

泊発電所3号機

竜巻影響評価結果

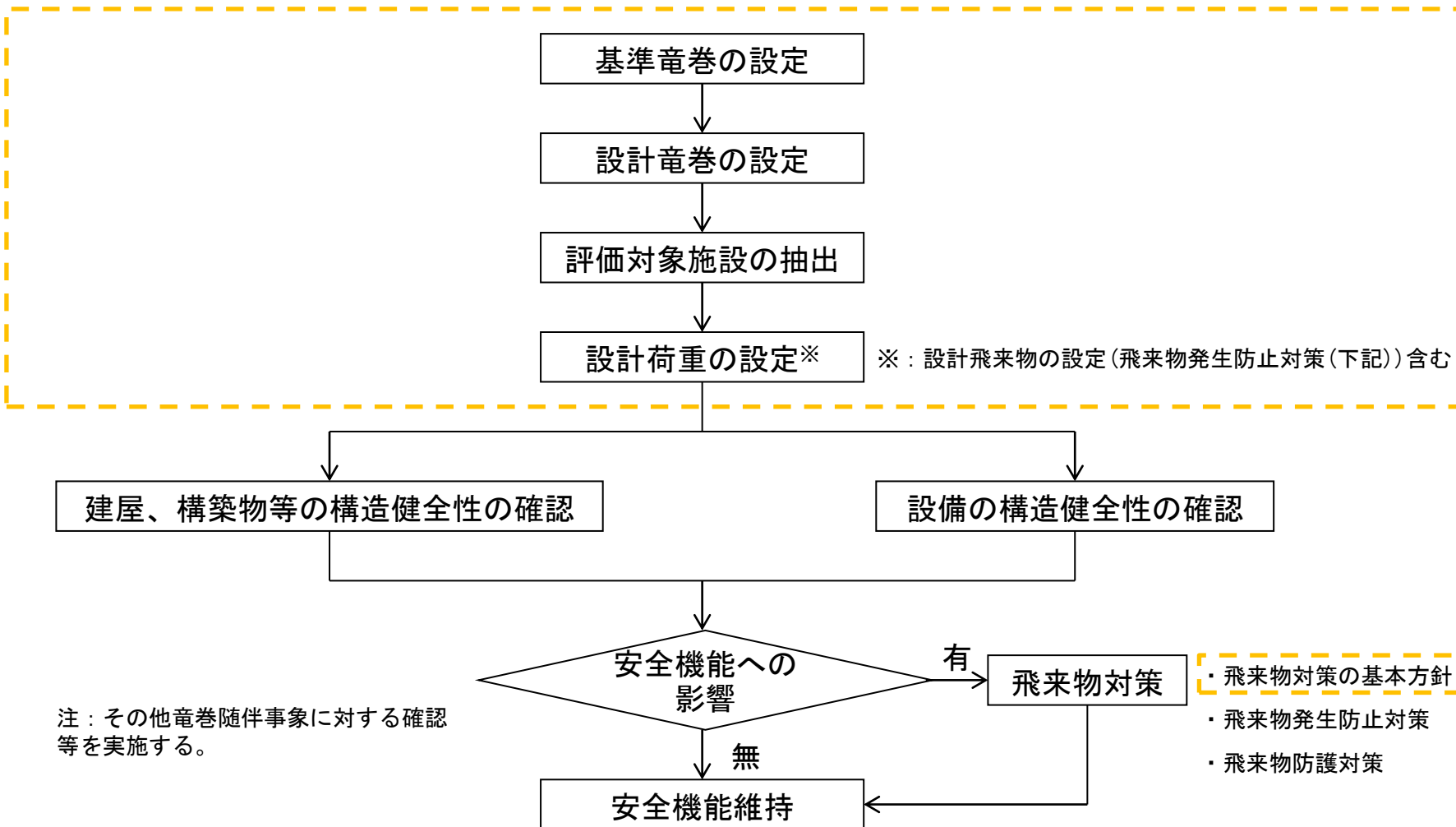
北海道電力株式会社
平成25年11月19日

| | |
|-----------------------|----|
| 0. はじめに | 1 |
| 1. 基準竜巻・設計竜巻の設定 | 2 |
| 2. 評価対象施設の抽出 | 20 |
| 3. 設計荷重の設定 | 23 |
| 4. 飛来物対策の基本方針 | 28 |
| | |
| 参考 | |
| 飛来物防護対策の例 | 29 |

0. はじめに

竜巻影響評価については、原子炉施設の供用期間中に極めてまれに発生する突風、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確認するための「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に基づき実施する。

竜巻影響評価フローを以下に示す。



は今回ご説明箇所を示す

図 竜巻影響評価フロー

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

基準竜巻の設定フロー

① 気象庁「竜巻等の突風データベース」から
全国16地域※1の竜巻発生時の気象特性(総観場)を集計

② **地域間の総観場の比較検討**
・各総観場の発生頻度の相関係数を求め、北海道日本海側※2と他の15の地域間の竜巻発生に関する気候の類似性を評価※3

③ 竜巻検討地域候補地の設定及び保守性の検討
・総観場の類似性から竜巻検討地域の候補地を設定
・候補地の竜巻発生頻度から竜巻検討地域の保守性を検討し地域の絞込みを行う

⑥ 日本で過去に発生した竜巻の最大Fスケールの調査

④ **竜巻検討地域の設定**

⑤ 竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の最大Fスケールの調査

⑨ **竜巻検討地域におけるハザード曲線による最大風速 V_{B2} の設定**
(竜巻影響評価ガイドに従い評価)

⑦ 竜巻検討地域及び日本全体における最大竜巻発生時の総観場の分析(竜巻検討地域の最大風速を V_{B1} にできるかどうかを検討)

⑧ **過去に発生した竜巻による最大風速 V_{B1} の設定**

⑩ 最大風速 V_{B1} と最大風速 V_{B2} の比較

⑪ **基準竜巻 V_B の設定**

※1: 気象庁の予報区分に従い、気候の傾向が類似するエリアとして分類した地域

※2: 16に区分した地域のうち、泊発電所が位置する地域

※3: 各地域で発生する総観場の種類と発生頻度の関連性の強さを評価

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

(1) 竜巻検討地域の設定

a. 竜巻の発生状況

- 日本全国の竜巻の発生状況は図1.1のとおりである。竜巻は日本全国で発生しているが、その発生には地域特性がある。
- 発生が多い地域は、北海道西部、関東及び愛知の平野部、日本海及び関東以南の太平洋に面する沿岸部並びに南西諸島となっている。
- 泊発電所は、北海道西部(後志支庁)の日本海側に面している。後志支庁で発生した竜巻は11個(1961~2012年)と少なく、いずれの事例も藤田スケールについては不明である。
- より多くの竜巻の検討資料を得るために、「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)に従い、泊発電所が立地する地域及び竜巻発生の観点から当該地域と気象条件が類似する地域より竜巻検討地域を設定した。

b. 地域区分の設定

- 独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究の成果(以下、「原子力安全基盤機構委託成果」という)においては、「竜巻等突風の気象的発生要因はいくつかあるが、明らかに地域性が見られる。」としている。このため、国内の各地域の竜巻発生の観点からの気候特性をもとに竜巻検討地域を検討した。
- 検討にあたり日本国内を、図1.2に示す気象庁資料(気象庁HP「季節予報で用いる予報区分」)を参考に、表1.1に示すとおり、日本を16の地域に区分し、これらの地域の竜巻発生時の気象特性をもとに竜巻検討地域を検討した。なお、図1.2の予報区分図は、気候の傾向が類似する地域として設定されたものである。

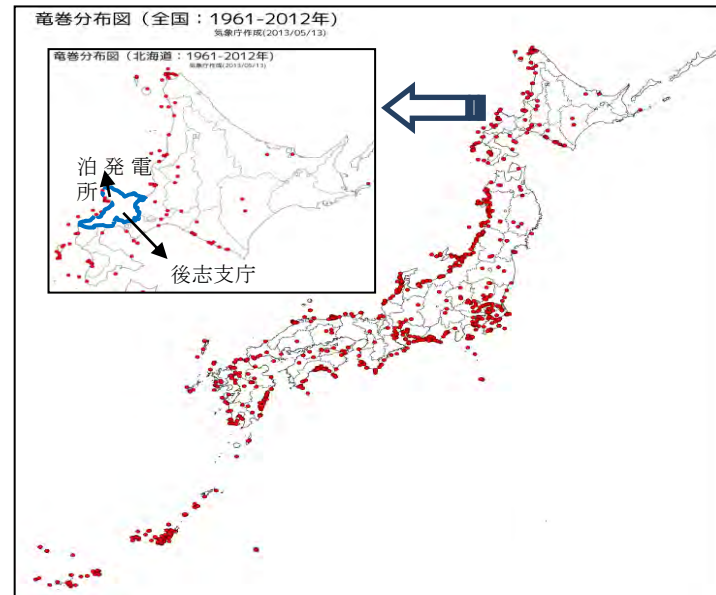


図1.1 竜巻の発生状況(出典:気象庁HP竜巻等の突風データベース)



図1.2 地方季節予報の予報区分図
(出典:気象庁HP「季節予報で用いる予報区分」)

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

表1.1 国内16地域区分の一覧

| No | 地域区分 |
|----|---|
| 1 | 北海道日本海側 宗谷（北部）、空知 上川、留萌、石狩、 後志、桧山 |
| 2 | 北海道オホーツク海側 宗谷（南部）、網走 北見、紋別 |
| 3 | 北海道太平洋側 根室、釧路 十勝、日高 胆振、渡島 |
| 4 | 東北日本海側 青森（津軽）、秋田 山形、福島（会津） |
| 5 | 東北太平洋側 青森（下北）、岩手 宮城、福島（浜通り、 中通り） |
| 6 | 関東甲信 茨城、千葉、栃木 群馬、埼玉、東京 神奈川、山梨、長野 |
| 7 | 北陸 新潟、富山、石川、福井 |
| 8 | 東海 静岡、愛知、岐阜、三重 |
| 9 | 近畿日本海側 滋賀（北部）、京都（北部） 兵庫（北部） |

| | |
|-----|--|
| 1 0 | 近畿太平洋側 奈良、和歌山、大阪、 兵庫（南部）、京都（南部） 滋賀（南部） |
| 1 1 | 山陰 鳥取、島根 |
| 1 2 | 山陽 広島、岡山 |
| 1 3 | 四国 徳島、香川、愛媛、高知 |
| 1 4 | 九州北部 山口、福岡、佐賀 長崎、大分、熊本 |
| 1 5 | 九州南部・奄美 宮崎、鹿児島 奄美 |
| 1 6 | 沖縄 沖縄 |

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

c. 日本の竜巻発生状況の総観場による解析

(a) 日本の竜巻発生時の気象特性(総観場※¹)の集計

● 竜巻の発生分布性状は総観場に大きく影響を受けることから、総観場による解析は重要であると考えられる。このため、先に設定した16の地域区分の総観場を解析することにより、竜巻検討地域を設定した。

● 1961年から2012年6月までの総観場の数を、16の地域区分毎・21種類の総観場毎に表1.2に集計した。また、総観場の地域性の概要をつかむため、日本の全地域と泊発電所が含まれる北海道日本海側、東日本の関東甲信地方及び西日本の九州南部について図1.3に比較した。

※1: 原子力安全基盤機構委託成果より引用

表1.2 地域区分毎の総観場の集計※²

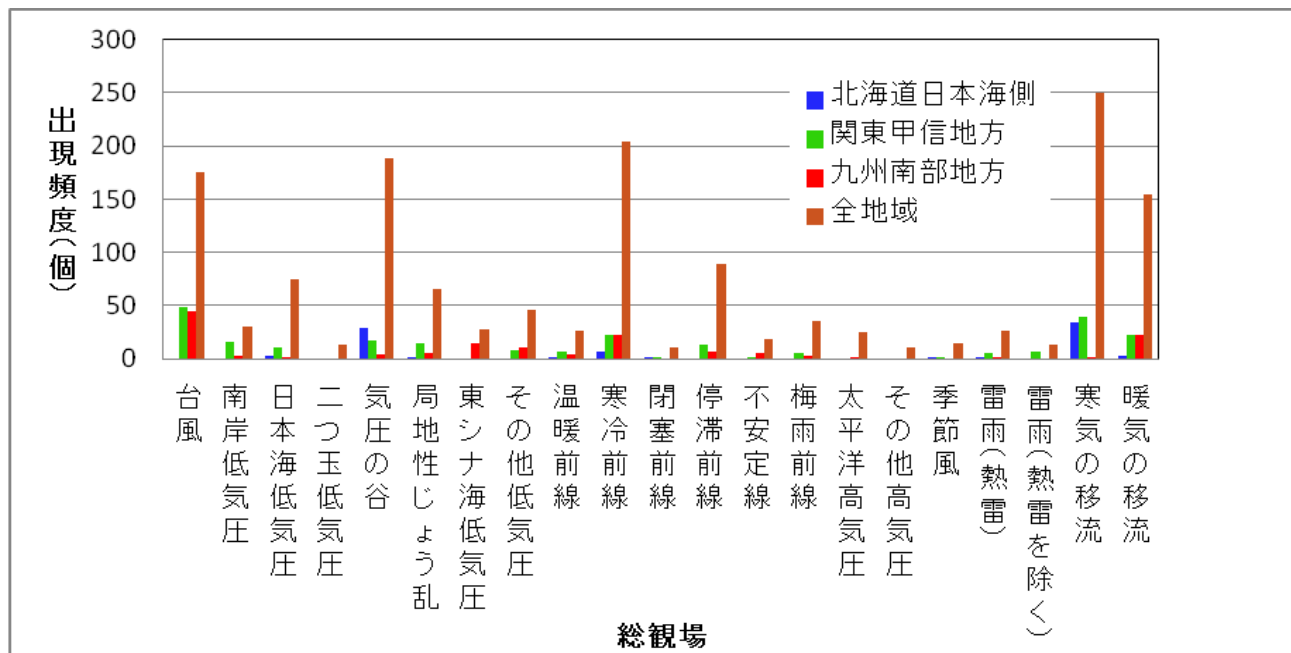
| 地域区分 | 台風 | 南岸低気圧 | 日本海低気圧 | 二つ玉低気圧 | 気圧の谷 | 局地性じょう乱 | 東シナ海低気圧 | その他低気圧 | 温暖前線 | 寒冷前線 | 閉塞前線 | 停滞前線 | 不安定前線 | 梅雨前線 | 太平洋高気圧 | その他高気圧 | 季節風 | 雷雨(熱雷) | 雷雨(熱雷を除く) | 寒気の移流 | 暖気の移流 | 計 | 藤田スケールの最大 |
|------------|-----|-------|--------|--------|------|---------|---------|--------|------|------|------|------|-------|------|--------|--------|-----|--------|-----------|-------|-------|------|-----------|
| 北海道日本海側 | 0 | 0 | 3 | 0 | 29 | 1 | 0 | 0 | 1 | 7 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 34 | 3 | 82 | F2 |
| 北海道オホーツク海側 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | F3 |
| 北海道太平洋側 | 0 | 0 | 2 | 0 | 12 | 2 | 0 | 0 | 1 | 13 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 7 | 4 | 48 | F2 |
| 東北日本海側 | 0 | 0 | 14 | 0 | 35 | 7 | 0 | 4 | 2 | 28 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 0 | 17 | 3 | 120 | (F2) |
| 東北太平洋側 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 10 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 | 1 | 8 | 4 | 41 | (F2) |
| 関東甲信地方 | 49 | 16 | 11 | 0 | 17 | 15 | 0 | 8 | 7 | 22 | 2 | 14 | 2 | 5 | 0 | 0 | 1 | 6 | 7 | 39 | 22 | 243 | F3 |
| 北陸地方 | 0 | 0 | 12 | 1 | 27 | 3 | 0 | 2 | 0 | 27 | 0 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 2 | 82 | 2 | 173 | F2 |
| 東海地方 | 27 | 4 | 11 | 9 | 7 | 3 | 0 | 1 | 7 | 10 | 2 | 11 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 | 10 | 112 | F3 |
| 近畿日本海側 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 1 | 10 | F0 |
| 近畿太平洋側 | 3 | 4 | 5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3 | 5 | 34 | F1~F2 |
| 山陰地方 | 0 | 0 | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 1 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 28 | 7 | 63 | F1 |
| 山陽地方 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 8 | F2 |
| 四国地方 | 18 | 3 | 9 | 2 | 2 | 0 | 0 | 4 | 1 | 1 | 2 | 10 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 9 | 26 | 92 | F2 |
| 九州北部地方 | 11 | 0 | 1 | 0 | 8 | 18 | 0 | 8 | 2 | 22 | 0 | 10 | 2 | 7 | 2 | 0 | 1 | 5 | 1 | 8 | 13 | 119 | F2 |
| 九州南部地方 | 45 | 3 | 1 | 0 | 4 | 6 | 15 | 11 | 4 | 22 | 0 | 7 | 5 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 22 | 152 | F2~F3 |
| 沖縄地方 | 20 | 0 | 0 | 0 | 39 | 2 | 13 | 6 | 1 | 26 | 0 | 22 | 0 | 10 | 17 | 8 | 0 | 5 | 0 | 2 | 30 | 201 | F2 |
| 全地域 | 175 | 30 | 75 | 13 | 188 | 65 | 28 | 46 | 26 | 204 | 11 | 89 | 19 | 35 | 25 | 11 | 15 | 27 | 13 | 250 | 155 | 1500 | F3 |

※2 : 総観場の分類は、気象庁(出典:気象庁HP 竜巻等の突風データベース)に従った。また、全地域の出現が10個未満の総観場は解析から除外し、35種類の総観場の中から21種類を解析の対象とした。竜巻発生1事例に対し複数の総観場があるため、合計は竜巻発生個数より多い。

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

● 図1.3に示す総観場の集計結果によると、全地域を対象とした集計では「暖気の移流」、「寒気の移流」、「寒冷前線」、「気圧の谷」及び「台風」の出現頻度が高い。北海道日本海側では、上記のうち「寒気の移流」及び「気圧の谷」の出現が多くみられるが、九州南部ではこれらの総観場は竜巻発生時の主要な気象特性とはなっていない。一方で、全地域で出現頻度の高い「暖気の移流」、「停滞前線」及び「台風」は、北海道日本海側ではほとんど出現しておらず、関東甲信地方及び九州南部で多い傾向がみられる。

このように、一部地域の比較からではあるが、竜巻の成因となる総観場の出現には地域性があるものと考えられる。



注: 全地域の出現が10個未満の総観場は解析から除外し、35種類の総観場の中から21種類を解析の対象とした。

図1.3 各地域の総観場の出現頻度

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

(b)日本の竜巻発生状況の相関係数による検討

- 竜巻発生に関する総観場には地域特性があると考えられるため、この地域特性について相関係数を用いて検討した。相関係数を利用して、2つの地域の総観場の関連性を評価し、関連性が強ければ、2つの地域は総観場の発生の観点から類似の地域であると判断した。
- 具体的には、表1.2の総観場の集計結果から、泊発電所が位置する北海道日本海側とその他地域間の、総観場の出現数に関する相関係数を求め、発生する総観場の種類及び発生頻度の関連性の強さを評価した。また、求めた相関係数については、無相関検定を行い有意水準1%で無相関について確認した。
- 相関係数を算出した結果は、表1.3のとおりであり、「北海道日本海側」と相関が認められる地域は、「北海道太平洋側」、「東北日本海側」、「北陸地方」、「近畿日本海側」及び「山陰地方」となった。

表1.3 北海道日本海側と他地域区分間の相関係数一覧

| 地域区分 | 北海道日本海側との相関 | |
|------------|-------------|--------------------|
| | 相関係数 | 有意水準1% 相関の有○、無× |
| 北海道日本海側 | 1.00 | - |
| 北海道オホーツク海側 | 0.04 | × |
| 北海道太平洋側 | 0.73 | ○ |
| 東北日本海側 | 0.75 | ○ |
| 東北太平洋側 | 0.54 | × |
| 関東甲信地方 | 0.47 | × |
| 北陸地方 | 0.90 | ○ |
| 東海地方 | 0.07 | × |
| 近畿日本海側 | 0.70 | ○ |
| 近畿太平洋側 | 0.20 | × |
| 山陰地方 | 0.81 | ○ |
| 山陽地方 | -0.17 | × |
| 四国地方 | 0.10 | × |
| 九州北部地方 | 0.22 | × |
| 九州南部地方 | -0.10 | × |
| 沖縄地方 | 0.32 | × |

注:有意水準1%で、相関が認められるものに黄色を付している。

- 北海道日本海側を基準(横軸)とした総観場の分布図の例を、図1.4に示す。相関がみられる例(北陸地方:左図)では、相関係数は0.90と大きく、北海道日本海側で出現が多い「気圧の谷」と「寒気の移流」に対して、北陸地方でも出現が多くなっている。
- 相関がみられない例(九州南部地方:右図)では、相関係数は-0.10と小さく、北海道日本海側で出現が多い「気圧の谷」と「寒気の移流」に対して九州南部地方での出現が少なく、九州南部地方で出現が多い「台風」に対しては北海道日本海側での出現がない。(他の地域区分の分布図については補足説明資料3. 参照)

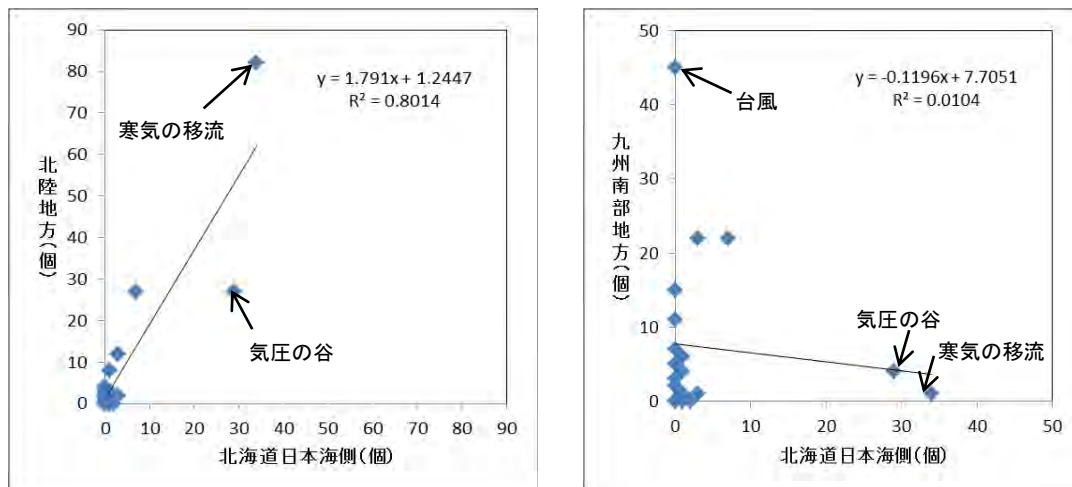


図1.4 総観場の分布図

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

d. 竜巻検討地域の設定

- 発電所が海岸線付近に立地するため、竜巻影響評価ガイドに従い北海道日本海側と総観場の発生の観点から類似であると判断された地域の、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の候補地とする。(図1.5)
- 候補地のうち、北海道太平洋側の襟裳岬から東側の海岸線及び陸奥湾の海岸線においては、竜巻がほとんど発生していないことから、この地域を竜巻検討地域に含めた場合には、ハザード曲線評価において竜巻発生個数が極端に少ないわりにリスク対象評価面積が大きくなり、ハザードが過小評価されることになるため、北海道太平洋側の襟裳岬から東側の海岸線及び陸奥湾から竜飛岬にかけての海岸線を竜巻検討地域から除くこととする。
更に、日本海側は同様の気候区分に分類されることを考慮し、泊発電所の竜巻検討地域は、図1.6に示すとおり、北海道から山口県を含む本州にかけての日本海側及び北海道の襟裳岬以西とした。
(竜巻検討地域の面積38,895km²)



図1.5 北海道日本海側と相関係数に有意性が認められた地域(候補地)



図1.6 泊発電所の竜巻検討地域

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

(2) 過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1})の設定

a. 竜巻検討地域で発生した最大スケールの竜巻及び全国で発生した最大スケールの竜巻の総観場の分析

- 竜巻検討地域では、F2が最大のFスケールであり、当該Fスケールが出現する際の主な総観場は日本海低気圧、寒気の移流及び寒冷前線である。
- 日本国内では、F3が最大のスケールであり、当該Fスケールが出現する際の主な総観場は、台風及び寒冷前線である。台風は関東以南の太平洋側の主な総観場となっているが、寒冷前線は、北海道から九州までの広い範囲で確認されており、その発生については地域が限定されないものと考えられる。
- 以上の結果から、日本海側において台風起因のF3スケールの竜巻が発生する可能性は小さいと考えられるが、寒冷前線起因で発生する竜巻は、竜巻検討地域においてもF3スケールのものが発生し得ると考えられる。

b. 過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1})の設定

- a. の結果から、竜巻検討地域では、これまでに全国で発生した最大の竜巻と同様の総観場を成因としてF3スケールの竜巻が発生する可能性がある。従って、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の最大風速を V_{B1} とすることはできない。
- 独立行政法人原子力安全基盤機構の「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説」では、竜巻が発生した際の気象条件(総観場)のうち低気圧は全国どこでも発生し得る条件であるため、低気圧が成因のF3竜巻を設計に用いる最低限の風速の設定において考慮すべきとしている。
- 将来における竜巻検討地域でのF3竜巻の発生の可能性を考慮し、竜巻影響評価ガイドの原則に従い、過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1})は、日本で過去に発生した竜巻による最大風速とする。
- F3スケールの竜巻の最大風速は、92m/sである。

過去最大竜巻による最大風速(V_{B1})=92m/s

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

(3)ハザード曲線に基づく最大風速(V_{B2})の設定

【ハザード曲線の評価方針】

- 竜巻影響評価ガイドに従い、既往の算定方法(Wen and Chu及びGarson et. al: 竜巻に遭遇しかつ竜巻がある風速以上になる確率モデルの推定法)に基づいて竜巻最大風速のハザード曲線を算定し、 V_{B2} を評価する。
- 具体的には竜巻影響評価ガイドに、 V_{B2} 算定の参考になると示されている「原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究の成果」を参考に次頁のフローに従い算定する。
- ハザード曲線は、竜巻影響評価ガイドに従い、竜巻検討地域の海岸線から陸側及び海側5kmの範囲を1kmに刻んだエリアと、竜巻検討地域全域について評価する。
- (1)で設定した竜巻検討地域の竜巻発生数のデータ等に基づきハザード曲線を評価する。
- ハザード曲線の算定に当たっては、以下の理由から、竜巻年発生数の確率密度分布としてポリヤ分布を用いる。

【竜巻年発生数の確率密度分布の設定】

- 竜巻影響評価ガイドでは、「竜巻の年発生数の確率分布は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づいてポアソン過程等により設定することを基本とする。」としている。
- また、竜巻影響評価ガイドに、 V_{B2} 算定の参考になるとされている「原子力安全基盤機構の委託研究成果」によれば、Wen and Chuが、竜巻に遭遇しかつ竜巻風速がある値以上となる確率モデルの推定法を提案し、竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定した場合、竜巻の年発生数の確率分布はポアソン分布もしくはポリヤ分布に従うとしている。
- 更に、国内を対象とした竜巻の年発生数の分布の適合性に関する検討結果としては、先に述べた原子力安全基盤機構の委託結果(平成23年2月)に示されており、陸上竜巻及び海上竜巻の両方の発生数について、ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れているとしている。
- 以上より、ハザード曲線の評価に当たって使用する竜巻年発生数の確率密度分布は、ポリヤ分布を使用するものとする。

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

a. ハザード曲線の算定フロー

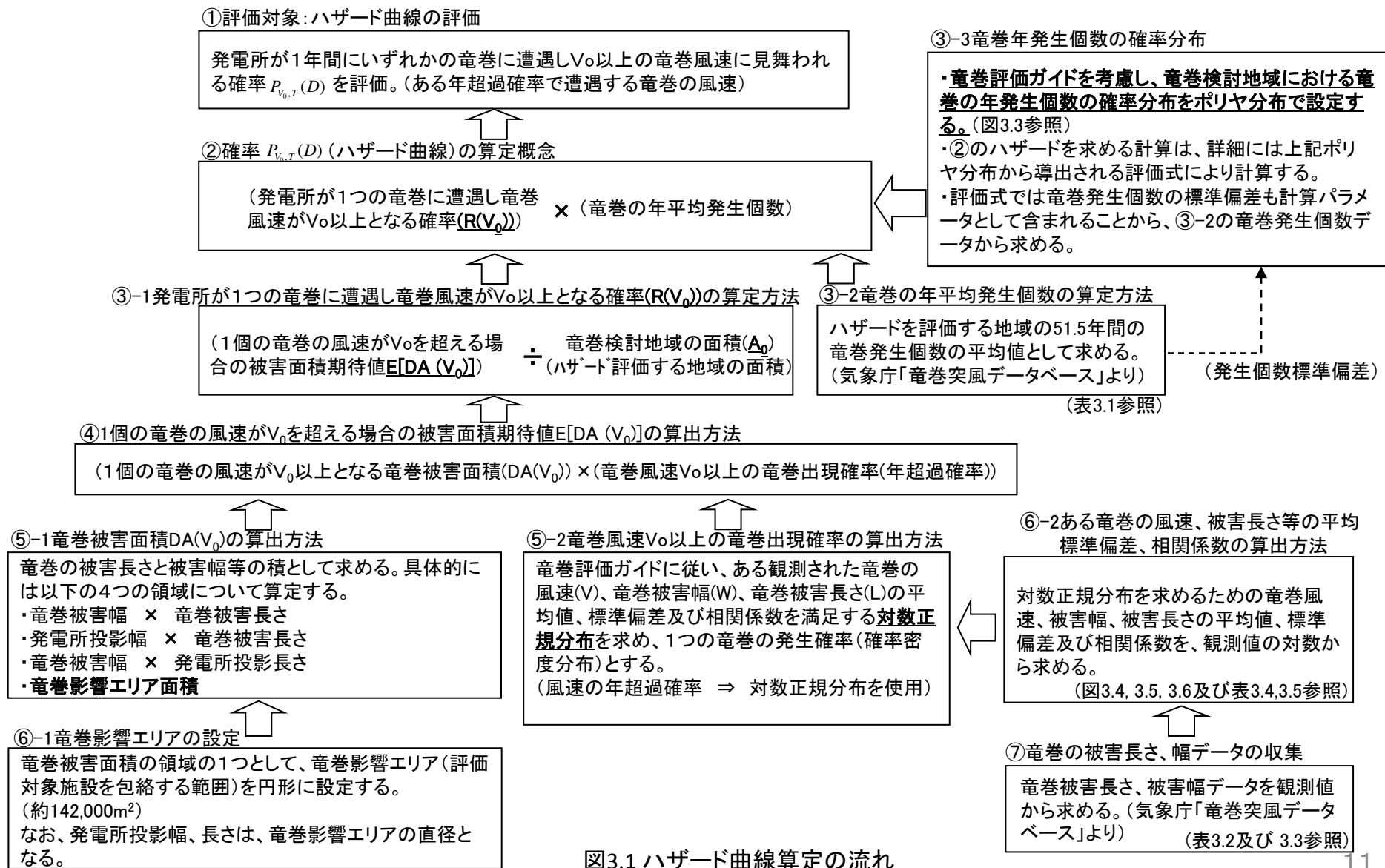


図3.1 ハザード曲線算定の流れ

(表3.5, 図3.7参照)

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

b. 竜巻発生数の解析

(a) 適用データ

●1961年から2012年6月までの51.5年間の、気象庁「竜巻等の突風データベース」の竜巻検討地域の竜巻発生データを用いる。

(b) 竜巻の発生数及びその補正

●気象庁による竜巻の調査方法は、1991年と2007年を基点に2度にわたり改善が図られており、年代により竜巻の発生数にばらつきがある。竜巻の年別確認数を図3.2に示す。また、日本におけるこれまでの竜巻突風の評定の改善の状況を以下に示す。

- ✓1961～1990年 : 一定規模・被害以上の突風について収集、被害のない海上竜巻は含まない
- ✓1991～2006年 : 竜巻等突風の発生に関する情報収集を強化、被害のない海上竜巻も区別して収集
- ✓2007年以降 : 竜巻等突風の現地調査を強化、海上竜巻の確認数が格段に増加

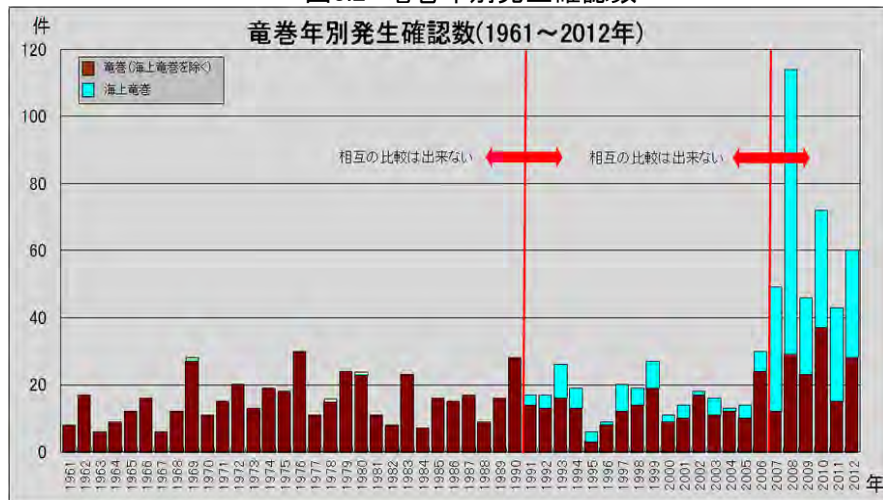
(出典:気象庁 竜巻等突風の強さの評定に関する検討会第1回資料)

●**ハザード曲線の評価にあたっては、上記の気象庁の各年代の調査業務の精度の違いを考慮し、各年代の発生数と観測期間を基に竜巻発生個数について補正を行い、擬似的な51.5年間の竜巻発生個数を作成し用いた。**また、これをもとにFスケール毎に統計量(平均、標準偏差)を求めた。

●1961～2012年6月、1991年～2012年6月及び2007～2012年6月の各期間及び補正後51.5年間の竜巻発生数を表3.1に示す。

●竜巻発生数の補正方法については、補足説明資料1(P1-17)参照。

図3.2 竜巻年別発生確認数



※ 出典:気象庁HP 竜巻等の突風データベース

表3.1 竜巻発生数の解析結果

| 竜巻検討地域 (沿岸±5km) | 発生数の統計 | 小計 | 竜巻スケール | | | | 不明 | | 総数 (含む不明) |
|-----------------------------|---------|--------|--------|-------|-------|----|-------|--------|--------------|
| | | | F0 | F1 | F2 | F3 | (陸上) | (海上) | |
| 1961～ 2012/6 (51.5年間) | 期間内総数 | 90 | 30 | 47 | 13 | 0 | 5 | 111 | 206 |
| | 平均値(年) | 1.748 | 0.583 | 0.913 | 0.252 | 0 | 0.097 | 2.155 | 4 |
| | 標準偏差(年) | 2.526 | 2.003 | 1.02 | 0.522 | 0 | 0.359 | 5.87 | 7.687 |
| 1991～ 2012/6 (21.5年間) | 期間内総数 | 60 | 30 | 27 | 3 | 0 | 5 | 110 | 175 |
| | 平均値(年) | 2.791 | 1.395 | 1.256 | 0.14 | 0 | 0.233 | 5.116 | 8.14 |
| | 標準偏差(年) | 3.467 | 2.956 | 1.124 | 0.356 | 0 | 0.535 | 8.341 | 10.683 |
| 2007～ 2012/6 (5.5年間) | 期間内総数 | 32 | 26 | 6 | 0 | 0 | 0 | 93 | 125 |
| | 平均値(年) | 5.818 | 4.727 | 1.091 | 0 | 0 | 0 | 16.909 | 22.727 |
| | 標準偏差(年) | 6.087 | 4.814 | 1.337 | 0 | 0 | 0 | 10.661 | 14.7 |
| 疑似 51.5年間 (陸上竜巻) | 期間内総数 | 322 | 244 | 65 | 13 | 0 | 0 | 871 | 1193 |
| | 平均値(年) | 6.252 | 4.727 | 1.256 | 0.252 | 0 | 0 | 16.909 | 23.165 |
| | 標準偏差(年) | 4.97 | 4.814 | 1.124 | 0.522 | 0 | 0 | 10.661 | 11.762 |
| 疑似 51.5年間 (全竜巻) | 期間内総数 | 1195 | 905 | 241 | 49 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 平均値(年) | 23.204 | 17.573 | 4.680 | 0.951 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 標準偏差(年) | 9.567 | 9.265 | 2.163 | 1.004 | 0 | 0 | 0 | 0 |

※擬似全竜巻の発生数は、按分の際の切り上げにより小計が増加している。

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

(c) 竜巻の年発生数の確率密度分布の設定

- 確率密度分布の設定にあたっては、竜巻影響評価ガイド及び原子力安全基盤機構の委託成果にならってポアソン過程(ポリヤ分布)により設定した。(b)で求めた竜巻の発生頻度をもとに、竜巻の年発生数の確率分布として求めた、年平均値と標準偏差に対するポリヤ分布を図3.3に示す。

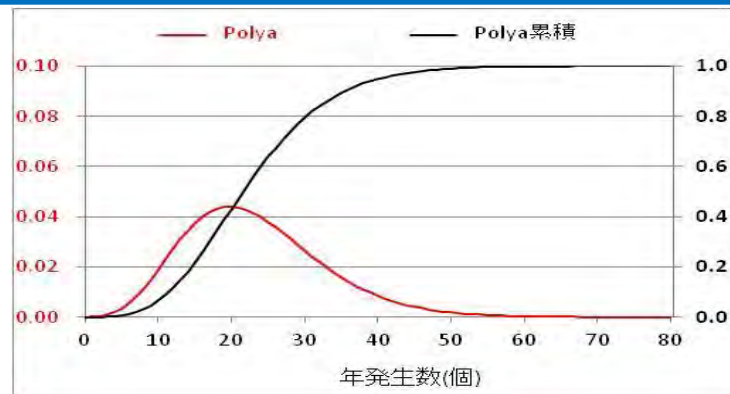


図3.3 竜巻の年発生数の確率分布(ポリヤ分布)

c. 竜巻被害幅、被害長さのデータ

- 竜巻発生数と同様に、被害幅の観測データを解析した結果を表3.2に示す。

- Fスケールが明らかで且つ被害幅が明らかな竜巻のデータが少ないこと、推定した51.5年間の擬似竜巻発生数との整合性も確保する必要があることから、Fスケール毎の明らかになっている被害幅データを用いて、51.5年間の擬似竜巻発生数の被害幅データを作成した。

- この、推定した51.5年間の被害幅の疑似データをもとに、平均値と標準偏差を求める。

- 竜巻被害長さについても、被害幅と同様の補正を行った。結果を表3.3に示す。

- 51.5年間の擬似竜巻発生数の被害幅、被害長さの作成方法は、補足説明資料1(P1-19)参照。

表3.2 竜巻被害域幅の解析結果

| 竜巻検討地域 (沿岸±5km) | 竜巻被害幅 の統計(m) | 小計 | 竜巻スケール | | | | 不明 | | 総数 (含む不明) |
|-----------------------------|-----------------|-------|--------|-------|-------|----|------|------|--------------|
| | | | F0 | F1 | F2 | F3 | (陸上) | (海上) | |
| 1961~ 2012/6 (51.5年間) | 期間内総数 | 64 | 24 | 33 | 7 | 0 | 23 | 119 | 206 |
| | 平均値(m) | 117.6 | 115.5 | 108.6 | 167.1 | 0 | | | |
| | 標準偏差(m) | 144.7 | 123.8 | 101.7 | 324.4 | 0 | | | |
| 疑似 51.5年間 (全竜巻) | 期間内総数 | 1195 | 905 | 241 | 49 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 平均値(m) | 117.7 | 116.2 | 113.5 | 167.1 | 0 | | | |
| | 標準偏差(m) | 130.8 | 121.5 | 103.1 | 303.4 | 0 | | | |

表3.3 竜巻被害域長さの解析結果

| 竜巻検討地域 (沿岸±5km) | 竜巻被害長さ の統計(km) | 小計 | 竜巻スケール | | | | 不明 | | 総数 (含む不明) |
|-----------------------------|-------------------|-------|--------|-------|-------|----|------|------|--------------|
| | | | F0 | F1 | F2 | F3 | (陸上) | (海上) | |
| 1961~ 2012/6 (51.5年間) | 期間内総数 | 69 | 25 | 36 | 8 | 0 | 17 | 120 | 206 |
| | 平均値(km) | 2.278 | 1.072 | 3.031 | 2.662 | 0 | | | |
| | 標準偏差(km) | 3.729 | 1.443 | 4.73 | 3.054 | 0 | | | |
| 疑似 51.5年間 (全竜巻) | 期間内総数 | 1195 | 905 | 241 | 49 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 平均値(km) | 1.572 | 1.084 | 3.156 | 2.812 | 0 | | | |
| | 標準偏差(km) | 2.68 | 1.427 | 4.741 | 3.043 | 0 | | | |

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

d. 竜巻風速、被害幅、被害長さの確率密度分布の設定及び相関係数の算定

- ハザード曲線を算定するために、一つの竜巻が発生した際の竜巻風速、被害幅及び長さの確率密度分布が必要となる。このため表3.4に示すb. 及びc. で求めた竜巻検討地域における51.5年間の竜巻の発生数、被害幅、被害長さのデータを用いて、それぞれの確率密度分布を求めた。
確率密度分布の設定にあたっては、竜巻影響評価ガイド及び原子力安全基盤機構委託成果に示される対数正規分布に従う。

表3.4 竜巻検討地域における竜巻パラメータ(51.5年間の推定結果)

| 竜巻検討地域 (沿岸±5km) | パラメータ | 統計量 | 小計 | 竜巻スケール | | | |
|--------------------|----------|-----|--------|--------|-------|-------|----|
| | | | | F0 | F1 | F2 | F3 |
| 発生数 | 期間内総数 | | 1195 | 905 | 241 | 49 | 0 |
| | 平均値(年) | | 23.204 | 17.573 | 4.680 | 0.951 | 0 |
| | 標準偏差(年) | | 9.567 | 9.265 | 2.163 | 1.004 | 0 |
| 被害幅 | 期間内総数 | | 1195 | 905 | 241 | 49 | 0 |
| | 平均値(m) | | 117.7 | 116.2 | 113.5 | 167.1 | 0 |
| | 標準偏差(m) | | 130.8 | 121.5 | 103.1 | 303.4 | 0 |
| 被害長さ | 期間内総数 | | 1195 | 905 | 241 | 49 | 0 |
| | 平均値(km) | | 1.572 | 1.084 | 3.156 | 2.812 | 0 |
| | 標準偏差(km) | | 2.680 | 1.427 | 4.741 | 3.043 | 0 |

- 推定した竜巻被害幅、竜巻被害長さ、竜巻風速の確率密度分布は以下のとおり。

(a)被害幅の確率密度分布

確率密度分布を図3.4に示す。推定された分布形は、超過確率のグラフより適切に観測値を推定していると判断される。

(b)被害長さの確率密度分布

確率密度分布を図3.5に示す。推定された分布形は、超過確率のグラフより適切に観測値を推定していると判断される。

(c)竜巻風速の確率密度分布

超過確率を図3.6に示す。観測結果を適切に表現できる形となっており、風速の大きい領域でも不自然な形となっていない。

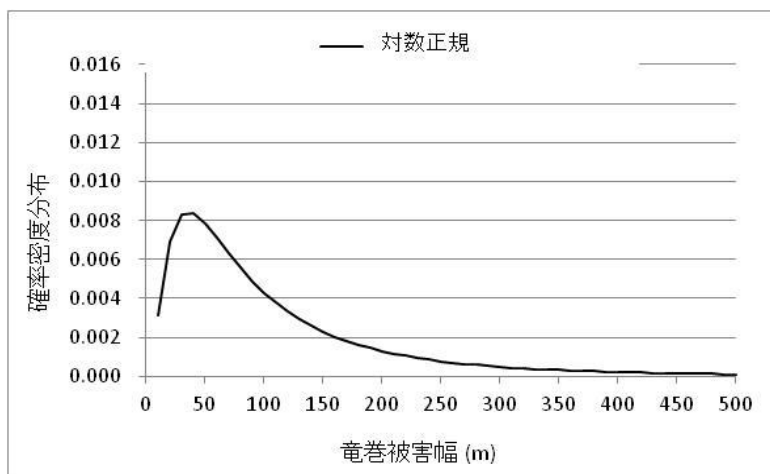


図3.4(1) 竜巻被害域幅の確率密度分布

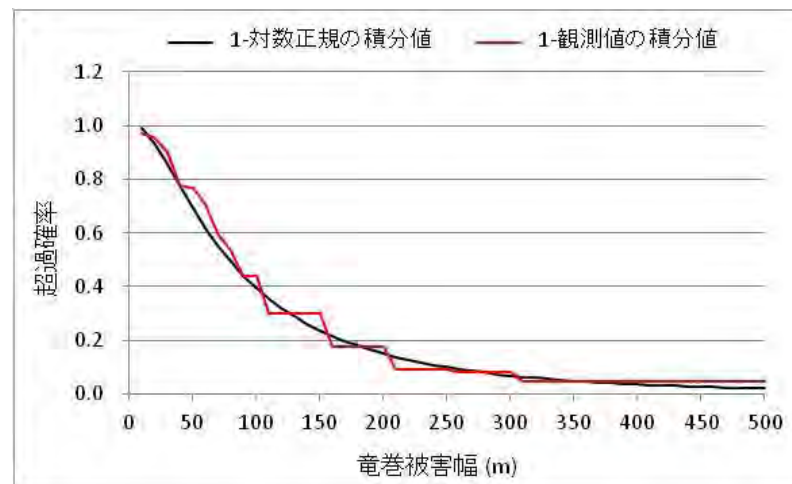


図3.4(2) 竜巻被害域幅の超過確率

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

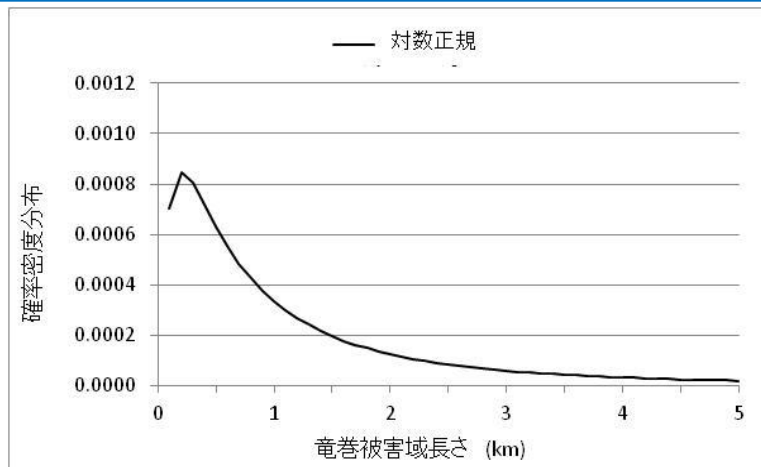


図3.5(1) 竜巻被害域長さの確率密度分布

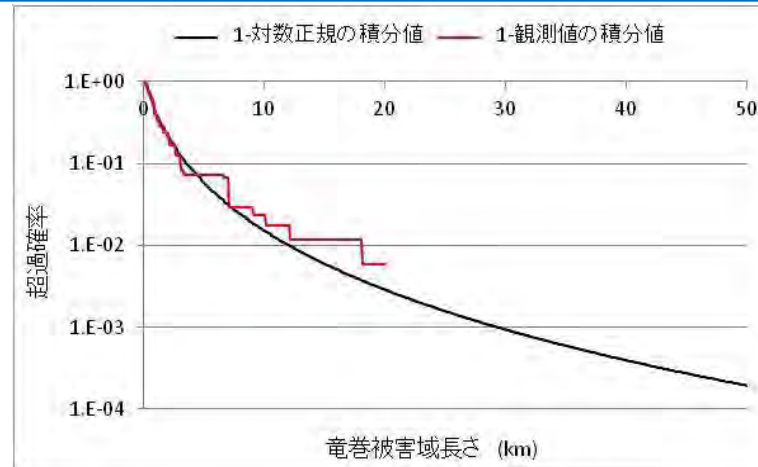


図3.5(2) 竜巻被害域長さの超過確率

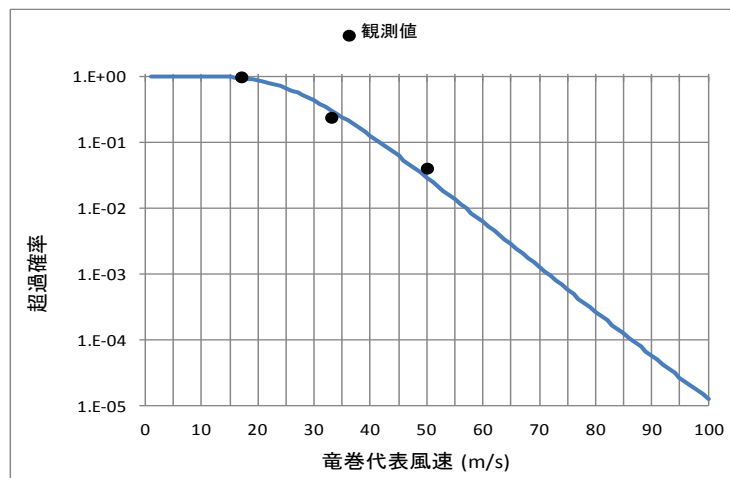


図3.6 竜巻風速の超過確率分布

- ハザード曲線の算定において、2変量あるいは3変量の確率分布関数を対象とするため、竜巻風速・被害幅・被害長さについての相関係数を求めた。泊発電所における竜巻検討地域では、風速-被害長さ間では0.3程度、被害幅-被害長さ間では0.4以上の相関が認められた。風速-被害幅間では、ほとんど相関がない。

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

e. 竜巻影響エリアの設定

- 竜巻影響評価ガイドに従い、竜巻影響エリアの設定にあたり泊3号機における評価対象設備の面積を設定する。
- 評価対象設備は、本文「2. 評価対象施設の抽出」に示した竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設である。評価対象設備の設置位置と面積を、図3.6及び表3.5に示す。

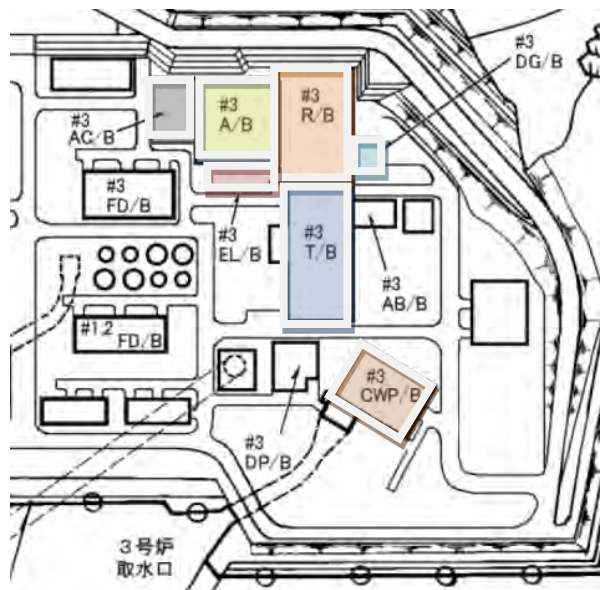


図3.6 評価対象施設の設置位置概略図

表3.5 評価対象施設の設置面積

| 評価対象設備 | 設置面積(m ²) |
|------------------|-----------------------|
| 原子炉建屋(R/B) | 4,889 |
| 原子炉補助建屋(A/B) | 3,689 |
| ディーゼル発電機建屋(DG/B) | 493 |
| タービン建屋(T/B) | 5,225 |
| 電気建屋(EL/B) | 1,214 |
| 出入管理建屋(AC/B) | 1,603 |
| 循環水ポンプ建屋(CWP/B) | 2,748 |
| 合計 | 19,861 |

- 泊3号機における竜巻影響エリアを図3.7に示す。評価対象施設は、図3.6に示すとおり分散しているため、竜巻影響エリアは、保守性を考慮して3号機設備全体を囲うように設定する。
- 具体的には、原子炉建屋の端から循環水ポンプ建屋の端までの距離270mに余裕をみて、1辺を300mとする正方形を仮定し、更にこの正方形を囲む、直径($\sqrt{2 \times 300^2} = 425$)mの円形(面積:約142,000m²)の範囲とする。
- 竜巻影響エリアを円形に設定するため、ハザード曲線は竜巻移動方向に対する依存性無しとして評価を行う。

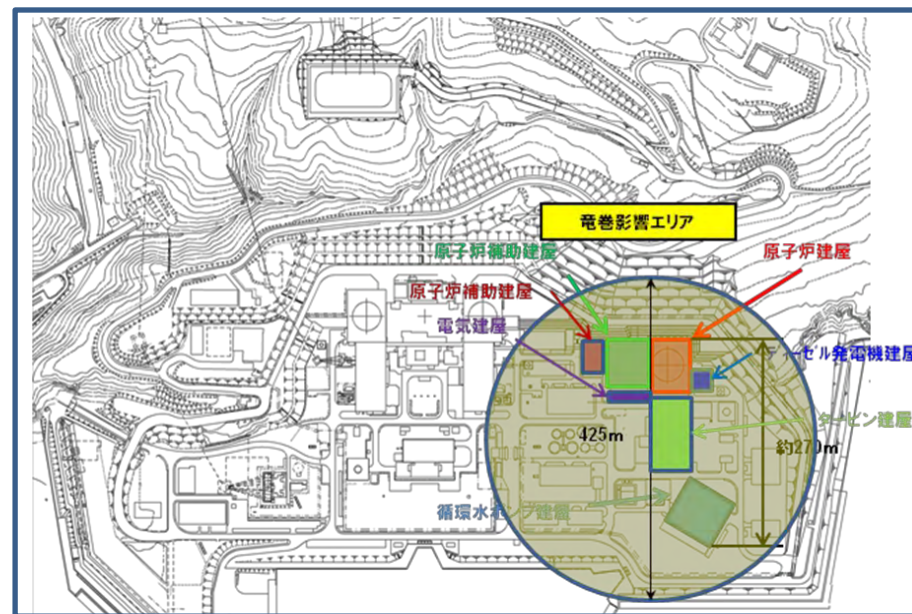


図3.7 泊発電所3号機の竜巻影響エリア

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

f. ハザード曲線の算定

- ハザード曲線の算定フローに従い、e. までの検討から求めたハザード曲線の算定結果を、図3.8に示す。海側1kmから5kmの範囲については、Fスケール不明の竜巻しかないため、ハザード曲線の評価ができなかった。このため、陸側5kmから海側1kmの範囲で1km毎に刻んだ6つのエリアと竜巻検討地域全域についてハザード曲線を求めた。結果、図のとおり、海側0から1kmのエリアのハザードが最も厳しくなり、年超過確率 10^{-5} に相当する竜巻風速 V_{B2} は65m/sとなった。

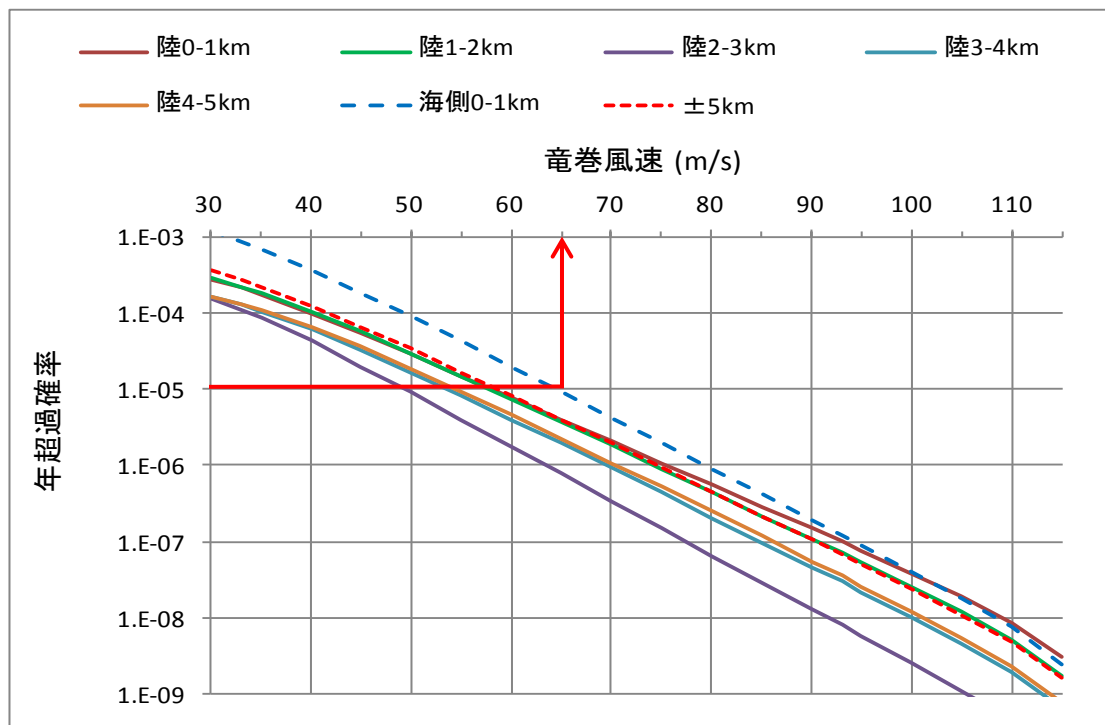


図3.8 竜巻最大風速のハザード曲線 $P_{V_0,T}(D)$

上記結果から、竜巻影響評価ガイドに従い、竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2})を65m/sとする。

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

(4) 基準竜巻の最大風速(V_B)の設定

- これまでに評価した、竜巻の最大風速の結果は以下のとおり。

(1) 過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1}) \Rightarrow 92m/s

(2) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2}) \Rightarrow 65m/s

- 竜巻影響評価ガイドに従い、基準竜巻の最大風速(V_B)は V_{B1} と V_{B2} のうち大きい方とし、92m/sとする。

基準竜巻の最大風速(V_B) 92m/s

- なお、(3)で求めたハザード曲線より、基準竜巻の最大風速92m/sの年超過確率を求めると、約 1.4×10^{-7} /年となる。

1. 基準竜巻・設計竜巻の設定

(5) 設計竜巻の最大風速 (V_D) の設定

設計竜巻の最大風速 (V_D) の設定にあたっては、発電所が立地する地形の特性を考慮する。

竜巻が傾斜地を通過する場合には風速が増幅する可能性があるものの、泊発電所は背後に急峻な傾斜地をもつ地形に立地しており、海側から進入する竜巻については、発電所を含む敷地が平坦なため地形効果による風速の増幅条件には当てはまらないと考えられる。

また、泊発電所で考えられる竜巻の到来方向の傾向を踏まえると、山側から進入する可能性は低いと考えられる。(補足説明資料9. 参照)

以上より、泊発電所では地形による影響は小さいことから、風速の割り増しは行わない。

$$\text{設計竜巻の最大風速 } (V_D) = 92\text{m/s}$$

(6) 評価に用いる設計竜巻の設定

竜巻影響評価にあたっては、設計竜巻の最大風速 (V_D) を $V_D = 100\text{m/s}$ とする。

なお、風速 100m/s の年超過確率は、ハザード曲線より 4.1×10^{-8} に相当する。また、 $V_D = 100\text{m/s}$ とした場合の特性値を表 6. 1 に示す。

表 6. 1 設計竜巻の特性値 ($V_D = 100\text{m/s}$)

| 最大風速 | 移動風速 | 最大接線風速 | 最大接線風速半径 | 最大気圧低下量 | 最大気圧低下率 |
|-------|-------|----------|----------|------------|------------------|
| V_D | V_T | V_{Rm} | R_m | ΔP | $(dp/dt)_{\max}$ |
| (m/s) | (m/s) | (m/s) | (m) | (hPa) | (hPa/s) |
| 100 | 15 | 85 | 30 | 89 | 45 |

2. 評価対象施設の抽出 (1 / 3)

<竜巻防護施設>

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に従い、竜巻防護施設の評価対象施設については、以下のフローに基づき抽出する(図2.1)。(補足説明資料10.参照)

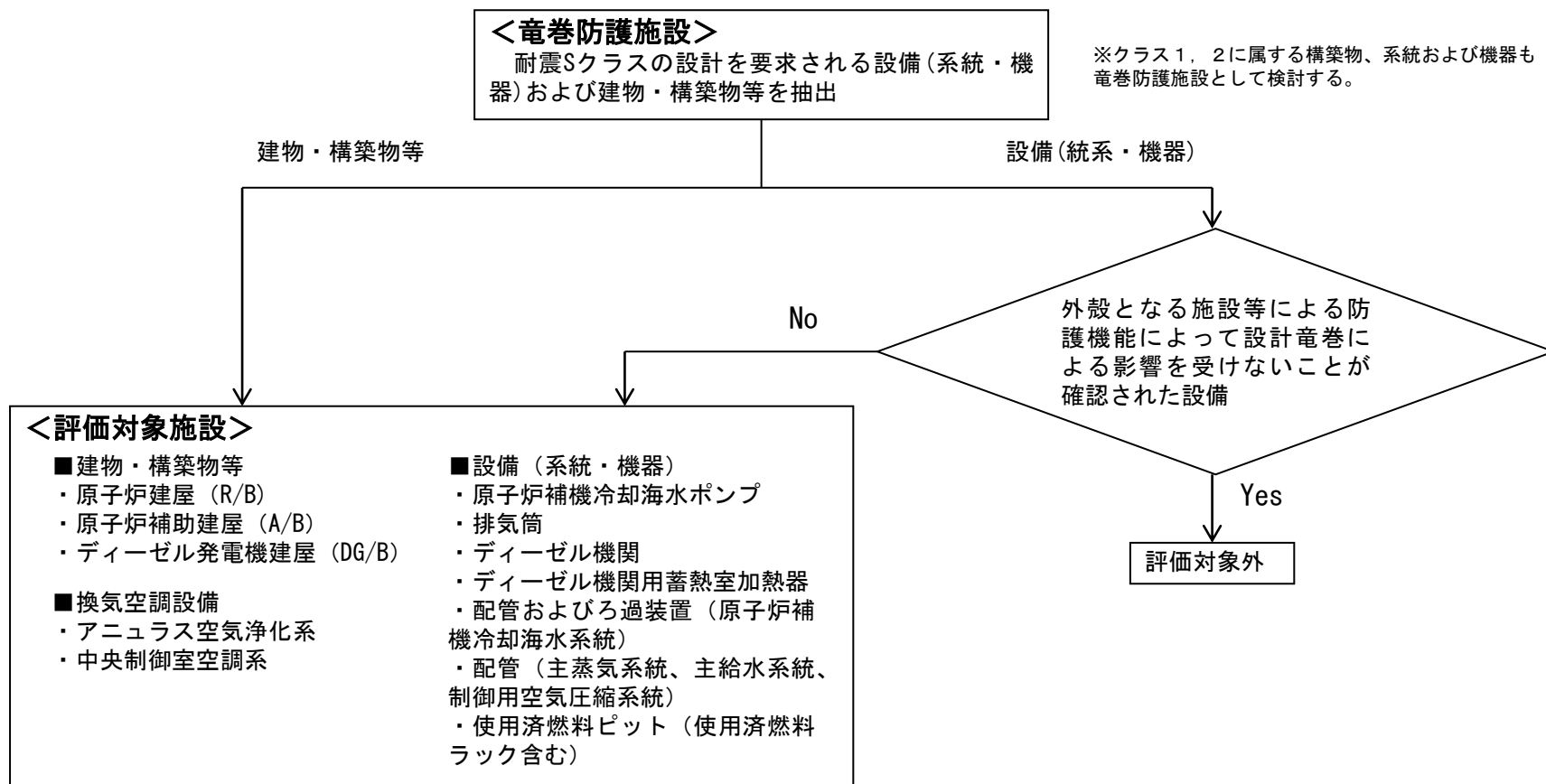


図2.1 竜巻防護施設の評価対象施設抽出フロー

2. 評価対象施設の抽出 (2 / 3)

＜竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設＞

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に従い、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設（評価対象施設）を以下のフローに基づき抽出する（図2. 2）。（補足説明資料11. 参照）

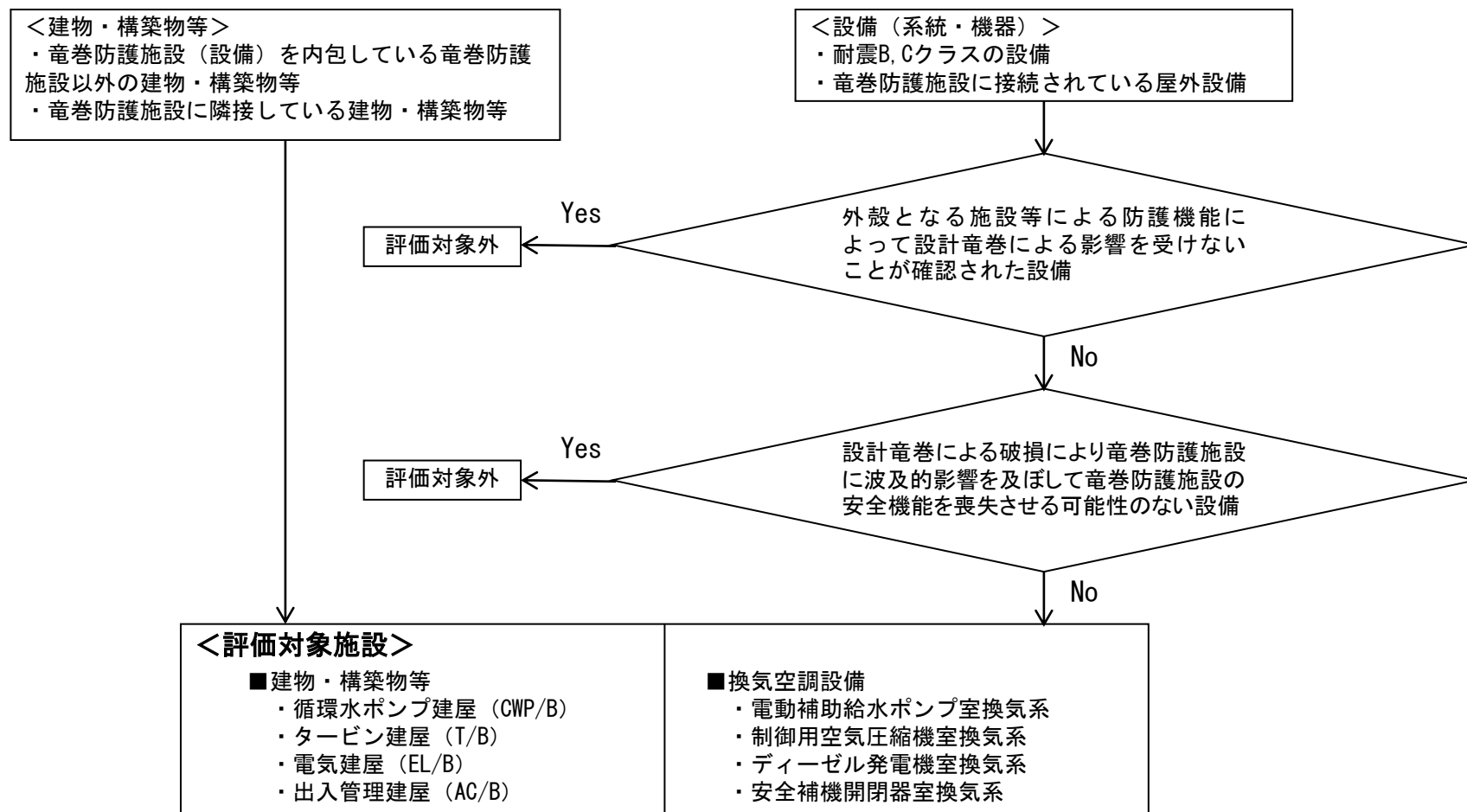


図2. 2 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設（評価対象施設）抽出フロー

2. 評価対象施設の抽出 (3 / 3)

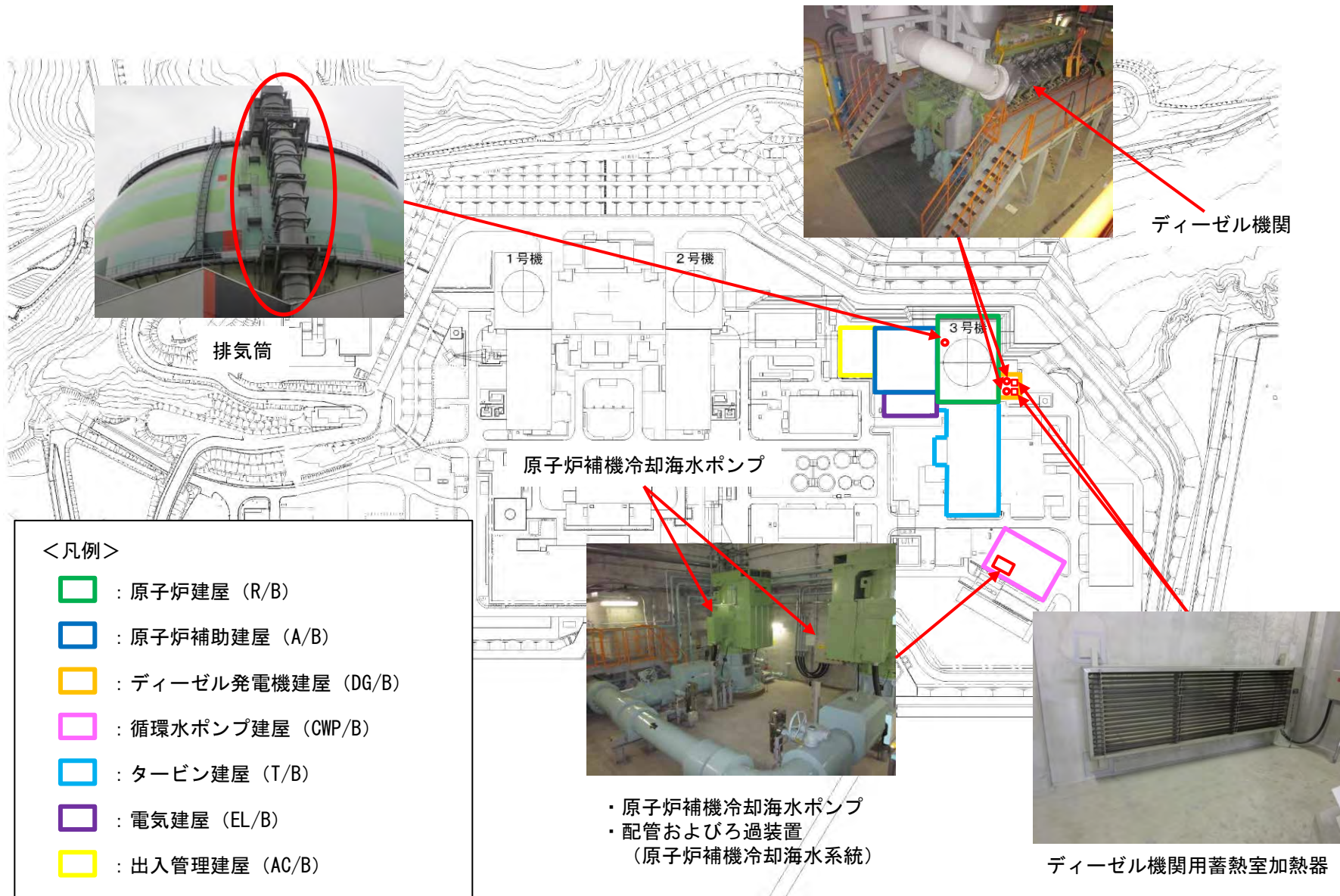


図 2. 3 主な評価対象施設

3. 設計荷重の設定 (1 / 5)

<風圧力の設定>

設計竜巻の水平方向の最大風速によって評価対象施設（屋根を含む）に作用する風圧力（ P_D ）すなわち風圧力による荷重（ W_W ）は、「建築基準法施行令」及び「日本建築学会建築物荷重指針・同解説（2004）」等を準用して、下式により算定する。

$$W_W (= P_D) = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

q : 設計用速度圧 ($= (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$)

G : ガスト影響係数 ($= 1.0$)

C : 風力係数

A : 施設の受圧面積

ρ : 空気密度

V_D : 設計竜巻の最大風速

3. 設計荷重の設定 (2 / 5)

<気圧差による荷重の設定>

評価対象施設に作用する気圧差による荷重 (W_p) は、設計竜巻による最大気圧低下量 (ΔP_{max}) に基づき、下式により算定する。なお、気圧差による荷重の算定においては、閉じた施設を想定する。

$$W_p = \Delta P_{max} \cdot A$$

ここで、

ΔP_{max} : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

①建物・構築物等

建屋・構築物等の主要な部材（壁、屋根等）及び開口部について、気圧差による荷重の影響を評価し、当該施設が破損するとの結果となった場合には安全機能維持への影響についても確認を行う。

②設備

気圧差による荷重の影響を受けることが想定される以下の設備について、安全機能維持への影響について確認する。

- ・ 外気と隔離されているとみなせる区画の境界部（空調系ダクト類等）
- ・ 圧力差の影響を受け得る計器類

3. 設計荷重の設定 (3 / 5)

<設計飛来物による衝撃荷重の設定>

設計飛来物は現地調査等に基づき、泊発電所で想定すべき飛来物として設定している。(補足説明資料 1 2. 参照)

なお、設計飛来物は「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」の解説表に示される飛来物と同様になったことから、最大水平速度及び最大鉛直速度についても「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」の解説表に示される最大風速 $V_D=100\text{m/s}$ とした算定結果を採用する。

設計飛来物及び最大速度を表 3. 1 に示す。

表 3. 1 設計飛来物及び最大速度

| 飛来物の種類 | 棒状物 | | 塊状物 |
|--------------|-----------------|------------------------|----------------------|
| | 鋼製パイプ | 鋼製材 | コンテナ |
| 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 2.4×2.6×6 |
| 質量 (kg) | 8.4 | 135 | 2300 |
| 最大水平速度 (m/s) | 49 | 57 | 60 |
| 最大鉛直速度 (m/s) | 33 | 38 | 40 |

3. 設計荷重の設定（4 / 5）

<設計竜巻荷重の組み合わせ>

評価対象施設の評価に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重（ W_W ）、気圧差による荷重（ W_P ）及び設計飛来物による衝撃荷重（ W_M ）を組み合わせた複合荷重とし、複合荷重 W_{T1} 及び W_{T2} は、下式により算定する。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

ここで、

W_{T1} 、 W_{T2} ：設計竜巻による複合荷重

W_W ：設計竜巻の風圧力による荷重

W_P ：設計竜巻による気圧差による荷重

W_M ：設計飛来物による衝撃荷重

なお、評価対象施設には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。

3. 設計荷重の設定 (5 / 5)

<設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定>

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は以下のとおりとする。

①評価対象施設に常時作用する荷重，運転時荷重等

評価対象施設に常時作用する荷重，運転時荷重を適切に組み合わせる。(補足説明資料 1 3. 参照)

②竜巻以外の自然現象による荷重，設計基準事故時荷重等

竜巻と同時に発生する雷，雹及び大雨については，以下の理由によりプラントへの影響が相乗しないため考慮しない。

1) 雷及び大雨

落雷及び大雨による建屋への浸水は，竜巻による風圧力，気圧差による圧力及び飛来物による衝撃荷重とは影響モードが異なることから，竜巻との組み合わせは考慮しない。

2) 雹

雹の一般的な大きさ(5mm～数cm)から，表 3. 1 に示す設計飛来物に包絡されるため，竜巻との組み合わせは考慮しない。

なお，粒径5cm程度の大型の雹を飛来物として想定した場合の運動エネルギーは約0.03kJ程度と十分小さいことから，衝突を想定しても設計飛来物の評価で代表できる。(補足説明資料 1 4. 参照)

また，竜巻防護施設(設備)が設計竜巻による影響を受けない建屋内に設置され設計基準事故の原因となる配管破損等は起こり難いこと等から，設計竜巻荷重と設計基準事故時荷重が重畳する可能性は低いと考えられ，設計基準事故時荷重との組み合わせは考慮していない。(補足説明資料 1 5. 参照)

4. 飛来物対策の基本方針

泊発電所構内には、屋外に保管されている各種資機材、車両等、飛来物になり得るものが存在している。設計竜巻によりこれら飛来物が竜巻防護施設に衝突した場合は、貫通等の損傷により安全機能の維持に影響を与えることも考えられることから、以下の対策を実施する。

<基本方針>

1. 飛来物発生防止対策

飛来物になり得るものを極力減らすことが重要であるため、次の事項を遵守し飛散防止を図る。

(1) 作業等で使用しないもの

- ・発電所構内に置かない（撤去する）。

(2) 作業等で使用するもの

- ・アンカーにより建屋等堅牢な構造物等へ固縛する。
- ・十分な重さのウエイト取付ける、または複数纏めて固縛する。
- ・業務車両は竜巻が襲来する恐れが生じた場合に速やかに移動できる体制を取る。
- ・業務車両以外の車両は構内への入構を禁止する。
- ・重大事故等対処設備は必要時の利用可能性を確保しつつ、十分な重さのウエイトを取付ける、またはアンカーにより地面へ固縛する。
- ・飛散および横滑りを考慮して、竜巻防護施設から十分な離隔距離を確保する。

2. 飛来物防護対策

上記1. 項の飛来物発生防止対策を実施したとしても、作業のために設置している仮設足場等、飛来物になり得るものをゼロにするのは困難と考えられるため、竜巻防護施設に対する設計飛来物による構造健全性等への影響を評価し、設計飛来物が衝突した場合に安全機能を喪失する可能性のある竜巻防護施設（設備）については、安全機能の維持に影響を与えないよう、防護板、防護ネット等を設置し飛来物から防護する。

参考 飛来物防護対策の例

| 評価対象施設 | 原子炉補機冷却海水ポンプ(配管含む) | ディーゼル機関用蓄熱室加熱器 |
|------------------------|--|--|
| <p>対策例 (イメージ図)</p> | <p>原子炉補機冷却海水ポンプ</p> <p>コンクリート構築物(既設)</p> <p>循環水ポンプ建屋 原子炉補機冷却海水ポンプ設置エリア断面図</p> <p>矢視A</p> <p>防護板、防護ネット等</p> | <p>蓄熱室加熱器</p> <p>吸気消音器</p> <p>コンクリート構築物(既設)</p> <p>防護板、防護ネット等</p> <p>吸気消音器</p> <p>ディーゼル発電機建屋 蓄熱室加熱器設置エリア平面図</p> <p>矢視A-A</p> |