

竜巻対策に対する取組み

～川内原子力発電所における竜巻対策について～

九州電力(株)

平成28年10月21日



目次

1. はじめに	.....	1
2. 竜巻対策の目的	.....	2
3. 防護対策施設	.....	3
4. 飛来物発生防止対策の考え方	.....	5
5. 飛来物発生防止対策(固縛)	.....	6
6. 飛来物発生防止対策(退避)	.....	9
7. 気象情報に応じた竜巻注意喚起、竜巻準備体制の発令	.....	10
8. 玄海原子力発電所における竜巻対策	.....	11
(参考資料1)想定する竜巻の根拠	.....	12
(参考資料2)設計飛来物の設定根拠	.....	13
(参考資料3)飛来物対策区域及び横滑り対策区域の設定根拠	.....	14
(参考資料4)竜巻注意喚起及び竜巻準備体制の判断の考え方	.....	15

1. はじめに

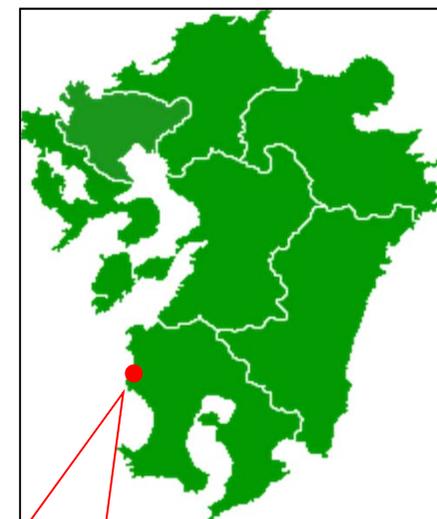
川内原子力発電所の概要

	1号機	2号機
位置	鹿児島県薩摩川内市久見崎町	
用地面積	約145万m ² (埋立面積10万m ² を含む)	
電気出力	89万kW	89万kW
営業運転開始	昭和59年7月4日	昭和60年11月28日



新規制規準適合性審査の対応状況

	1号機	2号機
設置許可日	平成26年9月10日許可	
工事計画認可日	平成27年3月18日認可	平成27年5月22日認可
発電再開日 (新規制基準施行後)	平成27年8月14日	平成27年10月21日



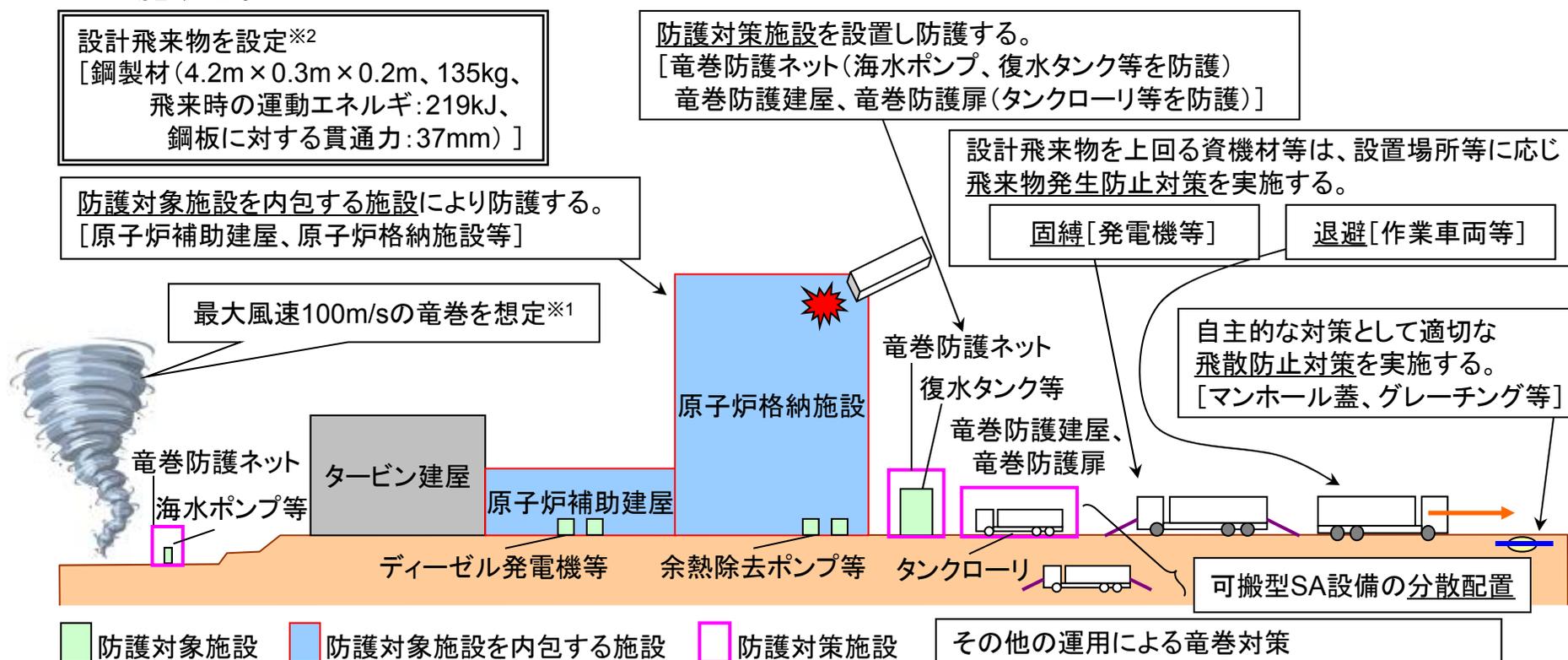
川内原子力発電所

原子力規制委員会の新規制規準適合性審査における初の合格プラント

2. 竜巻対策の目的

○竜巻対策の目的

竜巻により設計基準対象施設の安全機能、及び重大事故等対処施設の重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれないよう、重要度分類のクラス1及びクラス2に所属する施設(以下「防護対象施設」という。)及び重大事故等対処設備(以下「SA設備」という。)を竜巻の風圧力による荷重、飛来物の衝突荷重等から防護するため、竜巻対策を実施する。



※1: 想定する竜巻の根拠はp12の「参考資料1」を参照

※2: 設計飛来物の設定根拠はp13の「参考資料2」を参照

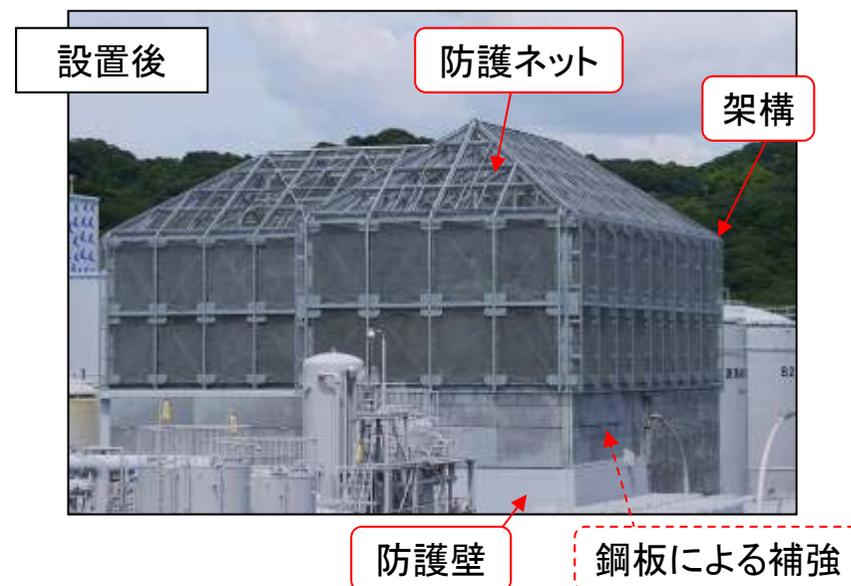
3. 防護対策施設

○竜巻防護ネット

防護ネット：鋼製のネット(50mm目合い×2~7枚)を海水ポンプ、復水タンク等の防護に使用している。

架 構：設計飛来物により貫通が生じない設計、及び防護対象施設に波及的影響を与えないように転倒及び脱落しない設計とした。

防 護 壁：設計飛来物の衝突により貫通、裏面剥離が生じないよう増し打ち、嵩上げを行う設計、及び防護対象施設に波及的影響を与えないように転倒及び脱落しない設計とした。また、必要により鋼板により補強した。



竜巻防護ネットの例(屋外タンクエリア)

○竜巻防護建屋、竜巻防護扉（タンクローリ車庫）

防護対象施設であるディーゼル発電機に波及的影響を及ぼす可能性があるタンクローリを竜巻から防護するために、想定する竜巻の風圧力による荷重、飛来物の衝突荷重等に耐える設計とした。



竜巻防護建屋、竜巻防護扉の例（タンクローリ車庫）

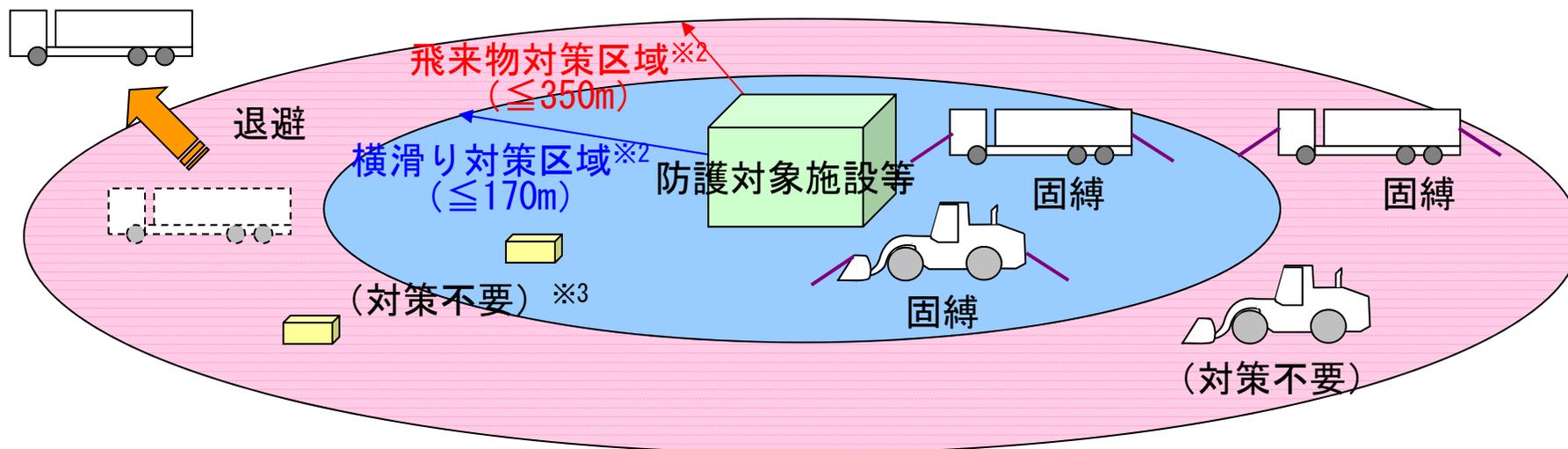
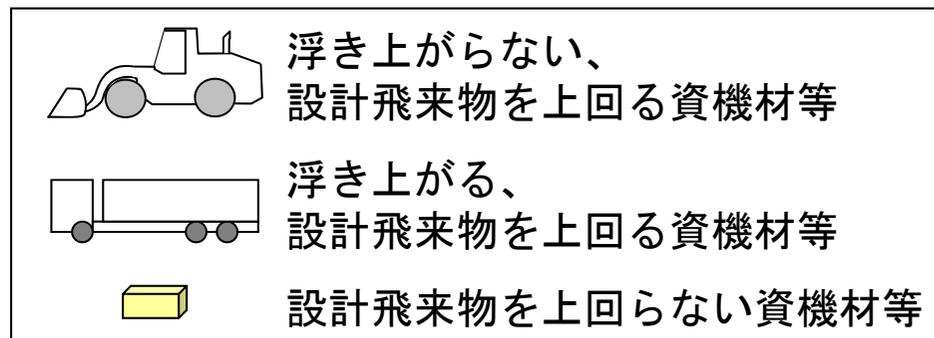
4. 飛来物発生防止対策の考え方

防護対象施設等に衝突する可能性がある資機材等※1で、飛来時の運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物を上回るもの



飛来物発生防止対策を実施
[固縛、退避 等]

※1：横滑り区域内にある資機材等及び
横滑り区域外～飛来物対策区域内にある浮き上がる資機材等



※2：詳細はp14の「参考資料3」を参照

※3：自主的に適切な飛散防止対策を実施し、可能な範囲で飛来物となる資機材等を低減する

5. 飛来物発生防止対策(固縛)

	固縛方式
地震後の機能維持が要求される資機材等	たるみ付き固縛※1※2
地震後の機能維持が要求されない資機材等	たるみ付き固縛※2又は緊張固縛

※1:地震の評価において実施した加振試験の結果に影響を与えないようたるみ付き固縛を実施している。ただし、加振試験を「拘束した状態」で実施した場合、緊張固縛とすることも可能。

※2:竜巻準備体制発令時(詳細はp15の「参考資料4」を参照)にたるみを巻き取ることで、竜巻の風圧力による荷重により固縛対象の転倒や衝撃荷重の発生を防止する。



たるみ付き固縛の例
(可搬型ディーゼル注入ポンプ)



緊張固縛の例
(コンテナ)

○固縛の設計において考慮すべき事項

①風向き

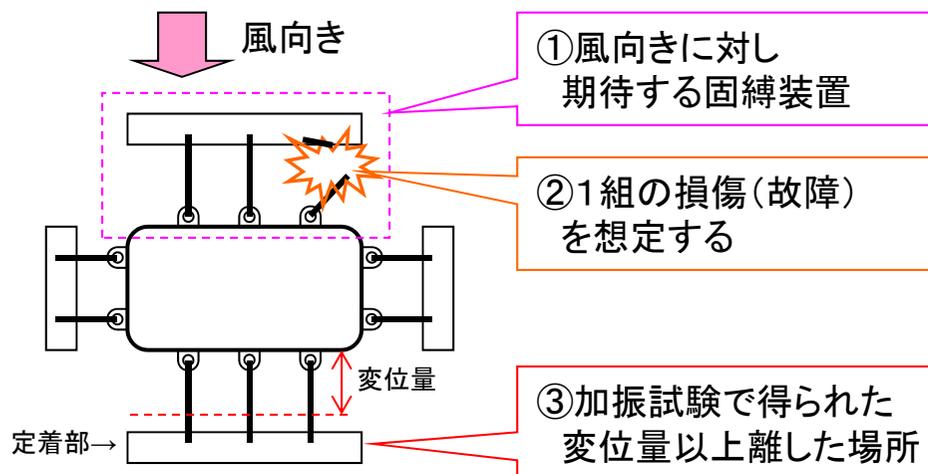
あらゆる方向から風圧力による荷重を受けることを考慮し、固縛装置を資機材等の4面に設置している。固縛装置の強度評価においては、風上側の固縛装置のみを期待する。

②固縛装置の損傷（故障）

1面に設置している固縛装置のうち1組が、飛来物による損傷又はたるみ巻取装置の故障を想定しても残りの固縛装置で拘束状態を維持できる設計とする。

③固縛装置の定着部の位置

耐震評価の加振試験で得られた変位量（すべり量）以上離れた場所に設置する。



○たるみ巻取装置の概要

固縛対象数が多いことから、たるみの巻き取りは電動式で一括に行えるようにしている。
また、拘束要員を24時間待機させている。

主な構成：レバーホイスト（レバーブロック）の送りハンドルに電動ドリルを設置。
可搬型発電機×2台（専用の電源の多重化）
また、大容量空冷式発電機の固縛装置に対しては、可搬型発電機に加え
所内用電源からも供給可能とする（電源の多様化）。



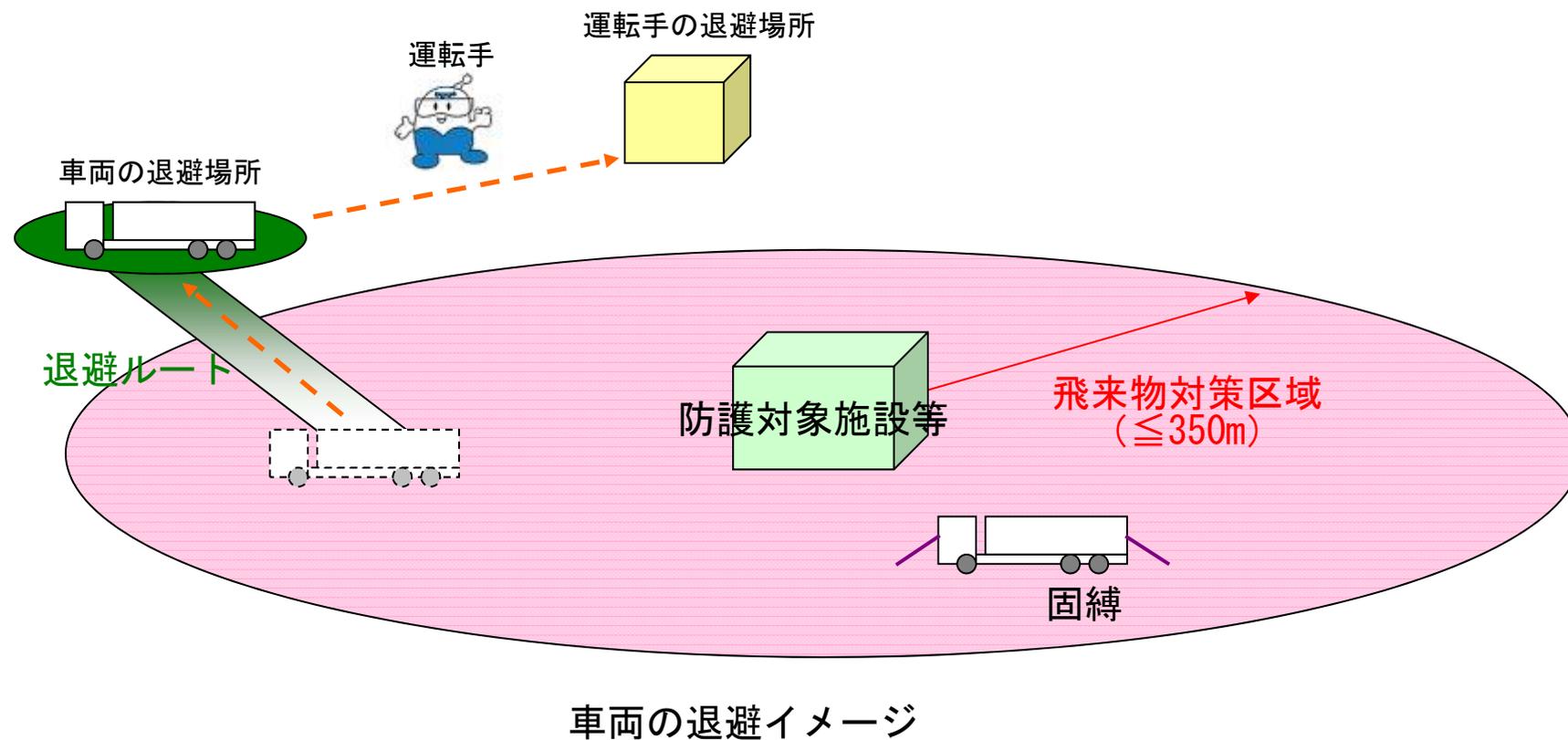
たるみ巻取装置(外観)



たるみ巻取装置(拡大)

6. 飛来物発生防止対策(退避)

- ・固縛していない車両については、車両の退避場所に退避する。(竜巻準備体制発令時)※
- ・運転手は、車両を固縛をせず停車させる場合、即座に車両に駆けつけることができるようにする。



※：詳細はp15の「参考資料4」を参照

7. 気象情報に応じた竜巻注意喚起、竜巻準備体制の発令

竜巻の襲来が予想される場合

- ・竜巻の襲来を予想するための情報として気象庁が発表する気象情報に基づき※、それぞれのステップに応じた対応を行う。

○竜巻注意喚起

【主な対応】

- ・使用しない資機材等の整理整頓
- ・車両の退避場所及び退避ルートの確認

○竜巻準備体制

【主な対応】

- ・車両の避難場所への退避
- ・周辺建屋への避難
- ・屋外クレーン作業の中止
- ・燃料取扱作業の中止
- ・固縛装置のたるみ巻き取り
- ・竜巻防護扉の閉止
- ・入構の禁止

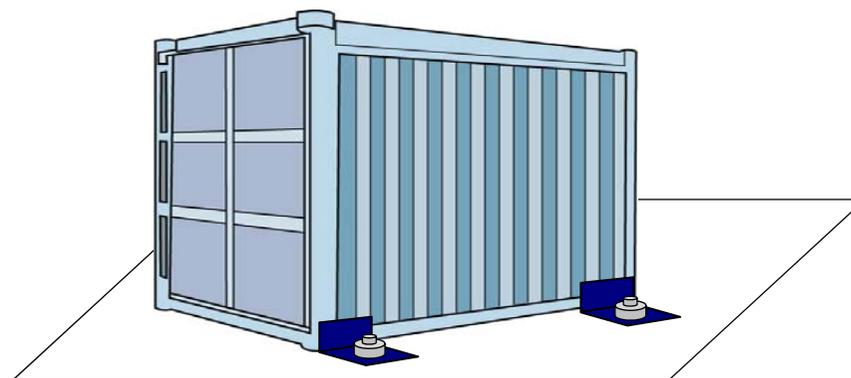
※：詳細はp15の「参考資料4」を参照

8. 玄海原子力発電所における竜巻対策

玄海3/4号機では、川内1/2号機に比べ保管エリアの面積が狭いことから、固縛より比較的狭い範囲で設置が可能な建屋内収納及び固定を積極的に行うこととした。

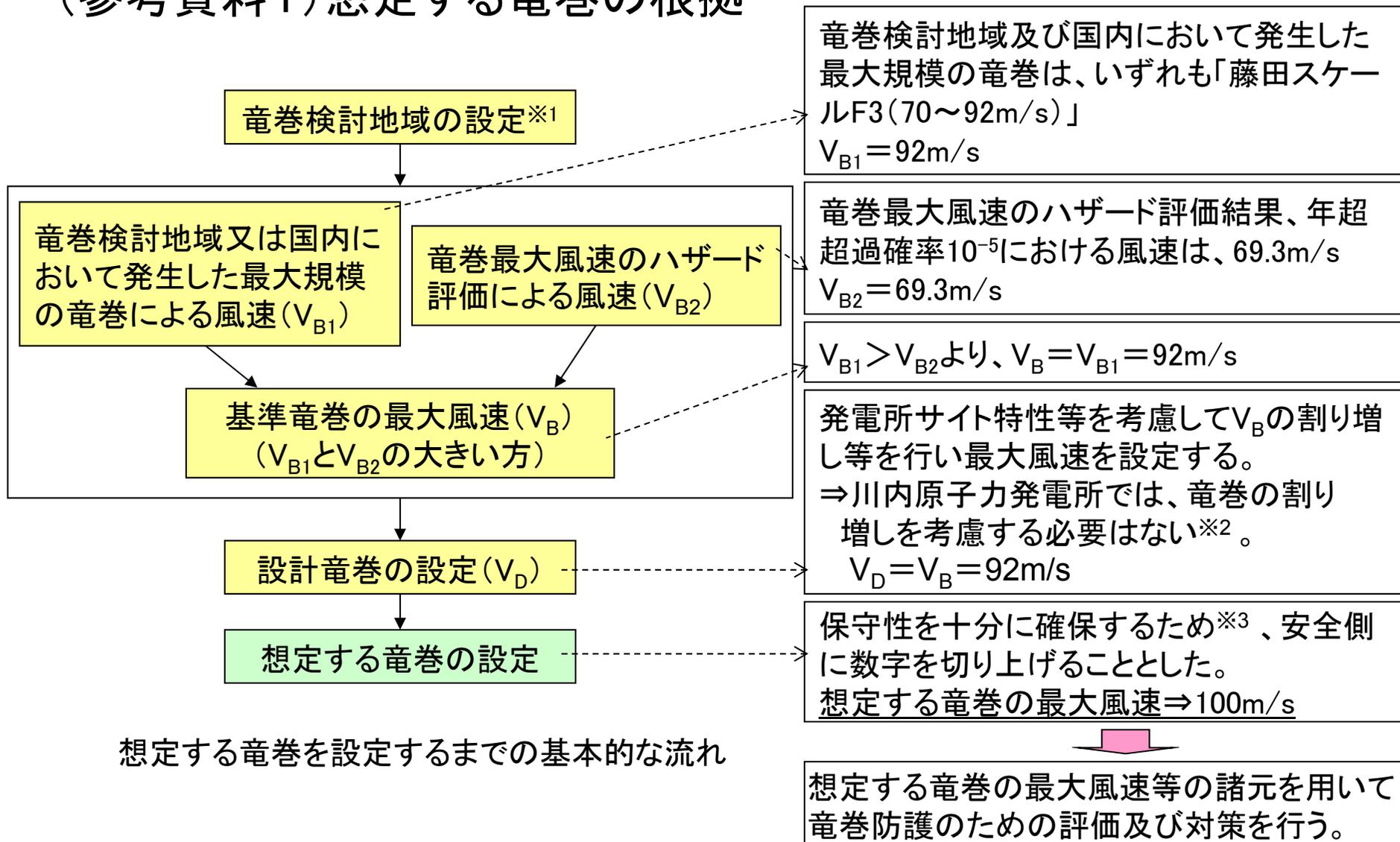


建屋内収納のイメージ（保管庫の設置）



固定のイメージ

(参考資料1) 想定する竜巻の根拠



想定する竜巻を設定するまでの基本的な流れ

※1: 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する地域

※2: 川内原子力発電所では、発電所敷地自体が平坦であることから地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はない

※3: 竜巻の観測数等データが少なく不確実性があることを考慮

(参考資料2) 設計飛来物の設定根拠

現地調査を行い、川内原子力発電所において飛来物となりうる資機材等の調査を実施。

【竜巻防護の考え方】

「設計飛来物」を設定し、飛来時の運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物を上回る資機材等に対しては、固縛等の飛来物発生防止対策を実施し、運動エネルギー及び貫通力が設計飛来物を下回る資機材等に対しては、防護対象施設を内包する施設又は防護対策施設により防護する。

原子力規制委員会の「原子力発電所における竜巻影響評価ガイド」の解説表4.1に示されている設計飛来物の設定例を及び現地調査の結果を参照し、浮き上がりの有無、運動エネルギー及び貫通力の大きさを考慮して、「鋼製材」を設計飛来物に設定。

表 「解説表4.1」に示されている飛来物

	鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート板	コンテナ	トラック
サイズ(m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×奥行 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3
質量(kg)	8.4	135	540	2300	4750

(参考資料3) 飛来物対策区域及び横滑り対策区域の設定根拠

飛来物対策区域（防護対象施設等から350m）の設定根拠

現地調査等により得られた「飛来時の運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物である鋼製材を上回る資機材等」の仕様を基に飛散距離を算出した結果、最大でも乗用車（セダン）及びコンテナの339mであること※から、保守性を考慮して350mを設定している。

※飛散時に分解されるテント、プレハブ等は除く。

横滑り対策区域（防護対象施設等から170m）の設定根拠

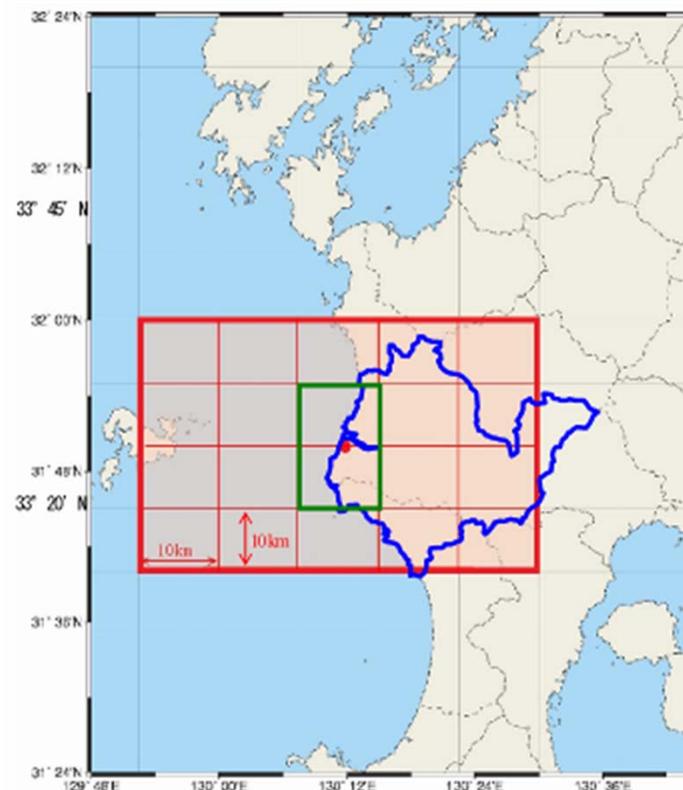
現地調査等により得られた「竜巻により浮き上がらない（飛散高さが0m）資機材等」の仕様を基に飛散距離を算出した結果、最大でもトラック（5t）の166mであることから、保守性を考慮して170mを設定している。

なお、横滑りは、重心より高い障害物があれば防止できる。

(参考資料4) 竜巻注意喚起及び竜巻準備体制の判断の考え方

過去の竜巻の発生実績とその際に発表されていた気象庁の気象情報を踏まえ、竜巻注意喚起及び竜巻準備体制の判断基準を以下のように定めた。

	判断基準
竜巻注意喚起の実施	竜巻注意喚起観測範囲において、以下のいずれかが発表された場合 <ul style="list-style-type: none"> ・雷注意報(付加事項:「竜巻」又は「突風」) ・竜巻発生確度ナウキャスト(発生確度1)以上 ・雷ナウキャスト(活動度2)以上
竜巻準備体制の発令	竜巻準備体制観測範囲において以下の全てが発表された場合 <ul style="list-style-type: none"> ・竜巻発生確度ナウキャスト(発生確度2) ・雷ナウキャスト(活動度3)以上



- ▭ : 竜巻注意喚起観測範囲 (竜巻発生確度ナウキャスト、雷ナウキャスト)
- ▭ : 竜巻準備体制観測範囲 (竜巻発生確度ナウキャスト、雷ナウキャスト)
- ▭ : 竜巻注意喚起観測範囲 (雷注意報 (付加事項: 竜巻又は突風))
- : 川内原子力発電所

ご清聴ありがとうございました。

