

資料 2 - 3 - 2

泊発電所 3 号炉 審査資料	
資料番号	DB062T r. 6. 0
提出年月日	令和5年4月27日

泊発電所 3 号炉

設置許可基準規則等への適合状況について
(設計基準対象施設等)

第6条 外部からの衝撃による損傷の防止 (竜巻)

令和 5 年 4 月
北海道電力株式会社

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第6条：外部からの衝撃による損傷の防止
(竜巻)

<目次>

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性
 - (1) 位置，構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.3 気象等
 - 1.4 設備等

2. 外部からの衝撃による損傷の防止 (竜巻)
 - 別添資料1 竜巻影響評価について
 - 別添資料2 運用，手順説明資料

< 概 要 >

1. において、設計基準対象施設の設置許可基準規則、技術基準規則の追加要求事項を明確化するとともに、それら要求に対する泊発電所3号炉における適合性を示す。
2. において、設計基準対象施設について、追加要求事項に適合するために必要となる機能を達成するための設備又は運用等について説明する。

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

外部からの衝撃による損傷の防止について，設置許可基準規則第6条及び技術基準規則第7条において，追加要求事項を明確化する（表1）。

表1 設置許可基準規則第6条及び技術基準規則第7条 要求事項

設置許可基準規則	技術基準規則	備考
<p>第6条 (外部からの衝撃による損傷の防止)</p> <p>安全施設 (兼用キヤスクを除く。) は、想定される自然現象 (地震及び津波を除く。次項において同じ。) が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。</p> <p>2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。</p> <p>3 安全施設 (兼用キヤスクを除く。) は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であつて人為によるもの(故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。) に対して安全機能を損なわないものでなければならない。</p>	<p>第7条 (外部からの衝撃による損傷の防止)</p> <p>設計基準対象施設 (兼用キヤスクを除く。) が想定される自然現象 (地震及び津波を除く。) によりその安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置を講じなければならない。</p>	<p>追加要求事項</p>
<p>2 周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合には、事業所における火災又は爆発事故、危険物を搭載した車両、船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であつて人為によるもの (故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。) により発電用原子炉施設 (兼用キヤスクを除く。) の安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。</p> <p>3 航空機の墜落により発電用原子炉施設 (兼用キヤスクを除く。) の安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。</p>		<p>追加要求事項</p>

1.2 追加要求事項に対する適合性

(1) 位置，構造及び設備

五 発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備

ロ．発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(i) 本発電用原子炉施設は，(1)耐震構造，(2)耐津波構造に加え，以下の基本
的方針のもとに安全設計を行う。

a．設計基準対象施設

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

安全施設は，発電所敷地で想定される洪水，風（台風），竜巻，凍結，降
水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学的事象，森林火災及び高潮
の自然現象（地震及び津波を除く。）又はその組合せに遭遇した場合にお
いて，自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生
じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお，発電所敷地で想定される自然現象のうち，洪水については，立地
的要因により設計上考慮する必要はない。

上記に加え，重要安全施設は，科学的技術的知見を踏まえ，当該重要安
全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により
当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力につ
いて，それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して，適切に組み合わせ
る。

また，安全施設は，発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物
（航空機落下），ダムの崩壊，爆発，近隣工場等の火災，有毒ガス，船舶の
衝突又は電磁的障害の発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因とな
るおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）
に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお，発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち，飛
来物（航空機落下）については，確率的要因により設計上考慮する必要は
ない。また，ダムの崩壊については，立地的要因により考慮する必要はな
い。

自然現象及び発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子
炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為
によるもの（故意によるものを除く。）の組合せについては，地震，津波，
風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学
的事象，森林火災等を考慮する。事象が単独で発生した場合の影響と比較
して，複数の事象が重畳することで影響が増長される組合せを特定し，そ

の組合せの影響に対しても安全機能を損なわない設計とする。

ここで、想定される自然現象及び発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

(a-2) 竜巻

安全施設は、想定される竜巻が発生した場合においても、作用する設計荷重に対して、その安全機能を損なわない設計とする。また、安全施設は、過去の竜巻被害状況及び発電所のプラント配置から想定される竜巻に伴う事象に対して、安全機能を損なわない設計とする。

竜巻に対する防護設計を行うための設計竜巻の最大風速は、100m/s とし、設計荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物が安全施設に衝突する際の衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重並びに安全施設に常時作用する荷重、運転時荷重及びその他竜巻以外の自然現象による荷重等を適切に組み合わせたものとして設定する。

安全施設の安全機能を損なわないようにするため、安全施設に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策を実施するとともに、作用する設計荷重に対する安全施設及び安全施設を内包する区画の構造健全性の確保若しくは飛来物による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復等の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることで、その安全機能を損なわない設計とする。

飛来物の発生防止対策として、飛来物となる可能性のあるもののうち、資機材、車両等については、飛来した場合の運動エネルギー又は貫通力が設定する設計飛来物より大きなものに対し、固縛、固定又は防護すべき施設からの離隔を実施する。

(2) 安全設計方針

1. 安全設計

1.8 外部からの衝撃による損傷の防止に関する基本方針

安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）及び想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、安全機能を損なわない設計とする。安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されている重要度分類（以下1.8 では「安全重要度分類」という。）のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。

その上で、上記構築物、系統及び機器の中から、発電用原子炉を停止するため、また、停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器並びに使用済燃料ピットの冷却機能及び給水機能を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス1、クラス2及び安全評価上その機能に期待するクラス3に属する構築物、系統及び機器を外部事象から防護する対象（以下「外部事象防護対象施設」という。）とし、機械的強度を有すること等により安全機能を損なわない設計とする。

また、外部事象防護対象施設を内包する建屋は、機械的強度を有すること等により、内包する外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計及び外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。ここで、外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設を内包する建屋を併せて、外部事象防護対象施設等という。

上記に含まれない構築物、系統及び機器は、機能を維持すること若しくは損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復等の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

1.8.2 竜巻防護に関する基本方針

1.8.2.1 設計方針

1.8.2.1.1 竜巻に対する設計の基本方針

安全施設が竜巻に対して、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な安全機能を損なわないよう、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を適切に設定し、以下の事項に対して、対策を行い、建屋による防護、構造健

全性の維持、代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

また、安全施設は、設計荷重による波及的影響によって、安全機能を損なわない設計とする。

- (1) 飛来物の衝突による施設の貫通及び裏面剥離
- (2) 設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重並びにその他の組合せ荷重（常時作用している荷重、運転時荷重、竜巻以外の自然現象による荷重及び設計基準事故時荷重）を適切に組み合わせた設計荷重
- (3) 竜巻による気圧の低下
- (4) 外気と繋がっている箇所への風の流入

設計竜巻によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を、安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。

設計竜巻によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち、外部事象防護対象施設は、設計荷重に対し機械的強度を有すること等により、安全機能を損なわない設計とする。

竜巻影響評価の対象施設としては、「1.8.2.1.3 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設」及び「1.8.2.1.4 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設」に示す施設を、竜巻影響評価の対象施設とする。

なお、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される設備（系統、機器）及び建屋、構築物のうち、竜巻の影響を受ける可能性がある施設を抽出した結果、追加で「1.8.2.1.3 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設」に反映する施設はない。

竜巻に対する防護設計を行う、外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設及び外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設を「評価対象施設等」という。

外部事象防護対象施設等の安全機能を損なわないようにするため、外部事象防護対象施設等に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策を実施するとともに、作用する設計荷重に対する外部事象防護対象施設の構造健全性の維持、外部事象防護対象施設を内包する区画の構造健全性の確保若しくは飛来物による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、

安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらを適切に組み合わせた設計とする。

屋外に設置する外部事象防護対象施設の構造健全性の維持又は外部事象防護対象施設を内包する区画の構造健全性の確保において、それらを防護するために設置する竜巻飛来物防護対策設備は、竜巻防護ネット、竜巻防護鋼板等から構成し、飛来物から外部事象防護対象施設等を防護できる設計とする。

1.8.2.1.2 設計竜巻の設定

「添付書類六 9. 竜巻」において設定した基準竜巻の最大風速は92m/sとする。

設計竜巻の設定に際して、発電所は敷地前面（北西～南西方向）が日本海に面し、背後は積丹半島中央部の山嶺に続く標高40mから130mの丘陵地であり、地形効果による風の増幅について評価した結果、増幅を考慮する必要はないことを確認したが、将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を踏まえ、基準竜巻の最大風速を安全側に切り上げて、設計竜巻の最大風速は100m/s とする。

1.8.2.1.3 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設

外部事象防護対象施設等は、設計荷重に対し機械的強度を有すること等により安全機能を損なわない設計とする。

外部事象防護対象施設は、外殻となる施設（建屋、構築物）（以下「外殻となる施設」という。）に内包され、外気と繋がっておらず設計竜巻荷重の影響から防護される施設（以下「外殻となる施設に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）」という。）、設計竜巻荷重の影響を受ける屋外施設（以下「屋外施設」という。）、外殻となる施設に内包されるため、設計竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重の影響から防護されるが、外気と繋がっており設計竜巻の気圧差による荷重の影響を受ける施設（以下「屋内の施設で外気と繋がっている施設」という。）及び外殻となる施設に内包されるが設計竜巻荷重の影響から防護が期待できない施設（以下「外殻となる施設による防護機能が期待できない施設」という。）に分類し、このうち、外殻となる施設に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）は内包する建屋により防護する設計とすることから、評価対象施設は、屋外施設、屋内の施設で外気と繋がっている施設及び外殻となる施設による防護機能が期待できない施設とし、以下のように抽出する。

なお、外殻となる施設による防護機能が期待できない施設については、「1.8.2.1.3(1) 屋外施設」のうち外部事象防護対象施設を内包する区画の構造健全性維持可否の観点並びに設計飛来物の衝突等による開口部の開放及び開口部建具の貫通の観点から抽出する。

また、上記に含まれない構築物、系統及び機器は、竜巻及びその随伴事象により損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

(1)屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む。）

- ・排気筒（建屋外）

<以下、外部事象防護対象施設を内包する区画>

外部事象防護対象施設を内包する区画を、以下のとおり抽出する。

- ・原子炉建屋（外部遮へい建屋）（原子炉容器他を内包）
- ・原子炉建屋（周辺補機棟）（主蒸気管他を内包）
- ・原子炉建屋（燃料取扱棟）（使用済燃料ピット他を内包）
- ・原子炉補助建屋（中央制御室他を内包）
- ・ディーゼル発電機建屋（ディーゼル発電機他を内包）
- ・A1, A2-燃料油貯油槽タンク室（A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽を内包）
- ・B1, B2-燃料油貯油槽タンク室（B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽を内包）
- ・A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ（ディーゼル発電機燃料油移送配管を内包）
- ・B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ（ディーゼル発電機燃料油移送配管を内包）
- ・循環水ポンプ建屋（原子炉補機冷却海水ポンプ他を内包）
- ・タービン建屋（タービン保安装置他を内包）

(2)屋内の施設で外気と繋がっている施設

- ・換気空調設備（アニュラス空気浄化設備，格納容器空調装置，補助建屋空調装置，試料採取室空調装置，中央制御室空調装置，電動補助給水ポンプ室換気装置，制御用空気圧縮機室換気装置，ディーゼル発電機室換気装置及び安全補機開閉器室空調装置）
- ・排気筒（建屋内）

(3) 外殻となる施設による防護機能が期待できない施設

- ・使用済燃料ピット
- ・使用済燃料ラック
- ・新燃料ラック
- ・燃料移送装置
- ・使用済燃料ピットクレーン
- ・燃料取扱棟クレーン
- ・燃料取替キャナル
- ・キャスクピット
- ・燃料検査ピット
- ・原子炉補機冷却海水ポンプ
- ・原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ
- ・配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）
- ・原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）
- ・主蒸気系統配管他
- ・制御用空気系統配管
- ・蓄熱室加熱器
- ・ディーゼル発電機燃料油移送配管
- ・タービン保安装置及び主蒸気止め弁

なお、タービン保安装置、主蒸気止め弁及びタービン建屋は、以下の設計とすることにより、以降の評価対象施設には含めないものとする。

評価対象施設のうちタービン保安装置及び主蒸気止め弁については、蒸気発生器への過剰給水の緩和手段（タービントリップ機能）として期待している。竜巻を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重畳の可能性を考慮し、タービン建屋も含め安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、安全機能を損なわない設計とする。

1.8.2.1.4 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設としては、当該施設の破損等により外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性がある施設又はその施設の特定の区画とする。

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設としては、外部事象防護対象施設等を除く構築物、系統及び機器の中から、外部事象

防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設及び外部事象防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る施設を以下のとおり抽出する。

(1) 外部事象防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設

外部事象防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設としては、施設の高さと外部事象防護対象施設等との距離を考慮して、倒壊により外部事象防護対象施設等を損傷させる可能性がある施設を、外部事象防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

- ・タービン建屋
- ・電気建屋
- ・出入管理建屋
- ・循環水ポンプ建屋

(2) 外部事象防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る施設

外部事象防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る施設としては、屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備で、風圧力及び設計飛来物の衝突等による損傷により外部事象防護対象施設の安全機能を損なわせる可能性がある施設及び外部事象防護対象施設を内包する区画の外気と繋がっている換気空調設備を、外部事象防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

<屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備>

- ・ディーゼル発電機排気消音器
- ・主蒸気逃がし弁消音器
- ・主蒸気安全弁排気管
- ・タービン動補助給水ポンプ排気管
- ・ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管

<外部事象防護対象施設を内包する区画の外気と繋がっている換気空調設備>

- ・換気空調設備（蓄電池室排気装置）

1.8.2.1.5 設計飛来物の設定

敷地全体を俯瞰した現地調査及び検討を行い、発電所構内の資機材、車両等の設置状況を踏まえ、評価対象施設等に衝突する可能性のある飛来物を抽出する。

飛来物に係わる現地調査結果及び「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成25年6月19日 原規技発13061911号 原子力規制委員会決定）」に示されている設計飛来物の設定例を参照し設定する。

設計飛来物は、浮き上がりの有無、運動エネルギー及び貫通力を踏まえ、鋼製材を設定する。

また、竜巻飛来物防護対策設備の竜巻防護ネットを通過し得る可能性があり、鋼製材にて包含できない砂利、及び外部事象防護対象施設である使用済燃料ピット等に侵入した場合に燃料集合体に直接落下する可能性があり、鋼製材にて包含できない鋼製パイプも設計飛来物とする。

第1.8.2.1表に発電所における設計飛来物を示す。

飛来物の発生防止対策については、現地調査により抽出した飛来物や発電所に持ち込まれる資機材、車両等の寸法、質量及び形状から飛来の有無を判断し、運動エネルギー及び貫通力を考慮して、衝突時に建屋等又は竜巻飛来物防護対策設備に与えるエネルギー又は貫通力が設計飛来物のうち鋼製材によるものより大きく、外部事象防護対象施設等を防護できない可能性があるものは固縛、固定又は評価対象施設等からの隔離を実施し、確実に飛来物とならない運用とする。

1.8.2.1.6 荷重の組合せと許容限界

竜巻に対する防護設計を行うため、評価対象施設等に作用する設計竜巻荷重の算出、設計竜巻荷重の組合せの設定、設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定及び許容限界について以下に示す。

(1) 評価対象施設等に作用する設計竜巻荷重

設計竜巻により評価対象施設等に作用する荷重として「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)」を以下に示すとおり算出する。

a. 風圧力による荷重 (W_w)

設計竜巻の最大風速による荷重であり、「建築基準法施行令」(昭和25年11月16日政令第338号)、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」及び建設省告示1454号(平成12年5月31日)に準拠して、次式のとおり算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

W_w : 風圧力による荷重

q : 設計用速度圧

G : ガスト影響係数 (=1.0)

C : 風力係数 (施設の形状や風圧力が作用する部位 (屋根・壁等) に応じて設定する。)

A : 施設の受圧面積

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$$

ここで、

ρ : 空気密度

V_D : 設計竜巻の最大風速

ただし、竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として算定されるが、鉛直方向の風圧力に対してせい弱と考えられる評価対象施設等が存在する場合には、鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮した設計とする。

b. 気圧差による荷重 (W_p)

外気と隔離されている区画の境界部が気圧差による圧力影響を受ける設備及び外部事象防護対象施設を内包する区画の外壁、屋根等においては、設計竜巻による気圧低下によって生じる評価対象施設等の内外の気圧差による圧力荷重が発生する。保守的に「閉じた施設」を想定し次式のとおり算出する。

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

ここで、

W_p : 気圧差による荷重

ΔP_{max} : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

c. 設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

飛来物の衝突方向及び衝突面積を考慮して設計飛来物が評価対象施設等に衝突した場合の影響が大きくなる向きで衝撃荷重を算出する。

(2) 設計竜巻荷重の組合せ

評価対象施設等の設計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} は米国原子力規制委員会の基準類を参考として、以下のとおり

設定する。

$$W_{T1} = W_P$$

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

なお、評価対象施設等には 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、以下のとおり設定する。

a. 評価対象施設等に常時作用する荷重，運転時荷重

評価対象施設に作用する荷重として，自重等の常時作用する荷重，内圧等の運転時荷重を適切に組み合わせる。

b. 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は，積乱雲及び積雲に伴って発生する現象であり⁽¹⁾，積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は，雷，雪，ひょう及び降水である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は，以下のとおり設計竜巻荷重に包絡される。

なお，竜巻と同時に発生する自然現象については，今後も継続的に新たな知見等の収集に取り組み，必要な事項については適切に反映を行う。

① 雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても，雷によるプラントへの影響は，雷撃であるため雷による荷重は発生しない。

② 雪

竜巻の作用時間は極めて短時間であること，積雪の荷重は冬季の限定された期間に発生し，積雪荷重の大きさや継続時間は除雪を行うことで低減できることから，発生頻度が極めて小さい設計竜巻の風荷重と積雪による荷重が同時に発生し，設備に影響を与えることは考えにくいいため，組合せを考慮しない。また，雪が堆積した状態における竜巻の影響については，除雪により雪を長期間堆積状態にしない方針であることから，組合せを考慮しない。

冬期に竜巻が襲来する場合は竜巻通過前後に降雪を伴う可能性はあるが，上昇流の竜巻本体周辺では，竜巻通過時に雪は降らない。また，下降流の竜巻通過時は，竜巻通過前に積もった雪の大部分は竜巻の風により吹き飛ばされ，雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

③ ひょう

ひょうは、積乱雲から降る直径5mm以上の氷の粒⁽²⁾であり、仮に直径10cm程度の大型のひょうを想定した場合、その重量は約0.5kgである。直径10cm程度のひょうの終端速度は59m/s⁽³⁾、運動エネルギーは約0.9kJであり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、ひょうの衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

④ 降水

竜巻と降水が同時に発生する場合においても、雨水により屋外施設に荷重の影響を与えることはなく、また降雨による荷重は十分小さいため、設計竜巻荷重に包絡される。

c. 設計基準事故時荷重

外部事象防護対象施設は、当該外部事象防護対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該外部事象防護対象施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して、適切に組み合わせて設計する。

(4) 許容限界

建屋及び構築物の設計において、設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離発生の有無の評価については、貫通及び裏面剥離が発生しない部材厚さ（貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さ）と部材の最小厚さを比較することにより行う。さらに、設計荷重により、発生する変形又は応力が以下の法令、規格、基準、指針類等に準拠し算定した許容限界を下回る設計とする。

- ・ 建築基準法
- ・ 日本産業規格
- ・ 日本建築学会及び土木学会等の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1987（日本電気協会）
- ・ 日本機械学会の基準・指針類
- ・ 震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針（日本建築防災協会）
- ・ 原子力エネルギー協会（NEI）の基準・指針類

系統及び機器の設計において、設計飛来物の衝突による貫通の有無の評価については、貫通が発生しない部材厚である貫通限界厚さと部材の最小厚さを比較することにより行う。設計飛来物が貫通することを考慮する場合には、設計荷重に対して防護対策を考慮した上で、系

統及び機器に発生する応力が以下の規格、基準及び指針類に準拠し算定した許容応力度等に基づく許容限界を下回る設計とする。

- ・ 日本産業規格
- ・ 日本機械学会の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）

1.8.2.1.7 評価対象施設等の防護設計方針

評価対象施設等の設計荷重に対する防護設計方針を以下に示す。

(1) 屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む。）

外部事象防護対象施設等のうち屋外施設は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。

a. 排気筒（建屋外）

排気筒（建屋外）は、設計飛来物の衝突により貫通し構造健全性が維持されないことを考慮して、補修が可能な設計とすることにより、設計基準事故時における安全機能を損なわない設計とする。さらに、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び排気筒に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

<以下、外部事象防護対象施設を内包する区画>

b. 原子炉建屋（外部遮へい建屋）

原子炉建屋（外部遮へい建屋）は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により、当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

c. 原子炉建屋（周辺補機棟）、原子炉建屋（燃料取扱棟）、原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋

原子炉建屋（周辺補機棟）、原子炉建屋（燃料取扱棟）、原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突

時においても、貫通及び裏面剥離の発生により、当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

ただし、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重又は設計飛来物の衝突による影響を受け、屋根、壁及び開口部（扉類）が損傷し当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なう可能性がある場合には、当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないかを評価し、安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施する。

d. A1, A2-燃料油貯油槽タンク室及びB1, B2-燃料油貯油槽タンク室
A1, A2-燃料油貯油槽タンク室及びB1, B2-燃料油貯油槽タンク室は、地下埋設されていることを考慮し、設計飛来物による衝撃荷重に対して、構造健全性が維持され、ディーゼル発電機燃料油貯油槽が安全機能を損なわない設計とする。

e. A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ及びB1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ

A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ及びB1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチは、設計飛来物の衝突による影響を受け、開口部（蓋）が損傷する可能性があるため、当該トレンチ内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないかを評価し、安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施する。

f. 循環水ポンプ建屋

循環水ポンプ建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重又は設計飛来物の衝突による影響を受け、屋根、壁及び開口部（扉類）が損傷する可能性があるため、当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないかを評価し、安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施する。

(2) 屋内の施設で外気と繋がっている施設

外殻となる施設に内包され防護される外部事象防護対象施設のうち、外気と繋がっている施設は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護鋼板の設置又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。

a. 換気空調設備（アニュラス空気浄化設備，格納容器空調装置，補助建屋空調装置，試料採取室空調装置，中央制御室空調装置，電動補助給水ポンプ室換気装置，制御用空気圧縮機室換気装置，ディーゼル発電機室換気装置及び安全補機開閉器室空調装置）
換気空調設備（アニュラス空気浄化設備，格納容器空調装置，補助建屋空調装置，試料採取室空調装置，中央制御室空調装置，電動補助給水ポンプ室換気装置，制御用空気圧縮機室換気装置，ディーゼル発電機室換気装置及び安全補機開閉器室空調装置）は，原子炉建屋（外部遮へい建屋），竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行う原子炉建屋（周辺補機棟）及び原子炉補助建屋に内包されていることを考慮すると，風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しないことから，気圧差による荷重及び設備に常時作用する荷重に対して，構造健全性が維持され，安全機能を損なわない設計とする。

b. 排気筒（建屋内）

排気筒（建屋内）は，竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行う原子炉建屋（周辺補機棟）に内包されていることを考慮すると，風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しないため，気圧差による荷重及び排気筒に常時作用する荷重に対して，構造健全性が維持され，安全機能を損なわない設計とする。

(3) 外殻となる施設による防護機能が期待できない施設

外殻となる施設による防護機能が期待できない施設は，設計荷重に対して，安全機能が維持される設計とし，必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護鋼板等の設置又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。

a. 使用済燃料ピット

設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し使用済燃料ピットに侵入する場合でも，設計飛来物の衝撃荷重により，使用済燃料ピットのライニング及びコンクリートの一部が損傷して，ピット水が漏れ出すことはほとんどなく，使用済燃料ピットの冷却機能及び遮蔽機能に影響しないことにより使用済燃料ピットが安全機能を損なわない設計とする。

b. 使用済燃料ラック

設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し使用済燃

料ピットに侵入し使用済燃料ラックに衝突する場合でも、設計飛来物が使用済燃料ラックに貯蔵している燃料の燃料有効部に達することはなく、使用済燃料ラックに貯蔵している燃料の構造健全性が維持されることにより安全機能を損なわない設計とする。

c. 新燃料ラック

設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し新燃料貯蔵庫に侵入し新燃料ラックに衝突する場合でも、設計飛来物が新燃料ラックに貯蔵している燃料の燃料有効部に達することはなく、新燃料ラックに貯蔵している燃料の構造健全性が維持されることにより安全機能を損なわない設計とする。

また、設計飛来物のうち鋼製パイプが新燃料ラックに貯蔵している燃料に直接衝突し、燃料の構造健全性が損なわれることを考慮して、竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物が新燃料ラックに貯蔵している燃料に直接衝突することを防止し、燃料の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

d. 燃料移送装置，使用済燃料ピットクレーン，燃料取扱棟クレーン，燃料取替チャンネル，キャスクピット，燃料検査ピット

燃料移送装置，使用済燃料ピットクレーン，燃料取扱棟クレーン，燃料取替チャンネル，キャスクピット，燃料検査ピットは、設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し、燃料移送装置，使用済燃料ピットクレーン，燃料取扱棟クレーン，燃料取替チャンネル，キャスクピット，燃料検査ピットに衝突し移送中又は取扱い中の燃料の構造健全性が損なわれることを考慮して、竜巻襲来が予想される場合には、燃料取扱作業を中止し、移送中の燃料は燃料移送装置にて原子炉建屋（外部遮へい建屋）内に移動する又は取扱い中の燃料は使用済燃料ピットクレーンにて使用済燃料ラックに貯蔵することにより、移送中又は取扱い中の燃料の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

なお、使用済燃料ピットクレーンは使用済燃料ラック及び使用済燃料ラックに貯蔵している燃料に影響を及ぼさない待機位置への退避措置を行う。

e. 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプは、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し、竜巻防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の衝突を防止し、風圧力による荷重、気

圧差による荷重及び原子炉補機冷却海水ポンプに常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

f. 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ

原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナは、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し、竜巻防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の衝突を防止し、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び原子炉補機冷却海水出口ストレーナに常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

g. 配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）

配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し、竜巻防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の衝突を防止し、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

h. 原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）

原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）は、設計飛来物が原子炉建屋（周辺補機棟）の開口部建具である扉を貫通し、原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護壁の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）への衝突を防止し、原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

i. 主蒸気系統配管他

主蒸気系統配管他は、設計飛来物が原子炉建屋（周辺補機棟）又はディーゼル発電機建屋の開口部建具であるブローアウトパネル、扉又はガラリを貫通し、主蒸気系統配管他に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護鋼板等で開口部建具の竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の主蒸気系統配管他への衝突を防止し、主蒸気系統配管他の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

j. 制御用空気系統配管

制御用空気系統配管は、設計飛来物が原子炉補助建屋の開口部

建具である扉を貫通し、制御用空気系統配管に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護壁の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の制御用空気系統配管への衝突を防止し、制御用空気系統配管の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

k. 蓄熱室加熱器

蓄熱室加熱器は、設計飛来物がディーゼル発電機建屋の開口部建具である扉又はガラリを貫通し、蓄熱室加熱器に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護鋼板等の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の蓄熱室加熱器への衝突を防止し、蓄熱室加熱器の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

l. ディーゼル発電機燃料油移送配管

ディーゼル発電機燃料油移送配管は、設計飛来物が A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ及び B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチの蓋を貫通し、ディーゼル発電機燃料油移送配管に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護鋼板等の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物のディーゼル発電機燃料油移送配管への衝突を防止し、ディーゼル発電機燃料油移送配管の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

(4) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、設計荷重による影響を受ける場合においても外部事象防護対象施設等に影響を及ぼさないよう、必要に応じて施設の補強、竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施することにより、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 循環水ポンプ建屋、タービン建屋、電気建屋及び出入管理建屋
循環水ポンプ建屋、タービン建屋、電気建屋及び出入管理建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、倒壊により外部事象防護対象施設等へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

b. ディーゼル発電機排気消音器

ディーゼル発電機排気消音器は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、ディーゼル発電機排気消音器が閉塞する

ことがなく、ディーゼル発電機の排気機能が維持される設計とする。

さらに、ディーゼル発電機排気消音器が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とし、外部事象防護対象施設であるディーゼル発電機に機能的影響を及ぼさない設計とする。

c. 主蒸気逃がし弁消音器

主蒸気逃がし弁消音器は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、主蒸気逃がし弁消音器が損傷して閉塞することではなく、主蒸気逃がし弁の排気機能が維持される設計とする。

さらに、主蒸気逃がし弁消音器が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

以上より、主蒸気逃がし弁消音器が、外部事象防護対象施設である主蒸気逃がし弁に機能的影響を及ぼさず、主蒸気逃がし弁が安全機能を損なわない設計とする。

d. 主蒸気安全弁排気管

主蒸気安全弁排気管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、主蒸気安全弁排気管が損傷して閉塞することではなく、主蒸気安全弁の排気機能が維持される設計とする。

さらに、主蒸気安全弁排気管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

以上より、主蒸気安全弁排気管が、外部事象防護対象施設である主蒸気安全弁に機能的影響を及ぼさず、主蒸気安全弁が安全機能を損なわない設計とする。

e. タービン動補助給水ポンプ排気管

タービン動補助給水ポンプ排気管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、タービン動補助給水ポンプ排気管が損傷して閉塞することではなく、タービン動補助給水ポンプの機関の排気機能が維持される設計とする。

さらに、タービン動補助給水ポンプ排気管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

以上より、タービン動補助給水ポンプ排気管が、外部事象防護

対象施設であるタービン動補助給水ポンプに機能的影響を及ぼさず、タービン動補助給水ポンプが安全機能を損なわない設計とする。

f. ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管

ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管が閉塞することがなく、ディーゼル発電機燃料油貯油槽のベント機能が維持される設計とする。

さらに、ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管は風圧力による荷重、気圧差による荷重及び常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とし、外部事象防護対象施設であるディーゼル発電機燃料油貯油槽に機能的影響を及ぼさない設計とする。

g. 換気空調設備（蓄電池室排気装置）

換気空調設備が原子炉補助建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。気圧差による荷重及び設備に常時作用する荷重に対しては、換気空調設備の構造健全性が維持される設計とする。

以上より、換気空調設備が、外部事象防護対象施設である蓄電池に機能的影響を及ぼさず、蓄電池が安全機能を損なわない設計とする。

以上の評価対象施設等の防護設計を考慮して、設計竜巻から防護する評価対象施設及び竜巻防護対策等を第1.8.2.2表に、外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設及び竜巻防護対策等を第1.8.2.3表に、外部事象防護対象施設を内包する区画及び竜巻防護対策等を第1.8.2.4表に示す。

1.8.2.1.8竜巻随件事象に対する評価

竜巻随件事象として、過去の竜巻被害事例及び発電所の施設の配置から、想定される事象である、火災、溢水及び外部電源喪失を抽出し、事象が発生する場合においても、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(1)火災

竜巻随件事象として、設計竜巻による飛来物が建屋開口部付近の発火性又は引火性物質を内包する機器に衝突する場合及び屋外の危険物貯蔵施設等に飛来物が衝突する場合の火災が想定される。

建屋内については、飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近には、発電用原子炉施設の安全機能を損なわせる可能性がある発火性又は引火性物質を内包する機器は配置されておらず、設計竜巻により建屋内に火災が発生することはなく、建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

建屋外については、発電所敷地内の屋外にある危険物貯蔵施設等の火災がある。火災源と外部事象防護対象施設の位置関係を踏まえて火災の影響を評価した上で、外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とすることを「1.10 外部火災防護に関する基本方針」に記載する。

以上より、竜巻随件事象としての火災に対して外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

(2)溢水

竜巻随件事象として、設計竜巻による気圧低下の影響や飛来物が建屋開口部付近の溢水源に衝突する場合及び屋外タンク等に飛来物が衝突する場合の溢水が想定される。

外部事象防護対象施設を内包する建屋内については、飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近に飛来物が衝突して外部事象防護対象施設の安全機能を損なう可能性がある溢水源が配置されておらず、設計竜巻により建屋内に溢水が発生することはない。また、建屋内は設計竜巻による気圧低下の影響を受けないことから建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

建屋外については、気圧低下の影響による屋外タンク等の破損は考え難いものの、設計竜巻による飛来物の衝突による屋外タンク等の破損に伴う溢水が想定されるが、「1.7 溢水防護に関する基本方針」にて、竜巻時の屋外タンク等の破損を想定し、溢水が安全系機器に影響を及ぼさない設計としていることから、竜巻随件事象による屋外タンク等が損傷

して発生する溢水により外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

以上より、竜巻随件事象としての溢水に対して外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

(3) 外部電源喪失

設計竜巻又は設計竜巻と同時に発生する雷又はダウンバースト等の影響により送電網に関する施設等が損傷して外部電源喪失が発生する場合が想定される。

設計竜巻に対してディーゼル発電機の構造健全性を維持することにより、外部電源喪失の影響がなく外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

1.8.2.2 手順等

竜巻に対する防護については、竜巻に対する影響評価を行い、安全施設が安全機能を損なわないよう手順等を定める。

- (1) 屋外の作業区画で飛散するおそれのある資機材、車両等については、飛来時の運動エネルギー及び貫通力等を評価し、外部事象防護対象施設等への影響の有無を確認する。外部事象防護対象施設等に影響を及ぼす資機材、車両等については、固縛、固定、外部事象防護対象施設等から離隔、頑健な建屋内に収納又は撤去する。これら飛来物発生防止対策について手順を定める。
- (2) 竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後において、外部事象防護対象施設等を防護するための操作・確認、補修等が必要となる事項について手順を定める。

1.8.2.3 参考文献

- (1) 雷雨とメソ気象 大野久雄，東京堂出版
- (2) 気象庁ホームページ
- (3) 一般気象学 小倉義光，東京大学出版会

第1.8.2.1表 泊発電所における設計飛来物

飛来物の種類	砂利	鋼製パイプ	鋼製材
サイズ(m)	長さ×幅×奥行 0.04×0.04×0.04	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2
質量(kg)	0.18	8.4	135
最大水平速度 (m/s)	62	49	57
最大鉛直速度 (m/s)	42	33	38

第1.8.2.2表 設計竜巻から防護する評価対象施設及び竜巻防護対策等 (1/3)

設計竜巻から防護する評価対象施設	竜巻の最大風速条件	飛来物発生防止対策	防護設備 (外殻となる施設)	想定する設計飛来物	手順等		
<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機冷却海水ポンプ 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ 配管及び弁 (原子炉補機冷却海水系統) 	<ul style="list-style-type: none"> 100m/s 	<ul style="list-style-type: none"> 固定 固縛 外部事象 防護対象施設等との離隔 	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻飛来物防護対策設備 	<ul style="list-style-type: none"> 砂利 	—		
<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機冷却水サージタンク (配管及び弁含む) 制御用空気系統配管 			—	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻襲来が予想される場合の扉の閉止確認 	
<ul style="list-style-type: none"> 主蒸気系統配管他 蓄熱室加熱器 			—	—	—	—	
<ul style="list-style-type: none"> ディーゼル発電機燃料油移送配管 			—	—	—	—	
<ul style="list-style-type: none"> 排気筒 (建屋外) 			—	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製材 鋼製パイプ 砂利 	<ul style="list-style-type: none"> 補修
<ul style="list-style-type: none"> 使用済燃料ピット 使用済燃料ラック 			—	—	<ul style="list-style-type: none"> 施設を内包する施設 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製材 鋼製パイプ 砂利 	—

第1.8.2.2表 設計竜巻から防護する評価対象施設及び竜巻防護対策等 (2/3)

設計竜巻から防護する評価対象施設	竜巻の最大風速条件	飛来物発生防止対策	防護設備 (外殻となる施設)	想定する設計飛来物	手順等
<ul style="list-style-type: none"> 新燃料ラック 			<ul style="list-style-type: none"> 施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製材 鋼製パイプ 砂利 	—
<ul style="list-style-type: none"> 燃料移送装置 使用済燃料ピットクレーン 燃料取扱棟クレーン 燃料取替キヤナル キヤスクピット 燃料検査ピット 		<ul style="list-style-type: none"> 固定 固縛 外部事象 	<ul style="list-style-type: none"> 施設を内包する施設 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製材 鋼製パイプ 砂利 	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業の中止
<ul style="list-style-type: none"> 排気筒 (建屋内) 換気空調設備 (アニュラス空気浄化設備, 格納容器空調装置, 制御用空気圧縮機室換気装置及びディーゼル発電機室換気装置) 	<ul style="list-style-type: none"> 100m/s 	<ul style="list-style-type: none"> 外部事象 防護対象施設等との隔離 	<ul style="list-style-type: none"> 施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備 	—	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻襲来が予想される場合の扉の閉止確認
<ul style="list-style-type: none"> 換気空調設備 (補助建屋空調装置, 試料採取室空調装置, 中央制御室空調装置, 電動補助給水ポンプ室換気装置及び安全補機開閉器室空調装置) 			<ul style="list-style-type: none"> 施設を内包する施設 	—	—

第1.8.2.2表 設計竜巻から防護する評価対象施設及び竜巻防護対策等 (3/3)

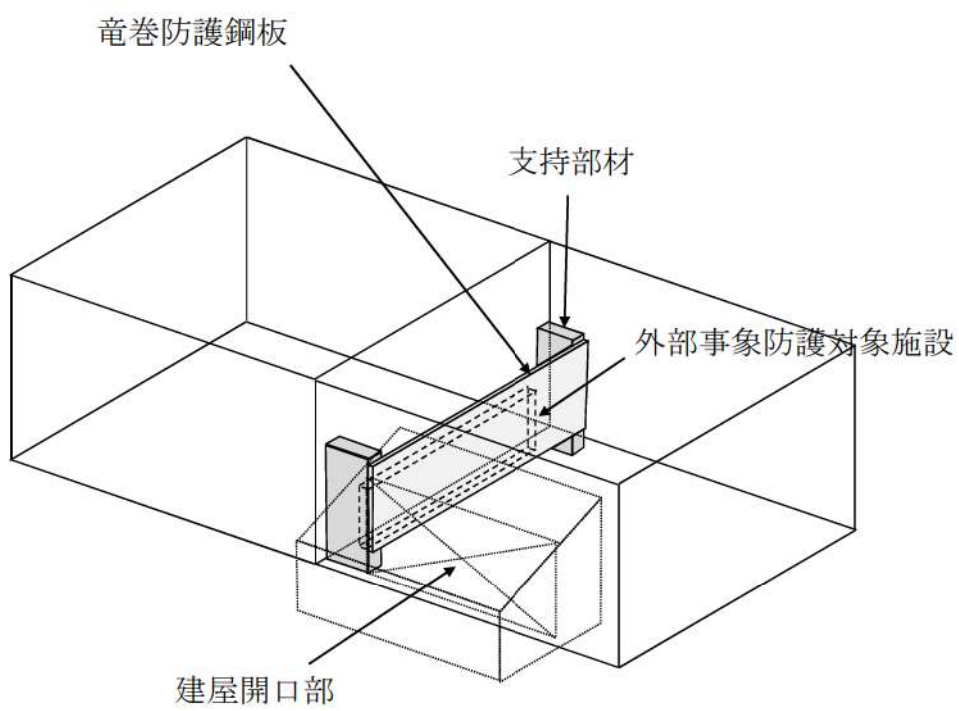
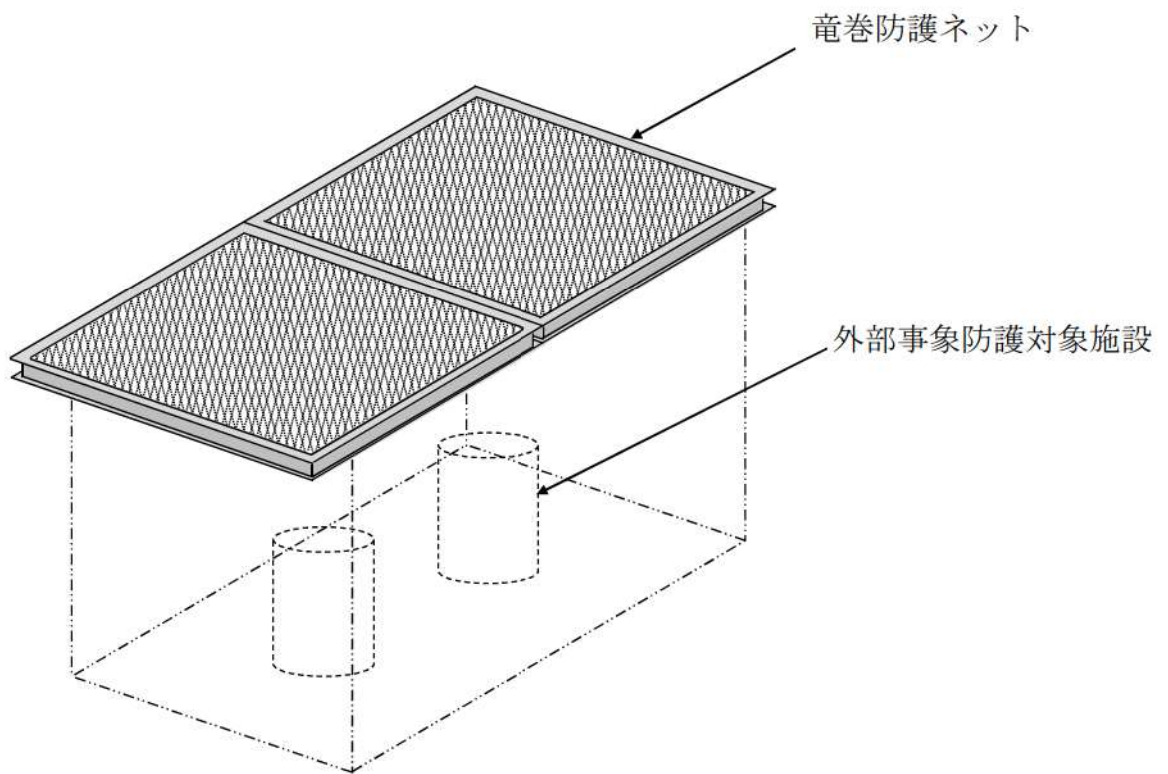
設計竜巻から防護する評価対象施設	竜巻の最大風速条件	飛来物発生防止対策	防護設備 (外殻となる施設)	想定する設計飛来物	手順等		
<ul style="list-style-type: none"> 安全重要度分類のクラス1及びクラス2に属する施設のうち上記以外の建屋、構築物内の施設 	<ul style="list-style-type: none"> 100m/s 	<ul style="list-style-type: none"> 固定 固縛 外部事象 防護対象施設等との隔離 	<ul style="list-style-type: none"> 施設を内包する施設 	-	-		
<ul style="list-style-type: none"> 安全重要度分類のクラス3に属する施設(下記以外の施設) 						-	<ul style="list-style-type: none"> 代替設備の確保、補修、取替等
<ul style="list-style-type: none"> 安全評価上その機能に期待する構築物等(タービン保安装置及び主蒸気止め弁) 						<ul style="list-style-type: none"> 鋼製材 鋼製パイプ 砂利 	<ul style="list-style-type: none"> 補修

第1.8.2.3表 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設及び竜巻防護対策等

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設	竜巻の最大風速条件	飛来物発生防止対策	防護設備 (外殻となる施設)	想定する設計飛来物	手順等
<ul style="list-style-type: none"> 循環水ポンプ建屋 タービン建屋 電気建屋 出入管理建屋 	<ul style="list-style-type: none"> 100m/s 	<ul style="list-style-type: none"> 固定 固縛 外部事象防護対象施設等との隔離 	-	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製材 鋼製パイプ 砂利 	-
<ul style="list-style-type: none"> ディーゼル発電機排気消音器 主蒸気逃がし弁消音器 主蒸気安全弁排気管 タービン動補助給水ポンプ排気管 ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管 換気空調設備（蓄電池室排気装置） 					
				<ul style="list-style-type: none"> 鋼製材 鋼製パイプ 砂利 	-
			<ul style="list-style-type: none"> 施設を内包する施設 	-	-

第1.8.2.4表 外部事象防護対象施設を内包する区画及び竜巻防護対策等

外部事象防護対象施設を内包する区画	竜巻の最大風速条件	飛来物発生防止対策	防護設備(外殻となる施設)	想定する設計飛来物	手順等
<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 (周辺補機棟) ディーゼル発電機建屋 		<ul style="list-style-type: none"> 固定 固縛 外部事象防護対象施設等との隔離 	—	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製材 鋼製パイプ 砂利 	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻襲来が予想される場合の扉の閉止確認
<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋(外部遮へい建屋) 原子炉建屋(燃料取扱棟) 原子炉補助建屋 A1, A2-燃料油貯油槽タンク室 B1, B2-燃料油貯油槽タンク室 A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ 循環水ポンプ建屋 	<ul style="list-style-type: none"> 100m/s 	<ul style="list-style-type: none"> 固定 固縛 外部事象防護対象施設等との隔離 	—	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製材 鋼製パイプ 砂利 	—



第1.8.2.1図 竜巻飛来物防護対策設備概念図

(3) 適合性説明

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

3 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

適合のための設計方針

第1項について

(3) 竜巻

安全施設は、設計竜巻の最大風速 100m/s による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重等に対し安全機能を損なわないために、飛来物の発生防止対策及び竜巻防護対策を行う。

a. 飛来物の発生防止対策

竜巻により発電所構内の資機材等が飛来物となり、外部事象防護対象施設等が安全機能を損なわないために、以下の対策を行う。

- ・外部事象防護対象施設等へ影響を及ぼす資機材及び車両については、固縛、固定、外部事象防護対象施設等及び竜巻飛来物防護対策設備からの離隔、頑健な建屋内収納又は撤去する。

b. 竜巻防護対策

固縛等による飛来物の発生防止対策ができないものが飛来し、安全施設が安全機能を損なわないために、以下の対策を行う。

- ・外部事象防護対象施設を内包する区画及び竜巻飛来物防護対策設備により、外部事象防護対象施設を防護し、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とする。

- ・外部事象防護対象施設の構造健全性が維持できない場合には、代替設備の確保、損傷した場合の取替え又は補修が可能な設計とすることにより安全機能を損なわない設計とする。

ここで、竜巻は積乱雲や積雲に伴って発生する現象であり、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性のある自然現象は、雷、雪、ひょう及び降水である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は、設計竜巻荷重に包含される。

1.3 気象等

9. 竜巻

9.1 竜巻

竜巻影響評価は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原規技発 13061911 号原子力規制委員会決定）」（以下「ガイド」という。）に基づき実施する。

基準竜巻及び設計竜巻の設定は、竜巻検討地域の設定、基準竜巻の最大風速の設定及び設計竜巻の最大風速の設定の流れで実施する。

9.1.1 竜巻検討地域の設定

発電所が立地する地域と、気象条件の類似性の観点で検討を行い、竜巻検討地域を設定する。

(1) 気候区分の確認

気象条件の類似性を確認するため、気候区分による確認を実施する。

泊発電所の立地地域は、第 9.1.1 図に示す一般的な気候区分⁽¹⁾によれば、区分 I 2 に属する。

(2) 気象総観場の分析

気候区分の確認に加え気象条件の類似性の観点から、気象総観場ごとの竜巻発生位置を整理し、発電所と類似の地域を抽出する。竜巻発生要因の総観場は、気象庁「竜巻等の突風データベース」⁽²⁾を基に、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」⁽³⁾を参考に、台風、温帯低気圧、季節風（夏）、季節風（冬）、停滞前線、局地性及びその他の 7 つに分類する。第 9.1.1 表に総観場の分類法と発生分布の特徴を、第 9.1.2 図に全国で発生した竜巻の総観場ごとの F スケール別竜巻発生分布を示す。

ガイドでは、竜巻検討地域を設定する際に、IAEA の基準⁽⁴⁾が参考になるとされており、およそ 10 万 km² の範囲を目安とすることが挙げられている。

日本海側は太平洋側と気候的にも異なることを踏まえ、泊発電所を中心とする 10 万 km²（半径 180km）の範囲の沿岸を確認したところ、第 9.1.3 図に示すとおり、気候区分 I 2 が該当する。

日本海側と太平洋側の気候的な類似性が無いことについては、以下に示す総観場の観点からも確認を行っている。

竜巻検討地域として、第 9.1.3 図に示した 10 万 km²（半径 180km）の範囲が適切であるか、又はさらに広げたエリアを設定することが適切であるかについて、総観場を用い、その類似性を確認することで評価を行う。

総観場の確認において、泊発電所が立地する気候区分 I 2 のエリアとして、宗谷岬から襟裳岬までを対象とした。また、日本海側の地域は共通して「I. 裏日本気候区」に属しているため、気候区分 I 3 の日本海側（青森県から山形県まで）、気候区分 I 4（新潟

県から兵庫県まで)及び気候区分I5(鳥取県から山口県萩市付近まで)のエリアも対象とした。なお、気候区分I1にあたる宗谷岬以西のオホーツク海沿岸部は、竜巻が発生していないため対象外とした。第9.1.4図にエリアごとの総観場の確認結果を示す。

(3) 総観場の分析に基づく地域特性の確認

全国で発生した竜巻の総観場ごとのFスケール別竜巻発生分布(第9.1.2図)、総観場ごとの確認結果(第9.1.2表)及び地域ごとの竜巻発生総観場及び寄与割合の比較結果(第9.1.4図)より日本海側と太平洋側では竜巻発生要因となる気象条件(総観場)が大きく異なっており、また、北海道から本州の日本海側及び北海道の襟裳岬以西は総観場的に類似性のあるエリアとして考慮する必要があると判断した。

(4) 過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認

日本で竜巻が集中する地域については、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説」⁽³⁾に、全国19箇所の竜巻集中地域が示されており、第9.1.5図に示すとおり、泊発電所は、竜巻集中地域②(北海道の後志地方・渡島地方・檜山地方の一部)に立地している。

気象庁「竜巻等の突風データベース」⁽²⁾によると、1961年1月から2012年6月の51.5年間に発生が確認された竜巻の個数は竜巻集中地域②で21個であり、この期間に竜巻集中地域②で観測されている最も強い竜巻はF2となる。

竜巻発生の影響評価の観点からすると、データ数は多い方がよいため、竜巻検討地域としては北海道から本州の日本海側及び北海道太平洋側の襟裳岬以西の海岸線を設定する。竜巻検討地域での竜巻個数は209個であり、観測された最も強い竜巻はF2である。

なお、竜巻検討地域と竜巻集中地域②の竜巻発生確率は、 1.0×10^{-4} 、 1.1×10^{-4} (個/年/km²)であり、単位面積当たりの竜巻発生数はおおむね同程度である。竜巻集中地域②における竜巻の観測記録は21事例とかなり少なく、影響評価を行うにはデータ数が乏しい。

竜巻の地域特性を確認するため、第9.1.6図に示すとおり、竜巻集中地域②と竜巻検討地域、竜巻集中地域②に隣接する竜巻集中地域①(北海道の宗谷地方・留萌地方の一部)と⑩(北海道の胆振地方・日高地方の一部)における総観場の比較を行い、いずれの地域でも“季節風(冬)”と“温帯低気圧”が竜巻発生の主要因となっており、竜巻の発生要因には共通性がある。

(5) 突風関連指数に基づく地域特性の確認

気候区分及び総観場での検討に加え、大きな被害をもたらす強い竜巻の発生要因となる環境場の形成のしやすさについての地域特性を確認するため、気象庁や米国気象局においても竜巻探知・予測に活用されており、竜巻の発生しやすさを数値的に示すことができる突風関連指数を用いて地域特性の確認を行った。

大きな被害をもたらす竜巻の親雲の多くはスーパーセルであり、スーパーセルが発生

しやすい環境場として、大気下層の鉛直シア（異なる高度間での風向・風速差）と、強い上昇気流を発生させるきっかけとしての不安定な大気場が必要であることから、突風関連指数としては、竜巻の発生実態を解明する研究において国内外で広く利用され、大気の不安定度を表す指標である「CAPE」、鉛直シアに伴って発生する水平渦度が親雲に取り込まれる度合いを表す指標である「SReH」を採用し、両者の指標が同時に高くなる頻度について、地域的な特徴を確認する分析を実施する。また、両者をかけ合わせた指標「EHI」による分析も実施し、SReH 及び CAPE の同時超過頻度分析との比較を実施する（第 9.1.7 図、第 9.1.8 図）。

突風関連指数による、大規模な竜巻形成につながる環境場の発生頻度分析を行った結果、東北地方太平洋側及び日本海側は、茨城県以西の太平洋側と地域特性の違いがあることを確認した。

(6) 竜巻検討地域

発電所に対する竜巻検討地域について、「気候区分の確認」、「総観場の分析に基づく地域特性の確認」、「過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認」及び「突風関連指数に基づく地域特性の確認」により地域特性を確認し、北海道から本州の日本海側及び北海道の襟裳岬以西の海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲を竜巻検討地域に設定する（面積約 38,895km²）。

第 9.1.9 図に竜巻検討地域を示す。

9.1.2 基準竜巻の最大風速 (V_B) の設定

基準竜巻の最大風速は、過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1}) 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2}) のうち、大きな風速を設定する。

(1) 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1})

過去に発生した竜巻による最大風速の設定に当たっては、日本で過去に発生した最大の竜巻は F3 であり、F スケールと風速の関係より風速は 70m/s~92m/s であることから、日本で過去に発生した最大竜巻 F3 の風速範囲の上限値 92m/s を V_{B1} とする。

第 9.1.3 表に日本で過去に発生した F3 竜巻の観測記録を示す。

(2) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

竜巻最大風速のハザード曲線は、ガイドに従い、既往の算定方法に基づき、具体的には「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」⁽⁵⁾を参照して、算定する。本評価は、竜巻データの分析、竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率密度分布の算定、相関係数の算定、並びにハザード曲線の算定によって構成される。

竜巻最大風速のハザード曲線の算定は、竜巻検討地域（海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲）の評価及び竜巻検討地域を海岸線に沿って 1 km 範囲ごとに短冊状に細分化した場合の評価の 2 とおりで算定し、そのうち大きな風速を設定する。

a. 海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km 全域の評価

本評価では、竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した竜巻も発生数にカウントする。被害幅及び被害長さは、それぞれ被害全幅及び被害全長を用いる。

b. 竜巻の発生頻度の分析

気象庁「竜巻等の突風データベース」⁽²⁾を基に、1961 年~2012 年 6 月までの 51.5 年間の統計量を F スケール別に算出する。第 9.1.10 図に気象庁「竜巻等の突風データベース」⁽²⁾による 1961 年~2012 年までの竜巻年別発生確認数を示す。なお、観測体制の変遷による観測データ品質のばらつきを踏まえ、以下の (a)~(c) の基本的な考え方に基づいて整理を行う。

(a) 被害が小さくて見過ごされやすい F0 及び F スケール不明竜巻に対しては、観測体制が強化された 2007 年以降の年間発生数及び標準偏差を用いる。

(b) 被害が比較的軽微な F1 竜巻に対しては、観測体制が整備された 1991 年以降の年間発生数や標準偏差を用いる。

(c) 被害が比較的大きく見逃されることがないと考えられる F2 及び F3 竜巻に対しては、観測記録が整備された 1961 年以降の全期間の年間発生数や標準偏差を用いる。また、F スケール不明の竜巻については、以下の取扱いを行う。

陸上で発生した竜巻（以下「陸上竜巻」という。）及び海上で発生して陸上へ移動した竜巻については、被害があつて初めてその F スケールが推定されるため、陸上での F スケ

ール不明の竜巻は、被害が少ないF0 竜巻とみなす。

海上で発生し、その後上陸しなかった竜巻（以下「海上竜巻」という。）については、その竜巻のスケールを推定することは困難であることから、「海岸線から海上5 km の範囲における海上竜巻の発生特性が、海岸線から内陸5 km の範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である。」という仮定に基づいて各Fスケールに分類する。

その結果、Fスケール不明の海上竜巻の取扱いにより、第9.1.4表のとおり観測実績に対して保守性を高めた評価としている。

また、同表の分析結果に基づき竜巻最大風速のハザード曲線の算出に使用する竜巻の発生数を第9.1.5表に示す。

c. 年発生数の確率密度分布の設定

ハザード曲線の評価に当たっては、竜巻は気象事象の中でも極めてまれに発生する事象であり、発生数の変動（標準偏差）が大きい分布であることから、「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」⁽⁵⁾にならって竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定し、使用する竜巻年発生数の確率密度分布はポリヤ分布を採用する。

竜巻年発生数の確率分布の設定には、ポアソン分布とポリヤ分布が考えられる。

ポアソン分布は、生起確率が正確に分からないまれな現象の場合に有用な分布である。一方、ポリヤ分布は、ガイドにおいて推奨されているポアソン分布を一般化したものであり、発生状況が必ずしも独立でないまれな現象（ある事象が生ずるのはまれであるが、一旦ある現象が発生するとその周囲にもその現象が生じやすくなる性質）の場合に有用な分布である（例えば、伝染病の発生件数）。台風や前線により竜巻が発生した場合、同時多発的に複数の竜巻が発生する状況が考えられるため、ポリヤ分布の方が実現象をより反映できると考えられる。

また、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は、「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」⁽⁵⁾に示されており、陸上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。

発電所の竜巻検討地域で発生した竜巻を対象に、発生数に関するポアソン分布及びポリヤ分布の適合性を評価した結果、竜巻検討地域においても、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ことを確認している（第9.1.11図）。

なお、ポリヤ分布は、年発生数の年々変動の実態をポアソン分布よりも適合性が高い形で表現できることを確認している（第9.1.12図、第9.1.13図）。

d. 竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率分布並びに相関係数

竜巻検討地域における51.5年間の竜巻の発生数、被害幅及び被害長さを基に、確率密度分布についてはガイド及びガイドが参考としている「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」⁽⁵⁾を参照し、対数正規分布に従うものとする（第9.1.14図～第9.1.19図）。

なお、疑似的な竜巻の作成に伴う被害幅又は被害長さの情報がない竜巻には、被害幅又は被害長さを有する竜巻の観測値を与えている。その際は、被害幅又は被害長さが大きいほうから優先的に用いることで、被害幅又は被害長さの平均値が大きくなるように工夫しているとともに、被害幅又は被害長さ0のデータについては計算に用いておらず、保守的な評価を行っている。

このように、前述のFスケール不明の竜巻の取扱い等も含め、データについては保守的な評価となる取扱いを行っている。また、1961年以降の観測データのみを用いて、竜巻風速、被害幅及び被害長さについて相関係数を求める（第9.1.6表）。

e. 竜巻影響エリアの設定

竜巻影響エリアは、発電所の評価対象施設等の面積及び設置位置を考慮して、評価対象施設等を包絡する円形のエリア（直径920m、面積約664,000m²）として設定する（第9.1.20図）。

なお、竜巻影響エリアを円形とするため、竜巻の移動方向には依存性は生じない。

f. ハザード曲線の算定

T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速がV₀以上となる確率を求め、ハザード曲線を求める。

前述のとおり、竜巻の年発生数の確率密度分布としてポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は式(1)⁽⁶⁾で示される。

$$P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} (1 + \beta vT)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (1)$$

ここで、

- N : 竜巻の年発生数
- v : 竜巻の年平均発生数
- T : 年数

βは分布パラメータであり式(2)で示される。

$$\beta = \left(\frac{\sigma^2}{v} - 1 \right) \times \frac{1}{v} \quad (2)$$

ここで、

- σ : 竜巻の年発生数の標準偏差

竜巻影響評価の対象となる構造物が風速V₀以上の竜巻に遭遇する事象をDと定義し、竜巻影響評価の対象構造物が1つの竜巻に遭遇し、その竜巻の風速がV₀以上となる確率をR(V₀)としたとき、T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速がV₀以上と

なる確率は式(3)で示される。

$$P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta v R(V_0) T]^{-1/\beta} \quad (3)$$

この $R(V_0)$ は、竜巻影響評価の対象地域の面積を A_0 (つまり竜巻検討地域の面積約 38,895km²)、1つの竜巻の風速が V_0 以上となる面積を $DA(V_0)$ とすると式(4)で示される。

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (4)$$

ここで、 $E[DA(V_0)]$ は、 $DA(V_0)$ の期待値を意味する。

本評価では、以下のようにして $DA(V_0)$ の期待値を算出し、式(4)により $R(V_0)$ を推定して、式(3)により $P_{V_0,T}(D)$ を求める。風速を V 、被害幅 w 、被害長さ l 、移動方向 α 及び構造物の寸法を A, B とし、 $f(V, w, l)$ 等の同時確率密度関数を用いると、 $DA(V_0)$ の期待値は式(5)⁽⁷⁾で示される。

$$\begin{aligned} E[DA(V_0)] = & \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) f(V, w, l) dV dw dl \\ & + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha) f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha \\ & + AB \int_{V_0}^\infty f(V) dV \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、式(5)の右辺第1項は、竜巻の被害幅と被害長さの積、つまり被害面積を表しており、いわゆる点構造物に対する被害、第2項及び第3項は、被害長さ・被害幅と構造物寸法の積、つまり構造物の被害面積を表す。第4項は構造物面積 AB に依存する項を示す。

また、 $W(V_0)$ は竜巻風速が V_0 以上となる幅であり、式(6)⁽⁷⁾⁽⁸⁾で示される。この式により、被害幅内の風速分布に応じて被害様相に分布があることが考慮されている。

$$W(V_0) = \left(\frac{V_{min}}{V_0} \right)^{1.6} w \quad (6)$$

ここで、

V_{min} : 被害幅 w 内の最小竜巻風速

V_0 : 被害が発生する最小風速

係数の 1.6 について、既往の研究では例えば 0.5 や 1.0 等の値も提案されている。ガイドにて参照している Garson et al.⁽⁸⁾ では、観測値が不十分であるため 1.6 を用いることが推奨されており、本検討でも 1.6 を用いる。また、泊発電所の竜巻影響評価では、ランキン渦モデルによる竜巻風速分布に基づいて設計竜巻の特性値等を設定している。

ランキン渦モデルは高さ方向によって風速及び気圧が変化しないため、地表から上空まで式(6)を適用できる。なお、式(6)において係数を 1.0 とした場合がランキン渦モデルに該当する。

$H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ はそれぞれ、竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面にリスク評価対象構造物を投影した時の長さであり、式(7)で示される。

$$\begin{aligned} H(\alpha) &= B|\sin\alpha| + A|\cos\alpha| \\ G(\alpha) &= A|\sin\alpha| + A|\cos\alpha| \end{aligned} \quad (7)$$

本評価ではリスク評価対象構造物を円形構造物（竜巻影響エリア）で設定しているため、 $H(\alpha)$ 、 $G(\alpha)$ ともに竜巻影響エリアの直径 920m で一定（竜巻の移動方向に依存しない）となる。円の直径を D_0 とした場合の計算式は式(8)で示される。

$$\begin{aligned} E[DA(V_0)] &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) f(V, w, l) dV dw dl \\ &+ D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty l f(V, l) dV dl + D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw \\ &+ \left(D_0^2 \pi / 4 \right) \int_{V_0}^\infty f(V) dV \end{aligned} \quad (8)$$

また、風速の積分範囲の上限値はハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として 120m/s に設定する。

V_{\min} は、竜巻被害が発生する最小風速であり、Garson は gale intensity velocity と呼んでいる（Gale とは非常に強い風の意）。米国の気象局（National Weather Service）では、34～47 ノット（17.5～24.2m/s）とされている。日本の気象庁では、気象通報にも用いられている風力階級において、風力 8 が疾強風（gale, 17.2～20.7m/s）、風力 9 は大強風（strong gale, 20.8～24.4m/s）と分類されており、風力 9 では「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める」とされている。

以上より、これらの風速を包括するよう、 $V_{\min}=25\text{m/s}$ とした。この値は、F0(17～32m/s) のほぼ中央値に相当する。

海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km 範囲を対象に算定したハザード曲線より、年超過確率 10^{-5} における風速を求めると、67.9m/s となる（第 9.1.21 図）。

g. 1 km 範囲に細分化した評価

1 km 範囲ごとに細分化した評価は、1 km 幅は変えずに順次ずらして移動するケース（短冊ケース）を設定して評価する。評価の条件として、被害幅及び被害長さは、それぞれ 1 km 範囲内の被害幅及び被害長さを用いている。上記評価条件に基づいて、海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km 範囲の評価と同様の方法でハザード曲線を算定する。

これら算定したハザード曲線より、年超過確率 10^{-5} における風速を求めると、海側 0

km～1 kmを対象とした場合の70.7m/sが最大となる（第9.1.22図）。

h. 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

海岸線から陸側及び海側それぞれ5 km全域（竜巻検討地域）の評価と1 km範囲ごとに細分化した評価を比較して，竜巻最大風速のハザード曲線により設定する最大風速 V_{B2} は，ガイドを参考に年超過確率 10^{-5} に相当する風速とし，70.7m/sとする（第9.1.23図）。

(3) 基準竜巻の最大風速 (V_B)

過去に発生した竜巻による最大風速 $V_{B1}=92\text{m/s}$ 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B2}=70.7\text{m/s}$ より，発電所における基準竜巻の最大風速 V_B は 92m/s とする。

9.1.3 設計竜巻の最大風速 (V_D) の設定

発電所が立地する地域の特性として、周辺の地形や竜巻の移動方向を考慮して、基準竜巻の最大風速の割り増しを検討し、設計竜巻の最大風速を設定する。

9.1.3.1 地形効果による竜巻風速への影響

地形効果が竜巻強度に及ぼす影響に関する知見として、(1)地形起伏による影響、(2)地表面粗度による影響、について既往の研究において示されており、その知見を踏まえ、発電所周辺の地形効果による竜巻の増幅可能性について検討する。

(1) 地形起伏による影響

竜巻のような回転する流れでは、角運動量保存則により「回転の中心からの距離」及び「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質がある。そのため、竜巻の渦が上り斜面を移動する時、基本的に渦は弱まり、下り斜面を移動する時には強まる。

(2) 地表面粗度による影響

風は地表面の細かな凸凹が与える摩擦抵抗の影響を受けやすく、風速は、地表面において0となり上空に向かうにつれて増加する。地表面粗度は竜巻の旋回流を減衰させる効果を有し、地表面粗度の構成物が飛来物として運動することで風速が減衰することも示唆されている。

9.1.3.2 発電所周辺の地形

発電所周辺の地形を第9.1.24図、発電所周辺の地表面粗度を第9.1.25図、発電所周辺の標高及び防潮堤高さを第9.1.26図に示す。発電所が立地する敷地は、敷地前面（北西～南西方向）が日本海に面し、背後は積丹半島中央部の山嶺に続く標高40mから130mの丘陵地である。

9.1.3.3 竜巻の移動方向の分析

竜巻検討地域で発生した竜巻のうち移動方向が判明している竜巻の移動方向を確認した結果（第9.1.27図）、多くが海側から陸側の方向に移動していた。

147個の発生竜巻の内、竜巻の移動方向が海上から陸側へ向かう方向（東側方向）が129個で88%を占めている。以上より、泊発電所付近の竜巻は、海上から陸側へ向かう方向が卓越している。

竜巻の移動方向の分析結果から、泊発電所への竜巻の進入ルートは、地形が平坦な海側からとなる可能性が高い。

9.1.3.4 竜巻風速の増幅に関する検討

竜巻検討地域で発生した竜巻は、海側から陸側に進入する可能性が高く、竜巻が増幅することはないと考えられる。竜巻が海上から発電所に進入してきた場合は、地表面粗度の

影響を受けて竜巻は減衰した後、さらに防潮堤 (T.P. 16.5m) で減衰するため、竜巻による施設への影響は限定的となると考えられる。また、山側から発電所の敷地に移動してきた場合についても、発電所周辺は広い丘陵地に森林が存在しており、森林による粗度の影響を大きく受けるため減衰する。

したがって、地形効果による竜巻の増幅の影響は受けないものと考えられる。

9.1.3.5 設計竜巻の最大風速 (V_D)

発電所では、地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないと考えるが、将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を考慮し、設計竜巻の最大風速 V_D は、基準竜巻の最大風速 92m/s を安全側に切り上げた 100m/s とする。

9.1.4 設計竜巻の特性値

竜巻風速場として評価ガイドに示されるランキン渦モデルを用いた飛来物評価手法で用いる設計竜巻の特性値は、第 9.1.7 表のとおり設定する。

(1) 設計竜巻の移動速度 (V_T)

設計竜巻の移動速度 (V_T) は、ガイドに基づき、「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」⁽⁵⁾による風速場モデルに依存しない日本の竜巻の観測記録に基づいた竜巻移動速度 (平均値) と最大風速との関係を参照して設定されている以下の算定式を用いて、 V_D から V_T を算定する。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

(2) 設計竜巻の最大接線風速 (V_{Rm})

設計竜巻の最大接線風速 (V_{Rm}) は、ガイドに基づき、米国 NRC の基準類⁽⁹⁾を参考に設定されている風速場モデルに依存しない以下の式を用いて算定する。

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

(3) 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m)

設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m) は、ガイドに基づき、「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」⁽⁵⁾による日本の竜巻の観測記録を基に提案された風速場モデルに準拠して以下の値を用いる。

$$R_m = 30 \text{ (m)}$$

(4) 設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{max})・最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{max}$)

設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{max})・最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{max}$) は、ガイドに基づき、米国 NRC の基準類⁽¹⁴⁾を参考に設定されているランキン渦モデルによる風速分布に基づいて、以下の式を用いて算定する。

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

$$(dp/dt)_{\max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{\max}$$

9.2 参考文献

- (1) 関口武「日本の気候区分」東京教育大学地理学研究報告（1959）
- (2) 気象庁 竜巻等の突風データベース
- (3) 井上博登，福西史郎，鈴木哲夫，2013:原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説，独立行政法人原子力安全基盤機構，JNES-RE-2013-9009
- (4) IAEA Safety Standards, Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, Specific Safety Guide No. SSG-18, 2011
- (5) 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
- (6) Wen. Y. K and Chu. S. L. (1973): Tornado Risks and Design Wind Speed, Journal of the Structural Division, Proceedings of American Society of Civil Engineering, Vol. 99, No. ST12, pp. 2409-2421
- (7) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C. A. (1975) : Tornado Design Winds Based on Risk, Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 101, No. ST9, pp. 1883-1897
- (8) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C. A. (1975) : Tornado Risk Evaluation Using Wind Speed Profiles, Journal of the Structural. Division, Proceedings of American Society of Civil Engineering, Vol. 101, No. ST5, pp. 1167-1171
- (9) U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.76: Design- Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1, March 2007.

第 9.1.1 表 総観場の分類と特徴

総観場	気象庁竜巻データベースの分類	特徴
台風	台風	台風を取り巻く雲が竜巻を発生させる。関東以西の太平洋側で発生頻度が高く、F3 竜巻も多くみられる。
温帯低気圧	南岸低気圧, 日本海低気圧, 二つ玉低気圧, 東シナ海低気圧, オホーツク海低気圧, その他 (低気圧), 寒冷前線, 温暖前線, 閉塞前線	寒気と暖気が接し傾圧不安定による組織的な雲が形成する環境場。主に南からの下層の暖湿流が親雲の発達に重要な働きをするため、暖湿流が山岳等で遮られない関東以西の太平洋側で発生頻度が高く、F3 竜巻も見られる。日本海側での頻度は比較的低い。
季節風 (夏)	暖気の移流, 熱帯低気圧, 湿舌, 太平洋高気圧	暖湿流が主要因で親雲を形成する環境場。関東以西の太平洋側や内陸で多く確認されている。
季節風 (冬)	寒気の移流, 気圧の谷, 大陸高気圧, 季節風	大気上層に寒気が流入することで大気が不安定になり、竜巻の親雲が形成する環境場。寒気は北～西から移流することが多いため、日本海側や関東以北で発生頻度が高い。
停滞前線	停滞前線, 梅雨前線, 前線帯, 不安定線, その他 (前線)	南からの暖湿流により親雲が形成されやすく、関東以西の太平洋側や内陸で発生頻度が高い。
局地性	局地性じょう乱, 雷雨 (熱雷), 雷雨 (熱雷を除く), 地形効果, 局地性降水	局地的な循環により親雲が形成する環境場。内陸で発生頻度が高い。
その他	移動性高気圧, 中緯度高気圧, オホーツク海高気圧, 帯状高気圧, その他 (高気圧), 大循環異常, その他	上記に当てはまらない環境場。全体的に個数は少ない。

第 9.1.2 表 総観場ごとの竜巻発生分布の傾向

総観場	傾向
台風	<ul style="list-style-type: none"> ・太平洋側で多く発生しており日本海側では確認されていない。規模的には、関東以西の太平洋側では F3 を含む規模の大きな竜巻が発生しているが、東北地方太平洋側では F1 竜巻が 1 件発生しているのみである。 ・関東地方，中部地方の太平洋側及び九州地方の太平洋側では発生が集中しており，これらの地域は太平洋側の竜巻集中地域に整理されている。 ・台風は北上（低緯度から中高緯度へ移動）するに従い減衰するため，東北地方や北海道など，北部での発生数は少なく，規模も小さくなると考えられる。本州に接近・上陸する台風の減衰は，地表面摩擦の増大による風速の減衰に加え，海水温が低下するため，台風の維持，発達に必要な海から供給される水蒸気量が減少し減衰する。
温帯低気圧	<ul style="list-style-type: none"> ・温帯低気圧起因の竜巻は全国で発生しているが，規模的には太平洋側で F3 竜巻が発生しているのに対し，日本海側では F2 竜巻が最大となっている。 ・暖湿流が山岳等で遮られない関東以西の太平洋側で多くの F3 竜巻の発生が確認できる。 ・日本海側では，寒冷前線やその通過後の寒気の流入により発達した親雲にて発生する竜巻が多い。西側に開けた地域で多く見られ，北海道南西部，日高地方南西部，青森から山形の海岸線沿い，などで多くの竜巻の発生がみられる。
季節風（夏）	<ul style="list-style-type: none"> ・季節風（夏）起因の竜巻は全国で発生しているが，関東以西の太平洋側や内陸で多く発生している。 ・規模的には，太平洋側で F3 竜巻が発生しているのに対し，日本海側では F2 竜巻が最大となっている。
季節風（冬）	<ul style="list-style-type: none"> ・季節風（冬）起因の竜巻は，九州を除く日本海側地域に多く発生している。規模的には，北海道日本海側では F2 竜巻が 1 件発生しているのみで，F3 竜巻は発生していない。 ・太平洋側では，大気下層に暖気が流入すると，大気が不安定になり親雲が発達しやすい環境が形成されるため，強い竜巻の発生が多くみられ，F3 竜巻が最大となっている。
停滞前線	<ul style="list-style-type: none"> ・関東以西の太平洋側や内陸で発生頻度が高く，日本海側では F2 竜巻が 1 件発生している。
局地性	<ul style="list-style-type: none"> ・地形的な影響によるものであり，全国で発生している。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・全国的に発生数は少なく，地域差はみられない。

第9.1.3表 日本で過去に発生したF3竜巻
(気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成)

Fスケール	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	発生場所
F3	1971年07月07日07時50分	35度52分45秒	139度40分13秒	埼玉県浦和市
F3	1990年12月11日19時13分	35度25分27秒	140度17分19秒	千葉県茂原市
F3	1999年09月24日11時07分	34度42分4秒	137度23分5秒	愛知県豊橋市
F3	2006年11月07日13時23分	43度58分39秒	143度42分12秒	北海道網走支庁 佐呂間町
F3	2012年05月06日12時35分	36度6分38秒	139度56分44秒	茨城県常総市

第9.1.4表 竜巻発生数の分析結果

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	87	29	45	13	0	12	110	209
	平均値(年)	1.69	0.56	0.87	0.25	-	0.23	2.14	4.06
	標準偏差(年)	2.53	1.99	1.03	0.52	-	0.68	5.89	7.91
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	58	29	26	3	0	11	110	179
	平均値(年)	2.70	1.35	1.21	0.14	-	0.51	5.12	8.33
	標準偏差(年)	3.49	2.95	1.15	0.36	-	0.98	8.37	10.98
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	31	25	6	0	0	5	92	128
	平均値(年)	5.64	4.55	1.09	-	-	0.91	16.73	23.27
	標準偏差(年)	6.22	4.94	1.34	-	-	1.69	10.96	15.13
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	358	235	63	13	0	47	862	1220
	平均値(年)	6.92	4.55	1.21	0.25	-	0.91	16.73	23.64
	標準偏差(年)	5.37	4.94	1.15	0.52	-	1.69	10.96	12.21
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1222	962	215	45	0	0	0	1222
	平均値(年)	23.57	18.59	4.12	0.86	-	-	-	23.57
	標準偏差(年)	9.91	9.63	2.13	0.96	-	-	-	9.91

注1：切り上げの関係で総計数が一致していない箇所がある。

注2：色塗り部分については、竜巻発生頻度の分析に用いるデータを示している。

第9.1.5表 分析結果に基づき竜巻最大風速のハザード曲線の
算出に使用する竜巻の発生数

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	発生数の統計	竜巻スケール					小計
		F0	F1	F2	F3	不明	
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	962	215	45	0	0	1222
	平均値(年)	18.68	4.17	0.87	-	-	23.73
	標準偏差(年)	9.63	2.13	0.96	-	-	9.91

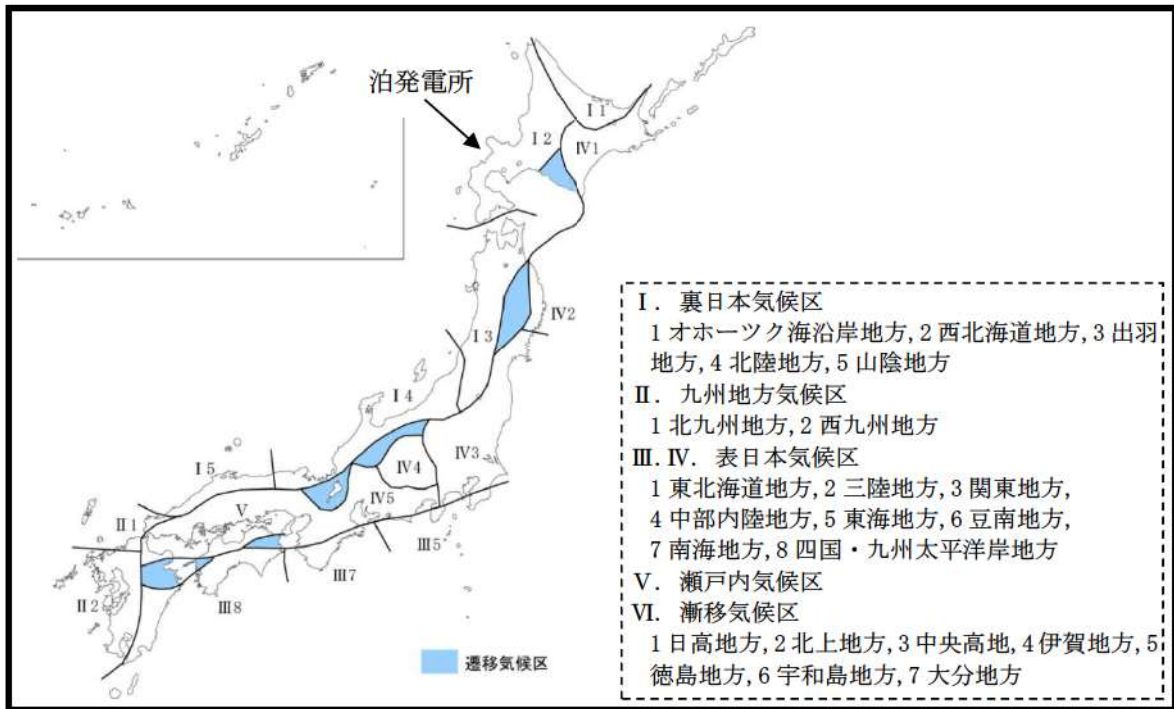
第 9.1.6 表 竜巻風速，被害幅，被害長さの相関係数（単位無し）

相関係数	風速	被害幅	被害長さ
風速	1.000	-0.060*	0.319
被害幅	-0.060*	1.000	0.457
被害長さ	0.319	0.457	1.000

*風速と被害幅は無相関との知見が得られたため，ハザード算定の際には，相関係数0として計算

第 9.1.7 表 設計竜巻の特性値

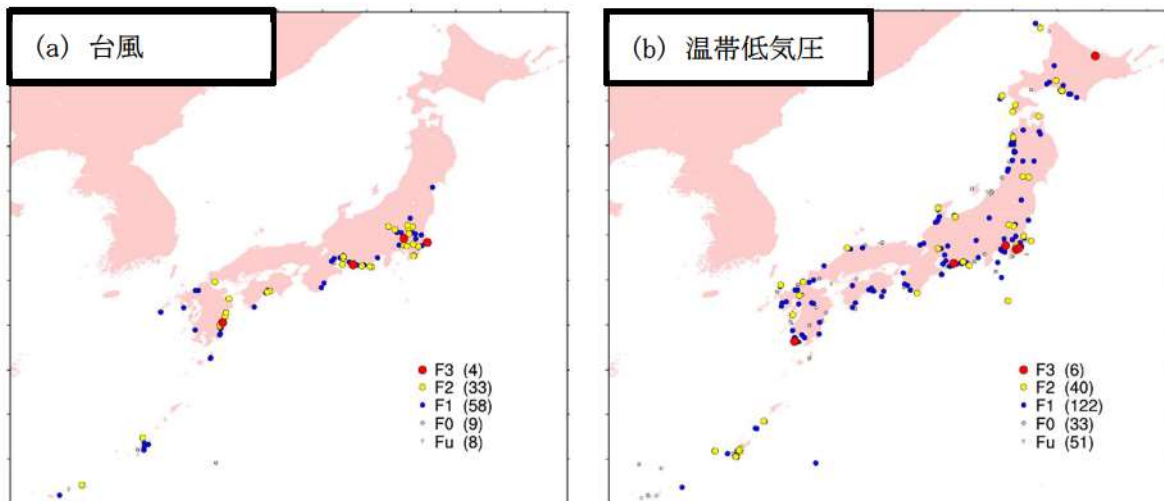
最大風速	移動風速	最大接線風速	最大接線風速半径	最大気圧低下量	最大気圧低下率
V_D	V_T	V_{Rm}	R_m	ΔP_{max}	$(dp/dt)_{max}$
(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m)	(hPa)	(hPa/s)
100	15	85	30	89	45



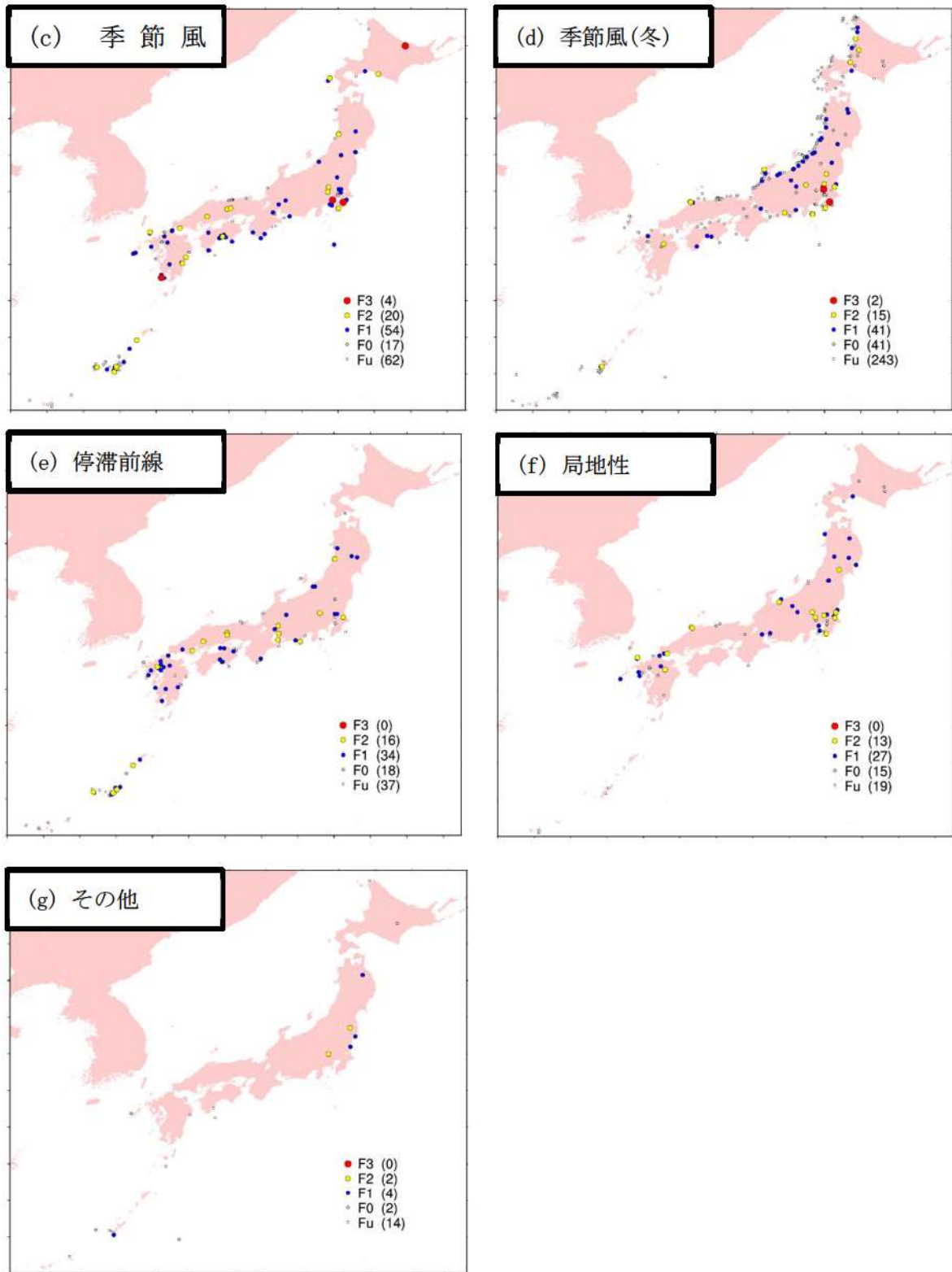
第9.1.1図 日本の気候区分

(内閣官房「第5回 道州制ビジョン懇談会 区割り基本方針検討専門委員会資料※」より引用)

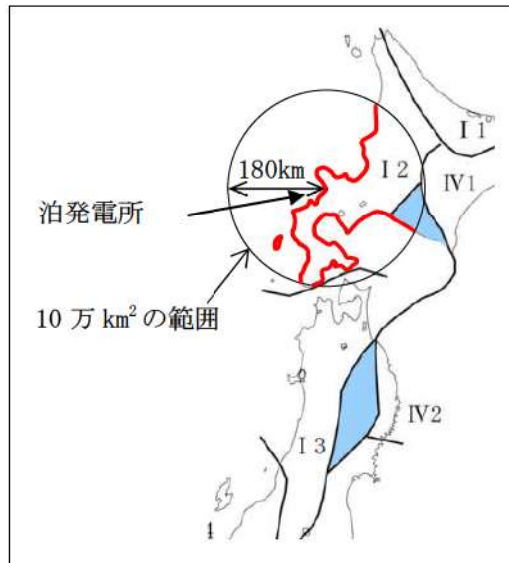
※出典：関口武「日本の気候区分」東京教育大学地理学研究報告（1959）



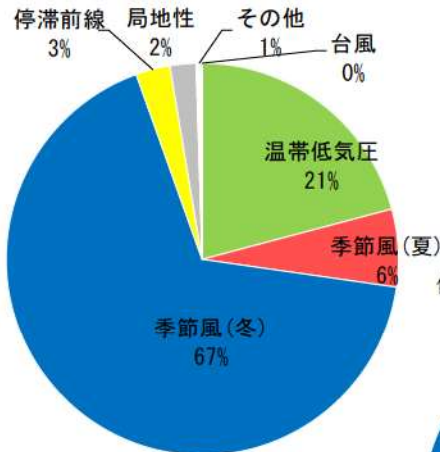
第9.1.2図 総観場ごとのFスケール別竜巻発生分布 (1/2)



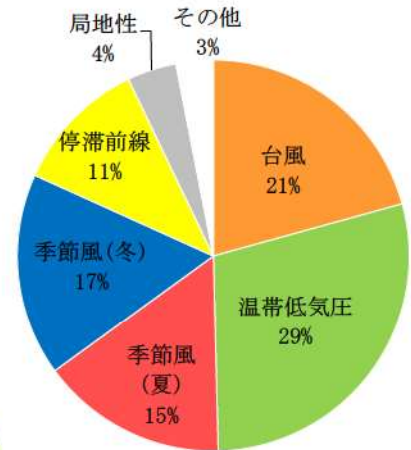
第9.1.2図 総観場ごとのFスケール別竜巻発生分布 (2/2)



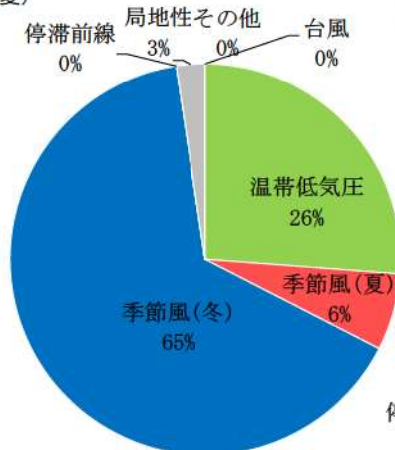
第 9. 1. 3 図 泊発電所を中心とする 10 万 km² の範囲



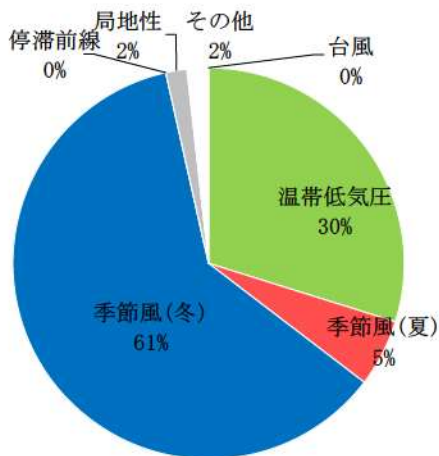
(a) 日本海側沿岸(195個)



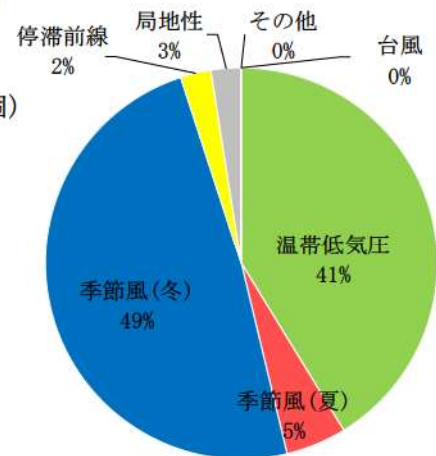
(b) 太平洋側沿岸(337個)



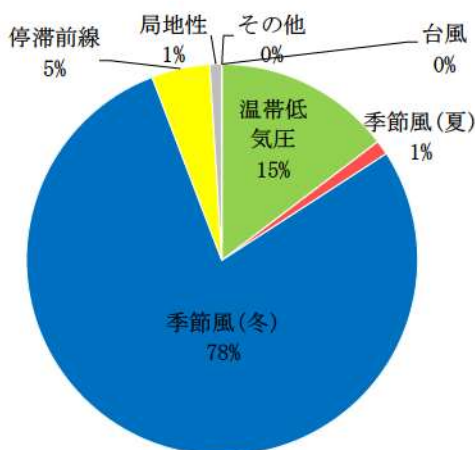
(c) 10万km²内の沿岸(42個)



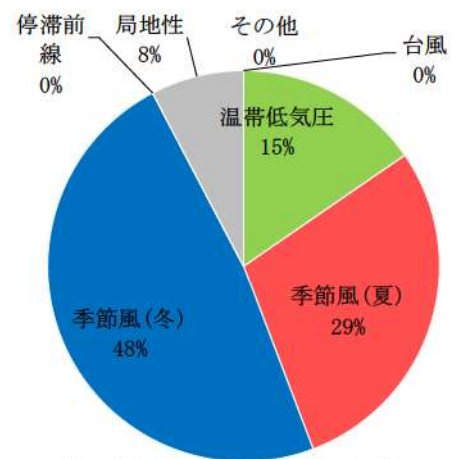
(d) 気候区分 I 2の沿岸(57個)
(宗谷岬から襟裳岬まで)



(e) 気候区分 I 3日本海側の沿岸(53個)
(青森県から山形県まで)



(f) 気候区分 I 4の沿岸(59個)
(新潟県から兵庫県まで)



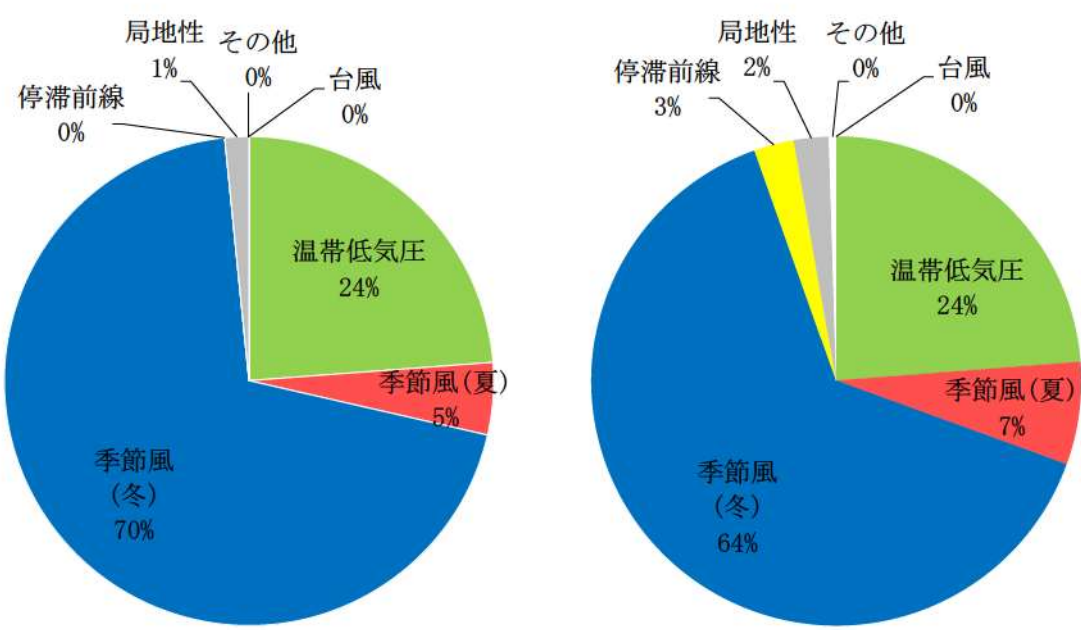
(g) 気候区分 I 5の沿岸(20個)
(鳥取県から山口県萩市付近まで)

()は竜巻個数を示す

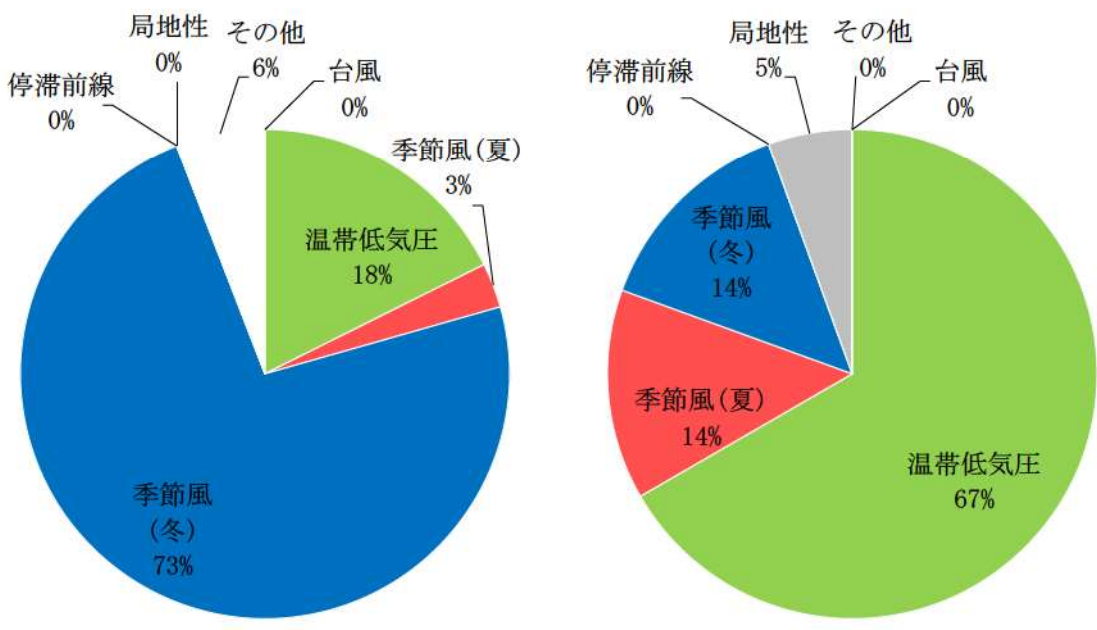
第9.1.4図 地域ごとの竜巻発生総観場及び寄与割合の比較



第 9.1.5 図 竜巻の発生する地点と竜巻が集中する 19 個の地域
 (「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説」⁽³⁾より引用)

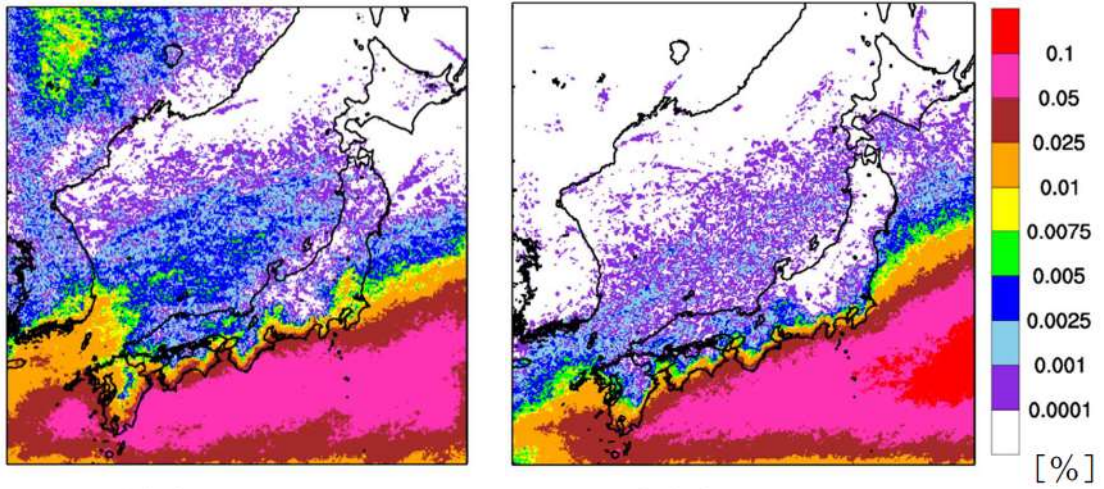


竜巻集中地域② (北海道の後志地方・渡島地方・檜山地方の一部) 竜巻検討地域 (日本海沿岸+北海道南西域)

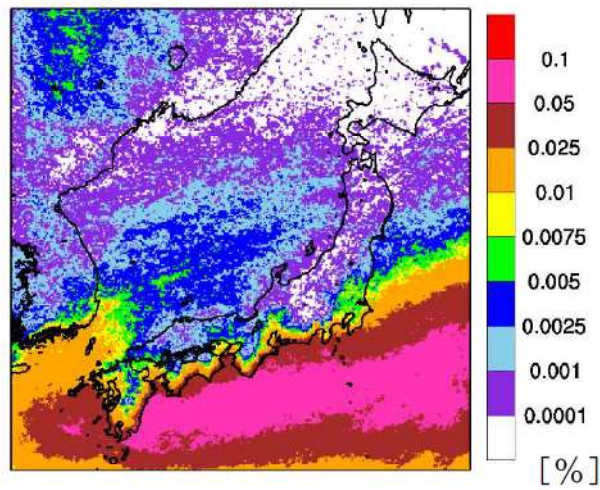


竜巻集中地域① (北海道の宗谷地方・留萌地方の一部) 竜巻集中地域⑯ (北海道の胆振地方・日高地方の一部)

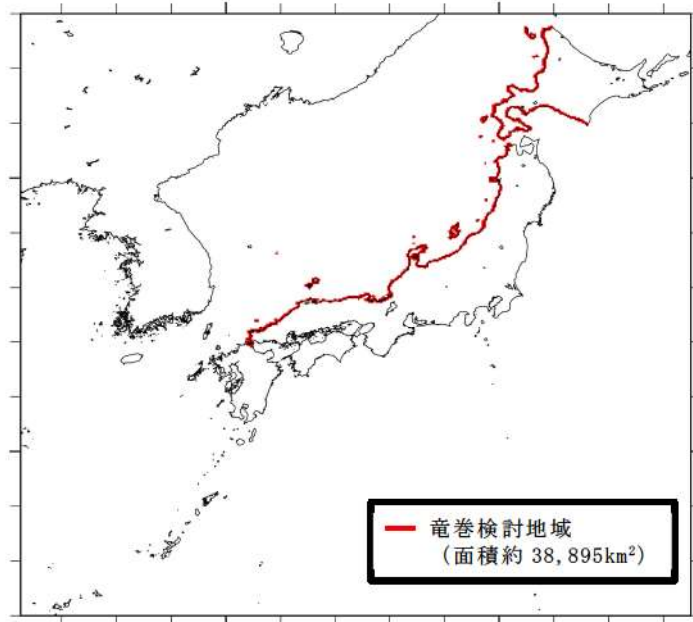
第 9.1.6 図 各地域の竜巻発生要因に関する総観場の特徴



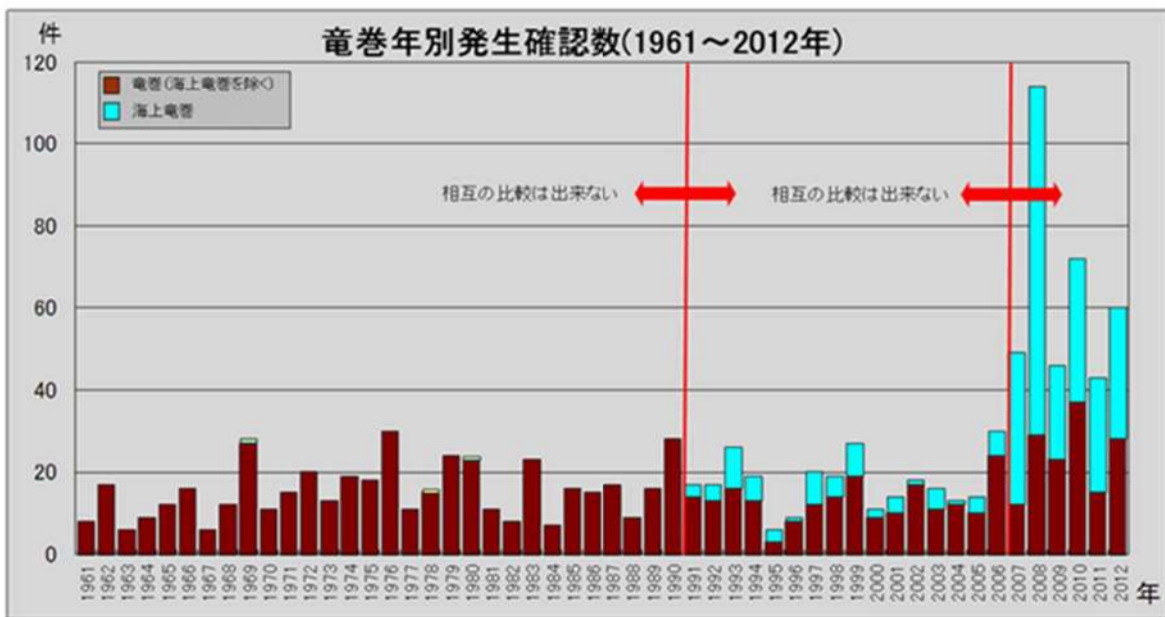
第 9.1.7 図 F3 規模以上を対象とした SReH, CAPE 同時超過頻度分布



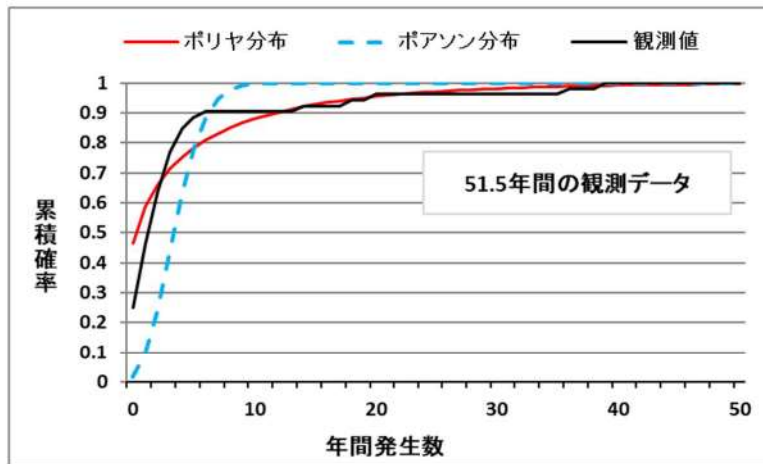
第 9.1.8 図 EHI の超過頻度分布 (閾値 3.3)



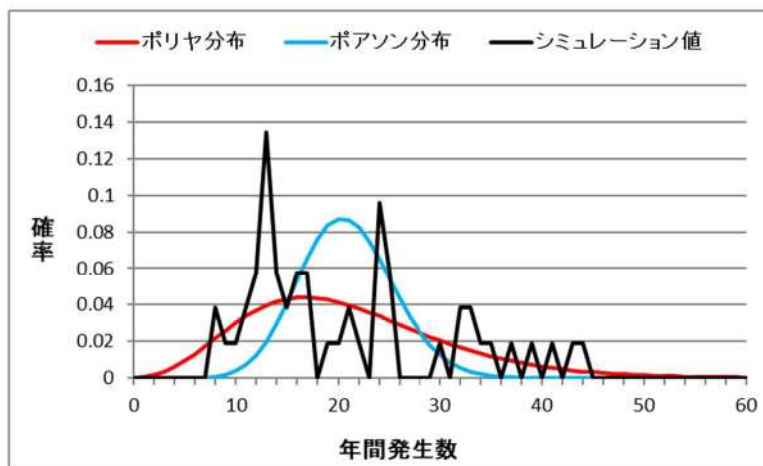
第 9.1.9 図 竜巻検討地域



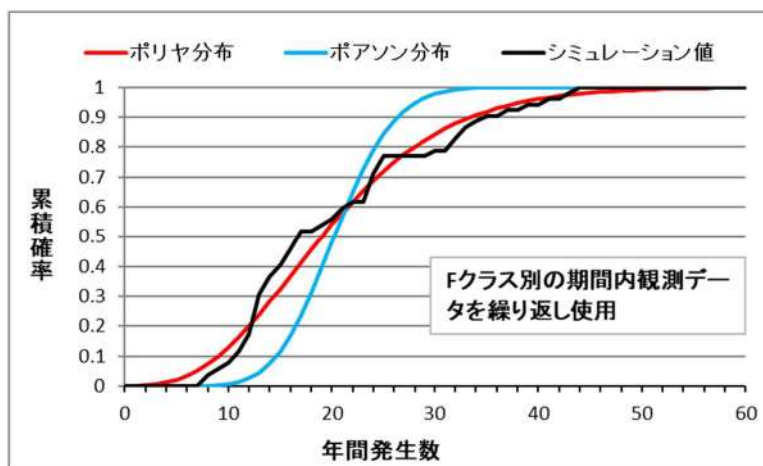
第 9.1.10 図 竜巻年別発生確認数 (1961 年～2012 年) (出典：気象庁 HP)



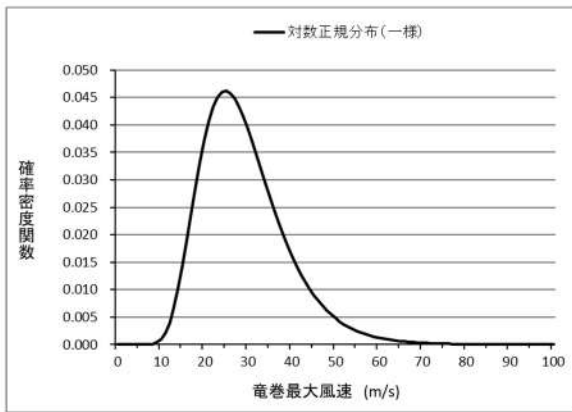
第 9. 1. 11 図 竜巻検討地域における竜巻の年発生数の累積確率
(観測値)



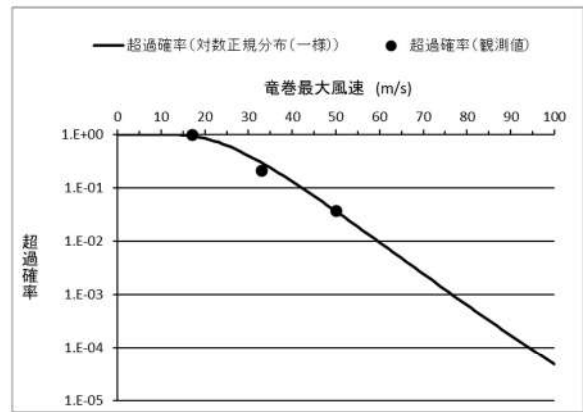
第 9. 1. 12 図 竜巻検討地域における竜巻の年発生数の分布関数
(シミュレーション値)



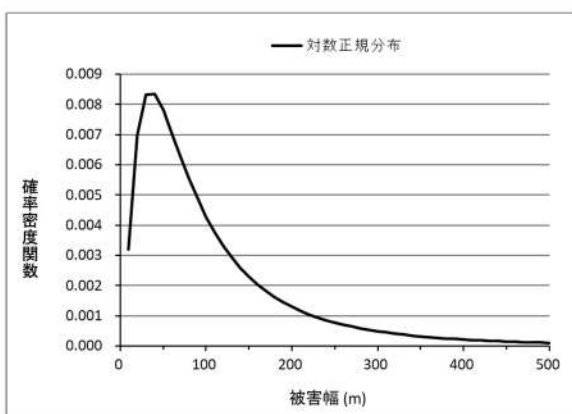
第 9. 1. 13 図 竜巻検討地域における竜巻の年発生数の累積確率
(シミュレーション値)



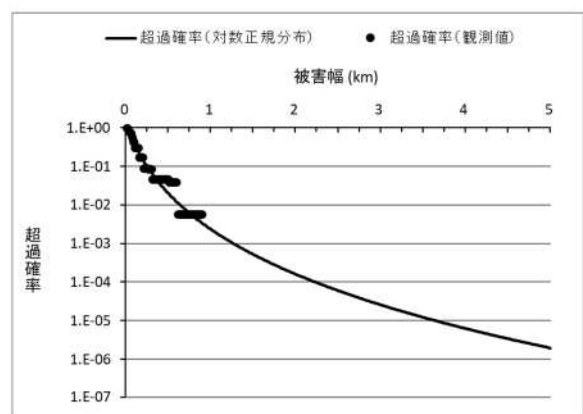
第 9.1.14 図 竜巻風速の確率密度分布



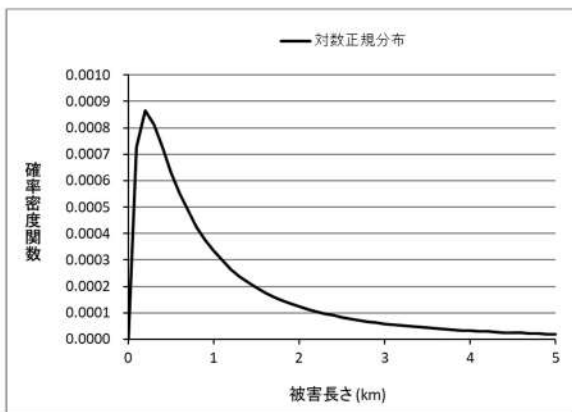
第 9.1.15 図 竜巻風速の超過確率分布



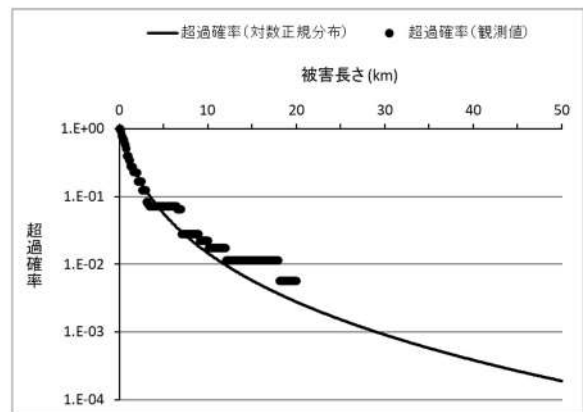
第 9.1.16 図 被害幅の確率密度分布



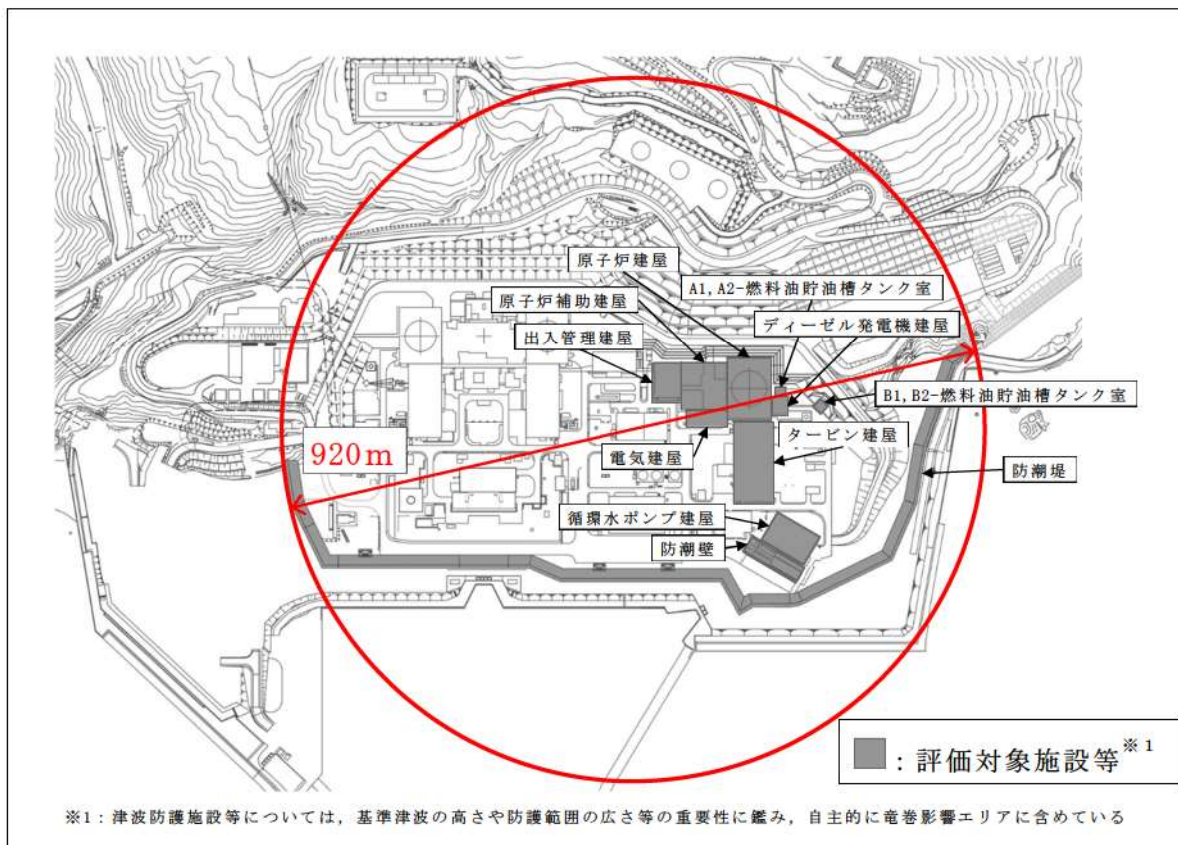
第 9.1.17 図 被害幅の超過確率分布



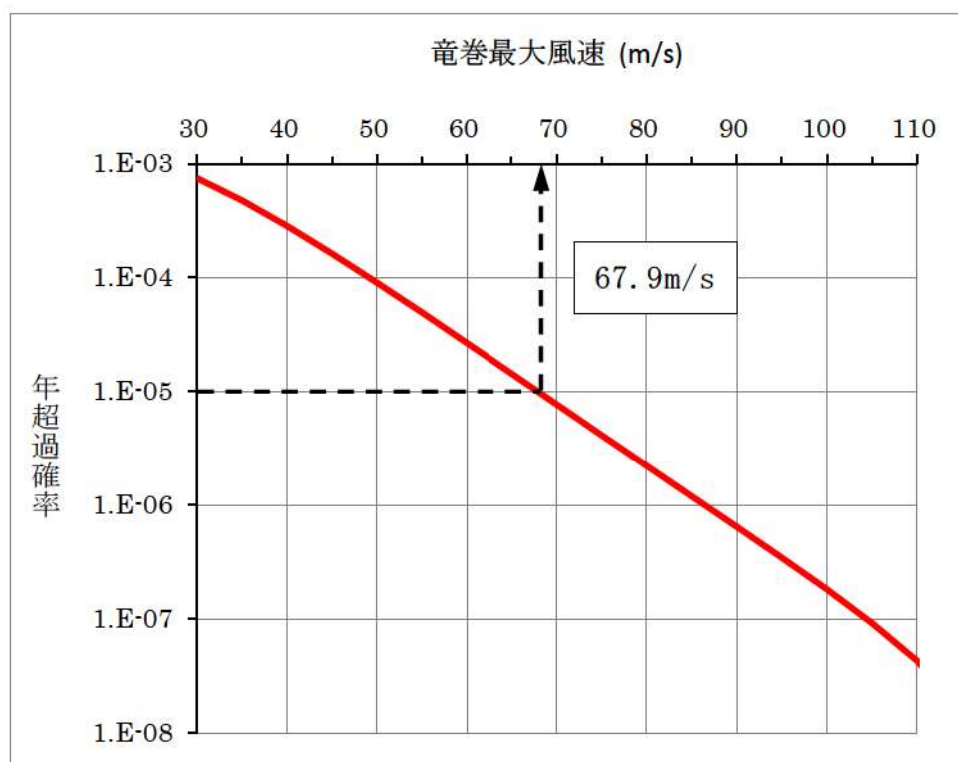
第 9.1.18 図 被害長さの確率密度分布



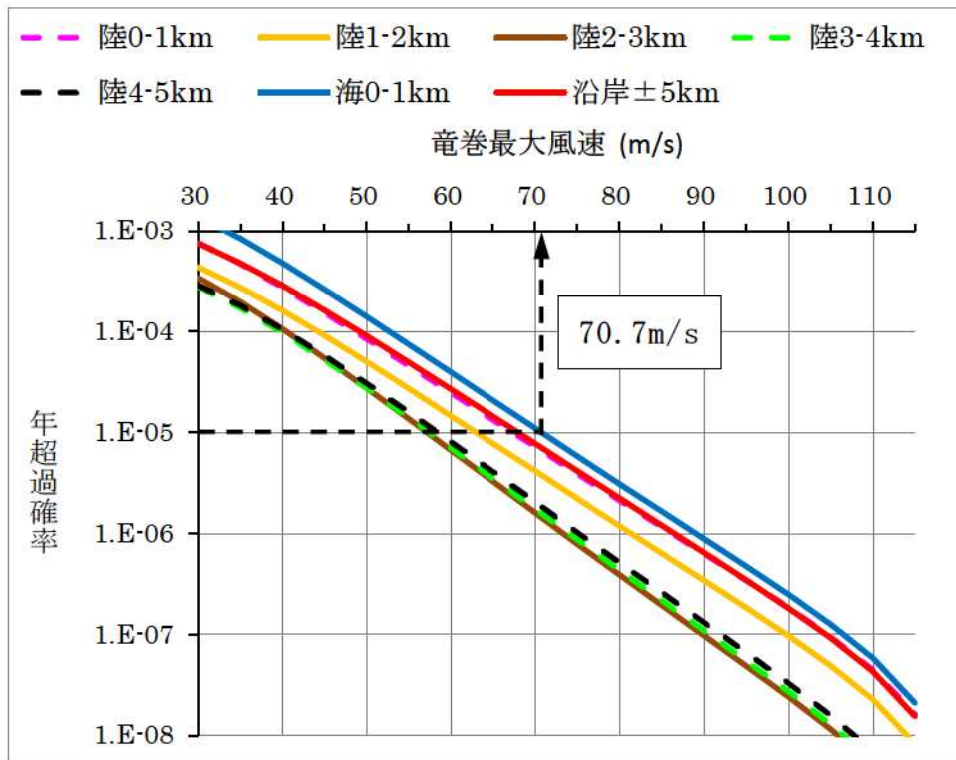
第 9.1.19 図 被害長さの超過確率分布



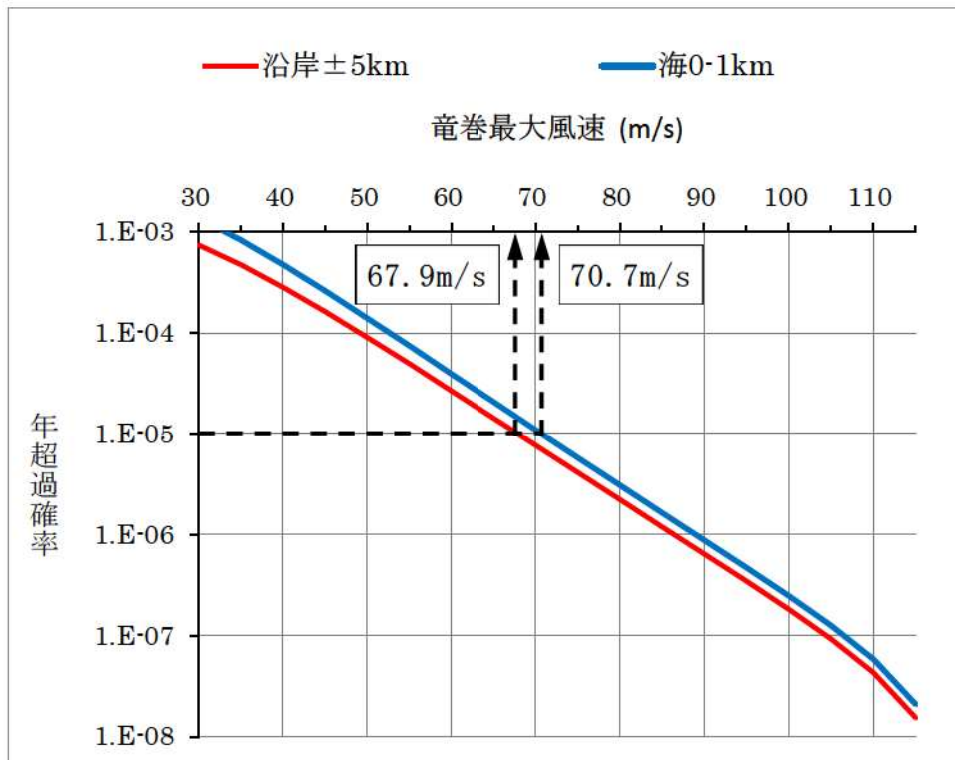
第9.1.20図 竜巻影響エリア



第9.1.21図 竜巻最大風速のハザード曲線 (海側, 陸側 5 km範囲)

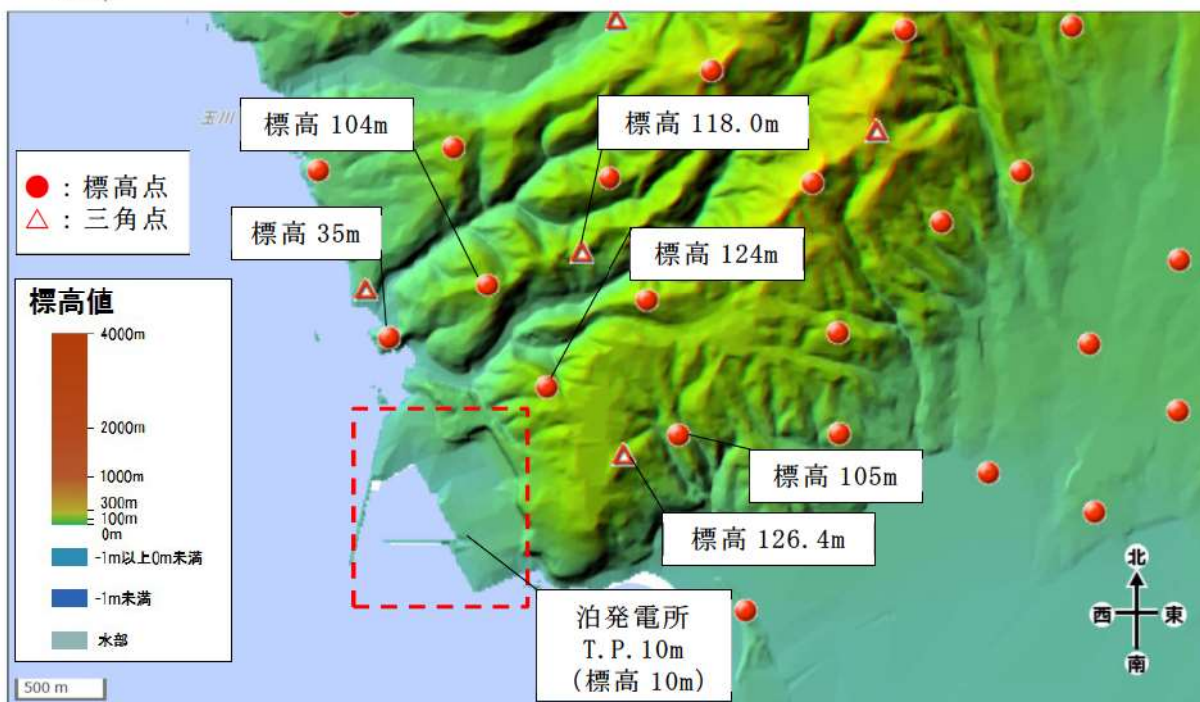


第 9. 1. 22 図 竜巻検討地域を 1 km 幅ごとに細分化したハザード曲線と海側，陸側 5 km 範囲のハザード曲線

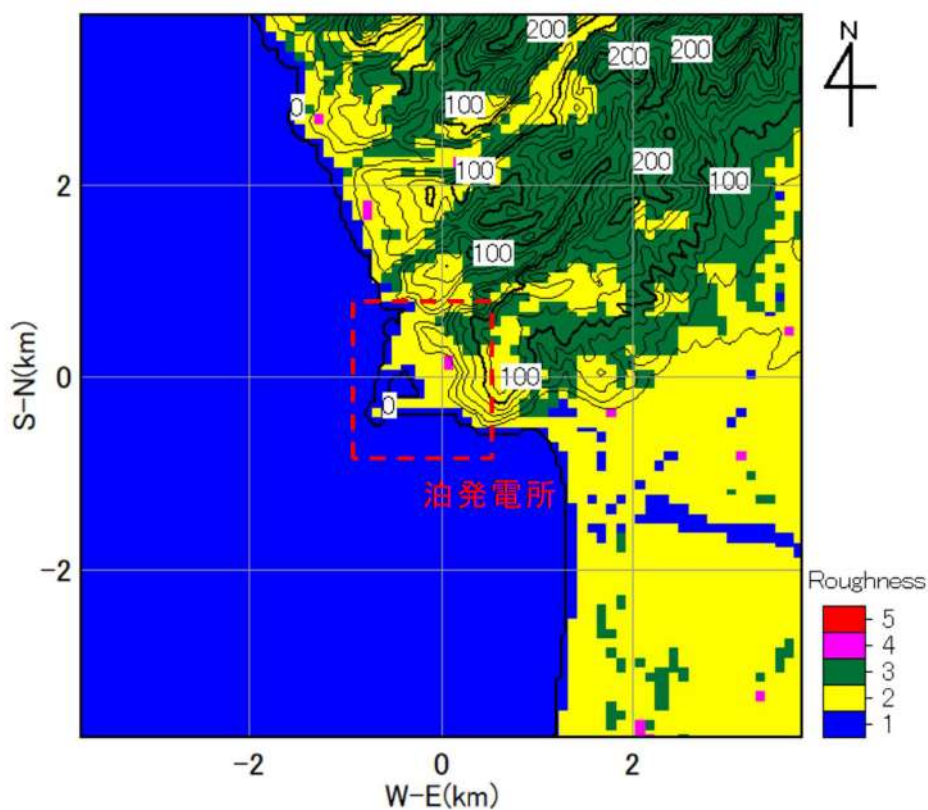


第 9. 1. 23 図 竜巻最大風速のハザード曲線

地理院地図
GSI Maps

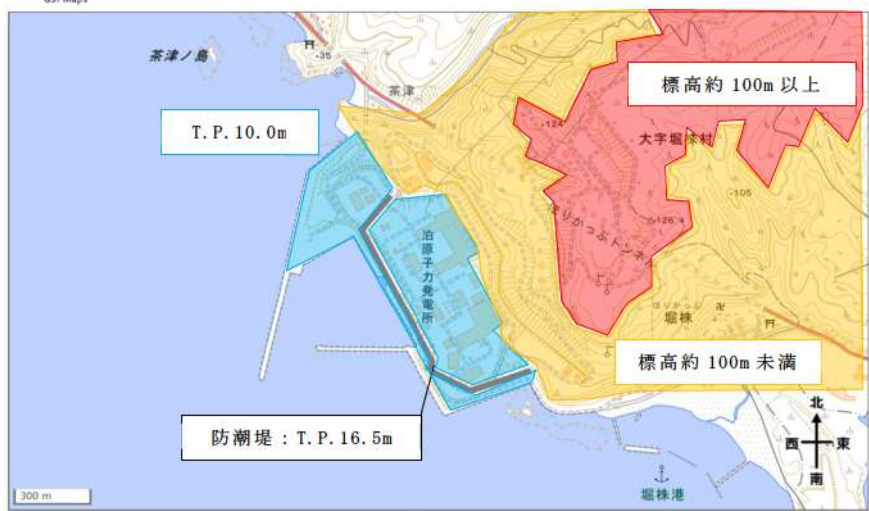


第 9.1.24 図 泊発電所周辺の地形（国土地理院「電子国土 Web」より作成）



第 9.1.25 図 泊発電所周辺の地表面粗度（国土地理院「電子国土 Web」より作成）

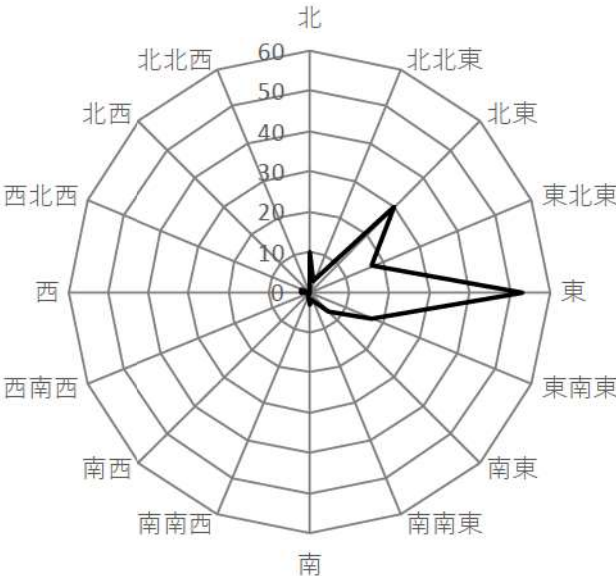
地理院地図



第 9.1.26 図 泊発電所の周辺の標高及び防潮堤高さ
(国土地理院「電子国土 Web」より作成)

[個]

北	10
北北東	3
北東	30
東北東	17
東	53
東南東	17
南東	7
南南東	2
南	3
南南西	1
南西	0
西南西	0
西	2
西北西	2
北西	0
北北西	0
計	147



第 9.1.27 図 移動方向別の竜巻発生個数

1.4 設備等
該当なし

泊発電所 3 号炉

竜巻影響評価について

<目次>

別添資料－1

1. 竜巻に対する防護
 - 1.1 概要
 - 1.2 評価の基本方針
 - 1.3 評価の基本的な考え方
2. 基準竜巻・設計竜巻の設定
 - 2.1 概要
 - 2.2 竜巻検討地域の設定
 - 2.3 基準竜巻の最大風速(V_B)の設定
 - 2.4 設計竜巻の最大風速(V_D)の設定
 - 2.5 設計竜巻の特性値
3. 竜巻影響評価
 - 3.1 評価概要
 - 3.2 評価対象施設等
 - 3.3 設計荷重の設定
 - 3.4 評価対象施設等の設計方針
 - 3.5 竜巻随件事象に対する評価

添付資料

- 1.1 重大事故等対処設備に対する考慮について
- 1.2 評価対象施設の抽出について
- 1.3 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出について
- 2.1 気候区分について
- 2.2 数値気象解析にもとづく竜巻検討地域の設定について
- 2.3 竜巻検討地域及び全国で発生した竜巻
- 2.4 竜巻最大風速のハザード曲線の求め方
- 2.5 地形効果による竜巻風速への影響について
- 3.1 竜巻影響評価の概要及び保守性について
- 3.2 竜巻影響評価及び竜巻対策の概要
- 3.3 設計飛来物の選定について
- 3.4 竜巻随件事象の抽出について
- 3.5 飛来物化する可能性がある物品等の管理について
- 3.6 設計竜巻荷重と積雪荷重との組み合わせについて

- 3.7 2次飛来物の抽出について
- 3.8 飛来物の飛散有無の判断方法，飛散距離および高さの算定の仕方について
- 3.9 浮き上がりに対する対策荷重の考え方について
- 3.10 車両管理エリア及び物品管理エリアの設定について
- 3.11 外部事象防護対象施設に影響を及ぼす可能性がある建屋開口部について
- 3.12 起因事象を竜巻とした場合の排気筒の取り扱いについて
- 3.13 竜巻防護ネットの構造設計について
- 3.14 解析コードについて
- 3.15 原子力発電所の竜巻影響評価ガイドへの適合状況について
- 3.16 竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業中止に係る運用について

1. 竜巻に対する防護

1.1 概要

原子力規制委員会の定める「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（以下「設置許可基準規則」という。）」第六条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならないとしており、敷地周辺の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして、竜巻の影響を挙げている。

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、原子力規制委員会の定める「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定）」（以下「ガイド」※という。）を参照し、竜巻影響評価として以下を実施し、発電用原子炉施設の安全機能が維持されることを確認する。

- ・設計竜巻及び設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重）の設定
- ・泊発電所における飛来物に係る調査
- ・飛来物防止対策
- ・考慮すべき設計荷重に対する外部事象防護対象施設の構造健全性等の評価を行い、必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることの確認

また、第四十三条の要求を踏まえ、設計竜巻によって、設計基準対象施設の安全機能と重大事故等対処設備の機能が同時に損なわれることがないことを確認するとともに、重大事故等対処設備の機能が喪失した場合においても、位置的分散又は頑健性のある外殻となる建屋による防護に期待できるといった観点から、代替手段により必要な安全機能を維持できることを確認する。【添付資料 1.1】

※「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説（平成 25 年 10 月，独立行政法人原子力安全基盤機構）」を含む。

1.2 評価の基本方針

1.2.1 竜巻から防護する施設の抽出

竜巻から防護する施設は、安全施設が竜巻の影響を受ける場合においても発電用原子炉施設の安全性を確保するために、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定される重要度分類（以下「安全重要度分類」という。）のクラス1、クラス2及びクラス3の設計を要求される構築物、系統及び機器とする。

その上で、上記構築物、系統及び機器の中から、発電用原子炉を停止するため、また停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス1、クラス2及び安全評価^{*}上その機能に期待するクラス3に属する構築物、系統及び機器（以下「外部事象防護対象施設」という。）とし、機械的強度を有すること等により、安全機能を損なわない設計とする。

※ 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

また、外部事象防護対象施設を内包する建屋は、機械的強度を有すること等により、内包する外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計及び外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。ここで、外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設を内包する建屋を併せて、外部事象防護対象施設等という。

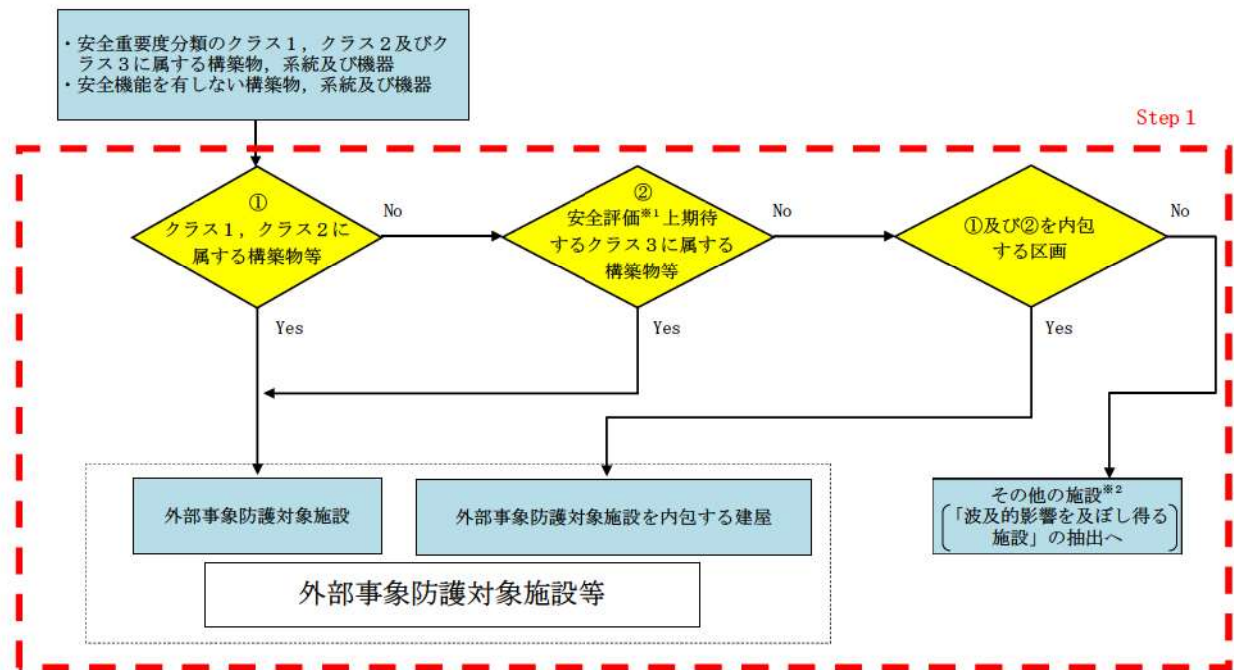
上記に含まれない構築物、系統及び機器は、竜巻及びその随件事象に対して機能を維持すること若しくは竜巻及びその随件事象による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復等の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

1.2.2 竜巻影響評価の対象施設

以下の(1)外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設及び(2)外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設に示す施設を竜巻影響評価の対象施設（以下「評価対象施設等」という。）とする。

外部事象防護対象施設等の抽出フローを第1.2.2.1図に示す。

なお、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される施設についても、外部事象防護対象施設等として抽出すべきものがないことを確認した。【添付資料1.2】



※1 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

※2 竜巻及びその随伴事象に対して機能維持すること、竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること又は安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能であることを確認する。

第 1.2.2.1 図 外部事象防護対象施設等の抽出フロー

(1) 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設【添付資料 1.2】

外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設として、屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する施設を含む。）、屋内の施設で外気と繋がっている施設及び外殻となる施設（建屋、構築物）（以下「外殻となる施設」という。）による防護機能が期待できない施設を抽出する。

なお、外殻となる施設による防護機能が期待できない施設については、外部事象防護対象施設を内包する区画の構造健全性の確認結果を踏まえ抽出する。

防護機能を期待できることが確認できた区画に内包される外部事象防護対象施設については、該当する外殻となる施設により防護されることから、個別評価は実施しない。

第 1.2.2.2 図に、外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出フロー及び抽出された評価対象施設を示す。

また、第 1.2.2.2 図において抽出した評価対象施設の主な配置を第 1.2.2.3 図に示す。

a. 屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む。）

(a) 排気筒（建屋外）

<以下、外部事象防護対象施設を内包する区画>

(b) 原子炉建屋（外部遮へい建屋）（原子炉容器他を内包）

(c) 原子炉建屋（周辺補機棟）（主蒸気管他を内包）

(d) 原子炉建屋（燃料取扱棟）（使用済燃料ピット他を内包）

(e) 原子炉補助建屋（中央制御室他を内包）

(f) ディーゼル発電機建屋（ディーゼル発電機他を内包）

(g) A1, A2-燃料油貯油槽タンク室（A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽を内包）

(h) B1, B2-燃料油貯油槽タンク室（B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽を内包）

(i) A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ（ディーゼル発電機燃料油移送配管を内包）

(j) B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ（ディーゼル発電機燃料油移送配管を内包）

(k) 循環水ポンプ建屋（原子炉補機冷却海水ポンプ他を内包）

(l) タービン建屋（タービン保安装置他を内包）

b. 屋内の施設で外気と繋がっている施設

(a) 換気空調設備（アニュラス空気浄化設備、格納容器空調装置、補助建屋空調装置、試料採取室空調装置、中央制御室空調装置、電動補助給水ポンプ室換気装置、制

御用空気圧縮機室換気装置，ディーゼル発電機室換気装置，安全補機開閉器室空調装置)

(b)排気筒（建屋内）

c. 外殻となる施設による防護機能が期待できない施設

(a)使用済燃料ピット

(b)使用済燃料ラック

(c)新燃料ラック

(d)燃料移送装置

(e)使用済燃料ピットクレーン

(f)燃料取扱棟クレーン

(g)燃料取替キャナル

(h)キャスクピット

(i)燃料検査ピット

(j)原子炉補機冷却海水ポンプ

(k)原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ

(l)配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）

(m)原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）

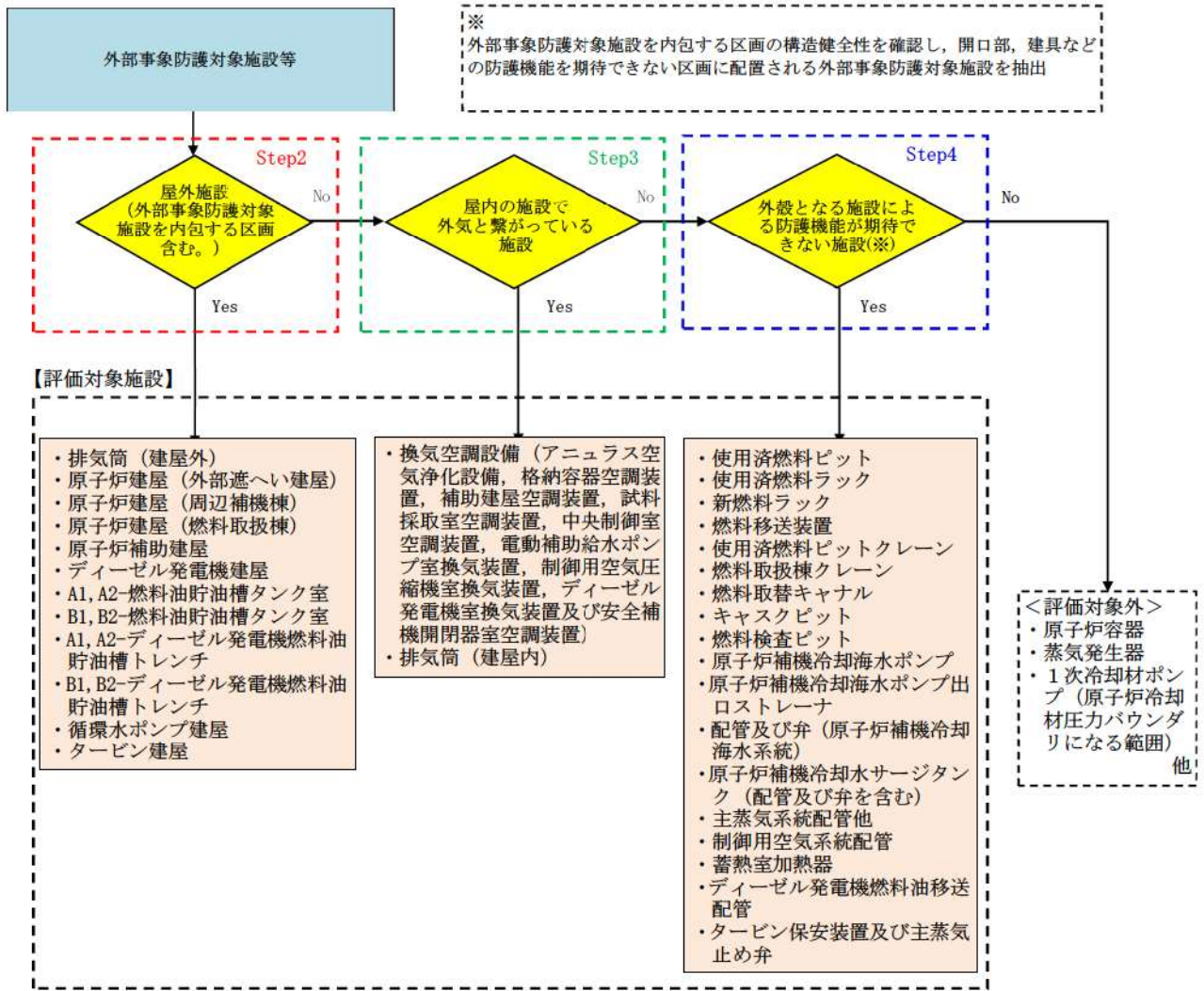
(n)主蒸気系統配管他

(o)制御用空気系統配管

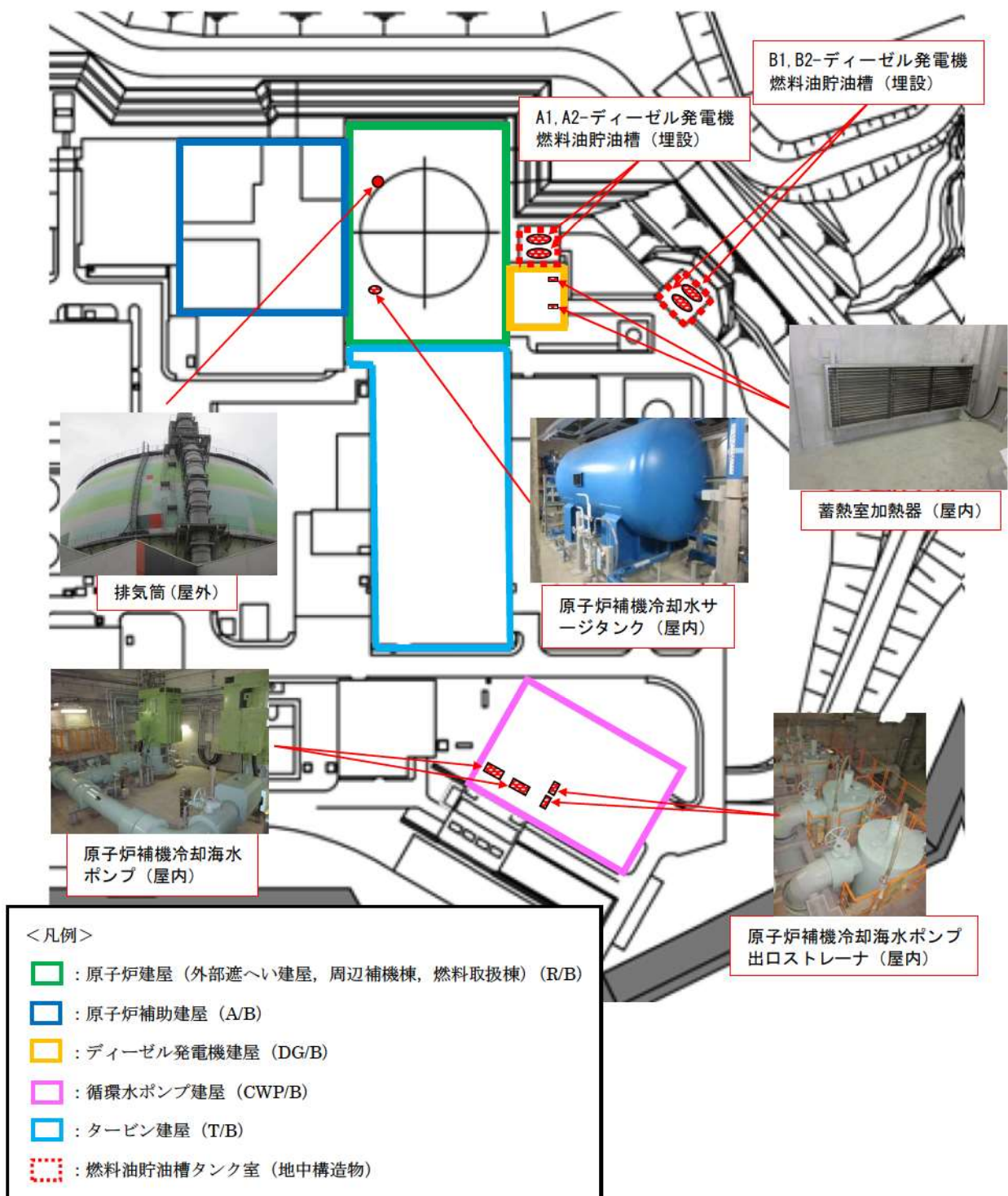
(p)蓄熱室加熱器

(q)ディーゼル発電機燃料油移送配管

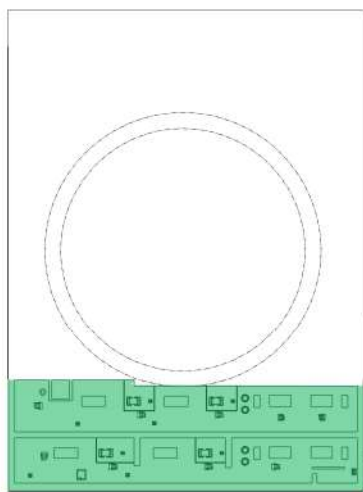
(r)タービン保安装置及び主蒸気止め弁



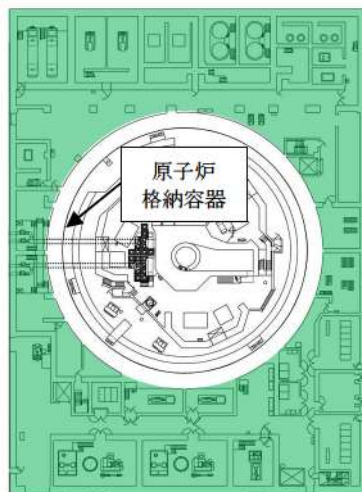
第 1.2.2.2 図 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出フロー



第 1.2.2.3 図 外部事象防護対象施設等のうち主な評価対象施設（1 / 2）



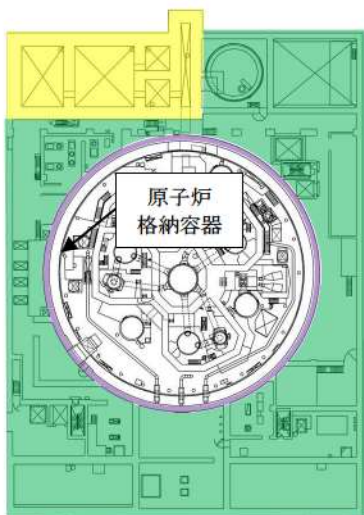
R/B 概略平面図 (T. P. 2. 3m)



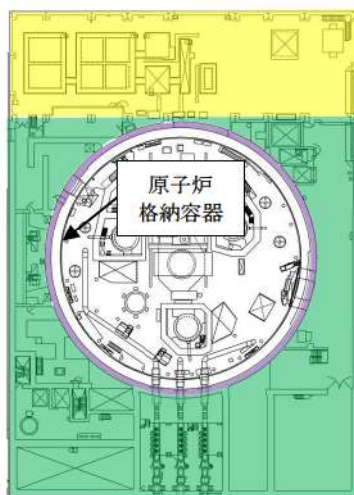
R/B 概略平面図 (T. P. 10. 3m)



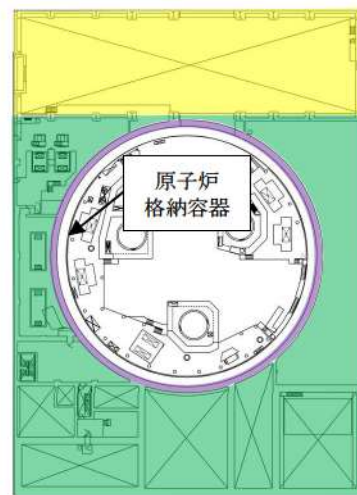
R/B 概略平面図 (T. P. 17. 8m)



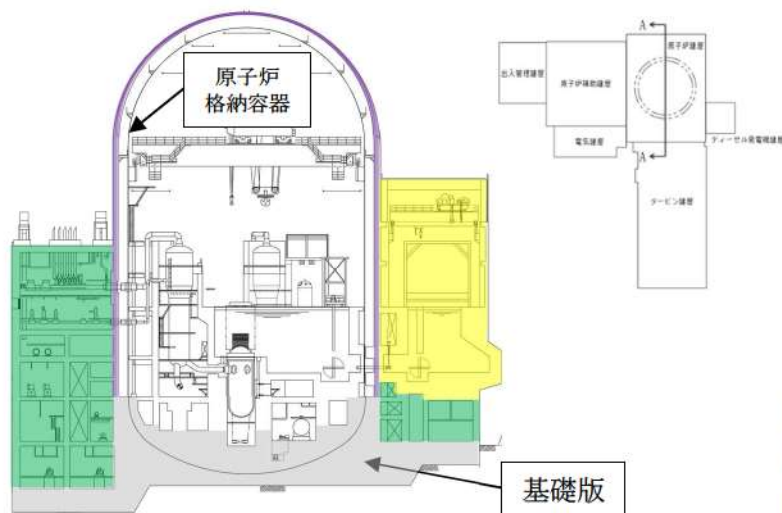
R/B 概略平面図 (T. P. 24. 8m)



R/B 概略平面図 (T. P. 33. 1m)



R/B 概略平面図 (T. P. 40. 3m)



R/B 概略断面図 (A-A 断面)

< 凡例 >

- : 外部遮へい建屋
- : 周辺補機棟
- : 燃料取扱棟

第 1.2.2.3 図 外部事象防護対象施設等のうち主な評価対象施設 (2 / 2)

(2) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設【添付資料 1.3】

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、その他の施設（外部事象防護対象施設以外の施設）のうち、倒壊により外部事象防護対象施設等を機能喪失させる（機械的影響）可能性があるもの、屋外に設置される外部事象防護対象施設の付属設備のうち、設計竜巻の風圧力、気圧差及び設計飛来物等の衝突による損傷により外部事象防護対象施設を機能喪失させる（機能的影響）可能性があるもの及び外部事象防護対象施設を内包する区画の外気と繋がっている換気空調設備（機能的影響）とする。

なお、津波防護施設等は、基準津波の高さや防護範囲の広さ等の重要性を鑑み、自主的に機能維持のための配慮を行う。

第 1.2.2.4 図に、外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出フロー及び抽出された施設を示す。

また、第 1.2.2.4 図において抽出した外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の主な配置図を第 1.2.2.5 図に示す。

a. 外部事象防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設

- (a) タービン建屋
- (b) 電気建屋
- (c) 出入管理建屋
- (d) 循環水ポンプ建屋

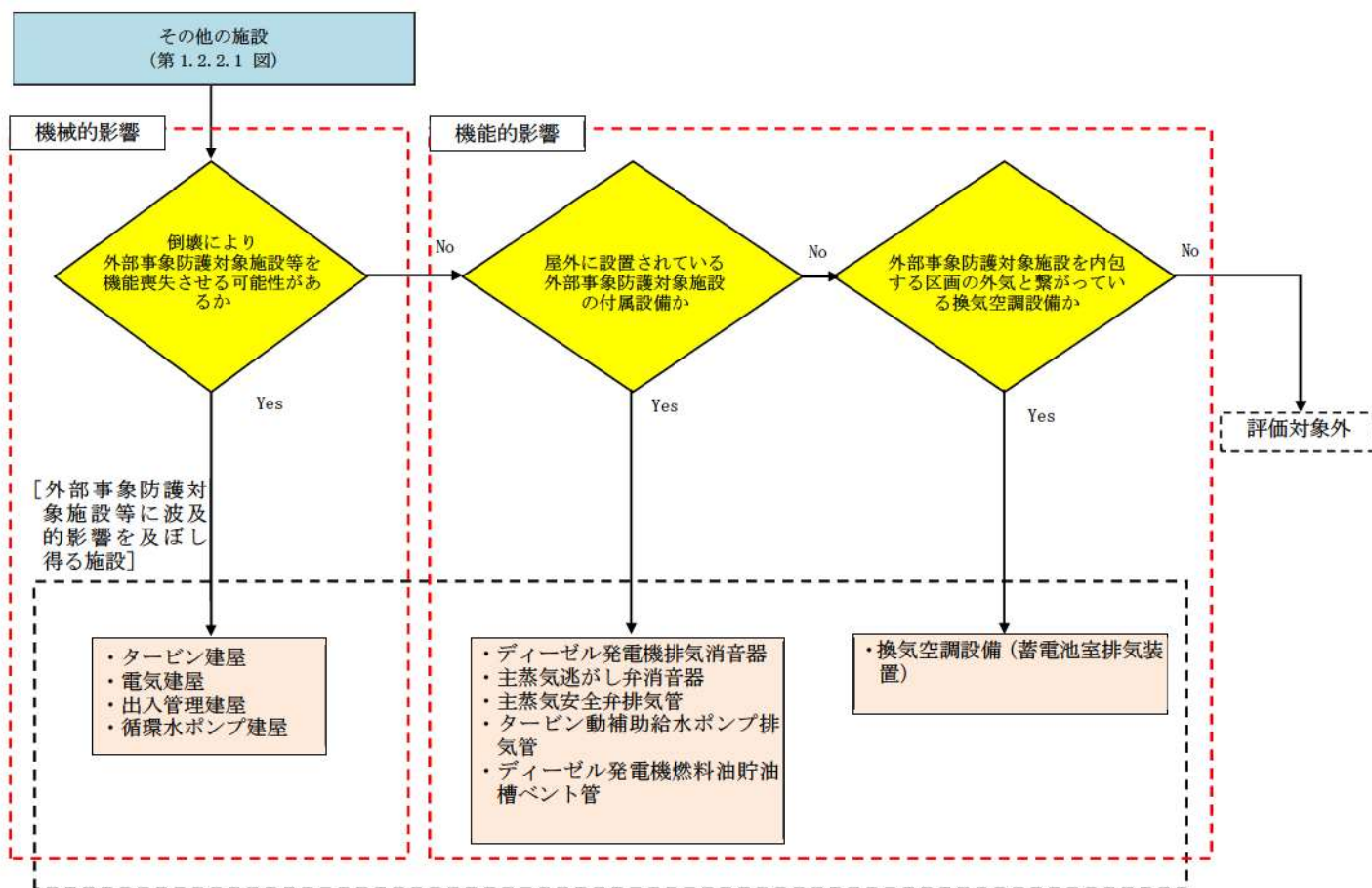
b. 外部事象防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る施設

(外部事象防護対象施設の付属設備)

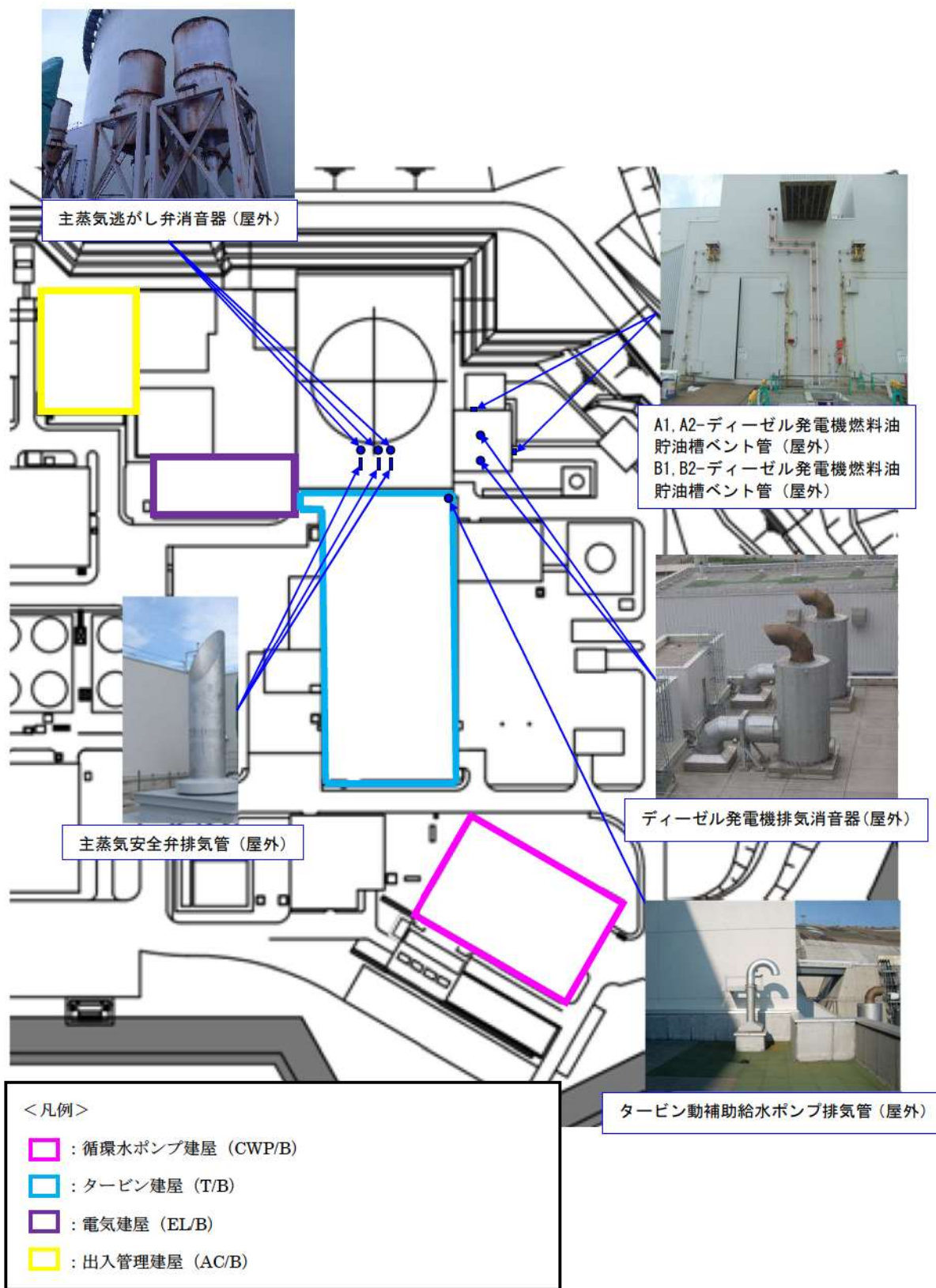
- (a) ディーゼル発電機排気消音器
- (b) 主蒸気逃がし弁消音器
- (c) 主蒸気安全弁排気管
- (d) タービン動補助給水ポンプ排気管
- (e) ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管

(外部事象防護対象施設を内包する区画の外気と繋がっている換気空調設備)

- (a) 換気空調設備（蓄電池室排気装置）



第 1.2.2.4 図 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出フロー



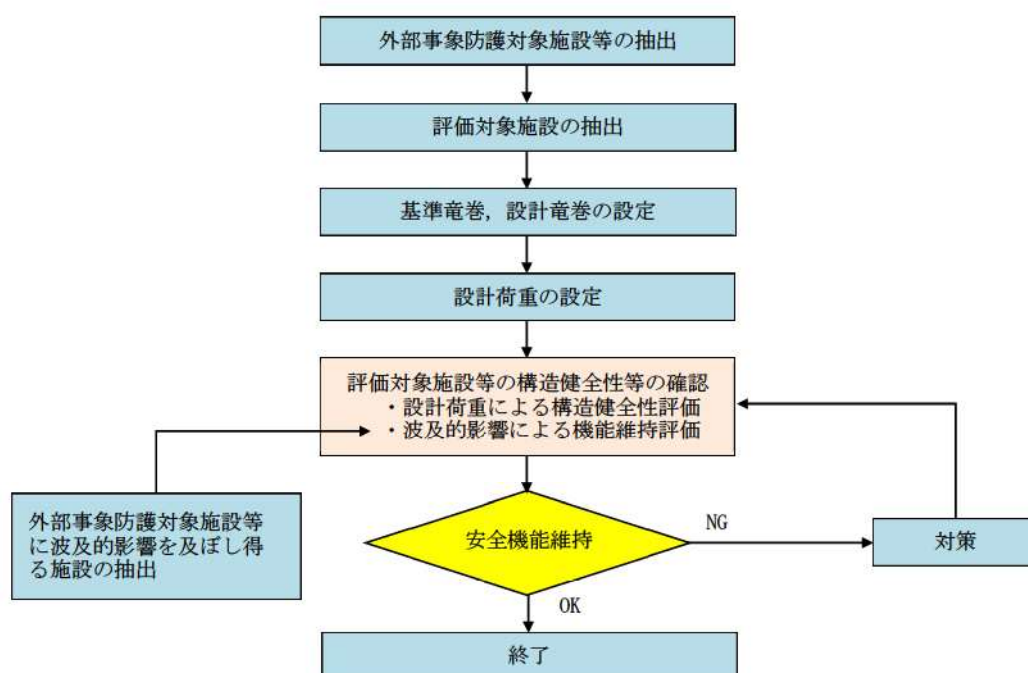
第 1. 2. 2. 5 図 主な外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

1.3 評価の基本的な考え方

1.3.1 評価方法

基準竜巻，設計竜巻及び設計荷重を適切に設定するとともに，評価対象施設等を抽出し，考慮すべき設計荷重に対する評価対象施設等の構造健全性等について評価を行い，必要に応じて対策を行うことで安全機能が維持されていることを確認する。

竜巻影響評価の基本フローを第 1.3.1.1 図に示す。



第 1.3.1.1 図 竜巻影響評価の基本フロー

1.3.2 評価対象施設等に作用する荷重

以下に示す設計荷重を適切に設定する。

(1) 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重を以下に示す。

a. 風圧力による荷重

設計竜巻の最大風速による風圧力

b. 気圧差による圧力

設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設等の内外の気圧差による圧力

c. 飛来物の衝撃荷重

設計竜巻によって評価対象施設等に衝突し得る飛来物（設計飛来物）が評価対象

施設等に衝突する際の衝撃荷重

(2) 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重を以下に示す。

a. 評価対象施設等に常時作用する荷重，運転時荷重等

b. 竜巻以外の自然現象による荷重，設計基準事故時荷重等

なお，上記 (2) b. の荷重については，竜巻以外の自然現象及び事故の発生頻度等を参照して，上記 (2) a. の荷重と組み合わせることの適切性や設定する荷重の大きさ等を考慮して判断する。

具体的な荷重については，「3. 3. 2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定」に示す。

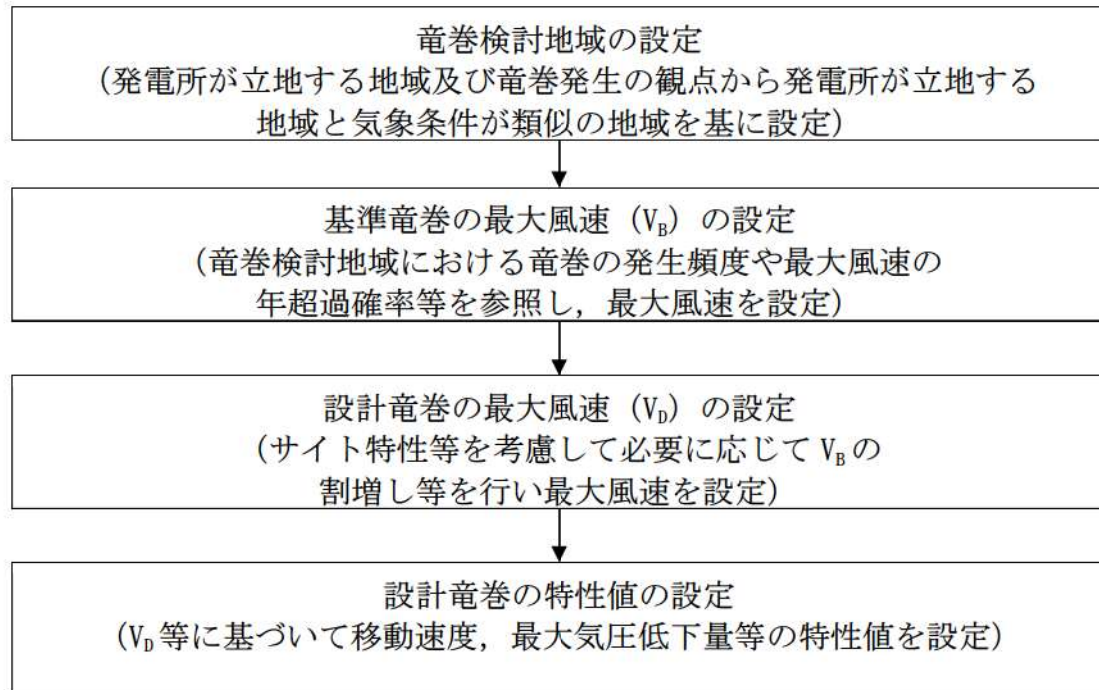
1. 3. 3 施設の安全性の確認方針

設計竜巻荷重及びその他組合せ荷重（常時作用している荷重，竜巻以外の自然現象による荷重，設計基準事故時荷重等）を適切に組み合わせた設計荷重に対して，評価対象施設等，あるいはその特定の区画の構造健全性等の評価を行い，必要に応じて対策を行うことで安全機能が維持されることを確認する。

2. 基準竜巻・設計竜巻の設定

2.1 概要

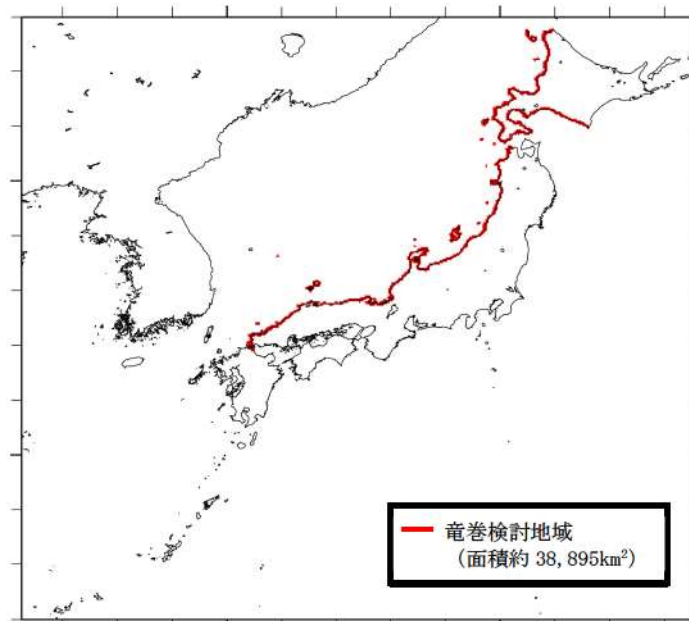
基準竜巻及び設計竜巻の設定フローを第 2.1.1 図に示す。



第 2.1.1 図 基準竜巻・設計竜巻の設定に係る基本フロー

2.2 竜巻検討地域の設定

泊発電所に対する竜巻検討地域について、ガイドを参考に、発電所が立地する地域と気象条件の類似性の観点で検討を行い、第 2.2.1 図に示すとおり北海道から本州の日本海側及び北海道の襟裳岬以西の海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲を竜巻検討地域に設定した（面積約 38,895km²）。以下にその妥当性確認の結果を示す。



第 2.2.1 図 竜巻検討地域

2.2.1 竜巻検討地域の妥当性確認

竜巻検討地域の妥当性について、以下の観点から確認を実施した。

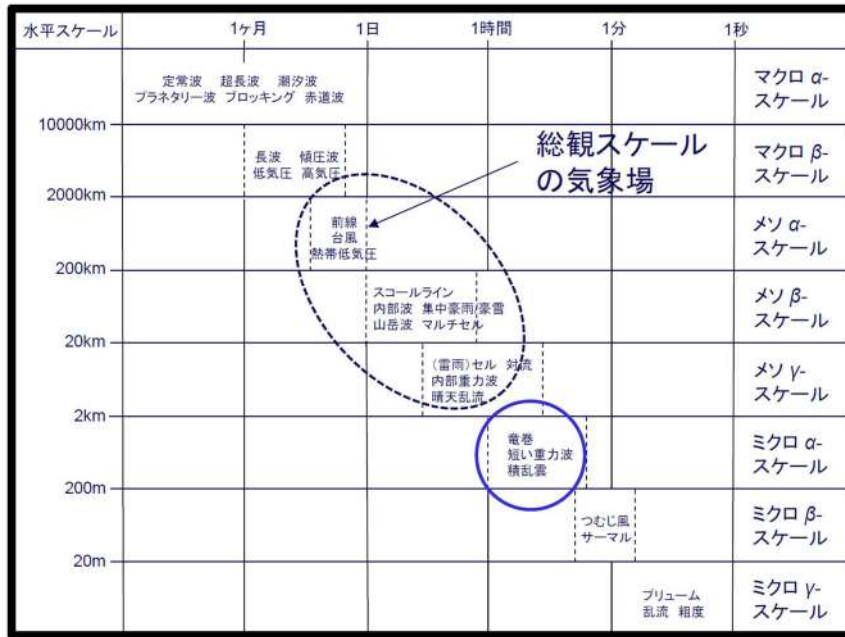
- (1) 気候区分による確認
- (2) 総観場の分析に基づく地域特性の検討
- (3) 過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の検討
- (4) 突風関連指数に基づく地域特性の検討

竜巻検討地域は、(1)の確認により、日本海側と太平洋側が気候特性の異なる地域に整理されることを確認するとともに、泊発電所が立地する気候区分(区分I2)を確認した。

独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説」の考え方にに基づき、竜巻発生要因となる気象条件(総観場)を確認する観点から、(2)、(3)の分析により地域特性を確認した。

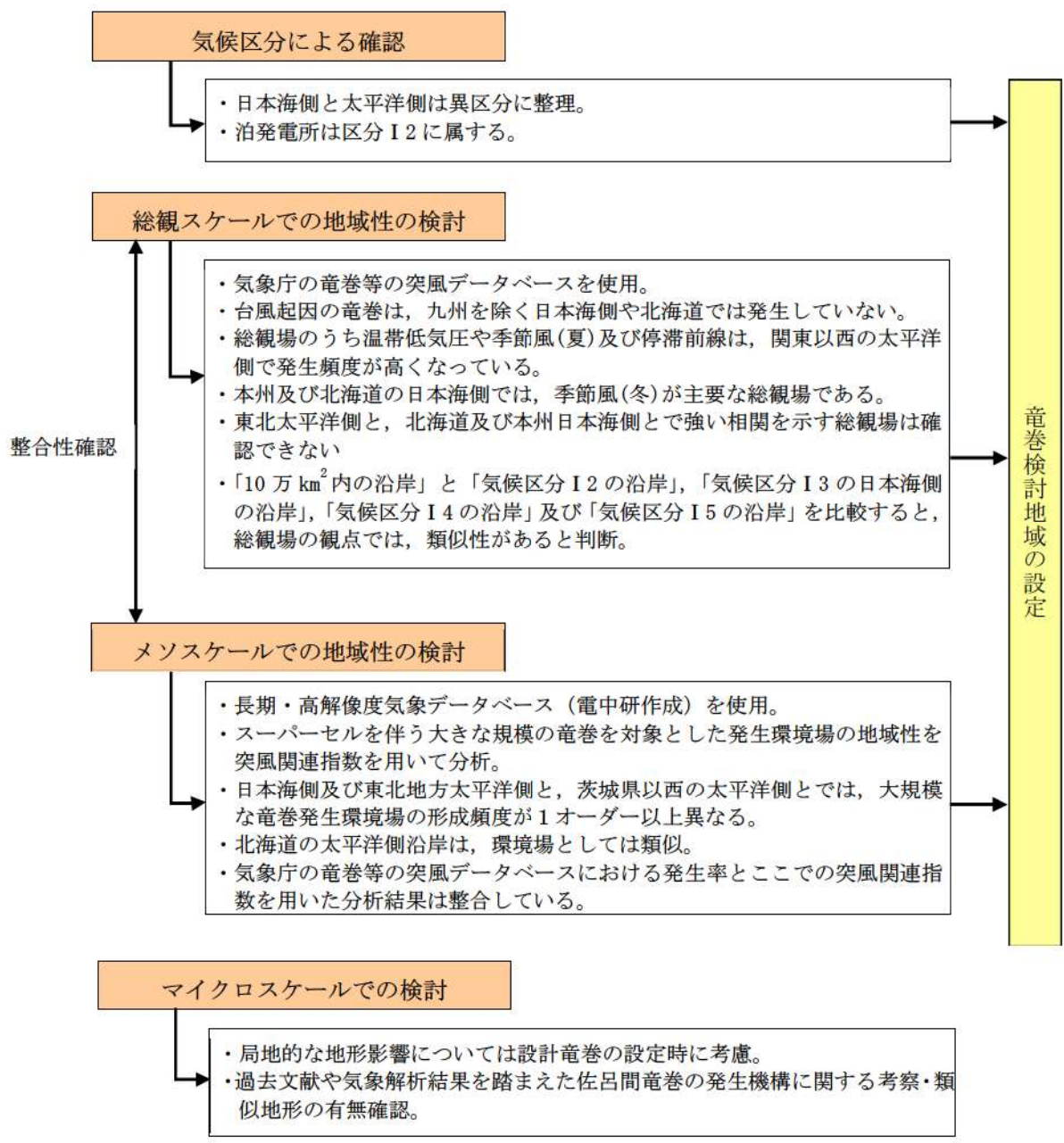
また、一般的に大気現象は時空間スケールの階層構造が見られ、ある大気現象はスケールの小さな現象を内包しているため、大きな竜巻の発生要因となる環境場の形成のし易さを把握する観点から、(4)の分析により、竜巻の発生スケールに近いメソスケールの気象場が有する地域性と齟齬がないことについても確認した。竜巻とその関連気象の時空間スケールを第2.2.1.1図に、検討の流れを示したフローを第2.2.1.2図に示す。

なお、(4)の突風関連指数を用いた分析は、“大きな竜巻の発生に対する大気場の必要条件”を把握する上で有効であることを踏まえ、(4)の分析結果のみで竜巻検討地域を設定するものではなく、設定した竜巻検討地域の妥当性を確認するために用いている。



第 2.2.1.1 図 竜巻とその関連気象の時空間スケール※

※：軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速及び飛来物速度の設定に関するガイドライン，日本保全学会，原子力規制関連事項検討会，2015



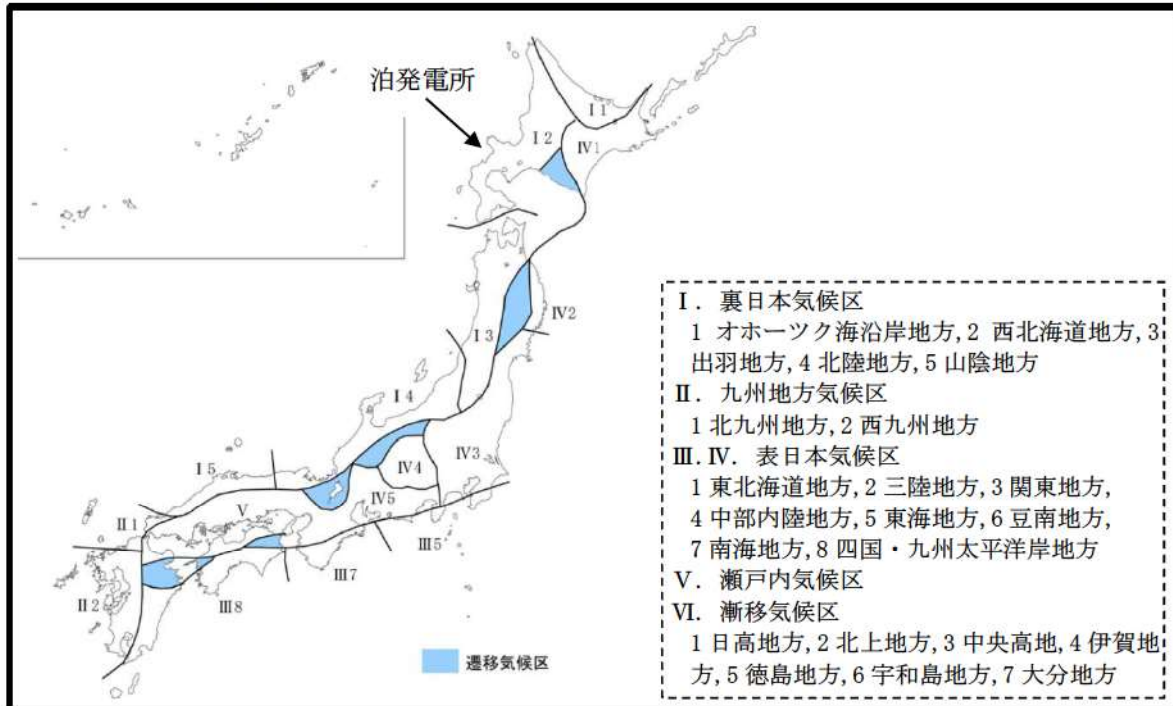
第 2.2.1.2 図 竜巻検討地域の検討フロー

2.2.2 気候区分による確認

泊発電所が立地している北海道後志地方は、第2.2.2.1図に示す日本の気候区分において、区分I2に属している。

区分I2の沿岸部は、北海道稚内市からえりも町までの北海道西側を広範囲にカバーする区域となっている。

また、ガイドにおいては、日本海側と太平洋側は気象条件が異なることが例示されており、第2.2.2.1図に示す気候区分においても日本海側と太平洋側は異なる区分であるとされている。



第2.2.2.1図 日本の気候区分

(内閣官房「第5回 道州制ビジョン懇談会 区割り基本方針検討専門委員会資料※」より引用)

※出典：関口武「日本の気候区分」東京教育大学地理学研究報告 (1959)

2.2.3 総観場の分析に基づく地域特性の検討

2.2.3.1 総観場ごとのFスケール別竜巻発生分布

気象庁の竜巻等の突風データベース※では、竜巻を発生させた総観場を約40種に分類しているが、独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説」を参考に、竜巻を発生させる親雲の発生要因を考慮して7種に再編し、発生分布の特徴を分析した。第2.2.3.1.1表に総観場の分類法と発生分布の特徴、第2.2.3.1.1図に全国で発生した竜巻の総観場ごとのFスケール別竜巻発生分布、第2.2.3.1.2図にF2以上の竜巻発生箇所を示す。

※ 気象庁 竜巻等の突風データベース (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/index.html>)

2.2.3.2 総観場を用いた分析対象範囲

ガイドでは、竜巻検討地域を設定する際に、IAEAの基準*が参考になるとされており、およそ10万km²の範囲を目安とすることが挙げられている。気候区分による確認結果を踏まえ、泊発電所を中心とする10万km²（半径180km）の範囲の沿岸を確認したところ、第2.2.3.2.1図に示すとおり、気候区分I2の範囲が該当する。

竜巻検討地域として、第2.2.3.2.1図に示した10万km²（半径180km）の範囲が適切であるか、又はさらに広げたエリアを設定することが適切であるかについて、総観場を用い、その類似性を確認することで評価を行う。

総観場の確認において、10万km²の範囲が属している「I. 裏日本気候区」に着目し、気候区分I2のエリア（宗谷岬から襟裳岬まで）、気候区分I3の日本海側（青森県から山形県まで）、気候区分I4（新潟県から兵庫県まで）並びに気候区分I5（鳥取県から山口県萩市付近まで）のエリアを対象とした。なお、気候区分I1にあたる宗谷岬以西のオホーツク海沿岸部は、竜巻が発生していないため対象外とした。

第2.2.3.2.2図に各エリアの総観場の確認結果を示す。

※ IAEA Safety Standards, Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, Specific Safety Guide No. SSG-18, 2011

2.2.3.3 総観場の分析結果

全国で発生した竜巻の総観場ごとのFスケール別竜巻発生分布（第2.2.3.1.1図）より、以下に示す①～③の地域性を確認した。また、総観場ごとの確認結果を第2.2.3.3.1表に示す。

- ①太平洋側では台風起因の大きな竜巻が多く発生しているのに対し、九州を除く日本海側地域や北海道では発生していない。（第2.2.3.1.1図(a)）また、台風は北上するにつれて衰弱しやすい特性を有していることから、仮に台風起因の竜巻が発生した場合も、規模の大きな竜巻の発生可能性は低いと考えられる。
- ②温帯低気圧や季節風(夏)起因の竜巻は全国で発生しているが、規模的には太平洋側でF3が発生しているのに対し、日本海側ではF2が最大となっている。（第2.2.3.1.1図(b), (c)）
- ③季節風(冬)起因の竜巻は、九州を除く日本海側地域に多く発生している。規模的には、北海道を含む日本海側ではF2竜巻が最大となっており、F3竜巻は発生していない。（第2.2.3.1.1図(d)）
- ④気候区分IV（北海道襟裳岬以東の太平洋側及び関東以北の本州の太平洋側）の地域では、竜巻の発生数が少なく、また特徴的な総観場も見られない。

また、地域ごとの竜巻発生総観場及び寄与割合の比較結果(第2.2.3.2.2図)より、以下の内容を確認した。

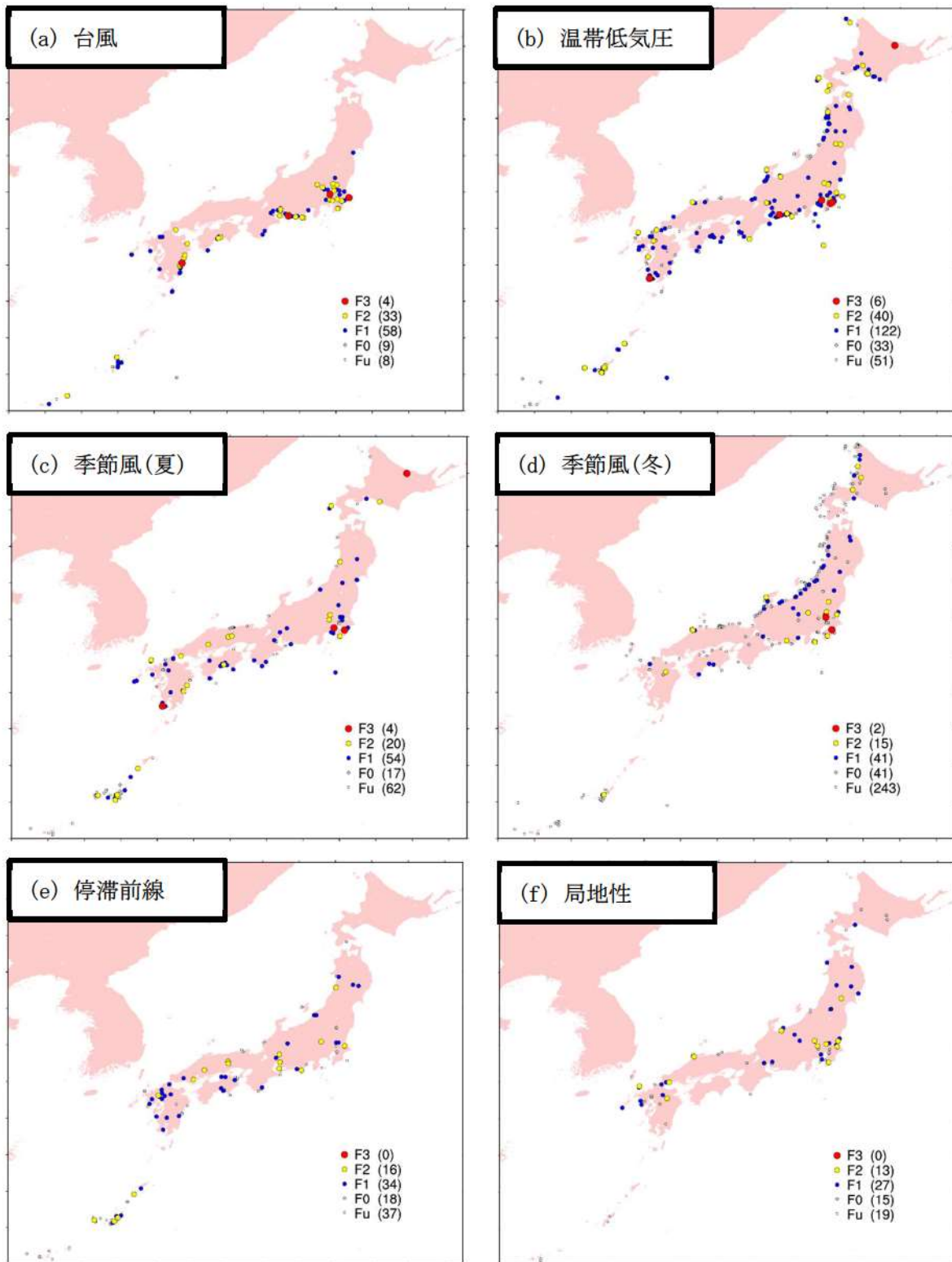
- ⑤「日本海側」と「太平洋側」を比較すると、総観場の分布が大きく異なり、この点からも気候区分として差別化することが可能と考えられる(第2.2.3.2.2図(a), (b))。
- ⑥「10万 km²内の沿岸」と「気候区分 I 2 の沿岸」, 「気候区分 I 3 の日本海側の沿岸」, 「気候区分 I 4 の沿岸」及び「気候区分 I 5 の沿岸」を比較すると、竜巻の発生数は少ないものの「10万 km²内の沿岸」で確認された総観場がすべて確認できること、また、出現割合が上位の総観場がほぼ共通しているため、類似性のあるエリアとして取り扱うことが適切と考えられる(第2.2.3.2.2図(c)~(g))。

以上の分析結果より、日本海側と太平洋側では竜巻発生要因となる気象条件(総観場)が大きく異なり、また、北海道から本州の日本海側及び北海道の襟裳岬以西は総観場的に類似性のあるエリアとして考慮する必要があると判断した。

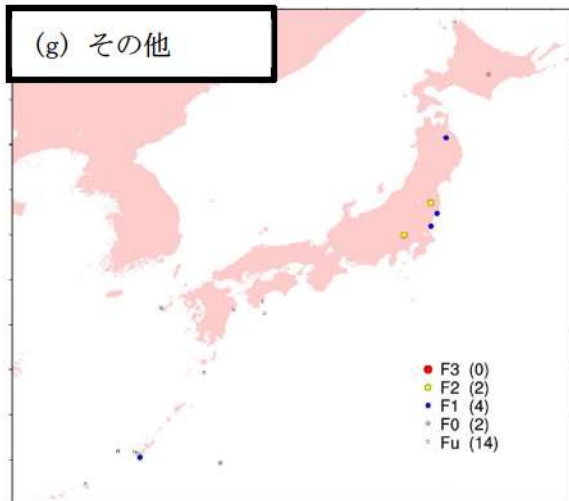
よって、北海道から本州の日本海側及び北海道の襟裳岬以西を竜巻検討地域として設定することが適切と判断した。

第 2.2.3.1.1 表 総観場の分類法

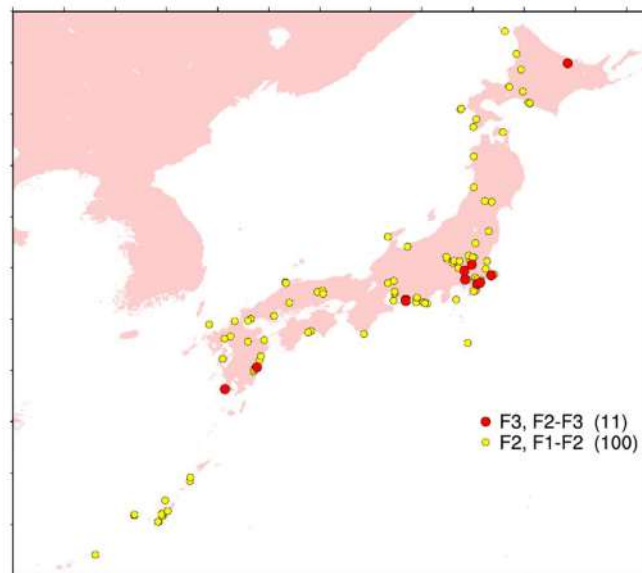
総観場	気象庁竜巻データベースの分類	特徴
台風	台風	台風を取り巻く雲が竜巻を発生させる。関東以西の太平洋側で発生頻度が高く、F3 竜巻も多くみられる。
温帯低気圧	南岸低気圧, 日本海低気圧, 二つ玉低気圧, 東シナ海低気圧, オホーツク海低気圧, その他 (低気圧), 寒冷前線, 温暖前線, 閉塞前線	寒気と暖気が接し傾圧不安定による組織的な雲が形成する環境場。主に南からの下層の暖湿流が親雲の発達に重要な働きをするため, 暖湿流が山岳等で遮られない関東以西の太平洋側で発生頻度が高く, F3 竜巻も見られる。日本海側での頻度は比較的 low。
季節風 (夏)	暖気の移流, 熱帯低気圧, 湿舌, 太平洋高気圧	暖湿流が主要因で親雲を形成する環境場。関東以西の太平洋側や内陸で多く確認されている。
季節風 (冬)	寒気 of 移流, 気圧の谷, 大陸高気圧, 季節風	大気上層に寒気が流入することで大気が不安定になり, 竜巻の親雲が形成する環境場。寒気は北～西から移流することが多いため, 日本海側や関東以北で発生頻度が高い。
停滞前線	停滞前線, 梅雨前線, 前線帯, 不安定線, その他 (前線)	南からの暖湿流により親雲が形成されやすく, 関東以西の太平洋側や内陸で発生頻度が高い。
局地性	局地性じょう乱, 雷雨 (熱雷), 雷雨 (熱雷を除く), 地形効果, 局地性降水	局地的な循環により親雲が形成する環境場。内陸で発生頻度が高い。
その他	移動性高気圧, 中緯度高気圧, オホーツク海高気圧, 帯状高気圧, その他 (高気圧), 大循環異常, その他	上記に当てはまらない環境場。全体的に個数は少ない。



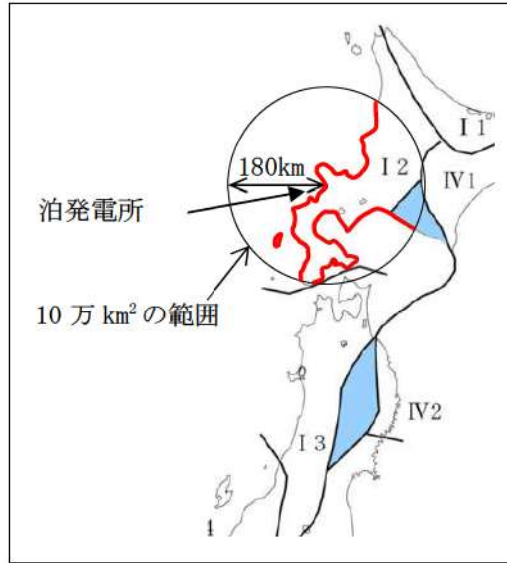
第 2.2.3.1.1 図 総観場ごとの F スケール別竜巻発生分布 (1/2)
 (気象庁「竜巻等の突風データベース」をもとに作成)



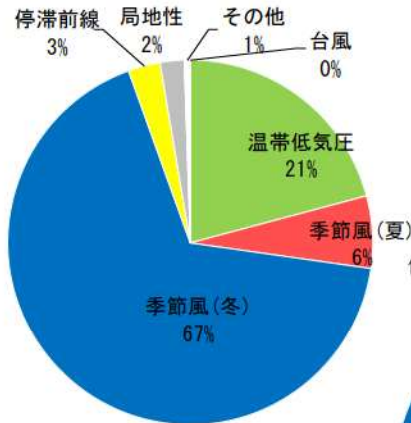
第 2.2.3.1.1 図 総観場ごとの F スケール別竜巻発生分布 (2/2)
 (気象庁「竜巻等の突風データベース」をもとに作成)



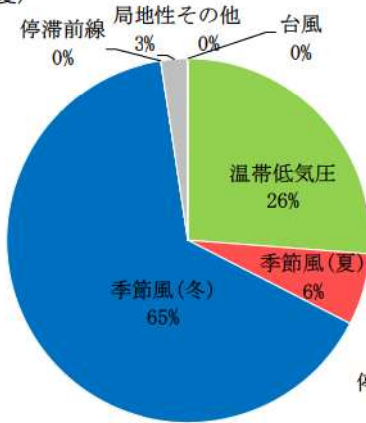
第 2.2.3.1.2 図 F2 以上の竜巻発生箇所
 (気象庁「竜巻等の突風データベース」をもとに作成)



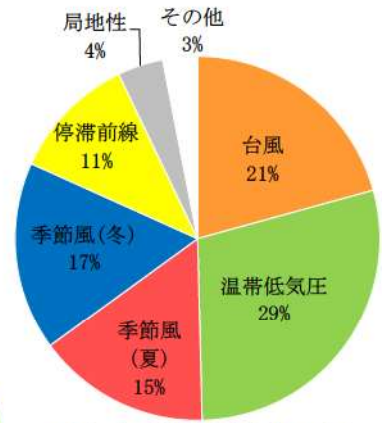
第 2. 2. 3. 2. 1 図 泊発電所を中心とする 10 万 km² の範囲



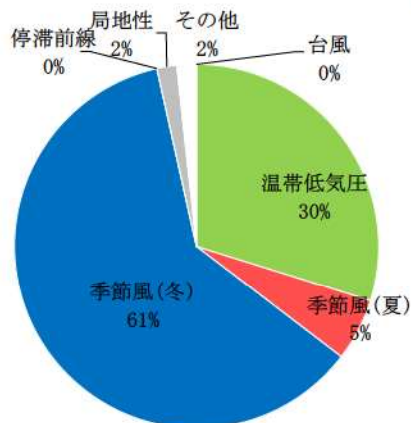
(a) 日本海側沿岸(195個)



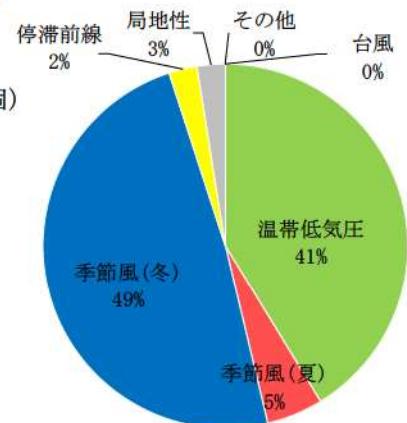
(c) 10万km²内の沿岸(42個)



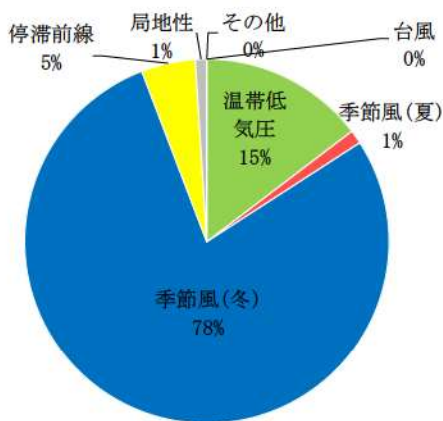
(b) 太平洋側沿岸(337個)



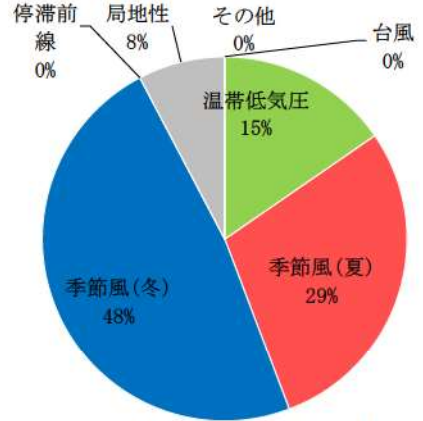
(d) 気候区分 I 2の沿岸(57個)
(宗谷岬から襟裳岬まで)



(e) 気候区分 I 3日本海側の沿岸(53個)
(青森県から山形県まで)



(f) 気候区分 I 4の沿岸(59個)
(新潟県から兵庫県まで)



(g) 気候区分 I 5の沿岸(20個)
(鳥取県から山口県萩市付近まで)

()は竜巻個数を示す

第 2. 2. 3. 2. 2 図 地域ごとの竜巻発生総観場及び寄与割合の比較

第 2. 2. 3. 3. 1 表 総観場ごとの竜巻発生分布の傾向

総観場	傾向
台風	<ul style="list-style-type: none"> ・太平洋側で多く発生しており日本海側では確認されていない。規模的には、関東以西の太平洋側では F3 を含む規模の大きな竜巻が発生しているが、東北地方太平洋側では F1 竜巻が 1 件発生しているのみである。 ・関東地方、中部地方の太平洋側及び九州地方の太平洋側では発生が集中しており、これらの地域は太平洋側の竜巻集中地域に整理されている。 ・台風は北上（低緯度から中高緯度に移動）するに従い減衰するため、東北地方や北海道など、北部での発生数は少なく、規模も小さくなると考えられる。本州に接近・上陸する台風の減衰は、地表面摩擦の増大による風速の減衰に加え、海水温が低下するため、台風の維持、発達に必要な海から供給される水蒸気量が減少し減衰する。
温帯低気圧	<ul style="list-style-type: none"> ・温帯低気圧起因の竜巻は全国で発生しているが、規模的には太平洋側で F3 竜巻が発生しているのに対し、日本海側では F2 竜巻が最大となっている。 ・暖湿流が山岳等で遮られない関東以西の太平洋側で多くの F3 竜巻の発生が確認できる。 ・日本海側では、寒冷前線やその通過後の寒気の流入により発達した親雲にて発生する竜巻が多い。西側に開けた地域で多く見られ、北海道南西部、日高地方南西部、青森から山形の海岸線沿い、などで多くの竜巻の発生がみられる。
季節風（夏）	<ul style="list-style-type: none"> ・季節風（夏）起因の竜巻は全国で発生しているが、関東以西の太平洋側や内陸で多く発生している。 ・規模的には、太平洋側で F3 竜巻が発生しているのに対し、日本海側では F2 竜巻が最大となっている。
季節風（冬）	<ul style="list-style-type: none"> ・季節風（冬）起因の竜巻は、九州を除く日本海側地域に多く発生している。規模的には、北海道日本海側では F2 竜巻が 1 件発生しているのみで、F3 竜巻は発生していない。 ・太平洋側では、大気下層に暖気が流入すると、大気が不安定になり親雲が発達しやすい環境が形成されるため、強い竜巻の発生が多くみられ、F3 竜巻が最大となっている。
停滞前線	<ul style="list-style-type: none"> ・関東以西の太平洋側や内陸で発生頻度が高く、日本海側では F2 竜巻が 1 件発生している。
局地性	<ul style="list-style-type: none"> ・地形的な影響によるものであり、全国で発生している。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・全国的に発生数は少なく、地域差はみられない。

2.2.4 過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認

日本で竜巻が集中する地域については、独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」に、全国 19 箇所の竜巻集中地域が示されている。

第 2.2.4.1 図に示すとおり、泊発電所は、竜巻集中地域②（北海道の後志地方・渡島地方・檜山地方の一部）に立地している。したがって、基本的な考え方としては泊発電所における竜巻検討地域は、この竜巻集中地域②とすることが考えられる。

ただし、気象庁「竜巻等の突風データベース」によると、1961 年 1 月から 2012 年 6 月の 51.5 年間に発生が確認された竜巻の個数は竜巻集中地域②で 21 個であり、この期間に竜巻集中地域②で観測されている最も強い竜巻は藤田スケールで F2 となる。（第 2.2.4.1 表）

竜巻発生の影響評価の観点からすると、データ数は多い方がよいため、竜巻検討地域として北海道から本州の日本海側及び北海道太平洋側の襟裳岬以西の海岸線を設定し、その妥当性を検討する。

なお、設定した竜巻検討地域の竜巻個数は 209 個、観測された最も強い竜巻は F2 となる。第 2.2.4.2 表に竜巻検討地域内での F1 を超える竜巻の観測記録を示す。

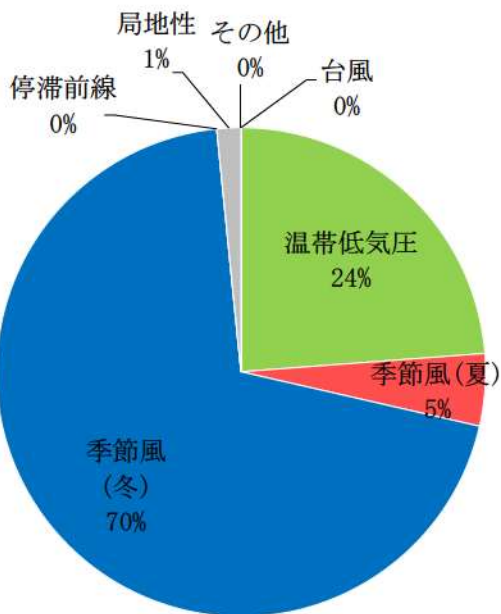
竜巻検討地域と竜巻集中地域②の竜巻発生確率は、 1.0×10^{-4} 、 1.1×10^{-4} （個/年/km²）であり、単位面積当たりの竜巻発生数はおおむね同程度である。竜巻集中地域②における竜巻は 21 事例とかなり少なく、影響評価を行うにはデータ数が乏しいため、209 個の竜巻個数がある竜巻検討地域を評価対象とすることは妥当な設定である。



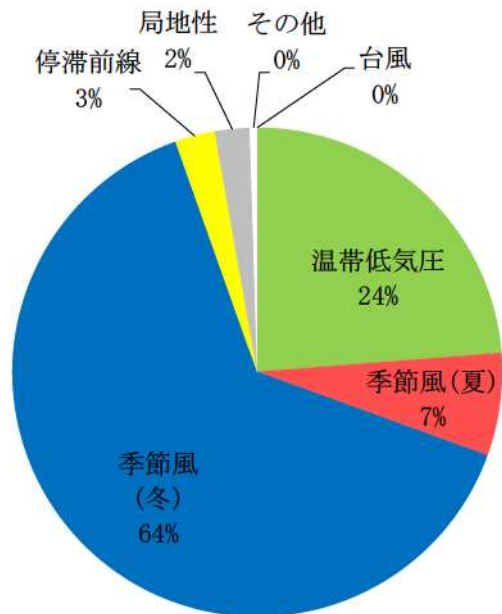
第 2.2.4.1 図 竜巻の発生地点と竜巻が集中する 19 個の地域
 (独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説」より引用)

竜巻の地域特性を検討するため、竜巻集中地域②と竜巻検討地域、竜巻集中地域②に隣接する竜巻集中地域①(北海道の宗谷地方・留萌地方の一部)と⑱(北海道の胆振地方・日高地方の一部)における総観場の比較を行った。

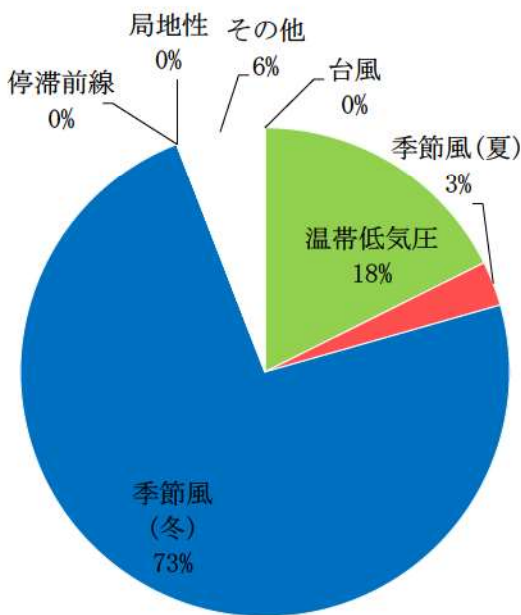
第 2.2.4.2 図に各地域の竜巻発生要因に関する総観場の特徴を示す。また、第 2.2.4.1 表に総観場の特徴を示す。



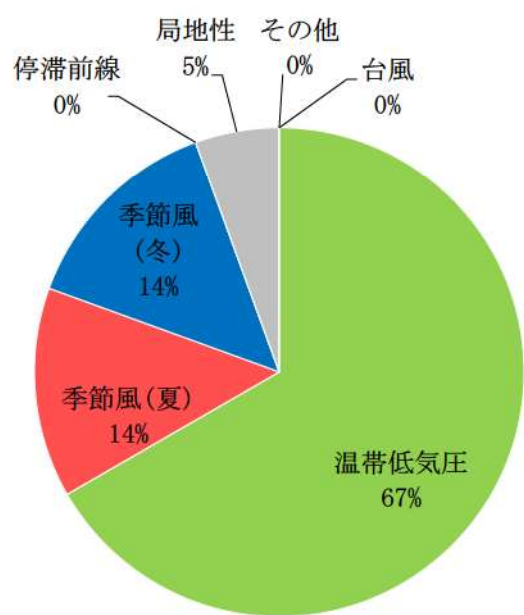
竜巻集中地域②
(北海道の後志地方・渡島地方・檜山地方の一部)



竜巻検討地域
(日本海沿岸+北海道南西域)



竜巻集中地域①
(北海道の宗谷地方・留萌地方の一部)



竜巻集中地域⑱
(北海道の胆振地方・日高地方の一部)

第 2. 2. 4. 2 図 各地域の竜巻発生要因に関する総観場の特徴

竜巻集中地域②で発生した竜巻の総観場は,”季節風(冬)”が70%,”温帯低気圧”が24%を占める。竜巻検討地域では,竜巻集中地域②と同様に”季節風(冬)”と”温帯低気圧”の比率が高い。これらの地域では,寒気にもなまって発生した親雲に起因した竜巻が多いと推測できる。また,両地域とも,太平洋側で多くみられる台風起因の竜巻は今のところ確認されていない。

また,竜巻集中地域②に隣接する竜巻集中地域①及び⑱についても,”季節風(冬)”と”温帯低気圧”が竜巻発生の主要因となっている。

以上の分析結果より、北海道から本州の日本海側及び北海道太平洋側の襟裳岬以西を竜巻検討地域に設定することは竜巻集中地域における地域特性の観点からも妥当であると考えられる。

第 2.2.4.1 表 F スケールごとの総観場のまとめ

	個数	総観場 1 位 (比率%)	総観場 2 位 (比率%)	総観場 3 位 (比率%)	主移動方向 (比率%)	
集中地域②	全体	21	季節風 (冬) 70%	温帯低気圧 24%	季節風 (夏) 5%	東 29%
	F2	4	温帯低気圧 87%	季節風 (夏) 13%		北東, 西 50%
	F1	1	温帯低気圧 50%			北東 100%
	F0	1	温帯低気圧 100%			北東 100%
	F 不明	15	季節風 (冬) 98%	局地性 2%	季節風 (夏) 2%	東 38%
	F1 以上	5	温帯低気圧 80%	季節風 (夏) 20%		北東 67%
	F0 以上	6	温帯低気圧 83%	季節風 (夏) 17%		北東 75%
竜巻検討地域	全体	209	季節風 (冬) 64%	温帯低気圧 24%	季節風 (夏) 7%	東 36%
	F2	13	温帯低気圧 68%	季節風 (冬) 18%	季節風 (夏) 8%	北東 56%
	F1	45	温帯低気圧 56%	季節風 (冬) 36%	局地性 5%	東 30%
	F0	29	季節風 (冬) 67%	温帯低気圧 26%	停滞前線 3%	東 40%
	F 不明	122	季節風 (冬) 78%	季節風 (夏) 9%	温帯低気圧 7%	東 43%
	F1 以上	58	温帯低気圧 58%	季節風 (冬) 32%	局地性 6%	東 25%
	F0 以上	87	温帯低気圧 48%	季節風 (冬) 44%	局地性 4%	東 30%
集中地域①	全体	17	季節風 (冬) 73%	温帯低気圧 18%	その他 6%	北東, 東 40%
集中地域⑱	全体	12	温帯低気圧 67%	季節風 (冬) 14%	季節風 (夏) 14%	北東 46%
太平洋側	全体	337	温帯低気圧 29%	台風 21%	季節風 (冬) 17%	北東 23%

第 2.2.4.2 表 竜巻検討地域における竜巻の観測記録 (F1 より大きい竜巻)
(気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成)

発生日時	発生場所		F スケール ※	総観場
	都道府県	市町村		
1962 年 09 月 28 日 14 時 20 分	北海道	宗谷支庁 東利尻町	(F2)	寒冷前線
1971 年 10 月 17 日 05 時 00 分	北海道	留萌支庁 羽幌町	(F2)	寒気の移流
1974 年 10 月 03 日 19 時 05 分	北海道	檜山支庁 奥尻郡奥尻町	(F1~F2)	温暖前線
1974 年 10 月 20 日 15 時 00 分	北海道 檜山支庁	檜山郡上ノ国 町	(F1~F2)	寒冷前線
1975 年 05 月 31 日 18 時 10 分	島根県	簸川郡大社町	(F2)	日本海低気圧 局地性 じょう乱 寒気の移流
1975 年 09 月 08 日 01 時 30 分	北海道 檜山支庁	奥尻郡奥尻町	(F1~F2)	日本海低気圧 暖気の 移流
1979 年 11 月 02 日 01 時 58 分	北海道 渡島支庁	松前郡松前町	(F2)	日本海低気圧 温暖前 線
1980 年 10 月 31 日 09 時 30 分	北海道 日高支庁	門別町	(F1~F2)	閉塞前線
1989 年 03 月 16 日 19 時 20 分	島根県	簸川郡大社町	(F2)	局地性じょう乱 寒気 の移流
1990 年 04 月 06 日 02 時 55 分	石川県	羽咋郡富来町	F2	オホーツク海低気圧 気圧の谷
1994 年 10 月 05 日 06 時 35 分	北海道 日高支庁	門別町	F1~F2	寒冷前線
1999 年 11 月 25 日 15 時 40 分	秋田県	八森町	(F1~F2)	日本海低気圧 寒冷前 線
2004 年 10 月 22 日 16 時 50 分	北海道 日高支庁	門別町	F2	寒冷前線 暖気の移流

※ F スケールは、ア) 被害の詳細な情報等から推定できたもの、イ) 文献等からの引用又は被害のおおまかな情報等から推定したもの、があり、F2 以上の事例ではア) とイ) を区別し、イ) の場合には値を括弧で囲んでいる。

2.2.5 突風関連指数に基づく地域特性の検討

総観場での検討に加え、大きな被害をもたらす強い竜巻の発生要因となる環境場の形成のし易さに対する地域特性を検討するため、気象庁や米国気象局における現業においても竜巻探知・予測に活用されており、竜巻の発生し易さを数値的に示すことができる突風関連指数を用いて地域特性の検討を行った。なお、突風関連指数を用いての検討については日本海側と太平洋側の地域性が異なること、さらに立地地域とその他の地域の特性を確認するために実施したものであり、特

定規模の竜巻発生の可能性を評価するものではない。

2.2.5.1 突風関連指数を用いた竜巻予測の技術について

竜巻の主な発生メカニズムは、二つに大別されると考えられている。一つは局地的な前線（寒気団と暖気団との境界線）に伴って生じた渦が上昇流によって引き伸ばされて竜巻となるもので、比較的寿命が短く強い竜巻になりにくいとされている。

もう一つは「スーパーセル」と呼ばれる、回転する継続した上昇気流域（メソサイクロン）を伴った非常に巨大な積乱雲に伴って竜巻が発生するものである。スーパーセル内では、下降流域と上昇流域が分離されるため、巨大な積乱雲が長時間持続する傾向にある。近年、ドップラーレーダによる解析を基にした竜巻の事例調査が進んだことにより、大きな被害をもたらす強い竜巻の多くはスーパーセルに伴って発生することが判明している。現状、竜巻を直接予測することは困難であるが、大規模竜巻の発生と関係が深いスーパーセルの発生環境を予測することにより竜巻発生を間接的に予測できる。以下に、竜巻発生予測について、突風関連指数を適用している例を示す。

気象庁での突風関連指数の適用状況

気象庁では平成 20 年 3 月から、低気圧の発達等に関して半日から 1 日程度前に発表する予告的な気象情報において、11 種類の突風関連指数を算出し、竜巻やダウンバースト等の激しい突風が発生する可能性があるとして予測される場合には、当気象情報において注意喚起することとした。

その後、気象庁では竜巻等の突風の予測プロダクトとして、平成 22 年 5 月より竜巻発生確度ナウキャスト情報の提供を開始した。竜巻発生確度ナウキャストは、「竜巻が今にも発生する（又は発生している）可能性の程度」（発生確度）を 10 分ごとに解析した結果をもとに、降水域の移動ベクトル等を用いて 1 時間先まで発生確度を予測する。発生確度の解析は、以下の二つの技術を組み合わせて実施している。

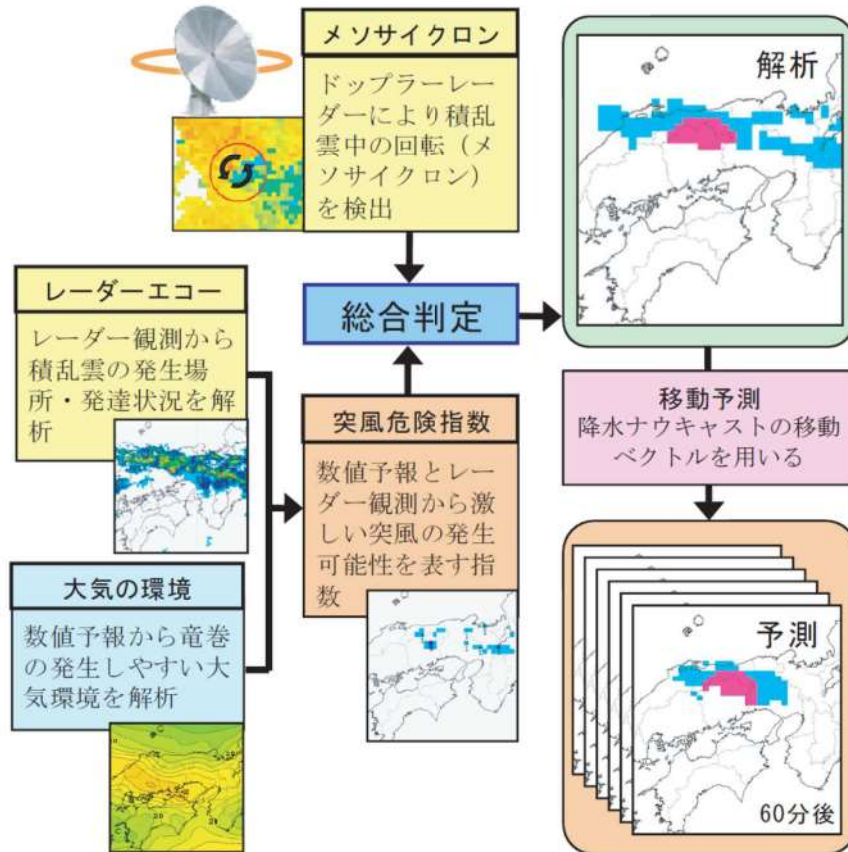
- ・気象ドップラーレーダ観測によるメソサイクロン（親雲）検出技術
- ・メソ数値予測（MSM）を用いた突風危険指数の算出技術

竜巻発生確度ナウキャストにおけるデータ等の流れを第 2.2.5.1.1 図に示す。竜巻発生確度ナウキャストは最新の観測・解析データをもって短いリードタイムの予測を迅速に行うことが主目的のため、レーダプロダクトに重みを置いている。また、小さな竜巻も見逃しなく予測できるような説明変数として突風関連指数を選択している。

以上のように、気象庁では竜巻の監視や様々なリードタイムに対する予測に突風関連指数を活用している。

海外での突風関連指数の適用状況

海外では、米国の気象庁にあたる NOAA の SPC (ストーム予測センター) においても気象庁と同様に、突風関連指数の情報とレーダー観測のデータが現業で活用されており、突風関連指数に関する検討も盛んに行われている。



出典：測候時報 78.3 2011 竜巻発生確度ナウキャスト・竜巻注意情報について
—突風に関する防災気象情報の改善— 瀧下洋一

第 2.2.5.1.1 図 竜巻発生確度ナウキャストの解析・予測技術

2.2.5.2 検討に用いる突風関連指数について

大きな被害をもたらす竜巻の親雲の多くはスーパーセルであり、スーパーセルの発生環境は予測できる技術があって気象庁等でも活用されていることを述べてきた。ここでは、本検討に用いる突風関連指数について説明する。

第 2.2.5.2.1 図に竜巻の発生メカニズムを示す。スーパーセルが発生しやすい環境場として、大気下層の鉛直シア（異なる高度間での風向・風速差）と、強い上昇気流を起こすきっかけとしての不安定な大気場が必要である。本検討では、大気不安定度を表す指標として「CAPE」、鉛直シアに伴って発生する水平渦度が親雲に取り込まれる度合いを表す指標として「SReH」を採用し、両者の指標が同時に高くなる頻度について、地域的な特徴を確認する分析を行った。また、両者を掛け合わせた指標である EHI による分析も行い、SReH・CAPE の同時超過頻度分析との比較を行った。

SReH, CAPE, EHI については、竜巻の発生実態を解明する研究において国内

外で広く利用され、竜巻発生環境場との関連づけ等の知見が多く蓄積されており、気象庁での竜巻予測に用いる突風関連指数の中でも主な指標として紹介されているため、本検討を行う上でも妥当なものと考えられる。

SReH、CAPE 及びその複合指数である EHI について以下に説明する。



風向・風速差による渦の発生

上昇気流の発生

竜巻の発生

第 2.2.5.2.1 図 竜巻の発生メカニズム*

※：U. S. DEPARTMENT OF COMMERCE (National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service), A Preparedness Guide Including Tornado Safety Information for Schools

(1) SReH (Storm Relative Helicity : ストームの動きに相対的なヘリシティ)

風向・風速差により発生した渦度が親雲に取り込まれる度合であり、値が大きいほど、積乱雲はスーパーセルに発達しやすい(第2.2.5.2.2図)。

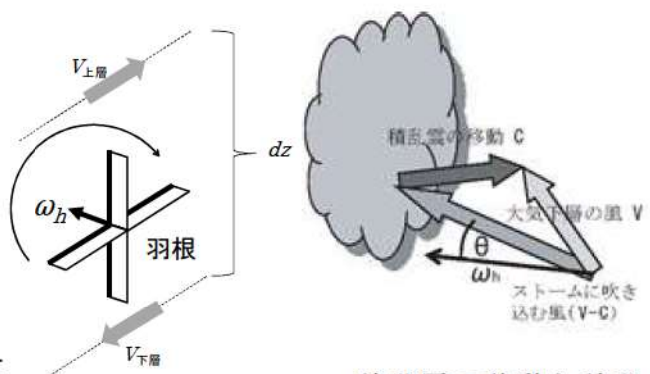
$$SReH = \int_{\text{地上}}^{\text{高度3km}} (\mathbf{V} - \mathbf{C}) \cdot \boldsymbol{\omega} dz$$

V : 水平風速ベクトル
 ω : 鉛直シアに伴う水平渦度

C : ストームの移動速度



「水平軸周り」に回転する渦が親雲に吸い上げられて、「鉛直軸周り」の回転となる



積乱雲の移動と積乱雲に吹き込む風

第 2.2.5.2.2 図 SReH の概念図

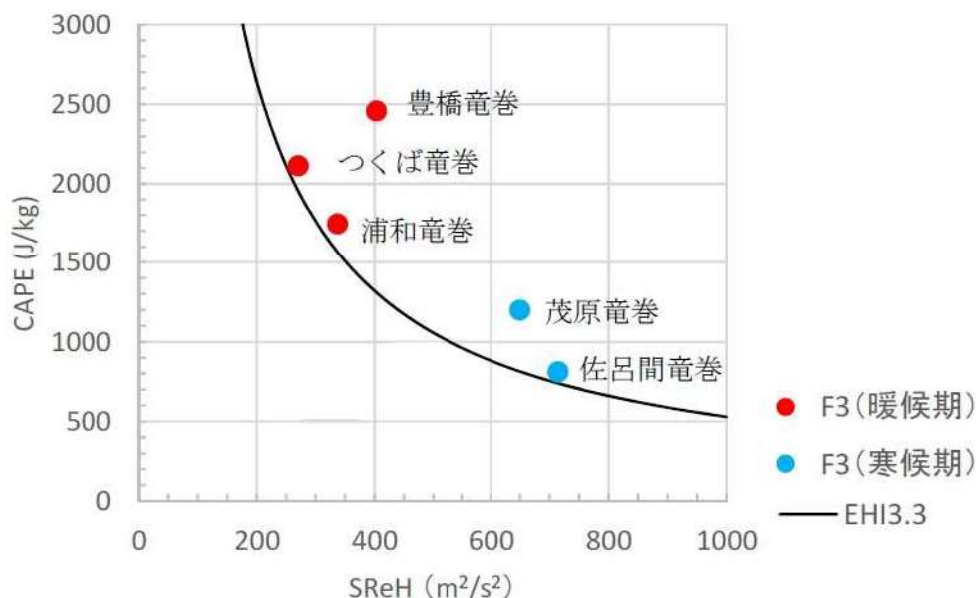
ながる。

相当温位は、空気塊に含まれる水蒸気の持っている潜熱（水蒸気が凝結する際に空気塊の温度が上昇）の影響も考慮された温位である。

$$\theta = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{\frac{R}{c_p}} \quad (R: \text{気体定数}, c_p: \text{定圧比熱})$$

2.2.5.3 突風関連指数の地域特性

これまでに発生した F3 竜巻に対する突風関連指数の分析結果を第 2.2.5.3.1 図に示す。WRF モデル (Weather Research and Forecasting model) と呼ばれる数値気象モデルを用いて当時の気象場を解析 (再現) し、それをもとに突風関連指数を算出している。第 2.2.5.3.1 図をみると、季節によって CAPE の値が大きく異なるものの、F3 竜巻事例では共通して SReH と CAPE の両方が大きくなる傾向が見られた。



第 2.2.5.3.1 図 F3 竜巻における SReH と CAPE の関係

大きな竜巻を引き起こすスーパーセルの発生要因の指標である SReH と CAPE について、国内で (太平洋側で) 発生した F3 竜巻では、SReH と CAPE の両方 (あるいは複合指数である EHI) が大きな値をとる傾向が見られる。また、これまでに発生した国内における F2-F3 を含めたすべての F3 竜巻 (6 事例) は、スーパーセルを伴っていたことが報告されている。

したがって、SReH と CAPE それぞれに対して閾値を設け、その閾値を同時に超える頻度 (以下「同時超過頻度」という。) を分析することにより、スーパーセルに伴って発生するような大規模な竜巻の発生環境を観点とした地域性を見出すことができると考えられる。

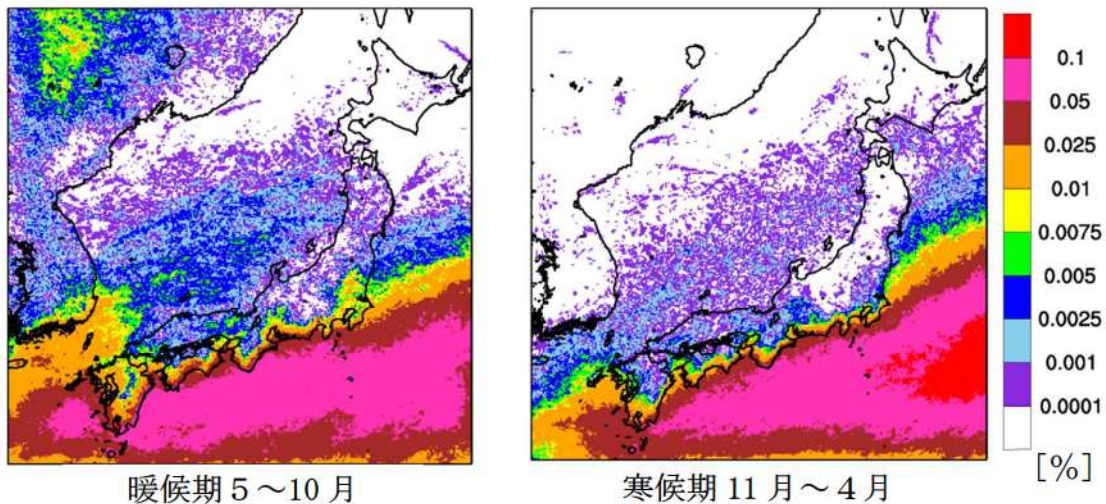
2.2.5.4 突風関連指数の同時超過頻度による地域性の検討

SReH と CAPE の閾値については、第 2.2.4.5.1 図の F3 竜巻のデータをもとに、実際の竜巻発生地点と対応するよう、下記のように設定した。また、CAPE の閾値については、緯度・季節で絶対値が大きく変わるため、5月～10月（暖候期）及び11月～4月（寒候期）に分けて閾値を設定した。

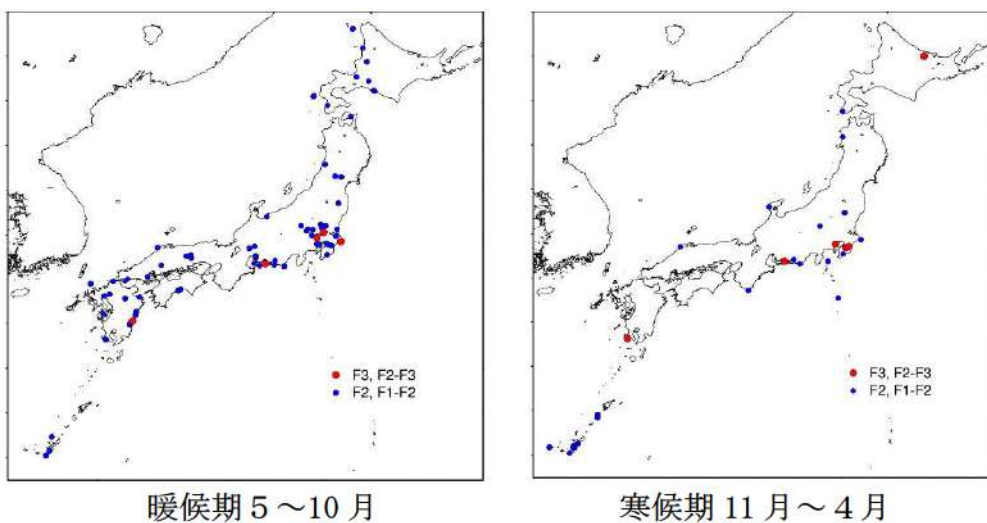
[5月～10月（暖候期）] SReH : 250m²/s², CAPE : 1,600J/kg

[11月～4月（寒候期）] SReH : 250m²/s², CAPE : 600J/kg

第 2.2.5.4.1 図は、1961 年～2010 年までの 50 年間にわたって 1 時間ごとに解析されたデータをもとに、SReH と CAPE の同時超過頻度分布をマップ化したものである。また、気象庁「竜巻等の突風データベース」で確認された F2-F3 竜巻及び F3 竜巻の発生箇所を第 2.2.5.4.2 図に示す。



第 2.2.5.4.1 図 F3 規模以上を対象とした SReH, CAPE 同時超過頻度分布



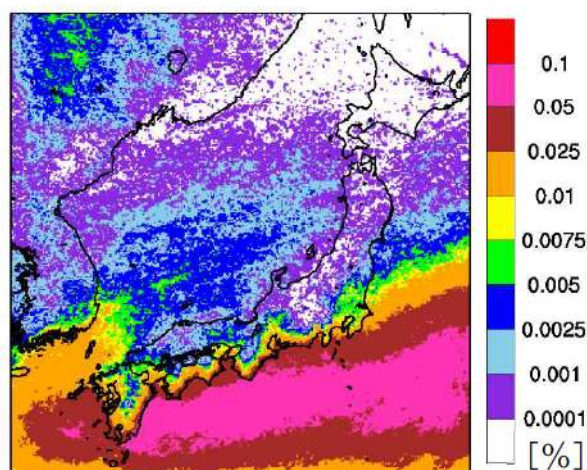
第 2.2.5.4.2 図 F2 規模以上の発生箇所
(気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成)

また、EHI についても、SReH と CAPE と同様に閾値を設け超過頻度について分析した。EHI の閾値については、過去のいずれの F3 事例においても EHI が 3.5 程度を越えていることから、それを包含する値として EHI:3.3 を設定した（暖候期と寒候期は分けない）。

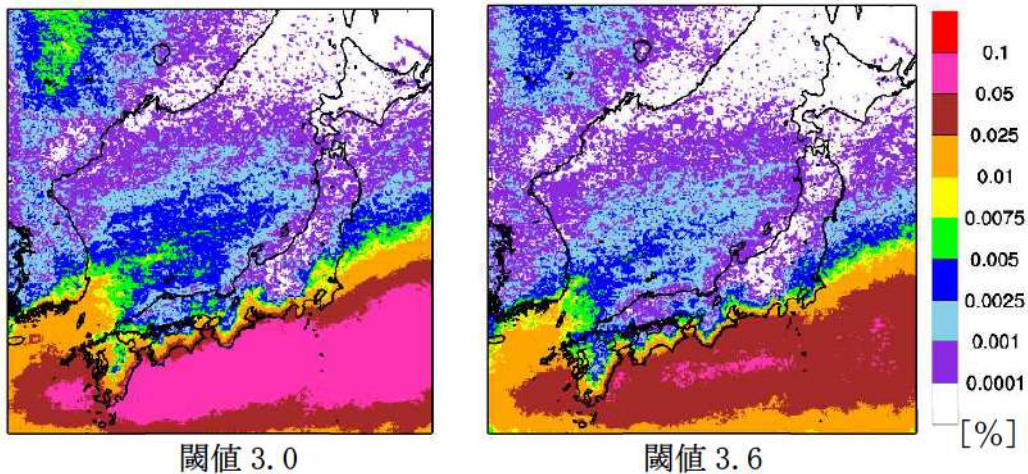
EHI の超過頻度分布をマップ化したものについても第 2.2.5.4.3 図に示す。SReH, CAPE の同時超過頻度分布（第 2.2.5.4.1 図）に対応した結果となっており、EHI を用いて通年レベルの評価を行った場合でも地域特性がはっきり表れている。

以上により、CAPE, SReH, EHI について F3 以上を想定した特定の閾値を設けた場合の分析を実施したが、突風関連指数については不確実性が存在するため、EHI : 3.0 及び 3.6 を設定した場合についても同様の地域性が現れることを確認した（第 2.2.5.4-4 図）。ただし、閾値を大きくした場合、実際に F3 が発生した関東平野内を包含できなくなる。また閾値を小さくした場合、小さな竜巻が発生する環境場をカウントすることから、地域性は薄れていくことがわかる。

なお、CAPE, SReH についても同様の感度解析を実施しており、同様の傾向が得られることを確認した。【添付資料 2.2 付録 E】



第 2.2.5.4.3 図 EHI の超過頻度分布（閾値 3.3）



第 2.2.5.4.4 図 EHI の超過頻度分布

突風関連指数による、大規模な竜巻形成につながる環境場の発生頻度分析を行った結果、福島県以北の東北地方太平洋側及び日本海側は、茨城県以西の太平洋側沿岸よりも1~2オーダー以下の頻度となることが分かった。

スーパーセルに伴って発生する大規模な竜巻形成につながる環境場の発生頻度分布の観点からも、東北地方太平洋側及び日本海側は、茨城県以西の太平洋側と地域特性の違いがあることを確認した。

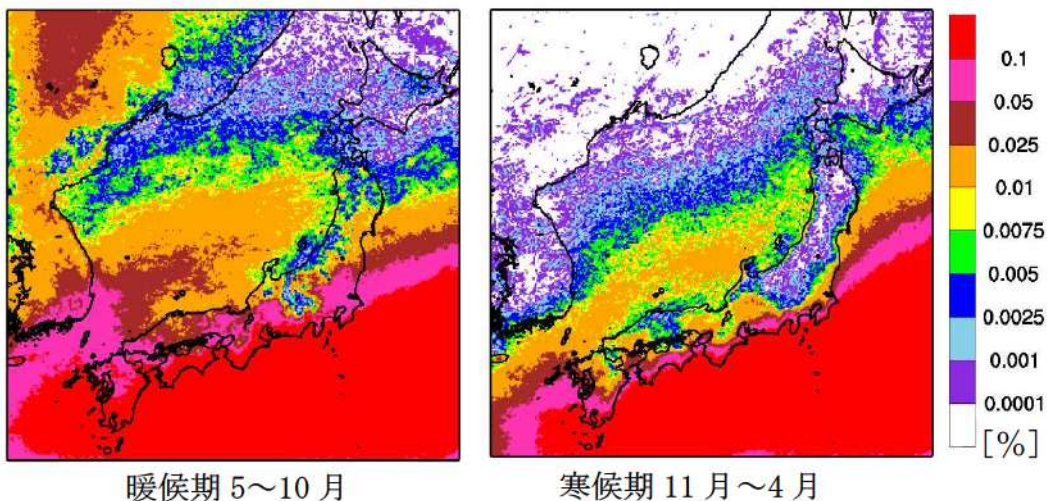
参考として、F2 規模の竜巻について同様の検討を行った。閾値の設定は F2 規模の竜巻発生時の実績をもとに以下の様に設定した。

[5月~10月(暖候期)]SReH : $200\text{m}^2/\text{s}^2$, CAPE : $1,000\text{J}/\text{kg}$

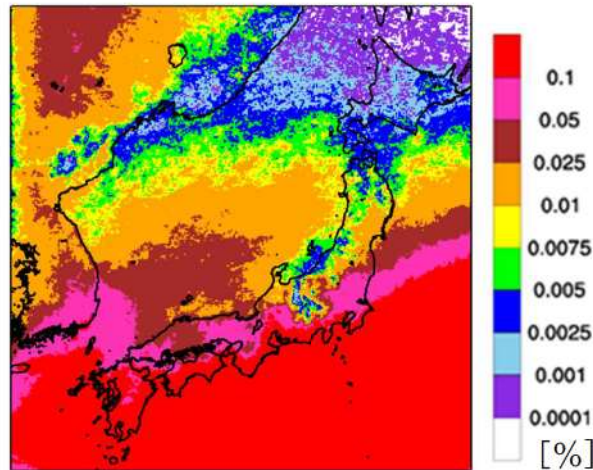
[11月~4月(寒候期)]SReH : $200\text{m}^2/\text{s}^2$, CAPE : $350\text{J}/\text{kg}$

EHI を用いる場合の閾値 EHI : 1.5

SReH, CAPE の同時超過頻度分析の結果を第 2.2.5.4.5 図に、EHI の超過頻度分布を第 2.2.5.4.6 図に示す。F3 規模以上を対象とした閾値の分析結果に比べ、頻度は全体的に上がったが、概ね同様の傾向が確認できた。



第 2.2.5.4.5 図 F2 規模の竜巻形成につながる環境場の閾値の同時超過頻度分布



第 2.2.5.4.6 図 EHI の超過頻度分布 (閾値 : 1.5)

F2 規模相当の閾値での同時超過頻度を解析した結果をみても、東北地方太平洋側及び日本海側は、茨城県以西の太平洋側と比較して頻度が低くなっていることが確認できる。

日本海側で大きな竜巻が発生しにくい原因としては、太平洋側から暖かく湿った空気が、日本列島の中央部に存在する高く複雑な山岳域を湿潤不安定な状態のまま乗り越えてくることができないため、日本海側では大きな竜巻を引き起こす環境場が形成しにくくなっていることが考えられる。

2.2.5.5 佐呂間町で発生した竜巻について

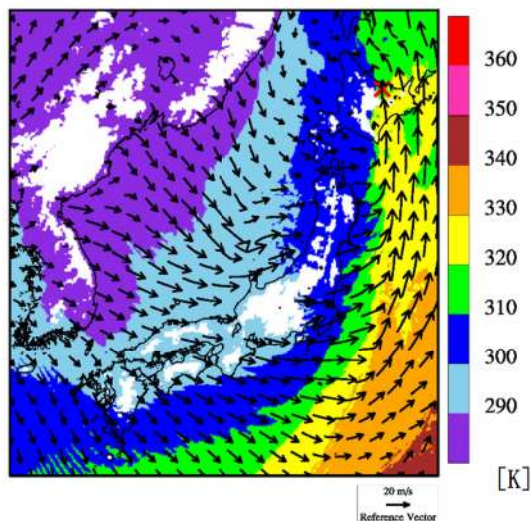
突風関連指数を用いた解析結果から、F3 規模以上の竜巻が発生しやすいとされる地域が分かったが、そのエリアに含まれていない北海道網走支庁佐呂間町では 2006 年 11 月に F3 竜巻が発生している (以下、「佐呂間竜巻」という。)。佐呂間竜巻は、太平洋沿岸で発生した竜巻と比較すると、

- ・国内で唯一内陸部 (丘陵地の麓) において発生した竜巻である。
 - ・F3 竜巻としては継続時間 (1 分) と移動距離 (約 1.4km) が非常に短かった。
- という点で異なっている。

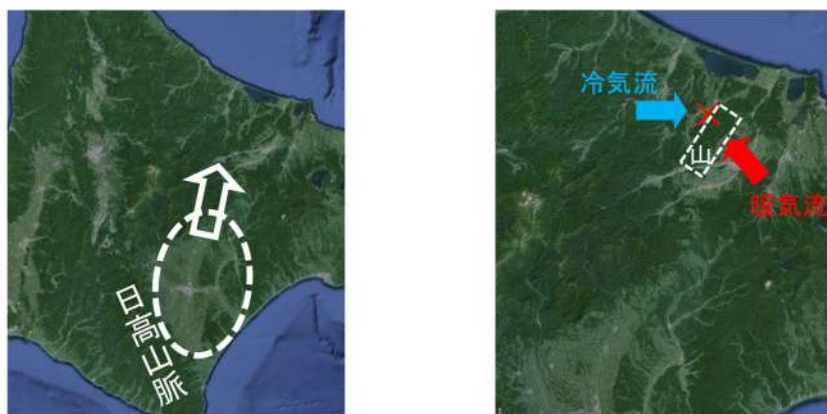
佐呂間竜巻の発生した地域では、太平洋側からの暖湿流が小高い丘を越えて流入するような地形になっており、平野部の冷気流とぶつかることにより大きな上層・下層間の風向差が生じる環境場となっていた (第 2.2.5.5.1 図, 第 2.2.5.5.2 図)。

また、日高山脈の東側では、山を越えた冷気流と太平洋側の暖気流がぶつかる地点となっており、ここで発生した親雲が山脈沿いに北上しながら持続的に発達し、佐呂間地域で F3 規模の竜巻を形成するに至ったと考えられる。

これらの発生メカニズムについて、第 2.2.5.5.3 図に模式的に示す。



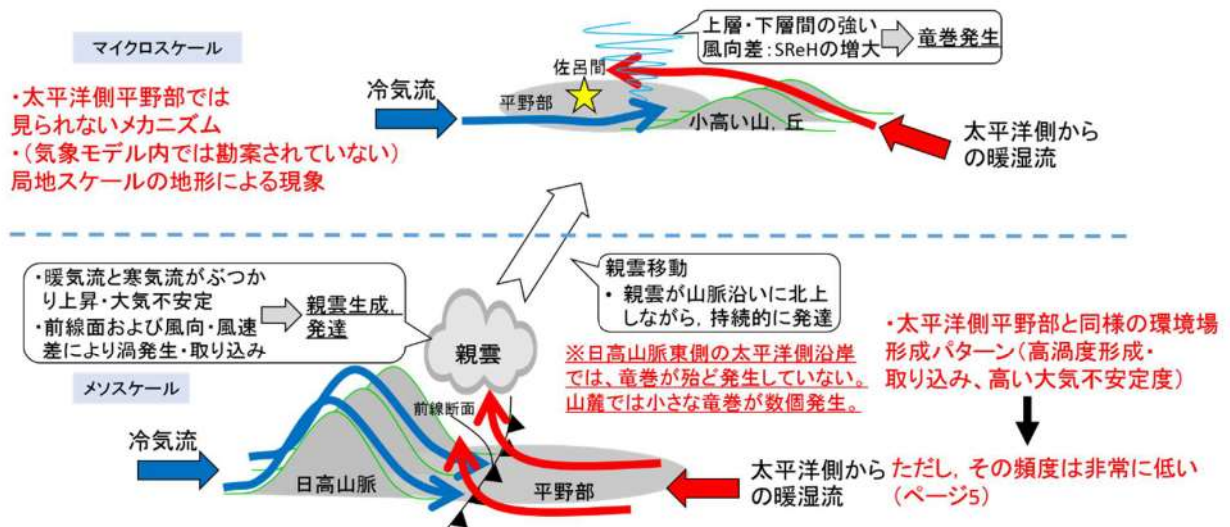
第 2. 2. 5. 5. 1 図 佐呂間竜巻発生時の風向・風速及び相当温位の分布（海拔 500m 高度）



親雲の発生位置（点線内）と移動方向 竜巻の発生位置（×）と影響が指摘される山（点

第 2. 2. 5. 5. 2 図 親雲の発生箇所と移動方向（左）及び竜巻の発生箇所（右）※

※：軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速及び飛来物速度の設定に関するガイドライン，日本保全学会，原子力規制関連事項検討会，2015



第 2.2.5.5.3 図 佐呂間竜巻の発生メカニズムに関する模式図*

※軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速及び飛来物速度の設定に関するガイドライン，日本保全学会，原子力規制関連事項検討会，平成 27 年 1 月

このように、佐呂間竜巻の発生メカニズムは、太平洋側沿岸域にて発生している F3 竜巻のメカニズムとは大きく異なっており、竜巻の持続時間・被害域長さも大きく異なっている。

竜巻影響評価における取扱いとしては、基準竜巻設定で対象としている地域性・空間スケールよりも局地的な地形影響を受けており、そういった影響については、設計竜巻 V_D の設定時に考慮するのがガイドの趣旨に沿ったものとなる。

考慮する際のポイントは、以下の 2 点である。

- ・太平洋側からの暖湿流が高標高山岳等に遮断されずに直接流入しうる地域である。
- ・近隣地形（数キロ程度四方の範囲）において、（太平洋側からの）暖気流の流入する風上側に尾根状の丘・山が存在すること。
その観点で泊発電所周辺の地形を確認すると、以下のように整理できる。
- ・後志地方から胆振地方にかけて高標高山岳が存在するため、太平洋側から暖湿流が直接流入しない。（図 2.2.5.5.4）
- ・日本海側で発達する気流は、主に西から東へ移動する傾向が強く、気流の流入する風上側（海側）に尾根状の丘、山が存在しない。

したがって、泊発電所で佐呂間竜巻と同様な地形条件にはなっていないことを確認した。

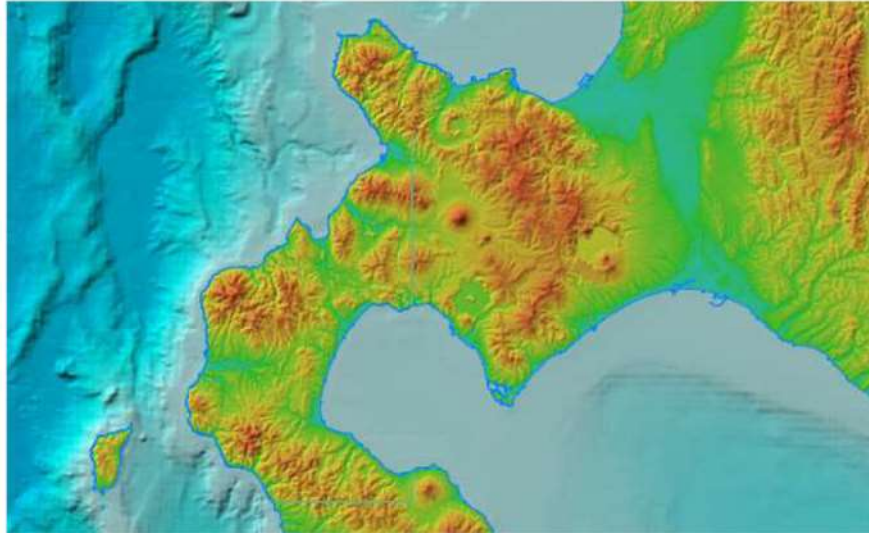


図 2.2.5.5.4 泊発電所周辺地形図
(国土地理院「電子国土 Web」より作成)

さらに、佐呂間竜巻の実績から日高山脈を境にして暖湿・低乾な大気場に大きく分かれていることが確認された。高い標高の山の両側で空気塊の性質は変わりうるため、竜巻発生観点では、日高山脈を境に道内を2つの地域に分けられ、襟裳岬以西の太平洋側は日本海側と同じ性質であると考えられる。

以上の検討結果より、過去発生した大きな竜巻（F2～F3 及び F3）の解析結果においても例外なく、大きな竜巻の発生時は、太平洋側から流れ込んだ暖湿な大気が高い山岳によって遮蔽されることなく太平洋側の発生地点周辺の平野部に流入していたこと、日本海側へは暖湿な大気が流入していなかったことが確認された。

2.2.6 竜巻検討地域の妥当性確認結果

総観場ごとのFスケール別竜巻発生分布より、発生する竜巻の規模には地域差があり、また、突風関連指数の分析結果から、日本海側は茨城県以西の太平洋側と大規模な竜巻形成につながる環境場の傾向が異なることが確認できた。

一方、総観場による分析では、泊発電所の立地する地域を含む裏日本気候区（I）のエリアの竜巻発生に関する総観場は類似していることが確認できた。

以上の分析結果を踏まえれば、泊発電所の竜巻検討地域として、北海道から本州の日本海側及び北海道太平洋側の襟裳岬以西を設定することが妥当と判断した。

2.3 基準竜巻の最大風速(V_B)の設定

基準竜巻の最大風速は、過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1})及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2})のうち、大きな風速を設定する。

2.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1})

泊発電所が立地する北海道日本海側は、過去の発生実績及び突風関連指数を用いた分析結果から、大規模な竜巻は発生しにくいものと考えられる。

また、竜巻は観測の歴史が浅いこと及び気象庁における竜巻観測体制の変遷を踏まえると、他の気象観測データに比べ不確かさがあると考えられる。

上記を勘案し、日本で過去に発生した竜巻の最大風速を V_{B1} として設定する。

日本で過去に発生した最大の竜巻は F3 スケールである。F スケールと風速の関係より、F3 スケールの風速は 70~92m/s であるため、過去に発生した竜巻による最大風速 V_{B1} は、F3 スケールの上限値である 92m/s とする。

第 2.3.1.1 表に日本で過去に発生した F3 竜巻を示す。

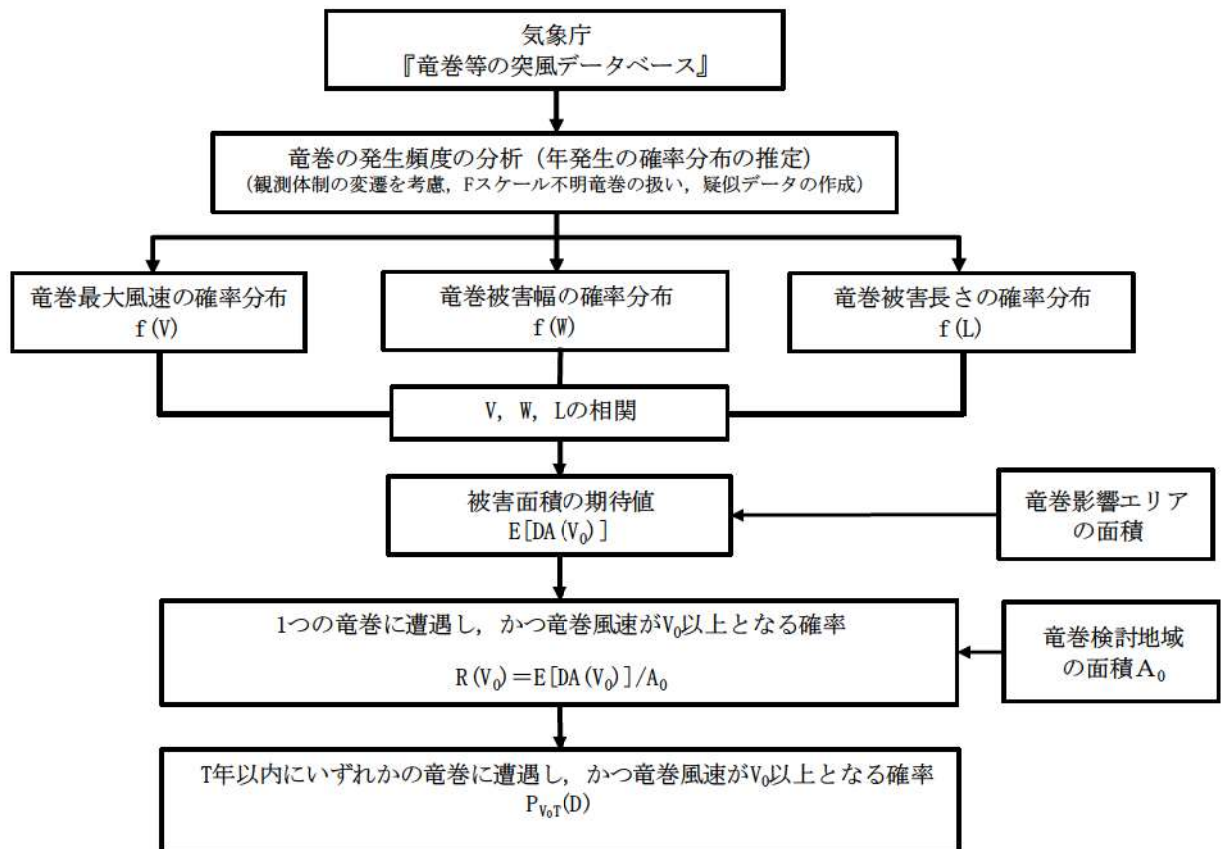
第 2.3.1.1 表 日本で過去に発生した F3 竜巻
(気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成)

F スケール	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	発生場所
F3	1971年07月07日07時50分	35度52分45秒	139度40分13秒	埼玉県浦和市
F3	1990年12月11日19時13分	35度25分27秒	140度17分19秒	千葉県茂原市
F3	1999年09月24日11時07分	34度42分4秒	137度23分5秒	愛知県豊橋市
F3	2006年11月07日13時23分	43度58分39秒	143度42分12秒	北海道網走支庁 佐呂間町
F3	2012年05月06日12時35分	36度6分38秒	139度56分44秒	茨城県常総市

2.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線の求め方【添付資料 2.4 1.】

竜巻最大風速のハザード曲線は、気象庁「竜巻等の突風データベース」より竜巻検討地域における竜巻の観測記録を抽出・評価し、既往の算定法（Wen and Chu 及び Garson et al.）に基づき算定した。具体的な算定方法は、JNES 委託研究成果報告書*を参考とし、第 2.3.2.1 図に示すフローに従いハザード曲線を算定した。なお、ハザード曲線は、竜巻検討地域の竜巻特性を適切に考慮できる海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲内で算定した。加えて、竜巻検討地域において過去に発生した竜巻は、竜巻発生確認数にばらつきがあることを踏まえ、ガイドに基づき、ハザード曲線に保守性をもたせるために竜巻検討地域を海岸線に沿って 1 km 範囲ごとに短冊状に細分化した場合のハザード曲線も算定した。

※ 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，平成 23 年 2 月



第 2.3.2.1 図 竜巻最大風速のハザード曲線の算定フロー

2.3.3 海岸線から陸側及び海側それぞれ5km全域の評価

本評価では、竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した竜巻である通過竜巻も発生数にカウントする。被害幅及び被害長さは、それぞれ被害全幅及び被害全長を用いる。

2.3.4 竜巻の発生頻度の分析【添付資料2.4.2.】

気象庁「竜巻等の突風データベース」を基に1961年1月～2012年6月までの51.5年間の統計量をFスケール別に算出した。なお、観測体制の変遷による観測データ品質のばらつき（第2.3.4.1図参照）を踏まえ、以下の①～④の基本的な考え方に基づいて整理を行った。

- ①被害が小さくて見過ごされやすいF0及びFスケールが不明な竜巻は、観測体制が強化された2007年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。
- ②被害が比較的軽微なF1竜巻については、観測体制が整備された1991年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。
- ③被害が比較的大きく見逃されることが少ないF2、F3竜巻については、観測データが整備された1961年1月以降の全期間の年間発生数や標準偏差を採用する。
- ④51.5年間の発生数を、①～③の観測期間との比率からFスケールごとに推計する。

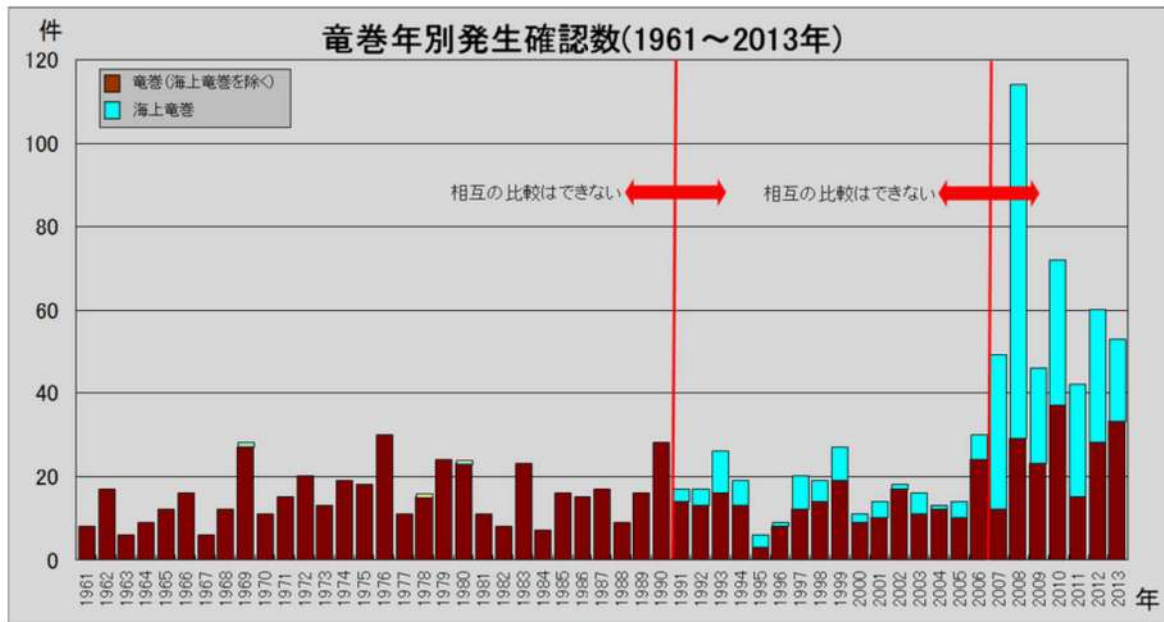
また、Fスケールが不明な竜巻については、以下の考え方に基づいて分類した。

- ⑤陸上で発生したFスケールが不明な竜巻及び海上で発生しその後上陸したFスケール不明竜巻はF0に含める。これにより、すべての陸上竜巻をF0～F3に分類する。
- ⑥沿岸部近傍での海上竜巻の特性は、陸上竜巻の特性と類似しているとの仮定の下、不明な海上竜巻の発生数を陸上竜巻のFスケール別発生比率で按分する。

上記の基本的な考え方に基づいて観測記録を整理・推定した結果を第2.3.4.1表に示す。

また、同表の分析結果に基づき竜巻最大風速のハザード曲線の算出に使用する竜巻の発生数を第2.3.4.2表に示す。

なお、竜巻発生の確率モデルは、ガイドに従ってポアソン過程に従うものとし、年発生数の確率分布には、ポリヤ分布を適用した。



第 2.3.4.1 図 竜巻の年別発生確認数（気象庁 HP より）

第 2.3.4.1 表 竜巻発生数の分析結果

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	87	29	45	13	0	12	110	209
	平均値(年)	1.69	0.56	0.87	0.25	-	0.23	2.14	4.06
	標準偏差(年)	2.53	1.99	1.03	0.52	-	0.68	5.89	7.91
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	58	29	26	3	0	11	110	179
	平均値(年)	2.70	1.35	1.21	0.14	-	0.51	5.12	8.33
	標準偏差(年)	3.49	2.95	1.15	0.36	-	0.98	8.37	10.98
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	31	25	6	0	0	5	92	128
	平均値(年)	5.64	4.55	1.09	-	-	0.91	16.73	23.27
	標準偏差(年)	6.22	4.94	1.34	-	-	1.69	10.96	15.13
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	358	235	63	13	0	47	862	1220
	平均値(年)	6.92	4.55	1.21	0.25	-	0.91	16.73	23.64
	標準偏差(年)	5.37	4.94	1.15	0.52	-	1.69	10.96	12.21
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1222	962	215	45	0	0	0	1222
	平均値(年)	23.57	18.59	4.12	0.86	-	-	-	23.57
	標準偏差(年)	9.91	9.63	2.13	0.96	-	-	-	9.91

注 1：切り上げの関係で総計数が一致していない箇所がある。

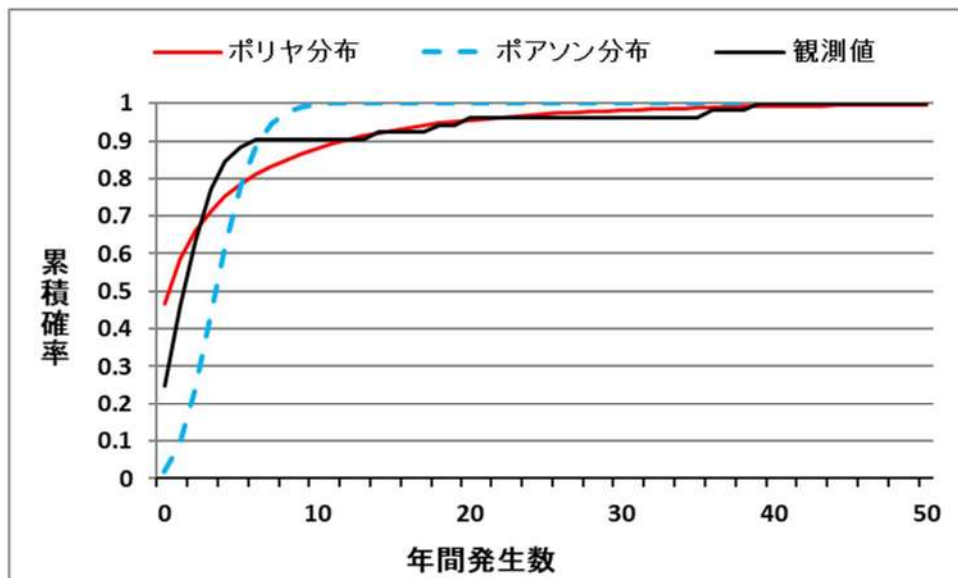
注 2：色塗り部分については、竜巻発生頻度の分析に用いるデータを示している。

第 2.3.4.2 表 分析結果に基づき竜巻最大風速のハザード曲線の算出に使用する竜巻の発生数

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	発生数の統計	竜巻スケール					小計
		F0	F1	F2	F3	不明	
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	962	215	45	0	0	1222
	平均値(年)	18.68	4.17	0.87	-	-	23.73
	標準偏差(年)	9.63	2.13	0.96	-	-	9.91

(参考) ポリヤ分布の適用について

- ・ガイドにて、 V_{B2} 算定の参考になるとされている東京工芸大学委託成果によれば、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若しくはポリヤ分布に従うとしている。
- ・ポアソン分布は、生起確率が正確に分からないがまれな現象の場合に有用な分布である。一方、ポリヤ分布は、発生状況が必ずしも独立でないまれな現象（ある現象が生ずるのはまれであるが、一旦ある現象が発生するとその周囲にもその現象が生じやすくなる性質）の場合に有用な分布である（例えば伝染病の発生件数等）。台風や前線により竜巻が発生した場合、同時多発的に複数の竜巻が発生する状況が考えられるため、ポリヤ分布の方が実現象をより反映できると考えられる。
- ・なお、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は、上述の東京工芸大学委託成果に示されており、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。
- ・今回、竜巻検討地域で発生した竜巻を対象に、発生数に関するポアソン分布及びポリヤ分布の適合性を検討した。竜巻検討地域における竜巻の年発生数の累積頻度を第2.3.4.2図に示す。その結果、竜巻検討地域においても、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ことを確認した。
- ・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、ポリヤ分布を採用した。



第2.3.4.2図 竜巻検討地域における竜巻の年発生数の累積頻度

2.3.5 竜巻最大風速，被害幅，被害長さの確率分布及び相関係数【添付資料 2.4 3.】 【添付資料 2.4 4.】

竜巻ハザードを評価するためには，一つの竜巻が発生した際の竜巻最大風速，被害幅及び被害長さの確率分布が必要となることから，これらの確率密度分布を求める。

なお，竜巻風速の確率密度分布は，Fスケール別の竜巻発生数から求める。

竜巻検討地域における51.5年間の竜巻の発生数，被害幅及び被害長さを基に，確率密度分布についてはガイド及びガイドが参考としている JNES 委託研究成果報告書を参照し，対数正規分布に従うものとする(第2.3.5.1図～第2.3.5.6図)。

なお，竜巻最大風速については，ハザードを保守的に評価するとの観点から，第2.3.5.1表に記載のFスケールの各区分の風速範囲内で一様に分布すると仮定する方法により竜巻風速の対数正規分布を算出している。

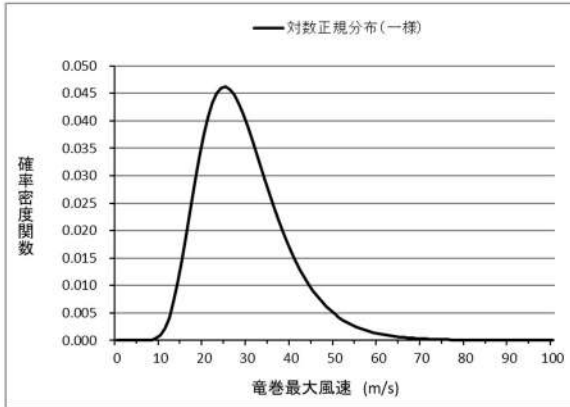
また，疑似的な竜巻の作成に伴う被害幅又は被害長さの情報がない竜巻には，被害幅又は被害長さを有する竜巻の観測値を与えている。その際は，被害幅又は被害長さが大きいほうから優先的に用いることで，被害幅又は被害長さの平均値が大きくなるように工夫しているとともに，被害幅又は被害長さ0のデータについては計算に用いておらず，保守的な評価を行っている。

このように，前述のFスケール不明の竜巻の取扱い等も含め，データについては保守的な評価となる取扱いを行っている。

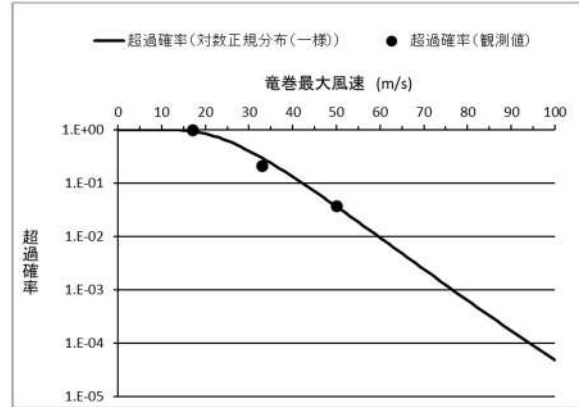
また，竜巻のハザードの計算においては，2変量あるいは3変量の確率分布関数を対象とするため，竜巻最大風速，被害幅及び被害長さについての相関係数を求めた。第2.3.5.2表に1961年以降の観測データのみを用いて，竜巻最大風速，被害幅及び被害長さについて相関係数を求めた結果を示す。

第 2.3.5.1 表 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)

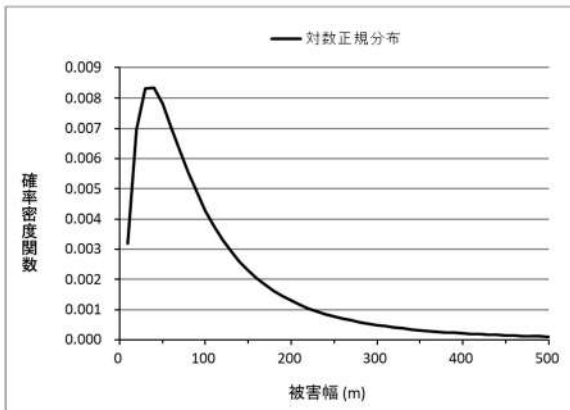
パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール			
			F0	F1	F2	F3
発生数	期間内総数	1222	962	215	45	0
	年平均(個)	24	19	4	1	-
	標準偏差(個)	10	10	2	1	-
被害幅	期間内総数	1222	962	215	45	0
	平均値(m)	118	116	112	179	-
	標準偏差(m)	132	122	102	314	-
被害長	期間内総数	1222	962	215	45	0
	平均値(km)	1.550	1.082	3.391	2.773	-
	標準偏差(km)	2.654	1.421	4.962	2.948	-



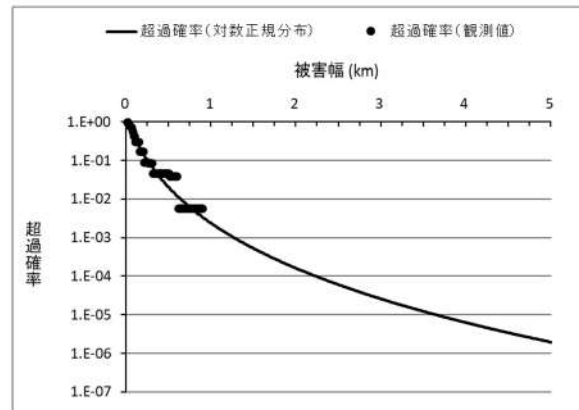
第 2.3.5.1 図 竜巻最大風速の確率密度分布



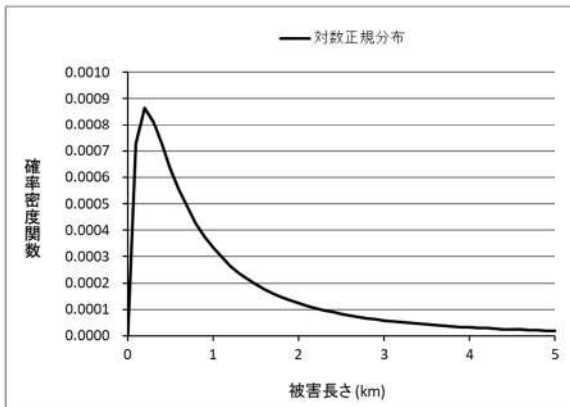
第 2.3.5.2 図 竜巻最大風速の超過確率分布



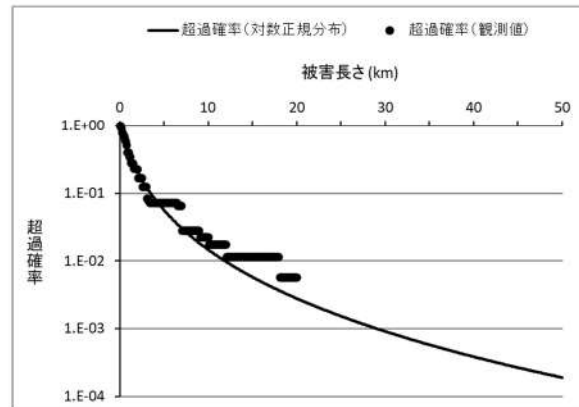
第 2.3.5.3 図 被害幅の確率密度分布



第 2.3.5.4 図 被害幅の超過確率分布



第 2.3.5.5 図 被害長さの確率密度分布



第 2.3.5.6 図 被害長さの超過確率分布

第 2.3.5.2 表 竜巻最大風速, 被害幅, 被害長さの相関係数 (単位無し)

相関係数	竜巻最大風速	被害幅	被害長さ
竜巻最大風速	1.000	-0.060*	0.319
被害幅	-0.060*	1.000	0.458
被害長さ	0.319	0.457	1.000

*竜巻最大風速と被害幅は無相関との知見が得られたため、ハザード算定の際には、相関係数0として計算

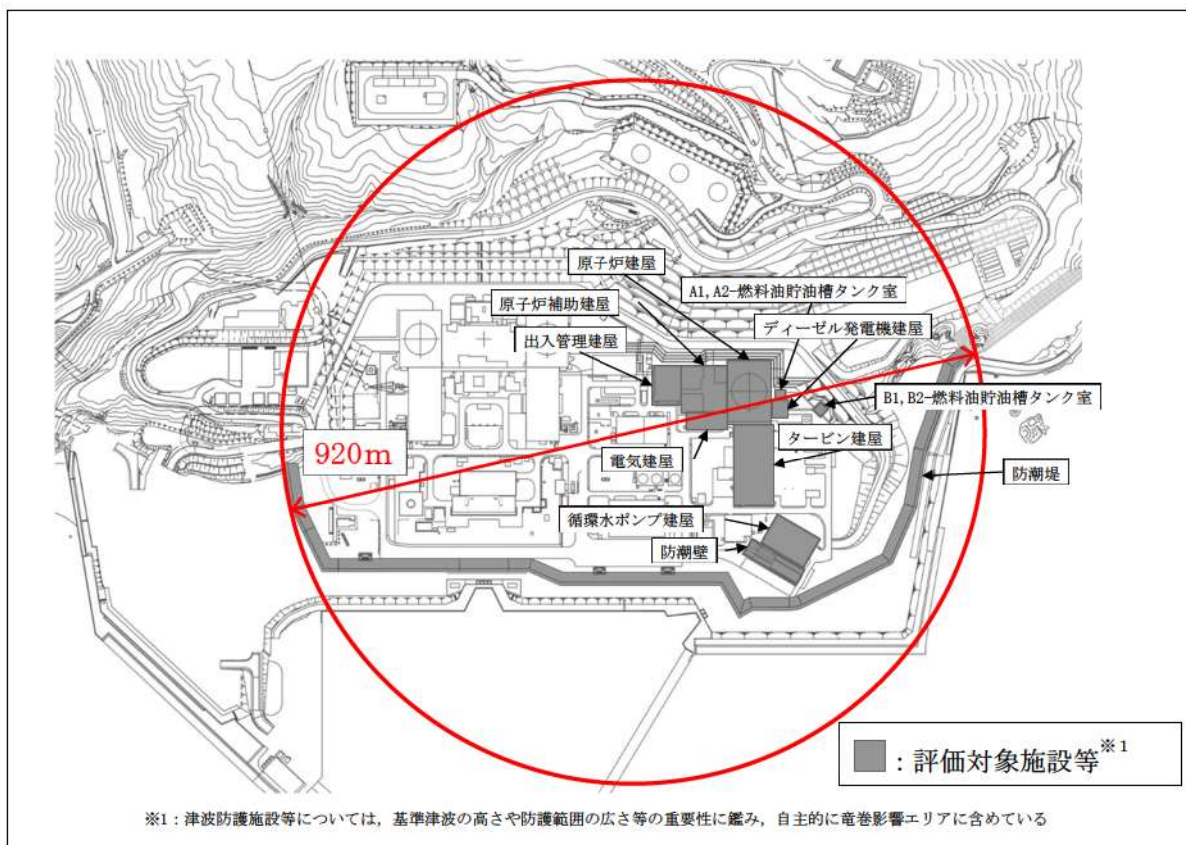
2.3.6 竜巻影響エリアの設定【添付資料 2.4 5.】

竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2}) の算定にあたり、 V_{B2} の発生エリアである竜巻影響エリアを設定する。竜巻影響エリアは、泊発電所3号炉の評価対象施設等を十分な余裕をもって包絡するエリアとして設定する。

第 2.3.6.1 図に泊発電所3号炉の竜巻影響エリアを示す。

竜巻影響エリアは、泊発電所3号炉の評価対象施設を包絡する円形のエリア（直径 920m、面積約 664,000 m^2 ）として設定した。

なお、竜巻影響エリアを円形とするため、竜巻移動方向の依存性はない。



第 2.3.6.1 図 評価対象施設等の位置

2.3.7 竜巻最大風速のハザード曲線の算定【添付資料 2.4 6.】

T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率を求める。竜巻の年発生数の確率密度分布としてポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は式 (1) で示される。

$$P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} (1 + \beta vT)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (1)$$

ここで、

- N : 竜巻の年発生数
- v : 竜巻の年平均発生数
- T : 年数

β は分布パラメータであり式 (2) で示される。

$$\beta = \left(\frac{\sigma^2}{v} - 1 \right) \times \frac{1}{v} \quad (2)$$

ここで、

- σ : 竜巻の年発生数の標準偏差

D をリスク評価対象構造物が風速 V_0 以上の竜巻に遭遇する事象と定義し、 $R(V_0)$ をリスク評価対象構造物が 1 つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が V_0 以上となる確率と定義すると、T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率は式(3)で示される。

$$P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta v R(V_0) T]^{-1/\beta} \quad (3)$$

この $R(V_0)$ は、竜巻影響評価の対象地域の面積を A_0 (つまり竜巻検討地域の面積約 38,895km²)、1 つの竜巻の風速が V_0 以上となる面積を $DA(V_0)$ とすると式(4)で示される。

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (4)$$

ここで、 $E[DA(V_0)]$ は、 $DA(V_0)$ の期待値を意味する。

本評価では、以下のようにして $DA(V_0)$ の期待値を算出し、式(4)により $R(V_0)$ を推定して、式(3)により $P_{V_0,T}(D)$ を求める。竜巻最大風速を V 、被害幅 w 、被害長さ l 、移動方向 α 及び構造物の寸法を A 、 B とし、 $f(V, w, l)$ 等の同時確率密度関数を用いると、 $DA(V_0)$ の期待値は式(5)で示される。

$$\begin{aligned}
E[DA(V_0)] &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) f(V, w, l) dV dw dl \\
&+ \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha) l f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha \\
&+ AB \int_{V_0}^\infty f(V) dV
\end{aligned} \tag{5}$$

ここで、 $W(V_0)$ は竜巻風速が V_0 以上となる幅であり、式(6)で示される。

$H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ はそれぞれ、竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面にリスク評価対象構造物を投影した時の長さであり、式(7)で示される。

$$W(V_0) = \left(\frac{V_{min}}{V_0} \right)^{1/1.6} w \tag{6}$$

ここで、

V_{min} : 被害幅 w 内の最小竜巻風速

V_0 : 被害が発生する最小風速

$$\begin{aligned}
H(\alpha) &= B |\sin \alpha| + A |\cos \alpha| \\
G(\alpha) &= A |\sin \alpha| + A |\cos \alpha|
\end{aligned} \tag{7}$$

本評価ではリスク評価対象構造物を円形構造物（竜巻影響エリア）で設定しているため、 $H(\alpha)$ 、 $G(\alpha)$ ともに竜巻影響エリアの直径 920m で一定（竜巻の移動方向に依存しない）となる。円の直径を D_0 とした場合の計算式は式(8)で示される。

なお、竜巻最大風速のハザード曲線の算定において、風速の積分範囲の上限値はハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として 120m/s に設定している。

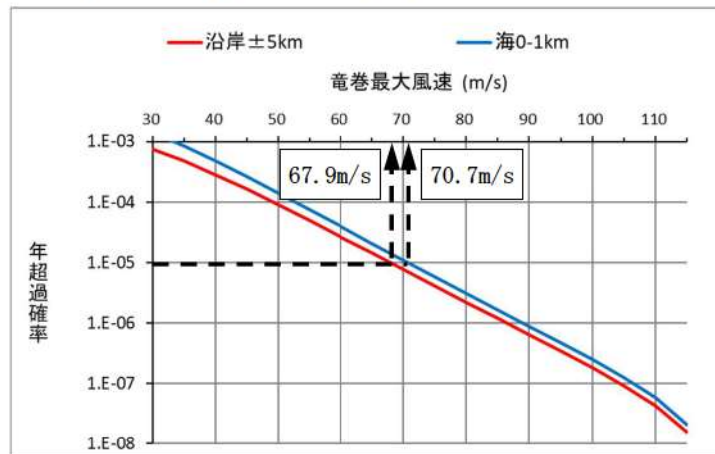
$$\begin{aligned}
E[DA(V_0)] &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) f(V, w, l) dV dw dl \\
&+ D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty l f(V, l) dV dl + D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw \\
&+ \left(D_0^2 \pi / 4 \right) \int_{V_0}^\infty f(V) dV
\end{aligned} \tag{8}$$

2.3.8 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

第 2.3.8.1 図に、海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲全域（竜巻検討地域）及びガイドに従い竜巻検討地域を 1 km 範囲ごとに細分化した場合の竜巻最大風速のハザード曲線を示す。

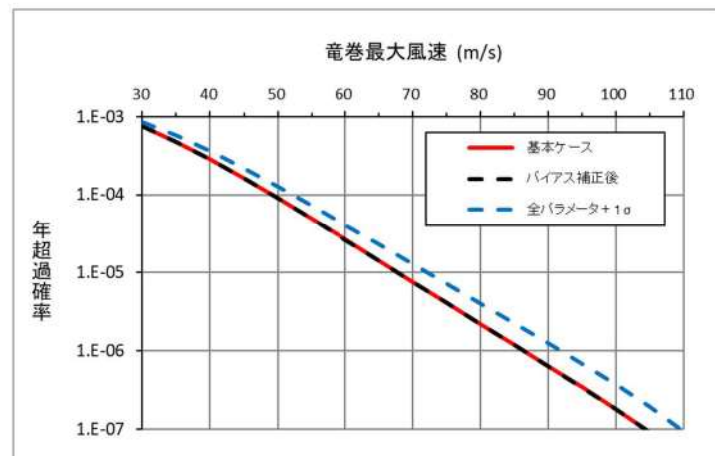
第 2.3.8.1 図より、陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲全域を対象とした場合の年超過確率 10^{-5} における風速は 67.9 m/s、竜巻検討地域を 1 km 範囲ごとに細分化した場合の年超過確率 10^{-5} における風速は 70.7 m/s (海側 0 ~ 1 km) となった。

よって、竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2}) は、陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲全域及び 1 km 範囲の竜巻最大風速のハザード評価結果のうち大きい方を採用し、 $V_{B2}=70.7\text{m/s}$ とする。



第 2.3.8.1 図 竜巻最大風速のハザード曲線
(陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲及び 1 km 範囲)

また、不確かさ要素のハザード算定結果への影響を検討した結果を第 2.3.8.2 図に示す【添付資料 2.4 参考資料 3】。第 2.3.8.2 図より、データ、確率分布形選択及びデータ量が少ないことによる不確かさを表したハザード曲線により、これらの不確かさが小さいことを確認した。



第 2.3.8.2 図 ハザード不確かさ検討結果
(バイアス補正後及び全パラメータ + 1 σ のハザード)

2.3.9 基準竜巻の最大風速 (V_B)

過去に発生した竜巻による最大風速 $V_{B1}=92\text{m/s}$ 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B2}=70.7\text{m/s}$ のうち、大きい風速は 92m/s である（第 2.3.9.1 表）。

よって、基準竜巻の最大風速 (V_B) は 92m/s とする。

使用した竜巻の統計データの不確実性については前項までで検討を実施しているが、今後も最新のデータ・知見をもって竜巻検討地域や基準竜巻の最大風速について、必要に応じ見直しを行っていくものとする。

第 2.3.9.1 表 竜巻の最大風速の評価結果

項目	最大風速[m/s]
過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1})	92 (F3)
竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})	70.7
基準竜巻の最大風速 (V_B)	92

2.3.10 竜巻データの更新に関する対応

(1) 評価時点以降のデータ更新分について

上記の基準竜巻の検討には、検討実施時点で最新であった 1961 年 1 月～2012 年 6 月までの気象庁竜巻データベースを用いているが、その後、気象庁により継続的にデータベースが更新されている。本状況においても、以下の理由より、最新データを参照した場合でも基準竜巻の最大風速は上記の評価結果を上回るものではなく、現時点での見直しは不要と判断している。

- ・ 2012 年 6 月以降、現時点での V_{B1} の風速 92m/s を超える竜巻の報告はない。
- ・ 2012 年 6 月以降、竜巻検討地域で観測された竜巻は F0 若しくは F1 相当のものがほとんどであり、竜巻強度の分布はハザードを下げる方向に変化していると考えられるため、現時点での V_{B2} が更新されることはない。

(2) 将来の気候変動について

将来的な気候変動として予測される地球温暖化により竜巻の規模や発生数が増加する可能性も否定できない。

しかしながら、将来的な気候変動を完全に予測することは難しいため、最新のデータ、知見をもって気候変動の影響に注視し、竜巻検討地域や基準竜巻の最大風速は、必要に応じ見直しを実施していくものとする。

2.4 設計竜巻の最大風速 (V_D) の設定【添付資料 2.5】

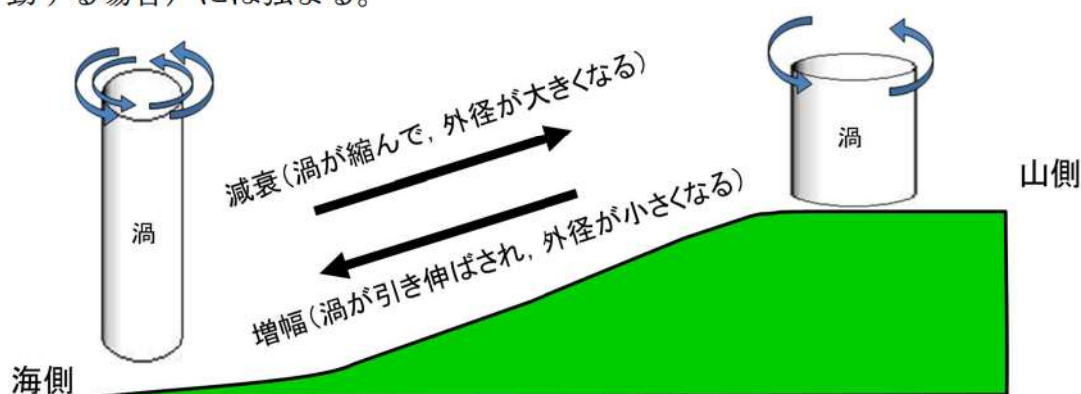
発電所が立地する地域の特性として、周辺の地形や竜巻の移動方向を考慮して、基準竜巻 (V_B) の割り増しを検討し、設計竜巻の最大風速を設定する。

2.4.1 地形効果による竜巻風速への影響

地形効果が竜巻強度に及ぼす影響に関する知見として、(1)地形起伏による影響、(2)地表面粗度による影響、について既往の研究において示されており、その知見を踏まえ、泊発電所周辺の地形効果による竜巻の増幅可能性について検討する。

(1) 地形起伏による影響

竜巻のような回転する流れでは、角運動量保存則により「回転の中心からの距離」及び「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質がある。そのため、第 2.4.1.1 図に示すとおり、竜巻の渦が上り斜面を移動する時（海側から山側へ移動する場合）、基本的に渦は弱まり、下り斜面を移動する時（山側から海側へ移動する場合）には強まる。



第 2.4.1.1 図 竜巻旋回流の地形影響に関する模式図

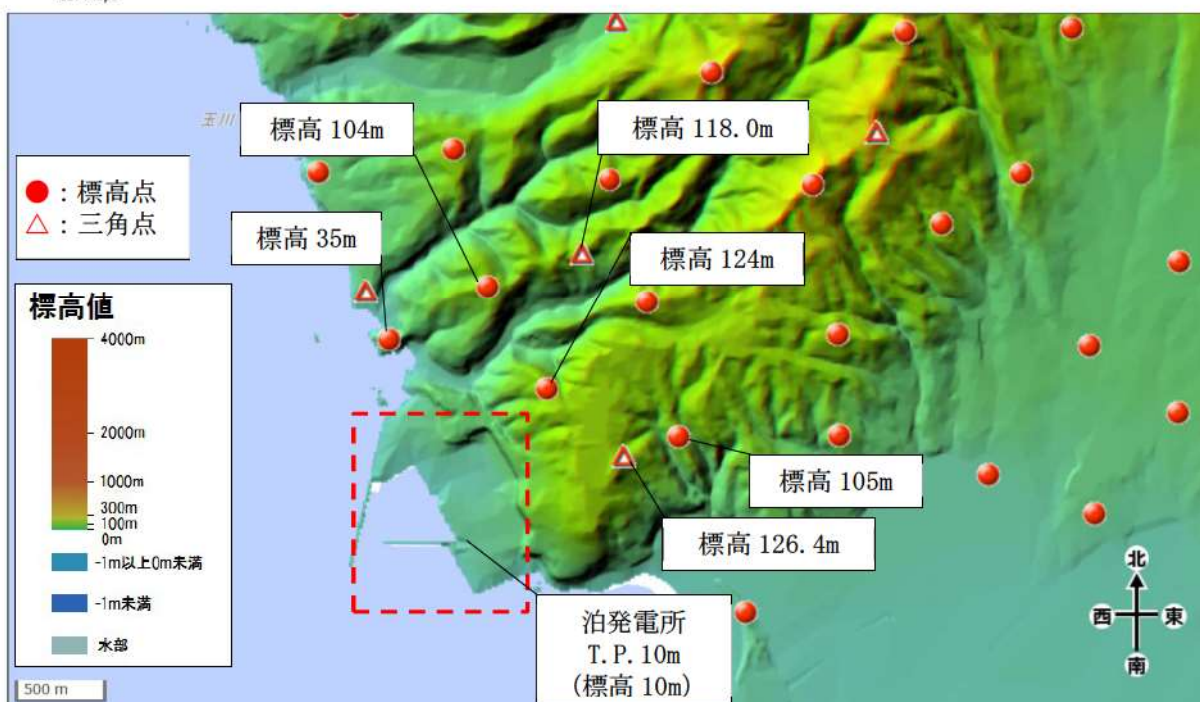
(2) 地表面粗度による影響

風は地表面の細かな凸凹が与える摩擦抵抗の影響を受けやすく、風速は、地表面において 0 となり上空に向かうにつれて増加する。地表面粗度は竜巻の旋回流を減衰させる効果を有し、地表面粗度の構成物が飛来物として運動することで風速が減衰することも示唆されていることから、地表面粗度の増加とともに竜巻に起因する強風の風速を低下させるといえる。

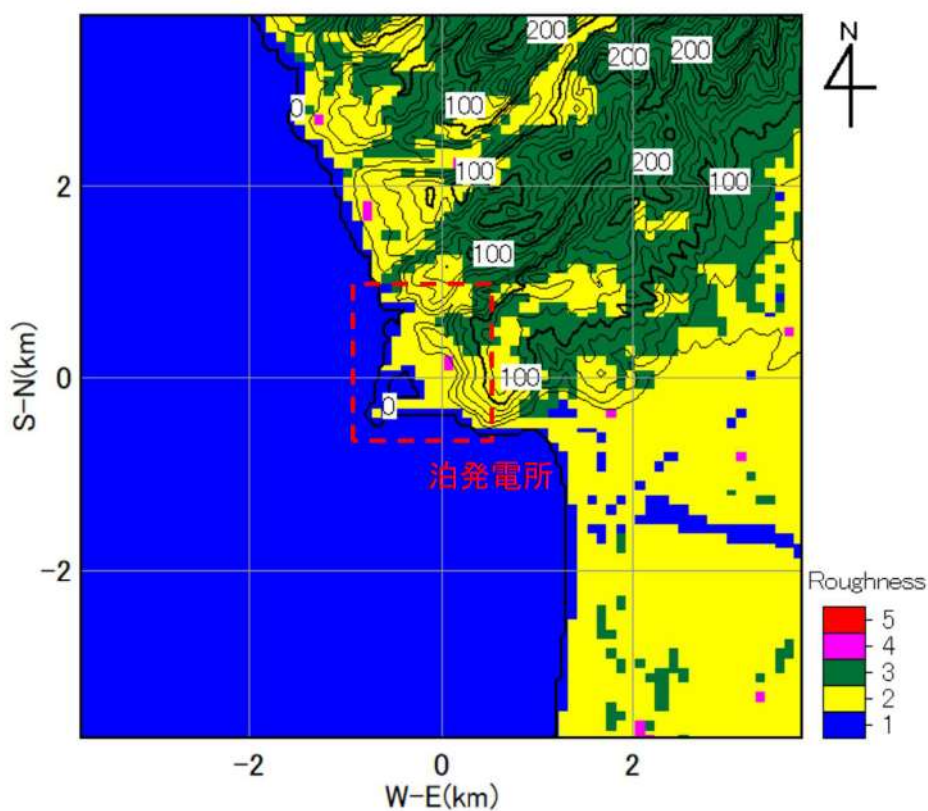
2.4.2 泊発電所周辺の地形

第 2.4.2.1 図に泊発電所周辺の地形図、第 2.4.2.2 図に泊発電所周辺の地表面粗度、第 2.4.2.3 図に泊発電所周辺の標高及び防潮堤高さを示す。発電所が立地する敷地は、敷地前面（北西～南西方向）が日本海に面し、背後は積丹半島中央部の山嶺に続く標高 40m から 130m の丘陵地である。

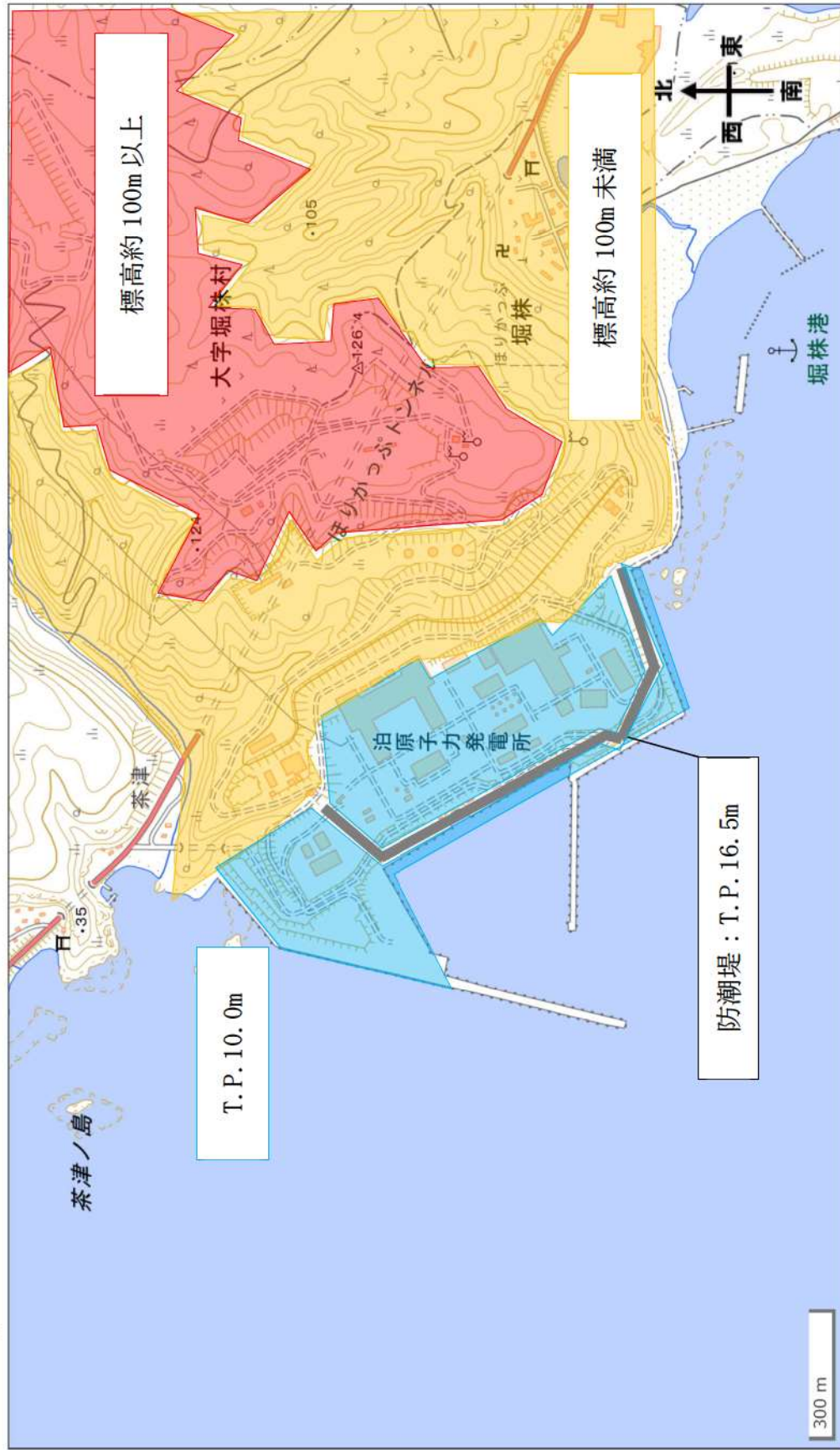
地理院地図
GSI Maps



第 2. 4. 2. 1 図 泊発電所周辺の地形 (国土地理院「電子国土 Web」より作成)



第 2. 4. 2. 2 図 泊発電所周辺の地表面粗度



第 2.4.2.3 図 泊発電所の周辺の標高及び防潮堤高さ

(1) 地形起伏による影響

これまでの地形効果による竜巻増幅に関する知見等を収集し、泊発電所が立地する地域の周辺地形による竜巻の増幅の可能性について検討を行う。

主な知見として、Fujita(1989)やForbes(1998)の被害調査に関する文献や、Lewellen(2012)のLES計算に関する文献に、下り斜面において竜巻の強さが増す傾向が見られたという報告がある。

この他にも、上りの斜面で増幅するという知見も存在しており、現時点で、地形効果による竜巻増幅を十分に評価できるだけの信頼性を有する知見は存在しない。

(2) 地表面粗度による影響

竜巻の渦は地表面粗度の影響を受けやすい。内陸・山岳部での竜巻発生数が海岸線付近に比べて少ないのは、この影響によるところが大きいと考えられる。

力学的な知見からは、風洞を用いた竜巻状流れ場の可視化実験(松井・田村 2005)等において、旋回流のパラメータの一つであるスワール比に応じて、地表面粗度が旋回流速度の低下に影響を与えることが分かっている。

最近の知見として、ラージ・エディー・シミュレーション(LES)による非定常乱流解析(例えば、Lewellen, D. C., and W. S. Lewellen 2007)で得られたスワール比に依存した竜巻の渦構造に関する知見が妥当であることが実際の竜巻近くで行った観測結果から示唆されている(Karstens et al. 2010)。

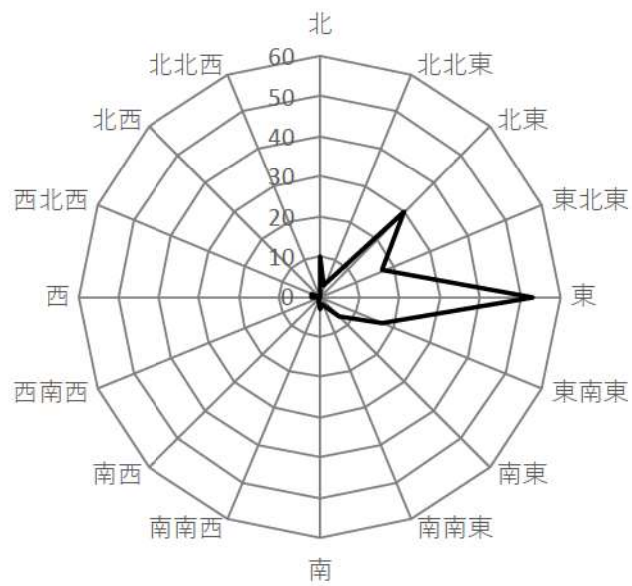
したがって、竜巻が地表面粗度の大きい丘陵地を越えてくることは考えにくい。

2.4.3 竜巻の移動方向の分析

竜巻検討地域で発生した竜巻のうち、移動方向が判明している竜巻の移動方向を第2.4.3.1図に示す。第2.4.3.1図より、竜巻検討地域で発生した竜巻は、多くが海側から陸側の方向に移動していた。

147個の発生竜巻の内、竜巻の移動方向が海上から陸側へ向かう方向(東側方向)が129個で88%を占めている。以上より、泊発電所付近の竜巻は、海上から陸側へ向かう方向が卓越している。

[個]	
北	10
北北東	3
北東	30
東北東	17
東	53
東南東	17
南東	7
南南東	2
南	3
南南西	1
南西	0
西南西	0
西	2
西北西	2
北西	0
北北西	0
計	147



第 2. 4. 3. 1 図 竜巻移動方向

2.4.4 竜巻風速の増幅に関する検討

竜巻検討地域で発生した竜巻は、海側から陸側に進入する可能性が高く、竜巻が増幅することはないと考えられる。竜巻が海上から発電所に進入してきた場合は、地表面粗度の影響を受けて竜巻は減衰した後、さらに防潮堤 (T.P. 16.5m) で減衰するため、竜巻による施設への影響は限定的となると考えられる。また、山側から発電所の敷地に移動してきた場合についても、発電所周辺は広い丘陵地に森林が存在しており、森林による粗度の影響を大きく受けるため減衰する。

したがって、泊発電所において地形効果による竜巻の増幅の影響は受けられないものと考えられる。

2.4.5 設計竜巻の最大風速 (V_D)

検討の結果、泊発電所において地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないと考えられるため、基準竜巻の割増しは不要と考えるが、将来的な気候変動による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て、設計竜巻の最大風速 (V_D) は 100m/s とする。

2.5 設計竜巻の特性値

設計竜巻の特性値は、原則として十分な信頼性を有した観測記録等に基づいて設定する必要があるが、泊では評価の保守性等も踏まえて、ガイドに示される方法に基づいて設定する。具体的には、ランキン渦モデルを仮定し、①～⑤に従い設定する。設定した結果を第 2.5.1 表に示す。

①設計竜巻の移動速度 (V_T)

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

V_D (m/s) : 設計竜巻の最大風速

②設計竜巻の最大接線風速 (V_{Rm})

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

V_D (m/s) : 設計竜巻の最大風速, V_T (m/s) : 設計竜巻の移動速度

③設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m)

$$R_m = 30 \text{ (m)}$$

④設計竜巻の気圧低下量 (ΔP_{\max})

$$\Delta P_{\max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

ρ : 空気密度 (1.22 (kg/m³)), V_{Rm} (m/s) : 設計竜巻の最大接線風速

⑤設計竜巻の最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{\max}$)

$$(dp/dt)_{\max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{\max}$$

V_T (m/s):設計竜巻の移動速度, R_m (m/s):設計竜巻の最大接線風速半径

第 2.5.1 表 設計竜巻の特性値

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

3. 竜巻影響評価

3.1 評価概要

評価の概要は以下のとおり。

- (1) 設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重）の設定
- (2) 原子力発電所における飛来物に係る調査
- (3) 飛散防止対策
- (4) 考慮すべき設計荷重に対する評価対象施設等の構造健全性等の評価を行い、必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることを確認

3.2 評価対象施設等

「1.2.2 竜巻影響評価の対象施設」に示すとおり。

3.3 設計荷重の設定

3.3.1 設計竜巻荷重の設定

設計竜巻の最大風速 V_D 等に基づき、「風圧力」、「気圧差による圧力」及び「飛来物の衝撃荷重」について、以下のとおり設定する。

(1) 設計竜巻による風圧力の設定

設計竜巻の水平方向の最大風速によって施設（屋根を含む）に作用する風圧力 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」に準拠して、下式により算定する。

なお、ガスト影響係数 G は、 $G=1.0$ 、風力係数 C は施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて設定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

q : 設計用速度圧

G : ガスト影響係数 (=1.0)

C : 風力係数

(施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて設定)

A : 施設の受圧面積

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$$

ρ : 空気密度

V_D : 設計竜巻の最大風速

ただし、竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として算定されるが、鉛直方向の風圧力に対してせい弱と考えられる評価対象施設等が存在する場合には、ランキン

渦モデルの風速場により求まる鉛直方向の風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

(2) 設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設等の内外の気圧差による圧力の設定

設計竜巻による評価対象施設等の内外の気圧差による圧力は、最大気圧低下量 ΔP_{max} に基づき設定する。

a. 建屋・構造物等

建屋については、気圧差による圧力荷重が最も大きくなる「閉じた施設」を想定し、内外気圧差による圧力荷重 W_p を以下の式により設定する。

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

ΔP_{max} : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

外部事象防護対象施設を内包する建屋・構築物について、影響評価を実施し、当該施設が破損した場合には安全機能維持について確認を行う。

b. 設備(系統, 機器)

設備についても、上記と同様に圧力荷重 W_p を設定する。

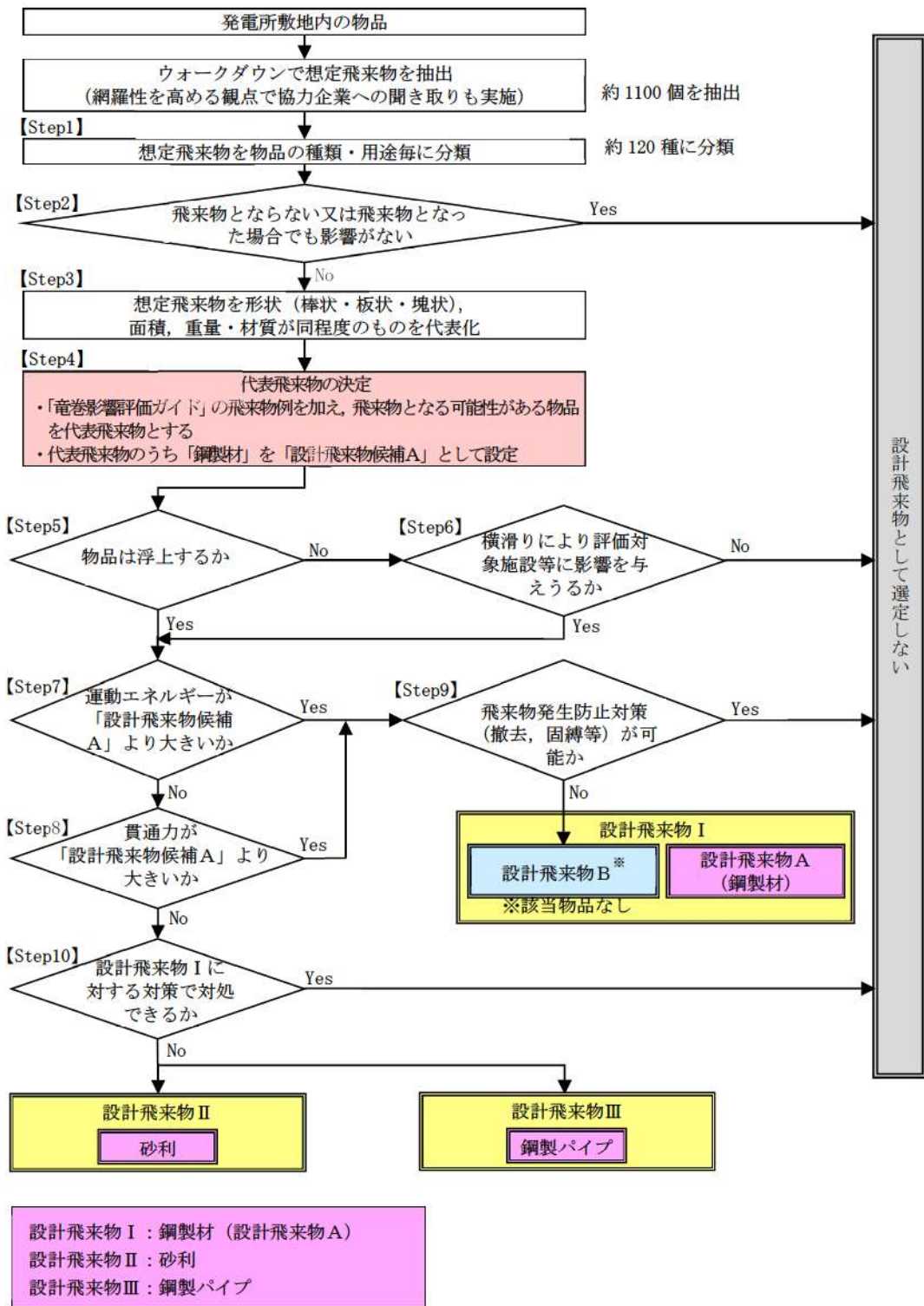
なお、換気空調系のように外気と隔離されている区画の境界部等、気圧差による圧力影響を受ける設備について、圧力影響により作用する応力が許容値内であるか確認し、許容値を上回る場合には安全機能維持への影響について確認する。

(3) 設計竜巻による飛来物が評価対象施設等に衝突する際の衝突荷重の設定

a. 泊発電所3号炉における設計飛来物等の選定【添付資料3.3】

泊発電所3号炉の竜巻影響評価における設計飛来物等については、泊発電所3号炉における飛来物源の現地調査結果及び「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参照して選定する。

第3.3.1.1図に発電所における設計飛来物の選定フローを、第3.3.1.1表に発電所における設計飛来物を示す。



第 3.3.1.1 図 設計飛来物の選定フロー

(a) 評価に用いる設計竜巻の特性

設計竜巻の最大風速は、100m/s とする。(第 2.5.1 表)

(b) 設計飛来物の選定

i) 現地調査

飛来物となり得る物品を確認するため、泊発電所の現地調査を実施した。調査範囲は、泊発電所の敷地内（原子炉建屋から約 550m（最短距離）～約 1100m（最長距離）の範囲）とした。後述の飛散評価の結果によれば、確認された物品の飛散距離は 550m を下回ることから、調査範囲は十分と考えられる。

ii) 設計飛来物となり得る飛来物源の抽出

現地調査で確認された物品の最大飛散距離は最大でも 430m 程度と評価された。したがって、泊発電所 3 号炉の設計飛来物の設定に際しては、発電所敷地内で認められた物品に「竜巻影響評価ガイド」の解説表 4.1 に例示された物品を加えたものを飛来物源として抽出した。

iii) 設計飛来物の設定

上記の飛来物源から、第 3.3.1.1 図のフローに従い、「竜巻影響評価ガイド」に例示されている鋼製材を設計飛来物として設定した。

さらに、鋼製材に対する飛来物防護対策として設置する竜巻防護ネットを通過し得る設計飛来物として、砂利を設定した。砂利のサイズはネットの網目のサイズを考慮して設定した。

また、外部事象防護対象施設である使用済燃料ピット等に侵入した場合に燃料集合体に直接落下する可能性がある設計飛来物として、鋼製パイプを設定した。以降の設計飛来物とは、上記の鋼製材、鋼製パイプ及び砂利の 3 つを示す。

(c) 設計飛来物以外の飛来物源に対する措置

i) 基本方針

設計飛来物以外の飛来物源については、設計竜巻の最大風速 100m/s における衝突時の運動エネルギー又は貫通力の大きさを、設計飛来物のうちこれらが最大となる鋼製材と比較し、鋼製材を上回る飛来物源（コンテナ等）については、以下のとおり対応する。

・泊発電所敷地内のものは、飛来物発生防止対策（固縛等）を施すか、評価対象施設等及び竜巻飛来物防護対策設備からの離隔及び頑健な建物内への移動等の運用により、設計飛来物による影響を上回らないものとする。

b. 設計飛来物の速度の設定【添付資料 3.1】

設計竜巻の最大風速（100m/s）による設計飛来物の最大水平速度（ $_M V_{Hmax}$ ）及び最大鉛直速度（ $_M V_{Vmax}$ ）は、衝撃荷重による影響を保守的に評価するため、ガイドに示される設計竜巻の最大風速（ V_D ）=100m/s の場合と同じ値とする。ガイドにおける鋼製材の最大水平速度及び最大鉛直速度については、平成 26 年 9 月 17 日に改正（最大水平速度が

57m/s から 51m/s に、最大鉛直速度が 38m/s から 34m/s に改正) されているが改正前の値とし、第 3.3.1.1 表のとおりとする。

ただし、ガイドに記載のない設計飛来物である砂利の速度については、文献[※]を参考にして、ランキン渦を仮定し風速場の中での速度を算出した。

第 3.3.1.1 表 泊発電所における設計飛来物

項目	飛来物の種類		
	砂利	鋼製パイプ	鋼製材
サイズ[m]	長さ×幅×奥行 0.04×0.04×0.04 ^{※1}	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2
質量[kg]	0.18	8.4	135
最大水平速度[m/s]	62 ^{※2}	49 ^{※4}	57 ^{※4}
最大鉛直速度[m/s]	42 ^{※3}	33 ^{※4}	38 ^{※4}

※1 砂利のサイズは、竜巻防護ネットの金網が目開き 5cm×5cm を 2 枚重ね、4cm×4cm を 1 枚重ねの構造、又は 4 cm×4 cm を 3 枚重ねの構造となっていることを考慮して選定

※2 設計竜巻風速 100m/s、当社が実施するランキン渦モデルの風速場を用いた飛散評価手法による結果

※3 竜巻影響評価ガイドに基づき最大水平速度の 2/3 として算出

※4 衝撃荷重による影響を保守的に評価するため、竜巻影響評価ガイドに示される竜巻の最大風速 (V_D) =100m/s の場合と同じ値とする。また、鋼製材については、竜巻影響評価ガイド改正前の値とする。

※：竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究（東京工芸大学）

E. Simiu and M. Cordes, NBSIR76-1050. Tornado-Borne Missile Speeds, 1976

c. 設計飛来物の衝撃荷重の設定

設計竜巻の最大風速 100m/s による設計飛来物の衝撃荷重は、運動エネルギーが最も大きくなる鋼製材の衝突方向及び衝突面積を考慮し、鋼製材が評価対象施設等に衝突した場合の影響が大きくなる衝突方向で算出する。

鋼製材の最大速度は第 3.3.1.1 表のとおりであり、静的な構造評価を実施する場合の衝撃荷重は、重量分布を均一な直方体として、Riera の方法⁽¹⁾を踏まえた下式にて算出した。

$$W_w = F_{MAX} = MV^2 / L_{MIN}$$

M：飛来物の質量

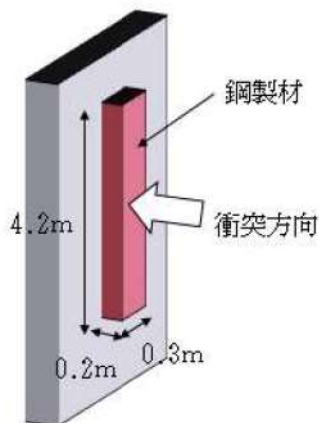
V：飛来物の衝突速度

L_{MIN}：飛来物の衝突方向長さ

Riera の方法で衝撃荷重を算出する場合、衝撃荷重が最大となるのは第 3.3.1.2 図に示す向きの衝突となる。

なお、有限要素法による飛来物衝突評価を行う場合には、飛来物の衝突速度を初速値

として入力し、衝突解析により衝撃荷重を算出する。衝突解析における鋼製材の衝突方向は、鋼製材が評価対象施設等に衝突した場合の影響が大きくなる衝突方向とする。



第 3.3.1.2 図 最大衝撃荷重となる鋼製材衝突方向 (Riera の方法⁽¹⁾)

d. 設計竜巻荷重の組合せ

評価対象施設等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て、以下の式により算出する。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

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 : 設計竜巻の気圧差による荷重

W_M : 設計飛来物による衝撃荷重

ここで、竜巻襲来時のある瞬間において、各荷重の作用方向は必ずしも一様ではないが、 W_{T2} の算出においては W_w 、 W_p 及び W_M の作用方向を揃えることとし、保守性を考慮する。また、評価対象施設等には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。

3.3.2 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) 評価対象施設等に常時作用する荷重、運転時荷重等

評価対象施設等に作用する荷重として、自重等の常時作用する荷重、内圧等の運転時荷重を適切に組み合わせる。

(2) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は積乱雲や積雲に伴って発生する現象であり⁽²⁾、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、ひょう及び降水である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は、以下のとおり設計竜巻荷重に包絡される。

なお、竜巻と同時に発生する自然現象については今後も継続的に新たな知見等の収集に取り組み、必要な事項については適切に反映を行う。

①雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても、雷によるプラントへの影響は、雷撃であるため雷による荷重は発生しない。

②雪

竜巻の作用時間は極めて短時間であること、積雪の荷重は冬季の限定された期間に発生し、積雪荷重の大きさや継続時間は除雪を行うことで低減できることから、発生頻度が極めて小さい設計竜巻の風荷重と積雪による荷重が同時に発生し、設備に影響を与えることは考えにくいとため、組合せを考慮しない。また、雪が堆積した状態における竜巻の影響については、除雪により雪を長期間堆積状態にしない方針であることから、組合せを考慮しない。

冬季に竜巻が襲来する場合は竜巻通過前後に降雪を伴う可能性はあるが、上昇流の竜巻本体周辺では、竜巻通過時に雪は降らない。また、下降流の竜巻通過時は、竜巻通過前に積もった雪の大部分は竜巻の風により吹き飛ばされ、雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

③ひょう

ひょうは、積乱雲から直径 5mm 以上の氷の粒⁽³⁾であり、仮に直径 10cm 程度の大型のひょうを想定した場合、その重量は約 0.5kg となる。直径 10cm 程度のひょうの終端速度は 59m/s⁽⁴⁾、運動エネルギーは約 0.9kJ であり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、ひょうの衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

④降水

竜巻と降水が同時に発生する場合においても、雨水により屋外施設に荷重の影響を与えることはなく、また降雨による荷重は十分小さいため、設計竜巻荷重に包絡される。

(3) 設計基準事故時荷重

外部事象防護対象施設は、当該外部事象防護対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該外部事象防護対象施設に作用する衝撃及び設計基準事

故時に生ずる応力を、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して、適切に組み合わせで設計する。

外部事象防護対象施設は、設計竜巻によって安全機能を損なわない設計とするため、設計竜巻は原子炉冷却材喪失事故等の設計基準事故の起因とはならないことから、設計竜巻と設計基準事故は独立事象であり、因果関係はない。

時間的変化の観点からは、事故の影響が長期に及ぶことが考えられる設計基準事故である原子炉冷却材喪失の発生頻度は小さく、また、外部事象防護対象施設に大きな影響を及ぼす竜巻の発生頻度も小さい。よって設計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ため、設計基準事故時荷重と設計竜巻の荷重を組み合わせる必要はなく、設計竜巻により外部事象防護対象施設に作用する衝撃による応力評価と変わらない。

また、風速が低く発生頻度が高い竜巻と設計基準事故が同時に発生する場合、外部事象防護対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じ、外殻となる施設による防護機能が期待できないことから、竜巻による風荷重等の影響を受ける可能性がある屋内施設としては原子炉補機冷却海水ポンプが考えられるが、設計基準事故時においても原子炉補機冷却海水ポンプの圧力及び温度は変わらないため、設計基準事故により考慮すべき荷重はなく、設計竜巻の荷重と設計基準事故時荷重を組み合わせる必要はないため、設計竜巻により外部事象防護対象施設に作用する衝撃による応力評価と変わらない。このため、設計竜巻の荷重と設計基準事故時荷重の組合せは考慮しない。

3.4 評価対象施設等の設計方針

外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設については、設計荷重に対してその構造健全性を維持すること又は取替、補修が可能なこと、設計上の要求を維持することにより、安全機能を損なわない設計とする。また、外部事象防護対象施設等に波及影響を及ぼし得る施設については、竜巻及びその随件事象に対して構造健全性を確保すること、設計上の要求を維持すること又は安全上支障のない期間での修復等の対応により、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(1) 許容限界

建屋及び構築物の設計において、設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離発生の有無の評価については、貫通及び裏面剥離が発生しない部材厚さ（貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さ）と部材の最小厚さを比較することにより行う。さらに、設計荷重により、発生する変形又は応力が以下の法令、規格、基準、指針類等に準拠し算定した許容限界を下回る設計とする。

- ・ 建築基準法
- ・ 日本産業規格
- ・ 日本建築学会及び土木学会等の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）

- ・日本機械学会の基準・指針類
- ・震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針（日本建築防災協会）
- ・原子力エネルギー協会（NEI）の基準・指針類等

系統及び機器の設計において、設計飛来物の衝突による貫通の有無の評価については、貫通が発生しない部材厚さ（貫通限界厚さ）と部材の最小厚さを比較することにより行う。設計飛来物が貫通することを考慮する場合には、設計荷重に対して防護対策を考慮した上で、系統及び機器に発生する応力が以下の規格、基準及び指針類に準拠し算定した許容応力度等に基づく許容限界を下回る設計とする。

- ・日本産業規格
- ・日本機械学会の基準・指針類
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）等

(2) 屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む。）

外部事象防護対象施設等のうち屋外施設は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。

なお、屋内に配置される施設のうち、外殻となる施設等による防護機能が期待できる施設の内部に配置される施設は、その防護機能により設計荷重に対して影響を受けない設計とする。

また、設計飛来物は評価対象施設等の全面に影響を及ぼすものとして評価及び対策を行う。

a. 排気筒（建屋外）

排気筒（建屋外）は、設計飛来物の衝突により貫通し構造健全性が維持されないことを考慮して、補修が可能な設計とすることにより、設計基準事故時における安全機能を損なわない設計とする。さらに、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び排気筒に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

<以下、外部事象防護対象施設を内包する区画>

b. 原子炉建屋（外部遮へい建屋）

原子炉建屋（外部遮へい建屋）は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により、当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

c. 原子炉建屋（周辺補機棟），原子炉建屋（燃料取扱棟），原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋

原子炉建屋（周辺補機棟），原子炉建屋（燃料取扱棟），原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋は，風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に対して，構造骨組の構造健全性が維持されるとともに，屋根，壁及び開口部（扉類）の破損により当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。また，設計飛来物の衝突時においても，貫通及び裏面剥離の発生により，当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

ただし，風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重又は設計飛来物の衝突による影響を受け，屋根，壁及び開口部（扉類）が損傷し当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なう可能性がある場合には，当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないかを評価し，安全機能を損なう可能性がある場合には，竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施する。

d. A1, A2-燃料油貯油槽タンク室及び B1, B2-燃料油貯油槽タンク室

A1, A2-燃料油貯油槽タンク室及び B1, B2-燃料油貯油槽タンク室は，地下埋設されていることを考慮し，設計飛来物による衝撃荷重に対して，構造健全性が維持され，ディーゼル発電機燃料油貯油槽が安全機能を損なわない設計とする。

e. A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ及び B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ

A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ及び B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチは，設計飛来物の衝突による影響を受け，開口部（蓋）が損傷する可能性があるため，当該トレンチ内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないかを評価し，安全機能を損なう可能性がある場合には，竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施する。

f. 循環水ポンプ建屋

循環水ポンプ建屋は，風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重又は設計飛来物の衝突による影響を受け，屋根，壁及び開口部（扉類）が損傷する可能性があるため，当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないかを評価し，安全機能を損なう可能性がある場合には，竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施する。

g. タービン建屋

タービン建屋は、竜巻を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重畳の可能性を考慮し、安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、タービン保安装置及び主蒸気止め弁が安全機能を損なわない設計とする。

(3) 屋内の施設で外気と繋がっている施設

外殻となる施設に内包され防護される外部事象防護対象施設のうち、外気と繋がっている施設は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護鋼板の設置又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。

a. 換気空調設備（アニュラス空気浄化設備，格納容器空調装置，補助建屋空調装置，試料採取室空調装置，中央制御室空調装置，電動補助給水ポンプ室換気装置，制御用空気圧縮機室換気装置，ディーゼル発電機室換気装置及び安全補機開閉器室空調装置）

換気空調設備（アニュラス空気浄化設備，格納容器空調装置，補助建屋空調装置，試料採取室空調装置，中央制御室空調装置，電動補助給水ポンプ室換気装置，制御用空気圧縮機室換気装置，ディーゼル発電機室換気装置及び安全補機開閉器室空調装置）は、原子炉建屋（外部遮へい建屋）、竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行う原子炉建屋（周辺補機棟）及び原子炉補助建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しないことから、気圧差による荷重及び設備に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

b. 排気筒（建屋内）

排気筒（建屋内）は、竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行う原子炉建屋（周辺補機棟）に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しないため、気圧差による荷重及び排気筒に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

(4) 外殻となる施設による防護機能が期待できない施設

外殻となる施設による防護機能が期待できない施設は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護鋼板等の設置又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。

a. 使用済燃料ピット

設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し使用済燃料ピットに侵入する場合でも、設計飛来物の衝撃荷重により、使用済燃料ピットのライニング及びコンクリー

トの一部が損傷して、ピット水が漏えいすることはほとんどなく、使用済燃料ピットの冷却機能及び遮蔽機能に影響しないことにより使用済燃料ピットが安全機能を損なわない設計とする。

b. 使用済燃料ラック

設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し使用済燃料ピットに侵入し使用済燃料ラックに衝突する場合でも、設計飛来物が使用済燃料ラックに貯蔵している燃料の燃料有効部に達することはなく、使用済燃料ラックに貯蔵している燃料の構造健全性が維持されることにより安全機能を損なわない設計とする。

c. 新燃料ラック

設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し新燃料貯蔵庫に侵入し新燃料ラックに衝突する場合でも、設計飛来物が新燃料ラックに貯蔵している燃料の燃料有効部に達することはなく、新燃料ラックに貯蔵している燃料の構造健全性が維持されることにより安全機能を損なわない設計とする。

また、設計飛来物のうち鋼製パイプが新燃料ラックに貯蔵している燃料に直接衝突し、燃料の構造健全性が損なわれることを考慮して、竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物が新燃料ラックに貯蔵している燃料に直接衝突することを防止し、燃料の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

d. 燃料移送装置，使用済燃料ピットクレーン，燃料取扱棟クレーン，燃料取替チャンネル，キャスクピット，燃料検査ピット

燃料移送装置，使用済燃料ピットクレーン，燃料取扱棟クレーン，燃料取替チャンネル，キャスクピット，燃料検査ピットは、設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し、燃料移送装置，使用済燃料ピットクレーン，燃料取扱棟クレーン，燃料取替チャンネル，キャスクピット，燃料検査ピットに衝突し移送中又は取扱い中の燃料の構造健全性が損なわれることを考慮して、竜巻襲来が予想される場合には、燃料取扱作業を中止し、移送中の燃料は燃料移送装置にて原子炉建屋（外部遮へい建屋）内に移動する又は取扱い中の燃料は使用済燃料ピットクレーンにて使用済燃料ラックに貯蔵することにより、移送中又は取扱い中の燃料の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

なお、使用済燃料ピットクレーンは使用済燃料ラック及び使用済燃料ラックに貯蔵している燃料に影響を及ぼさない待機位置への退避措置を行う。

e. 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプは、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し、竜巻

防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の衝突を防止し、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び原子炉補機冷却海水ポンプに常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

f. 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ

原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナは、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し、竜巻防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の衝突を防止し、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び原子炉補機冷却海水出口ストレーナに常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

g. 配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）

配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し、竜巻防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の衝突を防止し、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

h. 原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）

原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）は、設計飛来物が原子炉建屋（周辺補機棟）の開口部建具である扉を貫通し、原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護壁の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）への衝突を防止し、原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

i. 主蒸気系統配管他

主蒸気系統配管他は、設計飛来物が原子炉建屋（周辺補機棟）又はディーゼル発電機建屋の開口部建具であるブローアウトパネル、扉又はガラリを貫通し、主蒸気系統配管他に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護鋼板等で開口部建具の竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の主蒸気系統配管他への衝突を防止し、主蒸気系統配管他の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

j. 制御用空気系統配管

制御用空気系統配管は、設計飛来物が原子炉補助建屋の開口部建具である扉を貫通し、制御用空気系統配管に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護壁の設置によ

る竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の制御用空気系統配管への衝突を防止し、制御用空気系統配管の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

k. 蓄熱室加熱器

蓄熱室加熱器は、設計飛来物がディーゼル発電機建屋の開口部建具である扉又はガラリを貫通し、蓄熱室加熱器に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護鋼板等の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の蓄熱室加熱器への衝突を防止し、蓄熱室加熱器の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

l. ディーゼル発電機燃料油移送配管

ディーゼル発電機燃料油移送配管は、設計飛来物が A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ及び B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチの蓋を貫通し、ディーゼル発電機燃料油移送配管に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護鋼板等の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物のディーゼル発電機燃料油移送配管への衝突を防止し、ディーゼル発電機燃料油移送配管の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

m. タービン保安装置及び主蒸気止め弁

タービン保安装置及び主蒸気止め弁は、蒸気発生器への過剰給水の緩和手段（タービントリップ機能）として期待している。竜巻を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重畳の可能性を考慮し、安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、安全機能を損なわない設計とする。

(5) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、設計荷重による影響を受ける場合においても外部事象防護対象施設等に影響を及ぼさないよう、必要に応じて施設の補強、竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施することにより、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 循環水ポンプ建屋、タービン建屋、電気建屋及び出入管理建屋

循環水ポンプ建屋、タービン建屋、電気建屋及び出入管理建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、倒壊により外部事象防護対象施設等へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

b. ディーゼル発電機排気消音器

ディーゼル発電機排気消音器は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、

ディーゼル発電機排気消音器が閉塞することがなく、ディーゼル発電機の排気機能が維持される設計とする。

さらに、ディーゼル発電機排気消音器が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とし、外部事象防護対象施設であるディーゼル発電機に機能的影響を及ぼさない設計とする。

c. 主蒸気逃がし弁消音器

主蒸気逃がし弁消音器は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、主蒸気逃がし弁消音器が損傷して閉塞することはなく、主蒸気逃がし弁の排気機能が維持される設計とする。

さらに、主蒸気逃がし弁消音器が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

以上より、主蒸気逃がし弁消音器が、外部事象防護対象施設である主蒸気逃がし弁に機能的影響を及ぼさず、主蒸気逃がし弁が安全機能を損なわない設計とする。

d. 主蒸気安全弁排気管

主蒸気安全弁排気管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、主蒸気安全弁排気管が損傷して閉塞することはなく、主蒸気安全弁の排気機能が維持される設計とする。

さらに、主蒸気安全弁排気管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

以上より、主蒸気安全弁排気管が、外部事象防護対象施設である主蒸気安全弁に機能的影響を及ぼさず、主蒸気安全弁が安全機能を損なわない設計とする。

e. タービン動補助給水ポンプ排気管

タービン動補助給水ポンプ排気管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、タービン動補助給水ポンプ排気管が損傷して閉塞することはなく、タービン動補助給水ポンプの機関の排気機能が維持される設計とする。

さらに、タービン動補助給水ポンプ排気管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

以上より、タービン動補助給水ポンプ排気管が、外部事象防護対象施設であるタービン動補助給水ポンプに機能的影響を及ぼさず、タービン動補助給水ポンプが安全機能を損なわない設計とする。

f. ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管

ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管が閉塞することがなく、ディーゼル発電機燃料油貯油槽のベント機能が維持される設計とする。

さらに、ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とし、外部事象防護対象施設であるディーゼル発電機燃料油貯油槽に機能的影響を及ぼさない設計とする。

g. 換気空調設備（蓄電池室排気装置）

換気空調設備が原子炉補助建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。気圧差による荷重及び設備に常時作用する荷重に対しては、換気空調設備の構造健全性が維持される設計とする。

以上より、換気空調設備が、外部事象防護対象施設である蓄電池に機能的影響を及ぼさず、蓄電池が安全機能を損なわない設計とする。

h. 竜巻随件事象の影響により外部事象防護対象施設等を機能喪失させる可能性がある施設（溢水により外部事象防護対象施設等の機能を喪失させる可能性がある設備、火災発生により外部事象防護対象施設等の機能を喪失させる可能性がある設備、外部電源）

竜巻随件事象の影響により外部事象防護対象施設等の機能を喪失させる可能性がある施設の設計方針は、「3.5 竜巻随件事象に対する評価」に記載する。

(6) 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施設

a. 防潮堤

風圧力による荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

設計飛来物による衝突については、衝撃荷重に対して、倒壊せず構造健全性を確保することで、安全機能に影響を及ぼさない設計とする。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がある場合には、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。

b. 3号炉取水ピットスクリーン室防水壁

風圧力による荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

3号炉取水ピットスクリーン室防水壁の構造は主に構造的に強度を確保した複数の部材（支柱と壁部材）を組み合わせる構造とすることで、設計飛来物による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。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。

3.5 竜巻随件事象に対する評価

竜巻随件事象は過去の竜巻被害事例及び泊発電所のプラント配置から、想定される事象である、火災、溢水及び外部電源喪失を抽出し、事象が発生した場合の影響評価を行い、外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないことを確認した。【添付資料 3.4】

(1) 火災

竜巻随件事象として、設計竜巻による飛来物が建屋開口部付近の発火性又は引火性物質を内包する機器に衝突する場合及び屋外の危険物貯蔵施設等に飛来物が衝突する場合の火災が想定される。

建屋内については、飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近には、発電用原子炉施設の安全機能を損なわせる可能性がある発火性又は引火性物質を内包する機器は配置されておらず、設計竜巻により建屋内に火災が発生することはなく、建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

建屋外については、発電所敷地内の屋外にある危険物貯蔵施設等の火災がある。火災源と外部事象防護対象施設の位置関係を踏まえて火災の影響を評価した上で、外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とすることを「1.10 外部火災防護に関する基本方針」に記載する。

以上より、竜巻随件事象としての火災に対して外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

(2) 溢水

竜巻随件事象として、設計竜巻による気圧低下の影響や飛来物が建屋開口部付近の溢水源に衝突する場合及び屋外タンク等に飛来物が衝突する場合の溢水が想定される。

外部事象防護対象施設を内包する建屋内については、飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近に飛来物が衝突して外部事象防護対象施設の安全機能を損なう可能性がある溢水源が配置されておらず、設計竜巻により建屋内に溢水が発生することはない。また、建屋内は設計竜巻による気圧低下の影響を受けないことから建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

建屋外については、気圧低下の影響による屋外タンク等の破損は考え難いものの、設計竜巻による飛来物の衝突による屋外タンク等の破損に伴う溢水が想定されるが、「1.7 溢水防護に関する基本方針」にて、竜巻時の屋外タンク等の破損を想定し、溢水が安全系機器に影響を及ぼさない設計としていることから、竜巻随件事象による屋外タンク等が損傷して発生する溢水により外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

以上より、竜巻随件事象としての溢水に対して外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

(3) 外部電源喪失

設計竜巻又は設計竜巻と同時に発生する雷又はダウンバースト等の影響により送電網に関する施設等が損傷して外部電源喪失が発生する場合が想定される。設計竜巻に対してディーゼル発電機の構造健全性を維持することにより、外部電源喪失の影響がなく外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。なお、ディーゼル発電機の付属設備について、安全機能を損なわないことを以下のとおり確認している。

- ・吸排気については外気と繋がっているが、竜巻襲来時の短時間での圧力差による影響はない。
- ・排気消音器出口に風圧力による荷重が作用して消音器内に大気が逆流した場合において、排気が阻害され系統内が閉塞気味になり、排気ガス温度が徐々に上昇し、通常運転時を超える温度となり出力制限となることが予想されるが、竜巻は長期間停滞することなく数秒～10 数秒のオーダーで通過するため、この程度であれば排気ガス温度の急激な上昇はなくディーゼル発電機運転に支障を来すことはない。

<参考文献>

- (1) J.D.Riera, “A Critical Reappraisal of Nuclear Power Plant safety against Accidental Aircraft Impact”, Nuclear Engineering and Design 57, (1980)
- (2) 雷雨とメソ気象 大野久雄, 東京堂出版
- (3) 気象庁ホームページ
(http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kousui.html)
- (4) 一般気象学 小倉義光, 東京大学出版会

重大事故等対処設備に対する考慮について

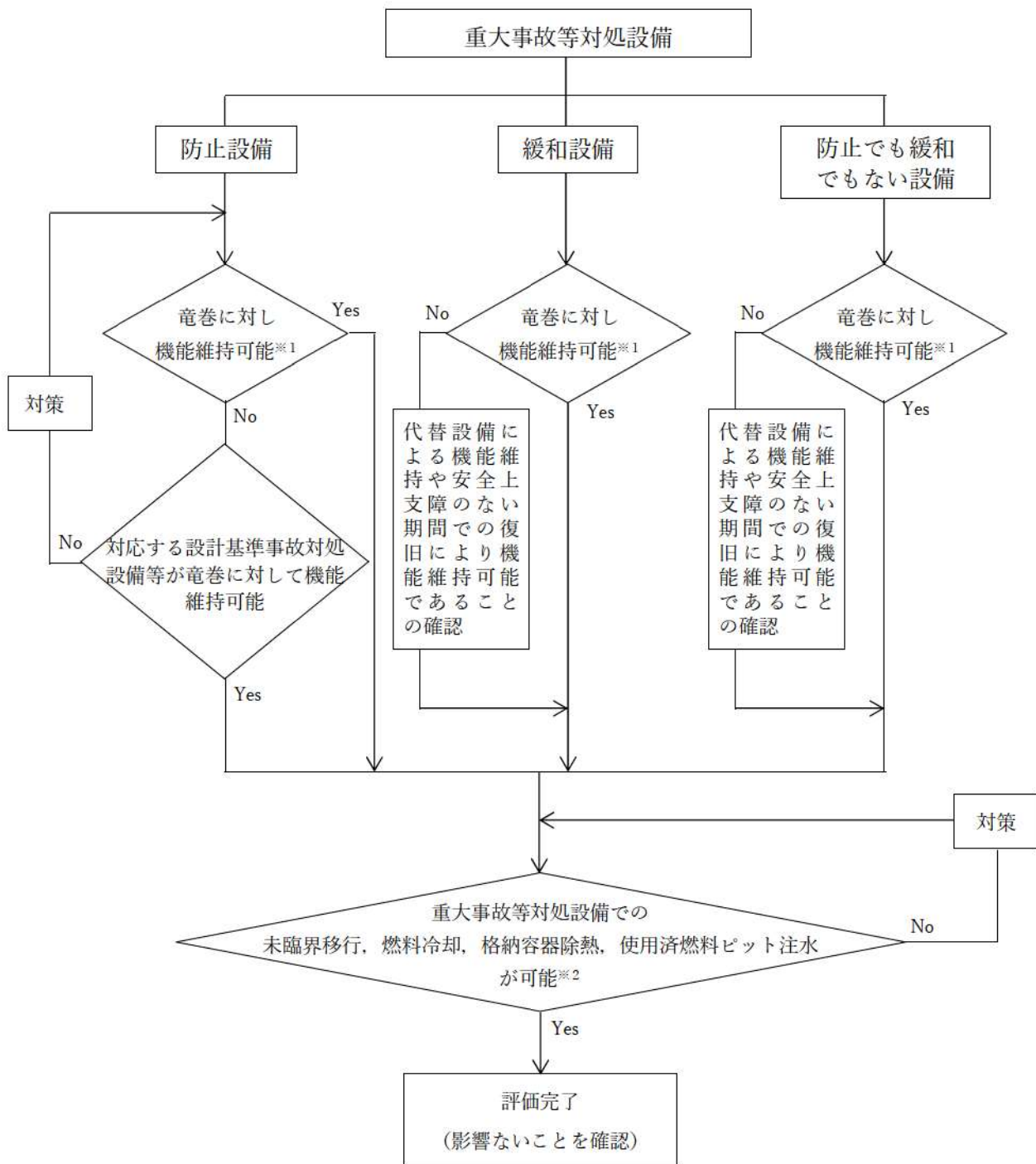
設置許可基準規則第43条（重大事故等対処設備）の要求を踏まえ、設計竜巻によって、設計基準事故対処設備等の安全機能と重大事故等対処設備の機能が同時に損なわれることがないことを確認するとともに、重大事故等対処設備の機能が喪失した場合においても、位置的分散又は頑健性のある外殻となる建屋による防護に期待できる代替手段等により必要な機能を維持できることを確認する。

重大事故等対処設備の機能維持は、以下の方針に従い評価を実施する。

- (1) 重大事故防止設備は竜巻によって対応する設計基準事故対処設備等の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれのないこと
- (2) 重大事故等対処設備であって、重大事故防止設備でない設備は、代替設備若しくは安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であること
- (3) 竜巻が発生した場合においても、重大事故等対処設備によりプラント安全性に関する主要な機能（未臨界移行機能、燃料冷却機能、格納容器除熱機能、使用済燃料ピット注水機能）が維持できること（竜巻により重大事故等対処設備と設計基準事故対処設備等の安全機能が同時に損なわれることはないが、安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であることを確認する）

竜巻による重大事故等対処設備への影響評価フロー並びに方針(1)及び(2)に対する評価結果をそれぞれ第1図、第1表に示す。また、方針(3)に示した、プラント安全性に関する主要な機能は、以下に例示するとおり重大事故等対処設備により維持される。

- ・未臨界移行機能：手動による原子炉緊急停止，原子炉出力抑制（自動），原子炉出力抑制（手動），ほう酸水注入
- ・燃料冷却機能：代替炉心注水（代替格納容器スプレイポンプ）
- ・格納容器除熱機能：格納容器内自然対流冷却
- ・使用済燃料ピット注水機能：使用済燃料ピットへの注水



※1：屋内設備については、当該設備を内包する建屋（原子炉建屋、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋、A1、A2-燃料油貯油槽タンク室、B1、B2-燃料油貯油総タンク室、緊急時対策所及び空調上屋）の影響評価を実施し、機能が維持されるかを確認

※2：竜巻により重大事故等対処設備と設計基準事故対処設備等の安全機能が同時に損なわれることはないが、安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であることを確認

第1図 竜巻による重大事故等対処設備の影響評価フロー
6条(竜巻)-別添1-添付1.1-2

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (1/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻		
					評価	防護方法	
第37条 重大事故等の拡大の防止等	-	-	-	-	-	-	
第38条 重大事故等対処施設の地盤	-	-	-	-	-	-	
第39条 地震による損傷の防止	-	-	-	-	-	-	
第40条 津波による損傷の防止	-	-	-	-	-	-	
第41条 火災による損傷の防止	-	-	-	-	-	-	
第42条 特定重大事故等対処設備	-	特定重大事故等対象施設	申請範囲外	-	-	-	
第43条 重大事故等対処設備	アクセスルートの確保	ホイールローダ, バックホウ	防止でも緩和でもない設備	屋外	○	分散配置	
第44条 緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備	手動による原子炉緊急停止	原子炉トリップスイッチ	防止設備	A/B	○	建屋内	
		制御棒クラスタ	防止設備	C/V	○	建屋内	
		原子炉トリップ遮断器	防止設備	R/B	○	建屋内	
	原子炉出力抑制 (自動)	共通要因故障対策盤 (自動制御盤) (A T W S 緩和設備)	防止設備	A/B	○	建屋内	
		主蒸気隔離弁 電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ビット 主蒸気逃がし弁 主蒸気安全弁 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内	
		加圧器逃がし弁 加圧器安全弁 蒸気発生器 配管等	防止設備	C/V	○	建屋内	
		主蒸気管	防止設備	C/V, R/B	○	建屋内	
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-	
		原子炉出力抑制 (手動)	主蒸気隔離弁 電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ビット 主蒸気逃がし弁 主蒸気安全弁 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
			加圧器逃がし弁 加圧器安全弁 蒸気発生器 配管等	防止設備	C/V	○	建屋内
	主蒸気管		防止設備	C/V, R/B	○	建屋内	
	1次冷却設備		1次冷却設備に記載		-	-	

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)
 -：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋, A/B：原子炉補助建屋, C/V：原子炉格納容器, DG/B：ディーゼル発電機建屋, CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (2/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻			
				評価	防護方法		
第44条 緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備	ほう酸水注入 (ほう酸タンク→充てんライン)	ほう酸タンク ほう酸ポンプ 緊急ほう酸注入弁 充てんポンプ ほう酸フィルタ 配管等	防止設備	A/B	○	建屋内	
		再生熱交換器, 配管等	防止設備	C/V	○	建屋内	
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—	
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—	
	ほう酸水注入 (燃料取替用水ピット→充てんライン)	燃料取替用水ピット, 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内	
		充てんポンプ, 配管等	防止設備	A/B	○	建屋内	
		再生熱交換器, 配管等	防止設備	C/V	○	建屋内	
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—	
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—	
		1次系のフィードアンドブリード (高压注入ポンプ)	高压注入ポンプ 余熱除去ポンプ 余熱除去冷却器 ほう酸注入タンク, 配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
第45条 原子炉冷却材圧力バウンダリ高压時に発電用原子炉を冷却するための設備	1次系のフィードアンドブリード (高压注入ポンプ)	加圧器逃がし弁 格納容器再循環サンプ 格納容器再循環サンプスクリーン 蓄圧タンク 蓄圧タンク出口弁 配管等	防止設備	C/V	○	建屋内	
		燃料取替用水ピット, 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内	
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—	
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—	
		蒸気発生器2次側からの除熱 (タービン動補助給水ポンプの機能回復)	タービン動補助給水ポンプ 主蒸気逃がし弁 補助給水ピット タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気入口弁, 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
			蒸気発生器, 配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
	主蒸気管		(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内	
	蒸気発生器2次側からの除熱 (電動補助給水ポンプの機能回復)		電動補助給水ポンプ 主蒸気逃がし弁 補助給水ピット, 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器, 配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内	
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内	
監視及び制御に用いる設備		加圧器水位 蒸気発生器水位 (広域) 蒸気発生器水位 (狭域) 補助給水流量 補助給水ピット水位	58条に記載		—	—	
第46条 原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備	1次系のフィードアンドブリード (高压注入ポンプ)	加圧器逃がし弁 格納容器再循環サンプ 格納容器再循環サンプスクリーン 蓄圧タンク 蓄圧タンク出口弁, 配管等	防止設備	C/V	○	建屋内	

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる

又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)

又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)

—：他の項目にて整理

※ R/B：原子炉建屋, A/B：原子炉補助建屋, C/V：原子炉格納容器, DG/B：ディーゼル発電機建屋, CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (3/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻		
				評価	防護方法	
第46条 原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備	1次系のフィードアンドブリード (高圧注入ポンプ)	高圧注入ポンプ 余熱除去ポンプ 余熱除去冷却器 ほう酸注入タンク	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	蒸気発生器2次側からの除熱	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器, 配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内
	蒸気発生器2次側からの除熱 (タービン動補助給水ポンプの機能回復)	タービン動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気入口弁 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器, 配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内
	蒸気発生器2次側からの除熱 (電動補助給水ポンプの機能回復)	電動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器, 配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内
	加圧器逃がし弁の機能回復	可搬箇所: 加圧器逃がし弁操作可搬型窒素ガスポンプ, ホース等	防止設備	R/B	○	建屋内
		可搬箇所: 加圧器逃がし弁操作用バッテリー	防止設備	A/B	○	建屋内
		常設箇所: 加圧器逃がし弁	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
	加圧器逃がし弁による1次冷却系統の減圧	加圧器逃がし弁	緩和設備	C/V	○	建屋内
	1次冷却系統の減圧 (SG伝熱管破損発生時, IS-LOCA発生時)	主蒸気逃がし弁	防止設備	R/B	○	建屋内
		加圧器逃がし弁	防止設備	C/V	○	建屋内
		余熱除去系統の隔離 (IS-LOCA発生時)	余熱除去ポンプ入口弁	防止設備	A/B	○
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	炉心注水 (充てんポンプ)	充てんポンプ, 配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
	(1次冷却材喪失事象が発生している場合, フロントライン系機能喪失時)	燃料取替用水ピット, 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		再生熱交換器, 配管等	防止設備	C/V	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—

凡例 ○: 竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)
 —: 他の項目にて整理
 ※ R/B: 原子炉建屋, A/B: 原子炉補助建屋, C/V: 原子炉格納容器, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (4/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻		
				評価	防護方法	
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	代替炉心注水 (B-格納容器スプレイポンプ) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系機能喪失時)	B-格納容器スプレイポンプ B-格納容器スプレイ冷却器 配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
	代替炉心注水 (代替格納容器スプレイポンプ) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系機能喪失時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット、配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
	代替炉心注水 (可搬型大型送水ポンプ車) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系機能喪失時)	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、 ホース延長・回収車、可搬型ホース	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続口、配管等	防止設備	A/B, R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	再循環運転 (高圧注入ポンプ) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系機能喪失時)	高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク、配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		格納容器再循環サンプ 格納容器再循環サンプスクリーン	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		安全注入ポンプ再循環サンプ側入口 C/V 外側隔離弁	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
	代替再循環運転 (B-格納容器スプレイポンプ) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系機能喪失時)	B-格納容器スプレイポンプ B-格納容器スプレイ冷却器、配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		B-格納容器再循環サンプ B-格納容器再循環サンプスクリーン	防止設備	C/V	○	建屋内
		B-安全注入ポンプ再循環サンプ側入口 C/V 外側隔離弁	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
炉心注水 (高圧注入ポンプ) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系機能喪失時)	高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク、配管等	防止設備	A/B	○	建屋内	
	燃料取替用水ピット	防止設備	R/B	○	建屋内	
	原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-	
	1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-	

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる

又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)

又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備、防止でも緩和でもない設備)

一：他の項目にて整理

※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (5/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	炉心注水（充てんポンプ） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系機能喪失時）	充てんポンプ、配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット	防止設備	R/B	○	建屋内
		再生熱交換器	防止設備	C/V	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	代替炉心注水（B-格納容器スプレイポンプ） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系機能喪失時）	B-格納容器スプレイポンプ B-格納容器スプレイ冷却器 配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット、配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	代替炉心注水（代替格納容器スプレイポンプ） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系機能喪失時）	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	代替炉心注水（可搬型大型送水ポンプ車） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系機能喪失時）	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、 ホース延長・回収車、可搬型ホース	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続口、配管等	防止設備	A/B, R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—
	代替炉心注水（代替格納容器スプレイポンプ）（代替電源） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、サポート系機能喪失時）	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	代替炉心注水（可搬型大型送水ポンプ車：海水） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、サポート系機能喪失時）	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、 ホース延長・回収車（送水車用）、可搬型ホース	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続口、配管等	防止設備	A/B, R/B	○	建屋内
1次冷却設備		1次冷却設備に記載		—	—	
非常用取水設備		非常用取水設備に記載		—	—	

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）
 —：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (6/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻		
				評価	防護方法	
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	代替炉心注水（充てんポンプ（自己冷却）） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、サポート系機能喪失時）	B-充てんポンプ、配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット、配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		再生熱交換器、配管等	防止設備	C/V	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	代替再循環運転（A-高圧注入ポンプ（海水冷却）） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、サポート系機能喪失時）	A-高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク	防止設備	A/B	○	建屋内
		可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、ホース延長・回収車（送水車用）、可搬型ホース	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続口、配管等	防止設備	A/B, R/B	○	建屋内
		A-格納容器再循環サンプ A-格納容器再循環サンプスクリーン	防止設備	C/V	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—
	格納容器スプレイ（格納容器スプレイポンプ）（格納容器水張り） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、溶融デブリが原子炉容器に残存する場合）	格納容器スプレイポンプ 格納容器スプレイ冷却器	緩和設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット	緩和設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
	代替格納容器スプレイ（代替格納容器スプレイポンプ）（格納容器水張り） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、溶融デブリが原子炉容器に残存する場合）	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器2次側からの除熱（補助給水ポンプ） （1次冷却材喪失事象が発生していない場合、フロントライン系機能喪失時）	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○
	蒸気発生器、配管等	（設計基準対象施設）	C/V	○	建屋内	
	主蒸気管	（設計基準対象施設）	C/V, R/B	○	建屋内	

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる

又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）

又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）

—：他の項目にて整理

※ R/B：原子炉建屋, A/B：原子炉補助建屋, C/V：原子炉格納容器, DG/B：ディーゼル発電機建屋, CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (7/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻		
				評価	防護方法	
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	蒸気発生器2次側からの除熱(補助給水ポンプ)(代替電源) (1次冷却材喪失事象が発生していない場合、サポート系機能喪失時)	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器, 配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内
	炉心注水(充てんポンプ) (運転停止中の場合、フロントライン系機能喪失時)	充てんポンプ	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット	防止設備	R/B	○	建屋内
		再生熱交換器	防止設備	C/V	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—
	炉心注水(高圧注入ポンプ) (運転停止中の場合、フロントライン系機能喪失時)	高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—
	代替炉心注水(B-格納容器スプレイポンプ) (運転停止中の場合、フロントライン系機能喪失時)	B-格納容器スプレイポンプ B-格納容器スプレイ冷却器 配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット	防止設備	R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—
	代替炉心注水(代替格納容器スプレイポンプ) (運転停止中の場合、フロントライン系機能喪失時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—
	代替炉心注水(可搬型大型送水ポンプ車) (運転停止中の場合、フロントライン系機能喪失時)	可搬箇所: 可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車(送水車用), 可搬型ホース	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所: 接続口, 配管等	防止設備	A/B, R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—
	再循環運転(高圧注入ポンプ) (運転停止中の場合、フロントライン系機能喪失時)	高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク 配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
格納容器再循環サンプ 格納容器再循環サンプスクリーン		(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内	
B-安全注入ポンプ再循環サンプ側入口 C/V 外側隔離弁		(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内	
1次冷却設備		1次冷却設備に記載		—	—	
非常用取水設備		非常用取水設備に記載		—	—	

凡例 ○: 竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる(防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能(緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)
 —: 他の項目にて整理
 ※ R/B: 原子炉建屋, A/B: 原子炉補助建屋, C/V: 原子炉格納容器, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (8/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	代替再循環運転 (B-格納容器スプレイポンプ) (運転停止中の場合、フロントライン系機能喪失時)	B-格納容器スプレイポンプ B-格納容器スプレイ冷却器	防止設備	A/B	○	建屋内
		B-格納容器再循環サンプ B-格納容器再循環サンプスクリーン	防止設備	C/V	○	建屋内
		B-安全注入ポンプ再循環サンプ側入口 C/V 外側隔離弁	防止設備	R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	蒸気発生器2次側からの除熱 (補助給水ポンプ) (運転停止中の場合、フロントライン系機能喪失時)	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器 配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内
	代替炉心注水 (代替格納容器スプレイポンプ) (代替電源) (運転停止中の場合、サポート系機能喪失時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
	代替炉心注水 (可搬型大型送水ポンプ車) (運転停止中の場合、サポート系機能喪失時)	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車 (送水車用), 可搬型ホース	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散設置
		常設箇所：接続口, 配管等	防止設備	A/B, R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	代替炉心注水 (充てんポンプ (自己冷却)) (運転停止中の場合、サポート系機能喪失時)	充てんポンプ	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット	防止設備	R/B	○	建屋内
		再生熱交換器	防止設備	C/V	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
	代替再循環運転 (A-高圧注入ポンプ (海水冷却)) (運転停止中の場合、サポート系機能喪失時)	A-高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク 配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車 (送水車用), 可搬型ホース	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散設置
		常設箇所：接続口, 配管等	防止設備	A/B, R/B	○	建屋内
		A-格納容器再循環サンプ A-格納容器再循環サンプスクリーン	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		A-安全注入ポンプ再循環サンプ側入口 C/V 外側隔離弁	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
非常用取水設備		非常用取水設備に記載		-	-	

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)
 ー：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋, A/B：原子炉補助建屋, C/V：原子炉格納容器, DG/B：ディーゼル発電機建屋, CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (9/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所*	竜巻	
					評価	防護方法
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	蒸気発生器2次側からの除熱（補助給水ポンプ）（代替電源） （運転停止中の場合、サポート系機能喪失時）	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器	（設計基準対象施設）	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	（設計基準対象施設）	C/V, R/B	○	建屋内
	炉心注水（高圧注入ポンプ） （溶融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延及び防止、交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合）	高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク	（設計基準対象施設）	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	炉心注水（余熱除去ポンプ） （溶融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延及び防止、交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合）	余熱除去ポンプ 余熱除去冷却器	（設計基準対象施設）	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	炉心注水（充てんポンプ） （溶融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延及び防止、交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合）	充てんポンプ	緩和設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット	緩和設備	R/B	○	建屋内
		再生熱交換器	緩和設備	C/V	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	代替炉心注水（B-格納容器スプレイポンプ） （溶融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延及び防止、交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合）	B-格納容器スプレイポンプ B-格納容器スプレイ冷却器	緩和設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット	緩和設備	R/B	○	建屋内

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）
 —：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (10/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻		
				評価	防護方法	
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	代替炉心注水 (代替格納容器スプレイポンプ) (溶融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延及び防止、交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
	原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—	
	1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—	
	代替炉心注水 (充てんポンプ(自己冷却)) (溶融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延及び防止、全交流動力電源喪失又は原子炉補機冷却機能喪失時)	B-充てんポンプ	緩和設備	A/B	○	建屋内
	燃料取替用水ピット	緩和設備	R/B	○	建屋内	
	再生熱交換器	緩和設備	C/V	○	建屋内	
	1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—	
	代替炉心注水 (代替格納容器スプレイポンプ) (溶融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延及び防止、全交流動力電源喪失又は原子炉補機冷却機能喪失時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
	1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—	
	余熱除去設備	余熱除去ポンプ 余熱除去冷却器 配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
	原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—	
	1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—	
	低圧注水系 低圧時再循環	余熱除去ポンプ 余熱除去冷却器 配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
	格納容器再循環サンブ 格納容器再循環サンブスクリーン 配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内	
	燃料取替用水ピット 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内	
	1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—	

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）
 —：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (11/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻		
				評価	防護方法	
第48条 最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備	蒸気発生器2次側からの除熱(補助給水ポンプ) (フロントライン系機能喪失時)	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器 配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内
	格納容器内自然対流冷却 (C/V再循環ユニット:海水) (フロントライン系機能喪失時)	C, D-格納容器再循環ユニット	防止設備	C/V	○	建屋内
		可搬箇所:可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車(送水車用),可搬型ホース	防止設備	可搬型SA設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所:接続口,配管等	防止設備	屋外A/B廻り及びR/B内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		可搬型温度計測装置	58条に記載		-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	代替補機冷却 (A-高圧注入ポンプ(海水冷却)) (フロントライン系機能喪失時)	可搬箇所:可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車(送水車用),可搬型ホース	防止設備	可搬型SA設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所:接続口,配管等	防止設備	屋外A/B廻り及びR/B内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		A-高圧注入ポンプ	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	蒸気発生器2次側からの除熱(補助給水ポンプ)(代替電源) (サポート系機能喪失時)	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器,配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内
	格納容器内自然対流冷却 (海水) (サポート系機能喪失時)	C, D-格納容器再循環ユニット	防止設備	C/V	○	建屋内
		可搬箇所:可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車(送水車用),可搬型ホース	防止設備	可搬型SA設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所:接続口,配管等	防止設備	屋外A/B廻り及びR/B内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		可搬型温度計測装置	58条に記載		-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	代替補機冷却 (高圧注入ポンプ(海水冷却)) (代替電源) (サポート系機能喪失時)	可搬箇所:可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車(送水車用),可搬型ホース	防止設備	可搬型SA設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所:接続口,配管等	防止設備	屋外A/B廻り及びR/B内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		A-高圧注入ポンプ	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-

凡例 ○:竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも,対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる(防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して,代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能(緩和設備,防止でも緩和でもない設備)
 一:他の項目にて整理
 ※ R/B:原子炉建屋, A/B:原子炉補助建屋, C/V:原子炉格納容器, DG/B:ディーゼル発電機建屋, CWP/B:循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (12/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第48条 最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備	原子炉補機冷却設備	原子炉補機冷却水ポンプ 原子炉補機冷却水冷却器 配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却水海水ポンプ 配管等	(設計基準対象施設)	CWP/B	○	防護対策実施
第49条 原子炉格納容器内の冷却等のための設備	格納容器内自然対流冷却 (原子炉補機冷却水) (炉心の著しい損傷防止, フロントライン系機能喪失時)	C, D-格納容器再循環ユニット	防止設備	C/V	○	建屋内
		C, D-原子炉補機冷却水ポンプ C, D-原子炉補機冷却水冷却器 原子炉補機冷却水サージタンク C, D-原子炉補機冷却水冷却器海水 入口ストレーナ 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		可搬箇所: 原子炉補機冷却水サージタンク加圧用可搬型窒素ガスポンプ, ホース・弁	防止設備	R/B	○	建屋内
		C, D-原子炉補機冷却海水ポンプ C, D-原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ	防止設備	CWP/B	○	防護対策実施
		可搬型温度計測装置	58条に記載		-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
		代替格納容器スプレイ (代替格納容器スプレイポンプ) (炉心の著しい損傷防止, フロントライン系機能喪失時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ビット 補助給水ビット 配管等	防止設備	R/B	○
	代替格納容器スプレイ (代替格納容器スプレイポンプ) (代替電源) (炉心の著しい損傷防止, サポート系機能喪失時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ビット 補助給水ビット 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
	格納容器内自然対流冷却 (海水) (炉心の著しい損傷防止, サポート系機能喪失時)	可搬箇所: 可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車 (送水車用), 可搬型ホース	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所: 接続口, 配管等	防止設備	屋外 A/B 廻り及び R/B 内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		C, D-格納容器再循環ユニット	防止設備	C/V	○	建屋内
		可搬型温度計測装置	58条に記載		-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-

凡例 ○: 竜巻に対し安全機能を維持できる

又は竜巻による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)

又は竜巻により損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)

一: 他の項目にて整理

※ R/B: 原子炉建屋, A/B: 原子炉補助建屋, C/V: 原子炉格納容器, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (13/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第49条 原子炉格納容器内の冷却等のための設備	格納容器内自然対流冷却 (原子炉補機冷却水) (格納容器破損防止、フロンライン系機能喪失時)	C, D-格納容器再循環ユニット	緩和設備	C/V	○	建屋内
		C, D-原子炉補機冷却水ポンプ C, D-原子炉補機冷却水冷却器 原子炉補機冷却水サージタンク C, D-原子炉補機冷却水冷却器海水入口ストレーナ 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		可搬箇所：原子炉補機冷却水サージタンク加圧用可搬型窒素ガスポンプ	緩和設備	R/B	○	建屋内
		C, D-原子炉補機冷却海水ポンプ C, D-原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ	緩和設備	CWP/B	○	防護対策実施
		可搬型温度計測装置	58条に記載		-	-
	格納容器内自然対流冷却 (原子炉補機冷却水) (格納容器破損防止、フロンライン系機能喪失時)	非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	代替格納容器スプレィ (代替格納容器スプレィポンプ) (格納容器破損防止、フロンライン系機能喪失時)	代替格納容器スプレィポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
	代替格納容器スプレィ (代替格納容器スプレィポンプ) (代替電源) (格納容器破損防止、サポート系機能喪失時)	代替格納容器スプレィポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
	格納容器内自然対流冷却 (海水) (格納容器破損防止、サポート系機能喪失時)	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、ホース延長・回収車(送水車用)、可搬型ホース	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続口、配管等	緩和設備	屋外 A/B 廻り及び R/B 内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		C, D-格納容器再循環ユニット	緩和設備	C/V	○	建屋内
		可搬型温度計測装置	58条に記載		-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	格納容器スプレィ 格納容器スプレィ再循環	格納容器スプレィポンプ 格納容器スプレィ冷却器 配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
格納容器再循環サンブ 格納容器再循環サンブスクリーン 配管等		(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内	
原子炉補機冷却設備		48条に記載		-	-	

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる(防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能(緩和設備、防止でも緩和でもない設備)
 一：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (14/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第50条 原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備	格納容器スプレイ (格納容器スプレイポンプ) (交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	格納容器スプレイポンプ 格納容器スプレイ冷却器	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
	格納容器内自然対流冷却 (原子炉補機冷却水) (交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		C, D-格納容器再循環ユニット	緩和設備	C/V	○	建屋内
		C, D-原子炉補機冷却水ポンプ C, D-原子炉補機冷却水冷却器 原子炉補機冷却水サージタンク C, D-原子炉補機冷却水冷却器海水入口ストレーナ	緩和設備	R/B	○	建屋内
		可搬箇所: 原子炉補機冷却水サージタンク加圧用可搬型素素ガスポンプ, ホース・弁	緩和設備	R/B	○	建屋内
		C, D-原子炉補機冷却海水ポンプ C, D-原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ	緩和設備	CWP/B	○	防護対策実施
		可搬型温度計測装置	58条に記載		—	—
非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—		
第50条 原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備	代替格納容器スプレイ (代替格納容器スプレイポンプ) (交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		C, D-格納容器再循環ユニット	緩和設備	C/V	○	建屋内
	格納容器内自然対流冷却 (海水) (全交流動力電源又は原子炉補機冷却機能喪失時)	可搬箇所: 可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車 (送水車用), 可搬型ホース	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所: 接続口, 配管等	緩和設備	屋外 A/B 廻り及び R/B 内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		可搬型温度計測装置	58条に記載		—	—
	非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—	
代替格納容器スプレイ (代替格納容器スプレイポンプ) (代替電源) (全交流動力電源又は原子炉補機冷却機能喪失時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内	

凡例 ○: 竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)
 —: 他の項目にて整理
 ※ R/B: 原子炉建屋, A/B: 原子炉補助建屋, C/V: 原子炉格納容器, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (15/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第51条 原子炉格納容器下部の熔融炉心を冷却するための設備	格納容器スプレイ (格納容器スプレイポンプ) (交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	格納容器スプレイポンプ 格納容器スプレイ冷却器 配管等	緩和設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット	緩和設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
	代替格納容器スプレイ (代替格納容器スプレイポンプ) (交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		代替格納容器スプレイ (代替電源) (全交流動力電源又は原子炉補機冷却機能喪失時)	緩和設備	R/B	○	建屋内
	熔融炉心の落下遅延・防止	炉心注水 (高圧注入ポンプ) 炉心注水 (余熱除去ポンプ) 炉心注水 (充てんポンプ) 代替炉心注水 (B-格納容器スプレイポンプ) 代替炉心注水 (代替格納容器スプレイポンプ) 代替炉心注水 (B-充てんポンプ)	47条に記載		—	—
第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備	水素濃度低減 (原子炉格納容器内水素処理装置)	原子炉格納容器内水素処理装置 原子炉格納容器内水素処理装置温度計	緩和設備	C/V	○	建屋内
		原子炉格納容器	原子炉格納容器に記載		—	—
	水素濃度低減 (格納容器水素イグナイタ)	格納容器水素イグナイタ 格納容器水素イグナイタ温度	緩和設備	C/V	○	建屋内
		原子炉格納容器	原子炉格納容器に記載		—	—
	水素濃度監視	可搬型格納容器内水素濃度計測ユニット 可搬型ガスサンプル冷却器用冷却ポンプ	緩和設備	R/B	○	建屋内
		可搬型代替ガスサンプリング圧縮装置 格納容器空気サンプルライン隔離弁 作用可搬型窒素ガスボンベ	緩和設備	R/B	○	建屋内
		可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、ホース延長・回収車 (送水車用)、可搬型ホース	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続口、配管等	緩和設備	屋外 A/B 廻り及び R/B 内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		格納容器雰囲気ガス試料採取設備、配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備、防止でも緩和でもない設備)
 —：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (16/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第53条 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備	アンユラス空気浄化設備による水素排出(交流動力電源及び直流電源が健全である場合)	アンユラス空気浄化ファン アンユラス空気浄化フィルタユニット、配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		排気筒	緩和設備	屋外	○	補修を実施
	アンユラス空気浄化設備による水素排出(全交流動力電源又は直流電源が喪失した場合)	B-アンユラス空気浄化ファン B-アンユラス空気浄化フィルタユニット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		可搬箇所：アンユラス全量排気弁操作 用可搬型窒素ガスポンペ、ホース・弁 排気筒	緩和設備	R/B	○	建屋内
	水素濃度監視	可搬箇所：可搬型アンユラス水素濃度 計測ユニット、ホース・弁	緩和設備	R/B	○	建屋内
		常設箇所：接続口・配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
第54条 使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備	使用済燃料ピットへの注水	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、 ホース延長・回収車(送水車用)、可搬 型ホース 非常用取水設備	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		非常用取水設備に記載		—	—	
	使用済燃料ピットへのスプレイ	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、 可搬型スプレイノズルホース延長・回 収車(送水車用)、可搬型ホース 非常用取水設備	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		非常用取水設備に記載		—	—	
	燃料取扱棟(貯蔵槽内燃料体等)への放水	可搬型大容量海水送水ポンプ車、可搬 型ホース等 放水砲	55条に記載		○	分散配置
	使用済燃料ピットの監視	使用済燃料ピット水位(AM用) 使用済燃料ピット温度(AM用)	防止設備・緩和設備	R/B	○	代替設備 (使用済燃料ピット 水位及び使用済燃料 ピット温度)
		使用済燃料ピット水位(可搬型)	防止設備・緩和設備	R/B	○	代替設備 (使用済燃料ピット 水位)
		使用済燃料ピット可搬型エリアモニタ	防止設備・緩和設備	R/B, A/B	○	代替設備 (使用済燃料ピット エリアモニタ)
使用済燃料ピット監視カメラ (使用済燃料ピット監視カメラ空冷装 置(注)を含む。)		防止設備・緩和設備	R/B A/B	○	防護対策実施	
第55条 工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備	大気への拡散抑制 (炉心の著しい 損傷及び原子 炉格納容器の 破損時)	可搬型大容量海水送水ポンプ車、可搬 型ホース等 放水砲	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
	海洋への拡散抑制 (炉心の著しい 損傷時及び 原子炉格納容 器の破損時)	非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—
	放射線物質吸着剤 荷揚場シルトフェンス	緩和設備	屋外(地下)	○	影響なし	

注：使用済燃料ピット監視カメラ空冷装置は可搬型重大事故等対処設備

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる(防止設備)
又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能(緩和設備、防止でも緩和でもない設備)
—：他の項目にて整理
※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (17/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第56条 重大事故等の収束に必要な水の供給設備	大気への拡散抑制 (使用済燃料ピット内燃料体等の著しい損傷時)	可搬型大型送水ポンプ車 可搬型スプレインゾル ホース延長・回収車(送水車用) 可搬型ホース 配管等	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		非常用取水設備				
	大気への拡散抑制 (使用済燃料ピット内燃料体等の著しい損傷時)	可搬型大容量海水送水ポンプ車, 可搬型ホース 放水砲	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
	航空機燃料火災への泡消火	可搬型大容量海水送水ポンプ車, 可搬型ホース 放水砲, 泡混合設備	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		非常用取水設備				
	重大事故等の収束のための水源 ※水源としては, 海も使用可能	燃料取替用水ピット 補助給水ピット 代替給水ピット	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		2次系純水タンク ろ過水タンク	(代替淡水源)	屋外	○	分散配置
		原水槽	(代替淡水源)	屋外	○	分散配置
		ほう酸タンク	44条に記載		—	—
水の供給	可搬箇所: 可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車(送水用)	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置	
	常設箇所: 接続口, 配管等	防止設備・緩和設備	A/B, R/B	○	建屋内	
	非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—	
第57条 電源設備	常設代替交流電源設備による給電	代替非常用発電機, 電路等	防止設備・緩和設備	屋外	○	代替設備 (ディーゼル発電機)
		ディーゼル発電機燃料油貯油槽	防止設備・緩和設備	屋外(地下)	○	影響なし
		ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ, 配管等	防止設備・緩和設備	DG/B	○	建屋内
		可搬箇所: 可搬型タンクローリー, ホース	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
	可搬型代替交流電源設備による給電	可搬箇所: 可搬型代替電源車	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所: 接続口, 電路	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 及び A/B 廻り	○	分散配置
		ディーゼル発電機燃料油貯油槽	防止設備・緩和設備	屋外(地下)	○	影響なし
		ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ, 配管等	防止設備・緩和設備	DG/B	○	建屋内
		可搬箇所: 可搬型タンクローリー, ホース	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置

凡例 ○: 竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる(防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能(緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)
 —: 他の項目にて整理
 ※ R/B: 原子炉建屋, A/B: 原子炉補助建屋, C/V: 原子炉格納容器, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (18/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第57条 電源設備	所内常設蓄電式直流電池設備による給電	蓄電池（非常用） 後備蓄電池，電路等	防止設備・緩和設備	A/B	○	建屋内
	可搬型代替直流電源設備による給電	可搬箇所：可搬型直流電源用発電機	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		可搬箇所：可搬型直流変換器	防止設備・緩和設備	A/B	○	建屋内
		ディーゼル発電機燃料油貯油槽	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
		可搬箇所：可搬型タンクローリー，ホース	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
	代替所内電気設備による給電	代替非常用発電機	防止設備・緩和設備	屋外	○	代替設備 (ディーゼル発電機)
		可搬型代替電源車	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		ディーゼル発電機燃料油貯油槽	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
		可搬箇所：可搬型タンクローリー，ホース	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		代替所内電気設備変圧器 代替所内電気設備分電盤 代替格納容器スプレイポンプ変圧器盤	防止設備・緩和設備	A/B	○	建屋内
	燃料補給設備	ディーゼル発電機燃料油貯油槽	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
		可搬型タンクローリー，ホース	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ，配管等	防止設備・緩和設備	DG/B	○	建屋内
	非常用交流電源設備	ディーゼル発電機 ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ ディーゼル発電機燃料油サービスタンク 配管等	防止設備・緩和設備	DG/B	○	建屋内
		ディーゼル発電機燃料油貯油槽	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
		原子炉補機冷却設備	48 条に記載		—	—

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも，対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 又は竜巻により損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備，防止でも緩和でもない設備）
 一：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋，A/B：原子炉補助建屋，C/V：原子炉格納容器，DG/B：ディーゼル発電機建屋，CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (19/24)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第58条 計装設備	温度計測 (原子炉容器内の温度)	1次冷却材温度 (広域-高温側) 1次冷却材温度 (広域-低温側)	防止設備・緩和設備	C/V	○	建屋内
	圧力計測 (原子炉容器内の圧力)	1次冷却材圧力 (広域)	防止設備・緩和設備	C/V	○	建屋内
	水位計測 (原子炉容器内の水位)	加圧器水位 原子炉容器水位	防止設備	C/V	○	建屋内
	注水量計測 (原子炉容器への注水量)	高压注入流量 低压注入流量	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
	(原子炉格納容器への注水量)	代替格納容器スプレイポンプ出口積算流量 B-格納容器スプレイ冷却器出口積算流量 (AM用)	防止設備・緩和設備	A/B	○	建屋内
	注水量計測 (原子炉格納容器への注水量)	代替格納容器スプレイポンプ出口積算流量 B-格納容器スプレイ冷却器出口積算流量 (AM用)	防止設備・緩和設備	A/B	○	建屋内
		高压注入流量 低压注入流量	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
	温度計測 (原子炉格納容器内の温度)	格納容器内温度	防止設備・緩和設備	C/V	○	建屋内
	圧力計測 (原子炉格納容器内の圧力)	原子炉格納容器圧力 格納容器圧力 (AM用)	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
	水位計測 (原子炉格納容器内の水位)	格納容器再循環サンプ水位 (広域) 格納容器再循環サンプ水位 (狭域)	防止設備・緩和設備	C/V	○	建屋内
		格納容器水位 原子炉下部キャビティ水位	緩和設備	C/V	○	建屋内
	水素濃度計測 (原子炉格納容器内の水素濃度)	可搬型格納容器内水素濃度計測ユニット (格納容器内水素濃度)	緩和設備	R/B	○	建屋内
	水素濃度計測 (アニュラス内の水素濃度)	可搬型アニュラス水素濃度計測ユニット (アニュラス水素濃度 (可搬型))	緩和設備	R/B	○	建屋内
	線量計測 (原子炉格納容器内の放射線量率)	格納容器内高レンジエリアモニタ (低レンジ) 格納容器内高レンジエリアモニタ (高レンジ)	防止設備・緩和設備	C/V	○	建屋内
	出力計測 (未臨界の維持又は監視)	出力領域中性子束 中間領域中性子束 中性子源領域中性子束	防止設備	C/V	○	建屋内
	温度計測 (最終ヒートシンクの確保)	可搬型温度計測装置 (格納容器再循環ユニット入口温度/出口温度)	防止設備・緩和設備	A/B 緊急時対策所指揮所	○	建屋内
	水位計測 (最終ヒートシンクの確保)	蒸気発生器水位 (狭域) 蒸気発生器水位 (広域)	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		原子炉補機冷却水サージタンク水位	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
	注水量計測 (最終ヒートシンクの確保)	補助給水流量	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
圧力計測 (最終ヒートシンクの確保)	原子炉格納容器圧力	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内	
	主蒸気ライン圧力	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内	
	原子炉補機冷却水サージタンク圧力 (可搬型)	防止設備・緩和設備	R/B 緊急時対策所指揮所	○	建屋内	

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)
又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)
一：他の項目にて整理
※ R/B：原子炉建屋, A/B：原子炉補助建屋, C/V：原子炉格納容器, DG/B：ディーゼル発電機建屋, CWP/B：循環水ポンプ建屋