

# 東海第二発電所

## 外部からの衝撃による損傷の防止(竜巻)

審査会合コメント回答

平成29年9月11日  
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

1. 指摘事項

フジタモデルで確保している保守性について、解析に含まれる不確実性も含めて、具体的な説明を追加すること。

2. 回答

- フジタモデルを用いた飛散解析モデル(=風速場モデル+物品の飛散モデル)においては、「設計竜巻の最大風速」、「地表面における物品の揚力」及び「物品が受ける初期風速」について、保守性を考慮した設定をしている(①)。
- また、風速場モデルの「最大接線風速半径」、「内部コア/外部コア半径比」及び「流入層高さ」についてはガイド・文献の値を採用し、実際の竜巻におけるばらつきに対する保守性を考慮してはいない(②)。
- これらの設定が物品の飛散挙動(飛散速度、飛散距離及び浮上高さ)に与える影響を確認した結果、②の値のばらつきが飛散挙動へ非保守側の効果を与える場合でも、①の設定が飛散挙動へ与える保守側の効果に包絡されることを確認した。

飛散解析モデルの設定項目における保守性の考慮状況

解析における設定項目		保守性の考慮
風速場モデル	設計竜巻の最大風速 $V_D$	あり
	移動速度 $V_T$	あり
	最大接線風速 $V_{Rm}$	あり
	最大接線風速半径(コア半径) $R_m$	なし
	内部コア/外部コア半径比 $\nu$	なし
	流入層高さ $H_i$	なし
散物品モデルの飛	地表面における揚力	あり
	物品が受ける初期風速	あり

以上より、飛散解析モデル全体としては保守性が確保されていると言える。〔詳細は3,4ページ参照〕

【別添資料2 6条(竜巻)-2-34,35】

【別添資料2 6条(竜巻)-2-31~35】

【参考】以下の評価においては、上記の飛散解析モデルの保守性に加え、飛散解析の設定や結果を保守側に取り扱い、更なる保守性を確保している。〔詳細は5,6ページ参照〕

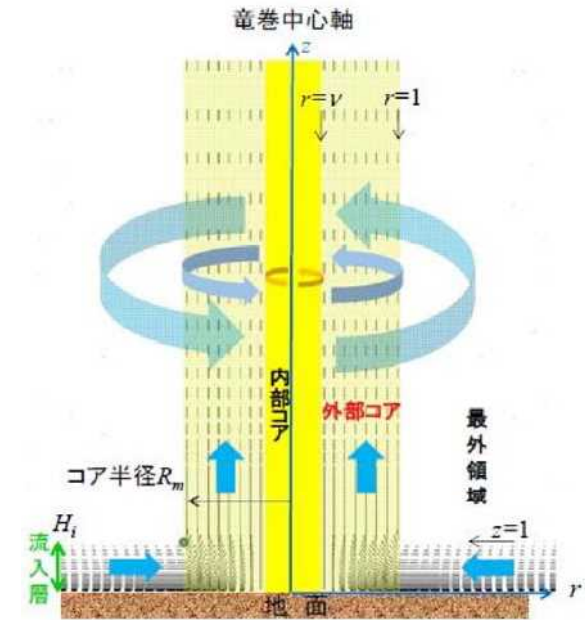
参考①: 設計飛来物の飛散速度

参考②: 車両管理エリアの範囲の決定

## 飛散解析モデルの設定項目における保守性の考慮状況(風速場モデル)

風速場モデルの設定項目のうち、「最大接線風速半径」、「内部コア/外部コア半径比」及び「流入層高さ」はガイド・文献の値を採用しており、これらは実際の竜巻におけるばらつきに対する保守性を考慮してはいないため、これらの、ばらつきに対する飛散挙動(飛散速度、飛散距離及び浮上高さ)を確認した結果、流入層高さ10%のばらつきに対して、飛散特性の変化率は最大で5%程度であった。

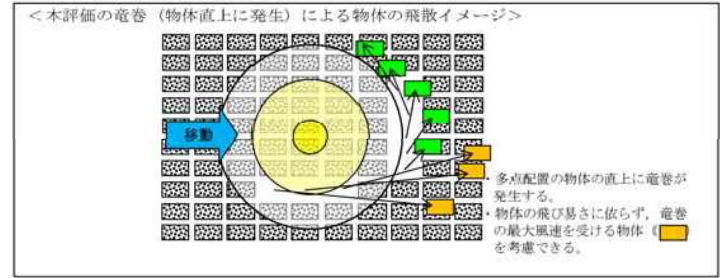
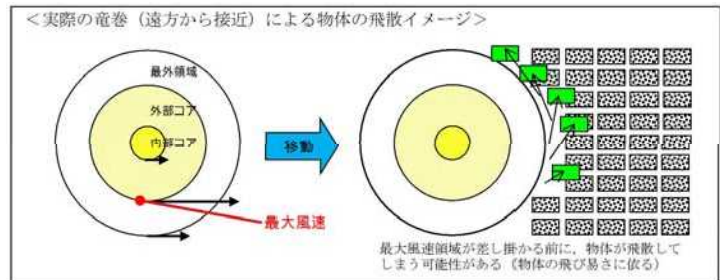
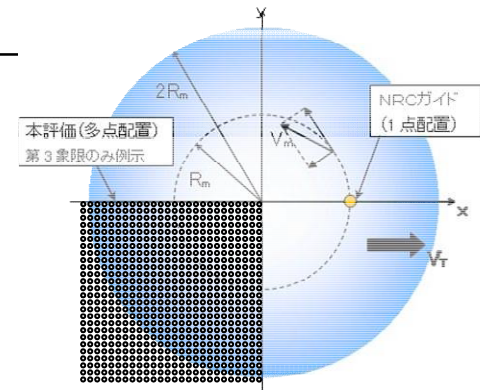
解析における設定項目		保守性の考慮	評価			
風速場モデル	1	設計竜巻の最大風速 $V_D$	あり	設計竜巻の最大風速 $V_D$ について、設定データが不十分であることの不確実性を考慮し、数値を保守側に丸めて設定(92m/s⇒100m/s)。		
		移動速度 $V_T$	あり	$V_{Rm} = V_D - V_T$ であり、 $V_{Rm}$ に依存する最大気圧低下量 $\Delta P$ が大きくなる様、 $V_T$ は低めの値を採用。(竜巻評価ガイドに準拠)		
		最大接線風速 $V_{Rm}$				
	2	最大接線風速半径(コア半径) $R_m$	なし	竜巻評価ガイドの値を採用	$H_i = f(R_m, \nu) = f(R_m, g(R_m))$ の関係があることから、 $H_i$ の感度解析にて影響を推定する。	
3	内部コア/外部コア半径比 $\nu$	なし	フジタモデルの文献を基に設定			
4	流入層高さ $H_i$	なし	衝突時の影響が大きい、飛散し易く質量が大きな物品(コンテナ)の飛散速度、飛散距離、浮上高さについて感度解析(±10%)を実施した結果、感度は高くないことを確認した[下表参照]			
		パラメータ及び変化率		飛散特性の変化率		
			最大水平速度	最大飛散距離	最大浮上高さ	
		流入層高さ $H_i$	-10%	0.4%	-3.2%	-4.9%
			+10%	-0.6%	2.8%	5.1%



## 飛散解析モデルの設定項目における保守性の考慮状況(物品の飛散モデル)

「地表面における揚力」及び「物品が受ける初期風速」の何れにも保守性確保のための取扱いをしており、特に後者の取扱い(物品の多点配置)の効果は、少なくとも400%程度あり風速場モデルでばらつきの影響(約5%)があった場合でも包絡できる。

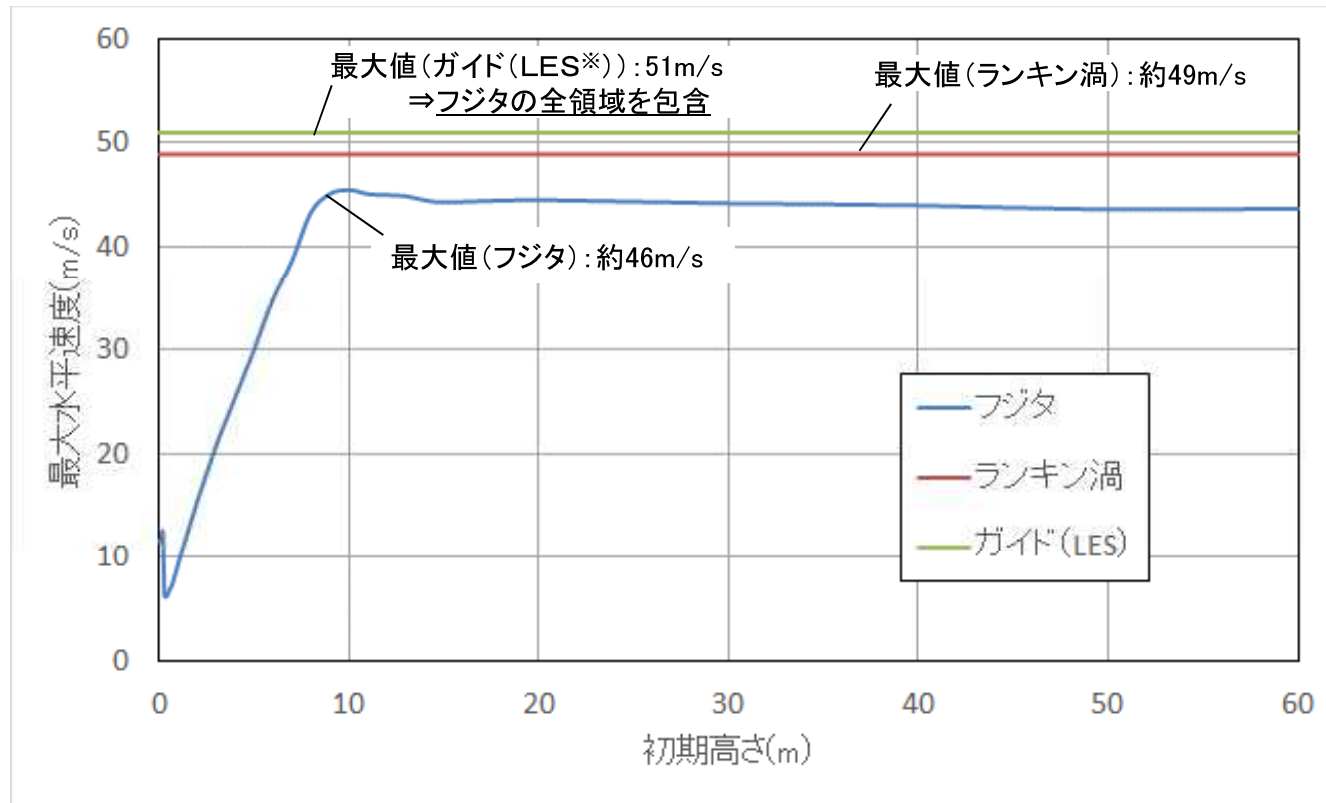
解析における設定項目		保守性の考慮	評価
物品の飛散モデル	1 地表面における揚力	あり	揚力係数 $C_L$ と見附面積 $a$ の積( $C_L a$ )を、より大きな値を示す係数( $C_D A^*$ )で置き換え $\ast: C_D A = 0.33 \cdot (C_{Dx} A_x + C_{Dy} A_y + C_{Dz} A_z)$ 【別添資料2 6条(竜巻)-2-21,22】
	2 物品が受ける初期風速	あり	<ul style="list-style-type: none"> <li>竜巻のあらゆる位置に物品を多点配置するモデルとし、竜巻風速場中の種々の風速を受け飛散するものの中から、飛散速度、飛距離等の最大値を抽出している。</li> <li>コンテナの評価では、米国NRCの手法である竜巻進行方向前方への1点配置とした場合に比べ、飛散速度、飛散距離は保守的な結果となる。  <b>また、この保守性は流入層高さ<math>H_i</math>のばらつきによる非保守側の影響を包絡する〔下表〕</b></li> </ul>
パラメータ及び変化率		飛散特性の変化率	
		最大水平速度	最大飛散距離
多点配置 (1点配置からの変化率)		420%	1411%
流入層高さ $H_i$	-10%	0.4%	-3.2%
	+10%	-0.6%	2.8%
		最大浮上高さ	957%



## 参考①: 設計飛来物の飛散速度に対する保守性の確保

設計飛来物(鋼製材)の速度は, 鋼製材を任意の高さに置いた場合の飛散速度を包含する値として, 竜巻影響評価ガイドの数値(51m/s)に設定した。

【別添資料1 6条(竜巻)-1-添付9-別紙3-1,2】



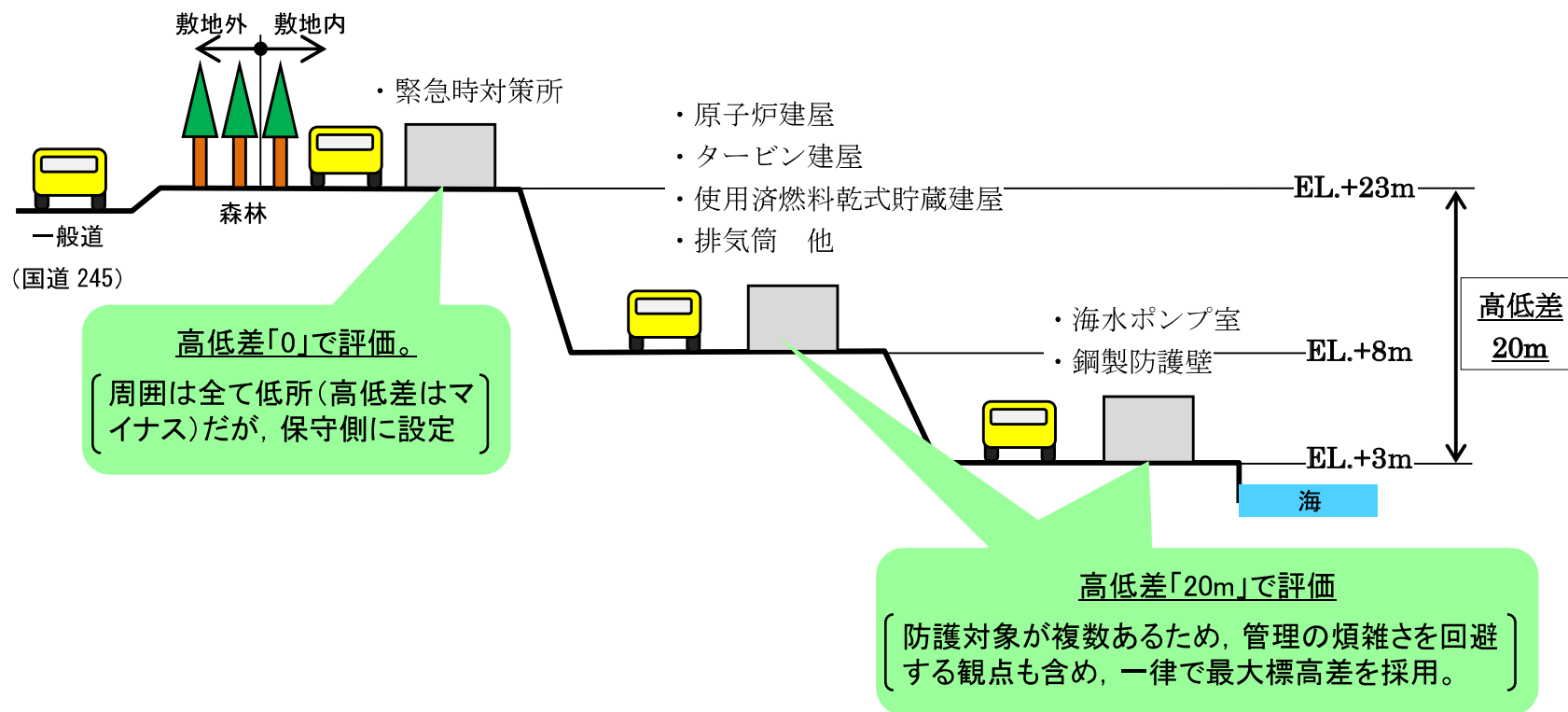
※: 非定常乱流渦モデルによるシミュレーション (Large Eddy Simulation)

## 参考②: 車両管理エリアの範囲の決定における保守性の確保

落下地点に対し飛散開始点の地面が高いほど飛距離は大きくなるため、防護対象施設からの車両の離隔距離の設定においては、防護対象施設から見た敷地の高さを以下の様に設定した。

- ・防護対象施設より高い敷地から車両が飛散する場合: 20m
  - …防護対象が複数あるため、管理の煩雑さを回避する観点も含め、一律で敷地の最大高低差を採用。
- ・防護対象施設が最も高い敷地にある場合(緊急時対策所): 0m
  - …周囲は全て低所(高低差はマイナス)だが、保守側に設定

【別添資料1 6条(竜巻)-1-添付9-別紙4-1~3】



## 1. 指摘事項

東海発電所における飛来物の管理体系と対応開始時期について、説明すること。

## 2. 回答

東海発電所における飛来物の管理を確実に実施するため、下記の対応を行うことについて、東海発電所の原子炉施設保安規定に規定し、QMS規程に基づき実施する。

なお、本運用の開始時期は、東海第二発電所の運用開始時期と同時とする。

### <東海発電所における飛来物発生防止対策>

- ・東海第二発電所と同様、飛来物源の評価及び飛来物発生防止対策を実施する。  
(資機材・車両に対する飛来物源の管理は、東二の管理と同様。)
- ・廃止措置特有の状態(解体、撤去の途中)については、作業計画時や実施段階における工法の工夫等により、設計飛来物による影響(運動エネルギー又は貫通力)を超える飛来物を発生させないように管理する。  
(建屋解体撤去時の壁面解体撤去物が特有の飛来物源となる可能性があることから、予め飛散評価を行う等で掘削区画を限定するなどの工夫により、設計飛来物の影響を超えないような管理を行う。)

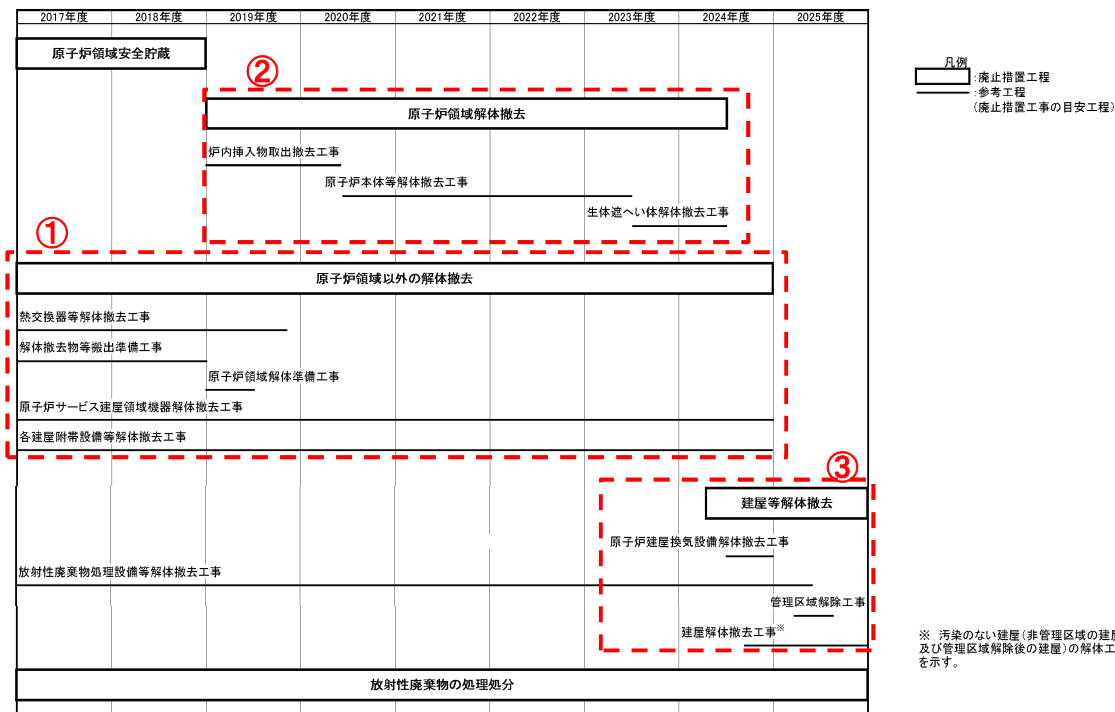
【別添資料1 6条(竜巻)-1-56～57】

## 廃止措置工事概要について

東海発電所の廃止措置工事は、解体する対象で以下の3つの作業に分類される。

- ① 原子炉領域以外の解体撤去【屋内作業】  
安全貯蔵期間中は、その後の原子炉領域を解体撤去する本格工事で発生する解体撤去物の搬出ルート確保、放射性廃棄物保管エリア確保等のため、原子炉領域以外の設備を解体撤去。
- ② 原子炉領域解体撤去【屋内作業】  
原子炉領域は放射能を減衰させるため、安全貯蔵状態とし、放射能を減衰させた後、原子炉領域の解体撤去。
- ③ 建屋等解体撤去【屋外作業あり】  
原子炉領域の解体撤去後、各建屋等は汚染を除去し管理区域を解除して解体撤去。

### ○東海発電所 廃止措置工程





## 廃止措置作業の概要及び解体、撤去された物品管理

東海発電所の廃止措置工事においては、解体撤去物は建屋内で鉄箱等への収納までの作業を実施し、建屋からの搬出後は、速やかに既存の固体廃棄物貯蔵庫等頑健な建物への保管、又は敷地外(L3埋設施設含む)への搬出・埋設等を行う。

作業概要		竜巻防護に関する解体撤去物の管理
① 原子炉領域以外 の解体撤去	<p>原子炉領域 原子炉サービス建屋 使用済み燃料冷却池 (機器撤去済) 熱交換器の撤去 タービン建屋 (機器撤去済)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉サービス建屋内で遠隔装置等により、解体・撤去し、解体撤去物は鉄箱等へ収納する。</li> <li>鉄箱を既設の建屋搬出入口より、東海発電所固体廃棄物貯蔵庫へ保管、又は敷地外(L3廃棄物埋設施設含む)へ搬出する。</li> </ul>
② 原子炉領域 の解体撤去	<p>炉内挿入物、 原子炉圧力容器の撤去 生体遮へい体の撤去</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉サービス建屋内で遠隔装置等により、解体・撤去し、解体撤去物は鉄箱等へ収納する。</li> <li>鉄箱を既設の建屋搬出入口より、東海発電所固体廃棄物貯蔵庫へ保管、又は敷地外(L3廃棄物埋設施設含む)へ搬出する。</li> </ul>
③ 建屋等 の解体撤去	<p>注) 建屋の地下部及び基礎部は撤去対象外 建屋の撤去</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉サービス建屋内の設備が全て解体され、解体撤去物が建屋内より搬出された後、建屋外壁を掘削機により解体する。</li> </ul>

1. 指摘事項

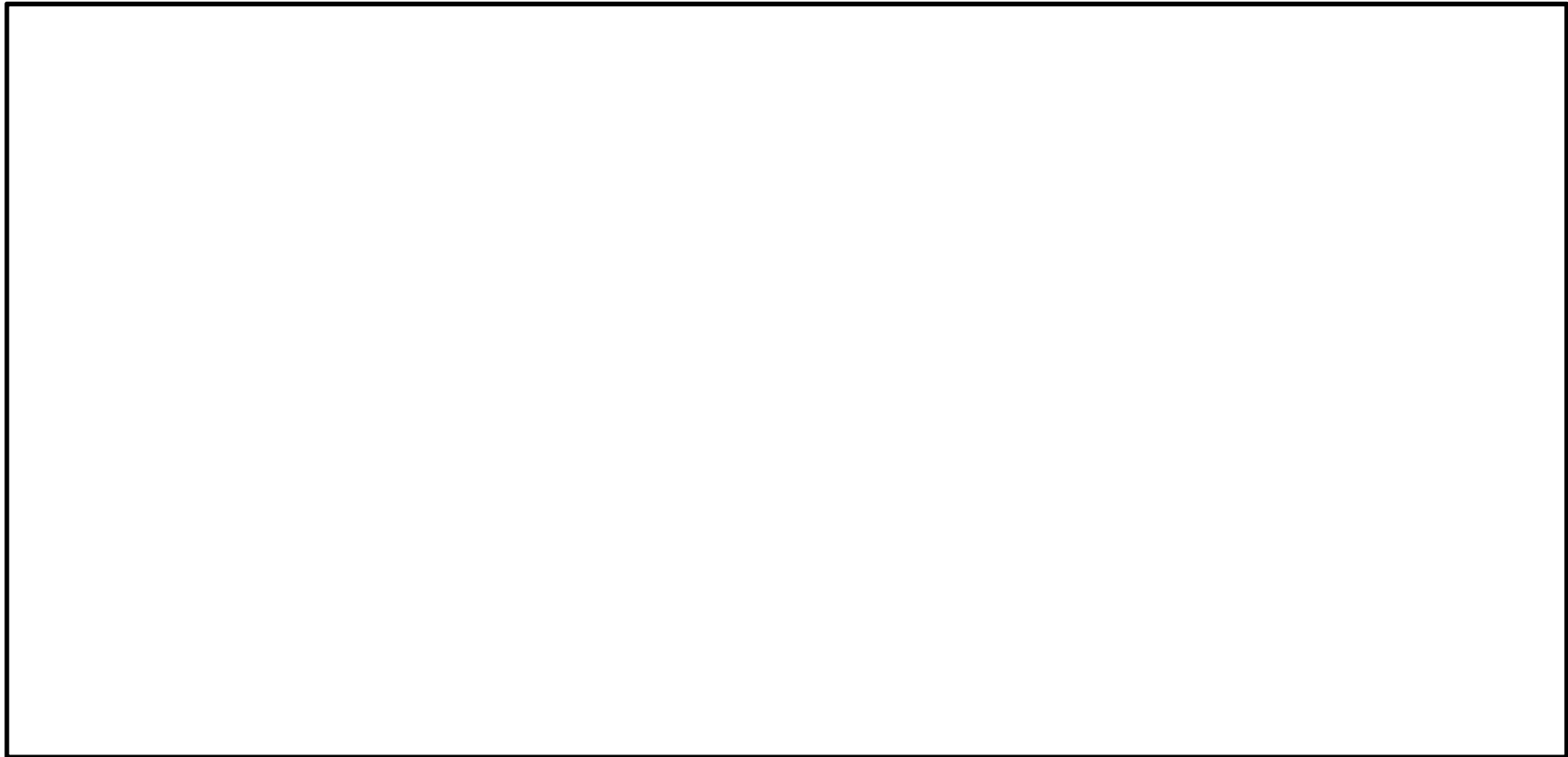
「施設の補強等」について、補強箇所、内容を説明すること。

2. 回答

- ・竜巻防護施設の外殻となる施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の補強箇所は以下のとおりである。
- ・補強設計方針は、設計竜巻荷重による複合荷重( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ )に対する構造健全性の維持, 及び設計飛来物による貫通限界厚さ以上の部材厚さの確保により、竜巻防護施設の安全機能を損なわないものとする。

分類	竜巻防護施設	補強箇所		補強内容
竜巻防護施設を内包する施設	原子炉建屋換気系 隔離弁, ダクト	①	原子炉建屋付属棟 4階 壁面 シャッター開口部	壁面コンクリートの 増厚 シャッター開口部の 防護扉への取替
	中央制御室 換気系ファン			
	非常用電源盤	②	原子炉建屋付属棟 1階 電気室入口扉	鋼板扉への取替
竜巻防護施設に 波及的影響を 及ぼし得る施設	海水ポンプ室内設備	③	海水ポンプ室 壁面	壁面コンクリートの 増厚

補強箇所的位置図及び写真



【別添資料1 6条(竜巻)-1-67,69】

## 1. 指摘事項

竜巻によりブローアウトパネルが開放し、建屋に開口部が生じる場合、建屋内部への竜巻の影響について防護方針を示すこと。

## 2. 回答

＜竜巻で開放し得るブローアウトパネルの想定＞

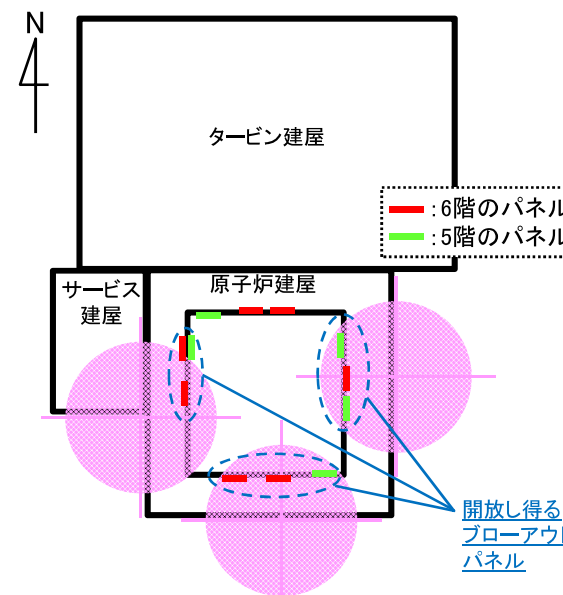
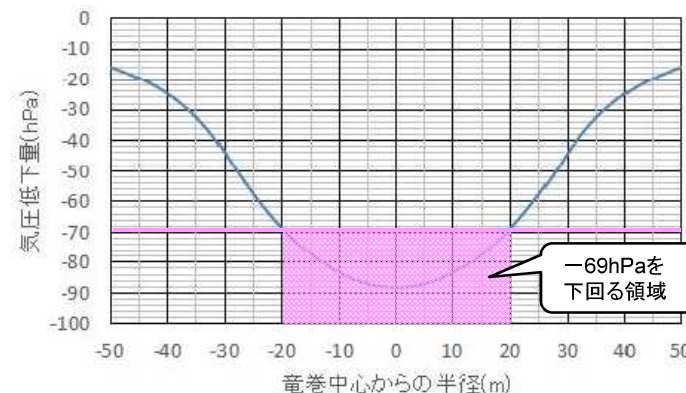
ブローアウトパネルの開放圧(約69hPa)を超える気圧低下が生じるのは、竜巻中心から半径20m程度までであり、建屋のレイアウトを踏まえると、竜巻により開放されるブローアウトパネルとしては、以下の3ケースが考えられる。

- ①原子炉建屋東側の3枚(5階:1枚, 6階:2枚)
- ②原子炉建屋南側の3枚(5階:1枚, 6階:2枚)
- ③原子炉建屋西側の3枚(5階:1枚, 6階:2枚)

但し、ブローアウトパネルの開放に伴い発生する開口面積は、建屋壁面の面積に比べ僅か※である。

※:5階, 6階の何れも, 方位ごとに, 当該階層の壁面の5%程度

この想定を踏まえ、ブローアウトパネルが開放し、開口部が生じる場合の影響を評価した結果を次頁に示す。



ブローアウトパネルの開放による開口部に対し考えられる、竜巻の影響は以下のとおり。

開口部からの風の進入による影響は小さいと考えられるが、飛来物の建屋内への侵入についてはその影響を考慮し、開口部からの飛来物の進入を防止する措置を講ずる。

## ①風の侵入による影響

強風が開口部より侵入する時間は短く、施設への影響は軽微と考えられる。

- ・ブローアウトパネルの開口部は建屋壁面のごく一部で、開口発生後は竜巻もブローアウトパネルから遠ざかる（設計竜巻の移動速度:15m/s）ため、開口部から通常の強風レベルを超える風が侵入する時間は短く、建屋内の施設が倒壊、損傷にまで至ることはないと考えられる。
- ・但し、念のため、原子炉建屋オペレーティングフロアの燃料交換機、作業台車及び天井クレーンは、竜巻の襲来の恐れを覚知した場合には使用済燃料プールの上部から退避することとし、仮に進入した風で転倒等が生じた場合でも、燃料への影響が無いようにする。
- ・風の吹き込みによる建屋内圧の上昇についても、進入経路が狭く、風が作用する時間も短いことから、影響は少ないと考えられるが、仮に圧力が上昇した場合でも、残りのブローアウトパネルが開放され、原子炉建屋の健全性に影響はない。

## ②飛来物による影響

設計飛来物（鋼製材）が周囲から上昇して高所にあるブローアウトパネルに到達することはないが、設計飛来物より運動エネルギー及び貫通力が下回る物品については、浮上して開口部を通過し、内部の竜巻防護施設へ衝突し損傷させる可能性は完全には否定できないため、開口部からの飛来物の進入を防止する措置（飛来物防護ネット等）を講ずる。

## 1. 指摘事項

車両管理エリア内において、車両の退避を不要とするケースについて、具体的に説明すること。

## 2. 回答

車両管理エリア内の車両は、竜巻準備体制のアクションレベル2※発令時には、車両退避エリアへの退避を基本とするが、以下のケースについては、車両退避エリアへの退避を不要とする。

※：竜巻襲来準備作業（物品の固縛，車両の退避等）の実施段階。

- ① 設計竜巻の風荷重に対し構造健全性を有する建屋内に入域している車両。  
（原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋 等）
- ② 飛来物化しない（飛散も横滑りもしない）車両
  - (1) 飛来物発生防止対策（固縛，固定等）が実施されている車両  
（例：可搬型重大事故等対処設備保管場所に配置される可搬型SA車両  
入構申請時の飛散評価により，固縛装置等を用意して，対策をした車両 ）
  - (2) 入構申請時の飛散評価によって，飛来物化しないと判定された車両

【別添資料1 6条（竜巻）-1-添付8-別紙3-2～7】

## 1. 指摘事項

車両退避エリアの成立性について、収容台数や退避に要する時間等を具体的に説明すること。

## 2. 回答

### ●車両の退避先について

- ・車両の退避先はエリア①を基本とする。  
(エリア②, ③は予備とし, 通常は用いない)
- ・十分な車両を収容可能と評価。  
エリア①面積: 約30,000m<sup>2</sup>  
(大型車両で300台以上収容可能な広さ)  
車両管理エリアからの退避想定: 約80台
- ・車両退避完了後に運転者が避難可能な場所を,  
近傍に確保する

### ●退避に要する時間について

- 以下のとおり, 余裕は確保できると評価
- ・竜巻襲来までの時間余裕: 約30分  
竜巻, 雷ナウキャストの予測値で判断
  - ・右図エリア①への最長退避ルート  
の所要時間: 約15分※  
※: 移動距離約2.3kmを, 低速(10km/h)での移動を仮定。

### ●退避指令の通知について

- ・構内放送(ページング)により周知する。  
(合わせてPHS等も活用し, 万全を図る)

【別添資料1 6条(竜巻)-1-添付8-別紙3-7】

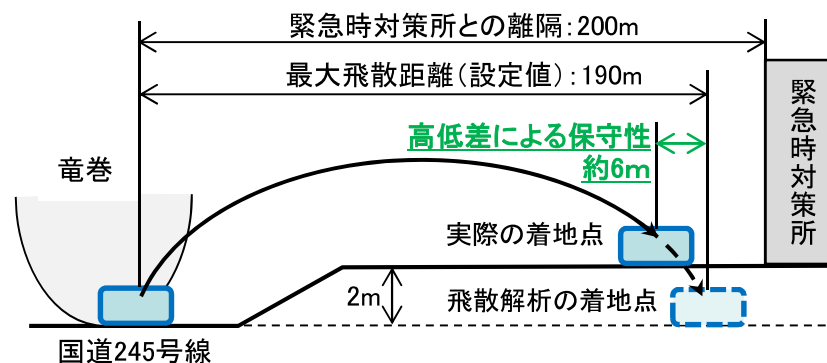
## 1. 指摘事項

「緊急時対策所に国道から車両が到達しない」との評価が保守性を有していることを説明すること。

## 2. 回答

以下により、緊急時対策所へ車両が到達しない評価には保守性を有している。

- 緊急時対策所の国道245号線からの離隔距離は約200mであり、国道245号線からの車両の最大飛散距離と評価される190mに対し余裕がある。
- また、車両の最大飛散距離190mについては、車両と緊急時対策所の高低差を保守側に考慮した解析により算出。  
[2m低い地点からでは6m程度の保守性(右図)]



- さらに、飛散解析手法自体にも、「竜巻風速場全体に物体を多点配置」する等の保守性を含んでいる(コメント498-1において回答)。

【別添資料1 6条(竜巻)-1-55,56】

【別添資料1 添付資料9-別紙4-1】



## 1. 指摘事項

防潮堤を風荷重に対して損傷、倒壊しない設計とすることについて、5条側(防潮堤の設計)に反映すること。

## 2. 回答

風荷重の設計への取り込みについて、以下を審査資料「東海第二発電所 津波による損傷の防止」に記載した。

(9/5 第504回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合にてご説明済)

第504回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合  
資料1-1-7「東海第二発電所 津波による損傷の防止(抜粋)」

## 3. 各施設・設備の設計において考慮する荷重の組合せ

### (1) 防潮堤及び防潮扉

#### c. 漂流物衝突の有無

「防潮堤及び防潮扉は竜巻防護施設及び火山防護施設には該当しないが、津波防護に対する重要性を鑑み、自主的に竜巻による風荷重及び降下火砕物荷重を考慮する。」

1. 指摘事項

使用済燃料乾式貯蔵建屋について、建屋自身の安全機能を確認したうえで、飛来物の衝突により機能を喪失しないことを説明すること。

2. 回答

建屋が有する機能及びその機能の維持については、以下のとおり整理される。

機能	遮へい機能(PS-3)
	敷地境界における線量を目標値以下に抑える。
飛来物に対する機能維持	①設計飛来物の影響(運動エネルギー, 貫通力のいずれか)を超える物品 ・飛来物発生防止対策を実施  ②設計飛来物の影響以下の物品 ・建屋は堅牢な構造であり, 遮へい機能に影響を及ぼす様な広範囲の壁面の損傷に至る可能性は低い。

【別添資料1 6条(竜巻)-1-6】  
 【    "       6条(竜巻)-1-54,55】  
 【    "       6条(竜巻)-1-添付1-25】