

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14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(①)。
- 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(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影響を及ぼす場合でも、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。

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 ν	なし
	流入層高さ H_i	なし
散物品モデル飛	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考える。〔詳細は3,4ページ参照〕

【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〕

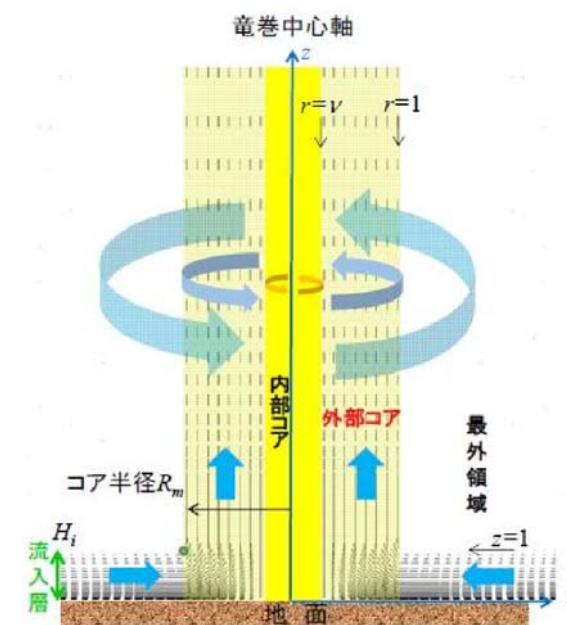
参考①: 設計飛来物の飛散速度

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)への影響を確認した結果、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。

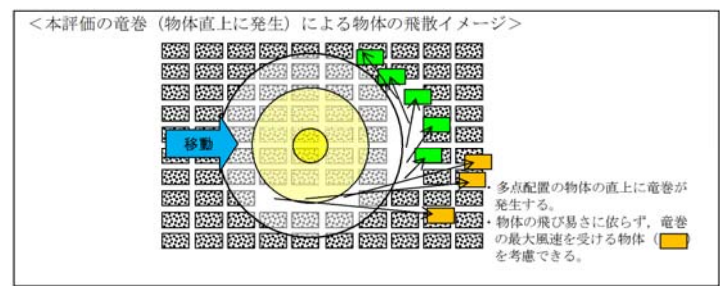
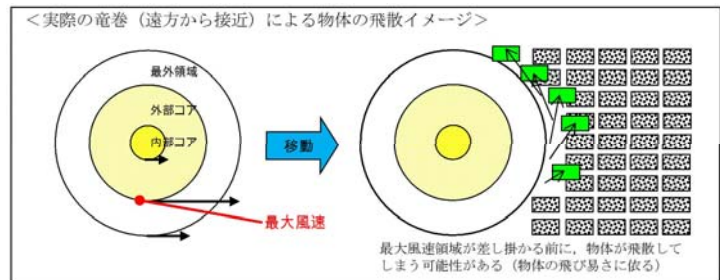
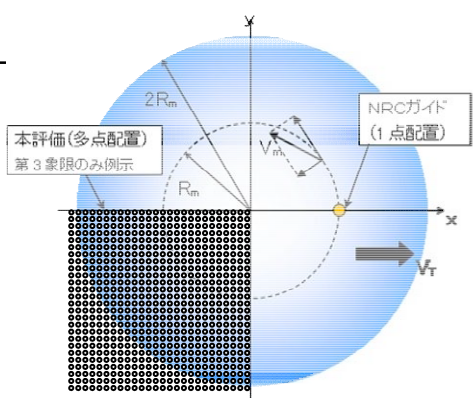
解析における 設定項目			保守性の 考慮	評価		
風速場モデル	1	設計竜巻の 最大風速 V_D	あり	設計竜巻の最大風速 V_D について、設定データが不十分であることの不確実性を考慮し、数値を保守側に丸めて設定(92m/s⇒100m/s)。		
		移動速度 V_T	あり	$V_{Rm}=V_D-V_T$ であり、 V_{Rm} に依存する最大気圧低下量 ΔP が大きくなる様、 V_T は低めの値を採用。 (竜巻評価ガイドに準拠)		
		最大接線 風速 V_{Rm}				
	2	最大接線風速半径 (コア半径) R_m	なし	竜巻評価ガイドの値を 採用	$Hi=f(R_m,\nu)=f(R_m, g(R_m))$ の関係があることから、 Hi 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 ν	なし	フジタモデルの文献を 基に設定		
	4	流入層高さ Hi	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 Hi		－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」の設定に保守性を考慮しており、特に「物品が受ける初期風速」における物品の多点配置の効果は、風速場モデルのばらつきの影響を十分に包絡できる。

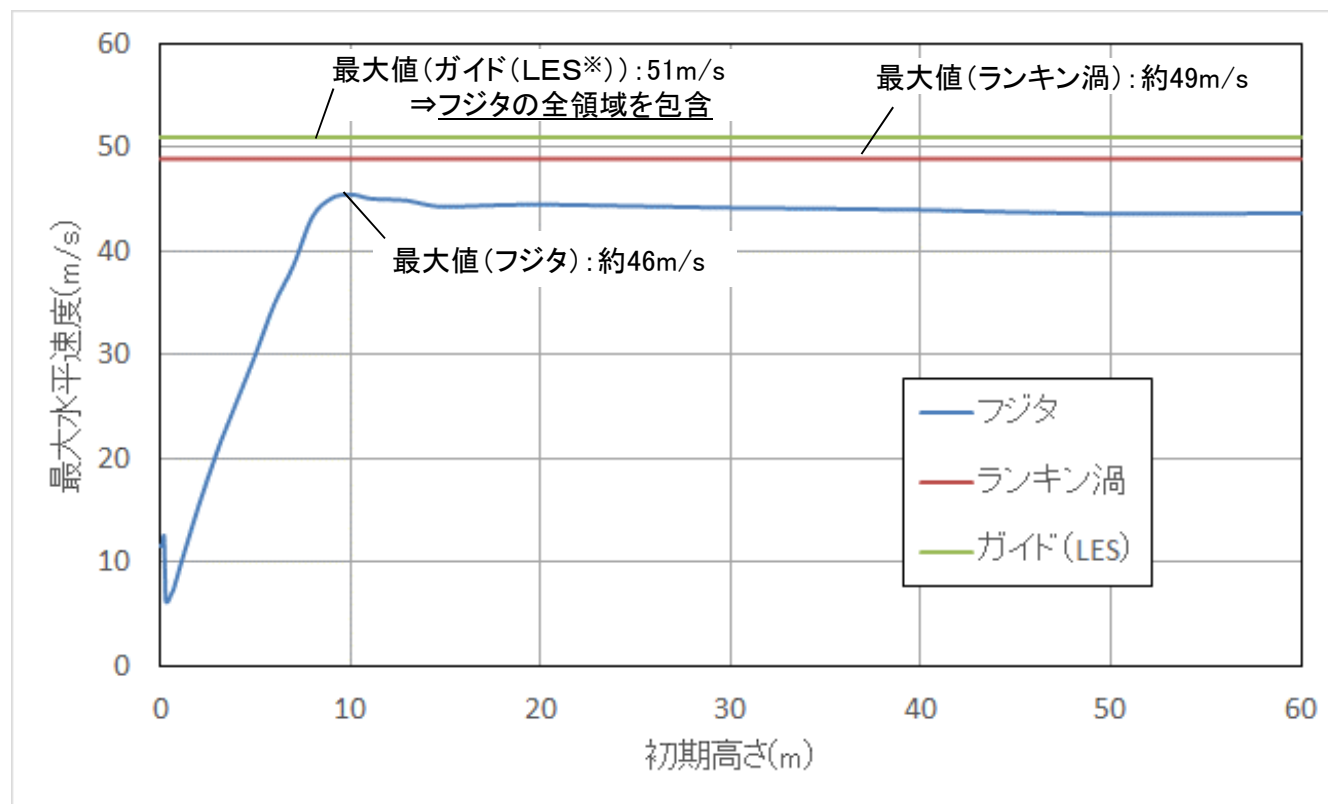
解析における設定項目			保守性の考慮	評価
物品の飛散モデル	1	地表面における揚力	あり	揚力係数C_Lと見附面積aの積($C_L a$)を、より大きな値を示す係数($C_D A^*$)で置き換え ※: $C_D A^* = 0.33 * (C_{Dx} A_x + C_{Dy} A_y + C_{Dz} A_z)$ 【別添資料2 6条(竜巻)-2-21,22】
	2	物品が受ける初期風速	あり	・竜巻のあらゆる位置に物品を多点配置するモデルとし、竜巻風速場中の種々の風速を受け飛散するものの中から、飛散速度、飛距離等の最大値を抽出している。 ・コンテナの評価では、米国NRCの手法である竜巻進行方向前方への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。 <u>また、この保守性は流入層高さH_iのばらつきによる非保守側の影響を包絡する</u>〔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
多点配置 (1点配置からの変化率)		420%	1411%	957%
流入層高さ H_i (多点配置で算出)	-10%	0.4%	-3.2%	-4.9%
	+10%	-0.6%	2.8%	5.1%



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保守側に包含する値として, 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】



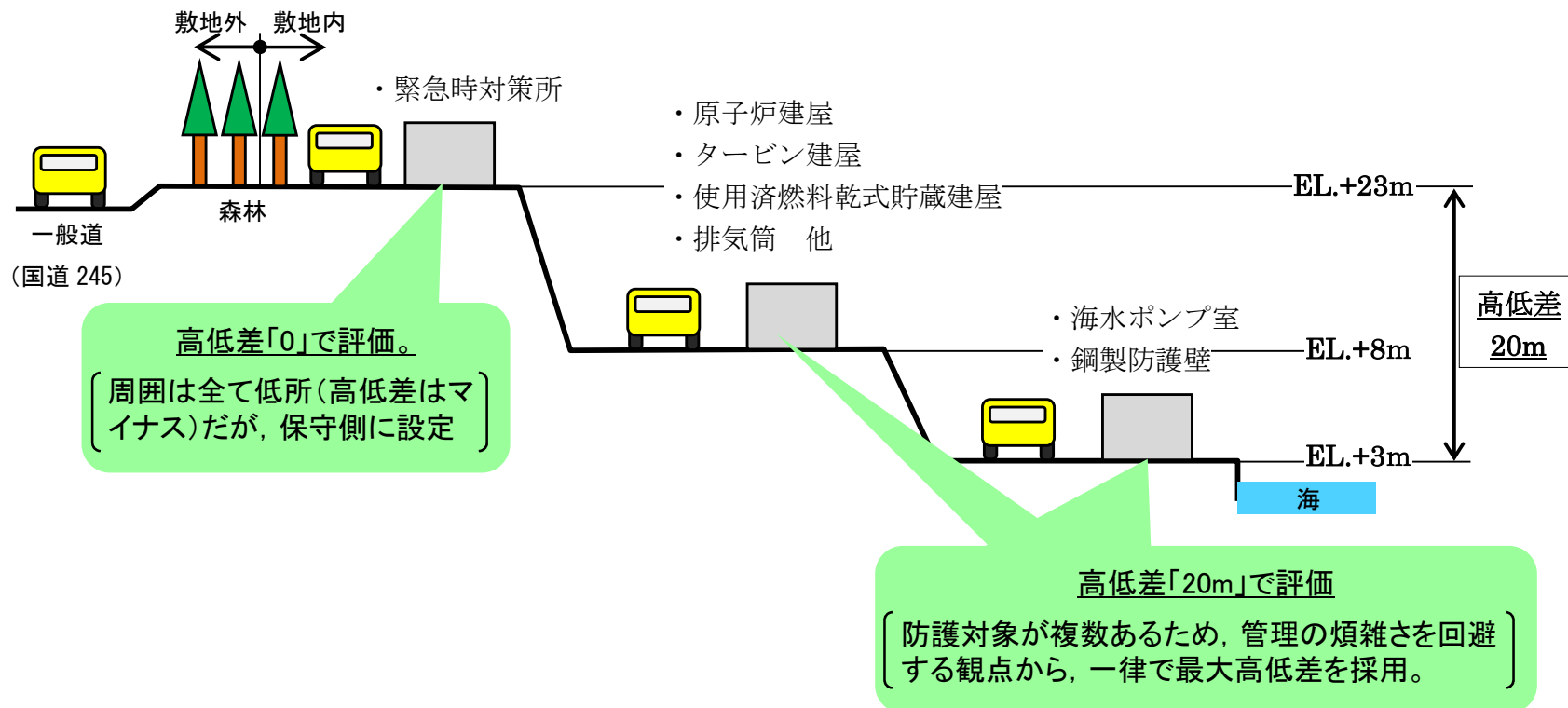
※: 非定常乱流渦モデルによるシミュレーション (Large Eddy Simulation)

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から、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、東海発電所及び東海第二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、予め飛散評価を行い撤去する範囲を決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】

廃止措置工事の概要

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】

原子炉領域の解体撤去にて発生する解体撤去物の搬出ルート確保、放射性廃棄物保管エリア確保等のため、原子炉領域以外の設備を解体撤去。

② 原子炉領域解体撤去【屋内作業】

原子炉領域は、放射能を減衰させるため安全貯蔵状態にて放射能を減衰させた後、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

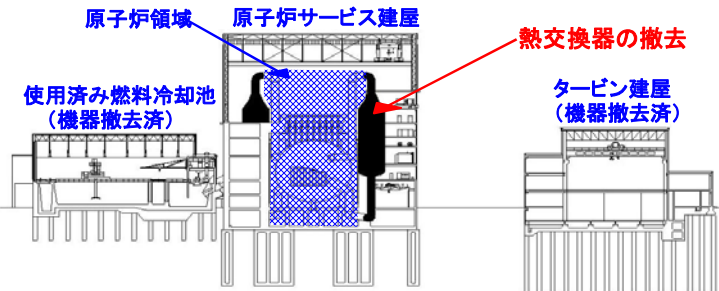
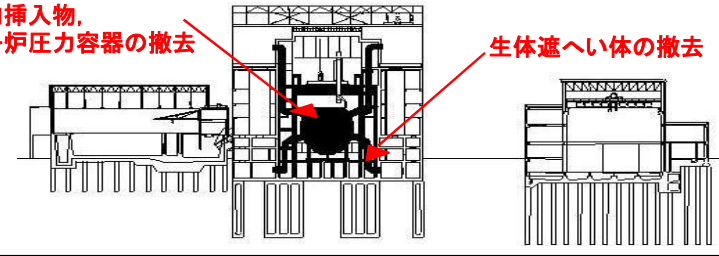
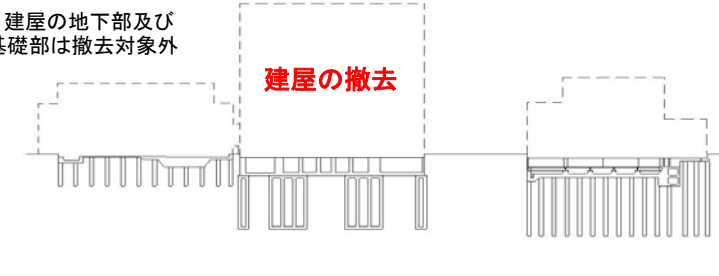
2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
原子炉領域安全貯蔵		②	原子炉領域解体撤去					
炉内挿入物取出撤去工事			原子炉本体等解体撤去工事					
		生体遮へい体解体撤去工事						
①								
原子炉領域以外の解体撤去								
熱交換器等解体撤去工事								
解体撤去物等搬出準備工事		原子炉領域解体準備工事						
原子炉サービス建屋領域機器解体撤去工事								
各建屋附帯設備等解体撤去工事								
放射性廃棄物処理設備等解体撤去工事							③ 建屋等解体撤去	
							原子炉建屋換気設備解体撤去工事	
							管理区域解除工事	
							建屋解体撤去工事※	
放射性廃棄物の処理処分								

凡例
 : 廃止措置工程
 : 参考工程
 : (廃止措置工事の目安工程)

※ 汚染のない建屋(非管理区域の建屋及び管理区域解除後の建屋)の解体工程を示す。

廃止措置作業の作業概要及び解体、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	 原子炉領域 原子炉サービス建屋 熱交換器の撤去 タービン建屋 (機器撤去済) 使用済み燃料冷却池 (機器撤去済)	- 原子炉サービス建屋内で遠隔装置等により、解体・撤去し、解体撤去物は鉄箱等へ収納する。 - 鉄箱を既設の建屋搬出入口より、東海発電所固体廃棄物貯蔵庫へ保管、又は敷地外(L3廃棄物埋設施設含む)へ搬出する。
② 原子炉領域の解体撤去	 炉内挿入物、原子炉圧力容器の撤去 生体遮へい体の撤去	
③ 建屋等の解体撤去	 注) 建屋の地下部及び基礎部は撤去対象外 建屋の撤去	原子炉サービス建屋内の設備が全て解体され、解体撤去物が建屋内より搬出された後、建屋外壁を掘削機により解体する。

1. 指摘事項

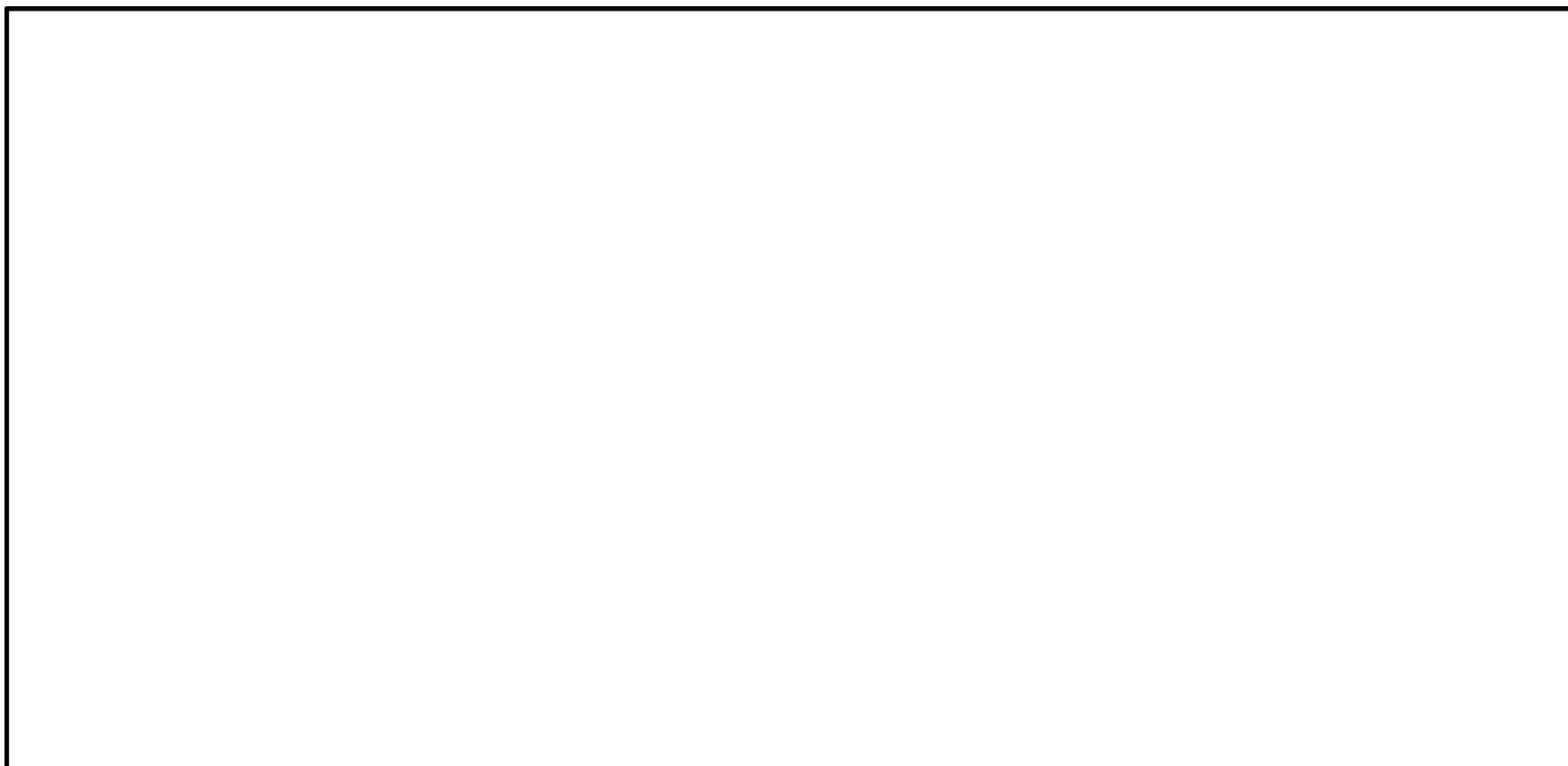
「施設の補強等」について、補強箇所、内容を説明すること。

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

竜巻によりブローアウトパネルが開放した場合の、建屋内部への竜巻の影響に対する影響を以下のとおり評価した。

- 検討対象は、原子炉建屋5階及び6階の評価対象施設(竜巻防護施設+波及的影響を考慮すべき施設)

フロア		竜巻防護施設
6階		【防】使用済燃料プール(燃料ラック含む)(①) 【防】燃料プール冷却浄化系真空破壊弁(②) 【防】【波】燃料交換機(③) 【防】【波】原子炉建屋天井クレーン(④)
5階	東側	【防】非常用ガス再循環系設備(⑤) 【防】非常用ガス処理系設備(⑥)
	西側	【防】ほう酸水注入系設備(⑦)

【防】: 竜巻防護施設
【波】: 波及的影響を考慮すべき施設

- 考慮すべき荷重は以下とする。

①設計飛来物による衝撃荷重(W_M)

②風圧力による荷重(W_W)

なお、他の荷重(気圧差による荷重、竜巻に随伴し得る自然現象(雷、降雨及びひょう)による荷重については、上記設備へ作用しない(気圧差、雷)、又は影響が軽微(降雨、ひょう)と判断))

●考慮すべき荷重に対する、評価対象施設の機能喪失の可能性は下表のとおり。

対策として「建屋内への飛来物侵入防止（開口部への防護ネットもしくは鋼板の設置）」及び「建屋内への風の侵入防止（建屋内もしくは開口部への防風設備の設置）」を実施する。

評価対象施設		荷重に対する機能維持評価 (○:維持可能, ×:喪失の恐れ)		防護の 要否	機能維持の ための防護方針
		①飛来物(W_M)	②風荷重(W_W)		
6階	使用済燃料プール (燃料ラック含む)	× 施設に衝突した場合、 損傷し機能喪失の恐れあり	○ 構造的に、風荷重の影響を受けない。	要	①建屋内への飛来物侵入防止
	燃料プール冷却浄 化系真空破壊弁		○ 構造的に、風荷重の影響を受けない。	要	
	燃料交換機		× 風荷重に対し損傷し機能を喪失する 可能性を否定できない。	要	①②に対し、以下の運用とする。 ・竜巻の襲来が予想される場合は、燃料取扱作 業を中止する。 ・また、使用済燃料プール及び燃料プール冷却 浄化系真空破壊弁に影響を及ぼさない位置 (通常の待機位置)に退避する運用とする。
	原子炉建屋 天井クレーン			要	
5階	非常用ガス 再循環系設備	× 多数の設備が存在し、風荷重に対し損傷し 機能を喪失する可能性を否定できない。	× 多数の設備が存在し、風荷重に対し損傷し 機能を喪失する可能性を否定できない。	要	①建屋内への飛来物侵入防止 ②建屋内への風の侵入防止
	非常用ガス 処理系設備			要	
	ほう酸水 注入系設備	○ 開口部から見通せない位置にあり、 飛来物の到達は考え難い	○ 風の流路から離れており、影響を受けない	不要	なし

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 飛来物発生防止対策（固縛、固定等）が実施されている車両

【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30,000m²
(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

●退避に要する時間の確保について

- ・竜巻襲来までの時間余裕: 約30分※
※: 竜巻, 雷ナウキャストの30分後予測値で判断
- ・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。
(PHS等も活用し, 発電所の連絡体制にて通知)
- 【別添資料1 6条(竜巻)-1-添付8-別紙3-7】

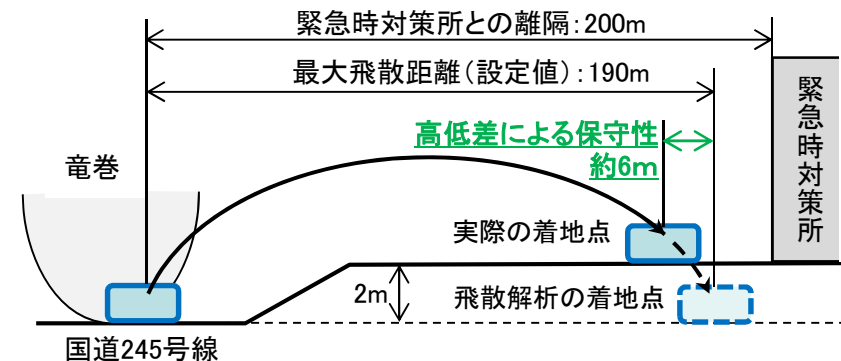
1. 指摘事項

「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

「緊急時対策所へ車両が到達しない」との評価には、以下の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約200mに対し、飛散解析による国道245号線からの車両の最大飛散距離は190mであり、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飛散解析により算出。
〔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

以下のとおり整理した。

●建屋が有する機能

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機能)

[参考]耐震性については、以下のとおりCクラス施設として位置付けられている。

「原子力発電所内の使用済燃料の乾式キャスク貯蔵について」(H4.8.27原子力安全委員会了承)

4.1 安全設計に係る項目 (5)構造強度 b. 耐震重要度分類の考え方 ③貯蔵建屋

『貯蔵建屋は、(中略)。なお、貯蔵建屋内においては、乾式貯蔵キャスクの密封境界である一次蓋の開放を行わないことを前提としている。このことから、貯蔵建屋は、適切な格納機能及び放射線低減効果の大きい遮へい機能を必要としないため、Cクラスとする。』

●飛来物に対する当該機能の維持方針

別途ご説明

…隣接事業者敷地における車両管理方針の確定後、整理して提示させて頂く

【別添資料1 6条(竜巻)-1-6】

【 " 6条(竜巻)-1-添付1-25】