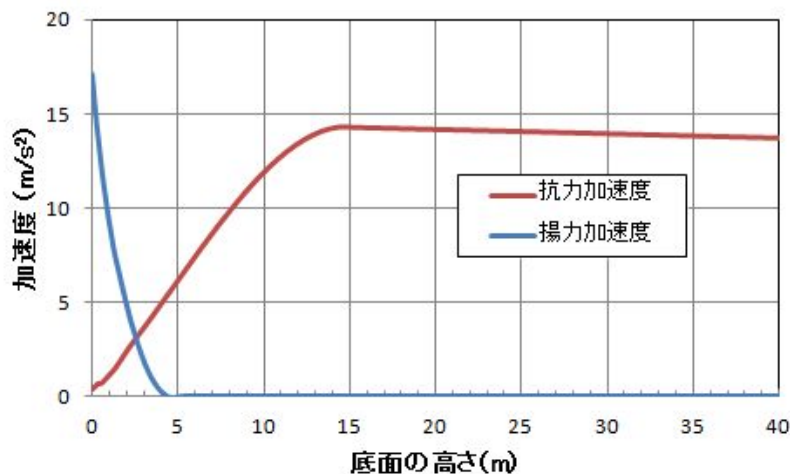
$$\frac{dV_{Mz}}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,z} - g + L \quad (19')$$

フジタモデルでは、物体が地面近傍にある場合（第 5.1-3 図(A)）では鉛直方向の風速  $V_{w,z}$  はゼロに近いので、式(19')の右辺第 1 項は右辺第 2 項及び第 3 項に比べてはるかに小さな量となり、以下のとおり物理的に合理的な関係式が成立する。

$$\frac{dV_{Mz}}{dt} \approx -g + L \quad (20)$$

例として、竜巻コア半径 30m、最大風速 100m/s の竜巻が原点に位置し、x 方向に 15m/s で移動する場合、点(0, -30m)における式(19')の右辺第 1 項の値（z 方向抗力（流体抗力）による加速度）と第 3 項の値（地面効果による揚力加速度）を第 5.1-10 図に示す。

同図より、地面上（z=0）近傍においては、z 方向の抗力による加速度は十分小さく、地面効果による揚力加速度の影響が大きいことが分かる。

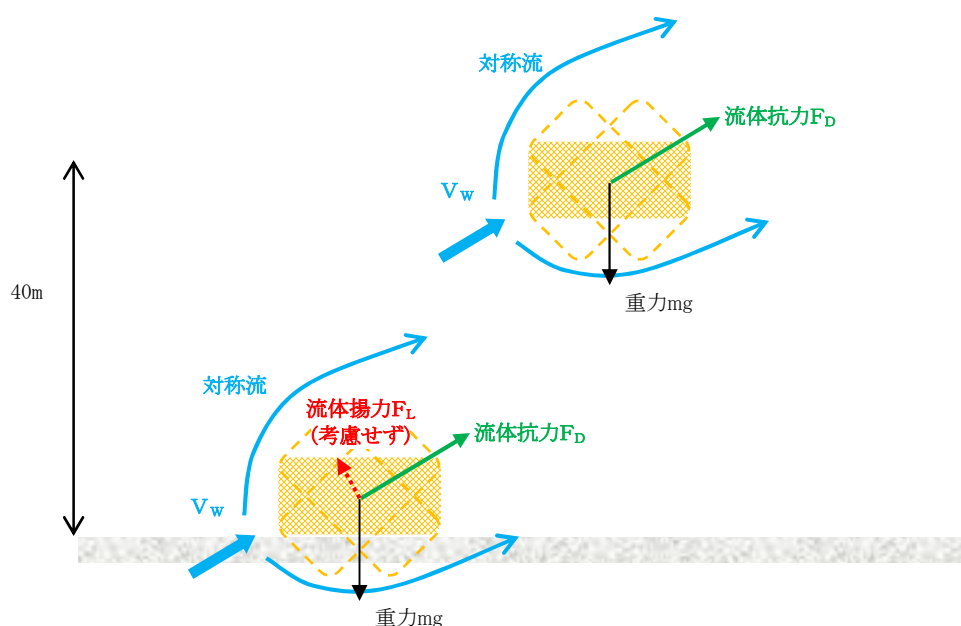


第 5.1-10 図 地面近傍の物体に作用する z 方向の加速度

$$\left( \frac{1}{2} \rho C_D A / m = 0.004 \text{ m}^{-1}, d = 1.31 \text{ m} \right)$$

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）

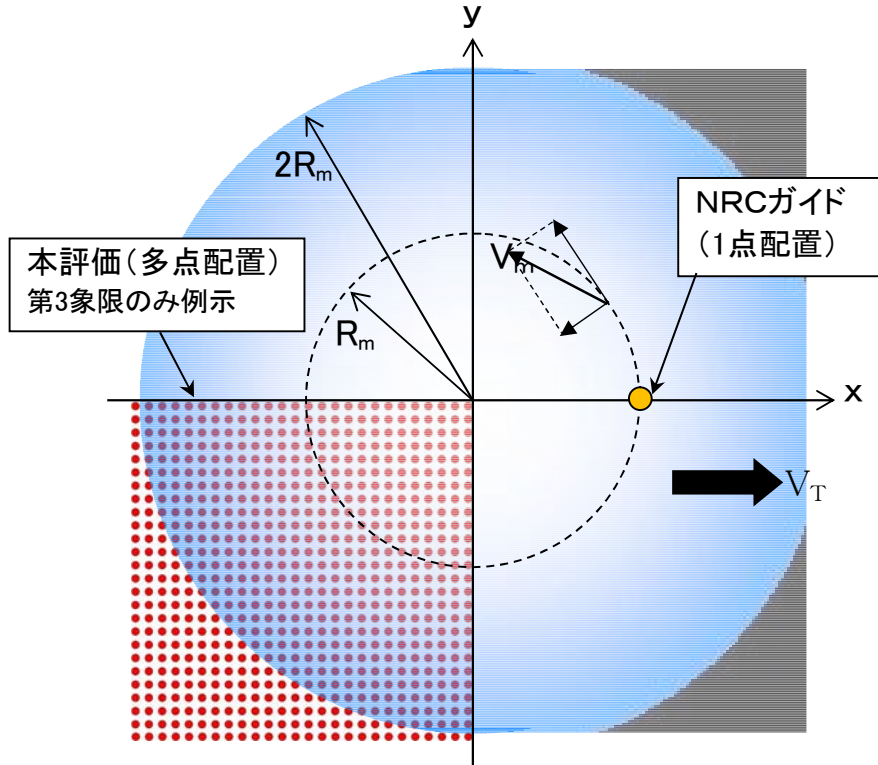


第 5.1-11 図 ランキン渦の場合の物体の運動モデルの模式図

## 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<sup>(1)</sup>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。



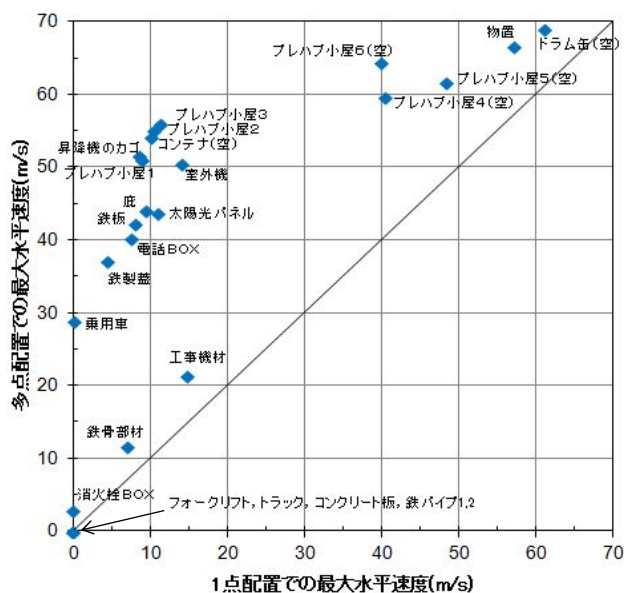
第 5.2-1 図 飛散解析における竜巻と物体の位置関係

評価条件として、竜巻の最大風速を  $100\text{m/s}$  とし、フジタモデルの風速場を用いて地上から飛散させるものとする。また、評価ガイドの記載より竜巻の移動速度  $V_{tr}$  を  $15\text{m/s}$ 、竜巻コア半径  $R_m$  を  $30\text{m}$  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」<sup>(3)</sup>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 <sub>D</sub> A/m (m <sup>2</sup> /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



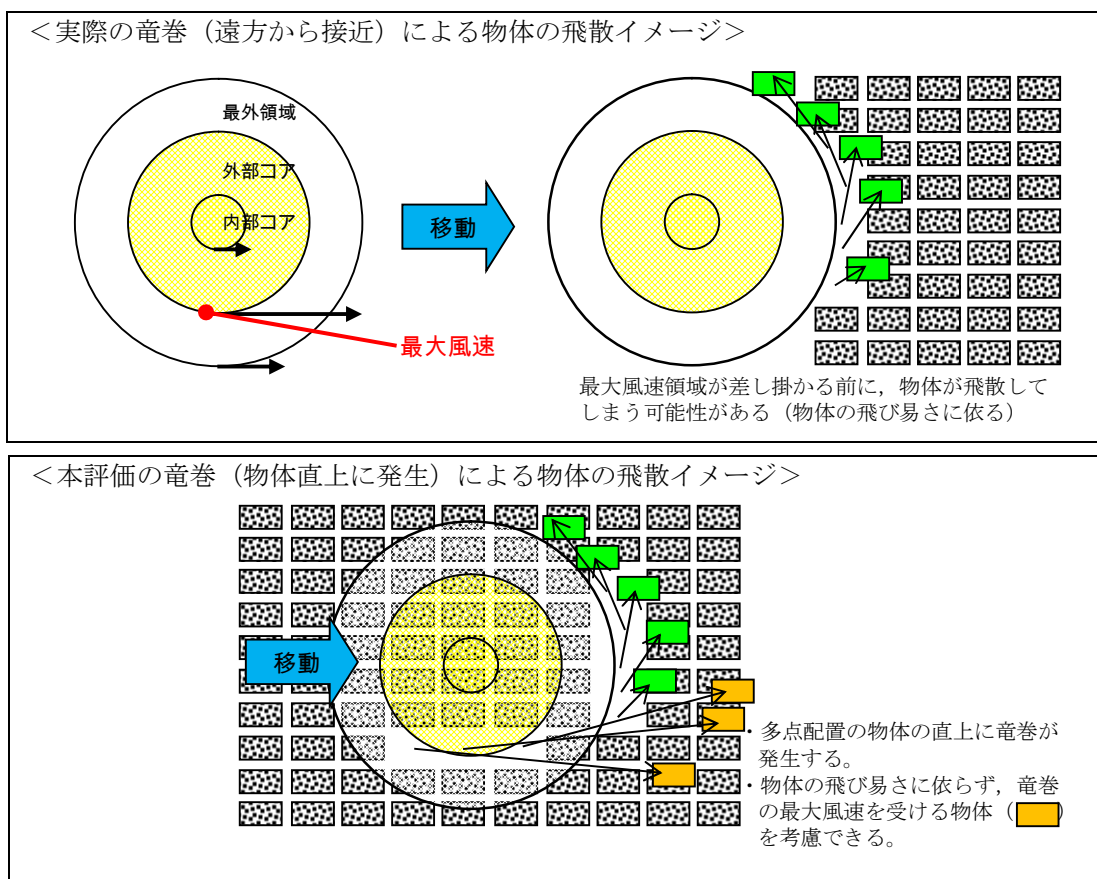
第 5.2-2 図 1 点配置時と多点配置時における物体の最大速度の比較

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  $H_i$  の影響を検証した。外部コア半径  $R_m=30\text{m}$  の場合モデルでは  $H_i=15\text{m}$  となり、これは 2.1 に記載のとおり他の文献<sup>(3)(5)</sup>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  $\pm 10\%$  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よう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 $H_i$	-10%	0.4%	-3.2%	-4.9%	
	+10%	-0.6%	2.8%	5.1%	
1点配置 (多点配置からの変化率)		-80.8%	-93.4%	-90.5%	

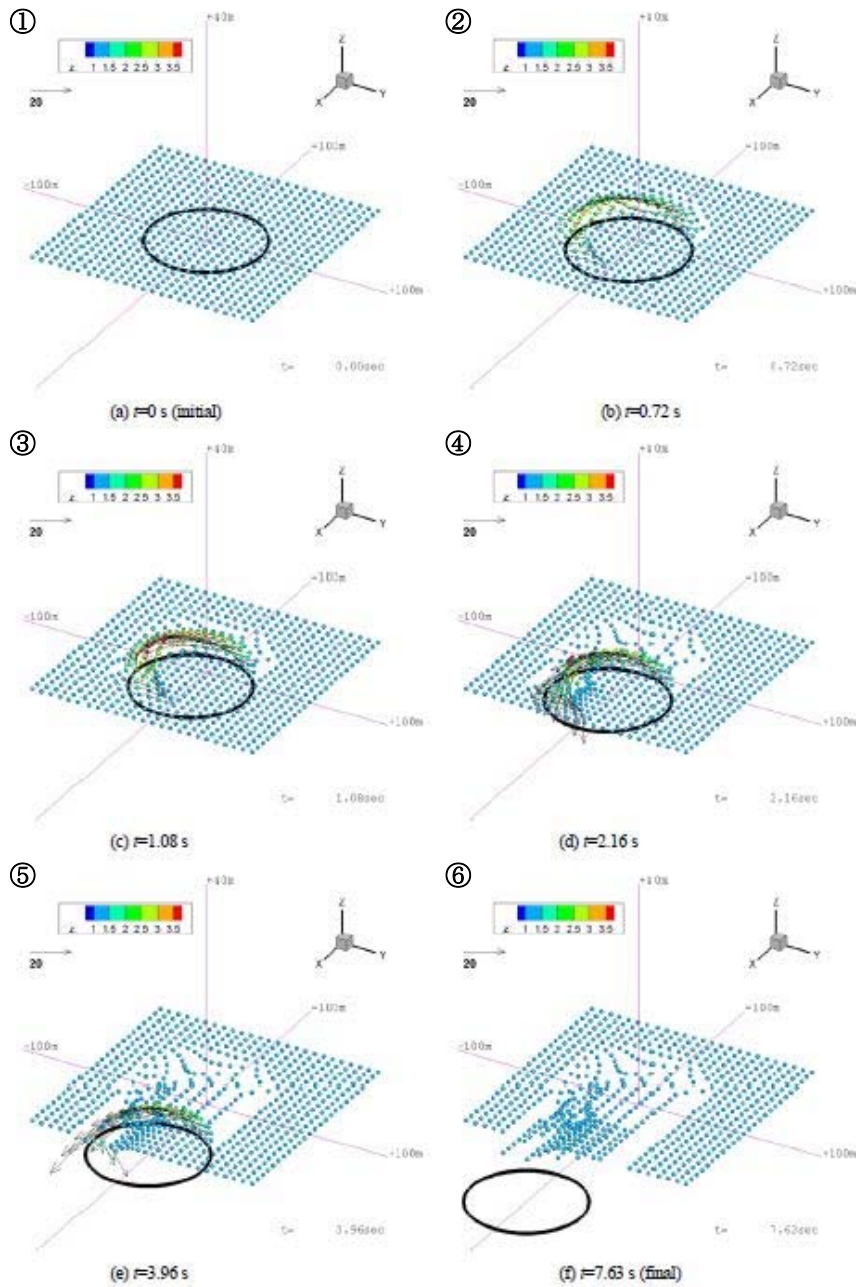
### 5.3 飛散解析手法まとめ

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<sup>(2,3)</sup>

(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、F 2相当の風速（69m/s）でも大きく飛散することになり、フジタスケールの定義との比較からは過度に保守的な結果となる。

第6.1-1表 フジタスケールによる自動車の被災分類<sup>(24)</sup>

フジタスケール	風速(m/s)	自動車の被災状況
F 2	50~69	cars blown off highway (自動車が道路から逸れる。)
F 3	70~92	cars lifted off the ground (自動車が地面から浮上する。)
F 4	93~116	cars thrown some distances or rolled considerable distances (自動車がある距離を飛ばされる、またはかなりの距離を転がる。)

第 6.1-2 表 フジタモデルによる自動車 ( $C_D A/m=0.0052\text{m}^2/\text{kg}$ ) の

飛散評価結果<sup>(25)</sup>

フジタ スケール	竜巻の 最大水平風速 (m/s)	竜巻の 接線風速 (m/s)	竜巻の 移動速度 (m/s)	計算結果		
				最大水平速度 (m/s)	飛散距離 (m)	飛散高さ (m)
F 2	69	59	10	1.0	1, 4	0
F 3	92	79	13	23	34	1.1
F 4	116	99	17	42	59	3.1

## 6.2 米国 Grand Gulf 原子力発電所への竜巻来襲事例との比較

1978 年 4 月 17 日に、米国のミシシッピ州にて建設中の Grand Gulf 原子力発電所に F 3 の竜巻が来襲した。主な被害として、建設中の冷却塔内部に設置されていたクレーンが倒壊し、冷却塔の一部が破損したことが挙げられる。また、竜巻によりトレーラー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 F 2 であったと考えられている。このパイプはコンクリート・石綿製で、長さは 8 フィート、直径（内径）は 8 インチであった。このパイプの飛散状況に対して、フジタモデル及びランキン渦モデルを風速場として用いた飛散解析を行った<sup>(25)</sup>。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）は浮上せずには転倒し、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<sup>(26)</sup>

第 6.2-1 表 Grand Gulf 原子力発電所のパイプ飛散解析条件<sup>(25)</sup>

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 <sup>3</sup>
	飛行定数 (C <sub>D</sub> A/m)	0.0080 m <sup>2</sup> /kg
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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<sub>m</sub>, +2R<sub>m</sub>]) に等間隔配置。</li> <li>・ 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)</li> </ul>	

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<sup>(25)</sup>

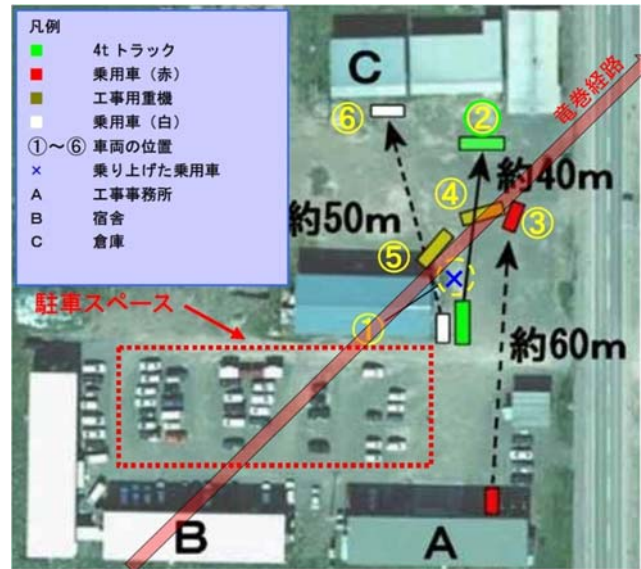
風速場モデル	初期 物体高さ	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度
フジタモデル	1 m (地上)	1.2 m	0.0 m	4.9 m/s
ランキン渦モデル	1 m <sup>※1</sup>	42.6 m	0.34 m	30.7 m/s
	40 m	227 m		40.9 m/s

※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<sup>(27)</sup>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<sup>(27)</sup>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<sup>(27)(28)</sup>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<sup>(16)</sup>

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<sup>(2 5)</sup>

竜巻条件	竜巻の最大風速	92 m/s <sup>※1</sup>
	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 <sup>※2</sup>	8.1 m
	車両幅 <sup>*</sup>	2.24 m
	車両高さ <sup>*</sup>	2.5 m
	車両重量	4000 kg
	飛行定数 (C <sub>D</sub> A/m)	0.0056 m <sup>2</sup> /kg
初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物体個数：1 台</li> <li>・設置高さ：0 m (地上)</li> <li>・「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</li> </ul>	

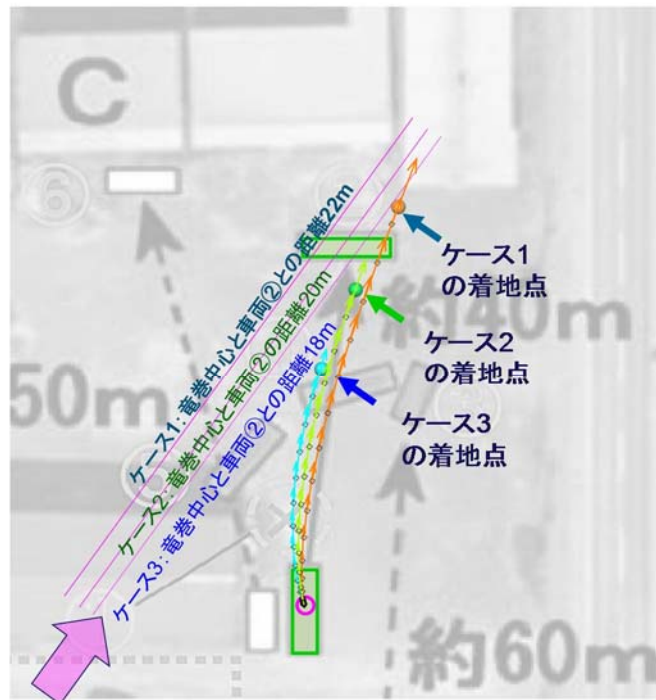
※1：佐呂間竜巻のフジタスケール (F 3) に基づく。

※2：車種不明のため、三菱ふそう PA-FK71D を仮定。



第 6.3-2 表 佐呂間竜巻による 4t トラックの飛散解析結果

ケース	車両と竜巻中心との距離	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度
1	22 m	45.4 m	2.8 m	25.8 m/s
2	20 m	35.5 m	2.3 m	22.2 m/s
3	18 m	25.9 m	1.7 m	18.8 m/s



第 6.3-2 図 フジタモデルによる 4t トラックの飛散解析結果

(文献<sup>(27)</sup>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 <sup>※2</sup>	4.4 m
	車両幅 <sup>※</sup>	1.7 m
	車両高さ <sup>※</sup>	1.5 m
	飛行定数（ $C_D A/m$ ）	0.0097 m <sup>2</sup> /kg
初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 物体個数：1 台</li> <li>・ 設置高さ：0 m（地上）</li> <li>・ 「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</li> </ul>	

※1：佐呂間竜巻のフジタスケール（F 3）に基づく。

※2：車種不明のため，トヨタカローラを仮定。

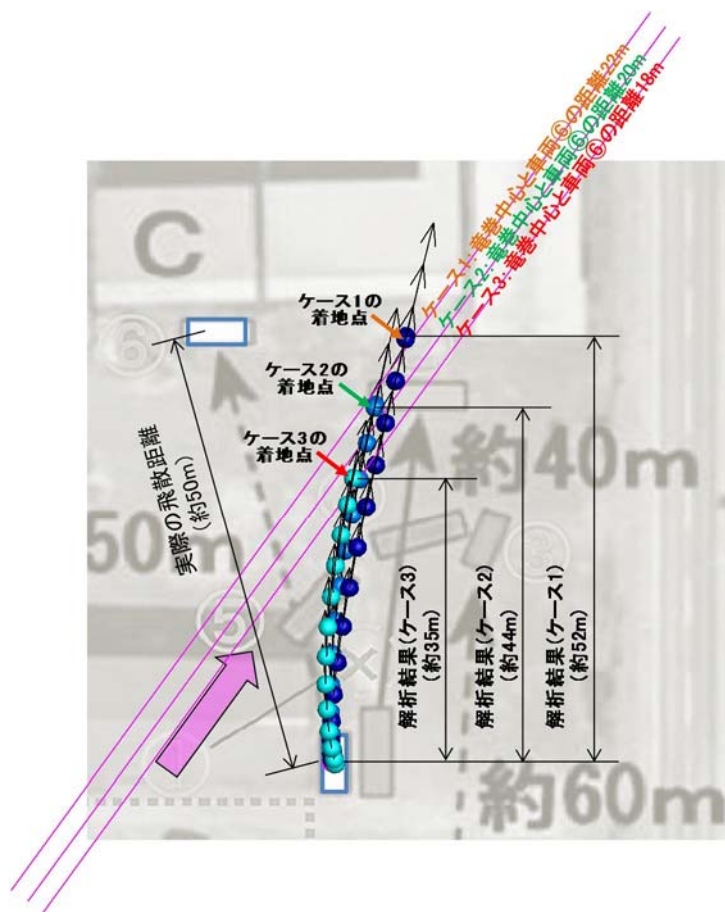
乗用車と竜巻中心との距離を 18m, 20m 及び 22m とした場合の解析結果を，第 6.3-4 表及び第 6.3-3 図に示す。飛散距離については，ケース 1 でおおむね合致している。

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<sup>(23)</sup>

(別文献<sup>(28)</sup>の写真に軌跡を加筆)

(2) 今回の飛散解析手法による検証

ここでは、今回の飛散解析手法で、前述の佐呂間竜巻における 4t トラック及び乗用車の被災事例を評価し、実際の被災状況（飛散距離等）と比較する。

a. 4tトラックの飛散解析

解析条件について第 6.3-5 表に示す。竜巻条件としては、最大風速を 92m/s とし、その他の特性量については、竜巻影響評価ガイドに例示されている方法に従い、移動速度  $V_{tr}$  を 14m/s（最大風速の 15%）、竜巻コア半径  $R_m$  を 30m とした。

第 6.3-5 表 今回の飛散解析手法に基づく計算条件

竜巻条件	設計竜巻風速	92 m/s
	最大接線風速	78 m/s
	移動速度	14 m/s
	コア半径	30 m
飛来物条件	トラック（第 6.3-1 表）に同じ	
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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 (<math>x, y = [-2R_m, +2R_m]</math>) に等間隔配置。</li> <li>・設置高さ：0 m（地上）</li> </ul>	

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※ <sup>2</sup>	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※ <sup>1</sup> )	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 <sup>(27)</sup> 、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<sup>(28)(29)</sup>

## 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※ <sup>2</sup>	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※ <sup>1</sup> ）	269.6 m	39.4 m	49.6 m/s
	40 m	305.8 m		
実際の被災状況	0 m（地上）	約50 m	—	—

※1：比較のため、フジタモデルと同条件とした。

※2：初期物体高さからの飛散（浮上）高さ。

## 7. 飛散以外の挙動に対する考慮

前節までで、飛来物の竜巻による挙動のうち、飛散に関する評価手法について説明をしたが、実際の竜巻による飛来物の挙動としては、飛散だけではなく横滑りや転がりが発生することも考えられる。

本節では、横滑りや転がりの影響について、以下2点に分けて考察する。

- ・ 飛散する物体における横滑りや転がりの影響
- ・ 飛散しない物体における横滑りや転がりの影響

### (1) 飛散する物体における横滑りや転がりの影響

「5.2 物体が受ける風速における保守性の考慮」に記載の通り、本検討においては、竜巻を直上に発生させる方法を採用していることから、実際には

横滑りや転がりを伴い移動する物体も強制的に高速域に配置され、浮上をして飛散することになる。この場合、空中では地面の摩擦力を受けないため、実際に比べて大きな水平速度が得られることになる。

また、浮上後に地面に衝突する場合は、運動エネルギーの大部分は物体や地面の変形、破損等で消費されることから、落下後の横滑りや転がりによる移動距離は実際には小さいものと考えられる。

「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較」における飛散した4tトラックや乗用車は、実際には飛散だけではなく横滑りや転がりを伴ったものと考えられるが、飛散解析より得られた飛散距離や最大水平速度は、実際の被災状況よりも保守的な評価となっていることから、飛散過程における不確実性を裕度として包含している。

## (2) 飛散しない物体における横滑りや転がりの影響

飛散しない物体においても、竜巻による風荷重が静止摩擦力より大きい場合には、横滑りをする。また、横滑りをしない場合でも、風荷重によるモーメントが自重のモーメントよりも大きい場合には転がることになる。このように、竜巻により横滑りや転がりが生じる場合には、地面での摩擦力の影響を受けながら移動することから、移動距離や水平速度は十分に小さいものと考えられる。

また、物体と竜巻防護施設の間に障害物となるフェンス等がある場合には、横滑りや転がった物体が竜巻防護施設に到達することは阻止される。

以上より、飛散しない物体が、障害物の影響を受けずに、横滑りや転がりによって竜巻防護施設と衝突することが想定される場合については、横滑りや転がった物体の影響が設計飛来物の影響に包含されることを確認し、包含されない場合には固縛等の措置を実施する。固縛等の措置に当たっては、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の防護対策の範囲や強度について、適切な保守性を確保した上で実効性の高い竜巻防護対策を実施することが可能になると考えられる。

評価全体として一定の保守性を確保しつつ、適切な竜巻対策によりプラント全体の安全性を向上させるため、竜巻影響評価における物体の浮上、飛散評価については、フジタモデルを適用することとする。

<参考文献>

---

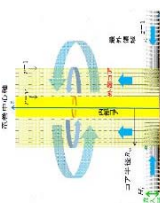
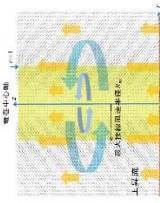
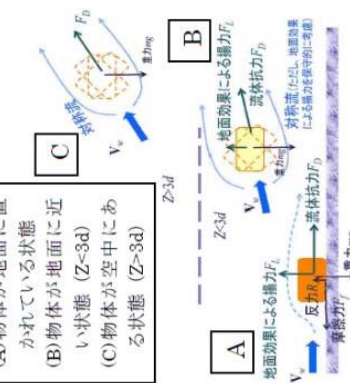
- (1) U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.76: Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1, March 2007.
- (2) Simiu, E. and Cordes, M., Tornado-Borne Missile Speeds, NBSIR 76-1050, 1976.
- (3) 東京工芸大学 (2011) : 平成21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構
- (4) Fujita, T. T., Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications, U. Chicago, 1978.
- (5) Karen A. Kosiba and Joshua Wurman, 2013: The Three-Dimensional Structure and Evolution of a Tornado Boundary Layer. *Wea. Forecasting*, 28, 1552-1561.
- (6) 数値的に生成された竜巻状の渦の性質, 平成 2 1 年度京都大学防災研究所研究発表要
- (7) Maruyama, T., Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol.99(4), pp.249-256, 2011.
- (8) U.S. Department of Energy, Natural Phenomena Hazards Design and Evaluation Criteria for Department of Energy Facilities, OE-STD-1020-2002, 2002.  
(<http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0302/ML030220224.pdf>)

- 
- (9) Malaeb, D. A., Simulation of tornado-generated missiles. M.S. thesis, Texas Tech University, 1980
- (10) P.-H. Luan, Estimates of Missile Speeds in Tornadoes, M.S. thesis, Texas Tech University, 1987.
- (11) J. R. McDonald, Rationale for Wind-Borne Missile Criteria for DOE facilities, UCRL-CR-135687, Lawrence Livermore National Laboratory, 1999.  
(<https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/236459.pdf>)
- (12) McDonald, J. R., T. Theodore Fujita: His contribution to tornado knowledge through damage documentation and the Fujita scale. Bull. Amer. Meteor. Soc., 82, pp.63-72, 2001
- (13) NUREG-1827 Safety Evaluation Report for the National Enrichment Facility in Lea County, New Mexico (Docket No. 70-3103)
- (14) 江口讓, 杉本聡一郎, 服部康男, 平口博丸, 竜巻による物体の浮上・飛来解析コードTONBOSの開発, 電力中央研究所 研究報告N14002, 2014.
- (15) EPRI, Wind field and trajectory models for tornado-propelled objects, report NP-2898, 1978.
- (16) Schmidlin, T., B. Hammer, P. King, Y. Ono, L. S. Miller, and G. Thumann, 2002: Unsafe at any (wind) speed? Testing the stability of motor vehicles in severe winds. Bull. Amer. Meteor. Soc., 83, 1821-1830.
- (17) 林建二郎・大井邦昭・前田稔・斉藤良, 開水路中に水没設置された立方体及び棧粗度の流体力, 土木学会論文集B1(水工学) Vol. 67, No. 4, I\_1141-I\_1146, 2011.

- 
- (18) 松宮央登, 中岡宏一, 西原 崇, 木村吉郎: 太陽光発電パネルに作用する空気力の地面効果に関する風洞実験, 構造工学論文集, Vol. 60A, pp. 446-454, 2014.
- (19) M.R. Ahmed, S.D. Sharma, An investigation on the aerodynamics of a symmetrical airfoil in ground effect, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 29, pp. 633-647, 2005.
- (20) 山本晃一, 林建二郎, 関根正人, 藤田光一, 田村正秀, 西村晋, 浜口憲一郎, 護岸ブロックの抗力・揚力係数, 及び相当粗度の計測方法について, 水工学論文集, 第44 巻, pp1053~1058, 2000.
- (21) 江口 讓, 西原 崇, 水流動試験による電線の風荷重低減化のメカニズム解明, 電力中央研究所 研究報告U96050, 1997.
- (22) Lei, C., Cheng, L. and Kavanagh, K., Re-examination of the effect of a plane boundary on force and vortex shedding of a circular cylinder, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 80, pp. 263-286, 1999.
- (23) 江口讓, 杉本聡一郎, 服部康男, 平口博丸, 原子力発電所での竜巻飛来物速度の合理的評価法(Fujita の竜巻モデルを用いた数値解析コードの妥当性確認),
- (24) Fujita, T. T., 1971: Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. SMRP Research Paper 91, University of Chicago, Chicago, IL, 42 pp
- (25) 日本保全学会 原子力規制関連事項検討会, 2015: 軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速および飛来物速度の設定に関するガイドライン(JSM-NRE-009)

- 
- (26) Fujita, T. T., and J. R. McDonald, Tornado damage at the Grand Gulf, Mississippi nuclear power plant site: Aerial and ground surveys, U.S. Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR-0383, 1978.
- (27) 札幌管区気象台:平成18年11月7日から9日に北海道(佐呂間町他)で発生した竜巻等の突風. 災害時気象調査報告, 災害時自然現象報告書, 2006年第1号, 2006.
- (28) 奥田泰雄, 喜々津仁密, 村上知徳, 2006年佐呂間町竜巻被害調査報告. 建築研究所災害調査, 46, 2006.
- (29) 土木学会 平成18年11月北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査報告書

「フジタモデル」及び「ランキン渦モデル」並びに「それぞれの風速場モデルを用いた際の飛散解析手法」の比較

<p>モデルの概要</p>	<p>フジタモデル (及び同モデルを用いた飛散解析手法)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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</li> <li>• 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</li> <li>• 風速分布が高さによって変化する</li> <li>• 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</li> </ul> 	<p>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)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現</li> <li>• 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。</li> <li>• (文献※)に基づく</li> <li>• 上昇流は全領域に存在</li> <li>• 風速分布が高さによって変化せず一様となる</li> <li>• 米国NRC Regulatory Guide 1.76にて採用</li> </ul> 												
<p>風速場モデル</p>	<p>メリット</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 風速場をよく表現できている</li> <li>• 風速場が複雑になるが、近年の計算機能力の向上により実現可能</li> </ul> <p>デメリット</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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。</li> </ul> <p>特になし。</p> <p>(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により実現可能)</p> <table border="1" data-bbox="590 1478 686 1814"> <tr> <td>竜巻の移動速度 <math>V_T</math></td> <td>15 (m/s)</td> </tr> <tr> <td>最大接線風速 <math>V_{tm}</math></td> <td>85 (m/s)</td> </tr> <tr> <td>最大接線風速半径 <math>R_m</math></td> <td>30 (m)</td> </tr> </table> <p>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</p> <p>Fujitaにより提案された経験式より算出</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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</li> <li>• その他の定数についても、Fujitaにより提案された値を採用</li> </ul>	竜巻の移動速度 $V_T$	15 (m/s)	最大接線風速 $V_{tm}$	85 (m/s)	最大接線風速半径 $R_m$	30 (m)	<p>• 簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現可能</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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。</li> <li>→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。</li> </ul> <table border="1" data-bbox="590 604 686 940"> <tr> <td>竜巻の移動速度 <math>V_T</math></td> <td>15 (m/s)</td> </tr> <tr> <td>最大接線風速 <math>V_{tm}</math></td> <td>85 (m/s)</td> </tr> <tr> <td>最大接線風速半径 <math>R_m</math></td> <td>30 (m)</td> </tr> </table> <p>評価ガイドの値や式より算出</p>	竜巻の移動速度 $V_T$	15 (m/s)	最大接線風速 $V_{tm}$	85 (m/s)	最大接線風速半径 $R_m$	30 (m)
竜巻の移動速度 $V_T$	15 (m/s)													
最大接線風速 $V_{tm}$	85 (m/s)													
最大接線風速半径 $R_m$	30 (m)													
竜巻の移動速度 $V_T$	15 (m/s)													
最大接線風速 $V_{tm}$	85 (m/s)													
最大接線風速半径 $R_m$	30 (m)													
<p>飛散解析手法</p> <p>物体の浮上、飛散モデル</p> <p>竜巻が物体に与える速度に関する設定</p>	<p>《物体の浮上、飛散モデル》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 地面の存在により物体上面と下面の流れが非対称となることにより物体上面による揚力 (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</li> <li>• 《抗力係数 <math>C_{DA}</math>》</li> <li>• 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</li> <li>• 《揚力係数 <math>C_{LA}</math>》</li> <li>• 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)</li> </ul>  <p>フジタモデルの場合の飛来物の運動モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 竜巻内の物体の場所依存性 (風速場における竜巻速度の不均一性) 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</li> <li>• 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</li> </ul>	<p>《物体の浮上、飛散モデル》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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</li> <li>• 《抗力係数 <math>C_{DA}</math>》</li> <li>• 高さ方向全領域で、フジタモデルと同じ値を用いる。</li> <li>• 《揚力に関するパラメータ》</li> <li>• 設定なし (全域について抗力係数で評価)</li> </ul> <p>ランキン渦モデルの場合の飛来物の運動モデル</p> <p>同左</p>												

※ : 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)

## 東海第二発電所における竜巻風速場モデルの適用方針

東海第二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

東海第二発電所は敷地近傍に一般道や他事業者の施設等があり、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



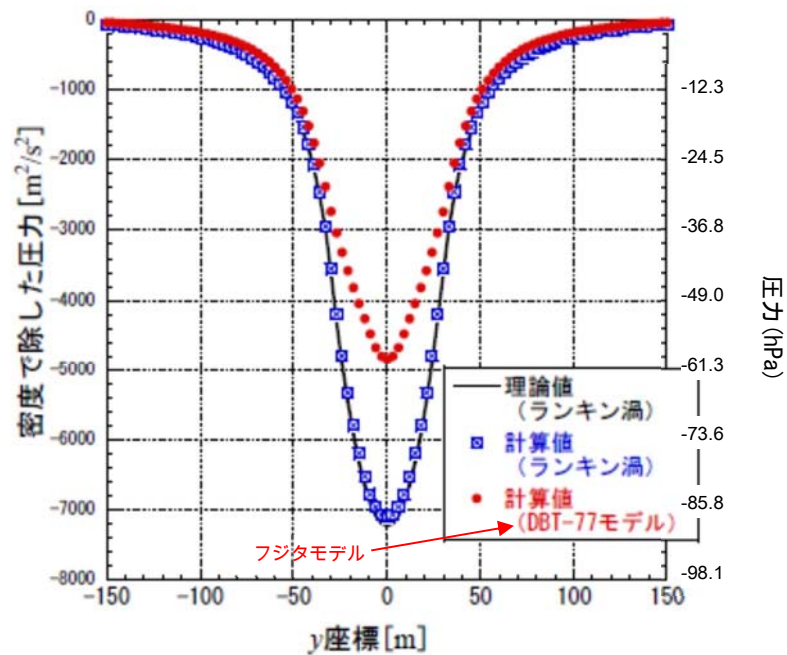
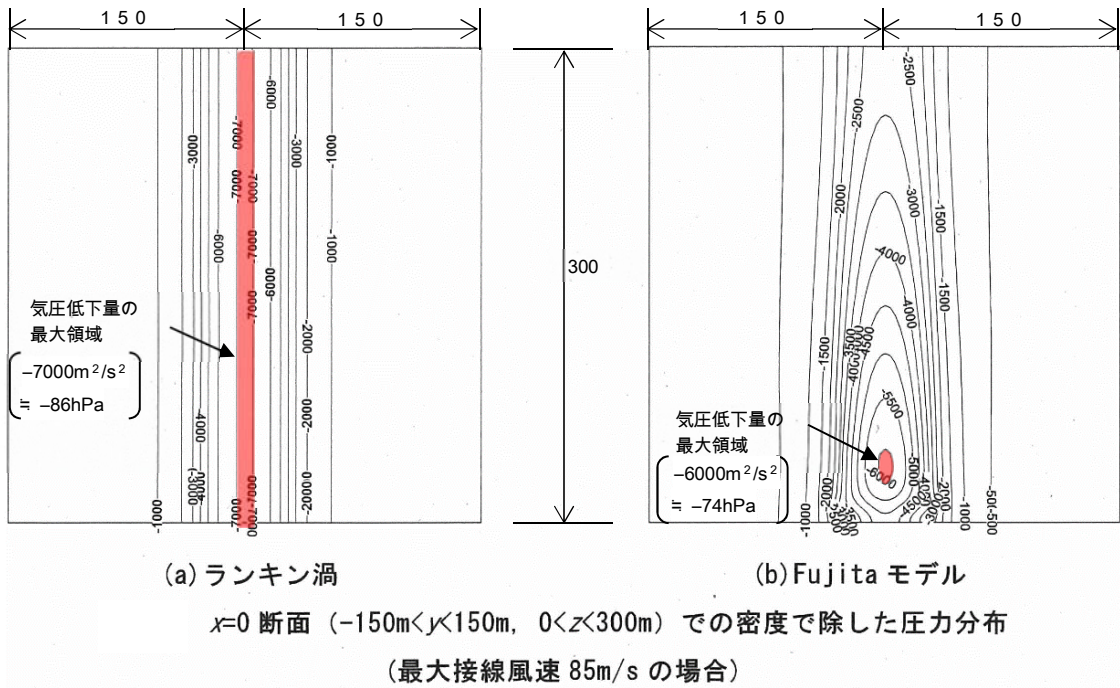
別表 2-1 東海第二発電所と先行審査プラントにおける竜巻風速場モデルの適用状況

設計荷重設定要素	荷重設定への適用			竜巻風速場モデルの適用		備考	
	W <sub>w</sub>	W <sub>p</sub>	W <sub>m</sub>	( <span style="background-color: #90EE90;"> </span> ): フジタモデル, ( <span style="background-color: #FFDAB9;"> </span> ): ランキン渦モデル)			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><span style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span>: 風速場モデルに無関係</p> <p><span style="background-color: #FFDAB9; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span>: 風速場モデルの影響あり</p> </div> <div style="width: 45%; border-left: 1px solid black; padding-left: 5px;"> <p>東海第二</p> </div> </div>					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】		
	最大接線風速 V <sub>Rm</sub>	○ (○)	○	○	85m/s	85m/s	
	竜巻の移動速度 V <sub>T</sub>	○	○	○	15m/s	15m/s	
	最大接線風速半径 R <sub>m</sub>		○	○	30m	30m	
	最大気圧低下量 ΔP <sub>max</sub> 最大気圧低下率 (dp/dt) <sub>max</sub>		○	○	89hPa*1 45hPa/s**2	89hPa 45hPa/s	
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。 ・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	
飛散解析に関する設定	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)		
	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)	
	流入層高さ H <sub>i</sub>		○	15m	—	(ランキン渦は V <sub>Rm</sub> , R <sub>m</sub> だけで決まる)	

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。



竜巻中心軸断面での密度で除した圧力分布 (最大接線風速  $85\text{m/s}$  の場合)

別図 2—1 設計竜巻 (最大接線風速  $V_{Rm} : 85\text{m/s}$ ) における圧力分布

(文献<sup>(1)</sup>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

# 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ぬ。

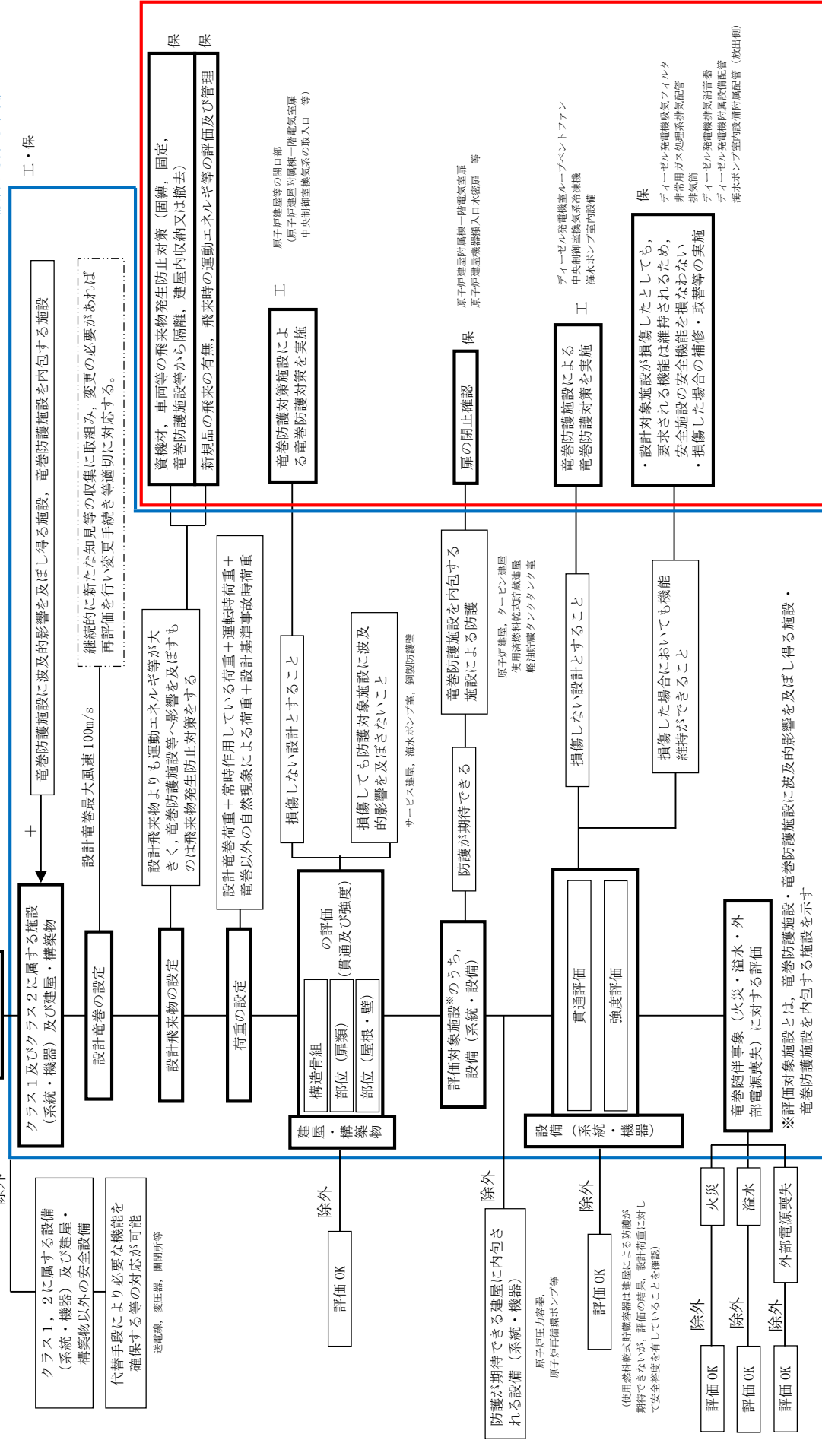
2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ。

安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならぬ。

重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ。

・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ければならない。

添付六、八への反映事項  
（設計に関する事項）



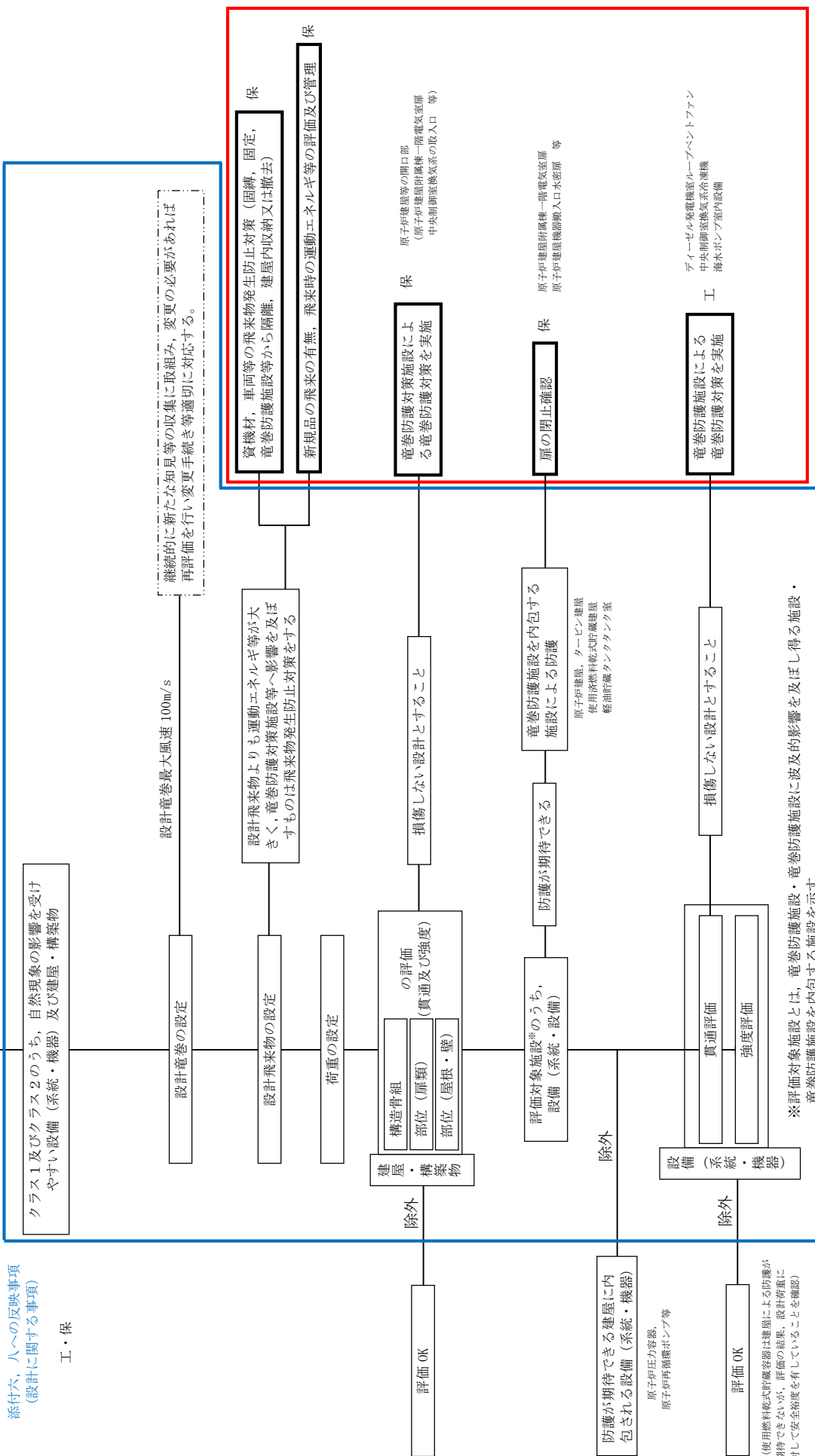
添付六、八への反映事項  
（手順に関する事項）

【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もの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はない

添付六、八への反映事項  
(設計に関する事項)  
工・保



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、車両等の管理 資機材、車両等の飛来物発生防止対策（固縛、固定、竜巻防護施設等からの隔離、建屋内収納又は撤去）	運用・手順    体制  保守・点検  教育・訓練	<p>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ーを評価し、竜巻防護施設への影響の有無を確認する。竜巻防護施設への影響を及ぼす資機材、車両等については、固縛、固定、竜巻防護施設等からの隔離、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。</p> <p>・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ー等による飛来物発生防止対策（固縛、固定、竜巻防護施設等からの隔離、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</p> <p>・担当室による保守・点検の体制</p> <p>・日常点検 ・定期点検 ・損傷時の補修</p> <p>・運用・手順、体制、保守・点検に関する教育</p>

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	竜巻防護施設を防護するための操作・確認事項	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後において、竜巻防護施設を防護するための操作・確認、補修等が必要となる事項について手順等を定める。 <ul style="list-style-type: none"> <li>[操作・確認事項] <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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）</li> <li>・ 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）</li> <li>・ 竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業の運用，手順</li> <li>・ 水密扉（原子炉建屋機器搬入口水密扉）及び，防護扉（原子炉建屋附属棟一階電気室扉）の閉止確認手順</li> </ul> </li> <li>[補修] <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
		体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 担当室による作業中止等の実施体</li> <li>・ 担当室による扉閉止確認耐性制</li> <li>・ 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</li> <li>・ 担当室による保守・点検の体制</li> <li>・ 担当室による損傷箇所への補修体制</li> </ul>
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 日常点検</li> <li>・ 定期点検</li> <li>・ 損傷時の補修</li> </ul>
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運用・手順，体制，保守・点検に関する教育</li> </ul>