

補足-018-03 竜巻への配慮に関する説明書に係る補足説明資料

補足説明資料目次

I. はじめに

1. 設計竜巻の最大風速 92m/s の設定
2. 外部事象防護対象施設の選定
3. 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設の選定
4. 建物開口部の調査結果
5. 飛来物の選定
6. 砂利等の極小飛来物による外部事象防護対象施設への影響
7. 屋外の重大事故等対処設備の竜巻防護設計
8. 竜巻影響評価の風速場モデルの適用
9. 消音器並びに排気管及びベント管における設計飛来物の影響

I. はじめに

本補足説明資料は、以下の説明書についての内容を補足するためのものである。

本補足説明資料と添付書類との関係を表1に示す。

- ・ VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、
VI-1-1-3-3「竜巻への配慮に関する説明書」

表1 補足説明資料と添付書類との関連

工事計画添付書類に係る補足説明資料（竜巻）		該当添付書類	
添付 竜巻への配慮に関する説明書に係る補足説明資料		VI-1-1-3-3 竜巻への配慮に関する説明書	
1	設計竜巻の最大風速 92m/s の設定	VI-1-1-3-3-1 竜巻への配慮に関する基本方針	
2	外部事象防護対象施設の選定	VI-1-1-3-3-1 竜巻への配慮に関する基本方針	
3	外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性のある施設の選定	VI-1-1-3-3-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定	
4	建物開口部の調査結果		
5	飛来物の選定		
6	砂利等の極小飛来物による外部事象防護対象施設への影響	VI-1-1-3-3-3 竜巻防護に関する施設の設計方針	
7	屋外の重大事故等対処設備の竜巻防護設計		
8	竜巻影響評価の風速場モデルの適用	VI-1-1-3-3-1 竜巻への配慮に関する基本方針	
9	消音器並びに排気管及びベント管における設計飛来物の影響	VI-1-1-3-3-3 竜巻防護に関する施設の設計方針	

1. 設計竜巻の最大風速 92m/s の設定

1. 設計竜巻の最大風速 92m/s の設定

1.1 概要

基準竜巻及び設計竜巻の設定は、図 1.1-1 に示すとおり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。

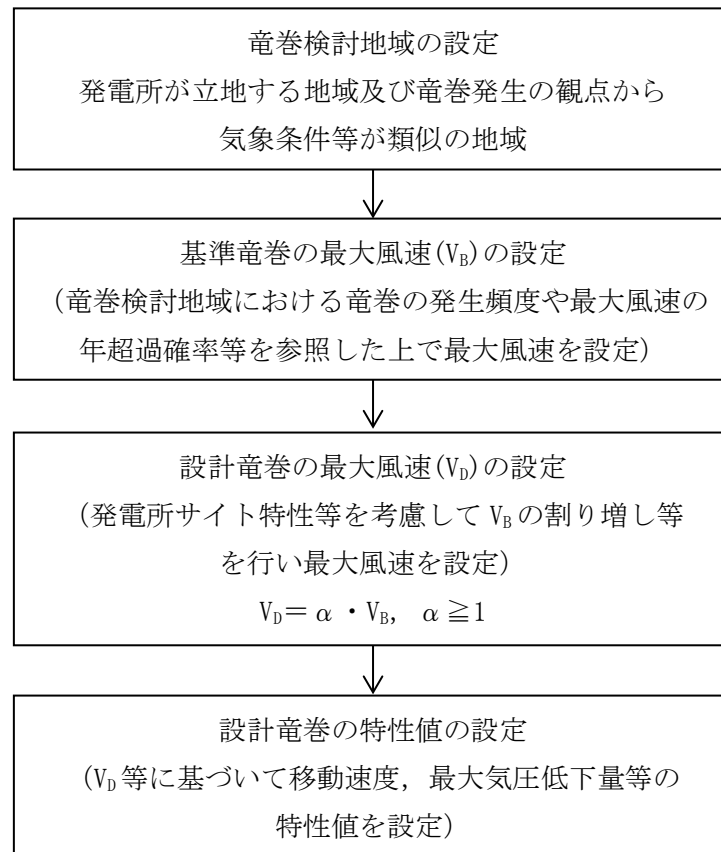


図 1.1-1 基準竜巻・設計竜巻の設定に係る基本フロー

1.2 竜巻検討地域の設定

島根原子力発電所に対する竜巻検討地域について、ガイドを参考に、島根原子力発電所が立地する地域と気象条件の類似性の観点で検討を行い、図 1.2-1 に示すとおり北海道から山陰地方にかけての日本海沿岸の海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲を竜巻検討地域に設定した（面積約 33395km²）。以下にその妥当性確認の結果を示す。

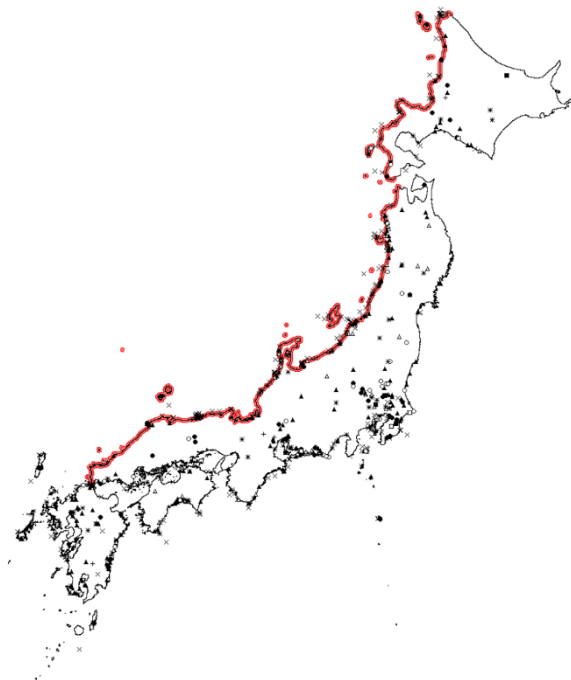


図 1.2-1 竜巻検討地域（赤線部）

1.2.1 竜巻検討地域の妥当性確認

竜巻検討地域の妥当性について、以下の観点から確認を実施した。

- (1) 総観場の分析に基づく地域特性の確認
- (2) 過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認
- (3) 突風関連指数に基づく地域特性の確認

独立行政法人原子力安全基盤機構（以下「JNES」という。）「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」の考え方にに基づき、竜巻発生要因となる気象条件（総観場）を確認する観点から、(1)、(2)の分析により地域特性を確認し、竜巻検討地域を設定した。

また、一般的に大気現象は時空間スケールの階層構造が見られ、ある大気現象はスケールの小さな現象を内包しているため、大きな竜巻の発生要因となる環境場の形成のし易さを把握する観点から、(3)の分析により竜巻の発生スケールに近いメソスケールの気象場が有する地域性と齟齬がないことについても確認した。竜巻とその関連気象の時空間スケールを図 1.2.1-1 に、検討の流れを示したフローを図 1.2.1-2 に示す。

なお、(3)の突風関連指数を用いた分析は、“大きな竜巻の発生に対する大気場の必要条件”を把握する上で有効であることを踏まえ、(3)の分析結果のみで竜巻検討地

域を設定するのではなく、(1)、(2)の分析により設定した竜巻検討地域の妥当性を確認するために用いている。

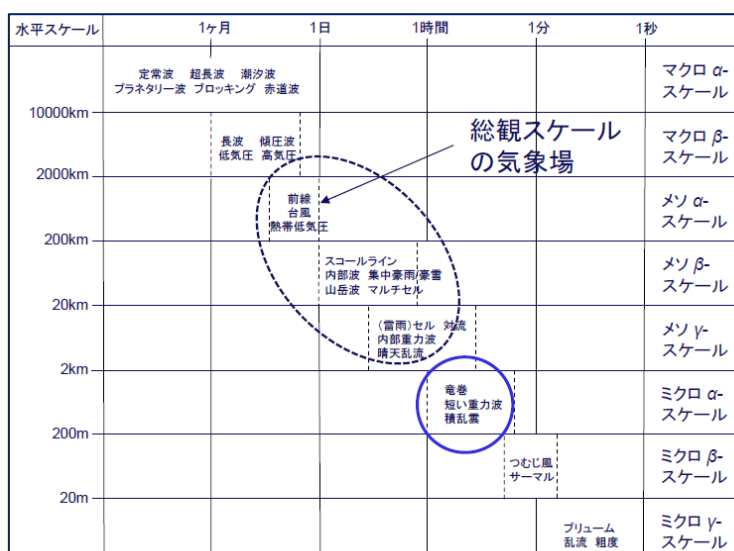


図 1.2.1-1 竜巻とその関連気象の時空間スケール*

注記*: 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及び飛来物速度の設定に関するガイドライン, 日本保全学会, 原子力規制関連事項検討会, 2015

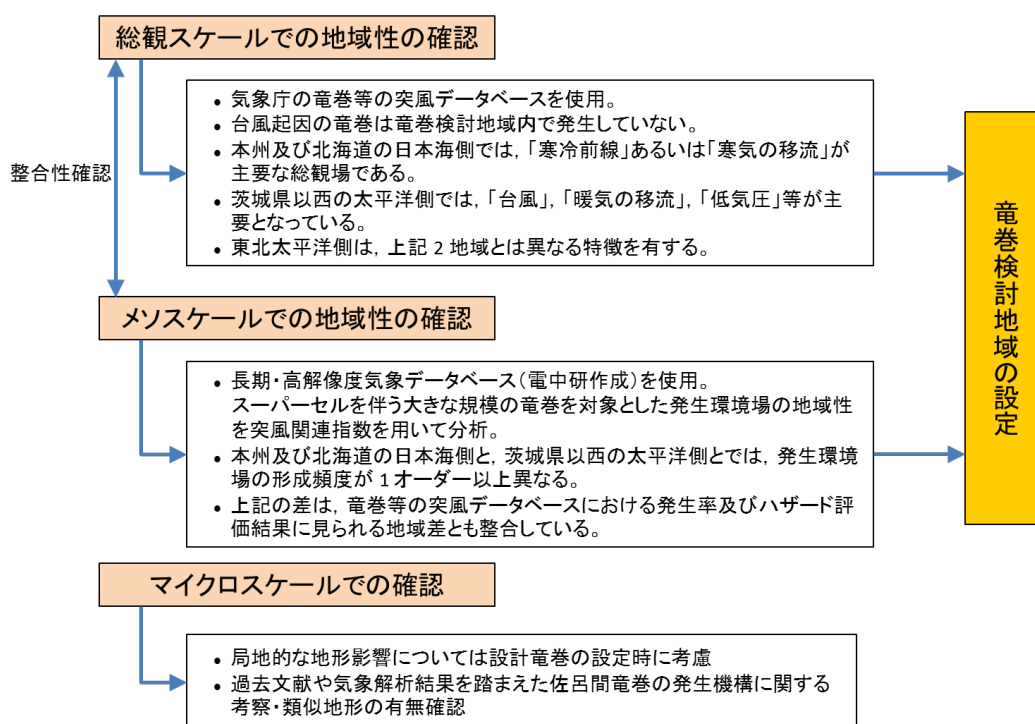


図 1.2.1-2 竜巻検討地域の検討フロー

1.2.2 総観場の分析に基づく地域特性の確認

気象庁「竜巻等の突風データベース」*では、竜巻を発生させた総観場を約40種に分類しているが、JNES「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説」を参考に、竜巻を発生させる親雲の発生要因を考慮して7種に再編し、発生分布の特徴を分析した。表1.2.2-1に総観場の分類法と発生分布の特徴を示す。

また、図1.2.2-1に総観場ごとの竜巻発生地点の分布、図1.2.2-2にF2以上の竜巻発生箇所を示す。

分析の結果、竜巻発生要因となる気象条件の観点で、以下のような地域特性があることを確認した。

- ① 太平洋側では台風起因の大きな竜巻が多く発生しているのに対し、九州を除く日本海側地域や北海道では発生していない。(図1.2.2-1(a))
また、台風は北上するにつれて衰弱しやすい特性を有していることから、仮に台風起因の竜巻が発生した場合も、規模の大きな竜巻の発生可能性は低いと考えられる。
- ② 温帯低気圧や季節風(夏)起因の竜巻は全国で発生しているが、規模的には太平洋側でF3が発生しているのに対し、日本海側ではF2が最大となっている。(図1.2.2-1(b), (c))
- ③ 季節風(冬)起因の竜巻は、九州を除く日本海側地域に多く発生している。規模的には、山陰地方ではF2竜巻が2件発生しているのみで、F3竜巻は発生していない。(図1.2.2-1(d))

図1.2.2-3にも示すとおり、日本海側と太平洋側では竜巻発生要因となる気象条件(総観場)が大きく異なっており、竜巻検討地域を日本海側とすることの妥当性が確認できた。

注記*：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>)

表 1.2.2-1 総観場の分類法

総観場	気象庁竜巻データベースの分類	特徴
台風	台風	台風を取り巻く雲が竜巻を発生させる。関東以西の太平洋側で発生頻度が高く、F3 竜巻も多くみられる。
温帯低気圧	南岸低気圧，日本海低気圧，二つ玉低気圧，東シナ海低気圧，オホーツク海低気圧，その他（低気圧），寒冷前線，温暖前線，閉塞前線	寒気と暖気が接し傾圧不安定による組織的な雲が形成する環境場。主に南からの下層の暖湿流が親雲の発達に重要な働きをするため，暖湿流が山岳等で遮られない関東以西の太平洋側で発生頻度が高く，F3 竜巻も見られる。 日本海側での頻度は比較的低め。
季節風（夏）	暖気の移流，熱帯低気圧，湿舌，太平洋高気圧	暖湿流が主要因で親雲を形成する環境場。 関東以西の太平洋側や内陸で多く確認されている。
季節風（冬）	寒気の移流，気圧の谷，大陸高気圧，季節風	大気上層に寒気が流入することで大気が不安定になり，竜巻の親雲が形成する環境場。寒気は北～西から移流することが多いため，日本海側や関東以北で発生頻度が高い。
停滞前線	停滞前線，梅雨前線，前線帯，不安定線，その他（前線）	南からの暖湿流により親雲が形成されやすく，関東以西の太平洋側や内陸で発生頻度が高い。
局地性	局地性じょう乱，雷雨（熱雷），雷雨（熱雷を除く），地形効果，局地性降水	局地的な循環により親雲が形成する環境場。内陸で発生頻度が高い。
その他	移動性高気圧，中緯度高気圧，オホーツク海高気圧，帯状高気圧，その他（高気圧），大循環異常，その他	上記に当てはまらない環境場。 全体的に個数は少ない。

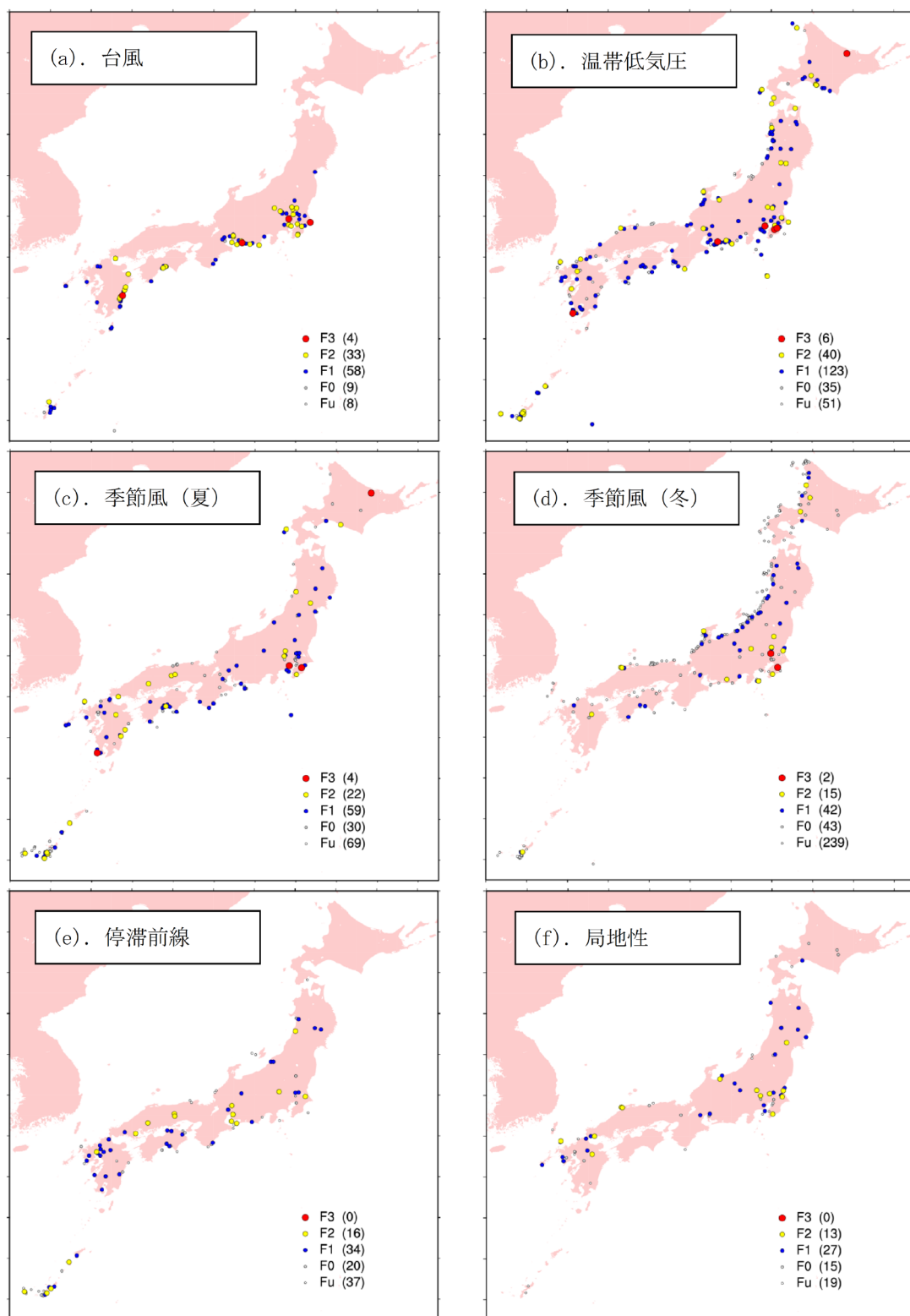


図 1.2.2-1 総観場ごとの竜巻発生地点の分布 (1961 年～2012 年)
(気象庁「竜巻等の突風データベース」をもとに作成)

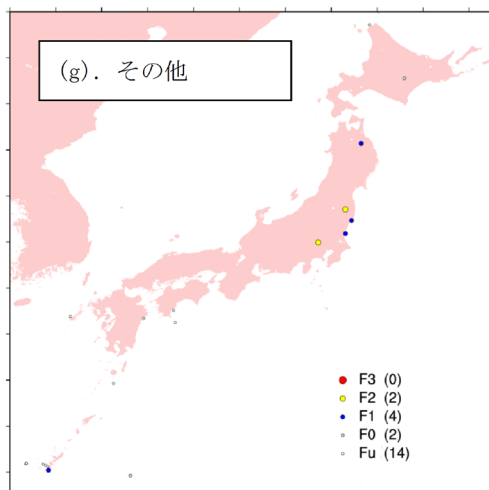


図 1.2.2-1 (続き) 総観場ごとの竜巻発生地点の分布 (1961 年～2012 年)
(気象庁「竜巻等の突風データベース」をもとに作成)

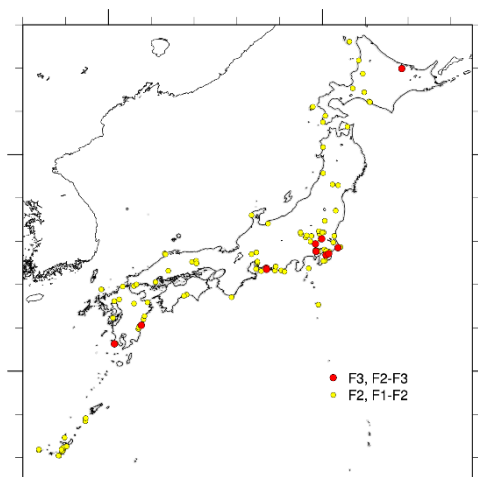
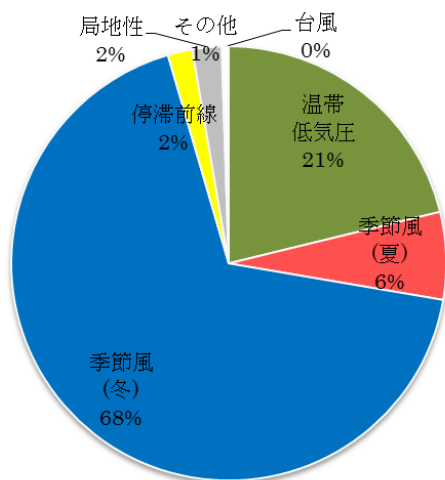
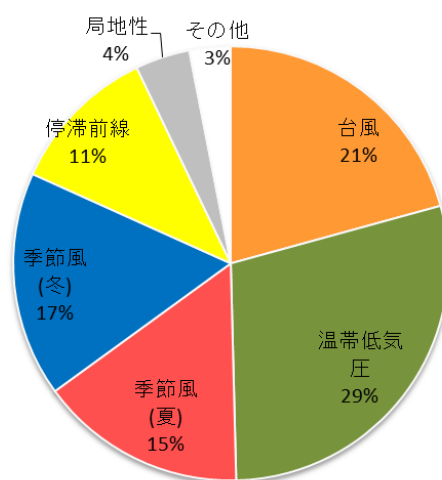


図 1.2.2-2 F2 以上の竜巻発生箇所
(気象庁「竜巻等の突風データベース」をもとに作成)



竜巻検討地域 (日本海沿岸)



太平洋側地域

図 1.2.2-3 竜巻の総観場の特徴の比較

1.2.3 過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認

日本で竜巻が集中する地域については、J N E S「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」に、全国 19 箇所の竜巻集中地域が示されている。

図 1.2.3-1 に示すとおり、島根原子力発電所は、竜巻集中地域⑦（島根県の一部）に立地している。したがって、基本的な考え方としては島根原子力発電所における竜巻検討地域は、この竜巻集中地域⑦とすることが考えられる。

ただし、気象庁「竜巻等の突風データベース」によると、1961 年 1 月から 2012 年 6 月の 51.5 年間に発生が確認された竜巻の個数は竜巻集中地域⑦で 8 個であり、この期間に竜巻集中地域⑦で観測されている最も強い竜巻は藤田スケール（以下「F スケール」という。）で F2 となる。（表 1.2.3-1）

竜巻発生の影響評価の観点からすると、データ数は多い方がよいため、竜巻検討地域として北海道から山陰地方にかけての日本海沿岸を設定し、その妥当性を検討する。

なお、設定した竜巻検討地域の竜巻個数は 192 個、観測された最も強い竜巻は F2 となる。表 1.2.3-2 に竜巻検討地域内での F1 を超える竜巻の観測記録を示す。

竜巻検討地域と竜巻集中地域⑦の竜巻発生確率は、 1.1×10^{-4} 、 1.3×10^{-4} （個/年/ km^2 ）であり、単位面積当たりの竜巻発生数は竜巻集中地域⑦の方がやや大きくなるものの、両者はおおむね同程度である。竜巻集中地域⑦における竜巻は 8 事例とかなり少なく、影響評価を行うにはデータ数が乏しいため、192 個の竜巻個数がある竜巻検討地域を評価対象とすることは妥当な設定である。

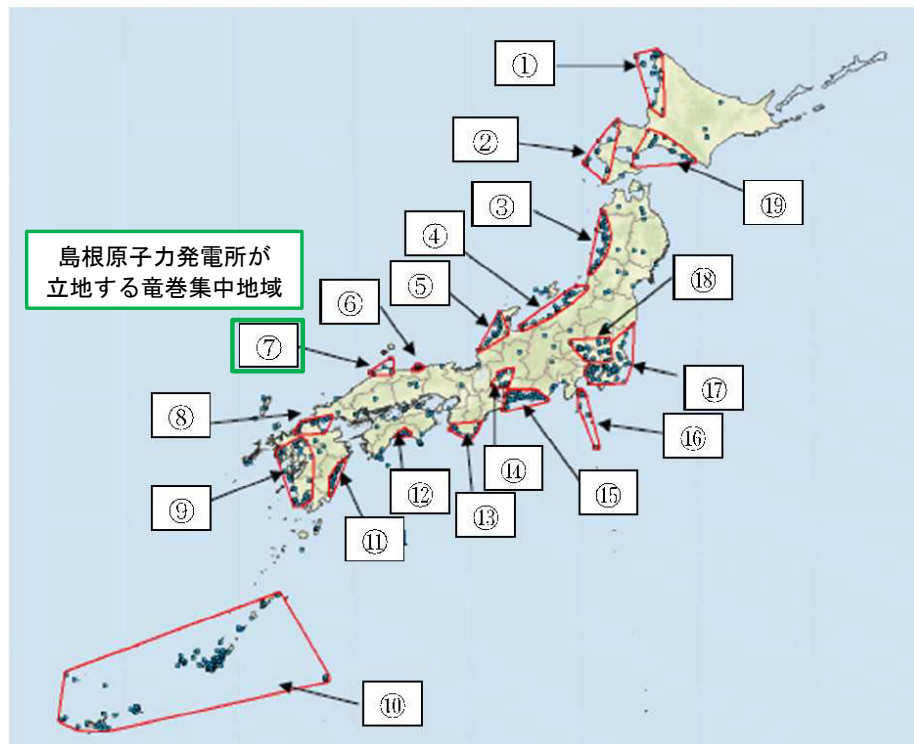


図 1.2.3-1 竜巻の発生地点と竜巻が集中する 19 個の地域
（J N E S「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」より引用）

竜巻の地域特性を検討するため、竜巻集中地域⑦と竜巻検討地域、竜巻集中地域⑦に隣接する竜巻集中地域⑥（鳥取県の一部）における総観場の比較を行った。

図 1. 2. 3-2 に各地域の竜巻発生要因に関する総観場の特徴を示す。

また、表 1. 2. 3-1 に総観場の特徴を示す。

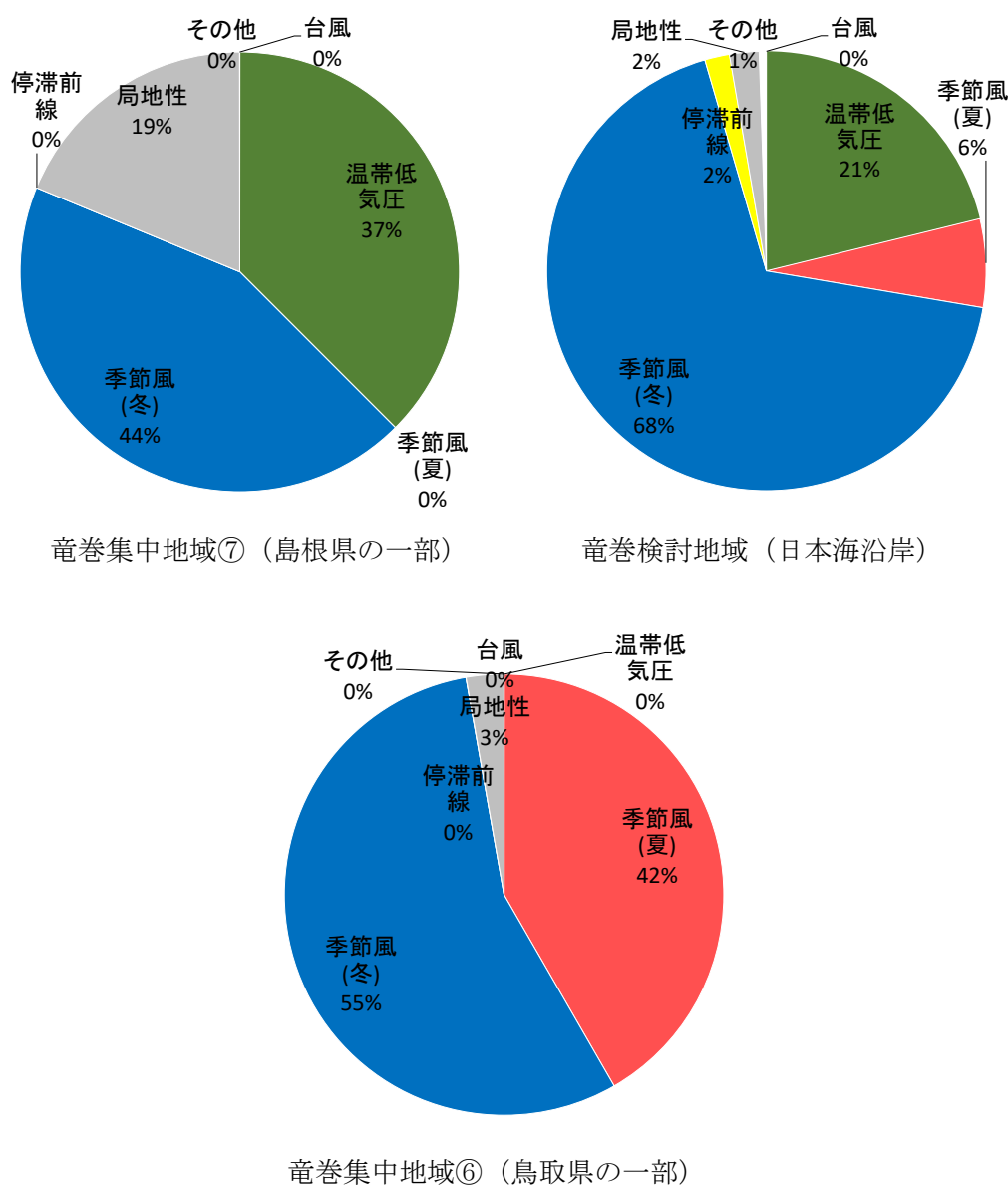


図 1. 2. 3-2 各地域の竜巻発生要因に関する総観場の特徴

竜巻集中地域⑦で発生した竜巻の総観場は,” 季節風(冬)” が 44%,” 温帯低気圧” が 37%を占める。竜巻検討地域では、竜巻集中地域⑦と同様に” 季節風(冬)” と” 温帯低気圧” の比率が高い。これらの地域では、寒気にとまって発生した親雲に起因した竜巻が多いと推測できる。また、両地域とも、太平洋側で多くみられる台風起因の竜巻は今のところ確認されていない。

また、竜巻集中地域⑦に隣接する竜巻集中地域⑥については,” 季節風(夏)” の割合が高いものの,” 季節風(冬)” が竜巻発生の主要因となっている。

以上の分析結果より，北海道から山陰地方にかけての日本海沿岸を竜巻検討地域に設定することは竜巻集中地域における地域特性の観点からも妥当であると考えられる。

表 1.2.3-1 F スケールごとの総観場のまとめ

		個数	総観場 1 位 (比率%)		総観場 2 位 (比率%)		総観場 3 位 (比率%)		主移動方向 (比率%)	
集中地域 ⑦	全体	8	季節風(冬) 44%	温帯低気圧 37%	局地性 19%	南 40%				
	F2	2	季節風(冬) 42%	局地性 42%	温帯低気圧 16%	南 100%				
	F1	4	季節風(冬) 42%	温帯低気圧 42%	局地性 16%	南, 東, 南南 西, 南東: 各 25%				
	F0	1	温帯低気圧 100%	—	—	—				
	F 不明	1	季節風(冬) 100%	—	—	—				
	F1 以上	6	季節風(冬) 42%	温帯低気圧 33%	局地性 25%	南 40%				
	F0 以上	7	温帯低気圧 43%	季節風(冬) 36%	局地性 21%	南 40%				
検討地域	全体	192	季節風(冬) 68%	温帯低気圧 21%	季節風(夏) 6%	東 39%				
	F2	10	温帯低気圧 63%	季節風(冬) 23%	局地性 9%	北東 50%				
	F1	40	温帯低気圧 51%	季節風(冬) 42%	局地性 6%	東 35%				
	F0	24	季節風(冬) 65%	温帯低気圧 27%	停滞前線 4%	東 33%				
	F 不明	118	季節風(冬) 81%	季節風(夏) 9%	温帯低気圧 6%	東 46%				
	F1 以上	50	温帯低気圧 54%	季節風(冬) 38%	局地性 6%	東 30%				
	F0 以上	74	季節風(冬) 47%	温帯低気圧 45%	局地性 5%	東 31%				
集中 ⑥	全体	18	季節風(冬) 55%	季節風(夏) 42%	局地性 3%	東 73%				
太平洋	全体	337	温帯低気圧 29%	台風 21%	季節風(冬) 17%	北東 23%				

表 1.2.3-2 竜巻検討地域における竜巻の観測記録 (F1 より大きい竜巻)
(気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成)

発生日時	発生場所		F スケール*	総観場
	都道府県	市町村		
1962 年 09 月 28 日 14 時 20 分	北海道 宗谷支庁	東利尻町	(F2)	寒冷前線
1971 年 10 月 17 日 05 時 00 分	北海道 留萌支庁	羽幌町	(F2)	寒気の移流
1974 年 10 月 03 日 19 時 05 分	北海道 檜山支庁	奥尻郡奥尻町	(F1～F2)	温暖前線
1974 年 10 月 20 日 15 時 00 分	北海道 檜山支庁	檜山郡上ノ国町	(F1～F2)	寒冷前線
1975 年 05 月 31 日 18 時 10 分	島根県	簸川郡大社町	(F2)	日本海低気圧 局地性 じょう乱 寒気の移流
1975 年 09 月 08 日 01 時 30 分	北海道 檜山支庁	奥尻郡奥尻町	(F1～F2)	日本海低気圧 暖気の 移流
1979 年 11 月 02 日 01 時 58 分	北海道 渡島支庁	松前郡松前町	(F2)	日本海低気圧 温暖前 線
1989 年 03 月 16 日 19 時 20 分	島根県	簸川郡大社町	(F2)	局地性じょう乱 寒気 の移流
1990 年 04 月 06 日 02 時 55 分	石川県	羽咋郡富来町	F2	オホーツク海低気圧 気圧の谷
1999 年 11 月 25 日 15 時 40 分	秋田県	八森町	(F1～F2)	日本海低気圧 寒冷前 線

注記＊：F スケールは、ア) 被害の詳細な情報等から推定できたもの、イ) 文献等からの引用
又は被害のおおまかな情報等から推定したもの、があり、F2 以上の事例ではア) と
イ) を区別し、イ) の場合には値を括弧で囲んでいる。

1.2.4 突風関連指数による地域特性の確認

総観場での検討に加え、大きな被害をもたらす強い竜巻の発生要因となる環境場の形成のし易さについての地域特性を確認するため、気象庁や米国気象局における現業においても竜巻探知・予測に活用されており、竜巻の発生し易さを数値的に示すことができる突風関連指数を用いて地域特性の確認を行った。なお、突風関連指数を用いての検討については日本海側と太平洋側の地域特性が異なることを示すために実施し、特定規模の竜巻発生の可能性を評価するものではない。

(1) 突風関連指数を用いた竜巻予測の技術について

竜巻の主な発生メカニズムは、二つに大別されると考えられている。一つは局地的な前線（寒気団と暖気団との境界線）に伴って生じた渦が上昇流によって引き伸ばされて竜巻となるもので、比較的寿命が短く強い竜巻になりにくいとされている。

もう一つは「スーパーセル」と呼ばれる、回転する継続した上昇気流域（メソサイクロン）を伴った非常に巨大な積乱雲に伴って竜巻が発生するものである。スーパーセル内では、下降流域と上昇流域が分離されるため、巨大な積乱雲が長時間持続する傾向にある。近年、ドップラーレーダによる解析をもとにした竜巻の事例調査が進んだことにより、大きな被害をもたらす強い竜巻の多くはスーパーセルに伴って発生することが判明している。現状、竜巻を直接予測することは困難であるが、大規模竜巻の発生と関係が深いスーパーセルの発生環境を予測することにより竜巻発生を間接的に予測できる。以下に、竜巻発生予測について、突風関連指数を適用している例を示す。

気象庁での突風関連指数の適用状況

気象庁では平成 20 年 3 月から、低気圧の発達等に関して半日から 1 日程度前に発表する予告的な気象情報において、11 種類の突風関連指数を算出し、竜巻やダウンバースト等の激しい突風が発生する可能性があるとして予測される場合には、当気象情報において注意喚起することとした。

その後、気象庁では竜巻等の突風の予測プロダクトとして、平成 22 年 5 月より竜巻発生確度ナウキャスト情報の提供を開始した。竜巻発生確度ナウキャストは、「竜巻が今にも発生する（又は発生している）可能性の程度」（発生確度）を 10 分ごとに解析した結果をもとに、降水域の移動ベクトル等を用いて 1 時間先まで発生確度を予測する。発生確度の解析は、以下の二つの技術を組み合わせて実施している。

- ・気象ドップラーレーダ観測によるメソサイクロン（親雲）検出技術
- ・メソ数値予測（MSM）を用いた突風危険指数の算出技術

竜巻発生確度ナウキャストにおけるデータ等の流れを図 1.2.4.1-1 に示す。竜巻発生確度ナウキャストは最新の観測・解析データをもって短いリードタイムの予測を迅速に行うことが主目的のため、レーダプロダクトに重みを置いている。また、小さな竜巻も見逃しなく予測できるような説明変数として突風関連指数を選択している。

以上のように、気象庁では竜巻の監視や様々なリードタイムに対する予測に突風関

連指数を活用している。

海外での突風関連指数の適用状況

海外では、米国の気象庁にあたるNOAAのSPC（ストーム予測センター）においても気象庁と同様に、突風関連指数の情報とレーダー観測のデータが現業で活用されており、突風関連指数に関する検討も盛んに行われている。

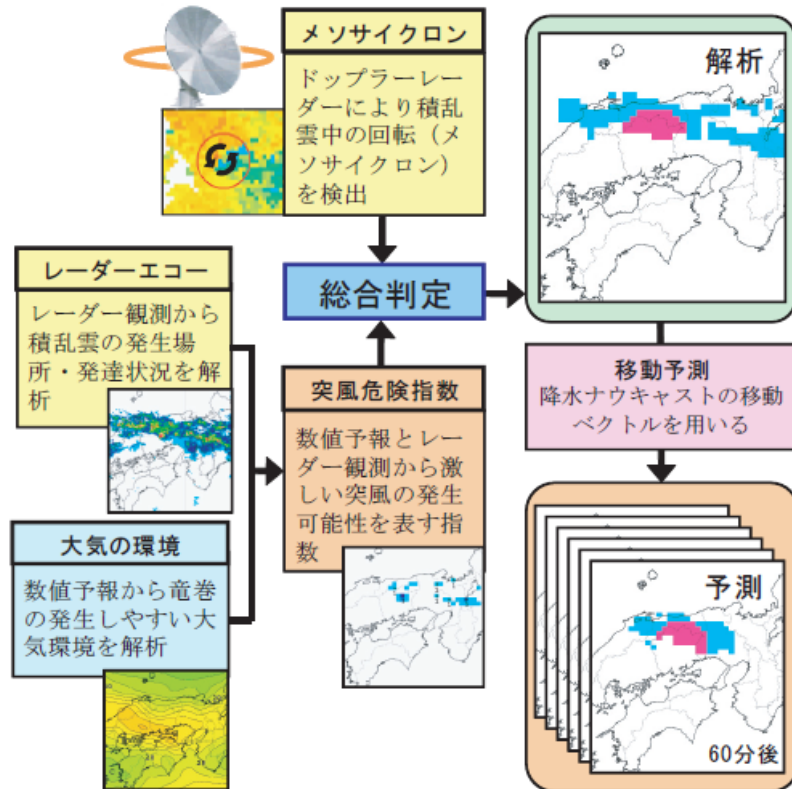


図 1.2.4.1-1 竜巻発生確度ナウキャストの解析・予測技術*

注記*：竜巻発生確度ナウキャスト・竜巻注意情報について-突風に関する防災気象情報の改善-，瀧下洋一，測候時報，2011

(2) 検討に用いる突風関連指数について

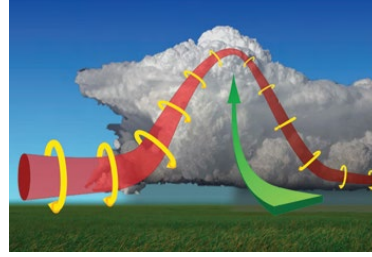
大きな被害をもたらす竜巻の親雲の多くはスーパーセルであり、スーパーセルの発生環境は予測できる技術があつて気象庁等でも活用されていることを述べてきた。ここでは、本検討に用いる突風関連指数について説明する。

図 1.2.4.2-1 に竜巻の発生メカニズムを示す。スーパーセルが発生しやすい環境場として、大気下層の鉛直シア（異なる高度間での風向・風速差）と、強い上昇気流を起こすきっかけとしての不安定な大気場が必要である。本検討では、大気的不安定度を表す指標として「CAPE」、鉛直シアに伴って発生する水平渦度が親雲に取り込まれる度合いを表す指標として「SReH」を採用し、両者の指標が同時に高くなる頻度について、地域的な特徴を確認する分析を行った。

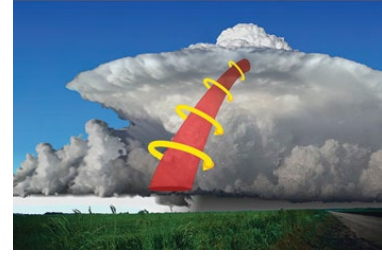
SReH及びCAPEについて以下に説明する。



風向・風速差による渦の発生



上昇気流の発生



竜巻の発生

図 1.2.4.2-1 竜巻の発生メカニズム*

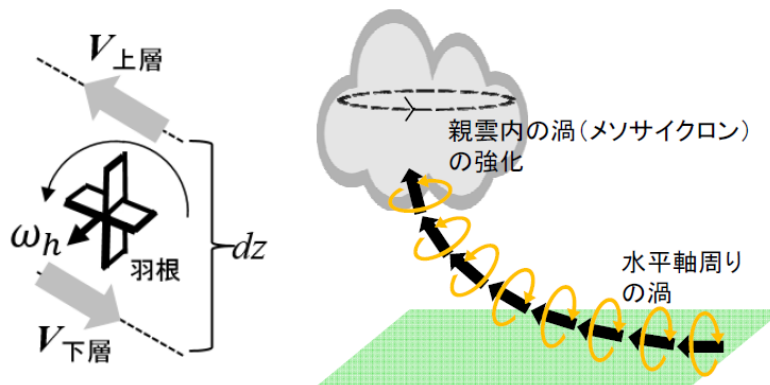
注記* : U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE (National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service), A Preparedness Guide Including Tornado Safety Information for Schools

- a. SReH (Storm Relative Helicity: ストームの動きに相対的なヘリシティー)
風向・風速差により発生した渦度が親雲に取り込まれる度合いを示し、値が大きいほど、積乱雲がスーパーセルに発達しやすい。(図 1.2.4.2-2)

$$\text{SReH} = \int_{\text{地上}}^{\text{高度 } 3\text{km}} (V - C) \cdot \omega \, dz$$

V : 水平風速ベクトル C : ストームの移動速度

ω : 鉛直シアに伴う水平渦度



水平渦度生成に関する模式図

水平渦度の親雲への輸送に関する模式図

図 1.2.4.2-2 SReHの算出概念*

注記* : 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及び飛来物速度の設定に関するガイドライン, 日本保全学会, 原子力規制関連事項検討会, 2015

- b. C A P E (Convective Available Potential Energy: 対流有効位置エネルギー)
 上昇気流の発達し易さを表し, 値が大きいほど背の高い積乱雲に発達し得るため,
 大気的不安定度の指標となる。(図 1. 2. 4. 2-3)

$$CAPE = \int_{LFC}^{EL} g \frac{\theta'_e(z) - \theta_e(z)}{\theta_e(z)} dz$$

g : 重力加速度 θ_e' : 下層の空気塊を持ち上げた際の相当温位

θ_e : ストーム周囲の相当温位 dz : 鉛直方向の層厚

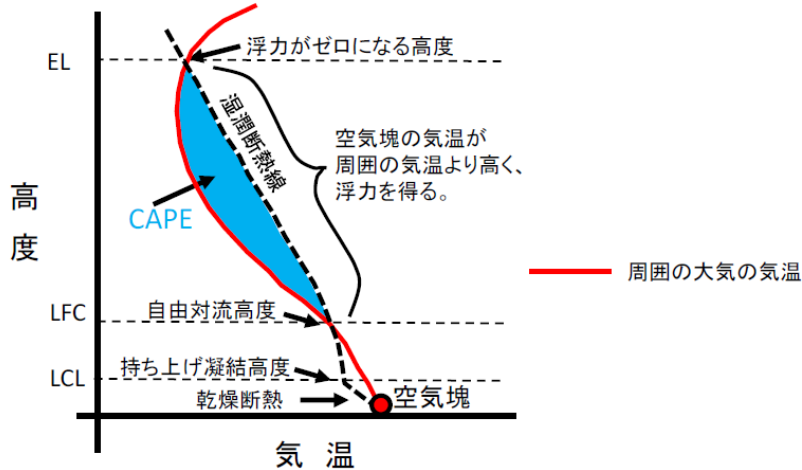


図 1. 2. 4. 2-3 C A P E の算出概念*

注記*: 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及び飛来物速度の
 設定に関するガイドライン, 日本保全学会, 原子力規制関連事項検討会, 2015

(参考) 相当温位

温位とは, 下式に示すように気温 T と気圧 p に関する量であり, ある空気塊を断熱的に基準圧力 1000hPa に戻した時の絶対温度である。

2 つの空気塊を比較した場合, 温位の高い空気塊は軽く上昇しやすく (不安定であり), 単位体積中に含み得る水蒸気量が多いため, 大きな積乱雲の発生につながる。相当温位は, 空気塊に含まれる水蒸気の持っている潜熱 (水蒸気が凝結する際に空気塊の温度が上昇) の影響も考慮された温位である。

$$\theta = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{\frac{R}{c_p}} \quad (R: \text{気体定数}, c_p: \text{定圧比熱})$$

(3) 突風関連指数の地域性

これまでに発生した F3 竜巻に対する突風関連指数の分析結果を図 1.2.4.3-1 に示す。WRF モデル (Weather Research and Forecasting model) と呼ばれる数値気象モデルを用いて当時の気象場を解析 (再現) し、それをもとに突風関連指数を算出している。図 1.2.4.3-1 をみると、季節によって CAPE の値が大きく異なるものの、F3 竜巻事例では共通して SReH と CAPE の両方が大きくなる傾向が見られた。

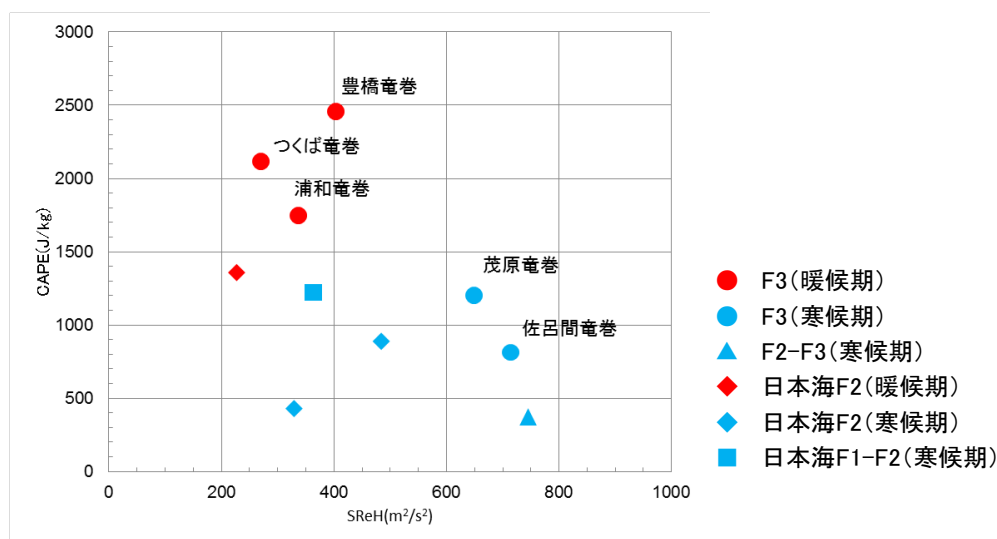


図 1.2.4.3-1 F3 竜巻に対する突風関連指数の分析結果

大きな竜巻を引き起こすスーパーセルの発生要因の指標である SReH と CAPE について、国内で (太平洋側で) 発生した F3 竜巻では、SReH と CAPE の両方が大きな値をとる傾向が見られる。また、これまでに発生した国内における F2-F3 を含めたすべての F3 竜巻 (6 個) は、スーパーセルを伴っていたことが報告されている。

したがって、SReH と CAPE それぞれに対して閾値を設け、その閾値を同時に超える頻度 (以下「同時超過頻度」という。) を分析することにより、スーパーセルに伴って発生するような大規模な竜巻の発生環境を観点とした地域性を見出すことができると思われる。

(4) 突風関連指数の同時超過頻度による地域特性の検討

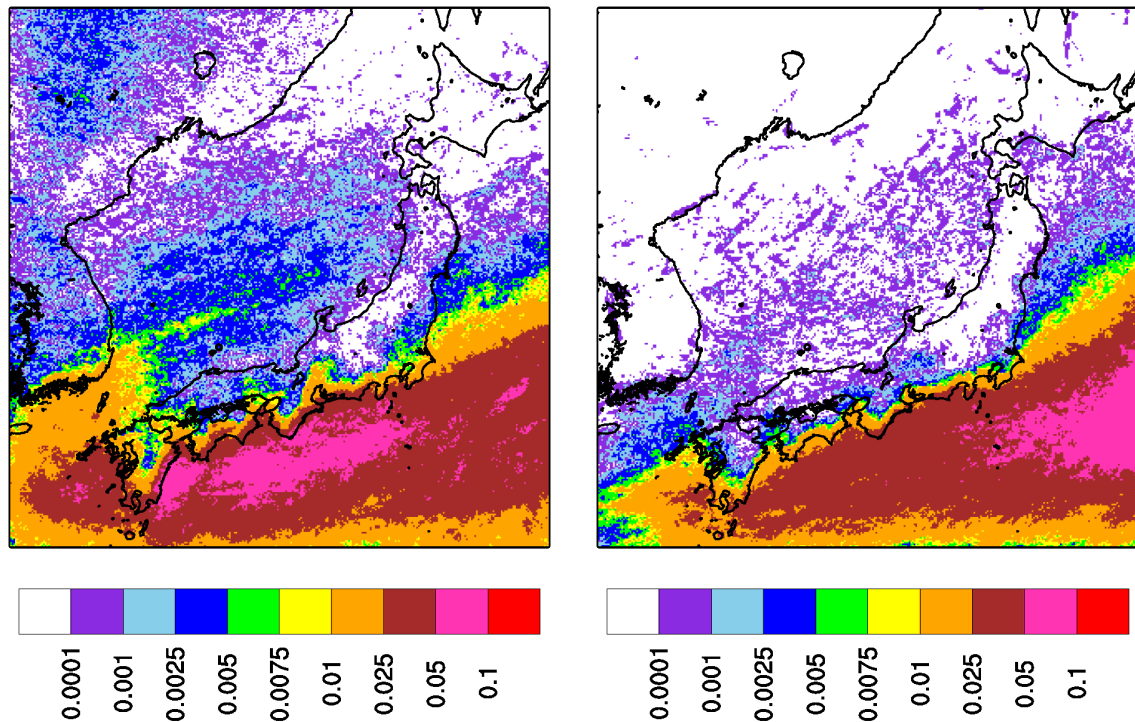
SReH と CAPE の閾値については、図 1.2.4.4-1 の F3 竜巻のデータをもとに、実際の竜巻発生地点と対応するよう、下記のように設定した。また、CAPE の閾値については、緯度・季節で絶対値が大きく変わるため、5 月～10 月 (暖候期) 及び 11 月～4 月 (寒候期) に分けて閾値を設定した。また、竜巻発生時には少なからず降水がもたらされるため、降水量の閾値を設定した。

設定した閾値は、以下のとおりとした。

[5 月～10 月 (暖候期)] SReH : $350\text{m}^2/\text{s}^2$ 最大 CAPE : $1200\text{J}/\text{kg}$ 降水量 : $4\text{mm}/\text{hr}$

[11月～4月（寒候期）] $SReH: 350m^2/s^2$ 最大CAPE: $500J/kg$ 降水量: $4mm/hr$

図1.2.4.4-1は、1961年～2010年までの50年間にわたって1時間ごとに解析されたデータをもとに、 $SReH$ とCAPEの同時超過頻度分布をマップ化したものである。また、気象庁「竜巻等の突風データベース」で確認されたF2-F3竜巻及びF3竜巻の発生箇所を図1.2.4.4-2に示す。



暖候期 5月～10月

寒候期 11月～4月

図1.2.4.4-1 F3規模以上を対象とした $SReH$ 、CAPE同時超過頻度分布（単位：％）

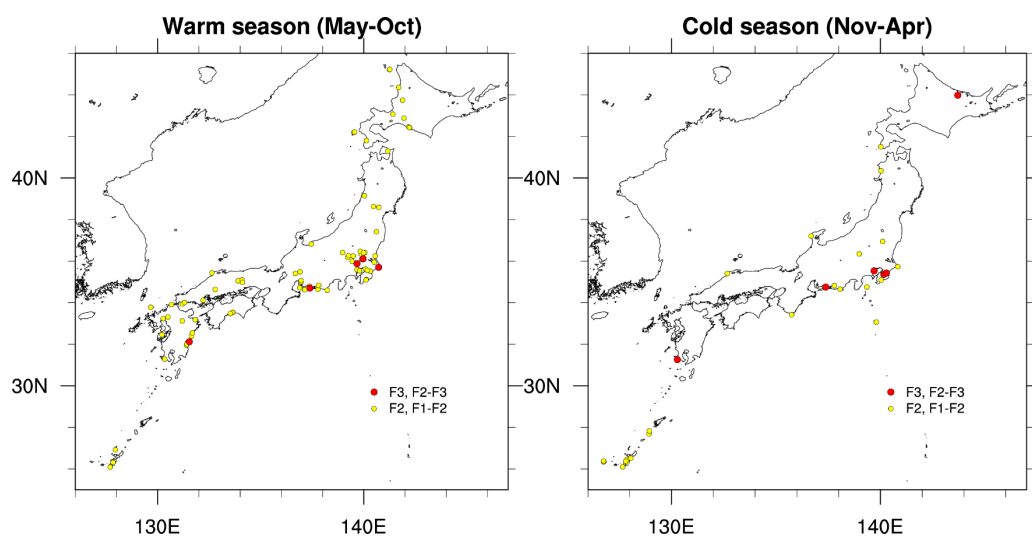


図1.2.4.4-2 F2規模以上の竜巻の発生箇所

（左：暖候期，右：寒候期；気象庁「竜巻等の突風データベース」による）

突風関連指数による、大規模な竜巻形成につながる環境場の発生頻度分析を行った結果、太平洋側、九州太平洋側・東シナ海側で頻度が高くなっているのに比べて、日本海側の値は1～2 オーダー以下の頻度となることが分かった。

以上より、スーパーセルに伴って発生する大規模な竜巻形成につながる環境場の発生頻度分布の観点からも、太平洋側と竜巻検討地域で大きな地域特性の違いがあることを確認した。

(5) 佐呂間町で発生した竜巻について

突風関連指数を用いた解析結果から、F3 規模以上の竜巻が発生しやすいとされる地域が分かったが、そのエリアに含まれていない北海道網走支庁佐呂間町では 2006 年 11 月に F3 竜巻が発生している（以下「佐呂間竜巻」という。）。

佐呂間竜巻は、太平洋沿岸で発生した竜巻と比較すると、

- ・国内で唯一内陸部（丘陵地の麓）において発生した竜巻である。
- ・F3 竜巻としては継続時間（1 分）と移動距離（約 1.4km）が非常に短かったという点で異なっている。

佐呂間竜巻の発生した地域では、太平洋側からの暖湿流が小高い丘を越えて流入するような地形になっており、平野部の冷気流とぶつかることにより大きな上層・下層間の風向差が生じる環境場となっていた。（図 1.2.4.5-1、図 1.2.4.5-2）

また、日高山脈の東側では、山を越えた冷気流と太平洋側の暖気流がぶつかる地点となっており、ここで発生した親雲が山脈沿いに北上しながら持続的に発達し、佐呂間地域で F3 規模の竜巻を形成するに至ったと考えられる。

これらの発生メカニズムについて、図 1.2.4.5-3 に模式的に示す。

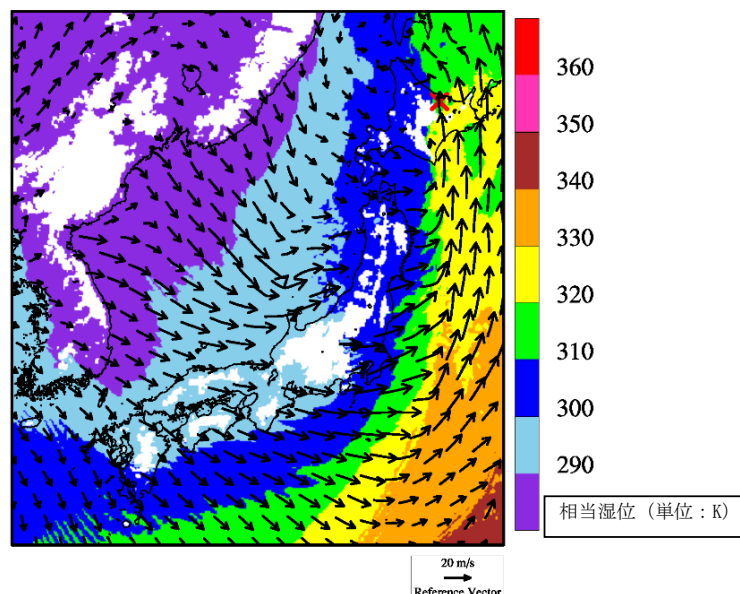


図 1.2.4.5-1 佐呂間竜巻発生時の風向・風速及び相当湿位の分布（海拔 500m 高度）



親雲の発生位置（点線内）と移動方向

竜巻の発生位置（×）と影響が指摘される山（点線部）

図 1.2.4.5-2 親雲の発生箇所と移動方向（左）及び竜巻の発生箇所（右）*

注記＊：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及び飛来物速度の設定に関するガイドライン，日本保全学会，原子力規制関連事項検討会，2015

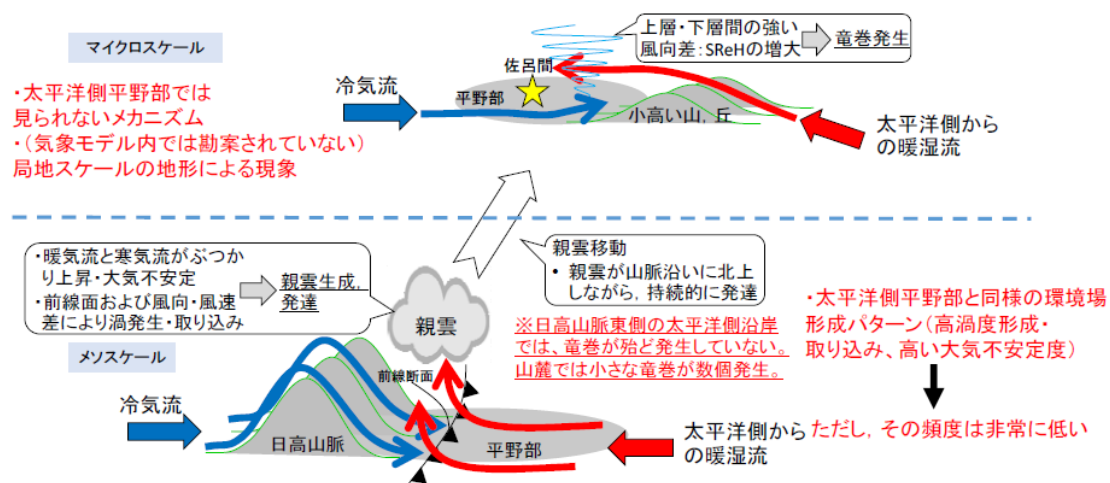


図 1.2.4.5-3 佐呂間竜巻の発生メカニズムに関する模式図*

注記＊：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及び飛来物速度の設定に関するガイドライン，日本保全学会，原子力規制関連事項検討会，2015

このように、佐呂間竜巻の発生メカニズムは、太平洋側沿岸域にて発生している F3 竜巻のメカニズムとは大きく異なっており、竜巻の持続時間・被害長さも大きく異なっている。

竜巻影響評価における取り扱いとしては、基準竜巻設定で対象としている地域性・空間スケールよりも局地的な地形影響を受けており、そういった影響については、設計竜巻 V_D の設定時に考慮するのがガイドの趣旨に沿ったものとなる。

考慮する際のポイントは、以下の２点である。

- ・太平洋側からの暖湿流が高標高山岳等に遮断されずに直接流入し得る地域である。
- ・近隣地形（数キロ程度四方の範囲）において、（太平洋側からの）暖気流の流入する風上側に尾根状の丘・山が存在すること。

その観点で島根原子力発電所の地形を確認すると、以下のように整理できる。

- ・本州中央部及び四国に高標高山岳が存在するため、太平洋側から暖湿流が直接流入しない。（図 1.2.4.5－4）
- ・日本海側で発達する気流は、主に西から東へ移動する傾向が強く、気流の流入する風上側（海側）に尾根状の丘、山が存在しない。

したがって、島根原子力発電所で佐呂間竜巻と同様な地形条件にはなっていないことを確認した。

以上の検討結果より、竜巻発生要因及び発生する竜巻の規模には地域性があることが示され、その観点から島根原子力発電所の竜巻検討地域として、北海道から山陰地方にかけての日本海沿岸を竜巻検討地域として設定することが妥当であることが確認できた。

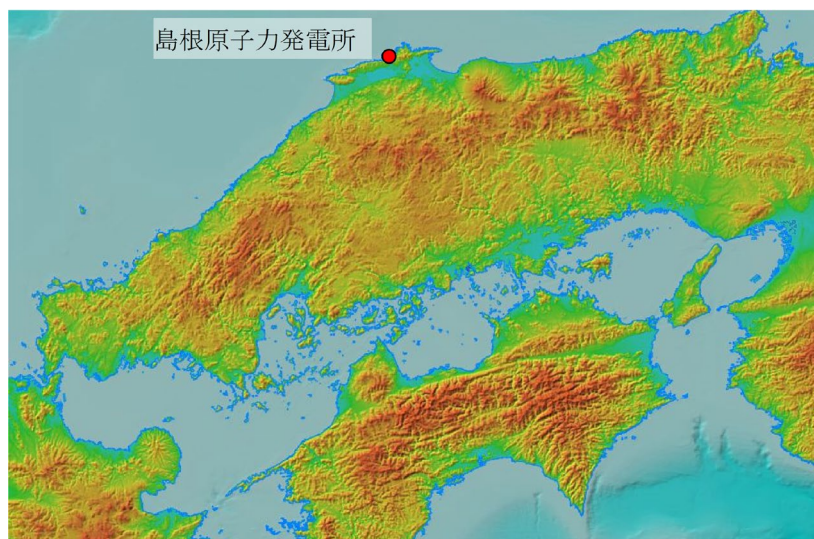


図 1.2.4.5－4 島根原子力発電所周辺地形図
（国土地理院「電子国土 Web」より作成）

1.3 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。

1.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1})

表 1.3.1-1 に竜巻検討地域で過去に発生した F1 より大きい竜巻の観測記録を示す。表 1.3.1-1 より竜巻検討地域で発生した過去最大竜巻は F2 であり、F スケールと風速の関係より風速は 50~69m/s であることから、 V_{B1} は F2 の風速範囲の上限値 69m/s とする。

表 1.3.1-1 竜巻検討地域における竜巻の観測記録 (F1 より大きい竜巻)
(気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成)

発生日時	発生場所		F スケール*	総観場
	都道府県	市町村		
1962 年 09 月 28 日 14 時 20 分	北海道 宗谷支庁	東利尻町	(F2)	寒冷前線
1971 年 10 月 17 日 05 時 00 分	北海道 留萌支庁	羽幌町	(F2)	寒気の移流
1974 年 10 月 03 日 19 時 05 分	北海道 檜山支庁	奥尻郡奥尻町	(F1~F2)	温暖前線
1974 年 10 月 20 日 15 時 00 分	北海道 檜山支庁	檜山郡上ノ国町	(F1~F2)	寒冷前線
1975 年 05 月 31 日 18 時 10 分	島根県	簸川郡大社町	(F2)	日本海低気圧 局地性 じょう乱 寒気の移流
1975 年 09 月 08 日 01 時 30 分	北海道 檜山支庁	奥尻郡奥尻町	(F1~F2)	日本海低気圧 暖気の 移流
1979 年 11 月 02 日 01 時 58 分	北海道 渡島支庁	松前郡松前町	(F2)	日本海低気圧 温暖前 線
1989 年 03 月 16 日 19 時 20 分	島根県	簸川郡大社町	(F2)	局地性じょう乱 寒気 の移流
1990 年 04 月 06 日 02 時 55 分	石川県	羽咋郡富来町	F2	オホーツク海低気圧 気圧の谷
1999 年 11 月 25 日 15 時 40 分	秋田県	八森町	(F1~F2)	日本海低気圧 寒冷前 線

注記* : F スケールは、ア) 被害の詳細な情報等から推定できたもの、イ) 文献等からの引用又は被害のおおまかな情報等から推定したもの、があり、F2 以上の事例ではア) とイ) を区別し、イ) の場合には値を括弧で囲んでいる。

1.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線の求め方

竜巻最大風速のハザード曲線は、気象庁「竜巻等の突風データベース」より竜巻検討地域における竜巻の観測記録を抽出・評価し、既往の算定法(Wen&Chu 及び Garson et al.)に基づき算定した。具体的な算定方法は、東京工芸大学委託成果を参考とし、図 1.3.2-1 に示すフローに従いハザード曲線を算定した。なお、ハザード曲線は、竜巻検討地域の竜巻特性を適切に考慮できる海岸線から海側、陸側それぞれ 5km の範囲内で算定した。加えて、竜巻検討地域において過去に発生した竜巻は、海上発生 of F スケール不明の竜巻が半数以上を占める偏った発生となっていることや竜巻発生確認数にばらつきがあることを踏まえ、竜巻影響評価ガイドに基づき、ハザード曲線に保守性をもたせるために竜巻検討地域を海岸線に沿って 1km 範囲ごとに短冊状に細分化した場合のハザード曲線も算定した。

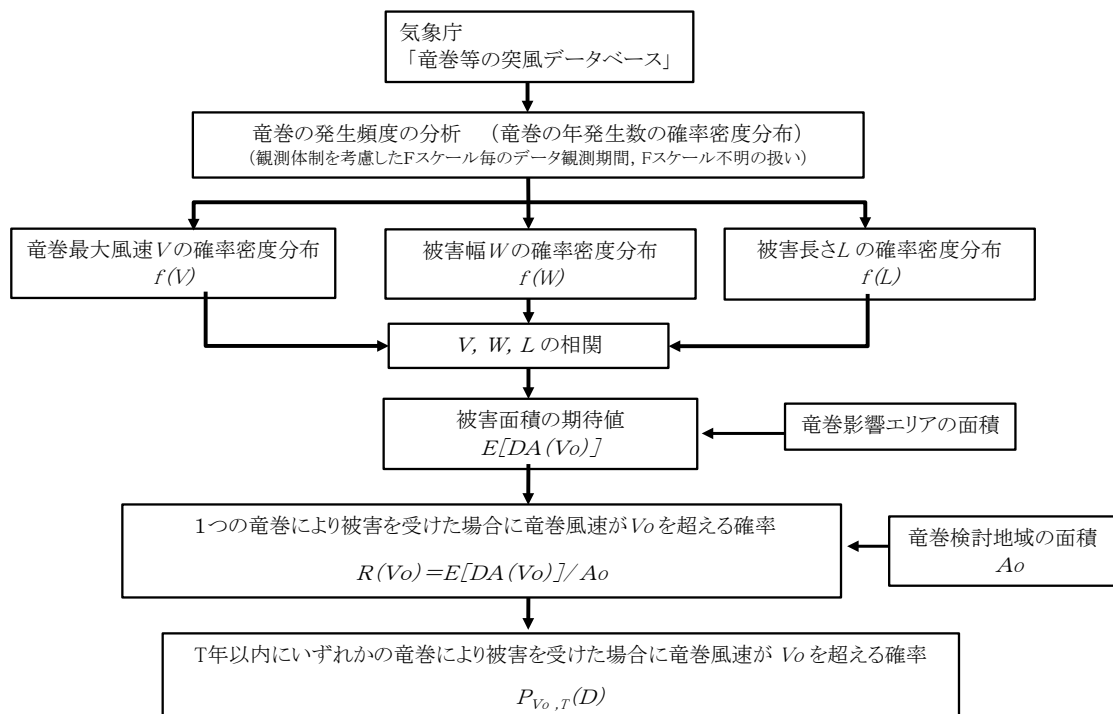


図 1.3.2-1 竜巻最大風速ハザード曲線の算定フロー

1.3.3 海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km 全域での評価

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竜巻である通過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。

1.3.4 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 1 月～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(図 1.3.4-1 参照)を踏まえ、以下の①～③の基本的な考え方に基づいて整理を行う。

- ① 被害が小さくて見過ごされやすい F0 及び F スケール不明竜巻は、観測体制が強化された 2007 年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。
- ② 被害が比較的軽微な F1 竜巻に対しては、観測体制が整備された 1991 年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。
- ③ 被害が比較的大きく見逃されることが少ない F2, F3 竜巻については、観測データが整備された 1961 年以降の全期間の年間発生数や標準偏差を採用する。

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 F スケール不明の竜巻は、被害が少ない F0 竜巻に分類した。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。

上記の基本的な考え方に基づいて観測記録を整理・推定した結果を表 1.3.4-1 に示す。

なお、竜巻発生確率モデルは、ガイドに従ってポアソン過程に従うものとし、年発生数の確率分布には、ポリヤ分布を適用した。

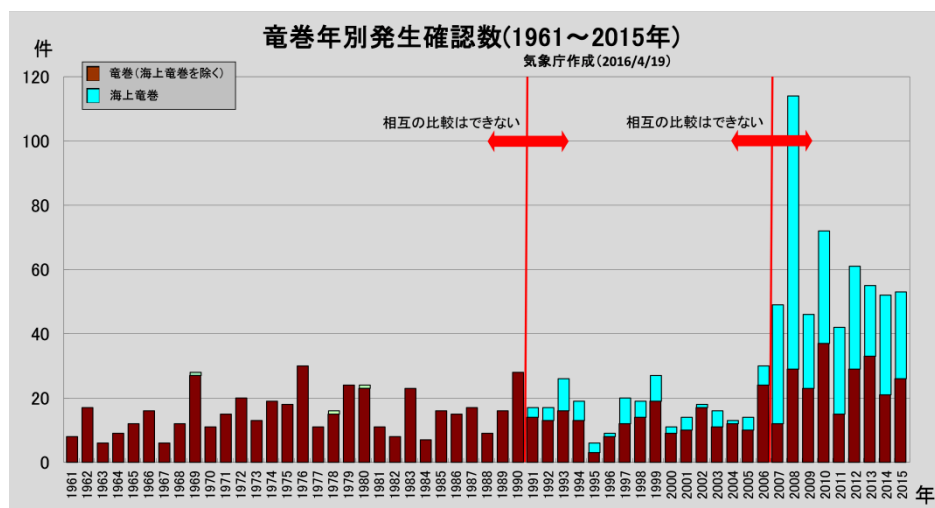


図 1.3.4-1 竜巻の年別発生確認数（気象庁 HP より）

表 1.3.4-1 竜巻発生数の解析結果

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	74	24	40	10	0	13	105	192
	平均値(年)	1.44	0.47	0.78	0.19	—	0.25	2.04	3.73
	標準偏差(年)	2.25	1.75	0.90	0.49	—	0.71	5.92	7.81
	C V(年)	1.56	3.76	1.16	2.52	—	2.83	2.90	2.09
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	46	24	21	1	0	12	105	163
	平均値(年)	2.14	1.12	0.98	0.05	—	0.56	4.88	7.58
	標準偏差(年)	3.11	2.61	0.91	0.22	—	1.02	8.49	11.07
	C V(年)	1.45	2.34	0.93	4.64	—	1.83	1.74	1.46
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	27	22	5	0	0	7	91	125
	平均値(年)	4.91	4.00	0.91	—	—	1.27	16.55	22.73
	標準偏差(年)	5.55	4.32	1.24	—	—	1.69	11.41	15.10
	C V(年)	1.13	1.08	1.36	—	—	1.33	0.69	0.66
擬似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	333	206	51	10	0	66	853	1186
	平均値(年)	6.44	4.00	0.98	0.19	—	1.27	16.55	22.99
	標準偏差(年)	4.75	4.32	0.91	0.49	—	1.69	11.41	12.36
	C V(年)	0.74	1.08	0.93	2.52	—	1.33	0.69	0.54
擬似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1187	969	182	36	0	0	0	1187
	平均値(年)	23.05	18.82	3.53	0.70	—	—	—	23.05
	標準偏差(年)	8.97	8.76	1.72	0.92	—	—	—	8.97
	C V(年)	0.39	0.47	0.49	1.32	—	—	—	0.39

1.3.5 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

竜巻ハザードを評価するためには，一つの竜巻が発生した際の，竜巻風速，被害幅及び被害長さの確率分布が必要となることから，これらの確率密度分布を求める。なお，竜巻風速の確率密度分布は，F スケール別の竜巻発生数から求める。

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もとに，確率密度分布についてはガイド及びガイドが参考としている東京工芸大学委託成果を参照し，対数正規分布に従うものとする。（図 1.3.5-1～図 1.3.5-6）

なお，擬似的な竜巻の作成において被害幅又は被害長さの情報がない竜巻には，観測された竜巻と同程度の竜巻を想定し，それに相当する被害幅又は被害長さを与えている。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により，保守的に評価を行う。

また，竜巻のハザードの計算においては，2 変量あるいは 3 変量の確率分布を対象とするため，竜巻風速，被害幅及び被害長さについての相関係数を求めた。

表 1.3.5-1 に 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た結果を示す。

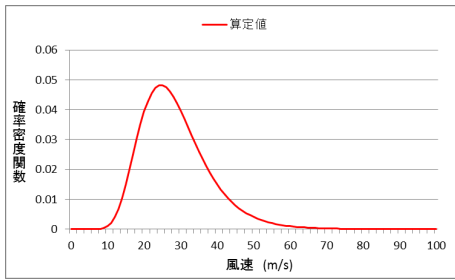


図 1.3.5-1 竜巻風速の確率密度分布

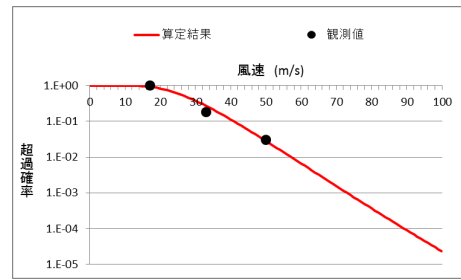


図 1.3.5-2 竜巻風速の超過確率分布

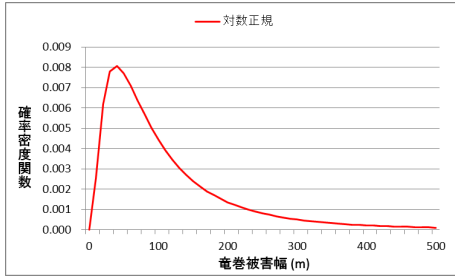


図 1.3.5-3 被害幅の確率密度分布

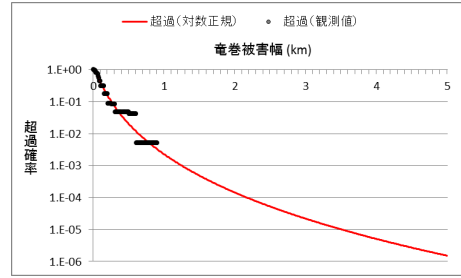


図 1.3.5-4 被害幅の超過確率分布

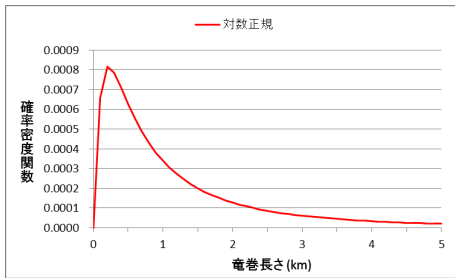


図 1.3.5-5 被害長さの確率密度分布

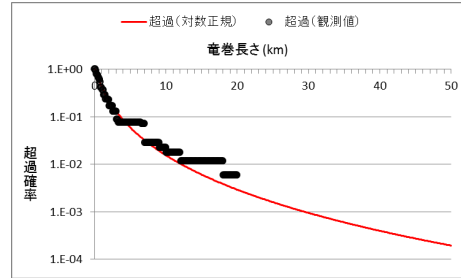


図 1.3.5-6 被害長さの超過確率分布

表 1.3.5-1 竜巻風速，被害幅及び被害長さの相関係数（単位なし）

相関係数	風速	被害幅	被害長さ
風速	1.000	-0.050*	0.312
被害幅	-0.050*	1.000	0.462
被害長さ	0.312	0.462	1.000

注記＊：風速と被害幅は無相関との知見が得られたため，ハザード算定の際には，相関係数 0 として計算

1.3.6 竜巻影響エリアの設定

竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2})の算定にあたり、 V_{B2} の発生エリアである竜巻影響エリアを設定する。竜巻影響エリアは、島根原子力発電所第2号機の竜巻影響評価対象施設を十分な余裕をもって包絡するエリアとして設定する。

図1.3.6-1に島根原子力発電所第2号機の竜巻影響エリアを示す。竜巻影響エリアは、島根原子力発電所第2号機の評価対象施設を包絡する円形のエリア(直径450m, 面積約 $1.6 \times 10^5 \text{m}^2$)として設定する。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。

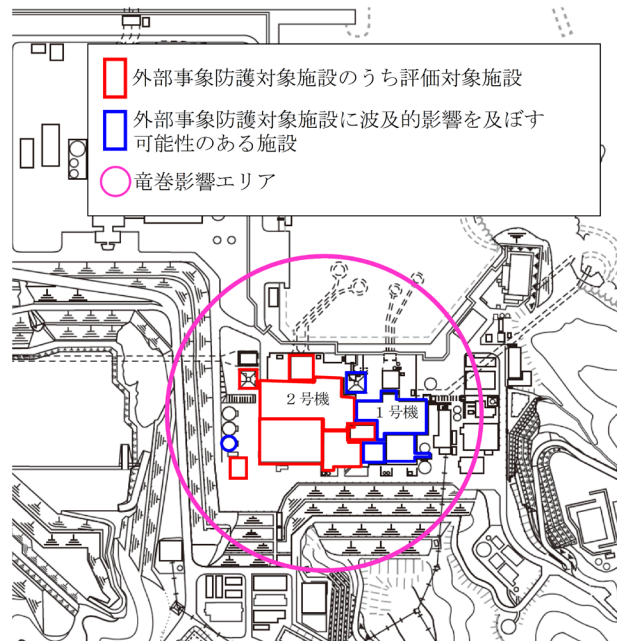


図1.3.6-1 竜巻影響エリア

1.3.7 ハザードの算定

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る。竜巻の年発生数の確率密度分布としてポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は式(1)で示される。

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

ここで、

N : 竜巻の年発生数

v : 竜巻の年平均発生数

T : 年数

β は分布パラメータであり式(2)で示される。

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

ここで、

σ : 竜巻の年発生数の標準偏差

D をリスク評価対象構造物が風速 V_0 以上の竜巻に遭遇する事象と定義し、 $R(V_0)$ をリスク評価対象構造物が 1 つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が V_0 以上となる確率と定義すると、T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率は式(3)で示される。

$$P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta v R(V_0) T]^{-1/\beta} \quad (3)$$

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 33395km²)、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(4)で示される。

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (4)$$

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

本評価では、以下のようにして $DA(V_0)$ の期待値を算出し、式(4)により $R(V_0)$ を推定して、式(3)により $P_{V_0,T}(D)$ を求める。風速を V 、被害幅 w 、被害長さ l 、移動方向 α 及び構造物の寸法を A, B とし、 $f(V, w, l)$ 等の同時確率密度関数を用いると、 $DA(V_0)$ の期待値は式(5)で示される。

$$\begin{aligned} E[DA(V_0)] &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\ &+ \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha) l f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha \\ &+ AB \int_{V_0}^\infty f(V) dV \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 $W(V_0)$ は竜巻風速が V_0 以上となる幅であり、式(6)で示される。

$H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ はそれぞれ、竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面にリスク評価対象構造物を投影した時の長さであり、式(7)で示される。

$$W(V_0) = \left(\frac{V_{\min}}{V_0} \right)^{1/1.6} w \quad (6)$$

ここで、

V_{\min} ：被害幅 w 内の最小竜巻風速

V_0 ：被害が発生する最小風速

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

$$G(\alpha) = A|\sin \alpha| + B|\cos \alpha| \quad (7)$$

本評価ではリスク評価対象構造物を円形構造物（竜巻影響エリア）で設定しているため、 $H(\alpha)$ 、 $G(\alpha)$ ともに竜巻影響エリアの直径450mで一定（竜巻の移動方向に依存しない）となる。円の直径を D_0 とした場合の計算式は式(8)で示される。

$$\begin{aligned} E[DA(V_0)] &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\ &+ D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty l f(V, l) dV dl + D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw \\ &+ (D_0^2 \pi / 4) \int_{V_0}^\infty f(V) dV \end{aligned} \quad (8)$$

1.3.8 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）を対象に算定したハザード曲線、1km 範囲ごとに短冊状に細分化して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図 1.3.8-1 に示すとおりそれぞれ 60.8m/s, 61.4m/s となった。

また、使用した竜巻の統計データの不確実性については検討を実施しており、F スケール不明の海上竜巻の発生数は、陸上竜巻の F スケール別発生比率で按分して取り扱っているが、竜巻検討地域を「北海道から山陰地方にかけての日本海沿岸」にすることに伴う竜巻ハザード曲線算出のためのデータの不確実性（日本海側は F スケール不明の海上竜巻が多い）を踏まえ、参照する年超過確率を 10^{-5} から一桁下げた年超過確率 10^{-6} *における風速とすると、陸側及び海側 5km 全域での評価、1km 範囲ごとに細分化した評価ともに 78.0m/s となる。以上より、竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 V_{B2} は 78m/s とする。

注記*：設計基準事故の発生頻度が 10^{-3} /年～ 10^{-4} /年（発電用軽水型原子炉施設に係る新安全基準骨子案に対する意見募集の結果について：平成 25 年 4 月 3 日技術基盤課）であることから、設計基準として考慮する竜巻の最大風速は年超過確率 10^{-4} に設定することが妥当であると考え。ただし、ガイドで竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2}) の年超過確率は、 10^{-5} を上回らないことが要求されていること、ハザードの不確実性があることを踏まえて保守的に 10^{-4} より 1 桁下げて、参照する年超過確率は 10^{-5} とするが、統計データの不確実性の検討を踏まえて保守的に 10^{-5} より 1 桁下げて、竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2}) の年超過確率は 10^{-6} とする。

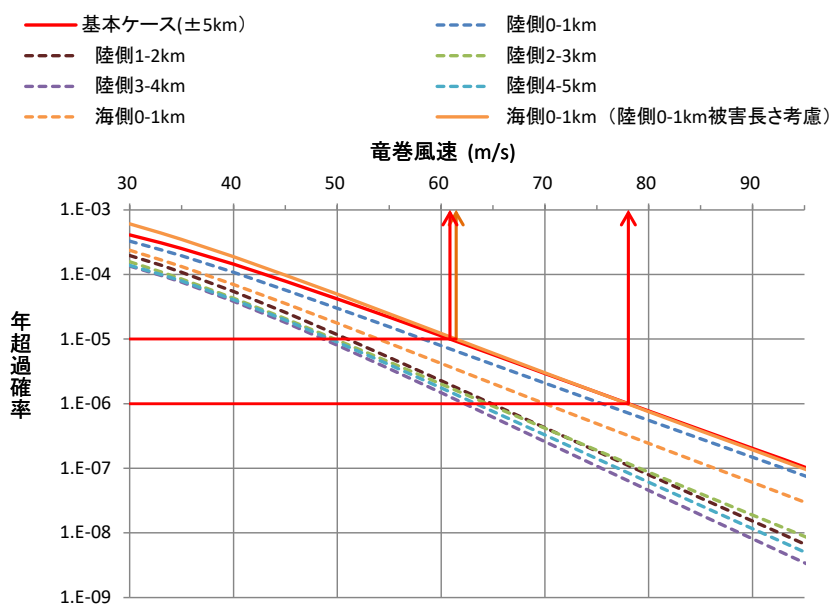
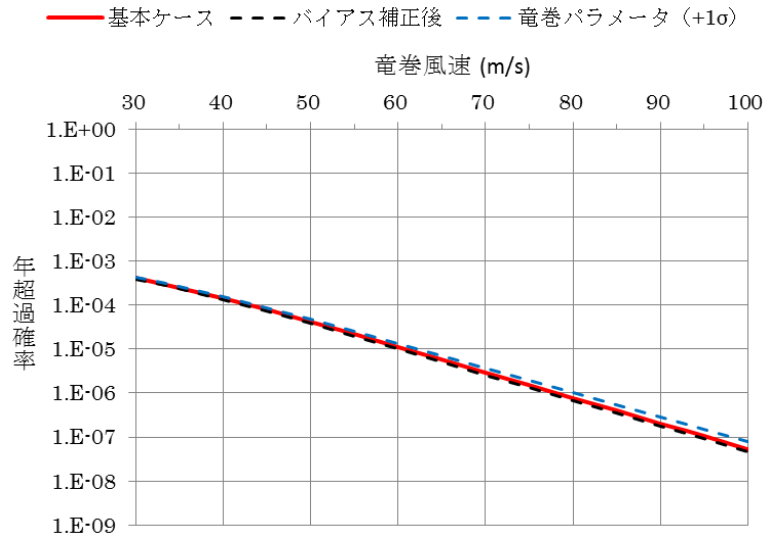


図 1.3.8-1 竜巻最大風速のハザード曲線
(海側、陸側 5km 範囲及び 1km 範囲ごとに細分化した評価)

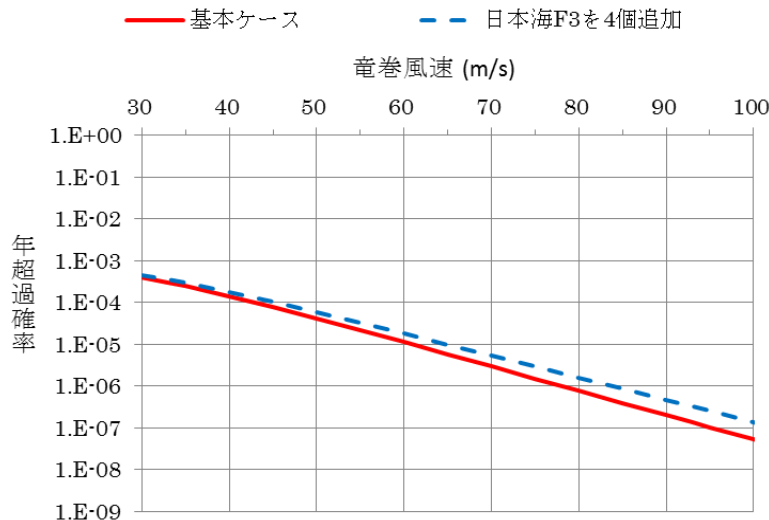
また、不確実さ要素のハザード算定結果への影響を検討した。

図 1.3.8-2(a)に示した、データ、確率分布形選択及びデータ量が少ないことによる不確実さを表したハザード曲線により、これらの不確実さが十分小さいことを確認した。

さらに、擬似データに F3 竜巻を 4 個追加した感度解析結果を図 1.3.8-2(b)に示す。この場合の年超過確率 10^{-5} に相当する竜巻風速は 64.9m/s となり、かなり保守的な仮定においてもハザードへの影響は限定的であることから、データの高い安定性を確認した。



(a) バイアス補正後及び全パラメータ + 1 σ のハザード



(b) 竜巻風速の年超過確率分布

図 1.3.8-2 ハザード不確実さ検討結果

< 擬似データ無しの場合の解析 >

擬似データの場合、F スケールの小さな竜巻の割合が多く、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がすべて判明している 52 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。すなわち、観測データは均質なデータから成り、擬似データは存在しない。パラメータの推定結果を表 1.3.8-1、計算条件の一覧を表 1.3.8-2、ハザードの算定結果を図 1.3.8-3、図 1.3.8-4、及び表 1.3.8-3 に示す。擬似データの場合と比較して、Jackknife 推定値は大きくなっていることがわかる。したがってハザードの算定結果についても大きくなる傾向があるものの、発生数の違いを考慮し年超過確率 10^{-6} の最大風速を見ても、風速値の差は 10m/s 程度であることが確認できる。

表 1.3.8-1 Jackknife 法により得られた竜巻パラメータの推定結果
(擬似データ無し)

日本海(不明無し) 52個	風速		被害幅		被害長さ		相関係数		
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	U~W	U~L	W~L
平均	36.337	11.655	129.8	154.8	1815.4	2227.7	0.0023	0.3210	0.4399
標準偏差	0.226	0.143	3.0	6.5	43.3	59.7	0.0090	0.0168	0.0171
全データ	36.337	11.656	129.8	154.9	1815.4	2228.5	0.0000	0.3210	0.4399
min	35.873	11.277	114.7	111.3	1654.9	1923.5	0.0000	0.2714	0.3840
max	36.559	11.749	132.3	156.4	1849.0	2250.7	0.0590	0.3692	0.4879
バイアス	0.002	-0.045	0.0	-7.0	0.0	-40.7	0.1154	-0.0022	0.0006
Jackknife 推定値	36.335	11.700	129.8	162.0	1815.4	2269.3	-0.1154	0.3232	0.4393
Jackknife 推定幅	1.616	1.021	21.5	46.7	309.0	426.1	0.0645	0.1198	0.1221

表 1.3.8-2 ハザードの計算条件 (擬似データ無し)

ケース名	統計量	発生数	風速	被害幅	被害長さ	U~W	U~L	W~L
基本(全データ)	平均	1.010	36.3365	129.769	1815.385	0.0023	0.3210	0.4399
	標準偏差		11.6550	154.791	2227.749			
バイアス補正後	平均	1.010	36.3346	129.759	1815.400	-0.1154	0.3232	0.4393
	標準偏差		11.7004	161.961	2269.288			
風速・幅・長さ・相関 (+1σ)	平均	1.010	37.9509	151.243	2124.444	-0.0510	0.4429	0.5614
	標準偏差		12.7212	208.638	2695.378			

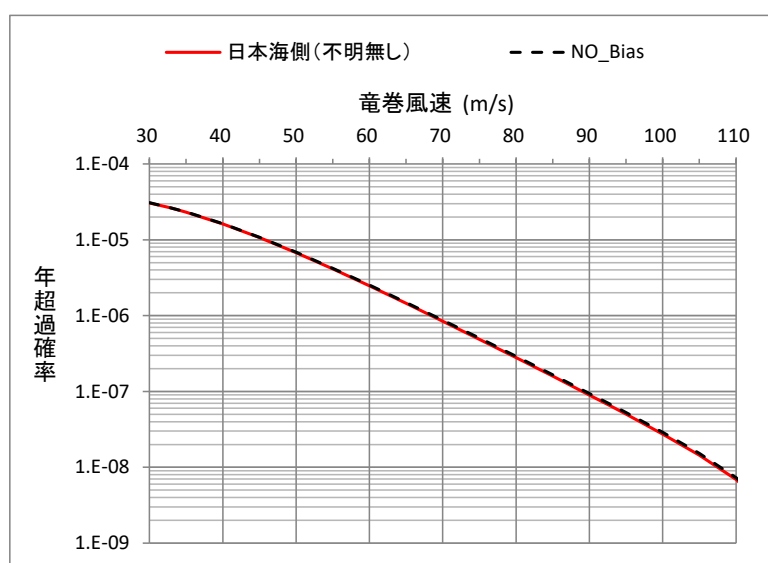


図 1.3.8-3 基本ケースとバイアス補正後ケースのハザード算定結果比較
(擬似データ無し)

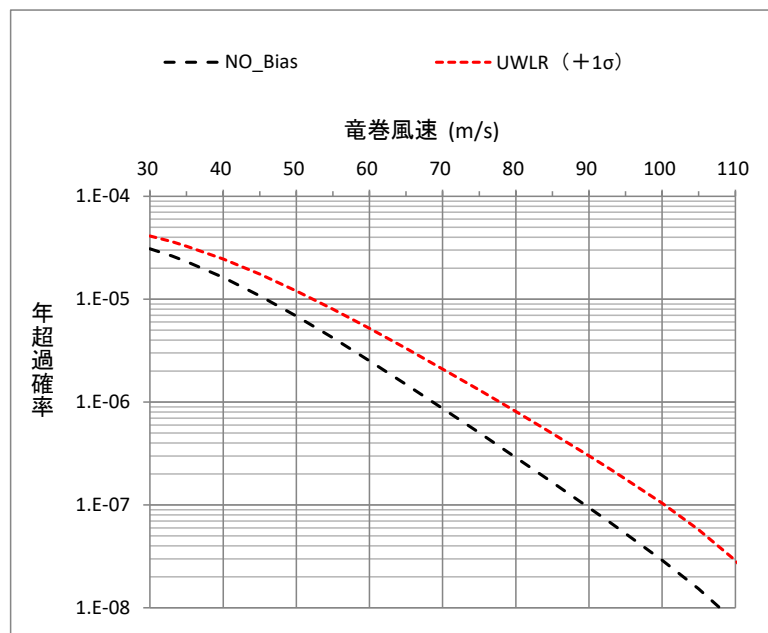


図 1.3.8-4 バイアス補正後ケースと全パラメータ+1 σ ケースのハザード算定結果比較
(擬似データ無し)

表 1.3.8-3 ハザード算定結果 (擬似データ無し)

ケース名	超過確率に対応する竜巻風速				バイアス補正後の竜巻風速との差		
	1.E-05	1.E-06	1.E-07	1.E-08	1.E-05	1.E-06	1.E-07
基本(全データ)	45.73	68.45	89.07	107.48	-0.12	-0.26	-0.40
バイアス補正後	45.85	68.71	89.47	107.88	-	-	-
風速・幅・長さ・相関(+1 σ)	52.30	77.80	100.34		6.45	9.09	10.87

1.3.9 基準竜巻の最大風速 (V_B)

過去に発生した竜巻による最大風速 $V_{B1}=69\text{m/s}$ 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B2}=78\text{m/s}$ のうち、大きい風速である 78m/s を島根原子力発電所における基準竜巻の最大風速 V_B とする。(表 1.3.9-1)

使用した竜巻の統計データの不確実性については前項までで検討を実施しているが、将来的な気候変動により規模や発生数の増加傾向となることは否定できない。

将来的な気候変動として現時点でも予想されるものとしては地球温暖化が挙げられる。地球温暖化が進行した際には台風の強度が強まる傾向が考えられ、現時点の経験データでは台風起因の竜巻は日本海側では観測されていないものの将来的には日本海側においても発生する可能性がある。ただし台風は北上するにつれて、山岳での暖湿流遮断による安定化や海水温度低下による水蒸気供給量低下により衰弱しやすい特性を有していることから、仮に発生するとしても規模の大きな竜巻の発生は考えにくい。

将来的な気候変動についての現時点での予想は上記のとおりとなるが、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、必要に応じて見直しを実施していくものとする。

表 1.3.9-1 竜巻の最大風速の算定結果

項目	最大風速 [m/s]
過去に発生した竜巻による最大風速 V_{B1}	69
竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 V_{B2}	78
基準竜巻の最大風速 V_B	78

1.3.10 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*。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、竜巻検討地域において現時点での V_{B1} の風速 69m/s を超える竜巻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 F スケール不明を除き F0 若しくは F1 相当のものであり、データベースの更新がハザードへ与える影響は軽微と考えられる。

注記* : 2019 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。

1.4 設計竜巻の最大風速 (V_D) の設定

島根原子力発電所が立地する地域の特性として、周辺の地形や竜巻の移動方向を考慮して、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。

1.4.1 地形効果による竜巻風速への影響

地形効果が竜巻強度に及ぼす影響に関する知見として、(1)地形起伏による影響、(2)地表面粗度による影響、について既往の研究において示されており、その知見を踏まえ、島根原子力発電所周辺の地形効果による竜巻の増幅可能性について検討する。

(1) 地形起伏による影響

竜巻のような回転する流れでは、角運動量保存則により「回転の中心からの距離」及び「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質がある。

そのため、図 1.4.1-1 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。

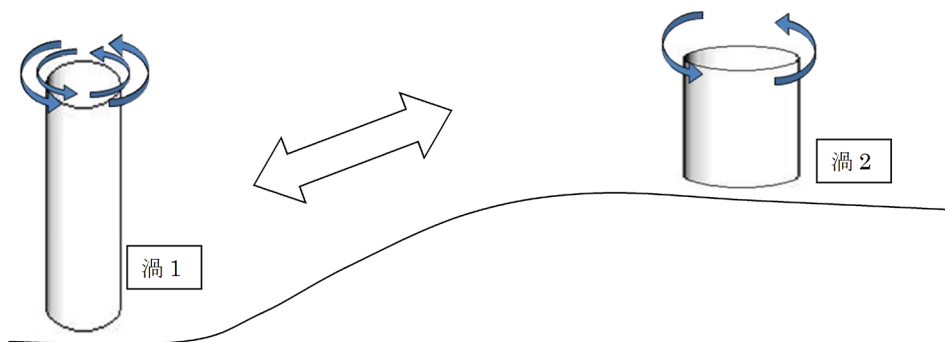


図 1.4.1-1 竜巻旋回流の地形影響に関する模式図

(2) 地表面粗度による影響

風は地表面の細かな凸凹が与える摩擦抵抗の影響を受けやすく、風速は、地表面において 0 となり上空に向かうにつれて増加する。地表面粗度は竜巻の旋回流を減衰させる効果を有し、地表面粗度の構成物が飛来物として運動することで風速が減衰することも示唆されていることから、地表面粗度の増加とともに竜巻に起因する強風の風速を低下させるといえる。

1.4.2 島根原子力発電所周辺の地形

島根原子力発電所周辺の地形を図 1.4.2-1、島根原子力発電所東西方向の鉛直断面での地形起伏を図 1.4.2-2、島根原子力発電所周辺の地表面粗度を図 1.4.2-3 に示す。島根原子力発電所が立地する敷地は、北側を輪谷湾に面し、他の三方を山で囲まれている。

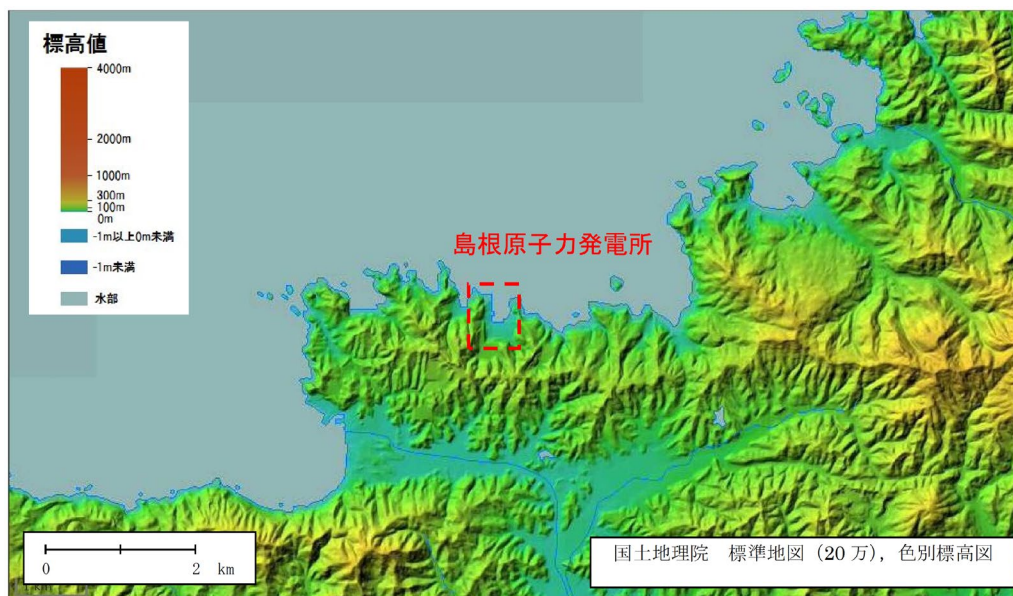


図 1. 4. 2-1 島根原子力発電所周辺の地形
(国土地理院「電子国土Web」より作成)

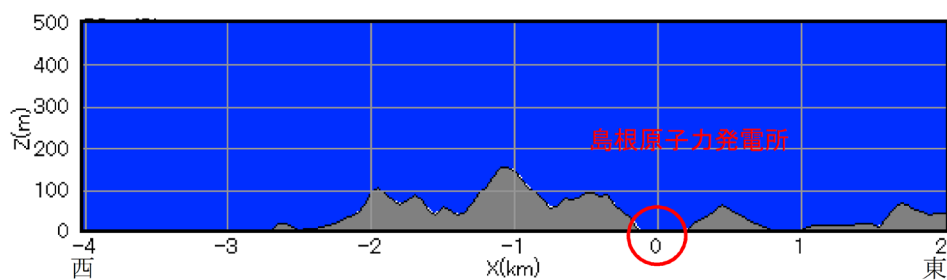


図 1. 4. 2-2 島根原子力発電所東西方向の鉛直断面での地形起伏

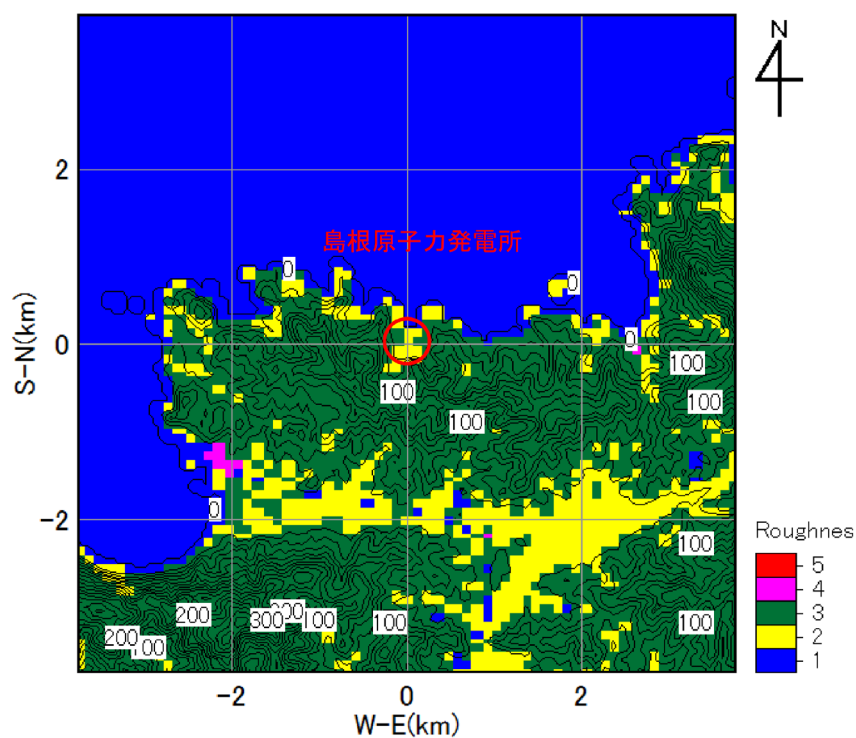


図 1. 4. 2-3 島根原子力発電所周辺の地表面粗度

1.4.3 竜巻の移動方向の分析

島根原子力発電所の周辺地域を対象に竜巻の移動方向に関する分析を行う。なお、分析の対象とする地域は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」に示されている竜巻集中地域を参考に、竜巻集中地域⑥（鳥取県の一部）及び⑦（島根県の一部）とした。図 1.4.3-1 に竜巻集中地域⑥及び⑦で発生した竜巻の移動方向、図 1.4.3-2 に竜巻集中地域⑥及び⑦において過去に発生した竜巻の移動方向の頻度を分析した結果を示す。竜巻の移動方向の分析の結果、島根原子力発電所周辺で発生する竜巻は、その大部分が海上又は沿岸部で発生しており、その移動方向は東に向かう頻度が高いことが確認できる。また、島根原子力発電所が立地する竜巻集中地域⑦では、発電所北方の海上から南（陸側）へ向かう頻度が高いことが確認できる。

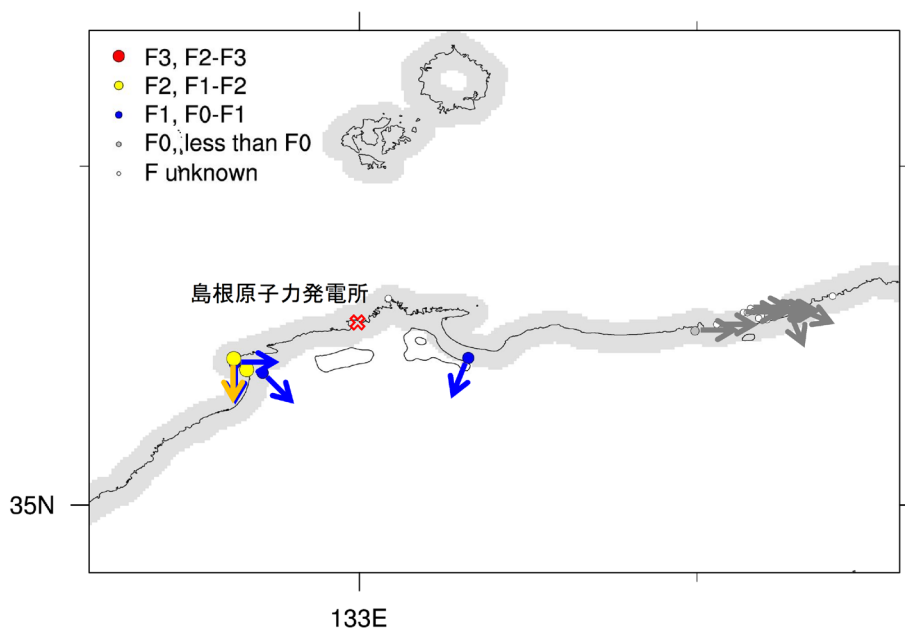


図 1.4.3-1 竜巻集中地域⑥及び⑦における竜巻移動方向

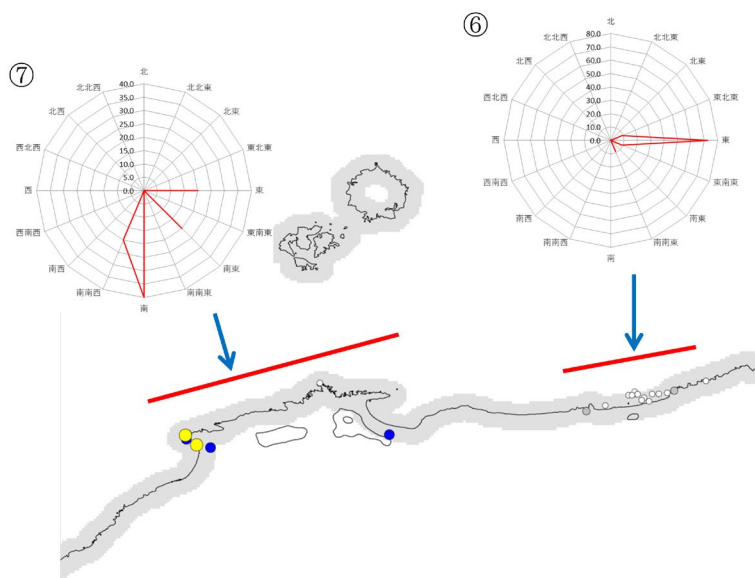


図 1.4.3-2 竜巻集中地域⑥及び⑦における竜巻移動方向の頻度

1.4.4 竜巻風速の増幅に関する検討

(1) 地形起伏による竜巻増幅

島根原子力発電所周辺で発生する竜巻は、発電所北方又は西方の海上あるいは沿岸部で発生し、竜巻が発電所の北方で発生し南方向（陸側）へ移動する場合には、地形が平坦な海側から発電所敷地に進入することとなり、発電所敷地自体も平坦であるため竜巻が増幅することはないと考えられる。また、発電所西方で発生する竜巻は、上り斜面・下り斜面の影響をほぼ同程度受け発電所敷地に進入する可能性が高く発電所敷地はほぼ平坦であるため竜巻が増幅することはないと考えられる。万が一発電所敷地外の南側（例えば鹿島町の平地）で竜巻が発生し、その竜巻が海側に向かって移動し、発電所敷地内に進入した場合、竜巻は山を越える必要がある。この場合の地形効果による増幅は、山の上り勾配と下り勾配で相殺される。

(2) 地表面粗度による竜巻増幅

島根原子力発電所周辺では、竜巻の移動経路となり得る発電所西方に着目すると森林などに相当する粗度区分Ⅲの領域が 2km 以上にわたり存在していることから、粗度による減衰効果が期待できる。発電所北方又は西方の海上あるいは沿岸から南又は東方向へ向かう竜巻が極めて多く、発電所北方の海上で発生した竜巻が南方向へ移動する場合には、地表面粗度の小さい海上から粗度の大きな陸上に上陸するため、粗度により減衰するものと考えられる。

1.4.5 設計竜巻の最大風速 (V_D)

以上のことから、島根原子力発電所では、地形効果による竜巻の増幅を考慮しない。一方、将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を踏まえ、 V_B の値が F3 の風速範囲 (70~92m/s) にあることから設計竜巻の最大風速 V_D は F3 の風速範囲の上限値 92m/s とする。

2. 外部事象防護対象施設の選定

2. 外部事象防護対象施設のうち竜巻の影響を考慮する施設の選定について

外部事象防護対象施設の中から、屋外施設及び外気と接続する建物内の外部事象防護対象施設を抽出した。

具体的な抽出フローを図 2-1 に、屋外施設及び外気と接続する建物内の外部事象防護対象施設の抽出結果を表 2-1 に示す。

Step 1 : 安全重要度分類のクラス 1, クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物, 系統及び機器並びに安全機能を有しない構築物, 系統及び機器のうち外部事象防護対象施設*¹を抽出する。

また, 外部事象防護対象施設を内包する建物 (外部事象防護対象施設となる建物を除く。) は, 機械的強度を有すること等により, 内包する外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計及び外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

上記以外の安全施設については, 竜巻及びその随件事象に対して機能維持すること若しくは竜巻及びその随件事象による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること, 安全上支障のない期間での修復等の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより, その安全機能を損なわないことを確認する。

Step 2 : Step 1 で抽出された設備の設置場所を確認し, 竜巻襲来時に風圧, 気圧差及び設計飛来物等衝突の影響を受ける屋外施設 (外部事象防護対象施設を内包する区画を含む。) を評価対象施設とする。

Step 3 : 屋内施設であるが外気と繋がっているため, 竜巻襲来時に気圧差の影響を受ける施設を評価対象施設とする。

Step 4 : 外殻となる施設による防護機能が期待できない区画の内部に配置されている外部事象防護対象施設は, 竜巻襲来時に風圧, 気圧差及び設計飛来物衝突の影響を受けるため, 評価対象施設とする。

なお, 外殻による防護機能に期待できるかは, 外殻となる施設の竜巻荷重に対する構造健全性の確認結果により, 設計飛来物の衝突等による開口部の開放又は開口部建具の貫通の観点から, 評価対象施設を抽出する。

注記*1 : 外部事象に対し必要な構築物, 系統及び機器 (発電用原子炉を停止するため, また停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物, 系統及び機器) として, 安全重要度分類のクラス 1, クラス 2 及び安全評価*²上その機能に期待するクラス 3 に属する構築物, 系統及び機器並びにそれを内包する区画

*2 : 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

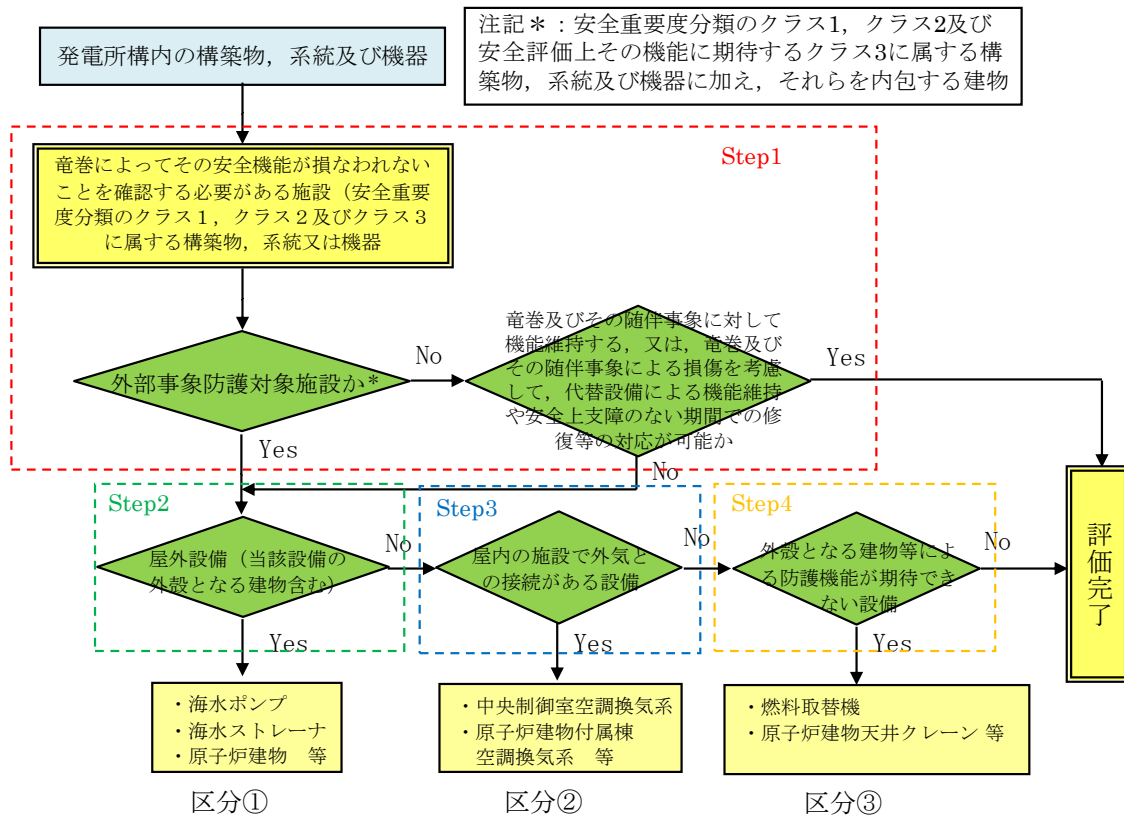


図 2-1 外部事象防護対象施設のうち評価対象施設の抽出フロー

表 2-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (5/12)

重要度分類			系統・機器		設置場所		外設となる建物の防護機能により電気の影響を受けないことの確認	評価対象施設	備考
分類	定義	機能	系統	機器・設備	屋外	屋内*1 (建物名)	外設となる建物の防護機能により電気の影響を受けないことの確認	評価対象施設	備考
MS-1	1) 異常気圧発生時に原子炉圧力容器の破損防止を図るため、原子炉格納容器圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への放射性の放射線の影響を防止する構造物、系統及び機器	6) 放射性物質の閉じ込めを図るため、原子炉格納容器の遮へい及び放射線遮蔽機能	可溶性ガス濃度制御系	可溶性ガス濃度制御系統合装置 (7 号含む)	—	R/B	なし	—	あり
				配管	—	R/B	なし	—	あり
				弁	—	R/B	なし	—	あり
				A—原子炉プロセス計測罐 (2-934A)	—	Rw/B	なし	—	あり
				B—原子炉プロセス計測罐 (2-934B)	—	Rw/B	なし	—	あり
				配管	—	R/B	なし	—	あり
				弁	—	R/B	なし	—	あり
				生体しゃへい装置	—	R/B	なし	—	あり
				A—原子炉圧力容器計器ラック (2-RIR-1-8A)	—	R/B	なし	—	あり
				B—原子炉圧力容器計器ラック (2-RIR-1-8B)	—	R/B	なし	—	あり
MS-1	2) 安全上必須なその他の機器、系統及び機器	1) 工学的安全施設及び原子炉停止系の作動部分の発生機能	原子炉保護系	C—原子炉圧力容器計器ラック (2-RIR-1-8C)	—	R/B	なし	—	あり
				D—原子炉圧力容器計器ラック (2-RIR-1-8D)	—	R/B	なし	—	あり
				A—原子炉格納容器圧力計器ラック (2-RIR-2-8A)	—	R/B	なし	—	あり
				B—原子炉格納容器圧力計器ラック (2-RIR-2-8B)	—	R/B	なし	—	あり
				C—原子炉格納容器圧力計器ラック (2-RIR-2-8C)	—	R/B	なし	—	あり
				D—原子炉格納容器圧力計器ラック (2-RIR-2-8D)	—	R/B	なし	—	あり
				A1—原子炉保護トリップ設定器罐 (2-924A1)	—	Rw/B	なし	—	あり
				A2—原子炉保護トリップ設定器罐 (2-924A2)	—	Rw/B	なし	—	あり
				B1—原子炉保護トリップ設定器罐 (2-924B1)	—	Rw/B	なし	—	あり
				B2—原子炉保護トリップ設定器罐 (2-924B2)	—	Rw/B	なし	—	あり
MS-1	3) 工学的安全施設及び原子炉停止系の作動部分の発生機能	1) 工学的安全施設及び原子炉停止系の作動部分の発生機能	原子炉圧力容器計器系	S1—工学的安全施設トリップ設定器罐 (2-976A)	—	Rw/B	なし	—	あり
				S2—工学的安全施設トリップ設定器罐 (2-976B)	—	Rw/B	なし	—	あり
				プロセス放射線モニタ系	—	C/B	なし	—	あり
				原子炉中核種モニタ系	—	R/B	なし	—	あり
				PLRボック計器ラック (2-RIR-1-2-2)	—	R/B	なし	—	あり
				PLRボック計器ラック (2-RIR-1-2-4)	—	R/B	なし	—	あり
				A—主蒸気流量計器ラック (2-RIR-1-3A)	—	R/B	なし	—	あり
				B—主蒸気流量計器ラック (2-RIR-1-3B)	—	R/B	なし	—	あり
				C—主蒸気流量計器ラック (2-RIR-1-3C)	—	R/B	なし	—	あり
				D—主蒸気流量計器ラック (2-RIR-1-3D)	—	R/B	なし	—	あり
MS-1	4) 工学的安全施設及び原子炉停止系の作動部分の発生機能	1) 工学的安全施設及び原子炉停止系の作動部分の発生機能	原子炉圧力容器計器系	A—主蒸気圧力計器ラック (2-TIR-1-1A)	—	T/B	なし	—	あり
				B—主蒸気圧力計器ラック (2-TIR-1-1B)	—	T/B	なし	—	あり
				A—復水器真空計器ラック (2-TIR-3-9A)	—	T/B	なし	—	あり
				B—復水器真空計器ラック (2-TIR-3-9B)	—	T/B	なし	—	あり
				タービン建物、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。	—	T/B	なし	—	あり
				タービン建物、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。	—	T/B	なし	—	あり
				タービン建物、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。	—	T/B	なし	—	あり
				タービン建物、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。	—	T/B	なし	—	あり
				タービン建物、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。	—	T/B	なし	—	あり
				タービン建物、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。	—	T/B	なし	—	あり

注記*1：外部事象防護対象施設を内包する建物を「外設となる建物等」として抽出。建物名は、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。

*2：設計電圧の気圧差による荷重の影響を受ける機器・設備を外気との接続「あり」とする。

表2-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (8/12)

分類	重要区分種		系統	系統・機器		設置場所 (建物名) 屋外	評価対象施設		備考	
	定義	機能		機器・設備	外気との接続等 ^{a)} 外気となる建物の影響を受けないことでの確認		外気となる建物として評価			
MS-1	2) 安全に必須なその他の構成要素、系統及び機器	非常用電源系、制御室及びその配電装置、非常用機油圧水素、直流電源系(いずれも、MS-1関連のもの)	中央制御室	中央制御室遮断器	○	—	—	○	外気となる建物として評価	
			中央制御室送風機	中央制御室送風機	—	Rw/B	あり	○	外気となる建物として評価	
	中央制御室換気系		中央制御室送風機電動機	中央制御室送風機電動機	—	Rw/B	なし	あり	—	
			中央制御室非常用冷却循環送風機	中央制御室非常用冷却循環送風機	—	Rw/B	あり	あり	○	—
			中央制御室非常用冷却循環送風機電動機	中央制御室非常用冷却循環送風機電動機	—	Rw/B	なし	あり	○	建物内にあるが、ハッチ等の建具の損傷を考慮して評価対象とする。
			中央制御室排風機	中央制御室排風機	—	Rw/B	あり	あり	○	—
			中央制御室排風機電動機	中央制御室排風機電動機	—	Rw/B	なし	あり	—	—
			中央制御室空気調和装置（加湿器含む）	中央制御室空気調和装置（加湿器含む）	—	Rw/B	あり	あり	○	—
			中央制御室非常用冷却循環処理装置	中央制御室非常用冷却循環処理装置	—	Rw/B	あり	あり	○	—
			中央制御室冷凍機	中央制御室冷凍機ポンプ	—	Rw/B	なし	あり	—	—
	原子炉補機冷却系		中央制御室冷凍機ポンプ電動機	中央制御室冷凍機ポンプ電動機	—	Rw/B	なし	あり	—	—
			中央制御室冷水循環ポンプ	中央制御室冷水循環ポンプ	—	Rw/B	なし	あり	—	—
			中央制御室冷水循環ポンプ電動機	中央制御室冷水循環ポンプ電動機	—	Rw/B	なし	あり	—	—
			ダクト	ダクト	—	Rw/B, C/B	あり	あり	○	—
			ダンプ	ダンプ	—	Rw/B, C/B	あり	あり	○	—
			弁	弁	—	Rw/B	あり	あり	○	—
			A—中央制御室冷凍機制御装置（2—256A）	A—中央制御室冷凍機制御装置（2—256A）	—	Rw/B	なし	あり	—	—
			B—中央制御室冷凍機制御装置（2—256B）	B—中央制御室冷凍機制御装置（2—256B）	—	Rw/B	なし	あり	—	—
原子炉補機冷却系		共部盤（2—96S—2）	共部盤（2—96S—2）	—	C/B	なし	あり	—	—	
		中央制御室A—冷凍機計器ラック（2—W I R—2—6 A）	中央制御室A—冷凍機計器ラック（2—W I R—2—6 A）	—	Rw/B	なし	あり	—	—	
		中央制御室B—冷凍機計器ラック（2—W I R—2—6 B）	中央制御室B—冷凍機計器ラック（2—W I R—2—6 B）	—	Rw/B	なし	あり	—	—	
		原子炉補機冷却系熱交換器	原子炉補機冷却系熱交換器	—	R/B	なし	あり	○	建物内にあるが、ハッチ等の建具の損傷を考慮して評価対象とする。	
		原子炉補機冷却水ポンプ	原子炉補機冷却水ポンプ	—	R/B	なし	あり	○	建物内にあるが、一部の対象設備についてハッチ等の建具の損傷を考慮して評価対象とする。	
		原子炉補機冷却水ポンプ電動機	原子炉補機冷却水ポンプ電動機	—	R/B	なし	あり	○	建物内にあるが、一部の対象設備を考慮して評価対象とする。	
		配管	配管	—	R/B	なし	あり	○	建物内にあるが、一部の対象設備を考慮して評価対象とする。	
		弁	弁	—	R/B	なし	あり	○	建物内にあるが、一部の対象設備を考慮して評価対象とする。	
原子炉補機排水系		サーージタンク	サーージタンク	—	R/B	なし	あり	—	—	
		原子炉補機排水ポンプ	原子炉補機排水ポンプ	○	—	—	—	○	—	
		原子炉補機排水ポンプ電動機	原子炉補機排水ポンプ電動機	○	R/B, T/B	あり	あり	○	—	
		配管	配管	○	R/B	あり	あり	○	—	
		弁	弁	○	R/B	あり	あり	○	—	
		ストレーナ	ストレーナ	○	—	—	—	○	—	

主記*1: 外部事象防護対象施設を内包する建物等を「外殻となる建物等」として抽出。建物名は、R/B: 原子炉建物, T/B: タービン建物, Rw/B: 廃棄物処理建物, C/B: 制御室建物を示す。

*2: 設計竜巻の気圧差による荷重の影響を受ける機器・設備を外気との接続「あり」とする。

表2-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (9/12)

[illegible]

注記＊１：外部事象防護対象施設を内包する建物等を「外殻となる建物等」として抽出。建物名は、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。

*2: 設計竜巻の気圧差による荷重の影響を受ける機器・設備を外気との接続「あり」とする。

*2: 設計竜巻の気圧差による荷重の影響を受ける機器・設備を外気との接続「あり」とする。

表2-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (10/12)

[illegible]

主記*1：外部事象防護対象施設を内包する建物等を「外設となる建物等」として抽出。建物名は、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。

*2: 設計竜巻の気圧差による荷重の影響を受ける機器・設備を外気との接続「あり」とする。

表2-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (11/12)

[illegible]

主記*1：外部事象防護対象施設を「外殻となる建物等」として抽出。建物名は、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。

*2: 設計竜巻の気圧差による荷重の影響を受ける機器・設備を外気との接続「あり」とする。

表 2-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (12/12)

重要度分類		機能	系統・機器		設置場所		外設となる建物の防護機能により電磁の影響を受けないことの確認		評価対象施設	備考	
分類	定義		系統	機器・設備	屋外	屋内 ^{※1} (建物名)	外気との接続 ^{※2}	外設となる建物等			
MS-3	2) 異常事態への対応上特に重要な機器 2) 緊急時対策上重要な機器、事故時監視設備の一部、消火系統、安全避難通路、非常用電源	原子力発電所緊急時対策所、燃料検査施設、放射線監視設備、事故時監視設計の一部、消火系統、安全避難通路、非常用電源	放射線監視設備	排気筒モニタ	○	—	—	—	○		
				原子力発電所	○	—	—	—	○		
				制御室建物	—	—	—	—	—		
				タービン建物	—	—	—	—	—		
				廃棄物処理建物	—	—	—	—	—		
				排気筒モニタ室	—	—	—	—	—		
				A—デューセル燃料貯蔵タンク室	—	—	—	—	—		
				HPC S—デューセル燃料貯蔵タンク室	—	—	—	—	—		
				B—デューセル燃料貯蔵タンク制御棟	—	—	—	—	—		
				外設となる施設							

注記*1：外設事象防護対象施設を内包する建物等を「外設となる建物等」として抽出。建物名は、R/B：原子力発電所、T/B：タービン建物、Rv/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。

*2：設計電巻の気圧差による荷重の影響を受ける機器・設備を外気との接続「あり」とする。

3. 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設の選定

3. 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設の選定について

外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設として、倒壊により外部事象防護対象施設に損傷を及ぼし得る施設及び外部事象防護対象施設の附属施設のうち屋外にある施設を抽出し、外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設とした。外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の抽出フローを図3-1に示す。

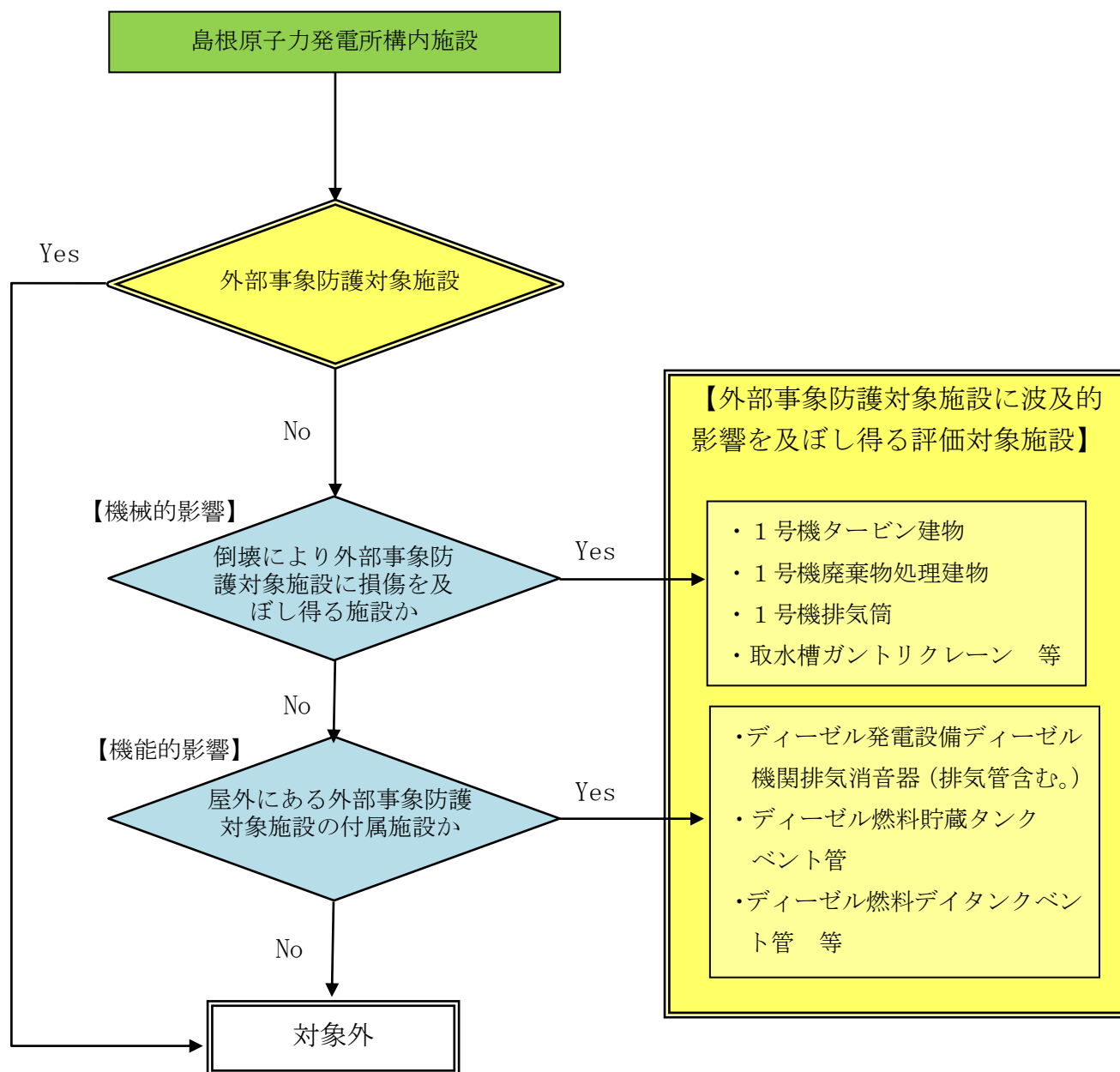


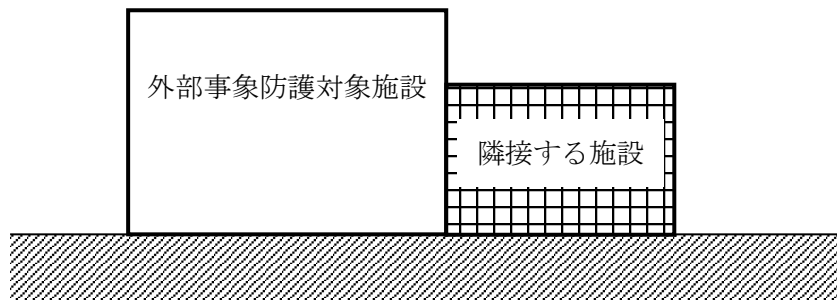
図3-1 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の抽出フロー

3.1 倒壊により外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果

倒壊により外部事象防護対象施設に損傷を及ぼし得る施設については、外部事象防護対象施設に対する機械的な影響を考慮し、外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設として抽出した。

具体的には、図 3.1-1 に示すとおり、外部事象防護対象施設に隣接する施設及び地上高さが外部事象防護対象施設との距離以上である施設を抽出した。抽出結果を表 3.1-1 に示す。

【外部事象防護対象施設に隣接する施設】



【地上高さが外部事象防護対象施設との距離以上である施設】（高さ $H \geq$ 水平距離 L の場合）

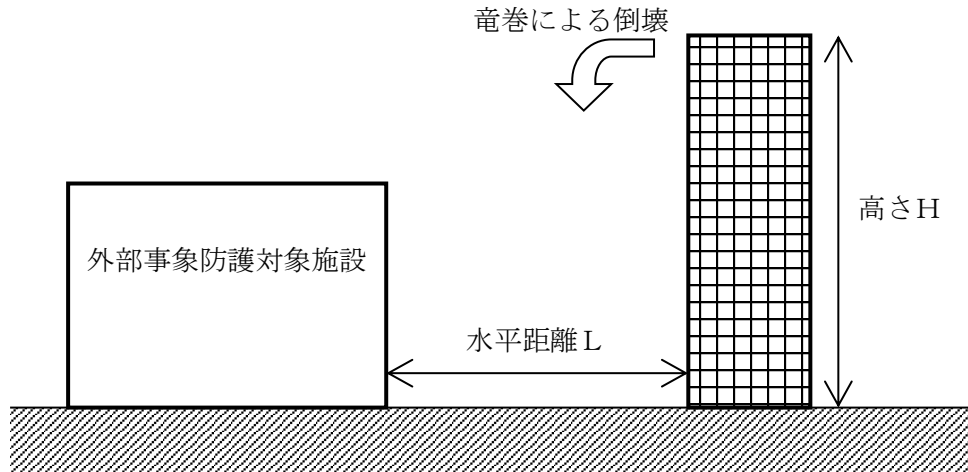


図 3.1-1 倒壊により外部事象防護対象施設に損傷を及ぼし得る施設

表 3.1-1 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の抽出結果
(倒壊により外部事象防護対象施設に損傷を及ぼし得る施設)

施設名	損傷を受ける可能性のある 外部事象防護対象施設	外部事象防護対象施設との 距離	地上高さ
1号機原子炉建物	制御室建物	約 15m	47m
1号機タービン建物	2号機タービン建物 制御室建物	隣接	—
1号機廃棄物処理建物	2号機廃棄物処理建物 制御室建物	隣接	—
1号機排気筒	2号機タービン建物	約 10m	120m
取水槽ガントリクレーン	原子炉補機海水ポンプ等	約 24m (レール延長前：約 10m) *	21m
排気筒モニタ室	2号機排気筒	隣接	—
復水貯蔵タンク遮蔽壁	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	約 5m	12m

注記*：取水槽ガントリクレーンが竜巻による風荷重等により倒壊した場合、竜巻防護対策設備等を損傷させる可能性があるため、レールを延長し、係留位置において逸走防止装置及び転倒防止装置にて固定する対策を実施した（別紙1参照）。

3.2 外部事象防護対象施設の屋外にある付属施設の抽出

外部事象防護対象施設の付属施設のうち屋外にある施設について、外部事象防護対象施設に対する機能的な影響を考慮し、外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設として抽出した。抽出結果を表 3.2-1、表 3.2-2 に示す。

表 3.2-1 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の抽出結果
(外部事象防護対象施設の付属施設のうち屋外にある施設)

外部事象防護対象施設	屋外にある付属施設
非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関	排気消音器（排気管含む。）
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関	排気消音器（排気管含む。）
ディーゼル燃料貯蔵タンク	ベント管
ディーゼル燃料デイトンク	ベント管
潤滑油サンプタンク	ベント管

表 3.2-2 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性があり施設の抽出結果 (1/8)

系統	系統・機器	設置場所		外部事象防護対象施設と配管、ダクト等で接続されている屋外施設	機能喪失による影響		外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	備考
	機器・設備	屋外	屋内* (建物名)		影響有無	判断理由		
原子炉圧力容器	原子炉圧力容器	—	R/B	なし	—	—	—	
炉心支持構造物	炉心シュラウド	—	R/B	なし	—	—	—	
	シュラウドサポート	—	R/B	なし	—	—	—	
	上部格子板	—	R/B	なし	—	—	—	
	炉心支持板	—	R/B	なし	—	—	—	
	燃料支持金具	—	R/B	なし	—	—	—	
	制御棒案内管	—	R/B	なし	—	—	—	
	制御棒駆動機構ハウジング	—	R/B	なし	—	—	—	
燃料集合体	チャンネルボックス	—	R/B	なし	—	—	—	
原子炉格納容器	燃料集合体	—	R/B	なし	—	—	—	
	原子炉格納容器	—	R/B	なし	—	—	—	
	真空破壊装置	—	R/B	なし	—	—	—	
	ベント管	—	R/B	なし	—	—	—	
	スプレイ管	—	R/B	なし	—	—	—	
原子炉格納容器隔離弁	クエンチャ	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	原子炉補機制御盤 (2-904-2)	—	C/B	なし	—	—	—	
	T I P 制御盤 (2-912)	—	C/B	なし	—	—	—	
	A-原子炉保護継電器盤 (2-924A)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B-原子炉保護継電器盤 (2-924B)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	空調換気制御盤 (2-929-1)	—	C/B	なし	—	—	—	
	窒素ガス制御盤 (2-929-2)	—	C/B	なし	—	—	—	
	A-格納容器H2/O2濃度計盤 (2-973A-1)	—	C/B	なし	—	—	—	
	B-格納容器H2/O2濃度計盤 (2-973B-1)	—	C/B	なし	—	—	—	
	A-格納容器H2/O2濃度計演算器盤 (2-973A-2)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B-格納容器H2/O2濃度計演算器盤 (2-973B-2)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	AM設備制御盤 (2-974)	—	C/B	なし	—	—	—	
	計装弁隔離計装盤 (2-977)	—	C/B	なし	—	—	—	
サブプレッション・チェンバ	サブプレッション・チェンバ	—	R/B	なし	—	—	—	
原子炉再循環系	原子炉再循環ポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	ジェットポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	P L R ポンプ計器ラック (2-R I R-1-2-2)	—	R/B	なし	—	—	—	
主蒸気系	P L R ポンプ計器ラック (2-R I R-1-2-4)	—	R/B	なし	—	—	—	
	アキュムレータ	—	R/B	なし	—	—	—	
	主蒸気流量制限器	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	逃がし安全弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	主蒸気隔離弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	安全設備制御盤 (2-903)	—	C/B	なし	—	—	—	
	A-主蒸気流量計器ラック (2-R I R-1-3 A)	—	R/B	なし	—	—	—	
	B-主蒸気流量計器ラック (2-R I R-1-3 B)	—	R/B	なし	—	—	—	
	C-主蒸気流量計器ラック (2-R I R-1-3 C)	—	R/B	なし	—	—	—	
給水系	D-主蒸気流量計器ラック (2-R I R-1-3 D)	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
ベント・ドレン系	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	

注記＊：外部事象防護対象施設を内包する建物等を「外殻となる建物等」として抽出。建物名は、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。

表 3.2-2 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性があり施設の抽出結果 (2/8)

系統・機器		設置場所		外部事象防護対象施設と配管、ダクト等で接続されている屋外施設	機能喪失による影響		外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	備考
系統	機器・設備	屋外	屋内※ (建物名)		影響有無	判断理由		
制御棒駆動水圧系	制御棒	—	R/B	なし	—	—	—	
	制御棒駆動機構	—	R/B	なし	—	—	—	
	制御棒カップリング	—	R/B	なし	—	—	—	
	制御棒駆動機構カップリング	—	R/B	なし	—	—	—	
	制御棒駆動機構ラッチ機構	—	R/B	なし	—	—	—	
	制御棒駆動機構ハウジング	—	R/B	なし	—	—	—	
	制御棒案内管	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	アキュムレータ	—	R/B	なし	—	—	—	
	窒素容器	—	R/B	なし	—	—	—	
原子炉浄化系	原子炉浄化循環ポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	原子炉浄化循環ポンプ電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	原子炉浄化補助ポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	原子炉浄化補助ポンプ電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	再生熱交換器	—	R/B	なし	—	—	—	
	非再生熱交換器	—	R/B	なし	—	—	—	
	補助熱交換器	—	R/B	なし	—	—	—	
	原子炉浄化サージタンク	—	R/B	なし	—	—	—	
	ろ過脱塩装置ろ過脱塩器	—	R/B	なし	—	—	—	
	脱塩装置脱塩器	—	R/B	なし	—	—	—	
	A－配管周囲温度トリップ設定器盤（2－975A）	—	C/B	なし	—	—	—	
	B－配管周囲温度トリップ設定器盤（2－975B）	—	C/B	なし	—	—	—	
	A－CUW・RCIC・RHR 隔離計器ラック（2－RIR－B1－1A）	—	R/B	なし	—	—	—	
	B－CUW・RCIC・RHR 隔離計器ラック（2－RIR－B1－1B）	—	R/B	なし	—	—	—	
原子炉補機冷却系	原子炉補機冷却水ポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	原子炉補機冷却水ポンプ電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	原子炉補機冷却系熱交換器	—	R/B	なし	—	—	—	
	サージタンク	—	R/B	なし	—	—	—	
原子炉補機海水系	原子炉補機海水ポンプ	○	—	なし	—	—	—	
	原子炉補機海水ポンプ電動機	○	—	なし	—	—	—	
	配管	○	R/B、T/B	なし	—	—	—	
	弁	○	R/B	なし	—	—	—	
	ストレーナ	○	—	なし	—	—	—	
燃料プール冷却系	燃料プール	—	R/B	なし	—	—	—	
	使用済燃料貯蔵ラック	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
新燃料貯蔵庫	新燃料貯蔵庫（臨界を防止する機能）	—	R/B	なし	—	—	—	
原子炉ウェル	原子炉ウェル	—	R/B	なし	—	—	—	
高圧炉心スプレイ 補機冷却系	高圧炉心スプレイ 補機冷却水ポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ 補機冷却水ポンプ電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ 補機冷却系熱交換器	—	R/B	なし	—	—	—	
	サージタンク	—	R/B	なし	—	—	—	

注記＊：外部事象防護対象施設を内包する建物等を「外殻となる建物等」として抽出。建物名は、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。

表 3.2-2 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性があり施設の抽出結果 (3/8)

系統・機器		設置場所		外部事象防護対象施設と配管、ダクト等で接続されている屋外施設	機能喪失による影響		外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	備考
系統	機器・設備	屋外	屋内* (建物名)		影響有無	判断理由		
高圧炉心スプレイ補機海水系	高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	○	—	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ電動機	○	—	なし	—	—	—	
	配管	○	R/B、T/B	なし	—	—	—	
	弁	○	R/B	なし	—	—	—	
	ストレーナ	○	—	なし	—	—	—	
原子炉隔離時冷却系	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	原子炉隔離時冷却ポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用タービン	—	R/B	なし	—	—	—	
	タービン油ポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	ストレーナ	—	R/B	なし	—	—	—	
	主油タンク	—	R/B	なし	—	—	—	
	潤滑油クーラ	—	R/B	なし	—	—	—	
	油冷却器	—	R/B	なし	—	—	—	
	R C I Cタービン制御盤 (S II) (2-2360)	—	R/B	なし	—	—	—	
	R C I Cタービン排気圧力計器ラック (2-RIR-B 1-3)	—	R/B	なし	—	—	—	
残留熱除去系	残留熱除去ポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	残留熱除去ポンプ電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	ストレーナ	—	R/B	なし	—	—	—	
	残留熱除去系熱交換器	—	R/B	なし	—	—	—	
	A-RHR計器ラック (2-RIR-B 2-3 A)	—	R/B	なし	—	—	—	
	B-RHR計器ラック (2-RIR-B 2-3 B)	—	R/B	なし	—	—	—	
	C-RHR計器ラック (2-RIR-B 2-3 C)	—	R/B	なし	—	—	—	
低圧炉心スプレイ系	低圧炉心スプレイ・ポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	低圧炉心スプレイ・ポンプ電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	ストレーナ	—	R/B	なし	—	—	—	
高圧炉心スプレイ系	高圧炉心スプレイ・ポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ・ポンプ電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	ストレーナ	—	R/B	なし	—	—	—	
	H P C S継電器盤 (2-921)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	H P C Sトリップ設定器盤 (2-921A)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
ほう酸水注入系	H P C S計器ラック (2-RIR-B 1-4)	—	R/B	なし	—	—	—	
	ほう酸水注入ポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	ほう酸水注入ポンプ電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	ほう酸水注入ポンプ潤滑油ポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	ほう酸水注入ポンプ潤滑油ポンプ電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	ほう酸水貯蔵タンク	—	R/B	なし	—	—	—	
	原子炉制御盤 (2-905)	—	C/B	なし	—	—	—	
	ほう酸水注入系操作箱 (2RCB-51)	—	R/B	なし	—	—	—	

注記＊：外部事象防護対象施設を内包する建物等を「外殻となる建物等」として抽出。建物名は、R/B：原子炉建物，T/B：タービン建物，Rw/B：廃棄物処理建物，C/B：制御室建物を示す。

表 3.2-2 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性があり施設の抽出結果 (4/8)

系統	系統・機器	設置場所		外部事象防護対象施設と配管、ダクト等で接続されている屋外施設	機能喪失による影響		外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	備考
	機器・設備	屋外	屋内* (建物名)		影響有無	判断理由		
非常用ガス処理系	非常用ガス処理排風機	—	R/B	なし	—	—	—	
	非常用ガス処理排風機電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	非常用ガス処理前置ガス処理装置	—	R/B	なし	—	—	—	
	非常用ガス処理後置ガス処理装置	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	○	R/B、T/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	安全設備補助制御盤 (2-909)	—	C/B	なし	—	—	—	
	A-SGT計器ラック (2-RIR-3-2A)	—	R/B	なし	—	—	—	
自動減圧系	B-SGT計器ラック (2-RIR-3-2B)	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	アキュムレータ	—	R/B	なし	—	—	—	
	原子炉補機制御盤 (2-904-1)	—	C/B	なし	—	—	—	
可燃性ガス濃度制御系	可燃性ガス濃度制御系再結合装置 (プロ含む)	—	R/B	なし	—	—	—	
	事故時サンプルポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	事故時サンプルポンプ電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	通常時サンプルポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	通常時サンプルポンプ電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	事故時サンプル昇圧ポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	事故時サンプル昇圧ポンプ電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	通常時サンプル昇圧ポンプ	—	R/B	なし	—	—	—	
	通常時サンプル昇圧ポンプ電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	気水分離器	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管	—	R/B	なし	—	—	—	
	弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	冷却器	—	R/B	なし	—	—	—	
	除湿機	—	R/B	なし	—	—	—	
	A-原子炉プロセス計測盤 (2-934A)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B-原子炉プロセス計測盤 (2-934B)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	A-原子炉格納容器H2/O2分析計ラック (2-RSR-3-3A)	—	R/B	なし	—	—	—	
	B-原子炉格納容器H2/O2分析計ラック (2-RSR-3-3B)	—	R/B	なし	—	—	—	

注記*：外部事象防護対象施設を内包する建物等を「外殻となる建物等」として抽出。建物名は、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。

表 3.2-2 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性があり施設の抽出結果 (5/8)

系統・機器		設置場所		外部事象防護対象施設と配管、ダクト等で接続されている屋外施設	機能喪失による影響		外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	備考
系統	機器・設備	屋外	屋内※ (建物名)		影響有無	判断理由		
非常用所内電源系	非常用メタクラ盤(2C-M/C)	—	R/B	なし	—	—	—	
	2C-動力変圧器	—	R/B	なし	—	—	—	
	非常用メタクラ盤(2D-M/C)	—	R/B	なし	—	—	—	
	2D-動力変圧器	—	R/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ系メタクラ盤(2HPCS-M/C)	—	R/B	なし	—	—	—	
	2HPCS-動力変圧器	—	R/B	なし	—	—	—	
	非常用ロードセンタ盤(2C-L/C)	—	R/B	なし	—	—	—	
	非常用ロードセンタ盤(2D-L/C)	—	R/B	なし	—	—	—	
	非常用コントロールセンタ盤(2C1, 2, 3-R/B-C/C)	—	R/B	なし	—	—	—	
	非常用コントロールセンタ盤(2D1, 2, 3-R/B-C/C)	—	R/B	なし	—	—	—	
	非常用コントロールセンタ盤(2A-DG-C/C)	—	R/B	なし	—	—	—	
	非常用コントロールセンタ盤(2B-DG-C/C)	—	R/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ系コントロールセンタ盤(2HPCS-C/C)	—	R/B	なし	—	—	—	
	計装用コントロールセンタ盤(2A-計装-C/C)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	計装用コントロールセンタ盤(2B-計装-C/C)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	A-中央分電盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B-中央分電盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ系-中央分電盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	A-計装分電盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B-計装分電盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	A-計装用無停電交流電源装置	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B-計装用無停電交流電源装置	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	A-ディーゼル発電機制御盤(2-2220A1)	—	R/B	なし	—	—	—	
	B-ディーゼル発電機制御盤(2-2220B1)	—	R/B	なし	—	—	—	
	HPCS-ディーゼル発電機制御盤(2-2220H1)	—	R/B	なし	—	—	—	
	所内電気盤(2-908)	—	C/B	なし	—	—	—	
直流電源系	230V系蓄電池	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	A-115V系蓄電池	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B-115V系蓄電池	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ系蓄電池	—	R/B	なし	—	—	—	
	A-原子炉中性子計装用蓄電池	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B-原子炉中性子計装用蓄電池	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	直流コントロールセンタ盤(2-RCIC直流-C/C)	—	R/B	なし	—	—	—	
	A-原子炉中性子計装用充電器盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B-原子炉中性子計装用充電器盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	230V系充電器盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	A-115V系充電器盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B-115V系充電器盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ系充電器盤	—	R/B	なし	—	—	—	
	A-原子炉中性子計装用分電盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B-原子炉中性子計装用分電盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	230V系直流盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	A-115V系直流盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B-115V系直流盤	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ系直流盤	—	R/B	なし	—	—	—	
抽気系	A-主蒸気圧力計器ラック(2-TIR-1-1A)	—	T/B	なし	—	—	—	
	B-主蒸気圧力計器ラック(2-TIR-1-1B)	—	T/B	なし	—	—	—	
	A-復水器真空計器ラック(2-TIR-3-9A)	—	T/B	なし	—	—	—	
	B-復水器真空計器ラック(2-TIR-3-9B)	—	T/B	なし	—	—	—	

注記※：外部事象防護対象施設を内包する建物等を「外殻となる建物等」として抽出。建物名は、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。

表 3.2-2 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性があり施設の抽出結果 (6/8)

系統	系統・機器	設置場所		外部事象防護対象施設と配管、ダクト等で接続されている屋外施設	機能喪失による影響		外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	備考
	機器・設備	屋外	屋内* (建物名)		影響有無	判断理由		
気体廃棄物処理系	活性炭式希ガスホールドアップ塔	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	隔離弁	—	T/B	なし	—	—	—	
	タービン補機制御盤 (2-906)	—	C/B	なし	—	—	—	
	タービン補助盤 (2-943)	—	C/B	なし	—	—	—	
	空気抽出器圧力・温度計器ラック (2-TIR-2-9)	—	T/B	なし	—	—	—	
	排ガス処理系計器ラック (2-TIR-3-10)	—	T/B	なし	—	—	—	
原子炉棟換気系	原子炉棟換気系隔離弁	—	R/B	なし	—	—	—	
	原子炉棟換気系ダクト	—	R/B	なし	—	—	—	
中央制御室換気系	中央制御室送風機	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	中央制御室送風機電動機	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	中央制御室非常用再循環送風機	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	中央制御室非常用再循環送風機電動機	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	中央制御室排風機	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	中央制御室排風機電動機	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	中央制御室空調和装置 (加湿器含む)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	中央制御室非常用再循環処理装置	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	中央制御室冷凍機	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	中央制御室冷凍機油ポンプ	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	中央制御室冷凍機油ポンプ電動機	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	中央制御室冷水再循環ポンプ	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	中央制御室冷水再循環ポンプ電動機	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	ダクト	—	Rw/B, C/B	なし	—	—	—	
	ダンパ	—	Rw/B, C/B	なし	—	—	—	
	弁	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	A-中央制御室冷凍機制御盤 (2-2256A)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B-中央制御室冷凍機制御盤 (2-2256B)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	共通盤 (2-965-2)	—	C/B	なし	—	—	—	
	中央制御室A-冷凍機計器ラック (2-WIR-2-6A)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	中央制御室B-冷凍機計器ラック (2-WIR-2-6B)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
原子炉建物付属棟空調換気系	非常用ディーゼル室送風機	—	R/B	なし	—	—	—	
	非常用ディーゼル室送風機電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル室送風機	—	R/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル室送風機電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	残留熟除去ポンプ室冷却機	—	R/B	なし	—	—	—	
	残留熟除去ポンプ室冷却機電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	低圧炉心スプレイ・ポンプ室冷却機	—	R/B	なし	—	—	—	
	低圧炉心スプレイ・ポンプ室冷却機電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ・ポンプ室冷却機	—	R/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ・ポンプ室冷却機電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	非常用電気室送風機	—	R/B	なし	—	—	—	
	非常用電気室送風機電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ系電気室送風機	—	R/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ系電気室送風機電動機	—	R/B	なし	—	—	—	
	非常用電気室外気処理装置	—	R/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレイ系電気室外気処理装置	—	R/B	なし	—	—	—	
	ダクト	—	R/B	なし	—	—	—	
	ダンパ	—	R/B	なし	—	—	—	

注記＊：外部事象防護対象施設を内包する建物等を「外殻となる建物等」として抽出。建物名は、R/B：原子炉建物，T/B：タービン建物，Rw/B：廃棄物処理建物，C/B：制御室建物を示す。

表 3.2-2 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性があり施設の抽出結果（7/8）

系統・機器		設置場所		外部事象防護対象施設と配管、ダクト等で接続されている屋外施設	機能喪失による影響		外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	備考
系統	機器・設備	屋外	屋内 [※] （建物名）		影響有無	判断理由		
非常用所内電源系	非常用ディーゼル発電機	—	R/B	排気消音器（排気管含む）	あり	閉塞した場合、ディーゼル機関への排気に影響を及ぼす可能性がある。	○	
	空気だめ	—	R/B	なし	—	—	—	
	給気消音器フィルタ	—	R/B	なし	—	—	—	
	潤滑油冷却機	—	R/B	なし	—	—	—	
	潤滑油サンプタンク	—	R/B	ベント管	あり	閉塞した場合、タンクが加圧される可能性がある。	○	
	潤滑油フィルタ	—	R/B	なし	—	—	—	
	シリンダ油タンク	—	R/B	ベント管	あり	閉塞した場合、タンクが加圧される可能性がある。	○	ベント管は潤滑油サンプタンクベント管と共用
	シリンダ油フィルタ	—	R/B	なし	—	—	—	
	1次水冷却器	—	R/B	なし	—	—	—	
	1次水空気抜タンク	—	R/B	なし	—	—	—	
	1次水膨張タンク	—	R/B	なし	—	—	—	
	ディーゼル燃料デイトank	—	R/B	ベント管	あり	閉塞した場合、燃料の移送に影響を及ぼす可能性がある。	○	
	Aーディーゼル燃料移送ポンプ	○	—	なし	—	—	—	
	Aーディーゼル燃料移送ポンプ電動機	○	—	なし	—	—	—	
	Bーディーゼル燃料移送ポンプ	—	ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	なし	—	—	—	
	Bーディーゼル燃料移送ポンプ電動機	—	ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	なし	—	—	—	
	燃料フィルタ	—	R/B	なし	—	—	—	
	配管（給気管、過給機含む）	○	R/B	なし	—	—	—	
	弁	○	R/B	なし	—	—	—	
	HPCSーディーゼル発電機	—	R/B	排気消音器（排気管含む）	あり	閉塞した場合、ディーゼル機関への排気に影響を及ぼす可能性がある。	○	
	HPCSー空気だめ	—	R/B	なし	—	—	—	
	HPCSー給気消音器フィルタ	—	R/B	なし	—	—	—	
	HPCSー潤滑油冷却機	—	R/B	なし	—	—	—	
	HPCSー潤滑油サンプタンク	—	R/B	ベント管	あり	閉塞した場合、タンクが加圧される可能性がある。	○	
	HPCSー潤滑油フィルタ	—	R/B	なし	—	—	—	
	HPCSーシリンダ油タンク	—	R/B	ベント管	あり	閉塞した場合、タンクが加圧される可能性がある。	○	ベント管は潤滑油サンプタンクベント管と共用
	HPCSーシリンダ油フィルタ	—	R/B	なし	—	—	—	
	HPCSー1次水冷却器	—	R/B	なし	—	—	—	
	HPCSー1次水空気抜タンク	—	R/B	なし	—	—	—	
	HPCSー1次水膨張タンク	—	R/B	なし	—	—	—	
	HPCSーディーゼル燃料デイトank	—	R/B	ベント管	あり	閉塞した場合、燃料の移送に影響を及ぼす可能性がある。	○	
	HPCSーディーゼル燃料移送ポンプ	○	—	なし	—	—	—	
	HPCSーディーゼル燃料移送ポンプ電動機	○	—	なし	—	—	—	
	HPCSー燃料フィルタ	—	R/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機配管（給気管、過給機含む）	○	R/B	なし	—	—	—	
	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機備弁	○	R/B	なし	—	—	—	
	ディーゼル燃料貯蔵タンク	—	ディーゼル燃料貯蔵タンク室、ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	ベント管	あり	閉塞した場合、燃料の移送に影響を及ぼす可能性がある。	○	
燃料取扱設備	燃料取扱機	—	R/B	なし	—	—	—	
原子炉建物天井クレーン	原子炉建物天井クレーン	—	R/B	なし	—	—	—	
中央制御室外原子炉停止装置	中央制御装置室外原子炉停止制御盤（2-2215-1）	—	R/B	なし	—	—	—	
	中央制御装置室外原子炉停止制御盤（2-2215-2）	—	R/B	なし	—	—	—	
	R C I C計器ラック（2-RIR-B2-1）	—	R/B	なし	—	—	—	

注記＊：外部事象防護対象施設を内包する建物等を「外殻となる建物等」として抽出。建物名は、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。

表 3.2-2 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性があり施設の抽出結果 (8/8)

系統	系統・機器	設置場所		外部事象防護対象施設と配管、ダクト等で接続されている屋外施設	機能喪失による影響		外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	備考
	機器・設備	屋外	屋内* (建物名)		影響有無	判断理由		
原子炉保護系	Aー原子炉圧力容器計器ラック (2-R I R-1-8 A)	—	R/B	なし	—	—	—	
	Bー原子炉圧力容器計器ラック (2-R I R-1-8 B)	—	R/B	なし	—	—	—	
	Cー原子炉圧力容器計器ラック (2-R I R-1-8 C)	—	R/B	なし	—	—	—	
	Dー原子炉圧力容器計器ラック (II-R I R-1-8 D)	—	R/B	なし	—	—	—	
	Aー原子炉格納容器圧力計器ラック (2-R I R-2-8 A)	—	R/B	なし	—	—	—	
	Bー原子炉格納容器圧力計器ラック (2-R I R-2-8 B)	—	R/B	なし	—	—	—	
	Cー原子炉格納容器圧力計器ラック (2-R I R-2-8 C)	—	R/B	なし	—	—	—	
	Dー原子炉格納容器圧力計器ラック (2-R I R-2-8 D)	—	R/B	なし	—	—	—	
	A 1ー原子炉保護トリップ設定器盤 (2-924 A 1)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	A 2ー原子炉保護トリップ設定器盤 (2-924 A 2)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B 1ー原子炉保護トリップ設定器盤 (2-924 B 1)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	B 2ー原子炉保護トリップ設定器盤 (2-924 B 2)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
原子炉中性子計装ハウジング	原子炉中性子計装ハウジング	—	R/B	なし	—	—	—	
原子炉核計装の一部	Aー起動領域モニタ盤 (2-910 A)	—	C/B	なし	—	—	—	
	Bー起動領域モニタ盤 (2-910 B)	—	C/B	なし	—	—	—	
プロセス放射線モニタ系	プロセス放射線モニタ盤 (2-914)	—	C/B	なし	—	—	—	
原子炉圧力容器計装系	S Iー工学的安全施設トリップ設定器盤 (2-976 A)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
	S IIー工学的安全施設トリップ設定器盤 (2-976 B)	—	Rw/B	なし	—	—	—	
原子炉棟	原子炉棟	○	—	なし	—	—	—	
原子炉建物	原子炉建物原子炉棟	○	—	なし	—	—	—	
中央制御室	中央制御室	○	—	なし	—	—	—	
中央制御室遮蔽	中央制御室遮蔽	○	—	なし	—	—	—	
取水路	取水路	○	—	なし	—	—	—	
排気筒	排気筒	○	—	なし	—	—	—	
遮蔽設備	生体しゃへい装置	—	R/B	なし	—	—	—	

注記＊：外部事象防護対象施設を内包する建物等を「外殻となる建物等」として抽出。建物名は、R/B：原子炉建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、C/B：制御室建物を示す。

3.3 評価対象施設の構内配置について

抽出した主な外部事象防護対象施設のうち評価対象施設及び外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の構内配置を図 3.3-1 に示す。

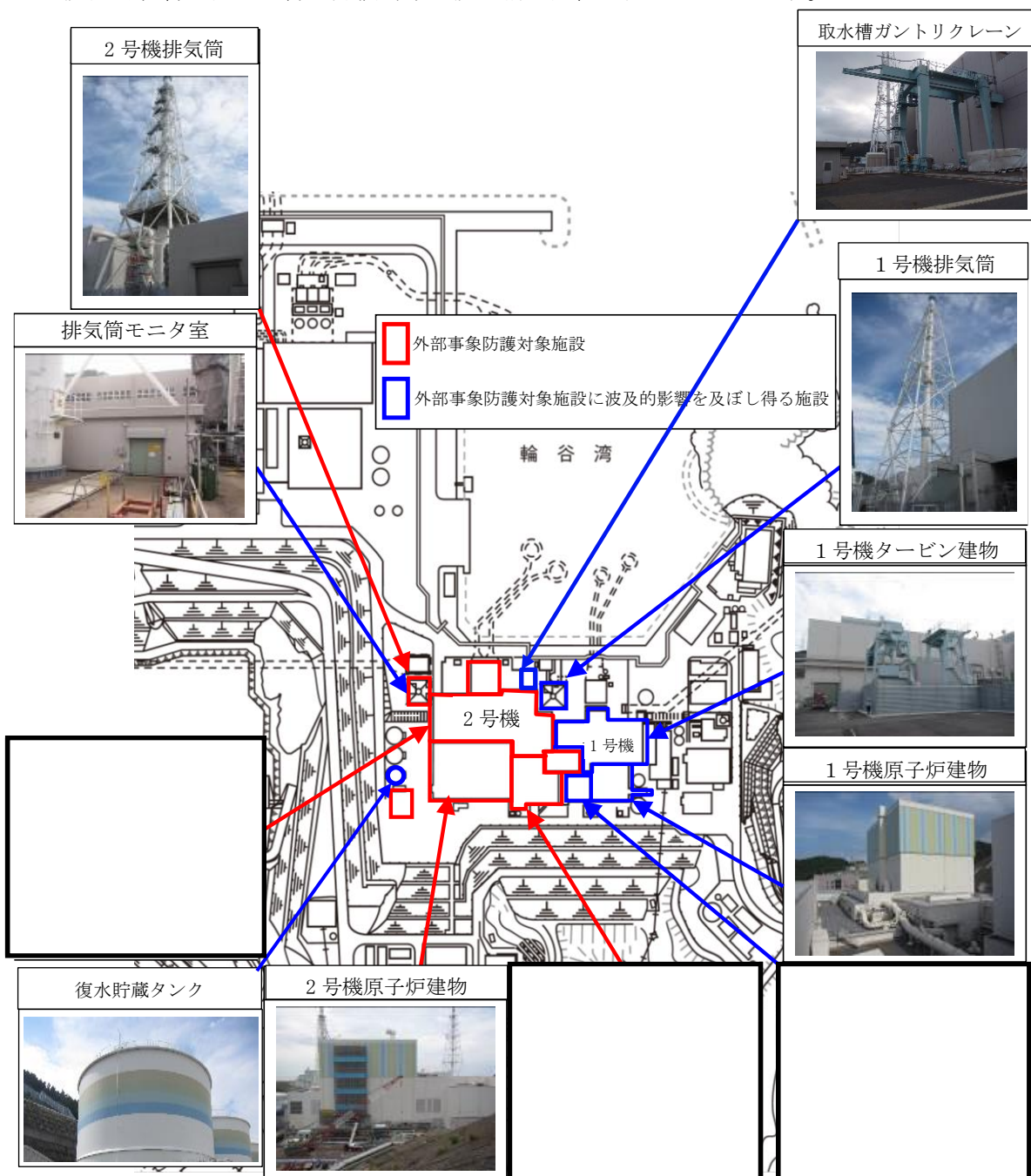
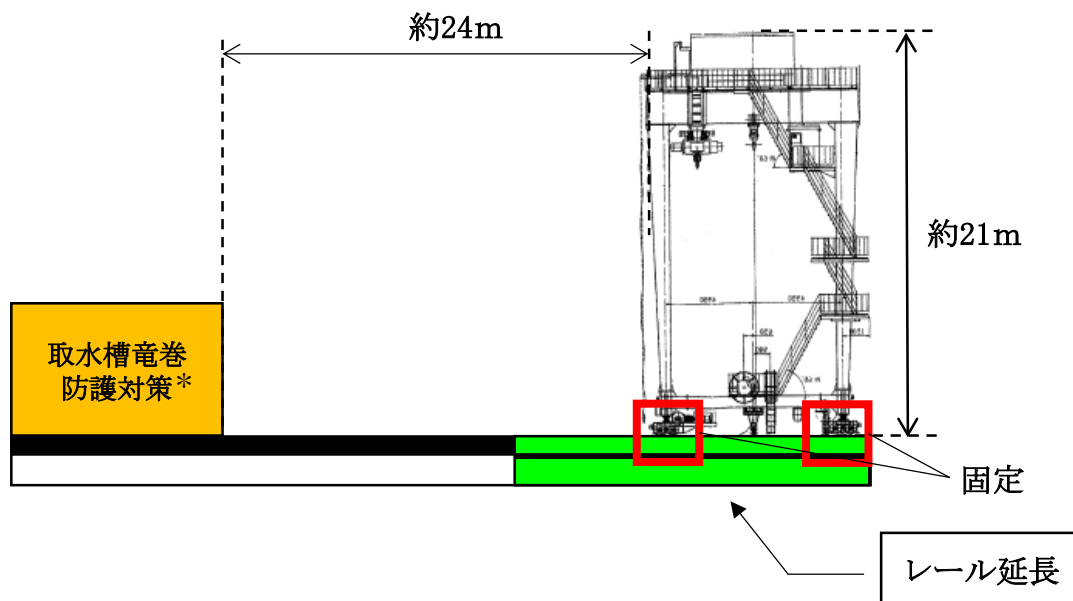


図 3.3-1 外部事象防護対象施設のうち評価対象施設及び外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の構内配置

取水槽ガントリクレーンの竜巻対策

取水槽ガントリクレーンは、竜巻による風荷重等により倒壊した場合、取水槽の竜巻防護対策として設置する取水槽海水ポンプエリア防護対策設備等を損傷させる可能性があるため、図1に示すように、レールを延長し、竜巻発生のおそれがある場合にはクレーン作業を中止し、係留位置へ移動した後、逸走防止装置及び転倒防止装置により固定を行う運用等を保安規定に定めて管理する。



注記＊：当該設備の下部に外部事象防護対象施設を設置

図1 取水槽ガントリクレーンの竜巻対策

仮設耐震構台の影響確認

1. 概要

安全対策工事による掘削に伴い、アクセスルートの確保のために設置する仮設耐震構台について、外部事象防護対象施設への影響を確認する。

2. 倒壊による外部事象防護対象施設への影響について

仮設耐震構台は、外部事象防護対象施設である 2 号機原子炉建物の南側に近接して設置されている。

設置状況は、安全対策工事に伴う基礎掘削後に仮設耐震構台を構築していることから、周辺の敷地高さ（EL 15.0m）以下であり、仮設耐震構台の東側及び西側は地盤に囲まれている。

また、2 号機原子炉建物に波及的影響を及ぼし得る範囲の仮設耐震構台の南側には斜面が存在しているため、仮設耐震構台が竜巻による風荷重を受けず、支持部材である支持杭等には設計飛来物の影響を受けないと考えられるが、仮設耐震構台の南側の一部に安全対策工事による掘削に伴い開口部が存在することを踏まえ、竜巻による風荷重及び設計飛来物に対する仮設耐震構台の強度評価を実施し、倒壊の有無を確認する。

仮設耐震構台の配置図及び断面図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。

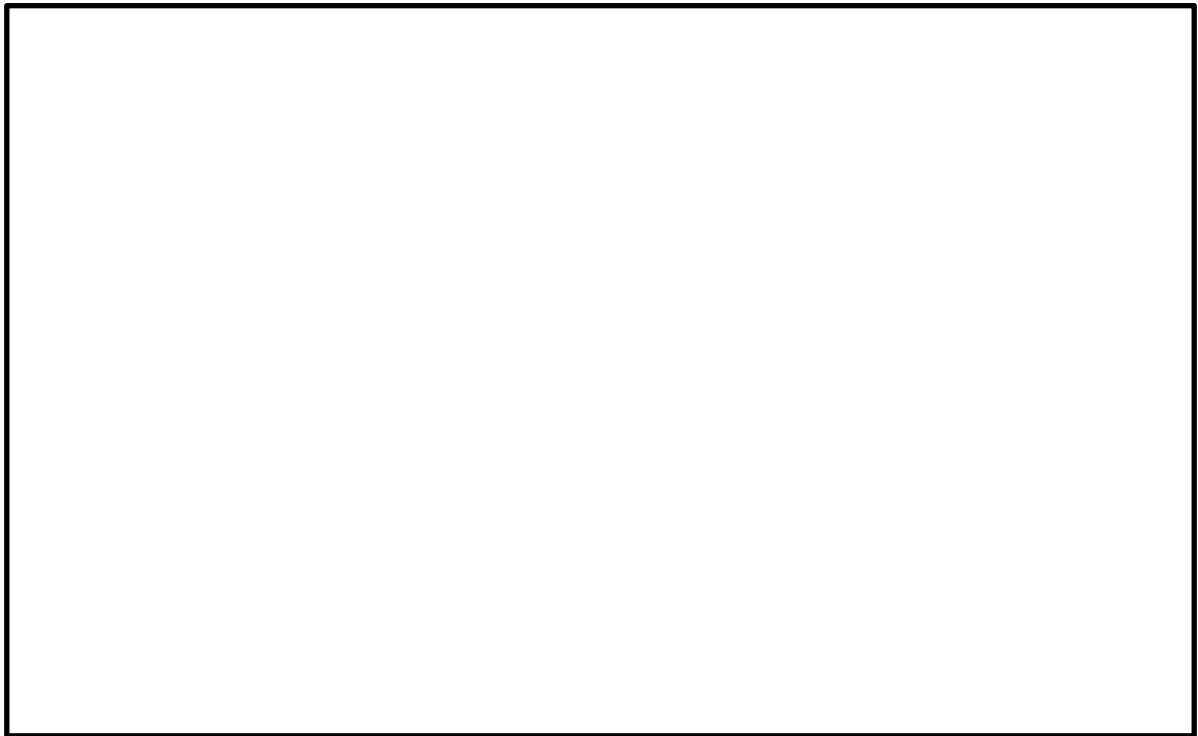
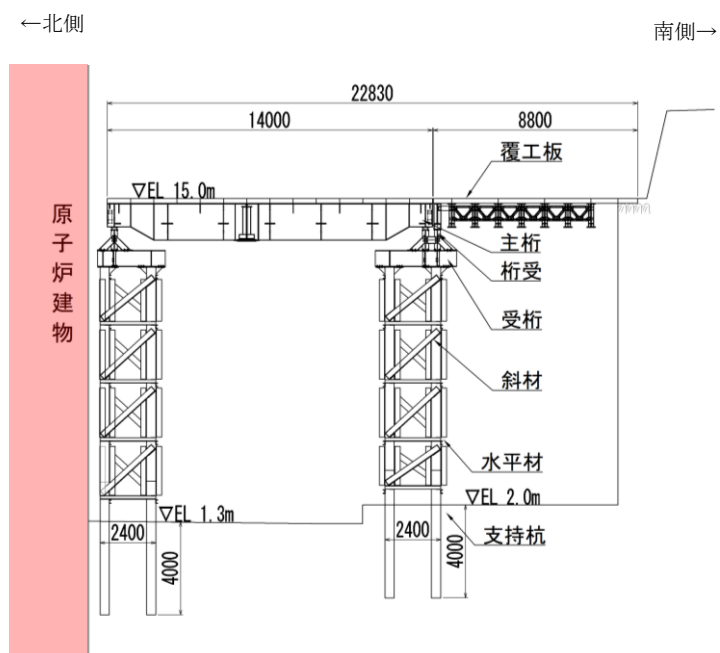


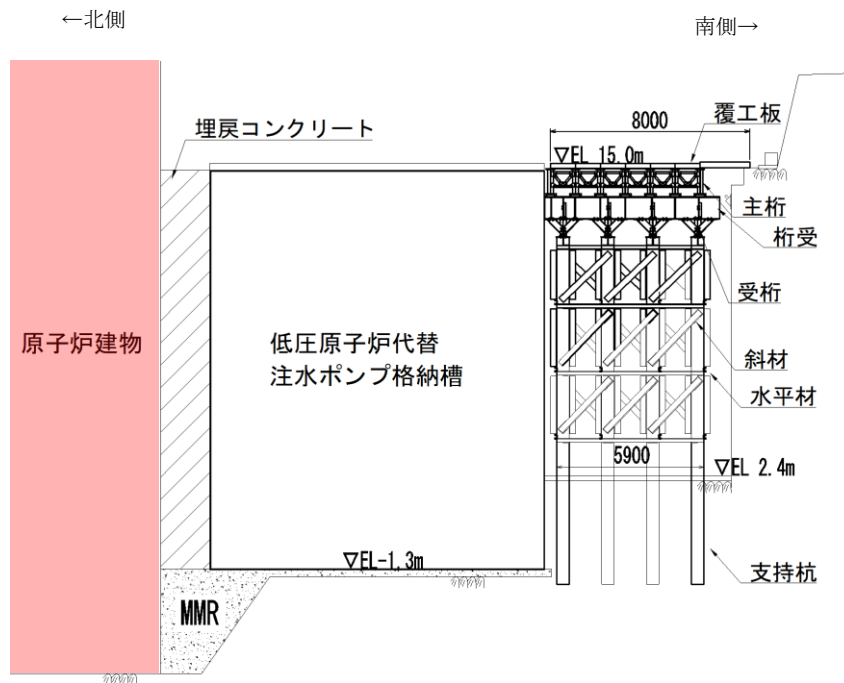
図 2-1 仮設耐震構台 平面図



(単位 : mm)

：外部事象防護対象施設

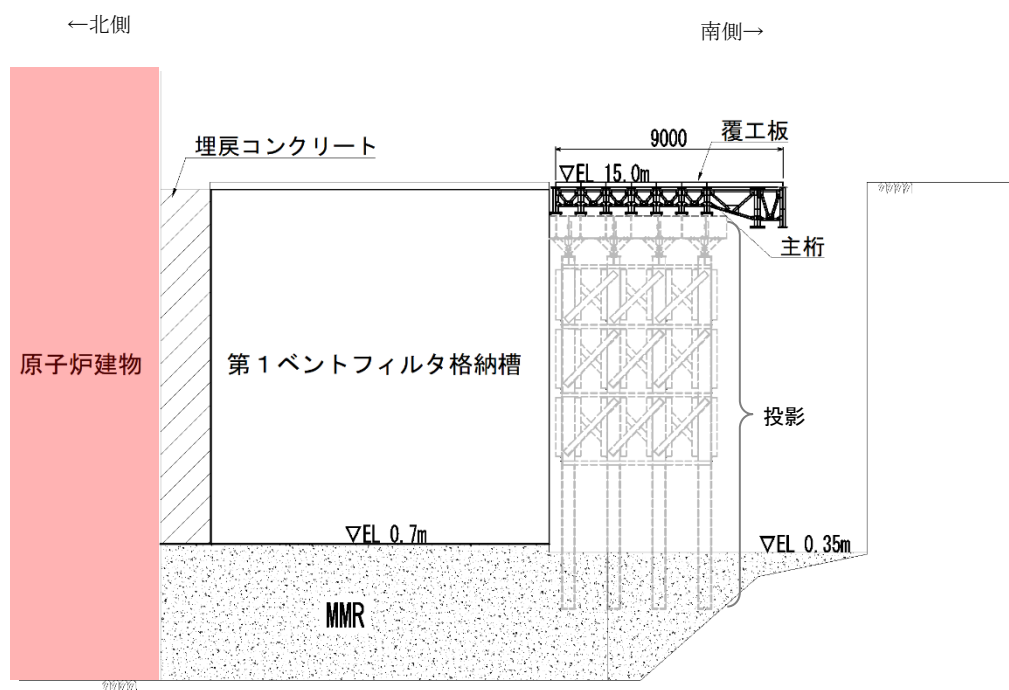
図 2-2(1) 断面図 (A-A 断面)



(単位：mm)

外部事象防護対象施設

図 2-2(2) 断面図 (B-B 断面)



(単位：mm)

外部事象防護対象施設

図 2-2(3) 断面図 (C-C 断面)

2.1 評価方法

仮設耐震構台の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す評価条件を用いる。

(1) 評価対象断面

評価対象断面は、南側の一部に開口部が存在するため、仮設耐震構台の支持杭等を含めた全体が竜巻の影響を受けることを想定し、B－B断面を選定する。

(2) 竜巻による荷重の設定

竜巻影響評価における風速場モデルとして適用しているフジタモデルのモデル概要図を図 2-3 に示す。設計竜巻の最大風速 92m/s（水平方向風速）は図中の A 部で発生し、A 部から半径方向及び鉛直方向に離れるほど風速も減少する。また、上昇風速については、図中の外部コアのみに作用し、流入層高さ（地上から 15m）において最大風速（32m/s）となり、流入層高さから離れるほど風速が減少する。

仮設耐震構台に対する竜巻影響評価においては、仮設耐震構台全体に設計竜巻の最大風速が作用すると仮定する。なお、竜巻による荷重のうち上昇風速による鉛直方向（上向き）の荷重については、速度圧に対して仮設耐震構台の荷重が上回ること、また、各構造部材の浮き上がり荷重に対する健全性を確認していることから、強度評価においては、開口部が存在する南側から北側への水平方向の風圧力を考慮する。なお、仮設耐震構台は、内外に気圧差は生じない構造であることから、竜巻の気圧差による荷重は考慮しない。

竜巻の上昇風速による鉛直方向（上向き）の荷重比較を表 2-1 に、鉛直方向（上向き）の風荷重を受ける構造部材の健全性の確認結果を図 2-4 及び表 2-2 に示す。

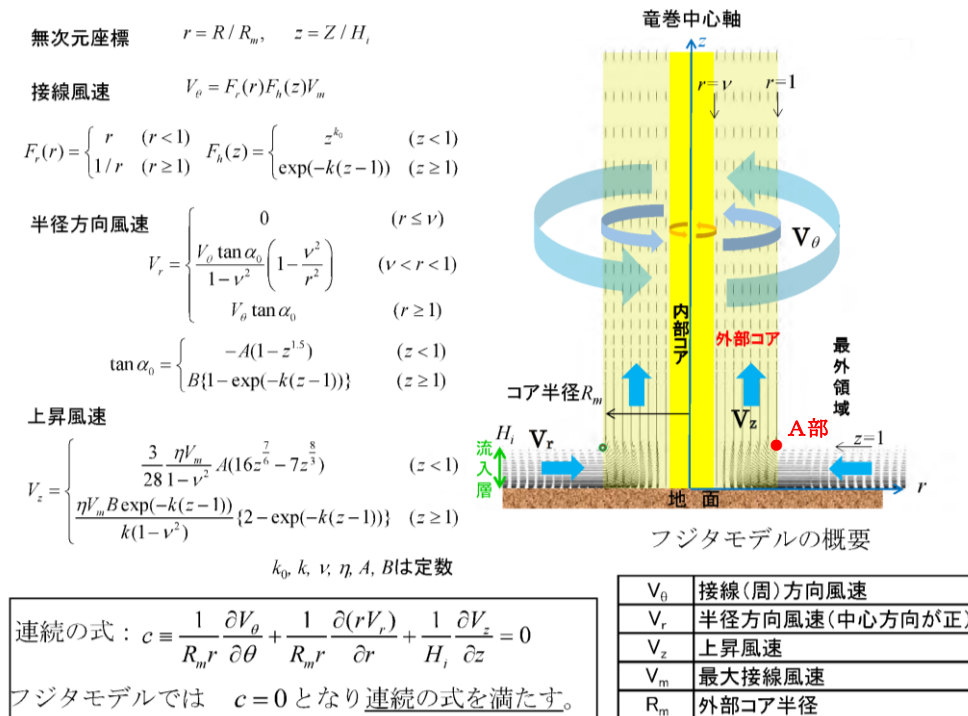


図 2-3 フジタモデルのモデル概要図

表 2-1 竜巻の上昇風速による鉛直方向（上向き）の荷重比較

	荷重比較	備考
仮設耐震構台	4728.1N/m ²	上部工（主桁等）及び覆工板の東西方向 1 スパン（20m）の重量（m ² あたり）
竜巻の上昇風速による鉛直方向（上向き）の速度圧	627.8N/m ²	フジタモデルによる風速場における鉛直方向の最大風速(32m/s)より、速度圧 q を算出*

注記*：速度圧 $q = 1/2 \cdot \rho \cdot V_{SA}^2$ （ ρ ：空気密度 1.226kg/m³）

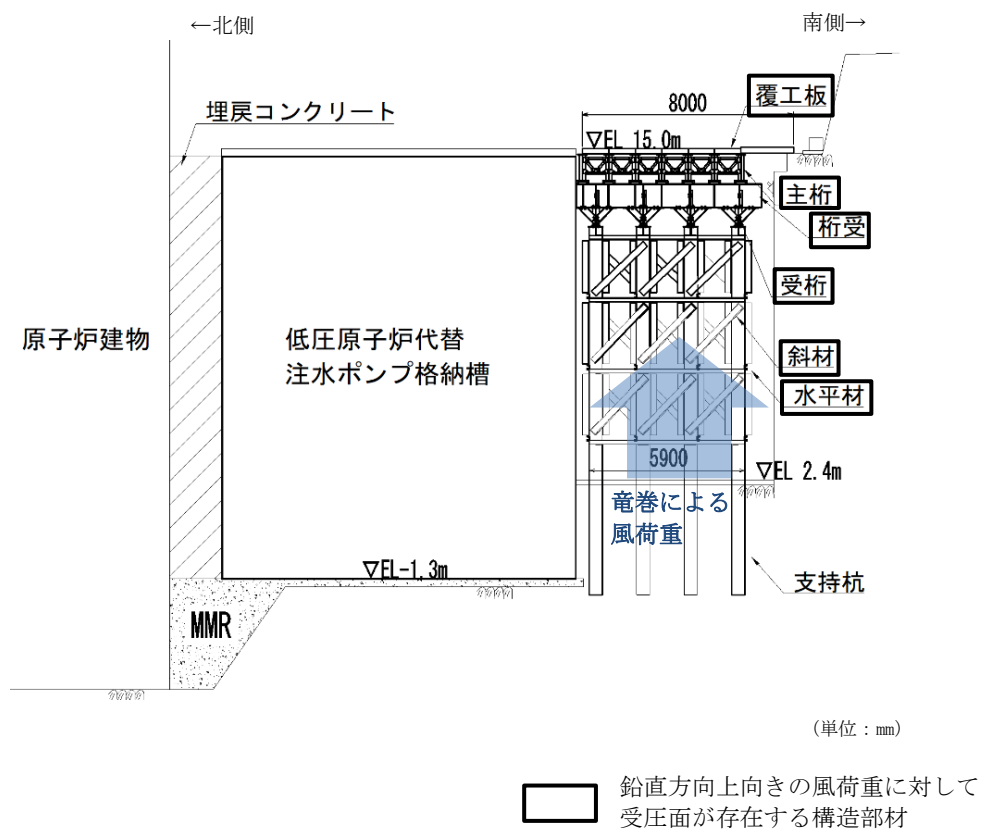


図 2-4 鉛直方向（上向き）の風荷重を受ける構造部材

表 2-2 鉛直方向（上向き）の荷重に対する構造部材の健全性

構造部材	設置状況及び 鉛直上向き荷重の伝達機構	主要寸法 (下線：受圧面*1) (単位:mm)	(上段) 竜巻による 浮き上がり荷重*2 (下段) 抵抗する荷重（自重）	部材の健全性
覆工板	・ 覆工板は、主桁に締結金具にて固定している。 ・ 鉛直方向上向きの風荷重は、主桁に伝達される。	1000×2000×208	3. 1kN	浮き上がり荷重に対して抵抗する荷重（自重）が上回っており、浮き上がり荷重によって自重による応力が低減されることから、部材は健全である。また、他部材への荷重伝達も発生しない。
			4. 2kN	
主桁	・ 主桁は、支承部を介して桁受にボルト固定している。 ・ 鉛直方向上向きの風荷重は、桁受に伝達される。	(一般部) H=1595, t=13 上部 B=350, t=26 下部 B=350, t=19	0. 6kN/m	
			2. 7kN/m	
桁受	・ 桁受は、橋軸直交方向を長手方向として設置しており、受桁にボルト固定している。 ・ 鉛直方向上向きの風荷重は、主桁及び受桁に伝達される。	H700×300×13×24	0. 5kN/m	
			2. 3kN/m	
受桁	・ 受桁は橋軸方向を長手方向として設置しており、支持杭にボルト固定している。 ・ 鉛直方向上向きの風荷重は、桁受及び支持杭に伝達される。	H700×300×13×24	0. 5kN/m	
			1. 7kN/m	
水平材	・ 水平材は、支持杭に溶接にて固定している。 ・ 鉛直方向上向きの風荷重は、支持杭に伝達される。	[150×75×6. 5×10	0. 12kN/m	
			0. 18kN/m	
斜材	・ 斜材は、支持杭に溶接にて固定している。 ・ 鉛直方向上向きの風荷重は、支持杭に伝達される。	①L250×250×25 ②L200×200×15	①0. 38kN ②0. 31kN (水平と仮定)	
			①0. 91kN/m ②0. 44kN/m	
(参考) 支持杭	・ 支持杭は、岩盤等に垂直に根入れしている。 ・ 鉛直方向上向きの風荷重は、受圧面がないため荷重伝達しない。	□500×500×22	全ての部材は、浮き上がり荷重に対して自重が上回っており、支持杭に対しては、常時の軸力が低減されることから、引張応力は発生しないため健全である。	

注記 *1：鉛直方向上向きの風荷重を受ける面

*2：部材の受圧面積による浮き上がり荷重 P_v

$$P_v = q \cdot G \cdot C \cdot A_i$$

(q ：設計用速度圧 627.8N/m², G ：ガスト影響係数 1.0, C ：風力係数 2.4, A_i ：受圧面積)

(3) 評価対象部位

評価対象部位は、水平方向からの竜巻の風圧力による倒壊の観点から、仮設耐震構台の支持部材である水平材、斜材及び支持杭とする。

(4) 解析モデル

解析モデルは、VI-2-11-2-13「仮設耐震構台の耐震性についての計算書」に示すB－B断面をモデル化した地震応答解析モデル（南北方向断面）を用いて静的解析を実施する。また、設計飛来物の衝突位置は解析モデルの頂部とし、風圧力による風荷重と同じ作用方向に組み合わせる。

作用荷重の概要を図2－5に示す。

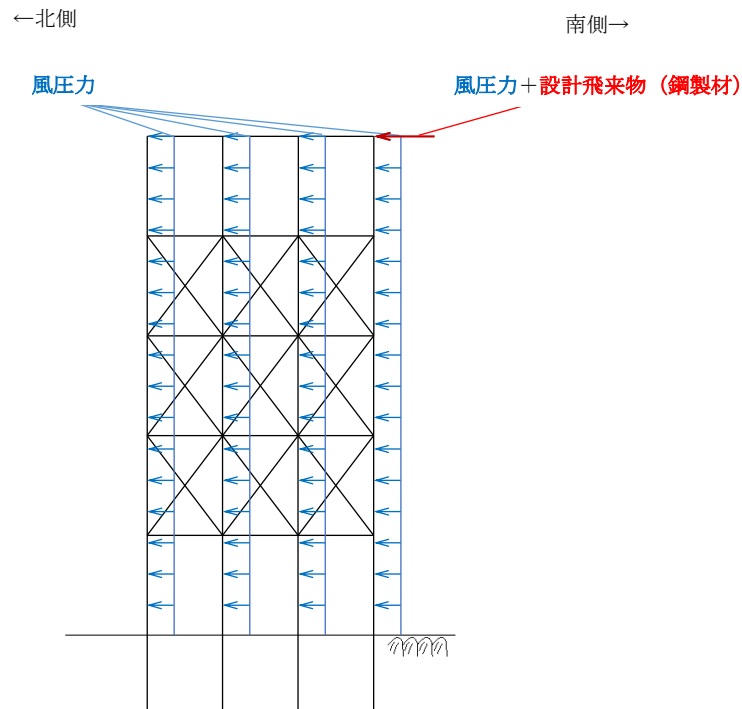


図2－5 作用荷重イメージ

2.2 評価条件

評価対象部位の材料の物性値を表 2-2 に、風圧力による荷重 W_w の算出に必要な条件を表 2-3 に、設計荷重を表 2-4 に示す。

表 2-2 材料の物性値

評価対象部位	単位体積重量 (kN/m^3)	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比
水平材	77.0	2.00×10^5	0.3
斜材			
支持杭			

表 2-3 風圧力による荷重 W_w の算出に必要な条件

最大風速 V_D (m/s)	空気密度 ρ (kg/m^3)	ガスト影響係数 G	構造物の高さ H (m)	設計用速度圧 q (N/m^2)
92	1.226	1.0	12.8	5189

表 2-4 設計荷重

記号	定義		数値	単位
F_d	常時作用する荷重	固定荷重	77.0	kN/m^3
		積雪荷重	0.7	kN/m^2
W_w	風圧力による荷重	モデル頂部に載荷	87.9	kN
		モデル全体に載荷	12.5	kN/m
W_M	設計飛来物による 衝撃荷重	モデル頂部に載荷	585.2	kN

注：固定荷重は仮設耐震構台躯体の単位体積重量を示す。

2.3 許容限界

強度評価における許容限界を表 2-5 に示す。

表 2-5 許容限界

部位	許容限界
水平材，斜材及び支持杭	短期許容曲げ圧縮応力度 ^{*1}
	短期許容せん断応力度 ^{*2} 120N/mm ²

注記*1：VI-2-11-2-13「仮設耐震構台の耐震性についての計算書」に示す許容限界の算出結果を用いる。

*2：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 平成 24 年 3 月（日本道路協会）

2.4 評価結果

評価結果を表 2-6 に示す。仮設耐震構台は，竜巻による風荷重及び設計飛来物に対して強度を有していることを確認した。

表 2-6 (1) 曲げ軸力に対する照査値

部位	発生断面力		照査値
	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	
水平材	6	-25	0.43
斜材	13	-596	0.48
支持杭	440	-1950	0.59

表 2-6 (2) せん断力に対する照査値

部位	発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 せん断応力度 (N/mm ²)	照査値
水平材	8	120	0.07
斜材	1		0.01
支持杭	34		0.29

4. 建物開口部の調査結果

4. 建物開口部の調査結果について

外部事象防護対象施設に影響を及ぼす可能性がある建物（原子炉建物、タービン建物及び廃棄物処理建物）の開口部を調査した結果を以下に示す。

調査の結果、表 4-1 に示す開口部について設計飛来物が衝突した場合に貫通し、外部事象防護対象施設に影響を及ぼす可能性が否定できないため、竜巻防護対策を実施する。

調査した建物開口部を図 4-1～図 4-12 に示す。

なお、他の開口部付近には、外部事象防護対象施設又は飛来物の衝突により外部事象防護対象施設の安全機能を損なう可能性がある発火性又は引火性物質を内包する機器及び溢水源がないことから、対策は不要である。

表 4-1 外部事象防護対象施設に影響を与える可能性が否定できない建物開口部
(建物開口部に防護対策を実施)

建物	図番号	開口部番号
原子炉建物	図 4-1	No. 1～3
	図 4-2	No. 7～9
	図 4-3	No. 10, 11
	図 4-4	No. 14～16
タービン建物	図 4-5	なし
	図 4-6	なし
	図 4-7	なし
廃棄物処理建物	図 4-8	なし
	図 4-9	No. 31
	図 4-10	なし
	図 4-11	なし
	図 4-12	なし

図 4-1 外部事象防護対象施設を内包する施設の開口部調査結果

図 4-2 外部事象防護対象施設を内包する施設の開口部調査結果

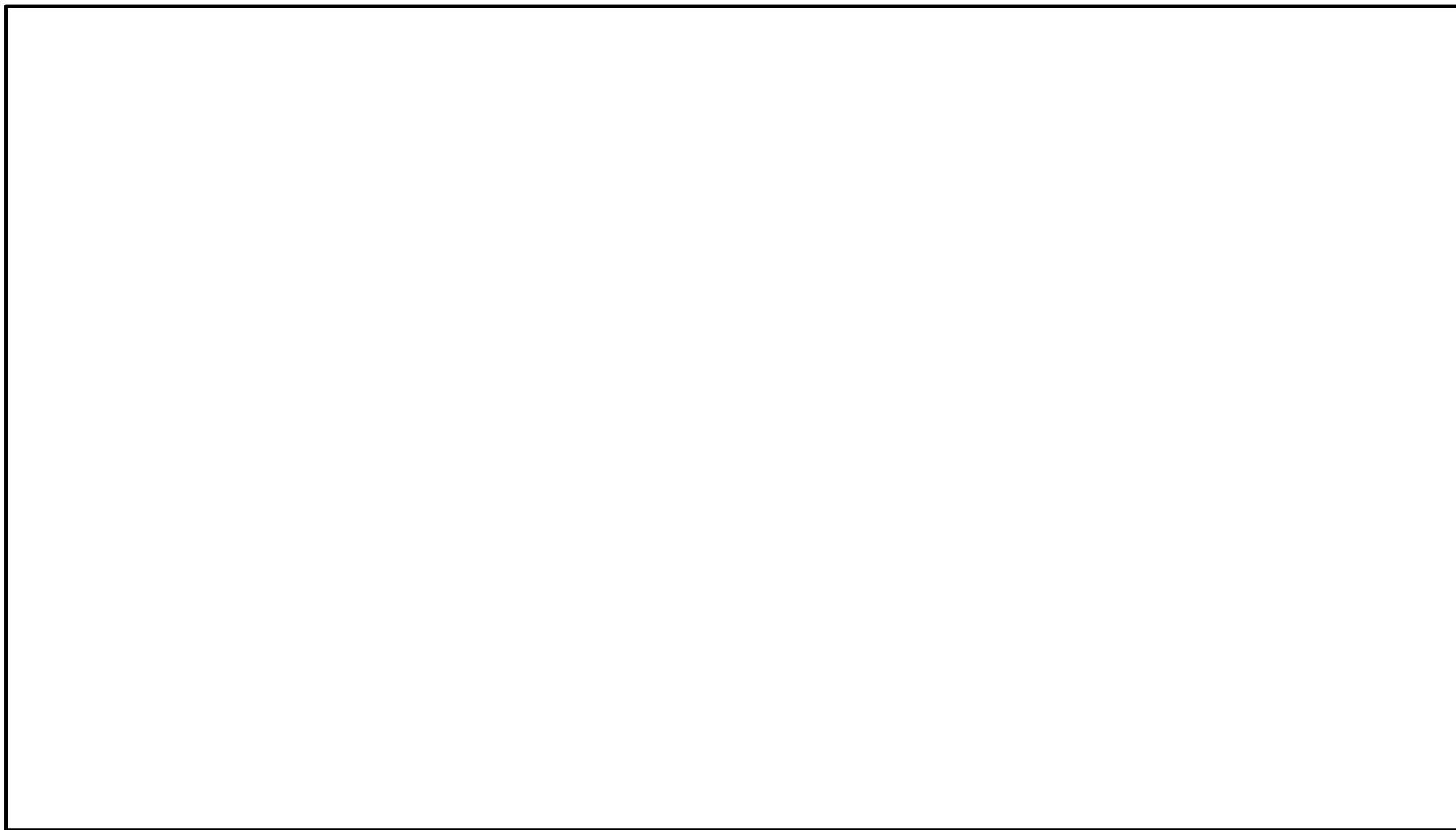


図 4-3 外部事象防護対象施設を内包する施設の開口部調査結果

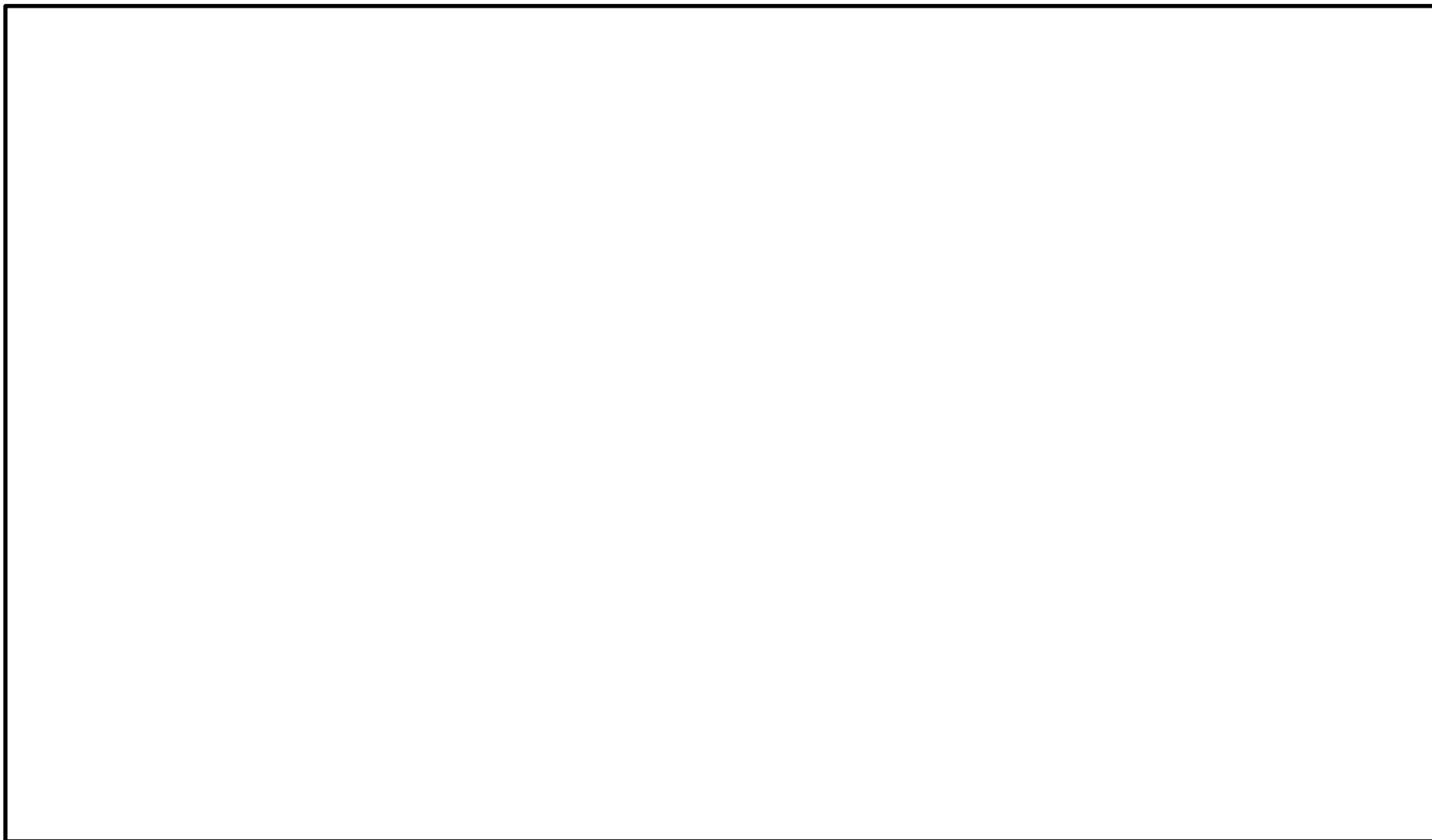


図 4-4 外部事象防護対象施設を内包する施設の開口部調査結果

図 4-5 外部事象防護対象施設を内包する施設の開口部調査結果

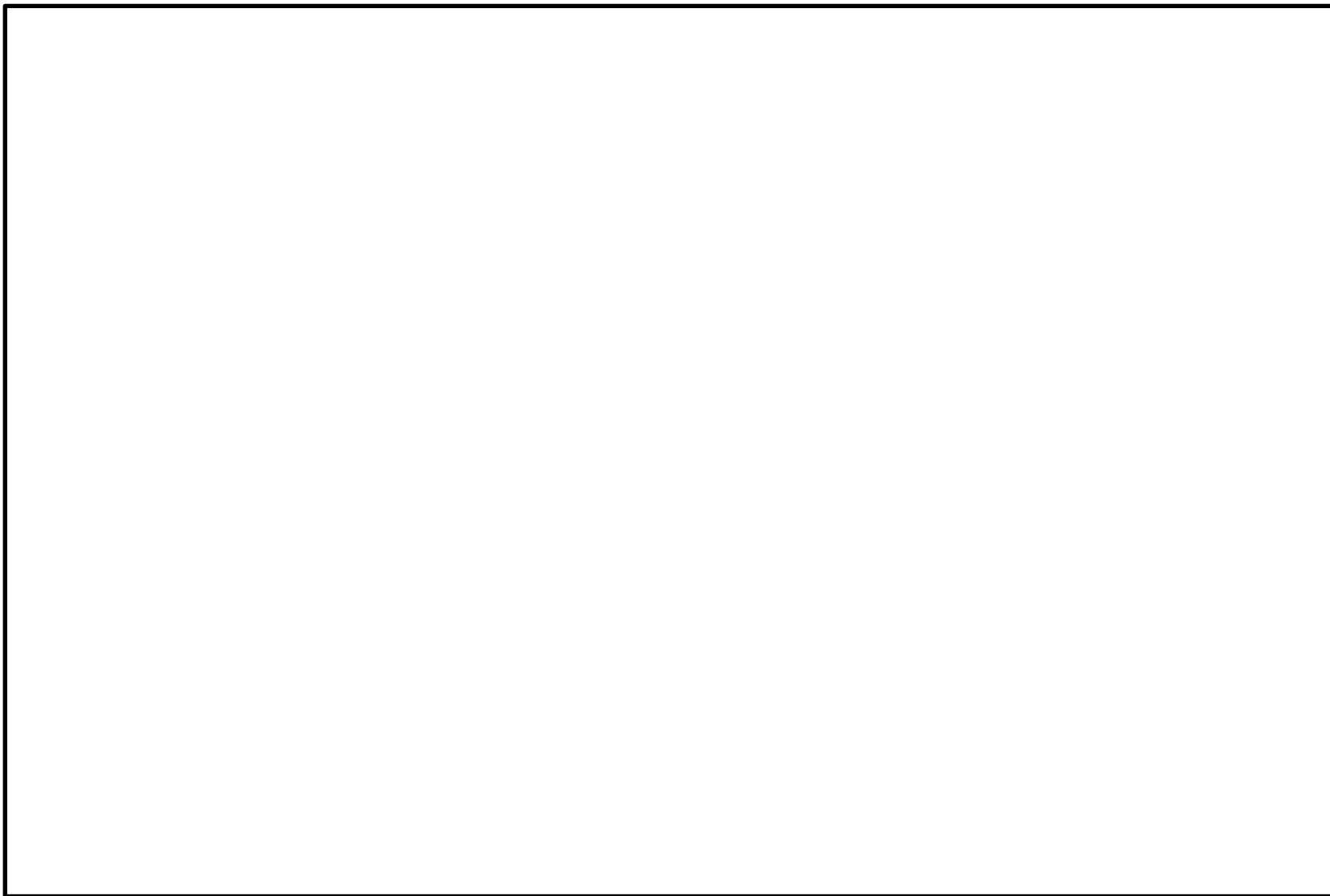
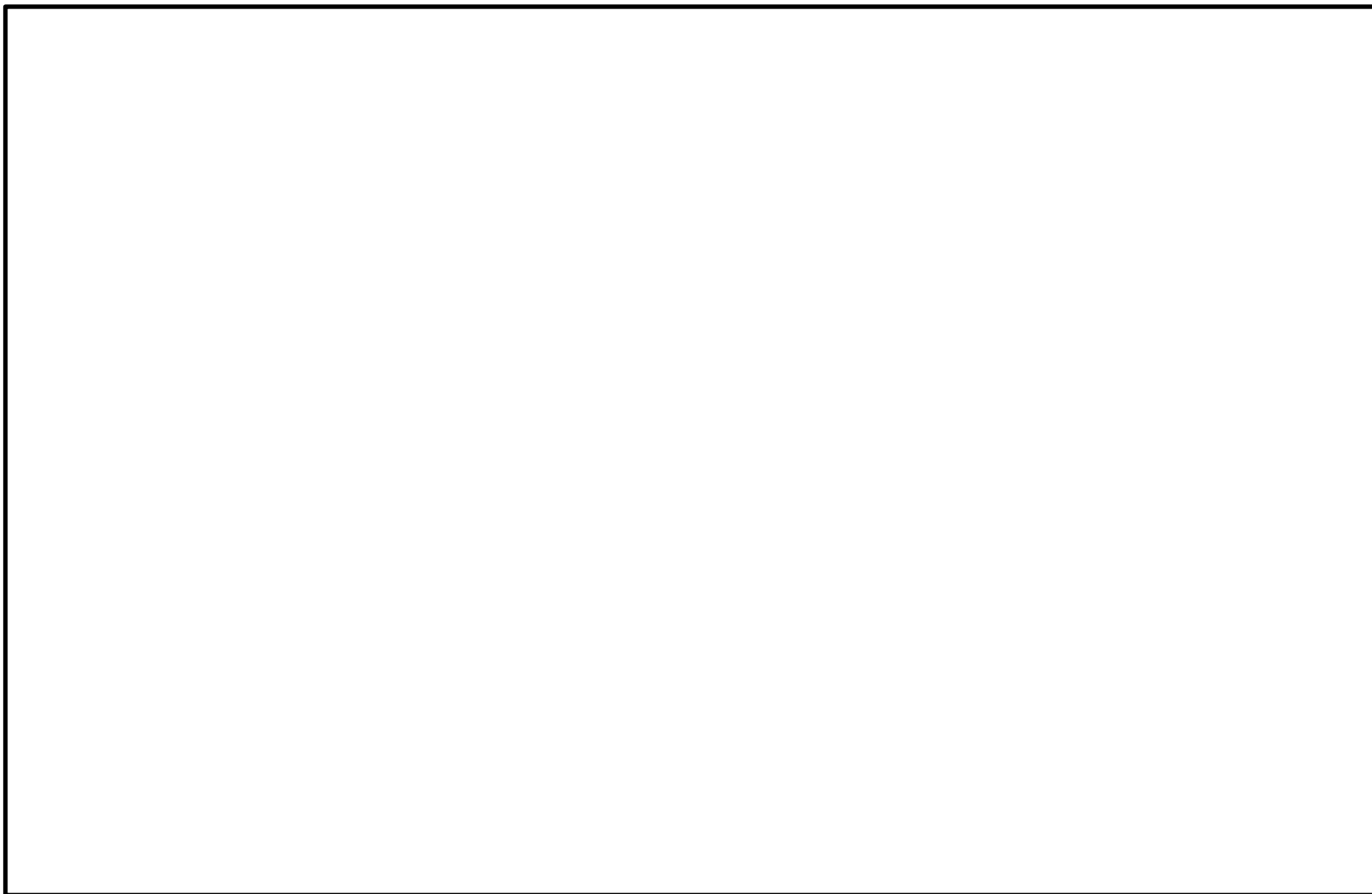


図 4-6 外部事象防護対象施設を内包する施設の開口部調査結果

図 4-7 外部事象防護対象施設を内包する施設の開口部調査結果



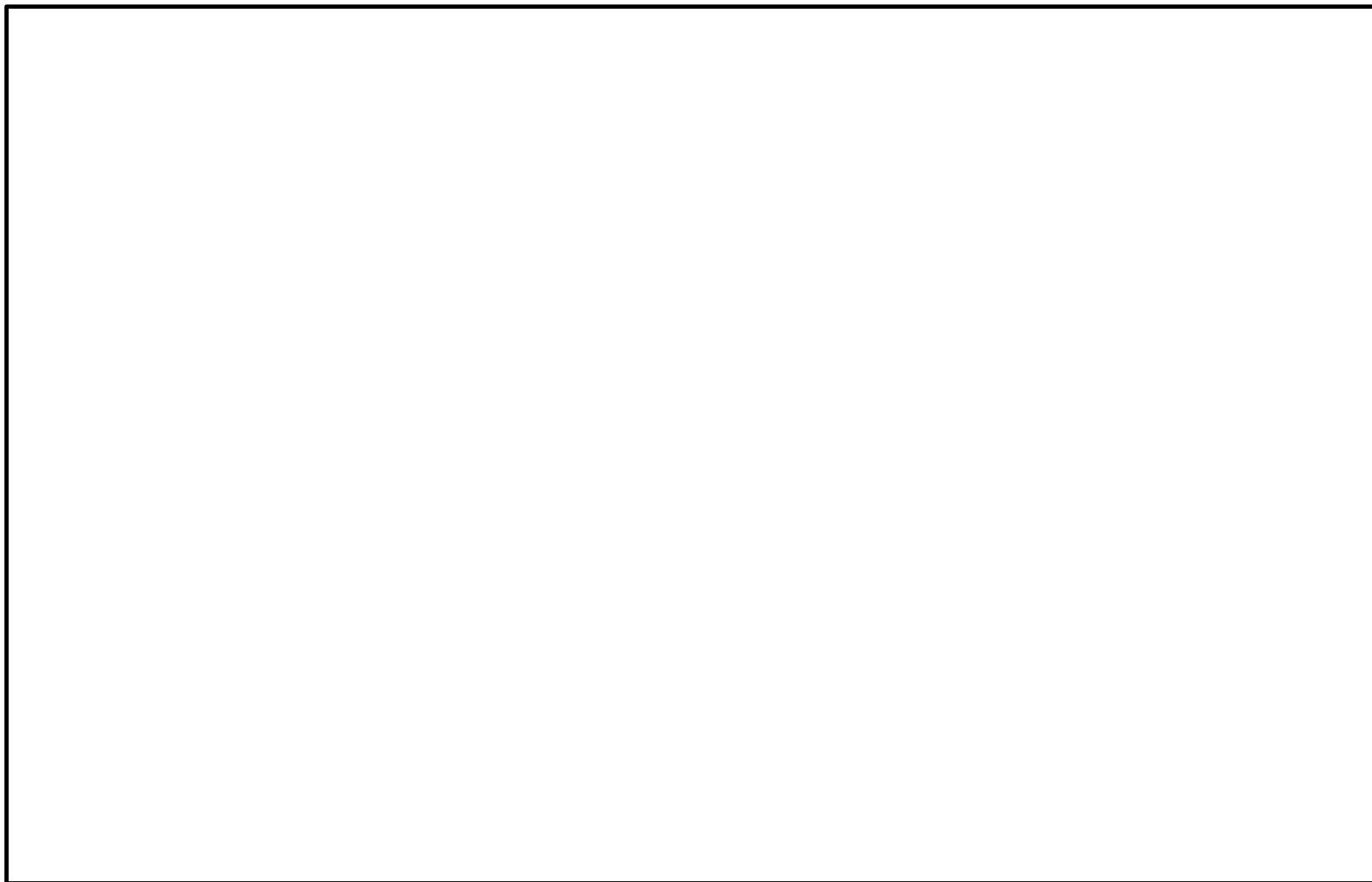


図 4-8 外部事象防護対象施設を内包する施設の開口部調査結果

図 4-9 外部事象防護対象施設を内包する施設の開口部調査結果

図 4－10 外部事象防護対象施設を内包する施設の開口部調査結果

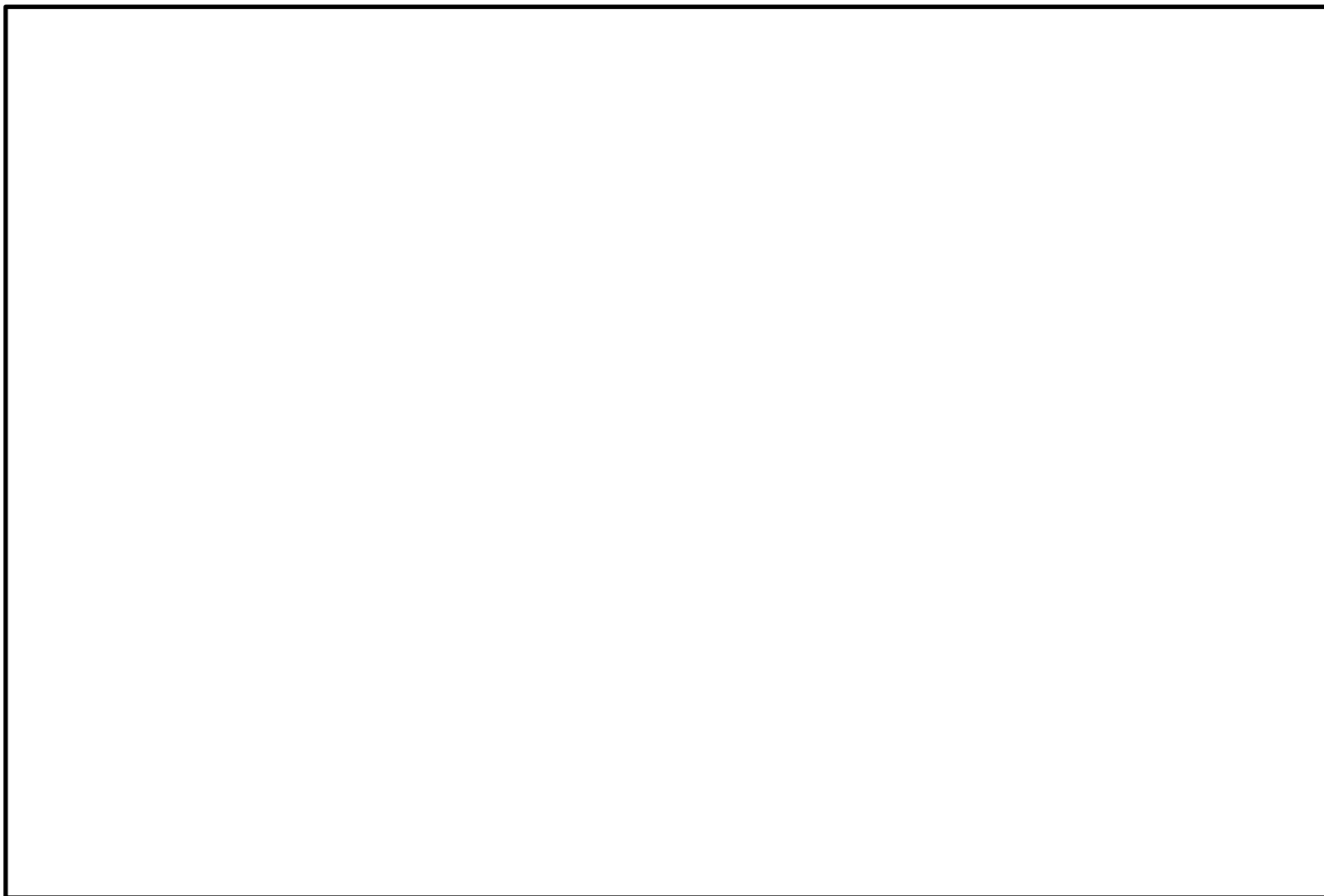


図 4-11 外部事象防護対象施設を内包する施設の開口部調査結果

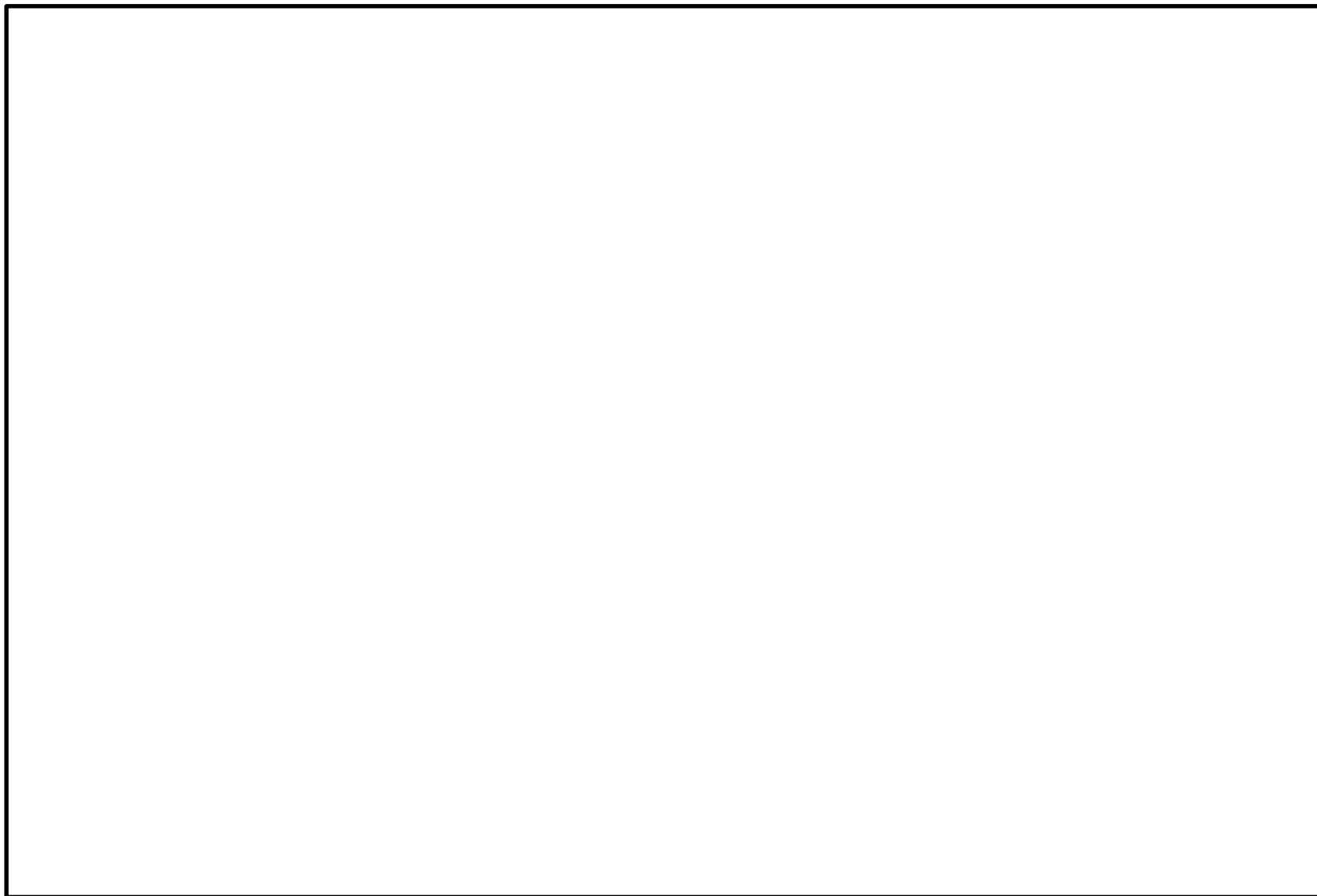


図 4－12 外部事象防護対象施設を内包する施設の開口部調査結果

竜巻防護対策設備の設置方針について

1. はじめに

設計飛来物が外部事象防護対象施設に衝突し外部事象防護対象施設の安全機能を損なう恐れがある場合は、防護措置として竜巻防護対策設備を設置する。

島根原子力発電所第2号機の屋外及び建物開口部に設置する竜巻防護対策設備の設置方針について、以下のとおり説明する。

2. 概要

2.1 竜巻防護対策設備について

屋外及び建物開口部に設置する竜巻防護対策設備を表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 屋外及び建物開口部に設置する竜巻防護対策設備

分類	竜巻防護対策設備
屋外に設置する竜巻防護対策設備	<ul style="list-style-type: none"> ・取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（竜巻防護ネット、竜巻防護鋼板及び架構） ・取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備（竜巻防護鋼板及び架構） ・ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備（竜巻防護鋼板及び架構）
建物開口部に設置する竜巻防護対策設備	<ul style="list-style-type: none"> ・建物開口部防護対策設備（竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板及び架構並びに鋼製扉）

2.2 設置場所

(1) 屋外に設置する竜巻防護対策設備

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備，取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備及びディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の設置場所を図 2.2-1，図 2.2-2 に示す。

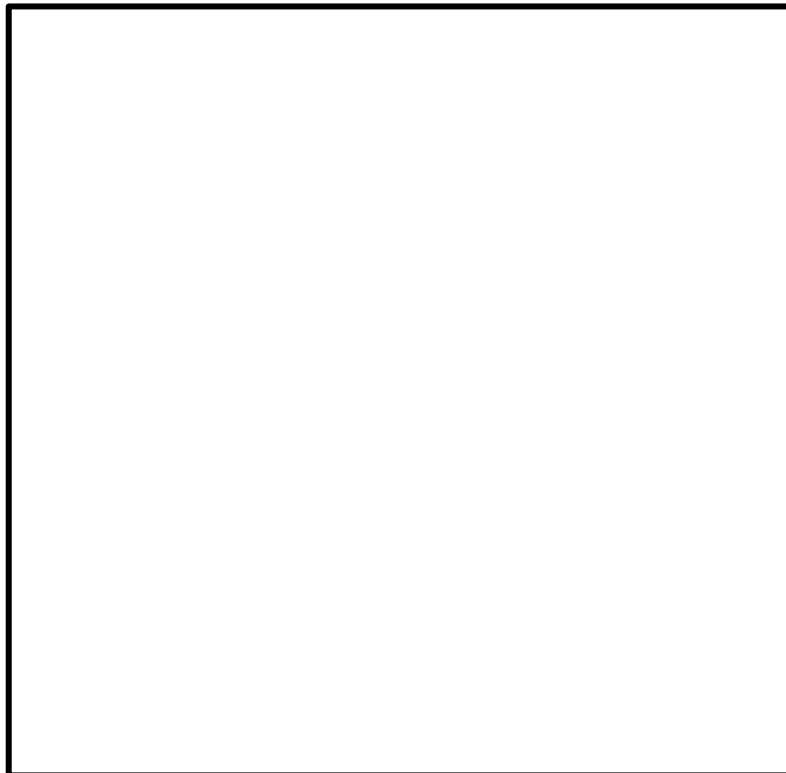


図 2.2-1 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備及び取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の位置図

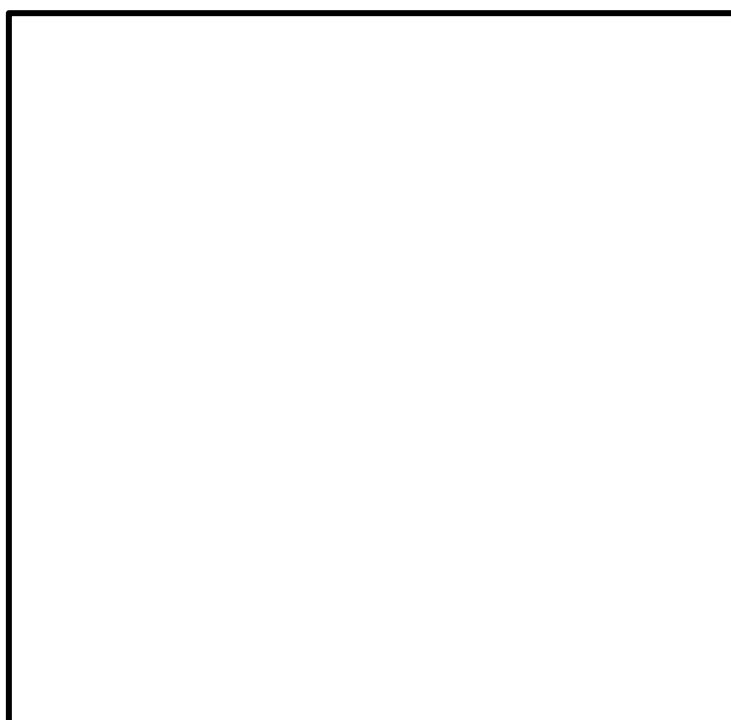


図 2.2-2 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の位置図

(2) 建物開口部に設置する竜巻防護対策設備

建物開口部防護対策設備及び鋼製扉の設置場所は「4. 建物開口部の調査結果について」に示す。

2.3 設備構成について

屋外及び建物開口部に設置する竜巻防護対策設備の設備構成を下記に示す。

(1) 屋外に設置する竜巻防護対策設備

a. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備は竜巻防護ネット、竜巻防護鋼板及び架構で構成する鋼製構造物である。

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の概略構造図を図 2.3-1 に示す。

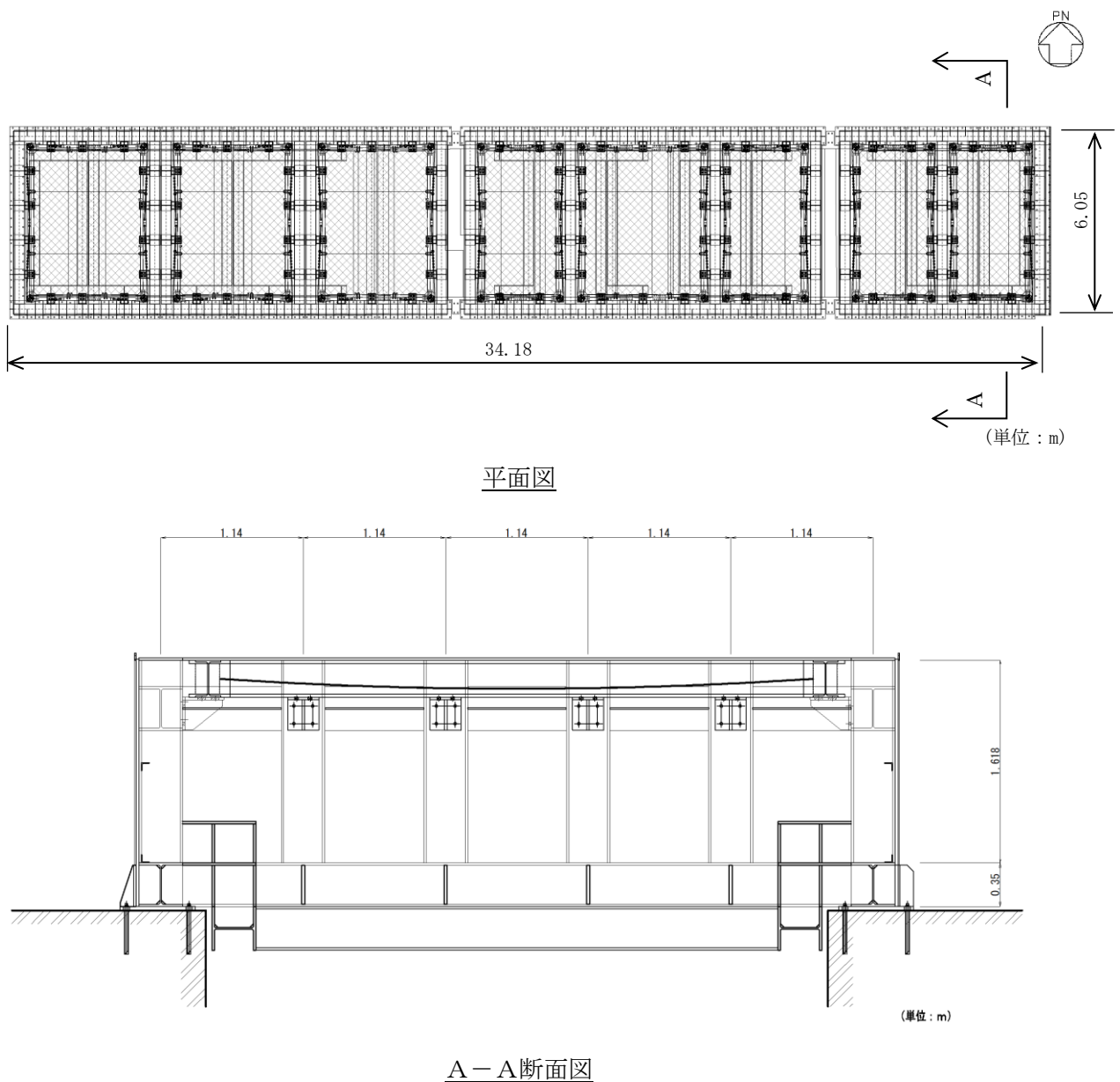


図 2.3-1 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の概略構造図

b. 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は竜巻防護鋼板及び架構で構成する鋼製構造物である。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の概略構造図を図 2.3-2 に示す。

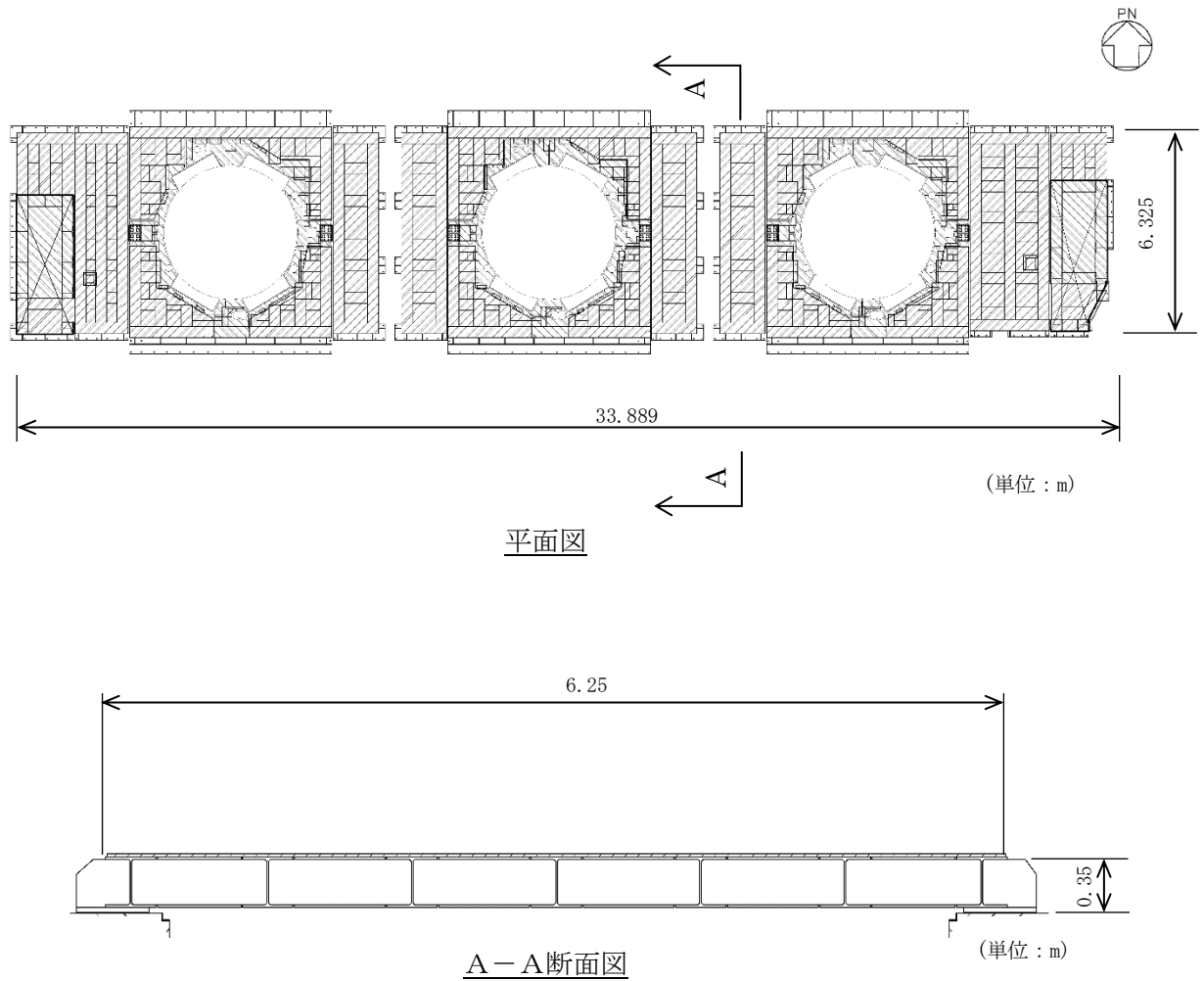
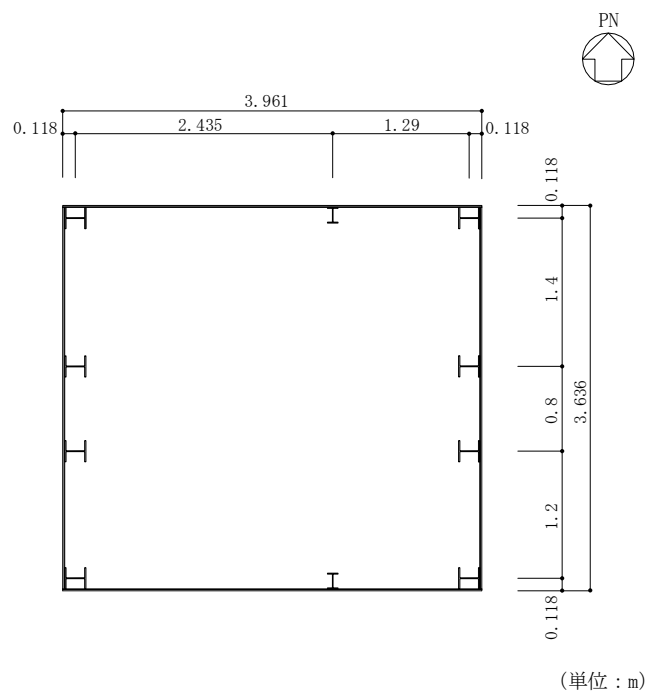


図 2.3-2 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の概略構造図

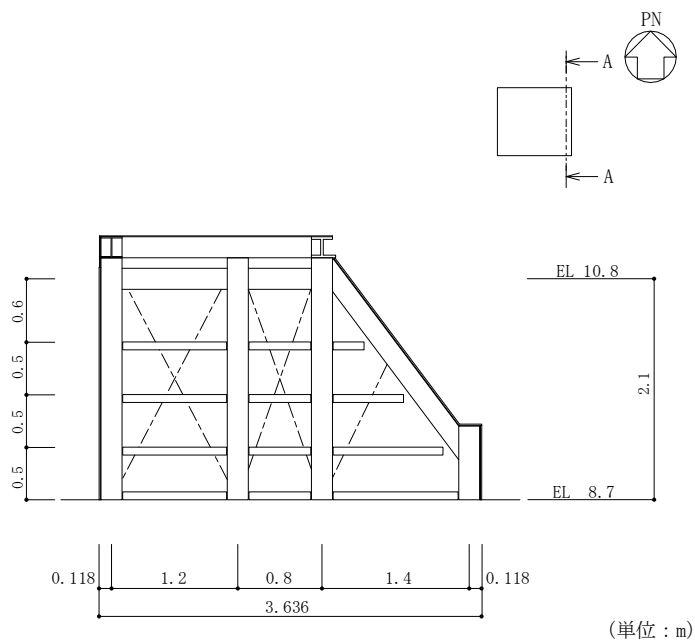
c. ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備

ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備は竜巻防護鋼板及び架構で構成する鋼製構造物である。

ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の概略構造図を図 2.3-3 に示す。

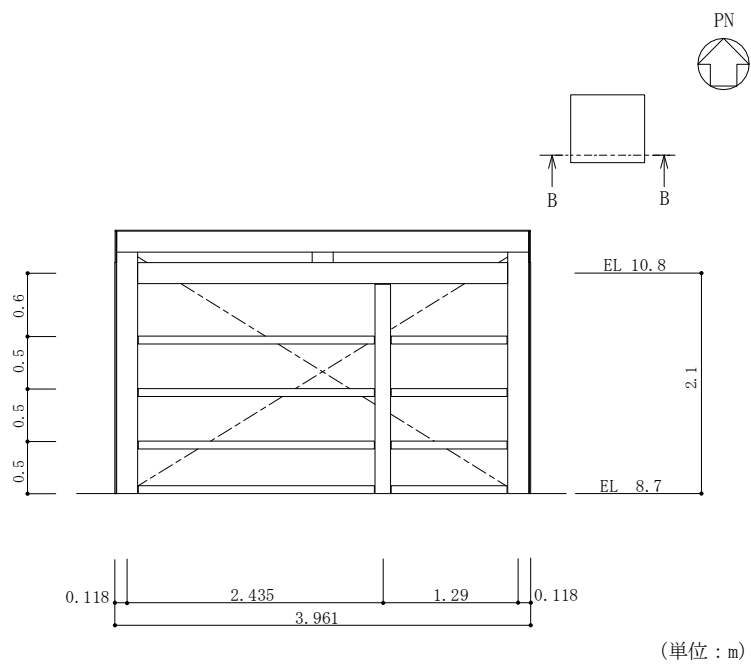


平面図



A-A断面図

図 2.3-3 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の概略構造図(1/2)



B-B断面図

図 2.3-3 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の概略構造図 (2/2)

(2) 建物に設置する竜巻防護対策設備

a. 建物開口部防護対策設備

建物開口部防護対策設備は竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板及び架構で構成する鋼製構造物である。建物開口部防護対策設備の概略構造図を図 2.3-4～図 2.3-6 に示す。

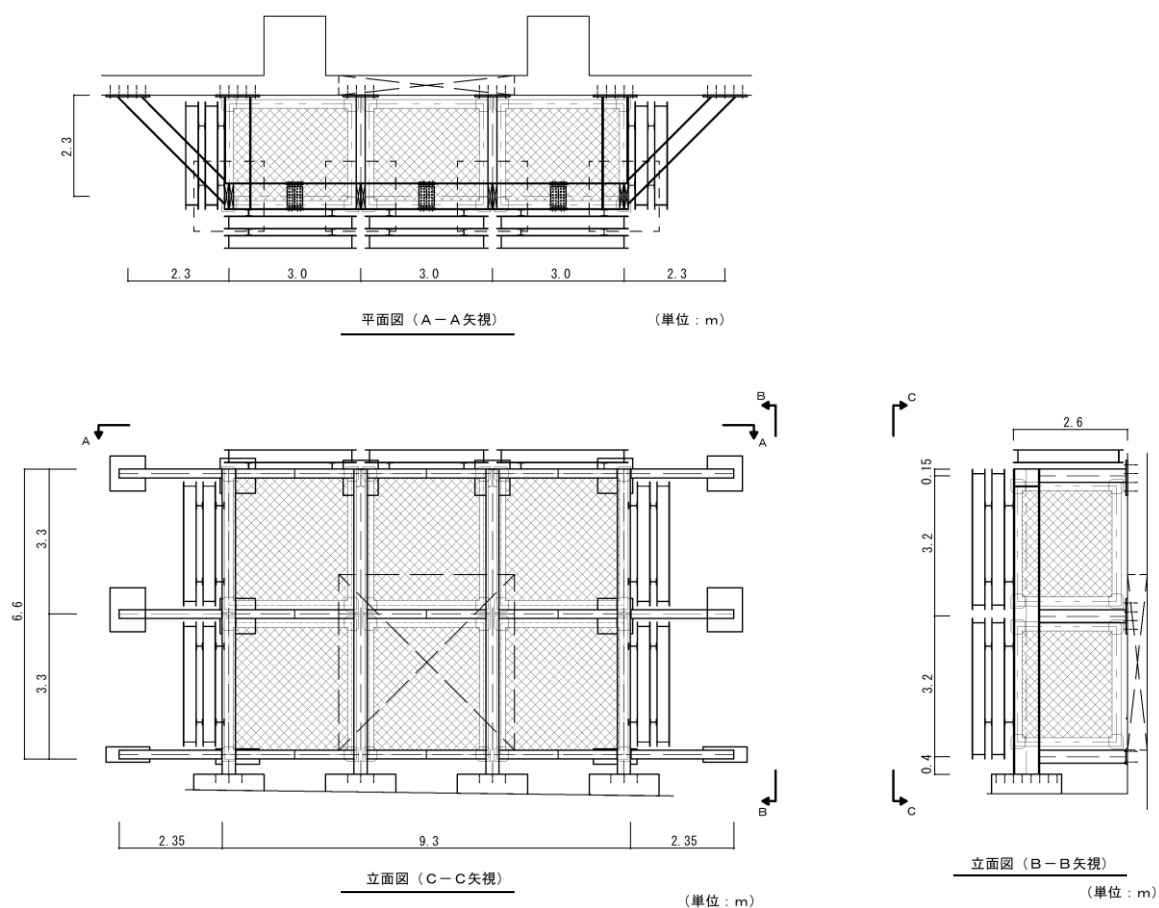


図 2.3-4 建物開口部防護対策設備の概略構造図

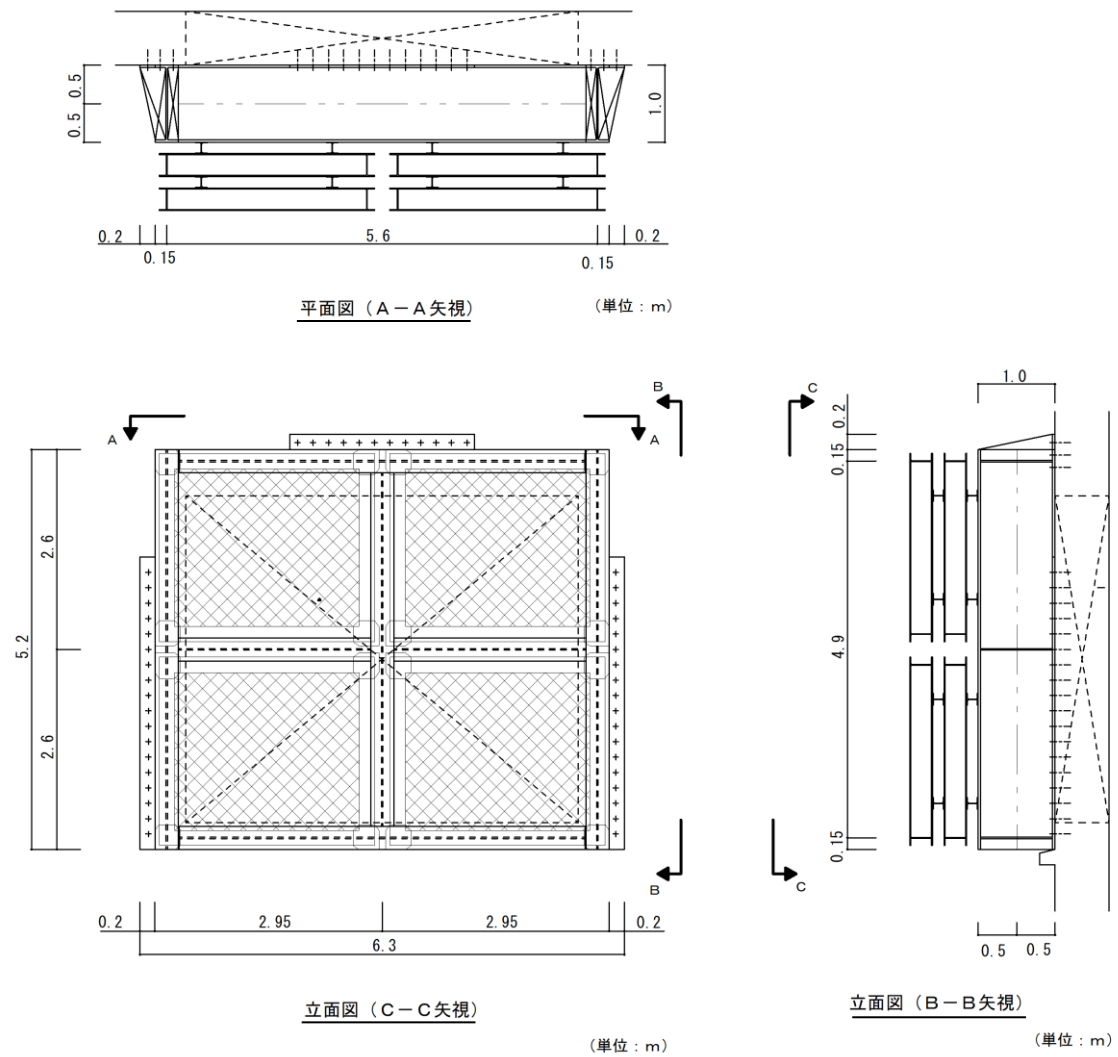


図 2.3-5 建物開口部防護対策設備の概略構造図

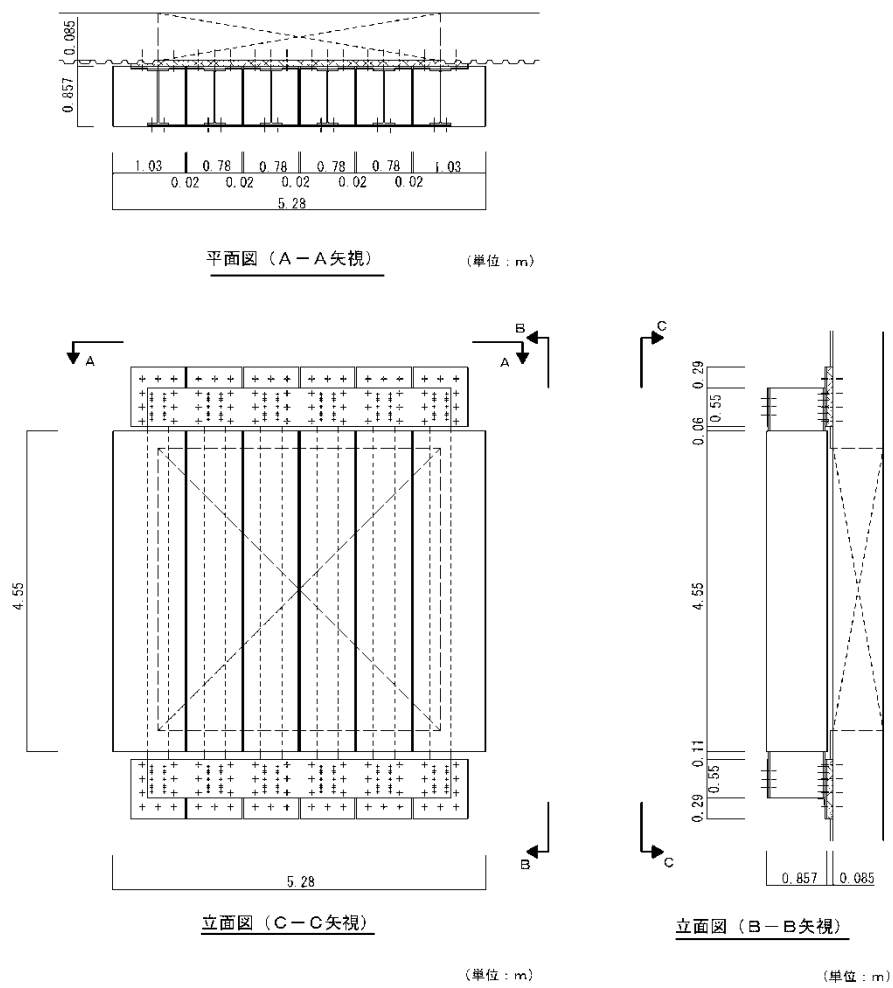


図 2.3-6 建物開口部防護対策設備の概略構造図

b. 建物開口部防護対策設備（鋼製扉）

建物開口部防護対策設備（鋼製扉）は鋼製扉で構成する鋼製構造物である。建物開口部防護対策設備（鋼製扉）の概略構造図を図 2.3-7 に示す。



図 2.3-7 建物開口部防護対策設備（扉部）の概略構造図

5. 飛来物の選定

5. 飛来物の選定について

発電所構内において屋外に保管している資機材及び駐車している車両類については、外部事象防護対象施設（建物等）への影響の有無を確認し、影響を及ぼすおそれがあるものについては、飛来物として選定し、固定、固縛又は外部事象防護対象施設（建物等）から離隔するなどの飛来物発生防止対策を講じる必要がある。

飛来物の選定及び飛来物発生防止対策の要否を判定する手順について説明する。

5.1 飛来物評価

飛来物源である資機材及び車両が、設計竜巻により飛来物化し、飛散した評価を行う。

飛散評価は、寸法、質量、形状並びにこれらの値より算出する空力パラメータ、並びに地上からの初期高さにより、解析コード「TONBOS」によって最大飛来速度、飛散高さ、水平飛散距離を算出される。以下に飛散評価に用いる数値を説明する。

なお、「TONBOS」で用いる設計竜巻の風速場モデルはフジタモデルとし、竜巻影響評価へのフジタモデルの適用については、別紙-1 に示す。

(1) 空力パラメータの算出 ($C_D A/m[m^2/kg]$)

空力パラメータは飛来物の各寸法（長さ×幅×奥行（高さ））より受圧面積を算出し、飛来物の質量及び抗力係数より算出する。a. 項に算出式、b. 項に計算例を示す。

a. 算出式

空力パラメータの算出は①式により算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{c(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{m} \dots \textcircled{1}$$

m：質量 (kg)

c：0.33

C_{D1} , C_{D2} , C_{D3} ：抗力係数（表 5.1-1, 図 5.1-1）

A_1 , A_2 , A_3 ：受圧面積 (m_2)（図 5.1-1）

表 5.1-1 飛来物の形状係数

飛来物形状	c	C_{D1}	C_{D2}	C_{D3}
①塊状物体	0.33	2.0	2.0	2.0
②板状物体	0.33	1.2	1.2	2.0
③棒状物体	0.33	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）

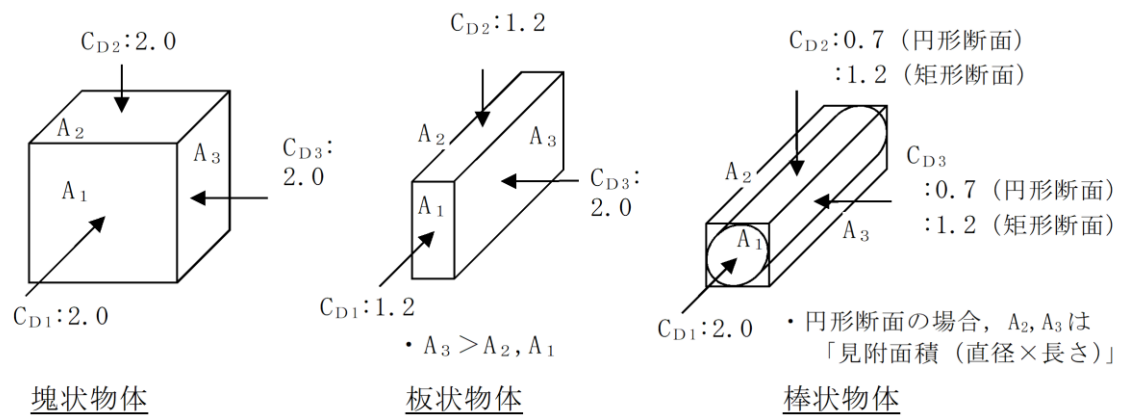


図 5.1-1 飛来物の形状と抗力係数の関係

b. 計算例

① 鋼製パイプ（棒状物体（円形断面））（図 5.1-2）

長さ：2.00m 幅：0.05m 長さ：0.05m 質量：8.4kg

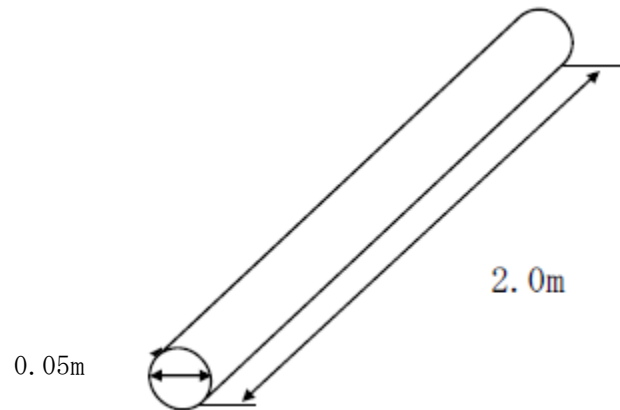


図 5.1-2 鋼製パイプ

棒状物体（円形断面）であるので、抗力係数 C_D は、 $C_{D1} = 2.0$ 、 $C_{D2} = 0.7$ 、 $C_{D3} = 0.7$ である。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{c(C_{D1} A_1 + C_{D2} A_2 + C_{D3} A_3)}{m} \text{ より}$$

注記*：0.05m の正方形として算出

空力パラメータは、

$$\begin{aligned} \frac{C_D A}{m} &= \frac{0.33 \times (2.0 \times 4/\pi \times 0.05 \times 0.05 + 0.7 \times 0.05 \times 2.0 + 0.7 \times 2.0 \times 0.05)}{8.4} \\ &= 0.0057 \quad [m^2/kg] \end{aligned}$$

②鋼製材（棒状物体（矩形断面））（図 5.1－3）

長さ：4.20m 幅：0.30m 厚さ：0.20m 質量：135kg

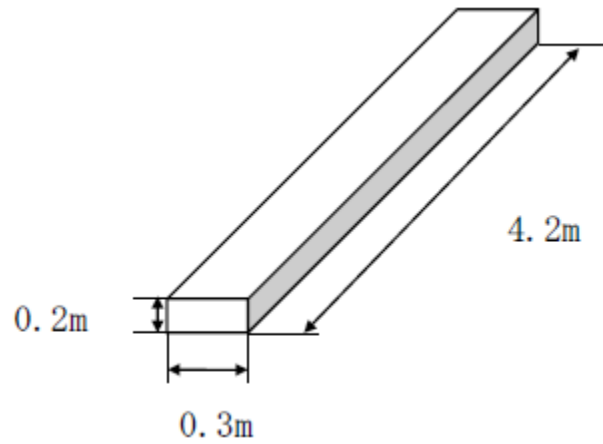


図 5.1－3 鋼製材

棒状物体（矩形断面）であるので，抗力係数 C_D は， $C_{D1} = 2.0$ ， $C_{D2} = 1.2$ ， $C_{D3} = 1.2$ である。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{c(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{m} \text{ より}$$

空力パラメータは，

$$\begin{aligned} \frac{C_D A}{m} &= \frac{0.33 \times (2.0 \times 0.2 \times 0.3 + 1.2 \times 0.3 \times 4.2 + 1.2 \times 0.2 \times 4.2)}{135} \\ &= 0.0065 \quad [m^2/kg] \end{aligned}$$

③乗用車（塊状物体）（図 5.1-4）

長さ：5.30m 幅：1.90m 高さ：2.30m 質量：1890kg

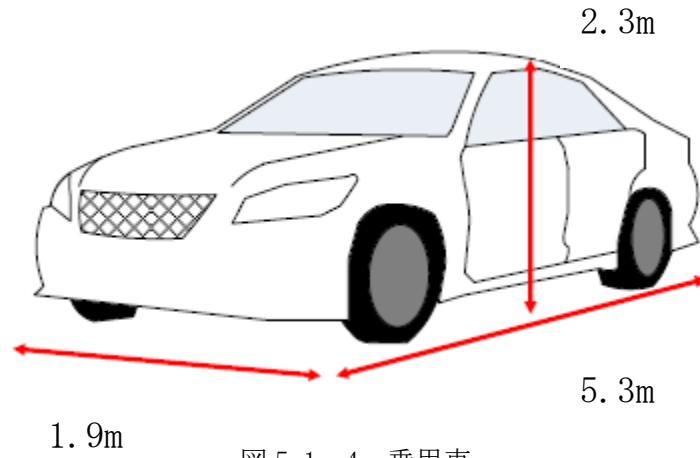


図 5.1-4 乗用車

塊状物体であるので，抗力係数 C_D は， $C_{D1} = 2.0$ ， $C_{D2} = 2.0$ ， $C_{D3} = 2.0$ である。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{c(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{m} \text{ より}$$

空力パラメータは，

$$\begin{aligned} \frac{C_D A}{m} &= \frac{0.33 \times (2.0 \times 1.9 \times 2.3 + 2.0 \times 5.3 \times 1.9 + 2.0 \times 2.3 \times 5.3)}{1890} \\ &= 0.0092 \quad [m^2/kg] \end{aligned}$$

(2) 地上からの初期高さ

飛散評価に必要となる地上からの初期高さは、図 5.1-5 に示す評価対象の飛来物と地上との高低差となる。現地調査結果を踏まえて設定するか、配置位置が特定できず、高所にも配置される可能性のある評価対象は、発電所の配置などを考慮し適切に設定する。

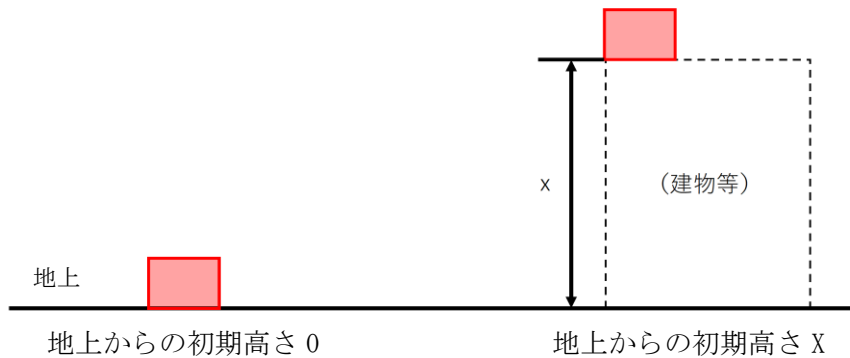


図 5.1-5 地上からの初期高さイメージ

(3) 飛来物の最大速度、飛散高さ及び飛散距離の算出

飛来物の仕様による入力条件をもとに、解析コード「TONBOS」を用いて、飛来物の最大速度、飛散高さ及び飛散距離を求める。図 5.1-6 に飛散距離及び飛散高さの飛跡イメージを示す。

解析コード「TONBOS」の詳細については、VI-5-2「計算プログラム（解析コード）の概要・TONBOS」に示す。

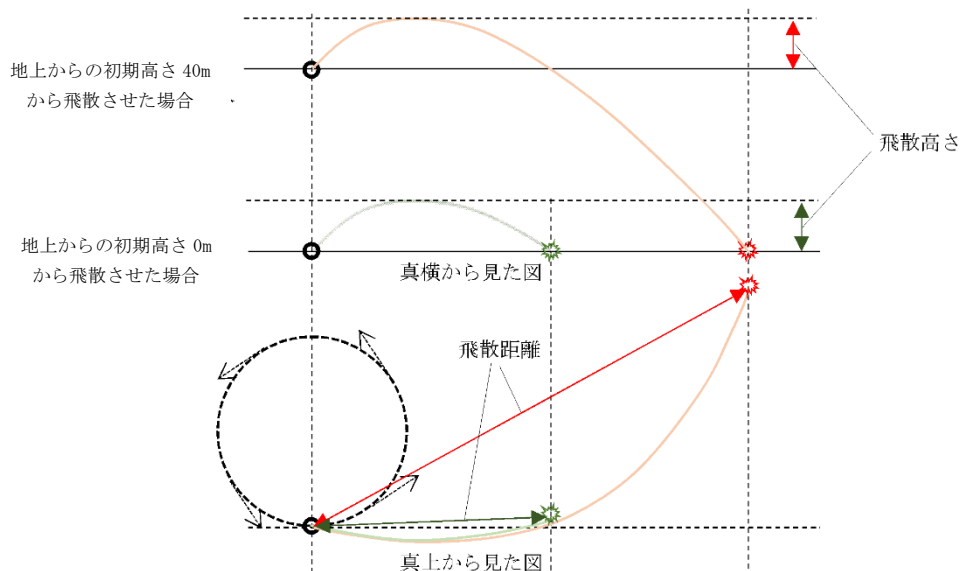


図 5.1-6 飛来物の軌跡イメージ

表 5.1-2 に、1.1(2)項の計算例に示した最大速度等の算出結果を示す。また、島根原子力発電所第 2 号機の設計飛来物である鋼製材の最大速度も合わせて示す。

表 5.1-2 飛来物の最大速度等の算出結果

飛来物の種類	棒状物体 (円形断面)	棒状物体 (矩形断面)	塊状物体	棒状物体 (矩形断面)
	鋼製パイプ	鋼製材	乗用車	鋼製材(設計飛来物) *
寸法 (m)	長さ×直径 2.0×0.05	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×高さ 5.3×1.9×2.3	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2
質量(kg)	8.4	135	1890	135
空力パラメータ (m ² /kg)	0.0057	0.0065	0.0092	0.0065
地上からの初期高さ (m)	0	0	0	—
飛来物の最大水平速度 (m/s)	0	8	48	51
飛来物の最大鉛直速度 (m/s)	0	0.6	9	34
飛散高さ (m)	0	0.08	7.8	—
飛散距離 (m)	0	3.3	145	—

注記＊：鋼製材（設計飛来物）については、TONBOSの飛散評価ではなく、竜巻影響評価ガイドの最大水平速度及び最大鉛直速度を用いる。

(4) 運動エネルギーの算出

a. 算出式

運動エネルギーの算出は以下の式により算出する。

$$\bullet \text{ 運動エネルギー} = MV_{\max}^2 / 2 [\text{kJ}]$$

M : 飛来物の質量 (kg)

V_{\max} : 飛来物の最大速度 (m/s)

b. 計算結果（水平の例）

① 鋼製パイプ（棒状物体（円形断面））

質量：8.4kg 最大速度：0m/s

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 運動エネルギー} &= MV_{\max}^2 / 2 [\text{kJ}] \\ &= (8.4 \times 0^2) / 2 = 0 [\text{kJ}] \end{aligned}$$

② 鋼製材（棒状物体（矩形断面））

質量：135kg 最大速度：8m/s

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 運動エネルギー} &= MV_{\max}^2 / 2 [\text{kJ}] \\ &= (135 \times 8^2) / 2 = 44 [\text{kJ}] \end{aligned}$$

③ 乗用車（塊状物体）

質量：1890kg 最大速度：48m/s

$$\begin{aligned} \cdot \text{運動エネルギー} &= MV_{\max}^2 / 2 [\text{kJ}] \\ &= (1,890 \times 48^2) / 2 = 2178 [\text{kJ}] \end{aligned}$$

（参考）鋼製材（設計飛来物）（棒状物体（矩形断面））

質量：135kg 最大速度：51m/s

$$\begin{aligned} \cdot \text{運動エネルギー} &= MV_{\max}^2 / 2 [\text{kJ}] \\ &= (135 \times 51^2) / 2 = 176 [\text{kJ}] \end{aligned}$$

(5) 貫通力の算出

飛来物の貫通力を，以下のコンクリートに対する貫通暑さの算出式に使用されている修正 NDRC 式，Degen 式及び後半に対する貫通暑さの算出式に使用されている BRL 式から算出する。

【修正 NDRC 式】（コンクリートに対する貫入深さ x_c ）

$$\cdot x_c = \alpha_c \left\{ 4 \left(\frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) W N d \left(\frac{V}{1000d} \right)^{1.8} \right\}^{0.5}, \text{ 但し, } \frac{x_c}{\alpha_c d} < 2$$

【Degen 式】（コンクリートに対する貫通限界版厚 t_p ）

$$\cdot t_p = \alpha_p d \left\{ 2.2 \left(\frac{x_c}{\alpha_c d} \right) - 0.3 \left(\frac{x_c}{\alpha_c d} \right)^2 \right\}, \text{ 但し, } \frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 1.52$$

t_p ：貫通限界版厚（cm）

x_c ：貫入深さ（cm）

d ：飛来物直径（cm）

F_c ：コンクリートの設計基準強度（kgf/cm²）（=240kgf/cm²）

W ：飛来物重量（kgf）

V ：衝突速度（m/s）

N ：飛来物先端形状係数で，以下の値を使用する。

・棒状の物体，板状の物体：1.14

・塊上の物体：0.72

α_c ：貫入評価についての飛来物低減係数で，1.00 を使用する。

α_p ：貫通評価についての飛来物低減係数で，1.00 を使用する。

【BRL 式】（鋼板に対する貫通厚さ T）

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 D^{3/2}}$$

T：鋼板貫通厚さ（m）

M：ミサイル質量（kg）

V：ミサイル速度（m/s）

D：ミサイル直径（m）

K：鋼板の材料に関する係数（≒1）

表 5.1-3 に、5.1(b) 項の計算例に示した鋼製パイプ、鋼製材及び乗用車の運動エネルギー及び貫通力の算出結果を示す。また、島根原子力発電所第 2 号機の設計飛来物である鋼製材の運動エネルギー及び貫通力も合わせて示す。

表 5.1-3 飛来物の貫通力の算出結果

飛来物の種類	棒状物体 (円形断面)	棒状断面 (矩形断面)	塊状物体	棒状断面 (矩形断面)
	鋼製パイプ	鋼製材	乗用車	鋼製材（設計飛来物）
寸法 (m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×高さ 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×高さ 5.3×1.9×2.3	長さ×幅×高さ 4.2×0.3×0.2
飛来物の最大水平速度 (m/s)	0	8	48	51
飛来物の最大鉛直速度 (m/s)	0	0.6	9	34
飛来物の運動エネルギー (水平) (kJ)	0	4.4	2178	176
飛来物の運動エネルギー (鉛直) (kJ)	0	1	77	79
コンクリートの貫通限界厚さ (水平) (cm)	0	8.2	40.7	27
コンクリートの貫通限界厚さ (鉛直) (cm)	0	0.8	9.2	19
鋼板の貫通限界厚さ (水平) (mm)	0	0.28	0.54	34
鋼板の貫通限界厚さ (鉛直) (mm)	0	0.01	0.06	20

5.2 対策要否の判定

5.1 項にて算出した運動エネルギーが、以下に示す観点より設計飛来物に包含されていない物品については固縛、固定又は外部事象防護対象施設から離隔する対策を行う。図 5.2-1 に飛来物となりうる資機材及び車両の固縛等の概要図を示す。

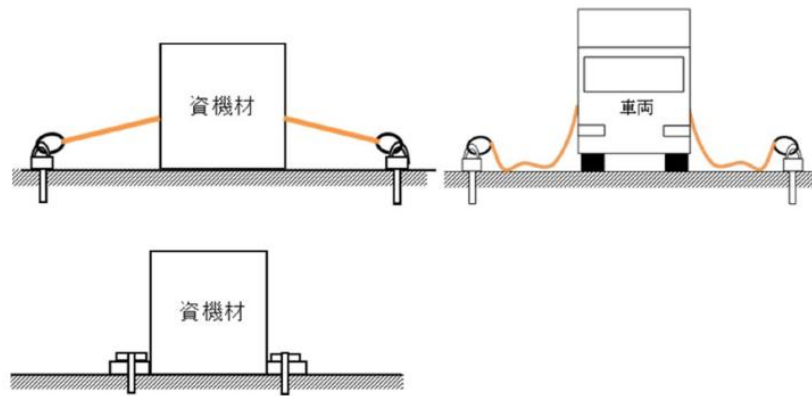


図 5.2-1 資機材固縛のイメージ

図 5.2-2 に飛来物となりうる資機材及び車両類の固定、固縛又は外部事象防護対象施設から離隔する対象物の選定フローを示す。

[飛来物発生防止対策要否の観点]

- ・運動エネルギーが設計飛来物に設定している鋼製材の 176kJ（水平）及び 79kJ（鉛直）より大きいもの。
- ・鋼板に対する貫通力（貫通限界厚さ）が設計飛来物に設定している鋼製材の 34mm（水平）及び 20mm（鉛直）より大きいもの。
- ・コンクリートに対する貫通力（貫通限界厚さ）が設計飛来物に設定している鋼製材の 27cm（水平）及び 19cm（鉛直）より大きいもの。

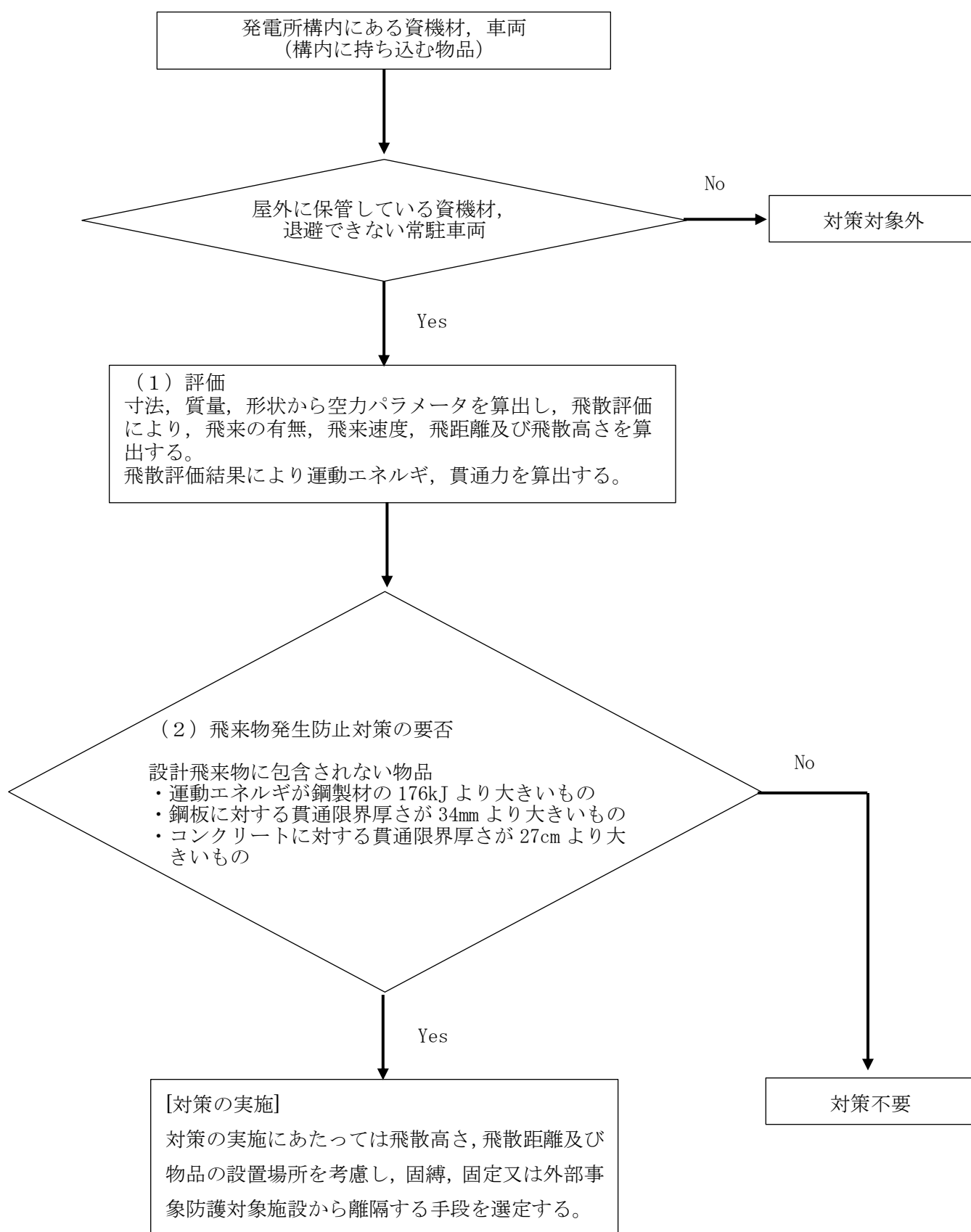


図 5.2-1 飛来物の選定及び飛来物発生防止対策の要否の判定フロー

竜巻影響評価におけるフジタモデルの適用について

1. はじめに

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」⁽¹⁾（以下「ガイド」という。）に従い竜巻影響評価を行う上で、設計飛来物の飛来速度を設定するための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、米国NRCの基準類に記載されている「ランキン渦モデル⁽²⁾⁽³⁾」、原子力安全基盤機構の調査研究報告書に記載されている。「LES (Large-eddy simulation)」の数値解析⁽⁴⁾があるが、当社の竜巻影響評価においては、地面に置かれた物体への影響をよく表現できている風速場モデルにより、評価対象施設の影響評価・防護対策を実施するため、風速場モデルとしてフジタの竜巻工学モデルDBT-77(DBT: Design Basis Tornado)⁽⁵⁾を選定する。

図1に風速場モデルの選定及び飛来物評価方法に関する検討フローを示す。また、図2に竜巻影響評価フローとフジタモデルの関連箇所を示す。

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。

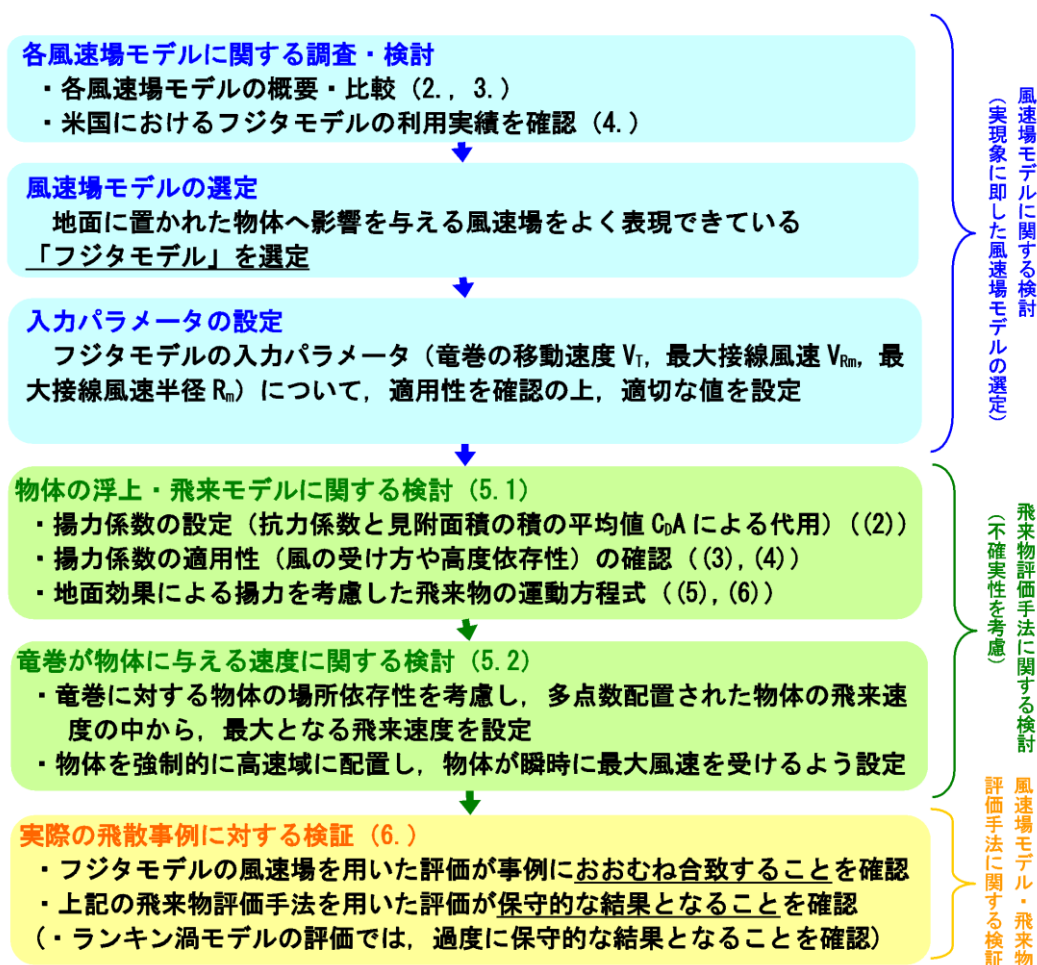


図1 風速場モデルの選定及び飛来物評価方法に関する検討フロー
（括弧内の数字は、本資料の節番号）

：フジタモデル関連箇所

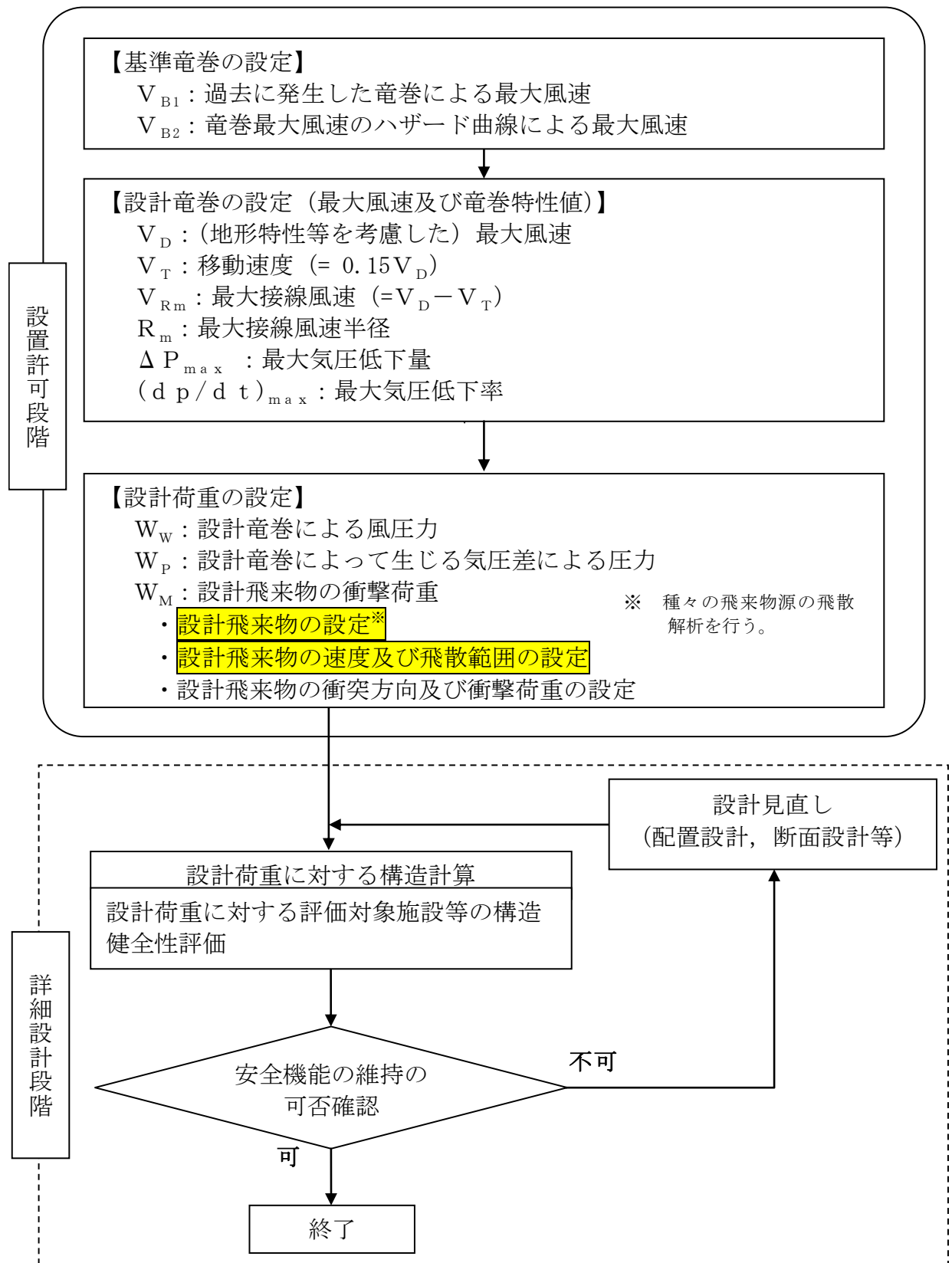


図2 竜巻影響評価フローとフジタモデルの関連箇所

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、藤田博士が1978年に竜巻観測記録をもと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（図3）の記録ビデオ画像の写真図化分析を行い、竜巻の地上痕跡調査、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、そのベクトル図をもと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（図4）。

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。



図3 Ash Valley竜巻（1974. 8. 30）のビデオ画像

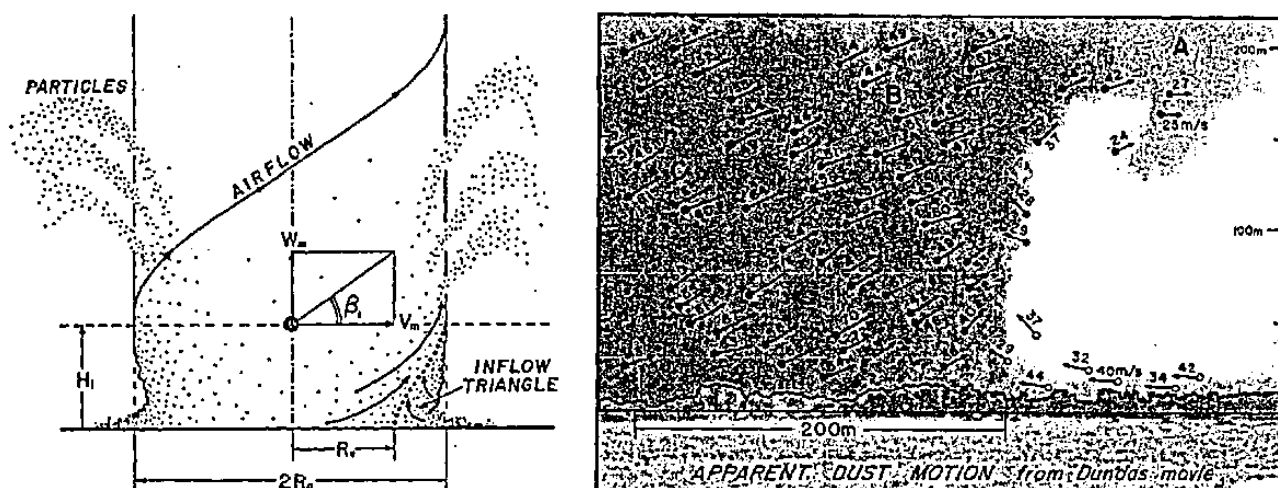


図4 フジタモデルの流線（左）と風速ベクトルの分析図（右）

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⁽⁵⁾のC h a p t e r 6 に下記のとおり記載されている。(C h a p t e r 6 では、単一渦型のモデルであるフジタモデルD B T-77 を引用しているが、多重渦型のモデルであるフジタモデルD B T-78 は引用されていない。)

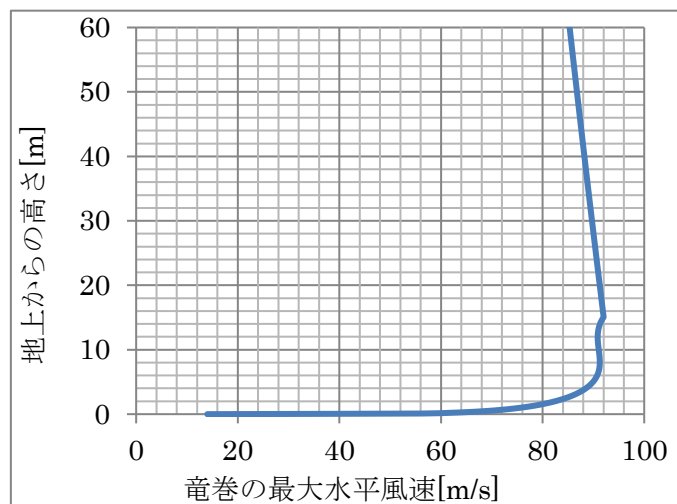
図 5-1 フジタモデルの概要

図 5-1 フジタモデルの概要

$$\text{連続の式: } c \equiv \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i} \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$

フジタモデルでは $c=0$ となり連続の式を満たす。

V_{θ}	接線(周)方向風速
V_r	半径方向風速(中心方向が正)
V_z	上昇風速
V_m	最大接線風速
R_0	外部コア半径



14

内部コアの半径 R_n と外部コアの半径 R_m の比 $\nu = R_n / R_m$ については, Fujita⁽⁵⁾ が以下の経験式を提案しているので, これを用いる。

$$\nu = 0.9 - 0.7 \exp(-0.005 R_m) \quad (1)$$

また, 流入層は, 地面との摩擦により低下した遠心力と圧力分布のバランスが崩れ, 流体が竜巻中心方向の低圧部に引き込まれることにより形成されることから, 摩擦の影響が及ぶ範囲のみで形成される。Fujita⁽⁵⁾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, これを用いる。

$$H_i = \eta R_m \quad (2)$$

ここで, η は 1 以下の正の値であり, Fujita Work Book⁽⁵⁾の (6.4) 式より $\eta = 0.55(1 - \nu^2)$ で定義される。

上記式において, 外部コア半径 $R_m=30(\text{m})$ の場合, $\eta = 0.501 (H_i=15(\text{m}))$ となり, 原子力安全基盤機構の調査研究報告書⁽⁴⁾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⁽⁶⁾により示されている流入層高さ ($H_i=10 \sim 14(\text{m})$ 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⁽⁵⁾の提案している値として, $k_0=1/6$, $k=0.03$, $A=0.75$, $B=0.217$ を用いる。

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, 米国で開発された飛来物速度評価用のランキン渦モデル⁽³⁾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 (図 6)。そのため, 流れの連続の式 (質量保存式) を満たしておらず, 図 7 に示すように地面から吹き出しが生じるような流れとなっており, 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評価を行う場合, 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。

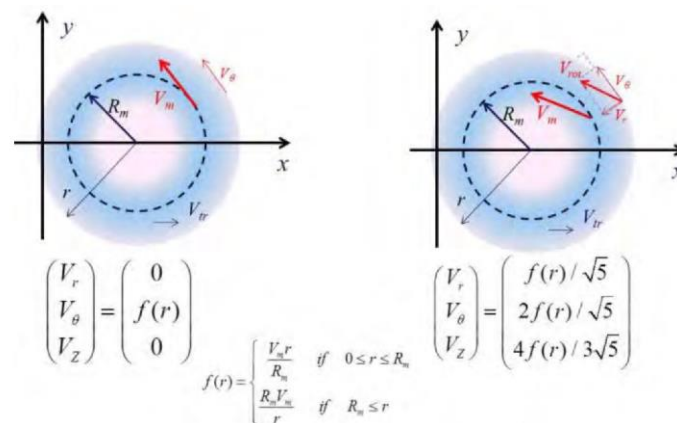


図 6 設計竜巻圧力用のランキン渦モデル (左) と
飛来物速度評価用のランキン渦モデル (右)

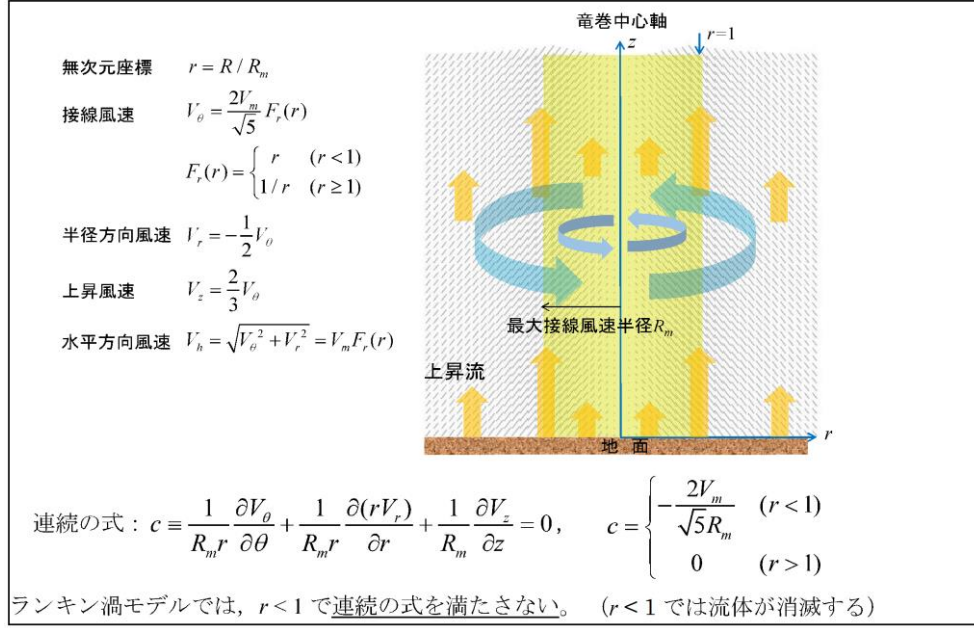


図 7 飛来物速度評価用のランキン渦モデルの概要

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、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。図8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、流体が非圧縮性であると仮定する場合、以下のようになる。

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_1 \frac{\partial U_i}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial U_i}{\partial x_2} + U_3 \frac{\partial U_i}{\partial x_3} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + (\nu + \nu_s) \left(\frac{\partial^2 U_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_3^2} \right) - f_i \quad (i=1,2,3) \quad (3)$$

$$\frac{\partial U_1}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2}{\partial x_2} + \frac{\partial U_3}{\partial x_3} = 0 \quad (4)$$

ここで、 U_i 及び P は、 i 方向の流速ベクトル及び圧力を表し、 ν は動粘性係数を、 f_i は i 方向の外力加速度を表す。また、 x_i は i 方向の座標を表す。

一方、Smagorinskyモデルの渦粘性係数 ν_s は以下のように定義される。

$$\nu_s = (C_s h)^2 \sqrt{\sum_{i,j=1}^3 2S_{ij}^2} \quad (5)$$

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。

以上のとおり，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。

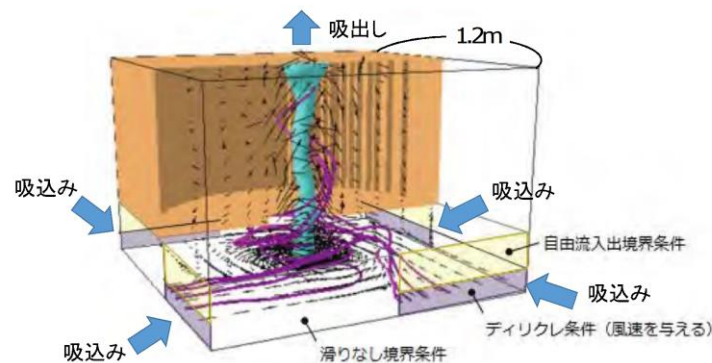


図8 LES計算領域内での竜巻状の渦の発生状況（(4)に一部加筆）

以上が一般的なLESの説明となる。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，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。

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。渦の生成に当たって，以下のような条件を仮定していることから，実スケールでの評価を実施するには課題があるものと考えられる。

- ・人為的な流入境界条件（流入風速分布や流入箇所の局所的配置等）を設定していることから，流入境界条件の影響を受ける地表面付近の実際の竜巻風速場の再現はできていないものと考えられる。
- ・小規模な計算領域によるシミュレーションであり，実スケールへの適用（飛来物評価）の際には単純に速度を規格化して飛来物評価に適用している。

⇒風速の規格化の際には，時間平均の最大風速を 100m/s（風速＋移動速度）に設定している。Maruyama⁽⁷⁾によれば，瞬間的な周方向風速は 1.7 倍程度まで大きくなる場合があり，移動速度と合わせると最大 160m/s 程度まで達するため，飛来物評価の際に非常に保守的な結果が算出されることが考えられる。

⇒流速が早い場合には粘性の影響は小さくなる傾向となるが，その影響については考慮していないことから，特に地表面付近については実際の風速場の再現はできていないものと考えられる。

（参考：フジタモデルを適用した場合の物体の飛跡）

図9にフジタモデルを適用した場合におけるコンテナの飛散解析（諸元：長さ 6 m×幅 2.4m×高さ 2.6m，2300kg， $CD_A/m=0.0105$ ，最大風速 100m/s）における飛跡を示す。

また、フジタモデルの流入層高さ H_i は、外部コア半径 $R_m=30(\text{m})$ の場合、 $H_i=15(\text{m})$ であり、2.1 に記載のとおり他の文献⁽⁴⁾⁽⁶⁾ともおおむね整合しているが、ここでは、その不確実性を考慮し、流入層高さ H_i を $\pm 10\%$ 変化させた場合の飛跡も示す。

$H_i=15(\text{m})$ の際のコンテナの最大飛散距離 $189.4(\text{m})$ に対し、流入層高さ H_i を $\pm 10\%$ 変化させた場合の最大飛散距離は $183.4(\text{m})$ (-3.2%)、 $194.7(\text{m})$ ($+2.8\%$) となり、流入層高さ H_i に対する最大飛散距離の感度は小さいことが分かる。

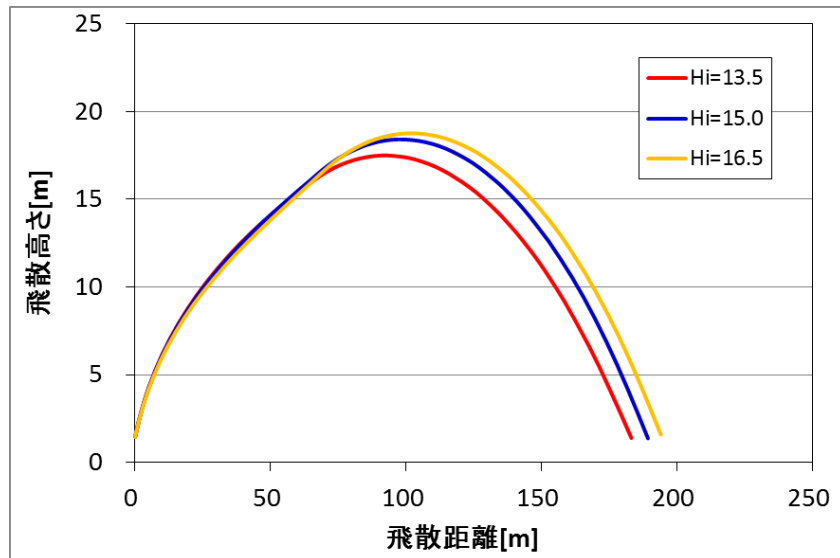


図9 流入層高さを変化させた場合のコンテナの飛跡（最大風速 100m/s ）

3. 各風速場モデルの比較

各風速場モデルの特徴の比較を表1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図10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、より実際の竜巻風速場に即した形で表現されており、地上からの物体の浮上・飛散解析が可能となっていること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おり、地上からの飛散挙動は解析するには適切でない。ガイドで例示されているLESで生成した風速場も、2.3の通り人為的な境界条件を設定していることや、小規模領域での計算結果を定数倍して実スケールサイズの値に変換している⁽⁴⁾⁽⁷⁾ことから、地上付近での風速場が実現象と乖離していると考えられるため、地上からの飛散挙動を解析するには適切でない。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ないことから、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。

表 1 各風速場モデルの特徴の比較

風速場モデル	使用実績	特長	問題点
フジタモデル	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻飛来物設計速度、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 【対象施設の例】 Pantex Plant(テキサス州), Oak Ridge(X-10, K-25,Y-12)(テネシー州), Savannah River Site(サウスカロライナ州) 	<ul style="list-style-type: none"> 実観測に基づいて考案されたモデルであり、実際に近い風速場構造を表現している 比較的簡易な代数式により風速場を表現できる 流体の連続式を満たす定式化 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">地上に設置した状態から飛来物の挙動を解析できる</div>	<ul style="list-style-type: none"> 特になし <p>(ランキン渦モデルと比較すると、解析プログラムが複雑になるが、計算機能力の向上、および評価ツールの高度化により問題とならない)</p>
ランキン渦モデル	<ul style="list-style-type: none"> 米国NRC Regulatory Guide 1.76で採用されている ガイド(設計竜巻の特性値の設定)で例示されている 	<ul style="list-style-type: none"> 簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現できる 	<ul style="list-style-type: none"> 風速場に高度依存性がなく、上昇流が全領域に存在する(地面からも吹き出しがある)ため、実現象から乖離 流体の連続式を満たしていない <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">地上からの飛散挙動を解析するには適切でない</div>
非定常乱流渦モデル(LES)	<ul style="list-style-type: none"> ガイドにおいて、飛来物および最大速度の設定例に使用されている 	<ul style="list-style-type: none"> 風速の時間的な変動、乱れをある程度模擬できる 	<p>ガイドに例示されているLESで生成した風速場で飛散解析を行う場合、以下の問題がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> 小規模領域での計算結果を、実スケールサイズに規格化するため、粘性の影響が実現象と乖離(特に地表面付近) 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 実スケールに規格化した場合の平均風速が100m/sとなるため、飛来物評価が非常に保守的な場合がある(瞬間的な最大値は160m/s程度) <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">地上からの飛散挙動を解析するには適切でない</div> <p>・実スケールでの解析は、膨大な計算機資源が必要になるため、現実的ではない</p>

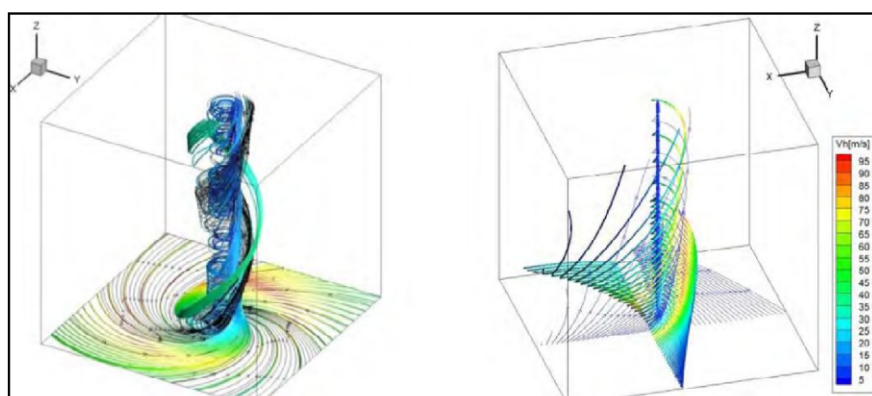


図 10 フジタモデル(左)とランキン渦モデル(右)の風速場構造の比較

4. 米国におけるフジタモデルの取扱い

4.1 フジタモデルの利用実績

米国エネルギー省(DOE: Department of Energy)が管理するエネルギー関連施設等に適用する基準⁽⁸⁾において、竜巻飛来物速度、飛散高さの設定にフジタモデルを用いた計算結果が使用されている⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾(文献(8)のD.4節: Windborne missile criteriaspecified herein are based on windstorm damage documentation and computer simulation of missiles observed in the field. . . . Computer simulation of tornado missiles is accomplished using a methodology developed at Texas Tech University.)。

この基準では、施設に要求される性能ごとにカテゴリ0から4まで分類し、カテゴリ0～2は一般的な建築物、カテゴリ3、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, 4 に該当する施設として, Pantex Plant, Oak Ridge(X-10, K-25,Y-12), Savannah River Site が挙げられている。

フジタモデルの技術的な妥当性の検証については, 米国DOE管轄のローレンス・リバモア国立研究所報告書⁽¹¹⁾にてまとめられている。この報告書では, フジタモデル DBT-77 を他の風速場モデルと比較検討しており, 流体力学の連続の式を満足する (Fluid mechanics equations of continuity are satisfied) こと, モデル流況は, 竜巻の映像分析で得られる流れの空間分布と整合する (Flow patterns are consistent with the spatial distribution of flow observed in photogrammetric analysis of tornado movies) こと等を利点として挙げている。

また, 実際の事例に対するフジタモデルの検証としては, 1978 年 12 月 3 日に米国ルイジアナ州 Bossier 市で発生した F 4 竜巻による鋼製材の飛来について, フジタモデル DBT-77 で再現した事例⁽⁹⁾ がローレンス・リバモア国立研究所報告書⁽¹¹⁾ 及び米国気象学会論文集⁽¹²⁾ に掲載されている。

なお, 米国LES (Louisiana Energy Services) の濃縮施設 (NEF : National Enrichment Facility) では, 上記のDOE施設の基準に基づき竜巻飛来物 (鋼鉄パイプや木材の板等) を設定しており, 米国NRCは当該施設に対する安全評価報告書 (NUREG-1827)⁽¹³⁾ の中で竜巻飛来物に対するLESの竜巻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 でも述べたとおり, 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 Regulatory Guide 1.76⁽²⁾ 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 (Ref. 7).” と述べられており, 単に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来物速度 (Simiuraの運動方程式⁽³⁾) 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EPR Iで開発され、原子力発電所の構造物・機器への竜巻飛来物の衝突・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）が利用されていることから、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. 飛来物評価

前節まででは、フジタモデルの風速場を適用することの妥当性について述べてきた。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、実際の竜巻による風速場や物体の飛散挙動の不確定性についても考慮する必要がある。

本節では、地表面付近の風速場、フジタモデルの特長である地上からの飛散挙動及び竜巻が物体と衝突する際の竜巻風速に関する不確定性等について、飛来物評価の中でどのように考慮しているかを説明する。

5.1 物体の浮上・飛来モデルにおける不確定性の考慮

本評価における物体の浮上・飛来モデルの考え方と、その中で保守性の観点から評価上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、ガイドの飛来物運動モデル⁽³⁾⁽⁴⁾と同様に、物体は図 11-1 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）FD 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（次頁参照）を考慮している⁽¹⁴⁾。具体的には、物体の形状が流れ方向の軸に関して対称であっても、図 11-2 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。

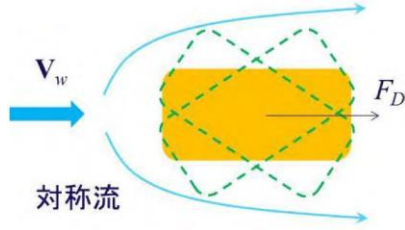


図 11-1 空中で物体へ
作用する力

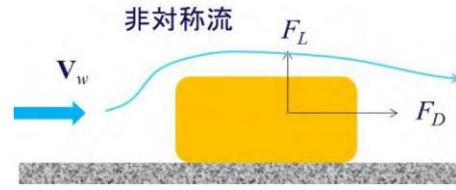


図 11-2 地面付近で物体へ
作用する力

このような揚力 F_L は地面での揚力係数 C_L ，地上での物体の見附面積（風向方向から見た投影面積） a を用いて，以下のように表される⁽¹⁵⁾。

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L a |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 \quad (6)$$

ただし， ρ は空気密度， \mathbf{V}_M は物体の速度ベクトル， \mathbf{V}_w は風速ベクトル， $|\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M|_{x,y}$ は*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（図 12 の左）は物体が流体に接する全表面で圧力は一定（ p_0 ）とみなせるため，鉛直方向（上向き）に作用する揚力 F_{L0} は，以下で与えられる。

$$F_{L0} = -p_0 A + p_0 (A - s) = -p_0 s \quad (7)$$

吸盤のように完全に地面に密着している場合は $s=A$ となるため，大気圧 p_0 に投影面積 A を乗じた力が下向きに作用し，物体と地面の間に僅かに空隙が生じる場合には，大気圧 p_0 に完全接触面積 s を乗じた力が下向きに作用することになるため，いずれの場合においても揚力は発生しないことが分かる。

一方，竜巻通過時（図 12 の右）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 p_1 ，下面での圧力 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は可能）。

$$F_L = -p_1 A + p_2 (A - s) \quad (8)$$

吸盤のよう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。

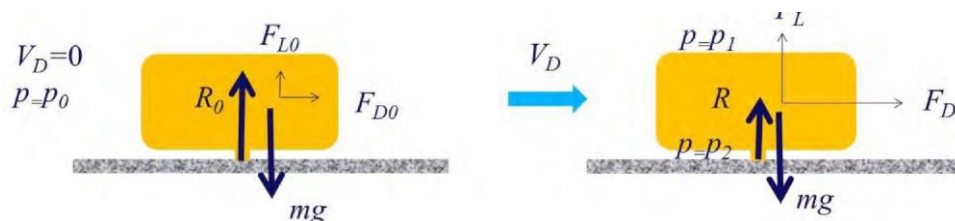


図 12 部分的に地面に接する物体に作用する力
(左：無風時，右：強風時， R_0 ， R ：無風時，強風時における垂直抗力)

(2) 揚力係数の設定

(6)式の CLa 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、CLa に代わり以下で定義される抗力係数と見附面積の積の平均値 CDA を用いることとする。

$$C_D A = \frac{1}{3} (C_{Dx} A_x + C_{Dy} A_y + C_{Dz} A_{xz}) \quad (9)$$

ここで、 CD_x は空中での x 軸方向流れに対する抗力係数、 A_x は x 軸方向流れに対する見附面積であり、その他も同様である。

物体の運動モデルを図 13 に示す。上記 (9) 式の考え方は、図 13 に当てはめ整理すると以下のとおり。

- 物体がある程度浮き上がった後の状態（図 13 の状態 B）であれば、物体はランダム回転し、物体各面に均等に風を受けるものと考えられること。
- 物体が地面に置かれた状態（図 13 の状態 A）から、実際に浮き上がる際には、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、評価に用いる係数は、地面から浮かせた状態で実測された CLa のうち、物体が地面に置かれた状態（図 13 の状態 A）にできる限り近い場合の値よりも大きな係数を用いることで、保守性は確保できると考えられること。
- 物体が地面に置かれた状態（図 13 の状態 A）と物体がある程度浮き上がった状態（図 13 の状態 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・飛散評価における実用性の観点からも望ましいこと。

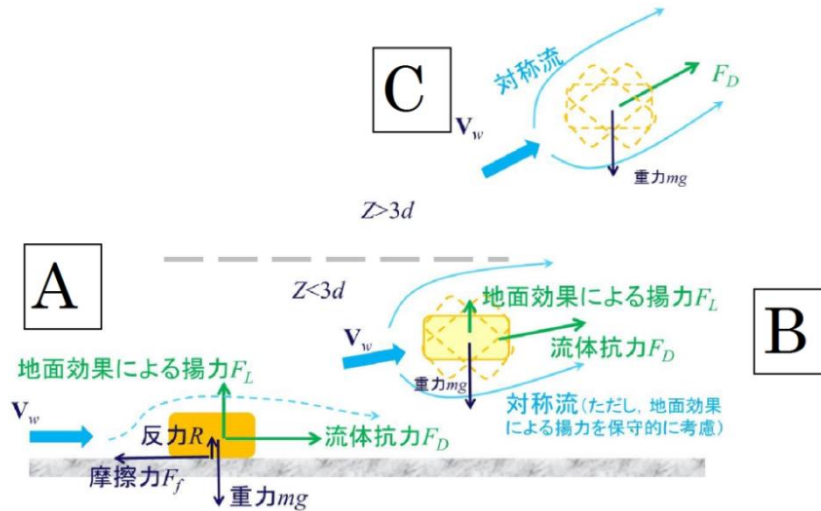


図 13 物体の運動モデルの模式図

(A : 地面上, B : $Z < 3d$ の高さの範囲, C : $Z > 3d$ の高さの範囲, ただし, $Z = z - d/2$, d : 物体高さ)

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 CL と見附面積 a の積 CLa 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飛行定数 CDA/m と同類の CDA の利用が適切であることを以下で説明する。

物体が風速 U を受ける場合の揚力係数 CL は、一般にその定義により揚力 FL と以下の関係にある。

$$F_L = \frac{1}{2} \rho U^2 C_L a \quad (10)$$

これを変形すると、 $CLa = 2FL / \rho U^2$ となり、風速、風向及び物体の向きが一定であれば、揚力 FL 及び速度圧 $q = 1/2 \rho U^2$ は見附面積 a の取り方には無関係の物理量であるので、 CLa も見附面積 a の取り方（風向投影面積や揚力方向投影面積）に依存しないことが分かる。

一方、同じ風速 U が同じ物体に作用する場合であっても、地面に置かれた物体の向きと風向の関係によって積 CLa は変化する。（例えば、円柱の長手方向と風向が平行な場合の揚力は小さいが、直角の場合には最大となる）

そこで、典型的な塊状物体・柱状物体・板状物体が地面に置かれた場合の CLa の最大値（又は、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 CDA の値を比較する。（表 2）

表 2 より、 $CDA > CLa$ の関係が成立しており、 CLa の代用として CDA の利用が適切であることが確認できる。なお、 CDA は各方向の抗力係数と見附面積の積の平均値であり、例えば、一辺 d の立方体では $CDA = 2d^2$ 、一辺 d の平板では $CDA = 0.66d^2$ となる。両者には約 3 倍の違いがあるが、いずれの場合も実際の CLa 値よりも大きな値であり、揚力の評価モデルとして CLa 値の代わりに CDA 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（図 13 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 倍までの高さ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，図 13 の状態 A，B，C の全領域で揚力の連続性が確保されている。

表 2 主な物体の C_{DA} と地面に置かれた物体の C_{La} (実測値) の比較

形状	物体	仕様	C_{DA}^{*1}	C_{La} (実測値)	C_{DA}/C_{La}	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 $s=16.7\text{ft.}$, 幅 $w=5.8\text{ft.}$, 高さ $d=4.3\text{ft.}$)	$2(sw+wd+ds)/3$ ($=129\text{ft.}^2$)	$1.865wd$ ($=46.5\text{ft.}^2$)	2.65	<ul style="list-style-type: none"> 文献(16) の風洞試験 (風速 $22\sim 31\text{m/s}$, $\text{Re}=2.8\times 10^6\sim 4\times 10^6$) C_{La} が最大となる流入角での値を C_{La} (実測値) として記載
	立方体	一辺の長さ D	$2D^2$	$0.2D^2$ 程度	10 程度	<ul style="list-style-type: none"> 文献(17) の水路試験($\text{Re}=8000\sim 28000$) 流入方向と立方体面の一面が垂直になる配置における値を C_{La} (実測値) として記載
柱状	円柱	長さ λ , 直径 D	$0.47D\lambda$	$0.2D\lambda$	2.35	<ul style="list-style-type: none"> 文献(16) の風洞試験($\text{Re}=1.3\times 10^6$) 流入方向と円柱の軸直角方向が垂直になる配置 (円柱の軸方向は地面と平行) における値を C_{La} (実測値) として記載
	角柱	長さ λ , 断面が一辺 D の正方形	$0.8D\lambda$ ($1.3D\lambda$)**	$0.5D\lambda\sim 0.7D\lambda$ 程度	1.14 \sim 1.6	<ul style="list-style-type: none"> 文献(17) の水路試験($\text{Re}=8000\sim 28000$) 長方形断面 (アスペクト比 4:3) の角柱は地面から $0.167D$ 以上離れると揚力は負となる (電中研風洞実験) 流入方向と角柱の軸方向が垂直となる配置 (角柱の軸方向は地面と平行) における値を C_{La} (実測値) として記載
平板	薄い平板	長さ λ , 幅 B , 厚さ D ($B=200\text{mm}$, $D=5\text{mm}$, $\lambda=1000\text{mm}$ の場合)	$0.66B\lambda$	0 に近い値 (地面から $0.25B$ 離れた位置で $C_{La}=0.04B\lambda$)	16.5	<ul style="list-style-type: none"> 文献(18) の風洞試験(幅 B に基づく $\text{Re}=2\times 10^5$) 流入方向と平板の長さ方向が垂直になる配置 (平板は地面と平行) における値を C_{La} (実測値) として記載
	平板状ブロック	長さ λ , 幅 B , 厚さ D	$0.66B\lambda$ $0.66(B\lambda+D(B+\lambda))^{*2}$	$0.1B\lambda$ 程度	6.6	<ul style="list-style-type: none"> 文献(19) の水路試験($\text{Re}=5\times 10^4$ 程度) 流入方向と平板状ブロックの長さ方向が垂直になる配置 (平板状ブロックは地面と平行) における値を C_{La} (実測値) として記載

注記*1 : 柱状及び平板では微小項を無視して記載

*2 : 塊状とみなせる場合

(3) 設定した揚力係数の適用性の確認

地面における揚力係数 C_L と見附面積 a の積 $C_L a$ が、飛行定数 $C_D A/m$ と同類の $C_D A$ で代用できることについて、表 2 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う。

表 2 の各文献中の実験でのレイノルズ数 Re は同表の備考欄に示すとおり、 10^4 から 10^6 のオーダーにある。

ここで、実物の自動車 (D o d g e D a r t の諸元：長さ 16.7ft. , 幅 5.8ft. , 高さ 4.3ft.) では風速を 30mph (13m/s) から 120mph (54m/s) まで変化させてレイノルズ数の影響を調べた結果、風速は各空力係数に対して顕著な影響がないことが確認されている⁽¹⁶⁾。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、図 14 に示すようにレイノルズ数 Re が変化すると、剥離点が移動し、抗力係数等が変化することが知られている。表 2 の E P R I の円柱の風洞試験結果⁽¹⁶⁾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 $Re=6.0 \times 10^5$ 程度)。また、電力中央研究所我孫子地区内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、 $Re=3.0 \times 10^4$ から 1.0×10^5 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、図 15 に示すとお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 と見附面積 a の積 $C_L a$ はレイノルズ数にほとんど依存せず、表 2 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。

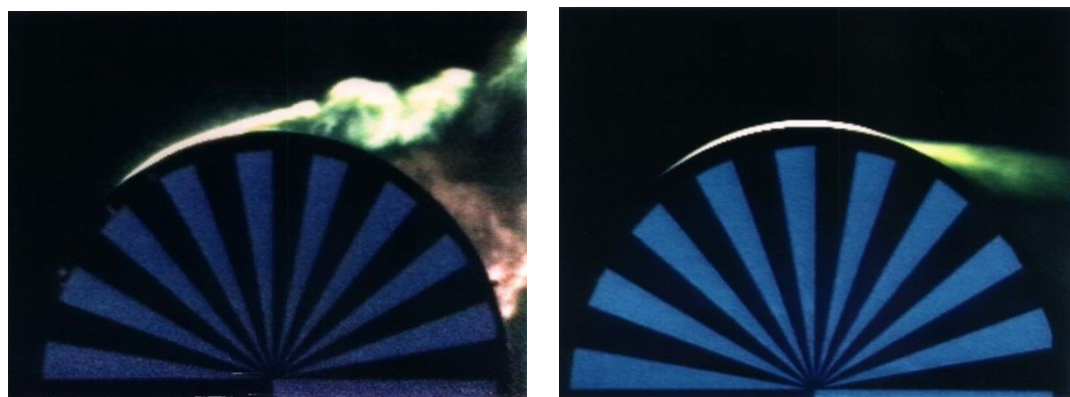


図 14 可視化した円柱周りの流れ
(左： $Re \approx 4.0 \times 10^4$ ，右： $Re \approx 2.0 \times 10^5$)

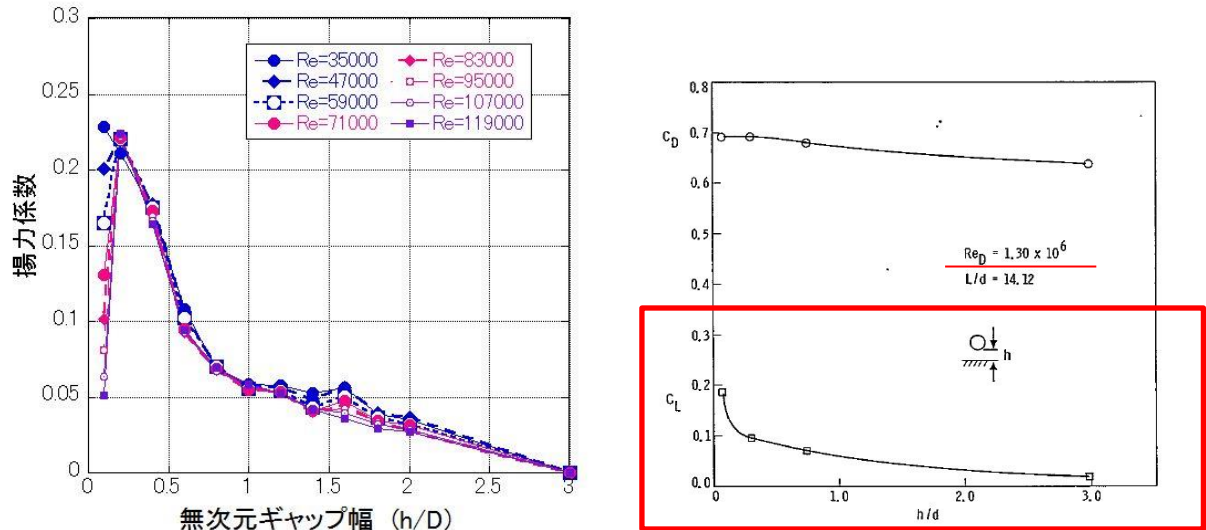


図 15 (左) 電力中央研究所の風洞試験 ($Re=3.0 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^5$) と (右) E P R I の風洞試験⁽¹⁶⁾ ($Re=1.3 \times 10^6$) で得られた円柱揚力係数

(4) 揚力の高さ依存性

この地面効果による揚力は高さとともに減衰するので、既往の風洞実験の結果⁽¹⁶⁾⁽²²⁾を考慮して、物体高さ d の物体にかかる揚力は、物体底面が地面から $3d$ の高さとなった時に消滅すると仮定する。

具体的には、地面から z の距離 (高さ) 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する。 (Z : 物体底面の高さ ($=z-d/2$))

$$L = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 f(Z/d) \quad (11)$$

ただし、 $f(Z/d)$ は、E P R I の風洞実験結果⁽¹⁶⁾⁽²²⁾を参考に、以下の反比例式とする。

$$f(Z/d) = \begin{cases} \{1 - (Z/3d)\} / \{1 + (Z/d)\} & (0 \leq Z \leq 3d) \\ 0 & (3d < Z) \end{cases} \quad (12)$$

また、以下において、塊状物体 (自動車)、柱状物体 (角柱、円柱)、板状物体 (平板) の風洞試験結果を踏まえ、物体高さ d の物体にかかる揚力は、物体底面が地面から $3d$ の高さで消滅するとした仮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⁽¹⁶⁾にて、地面及び風洞中央 ($h/d \doteq 3.5$) に設置した場合にて計測されており、図 16-1 に示すように流入角 (0° は正面, 90° は側面に風を受ける角度) に依存した揚力係数が得られている。

また、図 16-2 にて、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ゼロとはならないが、実際に飛来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した揚力係数に近いものと考えられる。

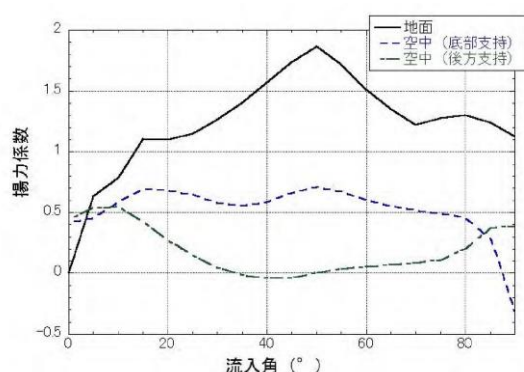


図 16-1 地面及び風洞中央に設置した自動車の揚力係数の流入角依存性

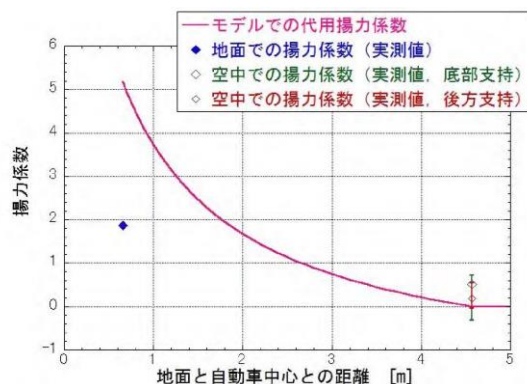


図 16-2 自動車の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係

b. 柱状物体（角柱・円柱）の揚力の高さ依存性

角柱の揚力係数は、電力中央研究所我孫子地区内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，図 17 にその結果を示す。角柱の場合，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で代用した揚力式（図 17 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⁽¹⁶⁾にて測定しており，図 18 に示すように本モデルで代用した揚力係数（図 18 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。

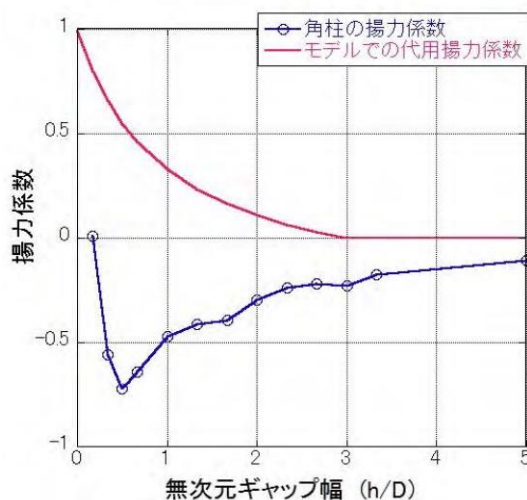
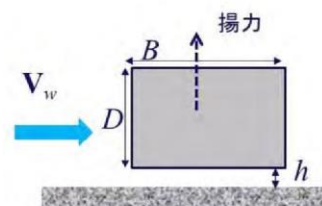


図 17 角柱の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係（幅 $B=80\text{mm}$ ×高さ $D=60\text{mm}$ ×模型長 1000mm）



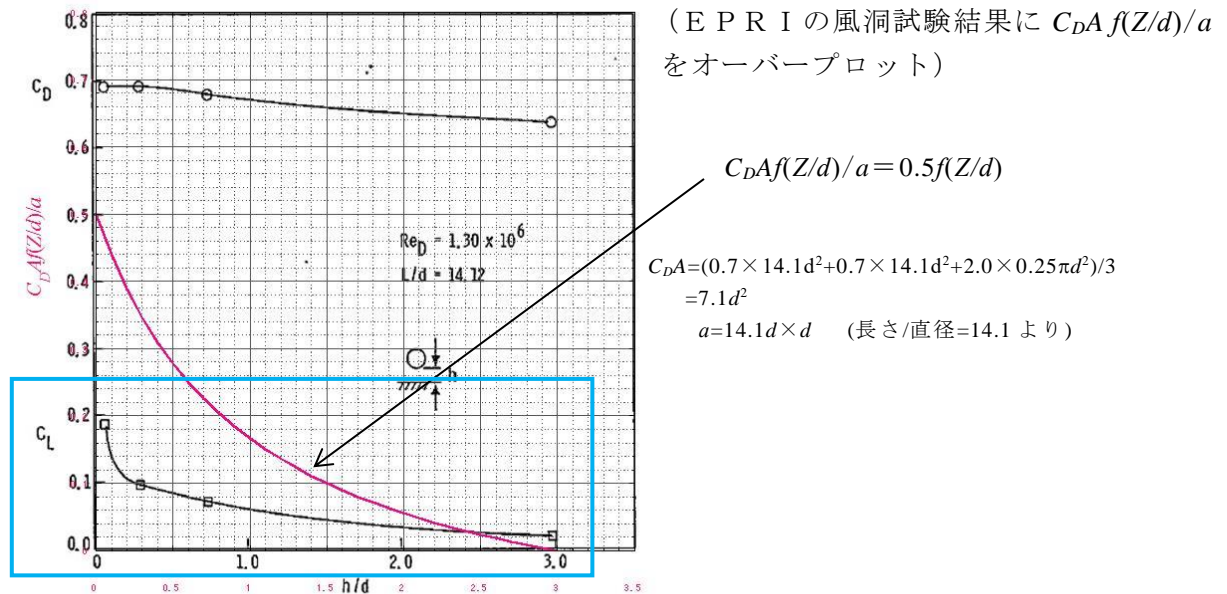


図 18 円柱の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係

c. 板状物体（平板）の揚力の高さ依存性

平板の揚力係数は、平面的な形状を有する翼（迎角 0° ）の試験結果⁽²¹⁾に基づき考察すると、本モデルで代用した揚力係数（図 19 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更に小さいものと考えられる。

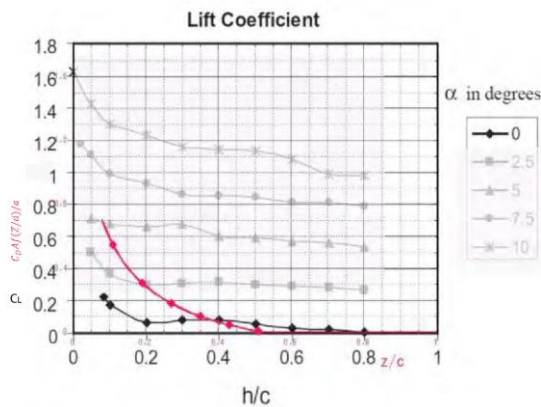


Fig. 8. Coefficient of lift at varying ground clearances for different angles of attack.

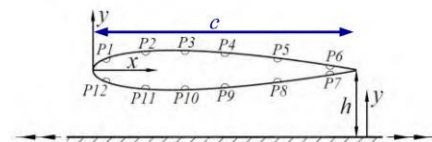


Fig. 2. Locations of pressure tapings.

図 19 翼の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係

d. 確認結果

a. ～ c. より、本モデルで代用した揚力係数は、風洞試験により得られた揚力係数よりもおおむね大きな値となっており、物体高さ d の物体にか

かる揚力は、物体底面が地面から 3 d の高さで消滅するとした仮定が適切であることが確認された。

(5) 物体の運動方程式

上記 (1)～(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。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - (g - L) \mathbf{k} \quad (13)$$

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）を用いる。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る。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。

$$\mathbf{V}_M(\tau + \Delta \tau) = \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau) \Delta \tau \quad (14)$$

$$\mathbf{X}_M(\tau + \Delta \tau) = \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau) \Delta \tau + \frac{\mathbf{A}(\tau) \Delta \tau^2}{2} \quad (15)$$

$\mathbf{A}(\tau)$ 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_t 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 τ 位置を算出することができる。

(6) 物体の運動方程式（(13)式）に関する考察

地面上の物体（図 13 の状態 A）が浮上するには、地面からの反力が消滅（ $R < 0$ 、つまり $mg < F_L$ ）する条件で浮上し、浮上後は、(13) 式を成分表示した以下の運動方程式に従って飛散する。

$$\frac{dV_{M,x}}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,x} - V_{M,x}) \quad (16)$$

$$\frac{dV_{M,y}}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,y} - V_{M,y}) \quad (17)$$

$$\frac{dV_{M,z}}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,z} - V_{M,z}) - g + L \quad (18)$$

ここで、物体の速度 $V_M = (V_{M,x}, V_{M,y}, V_{M,z})$ ，竜巻風速 $V_W = (V_{W,x}, V_{W,y}, V_{W,z})$ であり，右辺第1項が流体抗力 F_D の加速度を表しており，(18)式の右辺第3項が地面効果による揚力 F_L の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（上記の式(16)～(18)で物体の速度 V_M を0）を仮定すると，以下の式となる。

$$\frac{dV_{M,x}}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{W,x}^2 + V_{W,y}^2 + V_{W,z}^2} \times V_{W,x} \quad (16')$$

$$\frac{dV_{M,y}}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{W,x}^2 + V_{W,y}^2 + V_{W,z}^2} \times V_{W,y} \quad (17')$$

$$\frac{dV_{M,z}}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{W,x}^2 + V_{W,y}^2 + V_{W,z}^2} \times V_{W,z} - g + L \quad (18')$$

フジタモデルでは，物体が地面上にある場合（図13の状態A）では上昇速度はゼロに近く，地面で静止している物体が受ける上昇速度はほぼゼロであるため，式(18')の右辺第1項は右辺第2，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。

$$\frac{dV_{M,z}}{dt} \approx -g + L \quad (19)$$

例として，竜巻コア半径 30m，設計竜巻の最大風速 92m/s の竜巻が原点に位置し x 方向に 14m/s で移動する場合，点(0, -30m)における式(18')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）を図20に示す。

図20より，地面上（z=0）においては，z 方向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。

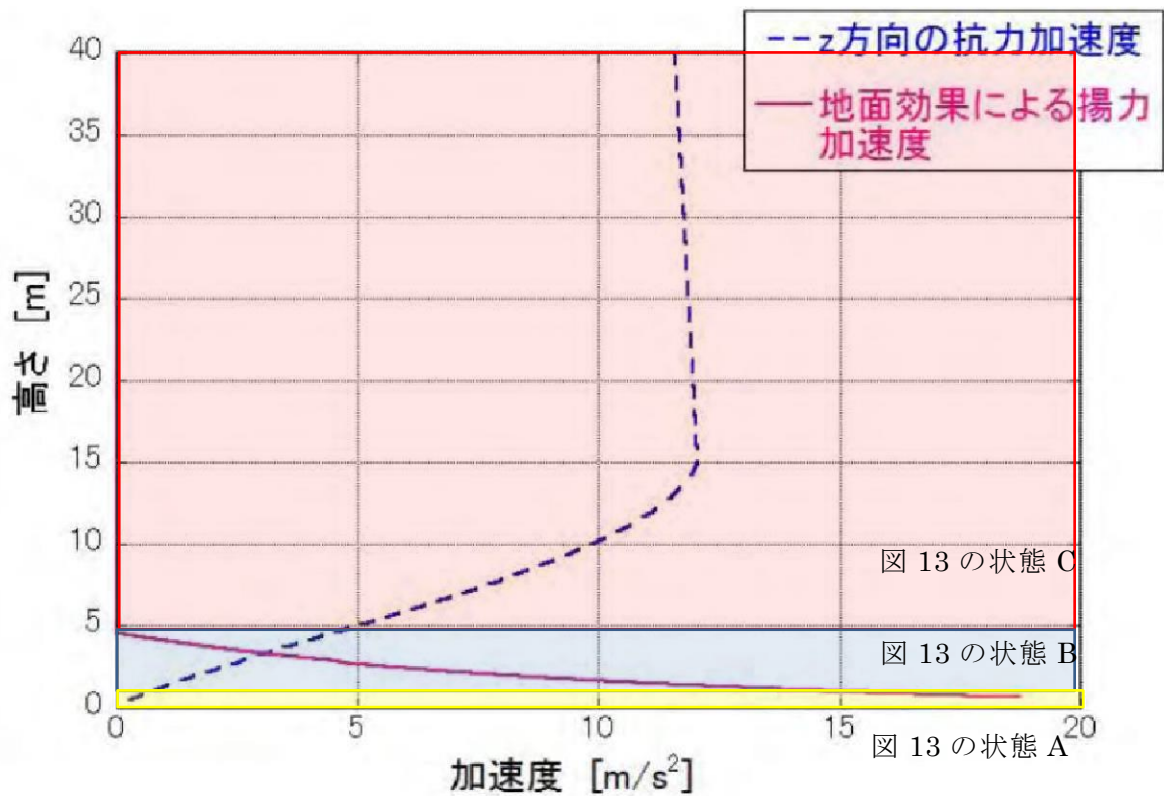


図 20 地面近傍の物体に作用する z 方向の加速度
 $(0.5 \rho C_D A / m = 0.004 \text{ [m}^{-1}\text{]}, d = 1.31 \text{ [m]})$

なお、高さ方向の依存性が考慮されていないランキン渦の場合は、上昇風速が水平風速の約 60%にも達するため、地面から非現実的な風の噴出が発生する。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による揚力 L を付加していない（図 21）。

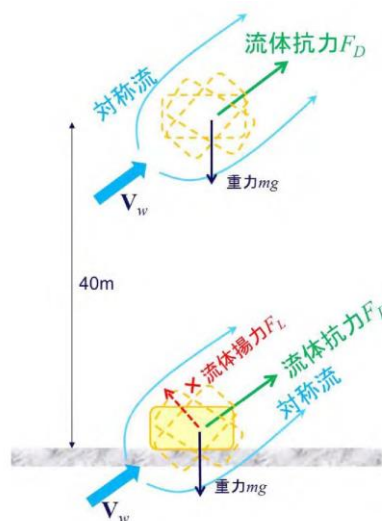


図 21 ランキン渦の場合の物体の運動モデルの模式図

5.2 竜巻が物体に与える速度に関する不確定性の考慮

竜巻によって飛散する物体の飛来速度や飛散距離は、同じ竜巻内であっても物体の受ける風速（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⁽²⁾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来速度の違いを比較する。配置の違いについて、図22に示す。

1点配置の場合は、特定位置（竜巻進行方向の竜巻半径の位置 $(x, y) = (R_m, 0)$ ）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倍の正方形形状の領域に 51×51 個の物体を配置する。その上で飛散させた物体のうち、最も速度が大きくなったものをその物体の飛来速度とする。

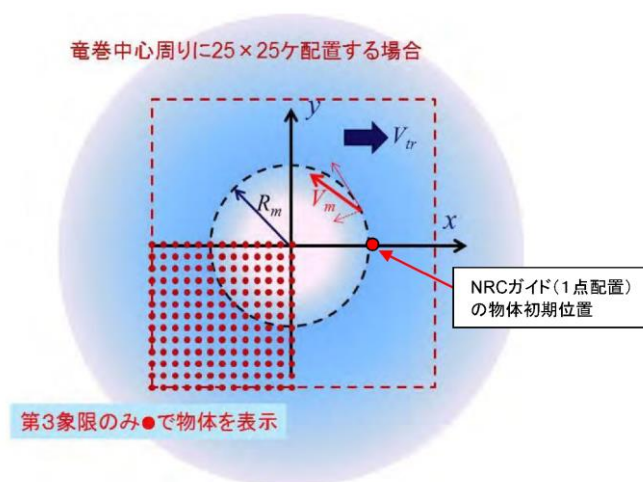


図22 飛来物評価における竜巻と物体の位置関係

評価条件として、竜巻の最大風速を 92m/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、ガイドの記載より竜巻の移動速度 V_t を 15m/s 、竜巻コア半径 R_m を 30m とする。飛散させる物体のパラメータとして、原子力安全基盤機構の調査研究報告書⁽⁴⁾に掲載されている物体の飛行定数（5.1のCDAを質量で割った値： $C_D A / m (\text{m}^2/\text{kg})$ ）を用いる。図23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、飛行定数の大きい物体の多くが1点配置に比べて大きな飛来速度となる。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、このような結果と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。

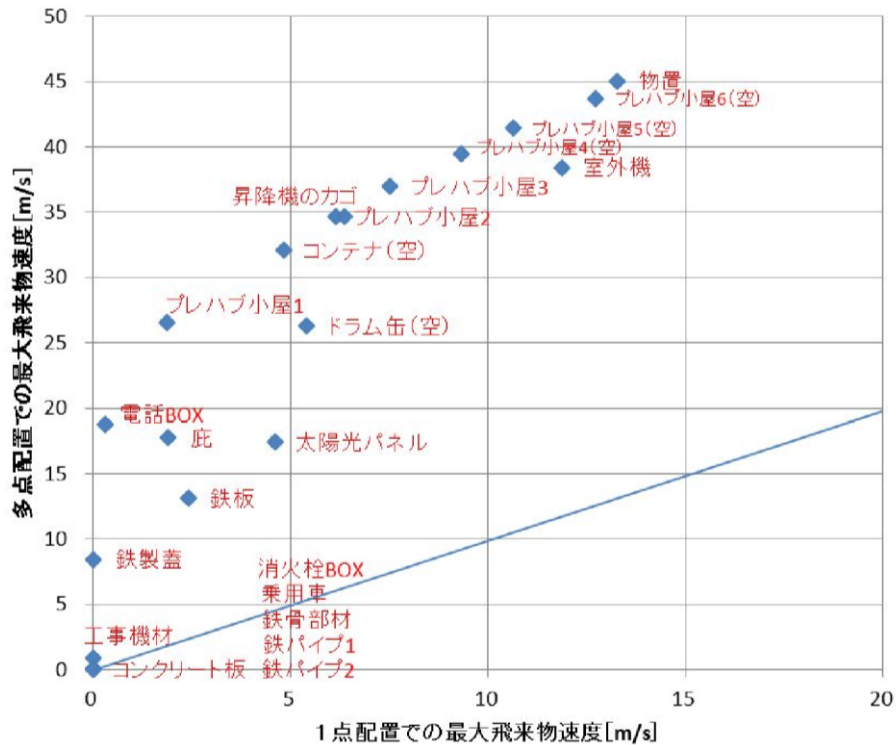


図 23 1 点配置時と多点配置時の最大飛来物速度の比較

前頁の図 22 に示す物体の多点配置（竜巻半径の 4 倍の正形状の領域に 51×51 個の物体を配置）を初期状態として適用したが、この手法は、物体の直上に竜巻を発生させており、竜巻発生地点の不確定性についても考慮した設定となる。

図 24 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等）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、飛散することになる。しかし、物体の直上に竜巻を発生させる設定とすることで、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。

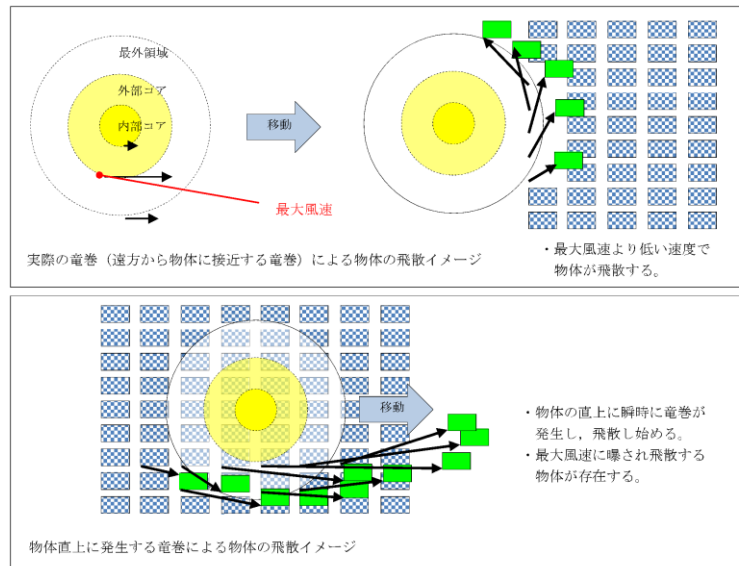


図 24 物体に接近する竜巻と物体直上に発生する竜巻の比較イメージ図

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、必ずその竜巻による最大風速に曝される物体が発生するため、竜巻が物体に与える速度の不確定性を考慮することができると考えられる。

5.3 フジタモデルの地表面付近の風速場に関する不確定性の考慮

(1) 至近の研究報告

竜巻の地表面付近の風速分布に関する研究として、Kosiba and Wurman 2013⁽⁶⁾は、図 25 に示すとおり地上からの高さ約 5 m における風速は地上からの高さ約 40m に比べて約 25% 大きな値が観測されたことが報告されている。

ただし、地上から高さ 3 m 程度は観測していないこと等を踏まえて、本研究の結論としては、「地表面付近の竜巻特性として一般化するには、種々の渦構造・強度の竜巻について更なる観察が必要である」としている。よって、現状では、フジタモデルの風速分布に直接関連付けられるものではないが、地表面付近の風速場の不確定性を踏まえて保守性を確保することとする。

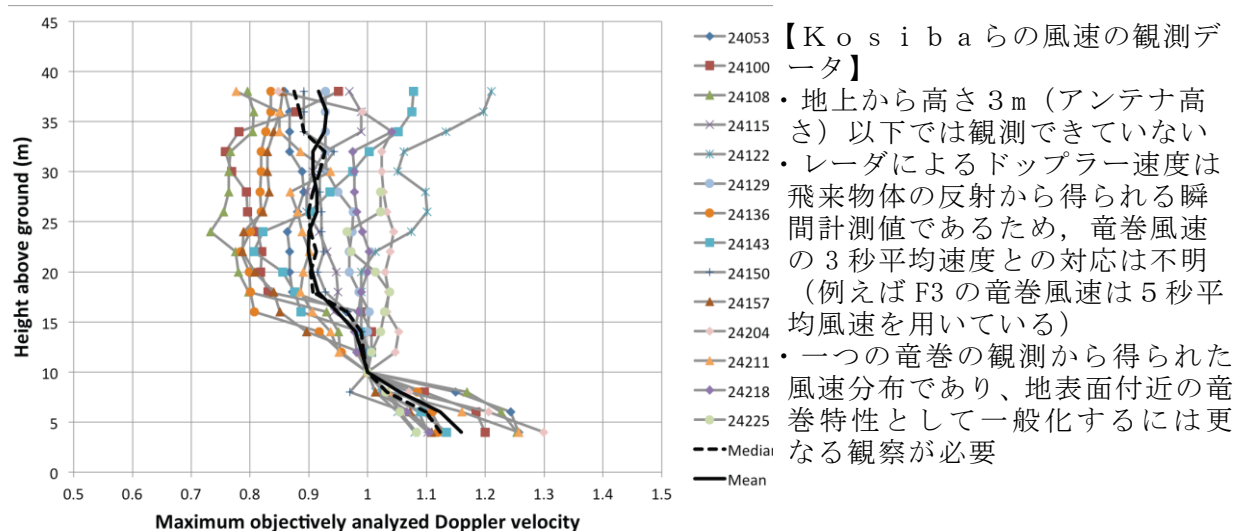


図 25 地上からの高さ（ドップラー速度）分布⁽⁶⁾

(2) 設計飛来物設定における保守性

フジタモデルを用いた飛散解析においては、物体の地上からの初期高さを高く設定したほうが地表面から解析した場合に比べて最大水平速度は高くなり、最大水平速度に依存するパラメータである運動エネルギー及び貫通力も大きくなる。

設計飛来物の設定においては、任意の地上からの高さにある鋼製材をフジタモデルを用いて飛散解析をした結果を包絡するガイド記載の鋼製材を設定しており、フジタモデルの地上付近の風速場の不確定性は考慮できている（8. 添付 1 参照）。

(3) 飛来物評価における保守性

物体の飛散距離、飛散高さ及び飛散速度についても、5.2, 5.3 に示す保守性を考慮することで実際の被災事例に対し、保守的な結果が得られることも確認している（6.3 参照）。

(4) 地表面付近の風速場の不確定性について

フジタモデルは高さ方向に風速が変化し、地上からの高さ 0 m では風速が 0 m/s となるモデルである。地表面付近の風速場には不確定性があることから、物体の地上からの初期高さを変化させた感度解析を実施し、地表面に設置された物体の飛散解析の妥当性を確認する。

a. 物体の地上からの初期高さの感度解析

物体の地上からの初期高さの感度解析条件を(a)，(b)に示す。

(a) 地上からの初期高さの解析範囲

地上からの初期高さの解析範囲は、フジタモデルの風速場で最大水平風速の 97.7% (89.9m/s) の風速となる地上高さ 5 m までの範囲とする。

(図 5 - 2 参照。)

(b) 対象飛来物について

資機材・車両及び軽量大型機材の飛来物発生防止対策エリアの設定に用いている「乗用車」及び「プレハブ小屋」を対象とする。

(c) 感度解析結果

最大飛散距離と地上からの初期高さの関係を図 26 に示す。図 26 より、乗用車、プレハブ小屋ともに、地上からの初期高さが高くなるに従い、最大飛散距離が徐々に減少する傾向にある。地上からの初期高さが増加するに従い物品に作用する初期風速も増加するが、地面効果による揚力の減少の影響のほうが大きいいため飛散距離が減少したと考えられる。以上より、飛来物発生防止対策エリアの設定に対して、地表面付近の風速場の不確定性の影響は小さく、地表面に設置した物品に対する飛散解析結果を用いることは妥当であると考えられる。

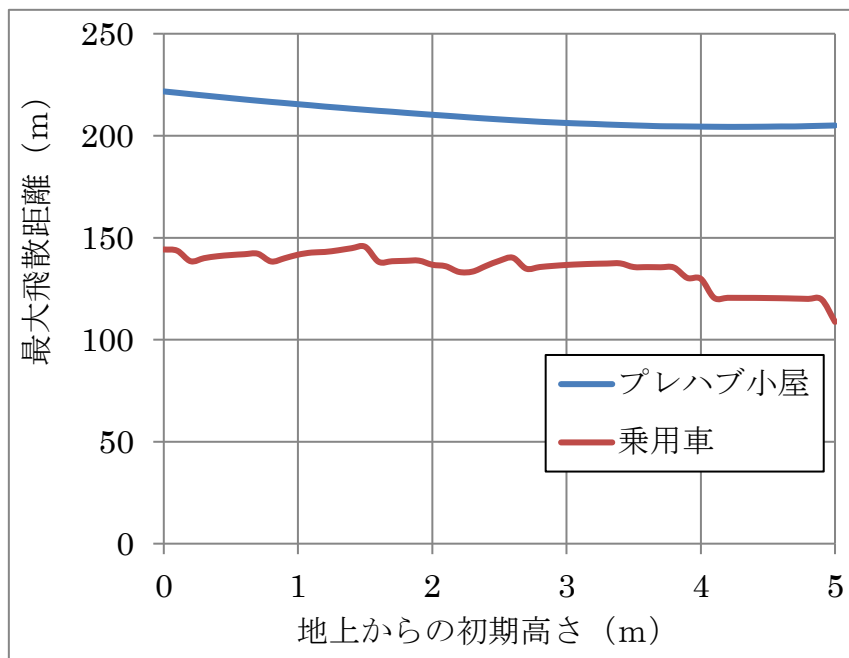


図 26 最大飛散距離と地上からの初期高さの関係

(最大風速 92m/s, 敷地の高低差: 0m, 飛来物: 乗用車

(5.2m×1.9m×2.3m, 1,890kg), プレハブ小屋 (27.0m×7.2m×3.4m, 7,500kg))

5.4 飛来物評価法のまとめ

物体の浮上・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、浮上に関する不確定性を考慮できるような設定とする。

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来速度が評価できるような設定とする。

当社が実施するフジタモデルの風速場を用いた飛散評価手法では、地表面付近の風速場の不確定性を踏まえ、設計飛来物設定における保守性や飛来物評価における保守性を確保している。

以上により、フジタモデルを用いて物体の飛散速度評価を行う場合でも、竜巻による物体飛散の不確定性を考慮した評価結果が得られるものと考えられる。

なお、参考として図 27 に本検討の条件設定による、物体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。

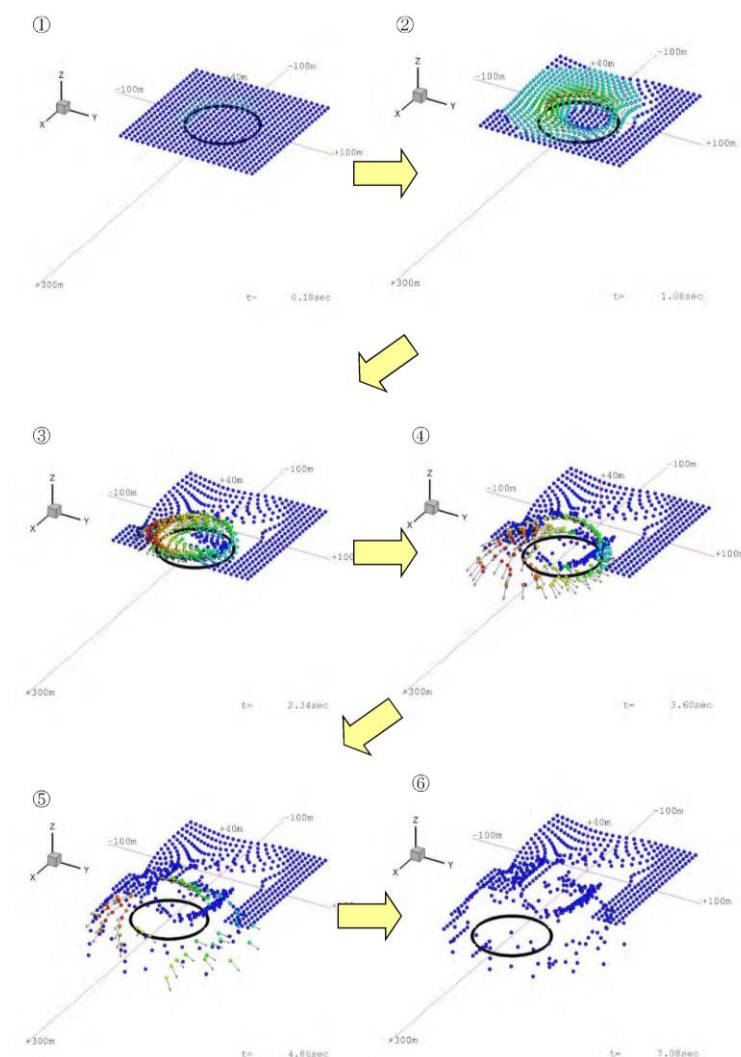


図 27 竜巻による物体の飛散イメージ

6. 実際の飛散状況に対する検証

前節までは、フジタモデルの風速場を用いる優位性や、飛来物評価を行う上で考慮している事項等についての説明である。

本節では、フジタモデルの風速場や、前節の飛来物評価法を適用した場合、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う。

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、当時の竜巻風速を推定するために考案された指標である。このフジタスケールで示されている自動車被災状況を表 3 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う。その結果を表 4 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）で評価しても大きく飛散することになり、フジタスケールの定義の観点からは過度に保守的な結果となる。

表 3 フジタスケールで示されている自動車の飛散状況

フジタスケール	風速 [m/s]	自動車の被災状況
F2	50-69	cars blown off highway (自動車が道路からそれる)
F3	70-92	cars lifted off the ground (自動車が地面から浮上する)
F4	93-116	cars thrown some distances or rolled considerable distances (自動車がある距離を飛ばされる, 又は, かなりの距離を転がる)

表 4 フジタモデルによる自動車の飛散解析結果

(自動車の特性：長さ 5.1m×幅 1.77m×高さ 1.31m, 質量 1814.4kg, $C_D A/m=0.0066$
 m^2/kg)

フジタ スケール との対応	最大水平風速 (m/s)	竜巻 接線風速 (m/s)	竜巻 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	8.9	4.4	0.1
F 3	92	79	13	30	35	1.8
F 4	116	99	17	51	95	4.3

6.2 米国 Grand Gulf 原子力発電所への竜巻襲来事例

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 の竜巻が襲来した⁽²³⁾。主な被害として、建設中の冷却塔内部に設置されていたコンクリート流し込み用のクレーンが倒壊し、冷却塔の一部が破損したことが挙げられる。また、竜巻によりトレーラーが台から剥がれ移動したことや、直径 8～10 インチの木が折れた事例等も確認されており、図 28 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、資材置き場のパイプの飛散状況を示したものである。なお、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、フジタモデルあるいはランキン渦モデルを風速場として用いた飛来解析を行った。その計算条件は過去の記録に基づき表 5 のとおりとする。



図 28 G r a n d G u l f 原子力発電所資材置き場におけるパイプの散乱状況

被害状況	<ul style="list-style-type: none"> ・パイプを収納した木箱（一部は二段重ね）は浮上せずに転倒し、パイプが周辺 7 m～9 m に散乱。 <p>(Pieces of pipe were scattered over the area, but none traveled more than 25-30 ft. The pipe joints are 8 in. dia x 8 ft long. ⁽²³⁾)</p>
------	--

表 5 G r a n d G u l f 原子力発電所の竜巻によるパイプ飛散の再現をする上での計算条件

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.)
	物品高さ	0.229 m
	密度	1700 kg/m ³
	飛行定数 ($C_D A/m$)	0.0080 m ² /kg
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> ・物体個数：51×51 本を、最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 ($x, y = [-2R_m, +2R_m]$) に等間隔配置。 ・設置高さ：1 m（パイプ収納箱が 2 段重ねされた状況を想定） 	

計算結果を表 6 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、木箱が倒れた影響で散らばったと思われる状況とおおむね合致している。

なお、参考としてランキン渦モデルで評価した場合、飛散距離や最大水平速度に大きな違いがあり、実際の報告と比較して過度に保守的な評価結果となる。

表6 Grand Gulf 原子力発電所のパイプの飛散計算結果

風速場モデル	地上からの初期高さ	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ*2	最大水平速度
フジタモデル	1 m (地上)	1.2 m	0.0 m	4.9 m/s
ランキン渦モデル	1 m*1	42.6 m	0.34 m	30.7 m/s
	40 m	227 m		40.9 m/s

注記*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

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されている⁽²⁴⁾。被災状況を図29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（図29左上画像の②）。また、4tトラックの他に2台の自動車（図29左上画像の③と⑥）について、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まれである。なお、竜巻飛来物の再現計算は、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、襲来した実際の竜巻特性を精度よく計測・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。

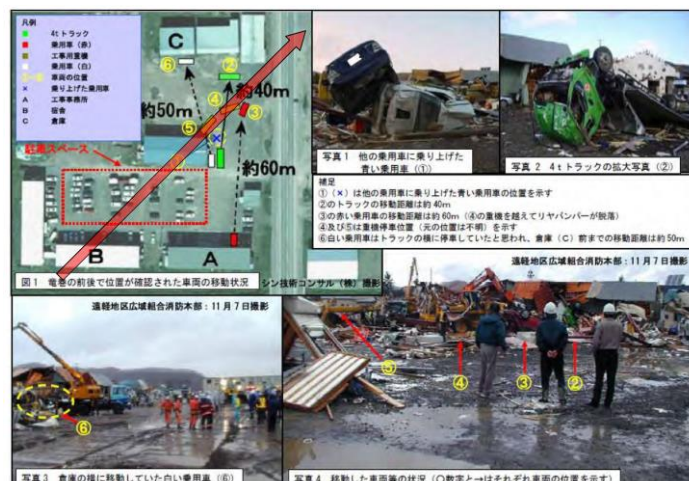


図29 佐呂間竜巻（2006.11.7）による被災状況（工事事務所敷地内の車両被災）⁽²⁴⁾
（文献(24)で示されている竜巻被害の方向を ➡ で加筆）

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、乗用車）の飛散評価を行い、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う。方法としては、下記の2通りとする。

- 竜巻特性や飛来物（4tトラック、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

(a) 竜巻特性や飛来物の状況を現実的に設定した場合の再現解析

(i) 4 tトラックの飛散解析

再現解析の条件として、入手可能なデータ⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾に基づき、合理的と考えられる竜巻特性条件と飛来物（4 tトラック）の条件を表7のように設定する。初期配置の条件として、配置個数は1個とし、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となっている。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する。

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表8及び図30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る。

表7 佐呂間竜巻の4 tトラックの計算条件

竜巻条件	設計最大風速		92 m/s
	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	車種不明のため、三菱ふそう PA-FK71D の仕様を採用	長さ	8.1 m
		幅	2.24 m
		高さ	2.5 m
		重量	4000 kg
	飛行定数 ($C_D A / m$)		0.0056 m ² /kg
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> ・物体個数 1 個 ・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 ・地上からの初期高さ 0 m 		

表8 佐呂間竜巻での4 tトラックの飛散計算結果

解析ケース	車両と竜巻中心との距離	計算結果（フジタモデル）		
		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

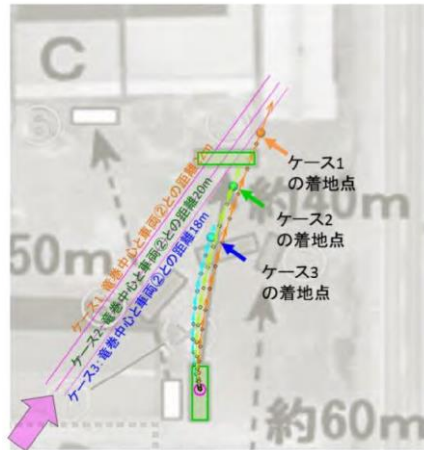


図 30 フジタモデルによるトラック飛散の再現解析結果

(ii) 乗用車の飛散解析

白い乗用車（図 29 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する。

白い乗用車の計算条件について、表 9 に示す。

表 9 佐呂間竜巻の白い乗用車の計算条件

竜巻条件	表 7 と同様	
飛来物条件	長さ*1	4.4 m
	幅*1	1.7 m
	高さ*1	1.5 m
	飛行定数 (C D A / m)	0.0097 m ² / kg
初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> ・物体個数：1 台 ・地上からの初期高さ：0 m（地上） ・「竜巻は遠方から物体に近づくが、風速 60m / s 以下では浮上しない」ことを条件として付加 	

注記* 1：車種不明のため、トヨタカローラを仮定。

白い乗用車と竜巻中心との距離を、18m, 20m, 22m とした場合の解析結果を表 10 及び図 31 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（図 29 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解析結果となる。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 階建て、図 29 の A）の直ぐ下流側に駐車しており、その瓦礫の影響を受けて一緒に移動したものと考えられる。

表 10 佐呂間竜巻での白い乗用車の飛散計算結果

解析 ケース	白い乗用車と竜巻 中心との距離	計算結果(フジタモデル)		
		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度
1	22m	51.9 m	3.6m	28.9 m/s
2	20m	43.5 m	3.4m	24.7 m/s
3	18m	34.7 m	2.9m	21.1 m/s

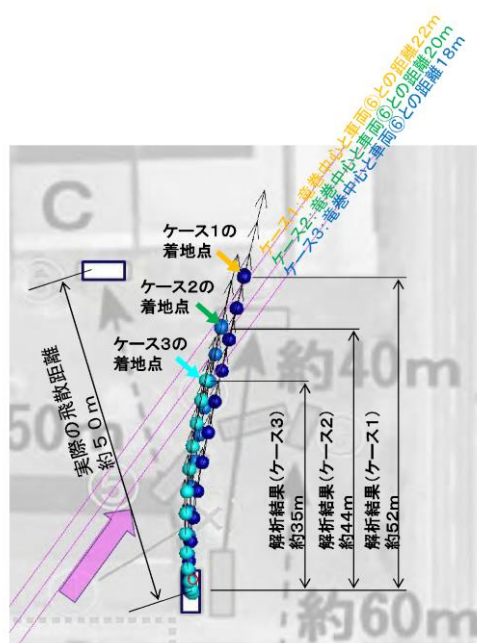


図 31 フジタモデルによる白い乗用車飛散の再現解析結果

(iii) 多点配置等を考慮した場合の竜巻評価の影響

多点配置等を考慮した場合の飛散解析手法を，前述の佐呂間竜巻における 4t トラックの被災事例に適用し，佐呂間竜巻での実際の被災状況（移動距離等）の結果を比較した。

多点配置等を考慮した場合の飛散解析手法では，多数配置した物体それぞれがとる最大水平速度のうち，最も大きな値を設計値として用いる。そこで，物体個数は 51×51 個とし，竜巻半径の 4 倍を一辺とする正方形内に等間隔で地面レベルに物体を配置した。計算条件を表 11 に示す。

図 32(a)に 0.1s 毎の物体の軌跡（水平移動距離と飛散高さの関係）を，図 32(b)に水平移動距離と物体の水平速度の関係を示す。これらの図から，物体の最大水平速度は 39.9m/s，最大飛散高さは 5.3m，最大飛散距離は 86.5m となっている。実際の被災状況と多点配置等を考慮した場合の飛散解析手法による解析結果の比較を表 12 に示す。解析

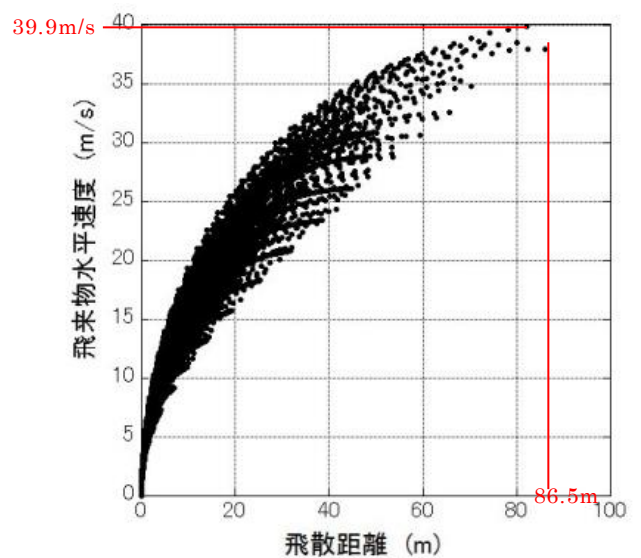
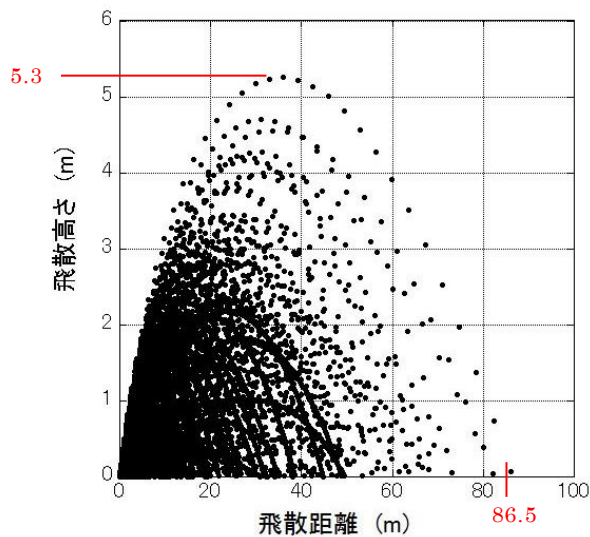
結果は佐呂間竜巻でのトラックの被災状況に対して保守性があることが確認できる。

表 11 多点配置時の計算条件

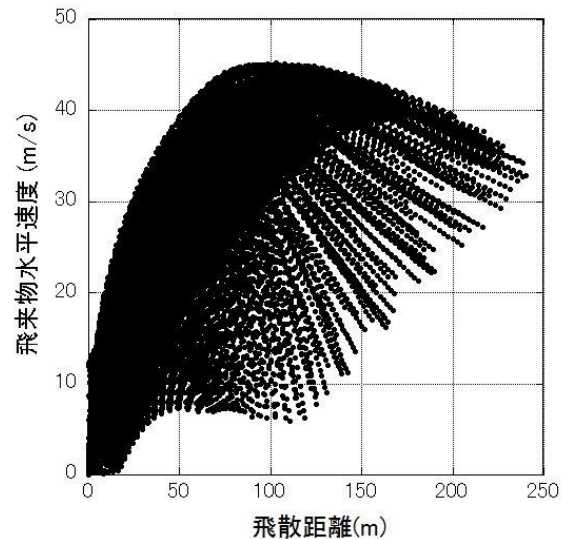
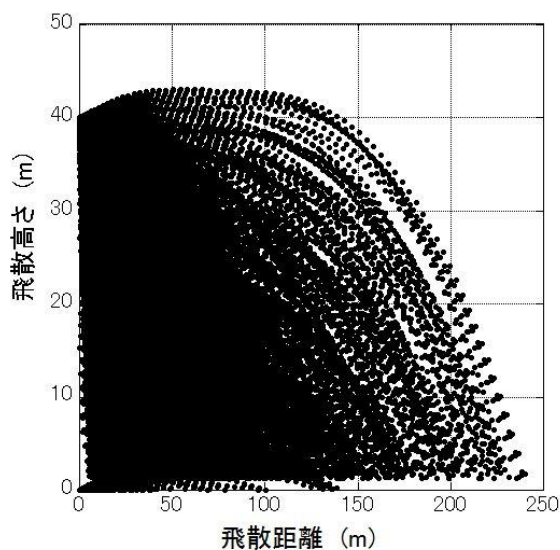
竜巻条件	表 7 と同様
飛来物条件	表 7 と同様
初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> ・物体個数：51×51 台を，最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内（$x, y = [-2R_m, +2R_m]$）に等間隔配置。 ・地上からの初期高さ：0m（地上）

表 12 実際の被災状況と多点配置等を考慮した場合の飛散解析手法の結果の比較

	飛散距離	飛散高さ	最大水平速度
計算結果 (TONBOS)	86.5 m	5.3 m	39.9 m/s (約 144 km/hr)
実際の被災 状況	約 40 m	トラックの運転席に乗車していた乗員 2 名が幸いにも存命で救出され，搬送先の病院で聞き取り調査に応じており ⁽²⁴⁾ ，被災したトラックが地面から 5.3 m 以上の高所から落下したとは考えにくい。	被災後もほぼ元の外形を留めていることが示されており ⁽²⁴⁾ ，実際の飛来物速度は本解析で得られた最大飛来物速度（約 144 km/hr）を遙かに下回るものと推察できる。



(a) 物体の軌跡（水平移動距離と飛散高さの関係） (b) 水平移動距離と水平速度の関係（フジタモデル，地上）



(a) 物体の軌跡（水平移動距離と飛散高さの関係） (b) 水平移動距離と水平速度の関係（参考：ランキン渦モデル，地上 40 m）

図 32 多点配置等を考慮した場合の飛散解析手法による解析結果

(b) 今回の飛散解析手法による検証⁽²⁶⁾

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 4 t トラック及び白い乗用車の被災事例を評価し、佐呂間竜巻での実際の被災状況（移動距離等）との結果を比較する。

(i) 4 t トラックの飛散解析

計算条件について表 13 に示す。竜巻条件としては、設計竜巻の最大風速を 92m/s とし、その他の特性量については、ガイドに例示されている方法に従い、移動速度 V_t を 14m/s（最大風速の 15%），竜巻コア半径 R_m を 30m とする。

表 13 島根原子力発電所に適用する飛来物評価法の計算条件

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	表 7 と同様	
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 物体個数：51×51 台を，最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 ($x, y = [-2R_m, +2R_m]$) に等間隔配置。 ・ 地上からの初期高さ：0 m（地上） 	

表 14 に実際の被災状況と，今回の飛散解析手法による結果の比較を示す。また，図 33 に被災後の 4 t トラックの状況を示す。

フジタモデルによる飛散評価結果として，4 t トラックの最大飛来物速度は 36m/s，最大飛散高さは 3.6m，最大飛散距離は 63.4m となる。

実際の 4 t トラック飛散距離は約 40m であり，フジタモデルによる飛散距離の評価結果はこれを上回る。また，飛散高さや最大水平速度については，直接の比較はできないものの，4 t トラックの乗員 2 名が存命であったこと，被災後の 4 t トラックがほぼ元の外形をとどめていること等から，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ており，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性が大きい結果となっていることが分かる。

表 14 実際の被災状況と今回の飛散解析手法による評価結果の比較（4 t トラックの場合）

風速場モデル	飛散距離	飛散高さ* ²	最大水平速度
フジタモデル (地上)	63.4 m	3.6 m	36.0 m/s (約 130 km/hr)
ランキン渦モデル (地上* ¹)	193.7 m	11.7 m	43.9 m/s
ランキン渦モデル (40 m)	254.9 m	11.7 m	43.9 m/s
実際の被災状況	約 40 m	トラックの運転席に乗車していた乗員 2 名が幸いにも存命で救出され、搬送先の病院で聞き取り調査に応じており ⁽²⁴⁾ 、被災したトラックが地面から 3.6 m 以上の高所から落下したとは考えにくい。	被災後もほぼ元の外形を留めていることが示されており ⁽²⁴⁾ 、実際の飛来物速度は本解析で得られた最大飛来物速度（約 130 km/hr）を遙かに下回るものと推察できる。

注記*1：ランキン渦モデルでは地上付近の風速場を模擬できていないが、フジタモデルの計算結果（飛散距離）と比較をするため、フジタモデルと同条件とする。

*2：初期物体高さからの飛散高さ



図 33 竜巻による被災後の 4 t トラックの様子^{(24) (25)}

（ii）乗用車（白）の飛散解析

4 t トラックの場合と同様に、今回の飛散解析手法で白い乗用車の飛散解析を行った場合の結果を表 15 に示す。

表 15 実際の被災状況と今回の飛散解析手法による評価結果の比較（白い乗用車の場合）

風速場モデル	飛散距離	飛散高さ* ²	最大水平速度
フジタモデル (地上)	82.3m	4.2m	44.1m/s
ランキン渦モデル (地上* ¹)	269.6m	39.4m	49.6m
ランキン渦モデル (40m)	305.8m	39.4m	49.6m
実際の被災状況	約 50m	—	—

注記*¹：ランキン渦モデルでは地上付近の風速場を模擬できていないが、フジタモデルの計算結果（飛散距離）と比較するため、フジタモデルと同条件とする。

*²：初期物体高さからの飛散高さ

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。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、横滑りや転がりによる挙動が発生することも考えられるため、本節では、これらの飛来物の挙動について、下記の2点に分けて考察する。

- (a) 飛散する物体における横滑りや転がりの影響
- (b) 飛散しない物体における横滑りや転がりの影響

(a) 飛散する物体における横滑りや転がりの影響

「5.2 竜巻が物体に与える速度に関する不確定性の考慮」に記載のとおり、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」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。

(b) 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、物体と外部事象防護対象施設の間に、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外部事象防護対象施設に到達することは阻止される。

以上より、飛散しない物体が横滑りや転がりにより、障害物の影響を受けず、外部事象防護対象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に、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による要望で実際の竜巻観測記録をもと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」の「(a) 竜巻特性や飛来物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、確認することができる。

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上で、「5. 飛来物評価における不確定性の考慮」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」の「(b) 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て、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、飛来物の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となると考えられる。

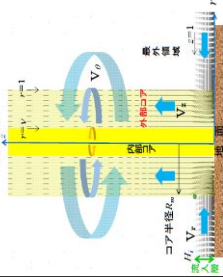
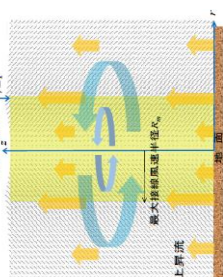
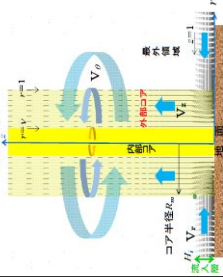
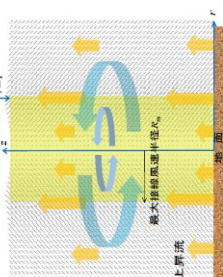
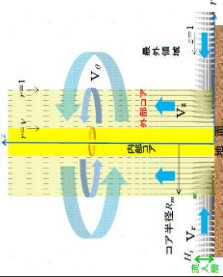
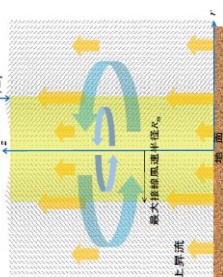
評価全体として一定の保守性を確保しつつ、適切な竜巻対策によりプラント全体の安全性を向上させるため、当社の竜巻影響評価については、フジタモデルを適用することとする。

9. 参考文献

- (1) 原子力規制委員会, 2013: 原子力発電所の竜巻影響評価ガイドの制定について, 原規技発第 13061911 号, 平成 25 年 6 月 19 日制定, 平成 30 年 11 月一部改正.
- (2) U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, 2007: Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plant, Revision 1.
- (3) Simiu, E. and Cordes, M., Tornado-Borne Missile Speeds, NBSIR 76-1050, 1976.
- (4) 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.
- (5) Fujita, T. T. (1978) Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications. SMRP Research Paper 165, Department of Geophysical Sciences, University of Chicago, 142pp.
- (6) Karen A. Kosiba and Joshua Wurman, 2013: The Three-Dimensional Structure and Evolution of a Tornado Boundary Layer. Wea. Forecasting, 28, 1552-1561.
- (7) Maruyama, T. (2011) Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 99, 249-256.
- (8) U. S. Department of Energy, Natural Phenomena Hazards Design and Evaluation Criteria for Department of Energy Facilities, DOE-STD-1020-2002, 2002. (<https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1020-astd-2002/@images/file>)
- (9) Malaeb, D. A., Simulation of tornado-generated missiles. M.S. thesis, Texas Tech University, 1980.
- (10) P.-H. Luan, Estimates of Missile Speeds in Tornadoes, M.S. thesis, Texas Tech University, 1987.
- (11) J. R. McDonald, Rationale for Wind-Borne Missile Criteria for DOE facilities, UCRL-CR-135687, Lawrence Livermore National Laboratory, 1999. (<https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/236459.pdf>)
- (12) McDonald, J. R., T. Theodore Fujita: His contribution to tornado knowledge through damage documentation and the Fujita scale. Bull. Amer. Meteor. Soc., 82, pp.63-72, 2001.
- (13) NUREG-1827 Safety Evaluation Report for the National Enrichment Facility in Lea County, New Mexico (Docket No. 70-3103)
- (14) 江口譲, 杉本聡一郎, 服部康男, 平口博丸, 竜巻による物体の浮上・飛来解析コード TONBOS の開発, 電力中央研究所 研究報告 N14002, 2014.
- (15) 日本鋼構造協会, 構造物の耐風工学, p82
- (16) EPRI, Wind field and trajectory models for tornado-propelled objects, Report NP-748, 1978.
- (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および棧粗度の流体力, 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) 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、およ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.
- (20) 江口 譲，西原 崇，水流动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.
- (21) 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.
- (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. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol.80, pp.263-286, 1999.
- (23) 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.
- (24) 札幌管区气象台：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.
(<http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/saroma/saroma.html> にて閲覧可能。)
- (25) 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，49，2006.
(<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/other.html>)
- (26) 江口譲，杉本聡一郎，服部康男，平口博丸，原子力発電所での竜巻飛来物速度の合理的評価法（Fujita の竜巻モデルを用いた数値解析コードの妥当性確認），日本機械学会論文集，Vol.81, No.823, 2015.

「フジタモデル」及び「ランキン渦モデル」を用いた際の飛来物評価手法」の比較

風速場モデル		飛来物評価手法																									
各風速場モデルの概要	フジタモデル (及び同モデルを用いた際の飛来物評価手法)	ランキン渦モデル (及び同モデルを用いた際の飛来物評価手法)																									
メリット	<ul style="list-style-type: none">・Fujitaにより実験測に基づき考案された竜巻風速場モデルであり、実際に近い風速場構造を有する・半径方向に (内部コア、外部コア、最外領域) の3つの領域で構成され、外部コアに上昇風速を有する・接線風速や上昇風速に高さ依存性がある・米国DOE重要施設の基準において、竜巻飛来物速度、飛散高さの設定に使用 	<ul style="list-style-type: none">・簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現可能	<ul style="list-style-type: none">・簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現・上昇流は全領域に存在・接線風速や上昇風速に高さ依存性はなく、地面から吹き出しが生じる流れとなっている・(飛散評価を行う場合、地上からの物体の浮上・飛散運動を表現できないため、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)・米国NRC Regulatory Guide 1.76にて採用 																								
デメリット	<ul style="list-style-type: none">・地表面付近の風速場に不確定性があるため、飛来物評価において不確定性の考慮が必要。	<ul style="list-style-type: none">・風速場に高さ依存性はなく、上昇流が全領域に存在する (地面から吹き出しがある) ため、実現象から乖離しており、地上からの物体の浮上・飛散運動を表現できない→地上における構造物に対し、過度に保守的な防護対策や固縛対策が必要となる。(例えば、SA車両を固縛することで、機動性が損なわれる)																									
主なパラメータ (設計・竜巻の最大風速92m/s の場合)	<table><tr><td>竜巻の移動速度 V_T</td><td>14 (m/s)</td></tr><tr><td>最大接線風速 V_{Rm}</td><td>78 (m/s)</td></tr><tr><td>最大接線風速半径 R_m</td><td>30 (m)</td></tr><tr><td>最大気圧低下量 ΔP_{max}</td><td>64 (hPa)</td></tr><tr><td>最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$</td><td>42 (hPa/s)</td></tr><tr><td>内部コア半径と外部コア半径の比 v</td><td>0.3</td></tr><tr><td>流入層高さ H_i</td><td>15 (m)</td></tr></table>	竜巻の移動速度 V_T	14 (m/s)	最大接線風速 V_{Rm}	78 (m/s)	最大接線風速半径 R_m	30 (m)	最大気圧低下量 ΔP_{max}	64 (hPa)	最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$	42 (hPa/s)	内部コア半径と外部コア半径の比 v	0.3	流入層高さ H_i	15 (m)	<table><tr><td>竜巻の移動速度 V_T</td><td>14 (m/s)</td></tr><tr><td>最大接線風速 V_{Rm}</td><td>78 (m/s)</td></tr><tr><td>最大接線風速半径 R_m</td><td>30 (m)</td></tr><tr><td>最大気圧低下量 ΔP_{max}</td><td>75 (hPa)</td></tr><tr><td>最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$</td><td>35 (hPa/s)</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	14 (m/s)	最大接線風速 V_{Rm}	78 (m/s)	最大接線風速半径 R_m	30 (m)	最大気圧低下量 ΔP_{max}	75 (hPa)	最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$	35 (hPa/s)	
竜巻の移動速度 V_T	14 (m/s)																										
最大接線風速 V_{Rm}	78 (m/s)																										
最大接線風速半径 R_m	30 (m)																										
最大気圧低下量 ΔP_{max}	64 (hPa)																										
最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$	42 (hPa/s)																										
内部コア半径と外部コア半径の比 v	0.3																										
流入層高さ H_i	15 (m)																										
竜巻の移動速度 V_T	14 (m/s)																										
最大接線風速 V_{Rm}	78 (m/s)																										
最大接線風速半径 R_m	30 (m)																										
最大気圧低下量 ΔP_{max}	75 (hPa)																										
最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$	35 (hPa/s)																										
物体の浮上・飛来モデル	<p>フジタモデル</p>  <ul style="list-style-type: none">・物体に働く揚力・抗力・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で生じる地面効果による揚力を考慮 (左図A/B)・流れの速度方向に平均的な抗力を考慮 (左図A～C、但し地面付近では抗力の影響は小さい)・揚力係数・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、翼のような単純な形状を除き保守的に算出する・風速場の結果を踏まえ、代用の揚力係数を設定・揚力係数は風の受け方や高さによって異なることを踏まえ、流体力学のレイノルズ数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設定されていることを確認	<p>ランキン渦モデルの場合の飛来物の運動モデル</p>  <ul style="list-style-type: none">・物体に働く揚力・抗力・地面より非現実的な風の噴出が発生し、地面効果は整理しにくい・地面効果による揚力を考慮してはいない (左図D)・流れの速度方向に平均的な抗力を考慮 (左図D/E)・揚力係数・地面効果による揚力は考慮していないことから、揚力係数の設定はしていない																									
竜巻が物体に与える速度等に関する設定	<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">・竜巻に対する物体の場所依存性を考慮し、風速場における物体の中から、最大の飛来物速度や飛来距離を設定・実際に竜巻が遠方から近づく場合には、低い風速に曝され飛来することになるが、物体を強制的に高速域に配置し、物体が臨時に最大風速を受けるよう設定→設計飛来物の設定においては、任意の地上からの初期高さにおける飛散解析結果を包絡するよう最大水平速度を設定→飛来物発生防止対策においては、物体の地上からの初期高さを0m及び15mとした場合の飛散解析を重複し、地表面に設置された物体の飛散解析結果を用いたエリア設定の妥当性確認	<p>ランキン渦モデルの場合の飛来物の運動モデル</p>  <ul style="list-style-type: none">・竜巻に対する物体の場所依存性を考慮し、風速場における物体の中から、最大の飛来物速度や飛来距離を設定・実際に竜巻が遠方から近づく場合には、低い風速に曝され飛来することになるが、物体を強制的に高速域に配置し、物体が臨時に最大風速を受けるよう設定→設計飛来物の設定においては、任意の地上からの初期高さにおける飛散解析結果を包絡するよう最大水平速度を設定→飛来物発生防止対策においては、物体の地上からの初期高さを0m及び15mとした場合の飛散解析を重複し、地表面に設置された物体の飛散解析結果を用いたエリア設定の妥当性確認																									

フジタモデルのパラメータ設定等について

1. 適用するフジタモデルについて

フジタモデルのパラメータ設定については、フジタワークブック（文献(1)）において、単一渦型のDBT-77モデル（文献(1)第6章）と複数の小さな吸込渦（suction vortices）を有する多重渦型のDBT-78モデル（文献(1)第7章）について記載されている（図1参照）。

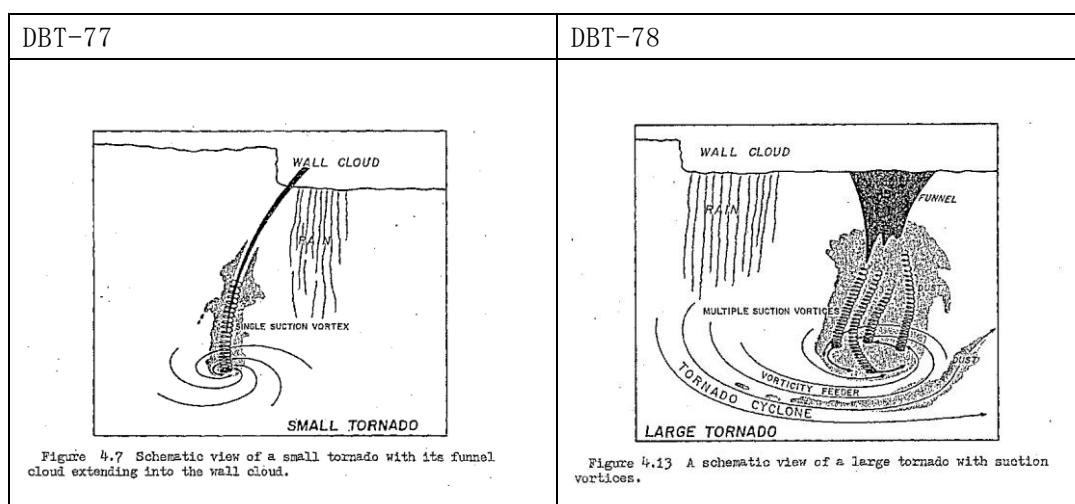


図1 フジタモデル「DBT-77」と「DBT-78」のモデル図（文献(1)）

米国エネルギー省の管理するエネルギー施設（DOE施設）に対する竜巻飛来物の検証を行ったローレンス・リバモア国立研究所報告書（文献(2)）においては、「多重渦型のDBT-78モデルで考慮されている吸込渦はすぐに減衰するので、大多数の専門家は竜巻被災の重要因子ではないと考えている」と述べており、単一渦型のフジタモデルDBT-77を飛来物評価の竜巻風速場として選定している。以上のことから、今回の竜巻影響評価においてもDBT-77モデルを用いている。（なお、文献(1)において、DBT-78モデルは、最大風速や発生率がモデル化されているのみであり、飛散解析に必要となる風速場に関する数式が明確となっていない。）

また、米国REG 1.76（文献(3)）はDBT-78モデルの竜巻半径を採用した場合は、改訂前（2007年以前）から米国REG 1.76で採用されている竜巻半径（45.7m）よりも大きな半径となり、圧力の時間変化率は半径に反比例して大きくなるため、改訂前の半径（45.7m）のままするとの記述があるが、今回の竜巻影響評価では外部コア半径を30mとしているため、米国REG 1.76よりも圧力の時間変化率を保守的に評価している。

最大風速が同じ場合、DBT-78モデルはDBT-77モデルに比べ竜巻半径は大きくなるが、高速域の大きさはDBT-77モデルの方がDBT-78モデルに比べ大きくなるため物体は加速されやすく、飛散解析においては保守的である

ことから、当社の竜巻影響評価においては、単一渦型の D B T-77 モデルを適用している。

2. 入力パラメータの設定について

文献(1)において、単一渦型の D B T-77 の入力パラメータは、最大接線風速 V_{Rm} 、外部コア半径 R_m 及び移動速度 V_T の 3 つであり、これらの入力値の制約に係る記載はなく、竜巻影響評価ガイドに基づき、 $V_{Rm}=85\text{m/s}$ 、 $R_m=30\text{m}$ 、 $V_T=15\text{m/s}$ を設定している。

竜巻影響評価ガイドにおいては、ランキン渦モデルを仮定して、観測された被害幅から最大接線風速半径 R_m を推定している。竜巻によって被害が生じる風速を V_0 とした場合、 R_m を超えた範囲では、風速 $V_0=V_{Rm} \cdot (R_m/r_0)$ と表せるため、 V_0 と、被害幅 r_0 、及び最大接線風速 V_{Rm} が分かれば最大接線風速半径 R_m を得ることができる。(図 2)

フジタモデルでは、ランキン渦モデルと異なり高さによって風速が変化するが、ある任意の高さの風速分布はランキン渦モデルと同様となる (図 2 と同じ) ため、ランキン渦を仮定して設定した外部コア半径を用いても問題ないと考える。

例えば、東京工芸大報告書⁽⁴⁾p. 163 の仮定 2 より、F 3 あるいは F 3 に近い F 2 竜巻 (最大風速 $V_m=70\text{m/s}$) の被害幅 250m を基にランキン渦モデルを仮定する場合、竜巻半径の外側では $V=V_m R_m/r$ が成立するので、 V に被害をもたらす風速である 17m/s を、 r に被害幅 (250m) に接する円の半径である 125m を代入すると $R_m=30\text{m}$ を得る。

一方、フジタモデルの水平風速 V は接線風速と径方向風速を合成したものであるので、外部コア半径の外側では水平風速 V は以下で与えられる。

$$V = \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2}$$

$$= F_r(r) F_h(z) V_m \sqrt{1 + \tan^2 \alpha_0}$$

$$\text{ここで, } F_r(r) = \frac{R_m}{r}, \quad F_h(z) = \begin{cases} z^{k_0} & (z < 1) \\ \exp(-k(z-1)) & (z \geq 1) \end{cases}$$

$$\tan \alpha_0 = \begin{cases} -A(1-z^{1.5}) & (z < 1) \\ B\{1 - \exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

フジタモデルでは、ランキン渦モデルと異なり高さによって風速が変化するが、外部コア半径の内側では r に比例して風速が大きくなり、外部コア半径の外側では r に反比例して小さくなる点ではランキン渦モデルと同様であり、竜巻半径と風速の関係は図 2 の通りとなる。

また、接線風速 V が最大となる流入層の上端 ($z=1$) では、 $F_h(z)=1$ 、 $\tan \alpha_0=0$ となり、竜巻外部コア半径の外側ではランキン渦モデルと同様に $V=V_m R_m/r$ が近似的に成立する。従って、ランキン渦と同じ竜巻半径を用いることができると考えられる。

流入層高さ H_i は、外部コア半径 $R_m=30\text{m}$ の場合、 $H_i=15\text{m}$ ($i=0.501$) となり、文献(4)の図 2.2.3.10 における流入層高ささと竜巻半径の比 ($i=0.4$ 程度) や、Kosiba⁽⁵⁾により示されている流入層高さ ($H_i=10\sim 14\text{m}$ 以下) と概ね同じである。

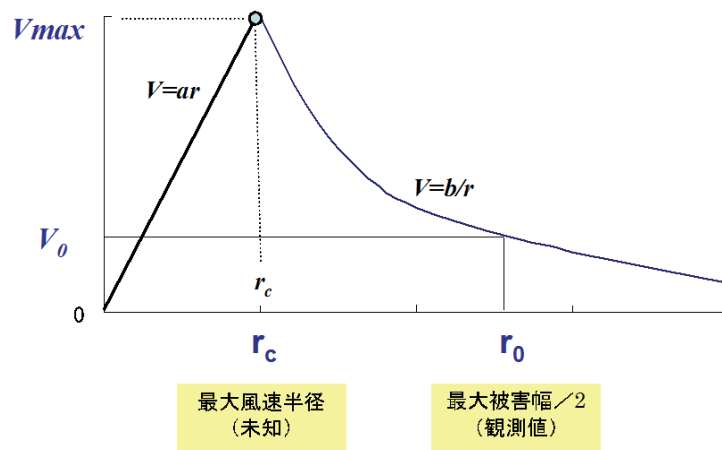


図2 ランキン渦の風速分布と竜巻スケールの関係

文献(1)Fujita, T. T., Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications (1978), U. Chicago.

文献(2)Rationale for Wind-Borne Missile Criteria for DOE facilities, UCRL-CR-135687, Lawrence Livermore National Laboratory, 1999

文献(3)U.S. Nuclear Regulatory Commission, Design-basis tornado and tornado missiles for nuclear power plants, Regulatory Guide 1.76, Revision 1 (2007).

文献(4) 東京工芸大学, 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委託研究 成果報告書, 2011.

文献(5) Karen A. Kosiba Joshua WurmanThe three-dimensional structure and evolution of a tornado boundary layer

竜巻影響評価と竜巻モデルの関係

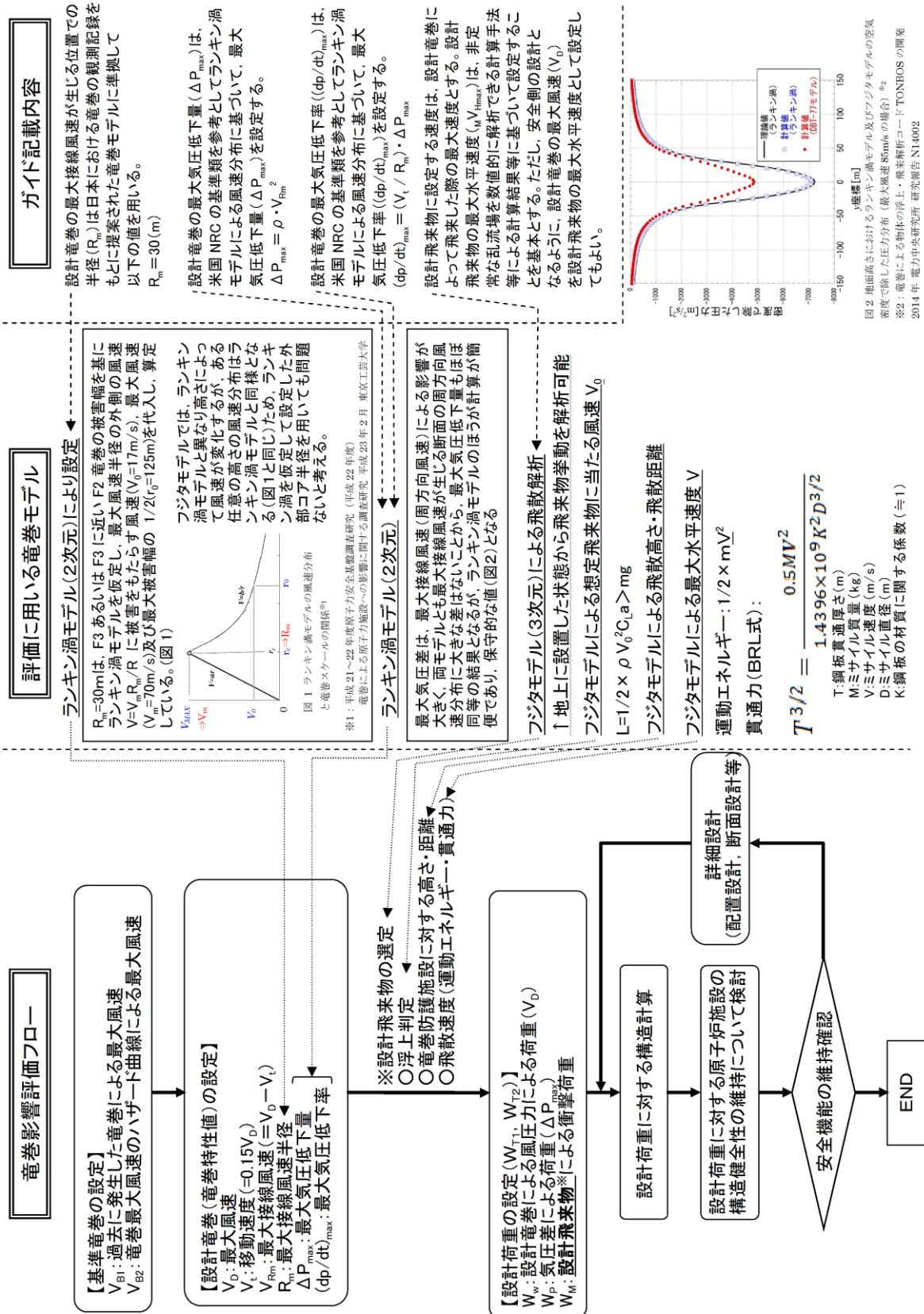


図1 竜巻影響評価と竜巻モデルの関係

6. 砂利等の極小飛来物による外部事象防護対象施設
への影響

6.1 極小飛来物の衝突に対する施設への影響について

砂利等の極小飛来物及び砂等の粒子状の極小飛来物について、外部事象防護対象施設への影響の有無を確認する。

砂利及び砂等の飛来物による外部事象防護対象施設への影響としては、

- (1) 砂利の極小飛来物による貫通及び衝突
 - (2) 砂等の粒子状の極小飛来物による目詰まり、閉塞及び噛込み
- が考えられることから、これらについて評価する。

6.1.1 砂利のような極小飛来物による貫通及び衝突

(1) 極小飛来物の貫通力

砂利の極小飛来物の鋼板に対する貫通力について、以下に示す BRL 式を用いて算出し、極小飛来物の貫通力が無視し得ることを確認した。

極小飛来物として砂利を対象に、鋼板に対する貫通力を BRL 式により算出した結果を表 6.1.1-1 に示す。いずれも貫通力は 1mm 未満であり、鋼板への影響は無視し得るものである。

表 6.1.1-1 極小飛来物の鋼板貫通力

飛来物	サイズ (m)	重量 (kg)	速度 (m/s)	鋼板貫通厚さ (mm)
砂利	0.04×0.04×0.04	0.2	54	0.9

(2) 極小飛来物による衝撃荷重 W_H

砂利の極小飛来物の衝突は瞬間的で衝突時間が極めて短いため、設備は振動しにくく破壊は生じないと考えられる。これは、高速の極小飛来物が設備に衝突した場合、設備に生じる荷重は衝突時間の極めて短い片振幅波形となるため、設備に有意な変位（応力）が生じないためである。

このような衝撃により伝達される荷重については、機械工学便覧の「過渡振動・衝撃」に、図 6.1.1-1 のとおり示されている。

図 6.1.1-1 は、横軸には衝突時間(t_r)と衝突される設備の固有周期(T)との比である t_r/T 、縦軸は応答加速度 \ddot{x}_{max} （設備に伝わった加速度）と入力加速度 \ddot{x}_{0max} （設備へ伝えようとした加速度）の応答加速度比として、 $\ddot{x}_{max}/\ddot{x}_{0max}$ の関係としてまとめられている。

図 6.1.1-1 より、衝撃パルスの形状によって関数形は異なるものの、衝突物の入力加速度 \ddot{x}_{0max} と被衝突構造物の応答加速度 \ddot{x}_{max} の比 ($\ddot{x}_{max}/\ddot{x}_{0max}$) が、衝突時間 t_r と被衝突構造物の固有周期 T の比 (t_r/T) に依存していることを示している。衝突時間 t_r が被衝突構造物の固有周期 T より小さいときには、衝撃パルスの形状によらず応答加速度は入力加速度を下回っており、特に衝突時間が非常に短く衝突時間と被衝突構造物の固有周期の比 (t_r/T) が非常に小さい場合、入力加速度と被衝突構造物の応答加速度の比 ($\ddot{x}_{max}/\ddot{x}_{0max}$) は非常に小さい値となる。これは衝突時間が被衝突

構造物の固有周期に比べて小さい値をとる場合には、衝突物から非衝突物に伝達されるエネルギーが小さく、設備に有意な変位（応力）が生じないことを示している。

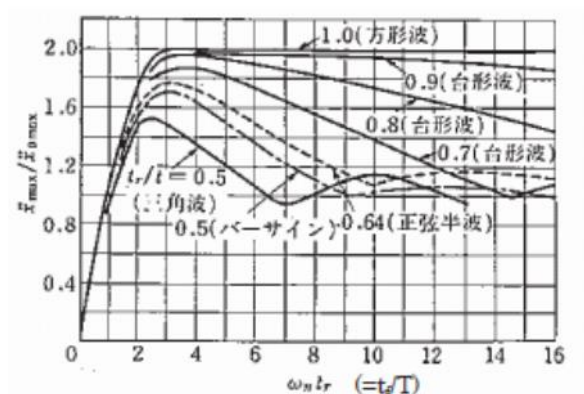


図 6.1.1-1 代表的理想衝撃パルスによる加速度衝撃スペクトル
(機械工学便覧より)

図 6.1.1-1 より、飛来物の速度が速くて、衝撃パルスの作用時間(t_r)が設備の固有周波数より短い場合（横軸が 1 より小さい場合）には、入力加速度と応答加速度の比は 1 を下回り、エネルギーの伝達は小さくなることがわかる。

砂利の極小飛来物による荷重は、このような短時間の衝突となるため、設備全体に影響を及ぼす荷重はごくわずかしが発生しないため、衝撃による影響はない。

6.1.2 砂などの粒子状の飛来物による目詰まり，閉塞及び嘔込み

砂等の粒子状の極小飛来物による目詰まり，閉塞及び嘔込みの影響を受ける可能性がある施設として，軸受等の狹隘部を有する屋外施設，水循環系や換気系の流路を有する屋外施設・屋内の施設で外気と繋がっている施設・屋外にある外部事象防護対象施設の付属施設について評価する。評価施設を表 6.1.2-1 に示す。

表 6.1.2-1 目詰まり，閉塞，嘔込みに対する評価施設

分類	評価施設	分類
屋外施設	・原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	嘔込み 閉塞
	・原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ電動機	閉塞
	・原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	目詰まり
	・非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ	嘔込み
	・排気筒（非常用ガス処理系配管を含む。）	閉塞
屋内の施設で外気と繋がっている施設	・換気空調設備（中央制御室空調換気系，原子炉棟空調換気系，原子炉建物付属棟空調換気系） ・給気消音器（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）	目詰まり
屋外にある外部事象防護対象施設の付属施設	・排気消音器（排気管を含む。）（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）	閉塞
	・ベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク，ディーゼル燃料デイトンク及び潤滑油サンプタンクの付属施設）	閉塞

(1) 屋外施設

a. 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

(a) 水循環系の閉塞

①流水部の閉塞

海水ポンプ流水部の狭隘部は、以下に示すとおりであり、砂等の粒子状の極小飛来物より十分大きいため、閉塞には至らない。

- ・原子炉補機海水ポンプ 約 60mm
- ・高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ 約 30mm

②軸受部の噛込み

海水ポンプの軸受の隙間は、約 1.38mm～1.58mm で管理している。一部の砂等の粒子状の極小飛来物は軸受の隙間より、軸受内部に入り込む可能性があるが、図 6.1.2-1 及び図 6.1.2-2 のとおり、異物逃がし溝（約 3.5mm～5.5mm）が設けられており、軸受部の閉塞には至らない。

・原子炉補機海水ポンプ

軸受部（異物逃がし溝）：

- 軸受①：3.5mm
- 軸受②，③，⑤：4.5mm
- 軸受④：5.5mm

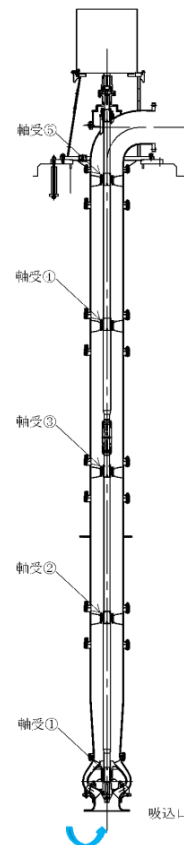
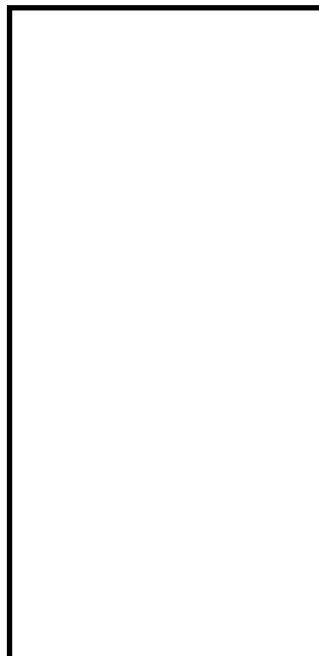


図 6.1.2-1 原子炉補機海水ポンプ軸受構造

・ 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

軸受部（異物逃がし溝）：

軸受①～⑤：3.5mm

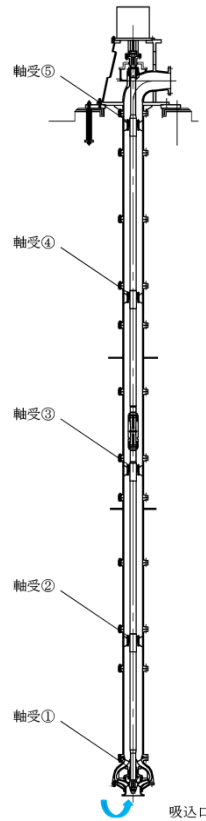


図 6. 1. 2－2 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ軸受構造

b. 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ電動機の閉塞

(a) 原子炉補機海水ポンプ電動機

原子炉補機海水ポンプ電動機は、全閉外扇形構造の電動機に取替えを行うことから、砂等の粒子状の極小飛来物が侵入することはない。

(b) 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ電動機

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ電動機は、図 6. 1. 2－3 のとおり電動機本体が全閉外扇形構造となっており、電動機内部の熱は電動機の外筒に伝達され、外気を外扇により冷却フィンへ送風して放熱している。全閉外扇形の冷却方式であり砂等の粒子状の極小飛来物が侵入することはない。

また、砂等の粒子状の極小飛来物の粒径は冷却フィンの冷却経路の最小径（約 11mm）に対して小さく、運転中はファンからの通風により外部に排出されることから、閉塞に至らないため影響はない。

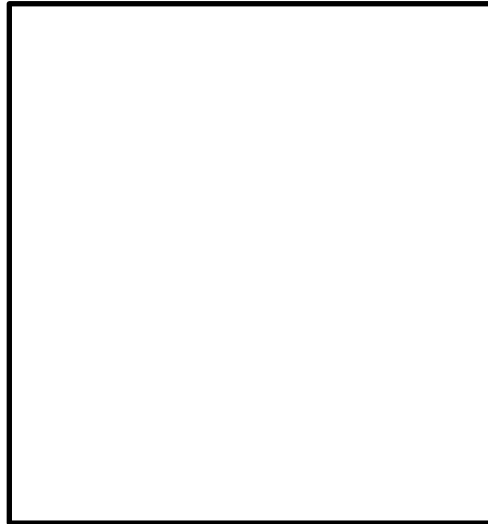


図 6.1.2-3 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ電動機冷却方式

- c. 原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの目詰まり

各海水ストレーナのフィルタ穴径を以下に示す。

- ・原子炉補機海水系 7 mm
- ・高圧炉心スプレイ補機海水系 7 mm

砂等の粒子状の極小飛来物は、海水ストレーナのエレメントのメッシュサイズより小さく、また、取水口からポンプ取水箇所までの距離が約 120m あるため、海水ストレーナは閉塞する可能性は低い。なお、海水ストレーナは 2 系統設けており、フィルタが閉塞することがないように差圧管理されており、一定の差圧（原子炉補機海水系：0.13MPa、高圧炉心スプレイ補機海水系：0.05MPa）になると切替えて、清掃を行うことも可能である。

- d. 非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの噛込み・閉塞

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ本体への異物混入経路としては、軸貫通部があるが、当該部はメカニカルシール等を用いて潤滑剤や内部流体の漏えいのないよう適切に管理されていることから、砂等の粒子状の極小飛来物がポンプ本体へ侵入することはなく噛込みや摩耗による影響はない。

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの概略構造図を図 6.1.2-4 に示す。

動力源となる電動機については「全閉外扇屋外型」であり、ケーシングの放熱フィン等に砂等の粒子状の極小飛来物が冷却ファン側から吸入された場合でも、電動機内部に砂等の粒子状の極小飛来物が侵入することはない。

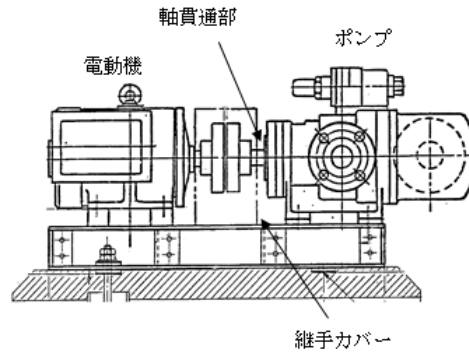


図 6. 1. 2-4 非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの概略構造図

e. 排気筒（非常用ガス処理系配管含む。）の閉塞

(a) 排気筒

排気筒の径は $\phi 3,300\text{mm}$ あり、短期間の竜巻による砂等の粒子状の極小飛来物により閉塞することはないと考える。

(b) 非常用ガス処理配管

非常用ガス処理配管は図 6. 1. 2-5 に示すとおり、横方向を向いており砂等の粒子状の極小飛来物が侵入しにくい構造となっている。また、竜巻の通過に要する時間は短時間であるため、閉塞する量の飛来物は侵入し難い。

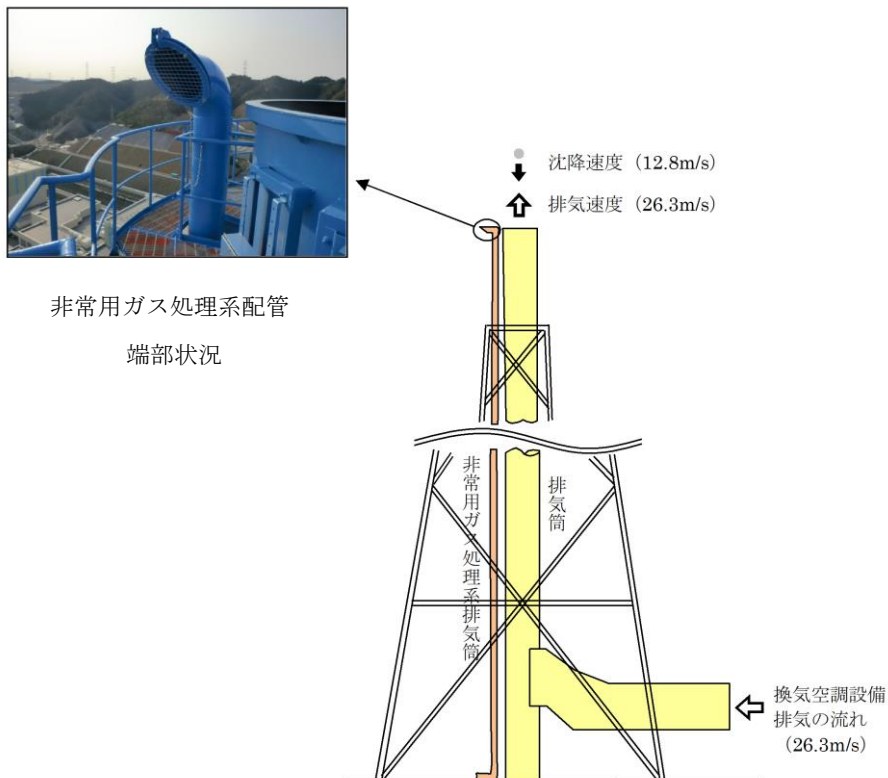


図 6. 1. 2-5 排気筒周辺の概要

(2) 屋内の施設で外気と繋がっている施設

a. 換気空調設備（外気取入口）の目詰まり

各評価対象設備の外気取入口には、図 6.1.2-6 に示すとおりルーバが取り付けられており、砂等の粒子状の極小飛来物が侵入しにくい構造となっている。

また、外気取入口には平型フィルタ（粒径 $2\mu\text{m}$ に対して 76%以上を捕獲する性能）や袋型フィルタ（粒径 $2\mu\text{m}$ に対して 80%以上を捕獲する性能）が設置されており、想定する砂等の粒子状の極小飛来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砂等の粒子状の極小飛来物が与える影響は少ない。また、フィルタには差圧計が設置されており、必要に応じて取替又は清掃をすることが可能である。

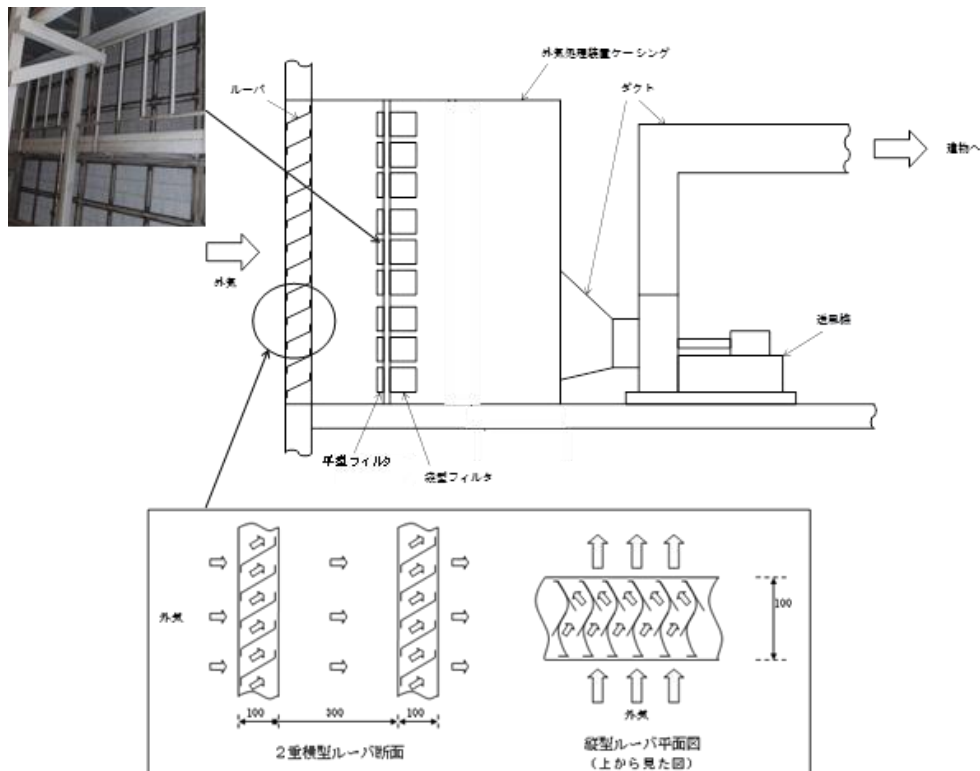


図 6.1.2-6 外気取入口の空気の流れ概要

b. 給気消音器（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）の目詰まり

給気消音器の上流側の外気取入口にはフード又はルーバが取り付けられおり、砂等の粒子状の極小飛来物が侵入しにくい構造である。非常用ディーゼル発電機の給気空気の流れを図 6.1.2-7 に示す。

また、機関給気口の給気消音器にはフィルタ（粒径 $1\mu\text{m}$ 以上の砂等の粒子状の極小飛来物は 80%以上捕集）が設置されており、砂等の粒子状の極小飛来物の侵入を防止している。

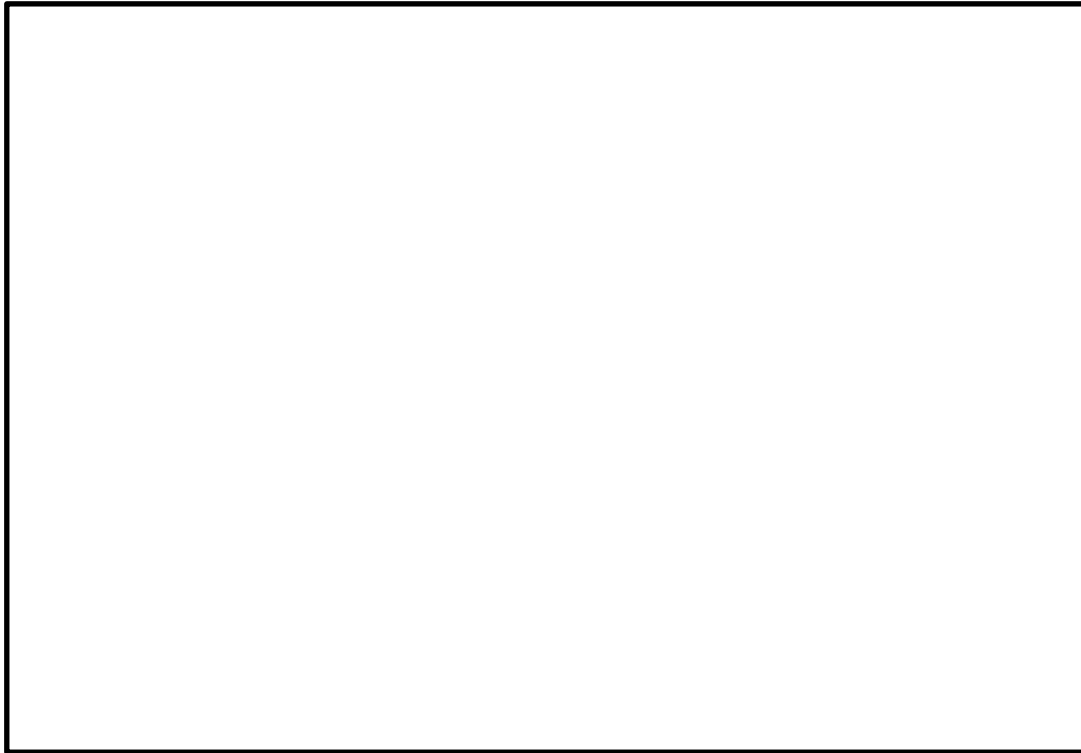


図 6. 1. 2ー7 非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の給気空気の流れ

(3) 屋外にある外部事象防護対象施設の付属施設

- a. 排気消音器（排気管を含む。）（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）の閉塞

排気消音器は図 6. 1. 2ー8 に示すとおり，横方向を向いており砂等の粒子状の極小飛来物が侵入しにくい構造となっている。また，運転中は排気しているため，砂等の粒子状の極小飛来物が侵入することはない。また，竜巻の通過に要する時間は短時間であるため，閉塞する量の飛来物は侵入し難い。



図 6. 1. 2ー8 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器及び排気管

- b. ベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク，ディーゼル燃料デイトンク，潤滑油サンプタンクの附属施設）の閉塞

(a) ディーゼル燃料貯蔵タンク

ディーゼル燃料貯蔵タンク本体は，ディーゼル燃料貯蔵タンク室内（地下埋設式）であり，砂等の粒子状の極小飛来物からの影響は受けないが，ディーゼル燃料貯蔵タンクのベント管は屋外に設置していることから影響について確認する。

ディーゼル燃料貯蔵タンクのベント管先端には図 6.1.2-9 のとおり，カバーが取り付けられており，開口部の閉塞には至らない。

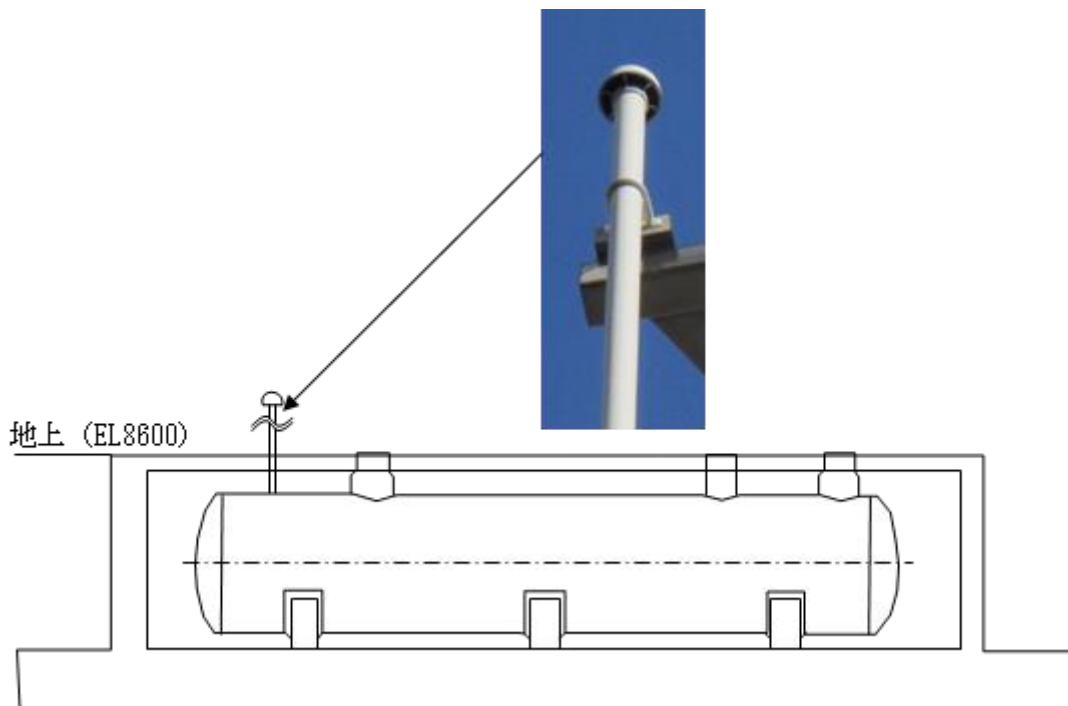


図 6.1.2-9 ディーゼル燃料貯蔵タンク及びベント管の概要

(b) ディーゼル燃料デイトンク，潤滑油サンプタンク

ディーゼル燃料デイトンク，潤滑油サンプタンクのベント管は，下方向を向いており砂等の粒子状の極小飛来物が侵入しにくい構造となっている。また，竜巻の通過に要する時間は短時間であるため，閉塞する量の飛来物は侵入し難い。

1. BRL 式について

BRL 式は ISES7607-3「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討（高温構造安全技術研究組合）」に引用されており、「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。

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 D^{3/2}}$$

T : 鋼板貫通厚さ (m)

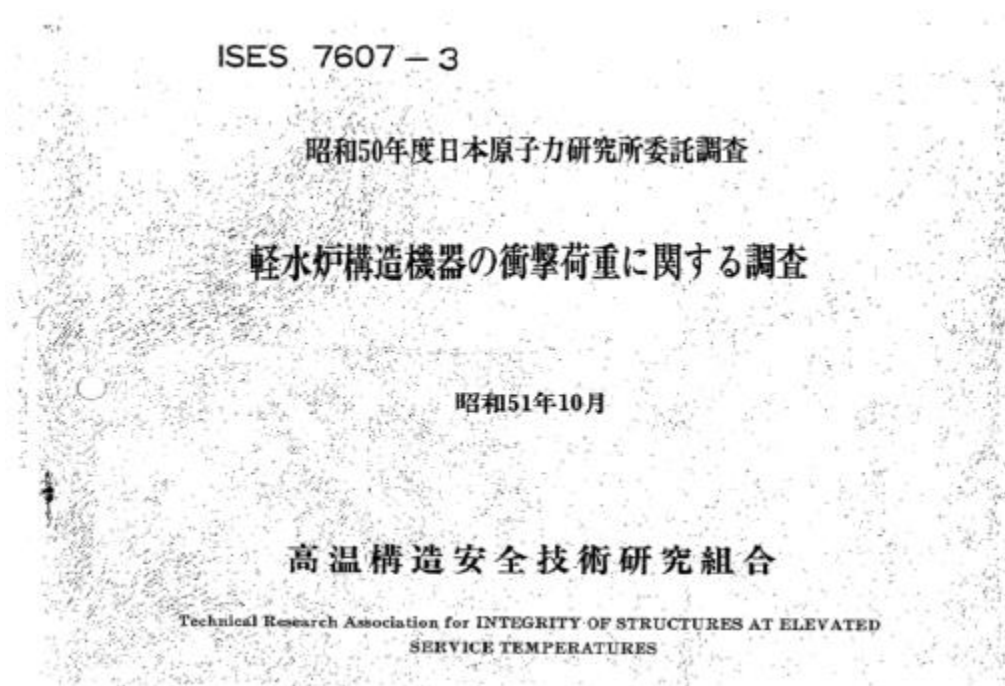
M : ミサイル質量 (kg)

V : ミサイル速度 (m/s)

D : ミサイル直径 (m)

K : 鋼板の材質に関する係数 ($\cong 1$)

ISES7607-3「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討（高温構造安全技術研究組合）」



鋼板に対する評価

(2) BRL 式⁽³⁾ (Ballistic Research Laboratories Formula)

$$T^{3/2} = \frac{0.5 M V^2}{17400 K^2 d^{3/2}} \quad (17)$$

ここで、

T = 鋼板貫通厚さ (in)

M = ミサイル質量 (lb-sec²/ft)

V = ミサイル速度 (ft/sec)

d = ミサイル直径 (in)

K = 鋼板の grade に関する定数 (≒10) である。

(K=鋼板の grade に関する定数 (≒1.0) である。)

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

4. 貫通厚さ (T) の算出について

以下に示す式及び係数を使用する。

- (1) コンクリートに対しては修正 N D R C の式⁽¹⁾⁽⁴⁾を使用する。

形状係数 (N) については

タービン羽根 $N = 1.14$

T-G カップリング $N = 0.72$

ディスク $N = 0.84$

ロータ $N = 0.84$

- (2) 鋼板に対しては B R L⁽¹⁾⁽⁴⁾の式を使用する。

参 考 文 献

- (1) R. G. 1.115 Rev 1. Working Paper "B" 27 Jan 1977 "Protection Low Trajectory Turbine Missiles"
- (2) Standard Review Plan SEC 3.5.1.3 "Turbine Missiles" Against
- (3) Nuclear Safety Vol 14 No.3 May-June 1973 "Probability of Damage to Nuclear Components Due to Turbine Failure" by Spencer H. Bush
- (4) ISES 7607-3 高温構造安全技術研究組合

軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査

その 8 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討

7. 屋外の重大事故等対処設備の竜巻防護設計

7. 屋外の重大事故等対処設備の竜巻防護設計

7.1 はじめに

本資料は、島根原子力発電所の屋外の重大事故等対処設備の竜巻に対する設計方針について補足する資料である。

7.2 島根原子力発電所における重大事故等対処設備の具体的な竜巻防護設計方針

7.2.1 設計の考え方について

島根原子力発電所の屋外の重大事故等対処設備においては、技術基準規則第54条の要求事項を踏まえた設計方針に従って、位置的分散による機能維持に加え、技術基準規則第7条の要求事項を踏まえた設計方針に従って、浮き上がり又は横滑りによって外部事象防護対象施設及び竜巻防護対策設備（以下「外部事象防護対象施設等」という。）に衝突し、外部事象防護対象施設の機能に影響を及ぼす可能性がある場合には飛来物とならないよう固縛する設計する

位置的分散による重大事故等対処設備の機能維持設計は、VI-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」にて示すため、以下では、固縛等に関する設計の考え方を示す。

7.2.2 固縛の設計方針

固縛については、浮き上がり又は横滑りによって外部事象防護対象施設等に衝突し、外部事象防護対象施設等の機能に影響を及ぼさない設計とするため、すべての屋外の重大事故等対処設備を検討の対象とする。

ただし、屋外の重大事故等対処設備のうち、重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないように、風荷重の作用しない場所に配置する設計又は竜巻の風荷重を考慮した設計とする設備は、竜巻防護がされていることから、以降に示す固縛対象設備の選定候補から除外する。

屋外の重大事故等対処設備及び固縛対象設備の選定方針を表7.2.2-1に、固縛対象設備の選定候補及び保管場所を表7.2.2-2、図7.2.2-1に示す。

表 7.2.2-1 屋外の重大事故等対処設備及び固縛対象設備の選定方針(1/2)

	固縛対象設備の選定方針	常設／可搬	設備
2 (1)	<p>浮き上がり又は横滑り発生の有無, 保管場所からの飛散距離算出, 外部事象防護対象施設及び竜巻防護対策設備に衝突し損傷させる可能性の有無を確認し, 固縛対象設備を選定する。</p> <p>また, 同じ機能を有する常設重大事故防止設備及び可搬型重大事故防止設備について, 浮き上がり又は横滑り発生の有無, 保管場所からの飛散距離の算出, 同じ機能を有する設重大事故防止設備及び可搬型重大事故防止設備に衝突し損傷させる可能性の有無を確認し, 固縛対象設備を選定する。</p>	可搬	<p>ホイールローダ</p> <p>大量送水車</p> <p>移動式代替熱交換設備</p> <p>大型送水ポンプ車</p> <p>可搬型ストレナ</p> <p>可搬式窒素供給装置</p> <p>小型船舶</p> <p>放水砲</p> <p>泡消火薬剤容器</p> <p>高圧発電機車</p> <p>タンクローリ</p> <p>第 1 ベントフィルタ出口水素濃度</p> <p>可搬式モニタリング・ポスト</p> <p>可搬式気象観測装置</p> <p>放射性物質吸着材</p> <p>シルトフェンス</p> <p>緊急時対策所用発電機</p> <p>ホース〔流路〕(300A)</p> <p>ホース〔流路〕(250A)</p> <p>ホース〔流路〕(150A)</p> <p>ホース〔流路〕(移動式代替熱交換設備)</p> <p>ホース〔燃料流路〕</p> <p>可搬型ケーブル</p>

表 7.2.2-1 屋外の重大事故等対処設備及び固縛対象設備の選定方針(2/2)

	固縛対象設備の選定方針	常設／可搬	設備
(2)	固定されている又は遮蔽壁内に囲まれた設備のため竜巻の影響を受けにくく、飛来物化しないと考えられるため、固縛対象設備として選定しない。	常設	原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル 圧力開放板 ガスタービン発電機用軽油タンク 緊急時対策所遮蔽 構内監視カメラ（ガスタービン発電機建物屋上） 等
(3)	外部事象防護対象施設を兼ねており、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物衝撃荷重に耐えうる設計であるため、固縛対象設備として選定しない。	常設	原子炉補機冷却系 配管・弁・海水ストレーナ〔流路〕 高圧炉心スプレイ補機冷却系 配管・弁・海水ストレーナ〔流路〕 原子炉補機海水ポンプ 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ 非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料移送ポンプ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ 非常用ガス処理系配管 等
(4)	竜巻の影響を受けにくく、飛来物化しないと考えられるため、固縛対象設備として選定しない。	常設	取水槽 等

表 7.2.2-2 固縛対象設備の選定候補及び保管場所 (1/2)

設備	保管場所*
ホイールローダ	①
	③
	④
大量送水車	①
	②
	③
	④
移動式代替熱交換設備	①
	③
	④
大型送水ポンプ車	①
	③
	④
可搬型ストレーナ	②
	③
	④
可搬式窒素供給装置	①
	④
小型船舶	①
	④
放水砲	①
	④
泡消火薬剤容器	①
	④
高圧発電機車	①
	③
	④
タンクローリ	①
	③
	④
可搬型モニタリング・ポスト	①
	④
可搬式気象観測装置	①
	④

注記*：図 7.2.2-1 における保管場所の番号を示す。

表 7.2.2-2 固縛対象設備の選定候補及び保管場所 (2/2)

設備	保管場所* ¹
第1 ベントフィルタ出口水素濃度	①
	④
放射性物質吸着材	①
	④
シルトフェンス	①
	④
緊急時対策所用発電機	①
	④
ホース〔流路〕(300A) * ² ホース〔流路〕(250A) * ² ホース〔燃料流路〕* ²	①
	④
ホース〔流路〕(150A) * ²	①
	④
ホース〔流路〕(移動式代替熱交換設備) * ²	①
	④
可搬型ケーブル	①
	④

注記*¹ : 図 7.2.2-1 における保管場所の番号を示す。

*² : 保管用コンテナに格納されているため、コンテナの評価で代表する。

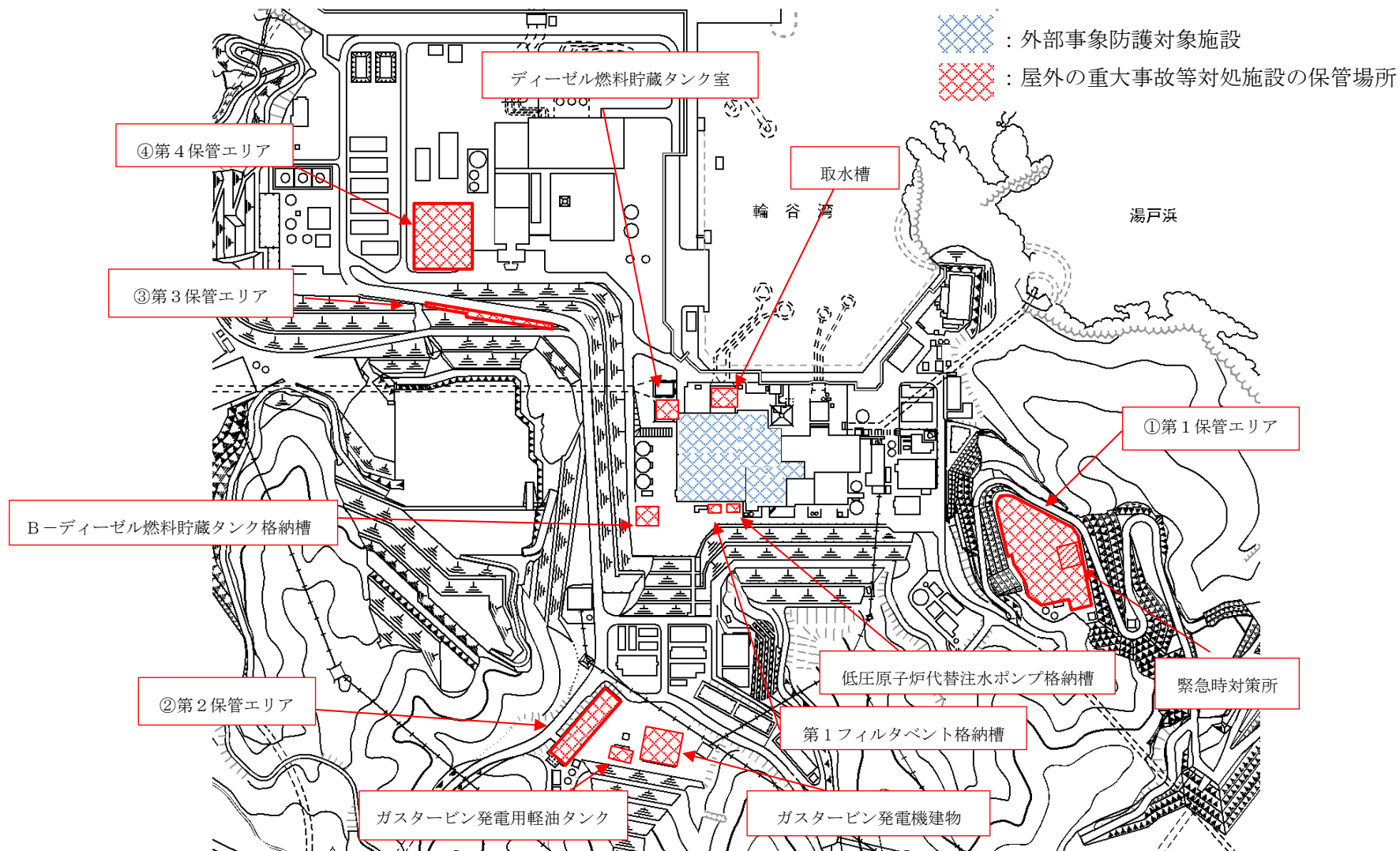


図 7.2.2-1 固縛対象設備の選定候補及び保管場所並びに外部事象防護対象施設の配置

7.2.3 固縛対象設備の選定

表 7.2.2-2 に示した固縛対象設備の選定候補を対象に、浮き上がり又は横滑りの発生有無、保管場所からの飛散距離、外部事象防護対象施設に衝突し損傷させる可能性の有無を判定した結果、屋外の重大事故等対処設備に、飛散して外部事象防護対象施設や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に影響を与えるものはないことを確認した。

屋外の重大事故等対処設備の固縛要否判定結果を表 7.2.3-1 に示す。また、屋外の重大事故等対処設備の保管場所及び飛散距離を図 7.2.3-1～4 に示す。

表 7.2.3-1 屋外の重大事故等対処設備の固縛要否判定結果 (1/3)

設備	保管場所*	飛散距離 [m]	外部事象防護対象施設との離隔 距離 [m]	離隔	固縛 対象 設備	選定根拠	関連図面
ホイールローダ	①	0	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	③	0	172	○	—	—	図 7.2.3-3
	④	0	286	○	—	—	図 7.2.3-4
大量送水車	①	91	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	②	91	237	○	—	—	図 7.2.3-2
	③	91	172	○	—	—	図 7.2.3-3
	④	29	286	○	—	—	図 7.2.3-4
移動式代替熱交換設備	①	0	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	③	0	172	○	—	—	図 7.2.3-3
	④	0	286	○	—	—	図 7.2.3-4
大型送水ポンプ車	①	0	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	③	0	172	○	—	—	図 7.2.3-3
	④	0	286	○	—	—	図 7.2.3-4
可搬型ストレーナ	②	113	237	○	—	—	図 7.2.3-2
	③	113	172	○	—	—	図 7.2.3-3
	④	32	286	○	—	—	図 7.2.3-4
可搬式窒素供給装置	①	37	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	④	4	286	○	—	—	図 7.2.3-4

注記＊：図 7.2.2-1 における保管場所の番号を示す。

表 7.2.3-1 屋外の重大事故等対処設備の固縛要否判定結果 (2/3)

設備	保管 場所*	飛散 距離 [m]	外部事象防護 対象施設との 離隔距離 [m]	離隔	固縛 対象 設備	選定根拠	関連図面
小型船舶	①	196	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	④	99	286	○	—	—	図 7.2.3-4
放水砲	①	140	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	④	53	286	○	—	—	図 7.2.3-4
泡消火薬剤容器	①	0	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	④	0	286	○	—	—	図 7.2.3-4
高圧発電機車	①	115	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	③	115	172	○	—	—	図 7.2.3-3
	④	42	286	○	—	—	図 7.2.3-4
タンクローリ	①	110	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	③	110	172	○	—	—	図 7.2.3-3
	④	36	286	○	—	—	図 7.2.3-4
可搬型モニタリング・ポスト	①	203	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	④	115	286	○	—	—	図 7.2.3-4
可搬式気象観測装置	①	179	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	④	85	286	○	—	—	図 7.2.3-4

注記*：図 7.2.2-1 における保管場所の番号を示す。

表 7.2.3-1 屋外の重大事故等対処設備の固縛要否判定結果 (3/3)

設備	保管 場所*	飛散 距離 [m]	外部事象防護 対象施設との 離隔距離 [m]	離隔	固縛 対象 設備	選定根拠	関連図面
第1 ベントフィルタ出口水素濃度	①	165	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	④	70	286	○	—	—	図 7.2.3-4
放射性物質吸着材	①	201	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	④	110	286	○	—	—	図 7.2.3-4
シルトフェンス	①	83	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	④	23	286	○	—	—	図 7.2.3-4
緊急時対策所用発電機	①	128	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	④	49	286	○	—	—	図 7.2.3-4
ホース [流路] (300A) *2 ホース [流路] (250A) *2 ホース [燃料流路] *2	①	237	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	④	160	286	○	—	—	図 7.2.3-4
ホース [流路] (150A) *2	①	129	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	④	48	286	○	—	—	図 7.2.3-4
ホース [流路] (移動式代替熱交換設備) *2	①	0	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	④	0	286	○	—	—	図 7.2.3-4
可搬型ケーブル	①	201	250	○	—	—	図 7.2.3-1
	④	110	286	○	—	—	図 7.2.3-4

注記*1：図 7.2.2-1 における保管場所の番号を示す。

*2：保管用コンテナに格納されているため、コンテナの評価で代表する。

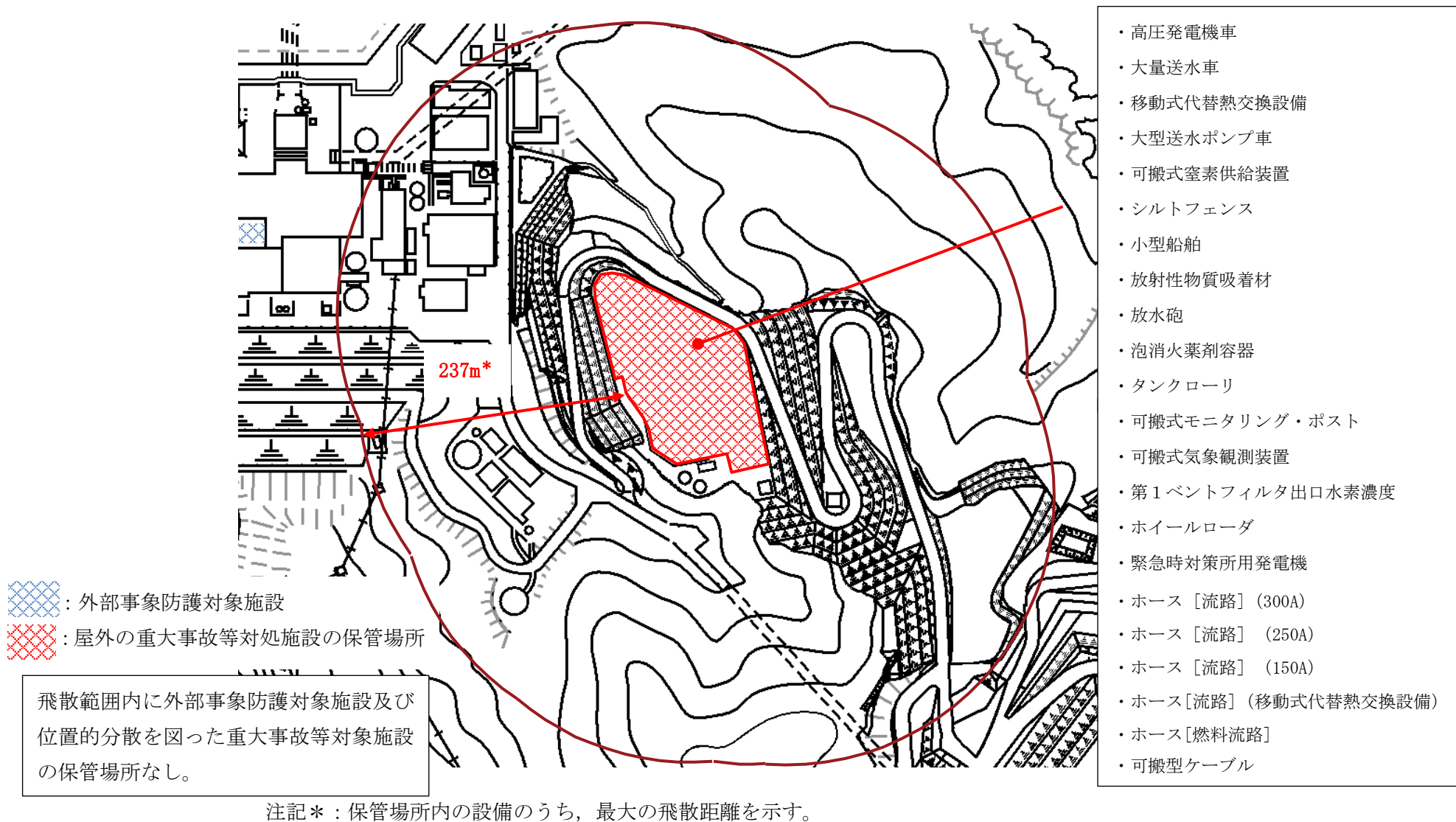
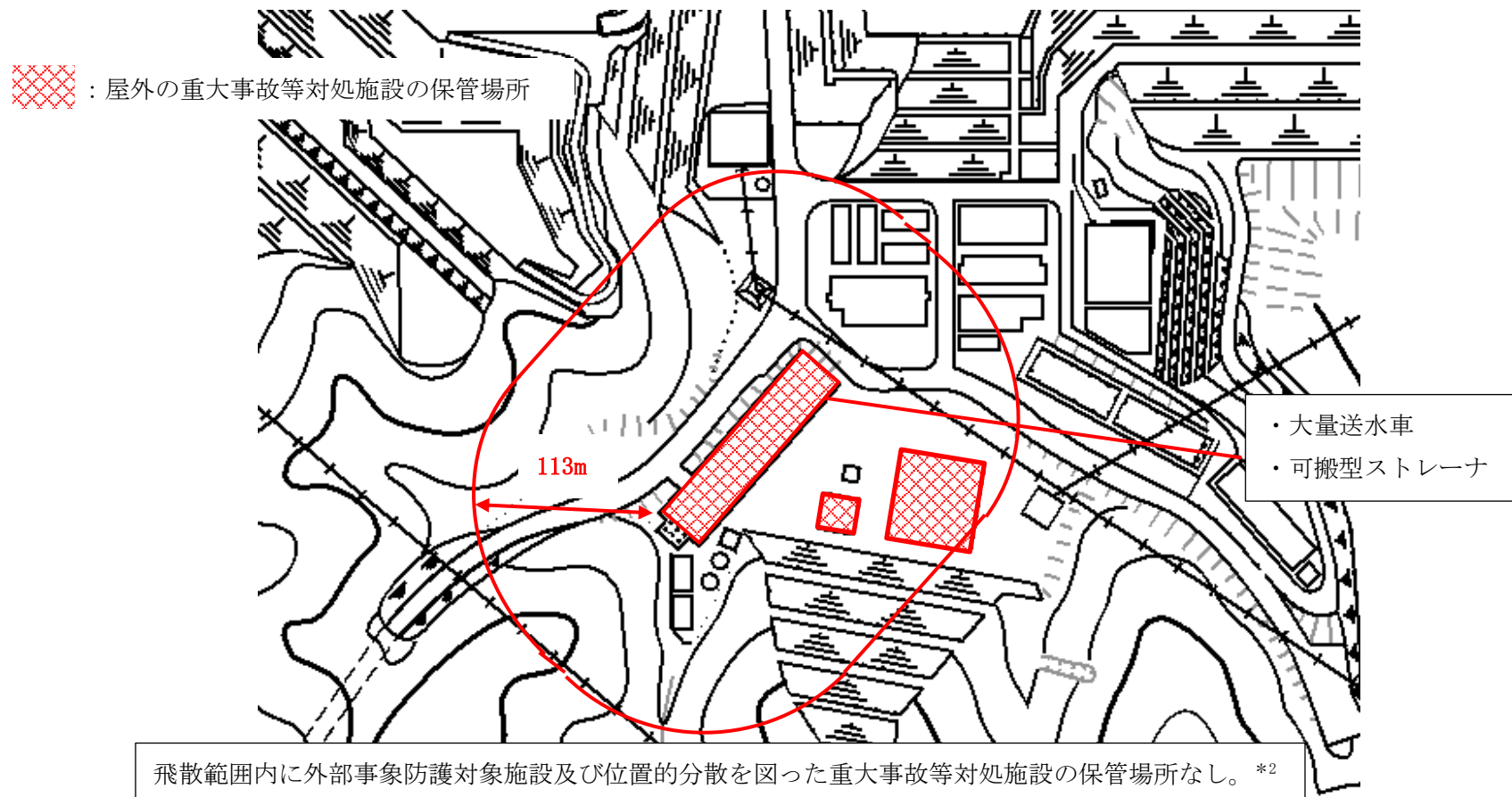


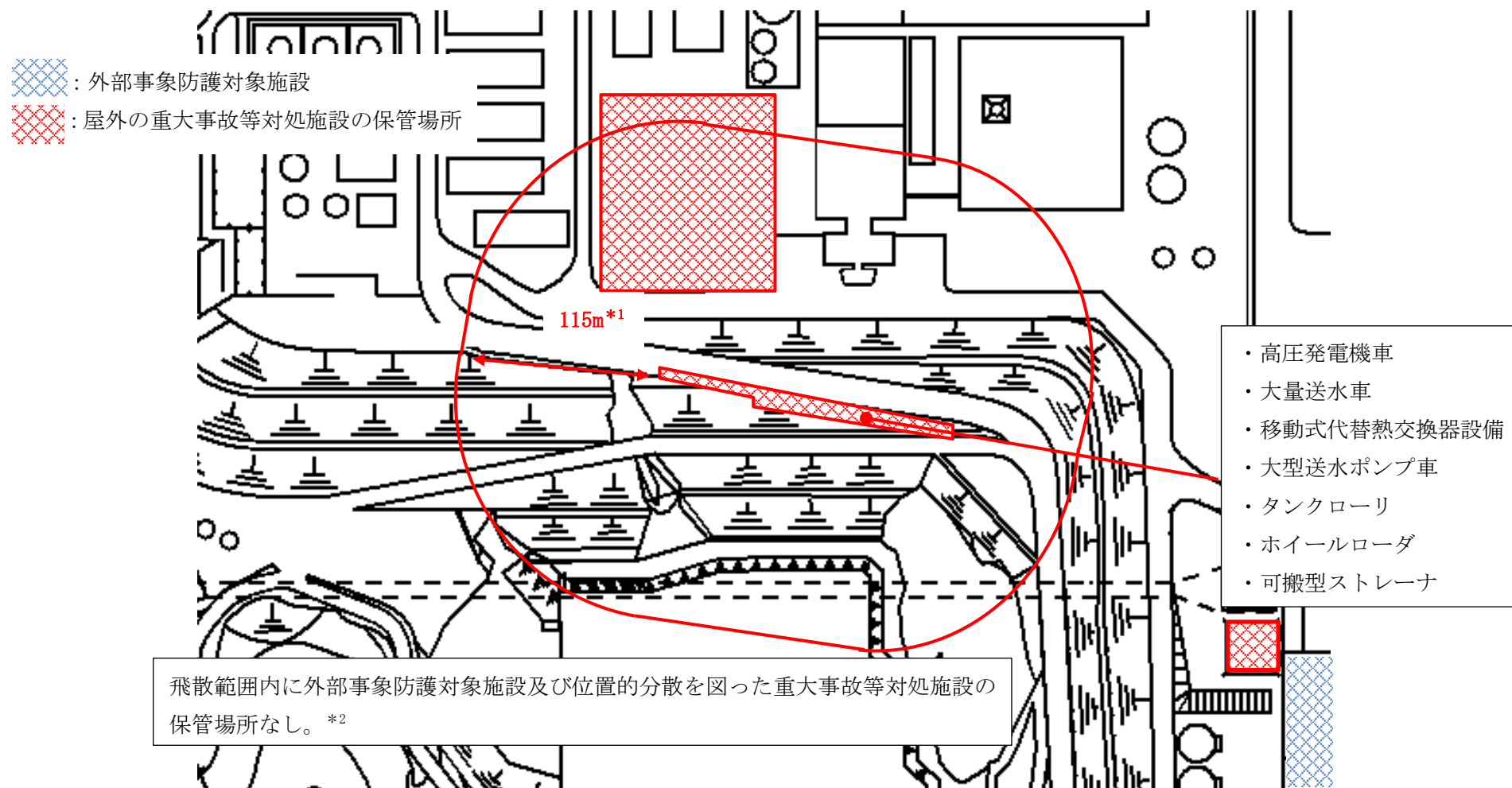
図 7.2.3-1 屋外の重大事故等対処設備の保管場所及び飛散距離（第1保管エリア）



注記*1：保管場所内の設備のうち、最大の飛散距離を示す。

*2：第2保管エリアとガスタービン発電機建物及びガスタービン発電機軽油タンクは、同じ機能を有する2セットある可搬型設備を互いに配置しない設計としている。

図 7.2.3-2 屋外の重大事故等対処設備の保管場所及び飛散距離（第2保管エリア）



注記*1：保管場所内の設備のうち、最大の飛散距離を示す。

*2：第3保管エリアと第4保管エリアは、同じ機能を有する2セットある可搬型設備を互いに配置しない設計としている。

図 7.2.3-3 屋外の重大事故等対処設備の保管場所及び飛散距離（第3保管エリア）

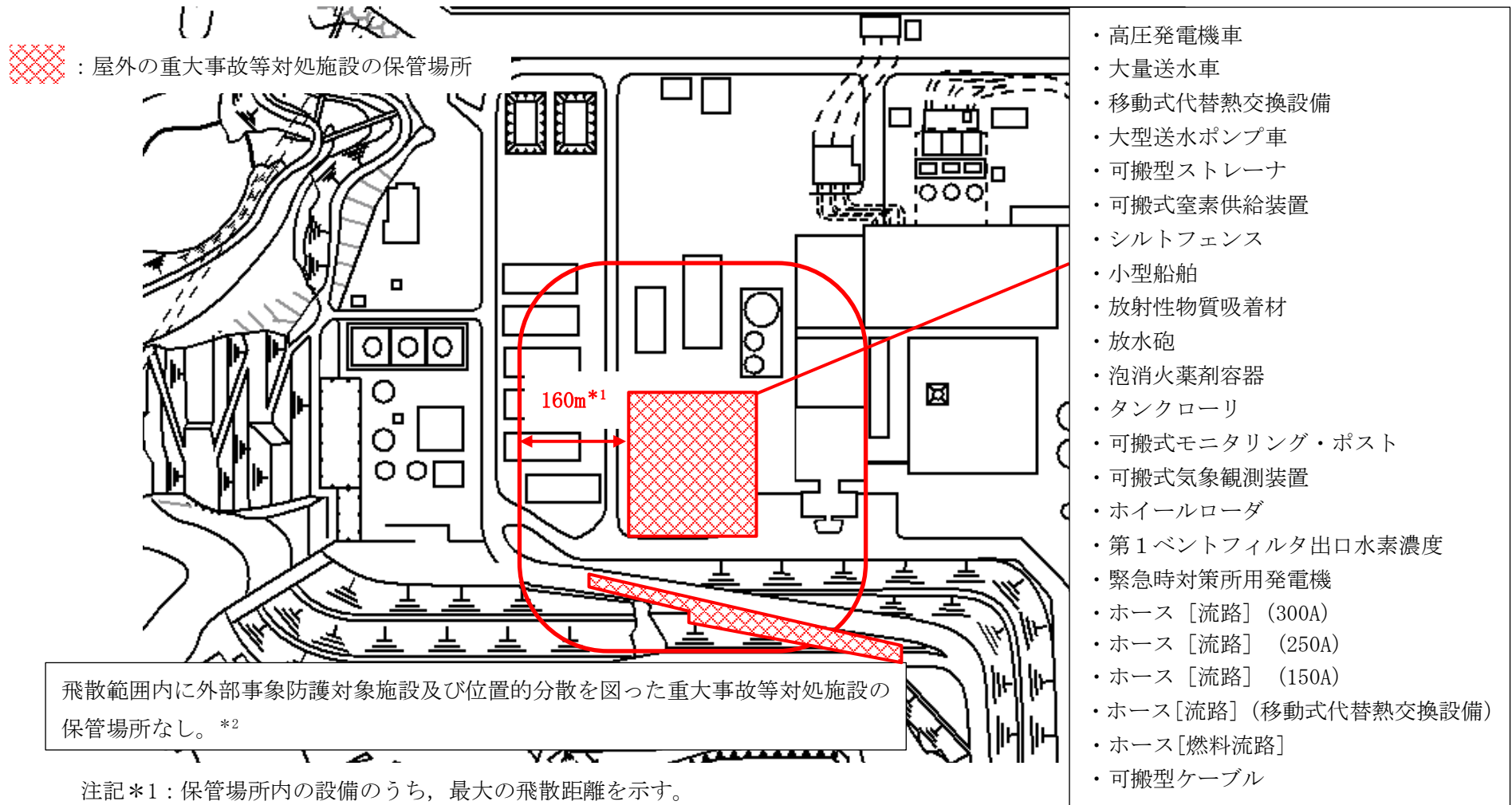


図 7.2.3-4 屋外の重大事故等対処設備の保管場所及び飛散距離（第4保管エリア）

8. 竜巻影響評価の風速場モデルの適用

8. 竜巻影響評価の風速場モデルの適用

島根原子力発電所の竜巻影響評価の風速場モデルは、地上からの物体の浮上・飛散解析が可能であり、多数の飛来源が想定される地上付近で竜巻の中心に向かう流れを考慮してある3次元の風速場を持つ、フジタモデル DBT-77 (DBT: Design Basis Tornado) (以下「フジタモデル」という。)を採用した。なお、島根原子力発電所の竜巻影響評価においては、評価及び運用の簡便性を念頭に、保守性を確保した上で、一部についてフジタモデル以外の竜巻モデルから得られる設定を採用している。

風速場モデルの適用状況について表 8-1 に整理する。また、設計飛来物の速度設定における評価条件については、添付 1 「設計飛来物の最大水平速度の妥当性について」に補足する。

表 8-1 島根原子力発電所の竜巻風速モデルの適用状況 (1/2)

竜巻に影響する要素		島根原子力発電所 2 号機の設定値	風速場モデルによる違いの有無	備考
設計竜巻 の特性値	基本風速場モデル		—	
	最大風速	V_D 92 m/s	×	
	最大接線方向風速	V_{Rm} 78 m/s	×	
	移動速度	V_T 14 m/s	×	
	最大接線風速半径	R_m 30 m/s	×	
	流入層高さ	H_i 15 m/s	○	ランキン渦モデルには無し
	最大気圧低下量	ΔP_{max} 75 hPa 【ガイドの評価式による】 フジタモデル (解析が必要) に対する算出の簡便性を踏まえ採用	○	保守性は確認済み (5. 別紙 1 「竜巻影響評価におけるフジタモデルの適用について」 参照)
	最大気圧低下率	$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{max}$ 35 hPa/s 【ガイドの評価式による】 同上	○	評価には用いない
設計飛来物の速度		鋼製材 任意の初期高さにおけるフジタモデルの解析結果を包含する, ガイドの値 51 m/s	○	
		砂利 任意の初期高さにおけるフジタモデルの解析結果の値 54 m/s	○	

表 8-1 島根原子力発電所の竜巻風速場モデルの適用状況 (2/2)

竜巻に影響する要素		島根原子力発電所 2 号機の設定値	風速場モデルによる違いの有無	備考
飛散解析	地上からの初期高さ	h	○	
	最大水平速度	MV_{Hmax}	○	解析コード：TO NBOS
	最大鉛直速度	MV_{Vmax}	○	
	最大飛散距離	MD	○	解析コード：TO NBOS
飛来物発生対策の要否	運動エネルギー	E	○	
	貫通力	t_p^*	○	*鋼板：BRL式 コンクリート：修正 NDR式, D egan式
	離隔距離	D_{rcp}	○	
	風速分布		○	
固縛設計	地上からの初期高さ	h	○	
		固縛対象設備の設置面と地面との高さ		

1. 設計飛来物の最大水平速度の妥当性について

1.1 鋼製材の最大水平速度の妥当性について

発電所の竜巻影響評価に用いる設計飛来物である鋼製材は、「竜巻影響評価ガイド」に示されている数値を採用しているが、その最大水平速度（51m/s）は非定常乱流渦モデルによるシミュレーション（LES）にて導出されている。

一方、発電所の竜巻影響評価における物体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上からの高さによって変化するため、飛来物源の地上からの初期高さにより飛散時の挙動が異なる。

このため、任意の地上から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。結果を図 1.1-1 に示す。また、図 1.1-1 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。

図 1.1-1 から、いずれの地上からの初期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。

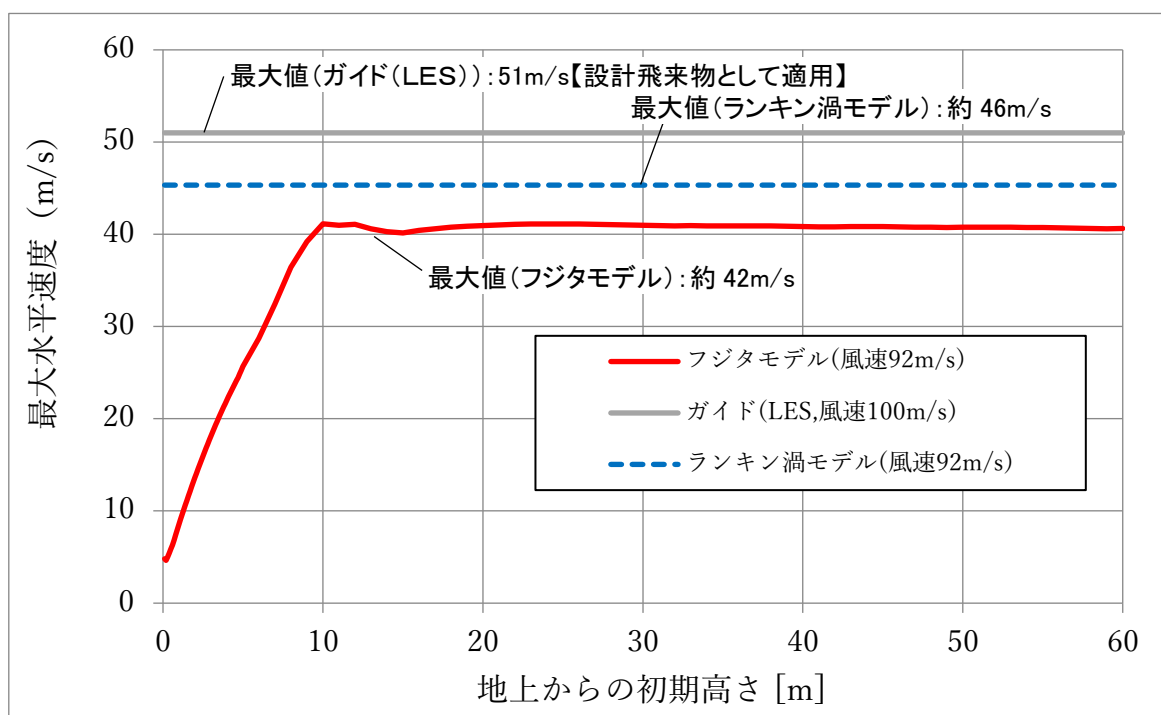


図 1.1-1 各風速場モデルにおける鋼製材の飛散解析結果

（鋼製材：300mm×200mm×4, 200mm, 135kg）

1.2 砂利の最大水平速度の妥当性について

「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、フジタモデルを適用した風速場の中で地上付近の不確定性を考慮し、地上からの初期高さの感度解析の結果から最大となる水平速度（54m/s）を算出した。結果を図 1.2-1 に示す。

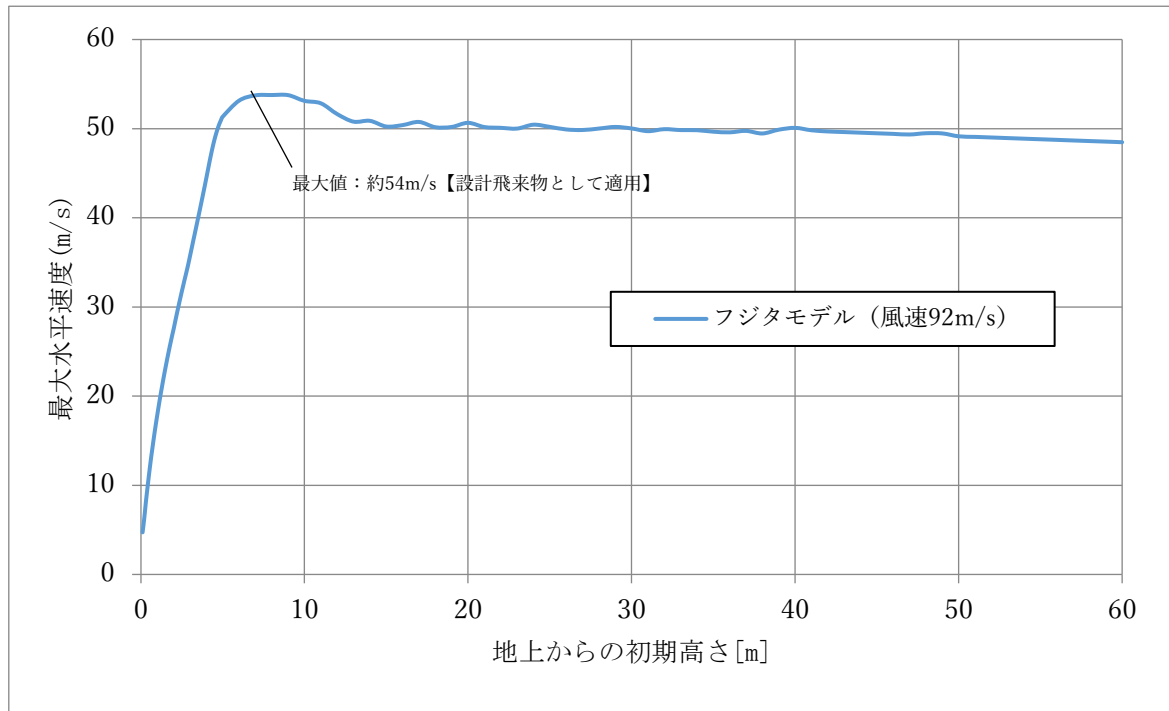


図 1.2-1 砂利の飛散解析結果
(砂利：40mm×40mm×40mm, 0.2kg)

フジタモデルによる飛散解析の特徴について

1. はじめに

フジタモデルを用いた飛散解析では、物体の地上からの初期高さが飛散速度や飛散距離に影響する。ここでは、フジタモデルの風速場の概要及びフジタモデルを用いた飛散解析の特徴について、設計飛来物（鋼製材）に対する飛散解析結果を例に説明する。

2. フジタモデルの風速場のモデル化

(1) 風速場の概要

フジタモデルを用いた飛散解析における風速場は図1に示すように、半径方向に3つの領域（内部コア、外部コア、最外領域）で構成され、鉛直方向は流入層と非流入層で構成される。流入層では竜巻中心方向に向かう強い流れ（流入風）があり、この空気の流れ込みが外部コア内での上昇風となる。流入風の最大風速は流入層の上限で発生するようにモデル化されており、地表面に近づくにつれて連続的に減衰する。水平風速は、周方向の風速と流入風の風速を合成することで得られ、最大水平方向風速は最大周方向風速に竜巻の移動速度を足したものと一致する。フジタモデルの風速場における最大水平風速と地上からの高さの関係を図2に示す。

フジタモデルにおける最大水平風速は、地表面（0m）から流入層高さ（15m）までは大きく上昇し、流入層高さにおいて最大風速が発生する。流入層高さを超えると、地上からの高さが高くなるにつれて最大水平風速は緩やかに減少するモデルとなっている。

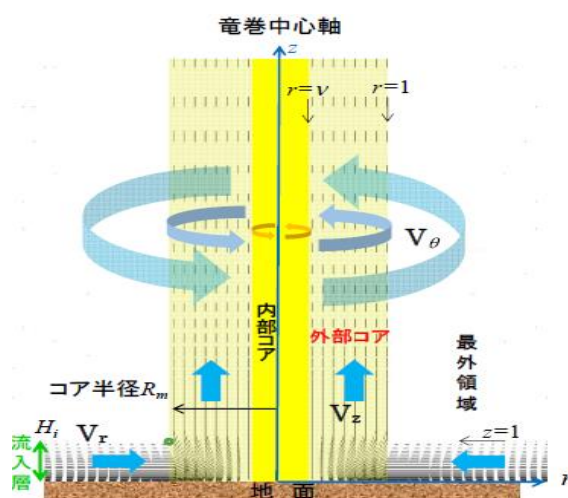


図1 フジタモデルの風速場 (イメージ)

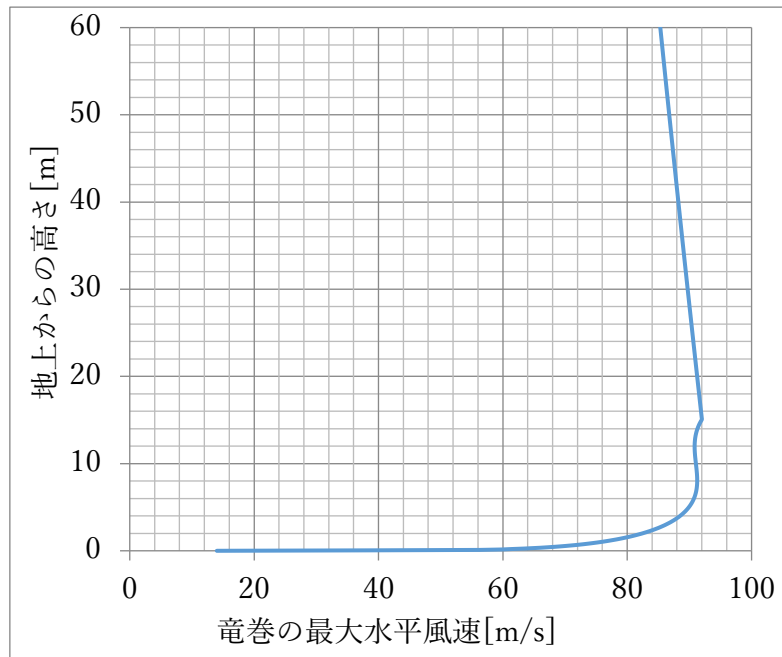


図2 フジタモデルの風速場における最大水平風速と地上からの高さの関係 ($r=1$)

(2) 地面効果の影響

地表面付近の物体については、物体の形状に応じた揚力（地面効果）を加えている。揚力は空力パラメータに応じて決定され、物体高さの3倍までの範囲で連続的に減衰するように作用する。

3. フジタモデルによる飛散解析の特徴について

フジタモデルによる飛散解析の特徴的な傾向として、地上からの初期高さが増加するに従い、約10mまでは飛来物の水平速度が大きく増加し、その後の変化は緩やかとなる。（図3参照）

- ① 地上からの初期高さが増加するに従い（約10mまでの範囲（図3中の①））、風速場に滞空する時間が長くなり、飛来物の水平速度は増加する傾向となる。
- ② 地上からの初期高さが高い場合（約10m以上の範囲（図3中の②））は、図2に示す通り、地上からの初期高さが高くなるにつれて竜巻の水平風速は緩やかに減少していくモデルとなっていることから、飛来物の水平速度も同様に低下していく。

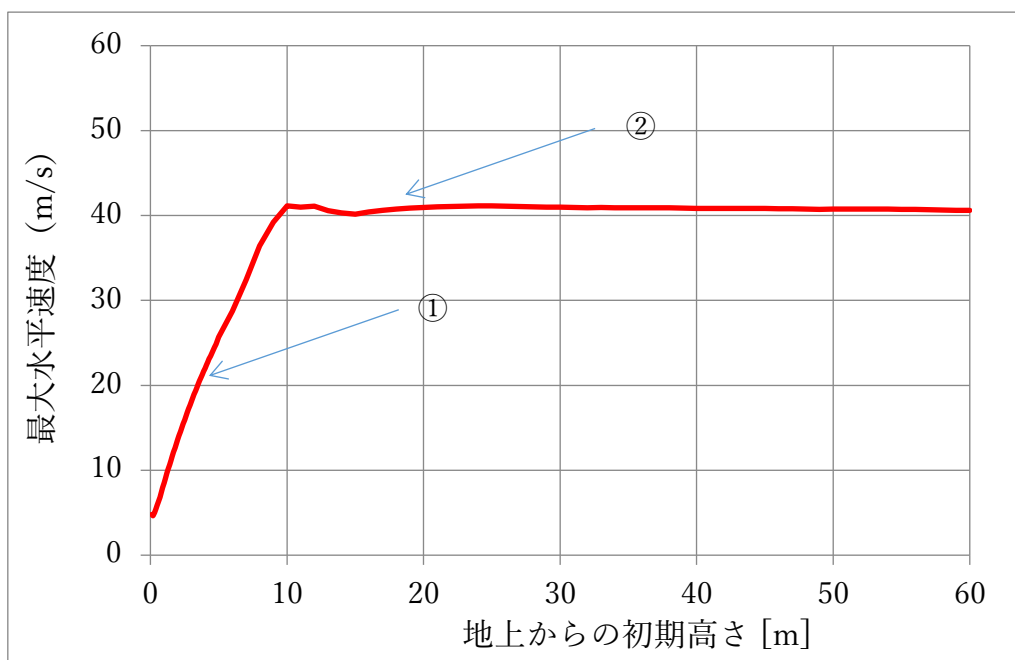


図3 フジタモデルを用いた飛散解析における地上からの初期高さと飛来物の水平速度の関係（鋼製材）

9. 消音器並びに排気管及びベント管における設計飛来物
の影響

9. 消音器並びに排気管及びベント管における設計飛来物の影響

9.1 概要

排気消音器(非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設)並びに排気管(非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設)及びベント管(非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク,ディーゼル燃料デイトank及びディーゼル潤滑油サンプタンクの付属設備)(以下「消音器並びに排気管及びベント管」という。)は,非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設であり,損傷によって,非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の排気機能に機能的な波及的影響を及ぼす可能性があるため,波及的影響を及ぼす可能性がある施設として抽出している。

消音器並びに排気管及びベント管は,屋外に設置しているため(図1～3参照),設計飛来物の衝突の影響が考えられるが,設計飛来物の衝突に対する性能目標として,VI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」において,「機能の一部を喪失しても速やかに外部事象防護対象施設の安全機能を復旧可能な設計とする」としている。本資料は,消音器並びに排気管及びベント管に対し,設計飛来物の短手方向又は長手方向からの衝突を考慮しても,性能目標を満足していることを説明する資料である。

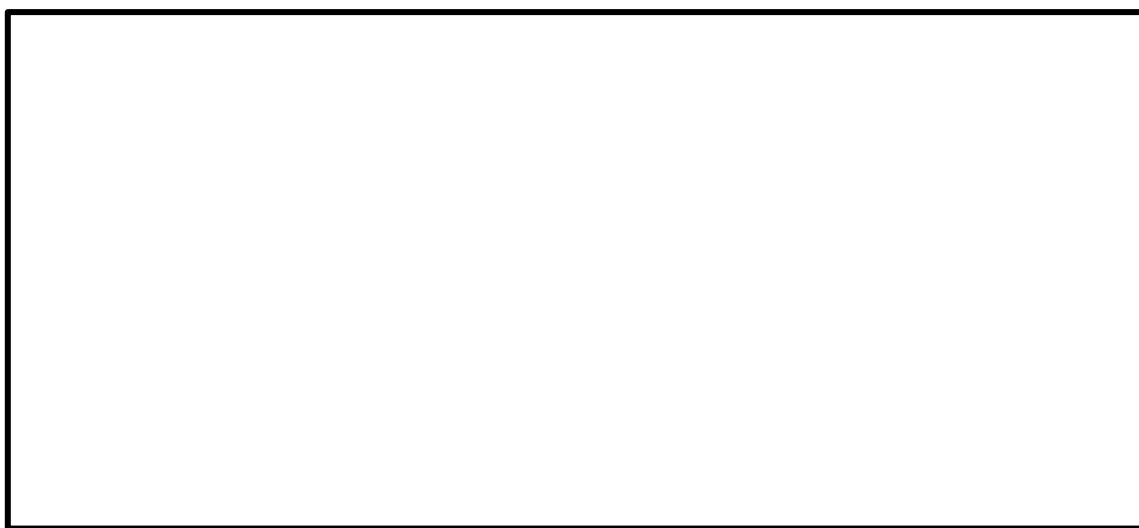


図1 排気消音器の設置位置(原子炉建物・平面図(EL 42800))

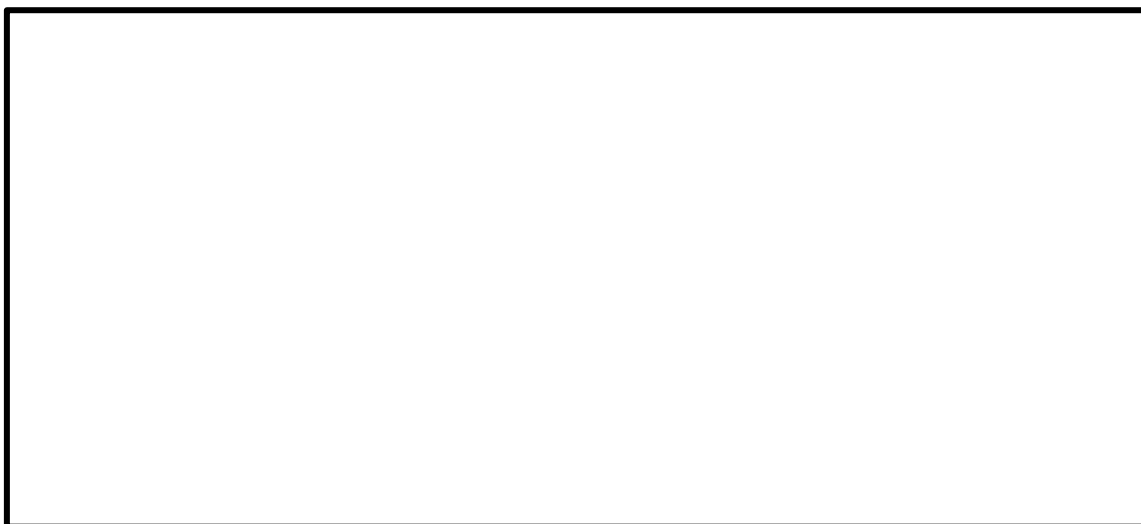


図 2 排気消音器の設置位置（原子炉建物・平面図（EL 34800））



図 3 排気消音器の設置位置（原子炉建物・断面図）

9.2 設計飛来物の衝突の影響

設計飛来物が消音器並びに排気管及びベント管へ衝突した場合の損傷モードとして、貫通及び変形が考えられる。設計飛来物が消音器並びに排気管及びベント管を貫通した場合は、貫通箇所から排気されるため、排気機能は維持される。貫通しない場合は、変形により、閉塞することで、排気機能の維持に十分な流路を確保できず、排気機能に機能的な波及的影響を及ぼす可能性がある。

設計飛来物が短手方向で衝突した場合、設計飛来物の貫通厚さは 34mm (BRL 式) であり、消音器並びに排気管及びベント管の板厚は 5.2mm～9.5 mm 程度であるため、消音器並びに排気管及びベント管を貫通すると考えられることから、流路が塞がれることはなく、排気機能は維持される。

長手方向で衝突した場合、消音器並びに排気管及びベント管が貫通することではなく、変形が生じると考えられるが、ベント管 (65A 及び 125A) は、燃料デイトンク又は潤滑油サンプタンクの液位の変動に応じて、空気を吸排気する流路となる設備であり、タンクに急激な液位の変動は発生しないことから、空気の流量は小さいため、衝突による変形が生じた場合においても、吸排気を妨げるような変形が発生する可能性は小さい。排気管 (900A) 及び消音器は、大口径であり、閉塞するほどの変形が生じる可能性は小さい。仮に、衝突による変形が生じることで、閉塞した場合においても、フランジ部の開放、薄肉部の溶断等の対応により速やかに機能を復旧する運用とすることで、排気機能を維持できる。

以上より、消音器並びに排気管及びベント管は、設計飛来物の衝突により、排気機能を損なうことはない、もしくは、損なう場合も速やかに機能を復帰する運用としていることから、性能目標は満足していると判断できる。

補足-018-04 火山への配慮に関する説明書に係る補足説明資料

補足説明資料目次

I. はじめに

1. 降下火碎物の影響を考慮する施設の選定
2. 降下火碎物の凝集による閉塞の影響
3. 降下火碎物の影響を考慮する施設の影響評価

I. はじめに

本補足説明資料は、以下の説明書についての内容を補足するものである。

本補足説明資料と添付書類との関連を表 1 に示す。

- ・ VI-1-1-3 「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、VI-1-1-3-4 「火山への配慮に関する説明書」

表 1 補足説明資料と添付書類との関連

工事計画添付書類に係る補足説明資料(火山)	該当添付書類
資料 4 工事計画に係る説明資料 (火山への配慮に関する説明書) <div> <div>1. 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定</div> <div>2. 降下火砕物の凝集による閉塞の影響</div> <div>3. 降下火砕物の影響を考慮する施設の影響評価</div> </div>	VI-1-1-3-4 火山への配慮に関する説明書 <div> <div> VI-1-1-3-4-1 火山への配慮に関する基本方針 </div> <div> VI-1-1-3-4-2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定 </div> <div> VI-1-1-3-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針 </div> </div>

1. 降下火碎物の影響を考慮する施設の選定

1. 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定

降下火砕物より防護すべき施設は、発電用原子炉施設の安全性を確保するため、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されている安全重要度分類のクラス 1、クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物、系統及び機器並びに重大事故等対処設備のうち、安全重要度分類のクラス 1、クラス 2 及び安全評価上その機能に期待するクラス 3 に属する構築物、系統及び機器に加え、それらを内包する建物等(以下「外部事象防護対象施設」という。)並びに重大事故等対処設備とする。

降下火砕物より防護する施設のうち、外部事象防護対象施設は図 1-1 のフローに従い選定する。

降下火砕物の影響について評価を行う施設（以下「降下火砕物の影響を考慮する施設」という。）は、降下火砕物より防護すべき施設の中から、その設置状況や構造等を考慮して選定する。

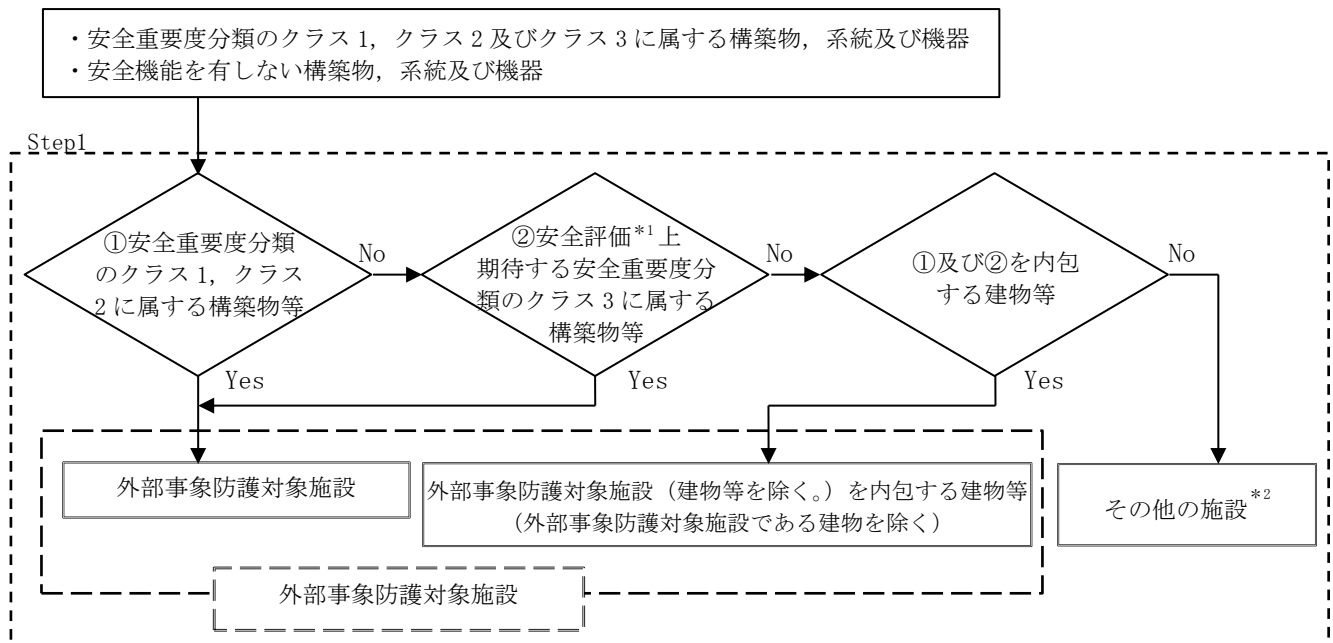
外部事象防護対象施設に係る降下火砕物の影響を考慮する施設を図 1-2 のフローに従い選定し、選定結果を表 1-1 に示す。なお、降下火砕物の影響を考慮する施設には、外部事象防護対象施設（建物等を除く。）を内包する建物等及び波及的影響を及ぼし得る施設を含めている。

重大事故等対処設備に係る降下火砕物の影響を考慮する施設は、直接降下火砕物の影響を受ける可能性がある屋外に設置している重大事故等対処設備を選定する。屋内に設置している重大事故等対処設備は、建物等にて防護されることから、重大事故等対処設備の代わりに重大事故等対処設備を内包する建物等を降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

降下火砕物の影響を考慮する施設には、外部事象防護対象施設の損傷防止のために防護措置として設置する火山防護対策設備を含める。火山防護対策設備に係る降下火砕物の影響を考慮する施設は、降下火砕物が堆積し影響を受ける可能性のある屋外に設置している火山防護対策設備を選定する。

以上の内容を踏まえて降下火砕物の影響を考慮する施設を選定した結果を表 1-2 に示す。

また、降下火砕物の間接的影響を考慮し、発電用原子炉の停止及び停止後の発電用原子炉の冷却、並びに燃料プールの冷却に係る機能を達成するために必要となる設備を選定した結果、上記の機能を達成するために必要な設備は、表 1-1 の外部事象防護対象施設に含まれていることを確認した。



注記*1 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

*2 その他の施設のうち安全施設は降下火砕物に対して機能を維持すること若しくは降下火砕物による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での除灰、修復等の対応が可能であることを確認する。

図 1-1 外部事象防護対象施設選定フロー

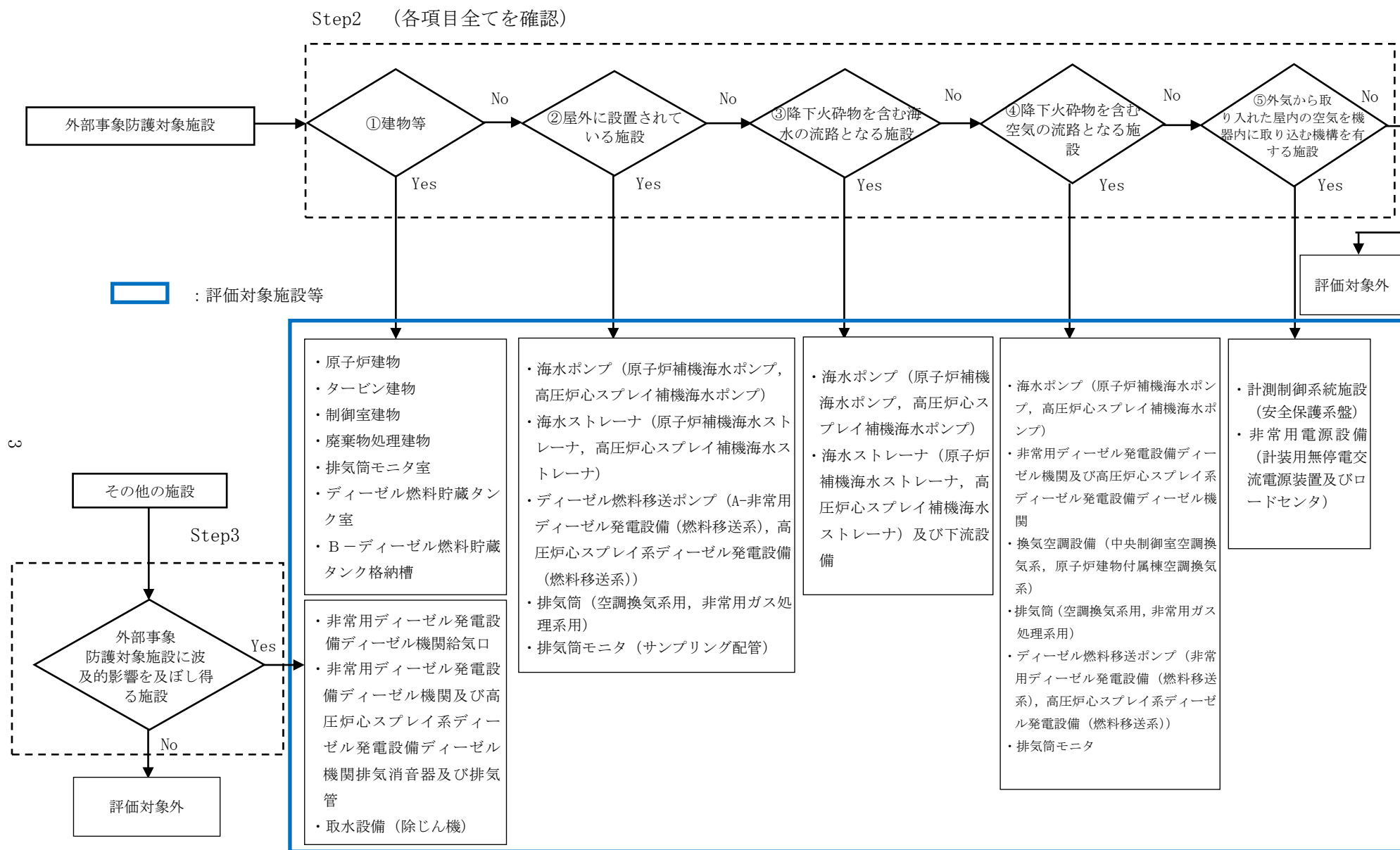


図 1-2 評価対象施設等の選定フロー

表 1－1 外部事象防護対象施設に係る降下火砕物の影響を考慮する施設の選定結果（1／1 1）

○：Yes，×：No，－：該当せず

分類	機能	構築物、系統又は機器	設置場所*1	Step1		Step2					Step3	降下火砕物の影響を考慮する施設
				外部事象防護対象施設	降下火砕物に対して機能維持する、又は降下火砕物による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	①建物等	②屋外に設置されている施設	③降下火砕物を含む海水の流路となる施設	④降下火砕物を含む空気の流路となる施設	⑤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	外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
PS-1	原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系（計装等の小口径配管・機器は除く。）	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
	過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
	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、燃料支持金具、制御棒案内管、制御棒駆動機構ハウジング、燃料集合体（上部タイププレート、下部タイププレート、スペーサ、チャンネルボックス）を除く。）	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
MS-1	原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系（制御棒及び制御棒駆動系（スクラム機能））	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
	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）	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
	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・弁、注入配管・弁）	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・弁、注入配管・弁）	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
	原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁（安全弁としての開機能）	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－

注記*1 R/B：原子炉建物、C/B：制御室建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、屋内：R/B、C/B、T/B、Rw/B内、屋外：R/B、C/B、T/B、Rw/B外

表 1－1 外部事象防護対象施設に係る降下火砕物の影響を考慮する施設の選定結果（2／1 1）

○：Yes, ×：No, －：該当せず

分類	機能	構築物、系統又は機器	設置場所*1	Step1		Step2					Step3	降下火砕物の影響を考慮する施設
				外部事象防護対象施設	降下火砕物に対して機能維持する、又は降下火砕物による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	①建物等	②屋外に設置されている施設	③降下火砕物を含む海水の流路となる施設	④降下火砕物を含む空気の流路となる施設	⑤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	外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
MS-1	原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統（残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード）、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心スプレイス系、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））	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
			R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
			R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
			R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
			R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
	炉心冷却機能	非常用炉心冷却系（低圧炉心スプレイス系、低圧注水系、高圧炉心スプレイス系、自動減圧系）	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－

注記*1 R/B：原子炉建物、C/B：制御室建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、屋内：R/B、C/B、T/B、Rw/B内、屋外：R/B、C/B、T/B、Rw/B外

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る降下火砕物の影響を考慮する施設の選定結果 (3 / 11)

○ : Yes, × : No, — : 該当せず

分類	機能	構築物、系統又は機器	設置場所※1	Step1		Step2					Step3	降下火砕物の影響を考慮する施設	
				外部事象防護対象施設	降下火砕物に対して機能維持する、又は降下火砕物による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	①建物等	②屋外に設置されている施設	③降下火砕物を含む海水の流路となる施設	④降下火砕物を含む空気の流路となる施設	⑤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	外部事象防護対象施設に波及の影響を及ぼし得る施設		
MS-1	炉心冷却機能	非常用炉心冷却系（低圧炉心スプレイス系、低圧注水系、高圧炉心スプレイス系、自動減圧系）	R/B	○	—	×	×	×	×	×	—	—	
				R/B	○	—	×	×	×	×	×	—	—
					○	—	×	×	×	×	×	—	—
					○	—	×	×	×	×	×	—	—
					○	—	×	×	×	×	×	—	—
	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	R/B	○	—	×	×	×	×	×	—	—	
				○	—	×	×	×	×	×	—	—	
				○	—	×	×	×	×	×	—	—	
				○	—	×	×	×	×	×	—	—	
				○	—	×	×	×	×	×	—	—	
		屋外	○	—	○	×	×	×	×	×	—	・原子炉建物	
			R/B	○	—	×	×	×	×	×	×	—	—
		○		—	×	×	×	×	×	×	—	—	
		○		—	×	×	×	×	×	×	—	—	
		○		—	×	×	×	×	×	×	—	—	
		○		—	×	×	×	×	×	×	—	—	
		○		—	×	×	×	×	×	×	—	—	
		○		—	×	×	×	×	×	×	—	—	
		○		—	×	×	×	×	×	×	—	—	
		R/B、T/B	○	—	×	×	×	×	×	×	—	—	
屋外	○		—	×	○	×	×	×	×	—	・非常用ガス処理系用排気筒		

注記*1 R/B：原子炉建物，C/B：制御室建物，T/B：タービン建物，Rw/B：廃棄物処理建物，屋内：R/B，C/B，T/B，Rw/B内，屋外：R/B，C/B，T/B，Rw/B外

○：Yes，×：No，－：該当せず

表 1－1 外部事象防護対象施設に係る降下火砕物の影響を考慮する施設の選定結果（4／11）

分類	機能	構築物，系統又は機器	設置場所*1	Step1		Step2					Step3	降下火砕物の影響を考慮する施設
				外部事象防護対象施設	降下火砕物に対して機能維持する，又は降下火砕物による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	①建物等	②屋外に設置されている施設	③降下火砕物を含む海水の流路となる施設	④降下火砕物を含む空気の流路となる施設	⑤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	外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
MS-1	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	屋外	○	－	×	○	×	×	×	－	・空調換気系用排気筒
			R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
	工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系 原子炉保護系 工学的安全施設作動系	R/B，C/B，T/B，Rw/B	○	－	×	×	×	×	○	－	・計測制御系統施設（安全保護系盤）
			R/B	○	－	×	×	×	×	○	－	
	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）	R/B	○	－	×	×	×	○	○	－	・非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関 ・非常用電源設備（ロードセンタ）
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
			R/B，T/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			屋外	○	－	×	○	×	○	×	－	・非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ
			R/B	○	－	×	×	×	○	×	－	・換気空調設備（原子炉建物付属棟空調換気系）
			R/B	○	－	×	×	×	×	×	○*2	・非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口，排気消音器及び排気管*2
			R/B	○	－	×	×	×	○	×	－	・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
			R/B，T/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			屋外	○	－	×	○	×	○	×	－	・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ

注記*1 R/B：原子炉建物，C/B：制御室建物，T/B：タービン建物，Rw/B：廃棄物処理建物，屋内：R/B，C/B，T/B，Rw/B内，屋外：R/B，C/B，T/B，Rw/B外

*2 クラス1施設である非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関に波及的影響を及ぼし得る施設として，非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口，排気消音器及び排気管を抽出

表 1－1 外部事象防護対象施設に係る降下火砕物の影響を考慮する施設の選定結果（5／1 1）

○：Yes，×：No，－：該当せず

分類	機能	構築物、系統又は機器	設置場所*1	Step1		Step2					Step3	降下火砕物の影響を考慮する施設
				外部事象防護対象施設	降下火砕物に対して機能維持する、又は降下火砕物による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	①建物等	②屋外に設置されている施設	③降下火砕物を含む海水の流路となる施設	④降下火砕物を含む空気の流れとなる施設	⑤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	外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
MS-1	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）	R/B	○	－	×	×	×	○	×	－	・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
				○	－	×	×	×	×	×	－	－
			R/B、T/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			屋外	○	－	×	○	×	○	×	－	・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ
			R/B	○	－	×	×	×	○	×	－	・換気空調設備（原子炉建物付属棟空調換気系）
			R/B	○	－	×	×	×	×	×	○*2	・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器及び排気管*2
			C/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			C/B、Rw/B	○	－	×	×	×	○	×	－	・換気空調設備（中央制御室空調換気系）
			R/B、Rw/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			屋外	○	－	×	○	○	○	×	－	・原子炉補機海水ポンプ ・原子炉補機海水ストレーナ（下流設備含む）
			R/B、T/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			屋外	○	－	×	○	○	○	×	－	・高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ ・高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ（下流設備含む）
			R/B、T/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			屋外	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			R/B、C/B、Rw/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			R/B、C/B、Rw/B	○	－	×	×	×	×	○	－	・非常用電源設備（計装用無停電交流電源装置）

注記*1 R/B：原子炉建物、C/B：制御室建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、屋内：R/B、C/B、T/B、Rw/B 内、屋外：R/B、C/B、T/B、Rw/B 外

*2 クラス 1 施設である高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関に波及的影響を及ぼし得る施設として、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器及び排気管を抽出

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る降下火砕物の影響を考慮する施設の選定結果（6／1 1）

○：Yes，×：No，－：該当せず

分類	機能	構築物、系統又は機器		設置場所*1	Step1		Step2					Step3	降下火砕物の影響を考慮する施設
					外部事象防護対象施設	降下火砕物に対して機能維持する、又は降下火砕物による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	①建物等	②屋外に設置されている施設	③降下火砕物を含む海水の流れとなる施設	④降下火砕物を含む空気の流路となる施設	⑤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	外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
PS-2	原子炉冷却材を内蔵する機能（ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。）	主蒸気系、原子炉冷却材浄化系（いずれも、格納容器隔離弁の外側のみ）	主蒸気系（格納容器隔離弁の外側）	R/B、T/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			原子炉浄化系（原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分）		○	－	×	×	×	×	×	－	－
			原子炉隔離時冷却システム蒸気供給ライン（原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分であって外側隔離弁下流からタービン止め弁まで）	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
	原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	放射性廃棄物処理施設（放射性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。）	排ガス処理系（活性炭式希ガスホールドアップ装置）	Rw/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）		○	－	×	×	×	×	×	－	－
			新燃料貯蔵庫「臨界を防止する機能」（新燃料貯蔵ラック）	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
	燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備	燃料取扱機		○	－	×	×	×	×	×	－	－
			原子炉ウエル	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			原子炉建物天井クレーン		○	－	×	×	×	×	×	－	－
	安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	逃がし安全弁（吹き止まり機能に関連する部分）	逃がし安全弁（吹き止まり機能に関連する部分）	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
MS-2	燃料プールの補給機能	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、ポンプミニマムフローライン配管・弁、サブプレッション・プールストレナ）	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
	放射性物質放出の防止機能	放射性気体廃棄物処理系の隔離弁、排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能以外）	排ガス処理系隔離弁	T/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能以外の部分）	屋外	○	－	×	○	×	○	×	－	・空調換気系用排気筒
			燃料プール冷却系の燃料プール入口逆止弁	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－

注記*1 R/B：原子炉建物，C/B：制御室建物，T/B：タービン建物，Rw/B：廃棄物処理建物，屋内：R/B，C/B，T/B，Rw/B内，屋外：R/B，C/B，T/B，Rw/B外

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る降下火砕物の影響を考慮する施設の選定結果（7 / 1 1）

○：Yes，×：No，－：該当せず

分類	機能	構築物、系統又は機器		設置場所*1	Step1		Step2					Step3	降下火砕物の影響を考慮する施設
					外部事象防護対象施設	降下火砕物に対して機能維持する、又は降下火砕物による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	①建物等	②屋外に設置されている施設	③降下火砕物を含む海水の流路となる施設	④降下火砕物を含む空気の流路となる施設	⑤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	外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
MS-2	放射性物質放出の防止機能	燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系	原子炉建物（原子炉建物原子炉棟（原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネルを含む。））	屋外	○	－	○	×	×	×	×	－	・原子炉建物
			非常用ガス処理系（排気ファン、フィルタ装置、原子炉建物原子炉棟吸込口からタービン建物壁面までの配管・弁、乾燥装置（乾燥機能部分））	R/B、T/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			非常用ガス処理系（タービン建物壁面から排気筒頂部までの配管）	屋外	○	－	×	○	×	○	×	－	・非常用ガス処理系用排気筒
			排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能）	屋外	○	－	×	○	×	○	×	－	・空調換気系用排気筒
	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、原子炉スクラム用電磁接触器の状態又は制御棒位置	R/B、C/B、Rw/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－
			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、格納容器エリア放射線量率、サブプレッション・プール水温		○	－	×	×	×	×	×	－	－
			「低圧停止への移行」 原子炉圧力、原子炉水位（広帯域） 「ドライウェルスプレイ」 原子炉水位（広帯域、燃料域）、 格納容器圧力 「サブプレッション・プール冷却」 原子炉水位（広帯域、燃料域）、 サブプレッション・プール水温 「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		○	－	×	×	×	×	×	－	－
	異常状態の緩和機能	BWR は対象外	－	－	－	－	×	×	×	×	×	－	－
	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）	中央制御室外原子炉停止系	R/B	○	－	×	×	×	×	×	－	－

注記*1 R/B：原子炉建物、C/B：制御室建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、屋内：R/B、C/B、T/B、Rw/B 内、屋外：R/B、C/B、T/B、Rw/B 外

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る降下火砕物の影響を考慮する施設の選定結果（8／1 1）

○：Yes, ×：No, －：該当せず

分類	機能	構築物、系統又は機器		設置場所 ^{※1}	Step1		Step2					Step3	降下火砕物の影響を考慮する施設	
					外部事象防護対象施設	降下火砕物に対して機能維持する、又は降下火砕物による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	①建物等	②屋外に設置されている施設	③降下火砕物を含む海水の流れとなる施設	④降下火砕物を含む空気の流れとなる施設	⑤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	外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設		
PS-3	原子炉冷却材保持機能（PS-1、PS-2以外のもの）	計装配管、試験採取管	原子炉冷却材圧力バウンダリから除外される小口径配管・弁	計装配管・弁 試験採取系配管・弁 ドレン配管・弁 ベント配管・弁	屋内	×	○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
						×	○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
						×	○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
						×	○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	×	－
	原子炉冷却材の循環機能	原子炉冷却材再循環系	原子炉再循環ポンプ 配管・弁 ライザ管（炉内） ジェットポンプ	屋内	×	○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－
					×	○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	×	－	
					×	○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	×	－	
					×	○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	×	－	
	放射性物質の貯蔵機能	サブプレッション・プール排水系、復水貯蔵タンク、放射性廃棄物処理施設（放射能インベントリの小さいもの）	復水貯蔵タンク 液体廃棄物処理系（タンク） 固体廃棄物処理系（タンク、固体廃棄物貯蔵所（ドラム缶））	屋外	×	○ （適切な除灰対応により、機能維持可能）	－	－	－	－	－	－	×	－
					×	○ （適切な除灰対応により、機能維持可能）	－	－	－	－	－	×	－	
					×	○ （適切な除灰対応により、機能維持可能）	－	－	－	－	－	×	－	
					×	○ （適切な除灰対応により、機能維持可能）	－	－	－	－	－	×	－	
	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（復水系を含む。）、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	発電機及びその励磁装置 軸密封装置 発電機水素ガス冷却装置 固定子冷却装置 励磁電源系 蒸気タービン（主タービン、主要弁、配管） 主蒸気系（主蒸気/駆動源） タービン制御系 タービングランド蒸気系 タービン潤滑油系（配管・弁等） 抽気系（配管・弁等） タービンヒータベント系（配管・弁） タービンヒータドレン系（配管・弁等） 補助蒸気系 復水系（復水器、復水ポンプ、配管・弁） 抽出空気系（配管・弁） 給水系（電源駆動給水ポンプ、タービン駆動給水ポンプ、給水加熱器、配管・弁）	屋内	×	○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－
					×	○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－
					×	○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－
					×	○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－
×					○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－	
×					○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－	
×					○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－	
×					○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－	
×					○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－	
×					○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－	
×					○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－	
×					○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－	
×					○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－	
×					○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－	
×					○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－	
×					○ （屋内設備のため、影響なし）	－	－	－	－	－	－	×	－	

注記※1 R/B：原子炉建物、C/B：制御室建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、屋内：R/B、C/B、T/B、Rw/B内、屋外：R/B、C/B、T/B、Rw/B外

表 1－1 外部事象防護対象施設に係る降下火砕物の影響を考慮する施設の選定結果（9／1 1）

○：Yes，×：No，－：該当せず

分類	機能	構築物，系統又は機器		設置場所*1	Step1		Step2					Step3	降下火砕物の影響を考慮する施設	
					外部事象防護対象施設	降下火砕物に対して機能維持する，又は降下火砕物による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	①建物等	②屋外に設置されている施設	③降下火砕物を含む海水の流れとなる施設	④降下火砕物を含む空気の流れとなる施設	⑤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	外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設		
PS-3	電源供給機能（非常用を除く。）	タービン，発電機及びその励磁装置，復水系（復水器を含む。），給水系，循環水系，送電線，変圧器，開閉所	循環水系（循環水ポンプ，配管・弁）	屋外	×	○ （補修を実施）	－	－	－	－	－	×	－	
			取水設備（屋外トレンチ含む）	屋外	×	（閉塞等に対して，影響のないことを確認）	－	－	－	－	－	○	・取水設備（除じん機）	
			常用所内電源系（発電機又は外部電源から所内負荷までの配電設備及び電路（MS-1 関連以外））	屋内	×	○ （屋内設備のため，影響なし）	－	－	－	－	－	×	－	
			直流電源系（蓄電池，蓄電池から常用負荷までの配電設備及び電路（MS-1 関連以外）），充電器		×	○ （屋内設備のため，影響なし）	－	－	－	－	－	×	－	
			計装制御電源系（電源装置から常用計測制御装置までの配電設備及び電路（MS-1 関連以外））		×	○ （屋内設備のため，影響なし）	－	－	－	－	－	×	－	
			送電線	屋外	×	○ （代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	×	－	
			変圧器（所内変圧器，起動変圧器，予備変圧器，電路）		×	○ （代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	×	－	
			変圧器		油劣化防止装置	×	○ （代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	×	－
					冷却装置	×	○ （代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	×	－
			開閉所（母線，遮断器，断路器，電路）		×	○ （代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	×	－	
			プラント計測・制御機能（安全保護機能を除く。）	原子炉制御系（制御棒価値ミニマイザを含む。），原子炉核計装，原子炉プラントプロセス計装	原子炉制御系（制御棒価値ミニマイザを含む）	屋内	×	○ （屋内設備のため，影響なし）	－	－	－	－	－	×
	原子炉核計装の一部	×			○ （屋内設備のため，影響なし）		－	－	－	－	－	×	－	
	原子炉プラントプロセス計装の一部	×			○ （屋内設備のため，影響なし）		－	－	－	－	－	×	－	
	プラント運転補助機能	所内ボイラ，計装用圧縮空気系	所内ボイラ設備（所内ボイラ，給水タンク，給水ポンプ，配管・弁）	屋外	×	○ （補修を実施）	－	－	－	－	－	×	－	
			油系統（重油サービスタック，重油ポンプ，配管・弁）	屋外	×	○ （補修を実施）	－	－	－	－	－	×	－	
			所内蒸気系（配管・弁）	屋内，屋外	×	○ （補修を実施）	－	－	－	－	－	×	－	
			計装用空気系（空気圧縮機，配管・弁，中間冷却器，後部冷却器，気水分離器，空気貯槽）	屋内	×	○ （屋内設備のため，影響なし）	－	－	－	－	－	×	－	
			原子炉補機冷却系（MS-1 関連以外）（配管・弁）	屋内	×	○ （屋内設備のため，影響なし）	－	－	－	－	－	×	－	
			タービン補機冷却系（ポンプ，熱交換器，配管・弁，サージタンク）	屋内	×	○ （屋内設備のため，影響なし）	－	－	－	－	－	×	－	
			タービン補機海水系（ポンプ，配管・弁，ストレナー）	屋外	×	○ （補修を実施）	－	－	－	－	－	×	－	
			復水輸送系（ポンプ，配管・弁）	屋内	×	○ （屋内設備のため，影響なし）	－	－	－	－	－	×	－	

注記*1 R/B：原子炉建物，C/B：制御室建物，T/B：タービン建物，Rw/B：廃棄物処理建物，屋内：R/B，C/B，T/B，Rw/B 内，屋外：R/B，C/B，T/B，Rw/B 外

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る降下火砕物の影響を考慮する施設の選定結果（10／11）

○：Yes，×：No，－：該当せず

分類	機能	構築物，系統又は機器		設置場所 ^{※1}	Step1		Step2					Step3	降下火砕物の影響を考慮する施設
					外部事象防護対象施設	降下火砕物に対して機能維持する，又は降下火砕物による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	①建物等	②屋外に設置されている施設	③降下火砕物を含む海水の流路となる施設	④降下火砕物を含む空気の流路となる施設	⑤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	外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
PS-3	プラント運転補助機能	所内ボイラ，計装用圧縮空気系	復水貯蔵タンク	屋外	×	○ (適切な除灰対応により，機能維持可能)	－	－	－	－	－	×	－
	核分裂生成物の原子炉冷却材中への放散防止機能	燃料被覆管	燃料被覆管，上／下端柱，タイロッド	屋内	×	○ (屋内設備のため，影響なし)	－	－	－	－	－	×	－
	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	原子炉浄化系（再生熱交換器，非再生熱交換器，ポンプ，ろ過脱塩装置，配管・弁） 復水浄化系（復水ろ過装置，復水脱塩装置，配管・弁）	屋内	×	○ (屋内設備のため，影響なし)	－	－	－	－	－	×	－
MS-3	原子炉圧力の上昇の緩和機能	逃がし安全弁（逃がし弁機能），タービンバイパス弁	逃がし安全弁（逃がし弁機能）		○	－	○	×	×	×	×	－	－
			原子炉圧力容器から逃がし安全弁までの主蒸気配管	屋内	×	○ (屋内設備のため，影響なし)	－	－	－	－	－	×	－
			逃がし安全弁アキュムレータ，逃がし安全弁アキュムレータから逃がし安全弁までの配管・弁		×	○ (屋内設備のため，影響なし)	－	－	－	－	－	×	－
			タービン・バイパス弁		○	－	○	×	×	×	×	－	－
			原子炉圧力容器からタービン・バイパス弁までの主蒸気配管		×	○ (屋内設備のため，影響なし)	－	－	－	－	－	×	－
			タービン・バイパス弁アキュムレータ，タービン・バイパス弁アキュムレータからタービン・バイパス弁までの配管・弁		×	○ (屋内設備のため，影響なし)	－	－	－	－	－	×	－
	出力上昇の抑制機能	原子炉冷却材再循環系（再循環ポンプトリップ機能），制御棒引抜監視装置	原子炉再循環系（再循環ポンプトリップ機能）	屋内	○	－	○	×	×	×	×	－	－
			制御棒引抜監視装置		○	－	○	×	×	×	×	－	－
	原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系，原子炉隔離時冷却系	制御棒駆動水圧系（ポンプ，復水貯蔵タンクから制御棒駆動機構までの配管・弁，ポンプサクションフィルタ，ポンプミニマムフローライン配管・弁）	屋外（ダクト）	×	○ (屋内，ダクト内設備のため，影響なし)	－	－	－	－	－	×	－
			復水貯蔵タンク	屋外	×	○ (適切な除灰対応により，機能維持可能)	－	－	－	－	－	×	－
			原子炉隔離時冷却系（ポンプ，タービン，サブレーション・プール，サブレーション・プールから注水先までの配管・弁，ポンプミニマムフローライン配管・弁）	屋内	×	○ (屋内設備のため，影響なし)	－	－	－	－	－	×	－
			タービンへの蒸気供給配管・弁		×	○ (屋内設備のため，影響なし)	－	－	－	－	－	×	－
			潤滑油冷却器及びその冷却器までの冷却水供給配管	屋内	×	○ (屋内設備のため，影響なし)	－	－	－	－	－	×	－

注記*1 R/B：原子炉建物，C/B：制御室建物，T/B：タービン建物，Rw/B：廃棄物処理建物，屋内：R/B，C/B，T/B，Rw/B内，屋外：R/B，C/B，T/B，Rw/B外

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る降下火砕物の影響を考慮する施設の選定結果（1 1 / 1 1）

○：Yes, ×：No, —：該当せず

分類	機能	構築物、系統又は機器		設置場所 ^{*1}	Step1		Step2					Step3	降下火砕物の影響を考慮する施設
					外部事象防護対象施設	降下火砕物に対して機能維持する、又は降下火砕物による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	①建物等	②屋外に設置されている施設	③降下火砕物を含む海水の流れとなる施設	④降下火砕物を含む空気の流れとなる施設	⑤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	外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
MS-3	緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所、緊急時対策所、情報収集設備、通信連絡設備、資料及び器材、遮蔽設備 試験採取系、通信連絡設備、放射線監視設備、事故時監視計器の一部、消火系、安全避難通路、非常用照明		屋外	×	○ (設計荷重等に対して影響ないことを確認)	—	—	—	—	—	×	—
				屋内	×	○ (屋内設備のため、影響なし)	—	—	—	—	—	×	—
				屋内、屋外	×	○ (代替設備（衛星系等）により機能維持可能)	—	—	—	—	—	×	—
				屋外	○	—	×	○	×	○	×	×	・排気筒モニタ
				屋外	×	○ (代替設備（可搬型モニタリング設備）により機能維持可能)	—	—	—	—	—	×	—
				屋内、屋外	×	○ (補修を実施)	—	—	—	—	—	×	—
				屋内、屋外	×	○ (代替設備（消防車等）により機能維持可能)	—	—	—	—	—	×	—
					×	○ (代替設備（消防車等）により機能維持可能)	—	—	—	—	—	×	—
					×	○ (屋内設備のため、影響なし)	—	—	—	—	—	×	—
				屋内	×	○ (屋内設備のため、影響なし)	—	—	—	—	—	×	—
					×	○ (屋内設備のため、影響なし)	—	—	—	—	—	×	—
					×	○ (屋内設備のため、影響なし)	—	—	—	—	—	×	—
					×	○ (屋内設備のため、影響なし)	—	—	—	—	—	×	—
					×	○ (屋内設備のため、影響なし)	—	—	—	—	—	×	—
					×	○ (屋内設備のため、影響なし)	—	—	—	—	—	×	—
外部事象防護対象施設（建物等を除く。）を内包する建物等		制御室建物		屋外	○	—	○	×	×	×	×	—	・制御室建物
		タービン建物		屋外	○	—	○	×	×	×	×	—	・タービン建物
		廃棄物処理建物		屋外	○	—	○	×	×	×	×	—	・廃棄物処理建物
		排気筒モニタ室		屋外	○	—	○	×	×	×	×	—	・排気筒モニタ室
		ディーゼル燃料貯蔵タンク室、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽		屋外	○	—	○	×	×	×	×	—	・ディーゼル燃料貯蔵タンク室 ・B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽

注記*1 R/B：原子炉建物、C/B：制御室建物、T/B：タービン建物、Rw/B：廃棄物処理建物、屋内：R/B、C/B、T/B、Rw/B内、屋外：R/B、C/B、T/B、Rw/B外

表 1-2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定結果

	設備区分	評価対象施設等
外部事象防護対象施設	建物等	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建物 ・タービン建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・排気筒モニタ室 ・ディーゼル燃料貯蔵タンク室, B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽
	屋外に設置されている施設	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機海水ポンプ, 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ ・原子炉補機海水ストレーナ, 高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ ・ディーゼル燃料移送ポンプ (A-非常用ディーゼル発電設備 (燃料移送系), 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 (燃料移送系)) ・排気筒 (空調換気系用, 非常用ガス処理系用) ・排気筒モニタ
	降下火砕物を含む海水の流路となる施設	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機海水ポンプ, 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ ・原子炉補機海水ストレーナ, 高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ (下流設備含む)
	降下火砕物を含む空気の流路となる施設	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機海水ポンプ, 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関 ・換気空調設備 (中央制御室空調換気系, 原子炉建物附属棟空調換気系) ・排気筒 (空調換気系用, 非常用ガス処理系用) ・ディーゼル燃料移送ポンプ (非常用ディーゼル発電設備 (燃料移送系), 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 (燃料移送系)) ・排気筒モニタ
	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"> ・計測制御系統施設 (安全保護系盤) ・非常用電源設備 (計装用無停電交流電源装置及びロードセンタ)
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設		<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口 ・非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器及び排気管 ・取水設備 (除じん機)
火山防護対策設備		<ul style="list-style-type: none"> ・取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 ・ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備
重大事故等対処設備		<ul style="list-style-type: none"> ・屋外に設置している重大事故対処設備

2. 降下火砕物の凝集による閉塞の影響

2. 降下火砕物の凝集による閉塞の影響

2.1 概要

降下火砕物は、水分を含んで湿ることによって粒子が集合し凝集する場合がある。そのため、降下火砕物の凝集によって閉塞への影響が発生しないことを以下のとおり確認した。なお、想定する降下火砕物の最大粒径については、別紙に示すとおり 4.0mm とする。

2.2 水循環系の閉塞への影響

降下火砕物は水中等過剰な水分がある場合は凝集しないため、閉塞への影響はない。

なお、水循環系における狭隘部は(1)、(2)及び(3)に示すとおり、降下火砕物の粒径に対し十分な流水部及び流速があり、仮に凝集を考慮しても閉塞することはない。

(1) 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの狭隘部

a. 流水部の閉塞

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（以下「海水ポンプ」という。）の流水部の最も狭い箇所は高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ流水部の約 30 mm であり、想定する降下火砕物の最大粒径 4.0 mm より大きいため、閉塞には至らない。原子炉補機海水ポンプの概略図(狭隘部)を図 2-1、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの概略図(狭隘部)を図 2-2 に示す。

b. 軸受部の閉塞

海水ポンプの軸受の隙間は、約 1.38mm～1.58 mm の許容値で管理されている。一部の降下火砕物は、軸受の隙間より軸受内部に入り込む可能性があるが、異物逃がし溝(約 3.5mm～5.5 mm 程度)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。原子炉補機海水ポンプの軸受拡大図(異物逃がし溝)を図 2-1、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの軸受拡大図(異物逃がし溝)を図 2-2 に示す。

・原子炉補機海水ポンプ

軸受部（異物逃がし溝）：

軸受①：3.5mm

軸受②，③，⑤：4.5mm

軸受④：5.5mm

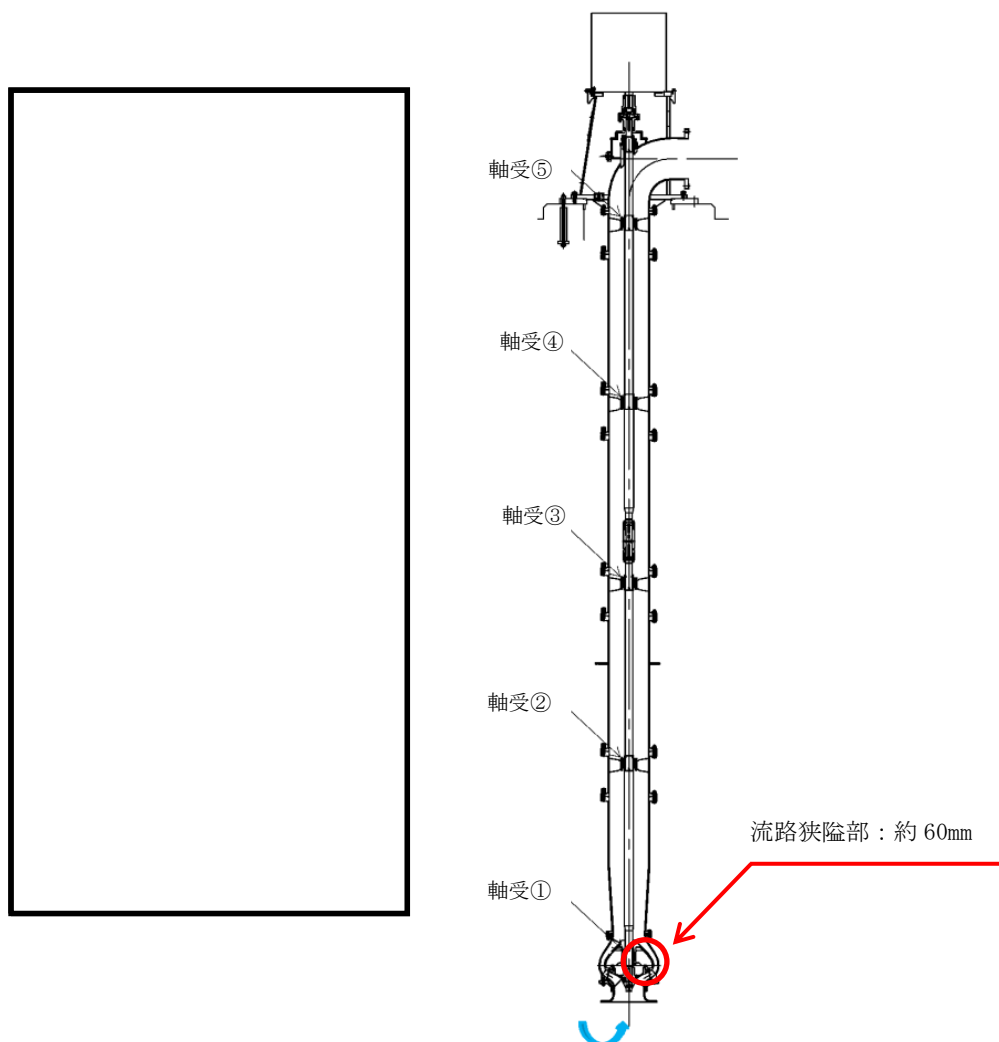


図 2-1 原子炉補機海水ポンプの概略図（狭隘部）及び軸受拡大図（異物逃がし溝）

- ・ 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

軸受部（異物逃がし溝）：

軸受①～⑤：3.5mm

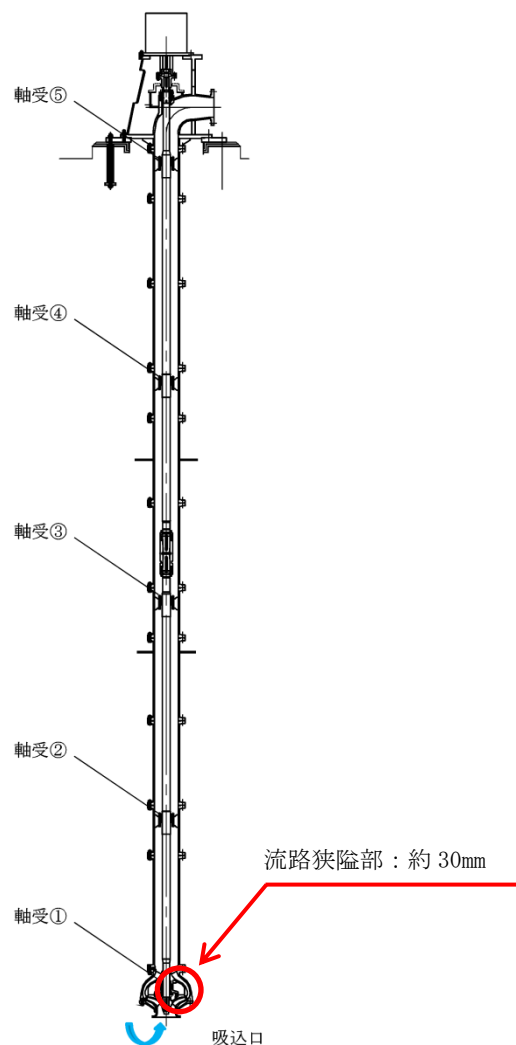


図 2-2 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの概略図（狭隘部）及び
軸受拡大図（異物逃がし溝）

(2) 原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの狭隘部

原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ（以下「海水ストレーナ」という。）のフィルタ穴径は7 mmである。想定する降下火砕物の粒径は最大で4.0 mmであり、粘性を生じさせる粘土鉱物等は含まれていないこと、また、フィルタが閉塞することがないように差圧管理されており、一定の差圧（原子炉補機海水系：0.13MPa、高圧炉心スプレイ補機海水系：0.05MPa）になると切り替えて清掃を行うことから、海水ストレーナが閉塞することはない。

海水ストレーナより下流設備の熱交換器の伝熱管の内径（原子炉補機冷却系約20mm、高圧炉心スプレイ補機冷却系約17mm）は、想定する降下火砕物の最大粒径4.0 mmより大きいため、閉塞することはない。

また 原子炉補機海水ポンプの定格流量（2台運転時）は「約4080m³/h」、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの定格流量は「約336m³/h」と大きいことから、降下火砕物がストレーナ内で堆積し閉塞する可能性は低い。

(3) 取水設備（除じん機）の狭隘部

取水設備（除じん機）の目開きの間隔は10 mm（ロータリースクリーン）であり、想定する降下火砕物の最大粒径4.0 mmより大きく、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、取水設備（除じん機）が閉塞することはない。

2.3 換気系、電気系及び計測制御系の機械的影響(閉塞)

(1) 原子炉補機海水ポンプ（原動機）

a. 原動機への冷却空気侵入による地絡・短絡

原動機は図 2-3 に示すとおり原動機本体を全閉構造とし、空気冷却器を原動機側面に設置して外気を直接原動機内部に取り込まない全閉外扇屋外形の冷却方式であり、降下火砕物が原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 2-3 に示すとおり、冷却管の内径（約 22.2 mm）は想定する降下火砕物の最大粒径 4.0mm より大きいため、降下火砕物が侵入したとしても冷却管が閉塞することはない。機能は損なうことはない。

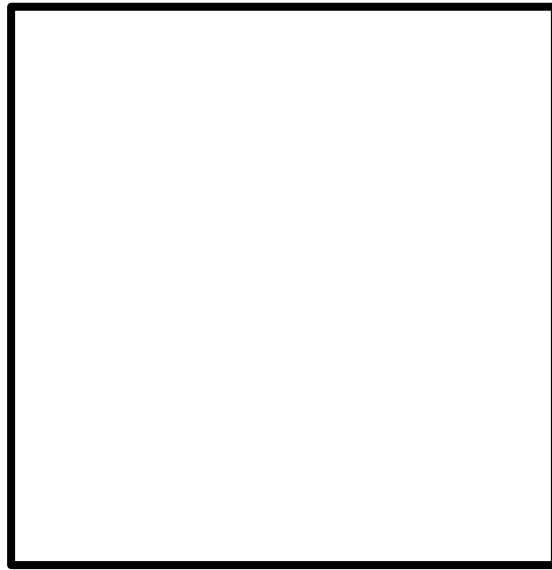


図 2-3 原子炉補機海水ポンプ原動機冷却方式

(2) 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（原動機）

a. 原動機冷却空気への侵入による地絡・短絡

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ原動機は図 2-4 に示すとおり原動機本体を全閉構造とし、原動機上端ファン（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原動機内部に取り込まない全閉外扇屋外形であり、降下火砕物が原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 2-4 に示すとおり原動機上端ファン（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 31mm）は想定する降下火砕物の最大粒径 4.0mm より大きいため、冷却流路が閉塞することはない。機能は損なうことはない。

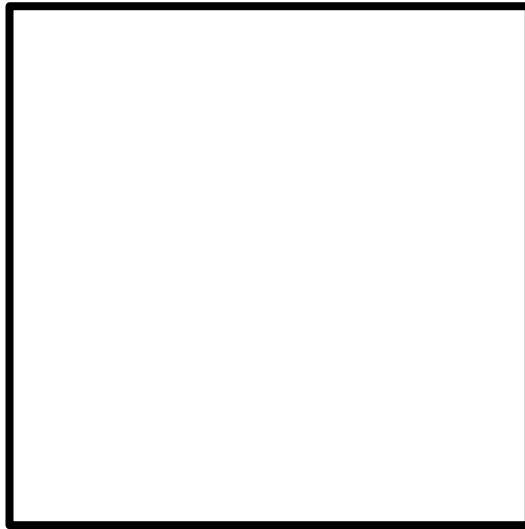


図 2-4 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ原動機冷却方式

(3) 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ

a. 軸貫通部の閉塞

ポンプ本体への異物混入経路としては軸貫通部があるが、当該部はメカニカルシールを用いて潤滑剤や内部流体の漏えいのないよう適切に管理されていることから、降下火砕物がポンプ本体へ侵入することはない、閉塞することはない。ディーゼル燃料移送ポンプの概略構造図を図 2-5 に示す。

b. 原動機の閉塞

動力源となる原動機については全閉外扇屋外形であり、浮遊中の降下火砕物が冷却ファン側から吸入された場合でも、原動機内部に降下火砕物が侵入することはない。ディーゼル燃料移送ポンプ原動機の概略構造図を図 2-5 に示す。

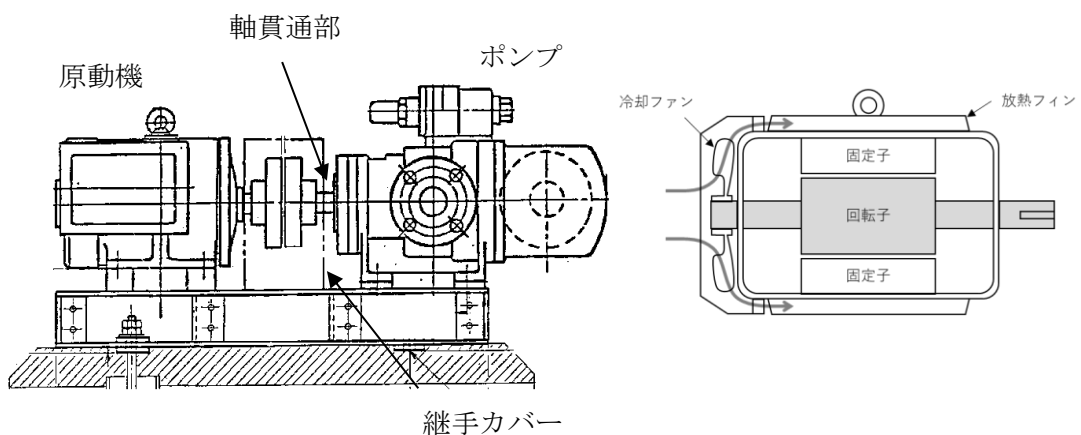


図 2-5 ディーゼル燃料移送ポンプ及び原動機の概略構造図

(4) 空調換気設備

空気中の水分が混ざり凝集する可能性が考えられるが、フィルタを通過し侵入する降下火砕物はごく一部の微細な粒子に限られること、また、フィルタやダクト等の空気の流路には細管等の狭隘部がないことから閉塞することはない。

(5) 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関（ディーゼル機関給気口、排気消音器及び排気管含む）

a. ディーゼル発電設備（機関）への影響評価

ディーゼル機関の吸入空気は図 2-6 のとおり、下に向いた外気取入口を介して吸い込む流れとなっており、降下火砕物が侵入しにくい構造である。

機関給気系の給気消音器にはフィルタ（粒径 $1 \sim 5 \mu\text{m}$ 以上の降下火砕物は 80% 以上捕集）が設置されており、降下火砕物の侵入を防止している。



図 2-6 ディーゼル機関の給気空気の流れ

内部に侵入した降下火砕物は、空気中の水分が混ざり凝集する可能性が考えられるが、給気フィルタを通過し侵入する降下火砕物は一部の微細な粒子に限られること、また、運転時のディーゼル機関は吸入空気の温度（外気温度）より常に高い状態で運転するため、内部の空気は乾燥している。このため、ディーゼル機関の内部において、降下火砕物の凝集は発生せず、閉塞することはない。

なお、粒径が $1 \sim 5 \mu\text{m}$ 程度のものについては、図 2-7 に示すように過給機、空気冷却器（空気側）に侵入する可能性はあるが、機器の間隙は十分大きく閉塞に至らない。

また、機関シリンダ内に降下火砕物が侵入した場合、シリンダライナとピストンリング間隙（油膜厚さ相当：数 μm ～十数 μm ）と同程度のものは、当該間隙内への侵入が懸念されるが、主要な降下火砕物は砂と比較しても、破碎し易く^{*1}、硬度が低い^{*2}ことから、シリンダとピストン双方の往復（摺動）運動が繰り返されること

に、更に細かい粒子に破碎され、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ことから、閉塞することはない。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（30 μ m）を踏まえると、取り込んだ降下火砕物によって閉塞することで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、なおかつ少量であることから閉塞することはない。

注記*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，P38-47

*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]，P32-40

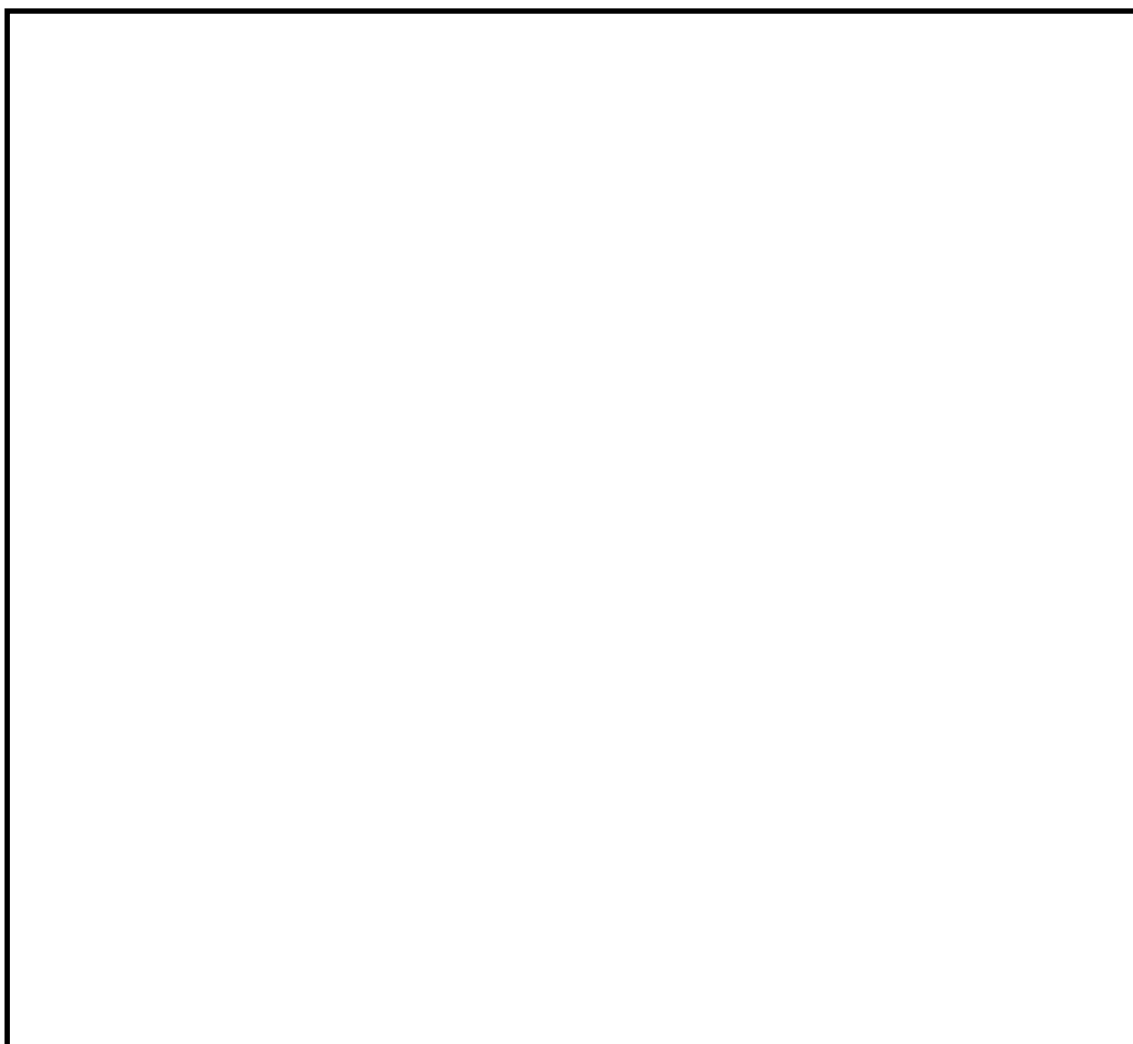


図 2-7 ディーゼル機関の吸入空気の流れ

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、仮に冷却器内が結露していた場合、伝熱管に降下火砕物が付着し冷却機能へ影響を及ぼす可能性があるが、空気冷却器出口温度は、吸入空気の温度（外気温度）より常に高い状態で運転されるため冷却器は結露することはない、降下火砕物の付着による冷却機能への影響はない。

c. 排気消音器及び排気管への影響評価

排気消音器及び排気管は図 2-8 に示すとおり、横方向を向い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、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 2-8 ディーゼル発電機排気消音器及び排気管

(6) 排気筒（空調換気系用，非常用ガス処理系用）

空調換気系用排気筒については、排気速度が降下火砕物の降下速度よりも大きく、降下火砕物が排気筒へ侵入しないことから、排気筒が閉塞することはない。

非常用ガス処理系用排気筒については、屋外に開口しているが、開口部は水平方向であり、降下火砕物が侵入しにくい構造となっている。なお、非常用ガス処理系運転中においては、非常用ガス処理系用排気筒から排気されていることから降下火砕物が侵入することはない。

排気筒（空調換気系用，非常用ガス処理系用）の概要図を図 2-9 に示す。



非常用ガス処理系用排気筒
端部状況

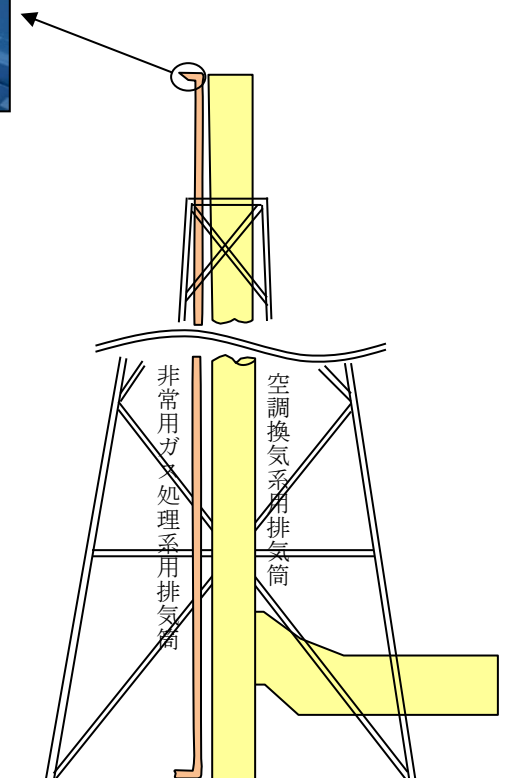


図 2-9 排気筒（空調換気系用，非常用ガス処理系用）概要図

(7) 排気筒モニタ

排気筒モニタについては、排気筒モニタのサンプリング配管の計測口は、図 2-10 に示すとおり下方から吸い込む構造であること、また空調換気系用排気筒内部に設置することにより、降下火砕物が侵入しないことから、機器の機能に影響を及ぼすことはない。

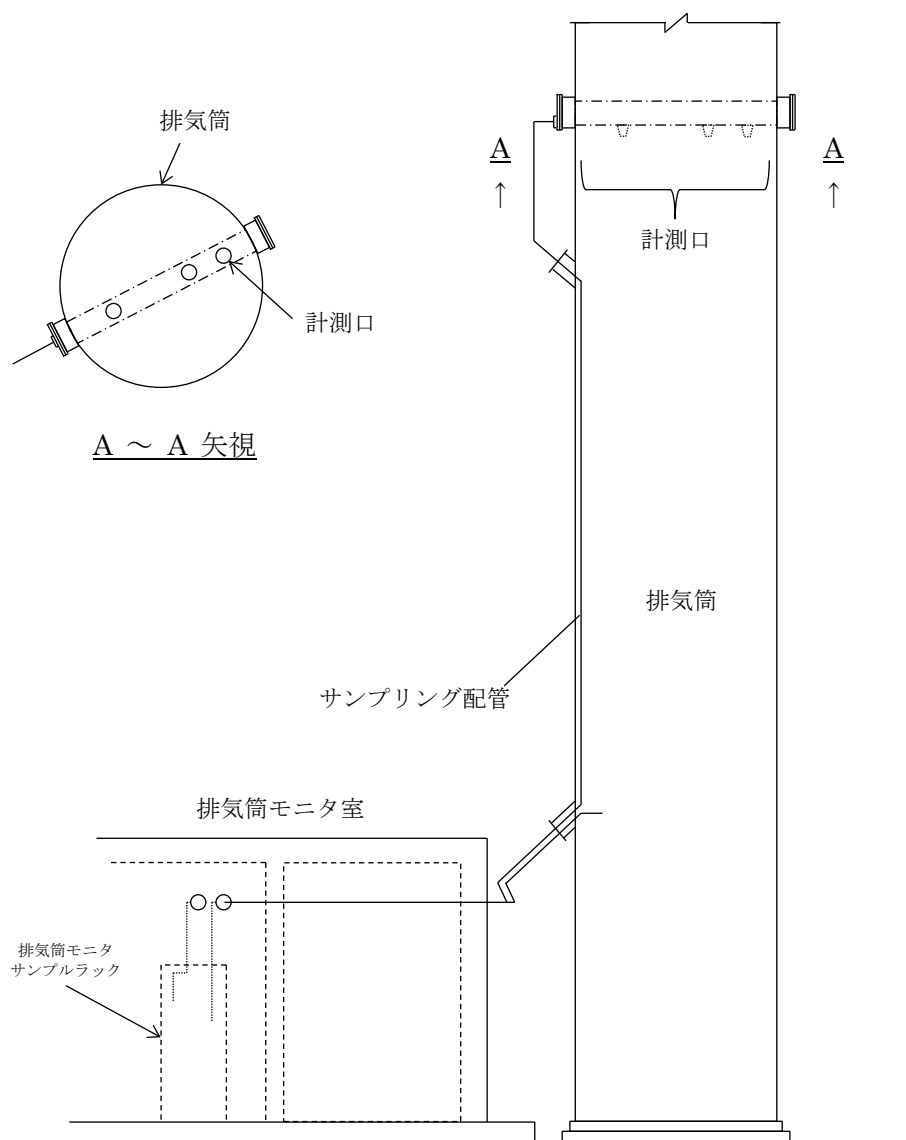


図 2-10 排気筒モニタ概要図

降下火砕物の最大粒径の設定

降下火砕物の最大粒径については、敷地内で降下火砕物が確認されていないことから、既往の文献に基づいて設定した。なお、設定した粒径を超える降下火砕物については、含まれる割合が1～2%程度と少量であること、仮に混入したとしても砂より硬度が低くもろいことから碎けて施設等に影響を与えることはない。

1. 設定方法

鈴木ほか(1973)*によると、北海道樽前山の降下火砕物の噴出源から距離ごとの粒径分布曲線が示されており、これに基づき粒径を設定する。

2. 設定結果

三瓶山から敷地までの距離は55km、大山から敷地までの距離は53kmであることから、鈴木ほか(1973)*に示される図1の噴出源から58kmの位置における粒径分布曲線から、以下のように設定した。

- ・粒径：4.0mm以下

Table 1. Size composition of the Ta-b₂ fall unit along the distribution axis.

Locality	Distance from the source (km)	Modian (Md, mm)	Sorting coefficient ($S_o = \sqrt{Q_3/Q_1}$)
0	8.0	14	2.0
I	15.9	10	2.6
II	21.0	7.0	2.3
III	28.2	3.8	2.3
IV	39.8	1.8	2.0
V	58.4	0.82	1.4
VI	81.9	0.66	1.3
VII	141	0.37	1.2
VIII	156	0.32	1.3

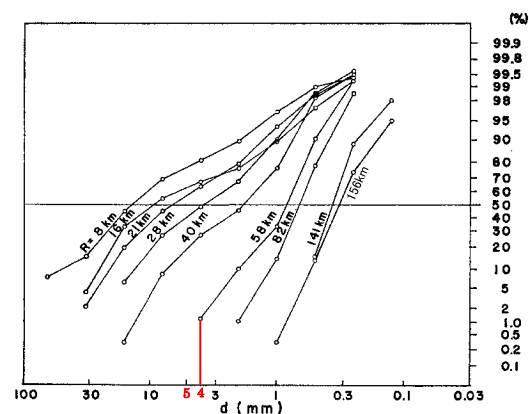


図1 降下火砕物の粒径の設定（鈴木ほか(1973)*より引用・加筆）

注記*：鈴木建夫・勝井義雄・中村忠寿(1973)：樽前降下軽石堆積物 Ta-b 層の粒度組成，火山 第2集 第18巻 第2号より

3. 降下火碎物の影響を考慮する施設の影響評価

3. 降下火砕物の影響を考慮する施設の影響評価

3.1 概要

本資料は、VI-1-1-3-4-2「降下火砕物の影響を考慮する施設の選定」及びVI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」に示す降下火砕物の影響を考慮する施設について、影響因子を考慮した施設分類ごとに、影響評価結果を示すものである。

3.2 影響因子を考慮した施設分類

影響因子を考慮した施設分類を(1)～(8)に示す。降下火砕物の影響を考慮する施設(屋外の重大事故等対処設備及び間接的影響を考慮する施設を除く。)と影響因子の組合せ及び評価結果を表3-1及び別紙-1～別紙-11に示す。また、間接的影響の評価結果を別紙-12に示す。

(1) 構造物への荷重を考慮する施設

- a. 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ
- b. 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口
- c. 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器及び排気管
- d. 原子炉建物
- e. タービン建物
- f. 制御室建物
- g. 廃棄物処理建物
- h. 排気筒モニタ室
- i. ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽
- j. 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備
- k. ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備

これらの施設に対する構造物への荷重に対する評価については、VI-3「強度に関する説明書」のうちVI-3-別添2「火山への配慮が必要な施設の強度計算書」に示す。

なお、非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器及び排気管は、降下火砕物が堆積しにくい構造とすることで、荷重の影響を受けにくい設計とすることから強度評価は行わない。

(2) 水循環系の閉塞を考慮する施設

- a. 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ
- b. 原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ(下流設備含む)
- c. 取水設備(除じん機)

(3) 換気系、電気系及び計測制御系における閉塞を考慮する施設

- a. 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ
- b. 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関

- c. 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ及び高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ
 - d. 換気空調設備（中央制御室空調換気系，原子炉建物附属棟空調換気系）（外気取入口）
 - e. 排気筒（空調換気系用，非常用ガス処理系用）
 - f. 排気筒モニタ
- (4) 水循環系，換気系，電気系及び計測制御系における摩耗を考慮する施設
- a. 原子炉補機海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機海水ポンプ
 - b. 原子炉補機海水ストレーナ及び高压炉心スプレイ補機海水ストレーナ（下流設備含む）
 - c. 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関
 - d. 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ及び高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ
 - e. 換気空調設備（中央制御室空調換気系，原子炉建物附属棟空調換気系）（外気取入口）
 - f. 取水設備（除じん機）
- (5) 構造物，水循環系，換気系，電気系及び計測制御系における腐食を考慮する施設
- a. 原子炉補機海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機海水ポンプ
 - b. 原子炉補機海水ストレーナ及び高压炉心スプレイ補機海水ストレーナ（下流設備含む）
 - c. 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関
 - d. 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ及び高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ
 - e. 換気空調設備（中央制御室空調換気系，原子炉建物附属棟空調換気系）（外気取入口）
 - f. 計測制御系統施設（安全保護系盤）及び非常用電源設備（計装用無停電交流電源装置及びロードセンタ）
 - g. 排気筒（空調換気系用，非常用ガス処理系用）
 - h. 排気筒モニタ
 - i. 原子炉建物
 - j. 制御室建物
 - k. タービン建物
 - l. 廃棄物処理建物
 - m. 排気筒モニタ室
 - n. ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽
 - o. 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器及び排気管

- p. 取水設備（除じん機）
 - q. 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備
 - r. ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備
- (6) 発電所周辺の大気汚染を考慮する施設
- a. 換気空調設備（中央制御室空調換気系）
- (7) 絶縁低下を考慮する施設
- a. 計測制御系統施設（安全保護系盤）及び非常用電源設備（計装用無停電交流電源装置及びロードセンタ）
- (8) 間接的影響を考慮する施設
- a. 非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備
 - b. 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク
 - c. 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ

表3-1 降下火砕物の影響を考慮する施設（屋外の重大事故等対処設備及び間接的影響を考慮する施設を除く。）と影響因子の組合せ(1/2)

影響因子 評価対象施設等	構造物への 荷重	水循環系の 閉塞	換気系、電気系及び 計測制御系における 閉塞	水循環系、換気系、電気 系及び計測制御系におけ る摩耗	構造物、水循環系、 換気系、電気系及び 計測制御系における 腐食	発電所周辺の 大気汚染	絶縁低下
原子炉補機海水ポンプ、 高圧炉心スプレイ補機海水 ポンプ	●*	● (別紙-1)	● (別紙-1)	● (別紙-1)	● (別紙-1)	— (②)	— (②)
原子炉補機海水ストレーナ、 高圧炉心スプレイ補機海水 ストレーナ	— (①)	● (別紙-2)	— (②)	● (別紙-2)	● (別紙-2)	— (②)	— (②)
原子炉補機冷却系熱交換器、 高圧炉心スプレイ補機冷却 系熱交換器	— (①)	● (別紙-2)	— (②)	● (別紙-2)	● (別紙-2)	— (②)	— (②)
非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関、高圧炉心ス プレイ系ディーゼル発電設 備ディーゼル機関	●*	— (②)	● (別紙-3)	● (別紙-3)	● (別紙-3)	— (②)	— (②)
非常用ディーゼル発電設備ディ ーゼル燃料移送ポンプ、高圧炉 心スプレイ系ディーゼル発電設 備ディーゼル燃料移送ポンプ	— (①)	— (②)	● (別紙-4)	● (別紙-4)	● (別紙-4)	— (②)	— (②)
換気空調設備（中央制御室空 調換気系、原子炉建物付属棟 空調換気系）	— (①)	— (②)	● (別紙-5)	● (別紙-5)	● (別紙-5)	● (別紙-5)	— (②)

●：影響因子に対する個別評価を実施（（ ）内は評価結果を示す別紙番号）

個別評価を実施しない理由：①荷重の影響を受けにくい構造（屋内設備の場合含む。）

—：影響因子に対する個別評価不要

②影響因子と直接関連しない。

*：VI-3「強度に関する説明書」のうちVI-3-別添2「火山への配慮が必要な施設の強度計算書」に示す。

表3-1 降下火砕物の影響を考慮する施設（屋外の重大事故等対処設備及び間接的影響を考慮する施設を除く。）と影響因子の組合せ（2/2）

影響因子 評価対象施設等	構造物への 荷重	水循環系の 閉塞	換気系、電気系及び 計測制御系における 閉塞	水循環系、換気系、電気 系及び計測制御系におけ る摩耗	構造物、水循環系、 換気系、電気系及び 計測制御系における 腐食	発電所周辺 の大気汚染	絶縁低下
計測制御系統施設（安全保護 系盤）及び非常用電源設備 （計装用無停電交流電源装 置及びロードセンタ）	－ (①)	－ (②)	－ (②)	－ (②)	● (別紙－6)	－ (②)	● (別紙－6)
排気筒（空調換気系用、非常 用ガス処理系用）	－ (①)	－ (②)	● (別紙－7)	－ (②)	● (別紙－7)	－ (②)	－ (②)
排気筒モニタ	－ (①)	－ (②)	● (別紙－8)	－ (②)	● (別紙－8)	－ (②)	－ (②)
原子炉建物、制御室建物、タービ ン建物、廃棄物処理建物、排気筒 モニタ室、ディーゼル燃料貯蔵 タンク室、B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽	●* (別紙－3)	－ (②)	－ (②)	－ (②)	● (別紙－9)	－ (②)	－ (②)
取水槽循環水ポンプエリア 防護対策設備、ディーゼル燃 料移送ポンプ防護対策設備	●* (別紙－3)	－ (②)	－ (②)	－ (②)	● (別紙－11)	－ (②)	－ (②)
非常用ディーゼル発電設備ディ ーゼル機関及び高圧炉心スプレ イ系ディーゼル発電設備ディ ーゼル機関排気消音器、排気管	● (別紙－3)	－ (②)	－ (②)	－ (②)	● (別紙－3)	－ (②)	－ (②)
取水設備（除じん機）	－ (②)	● (別紙－10)	－ (②)	● (別紙－10)	● (別紙－10)	－ (②)	－ (②)

●：影響因子に対する個別評価を実施（（ ）内は評価結果を示す別紙番号）

－：影響因子に対する個別評価不要

*：VI-3「強度に関する説明書」のうちVI-3-別添2「火山への配慮が必要な施設の強度計算書」に示す。

個別評価を実施しない理由：①荷重の影響を受けにくい構造（屋内設備の場合含む。）

②影響因子と直接関連しない。

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプに係る影響評価

降下火砕物による原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（以下「海水ポンプ」という。）への影響について以下のとおり評価した。

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ポンプの健全性に影響がないことを評価する。

(2) 構造物への化学的影響（腐食）

降下火砕物の海水ポンプへの付着や堆積による化学的腐食により海水ポンプの機能へ影響がないことを評価する。

(3) 水循環系の閉塞

降下火砕物が混入した海水を海水ポンプにより取水した場合に、流水部、軸受部等が閉塞し、機器の機能に影響がないことを評価する。

(4) 水循環系の内部における摩耗

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に、摩耗による機器の機能に影響がないことを評価する。

(5) 水循環系の化学的影響（腐食）

降下火砕物が混入した海水を海水ポンプにて取水した場合に、内部構造物の化学的影響（腐食）により、機器の機能に影響がないことを評価する。

(6) 換気系、電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞）

降下火砕物の原動機冷却空気への侵入により、空気冷却器冷却管等への閉塞等、機器の機能に影響がないことを評価する。

(7) 換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）

降下火砕物の原動機冷却空気への侵入により、化学的影響（腐食）によって、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 : 56 cm

b. 密度 : 1.5 g/cm³ (湿潤状態)

(2) 積雪条件

a. 積雪量 : 35.0 cm (建築基準法の考え方を参考とし設計基準積雪深 (100cm) に係数 0.35 を考慮した値)

b. 単位荷重 : 堆積量 1 cm あたり 20 N/m² (松江市建築基準法施行細則に基づく積雪の単位荷重)

上記条件より降下火砕物及び積雪の重畳を考慮した評価荷重を「8938(N/m²)」として評価する。

3. 評価結果

(1) 構造物への静的負荷

評価内容については、VI-3-別添2「火山への配慮が必要な施設の強度計算書」に示す。

(2) 構造物への化学的影響（腐食）

海水ポンプは、外面の塗装を実施していることから、降下火砕物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

(3) 水循環系の閉塞

評価内容については、「2. 降下火砕物の凝縮による閉塞の影響」に示す。

(4) 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、硬度が低い^{*1}、^{*2}。これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって、海水系ポンプの機能が喪失した事例はなく、砂より硬度が低い降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。

注記*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, No3, P38-47

*2：恒松修二ほか(1976)：シラスを主原料とする結晶化ガラス，窯業協会誌，84[6]，P32-40

(5) 水循環系の化学的影響（腐食）

海水ポンプの接液部は、耐食性のあるステンレス製又は、ライニングや塗装を実施した炭素鋼であることから、降下火砕物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。なお、長期的な腐食の影響については、降灰後の点検において、必要に応じて補修作業を実施する。

(6) 換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞）

評価内容については、「2. 降下火砕物の凝縮による閉塞の影響」に示す。

(7) 換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）

海水ポンプ原動機は外気を直接原動機内部に取り込まない冷却方式であり、原動機内部に降下火砕物が侵入することはない。

また、屋外設備である海水ポンプ原動機については、外面の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。降下火砕物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。なお、長期的な腐食の影響については、降灰後の点検において、必要に応じて補修作業を実施する。

原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ（下流設備含む）に係る影響評価

降下火砕物による原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ（以下「海水ストレーナ」という。）（下流設備含む）への影響について以下のとおり評価した。

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した場合でも、海水ストレーナ（下流設備含む。）が閉塞せず、機器の機能に影響がないことを評価する。

(2) 構造物への化学的影響（腐食）

降下火砕物の海水ストレーナへの付着による化学的腐食により海水ストレーナの機能へ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取水した場合でも、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) 水循環系の化学的影響（腐食）

降下火砕物が混入した海水を取水したことによる構造物内部の化学的影響（腐食）により、機器の機能に影響がないことを評価する。

2. 評価条件

(1) 降下火砕物条件

- a. 粒 径：4.0mm 以下

3. 評価結果

(1) 水循環系の閉塞

評価内容については、「2. 降下火砕物の凝縮による閉塞の影響」に示す。

(2) 構造物への化学的影響（腐食）

海水ストレーナは、外面の塗装を実施していることから、降下火砕物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

(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、硬度が低い*1、*2。これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって、海水系ストレーナ及び下流設備の機能が喪失した事例はなく、砂より硬度が低い降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。

注記*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, No3, P38-47

*2：恒松修二ほか(1976)：シラスを主原料とする結晶化ガラス，窯業協会誌，84[6]，P32-

(4) 水循環系の化学的影響（腐食）

海水ストレーナはステンレス製で内面に防汚塗装が施工されていることから、降下火砕物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

また、海水ストレーナの下流設備の熱交換器（伝熱管）は耐食性に優れた材料（アルミニウム黄銅管）を用いていること及び連続通水状態であり著しい腐食環境にはならないことから、降下火砕物による短期での腐食により下流設備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。

非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（吸気系、排気消音器及び排気管含む）に係る影響評価

降下火砕物による非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備に係る影響について以下のとおり評価した。

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非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給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疊を考慮する。

また、排気消音器及び排気管は「2. 降下火砕物の凝集による閉塞の影響」における図2-8に示すとおり、降下火砕物が堆積しにく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、電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞、摩耗）

降下火砕物のディーゼル機関への侵入等により、機器の機能に影響がないことを評価する。

(3) 換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）

降下火砕物の付着及び堆積による化学的影響（腐食）によって、機能に影響がないことを評価する。

(4) 構造物への化学的影響（腐食）

降下火砕物の給気口、排気消音器及び排気管への付着による化学的影響（腐食）により、機器の機能に影響がないことを評価する。

2. 評価条件

(1) 降下火砕物条件

- a. 堆積量 : 56 cm
- b. 密度 : 1.5 g/cm³ (湿潤状態)

(2) 積雪条件

- a. 積雪量 : 35.0 cm (建築基準法の考え方を参考とし設計基準積雪深(100cm)に係数0.35を考慮した値)
- b. 単位荷重: 堆積量1 cm あたり 20 N/m² (松江市建築基準法施行細則に基づく積雪の単位荷重)

上記条件より降下火砕物及び積雪の重疊を考慮した評価荷重を「8938(N/m²)」として評価する。

3. 評価結果

(1) 構造物への静的負荷

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口の評価内容については、VI-3-別添

2「火山への配慮が必要な施設の強度計算書」に示す。

(2) 換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞，摩耗）

a. ディーゼル機関への影響評価

閉塞における評価内容については，「2. 降下火砕物の凝縮による閉塞の影響」に示す。

機関シリンダ内に降下火砕物が侵入した場合，シリンダライナとピストンリング間隙（油膜厚さ相当：数 μm ～十数 μm ）と同程度のものは，当該間隙内に侵入し，摩耗の発生が懸念されるが，主要な降下火砕物は砂と比較しても，破碎し易く^{*1}，硬度が低い^{*2}こと並びにシリンダライナ及びピストンリングはブリネル硬さで210～225程度の耐摩耗性を有する鋳鉄材であり，これまでの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，シリンダライナ及びピストン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（摺動）運動が繰り返されるごとに，更に細かい粒子に破碎され，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。

注記*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，P38-47

*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]，P32-40

b. 排気消音器及び排気管への影響評価

評価内容については，「2. 降下火砕物の凝縮による閉塞の影響」に示す。

(3) 換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）

金属腐食研究の結果より，降下火砕物に含まれる腐食性ガスによって直ちに金属腐食は生じないことから，金属材料を用いることで降下火砕物による短期での腐食により非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の機能に影響を与えにくい。なお，降灰後の長期的な腐食の影響については，日常の保守管理等により，状況に応じて補修が可能な設計とする。

(4) 構造物への化学的影響（腐食）

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口，排気消音器及び排気管は，外面の塗装を実施しており，降下火砕物による短期での腐食により，機器の機能に影響を及ぼすことはない。

降下火砕物による非常用ディーゼル発電設備の給気フィルタへの影響

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の吸気は、給気消音器のフィルタ（粒径約1～5 μm に対して80%以上を捕獲する性能）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設備ディーゼル機関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設備ディーゼル機関の給気口は、図1のとおり下方から吸気する構造となっており、降下火砕物により容易に閉塞しないものであると考えられるが、万一閉塞した場合の影響について、以下のとおり評価する。

評価にあたっては、非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の吸入空気は下に向いた給気口を介して給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、かつ、火砕物の粒径にかかわらず、大気中濃度のまま全て吸い込まれてフィルタに捕集されることを前提とした計算を行う。



図1 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の給気空気の流れ

1. 閉塞までに要する時間

以下の想定における非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の給気フィルタの閉塞までの時間を試算した。降下火砕物の大気中濃度には、比較的噴火規模が大きく、地表レベルでの観測データがあるアイスランド南部エイヤヒャトラ氷河で発生した火山噴火の際のヘイマランド地区の濃度値（3241 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を用いるが、米国セントヘレンズ火山噴火の際の濃度値（33400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を用いた場合についても試算した。

また、非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の給気フィルタの灰捕集容量については、降下火砕物によるフィルタへの影響を直接確認した試験結果（試験内容等は4.参照）に基づく保持容量を用いて試算した。

なお、島根原子力発電所で想定する降下火砕物の給源となる火山については、大山等いずれも発電所から 40km 以遠にある（第四紀火山のうち発電所から最も近い火山は約 53km 離れた大山である）ことから、参照したアイスランド火山の観測データは噴火口からより近距離の観測データである。

(1) アイスランドの火山噴火データを用いた試算

表 1 より、非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の給気フィルタの閉塞時間を試算した結果、「約 72 時間」となった。

表 1 給気フィルタ閉塞までの時間

① 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の給気フィルタの捕集容量 (g) * ¹	5075
② 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の給気流量 (m ³ /h)	21672
③ 降下火砕物の大気中濃度 (μg/m ³) * ²	3241
④ 閉塞までの時間 (h) =①/②/③	72.25

注記*1：降下火砕物による試験結果に基づく捕集容量

捕集重量 /試験フィルタ面積 ×給気フィルタ面積 = 5075g

*2：アイスランド南部エイヤヒャトラ氷河で発生（H22 年 4 月）した火山噴火地点から約 40km 離れたヘイマランド地区における大気中の降下火砕物濃度値（24 時間観測ピーク値）を参照した。

(2) セントヘレンズの火山噴火データを用いた試算

表 2 より、非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の給気フィルタの閉塞時間を試算した結果、「約 7 時間」となった。

表 2 給気フィルタ閉塞までの時間

① 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の給気フィルタの捕集容量 (g)	5075
② 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の給気流量 (m ³ /h)	21672
③ 降下火砕物の大気中濃度 (μg/m ³) *	33400
④ 閉塞までの時間 (h) =①/②/③	7.01

注記*：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降下火砕物濃度値（1 日平均値）を参照した。

2. フィルタ取替え、清掃に必要な時間等

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の給気フィルタは、1基あたり16枚設置されており、フィルタ取替え又は清掃には複雑な作業が必要なく、1基あたりに要する時間は、要員4名で2時間程度を見込んでいる。一方、給気フィルタが閉塞するまでの時間は、1.(2)のとおり約7時間程度であることから、フィルタが閉塞するまでに取替え又は清掃することが可能である。非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関のフィルタの写真を図2に示す。

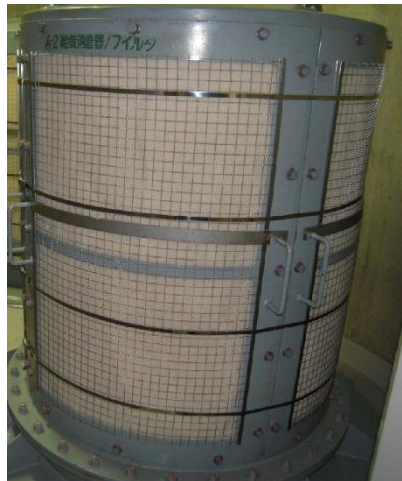


図2 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の給気フィルタ

3. その他

ディーゼル発電設備は、1ユニットあたり3系統設置されており、フィルタが詰まった場合においても、フィルタの取替え又は清掃を行うことが可能である。

4. 降下火砕物によるフィルタ閉塞試験の概要

降下火砕物を用いて、想定する濃度等より保守的な条件にて、非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関に使用しているものと同様のフィルタへの影響について、以下のモックアップ試験により確認した。

(1) フィルタの詰まり試験

a. 試験条件及び試験方法

(a) 降下火砕物

・濃度

想定される降下火砕物の大気中濃度は、1.のとおりアイスランドの火山噴火データ($3241 \mu\text{g}/\text{m}^3$)であるが、本試験においては保守的に降下火砕物の濃度を約 とした。

なお、本試験における降下火砕物の濃度は、米国セントヘレンズの火山噴火データ ($33400 \mu\text{g}/\text{m}^3$) も包含する。

- ・ 粒径

モックアップ装置にて噴霧する降下火砕物の粒径分布は、表 3 のとおり、想定する粒径分布と同様となるような粒径分布の試料を作成した。

表 3 モックアップ装置にて噴霧する降下火砕物の粒径

--

(b) モックアップ装置

- ・ 装置の構成

図 3 に示すとおり、粉塵発生装置により噴霧させた試料を試験体（フィルタ）に吸着させ、フィルタ前後の差圧及び捕集重量を測定した。

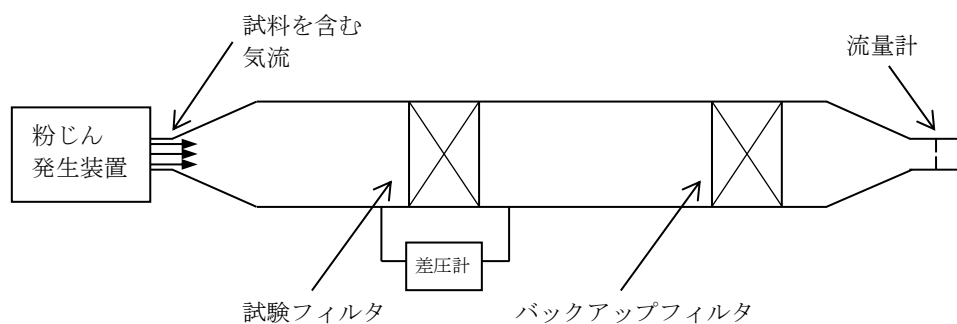


図 3 モックアップ装置の構成

- ・ 風量

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の給気流量から換算した試験フィルタの風量 $2749\text{m}^3/\text{h}$ と同等となるよう、粉塵発生装置から発せられる風量は とした。

b. 判定基準

試験フィルタ差圧の判定基準は、フィルタ交換目安である とした。

c. 試験結果

試験フィルタの差圧と捕集量の関係を図 4 に示す。

図 4 より、フィルタの差圧は、捕集重量に比例し増加していることが分かり、本試験における最大の捕集重量 においても試験フィルタの差圧は であるため、判定基準 を満足していることを確認した。



図 4 フィルタの詰まり試験結果

ディーゼル燃料移送ポンプに係る影響評価

降下火砕物によるディーゼル燃料移送ポンプに係る影響について以下のとおり評価した。

1. 評価項目及び内容

(1) 構造物への化学的影響（腐食）

降下火砕物のディーゼル燃料移送ポンプへの付着や堆積による化学的腐食により、機能への影響がないことを評価する。

(2) 換気系、電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞・摩耗）

降下火砕物のディーゼル燃料移送ポンプへの侵入等により、機器の機能に影響がないことを評価する。

(3) 換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）

降下火砕物のディーゼル燃料移送ポンプ原動機への侵入により、化学的影響（腐食）によって、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. 粒 径：4.0mm 以下

3. 評価結果

(1) 構造物への化学的影響（腐食）

ディーゼル燃料移送ポンプ（A-非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系））の化学的腐食については、外面の塗装が施されていることから、降下火砕物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

また、B-非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）についてはB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に設置することとしており、地上部に設置している外気取入口は下方から吸い込む構造であること、また自然対流による換気であり降下火砕物が侵入しにくくディーゼル燃料移送ポンプと直接接触する可能性は低いことに加え、外面の塗装が施されていることから、降下火砕物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

(2) 換気系、電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞・摩耗）

a. 軸貫通部

ポンプ本体への異物混入経路としては、軸貫通部があるが、当該部はメカニカルシールを用いて潤滑剤や内部流体の漏えいのないよう適切に管理されていることから、降下火砕物がポンプ本体へ侵入することはない、閉塞及び摩耗による影響はない。

b. 原動機

動力源となる原動機については、「全閉外扇屋外形」であり、浮遊中の降下火砕物が冷却ファン側から吸入された場合でも、原動機内部に降下火砕物が侵入することはない、閉塞及び摩耗による影響はない。

(3) 換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）

上記のように、ディーゼル燃料移送ポンプ本体及び原動機内部に降下火砕物が侵入することはないため影響はない。

換気空調設備に係る影響評価

降下火砕物による換気空調設備（中央制御室空調換気系及び原子炉建物付属棟空調換気系（非常用電気室用，ディーゼル発電機室用））への影響について以下のとおり評価した。

1. 評価項目及び内容

(1) 換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞・摩耗）

降下火砕物の換気空調設備（外気取入口）に対する，機器の機能に影響がないことを評価する。

(2) 換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）

換気空調設備（外気取入口）に対する，化学的影響（内部腐食）によって，機能に影響がないことを評価する。

(3) 発電所周辺の大気汚染

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. 粒 径：4.0mm 以下

3. 評価結果

(1) 換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞・摩耗）

各評価対象施設の外気取入口には，図 1 に示すとおりルーバが取り付けられており，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，非常用電気室の外気取入口にはラフフィルタ（J I S Z 8901 試験用粉体 11 種に対して 76%（平均）の捕集効率）とバグフィルタ（J I S Z 8901 試験用粉体 11 種に対して 80%以上の捕集効率），ディーゼル発電機室の外気取入口にはラフフィルタ（J I S Z 8901 試験用粉体 11 種又は 15 種に対して 60%（平均）の捕集効率）及び中央制御室空調換気系の外気取入口にはバグフィルタ（J I S Z 8901 試験用粉体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）が設置されており，想定する降下火砕物は十分除去されることから，給気を供給する系統及び機器に対して降下火砕物と与える影響は小さい。

なお，フィルタには差圧計が設置されており，必要に応じて取替え又は清掃をすることが可能である。

換気空調設備の外気取入口は，地上面又は直下にある平面部から 56cm 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。

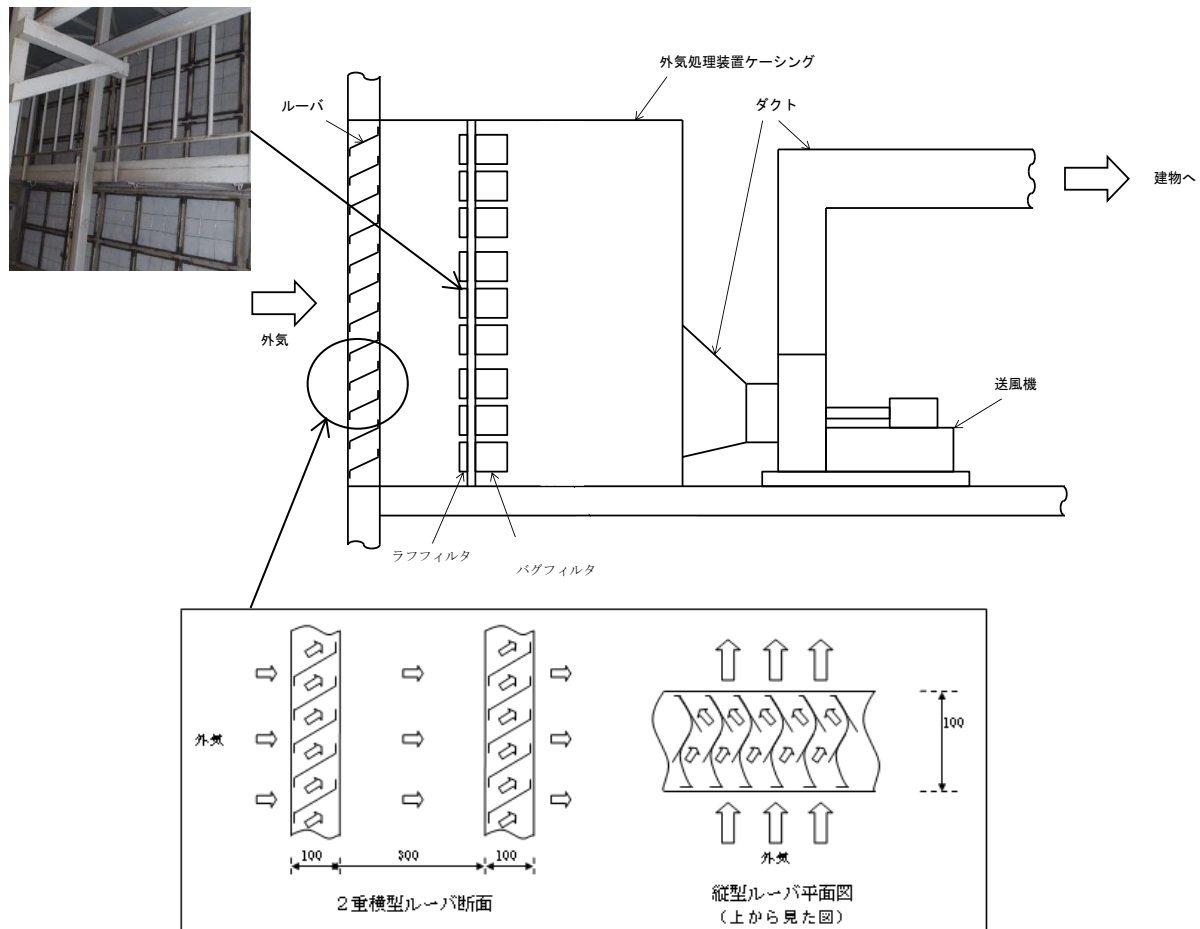


図1 外気取入口の空気の流れ概要

(2) 換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）

金属腐食研究の結果より、降下火砕物に含まれる腐食性ガスによって直ちに金属腐食は生じないことから、金属材料を用いることで、降下火砕物による短期での腐食により換気空調設備（外気取入口）の機能に影響を与えにくい。なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常の保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

(3) 発電所周辺の大気汚染

運転員が常駐している中央制御室は、中央制御室空調換気系によって空調管理されており、他の換気空調設備と同様、外気取入口には、ルーバが取り付けられており、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、降下火砕物を与える影響は少ない。中央制御室空調換気系の外気取入口の写真を図 2 に示す。

なお、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、中央制御室排風機の停止及び給気隔離弁の閉止を行い、系統隔離運転モードとすることにより、中央制御室の居住環境を維持できる。中央制御室空調換気系の系統概略図を図 3 に示す。

以下に、給気隔離弁を閉止した状態の酸素濃度及び二酸化炭素濃度について評価した結果を示す。



図2 中央制御室空調換気系の外気取入口

a. 酸素濃度

「空気調和・衛生工学便覧 空気調和設備編」に基づき、酸素濃度について評価した。

(a) 評価条件

- ・在室人員 10 名
- ・中央制御室バウンダリ内体積 m³
- ・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、240/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%として、65.520/h とする。
- ・許容酸素濃度 19%以上（鉱山保安法施行規則）

(b) 評価結果

表1 中央制御室系統隔離運転モードにおける酸素濃度の時間変化

時間	12 時間	24 時間	36 時間	505 時間
酸素濃度	20.9%	20.8%	20.8%	19.0%

b. 二酸化炭素濃度

「空気調和・衛生工学便覧 空気調和設備編」に基づき、二酸化炭素濃度について評価した。

(a) 評価条件

- ・在室人員 10 名
- ・中央制御室バウンダリ内体積 m³
- ・空気流入はないものとする。
- ・初期二酸化炭素濃度 0.03%

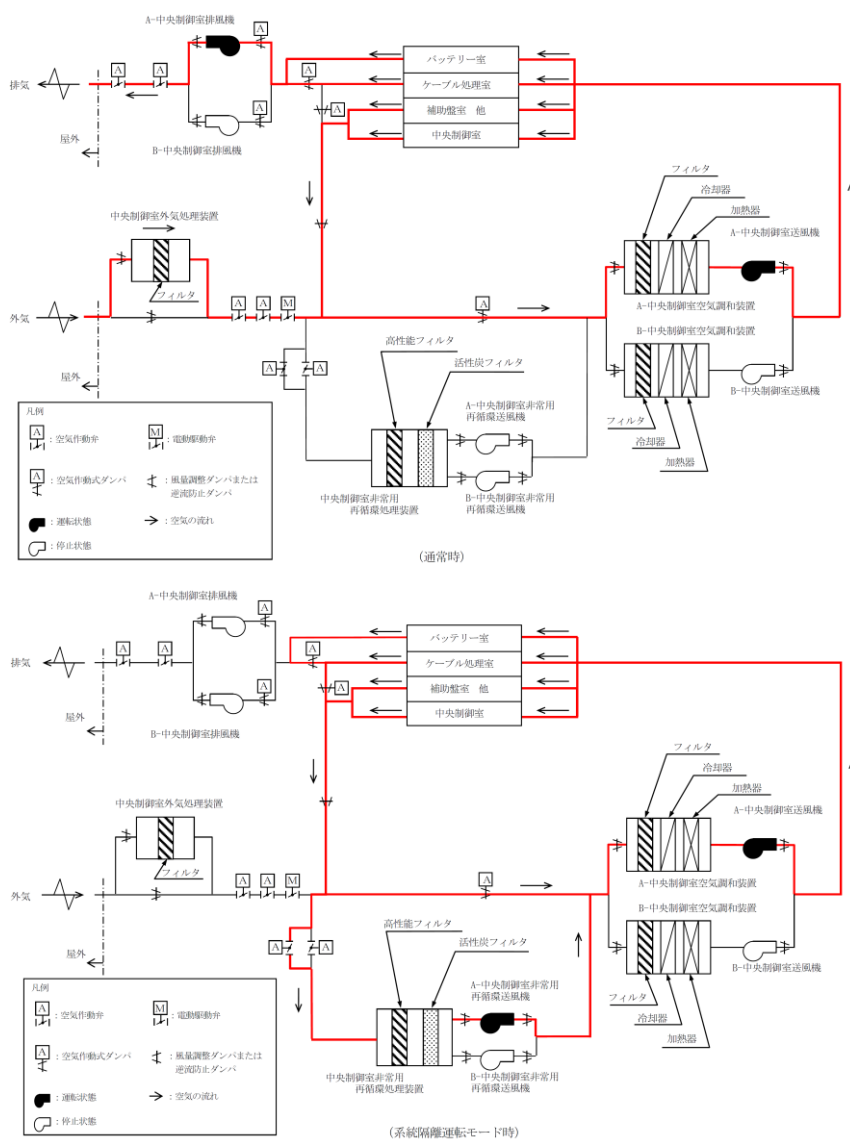
- ・1人あたりの二酸化炭素吐出量は、事故時の運転操作を想定し、中等作業時の吐出量を適用して、 $0.046\text{m}^3/\text{h}$ とする。
- ・許容二酸化炭素濃度 1.0%以下（鉱山保安法施行規則）

(b) 評価結果

表 2 中央制御室系統隔離運転モードにおける二酸化炭素濃度の時間変化

時間	12 時間	24 時間	36 時間	358 時間
二酸化炭素濃度	0.07%	0.10%	0.13%	1.00%

以上の結果から、358 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。なお、噴火継続時間に関する最近の観測記録と比較し、十分な裕度が確保できている。



計測制御系統施設（安全保護系盤）及び非常用電源設備（計装用無停電交流電源装置及びロードセンタ）に係る影響評価

降下火砕物により，屋内の空気を取り込む機構を有する計測制御系統施設（安全保護系盤）及び非常用電源設備（計装用無停電交流電源装置及びロードセンタ）（以下「安全保護系盤等」という。）への影響について以下のとおり評価した。

1. 評価項目及び内容

(1) 換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響（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安全保護系盤等の化学的影響（腐食）により，機器の機能に影響がないことを評価する。

(2) 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安全保護系盤等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

(1) 降下火砕物条件

a. 粒 径：4.0mm 以下

3. 評価結果

(1) 換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）

安全保護系盤等については，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盤内に侵入する可能性がある。

安全保護系盤等が設置されているエリアは，原子炉棟空調換気系，原子炉建物附属棟空調換気系，中央制御室空調換気系にて空調管理されており，原子炉棟空調換気系及び原子炉建物附属棟空調換気系の外気取入口には，ラフフィルタ（J I S Z 8901 試験用粉体 11 種に対して 76%（平均）の捕集効率）とバグフィルタ（J I S Z 8901 試験用粉体 11 種に対して 80%以上の捕集効率），中央制御室空調換気系の外気取入口にはバグフィルタ（J I S 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，降下火砕物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。なお，中央制御室空調換気系については，給気隔離弁を閉止し系統隔離運転モードを行うことにより降下火砕物の侵入を阻止することも可能である。

(2) 絶縁低下

安全保護系盤等については、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、降下火砕物が盤内に侵入する可能性がある。

安全保護系盤等が設置されているエリアは、原子炉棟空調換気系、原子炉建物附属棟空調換気系、中央制御室空調換気系にて空調管理されており、原子炉棟空調換気系及び原子炉建物附属棟空調換気系の外気取入口には、ラフフィルタ（J I S Z 8901 試験用粉体 11 種に対して 76%（平均）の捕集効率）とバグフィルタ（J I S Z 8901 試験用粉体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）、中央制御室空調換気系の外気取入口にはバグフィルタ（J I S Z 8901 試験用粉体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）を介した換気空気を吸入している。したがって、降下火砕物が大量に盤内に侵入する可能性は低く、その付着により短絡を発生させる可能性はないため、安全保護系盤等の安全機能が損なわれることはない。

電気系及び計測制御系の盤のうち空気を取り込む機構を有する盤

1. 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る。安全保護系盤等については、その発生熱量に応じて盤内に換気ファンを設置しており、強制的に盤内に室内空気を取り込むことから、仮に、降下火砕物が侵入することを考慮し、以下のとおり検討した。

(1) 侵入する降下火砕物の粒径

原子炉棟空調換気系，原子炉建物附属棟空調換気系，中央制御室空調換気系の外気取入口には、主として粒径が $2\mu\text{m}$ より大きい粒子を除去するフィルタが設置されている。

このため、仮に室内に侵入したとしても、降下火砕物の粒径はおおむね $2\mu\text{m}$ 以下の細かな粒子であると推定される。

(2) 安全保護系盤等に対する降下火砕物の影響

安全保護系盤等については、細かな粒子であっても、降下火砕物が盤内に侵入した場合には、その付着等により短絡等を発生することが懸念されるが、安全保護系盤等において数 μm 程度の線間距離となるのは、集積回路（IC等）の内部であり、これら部品はモールド（樹脂）で保護されているため、降下火砕物が侵入することはない。また、端子台等の充電部が露出している箇所については、端子間の距離は数 mm 程度あることから、降下火砕物が付着しても、直ちに短絡等を発生させることはない。したがって、万が一、細かな粒子の降下火砕物が盤内に侵入した場合においても、降下火砕物の付着等により短絡等を発生させる可能性はない。

排気筒（空調換気系用，非常用ガス処理系用）に係る影響評価

降下火砕物による排気筒（空調換気系用，非常用ガス処理系）への影響について以下のとおり評価した。

1. 評価項目及び内容

(1) 換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞）

降下火砕物の排気筒（空調換気系用，非常用ガス処理系用）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，空調換気系用排気筒については，排気速度が降下火砕物の降下速度よりも大きく，降下火砕物が排気筒へ侵入しないことを確認する。また，非常用ガス処理系用排気筒については，降下火砕物が侵入しにくい構造となっていることを確認する。

(2) 構造物への化学的影響（腐食）

降下火砕物の付着に伴う構造物の腐食により，排気筒（空調換気系用，非常用ガス処理系用）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. 密度：1.5g/cm³（湿潤状態）
- b. 粒径：4.0mm 以下

3. 評価結果

(1) 換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞）

a. 空調換気系用排気筒

降下火砕物の降下速度と空調換気系用排気筒の排気速度の評価について以下に示す。

(a) 降下火砕物の降下速度

降下火砕物の粒子の沈降速度を単粒子の自由降下*と考えてモデル化し，以下のとおり導出する。

降下速度 W_f (m/s) は，次式で表される。

$$W_f = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{g}{C_w} \times \frac{\rho_k - \rho_L}{\rho_L} \times d_k}$$

ここで，

重力加速度： $g = 9.80665$ (m/s²)

抵抗係数： $C_w = 0.44$

粒子密度： $\rho_k = 1500$ (kg/m³)

空気密度： $\rho_L = 1.1$ (kg/m³)

粒径： $d_k = 0.004$ (m)

本評価では空調換気系用排気筒の排気速度（吹き出し風速）との比較を行うことから、降下速度が大きいほど保守的となるため、上式より粒子密度と粒子径はいずれも大きい方が降下速度も大きくなる。

そのため、本評価では想定される降下火砕物の特性として設定された、湿潤密度 $1,500\text{kg/m}^3$ (1.5g/cm^3)、粒子径 0.004m (4mm) の降下火砕物条件を用いて降下速度を算出すると以下のとおりとなる。

$$W_f = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{9.80665}{0.44} \times \frac{1500 - 1.1}{1.1} \times 0.004} = 12.72 \Rightarrow 12.8 \text{ (m/s)}$$

注記＊：単粒子が静止した気体中を自由落下し、粒子の流体抵抗、重力及び浮力の間に釣り合いの状態が生じたときの粒子の速度 【参考文献】「粉体工学便覧（第2版）」日刊工業新聞社

(b) 空調換気系用排気筒の排気速度

空調換気系用排気筒からの排気速度について、以下のとおり導出する。

排気速度 W (m/s) は、次式で表される。

$$W = \frac{F/3600}{\pi \times (D/2)^2}$$

ここで、

空調換気系用排気筒からの合計排気風量＊： $F = 810,000 \text{ (m}^3/\text{h)}$

$$\left(\begin{array}{l} \text{原子炉建物排気量：} 225,000\text{m}^3/\text{h} \\ \text{タービン建物排気量：} 400,000\text{m}^3/\text{h} \\ \text{廃棄物処理建物排気量：} 185,000\text{m}^3/\text{h} \end{array} \right)$$

注記＊：気体廃棄物処理系の排気風量は除く

排気筒直径： $D = 3.3 \text{ (m)}$

$$W = \frac{810000/3600}{\pi \times (3.3/2)^2} = 26.31 \Rightarrow 26.3 \text{ (m/s)}$$

以上より、空調換気系用排気筒からの排気速度は「 26.3m/s 」であり、降下火砕物の降下速度「 12.8m/s 」より大きく、降下火砕物が侵入することはない。

b. 非常用ガス処理系用排気筒

非常用ガス処理系用排気筒については、屋外に開口しているが、図1に示すとおり開口部は水平方向であり、降下火砕物が侵入しにくい構造となっている。なお、非常用ガス処理系運転中においては、排気管から排気されていることから降下火砕物が侵入することはない。

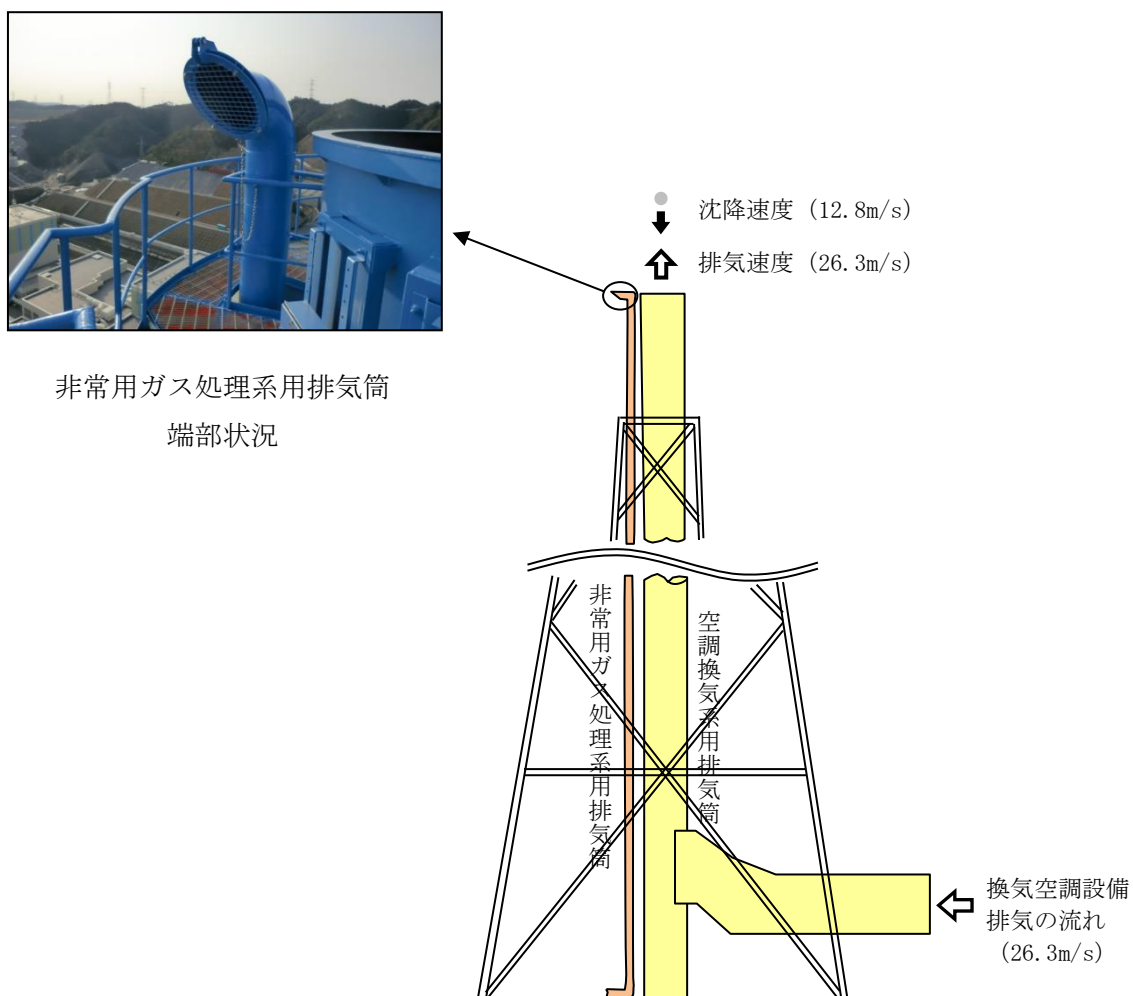


図1 排気筒（空調換気系用，非常用ガス処理系用）概要図

(2) 構造物への化学的影響（腐食）

排気筒（空調換気系用，非常用ガス処理系用）は，外面の塗装を実施していることから，降下火砕物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

なお，降灰後の長期的な腐食の影響については，日常の保守管理等により，状況に応じて補修が可能な設計とする。

排気筒モニタに係る影響評価

降下火砕物による排気筒モニタに係る影響について以下のとおり評価した。

1. 評価項目及び内容

(1) 構造物への化学的影響（腐食）

降下火砕物のサンプリング配管への付着や堆積による化学的腐食により、機器の機能に影響がないことを評価する。

(2) 換気系、電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞・摩耗）

降下火砕物のサンプリング配管への侵入等により、機器の機能に影響がないことを評価する。

また、排気筒モニタ（屋外サンプリング配管除く）は排気筒モニタ室内に設置されているが、排気筒モニタ室の通気口にフィルタを設置し、降下火砕物が内部に侵入しにくい設計とするため、排気筒モニタ（屋外サンプリング配管除く）への影響はない。

2. 評価条件

(1) 降下火砕物条件

a. 粒 径：4.0mm 以下

3. 評価結果

(1) 構造物への化学的影響（腐食）

排気筒モニタのサンプリング配管は、耐食性のあるステンレス製であることから、降下火砕物による短期での腐食により、機器の機能に影響を及ぼすことはない。

(2) 換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞・摩耗）

排気筒モニタのサンプリング配管の計測口は、図 1 に示すとおり下方から吸い込む構造であること、また空調換気系用排気筒内部に設置することにより、降下火砕物が侵入しない*ことから、機器の機能に影響を及ぼすことはない。

注記*：排気筒の排気速度が降下火砕物の降下速度よりも大きいことから、降下火砕物が排気筒へ侵入しないことを別紙－7にて確認している。

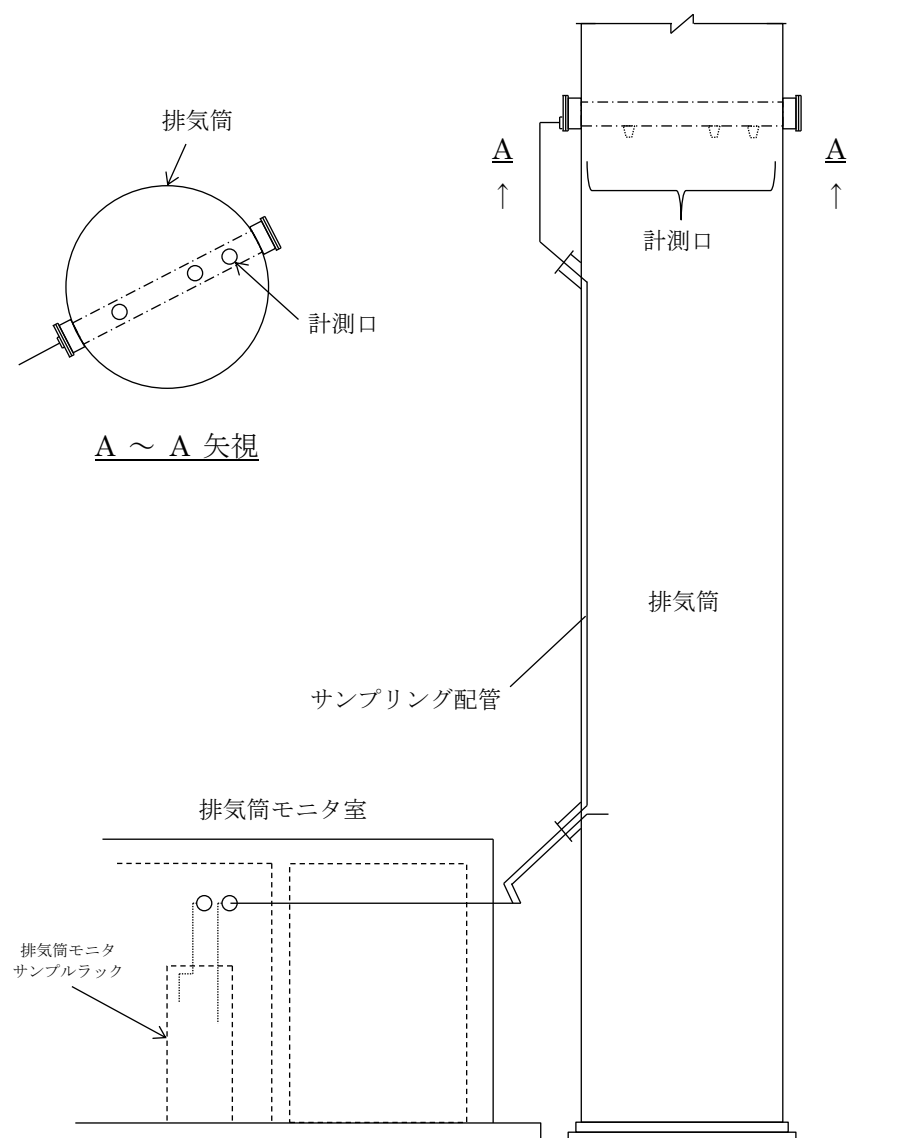


図1 排気筒モニタ概要図

建物等に係る影響評価

降下火砕物による原子炉建物，タービン建物，制御室建物，廃棄物処理建物，排気筒モニタ室，ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB－ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽への影響について，以下のとおり評価する。建物等の配置並びにディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB－ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の構造を図1に示す。

1. 評価項目及び内容

(1) 構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重により原子炉建物，タービン建物，制御室建物，廃棄物処理建物，排気筒モニタ室，ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB－ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の健全性に影響がないことを評価する。なお，評価は降下火砕物，積雪及び風（台風）による荷重を考慮する。

(2) 構造物への化学的影響（腐食）

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

2. 評価条件

(1) 降下火砕物条件

- a. 堆積量 : 56 cm
- b. 密度 : 1.5 g/cm³ (湿潤状態)

(2) 積雪条件

- a. 積雪量 : 35.0 cm (建築基準法の考え方を参考とし設計基準積雪深 (100cm) に係数 0.35 を考慮した値)
- b. 単位荷重 : 堆積量 1 cm あたり 20 N/m² (松江市建築基準法施行細則に基づく積雪の単位荷重)

上記条件より降下火砕物及び積雪の重畳を考慮した評価荷重を「8938 (N/m²) 」として評価する。

(3) 積載荷重

「建築構造設計規準の資料 (国土交通省 平成 30 年版) 」における「屋上 (通常人が使用しない場合) 」の床版計算用積載荷重を参考として，除灰時の人員荷重として 981N/m² とする。

3. 評価結果

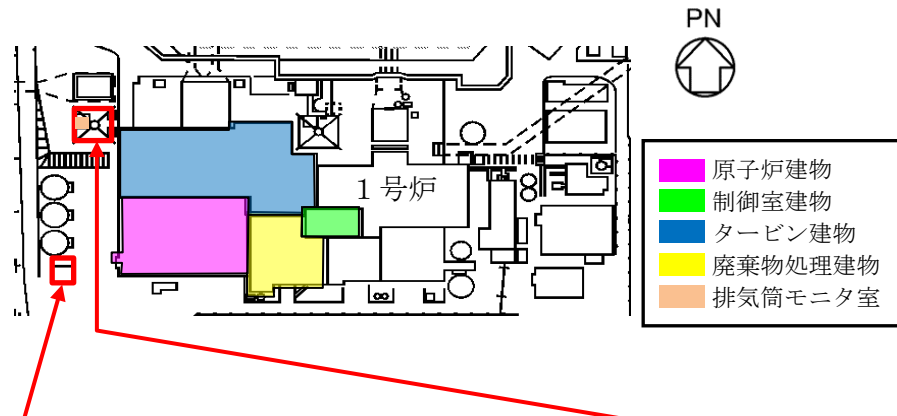
(1) 構造物への静的負荷

評価結果については，VI-3-別添2 「火山への配慮が必要な施設の強度計算書」に示す。

(2) 構造物への化学的影響（腐食）

原子炉建物、タービン建物、制御室建物、廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室は外面の塗装を施していること、ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は外面の塗装を実施していること又はコンクリート構造物であることから、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。



B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽

ディーゼル燃料貯蔵タンク室

図1 建物等の配置並びにディーゼル燃料貯蔵タンク室
及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の構造

取水設備（除じん機）に係る影響評価

降下火砕物による取水設備（除じん機）への影響について以下のとおり評価した。

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、取水設備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伴う、取水設備の摩耗により、機器の機能に影響がないことを評価する。

(3) 水循環系の化学的影響（腐食）

降下火砕物が混入した海水を取水することによる構造物内部の腐食により機器の機能に影響がないことを評価する。

2. 評価条件

(1) 降下火砕物条件

a. 粒 径：4.0mm 以下

3. 評価結果

(1) 水循環系の閉塞

図 1 に示すとおり、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ前面には、ロータリースクリーンを設置しており、海水中の大きな塵芥の除去を実施している。取水設備への降下火砕物を想定しても、想定する降下火砕物の粒径は、表 1 に示す取水設備の目開きの間隔(10mm) よりも小さく、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、取水設備（除じん機）が閉塞することはない。

(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、硬度が低い*1、*2。これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって、取水設備（除じん機）の機能が喪失した事例はなく、砂より硬度が低い降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。

注記*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, No3, P38-47

*2：恒松修二ほか(1976)：シラスを主原料とする結晶化ガラス，窯業協会誌，84[6]，P32-40

(3) 水循環系の化学的影響（腐食）

取水設備（除じん機）は防汚塗装等を実施しており、海水と金属が直接接することはないことから、降下火砕物による短期での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。

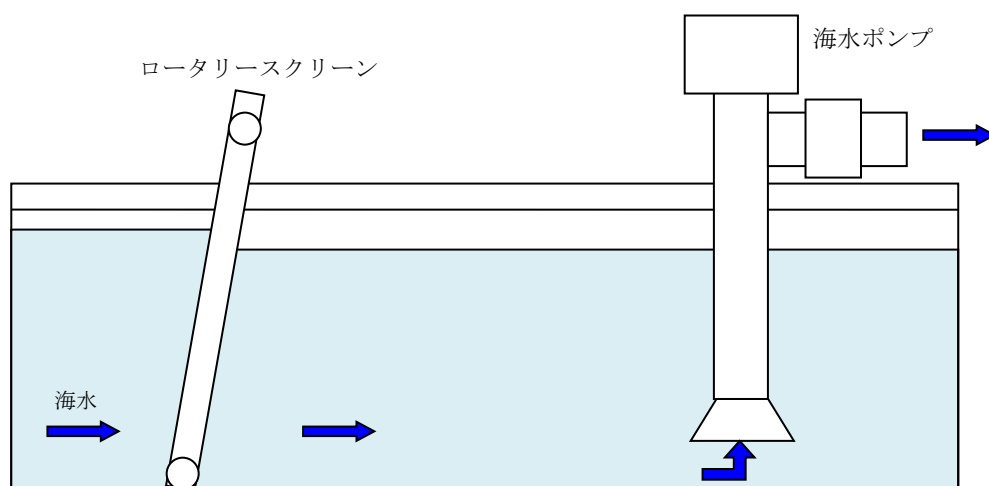


図 1 取水設備（除じん機）の構成

表 1 取水設備（除じん機）の目開間隔

名称	ロータリースクリーン
目開間隔	10mm

火山防護対策設備に係る影響評価

降下火砕物による取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備及びディーゼル燃料移送ポンプ防護対策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) 構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重により取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備及びディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の健全性に影響がないことを評価する。なお、評価は降下火砕物及び積雪による荷重を考慮する。取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備及びディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の配置及び構造を図1及び図2に示す。

(2) 構造物への化学的影響（腐食）

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

2. 評価条件

(1) 降下火砕物条件

- a. 堆積量 : 56 cm
- b. 密度 : 1.5 g/cm³ (湿潤状態)

(2) 積雪条件

- a. 積雪量 : 35.0 cm (建築基準法の考え方を参考とし設計基準積雪深(100cm)に係数0.35を考慮した値)
- b. 単位荷重 : 堆積量1 cm あたり 20 N/m² (松江市建築基準法施行細則に基づく積雪の単位荷重)

上記条件より降下火砕物及び積雪の重畳を考慮した評価荷重を「8938 (N/m²) 」として評価する。

(3) 積載荷重

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の積載荷重は、除灰時の人員荷重として981N/m²とする。

3. 評価結果

(1) 構造物への静的負荷

評価結果については、VI-3-別添2 「火山への配慮が必要な施設の強度計算書」に示す。

(2) 構造物への化学的影響（腐食）

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は外面の塗装を施していることから、降下火砕物による化学的腐食により短期的に影響

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。

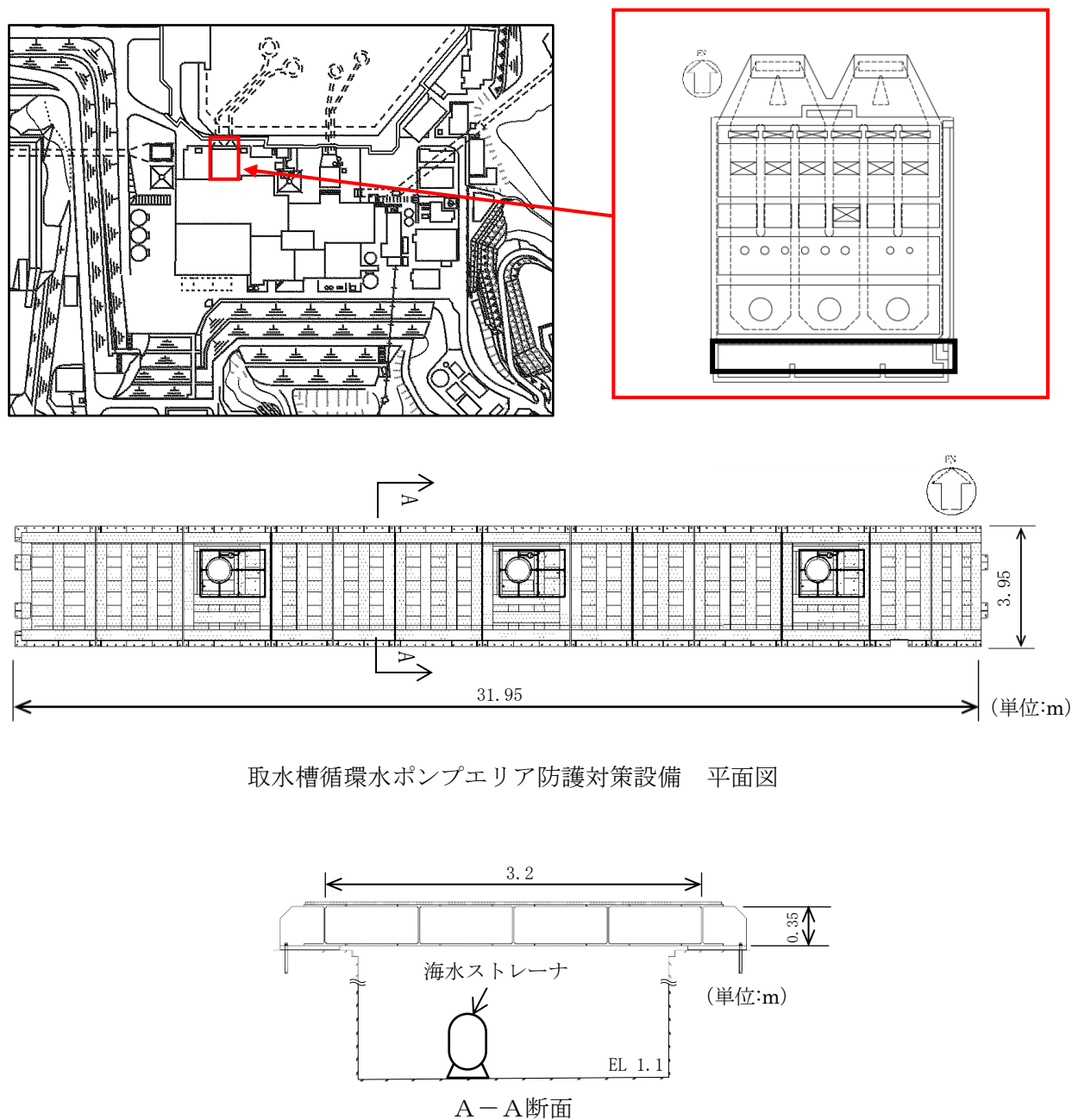


図1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の配置図及び構造概要図

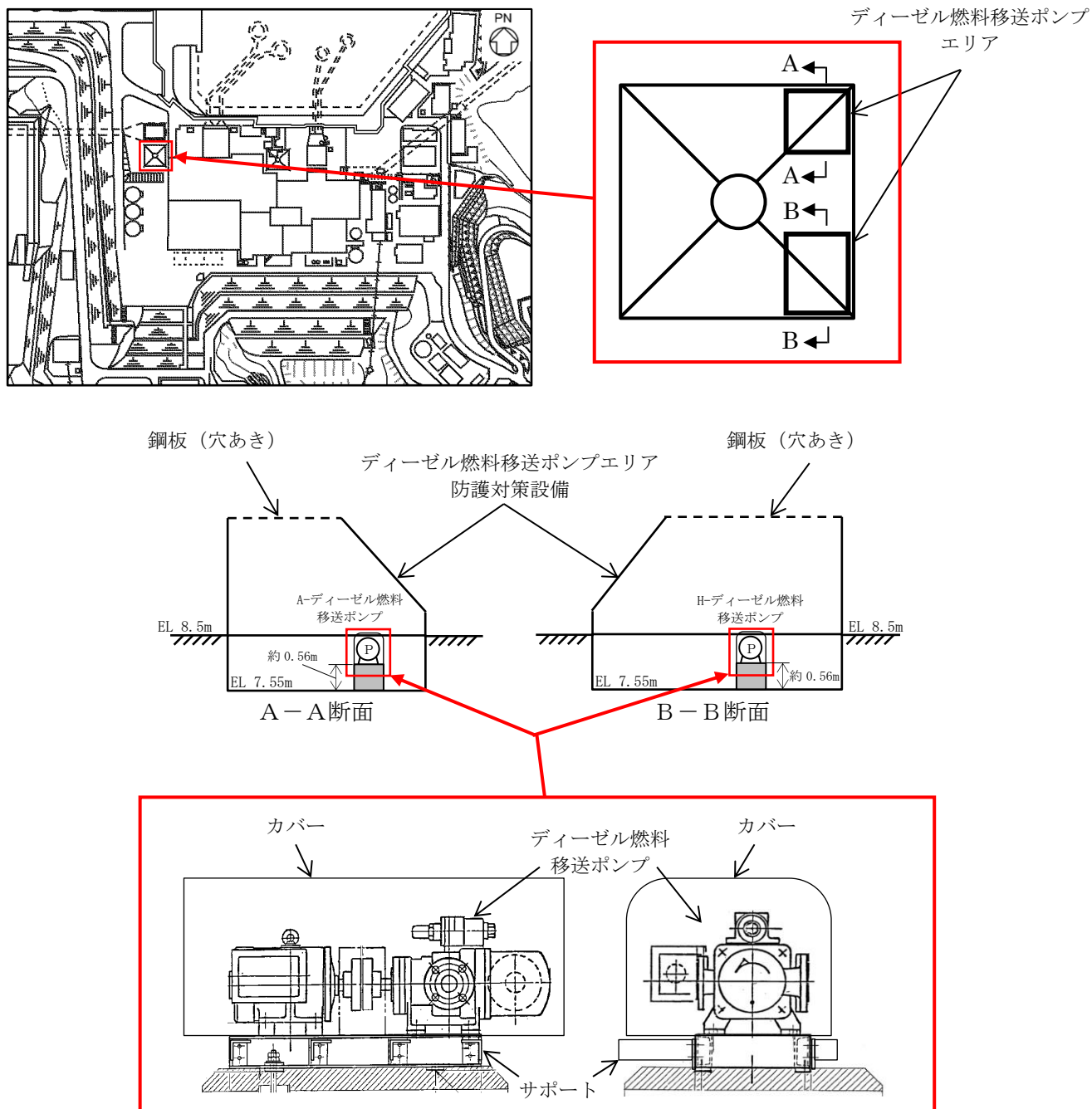


図2 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の周辺配置図及び構造概要図

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

降下火砕物の間接的影響は、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

島根原子力発電所2号機の非常用所内交流電源設備は、非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関（2台）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関（1台）とそれぞれに必要な燃料デイトンク（2基；16m³/基，1基；9m³/基）〔Sクラス〕を有している。さらに、燃料貯蔵タンク（A-非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）（2基；170kL/基），高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）（1基；170 kL/基））及び（B-非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）（3基；100 kL/基））〔Sクラス〕を有している。

燃料貯蔵タンク及び燃料移送ポンプは屋外設備であるが、燃料貯蔵タンク及びB-非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプは、ディーゼル燃料貯蔵タンク室又はB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に内包されていること、非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプは、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備により降下火砕物が堆積しないことから、降下火砕物の静的荷重等に対してその機能に影響はない。また、燃料移送ポンプエリアのA-非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送系の配管は、屋外に設置されているが、コンクリート蓋等を有するピット内にあることから、降下火砕物によって機能喪失することはない。B-非常用ディーゼル発電設備燃料移送系の配管は、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の取り出し口から屋外配管ダクトを介して、原子炉建物に接続されていることから、降下火砕物によって機能喪失することはない。

これらにより、7日間の外部電源喪失に対して、また、原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮した場合においても、発電用原子炉の停止及び停止後の発電用原子炉の冷却、並びに燃料プールの冷却に係る機能を担うために必要となる電源の供給が継続できる設計とする。

塗装による降下火砕物の化学的影響（腐食）

降下火砕物による「構造物への化学的影響（腐食）」については、評価対象施設等が塗装されていることで直ちに機能に影響を及ぼすことはないと評価している。その詳細について以下に示す。

原子力発電所では炭素鋼、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外表面に対する塗装基準が定められており、耐放射線性、耐水性、除染性、耐熱性、耐油性等を考慮した塗料に係る基準が規定されている。

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、最も厳しい腐食環境にさらされるため、エポキシ樹脂系、ウレタン樹脂系、アクリル系等の塗料が複数層で塗布されており、水に濡れると硫酸イオン等が流出する等の特徴を持つ降下火砕物が堆積したとしても、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、海水管等の海水に直接触れる部分については、ウレタン樹脂、ビニル樹脂等の耐食性塗料（樹脂ライニング含む）が施工されている。

よって、降下火砕物が外表面に堆積及び混入した海水を取水したとしても、直ちに金属表面の腐食が進むことはない。

なお、定期的に外観の点検を行い、塗装の状態についても確認を行っている。

島根原子力発電所2号機における塗装の例を表1に示す。

表1 島根原子力発電所2号機における塗装の例

	下塗り	中塗り	上塗り
原子炉建物 制御室建物 タービン建物 廃棄物処理建物 排気筒モニタ室	エポキシ樹脂	アクリルゴム	アクリルシリコン樹脂 アクリルウレタン樹脂
海水ポンプ (原子炉補機海水ポンプ、 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ)	ウレタン樹脂	—	ビニル樹脂
取水設備 (除じん機)	ウレタン樹脂	—	ビニル樹脂

降下火砕物の金属腐食研究

桜島降下火砕物による金属腐食研究結果を島根原子力発電所における降下火砕物による金属腐食の影響評価に適用する考え方について以下に示す。

1. 適用の考え方

降下火砕物による金属腐食については、主として火山ガス（ SO_2 ）が付着した降下火砕物の影響によるものである。

降下火砕物による腐食影響において引用した研究文献「火山環境における金属材料の腐食」では、実火山灰である桜島の降下火砕物を用いて、実際の火山環境に近い状態を模擬するため、高濃度の亜硫酸ガス（ SO_2 ）雰囲気を保った状態で金属腐食試験を行ったものであり、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、島根原子力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である。

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，末吉秀一ほか），防食技術 Vol. 39, P247-253, 1990」によると、降下火砕物を水で洗浄し、可溶性の成分を除去した後、金属試験片に堆積させ、高濃度の SO_2 ガス雰囲気（150～200ppm）で、加熱（温度 40℃，湿度 95%を 4 時間），冷却（温度 20℃，湿度 80%を 2 時間）を最大 18 回繰り返すことにより、結露，蒸発を繰り返し金属試験片の腐食を観察している。

(2) 試験結果

図 1 に示すとおり、降下火砕物の堆積量が多い場合は、降下火砕物の堆積なし又は堆積量が少ない場合と比較して、金属試験片の腐食が促進されるが、腐食量は表面厚さにして十数～数十 μm 程度との結果が得られ、降下火砕物層では結露しやすいこと、並びに保水効果が大きいことにより腐食が促進されると結論づけられている。

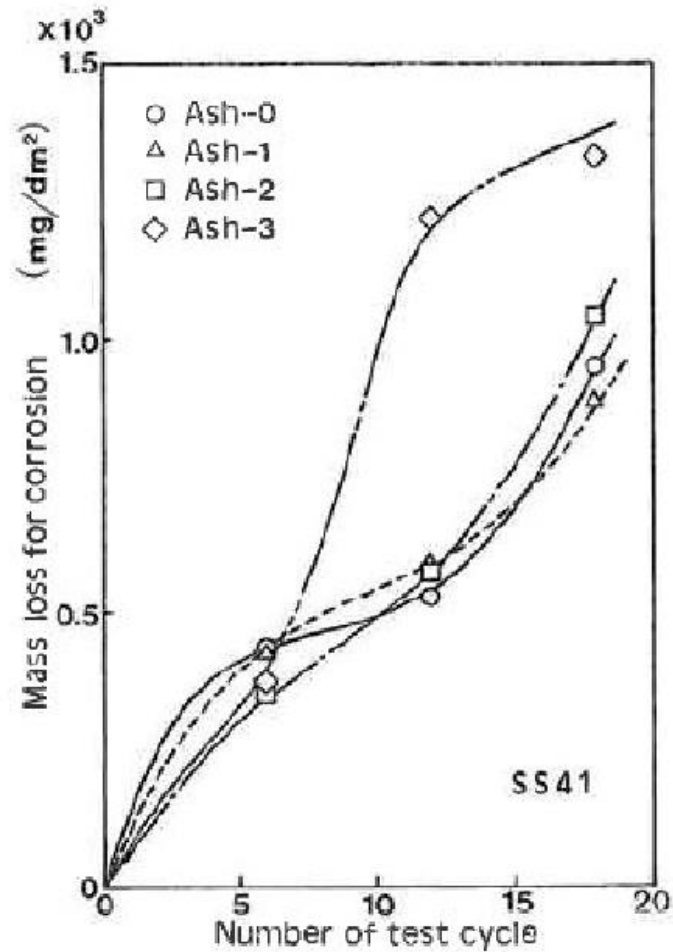
(3) 試験結果からの考察

降下火砕物による腐食については、主として火山ガスが付着した降下火砕物の影響によるものであり、本研究においては、金属試験片の表面に降下火砕物を置き、実際の火山環境を模擬して高濃度の SO_2 雰囲気中で曝露し、腐食実験を行っているものである。

腐食の要因となる火山ガスを高濃度の雰囲気を常に保った状態で行っている試験であり、自然環境に存在する降下火砕物よりも高い腐食条件*で金属腐食量を求めており、島根原子力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。

【*参考】

- ・三宅島火山の噴火口付近の観測記録：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
（「京大防災研究所年報」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

補足-018-05 外部火災への配慮に関する説明書に係る補足説明資料

補足説明資料目次

1. 外部火災の影響を考慮する施設の選定について
 2. 発電所敷地内の火災について
 - 2.1 森林火災について
 - 2.2 外部火災の影響を考慮する施設の許容温度について
 - 2.3 外部火災の影響を考慮する施設の温度評価体系について
 - 2.4 航空機墜落による火災について
 - 2.5 発電所敷地内に設置する変圧器及び水素ガストレーラの配置について
 3. 発電所敷地外の火災・爆発について
 - 3.1 石油コンビナート施設の火災・爆発について
 4. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について
 - 4.1 ばい煙による外部火災の影響を考慮する施設への影響
 - 4.2 有毒ガスによる中央制御室居住性への影響
- 別紙 1 航空機落下事故に関するデータの最新データについて

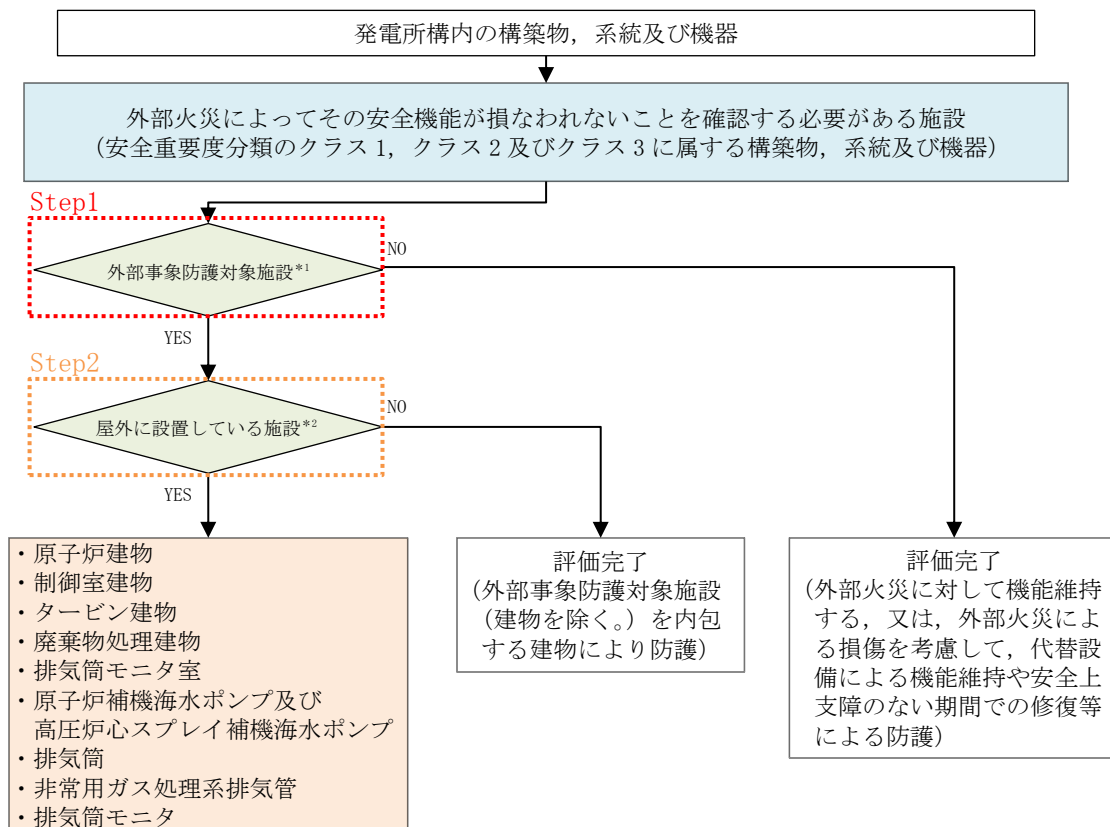
1. 外部火災の影響を考慮する施設の選定について

外部火災より防護すべき施設は、発電用原子炉施設の安全性を確保するため、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されている安全重要度分類のクラス 1、クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物、系統及び機器並びに重大事故等対処設備のうち、安全重要度分類のクラス 1、クラス 2 及び安全評価上その機能に期待するクラス 3 に属する構築物、系統及び機器に加え、それらを内包する建物（以下「外部事象防護対象施設」という。）並びに重大事故等対処設備とする。

外部火災の影響について評価を行う施設（以下「外部火災の影響を考慮する施設」という。）は外部火災より防護すべき施設の中から、施設の設置場所、構造を考慮して選定する。

外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響を考慮する施設を図 1-1 のフローに従い選定し、選定結果を表 1-1 及び表 1-2 に示す。

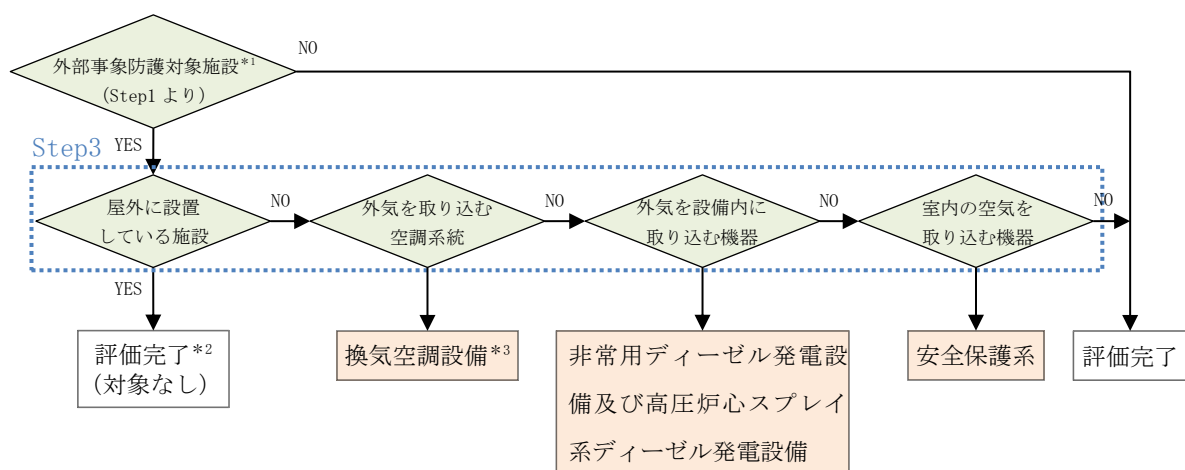
また、外部火災による二次的影響（ばい煙）を考慮し、外部事象防護対象施設に係る二次的影響（ばい煙）を考慮する施設を図 1-2 のフローに従い選定し、選定結果を表 1-1 及び表 1-3 に示す。



注記 *1：外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器並びにそれらを内包する建物

*2：外部事象防護対象施設（建物を除く。）を内包する建物については，外部事象防護対象施設（建物を除く。）が安全機能を損なわないこと及び重大事故等対処設備が設計基準事故対処設備等の安全機能と同時にその機能を損なわないことを確認する観点で選定する。

図 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響を考慮する施設の選定フロー



注記 *1：外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器並びにそれらを内包する建物

*2：ばい煙により機能に影響を受ける屋外の外部事象防護対象施設はない。

*3：中央制御室空調換気系以外の換気空調設備については，空調ファンを停止することでばい煙の侵入を阻止する設計とする。

図 1-2 外部事象防護対象施設に係る二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定フロー

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（1/16）

重要度分類指針				島根原子力発電所第2号機			Step1	Step2	Step3
分類	定義	機能	構造物、系統又は機器	設置場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次的影響 評価対象施設		
PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によつて、(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。）	R/B	○	× (建物で評価)	×		
			原子炉圧力容器		○				
			原子炉再循環ポンプ		○				
			配管・弁		○				
			隔離弁		○				
			制御棒駆動機構ハウジング		○				
			中性子束計装管ハウジング		○				
		2)過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	R/B	○	× (建物で評価)	×		
			制御棒駆動機構カップリング		○				
		3)炉心形状の維持機能	炉心支持構造物(炉心シェラウド、シェラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、燃料支持金具、制御棒案内管、制御棒駆動機構ハウジング、燃料集合体(上部タイププレート、下部タイププレート、スペーサ、チャンネルボックス)（ただし、燃料を除く。）	炉心シェラウド	R/B	○	× (建物で評価)	×	
				シェラウドサポート		○			
				上部格子板		○			
				炉心支持板		○			
				燃料支持金具		○			
				制御棒案内管		○			
				制御棒駆動機構ハウジング		○			
燃料集合体	○								
燃料集合体(上部タイププレート、下部タイププレート、スペーサ、チャンネルボックス)	○								

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（2/16）

重要度分類指針				島根原子力発電所第2号機			Step1	Step2	Step3
分類	定義	機能		建築物、系統又は機器	設置場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次的影響 評価対象施設	
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する建築物、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	R/B	○	× (建物で評価)	×	
				制御棒案内管		○			
				制御棒駆動機構		○			
				水圧制御ユニット（スクラムパイロット弁、スクラム弁、アキュムレータ、室素容器、配管・弁）		○			
		2) 未臨界維持機能	原子炉停止系（制御棒による系、ほう酸水注入系）	制御棒	R/B	○	× (建物で評価)	×	
				制御棒カップリング		○			
				制御棒駆動機構カップリング		○			
				制御棒駆動機構ハウジング		○			
				制御棒駆動機構		○			
				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・弁、注入配管・弁）		○			
3) 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁（安全弁開機能）	R/B	○	× (建物で評価)	×				

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（3/16）

重要度分類指針				島根原子力発電所第 2 号機			Step1	Step2	Step3
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	設置場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次的影響 評価対象施設		
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	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（サブプレッション・プール・タービン・プールから注水先までの配管・弁、ポンプミニマムフローライン配管・弁、サブプレッション・プールのストレーナ） タービンへの蒸気供給配管・弁 潤滑油冷却器及びその冷却器までの冷却水供給配管 高圧炉心スプレイ系（ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからスプレイ先までの配管・弁、スプレッスバージヤ、ポンプミニマムフローライン配管・弁、サブプレッション・プールのストレーナ） 逃がし安全弁（手動逃がし機能） 原子炉圧力容器から逃がし安全弁までの主蒸気配管 逃がし安全弁アキュムレータ、逃がし安全弁アキュムレータから逃がし安全弁までの配管・弁 自動減圧系弁（手動逃がし機能） 原子炉圧力容器から逃がし安全弁までの主蒸気配管 逃がし安全弁 自動減圧系アキュムレータ、自動減圧系アキュムレータから逃がし安全弁までの配管・弁	R/B	○	×	×		
					○	(建物で評価)			
				R/B	○	×	×		
					○	(建物で評価)			
				R/B	○				
					○				
				R/B	○				
					○				
					○				
					○				
					○				
					○				

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（4/16）

重要度分類指針				島根原子力発電所第2号機						
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	設置場所*	Step1 外部事象 防護対象施設	Step2 屋外施設 (評価対象)	Step3 二次的影響 評価対象施設			
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	5) 炉心冷却機能	非常用炉心冷却系（低圧炉心スプレイス系、低圧注水系、高圧炉心スプレイス系、自動減圧系）	残留熱除去系（低圧注水モード）（ポンプ、サブレーション・プール、サブレーション・プールから注水先までの配管・弁（熱交換器バイパスライン含む）、ポンプミニマムフローライン配管・弁、サブレーション・プールのストレーナ）	○	× (建物で評価)	×			
				高圧炉心スプレイス系（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、スプレイスパー ज्या、ポンプミニマムフローライン配管・弁、サブレーション・プールのストレーナ）						
				低圧炉心スプレイス系（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、スプレイスパー ज्या、ポンプミニマムフローライン配管・弁、サブレーション・プールのストレーナ）						
				自動減圧系（逃がし安全弁）						
				原子炉圧力容器から逃がし安全弁までの主蒸気配管						
			自動減圧系アキュムレータ、自動減圧系アキュムレータから逃がし安全弁までの配管・弁	R/B	○	× (建物で評価)	×			
			ジェットポンプ（事故時の炉心再冠水維持機能）					○		

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（5/16）

重要度分類指針				島根原子力発電所第2号機		Step1	Step2	Step3
分類	定義	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、非常用ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	構築物、系統又は機器	設置場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次的影響 評価対象施設
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウナ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、非常用ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	原子炉格納容器（格納容器本体、貫通部（ペネトレーション）、所員用エアロック、機器搬入ハッチ）	R/B	○	× (建物で評価)	×
				ペント管		○		
				スプレイ管		○		
				真空破壊弁		○		
				逃がし安全弁排気管のクエンチャ		○		
				原子炉建物（原子炉建物原子炉棟（原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネルを含む。））	屋外	○	○	×
				原子炉格納容器隔離弁及び格納容器バウンダリ配管	R/B	○	× (建物で評価)	×
				原子炉棟換気系隔離弁		○		
				主蒸気隔離弁アキユムレータ、主蒸気隔離弁アキユムレータから主蒸気隔離弁までの配管・弁		○		
				主蒸気流量制限器		○		
				残留熱除去系（格納容器冷却モード）（ポンプ、熱交換器、サブレーション・プール、サブレーション・プールからサブレイ先（ドライウエル及びサブレーション・ヘッダ（ドライウエル及びサブレーション・プール）、ポンプミニマムフローライン配管・弁、サブレーション・プールストレーナ）		○		
				非常用ガス処理系（排気ファン、フィルタ装置、原子炉建物原子炉棟吸込口からタービン建物壁面までの配管・弁、乾燥装置（乾燥機能部分））	R/B T/B	○	× (建物で評価)	×
				非常用ガス処理系（タービン建物壁面から排気筒頂部までの配管）	屋外	○	○	×
				排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能）		○		
				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）	R/B	○	× (建物で評価)	×
				残留熱除去系（再結合装置への冷却水供給を司る部分）		○		
				遮蔽設備（原子炉遮蔽、一次遮蔽、二次遮蔽）		○		

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（6/16）

重要度分類指針				島根原子力発電所第2号機		Step1	Step2	Step3	
分類	定義	機能	安全保護系	構築物、系統又は機器	設置場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次的影響 評価対象施設	
MS-1	2) 安全上の必要なその他の構築物、系統及び機器	1) 工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能 2) 安全上特に重要な関連機能	安全保護系	原子炉保護系	R/B T/B	○	×	○	
				工学的安全施設作動系	Rw/B C/B	○	(建物で評価)		
	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、ディーゼル発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路） 始動用空気系（始動用空気だめ（自動供給）からディーゼル機関まで） 冷却水系 燃料移送系（非常用ディーゼル発電機燃料貯蔵タンクからディーゼル機関まで） 燃料移送系（非常用ディーゼル発電機燃料貯蔵タンク、非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ） 非常用ディーゼル室送風機 吸気系 高圧炉心スプレイ電源系（ディーゼル機関、発電機、ディーゼル発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路） 始動用空気系（始動用空気だめ（自動供給）からディーゼル機関まで） 冷却水系 燃料移送系（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料貯蔵タンクからディーゼル機関まで） 燃料移送系（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料貯蔵タンク、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ） 高圧炉心スプレイ系ディーゼル室送風機 吸気系 中央制御室及び中央制御室遮蔽 中央制御室換気系「放射線防護機能及び有毒ガス防護機能」（ブースタ・ファン、非常用チャコール・フィルタ・ユニット、空調ユニット、再循環用ファン、排気ファン、ダクト及びダンパ）	非常用所内電源系（ディーゼル機関、発電機、ディーゼル発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路）	R/B	○	×	○		
			始動用空気系（始動用空気だめ（自動供給）からディーゼル機関まで）		○				
			冷却水系		○				
			燃料移送系（非常用ディーゼル発電機燃料貯蔵タンクからディーゼル機関まで）	R/B T/B	○			(建物で評価)	
			燃料移送系（非常用ディーゼル発電機燃料貯蔵タンク、非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ）	屋外	○			(建物で評価)	
			非常用ディーゼル室送風機		○				
			吸気系	R/B	○				
			高圧炉心スプレイ電源系（ディーゼル機関、発電機、ディーゼル発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路）	R/B	○			×	○
			始動用空気系（始動用空気だめ（自動供給）からディーゼル機関まで）		○				
			冷却水系		○				
			燃料移送系（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料貯蔵タンクからディーゼル機関まで）	R/B T/B	○	(建物で評価)			
			燃料移送系（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料貯蔵タンク、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ）	屋外	○	(建物で評価)			
			高圧炉心スプレイ系ディーゼル室送風機		○				
			吸気系	R/B R/B	○				
			中央制御室及び中央制御室遮蔽	C/B	○	×	×		
			中央制御室換気系「放射線防護機能及び有毒ガス防護機能」（ブースタ・ファン、非常用チャコール・フィルタ・ユニット、空調ユニット、再循環用ファン、排気ファン、ダクト及びダンパ）	C/B Rw/B	○	×	○		

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（7/16）

重要度分類指針			島根原子力発電所第2号機				
分類	定義	機能	構造物、系統又は機器		Step1	Step2	Step3
			設置場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次の影響 評価対象施設	
MS-1	2) 安全上必要なその他の構造物、系統及び機器	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、直流水系、直流電源系（いずれも、MS-1関連のもの）	原子炉補機冷却系（ポンプ、熱交換器、非常用負荷冷却ライン配管・弁（MS-1関連）、サージタンク）	R/B Rw/B	○ (建物で評価)	×	
			高圧炉心スプレイ補機冷却系（ポンプ、熱交換器、非常用負荷冷却ライン配管・弁（MS-1関連）、サージタンク）	R/B	○ (建物で評価)	×	
			原子炉補機海水系（ポンプ、配管・弁（MS-1関連）、ストレーナ（異物除去機能を司る部分））	屋外	○	×	
			原子炉補機海水系（配管・弁（MS-1関連））	R/B T/B	○ (建物で評価)	×	
			高圧炉心スプレイ補機海水系（ポンプ、配管・弁（MS-1関連）、ストレーナ（異物除去機能を司る部分））	屋外	○	×	
			高圧炉心スプレイ補機海水系（配管・弁（MS-1関連））	R/B T/B	○ (建物で評価)	×	
			取水路（屋外トレンチ含む）	屋外	○ (建物で評価)	×	
			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））	R/B C/B Rw/B	○ (建物で評価)	×	
			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））	○ (建物で評価)	×		

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響 (ばい煙) を考慮する施設の選定結果 (8/16)

重要度分類指針				島根原子力発電所第2号機		Step1	Step2	Step3
分類	定義	機能	構造物、系統又は機器	設置場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次的影響 評価対象施設	
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造物、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。) 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 3) 燃料を安全に取り扱う機能	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)	R/B T/B	○	×	×	
			主蒸気系 (格納容器隔離弁の外側)	R/B	○	×	(建物で評価)	
			原子炉浄化系 (原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分)		○			
			原子炉隔離時冷却系タービン蒸気供給ライン (原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分であって外側隔離弁下流からタービン止め弁まで)					
			排ガス処理系 (活性炭式希ガスホルドアップ装置)	Rw/B	○	×	×	
			燃料プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む)	R/B	○	×	(建物で評価)	
			新燃料貯蔵庫「臨界を防止する機能」(新燃料貯蔵ラック)		○			
			燃料取扱替機	R/B	○	×	(建物で評価)	
			原子炉ウエル		○			
			原子炉建物天井クレーン		○			
	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造物、系統及び機器	逃がし安全弁 (吹き止まり機能に関連する部分)	R/B	○	×	×		

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（9/16）

重要度分類指針				島根原子力発電所第2号機		Step1	Step2	Step3
分類	定義	機能		構造物、系統又は機器	設置場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次的影響 評価対象施設
MS-2	1) PS-2の構 築物、系統 及び機器の 損傷又は故 障により、 敷地周辺公 衆に与える 放射線の影 響を十分小 さくするよ うにする構 築物、系統 及び機器	1) 燃料プールの 補給機能	非常用補給 水系	残留熱除去系（ポンプ、サブレーション・プール、サブレッ ション・プールから燃料プールまでの配管・弁、ポンプミニ マムフローライン配管・弁、サブレーション・プールのストレ ーナ）	R/B	○	×	×
		2) 放射性物質放 出の防止機能	放射性気体 廃棄物処理 系の隔離弁、 排気筒（非常 用ガス処理 系排気管の 支持機能以 外）	排ガス処理系隔離弁	T/B	○	×	×
				排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能以外の部分）	屋外	○	○	×
				燃料プール冷却系の燃料プール入口逆止弁	R/B	○	×	×
			燃料集合体 落下事故時 放射能放出 を低減する 系	原子炉建物（原子炉建物原子炉棟（原子炉建物燃料取替階ブロ ーアウトパネルを含む。）） 非常用ガス処理系（排気ファン、フィルタ装置、原子炉建物原 子炉棟吸込口からタービン建物壁面までの配管・弁、乾燥装置 （乾燥機能部分）） 非常用ガス処理系（タービン建物壁面から排気筒頂部までの配 管） 排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能）	屋外	○	○	×
					R/B T/B	○	×	×
					屋外	○ ○	○	×

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（10/16）

重要度分類指針				島根原子力発電所第2号機				Step1	Step2	Step3
分類	定義	機能		構造物、系統又は機器	設置場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次的影響 評価対象施設		
MS-2	2) 異常状態への対応上特に重要な構造物、系統及び機器	1) 事故時のブラント状態の把握機能	事故時監視計器の一部	中性子束、原子炉スクラム用電磁接触器の状態又は制御棒位置	R/B C/B Rw/B	○	× (建物で評価)	×		
				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、格納容器エリア放射線量率，サブレーション・プール水温		○				
				「低温停止への移行」 原子炉圧力，原子炉水位（広帯域） 「ドライウェルスブレイ」 原子炉水位（広帯域、燃料域），格納容器圧力 「サブレーション・プール冷却」 原子炉水位（広帯域、燃料域），サブレーション・プール水温 「可燃性ガス濃度制御系起動」 原子炉格納容器水素濃度，原子炉格納容器酸素濃度		○				
				－		○				
		2) 異常状態の緩和機能 3) 制御室外からの安全停止機能	BWRは対象外 制御室外原子炉停止装置（安全停止に関連するもの）	中央制御室外原子炉停止系	R/B	○	× (建物で評価)	×		

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（11/16）

重要度分類指針				島根原子力発電所第2号機			Step1	Step2	Step3
分類	定義	機能	構造物、系統又は機器		設置場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次的影響 評価対象施設	
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1 及び PS-2 以外の構造物、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	原子炉冷却材圧力バウンダリから除外される小口径配管・弁	屋内	×			
						計装配管・弁			×
						試料採取系配管・弁			×
						ドレン配管・弁			×
		2) 原子炉冷却材の循環機能	原子炉冷却材再循環系	原子炉再循環ポンプ配管・弁	屋内	×			
				ライザ管 (炉内)		×			
				ジェットポンプ		×			
		3) 放射性物質の貯蔵機能	サブプレッション・プール 水排水系、 復水貯蔵タンク、放射性廃棄物処理施設 (放射能インベントリの小さいもの)	復水貯蔵タンク	屋外	×			
				液体廃棄物処理系 (タンク)		×			
				固体廃棄物処理系 (タンク、固体廃棄物貯蔵所 (ドラム缶))		×			
		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	タービン、発電機及びその励磁装置、 復水系 (復水器を含む。)、 給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	発電機及びその励磁装置	屋内			×
					軸密封装置				×
					発電機水素ガス冷却装置				×
					固定子冷却装置				×
励磁電源系	×								
蒸気タービン (主タービン、主要弁、配管)	×								
主蒸気系 (主蒸気/駆動源)	×								
タービン制御系	×								
タービンブランド蒸気系	×								

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（12/16）

重要度分類指針				島根原子力発電所第2号機		Step1	Step2	Step3
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	設置場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次的影響 評価対象施設	
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1 及び PS-2以外の構築物、系統及び機器	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	タービン潤滑油系 (配管・弁等)	×			
				抽気系 (配管・弁等)	×			
				タービンヒータバント系 (配管・弁)	×			
				タービンヒータドレン系 (配管・弁等)	×			
				補助蒸気系	×			
				復水系 (復水器, 復水ポンプ, 配管・弁)	×			
				抽出空気系 (配管・弁)	×			
				給水系 (電源駆動給水ポンプ, タービン駆動給水ポンプ, 給水加熱器, 配管・弁)	×			
				循環水系 (循環水ポンプ, 配管・弁)	×			
				取水設備 (屋外トレンチ含む)	×			
				常用所内電源系 (発電機又は外部電源から所内負荷までの配電設備及び電路 (MS-1 関連以外))	×			
				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)) , 充電器	×			
				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))	×			
				送電線	×			
				変圧器 (所内変圧器, 起動変圧器, 予備変圧器, 電路)	×			
				変圧器	×			
				油劣化防止装置	×			
				冷却装置	×			
				開閉所 (母線, 遮断器, 断路器, 電路)	×			
	5) プラント計測・制御機能 (安全保護機能を除く。)	原子炉制御系 (制御棒価値ミニマイザを含む。), 原子炉核計装, 原子炉プラントプロセス計装	原子炉制御系 (制御棒価値ミニマイザを含む。)	屋内	×			
			原子炉核計装の一部	屋内	×			
			原子炉プラントプロセス計装の一部	屋内	×			

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（13/16）

重要度分類指針				島根原子力発電所第2号機			Step1	Step2	Step3		
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	設置場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次的影響 評価対象施設				
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1 及び PS-2以外の構築物、系統及び機器	6) プラント運転補助機能	所内ボイラ、計装用圧縮空気系	屋外	×						
			油系統（重油サービスタンク、重油ポンプ、配管・弁）		×						
			所内蒸気系（配管・弁）		×						
			計装用空気系（空気圧縮機、配管・弁、中間冷却器、後部冷却器、気水分離器、空気貯槽）	屋内 屋外	×						
			原子炉補機冷却系（MS-1 関連以外）（配管・弁）		×						
			タービン補機冷却系（ポンプ、熱交換器、配管・弁、サージータンク）		×						
			タービン補機海水系（ポンプ、配管・弁、ストレーナ）	屋外	×						
			復水輸送系（ポンプ、配管・弁）	屋内	×						
復水貯蔵タンク	屋外	×									

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（14/16）

重要度分類指針				島根原子力発電所第2号機		Step1	Step2	Step3
分類	定義	機能	燃料被覆管	構造物、系統又は機器	設置場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次的影響 評価対象施設
PS-3	2) 原子炉冷却材中放射線物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構造物、系統及び機器	1) 核分裂生成物の原子炉冷却材中への放散防止機能	燃料被覆管	燃料被覆管、上/下部端栓、タイロッド	屋内	×		
		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	原子炉浄化系（再生熱交換器、非再生熱交換器、ポンプ、ろ過脱塩装置、配管・弁） 復水浄化系（復水ろ過装置、復水脱塩装置、配管・弁）		×	—	—
						×		
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、事象を緩和する構造物、系統及び機器	1) 原子炉圧力の上昇の緩和機能	逃がし安全弁（逃がし弁機能）、タービンバイパス弁	逃がし安全弁（逃がし弁機能） タービン・バイパス弁 原子炉圧力容器から逃がし安全弁までの主蒸気配管	屋内	○	×	×
				逃がし安全弁アキュムレータ、逃がし安全弁アキュムレータから逃がし安全弁までの配管・弁		○	(建物で評価)	
				原子炉圧力容器からタービン・バイパス弁までの主蒸気配管		×		
				タービン・バイパス弁アキュムレータ、タービン・バイパス弁アキュムレータからタービン・バイパス弁までの配管・弁		×	—	—
						×		
						×		
	2) 出力上昇の抑制機能	原子炉冷却材再循環系（再循環ポンプトリップ機能）、制御棒引抜監視装置	原子炉冷却材再循環系（再循環ポンプトリップ機能）、制御棒引抜監視装置	原子炉再循環系（再循環ポンプトリップ機能）	屋内	○	×	×
				制御棒引抜監視装置		○	(建物で評価)	

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（15/16）

重要度分類指針				島根原子力発電所第2号機		Step1	Step2	Step3
分類	定義	機能	制御棒駆動 水圧系、原 子炉隔離時 冷却系	構造物、系統又は機器	設置 場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次的影響 評価対象施設
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 る構造物、 系統及び機 器	3) 原子炉冷却材 の補給機能	制御棒駆動 水圧系、原 子炉隔離時 冷却系	制御棒駆動水圧系（ポンプ、復水貯蔵タンクから制御棒駆動機 構までの配管・弁、ポンプサクションフィルタ、ポンプミニマ ムフローライン配管・弁）	屋内 屋外 (ダクト)	×		
				復水貯蔵タンク	屋外	×		
				原子炉隔離時冷却系（ポンプ、タービン、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、ポ ンプミニマムフローライン配管・弁）	屋内	×		
				タービンへの蒸気供給配管・弁		×		
				潤滑油冷却器及びその冷却器までの冷却水供給配管		×	—	—
			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 線監視設備、 事故時監視 計器の一部、 消火系、安全 避難通路、非 常用照明	緊急時対策所（緊急時対策所、情報収集設備、通信連絡設備、 資料及び器材、遮蔽設備）	屋外	×		
				試料採取系（異常時に必要な以下の機能を有するもの。原子炉 冷却材放射性物質濃度サンプリング分析、格納容器雰囲気放射 性物質濃度サンプリング分析）	屋内	×		
				通信連絡設備（1つの専用回路を含む複数の回路を有する通信 連絡設備）	屋内 屋外	×		
				排気筒モニタ	屋外	○	○	×
				放射能監視設備（排気筒モニタ以外）	屋外	×		
				事故時監視計器の一部	屋内 屋外	×	—	—

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響及び二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（16/16）

重要度分類指針				島根原子力発電所第2号機			Step1	Step2	Step3	
分類	定義	機能	構造物、系統又は機器	設置場所*	外部事象 防護対象施設	屋外施設 (評価対象)	二次的影響 評価対象施設			
MS-3	2) 異常状態への対応上必要な構造物、系統及び機器	1) 緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所、試料採取系、通信連絡設備、放射線監視設備、事故時監視計器の一部、消防部、消防系、安全避難通路、非常用照明	消火系	水消火設備(補助消火水槽、サ イトバンカ建物消火タンク、 4 4 m盤消火タンク、 4 5 m 盤消火タンク、 5 0 m盤消火 タンク、ポンプ、配管・弁等)	屋内 屋外	×			
					泡消火設備			×		
					固定式ガス消火設備	屋内		×		
								×		
						火災検出装置(受信機含む)	防火扉、防火ダンパ、耐火壁、隔壁(消火設備の機能を維持・担保するために必要なもの) 安全避難通路 安全避難用扉 非常用照明	屋内	×	—

注記*：R／B：原子炉建物，C／B：制御室建物，T／B：タービン建物，Rw／B：廃棄物処理建物，屋内：R／B，C／B，T／B，Rw／B外

表 1-2 外部火災の影響を考慮する施設の選定結果

分類		外部火災の影響を考慮する施設
外部事象防護対象施設	外部事象防護対象施設（建物を除く。）を内包する建物	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建物 ・制御室建物 ・タービン建物 ・廃棄物処理建物 ・排気筒モニタ室^{*1}
	屋外の外部事象防護対象施設（建物を除く。）	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（以下「海水ポンプ」という。） ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気管^{*2} ・排気筒モニタ^{*2}

注記*1：排気筒モニタ室については、他の建物の評価で代表する。

*2：非常用ガス処理系排気管及び排気筒モニタについては、排気筒の評価で代表する。

表 1-3 二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果

分類	二次的影響（ばい煙）を考慮する施設
外気を取り込む空調系統	<ul style="list-style-type: none"> ・換気空調設備
外気を設備内に取り込む機器	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（以下「非常用ディーゼル発電設備」という。）
室内の空気を取り込む機器	<ul style="list-style-type: none"> ・安全保護系

2. 発電所敷地内の火災について

2.1 森林火災について

2.1.1 熱影響が最も厳しくなる最大火災輻射発散度の算出

(1) 発火点

立地条件を考慮して設定した発火点のケース 1～5 の位置を図 2-1 に示す。



図 2-1 発火点の設定位置

(2) FARSITE 出力データ

FARSITE 出力データ及びその出力データを基に算出したデータを表 2-1 に示す。

表 2-1 FARSITE 出力データ及びその出力データを基に算出したデータ

項目	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
火炎輻射発散度 (kW/m ²)	118	99.5	46.9	49.3	52.4
火炎輻射強度 (kW/m ²)	364	288	346	279	345
火線強度 (kW/m)	4154	3057	734	811	931
反応強度 (kW/m ²)	980	776	917	739	930
火炎長 (m)	3.6	3.2	1.7	1.7	1.8
火炎到達幅 (m)	4870				
燃焼継続時間 (min)	23	21	82	81	77
燃焼半径 [m]	1.193	1.037	0.537	0.563	0.600
円筒火炎モデル数 [-]	2041	2349	4538	4323	4059

(3) 燃焼半径の算出

次の式から燃焼半径(R)を算出する。

$$R = \frac{H}{3}$$

R : 燃焼半径(m), H : 火炎長(m)

(4) 円筒火炎モデル数の算出

次の式から円筒火炎モデル数(F)を算出する。

$$F = \frac{W}{2R}$$

F : 円筒火炎モデル数(-), W : 火炎到達幅(m)

(5) 火炎輻射発散度の算出

火災で発生する発熱量から輻射熱に寄与する割合（輻射熱割合）を考慮し、その輻射熱は円筒火炎の側面及び上面から放射されると仮定し、円筒火炎の火炎輻射発散度 Rf (kW/m^2) を求める。発熱量が保存されるため、以下の式で表現できる。

$$\begin{aligned} & (\text{円筒火炎 1 個の側面積} + \text{上部面積} (\text{m}^2)) \times \text{円筒火炎個数} \times \text{火炎輻射発散度} (\text{kW/m}^2) \\ & = \text{火線強度} (\text{kW/m}) \times \text{火炎到達幅} (\text{m}) \times \text{輻射熱割合} (-) \end{aligned}$$

$$(2\pi RH + \pi R^2) \times F \times Rf = I_B \times W \times \chi$$

また、上記(3)(4)の式より、以下の式が求まる。

$$Rf = \frac{6\chi I_B}{7\pi H}$$

Rf : 火炎輻射発散度 (kW/m^2), I_B : 火線強度 (kW/m), H : 火炎長 (m)

<火炎輻射発散度の算出方法>

火線強度 (I_B) (kW/m) は、図 2-2 に示すような火炎構造(幅 W (m), 奥行き D (m), 火炎長: L_f (m))において「火炎最前線での単位幅あたりの発熱速度」と定義でき、反応強度 : I_R (kW/m^2) とは次の関係にある。

$$I_B = I_R \times D \quad (\text{式 1})$$

火炎輻射発散度を計算するための円筒火炎モデルでは、図 2-2 の有効火炎領域を、火炎の幅 W (m) に沿って円筒火炎 (半径 R (m), 高さ H (m)) を F 個一列に並べて模擬する。ここで、有効火炎領域の発熱量のうち輻射熱割合 χ (-) を考慮し、円筒火炎の側面及び上面からの輻射熱として放射されるとして、発熱量が保存されるように火炎輻射発散度を求める。円筒火炎での火炎輻射発散度を Rf (kW/m^2) とすると有効火炎領域の発熱量は保存されることから、以下の式で表現できる。

総発熱量(側面, 上面からの輻射) (kW)

= 火線強度 (kW/m) \times 火炎到達幅 (m) \times 輻射熱割合 (-) より

$$(2\pi RH + \pi R^2) \times F \times Rf = I_B \times W \times \chi (= I_R \times D \times W \times \chi) \quad (\text{式 2})$$

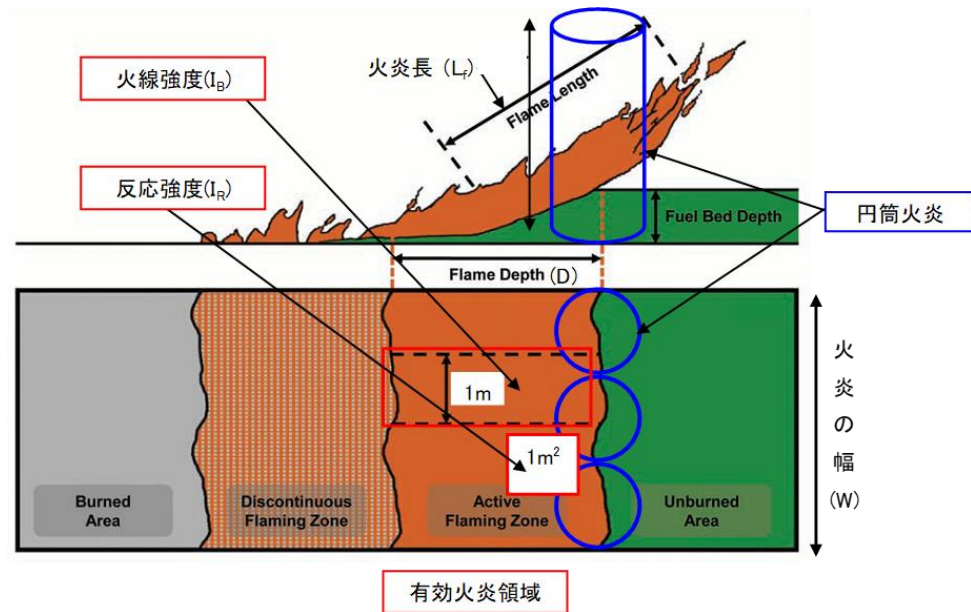
また、評価ガイドより、円筒火炎モデルは

$$R = H/3 \quad (\text{式 3})$$

$$F = W/2R \quad (\text{式 4})$$

と定義されるので、式 3, 式 4 を式 2 に代入することにより、次式が得られる。

$$Rf = \frac{6\chi I_B}{7\pi H} \quad (\text{式 5})$$



(出典：Andrews, P.L., et. al. (2011): How to Generate and Interpret Fire Characteristics Charts for Surface and Crown Fire Behavior. USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-253.)

図 2-2 火線強度及び円筒火炎モデルの考え方

(6) 熱影響が最も厳しくなる最大火炎輻射発散度の特定

VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-5-5「外部火災防護における評価方針」に示す評価式を用いて原子炉建物について熱影響評価をした結果を表 2-2 に示す。評価結果のとおり，ケース 1 において熱影響が最も厳しくなることを確認した。

以上より，熱影響評価では，ケース 1 の火炎輻射発散度 $118(\text{kW}/\text{m}^2)$ を用いて評価を行う。

表 2-2 原子炉建物に対する発火点毎の熱影響評価

最大外壁面温度 ($^{\circ}\text{C}$)					コンクリート 許容温度 ($^{\circ}\text{C}$)
ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	
63	57	60	58	58	<200

2.1.2 森林火災における評価モデルの概要

(1) 建物外壁の温度評価方法

火災の進展により原子炉建物外壁面が受ける輻射熱は、FARSITE による森林火災解析結果から、1 メッシュ (10m×10m) ごとに火炎長、単位面積当たりの発熱量及び火炎到達時間が出力されるので、メッシュごとに円筒火炎モデルを並べ (円筒火炎の直径が 1m であれば、1 メッシュに 10 個の円筒火炎を考慮)、各メッシュに火炎が到達してから燃え尽きるまでの間輻射に寄与するものとして受熱点の輻射強度を積算する。受熱点への輻射強度計算方法の概念を図 2-3 に示す。

外壁面の温度は、外壁面での対流熱伝達と輻射放熱を考慮し以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて評価を実施する (図 2-4)。

$$\frac{dT}{dt} = \kappa \frac{d^2T}{dx^2}$$

T : 温度 (°C), t : 時刻 (s), x : 建物壁内における外面からの距離 (m),
 κ : 熱拡散率 (m²/s)

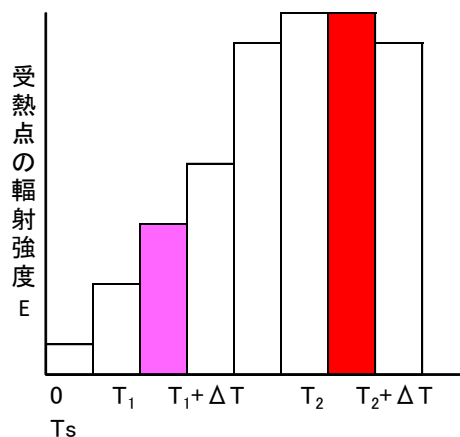
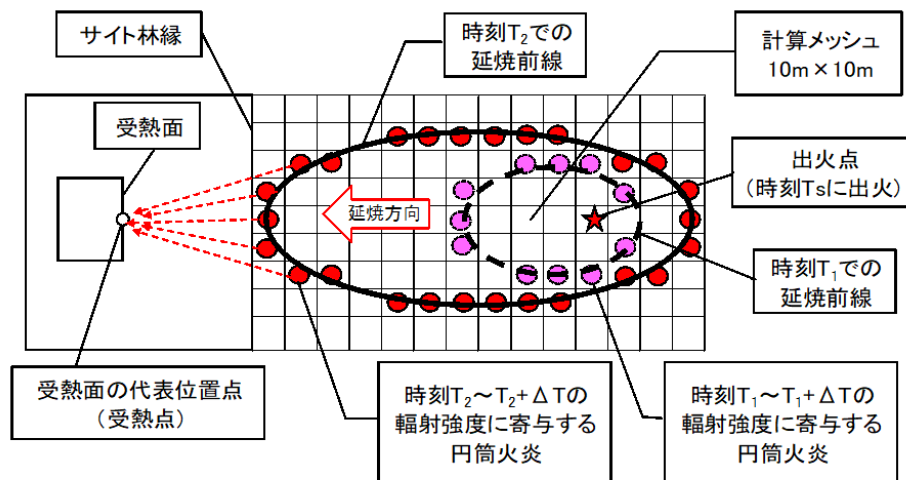


図 2-3 受熱点の輻射強度の計算モデル概念図

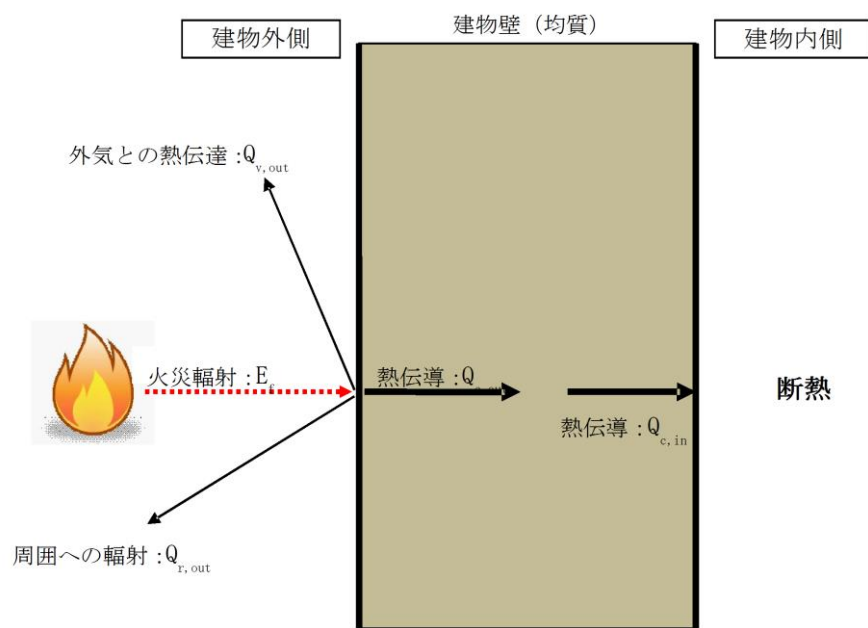


図 2-4 外壁面温度評価概念図

(2) 危険距離の評価方法

最大の火炎輻射発散度のメッシュの火炎データをもった円筒火炎モデルを火炎到達幅と同じ長さの直線上に並べて、全円筒から同時かつ継続的に受熱面が受ける輻射強度が危険輻射強度となる距離を危険距離として算出する。

危険距離の評価方法として、直線上の火炎前線及び一様の火線強度による円筒火炎モデルを用いた。円筒火炎モデルによる危険距離評価の概要図を図 2-5 に示す。

危険距離の計算条件である火線強度、火炎長は表 2-1 に示すとおり、FARSITE の解析結果を用いた。

輻射熱割合は、針葉樹：0.377 及び落葉広葉樹：0.371（米国防火技術者協会（SFPE）が発行しているハンドブック（THE SFPE HANDBOOK of Fire Protection Engineering FOURTH EDITION）より算出）を発火点周辺の植生に合わせ、以下のとおり採用した。

ケース 1, 2, 5 : 0.371（落葉広葉樹）

ケース 3, 4 : 0.377（針葉樹）

なお、反応強度は炎から輻射として放出される熱エネルギー（火炎輻射強度）と火炎・煙として対流放散される熱エネルギー（火炎対流発散度）の和により求められることから、針葉樹の輻射熱割合（0.377）は、針葉樹代表種の火炎輻射強度：4.9[kJ/g]と反応強度：13.0[kJ/g]の比（反応強度に対する火炎輻射強度の割合）から算出した。

同様に、落葉広葉樹の輻射熱割合（0.371）は、落葉広葉樹代表種の火炎輻射強度：4.6[kJ/g]と反応強度：12.4[kJ/g]の比（反応強度に対する火炎輻射強度の割合）から算出した。

【針葉樹】

火炎輻射強度 4.9[kJ/g] + 火炎対流発散度 8.1[kJ/g] = 反応強度 13.0[kJ/g]

輻射熱割合（針葉樹） = 火炎輻射強度 4.9[kJ/g] / 反応強度 13.0[kJ/g]
= 0.377

【落葉広葉樹】

火炎輻射強度 4.6[kJ/g] + 火炎対流発散度 7.8[kJ/g] = 反応強度 12.4[kJ/g]

輻射熱割合（落葉広葉樹） = 火炎輻射強度 4.6[kJ/g] / 反応強度 12.4[kJ/g]
= 0.371

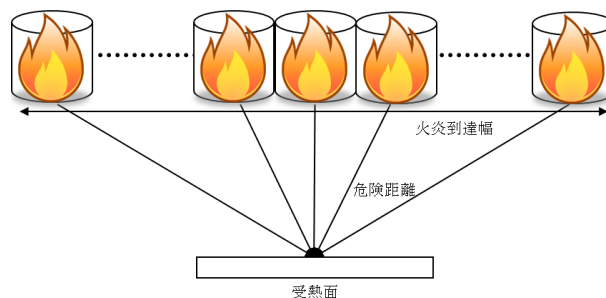


図 2-5 円筒火炎モデルによる危険距離評価の概要図

2.2 外部火災の影響を考慮する施設の許容温度について

(1) 評価に用いるコンクリート許容温度（200℃）について

コンクリートの圧縮強度は、200℃程度までは常温と殆ど変わらないかむしろ上昇するが、その後は徐々に低下して、500℃で常温強度の 2/3 になるとしている。また、火災後（冷却後）の残存強度を確保する場合には 450℃が限界としている。図 2-6 にコンクリートの強度と温度の関係について示す。

よって、保守的に圧縮強度に変化がないとされる 200℃を許容温度とし、評価を実施する。

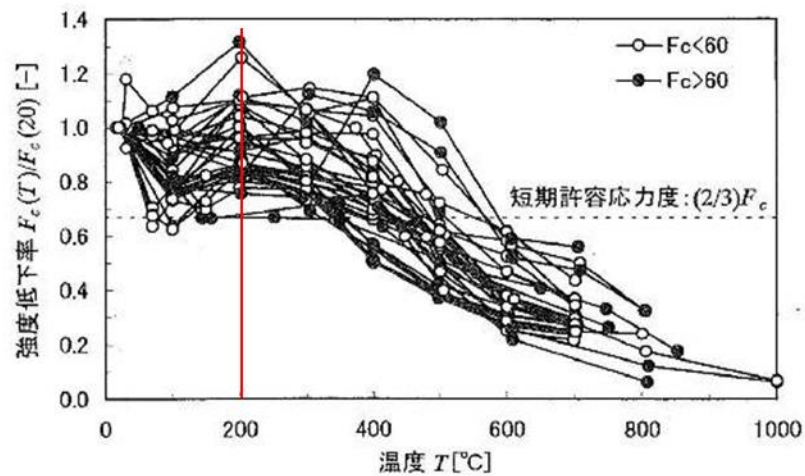


図14 コンクリートの高温時圧縮強度（常温強度に対する比）

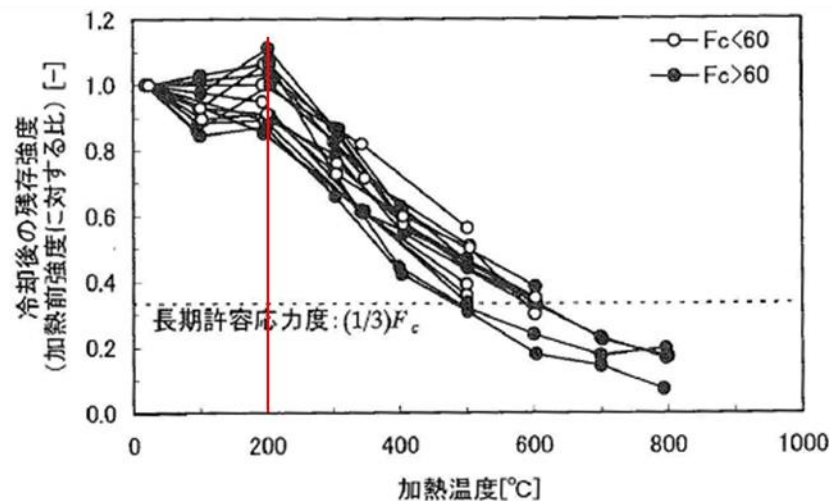


図15 加熱後のコンクリートの残存圧縮強度（加熱前強度に対する比）

図 2-6 コンクリートの強度と温度の関係*（一部加筆）

注記*：原田和典「建築火災のメカニズムと火災安全設計」財団法人日本建築センター

(2) 評価に用いる海水ポンプの許容温度 (55℃) について

下部軸受の機能を維持するため耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95℃*から冷却空気の初期温度 40℃を差し引いた 55℃を冷却空気の許容温度とし、評価を実施する。

注記*：電気規格調査会標準規格 誘導機 (J E C 2 1 3 7 -2000)

(3) 評価に用いる排気筒の許容温度 (325℃) について

一般的に、鋼材は温度上昇に伴い強度が低下するが、その高温強度に対する公的規格は存在していない。一方、発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (一般社団法人 日本機械学会) では、鋼材の制限温度を 350℃としていること、また、文献*¹では、鋼材の温度上昇に伴う強度低下率 $\kappa(T)$ が示されており、一般的な鋼材において温度が 325℃以下であれば、その強度が常温時と変わらない ($\kappa(T)=1$) *²としている (図 2-7)。

よって、保守的に鋼材の強度が常温時と変わらないとされる 325℃を許容温度とし、評価を実施する。

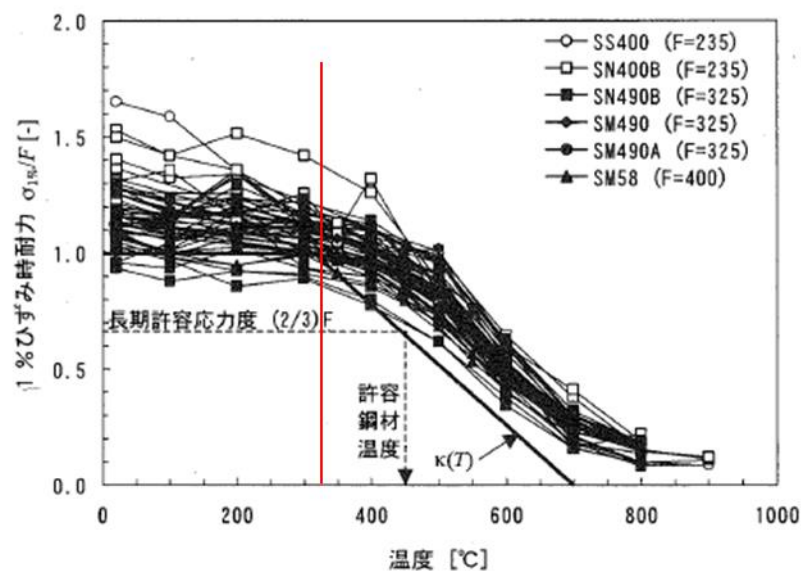


図 5 各種鋼材の高温時の 1%歪時耐力 (参考文献^{2)~6)} のデータから作成)

図 2-7 鋼材の温度上昇に伴う強度低下率*¹ (一部加筆)

注記*1：原田和典「建築火災のメカニズムと火災安全設計」財団法人日本建築センター

*2：各温度における鋼材の 1%ひずみ時耐力の測定値を常温の基準強度 (F) で割ったものが強度低下率 $\kappa(T)$ であり、鋼材の強度が常温時と変わらない場合は、 $\kappa(T)=1$ となる。

2.3 外部火災の影響を考慮する施設の温度評価体系について

(1) 一定の輻射熱を受ける壁面（コンクリート）の温度評価体系

十分に厚い固体の表面が放射熱で加熱される場合の温度分布は、以下の一次元の熱伝導方程式により表すことができる。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

これを表面（ $x=0$ ）における境界条件

$$\varepsilon q = h\{T(0, t) - T_0\} - k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0}$$

の下で入射熱流束が時間的に一定であれば、次式が得られる。

$$T_s(t) = T_0 + \frac{\varepsilon q}{h} \left\{ 1 - \exp\left(\frac{h^2 t}{k \rho c}\right) \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{h^2 t}{k \rho c}}\right) \right\}$$

ただし、 $\operatorname{erfc}(z)$ は余誤差関数であり、 $T_s(t)=T(0, t)$ とおいた。

また、 $\varepsilon q / (h (T_s - T_0)) < 10$ の範囲では、以下のとおり近似できる。

$$\frac{\varepsilon q}{h(T_s - T_0)} = \frac{\sqrt{k \rho c}}{1.18 h} \frac{1}{\sqrt{t}} + 1$$

$$T_s = T_0 + \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k \rho c}}{1.18 h \sqrt{t}} + 1 \right) \frac{h}{\varepsilon q}}$$

（出典：原田和典「建築火災のメカニズムと火災安全設計」財団法人
日本建築センター）

使用する記号の説明を表2-3に示す。また、建物温度評価体系図を図2-8に示す。

表 2-3 記号の説明

記号	単位	定義
T	$^{\circ}\text{C}$	温度
t	s	燃焼継続時間
x	m	距離
$\text{erfc}(z)$	—	余誤差関数
T_s	K	表面温度
ε	—	表面の放射率
k	$\text{kW}/(\text{m}\cdot\text{K})$	熱伝導率
h	$\text{kW}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	熱伝達率
ρ	kg/m^3	密度
c	$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	比熱
q	kW/m^2	入射熱流束
T_0	K	初期温度

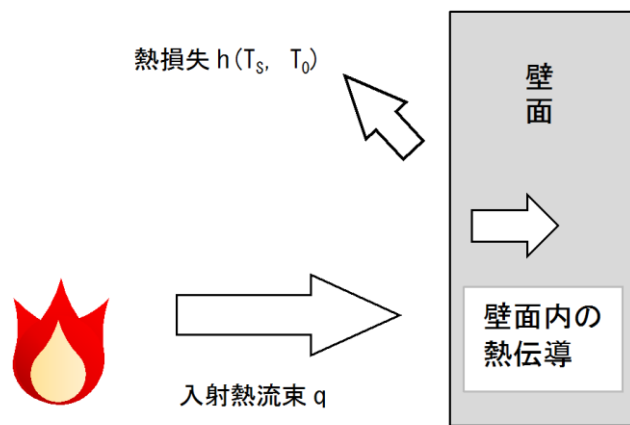


図 2-8 建物温度評価体系図

(2) 海水ポンプの温度評価体系

火災時の輻射熱が海水ポンプに入射し、冷却空気の温度上昇に寄与すると想定する。

海水ポンプ電動機の冷却空気が一定の輻射強度によって昇温されるものとして、比熱と熱容量の関係式より温度 T は以下の式となる。

$$T = T_0 + \frac{E \times A_T}{G \times C_p}$$

使用する記号の説明を表 2-4 に示す。また、海水ポンプ温度評価体系図を図 2-9 に示す。

表 2-4 記号の説明

記号	単位	定義
T	℃	温度
T_0	℃	通常運転時の上昇温度
E	W/m^2	輻射強度
A_T	m^2	受熱面積
G	kg/s	重量流量
C_p	$J/(kg \cdot K)$	空気比熱

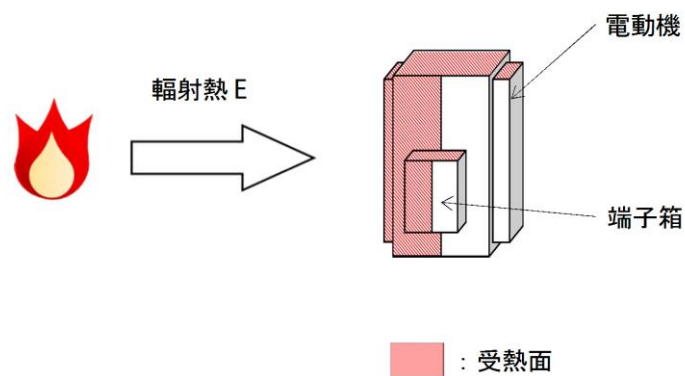


図 2-9 海水ポンプ温度評価体系図

(3) 排気筒の温度評価体系

火災時の輻射熱が排気筒に入射し、排気筒の温度上昇に寄与すると想定する。

排気筒外表面からの放熱を考慮し以下の式を解く。

$$\rho CV \frac{dT}{dt} = \varepsilon E \frac{S}{2} - h(T - T_0)S$$

$t \rightarrow \infty$ の場合で最大温度となり、その温度は以下の式となる。

$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E}{2h}$$

使用する記号の説明を表 2-5 に示す。また、排気筒温度評価体系図を図 2-10 に示す。

表 2-5 記号の説明

記号	単位	定義
C	J/kg/K	排気筒部材比熱
E	W/m ²	輻射強度
h	W/m ² /K	熱伝達係数
S	m ²	排気筒単位長さあたりの外周面積
T	℃	排気筒表面温度
T ₀	℃	初期温度
V	m ³	排気筒単位長さあたりの体積
ε	—	反射率
ρ	kg/m ³	排気筒部材密度

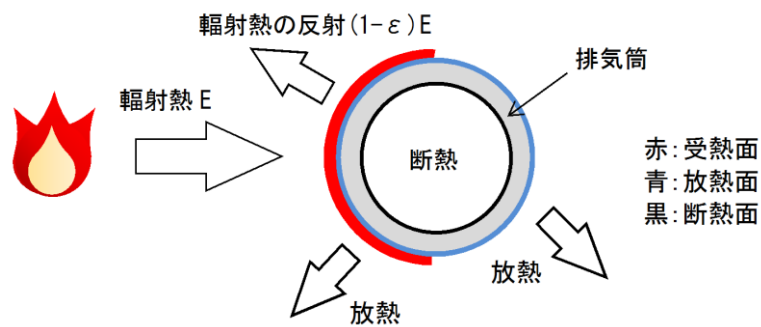


図 2-10 排気筒温度評価体系図

2.4 航空機墜落による火災について

(1) 評価対象航空機の選定について

航空機落下確率評価では、評価手法及び対象航空機の大きさの違いを考慮して落下確率を求めている。また、評価に考慮している航空機落下事故については、民間航空機と軍用機（自衛隊機又は米軍機）では、その発生状況が必ずしも同一ではなく、軍用機の中でも、機種によって飛行形態が同一ではないと考えられる。したがって、航空機墜落による火災影響の評価においては、表2-6に示すカテゴリ毎に火災影響を評価する。また、評価対象航空機の選定結果を表2-7に示す。

表 2-6 落下事故のカテゴリの分類

落下事故カテゴリ		分類
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時 ^{*1}	大型民間航空機 (離着陸時)
	航空路を巡航中 ^{*2}	大型民間航空機
有視界飛行方式民間航空機		小型民間航空機
自衛隊機 又は米軍機	訓練空域外を飛行中 ^{*3}	空中給油機等
		その他の機種
	基地－訓練空域間往復時	— ^{*4}

注記*1：滑走路方向から±60° の範囲に発電所が位置する空港があり，各空港の最大離着陸距離が，発電所から各空港までの距離より大きいため，評価対象とする（図 2-11，図 2-12）。（発電所－出雲空港の距離：約 17km，出雲空港－最大離着陸地点の距離：約 28km，発電所－米子空港の距離：約 22km，米子空港－最大離着陸地点の距離：約 43km）

*2：発電所周辺に存在する航空路と発電所との距離が，それぞれの航空路の幅より短い場合は，評価対象とする（表 2-8，図 2-13）。

*3：発電所上空には自衛隊機又は米軍機の訓練空域はない。

*4：発電所は基地－訓練空域間の往復想定範囲内に入らないため，評価対象外とする。

表 2-7 評価対象航空機の選定結果

分類	航空機	選定理由
大型民間航空機 (離着陸時)	B747-400	民間の大型航空機の中で燃料積載量が最大規模のものを選定
大型民間航空機	B747-400	民間の大型航空機の中で燃料積載量が最大規模のものを選定
小型民間航空機	Do228-200	民間の小型航空機の中で燃料積載量が最大規模のものを選定
空中給油機等	KC-767 (空中給油機)	空中給油機等の中で燃料積載量が最大規模のものを選定
その他の機種	F-15	その他の機種の中で燃料積載量が最大規模のものを選定

RJOc / IZUMO

LOC Z RWY25

MIHO APP 120.1 - 125.4 258.2 - 317.8	LOC 111.7 IZ LOC LOC-DME CH-54X	IZUMO RADIO 122.7 - 126.2	RADAR AVBL
---	---	-------------------------------------	-------------------

VAR 8°W (2016)

EQPT REQUIRED
DME
VOR

LAFA(FAF) : 352747.56N/1325933.32E

	NM to IZ	MAPt	2	3	4	5	6	FAF
ALT (3.0° APCH Path)	—	—	317	635	954	1272	1591	1751

MISSED APPROACH

Climb on HDG247° to 1600FT, turn right direct to XZE VOR/DME and hold at 3000FT.

Contact IZUMO RADIO.

Timing not authorized for defining the MAPt

	DME to IZ	1.2	1.5	1.9	6.5	10.1	16.2
NM to THR		0	0.3	0.6	5.3	9.0	15.0

Missed APCH climb gradient MNM 5.0%				
MINIMA	THR elev. 15	AD elev. 6		
CIRCLING				
CAT	MDA(H)	CMV	MDA(H)	VIS
A	270 (264)	800	390 (384)	1600
B			460 (454)	
C			560 (554)	
D		1200	630 (624)	3200

Circling to NORTH side of RWY only.

MINIMA with Missed APCH climb gradient of 2.5% are not established.

最大離着陸地点

「A I P J A P A N」より抜粋

図 2-11 出雲空港の最大離着陸地点

RJOH / MIHO

ILS Z or LOC Z RWY25

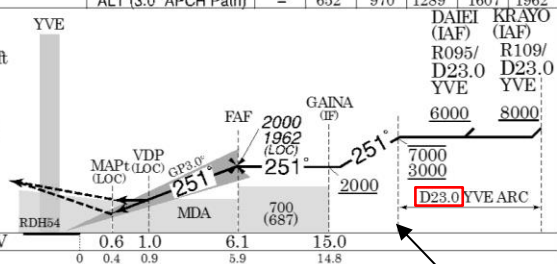
VAR 8^W (2012)

MSA 25NM

EQPT REQUIRED —
DME
VOR



Timing not a authorized for defining the MAPt.



最大離着陸地点

MINIMA with Missed APCH climb gradient of 2.5% are not established.

「A I P J A P A N」より抜粋

図 2-12 米子空港の最大離着陸地点

表 2-8 島根原子力発電所上空の評価対象航空路等

号機	周辺航空路名称	航空路の中心線と発電所間の距離 ^{*1}	片側の航空路幅 ^{*2}	判定	備考
2号機	航空路 V29 (IZUMO(XZE)-DOZEN)	約 3.1km	7 km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Z16 (MIHO(JET)-SPIDR)	約 8.7km	約 9.3km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Y14 (MIHO(JET)-DRIPS)	約 8.7km	約 9.3km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Y14 (MIHO(JET)-HALNA)	約 5.9km	約 9.3km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Y45 (MIHO(JET)-SAKYU)	約 8.7km	約 9.3km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Y45 (MIHO(JET)-KYOKA)	約 8.0km	約 9.3km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Y22 (MIHO(JET)-TRUGA)	約 8.7km	約 9.3km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Y18 (MIHO(JET)-RAKDA)	約 8.7km	約 9.3km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Y38 (MIHO(JET)-TSUNO)	約 8.7km	約 9.3km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Y38 (MIHO(JET)-STAGE)	約 0.53km	約 9.3km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Y361 (MIHO(JET)-TONBI)	約 8.7km	約 9.3km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Y39 (MIHO(JET)-YUBAR)	約 8.7km	約 9.3km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Y287 (MIHO(JET)-SOUJA)	約 8.7km	約 9.3km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Y206 (MIHO(JET)-YAKMO)	約 1.7km	約 9.3km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Y597 (MIHO(JET)-PEPOS)	約 3.9km	約 9.3km	対象	図 2-13
	RNAV 経路 Y332 (MIHO(JET)-KAPPA)	約 8.4km	約 9.3km	対象	図 2-13

注記*1：施設と空港の経度、緯度より計測した。

*2：航空路については、「航空路の指定に関する告示」を参照。なお、RNAV 航路については、「飛行方式設定基準」に基づく航法精度を航空路の幅とみなして用いた。(1NM＝1.852km として換算)

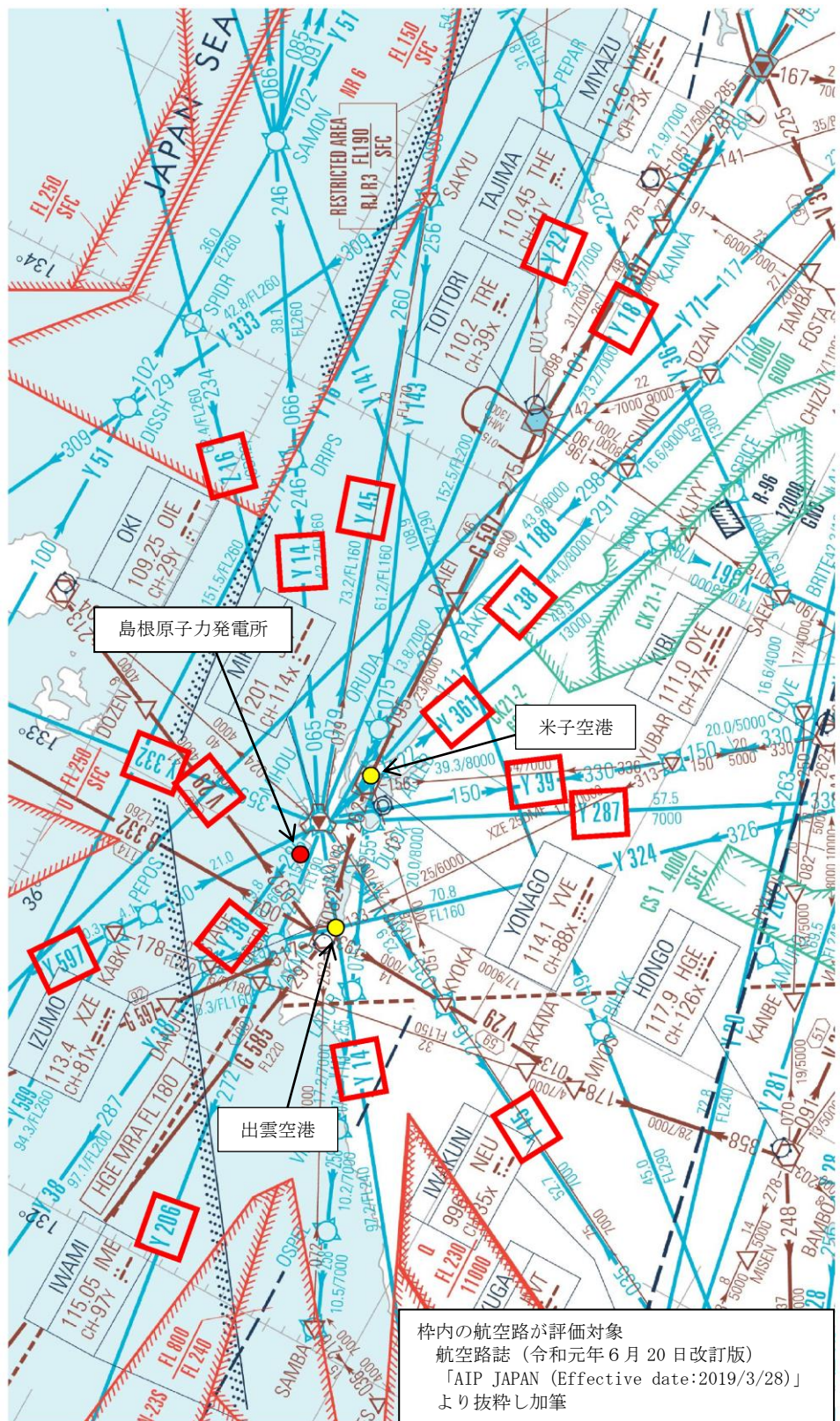


図 2-13 島根原子力発電所周辺の航空図

(2) カテゴリ別の航空機落下の離隔地点の評価

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について(内規)」(平成 21・06・25 原院第 1 号)の航空機落下確率評価式に基づき、各カテゴリの航空機落下確率*が、 10^{-7} (回/炉・年)となる場合の標的面積を算出し、その標的面積に相当する離隔距離を求めた。

評価対象範囲は、発電所敷地内であって落下確率が 10^{-7} (回/炉・年)以上になる範囲のうち、発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域とすることから、島根原子力発電所における航空機落下確率評価の対象航空機を、「大型民間航空機(離着陸時)」、「大型民間航空機」、「小型民間航空機」、「空中給油機等」、「その他の機種」に分類し、それぞれの機種の落下確率の合計が 10^{-7} (回/炉・年)となる標的面積を算出し、その結果から発電用原子炉施設からの離隔距離を以下のとおり算出する。

注記*：航空機落下確率は、「航空機落下事故に関するデータ(平成 11～30 年)」(令和 3 年 2 月 原子力規制庁)に基づき算定している。

なお、参考として最新のデータである「航空機落下事故に関するデータ(平成 13～令和 2 年)」(令和 5 年 3 月 原子力規制庁)に基づき航空機落下確率を算定した場合の影響を別紙 1 で確認する。

a. 標的面積

(a) 大型民間航空機（離着陸時）の標的面積の算出（表 2-9）

飛行場での離着陸時における落下事故

$$Pd,a = fd,a \cdot Nd,a \cdot A \cdot \phi d,a(r, \theta)$$

Pd,a : 対象施設への離着陸時の航空機落下確率（回/年）

Nd,a : 当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数（離着陸回/年）

A : 発電用原子炉施設の標的面積

（落下時に原子炉施設が影響を受ける建物の面積）（ km^2 ）

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

$fd,a = Dd,a / Ed,a$: 対象航空機の国内での離着陸時事故率（回/離着陸回）

Dd,a : 国内での離着陸時事故件数（回）

Ed,a : 国内での離着陸回数（離着陸回）

表 2-9 計器飛行方式民間航空機の落下確率（飛行場での離着陸時）

パラメータ \ 号機	2号機	
飛行場	出雲空港	米子空港
発電所からの距離	約17km	約22km
滑走路方向に対する角度	約26°	約42°
最大離着陸距離 ^{*1}	約28km（約15NM）	約43km（約23NM）
Nd,a^{*2}	13,672	6,156
A^{*3}	0.02459	
$\phi d,a(r, \theta)$	7.02×10^{-4}	2.63×10^{-4}
fd,a^{*4}	$2/37,233,228 = 5.37 \times 10^{-8}$	
Pd,a	1.49×10^{-8}	

注記*1：AIP JAPANのアプローチチャートにより求めた。

*2：「令和元年（平成31年）空港管理状況調書」（国土交通省）にある飛行場別着陸回数を離陸回数とし、その和を飛行場別離着陸回数とする。

*3：離着陸時の標的面積は2号機の原子炉建物、制御室建物等の投影面積の合計値0.02459 km^2 とする。

*4：「航空機落下事故に関するデータ（平成11～30年）」（令和3年2月 原子力規制庁）の計器飛行方式民間航空機の離着陸時事故件数を用いて算出する。離着陸回数は、「航空機落下事故に関するデータ（平成11～30年）」（令和3年2月 原子力規制庁）の値

以上より、大型民間航空機（離着陸時）の落下確率 Pd,a が 10^{-7} (回/炉・年) となる標的面積 A_I を計算すると以下のとおりとなる。

$$A_I = 10^{-7} (\text{回/炉・年}) / 1.49 \times 10^{-8} / 0.02459 = 0.165 (\text{km}^2)$$

(b) 大型民間航空機及び小型民間航空機の標的面積の算出

イ. 大型民間航空機（表2-10, 表2-11）

①航空路を巡航中の落下事故

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

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率（回/年）

N_c : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数（飛行回/年）

A : 原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

W : 航空路幅（km）

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

（回/（飛行回・km））

G_c : 巡航中事故件数（回）

H_c : 延べ飛行距離（飛行回・km）

表2-10 計器飛行方式大型民間航空機の落下確率（航空路を巡航中）

号機 パラメータ	2号機	
対象航空路 ^{*1}	V29	Z16, Y14, Y45, Y22, Y18, Y38, Y361, Y39, Y287, Y206, Y597, Y332
N_c ^{*2}	365 (H30年データ)	186, 880 (H30年データ)
A ^{*3}	0.01917	
W ^{*4}	14	18.52
f_c ^{*5}	$0.5 / 11, 570, 450, 753 = 4.32 \times 10^{-11}$	
P_c	8.39×10^{-9}	

注記*1: A I P J A P A Nにより確認

*2: 国土交通省航空局への問い合わせ結果（ピークデいの値）を365倍した値

*3: 標的面積は2号機の原子炉建物、制御室建物等の水平面積の合計値0.01917 km^2 とする。

*4: 航空路については、「航空路の指定に関する告示」を参照。なお、RNAV航路については、「飛行方式設定基準」に基づく航法精度を航空路の幅とみなして用いる。（1NM=1.852kmとして換算）

*5: 「航空機落下事故に関するデータ（平成11～30年）」（令和3年2月 原子力規制庁）の計器飛行方式民間航空機の巡航中事故件数を用いて算出する。巡航中事故件数は、平成11年から平成30年の間で0件のため、保守的に0.5件とする。延べ飛行距離は、「航空機落下事故に関するデータ（平成11～30年）」（令和3年2月 原子力規制庁）の値

②有視界飛行方式民間航空機の落下事故

$$P_V = (f_V / S_V) \cdot A \cdot \alpha$$

P_V : 対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_V : 単位年当たりの落下事故率 (回/年)

S_V : 全国土面積 (km^2)

A : 原子炉施設の標的面積 (km^2)

α : 対象航空機の種類による係数

表 2-11 有視界飛行方式民間航空機の落下確率

パラメータ	2 号機	
	大型 固定翼機	大型 回転翼機
f_V^{*1}	0.5/20=0.025	2/20=0.1
S_V^{*2}	372,969	
A^{*3}	0.01917	
α^{*4}	1	
P_V	6.43×10^{-9}	

注記*1:「航空機落下事故に関するデータ (平成 11~30 年)」(令和 3 年 2 月 原子力規制庁)の
有視界飛行方式民間航空機の事故件数を用いて算出する。大型固定翼機は、平成 11
年から平成 30 年の間で 0 件のため、保守的に 0.5 件とする。

*2:「航空機落下事故に関するデータ (平成 11~30 年)」(令和 3 年 2 月 原子力規制庁)
の値を用いる。

*3: 標的面積は 2 号機の原子炉建物、制御室建物等の水平面積の合計値 0.01917 km^2 とす
る。

*4:「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」の値を用いる。

以上より、大型民間航空機の落下確率 $P_C + P_V$ が 10^{-7} (回/炉・年) となる標的
面積 A_2 を計算すると以下のとおりとなる。

$$A_2 = 10^{-7} (\text{回/炉・年}) / (8.39 \times 10^{-9} + 6.43 \times 10^{-9}) / 0.01917 \\ = 0.129 (\text{km}^2)$$

ロ. 小型民間航空機（表2-12）

有視界飛行方式民間航空機の墜落事故

$$P_V = (f_V / S_V) \cdot A \cdot \alpha$$

P_V : 単位年当たりの落下事故率（回/年）

f_V : 単位年当たりの落下事故率（回/年）

S_V : 全国土面積（ km^2 ）

A : 原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

α : 対象航空機の種類による係数

表 2-12 有視界飛行方式民間航空機の落下確率

パラメータ	2 号機	
	小型 固定翼機	小型 回転翼機
f_V^{*1}	24/20=1.20	18/20=0.90
S_V^{*2}	372,969	
A^{*3}	0.01917	
α^{*4}	0.1	
P_V	1.08×10^{-8}	

注記*1:「航空機落下事故に関するデータ（平成 11～30 年）」（令和 3 年 2 月 原子力規制庁）の有視界飛行方式民間航空機の事故件数を用いて算出する。

*2:「航空機落下事故に関するデータ（平成 11～30 年）」（令和 3 年 2 月 原子力規制庁）による。

*3: 標的面積は 2 号機の原子炉建物，制御室建物等の水平面積の合計値 0.01917 km^2 とする。

*4:「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」の値を用いる。

以上より，小型民間航空機の落下確率 P_V が 10^{-7} (回/炉・年) となる標的面積 A_g を計算すると以下のとおりとなる。

$$A_g = 10^{-7} \text{ (回/炉・年)} / 1.08 \times 10^{-8} / 0.01917 = 0.177 \text{ (km}^2\text{)}$$

(c) 自衛隊機及び米軍機の標的面積の算出

イ. 空中給油機等（表2-13）

島根原子力発電所上空には訓練空域がないため、自衛隊機又は米軍機の落下確率 P_{so} を求める式は、以下のとおりとなる。

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

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率（回/年）

f_{so} : 単位年当たりの落下事故率（回/年）

S_o : 全国土面積から訓練空域の面積を除いた面積（ km^2 ）

A : 原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

表 2-13 自衛隊機及び米軍機の落下確率（空中給油機等）

パラメータ \ 号機	2号機	
航空機種類	空中給油機等	
f_{so}^{*1}	自衛隊機：0.5/20=0.025	米軍機：1/20=0.05
S_o^{*2}	自衛隊機：294,881	米軍機：372,472
A^{*3}	0.01917	
P_{so}	4.20×10^{-9}	

注記*1：「航空機落下事故に関するデータ（平成11～30年）」（令和3年2月 原子力規制庁）の自衛隊機又は米軍機の事故件数を用いて算出する。自衛隊機は、平成11年から平成30年の間で0件であるが、保守的に0.5件とする。

*2：「航空機落下事故に関するデータ（平成11～30年）」（令和3年2月 原子力規制庁）による。

*3：標的面積は2号機の原子炉建物、制御室建物等の水平面積の合計値 0.01917 km^2 とする。

以上より、空中給油機等の落下確率 P_{so} が 10^{-7} (回/炉・年) となる標的面積 A_4 を計算すると以下のとおりとなる。

$$A_4 = 10^{-7} \text{ (回/炉・年)} / 4.20 \times 10^{-9} / 0.01917 = 0.456 \text{ (km}^2\text{)}$$

ロ. その他の機種（表2-14）

島根原子力発電所上空には訓練空域がないため、自衛隊機又は米軍機の落下確率 P_{so} を求める式は、以下のとおりとなる。

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

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率（回/年）

f_{so} : 単位年当たりの落下事故率（回/年）

S_o : 全国土面積から訓練空域の面積を除いた面積（ km^2 ）

A : 原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

表2-14 自衛隊機及び米軍機の落下確率（その他の機種）

パラメータ \ 号 機	2 号機	
航空機種類	その他の機種	
f_{so}^{*1}	自衛隊機 : 10/20=0.50	米軍機 : 3/20=0.15
S_o^{*2}	自衛隊機 : 294,881	米軍機 : 372,472
A^{*3}	0.01917	
P_{so}	4.03×10^{-8}	

注記*1 : 「航空機落下事故に関するデータ（平成 11～30 年）」（令和 3 年 2 月 原子力規制庁）の自衛隊機又は米軍機の事故件数を用いて算出する。ただし、平成 30 年 2 月 5 日に目達原駐屯地から南に約 4km で発生した AH-64D 航空事故について、「航空機落下事故に関するデータ（平成 11～30 年）」（令和 3 年 2 月 原子力規制庁）では「基地－訓練空域間往復時」の落下事故として選定されているが、当該事故は定期整備後の整備試験飛行空域との往復時に発生した事故であるため、「訓練空域外を飛行中（その他の機種）」の落下事故としてカウントした。

*2 : 「航空機落下事故に関するデータ（平成 11～30 年）」（令和 3 年 2 月 原子力規制庁）による。

*3 : 標的面積は 2 号機の原子炉建物、制御室建物等の水平面積の合計値 0.01917 km^2 とする。

以上より、その他の機種の落下確率 P_{so} が 10^{-7} (回/炉・年) となる標的面積 A_5 を計算すると以下のとおりとなる。

$$A_5 = 10^{-7} \text{ (回/炉・年)} / 4.03 \times 10^{-8} / 0.01917 = 0.047 \text{ (km}^2\text{)}$$

b. 外部火災の影響を考慮する施設から航空機落下位置までの距離

「a. 標的面積」で求めたそれぞれの面積が、図 2-14 に示す範囲になるように算出した発電用原子炉施設（原子炉建物及び制御室建物等）外壁面から標的面積外周部までの距離 L (m) とし、離隔距離 L を算出した結果を表 2-15 に示す。

また、外部火災の影響を考慮する施設から航空機落下位置までの位置関係を図 2-15 に示す。

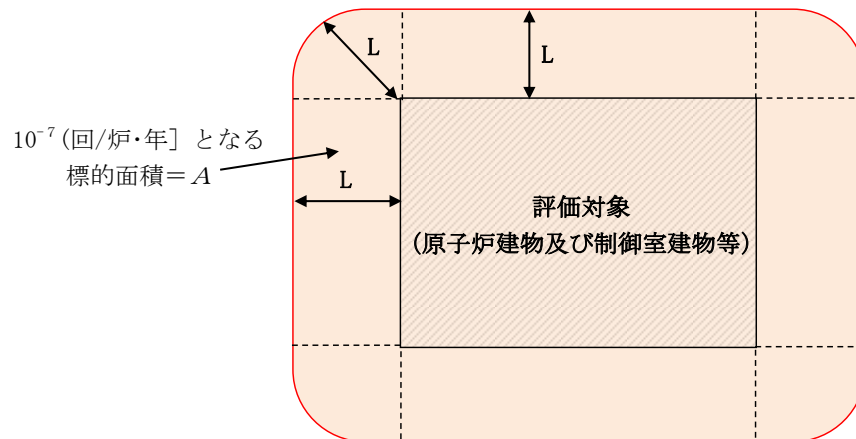


図 2-14 標的面積の考え方

表 2-15 外部火災の影響を考慮する施設から航空機落下位置までの距離

項目	大型 民間航空機 (離着陸時)	大型 民間航空機	小型 民間航空機	自衛隊機又は米軍機	
				空中給油機等	その他の機種
対象航空機	B747-400	B747-400	Do228-200	KC-767	F-15
離隔距離 L [m]	134	108	142	284	32

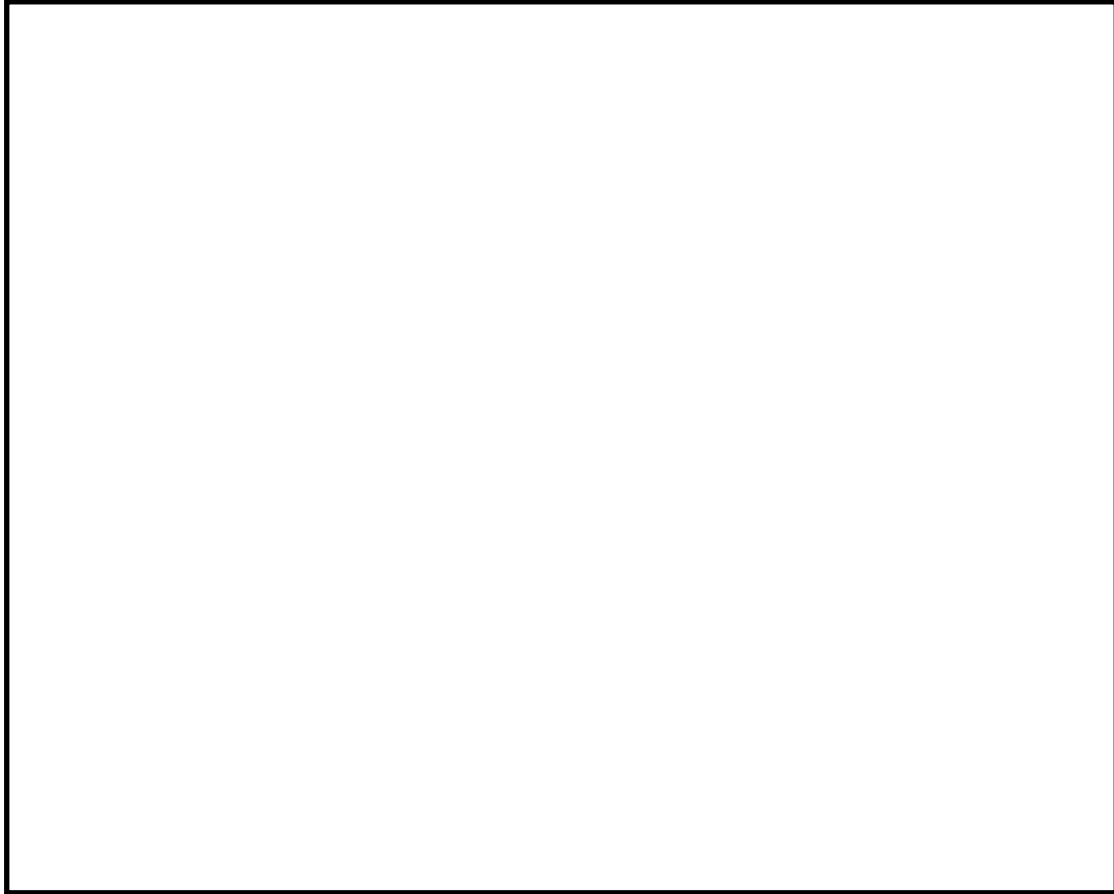


図 2-15 外部火災の影響を考慮する施設から航空機落下位置までの位置関係

2.5 発電所敷地内に設置する変圧器及び水素ガストレーラの配置について

発電所敷地内の屋外に設置する危険物タンク等のうち，法令に基づく届出対象施設ではない施設（変圧器及び水素ガストレーラ）の配置状況を図 2-16 に示す。

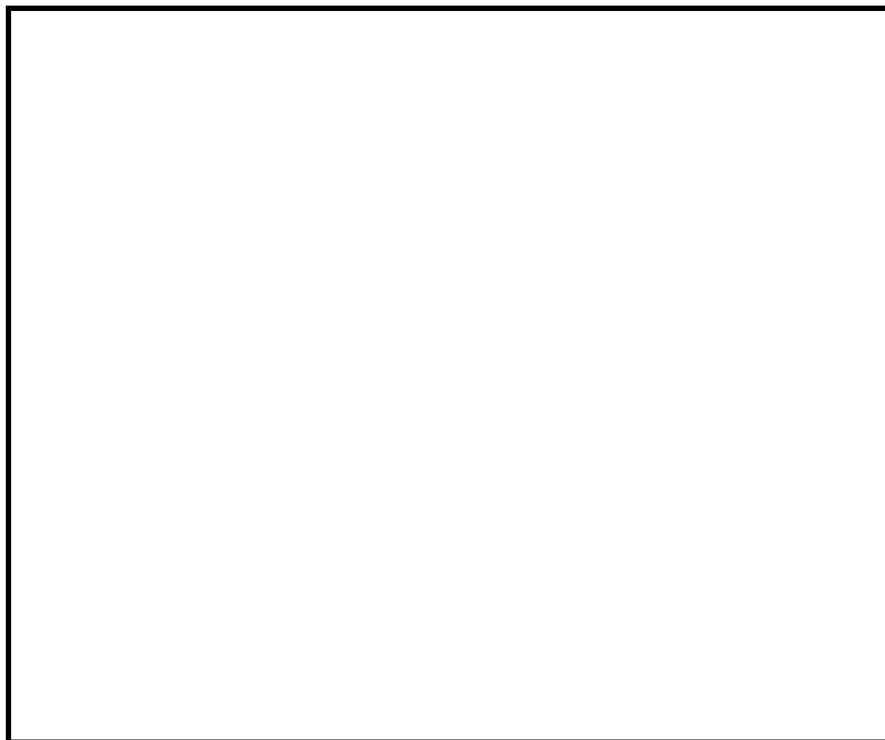


図 2-16 変圧器及び水素ガストレーラの配置図

3. 発電所敷地外の火災・爆発について

3.1 石油コンビナート施設の火災・爆発について

石油コンビナート等災害防止法で規制される島根県内の特別防災区域は存在しない。また、島根原子力発電所から最寄の特別防災区域である「福山・笠岡地区」、「水島臨海地区」まではそれぞれ約 120km であり、いずれも島根原子力発電所から 10km 以遠である（図 3-1）。

以上より、評価対象範囲内に石油コンビナート等は存在せず、発電用原子炉施設に影響を及ぼすことはない。



注：図の位置はおおよその場所を示している。

図 3-1 最寄の特別防災区域の位置と島根原子力発電所までの距離

4. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について

4.1 ばい煙による外部火災の影響を考慮する施設への影響

(1) 外気を取り込む空調系統（換気空調設備）

外気を取り入れている空調系統として、原子炉建物附属棟空調換気系、中央制御室空調換気系がある（図 4-1(a), (b)）。

これらの換気空調設備の外気取入経路には、バグフィルタ（粒径 $2\mu\text{m}$ に対して 80% 以上を捕獲する性能）を設置しているため、ばい煙が外気取入口に到達した場合であっても、一定以上の粒径のばい煙はバグフィルタにより侵入を阻止できる。

上記系統のうち、給気隔離弁及び排気隔離弁を設置し系統隔離運転モードへの切替えが可能である中央制御室空調換気系については、ばい煙の侵入が想定される場合には、給気隔離弁及び排気隔離弁を閉止し、系統隔離運転モードへの切替えを行うことにより、ばい煙の侵入を阻止できる（図 4-2）。

それ以外の換気空調設備については、空調ファンを停止することでばい煙の侵入を阻止できる。

(2) 外気を設備内に取り込む機器（非常用ディーゼル発電設備）

非常用ディーゼル発電設備は、換気空調設備で給気されるエリアに設置していることから、空調ファンを停止することでばい煙の侵入を阻止できる。

フィルタ（粒径 $1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ に対して 80% 以上を捕獲する性能）の入口と出口間の差圧を検知できる差圧感知計を監視し、差圧が上昇しフィルタが目詰まりした場合はフィルタの交換が可能である。

なお、ディーゼル機関は吸気系統から外気を取り入れているため、機関内にばい煙が流入し、機関燃焼を阻止することが考えられるが、ディーゼル機関への外気取入経路にはフィルタを設置していることから、一定以上の粒径のばい煙粒子が捕獲され、フィルタにより捕集されなかったばい煙粒子が機関内へ送気される。フィルタでは、粒径が数 μm 程度の粒子が捕集され、それ以下のばい煙が機関内に送気されるが、シリンダまでの通気流路（過給機、空気冷却器等）の隙間より小さいことから閉塞に至ることはない。また、通常運転においても燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生していることから、機関に損傷を与えることや運転機能を阻害することはない（図 4-3）。

(3) 室内の空気を取り込む機器（安全保護系）

安全保護系盤は、原子炉建物附属棟空調換気系、中央制御室空調換気系で給気されるエリアに設置してある。外気取入口にはバグフィルタ（粒径 $2\mu\text{m}$ に対して 80% 以上を捕獲する性能）を設置していることから、一定以上の粒径のばい煙については、侵入を阻止することが可能である。バグフィルタにより捕集しきれなかったばい煙が侵入した場合においても、空調ファンを停止することでばい煙の侵入を阻止することが可能である。

また、バグフィルタにより捕集しきれなかったばい煙が中央制御室内に侵入する可能性がある場合、及び中央制御室内においてばい煙が侵入したことを煙や異臭で確認した

場合等は、当直長の指示により、系統隔離運転モードへ切り替えることにより、隔離が可能であり安全保護系設備に影響はない（図 4-4）。

なお、中央制御室に侵入する可能性があるばい煙の粒径は、おおむね $2\mu\text{m}$ 以下の細かな粒子であると推定されるが、計測制御系の盤等において、数 μm 程度の線間距離となるのは、集積回路（IC 等）の内部であり、これらの部品はモールド（樹脂）で保護されているため、ばい煙が侵入することはない。また、端子台等の充電部が露出している箇所については、端子間の距離は数 mm であることから、ばい煙が付着しても、直ちに短絡等を発生させることはない。したがって、万が一、細かな粒子のばい煙が盤内に侵入した場合においても、ばい煙の付着等により短絡等を発生させる可能性はない。

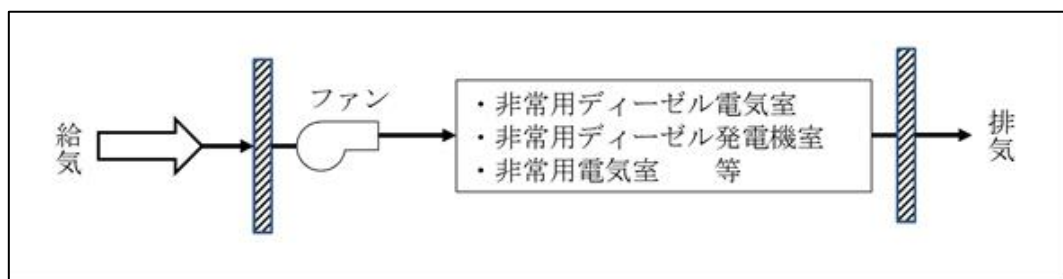


図 4-1(a) 原子炉建物付属棟空調換気系

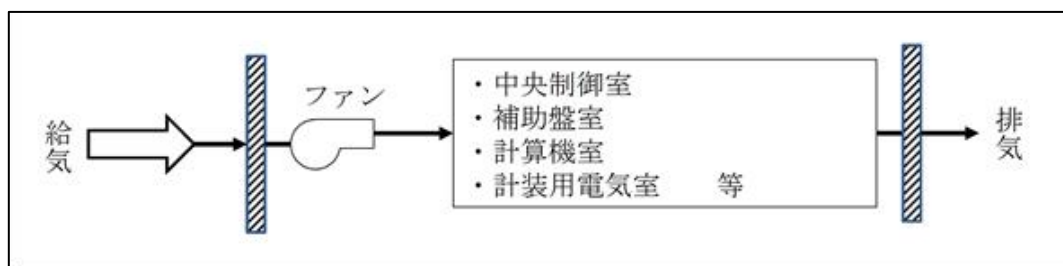
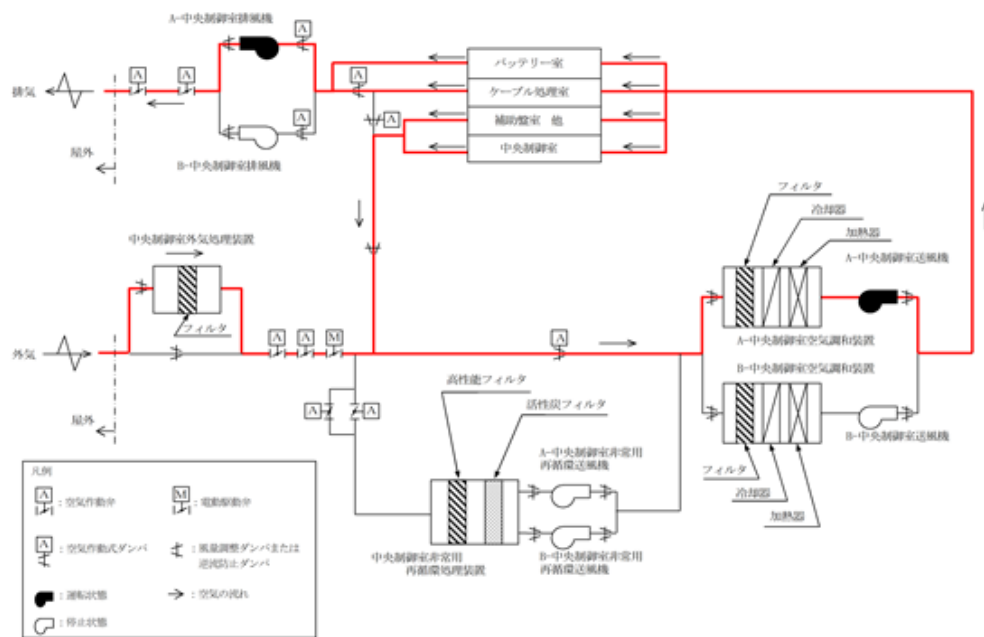
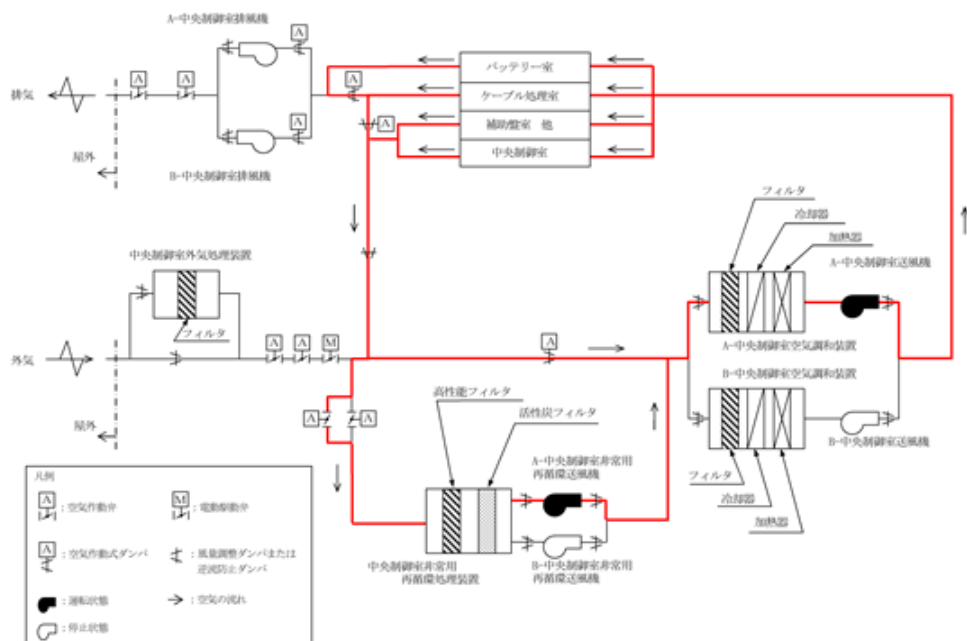


図 4-1(b) 中央制御室空調換気系



(通常モード)



(系統隔離運転モード)

図 4-2 中央制御室空調換気系の系統概略図

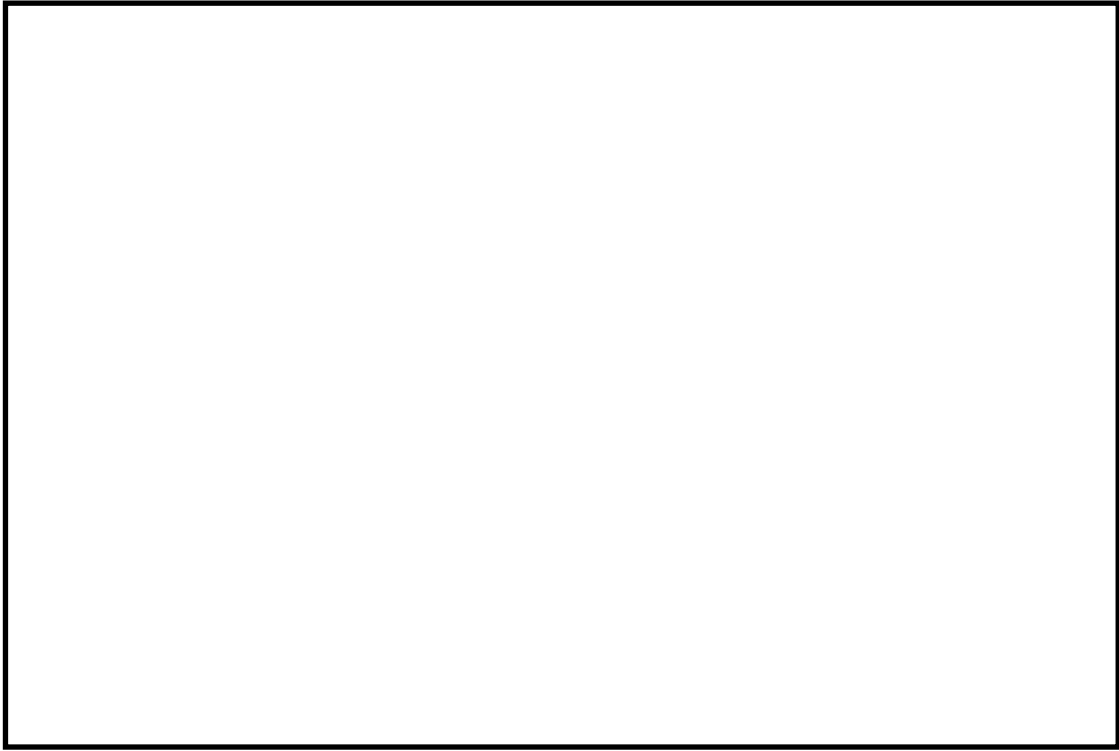


図 4-3 ディーゼル機関吸気概略図

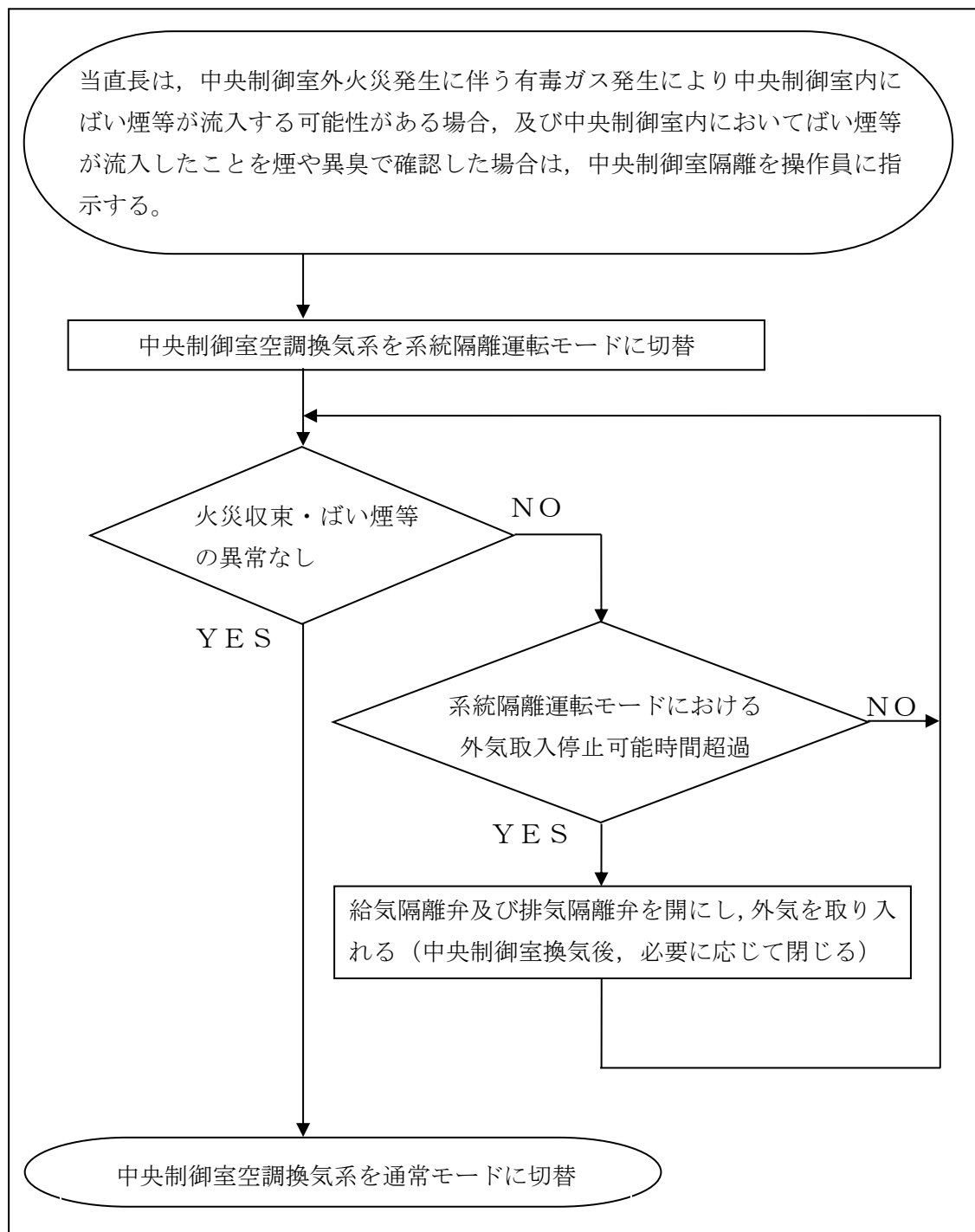


図 4-4 中央制御室外火災発生に伴う中央制御室隔離手順概要フロー

4.2 有毒ガスによる中央制御室居住性への影響

中央制御室空調換気系は、外気を遮断し、再循環させる系統隔離運転モードに切り替えることができる。外気との遮断が長期にわたり室内の空気が悪くなった場合は、外気取入モードに切り替え、外気を取り入れることができる。また、外気からの空気取り込みを一時的に停止した場合に、活動に支障のない酸素濃度の範囲にあることを正確に把握するため、酸素濃度計を配備する。

外気取入遮断時の中央制御室に滞在する運転員の操作環境の悪化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度について評価を行い、中央制御室の居住性に影響がないことを確認する。

4.2.1 外気取入遮断時の中央制御室居住性評価

外部火災時の中央制御室の居住性の評価として、外気取入遮断時の中央制御室内に滞在する運転員の作業環境の劣化防止のため、二酸化炭素濃度及び酸素濃度について評価を行う。なお、中央制御室内には、燃焼による二酸化炭素の排出や酸素を消費する機器はないことから、中央制御室内に二酸化炭素が取り込まれることはないため、在室人員の呼吸のみを想定し評価を行う。

(1) 二酸化炭素濃度評価

a. 評価条件

- ・在室人員：10人^{*1}
- ・中央制御室バウンダリ内体積：17,000m³
- ・外気流入はないものとして評価する。
- ・初期二酸化炭素濃度：0.03%（空気調和・衛生工学便覧）
- ・許容二酸化炭素濃度：1.0%（鉱山保安法施行規則）
- ・一人あたりの二酸化炭素吐出量：0.030m³/h
（空気調和・衛生工学便覧の軽作業の作業程度の吐出し量）
- ・評価期間は、各火災の燃焼継続時間を考慮し18時間^{*2}とする。

注記*1：当直長（1人）、当直副長（1人）、2号機の運転員（5人）、

1号機の運転員（2人）の計9人に余裕を持って10人とする。

*2：外部火災影響評価にて中央制御室近傍で長時間の影響をもたらす、変圧器火災を考慮し、火災の継続時間を18時間として評価を実施する。

b. 評価結果

上記評価条件から求めた二酸化炭素濃度の時間変化は、表4-1のとおりであり、18時間外気取入れを遮断したままでも、中央制御室内に滞在する運転員の作業環境に影響を与えない。

表 4-1 二酸化炭素濃度の時間変化

時間	5 時間	10 時間	18 時間	許容濃度
二酸化炭素濃度 (%)	0.04	0.05	0.07	1.0%以下

(2) 酸素濃度評価

a. 評価条件

- ・在室人員：10 人
- ・中央制御室バウンダリ内体積：17,000m³
- ・外気流入はないものとして評価する。
- ・初期酸素濃度：20.95%（空気調和・衛生工学便覧）
- ・一人あたりの酸素消費量：1.092L/min（空気調和・衛生工学便覧）
- ・許容酸素濃度：19%（鉱山保安法施行規則）
- ・評価期間は、各火災の燃焼継続時間を考慮し 18 時間とする。

b. 評価結果

上記評価条件から求めた酸素濃度の時間変化は、表 4-2 のとおりであり、18 時間外気取入れを遮断したままでも、中央制御室内に滞在する運転員の作業環境に影響を与えない。

表 4-2 酸素濃度の時間変化

時間	5 時間	10 時間	18 時間	許容濃度
酸素濃度 (%)	20.94	20.92	20.89	19%以上

航空機落下事故に関するデータの最新データについて

1. はじめに

発電所敷地内への航空機墜落による火災の評価については、設置（変更）許可申請時及び工事計画認可申請時の最新データである「航空機落下事故に関するデータ（平成 11～30 年）」（令和 3 年 2 月 原子力規制庁）に基づく航空機の落下確率より評価対象からの離隔距離を算出し、熱影響評価を実施している。

今般、「航空機落下事故に関するデータ（平成 13～令和 2 年）」（令和 5 年 3 月 原子力規制庁）が取りまとめられたことを受け、その影響について確認することとする。

2. 航空機落下事故のデータ更新による影響

「航空機落下事故に関するデータ（平成 13～令和 2 年）」（令和 5 年 3 月 原子力規制庁）では、平成 13 年 1 月～令和 2 年 12 月までの航空機落下事故データ、運航実績データ及び訓練空域面積データが更新されている。このため、更新されたデータに基づき、各カテゴリの航空機落下確率について評価する。

また、各カテゴリのうち航空機落下確率が厳しくなっているカテゴリについては、更新されたデータに基づき、熱影響について評価する。

なお、影響評価の手法は「2.4 航空機墜落による火災について」と考え方は同様である。

3. 航空機落下確率の算出

(1) 大型民間航空機（離着陸時）の航空機落下確率の算出

飛行場での離着陸時における落下事故

$$Pd,a = fd,a \cdot Nd,a \cdot A \cdot \phi d,a(r, \theta)$$

Pd,a : 対象施設への離着陸時の航空機落下確率（回/年）

Nd,a : 当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数（離着陸回/年）

A : 発電用原子炉施設の標的面積

（落下時に原子炉施設が影響を受ける建物の面積）（ km^2 ）

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

$fd,a = Dd,a / Ed,a$: 対象航空機の国内での離着陸時事故率（回/離着陸回）

Dd,a : 国内での離着陸時事故件数（回）

Ed,a : 国内での離着陸回数（離着陸回）

表 1 計器飛行方式民間航空機の落下確率（飛行場での離着陸時）

パラメータ \ 号機	2号機	
飛行場	出雲空港	米子空港
発電所からの距離	約17km	約22km
滑走路方向に対する角度	約26°	約42°
最大離着陸距離 ^{*1}	約28km（約15NM）	約43km（約23NM）
Nd,a^{*2}	13,672	6,156
A^{*3}	0.02459	
$\phi d,a(r, \theta)$	7.02×10^{-4}	2.63×10^{-4}
fd,a^{*4}	$2/37,956,682 = 5.27 \times 10^{-8}$	
Pd,a	1.46×10^{-8}	

注記*1：AIP JAPANのアプローチチャートにより求めた。

*2：「令和元年（平成31年）空港管理状況調書」（国土交通省）にある飛行場別着陸回数を離着陸回数とし、その和を飛行場別離着陸回数とする。

*3：離着陸時の標的面積は2号機の原子炉建物、制御室建物等の投影面積の合計値0.02459 km^2 とする。

*4：「航空機落下事故に関するデータ（平成13～令和2年）」（令和5年3月 原子力規制庁）の計器飛行方式民間航空機の離着陸時事故件数を用いて算出する。離着陸回数は、「航空機落下事故に関するデータ（平成13～令和2年）」（令和5年3月 原子力規制庁）の値

以上より、大型民間航空機（離着陸時）の落下確率は、 1.46×10^{-8} （回/炉・年）となる。

(2) 大型民間航空機及び小型民間航空機の航空機落下確率の算出

a. 大型民間航空機

①航空路を巡航中の落下事故

$$Pd,a = fd,a \cdot Nd,a \cdot A \cdot \phi d,a(r, \theta)$$

Pd,a : 対象施設への離着陸時の航空機落下確率 (回/年)

Nd,a : 当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数 (離着陸回/年)

A : 発電用原子炉施設の標的面積

(落下時に原子炉施設が影響を受ける建物の面積) (km^2)

$\phi d,a(r, \theta)$: 離着陸時の事故における落下地点確率分布関数 ($1/\text{km}^2$)

$fd,a = Dd,a / Ed,a$: 対象航空機の国内での離着陸時事故率 (回/離着陸回)

Dd,a : 国内での離着陸時事故件数 (回)

Ed,a : 国内での離着陸回数 (離着陸回)

表2 計器飛行方式大型民間航空機の落下確率 (航空路を巡航中)

号機 パラメータ	2号機	
対象航空路 ^{*1}	V29	Z16, Y14, Y45, Y22, Y18, Y38, Y361, Y39, Y287, Y206, Y597, Y332
Nc^{*2}	365 (H30年データ)	186, 880 (H30年データ)
A^{*3}	0.01917	
W^{*4}	14	18.52
fc^{*5}	$0.5/11,814,093,990 = 4.23 \times 10^{-11}$	
Pc	8.21×10^{-9}	

注記*1: A I P J A P A Nにより確認

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

*3: 標的面積は 2 号機の原子炉建物, 制御室建物等の水平面積の合計値 0.01917 km^2 とする。

*4: 航空路については, 「航空路の指定に関する告示」を参照。なお, RNAV 航路については, 「飛行方式設定基準」に基づく航法精度を航空路の幅とみなして用いる。(1NM= 1.852km として換算)

*5: 「航空機落下事故に関するデータ (平成 13~令和 2 年)」(令和 5 年 3 月 原子力規制庁) の計器飛行方式民間航空機の巡航中事故件数を用いて算出する。巡航中事故件数は, 平成 13 年から令和 2 年の間で 0 件のため, 保守的に 0.5 件とする。延べ飛行距離は, 「航空機落下事故に関するデータ (平成 13~令和 2 年)」(令和 5 年 3 月 原子力規制庁) の値

②有視界飛行方式民間航空機の落下事故

$$P_V = (f_V / S_V) \cdot A \cdot \alpha$$

P_V ：対象施設への航空機落下確率（回/年）

f_V ：単位年当たりの落下事故率（回/年）

S_V ：全国土面積（km²）

A ：原子炉施設の標的面積（km²）

α ：対象航空機の種類による係数

表3 有視界飛行方式民間航空機の落下確率

パラメータ	2号機	
	大型 固定翼機	大型 回転翼機
f_V^{*1}	0.5/20=0.025	1/20=0.05
S_V^{*2}	372,973	
A^{*3}	0.01917	
α^{*4}	1	
P_V	3.86×10^{-9}	

注記*1：「航空機落下事故に関するデータ（平成13～令和2年）」（令和5年3月 原子力規制庁）の有視界飛行方式民間航空機の事故件数を用いて算出する。大型固定翼機は、平成13年から令和2年の間で0件のため、保守的に0.5件とする。

*2：「航空機落下事故に関するデータ（平成13～令和2年）」（令和5年3月 原子力規制庁）の値を用いる。

*3：標的面積は2号機の原子炉建物，制御室建物等の水平面積の合計値0.01917 km²とする。

*4：「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」の値を用いる。

以上より，大型民間航空機の落下確率は，

$$8.21 \times 10^{-9} + 3.86 \times 10^{-9} = 1.21 \times 10^{-8} \text{ (回/炉・年) となる。}$$

b. 小型民間航空機

有視界飛行方式民間航空機の墜落事故

$$P_V = (f_V / S_V) \cdot A \cdot \alpha$$

P_V : 単位年当たりの落下事故率 (回/年)

f_V : 単位年当たりの落下事故率 (回/年)

S_V : 全国土面積 (km²)

A : 原子炉施設の標的面積 (km²)

α : 対象航空機の種類による係数

表 4 有視界飛行方式民間航空機の落下確率

パラメータ	2 号機	
	小型 固定翼機	小型 回転翼機
f_V^{*1}	22/20=1.10	17/20=0.85
S_V^{*2}	372,973	
A^{*3}	0.01917	
α^{*4}	0.1	
P_V	1.01×10^{-8}	

注記*1:「航空機落下事故に関するデータ (平成 13～令和 2 年)」(令和 5 年 3 月 原子力規制庁)の有視界飛行方式民間航空機の事故件数を用いて算出する。

*2:「航空機落下事故に関するデータ (平成 13～令和 2 年)」(令和 5 年 3 月 原子力規制庁)による。

*3: 標的面積は 2 号機の原子炉建物, 制御室建物等の水平面積の合計値 0.01917 km²とする。

*4:「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」の値を用いる。

以上より, 小型民間航空機の落下確率は, 1.01×10^{-8} (回/炉・年) となる。

(3) 自衛隊機及び米軍機の航空機落下確率の算出

a. 空中給油機等

島根原子力発電所上空には訓練空域がないため、自衛隊機又は米軍機の落下確率 P_{so} を求める式は、以下のとおりとなる。

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

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_{so} : 単位年当たりの落下事故率 (回/年)

S_o : 全国土面積から訓練空域の面積を除いた面積 (km^2)

A : 原子炉施設の標的面積 (km^2)

表5 自衛隊機及び米軍機の落下確率 (空中給油機等)

パラメータ	2号機	
	空中給油機等	
f_{so}^{*1}	自衛隊機 : 0.5/20=0.025	米軍機 : 1/20=0.05
S_o^{*2}	自衛隊機 : 294,779	米軍機 : 372,464
A^{*3}	0.01917	
P_{so}	4.20×10^{-9}	

注記*1 : 「航空機落下事故に関するデータ (平成13～令和2年)」(令和5年3月 原子力規制庁)の自衛隊機又は米軍機の事故件数を用いて算出する。自衛隊機は、平成13年から令和2年の間で0件であるが、保守的に0.5件とする。

*2 : 「航空機落下事故に関するデータ (平成13～令和2年)」(令和5年3月 原子力規制庁)による。

*3 : 標的面積は2号機の原子炉建物、制御室建物等の水平面積の合計値 0.01917 km^2 とする。

以上より、空中給油機等の落下確率は、 4.20×10^{-9} (回/炉・年)となる。

b. その他の機種

島根原子力発電所上空には訓練空域がないため、自衛隊機又は米軍機の落下確率 P_{so} を求める式は、以下のとおりとなる。

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

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_{so} : 単位年当たりの落下事故率 (回/年)

S_o : 全国土面積から訓練空域の面積を除いた面積 (km^2)

A : 原子炉施設の標的面積 (km^2)

表6 自衛隊機及び米軍機の落下確率 (その他の機種)

パラメータ \ 号機	2号機	
航空機種類	その他の機種	
f_{so}^{*1}	自衛隊機 : 15/20=0.75	米軍機 : 3/20=0.15
S_o^{*2}	自衛隊機 : 294,779	米軍機 : 372,464
A^{*3}	0.01917	
P_{so}	5.65×10^{-8}	

注記*1 : 「航空機落下事故に関するデータ (平成13～令和2年)」(令和5年3月 原子力規制庁) の自衛隊機又は米軍機の事故件数を用いて算出する。

*2 : 「航空機落下事故に関するデータ (平成13～令和2年)」(令和5年3月 原子力規制庁) による。

*3 : 標的面積は2号機の原子炉建物、制御室建物等の水平面積の合計値 0.01917 km^2 とする。

以上より、その他の機種の落下確率は、 5.65×10^{-8} (回/炉・年) となる。

(4) 各カテゴリにおける航空機落下確率の算出結果

(1)～(3)で求めた航空機落下確率の算出結果を以下に示す。

表7 各カテゴリにおける航空機落下確率の算出結果

カテゴリ		航空機落下確率	
		【最新データ】 (令和5年3月)	【工事計画認可 申請時データ】 (令和3年2月)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	1.46×10^{-8}	1.49×10^{-8}
	大型民間航空機	1.21×10^{-8}	1.49×10^{-8}
有視界飛行方式 民間航空機	小型民間航空機	1.01×10^{-8}	1.08×10^{-8}
自衛隊機 及び米軍機	空中給油機等	4.20×10^{-9}	4.20×10^{-9}
	その他の機種	5.65×10^{-8}	4.03×10^{-8}

その他の機種以外のカテゴリにおいては、令和5年3月版データによる航空機落下確率は令和3年2月版データによる航空機落下確率と比べて同等以下であることから、令和5年3月版データによる熱影響評価は令和3年2月版データによる熱影響評価に包含されることを確認した。

その他の機種のカテゴリにおいては、令和5年3月版データによる航空機落下確率は令和3年2月版データによる航空機落下確率と比べて上がっていることから、令和5年3月版データによる熱影響評価を実施する。

4. 航空機墜落による火災の評価について

(1) 評価方針

外部火災への配慮に関する説明書の「2.1.4(1)評価方針」と同様の方針として、最も厳しい条件である重畳火災での熱影響評価を実施するため、敷地内の危険物タンクの火災と航空機（その他の機種（F-15））墜落による火災を想定する。

火災源として、航空機落下確率が 10^{-7} (回/炉・年) 以上となる範囲に航空機墜落による火災によって発火する可能性のある危険物タンクはないが、評価結果が最も厳しくなるガスタービン発電機用軽油タンク及び航空機落下確率が 10^{-7} (回/炉・年) となる位置で外部火災の影響を考慮する施設の温度を算出し、許容温度を満足することを確認する。

(2) 評価条件

外部火災への配慮に関する説明書の「2.1.4(2)評価条件」と同じである。

(3) 計算方法

外部火災への配慮に関する説明書の「2.1.4(3)計算方法」と同じである。

(4) 評価結果

航空機（その他の機種（F-15））墜落による外部火災の影響を考慮する施設との離隔距離の評価結果を表 8 に、外部火災の影響を考慮する施設と危険物タンク（ガスタービン発電機用軽油タンク）及び航空機落下位置の関係を図 1 に示す。

また、発電所敷地内の危険物タンク（ガスタービン発電機用軽油タンク）の火災と航空機（その他の機種（F-15））墜落による重畳火災時の温度評価結果を表 9 に示す。

なお、参考に令和 3 年 2 月版データに基づく重畳火災の評価結果（評価結果が最も厳しくなるガスタービン発電機用軽油タンク及び大型民間航空機（B747-400）の重畳火災）についても表 9 に示す。

表 8 離隔距離の評価結果

(単位：m)

対象航空機	離隔距離
その他の機種 (F-15)	17

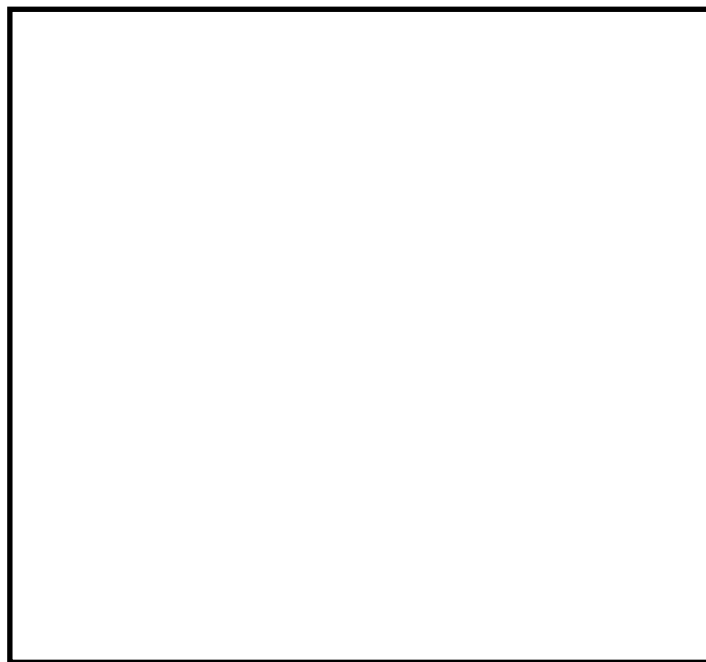


図 1 外部火災の影響を考慮する施設と航空機墜落による重畳火災の位置関係及び離隔距離

表 9 重畳火災時の温度評価結果

(単位：℃)

	建物 (許容温度200℃)	海水ポンプ (許容温度55℃)	排気筒 (許容温度325℃)
ガスタービン発電機用 軽油タンク 及びその他の機種 (F-15)	176	49	179
【参考】 令和3年2月版データに 基づく温度評価結果 ガスタービン発電機用 軽油タンク 及び大型民間航空機 (B747-400)	109	33	99

以上の結果から、令和5年3月版データに基づく航空機落下確率を考慮した航空機墜落による火災が発生した場合を想定したとしても、評価対象施設の温度が許容温度を超えないことから、発電用原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないと評価する。