

島根原子力発電所 2号炉

竜巻影響評価について

(コメント回答)

令和元年 6月
中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません

No.	審査会合日	コメント要旨	回答頁
1	R1.5.9	V_{B1} の設定に関する設計の考え方について改めて説明すること。	2~4
2	R1.5.9	竜巻の地上付近の風速特性は不確定であることが報告されていることを踏まえ、フジタモデルにおける地上付近の風速が遅いことに対する保守性をどのように担保するのか説明すること。	5~10
3	R1.5.9	ナウキャスト予測に基づく人、車両等の退避について、60分先までの気象予測情報が得られるにもかかわらず、竜巻発生の可能性が高くとも30分前までは退避を開始しないとする考え方の妥当性を説明すること。	11
4	R1.5.9	砂利等の極小飛来物について、衝突荷重に対する影響以外に、砂等の粒子状の飛来物による目詰まり、閉塞及び噛込みなど、防護ネットを通過する極小飛来物が設備影響を与えないことを説明すること。	12~15
5	R1.5.9	設計風速を92m/sと設定することに対し、飛来物の設計で100m/sの風速を使用するとする考え方を整理して説明すること。	16,17
6	R1.5.9	飛来物の初期高さ、障害物となり得る建物の高さ、想定される飛来物の軌跡等必要な情報を整理した上で、飛来物発生防止対策エリアから、障害物となり得る建物等を考慮して一部の範囲を除外するとする考え方について説明すること。	18
7	R1.5.9	障害物を考慮すること等で、一部の物体を設計飛来物の対象外としているが、設計飛来物の選定フローから読み取れないため、フローを再精査すること。	19

審査会合における指摘事項に対する回答【No.1】(1/3)

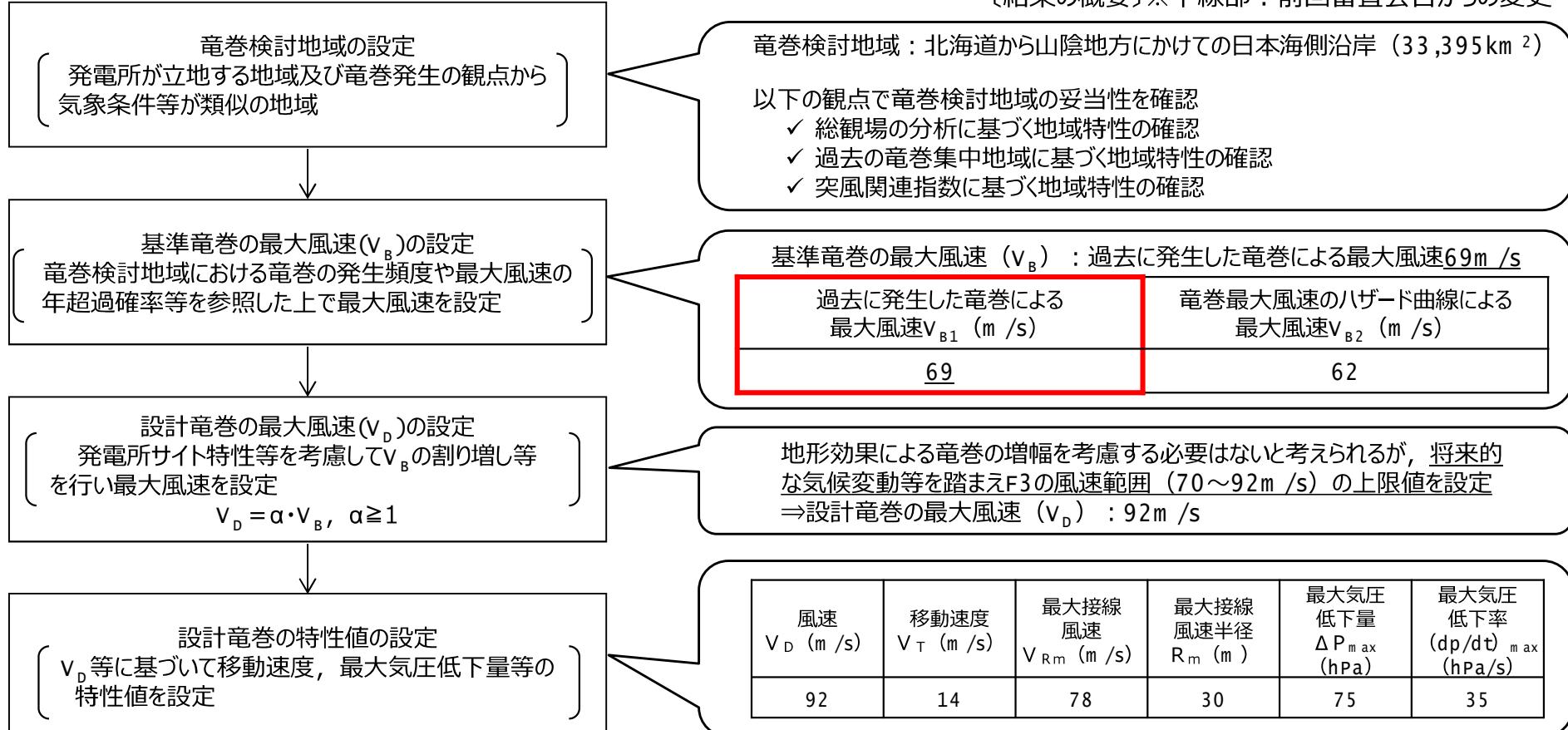
■ 指摘事項 (審査会合R1.5.9)

V_{B1} の設定に関する設計の考え方について改めて説明すること。

■ 回答

ガイドに記載のフローに従い、 V_B 及び V_D の設定に関する考え方を見直した

[結果の概要]※下線部：前回審査会合からの変更



基準竜巒・設計竜巒の設定に係る基本フロー

審査会合における指摘事項に対する回答【No.1】(2/3)

基準竜巻の設定

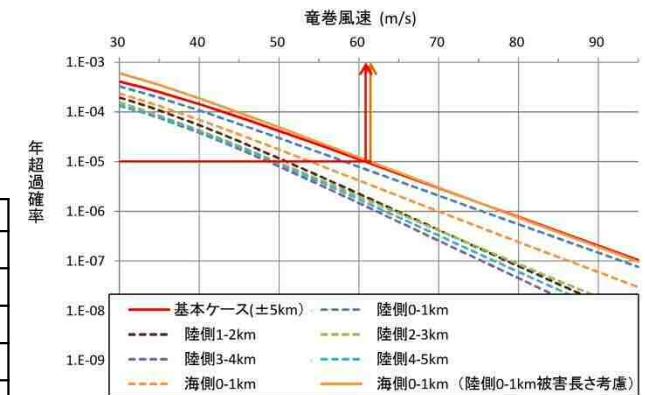
3

- 過去に発生した竜巻による最大風速 V_{B1}
 - ✓ 竜巻検討地域における過去最大竜巻は気象庁「竜巻等の突風データベース」によるとF2である
 - ✓ F2における風速は50~69m/sであることから、風速範囲の上限値69m/sを V_{B1} と設定
- 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 V_{B2}
 - ✓ 竜巻検討地域全域及び竜巻検討地域を1kmごとに細分化（1km短冊）した場合のハザード曲線を算定し、 $10^{-5}/\text{年}$ の風速値から62m/sを V_{B2} と設定
- 基準竜巻の最大風速 V_B
 - ✓ V_{B1} 及び V_{B2} のうち、大きな風速を適用し69m/sを V_B と設定



竜巻検討地域における竜巒の観測記録（F1より大きい竜巒）		
発生日時	発生場所	Fスケール※
1962年09月28日	北海道宗谷支庁東利尻町	(F2)
1971年10月17日	北海道留萌支庁羽幌町	(F2)
1974年10月03日	北海道檜山支庁奥尻郡奥尻町	(F1~F2)
1974年10月20日	北海道檜山支庁檜山郡上ノ国町	(F1~F2)
1975年05月31日	島根県簸川郡大社町	(F2)
1975年09月08日	北海道檜山支庁奥尻郡奥尻町	(F1~F2)
1979年11月02日	北海道渡島支庁松前郡松前町	(F2)
1989年03月16日	島根県簸川郡大社町	(F2)
1990年04月06日	石川県羽咋郡富来町	F2
1999年11月25日	秋田県八森町	(F1~F2)

※ 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



竜巻最大風速のハザード評価

竜巻の最大風速の算定結果

項目	最大風速
過去に発生した竜巻による最大風速 V_{B1}	69m/s
竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 V_{B2}	62m/s
基準竜巻の最大風速 V_B	69m/s

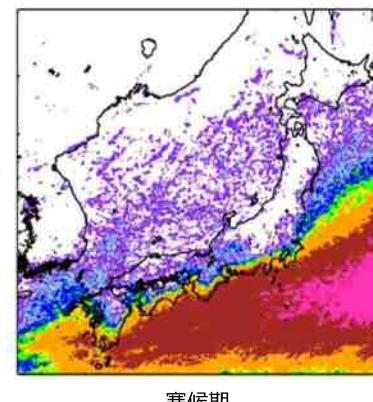
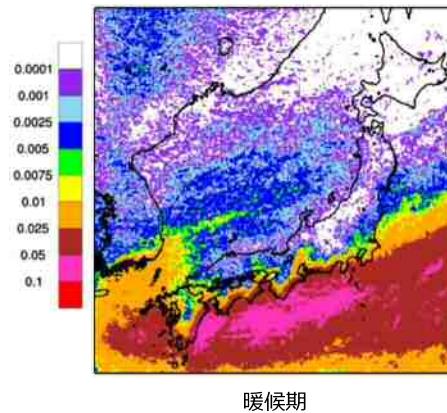
審査会合における指摘事項に対する回答【No.1】(3/3) 設計竜巻の設定

4

●設計竜巻の最大風速 V_D

- ✓ 周辺地形や竜巻の移動方向を確認した結果、地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないが、以下の理由から将来的な気候変動等を考慮して、設計竜巻の最大風速 V_D は69m/sではなく、F3の風速範囲（70～92m/s）の上限値92m/sと設定

- ①山口県西側で突風関連指数が高い傾向を示す領域があるため、その領域を含む竜巻検討地域において将来的な気候変動により基準竜巻の最大風速69m/sを超える竜巻が発生することが完全には否定できないため
- ②日本海側沿岸を竜巻検討地域として設定することの妥当性については確認しているが、島根原子力発電所が位置している竜巻集中地域⑦は日本海側沿岸よりも竜巻発生確率がわずかに大きく、ハザード曲線評価における不確定性が若干あるため



竜巻の発生する地点と竜巻が集中する19個の地域
(JNES「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・加筆)

竜巻検討地域	竜巻集中地域⑦
面積 (km ²)	1,177
竜巻発生数 (個)	8
観測期間 (年)	51.5
竜巻発生確率 (個/年/km ²)	1.3×10^{-4}
竜巻発生確率 (個/年/km ²)	1.1×10^{-4}

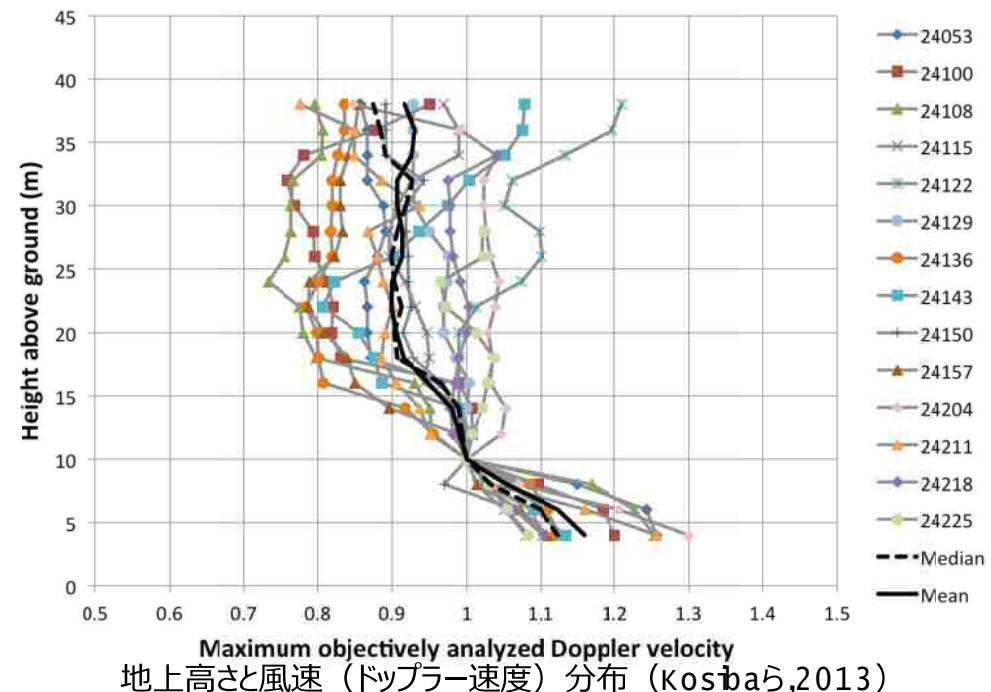
審査会合における指摘事項に対する回答【No.2】(1/6)

■ 指摘事項（審査会合R1.5.9）

竜巻の地上付近の風速特性は不確定であることが報告されていることを踏まえ、フジタモデルにおける地上付近の風速が遅いことに対する保守性をどのように担保するのか説明すること。

■ 回答

- 竜巻の地表面付近の風速分布に関する研究として、Kosibaらは地上高さ約5mにおける風速は地上高さ約40mに比べて約25%大きな値が観測されたことを報告している。ただし、地上から高さ3m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ことには更なる観察が必要である」としている。
- 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。



地上高さと風速（ドップラー速度）分布 (Kosibaら, 2013)

【Kosibaらの風速の観測データ】

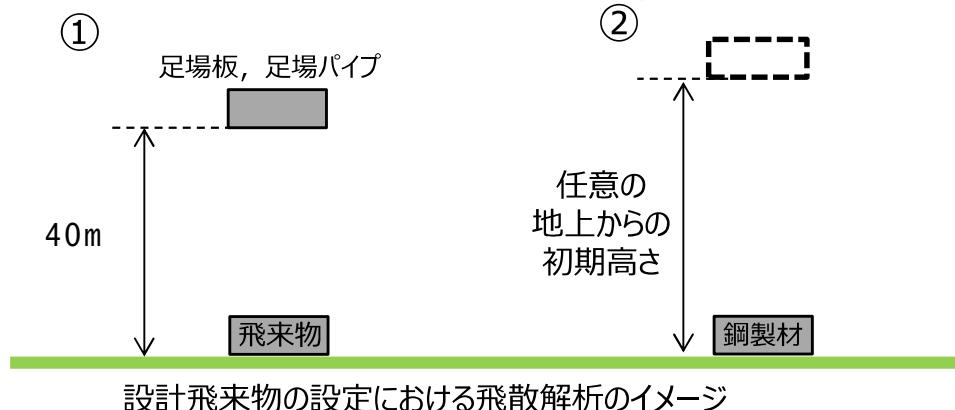
- ・地上から高さ3m（アンテナ高さ）以下では観測できていない
- ・レーダによるドップラー速度は飛来物体の反射から得られる瞬間計測値であるため、竜巻風速の3秒平均速度との対応は不明（例えばF3の竜巻風速は5秒平均風速を用いている）
- ・一つの竜巻の観測から得られた風速分布であり、地表面付近の竜巻特性として一般化するには更なる観察が必要

審査会合における指摘事項に対する回答【No.2】(2/6) 竜巻影響評価における飛散解析について

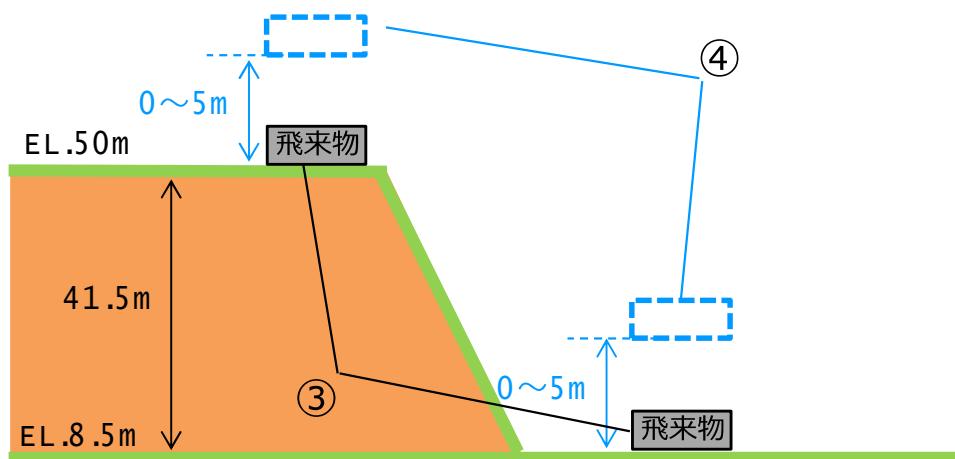
6

竜巻影響評価における、フジタモデルによる飛散解析の概要を以下に示す。

・設計飛来物の設定：運動エネルギー、貫通力



・飛来物発生防止対策エリアの設定：飛散距離



①現地調査で抽出した飛来物等について飛散解析を実施（足場板、足場パイプについては、地上からの初期高さ40mから飛散解析を実施）

②設計飛来物として設定したガイドの鋼製材について、地上からの初期高さの感度解析を実施【P.7で説明】

③現地調査で抽出した飛来物等について、敷地の高低差（EL8.5m, 50m）を考慮した飛散解析を実施

④フジタモデルの地表面付近の風速場の不確定性を考慮し、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ために、地上からの初期高さの感度解析（地表面付近(0~5m)の範囲）を実施【P.9,10で説明】

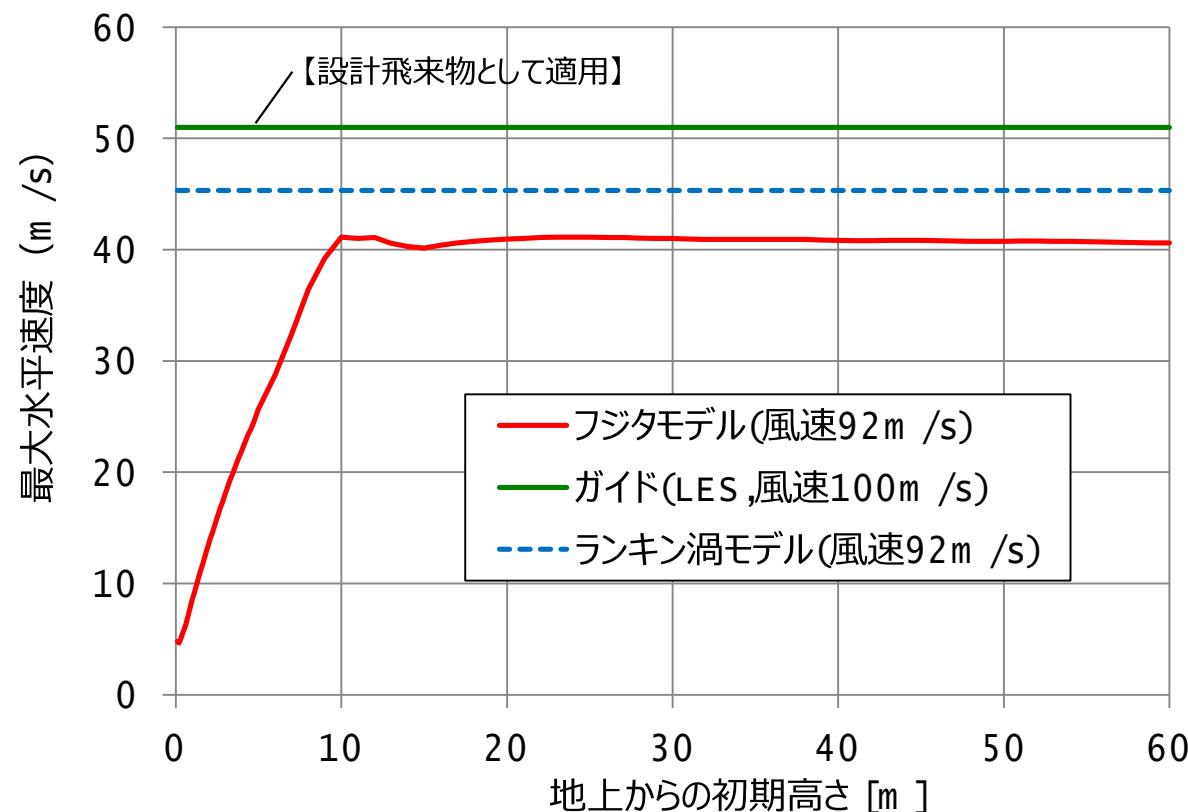
①～④の飛散解析においては、竜巻を物体の直上へ配置及び物体を多点配置する条件を設定【P.8で説明】

審査会合における指摘事項に対する回答【No.2】(3/6) 設計飛来物設定における保守性

7

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、任意の地上からの初期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。

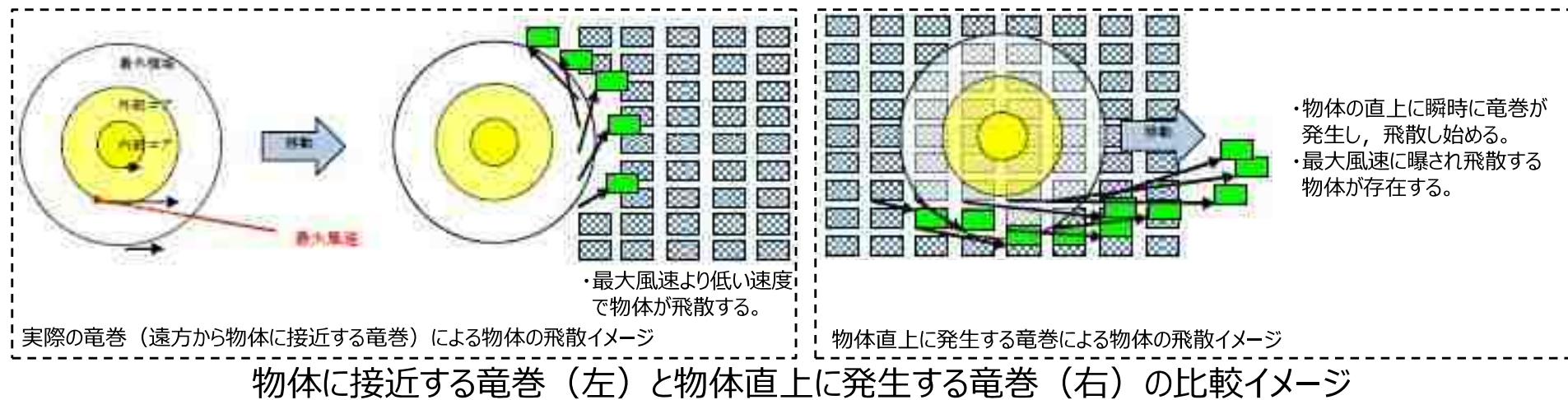


各風速場モデルにおける鋼製材の飛散解析結果
(鋼製材 : $0.3\text{m} \times 0.2\text{m} \times 4.2\text{m}$, 135kg)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.2】(4/6) 飛来物評価における保守性

8

竜巻を物体の直上へ配置及び物体を多点配置することで、竜巻による最大風速に曝される物体が存在するため、実際に比べて大きな飛散距離、飛散高さ及び飛来物速度が得られる。なお、実際の被災状況と比較しても保守的な評価となっていることを確認。



佐呂間竜巒のトラックの被災事例と飛散解析結果の比較

（トラック： $8.1\text{m} \times 2.24\text{m} \times 2.5\text{m}$ ， $4,000\text{kg}$ ）

	飛散距離	飛散高さ	最大飛来物速度
フジタモデル (風速 92m/s)	86.5 m	5.3 m	39.9 m/s (約 144 km/hr)
実際の 被災状況	約 40 m	乗員が存命で救出されており、 5.3 m 以上の高所から落下したとは考えにくい。	被災後のトラックが外形を留めていることから、実際の飛来物速度は本解析で得られた最大飛来物速度を遙かに下回ると推察。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.2】(5/6) 地表面付近の風速場の不確定性について

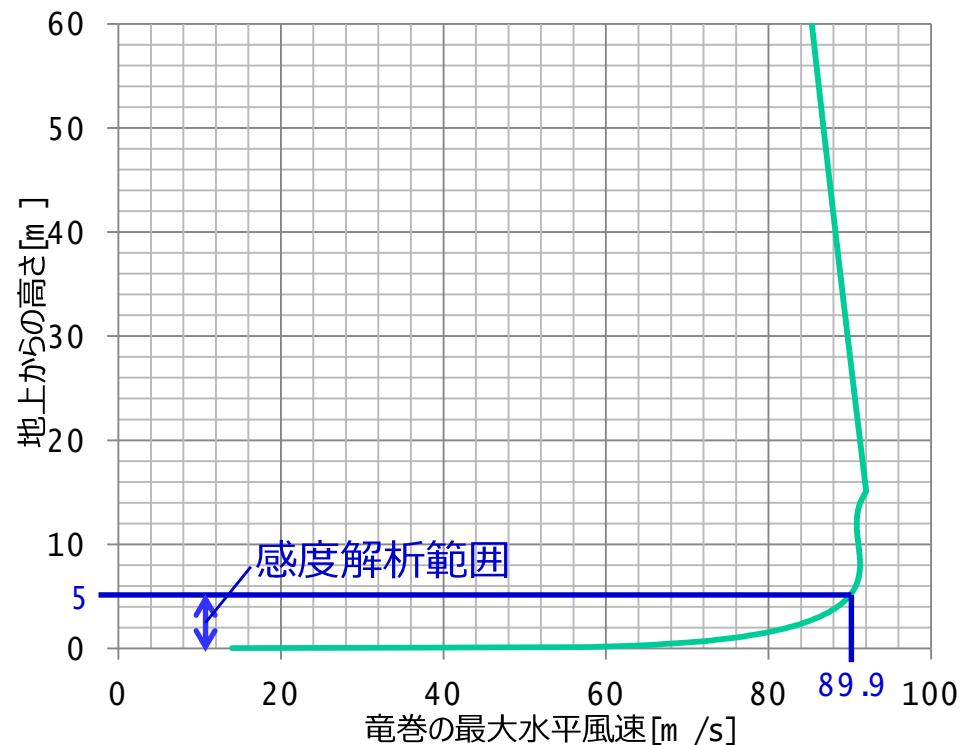
9

フジタモデルは高さ方向に風速が変化し、地上高さ0mでは風速が0m/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。

解析条件を以下に示す。

地上からの初期高さの感度解析条件

風速	92m/s
地上からの初期高さの解析範囲	0~5m (物体に作用する初期風速： 0~89.9m/s)
対象飛来物	最大飛散距離：「乗用車」及び「プレハブ小屋」 (飛来物発生防止対策エリアの設定に用いている) 最大飛散高さ：「乗用車」 (障害物となる建物を考慮して飛来物発生防止対策エリアを設定している)



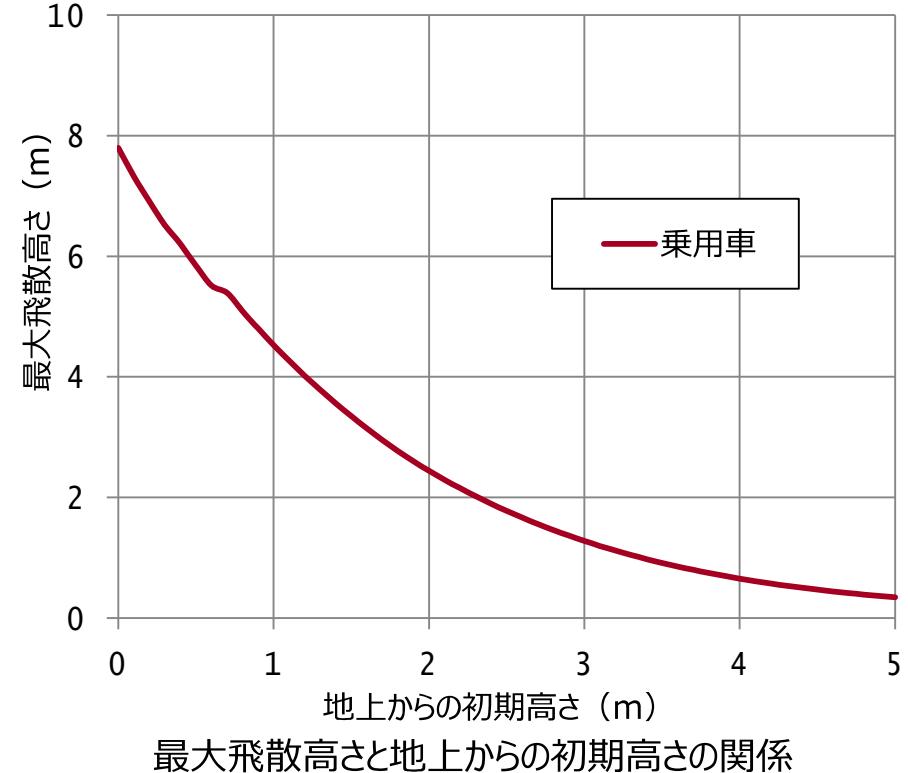
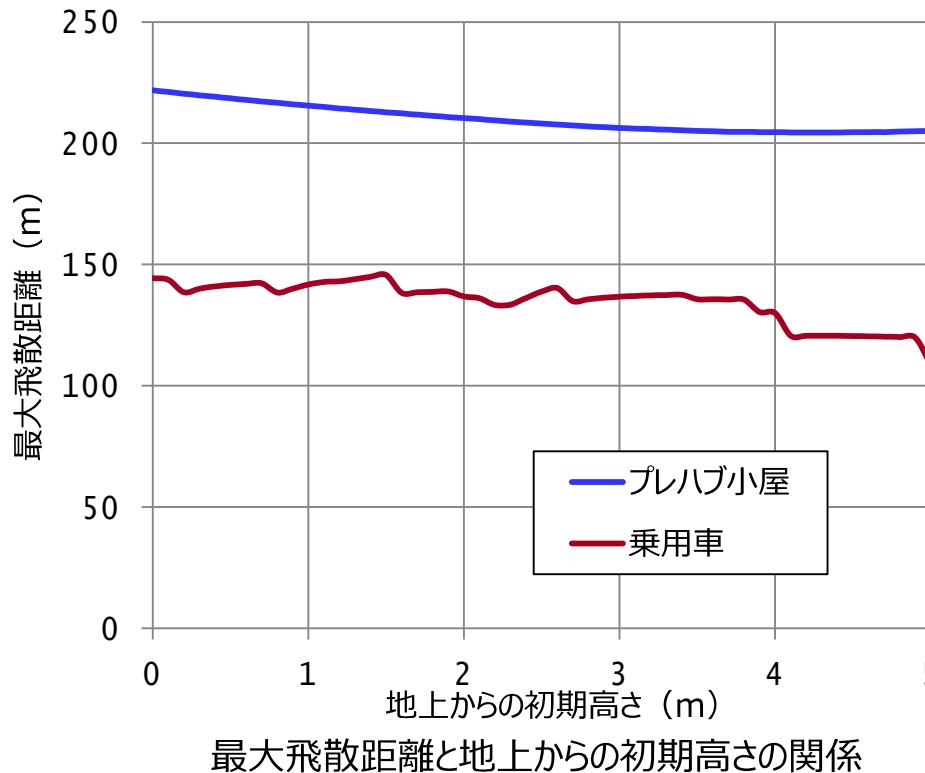
フジタモデルの風速場における最大水平風速と地上からの高さの関係
(最大風速92m/s, 外部コア半径位置)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.2】(6/6) 地上からの初期高さの感度解析結果

10

最大飛散距離、最大飛散高さとともに、地上からの初期高さが高くなるに従い、地面効果による揚力が減衰することから、減少する傾向にある。

以上より、地表面に設置された飛来物の飛散解析の妥当性が確認された。



解析条件	・風速 : 92 m /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)
------	--

- 現地調査で確認した乗用車、プレハブ小屋以外の飛来物に対しても地上からの初期高さ5mを設定した場合の飛散解析を実施し、飛来物発生防止対策エリアの設定に影響が無いことを確認（詳細は別添2-1 添付資料3.3 別紙7に記載）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.3】

■ 指摘事項（審査会合R1.5.9）

ナウキャスト予測に基づく人、車両等の退避について、60分先までの気象予測情報が得られるにもかかわらず、竜巻発生の可能性が高くとも30分前までは退避を開始しないとする考え方の妥当性を説明すること。

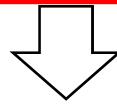
■ 回答

竜巻襲来の可能性が高くなった場合に、より確実に人・車両等の退避を行えるよう、竜巻発生確度ナウキャスト及び雷ナウキャストの予測の最大時間の60分先までの情報に基づき、対応を開始することとする。

竜巻準備体制の実施基準（変更前）

：修正箇所

対応	判断基準		運用対策案	作業者の行動イメージ
①監視強化及び注意喚起	満いたずらな場合を	雷注意報（竜巻）の発表 竜巻注意情報の発表 竜巻発生確度ナウキャスト（実況）「竜巻発生確度2」かつ雷ナウキャスト（実況）「雷活動度2以上」	連絡体制の確認	作業者は車両の付近で待機する。また、固縛・退避手順の確認をする。
②警戒強化		【ナウキャスト予測（60分先まで）】 竜巻発生確度ナウキャスト「竜巻発生確度2」かつ雷ナウキャスト「雷活動度2以上」	人、車両等の退避準備	作業者は固縛・退避の準備を実施する。
③竜巻準備		【ナウキャスト予測（30分先まで）】 竜巻発生確度ナウキャスト「竜巻発生確度2」かつ雷ナウキャスト「雷活動度3以上」	人、車両等の退避	作業者は固縛もしくは資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア外に退避する。



竜巻準備体制の実施基準（変更後）

対応	判断基準		運用対策案	作業者の行動イメージ
①監視強化及び注意喚起	満いたずらな場合を	雷注意報（竜巻）の発表 竜巻注意情報の発表 竜巻発生確度ナウキャスト（実況）「竜巻発生確度2」かつ雷ナウキャスト（実況）「雷活動度2以上」	連絡体制の確認	作業者は車両の付近で待機する。また、固縛・退避手順の確認をする。
②竜巻対応開始		【ナウキャスト予測（60分先まで）】 竜巻発生確度ナウキャスト「竜巻発生確度2」かつ雷ナウキャスト「雷活動度2以上」	人、車両等の退避準備及び退避	・作業者は固縛・退避の準備を実施する。 ・作業者は固縛もしくは資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア外に退避する。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.4】(1/4)

■ 指摘事項（審査会合R1.5.9）

砂利等の極小飛来物について、衝突荷重に対する影響以外に、砂等の粒子状の飛来物による目詰まり、閉塞及び噛込みなど、防護ネットを通過する極小飛来物が設備影響を与えないことを説明すること。

■ 回答

砂等の粒子状の極小飛来物による目詰まり、閉塞及び噛込みの影響を受ける可能性がある施設として、軸受け等の狭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・外気との接続がある施設・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を実施し、影響が無いことを確認した。

目詰まり、閉塞、噛込みに対する影響評価施設

分類	評価施設	分類
屋外施設	・海水ポンプ	・噛込み ・閉塞
	・海水ポンプ電動機	・閉塞
	・海水ストレーナ	・目詰まり
	・ディーゼル燃料移送ポンプ	・噛込み ・閉塞
	・排気筒（非常用ガス処理系用排気筒含む）	・閉塞
外気との接続がある施設	・空調換気設備（中央制御室換気系、原子炉棟空調換気系、原子炉建物付属棟空調換気系）	・目詰まり
屋外にある外部事象防護対象施設の付属施設	・給気消音器（非常用ディーゼル機関の付属施設）	・閉塞
	・排気消音器（排気管含む）（非常用ディーゼル機関の付属施設）	・閉塞
	・ベント管（ディーゼル燃料貯蔵タンク、燃料ディタンク、潤滑油サンプタンクの付属施設）	・閉塞

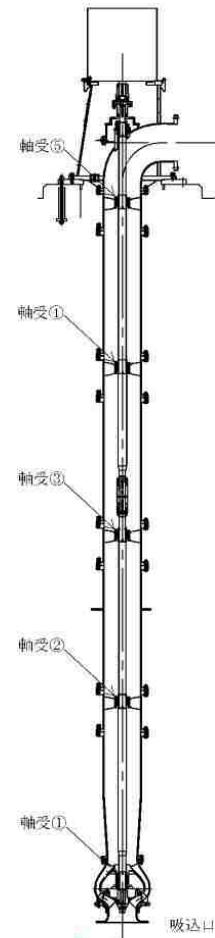
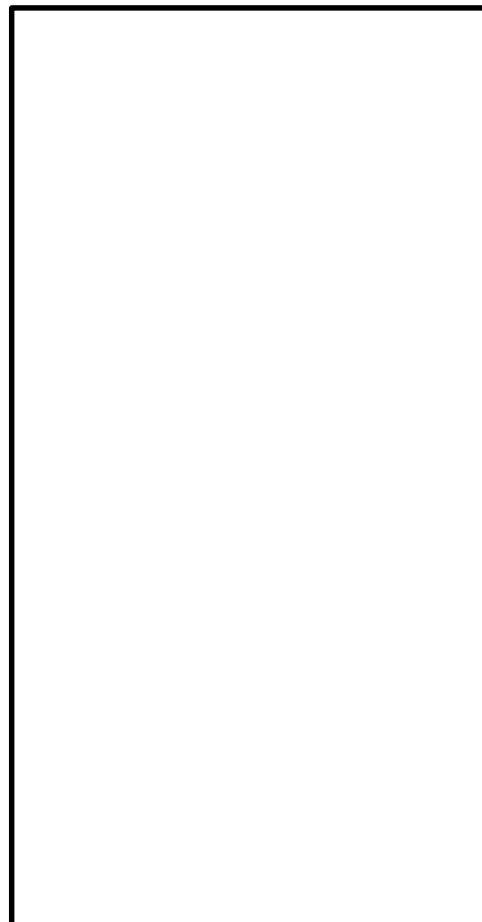
審査会合における指摘事項に対する回答【No.4】(2/4) 海水ポンプの評価例（噛込み）

13

海水ポンプの軸受の隙間は、約 $1.38\text{mm} \sim 1.49\text{mm}$ 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、異物逃がし溝が設けられており、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



原子炉補機海水ポンプ軸受構造

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.4】(3/4) 空調換気設備（外気取入口）の評価例（目詰まり）

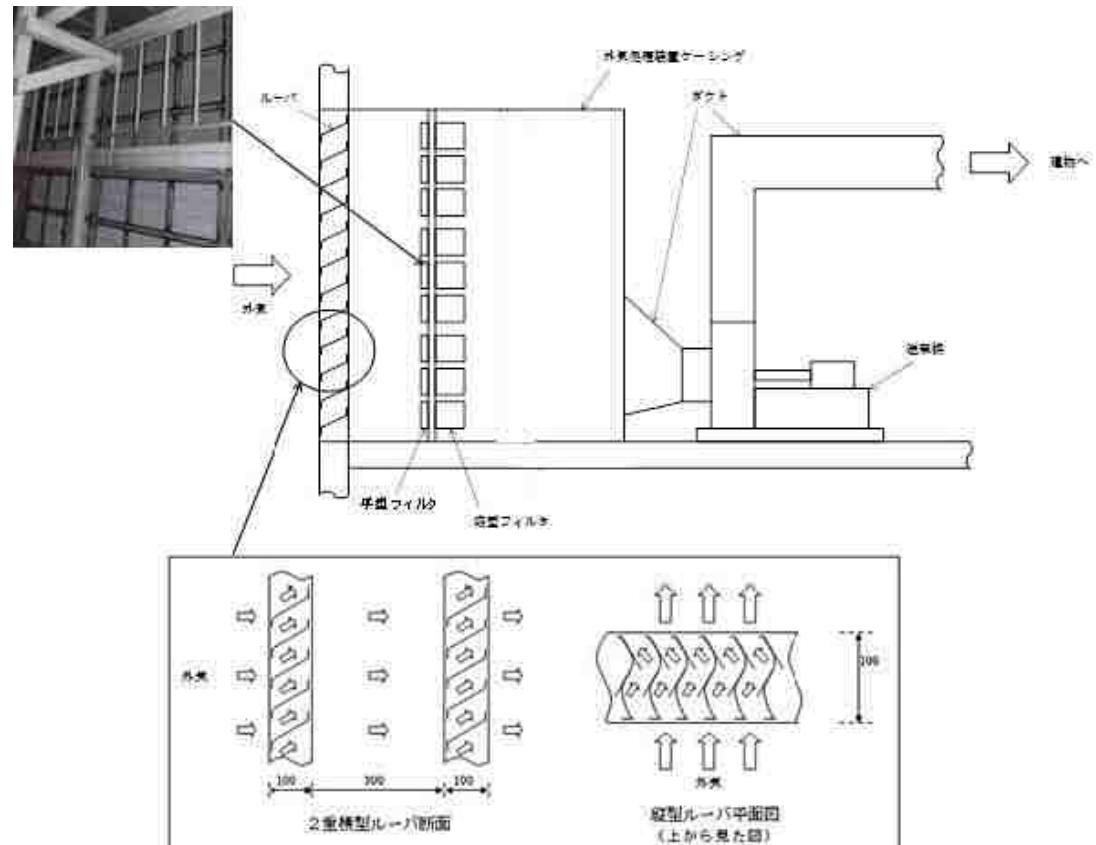
14

空調換気設備（外気取入口）には、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。

外気取入口には平型フィルタや袋型フィルタが設置されており、砂等の粒子状の極小飛来物は除去される。

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。

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)
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)



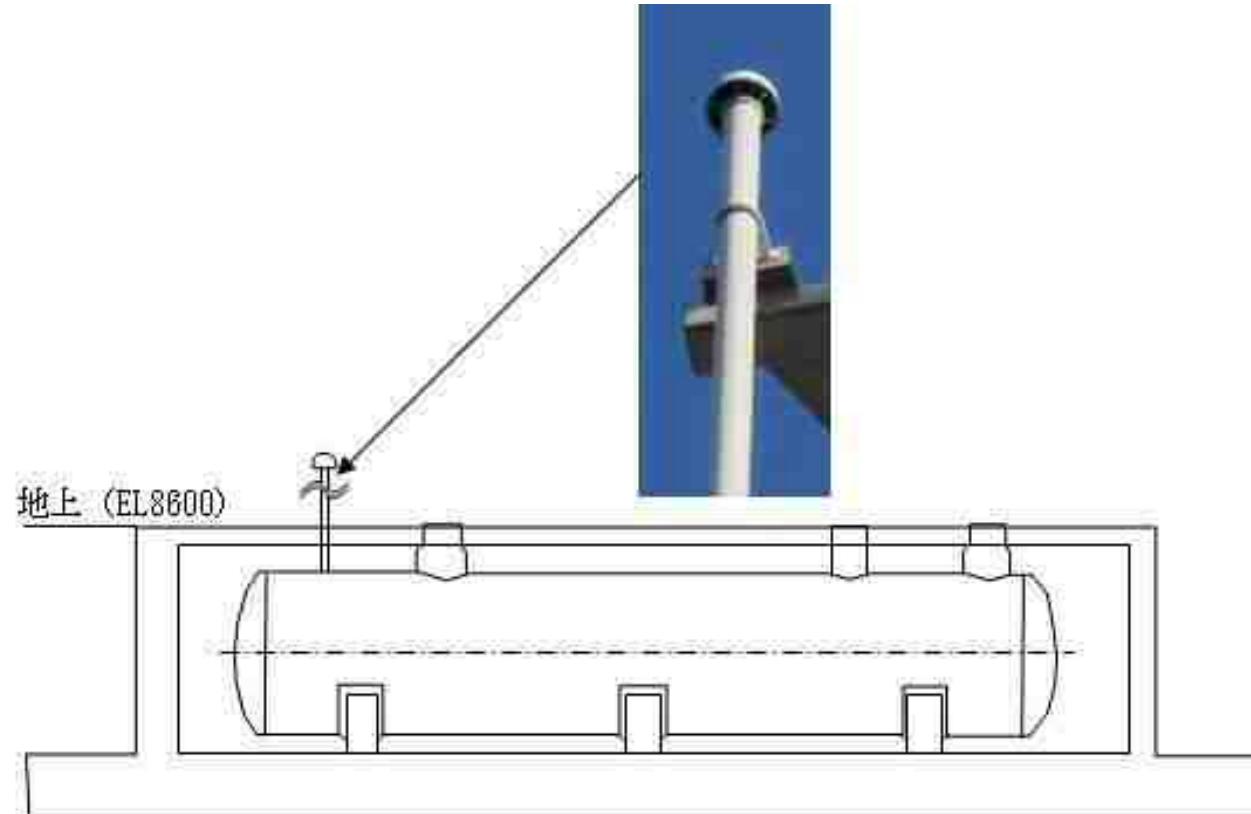
空調換気設備（外気取入口）の概要

審査会合における指摘事項に対する回答【No.4】(4/4) ディーゼル燃料貯蔵タンクベント管の評価例（閉塞）

15

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。

ディーゼル燃料貯蔵タンクのベント管の先端には、カバーが取り付けられており、砂等の粒子状の極小飛来物により開口部の閉塞には至らない。



ディーゼル燃料貯蔵タンク及びベント管の概要

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5】(1/2)

■ 指摘事項 (審査会合R1.5.9)

設計風速を92m/sと設定することに対し、飛来物の設計で100m/sの風速を使用するとする考え方を整理して説明すること。

■ 回答

従来は、設計竜巻の最大風速 $V_D = 92 \text{ m/s}$ に対し、飛散解析に用いる風速は V_D を切り上げた100m/sを用いていたが、竜巻影響評価に一貫性を持たせ、飛散解析に用いる風速も92m/sを用いることとした。

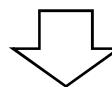
なお、これに伴う主な変更は以下のとおり。

- 飛来物発生防止対策エリアの設定に用いた想定飛来物※を小型自動二輪車から乗用車へ変更

※ 設計飛来物の影響を超えるもののうち飛散距離が最大のもの

飛来物発生防止対策エリアの設定に用いた想定飛来物の飛散解析結果

飛来物	風速 (m/s)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	最大飛散高さ (m)	運動エネルギー (kJ)	設計飛来物の影響を超過するか (運動エネルギー > 176 kJ)
小型自動 二輪車	100	67	195	19	197	超過する
	92	61	167	15	163	超過しない



風速の見直しにより、小型自動二輪車の運動エネルギーは設計飛来物を超過しない。

飛来物	風速 (m/s)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	最大飛散高さ (m)	運動エネルギー (kJ)	設計飛来物の影響を超過するか (運動エネルギー > 176 kJ)
乗用車	92	48	145	7.8	2097	超過する

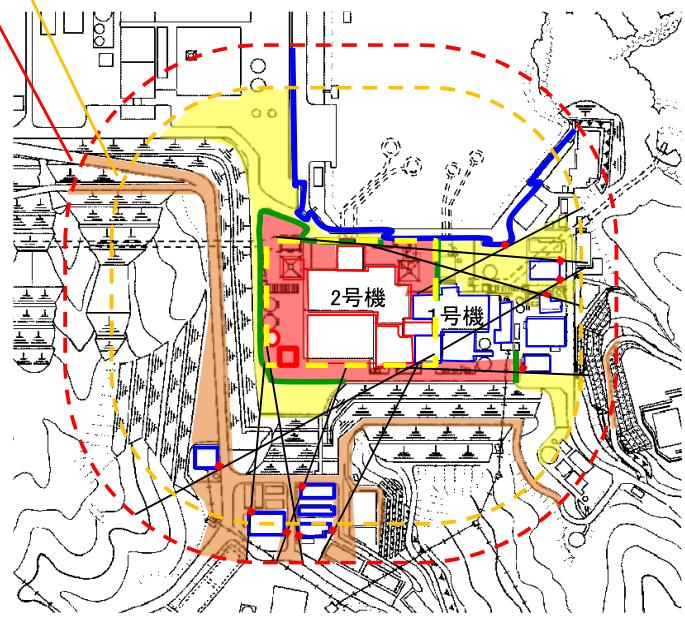
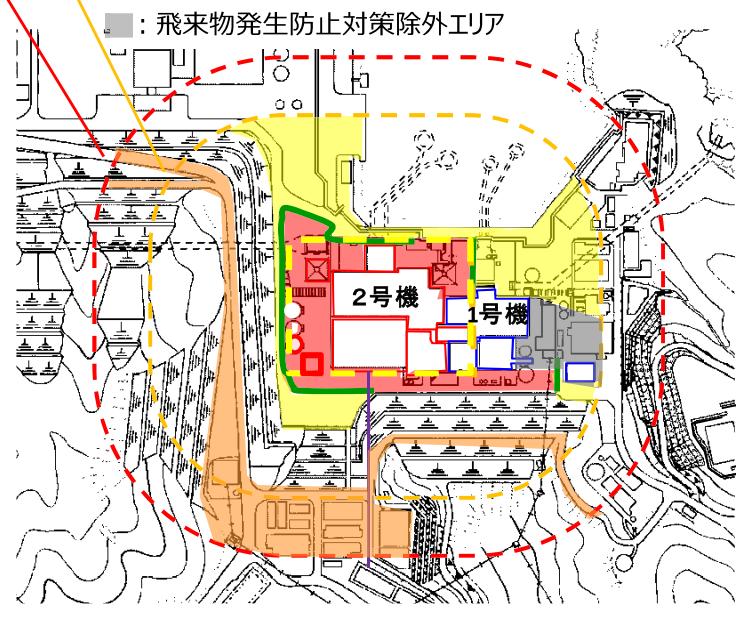
資機材・車両のうち飛散距離が最大となる乗用車から、資機材・車両の飛来物発生防止対策エリアを設定する。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5】(2/2) 変更前後の資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア

17

- 風速100m/sと92m/sの資機材・車両の飛来物発生防止対策エリアは以下の通り。

資機材・車両の飛来物発生防止対策エリアの変更前後

	変更前	変更後
風速	100m/s	92m/s
飛来物発生防止対策エリア	<p>EL.45m,50mの飛来物発生防止対策エリア(防護対象施設からの距離250m) EL.8.5m,15mの飛来物発生防止対策エリア(防護対象施設からの距離200m)</p> <p>□: 外部事象防護対象施設 □: 障害物となる建物等 ■: 横滑り対策エリア ■: ガードレール等の障害物</p> 	<p>EL.45m,50mの飛来物発生防止対策エリア(防護対象施設からの距離230m) EL.8.5m,15mの飛来物発生防止対策エリア(防護対象施設からの距離150m)</p> <p>□: 外部事象防護対象施設 □: 障害物となる建物等 ■: 横滑り対策エリア ■: ガードレール等の障害物 ■: 飛来物発生防止対策除外エリア</p> 

審査会合における指摘事項に対する回答【No.6】

■ 指摘事項（審査会合R1.5.9）

飛来物の初期高さ、障害物となり得る建物の高さ、想定される飛来物の軌跡等、必要な情報を整理した上で、飛来物発生防止対策エリアから、障害物となり得る建物等を考慮して一部の範囲を除外するとする考え方について説明すること。

■ 回答

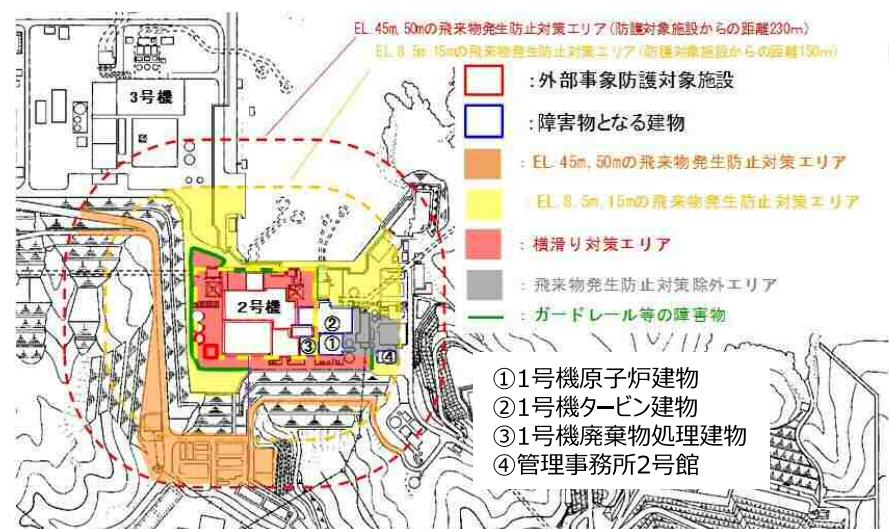
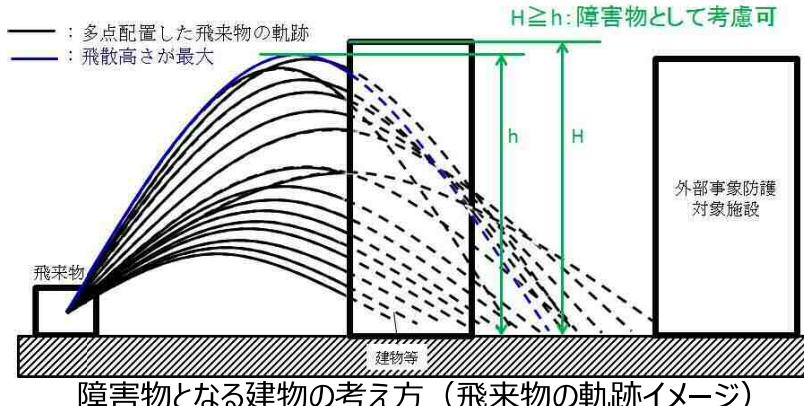
TONBOSによる飛散解析（92m/s）の結果、島根原子力発電所構内で確認された資機材・車両のうち最も飛散高さが高くなるのは「乗用車」の8mとなる。

外部事象防護対象施設と飛来物となり得る物体の間の建物高さが8m以上である以下の建物を障害物として考慮する。

発電所構内の障害物となる建物

No	建物	高さH [m] ^{※1}	障害物となり得るか (H≥(最大飛散高さ8m))
①	1号機原子炉建物	16	○
②	1号機タービン建物	9	○
③	1号機廃棄物処理建物	14	○
④	管理事務所2号館	18	○

※1 各建物屋上の最低高さを記載



障害物となる建物の構内配置

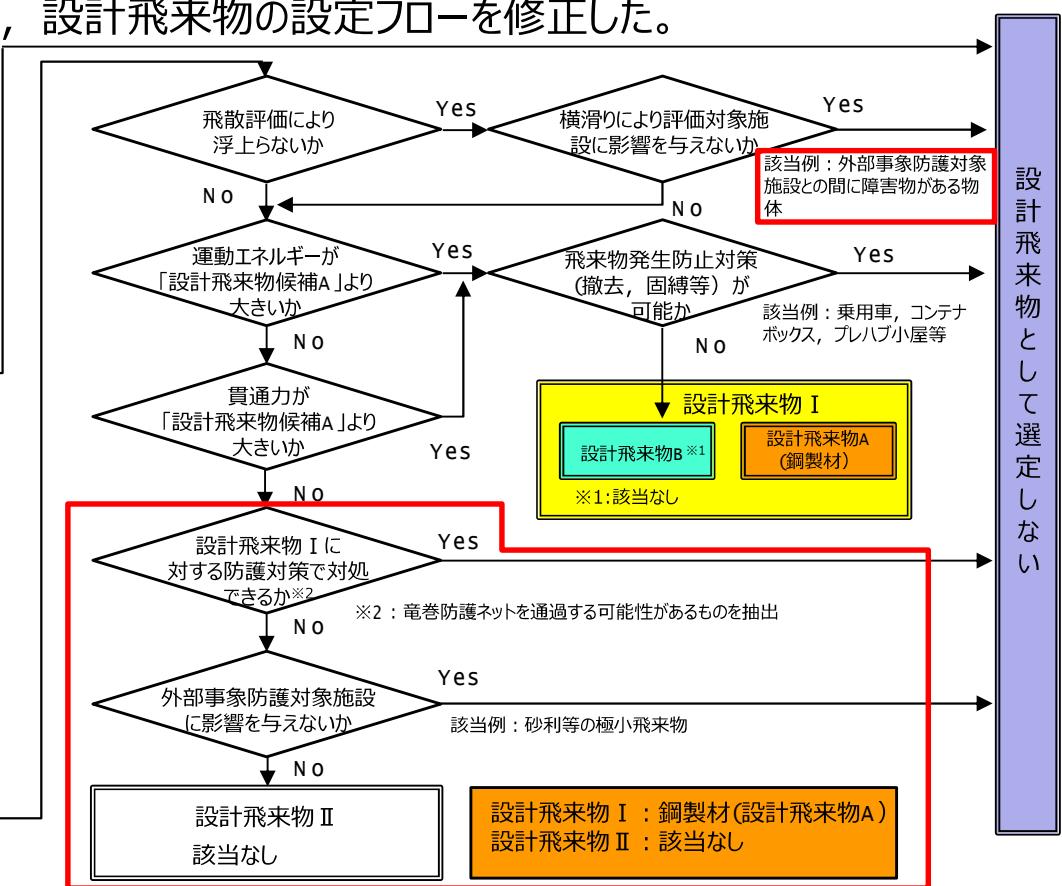
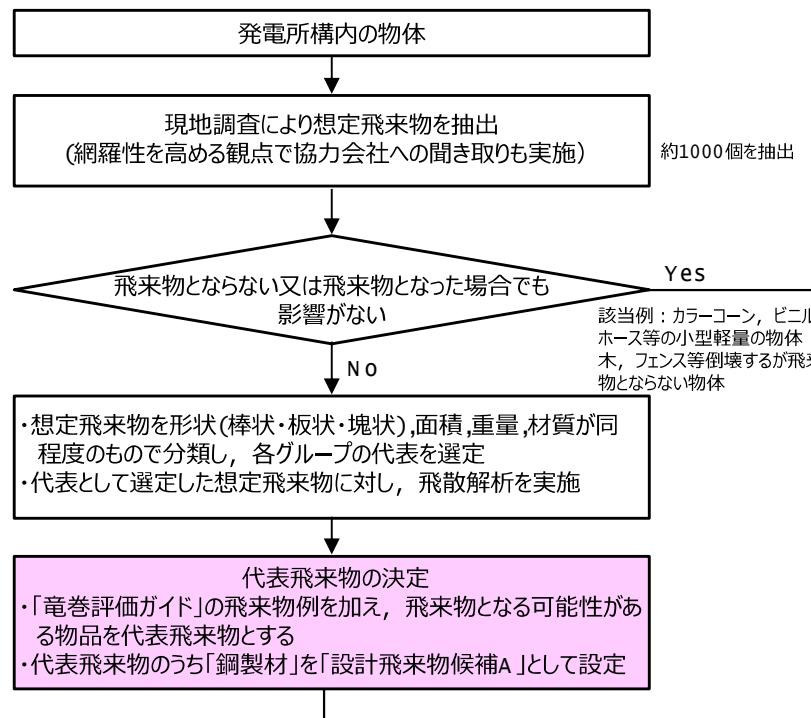
審査会合における指摘事項に対する回答【No.7】

■ 指摘事項（審査会合R1.5.9）

障害物を考慮すること等で、一部の物体を設計飛来物の対象外としているが、設計飛来物の選定フローから読み取れないため、フローを再精査すること。

■ 回答

横滑りの影響を確認する際に障害物の有無を考慮していること、竜巻防護ネットで防護できない極小飛来物を設計飛来物から除外していることが分かるように、設計飛来物の設定フローを修正した。



□ : 主な修正箇所

設計飛来物の設定フロー