

女川原子力発電所 2 号機の安全性に  
関する検討会 説明資料

---

論点番号 5 4  
(意見番号 6 0)



新規制基準適合性審査申請  
＜(3)その他の自然現象等＞  
竜巻  
(No.60,63,64関連)

2019年4月23日  
東北電力株式会社

本資料のうち、枠囲いの内容は防護上の観点から公開できません。

All Rights Reserved. Copyrights © 2019, Tohoku Electric Power Co., Inc.

1

目次

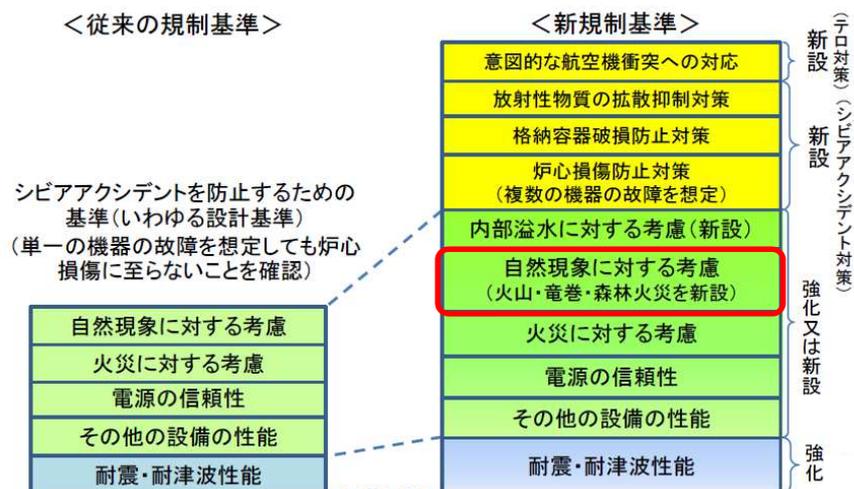
1. 原子力発電所の竜巻影響評価の背景
  2. 規制要求事項
  3. 竜巻について
  4. 女川原子力発電所の竜巻に対する特徴
  5. 竜巻影響評価
  6. 竜巻防護の運用対策
  7. 適合性審査の状況
- (参考資料)

# 1. 原子力発電所の竜巻影響評価の背景

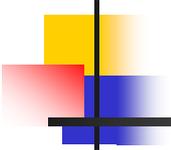
# 1. 原子力発電所の竜巻影響評価の背景

## ➤ 背景

- 平成23年3月11日の巨大地震による津波によって、福島第一原子力発電所でシビアアクシデントが発生
- 原子力発電所の安全に関わる新たな規制機関として原子力規制委員会(NRA)が発足
- 新規制基準において、大規模な自然災害に対する対応の強化が図られた

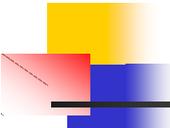


※「原子力規制委員会:実用発電用原子炉に係る新規制基準について(概要)」より引用



## 2. 規制要求事項

---



## 2. 規制要求事項

---

### ➤ 規制要求事項

- ・ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第6条において、自然現象に対して、安全施設の安全機能を維持することが求められている
- ・ これに関連して、発電用原子炉施設の供用期間中に極めてまれに突風・強風を引き起こす自然現象としての竜巻及びその随件事象等によって発電用原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを評価・確認するため、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(以下「竜巻ガイド」という。)を参照し、以下の竜巻影響評価が要求されている
  - ✓ 設計竜巻及び設計荷重の設定
  - ✓ 女川原子力発電所における飛来物の調査
  - ✓ 飛来物防止対策
  - ✓ 防護対象施設の構造健全性評価及び対策

### 3. 竜巻について

### 3. 竜巻について(1/2)

竜巻は、発達した積乱雲に伴う強い上昇気流によって発生する激しい渦巻き

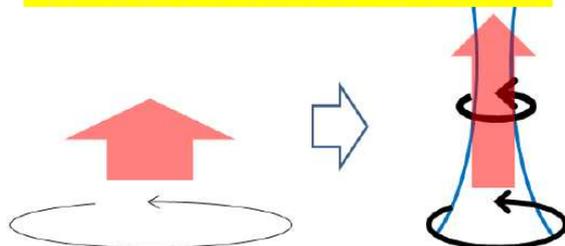
#### 竜巻の発生メカニズム

- 台風や寒冷前線、低気圧など積乱雲が発生しやすい気象条件に伴って発生しやすくなる傾向
- 地面付近にあった弱い渦巻きが、積乱雲の強い上昇気流によって上下に引き伸ばされると、下図のように細く締められて回転のスピードが速まる。このような仕組みで、とても強くなった渦巻きが竜巻である



竜巻の気象状況※1

渦巻きが上昇気流で引き伸ばされると、細くなるとともに回転のスピードが速くなる



竜巻の発生の仕組み※2



※1:首相官邸HP「竜巻では、どのような災害が起こるのか」より引用

※2:仙台管区気象台HP「竜巻の正体と身のまわりかた 補足教材」より引用

### 3. 竜巻について(2/2)

#### 竜巻による被害の特徴

- 短時間で狭い範囲に集中して被害をもたらす  
被害は数分～数十分で長さ:数km～数十km、幅:数十～数百mの狭い範囲に集中
- 移動スピードが非常に速い  
過去に発生した竜巻の中には、時速約90km(秒速約25m)で移動した事例もある
- 竜巻の風の影響で建物が倒れたり、車がひっくり返ることがある
- 様々なものが竜巻に巻き上げられたり、飛散して衝突する



竜巻によるトラックの被害※1

これらの被害の特徴を踏まえて、原子力発電所の設備に対する影響を評価し、対策を検討する

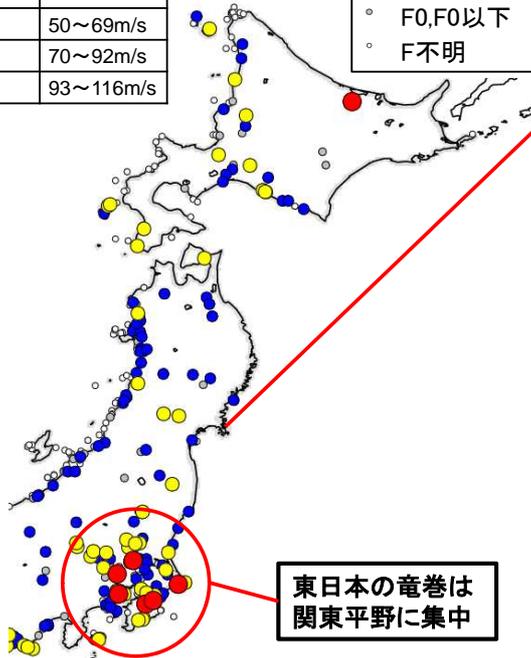
※1:首相官邸HP「竜巻では、どのような災害が起こるのか」より引用

### 4. 女川原子力発電所の竜巻に対する特徴

## 4. 女川原子力発電所の竜巻に対する特徴

Fスケール	風速(平均)
F0	17~32m/s
F1	33~49m/s
F2	50~69m/s
F3	70~92m/s
F4	93~116m/s

- F3,F2-F3
- F2,F1-F2
- F1,F0-F1
- F0,F0以下
- F不明



東日本の竜巻は  
関東平野に集中

気象庁「竜巻等の突風データベース」より、1961年～2012年6月に発生した竜巻をプロット



敷地は三方を山に囲まれ、海岸線には防潮堤を設置しており、竜巻が接近・移動する間に減衰する地形



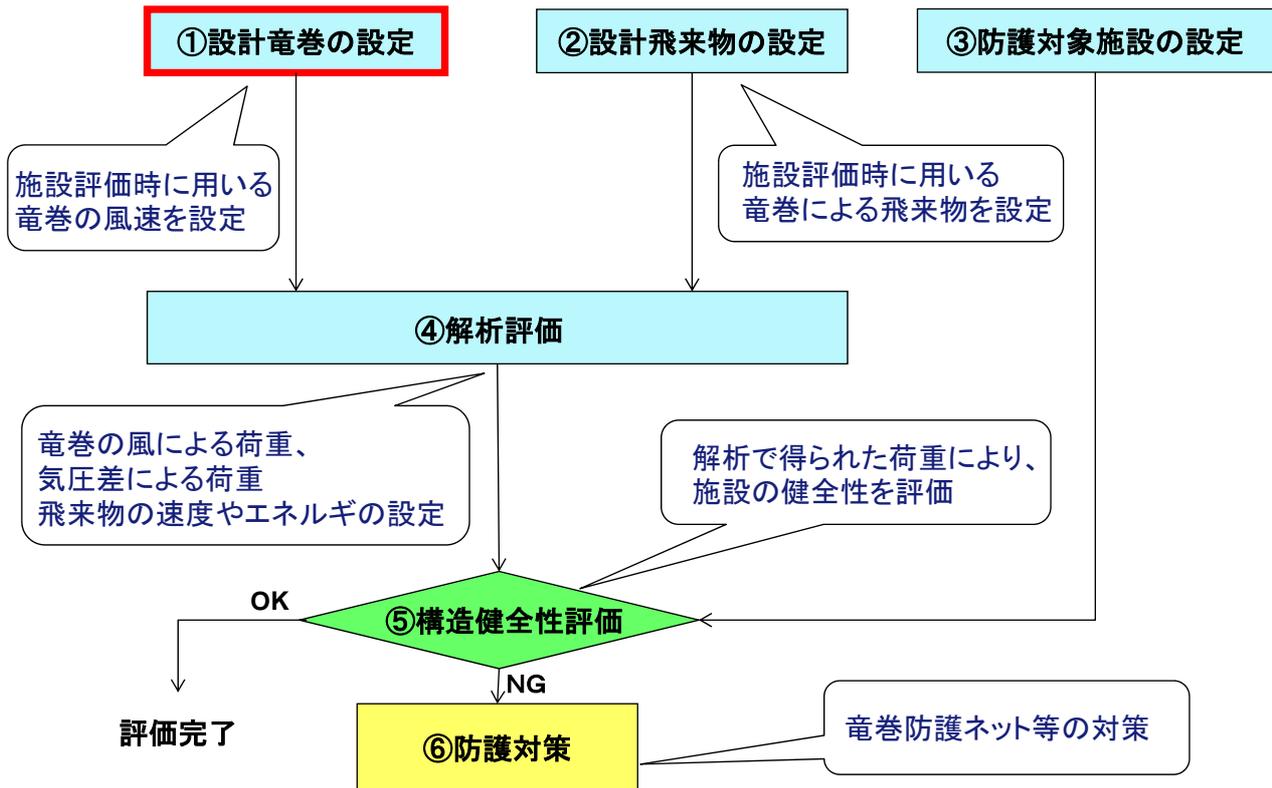
敷地周辺は竜巻集中地域  
に該当しない

竜巻集中地域※1

※1: 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説(JNES-RE-2013-9009)より引用

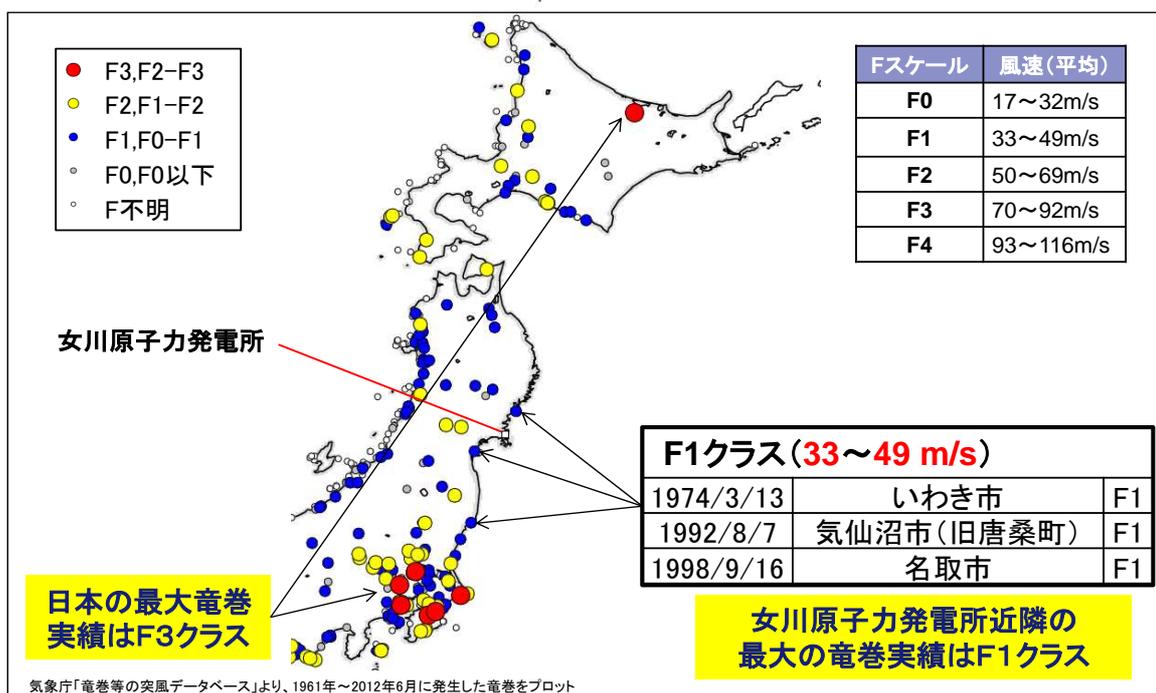
## 5. 竜巻影響評価

## 5.1 竜巻影響評価(全体フロー)



## 5.2 竜巻影響評価(①設計竜巻の設定(1/3))

### 過去に発生した竜巻による最大風速



女川原子力発電所が立地する東北地方太平洋沖は大規模な竜巻は発生しにくい

## 5.2 竜巻影響評価(①設計竜巻の設定(2/3))

- 申請時は発電所周辺地域の竜巻の発生実績を踏まえ、設計竜巻の最大風速( $V_D$ )をF2クラスの上限值(69m/s)と設定したが、以下のとおり見直しを実施

### 基準竜巻( $V_B$ )の設定

基準竜巻:極めてまれに発生し、発電所の安全性に影響を与える恐れがある竜巻

- ✓ 過去に発生した竜巻による最大風速( $V_{B1}$ )
  - ・国内最大の竜巻はF3クラス(最大92m/s)
  - ・女川原子力発電所近隣の最大の竜巻はF1クラス(最大49m/s)
- 竜巻は観測の歴史が浅く、他の気象観測データに比べ不確かさがあるため、**日本で過去に発生した竜巻の最大風速(92m/s)を $V_{B1}$ として設定**
- ✓ 確率論的に求めた竜巻の最大風速( $V_{B2}$ )
  - ・発電所を含む太平洋側の海岸線における竜巻の発生頻度等から算出(**83.6m/s**)
  - ⇒参考資料(P37~)参照



基準竜巻の最大風速( $V_B$ )は、 $V_{B1}$ および $V_{B2}$ のうち  
大きな風速を設定  $V_B = \mathbf{92m/s}$

## 5.2 竜巻影響評価(①設計竜巻の設定(3/3))

### 設計竜巻( $V_D$ )の設定

設計竜巻:発電所の立地による特性(地形効果により竜巻が増幅する)を考慮して、基準竜巻に対して最大風速の割り増しを行った竜巻であり、施設の評価時に適用

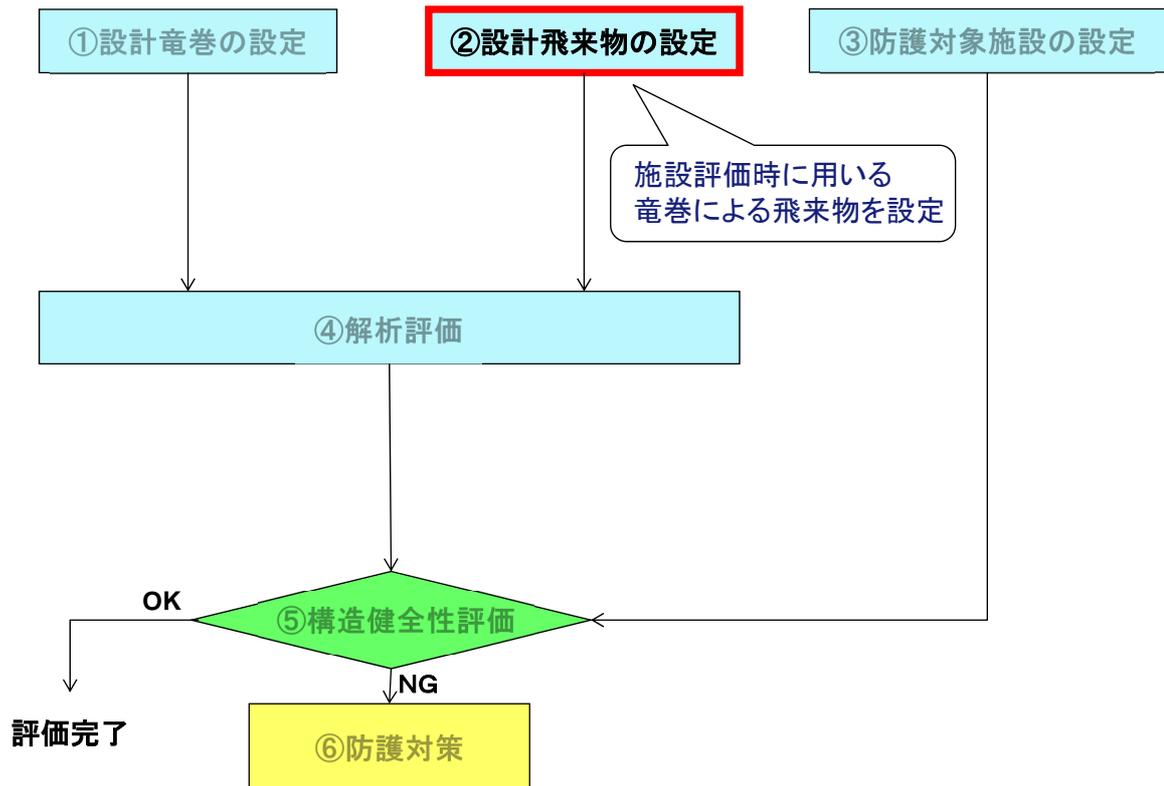
- ✓ 地形効果による竜巻風速への影響
  - ・海側から竜巻が侵入する場合、防潮堤があり、竜巻の風速は減衰する
  - ・山側から竜巻が侵入する場合、発電所周辺は丘陵地の森林により減衰する
  - ⇒地形効果による竜巻の増幅の影響は受けない
- ✓ 将来的な気候変動の考慮
  - ・竜巻発生の不確実性を考慮し、**基準竜巻の92m/sを安全側に切り上げ**



設計竜巻の最大風速( $V_D$ ) **100m/s**

- 今後も最新のデータ・知見をもって、気候変動の影響に注視し、状況に応じて設計基準の見直しを行う

## 5.3 竜巻影響評価(②設計飛来物の設定(1/3))



## 5.3 竜巻影響評価(②設計飛来物の設定(2/3))

### (1) 竜巻飛来物現場調査

米国の規格等を踏まえて、防護対象施設から半径800m以内に存在する飛来物になる可能性がある物体について調査し、約2000個を抽出

The site investigation map shows a facility with a 800m radius search area. The photos show various objects found, including pipes, metal structures, and debris.

- ✓ 現場調査の結果を代表化
  - ①形状で分類(棒状、板状、塊状、その他)
  - ②面積、重量・材質が同程度のものを代表化
- ✓ NRA竜巻ガイドで例示する飛来物 ⇒ 鋼製材等

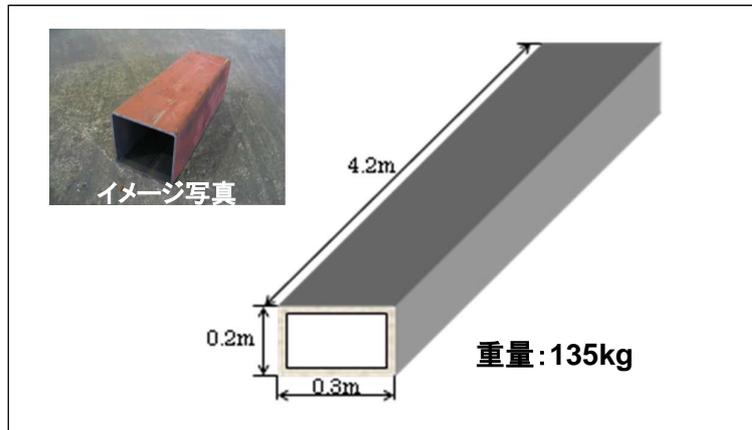
#### 32種類の代表飛来物を選定

鉄パイプ、電柱、マンホール蓋  
コンテナ、乗用車、トラック  
分解時のポンプ部品、鋼製材…

## 5.3 竜巻影響評価(②設計飛来物の設定(3/3))

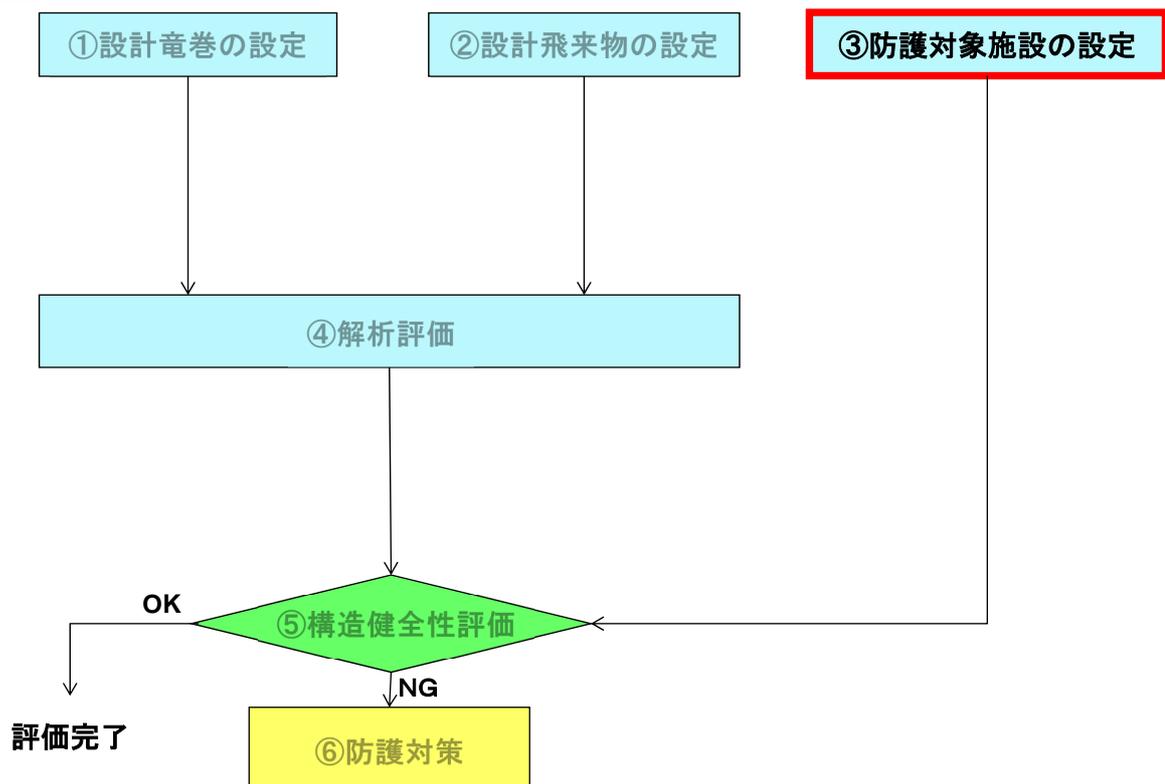
### (2)設計飛来物の設定

- 代表飛来物(32種類)の竜巻の解析評価を行い、運動エネルギーおよび貫通力が大きい飛来物である「鋼製材」を設計飛来物と設定



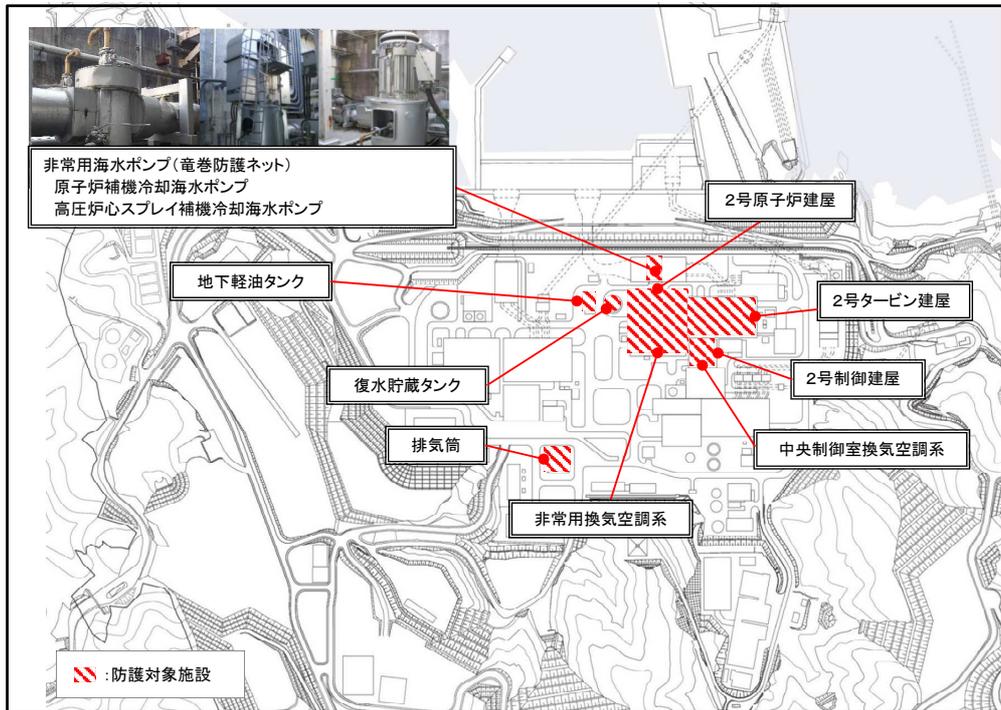
鋼製材(仕様)

## 5.4 竜巻影響評価(③防護対象施設の設定(1/3))



## 5.4 竜巻影響評価(③防護対象施設の設定(2/3))

- 防護対象施設は機器の重要度を踏まえて、竜巻の影響(屋外設備、外気と繋がる設備等)に基づき設定

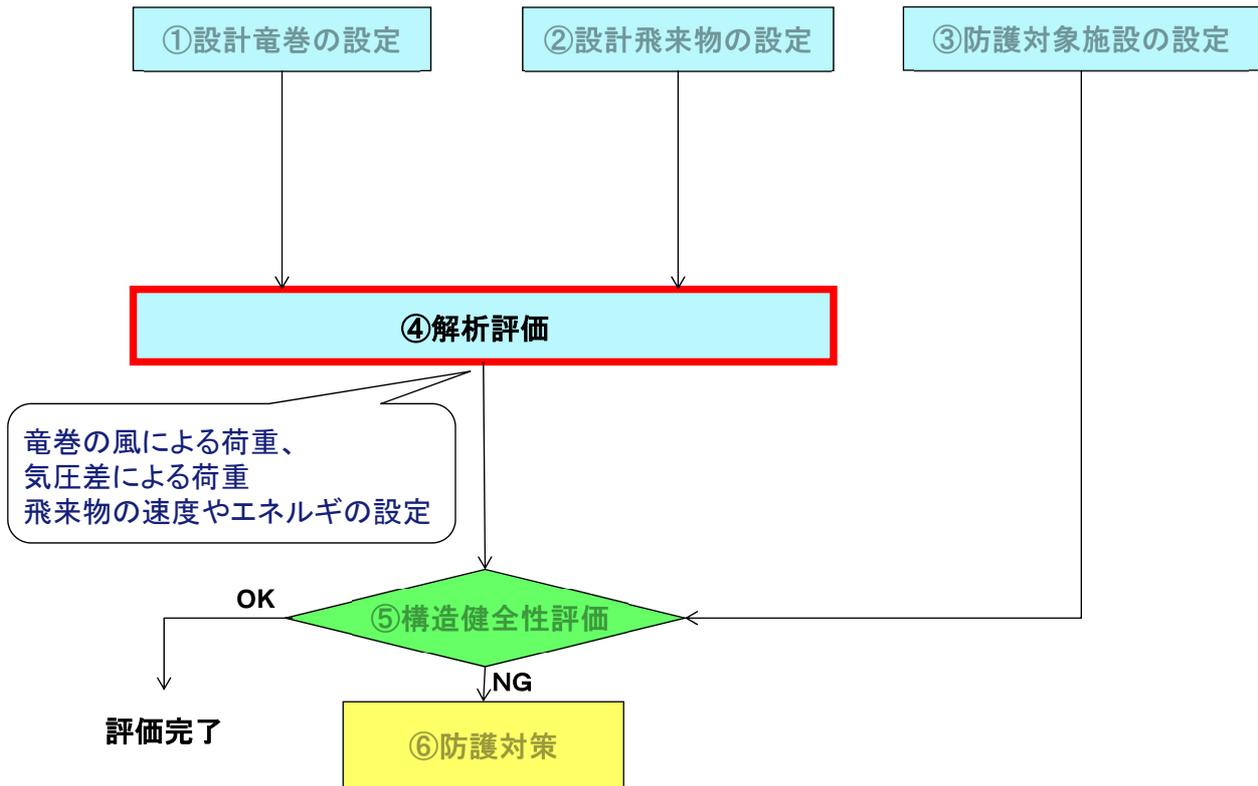


## 5.4 竜巻影響評価(③防護対象施設の設定(3/3))

- 竜巻による損傷モードを検討し、機器の構造を踏まえて評価を実施

防護対象施設		考慮する損傷モード
建屋内の重要機器の防護(外殻)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉建屋</li> <li>・タービン建屋</li> <li>・制御建屋</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・風荷重、気圧差荷重、飛来物が衝突することによる建屋、屋内設備の損傷</li> </ul>
外気と繋がる重要機器の防護	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中央制御室換気空調設備</li> <li>・非常用換気空調設備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・風荷重、気圧差荷重、飛来物が衝突することによる設備の損傷</li> </ul>
屋外設置の重要設備の防護	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下軽油タンク、ピット</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・風荷重、気圧差荷重、飛来物が衝突することによる設備の損傷</li> <li>・タンクは地下化されているため風荷重、飛来物の衝突荷重は受けない</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・復水貯蔵タンク</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・風荷重、気圧差荷重、飛来物が衝突することによる機器の損傷</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排気筒</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・風荷重、飛来物の衝突荷重による機器の損傷</li> <li>・開放されている構造のため、気圧差荷重を受けない</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非常用海水ポンプ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・竜巻の飛来物による損傷を考慮し、竜巻防護ネットを設置</li> <li>・風荷重、気圧差荷重による設備の損傷</li> </ul>

## 5.5 竜巻影響評価(④解析評価(1/2))



## 5.5 竜巻影響評価(④解析評価(2/2))

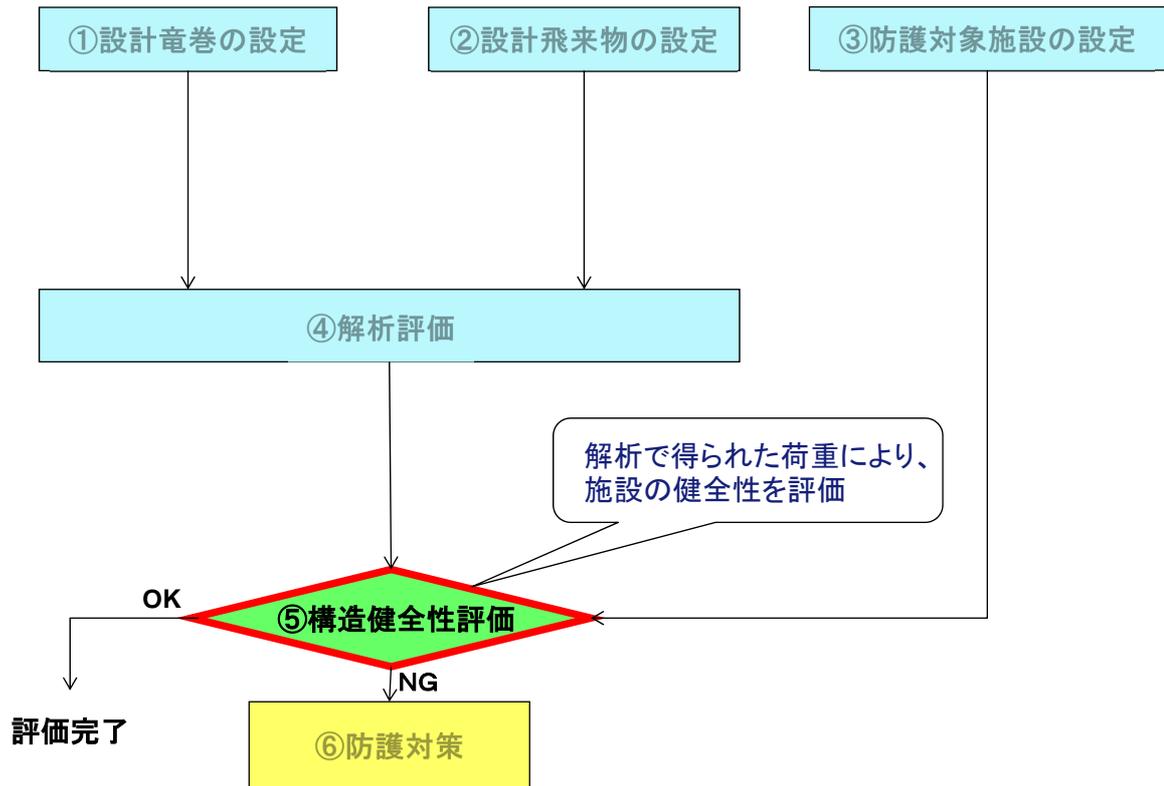
### ➤ 解析評価

- 設計竜巻風速(100m/s)により、評価対象施設に加わる**風荷重を算出**
- 竜巻の内部は気圧が低いため、外気との**気圧差による荷重を算出**
- 竜巻により吹き飛ばされた設計飛来物(鋼製材)が物体に衝突するときの**衝撃荷重を算出**

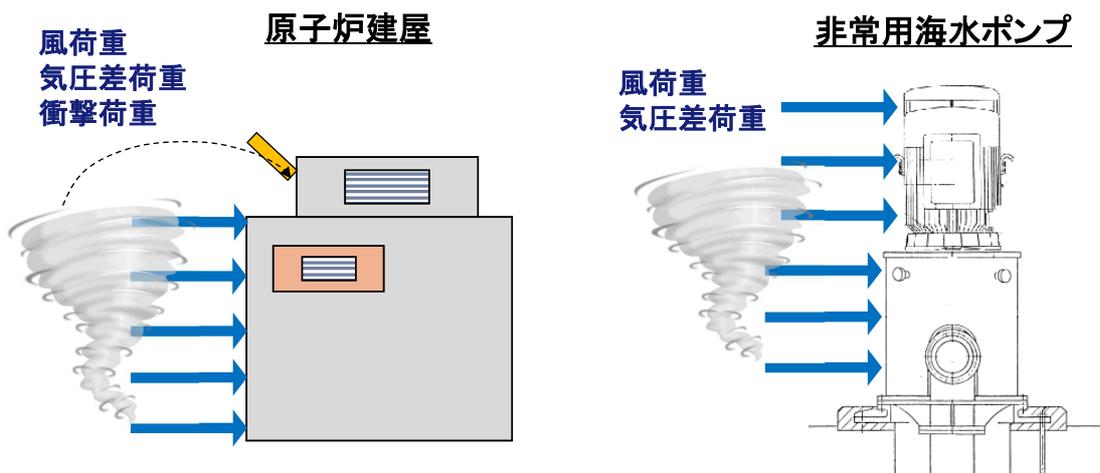
荷重条件		備考
風荷重	100m/sの風圧	建築基準法要求(30m/s)を大きく上回る条件
気圧差荷重	76hPaの気圧差	強い台風の中心気圧(約940hPa)並み
衝撃荷重 (飛来物の水平速度)	約46m/s(170km/h) の飛散速度	厚さ20cmのコンクリート板を貫通するほどの衝撃力を設定

評価対象施設への影響評価においては  
上記の荷重を組み合わせ実施

## 5.6 竜巻影響評価(⑤構造健全性評価(1/2))



## 5.6 竜巻影響評価(⑤構造健全性評価(2/2))

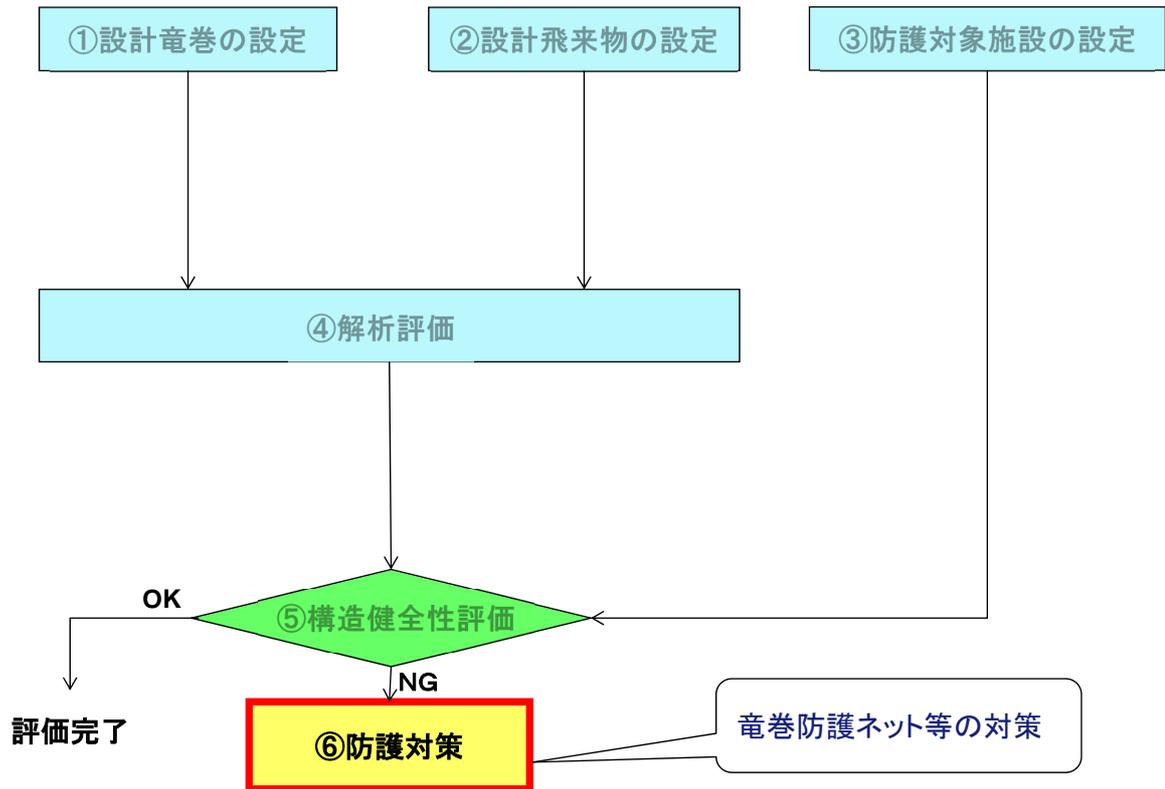


### 【竜巻に対する防護の設計方針】

- 設計荷重に対して構造健全性を維持すること
- 損傷した場合には、取替、補修が可能なこと
- 竜巻の波及的影響に対しても安全機能を損なわない設計とすること

設備の耐力などの詳細評価については、工事認可申請段階にて示していく

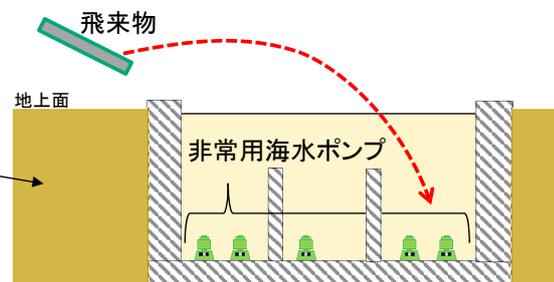
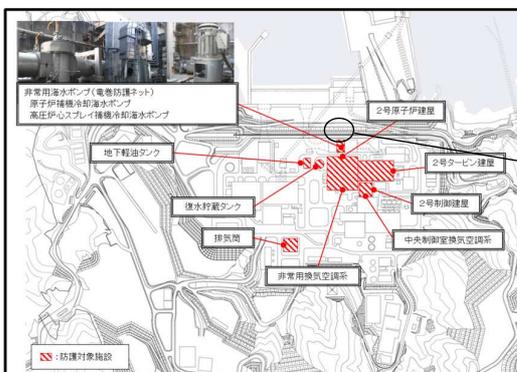
## 5.7 竜巻影響評価(⑥防護対策(1/5))



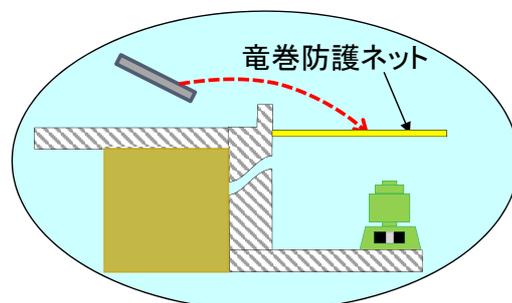
## 5.7 竜巻影響評価(⑥防護対策(2/5))

### 非常用海水ポンプの防護

- 屋外に設置している非常用海水ポンプが飛来物により損傷することを防止するために、竜巻防護ネットを設置する(現在審議中)



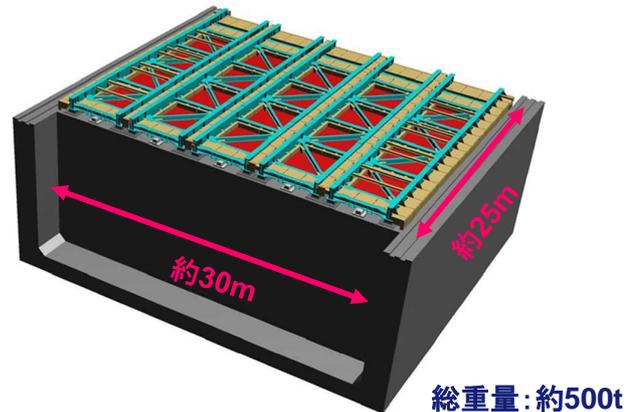
非常用海水ポンプが設置しているピット  
の上面に竜巻防護ネットを設置して、飛  
来物の侵入を阻止する



## 5.7 竜巻影響評価(⑥防護対策(3/5))

- 飛来物の大きな衝撃力を受けることを想定し、鋼製のフレームと鋼製のネット(3枚重ね)で構成
- 非常用海水ポンプの点検のために取外しができる分割構造

海水ポンプ室補機ポンプエリア



竜巻防護ネット(新設) 設置イメージ  
(現在設計中)

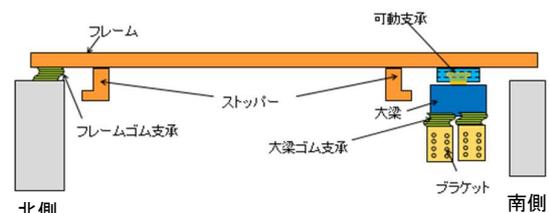
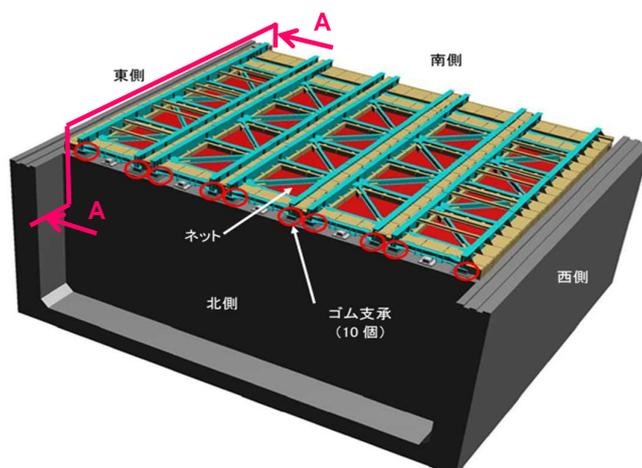
枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

## 5.7 竜巻影響評価(⑥防護対策(4/5))

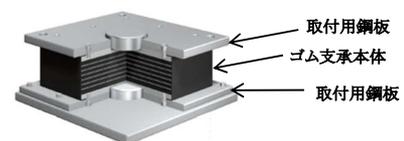
### 竜巻防護ネットの特徴

- 地震の影響を低減させる観点で、支持部にゴム支承※の採用を計画
- 竜巻防護ネットの要素にゴム支承を採用することは、女川2号炉が初めてであり、適合性審査の実績がないことから、特有の課題として、設計・構造成立性について説明中

※: 橋梁等で多く採用されており、地震時にゴムが変形することで、地震力を低減させる効果がある



A-A 断面

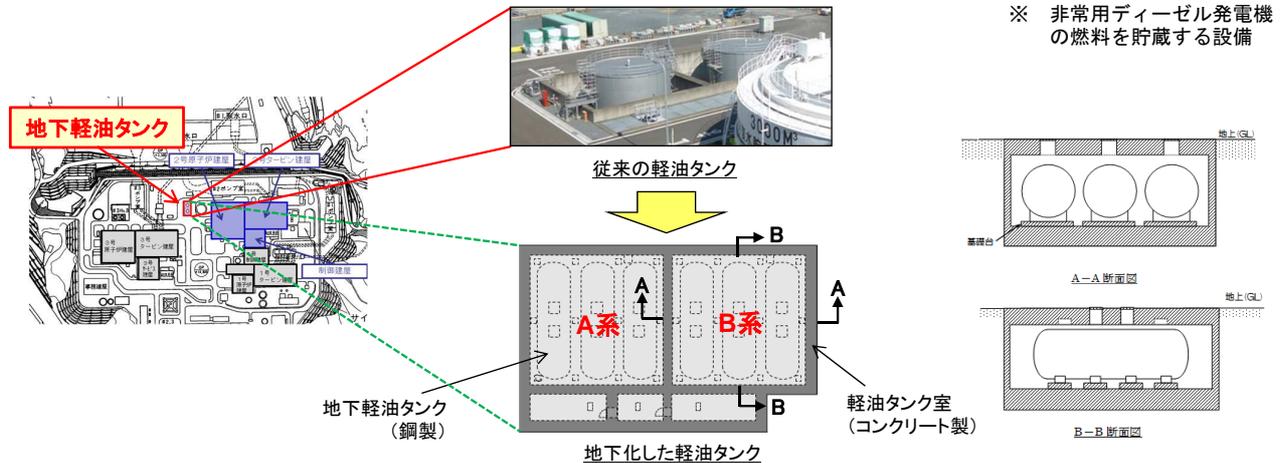


ゴム支承(イメージ)

## 5.7 竜巻影響評価(⑥防護対策(5/5))

### 軽油タンクの地下化

- 軽油タンク※に対する竜巻対策としては、申請当初、タンク周辺に防護ネットを設置する計画としていたが、先行プラントの審査状況を踏まえ、軽油タンクに対する外部火災による熱影響や地表面での火災発生を防止する観点から、軽油タンクを地下化することとした
- 竜巻や火山などの自然現象に対しても非常用ディーゼル発電機の信頼性が向上



- ・ 地下軽油タンクは、消防法に基づき設計しており、円筒型横置の鋼製タンクをコンクリート製の軽油タンク室内に設置している
- ・ 地下軽油タンク、軽油タンク室は竜巻等の荷重や基準地震動に対して耐震性を確保する設計としている。また系統分離(3基/系統×2系統)により信頼性を確保した設計としている

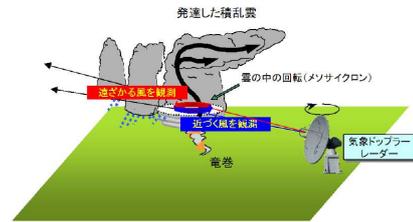
## 6. 竜巻防護の運用対策

## 6. 竜巻防護の運用対策(1/3)

- 気象庁が発表する竜巻関連の気象情報を踏まえ、竜巻運用対策の実施基準(竜巻警戒レベル)を定める

気象情報	頻度	情報の特徴
雷注意報(竜巻)	数時間前	竜巻が発生しやすい気象状況の周知
竜巻注意情報	直前・発生時	今まさに竜巻が発生しやすい気象状況を周知

上表に加え、気象庁の「竜巻発生確度ナウキャスト」、「雷ナウキャスト」などの詳細情報(10分更新)も活用



竜巻発生確度ナウキャストにおける気象ドップラーレーダーを用いた観測※1

- 竜巻運用対策の実施基準(竜巻警戒レベル)は竜巻関連の気象情報を考慮して段階的に策定する

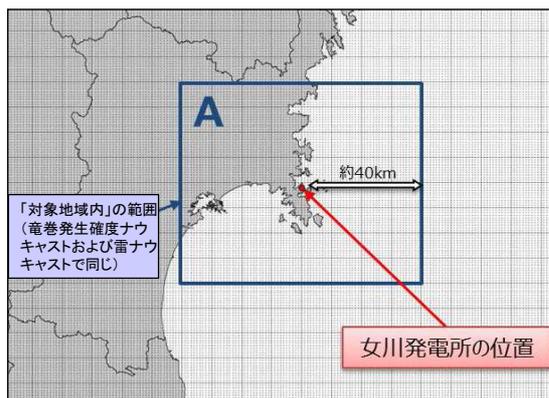
竜巻警戒レベル	運用対策(案)
低 (注意喚起レベル)	竜巻の発生の恐れがあることを周知し、予め屋外作業の中止検討や連絡体制の確認を行う
中 (対応準備レベル)	竜巻の発生の可能性が高いことを周知し、資機材の固縛や車両の避難準備を行う
高 (退避レベル)	竜巻の発生の可能性が非常に高いため、車両や人の避難を行う

※1: 気象庁HP「気象ドップラーレーダーによる観測」より引用

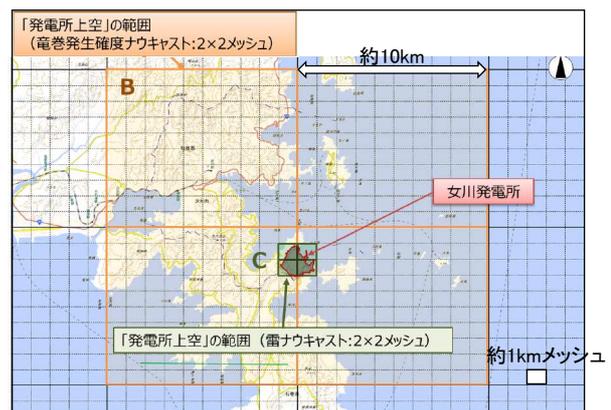
## 6. 竜巻防護の運用対策(2/3)

- 女川原子力発電所の周辺の竜巻関連の気象情報を収集し、竜巻警戒レベルを発令する

竜巻警戒レベル	発令条件(案)
低 (注意喚起レベル)	女川原子力発電所周辺の石巻市および女川町で雷注意報(竜巻)が発令
中 (対応準備レベル)	対象地域内(広域)(下図A)で竜巻発生確度ナウキャスト等による確度情報が発令
高 (退避レベル)	発電所上空(詳細)(下図B、C)で竜巻発生確度ナウキャスト等による確度情報が発令



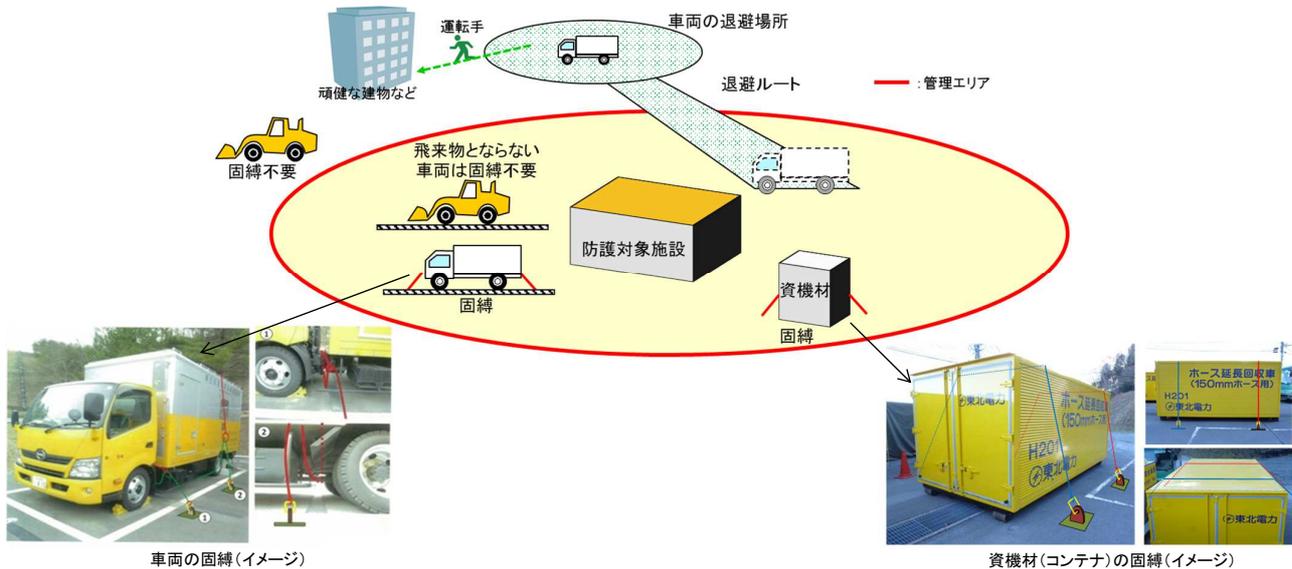
対象地域(広域)



発電所上空(詳細)

## 6. 竜巻防護の運用対策(3/3)

- 防護対象施設の周囲に管理エリアを設定し、管理エリアの範囲内には原則として、車両や資機材を配置しない運用とする
- 管理エリア内に車両や資機材を配置する場合には、解析評価を実施し、飛来物となる可能性がある場合には固縛対策を実施
- 車両を固縛せず停車させる場合は、即座に車両を移動できる体制を構築し、退避レベルとなった場合には退避場所に車両を移動



## 7. 適合性審査の状況

## 7. 適合性審査の状況

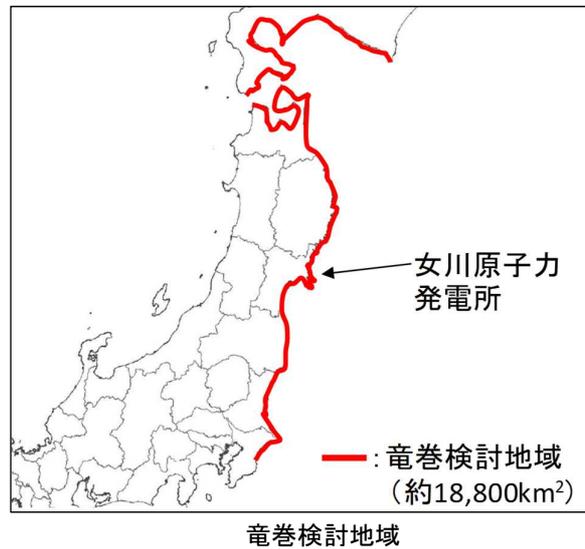
- 竜巻に対する設計方針について、当社はこれまでに審査会合を8回実施
- 審査では、飛来物の飛散評価手法の適用に対する先行プラントとの相違を踏まえた、妥当性に関して質問・指摘を受けて説明を実施。竜巻に対する全体的な設計方針に対する回答は概ね終了
- 竜巻防護ネットの設計方針についてご説明中  
(竜巻防護ネットの支持部にゴム支承等を用いる設計を計画中であるが、同様の設計に対する審査実績がないことを踏まえて、特有の課題として、設計・構造成立性について説明中)

主な質問・指摘事項	回答
竜巻影響評価における不確実性を踏まえて、適切な保守性が考慮されていることを示すこと	設計竜巻の設計において、日本での最大竜巻の実績や将来的な気候変動等を勘案し、100m/sを設定しており、評価全体の各プロセスにおいて保守性を確保している
飛来物の飛散評価手法(フジタモデル)の評価において不確かさを考慮して保守性を説明すること	実際の竜巻現象の不確かさ、飛散評価手法における不確かさを考慮して、パラメータ等の設定において保守性を確保している

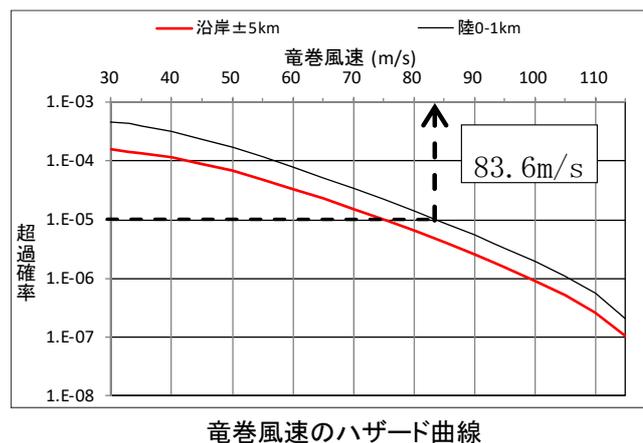
## 参考資料

竜巻ガイドに基づき、竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 ( $V_{B2}$ ) を求める

- 竜巻検討地域の設定
  - 気候区分等の確認結果を踏まえ、「北海道襟裳岬から千葉県九十九里町にかけて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



- 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 ( $V_{B2}$ )
  - 最大風速 ( $V_{B2}$ ) を算定するため、竜巻検討地域全域 (沿岸±5km) における竜巻の年発生数の確率分布を考慮して、ハザード曲線 (竜巻風速と年超過確率の関係) を求める
  - さらに、竜巻検討地域を1kmごとに細分化したエリア (陸側0~1km) におけるハザード曲線を求める
  - 竜巻ガイドを踏まえて、上記ハザード曲線における  $10^{-5}$ /年の風速値 (最大値) を  $V_{B2}$  と設定する
- 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 ( $V_{B2}$ ) は  $83.6\text{m/s}$  (陸側0~1km) とする



女川原子力発電所 2 号機の安全性に  
関する検討会 説明資料

---

論点番号 5 5  
(意見番号 6 3)

\* 論点番号 5 4 (意見番号 6 0) と重複する資料は省略



# 新規制基準適合性審査申請

＜(2)自然現象への対応について(その1)他＞

平成26年12月24日

東北電力株式会社

All rights Reserved. Copyrights © 2014, Tohoku Electric Power Co., Inc.



Tohoku Electric Power Co., Inc.

## 目次

1. 竜巻影響評価 (No.62関連)
2. 重大事故等対策の有効性評価 (No.68, 69関連)
3. 監視測定設備 (No.79関連)
4. 通信連絡設備 (No.79関連)



Tohoku Electric Power Co., Inc.

# 1. 竜巻影響評価 (No.62関連)



## 1. 竜巻影響評価

### 1. 竜巻検討地域の設定

- 女川原子力発電所から半径180km(10万km<sup>2</sup>)の範囲内の太平洋側海岸線に沿った海側5kmと陸側5kmの範囲

### 2. 基準竜巻の最大風速(V<sub>B</sub>)の設定

- 竜巻検討地域における過去最大の竜巻V<sub>B1</sub>と竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速V<sub>B2</sub>から基準竜巻の最大風速V<sub>B</sub>は69m/sと設定

### 3. 設計竜巻の最大風速(V<sub>D</sub>)の設定

- 発電所の立地する地形特性によりV<sub>B</sub>の割り増しは不要
- 設計竜巻の最大風速V<sub>D</sub>は69m/sと設定

### 4. 設計竜巻の特性値の設定

- 設計竜巻の最大風速V<sub>D</sub>等に基づいて移動速度, 最大気圧低下量等の特性値を設定

### 5. 設計竜巻荷重の設定

- 風圧力, 気圧差による圧力, 飛来物の衝撃荷重を設定

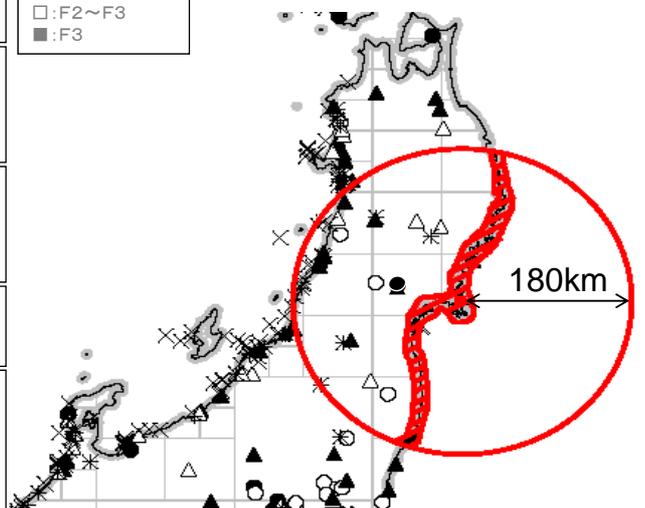
### 6. 施設の構造健全性等の確認

- 設計竜巻荷重に対して, 構造健全性等が維持され, 安全機能が維持されることにより, 安全施設の安全機能を損なうおそれがない設計
- 竜巻防護施設に影響を与える可能性のある飛来物に対しては, 防護ネットの設置や飛来物の固縛等実施の方針

#### 【凡例】

- (藤田スケール)  
 ×:不明  
 +:F0未満  
 ○:F0  
 △:F0~F1  
 ▲:F1  
 ●:F1~F2  
 ○:F2  
 □:F2~F3  
 ■:F3

スケール	風速
F0	17~32m/s(約15秒間の平均)
F1	33~49m/s(約10秒間の平均)
F2	50~69m/s(約7秒間の平均)
F3	70~92m/s(約5秒間の平均)
F4	93~116m/s(約4秒間の平均)
F5	117~142m/s(約3秒間の平均)



竜巻検討地域

拡大



## 2. 重大事故等対策の有効性評価 (No.68, 69関連)



### 2. 重大事故等対策の有効性評価(1/6)

- ◆ 確率論的リスク評価（PRA）の知見を活用して、想定する事故シーケンスグループ及び原子炉格納容器破損モードを抽出（評価するプラント状態は、これまで整備してきたアクシデントマネジメント策や福島第一原子力発電所事故以降に実施した各種対策等を考慮しない状態）

#### <PRAの実施範囲>

- 出力運転時内部事象レベル1（全炉心損傷頻度  $2.0 \times 10^{-5}$ /炉年）
- 出力運転時内部事象レベル1、5（格納容器破損頻度  $2.0 \times 10^{-5}$ /炉年）
- 地震レベル1、津波レベル1（全炉心損傷頻度 地震  $2.0 \times 10^{-5}$ /炉年 津波  $2.2 \times 10^{-5}$ /炉年）
- 停止時レベル1（全炉心損傷頻度  $9.8 \times 10^{-7}$ /定期検査）



「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」で指定される事故シーケンスグループ、原子炉格納容器破損モード以外のは抽出されず

- ◆ 想定する事故シーケンスグループ及び原子炉格納容器破損モードから、評価する事故シーケンス及び原子炉格納容器破損モードを想定し、重大事故等対策の有効性評価を実施
- ◆ 本評価において、1、3号機は停止中を想定

#### <有効性評価の内容>

- 炉心損傷防止対策の有効性評価
- 原子炉格納容器破損防止対策の有効性評価
- 使用済燃料プールにおける燃料損傷防止対策の有効性評価
- 運転停止中の原子炉における燃料損傷防止対策の有効性評価

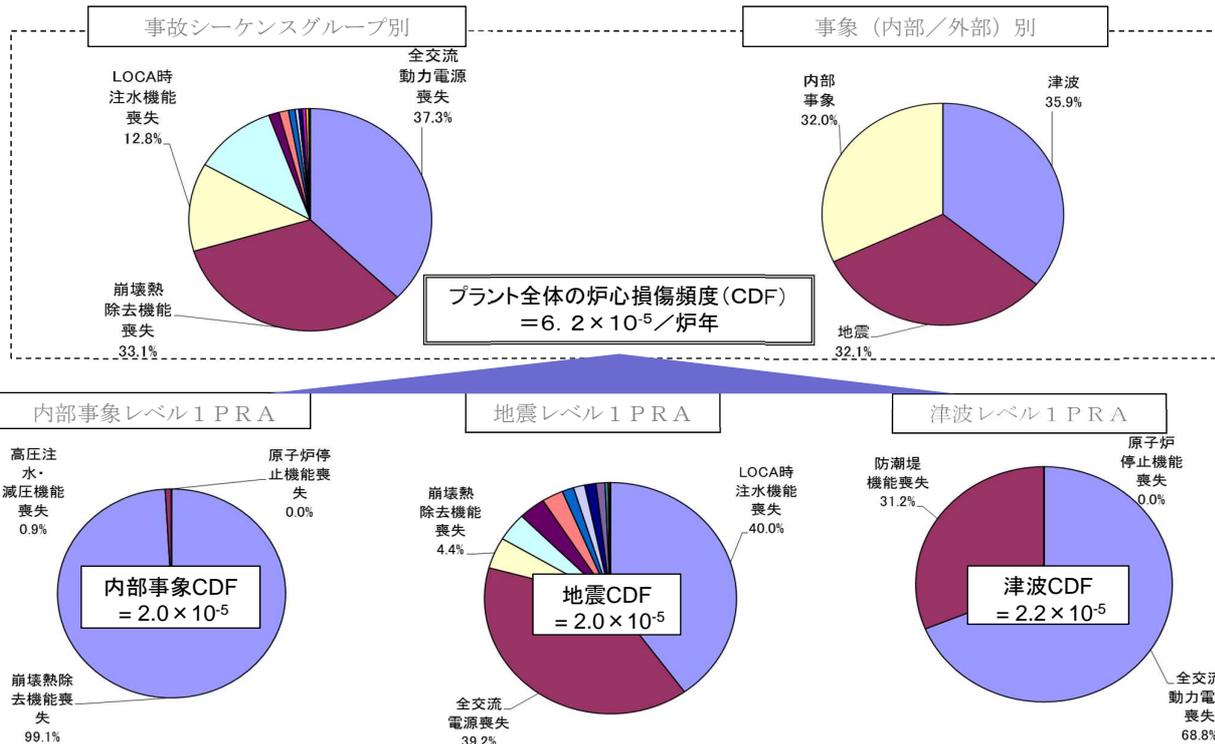


評価項目を満足することを確認



## 2. 重大事故等対策の有効性評価(2/6)

◆レベル1PRAの結果は以下のとおりであり、規則の解釈で指定された事故シーケンスグループ、原子炉格納容器破損モード以外のものは抽出されないことを確認した。



## 2. 重大事故等対策の有効性評価(3/6)

評価対象事故シーケンス及び計算コード(炉心損傷防止対策)

事故シーケンスグループ	重要事故シーケンス	重大事故等対処設備等	評価結果の概要 ( ): 判断基準値	使用計算コード
高圧・低圧注水機能喪失	全給水喪失+HPCS/RCIC機能喪失 +LPCI/LPCS機能喪失	・高圧代替注水系 ・低圧代替注水系(常設) ・原子炉格納容器代替スプレイ冷却系 ・原子炉格納容器圧力逃がし装置	・燃料被覆管最高温度(°C) 【原子炉停止機能喪失】約961 (1,200以下)	SAFER MAAP
高圧注水・減圧機能喪失	全給水喪失+HPCS/RCIC機能喪失 +原子炉減圧機能喪失	・代替自動減圧機能	・燃料被覆管の酸化量(%) 【原子炉停止機能喪失】1以下 (15以下)	SAFER MAAP
全交流動力電源喪失	外部電源喪失+非常用D/G等機能喪失	・原子炉隔離時冷却系 ・低圧代替注水系(常設) ・原子炉補機代替冷却系 ・所内常設蓄電式直流電源設備 ・常設代替交流電源設備	・原子炉圧力(MPa[gage]) 【原子炉停止機能喪失】約9.42 (10.34以下)	SAFER MAAP
崩壊熱除去機能喪失	取水機能喪失時	・原子炉隔離時冷却系 ・低圧代替注水系(常設) ・原子炉補機代替冷却系 ・常設代替交流電源設備	・格納容器最高圧力(MPa[gage]) 【LOCA時注水機能喪失】約0.427 (0.854以下)	SAFER MAAP
	残留熱除去系故障時	・原子炉隔離時冷却系 ・原子炉格納容器代替スプレイ冷却系 ・原子炉格納容器圧力逃がし装置		SAFER MAAP
原子炉停止機能喪失	主蒸気隔離弁の誤閉止+スクラム失敗	・代替原子炉再循環ポンプトリップ機能 ・ほう酸水注入系 ・制御棒挿入機能喪失時の自動減圧系作動阻止機能 ・原子炉隔離時冷却系	・格納容器最高温度(°C) 【崩壊熱除去機能喪失 (残留熱除去系故障時)】約154 (200以下)	REDY SCAT
LOCA時注水機能喪失	中小破断LOCA時	・高圧代替注水系 ・低圧代替注水系(常設) ・原子炉格納容器代替スプレイ冷却系 ・原子炉格納容器圧力逃がし装置 ・常設代替交流電源設備	・敷地境界外での実効線量(mSv) 【LOCA時注水機能喪失】約1.2 (5以下)	SAFER MAAP
格納容器パイパス	弁開閉試験時のHPCS配管のIS-LOCA	・原子炉隔離時冷却系		SAFER



## 2. 重大事故等対策の有効性評価(4/6)

### 評価対象事故シーケンス及び計算コード(格納容器破損防止対策)

格納容器破損モード	評価事故シーケンス	重大事故等対処設備等	評価結果の概要 ( ):判断基準値	使用計算 コード
雰囲気圧力・温度による静的負荷 (格納容器過圧・過温破損)	大破断LOCA+HPCS/RCIC機能喪失 +LPCI/LPCS機能喪失+RHR機能喪失	・低圧代替注水系(常設) ・原子炉格納容器代替スプレイ冷却系 ・原子炉格納容器圧力逃がし装置 ・常設代替交流電源設備	・格納容器最高圧力(MPa <sub>g</sub> ) 約0.854にてベント実施 (0.854) ・格納容器最高温度(°C) 約187(200以下) ・Cs-137総放出量(TBq) 約 $2.6 \times 10^{-5}$ (100以下)	MAAP
高圧溶融物放出 /格納容器雰囲気直接加熱	全給水喪失+HPCS/RCIC機能喪失 +LPCI/LPCS機能喪失+RHR機能喪失	(主蒸気逃がし安全弁による原子炉減圧)	・原子炉圧力容器破損時の原子炉圧力 (MPa <sub>g</sub> ) 約0.5(2.0以下)	MAAP
原子炉圧力容器外の溶融燃料 -冷却材相互作用	全給水喪失+HPCS/RCIC機能喪失 +LPCI/LPCS機能喪失+RHR機能喪失	-	・溶融炉心が原子炉格納容器下部へ落下する 際の圧力上昇は、原子炉格納容器の健全性に 影響を与えない。	MAAP
水素燃焼	大破断LOCA+HPCS/RCIC機能喪失 +LPCI/LPCS機能喪失+RHR機能喪失	(窒素置換による原子炉格納容器の不活 性化)	・格納容器内の酸素濃度(vol%) 約3.7(5以下)	MAAP
格納容器直接接触 (シールドアタック)	(原子炉圧力容器から落下した溶融炉心が原子炉格納容器バウンダリに直接接触することはない構造)			-
溶融炉心・コンクリート相互作用	全給水喪失+HPCS/RCIC機能喪失 +LPCI/LPCS機能喪失+RHR機能喪失	・原子炉格納容器下部注水系(常設) ・常設代替交流電源設備	・溶融炉心による侵食により原子炉格納容器の 構造部材の支持機能が喪失しない。	MAAP



## 2. 重大事故等対策の有効性評価(5/6)

### 評価対象事故シーケンス(使用済燃料プールにおける燃料損傷防止対策)

想定事故	評価事故シーケンス	重大事故等対処設備等	評価結果の概要	使用計算 コード
想定事故1	使用済燃料プールの冷却機能及び注水機能の 喪失	・燃料プール代替注水系	・水位低下が厳しい【想定事故2】にお いても、通常運転水位から約0.5m低 下するとどまり、燃料は露出すること なく、放射線の遮へい、未臨界の維持 は確保される。	-
想定事故2	SFP冷却系及び補給水系の故障 +サイフォン現象(燃料プール冷却浄化系 配管全周破断)による漏えい	・燃料プール代替注水系 ・サイフォンブレイク孔		-

### 評価対象事故シーケンス及び使用計算コード(運転停止中の原子炉における燃料損傷防止対策)

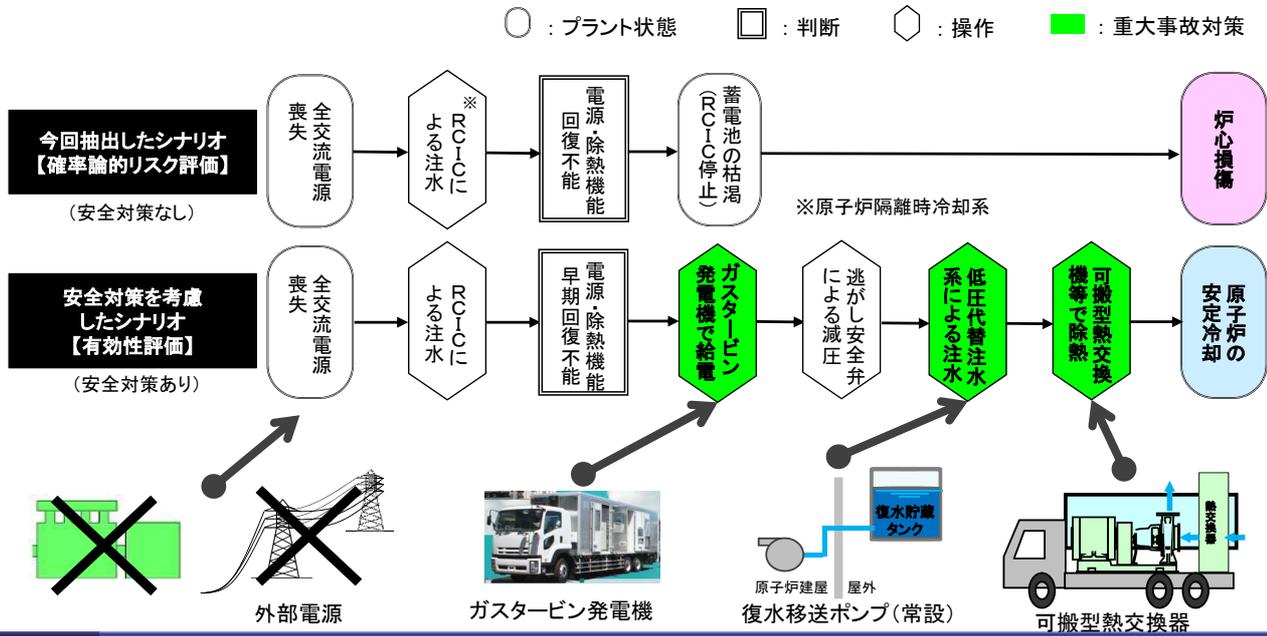
事故シーケンスグループ	重要事故シーケンス	重大事故等対処設備等	評価結果の概要	使用計算 コード
崩壊熱除去機能喪失	運転中RHR機能喪失	・待機中RHR(LPCIモード)	・水位低下が厳しい【崩壊熱除去機能喪 失】においても、燃料有効長頂部の約4. 2m上まで低下するとどまり、燃料は 露出することなく、放射線の遮へいの維 持は確保される。	-
全交流動力電源喪失	全交流動力電源喪失 +RCW/RSW機能喪失	・低圧代替注水系(常設) ・原子炉補機代替冷却系 ・常設代替交流電源設備		-
原子炉冷却材の流出	RHRミニマムフロー弁の閉失敗に 伴う原子炉冷却材の流出	・待機中RHR(LPCIモード)		-
反応度の誤投入	制御棒の誤引抜	-	・燃料の健全性に影響を与えない一時 的かつ僅かな出力上昇を伴う臨界で あり、スクラム後は未臨界が確保され る。 ・燃料は露出することなく冷却可能	APEX SCAT



## 2. 重大事故等対策の有効性評価(6/6)

### 有効性評価の例

(全交流電源喪失の場合) 今回抽出したシナリオに対し、「ガスタービン発電機, 可搬型熱交換器, 低圧代替注水系」の新たな対策を講じることにより, 重大事故(炉心損傷)を回避。



## 3. 監視測定設備(No.79関連)



### 3. 監視測定設備

- ◆ 原子炉施設の重大事故等が発生した場合において、原子炉施設及びその周辺（原子炉施設の周辺海域を含む。）において、原子炉施設から放出される放射性物質の濃度及び放射線量を監視、測定、記録するため、並びに原子炉施設において風向、風速等を測定、記録するため以下の設備を配備

#### ➤ 放射線監視設備

- モニタリングポスト: 6基
- 放射能観測車: 1台
- 可搬型代替モニタリング設備: 10台 (追加配備)

#### ➤ 気象観測設備

- 気象観測設備: 1式
- 代替気象観測設備: 1式 (追加配備)

【放射能観測車】

(外観)



(搭載機器)

- γ線サーベイメータ
- ダストサンプラ
- よう素モニタ
- 風向風速計
- 無線通話装置

【可搬型代替モニタリング設備】

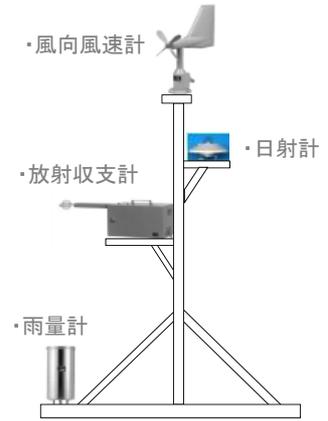
(外観)



(検出器)

- シンチレーション
- 半導体

【代替気象観測設備】



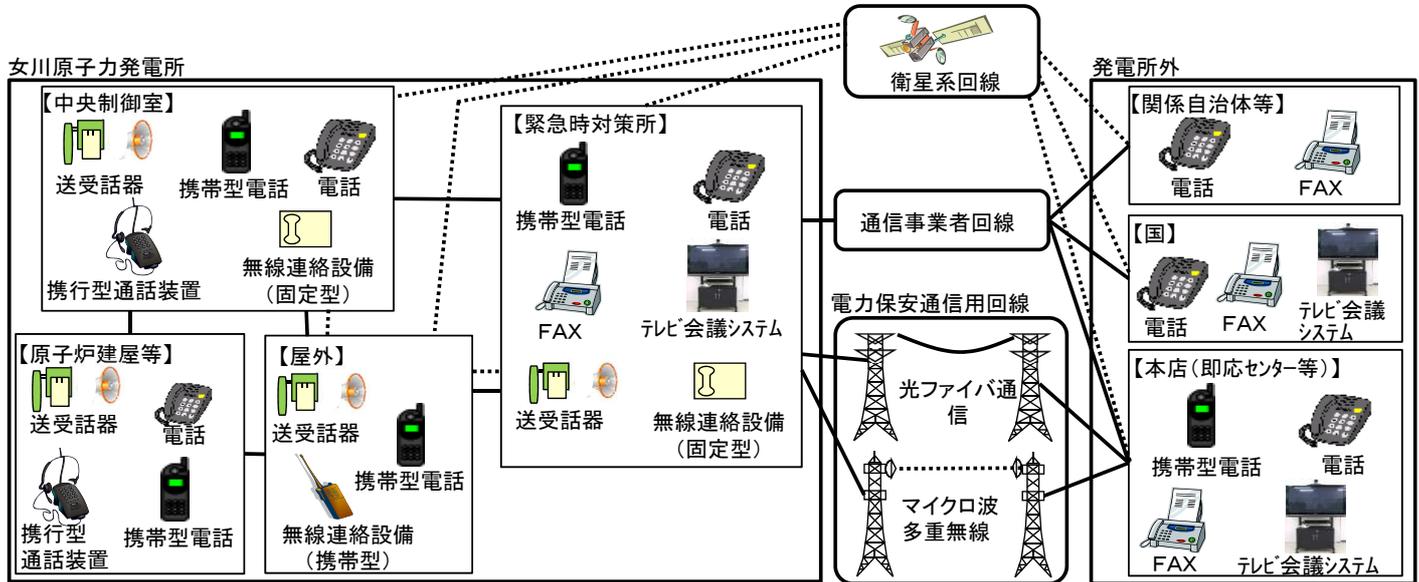
### 4. 通信連絡設備 (No.79関連)



## 4. 通信連絡設備

◆ 重大事故等が発生した場合において、発電所内及び所外必要箇所との通信連絡を行うために、以下の設備を配備

- 発電所内は、中央制御室及び緊急時対策所に送受話器、電力保安通信用電話設備、衛星電話設備及び無線連絡設備を設置し、多様性を有した通信連絡手段を確保
- 所外必要箇所とは、緊急時対策所に局線加入電話設備、電力保安通信用電話設備、統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備及び衛星電話設備を設置し、多様性を有した通信連絡手段を確保



## [付録] 略語集



略語	名称	略語	名称
HPCS	高圧炉心スプレイ系	LOCA	原子炉冷却材喪失
LPCS	低圧炉心スプレイ系	IS-LOCA	インターフェイスシステム冷却材喪失
LPCI	低圧注水系	SFP	使用済燃料プール
RCIC	原子炉隔離時冷却系	SAFER	長期間熱水力過渡変化解析コード
RCW	原子炉補機冷却系	MAAP	シビアアクシデント総合解析コード
RSW	原子炉補機冷却海水系	REDY	プラント動特性解析コード
RHR	残留熱除去系	SCAT	単チャンネル熱水力解析コード
MSIV	主蒸気隔離弁	APEX	反応度投入事象解析コード



## 【関連質問への回答】

## 新規制基準適合性審査申請

## 設計基準対処施設

## ＜(3)その他の自然現象＞

## 竜巻

(No.63関連)

令和2年2月7日

東北電力株式会社

All rights reserved. Copyrights © 2020, Tohoku Electric Power Co., Inc.

## コメント回答(No.63; 竜巻ハザード曲線)(1/4)

1

## 【意見No.63関連質問】

確率論的に求めた竜巻に関して、ハザード曲線の求め方やその考え方を別途説明して欲しい。

【長谷川副座長】

- 竜巻最大風速の年超過確率のハザード曲線は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(以下「竜巻影響評価ガイド」という。)の手法に基づき求めている。この竜巻影響評価ガイドは、米国NRCの竜巻ハザードに係るガイドラインを参考にしてている。
- 竜巻影響評価ガイドが参考とした、米国NRCの竜巻ハザードに係るガイドラインでは、竜巻の観測記録に基づき、竜巻の発生数のポアソン分布またはポリヤ分布への適合性および竜巻の諸元である風速、被害幅、被害長さの対数正規分布への適合性を確認しており、これらの確認結果に基づき竜巻最大風速のハザード曲線の求め方を定めている。
- 国内の竜巻の観測記録に対しても、竜巻の発生数はポアソン分布またはポリヤ分布に適合すること、また、竜巻の諸元である風速、被害幅、被害長さは対数正規分布に適合することが、東京工芸大学による調査研究<sup>1)</sup>にて確認されている。
- 図1に竜巻の発生数のポアソン分布またはポリヤ分布への適合性について、図2に竜巻の諸元の対数正規分布への適合性について示す。

1) 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

- 国内の竜巻の観測記録に対しても、竜巻の年発生数はポアソン分布またはポリヤ分布に良く適合することが確認されている。
- ポアソン分布とポリヤ分布では、ポリヤ分布の方が適合性が高いことが確認されている。

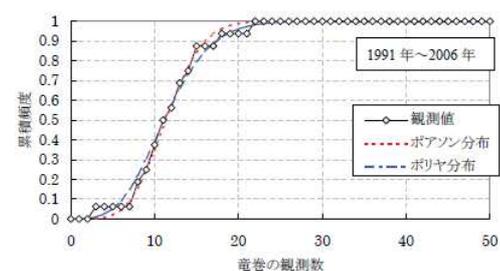
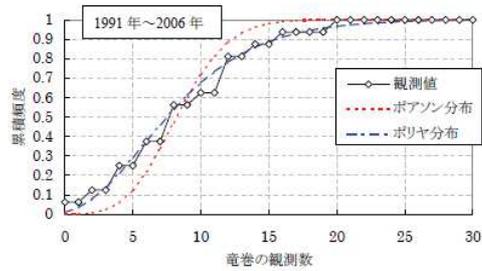
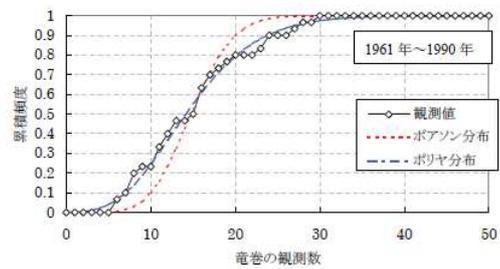
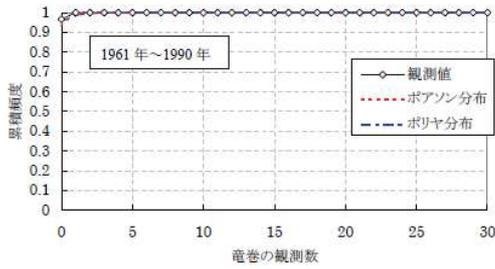


図 2.1.24 海上竜巻の累積頻度と、ポアソン分布およびポリヤ分布との比較 (上: 1961年～1990年, 下: 1991年～2006年)

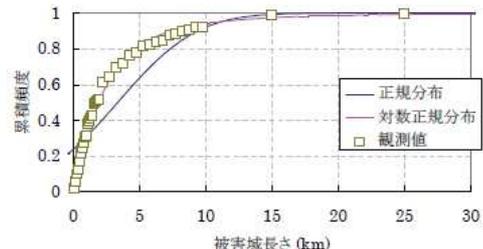
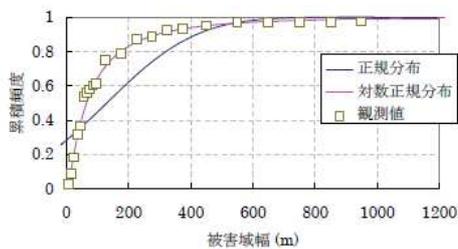
図 2.1.25 陸上で発生した竜巻と海上から上陸した竜巻の累積頻度とポアソン分布、およびポリヤ分布の比較 (上: 1961年～1990年, 下: 1991年～2006年)

出典: 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

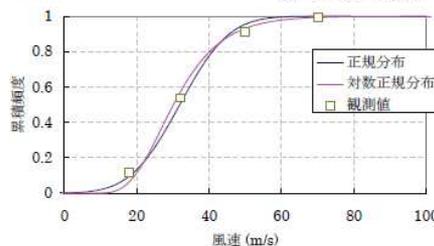
図1 竜巻の発生数のポアソン分布またはポリヤ分布への適合性について

- 国内の竜巻の観測記録に対しても、竜巻の諸元(竜巻最大風速, 被害幅, 被害長さ)は対数正規分布に良く適合することが確認されている。



(a) 被害域幅(m) (平均値: 130m, 変動係数: 1.74, サンプル数 321)

(b) 被害域長さ(km) (平均値: 3.4km, 変動係数: 1.41, サンプル数 325)



(c) 竜巻風速(m/s) (平均値: 31.9m/s, 変動係数: 0.34, サンプル数 375)

図 2.1.1.26 被害域幅(m), 被害域長さ(km), および竜巻風速(m/s)の累積頻度と、正規分布および対数正規分布との比較 (1961年1月～2008年12月)

出典: 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

図2 竜巻の諸元の対数正規分布への適合性について

- 竜巻最大風速のハザード曲線の求め方の概要を以下に示す。基準竜巻の最大風速( $V_B$ )のうち確率的に求めた竜巻の最大風速( $V_{B2}$ )は86.7m/sとなる。
- 上記 $V_{B2}$ および\*日本における竜巻観測記録の既往最大値( $V_{B1}$ )92m/sを踏まえ、竜巻に対する防護設計を行う際の設計竜巻の最大風速( $V_D$ )は、保守的に100m/sとしている。  
\*当日の配付資料に誤記があったため修正

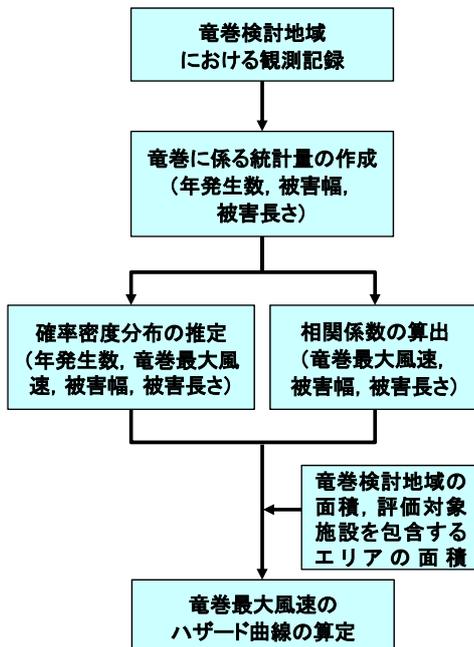


図3 竜巻最大風速のハザード曲線の求め方

【竜巻検討地域における観測記録】

- 竜巻検討地域(北海道襟裳岬~千葉県九十九里町)における竜巻観測記録(1961年~2012年6月)を参照。

【竜巻に係る統計量の作成】

- 竜巻観測記録(1961年~2012年6月)に基づき、竜巻の発生数、被害幅、被害長さについて、期間内における発生数、平均値、標準偏差をFスケール別に集計し統計量を作成。
- 統計量は、Fスケール不明の海上竜巻を陸上竜巻のFスケール別発生比率で按分する等により保守的に算出。

【確率密度分布の推定】

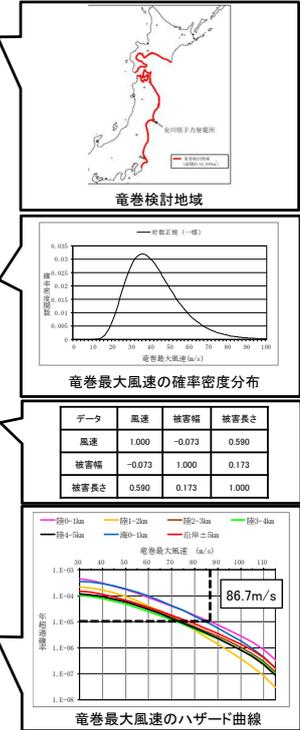
- 竜巻に係る統計量に基づき、確率密度分布を推定。
- 竜巻の年発生数については、適合性の高いポリア分布により、竜巻最大風速、被害幅、被害長さについては、対数正規分布により確率密度分布を算定。<sup>1)</sup>

【相関係数の算出】

- 竜巻最大風速のハザード曲線の算定のため、竜巻に係る統計量(発生数、平均値、標準偏差)に基づき、竜巻最大風速に対する被害幅、被害長さの相関係数を算出。

【竜巻最大風速のハザード曲線の算定】

- 竜巻最大風速、被害幅、被害長さの確率密度分布、竜巻最大風速に対する被害幅、被害長さの相関係数、竜巻検討地域の面積および評価対象施設を包含するエリアの面積に基づき、女川発電所における竜巻最大風速の年超過確率を算出。
- $V_{B2}$ は、竜巻検討地域および1kmごとに細分化したエリアに対し求めた竜巻最大風速のハザード曲線のうち最も保守的な結果を与えるものとして、海岸線から陸側0km~1kmを対象とした場合の86.7m/sを設定。



- 藤田スケール(Fスケール) : 竜巻などの突風により発生した被害の状況から風速を大まかに推定する尺度。
- ポアソン分布 : 確率分布の一つ。生起確率が正確に分らないまれな現象の場合に有用。
- ポリヤ分布 : ポアソン分布を一般化したもの。発生状況が必ずしも独立でないまれな現象の場合に有用。
- 竜巻検討地域 : 原子力発電所が立地する地域及び竜巻発生 viewpoint から気象条件等が類似の地域。
- 被害長さ : 竜巻による被害を受けた範囲の、竜巻の移動方向の長さ。
- 被害幅 : 竜巻による被害を受けた範囲の、竜巻の移動方向と垂直な方向の長さ。
- 最大竜巻風速のハザード曲線 : 竜巻風速に対する超過確率の関係を示した曲線。

表1 各藤田スケールの竜巻風速の範囲

藤田スケール (Fスケール)	竜巻風速(m/s)	
	下限	上限
F0	17	32
F1	33	49
F2	50	69
F3	70	92
F4	93	116
F5	117	142

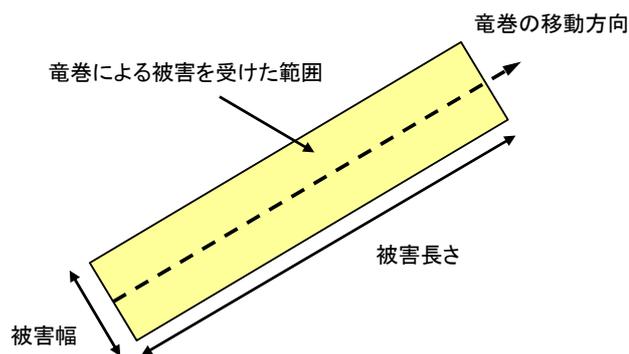


図1 被害長さおよび被害幅



女川原子力発電所 2 号機の安全性に  
関する検討会 説明資料

論点番号 5 6  
(意見番号 6 4)

\* 資料は論点番号 5 4 (意見番号 6 0) および  
論点番号 4 1 (意見番号 6 2) と重複するため省略

