

# 女川原子力発電所2号炉 竜巻影響評価の方針について

---

平成30年4月12日  
東北電力株式会社

1. 審査における指摘事項
2. 評価見直しの背景
3. 竜巻影響評価の概要
4. 設計飛来物の抽出
5. 評価対象施設の抽出
6. 評価対象施設に対する構造健全性確認のための条件設定
7. 影響評価
8. まとめ

# 1. 審査における指摘事項

## 審査における指摘事項（平成29年12月19日審査会合）

指摘事項① フジタモデルの評価において、モデルの特性に対する不確かさを考慮して、保守性を説明すること

指摘事項② 設計飛来物の条件設定において、初期高さを地上0mとして飛散評価を実施しているが、初期高さの不確かさを考慮して妥当性を説明すること



## 指摘事項に対する検討

### 指摘事項①に対する検討

フジタモデルの特徴である流入層の影響や最新の竜巻研究による地表面付近の風速の状況を確認（詳細はP3参照）

⇒ モデルの不確かさを踏まえた検討を行い、保守性を確保した評価を行うこととした

### 指摘事項②に対する検討

当社の飛散評価における初期高さの影響を確認（詳細はP4参照）

⇒ 設計飛来物の条件設定や施設影響評価に対する初期高さの考慮が必要と判断

## 【用語の定義】

「フジタモデル」：藤田博士が作成した竜巻の渦モデル

「当社の飛散評価」：当社が実施したフジタモデルを用いた飛来物評価手法

# 2. 評価見直しの背景(1/2)

## ➤ 指摘事項①に対する詳細検討

### 前回審査会合(H29.12.19)までの考え

- ・フジタモデルは、図2-1に示すように実際の竜巻の状況から風速ベクトルを作成してモデル化※1している。このモデルを適用するにあたり、実際の被害状況(飛散距離)との検証においても概ね整合している

### 指摘事項を踏まえた考察

- ・フジタモデルの特徴として流入層があるが、図2-1のとおり、モデル化においては地表面付近の領域に対し、必ずしも十分な分析がなされていない可能性がある(当社の飛散評価においては、地表面に近づくに従い風速が減少し地表面(高さ0m)では0m/sになるようモデル化)
- ・当社の飛散評価においては、流入層高さを15mと設定しており、この流入層に対し感度解析を行った結果、表2-1に示すとおり、流入層が低い場合に、僅かではあるが評価結果を厳しく与えることを確認した
- ・至近の研究報告(Kosiba and Wurman 2013※2)によると、図2-2に示すとおり、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が報告されている

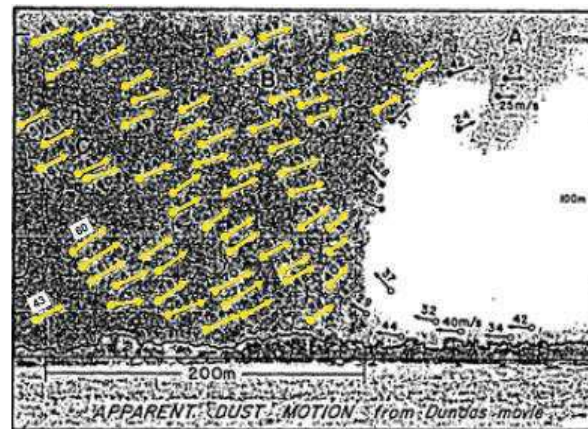


図2-1 写真図化分析で作成された風速ベクトル※1

表2-1 流入層高さの感度解析結果(下線部:最大値)

【条件】 飛来物: 鋼製材 風速: 100m/s	流入層高さ				
	10m	12.5m	15m	17.5m	20m
最大飛散高さ[m]	<u>0.3</u>	0.2	0.2	0.2	0.2
最大飛散距離[m]	<u>8.7</u>	7.3	6.5	5.8	5.0
最大速度(水平)[m/s]	<u>14.0</u>	12.7	11.7	11.0	10.2
最大速度(鉛直)[m/s]	<u>1.1</u>	1.0	0.9	0.9	0.8

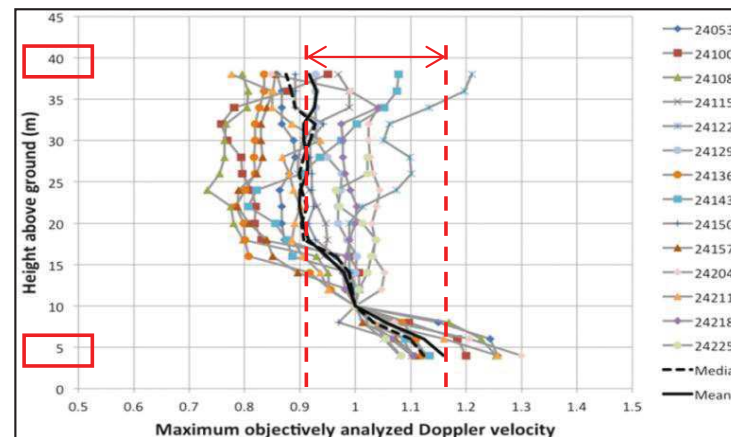


図2-2 地上高さと風速分布※2

- ・14箇所の観測点における風速を観測した結果、強い風は地上5m付近で観測されており、地上10m付近では約15%減少し、地上10~40mでは約10%減少する
- ・地上から3m程度は観測を行っていない
- ・実線は平均値を表す

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

※2 Karen A. Kosiba and Joshua Wurman: The Three-Dimensional Structure and Evolution of a Tornado Boundary Layer. Weather and Forecasting, 28, 1552-1561, 2013.

## 2. 評価見直しの背景(2/2)

### ➤ 指摘事項②に対する詳細検討

#### 前回審査会合(H29.12.19)までの考え

- ・現場ウォークダウンの結果をもとに予め設置場所を特定することが困難な仮設資材の配置状況を確認した結果、多数の物品が地面に置かれていたことから、物品の初期高さを地上面(0m)と設定
- ・図2-3に示すような架台に置かれた仮設資材(鋼製材含む)は締結保管され、適切に保管されていることを確認

#### 指摘事項を踏まえた考察

- ・当社の飛散評価において、図2-4に示すように飛来物(鋼製材)の初期高さの感度解析を実施した結果、初期高さが飛散評価に大きく影響することを確認
- ・特に鋼製材については、竜巻の被害状況に対応する水平方向の速度が初期高さ10.3mの条件にて最大(45.7m/s)となることを確認

#### 指摘事項に対する評価見直しの概要

竜巻に対する自然現象としての不確かさを考慮し、竜巻影響評価全体としての保守性・妥当性を示す

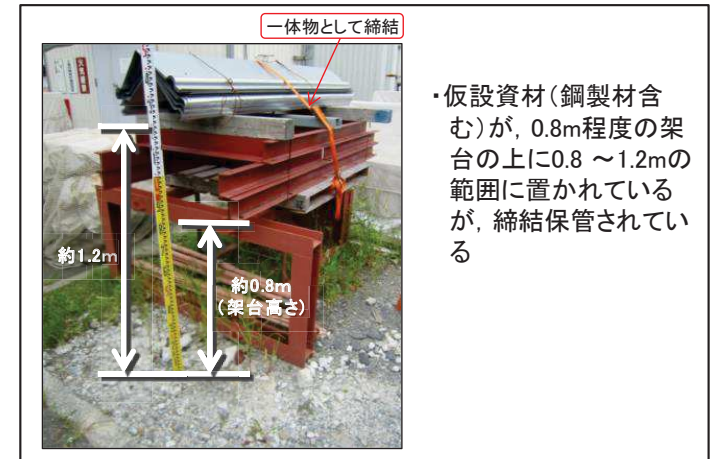


図2-3 仮設資材の配置状況(例)

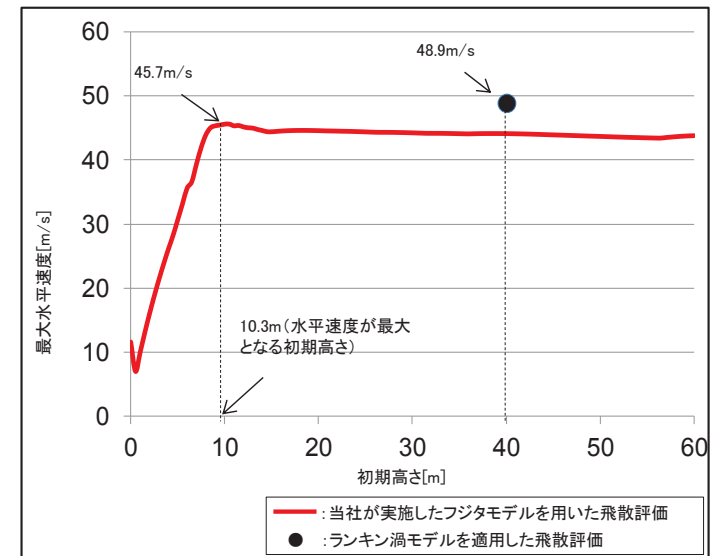


図2-4 鋼製材の飛散評価(最大水平速度と初期高さの関係)

### 3. 竜巻影響評価の概要

#### 本日の説明内容

指摘事項を踏まえた評価の見直しについて、竜巻影響評価の全体を整理した上で説明する

- 設計飛来物の抽出
- 評価対象施設の抽出
- 評価対象施設に対する構造健全性確認のための条件設定
- 影響評価

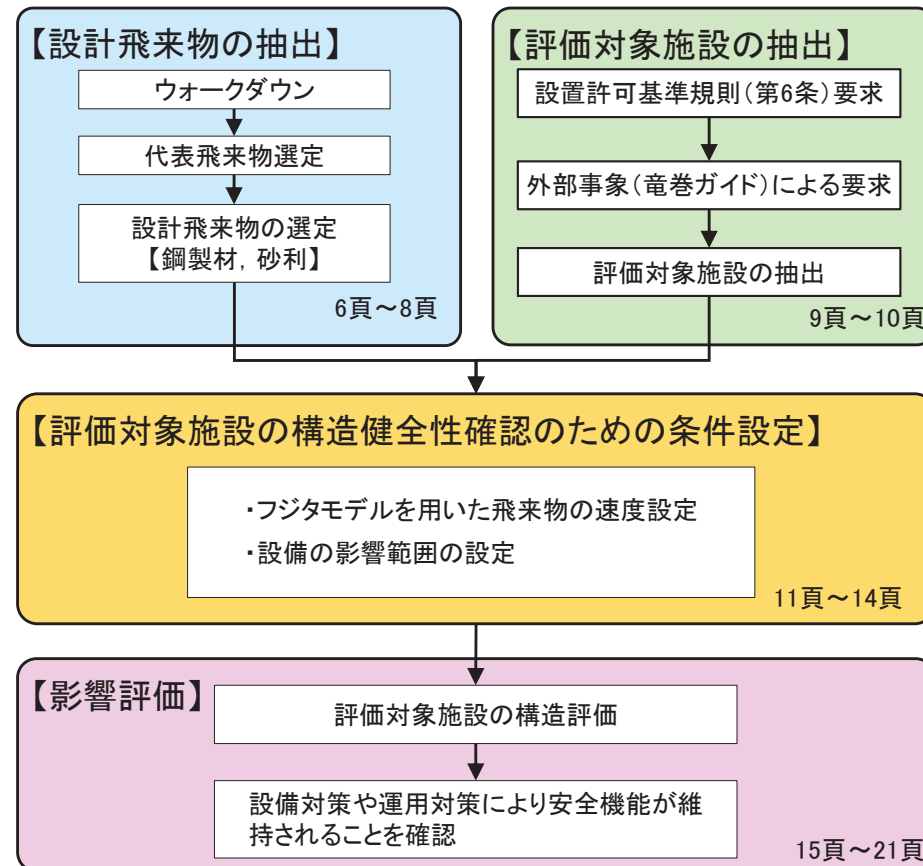
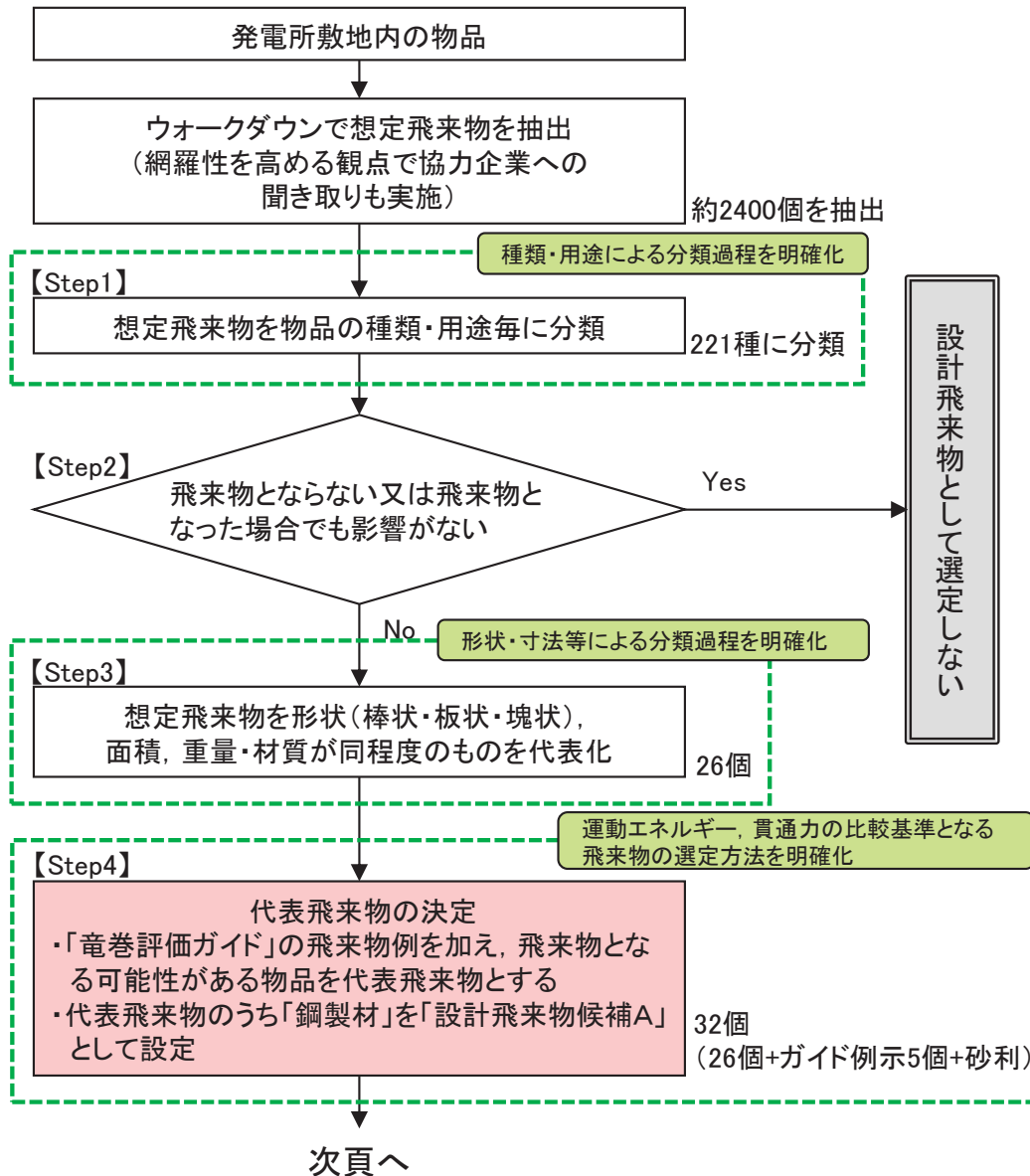


図3-1 設備影響評価フロー

## 4. 設計飛来物の抽出(1/3)

- 従来の設計飛来物の抽出の考え方の変更はないものの、プロセスを明確化する観点でフローを見直した
- ウォークダウンで網羅的に抽出した想定飛来物を分類、評価した結果、設計飛来物として「鋼製材」及び「砂利」を選定した



### 【Step1】

例) 大型コンテナ(11個)は「コンテナボックス」に分類  
他の物品も同様に整理し、221種に分類

大型コンテナ(11個)



### 【Step2】

竜巻被害事例を参考に以下の観点で判定

飛来物化しない(風の影響を受けにくい形状(網状など)、頑健に固定)	金網、本設備等
設備への影響が明らかに小さい(分解し小型軽量となるもの、柔らかい材質)	プラスチック製、木製等
倒壊するが飛来物とはならない	フェンス、樹木等

### 【Step3】

例) 大型の鋼材物品を形状、面積等の特徴から、「コンテナボックス」に代表化  
他の物品も同様に評価し、26個に代表化

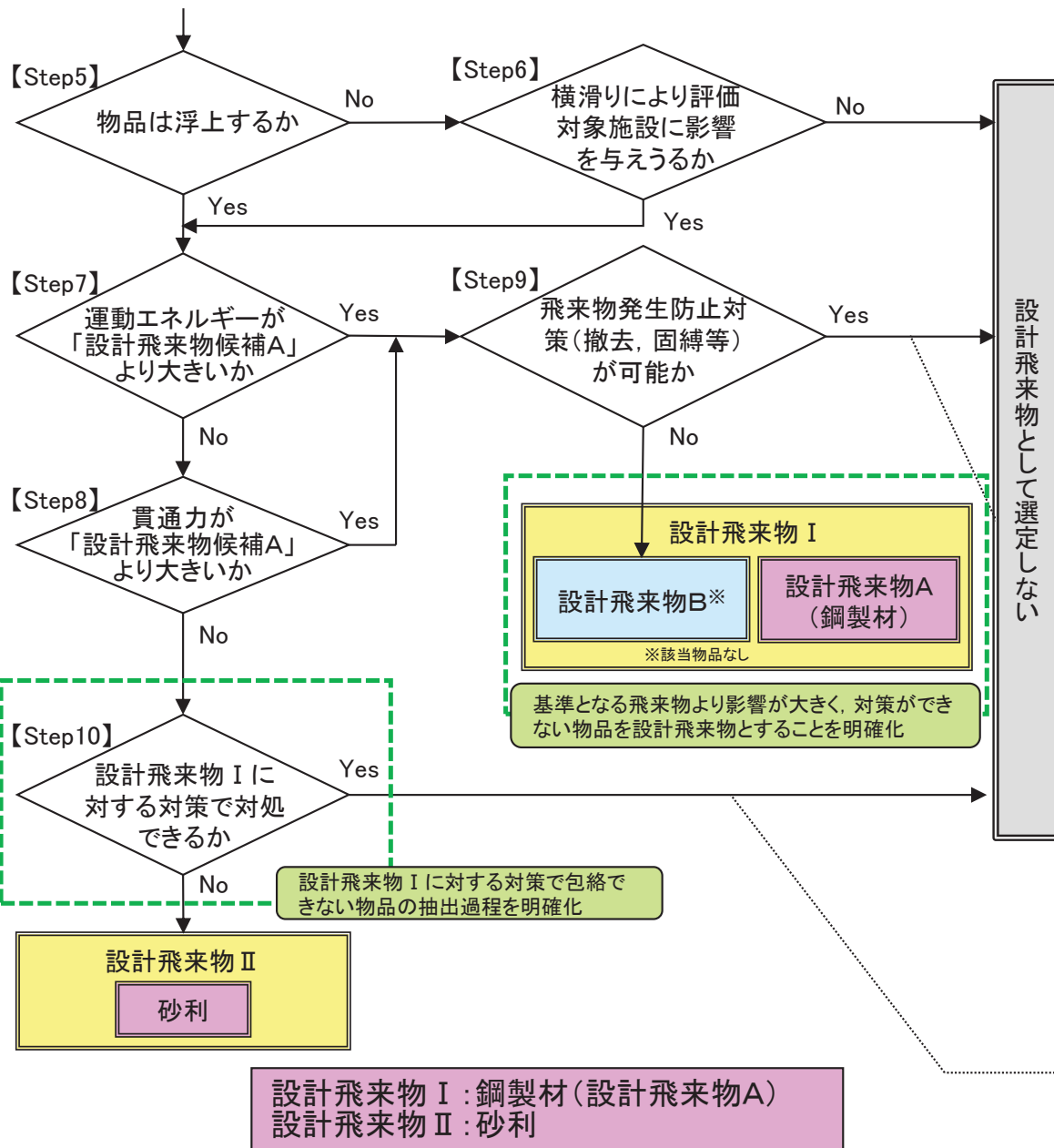
### 【Step4】

「鋼製材」は固縛等の運用面での対応は可能であるものの、仮設資材として使用される状況を勘案すると、管理が容易とは言いがたく、また、飛散した場合の貫通力等の影響が大きいことから、「設計飛来物候補A」として設定する

図4-1 設計飛来物の抽出フロー

# 4. 設計飛来物の抽出(2/3)

前頁より



**【Step5】**  
 飛来物の寸法, 重量, 形状により空力パラメータを算出し, 当社の飛散評価により浮上の有無を判断

**【Step6】**  
 横滑りの過程で, 評価対象施設廻りに障害物となる施設がある場合には, 横滑りにより影響を与えないと判断

**【Step7, Step8】**  
 代表飛来物毎に当社の飛散評価を行い, 水平速度が最大となる初期高さにおける運動エネルギー及び貫通力を「設計飛来物候補A」と比較(比較結果は次頁参照)

**【Step9】**  
 「設計飛来物候補A」の影響を上回る物品は, 飛来物発生防止対策を施すか, 評価対象施設からの離隔及び頑健な建物内への移動等の運用を行う  
 上記対策が実施困難な物品があれば, 「設計飛来物B」として選定

- 分類された飛来物**
- ・形鋼
  - ・バス(大, 中, 小)
  - ・コンテナボックス
  - ・オールレーンクレーン
  - ・大型鋼管
  - ・トレーラー
  - ・循環水ポンプケーシング
  - ・コンクリート板
  - ・(ガイド)コンテナボックス
  - ・循環水ポンプ架台
  - ・敷き鉄板
  - ・(ガイド)コンクリート塊
  - ・(ガイド)トラック
  - ・コンクリート塊
  - ・(ガイド)コンクリート板
  - ・乗用車(セダン, 軽)
  - ・加熱器バスケット
  - ・電柱(資材)
  - ・発電機
  - ・大型鋼製柱
  - ・鉄パイプ
  - ・自動販売機

**【Step10】**  
 竜巻防護ネットをすり抜ける可能性がある物品として砂利を選定

- 分類された飛来物**
- ・家庭用室外機
  - ・マンホール蓋
  - ・ガスボンベ
  - ・(ガイド)鉄パイプ

図4-1 設計飛来物の抽出フロー



## 4. 設計飛来物の抽出(3/3)

### ➤ 浮上判定結果【Step5】

#### ＜浮上する物品＞

- バス(大, 中, 小)
- コンテナボックス
- トレーラー
- (ガイド)コンテナボックス
- フォークリフト
- 乗用車(セダン, 軽)
- 発電機
- 自動販売機
- 家庭用室外機
- マンホール蓋
- (ガイド)鋼製材
- 砂利

#### ＜浮上しない物品＞

- オールテレーンクレーン
- 循環水ポンプケーシング
- 循環水ポンプ架台
- 循環水ポンプインペラ
- (ガイド)トラック
- 加熱器バスケット
- 大型鋼製枠
- 形鋼
- 大型鋼管
- コンクリート板
- 敷き鉄板
- コンクリート塊
- (ガイド)コンクリート板
- 電柱(資材)
- 鉄パイプ
- ガスボンベ
- (ガイド)鉄パイプ

### ➤ 当社の飛散評価による結果【Step7】【Step8】

表4-1 飛散評価結果

No.	飛来物名	水平					初期高さ ※1[m]	No.	飛来物名	水平					初期高さ ※1[m]
		最大速度 [m]	運動エネルギー [kJ]	鋼板 貫通厚さ [mm]	コンクリート					最大速度 [m]	運動エネルギー [kJ]	鋼板 貫通厚さ [mm]	コンクリート		
				貫通厚さ [mm]	貫通厚さ [mm]	裏面剥離限 界厚さ[mm]					貫通厚さ [mm]	貫通厚さ [mm]	裏面剥離限 界厚さ[mm]		
1	オールテレーンクレーン	27.2	15082.0	12.3	865.5	1511.9	40	17	コンテナボックス	54.7	6753.6	9.4	601.9	1056.2	0
2	循環水ポンプケーシング	27.6	7615.9	6.8	583.2	1115.6	40	18	バス(中型)	44.7	6610.6	9.2	606.9	1074.4	0.9
3	循環水ポンプ架台	22.9	7609.9	8.9	661.6	1208.5	40	19	トレーラー	49.5	6082.2	12.3	657.0	1099.0	8.1
4	循環水ポンプインペラ	18.7	3502.1	4.4	425.4	874.0	40	20	バス(小型)	44.6	5156.5	8.2	547.0	982.6	0
5	(ガイド)トラック	34.6	2841.4	8.9	501.6	880.8	40	21	(ガイド)コンテナボックス	54.2	3378.4	6.3	438.1	811.6	0
6	加熱器バスケット	29.2	2550.7	9.3	505.1	882.7	40	22	フォークリフト	35.8	2080.2	7.3	430.4	775.5	40
7	大型鋼製枠	38.4	1377.9	9.0	418.3	718.1	40	23	乗用車(セダン)	51.3	1501.4	5.8	352.3	648.2	8.1
8	形鋼	32.0	1037.1	14.6	468.2	750.7	40	24	乗用車(軽)	53.6	1090.2	5.0	304.9	572.4	8.3
9	大型鋼管	23.7	1023.8	6.7	365.6	665.6	40	25	発電機	37.3	714.3	5.5	296.7	546.9	40
10	コンクリート板	17.1	1007.3	8.1	403.3	718.3	40	26	自動販売機	50.4	463.3	4.2	234.6	444.2	0
11	敷き鉄板	38.1	660.1	27.0	472.9	736.4	40	27	(ガイド)鋼製材	45.7	140.8	26.9	220.5	370.4	10.3
12	コンクリート塊	9.7	346.6	2.8	218.8	467.8	40	28	家庭用室外機	57.5	117.4	3.1	148.1	284.6	7.5
13	(ガイド)コンクリート板	31.4	265.4	7.5	265.3	457.4	40	29	ガスボンベ	37.8	40.7	4.0	131.7	239.3	40
14	電柱(資材)	33.7	220.9	11.7	289.4	472.0	40	30	マンホール蓋	47.4	37.7	4.4	130.0	231.4	10.2
15	鉄パイプ	43.4	23.7	29.7	146.0	257.4	10.1	31	(ガイド)鉄パイプ	43.7	8.0	14.4	95.3	166.6	10.1
16	バス(大型)	39.2	11203.8	11.4	757.1	1313.4	40	32	砂利	58.8	0.3	0.9	22.5	46.6	7.6

※1: 水平速度が最大となる初期高さ(0~40mの範囲で確認)

■: 鋼製材より運動エネルギーまたは貫通力が大きいが、飛来物発生防止または横滑り防止対策が実施可能であることから、設計飛来物として選定しない物品(運用において物品を管理する場合は、個々の物品の状況に応じた飛散評価結果を踏まえて、適切な対策を実施する)

■: 設計飛来物として設定する物品

■: 鋼製材より運動エネルギー及び貫通力が小さく、設計飛来物 I に対する対策(竜巻防護ネット等)で対処できるため、設計飛来物として選定しない物品

# 5. 評価対象施設の抽出(1/2)

➤ 設置許可基準規則第6条の要求事項として、外部事象防護対象施設を抽出し、これらに対して各外部事象に対する要求事項(ガイド)を踏まえて、網羅的に防護施設を抽出するフローとした

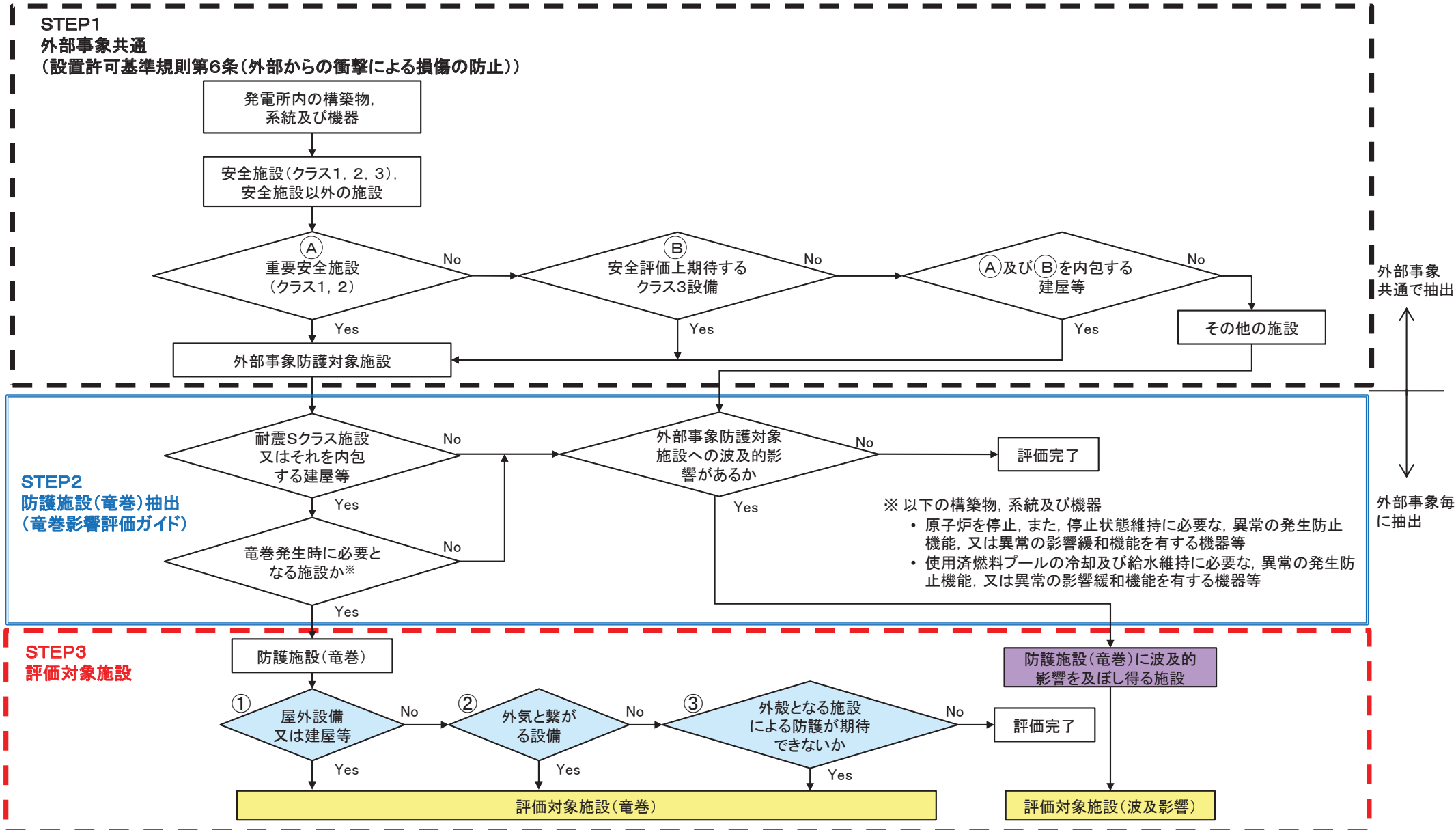
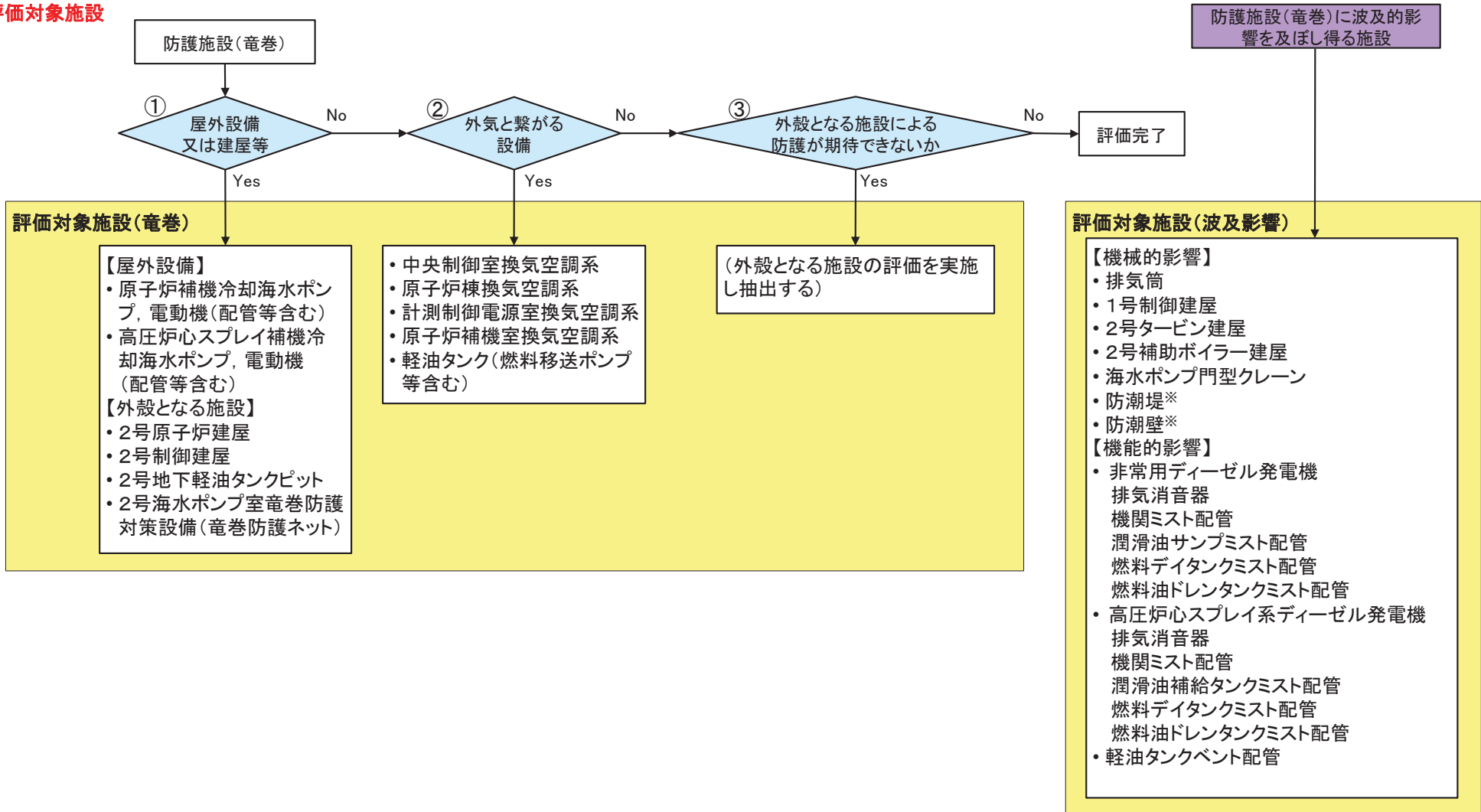


図5-1 評価対象施設抽出フロー

**STEP3**  
評価対象施設



※:基準津波の高さや防護範囲の広さ等の重要性に鑑み、自主的に機能維持のための配慮を行う

図5-2 評価対象施設抽出フロー(STEP3) 評価対象施設の抽出結果

# 6. 評価対象施設に対する構造健全性確認のための条件設定(1/4)

➤ フジタモデルを用いた飛散評価における主なパラメータとして、移動速度、最大接線風速、最大接線風速半径及び流入層高さがあり、以下にこれらの設定の考え方を示す

【設計竜巻の移動速度 ( $V_T$ )】

➤ 日本の竜巻観測記録に基づいた竜巻移動速度と設計竜巻の最大風速 ( $V_D$ ) との関係から求めた式(1) ※1より設定

$$V_T = 0.15 \cdot V_D \quad (1)$$

【設計竜巻の最大接線風速 ( $V_{Rm}$ )】

➤ 設計竜巻の最大風速 ( $V_D$ ) から  $V_T$  を引いた値として、式(2) ※1のとおり設定

$$V_{Rm} = V_D - V_T \quad (2)$$

【設計竜巻の最大接線風速半径 ( $R_m$ )】

➤ フジタモデルの特徴として、高さによって風速が変化  
 ➤ 竜巻の半径方向の風速分布は、外部コア半径の内側では半径 ( $r$ ) に比例して風速が大きくなり、外部コア半径の外側では半径 ( $r$ ) に反比例して小さくなるため、ガイドの参考文献 ※2 で示すランキン渦モデルと同様に式(3)により設定 (図6-1)

$$R_m = r_0 (V_0 / V_{Rm}) \quad (3)$$

➤ 竜巻による被害が生じる風速 ( $V_0$ ) と被害幅の1/2 ( $r_0$ ) から  $R_m$  を設定

【流入層高さ ( $H_i$ )】

➤ フジタモデルにおいて物体を竜巻中心方向に引き込む流れとしてモデル化しており、 $H_i$  の設定により飛散評価に影響を及ぼす (図6-2)  
 ➤  $H_i$  は Fujita Workbook ※3 において、竜巻事例を可視化して分析し、 $R_m$  の関数として設定  
 ➤ Fujita Workbook により、 $R_m = 30m$  の場合  $H_i = 15m$  と算出  
 ➤  $H_i$  の感度解析を行い、飛散評価への影響は僅かであることを確認

表6-1 設計竜巻の特性値

最大風速 [ $V_D$ ]	移動速度 [ $V_T$ ]	最大接線風速 [ $V_{Rm}$ ]	最大接線風速半径 [ $R_m$ ]
100m/s	15m/s	85m/s	30m

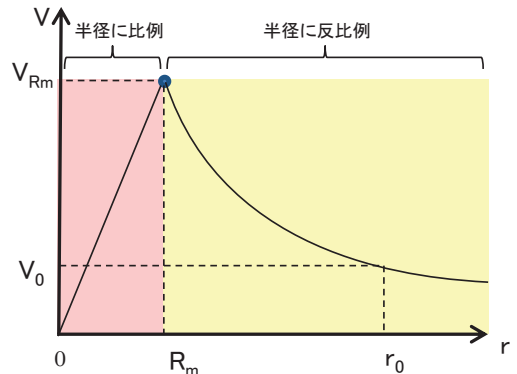


図6-1 竜巻半径と風速の関係

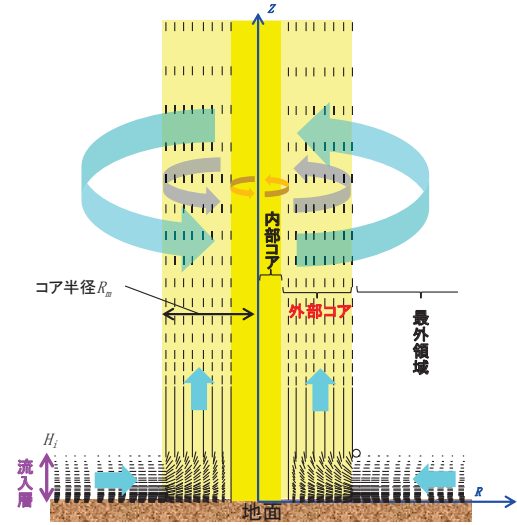


図6-2 フジタモデルの風速場

※1 原子力規制委員会, 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド, 2013.

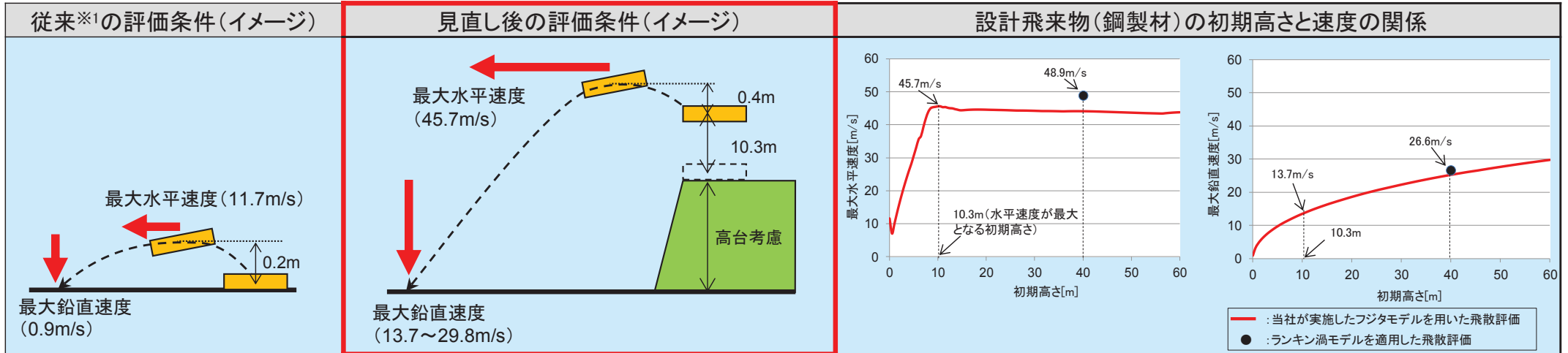
※2 東京工芸大学, 平成21~22年度原子力安全基盤調査研究(平成22年度)竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書, 2011.

※3 Fujita, T.T., Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications, U.Chicago, 1978.

# 6. 評価対象施設に対する構造健全性確認のための条件設定(2/4)

- フジタモデルの風速場, 設計竜巻風速(100m/s)における設計飛来物の飛散評価結果, 速度は飛散評価における水平速度, 鉛直速度の最大値をそれぞれ抽出

表6-2 飛散評価結果



項目		従来※1の評価条件	見直し後の評価条件	見直し後の考え方
鋼製材	初期高さ	0m	10.3m	<ul style="list-style-type: none"> <li>水平速度が最大となる初期高さに見直し(ランキン渦モデルとの差は3.2m/s程度とわずか)</li> </ul>
	最大水平速度	11.7m/s	45.7m/s	
	最大鉛直速度	0.9m/s	敷地内の高台を考慮して設定 (13.7~29.8m/s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価対象施設周辺の高台の高さ及び初期高さ10.3mを考慮して設定</li> <li>高台から到達する場合には, 高台の高さを考慮した速度を採用</li> </ul>
砂利	初期高さ	0m	7.6m	<ul style="list-style-type: none"> <li>水平速度が最大となる初期高さに見直し</li> </ul>
	最大水平速度	17.0m/s	58.8m/s	
	最大鉛直速度	0.8m/s	敷地内の高台を考慮して設定 (14.8~25.6m/s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価対象施設周辺の高台の高さ及び初期高さ7.6mを考慮して設定</li> <li>高台から到達する場合には, 高台の高さを考慮した速度を採用</li> </ul>

※1 H29.12.19 第534回審査会合時

# 6. 評価対象施設に対する構造健全性確認のための条件設定(3/4)

- 従来は「一律10mまでの範囲」に設定していたが、設計飛来物が到達する高さ以上の範囲をカバーする観点から「評価対象施設全面」に見直し

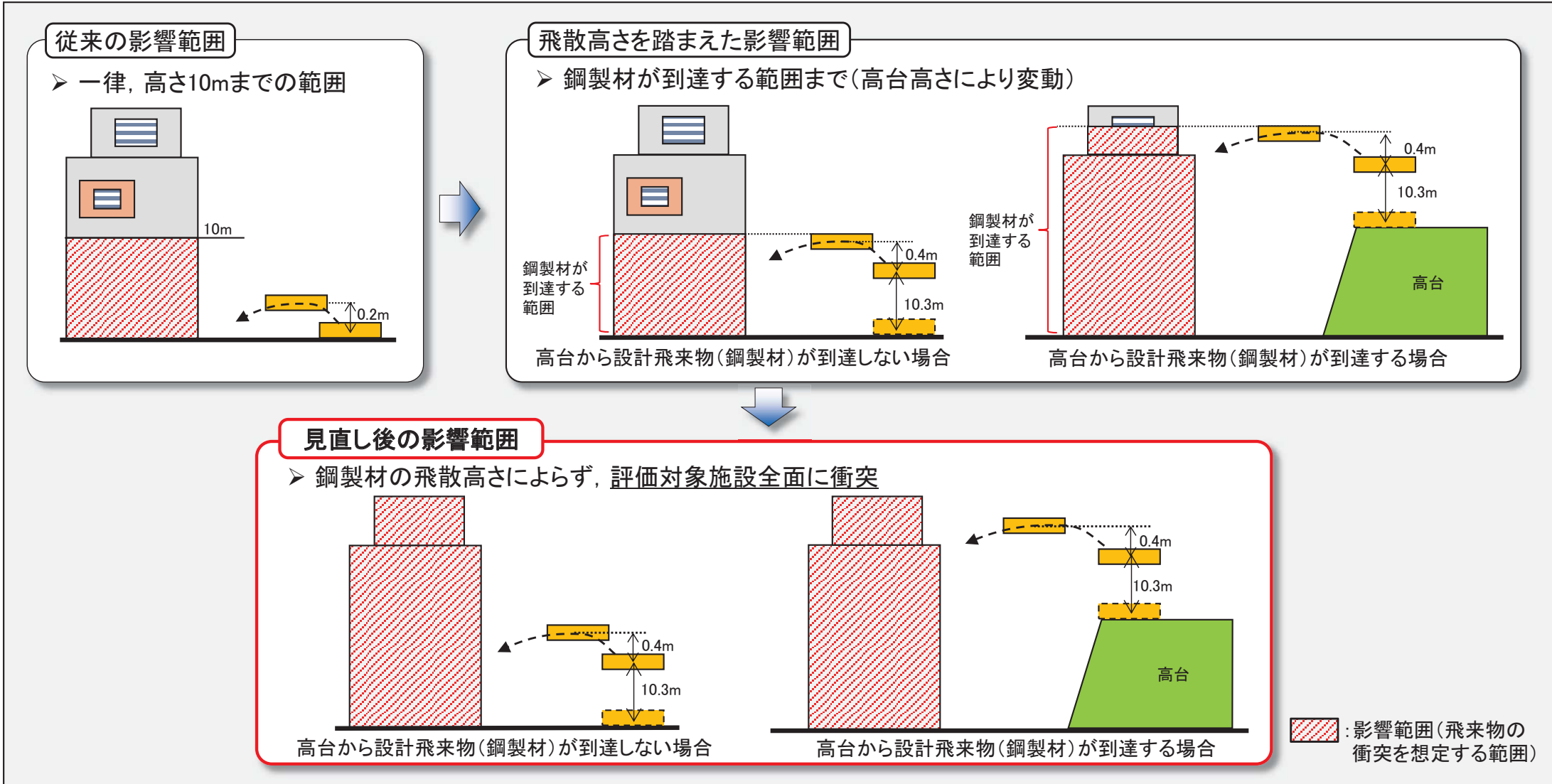


図6-2 影響範囲の考え方

# 6. 評価対象施設に対する構造健全性確認のための条件設定(4/4)

## ➤ 敷地内の高台を考慮した鉛直速度の設定の考え方

敷地内の各高台から設計飛来物(鋼製材)を飛散させた場合に、評価対象施設に鋼製材が到達する場合は、高台高さを考慮した鉛直速度を設定する(表6-3参照)

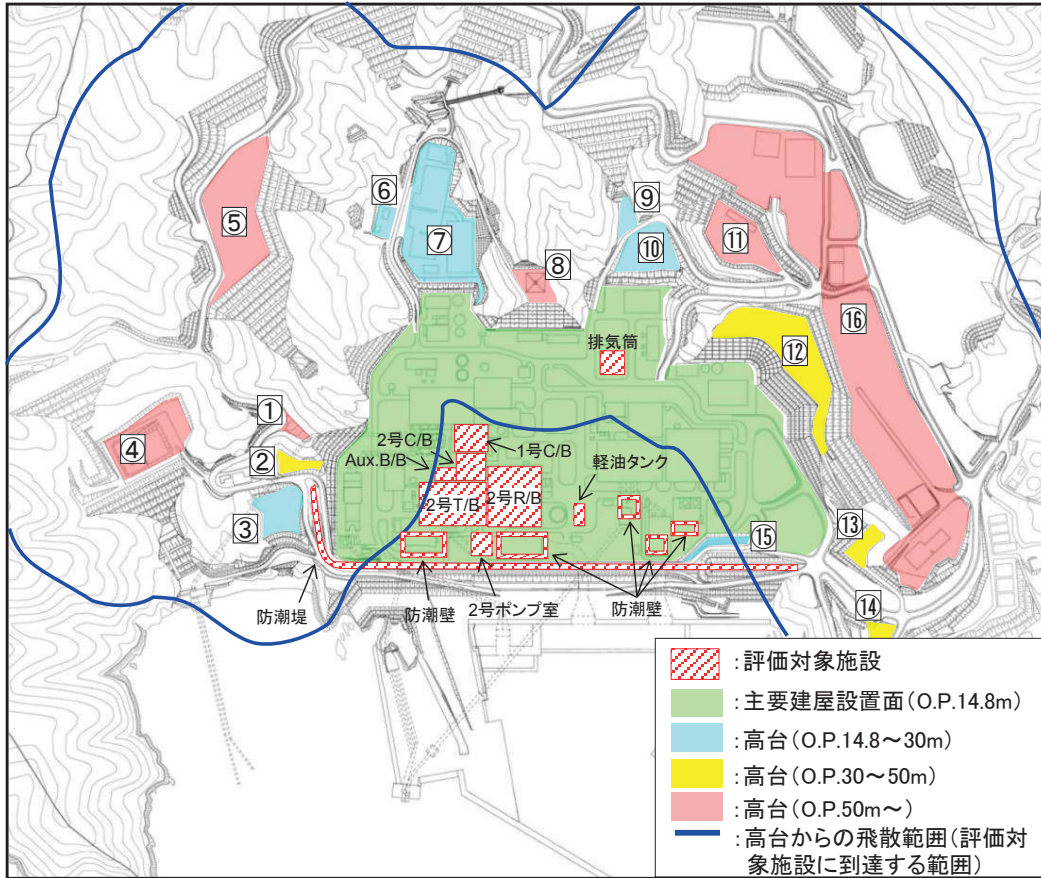


図6-3 各高台からの設計飛来物(鋼製材)の飛散範囲

表6-3 評価対象施設毎の飛来物評価条件

主な評価対象施設	設計飛来物(鋼製材)が到達する高台のうち鉛直速度が最も大きくなる高台※1	鉛直速度 [m/s]※2	水平速度 [m/s]
防潮堤	⑯ O.P.62m	29.8	45.7
排気筒	⑧ O.P.50m	27.0	
2号タービン建屋	① O.P.56m	28.5	
2号補助ボイラー建屋	① O.P.56m	28.5	
防潮壁	① O.P.56m	28.5	
1号制御建屋	無	13.7	
2号制御建屋			
2号原子炉建屋			
竜巻防護ネット			
軽油タンク			

※1 番号は図6-2の高台の位置を示す

※2 高台の上空10.3mの高さからの飛散評価結果

高台高さを考慮した鉛直速度は水平速度に対しておおよそ2/3に相当

# 7. 影響評価(1/7) 評価対象施設(竜巻):原子炉建屋

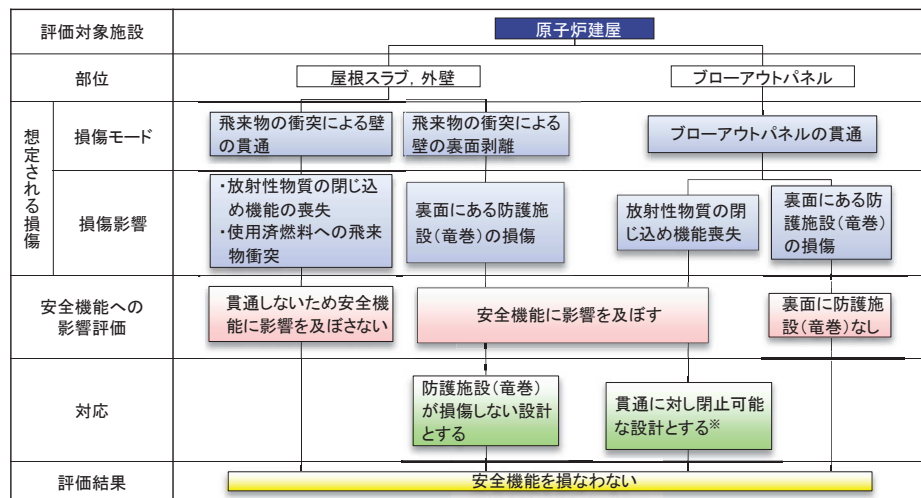
竜巻風速:100m/s 設計飛来物:鋼製材	従来 初期高さ:0m 影響範囲:10m 	見直し後 初期高さ:10.3m 影響範囲:施設全面 		
	評価対象施設	評価結果	評価結果(暫定)	評価結果(暫定)への対応
原子炉建屋	屋根スラブ(3F)	損傷なし	損傷なし	—
	外壁(3F)	損傷なし	貫通なし <b>飛来物衝突による壁の裏面剥離の可能性あり</b>	壁面が裏面剥離しても建屋内の防護施設(竜巻)が損傷しない設計
	外壁(1, 2F)	損傷なし	損傷なし	—
	ブローアウトパネル	損傷なし	<b>飛来物衝突による貫通の可能性あり</b>	裏面に防護施設(竜巻)がないため安全機能に影響はない

## 【竜巻に対する防護の設計方針】

- 設計竜巻荷重(風荷重, 衝撃荷重)に対しては, 建屋の構造健全性を維持する設計とする
- 壁面が裏面剥離しても, 建屋内の防護施設(竜巻)が損傷せず, 安全機能を損なわない設計とする
- ブローアウトパネルの貫通に対し, 閉止可能な設計とすることで, 安全機能を損なわない設計とする



図7-1-1 原子炉建屋の状況



\* 竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さい

図7-1-2 設備の損傷と対応フロー



# 7. 影響評価(2/7) 評価対象施設(竜巻): 軽油タンク

竜巻風速: 100m/s 設計飛来物: 鋼製材	従来 初期高さ: 0m    影響範囲: 10m		見直し後 初期高さ: 10.3m    影響範囲: 施設全面	
評価対象施設	評価結果		評価結果(暫定)	評価結果(暫定)への対応
軽油タンク	ピット頂版	損傷なし	損傷なし	—
	ハッチ	損傷なし	貫通なし <b>飛来物衝突によるハッチの損傷(変形)の可能性あり</b>	—
	軽油タンク(燃料移送ポンプ含む)	損傷なし	損傷なし	—

### 【竜巻に対する防護の設計方針】

- ピット頂版(鉄筋コンクリート造)は竜巻による荷重に対して構造健全性を維持する設計とする
- また、ハッチ(鋼製)は設計飛来物の衝突時においても貫通せず、変形に留まる設計とする
- このように、外殻で防護することで、ピットに内包する軽油タンク及び燃料移送ポンプの安全機能を損なわない設計とする
- また、ピット内の軽油タンクについては、気圧差荷重による損傷せず、安全機能を損なわない設計とする



図7-2-1 軽油タンクの状況

評価対象施設	軽油タンク		
部位	ピット頂版	ハッチ	軽油タンク及び燃料移送ポンプ
想定される損傷	飛来物の衝突による頂版貫通、損傷	飛来物の衝突によるハッチ貫通、損傷	竜巻荷重(気圧差荷重)による軽油タンク及び燃料移送ポンプの損傷
損傷影響	ピット内の軽油タンク、燃料移送ポンプの損傷		軽油タンク及び燃料移送ポンプによる非常用DGの燃料喪失
安全機能への影響評価	頂版の構造健全性は維持され、軽油タンク及び燃料移送ポンプの安全機能に影響を及ぼさない	ハッチの変形が想定されるが、貫通しないため、軽油タンク及び燃料移送ポンプの安全機能に影響を及ぼさない	竜巻荷重(気圧差荷重)に対して軽油タンク及び燃料移送ポンプは損傷せず、安全機能に影響を及ぼさない
対応			
評価結果	安全機能を損なわない		

図7-2-2 設備の損傷と対応フロー

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません

# 7. 影響評価(3/7) 評価対象施設(竜巻): 竜巻防護ネット

竜巻風速: 100m/s 設計飛来物: 鋼製材	従来		見直し後	
	初期高さ: 0m 影響範囲: 10m		初期高さ: 10.3m 影響範囲: 施設全面	
評価対象施設	評価結果		評価結果(暫定)	評価結果(暫定)への対応
竜巻防護ネット	ネット(金網部)	衝突エネルギー吸収可能	衝突エネルギー吸収可能	—
	フレーム	損傷なし	貫通なし 飛来物の衝突により損傷(変形)の可能性あり	—
	防護板	損傷なし	貫通なし 飛来物の衝突により損傷(変形)の可能性あり	—

## 【竜巻に対する防護の設計方針】

- 竜巻防護ネットは設計飛来物の衝突時にたわみによって衝突エネルギーを吸収する構造とする
- また、ネット間及びピットとの隙間部に設置する防護板及びフレームについては、貫通せず、変形に留まる設計とする
- これによりピット内の海水ポンプに対して波及影響を及ぼさないことで安全機能を損なわない設計とする

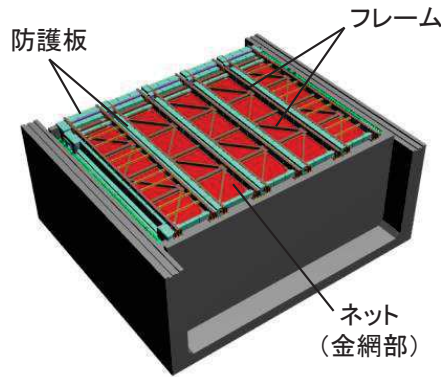


図7-3-1 竜巻防護ネットの構造イメージ (設計中)

評価対象施設	竜巻防護ネット			
部位	ネット(金網部)	フレーム	防護板	
想定される損傷	損傷モード	飛来物の衝突によるネットの損傷	飛来物の衝突によるフレームの損傷	飛来物の衝突による防護板の貫通
	損傷影響	ネットの損傷に伴う海水ポンプの損傷	フレームの損傷に伴う海水ポンプ損傷	防護板の貫通による海水ポンプ損傷
安全機能への影響評価	竜巻防護ネットは損傷したとしても、海水ポンプに波及影響を及ぼさないことで、海水ポンプの安全機能に影響を及ぼさない			
対応				
評価結果	安全機能を損なわない			

図7-3-2 設備の損傷と対応フロー

# 7. 影響評価(4/7) 評価対象施設(竜巻): 非常用海水ポンプ※1

竜巻風速: 100m/s 設計飛来物: 砂利※2	<b>従来</b> 初期高さ: 0m 影響範囲: 施設全面		<b>見直し後</b> 初期高さ: 7.6m 影響範囲: 施設全面				
評価対象施設		評価結果		評価結果(暫定)		評価結果(暫定)への対応	
海水ポンプ	ポンプ	損傷なし		損傷なし		—	
	モーター	損傷なし		損傷なし		—	

※1 原子炉補機冷却海水ポンプ, 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

※2 竜巻防護ネットにより鋼製材の衝突を防護するため, 竜巻防護ネットの金網を通過する砂利にて評価する

### 【竜巻に対する防護の設計方針】

- 設計竜巻荷重(風荷重, 衝撃荷重)に対して, 構造健全性を維持する設計とする
- 竜巻防護ネットを通過する設計飛来物(砂利)の衝突に対して, モーター・ポンプの部材を貫通しない厚さを確保し, 非常用海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする



図7-4-1 非常用海水ポンプの状況

評価対象施設		海水ポンプ			
部位		ポンプ		モーター	
想定される損傷	損傷モード	竜巻荷重(風荷重, 衝撃荷重)による損傷	飛来物の衝突による部材の貫通	竜巻荷重(風荷重, 衝撃荷重)による損傷	飛来物の衝突による部材の貫通
	損傷影響	ポンプの機能喪失		モーターの機能喪失	
安全機能への影響評価		海水ポンプ, モーターは損傷しないため, 安全機能に影響を及ぼさない			
対応					
評価結果		安全機能を損なわない			

図7-4-2 設備の損傷と対応フロー

# 7. 影響評価(5/7) 評価対象施設(波及影響): 排気筒

竜巻風速: 100m/s 設計飛来物: 鋼製材	従来		見直し後	
	初期高さ: 0m 影響範囲: 10m	筒身 支持鉄塔 10m 1.7m/s 0.2m	初期高さ: 10.3m 高台高さ: O.P.50m 影響範囲: 施設全面	筒身 支持鉄塔 45.7m/s 0.4m 10.3m 高台(O.P.50) O.P.14.8
評価対象施設	評価結果		評価結果(暫定)	評価結果(暫定)への対応
排気筒	筒身	損傷なし	<b>飛来物衝突による貫通の可能性あり</b>	排気機能を維持する設計とする
	支持鉄塔	損傷なし	<b>飛来物衝突による損傷の可能性あり</b>	波及影響防止のための構造成立性の配慮

### 【竜巻に対する防護の設計方針】

- 排気筒の筒身が貫通しても、閉塞せずに排気機能が維持される設計とする
- 支持鉄塔が損傷しても、倒壊により2号の防護施設(竜巻)に影響を及ぼさないように、波及影響防止のための構造成立性の配慮を行う

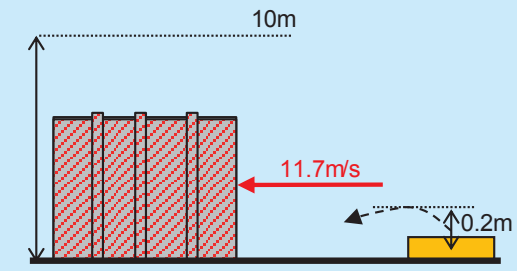
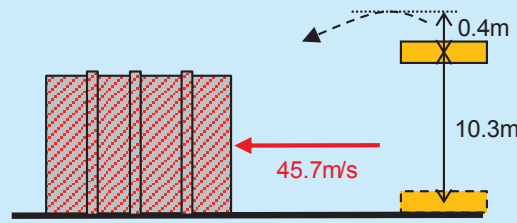


図7-5-1 排気筒の状況

評価対象施設	排気筒	
部位	筒身	支持鉄塔
想定される損傷	飛来物の衝突による貫通	飛来物の衝突による部材の損傷
損傷影響	貫通部(低所)からの放射性物質の放出	排気筒の倒壊
安全機能への影響評価	通常時: めやす線量を(50 μSv/y)を満足しない可能性がある 事故(DBA)時: SA(損傷前)時において、排気筒放出から地上放出になったとしても線量に関する基準値(5mSv)を満たす	2号防護施設(竜巻)への影響を与えないが、波及影響を及ぼす
対応	めやす線量を満足しない場合には、必要に応じプラントを停止して補修する	補修を実施する
評価結果	安全機能を損なわない	

図7-5-2 設備の損傷と対応フロー

# 7. 影響評価(6/7) 評価対象施設(波及影響):防潮壁

竜巻風速:100m/s 設計飛来物:鋼製材	従来	見直し後	
	初期高さ:0m 影響範囲:10m	初期高さ:10.3m 影響範囲:施設全面	
			
評価対象施設	評価結果	評価結果(暫定)	評価結果(暫定)への対応
防潮壁	損傷なし	<b>飛来物衝突による支柱の損傷, 壁部材の貫通の可能性あり</b>	大規模な損傷に至らない構造設計とし, 損傷した場合には, 損傷状況を踏まえ, 必要に応じプラントを停止して修復する

**【竜巻に対する防護の設計方針】**

- 防潮壁は構造的に強度を確保した複数の部材(支柱と壁部材)を組み合わせた構造とする
- このため, 設計飛来物の衝突時の損傷は, 局所的となり大規模な損傷に至らない設計とする
- なお, 損傷した場合には, 損傷状況を踏まえ, 必要に応じプラントを停止して修復する



図7-6-1 防潮壁の状況

評価対象施設	防潮壁	
部位	支柱	壁部材
想定される損傷	飛来物の衝突による支柱の損傷	飛来物の衝突による壁部材の貫通
損傷影響	支柱の損傷による防護施設(竜巻)への影響	津波防護機能の喪失
安全機能への影響評価	防護施設(竜巻)との離隔距離が確保されており, 防護施設(竜巻)に波及影響を及ぼさないため, 安全機能に影響を及ぼさない	確率的に竜巻と津波は重畳し得ないため, 即時に安全機能に影響を及ぼさない
対応		<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模な損傷に至らない構造設計とする</li> <li>損傷した場合には, 損傷状況を踏まえ, 必要に応じプラントを停止して修復する</li> </ul>
評価結果	安全機能を損なわない	

図7-6-2 設備の損傷と対応フロー

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません

# 7. 影響評価(7/7) 評価対象施設(波及影響):防潮堤

竜巻風速:100m/s 設計飛来物:鋼製材	従来		見直し後	
	初期高さ:0m	影響範囲:10m	初期高さ:10.3m	高台高さ:O.P.62m 影響範囲:施設全面
評価対象施設	評価結果		評価結果(暫定)	評価結果(暫定)への対応
防潮堤	鋼管杭	損傷なし	<b>構造健全性は確保されるが飛来物衝突による貫通の可能性あり</b> <b>飛来物衝突による貫通の可能性あり</b>	大規模な損傷に至らない構造設計とし、損傷した場合には、損傷状況を踏まえ、必要に応じプラントを停止して修復する
	遮水壁	損傷なし		

## 【竜巻に対する防護の設計方針】

- 設計竜巻荷重(風荷重, 衝撃荷重)に対しては, 倒壊せず構造健全性を確保するため, 安全機能へ影響を及ぼすことがない設計とする
- また, 貫通により津波防護施設としての機能に影響が及ぶ可能性もあるため, この場合, 損傷状況を踏まえ, 必要に応じプラントを停止して修復する



図7-7-1 防潮堤の状況

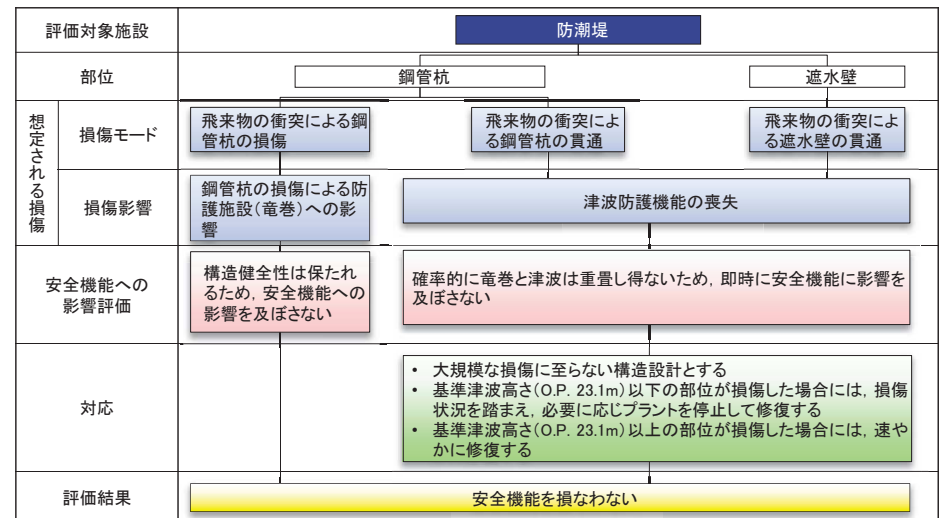


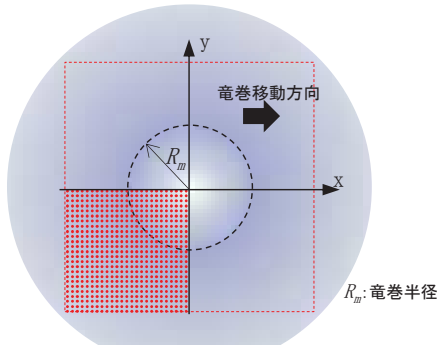
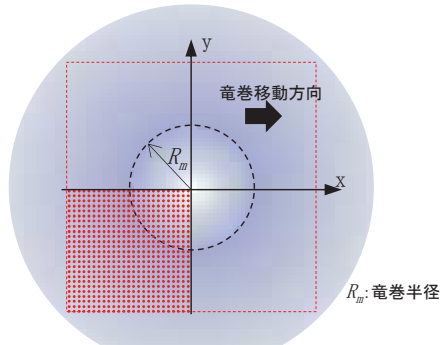
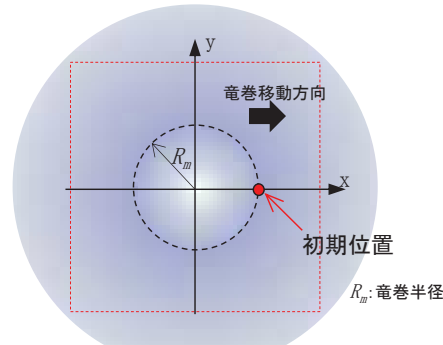
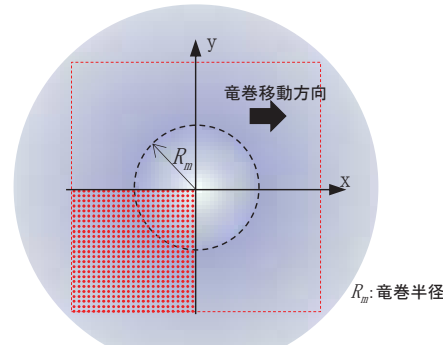
図7-7-2 設備の損傷と対応フロー

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません

審査における指摘事項(平成29年12月19日審査会合)に対して、当社の飛散評価における不確かさや初期高さの影響を踏まえた飛散評価結果を用い、評価対象施設への影響を確認した

- 評価対象施設に対する評価条件は、設計飛来物の水平速度が最も大きくなる初期高さを適用するとともに、敷地内の高台を考慮した鉛直速度を適用する
- 評価対象施設への影響範囲(飛来物の衝突を想定する範囲)は、飛来物が到達する高さによらず、評価対象施設全面に作用するものとして評価する
- 評価対象施設は設計荷重に対して構造健全性を維持すること、又は取替、補修が可能なこと、損傷した場合には波及影響も考慮した上で、安全機能を損なわない設計方針とする

## 当社が実施したフジタモデルを用いた飛散評価とランキン渦モデルを用いた飛散評価の比較

風速場モデル	フジタモデル	フジタモデル	ランキン渦モデル	ランキン渦モデル
設計飛来物	鋼製材	鋼製材	鋼製材	鋼製材
飛来物の初期高さ	0m	10.3m(空中) [鋼製材の水平速度が最大となる高さ]	40m(空中)	40m(空中)
飛来物の配置条件	多点配置  竜巻半径の4倍の正方形の領域に51×51個配置(図は第3象限のみ表示)	多点配置  竜巻半径の4倍の正方形の領域に51×51個配置(図は第3象限のみ表示)	1点配置  進行方向の竜巻半径の位置に1個設置	多点配置  竜巻半径の4倍の正方形の領域に51×51個配置(図は第3象限のみ表示)
	飛散解析結果			
水平速度 [m/s]	11.7	45.7	29.5	48.9
鉛直速度 [m/s]	0.9	13.7~29.8※1, ※2	18.6※2	26.6※2
飛散距離 [m]	6.5	112.9~194.5※1	105.2	307.6
飛散高さ [m]	0.2	10.8~58.0※1	41.0	69.2

※1: 高台高さ(O.P.62m)の場合

※2: 鉛直速度は水平速度のおおよそ2/3に相当



# 当社が実施したフジタモデルを用いた飛散評価とランキン渦モデルを用いた飛散評価の比較

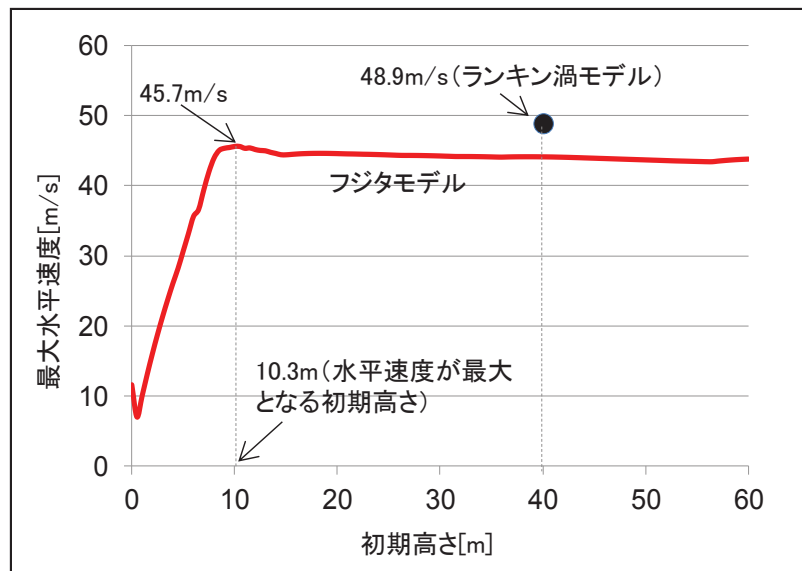


図1 初期高さと最大水平速度

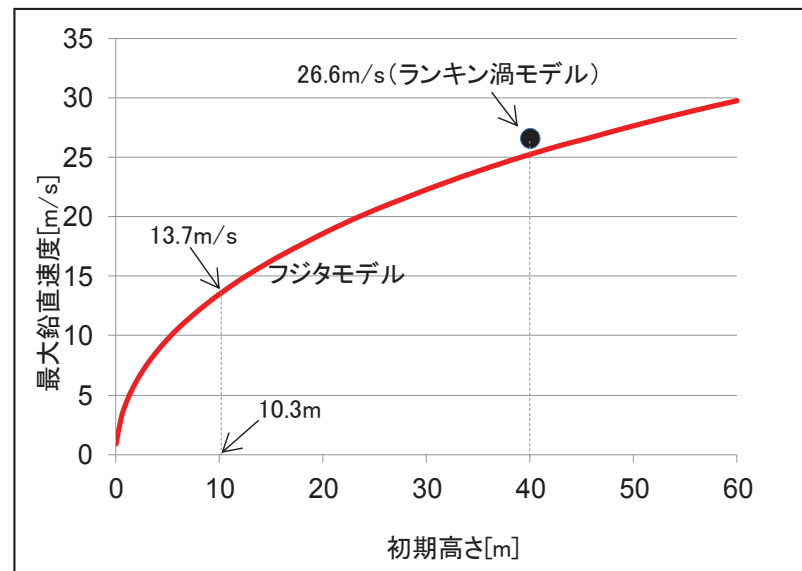


図2 初期高さと最大鉛直速度

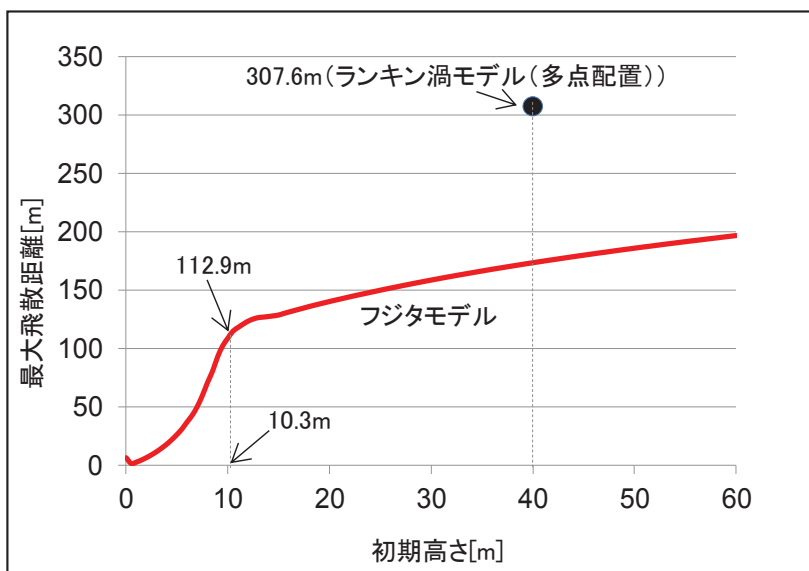


図3 初期高さと最大飛散距離

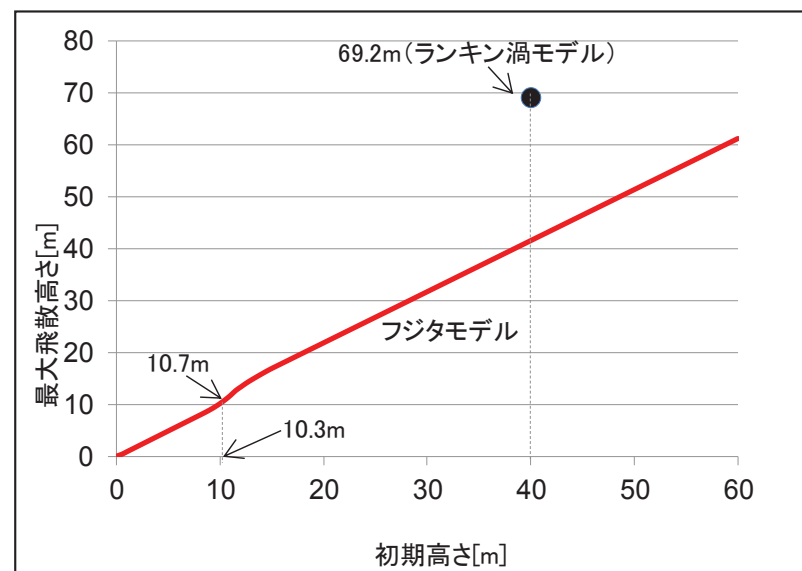


図4 初期高さと最大飛散高さ