資料１－２－５

女川原子力発電所　２号炉

外部事象の考慮について

平成２９年１２月

東北電力株式会社

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

第 6 条：外部からの衝撃による損傷の防止

＜目　次＞

1. 基本方針
1.1 要求事項の整理
2. 追加要求事項に対する適合方針
2.1 その他自然現象等
2.1.1 設計基準上考慮すべき事象の抽出及び当該事象に対する設計方針
2.1.1.1 自然現象
2.1.1.2 人為事象
2.1.2 自然現象の組合せ
2.1.3 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対する重要安全施設への考慮
2.2 竜巻
2.2.1 竜巻に対する防護に関して，設計上対処すべき施設を抽出するための方針
2.2.2 発生を想定する竜巻の設定
2.2.2.1 竜巻検討地域の設定
2.2.2.2 基準竜巻の設定
2.2.2.3 設計竜巻の設定
2.2.3 設計荷重の設定
2.2.3.1 設計竜巻荷重
(1) 風圧力の設定
(2) 気圧差による圧力
(3) 飛来物の衝撃荷重
(4) 設計竜巻荷重の組合せ
2.2.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重
2.2.4 評価対象施設の設計方針
2.2.4.1 設計方針
2.2.5 竜巻随伴事象に対する評価対象施設の設計方針
2.2.6 参考文献
2.3 火山
2.3.1 火山活動に対する防護に関して，設計対象施設を抽出するための方針
2.3.2 降下火砕物による影響の選定

本日ご提出範囲

2.3.3 設計荷重の設定
2.3.4 降下火砕物の直接的影響に対する設計方針
2.3.5 降下火砕物の間接的影響に対する設計方針
2.3.6 参考文献
2.4 外部火災
2.4.1 外部火災に対して，設計上対処すべき施設を抽出するための方針
2.4.2 考慮すべき外部火災
2.4.3 外部火災に対する設計方針
2.4.3.1 森林火災
(1) 発生を想定する発電所敷地外における森林火災の想定及び影響評価
(2) 森林火災に対する設計方針
2.4.3.2 近隣の産業施設の火災・爆発
(1) 近隣の産業施設からの火災及びガス爆発の想定及び影響評価
(2) 想定される近隣の産業施設の火災・爆発に対する設計方針
2.4.3.3 発電所敷地内における航空機墜落等による火災
(1) 発生を想定する発電所敷地内における航空機墜落等による火災の設定及び影響評価
(2) 航空機墜落等による火災に対する設計方針
2.4.3.4 ばい煙及び有毒ガス
3. 外部からの衝撃による損傷の防止
別添 1-1 外部事象の考慮について
別添 2-1 竜巻影響評価について
別添 2-2 竜巻影響評価におけるフジタモデルの適用について
別添 3-1 火山影響評価について
別添 4-1 外部火災影響評価について
4. 運用，手順能力説明資料
別添 1-2 運用，手順能力説明資料（外部事象）
別添 3-2 運用，手順能力説明資料（火山）
別添 4-2 運用，手順能力説明資料（外部火災）
5. 現場確認のプロセス
別添 4-3 森林火災評価に係る植生確認プロセスについて

本日ご提出範囲

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（第1.1-1表）。

第1.1-1表 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 第6条(外部からの衝撃による損傷の防止)	技術基準規則 第7条（外部からの衝撃による損傷の防止）	備考
安全施設は，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。	設計基準対象施設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。	【追加要求事項】
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。		【追加要求事項】
3　安全施設は，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。）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。	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って人為によるもの(故意によるものを除く。）により発電用原子炉施設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。 3　航空機の墜落により発電用原子炉施設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。	【追加要求事項】
		【追加要求事項】

2. 追加要求事項に対する適合方針

2.1 その他自然現象等

2.1.1 設計基準上考慮すべき事象の抽出及び当該事象に対する設計方針

2.1.1.1 自然現象

(1) 設計上考慮すべき自然現象

発電所敷地で想定される自然現象(地震及び津波を除く。)については，網羅的に抽出するために，発電所敷地及びその周辺での発生実績の有無に関わらず，国内外の基準や文献等に基づき事象を収集し，洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地すべり，火山の影響，生物学的事象，森林火災等の事象を考慮する。

想定される自然現象及び想定される人為事象について網羅的に抽出すための基準等については，国外の基準として Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants（IAEA，April 2010)」を，また人為事象を選定する観点から「DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES(FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE（NEI 12-06 August 2012)」，日本の自然現象を網羅する観点から「日本の自然災害（国会資料編纂会 1998 年)」を参考にした。なお，その他に NRC の「NUREG/CR-2300 PRA Procedures Guide（NRC，January 1983)」等の基準も事象収集の対象とした。

網羅的に抽出した事象について，海外での評価手法を参考として事象の選定を行った結果，原子炉施設に影響を与えるおそれがある事象として，洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地すべり，火山の影響，生物学的事象，森林火災を選定した。

評価の詳細について，「別添 1-1　1.設計基準で想定される自然現象及び人為事象の選定について」に示す。

(2) 設計上考慮すべき自然現象に対する設計方針

安全施設は，(1)で考慮するとした自然現象が発生した場合において，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。発電所敷地内又はその周辺において想定される自然現象として選定した事象のうち，竜巻,火山の影響,森林火災を除く事象に対する設計方針を以下に示す。

なお，竜巻に対する設計方針については「2.2」，火山の影響に対する設計方針については「2.3」,森林火災に対する設計方針については「2.4」に示す。

a. 洪水

発電所で使用する淡水を北上川から専用の導水管により取水していることを踏まえ選定。

安全施設が設置される敷地内には洪水の要因となる河川が存在しないことから，敷地が洪水による被害を受けることはない。

北上川から専用の導管により淡水を取水しているが，経路に中間貯槽等は無いため，敷地が洪水の影響を受けることはない。

b. 風（台風）

敷地付近で観測された最大瞬間風速は，石巻特別地域気象観測所での観測記録（1940～2012 年）及び大船渡特別地域気象観測所での観測記録（1963～2012 年）によれば，44.2m／s（大船渡特別地域気象観測所 2002 年 10 月 2 日）である。

また，敷地付近で観測された最大風速（10 分間平均風速）は，27.4m／s（石巻特別地域気象観測所 1958 年 9 月 27 日）である。

安全施設に対する風荷重は，建築基準法に基づき定められた基準風速及び施設の周辺状況を基に算出した速度圧と，施設の形状に応じた風力係数より設定し，それに対し機械的強度を有する構造とすることで，安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

また，台風の中心付近の強い上昇気流により雷が発生する可能性があるが，安全施設に対し，台風は風荷重を及ぼす一方，落雷は電気的影響を及ぼすものであることから，台風と落雷に対しては個別に安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお，台風の発生に伴う飛来物の影響は竜巻影響評価で想定している設計飛来物の影響に包絡されており，安全施設の安全機能が損なわれるおそれはない。

c. 凍結

石巻特別地域気象観測所での観測記録（1887～2012 年）及び大船渡特別地域気象観測所での観測記録（1963～2012 年）によれば，最低気温は－14.6℃（石巻特別地域気象観測所 1919 年 1 月 6 日）である。

安全施設は上記最低気温を考慮し，屋外機器等で凍結のおそれのあるものについては，凍結防止対策を行うことによって，安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

d. 降水

石巻特別地域気象観測所での観測記録（1937～2012 年）及び大船渡特別地域気象観測所での観測記録（1963～2012 年）によれば，発電所周辺地域における日最大 1 時間降水量の最大値は，81.7mm（石巻特別地域気象観測所 1947 年 8 月 18 日）である。

なお，設置変更許可申請以降，日最大 1 時間降水量の最大値が 91.0mm（石巻特別地域気象観測所 2014 年 9 月 11 日）に更新された。

降水に対しては，構内排水施設を設けて海域に排水するとともに，安全施設については浸水防止措置を行い，安全機能を損なわない設計としており，観測記録を上回る降雨に対しても排水能力を有している。

e. 積雪

石巻特別地域気象観測所での観測記録（1887～2012 年）及び大船渡特別地域気象観測所での観測記録（1963～2012 年）によれば，積雪の深さの月最大値は，43cm（石巻特別地域気象観測所 1923 年 2 月 17 日）である。

積雪荷重は，石巻特別地域気象観測所の月最大値 43cm から設定し，これに対し機械的強度を有する構造とすることで，安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

f. 落雷

雷害防止対策として，建築基準法に基づき高さ 20m を超える原子炉施設等へ避雷設備を設置するとともに，構内接地網を布設することにより，接地抵抗の低減や雷撃に伴う構内接地系の電位分布の平坦化を図っている。さらに，安全保護回路は雷サージ抑制対策がなされており，安全施設の安全機能を損なわない設計としている。

g. 地すべり

発電所の敷地が丘陵地を持つ複雑地形であることを踏まえ選定。

地すべり地形分布図 第 40 集「一関･石巻」（2009 年 2 月：独立行政法人防災科学技術研究所）によると，女川原子力発電所を含む「寄磯」エリアに地すべり地形はない。また，土砂災害危険箇所図（平成 22 年度：国土交通省国土政策局）によると，女川原子力発電所には地すべりを起こすような地形は存在しないことから，女川原子力発電所では，安全施設の安全機能を損なうような地すべりが生じることはない。

h. 生物学的事象

考慮すべき生物学的事象として海生生物の襲来及び小動物の侵入を想定する。原子炉補機冷却海水設備等に影響を与える海生生物等をトラベリングスクリーン等により除去し，生物学的事象による安全施設の安全機能を損なわない設計としている。

クラゲ等の塵芥除去については，クラゲ等の捕獲に伴い，トラベリングスクリーン前後に水位差が生じ，水位差が一定以上に大きくなると，トラベリングスクリーンが自動起動し，捕獲されたクラゲ等を除去する運用としている。

トラベリングスクリーンを通過する貝等の海生生物については，海水ストレーナ（海水ポンプ下流に設置）やスポンジボールによる洗浄装置により，原子炉補機冷却水系熱交換器や復水器等への影響を防止する設計としている。

また，運転手順として，クラゲ等の塵芥激増により循環水ポンプの取水機能へ影響が生じる場合は，必要に応じ循環水ポンプの翼開度調整，原子炉出力降下操作，原子炉手動スクラムの手順を整備している。

なお，小動物については，屋外設置の端子箱の貫通部にシールを行うことにより，侵入を防止する設計としている。

2.1.1.2 人為事象

(1) 設計上考慮すべき人為事象

発電所敷地又はその周辺において想定される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。）は，網羅的に抽出するために，発電所敷地及びその周辺での発生実績の有無に関わらず，国内外の基準や文献等に基づき事象を収集し，飛来物（航空機落下），ダムの崩壊，爆発，近隣工場などの火災，有毒ガス，船舶の衝突，電磁的障害等の事象を考慮する。

なお，人為事象の収集及び網羅性の確保にあたっては，「2.1.1.1 (1) 設計上考慮すべき自然現象」における文献を用いている。

網羅的に抽出した事象について，自然現象と同様に，海外での評価手法を参考として事象の選定を行った結果，原子炉施設に影響を与えるおそれがある事象として，飛来物（航空機落下），ダムの崩壊，爆発，近隣工場などの火災，有毒ガス，船舶の衝突，電磁的障害を選定する。

評価の詳細について，「別添 1-1　１．設計基準で想定される自然現象及び人為事象の選定について」に示す。

(2) 設計上考慮すべき人為事象に対する設計方針

安全施設は,(1)で考慮するとした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。発電所敷地内又はその周辺において想定される事象に対する設計方針を以下に示す。

a. 飛来物（航空機落下）

航空機落下については,「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成 14･07･29 原院第４号（平成 14 年７月 30 日原子力安全・保安院制定)）等に基づき，航空機落下確率を評価し，防護設計の要否について確認を行っている。

航空機落下確率評価を行った結果は，約 5.0×10^{-8} 回/炉･年であり，防護設計の要否判断の基準である 10^{-7} 回/炉･年を超えないため，航空機落下による防護設計を考慮しない。

b. ダムの崩壊

安全施設が設置される敷地内には河川が無く，ダムや堰堤は存在しないことから，ダムの崩壊を考慮する必要はない。

c. 爆発

発電所敷地外の半径 10km 圏内には石油コンビナート等特別防災区域はない。また，発電所敷地外の半径 10km 圏内に存在する高圧ガス貯蔵所については，評価上必要とされる離隔距離が確保されているので爆発による爆風圧及び飛来物の影響を受けず，原子炉施設の安全機能を損なわない。

d. 近隣工場等の火災

（ａ）石油コンビナート施設の火災

発電所敷地外の半径 10km 圏内には石油コンビナート等特別防災区域はない。また，発電所敷地外の半径 10km 圏内に存在する危険物貯蔵施設については，評価上必要とされる離隔距離が確保されているので火災時の輻射熱による影響を受けず，原子炉施設の安全機能を損なわない。

（ｂ）発電所敷地内に存在する危険物タンクの火災

発電所敷地内に存在する危険物タンク火災発生時の輻射熱による

原子炉施設の建屋等の表面温度が許容温度以下となる設計としている。

（ｃ）航空機墜落による火災

発電所敷地内への航空機墜落に対しては火災発生時の輻射熱による原子炉施設の建屋等の表面温度が許容温度以下となる設計としている。

（ｄ）二次的影響（ばい煙等）

発電所敷地内に存在する危険物タンクの火災及び航空機墜落による火災の二次的影響であるばい煙等の発生時に対して，外気を取り込む換気空調系統，外気を内部に取り込む系統・設備に分類し，影響評価を行うことで原子炉施設の安全機能を損なわない設計としている。

e．有毒ガス

女川原子力発電所周辺地域の幹線道路としては，発電所から北方向約５km のところを東西に通る一般国道 398 号線がある。

鉄道路線としては，石巻線（石巻～女川）があり，発電所の北西方向約７km に最寄りの女川駅がある。

女川原子力発電所周辺海域の船舶の航路としては，北方向約２km に航路があり女川港から江ノ島及び金華山までの高速船が運航している。

さらに，石油コンビナート等災害防止法第２条第２号の規定に基づく石油コンビナート等特別防災区域を指定する政令（昭和 51 年政令第 192 号）で指定されている女川原子力発電所周辺の石油コンビナート施設としては，発電所の西南西約 40km に位置する仙台市及び塩釜市の仙台塩釜港付近に，石油コンビナート等特別防災区域仙台地区及び塩釜地区の施設がある。

これらの幹線道路，鉄道路線，主要航路及び石油コンビナート施設は発電所から十分な離隔距離が確保されており，事故等により発生する有毒ガスの影響はない。

発電所敷地内に貯蔵している化学物質については，貯蔵施設からの漏えいによる有毒ガスの発生を想定した場合でも，換気空調設備等により中央制御室及び緊急時対策所の居住性が損なわれることはない。

また，外気取入ダンパが設置されている中央制御室及び緊急時対策所については，外気取入ダンパを閉止することにより安全機能を損なわない設計とする。

有毒ガスについては，外部火災で評価を実施する。

f. 船舶の衝突

女川原子力発電所の周辺海域の船舶としては，発電所沖合に女川～江ノ島・金華山の定期航路が運航されているが，航路は発電所の取水口から北方向に約２km 離れていること，また，周辺海域の流況調査の結果，発電所前面海域ではほぼ海岸線に沿った流れが卓越していること※から，漂流した場合でも取水口に侵入する可能性は低い。

漁船等の小型船舶については，港湾前面に防波堤があり目印となる灯台が設置されていること，防波堤の港口付近での漁業は行われていないことから，港湾内に侵入する可能性は極めて低い。

仮に港湾内に小型船舶が侵入した場合でも，取水口前面のカーテンウォールにより侵入は阻害される。

また，取水口は呑み口が十分広い（幅約 30m，高さ約 7.8m）こと及び小型船舶の喫水は約 2m であることを考慮しても，取水口敷高は O.P-6.3m であるため取水口の閉塞はない。なお，仮に燃料輸送船等の大型船舶の衝突を考慮しても，その喫水は約 4～5m であり，これによる取水口の閉塞もない。

女川原子力発電所から東方約 12km には，仙台～苫小牧間のフェリーが運航されているが，航路までの距離が離れていることから船舶の侵入はない。

なお，船舶から重油が流出するような場合については，取水路への重油の流入を防止し取水機能に影響を与えないよう，オイルフェンスを設置することとしている。

※女川原子力発電所（３号機）修正環境影響調査書（平成６年４月）

g. 電磁的障害

電磁的障害には，サージ・ノイズや電磁波の侵入があり，これらは低電圧の計測制御回路に対して影響を及ぼすおそれがある。

このため，計測制御回路を構成する制御盤及びケーブルは，鋼製筐体や金属シールド付ケーブルの適用により電磁波の侵入を防止する設計としている。

2.1.2 自然現象の組合せ

(1) 組合せを検討する自然現象

自然現象の組合せについては，発電所敷地で想定される自然現象（地震，津波を除く。）として抽出された 11 事象から，洪水及び地すべりを除いた 9 事象に，地震及び津波を加えた 11 事象で網羅的に組合せの検討を実施する。

組合せを検討する女川原子力発電所で想定される自然現象は以下に示すとおりである。

・風(台風)
・竜巻
・凍結
・降水
・積雪
・落雷
・火山の影響
・生物学的事象
・森林火災
・地震
・津波

組合せに当たっては，発生頻度が比較的高いと考えられる風(台風)，凍結，降水又は積雪について，その他の自然現象と組合せる前に同時に発生するものとして取り扱う。

ただし，凍結と降水，降水と積雪の組合せは同時に発生することは考えられない，又は与える影響が自然現象を重ね合わせることで個々の自然現象が与える影響より緩和されることを考慮し,11 事象のうち,風(台風)，凍結，降水，積雪以外の自然現象との組合せは，Ａ：風(台風)＋降水及びＢ：風(台風)＋凍結＋積雪の２つをあらかじめ想定する。

(2) 組合せの評価

第 2.1.2-1 表に示すＡ，Ｂ及び１から３６までの自然現象の組合せについて，プラントに及ぼす影響ごとに評価する。評価においては，施設に直接与える影響だけではなく，アクセス性や視認性といった間接的影響を加味した上で実施する。

評価に当たっては，組合せた事象によるプラントに及ぼす影響が，

① 個々の自然現象（関連して発生する可能性がある自然現象も含む）の設計に包絡されるか

② 原子炉施設に与える影響が自然現象を組合せることにより,個々の自然現象がそれに与える影響よりも小さくなるか

③ 同時に発生するとは考えられないか

という３つの観点から検討する。検討結果を「別添 1-1　4. 自然現象の組合せ」に示す。ただし，上記評価のうち,「第四条地震による損傷の防止」及び「第五条津波による損傷の防止」において考慮する事象は，それぞれの条項で考慮する。

第 2.1.2-1 表　自然現象の組合せ

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
		※１	※２	竜巻	落雷	火山の影響	生物学的事象	森林火災	地震	津波
A	※１									
B	※２	1								
C	竜巻	2	9							
D	落雷	3	１０	１６						
E	火山の影響	4	１１	１７	２２					
F	生物学的事象	5	１２	１８	２３	２７				
G	森林火災	6	１３	１９	２４	２８	３１			
H	地震	7	１４	２０	２５	２９	３２	３４		
I	津波	8	１５	２１	２６	３０	３３	３５	３６	

※１：風(台風)＋降水

※２：風(台風)＋凍結＋積雪

(3) 組み合わせる自然現象に対する設計方針

2.1.2 (2) の①から③のいずれかに該当する自然現象の組み合わせがもたらす環境条件に対し，安全施設の安全機能が損なわれないことを確認した。

上記の結果,荷重について評価が必要とされた地震,津波,風(台風),積雪及び火山の影響の組み合わせに対しては，安全施設の安全機能を損なわない設計とする。その他の組み合わせに対しては，安全施設の安全機能が損なわれないことを確認した。

ただし,「第四条 地震による損傷の防止」又は「第五条 津波による損傷の防止」の条項において，地震又は津波と組み合わせる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作用する衝撃は，風

又は積雪による荷重を考慮する。組み合わせに当たっては，地震又は津波の荷重の大きさ，最大荷重の継続時間，発生頻度の関係を踏まえた荷重とし，施設の構造等を考慮する。

具体的には，風荷重については，屋外の直接風を受ける場所に設置されている施設のうち，風荷重の影響が地震荷重又は津波荷重に対して大きい構造，形状及び仕様の施設において，組み合わせを考慮する。積雪荷重については，積雪による受圧面積が小さい施設又は積雪荷重の影響が常時作用している荷重に対して小さい施設を除き，組み合わせを考慮する。

荷重の影響モードをもつ自然現象の組合せについては，主荷重同士については津波と地震，主荷重と従荷重の組合せについては，地震と風（台風）と積雪，津波と風（台風）と積雪，火山と風（台風）と積雪の組合せを設備の構造等を踏まえて，適切に考慮する。

2.1.3 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対する重要安全施設への考慮

重要安全施設は，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。

なお，過去の記録及び現地調査の結果を参考にして，必要のある場合には，異種の自然現象を重畳させるものとする。

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は，設置許可基準規則第六条第１項において選定した自然現象に含まれる。また，重要安全施設を含む安全施設は，設置許可基準規則第六条第１項において選定した自然現象又はその組合せにより，安全機能を損なわない設計としている。安全機能が損なわれなければ設計基準事故に至らないため，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又はその組合せと設計基準事故に因果関係はない。

従って，因果関係の観点からは，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を組み合わせる必要はなく，重要安全施設は，個々の事象に対して，安全機能を損なわない設計とする。

2.2 竜巻

2.2.1 竜巻に対する防護に関して，設計上対処すべき施設を抽出するための方針

(1) 竜巻から防護する施設の抽出

竜巻から防護する施設（以下，「竜巻防護施設」という。）としては，安全施設が竜巻の影響を受ける場合においても，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（以下，「安全重要度分類指針」という。）」で規定されているクラス１，クラス２及びクラス３に該当する構築物，系統及び機器とする。

竜巻から防護する施設のうちクラス１，クラス２に該当する構築物，系統及び機器を「竜巻防護施設」として竜巻による影響を評価し設計する。また，竜巻防護施設を内包する施設についても同様に竜巻による影響を評価し設計する。クラス３に属する施設は損傷する場合を考慮して，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に修復すること等の対応が可能な設計とすることにより，安全機能を維持する。

竜巻影響評価の対象施設としては，「(2-1)評価対象施設」，「(2-2)竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設」及び「(2-3)竜巻防護施設の外殻となる施設」に示す。

(2) 竜巻影響評価が必要となる施設の選定

(2-1)評価対象施設

竜巻防護施設（安全重要度分類指針に基づくクラス１，クラス２に該当する構築物，系統及び機器）とし，その中から，屋外設備，外気と繋がる設備及び外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備に分類し，抽出する。クラス３の設備については竜巻及びその随伴事象に対して機能を維持する，又は，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，必要によりプラントを停止し安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な設計とすることにより，安全機能を維持する。

また，外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備については，建屋，構築物の構造健全性の確認結果に基づいて抽出する。なお，竜巻防護施設の外殻となる施設についても抽出する。

評価対象施設の抽出フローを「別添 2-1　添付資料 1.2」に示す。抽出結果を以下に示す。

また，上記の抽出に加え，「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設備を抽出し，追加で評価対象施設に反映する施設がないことを確認した。

耐震Ｓクラス設備等のうち評価対象施設の抽出フロー及び抽出結果を「別添 2-1 添付資料 1.3」に示す。

（屋外設備）
・原子炉補機冷却海水ポンプ，電動機（配管等を含む）
・高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ，電動機（配管等を含む）
・復水貯蔵タンク
・非常用ガス処理系（屋外露出部）
・排気筒
（外気と繋がる設備）
・中央制御室換気空調系
・原子炉棟換気空調系
・計測制御電源室換気空調系
・原子炉補機室空調系
・軽油タンク
（外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備）
・なし

(2-2) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設としては，発電所構内の構築物，系統及び機器（安全重要度クラス１，２，３及びノンクラス）の中から，以下の a.，b. 及び c. に示す，倒壊により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある施設，気圧差等による損傷により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある屋外の竜巻防護施設の付属設備，当該施設の破損等により竜巻防護施設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を抽出する。

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の抽出フロー及び抽出結果を「別添 2-1　添付資料 1.4」に示す。

a. 機械的影響の観点での抽出

発電所構内の構築物，系統及び機器のうち，倒壊により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある施設を抽出する。抽出結果は以下のとおり。

（竜巻防護施設の外殻となる施設に隣接している建物・構築物）
・２号補助ボイラー建屋
・１号タービン建屋
・１号廃棄物処理建屋
（倒壊により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある構築物）
・サイトバンカ建屋
・海水ポンプ室門型クレーン

b. 機能的影響の観点での抽出

発電所構内の構築物，系統及び機器のうち，気圧差等による損傷により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある屋外の竜巻防護施設の付属設備を抽出する。抽出結果は以下のとおり。

（屋外にある竜巻防護施設の付属設備）

・非常用ディーゼル発電設備

（排気消音器，機関ミスト配管，潤滑油サンプタンクミスト配管，燃料デイタンクミスト配管，燃料油ドレンタンクミスト配管）

・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備

（排気消音器，機関ミスト配管，潤滑油補給タンクミスト配管，燃料デイタンクミスト配管，燃料油ドレンタンクミスト配管）

・軽油タンク

（軽油タンクベント配管）

c. 二次的影響の観点での抽出

発電所構内の構築物，系統及び機器のうち，二次的影響の観点から，竜巻随伴事象の影響により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある施設として，以下を抽出した。

・溢水により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性のある設備（屋外水タンク等）
・火災発生により竜巻防護施設の機能を喪失させる可能性がある設備（軽油タンク，変圧器等）
・外部電源

(2-3) 竜巻防護施設の外殻となる施設

竜巻防護施設の外殻となる施設（竜巻防護施設を内包する建物・構築物等）を以下のとおり抽出する。

（評価対象施設）

・２号原子炉建屋（原子炉圧力容器他を内包する建屋）
・１号制御建屋，２号制御建屋（中央制御室他を内包する建屋）
・２号タービン建屋（活性炭式希ガスホールドアップ装置他を内包する建屋）
・２号地下軽油タンクピット（軽油タンクを内包する構築物）
・２号海水ポンプ室竜巻防護対策設備（原子炉補機冷却海水ポンプ等）

なお，海水ポンプ室に設置する竜巻防護対策設備は，竜巻防護施設の外殻となり得るが，竜巻防護対策として竜巻における評価を実施する。

2.2.2 発生を想定する竜巻の設定

2.2.2.1 竜巻検討地域の設定

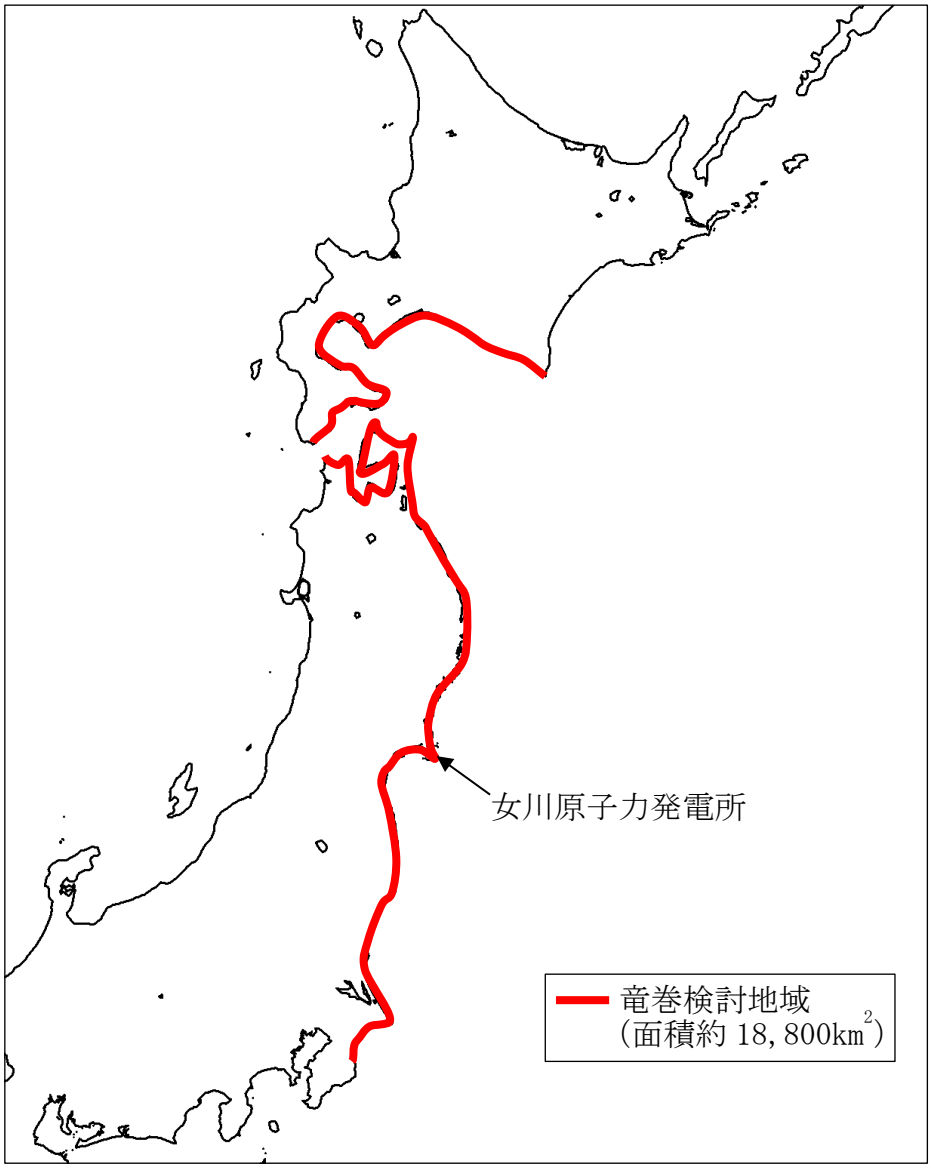
女川原子力発電所に対する竜巻検討地域について，発電所が立地する地域と気象条件の類似性の観点で検討を行い，第 2.2.2.1-1 図に示すとおり北海道襟裳岬から千葉県九十九里町にかけての海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲を竜巻検討地域に設定した（面積約 18,800km^2）。

竜巻検討地域は，気候区分により，日本海側と太平洋側では気候特性が異なる地域に整理されることを確認するとともに，女川原子力発電所が立地する気候区分（区分Ⅳ3）を確認した。

次に，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，「総観場の分析に基づく地域特性の確認」を実施した。

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（大きな竜巻の発生に対する大気場の必要条件）を把握する観点から，「突風関連指数に基づく地域特性の確認」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。

これらの確認，分析結果を踏まえ，竜巻検討地域を設定した。



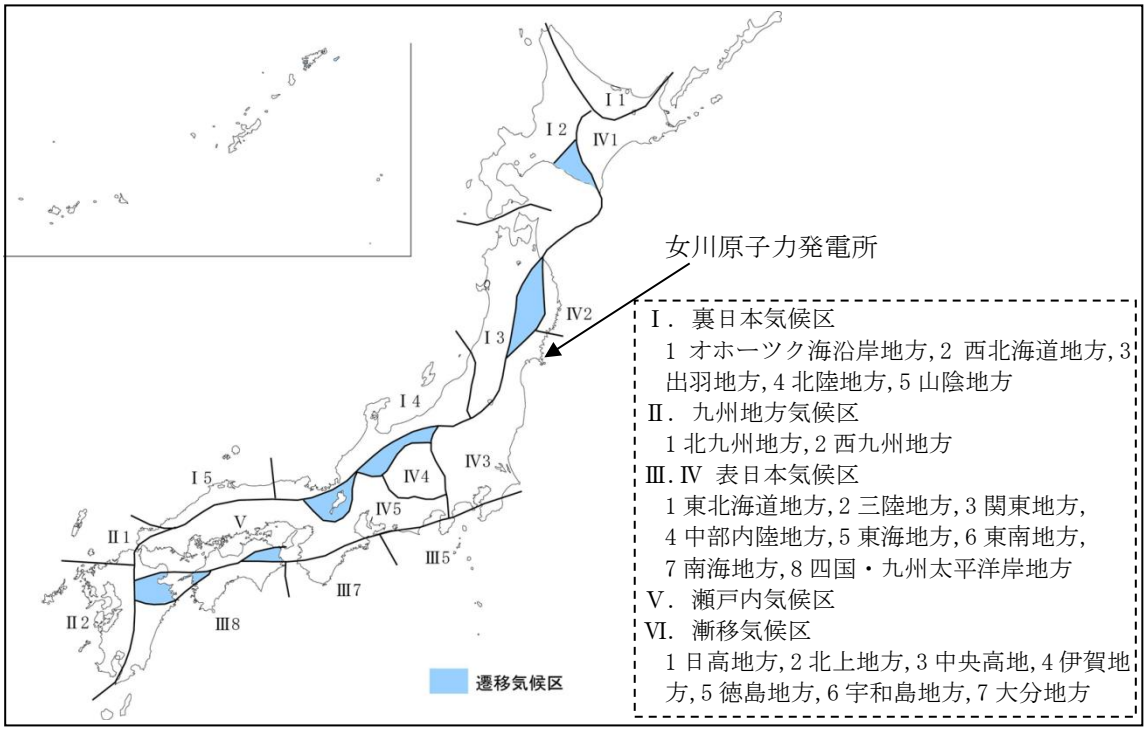
第 2.2.2.1-1 図　竜巻検討地域

a.　気候区分による確認

女川原子力発電所が立地している宮城県の牡鹿半島は，第 2.2.2.1-2 図に示す日本の気候区分において，区分Ⅳ3 に属している。

区分Ⅳ3 の沿岸部は，おおよそ宮城県から千葉県九十九里町までの広範囲な太平洋側をカバーする区域となっている。

また，「原子炉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，「NRA ガイド」という。）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，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。



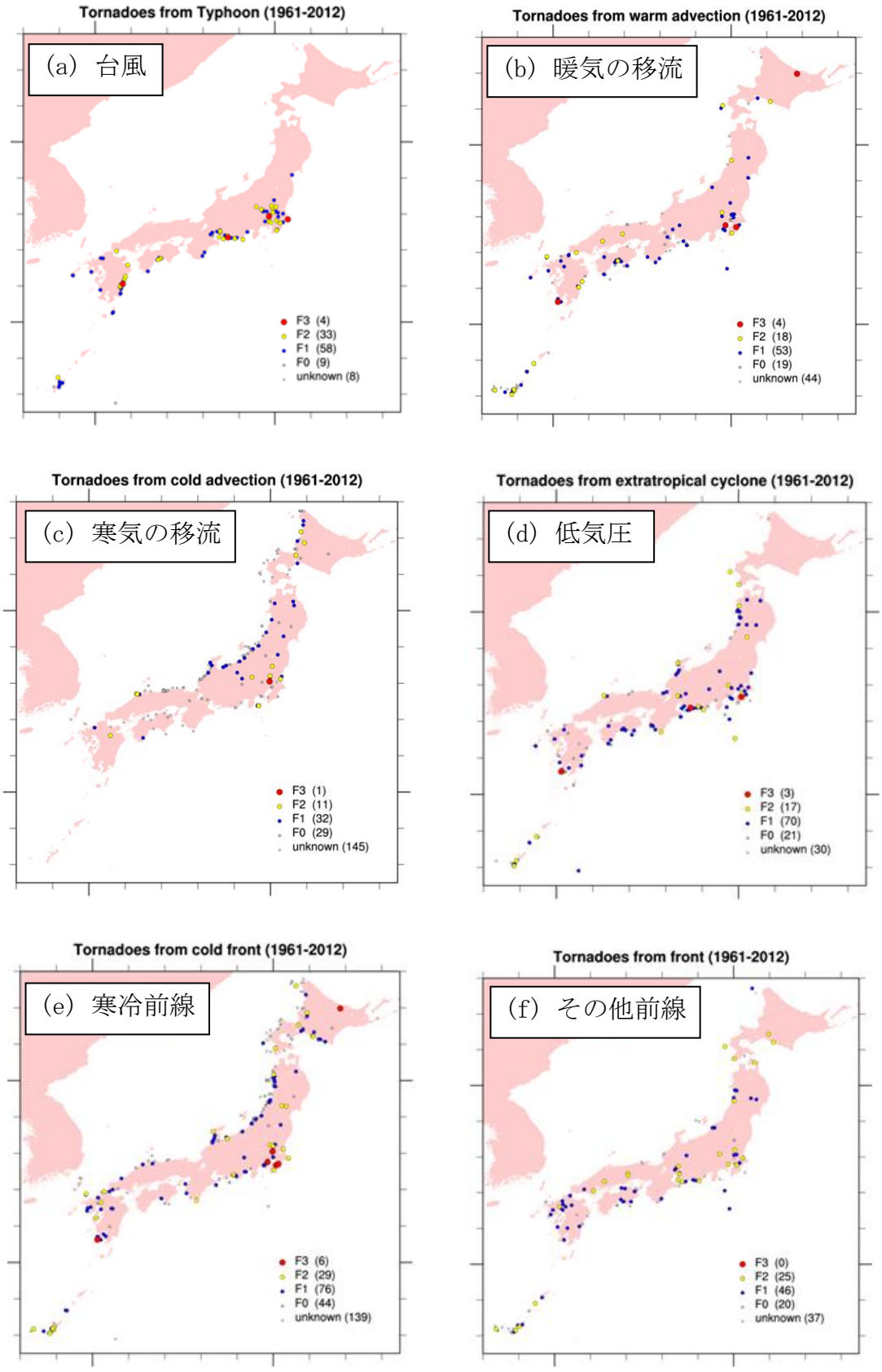
出展：関口武「日本の気候区分」東京教育大学地理学研究報告（1959）

第 2.2.2.1-2 図　日本の気候区分

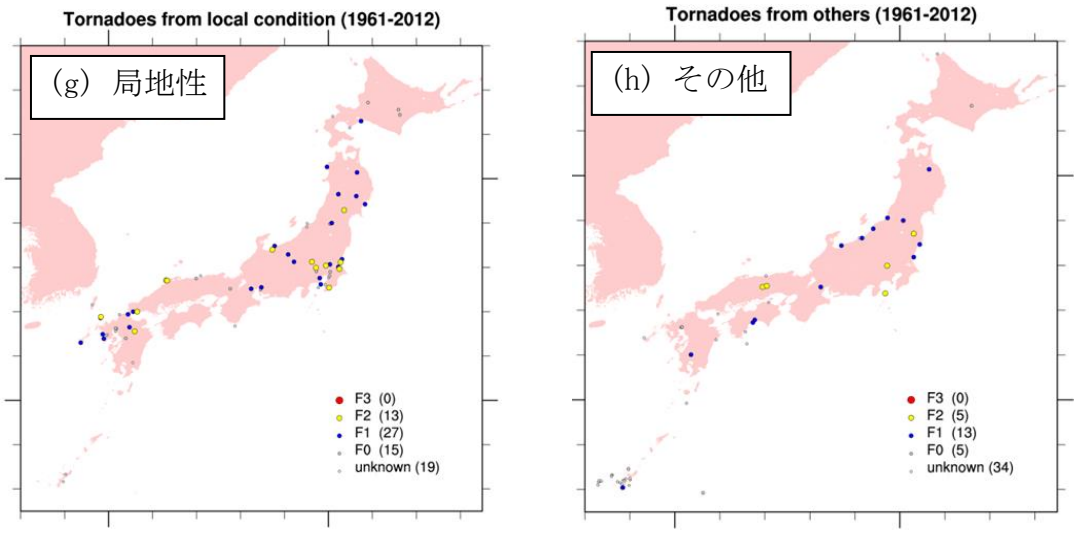
b. 総観場の分析に基づく地域特性の確認

竜巻を発生させる親雲の発生要因[(1)]を考慮して 8 種の総観場に再編し，発生分布の特徴を分析した。

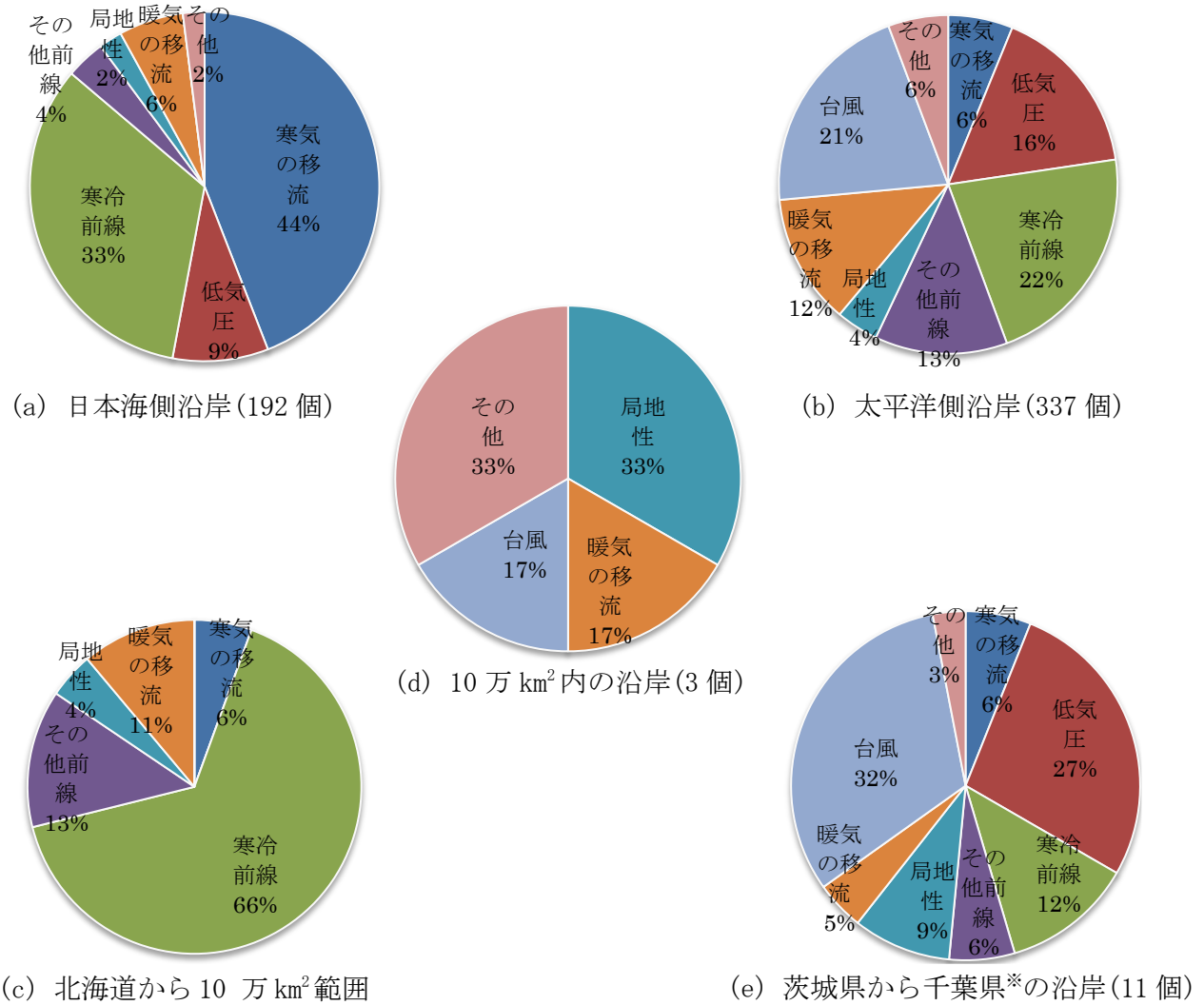
第 2.2.2.1-3 図の総観場ごとの竜巻発生地点の分布，第 2.2.2.1-4 図の地域ごとの竜巻発生総観場及び寄与割合の比較より，発電所の立地地域より北側のエリア（竜巻集中地域を含んだ北海道までの沿岸）は，総観場的に地域性が異なると明確に差別化することはできず，また，南側のエリア（千葉県までの沿岸）については，発生数は少ないものの総観場的に類似性のあるエリアとして考慮する必要があると判断した。



第 2.2.2.1-3 図　総観場ごとの F スケール別竜巻発生分布（1/2）



第 2.2.2.1-3 図　総観場ごとの F スケール別竜巻発生分布（2/2）



（　）は竜巻個数を示す

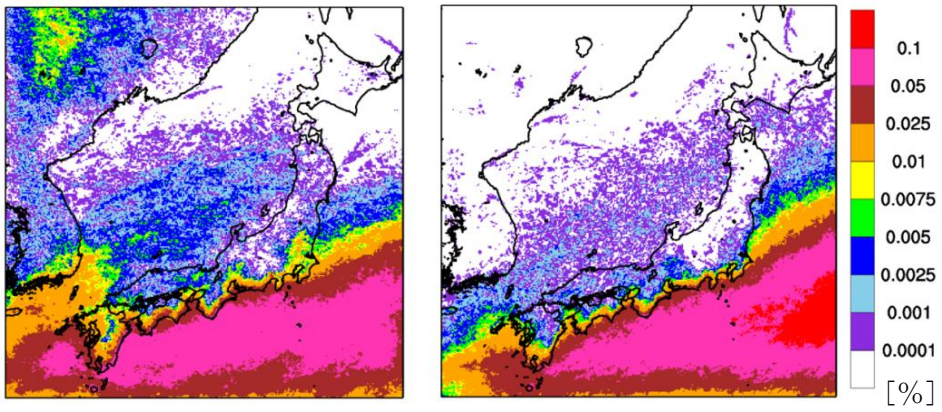
第 2.2.2.1-4 図　地域ごとの竜巻発生総観場及び寄与割合の比較

c. 突風関連指数に基づく地域特性の確認[3)～41)]

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，竜巻の発生の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。

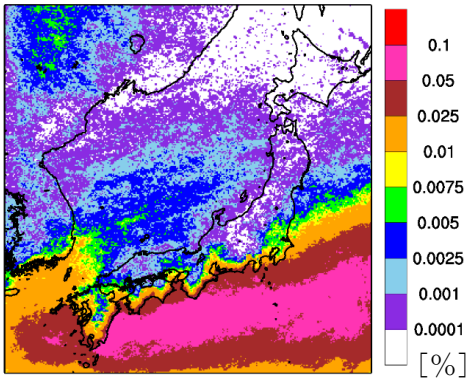
大きな被害をもたらす竜巻の親雲の多くはスーパーセルであり，スーパーセルが発生しやすい環境場として，大気下層の鉛直シア（異なる高度間での風向・風速差）と，強い上昇気流を発生させるきっかけとしての不安定な大気場が必要であることから，突風関連指数としては，竜巻の発生実態を解明する研究において国内外で広く利用され，大気の不安定度を表す指標である「CAPE」，鉛直シアに伴って発生する水平渦度が親雲に取り込まれる度合いを表す指標である「SReH」を採用し，両者の指標が同時に高くなる頻度について，地域的な特徴を確認する分析を実施した。（第 2.2.2.1-5 図）また，両者を掛け合わせた指標「EHI」による分析も実施し，SReH 及び CAPE の同時超過頻度分析との比較を実施した。（第 2.2.2.1-6 図）

これらの分析より，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から，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沿岸よりも 1～2 オーダー以下の頻度となり，地域特性の違いがあることを確認した。



暖候期 5～10 月　　寒候期 11 月～4 月

第 2.2.2.1-5 図　F3 規模以上を対象とした SReH，CAPE 同時超過頻度分布



第 2.2.2.1-6 図　EHI の超過頻度分布（EHI 閾値:3.3）

2.2.2.2 基準竜巻の設定

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。

a. 過去に発生した竜巻による最大風速（V_{B1}）

女川原子力発電所が立地する東北地方太平洋側は，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，他の気性観測データに比べ不確かさがあると考える。

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2.2.2.2-1表に日本で過去に発生したF3竜巻を示す。

第2.2.2.2-1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

b. 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）

以下(a)～(e)の検討の結果，海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km 全域（竜巻検討地域）及び竜巻検討地域を海岸線に沿って 1km 範囲ごとに短冊状に細分化した場合を対象に算定したハザード曲線より，年超過確率 10^{-5} における風速は 76.6m/s とした。

竜巻最大風速のハザード曲線は，気象庁「気象庁竜巻データベース[2]」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)に基づき算定する。具体的には，東京工芸大学委託成果[42]を参考とし，「別添 2-1　添付資料 2.4」に示すフローに従いハザード曲線を算定する。

ハザード曲線は，陸側及び海側それぞれ 5km 全域（竜巻検討地域）及びガイドに従い竜巻検討地域を 1km 範囲ごとに細分化した場合のハザード曲線を算定した。

(a) 竜巻影響エリアの設定

(a-1) 竜巻影響エリア

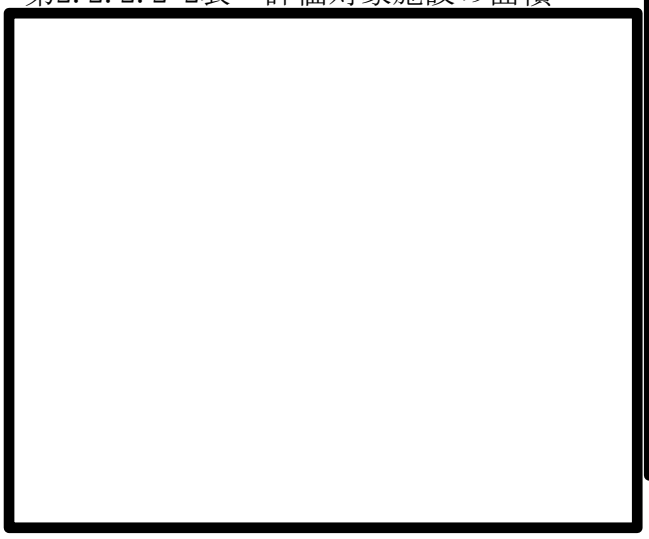
女川原子力発電所 2 号における評価対象施設の位置を第 2.2.2.2-1 図に，評価対象施設の面積を第 2.2.2.2-2 表に示す。評価対象施設の位置が分散しているため，保守的にそれぞれを包含する円形エリアを竜巻影響エリア（面積約 114,000m^2（直径 380m の円））として設定した（第 2.2.2.2-2 図）。竜巻影響エリアを円形とするため，ハザード推定結果に対する竜巻移動方向の依存性は生じない。

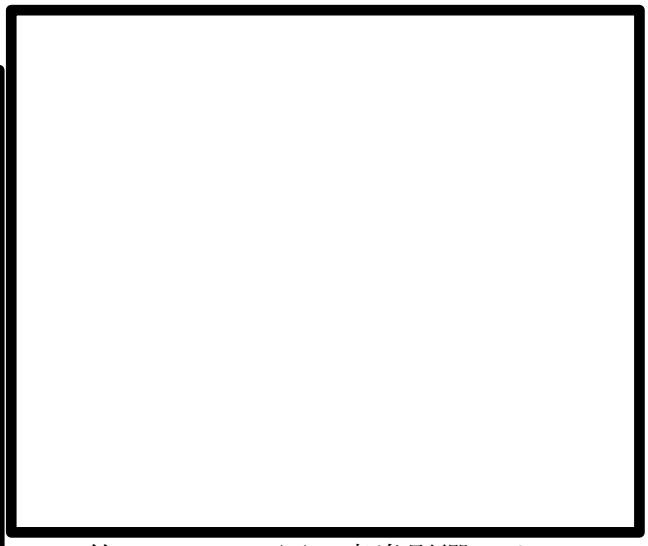
第 2.2.2.2-1 図　評価対象施設の位置

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

第2.2.2.2-2表　評価対象施設の面積





第 2.2.2.2-2 図　竜巻影響エリア

(a-2) 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 1961 年～2012 年 6 月までの 51.5 年間の竜巻の発生数，被害幅及び被害長さをもとに，確率密度分布については NRA ガイド及び NRA ガイドが参考としている東京工芸大学委託成果[42]を参照し，対数正規分布に従うものとする（第 2.2.2.2-3 図～第 2.2.2.2-8 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。

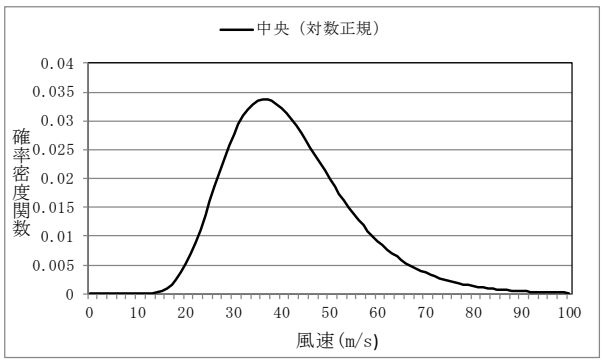
このように，前述の F スケール不明の竜巻の取扱い等も含め，データについては保守的な評価となる取扱いを行っている。

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た（第 2.2.2.2-3 表）。

第 2.2.2.2-3 表 竜巻風速，被害幅，被害長さの相関係数（単位無し）

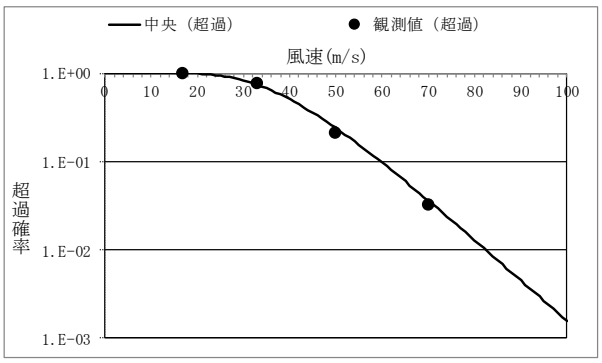
データ数	風速	被害幅	被害長さ
風速	1.000	-0.073*	0.590
被害幅	-0.073*	1.000	0.173
被害長さ	0.590	0.173	1.000

*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



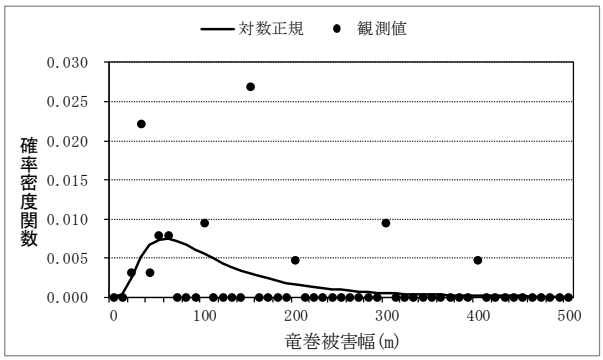
竜巻風速の確率密度分布図

第2.2.2.2-3図



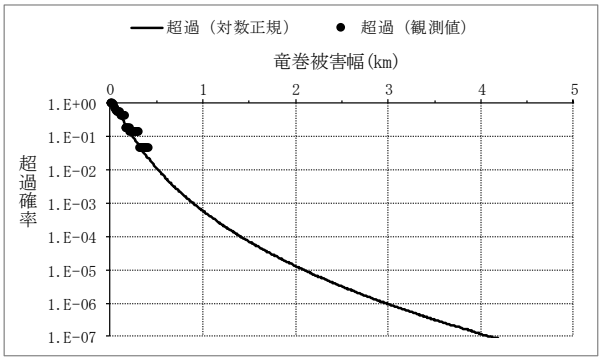
竜巻風速の年超過確率分布

第2.2.2.2-4図



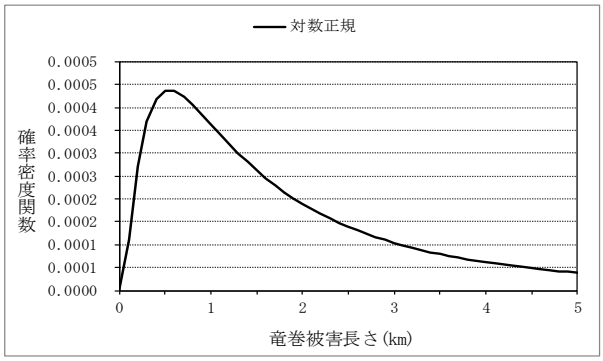
被害幅の確率密度分布図

第2.2.2.2-5図



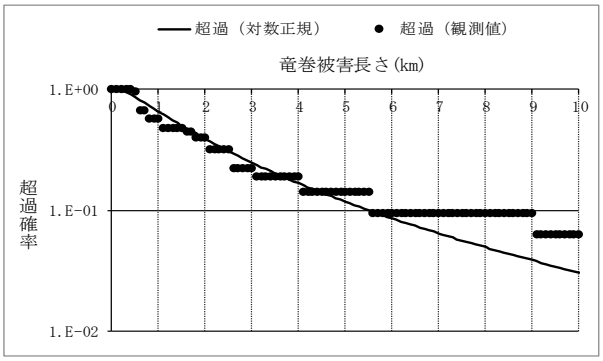
被害幅の年超過確率分布

第2.2.2.2-6図



被害長さの確率密度分布図

第2.2.2.2-7図



被害長さの年超過確率分布

第2.2.2.2-8図

(b) 竜巻の年発生数の確率分布の設定

(b-1) 竜巻の年発生数の確率分布

設定に当たっては，竜巻は気象事象の中でも極めて稀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，東京工芸大学委託成果[(42)]にならってポリヤ分布により設定した。なお，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，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。

(b-2) 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」をもとに，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。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①～④の基本的な考え方に基づいて整理を行う。

① 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。

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 被害が小さくて見過ごされやすい F0 及び F 不明竜巻は，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。

④ 51.5 年間の発生数を，①～③の観測期間との比率から F スケール毎に推計する。

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，被害があって初めてその 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 5km の範囲における海上竜巻の発生特性が，海岸線から内陸 5km 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 2.2.2.2-4 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。

第 2.2.2.2-4 表　竜巻発生数の解析結果

竜巻検討地域（沿岸 ±5 km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不 明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	23	2	13	7	1	3	3	29
	平均値（年）	0.45	0.04	0.25	0.14	0.02	0.06	0.06	0.56
	標準偏差（年）	0.67	0.20	0.56	0.35	0.14	0.31	0.31	0.81
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	14	2	10	2	0	1	3	18
	平均値（年）	0.65	0.09	0.47	0.09	0.00	0.05	0.14	0.84
	標準偏差（年）	0.80	0.30	0.75	0.30	0.00	0.22	0.47	0.97
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	3	1	2	0	0	0	2	5
	平均値（年）	0.55	0.18	0.36	0.00	0.00	0.00	0.36	0.91
	標準偏差（年）	0.58	0.43	0.55	0.00	0.00	0.00	0.86	0.80
疑似51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	42	10	24	7	1	0	19	61
	平均値（年）	0.80	0.18	0.47	0.14	0.02	0.00	0.36	1.17
	標準偏差（年）	0.93	0.43	0.75	0.35	0.14	0.00	0.86	1.27
疑似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	63	15	35	11	2	0	0	0
	平均値（年）	1.17	0.26	0.68	0.20	0.03	0.00	0.00	0.00
	標準偏差（年）	1.13	0.52	0.90	0.42	0.17	0.00	0.00	0.00

(c) 竜巻最大風速の確率密度分布の設定

(c-1)竜巻最大風速の確率密度分布

(a-2)に示すとおり，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もとに，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東京工芸大学委託成果[42]を参照し，対数正規分布に従うものとする。

(c-2) 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陸上発生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。

(c-3) 1km 範囲に細分化した評価

海側の竜巻発生位置は不明な場合が多く，セグメント長さが精度良く求められないため，海側 0-1km のセグメント長さの評価に陸側 0-1km 短冊の値などを代用する方法を用いて評価した。陸側 0-1km の長さで代用した場合，ハザードの風速は 76.6m/s となり，±5km ケースより 8m/s 程度増加したが，V_{B1}(=92m/s)を上回らないことを確認した。

(d) 竜巻最大風速のハザード曲線の算定

ハザード曲線は，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) [43] で示される。

$$P_T(N) = \frac{(\nu T)^N}{N!}(1+\beta\nu T)^{-N-1/\beta}\prod_{k=1}^{N-1}(1+\beta k) \qquad (1)$$

ここで,

N: 竜巻の年発生数

ν: 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。

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

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。

$$P_{V_0,T}(D) = 1 - \left[1 + \beta\nu R(V_0)T\right]^{-1/\beta} \qquad (3)$$

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 18,800km^2），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。

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

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 $R(V_0)$推定して，式(3)により $P_{V0,T}(D)$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)で示される。[44]

$$E[DA(V_0)] = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l\, f(V,w,l)\, dv\, dw\, dl$$

$$+ \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha) l\, f(V,l,\alpha)\, dV dl d\alpha + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V,w,\alpha)\, dV\, dw\, d\alpha$$

$$+ AB \int_{V_0}^\infty f(V)\, dV \qquad (5)$$

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。

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

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

$$H(\alpha) = B|\sin\alpha| + A|\cos\alpha|$$
$$G(\alpha) = A|\sin\alpha| + B|\cos\alpha| \qquad (7)$$

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 380m 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。

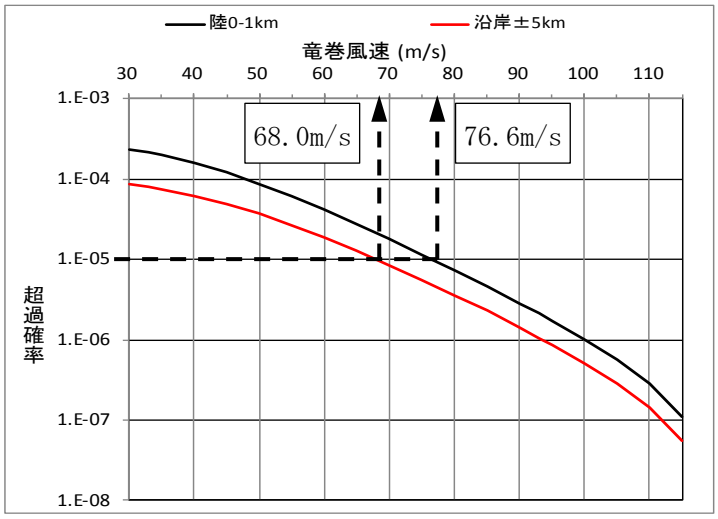
$$E[DA(V_0)] = \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W f(V_0, l) f(V, w, l, d) dV dw dl$$
$$+ D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty f(V, l, d) dV dl + D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W f(V_0) f(V, w, d) dV dw$$
$$+ \left(D_0^2 \pi / 4\right) \int_{V_0}^\infty f(V, d) dV \qquad (8)$$

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。

以上を参考にして，V_{min}=25m/s とした。この値は，F0（17～32m/s）のほぼ中央値に相当する。

(e) 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 5km 全域（竜巻検討地域）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(V_{B2})を求めると第 2.2.2.2-9 図に示すとおり 76.6m/s となった。



第 2.2.2.2-9 図　竜巻最大風速のハザード曲線

2.2.2.3 設計竜巻の設定

(1) 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。

a. 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，(a)地形起伏による影響，(b)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，女川原子力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。また，既往の研究に基づく地形起伏及び地表面粗度による影響に関する知見の詳細については，「別添 2-1 添付資料 2.5」に示す。

(a) 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。

(b) 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。

b. 女川原子力発電所周辺の地形

第 2.2.2.3-1 図に女川原子力発電所周辺の地形図，第 2.2.2.3-2 図に女川原子力発電所周辺の地表面粗度，第 2.2.2.3-3 図に女川原子力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，北東が太平洋に面し，三方を山及び森林に囲まれた狭隘な地形である。

c. 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 2.2.2.3-4 図に示す。第 2.2.2.3-4 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。

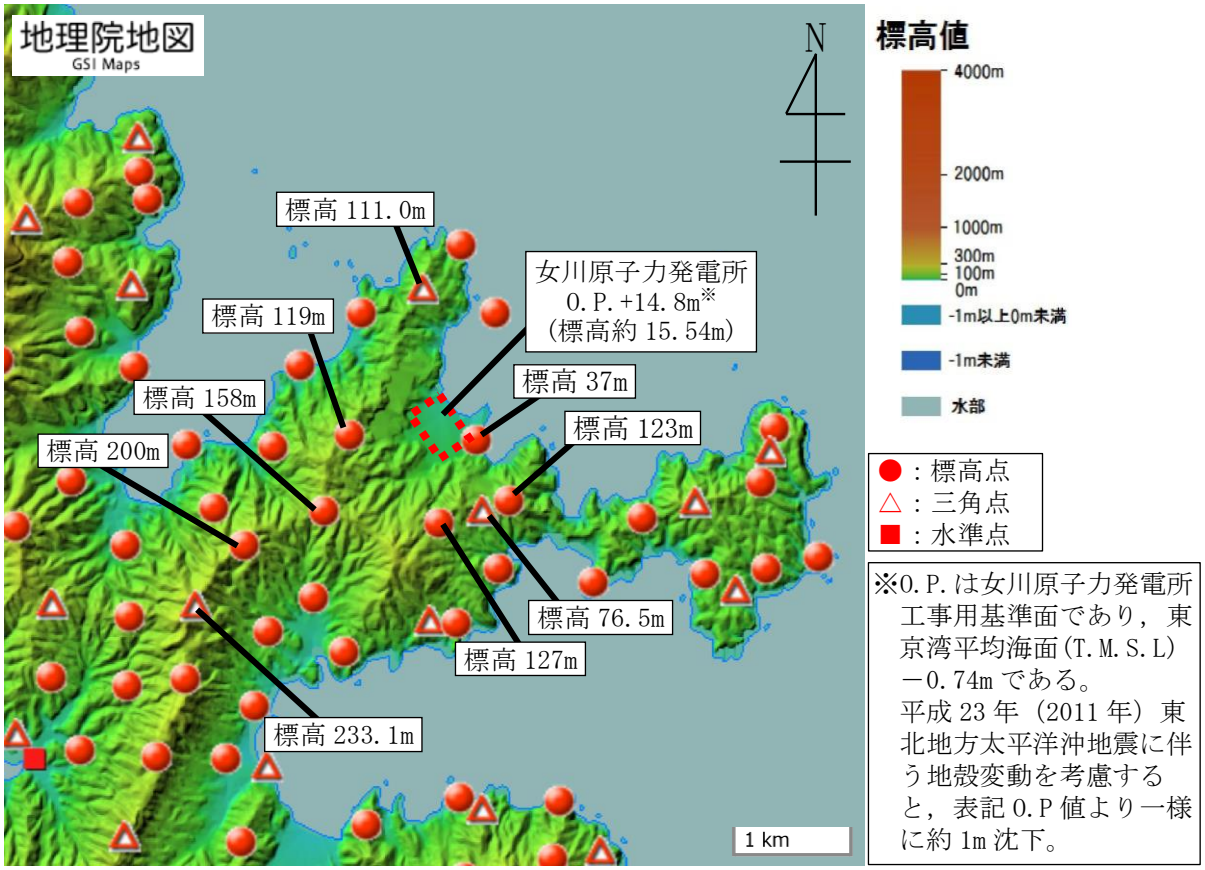
d. 竜巻風速の増幅に関する検討

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(O.P.29.0m)で大幅に減衰するため，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。

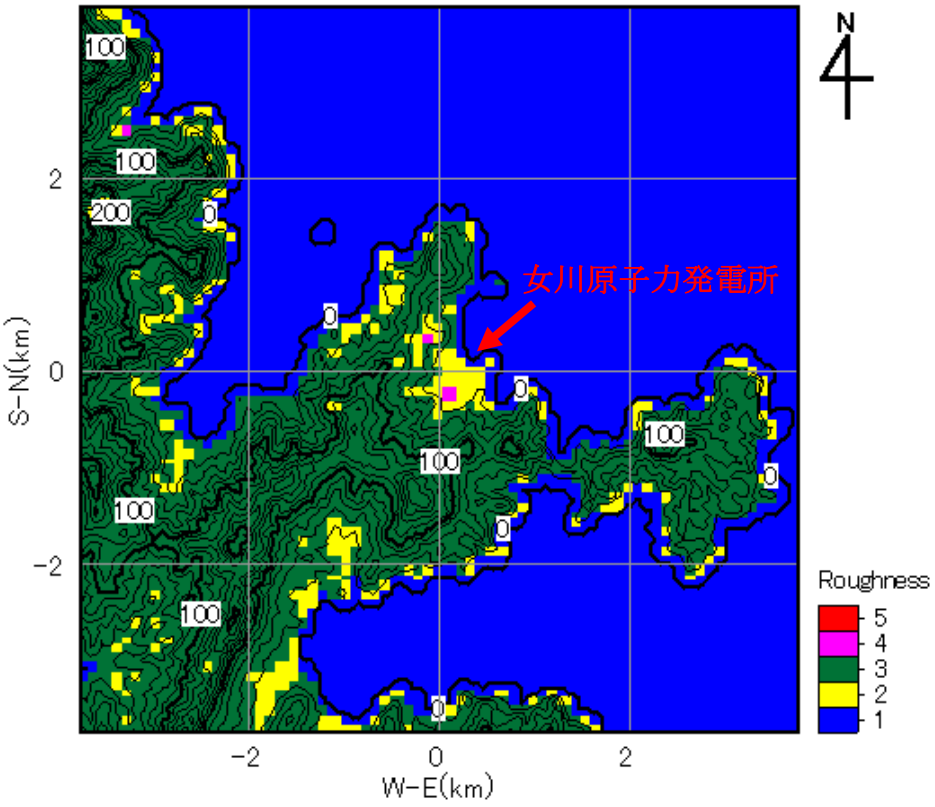
従って，女川原子力発電所において地形効果による竜巻の増幅の影響は受けないものと考えられる。

e. 設計竜巻の最大風速 V_D

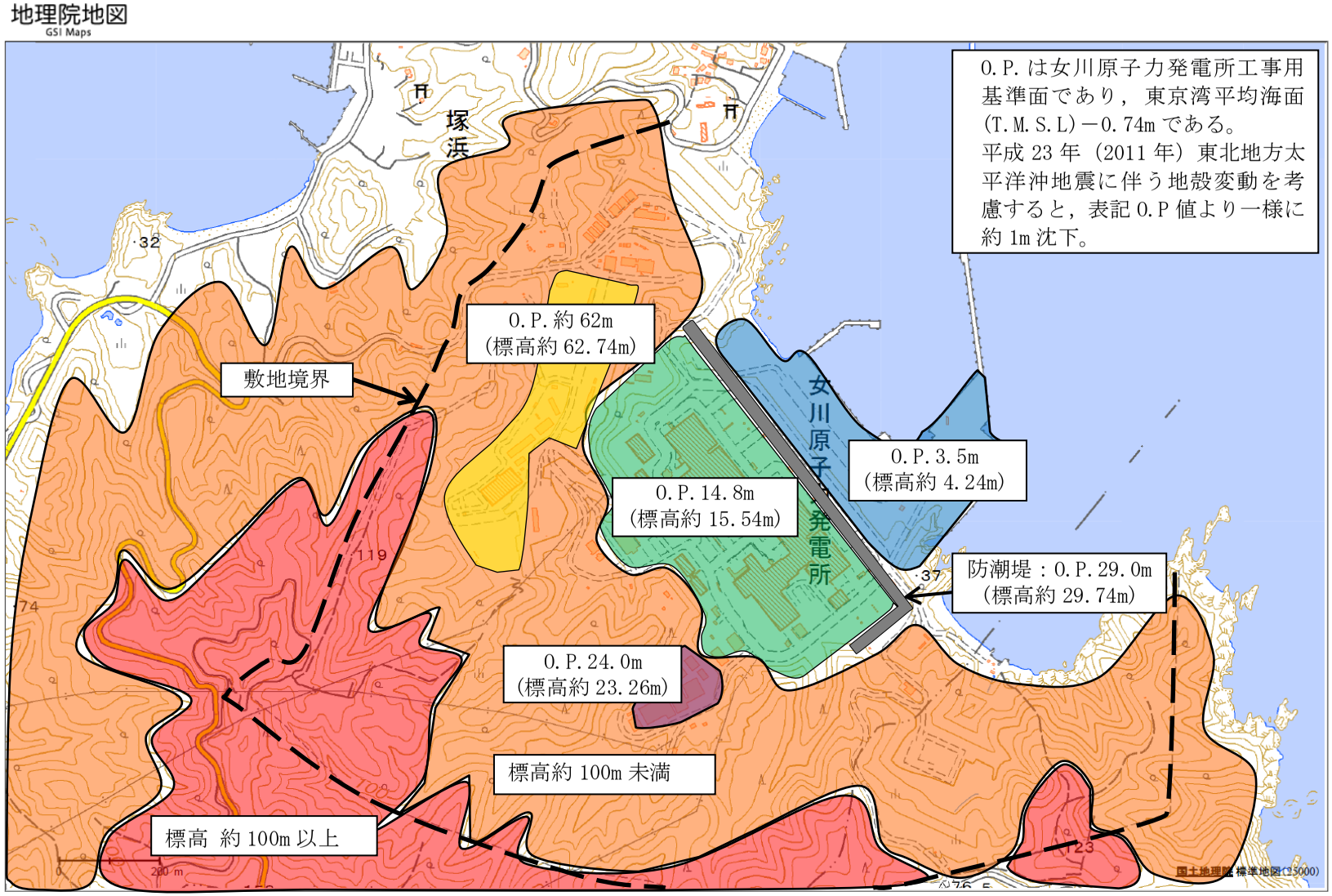
女川原子力発電所において地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要は無いと考えられるため，基準竜巻の割増しは不要と考えるが，将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を考慮し，基準竜巻の 92m/s を安全側に切り上げて，設計竜巻の最大風速(V_D)は 100m/s とする。



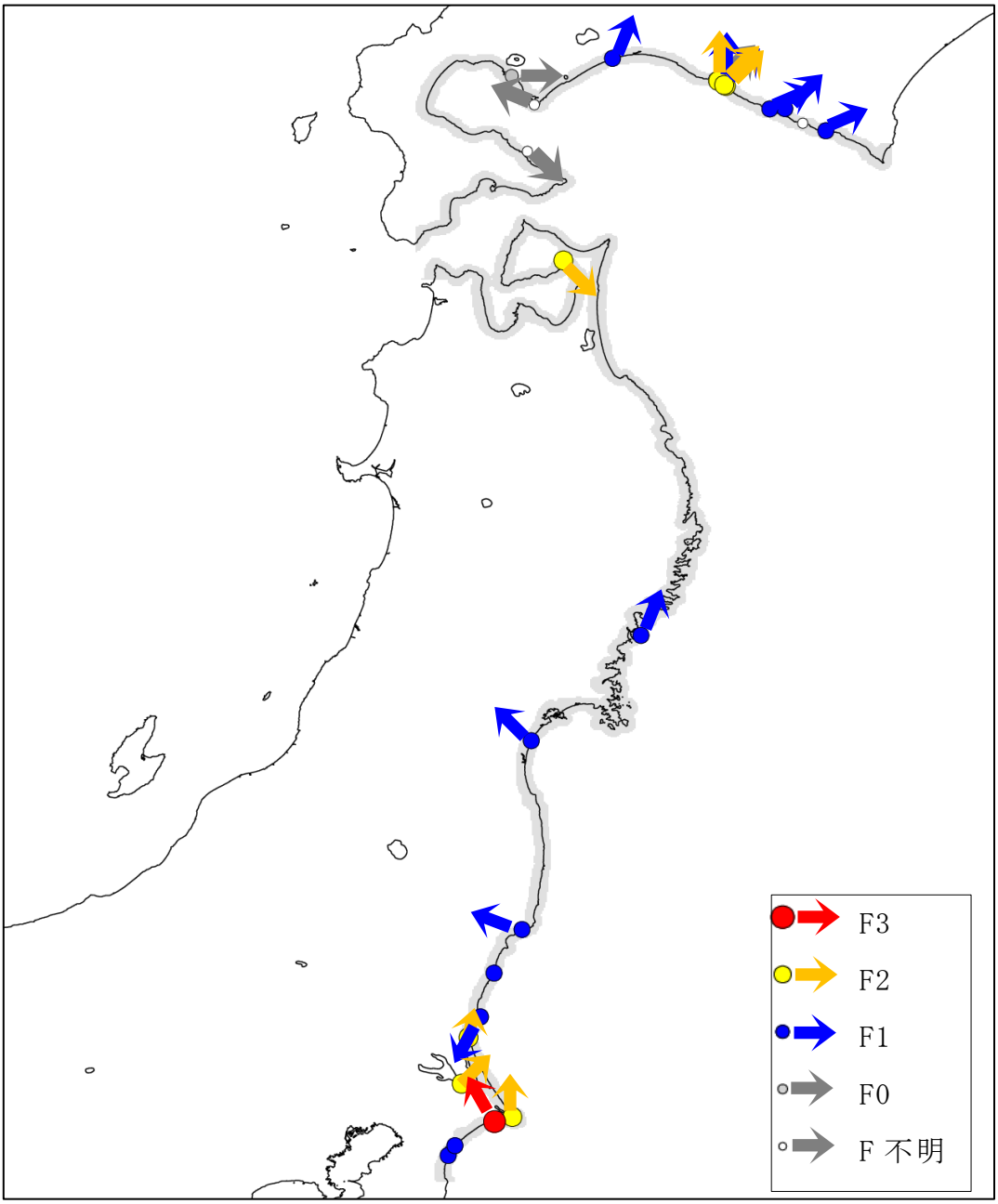
第 2.2.2.3-1 図　女川原子力発電所周辺の地形(国土地理院「電子国土 Web」より作成)



第 2.2.2.3-2 図　女川原子力発電所周辺の地表面粗度



第2.2.2.3-3図　女川原子力発電所の周辺の標高及び防潮堤高さ



第 2.2.2.3-4 図　竜巻移動方向

(2) 設計竜巻の特性値の設定

竜巻風速場としてフジタモデル[45]を選定した場合の設計竜巻の特性値については，第 2.2.2.3-1 表のとおり設定する。なお，最大気圧低下量と最大気圧低下率は，数値解析によって計算する。フジタモデルの適用の妥当性については，「別紙 2-2　竜巻影響評価におけるフジタモデルの適用について」，設計竜巻の特性値の設定の詳細については，「別添 2-1　添付資料 2.6」に示す。

a．設計竜巻の移動速度(V_T)

設計竜巻の移動速度(V_T)は，風速場モデルに依存しない日本の竜巻観測記録(気象庁データベース)に基づいた竜巻移動速度（平均値）と最大風速との関係[42]を参照して設定した以下の算定式を用いてV_DからV_Tを算定する。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D \tag{9}$$

b．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，米国NRCの基準類[29]を参考として，風速場モデルに依存しない以下の算定式を用いて算定する。

$$V_{Rm} = V_D - V_T \tag{10}$$

c．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，風速場モデルに依存しない以下の式を用いる。

$$R_m = 30(\mathrm{m}) \tag{11}$$

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

フジタモデルにおける設計竜巻の最大気圧低下量・最大気圧低下率については，速度分布が基地である場合，流れの連続式と運動量保存式から導出される以下の圧力ポアソン方程式を解くことにより，圧力を求める。

$$\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial^2 p}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2 p}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2 p}{\partial x_3^2}\right)=-\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}\frac{\partial}{\partial x_i}\left(U_j\frac{\partial U_i}{\partial x_j}-\nu\frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j \partial x_j}\right) \tag{12}$$

ここで，x_iは座標(x, y, z)を，U_i及びpは風速ベクトル及び圧力を現す。また，νは動粘性係数を，ρは空気密度を表す。なお，添え字i，jは１から３までの整数とする。

最大気圧変化率は空間微分値に移動速度を乗じる以下の式により求める。

$$\frac{\partial p}{\partial t}=V_{tr}\frac{\partial p}{\partial x} \tag{13}$$

第 2.2.2.3-1 表　設計竜巻の測定値

最大風速 V_D [m/s]	移動速度 V_T [m/s]	最大接線風速 V_{Rm} [m/s]	最大接線風速半径 Rm [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	76	53

2.2.3 設計荷重の設定

2.2.3.1 設計竜巻荷重

設計竜巻により評価対象施設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。

(1) 風圧力の設定

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，風圧力による荷重（W_W）を次式のとおり算出する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A \qquad (14)$$

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

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2 \qquad (15)$$

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ぜい弱と考えられる評価対象施設が存在する場合には，フジタ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した設計とする。

(2) 気圧差による圧力

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評価対象施設を内包する施設の建屋壁，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の内外の気圧差による圧力荷重が発生し，保守的に「閉じた施設」を想定し，気圧差による荷重（W_P）を最大気圧低下量（ΔP_{max}）を用いた次式のとおり算出する。

$$W_P = \Delta P_{max} \cdot A \qquad (16)$$

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

(3) 飛来物の衝撃荷重

a. 設計飛来物の設定

飛来物に係るウォークダウンの結果及びNRAガイドに示されている設計飛来物の設定例を参照し設定する。

ウォークダウンにて確認した発電所構内の常設物(マンホール蓋等)，仮設物（資機材等）及び二次飛来物（屋根等），また，それらの飛来物発生防止対策の可否，固定状況，過去の被害事例や代表性（運動エネルギ，貫通力）について検討した結果を，「別添 2-1 添付資料 3.3」に示す。

設計飛来物は，浮き上がりの有無，運動エネルギ，貫通力の大きさから，鋼製材を選定した。

また，原子炉補機冷却海水ポンプ等の防護対策として設置する竜巻防護ネットを通過する可能性があり，鋼製材にて包含できないことから，砂利を設計飛来物とする。

飛来物の防止対策については，ウォークダウンにより抽出した飛来物や持ち込まれる物品の寸法,質量及び形状から飛来の有無を判断し，運動エネルギ，貫通力を考慮して，衝突時に建屋等又は竜巻防護対策設備に与えるエネルギが設計飛来物によるものより大きく，竜巻防護施設を防護できない可能性があるものは，浮き上がりや横滑りの有無を考慮した上で，固縛，固定又は竜巻防護施設からの離隔対策を実施し，確実に飛来物とならない運用とする。

b. 設計飛来物の速度の設定

設計竜巻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，設計竜巻の最大風速 100m/s で，フジタモデルを適用した風速場の中での速度を算出した。また，設計飛来物の浮き上がり高さ及び飛散距離も同様に算出した。その結果を第 2.2.3.1-1 表に示す。

第 2.2.3.1-1 表 女川原子力発電所における設計飛来物

項　目		飛来物の種類	
		砂利	鋼製材
サイズ（m）		長さ×幅×奥行き 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2
質量（kg）		0.2	135
※計算結果	最大水平速度（m/s）	17	12
	最大鉛直速度（m/s）	0.8	0.9
	浮き上がり高さ（m）	0.1	0.2
	飛散距離（m）	11.6	6.5

※　設計竜巻風速 100m/s，フジタモデルの風速場，初期高さを 0m とした場合の計算結果

c. 設計飛来物の衝突方向，衝突範囲及び衝撃荷重の設定

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竜巻防護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。

また，第 2.2.3.1-1 表のとおり，設計飛来物の浮き上がり高さは，最大でも 0.1m と僅かであるが，設計飛来物は回転して飛散すること，米国 Regulatory Guide 1.76 では飛来物（自動車）が 9.1m（30feet）以下に影響を及ぼすこととしていることを踏まえ，設計飛来物は地上高 10m まで影響を及ぼすものとして評価する。

(4) 設計竜巻荷重の組み合わせ

評価対象施設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。

$$W_{T1} = W_P$$
$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M \qquad (17)$$

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

2.2.3.2 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は，以下のとおり設定する。

(1) 評価対象施設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。

(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[47]，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，雹及び降水である。これらの自然現象の組み合わ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ことから，設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として考慮する必要はない。

a. 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。

b. 雪

女川原子力発電所が立地する地域においては，冬季，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や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るため，雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

c. 雹

雹は積乱雲から降る直径 5mm 以上の氷の粒[48]であり，仮に直径 10cm 程度の大型の雹を想定した場合，その重量は約 0.5kg となる。10cm 程度の雹の終端速度は 59m/s[49]，運動エネルギは約 0.9kJ であり，設計飛来物の運動エネルギと比べ十分に小さく，雹の衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

d. 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

設計竜巻は原子炉冷却材喪失事故などの設計基準事故の起因とはならないため，設計竜巻と設計基準事故は独立事象となる。

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ことから，設計基準事故時荷重と設計竜巻荷重との組み合わせは考慮しない。

なお，竜巻防護施設等のうち設計基準事故時荷重が生じる屋外設備としては，原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ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，通常運転時の系統内圧力及び温度と変わらないため，設計基準事故により考慮すべき荷重はなく，竜巻と設計基準事故時荷重の組み合わせは考慮しない。

2.2.4 評価対象施設の設計方針

2.2.4.1 設計方針

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が維持され，評価対象設備以外の設備については，竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する，もしくは，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，安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な設計とすることにより，竜巻防護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・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する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
・日本工業規格
・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）
・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，貫通が発生する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。

・日本工業規格
・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) 屋外設備

設計荷重に対して，安全機能が維持される設計とし，必要に応じて防護対策を講じる方針とする。

なお，外殻となる施設等による防護機能が期待できる屋内設備は，建屋又は構築物による防護により，設計荷重に対して安全機能を損なわない方針とする。

a. 原子炉補機冷却海水ポンプ・電動機（配管等を含む）及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ・電動機（配管等を含む）

上記設備は，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，設備に常時作用する荷重，運転時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。

また，設計飛来物に対して竜巻防護ネット等の防護対策を行う。

b. 復水貯蔵タンク，非常用ガス処理系（屋外露出部）及び排気筒

上記設備は，風圧力による荷重，気圧差による荷重，地上高 10m 以下の範囲に対する設計飛来物による衝撃荷重，設備に常時作用する荷重，運転時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) 外気と繋がる設備

設計荷重に対して，安全機能が維持される設計とし，必要に応じて防護対策を講じる方針とする。

a. 中央制御室換気空調系，原子炉棟換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室空調系

上記設備は，原子炉建屋に内包されていることを考慮すると，風圧力による荷重は作用しない。上記設備の地上高 10m 以下の建屋開口部には設計飛来物による衝撃荷重を考慮し,安全機能を損なわない設計とする。

また，気圧差による荷重に対しても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. 軽油タンク

軽油タンクは，地下化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。また，気圧差による荷重に対して，軽油タンク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) 外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備

外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備はない。

なお，使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）は原子炉建屋３階に設置しており，地上 10m より高いことを考慮すると，設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。

(5) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設

設計荷重に対する当該施設の健全性評価を行い，必要に応じ防護対策を講じる方針とする。

a. ２号補助ボイラー建屋，１号タービン建屋，１号廃棄物処理建屋，サイトバンカ建屋及び海水ポンプ室門型クレーン

上記建屋及びクレーンについては，風圧力による荷重，気圧差による荷重，地上高 10m 以下の範囲に対する設計飛来物による衝撃荷重に対して，倒壊により竜巻防護施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

b. 非常用ディーゼル発電設備（排気消音器，機関ミスト配管，潤滑油サンプタンクミスト配管，燃料デイタンクミスト配管，燃料油ドレンタンクミスト配管），高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（排気消音器，機関ミスト配管，潤滑油補給タンクミスト配管，燃料デイタンクミスト配管，燃料油ドレンタンクミスト配管）及び軽油タンクベント配管

上記設備は，風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して，構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とし，地上高 10m 以下の範囲に対する設計飛来物の衝突を考慮して，修復が可能な設計とすることによりディーゼル発電設備及び軽油タンクに波及的影響を及ぼさない設計とする。

c. 竜巻随伴事象の影響により竜巻防護施設の機能喪失させる可能性がある施設（溢水により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性のある設備，火災発生により竜巻防護施設の機能を喪失させる可能性がある設備，外部電源）

竜巻随伴事象の影響により竜巻防護施設の機能喪失させる可能性がある施設の設計方針は，2.2.5 に記載する。

(6) 竜巻防護施設の外殻となりえる施設（竜巻防護施設を内包する建屋・構築物等）

２号原子炉建屋，１号制御建屋，２号制御建屋，２号タービン建屋，２号地下軽油タンクピットは，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び地上高 10m 以下の範囲に対する設計飛来物の衝撃荷重に対して，構造骨組の構造健全性が維持されるとともに，屋根，壁，開口部（扉類）の破損により当該建屋内の竜巻防護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竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

2.2.5 竜巻随伴事象に対する評価対象施設の設計方針

(1) 竜巻に伴い発生が想定される事象の抽出

竜巻随伴事象は,過去の竜巻被害状況及び発電所のプラント配置から,想定される事象として，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，竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。(別添 2-1 添付資料 3.4)

(2) 火災

竜巻随伴事象として，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，屋外の危険物タンク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，竜巻防護施設を設置している区画の開口部が，地上高 10mより高い場合には設計飛来物は到達しない,又は地上高 10mより低い開口部は設計飛来物による衝撃荷重を考慮しても安全機能を損なわない設計とする。

建屋外については，屋外にある軽油タンク，変圧器等からの火災がある。竜巻防護施設は外部火災防護施設に包含されていることから，火災源と外部火災防護施設の位置関係を踏まえて火災の影響を評価した上で,外部火災防護施設が安全機能を損なわない設計とすることを「2.4.3 外部火災に対する設計方針」に記載する。

以上より，竜巻による火災により竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

(3) 溢水

竜巻随伴事象として，竜巻による飛来物が屋外水タンク等の溢水源に

衝突する場合，溢水が想定される。

建屋内については，竜巻防護施設を設置している区画の開口部が，地上高 10m より高い場合には設計飛来物は到達しない，又は地上高 10m より低い開口部は設計飛来物による衝撃荷重を考慮し，安全機能を損なわない設計とする。

建屋外については，内部溢水影響評価において，地震時の屋外水タンク等の破損を想定し，原子炉建屋，制御建屋等の水密扉や建屋貫通部の止水処置等により，地震起因の溢水が竜巻防護施設に影響を及ぼさないことを確認している。竜巻による飛来物で屋外タンク等が損傷して発生する溢水は，上記に包絡されることから，竜巻防護施設の安全機能維持に影響を与えることはない。

以上より，竜巻による溢水により竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

(4) 外部電源喪失

設計竜巻，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外部電源喪失が発生する場合については，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竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

2.2.6 参考文献

(1) 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.

(2) 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)

(3) Bluestein, H. B., 2013: Severe Convective Storms and Tornadoes. Springer,456 pp.

(4) Brady, R. H., and E. J. Szoke, 1989: A case study of nonmesocyclone tornado development in northeast Colorado: similarities to waterspout formation. Mon.Wea. Rev., 843-856.

(5) Browning, K. A., 1964: Airflow and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the winds. J. Atmos. Res., 21,634-639.

(6) Bunkers, M. J., B. A. Klimowski, J. W. Zeitler, R. L. Thompson, and M. L.Weisman, 2000: Predicting supercell motion using a new hodograph technique.Wea. Forecasting, 15, 61-79.

(7) Burgess, D. W., M. A. Magsig, J. Wurman, D. C. Doswell, and Y. Richardson,2002: Radar observations of the 3 May 1999 Oklahoma City tornado. Wea.Forecasting, 17, 456-471.
(8) Chuda, T., and H. Niino, 2005: Climatology of environmental parameters for mesoscale convections in Japan. J. Meteor. Soc. Japan, 83, 391-408.
(9) Davies, J. M., 1993: Hourly helicity, instability, and EHI in forecasting supercell tornadoes. 17th Conf. on Severe Local Storms, St. Louis, MO, Amer. Meteor. Soc., 107-111.
(10) Davis-Jones, R., D. Burgess, and M. Foster, 1990: Test of helicity as a tornado forecast parameter. 16th Conf. on Severe Local Storms, Kananaskis Park, AB., Canada, Amer. Meteor. Soc., 588-592.
(11) Doswell III, C. A., and J. S. Evans, 2003: Proximity sounding analysis for derechos and supercells: an assessment of similarities and differences. Atmos. Res., 67-68, 117-133.
(12) Dotzek, N., M. V. Kurgansky, J. Grieser, B. Feuerstein, and P. Nevir, 2005:Observational evidence for exponential tornado intensity distributions over specific kinetic energy. Geophys. Res. Letters, 32, L24813,doi:10.1029/2005GL024583.
(13) Fujita, T. T., 1981: Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scale. J. Atmos. Sci., 38, 1511-1534.
(14) Klemp, J. B., and R. B. Wilhelmson, 1978: Simulations of right- and left-moving storms produced through storm splitting. J. Atmos. Sci., 35,1097-1110.
(15) Lee, B. D., and R. B. Wilhelmson, 1997: The numerical simulation of nonsupercell tornadogenesis. Part II: Evolution of a family of tornadoes along a weak outflow boundary. J. Atmos. Sci., 54, 2387-2415.
(16) Mashiko, W., H. Niino, and T. Kato, 2009: Numerical simulation of tornadogenesis in an outer-rainband minisupercell of typhoon Shanshan on 17 September 2006. Mon. Wea. Rev., 137, 4238-4260.
(17) Moncrieff, M., and M. J. Miller, 1976: The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 102, 373-394.
(18) Noda, A. T., and H. Niino, 2010: A numerical investigation of a supercell tornado: Genesis and vorticity budget. J. Meteor. Soc. Japan, 88, 135-159.
(19) Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H.

Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira, 2007: The JRA-25 Reanalysis. J. Meteor. Soc. Japan, 85, 369-432.

(20) Orlanski, I., 1975: A rational subdivision of scales for atmospheric processes. Bull. Amer. Meteorol. Soc., 56 , 527-530.

(21) Ramsdell, J. V. Jr., and J. P. Rishel, 2007: Tornado climatology of the contiguous United States. NUREG/CR-4461, Revision 2.

(22) Rasmussen, E. N.: 2003: Refined supercell and tornado forecast parameters. Wea. Forecasting, 18, 530-535.

(23) Rasmussen, E. N., and D. Blanchard, 1998: A baseline climatology of sounding-derived supercell and tornado forecast parameters. Wea. Forecasting, 13, 1148-1164.

(24) Roberts, R. D., and J. W. Wilson, 1995: The genesis of three nonsupercell tornadoes observed with dual-Doppler radar. Mon. Wea. Rev., 123, 3408-3436.

(25) Rotunno, R., and J. B. Klemp, 1985: On the rotation and propagation of simulated supercell storms. J. Atmos. Sci., 42, 271-292.

(26) Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers : A description of the advanced research WRF version 2. NCAR Tech. Note, NCAR/TN-468+STR, 88 pp., 2005.

(27) Suzuki, O, H. Niino, H. Ohno, and H. Nirasawa, 2000: Tornado-producing mini supercells associated with Typhoon 9019. Mon. Wea. Rev., 128, 1868-1882.

(28) Trapp, R. J., 2013: Mesoscale-Convective Processes in the Atmosphere. Cambridge, 346 pp.

(29) U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, 2007: Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1.

(30)Wakimoto, R. M., and J. W. Wilson, 1989: Non-supercell tornadoes. Mon. Wea. Rev., 117, 1113-1140.

(31) 飯塚義浩, 加治屋秋実, 2011: 数値予報資料から求めた竜巻に関連する大気環境指数の統計的検証. 天気, 58, 19-30.

(32) 大野久雄, 2001: 雷雨とメソ気象. 東京堂出版, 309 pp.

(33) 原子力規制委員会, 2013: 原子力発電所の竜巻評価ガイドの制定について.原管研発第 13061911 号, 2013 年 6 月 19 日制定 (http://www.nsr.go.jp/nra/kettei/data/20130628_jitsuyoutatsumaki.pdf).

(34) 加藤輝之，2008a：竜巻発生の環境場に関する研究（Ⅰ）－竜巻をもたらす発生環境に関する統計的研究－，平成 19 年度科学技術振興調整費 重要政策課題への機動的対応の推進，6-12.
(35) 加藤輝之，2008b：竜巻発生の環境場に関する研究（Ⅲ）－スーパーセルを伴う竜巻の発生機構の研究－，平成 19 年度科学技術振興調整費 重要政策課題への機動的対応の推進，39-44.
(36) 杉本聡一郎，野原大輔，平口博丸，2014a：国内既往最大規模の竜巻を対象とした発生頻度の地域性について．2014 年度保全学会年次学術講演会，395-402.
(37) 杉本聡一郎，野原大輔，平口博丸，2014b：突風関連指数を用いた大きな竜巻の発生環境場の地域性に関する検討．2014 年度日本気象学会春季大会講演予稿集,B464.
(38) 瀧下洋一，2011：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－．測候時報，78，57-93.
(39) 新野 宏，2007：竜巻．天気，54，933-936.
(40) 橋本篤，平口博丸，豊田康嗣，中屋耕，2011：温暖化に伴う日本の気候変化予測（その 1）－気象予測・解析システム NuWFAS の長期気候予測への適用性評価－．電力中央研究所報告 N10044，22pp.
(41) 橋本篤，平口博丸，田村英寿，服部康男，松梨史郎，2013：領域気候モデルを用いた過去 53 年間の気象・気候再現．電力中央研究所報告，N13004，18 pp.
(42) 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
(43) Wen. Y. K and Chu. S. L.（1973）：Tornado Risks and Design Wind Speed.Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.99, No.ST12,pp.2409-2421.
(44) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A.(1975)：Tornado Design Winds Based on Risk. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.101,No.ST9, pp.1883-1897.
(45) Fujita, T. T., Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications, U.Chicago, 1978.
(46) 雷雨とメソ気象 大野久雄，東京堂出版
(47) 気象庁ホームページ
（http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/yougo_hp/kousui.html）
(48) 一般気象学 小倉義光，東京大学出版

2.3 火山

2.3.1 火山活動に対する防護に関して，設計対象施設を抽出するための方針

降下火砕物の影響を設計に考慮する施設としては,「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。このうち，クラス１及びクラス２に属する構築物，系統及び機器については，これらに属する施設を内包する建屋，屋外に設置されている施設，屋外と開口がある施設（降下火砕物を含む海水及び空気の流路となる施設）並びに外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設を評価対象施設として抽出する。

また，クラス３に属する施設については，降下火砕物の影響によりクラス１及び２に属する施設に影響を及ぼし得る施設を評価対象施設として抽出する。

【クラス１及びクラス２に属する構築物，系統及び機器】

（クラス１及びクラス２に属する施設を内包している建屋）

・原子炉建屋
・制御建屋
・タービン建屋

（屋外設備）

・海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ）
・復水貯蔵タンク
・排気筒（非常用ガス処理系含む）

（海水の流路となる設備）

・海水ストレーナ（原子炉補機冷却海水系ストレーナ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ）

（空気の流路となる設備）

・換気空調設備（外気取入口）
［中央制御室換気空調系，原子炉補機室換気空調系，計測制御電源室換気空調系］

（外気を取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する設備）

・非常用ディーゼル発電機（機関）

・屋内の電源盤

【クラス３に属する構築物，系統及び機器】

（降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設）

・海水取水設備（除塵装置）

・換気空調設備（外気取入口）

［原子炉棟換気空調系］

その他のクラス３に属する施設については，降下火砕物の影響を受ける場合を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること，又は安全上支障がない期間に除灰あるいは修復等の対応を可能とすることにより，安全機能を損なわない設計とするため評価対象から除外する。

2.3.2 降下火砕物による影響の選定

(1) 設計条件に用いる降下火砕物の物性値及び特徴

(a) 降下火砕物の設計条件

発電所敷地からの位置関係，過去の噴火規模を考慮し設定した評価対象火山（焼石岳，鳥海山，栗駒山，鳴子カルデラ，肘折カルデラ，月山，蔵王山，吾妻山，安達太良山及び磐梯山）について，文献，既往解析結果の知見，降下火砕物シミュレーション結果を用い評価した結果，降下火砕物堆積量は約 12.5cm という結果となった。また，敷地内で実施した地質調査の結果，最大層厚 10cm の降下テフラ（肘折尾花沢テフラ）を確認した。これらを踏まえて，基準降下火砕物堆積量を 10cm と設定した。

密度については文献調査を行い密度 1.5g/cm^3（湿潤状態），粒径については露頭調査の結果及び降下火砕物シミュレーションの結果から約 2mm 以下と設定する。なお，密度は構造物への静的負荷の評価に用いる値であり，乾燥状態の密度は湿潤状態の密度に包絡される。

以上の結果から，設計条件の設定として，発電所の運用期間中において発電所の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象として，層厚 15cm，粒径 2mm 以下，密度 1.5g/cm^3（湿潤状態）の降下火砕物を設定する。

(b) 降下火砕物の特徴

各種文献の調査結果より，降下火砕物は以下の特徴を有する。

① 火山ガラス片，鉱物結晶片から成る[(1)]。ただし，火山ガラス片は砂よりもろく硬度は低く[(2)]，主要な鉱物結晶片の硬度は砂同等

又はそれ以下である[3][4]。

② 硫酸等を含む腐食性のガス（以下,「腐食性ガス」という。）が付着している[1]。ただし，金属腐食研究の結果より，直ちに金属腐食を生じさせることはない[5]。

③ 水に濡れると導電性を生じる[1]。

④ 湿った降下火砕物は乾燥すると固結する[1]。

⑤ 降下火砕物粒子の融点は約 1,000℃であり，一般的な砂に比べ低い[1]。

(2) 設計対象設備の安全機能に及ぼす影響

(a) 直接的影響

降下火砕物の特徴から直接的影響の要因となる荷重，閉塞，摩耗，腐食，大気汚染，水質汚染及び絶縁低下を抽出した上で，外気吸入の有無等の特徴を踏まえ，直接的影響の主な因子として，構造物への静的負荷及び粒子の衝突，化学的影響（腐食），水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食），換気系，電気系及び計測制御系の機械的影響（閉塞，摩耗），化学的影響（腐食），発電所周辺の大気汚染並びに盤の絶縁低下を選定する。

① 荷重

「荷重」について考慮すべき影響因子は，屋外設備及び建屋の上に堆積し静的な負荷を与える「構造物への静的負荷」，並びに屋外設備及び建屋に対し降灰時に衝撃を与える「粒子の衝突」である。

なお，粒子の衝突による影響については，「2.2　竜巻」の「2.2.3　設計荷重の設定」に包絡される。

② 閉塞

「閉塞」について考慮すべき影響因子は，降下火砕物を含む海水が流路の狭隘部等を閉塞させる「水循環系の閉塞」，及び降下火砕物を含む空気が機器の狭隘部や換気系の流路を閉塞させる「換気系，電気系及び計装制御系の機械的影響（閉塞）」である。

③ 摩耗

「摩耗」について考慮すべき影響因子は，降下火砕物を含む海水が流路に接触することにより配管等を摩耗させる「水循環系の内部における摩耗」，及び降下火砕物を含む空気が動的機器の摺動部に侵入し摩耗さ

せる「換気系，電気系及び計装制御系の機械的影響（摩耗)」である。

④ 腐食

「腐食」について考慮すべき影響因子は，降下火砕物に付着した腐食性ガスにより屋外設備及び建屋の外面を腐食させる「構造物への化学的影響（腐食)」，換気系，電気系及び計装制御系において降下火砕物を含む空気の流路等を腐食させる「換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食)」，並びに海水に溶出した腐食性成分により海水管等を腐食させる「水循環系の化学的影響（腐食)」である。

⑤ 大気汚染

「大気汚染」について考慮すべき影響因子は，降下火砕物により汚染された発電所周辺の大気が運転員の常駐する中央制御室内に侵入することによる居住性の劣化，及び降下火砕物の除去，屋外設備の点検等，屋外における作業環境を劣化させる「発電所周辺の大気汚染」である。

⑥ 水質汚染

「水質汚染」については，外部から供給される水源である，水道水に降下火砕物が混入することによる汚染が考えられるが，女川原子力発電所では給水処理設備により水処理した給水を使用しており，また水質管理を行っていることから，プラントの安全機能には影響しない。

⑦ 絶縁低下

「絶縁低下」について考慮すべき影響因子は，湿った降下火砕物が，電気系及び計測制御系絶縁部に導電性を生じさせることによる盤の「絶縁低下」である。

降下火砕物が影響を与える評価対象施設と影響因子の組合せを検討した結果を表 2.3.2-1 に示す

表 2.3.2-1 降下火砕物が影響を与える評価対象施設と影響因子の組み合わせ

評価対象施設＼影響因子	構造物への静的負荷	構造物への化学的影響（腐食）	水循環系の閉塞・摩耗	水循環系の化学的影響（腐食）	換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞・摩耗）	換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）	発電所周辺の大気汚染	盤の絶縁低下
原子炉建屋，タービン建屋，制御建屋	●	●	－（④）	－（④）	－（④）	－（④）	－（④）	－（④）
海水ポンプ	●	●	●（ポンプ）	●（ポンプ）	●（モータ）	●（モータ）	－（④）	－（④）
復水貯蔵タンク	●	●	－（④）	－（④）	－（④）	－（④）	－（④）	－（④）
海水ストレーナ	－（①）	－（③）	●	●	－（④）	－（④）	－（④）	－（④）
換気空調設備	－（①）	－（②）	－（④）	－（④）	●	●	●	－（④）
排気筒（非常用ガス処理系含む）	－（①）	－（③）	－（④）	－（④）	●	●	－（④）	－（④）
屋内の電源盤	－（①）	－（①）	－（④）	－（④）	－（④）	－（④）	－（④）	●
非常用ディーゼル発電機（機関）	－（①）	－（①）	－（④）	－（④）	●	●	－（④）	－（④）
海水取水設備（除塵装置）	－（④）	－（②）	●	●	－（④）	－（④）	－（④）	－（④）

凡例 ●：詳細な評価が必要な設備
－：評価対象外（ ）内数値は理由

【評価除外理由】
①：降下火砕物（静的荷重等）の影響を受け難い構造（屋内設備の場合含む）
②：腐食があっても，機能に有意な影響を受け難い
③：塗装により腐食が起こり難い
④：影響因子と直接関連しない

(b) 間接的影響

降下火砕物によって女川原子力発電所に間接的な影響を及ぼす因子は，湿った降下火砕物が送電線の碍子，開閉所の充電露出部等に付着し絶縁低下を生じさせることによる広範囲にわたる送電網の損傷に伴う「外部電源喪失」，及び降下火砕物が道路に堆積することによる交通の途絶に伴う「アクセス制限」である。

2.3.3 設計荷重の設定

設計荷重の組み合わせは以下の通り。

(a) 評価対象施設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) 設計基準事故時荷重

降下火砕物は原子炉冷却材喪失事故などの設計基準事故の起因とはならないため，火山事象と設計基準事故は独立事象となる。

また，降下火砕物の降灰と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいことから，設計基準事故時荷重と降下火砕物との組み合わせは考慮しない。

なお，評価対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じる屋外設備としては，原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ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，通常運転時の系統内圧力及び温度と変わらないため，設計基準事故により考慮すべき荷重はなく，降下火砕物の堆積荷重と設計基準事故時荷重の組み合わせは考慮しない。

(c) その他の自然現象の影響を考慮した荷重の組み合わせ

降下火砕物と組み合せを考慮すべき火山以外の自然現象は，荷重の影響において風（台風）及び積雪であり，降下火砕物との荷重と適切に組み合わせる。

別添 3－1　補足資料-5 において，降下火砕物と積雪との重畳の考え方を示している。設計基準における積雪の条件としては，発電所周辺の観測記録に基づき極値 43cm を使用する。

2.3.4 降下火砕物の直接的影響に対する設計方針

直接的影響については，評価対象施設の構造や設置状況等（形状，機能，外気吸入や海水通水の有無等）を考慮し，想定される各影響因子に対して，影響を受ける各評価対象施設が安全機能を損なわない以下の設計とする。

(1) 降下火砕物による荷重に対する設計

(a) 構造物への静的負荷

評価対象施設のうち，降下火砕物が堆積する建屋及び屋外設備は，以下である。

（クラス１及びクラス２に属する施設を内包している建屋）

・原子炉建屋
・制御建屋
・タービン建屋

（屋外設備）

・海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ）
・復水貯蔵タンク

これら屋外設備及び建屋は，降下火砕物による荷重に対して安全裕度を有することにより，構造健全性を失わず安全機能を損なわない設計とする。

なお，建屋の評価は，建築基準法における積雪の荷重の考え方に準拠し，降下火砕物の除去を適切に行うことから，降下火砕物の荷重を短期に生じる荷重とし，建築基準法による短期許容応力度を許容限界とする。

また，建屋を除く評価対象施設においては，許容応力を「日本機械学会の基準・指針類」及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）」に準拠する。

(b) 粒子の衝突

粒子の衝突による影響については，「2.2　竜巻」の「2.2.3　設計荷重の設定」に包絡される。

(2) 外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計

(a) 機械的影響（閉塞）

評価対象施設のうち，機械的影響（閉塞）を考慮すべき降下火砕物を含む空気の流路となる設備は以下である。また，これら設備は降下火砕物が侵入しにくい設計とする。

・非常用ディーゼル発電機（機関）

・換気空調設備（外気取入口）

非常用ディーゼル発電機は，非常用ディーゼル発電機の吸気口の上流側の外気取入口には，ガラリが取り付けられており，下方から吸い込む構造であること，換気空調系のバグフィルタを設置することで，降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。また，降下火砕物がバグフィルタに付着した場合でも取替又は清掃が可能な構造とすることで，降下火砕物により閉塞しない設計とする。なお，バグフィルタを通過した小さな粒径の降下火砕物が侵入した場合でも，降下火砕物により閉塞しない設計とする。

換気空調系（非常用ディーゼル発電機換気空調系，中央制御室換気空調系，原子炉補機室換気空調系，原子炉補機（ＨＰＣＳ）室換気空調系，計測制御電源室換気空調系，原子炉建屋原子炉棟換気空調系）は，外気取入口に，ガラリが取り付けられており，下方から吸い込む構造であること，換気空調系のバグフィルタを設置することで，降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。更に降下火砕物がバグフィルタに付着した場合でも取替又は清掃が可能な構造とすることで，降下火砕物により閉塞しない設計とする。

(b) 機械的影響（摩耗）

評価対象施設のうち，機械的影響（摩耗）を考慮すべき降下火砕物の流路となる設備は以下である。

・非常用ディーゼル発電機

降下火砕物は砂よりも硬度が低くもろいことから，摩耗の影響は小さくいこと，かつ構造上の対応として，吸気口の上流側の外気取入口にはガラリが取り付けられており，下方から吸い込む構造であること，及び非常用換気空調系のバグフィルタを設置することで，降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。また，仮に当該設備の内部に降下火砕物が侵入した場合でも，耐摩耗性のある材料を使用することで，摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

(c) 化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち，化学的影響（腐食）を考慮すべき降下火砕物を含む空気の流路となる設備は，以下である。

・海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ）
・排気筒
・非常用ディーゼル発電機（機関）
・換気空調設備

金属腐食研究の結果[5]より，降下火砕物によって直ちに金属腐食は生じないことから，金属材料を用いること等によって，短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお，降灰後の長期的な腐食の影響については，日常保守管理等により，状況に応じて補修が可能な設計とする。

(d) 大気汚染（発電所周辺の大気汚染）

中央制御室換気空調系については，外気取入ダンパの閉止及び再循環運転を可能とすることにより，中央制御室内への降下火砕物の侵入を防止すること，さらに外気取入遮断時において室内の居住性を確保するため，酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより，安全機能を損なわない設計とする。

非常用換気空調系の外気取入口に，ガラリが取り付けられており，下方から吸い込む構造であること，非常用換気空調系のバグフィルタを設置することで，降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。さらに降下火砕物がフィルタに付着した場合でも取替又は清掃が可能な構造とすることで，降下火砕物により閉塞しない設計とする。

(e) 電気系の絶縁低下

評価対象施設のうち，外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する設備は，以下である。

・屋内の電源盤

当該機器の設置場所は原子炉補機室換気空調系及び計測制御電源室換気空調系により，空調管理されており，外気取入口にはバグフィルタを設置することで，降下火砕物による絶縁低下により安全機能を損なわない設計とする。

(3) 屋外及び海水の流路となる評価対象施設に関する降下火砕物が及ぼす影響に対する設計

(a) 構造物への化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち，構造物への化学的影響（腐食）を考慮すべき屋外設備及び建屋は以下である。

（クラス１及びクラス２に属する施設を内包している建屋）

・原子炉建屋
・制御建屋
・タービン建屋

（屋外設備）

・海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ）
・復水貯蔵タンク
・排気筒

金属腐食研究の結果[5]より，降下火砕物に含まれる腐食性ガスによって直ちに金属腐食を生じないが，外装の塗装等によって，短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお，降灰後の長期的な腐食の影響については，日常保守管理等により，状況に応じて補修が可能な設計とする。

(b) 水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食）

(b-1) 水循環系の閉塞について

評価対象施設のうち，水循環系の閉塞を考慮すべき降下火砕物を含む海水の流路となる設備は以下である。

・海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ）
・海水ストレーナ（原子炉補機冷却海水系ストレーナ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ）
・海水取水設備（除塵装置）

海水ポンプについては，降下火砕物は粘土質ではないことから水中で固まり閉塞することはなく，また，降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設ける設計とするとともに，ポンプ軸受部が閉塞しない設計

とする。

海水ストレーナ及び取水設備（除塵装置）については，降下火砕物は粘土質ではないことから水中で固まり閉塞することはなく，また，降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設ける設計とするとともに，差圧管理が可能な設計とする。

(b-2) 水循環系の内部における摩耗について

評価対象施設のうち，水循環系の内部における摩耗を考慮すべき降下火砕物を含む海水の流路となる設備は，以下である。

・海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ）
・海水ストレーナ（原子炉補機冷却海水系ストレーナ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ）
・海水取水設備（除塵装置）

主要な降下火砕物は砂と同等又は砂より硬度が低くもろいことから，設備に与える影響は小さく，また，日常保守管理等により，状況に応じて補修が可能であり,摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

また，水循環系において最も磨耗の影響を受けやすい箇所はライニングが施されていない各冷却器の伝熱管と考えられるが，発電所の運用期間中において海水取水中に含まれる砂等の磨耗によるトラブルは発生していないこと，及び降下火砕物は，砂と同等又は砂より硬度が低くもろいことから，降下火砕物による摩耗が設備に影響を与える可能性はない。

(b-3) 水循環系の化学的影響（腐食）について

評価対象施設のうち，水循環系の化学的影響（腐食）を考慮すべき降下火砕物を含む海水の流路となる設備は，以下である。

・海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ）
・海水ストレーナ（原子炉補機冷却海水系ストレーナ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ）
・海水取水設備（除塵装置）

金属腐食研究の結果[(5)]より，降下火砕物に含まれる腐食性ガスによって，直ちに金属腐食は生じないが，耐食性のある材料の使用や塗装

の実施等によって，短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお，降灰後の長期的な腐食の影響については，日常保守管理等により，状況に応じて補修が可能な設計とする。

(c) 電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）

屋外設備については，降下火砕物が侵入しにくく，閉塞及び短期での腐食が発生しない設計とする。

評価対象施設のうち，屋外設備は以下である。

・海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ）（モータ）
・排気筒
・海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ）
・排気筒
・非常用ディーゼル発電機（機関）
・換気空調設備（外気取入口）

原子炉補機冷却海水ポンプ（モータ）及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ（モータ）は，モータ本体が全閉構造であり外気をモータ内に取り込まない構造である。また，原子炉補機冷却海水ポンプ（モータ）については冷却管があるが，外気は下方向から取り込まれる構造であり，降下火砕物が侵入しにくい設計とする。なお，侵入しても冷却管の内径に対して降下火砕物の粒径が十分小さく，運転中はファンからの通風により外部に排出される事から，冷却管が閉塞しない設計とする。

(4) 運用

評価対象施設に，長期にわたり静的荷重がかかることや化学的影響（腐食）が発生することを避け，安全機能を維持するために，降下火砕物の降灰時の除灰等の対応を適切に実施する方針とする。

以下に降下火砕物の降灰時の除灰等の対応手順を示す。

(a) 降灰が確認された場合には，建屋や屋外の設備等に長期間降下火砕物の荷重を掛け続けないこと，また降下火砕物の付着による腐食等が生じる状況を緩和するために，評価対象施設等に堆積した降下火砕物の除灰を適切に実施する。

(b) 降灰が確認された場合には，状況に応じて外気取入ダンパの閉止，換気空調設備の停止又は再循環運転により，建屋内への降下火砕物の侵入を防止する手順を定める。
(c) 降灰が確認された場合には，換気空調設備の外気取入口のバグフィルタについて，バグフィルタ差圧を確認するとともに，状況に応じて清掃や取替えを実施する。

また，降下火砕物に備え，手順を整備し図 2.3.4-1 のフローのとおり段階的に対応することとしている。

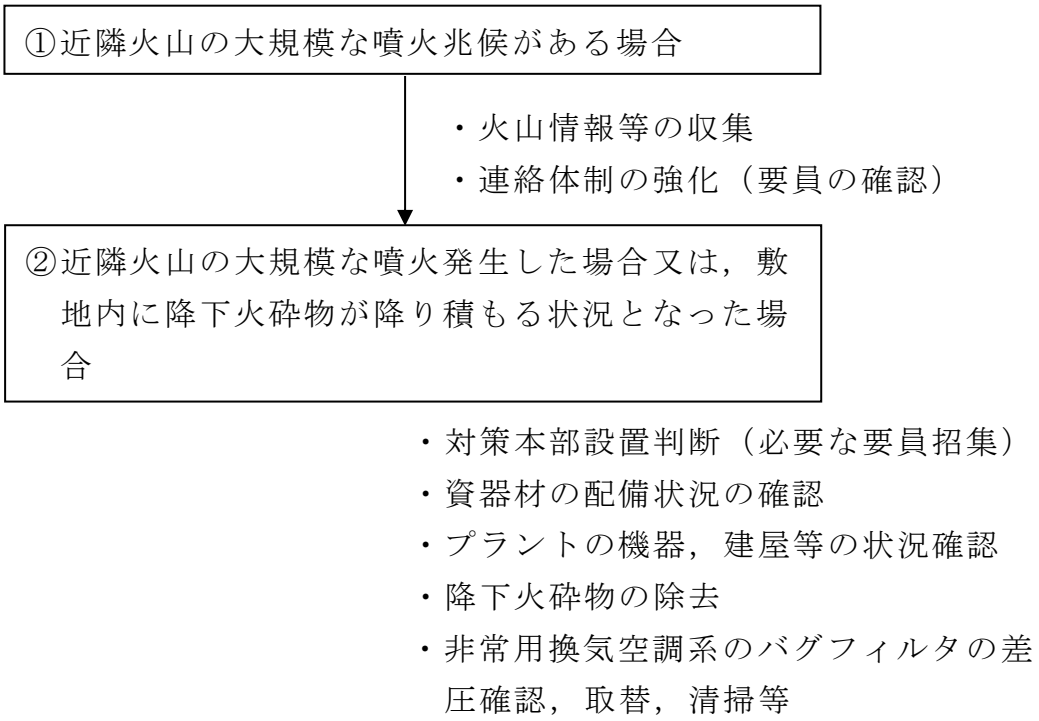


図 2.3.4-1 降下火砕物に対応するための運用管理フロー

2.3.5 降下火砕物の間接的影響に対する設計方針

降下火砕物による間接的影響として考慮する，広範囲にわたる送電網の損傷による 7 日間の外部電源喪失及び発電所外での交通の途絶によるアクセス制限事象が生じた場合については，降下火砕物に対して非常用ディーゼル発電機の安全機能を維持することで，発電用原子炉の停止及び停止後の発電用原子炉の冷却，並びに使用済燃料プールの冷却に係る機能を担うために必要となる電源の供給が非常用ディーゼル発電機により継続できる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。

2.3.6 参考文献

(1) 「広域的な火山防災対策に係る検討会（第 3 回）（資料 2）
(2) 「シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状」武若耕司，コンクリート工学，vol．42，2004
(3) 「新編火山灰アトラス[日本列島とその周辺]．第 2 刷」町田洋ほか，東京大学出版会，2011
(4) 「理科年表（2017)」国立天文台編
(5) 「火山環境における金属材料の腐食」出雲茂人，末吉秀一他，防食技術 Vol.39，1990

2.4 外部火災

2.4.1 外部火災に対して，設計上対処すべき施設を抽出するための方針

(1) 防護対象施設の抽出

原子炉施設が外部火災の影響を受けた場合においても，原子炉の安全性を確保するため，「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」で規定されているクラス１，クラス２及びクラス３に該当する構築物，系統及び機器を外部火災防護施設とする。

外部火災防護施設及びその防護方法を第2.4.1-1表に示す。

(2) 外部火災による影響評価が必要となる施設の選定

安全施設に対して，外部火災の影響を受けた場合，原子炉の安全性を確保するために必要な設計上の要求機能を喪失し，安全性の確保が困難となるおそれがあることから，「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「実用炉規則」という。）第６条第１項に基づき安全機能を有する施設について外部火災に係る防護対象とする。

安全機能を有する施設としては，「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」（以下「重要度分類審査指針」という。）において，安全機能を有する施設とされるクラス１，２，３に該当する構築物，系統及び機器とする。

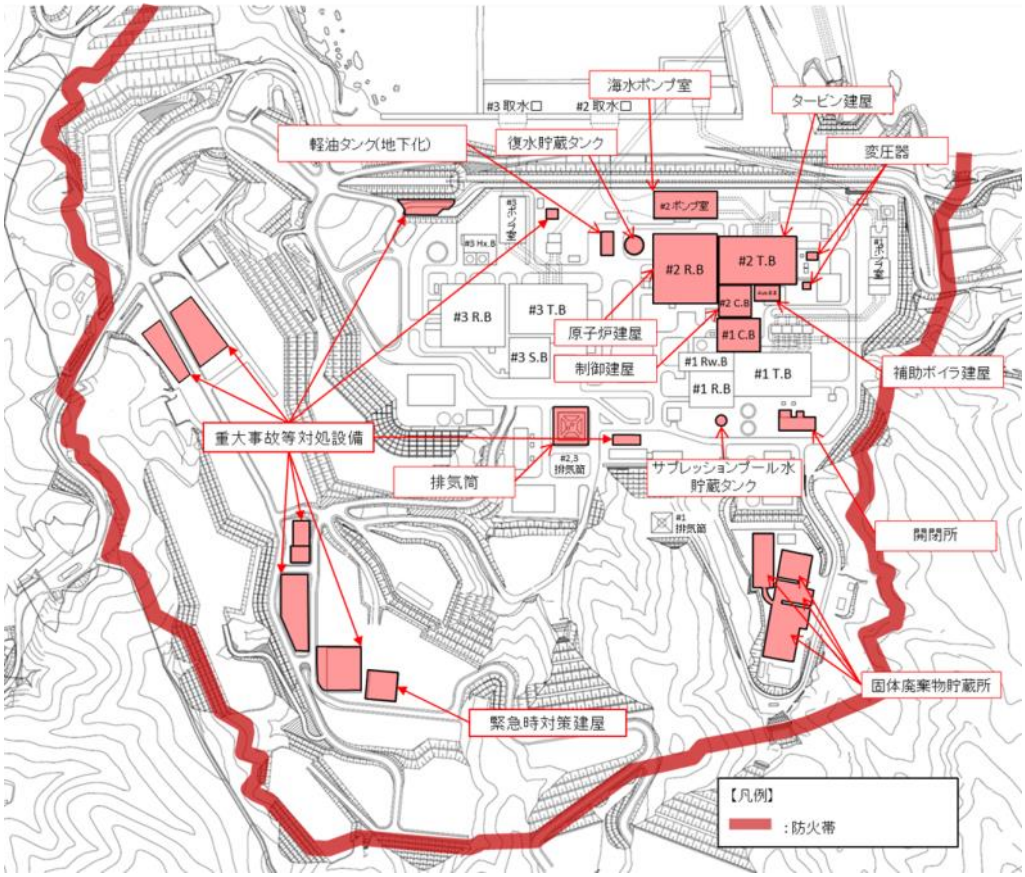
また，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下「外部火災影響評価ガイド」という。）においても発電所敷地外で発生する火災が発電用原子炉施設（外部火災影響評価ガイドにおける「発電用原子炉施設」は，安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包するものに限る。）へ影響を与えないこと及び発電所敷地外で発生する火災の二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価することとされていることから，今回設定した防護対象と同様である。

防護対象とした構築物，系統及び機器（以下「防護対象設備」という。）については，外部火災発生時には対象設備周辺の消火活動等により影響を受けないよう防護する。

さらに，高い信頼性を要求されるクラス１，２に該当する防護対象設備に対しては，外部火災による影響が及ぶおそれのある場合において，消火設備等の防護手段を期待しない条件のもと，想定される外部火災に対する構築物等の固有の熱影響評価を行い，必要に応じて対策を講じることとした。

第2.4.1-1表 防護対象及び防護方法

防護対象		防護方法	外部火災防護施設
外部事象防護対象施設	外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器を内包する建屋	防火帯の内側に設置 消火活動による防護手段を期待しない条件のもと，火元からの離隔距離で防護（熱影響評価を実施）	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋
	外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器に属する屋外施設		海水ポンプ室 復水貯蔵タンク 排気筒
その他の安全施設		防火帯の内側に原則設置 屋内設備は，建屋による防護 屋外設備は，代替手段等で安全機能に影響がないことを確認	固体廃棄物貯蔵庫 開閉所 モニタリングポスト他



第2.4.1-1図　２号炉の建屋配置

(3) 二次的影響（煙，ガス，爆発による飛来物等に配慮すべき施設・機器の抽出方針

二次的影響を受ける，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器に属する施設については，換気空調系で給気されるエリアの設置機器，建屋外部に開口部を有する設備，居住性への影響の観点で以下のとおり抽出した。

・非常用ディーゼル機関，同吸気系
・中央制御室換気空調系
・計測制御電源室換気空調系
・原子炉補機室換気空調系
・原子炉建屋原子炉棟換気空調系
・原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機
・高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機

添付資料において，評価フローに基づき，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器に属する施設について，ばい煙等による影響評価対象とする系統及び機器を選定した。「別添4-1 添付資料7 図7-1」

2.4.2 考慮すべき外部火災

安全施設が外部火災（森林火災，近隣工場等の火災・爆発，航空機落下火災）に対して，原子炉施設の安全性を確保するために想定される最も厳しい火災が発生した場合においても必要な安全機能を損なわないよう，防火帯の設置，離隔距離の確保，建屋による防護及び代替手段等によって，安全機能を損なわない設計とする。

想定する外部火災として，森林火災，近隣の産業施設の火災・爆発，発電所敷地内に設置する危険物施設等の火災，航空機墜落による火災を選定する。外部火災にて想定する火災を第2.4.2-1表に示す。

また，想定される火災及び爆発の二次的影響（ばい煙等）についても，考慮する。

第2.4.2-1表 外部火災にて想定する火災

火災種別	考慮すべき火災
森林火災	発電所敷地外 10 ㎞以内を発火点とした発電所に迫る森林火災
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外 10 ㎞以内の石油コンビナート等の火災・爆発
	発電所敷地内の危険物施設の火災
航空機墜落による火災	発電所敷地への航空機墜落による火災

2.4.3 外部火災に対する設計方針

(1) 輻射熱の影響に対する防護

一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した，火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度である200℃以下とすることで，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の安全機能を損なわない設計とする。「建築火災のメカニズムと火災安全設計」（財団法人　日本建築センター，2007年）

「別添4-1 添付資料2 添付-1」にて コンクリートの許容限界温度200℃の設定根拠について示す。

(2) ばい煙の影響に対する防護

外部火災による二次的影響として，ばい煙等による影響を抽出し，安全機能が損なわれるおそれがある構築物，系統及び機器として外気を取り込む区域に設置される外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器を抽出したうえで，第2.4.3-1表の分類のとおり評価を行い，必要な場合は対策を実施することで外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の安全機能を損なわない設計とする。

a. 換気空調設備

外気を取込んでいる換気空調系統として，非常用ディーゼル機関吸気系以外には以下の系統がある。

・中央制御室換気空調系
・計測制御電源室換気空調系
・原子炉補機室換気空調系
・原子炉建屋原子炉棟換気空調系

これらの外気給気に設置しているフィルタは，粒径1μm以上のダストを90%以上除去できる性能を有しているため，外部火災で発生するばい煙［粒径：数μm～10μm］はこのフィルタで捕集されることから，ばい煙粒子による機器への影響は問題ない。

また，中央制御室については，24時間常駐している運転員が外部火災の情報受信後に，ばい煙の影響を受ける可能性があると判断した場合には，運転員の操作により外気取入れダンパを閉止し外気を遮断できるため，ばい煙の影響は受けない。

なお，換気空調系フィルタは，入口と出口間の差圧を検知できる差圧計を監視し，フィルタが目詰まりした場合は予備のフィルタに交換を行うことで機能は維持される。

b. 非常用ディーゼル発電機

ディーゼル発電機機関の吸気系統は，換気空調系のフィルタを介した換気空気を機関付き過給機で吸入しており，フィルタにより，ばい煙粒子は捕集される(粒径１μm以上において約90%捕獲性能を有する)。

フィルタの入口と出口間の差圧を検知できる差圧計を監視し，フィルタが目詰まりした場合は予備のフィルタに交換が可能となっている。

フィルタを通過したばい煙粒子は，過給機，空気冷却器に侵入するが，機器の間隙は，ばい煙粒子に比べて十分大きいことから閉塞する恐れはない。

吸入されたばい煙粒子は，機関のシリンダ内へ送気される。送気されたばい煙粒子は，シリンダ／ピストン間隙(数μm～十数μm)内に侵入し，シリンダ／ピストンの摩擦発生が懸念されるが，主成分は炭素であり摩擦が発生することはないと判断される。

また，通常運転においても燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生し，排ガスとともに排出されており，定期的なシリンダの分解点検において異常は認められていない。

以上のことから，非常用ディーゼル発電機機関にばい煙が侵入した場合においても，運転を阻害するに至らない。

c．火災時の有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響評価

有毒ガスの発生については，中央制御室換気空調設備及び緊急時対策所換気空調設備における外気取入遮断時の室内に滞在する人員の環境劣化防止のため，酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施し，又は，離隔を確保する等により，居住空間へ影響を及ぼさない設計とする。

なお，外気取入ダンパが設置されており再循環運転が可能である中央制御室換気空調設備については，外気取入ダンパを閉止し，再循環運転を行う。

第2.4.3-1表 ばい煙による影響評価

設置場所	影響評価設備
屋内	非常用ディーゼル機関，同吸気系
	中央制御室換気空調系
	計測制御電源室換気空調系
	原子炉補機室換気空調系
	原子炉建屋原子炉棟換気空調系
屋外	原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機

(3) 火災防護計画

外部火災における手順については，火災発生時の対応，防火帯の維持・管理等を適切に実施するための対策を定める。

a. 防火帯の維持・管理については，定期的な点検等の方法を火災防護計画に定め，実施する。

b. 防火帯により森林火災が原子炉施設へ影響を及ぼすことはないが，森林火災の状況に応じて防火帯付近へ予防散水を行うことについては，予防散水エリア毎に使用水源を定めるとした火災防護計画を定め，消防隊長の指揮のもと自衛消防隊が実施する。

c. 外部火災発生時の予防散水に必要な消火対応力等を維持するため，自衛消防隊を対象とした訓練・教育を定期的に実施する。

なお，体制等については「別添4-1 添付資料2 3.(7)」にて記載している。

2.4.3.1 森林火災

(1)発生を想定する発電所敷地外における森林火災の想定及び影響評価

a. 発生を想定する発電所敷地外における森林火災の設定

(a) FARSITE解析に必要な入力データ

(a-1) 土地利用データ

土地利用データについては現地状況をできるだけ模擬するため，発電所周辺の建物用地，交通用地等のデータについては，公開情報の中でも高い空間解像度である100mメッシュの「国土数値情報 土地利用細分メッシュ」（国土交通省データ）を用いる。

発電所周辺の建物用地，交通用地，湖沼，河川等の土地状況を実際に近い形で模擬したデータを「別添4-1 添付資料2 図2-4」に示す。

(a-2) 地形データ

地形データについては現地状況をできるだけ模擬するため，発電所周辺の土地の標高，地形等のデータについては，公開情報の中でも高い空間解像度である10mメッシュの「基盤地図情報 数値標高モデル」（国土地理院データ）を用いる。

地形データとしては，傾斜度，傾斜方向について標高データから計算する。「別添4-1 添付資料2 図2-10」

(a-3) 植生データ

植生データについては現地状況をできるだけ模擬するため，樹種に関する情報を有する森林簿の空間データ（宮城県及び東北森林管理局）を用いる。また，現地調査を実施し防火帯周辺の植生を反映する。

樹冠率は日照や風速への影響を考慮し，針葉樹，落葉広葉樹について，

保守的な樹冠率区分を入力。「別添4-1 添付資料2 表2-5」にて，樹種・林齢の設定の考え方を記載している。

(a-4) 気象データ

宮城県防災年報（平成15年～平成24年）にて記載のある宮城県の森林火災発生件数の第１位は４月，第２位は３月，第３位は５月であることから，調査対象月を３月から５月とした。（別添4-1 添付資料2 図2-2参照）

また，気象データとしては，被ばく評価等で使用している発電所内の気象観測データ及び発電所敷地外の公開情報である気象統計情報（気象庁）があるが，本外部火災評価では発電所敷地外の火災発生・進展を評価することから，気象統計情報（気象庁）のデータを使用し，最大風速，最高気温及び最小湿度を選定した。

(b) 評価エリア

発電所近傍の発火想定地点を10km以内とし，評価対象範囲は発電所から直線距離10kmの間に設定する。

(c) 発火点

発火点については，発電所から直線距離10kmの間で風向及び人為的行為を考慮し，交通量が多く火災の発生頻度が高いと想定される居住地区及び道路沿い４地点を設定する。

風向は卓越方向（北北東，南南西，西北西）とし，火災規模に対する風向の影響を考慮し，発火点は発電所の風上を選定する。

・発火点1：発電所の北北東約0.9kmの道路沿い
・発火点2-1：発電所の南南西約1.2kmの道路沿い
・発火点2-2：発電所の南南西約2.6kmの道路沿い
・発火点3：発電所の西北西約1.1kmの道路沿い

上記の４つの発火点を基に評価に必要なパラメータを算出し，パラメータごとに，より厳しい値を採用している。

森林火災の発火時刻については，日照による草地及び樹木の乾燥に伴い，火線強度が変化することから，これを考慮して火線強度が最大となる発火時刻を設定する。

b. 森林火災による影響評価

(a) 火災の到達時間及び防火帯幅の評価

森林火災シミュレーション解析コード(FARSITE)を用いて発火点から防火帯までの到達時間を，火線強度を基に防火帯幅を算出している。

・延焼速度及び火線強度の算出

森林火災シミュレーション解析コード(FARSITE)を用いて火線強度（4,215kW/m(発火点1)）及び発火点から火災が防火帯に到達する時間（約1.9時間(発火点3)）を算出した。

・防火帯幅の算出

FARSITEから出力される最大火線強度(4,215kW/m(発火点1))により防火帯幅20mを算出した。

(b) 危険距離の評価

発火点1，2-1，2-2及び3による森林火災の熱影響としてFARSITEの出力データから算出した火炎輻射発散度を用いて，これに対する危険距離を算出した上で，危険距離に応じた離隔距離を確保する。

(2) 森林火災に対する設計方針

a. 熱影響に対する防護

森林火災の直接的な影響を受け外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器への影響評価を実施し，離隔距離の確保，建屋による防護等により，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の安全機能を損なわない設計とする。

(a) 原子炉施設への熱影響

影響が大きい発火点1及び3の最大火炎輻射発散度に基づき算出する各建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した，火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度を，火災時における短期温度上昇を考慮した場合のコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度（以下，「コンクリート許容温度」という。）である200℃以下とすることで，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の安全機能を損なわない設計とする。

なお，「別添4-1 添付資料2 3.(6)」にて評価プロセスを記載している。

(b) 復水貯蔵タンクへの熱影響

影響が大きい発火点１の最大火炎輻射発散度に基づき算出する復水貯蔵タンクの温度を，復水貯蔵タンクの最高使用温度である66℃以下とすることで，復水貯蔵タンクの安全機能を損なわない設計とする。

なお，「別添4-1 添付資料2 3.(6)」にて評価プロセスを記載している。

（ｃ）排気筒の熱影響

影響が大きい発火点2-1,2-2及び3の最大火炎輻射発散度に基づき算出する排気筒の表面温度を,鋼材の強度が維持される保守的な温度325℃以下とすることで，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

なお，「別添4-1 添付資料2 3.(6)」にて評価プロセスを記載している。

b. 防火帯幅の設定

FARSITEから出力される最大火線強度（4,215kW/m(発火点1)）により算出される防火帯幅19.5mに対し，約20mの防火帯幅を確保することにより外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

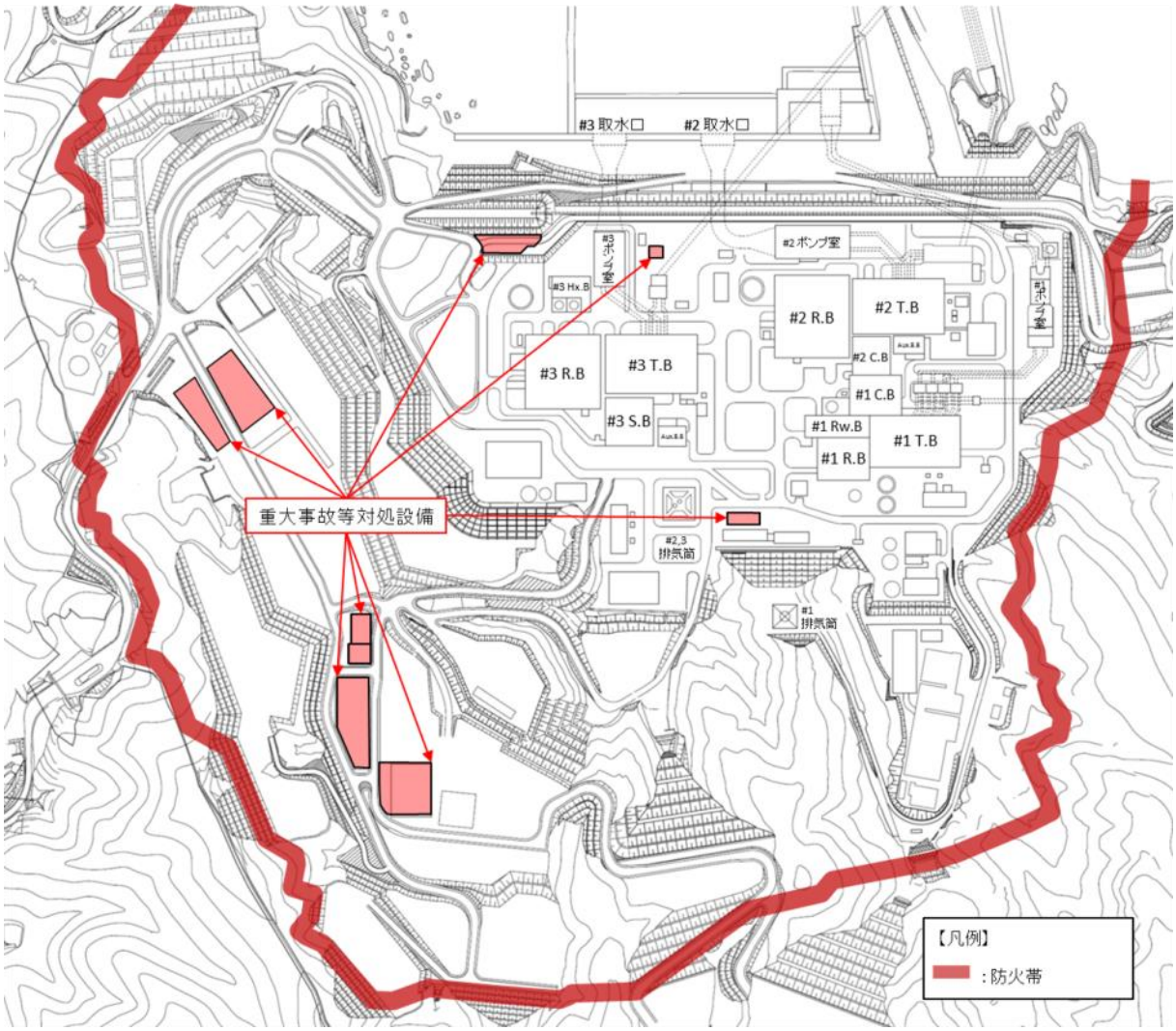
防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし，防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

設置する防火帯について，第2.4.3.1-1図に示す。

(a) 延焼対策

FARSITEの解析によると，火炎が防火帯に到達する時間は，約1.9時間(発火点3）程度であり，これに対して，防火帯付近への予防散水は，敷地境界域での火災発見から火炎到達時間約1.9時間以内に開始可能である。

敷地外の森林から出火し,敷地内の植生へ延焼するおそれがある場合は,自衛消防隊が出動し，予防散水等の延焼防止措置を行う。また，敷地内の植生へ延焼した場合であっても，適切な離隔距離を保っており，原子炉施設に影響せず，安全性が損なわれることはない。



第2.4.3.1-1図 防火帯配置図

2.4.3.2 近隣の産業施設の火災・爆発

(1) 近隣の産業施設からの火災及びガス爆発の想定及び影響評価

a. 近隣の産業施設による火災及びガス爆発の想定

(a)火災による影響の検討

(a-1) 石油コンビナート施設等の影響

発電所敷地外10km以内の範囲において，石油コンビナート施設を調査した結果，当該施設は存在しないことを確認している。なお，発電所に最も近い石油コンビナート地区は西南西約40kmの塩釜地区及び仙台地区である。

(b-1) 危険物貯蔵施設の影響

(b-1-1) 評価対象範囲

評価対象は，発電所敷地外の半径10kmの消防法に基づき設置している施設を抽出し，最短距離の危険物施設（石油貯蔵施設，高圧ガス貯蔵施設）に最大貯蔵量が有るものと仮定した。

発電所敷地外10km以内の危険物貯蔵施設を第2.4.3.2-1図に示す。

(b-1-2) 火災の想定

発電所に最も近い危険物施設に10km圏内の最大貯蔵量があると仮定しても，燃料保有量が敷地内危険物貯蔵量に比べ少ないことから，危険距離は１号炉軽油タンクによる火災の評価結果に包絡される。

(c-1) 燃料輸送車両の影響

(c-1-1) 評価対象範囲

発電所敷地外の公道において燃料を搭載した燃料輸送車両（以下「タンクローリー」という。）の火災を想定して評価対象設備への評価を行った。タンクローリーは保守的に，消防法（危険物の規制に関する政令第15条第1項三号）において定められている移動タンク貯蔵所の上限量（＝30kl）を搭載可能なタンクローリーに，給油所に補給される油種の中で最も輻射発散度が大きいガソリンが満載されている状況を想定した。

発生場所は，発電所敷地外の道路において，原子炉施設に最も近い場所（牡鹿ゲート）を対象とする。

(c-1-2) 火災の想定

・タンクローリーが発電所敷地周辺道路で火災・爆発を起こすものとする。
・燃料積載量は保守的に消防法において定められている移動タンク貯蔵所の上限量（30kl）とする。

・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
・輸送燃料はガソリンとする。
・発電所敷地境界の道路での燃料輸送車両の全面火災を想定する。
・気象条件は無風状態とする。
・火災は円筒火災をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

(d-1) 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の熱影響

(d-1-1) 評価対象範囲

発電所敷地内に設置している危険物施設（第2.4.3.2-1表参照）のうち，評価対象とする危険物施設を第2.4.3.2-2図に基づき抽出する。

なお，発電所敷地内における危険物施設等の設置位置を第2.4.3.2-3図に示す。

(d-1-2) 火災の想定

・発電所敷地内に設置している屋外の危険物施設のうち，１号炉軽油タンク，３号炉軽油タンク（Ａ及びＢ），大容量電源装置を想定する。
・危険物タンク等の貯蔵量は，危険物を満載した状態を想定する。
・離隔距離は，評価上厳しくなるようタンク等の位置から外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器までの直線距離とする。
・危険物施設等の破損等による防油堤内の全面火災を想定する。
・火災は円筒火災モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。
・気象条件は無風状態とする。
・黒煙の発生による輻射発散度の低減は無いものとする。

(e-1) 船舶の火災

(e-1-1) 評価対象範囲

発電所周辺には石油コンビナートが無く，大型タンカー等が付近を航行する主要航路が20km以上離れている（別添4-1 添付資料4 図4-3）ことから，女川原子力発電所内の港湾施設に入港する船舶の中で最大規模となる船舶の火災を想定して評価対象設備への熱影響評価を行った。

発電所港湾に停泊する熱影響が最大規模となる船舶として，１号炉補助ボイラーに使用する重油を運搬する船舶とし，温度評価にあたっては保守的に防潮堤がないものとして影響評価を実施する。

また，重油運搬船の位置は，カーテンウォールに接触して停止すると考えられるが，保守的に更に発電所へ近づき港湾道路まで乗り上げた場合において，火災が発生したものと想定した。

(e-1-2) 火災の想定

・女川原子力発電所内の港湾施設に入港する船舶の中で最大規模となる船舶を想定する。
・発電所港湾に停泊する熱影響が最大規模となる船舶として，１号炉補助ボイラーに使用する重油を運搬する船舶を想定した。
・船舶は燃料を満載した状態を想定する。
・離隔距離は，評価上厳しくなるよう岸壁から外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器までの直線距離とする。
・港湾内での船舶の全面火災を想定する。
・火災は円筒火災モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の３倍とする。
・気象条件は無風状態とする。

(b)ガス爆発による影響の検討

(a-1) 石油コンビナート施設等の影響

発電所敷地外10km以内の範囲において，石油コンビナート施設を調査した結果，当該施設は存在しないことを確認している。なお，発電所に最も近い石油コンビナート地区は西南西約40kmの塩釜地区及び仙台地区である。

(b-1) 危険物貯蔵施設の影響

(b-1-1) 評価対象範囲

評価対象は，発電所敷地外の半径10kmの設置している施設を抽出し，最短距離の危険物施設（高圧ガス貯蔵施設）に最大貯蔵量が有るものと仮定した。

発電所敷地外10km以内の危険物貯蔵施設を第2.4.3.2-1図に示す。

(b-1-2) 爆発の想定

・高圧ガスの漏えい，引火によるガス爆発とする。
・気象条件は無風状態とする。

(c-1) 燃料輸送車両の影響

(c-1-1) 評価対象範囲

評価対象は，発電所から10km圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量である1,700kgを積載した車両とし，火災・爆発の発生場所は，発電所敷地外の道路において，原子炉施設に最も近い場所を対象とする。

(c-1-2) 爆発の想定

・発電所から10km圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量である

1,700kgを積載した車両が発電所敷地周辺道路で火災・爆発を起こすものとする。

・燃料積載量は発電所から10km圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量（1,700kg）を積載した車両とする。
・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
・輸送燃料は液化石油ガス（プロパン）とする。
・発電所敷地境界の道路での高圧ガス漏えい，引火によるガス爆発を想定する。
・気象条件は無風状態とする。

(d-1) 船舶の爆発

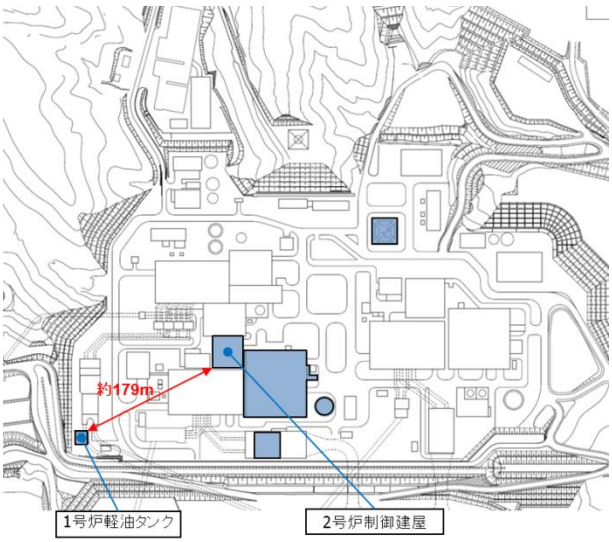
(d-1-1) 評価対象範囲

発電所港湾に停泊する熱影響が最大規模となる船舶として，１号炉補助ボイラーに使用する重油を運搬する船舶を想定しているため，ガス爆発は評価しない。

(d-1-2) 爆発の想定

・発電所港湾に停泊する熱影響が最大規模となる船舶として，１号炉補助ボイラーに使用する重油を運搬する船舶を想定しているため，ガス爆発は評価しない。

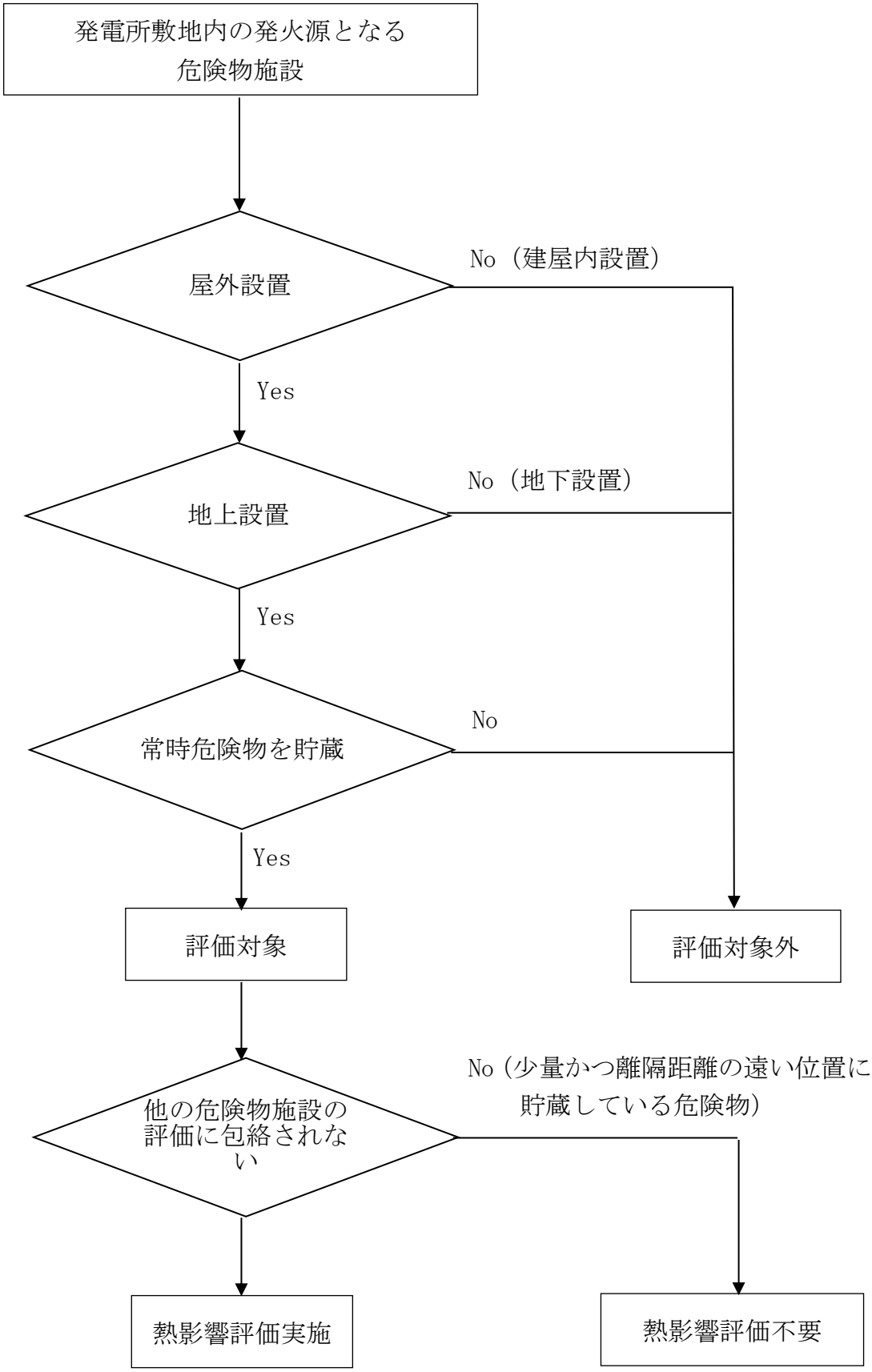
石油類貯蔵施設位置



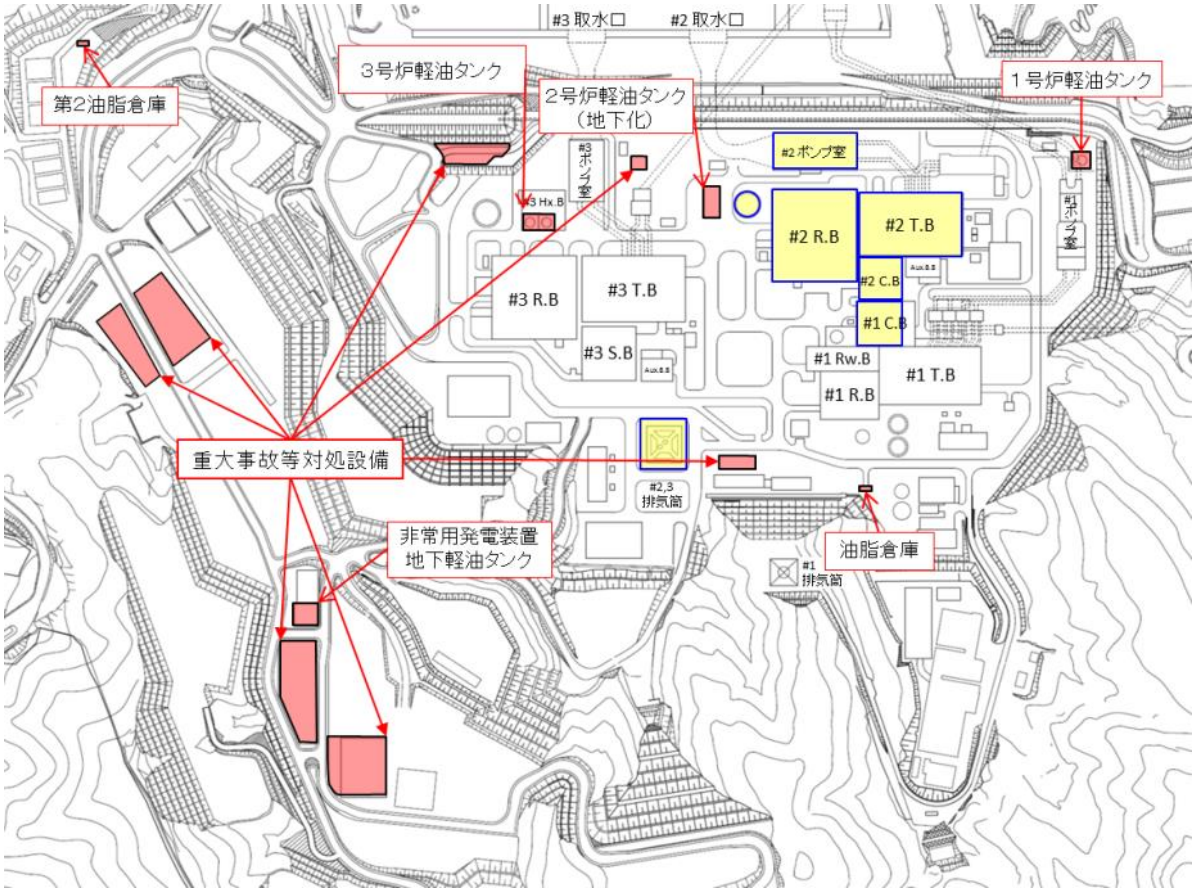
1 号炉軽油タンク位置

高圧ガス貯蔵施設位置

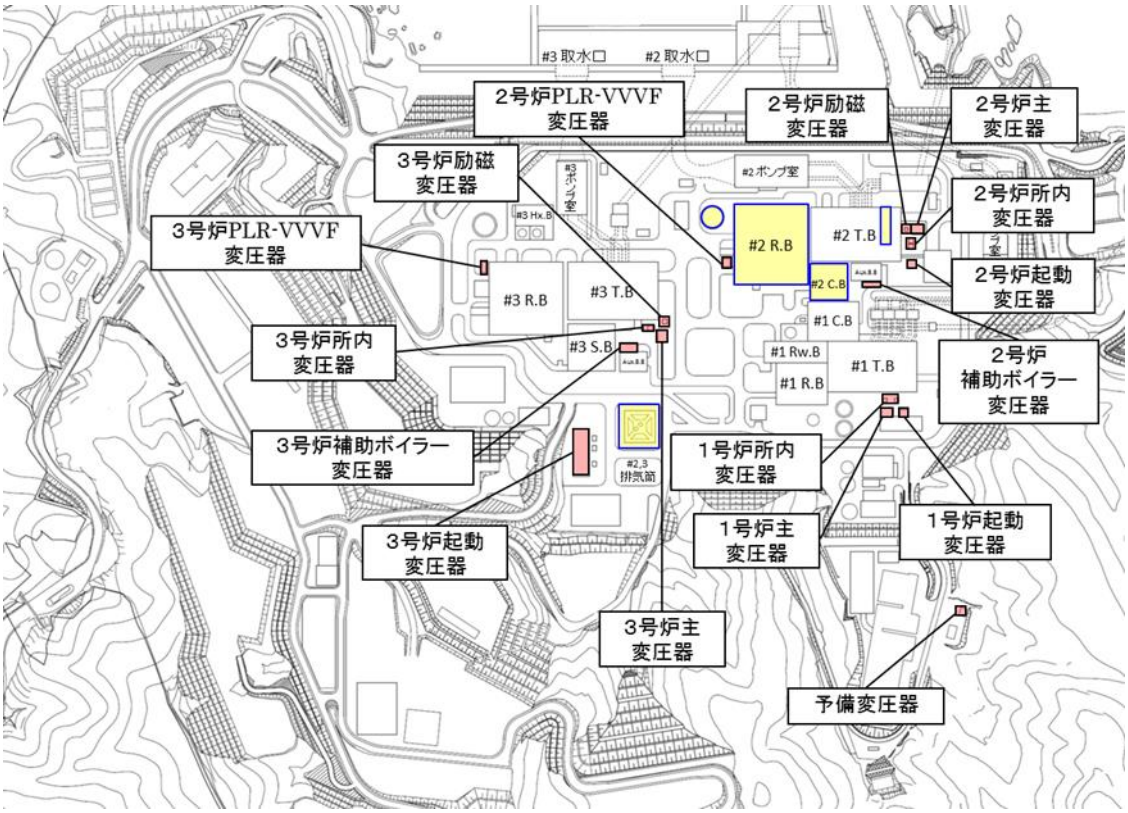
第2.4.3.2-1図 危険物施設等配置図



第2.4.3.2-2図 危険物タンク等のうち評価対象施設フロー



第2.4.3.2-3図 危険物タンク等配置図（危険物タンク）



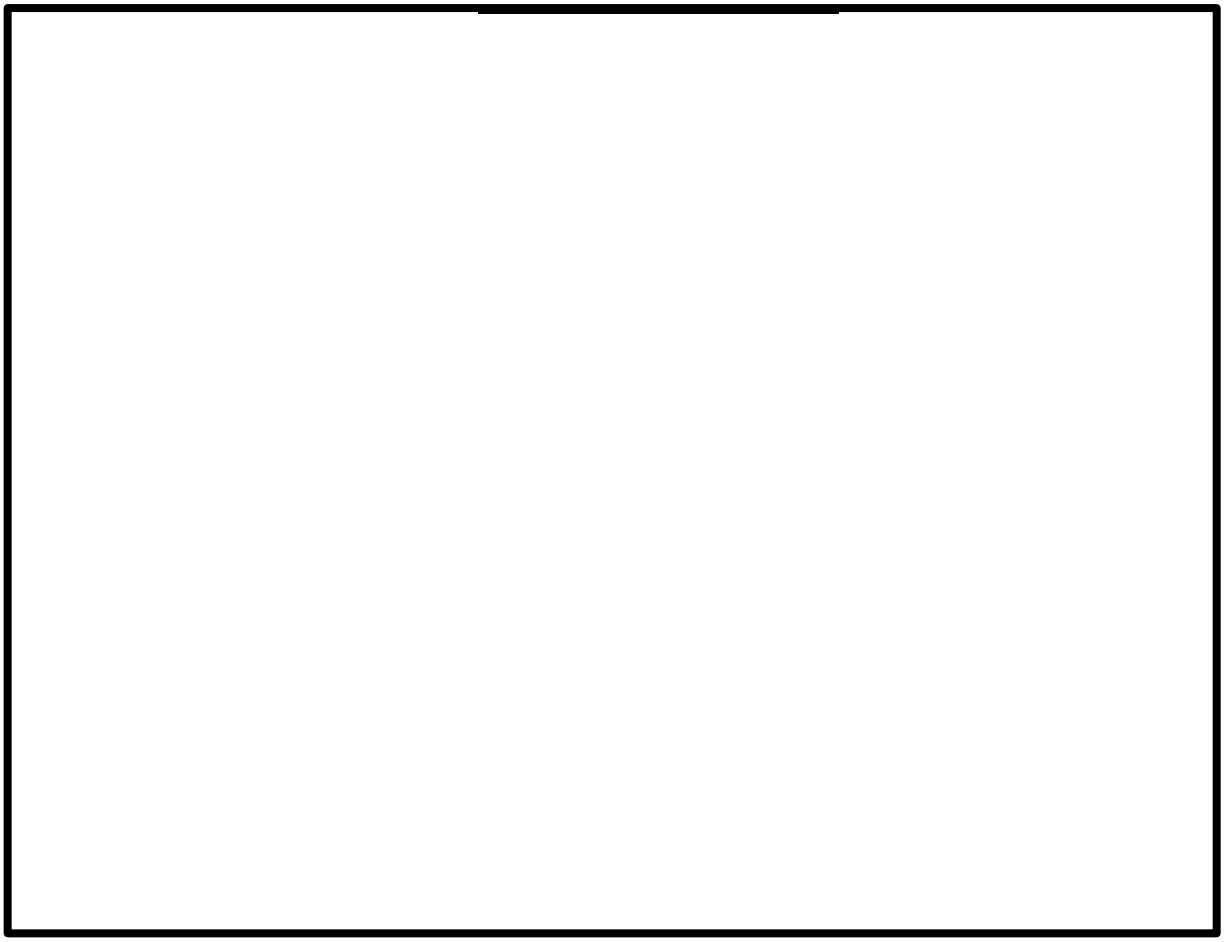
第2.4.3.2-4図 危険物タンク等配置図（変圧器）

第2.4.3.2-1表 女川原子力発電所敷地内危険物施設一覧（1／5）

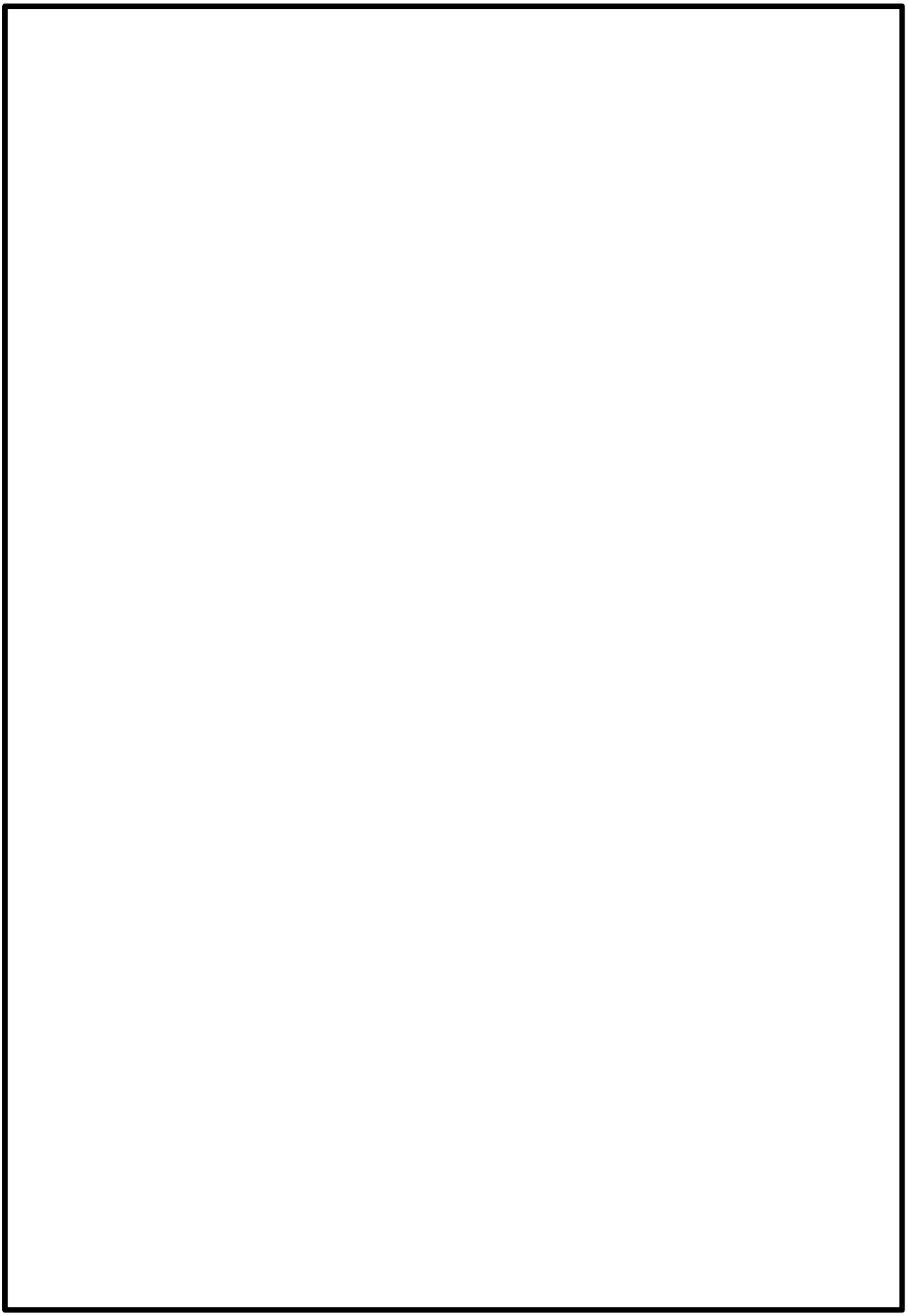
第2.4.3.2-1表 女川原子力発電所敷地内危険物施設一覧（2／5）

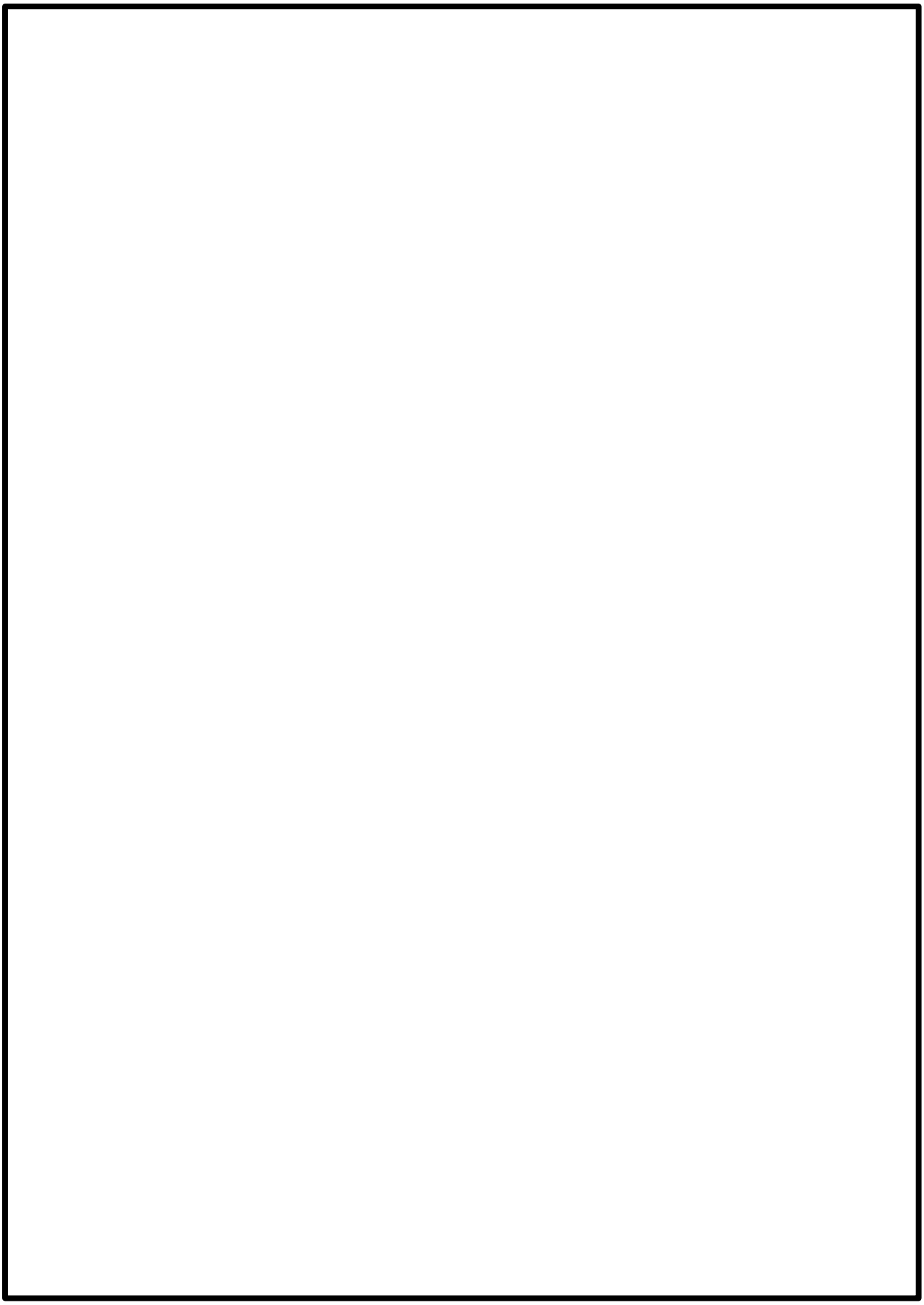
第2.4.3.2-1表 女川原子力発電所敷地内危険物施設一覧（3／5）

第2.4.3.2-1表　女川原子力発電所敷地内危険物施設一覧（4／5）



第2.4.3.2-1表 女川原子力発電所敷地内危険物施設一覧（5／5）





b. 近隣の産業施設による火災及びガス爆発の評価

(a)火災による影響の評価

(a-1) 危険物貯蔵施設の評価

発電所敷地外10km以内の危険物貯蔵施設の火災による直接的な影響を受ける外部事象に対し必要な構築物,系統及び機器への影響評価を実施した。

具体的な計算条件等は「別添4-1 添付資料3 3.」にて記載している。

(a-2) 燃料輸送車両の評価

発電所敷地外10km以内の燃料輸送車両の火災による直接的な影響を受ける外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器への影響評価を実施した。

具体的な計算条件等は「別添4-1 添付資料4 2.」にて記載している。

(a-3) 発電所敷地内に設置する危険物施設等の評価

発電所敷地内に設置する危険物施設等の火災による直接的な影響を受ける外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器への影響評価を実施した。

具体的な計算条件等は「別添4-1 添付資料5 3.」にて記載している。

(a-4) 船舶の評価

外部火災影響評価ガイドを参照し，発電所敷地外で，発生する船舶を選定し，船舶の燃料量と外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器との離隔距離を考慮して，輻射強度が最大となる火災を設定し，直接的な影響を受ける外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器への影響評価を実施した。

具体的な計算条件等は「別添4-1 添付資料4 3.」にて記載している。

(b)ガス爆発による影響の評価

(b-1) 危険物貯蔵施設の評価

発電所敷地外10km以内の高圧ガス貯蔵施設の爆発による直接的な影響を受ける外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器への影響評価を実施した。

具体的な計算条件等は「別添4-1 添付資料3 3.」にて記載している。

(b-2) 燃料輸送車両の評価

発電所敷地外10km以内の燃料輸送車両の爆発による直接的な影響を受ける外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器への影響評価を実施した。

具体的な計算条件等は「別添4-1 添付資料4 2.」にて記載している。

(b-3) 船舶の評価

発電所港湾内で出火する船舶の爆発による直接的な影響を受ける外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器への影響評価を実施した。

具体的な計算条件等は「別添4-1 添付資料4 3.」にて記載している。

(2) 想定される近隣の産業施設の火災・爆発に対する設計方針

a. 火災に対する設計方針

(a) 危険物貯蔵施設の影響

(a-1) 原子炉施設への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し，危険物貯蔵施設から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離以上確保することにより，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の安全機能を損なわない設計とする。なお，仮に最も近い石油類貯蔵施設で最大貯蔵量49.5kl による火災を想定しても，燃料保有量が敷地内危険物施設の最大貯蔵量に比べ少ないことから，危険距離は1号炉軽油タンクによる火災の評価結果に包絡される。

「別添 4-1 添付資料 3 3.」に評価結果を示す。

(a-2) 復水貯蔵タンクへの熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し，危険物貯蔵施設から復水貯蔵タンクまでの離隔距離を必要とされる危険距離以上確保することにより，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の安全機能を損なわない設計とする。なお，仮に最も近い石油類貯蔵施設で最大貯蔵量 49.5kl による火災を想定しても，燃料保有量が敷地内危険物施設の最大貯蔵量に比べ少ないことから，危険距離は1号炉軽油タンクによる火災の評価結果に包絡される。

「別添4-1 添付資料3 3.」に評価結果を示す。

(a-3) 海水ポンプへの熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災について，影響評価を実施し，問題ないことを確認している。

「別添4-1 添付資料3 3.」に評価結果を示す。

(a-4) 排気筒への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し，危険物貯蔵施設から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離以上確保することにより，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。なお，仮に最も近い石油類貯蔵施設で最大貯蔵量 49.5kl による火災を想定しても，燃料保有量が敷地内危険物施設の最大貯蔵量に比べ少ないことから，危険距離は

1号炉軽油タンクによる火災の評価結果に包絡される。

「別添 4-1 添付資料 3 3.」に評価結果を示す。

(b) 燃料輸送車両の影響

(b-1) 原子炉施設への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送車両から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（21m）以上確保することにより，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の安全機能を損なわない設計とする。

「別添4-1 添付資料4 2.」に評価結果を示す。

(b-2) 復水貯蔵タンクへの熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送車両から復水貯蔵タンクまでの離隔距離を必要とされる危険距離（15m）以上確保することにより，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の安全機能を損なわない設計とする。

「別添4-1 添付資料4 2.」に評価結果を示す。

(b-3) 海水ポンプへの熱影響

想定される燃料輸送車両の火災について，影響評価を実施し，問題ないことを確認している。

「別添4-1 添付資料4 2.」に評価結果を示す。

(b-4) 排気筒への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送車両から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（8m）以上確保することにより，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

「別添4-1 添付資料4 2.」に評価結果を示す。

(c) 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の熱影響

(c-1)原子炉施設への熱影響

３号炉軽油タンク（A+B）を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度（274W/m^2）で外壁が昇温されるものとして算出する各建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した，火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度である200℃以下とすることで，各建屋及びその内包する外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の安全機能を損なわない設計とする。

「別添4-1 添付資料5 3.」に評価結果を示す。

(c-2) 復水貯蔵タンクへの熱影響

3 号炉軽油タンク（A+B）を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度（330W/m^2）で復水貯蔵タンクが昇温されるものとして算出する復水貯蔵タンクの温度を，許容温度である 66℃以下とすることで，復水貯蔵タンクの安全機能を損なわない設計とする。

「別添4-1 添付資料5 3.」に評価結果を示す。

(c-3) 排気筒への熱影響

3号炉軽油タンク（A+B）を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度（233W/m^2）で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の表面温度を鋼材の制限温度である325℃以下とすることで，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

「別添4-1 添付資料5 3.」に評価結果を示す。

(d) 船舶の火災・爆発

(d-1) 原子炉施設への熱影響

想定される重油運搬船の火災による輻射の影響に対し，重油運搬船から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（110m）以上確保することにより，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の安全機能を損なわない設計とする。

「別添4-1 添付資料4 3.」に評価結果を示す。

(d-2) 復水貯蔵タンクへの熱影響

想定される重油運搬船の火災による輻射の影響に対し，重油運搬船から復水貯蔵タンクまでの離隔距離を必要とされる危険距離（109m）以上確保することにより，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の安全機能を損なわない設計とする。

「別添4-1 添付資料4 3.」に評価結果を示す。

(d-3) 海水ポンプへの熱影響

想定される重油運搬船の火災について，影響評価を実施し，問題ないことを確認している。

「別添4-1 添付資料4 3.」に評価結果を示す。

(d-4) 排気筒への熱影響

想定される重油運搬船の火災による輻射の影響に対し，重油運搬船から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（20m）以上確保するこ

とにより，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

「別添4-1 添付資料4 3.」に評価結果を示す。

b. ガス爆発に対する設計方針

(a) 危険物貯蔵施設

想定される高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による爆風圧の影響に対し，高圧ガス貯蔵施設から原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（70m）以上確保することにより，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の安全機能を損なわない設計とする。

また，想定される高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による飛来物の影響については，高圧ガス貯蔵施設から原子炉施設までの離隔距離を必要とされる飛来物到達距離(332m)以上確保することにより，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器を損なわない設計とする。

「別添4-1 添付資料3 3.」に評価結果を示す。

(b) 燃料輸送車両

想定される燃料輸送車両のガス爆発による爆風圧の影響に対して，発電所敷地境界の道路から原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（70m）以上確保することにより，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の安全機能を損なわない設計とする。

「別添4-1 添付資料4 2.」に評価結果を示す。

また，想定される燃料輸送車両のガス爆発による飛来物の影響に対して，発電所敷地境界の道路から原子炉施設までの離隔距離を飛来物到達距離（332m）以上確保することにより，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器の安全機能を損なわない設計とする。

「別添4-1 添付資料4 2.」に評価結果を示す。

(c) 船舶

発電所港湾に停泊する熱影響が最大規模となる船舶として，1号炉補助ボイラーに使用する重油を運搬する船舶を想定しているため，ガス爆発は評価しない。

2.4.3.3 発電所敷地内における航空機墜落等による火災

(1) 発生を想定する発電所敷地内における航空機墜落等による火災の設定及び影響評価

a. 航空機墜落による火災の想定

(a) 評価対象範囲

評価対象範囲は，発電所敷地内であって落下確率が10^{-7}［回／炉･年］以上

になる範囲のうち原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域とすることから，大型の民間航空機及び軍用機の機種を対象とし，落下確率が10^{-7}［回／炉･年］に相当する標的面積を算出し，その結果から原子炉施設からの離隔距離を求めた。その上で，選定された航空機ごとの燃料積載量と落下地点から安全施設までの距離を基に，輻射強度が最大となる航空機の種類を特定し，その落下による火災を想定している。

なお，落下実績がない航空機については，保守的に落下実績を0.5件としている。

具体的な算出方法，墜落事故データ等については「別添4-1 添付資料6 2.」にて記載している。

(a-1) 危険物タンクとの重畳

航空機落下に伴い火災が発生した場合に，危険物タンクとの重畳を考慮する。

(b) 火災の想定

以下の火災の想定を踏まえ，航空機落下事故の発生状況や機種による飛行形態の違いに関する最新の知見を基に，航空機を種類別に分類し，その種類ごとに燃料積載量が最大の航空機を選定している。

- 航空機は，発電所における航空機墜落評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。
- 航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- 航空機の墜落によって燃料に着火し火災が起こることを想定する。
- 気象条件は無風状態とする。
- 火災は円筒火災をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

b. 航空機墜落による火災の影響評価

外部火災影響評価ガイドを参照し，航空機墜落による火災についてカテゴリ毎に選定した航空機を対象に，直接的な影響を受ける外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器への影響評価を実施した。

具体的な評価方法は「添付資料6 2.」にて記載している。

(2) 航空機墜落等による火災に対する設計方針

a. 航空機墜落による火災

(a) 原子炉施設

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして，コンクリート表面温度を評価した。

なお，評価にあたっては，対流及び輻射による放熱は考慮しないものとし

た。

熱影響評価の結果，原子炉施設外壁のコンクリート表面温度は最大で約169℃となり，許容温度200℃以下であることを確認した。

「別添4-1 添付資料2 添付-1」にコンクリートの許容限界温度200℃の設定根拠を，「別添4-1 添付資料6 2.」に評価結果を示す。

（b）復水貯蔵タンク

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で復水貯蔵タンクが昇温されるものとして，復水貯蔵タンク温度を評価した。

なお，評価にあたっては，対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

熱影響評価の結果，復水貯蔵タンク温度は最大で約 55℃となり，許容温度66℃以下であることを確認した。

「別添4-1 添付資料6 2.」に評価結果を示す。

(c) 排気筒

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして，排気筒の表面温度を評価した。

なお，円筒外表面積の1/2に火災による輻射が到達し，外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため，断熱とした。

排気筒は支持鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも支持鉄塔側が航空機落下火災との距離が近いこと，材質も支持鉄塔はSS400及びSTK400，筒身ではSMA400APであり，物性値が軟鋼で同一であることから，支持鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

熱影響評価の結果，排気筒の表面温度は最大で約121℃となり，許容温度325℃以下であることを確認した。

「別添4-1 添付資料2 添付-1」に排気筒の許容限界温度325℃の設定根拠を，「別添4-1 添付資料6 2.」に評価結果を示す。

（d）海水ポンプ

火炎の輻射熱による海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機）の温度影響を評価した。

熱影響評価の結果，原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機の取入外気上昇温度 10.5℃及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機海水ポンプの取入外気上昇温度5.7℃を考慮しても海水ポンプに影響を及ぼさないことを確認した。

「別添4-1 添付資料6 2.」に評価結果を示す。

b. 航空機と危険物施設による重畳火災

航空機落下に起因する敷地内の危険物施設との重畳火災を想定し，原子炉建屋の熱影響評価を実施した。

熱影響評価を実施する航空機及び危険物施設は，原子炉施設の外壁に対して評価結果が最も厳しい大型民間航空機（B747-400），貯蔵容量が最大となる３号炉軽油タンク（330kl×2 基）とする。

なお，重畳火災については，以下の 3 ケースにおける熱影響評価の結果，原子炉建屋における外壁のコンクリート表面温度は最大で約 181℃となり，許容温度 200℃以下であることを確認した。

ケース１：航空機と３号炉軽油タンクの火災が同時に発生

ケース２：航空機の燃料が半分となった時点で３号炉軽油タンクの火災が発生

ケース３：航空機の燃焼終了直後に３号炉軽油タンクの火災が発生

「別添4-1 添付資料6 2.」に評価結果を示す。

2.4.3.4 ばい煙及び有毒ガス

(1) 二次的影響の検討

火災に伴い発生を想定する二次的影響として，ばい煙及び有毒ガスによる影響を抽出している。

外部火災により発生するばい煙及び有毒ガスについては，火炎による上昇気流により上空に運ばれることを考慮すると，ばい煙及び有毒ガスが防護対象設備の周辺に滞留する可能性は小さいと考えられるが，ばい煙及び有毒ガスが設備に与える影響について評価を実施する。

(2) 具体的な二次的影響

ばい煙の影響が想定される設備として，設備内にばい煙を含んだ外気を取り込む可能性のある機器，煙や埃に対して脆弱な設備，建屋外部に開口部を有する設備について影響評価を実施する。また，建屋内にばい煙及び有毒ガスを含んだ外気が取り込まれた場合の居住性の観点から評価を実施する。

ここでは，二次的影響を受ける，外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器に属する施設を以下のとおり抽出した。

・非常用ディーゼル機関，同吸気系
・中央制御室換気空調系
・計測制御電源室換気空調系
・原子炉補機室換気空調系
・原子炉建屋原子炉棟換気空調系
・原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機
・高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機

(3) 火災の影響評価判断の考え方

a. 二次的影響による評価

ばい煙及び有毒ガスによる安全上重要な設備及び居住性に対して影響を及ぼさないことを確認した。

なお，二次的影響（ばい煙，有毒ガス）評価を実施する評価対象設備は，評価フロー図に基づき，以下のとおりとする。

また，防護対象設備（クラス３）については，一般産業施設と同等以上の信頼性が要求されており，建屋内の設備については，建屋により防護することとし，屋外設備については，代替設備等により安全機能に影響を与えないことを確認した。

(a) 外気を取込む換気空調系統

ⅰ．外気取入運転を行っている換気空調設備

非常用ディーゼル機関吸気系，中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系，原子炉補機室換気空調系及び原子炉建屋原子炉棟換気空調系は，外気取入口に設置されたフィルタにより，粒径１μm以上のダストを90%以上除去できる性能を有しているため，ばい煙粒子による機器への影響はない。

また，中央制御室については，24時間常駐している運転員が外部火災の情報受信後に，ばい煙の影響を受ける可能性があると判断した場合には，運転員の操作により外気取入ダンパを閉止し外気を遮断できるため，ばい煙の影響は受けない。

ⅱ．中央制御室換気空調系統

（ⅰ）外気取入ダンパを閉止し再循環運転により，酸素濃度及び炭酸ガス濃度を考慮しても長時間室内へのばい煙侵入を阻止することが可能である。

（ⅱ）有毒ガス濃度が判断基準（IDLH※）以下であることから，中央制御室の居住性に影響はない。

※ 30 分暴露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値であり，脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている。

（b）外気を内部に取込む系統・設備

ⅰ．非常用ディーゼル機関，同吸気系

（ⅰ）フィルタを通過したばい煙粒子は，過給機，空気冷却器に侵入するが，機器の間隙は，ばい煙粒子に比べて十分大きいことから閉塞する恐れはない。

（ⅱ）吸入されたばい煙粒子は，機関のシリンダ内へ送気される。送気された

ばい煙粒子は，シリンダ／ピストン間隙(数μm～十数μm)内に侵入し，シリンダ／ピストンの摩擦発生が懸念されるが，主成分は炭素であり摩擦が発生することはない。

ⅱ．原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機

（ⅰ）電動機本体は，空気冷却器を電動機側面に設置して内部通風の熱交換により冷却する構造であり，外気を直接電動機の内部に取込まない全閉構造であることから，ばい煙粒子が電動機内部に侵入することはない。

（ⅱ）外気通風部の吸込み口の金網口径が 10mm 四方，冷却パイプ口径が 29.4mm であり，ばい煙粒子の粒径はこれに比べて十分に小さいことから，閉塞することはない。

ⅲ．高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機

（ⅰ）電動機本体は，外気を直接電動機内部に取込まない外扇形の冷却方式の全閉構造であり，ばい煙粒子が電動機内部に侵入することはない。

（ⅱ）上部貫通部はラビリンスカラーで軸受への侵入防止構造とし，下部貫通部はポンプ架台内とし，侵入を防止する構造としている。

b．火災時の有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響評価

有毒ガスの発生については，中央制御室換気空調系及び緊急時対策所換気空調系における外気取入遮断時の室内に滞在する人員に対する環境劣化防止のため，酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施し，又は，離隔を確保する等により，居住空間へ影響を及ぼさない設計とする。

なお，外気取入ダンパが設置されており再循環運転が可能である中央制御室換気空調系については，外気取入ダンパを閉止し，再循環運転を行う。

「別添 4-1 添付資料 7 3.」に評価結果を示す。

別添１－１

女川原子力発電所２号炉
外部事象の考慮について

目　次

１．設計基準で想定される自然現象及び人為事象の選定について
２．自然現象の考慮
３．人為事象の考慮
４．自然現象の組合せ

補足資料
1. 生物学的事象に対する考慮について
2. 航空機落下確率評価について
3. 計測制御盤の主な電磁波等，外部からの外乱(サージ)・ノイズ対策について
4. 設計基準事故時に生じる応力の考慮について
5. 自然現象，人為事象に対する安全施設の影響評価について
6. 旧安全設計審査指針と設置許可基準規則の比較について
7. 考慮すべき事象の除外基準とASME判断基準との比較について
8. 考慮した外部事象についての対応状況について
9. 防護すべき安全施設及び重大事故等対象施設への考慮
10. 風（台風）影響評価について
11. 凍結影響評価について
12. 降水影響評価について
13. 積雪影響評価について
14. 落雷影響評価について
15. 有毒ガス影響評価について
16. 比較的短期での気候変動に対する考慮について

１．設計基準で想定される自然現象及び人為事象の選定について

想定される自然現象及び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，「想定される人為事象」という。）について選定を行った。

（１）想定される自然現象及び想定される人為事象の抽出

設置許可基準規則の解釈第６条第２項及び８項において，「想定される自然現象（地震及び津波を除く。）」と「安全性を損なわせる原因となる恐れがある事象」として，以下のとおり例示されている。

第６条（外部からの衝撃による損傷の防止）

（中略）

2 第１項に想定する「想定される自然現象」とは、敷地の自然現象を基に、洪水、風(台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象又は森林火災等から適用されるものをいう。 （中略） 8 第３項に規定する「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。）としては、敷地及び敷地周辺の状況をもとに選択されるものであり、飛来物（航空機落下等）、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等をいう。

想定される自然現象及び想定される人為事象について網羅的に抽出するための基準等については，国外の基準として Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants (IAEA, April 2010)」を，また人為事象を選定する観点から「DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES(FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI 12-06 August 2012)」，日本の自然現象を網羅する観点から「日本の自然災害（国会資料編纂会 1998 年)」を参考にした。これらの基準等に基づき抽出した想定される自然現象を第 1-1 表に，想定される人為事象を第 1-2 表に示す。

なお，その他に NRC の「NUREG/CR-2300 PRA Procedures Guide (NRC, January 1983)」等の基準も事象収集の対象としたが，これら追加した基準の事象により，「(3) 設計上考慮すべき想定される自然現象及び人為事象の選定結果」において選定される事象が増加することはなかった。

第 1-1 表 考慮する外部ハザードの抽出（想定される自然現象）

No	外部ハザード	外部ハザード抽出した文献等												
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
1-1	極低温（凍結）	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○		
1-2	隕石	○		○		○		○		○		○		
1-3	降水（豪雨（降雨））	○	○	○	○	○	○	○		○	○			
1-4	河川の迂回	○				○		○		○	○			
1-5	砂嵐（or 塩を含んだ嵐）	○		○		○		○		○	○	○		
1-6	静振	○				○		○		○	○			
1-7	地震活動	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○		
1-8	積雪（暴風雪）	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○		
1-9	土壌の収縮又は膨張	○				○		○		○	○			
1-10	高潮	○	○			○		○		○	○			
1-11	津波	○	○	○	○	○	○	○		○	○			
1-12	火山（火山活動・降灰）	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○		
1-13	波浪・高波	○				○		○		○	○			
1-14	雪崩	○	○	○		○		○		○	○			
1-15	生物学的事象	○			○		○	○		○				
1-16	海岸浸食	○		○		○		○		○				
1-17	干ばつ	○	○	○		○		○		○				
1-18	洪水（外部洪水）	○	○			○	○	○		○	○	○		
1-19	風(台風)	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○		
1-20	竜巻	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○		
1-21	濃霧	○				○		○		○				
1-22	森林火災	○	○	○	○	○	○	○		○		○		
1-23	霜・白霜	○	○	○		○		○		○				
1-24	草原火災	○								○		○		
1-25	ひょう・あられ	○	○	○		○		○		○	○	○		
1-26	極高温	○	○	○		○		○		○	○	○		
1-27	満潮	○				○		○		○				
1-28	ハリケーン	○				○		○						
1-29	氷結	○		○		○		○		○				
1-30	氷晶			○						○				
1-31	氷壁			○						○				
1-32	土砂崩れ(山崩れ, がけ崩れ)		○											
1-33	落雷	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○		
1-34	湖又は河川の水位低下	○		○		○		○		○				

No	外部ハザード	外部ハザード抽出した文献等												
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
1-35	湖又は河川の水位上昇			○		○								
1-36	陥没・地盤沈下・地割れ	○	○							○	○			
1-37	極限的な圧力（気圧高低）			○						○	○			
1-38	もや			○										
1-39	塩害，塩雲			○						○				
1-40	地面の隆起		○	○						○	○			
1-41	動物			○						○				
1-42	地すべり	○		○		○	○	○		○	○			
1-43	カルスト			○						○	○			
1-44	地下水による浸食			○							○			
1-45	海水面低			○						○				
1-46	海水面高			○						○				
1-47	地下水による地すべり			○										
1-48	水中の有機物			○										
1-49	太陽フレア，磁気嵐	○								○				
1-50	高温水（海水温高）			○						○	○			
1-51	低温水（海水温低）			○						○	○			
1-52	泥湧出		○											
1-53	土石流		○							○				
1-54	水蒸気		○							○				
1-55	毒性ガス	○	○			○		○		○				

第 1-2 表 考慮する外部ハザードの抽出（想定される人為事象）

No	外部ハザード	外部ハザード抽出した文献等												
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
2-1	衛星の落下	○		○				○		○		○		
2-2	ﾊﾟｲﾌﾟﾗｲﾝ事故(ガスなど)，ﾊﾟｲﾌﾟﾗｲﾝ事故によるサイト内爆発等	○		○		○		○						
2-3	交通事故(化学物質流出含む)	○		○		○		○		○		○	○	○
2-4	有毒ガス	○			○	○	○	○						
2-5	タービンミサイル	○			○	○	○	○						
2-6	飛来物（航空機衝突）	○		○	○	○	○	○	○	○	○			○
2-7	工業施設又は軍事施設事故	○				○		○		○		○	○	○
2-8	船舶の衝突（船舶事故）	○		○	○		○			○	○			○
2-9	自動車又は船舶の爆発	○		○						○			○	○
2-10	船舶から放出される固体液体不純物			○						○	○		○	○
2-11	水中の化学物質			○										
2-12	プラント外での爆発			○	○		○			○				
2-13	プラント外での化学物質の流出			○						○	○			
2-14	サイト貯蔵の化学物質の流出	○		○		○		○						
2-15	軍事施設からのミサイル			○										
2-16	掘削工事			○									○	○
2-17	他のユニットからの火災			○										
2-18	他のユニットからのミサイル			○										
2-19	他のユニットからの内部溢水			○							○		○	○
2-20	電磁的障害			○	○		○			○				
2-21	ダムの崩壊			○	○		○			○	○			
2-22	内部溢水				○	○	○	○						
2-23	火災（近隣工場等の火災）				○	○	○			○	○	○	○	○

＜外部ハザード抽出した文献等＞

① DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES(FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI12-06 August 2012)
② 「日本の自然災害」国会資料編纂会 1998 年
③ Specific Safety Guide (SSG-3) ″ Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants″, IAEA, April 2010
④ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（制定：平成 25 年 6 月 19 日）
⑤ NUREG/CR-2300 ″PRA Procedures Guide″, NRC, January 1983
⑥ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（制定：平成 25 年 6 月 19 日）
⑦ ASME/ANS RA-Sa-2009″ Addenda to ASME ANS RA-S-2008 Standard for level 1/Large Early Release Frequency probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications″
⑧ B.5.b Phase 2&3 Submittal Guideline (NEI 06-12 December 2006)- 2011.5 NRC 発表
⑨ 「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準：2014」一般社団法人 日本原子力学会 2014 年 12 月
⑩ Safety Requirements No.NS-R-3 ″Site Evaluation for Nuclear Installation″, IAEA, Novemver 2003
⑪ NUREG 1407 “Procedural and Submittal Guidance for the Individual Plant Examination of External Events (IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities, NRC, June 1991
⑫「産業災害全史」，日本アソシエーツ，2010 年 9 月
⑬「日本災害史辞典 1868-2009」，日本アソシエーツ，2010 年 9 月

（２）設計上考慮すべき想定される自然現象及び人為事象の選定

（１）で網羅的に抽出した事象について，女川原子力発電所において設計上考慮すべき事象を選定するため，海外での評価手法※を参考とした第1-3表の除外基準のいずれかに該当するものは除外して事象の選定を行った。

第1-3表に示すとおり，サイトに外部事象が有意な影響を与えるかという観点（基準A，基準B），サイトに到達した外部事象が設備にどの程度影響を与えるかという観点（基準C），影響が他の事象に包絡されるかという観点（基準D），発生頻度が他の事象と比較して非常に低いかという観点（基準E）及び他の条項で評価する事象かという観点（基準F）から選定を実施した。

第1-3表 除外基準（参考1参照）

基準A	プラントに影響を与えるほど近接した場所に発生しない。（例：No.1-5 砂嵐）
基準B	ハザード進展・来襲が遅く，事前にそのリスクを予知・検知することでハザードを排除できる。（例：No.1-16 海岸浸食）
基準C	プラント設計上，考慮された事象と比較して設備等への影響度が同等もしくはそれ以下，又はプラントの安全性が損なわれることはない。（例：No.1-21 濃霧）
基準D	影響が他の事象に包絡される。（例：No.1-27 満潮）
基準E	発生頻度が他の事象と比較して非常に低い。（例：No.1-2　隕石）
基準F	外部からの衝撃による損傷の防止とは別の条項で評価を実施している。又は故意の人為事象等，外部からの衝撃による損傷の防止の対象外の事項（例：No.2-5　タービンミサイル）

※ ASME/ANS RA-Sa-2009 ″Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications″

（３）設計上考慮すべき想定される自然現象及び想定される人為事象の選定結果

（２）で検討した除外基準に基づき，女川原子力発電所において設計上考慮すべき事象を選定した結果を第 1-4 表及び第 1-5 表に示す。

第 6 条に該当する「想定される自然現象」として，以下の 11 事象を選定した。

・洪水
・風(台風)
・竜巻
・凍結
・降水
・積雪
・落雷
・地すべり
・火山の影響
・生物学的事象
・森林火災

また，「想定される人為事象」として，以下の 7 事象を選定した。

・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
・電磁的障害

第 1-4 表 設計上考慮すべき想定される自然現象の選定結果

No	外部ハザード	除外基準	選定	備　考
1-1	極低温（凍結）	－	○	地域特性を踏まえ「凍結」としてプラントへの影響評価を行う。
1-2	隕石	E	×	安全施設の機能に影響が及ぶ規模の隕石等が衝突する可能性は極めて低いことから考慮しない(※1)。
1-3	降水（豪雨（降雨））	－	○	地域特性を踏まえ「降水」としてプラントへの影響評価を行う。
1-4	河川の迂回	A	×	海水を冷却源としていること及び敷地内に河川は存在しないため考慮しない。
1-5	砂嵐（塩を含んだ嵐）	A	×	周辺に砂丘等が無いため考慮しない。 なお，黄砂については，換気空調系設備の外気取込み側に設置されたフィルタにより大部分を捕集可能であること，また，容易に取替が可能であることから，安全施設の機能に影響を及ぼすことはない。
1-6	静振	D	×	静振は気圧や風の変化により湖沼や湾内でみられる水の振動であるが，その影響は「津波」による影響評価に包絡される。
1-7	地震活動	F	×	「第四条 地震による損傷の防止」及び「第三条 設計基準対象施設の地盤」にて評価する。
1-8	積雪（暴風雪）	－	○	地域特性を踏まえ「積雪」としてプラントへの影響評価を実施する。
1-9	土壌の収縮又は膨張	D	×	地盤の脆弱性に係る影響であるため，「地震活動」（地盤(第三条)）による影響評価に包絡される。
1-10	高潮	D	×	高潮は気圧低下による海面の吸い上げ及び向岸風による海水の吹き寄せにより潮位が高くなる現象であるが，その影響は「津波」による影響評価に包絡される。
1-11	津波	F	×	「第五条 津波による損傷の防止」にて評価する。
1-12	火山（火山活動・降灰）	－	○	地域特性を踏まえ「火山の影響」としてプラントへの影響評価を行う。
1-13	波浪・高波	D	×	波浪は風浪（風によってその場所に発生する波）とうねり（他の場所で発生した風浪の伝わり，風が静まったあとに残される波）の混在した現象であるが，その影響は「津波」による影響評価に包絡される。
1-14	雪崩	A	×	豪雪地帯ではないため考慮しない。
1-15	生物学的事象	－	○	「生物学的事象」としてプラントへの影響評価を実施する。
1-16	海岸浸食	B	×	基本的に取水に係る土木構築物はコンクリート製であり浸食はほとんど無く，仮に海底砂の流出等による海底勾配の変化が生じるような場合も，非常に緩やかに進行するものと考えられ，保守管理による不具合防止が可能であることから，安全施設の機能が損なわれることはないため考慮しない。

No	外部ハザード	除外基準	選定	備　考
1-17	干ばつ	A	×	海水を取水源としていることから，安全施設の機能に影響を及ぼすことはないため考慮しない。
1-18	洪水（外部洪水）	－	○	発電所で使用する淡水が北上川から専用の導水管により取水していることを踏まえ，「洪水」としてプラントへの影響評価を行う。
1-19	風(台風)（暴風(台風)）	－	○	地域特性を踏まえ「風(台風)」としてプラントへの影響評価を行う。
1-20	竜巻	－	○	地域特性を踏まえ「竜巻」としてプラントへの影響評価を行う。
1-21	濃霧	C	×	霧は微小な水滴が空気中に浮遊している現象であり，設備に損傷を及ぼす要因とはならず，安全施設の機能に影響を及ぼすことは無いため考慮しない。
1-22	森林火災	－	○	地域特性を踏まえ「森林火災（外部火災）」としてプラントへの影響評価を行う。
1-23	霜・白霜	C	×	霜は空気中の水蒸気が物体表面で微細な結晶（氷）になる現象であり，設備に損傷を及ぼす要因とはならず，安全施設の機能に影響を及ぼすことは無いため考慮しない。
1-24	草原火災	D	×	植生調査を踏まえて森林火災による評価を実施しているため，「森林火災」による影響評価に包絡される。
1-25	ひょう・あられ	D	×	ひょう及びあられは飛来物であり，その衝突影響については「竜巻」による影響評価に包絡される。
1-26	極高温	C	×	過去最高気温（37.0℃：大船渡特別地域気象観測所）を踏まえると，空調設計条件を超過する可能性はあるものの，気温は 1 日の中で高低差があるため超過は一時的であること，建屋内空調は海水をヒートシンクとして冷却していることから室内の気温上昇の影響は著しくなく安全機能が損なわれることはないことから，安全施設の機能に影響を及ぼすことは無いため考慮しない。また，各部屋の温度が長時間にわたり設計室温を上回る恐れがある場合には，必要に応じてプラントを停止する。 なお，温暖化による長期的な温度上昇は緩慢であり，風量調整，冷却設備の増強等，室内温度の上昇を抑制する処置を検討・実施する時間余裕がある。
1-27	満潮	D	×	津波評価において朔望平均満潮位を考慮しているため，「津波」(第五条)による影響評価に包絡される。
1-28	ハリケーン	D	×	台風と同一の気象現象であるため，「風(台風)」による影響評価に包絡される。
1-29	氷結	A	×	取水源（海水）が凍結することはなく，安全施設の機能に影響を及ぼすことは無いため考慮しない。

No	外部ハザード	除外基準	選定	備　考
1-30	氷晶	A	×	取水源（海水）が凍結することはなく，安全施設の機能に影響を及ぼすことは無いため考慮しない。
1-31	氷壁	D	×	影響は極低温（凍結）と同じと考えられるため，「凍結」による影響評価に包絡される。
1-32	土砂崩れ（山崩れ，がけ崩れ）	D	×	地盤の脆弱性に係る影響であるため，「地震活動」（地盤(第三条)）による影響評価に包絡される。
1-33	落雷	－	○	「落雷」としてプラントへの影響評価を行う。
1-34	湖又は河川の水位低下	A	×	海水を冷却源としていること及び敷地内に河川，湖は存在しないため，考慮しない。
1-35	湖又は河川の水位上昇	A	×	海水を冷却源としていること及び敷地内に河川，湖は存在しないため，考慮しない。
1-36	陥没・地盤沈下・地割れ	D	×	地盤の脆弱性に係る影響であるため，「地震活動」（地盤(第三条)）による影響評価に包絡される。
1-37	極限的な圧力（気圧高低）	D	×	竜巻評価において気圧差による荷重を考慮しているため，「竜巻」による影響評価に包絡される。
1-38	もや	C	×	もやは，微小な水滴や湿った微粒子が空気中に浮遊している現象であり，設備に損傷を及ぼす要因とはならず，安全施設の機能に影響を及ぼすことは無いため考慮しない。
1-39	塩害，塩雲	B	×	腐食の事象進展は遅く，保守管理による不具合防止が可能であることに加え，防食塗装による発生防止措置も実施していることから，安全施設の機能に影響を及ぼすことはないため考慮しない。
1-40	地面の隆起	D	×	地面の隆起は地震に伴う随伴事象であるため，「地震活動」（地盤(第三条)）による影響評価に包絡される。
1-41	動物	D	×	生物学的影響において小動物を考慮しているため，「生物学的影響」による影響評価に包絡される。
1-42	地すべり	－	○	発電所の敷地が丘陵地を持つ複雑地形であることを踏まえ，「地すべり」としてプラントへの影響評価を行う。
1-43	カルスト	A	×	発電所の周囲にカルスト地形はないため考慮しない。
1-44	地下水による浸食	D	×	地盤の脆弱性に係る影響であるため，「地震活動」（地盤(第三条)）による影響評価に包絡される。
1-45	海水面低	D	×	影響は津波と同様と考えられるため，「津波」による影響評価に包絡される。
1-46	海水面高	D	×	影響は津波と同様と考えられるため，「津波」による影響評価に包絡される。
1-47	地下水による地すべり	D	×	地盤の脆弱性に係る影響であるため，「地震活動」（地盤(第三条)）による影響評価に包絡される。

No	外部ハザード	除外基準	選定	備　考
1-48	水中の有機物	D	×	生物学的影響においてクラゲ等の海生生物を考慮しているため，「生物学的影響」による影響評価に包絡される。
1-49	太陽フレア，磁気嵐	C	×	太陽フレア，磁気嵐により誘導電流が発生する可能性があるが，影響が及んだとしても変圧器等の一部に限られることなどから，出力を絞る等の対応によって安全施設の機能を維持できるため考慮しない。
1-50	高温水（海水温高）	B	×	海水温は監視しており，海水温の上昇に伴う取水温度の上昇により復水器真空度が低下し，定格出力維持が困難な場合が生じたとしても，出力低下又はプラント停止措置を講じることにより，安全施設の機能に影響を及ぼすことは無いため考慮しない。
1-51	低温水（海水温低）	C	×	海水温の低下により取水温度が低下するが，安全施設の機能に影響を及ぼすことは無いため考慮しない。
1-52	泥湧出	D	×	地盤の脆弱性に係る影響であるため，「地震活動」（地盤(第三条)）による影響評価に包絡される。
1-53	土石流	D	×	地すべりの評価において，土石流危険区域等を考慮しているため,「地すべり」による影響評価に包絡される。
1-54	水蒸気	D	×	火山事象により発生する事象であるため,「火山の影響」による影響評価に包絡される。なお，発電所周辺には影響を及ぼす範囲に火山がないため，水蒸気，熱湯による影響はない。
1-55	毒性ガス	D	×	火山及び森林火災により発生する事象であるため，「火山の影響」及び「森林火災」による影響評価に包絡される。

第 1-5 表 設計上考慮すべき想定される人為事象の選定結果

No	外部ハザード	除外基準	選定	備　考
2-1	衛星の落下	E	×	安全施設の機能に影響が及ぶ規模の隕石等が衝突する可能性は極めて低いことから考慮しない（※2)。
2-2	パイプライン事故（ガスなど），パイプライン事故によるサイト内爆発等	A	×	周辺にパイプラインは無いため考慮しない。
2-3	交通事故（化学物質流出含む）	D	×	影響は爆発又は有毒ガスと同じと考えられるため，「爆発」又は「有毒ガス」による影響評価に包絡される。
2-4	有毒ガス	－	○	「有毒ガス」としてプラントへの影響評価を行う。
2-5	タービンミサイル	F	×	「第十八条　蒸気タービン」にて評価する。
2-6	飛来物（航空機衝突）	－	○	「航空機落下」としてプラントへの影響評価を行う。
2-7	工業施設又は軍事施設事故	D	×	影響は爆発又は近隣工場等の火災と同じと考えられるため，「爆発」又は「近隣工場等の火災」による影響評価に包絡される。
2-8	船舶の衝突（船舶事故）	－	○	「船舶の衝突」としてプラントへの影響評価を行う。
2-9	自動車又は船舶の爆発	D	×	影響は爆発と同じと考えられるため，「爆発」による影響評価に包絡される。
2-10	船舶から放出される固体液体不純物	D	×	船舶の衝突において重油流出を想定しているため，「船舶の衝突」による影響評価に包絡される。
2-11	水中の化学物質	A	×	発電所周辺に化学プラントは立地していないため考慮しない。
2-12	プラント外での爆発	－	○	地域特性を踏まえて「爆発」としてプラントへの影響評価を行う。
2-13	プラント外での化学物質の流出	D	×	影響は有毒ガスと同じと考えられるため，「有毒ガス」による影響評価に包絡される。
2-14	サイト貯蔵の化学物質の流出	C	×	化学薬品は適切に管理しており，流出した場合においても堰等により拡散防止が図られているため考慮しない。
2-15	軍事施設からのミサイル	F	×	故意の人為事象であるため考慮しない。 なお，発電所から約 25km の地点に航空自衛隊松島基地があるが，対地及び対空訓練区域は設定されていないため考慮しない。
2-16	掘削工事	C	×	サイト内では，事前調査で埋設ケーブル・配管の位置を確認し，損傷は回避できるが，万一損傷させた場合でも，安全系は位置的分散が図られているため，複数の安全機能を同時に喪失することは無く，プラントの安全性が損なわれることはないと判断。また，サイト外では，送電鉄塔付近での掘削による斜面崩壊が考えられるが，非常用所内電源があるため，プラントの安全性が損なわれることはないと判断されるため，考慮しない。

No	外部ハザード	除外基準	選定	備　考
2-17	他のユニットからの火災	F	×	「第八条　火災による損傷の防止」にて評価する。
2-18	他のユニットからのミサイル	F	×	「第十八条　蒸気タービン」にて評価する。
2-19	他のユニットからの内部溢水	F	×	「第九条　溢水による損傷の防止等」にて評価する。
2-20	電磁的障害	－	○	「電磁的障害」としてプラントへの影響評価を行う。
2-21	ダムの崩壊	－	○	「ダムの崩壊」としてプラントへの影響評価を行う。
2-22	内部溢水	F	×	「第九条　溢水による損傷の防止等」にて評価する。
2-23	火災（近隣工場等の火災）	－	○	「近隣工場等の火災」としてプラントへの影響評価を行う。

※1 隕石の考慮について

(1) 国内の隕石落下記録による落下確率計算

隕石については，国内外で多数の落下事例が確認されており，日本において数グラムのものから数十kgに至るものについて記録が存在する。

しかし，それらの記録については，あくまで地上に落下したものについて確認されたものであって，海へ落下したものは確認困難であること，地上に落下したものであっても確認されていないものも多数存在すると考えられる。

これらを踏まえ，落下頻度の計算結果を以下に示す。

（計算条件）

・対象隕石　国内隕石の落下記録（注1）において，比較的，記録の多い1800年以降であって，かつ，建屋・設備への影響を否定できない1kg以上の隕石は，2013年3月までの期間に14回であるが，ここでは相対的に信頼性が高く，落下頻度が高くなる1900年以降を対象隕石とする（1900年以降の隕石落下は8回）。

・落下頻度　隕石の落下については，上述のとおり，未確認のものも多数存在すると思われるため，落下頻度の算出にあたっては，上記対象隕石が非森林地域，かつ落下が確認されやすい地域に落下したものとする。

（計算結果）

国内の非森林地域への落下頻度は，約7.08×10^{-2}回／年（1900年3月～2013年3月の記録ベース。1800年以降の記録で算出した場合，約6.57×10^{-2}回／年）となり，女川原子力発電所敷地への落下頻度を面積比から算出した結果は第1-6表のとおり。

第1-6表 算出結果

対象	落下頻度（回／年）
女川原子力発電所敷地内	1.29×10^{-6}
防護区域	3.10×10^{-8}
1～3号R/B＋1,2号C/B＋3号S/B	2.86×10^{-8}
2号R/B＋1,2号C/B	1.21×10^{-8}

（計算概要）

対象隕石の国内への落下頻度は，1900年3月から2013年3月までに8回の落下であることから，

$8／(2013-1900)＝7.08\times10^{-2}$（回／年）

となる。ここで，非森林地域であり，落下が確認されやすい地域を国土面積

の25.1％(注2)とすると，

・日本国土面積のうち非森林地域：377,962×0.251＝94,868[km^2]

・女川原子力発電所敷地面積：1.73[km^2]

であることから，女川原子力発電所敷地への隕石の落下頻度は，以下のとおりとなる。

$1.73／94,868×7.08×10^{-2}＝1.29×10^{-6}$（回／年）

その他の落下頻度については，上記と同様に求めた。

（注1）：国立科学博物館HP　日本の隕石リストを参照
(http://www.kahaku.go.jp/research/db/science_engineering/inseki/inseki_list.html)

（注2）：国土交通省土地白書　平成26年版　我が国の国土利用の現況を参照
(http://tochi.mlit.go.jp/wp-content/uploads/2014/06/6f740e8f4091973c8a4c00cb976e5cdc.pdf)

以上より，隕石が敷地内の安全施設へ落下し，その安全性に影響を及ぼすケースは非常に稀であり，発電用原子炉施設の周囲に落ちたときの衝撃については，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，影響はないと考えられる。また，津波を起こすような隕石は，大規模なものであり，かつ太平洋への落下を考慮すると，その落下頻度は極低頻度となる。

なお，国内に落下した1800年以降の隕石の直径は数m以下であるが，一般的に，隕石等は大気圏通過に伴いその大半が燃え尽き，また一部は破砕することを考慮すると，落下隕石が宇宙空間に存在していた時には，その大きさは，より大きなものであったと推定される。

※2 衛星の落下の考慮について

人工衛星が落下した場合については，衛星の大部分が大気圏で燃え尽き，一部破片が落下する可能性があるものの，発電用原子炉施設に影響を及ぼすことはないものと考えられる。

(2) トリノスケールによる落下確率計算

地球近傍の天体が，地球に衝突する確率及び衝突した際の被害状況を表す尺度として，トリノスケールがあるが，NASAによると2016年において，今後100年間に衝突する可能性があるすべての天体についてレベル0とされている。このレベル0は，衝突確率が0か限りなく0に近い，又は，衝突したとしても大気中で燃え尽き被害がほとんど発生しないことを示す。

参考に，NASAのリストにおいて，2016年現在最も衝突確率の高い$2010RF_{12}$（今後100年間での衝突確率：$6.5×10^{-2}$）について，今後100年間の女川原子

力発電所への衝突確率を計算すると以下のとおりである。

地球の表面積：510,072,000km^2

女川原子力発電所の敷地面積：1.73km^2

敷地内に衝突する確率は，概算で以下のとおりとなる。

$6.5\times10^{-2}\times(1.73/510,072,000)=2.2\times10^{-10}$

(1)の結果である1.29×10^{-6}（回／年）と，2.2×10^{-10}では，10^4程度の差異が生じているが，これは対象とする隕石が，(1)では1kg以上のものを抽出しているが，(2)では落下した際に被害を及ぼす規模のものから抽出しており，(2)では小規模のものは取り除かれているためであると考えられる。敷地内に隕石が落下する確率としては，(2)に比べ(1)が大きな確率ではあるが，この値も低頻度である。

＜参考１＞

・基準Ａ：プラントに影響を与えるほど近接した場所に発生しない。

発電所の立地点の自然環境は一様ではなく，発生する自然現象は地域性があるため，発電所立地点において明らかに起こり得ない事象は対象外とする。

・基準Ｂ：ハザード進展・来襲が遅く，事前にそのリスクを予知・検知することでハザードを排除できる。

事象発生時の発電所への影響の進展が緩慢であって，影響の緩和又は排除の対策が容易に講じることができる事象は対象外とする。例えば，発電所の海岸の浸食の事象が発生しても，進展が遅いため補強工事等により浸食を食い止めることができる。

・基準Ｃ：プラント設計上，考慮された事象と比較して設備等への影響度が同等もしくはそれ以下，又はプラントの安全性が損なわれることがない。

事象が発生しても，プラントへの影響が極めて限定的で炉心損傷事故のような重大な事故にはつながらない事象は対象外とする。例えば，外気温が上昇しても，屋外設備でも故障に至る可能性は小さく，また，冷却海水の温度が直ちに上昇しないことから冷却は維持できるので，影響は限定的である。

・基準Ｄ：影響が他の事象に包絡される。

プラントに対する影響が同様とみなせる事象については，相対的に影響が大きいと判断される事象に包含して合理的に検討する。

・基準Ｅ：発生頻度が他の事象と比較して非常に低い。

タービンミサイル，航空機落下の評価では発生頻度が低い事象（10^{-7}/年以下）は，考慮すべき事象からは対象外としており，同様に発生頻度がごく稀な事象は対象外とする。

・基準Ｆ：外部からの衝撃による損傷の防止とは別の条項により評価を実施している。又は故意の人為事象等，外部からの衝撃による損傷の防止の対象外の事項

第四条　地震による損傷の防止，第五条　津波による損傷の防止，第九条　溢水による損傷の防止，第十八条　蒸気タービンにより評価を実施するもの，又は，故意の人為事象等外部からの衝撃による損傷の防止に該当しないものについては，対象外とする。

＜参考２＞

設計基準において想定される自然現象の抽出フロー

国内外の基準等に基づき，考えられる外部ハザードを網羅的に抽出

表 1-1 考慮する外部ハザードの抽出（想定される自然現象）

No	外部ハザード	外部ハザード抽出した文献等												
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
1-1	極低温（凍結）	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○		
1-2	隕石	○		○		○		○		○		○		
1-3	降水（豪雨（降雨））	○	○	○	○	○	○	○		○	○			
1-4	河川の迂回	○				○		○		○	○			
1-5	砂嵐（or 塩を含んだ嵐）	○		○		○		○		○	○	○		
						○		○		○	○			
1-7	地震活動	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○		

① DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES(FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI 12-06 August 2012)
② 「日本の自然災害」国会資料編纂会 1998 年
③ Specific Safety Guide (SSG-3) ″ Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants″, IAEA, April 2010
④ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（制定：平成 25 年 6 月 19 日）
⑤ NUREG/CR-2300 ″PRA Procedures Guide″, NRC, January 1983
⑥ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（制定：平成 25 年 6 月 19 日）
⑦ ASME/ANS RA-Sa-2009″ Addenda to ASME ANS RA-S-2008 Standard for level 1/Large Early Release Frequency probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications″
⑧ B.5.b Phase 2&3 Submittal Guideline (NEI 06-12 December 2006)- 2011.5 NRC 発表
⑨ 「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準：2014」一般社団法人　日本原子力学会　2014 年 12 月
⑩ Safety Requirements No.NS-R-3 ″Site Evaluation for Nuclear Installation″, IAEA, Novemver 2003
⑪ NUREG　1407 “Procedural and Submittal Guidance for the Individual Plant Examination of External Events (IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities, NRC, June 1991
⑫「産業災害全史」，日本アソシエーツ，2010 年 9 月
⑬ 「日本災害史辞典 1868-2009」，日本アソシエーツ，2010 年 9 月

敷地の自然環境を考慮し，海外での評価手法※を参考とした除外基準に該当するものを除外

表 1-4 設計上考慮すべき想定される自然現象の選定結果

No	外部ハザード	除外基準	選定	備　考
1-1	極低温（凍結）	－	○	「凍結」としてプラントへの影響評価を行う。
1-2	隕石	E	×	安全施設の機能に影響が及ぶ規模の隕石等が衝突する可能性は極めて低いことから考慮しない。
1-3	降水（豪雨（降雨））	－	○	「降水」としてプラントへの影響評価を行う。
1-4	河川の迂回	A	×	安全施設の機能が損なわれることはないため考慮しない。
1-5	砂嵐（塩を含んだ嵐）	A	×	周辺に砂丘等が無いため考慮しない。

基準 A	プラントに影響を与えるほど近接した場所に発生しない。（例：No.1-5 砂嵐）
基準 B	ハザード進展・来襲が遅く，事前にそのリスクを予知・検知することでハザードを排除できる。（例：No.1-16 海岸浸食）
基準 C	プラント設計上，考慮された事象と比較して設備等への影響度が同等もしくはそれ以下，またはプラントの安全性が損なわれることはない。（例：No.1-21 濃霧）
基準 D	影響が他の事象に包絡される。（例：No.1-27 満潮）
基準 E	発生頻度が他の事象と比較して非常に低い。（例：No.1-2　隕石）
基準 F	外部からの衝撃による損傷の防止とは別の条項で評価を実施している。または故意の人為事象等外部からの衝撃による損傷の防止の対象外の事項（例：No.2-15 軍事施設からのミサイル）

※ ASME/ANS RA-Sa-2009 ″Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications″

選定の結果，設計基準において想定される自然現象として，11事象を選定

・洪水	・落雷
・風(台風)	・地滑り
・竜巻	・火山
・凍結	・生物学的事象
・降水	・森林火災
・積雪	

第 1-1 図 設計基準において想定される自然現象の抽出フロー

設計基準において想定される人為事象の抽出フロー

国内外の基準等に基づき，考えられる外部ハザードを網羅的に抽出

敷地及び敷地周辺の状況を考慮し，海外での評価手法※を参考とした除外基準に該当するものを除外

選定の結果，設計基準において想定される人為事象として，7事象を選定

表 1-2 考慮する外部ハザードの抽出（想定される人為事象）

No	外部ハザード	除外基準	選定	備　考
2-1	衛星の落下	E	×	安全施設の機能に影響が及ぶ規模の隕石等が衝突する可能性は極めて低いことから考慮しない（※2）。
2-2	パイプライン事故（ガスなど），パイプライン事故によるサイト内爆発等	A	×	周辺にパイプラインは無いため考慮しない。
2-3	交通事故（化学物質流出含む）	D	×	影響は爆発又は有毒ガスと同じと考えられるため，「爆発」又は「有毒ガス」による影響評価に包絡される。
2-4	有毒ガス	－	○	「有毒ガス」としてプラントへの影響評価を行う。
2-5	タービンミサイル	－	○	[illegible]
2-6	飛来物（航空機衝突）	－	○	「航空機落下」としてプラントへの影響評価を行う。

① DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES(FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI 12-06 August 2012)
② 「日本の自然災害」国会資料編纂会 1998 年
③ Specific Safety Guide (SSG-3) ″ Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants″, IAEA, April 2010
④ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」(制定：平成 25 年 6 月 19 日)
⑤ NUREG/CR-2300 ″PRA Procedures Guide″, NRC, January 1983
⑥ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」(制定：平成 25 年 6 月 19 日)
⑦ ASME/ANS RA-Sa-2009″ Addenda to ASME ANS RA-S-2008 Standard for level 1/Large Early Release Frequency probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications″
⑧ B.5.b Phase 2&3 Submittal Guideline (NEI 06-12 December 2006)- 2011.5 NRC 発表
⑨ 「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準：2014」一般社団法人　日本原子力学会　2014 年 12 月
⑩ Safety Requirements No.NS-R-3 ″Site Evaluation for Nuclear Installation″, IAEA, Novemver 2003
⑪ NUREG　1407 “Procedural and Submittal Guidance for the Individual Plant Examination of External Events (IPEEE)　for Severe Accident Vulnerabilities, NRC, June 1991
⑫「産業災害全史」，日本アソシエーツ，2010 年 9 月
⑬ 「日本災害史辞典 1868-2009」，日本アソシエーツ，2010 年 9 月

表 1-5 設計上考慮すべき想定される人為事象の選定結果

No	外部ハザード	除外基準	選定	備　考
2-1	衛星の落下	E	×	安全施設の機能に影響が及ぶ規模の隕石等が衝突する可能性は極めて低いことから考慮しない。
2-2	パイプライン事故（ガスなど），パイプライン事故によるサイト内爆発等	A	×	周辺にパイプラインは無いため考慮しない。
2-3	交通事故（化学物質流出含む）	A	×	発電所は幹線道路から離れているため考また，周辺には大規模な石油コンビナート施設はないことから，交通事故による化学物質の流出による影響は考慮しない。

基準 A	プラントに影響を与えるほど近接した場所に発生しない。（例：No.1-5 砂嵐）
基準 B	ハザード進展・来襲が遅く，事前にそのリスクを予知・検知することでハザードを排除できる。（例：No.1-16 海岸浸食）
基準 C	プラント設計上，考慮された事象と比較して設備等への影響度が同等もしくはそれ以下，またはプラントの安全性が損なわれることはない。(例：No.1-21 濃霧)
基準 D	影響が他の事象に包絡される。（例：No.1-27 満潮）
基準 E	発生頻度が他の事象と比較して非常に低い。（例：No.1-2　隕石）
基準 F	外部からの衝撃による損傷の防止とは別の条項で評価を実施している。または故意の人為事象等外部からの衝撃による損傷の防止の対象外の事項（例：No.2-15 軍事施設からのミサイル）

※ ASME/ANS RA-Sa-2009 ″Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications″

・飛来物（航空機衝突） ・ダムの崩壊 ・爆発 ・近隣工場等の火災	・有毒ガス ・船舶の衝突 ・電磁的障害

第 1-2 図 設計基準において想定される人為事象の抽出フロー

２．自然現象の考慮

女川原子力発電所の自然環境を基に,想定される自然現象については,「１．設計基準で想定される自然現象及び人為事象の選定について」により選定しており，選定した事象に対する設計方針を以下に記載する。

また，各事象において従属的又は相関的に起こり得る事象があるものに関しては，合わせて設計方針を記載する。

なお，設計基準の設定においては規格基準類に加え，過去の観測記録を元に設定しているが，将来的な気候変動により，今後，観測記録が更新されることは否定できないため，最新のデータ・知見をもって，気候変動の影響に注視し，必要に応じて見直しを実施していく。

（１）洪水

女川原子力発電所設置変更許可申請（昭和 62 年 4 月 18 日申請）の適合のための設計方針に同じ。

発電所で使用する淡水を北上川から専用の導水管により取水していることを踏まえ選定。

安全施設が設置される敷地内には洪水の要因となる河川が存在しないことから，敷地が洪水による被害を受けることはない。

北上川から専用の導管により淡水を取水しているが，経路に中間貯槽等は無いため，敷地が洪水の影響を受けることはない。

（２）風(台風)

女川原子力発電所設置変更許可申請（昭和 62 年 4 月 18 日申請）の適合のための設計方針に同じ。

敷地付近で観測された最大瞬間風速は，石巻特別地域気象観測所での観測記録(1940～2012 年)及び大船渡特別地域気象観測所での観測記録(1963～2012 年）によれば，44.2m／s（大船渡特別地域気象観測所 2002 年 10 月 2 日）である。

また，敷地付近で観測された最大風速（10 分間平均風速）は，27.4m／s（石巻特別地域気象観測所 1958 年 9 月 27 日）である。

風荷重に対する設計は，原子炉施設建設時の建築基準法では日本最大級の台風の最大瞬間風速（63m／s）に基づく風荷重に対する設計が求められていたが,2000 年に建築基準法が改正され,それ以降の建築物については,地域ごとに定められた基準風速（10 分間平均風速）の風荷重に対する設計が要求されており，女川町の基準風速は 30m／s である。

以上より，安全施設に対する風荷重は，現行の建築基準法に基づき定められた基準風速及び施設の周辺状況を基に算出した速度圧と，施設の形状に応じた風力係数より設定し，それに対し機械的強度を有する構造とする

ことで，安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

また，台風の中心付近の強い上昇気流により雷が発生する可能性あるが，安全施設に対し，台風は風荷重を及ぼす一方，落雷は電気的影響を及ぼすものであることから，台風と落雷に対しては個別に安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお，台風の発生に伴う飛来物の影響は竜巻影響評価にて想定している設計飛来物の影響に包絡されており，安全施設の安全機能が損なわれるおそれはない。

（３）竜巻

設置許可基準規則を参照し，適合のために新たに設計方針を追加した事象である。

安全施設は，設計竜巻が発生した場合においても，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の衝撃荷重を組合せた荷重に対して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，竜巻防護施設が安全機能を損なわないために，以下の対策を行う。

・飛来物となり，竜巻防護施設の安全機能を損なわせる可能性のあるものを固縛，建屋内収納又は撤去する。
・車両の入構の制限，竜巻の襲来が予想される場合の車両の待避又は固縛を行う。

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ように，以下を行う。

・竜巻防護施設の外殻となる施設や竜巻防護ネットにより，竜巻防護施設を防護し，構造健全性を維持し，安全機能を損なわない設計とする。
・安全重要度クラス３に属する施設及び津波防護施設については，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，必要によりプラントを停止し，安全上支障のない期間に修復すること等の対応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。

ｃ．竜巻随伴事象

竜巻の発生に伴い，雹の発生が考えられるが，雹による影響は竜巻防護設計にて想定している設計飛来物の影響に包絡される。

さらに，竜巻の発生に伴い，雷の発生も考えられるが，雷は電気的影

響を及ぼす一方，竜巻は機械的影響を及ぼすものであり，竜巻と雷が同時に発生するとしても個別に考えられる影響と変わらないことから，各々の事象に対して安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

（４）凍結

女川原子力発電所設置変更許可申請（昭和 62 年 4 月 18 日申請）の適合のための設計方針に同じ。

石巻特別地域気象観測所での観測記録（1887～2012 年）及び大船渡特別地域気象観測所での観測記録（1963～2012 年）によれば，最低気温は－14.6℃（石巻特別地域気象観測所 1919 年 1 月 6 日）である。

安全施設は上記最低気温を考慮し，屋外機器等で凍結のおそれのあるものについては，凍結防止対策を行うことによって，安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

（５）降水

設置許可基準規則を参照し，適合のために新たに設計方針を追加した事象である。

石巻特別地域気象観測所での観測記録（1937～2012 年）及び大船渡特別地域気象観測所での観測記録（1963～2012 年）によれば，発電所周辺地域における日最大１時間降水量の最大値は，81.7mm（石巻特別地域気象観測所 1947 年 8 月 18 日）である。

なお，設置変更許可申請以降，日最大１時間降水量の最大値が 91.0mm（石巻特別地域気象観測所 2014 年 9 月 11 日）に更新された。

降水に対しては，構内排水施設を設けて海域に排水するとともに，安全上重要な設備について，浸水防止措置を行い，安全機能を損なわない設計としており，観測記録を上回る降雨に対しても排水能力を有している。

（６）積雪

女川原子力発電所設置変更許可申請（昭和 62 年 4 月 18 日申請）の適合のための設計方針に同じ。

石巻特別地域気象観測所での観測記録（1887～2012 年）及び大船渡特別地域気象観測所での観測記録（1963～2012 年）によれば，積雪の深さの月最大値は，43cm（石巻特別地域気象観測所 1923 年 2 月 17 日）である。

積雪荷重は，石巻特別地域気象観測所の月最大値 43cm から設定し，これに対し機械的強度を有する構造とすることで，安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

（７）落雷

設置許可基準規則を参照し，想定する自然現象として抽出した事象であ

るが，以下の設計方針を定めている。

雷害防止対策として，建築基準法に基づき高さ 20m を超える原子炉施設等へ避雷設備を設置するとともに，構内接地網を布設することにより，接地抵抗の低減や雷撃に伴う構内接地系の電位分布の平坦化を図っている。さらに，安全保護回路は雷サージ抑制対策がなされており，安全施設の安全機能を損なわない設計としている。

なお，女川２号炉では過去に落雷による安全停止に係わる機器に対する不具合は発生していない。

また，NUCIA にて他社における落雷による安全停止に係わる機器に対する不具合について確認した結果，落雷ノイズが原因で「主蒸気管放射能高」信号の誤動作によりスクラム信号が発生し原子炉スクラムが発生していることを確認した。

これに対して，女川２号炉は排気筒から原子炉建屋まで距離が離れていること，及び，主蒸気管放射線モニタはデジタル信号にて現場から中央制御室まで伝送しており，ノイズに強い構成となっている。

（８）地すべり

女川原子力発電所設置変更許可申請（平成 6 年 5 月 24 日申請）の適合のための設計方針に同じ。

発電所の敷地が丘陵地を持つ複雑地形であることを踏まえ選定。

第 2-1 図に示す地すべり地形分布図 第 40 集「一関･石巻」（2009 年 2 月：独立行政法人防災科学技術研究所）によると，女川原子力発電所を含む「寄磯」エリアに地すべり地形はない。

また，第 2-2 図及び第 2-3 図の土砂災害危険箇所図によると，女川原子力発電所には地すべり，土石流並びにがけ崩れを起こすような地形は存在しない。

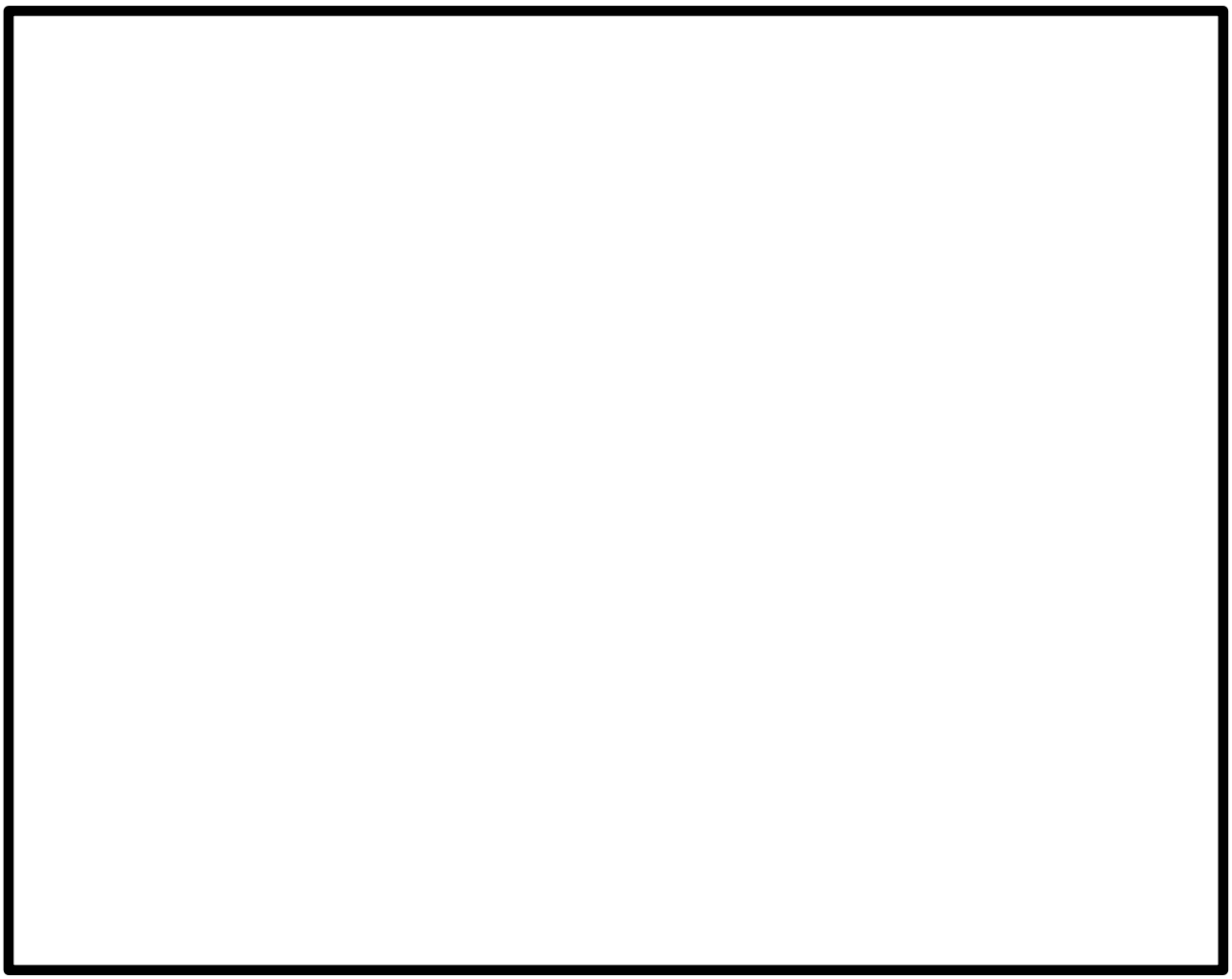
なお，第 2-2 図は国土数値情報の土砂災害危険箇所データ（平成 22 年度：国土交通省国土政策局）※を選択し，国土情報ウェブマッピングシステム上で図化されたものを国土地理院 1/25000 地図と重ね合わせたものであり，第 2-3 図は宮城県ホームページ（平成 27 年 5 月 15 日掲載）の公開情報である。

第 2-2 図及び第 2-3 図における土石流危険渓流は，「土石流危険渓流及び土石流危険区域調査要領（案）」（平成 11 年 4 月：建設省河川局砂防部砂防課）に基づく各都道府県全地域を対象とした調査結果として，平成 14 年度に国土交通省より公開されたものである。同調査要領（案）では，その調査対象範囲を「土石危険渓流とは，土石流の発生の危険性があり，1 戸以上の人家（人家がなくても官公署・学校・病院及び社会福祉施設等の災害弱者関連施設・駅・旅館・発電所等の公共施設のある場合を含む）に

被害を生ずるおそれがある渓流」と定義しており，女川原子力発電所２号炉の安全施設を含む敷地についても地形判読による調査が実施されている。第 2-4 図に同調査要領（案）における調査実施のフローチャートを示す。

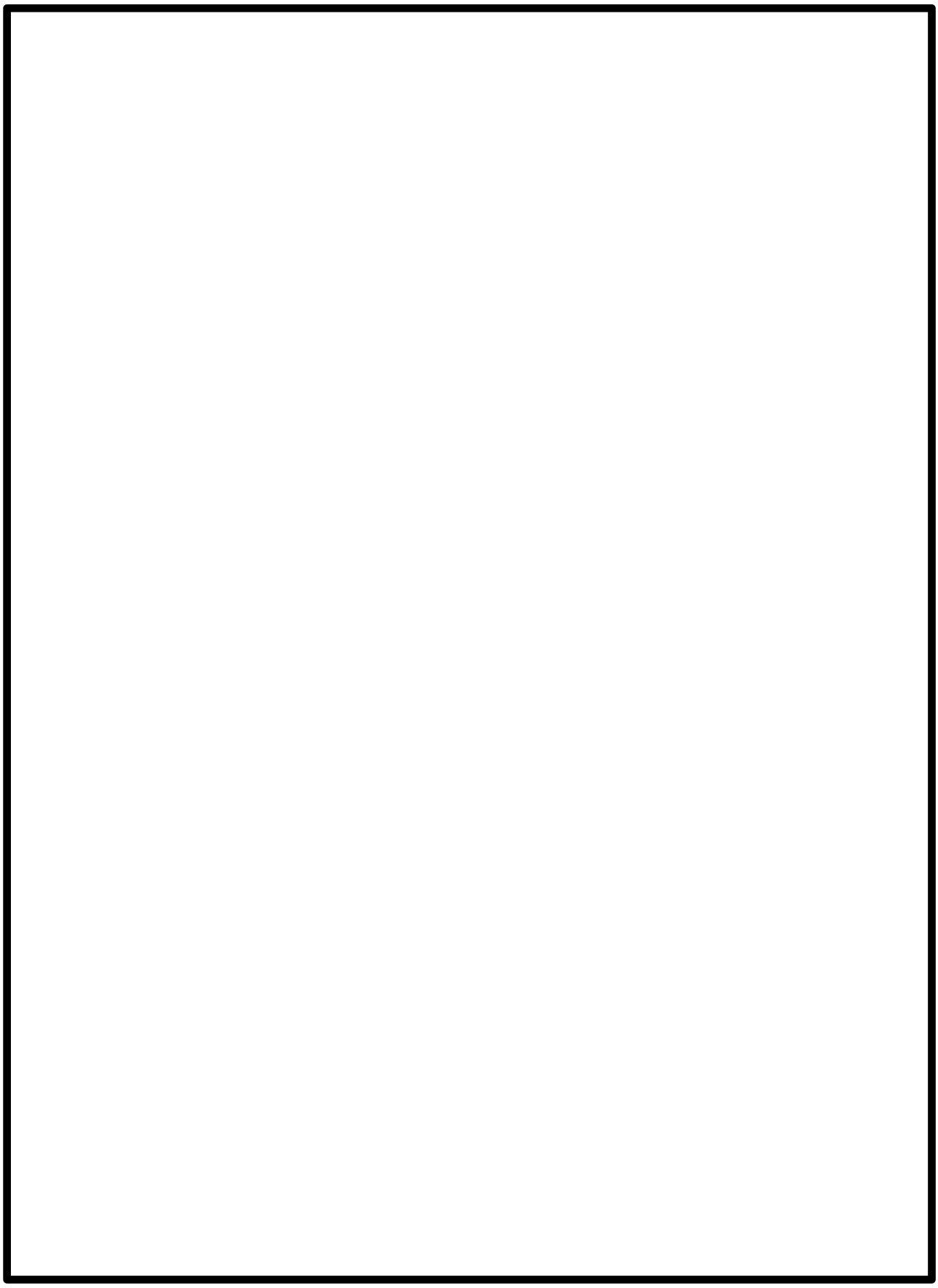
枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

第 2-1 図 地すべり地形分布図 第 40 集「一関･石巻」
（防災科学技術研究所 2009 年 2 月）



第 2-2 図 土砂災害危険箇所図
（国土数値情報土砂災害危険箇所データ，平成 22 年度）

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。



第 2-3 図 宮城県土砂災害危険箇所図に加筆（上：荻浜，下：寄磯）
（宮城県ホームページより）

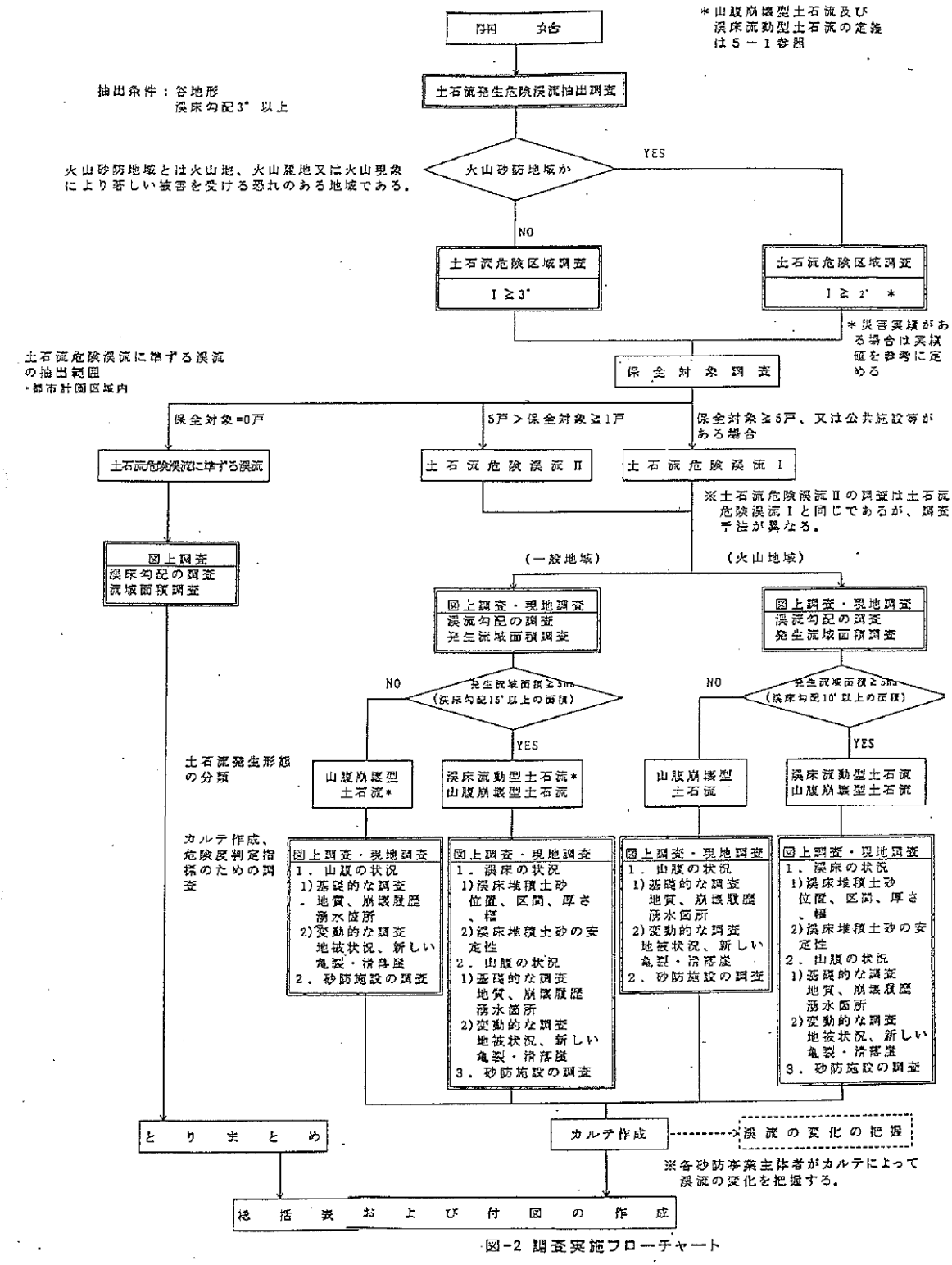


図-2 調査実施フローチャート

第 2-4 図 調査実施のフローチャート

（土石流危険渓流及び土石流危険区域調査要領（案）より抜粋，一部加筆）

（９）火山の影響

設置許可基準規則を参照し，適合のために新たに設計方針を追加した事象である。

安全施設は，火山事象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

安全施設の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象は降下火砕物のみであり，文献調査結果，敷地周辺で実施した露頭調査の結果及び降下火砕物シミュレーション結果を用い評価から，層厚は15cm，密度は0.7ｇ／cm^3（乾燥密度）～1.5ｇ／cm^3（湿潤密度），粒径は0.02～0.25mmの降下火砕物を考慮する。なお，荷重については，層厚15cmの飽和状態の降下火砕物の荷重と積雪の荷重を適切に組合せる。

降下火砕物による直接的影響と間接的影響のそれぞれに対し，安全機能を損なわないよう，以下の設計とする。

ａ．直接的影響に対する設計

安全施設は，直接的影響である降下火砕物の構造物への静的負荷に対して裕度を有する設計とすること，水循環系の閉塞に対して狭隘部等が閉塞しない設計とすること，換気系・電気系及び計測制御系に対する機械的影響に対して降下火砕物が容易に侵入しにくい構造とし，侵入しても閉塞しない及び磨耗しにくい設計とすること，発電所周辺の大気汚染に対して中央制御室の換気空調系が降下火砕物を侵入させ難く，さらに外気を遮断できる設計とすること，構造物等への化学的影響（腐食）に対して短期での腐食が発生しない設計とすること等によって，安全機能を損なわないようにする。

また，安全施設は，降下火砕物の除去や換気空調設備外気取入口のフィルタの取替，清掃，中央制御室の換気空調系の再循環運転，降下火砕物による静的負荷や腐食等の影響に対する点検，補修の実施等を行えることにより，安全機能を損なわない設計とする。

ｂ．間接的影響に対する設計

安全施設は，降下火砕物の間接的影響である長期間（７日間）の外部電源喪失の発生に対し，原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように非常用ディーゼル発電機により７日間の電源供給が継続できる設計とする。

（１０）生物学的事象

設置許可基準規則を参照し，適合のために新たに設計方針を追加した事象である。

考慮すべき生物学的事象として海生生物の襲来及び小動物の侵入を想

定する。原子炉補機冷却海水設備等に影響を与える海生生物等をトラベリングスクリーン等により除去し，生物学的事象による安全施設の安全機能を損なわない設計としている。

クラゲ等の塵芥除去については，クラゲ等の捕獲に伴い，トラベリングスクリーン前後に水位差が生じ，水位差が一定以上に大きくなると，トラベリングスクリーンが自動起動し，捕獲されたクラゲ等を除去する運用としている。

トラベリングスクリーンを通過する貝等の海生生物については，海水ポンプ下流に設置した海水ストレーナやスポンジボールによる洗浄装置により，原子炉補機冷却水系熱交換器や復水器等への影響を防止する設計としている。

また，運転手順として，クラゲ等の塵芥激増により循環水ポンプの取水機能へ影響が生じる場合は，必要に応じ循環水ポンプの翼開度調整，原子炉出力降下操作，原子炉手動スクラムの手順を整備している。

なお，小動物については，屋外設置の端子箱の貫通部等にはシールを行うことにより，侵入を防止する設計としている。

（１１）森林火災

設置許可基準規則の制定に基づき，適合のために新たに設計方針を追加した事象である。

森林火災については，森林火災の発生件数の多い月の過去 10 年間の気象条件を調査し，発電所から直線距離で 10km の間に発火点を設定し，森林火災シミュレーション（FARSITE）を用いて影響評価を実施し，評価上必要とされる 20m の防火帯幅を確保すること等により原子炉施設の安全機能を損なわない設計とする。

また，二次的影響であるばい煙等発生時に対して，外気を取り込む換気空調系統，外気を内部に取り込む系統・設備に分類し，影響評価を行うことで原子炉施設の安全機能を損なわない設計としている。

上記の想定される自然現象に対して，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。

なお，新規制基準に基づき新たな評価等を行い，新たな運用が必要となる事項については，必要な手順書等を整備する。

３．人為事象の考慮

女川原子力発電所の敷地及び敷地周辺の状況をもとに，設計基準において想定される人為事象については,「１．設計基準で想定される自然現象及び人為事象の選定について」により選定しており，選定した事象に対する設計方針を以下に記載する。

（１）飛来物（航空機落下）

航空機落下については,「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成 14･07･29 原院第４号（平成 14 年７月 30 日原子力安全・保安院制定））等に基づき，航空機落下確率を評価し，防護設計の要否について確認を行っている。

航空機落下確率評価を行った結果は，約 5.0×10^{-8} 回/炉･年であり，防護設計の要否判断の基準である 10^{-7} 回/炉･年を超えないため，航空機落下による防護設計を考慮しない。

（２）ダムの崩壊

設置許可基準規則の制定に基づき，想定する人為事象として新たに抽出した事象であるが，安全施設が設置される敷地内には河川が無く，ダムや堰堤は存在しないことから，ダムの崩壊を考慮する必要はない。

（３）爆発

発電所敷地外の半径 10km 圏内には石油コンビナート等特別防災区域はない。また，発電所敷地外の半径 10km 圏内に存在する高圧ガス貯蔵所については，評価上必要とされる離隔距離が確保されているので爆発による爆風圧及び飛来物の影響を受けず，原子炉施設の安全機能を損なわない。

（４）近隣工場等の火災

ａ．石油コンビナート施設の火災

発電所敷地外の半径 10km 圏内には石油コンビナート等特別防災区域はない。また，発電所敷地外の半径 10km 圏内に存在する危険物貯蔵施設については，評価上必要とされる離隔距離が確保されているので火災時の輻射熱による影響を受けず，原子炉施設の安全機能を損なわない。

ｂ．発電所敷地内に存在する危険物タンクの火災

発電所敷地内に存在する危険物タンク火災発生時の輻射熱による原子炉施設の建屋等の表面温度が許容温度以下となる設計としている。

ｃ．航空機墜落による火災

発電所敷地内への航空機墜落に対しては火災発生時の輻射熱による原子炉施設の建屋等の表面温度が許容温度以下となる設計としている。

ｄ．二次的影響（ばい煙等）

発電所敷地内に存在する危険物タンクの火災及び航空機墜落による火災の二次的影響であるばい煙等の発生時に対して，外気を取り込む換気空調系統，外気を内部に取り込む系統・設備に分類し，影響評価を行うことで原子炉施設の安全機能を損なわない設計としている。

（５）有毒ガス

設置許可基準規則の制定に基づき，想定する人為事象として新たに抽出した事象であるが，以下の理由により考慮する必要はない。

女川原子力発電所周辺地域の幹線道路としては，発電所から北方向約５km のところを東西に通る一般国道 398 号線がある。

鉄道路線としては，石巻線（石巻～女川）があり，発電所の北西方向約７km に最寄りの女川駅がある。

女川原子力発電所周辺海域の船舶の航路としては，北方向約２km に航路があり女川港から江ノ島及び金華山までの高速船が運航している。

さらに，石油コンビナート等災害防止法第２条第２号の規定に基づく石油コンビナート等特別防災区域を指定する政令（昭和 51 年政令第 192 号）で指定されている女川原子力発電所周辺の石油コンビナート施設としては,発電所の西南西約 40km に位置する仙台市及び塩釜市の仙台塩釜港付近に，石油コンビナート等特別防災区域仙台地区及び塩釜地区の施設がある。

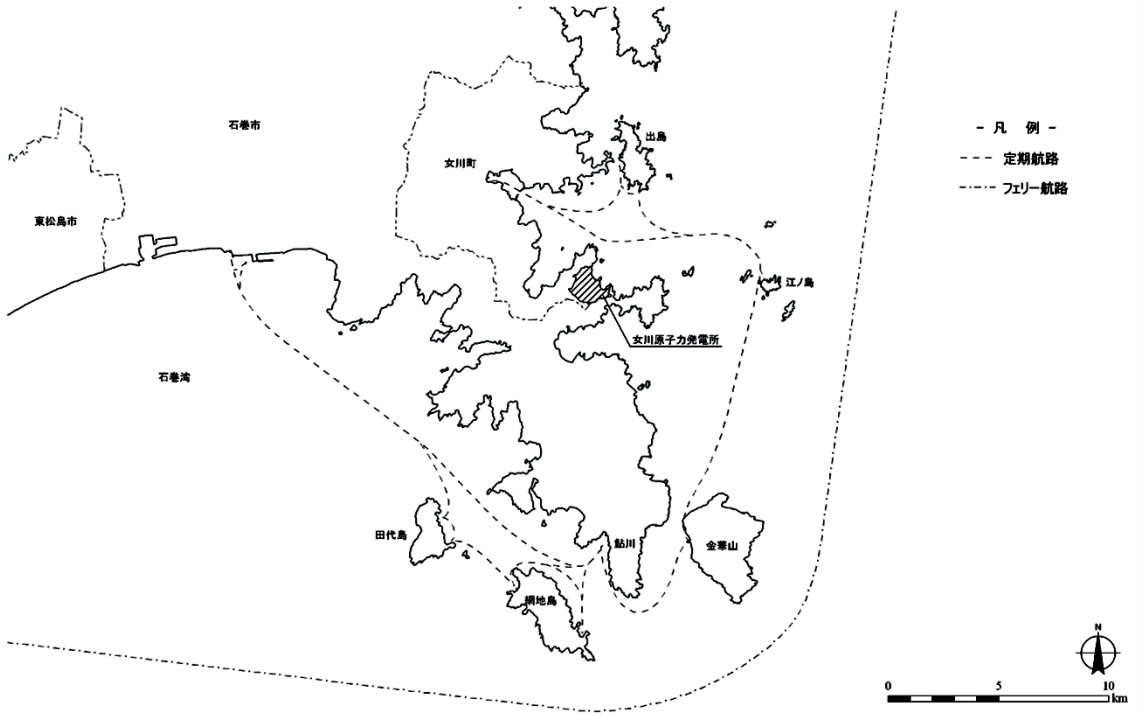
これらの幹線道路，鉄道路線，主要航路及び石油コンビナート施設は発電所から十分な離隔距離が確保されており，事故等により発生する有毒ガスの影響はない。

発電所敷地内に貯蔵している化学物質については，貯蔵施設からの漏えいによる有毒ガスの発生を想定した場合でも，換気空調設備等により中央制御室及び緊急時対策所の居住性が損なわれることはない。

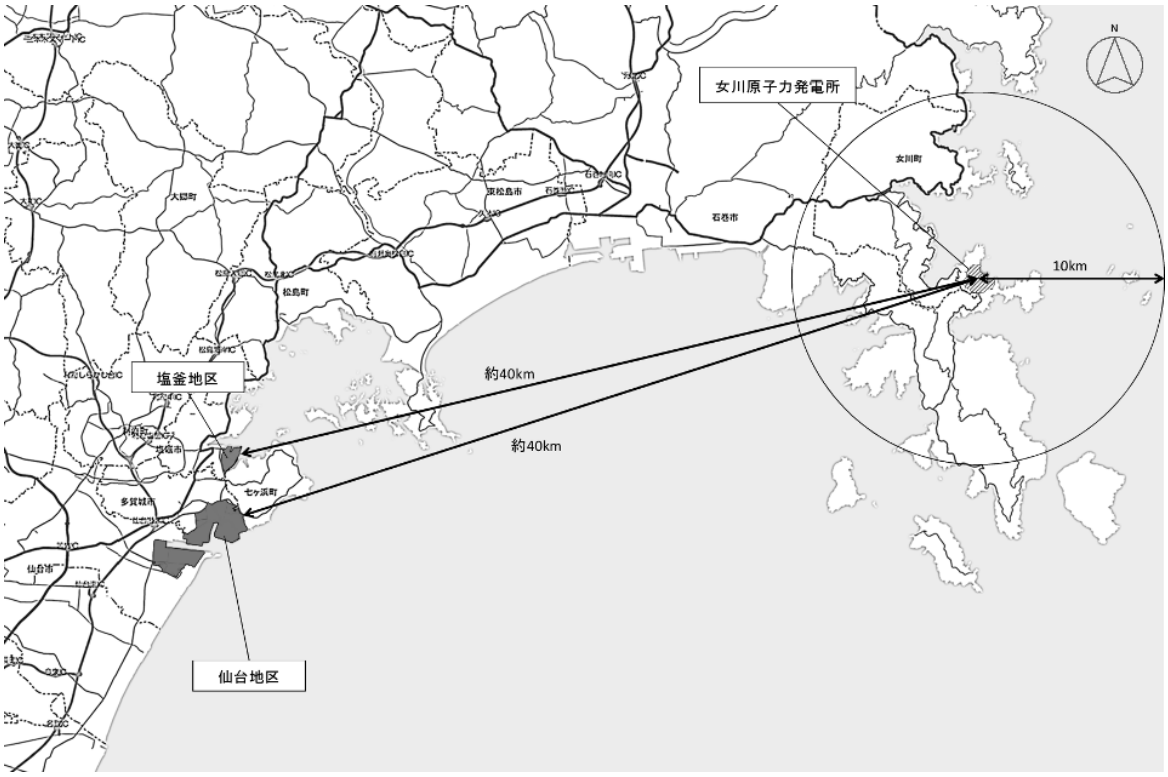
危険物貯蔵施設の火災により発生する有毒ガスについては，外部火災で評価を実施済である。

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

第 3-1 図 女川原子力発電所周辺の幹線道路，鉄道路線



第 3-2 図 女川原子力発電所周辺の主要航路
（女川原子力発電所設置許可申請書抜粋）



第 3-3 図　コンビナート施設の位置

（６）船舶の衝突

設置許可基準規則の制定に基づき，想定する人為事象として新たに抽出した事象であるが，以下の理由により考慮する必要はない。

女川原子力発電所の周辺海域の船舶としては，発電所沖合に女川～江ノ島・金華山の定期航路が運航されているが，航路は発電所の取水口から北方向に約２km 離れていること，また，周辺海域の流況調査の結果，発電所前面海域ではほぼ海岸線に沿った流れが卓越していること※から，漂流した場合でも取水口に侵入する可能性は低い。

漁船等の小型船舶については，港湾前面に防波堤があり目印となる灯台が設置されていること，防波堤の港口付近での漁業は行われていないことから，港湾内に侵入する可能性は極めて低い。

仮に港湾内に小型船舶が侵入した場合でも，取水口前面には鋼製トラス式のカーテンウォール（前面はＰＣ版設置）が設置されており，侵入は阻害される。なお，カーテンウォールは，低水温で安定的，かつ清浄な水質の冷却水の取水を目的として設置している。

また，取水口は呑み口が十分広い（幅約 30m，高さ約 7.8m）こと及び小型船舶の喫水は約 2m であることを考慮しても，図 3-5 に示すとおり，取水口敷高は 0.P-6.3m であるため取水口の閉塞はない。なお，仮に燃料輸送船等の大型船舶の衝突を考慮しても，その喫水は約 4～5m であり，これによる取水口の閉塞もない。

女川原子力発電所から東方約 12km には,仙台～苫小牧間のフェリーが運航されているが，航路までの距離が離れていることから船舶の侵入はない。

なお，船舶から重油が流出するような場合については，取水路への重油の流入を防止し取水機能に影響を与えないよう，オイルフェンスを設置することとしている。

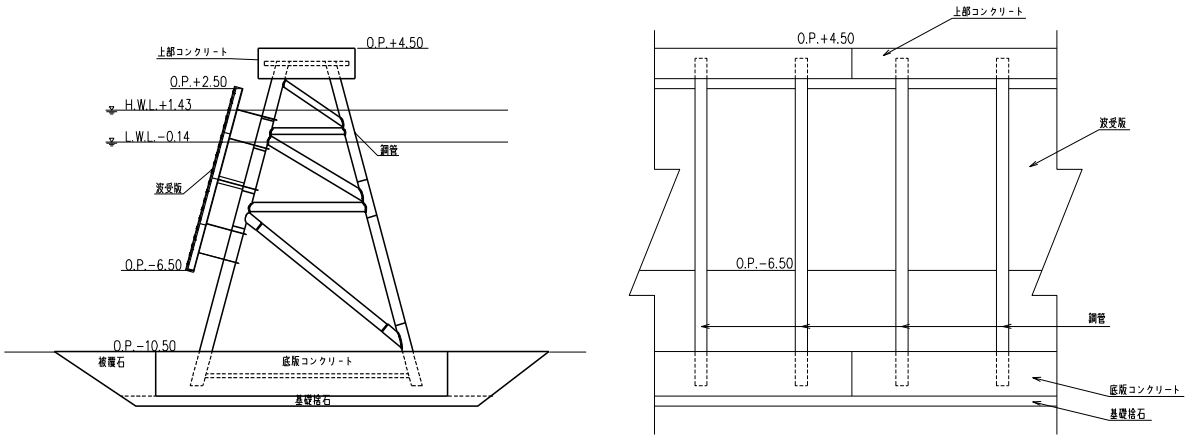
※女川原子力発電所（３号機）修正環境影響調査書（平成６年４月）

第 3-4 図 取水口及び防波堤の位置

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

第 3-5 図 取水設備断面図

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。



第 3-6 図　カーテンウォール構造図

（７）電磁的障害

設置許可基準規則の制定に基づき，適合のために新たに設計方針を追加した事象であるが，以下の設計方針を定めている。

電磁的障害には，サージ・ノイズや電磁波の侵入があり，これらは低電圧の計測制御回路に対して影響を及ぼすおそれがある。

このため，計測制御回路を構成する制御盤及びケーブルは，鋼製筐体や金属シールド付ケーブルの適用により電磁波の侵入を防止する設計としている。

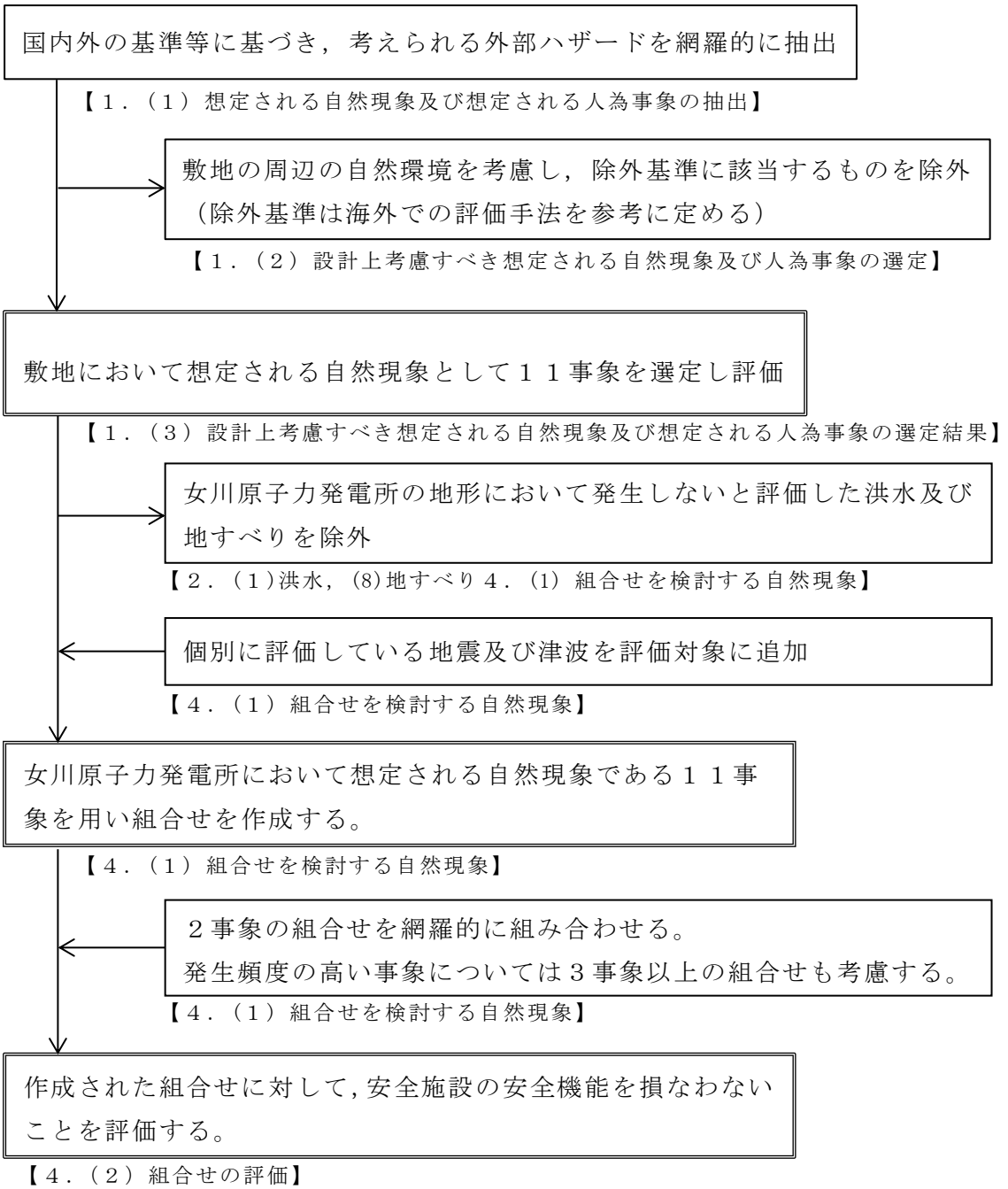
上記の設計基準において想定される人為事象に対して，安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

なお，新規制基準に基づき新たな評価等を行い，新たな運用が必要となる事項については，必要な手順書等を整備する。

４．自然現象の組合せ

実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則第６条解釈第３項及び第５項において，設計上の考慮を要する自然現象の組合せについて要求がある。

第 4-1 図に自然現象の組合せ事象の評価フローを示す。



第 4-1 図 自然現象の組合せの評価フロー

（１）組合せを検討する自然現象

自然現象の組合せについては，発電所敷地で想定される自然現象（地震，津波を除く。）として抽出された１１事象から，洪水及び地すべりを除いた９事象に，地震及び津波を加えた１１事象で網羅的に組合せの検討を実施する。

組合せを検討する女川原子力発電所で想定される自然現象は以下に示すとおりである。

・風(台風)
・竜巻
・凍結
・降水
・積雪
・落雷
・火山の影響
・生物学的事象
・森林火災
・地震
・津波

組合せに当たっては，発生頻度が比較的高いと考えられる風(台風)，凍結，降水又は積雪について，その他の自然現象と組合せる前に同時に発生するものとして取り扱う。

ただし，凍結と降水，降水と積雪の組合せは同時に発生することは考えられない，又は与える影響が自然現象を重ね合わせることで個々の自然現象が与える影響より緩和されることを考慮し，１１事象のうち，風(台風)，凍結，降水，積雪以外の自然現象との組合せは，風(台風)＋降水及び風(台風)＋凍結＋積雪の２つをあらかじめ想定する。

以上を踏まえた自然現象の組合せを第 4-1 表に示す。

第 4-1 表 自然現象の組合せ

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
		※１	※２	竜巻	落雷	火山の影響	生物学的事象	森林火災	地震	津波
A	※１									
B	※２	1								
C	竜巻	2	9							
D	落雷	3	１０	１６						
E	火山の影響	4	１１	１７	２２					
F	生物学的事象	5	１２	１８	２３	２７				
G	森林火災	6	１３	１９	２４	２８	３１			
H	地震	7	１４	２０	２５	２９	３２	３４		
I	津波	8	１５	２１	２６	３０	３３	３５	３６	

※１：風（台風）＋降水

※２：風（台風）＋凍結＋積雪

（２）組合せの評価

第 4-1 表 に示すＡ，Ｂ及び１から３６までの自然現象の組合せについて，プラントに及ぼす影響ごとに評価する。評価においては，施設に直接与える影響だけではなく，アクセス性や視認性といった間接的影響を加味した上で実施する。女川原子力発電所において想定される自然現象とプラントに及ぼす影響は第 4-2 表に示すとおりである。

評価に当たっては，組み合わせた事象によるプラントに及ぼす影響が，

① 個々の自然現象（関連して発生する可能性がある自然現象も含む）の設計に包絡されるか

② 原子炉施設に与える影響が自然現象を組み合わせることにより，個々の自然現象がそれに与える影響よりも小さくなるか

③ 同時に発生するとは考えられないか

という３つの観点から検討する。ただし，上記評価のうち，「第四条地震による損傷の防止」及び「第五条津波による損傷の防止」において考慮する事象は，それぞれの条項で考慮する。また，その他の荷重における具体的な事象の組合せについては（３）で検討する。

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（1/30）

	プラントに及ぼす影響								
	荷重	温度	閉塞	浸水	電気的影響	腐食	磨耗	アクセス性	視認性
風（台風）	○	—	—	—	—	—	—	○	—
竜巻	○	—	—	—	—	—	—	○	—
凍結	—	○	○	—	—	—	—	○	—
降水	—	—	—	○	—	—	—	—	○
積雪	○	—	—	—	—	—	—	○	○
落雷	—	—	—	—	○	—	—	—	—
火山の影響	○	—	○	—	○	○	○	○	○
生物学的事象	—	—	○	—	○	—	—	—	—
森林火災	—	○	○	—	○	—	○	○	○
地震	○	—	—	—	—	—	—	○	○
津波	○	—	—	○	—	—	—	○	—

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（2/30）

番号	評価	評価結果
A 風(台風) ＋降水	風(台風)及び降水の組合せが安全施設に及ぼす影響としては,荷重,浸水，アクセス性及び視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，風(台風)による荷重が考えられるが，降水を組み合わせたとしても風(台風)の個別評価と変わらない。 ・浸水の観点からは，降水による敷地の浸水の可能性が考えられるが，構内排水施設により排水することで敷地が浸水することはない。また，風(台風)を組み合わせたとしても降水の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。また，降水を組み合わせたとしても風(台風)の個別評価と変わらない。 ・視認性の観点からは，降水により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，風(台風)を組み合わせたとしても降水の個別評価と変わらない。	①
B 風(台風) ＋凍結 ＋積雪	風(台風),凍結及び積雪の組合せが安全施設に及ぼす影響としては,荷重，温度，閉塞，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，風(台風)及び積雪による荷重が考えられる。 ・温度の観点からは，屋外機器等で凍結のおそれがあるものについては，電気加熱ヒータや凍結防止保温にて対策を施すため，安全施設の安全機能に影響を及ぼすおそれはない。また，風(台風)及び積雪を組み合わせとしても凍結の個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，屋外機器等で凍結により閉塞のおそれがあるものについては，電気加熱ヒータや凍結防止保温による対策や，凍結防止ブロー等を行っていることより，安全施設の安全機能を損なうことのない設計としている。また，風(台風)及び積雪を組み合わせたとしても凍結の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，降雪により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，風(台風)及び凍結を組み合わせたとしても積雪の個別評価と変わらない。	①
1 風(台風) ＋降水 ＋凍結 ＋積雪	風(台風)，降水，凍結及び積雪の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，温度，閉塞，浸水，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・降水と凍結は個々の影響より緩和されることから本事象の組合せは評価不要である。【観点②】 ・降水と積雪は同時に発生するとは考えられない，又は個々の影響より緩和されることから本事象の組合せは評価不要である。【観点②，及び③】	② ③

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（3/30）

番号	評価	評価結果
2 風(台風) ＋降水 ＋竜巻	風(台風),降水及び竜巻の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，浸水，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，風(台風)及び竜巻による荷重が考えられるが，竜巻による荷重に包絡される。 ・浸水の観点からは，竜巻とＡを組み合わせたとしてもＡの個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。なお，竜巻発生前における車両の退避において風(台風)及び降水の影響を受けることが考えられるが，風(台風)による飛来物については台風前パトロールにより，風（台風）により飛散すると考えられる資機材等の飛散防止対策を実施しており，車両の退避に影響するような飛来物が発生することは考え難く，また，降水については構内排水施設により排水されることから退避に対して影響はない。 ・視認性の観点からは，竜巻とＡを組合せたとしてもＡの個別評価と変わらない。また，竜巻による飛来物により監視カメラが損傷する可能性はあるが，安全上支障のない期間にカメラを修復することから影響はない。	①
3 風(台風) ＋降水 ＋落雷	風(台風)，降水及び落雷の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，浸水，電気的影響，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，落雷とＡを組み合わせたとしてもＡの個別評価と変わらない。 ・浸水の観点からは，落雷とＡを組み合わせたとしてもＡの個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，落雷による設備損傷や電磁的影響が考えられるが，避雷設備を設置することにより，電気的影響を及ぼさない設計としており影響はない。また，Ａを組み合わせたとしても落雷の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，落雷とＡを組み合わせたとしても，Ａの個別評価と変わらない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（4/30）

番号	評価	評価結果
4 風(台風) ＋降水 ＋火山の 影響	風(台風)，降水及び火山の影響の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，閉塞，浸水，電気的影響，腐食，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，風(台風)及び降下火砕物による荷重が考えられる。 ・閉塞の観点からは，降下火砕物により換気空調設備及び取水設備等の閉塞が考えられる。換気空調設備については，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径の降下火砕物を捕集するとともに，外気取入ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止すること等が可能であり影響はない。取水設備については，想定する降下火砕物の粒径から取水設備が閉塞することはない。また，Ａを組み合わせたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・浸水の観点からは，湿った降下火砕物が乾燥して固結することにより，排水口等を閉塞させ浸水することが考えられるが，固結した降下火砕物は降水により溶解するため浸水は生じない。また，火山の影響とＡを組み合わせたとしても，Ａの個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，電源盤に降下火砕物が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，降下火砕物は補捉されるため盤内に大量に侵入することはない。また，Ａを組み合わせたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・腐食の観点からは，降下火砕物の付着による屋外設備の機能喪失が想定されるが，屋外設備には外装塗装が施されているため，短期的には腐食の影響はない。また，Ａを組み合わせたとしても，火山の影響の個別評価と変わらない。 ・磨耗の観点からは，降下火砕物の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，降下火砕物はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。また，Ａを組み合わせたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，降灰により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，Ａを組み合わせたとしても，Ａ及び火山の影響の個別評価と変わらない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（5/30）

番号	評価	評価結果
5 風(台風) ＋降水 ＋生物学的事象	風(台風)，降水及び生物学的事象の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，閉塞，浸水，電気的影響，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，生物学的事象とＡを組み合わせたとしてもＡの個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，海生生物の襲来による取水設備の閉塞が考えられるが，トラベリングスクリーンを設置するとともに，手順を整備していること及び海水ポンプ下流に設置した海水ストレーナ等より原子炉補機冷却水系熱交換器等への影響を防止する設計としており影響はない。また，Ａを組み合わせたとしても生物学的事象の個別評価と変わらない。 ・浸水の観点からは，生物学的事象とＡを組合せたとしてもＡの個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，小動物が屋外設置の端子箱に侵入することによる短絡等により機能影響を生じることが考えられるが，端子箱貫通部をシールすることにより，小動物の侵入による機能影響は生じない。また，Ａを組み合わせたとしても生物学的事象の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，生物学的事象とＡを組み合わせたとしても，Ａの個別評価と変わらない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（6/30）

番号	評価	評価結果
6 風(台風) ＋降水 ＋森林火災	風(台風)，降水及び森林火災の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，温度，閉塞，浸水，電気的影響，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，風(台風)による荷重が考えられる。また，森林火災に伴う熱的影響の考慮も必要と考えられるが，防火帯を設置しており，飛び火による火災の延焼が生じた場合でも自衛消防隊による消火活動が可能なため，荷重に対して森林火災による熱的影響を考慮する必要はない。 ・温度の観点からは，森林火災によりコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性はあるが，森林火災では保守的な条件を用いた評価を行っていること，評価に用いているコンクリートの許容温度については，一般的に強度にほとんど影響がないとされている200℃としていることから影響はない。また，Ａを組合せたとしても，降水は森林火災による熱的影響を緩和する方向にある。【観点②】 ・閉塞の観点からは，森林火災によるばい煙により換気空調設備の閉塞が考えられるが，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径のばい煙を捕集するとともに，外気取入ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止することが可能であり影響はない。また，Ａを組み合わせたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・浸水の観点からは，森林火災とＡを組み合わせたとしてもＡの個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，電源盤に森林火災によるばい煙が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，森林火災によるばい煙は補捉されるため盤内に大量に侵入することはない。また，Ａを組み合わせたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・磨耗の観点からは，森林火災によるばい煙の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，ばい煙はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。また，Ａを組み合わせたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，森林火災によるばい煙により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，Ａを組み合わせたとしても，Ａ及び森林火災の個別評価と変わらない。	②

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（7/30）

番号	評価	評価結果
7 風(台風) ＋降水 ＋地震	風(台風),降水及び地震の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，浸水，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，風(台風)及び地震による荷重が考えられる。 ・浸水の観点からは，地震とＡを組み合わせたとしてもＡの個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，地震による振動により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，Ａを組み合わせたとしても，Ａ及び地震の個別評価と変わらない。	①
8 風(台風) ＋降水 ＋津波	風(台風),降水及び津波の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，浸水，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，風(台風)及び津波による荷重が考えられる。 ・浸水の観点からは，基準津波は津波防護施設及び浸水防止設備により敷地内に到達することはないことから浸水に至る可能性はない。また，津波により所内の排水設備が使用できない場合でも，津波の継続時間は短く，降水により浸水に至る可能性はない。 ・アクセス性の観点からは，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，津波とＡを組み合わせたとしても，Ａの評価と変わらない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（8/30）

番号	評価	評価結果
9 風(台風) ＋凍結 ＋積雪 ＋竜巻	風(台風)，凍結，積雪及び竜巻の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，温度，閉塞，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，風(台風)，竜巻及び積雪による荷重が考えられるが，竜巻による荷重に包絡される。 ・温度の観点からは竜巻とＢを組み合わせたとしてもＢの個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，竜巻とＢを組み合わせたとしてもＢの個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。なお，竜巻発生前における車両の退避において風(台風)，凍結及び積雪の影響を受けることが考えられるが，風(台風)による飛来物については台風前パトロールにより，風（台風）により飛散すると考えられる資機材等の飛散防止対策を実施しており，車両の退避に影響するような飛来物が発生することは考え難く，また，凍結及び積雪についてはタイヤチェーンの使用により車両の退避が可能である。 ・視認性の観点からは，竜巻とＢを組み合わせたとしてもＢの個別評価と変わらない。また，竜巻による飛来物により監視カメラが損傷する可能性はあるが，安全上支障のない期間にカメラを修復することから影響はない。	①
１０ 風(台風) ＋凍結 ＋積雪 ＋落雷	風(台風)，凍結，積雪及び落雷の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，温度，閉塞，電気的影響，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，落雷とＢを組み合わせたとしてもＢの個別評価と変わらない。 ・温度の観点からは，落雷とＢを組み合わせたとしてもＢの個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，落雷とＢを組み合わせたとしてもＢの個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，落雷による設備損傷や電磁的影響が考えられるが，避雷設備を設置することにより，電気的影響を及ぼさない設計としており影響はない。また，Ｂを組合せたとしても落雷の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，落雷とＢを組み合わせたとしても，Ｂの個別評価と変わらない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（9/30）

番号	評価	評価結果
１１ 風(台風) ＋凍結 ＋積雪 ＋火山の 影響	風(台風)，凍結，積雪及び火山の影響の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，温度，閉塞，電気的影響，腐食，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，風(台風)，積雪及び降下火砕物による荷重が考えられる。 ・温度の観点からは火山の影響とＢを組み合わせたとしてもＢの個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，降下火砕物により換気空調設備及び取水設備等の閉塞が考えられる。換気空調設備については，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径の降下火砕物を捕集するとともに，外気取入ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止すること等が可能であり影響はない。取水設備については，想定する降下火砕物の粒径から取水設備が閉塞することはない。また，Ｂを組み合わせたとしても，Ｂ及び火山の影響の個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，電源盤に降下火砕物が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，降下火砕物は補捉されるため盤内に大量に侵入することはない。また，Ｂを組合せたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・腐食の観点からは，降下火砕物の付着による屋外設備の機能喪失が想定されるが，屋外設備には外装塗装が施されているため，短期的には腐食の影響はない。また，Ｂを組合せたとしても，火山の影響の個別評価と変わらない。 ・磨耗の観点からは，降下火砕物の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，降下火砕物はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。また，Ｂを組合せたとしても，火山の影響の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，降灰により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，Ｂを組合せたとしても，Ｂ及び火山の影響の個別評価と変わらない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（10/30）

番号	評価	評価結果
１２ 風(台風) ＋凍結 ＋積雪 ＋生物学的事象	風(台風)，凍結，積雪及び生物学的事象の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，温度，閉塞，電気的影響，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，生物学的事象とＢを組合せたとしてもＢの個別評価と変わらない。 ・温度の観点からは，生物学的事象とＢを組合せたとしてもＢの個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，海生生物の襲来による取水設備の閉塞が考えられるが，トラベリングスクリーンを設置するとともに，手順を整備していること及び海水ポンプ下流に設置した海水ストレーナ等により原子炉補機冷却水系熱交換器等への影響を防止する設計としており影響はない。また，Ｂを組合せたとしても，Ｂ及び生物学的影響の個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，小動物が屋外設置の端子箱に侵入することによる短絡等により機能影響を生じることが考えられるが，端子箱貫通部をシールすることにより，小動物の侵入による機能影響は生じない。また，Ｂを組合せたとしても生物学的事象の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，生物学的事象とＢを組合せたとしても，Ｂの個別評価と変わらない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（11/30）

番号	評価	評価結果
１３ 風(台風) ＋凍結 ＋積雪 ＋森林火災	風(台風)，凍結，積雪及び森林火災の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，温度，閉塞，電気的影響，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，風(台風)及び積雪による荷重が考えられる。また，森林火災に伴う熱的影響の考慮も必要と考えられるが，防火帯を設置しており，飛び火による火災の延焼が生じた場合でも自衛消防隊による消火活動が可能なため，荷重に対して森林火災による熱的影響を考慮する必要はない。 ・温度の観点からは，森林火災によりコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性はあるが，森林火災では保守的な条件を用いた評価を行っていること，評価に用いているコンクリートの許容温度については，一般的に強度にほとんど影響がないとされている200℃としていることから影響はない。また，Ｂを組合せたとしても，凍結及び積雪は森林火災による熱的影響を緩和する方向にある。【観点②】 ・閉塞の観点からは，森林火災によるばい煙により換気空調設備の閉塞が考えられるが，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径のばい煙を捕集するとともに，外気ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止することが可能であり影響はない。また，Ｂを組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，電源盤に森林火災によるばい煙が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，森林火災によるばい煙は補足されるため盤内に大量に侵入することはない。また，Ｂを組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・磨耗の観点からは，森林火災によるばい煙の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，ばい煙はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。また，Ｂを組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，森林火災によるばい煙により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，Ｂを組合せたとしても，Ｂ及び森林火災の個別評価と変わらない。	②

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（12/30）

番号	評価	評価結果
１４ 風(台風) ＋凍結 ＋積雪 ＋地震	風(台風)，凍結，積雪及び地震の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，温度，閉塞，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，風(台風)，積雪及び地震による荷重が考えられる。 ・温度の観点からは地震とＢを組合せたとしてもＢの個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，地震とＢを組合せたとしてもＢの個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，地震による振動により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，Ｂを組合せたとしても，Ｂ及び地震の個別評価と変わらない。	①
１５ 風(台風) ＋凍結 ＋積雪 ＋津波	風(台風)，凍結，積雪及び津波の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，温度，閉塞，浸水，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，風(台風)，積雪及び津波による荷重が考えられる。 ・温度の観点からは津波とＢを組合せたとしてもＢの個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，津波とＢを組合せたとしてもＢの個別評価と変わらない。 ・浸水の観点からは，基準津波は津波防護施設及び浸水防止設備により敷地内に到達することはないことから浸水に至る可能性はない。また，Ｂを組合せたとしても，津波の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，津波とＢを組合せたとしても，Ｂの個別評価と変わらない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（13/30）

１６ 竜巻 ＋落雷	竜巻及び落雷の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，電気的影響，アクセス性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，竜巻による荷重が考えられるが，落雷を組合せたとしても竜巻の個別評価と変わらない。 ・落雷は竜巻の随伴事象として整理し，竜巻にて評価している。 ・電気的影響の観点からは，落雷による設備損傷や電磁的影響が考えられるが，避雷設備を設置することにより，電気的影響を及ぼさない設計としており影響はない。また，竜巻を組合せたとしても落雷の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。なお，竜巻発生前における車両の退避については，落雷により影響を受けることはない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（14/30）

番号	評価	評価結果
１７ 竜巻 ＋火山の 影響	竜巻及び火山の影響の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，閉塞，電気的影響，腐食，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，竜巻及び降下火砕物による荷重が考えられる。 ・閉塞の観点からは，降下火砕物により換気空調設備及び取水設備等の閉塞が考えられる。換気空調設備については，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径の降下火砕物を捕集するとともに，外気取入ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止すること等が可能であり影響はない。取水設備については，想定する降下火砕物の粒径から取水設備が閉塞することはない。また，竜巻によるバッグフィルタ等の損傷の可能性はあるが，安全上支障のない期間にバッグフィルタを修復すること等の対応により影響はない。 ・電気的影響の観点からは，電源盤に降下火砕物が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，降下火砕物は補足されため盤内に大量に侵入することはない。また，竜巻によるバッグフィルタ等の損傷の可能性はあるが，安全上支障のない期間にバッグフィルタを修復すること等の対応により影響はない。 ・腐食の観点からは，降下火砕物の付着による屋外設備の機能喪失が想定されるが，屋外設備には外装塗装が施されているため，短期的には腐食の影響はない。また，竜巻を組合せたとしても，火山の影響の個別評価と変わらない。 ・磨耗の観点からは，降下火砕物の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，降下火砕物はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。また，竜巻を組合せたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。なお，竜巻発生前における退避については，火山事象の進展は比較的緩慢であり，除灰対応が可能であることから降下火砕物により影響を受けることはない。 ・視認性の観点からは，降灰により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，竜巻を組合せたとしても，火山の影響の個別評価と変わらない。なお，竜巻による飛来物により監視カメラが損傷する可能性はあるが，安全上支障のない期間にカメラを修復することから影響はない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（15/30）

番号	評価	評価結果
１８ 竜巻 ＋生物学的事象	竜巻及び生物学的事象の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，閉塞，電気的影響，アクセス性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，竜巻による風荷重が考えられるが，生物学的事象を組合せたとしても竜巻の個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，海生生物の襲来による取水設備の閉塞が考えられるが，トラベリングスクリーンを設置するとともに，手順を整備していること及び海水ポンプ下流に設置した海水ストレーナ等により原子炉補機冷却水系熱交換器等への影響を防止する設計としており影響はない。また，竜巻によるトラベリングスクリーンの損傷の可能性はあるが，安全上支障のない期間にトラベリングスクリーンを修復すること等の対応により影響はない。 ・電気的影響の観点からは，小動物が屋外設置の端子箱に侵入することによる短絡等により機能影響を生じることが考えられるが，端子箱貫通部をシールすることにより，小動物の侵入による機能影響は生じない。また，竜巻を組合せたとしても生物学的事象の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。なお，竜巻発生前における車両の退避については，生物学的事象により影響を受けることはない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（16/30）

番号	評価	評価結果
１９ 竜巻 ＋森林火災	竜巻及び森林火災の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，温度，閉塞，電気的影響，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，竜巻による荷重が考えられる。また，森林火災に伴う熱的影響の考慮も必要と考えられるが，防火帯を設置しており，飛び火による火災の延焼が生じた場合でも自衛消防隊による消火活動が可能なため，荷重に対して森林火災による熱的影響を考慮する必要はない。 ・温度の観点からは，森林火災によりコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性はあるが，森林火災では保守的な条件を用いた評価を行っていること，評価に用いているコンクリートの許容温度については，一般的に強度にほとんど影響がないとされている200℃としていることから影響はない。また，竜巻を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，森林火災によるばい煙により換気空調設備の閉塞が考えられるが，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径のばい煙を捕集するとともに，外気取入ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止することが可能であり影響がない。また，竜巻によるバッグフィルタ等の損傷の可能性はあるが，安全上支障のない期間にバッグフィルタを修復すること等の対応により影響はない。 ・電気的影響の観点からは，電源盤に森林火災によるばい煙が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，森林火災によるばい煙は補足されるため盤内に大量に侵入することはない。また，竜巻によるバッグフィルタ等の損傷の可能性はあるが，安全上支障のない期間にバッグフィルタを修復すること等の対応により影響はない。 ・磨耗の観点からは，森林火災によるばい煙の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，ばい煙はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。また，竜巻を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。なお，竜巻発生前における車両の退避について森林火災の影響を受けることが考えられるが，退避ルートは防火帯の内側であることから影響を受けることはない。 ・視認性の観点からは，森林火災によるばい煙により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，竜巻を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。なお，竜巻による飛来物により監視カメラが損傷する可能性はあるが，安全上支障のない期間にカメラを修復することから影響はない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（17/30）

番号	評価	評価結果
２０ 竜巻 ＋地震	竜巻及び地震の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，竜巻及び地震による荷重が考えられる。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。なお，竜巻発生前における退避については，車両の退避において地震の影響を受けることが考えられるが，退避ルートが影響を受けた場合は，退避ルートの復旧や車両の固縛等の対策による処置が可能である。 ・視認性の観点からは，地震による振動により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，竜巻を組合せたとしても，地震の個別評価と変わらない。なお，竜巻による飛来物により監視カメラが損傷する可能性はあるが，安全上支障のない期間にカメラを修復することから影響はない。	①
２１ 竜巻 ＋津波	竜巻及び津波の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，浸水，アクセス性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，竜巻及び津波による荷重が考えられる。 ・浸水の観点からは，基準津波は津波防護施設及び浸水防止設備により敷地内に到達することはないことから浸水に至る可能性はない。また，竜巻を組合せたとしても，津波の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。なお，竜巻発生前における退避については，基準津波は津波防護施設及び浸水防止設備により退避ルートに遡上することはないことから影響はない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（18/30）

番号	評価	評価結果
２２ 落雷 ＋火山 の影響	落雷及び火山の影響の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，閉塞，電気的影響，腐食，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，降下火砕物による荷重が考えられるが，落雷を組合せたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，降下火砕物により換気空調設備及び取水設備等の閉塞が考えられる。換気空調設備については，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径の降下火砕物を捕集するとともに，外気取入ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止すること等が可能であり影響はない。取水設備については，想定する降下火砕物の粒径から取水設備が閉塞することはない。また，落雷を組合せたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，落雷による設備損傷や電磁的影響が考えられるが，避雷設備を設置することにより，電気的影響を及ぼさない設計としており影響はない。また，電源盤に降下火砕物が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，降下火砕物は補足されため盤内に大量に侵入することはない ・腐食の観点からは，降下火砕物の付着による屋外設備の機能喪失が想定されるが，屋外設備には外装塗装が施されているため，短期的には腐食の影響はない。また，落雷を組合せたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・磨耗の観点からは，降下火砕物の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，降下火砕物はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。また，落雷を組合せたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，降灰により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，落雷を組合せたとしても，火山の影響の個別評価と変わらない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（19/30）

番号	評価	評価結果
２３ 落雷 ＋生物学的事象	落雷及び生物学的事象の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，閉塞，電気的影響が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・閉塞の観点からは，海生生物の襲来による取水設備の閉塞が考えられるが，トラベリングスクリーンを設置するとともに，手順を整備していること及び海水ポンプ下流に設置した海水ストレーナ等により原子炉補機冷却水系熱交換器等への影響を防止する設計としており影響はない。また，落雷を組合せたとしても生物学的事象の個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，落雷による設備損傷や電磁的影響及び小動物が屋外設置の端子箱に侵入することによる短絡等により機能影響を生じることが考えられるが，避雷設備を設置すること及び端子箱貫通部をシールすることにより，電気的影響を及ぼさない設計としており影響はない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（20/30）

番号	評価	評価結果
２４ 落雷 ＋森林 火災	落雷及び森林火災の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，温度，閉塞，電気的影響，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・温度の観点からは，森林火災によりコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性はあるが，森林火災では保守的な条件を用いた評価を行っていること，評価に用いているコンクリートの許容温度については，一般的に強度にほとんど影響がないとされている200℃としていることから影響はない。また，落雷を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，森林火災によるばい煙により換気空調設備の閉塞が考えられるが，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径のばい煙を捕集するとともに，外気取入ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止することが可能であり影響がない。また，落雷を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，落雷による設備損傷や電磁的影響が考えられるが，避雷設備を設置することにより，電気的影響を及ぼさない設計としており影響はない。また，電源盤に森林火災によるばい煙が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，森林火災によるばい煙は補足されるため盤内に大量に侵入することはない。 ・磨耗の観点からは，森林火災によるばい煙の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，ばい煙はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。また，落雷を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，森林火災によるばい煙により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，落雷を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（21/30）

番号	評価	評価結果
２５ 落雷 ＋地震	落雷及び地震の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，電気的影響，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，地震による荷重が考えられるが，落雷を組合せたとしても地震の個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，落雷による設備損傷や電磁的影響が考えられるが，避雷設備を設置することにより，電気的影響を及ぼさない設計としており影響はない。また，地震を組合せたとしても落雷の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，地震による振動により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，落雷を組合せたとしても地震の個別評価と変わらない。	①
２６ 落雷 ＋津波	落雷及び津波の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，浸水，電気的影響，アクセス性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，津波による荷重が考えられるが，落雷を組合せたとしても津波の個別評価と変わらない。 ・浸水の観点からは，基準津波は津波防護施設及び浸水防止設備により敷地内に到達することはないことから浸水に至る可能性はない。また，落雷を組合せたとしても，津波の個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，落雷による設備損傷や電磁的影響が考えられるが，避雷設備を設置することにより，電気的影響を及ぼさない設計としており影響はない。また，津波を組合せたとしても落雷の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（22/30）

番号	評価	評価結果
２７ 火山の影響＋生物学的事象	火山の影響及び生物学的事象の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，閉塞，電気的影響，腐食，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，降下火砕物による荷重が考えられるが，生物学的事象を組合せたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，降下火砕物による換気空調設備の閉塞，並びに降下火砕物及び生物学的事象による取水設備等の閉塞が考えられる。降下火砕物による換気空調設備等については，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径の降下火砕物を捕集するとともに，外気取入ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止することが可能であり影響はない。取水設備については，想定する降下火砕物の粒径から取水設備が閉塞することはなく，海生生物の襲来による取水設備の閉塞は，トラベリングスクリーンを設置するとともに，手順を整備していること及び海水ポンプ下流に設置した海水ストレーナ等により原子炉補機冷却水系熱交換器等への影響を防止する設計としており影響はない。 ・電気的影響の観点からは，電源盤に降下火砕物が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，降下火砕物は補足されため盤内に大量に侵入することはない。また，小動物が屋外設置の端子箱に侵入することによる短絡等により機能影響を生じることが考えられるが，端子箱貫通部をシールすることにより，小動物の侵入による機能影響は生じない。 ・腐食の観点からは，降下火砕物の付着による屋外設備の機能喪失が想定されるが，屋外設備には外装塗装が施されているため，短期的には腐食の影響はない。また，生物学的事象を組合せたとしても，火山の影響の個別評価と変わらない。 ・磨耗の観点からは，降下火砕物の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，降下火砕物はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。また，生物学的事象を組合せたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，降灰により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，生物学的事象を組合せたとしても，火山の影響の個別評価と変わらない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（23/30）

番号	評価	評価結果
２８ 火山の影響 ＋森林火災	火山の影響及び森林火災の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，温度，閉塞，電気的影響，腐食，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，降下火砕物による荷重が考えられる。また，森林火災に伴う熱的影響の考慮も必要と考えられるが，防火帯を設置しており，飛び火による火災の延焼が生じた場合でも自衛消防隊による消火活動が可能なため，荷重に対して森林火災による熱的影響を考慮する必要はない。 ・温度の観点からは，森林火災によりコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性はあるが，森林火災では保守的な条件を用いた評価を行っていること，評価に用いているコンクリートの許容温度については，一般的に強度にほとんど影響がないとされている 200℃としていることから影響はない。また，火山の影響を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，降下火砕物及び森林火災によるばい煙により換気空調設備，並びに降下火砕物による取水設備等の閉塞が考えられる。換気空調設備については，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径の降下火砕物及びばい煙を捕集するとともに，外気取入ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止すること等が可能であり影響はない。取水設備については，想定する降下火砕物の粒径から取水設備が閉塞することはない。 ・電気的影響の観点からは，電源盤に降下火砕物及び森林火災によるばい煙が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，降下火砕物及び森林火災によるばい煙は補足されるため盤内に大量に侵入することはない。 ・腐食の観点からは，降下火砕物の付着による屋外設備の機能喪失が想定されるが，屋外設備には外装塗装が施されているため，短期的には腐食の影響はない。また，森林火災を組合せたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・磨耗の観点からは，降下火砕物及び森林火災によるばい煙の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，降下火砕物及びばい煙はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，降灰及び森林火災によるばい煙により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（24/30）

番号	評価	評価結果
２９ 火山の影響 ＋地震	火山の影響及び地震の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，閉塞，電気的影響，腐食，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。なお，設置変更許可申請書添付書類六 5.地震にて，女川原子力発電所において，火山性地震における影響はないと評価しているが，ここでは降灰時における地震の発生を念頭に評価を行う。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，降下火砕物及び地震による荷重が考えられる。 ・閉塞の観点からは，降下火砕物により換気空調設備及び取水設備等の閉塞が考えられる。換気空調設備については，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径の降下火砕物を捕集するとともに，外気取入ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止すること等が可能であり影響はない。取水設備については，想定する降下火砕物の粒径から取水設備が閉塞することはない。また，換気空調設備の機能が損なわれないようにフィルタの交換が可能であり，地震を組合せたとしても影響はない。 ・電気的影響の観点からは，電源盤に降下火砕物が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，降下火砕物は補足されため盤内に大量に侵入することはない。また，換気空調設備の機能が損なわれないようにフィルタの交換が可能であり，地震を組合せたとしても影響はない。 ・腐食の観点からは，降下火砕物の付着による屋外設備の機能喪失が想定されるが，屋外設備には外装塗装が施されているため，短期的には腐食の影響はない。また，地震を組合せたとしても，火山の影響の個別評価と変わらない。 ・磨耗の観点からは，降下火砕物の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，降下火砕物はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。また，地震と組合せたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，降灰及び地震による振動により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（25/30）

番号	評価	評価結果
３０ 火山の影響 ＋津波	火山の影響及び津波の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，閉塞，浸水，電気的影響，腐食，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。なお，設置変更許可申請書添付書類六 6.津波にて，火山事象による津波が敷地に及ぼす影響はないと評価しているが，ここでは降灰時における津波の発生を念頭に評価を行う。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，降下火砕物及び津波による荷重が考えられる。 ・閉塞の観点からは，降下火砕物により換気空調設備及び取水設備等の閉塞が考えられる。換気空調設備については，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径の降下火砕物を捕集するとともに，外気取入ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止すること等が可能であり影響はない。取水設備については，想定する降下火砕物の粒径から取水設備が閉塞することはない。また，津波と組合せたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・浸水の観点からは，基準津波は津波防護施設及び浸水防止設備により敷地内に到達することはないことから浸水に至る可能性はない。また，火山の影響を組合せたとしても，津波の個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，電源盤に降下火砕物が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，降下火砕物は補足されため盤内に大量に侵入することはない。また，津波と組合せたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・腐食の観点からは，降下火砕物の付着による屋外設備の機能喪失が想定されるが，屋外設備には外装塗装が施されているため，短期的には腐食の影響はない。また，津波を組合せたとしても，火山の影響の個別評価と変わらない。 ・磨耗の観点からは，降下火砕物の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，降下火砕物はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。また，津波と組合せたとしても火山の影響の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，降灰により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備及び取水ピット水位計等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，津波と組合せたとしても火山の影響 の個別評価と変わらない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（26/30）

番号	評価	評価結果
３１ 生物学的 事象 ＋森林火災	生物学的事象及び森林火災の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，温度，閉塞，電気的影響，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・温度の観点からは，森林火災によりコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性はあるが，森林火災では保守的な条件を用いた評価を行っていること，評価に用いているコンクリートの許容温度については，一般的に強度にほとんど影響がないとされている 200℃としていることから影響はない。また，生物学的事象と組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，海生生物の襲来による取水設備の閉塞が考えられるが，トラベリングスクリーンを設置するとともに，手順を整備していること及び海水ポンプ下流に設置した海水ストレーナ等により原子炉補機冷却水系熱交換器等への影響を防止する設計としており影響はない。また，森林火災によるばい煙により換気空調設備の閉塞が考えられるが，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径のばい煙を捕集するとともに，外気取入ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止することが可能であり影響はない。 ・電気的影響の観点からは，電源盤に森林火災によるばい煙が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，森林火災によるばい煙は補足されるため盤内に大量に侵入することはない。また，小動物が屋外設置の端子箱に侵入することによる短絡等により機能影響を生じることが考えられるが，端子箱貫通部をシールすることにより，小動物の侵入による機能影響は生じない。 ・磨耗の観点からは，森林火災によるばい煙の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，ばい煙はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。また，生物学的事象を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，森林火災によるばい煙により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，生物学的事象を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（27/30）

番号	評価	評価結果
３２ 生物学的 事象 ＋地震	生物学的事象及び地震の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，閉塞，電気的影響，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，地震による荷重が考えられるが，生物学的事象を組合せたとしても地震の個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，海生生物の襲来による取水設備の閉塞が考えられるが，手順を整備していること及び海水ポンプ下流に設置した海水ストレーナ等により原子炉補機冷却水系熱交換器等への影響を防止する設計としており影響はない。 ・電気的影響の観点からは，小動物が屋外設置の端子箱に侵入することによる短絡等により機能影響を生じることが考えられるが，端子箱貫通部をシールすることにより，小動物の侵入による機能影響は生じない。また，地震を組合せたとしても生物学的事象の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，地震による振動により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，生物学的事象を組合せたとしても地震の個別評価と変わらない。	①
３３ 生物学的 事象 ＋津波	生物学的事象及び津波の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，浸水，閉塞，電気的影響，アクセス性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，津波による荷重が考えられるが，生物学的事象を組合せたとしても津波の個別評価と変わらない。 ・浸水の観点からは，基準津波は津波防護施設及び浸水防止設備により敷地内に到達することはないことから浸水に至る可能性はない。また，生物学的事象を組合せたとしても，津波の個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，海生生物の襲来による取水設備の閉塞が考えられるが，手順を整備していること及び海水ポンプ下流に設置した海水ストレーナ等により原子炉補機冷却水系熱交換器等への影響を防止する設計としており影響はない。また，津波を組合せたとしても生物学的事象の個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，小動物が屋外設置の端子箱に侵入することによる短絡等により機能影響を生じることが考えられるが，端子箱貫通部をシールすることにより，小動物の侵入による機能影響は生じない。また，津波を組合せたとしても生物学的事象の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（28/30）

番号	評価	評価結果
３４ 森林火災 ＋地震	森林火災及び地震の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，温度，閉塞，電気的影響，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，地震による荷重が考えられる。また，森林火災に伴う熱的影響の考慮も必要と考えられるが，防火帯を設置しており，飛び火による火災の延焼が生じた場合でも自衛消防隊による消火活動が可能なため，荷重に対して森林火災による熱的影響を考慮する必要はない。 ・温度の観点からは，森林火災によりコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性はあるが，森林火災では保守的な条件を用いた評価を行っていること，評価に用いているコンクリートの許容温度については，一般的に強度にほとんど影響がないとされている 200℃としていることから影響はない。また，地震を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，森林火災によるばい煙による換気空調設備の閉塞が考えられるが，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径のばい煙を捕集するとともに，外気取入ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止することが可能であり影響がない。また，換気空調設備の機能が損なわれないようにフィルタの交換が可能であり，地震を組合せたとしても影響はない。 ・電気的影響の観点からは，電源盤に森林火災によるばい煙が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，森林火災によるばい煙は補足されるため盤内に大量に侵入することはない。また，地震を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。なお，換気空調設備の機能が損なわれないようにフィルタの交換が可能であり，地震を組合せたとしても影響はない。 ・磨耗の観点からは，森林火災によるばい煙の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，ばい煙はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。また，地震を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，森林火災によるばい煙及び地震による振動により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備等の代替設備により必要な機能を確保することができる。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（29/30）

番号	評価	評価結果
３５ 森林火災 ＋津波	森林火災及び津波の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，温度，閉塞，浸水，電気的影響，磨耗，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，津波による荷重が考えられる。また，森林火災に伴う熱的影響の考慮も必要と考えられるが，防火帯を設置しており，飛び火による火災の延焼が生じた場合でも自衛消防隊による消火活動が可能なため，荷重に対して森林火災による熱的影響を考慮する必要はない。 ・温度の観点からは，森林火災によりコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性はあるが，森林火災では保守的な条件を用いた評価を行っていること，評価に用いているコンクリートの許容温度については，一般的に強度にほとんど影響がないとされている200℃としていることから影響はない。また，津波を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・閉塞の観点からは，森林火災によるばい煙による換気空調設備の閉塞が考えられるが，外気取入口に設置されたバッグフィルタにより一定以上の粒径のばい煙を捕集するとともに，外気取入ダンパを閉止，又は空調系停止や再循環運転により建屋内への侵入を阻止することが可能であり影響はない。また，津波を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・浸水の観点からは，基準津波は津波防護施設及び浸水防止設備により敷地内に到達することはないことから浸水に至る可能性はない。また，森林火災を組合せたとしても，津波の個別評価と変わらない。 ・電気的影響の観点からは，電源盤に森林火災によるばい煙が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが考えられるが，建屋内への外気取入口にはバッグフィルタが設置されており，森林火災によるばい煙は補足されるため盤内に大量に侵入することはない。また，津波を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・磨耗の観点からは，森林火災によるばい煙の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが，ばい煙はシリンダ及びピストンの硬度より柔らかく磨耗は発生しない。また，津波を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，森林火災によるばい煙により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備及び取水ピット水位計等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，津波を組合せたとしても森林火災の個別評価と変わらない。	①

第 4-2 表 女川原子力発電所において想定される自然現象と
プラントに及ぼす影響（30/30）

番号	評価	評価結果
３６ 地震 ＋津波	地震及び津波の組合せが安全施設に及ぼす影響としては，荷重，浸水，アクセス性，視認性が考えられる。以下に，それぞれの影響について評価する。 ・荷重の観点からは，地震及び津波による荷重が考えられる。 ・浸水の観点からは，基準津波は津波防護施設及び浸水防止設備により敷地内に到達することはないことから浸水に至る可能性はない。また，地震を組合せたとしても，津波の個別評価と変わらない。 ・アクセス性の観点からは設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。 ・視認性の観点からは，地震による振動により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。しかしながら，監視カメラについては，気象観測設備及び取水ピット水位計等の代替設備により必要な機能を確保することができる。また，津波を組合せたとしても地震の個別評価と変わらない。	①

（3）設計上考慮すべき荷重評価における自然現象の組み合わせ

a．「荷重」の影響モードを持つ自然現象の特徴について

荷重により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は，風（台風），積雪，竜巻，降下火砕物，地震及び津波である。

このうち，地震，津波，竜巻及び降下火砕物による荷重は，発生頻度が低い偶発荷重であるが，発生すると荷重が大きく安全機能への影響が大きいと考えられることから，設計用の主荷重として扱う。

これらの主荷重に対し，風及び積雪は，発生頻度が主荷重と比べて相対的に高いが，荷重は主荷重に比べて小さく安全機能への影響も主荷重に比べて小さいと考えられる。このため，これらについては主荷重と合せて考慮する，従荷重として扱う。

組合せを検討するため，（2）において選定した「荷重」の影響モードを持つ自然現象の特徴として，発生頻度，影響の程度等を第 4-3 表に示す。

第 4-3 表 主荷重，従荷重の性質

荷重の種類		荷重の大きさ	最大荷重の継続時間	発生頻度（/年）
主荷重	地震	大	短（数十秒）	10^{-3}～10^{-6}
	津波	大	短（約 10 秒）	3.0×10^{-5}
	竜巻	大	短（数十秒）	1.0×10^{-6}
	火山の影響	中	長（約 1 ヶ月）※1	1.2×10^{-4} ※2
従荷重	風(台風)	小	短（数十分）	2×10^{-2} ※3
	積雪	小	長（約 2 週間）※1	2×10^{-2} ※3

※1　必要に応じて緩和措置を行うこととしている

※2　約 1 万 2 千年前の肘折尾花沢噴火を考慮

※3　50 年再現期待値

b．荷重の組合せについて

（a）主荷重同士の組合せについて

主荷重同士の組合せを第4-4表に示す。

第 4-4 表 主荷重同士の組合せ

		後発事象			
		地震	津波	竜巻	火山の影響
先発事象	地震		①	②	③
	津波	④		⑤	⑥
	竜巻	⑦	⑧		⑨
	火山の影響	⑩	⑪	⑫	

① 地震と津波の組合せについて

地震と津波は伝播速度が異なり，同時に敷地に到達することは無いことから，荷重の組合せは考慮しない。

② 地震と竜巻の組合せについて

両者は独立事象であるとともに，各事象が重畳する頻度は十分低いことから，荷重の組合せは考慮しない。

③ 地震と火山の影響の組合せについて

両者は独立事象であるとともに，各事象が重畳する頻度は十分低いことから，荷重の組合せは考慮しない。

④ 津波と地震の組合せについて

津波と地震は①のとおり。なお，余震との組合せについては，基準津波の継続時間のうち最大水位変化を生起する時間帯において発生する余震荷重を組合せる。

⑤ 津波と竜巻の組合せについて

両者は独立事象であるとともに，各事象が重畳する頻度は十分低いことから，荷重の組合せは考慮しない。

⑥ 津波と火山の影響の組合せについて

両者は独立事象であるとともに，各事象が重畳する頻度は十分低いことから，荷重の組合せは考慮しない。

⑦ 竜巻と地震の組合せについて

②のとおり。

⑧ 竜巻と津波の組合せについて

⑤のとおり。

⑨ 竜巻と火山の影響の組合せについて

両者は独立事象であるとともに，各事象が重畳する頻度は十分低いことから，荷重の組合せは考慮しない。

⑩ 火山の影響と地震の組合せについて

③のとおり。

⑪ 火山の影響と津波の組合せについて

⑥のとおり。

⑫ 火山の影響と竜巻の組合せについて

⑨のとおり。

（b）主荷重と従荷重の組合せについて

設計基準対象施設の荷重評価において，主荷重（地震，津波，竜巻，火山の影響）と従荷重（積雪荷重，風荷重）が同時に発生する場合を考慮し，主荷重と組み合わせるべき従荷重の検討を実施した。

主荷重と従荷重の組み合わせについては，第 4-5 表のとおりである。

第 4-5 表 主荷重と従荷重の組合せ

			主荷重			
			地震	津波	竜巻	火山の影響
従荷重	風	建築基準法	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
		継続時間※1	短×短	短×短	短×短	長×短
		荷重の大きさ※2	大＋小	大＋小	大＋小	中＋小
		組合せ	○※3	○※3	×	○
	積雪	建築基準法	多雪区域は組合せを考慮	記載なし	記載なし	記載なし
		継続時間※1	短×長	短×長	短×長	長×長
		荷重の大きさ※2	大＋中	大＋中	大＋中	中＋中
		組合せ	○※4	○※4	×	○

○：組合せを考慮する　×：組合せを考慮しない

※1 主荷重の時間×従荷重の時間

※2 主荷重の大きさ＋従荷重の大きさ

※3 屋外の直接風を受ける場所に設置されている施設のうち，風荷重の影響が地震荷重又は津波荷重に対して大きい構造，形状及び仕様の施設において，組み合わせを考慮する。

※4 積雪による受圧面積が小さい施設又は積雪荷重の影響が常時作用している荷重に対して小さい施設を除き，組み合わせを考慮する。

① 地震による荷重と積雪荷重及び風荷重の組み合わせについて

地震と積雪については，地震荷重の継続時間は短いが，積雪荷重の継続時間が長いため組み合わせを考慮し，施設の形状，配置により適切に組み合わせる。組み合わせる積雪荷重としては，女川原子力発電所は多雪区域ではないため，建築基準法には他の荷重との組合せは定められていない。ただし，発電用原子炉施設の重要性を鑑み，建築基準法の多雪区域における地震荷重と積雪荷重の組合せの

考え方を適用する。その際，組み合わせる積雪荷重としては，建築基準法施行細則によると女川町の垂直積雪量は 40cm，敷地付近で観測された積雪深さの月最大値は 43cm（石巻特別地域気象観測所）であることから，43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

地震と風については，ともに最大荷重の継続時間が短く，同時に発生する確率は低いものの，風荷重の影響が大きいと考えられるような構造や形状の施設については，組合せを考慮する。組み合わせる風速の大きさは，平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1454 号に定められた基準風速 30m/s とする。

② 津波による荷重と積雪荷重及び風荷重の組み合わせについて

津波と積雪については，積雪荷重の継続時間が長いため組み合わせを考慮し，施設の形状，配置により適切に組み合わせる。組み合わせる積雪荷重としては，女川原子力発電所は多雪区域ではないため，建築基準法には他の荷重との組合せは定められていない。ただし，発電用原子炉施設の重要性を鑑み，建築基準法の多雪区域における地震荷重と積雪荷重の組合せの考え方を適用する。その際，組み合わせる積雪荷重としては，建築基準法施行細則によると女川町の垂直積雪量は 40cm，敷地付近で観測された積雪深さの月最大値は 43cm（石巻特別地域気象観測所）であることことから，43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

津波と風については，ともに最大荷重の継続時間が短く，同時に発生する確率が低いものの，風荷重の影響が大きいと考えられるような構造や形状の施設については，組合せを考慮する。組み合わせる風速の大きさは，平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1454 号に定められた基準風速 30m/s とする。

③ 竜巻による荷重と風荷重及び積雪荷重の組み合わせについて

竜巻と風については，風荷重が竜巻による荷重に包含されるため，本組み合わせは考慮しない。

竜巻と積雪については，積雪による影響は広い範囲で比較的長い期間及ぶが，竜巻の影響は極低頻度かつ範囲も限定的で極めて短い期間であり，また，竜巻通過前に積雪があったとしても，竜巻により吹き飛ばされると考えられることから，本組み合わせは考慮しない。

④ 火山の影響による荷重と風荷重及び積雪荷重の組み合わせについて

火山の影響と積雪及び風の組み合わせについては，火山の影響による荷重の継続時間が他の主荷重と比較して長いため，3 つの荷重が同時に発生する場合を考慮し，施設の形状，配置により適切に組み合わせる。

組み合わせるべき荷重について，風荷重については，平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1454 号に定められた女川町において適用される風速とする。

積雪荷重については，女川原子力発電所周辺は多雪区域ではないため，建築基準法による「積雪荷重と他の荷重の組み合わせ」を考慮する必要は無いが，原子力発電所の重要性を鑑み，建築基準法施行細則に基づく垂直積雪量と女川原子力発電所で考慮する積雪量の極値を適切に考慮する。

組み合わせる火山の影響の荷重については，女川原子力発電所で想定される降下火砕物による荷重を考慮する。

（4）まとめ

女川原子力発電所において想定される自然現象を網羅的に抽出した上で，設計上考慮する必要がある事象を選定し，さらにそれらの事象の重畳の要否について検討を行った。

組合せた事象がプラントに及ぼす影響について評価を行い，個別の事象の設計に包絡される，事象の組合せが起こり得ない，又は，それぞれの事象の影響が打ち消し合う事象については，重畳事象としての扱いは行わないこととした。

ただし，荷重の組み合わせによる影響は，「第四条 地震による損傷の防止」又は「第五条 津波による損傷の防止」の条項において，地震又は津波と組み合わせる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作用する衝撃は，風又は積雪による荷重を考慮する。組み合わせに当たっては，地震又は津波の荷重の大きさ，最大荷重の継続時間，発生頻度の関係を踏まえた荷重とし，施設の構造等を考慮する。

具体的には，風荷重については，屋外の直接風を受ける場所に設置されている施設のうち，風荷重の影響が地震荷重又は津波荷重に対して大きい構造，形状及び仕様の施設において，組み合わせを考慮する。積雪荷重については，積雪による受圧面積が小さい施設又は積雪荷重の影響が常時作用している荷重に対して小さい施設を除き，組み合わせを考慮する。

荷重の影響モードをもつ自然現象の組合せについては，主荷重同士については津波と地震，主荷重と従荷重の組合せについては，地震と積雪と風（台風），津波と積雪と風（台風），火山の影響と風（台風）と積雪の組合せを設備の構造等を踏まえて，適切に考慮する。

＜参考＞

組み合わせを検討する11事象それぞれについて，考えられる原子炉施設に与える影響を整理し，荷重，温度，閉塞，浸水，電気的影響，腐食，摩耗，アクセス性及び視認性を選定した。

各事象について，それらを組み合わせた場合に原子炉施設に対して影響が増幅すると考えられる主な影響について整理し，組み合わせる際に評価する影響を第4-6表にまとめた。

(1) 風（台風）

荷重としては，風圧力による施設の損傷が想定される。アクセス性としては，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。

なお，閉塞については，台風来襲後，発電所前面海域に流木等が漂着することがあるが，原子炉補機冷却海水設備は除塵装置（バースクリーン，トラベリングスクリーン）により塵芥を除去する設計としている。

(2) 竜 巻

荷重としては，風圧力等による施設の損傷が想定される。アクセス性としては，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。

(3) 凍 結

温度としては，屋外機器内の流体の凍結に伴う閉塞による機能喪失が想定される。アクセス性としては，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。

なお，竜巻と組み合わせる場合には，竜巻発生前における車両の退避において凍結の影響を受けることが考えられるが，タイヤチェーンの使用により車両の退避は可能である。

(4) 降 水

浸水としては，電気的影響による設備の機能喪失が想定される。そのため，電気的影響は浸水に包含される。また，降下火砕物と組み合わせる場合には，降下火砕物の固結による排水溝等の閉塞に伴う浸水が想定される。視認性としては，監視カメラの視界低下が想定される。

なお，腐食については，進展が遅いため十分な管理が可能である。

(5) 積 雪

荷重としては，積雪による施設の損傷が想定される。アクセス性としては，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。視認性としては，監視カメラの視界低下が想定される。

なお，竜巻と組み合わせる場合には，竜巻発生前における車両の退避において積雪の影響を受けることが考えられるが，タイヤチェーンの使用により車両の退避は可能である。また，吸い込みに伴う閉塞については，ディーゼル発電機の吸気口等，地表からの高さを確保している。

(6) 落 雷

電気的影響としては，落雷による設備の損傷及び電磁的影響が想定される。

(7) 火山の影響

荷重としては，降下火砕物の堆積による施設の損傷が想定される。閉塞としては，降下火砕物による換気空調設備及び取水設備等の閉塞が想定される。電気的影響としては，電源盤に降下火砕物が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じ機能影響を及ぼすことが想定される。腐食としては，降下火砕物の付着による屋外設備の機能喪失が想定される。摩耗としては，降下火砕物の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗がが想定される。アクセス性としては，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。

また，竜巻と組み合わせる場合には，竜巻発生前における退避について降下火砕物の影響を受けることが考えられるが，火山事象の進展は比較的緩慢であり，除灰対応が可能であることから降下火砕物により影響を受けることはない。視認性としては，降灰により監視カメラの視認性が低下する可能性がある。

(8) 生物学的事象

閉塞としては，海生生物の襲来による原子炉補機冷却海水設備の機能喪失が想定される。電気的影響としては，小動物の屋外設置の端子箱への侵入により短絡等が生じることが想定される。

(9) 森林火災

温度としては，森林火災によりコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼすことが想定される。閉塞としては，ばい煙による換気空調設備の閉塞が想定される。電気的影響としては，電源盤にばい煙が侵入し，端子台等との接触による絶縁低下から短絡等が生じることが想定される。

摩耗としては，ばい煙の非常用ディーゼル機関吸気への侵入によるシリンダ部の磨耗が想定される。アクセス性としては，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。

視認性としては，ばい煙により監視カメラの視認性低下が想定される。また，竜巻と組み合わせる場合には，竜巻による飛来物により監視カメラが損傷する可能性が想定される。

(10) 地震

荷重としては，地震による施設の損傷が想定される。アクセス性としては，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。また，竜巻と組み合わせる場合には，竜巻発生前における車両の退避において退避ルートが影響を受けることが想定される。視認性としては，振動による監視カメラの視界低下が想定される。

(11) 津波

荷重としては，津波による施設の損傷が想定される。浸水としては，基準津波は津波防護施設及び浸水防止設備により敷地内に到達することはないことから浸水に至る可能性はない。アクセス性としては，設計として考慮する必要がある屋外作業がないことから影響はない。

また，竜巻と組み合わせる場合，竜巻発生前における車両の退避については，基準津波は津波防護施設及び浸水防止設備により退避ルートに遡上することはないことから影響はない。

第 4-6 表 女川原子力発電所において想定される自然現象とプラントに及ぼす影響

	プラントに及ぼす影響								
	荷重	温度	閉塞	浸水	電気的影響	腐食	磨耗	アクセス性	視認性
風（台風）	○	—	—※1	—	—	—	—	○	—
竜巻	○	—	—	—	—	—	—	○	—
凍結	—	○	○	—	—	—	—	○	—
降水	—	—	—	○	—※2	—※3	—	—	○
積雪	○	—	—※4	—	—	—	—	○	○
落雷	—	—	—	—	○	—	—	—	—
火山の影響	○	—	○	—	○	○	○	○	○
生物学的事象	—	—	○	—	○	—	—	—	—
森林火災	—	○	○	—	○	—	○	○	○
地震	○	—	—	—	—	—	—	○	○
津波	○	—	—	○	—	—	—	○	—

※1　原子炉補機冷却海水設備は，除塵装置により塵芥を除去する設計としている。
※2　浸水による設備の機能喪失は，浸水に包含される。
※3　進展が遅いため，十分な管理が可能である。
※4　ディーゼル発電機の吸気口等，地表からの高さを確保している。

生物学的事象に対する考慮について

１．はじめに

女川原子力発電所２号炉において想定される生物学的事象は，くらげの襲来や小動物の侵入等が挙げられるが，原子炉施設の安全性に影響を与える可能性があるものとして，くらげの襲来による冷却用海水の取水への影響が考えられる。本資料では，くらげの襲来に対する防護対策の状況を示す。

小動物の侵入に対しては，屋外設置の端子箱貫通部等へのシールにより防止している。

２．くらげの襲来による施設への影響

発電所の取水口付近のくらげは，原子炉補機冷却海水ポンプ等（以下，「海水ポンプ」という。）や循環水ポンプの取水に伴う海水の流れにより，取水口へ流入し，海水ポンプや循環水ポンプへの塵芥流入を防止するための除塵装置（バースクリーン，トラベリングスクリーン）で捕獲される。

除塵能力を超える多量のくらげが除塵装置に流入した場合，スクリーン前後の水位差が大きくなり，海水ポンプ，循環水ポンプの取水機能への影響が懸念される。

なお，女川２号炉においては，くらげの襲来による発電機の出力を抑制した事例，プラント停止に至った事例，海水ポンプの取水性能に影響を及ぼした事例は発生していない。

３．対策の概要

女川２号炉では，バースクリーン，トラベリングスクリーンによる流入くらげの捕獲及び除去を実施している。

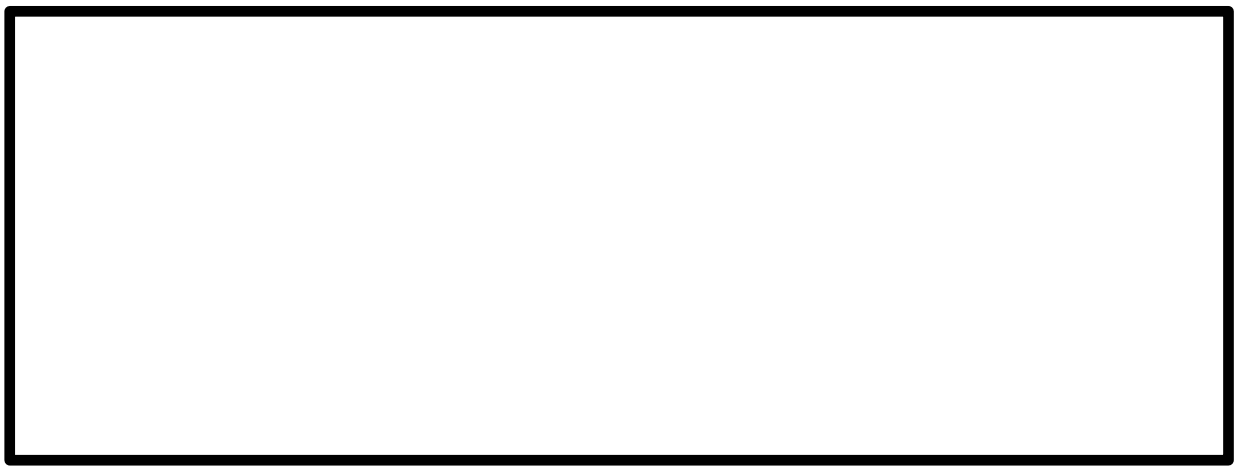
また，運転手順として，循環水ポンプの取水機能へ影響が生じる場合は，必要に応じ循環水ポンプの翼開度調整，原子炉出力降下操作及び原子炉手動スクラムの手順を整備している。

（１）概要（概略配置図）

女川原子力発電所に設置している除塵装置の概略配置図を第１図に示す。

くらげの捕獲に伴いトラベリングスクリーン前後に水位差が生じ，水位差が一定以上に大きくなると，トラベリングスクリーンが自動起動し，捕獲されたくらげを除去する。

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。



第１図 除塵装置の構造（概略図）

くらげの捕獲に伴いトラベリングスクリーン前後に水位差が生じ，水位差が一定以上に大きくなると，トラベリングスクリーンが自動起動し，捕獲されたくらげを除去する。

４．運転操作

くらげ襲来時の運転操作については，以下の内容を運転基準に定め運用している。

○ 塵芥激増により，トラベリングスクリーン前後の水位差が，自動起動水位差となれば，トラベリングスクリーンの起動状況を確認する。

○ トラベリングスクリーン前後の水位差がさらに大きくなれば循環水ポンプの翼開度を徐々に減少させ取水量の調整を行う。それに伴い，復水器真空度が基準値を下回らないよう，必要に応じて原子炉出力降下操作を実施する。

○ トラベリングスクリーン水位差による循環水ポンプの運転継続が困難で，復水器真空度低下がタービントリップ設定値に至る可能性がある場合は原子炉を手動スクラムする。

５．貝等の海生生物について

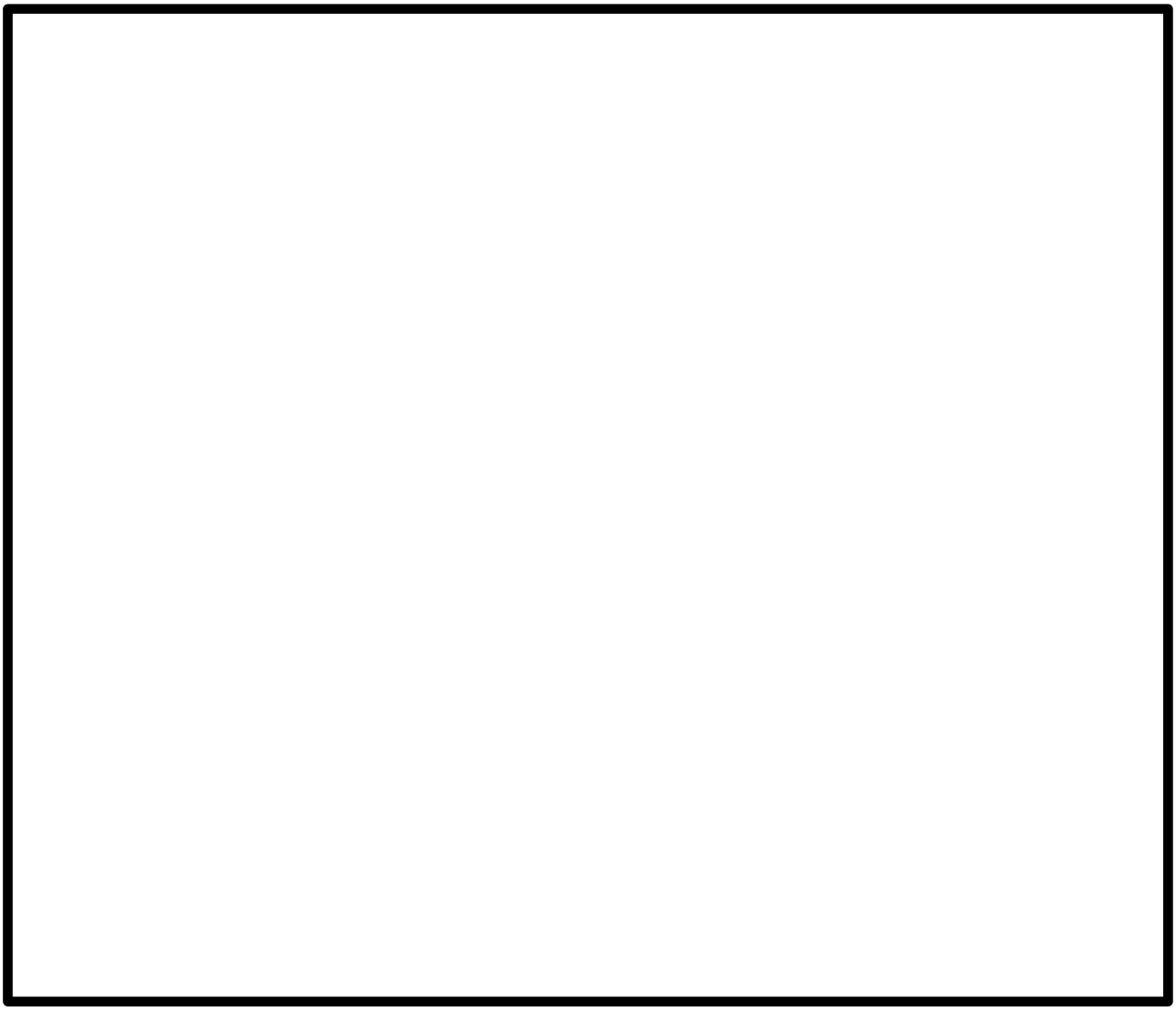
除塵装置では捕獲，除去できない貝等の海生生物についても，以下の対策により施設への影響を防止している。

海水ポンプで取水された海水中の海生生物については，海水ポンプ下流に設置した海水ストレーナにより捕獲することで，原子炉補機冷却水系熱交換器等への海生生物の侵入を防止している。また，原子炉補機冷却水系熱交換器等は定期的に開放点検，清掃を実施し，性能維持を図っている。

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

第２図 海水ストレーナ概略図

循環水ポンプで取水された海水中の海生生物については，復水器連続洗浄装置により細管に付着した海生生物を除去している。また，復水器を定期的に開放点検，清掃を実施し機能維持を図っている。



第３図 復水器連続洗浄装置概略系統図

６．まとめ

○　女川原子力発電所２号炉において，安全施設へ影響を考慮すべき生物学的影響として，くらげの襲来による海水ポンプ，循環水ポンプの取水機能への影響が挙げられる。

○　くらげの襲来に対して，以下の設備対策，運転手順を整備し，発電所の安全確保を図っている。

（設備対策）

・バースクリーン，トラベリングスクリーンによりくらげを捕獲，除去することで，海水ポンプ及び循環水ポンプの取水機能を維持する。

（運転操作）

・くらげの襲来により，トラベリングスクリーン前後の水位差が，ロータリーの自動起動水位差となれば，自動動作状況を確認する。必要に応じ循環水ポンプの取水量の調整を行う。

・トラベリングスクリーン前後の水位差がさらに大きくなれば循環水ポンプの取水量の調整，原子炉出力降下操作を行う。復水器真空度の維持が困難となれば，原子炉を手動スクラムする。

○　除塵装置を通過する貝等の海生生物についても，海水ポンプ下流に設置した海水ストレーナ及び復水器連続洗浄装置により，原子炉補機冷却系熱交換器や復水器等への影響を防止している。

補足資料２

航空機落下確率評価について

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」に基づく評価結果について

女川原子力発電所２号炉の原子炉施設への航空機落下確率は，以下に示すとおり 10^{-7}（回／炉・年）を超えていないため，「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」に定められた判断基準を満足する。

なお，平成２８年６月に原子力規制委員会が航空機落下事故に関するデータを更新したことから，最新の事故データ※を用いた航空機落下確率の評価を実施した。

最新の事故データを用いた航空機落下確率は約 4.5×10^{-8}（回／炉・年）であり，設置許可変更申請時の評価結果を上回らないことを確認している。

※「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月 原子力規制委員会）

第１表 航空機落下確率

発電所名称	号炉	落下確率（回／炉・年）
女川原子力発電所	２号炉	約 5.0×10^{-8}

参考資料

評価対象事故及び評価に用いた数値について

１．評価対象事故

評価対象とする航空機落下事故を第２表に示す。

第２表 評価対象事故

発電所名称及び号炉	１）計器飛行方式民間航空機の落下事故		２）有視界飛行方式民間航空機の落下事故	３）自衛隊機又は米軍機の落下事故	
	①飛行場での離着陸時における落下事故	②航空路を巡航中の落下事故		①訓練空域内を訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故	②基地－訓練空域間往復時の落下事故
女川原子力発電所２号炉	×[注1]	○	○	○[注2]（訓練空域外を飛行中の落下事故）	○

○：対象，×：対象外

注１：発電所と仙台空港の距離が最大離着陸距離より離れているため，評価対象外とした（添付１）

注２：発電所上空には自衛隊機又は米軍機の訓練空域はない（添付１）

２．評価に用いた数値

（１）計器飛行方式民間航空機の落下事故（航空路を巡航中の落下事故）

$$P_c = \frac{f \cdot N_c \cdot A}{W}$$

P_c：対象施設への巡航中の航空機落下確率（回／年）

N_c：評価対象とする航空路等の年間飛行回数（飛行回／年）

A：原子炉施設の標的面積（km^2）

W：航空路幅（km）

$f_c = G_c / H_c$：単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率
（回／(飛行回･km)）

G_c：巡航中事故件数（回）

H_c：延べ飛行距離（飛行回･km）

第３表 計器飛行方式民間航空機の落下事故確率

発電所名称及び号炉 ＼ パラメータ	女川原子力発電所 ２号炉
対象航空路	直行経路 MIYAKO(MQE)－IWAKI(IXE)
N_c 注１	182.5 (H24年データ)
A 注２	0.01
W 注３	27
f_c 注４	$0.5/9,439,243,077 = 5.30 \times 10^{-11}$
P_c	3.58×10^{-12}

注１：国土交通省航空局への問い合わせ結果を365倍した値（添付２）

注２：原子炉建屋，制御建屋等の水平面積の合計値は$0.01km^2$以下であるので標的面積は$0.01km^2$とする（添付３）

注３：「航空路等設定基準」による

注４：事故件数は，平成3年～平成22年の間で0件であるため，保守的に0.5件と仮定した延べ飛行距離は，平成4年～平成23年の「航空輸送統計年報，第１表 総括表，１．輸送実績」における運航キロメートルの国内の値を合計した値（添付４）

（２）有視界飛行方式民間航空機の落下事故

$$P_v = \frac{f_v}{S_v}(A \cdot \alpha)$$

P_v：対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_v：単位年当たりの落下事故率（回／年）

S_v：全国土面積（km^2）

A：原子炉施設の標的面積（km^2）

α：対象航空機の種類による係数

第４表 有視界飛行方式民間航空機の落下事故確率

発電所名称及び号炉 ＼ パラメータ	女川原子力発電所 ２号炉
f_v 注１	大型固定翼機　0.5／20＝0.025 小型固定翼機　35／20＝1.75 大型回転翼機　2／20＝0.1 小型回転翼機　30／20＝1.5
S_v 注１	372,000
A	0.01
α	大型固定翼機，大型回転翼機：１ 小型固定翼機，小型回転翼機：0.1
P_v	1.21×10^{-8}

注１：「平成 23 年度　航空機落下事故に関するデータの整備」（平成 24 年 9 月　独立行政法人 原子力安全基盤機構）による

（３）自衛隊機又は米軍機の落下事故

①訓練空域外を飛行中の落下事故

$$P_{so} = (\frac{f_{so}}{S_o}) \cdot A$$

P_{so}：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_{so}：単位年当たりの訓練空域外落下事故率（回／年）

S_o：全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積（km^2）

A：原子炉施設の標的面積（km^2）

第５表 自衛隊機又は米軍機の落下事故確率（訓練空域外を飛行中の場合）

発電所名称及び号炉 ／ パラメータ	女川原子力発電所 ２号炉
f_{so} 注１	自衛隊機　8／20＝0.4 米軍機　5／20＝0.25
S_o 注１	自衛隊機　295,000 米軍機　372,000
A	0.01
P_{so}	2.03×10^{-8}

注１：「平成 23 年度　航空機落下事故に関するデータの整備」（平成 24 年 9 月　独立行政法人 原子力安全基盤機構）による

②基地－訓練空域間往復時の落下事故

(a)移動経路近傍に原子炉施設が存在する場合

$$P_{tr} = f_{tr} \cdot N_{tr} \cdot A \cdot F(x)_{tr}$$

P_{tr}：対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_{tr}：当該移動経路を巡航中の落下事故率（回／（飛行回･km））

N_{tr}：当該移動経路の年間飛行数（飛行回／年）

A：原子炉施設の標的面積（km^2）

$F(x)_{tr}$：事故点分布関数（km^{-1}）$= \dfrac{0.625}{2}\exp(-0.625|x|)$

x：移動経路から発電所までの距離（km）

第６表 自衛隊機又は米軍機の落下事故確率（移動経路近傍に原子炉施設が存在する場合）

発電所名称及び号炉 ／ パラメータ		女川原子力発電所２号炉
対象飛行場		航空自衛隊松島飛行場
f_{tr} 注１		1.57×10^{-7}
N_{tr} 注２	N_{tr} 北側	8,400
	N_{tr} 南側	8,400
A		0.01
$F(x)_{tr}$ 注３	$F(x)_{tr}$ 北側	$F(9.5)_{tr}=8.25\times10^{-4}$
	$F(x)_{tr}$ 南側	$F(10.5)_{tr}=4.41\times10^{-4}$
P_{tr}	P_{tr} 北側	1.09×10^{-8}
	P_{tr} 南側	5.82×10^{-9}
	合　計	1.67×10^{-8}

注１：事故件数は，平成 12 年 3 月 22 日及び同年 7 月 4 日の 2 件 3 機
移動経路は，防衛庁(当時)発表（平成 12 年 8 月 10 日）の再発防止対策に基づき，発電所に対して北側移動経路(157.0km)及び南側移動経路(70.2km)とする。飛行頻度は，北側と南側で同頻度とする（添付５）
訓練頻度は，航空自衛隊松島基地によれば，700 機／月

注２：注１より，700×2(往復)×12(ヶ月)÷2(経路)＝8,400

注３：北側及び南側移動経路から発電所までの最短距離とする

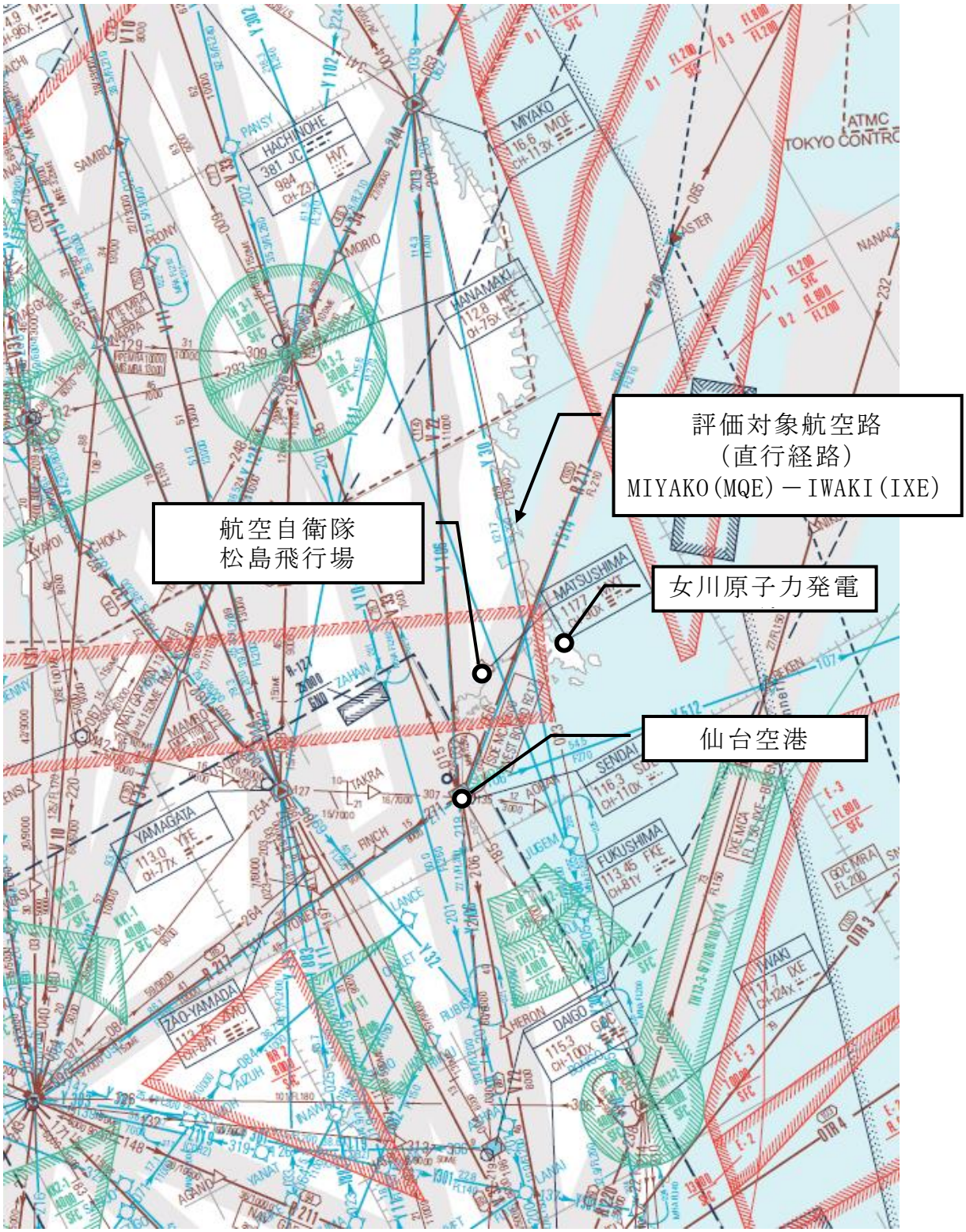
３．落下確率値の合計値

（１）女川原子力発電所

女川原子力発電所２号炉における航空機落下確率値の合計値を第７表に示す。

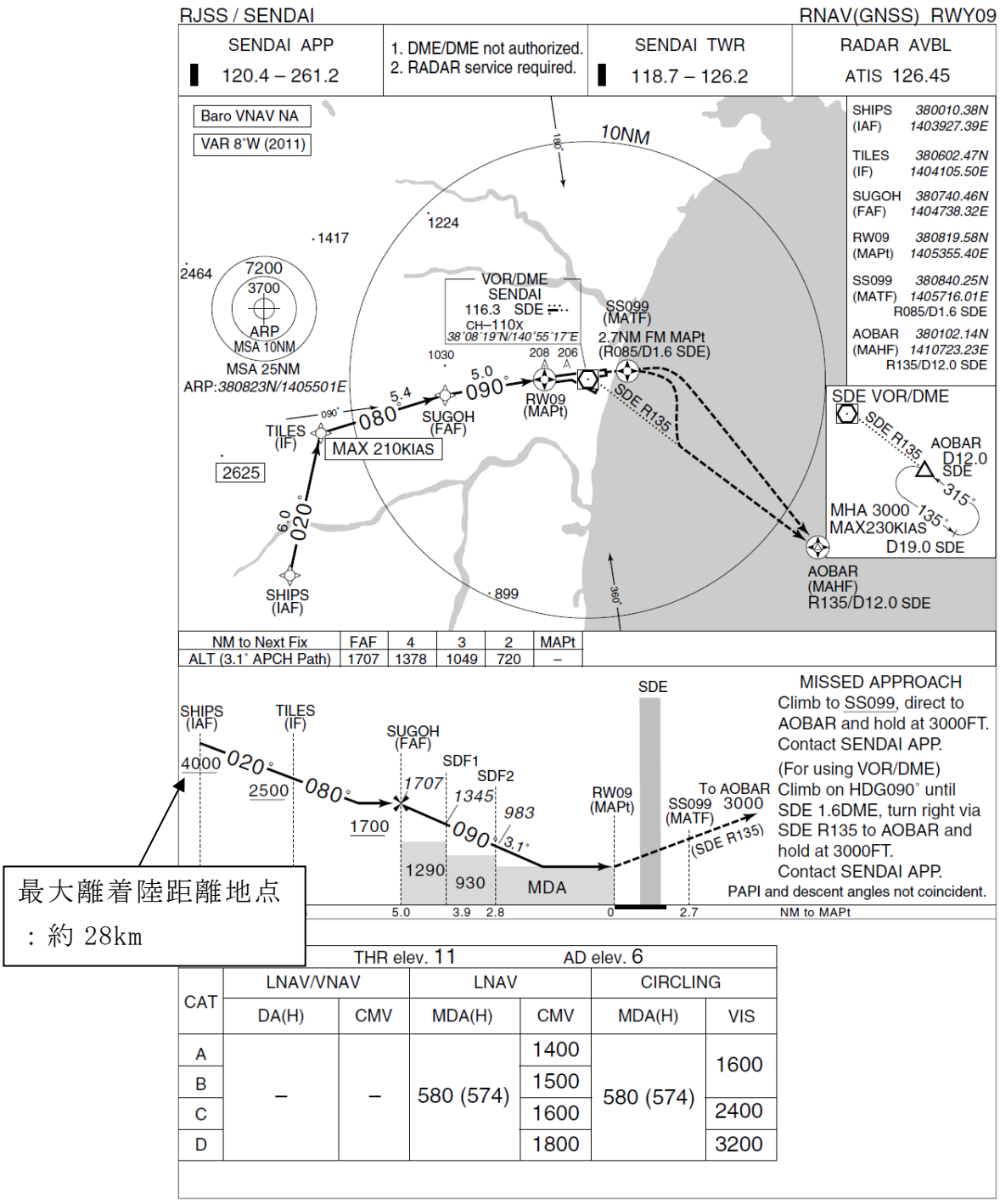
第７表 落下確率値の合計

号炉	１）計器飛行方式民間航空機の落下事故		２）有視界飛行方式民間航空機の落下事故	３）自衛隊機又は米軍機の落下事故		合　計
	①飛行場での離着陸時における落下事故	②航空路を巡航中の落下事故		①訓練空域内を訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故	②基地－訓練空域間往復時の落下事故	
２号炉	－	3.58×10^{-12}	1.21×10^{-8}	2.03×10^{-8}	1.67×10^{-8}	約 5.0×10^{-8}



第１図 女川原子力発電所周辺の航空図（AIP エンルートチャートより）

INSTRUMENT APPROACH CHART



最大離着陸距離地点
：約 28km

第２図 仙台空港のアプローチチャート

添付２

評価対象となる航空路の飛行回数

１.女川原子力発電所

女川原子力発電所２号炉 計器飛行方式民間航空機の落下事故確率算出における，評価対象となる航空路の飛行回数算出結果を第８表に示す。

第８表 評価対象となる航空機の飛行回数算出結果

（飛行回数）

札幌交通管制部ピークデイ	直行経路 (MIYAKO(MQE)－IWAKI(IXE))
平成 24 年上半期（H24.6.18）	0 注１
平成 24 年下半期（H24.8.7）	0 注１
評価に用いる数値	0.5×365 日＝182.5 便/年間

（交通量が 0 便のため，保守的に 0.5 便を仮定）

注１：国土交通省航空局に問い合わせ入手したデータ。ここでピークデイとは,札幌交通管制部が全体として取り扱った交通量が年間で最も多かった日のことであり,当該経路における交通量が年間で最も多かった日とは必ずしも一致しない。

第９表　航空機落下確率評価に係わる標的面積

単位：km^2

発電所	号炉	原子炉建屋	制御建屋[注１]	海水ポンプ室	合計
女川	２号炉	0.00647	0.00299	0.000370	0.00983

工事計画認可申請書記載の建屋寸法から面積を算出した。
使用済燃料プール及び主要な安全系機器は原子炉建屋に含む。
なお，その他の評価対象設備が設置してある建屋は以下のとおり。

発電所	号炉	中央制御室	非常用海水ポンプ	非常用ＤＧ
女川	２号炉	制御建屋	海水ポンプ室	原子炉建屋

注１：女川１，２号炉の中央制御室は共用しているため，
２号制御建屋の面積は（１，２号炉中央制御室面積）＋（中央制御室以外の２号制御建屋面積）
としている。

添付４

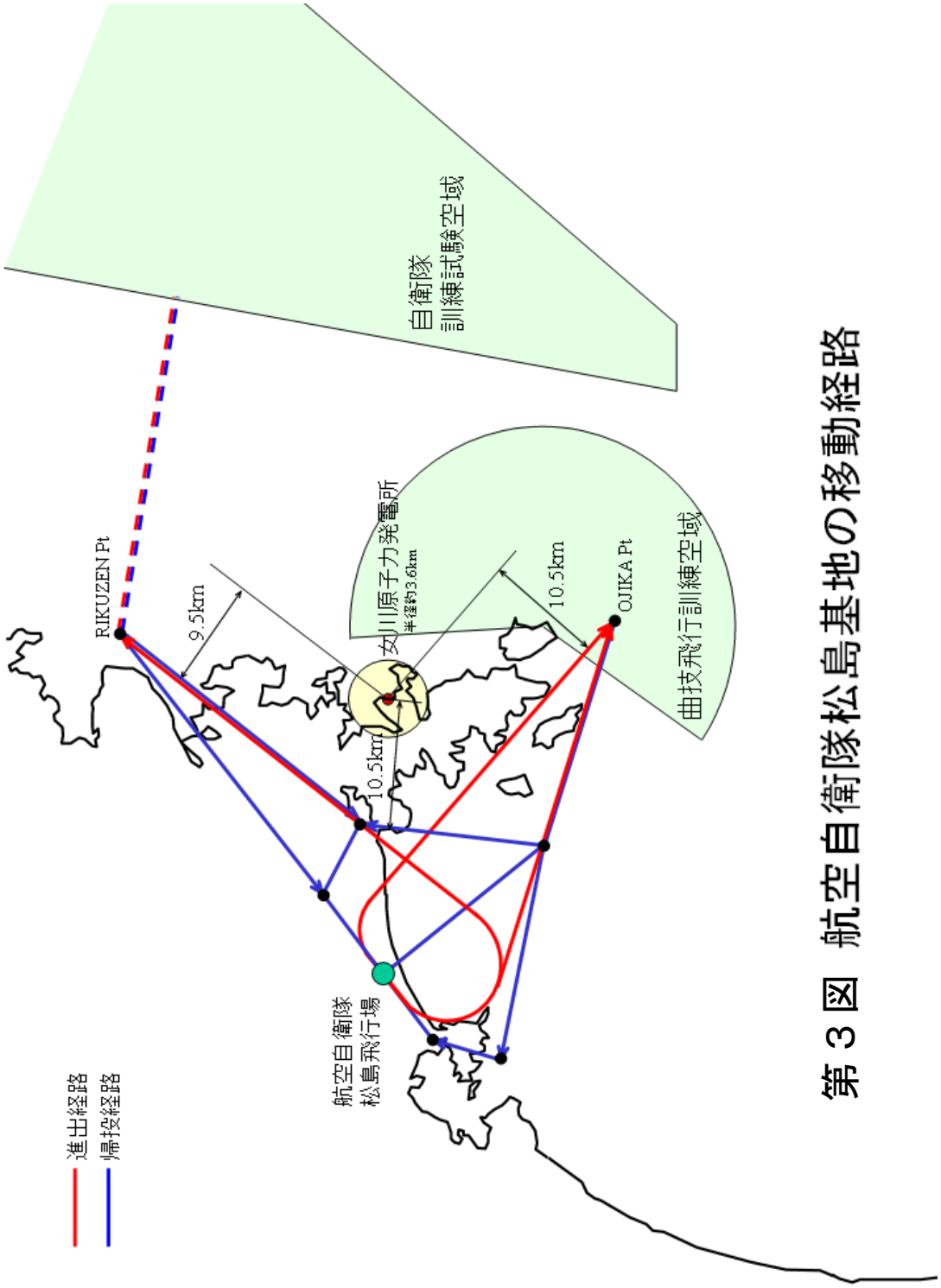
延べ飛行距離について

延べ飛行距離は，平成4年～平成23年の「航空輸送統計年報，第１表 総括表，１．輸送実績」における運航キロメートルの国内便のみの合計値とした。

なお，国際便についても運航距離が記載されているが，日本国内での運航距離ではないため考慮しない。また，日本に乗り入れている外国機は運航距離の実績の公開記録がないため考慮していない。ただし，国際便及び外国機が日本国内で墜落した場合は事故件数としてカウントし，事故率が保守的となるようにしている。

第１０表 延べ飛行距離

	日本国機の運航距離（飛行回・km）
平成４年	307,445,013
平成５年	326,899,203
平成６年	343,785,576
平成７年	380,948,123
平成８年	397,146,610
平成９年	420,920,228
平成10年	449,784,623
平成11年	459,973,069
平成12年	480,718,878
平成13年	489,803,107
平成14年	498,685,881
平成15年	519,701,117
平成16年	517,485,172
平成17年	527,370,038
平成18年	555,543,154
平成19年	559,797,874
平成20年	554,681,669
平成21年	544,824,157
平成22年	548,585,258
平成23年	555,144,327
合計	9,439,243,077



第３図　航空自衛隊松島基地の移動経路

計測制御盤の主な電磁波等，外部からの外乱(サージ)・ノイズ対策について

１．概要

電磁的障害には，サージ・ノイズや電磁波の侵入があり，これらは低電圧の計測制御回路に対して影響を及ぼす恐れがあるため，計測制御回路を構成する安全保護系制御盤及びケーブルは，フィルタや絶縁回路の設置によりサージ・ノイズの侵入を防止するとともに，鋼製筐体や金属シールド付ケーブルの適用により電磁波の侵入を防止している。

２．サージ・ノイズ，電磁波に対する具体策

計測制御回路を構成する制御盤及びケーブルは原則として以下の設計としている。

（１）サージ・ノイズ対策

ａ．電源回路

制御盤へ入線する電源受電部にサージ・ノイズ対策回路として絶縁回路を設置し，外部からのサージ・ノイズの侵入を防止する設計としている。

ｂ．信号入出力回路

電磁的影響を受けやすい起動領域モニタ及び出力平均モニタについては，外部からの信号入出力部に，サージ・ノイズ対策回路としてフィルタを設置し，外部からのサージ・ノイズの侵入を防止する設計としている。

（２）電磁波対策

ａ．筐体

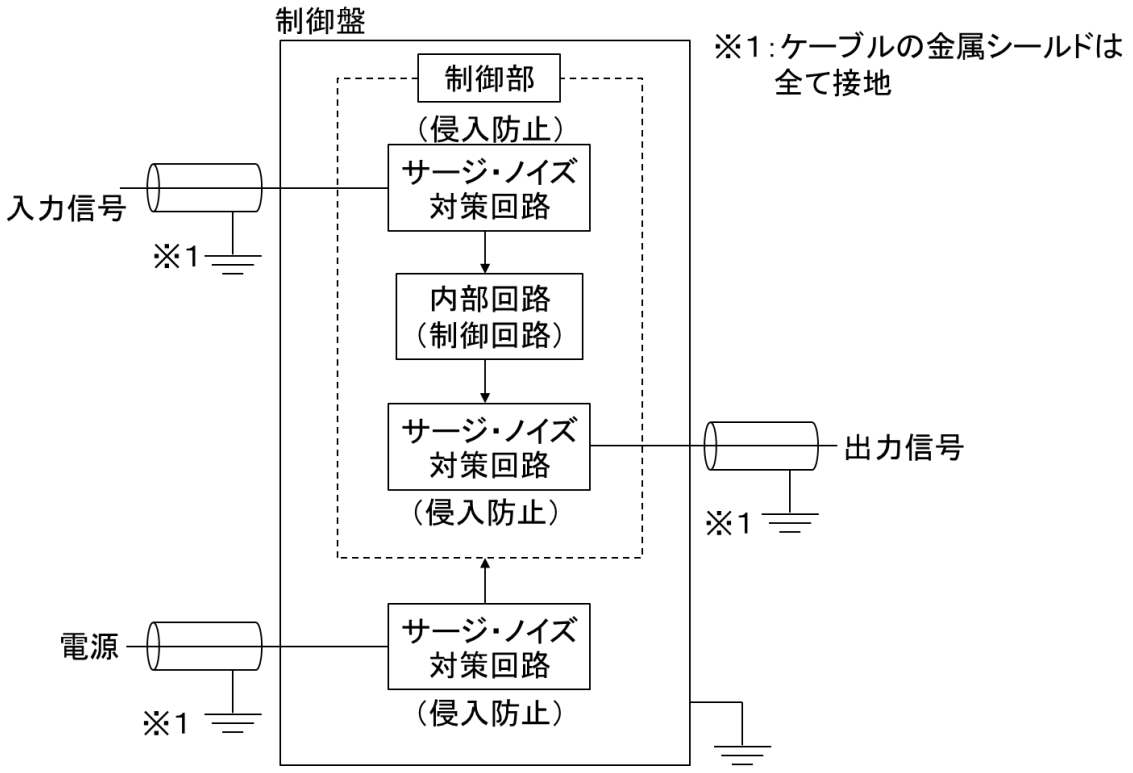
制御盤の制御部，演算部は鋼製の筐体に格納し，筐体は接地することで電磁波の侵入を防止する設計としている。

ｂ．ケーブル

ケーブルは必要により金属のシールド付ケーブルを使用し，金属シールドは接地して電磁波の侵入を防止する設計としている。

３．電磁波等の発生源に対する対策

電源ケーブルは信号ケーブルとは別のトレイ・ダクトに敷設し，信号ケーブルはシールド付ケーブルを使用して接地することで計装回路への電磁的影響を防止している。



第１図 電磁的障害防止策の例

設計基準事故時に生じる応力の考慮について

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じる応力を，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。

なお，過去の記録及び現地調査の結果を参考にして，必要のある場合には，異種の自然現象を重畳させるものとする。

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は，設置許可基準規則第六条第１項において選定した自然現象に含まれる。また，重要安全施設を含む安全施設は，設置許可基準規則第六条第１項において選定した自然現象又はその組合せにより，安全機能を損なわない設計としている。安全機能が損なわれなければ設計基準事故に至らないため，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又はその組合せと設計基準事故に因果関係はない。

従って，因果関係の観点からは，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を組み合わせる必要はなく，重要安全施設は，個々の事象に対して，安全機能を損なわない設計とする。

また，重要安全施設は，設計基準事故の影響が及ぶ期間に発生すると考えら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を適切に考慮する。

女川原子力発電所２号炉において，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って影響を受けると考えられる屋外に設置されている重要安全施設は，原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプである。これらの重要安全施設は，設置許可基準規則第六条第１項において選定した自然現象（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を含む）により安全機能を損なわない設計としている。従って，因果関係の観点からは，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を組み合わせる必要はなく，自然現象により重要安全施設に作用する衝撃による応力の評価と変わらない。

一方，時間的変化の観点からは，事故の影響が長期間に及ぶことが考えられる原子炉冷却材喪失事故の発生頻度は低く，また，屋外に設置されている重要安全施設に対して大きな影響を及ぼす自然現象の発生頻度も低い

ことから，原子炉冷却材喪失事故の影響が及ぶ期間中に重要安全施設に大きな影響を及ぼす自然現象が発生するとは考えられない。

仮に，事故の影響が長期間に及ぶことが考えられる原子炉冷却材喪失事故の期間中に，発生頻度が高く，重要安全施設に及ぼす影響が小さな自然現象が発生したとしても，自然現象によって影響を受けると考えられる屋外に設置された原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに事故時の荷重が施設に付加されることはないため，自然現象により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を組み合わせる必要はなく，自然現象により重要安全施設に作用する衝撃による応力の評価と変わらない。

自然現象，人為事象に対する安全施設の影響評価について

女川原子力発電所で考慮する自然現象及び人為事象に対して，安全施設の受ける影響評価を行った。

自然現象，人為事象に対する安全施設の影響評価を第１表に示す。

なお，洪水，地すべりの自然現象，並びに飛来物（航空機落下），ダムの崩壊，爆発，有毒ガス，船舶の衝突の人為事象に関しては，女川原子力発電所の施設への影響がないことから，影響を及ぼす自然現象，人為事象から除外している。

第１表 自然現象，人為事象に対する安全施設の影響評価

分類	安全機能の重要度分類			屋外の構築物 系統又は機器	設備 設置 箇所	自然現象による影響※1																				人為事象による影響			
	定義	機能	構築物，　系統又は機器			風（台風）		竜巻		凍結		降水		積雪		落雷		火山の影響		生物学的事象		森林火災		近隣工場等の火災		電磁的障害	
						評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法
PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によって， (a)炉心の著しい損傷，又は (b)燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物，系統及び機器	1)原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系（計装等の小口径配管・機器は除く。）	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		2)過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		3)炉心形状の維持機能	炉心支持構造物（炉心シュラウド，シュラウドサポート，上部格子板，炉心支持板，制御棒案内管），燃料集合体（ただし，燃料を除く。）	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
MS-1	1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し，残留熱を除去し，原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し，敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物，系統及び機器	1)原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系（制御棒及び制御棒駆動系（スクラム機能））	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		2)未臨界維持機能	原子炉停止系（制御棒による系，ほう酸水注入系）	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		3)原子炉冷却材バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁（安全弁としての開機能）	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		4)原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統（残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード），原子炉隔離時冷却系，高圧炉心スプレイ系，逃がし安全弁（手動逃がし機能），自動減圧系（手動逃がし機能））	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
				原子炉隔離時冷却系 復水貯蔵タンク 高圧炉心スプレイ系 復水貯蔵タンク	屋外	○	風荷重を考慮し設計	○	竜巻に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	凍結防止対策を実施	○	影響なし	○	積雪荷重を考慮し設計	○	落雷を受けるような高所設置ではない	○	降下火砕物に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし	○	森林火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	近隣工場等の火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし
		5)炉心冷却機能	非常用炉心冷却系（低圧炉心スプレイ系，低圧注水系，高圧炉心スプレイ系，自動減圧系）	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
				高圧炉心スプレイ系 復水貯蔵タンク	屋外	○	風荷重を考慮し設計	○	竜巻に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	凍結防止対策を実施	○	影響なし	○	積雪荷重を考慮し設計	○	落雷を受けるような高所設置ではない	○	降下火砕物に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし	○	森林火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	近隣工場等の火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし
		6)放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器，原子炉格納容器隔離弁，原子炉格納容器スプレイ冷却系，原子炉建屋，非常用ガス処理系，非常用再循環ガス処理系，可燃性ガス濃度制御系	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
				原子炉建屋 （原子炉建屋原子炉棟）	屋外	○	風荷重を考慮し設計	○	竜巻に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし	○	影響なし	○	積雪荷重を考慮し設計	○	雷害対策を実施	○	降下火砕物に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし	○	森林火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	近隣工場等の火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし
				非常用ガス処理系 一部の配管，排気筒	屋外	○	影響なし	○	竜巻に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし	○	影響なし	○	堆積し難い構造	○	影響なし	○	堆積し難い構造	○	影響なし	○	森林火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	近隣工場等の火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし
	2)安全上必須なその他の構築物，系統及び機器	1)工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	サージ・ノイズ対策を実施	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	サージ・ノイズ対策を実施
		2)安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系，制御室及びその遮へい，非常用換気空調系，非常用補機冷却水系，直流電源系（いずれもMS-1関連のもの）	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
				非常用所内電源系 燃料系ミスト配管 吸気系排気消音器 潤滑油系ミスト配管 燃料移送系ミスト配管 軽油タンクベント配管	屋外	○	影響なし	○	竜巻に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし	○	影響なし	○	堆積し難い構造	○	落雷を受けるような高所設置ではない	○	堆積し難い構造	○	影響なし	○	森林火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	近隣工場等の火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし
				原子炉補機冷却水海水系 原子炉補機冷却海水ポンプ，一部の配管及び弁 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ，一部の配管及び弁	屋外	○	影響なし	○	竜巻に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	凍結防止対策を実施	○	雨水排水設備あり	○	積雪荷重を考慮し設計	○	落雷を受けるような高所設置ではない	○	降下火砕物に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	除塵装置を設置	○	森林火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	近隣工場等の火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし
PS-2	1)その損傷又は故障により発生する事象によって，炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが，敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物，系統及び機器	1)原子炉冷却材を内蔵する機能（だたし，原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。）	主蒸気系，原子炉冷却材浄化系（いずれも，格納容器隔離弁の外側のみ）	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし

※１　○：影響なし，×：影響あり，△：影響を受けるが問題なし（代替設備で対応可能，又は，安全機能を損なわない）

分類	安全機能の重要度分類			屋外の構築物 系統又は機器	設備 設置 箇所	自然現象による影響※1																		人為事象による影響			
	定義	機能	構築物，　系統又は機器			風（台風）		竜巻		凍結		降水		積雪		落雷		火山の影響		生物学的事象		森林火災		近隣工場等の火災		電磁的障害	
						評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法
PS-2	1）その損傷又は故障により発生する事象によって，炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが，敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物，系統及び機器	2）原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって，放射性物質を貯蔵する機能	放射性廃棄物処理施設（放射能インベントリの大きいもの），使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む。）	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		3）燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	2）通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって，その故障により炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物，系統及び機器	1）安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	逃がし安全弁（吹き止まり機能に関連する部分）	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
MS-2	1）PS-2の構築物，系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物，系統及び機器	1）燃料プール水の補給機能	非常用補給水系	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		2）放射性物質放出の防止機能	放射性気体廃棄物処理系の隔離弁，排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能以外）	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
				排気筒	屋外	○	影響なし	○	竜巻に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし	○	雨水排水設備あり	○	堆積し難い構造	○	雷害対策を実施	○	降下火砕物に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし	○	森林火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	近隣工場等の火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし
			燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
				原子炉建屋 （原子炉建屋原子炉棟）	屋外	○	影響なし	○	竜巻に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし	○	影響なし	○	堆積し難い構造	○	影響なし	○	堆積し難い構造	○	影響なし	○	森林火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	近隣工場等の火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし
				非常用ガス処理系 一部の配管，排気筒	屋外	○	影響なし	○	竜巻に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし	○	影響なし	○	堆積し難い構造	○	影響なし	○	堆積し難い構造	○	影響なし	○	森林火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	近隣工場等の火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし
	2）異常状態への対応上特に重要な構築物，系統及び機器	1）事故時のプラント状態の把握機能	事故時監視計器の一部	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		2）異常状態の緩和機能	BWRには対象機能なし。	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		3）制御室外からの安全停止機能	制御室外原子炉停止装置（安全停止に関連するもの）	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
PS-3	1）異常状態の起因事象となるものであって，PS-1及びPS-2以外の構築物，系統及び機器	1）原子炉冷却材保持機能（PS-1，PS-2以外のもの）	原子炉冷却材圧力バウンダリから除外される計装等の小口径配管，弁	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		2）原子炉冷却材の循環機能	原子炉冷却材再循環系	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		3）放射性物質の貯蔵機能	サプレッションプール水排水系，復水貯蔵タンク，放射性廃棄物処理施設（放射能インベントリの小さいもの）	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
				サプレッションプール水貯蔵タンク	屋外	○	影響なし	△	空運用とするため安全機能への影響はない	○	凍結防止対策を実施	○	影響なし	○	積雪荷重を考慮し設計	○	影響なし	△	空運用とするため安全機能への影響はない	○	影響なし	○	金属製構造	○	金属製構造	○	影響なし
				復水貯蔵タンク	屋外	○	風荷重を考慮し設計	○	竜巻に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	凍結防止対策を実施	○	影響なし	○	積雪荷重を考慮し設計	○	影響なし	○	降下火砕物に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし	○	森林火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	近隣工場等の火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし
				固体廃棄物貯蔵所	屋外	○	風荷重を考慮し設計	△	ドラム缶貯蔵エリアには隔壁があり安全機能への影響はない	○	影響なし	○	影響なし	○	積雪荷重を考慮し設計	○	影響なし	△	除灰により対応可能	○	影響なし	○	森林火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	近隣工場等の火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし
		4）電源供給機能（非常用を除く。）	タービン，発電機及びその励磁装置，復水系（復水器を含む。），給水系，循環水系，送電線，変圧器，開閉所	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	1）異常状態の起因事象となるものであって，PS-1及びPS-2以外の構築物，系統及び機器	4）電源供給機能（非常用を除く。）	タービン，発電機及びその励磁装置，復水系（復水器を含む。），給水系，循環水系，送電線，変圧器，開閉所	取水設備	屋外	○	影響なし	△	代替設備あり（所内電源系は複数系統から受電可能）	○	影響なし	○	影響なし	○	影響なし	○	落雷を受けるような高所設置ではない	○	降下火砕物に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	除塵装置を設置	△	地下ピット構造，代替設備で安全機能を確保又は消火活動による防護	△	地下ピット構造，代替設備で安全機能を確保又は消火活動による防護	○	影響なし
				循環水系	屋外	○	影響なし	△	代替設備あり（所内電源系は複数系統から受電可能）	○	影響なし	○	影響なし	○	影響なし	○	落雷を受けるような高所設置ではない	○	降下火砕物に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	除塵装置を設置	△	地下ピット構造，代替設備で安全機能を確保又は消火活動による防護	△	地下ピット構造，代替設備で安全機能を確保又は消火活動による防護	○	影響なし

※1　○：影響なし，×：影響あり，△：影響を受けるが問題なし（代替設備で対応可能，又は，安全機能を損なわない）

分類	安全機能の重要度分類			屋外の構築物系統又は機器	設備設置箇所	自然現象による影響※1																				人為事象による影響			
	定義	機能	構築物，　系統又は機器			風（台風）		竜巻		凍結		降水		積雪		落雷		火山の影響		生物学的事象		森林火災		近隣工場等の火災		電磁的障害	
						評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法
PS-3	1)異常状態の起因事象となるものであって，PS-1 及び PS-2 以外の構築物，系統及び機器	4)電源供給機能（非常用を除く。）	タービン，発電機及びその励磁装置，復水系（復水器を含む。），給水系，循環水系，送電線，変圧器，開閉所	常用所内電源系	屋外	○	影響なし	△	代替設備あり（所内電源系は複数系統から受電可能）	○	影響なし	○	影響なし	○	影響なし	○	落雷を受けるような高所設置ではない	△	代替設備あり	○	影響なし	△	代替設備で安全機能を確保又は消火活動による防護	△	代替設備で安全機能を確保又は消火活動による防護	○	影響なし
				送電線	屋外	○	影響なし	△	代替設備あり（所内電源系は複数系統から受電可能）	○	影響なし	○	影響なし	○	影響なし	○	架空地線を設置	△	代替設備あり	○	影響なし	△	代替設備で安全機能を確保	△	代替設備で安全機能を確保	○	影響なし
				変圧器	屋外	○	影響なし	△	代替設備あり（所内電源系は複数系統から受電可能）	○	影響なし	○	影響なし	○	影響なし	○	雷害対策を実施	△	代替設備あり	○	影響なし	△	代替設備で安全機能を確保又は消火活動による防護	△	代替設備で安全機能を確保又は消火活動による防護	○	影響なし
				開閉所	屋外	○	影響なし	△	代替設備あり（所内電源系は複数系統から受電可能）	○	影響なし	○	影響なし	○	影響なし	○	雷害対策を実施	△	代替設備あり	○	影響なし	△	代替設備で安全機能を確保又は消火活動による防護	△	代替設備で安全機能を確保又は消火活動による防護	○	影響なし
		5)プラント計測・制御機能（安全保護機能を除く。）	原子炉制御系	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
			運転監視補助装置（制御棒価値ミニマイザ）	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
			原子炉核計装の一部，原子炉プロセス計装の一部	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	サージ・ノイズ対策を実施	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	サージ・ノイズ対策を実施
		6)プラント運転補助機能	所内ボイラ，計装用圧縮空気系	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
				電気設備（変圧器）	屋外	○	影響なし	△	必要によりプラントを停止し，安全上支障の無い期間に修復が可能であることから影響なし	○	熱源であり，影響なし	○	影響なし	○	影響なし	○	雷害対策を実施	△	除灰により対応可能	○	影響なし	△	代替設備で安全機能を確保又は消火活動による防護	△	代替設備で安全機能を確保又は消火活動による防護	○	影響なし
				タービン補機冷却海水ポンプ，一部の配管及び弁	屋外	○	影響なし	△	必要によりプラントを停止し，安全上支障の無い期間に修復が可能であることから影響なし	○	凍結防止対策を実施	○	雨水排水設備あり	○	当該設備は積雪荷重を考慮し設計	○	落雷を受けるような高所設置ではない	△	除灰により対応可能	○	除塵装置を設置	○	消火活動による防護	○	消火活動による防護	○	影響なし
				復水貯蔵タンク	屋外	○	影響なし	△	必要によりプラントを停止し，安全上支障の無い期間に修復が可能であることから影響なし	○	凍結防止対策を実施	○	雨水排水設備あり	○	当該設備は積雪荷重を考慮し設計	○	落雷を受けるような高所設置ではない	△	除灰により対応可能	○	除塵装置を設置	○	消火活動による防護	○	消火活動による防護	○	影響なし
	2)原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物，系統及び機器	1)核分裂生成物の原子炉冷却材中への放散防止機能	燃料被覆管	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		2)原子炉冷却材の浄化機能	原子炉冷却材浄化系，復水浄化系	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
MS-3	1)運転時の異常な過渡変化があっても，MS-1，MS-2 とあいまって，事象を緩和する構築物，系統及び機器	1)原子炉圧力の上昇の緩和機能	逃がし安全弁（逃がし弁機能），タービンバイパス弁	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		2)出力上昇の抑制機能	原子炉冷却材再循環系（再循環ポンプトリップ機能），制御棒引抜監視装置	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		3)原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系，原子炉隔離時冷却系	復水貯蔵タンク	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	2)異常状態への対応上必要な構築物，系統及び機器	1)緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所，試料採取系，通信連絡設備，放射能監視設備，事故時監視計器の一部，消火系，安全避難通路，非常用照明	—	屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	○	建屋内	○	建屋内	△	代替設備により対応可能（多重多様な通信設備を配備）
				発電所緊急時対策所	屋外（緊急時対策建屋）	○	風荷重を考慮し設計	○	竜巻に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	凍結防止対策を実施	○	影響なし	○	積雪荷重を考慮し設計	○	雷害対策を実施	○	降下火砕物に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし	○	森林火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	近隣工場等の火災に対して安全機能が損なわれないことを確認	○	影響なし
				消火水タンク	屋外	○	風荷重を考慮し設計	△	代替設備あり	○	凍結防止対策を実施	○	影響なし	○	積雪荷重を考慮し設計	○	影響なし	△	除灰，代替設備により対応可能	○	影響なし	○	金属製構造	○	金属製構造	○	影響なし

※1　○：影響なし，×：影響あり，△：影響を受けるが問題なし（代替設備で対応可能，又は，安全機能を損なわない）

旧安全設計審査指針と設置許可基準規則の比較について

発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針 （平成２年８月 30 日）	実用発電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（規則の解釈）
指針二 自然現象に対する設計上の考慮 ２ 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、地震以外の想定される自然現象によって原子炉施設の安全性が損なわれない設計であること。重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。 （解釈） 「自然現象によって原子炉施設の安全性が損なわれない設計」とは、設計上の考慮を要する自然現象又はその組合わせに遭遇した場合において、その設備が有する安全機能を達成する能力が維持されることをいう。 「重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器」については、別に「重要度分類指針」において定める。 「予定される自然現象」とは、敷地の自然環境を基に、洪水、津波、風、凍結、積雪、地滑り等から適用されるものをいう。 「自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件」とは、対照となる自然現象に対して、過去の記録の信頼性を考慮の上、少なくともこれを下回らない苛酷なものであって、かつ、統計的に妥当とみなされるものをいう。 なお、過去の記録、現地調査の結果等を参考にして、必要のある場合には、異種の自然現象を重畳させるものとする。 「自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合」とは、最も苛酷と考えられる自然力の事故時の最大荷重を単純に加算することを必ずしも要求するものではなく、それぞれの因果関係や時間的変化を考慮して適切に組み合わせた場合をいう。	第６条（外部からの衝撃による損傷の防止） 安全施設は、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。 （解釈） １ 第６条は、設計基準において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）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。）への措置を含む。 ２ 第１項に規定する「想定される自然現象」とは、敷地の自然環境を基に、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象又は森林火災等から適用されるものをいう。 ３ 第１項に規定する「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」とは、設計上の考慮を要する自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然事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、その設備が有する安全機能が達成されることをいう。 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。 （解釈） ４ 第２項に規定する「重要安全施設」については、「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指針」（平成２年８月 30 日原子力安全委員会決定）の「Ⅴ.2.(2) 自然現象に対する設計上の考慮」に示されるものとする。

※規則及び解釈の追加要求事項を下線にて示す。

発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針 （平成２年８月 30 日）	実用発電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（規則の解釈）
	５ 第２項に規定する「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とは、対象となる自然現象に対して、最新の科学的技術的知見を踏まえて適切に予想されるものをいう。なお、過去の記録、現地調査の結果及び最新知見等を参考にして、必要のある場合には、異種の自然現象を重畳させるものとする。 ６ 第２項に規定する「適切に考慮したもの」とは、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が発生した場合に生じる応力を単純に加算することを必ずしも要求するものではなく、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た場合をいう。
指針三 外部人為事象に対する設計上の考慮 １ 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、想定される外部人為事象によって、原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であること。 （解釈） 「外部人為事象」とは、飛行機落下、ダムの崩壊、爆発等をいう。	３ 安全施設は、工場等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。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。 （解釈） ７ 第３項は、設計基準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。） ８ 第３項に規定する「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。）」 とは、敷地及び敷地周辺の状況をもとに選択されるものであり、飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣の工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突又は電磁的障害等をいう。なお、上記の航空機落下については、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成 14・07・09 原院第４号（平成 14 年７月 30 日原子力安全・保安院規制）） 等に基づき、防護設計の要否について確認する。

※規則及び解釈の追加要求事項を下線にて示す。

考慮すべき事象の除外基準と ASME 判断基準との比較について

ASME ANS RA-Sa-2009 EXT-B1 より	参考訳	考慮すべき事象の除外基準
Initial Preliminary Screening:For screening out an external hazard, any one of the following five screening criteria provides as an acceptable basis;	最初の予備スクリーニング：外部ハザードの除外には，次の５つの除外基準のうちいずれかに該当する場合が，受け入れられるものとして与えられる。	
Criterion 1: The event is of equal or lesser damage potential than the events for which the plant has been designed. This requires an evaluation of plant design bases in order to estimate the resistance of plant structures and systems to a particular external hazard.	基準１： その事象が，プラントが設計された時に考慮した事象と同じか少ない損傷をもたらす可能性のあるもの。 これには，特別の外部ハザードに対してプラントの構造及びシステムの抵抗性を推定したプラント設計基準の評価をすることが要求される。	基準Ｃ： プラント設計上，考慮された事象と比較して設備等への影響度が同等若しくはそれ以下，又はプラントの安全性が損なわれることがない。
Criterion 2: The event has a significantly lower mean frequency of occurrence than another event, taking into account the uncertainties in the estimates of both frequencies, and the event could not result in worse consequences than the consequences from the other event.	基準２： その事象が，別の事象より，著しく低い平均頻度であるもの。 ここで，両方の頻度の評価には不確実性を考慮に入れること。 また，その事象が，別の事象による結果より，悪い結果に帰着しなかったもの。	基準Ｅ： 発生頻度が他の事象と比較して非常に低い。
Criterion 3: The event cannot occur close enough to the plant to affect it. This criterion must be applied taking into account the range of magnitudes of the event for the recurrence frequencies of interest.	基準３： その事象が，プラントに影響を与える程十分に接近していなくて，発生しない場合。 この基準は，着目する再発頻度の事象の大きさの範囲を考慮して適用すべき。	基準Ａ： プラントに影響を与えるほど接近した場所に発生しない。
Criterion 4: The event is included in the definition of another event.	基準４： その事象が，他の事象の定義に含まれる場合。	基準Ｄ： 影響が他の事象に包含される。
Criterion 5: The event is slow in developing, and it can be demonstrated that there is sufficient time to eliminate the source of the threat or to provide an adequate response.	基準５： その事象の発展が遅く，また，脅威の源を除去するかあるいは適切な対応するのに十分な時間があることが実証できる場合。	基準Ｂ： ハザード進展・襲来が遅く，事前にそのリスクを予知・検知することでハザードを排除できる。
該当なし	—	基準Ｆ： 外部から衝撃による損傷の防止とは別の条項により評価を実施している。又は故意の人為事象等，外部からの衝撃による損傷の防止の対象外の事項

考慮した外部事象についての対応状況について

考慮した外部事象のうち，新たに影響評価ガイドが制定されたものについては，今回，ガイドに基づく影響評価を実施し必要な対応を行なっている。それ以外の事象については，新たに対応を追加変更しているものはない。

旧指針，新基準の解釈で例示されている事象であるかどうか，設置許可申請（S62.4）での記載有無も併せて，下表に整理した。

		事　象	旧指針	新基準	既記載	対応変更	説明
自然現象	1	洪水	○	○	○	なし	－
	2	風（台風）	○	○	○	なし	気象データの追加調査を実施。
	3	竜巻	－	○	－	あり	今回，竜巻影響評価ガイドに基づき評価を実施。
	4	凍結	○	○	○	なし	気象データの追加調査を実施。
	5	降水	－	○	－	なし	設置時の添付書類六「気象」にて降水量を記載している。
	6	積雪	○	○	○	なし	気象データの追加調査を実施。
	7	落雷	－	○	○	なし	－
	8	地すべり	○	○	－	なし	－
	9	火山の影響	－	○	－	あり	今回，火山影響評価ガイドに基づき評価を実施。
	１０	生物学的事象	－	○	－	なし	設置時より，除塵装置を設置する等の対策を実施している。
	１１	森林火災	－	○	－	あり	今回，外部火災影響評価ガイドに基づき評価を実施。
人為事象	1	飛来物 （航空機落下）	○	○	○	あり	今回，実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（平成 14･07･29 原院第４号）等に基づき評価実施。
	2	ダムの崩壊	○	○	－	なし	設置時の添付書類六「水理」に水理状況を記載している。
	3	爆発	○	○	○	あり	今回，外部火災影響評価ガイドに基づき評価を実施。
	4	近隣工場等の火災	－	○	－	あり	今回，外部火災影響評価ガイドに基づき評価を実施。
	5	有毒ガス	－	○	－	あり	今回，外部火災影響評価ガイドに基づき評価を実施。
	6	船舶の衝突	－	○	－	あり	今回，耐津波設計方針にて，津波発生時に原子炉補機冷却海水系の取水性に影響を及ぼす漂流物がないことを確認。
	7	電磁的障害	－	○	－	なし	設置時より，計測制御系に電磁的障害への対策を実施している。

凡例　旧指針：発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針（平成 2 年 8 月 30 日）指針二，三解釈での例示有無
新基準：実用発電原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年 6 月 28 日）第六条解釈 2，8 での例示有無
既記載：女川原子力発電所の設置変更許可申請書（昭和 62 年 4 月 18 日申請）の記載有無
対応変更：新たにガイドに基づく評価等を行なったもの，又は，新たに対策をとったもの。

防護すべき安全施設及び重大事故等対象施設への考慮

１．防護すべき安全施設

地震及び津波以外の自然現象及び（故意によるものを除く）人為事象（以下,「外部事象」という。）に対する安全施設への要求については「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。）にて規定されている。設置許可基準規則における安全施設は,「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」の安全重要度クラス 1，2，3 に属する構築物，系統及び機器を指していることから，各外部事象に対して防護する安全施設は，安全重要度クラス 1，2，3 に属する構築物，系統及び機器とする。

設置許可基準規則には安全施設に対し，以下のように規定されている。

【抜粋】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

設置許可基準規則	解釈
第六条（外部からの衝撃による損傷の防止） 安全施設は、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。 ３ 安全施設は､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。）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。	１ 第６条は､設計基準において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）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。）への措置を含む。 ７ 第３項は､設計基準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。）への措置を含む。

設置許可基準規則 第二条 用語の定義より抜粋

・「安全施設」とは，設計基準対象施設のうち，安全機能を有するもの

・「安全機能」とは，発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能

重要度分類指針※より抜粋

・安全機能を有する構築物，系統及び機器をそれが果たす安全機能の性質に応じて，以下の 2 種に分類

(1)異常発生防止系（以下,「PS」という。）

(2)異常影響緩和系（以下,「MS」という。）

・PS 及び MS のそれぞれに属する構築物，系統及び機器を，その有する安全機能の重要度に応じ，それぞれクラス 1，2，3 に分類

※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

２．重大事故等対処施設への考慮

設計基準事象に対して耐性を確保する必要があるのは設計基準事故対処設備であり，重大事故等対処施設ではないが，第四十三条の要求を踏まえ，設計基準事象によって，設計基準事故対処設備の安全機能と重大事故等対処設備が同時にその機能が損なわれることがないことを確認する。

重大事故等対処設備については，設置許可基準にて以下のよう規定されている。

【抜粋】実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則

第四十三条（重大事故等対処設備） 重大事故等対処設備は、次に掲げるものでなければならない。 第２項第３号 常設重大事故防止設備は、共通要因によって設計基準事故対処設備の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであること。 第３項第７号 重大事故防止設備のうち可搬型のものは、共通要因によって、設計基故対処設備の安全機能、使用済燃料貯蔵槽の冷却機能若しくは注水機は常設重大事故防止設備の重大事故に至るおそれがある事故に対処すめに必要な機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適措置を講じたものであること。

風（台風）影響評価について

1. 基本方針

予想される最も苛酷と考えられる条件を設定の上，安全施設の機能が風荷重に対して維持され，安全機能が損なわれないよう設計する。

2. 基準になる風速の設定

基準になる風速の設定は以下の(1)及び(2)を参照し設定する。

なお，最大瞬間風速等の風速変動といった局所的かつ一時的な影響であれば，竜巻の最大瞬間風速の影響に包絡されるが，ここでは風（台風）の影響範囲，継続性を鑑み，風（台風）に対して基準になる風速を設定する。

基準になる風速の設定にあたっては，最大風速を採用することにより，その風速の 1.5～2 倍程度の最大瞬間風速[(1)]を考慮することになること，現行の建築基準法では最大瞬間風速等の風速変動による影響を考慮した係数を最大風速に乗じ風荷重を算出することが定められていることから，基準になる風速は最大風速を設定する。(詳細は次頁参照)

(1) 規格・基準類

風に対する建築物の規格・基準として，発電用原子炉施設建設時の建築基準法施行令第 87 条（以下，「旧建築基準法施行令」という。）において，日本最大級の台風の最大瞬間風速（63m/s，地上高 15m）に基づく風荷重に対する設計が要求されていた。

その後，建築基準法施行令第 87 条の風荷重規定は 2000 年に改正され，それ以降，建築物には，地域毎に定められた基準風速の風荷重に対する設計が要求されており，女川町の基準風速は 30m/s（地上高 10m，10 分間平均風速）である。

(2) 観測記録（別紙 1）

気象庁の気象統計情報における最大風速の観測記録[(1)(2)]によれば，女川原子力発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所及び大船渡特別地域気象観測所における地域気象観測システム（アメダス），気象庁年報及び地上気象観測原簿での最大瞬間風速の観測記録史上 1 位は 44.2m/s（大船渡特別地域気象観測所 2002 年 10 月 2 日），最大風速の観測記録史上 1 位は 27.4m/s

（石巻特別地域気象観測所 1958 年 9 月 27 日）である。

また，宮城県内（江ノ島を除く）の各観測地点における観測記録（別紙 2）を確認した結果，石巻市の観測記録を参照することが妥当と判断した。

台風の風速記録（別紙 3）において，石巻市に台風が接近又は通過の際の風速の観測記録を確認した結果,宮城県に台風が襲来するまでに台風の勢力は弱まり風速が小さくなっているため，台風の影響には地域性があり，風（台風）の基準風速設定の際は，その地域性を考慮する必要があることを確認した。

石 巻 市：最大風速 27.4m/s
（1958 年 9 月 27 日，統計期間：1887 年～2017 年）
最大瞬間風速 41.3m/s
（1960 年 4 月 3 日，統計期間：1940 年～2017 年）
大船渡市：最大風速 21.8m/s
（2002 年 10 月 2 日，統計期間：1963 年～2017 年）
最大瞬間風速 44.2m/s
（2002 年 10 月 2 日，統計期間：1963 年～2017 年）

ここで，基準風速の設定にあたり，各風速の定義を確認する。

気象庁の風の観測については，風速（地上高 10m，10 分間平均）及び瞬間風速（地上高 10m，3 秒間平均）を記録している。「最大風速」は，風速（地上高 10m，10 分間平均）の日最大風速を，「最大瞬間風速」は，瞬間風速（地上高 10m，3 秒間平均）の日最大瞬間風速をいい，一般的に最大瞬間風速と最大風速の比は 1.5～2 倍程度とされている(1)。（例えば，最大風速 40m/s の場合は，60～80m/s 程度の瞬間的な風が吹く可能性がある）

旧建築基準法施行令では，最大瞬間風速（63m/s，地上高 15m）を参照していたが，現行の建築基準法施行令では，地上高 10m における 10 分間平均風速を基準としている。

ただし，現行の建築基準法施行令でも，風荷重の算出において，最大瞬間風速等の風速変動による影響を考慮し,基準風速に地表面粗度等により求まるガスト影響係数を乗じ速度圧を算出することが定められている。これにより，旧建築基準法施行令では全国ほぼ一律で定められていた風荷重を,現在では建築物の周辺状況及び構造特性等に応じて定めることが可能となった。このような状況を踏まえ，安全設計上考慮する基準風速の定義は，現行の建築基準法に準

拠し，地上高 10m での 10 分間平均風速を採用する。

以上を踏まえると，観測記録として検討する風速は，上記の石巻市及び大船渡市における観測史上 1 位の最大風速（地上高 10m，10 分間平均風速の日最大風速）のうち，保守的に最も風速が大きい石巻市の最大風速である 27.4m/s とする。

以上より，基準になる風速として使用する値としては，(1)規格・基準類で要求される女川町の基準風速である 30m/s（地上高 10m，10 分間平均風速）が，(2)観測記録の値である石巻市における観測史上 1 位の最大風速（地上高 10m，10 分間平均風速の日最大風速）である 27.4m/s を上回ることから，30m/s を基準になる風速と定める。

3. 安全施設の健全性評価

安全施設が，30m/s（地上高 10m，10 分間平均風速の日最大風速）の風（台風）によって安全機能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，30m/s の風（台風）に対する風荷重が安全施設に作用した場合の影響について評価し，安全機能が維持されることを確認した。

本評価における基本的な考え方は，以下のとおり。また，第 1 図に風（台風）に対する安全施設の評価フローを示す。

○ 安全機能の重要度分類クラス１，２の設備について，以下の①又は②に分類の上，評価し，風荷重に対して安全機能が損なわれないことを確認。なお，風荷重は地震，津波，火山の影響に対して適切に組み合わせる。

① 建屋に設置されている設備は，風速 30m/s の風荷重が作用しても，当該の建屋の健全性を確認することにより，設備の安全機能が損なわれないことを確認した。

② 建屋外に設置されている設備については，当該の設備に 30m/s の風（台風）に対する風荷重が作用した場合においても，安全機能を損なわないことを確認した。

○ 上記以外の安全施設については，風（台風）に対して機能維持する，又は，風（台風）による損傷を考慮して，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な設計とすることにより，安全機能が維持可能である場合には影響評価完了とする。

なお，台風の発生に伴う飛来物の影響は，竜巻影響評価にて想定している設計飛来物の影響に包絡されており，安全施設の安全機能が損なわれるおそれはない。

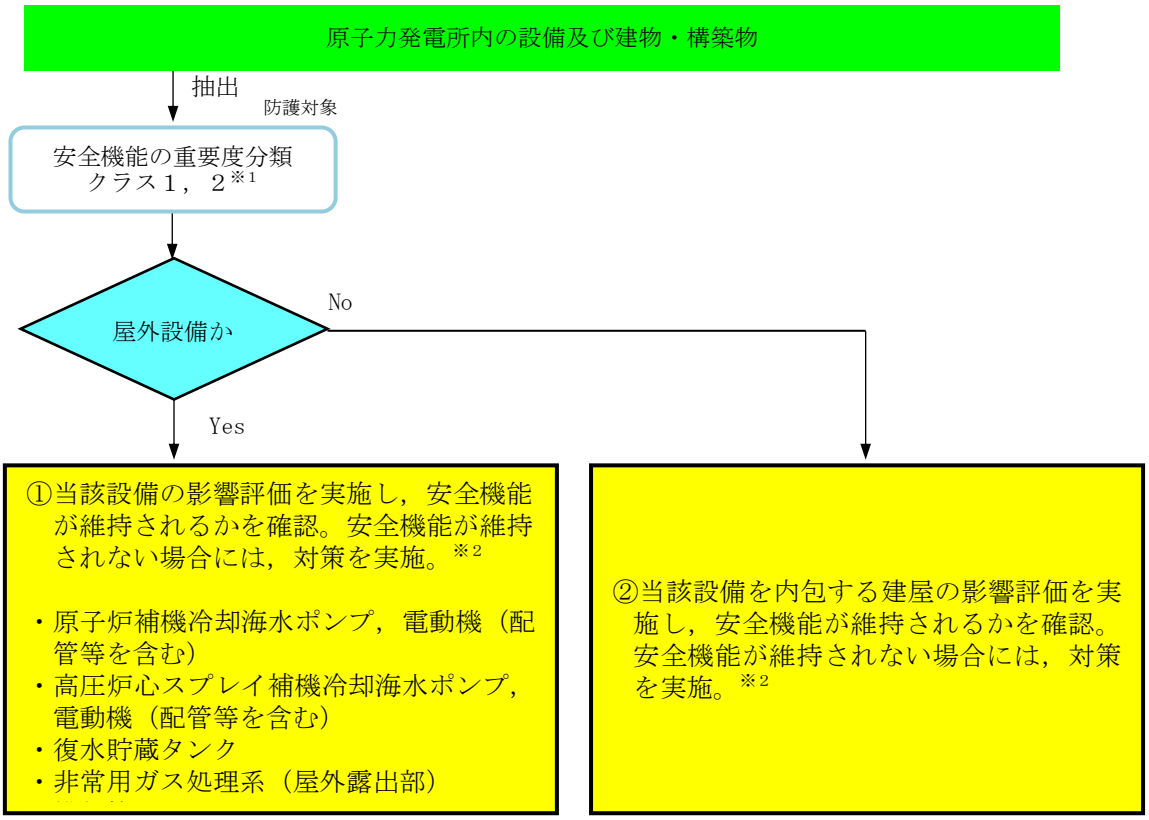
4. 重大事故等対処設備に対する考慮

第２図の風（台風）による重大事故等対処設備への影響評価フローに基づき，2.にて設定した基準になる風（台風）に対し，必要な安全機能を維持できることを確認した。

なお，風（台風）に対する重大事故等対処設備の設計方針は，設置許可基準規則第 43 条（重大事故等対処設備）にて考慮する。

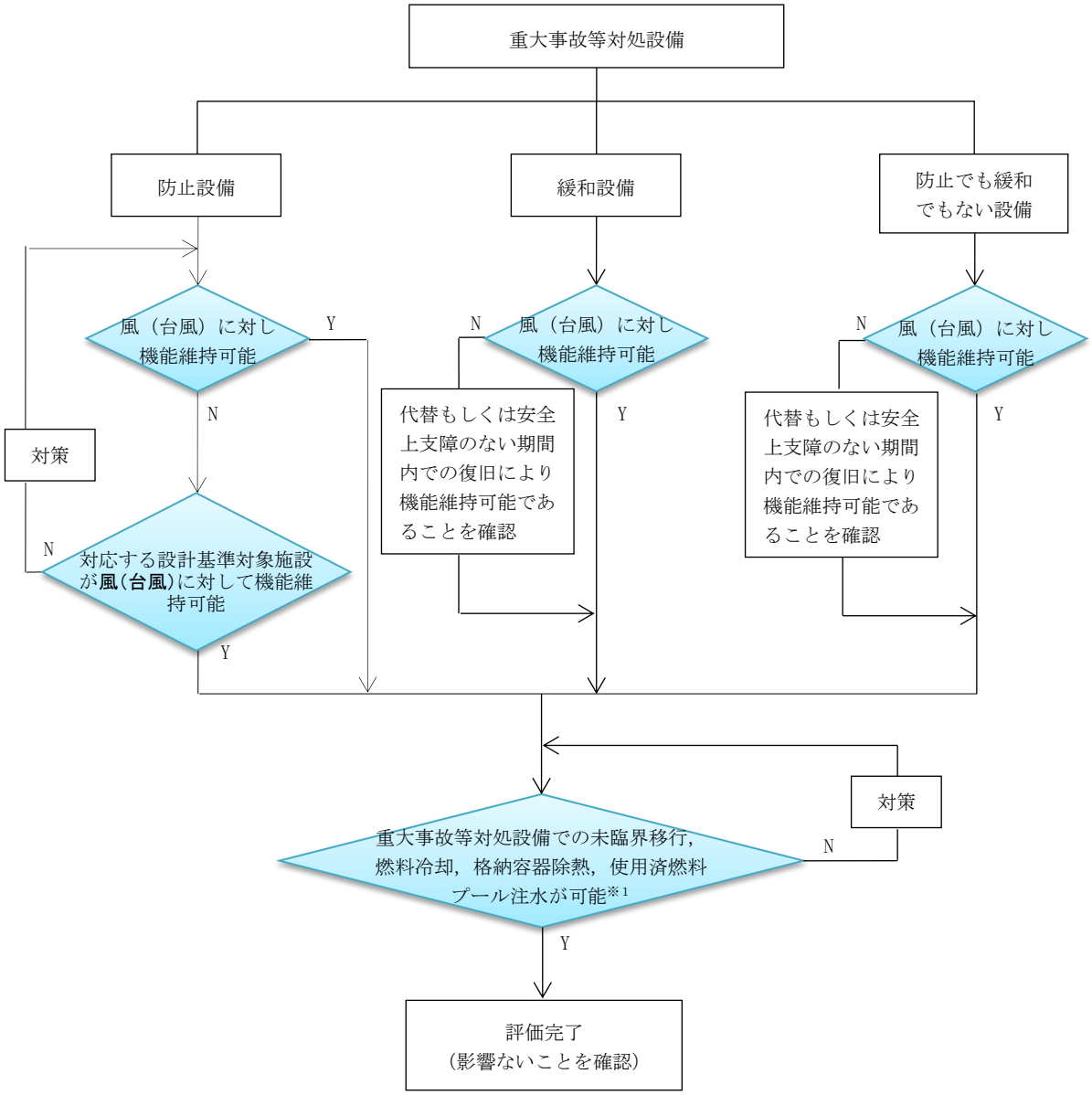
5. 参考文献

(1) 気象庁：http://www.jma.go.jp/jma/index.html
(2) 気象庁年報（地上気象観測原簿データ）



※１　安全重要度クラス３に属する施設については，基準になる風（台風）に対して機能維持する，又は，風（台風）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，必要によりプラントを停止し，安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な場合には，安全機能を損なわないことから評価完了とする。
※２　影響評価及び対策は，各設備の関連条項で実施

第１図 風（台風）に対する安全施設の評価フロー



※１：基準になる風（台風）により重大事故等対処設備と設計基準対象施設の機能が同時に損なわれることはないが，安全上支障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２図 風（台風）による重大事故等対処設備への影響評価フロー

別紙１

石巻市及び大船渡市における
日最大風速及び日最大瞬間風速の観測記録

第１表 石巻市における毎年の日最大風速観測記録
（気象庁ホームページ及び気象庁年報（地上気象観測原簿データ）より）

年	日最大風速[m/s]	年	日最大風速[m/s]	年	日最大風速[m/s]	年	日最大風速[m/s]	年	日最大風速[m/s]	年	日最大風速[m/s]
1887	なし	1911	なし	1935	16.9	1959	22.0	1983	14.5	2007	22.5
1888	なし	1912	なし	1936	14.2	1960	18.0	1984	16.4	2008	21.3
1889	なし	1913	なし	1937	18.5	1961	20.2	1985	12.7	2009	21.9
1890	なし	1914	なし	1938	14.4	1962	20.0	1986	12.4	2010	22.2
1891	なし	1915	なし	1939	15.2	1963	16.2	1987	15.0	2011	23.8
1892	なし	1916	なし	1940	14.8	1964	16.7	1988	12.7	2012	22.4
1893	なし	1917	なし	1941	20.0	1965	20.8	1989	14.6	2013	19.5
1894	なし	1918	なし	1942	18.7	1966	17.7	1990	19.6	2014	18.5
1895	なし	1919	なし	1943	20.8	1967	20.0	1991	19.5	2015	20.4
1896	なし	1920	なし	1944	25.0	1968	17.0	1992	19.3	2016	21.2
1897	なし	1921	なし	1945	27.3	1969	16.0	1993	17.9	2017	17.3]
1898	なし	1922	なし	1946	17.7	1970	17.7	1994	20.5		
1899	なし	1923	なし	1947	22.2	1971	15.3	1995	16.8		
1900	なし	1924	なし	1948	20.3	1972	17.2	1996	15.3		
1901	なし	1925	18.8	1949	20.2	1973	12.2	1997	17.0		
1902	なし	1926	15.6	1950	22.3	1974	13.3	1998	21.6		
1903	なし	1927	15.3	1951	18.0	1975	14.4	1999	21.1		
1904	なし	1928	23.0	1952	17.3	1976	13.1	2000	17.0		
1905	なし	1929	19.1	1953	19.6	1977	12.2	2001	15.5		
1906	なし	1930	14.9	1954	23.5	1978	12.7	2002	23.4		
1907	なし	1931	17.7	1955	19.6	1979	18.8	2003	17.0		
1908	なし	1932	15.8	1956	16.3	1980	16.5	2004	20.3		
1909	なし	1933	16.0	1957	26.5	1981	19.9	2005	17.9		
1910	なし	1934	14.5	1958	27.4	1982	16.5	2006	19.7		

なし：この要素の観測を行っていない場合，測器の故障等で観測できなかった場合や，火災や戦災等で資料を失った場合など

値］：資料不足値
統計値を求める対象となる資料が許容する資料数を満たさない場合。

第２表　石巻市における毎年の日最大瞬間風速観測記録
（気象庁ホームページ及び気象庁年報（地上気象観測原簿データ）より）

年	日最大瞬間風速[m/s]	年	日最大瞬間風速[m/s]	年	日最大瞬間風速[m/s]	年	日最大瞬間風速[m/s]
1940	なし	1964	28.4	1988	28.7	2012	32.9
1941	32.7	1965	33.9	1989	28.0	2013	32.6
1942	23.8]	1966	28.1	1990	32.5	2014	28.3
1943	なし	1967	31.8	1991	32.4	2015	33.2
1944	なし	1968	27.6	1992	30.1	2016	30.9
1945	なし	1969	30.2	1993	31.9	2017	29.6]
1946	なし	1970	30.2	1994	33.6		
1947	なし	1971	25.3	1995	29.9		
1948	なし	1972	29.8	1996	30.0		
1949	なし	1973	22.2	1997	31.8		
1950	32.7]	1974	23.5	1998	37.7		
1951	27.3]	1975	25.2	1999	37.2		
1952	26.3	1976	23.3	2000	31.5		
1953	29.2	1977	21.9	2001	27.4		
1954	27.0	1978	25.3	2002	41.2		
1955	25.5	1979	35.2	2003	25.8		
1956	23.0	1980	36.1	2004	36.1		
1957	35.4	1981	34.0	2005	31.5		
1958	40.1	1982	32.6	2006	34.2		
1959	30.6	1983	28.8	2007	36.2		
1960	41.3	1984	27.5	2008	32.7		
1961	31.2	1985	25.4	2009	31.9		
1962	30.5	1986	26.8	2010	35.8		
1963	26.0	1987	29.3	2011	34.5		

なし：この要素の観測を行っていない場合，測器の故障等で観測できなかった場合や，火災や戦災等で資料を失った場合など

値］：資料不足値
統計値を求める対象となる資料が許容する資料数を満たさない場合。

第３表　大船渡市における毎年の日最大風速観測記録
（気象庁ホームページより）

年	日最大 風速[m/s]	年	日最大 風速[m/s]
1963	11.7]	1991	18.8
1964	14.7	1992	11.6
1965	15.7	1993	12.3
1966	16.7	1994	16.9
1967	12.7	1995	11.4
1968	14.8	1996	12.2
1969	11.7	1997	12.4
1970	14.5	1998	16.9
1971	12.8	1999	12.0
1972	15.7	2000	13.7
1973	11.5	2001	11.0
1974	11.5	2002	21.8
1975	11.8	2003	12.3
1976	10.8	2004	13.1
1977	9.5	2005	12.7
1978	12.9	2006	16.8
1979	15.1	2007	19.3
1980	13.8	2008	11.3
1981	17.7	2009	15.0
1982	14.2	2010	15.8
1983	11.3	2011	12.2]
1984	13.7	2012	15.3
1985	10.5	2013	20.6
1986	9.5	2014	14.4
1987	10.7	2015	15.8
1988	11.7	2016	16.7
1989	11.6	2017	15.0]
1990	14.8		

値]：資料不足値
　　統計値を求める対象となる資料が許容する資料数を満たさない場合。

第４表　大船渡市における毎年の日最大瞬間風速観測記録
（気象庁ホームページ及び気象庁年報（地上気象観測原簿データ）より）

年	日最大 瞬間風速 [m/s]	年	日最大 瞬間風速 [m/s]
1963	27.4]	1991	35.1
1964	28.7	1992	28.2
1965	30.3	1993	33.0
1966	33.9	1994	38.1
1967	31.2	1995	30.6
1968	25.7	1996	28.7
1969	27.5	1997	30.1
1970	31.0	1998	32.8
1971	27.4	1999	30.2
1972	27.2	2000	31.6
1973	24.0	2001	30.8
1974	28.2	2002	44.2
1975	29.1	2003	27.7
1976	26.3	2004	33.4
1977	24.4	2005	29.2
1978	30.8	2006	40.2
1979	30.8	2007	34.2
1980	35.2	2008	25.0
1981	32.1	2009	31.3
1982	28.5	2010	27.0
1983	29.8	2011	27.2]
1984	32.7	2012	25.9
1985	28.6	2013	35.0
1986	26.4	2014	28.0
1987	28.9	2015	30.1
1988	28.3	2016	28.3
1989	29.9	2017	27.9]
1990	27.5		

値]：資料不足値
　　統計値を求める対象となる資料が許容する資料数を満たさない場合。

宮城県内（江ノ島を除く）の各観測地点において観測された
観測史上 1 位の日最大風速，日最大瞬間風速

宮城県内の各観測地点の位置を第３図に示す。第３図の観測地点のマークの違いは，第５表に示すとおり観測要素の違いを表している。
各観測地点において観測された日最大風速を第６表，日最大瞬間風速を第７表に示す。ただし，参照する観測地点は，江ノ島を除く各観測地点の内，観測要素に「風」を含んでいる観測地点とする。

第６表，第７表より石巻市の日最大風速は，江ノ島を除く宮城県内で最大で，女川町の記録と比べても十分大きいことが分かる。また，石巻市の日最大瞬間風速は，江ノ島を除く宮城県内で 2 番目で，女川町の記録と比べても十分大きいことが分かる。

以上から，女川原子力発電所の基準となる風速を設定する際に石巻特別地域気象観測所の風速を参照し，最大のものを採用することにより保守性は確保される。

更に女川原子力発電所の最寄りの気象官署として，岩手県大船渡特別地域気象観測所の風速も参照している。

第３図 宮城県内の気象観測地点(気象庁ホームページより)

第５表 観測地点の種類及び観測要素（気象庁ホームページより）

マーク	地点の種類	観測要素
◎	気象台等	降水量，風，気温，日照時間，積雪，気圧，湿度，天気など
●	アメダス	降水量，風，気温，日照時間
■	アメダス	降水量，風，気温，日照時間，積雪
●	アメダス	降水量，風，気温(一部の観測所は気温を除く)
■	アメダス	降水量，風，気温，積雪
●	アメダス	降水量
■	アメダス	降水量，積雪
□	アメダス	積雪

年代により，要素が異なる場合がある。

白地に黒い文字の観測所は現在運用中，白い文字の観測所は観測を終了した地点。一部の観測所では，季節により観測を休止する要素がある。

第６表 宮城県（江ノ島を除く）の各観測地点において観測された
観測史上１位の日最大風速（気象庁ホームページより）

観測地点	最大風速 [m/s]	観測日	統計期間
大船渡（岩手県）	21.8	2002/10/2	1963/8～2017/9
石巻	27.4	1958/9/27	1887/9～2017/9
気仙沼	17	1981/8/23	1976/12～2017/9
志津川	18	1979/3/31	1976/12～2017/9
女川	13.8	2016/8/22	2011/5～2017/9
江ノ島	33.6	2013/10/16	1978/11～2017/9
米山	25	1996/1/4	1976/11～2017/9
桃生	18.3	2012/4/3	2011/9～2017/9
東松島	17.1	2013/3/10	2011/9～2017/9
築館	15.4	2016/12/2	1976/2～2017/9
古川	25.2	2013/3/10	1976/12～2017/9
大衡	16×	1979/3/31	1976/12～2017/9
鹿島台	18.6	2013/3/2	1976/12～2017/9
仙台	24.0	1997/3/11	1926/10～2017/9
名取	26.0	2013/4/8	2003/1～2017/9
亘理	19.7	2013/3/10	1976/12～2017/9
丸森	20.4	2010/12/4	1977/11～2017/9
駒ノ湯	21]	1983/11/19	1976/11～2017/9
川渡	12	1978/3/1	1976/12～2017/9
新川	25.9	2012/4/4	1976/11～2017/9
川崎	18	1979/4/17	1976/11～2005/10
蔵王	9.2	2012/4/4	2005/10～2017/9
白石	21.2	2013/4/8	1976/11～2017/9

第７表 宮城県（江ノ島を除く）の各観測地点において観測された
観測史上１位の日最大瞬間風速（気象庁ホームページより）

観測地点	最大瞬間風速 [m/s]	観測日	統計期間
大船渡（岩手県）	44.2	2002/10/2	1963/8～2017/9
石巻	41.3	1960/4/3	1940/1～2017/9
気仙沼	27.7	2011/5/2	2008/3～2017/9
志津川	33.8	2012/4/3	2008/12～2017/9
女川	27.0	2016/8/30	2011/5～2017/9
江ノ島	45.5	2013/10/16	2008/3～2017/9
米山	30.9	2009/2/14	2008/11～2017/9
桃生	29.3	2012/6/20	2011/9～2017/9
東松島	27.5	2013/4/8	2011/9～2017/9
築館	27.9	2013/3/10	2008/10～2017/9
古川	37.7	2013/3/10	2008/12～2017/9
大衡	24.9	2013/4/7	2009/1～2017/9
鹿島台	32.3	2016/8/22	2009/1～2017/9
仙台	41.2	1997/3/11	1937/1～2017/9
名取	33.4	2013/4/8	2009/1～2017/9
亘理	32.8	2012/4/4	2008/3～2017/9
丸森	33.8	2012/4/4	2009/1～2017/9
駒ノ湯	32.0	2017/4/20	2008/11～2017/9
川渡	26.9	2014/3/31	2008/3～2017/9
新川	42.2	2012/4/4	2008/3～2017/9
川崎	///		///
蔵王	24.2	2012/4/4	2008/10～2017/9
白石	34.2	2013/4/7	2008/3～2017/9

///：観測を行っていない

台風の風速記録

過去に発生した大型台風が日本に接近時又は通過時に観測された最大風速及び最大瞬間風速並びに宮城県に接近時又は通過時に観測された最大風速及び最大瞬間風速を第８表に示す。

第８表より沖縄，九州，四国では勢力が強い台風による影響を受け易いが，宮城県に台風が襲来するまでに台風の勢力は弱まり風速が小さくなっていることが確認できる。したがって，台風の影響は地域性があり，風（台風）の基準となる風速の設定の際は，その地域性を考慮する必要がある。

そのため，基準となる風速の設定の際に考慮する観測記録の風速は，添付資料 10 の 2.(2)のとおり女川原子力発電所の最寄りの気象官署における観測史上 1 位の最大風速（27.4m/s）とした。

第８表 台風の風速記録

（気象庁ホームページ 災害をもたらした気象事象 より作成）

名称	期間	全国		宮城県	
		最大風速(最大瞬間風速)[m/s]	観測地点	最大風速(最大瞬間風速)[m/s]	観測地点
室戸台風	1934/9/21～(不明)	不明 (63)	室戸岬 高知県室戸市	不明 (その年の最大風速 14.5)	石巻特別地域気象観測所
枕崎台風	1945/9/17～9/18	51.3 (75.5)	宮崎県細島 灯台：海上保安庁	27.3 (—)	
伊勢湾台風	1959/9/26～9/27	45.4 (55.3)	伊良湖 愛知県渥美町	22 (30.6)	
第二室戸台風	1961/9/15～9/17	66.7 (84.5 以上)	室戸岬 高知県室戸市	20.2 (30.4)	
昭和 40 年台風 23 号	1965/9/10～9/18	69.8 (77.1)	室戸岬 高知県室戸市	16.3 (27.4)	
第二宮古島台風	1966/9/04～9/06	60.8 (85.3)	宮古島 沖縄県平良市	接近せず	
第三宮古島台風	1968/9/22～9/27	54.3 (79.8)	宮古島 沖縄県平良市	接近せず	
台風 19 号	1991/9/25～9/28	36	広島県 広島市中区	18.2 (32.4)	
		(60.9)	阿蘇山 熊本県白水村		

—：観測記録なし

凍結影響評価について

1. 基本方針

予想される最も苛酷と考えられる条件を設定の上，防護対象設備の機能が低温に伴う凍結により，原子炉施設の安全性が損なわれないよう設計する。

2. 基準になる低温の設定

凍結に対し，基準になる低温の設定は以下の(1)及び(2)を参照し設定する。

(1) 規格・基準類

低温に関する規格・基準類の要求はない。

(2) 観測記録（別紙 1）

気象庁の気象統計情報における最低気温の観測記録[(1)(2)]によれば，女川原子力発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所及び大船渡特別地域気象観測所における地域気象観測システム（アメダス），気象庁年報及び地上気象観測原簿での最低気温の観測記録史上 1 位は－14.6℃（1919 年 1 月 6 日）である。

以上より，凍結に対し基準になる低温は最低気温の－14.6℃と定める。

3. 安全施設の健全性評価

安全施設が，2.にて設定した凍結に対し基準になる低温によって安全機能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，低温が安全施設に作用した場合の影響について評価し，安全機能が維持されることを確認した。

本評価における基本的な考え方は，以下の通り。また，第１図に凍結に対する安全評価のフローを示す。

○ 安全機能の重要度分類クラス１，２の設備について，以下の①又は②に分類の上，評価し，凍結に対して対策を行うことで安全機能が維持できることを確認した。

① 建屋外に設置されている設備のうち，通常内部流体が流動せず静止している露出配管は，低温による影響を受ける可能性があるが，電気ヒータ又は凍結防止材による凍結防止がされていることから低温に対して影響はない。また復水貯蔵タンクは蒸気加熱コイルにより冬季においても

内部復水温度は10℃以上に保たれるため影響はない。

② 屋内に設置されている設備は，建屋内の換気空調系が常時運転し温度制御をしているため，極端な低温にさらされることはなく，安全機能が維持可能である。

○ 上記以外の安全施設については，凍結防止対策の実施も踏まえて，凍結に対し基準になる低温に対して機能維持する，もしくは，低温による損傷を考慮して，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な設計とすることにより，安全機能が維持可能である場合には影響評価完了とする。

4. 重大事故等対処設備に対する考慮

第２図の凍結による重大事故等対処設備への影響評価フローに基づき，2.にて設定した凍結に対し基準になる低温に対し，必要な安全機能を維持できることを確認した。

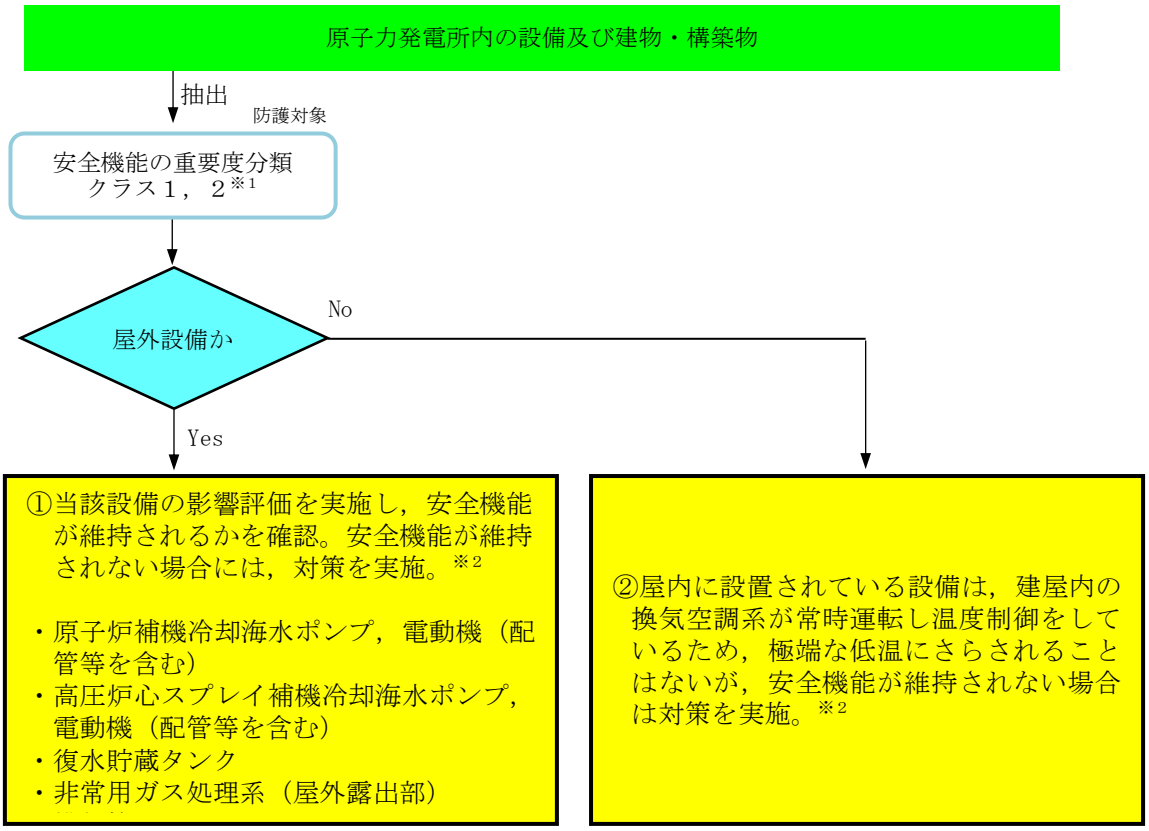
建屋内は常に換気空調系を運転し温度を制御していることから，建屋内に設置されているSA設備は，極端な高温又は低温となることはない。

また，屋外のSA設備は，可搬型SA設備への機械的影響が考えられるが，凍結に対し基準になる低温に対し，気象予報等を踏まえ，必要に応じ暖機運転等を行うことにより対処が可能である。

なお，凍結に対する重大事故等対処設備の設計方針は，設置許可基準規則第43条（重大事故等対処設備）にて考慮する。

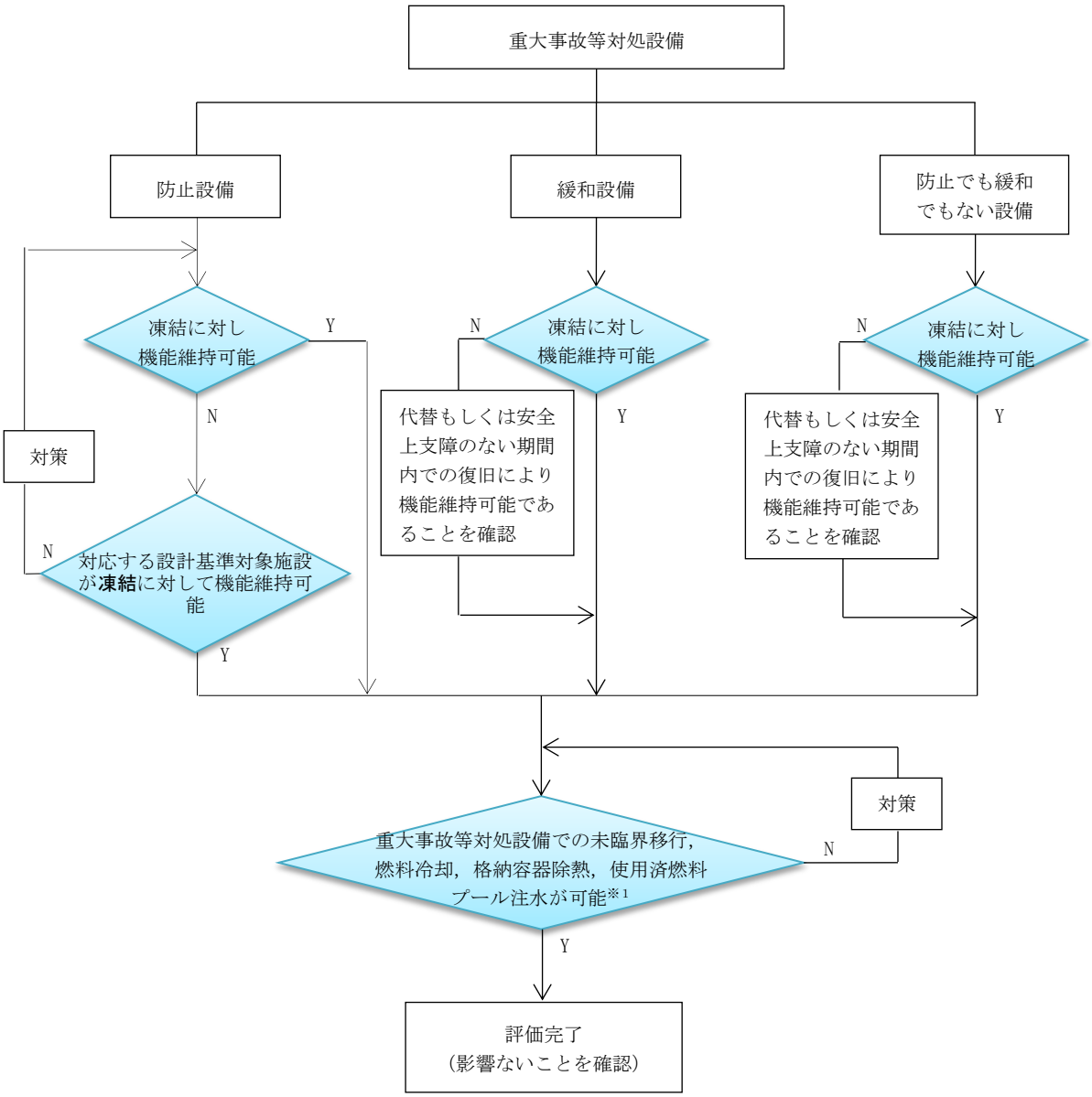
5. 参考文献

(1) 気象庁：http://www.jma.go.jp/jma/index.html
(2) 気象庁年報（地上気象観測原簿データ）



※１　安全重要度クラス３に属する施設については，凍結に対し基準になる低温に対して機能維持する，又は，凍結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，必要によりプラントを停止し，安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な場合には，安全機能を損なわないことから評価完了とする。
※２　影響評価及び対策は，各設備の関連条項で実施

第１図 凍結に対する安全施設の評価フロー



※１：凍結により重大事故等対処設備と設計基準対象施設の機能が同時に損なわれることはないが，安全上支障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２図 凍結による重大事故等対処設備への影響評価フロー

別紙 1

石巻市及び大船渡市における低温の観測記録

第１表 石巻市における毎年の最低温度観測記録
（気象庁ホームページ及び気象庁年報（地上気象観測原簿データ）より）

年	最低気温［℃］	年	最低気温［℃］	年	最低気温［℃］	年	最低気温［℃］	年	最低気温［℃］
1887	-6.5]	1914	-5.8	1941	-7.0	1968	-8.4	1995	-8.8
1888	-10.3	1915	-8.4	1942	-10.7	1969	-9.0	1996	-8.1
1889	-9.7	1916	-7.9	1943	-10.9	1970	-8.2	1997	-6.7
1890	-8.6	1917	-7.4	1944	-11.9	1971	-7.3	1998	-8.3
1891	-13.1	1918	-10.3	1945	-10.9	1972	-8.1	1999	-7.5
1892	-8.7	1919	-14.6	1946	-7.8	1973	-6.2	2000	-7.7
1893	-11.5	1920	-6.7	1947	-10.5	1974	-8.6	2001	-9.5
1894	-8.7	1921	-7.3	1948	-6.1	1975	-7.6	2002	-6.5
1895	-13.6	1922	-10.7	1949	-9.7	1976	-8.6	2003	-7.7
1896	-10.2	1923	-12.0	1950	-8.7	1977	-11.0	2004	-5.1
1897	-9.9	1924	-8.0	1951	-9.6	1978	-11.2	2005	-5.6
1898	-8.6	1925	-8.4	1952	-8.5	1979	-7.4	2006	-9.1
1899	-7.9	1926	-7.8	1953	-7.7	1980	-10.1	2007	-4.5
1900	-12.6	1927	-11.4	1954	-9.2	1981	-8.8	2008	-6.4
1901	-9.9	1928	-9.0	1955	-9.1	1982	-7.8	2009	-4.8
1902	-10.0	1929	-9.8	1956	-8.6	1983	-8.4	2010	-8.4
1903	-6.0	1930	-7.7	1957	-7.2	1984	-9.8	2011	-7.2
1904	-9.4	1931	-10.5	1958	-7.2	1985	-10.3	2012	-8.3
1905	-9.4	1932	-7.2	1959	-6.6	1986	-9.9	2013	-8.1
1906	-11.3	1933	-10.5	1960	-10.6	1987	-7.6	2014	-6.8
1907	-8.4	1934	-8.9	1961	-9.7	1988	-9.0	2015	-5.1
1908	-10.5	1935	-8.5	1962	-6.1	1989	-6.3	2016	-4.7
1909	-12.4	1936	-10.1	1963	-6.3	1990	-9.0	2017	-7.7]
1910	-8.6	1937	-7.7	1964	-6.6	1991	-7.4		
1911	-10.4	1938	-8.7	1965	-7.0	1992	-5.7		
1912	-7.5	1939	-13.3	1966	-8.6	1993	-7.4		
1913	-10.7	1940	-12.3	1967	-10.2	1994	-8.6		

値］：資料不足値
統計値を求める対象となる資料が許容する資料数を満たさない場合。

第２表 大船渡市における毎年の最低温度観測記録
（気象庁ホームページより）

年	最低気温[℃]	年	最低気温[℃]
1963	-3.9]	1991	-7.6
1964	-7.1	1992	-7.3
1965	-7.1	1993	-7.8
1966	-8.4	1994	-6.3
1967	-11.2	1995	-7.5
1968	-10.0	1996	-9.6
1969	-8.8	1997	-5.9
1970	-9.4	1998	-9.2
1971	-8.1	1999	-6.1
1972	-8.4	2000	-8.0
1973	-6.6	2001	-10.4
1974	-7.7	2002	-7.4
1975	-9.0	2003	-6.6
1976	-9.2	2004	-7.1
1977	-11.0	2005	-7.2
1978	-11.3	2006	-7.8
1979	-9.4	2007	-5.2
1980	-11.6	2008	-8.3
1981	-10.0	2009	-5.5
1982	-10.0	2010	-7.3
1983	-8.9	2011	-8.0]
1984	-10.1	2012	-11.0
1985	-11.0	2013	-8.6
1986	-11.0	2014	-6.6
1987	-8.9	2015	-5.5
1988	-9.5	2016	-4.9
1989	-6.3	2017	-8.2]
1990	-10.6		

値]：資料不足値
統計値を求める対象となる資料が許容する資料数を満たさない場合。

降水影響評価について

1. 基本方針

予想される最も苛酷と考えられる条件を設定の上，安全施設の機能が降水による浸水，荷重に対して維持され，安全機能が損なわれないよう設計する。

2. 基準になる降水量の設定

基準になる降水量は，以下の(1)及び(2)を参照し設定する。

(1) 規格・基準類

降水に対する排水施設の規格・基準は，森林法に基づく林地開発許可に関する審査基準等を示した宮城県の手引き[(1)]であり，排水施設の設計雨量強度として，雨水の 10 年確率で想定される到達時間内の雨量強度を用いることとしている。同手引きでは，降雨継続時間毎の宮城県内の 10 年確率雨量強度表が示されており，流域面積の規模で区分した単位時間が採用される。同手引きによる発電所敷地における対象区域の確率雨量強度は「気仙沼（三陸)」に分類され，流末部における流域面積が 50ha～100ha であることから，単位時間 20 分時の 88.11㎜/h が採用される。

(2) 観測記録（別紙 1）

気象庁の気象統計情報における降水量の観測記録[(2)]によれば，女川原子力発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所及び大船渡特別地域気象観測所における地域気象観測システム（アメダス）の最大 1 時間降水量の観測記録史上 1 位は 91.0㎜/h（2014 年 9 月 11 日）である。

以上より，基準になる降水量は最大 1 時間降水量の 91.0㎜/h と定める。

3. 安全施設の健全性評価

安全施設が，降水によって安全機能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，1 時間降水量 91.0㎜/h による浸水及び荷重が安全施設に作用した場合の影響について評価し，安全機能が維持されることを確認した。

本評価における基本的な考え方は，以下のとおり。また，第１図に降水に対する安全施設の評価フローを示す。

○安全機能の重要度分類クラス１，２の設備について，以下の①又は②に分類

の上，評価し，安全機能が維持できることを確認した。

①建屋外に設置されている設備は，当該の設備に 1 時間降水量 91.0mm/h の降水に対する浸水及び荷重が作用した場合においても，安全機能を損なわないことを確認した。(別紙 2)

②頑健性のある建屋内に設置されている設備は，1 時間降水量 91.0mm/h の降水に対し，構内排水路等による排水によって影響がないことを確認した。

○上記以外の安全施設は，降水に対して機能維持する，もしくは，降水による損傷を考慮して，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な設計とすることにより，安全機能が維持可能である場合には影響評価完了とする。

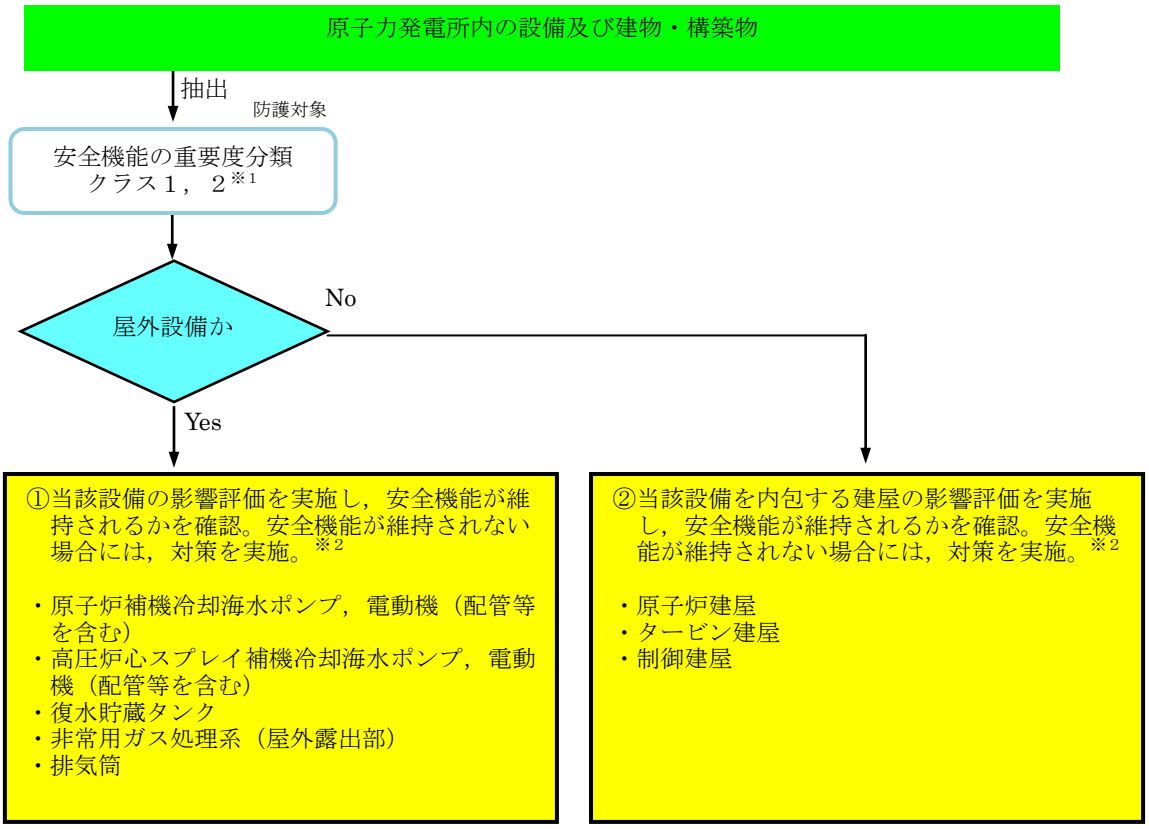
4. 重大事故等対処設備に対する考慮

第２図の降水による重大事故等対処設備への影響評価フローに基づき，基準になる降水量の降水に対し，必要な安全機能を維持できることを確認した。

なお，降水に対する重大事故等対処設備の設計方針は，設置許可基準規則第 43 条（重大事故等対処設備）にて考慮する。

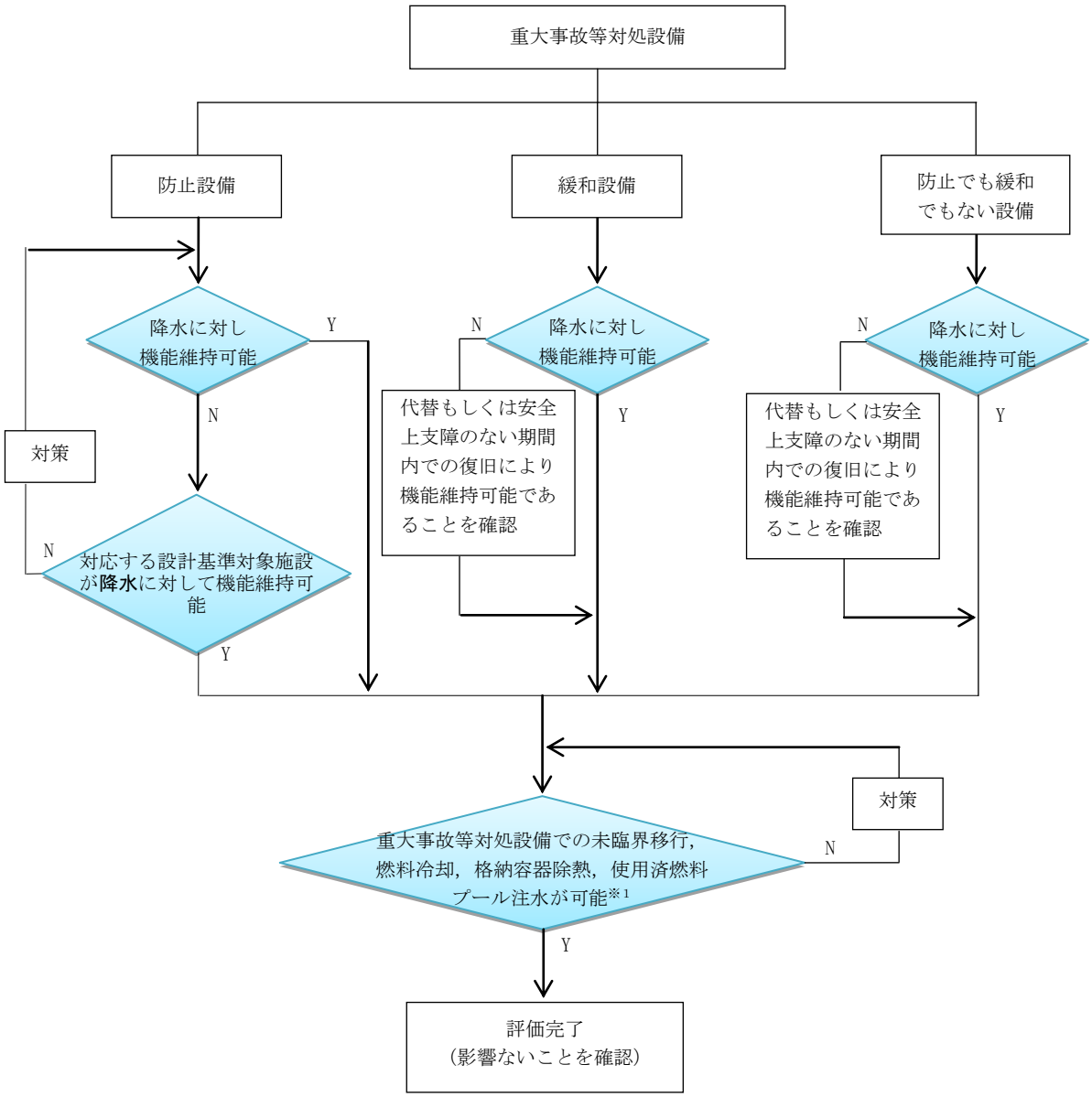
5. 参考文献

(1) 森林法に基づく林地開発許可申請の手引き（平成 26 年 2 月宮城県）
：http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/sizenhogo/rinchikaihatsutebiki.html
(2) 気象庁：http://www.jma.go.jp/jma/index.html
(3) 気象庁年報（地上気象観測原簿データ）



※１　安全重要度クラス３に属する施設は，基準になる降水量に対して機能維持する，又は，降水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，必要によりプラントを停止し，安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な場合には，安全機能を損なわないことから評価完了とする。
※２　影響評価及び対策は，各設備の関連条項で実施

第１図 降水に対する安全施設の評価フロー



※1：基準になる降水量により重大事故等対処設備と設計基準対象施設の機能が同時に損なわれることはないが，安全上支障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２図 降水による重大事故等対処設備への影響評価フロー

石巻市及び大船渡市における降水量の観測記録

第１表 石巻市における毎年の最大１時間降水量観測記録
（気象庁ホームページ及び気象庁年報（地上気象観測原簿データ）より）

年	最大１時間降水量[mm]	年	最大１時間降水量[mm]	年	最大１時間降水量[mm]
1937	19.4]	1964	21.2]	1991	32.0
1938	21.5]	1965	44.8	1992	16.0
1939	52.7]	1966	30.7	1993	18.5
1940	21.8]	1967	19.4	1994	21.0
1941	14.8]	1968	17.0	1995	31.5
1942	45.9]	1969	25.5	1996	18.0
1943	22.5]	1970	21.5	1997	31.0
1944	48.6]	1971	58.0	1998	44.5
1945	14.9]	1972	41.5	1999	24.5
1946	24.2]	1973	17.0	2000	16.5
1947	81.7]	1974	33.5	2001	27.5
1948	31.5]	1975	17.0	2002	43.0
1949	24.0]	1976	26.0	2003	18.0
1950	48.0]	1977	37.5	2004	19.5
1951	14.4]	1978	29.5	2005	17.5
1952	38.2]	1979	22.5	2006	23.0
1953	14.3]	1980	48.5	2007	46.5
1954	36.1]	1981	36.5	2008	21.0
1955	23.6]	1982	43.5	2009	16.5
1956	24.9]	1983	41.5	2010	42.0
1957	27.5]	1984	19.5	2011	32.0
1958	19.0]	1985	20.0	2012	31.5
1959	24.5]	1986	22.5	2013	33.5
1960	40.7]	1987	27.5	2014	91.0
1961	78.6]	1988	39.0	2015	17.5
1962	49.6]	1989	16.5	2016	31.5
1963	25.8]	1990	36.5	2017	19.5]

値]：資料不足値
　　統計を行う対象資料が許容範囲を超えて欠けている。

第２表 大船渡市における毎年の最大１時間降水量観測記録
（気象庁ホームページより）

年	最大１時間 降水量[mm]	年	最大１時間 降水量[mm]
1963	24.0 ］	1991	39.5
1964	38.9	1992	31.5
1965	38.3	1993	26.5
1966	47.3	1994	36.0
1967	24.5	1995	45.0
1968	21.0	1996	32.0
1969	22.5	1997	45.5
1970	21.0	1998	24.5
1971	22.5	1999	35.5
1972	31.5	2000	21.5
1973	14.0	2001	49.0
1974	27.0	2002	32.5
1975	56.0	2003	35.0
1976	20.0	2004	48.0
1977	36.5	2005	56.5
1978	24.5	2006	38.5
1979	46.0	2007	39.5
1980	29.5	2008	37.5
1981	33.0	2009	25.5
1982	48.5	2010	39.0
1983	44.0	2011	23.0 ］
1984	34.0	2012	31.0 ］
1985	27.5	2013	53.0
1986	27.5	2014	27.0 ］
1987	29.5	2015	45.0
1988	42.0	2016	32.0
1989	28.0	2017	16.5 ］
1990	32.0		

値］：資料不足値
　　統計を行う対象資料が許容範囲を超えて欠けている。

別紙 2

降水による浸水の影響評価

1. 概要

防護対象である屋外の安全施設の設置場所は，基準になる降水量（91.0mm/h）の降水による浸水（敷地内滞留水）に対し，構内排水路による排水等により，安全機能を損なうことのない設計とする。

防護対象である安全施設は，基準になる降水量（91.0mm/h）の降水による荷重に対し，排水口による排水等により影響を受けない設計とし，安全機能を損なうことのない設計とする。

また，その他の安全施設は，降水による荷重及び浸水に対して，排水口による排水等，構内排水路等による排水，もしくは，降水による損傷を考慮し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。

2. 降水による敷地内滞留水の影響評価

2.1 浸水量評価

1時間降水量91.0mm/hにおける敷地内の浸水量は以下の条件のもと評価した。

＜評価条件＞

降雨強度：

91.0mm/h（石巻特別地域気象観測所において平成26年9月11日に観測された日最大1時間降水量の既往最大値）

雨水流入量：

「森林法に基づく林地開発許可申請の手引き」（平成26年2月宮城県）に基づく合理式より算出

排水可能流量:

「森林法に基づく林地開発許可申請の手引き」（平成26年2月宮城県）に基づき，マニング式より算出

2.2 浸水量評価の結果

(1) 雨水流入量

女川原子力発電所周辺の雨水は，次頁の第3図のように敷地内に配置された北側及び南側の各幹線排水路に集水され，海域に排水される。

評価にあたっては，防潮堤横断部における各幹線排水路の集水面積を算定

した上で，91.0mm/h 降雨時の雨水流入量を算出する。

その際，「森林法に基づく林地開発許可申請の手引き」（平成 26 年 2 月宮城県）に基づき以下の合理式を用い，流出係数については，林地：0.5，その他個所（裸地）：0.9 とする。

$$Q = 1/360 \cdot f \cdot r \cdot A$$

Q：雨水流入量（m^3/s）

f：流出係数

r：降雨強度（mm/h）

A：集水面積（ha）

(2) 排水可能流量

各幹線排水路の排水可能流量は，「森林法に基づく林地開発許可申請の手引き」に基づく平成 28 年 1 月の林地開発許可における値とする。具体的には，第３表の水路断面における排水可能量をマニング式により算定した。

第３表 幹線排水路の仕様

	仕　様	断面積〔m^2〕	径深〔m〕	粗度係数	勾配〔%〕	流速〔m/s〕
北側幹線排水路	ﾋｭｰﾑ管　φ2400	4.408	0.696	0.013	1.340	6.993
南側幹線排水路	ﾎﾞｯｸｽｶﾙﾊﾞｰﾄ B3000，H2500	5.700	0.838	0.023	2.550	6.171

第３図 幹線排水路の配置概要図

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

(3) 評価結果

北側及び南側の各幹線排水路における雨水流入量と排水可能流量の比較結果を第４表に示す。

各幹線排水路ともに防潮堤横断部における排水可能流量は，豪雨時の雨水流入量を上回り，余裕をもって雨水排水が可能であると評価される。

第４表 91.0mm/h 降水時の雨水流入量と排水可能量との比較

排水路名	集水面積※ 〔ha〕	91.0mm/h 降水時の雨水流入量 ［m^3/s］ a	排水可能流量※ ［m^3/s］ b	雨水流入量に対する排水可能流量の比 b／a
北側幹線排水路	林地：13.78 裸地：46.52	12.3	30.82	2.5 （排水可能）
南側幹線排水路	林地：57.95 裸地：32.25	14.7	35.17	2.4 （排水可能）

※林地開発許可申請書記載値（平成 28 年 1 月許可）

3. 降水による荷重の影響について

基準になる降水量（91.0mm/h）による荷重の影響として，原子炉建屋等は多量の降水に対しても，雨水排水口を介して排水する設計としていることから，滞留水による荷重の影響が及ぶことはない。また，原子炉補機冷却海水ポンプ等の屋外設備については，降水が滞留する構造ではないことから，滞留水による荷重の影響が及ぶことはない。

以上から，屋外の安全施設の安全機能が降水による荷重によって損なわれることはない。

積雪影響評価について

1. 基本方針

予想される最も苛酷と考えられる条件を設定の上，防護対象設備及びそれらの設備を有する建屋が積雪による荷重，積雪による給気口等の閉塞により，原子炉施設の安全性が損なわれないよう設計する。

2. 基準になる積雪量の設定

基準になる積雪量は，以下の(1)及び(2)を参照し設定する。

(1) 規格・基準類（別紙 1）

積雪に対する規格・基準として，建築物については建築基準法及び同施行令第 86 条第 3 項に基づく宮城県 建築基準法施行細則において，地域毎に垂直積雪量が定められている。女川町の垂直積雪量は 40cm である。

(2) 観測記録（別紙 2）

気象庁の気象統計情報における積雪量の観測記録[(1)]によれば，女川原子力発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所及び大船渡特別地域気象観測所における地域気象観測システム（アメダス）の最深積雪量は 43cm（1923 年 2 月 17 日）である。

○積雪時の発電所の対応について

女川原子力発電所が立地する女川町は，多雪区域ではなく一般地域であるため降雪量は少ないが，降雪があった場合は必要に応じ発電所構内の除雪活動を実施する。

また，建屋屋上の除雪に関しては，気象情報（降雪予報）及び構内に設置している監視システム等による積雪量を監視し，必要に応じ除雪を実施する。

以上より，基準になる積雪量は最深積雪量 43cm を考慮する。

3. 安全施設の健全性評価

2.にて示した基準になる積雪量に対する安全施設への影響を評価する。基準になる積雪量に対して，防護対象設備を有する各建屋又は外部の防護対象設備が積雪荷重，空気，流体の取り入れ口の閉塞によって機能喪失に至ることがないことを確認した。

本評価における基本的な考え方は，以下の通り。また，第１図に積雪に対する安全施設の評価フローを示す。

○　安全機能の重要度分類クラス１，２の設備について，以下の①から③に分類の

上，評価し，積雪による荷重等に対して安全機能が損なわれないことを確認した。なお，積雪荷重は地震，津波，火山の影響に対して適切に組合わせる。

① 屋外の防護対象設備は基準になる積雪量の荷重に対して健全であることを確認した。(別紙 3)

② 防護対象設備が屋内にある場合は，当該設備を有する建屋が基準になる積雪量の荷重に対して機械的強度を有する設計であることを確認した（別紙 3)。

③ 流体の取り入れ口等の閉塞による影響について，各建屋の換気口等の高さが基準になる積雪量に対して高い位置に設置してあること及び上向きに開口部がない設計であることを確認した（別紙 4)。また，積雪と風等により給気口等の閉塞が考えられるが，この場合には，操作員がルーバに付いた積雪を落とすことにより閉塞を防止する。

○ 上記以外の安全施設については，積雪に対して機能維持する，もしくは，積雪による損傷を考慮して，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な設計とすることにより，安全機能が維持可能である場合には影響評価完了とする。(別紙 3)

以上のことから，安全施設の積雪時に必要な安全機能が損なわれることはないことを確認した。

4. 重大事故等対処施設に対する考慮

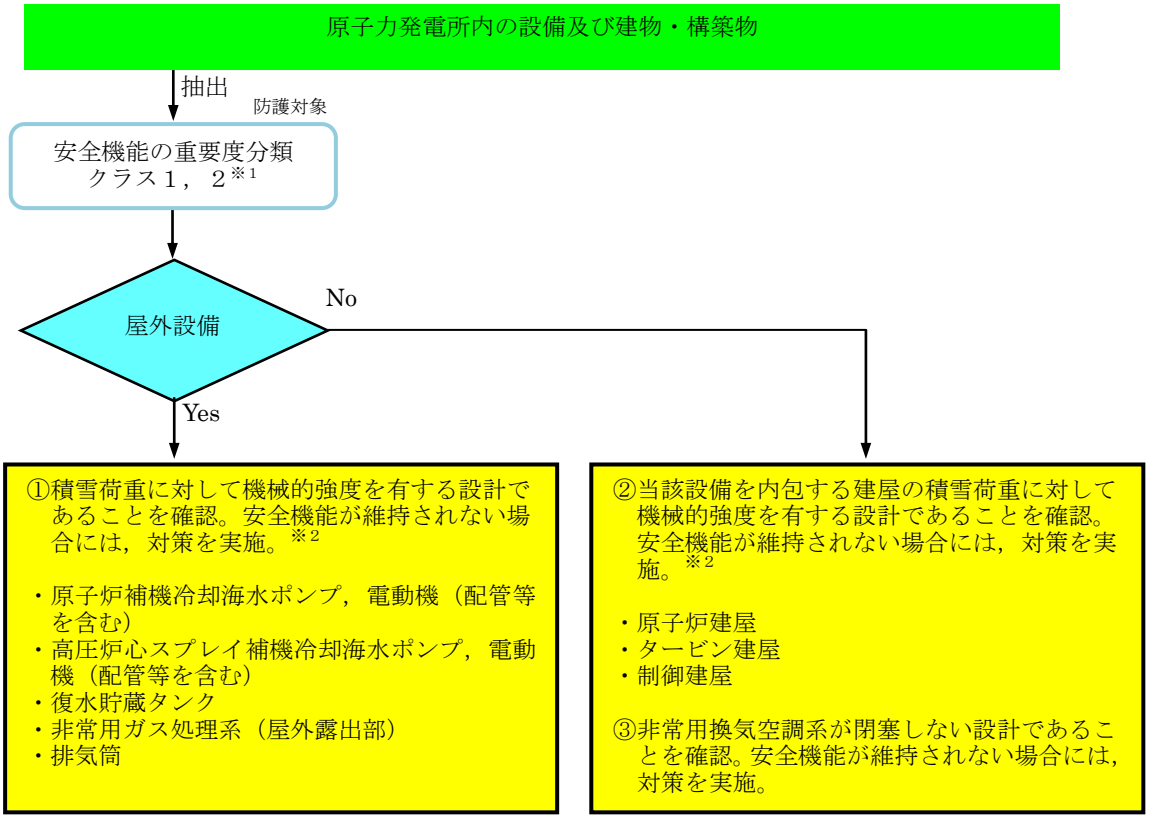
第２図の積雪に対する重大事故等対処設備の評価フローに基づき，基準になる積雪量の荷重に対し，必要な安全機能が確保されていることを確認した。

なお，積雪に対する重大事故等対処設備の設計方針は，設置許可基準規則第 43 条（重大事故等対処設備）にて考慮する。

5. 参考文献

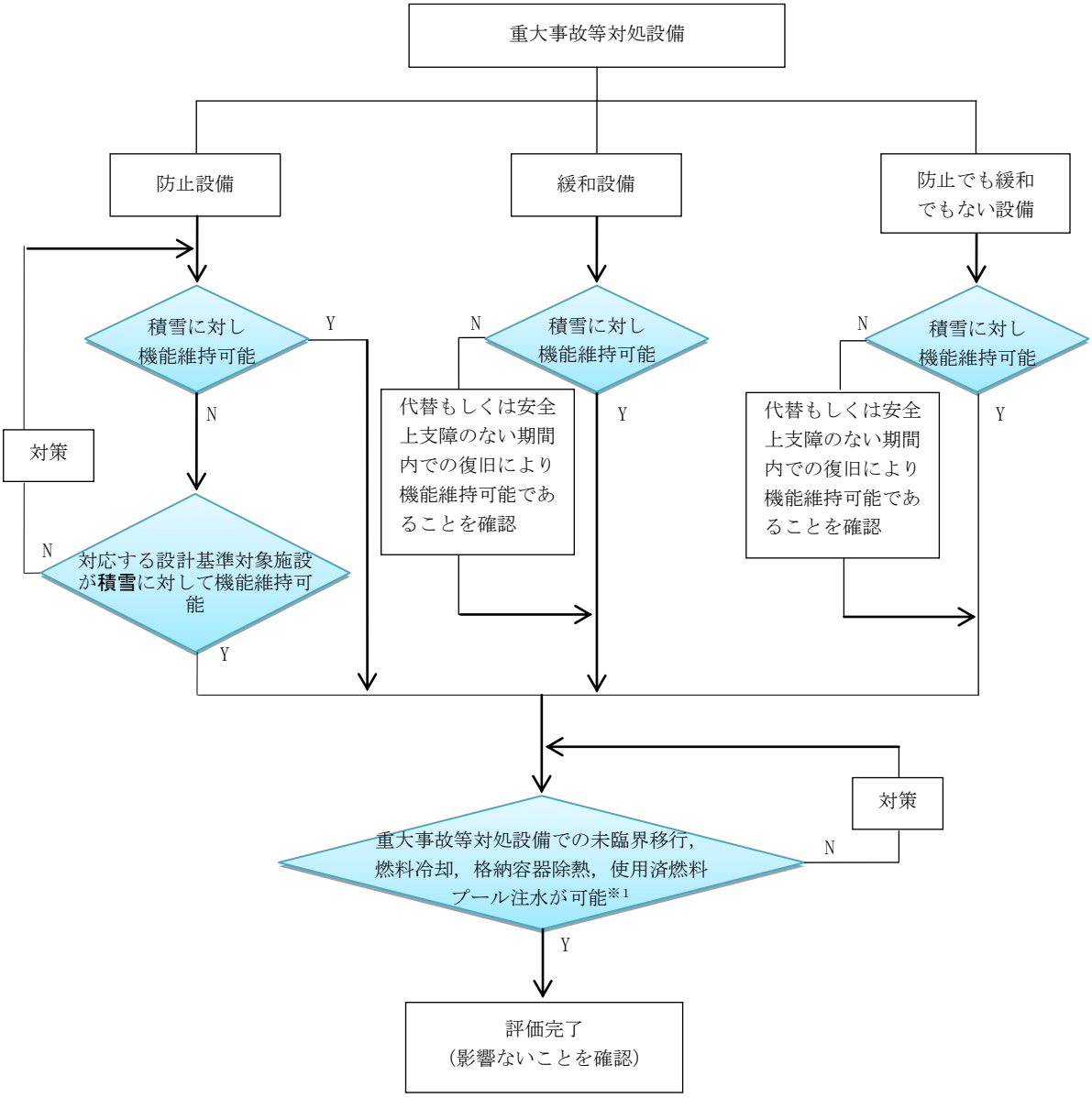
(1) 気象庁：http://www.jma.go.jp/jma/index.html

(2) 気象庁年報（地上気象観測原簿データ）



※１　安全重要度クラス３に属する施設については，基準になる積雪量に対して機能維持する，又は，積雪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，必要によりプラントを停止し，安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な場合には，安全機能を損なわないことから評価完了とする。
※２　影響評価及び対策は，各設備の関連条項で実施

第１図 積雪に対する安全施設の評価フロー



※1：基準になる積雪量により重大事故等対処設備と設計基準対象施設の機能が同時に損なわれることはないが，安全上支障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２図 積雪による重大事故等対処設備への影響評価フロー

別紙 1

宮城県 建築基準法施行細則について

建築基準法施行令（以下「政令」）の一部が改正（平成 12 年政令第 211 号）され，政令第86条の規定において,垂直積雪量を特定行政庁が規則で定めることとなった。宮城県 建築基準法施行細則(1)における積雪に関する記載は以下のとおりである。

（積雪荷重）

第 12 条　政令第 86 条第 2 項ただし書の特定行政庁が指定する多雪区域は，別表第二の(三)の項に掲げる区域のうち垂直積雪量が 1m 以上の区域とする。

2　前項の多雪区域における積雪の単位重量は，積雪量 1cm ごとに 1 平方メートルにつき，垂直積雪量が 1m 以上 2m 未満の場合については，垂直積雪量に 10N を乗じた値に 10N を加えた数値以上，垂直積雪量が 2m 以上の場合については，30N 以上としなければならない。

3　政令第 86 条第 3 項の規定により特定行政庁が定める垂直積雪量は，別表第 2(い)欄に掲げる区域の区分に応じ，それぞれ同表(ろ)欄に掲げる垂直積雪量とする。

別表第二

	(い)	(ろ)
	区域	垂直積雪量(単位；m)
(1)	気仙沼市，名取市，角田市，多賀城市，岩沼市，東松島市，大河原町，柴田町，亘理町，山元町，松島町，七ヶ浜町，利府町，大郷町，富谷町，涌谷町，美里町，女川町，南三陸町	0.40
(2)	登米市，村田町	0.40 から 0.75 までの範囲において特定行政庁が定める数値
(3)	白石市，栗原市，蔵王町，七ヶ宿町，川崎町，丸森町，大和町，大衡村，加美町，色麻町	0.40 から 6.0 までの範囲において特定行政庁が定める数値

(1)宮城県 建築基準法施行細則(昭和 46 年 3 月 30 日 宮城県規則第 21 号)
（http://www1.g-reiki.net/reiki/Li05_Hon_Main_Frame.exe?UTDIR=C:¥EFServ2¥ss00043C13¥GUEST&TID=1&SYSID=12765)

別紙 2

石巻市，大船渡市及び女川町における積雪量の観測記録

第１表 石巻市における毎年の積雪観測記録
（気象庁ホームページ及び気象庁年報（地上気象観測原簿データ）より）

年	日降雪最大	最深積雪	年	日降雪最大	最深積雪	年	日降雪最大	最深積雪	年	日降雪最大	最深積雪
1887	なし	なし	1921	なし	19	1955	なし	11]	1989	13	16
1888	なし	なし	1922	なし	20	1956	なし	11]	1990	16	15
1889	なし	なし	1923	なし	43]	1957	なし	15	1991	24	24
1890	なし	なし	1924	なし	8	1958	なし	7	1992	20	25
1891	なし	なし	1925	なし	10	1959	なし	4	1993	15	15
1892	なし	なし	1926	なし	8	1960	なし	11	1994	9	9
1893	なし	なし	1927	なし	11	1961	10]	15]	1995	26	26
1894	なし	30]	1928	なし	14	1962	13	14	1996	7	8
1895	なし	なし	1929	なし	12	1963	12	12	1997	8	11
1896	なし	30]	1930	なし	25]	1964	20	26	1998	24	23
1897	なし	なし	1931	なし	19	1965	5	6	1999	7	7
1898	なし	28]	1932	なし	25	1966	11	11	2000	3	3
1899	なし	なし	1933	なし	8	1967	13	14	2001	13	22
1900	なし	24]	1934	なし	20	1968	20	22	2002	11	9
1901	なし	9]	1935	なし	14	1969	26	25	2003	23	21
1902	なし	なし	1936	なし	28]	1970	22	20	2004	11	21
1903	なし	なし	1937	なし	16	1971	14	14	2005	17	21
1904	なし	なし	1938	なし	15	1972	29	26	2006	23	23
1905	なし	なし	1939	なし	12	1973	3	3	2007	2	2
1906	なし	28]	1940	なし	30]	1974	19	25	2008	11	11
1907	なし	なし	1941	なし	11	1975	33	33	2009	22	22
1908	なし	なし	1942	なし	5]	1976	6	10	2010	6	7
1909	なし	28]	1943	なし	7	1977	30	27	2011	13	13
1910	なし	10]	1944	なし	13	1978	7	7	2012	13	13
1911	なし	なし	1945	なし	21	1979	4	7	2013	17	17
1912	なし	なし	1946	なし	6	1980	15	19	2014	25	38
1913	なし	32]	1947	なし	12	1981	16	17	2015	28	27
1914	なし	なし	1948	なし	22]	1982	18	16	2016	9]	11
1915	なし	なし	1949	なし	9	1983	30	30	2017	5	6
1916	なし	9]	1950	なし	23	1984	23	29			
1917	なし	24]	1951	なし	7]	1985	20	23			
1918	なし	9	1952	なし	2]	1986	14	18			
1919	なし	15	1953	なし	7	1987	43	25			
1920	なし	24]	1954	なし	34]	1988	6	6			

なし：観測を行っていない場合，機器の故障等で観測できなかった場合や，
　　火災や戦災等で資料を失った場合など
値］：資料不足値
　　統計値を求める対象となる資料が許容する資料数を満たさない場合。

第２表 大船渡市における毎年の積雪観測記録
（気象庁ホームページ及び気象庁年報（地上気象観測原簿データより）

年	日降雪 最大	最深 積雪	年	日降雪 最大	最深 積雪
1963	なし	なし	1991	24	18
1964	5	7	1992	14	10
1965	6	6	1993	8	8
1966	9	6	1994	7	5
1967	9	10	1995	13	13
1968	6	6	1996	7	7
1969	26	23	1997	7	7
1970	10	10	1998	18	24
1971	9	7	1999	14	12
1972	7	7	2000	6	7
1973	23	19	2001	16	13
1974	10	13	2002	14	14
1975	8	7	2003	12	15
1976	12	13	2004	16	12
1977	15	15	2005	14	20
1978	14	17	2006	16	16
1979	10	10	2007	20	12
1980	10	14	2008	2	2
1981	18	15	2009	6	6
1982	8	6	2010	13	18
1983	10	11	2011	16 ］	13 ］
1984	21	32	2012	16	15
1985	12	15	2013	8	8
1986	17	21	2014	15	18
1987	29	28	2015	6	6
1988	3	3	2016	6	8
1989	5	5	2017	5	5
1990	10	13			

なし：観測を行っていない場合，機器の故障等で観測できなかった場合や，
　　火災や戦災等で資料を失った場合など
値］：資料不足値
　　統計値を求める対象となる資料が許容する資料数を満たさない場合。

第３表 建屋等の許容荷重と基準になる積雪荷重の比較

区分	対象建屋・機器	許容荷重[N/m^2]	判定※２
建屋	２号原子炉建屋	4,117※１	○
	２号タービン建屋	4,117※１	○
	２号制御建屋	4,559※１	○
	１号制御建屋	6,569※１	○
屋外設備	復水貯蔵タンク	1.88×10^8	○
	原子炉補機冷却海水ポンプ	1.41×10^8	○
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	2.44×10^8	○
	非常用ガス処理系（屋外露出部）	積雪（静的荷重等）の影響を受け難い構造	○
	排気筒		○
その他	緊急時対策所	設計基準事故対処設備と同様に外部事象に対して機能を維持する設計とする。	○

※1：荷重は短期荷重として評価した。評価においては，許容応力度の比（短期／長期＝1.5 以上）から，短期では少なくとも長期の 1.5 倍の荷重が負担できるため，短期荷重として負担できる荷重と長期荷重の差分を許容荷重とした。

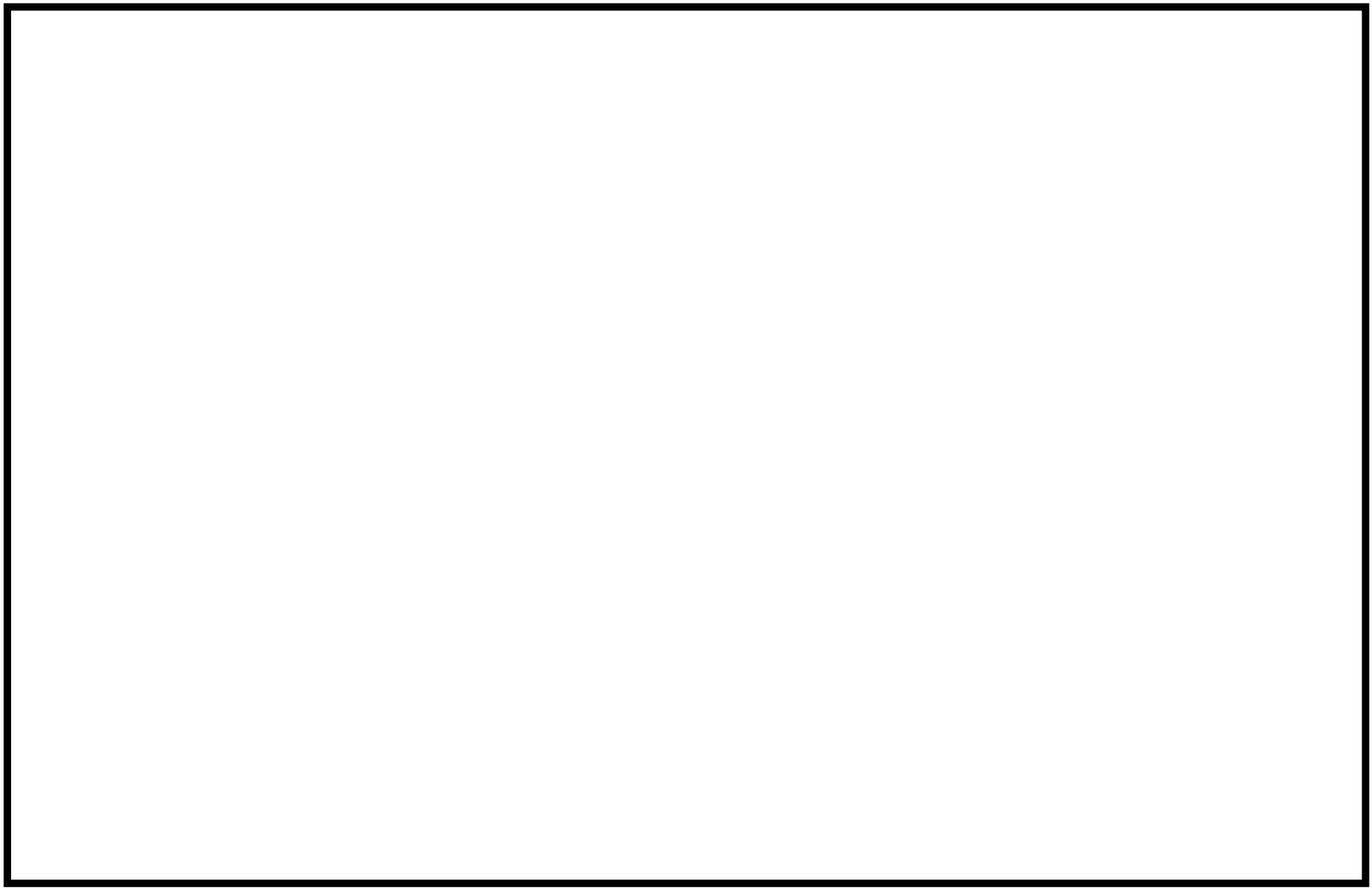
※2：基準になる積雪荷重は以下の通り算出し，許容荷重値内であることを確認した。
・基準になる積雪量：43cm（石巻特別地域気象観測所における最深積雪量）
・単位荷重：積雪量 1cm 当たり 20N/m^2（建築基準法施行令に基づく積雪の単位荷重）
43cm×20N/（m^2・cm）= 860 N/m^2

第４表 給気口等の開口下端までの高さ

場所	系統	名称	基準高さ※1,2 [mm]	開口下端※2 [mm]	開口下端までの高さ[mm]	判定※3
R/B	原子炉建屋原子炉棟換気空調系	原子炉棟給気ルーバ	33,200	34,260	1,060	○
R/B	原子炉補機(A)室換気空調系	原子炉補機(A)室給気ルーバ	31,400	32,770	1,370	○
R/B		原子炉補機(A)室排気ルーバ	14,800	22,585	7,785	○
R/B		D／G（A）室給気ルーバ	31,400	32,270	870	○
R/B		D／G（A）室排気ルーバ	14,800	25,170	10,370	○
R/B	原子炉補機(B)室換気空調系	原子炉補機(B)室給気ルーバ	31,400	33,070	1,670	○
R/B		原子炉補機(B)室排気ルーバ	14,800	21,765	6,965	○
R/B		D／G（B）室給気ルーバ	31,400	32,270	870	○
R/B		D／G（B）室排気ルーバ（A）	14,800	25,170	10,370	○
R/B		D／G（B）室排気ルーバ（B）	14,800	25,170	10,370	○
R/B	原子炉補機(ＨＰＣＳ)室換気空調系	原子炉補機(ＨＰＣＳ)室給気ルーバ	31,400	32,270	870	○
R/B		原子炉補機(ＨＰＣＳ)室排気ルーバ	14,800	27,005	12,205	○
R/B		D／G（ＨＰＣＳ）室給気ルーバ	31,400	32,270	870	○
R/B		D／G（ＨＰＣＳ）室排気ルーバ	14,800	25,170	10,370	○
C/B	中央制御室換気空調系	中央制御室給気ルーバ	14,800	30,170	15,370	○
C/B		中央制御室排気ルーバ	14,800	30,570	15,770	○
C/B	計測制御電源（A）室換気空調系	計測制御電源（A）室給気ルーバ	14,800	30,170	15,370	○
C/B		計測制御電源（A）室排気ルーバ	29,150	29,970	820	○
C/B	計測制御電源（B）室換気空調系	計測制御電源（B）室給気ルーバ	29,150	30,570	1,420	○
C/B		計測制御電源（B）室排気ルーバ	14,800	30,570	15,770	○

※1：地面又は建屋屋上からの開口下端高さ
※2：O.P.表記（O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり，東京湾平均海面（T.M.S.L.）－0.74m である。）
※3：開口下端までの高さが基準になる積雪量（43cm）以上であることを判定基準としている。

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。



第３図 給気口等の設置状況の例

落雷影響評価について

１．基本方針

予想される最も苛酷と考えられる条件を設計基準として設定の上，安全施設の機能が落雷による雷撃電流に対して維持され，安全機能が損なわれないように設計する。

２．基準雷撃電流値の設定

基準雷撃電流値の設定は，以下の（１）を参照して設定する。

（１）規格・基準類

原子力発電所における耐雷設計の規格・基準には電気技術指針 JEAG4608[(1)]があり，以下のように規定している。

ａ．JEAG4608 では，電力設備の避雷設備の設計について，電力中央研究所報告 T40「発変電所及び地中送電線の耐雷設計ガイド」[(2)]を参照している。
同ガイドでは，275kV 発電所における送電線並びに電力設備に対し，100kA を想定雷撃電流として推奨している。

ｂ．JEAG4608 では，建築物等の避雷設備に関して，日本工業規格 JIS A 4201:2003「建築物等の雷保護」や日本工業規格 JIS A 4201-1992「建築物等の避雷設備（避雷針)」を参照している。JIS A 4201:2003 では，避雷設備について，設備を保護する効率に応じ設定するグレード分けである保護レベルごとに規定している。保護レベルは，Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳの 4 段階に設定され，保護レベルⅠは最も小さい雷撃電流をもつ雷まで捕捉できる。
保護レベルの設定にあたって，JEAG4608 では原子力発電所の危険物施設に対する保護レベルを IEC／TR 61662[(3)]に基づく選定手法により保護レベルⅣと評価している。
また，消防庁通知[(4)]に基づき，原子力発電所の危険物施設では保護レベルⅡを採用すると規定しているが，女川原子力発電所２号炉の屋外危険物施設である２号炉軽油タンクは地下化を行うため，危険物の規制に関する政令[(5)]に基づき，地下タンク貯蔵所の基準において避雷設備の設置要求がない。
JIS A 4201:2003 においては，保護レベルに応じた最大雷撃電流値は具体的に示されていないものの，日本工業規格 JIS-Z 9290-4[(6)]において，保護レベルに応じた最大雷撃電流値が定められており，保護レベルⅣの場合の最大雷撃電流値は 100kA と規定されている。

以上，（１）より規格・基準類による想定すべき雷撃電流値のうち最大のものは 100kA である。

３．安全施設の健全性評価

設計基準の雷撃電流値（100kA の雷撃電流）によって安全施設が安全機能を損なうことがない設計であることを確認するために，第１図に示すフローに沿って評価・確認を実施した。

（１）建屋及び内包される設備

原子炉建屋などの建築基準法に定められる高さ 20m を超える建築物等には避雷設備を設けている。また，避雷設備の接地極を構内接地網と連接し接地抵抗を下げる等の対策を実施していることから影響を受けにくい設計としている。さらに，安全保護回路は雷サージ抑制対策がなされており，安全施設の安全機能に影響を及ぼすことはない。

また，電磁的障害として，サージ・ノイズ及び電磁波の侵入があり，これらは低電圧の計測制御回路に対して影響を及ぼすおそれがある。

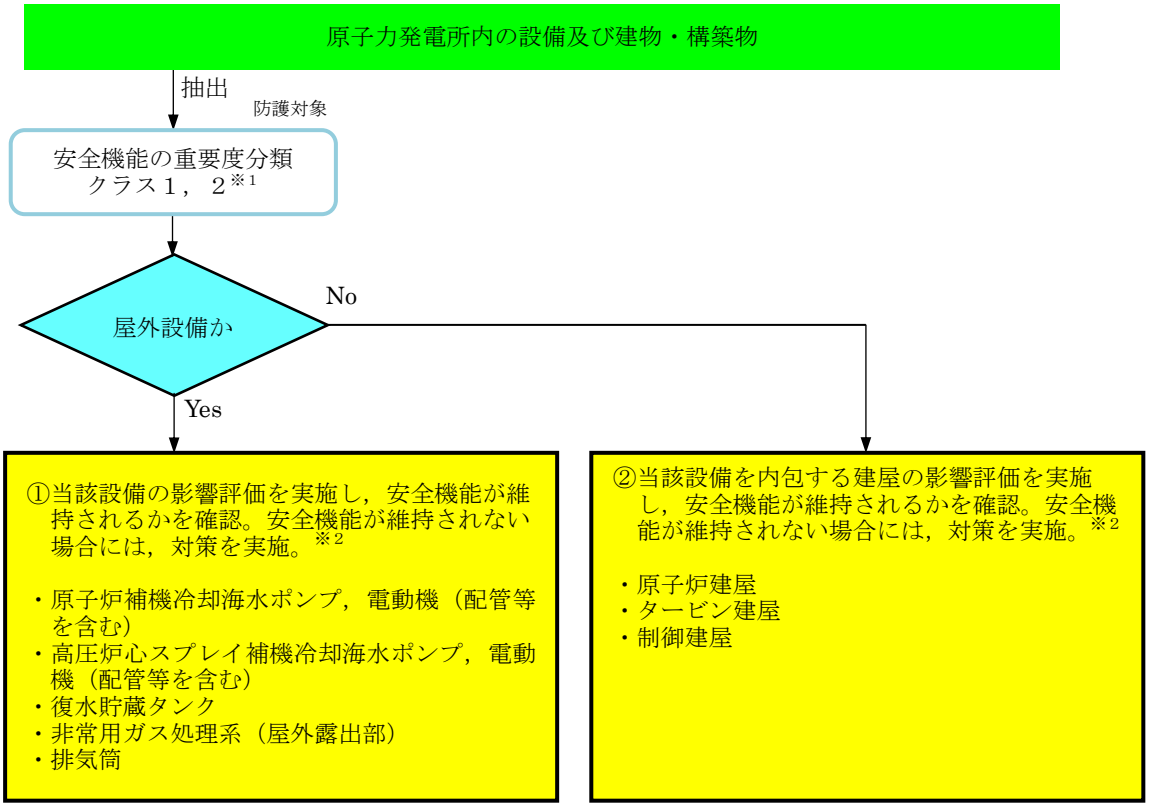
このため，計測制御回路を構成する制御盤及びケーブルは，鋼製筐体及び金属シールド付ケーブルの適用により電磁波の侵入を防止する設計としている。

（２）屋外設備

原子炉補機冷却海水ポンプ，電動機（配管等を含む）並びに高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ，電動機（配管等を含む）を設置している海水ポンプ室は，地下ピット構造としていることから影響を受けにくい設計としている。

復水貯蔵タンク及び非常用ガス処理系（屋外露出部）は，原子炉建屋の避雷設備保護範囲内であることから影響を受けにくい設計としている。

排気筒は，本体に避雷設備を設置しており，排気筒自体の避雷設備保護範囲内であることから影響を受けにくい設計としている。



※１　安全重要度クラス３に属する施設は，基準になる落雷に対して機能維持する，又は，落雷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，必要によりプラントを停止し，安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な場合には，安全機能を損なわないことから評価完了とする。
※２　影響評価及び対策は，各設備の関連条項で実施

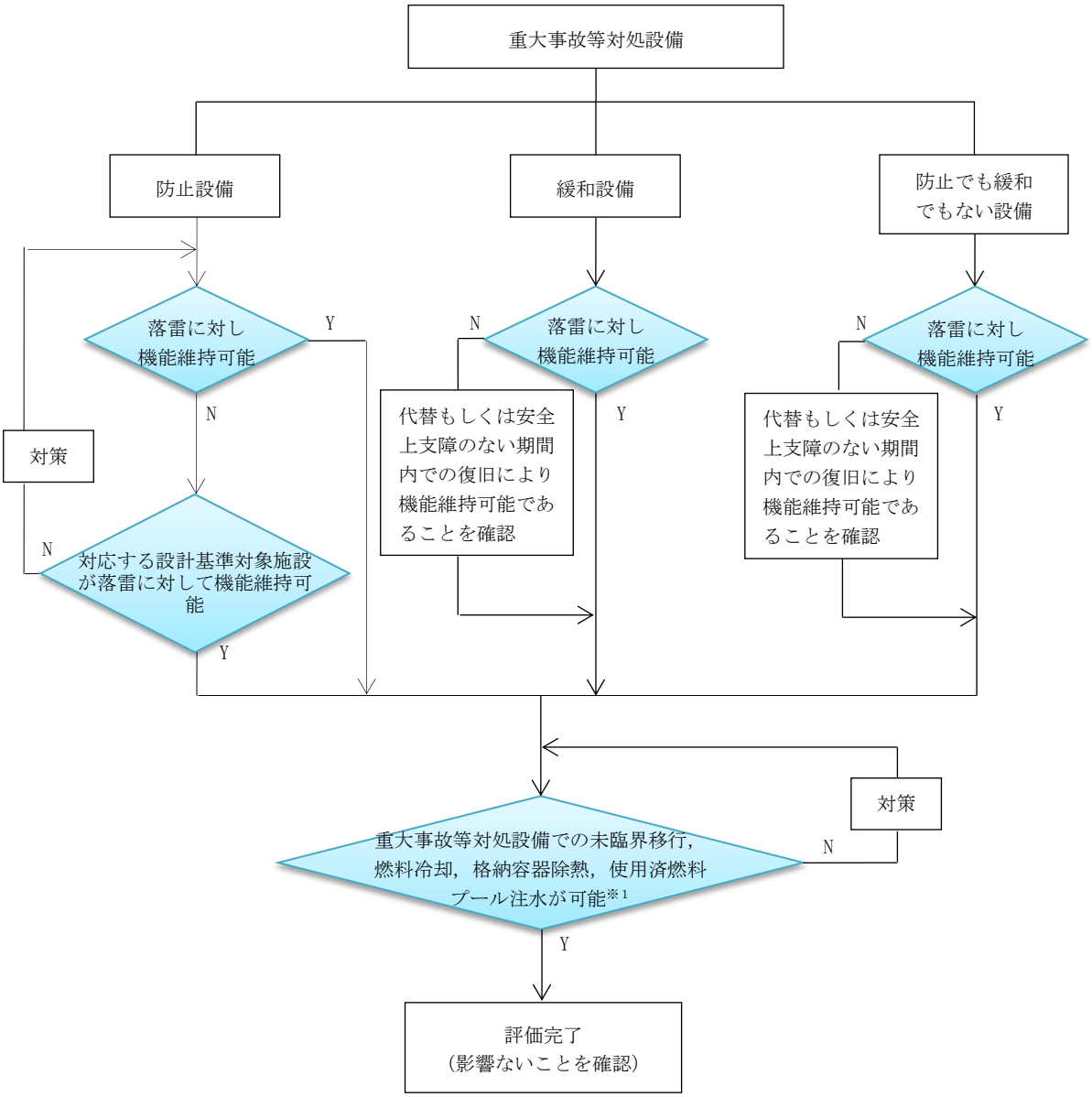
第１図 落雷に対する安全施設の評価フロー

４．重大事故等対処設備に対する考慮

重大事故等対処施設のうち，屋内設備については，建屋内にあることから落雷の影響を受けにくい。また，設備の高さが 20m を超えるようなものはなく落雷の影響を受けにくい。さらに，重大事故等対処施設の安全機能が喪失した場合においても，建屋による防護の観点から，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した。

第２図に落雷に対する重大事故等対処施設の評価フローを示す。

なお，落雷に対する重大事故等対処設備の設計方針は，設置許可基準規則第 43 条（重大事故等対処設備）にて考慮する。



※1：基準になる落雷により重大事故等対処設備と設計基準対象施設の機能が同時に損なわれることはないが，安全上支障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２図 落雷による重大事故等対処設備への影響評価フロー

参考文献

（１）電気技術指針 JEAG4608(2007)：「原子力発電所の耐雷指針」
（２）T40 電力中央研究所報告 発変電所及び地中送電線の耐雷設計ガイド (1996)
（３）IEC／TR 61662(1995)：Assessment of the risk of damage due to lightning.
（４）消防庁通知(2005)：平成 17 年 1 月 14 日消防危第 14 号危険物の規則に関する規則の一部を改正する省令等の施行について
（５）危険物の規制に関する政令：昭和三十四年政令第三百六号
（６）JIS-Z 9290-4(2009)雷保護第 4 部：建築物内の電気及び電子システム

女川原子力発電所への落雷頻度

１．構内落雷観測結果の概要

年間落雷発生頻度については，当社の落雷位置標定システム（LLS※）による観測結果（過去 1994 年 4 月～2011 年 3 月の 17 年間）をもとに算出する。

※LLS…落雷から放射される電波をセンサで捉え，システム内で基準としている電波の波形（基準波形）との照合により落雷を判別し，データ解析により落雷の位置，時刻等をリアルタイムで推定するシステム。

（１）発電所敷地内に標定された落雷の調査

抽出された落雷を発電所付近の地形図に重ねて第３図に示す。設備のある範囲の落雷は 2 個抽出された。さらに，標定誤差を考慮して調査領域を設備のある範囲から 500m 外側まで拡げると 4 個追加され，合計６個が抽出された。抽出された落雷の標定データと分布の特徴は以下の通り。

ａ．設備のある範囲の落雷：2 個

②2000 年 5 月 8 日　　北緯 38.402[度]，東経 141.500[度]

④2000 年 9 月 10 日　　北緯 38.398[度]，東経 141.499[度]

ｂ．調査領域を設備のある範囲から 500m 外側まで拡げた時に追加される落雷：4 個

①1994 年 9 月 22 日　　北緯 38.400[度]，東経 141.490[度]

③2000 年 5 月 24 日　　北緯 38.393[度]，東経 141.496[度]

⑤2005 年 11 月 23 日　　北緯 38.407[度]，東経 141.501[度]

⑥2008 年 9 月 14 日　　北緯 38.393[度]，東経 141.495[度]

ｃ．落雷頻度推定

設備のある範囲から 500m 外側までの範囲の落雷頻度は，次の通り推定される。

・範囲：北緯 38.390～38.408[度]，東経 141.488～141.513[度]

・落雷数：6[個/17 年]

・面積：1.9[km]×2.1[km] = 4.0[km^2]

・落雷頻度：6/4.0 = 1.5[個/(km^2･17 年)] = 0.088[個/km^2年]

→ 0.09[個/km^2年]

防護上の観点又は機密に係わる事項を含む為，公開できません

第３図 発電所敷地付近に標定された落雷の位置(女川)
黄枠：設備のある範囲
黒線：敷地境界
緑枠：設備のある範囲から 500m 外側までの範囲

（２）発電所周辺の落雷頻度の統計的調査

ａ．落雷数をカウントする領域の設定

発電所をほぼ中心とする面積の異なる 4 つの矩形領域を，次に示す①～④の緯経度 1/32 度単位で設定し，それらの領域内の 17 年間の落雷個数をカウントした。

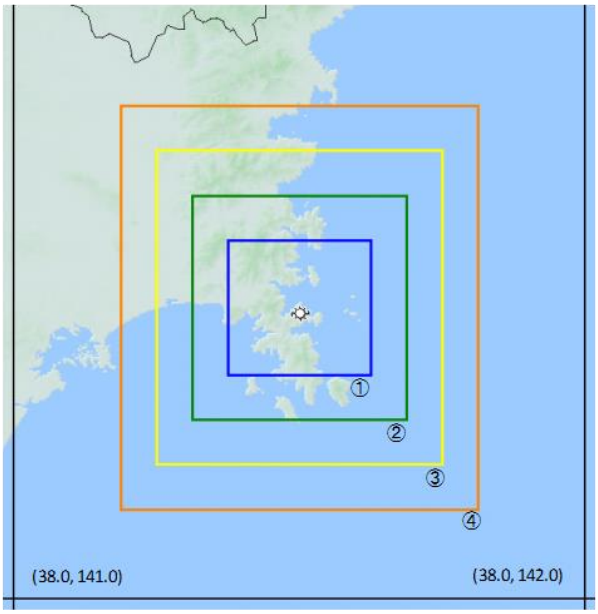
①緯度 1/32 度×6, 経度 1/32 度×8
②緯度 1/32 度×10, 経度 1/32 度×12
③緯度 1/32 度×14, 経度 1/32 度×16
④緯度 1/32 度×18, 経度 1/32 度×20

調査領域を第４図に示す。

ｂ．調査結果

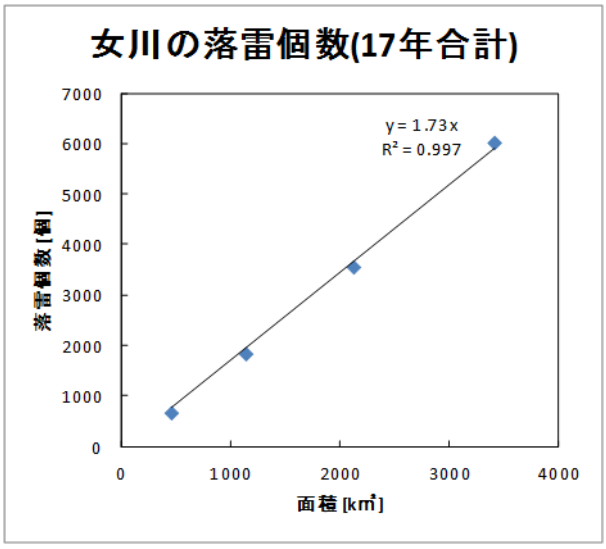
調査領域の面積と落雷数の関係を第５図に示す。第５図より，4 領域の落雷数が比例関係にあることから，発電所周辺の落雷頻度はほぼ一様と考えられる。また，この比例係数から，落雷頻度は次の通り推定される。

落雷個数/(面積･期間) = 1.73[個/(km^2･17 年)] = 0.10[個/km^2年]
→ 0.1[個/km^2年]



①：緯度1/32度×6，経度1/32度×8
②：緯度1/32度×10，経度1/32度×12
③：緯度1/32度×14，経度1/32度×16
④：緯度1/32度×18，経度1/32度×20

第４図 調査領域



第５図 落雷頻度

（３）女川原子力発電所の落雷頻度

①発電所敷地内の落雷数に基づく落雷頻度：0.09[個/km^{2}年]

②発電所周辺の落雷を考慮した落雷頻度：0.1[個/km^{2}年]

③上記①と②による落雷頻度推定値はほぼ一致することから，発電所の落雷頻度特性は周辺と同等となるため，発電所の落雷頻度の推定値を0.1[個/km^{2}年]とした。

２．当社管内の落雷頻度

当社管内（東北６県及び新潟県）の年間落雷発生頻度については，当社の落雷位置標定システム（LLS）による観測結果（過去 1994 年 4 月～2011 年 3 月の 17 年間）をもとに算出する。

（１）統計条件

推定に用いたデータ：当社の LLS により標定された落雷データ
信頼度の高いデータ：3 局以上のセンサで標定された flash データ
期間：1994 年 4 月～2011 年 3 月（17 年間）
電流値：雲放電の混入を避けるため，小電流（-5kA～+10kA）の落雷を除外
調査地域：青森県，岩手県，秋田県，宮城県，山形県，福島県，新潟県
及び当社管内合計

（２）当社管内の落雷頻度

ａ．青森県

落雷数	38,648	[個/17 年]
範囲（1/16 度メッシュ数）	265	第６図中①
面積	10,070	[km^2]
落雷頻度	3.8	[個/(km^2･17 年)]
	0.23	[個/km^2 年]

ｂ．岩手県

落雷数	67,525	[個/17 年]
範囲（1/16 度メッシュ数）	412	第６図中②
面積	15,656	[km^2]
落雷頻度	4.3	[個/(km^2･17 年)]
	0.25	[個/km^2 年]

ｃ．秋田県

落雷数	92,401	[個/17 年]
範囲（1/16 度メッシュ数）	319	第６図中③
面積	12,122	[km^2]
落雷頻度	7.6	[個/(km^2･17 年)]
	0.45	[個/km^2 年]

d．宮城県

落雷数	36,697	[個/17 年]
範囲（1/16 度メッシュ数）	190	第６図中④
面積	7,220	[km^2]
落雷頻度	5.1	[個/(km^2･17 年)]
	0.30	[個/km^2 年]

e．山形県

落雷数	85,495	[個/17 年]
範囲（1/16 度メッシュ数）	247	第６図中⑤
面積	9,386	[km^2]
落雷頻度	9.1	[個/(km^2･17 年)]
	0.54	[個/km^2 年]

f．福島県

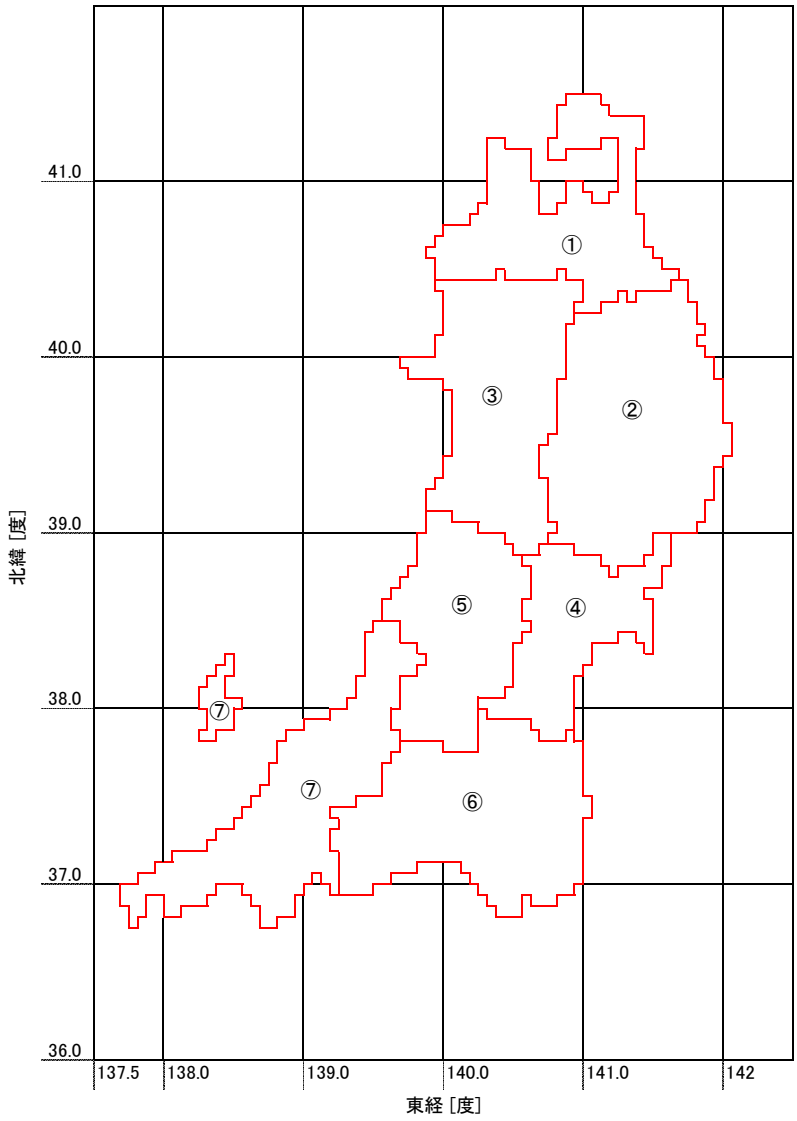
落雷数	183,064	[個/17 年]
範囲（1/16 度メッシュ数）	361	第６図中⑥
面積	13,718	[km^2]
落雷頻度	13	[個/(km^2･17 年)]
	0.78	[個/km^2 年]

g．新潟県

落雷数	118,574	[個/17 年]
範囲（1/16 度メッシュ数）	326	第６図中⑦
面積	12,388	[km^2]
落雷頻度	9.6	[個/(km^2･17 年)]
	0.56	[個/km^2 年]

h．当社管内合計

落雷数	622,404	[個/17 年]
範囲（1/16 度メッシュ数）	2,120	第６図中①～⑦
面積	80,560	[km^2]
落雷頻度	7.7	[個/(km^2･17 年)]
	0.45	[個/km^2 年]



第６図 落雷範囲図

３．女川原子力発電所と当社管内の落雷頻度比較

女川原子力発電所の落雷頻度は 0.1[個/km^2 年]であり，当社管内の落雷頻度 0.45[個/km^2 年]と比較すると少ない。これは女川原子力発電所が太平洋側にあり，日本海側のように落雷頻度は高くないためである。

したがって，女川原子力発電所は落雷の影響を受けにくい地域特性となっている。

六ヶ所再処理施設における落雷事象について

１．はじめに

日本原燃株式会社六ヶ所再処理施設において，平成 27 年 8 月に発生した落雷に起因すると考えられる設備故障に関連し，女川原子力発電所２号炉における耐雷設計について述べる。

なお，事象の内容については「再処理施設分離建屋における安全上重要な機器の故障について」（平成 27 年 12 月 7 日，日本原燃株式会社）による。

２．事象

六ヶ所再処理施設において，「高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿の漏えい液受皿液位計」（安全上重要な機器）の B 系の異常を示す警報の発報及び A 系の指示値が表示されない等の事象が発生した。調査の結果，安全上重要な機器について 17 機器の故障が見られた。これらの機器の故障は，要因分析の結果，落雷によるものである可能性が高いとしている。

３．再処理施設における推定原因及び対策

本事象の推定原因としては，主排気筒への落雷による雷撃電流が，構内接地網に伝搬する過程で，信号ケーブルに電圧を誘起し，この誘導電圧により計器を損傷させた。また，地表面近くにトレンチ等の構造物が埋設されている再処理施設特有の構造が影響したと推定している。

対策として，建屋間を跨るケーブルへの雷サージによる影響を防止することを目的に保安器を設置している。

４．女川原子力発電所における耐雷設計

安全保護回路のケーブルに，建屋（原子炉建屋，制御建屋，タービン建屋）間を跨るケーブルものがあるものの，各建屋は距離的に近接しており，六ヶ所再処理施設のように広範な敷地に点在した建屋間をトレンチ内ケーブルで結ぶ構造ではないこと，電気的に同じ接地網に接続していることから，トレンチ内ケーブルの安全保護回路の損傷による影響は無い。

また，軽油タンク・燃料移送系など安全上重要な屋外回路については，保安器を設置する対策を取っている。

有毒ガス影響評価について

１．評価概要

有毒ガスの毒性が人に与える影響に着目し，中央制御室等（２号炉中央制御室，緊急時対策所）の居住性評価を実施する。有毒ガスの発生源から，以下（１）～（３）に大別し影響を評価する。

（１）原子力発電所敷地外からの影響
（２）原子力発電所敷地内の固定施設（屋外設備）からの影響
（３）原子力発電所敷地内の屋内設備からの影響

２．原子力発電所敷地外からの影響

（１）評価対象

敷地外からの有毒ガスの発生源は，石油化学コンビナート等の固定施設の流出事故，及びタンクローリーや海上を航海するケミカルタンカー等の可動施設の輸送事故が想定される。第１表に，評価対象に選定した事故の種類を示す。

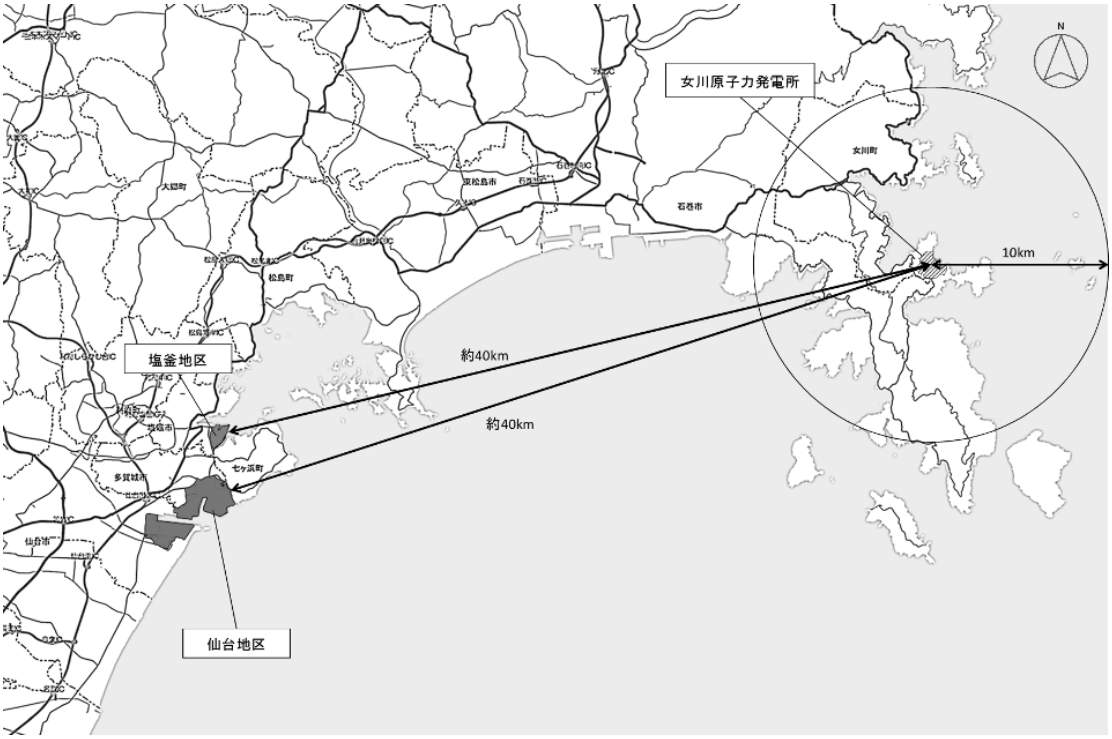
第１表 評価対象事故（原子力発電所敷地外）

原子力発電所敷地外	固定施設	石油化学コンビナート等の固定施設の流出事故
	可動施設	陸上トラックの輸送事故
		鉄道車両の輸送事故
		海上船舶の輸送事故

（２）敷地外固定施設の流出事故の影響

石油化学コンビナート等の固定施設については，石油コンビナート等災害防止法に基づき，災害の発生のおそれ及び災害による影響について科学的知見に基づく調査，予測及び評価や対策の実施が求められており，当該施設の敷地外へは影響がないことが確認されている。

また，女川原子力発電所の周辺の石油化学コンビナート等の大規模な有毒物質を貯蔵する固定施設は，最も近いものでも 40km 以上離れているため影響を及ぼすことはない。（第１図）



第１図 女川原子力発電所周辺の石油化学コンビナート

（３）敷地外可動施設からの流出の影響

全国的に生産量及び輸送量が特に多く，専用の大型輸送容器が使用されている毒性物質の中で，特に毒性の強い物質として塩素（輸送時の性状は液化塩素）を代表として想定する。塩素専用の大型輸送容器による輸送は，陸上輸送ではタンクローリーや鉄道のタンク貨車，海上輸送では塩素を専用でばら積み輸送するケミカルタンカーにて行われる。

液化塩素ガスを積載するタンクローリーは，高圧ガス保安法や，毒物及び劇物取締法によって容器の設計，製造，取扱いの規制を受ける。事故等の衝撃により弁等の突出部が破損しガスが漏えいすることを防ぐための保護枠の設置や，ガス容器が二重構造であることから信頼性が高く，交通事故等が発生した場合であっても流出に至りにくい。また，万一流出に至った場合の対応に必要な，中和剤（消石灰，苛性ソーダ）や呼吸器，保護具等を積載している。このため，タンクローリーの輸送事故による中央制御室等への影響はない。なお，主要な道路としては，発電所から北方向約５km のところを東西に通る一般国道 398 号線がある（第２図）。

本発電所に近い鉄道路線としては，石巻線（石巻～女川）があり，最寄の女川駅までは約７km 程度の距離がある（第２図）。このため，有毒ガスを積載した鉄道車両の事故等による有毒ガスの中央制御室等への影響はない。また，タンク貨車についても高圧ガス保安法や，毒物及び劇物取締法によりタンクローリーと同様の規制を受けており流出に至りにくい構造である。

航路に関して調査したところ，最も距離の近い航路は北方向約２km にあり女川港

から江ノ島付近を航行するものであることを確認した（第３図）。

また，船舶に関しては漏えい時に自動で作動する緊急遮断弁や二重構造等による特殊な船体構造を有しており，万一船舶がプラント内に進入し，座礁，転覆した場合においても，積荷が漏えいすることは考えにくい。また流出が生じても中和剤（苛性ソーダ）を介してから海上に放出される構造となっている。このため，有毒ガスを積載した船舶の事故等による有毒ガスの中央制御室への影響はない。

以上より，敷地外稼動施設からの有毒物質が大気に放出され中央制御室等に影響が及ぶことはない。

第２図 女川原子力発電所敷地周辺図（幹線道路，鉄道路線）

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

第３図 女川原子力発電所周辺敷地周辺図（船舶航路）

３．発電所敷地内の固定施設（屋外設備）からの影響

（１）評価の概要

敷地内の建屋外に設置されている有毒物質を貯蔵する容器が損傷することによる有毒ガスの影響を評価する。判断基準としては IDLH※に加え，窒息性ガスについても考慮し，酸素濃度が許容濃度限界を下回らないことを基準とする。

※IDLH…急性の毒性限界濃度（30 分ばく露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与えるばく露レベルの濃度限度値）

（２）評価対象物質及び固定施設

女川原子力発電所の屋外に貯蔵されている化学物質について米国国立労働安全衛生研究所（NIOSH）による IDLH の一覧表を参考に調査したところ，炭酸ガス，硫酸，プロパン等の物質が貯蔵されている（第２表及び第３表）。IDLH の低さと蒸発のしやすさの観点から比較すると最も評価が厳しい物質はプロパンであるため（第２表），当該物質が貯蔵されている H/B ガスボンベ庫及び焼却炉建屋を評価の対象とする。

プロパン以外の有毒ガスについては，個別設備間の距離を踏まえても，以下の理由からプロパンに比べ中央制御室等の居住性への影響は小さい。

・炭酸ガスは，最短の離隔距離は 110m（２号機ガスボンベ庫―1,2 号炉中央制御

室間）と比較的近接しているものの，各号機ガスボンベ庫に貯蔵されている容量は 30kg と小さく，また IDLH 値は 40000 とプロパンに比べ大きいことから，プロパンに比べ影響は小さい。

・硫酸は，IDLH の値が４と小さいが，不揮発性であることから中央制御室等の居住性に影響しない。なお，最短の離隔距離は 50m（２号機硫酸貯槽―1,2 号炉中央制御室間）である。

・６フッ化硫黄は，IDLH は設定がなされておらず，有害性が極めて小さいことから，影響はない。なお，最短の離隔距離は 120m（1,2 号開閉所ガス絶縁開閉装置―1,2 号炉中央制御室間）である。

また，窒素性を有するガスとしては，敷地内での貯蔵量が多く，影響が大きいと考えられることから，原子炉格納容器内注入等に用いられる液体窒素貯槽を対象とする。窒素が漏えいし外気取入口に侵入した場合，酸素との置換により酸欠状態になることが想定されるため，仮に全量漏えいした場合にガスが中央制御室等に影響を及ぼすか否かを評価する。

第４表に評価対象物質及び施設名を示す。

第２表 敷地内有毒物質の IDLH 及び沸点

化学物質名	IDLH[ppm]	沸点[℃]
炭酸ガス	40,000	-78.5（昇華点）
硫酸	4	340
プロパン	2,100	-42.1
6 フッ化硫黄	1,000(TLV-TWA 値※)	-63.5（昇華点）

※TLV-TWA（Threshold Limit Values-Time Weighted Average）値
ACGIH（米国産業衛生専門家会議）にて定められた値で，毎日繰り返しばく露したときほとんどの労働者に悪影響がみられないような大気中の物質濃度の時間加重平均値で，通常，労働時間が 8 時間／日及び 40 時間／週での値。

第３表 発電所敷地内の有毒物質

名称	内容物	濃度	容量	離隔距離	
				1,2 号炉 中央制御室	緊急時対 策所
１号機 ガスボンベ庫	炭酸ガス	99.5%	30kg×22	130m	630m
２号機 ガスボンベ庫	炭酸ガス	99.5%	30kg×30	110m	750m
３号機 ガスボンベ庫	炭酸ガス	99.5%	30kg×60	200m	550m
復水脱塩装置 硫酸貯槽	硫酸	98%	5.4m^3	60m	640m
硫酸貯槽	硫酸	98%	7.5 m^3	50m	680m
硫酸計量槽	硫酸	98%	0.414 m^3	50m	680m
硫酸貯槽	硫酸	98%	3.9 m^3	180m	550m
H塔再生用 硫酸貯留槽	硫酸	98%	0.140 m^3	170m	560m
H/B ガスボンベ庫	プロパン	98%	50kg×8 (24.5m^3)×8	40m	610m
焼却炉建屋	プロパン	98%	500kg×2 (245m^3)×2	390m	450m
１，２号　開閉所 ガス絶縁開閉装置	６フッ化硫黄	100%	約 6,450kg	120m	580m
３号　開閉所 ガス絶縁開閉装置	６フッ化硫黄	100%	約 6,710kg	250m	340m
予備変電設備 ガス絶縁開閉装置	６フッ化硫黄	100%	約 110kg	250m	340m

第４表 評価対象物質及び固定施設名

号炉	対象設備名
１号炉	プロパンガス（H/B ガスボンベ庫）
共用	プロパンガス（焼却炉附属棟）
２，３号炉	窒素ガス（液体窒素貯槽）

（３）評価方法

ａ．有毒ガス影響評価（プロパン）

（ａ）評価の概要

影響評価については次のⅰ．～ⅲ．を考慮し，貯蔵施設から放出された有毒ガスの中央制御室外気取入口における濃度（IDLH）を評価する。

ⅰ．貯蔵施設から流出した有毒物質の大気への放出率

敷地内の固定施設は一定水準の強度を確保して設計されていることから，現実的には損傷容器の損傷孔サイズはそれほど大きいものではなく，有毒物質が全量放出されるには時間を要するものと考えられる。しかし，本評価においては，保守的にプロパンガスボンベに接続された最大径の配管（50A）からの漏えいを想定する。放出率は「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（消防庁特殊災害室，平成 25 年 3 月）に示される液体流出の式を用いる。

ⅱ．大気へ放出した有毒物質の大気拡散

有毒物質の濃度評価に用いる相対濃度（χ／Q）は，「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」の大気拡散の評価に従い，年間について小さい方から順に並べた累積出現頻度 97%に当たる値を用いた。

ⅲ．中央制御室等における有毒物質の濃度評価について

中央制御室等における濃度については，有毒物質の大気への放出率及び大気拡散の評価により，中央制御室等の外気取入口における有毒物質の最大濃度を評価し，判断基準と比較する。また中央制御室等の内側の有毒物質の濃度の評価には，中央制御室等の空調の外気取込量及びインリーク率等を考慮し最大濃度を評価し，判断基準と比較した。

（ｂ）ボンベから流出したプロパンガスの大気への放出率

プロパンガスボンベに接続された配管からの漏えいを想定する。有毒ガスの流出速度を算出する流出面積としては，保守的に最大径の配管から 50A とした。有毒ガスの流出速度は「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（消防庁特殊災害室，平成 25 年 3 月）[参1] に示される液体流出の式を用い以下のようにあらわされる。

$$q_L = c_a a \sqrt{2gh + \frac{2(p - p_{atm})}{\rho_L}}$$

q_L	：液体流出率	[m³/s]
c_a	：流出係数（0.5）	[-]
a	：流出孔面積	[m²]
p	：容器内圧力	[Pa]
p_{atm}	：大気圧力	[Pa]
ρ_L	：液密度	[kg/m³]

g　：重力加速度（=9.8）　[m/s²]

h　：液位　[m]

また，放出した有毒ガス放出率q_Gは，フラッシュ率fを考慮して下式であらわされる。

$$q_G = q_L f \frac{\rho_L}{\rho_G}$$

q_G　：有毒ガスの放出率　[m³/s]

ρ_G　：有毒ガス密度　[kg/m³]

f　：フラッシュ率　[-]

ここで，フラッシュ率は，「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（消防庁特殊災害室，平成 25 年 3 月）(参1) に基づき下式から算出する。

$$f = C_p \frac{T - T_b}{h_b}$$

C_p　：液体の比熱（T_b～Tの平均）[J/kg･K]

T　：液体の貯蔵温度[J/kg]

T_b　：液体の大気圧での沸点[J/kg]

h_b　：沸点での蒸発潜熱[J/kg]

液体の貯蔵温度Tは，発電所の最寄りの特別気象観測所である石巻，大船渡の最高温度の 37℃を用いた。

（ｃ）評価結果

評価条件を第５表～第８表に，方位分割図を第４図～第７図に，評価結果を第９表及び第 10 表に示す。室外では判定基準を上回るものの，室内濃度は最大でも 321ppm であり，判定基準を下回る。以上から，プロパンガスの漏えいによる 1/2 号炉中央制御室及び緊急時対策所への影響はない。

第５表 放出率評価条件（H/B ガスボンベ庫プロパン）

	1/2 号炉中央制御室	緊急時対策所
貯蔵量	24.5m^3×8	
判断基準（ＩＤＬＨ）プロパン濃度[ppm]	2100	
流出孔面積[m^2]※1	1.93E-3	
容器内圧力[Pa]	1.80E+6	
液密度[kg/m^3]※2	439.2	
液位[m]	1.205	

※１　接続された最大径の配管（50A sch80）

※２　伝熱工学資料（改訂五版）の飽和液密度から線形補間にて導出

第６表 放出率評価条件（焼却炉附属棟プロパン）

	1/2 号炉中央制御室	緊急時対策所
貯蔵量	245m^3×2	
判断基準（ＩＤＬＨ）プロパン濃度[ppm]	2100	
流出孔面積[m^2]※1	2.19E-3	
容器内圧力[Pa]	2.10E+6	
液密度[kg/m^3]※2	423.7	
液位[m]	0.964	

※１　接続された最大径の配管（50A sch40）

※２　伝熱工学資料（改訂五版）の飽和液密度から線形補間にて導出

第７表 大気拡散条件（H/B ガスボンベ庫プロパン）

項目	評価条件	選定理由
大気拡散評価モデル	ガウスプルームモデル	審査ガイド※１に示されたとおり設定
気象データ	女川原子力発電所における１年間の気象データ（2012 年 1 月～2012 年 12 月）	建屋影響を受ける大気拡散評価を行うため保守的に地上風(地上約 10m)の気象データを使用 審査ガイドに示された通り発電所において観測された１年間の気象データを使用
実効放出継続時間	１時間	保守的に１時間と設定
放出源及び放出源高さ	放出源：H/B ガスボンベ庫 放出源高さ：地上 0m	審査ガイドに示された通り設定
累積出現頻度	小さい方から累積して 97％	同上
建屋巻き込み	考慮する	放出点から近距離の建屋の影響を受けるため,建屋による巻き込み現象を考慮
巻き込みを生じる代表建屋	1 号炉制御建屋	放出源と評価点の間にあり,巻き込みの影響が最も大きい建屋として設定
濃度の評価点	1/2 号炉 中央制御室 緊急時対策所	審査ガイドに示された通り設定
着目方位	・H/B ガスボンベ庫 →1/2 号炉中央制御室： 9 方位（WNW,NW,NNW,N,NNE,NE,ENE,E,ESE） ・H/B ガスボンベ庫 →緊急時対策所： 2 方位（W,WNW）	審査ガイドに示された評価方法に基づき設定
建屋投影面積	1 号炉制御建屋：628m^2	審査ガイドに示された通り設定 風向に垂直な投影面積のうち最も小さいもの
形状係数	1/2	内規※２に示されたとおり設定

※１　実用発電用原子炉に係る重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に関する審査ガイド

※２　原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について（内規）

第８表 大気拡散条件（焼却炉附属棟プロパン）

項目	評価条件	選定理由
大気拡散評価モデル	ガウスプルームモデル	審査ガイド※１に示されたとおり設定
気象データ	女川原子力発電所における１年間の気象データ（2012 年 1 月～2012 年 12 月）	建屋影響を受ける大気拡散評価を行うため保守的に地上風（地上約 10m）の気象データを使用 審査ガイドに示された通り発電所において観測された１年間の気象データを使用
実効放出継続時間	１時間	保守的に１時間と設定
放出源及び放出源高さ	放出源：焼却炉附属棟 放出源高さ：地上 0m	審査ガイドに示された通り設定
累積出現頻度	小さい方から累積して 97％	同上
建屋巻き込み	考慮する	放出点から近距離の建屋の影響を受けるため，建屋による巻き込み現象を考慮
巻き込みを生じる代表建屋	焼却炉附属棟	放出源であり，巻き込みの影響が最も大きい建屋として設定
濃度の評価点	1/2 号炉 中央制御室 緊急時対策所	審査ガイドに示された通り設定
着目方位	焼却炉附属棟 →1/2 号炉中央制御室： １方位（NE） 焼却炉附属棟 →緊急時対策所： １方位（NW）	審査ガイドに示された評価方法に基づき設定
建屋投影面積	$34m^2$	審査ガイドに示された通り設定 風向に垂直な投影面積のうち最も小さいもの
形状係数	1/2	内規※２に示されたとおり設定

※１　実用発電用原子炉に係る重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に関する審査ガイド

※２　原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について（内規）

第４図 方位分割図（着目方位：H/B ガスボンベ庫→1/2 号炉中央制御室）

第５図 方位分割図（着目方位：H/B ガスボンベ庫→緊急時対策所）

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

第６図 方位分割図（着目方位：焼却炉附属棟→1/2 号炉中央制御室）

第７図 方位分割図（着目方位：焼却炉附属棟→緊急時対策所）

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

第９表 中央制御室等外気取入口及び室内濃度評価（H/B ガスボンベ庫プロパン）

	1/2 号炉中央制御室	緊急時対策所
貯蔵量[m^3]	24.5×8	
大気放出率[kg/s]	17.0	
離隔距離[m]	40	610
相対濃度[s/m^3]	5.9×10^{-3}	4.4×10^{-4}
外気取入口濃度[ppm]	5.81×10^{4}	4.33×10^{3}
室内最大濃度[ppm]	321	9.93
判断基準（IDLH）： プロパン濃度[ppm]	2100	
評価結果	影響なし	影響なし

第 10 表 中央制御室等外気取入口及び室内濃度評価（焼却炉附属棟プロパン）

	1/2 号炉中央制御室	緊急時対策所
貯蔵量[m^3]	245×2	
大気放出率[kg/s]	20.5	
離隔距離[m]	390	450
相対濃度[s/m^3]	1.6×10^{-3}	3.2×10^{-4}
外気取入口濃度[ppm]	1.90×10^{4}	3.79×10^{3}
室内最大濃度[ppm]	217	18.1
判断基準（IDLH）： プロパン濃度[ppm]	2100	
評価結果	影響なし	影響なし

ｂ．有毒ガス影響評価（液体窒素）

貯蔵施設から放出された窒素ガスについて，ａ．有毒ガス影響評価（プロパン）と同様に大気拡散を考慮した評価を実施し，中央制御室等の外気取入口及び室内における濃度（IDLH）を評価する。

評価条件を第 11 表及び第 12 表に，方位分割図を第８図及び第９図に，評価結果を第 13 表に示す。取込口の濃度は最大でも 78.5%であり，判定基準を下回る。以上から，液体窒素の漏えいによる 1/2 号炉中央制御室及び緊急時対策所への影響はない。

第 11 表 放出率評価条件（液体窒素）

	1/2 号炉中央制御室	緊急時対策所
貯蔵量	90000 リットル	
判定基準（上限濃度）窒素ガス濃度[vol%]	81[Vol%]	
流出孔面積[m^2]※1	3.14E-2	
容器内圧力[Pa]	1.87E+6	
液密度[kg/m^3]※2	573.0	
液位[m]	3.8	

※１　接続された最大径の配管（200A sch40）

※２　伝熱工学資料（改訂五版）の飽和液密度から線形補間にて導出

第 12 表 大気拡散条件（液体窒素）

項目	評価条件	選定理由
大気拡散評価モデル	ガウスプルームモデル	審査ガイド※１に示されたとおり設定
気象データ	女川原子力発電所における１年間の気象データ （2012 年 1 月 ～2012 年 12 月）	建屋影響を受ける大気拡散評価を行うため保守的に地上風（地上約 10m）の気象データを使用 審査ガイドに示された通り発電所において観測された１年間の気象データを使用
実効放出継続時間	１時間	保守的に１時間と設定
放出源及び 放出源高さ	放出源：2/3 号炉液体窒素貯槽 放出源高さ：地上 0m	審査ガイドに示された通り設定
累積出現頻度	小さい方から累積して 97％	同上
建屋巻き込み	考慮しない	放出点と評価点の間に巻込みを考慮する建屋がないため
濃度の評価点	1/2 号炉中央制御室：8.65m 放出レベル（0.P.15m）～ １号給気口（0.P.23.65m） 緊急時対策所：47.2m 放出レベル（0.P.15m）～ 緊急時対策所（0.P.62.2m）	審査ガイドに示された通り設定
着目方位	2/3 号炉液体窒素貯槽 →1/2 号炉中央制御室： １方位（S 又は SSW） 2/3 号炉液体窒素貯槽 →緊急時対策所： １方位（W）	審査ガイドに示された評価方法に基づき設定 1/2 号炉中央制御室からの着目方位については，方位の切り替わり上に放出点があるため，評価したうえで厳しい方を採用

※１　実用発電用原子炉に係る重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に関する審査ガイド

第８図 方位分割図（着目方位：2/3 号炉液体窒素貯槽→1/2 号炉中央制御室）

第９図 方位分割図（着目方位：2/3 号炉液体窒素貯槽→緊急時対策所）

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

第 13 表 中央制御室等外気取入口及び室内濃度評価（液体窒素）

	1/2 号炉中央制御室	緊急時対策所
貯蔵量[m^3]	90000 リットル	
大気放出率[kg/s]	326	
離隔距離[m]	50	580
相対濃度[s/m^3]	6.4×10^{-5}	4.0×10^{-5}
外気取入口濃度[vol%]	78.5	78.3
判定基準（上限濃度）窒素ガス濃度[vol%]	81	
評価結果	影響なし	影響なし

４．発電所敷地内の屋内設備からの影響

原子力発電所の建屋内で貯蔵している有毒物質については，SRV 駆動用窒素及び消火用二酸化炭素やバッテリーに内蔵された硫酸，廃液中和処理用硫酸や苛性ソーダ等が挙げられる。

屋内貯蔵施設については，屋外設備と異なり外的衝撃力により損傷が想定しにくく，さらに国内の法規に従い貯蔵・管理されるとともに，万一漏えいが生じた場合でも各建屋の換気空調系により十分に換気希釈されるため，建屋外の固定施設からの流出事故に包含されるものとし，対象から除外する。

また，分析等に使用する試薬については，その種類は多いものの，使用場所が限定されており，かつ適切に保管，換気されていること，貯蔵量，使用量が少ないことから，中央制御室等への影響は無い。

第 10 図には,制御建屋バッテリー室内の硫酸と中央制御室との位置関係を示す。

第 10 図 発電所敷地内（屋内設備）の有毒物質と中央制御室の位置関係

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

比較的短期での気候変動に対する考慮について

1. 気候変動に対する考慮

設計基準設定の際には，①規格・基準類からの要求事項，②気象観測記録を参照し，発電所立地地域の地域性を考慮した値を採用している。

基本的に，プラント寿命は大規模な気候変動の周期よりも短いと考えられるが，将来的な気候変動により各自然現象が厳しい傾向となることは否定できない。そのため，過去の気象観測記録を用いて将来的なハザードを予測するということについては十分な吟味が必要であり，特に，プラント寿命の間に変化が予想される事象については，最新のデータ・知見をもって気候変動の影響を注視し，必要に応じて設計基準の見直し等の配慮を行う必要がある。

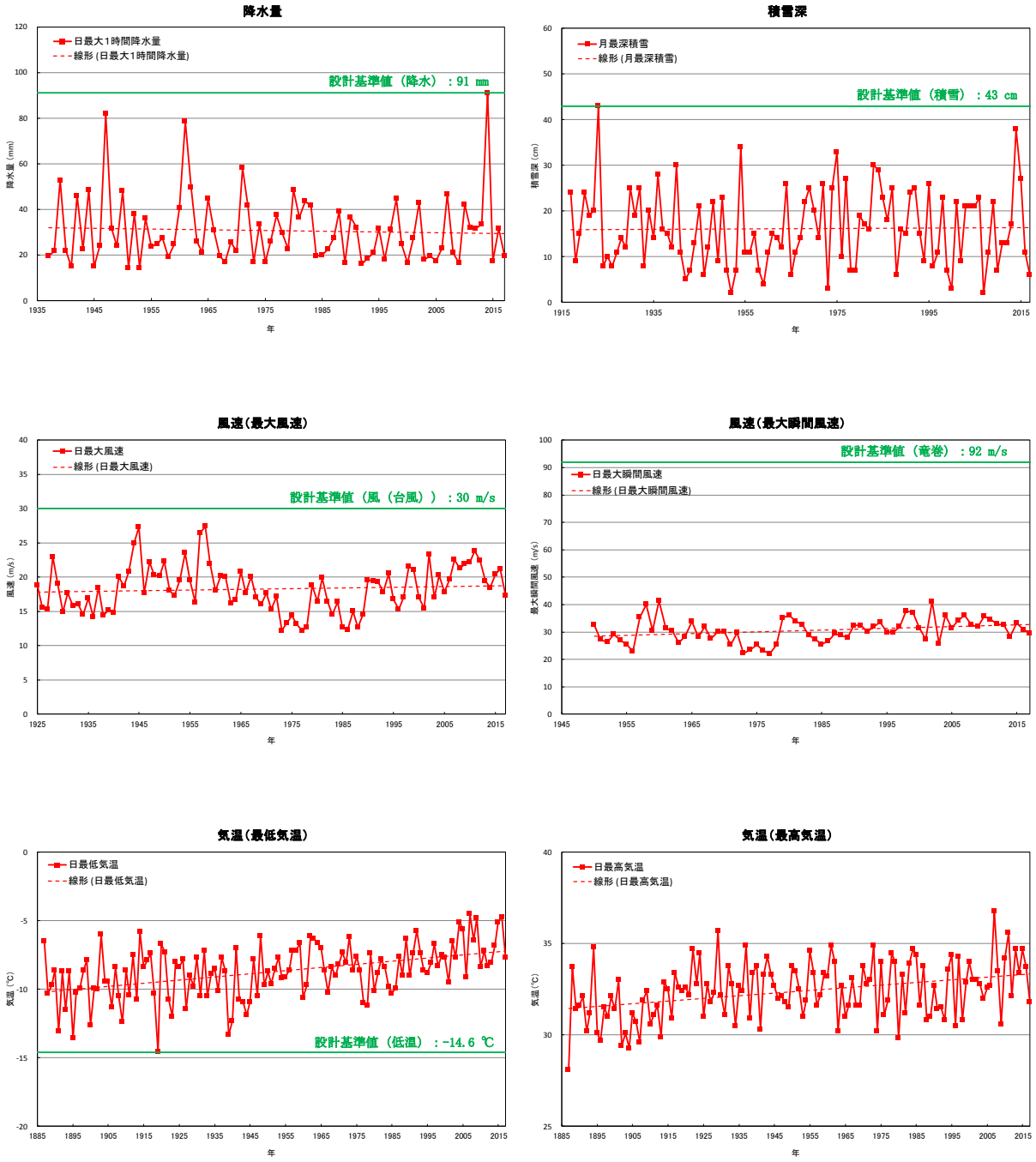
現時点でも予想される大規模な気候変動としては地球温暖化が挙げられ，地球温暖化が進行した際には，気温の上昇，台風の強度が強まる等の影響が想定される。これらの影響は，地球規模で顕在化していくものと考えられるが，気候変動が原子力発電所の安全性に与える影響について議論する場合は，発電所の周辺地域における気候変動を考慮し，立地地域における気象観測記録に基づく議論を行うことが重要である。

上記の観点から，最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所（石巻市）及び大船渡特別地域気象観測所（大船渡市）における過去の気象観測記録を確認し，発電所周辺における比較的短期での気候変動が発電所の安全性に与える影響及び設計基準の見直しの必要性について以下のとおり考察した。

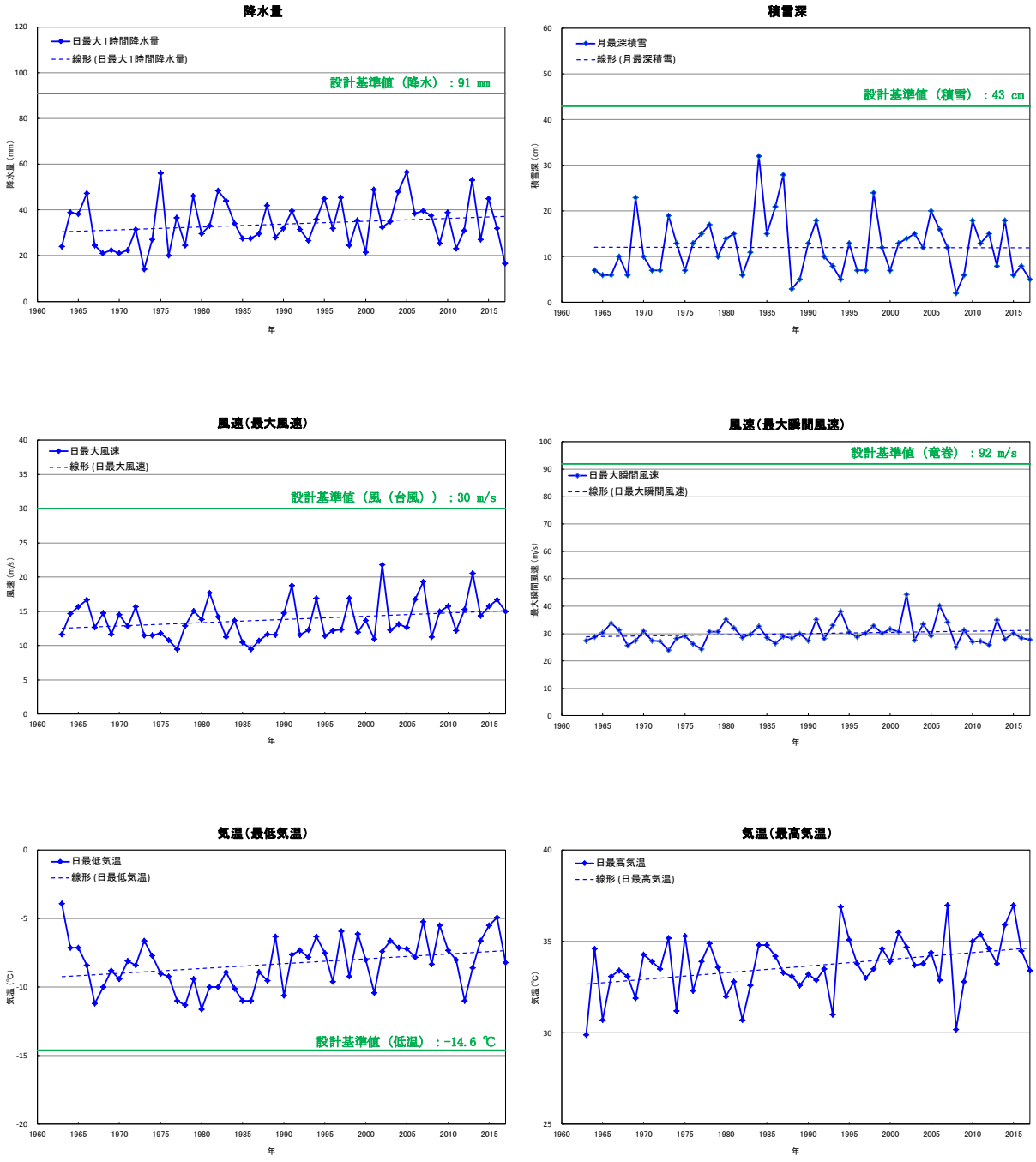
- 降水量は，石巻特別地域気象観測所の観測記録には有意な増加傾向は見られない。大船渡特別地域気象観測所の観測記録には増加傾向が見られるものの，設計基準と比較して余裕がある。
- 積雪深は，観測記録に有意な増加傾向は見られない。
- 風速は，最大風速では，石巻特別地域気象観測所の観測記録には有意な増加傾向は見られない。大船渡特別地域気象観測所の観測記録には増加傾向が見られるものの，設計基準と比較して余裕がある。
  最大瞬間風速では，観測記録に増加傾向が見られるものの，設計竜巻の最大風速 92m/s に十分包絡される。
- 気温は，最低気温では上昇傾向が見られるものの，設計基準に対して緩やかになる方向である。
  最高気温では，若干の上昇傾向が見られるものの，設備の機能に悪影響を与える程度ではなく，安全施設への影響はない。

これらのことから，過去の女川原子力発電所周辺の観測記録からは，降水量（大船渡），最大風速（大船渡），最大瞬間風速及び最高気温・最低気温に増加・上昇の傾向が確認されたものの，安全施設への影響はなく，立地地域における将来的な気候変動とプラント寿命を考慮しても設計基準の見直し等の対応は不要と考える。（第１図及び第２図参照）

ただし，気候変動を完全に予測することは難しいため，今後も最新のデータ・知見をもって気候変動の影響に注視し，必要に応じて設計基準の見直し等を実施していくものとする。



第１図　気候トレンド（石巻特別地域気象観測所）



第２図　気候トレンド（大船渡特別地域気象観測所）

別添２－１

女川原子力発電所２号炉

竜巻影響評価について

目　次

別添 2-1

1. 竜巻に対する防護
1.1 概要
1.2 竜巻影響評価の対象施設
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
3.3 設計荷重の設定
3.4 評価対象施設の設計方針
3.5 竜巻随伴事象に対する評価

添付資料

1.1　重大事故等対処施設に対する考慮について
1.2　竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出について
1.3　耐震Ｓクラス設備について
1.4　竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象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
2.6　設計竜巻の特性値の設定
2.7　米国及び関東平野の竜巻の類似性
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　竜巻随伴事象の抽出について

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伴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，平成 26 年 9 月 17 日改正)」（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み合わせ荷重）の設定
・女川原子力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竜巻防護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 竜巻影響評価の対象施設

竜巻影響評価の対象施設としては，以下の「(1) 竜巻防護施設のうち評価対象施設」，「(2) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設」及び「(3) 竜巻防護施設の外殻となる施設」に示す施設を竜巻影響評価の対象施設とする。

(1) 竜巻防護施設のうち評価対象施設【添付資料 1.2】

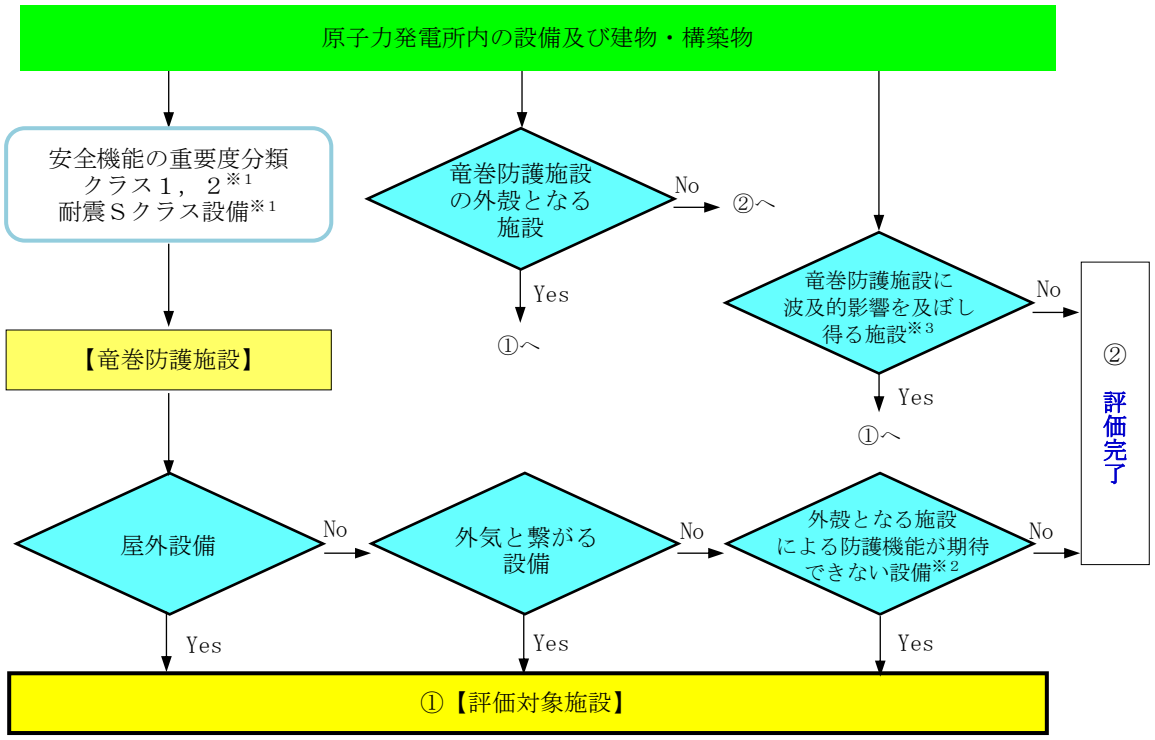
設置許可基準規則第六条における安全施設とは，「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス１，２及び３に該当する構築物，系統及び機器を指している。このうち竜巻防護施設は，安全重要度クラス１，２に属する施設とし，本評価における対象としては，屋外設備，外気と繋がる設

備及び外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備を抽出した。

また，同様に「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の耐震設計上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・構築物についても抽出した。【添付資料 1.3】

なお，安全重要度クラス３に属する施設については，竜巻及びその随伴事象に対して機能維持（「3.3 設計荷重の設定」に示す飛来物が影響を及ぼす高さ（地上 10m まで）等を踏まえ，機能が維持されるかを確認）する，又は，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，必要に応じプラントを停止し，安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な場合には，安全機能を損なわないことから評価完了とする。

竜巻影響評価の対象施設については，以下の抽出フロー（第 1.2-1 図）に基づき抽出している。



※１　安全機能の安全重要度分類クラス３に属する施設については，竜巻及びその随伴事象に対して機能維持（飛来物が影響を及ぼす高さ（地上 10m まで）等を踏まえ，機能が維持されるかを確認）する，又は，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，必要に応じプラントを停止し，安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な場合には，安全機能を損なわないことから評価完了とする。
また，竜巻防護施設の外殻となる施設等（竜巻防護施設を内包する建屋・構築物等）による防護機能によって，設計竜巻による影響を受けないことが確認された施設については除外する。
※２　建屋，構築物等の健全性確認結果を基に抽出する。
※３　機械的影響，機能的影響，二次的影響の観点から抽出する。

第 1.2-1 図　評価対象施設の抽出フロー

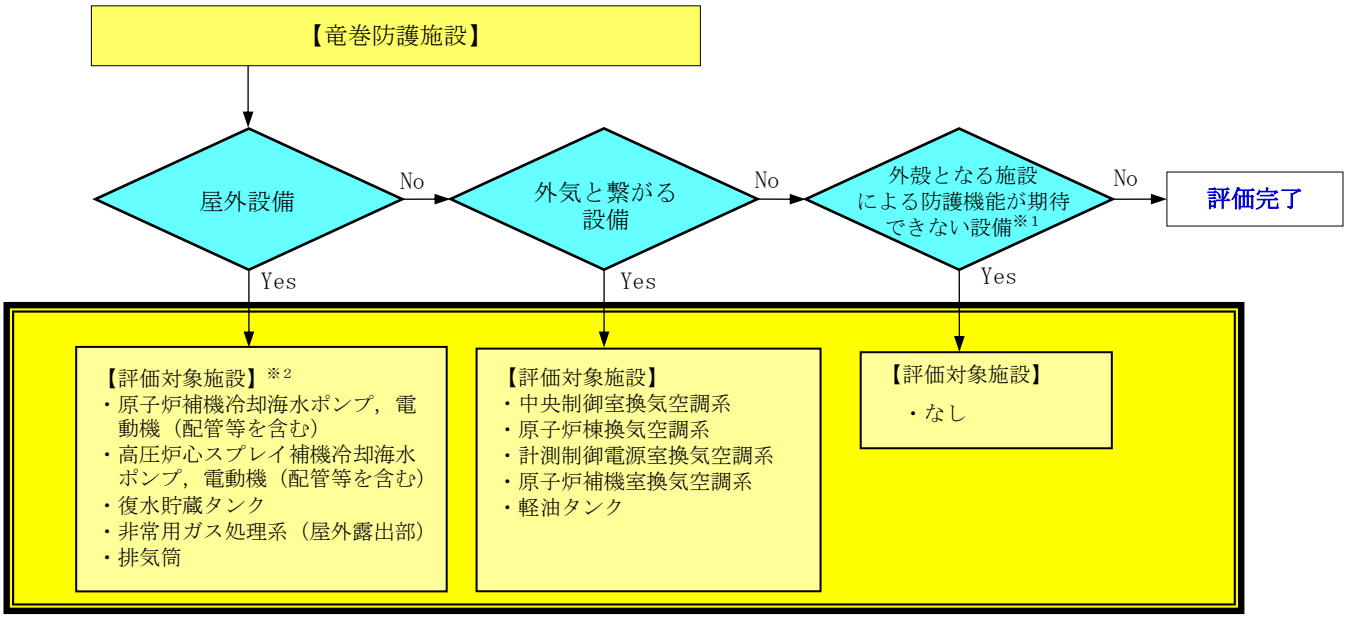
外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備については，建屋，構築物の構造健全性の確認結果より，設計飛来物の衝突による開口部の開放又は開口部建具の貫通の観点から，設備を抽出する。

第1.2-2図及び第1.2-3図に竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フローと抽出結果を示す。

（屋外設備）
- 原子炉補機冷却海水ポンプ，電動機（配管等を含む）
- 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ，電動機（配管等を含む）
- 復水貯蔵タンク
- 非常用ガス処理系（屋外露出部）
- 排気筒

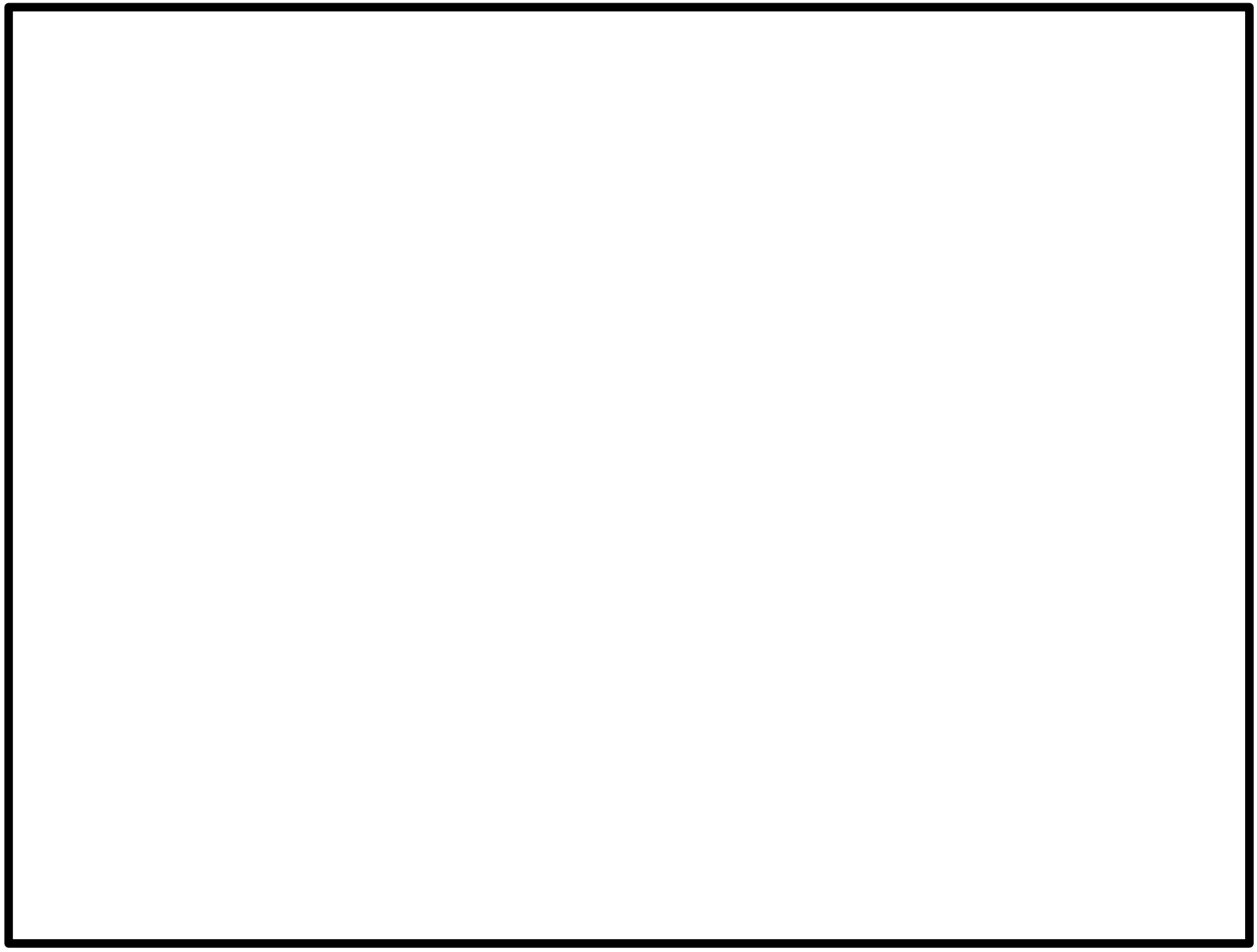
（外気と繋がる設備）
- 中央制御室換気空調系
- 原子炉棟換気空調系
- 計測制御電源室換気空調系
- 原子炉補機室換気空調系
- 軽油タンク

（外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備）
- なし



※1　建屋，構築物等の健全性確認結果を基に抽出
※2　安全機能の重要度分類クラス１，２に含まれない耐震Ｓクラス設備として，津波防護施設（防潮堤，防潮壁）等を抽出。
津波防護施設等が竜巻及びその随伴事象により損傷したとしても当該機能が必要となる前に修復等の対応が可能であると考えられるため，評価対象には該当しないと判断。ただし，重要性に鑑み，自主的に機能維持のための配慮を行う。
なお，竜巻と津波の重畳事象としては十分にスクリーニングレベルにある。

第1.2-2図　竜巻防護施設のうち評価対象施設のフロー



第 1.2-3 図　竜巻防護施設のうち評価対象施設

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

(2) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設【添付資料 1.4】

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設としては，当該施設の破損等により竜巻防護施設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。

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設としては，発電所構内の設備及び建物・構築物の中から，以下の①，②及び③に示す施設を抽出する。

第1.2-4図及び第1.2-5図に竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の抽出フローと抽出結果を示す。

① 機械的影響の観点での抽出

発電所構内の設備及び建物・構築物のうち，倒壊により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある施設として，以下を抽出し，評価する。

（竜巻防護施設の外殻となる施設に隣接している建物・構築物）

・２号補助ボイラー建屋
・１号タービン建屋
・１号廃棄物処理建屋

（倒壊により竜巻防護施設に損傷を及ぼす可能性がある構築物）

・サイトバンカ建屋，海水ポンプ室門型クレーン

② 機能的影響の観点での抽出

発電所構内の設備及び建物・構築物のうち，屋外にある竜巻防護施設の付属設備として，以下を抽出し，評価を実施する。

（屋外にある竜巻防護施設の付属設備）

・非常用ディーゼル発電設備
（排気消音器，機関ミスト配管，潤滑油サンプタンクミスト配管，燃料デイタンクミスト配管，燃料油ドレンタンクミスト配管）
・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備
（排気消音器，機関ミスト配管，潤滑油補給タンクミスト配管，燃料デイタンクミスト配管，燃料油ドレンタンクミスト配管）
・軽油タンク
（軽油タンクベント配管）

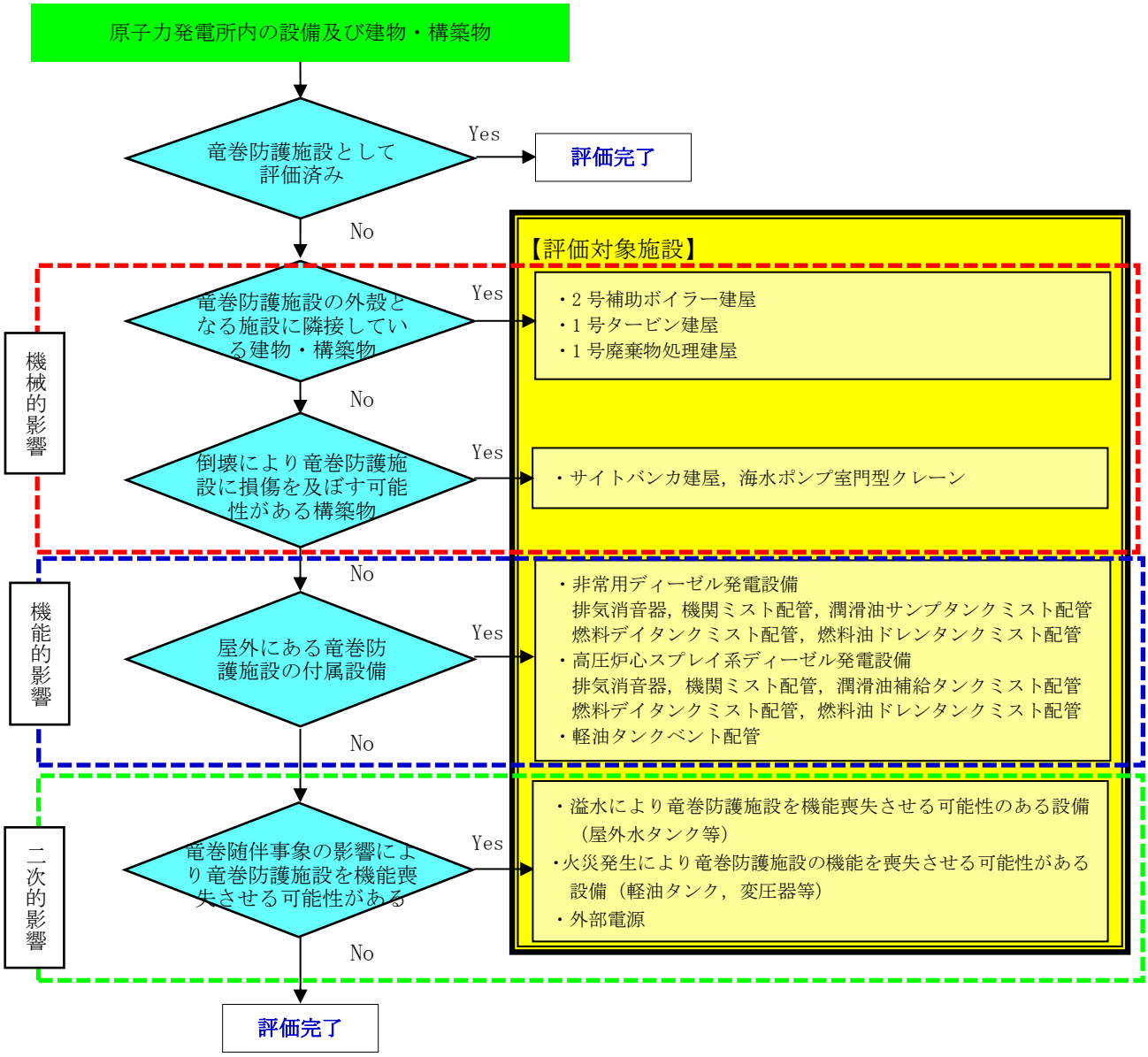
③ 二次的影響の観点での抽出

発電所構内の設備及び建物・構築物のうち，二次的影響の観点から，竜巻随伴事象の影響により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある施設として，以下を抽出し，評価を実施する。

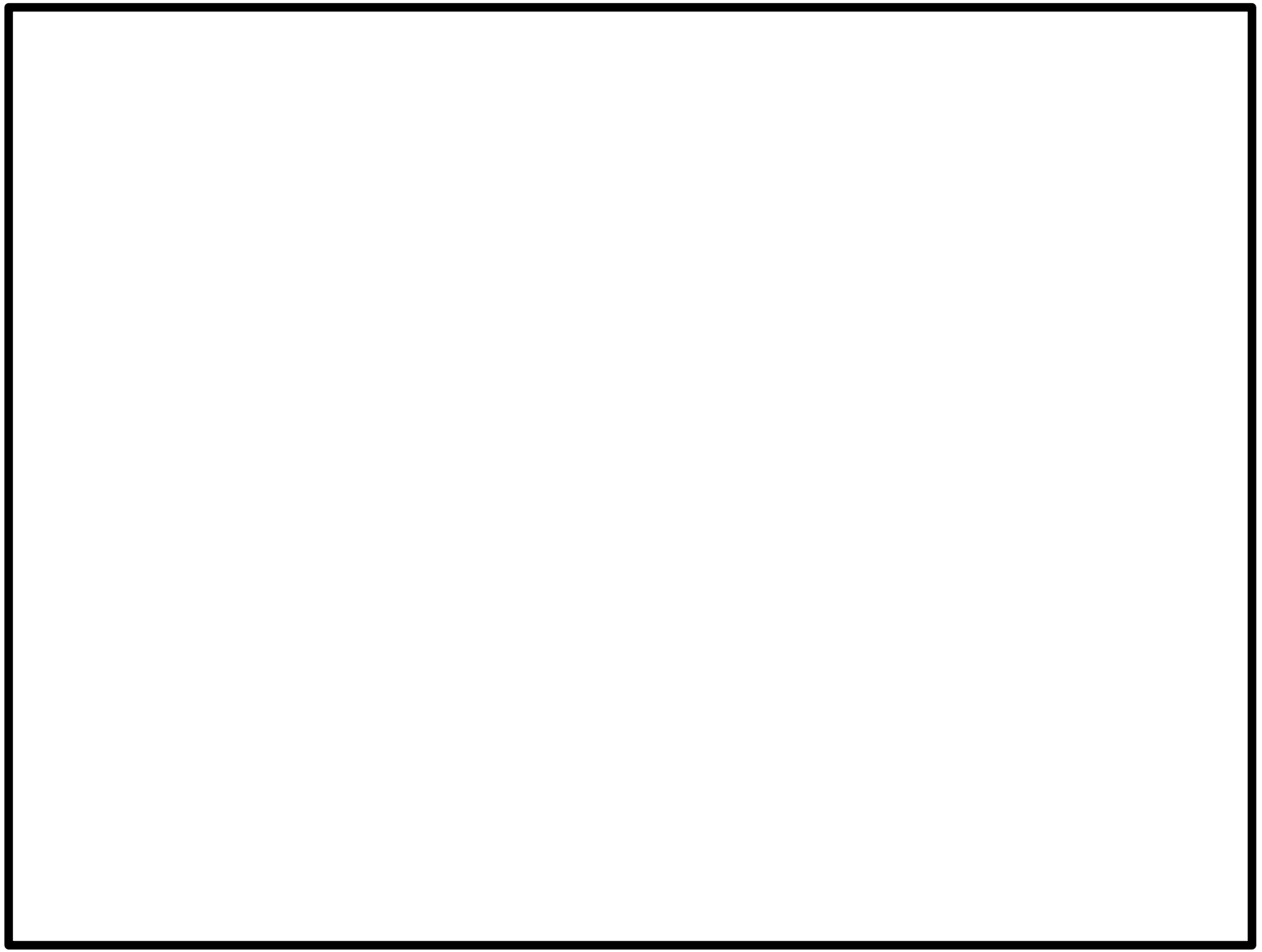
（竜巻随伴事象の影響により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある施設）

・溢水により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性のある設備

（屋外水タンク等）
・火災発生により竜巻防護施設の機能を喪失させる可能性がある設備
（軽油タンク，変圧器等）
・外部電源



第 1.2-4 図　波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の抽出フロー



第 1.2-5 図　竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

(3) 竜巻防護施設の外殻となる施設

竜巻防護施設の外殻となり得る施設（竜巻防護施設を内包する建物・構築物等）を，第 1.2-1 表に整理する。

なお，海水ポンプ室に設置する竜巻防護対策設備は，竜巻防護施設の外殻となる施設となりえるが，竜巻防護対策として竜巻による影響評価を実施する。

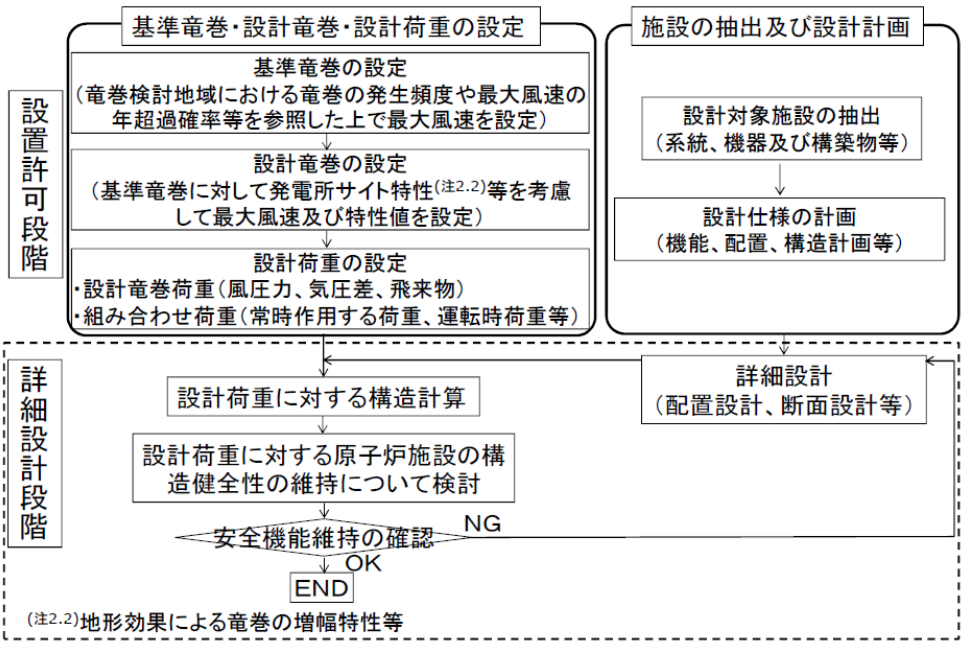
第 1.2-1 表　竜巻防護施設の外殻となる施設の抽出

竜巻防護施設の外殻となる施設 （評価対象施設）	内包する竜巻防護施設
２号原子炉建屋	原子炉圧力容器　他
１，２号制御建屋	中央制御室　他
２号タービン建屋	活性炭式希ガスホールドアップ装置　他
２号地下軽油タンクピット	軽油タンク
２号海水ポンプ室竜巻防護対策設備	原子炉補機冷却海水ポンプ，電動機 （配管等含む）他

1.3 評価の基本的な考え方

1.3.1 評価の基本フロー

ガイドに基づき基準竜巻，設計竜巻及び設計荷重を適切に設定するとともに，考慮すべき設計荷重に対して，抽出した評価対象施設の構造健全性評価を行い，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の確認を行う。第 1.3.1-1 図に竜巻影響評価の基本フローを示す。



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

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に衝突し得る飛来物（以下「設計飛来物」という。）が評価対象施設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，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，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。

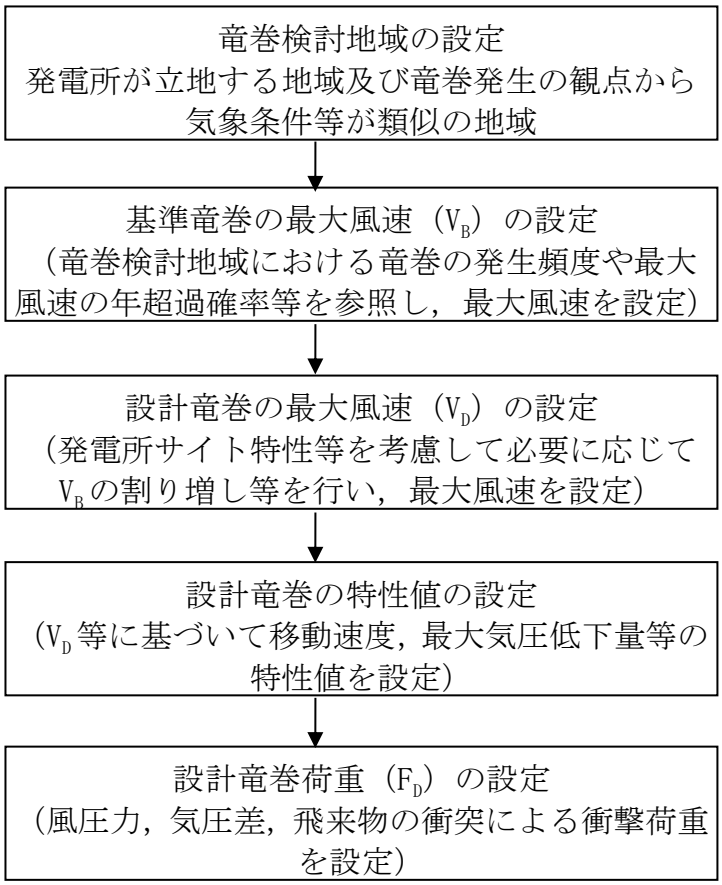
1.3.3 施設の安全性の確認方針

設計竜巻荷重及びその他組み合わせ荷重（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，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

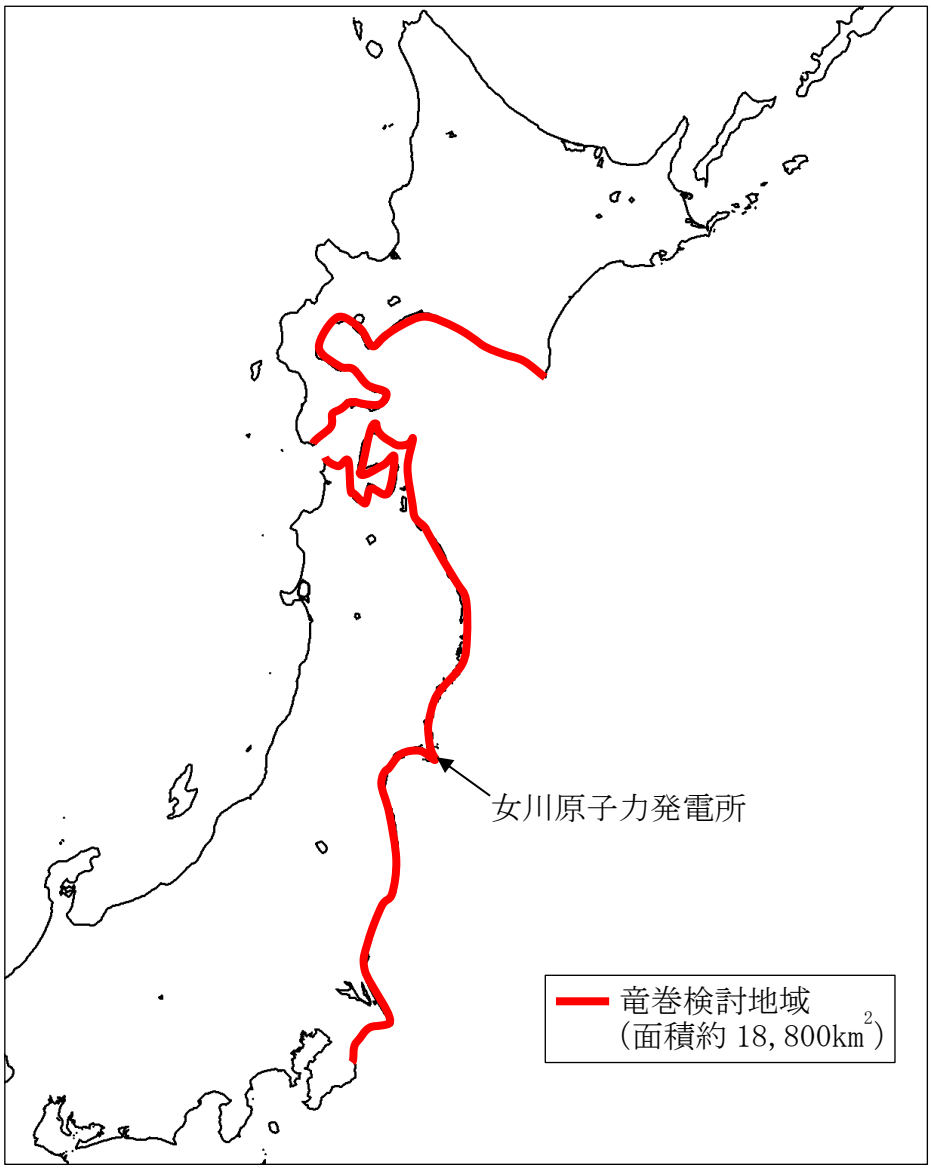
基準竜巻及び設計竜巻の設定は，第 2.1-1 図に示すとおり竜巻検討地域の設定，基準竜巻の最大風速の設定及び設計竜巻の最大風速の設定の流れで実施する。



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

女川原子力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襟裳岬から千葉県九十九里町までの海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲を竜巻検討地域に設定した（面積約 18,800km^2）。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

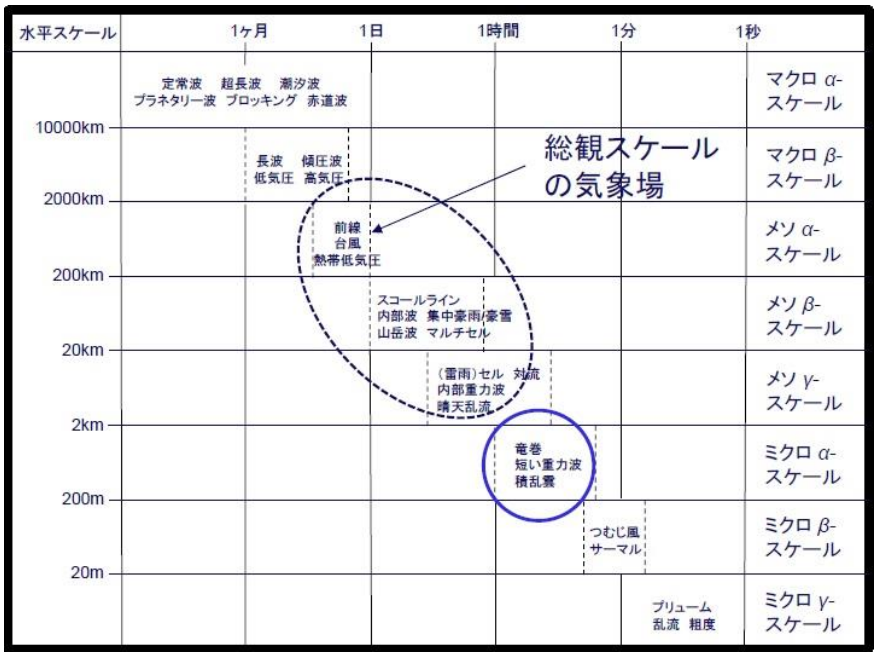
（３）突風関連指数に基づく地域特性の検討

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が異なる地域に整理されることを確認するとともに，女川原子力発電所が立地する気候区分（区分Ⅳ3）を確認した。

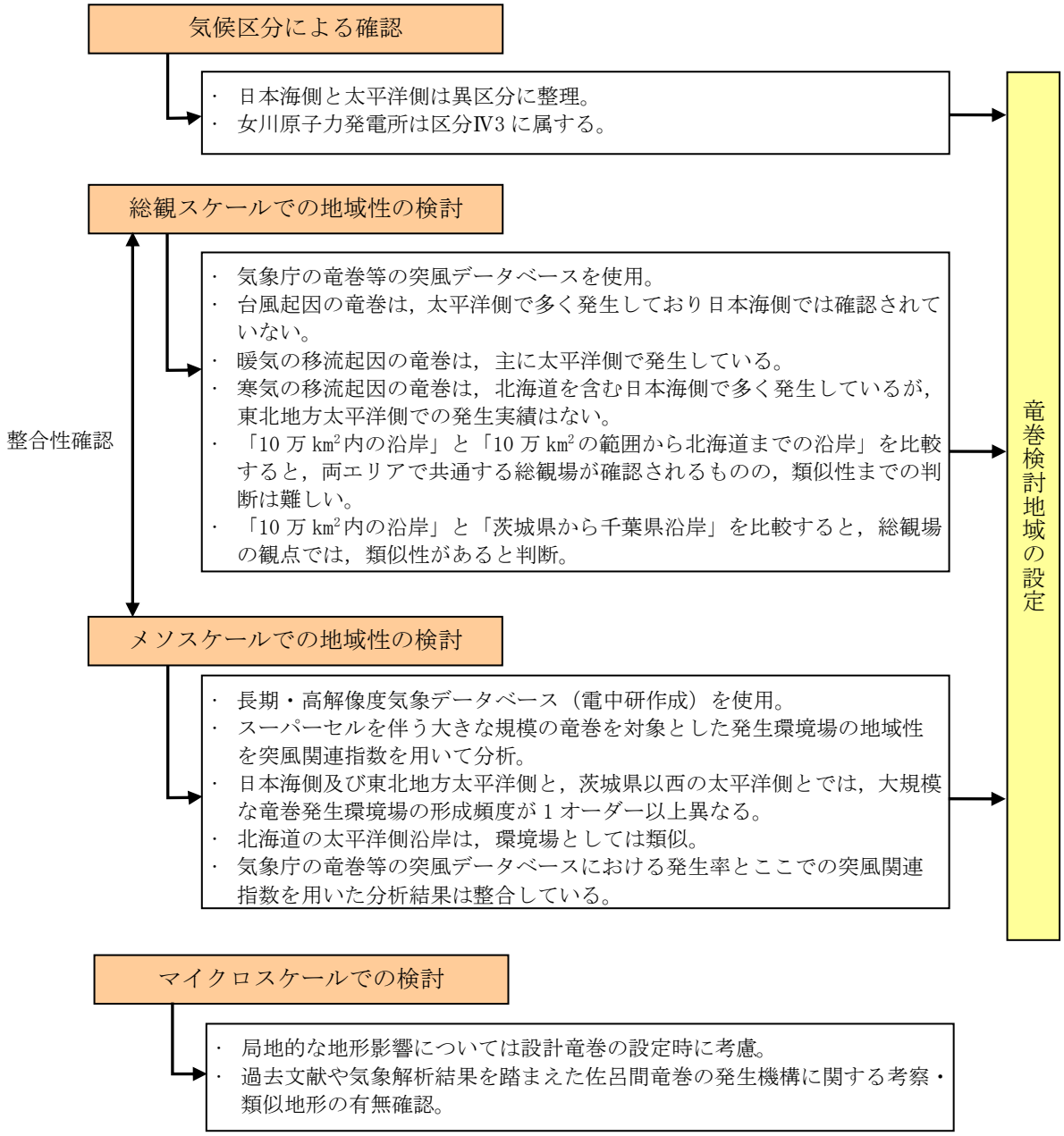
その上で，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」の考え方に基づき，竜巻発生要因となる気象条件（総観場）を確認する観点から，（２）の分析により地域特性を確認した。

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，（３）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，（３）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，（３）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



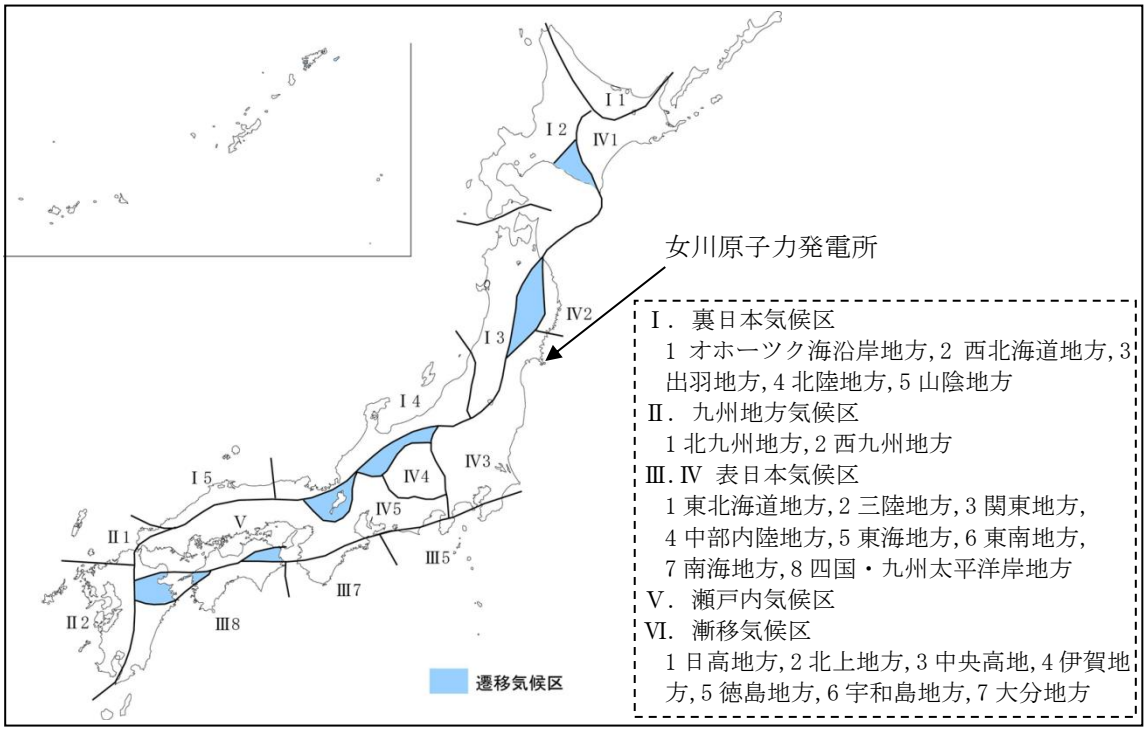
第 2.2.1-2 図　竜巻検討地域の検討フロー

2.2.2 気候区分による確認

女川原子力発電所が立地している宮城県の牡鹿半島は，第 2.2.2-1 図に示す日本の気候区分において，区分Ⅳ3 に属している。

区分Ⅳ3 の沿岸部は，おおよそ宮城県から千葉県九十九里町までの広範囲な太平洋側を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，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。



出展：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 2.2.2-1 図　日本の気候区分

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，「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 8 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。

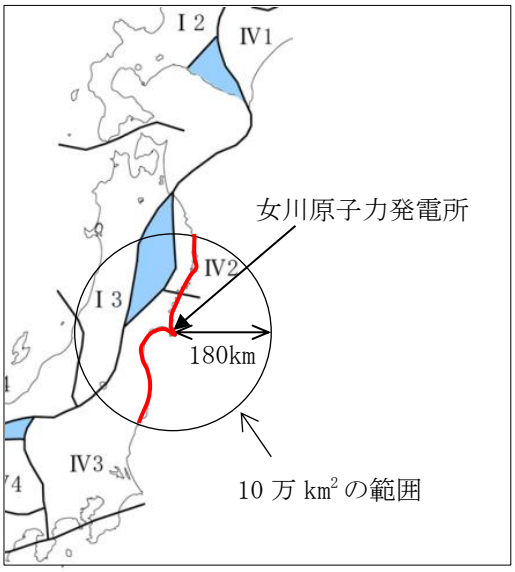
※ 気象庁 竜巻等の突風データベース（http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/index.html）

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 km^2 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，女川原子力発電所を中心とする 10 万 km^2（半径 180km）の範囲の太平洋側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Ⅳ3 及びⅣ2 にまたがった範囲が該当する。

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。



第 2.2.3.2-1 図　女川原子力発電所を中心とする 10 万 km^2 の範囲

竜巻検討地域として，第 2.2.3.2-1 図に示した 10 万 km^2（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 km^2 の範囲の北側に対しては，北海道の竜巻集中地域を含む襟裳岬までを対象とした。また，南側については，太平洋側における気候区分Ⅳ3 のエリアに当たる千葉県九十九里町までを対象とした。

第 2.2.3.2-2 図に各エリア毎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 台風起因の竜巻は，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が1件発生しているのみである。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ため，この特徴が発生傾向にも現れている（第2.2.3.1-1図(a)）。

② 暖気の移流起因の竜巻は，主に太平洋側で発生している。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多く発生しているが，東北地方太平洋側ではF1が1件発生しているのみである。主に太平洋側で発生している要因としては，太平洋側は暖湿流が大気下層に流入することが多いためと考えられる。特に関東平野では太平洋側から流入する暖気が遮られずに内陸深くまで流入するため，内陸部でも発生が集中している（第2.2.3.1-1図(b)）。

なお，類似の特徴は米国におけるロッキー山脈とアパラチア山脈との間の竜巻街道（トルネード・アレー）と呼ばれる領域においても確認されている（添付資料2.7参照）。

③ 寒気の移流起因の竜巻は，北海道を含む日本海側で多く発生しているが，東北地方太平洋側での発生実績はない。北海道を含む日本海側で発生数が多い要因としては，北からの寒気が山岳等に遮られずに直接流入するためと考えられる（第2.2.3.1-1図(c)）。

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。

④ 「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っており，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)）。

⑤ 「10万km^2内の沿岸」と「10万km^2の範囲から北海道までの沿岸」を比較すると，両エリアで暖気の移流や局地性など共通する総観場が確認できるが，竜巻の発生実績が少ないエリアということもあり，総観場の観点から明確に差別化はできない（第2.2.3.2-2図(c)，(d)）。

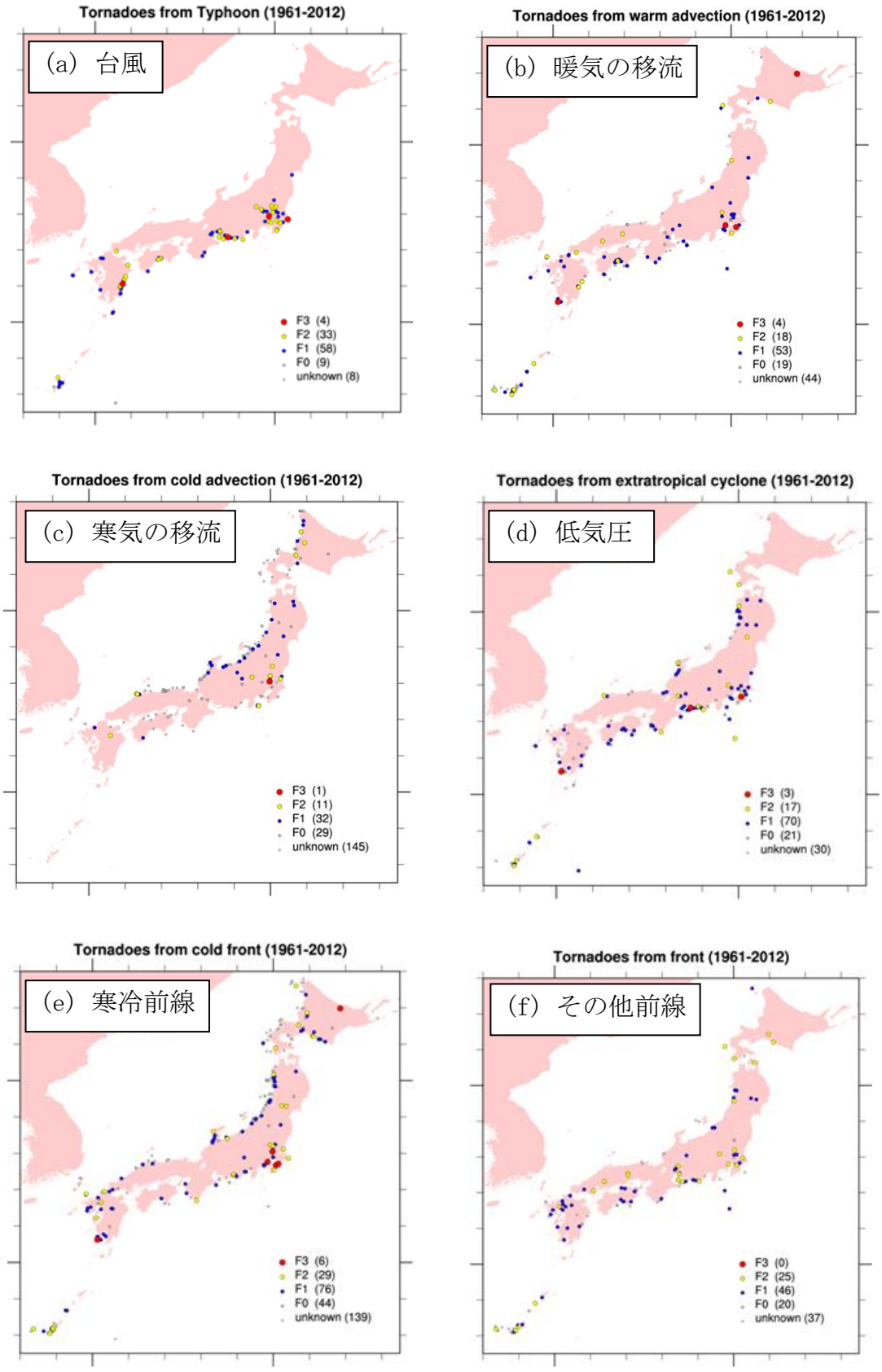
⑥ 「10万km^2内の沿岸」と「茨城県から千葉県沿岸」を比較すると，竜巻の発生数は少ないものの「10万km^2内の沿岸」で確認された総観場全てが，「茨城県から千葉県沿岸」において確認できるため，類似性のあるエリアとして取り扱うことが適切と考えられる（第2.2.3.2-2図(d)，(e)）。

以上の分析結果より，発電所の立地地域より北側のエリア（竜巻集中地域を含んだ北海道までの沿岸）は，総観場的に地域性が異なると明確に差別化することはできず，また，南側のエリア（千葉県までの沿岸）については，発生数は少ないものの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。

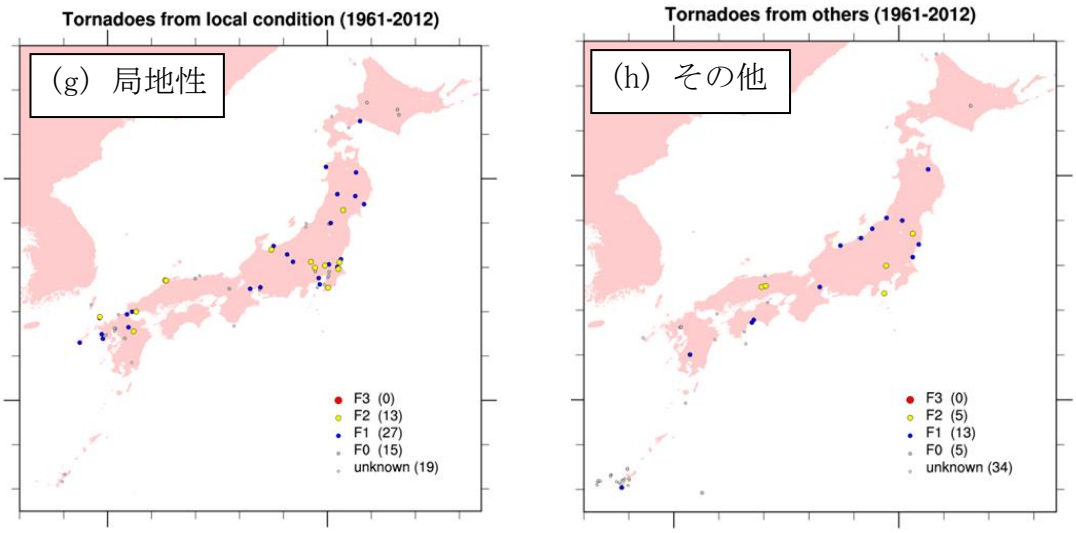
よって，北海道から千葉県までの太平洋側沿岸を竜巻検討地域として設定することが適切と判断した。

第 2.2.3.1-1 表　総観場の分類と特徴

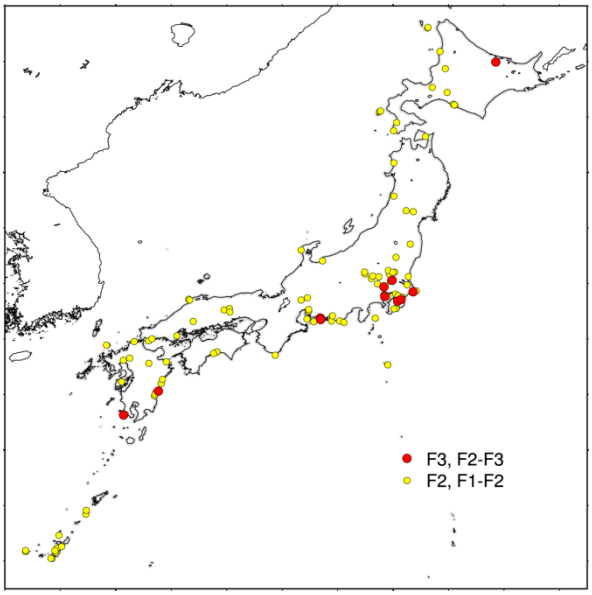
総観場	気象庁 DB の分類	特徴
寒気の移流	寒気の移流	大気上層に寒気が流入することで大気が不安定になり竜巻の親雲を形成する環境場。下層に暖気の移流があると，親雲の更なる発達を促すため，F3 竜巻も見られる。
低気圧	熱帯低気圧(台風以外)，南岸低気圧，日本海低気圧，二つ玉低気圧，東シナ海低気圧，オホーツク海低気圧，その他(低気圧)	寒気と暖気が接し傾圧不安定による組織的な雲を形成する環境場。南からの下層の暖湿流がある場合，親雲の更なる発達を促すため，F3 竜巻も見られる。
寒冷前線	寒冷前線，気圧の谷	大気上層への寒気の移流と，それにともなう組織的な前線の形成により親雲を形成する環境場。南からの下層の暖湿流がある場合，親雲の更なる発達を促すため，F3 竜巻も見られる。
その他前線	温暖前線，閉塞前線，停滞前線，梅雨前線，前線帯，不安定線，その他(前線)	寒冷前線以外の前線により親雲を形成する環境場。暖湿流が主要因となる場合が多い。
局地性	局地性擾乱，雷雨(熱雷)，雷雨(熱雷を除く)，地形効果，局地性降水	地域的な大気循環により親雲を形成する環境場。親雲の形成に地形的な影響も受けることも多い。
暖気の移流	暖気の移流，湿舌	大気下層に暖湿流が流入することで竜巻の親雲を形成する環境場。上層の寒気の移流がある場合，親雲の更なる発達を促す。
台風	台風	台風により竜巻の親雲を形成する環境場。台風中心の北東方向では，南東からの強い暖気移流があるため，非常に活発な積乱雲が発生しやすいため， F3 竜巻も多くみられる。
その他	移動性高気圧，中緯度高気圧，太平洋高気圧，大陸高気圧，オホーツク海高気圧，帯状高気圧，その他(高気圧)，季節風，大循環異常，その他	上記に当てはまらない環境場。気圧配置の変わり目が多いが，全体の個数は少ない。



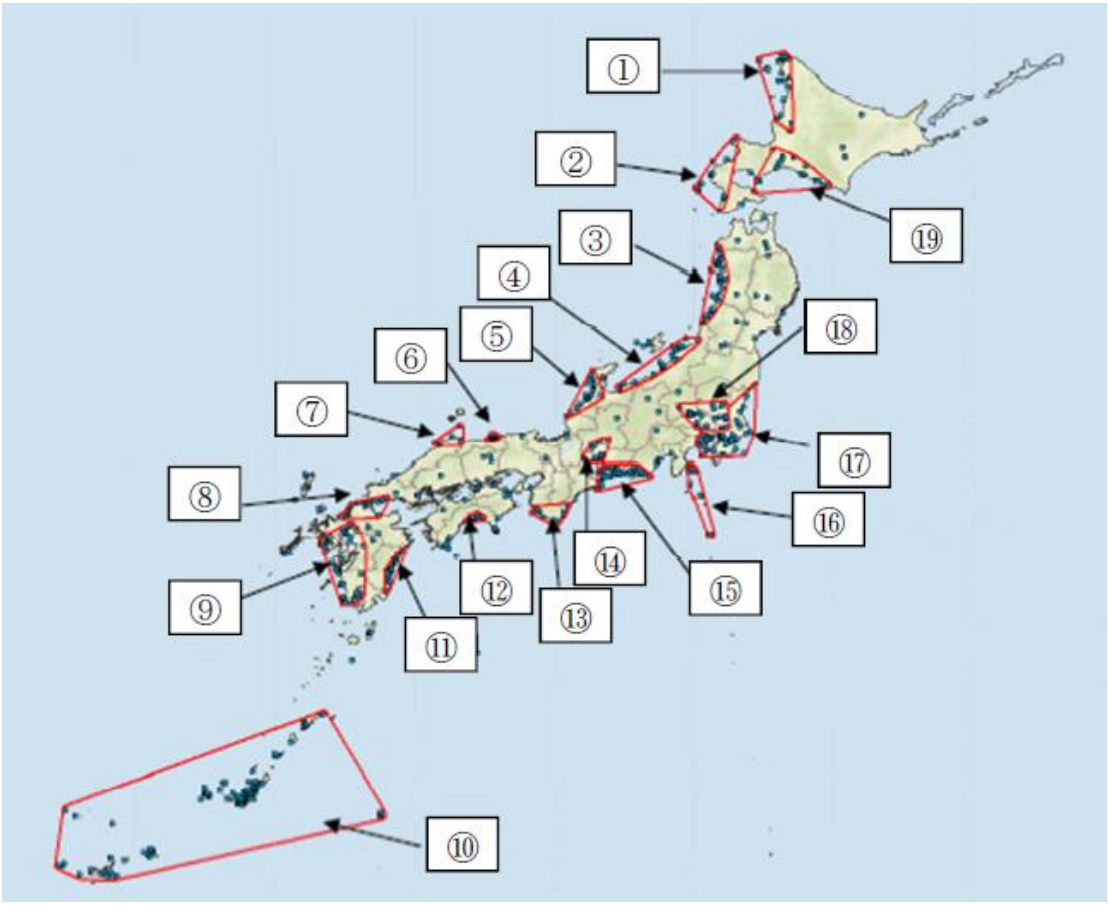
第 2.2.3.1-1 図　総観場ごとの F スケール別竜巻発生分布（1/2）



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）



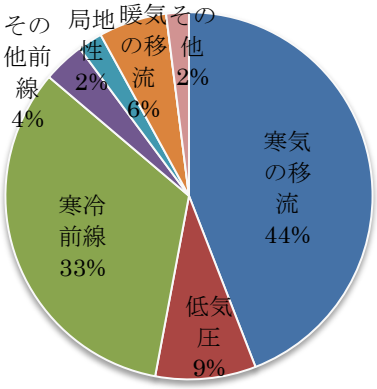
第 2.2.3.1-2 図　F2 以上の竜巻発生箇所
（気象庁「竜巻等の突風データベース」をもとに作成）



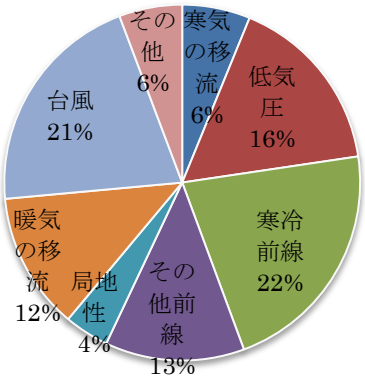
第 2.2.3.1-3 図　竜巻集中地域
（JNES「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」より引用）

第 2.2.3.3-1 表　総観場毎の竜巻発生分布の傾向

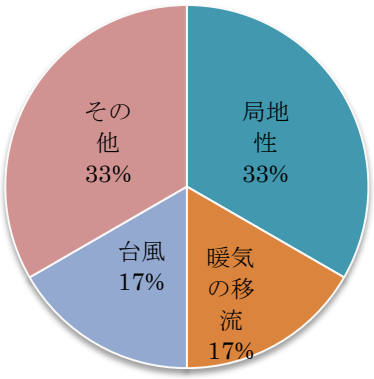
総観場	傾向
台風	・太平洋側で多く発生しており日本海側では確認されていない。規模的には，関東以西の太平洋側では F3 を含む規模の大きな竜巻が発生しているが，東北地方太平洋側では F1 が 1 件発生しているのみである。 ・関東地方，中部地方の太平洋側及び九州地方の太平洋側では発生が集中しており，これらの地域は太平洋側の竜巻集中地域に整理されている（第 2.2.3.1-3 図参照）。 ・台風は北上（低緯度から中高緯度に移動）するに従い減衰するため，東北地方や北海道など，北部での発生数は少なく，規模も小さくなると考えられる。本州に接近・上陸する台風の減衰は，地表面摩擦の増大による風速の減衰に加え，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。
暖気の移流	・日本海側での発生数は少なく，主に太平洋側の関東以西で発生している。 ・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多く発生しているが，東北地方太平洋側では F1 が 1 件発生しているのみである。 ・太平洋側では，暖湿流が大気下層に流入することが多いため，関東以西で発生数が多くなる。特に関東平野では太平洋側から流入する暖気が遮られずに内陸深くまで流入するため，内陸部でも発生が集中している。
寒気の移流	・北海道を含む日本海側で多く発生しているが，東北地方太平洋側での発生実績はない。 ・日本海側は北からの寒気が山岳等に遮られずに直接流入するため，発生数が多いと考えられる。
低気圧	・主に太平洋側の関東以西で多く発生している。 ・太平洋側では，大気下層に流入する南からの暖気の移流と上層の寒気が親雲の更なる発達を促すため，関東以西の太平洋側で発生頻度が高くなる。
寒冷前線	・日本海側の沿岸部及び関東以西の太平洋側で多く発生している。 ・太平洋側では，大気下層に流入する南からの暖気の移流による影響も寄与するため，太平洋側で強い竜巻の発生数が多くなる。
その他前線	・日本海側での発生数は少なく，主に太平洋側の関東以西で多く発生しており，関東平野で発生が集中している。 ・太平洋側では，大気下層に流入する南からの暖気の移流による影響も寄与するため，関東の平野部では発生数が多くなる。
局地性	・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	・全国的に発生数は少なく，地域差はみられない。



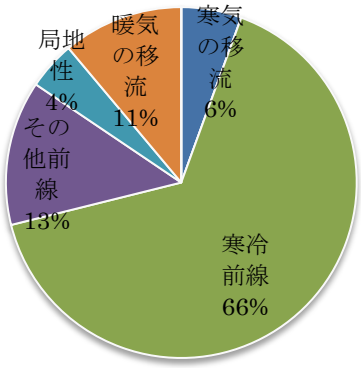
(a) 日本海側沿岸(192 個)



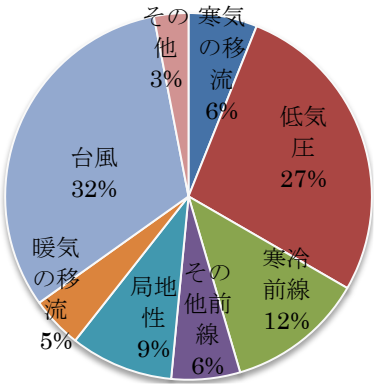
(b) 太平洋側沿岸(337 個)



(d) 10 万 km^2 内の沿岸(3 個)



(c) 北海道から 10 万 km^2 範囲までの沿岸(15 個)



(e) 茨城県から千葉県※の沿岸(11 個)
※房総半島を横切る気候区分Ⅳ3 の区分線まで

(　)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

2.2.4 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。

2.2.4.1 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

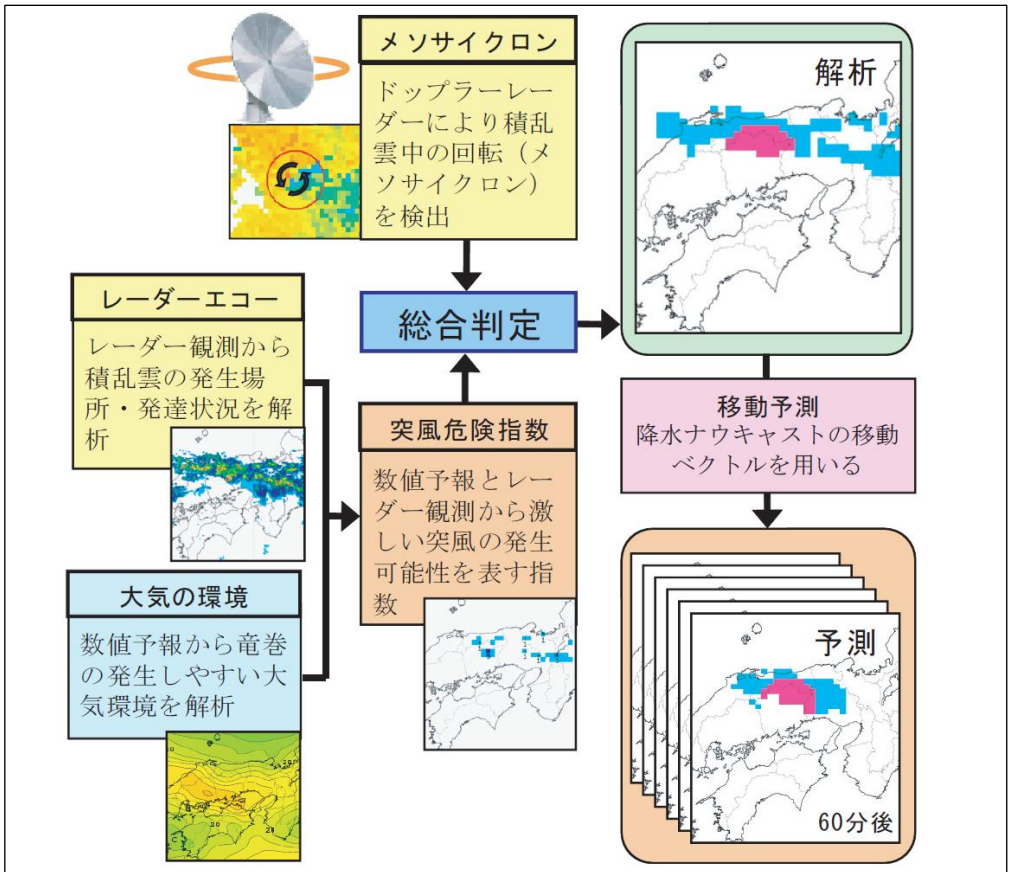
竜巻発生確度ナウキャストにおけるデータ等の流れを第 2.2.4.1-1 図に示す。竜巻発生確度ナウキャストは最新の観測・解析データをもって短いリードタイムの予

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 2.2.4.1-1 図　竜巻発生確度ナウキャストの解析・予測技術

2.2.4.2 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 2.2.4.2-1 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，大気の

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，竜巻発生の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 2.2.4.2-1 図　竜巻の発生メカニズム

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

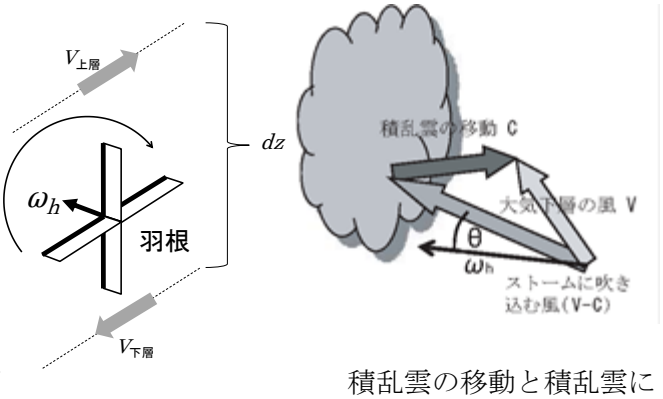
風向・風速差により発生した渦度が親雲に取り込まれる度合であり，値が大きいほど，積乱雲はスーパーセルに発達しやすい（第2.2.4.2-2図）。

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

V：水平風速ベクトル　　C：ストームの移動速度

ω：鉛直シアに伴う水平渦度

「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 2.2.4.2-2 図　SReH の概念図

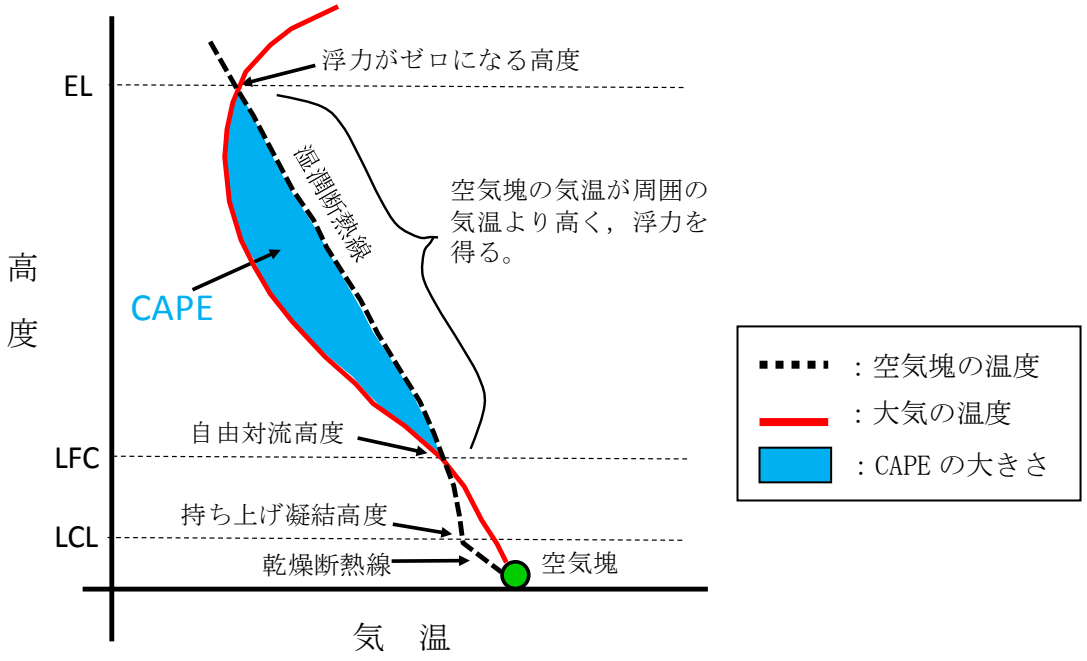
(2) CAPE（Convective Available Potential Energy：対流有効位置エネルギー）

上昇気流の発生しやすさを表し，値が大きいほど背の高い積乱雲に発達しうるため，大気の不安定度の指標となる（第 2.2.4.2-3 図）。

$$\mathrm{CAPE} = \int_{LFC}^{EL} g \frac{\theta_e'(z) - \theta_e(z)}{\theta_e(z)} dz$$

g ：重力加速度　　θ_e' ：持ち上げ空気塊の相当温位

θ_e ：ストーム周囲の相当温位　　dz ：鉛直方向の層厚



第 2.2.4.2-3 図　CAPE の算出概念

(3) EHI（Energy Helicity Index）

SReH及びCAPEを用いて算出し，スーパーセルや竜巻の発生しやすさを経験的に指標化したものであり，米国ではCAPE単独又はSReH単独に比べると，竜巻発生との相関関係が高いとされている。

$$\mathrm{EHI} = \frac{\mathrm{SReH} \times \mathrm{CAPE}}{160000}$$

（参考）相当温位

温位とは，下式に示すように気温 T と気圧 p に関する量であり，ある空気塊を断熱的に基準圧力 1000hPa に戻したときの絶対温度である。

2 つの空気塊を比較した場合，温位の高い空気塊は軽く上昇しやすく（不安定であり），単位体積中に含みうる水蒸気量が多いため，大きな積乱雲の発生につながる。

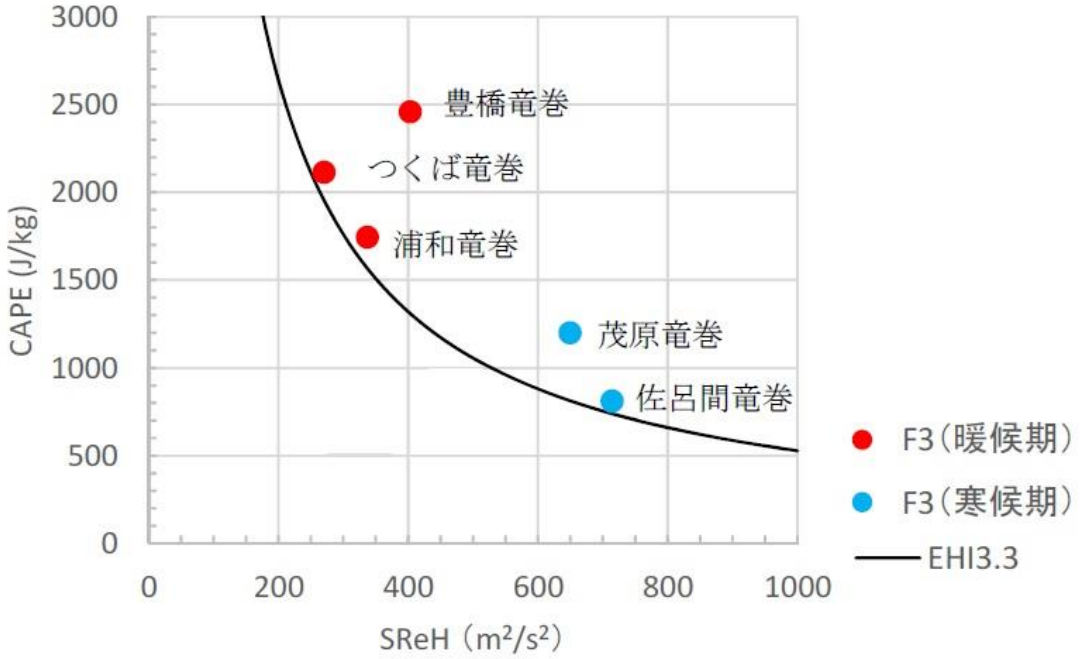
相当温位は，空気塊に含まれる水蒸気の持っている潜熱（水蒸気が凝結する際

に空気塊の温度が上昇）の影響も考慮された温位である。

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

2.2.4.3 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 2.2.4.3-1 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 2.2.4.3-1 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 2.2.4.3-1 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 を含めた全ての 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だすことができると考えられる。

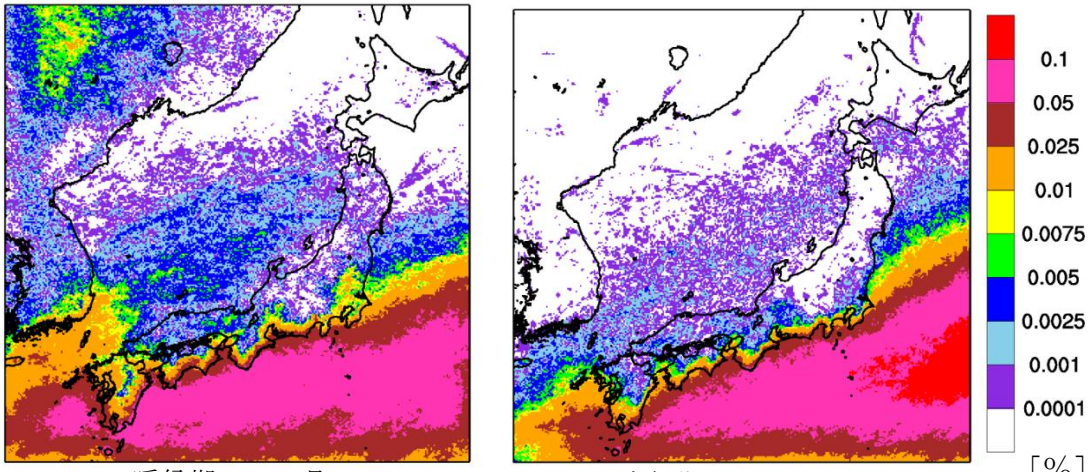
2.2.4.4 突風関連指数の同時超過頻度による地域性の検討

SReH と CAPE の閾値については，第 2.2.4.4-1 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：250m^2/s^2，CAPE：1600J/kg

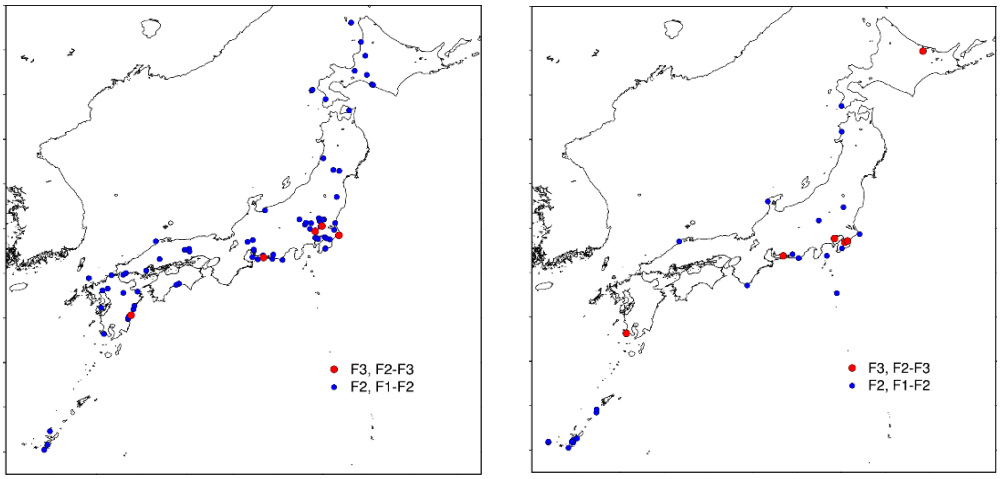
［11 月～4 月（寒候期）］ SReH：250m^2/s^2，CAPE： 600J/kg

第 2.2.4.4-1 図は，1961 年～2010 年までの 50 年間にわたって 1 時間毎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 2.2.4.4-2 図に示す。



暖候期 5～10 月　　寒候期 11 月～4 月

第 2.2.4.4-1 図　F3 規模以上を対象とした SReH，CAPE 同時超過頻度分布



暖候期 5～10 月　　寒候期 11 月～4 月

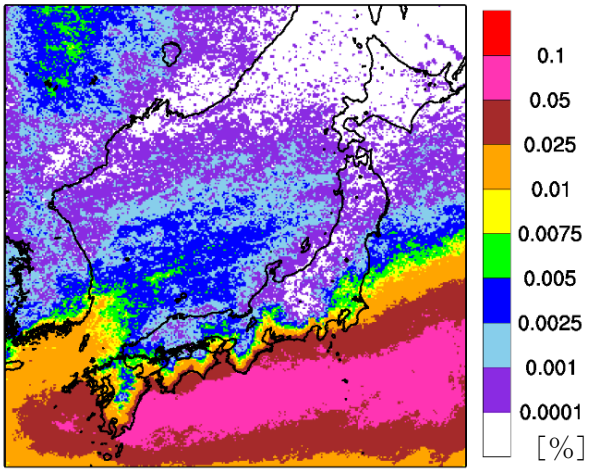
第 2.2.4.4-2 図　F2 規模以上の発生箇所
（気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成）

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）。

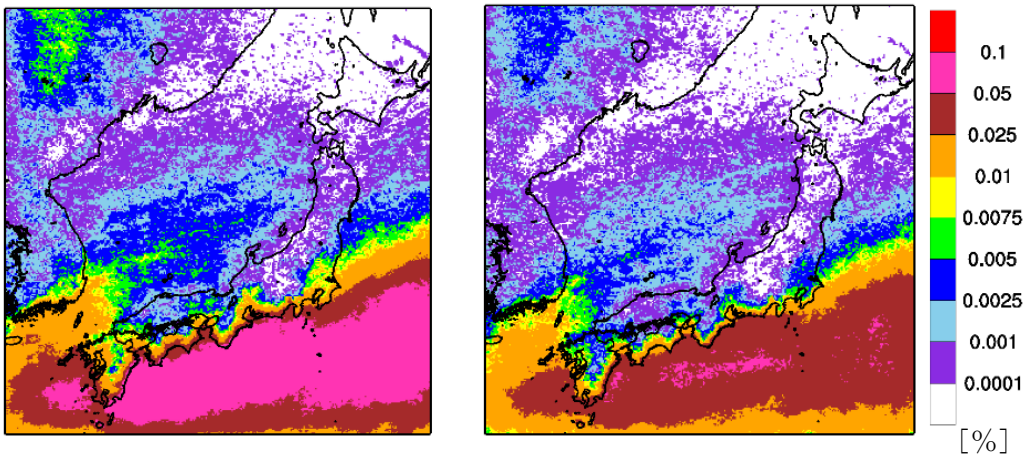
EHI の超過頻度分布をマップ化したものについても第 2.2.4.4-3 図に示す。SReH, CAPE の同時超過頻度分布（第 2.2.4.4-1 図）に対応した結果となっており，EHI を用いて通年レベルの評価を行った場合でも地域特性がはっきり表れている。

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 2.2.4.4-4 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 2.2.4.4-3 図　EHI の超過頻度分布（閾値 3.3）



閾値 3.0　　閾値 3.6

第 2.2.4.4-4 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。

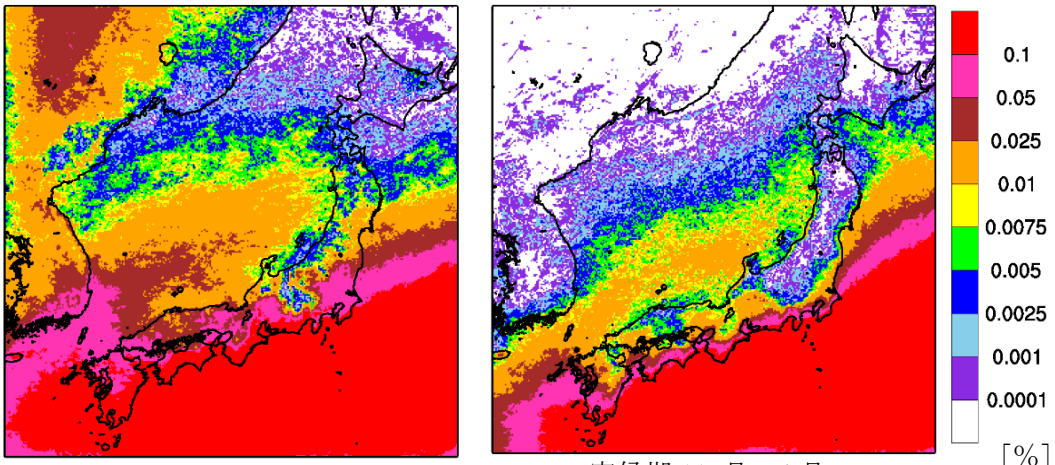
参考として，F2 規模の竜巻について同様の検討を行った。閾値の設定は F2 規模の竜巻発生時の実績をもとに以下の様に設定した。

［5 月～10 月(暖候期)］SReH：200m^2/s^2，CAPE：1000J/kg

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

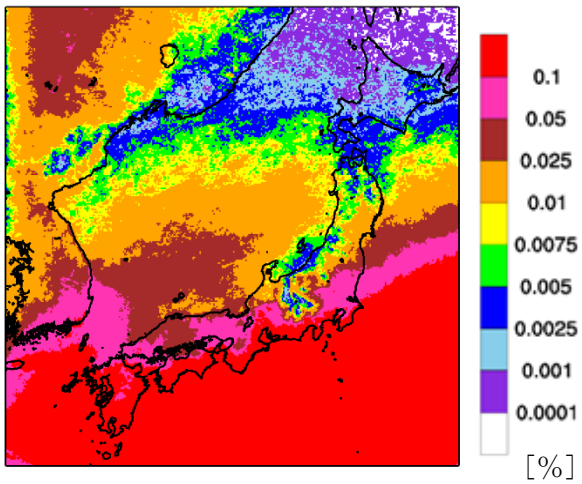
EHI を用いる場合の閾値　EHI：1.5

SReH，CAPE の同時超過頻度分析の結果を第 2.2.4.4-5 図に，EHI の超過頻度分布を第 2.2.4.4-6 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。



暖候期 5～10 月　　寒候期 11 月～4 月

第 2.2.4.4-5 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 2.2.4.4-6 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出来ないため，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。

2.2.4.5 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。

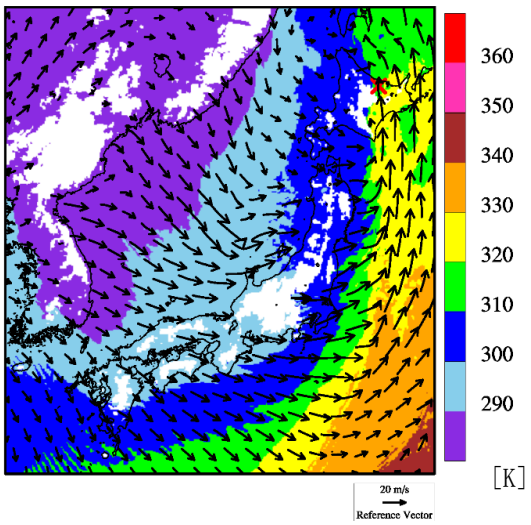
・ F3 竜巻としては継続時間（1 分）と移動距離（約 1.4km）が非常に短かった。

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 2.2.4.5-1 図，第 2.2.4.5-2 図）。

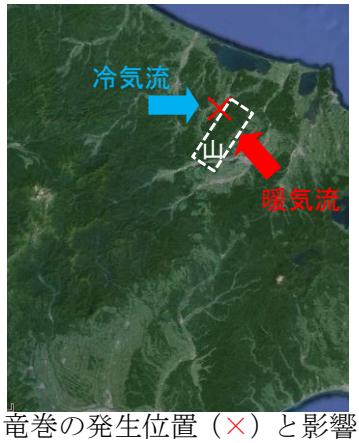
また，日高山脈の東側では，山を越えた冷気流と太平洋側の暖気流がぶつかる地点となっており，ここで発生した親雲が山脈沿いに北上しながら持続的に発達し，佐呂間地域で F3 規模の竜巻を形成するに至ったと考えられる。

これらの発生メカニズムについて，第 2.2.4.5-3 図に模式的に示す。



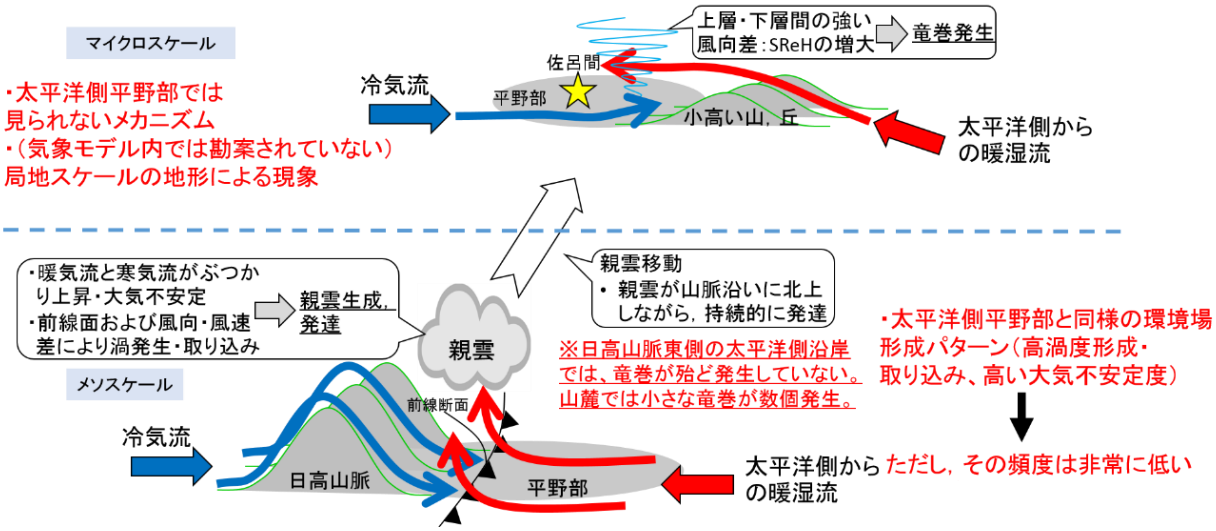
第 2.2.4.5-1 図　佐呂間竜巻発生時の風向・風速及び
相当温位の分布（海抜 500m 高度）

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（点線部）

第 2.2.4.5-2 図　親雲の発生箇所と移動方向（左）及び竜巻の発生箇所（右）



第 2.2.4.5-3 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り扱いとしては，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。

その観点で女川原子力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。

- 太平洋側沿岸部に立地しているため暖湿流が直接流入するが，気流の流入する風上側は海域であるため，尾根状の丘・山は存在しない。

したがって，女川原子力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。

2.2.5 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，東北地方太平洋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，北海道から千葉県にかけての太平洋側沿岸部は，地域を差別化するには至らない。

以上の分析結果を踏まえれば，女川原子力発電所の竜巻検討地域として，北海道から千葉県にかけての太平洋側沿岸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})

女川原子力発電所が立地する東北地方太平洋側は，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，他の気性観測データに比べ不確かさがあると考える。

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。

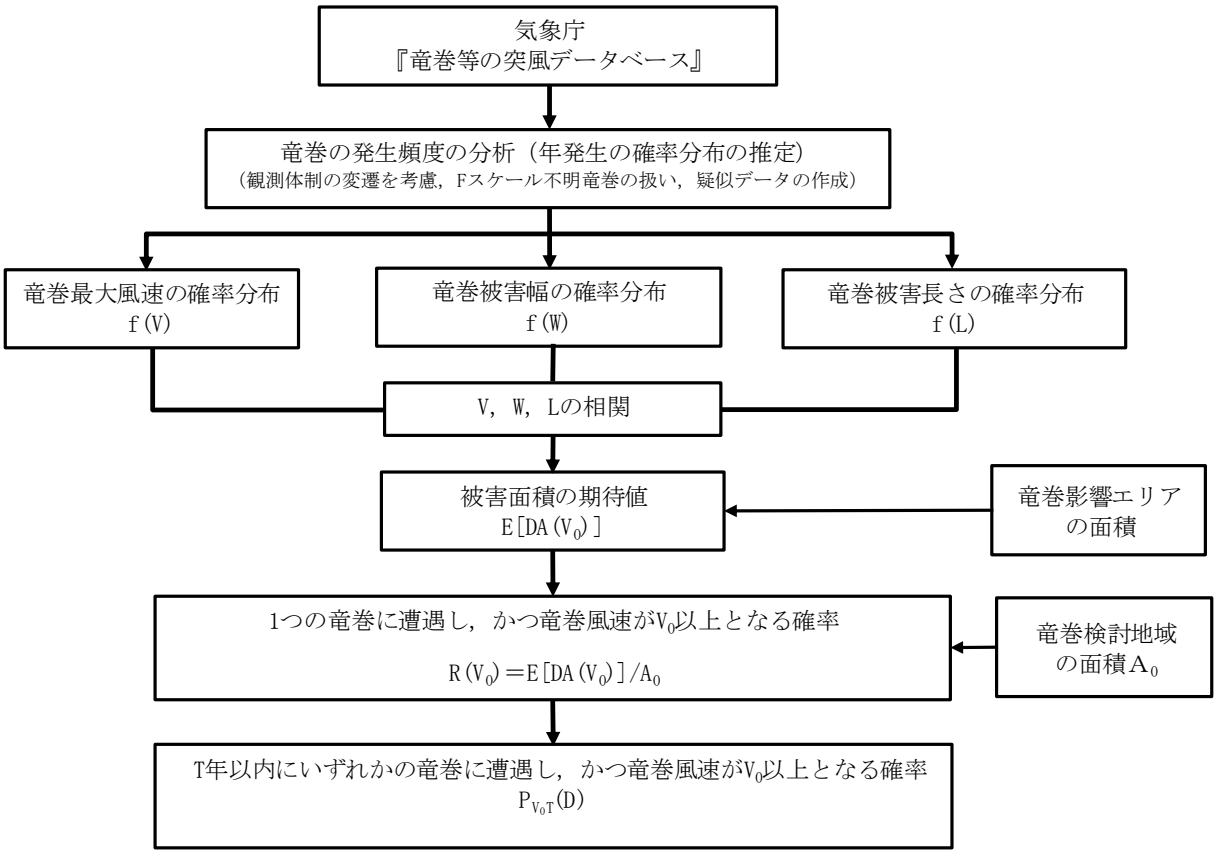
第 2.3.1-1 表　日本で過去に発生した F3 竜巻
（気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成）

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海側，陸側それぞれ 5km 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 1km 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，それぞれ被害全幅お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。

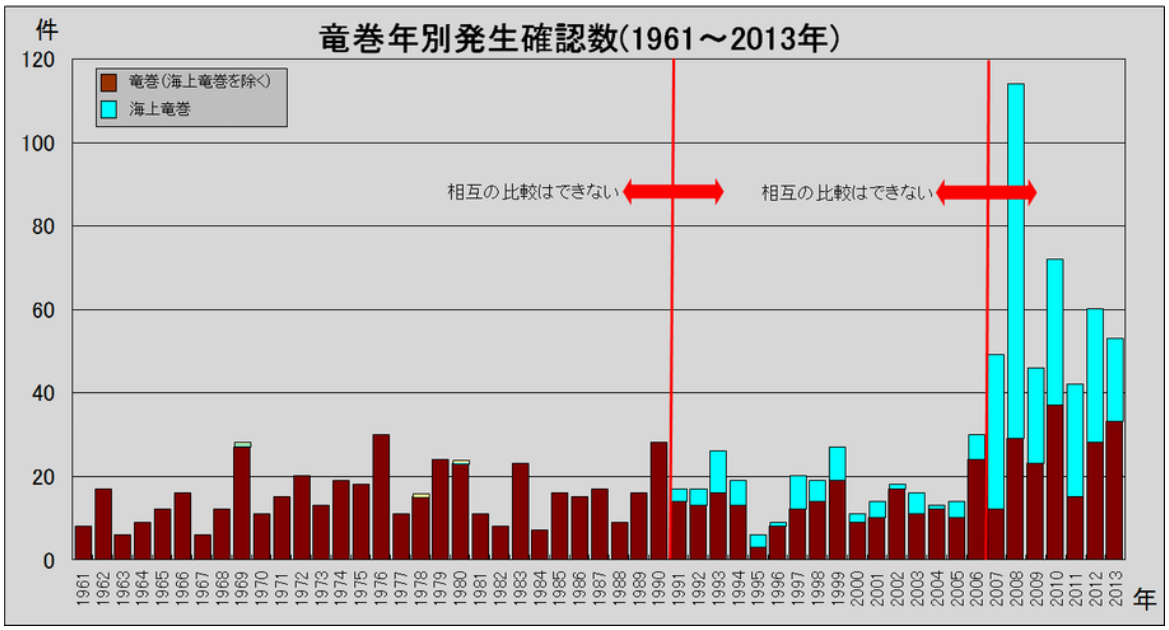
① 被害が比較的大きく見逃されることが少ない F2，F3 竜巻については，観測データが整備された 1961 年 1 月以降の全期間の年間発生数や標準偏差を採用する。
② 被害が比較的軽微な F1 竜巻については，観測体制が整備された 1991 年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。
③ 被害が小さくて見過ごされやすい F0 及び F 不明竜巻は，観測体制が強化された 2007 年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。
④ 51.5 年間の発生数を，①～③の観測期間との比率から F スケール毎に推計する。

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 不明竜巻は F0 に含める。これにより，全ての陸上竜巻を 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。

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 ±5 km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不　明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	23	2	13	7	1	3	3	29
	平均値（年）	0.45	0.04	0.25	0.14	0.02	0.06	0.06	0.56
	標準偏差（年）	0.67	0.20	0.56	0.35	0.14	0.31	0.31	0.81
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	14	2	10	2	0	1	3	18
	平均値（年）	0.65	0.09	0.47	0.09	0.00	0.05	0.14	0.84
	標準偏差（年）	0.80	0.30	0.75	0.30	0.00	0.22	0.47	0.97
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	3	1	2	0	0	0	2	5
	平均値（年）	0.55	0.18	0.36	0.00	0.00	0.00	0.36	0.91
	標準偏差（年）	0.58	0.43	0.55	0.00	0.00	0.00	0.86	0.80
疑似51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	42	10	24	7	1	0	19	61
	平均値（年）	0.80	0.18	0.47	0.14	0.02	0.00	0.36	1.17
	標準偏差（年）	0.93	0.43	0.75	0.35	0.14	0.00	0.86	1.27
疑似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	63	15	35	11	2	0	0	0
	平均値（年）	1.17	0.26	0.68	0.20	0.03	0.00	0.00	0.00
	標準偏差（年）	1.13	0.52	0.90	0.42	0.17	0.00	0.00	0.00

2.3.5 竜巻風速，被害幅，被害長さの確率分布及び相関係数【添付資料 2.4　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。

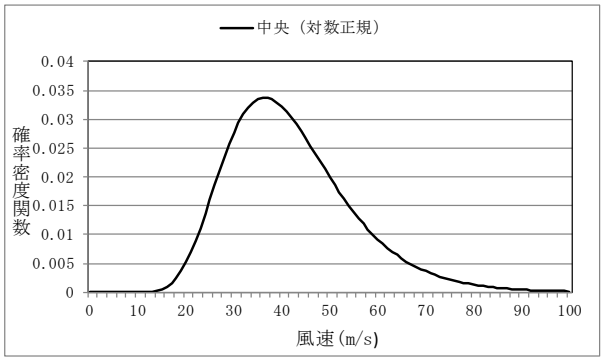
なお，竜巻風速の確率密度分布は，F スケール別の竜巻発生数から求める。

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)。

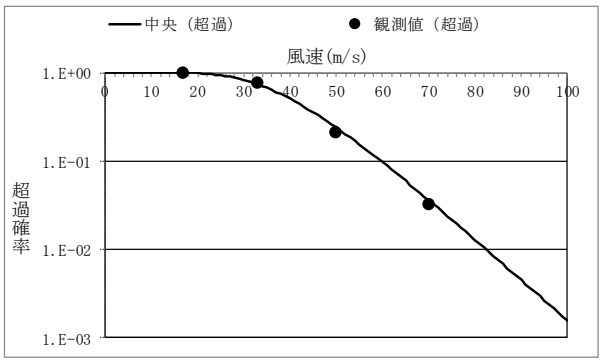
なお，疑似的な竜巻の作成に伴う被害幅又は被害長さの情報がない竜巻には,被害幅又は被害長さを有する竜巻の観測値を与えている。その際は，被害幅又は被害長さが大きいほうから優先的に用いることで，被害幅又は被害長さの平均値が大きくなるように工夫しているとともに，被害幅又は被害長さ 0 のデータについては計算に用いておらず，保守的な評価を行っている。

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。

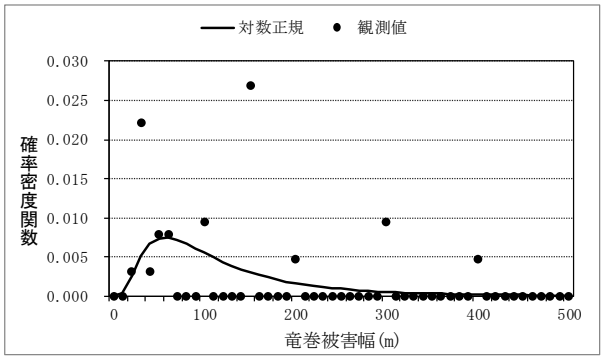
また，竜巻のハザードの計算においては，2 変量あるいは 3 変量の確率分布関数を対象とするため，竜巻風速，被害幅及び被害長さについての相関係数を求めた。第 2.3.5-1 表に 1961 年以降の観測データのみを用いて，竜巻風速，被害幅及び被害長さについて相関係数を求めた結果を示す。



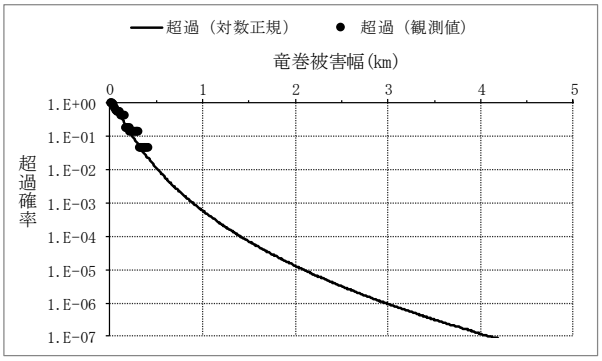
第 2.3.5-1 図　竜巻風速の確率密度分布



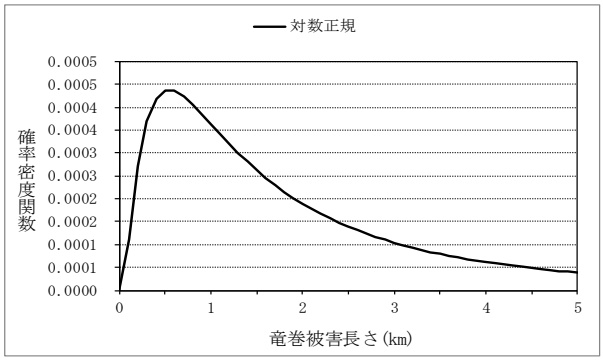
第 2.3.5-2 図　竜巻風速の超過確率分布



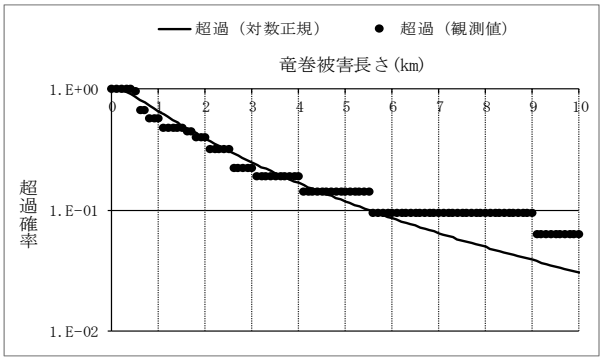
第 2.3.5-3 図　被害幅の確率密度分布



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 2.3.5-1 表　竜巻風速，被害幅，被害長さの相関係数（単位無し）

	風速	被害幅	被害長さ
風速	1.000	-0.073*	0.590
被害幅	-0.073*	1.000	0.173
被害長さ	0.590	0.173	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

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

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，女川原子力発電所 2 号炉の評価対象施設の設置面積の合計値及び推定される竜巻被害域(被害幅，被害長さから設定)に基づいて設定する。

女川原子力発電所 2 号炉における評価対象施設の位置を第 2.3.6-1 図に，評価対象施設の面積を第 2.3.6-1 表に示す。評価対象施設の位置が分散しているため，保守的にそれぞれを包含する円形エリアを竜巻影響エリア（面積約 114,000m^2（直径 380m の円））として設定した（第 2.3.6-2 図)。

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　評価対象施設の位置

第2.3.6-1表　評価対象施設の面積

第 2.3.6-2 図　竜巻影響エリア

2.3.7 竜巻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。

$$P_T(N)=\frac{(\nu T)^N}{N!}(1+\beta\nu T)^{-N-1/\beta}\prod_{k=1}^{N-1}(1+\beta k) \qquad (1)$$

ここで，

N：竜巻の年発生数

ν：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。

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

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

$$P_{V_0,T}(D)=1-\left[1+\beta\nu R(V_0)T\right]^{-1/\beta} \qquad (3)$$

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 18,800km^2），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。

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

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)で示される。

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

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。

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

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

$$H(\alpha) = B|\sin\alpha| + A|\cos\alpha|$$
$$G(\alpha) = A|\sin\alpha| + A|\cos\alpha| \qquad (7)$$

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 380m 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。

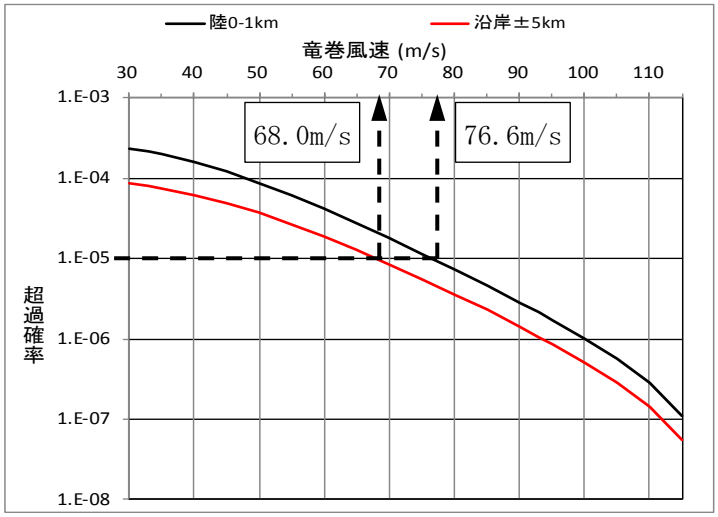
$$E[DA(V_0)] = \int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\int_{V_0}^{\infty} W(V_0)\,l\,f(V,w,l)\,dV\,dw\,dl$$
$$+ D_0\int_0^{\infty}\int_{V_0}^{\infty} l\,f(V,l)\,dV\,dl + D_0\int_0^{\infty}\int_{V_0}^{\infty} W(V_0)\,f(V,w)\,dV\,dw \qquad (8)$$
$$+ \left(D_0{}^2\pi/4\right)\int_{V_0}^{\infty} f(V)\,dV$$

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 5km 全域（竜巻検討地域）及びガイドに従い竜巻検討地域を 1km 範囲ごとに細分化した場合のハザード曲線を示す。

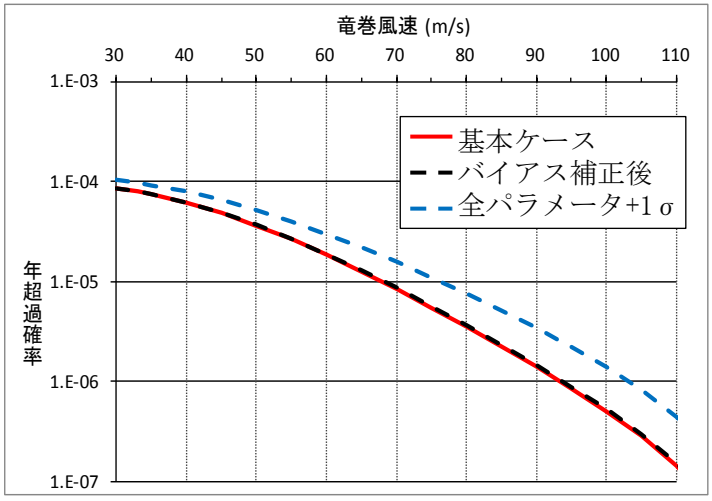
第 2.3.8-1 図より，5km 全域を対象とした場合の年超過確率 10^{-5} における風速は 68.0m/s，竜巻検討地域を 1km 範囲ごとに細分化した場合の年超過確率 10^{-5} における風速は 76.6m/s（陸側 0～1km）となった。

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，5km 全域及び 1km 範囲のハザード評価結果のうち大きい方を採用し，V_{B2}＝76.6m/s とする。



第 2.3.8-1 図　±5km 範囲のハザード曲線と 1km 範囲毎のハザード曲線

また，不確実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実さを表したハザード曲線により，これらの不確実さが小さいことを確認した。



バイアス補正後及び全パラメータ＋1σのハザード

第 2.3.8-2 図　ハザード不確実さ検討結果

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}=92m/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}=76.6m/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})	76.6
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※1。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。

※1：2017 年 3 月末時点で，2016 年 3 月までのデータ及び 2016 年 4 月以降の速報データが掲載されている。

(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】

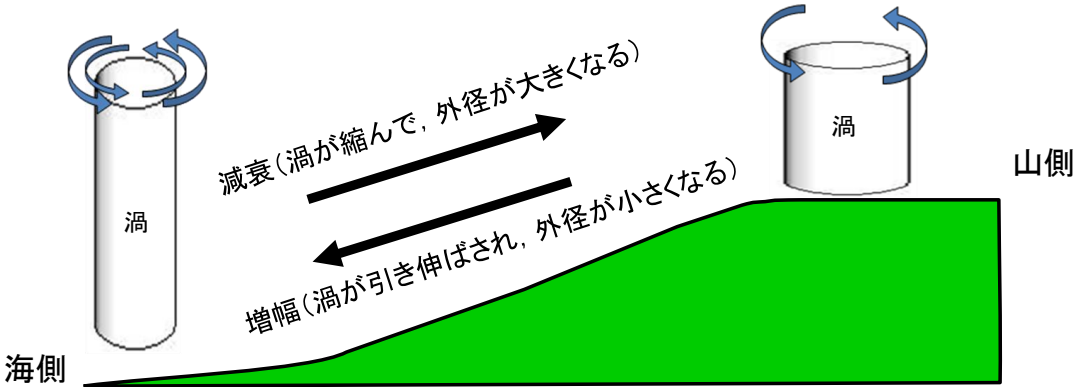
発電所が立地する地域の特性として，周辺の地形や竜巻の移動方向を考慮して，基準竜巻(V_B)の割り増しを検討し，設計竜巻の最大風速を設定する。

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，女川原子力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。



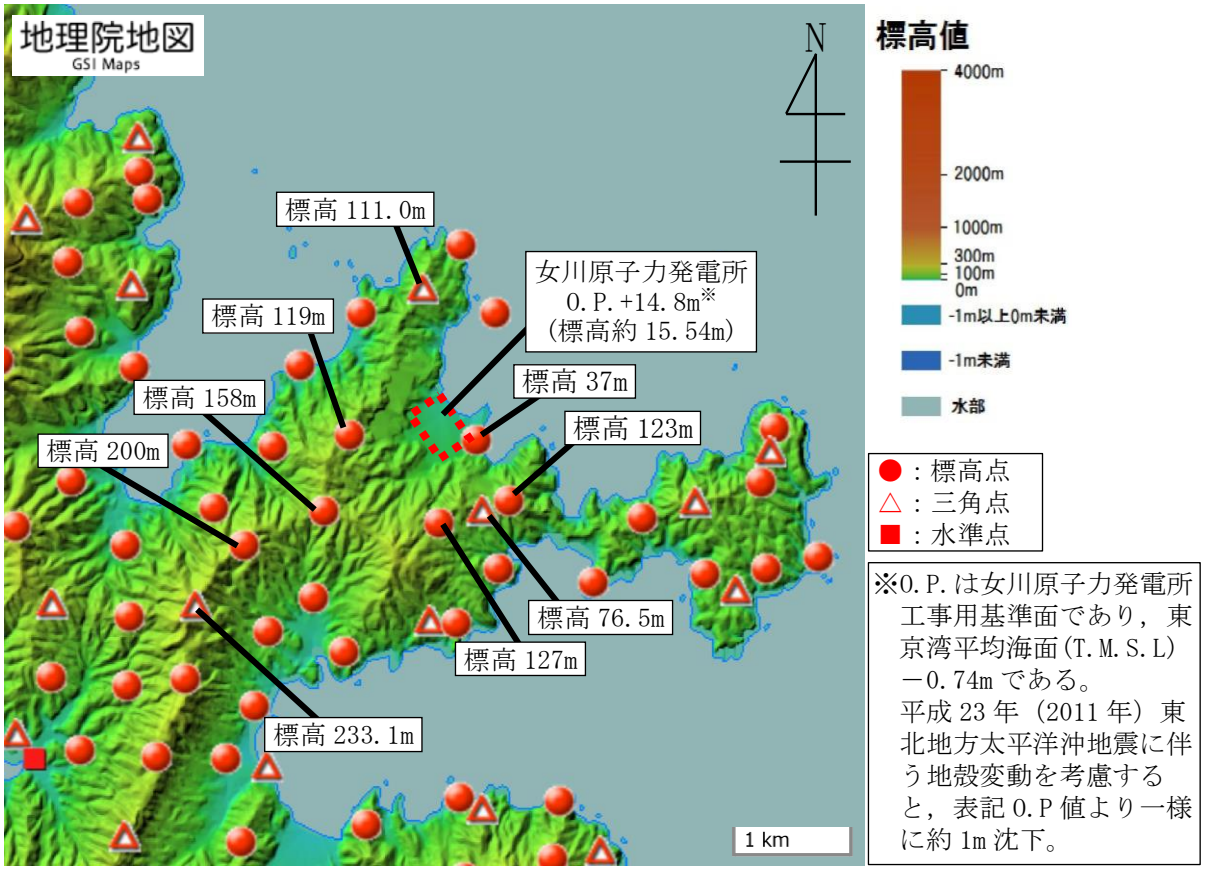
第 2.4.1-1 図　竜巻旋回流の地形影響に関する模式図

(2) 地表面粗度による影響

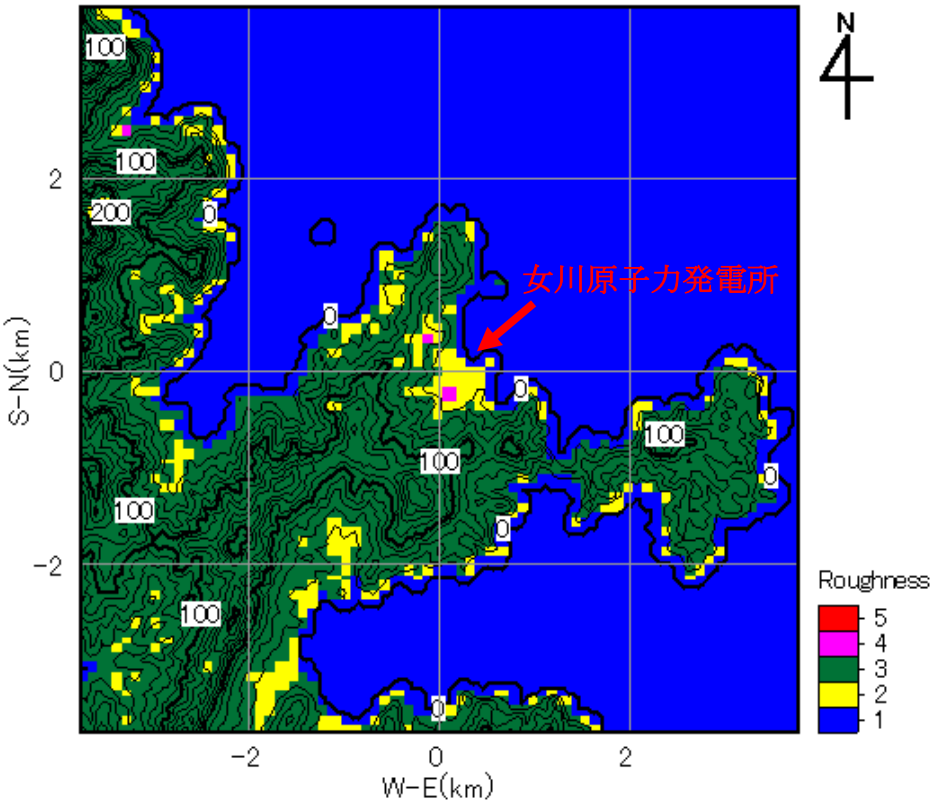
風は地表面の細かな凸凹が与える摩擦抵抗の影響を受けやすく，風速は，地表面において 0 となり上空に向かうにつれて増加する。地表面粗度は竜巻の旋回流を減衰させる効果を有し，地表面粗度の構成物が飛来物として運動することで風速が減衰することも示唆されていることから，地表面粗度の増加とともに竜巻に起因する強風の風速を低下させるといえる。

2.4.2 女川原子力発電所周辺の地形

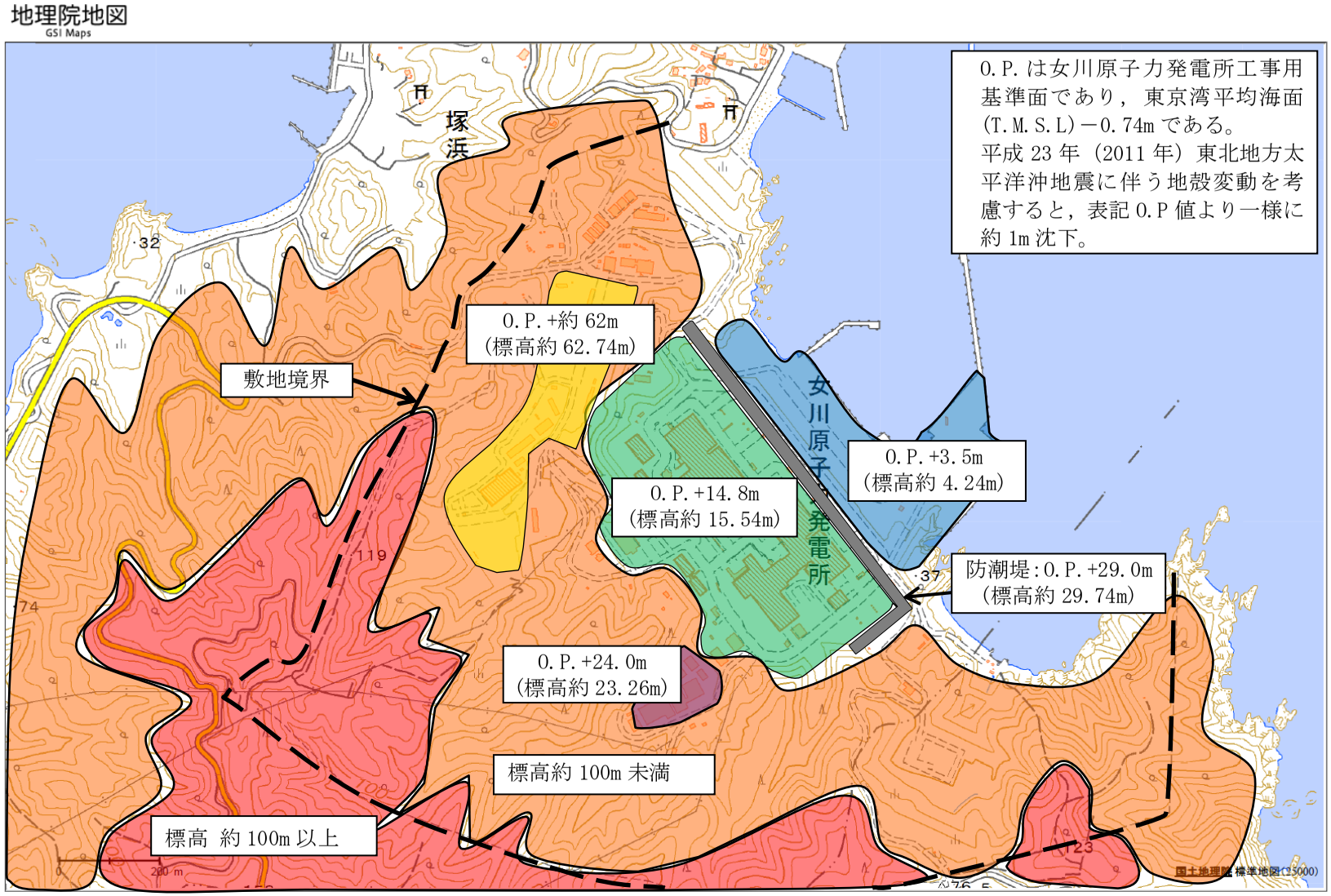
第 2.4.2-1 図に女川原子力発電所周辺の地形図，第 2.4.2-2 図に女川原子力発電所周辺の地表面粗度，第 2.4.2-3 図に女川原子力発電所周辺の標高及び防潮堤高さを示す。発電所が立地する敷地は，北東が太平洋に面し，三方を山及び森林に囲まれた狭隘な地形である。



第 2.4.2-1 図　女川原子力発電所周辺の地形（国土地理院「電子国土 Web」より作成）



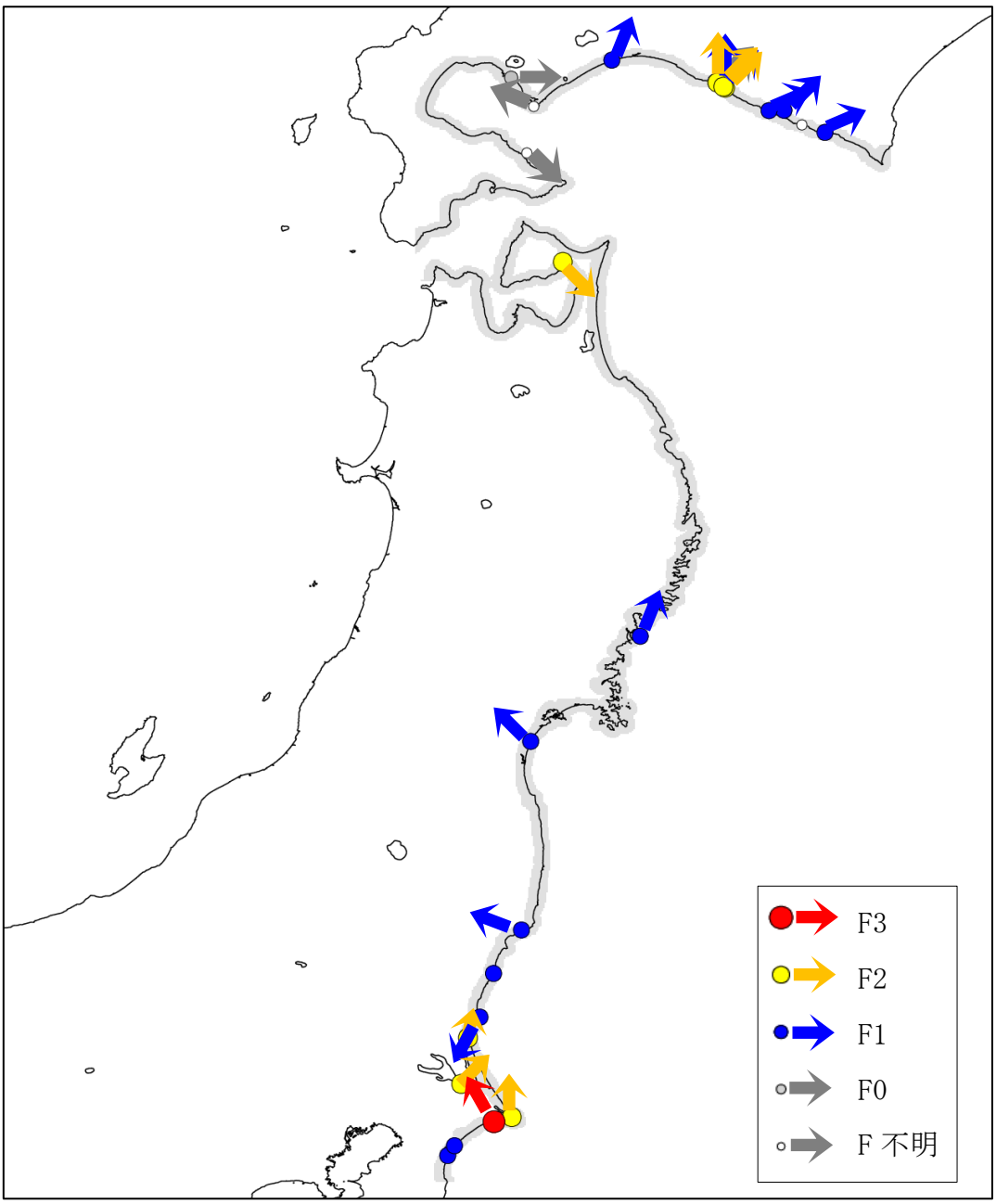
第 2.4.2-2 図　女川原子力発電所周辺の地表面粗度



第 2.4.2-3 図　女川原子力発電所の周辺の標高及び防潮堤高さ

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。



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(O.P.29.0m)で大幅に減衰するため，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。

従って，女川原子力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，女川原子力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無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【添付資料 2.6】

竜巻風速場としてフジタモデルを選定した場合の設計竜巻の特性値については，第 2.5-1 表のとおり設定する。

なお，最大気圧低下量と最大気圧低下率は，数値解析によって計算する。

第 2.5-1 表　設計竜巻の特性値

最大風速 V_D [m/s]	移動速度 V_T [m/s]	最大接線風速 V_{Rm} [m/s]	最大接線風速半径 Rm [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	76	53

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とする。

(1) 設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重）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

「1.2 竜巻影響評価の対象施設」に示したとおりとする。

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

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ぜい弱と考えられる評価対象施設が存在する場合には，フジタ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}：フジタモデルにより求まる最大気圧低下量

A　　：施設の受圧面積

竜巻防護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に衝突する際の衝突荷重の設定

a. 飛来物に係るウォークダウン結果及び設計飛来物の選定について

竜巻影響評価における設計飛来物については，飛来物に係るウォークダウン結果及びガイドの解説表4.1に示されている設計飛来物の設定例を参照し設定する。

以下に女川原子力発電所にて実施した飛来物のウォークダウンの結果と，その結果を元に抽出した設計飛来物の設定の考え方を示す。【添付資料 3.3】

(a)評価に用いる設計竜巻の特性

評価に用いる竜巻の速度は，100m/s とする。(表 2.5-1 参照)

(b)飛来物に対する考え方

飛来物のうち，後述する設計飛来物（極小飛来物である砂利を除く。）に選定した鋼製材より運動エネルギー及び貫通力（コンクリートの貫通限界厚さ，鋼板の貫通限界厚さ）が大きいものについては，設置場所等に応じ固縛を行うことで飛散させないものとする。また，衝突時に防護施設に与えるエネルギーが鋼製材の運動エネルギーより小さいものについては，適切な飛散防止対策を行う。

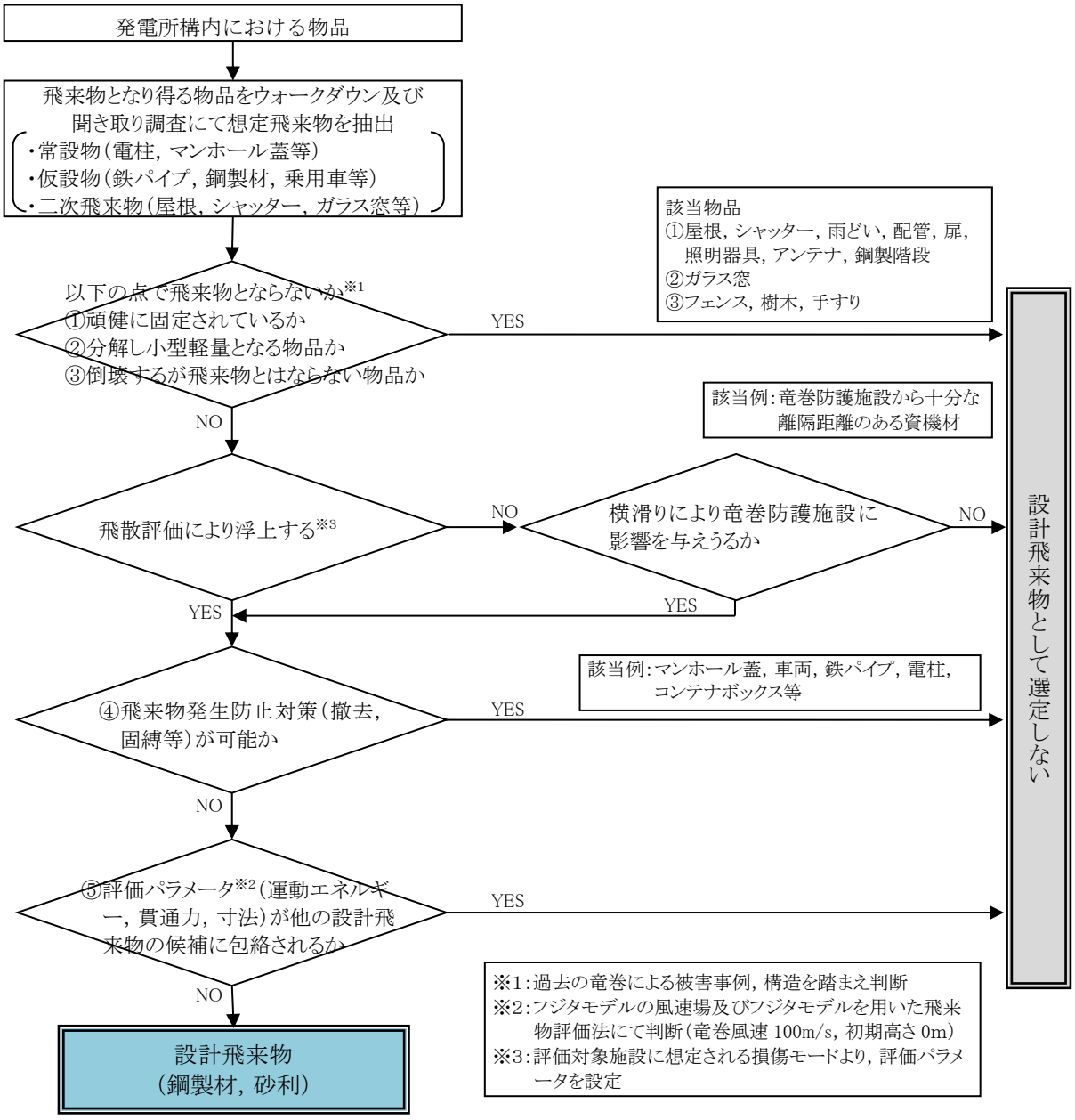
(c)設計飛来物の選定

設計飛来物の選定フローを第 3.3.1-1 図，選定結果を第 3.3.1-1 表に示す。

女川原子力発電所の飛来物に係るウォークダウンの結果，女川原子力発電所において飛来物となる可能性があるものから，浮き上がりの有無，運動エネルギー及び貫通力の大きさから，鋼製材を設計飛来物として選定した。

選定した鋼製材のサイズ，重量については，ウォークダウンの結果及びガイドに基づいて，影響が大きい寸法，重量を設定した。

また，後述の原子炉補機冷却海水ポンプ，電動機（配管等を含む），高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ，電動機（配管等を含む）の防護対策として設置する竜巻防護ネットをすり抜ける可能性のある飛来物として砂利を選定した。なお，砂利のサイズ（4cm）はネットのサイズ（5cm）を考慮して設定した。



第 3.3.1-1 図　設計飛来物の選定フロー

b. 設計飛来物の速度等の設定

設計竜巻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，(3)a.に示す竜巻風速 100m/s にて，フジタモデルの風速場を用いて速度を算出した。

また，設計飛来物の浮き上がり高さ及び飛散距離も同様に算出した。その結果を第 3.3.1-1 表に示す。女川原子力発電所の敷地状況を考慮し，防護施設の周辺に高台がないことから，初期高さを 0m とした。実際の竜巻影響評価においては，敷地の高台等を踏まえて適切に考慮する。第 3.3.1-1 表のとおり，設計飛来物の浮き上がり高さは，最大でも 0.2m と僅かであるが，設計飛来物は回転して飛散すること，米国 Regulatory Guide 1.76 では飛来物（自動車）が 9.1m（30feet）以下に影響を及ぼすこととしていることを踏まえ，設計飛来物は地上高 10m まで影響を及ぼすものとして評価する。

第 3.3.1-1 表　女川原子力発電所における設計飛来物

項　目		飛来物の種類	
		砂利	鋼製材
サイズ（m）		長さ×幅×奥行き 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2
質量（kg）		0.2	135
※計算結果	最大水平速度(m/s)	17	12
	最大鉛直速度(m/s)	0.8	0.9
	浮き上がり高さ(m)	0.1	0.2
	飛散距離（m）	11.6	6.5

※　設計竜巻風速 100m/s，フジタモデルの風速場，初期高さを 0m とした場合の計算結果

c.設計竜巻荷重の組み合わせ

評価対象施設の評価に用いる設計竜巻荷重は，設計竜巻による風圧力による荷重 W_W，気圧差による荷重 W_P，及び設計飛来物による衝撃荷重 W_M を組み合わせた複合荷重として，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

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

3.3.2 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) 評価対象施設に常時作用する荷重，運転時荷重等

評価対象施設に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※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，雹及び降水である。これらの自然現象の組み合わ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

女川原子力発電所が立地する地域においては，冬季，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や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るため，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雹

雹は積乱雲から直径 5mm 以上の氷の粒※2であり，仮に直径 10cm 程度の大型の雹を想定した場合，その重量は約 0.5kg となる。直径 10cm 程度の雹の終端速度は 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，雹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。

※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，東京大学出版社

(3) 設計基準事故時荷重

設計竜巻は原子炉冷却材喪失事故などの設計基準事故の起因とはならないため，設計竜巻と設計基準事故は独立事象となる。

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ことから，設計基準事故時荷重と設計竜巻荷重との組み合わせは考慮しない。

なお，竜巻防護施設等のうち設計基準事故時荷重が生じる屋外設備としては，原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ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，通常運転時の系統内圧力及び温度と変わらないため，設計基準事故により考慮すべき荷重はなく，竜巻と設計基準事故時荷重の組み合わせは考慮しない。

3.4 評価対象施設の設計方針

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が維持され，評価対象設備以外の設備については，竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する，もしくは，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（例えば，外部電源喪失時における非常用ディーゼル発電機からの受電）すること，安全上支障のない期間に修復（例えば，非常用ディーゼル発電設備のミスト配管が飛来物により損傷したとしても，閉塞しない様な措置を行う）すること等の対応が可能な設計とすることにより，竜巻防護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・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する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
・日本工業規格
・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）
・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，貫通が発生する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。

・日本工業規格
・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) 屋外設備

設計荷重に対して，安全機能が維持される設計とし，必要に応じて防護対策を講じる方針とする。

なお，外殻となる施設等による防護機能が期待できる屋内設備は，建屋又は構築物による防護により，設計荷重に対して安全機能を損なわない方針とする。

なお，設計飛来物の飛散高さは非常に僅か（約 0.2m）であるが，設計飛来物は高さ 10mまで影響を及ぼすものとして評価及び対策を行う。

①原子炉補機冷却海水ポンプ，電動機（配管等を含む）及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ，電動機（配管等を含む）

上記設備は，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，設備に常時作用する荷重，運転時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。

また，設計飛来物に対して竜巻防護ネット等の防護対策を行う。

②復水貯蔵タンク，非常用ガス処理系（屋外露出部）及び排気筒

上記設備は，風圧力による荷重，気圧差による荷重，地上高 10m 以下の範囲に対する設計飛来物による衝撃荷重，設備に常時作用する荷重，運転時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) 外気と繋がる設備

設計荷重に対して，安全機能が維持されるとし，必要に応じて防護対策を講じる方針とする。

①中央制御室換気空調系，原子炉棟換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室空調系

上記換気空調系は，原子炉建屋及び制御建屋に内包されていることを考慮すると，風圧力による荷重は作用しない。上記換気空調系の地上高 10m 以下の建屋開口部には設計飛来物による衝撃荷重を考慮し，安全機能を損なわない設計とする。

また，気圧差による荷重に対しても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。

②軽油タンク

軽油タンクは，地下化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。また，気圧差による荷重に対して，軽油タンク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) 外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備

外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備はない。

なお，使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）は原子炉建屋３階に設置しており，地上 10m より高いことを考慮すると，設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。

(5) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設

設計荷重に対する当該施設の健全性評価を行い，必要に応じ防護対策を講じる方針とする。

①２号補助ボイラー建屋，１号タービン建屋，１号廃棄物処理建屋，サイトバンカ建屋及び海水ポンプ室門型クレーン

上記建屋及びクレーンについては，風圧力による荷重，気圧差による荷重，地上高 10m 以下の範囲に対する設計飛来物による衝撃荷重に対して，倒壊により竜巻防護施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

②非常用ディーゼル発電設備（排気消音器，機関ミスト配管，潤滑油サンプタンクミスト配管，燃料デイタンクミスト配管，燃料油ドレンタンクミスト配管），高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（排気消音器，機関ミスト配管，潤滑油補給タンクミスト配管，燃料デイタンクミスト配管，燃料油ドレンタンクミスト配管）及び軽油タンクベント配管

上記設備は，風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して，構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とし，地上高 10m 以下の範囲に対する設計飛来物の衝突を考慮して，修復が可能な設計とすることによりディーゼル発電設備及び軽油タンクに波及的影響を及ぼさない設計とする。

③竜巻随伴事象の影響により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある施設（溢水により竜巻防護施設の機能を喪失させる可能性がある設備，火災発生により竜巻防護施設の機能を喪失させる可能性がある設備，外部電源）

竜巻随伴事象の影響により竜巻防護施設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 竜巻随伴事象に対する評価」に記載する。

(6) 竜巻防護施設の外殻となりえる施設（竜巻防護施設を内包する建屋・構築物等）

２号原子炉建屋，１号制御建屋，２号制御建屋，２号タービン建屋，２号地下

軽油タンクピットは，各々の構造に合わせて考慮すべき風圧力による荷重，気圧差による荷重及び地上高10m以下の範囲に対する設計飛来物の衝撃荷重に対して，構造骨組の構造健全性が維持されるとともに，屋根，壁，開口部（扉類）の破損により当該建屋内の竜巻防護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竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

3.5 竜巻随伴事象に対する評価

竜巻随伴事象は過去の竜巻被害状況及び女川原子力発電所のプラント配置から，想定される事象として，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，竜巻防護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

竜巻随伴事象として，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，屋外の軽油タンク，変圧器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，竜巻防護施設を設置している区画の開口部が，地上高10mより高い場合には設計飛来物は到達しない，又は地上高10mより低い開口部は設計飛来物による衝撃荷重を考慮しても安全機能を損なわない設計とする。

建屋外については，屋外にある軽油タンク，変圧器等からの火災がある。火災源と竜巻防護施設の位置関係を踏まえた外部火災影響評価において，航空機墜落や敷地内の軽油タンク，変圧器等からの火災が発生した場合においても，安全上重要な設備が収納されている原子炉建屋，制御建屋や屋外設置の竜巻防護施設に影響を及ぼさないことを確認している。

以上より，竜巻による火災が竜巻防護施設の安全機能に影響を与えることはない。

(2) 溢水

竜巻随伴事象として，竜巻による飛来物が屋外水タンク等の溢水源に衝突する場合，溢水が想定される。

建屋内については，竜巻防護施設を設置している区画の開口部が，地上高10mより高い場合には設計飛来物は到達しない，又は地上高10mより低い開口部は設計飛来物による衝撃荷重を考慮し，安全機能を損なわない設計とする。

建屋外については，内部溢水影響評価において，地震時の屋外水タンク等の破損を想定し,原子炉建屋,制御建屋等の水密扉や建屋貫通部の止水処置等により，地震起因の溢水が竜巻防護施設に影響を及ぼさないことを確認している。竜巻による飛来物で屋外水タンク等が損傷して発生する溢水は，上記に包絡されること

から，竜巻防護施設の安全機能維持に影響を与えることはない。

以上より，竜巻による溢水が竜巻防護施設の安全機能に影響を与えることはない。

(3) 外部電源喪失

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外部電源喪失が発生する場合については，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竜巻防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

女川原子力発電所２号炉

竜巻影響評価について
（添付資料）

添付資料

1.1　重大事故等対処施設に対する考慮について
1.2　竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出について
1.3　耐震Ｓクラス設備について
1.4　竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象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
2.6　設計竜巻の特性値の設定
2.7　米国及び関東平野の竜巻の類似性
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　竜巻随伴事象の抽出について

重大事故等対処施設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，設計基準事象によって，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郭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，竜巻によって設計基準対象施設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

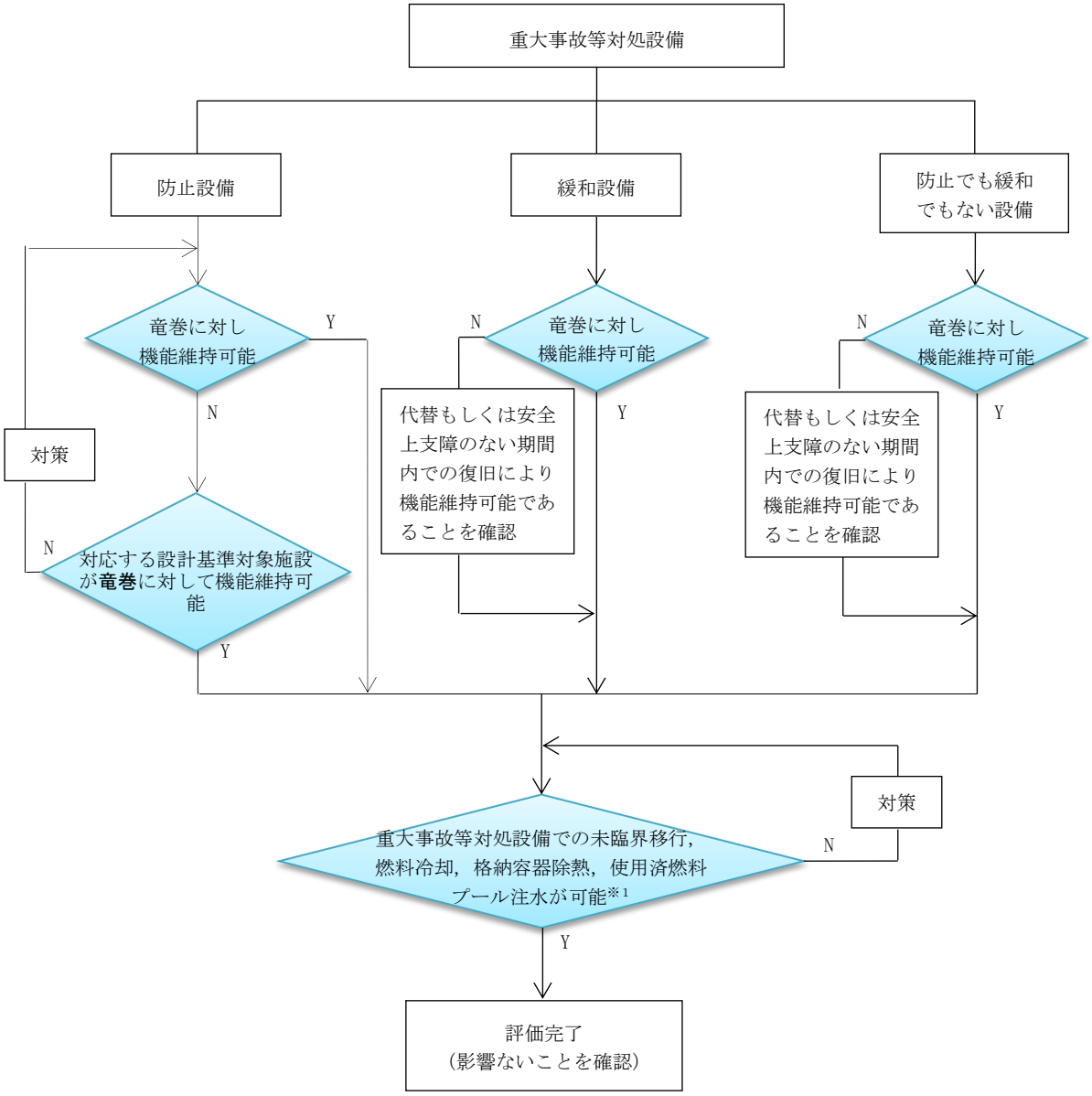
（２） 重大事故等対処設備であって，重大事故防止設備でない設備は，代替設備もしくは安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であること

（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，使用済燃料プール注水機能）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対象施設の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施設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。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：代替制御棒挿入機能及び代替原子炉再循環ポンプトリップ機能
・ 燃料冷却機能：高圧代替注水系
・ 格納容器除熱機能：原子炉格納容器フィルタベント系
・ 使用済燃料プール注水機能：燃料プール代替注水系

なお，重大事故等対処施設の設計方針は，設置許可基準規則第 43 条（重大事故等対処設備）にて考慮する。



※1：基準になる竜巻により重大事故等対処設備と設計基準対象施設の機能が同時に損なわれることはないが，安全上支障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への影響評価フロー

第１表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価（1/9）

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	設備設置（保管）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施設）	特定重大事故等対処施設		→申請範囲外			
第 43 条（重大事故等対処設備）	ブルドーザー		防止でも緩和でもない設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	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)	ATWS 緩和設備（代替制御棒挿入機能），制御棒，制御棒駆動機構，制御棒駆動水圧系（水圧制御ユニット，制御棒駆動水圧系配管）		防止設備	R/B C/B	○	建屋内
	ATWS 緩和設備(代替原子炉再循環ポンプトリップ機能)		防止設備	R/B C/B	○	建屋内
	ほう酸水注入系		防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
	ATWS 緩和設備(自動減圧系作動阻止機能)		防止設備	R/B C/B	○	建屋内
第 45 条(原子炉冷却材圧力バウンダリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備)	高圧代替注水系	高圧代替注水系ポンプ，配管等	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
		復水貯蔵タンク	56 条に記載		－	－
	原子炉隔離時冷却系	原子炉隔離時冷却系ポンプ，配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		復水貯蔵タンク	56 条に記載		－	－
	高圧炉心スプレイ系	高圧スプレイ系ポンプ，配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		サプレッションチェンバ	56 条に記載		－	－
		復水貯蔵タンク	56 条に記載		－	－
	ほう酸水注入系		44 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)	主蒸気逃がし安全弁，逃がし弁機能用アキュムレータ，自動減圧機能用アキュムレータ，主蒸気系配管（排気管含む）		防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
	代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）		防止設備	R/B C/B	○	建屋内
	ATWS 緩和設備(自動減圧系作動阻止機能)		44 条に記載		－	－
	可搬型代替直流電源設備		57 条に記載		－	－
	高圧窒素ガス供給系（非常用）	高圧窒素ガスボンベ，主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ，配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
	代替高圧窒素ガス供給系	高圧窒素ガスボンベ，ホース，配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
	HPCS 注入隔離弁		（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
	原子炉建屋ブローアウトパネル		防止設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし

※（自動減圧機能付き主蒸気逃がし安全弁のみ）

○：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）
　又は竜巻による損傷を考慮して，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

第１表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価（2/9）

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	設備設置（保管）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)	低圧代替注水系（常設）	復水移送ポンプ，配管等	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
		復水貯蔵タンク	56 条に記載		－	－
	低圧代替注水系（可搬型）	大容量送水ポンプ（タイプⅠ），緊急送水ポンプ，ホース等	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	屋外 R/B 廻り	○	分散配置
		常設箇所：配管等	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
		淡水貯水槽（No.1），淡水貯水槽（No.2）	56 条に記載		－	－
		復水貯蔵タンク	56 条に記載		－	－
	残留熱除去系（低圧注水モード）	残留熱除去系ポンプ，配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		サプレッションチェンバ	56 条に記載		－	－
	低圧炉心スプレイ系	低圧炉心スプレイ系ポンプ，配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		サプレッションチェンバ	56 条に記載		－	－
	原子炉補機冷却水系		48 条に記載		－	－
	非常用取水設備		その他の設備に記載		－	－
第 48 条(最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備)	原子炉補機代替冷却水系	可搬箇所：熱交換器ユニット，大容量送水ポンプ(タイプⅠ)，ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	分散配置
		常設箇所：残留熱除去系熱交換器，配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		常設箇所：接続口，配管等	防止設備	屋外 R/B 廻り	○	分散配置
	耐圧強化ベント系	配管，弁等	防止設備	R/B	○	建屋内
		排気筒	（設計基準対象施設）	屋外	○	影響なし
	原子炉格納容器フィルタベント系		50 条に記載		－	－
	残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード）		47 条に記載		－	－
	残留熱除去系（格納容器スプレイ冷却モード）		49 条に記載		－	－
	残留熱除去系（サプレッションプール水冷却モード）		49 条に記載		－	－
	原子炉補機冷却水系	原子炉補機冷却水ポンプ，配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却海水ポンプ，配管等	（設計基準対象施設）	屋外	○	影響なし
	高圧炉心スプレイ補機冷却水系	高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ，配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ，配管等	（設計基準対象施設）	屋外	○	影響なし
	非常用取水設備		その他の設備に記載		－	－

○：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）
　又は竜巻による損傷を考慮して，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

第１表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価（3/9）

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	設備設置（保管）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)	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系	可搬箇所：大容量送水ポンプ（タイプⅠ），ホース等	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	屋外 R/B 廻り	○	分散配置
		常設箇所：配管等	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
		淡水貯水槽（No.1），淡水貯水槽（No.2）	56 条に記載		－	－
	残留熱除去系（格納容器スプレイ冷却モード）	残留熱除去系ポンプ，配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		サプレッションチェンバ	56 条に記載		－	－
	残留熱除去系（サプレッションプール水冷却モード）	残留熱除去系ポンプ，配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		サプレッションチェンバ	56 条に記載		－	－
	原子炉補機冷却水系		48 条に記載		－	－
	非常用取水設備		その他の設備に記載		－	－
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)	原子炉格納容器フィルタベント系	常設箇所：フィルタ装置，圧力開放板，配管，遠隔手動弁操作設備等	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
		常設箇所：配管	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし
		可搬箇所：可搬型窒素ガス供給装置，ホース等	緩和設備	R/B 内及び屋外 R/B 廻り	○	分散配置
		常設箇所：接続口，配管等	緩和設備	屋外（可搬型 SA 設備保管場所）	○	分散配置（一方は建屋内）
		可搬箇所：大容量送水ポンプ（タイプⅠ），ホース等	防止設備・緩和設備	屋外（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	R/B 内及び屋外 R/B 廻り	○	分散配置（一方は建屋内）
	代替循環冷却系	代替循環冷却ポンプ，残留熱除去系熱交換器，配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機代替冷却水系（可搬箇所：熱交換器ユニット，大容量送水ポンプ(タイプⅠ)，ホース等）	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	分散配置
		原子炉補機代替冷却水系（常設箇所：残留熱除去系熱交換器，配管等）	緩和設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機代替冷却水系（常設箇所：接続口，配管等）	緩和設備	屋外 R/B 廻り	○	分散配置
		サプレッションチェンバ	56 条に記載		－	－
		非常用取水設備	その他の設備に記載		－	－

○：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）
　又は竜巻による損傷を考慮して，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

第１表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価（4/9）

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	設備設置（保管）箇所	竜巻	
					評価	防護方法
第 51 条(原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備)	原子炉格納容器下部注水系（常設）	復水移送ポンプ，配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		復水貯蔵タンク	56 条に記載		－	－
	原子炉格納容器下部注水系（可搬型）	大容量送水ポンプ（タイプⅠ），ホース等	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 R/B 廻り	○	分散配置
		淡水貯水槽（No.1），淡水貯水槽（No.2）	56 条に記載		－	－
	高圧代替注水系		45 条に記載		－	－
	ほう酸水注入系		44 条に記載		－	－
	低圧代替注水系（常設）		47 条に記載		－	－
	低圧代替注水系（可搬型）		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)	（原子炉格納容器調気系）		（設計基準対象施設）		－	－
	原子炉格納容器フィルタベント系	フィルタ装置等	50 条に記載		－	－
		フィルタ装置出口水素濃度，フィルタ装置出口放射線モニタ	58 条に記載		－	－
	格納容器内水素濃度（D/W），格納容器内水素濃度（S/C），格納容器内雰囲気水素濃度，格納容器内雰囲気酸素濃度		緩和設備	R/B	○	建屋内
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)	静的触媒式水素再結合装置，静的触媒式水素再結合装置動作監視装置		緩和設備	R/B	○	建屋内
	原子炉建屋内水素濃度		緩和設備	R/B	○	建屋内

○：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）
　又は竜巻による損傷を考慮して，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

第１表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価（5/9）

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	設備設置（保管）箇所	竜巻	
					評価	防護方法
第 54 条(使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備)	燃料プール代替注水系	可搬箇所：大容量送水ポンプ（タイプⅠ），ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	分散配置
		淡水貯水槽（No.1），淡水貯水槽（No.2）	56 条に記載		－	－
	燃料プールスプレイ系	可搬箇所：大容量送水ポンプ（タイプⅠ），ホース等	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	分散配置
		可搬箇所：スプレイノズル，ホース	緩和設備	R/B	○	建屋内
		淡水貯水槽（No.1），淡水貯水槽（No.2）	56 条に記載		－	－
	重大事故等時における使用済燃料プールの除熱	燃料プール冷却浄化系（燃料プール冷却浄化ポンプ，熱交換器，配管等）	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機代替冷却水系（可搬箇所：熱交換器ユニット，大容量送水ポンプ(タイプⅠ)，ホース等）	防止設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	分散配置
		原子炉補機代替冷却水系（常設箇所：燃料プール冷却浄化系熱交換器，配管等）	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機代替冷却水系（常設箇所：接続口，配管等）	防止設備	屋外 R/B 廻り	○	分散配置
	非常用取水設備		その他の設備に記載		－	－
	使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式），使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式），使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量，低線量），使用済燃料プール監視カメラ		防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
第 55 条(工場外への放射性物質の拡散を抑制するための設備)	大気への放射性物質の拡散抑制（大容量送水ポンプ（タイプⅡ），放水砲，ホース）		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（大容量送水ポンプ（タイプⅡ），放水砲，泡消火薬剤混合装置，ホース）		緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	分散配置
	海洋への放射性物質の拡散抑制	放射性物質吸着剤，シルトフェンス	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	分散配置
		小型船舶	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	分散配置
第 56 条(重大事故の収束に必要となる水の供給設備)	復水貯蔵タンク		防止設備・緩和設備	屋外	○	影響なし
	サプレッションチェンバ		緩和設備	R/B	○	建屋内
	淡水貯水槽（No.1），淡水貯水槽（No.2）		－(代替淡水源)	屋外(地下)	○	影響なし
	ほう酸水注入系貯蔵タンク		44 条に記載		－	－
	水の供給	大容量送水ポンプ（タイプⅠ），大容量送水ポンプ（タイプⅡ），ホース等	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	屋外及び屋外（地下）	○	分散配置（一方は地下）
	非常用取水設備		その他の設備に記載		－	－

○：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）
　又は竜巻による損傷を考慮して，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

第１表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価（6/9）

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	設備設置（保管）箇所	竜巻	
					評価	防護方法
第 57 条(電源設備)	常設代替交流電源設備	ガスタービン発電機	防止設備・緩和設備	屋外	○	代替設備（非常用交流電源設備）
		ガスタービン発電設備軽油タンク	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
		ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ，配管等	防止設備・緩和設備	屋外	○	代替設備（非常用交流電源設備）
	可搬型代替交流電源設備	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
		軽油タンク	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
		ガスタービン発電設備軽油タンク	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
		タンクローリ	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	分散配置
		電源車接続口	防止設備・緩和設備	R/B 内及び屋外 R/B 廻り	○	分散配置（一方は建屋内）
	所内常設蓄電式直流電源設備	125V 蓄電池 2A，125V 蓄電池 2B，125V 充電器盤 2A，125V 充電器盤 2B	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内
	可搬型代替直流電源設備	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
		125V 代替充電器盤，125V 代替蓄電池	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内
		軽油タンク	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
		ガスタービン発電設備軽油タンク	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
		タンクローリ	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	分散配置
		電源車接続口	防止設備・緩和設備	R/B 内及び屋外 R/B 廻り	○	分散配置（一方は建屋内）
	代替所内電気設備	ガスタービン発電機接続盤，緊急用高圧母線 2F 系，緊急用高圧母線 2G 系，緊急用動力変圧器 2G 系，緊急用低圧母線 2G 系，緊急用交流電源切替盤 2G 系，緊急用交流電源切替盤 2C 系，緊急用交流電源切替盤 2D 系，非常用高圧母線 2C 系，非常用高圧母線 2D 系	防止設備・緩和設備	R/B，C/B，緊急用電気品建屋	○	建屋内
	非常用交流電源設備	非常用ディーゼル発電機，燃料デイタンク，配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	影響なし
		非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	（設計基準対象施設）	屋外（地下）	○	影響なし
		軽油タンク，配管等	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
	高圧炉心スプレイ系用交流電源設備	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機，燃料デイタンク，配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	影響なし
		高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	（設計基準対象施設）	屋外（地下）	○	影響なし
		軽油タンク，配管等	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
	高圧炉心スプレイ系用直流電源設備	125V 蓄電池 2H，125V 充電器盤 2H	（設計基準対象施設）	C/B	○	影響なし
	燃料補給設備	軽油タンク，ガスタービン発電設備軽油タンク	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
		タンクローリ	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	分散配置

○：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）
　又は竜巻による損傷を考慮して，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

第１表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価（7/9）

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	設備設置（保管）箇所	竜巻	
					評価	防護方法
第 58 条(計装設備)	重大事故等時の計装（SA 時計装一式） [原子炉圧力容器内の温度・圧力・水位] [原子炉圧力容器・格納容器への注水量] [原子炉格納容器内の温度・圧力・水位・水素濃度・放射線量率] [未臨界の維持又は監視] [最終ヒートシンクの確保（代替循環冷却系・原子炉格納容器フィルタベント系・耐圧強化ベント系・残留熱除去系）] [格納容器バイパスの監視] [水源の確保] [原子炉建屋内の水素濃度]		防止設備・緩和設備・（設計基準対象施設）	R/B, 屋外（地下）	○	建屋内
	[使用済燃料プールの監視]		防止設備・緩和設備・防止でも緩和でもない設備	R/B	○	建屋内
	[発電所内の通信連絡]		防止でも緩和でもない設備	C/B, 緊急時対策建屋	○	建屋内
	[温度，圧力，水位，注水量の計測・監視]		防止でも緩和でもない設備	C/B, 緊急時対策建屋	○	建屋内
第 59 条(原子炉制御室)	居住性の確保	中央制御室，中央制御室退避所	（重大事故等対処施設）	C/B	○	建屋内
		中央制御室遮蔽，中央制御室送風機，中央制御室排風機，中央制御室再循環送風機，中央制御室再循環フィルタ装置，ダクト等	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内
		中央制御室待避所遮蔽，中央制御室待避所加圧設備（空気ボンベ，配管等）	緩和設備	C/B	○	建屋内
		差圧計，酸素濃度計，二酸化炭素濃度計，データ表示装置（待避所）	防止でも緩和でもない設備	C/B	○	建屋内
		トランシーバ(固定)，衛星電話(固定)	62 条に記載		－	－
	照明の確保	可搬型照明	防止でも緩和でもない設備	C/B	○	建屋内
	被ばく線量の低減	非常用ガス処理系（排風機等）	緩和設備	R/B	○	建屋内
第 60 条(監視測定設備)	可搬型モニタリングポスト，代替気象観測設備		防止でも緩和でもない設備	可搬型 SA 設備保管場所（コンテナ内）	○	分散配置
	可搬型放射線計測装置（可搬型ダスト・よう素サンプラ，γ線サーベイメータ，β線サーベイメータ，α線サーベイメータ，電離箱サーベイメータ）		防止でも緩和でもない設備	緊急時対策建屋	○	建屋内
	小型船舶		防止でも緩和でもない設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	分散配置
	常設代替交流電源設備		57 条に記載		－	－

○：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）
　又は竜巻による損傷を考慮して，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

第１表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価（8/9）

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	設備設置（保管）箇所	竜巻	
					評価	防護方法
第 61 条(緊急時対策所)	居住性の確保	緊急時対策所	（重大事故等対処施設）	緊急時対策建屋	○	建屋内
		緊急時対策所遮蔽，緊急時対策建屋非常用送風機，緊急時対策建屋非常用フィルタ装置，配管等	防止設備・緩和設備	緊急時対策建屋	○	建屋内
		緊急時対策所加圧設備（空気ボンベ，配管等）	緩和設備	緊急時対策建屋	○	建屋内
		差圧計，酸素濃度計，二酸化炭素濃度計	防止でも緩和でもない設備	緊急時対策建屋	○	建屋内
		緊急時対策所可搬型エリアモニタ	緩和設備	緊急時対策建屋	○	建屋内
		可搬型モニタリングポスト	60 条に記載		－	－
	必要な情報の把握	安全パラメータ表示システム（SPDS）	62 条に記載		－	－
	電源の確保（緊急時対策所）	ガスタービン発電機，ガスタービン発電設備軽油タンク，ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ，配管等	57 条に記載		－	－
		電源車	防止設備・緩和設備	屋外緊急時対策建屋廻り及び可搬型 SA 設備保管場所	○	代替設備（非常用交流電源設備）
		緊急時対策所軽油タンク，緊急時対策所燃料移送系配管等	防止設備・緩和設備	緊急時対策建屋	○	建屋内 （外壁に面する給排気口は竜巻対策を実施）
		緊急時対策所用高圧母線 J 系	防止設備・緩和設備	緊急時対策建屋	○	建屋内
	通信連絡（緊急時対策所）	トランシーバ（固定），トランシーバ（携帯），衛星電話（固定），衛星電話（携帯）	防止設備・緩和設備	緊急時対策建屋	○	建屋内
	衛星	衛星無線通信装置，有線（建屋内）	62 条に記載		－	－

○：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）
　又は竜巻による損傷を考慮して，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

第１表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価（9/9）

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	設備設置（保管）箇所	竜巻	
					評価	防護方法
第 62 条(通信連絡を行うために必要な設備)	所内通信	携行型通話装置	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内
		トランシーバ（固定），トランシーバ（携帯）	防止設備・緩和設備	C/B,緊急時対策建屋(屋外設備含む)	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備は分散配置された代替設備（有線系，衛星系）により機能維持可能
		安全パラメータ表示システム（SPDS）	防止設備・緩和設備	C/B,緊急時対策建屋(屋外設備含む)	○	建屋内（屋外設備については代替設備（有線系））にて機能維持可能
	所内外通信	衛星電話（固定），衛星電話（携帯）	緩和設備	緊急時対策建屋(屋外設備含む)	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備は分散配置された代替設備（有線系，無線系）により機能維持可能
	所外通信	統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備，データ伝送設備	防止でも緩和でもない設備	緊急時対策建屋(屋外設備含む)	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備は分散配置された代替設備（有線系，衛星系）により機能維持可能
その他の設備	重大事故等時に対処するための流路，注水先，注入先，排出元等	原子炉圧力容器，原子炉格納容器，使用済燃料プール	防止設備・緩和設備	R/B	○	影響なし
		原子炉建屋原子炉棟	緩和設備	R/B	○	影響なし
	非常用取水設備	取水口，取水路，海水ポンプ室	防止設備・緩和設備	屋外	○	影響なし

○：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）
　又は竜巻による損傷を考慮して，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

竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出について

竜巻防護施設は，「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」（以下，「重要度分類指針」という。）における安全重要度クラス１，２に属する施設とし，そのうち，竜巻影響評価の対象施設については，以下の観点に基づき抽出している。竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フローを第１図，評価対象施設の抽出結果を第１表に示す。

① 屋外設備

設備の設置場所を確認し，竜巻襲来時に風圧，気圧差及び飛来物衝突の影響を受ける屋外設備を評価対象とする。

②外気と繋がる設備

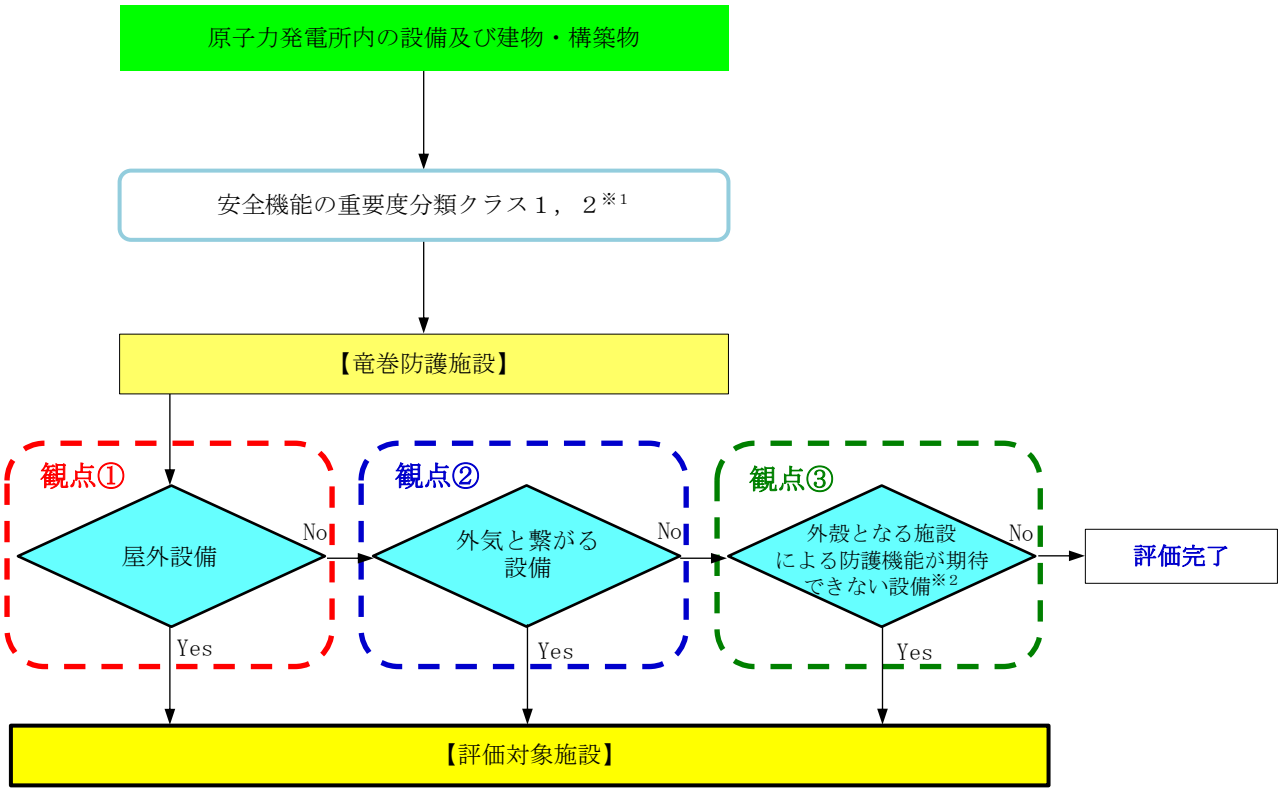
外気との接続があるため，竜巻襲来時に気圧差荷重の影響を受ける換気空調設備等を評価対象とする。

③外殻となる施設による防護機能が期待できない設備

竜巻防護施設が設置されている施設等の外殻による防護機能が期待できないものを評価対象とする。なお，外殻による防護に期待できるかは，建屋・構築物等の竜巻荷重に対する健全性の確認結果による。

なお，安全重要度クラス３に属する施設については，竜巻及びその随伴事象に対して機能維持（「3.3 設計荷重の設定」に示す飛来物が影響を及ぼす高さ（地上高 10m まで）等を踏まえ，機能が維持されるかを確認する），又は，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，必要に応じプラントを停止し，安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な場合には，安全機能を損なわないことから評価完了とする。

また，竜巻防護施設の外殻となる施設等（竜巻防護施設を内包する建屋・構築物等）による防護機能によって設計竜巻による影響を受けないことが確認された施設については除外する。



※１　クラス３に属する施設については，竜巻及びその随伴事象に対して機能維持（飛来物が影響を及ぼす高さ（地上 10m まで）等を踏まえ，機能が維持されるかを確認）する，又は，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，必要に応じプラントを停止し，安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な場合には，安全機能を損なわないことから評価完了とする。
また，竜巻防護施設の外殻となる施設等（竜巻防護施設を内包する建屋・構築物等）による防護機能によって設計竜巻による影響を受けないことが確認された施設については除外する。
※２　建屋，構築物等の健全性確認結果を基に抽出

第１図 竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フロー

第１表 評価対象施設の抽出結果（1/12）

○：Yes　×：No　－：該当せず※3

重要度分類指針				女川原子力発電所２号炉		抽出の観点※1			設置場所※2	評価対象施設	備考
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物，系統又は機器		①	②	③			
PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によって、(a)炉心の著しい損傷、又は(b)燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物、系統及び機器	1)原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系（計装等の小口径配管・機器は除く。）	原子炉圧力容器		×	×	×	R	－	
				原子炉再循環ポンプ		×	×	×	R	－	
				配管，弁		×	×	×	R	－	
				原子炉圧力容器バウンダリ隔離弁		×	×	×	R	－	
				制御棒駆動機構ハウジング		×	×	×	R	－	
				中性子束計装ハウジング		×	×	×	R	－	
		2)過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	制御棒カップリング		×	×	×	R	－	
				制御棒駆動機構カップリング		×	×	×	R	－	
		3)炉心形状の維持機能	炉心支持構造物（炉心シュラウド、シュラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、制御棒案内管）、燃料集合体（ただし、燃料を除く。）	炉心シュラウド		×	×	×	R	－	
				シュラウドサポート		×	×	×	R	－	
				上部格子板		×	×	×	R	－	
				炉心支持板		×	×	×	R	－	
				燃料支持金具		×	×	×	R	－	
				制御棒案内管		×	×	×	R	－	
				制御棒駆動機構ハウジング		×	×	×	R	－	
				燃料集合体（上部タイプレート）		×	×	×	R	－	
				燃料集合体（下部タイプレート）		×	×	×	R	－	
				燃料集合体（スペーサ）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（燃料集合体）	チャンネルボックス	×	×	×	R	－	
MS-1	1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	1)原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系（制御棒及び制御棒駆動系（スクラム機能））	制御棒		×	×	×	R	－	
				制御棒案内管		×	×	×	R	－	
				制御棒駆動機構		×	×	×	R	－	
				制御棒駆動機構カップリング		×	×	×	R	－	
				直接関連系（制御棒駆動水圧系）	水圧制御ユニット（スクラムパイロット弁，スクラム弁，アキュムレータ，窒素容器，配管，弁）	×	×	×	R	－	
		2)未臨界維持機能	原子炉停止系（制御棒による系、ほう酸水注入系）	制御棒		×	×	×	R	－	
				制御棒カップリング		×	×	×	R	－	
				直接関連系（制御棒駆動水圧系）	制御棒駆動機構	×	×	×	R	－	
					制御棒駆動機構ハウジング	×	×	×	R	－	
				ほう酸水注入系（ポンプ，注入弁，タンク出口弁，貯蔵タンク，ポンプ吸込配管及び弁，注入配管及び弁）		×	×	×	R	－	
		3)原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁（安全弁としての開機能）	主蒸気逃がし安全弁（安全弁としての開機能）		×	×	×	R	－	

※1：①＝屋外設備，②＝外気と繋がる設備，③＝外殻となる施設による防護機能が期待できない設備
※2：R＝2号原子炉建屋，C＝1号制御建屋,2号制御建屋，T＝2号タービン建屋，LO＝2号地下軽油タンクピット，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所
※3：抽出の観点①～③の評価の結果，該当せず
※4：竜巻防護施設の付属設備のうち屋外にある設備（波及的影響を及ぼし得る施設）として抽出
※5：安全機能が損なわれないため評価完了とする

○：Yes　×：No　－：該当せず※3

第1表 評価対象施設の抽出結果（2/12）

重要度分類指針				女川原子力発電所2号炉		抽出の観点※1			設置場所※2	評価対象施設	備考
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物，系統又は機器		①	②	③			
MS-1	1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	4)原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統（残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード）、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心スプレイ系、逃がし安全弁（手動逃がし機能）、自動減圧系（手動逃がし機能））	残留熱除去系（ポンプ，熱交換器，原子炉停止時冷却モードのルートとなる配管及び弁）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（残留熱除去系）	熱交換器バイパス配管及び弁	×	×	×	R	－	
				原子炉隔離時冷却系（ポンプ，サプレッションチェンバ，タービン，サプレッションチェンバから注水先までの配管，弁）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（原子炉隔離時冷却系）	タービンへの蒸気供給配管，弁	×	×	×	R	－	
					ポンプミニマムフローラインの配管，弁	×	×	×	R	－	
					サプレッションチェンバ内のストレーナ	×	×	×	R	－	
					復水貯蔵タンク	○	×	×	屋外	○	
					ポンプの復水貯蔵タンクからの吸込弁	×	×	×	R	－	
					ポンプの復水貯蔵タンクからの吸込配管，弁	×	×	×	R	－	
					潤滑油冷却系及びその冷却器までの冷却水供給配管	×	×	×	R	－	
				高圧炉心スプレイ系（ポンプ，サプレッションチェンバ，サプレッションチェンバからスプレイ先までの配管，弁，スプレイスパージャ）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（高圧炉心スプレイ系）	ポンプミニマムフローラインの配管，弁	×	×	×	R	－	
					サプレッションチェンバ内のストレーナ	×	×	×	R	－	
					復水貯蔵タンク	○	×	×	屋外	○	
					ポンプの復水貯蔵タンクからの吸込弁	×	×	×	R	－	
					ポンプの復水貯蔵タンクからの吸込配管，弁	×	×	×	R	－	
				主蒸気逃がし安全弁（手動逃がし機能）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（主蒸気逃がし安全弁（手動逃がし機能））	原子炉圧力容器から主蒸気逃がし安全弁までの主蒸気配管	×	×	×	R	－	
					駆動用窒素源（アキュムレータ，アキュムレータから主蒸気逃がし安全弁までの配管，弁）	×	×	×	R	－	
				自動減圧系（手動逃がし機能）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（自動減圧系（手動逃がし機能））	原子炉圧力容器から主蒸気逃がし安全弁までの主蒸気配管	×	×	×	R	－	
					駆動用窒素源（アキュムレータ，アキュムレータから主蒸気逃がし安全弁までの配管，弁）	×	×	×	R	－	

※1：①＝屋外設備，②＝外気と繋がる設備，③＝外殻となる施設による防護機能が期待できない設備
※2：R＝2号原子炉建屋，C＝1号制御建屋,2号制御建屋，T＝2号タービン建屋，LO＝2号地下軽油タンクピット，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所
※3：抽出の観点①～③の評価の結果，該当せず
※4：竜巻防護施設の付属設備のうち屋外にある設備（波及的影響を及ぼし得る施設）として抽出
※5：安全機能が損なわれないため評価完了とする

○：Yes　×：No　－：該当せず※3

第１表 評価対象施設の抽出結果（3/12）

重要度分類指針				女川原子力発電所２号炉		抽出の観点※1			設置場所※2	評価対象施設	備考
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物，系統又は機器		①	②	③			
MS-1	1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	5)炉心冷却機能	非常用炉心冷却系（低圧炉心スプレイ系、低圧注水系、高圧炉心スプレイ系、自動減圧系）	残留熱除去系（低圧注水モード）（ポンプ，サプレッションチェンバ，サプレッションチェンバから注水先までの配管，弁（熱交換器バイパスライン含む），注水ヘッダ）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（残留熱除去系（低圧注水モード））	ポンプミニマムフローラインの配管，弁	×	×	×	R	－	
					サプレッションチェンバ内のストレーナ	×	×	×	R	－	
				低圧炉心スプレイ系（ポンプ，サプレッションチェンバ，サプレッションプールからスプレイ先までの配管，弁，スプレイスパージャ）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（低圧炉心スプレイ系）	ポンプミニマムフローラインの配管，弁	×	×	×	R	－	
					サプレッションチェンバ内のストレーナ	×	×	×	R	－	
				高圧炉心スプレイ系（ポンプ，サプレッションチェンバ，サプレッションチェンバからスプレイ先までの配管，弁，スプレイスパージャ）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（高圧炉心スプレイ系）	ポンプミニマムフローラインの配管，弁	×	×	×	R	－	
					サプレッションチェンバストレーナ	×	×	×	R	－	
					復水貯蔵タンク	○	×	×	屋外	○	
					ポンプの復水貯蔵タンクからの吸込弁	×	×	×	R	－	
					ポンプの復水貯蔵タンクからの吸込配管，弁	×	×	×	R	－	
				自動減圧系（主蒸気逃がし安全弁）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（自動減圧系（主蒸気逃がし安全弁））	原子炉圧力容器から主蒸気逃がし安全弁までの主蒸気配管	×	×	×	R	－	
					駆動用窒素源（アキュムレータ，アキュムレータから主蒸気逃がし安全弁までの配管，弁）	×	×	×	R	－	
		6)放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレイ冷却系、原子炉建屋、非常用ガス処理系、非常用再循環ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	原子炉格納容器（格納容器本体，貫通部，所員用エアロック，機器搬出入用ハッチ）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（原子炉格納容器）	ベント管	×	×	×	R	－	
					スプレイ管	×	×	×	R	－	
					真空破壊弁	×	×	×	R	－	
					主蒸気逃がし安全弁排気管のクエンチャ	×	×	×	R	－	
				原子炉建屋（原子炉建屋原子炉棟）		×	×	×	／	○	外殻施設
				直接関連系（原子炉建屋（原子炉建屋原子炉棟））	原子炉棟給排気隔離弁	×	○	×	R	○	
				原子炉格納容器隔離弁及び格納容器バウンダリ配管		×	×	×	R	－	
				直接関連系（原子炉格納容器隔離弁及び格納容器バウンダリ配管）	主蒸気隔離弁駆動用空気又は窒素源（アキュムレータ，アキュムレータから主蒸気隔離弁までの配管，弁）	×	×	×	R	－	
				主蒸気流量制限器		×	×	×	R	－	

※1：①＝屋外設備，②＝外気と繋がる設備，③＝外殻となる施設による防護機能が期待できない設備
※2：R＝2 号原子炉建屋，C＝1 号制御建屋，2 号制御建屋，T＝2 号タービン建屋，LO＝2 号地下軽油タンクピット，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所
※3：抽出の観点①～③の評価の結果，該当せず
※4：竜巻防護施設の付属設備のうち屋外にある設備（波及的影響を及ぼし得る施設）として抽出
※5：安全機能が損なわれないため評価完了とする

○：Yes　×：No　－：該当せず※3

第１表 評価対象施設の抽出結果（4/12）

重要度分類指針				女川原子力発電所２号炉		抽出の観点※1			設置場所※2	評価対象施設	備考
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物，系統又は機器		①	②	③			
MS-1	1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	6)放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレイ冷却系、原子炉建屋、非常用ガス処理系、非常用再循環ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	残留熱除去系（格納容器スプレイ冷却モード）（ポンプ，熱交換器，サプレッションチェンバ，サプレッションチェンバからスプレイ先（ドライウェル及びサプレッションチェンバ気相部）までの配管，弁，スプレイヘッダ（ドライウェル及びサプレッションチェンバ））		×	×	×	R	－	
				直接関連系（残留熱除去系（格納容器スプレイ冷却モード））	ポンプミニマムフローラインの配管，弁	×	×	×	R	－	
					サプレッションチェンバ内のストレーナ	×	×	×	R	－	
				非常用ガス処理系（乾燥装置，排風機，フィルタ装置，原子炉建屋原子炉棟吸込口から排気筒までの配管，弁）		○	×	×	R,屋外	○	一部の配管は屋外に設置
				直接関連系（非常用ガス処理系）	乾燥装置（乾燥機能部分）	×	×	×	R	－	
					排気筒	○	×	×	屋外	○	
				可燃性ガス濃度制御系（再結合装置，格納容器から再結合装置までの配管，弁，再結合装置から格納容器までの配管，弁）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（可燃性ガス濃度制御系）	残留熱除去系（再結合装置への冷却水供給をつかさどる部分）	×	×	×	R	－	
				遮へい設備（原子炉遮へい壁，一次遮へい壁，二次遮へい壁）		×	×	×	R	－	
	2)安全上必須なその他の構築物、系統及び機器	1)工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系	原子炉停止系への作動信号の発生機構 ・原子炉保護系の安全保護回路		×	×	×	R,C	－	
				工学的安全施設への作動信号の発生機構 ・非常用炉心冷却系作動の安全保護回路 ・主蒸気隔離の安全保護回路 ・原子炉格納容器隔離の安全保護回路 ・非常用ガス処理系作動の安全保護回路		×	×	×	R,C	－	
		2)安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系、制御室及びその遮へい、非常用換気空調系、非常用補機冷却水系、直流電源系（いずれも、MS-1関連のもの）	非常用所内電源設備（ディーゼル機関，発電機，発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路）		×	○	×	R	－	関連設備として原子炉補機室換気空調系を抽出
				直接関連系（非常用所内電源設備）	燃料系（デイタンクからディーゼル機関まで）	○	×	×	R,屋外	○	燃料油ドレンタンクミスト配管※4
					始動用空気系（空気だめからディーゼル機関まで）	×	×	×	R	－	
					吸気系	○	×	×	R,屋外	○	排気消音器※4
					冷却水系	×	×	×	R	－	
					潤滑油系	○	×	×	R,屋外	○	機関ミスト配管，潤滑油サンプタンクミスト配管，潤滑油補給タンクミスト配管※4
					燃料移送系（軽油タンクからデイタンクまで）	○	×	×	R,LO,屋外	○	燃料デイタンクミスト配管※4
					軽油タンク	○	○	×	LO,屋外	○	①軽油タンクベント配管 ②軽油タンク※4

※1：①＝屋外設備，②＝外気と繋がる設備，③＝外殻となる施設による防護機能が期待できない設備
※2：R＝2号原子炉建屋，C＝1号制御建屋,2号制御建屋，T＝2号タービン建屋，LO＝2号地下軽油タンクピット，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所
※3：抽出の観点①～③の評価の結果，該当せず
※4：竜巻防護施設の付属設備のうち屋外にある設備（波及的影響を及ぼし得る施設）として抽出
※5：安全機能が損なわれないため評価完了とする

○：Yes　×：No　－：該当せず※3

第1表 評価対象施設の抽出結果（5/12）

重要度分類指針				女川原子力発電所2号炉		抽出の観点※1			設置場所※2	評価対象施設	備考
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物，系統又は機器		①	②	③			
MS-1	2)安全上必須なその他の構築物、系統及び機器	2)安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系、制御室及びその遮へい、非常用換気空調系、非常用補機冷却水系、直流電源系（いずれも、MS-1関連のもの）	中央制御室及び中央制御室遮へい		×	×	×	C	－	
				中央制御室換気空調系（放射線防護機能及び有毒ガス防護機能）（再循環送風機，再循環フィルタ装置，空気調和装置，送風機，排風機，ダクト及びダンパ）		×	○	×	C	○	
				原子炉補機冷却水系（ポンプ，熱交換器，非常用系負荷冷却ライン配管，弁（MS-1関連））		×	×	×	R	－	
				直接関連系（原子炉補機冷却水系）	サージタンク	×	×	×	R	－	
				高圧炉心スプレイ補機冷却水系（ポンプ，熱交換器，配管，弁）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（高圧炉心スプレイ補機冷却水系）	サージタンク	×	×	×	R	－	
				原子炉補機冷却海水系（ポンプ，配管，弁，ストレーナ（MS-1関連））		○	×	×	R,屋外	○	屋外設備であるポンプ，一部の配管及び弁には竜巻防護対策を実施
				直接関連系（原子炉補機冷却海水系）	ストレーナ（異物除去機能をつかさどる部分）	×	×	×	R	－	
					取水路（屋外トレンチ含む）	×	×	×	屋外	－	地下埋設
				高圧炉心スプレイ補機冷却海水系（ポンプ，配管，弁，ストレーナ）		○	×	×	R,屋外	○	屋外設備であるポンプ，一部の配管及び弁には竜巻防護対策を実施
				直接関連系（高圧炉心スプレイ補機冷却海水系）	ストレーナ（異物除去機能をつかさどる部分）	○	×	×	R,屋外	○	
					取水路（屋外トレンチ含む）	×	×	×	屋外	－	地下埋設
				直流電源設備（蓄電池，蓄電池から非常用負荷までの配電設備及び電路（MS-1関連））		×	×	×	R,C	－	
				計測制御用電源設備（蓄電池から非常用計測制御装置までの配電設備及び電路（MS-1関連））		×	○	×	R,C	－	関連設備として計測制御電源室換気空調系を抽出
PS-2	1)その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	1)原子炉冷却材を内蔵する機能（ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。）	主蒸気系、原子炉冷却材浄化系（いずれも、格納容器隔離弁の外側のみ）	原子炉冷却材浄化系（原子炉冷却材圧力バウンダリ以外の部分）		×	×	×	R	－	
				主蒸気系（原子炉冷却材圧力バウンダリ以外の部分）		×	×	×	R,T	－	
				原子炉隔離時冷却系（原子炉冷却材圧力バウンダリ以外の部分でタービン止め弁まで）		×	×	×	R	－	

※1：①＝屋外設備，②＝外気と繋がる設備，③＝外殻となる施設による防護機能が期待できない設備
※2：R＝2号原子炉建屋，C＝1号制御建屋,2号制御建屋，T＝2号タービン建屋，LO＝2号地下軽油タンクピット，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所
※3：抽出の観点①～③の評価の結果，該当せず
※4：竜巻防護施設の付属設備のうち屋外にある設備（波及的影響を及ぼし得る施設）として抽出
※5：安全機能が損なわれないため評価完了とする

○：Yes　×：No　－：該当せず※3

第１表 評価対象施設の抽出結果（6/12）

重要度分類指針				女川原子力発電所２号炉		抽出の観点※1			設置場所※2	評価対象施設	備考
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物，系統又は機器		①	②	③			
PS-2	1)その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	2)原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	放射性廃棄物処理施設（放射能インベントリの大きいもの）、使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む。）	気体廃棄物処理系（活性炭式希ガスホールドアップ装置）		×	×	×	T	－	
				使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）		×	×	×	R	－	
				新燃料貯蔵庫（臨界を防止する機能）（新燃料貯蔵ラック）		×	×	×	R	－	
		3)燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備	燃料交換機		×	×	×	R	－	
				原子炉建屋クレーン		×	×	×	R	－	
				直接関連系（燃料取扱設備）	原子炉ウェル	×	×	×	R	－	
	2)通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって、その故障により、炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器	1)安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	逃がし安全弁（吹き止まり機能に関連する部分）	主蒸気逃がし安全弁（吹き止まり機能）		×	×	×	R	－	
MS-2	1)PS-2の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物、系統及び機器	1)燃料プール水の補給機能	非常用補給水系	残留熱除去系（ポンプ，サプレッションチェンバ，サプレッションチェンバ内のストレーナから燃料プールまでの配管，弁）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（残留熱除去系）	ポンプミニマムフローラインの配管，弁	×	×	×	R	－	
					サプレッションチェンバ内のストレーナ	×	×	×	R	－	
		2)放射性物質放出の防止機能	放射性気体廃棄物処理系の隔離弁、排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能以外）	気体廃棄物処理系の隔離弁		×	×	×	T	－	
				排気筒		○	×	×	屋外	○	
				燃料プール冷却浄化系の燃料プール注入逆止弁		×	×	×	R	－	
			燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系	原子炉建屋（原子炉建屋原子炉棟）		×	×	×		○	外殻施設
				直接関連系（原子炉建屋）	原子炉棟給排気隔離弁	×	○	×	R	○	
				非常用ガス処理系（乾燥装置，排風機，フィルタ装置，原子炉建屋原子炉棟吸込口から排気筒までの配管，弁）		○	×	×	R,屋外	○	一部の配管は屋外に設置
				直接関連系（非常用ガス処理系）	乾燥装置（乾燥機能部分）	×	×	×	R	－	
					排気筒	○	×	×	屋外	○	

※1：①＝屋外設備，②＝外気と繋がる設備，③＝外殻となる施設による防護機能が期待できない設備
※2：R＝2号原子炉建屋，C＝1号制御建屋,2号制御建屋，T＝2号タービン建屋，LO＝2号地下軽油タンクピット，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所
※3：抽出の観点①～③の評価の結果，該当せず
※4：竜巻防護施設の付属設備のうち屋外にある設備（波及的影響を及ぼし得る施設）として抽出
※5：安全機能が損なわれないため評価完了とする

第１表 評価対象施設の抽出結果（7/12）

○：Yes　×：No　－：該当せず※3

重要度分類指針				女川原子力発電所２号炉	抽出の観点※1			設置場所※2	評価対象施設	備考
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物，系統又は機器	①	②	③			
MS-2	2)異常状態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	1)事故時のプラント状態の把握機能	事故時監視計器の一部	・中性子束（起動領域モニタ） ・原子炉スクラム用電磁接触器の状態 ・制御棒位置	×	×	×	R,C	－	
				・原子炉水位（広帯域，燃料域） ・原子炉圧力	×	×	×	R,C	－	
				・原子炉格納容器圧力 ・サプレッションプール水温度 ・格納容器内雰囲気モニタ（放射線レベル）	×	×	×	R,C	－	
				［低温停止への移行］ ・原子炉圧力 ・原子炉水位（広帯域）	×	×	×	R,C	－	
				［ドライウェルスプレイ］ ・原子炉水位（広帯域，燃料域） ・原子炉格納容器圧力	×	×	×	R,C	－	
				［サプレッションチェンバ冷却］ ・原子炉水位（広帯域，燃料域） ・サプレッションプール水温度	×	×	×	R,C	－	
				［可燃性ガス濃度制御系起動］ ・格納容器内雰囲気モニタ（水素・酸素濃度）	×	×	×	R,C	－	
		2)異常状態の緩和機能	BWRには対象機能なし	（対象外）						
		3)制御室外からの安全停止機能	制御室外原子炉停止装置（安全停止に関連するもの）	中央制御室外原子炉停止装置	×	×	×	C	－	

※1：①＝屋外設備，②＝外気と繋がる設備，③＝外殻となる施設による防護機能が期待できない設備
※2：R＝2号原子炉建屋，C＝1号制御建屋,2号制御建屋，T＝2号タービン建屋，LO＝2号地下軽油タンクピット，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所
※3：抽出の観点①～③の評価の結果，該当せず
※4：竜巻防護施設の付属設備のうち屋外にある設備（波及的影響を及ぼし得る施設）として抽出
※5：安全機能が損なわれないため評価完了とする

○：Yes　×：No　－：該当せず※3

第１表 評価対象施設の抽出結果（8/12）

重要度分類指針				女川原子力発電所２号炉	抽出の観点※1			設置場所※2	評価対象施設	備考
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物，系統又は機器	①	②	③			
PS-3	1)異常状態の起因事象となるものであって、PS-1 及び PS-2 以外の構築物、系統及び機器	1)原子炉冷却材保持機能（PS-1、PS-2 以外のもの）	原子炉冷却材圧力バウンダリから除外される計装等の小口径配管、弁	計装配管，弁	×	×	×	R	－	
				試料採取管，弁	×	×	×	R	－	
				ドレン配管，弁	×	×	×	R	－	
				ベント配管，弁	×	×	×	R	－	
		2)原子炉冷却材の循環機能	原子炉冷却材再循環系	原子炉再循環ポンプ，配管，弁，ライザー管（炉内），ジェットポンプ（炉内）	×	×	×	R	－	
		3)放射性物質の貯蔵機能	サプレッションプール水排水系、復水貯蔵タンク、放射性廃棄物処理施設（放射能インベントリの小さいもの）	サプレッションプール水貯蔵系（サプレッションプール水貯蔵タンク）	○	×	×	屋外	－	当該タンクは空運用とするため損傷した場合でも安全機能への影響はない（※5）
				復水貯蔵タンク	○	×	×	屋外	－	MS-1 で抽出
				液体廃棄物処理系（HCW 収集タンク，HCW 調整タンク，HCW サンプルタンク，LCW 収集槽，LCW サンプル槽）	×	×	×	R	－	
				固体廃棄物処理系（浄化系沈降分離槽，使用済樹脂貯蔵槽，濃縮廃液貯蔵タンク，固体廃棄物貯蔵所（ドラム缶），固体廃棄物焼却設備，サイトバンカ設備，雑固体廃棄物保管室）	×	×	×	R,D	－	
				新燃料貯蔵庫	×	×	×	R	－	
				新燃料貯蔵ラック	×	×	×	R	－	

※1：①＝屋外設備，②＝外気と繋がる設備，③＝外殻となる施設による防護機能が期待できない設備
※2：R＝2 号原子炉建屋，C＝1 号制御建屋,2 号制御建屋，T＝2 号タービン建屋，LO＝2 号軽油タンク室，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所
※3：抽出の観点①～③の評価の結果，該当せず
※4：竜巻防護施設の付属設備のうち屋外にある設備（波及的影響を及ぼし得る施設）として抽出
※5：安全機能が損なわれないため評価完了とする

第１表 評価対象施設の抽出結果（9/12）

○：Yes　×：No　－：該当せず※3

重要度分類指針				女川原子力発電所２号炉		抽出の観点※1			設置場所※2	評価対象施設	備考
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物，系統又は機器		①	②	③			
PS-3	1)異常状態の起因事象となるものであって、PS-1 及び PS-2 以外の構築物、系統及び機器	4)電源供給機能（非常用を除く。）	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系（復水器を含む。）、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	発電機及びその励磁装置（発電機，励磁機）		×	×	×	T	－	
				直接関連系（発電機及びその励磁装置）	タービン発電機固定子巻線冷却水系	×	×	×	T	－	
					タービン発電機ガス系	×	×	×	T	－	
					タービン発電機密封油系	×	×	×	T	－	
					励磁装置	×	×	×	T	－	
				蒸気タービン（主タービン，主要弁，配管）		×	×	×	T	－	
				直接関連系（蒸気タービン）	主蒸気系（主蒸気／駆動源）	×	×	×	T	－	
					タービン制御系	×	×	×	T	－	
					タービン潤滑油系	×	×	×	T	－	
				復水系（復水器，復水ポンプ，配管／弁）		×	×	×	T	－	
				直接関連系（復水系）	復水器空気抽出系（蒸気式空気抽出系，配管／弁）	×	×	×	T	－	
				給水系（電動機駆動原子炉給水ポンプ，タービン駆動原子炉給水ポンプ，給水加熱器，配管／弁）		×	×	×	T	－	
				直接関連系（給水系）	駆動用蒸気	×	×	×	T	－	
				循環水系（循環水ポンプ，配管／弁）		○	×	×	T,屋外	－	屋外設備の一部が損傷した場合でも，必要によりプラントを停止し，安全上支障のない期間での修復が可能なため安全機能への影響はない(※5)
				直接関連系（循環水系）	取水設備（屋外トレンチを含む）	○	×	×	屋外	－	地下埋設
				常用所内電源系（発電機又は外部電源系から所内負荷までの配電設備及び電路（MS-1 関連以外））		×	×	×	R,C,T	－	
				直流電源設備（蓄電池，蓄電池から常用負荷までの配電設備及び電路（MS-1 関連以外））		×	×	×	R,C	－	
				計測制御用電源設備（電源装置から常用計測制御装置までの配電設備及び電路（MS-1 関連以外））		×	○	×	R,C	－	関連設備として計測制御電源室換気空調系を抽出
				送電線		○	×	×	屋外	－	所内電源系は複数系統から受電することができるため屋外設備の一部が損傷した場合でも安全機能への影響はない(※5)
				変圧器（所内変圧器，起動変圧器，電路）		○	×	×	屋外	－	
				直接関連系（変圧器）	油劣化防止装置	○	×	×	屋外	－	
					冷却装置	○	×	×	屋外	－	
				開閉所（母線，遮断器，断路器，電路）		○	×	×	屋外	－	

※1：①＝屋外設備，②＝外気と繋がる設備，③＝外殻となる施設による防護機能が期待できない設備
※2：R＝2 号原子炉建屋，C＝1 号制御建屋,2 号制御建屋，T＝2 号タービン建屋，LO＝2 号軽油タンク室，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所
※3：抽出の観点①～③の評価の結果，該当せず
※4：竜巻防護施設の付属設備のうち屋外にある設備（波及的影響を及ぼし得る施設）として抽出
※5：安全機能が損なわれないため評価完了とする

○：Yes　×：No　－：該当せず※3

第1表 評価対象施設の抽出結果（10/12）

重要度分類指針				女川原子力発電所2号炉		抽出の観点※1			設置場所※2	評価対象施設	備考
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物，系統又は機器		①	②	③			
PS-3	1)異常状態の起因事象となるものであって、PS-1 及び PS-2 以外の構築物、系統及び機器	5)プラント計測・制御機能（安全保護機能を除く。）	原子炉制御系	・原子炉制御系（制御棒価値ミニマイザを含む）		×	×	×	R,C	－	
			運転監視補助装置（制御棒価値ミニマイザ）								
			原子炉核計装の一部、原子炉プラントプロセス計装の一部	・原子炉核計装系の一部 ・原子炉プラントプロセス計装系の一部		×	×	×	R,C	－	
		6)プラント運転補助機能	所内ボイラ、計装用圧縮空気系	補助ボイラ設備（補助ボイラ，給水タンク，給水ポンプ，配管／弁）		×	×	×	HB	－	
				直接関連系（補助ボイラ設備）	電気設備（変圧器）	○	×	×	屋外	－	屋外設備の一部が損傷した場合でも，必要によりプラントを停止し，安全上支障のない期間での修復が可能なため安全機能への影響はない(※5)
				加熱蒸気系及び戻り系（ポンプ，配管／弁）		×	×	×	R,T,HB	－	
				計装用圧縮空気系（空気圧縮機，中間冷却器，配管，弁）		×	×	×	R,C,T,HB	－	
				直接関連系（計装用圧縮空気系）	後部冷却器	×	×	×	R	－	
					気水分離器	×	×	×	R	－	
					空気貯槽	×	×	×	R	－	
				原子炉補機冷却水系（MS-1 関連以外）（配管／弁）		×	×	×	R	－	
				タービン補機冷却水系（タービン補機冷却水ポンプ，熱交換器，配管／弁）		×	×	×	T	－	
				直接関連系（タービン補機冷却水系）	サージタンク	×	×	×	T	－	
				タービン補機冷却海水系（タービン補機冷却海水ポンプ，配管／弁，ストレーナ）		○	×	×	T,屋外	－	屋外設備の一部が損傷した場合でも，必要によりプラントを停止し，安全上支障のない期間での修復が可能なため安全機能への影響はない(※5)
				復水補給水系（復水移送ポンプ，配管／弁）		×	×	×	R,T	－	
				直接関連系（復水補給水系）	復水貯蔵タンク	○	×	×	屋外	－	復水貯蔵タンク（MS-1 で抽出）
	2)原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物、系統及び機器	1)核分裂生成物の原子炉冷却材中への放散防止機能	燃料被覆管	燃料被覆管		×	×	×	R	－	
				上／下部端栓							
				タイロッド							
		2)原子炉冷却材の浄化機能	原子炉冷却材浄化系、復水浄化系	原子炉冷却材浄化系（再生熱交換器，非再生熱交換器，ポンプ，ろ過脱塩装置，配管，弁）		×	×	×	R	－	
				復水浄化系（復水ろ過装置，復水脱塩装置，配管，弁）		×	×	×	T	－	

※1：①＝屋外設備，②＝外気と繋がる設備，③＝外殻となる施設による防護機能が期待できない設備
※2：R＝2 号原子炉建屋，C＝1 号制御建屋,2 号制御建屋，T＝2 号タービン建屋，LO＝2 号軽油タンク室，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所
※3：抽出の観点①～③の評価の結果，該当せず
※4：竜巻防護施設の付属設備のうち屋外にある設備（波及的影響を及ぼし得る施設）として抽出
※5：安全機能が損なわれないため評価完了とする

第１表 評価対象施設の抽出結果（11/12）

○：Yes　×：No　－：該当せず※3

重要度分類指針				女川原子力発電所２号炉		抽出の観点※1			設置場所※2	評価対象施設	備考
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物，系統又は機器		①	②	③			
MS-3	1)運転時の異常な過渡変化があっても、MS-1、MS-2とあいまって、事象を緩和する構築物、系統及び機器	1)原子炉圧力の上昇の緩和機能	逃がし安全弁（逃がし弁機能）、タービンバイパス弁	主蒸気逃がし安全弁（逃がし弁機能）		×	×	×	R	－	
				直接関連系（主蒸気逃がし安全弁（逃がし弁機能））	原子炉圧力容器から主蒸気逃がし安全弁までの主蒸気配管	×	×	×	R	－	
					駆動用窒素源（アキュムレータ，アキュムレータから主蒸気逃がし安全弁までの配管，弁）	×	×	×	R	－	
				タービンバイパス弁		×	×	×	T	－	
				直接関連系（タービンバイパス系）	原子炉圧力容器からタービンバイパス弁までの主蒸気配管	×	×	×	T	－	
					駆動用油圧源（アキュムレータ，アキュムレータからタービンバイパス弁までの配管，弁）	×	×	×	T	－	
		2)出力上昇の抑制機能	原子炉冷却材再循環系（再循環ポンプトリップ機能）、制御棒引抜監視装置	原子炉再循環流量制御系（ポンプトリップ機能）		×	×	×	R,C	－	
				制御棒引抜阻止インターロック		×	×	×	R,C	－	
				選択制御棒挿入機構		×	×	×	R,C	－	
				原子炉核計装系（制御棒引抜監視装置）		×	×	×	R,C	－	
		3)原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系、原子炉隔離時冷却系	制御棒駆動水圧系（冷却材の補給）（ポンプ，復水貯蔵タンク，復水貯蔵タンクから制御棒駆動機構までの配管，弁）		○	×	×	R,屋外	－	復水貯蔵タンク（MS-1で抽出）
				直接関連系（制御棒駆動水圧系（冷却材の補給））	ポンプサクションフィルタ	×	×	×	R	－	
					ポンプミニマムフローラインの配管，弁	×	×	×	R	－	
				原子炉隔離時冷却系（冷却材の補給）（ポンプ，タービン，復水貯蔵タンク，復水貯蔵タンクから注水先までの配管，弁）		○	×	×	R,屋外	－	復水貯蔵タンク（MS-1で抽出）
				直接関連系（原子炉隔離時冷却系（冷却材の補給））	タービンへの蒸気供給配管，弁	×	×	×	R	－	
					ポンプミニマムフローラインの配管，弁	×	×	×	R	－	
					潤滑油冷却系及びその冷却器までの冷却水供給配管	×	×	×	R	－	
		4)原子炉冷却材の再循環流量低下の緩和機能	原子炉再循環ポンプＭＧセット	BWRには対象なし（ABWRのみ）							
		5)タービントリップ	BWRには対象なし	（対象外）							

※1：①＝屋外設備，②＝外気と繋がる設備，③＝外殻となる施設による防護機能が期待できない設備
※2：R＝2号原子炉建屋，C＝1号制御建屋,2号制御建屋，T＝2号タービン建屋，LO＝2号軽油タンク室，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所
※3：抽出の観点①～③の評価の結果，該当せず
※4：竜巻防護施設の付属設備のうち屋外にある設備（波及的影響を及ぼし得る施設）として抽出
※5：安全機能が損なわれないため評価完了とする

○：Yes　×：No　－：該当せず※3

第１表 評価対象施設の抽出結果（12/12）

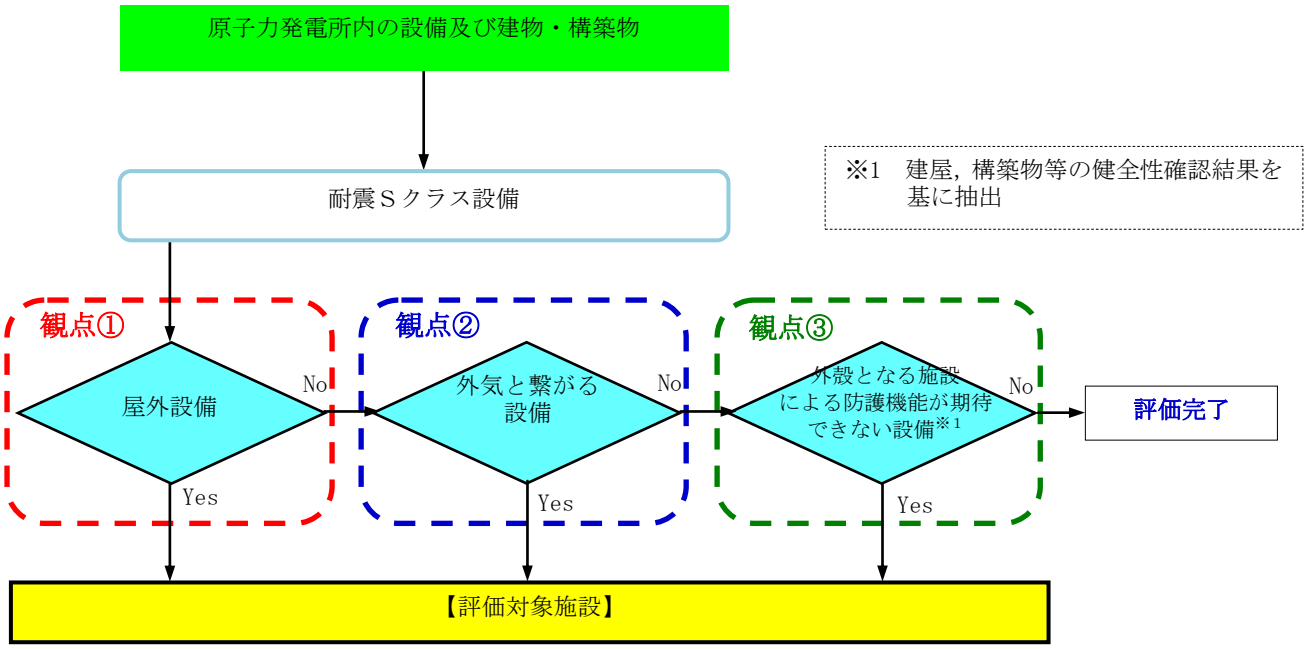
重要度分類指針				女川原子力発電所２号炉		抽出の観点※1			設置場所※2	評価対象施設	備考
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物，系統又は機器		①	②	③			
MS-3	2)異常状態への対応上必要な構築物、系統及び機器	1)緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所、試料採取系、通信連絡設備、放射線監視設備、事故時監視計器の一部、消火系、安全避難通路、非常用照明	発電所緊急時対策所		○	○	×	TSC	－	
				直接関連系（緊急時対策所）	空調系	○	○	×	TSC	－	機能損傷が生じた場合，必要によりプラントを停止し，安全上支障のない期間での修復が可能なため安全機能への影響はない(※5)
					データ収集装置						
					通信連絡設備						
					資料及び器材						
					遮へい設備						
				試料採取系（原子炉冷却材放射性物質濃度サンプリング分析，原子炉格納容器内雰囲気放射性物質濃度サンプリング分析）		×	×	×	R	－	
				通信連絡設備（1 つの専用回路を含む複数の回路を有する通信連絡設備）		×	×	×	R,C,T,HB	－	
				放射線監視設備（気体廃棄物処理設備排気放射線モニタ）		×	×	×	T	－	
				放射線監視設備（上記以外）		×	×	×	R,C,T	－	
				事故時監視計器の一部		×	×	×	R,C	－	
				原子炉プラントプロセス計装系の一部		×	×	×	R,C	－	
				消火系（水消火設備，ガス消火設備）		○	×	×	R,C,T，HB，屋外	－	機能損傷が生じた場合，必要によりプラントを停止し，安全上支障のない期間での修復が可能なため安全機能への影響はない(※5)
				直接関連系（消火系）	消火ポンプ	×	×	×	HB	－	
					消火水槽，消火水タンク	○	×	×	HB,屋外	－	機能損傷が生じた場合，必要によりプラントを停止し，安全上支障のない期間での修復が可能なため安全機能への影響はない(※5)
					火災検出装置（受信機含む）	○	×	×	R,C,T,屋外	－	
					防火扉，防火ダンパ，耐火壁，隔壁（消火設備の機能を維持担保するために必要なもの）	○	×	×	R,C,T,HB,屋外	－	
				避難通路		×	×	×	R,C,T	－	
				直接関連系（避難通路）	避難用扉	×	×	×	R,C,T	－	
				非常灯		×	×	×	R,C,T	－	

※1：①＝屋外設備，②＝外気と繋がる設備，③＝外殻となる施設による防護機能が期待できない設備
※2：R＝2 号原子炉建屋，C＝1 号制御建屋,2 号制御建屋，T＝2 号タービン建屋，LO＝2 号軽油タンク室，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所
※3：抽出の観点①～③の評価の結果，該当せず
※4：竜巻防護施設の付属設備のうち屋外にある設備（波及的影響を及ぼし得る施設）として抽出
※5：安全機能が損なわれないため評価完了とする

耐震Ｓクラス設備について

竜巻防護施設のうち評価対象施設としては，「安全重要度クラス１，２に属する構築物，系統及び機器」より抽出しているが，「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（以下，「耐震Ｓクラス設備等」という。）のうち，竜巻の影響を受ける可能性がある設備についても抽出し，追加で評価対象施設に反映する施設がないことを確認した。

耐震Ｓクラス設備のうち評価対象施設の抽出フローを第１図に，抽出結果を第１表に示す。



第１図 耐震Ｓクラス設備のうち評価対象施設の抽出フロー

この結果，安全機能の重要度分類クラス１，２に含まれない耐震Ｓクラス設備として，津波防護施設（防潮堤，防潮壁）等の津波に対処する設備を竜巻の影響を受ける可能性がある施設として追加抽出した。（詳細は第１表に示す）

津波防護施設等について竜巻発生時の機能要求を考慮し，評価対応の要否を検討した。

津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備は，津波に対して機能を発揮する施設であり，竜巻と津波の重畳の考慮要否を検討することで，竜巻に対する機能維持の要否が判断可能である。

竜巻及びその随伴事象によりこれらの施設が損傷することを想定した場合，基準津波に対する影響を考慮する必要があるが，津波と竜巻は発生原因が異なり独立事象であること，及び基準津波の発生頻度（約 1.0×10^{-6}～1.0×10^{-7}／年）と設計竜巻（V_D=100m／s）の発生頻度（約 1.0×10^{-6}／年）を踏まえると，基準津波と設計竜巻が同時に発生する可能性は小さい。また，基準津波と設計竜巻の発生頻度を踏まえると，竜巻及びその随伴事象により津波防護施設等が損傷した場合でも当該機能が必要となる前に修復等の対応が可能と考えられる。

以上のことから，考慮すべき重畳事象としては十分にスクリーニングレベルにあり，評価対象施設には該当しないと判断した。

ただし，別紙１に示すとおり，女川電子力発電所の津波防護施設については，基準津波の高さや防護範囲の広さ等その重要性に鑑み，自主的に機能維持のための配慮を行う。

○：Yes　×：No　－：該当せず

第１表 耐震Ｓクラス設備における評価対象施設の抽出結果（1/2）

耐震重要度分類	機能別分類	設備別分類	構築物，系統又は機器	抽出の観点(※1) ①	②	③	設置場所(※2)	評価対象施設
Ｓクラス	（ⅰ）「原子炉冷却材圧力バウンダリ」を構成する配管及び機器	主要設備	・原子炉圧力容器	×	×	×	R	－
			・原子炉冷却材圧力バウンダリに関する容器・配管・ポンプ・弁	×	×	×	R	－
		補助設備	・隔離弁を閉とするに必要な電気及び計装設備	×	×	×	R,C	－
		直接支持構造物	・原子炉圧力容器支持構造物	×	×	×	R	－
			・機器・配管，電気計装設備等の支持構造物	×	×	×	R,C	－
	（ⅱ）使用済燃料を貯蔵するための設備	主要設備	・使用済燃料プール	×	×	×	R	－
			・使用済燃料貯蔵ラック	×	×	×	R	－
	（ⅲ）原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための設備及び原子炉の停止状態を維持するための施設	主要設備	・制御棒，制御棒駆動機構及び制御棒駆動水圧系（スクラム機能に関する部分）	×	×	×	R	－
		補助設備	・炉心支持構造物	×	×	×	R	－
			・電気計装設備	×	×	×	R,C	－
			・チャンネルボックス	×	×	×	R	－
		直接支持構造物	・機器・配管，電気計装設備等の支持構造物	×	×	×	R,C	－
	（ⅳ）原子炉停止後，炉心から崩壊熱を除去するための施設	主要設備	・原子炉隔離時冷却系	×	×	×	R	－
			・高圧炉心スプレイ系	×	×	×	R	－
			・残留熱除去系（停止時冷却モード運転に必要な設備）	×	×	×	R	－
			・冷却水源としてのサプレッションチェンバ	×	×	×	R	－
		補助設備	・原子炉補機冷却系，同海水系 ・高圧炉心スプレイ補機冷却水系，同海水系	○	×	×	R 屋外	原子炉補機冷却海水ポンプ，電動機（配管等を含む）及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ポンプ，電動機（配管等を含む）※3
			・炉心支持構造物	×	×	×	R	－
			・非常用電源及び計装設備（ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む）	×	○	×	R,C,LO	軽油タンク※3
		直接支持構造物	・機器・配管，電気計装設備等の支持構造物	×	×	×	R,C	－
	（ⅴ）原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後，炉心から崩壊熱を除去するために必要な設備	主要設備	・非常用炉心冷却系 1)高圧炉心スプレイ系 2)低圧炉心スプレイ系 3)残留熱除去系（低圧注水モード運転に必要な設備） 4)自動減圧系	×	×	×	R	－
			・冷却水源としてのサプレッションチェンバ	×	×	×	R	－
		補助設備	・原子炉補機冷却系，同海水系 ・高圧炉心スプレイ補機冷却水系，同海水系	○	×	×	R 屋外	原子炉補機冷却海水ポンプ，電動機（配管等を含む）及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ポンプ，電動機（配管等を含む）※3
			・非常用電源及び計装設備（ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む）	×	○	×	R,C,LO	軽油タンク※3
			・中央制御室の遮蔽及び空調設備	×	○	×	C	中央制御室換気空調系※3
		直接支持構造物	・機器・配管，電気計装設備等の支持構造物	×	×	×	R,C	－

※1：①＝屋外設備，②＝外気と繋がる設備，③＝外殻となる施設による防護機能が期待できない設備
※2：R＝2号原子炉建屋，C＝1号制御建屋,2号制御建屋，T＝2号タービン建屋，LO＝地下軽油タンクピット
※3：クラス１，２施設をもとに抽出した評価対象施設
※4：別紙参照

第１表 耐震Ｓクラス設備における評価対象施設の抽出結果（2/2）

○：Yes　×：No　－：該当せず

耐震重要度分類	機能別分類	設備別分類	構築物，系統又は機器	抽出の観点（※1）			外殻施設（※2）	評価対象施設
				①	②	③		
Ｓクラス	(vi)原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に圧力障壁となり，放射性物質の放散を直接防ぐための設備	主要設備	・原子炉格納容器	×	×	×	R	－
			・格納容器バウンダリに属する配管・弁	×	×	×	R	－
		補助設備	・隔離弁を閉とするに必要な電気及び計装設備	×	×	×	R,C	－
		直接支持構造物	・機器・配管等の支持構造物	×	×	×	R	－
			・電気計装設備等の支持構造物（隔離弁を閉とするに必要な電気及び計装設備）	×	×	×	R,C	－
	(vii)放射性物質の放出を伴うような事故の際にその外部放散を抑制するための設備で上記(vi)以外の設備	主要設備	・残留熱除去系（格納容器スプレイ冷却モードの運転に必要な設備）	×	×	×	R	－
			・可燃性ガス濃度制御系	×	×	×	R	－
			・原子炉建屋原子炉棟	×	×	×		外殻施設
			・非常用ガス処理系及び排気筒	○	×	×	R 屋外	非常用ガス処理系（屋外露出部）及び排気筒※3
			・原子炉格納容器圧力抑制装置（ベントヘッダ，ダウンカマ等）	×	×	×	R	－
			・冷却水源としてのサプレッションチェンバ	×	×	×	R	－
		補助設備	・原子炉補機冷却系，同海水系	○	×	×	R 屋外	原子炉補機冷却海水系ポンプ，電動機（配管等を含む）※3
			・非常用電源及び計装設備（ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む）	×	○	×	R,C,LO	軽油タンク※3
		直接支持構造物	・機器・配管，電気計装設備等の支持構造物	×	×	×	R,C	－
	(viii)津波防護機能を有する設備及び浸水防止機能を有する設備	主要設備	・津波防護施設（防潮堤，防潮壁）	○	×	×	屋外	－ ※4
			・浸水防止設備	○	×	×	屋外	－ ※4
	(ix)敷地における津波監視装置を有する施設	主要設備	・津波監視設備	○	×	×	屋外	－ ※4
		補助設備	・非常用電源及び計装設備（ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む）	×	○	×	R,C,LO	軽油タンク※3
		直接支持構造物	・機器等の支持構造物	×	○	×	屋外	－ ※4
	(x)その他	主要設備	・燃料プール水補給設備（残留熱除去系（燃料プール冷却運転に必要な設備））	×	×	×	R	－
		補助設備	・非常用電源及び計装設備（ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む）	×	○	×	R,C,LO	軽油タンク※3
		直接支持構造物	・機器・配管，電気計装設備等の支持構造物	×	×	×	R,C	－
		主要設備	・圧力容器内部構造物	×	×	×	R	－
		直接支持構造物	・原子炉圧力容器	×	×	×	R	－

※1：①＝屋外設備，②＝外気と繋がる設備，③＝外殻となる施設による防護機能が期待できない設備
※2：R＝2号原子炉建屋，C＝1号制御建屋,2号制御建屋，T＝2号タービン建屋，LO＝地下軽油タンクピット
※3：クラス１，２施設をもとに抽出した評価対象施設
※4：別紙参照

別紙１

外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の防護方針について

１． 概要

外部事象に対しての，津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備（以下，「津波防護施設等」という。）の防護方針を以下に示す。

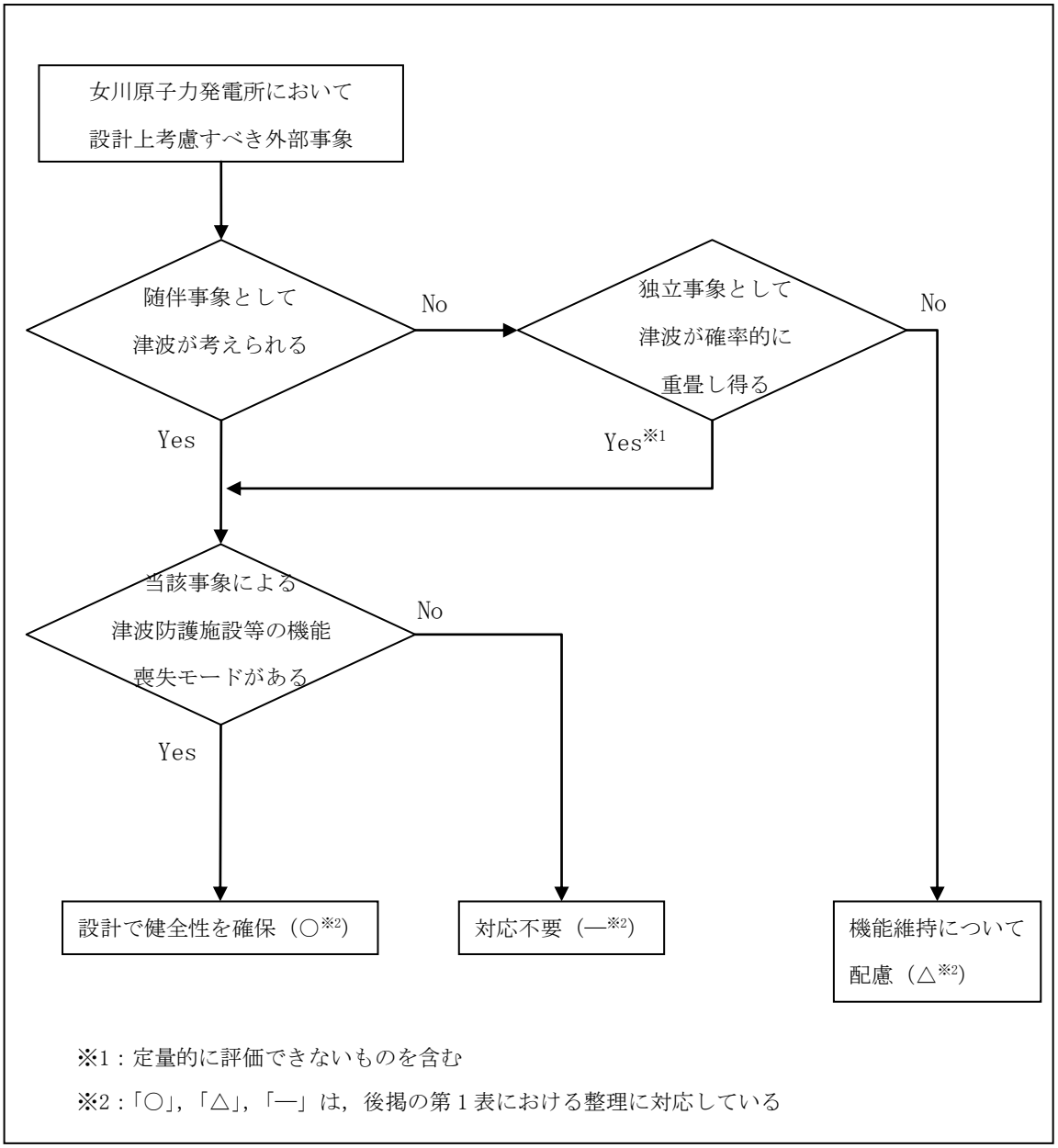
２． 防護に関する考え方

以下の考え方に基づき，女川原子力発電所において設計上考慮すべき外部事象に対する津波防護施設等の機能維持のための対応の要否について整理した。（フローを第 2-1 図に示す）

（１）設計上考慮すべき事象が，津波もしくは津波の随伴，重畳が否定できない事象に該当するかを確認する。定量的な重畳確率が求められない事象については，保守的にその影響を考慮する。

（２）津波の随伴，重畳が否定できない場合は，当該事象による津波防護施設の機能喪失モードの有無を確認する。機能喪失モードが認められる場合は，設計により健全性を確保する。

（３）津波の随伴，重畳が有意でないと評価される事象についても，女川電子力発電所の津波防護施設については，基準津波の高さや防護範囲の広さ等その重要性に鑑み，自主的に機能維持のための配慮を行う。



第 2-1 図　外部事象に対する津波防護施設等の機能維持対応要否判断フロー

３．検討結果

上記フローに基づく各事象に対する防護方針の検討結果を以下に示す。

（詳細は第 3-1 表のとおり）

（１）津波の随伴，重畳が否定できない事象※に対する防護方針

これらの外部事象に対しては，津波との随伴もしくは重畳の可能性を否定できないため，荷重の重ね合わせのタイミングも考慮した上で設計への反映の要否を検討し，津波防護施設等への影響が考えられる事象に対しては，津波防護施設等の機能を維持する設計とする。

※：地震，洪水，風（台風），凍結，降水，積雪，落雷，地すべり，生物学的事象，森林火災

（２）津波の随伴，重畳が有意ではない事象（竜巻，火山の影響）に対する防護方針

「竜巻」，「火山の影響」の 2 つの外部事象に津波は随伴せず，また，基準津波との重畳の確率も有意ではないため，津波防護施設等を防護対象施設とはしないものの，津波防護施設等の機能が要求される時にはその機能を期待できるように以下の対応を自主的に実施する。

ａ．「竜巻」

設計竜巻と基準津波が重畳する年超過確率は約 1.0×10^{-12}～1.0×10^{-13}（/年）であり，竜巻と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，竜巻が襲来した場合には必ず作用する風荷重に対しては，津波防護施設等の健全性を維持する設計とする。また，竜巻が襲来した場合でも，必ずしも津波防護施設に作用するとは限らない竜巻飛来物荷重に対しては，大規模な損傷に至り難い構造とする。

ｂ．「火山の影響」

設計で想定する降下火砕物の噴火と基準津波が重畳する年超過確率は約 1.2×10^{-10}～1.2×10^{-11}（/年）であり，火山の影響と基準津波の重畳は有意ではないと評価されるが，降下火砕物の堆積荷重について長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に適宜除去が可能な設計とする。

：津波の随伴，重畳が否定できないため，設計で健全性を確保する事象（○）
：津波の随伴，重畳は有意ではないが，機能維持について設計上配慮する事象（△）
：対応が不要な事象（―）

第3-1表　外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表

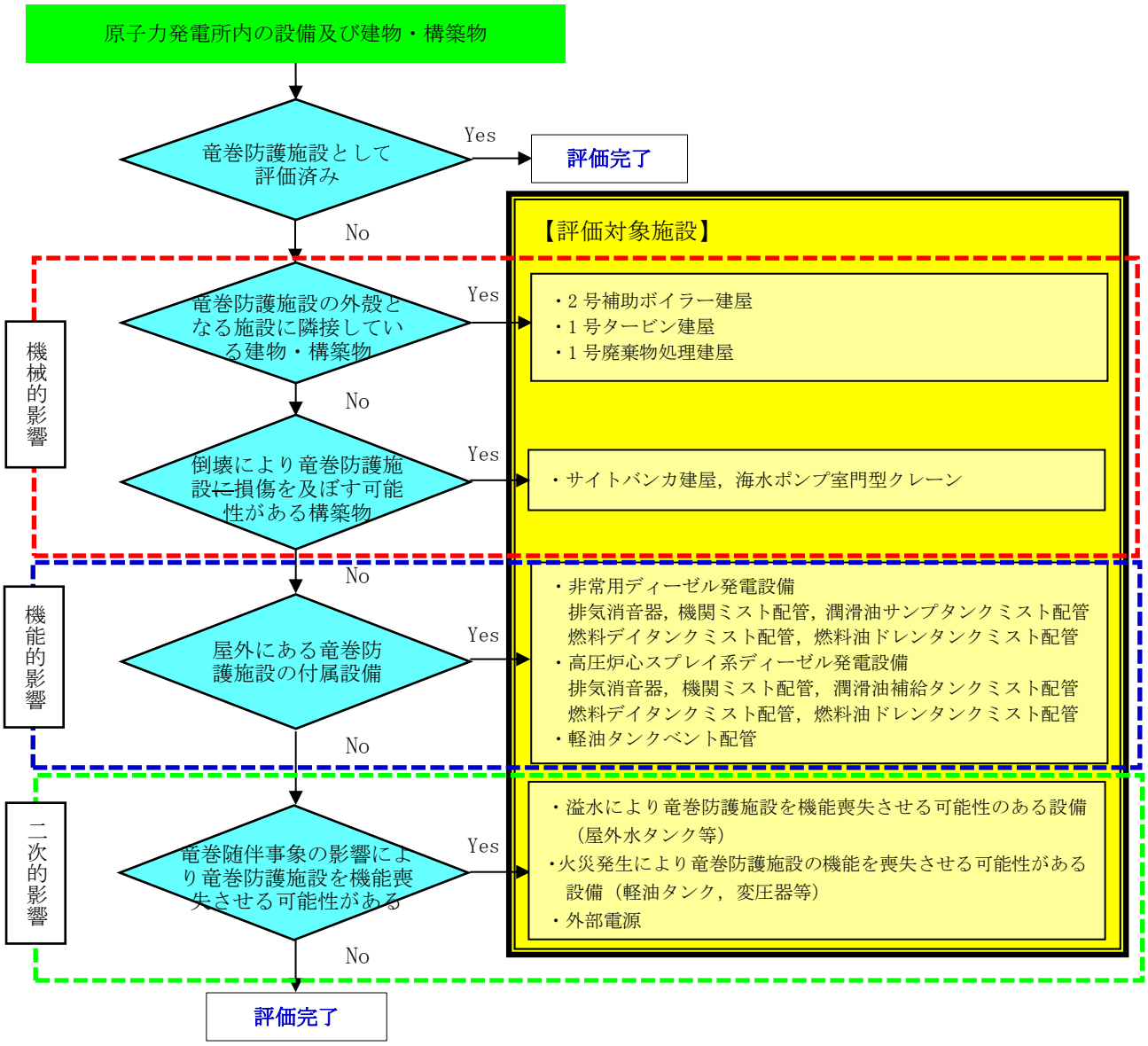
設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①か②が○）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
地震	○	―	○	あり 地震荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	耐震Sクラスとして基準地震動Ssに対し健全性を維持し，津波に対する防護機能を維持する。 また，津波と余震の組み合わせも考慮する。
洪水	―	―	―	なし 安全施設が設置される敷地を含む流域内には河川が存在しないことから，敷地が洪水による被害を受けることはない。	―	―
風（台風）	―	○	○	あり 風荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	・風荷重，津波荷重を考慮した設計とする。 ・津波監視カメラは，風荷重を考慮した設計とする。
竜巻	―	―	―	なし 以下のとおり，重畳の頻度は無視し得る。 ・設計竜巻の確率：約1.0×10^{-6} /年 ・基準津波の年超過確率 ：1×10^{-6}～1×10^{-7} /年 ⇒重畳確率：約1.0×10^{-12}～1.0×10^{-13}/年 年超過確率が 1×10^{-7}/年未満であり，有意ではない。	△	防潮堤・防潮壁の設計においては，自主的に以下の配慮を行い，信頼性を高める。 ・風圧力に対しては，損傷しない様に構造強度を確保する。 ・飛来物については，十分な厚さをもつ鋼管杭等の堅牢な構造であり，大規模な損傷は生じないと考えられる。
凍結	―	○	○	あり 凍害により止水目地が損傷した場合，安全施設への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	止水目地は最低気温を考慮した設計とする。
降水	―	○	○	なし 降雨による海水面の上昇の影響は無視し得る。	―	―

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①か②が○）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
積雪	—	○	○	あり 積雪荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	積雪荷重と津波荷重を考慮した設計とする。
落雷	—	○	○	あり 落雷による津波監視設備の機能喪失が想定される。	○	津波監視設備については，既設避雷設備の遮へい範囲内への設置を行う。
地すべり	—	—	—	なし 発電所の敷地及びその近傍には地すべりを起こすような地形は存在しない。	—	—
火山	—	—	—	なし 以下のとおり，重畳の頻度は無視し得る。 ・想定する火山の確率：約 1.2×10^{-4}/年 ・基準津波の年超過確率 ：1×10^{-6}～1×10^{-7} /年 ⇒重畳確率：約 1.2×10^{-10}～1.2×10^{-11} /年 年超過確率が 1×10^{-7}/年未満であり，有意ではない。	△	設計にて長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に降下火砕物を適宜除去が可能な設計とする。
生物学的事象	—	—	—	なし 生物による影響（閉塞，侵入）による機能喪失モードを有しない。	—	—
森林火災	—	○	○	なし 防火帯により森林との離隔距離が確保されるため，熱影響を受けることはない。	—	—

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の抽出について

竜巻防護施設に対する波及的影響として，当該施設の倒壊・損傷等により，竜巻防護施設が損傷を受ける機械的影響，当該施設が機能喪失に陥った場合に，竜巻防護施設も機能喪失する機能的影響，竜巻随伴事象（火災，溢水，外部電源喪失）による二次的影響の観点から波及的影響を及ぼし得る施設を抽出する。

竜巻防護施設等に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の抽出フローを第１図に示す。



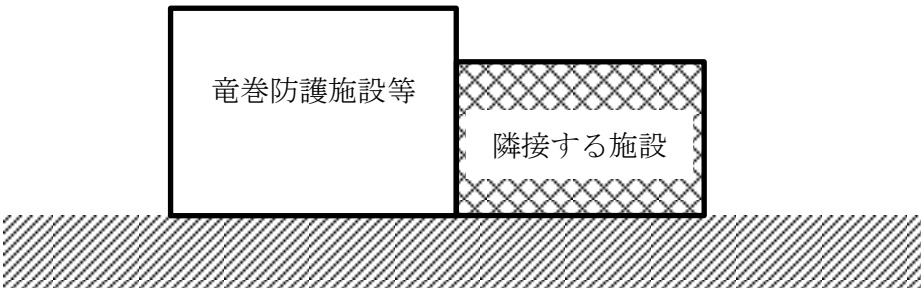
第１図 竜巻防護施設等に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の抽出フロー

1．機械的影響の観点での抽出

発電所構内の設備及び建物・構築物のうち，機械的影響の観点から，竜巻防護施設又は竜巻防護施設の外殻となる建屋周辺の施設が倒壊することにより，竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある施設を抽出する。

1.1　竜巻防護施設等に隣接する施設

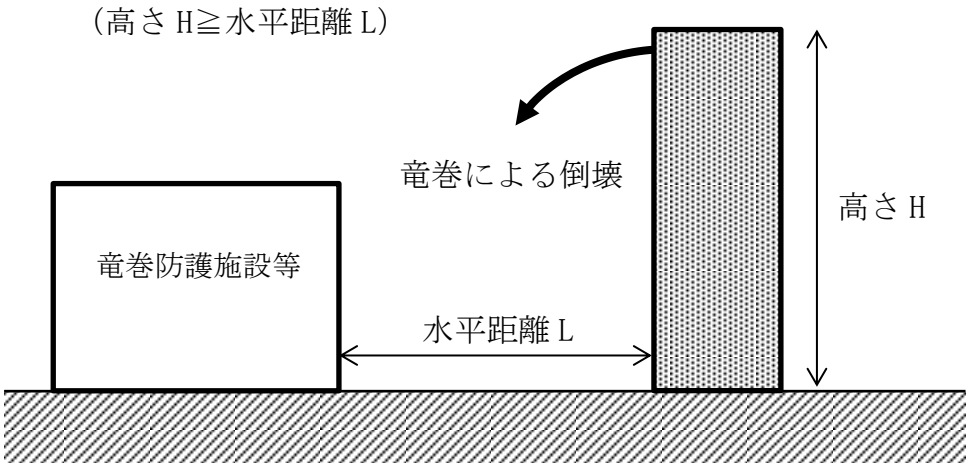
第 1.1-1 図に示すとおり，竜巻防護施設又は竜巻防護施設の外殻となる建屋に隣接する施設を抽出した。抽出結果を第 1.1-1 表及び第 1.1-2 図に示す。また，抽出結果の詳細を，別紙１「波及的影響を及ぼし得る施設に係る抽出結果について」に示す。



第 1.1-1 図 竜巻防護施設等に隣接する施設

1.2　倒壊により竜巻防護施設等に損傷を及ぼし得る施設

第 1.2-1 図に示すとおり，施設の高さが竜巻防護施設又は竜巻防護施設の外殻となる建屋との距離以上である施設を抽出した。抽出結果を第 1.1-1 表及び第 1.1-2 図に示す。また，抽出結果の詳細を，別紙１「波及的影響を及ぼし得る施設に係る抽出結果について」に示す。



第 1.2-1 図 倒壊により竜巻防護施設等に損傷を及ぼし得る施設

第 1.1-1 表 機械的影響の観点からの抽出結果

竜巻防護施設等へ損傷を及ぼす可能性のある建物及び構築物等	竜巻防護施設等	地上高(m)	竜巻防護施設等までの最短距離(m)	抽出結果
2号補助ボイラー建屋	2号制御建屋 2号タービン建屋	－	隣接	○
1号タービン建屋	1号制御建屋	－	隣接	○
1号廃棄物処理建屋	1号制御建屋	－	隣接	○
海水ポンプ室門型クレーン	原子炉補機冷却海水ポンプ等	約 23	約 36※1	○※2
窒素貯槽	2号原子炉建屋	約 4	約 9	－
サイトバンカ建屋	2号タービン建屋	約 44	約 22	○
275kV 送電鉄塔（No.3）	2号排気筒	約 78	約 140	－
固化剤タンク	2号原子炉建屋	約 6	約 12	－
VVVF 変圧器	2号原子炉建屋	約 3	約 8	－
2号除塵装置電源室	2号地下軽油タンクピット	約 5	約 11	－

（注）機械的影響の観点からの主な抽出結果を記載している。

※1：通常待機位置における最短距離

※2：海水ポンプ室門型クレーンはストッパー等により固定されているが，破損した場合には竜巻の風圧を受け移動し，原子炉補機冷却海水ポンプ等に隣接する可能性があるため抽出する。

第 1.1-2 図 機械的影響の観点からの抽出結果

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

2．機能的影響の観点での抽出

2.1　竜巻防護施設の付属施設のうち屋外にある設備

発電所内の設備及び建物・構築物のうち，機能的影響の観点（「屋外にある竜巻防護施設の付属設備」）から，機能喪失に陥った場合に，竜巻防護施設も機能喪失する可能性がある施設を抽出した。抽出結果を第 2.1-1 表に示す。

第 2.1-1 表 機能的影響の観点からの抽出結果

竜巻防護施設	屋外にある付属施設
非常用ディーゼル発電設備	排気消音器
	機関ミスト配管
	潤滑油サンプタンクミスト配管
	燃料デイタンクミスト配管
	燃料油ドレンタンクミスト配管
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備	排気消音器
	機関ミスト配管
	潤滑油補給タンクミスト配管
	燃料デイタンクミスト配管
	燃料油ドレンタンクミスト配管
軽油タンク	軽油タンクベント配管

3．二次的影響の観点での抽出

発電所構内の構築物，系統及び機器のうち，二次的影響の観点から，竜巻随伴事象の影響により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある施設を抽出する。

建屋内においては，建屋開口部から竜巻防護施設へ影響を及ぼすような飛来物の侵入が想定される場合には，適切な防護対策を実施する。そのため，飛来物の侵入による溢水や火災は発生しないことから，竜巻防護施設の安全機能に影響は与えない。

また，建屋外においては，竜巻防護施設の安全機能に影響がないことを確認するため，竜巻防護施設等の周辺にある溢水源，発火源となる設備として，以下を抽出した。

なお，２号軽油タンクについては，竜巻防護施設として抽出済であることから，本項目では抽出しない。

（竜巻随伴事象の影響により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある施設）

・溢水により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性のある設備
（屋外水タンク等（添付資料 3.4 参照））

・火災発生により竜巻防護施設の機能を喪失させる可能性がある設備
（軽油タンク，変圧器等（添付資料 3.4 参照））

・外部電源

抽出結果の詳細を，添付資料 3.4「竜巻随伴事象の抽出について」に示す。

別紙１

波及的影響を及ぼし得る施設に係る調査結果について

女川原子力発電所おける波及的影響を及ぼし得る施設に係る現地調査は，平成 25 年 9 月 10 日～12 日，平成 27 年 2 月 12 日～13 日に実施した。

調査では，竜巻防護施設及び竜巻防護施設の外殻（以下，「竜巻防護施設等」という）に波及的影響を及ぼし得る施設を抽出し，倒壊による影響を及ぼす可能性の確認を行った。

1．調査範囲

竜巻防護施設等の周りの最も高い建物である事務建屋の高さを基準として，約 40ｍの範囲とした。

2．調査方法

調査範囲内にある施設について，竜巻防護施設等の周辺の状況を確認し，隣接施設及び比較的近接している施設を抽出するとともに，倒壊による影響の可能性の観点から寸法測定，設置場所の確認，写真撮影等を行った。具体的な内容については以下のとおり。

(1) 寸法測定

竜巻防護施設等からの離隔距離の測定，対象物の平面寸法及び高さを，計測器による測定及び図面等により確認した。

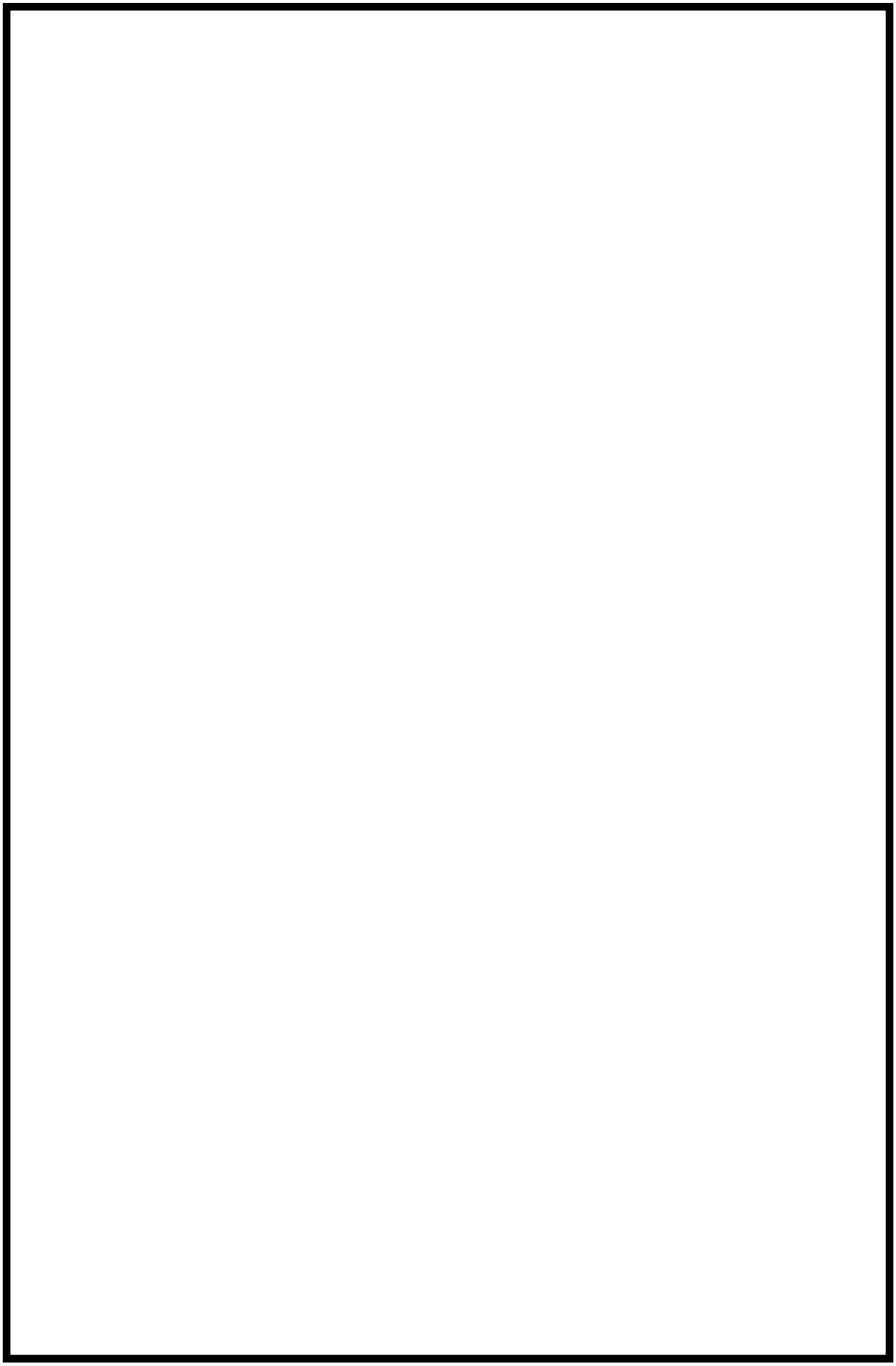
(2) 設置場所

確認した施設について，配置図の作成及び，写真撮影を実施した。

その他，現地で確認できない情報（重量，寸法等）については，設計図書等により確認した。

3．調査結果

本調査で抽出された，波及的影響を及ぼし得る施設を第 3-1 図～第 3-3 図及び第 3-1 表～第 3-3 表に示す。竜巻防護施設等から約 40ｍの範囲内に設置されている設備及び建物・構築物として 105 施設を抽出し，それらについて第 3-4 図のフローに基づいて評価を行った。その結果，竜巻防護施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の評価対象として，サイトバンカ建屋，２号補助ボイラー建屋，１号タービン建屋，１号廃棄物処理建屋及び海水ポンプ室門型クレーンの５施設を選定した。

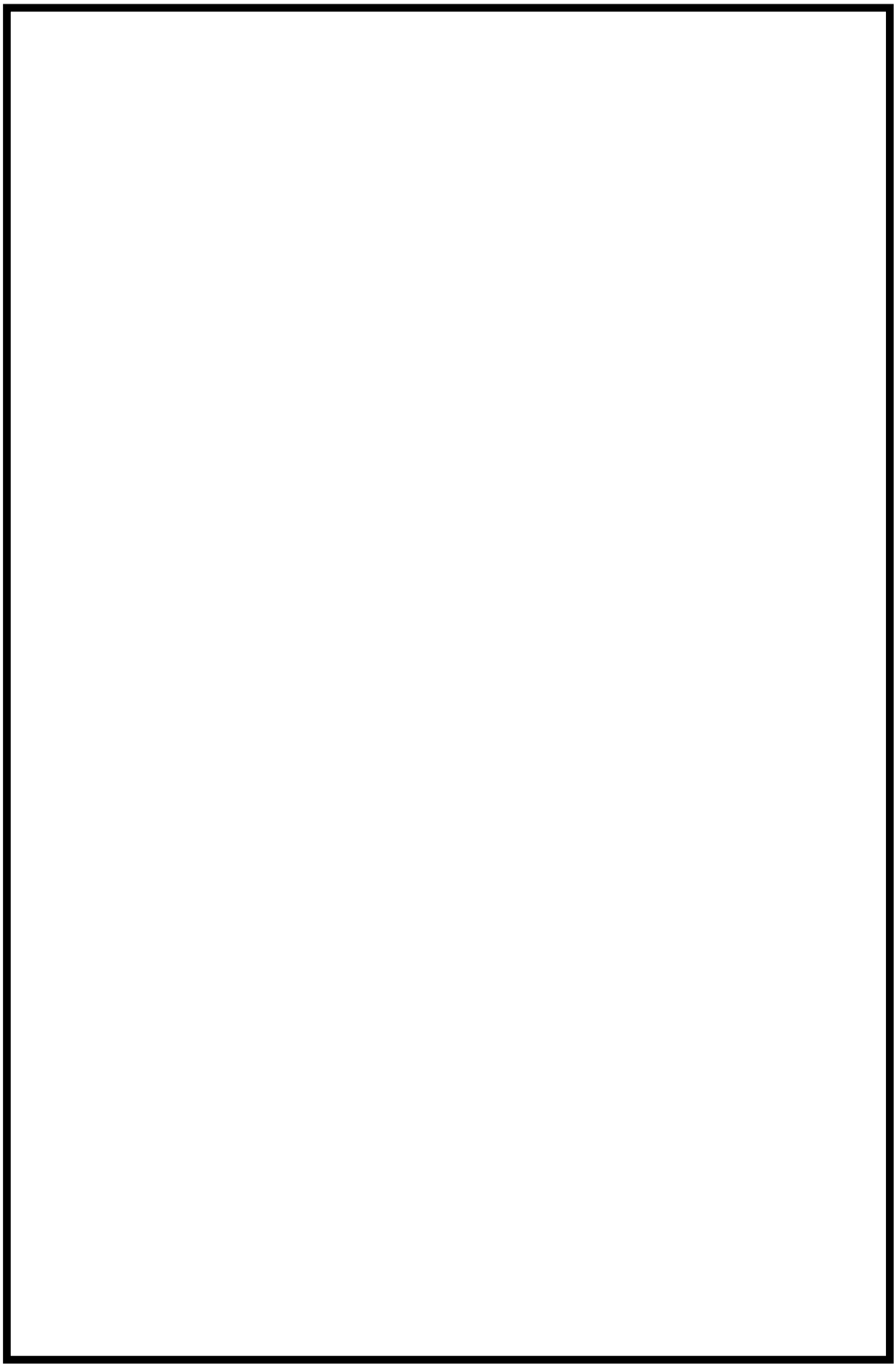


第 3-1 図 波及的影響を及ぼし得る可能性のある施設配置図（調査エリア）

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

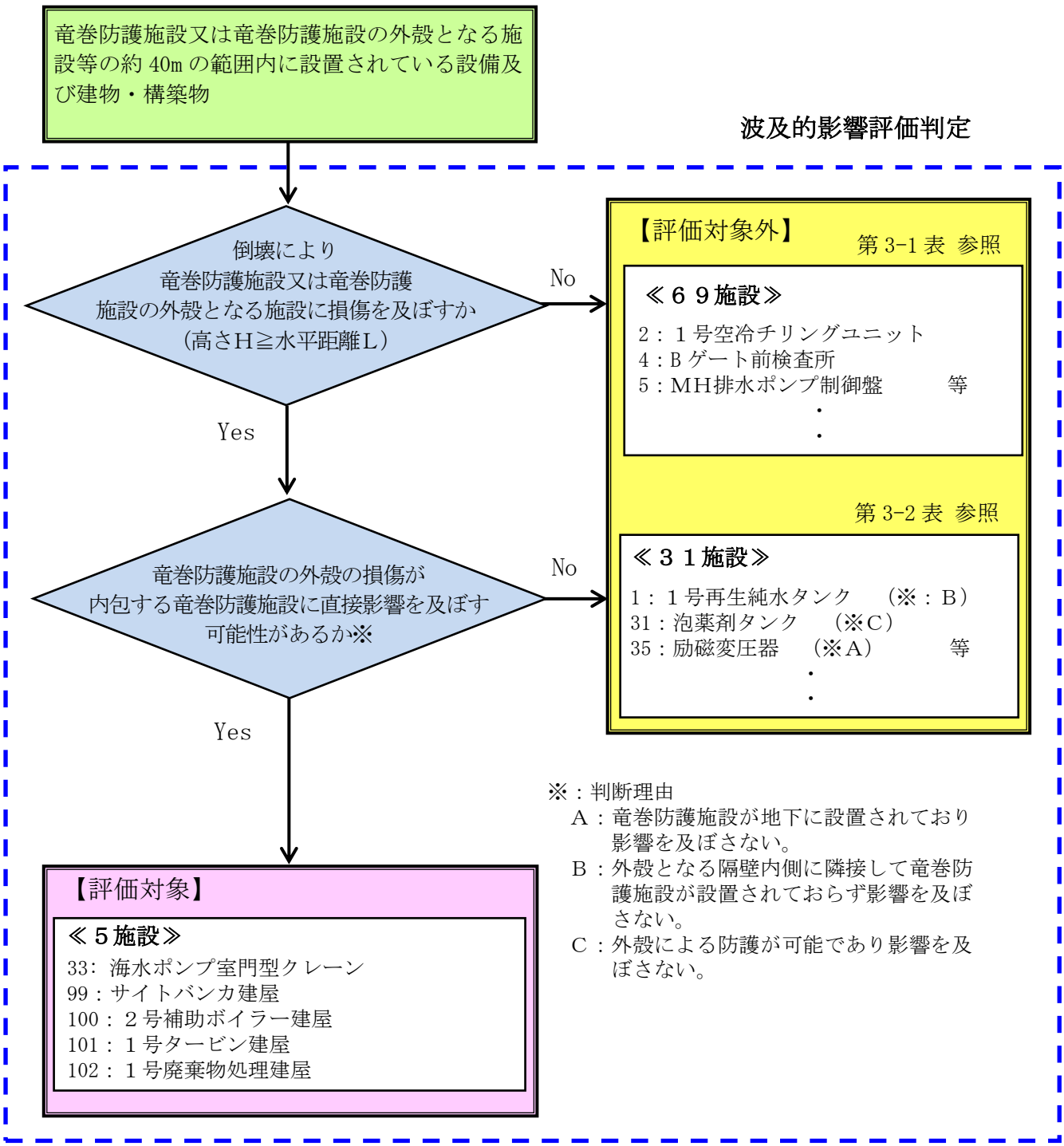
第3-2図 波及的影響を及ぼし得る可能性のある施設配置図（エリア１）

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。



第 3-3 図 波及的影響を及ぼし得る可能性のある施設配置図（エリア２）

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。



第 3-4 図 倒壊による波及的影響を及ぼし得る可能性のある施設の評価判定フロー

第 3-1 表 倒壊による波及的影響を及ぼし得る可能性のある施設 評価対象外一覧表【69 施設】

No.	施設名	No.	施設名	No.	施設名
2	１号空冷チリングユニット	29	No.９揚水ポンプ遠方操作盤	61	１号主復水器連続洗浄装置電気防食装置直流電源盤
4	Ｂゲート前検査所	30	屋外作業用電源盤	62	１号主復水器電解鉄イオン供給装置制御盤
5	MH排水ポンプ制御盤	32	復水器連続洗浄装置制御盤	63	１号主復水器連続洗浄装置制御盤
6	窒素ガス供給装置制御盤	34	放水路サンプリング建屋	64	１号No.８揚水井戸制御盤
7	窒素貯槽	37	主変圧器制御盤	65	１号プロパンガスボンベ庫
8	常時補給用液体窒素蒸発器（送ガス）	38	屋外変圧器消火制御盤	66	旧事務本館
9	常時補給用液体窒素蒸発器（加圧用）	39	所内変圧器２Ａ冷却器制御盤	67	２号スタックモニタ建屋
11	計器収納箱（Ａ）	40	所内変圧器２Ｂ冷却器制御盤	68	３号スタックモニタ建屋
12	計器収納箱（Ｂ）	44	屋外作業用分電盤	69	３号起動変圧器Ａ
14	固化剤タンク	46	起動変圧器制御盤	70	３号起動変圧器３Ａ冷却制御盤
15	固化材ポンプ(A)	47	起動変圧器ＮＧＲ盤　２－１	71	３号起動変圧器３Ａ中性点接地装置（２次側）
16	固化材ポンプ(B)	49	復水脱塩装置薬液貯槽現場盤	72	３号起動変圧器３Ａ中性点接地装置（３次側）
17	ＳＯＬ固化剤タンク水位計架台	50	苛性ソーダ貯槽	73	３号起動変圧器Ｂ
18	屋外作業用分電盤	51	硫酸計量槽	74	３号起動変圧器３Ｂ冷却制御盤
19	PLR-VVVF 入力変圧器	52	硫酸貯槽	75	３号起動変圧器３Ｂ中性点接地装置（２次側）
20	３号タービン建屋	53	補助ボイラー変圧器クーラー制御盤（Ａ）	76	３号起動変圧器３Ｂ中性点接地装置（３次側）
21	３号硫酸貯槽	54	補助ボイラー変圧器クーラー制御盤（Ｂ）	77	３号ＧＩＳ２号送電線ユニット制御盤
22	３号苛性ソーダ貯槽	55	補助ボイラー用変圧器Ａ	78	３号ＧＩＳ主変圧器ユニット制御盤
23	３号ガスボンベ庫	56	補助ボイラー用変圧器Ｂ	79	３号ＧＩＳ起動変圧器３Ｂユニット制御盤
24	除塵装置電源室	57	１号主復水器電解鉄イオン注入装置電解槽Ａ	80	３号開閉所電源盤
26	揚水ポンプ制御盤（No.8）	58	１号主復水器電解鉄イオン注入装置電解槽Ｂ	81	３号ＣＶケーブル洞道出入口
27	揚水ポンプ制御盤（No.9）	59	１号鉄イオン供給装置現場盤	82	３号ＣＶケーブル洞道冷却制御盤
28	揚水ポンプ制御盤（No.11）	60	１号主復水器電解鉄イオン供給装置直流電源装置盤	98	渡り廊下

第 3-2 表 倒壊による波及的影響を及ぼし得る可能性のある施設 評価対象外一覧表【31 施設】

No.	施設名	No.	施設名	No.	施設名
1	１号再生純水タンク　（※Ｂ）	45	起動変圧器　（※Ａ）	92	１号ＣＶＣＦ設置エリア用屋外機（Ａ－２）（※Ｃ）
3	１号化学分析室用ボンベ庫　（※Ｂ）	48	起動変圧器ＮＧＲ盤　２－２　（※Ａ）	93	１号ＣＶＣＦ設置エリア用屋外機（Ｂ－１）（※Ｃ）
10	パージ用液体窒素蒸発器　（※Ｂ）	83	１号吸気フィルタサイレンサ（Ａ）（※Ｃ）	94	１号ＣＶＣＦ設置エリア用屋外機（Ｂ－２）（※Ｃ）
13	空冷チラーユニット　（※Ｂ）	84	１号吸気フィルタサイレンサ（Ｂ）（※Ｃ）	95	１号給湯系統高置水槽　（※Ｃ）
25	軽油タンク(A)(B)泡消火設備現場盤（※Ｃ）	85	１号吸気フィルタサイレンサ（Ｃ）（※Ｃ）	96	１号給水系統高置水槽　（※Ｃ）
31	泡薬剤タンク　（※Ｃ）	86	１号吸気フィルタサイレンサ（Ｄ）（※Ｃ）	97	補助ボイラーサイレンサー　（※Ｂ）
35	励磁変圧器　（※Ａ）	87	１号排気サイレンサ（Ａ）　（※Ｃ）	103	２号原子炉建屋避雷針　（※Ｃ）
36	主変圧器　（※Ａ）	88	１号排気サイレンサ（Ｂ）　（※Ｃ）	104	２号タービン建屋避雷針　（※Ｃ）
41	所内変圧器２Ａ中性点接地装置　（※Ａ）	89	１号中央制御室用凝縮機（Ａ）　（※Ｃ）	105	１号制御建屋避雷針　（※Ｃ）
42	所内変圧器２Ｂ中性点接地装置　（※Ａ）	90	１号中央制御室用凝縮機（Ｂ）　（※Ｃ）	－	－
43	所内変圧器　（※Ａ）	91	１号ＣＶＣＦ設置エリア用屋外機（Ａ－１）（※Ｃ）	－	－

※：判断理由

Ａ：竜巻防護施設が地下に設置されており影響を及ぼさない。

Ｂ：外殻となる隔壁内側に隣接して竜巻防護施設が設置されておらず影響を及ぼさない。

Ｃ：外殻による防護が可能であり影響を及ぼさない。

第 3-3 表 現地調査結果における波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果(1/5)

No.	設備名称	安全重要度クラス	竜巻防護施設及び竜巻防護施設の外殻となる建屋及び構築物等	地上高(m) H	竜巻防護施設等までの最短距離(m) L	L－H(m)	波及的影響		評価対象
							倒壊により竜巻防護施設又は竜巻防護施設の外殻となる施設に損傷を及ぼすか（高さH≧水平距離L）	竜巻防護施設の外殻の損傷が内包する竜巻防護施設に直接影響を及ぼす可能性があるか	
1	１号再生純水タンク	NON	１号制御建屋	11.8	11.1	-0.7	○	－	－
2	１号空冷チリングユニット	NON	１号制御建屋	2.3	5.9	3.6	－	－	－
3	１号化学分析室用ボンベ庫	NON	１号制御建屋	2.6	1.5	-1.1	○	－	－
4	Ｂゲート前検査所	NON	１号制御建屋	3.6	10.0	6.4	－	－	－
5	ＭＨ排水ポンプ制御盤	NON	１号制御建屋	1.7	7.0	5.3	－	－	－
6	窒素ガス供給装置制御盤	MS-3	２号原子炉建屋	2.7	13.0	10.3	－	－	－
7	窒素貯槽	MS-3	２号原子炉建屋	4.0	9.0	5.0	－	－	－
8	常時補給用液体窒素蒸発器（送ガス）	MS-3	２号原子炉建屋	2.8	7.0	4.2	－	－	－
9	常時補給用液体窒素蒸発器（加圧用）	NON	２号原子炉建屋	2.7	5.8	3.1	－	－	－
10	パージ用液体窒素蒸発器	NON	２号原子炉建屋	3.4	0.8	-2.6	○	－	－
11	計器収納箱（Ａ）	NON	２号原子炉建屋	1.8	4.0	2.2	－	－	－
12	計器収納箱（Ｂ）	MS-3	２号原子炉建屋	1.8	10.0	8.2	－	－	－
13	空冷チラーユニット	NON	２号原子炉建屋	3.7	0.6	-3.1	○	－	－
14	固化剤タンク	NON	２号原子炉建屋	6.5	10.0	3.5	－	－	－
15	固化材ポンプ(A)	NON	２号原子炉建屋	0.6	4.3	3.7	－	－	－
16	固化材ポンプ(B)	NON	２号原子炉建屋	0.6	6.1	5.5	－	－	－
17	ＳＯＬ固化剤タンク水位計架台	NON	２号原子炉建屋	1.8	10.0	8.2	－	－	－
18	屋外作業用分電盤	NON	２号原子炉建屋	1.6	1.7	0.1	－	－	－
19	PLR-VVVF 入力変圧器	PS-3	２号原子炉建屋	3.3	8.0	4.7	－	－	－
20	３号タービン建屋	PS-2	２号地下軽油タンクピット	24.5	35.0	10.5	－	－	－
21	３号硫酸貯槽	NON	２号地下軽油タンクピット	2.5	30.0	27.5	－	－	－

○：該当
－：該当せず

第 3-3 表 現地調査結果における波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果(2/5)

No.	設備名称	安全重要度クラス	竜巻防護施設及び竜巻防護施設の外殻となる建屋及び構築物等	地上高(m) H	竜巻防護施設等までの最短距離(m) L	L－H(m)	波及的影響		評価対象
							倒壊により竜巻防護施設又は竜巻防護施設の外殻となる施設に損傷を及ぼすか（高さH≧水平距離L）	竜巻防護施設の外殻の損傷が内包する竜巻防護施設に直接影響を及ぼす可能性があるか	
22	３号苛性ソーダ貯槽	NON	２号地下軽油タンクピット	2.7	35.0	32.3	－	－	－
23	３号ガスボンベ庫	NON	２号地下軽油タンクピット	4.7	34.0	29.3	－	－	－
24	除塵装置電源室	NON	２号地下軽油タンクピット	4.8	13.0	8.2	－	－	－
25	軽油タンク(A)(B)泡消火設備現場盤	MS-3	２号原子炉建屋	2.3	2.0	-0.3	○	－	－
26	揚水ポンプ制御盤（No.8）	NON	２号原子炉建屋	2.4	15.0	12.6	－	－	－
27	揚水ポンプ制御盤（No.9）	NON	２号原子炉建屋	2.4	15.0	12.6	－	－	－
28	揚水ポンプ制御盤（No.11）	NON	２号原子炉建屋	2.4	15.0	12.6	－	－	－
29	No.９揚水ポンプ遠方操作盤	NON	海水ポンプ室	1.6	3.5	1.9	－	－	－
30	屋外作業用電源盤	NON	海水ポンプ室	2.7	3.0	0.3	－	－	－
31	泡薬剤タンク	MS-3	２号原子炉建屋	2.2	1.1	-1.1	○	－	－
32	復水器連続洗浄装置制御盤	NON	２号タービン建屋	2.4	35.0	32.6	－	－	－
33	海水ポンプ室門型クレーン	NON	２号タービン建屋	22.7	19.6	-3.1	○※	－	○
34	放水路サンプリング建屋	NON	２号タービン建屋	4.8	34.0	29.2	－	－	－
35	励磁変圧器	PS-3	２号タービン建屋	4.8	3.0	-1.8	○	－	－
36	主変圧器	PS-3	２号タービン建屋	9.5	8.6	-0.9	○	－	－
37	主変圧器制御盤	PS-3	２号タービン建屋	2.7	22.0	19.3	－	－	－
38	屋外変圧器消火制御盤	MS-3	２号タービン建屋	2.6	22.3	19.7	－	－	－
39	所内変圧器２Ａ冷却器制御盤	PS-3	２号タービン建屋	2.7	11.5	8.8	－	－	－
40	所内変圧器２Ｂ冷却器制御盤	PS-3	２号タービン建屋	2.7	11.5	8.8	－	－	－
41	所内変圧器２Ａ中性点接地装置	PS-3	２号タービン建屋	2.2	1.8	-0.4	○	－	－
42	所内変圧器２Ｂ中性点接地装置	PS-3	２号タービン建屋	2.2	1.8	-0.4	○	－	－

※海水ポンプ室門型クレーンについては，ストッパーにより固定されるが，ストッパーが破損した場合には竜巻の風により移動し，原子炉補機冷却海水ポンプ等に隣接する可能性があるため抽出する。

○：該当
－：該当せず

第 3-3 表 現地調査結果における波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果(3/5)

No.	設備名称	安全重要度クラス	竜巻防護施設及び竜巻防護施設の外殻となる建屋及び構築物等	地上高(m) H	竜巻防護施設等までの最短距離(m) L	L－H(m)	波及的影響		評価対象
							倒壊により竜巻防護施設又は竜巻防護施設の外殻となる施設に損傷を及ぼすか（高さH≧水平距離L）	竜巻防護施設の外殻の損傷が内包する竜巻防護施設に直接影響を及ぼす可能性があるか	
43	所内変圧器	PS-3	２号タービン建屋	5.8	4.5	-1.3	○	－	－
44	屋外作業用分電盤	NON	２号タービン建屋	1.6	19.0	17.4	－	－	－
45	起動変圧器	PS-3	２号タービン建屋	7.5	4.8	-2.7	○	－	－
46	起動変圧器制御盤	PS-3	２号タービン建屋	2.7	14.0	11.3	－	－	－
47	起動変圧器ＮＧＲ盤　２－１	PS-3	２号タービン建屋	2.2	4.2	2.0	－	－	－
48	起動変圧器ＮＧＲ盤　２－２	PS-3	２号タービン建屋	2.2	2.2	0.0	○	－	－
49	復水脱塩装置薬液貯槽現場盤	NON	２号タービン建屋	2.0	13.0	11.0	－	－	－
50	苛性ソーダ貯槽	NON	２号タービン建屋	4.2	5.5	1.3	－	－	－
51	硫酸計量槽	NON	２号タービン建屋	1.4	5.5	4.1	－	－	－
52	硫酸貯槽	NON	２号タービン建屋	2.9	8.5	5.6	－	－	－
53	補助ボイラー変圧器クーラー制御盤（Ａ）	PS-3	２号制御建屋	1.7	19.0	17.3	－	－	－
54	補助ボイラー変圧器クーラー制御盤（Ｂ）	PS-3	２号制御建屋	1.7	29.0	27.3	－	－	－
55	補助ボイラー用変圧器Ａ	PS-3	２号制御建屋	5.7	13.0	7.3	－	－	－
56	補助ボイラー用変圧器Ｂ	PS-3	２号制御建屋	5.7	23.0	17.3	－	－	－
57	１号主復水器電解鉄イオン注入装置電解槽Ａ	NON	１号制御建屋	4.0	10.0	6.0	－	－	－
58	１号主復水器電解鉄イオン注入装置電解槽Ｂ	NON	１号制御建屋	4.0	14.0	10.0	－	－	－
59	１号鉄イオン供給装置現場盤	NON	１号制御建屋	1.7	18.0	16.3	－	－	－
60	１号主復水器電解鉄イオン供給装置直流電源装置盤	NON	１号制御建屋	2.4	20.0	17.6	－	－	－
61	１号主復水器連続洗浄装置電気防食装置直流電源盤	NON	１号制御建屋	2.4	25.0	22.6	－	－	－
62	１号主復水器電解鉄イオン供給装置制御盤	NON	１号制御建屋	2.7	19.0	16.3	－	－	－
63	１号主復水器連続洗浄装置制御盤	NON	１号制御建屋	2.7	28.0	25.3	－	－	－

○：該当
－：該当せず

第 3-3 表 現地調査結果における波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果(4/5)

No.	設備名称	安全重要度クラス	竜巻防護施設及び竜巻防護施設の外殻となる建屋及び構築物等	地上高(m) H	竜巻防護施設等までの最短距離(m) L	L－H(m)	波及的影響		評価対象
							倒壊により竜巻防護施設又は竜巻防護施設の外殻となる施設に損傷を及ぼすか（高さH≧水平距離L）	竜巻防護施設の外殻の損傷が内包する竜巻防護施設に直接影響を及ぼす可能性があるか	
64	１号No.８揚水井戸制御盤	NON	１号制御建屋	2.1	7.0	4.9	－	－	－
65	１号プロパンガスボンベ庫	NON	１号制御建屋	2.6	9.0	6.4	－	－	－
66	旧事務本館	NON	２号排気筒	20.0	28.0	8.0	－	－	－
67	２号スタックモニタ建屋	MS-3	２号排気筒	4.3	4.6	0.3	－	－	－
68	３号スタックモニタ建屋	MS-3	２号排気筒	4.7	5.1	0.4	－	－	－
69	３号起動変圧器Ａ	PS-3	２号排気筒	6.9	33.6	26.7	－	－	－
70	３号起動変圧器３Ａ冷却制御盤	PS-3	２号排気筒	2.7	29.9	27.2	－	－	－
71	３号起動変圧器３Ａ中性点接地装置（２次側）	PS-3	２号排気筒	2.2	32.4	30.2	－	－	－
72	３号起動変圧器３Ａ中性点接地装置（３次側）	PS-3	２号排気筒	2.2	30.1	27.9	－	－	－
73	３号起動変圧器Ｂ	PS-3	２号排気筒	6.9	26.7	19.8	－	－	－
74	３号起動変圧器３Ｂ冷却制御盤	PS-3	２号排気筒	2.7	22.8	20.1	－	－	－
75	３号起動変圧器３Ｂ中性点接地装置（２次側）	PS-3	２号排気筒	2.2	24.0	21.8	－	－	－
76	３号起動変圧器３Ｂ中性点接地装置（３次側）	PS-3	２号排気筒	2.2	23.5	21.3	－	－	－
77	３号ＧＩＳ２号送電線ユニット制御盤	PS-3	２号排気筒	2.0	36.0	34.0	－	－	－
78	３号ＧＩＳ主変圧器ユニット制御盤	PS-3	２号排気筒	2.0	35.3	33.3	－	－	－
79	３号ＧＩＳ起動変圧器３Ｂユニット制御盤	PS-3	２号排気筒	2.0	36.7	34.7	－	－	－
80	３号開閉所電源盤	PS-3	２号排気筒	2.4	23.5	21.1	－	－	－
81	３号ＣＶケーブル洞道出入口	NON	２号排気筒	2.3	26.7	24.4	－	－	－
82	３号ＣＶケーブル洞道冷却制御盤	PS-3	２号排気筒	2.4	29.8	27.4	－	－	－
83	１号吸気フィルタサイレンサ（Ａ）	MS-1	１号制御建屋	5.2	屋上	－	○	－	－
84	１号吸気フィルタサイレンサ（Ｂ）	MS-1	１号制御建屋	5.2	屋上	－	○	－	－

○：該当
－：該当せず

第 3-3 表 現地調査結果における波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果(5/5)

No.	設備名称	安全重要度クラス	竜巻防護施設及び竜巻防護施設の外殻となる建屋及び構築物等	地上高(m) H	竜巻防護施設等までの最短距離(m) L	L－H(m)	波及的影響		評価対象
							倒壊により竜巻防護施設又は竜巻防護施設の外殻となる施設に損傷を及ぼすか（高さH≧水平距離L）	竜巻防護施設の外殻の損傷が内包する竜巻防護施設に直接影響を及ぼす可能性があるか	
85	１号吸気フィルタサイレンサ（C）	MS-1	１号制御建屋	5.2	屋上	－	○	－	－
86	１号吸気フィルタサイレンサ（D）	MS-1	１号制御建屋	5.2	屋上	－	○	－	－
87	１号排気サイレンサ（A）	MS-3	１号制御建屋	10.6	屋上	－	○	－	－
88	１号排気サイレンサ（B）	MS-3	１号制御建屋	10.6	屋上	－	○	－	－
89	１号中央制御室用凝縮機（A）	MS-1	１号制御建屋	4.6	屋上	－	○	－	－
90	１号中央制御室用凝縮機（B）	MS-1	１号制御建屋	4.6	屋上	－	○	－	－
91	１号ＣＶＣＦ設置エリア用屋外機（Ａ－１）	NON	１号制御建屋	0.8	屋上	－	○	－	－
92	１号ＣＶＣＦ設置エリア用屋外機（Ａ－２）	NON	１号制御建屋	0.8	屋上	－	○	－	－
93	１号ＣＶＣＦ設置エリア用屋外機（Ｂ－１）	NON	１号制御建屋	0.8	屋上	－	○	－	－
94	１号ＣＶＣＦ設置エリア用屋外機（Ｂ－２）	NON	１号制御建屋	0.8	屋上	－	○	－	－
95	１号給湯系統高置水槽	NON	１号制御建屋	2.2	屋上	－	○	－	－
96	１号給水系統高置水槽	NON	１号制御建屋	2.2	屋上	－	○	－	－
97	補助ボイラーサイレンサー	NON	２号タービン建屋	0.9	10.5	9.6	－	－	－
98	渡り廊下	NON	２号原子炉建屋	5.2	37.7	32.5	－	－	－
99	サイトバンカ建屋	PS-3	２号タービン建屋	28.9	22.0	-6.9	○	○	○
100	２号補助ボイラー建屋	PS-3	２号制御建屋，２号タービン建屋	12.6	隣接	－	○	○	○
101	１号タービン建屋	PS-2	１号制御建屋	18.7	隣接	－	○	○	○
102	１号廃棄物処理建屋	PS-3	１号制御建屋	29.1	隣接	－	○	○	○
103	２号原子炉建屋避雷針	NON	２号原子炉建屋	10.4	屋上	－	○	－	－
104	２号タービン建屋避雷針	NON	２号タービン建屋	10.4	屋上	－	○	－	－
105	１号制御建屋避雷針	NON	１号制御建屋	13.0	屋上	－	○	－	－

○：該当
－：該当せず

気候区分について

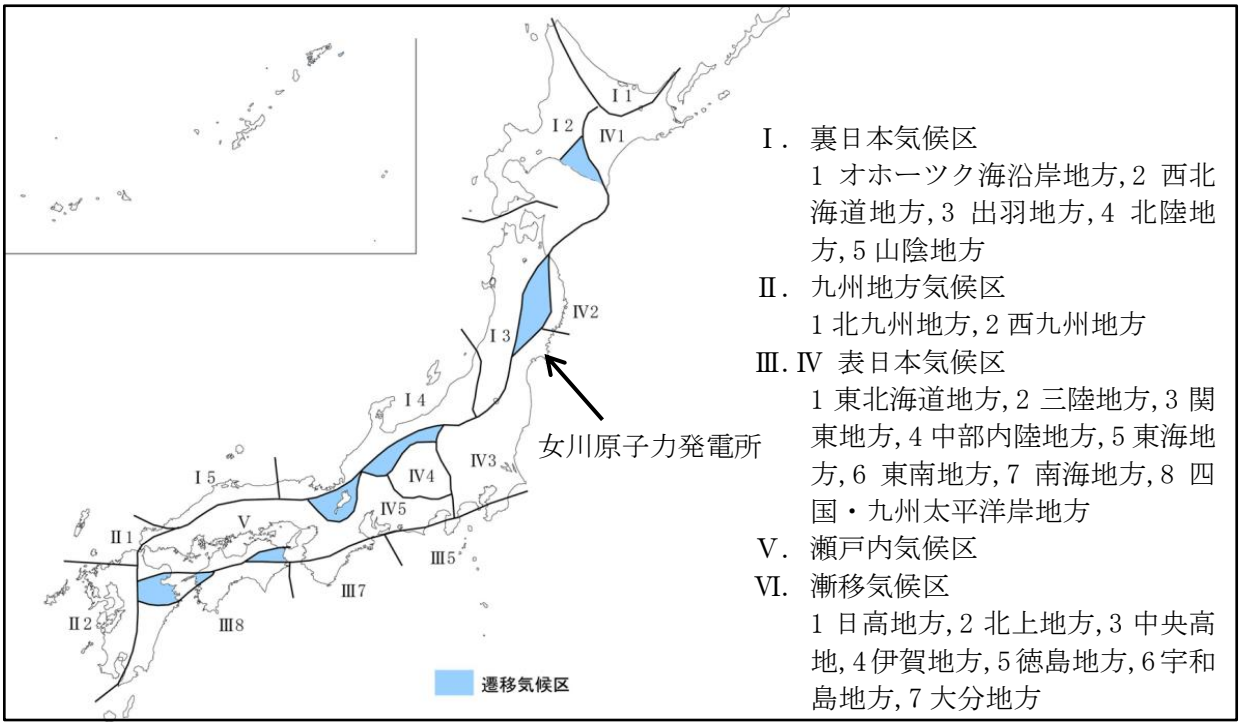
気候区分（関口 1959）は，以下の 4 種類の気候要素を基に，気候の境界を表したものである。

① 気温の日較差（1 日の最高気温と最低気温の差）
② 雨天日数
③ 日照率
④ 気候の乾湿

4 つの気候要素を基に作成された気候区分を第１図に示す。

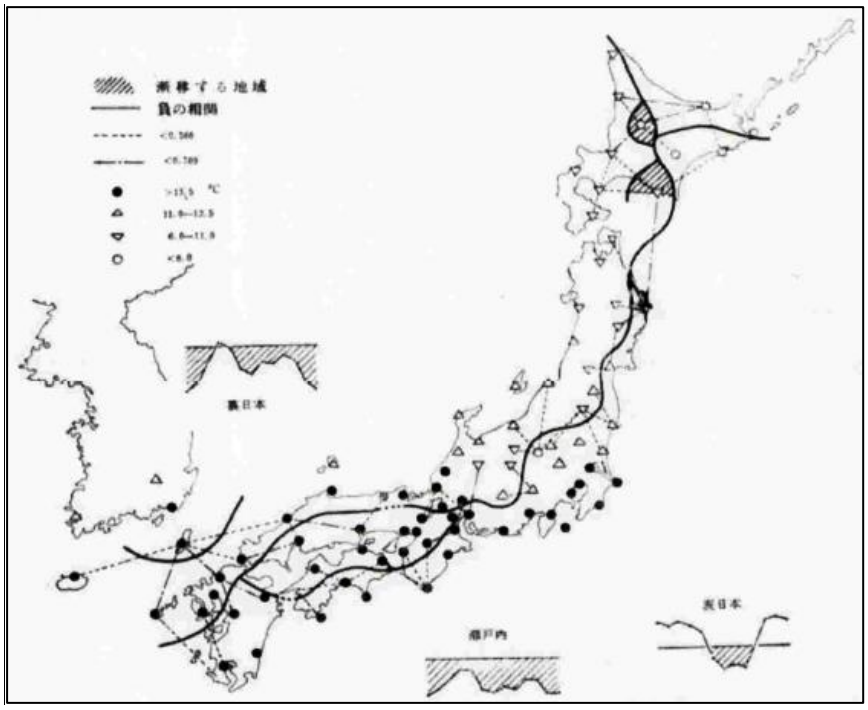
第１図より，女川原子力発電所は区分Ⅳ3 に属している。また，日本海側（裏日本）と太平洋側（表日本）は判然と区別されていることが分かる。

なお，第２図～第５図に示すとおり，①～④の各気候要素の気候区分，いずれにおいても日本海側（裏日本）と太平洋側（表日本）は判然と区別されている。

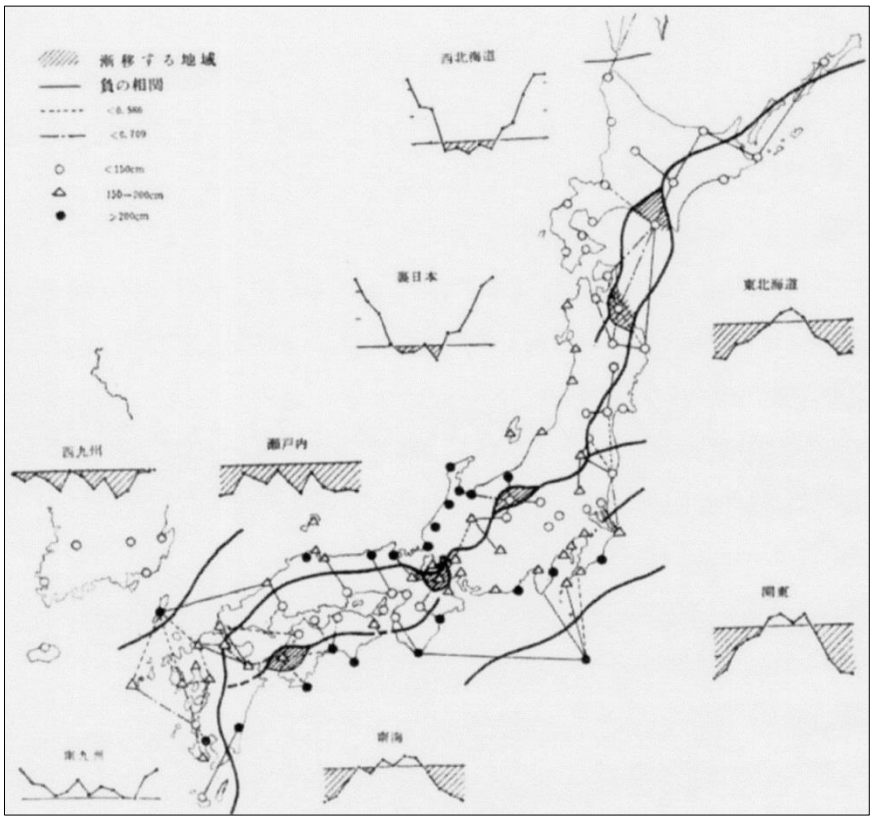


出展：関口武「日本の気候区分」東京教育大学地理学研究報告（1959）

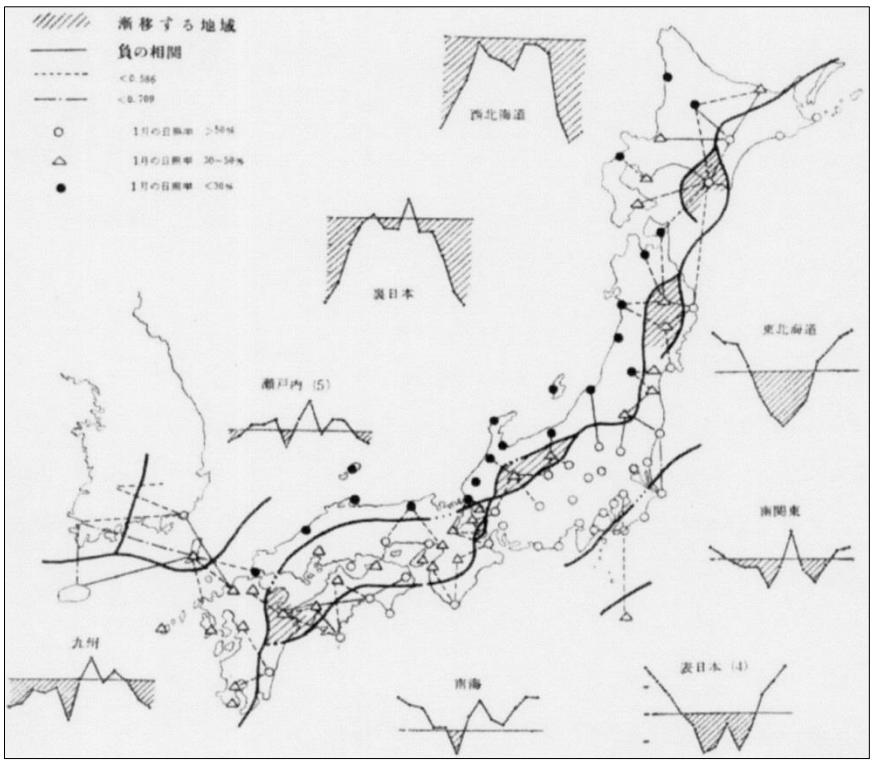
第１図 日本の気候区分（関口）



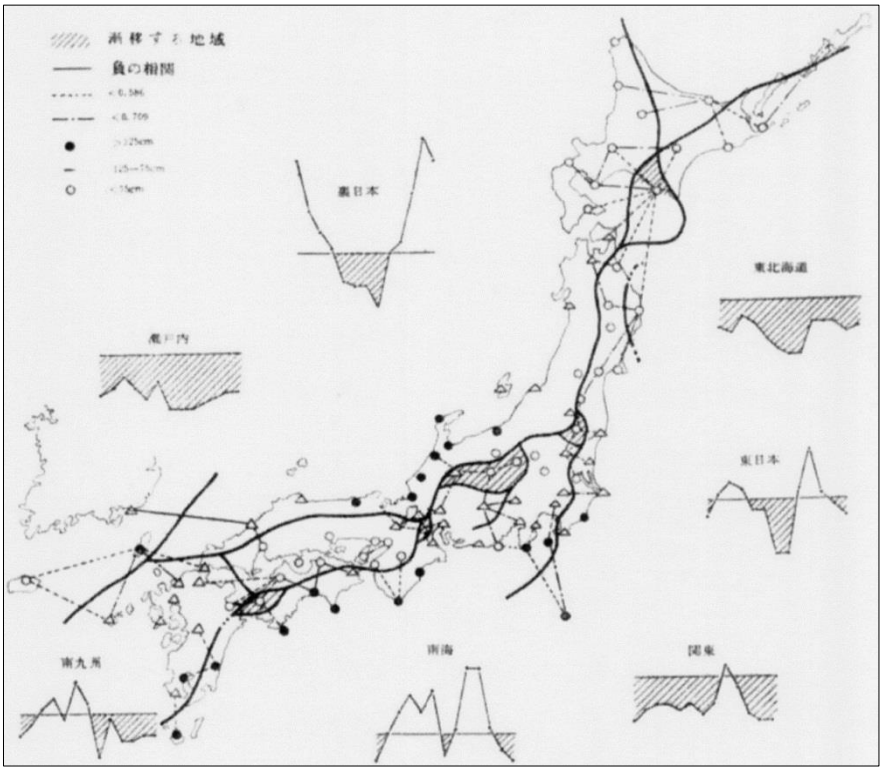
第２図 気温の日較差の年変化型による気候区分



第３図 雨天日数による気候区分



第４図　日照率による気候区分



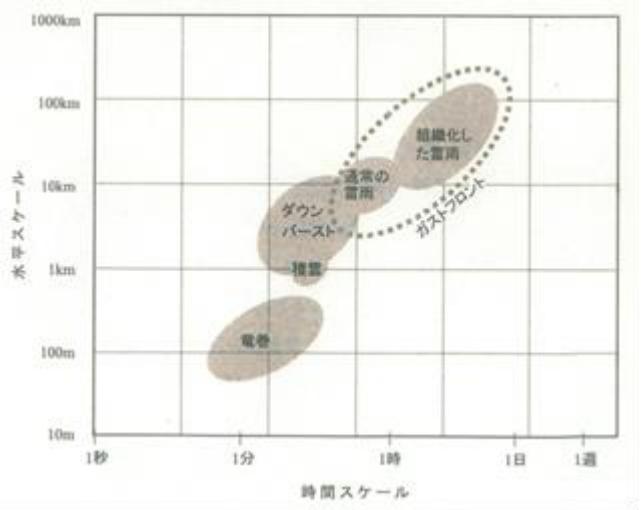
第５図　気候の乾湿による気候区分

数値気象解析にもとづく竜巻検討地域の設定について

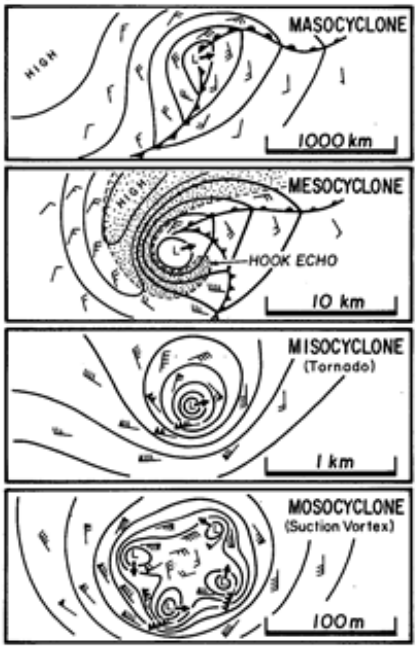
1. はじめに

一般的に，大気現象の水平方向の広がりのことは「水平スケール」と呼ばれ，寿命や周期は「時間スケール」と呼ばれる。第1-1図は雷雨とその関連事象の時空間スケールの関係を表したものである。個々の積雲の時空間スケールは1km・10分程度であり，発達・組織化（マルチセル化・スーパーセル化）すると10～100km・数時間～半日程度にまで大きくなる。それに対し，竜巻の時空間スケールは数分・100m程度である。

竜巻の発生メカニズムを考える際,時空間スケールの階層構造が重要である（第1-2図)。ある大気現象は，スケールのより小さな現象を内包しており，竜巻の場合，竜巻の漏斗雲内の気流は数十メートル～数百メートル規模（マイクロスケールと呼ばれる（Orlanski 1975)；第1-2図では“MISOCYCLONE“と記載されている）の現象であるのに対し，竜巻を引き起こすもとの積乱雲である親雲のスケールは数キロメートル～数十キロメートル規模（メソスケールと呼ばれる。第1-2図では“MESOCYCLONE”と記載されている）である。台風，低気圧，前線等のいわゆる総観場は，数百キロメートル～数千キロメートル規模（総観スケールと呼ばれる。第1-2図では”MASOCYCLONE”と記載されている）として扱われる。また，竜巻内部には吸い込み渦（第1-2図では“Suction Vortex”と記載されている）と呼ばれるさらに強い渦が形成されることもある。



第 1-1 図　雷雨とその関連現象の時空間スケール（大野 2001）



第 1-2 図　竜巻発生時の渦の多重構造（Fujita 1981）

このように，竜巻の発生にはさまざまなスケールの現象が介在し，異なるスケールの現象が相互作用しているため，竜巻の発生頻度や強度の地域性は複数の時空間スケールで議論する必要がある。気象学における現状として，観測データの欠如や数値シ

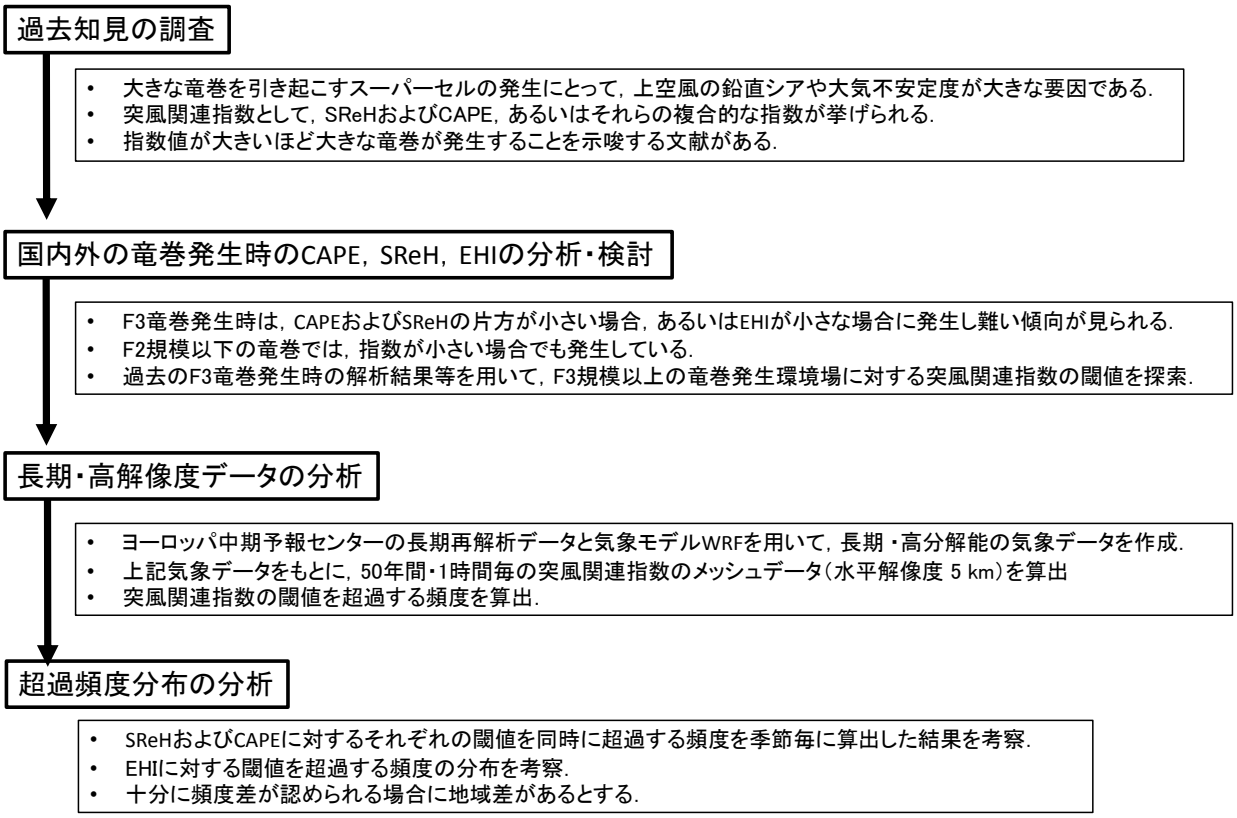
ミュレーション技術の不十分さゆえにマイクロスケールの現象の理解が難しく，未知なメカニズムもあると認識されている。一方，総観場の観点では，さまざまなパターンで竜巻が発生していることがわかっており，「日本海側では台風性竜巻の発生が確認されていない」ことや，地域に応じて総観場の割合が異なる等の分析結果が得られている。しかし，例えば，寒冷前線起因のF3竜巻が実際に発生している（1990年茂原竜巻や2006年佐呂間竜巻等）が，寒冷前線自体は国内どこでも通過しうるため，ある地域においてF3竜巻が発生し難いことを総観場の分析結果だけで示すのは難しい。

竜巻影響評価ガイド（原子力規制委員会2013）では，基準竜巻風速V_{B1}の設定の際に国内最大規模の竜巻ではなく竜巻検討地域内における記録等を参照する場合には，その明確な根拠を提示する必要があると記載されている。そのため，総観スケールの気象場の分析結果のみではなく，メソスケールあるいはマイクロスケールの気象場の特徴から地域性が見られる理由，及び竜巻検討地域内の記録を参照してV_{B1}を設定できる根拠をより気象力学的に明らかにすることが必要である。ただし，上述のように，マイクロスケールでの議論は極めて困難である。

そこで，マイクロスケールで発生する竜巻現象を包含する気象場（以下，「環境場」という。）として，親雲の水平スケールに対応するメソスケールの気象場を対象として，F3規模以上の竜巻の発生に適した環境場が生起する頻度についてその地域性の有無を検討する。以下，第2節では竜巻の発生メカニズムについて簡単に触れ，竜巻発生環境場を議論する上で重要な視点について述べる。第3節では，発生環境場の指標として活用されている突風関連指数について，本検討で用いる突風関連指数の概要を述べる。第4節では，気象モデルを用いて顕著な竜巻の数値シミュレーションを行い，気象場や突風関連指数解析結果を考察する。この結果をもとに，第5節において過去50年間の気象解析データを用いて，突風関連指数の地域性について分析し，F3規模以上の竜巻発生に適した環境場の生成のし易さを観点とした地域性の有無について考察する。第6節では北海道網走支庁佐呂間町にて発生したF3竜巻の特殊性，及び竜巻検討地域設定に対する取り扱いについて述べる。

なお，メソスケールでの地域性を検討するに際し，ヨーロッパ中期予報センターの長期再解析データをもとに，気象モデルを用いたダウンスケーリングと呼ばれる手法により当該スケールに対する空間分解能（水平解像度5km）を有する気象データを作成した。今回，1961年～2010年の1時間毎のデータを使用した。その検討フローを第1-3図に示す。

過去の既往文献や，国内外で発生した大きな竜巻を対象とした発生環境場に関する解析結果をもとに，不確かさも考慮して突風関連指数の閾値を設定し，長期間にわたる気象データにおいて，その閾値を超過する頻度を算出し，得られた頻度分布において定性的に十分に差があるかどうかを観点として地域性の有無を考察した。



第1-3図　メソスケールでの分析フロー

2. 竜巻の発生メカニズム・分類とメソスケール分析の有効性

2.1 竜巻の発生メカニズム

竜巻の発生メカニズムは二つに大別されると考えられている（新野 2007）。一つは，スーパーセルと呼ばれる特徴的な構造を有する巨大積乱雲に伴うもの（第2.3-1図に例示した模式図参照）であり，もう一つは，気温・湿度や風向・風速が急変する局地的な前線（第2.3-2図に例示した模式図参照）に伴うものである。

スーパーセルを伴う竜巻では，大気下層における鉛直シア（風向が上下で逆転する，あるいは風速が上下で大きく異なる場合に生じる）に伴って水平軸を有した渦管が形成され，それが上昇気流によって数キロメートル上空まで持ち上がる。その際，メソサイクロンと呼ばれる直径3・4km～10km程度の鉛直軸回りの強い渦が積乱雲中にでき，その下部に竜巻が発生する（Klemp and Wilhelmson 1978；図4参照）。このように，メソサイクロンの形成がこの種の竜巻の最大の特徴である（新野2007）。第2.3-1図に示すように，鉛直シアによりスーパーセル内では降水粒子の落下域（下降流域）と上昇流域が分離されるため，巨大な積乱雲にまで発達し，長時間持続しうる。国内で発生したF2規模以上の竜巻に対し，スーパーセルあるいはミニチュア（ミニ）スーパーセルが存在したことを観測・解析した成果も得られている（Suzuki et al. 2000, Mashiko et al. 2009等）。また，水平風速のマイクロスケールの空間スケールを有する竜巻漏斗雲の形成メカニズムについては，水平渦が上昇気流により引き伸ばされる

ことの影響，あるいはメソサイクロンが地表面付近の上昇気流への影響等が指摘されている（Noda and Niino 2010）が，多くは未解明であり，レーダ観測や数値実験による研究が行われている。しかし，メソサイクロンが強いほど竜巻強度が大きくなるという関係性が，最先端のドップラーレーダを用いた詳細観測により分かってきている。(Burgess et al.2002)

一方，局地前線に伴う竜巻では，気温・湿度，風向・風速が水平方向に鋭く変化する局地的前線面において，水平シア流の不安定や傾圧的作用等により生成した鉛直軸周りの渦が鉛直方向に引き伸ばされることによって発生する（Lee and Wilhelmson 1997)。スーパーセルとは大気成層が大きく異なり（Doswell and Evans 2003)，降水粒子が地上に達する段階になると下降気流が上昇気流を打ち消すため(Byers-Brahamの概念)，積乱雲がこれ以上発達せず，衰弱・消滅する。そのため，強い竜巻が生じ難いと考えられている。局地的に水平スケールは数キロメートル以下であり，メソスケールのうち小さなスケール（メソγスケール)，あるいはマイクロスケールにあたる。この種の渦は，上記のサイクロンに対してマイソサイクロンと呼ばれている。

2.2 竜巻の分類

上記にて説明した発生メカニズムの観点から，メソサイクロンの形成が大きな竜巻の発生と深く係わっていることがわかる。米国では，メソサイクロンが形成される竜巻は，スーパーセル型と呼ばれるF2～F5規模を想定した顕著な竜巻として分類され，F1規模以下の竜巻は局地前線等に伴う非スーパーセル型と分類されている(Rassmussen and Blanchard 1998, Doswell and Evans 2003)。国内にて発生したF2-F3を含めた全てのF3竜巻(6事例)[1]もメソサイクロンを伴うスーパーセル型であったと報告されている（第2.3-1表)。

そこで，飯塚・加治屋（2011)，Bluestein（2013）及びその他の検討（Rassmussen and Blanchard 1998, Doswell and Evans 2003）と同様に，メソサイクロンの有無で竜巻を分類することとし，メソサイクロンを有する場合を「スーパーセル型」，そうでない場合を「非スーパーセル型」と定義する。

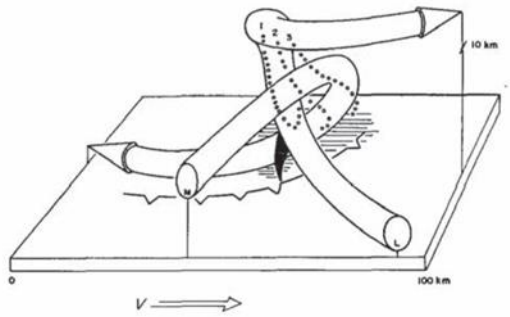
なお，スーパーセル型・非スーパーセル型竜巻の同定に関する国内の検討例として，飯塚・加治屋（2011）による分析が見られ，2006年～2009年間の3ヶ年においてスーパーセル型竜巻の竜巻強度は，F2及びF3（3事例)，F1（6事例)，F0（8事例)，F不明（2事例）であったのに対し，非スーパーセル型竜巻では，F2及びF3竜巻（0事例)，F1（9事例)，F0（11事例)，F不明（5事例）であったと報告している。分析期間は短いものの，国内で発生したF3竜巻のスーパーセル型の竜巻強度の傾向を考慮すれば，大きな竜巻は米国と同様に基本的にスーパーセル型に分類できるといえる。

[1] 気象庁データベースにおける括弧つき F2-F3 竜巻（(F2-F3)と記載された竜巻）は過去に 5 事例（1960 年代に 4 事例，1990 年に 1 事例）報告されている。これらの竜巻については解析を実施した文献が見あたらなかったため，表 1 には記載していない。

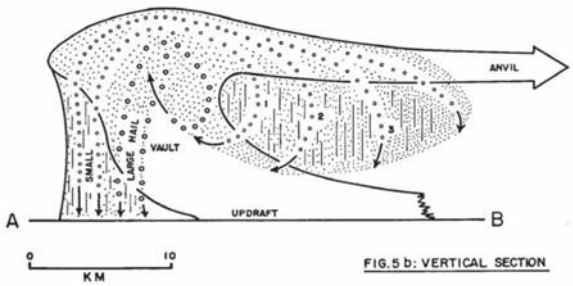
2.3 メソスケールでの分析の有効性

空間スケールの観点では，メソスケール気象場の分析はスーパーセル型竜巻の発生しやすさの傾向・地域性を分析する目的には十分であるが，空間スケールの小さく，竜巻強度も小さい非スーパーセル型竜巻に対しては向かない。また，竜巻強度の観点では，大きな竜巻（国内最大強度のF3を含むF2以上の規模の竜巻）の発生のしやすさがメソスケール気象場の分析により検討することができる。したがって，設計基準を考える際には，スーパーセル型竜巻の発生を観点とした地域性を検討することが妥当である。

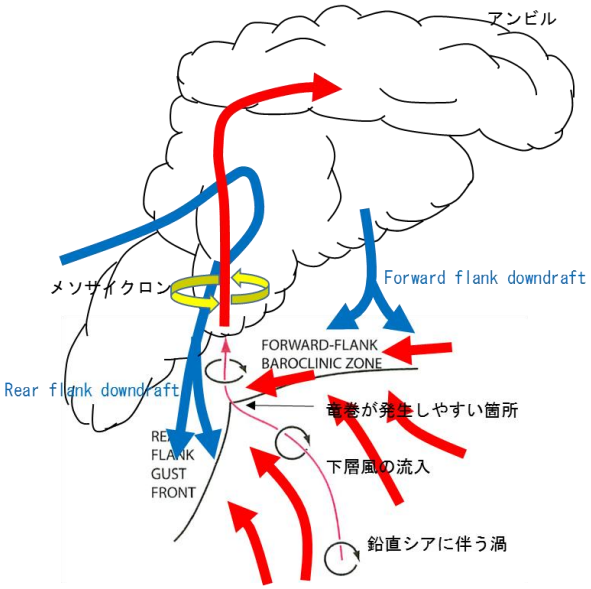
そこで，3節以降では，突風関連指数と呼ばれる竜巻の発生のしやすさを指数化した量を用いて，大きな竜巻の発生のしやすさについて分析し，その地域性について検討する。その際，スーパーセル型竜巻はメソサイクロンを有する点が特徴的であり，その発生はメソスケールにおける風の鉛直シアや大気不安定性と深く係わっている（Bluestein 2013,Klemp and Wilhelmson 1978,Rotunno and Klemp 1985,Trapp 2013）ことから，SReH及びCAPE，あるいはEHIと呼ばれる突風関連指数を用いる。



風況場

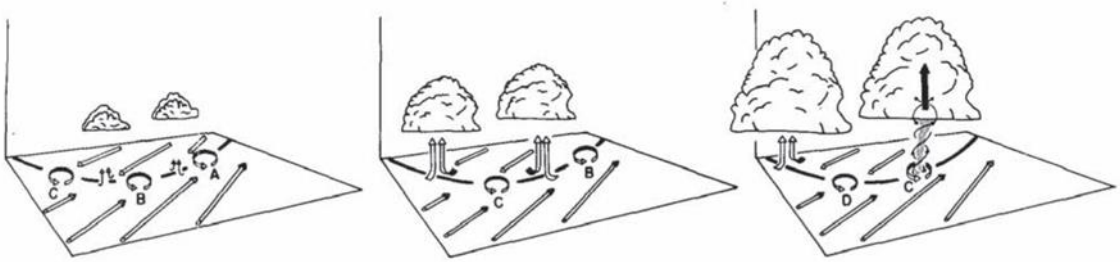


鉛直断面構造

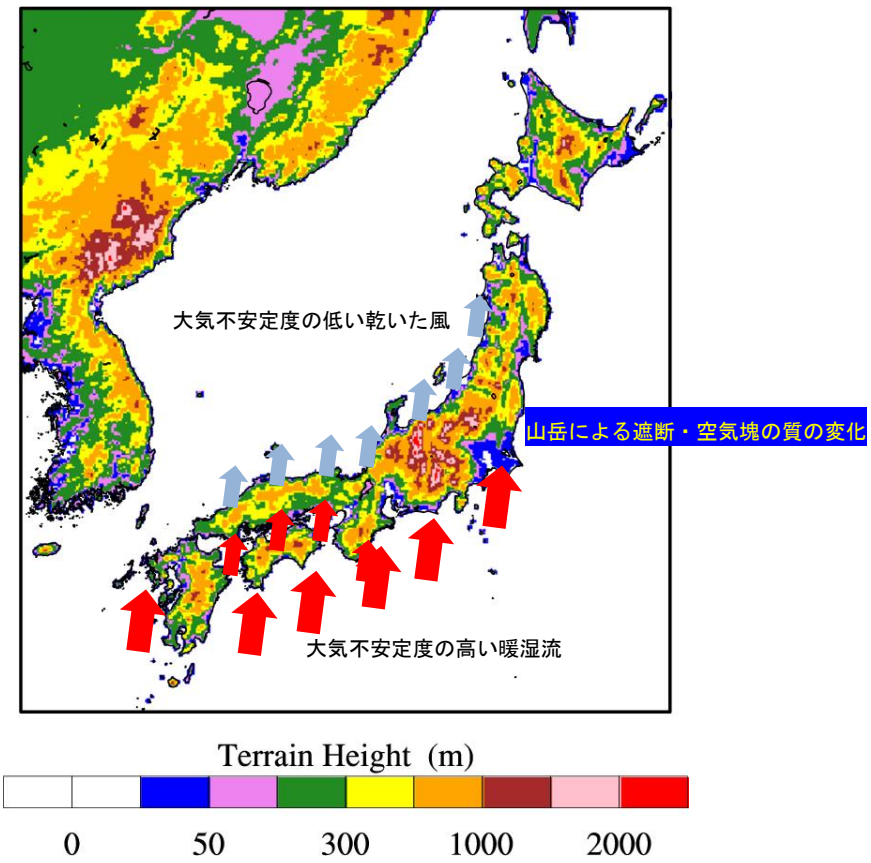


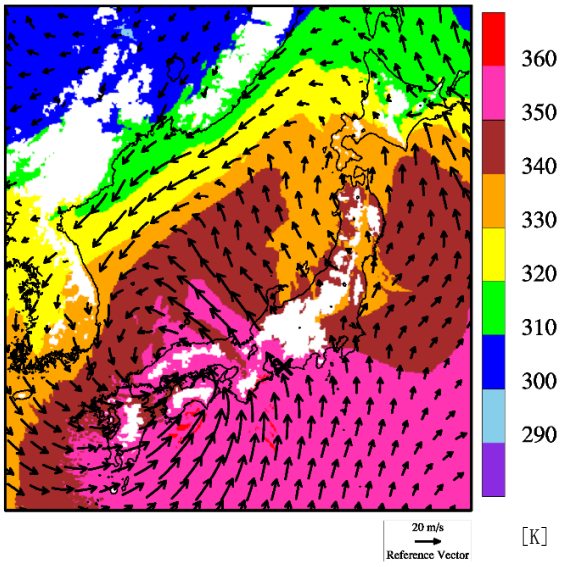
メソサイクロンの形成メカニズム

第 2.3-1 図　スーパーセル型雷雨の構造（Browning 1964, Bluestein 2013 に加筆）

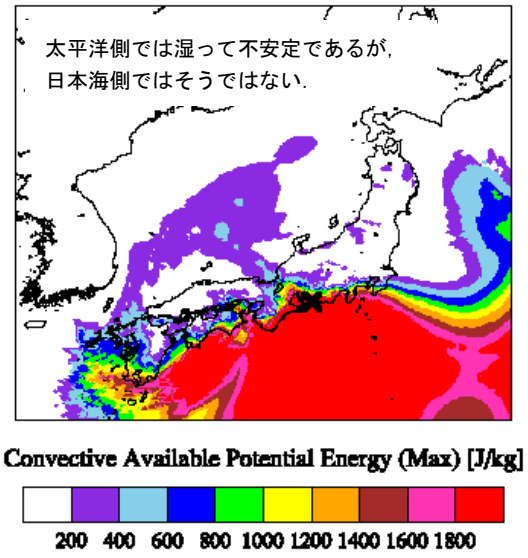


第2.3-2図　局地前線に伴う竜巻の発生機構に関する模式図（Wakimoto and Wilson 1989）（上向きの黒い⇒が上昇気流を表す）





500m 高度における温位（カラー）及び風向・風速



大気不安定度（CAPE）の分布

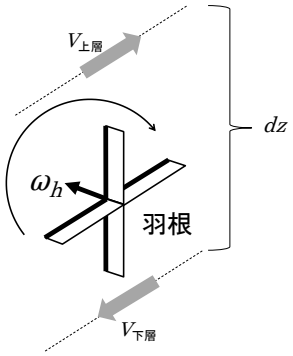
第2.3-3図　（上）総観スケールでの気流場の模式図（カラーは標高を表す）及び（下）1999年9月に豊橋にて発生したF3竜巻の事例

第 2.3-1 表　過去に国内にて発生した F3 規模竜巻の概要

発生日	発生場所 (県・市町村)	F スケール	主な総観場	メソサイクロンの存在を 報告した資料・文献
1971/7/7	埼玉県浦和市	(F3)	台風	Fujita et al. (1972)
1978/2/28	神奈川県川崎市	F2-F3	寒冷前線	村松 (1979)
1990/12/11	千葉県茂原市	F3	暖気の移流	鈴木･新野 (1991), Niino et al. (1993)
1999/9/24	愛知県豊橋市	F3	台風	坪木ら(2000)
2006/11/7	網走支庁佐呂間町	F3	寒冷前線	Kato and Niino (2007)
2012/5/6	茨城県常総市	F3	気圧の谷	Yamauchi et al. (2013)

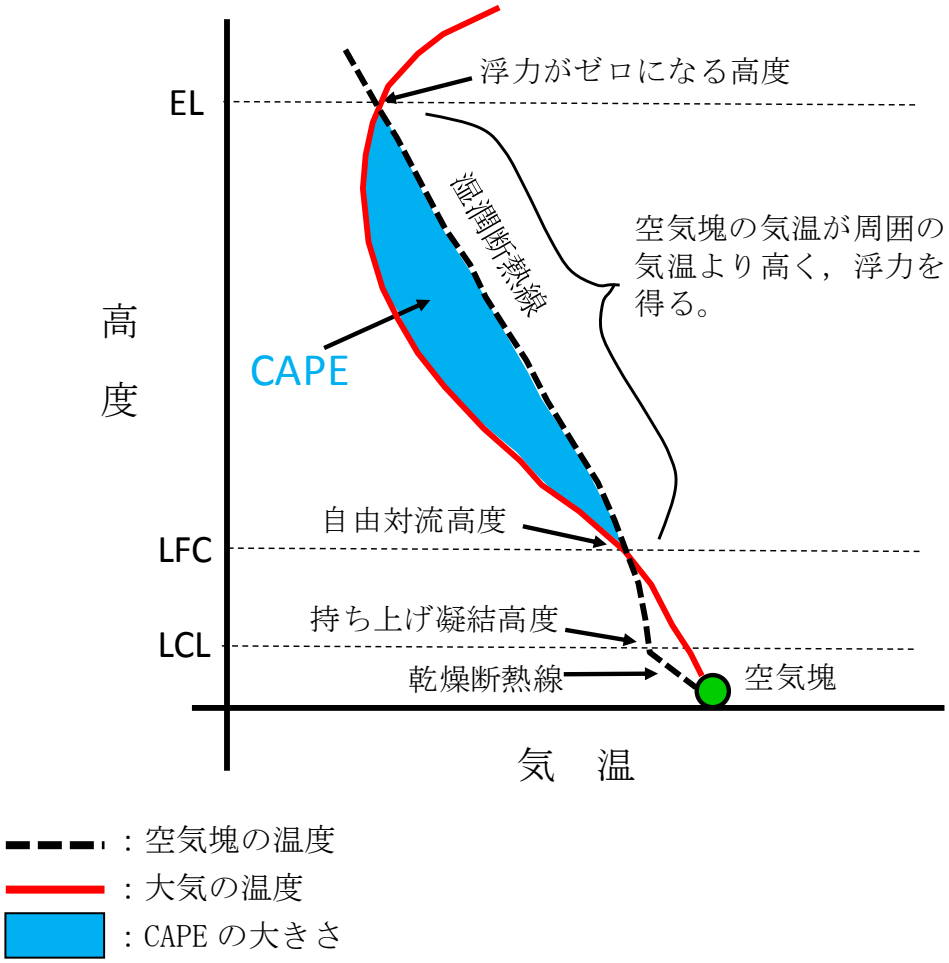
3. 突風関連指数

突風関連指数はこれまで数多く提案されており，気象庁における現業においても竜巻探知・予測に活用されている（瀧下 2011 等)。ここでは，国内外で最も知見が蓄積された指数として SReH（Storm Relative Helicity：ストームの動きに相対的なヘリシティー；Davies-Jones et al. 1990)，CAPE（Convective Available Potential Energy：対流位置有効エネルギー;Moncrieff and Miller 1976）を用いる。第 3-1 図及び第 3-2 図にそれぞれ，両指数の算出概念を表す。概して，SReH は風の鉛直シア（高度方向の風向・風速差）に伴って発生する大気の水平渦度が親雲に取り込まれる度合，CAPE は大気の不安定度合の指標である。値が大きいほどその度合が高くなる。大気下層の空気塊を「持ち上げて」乾燥断熱線及び湿潤断熱線を求め，空気塊が自由対流高度に達した際に積乱雲の発達するポテンシャルとして CAPE を計算する。



「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

第 3-1 図　SReH の算出概念



第 3-2 図　CAPE の算出概念

両指数の算出式は以下のとおりである。

$$\mathrm{SReH} = \int_{\text{地上}}^{\text{高度}3km} (\mathbf{V} - \mathbf{C}) \cdot \boldsymbol{\omega}\, dz \qquad (1)$$

$$\mathrm{CAPE} = \int_{LFC}^{EL} g \frac{\theta_e'(z) - \theta_e(z)}{\theta_e(z)} dz \qquad (2)$$

ここで，式(1)の V は水平風速ベクトル，ω は鉛直シアに伴う水平渦度であり，C のストームの移動速度は Bunkers et al. (2000)にしたがって，長期再解析データから得られる地上高 6km の平均風速と，シアベクトル（地上高 5.5～6km 層の水平風ベクトルと 0～0.5km 層の水平風ベクトルの差）から算出する関係式にて求めた。式(2)の g は重力加速度，θe はストーム周囲の相当温位，θe’は持ち上げ空気塊の相当温位であり，dz は鉛直方向の層厚である。LFC は自由対流高度と呼ばれ，

前線周辺の風の水平方向の収束，太陽による地表面加熱，地形による強制上昇等によって，空気塊がこの高度まで何らかの要因で持ち上げられると（$\theta e < \theta e'$となり）自身の浮力だけで上昇し，平衡高度 EL（$\theta e = \theta e'$となる）に達するまで積乱雲が発達する（第 3-2 図）。なお，温位とは，式(3)に示すように気温 T と気圧 p に関する量であり，ある空気塊を断熱的に基準圧力 1000hPa に戻したときの絶対温度である。気温は高度によって変わるが，温位は同じ空気塊では常に一定（断熱過程では温位は保存される）な物理量であるため，空気塊のあたたかさ，浮力特性，及び不安定性を把握するのに用いられる（付録 A 参照）。

$$\theta = T\left(\frac{1000}{p}\right)^{\frac{R}{C_p}} \quad (R: \text{気体定数}, \ C_p: \text{定圧比熱}) \tag{3}$$

二つの空気塊を比較した場合，温位の高い空気塊は軽く上昇しやすく（不安定であり），単位体積中に含みうる水蒸気量が多いと，大きな積乱雲の発生につながる。竜巻が発生する積乱雲の中では，水蒸気が降水粒子に変化しているため，その際に発生する潜熱の影響が考慮された相当温位が保存される。乾燥している気象場では相当温位と温位は等しい。

式(1)を見ればわかるように，SReH は，上端高度の違いによって値が変わる。上端を地上から 3km とした場合，その殆どが地上から 1km までの大気によるヘリシティーであるという指摘（Rasmussen 2003）があるが，1km 高さは夏場では境界層高さ（雲底高度）程度と低めであるため，本検討では多くの既往検討と同様に 3km とする。また，持ち上げる空気塊の性質によって CAPE の値は変わる。地表から 500m 程度上空までの平均的な性質を持つ空気塊を持ち上げたときの MLCAPE（Mean Layer CAPE）がよく用いられる。本検討では，地表から 500m 上空までで最も不安定な空気塊を持ち上げる。このようにして求められた CAPE は MUCAPE（Most Unstable CAPE）と呼ばれる。大気下層に冷気がありその上空で対流が発生する場合を考慮することができる。このような場合，MLCAPE では安定な大気とみなされることにより CAPE 値が非常に小さくなる傾向にある（付録 B 参照）。

本検討では，SReH と CAPE に加え，EHI と呼ばれる SReH と CAPE の複合指数を用いた分析も行った。Davies（1993）は EHI 算出に MLCAPE を用いたが，本検討では MUCAPE を用いて以下のように EHI を算出した。

$$\mathrm{EHI} = \frac{\mathrm{SReH} \times \mathrm{CAPE}}{160000} \tag{4}$$

4. 国内で発生したF3竜巻及び日本海側F2竜巻の数値シミュレーション

竜巻発生時の気象場（風向・風速，気温，気圧，水蒸気量等）を数値気象モデルにより解析し，その解析結果をもとに突風関連指数を算出する。気象モデルとしてWRF（Weather Research and Forecasting）モデル（Skamarock et al. 2005）バージョン3.2.1を用いた。

WRFモデルは，気象力学・物理現象を数値モデル化したものであり，（竜巻の親雲の水平スケールに対応する）メソγスケール（水平方向2km～20km程度）の気象要素を解析できるコミュニティーモデルとして世界的に利用されている（付録C参照）。主な計算条件は第4-1表に記すとおりである。電力中央研究所による長期高解像度再解析データセット（橋本ら 2013）と同様の条件を採用しており，ネスティングと呼ばれる技法を用いて，水平解像度15kmで解析した結果をもとに水平解像度5kmの解析結果を得る。これにより，粗い水平空間分解能（ECMWF ERA-Interim：約70 km，ECMWF ERA-40：約250km）の初期・境界値データから詳細メッシュの気象場を解析できる。なお，30 分間隔で計算結果を出力し，当時の天気図や気象レーダ画像等を参考にして竜巻発生時刻と解析結果における降雨域の通過時刻との違いや，対応する降雨域の有無を確認することにより，計算結果に大きな問題がないことを確認した。気象庁の竜巻等の突風データベースでは，1988年以降の事例に対しては天気図に加え，レーダ画像も掲載されている。1988年以降の事例については WRFモデルによる解析結果の適切性をレーダ画像と天気図から判断した。1987年以前の事例についてはF3竜巻については天気図から判断した。基本的に，発生時刻から±1時間内に擾乱が竜巻発生地点周辺を通過することを適切性の判断基準とした。

第 4-1 表　WRF モデルセットアップの概要

水平グリッド間隔	15 km（親領域），5 km（子領域）
鉛直層数	35
積分時間間隔	90秒（親領域），30秒（子領域）
モデル上端気圧	50 hPa
初期・境界値データ	ECMWF-Interim（1989年～），ERA40（～1988年）
ネスティング	フィードバック有
積雲対流スキーム	Kain-Fritsch（親領域のみ）
雲物理スキーム	Morrison 2-moment（両領域）
接地層スキーム	2-D Smagorinsky（両領域）
境界層スキーム	YSU（両領域）
地表面スキーム	Noah LSM（両領域）
放射スキーム（長波）	RRTM（両領域）
放射スキーム（短波）	Dudhia（両領域）

分析対象事例は，第4-2表に示すとおり，過去に発生したF3竜巻（1987年以前のF2-F3竜巻は除く），1988年以降に日本海側で発生したF1-F2，F2竜巻とした（F3竜巻は5事

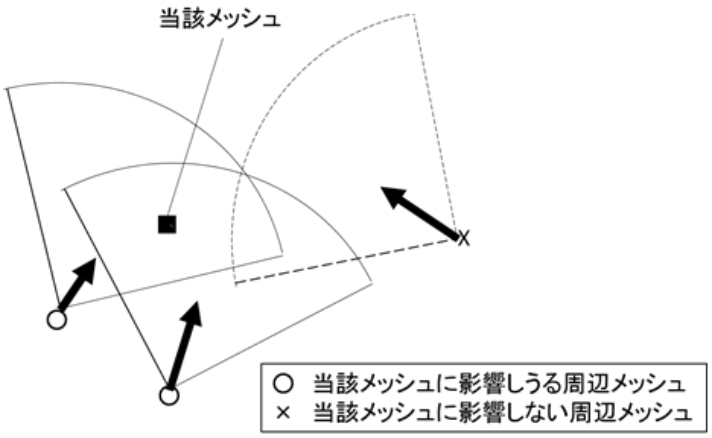
例，F2-F3竜巻は1事例，F2竜巻は3事例，F1-F2竜巻は1事例)。1987年以前に発生した竜巻については，(初期値・境界値データとして使用しているECMWF ERA40の水平空間分解能が約250kmと粗いために，竜巻通過時刻や発生箇所が実際に比べて乖離する場合がある[1]ため）この資料では対象としていない。ただし，F3竜巻に対しては1987年以前の竜巻に対しても解析を行い，計算結果の適切性も確認している。なお，対象事例に対して適切性が低いことを理由に除外した事例はない。

第 4-2 表　分析対象事例の概要

発生日時	季節	発生地点	Fスケール	計算開始日時	SReH	MaxCAPE
2012/05/06 12:35	暖候期	茨城県常総市	F3	2012/05/06 03時	270	2115
2006/11/07 13:23	寒候期	北海道網走支庁佐呂間町	F3	2006/11/07 03時	714	813
1999/09/24 11:07	暖候期	愛知県豊橋市	F3	1999/09/24 03時	403	2459
1990/12/11 19:13	寒候期	千葉県茂原市	F3	1990/12/11 09時	649	1201
1971/07/07 07:50	暖候期	埼玉県浦和市	F3	1971/07/06 15時	337	1746
1990/02/19 15:15	寒候期	鹿児島県枕崎市	F2-F3	1990/02/19 03時	745	373
1991/06/12 13:30	暖候期	富山県魚津市	F2	1991/06/12 03時	227	1358
1990/04/06 02:55	寒候期	石川県羽咋郡	F2	1990/04/05 15時	484	889
1989/03/16 19:20	寒候期	島根県簸川郡	F2	1989/03/16 09時	329	430
1999/11/25 15:40	寒候期	秋田県八森町	F1-F2	1999/11/25 03時	363	1222

第4-2表中のSReHと最大CAPEの値は，発生地点を中心とした東西・南北100km四方内の最大値である。ここで，最大CAPEを求めた理由と方法は以下のとおりである。雲物理過程により擾乱（竜巻を伴う積乱雲）が発生すると，発生前の大気不安定な状況が解消されるため，竜巻発生地点のCAPE値は周囲に比べて低くなる傾向がある。つまり，解析データでは，ある格子点（メッシュ）で竜巻を伴う擾乱が発生している時，その格子点に対するCAPE値は周辺のメッシュ値に比べて小さめになりうる（瀧下2011等)。これは，CAPE値の大きさをもって竜巻の規模を定量的に検討する際に問題となる。そこで，Rasmussen and Blanchard (1998)を参考に，各格子点に対して，地上～500m高度までの平均風向を算出し，その風向に対して当該地点から風下側に扇形の影響範囲を設け，影響範囲内のCAPE値の最大値を求めるように工夫した（第4-1図)。その際，扇形の半径は15km，中心角として平均風向を中心に±45度の範囲をとった。この最大値が最大CAPEにあたる。このように算定することにより，周辺のCAPE値の大きな空気塊が当該メッシュを含むスーパーセルに向かって流入することを考慮できる。

[1] 5 章では WRF モデルで解析された 1961 年から 50 年間のデータを用いるが，発生時刻や発生箇所に多少の違いがあったとしても事象を漏れなくカウントできれば地域性の検討には問題ない。

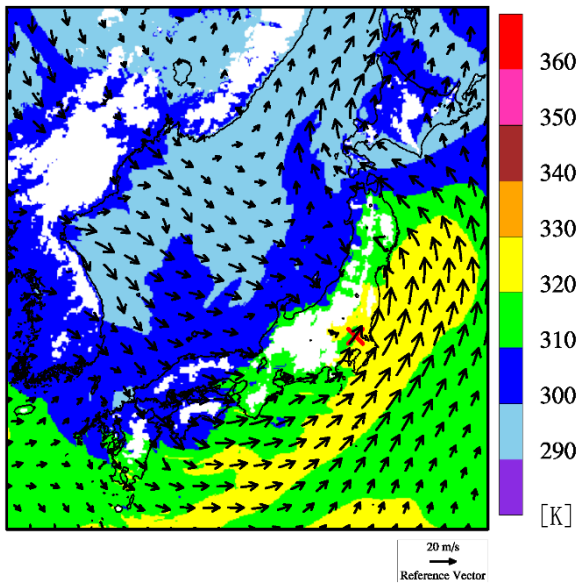


第 4-1 図　最大 CAPE 値の抽出方法の概念図

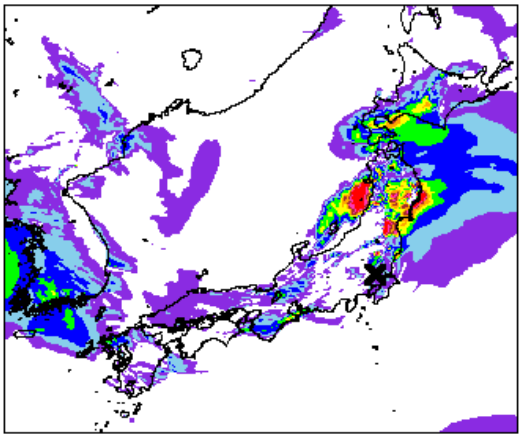
以下では，解析した気象場として，500m 高度における風向・風速と相当温位の分布図，突風関連指数の解析結果として SReH 及び最大 CAPE の分布図を示す。全て 5 km 水平解像度の計算結果である。

4.1 茨城県常総市(2012/05/06)F3 事例（気圧の谷・寒気移流）

太平洋側から南西風が吹き込む一方，（中層では）大陸・日本海側側から寒気を伴う北よりの風が吹いており（図略），風のシアと大気不安定度が高まっている。SReH の値は東日本の太平洋側で非常に高いが，関東平野周辺では CAPE が非常に高く，3 個の竜巻がほぼ同時に発生した。



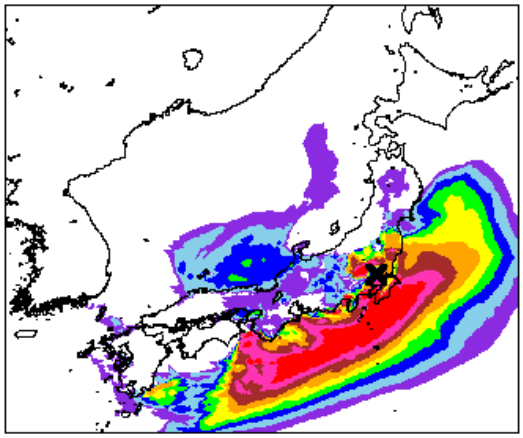
500m 高度における風向・風速及び相当温位



Storm Relative Helicity [m²/s²]

100 150 200 250 300 350 400 450 500

SReH



Convective Available Potential Energy (Max) [J/kg]

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

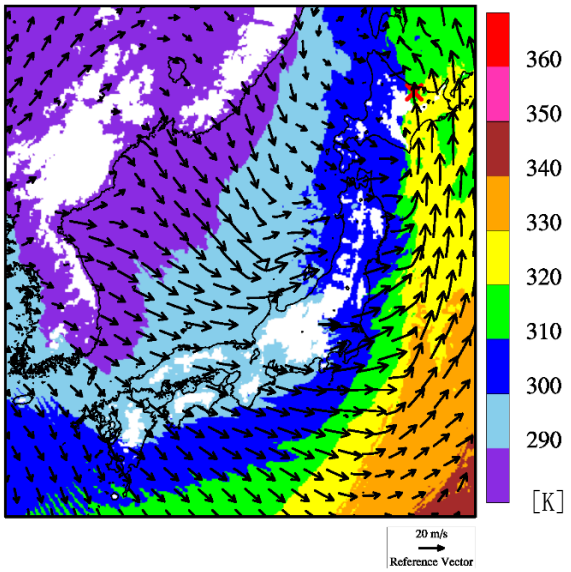
最大 CAPE

第 4.1-1 図 12/05/06 の F3 事例における気象場と突風関連指数

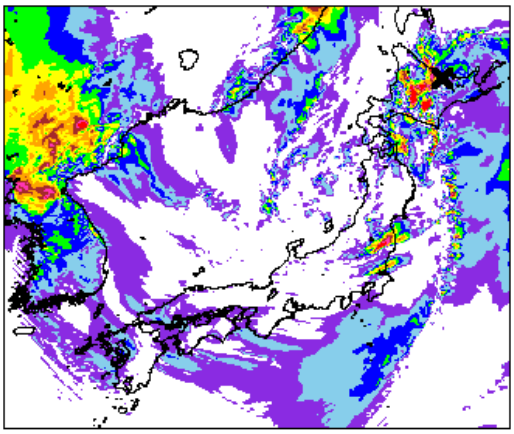
4.2 北海道佐呂間町(2006/11/07)F3 事例（寒冷前線・暖気の移流）

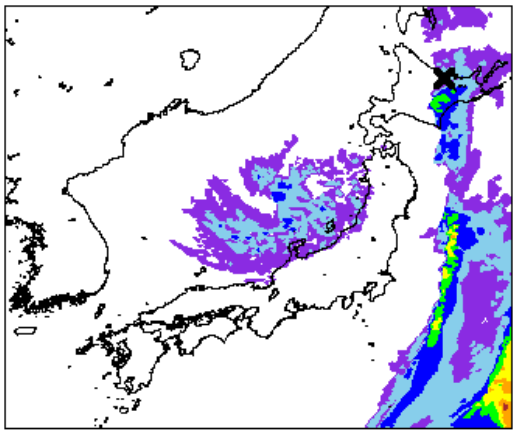
寒冷前線の西側では北西～西よりの冷たい風（寒色系）が，東側では南よりの暖かい風（暖色系）が吹いており，気温差と風の収束により積乱雲が発生・発達しやすい状況にある。特に，道東・オホーツク地方には太平洋から暖かく，不安定な空気塊が流入している。

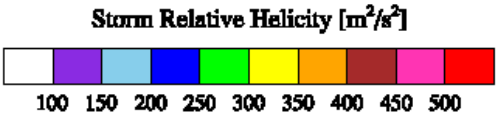
大気不安定度は道東の中でも南側で高くなっており，非常に高い風のシア（高い SReH）と相まって親雲が発達しやすい状況が解析されている。なお，同日に，周辺地域において 2 個の小さな竜巻も発生した。日本海側の中でも能登半島周辺より北側で季節風が吹き込み,大気がやや不安定になっている(CAPE が高めになっている)が，SReH が低く，道東・オホーツク海地方の状況とは異なる。



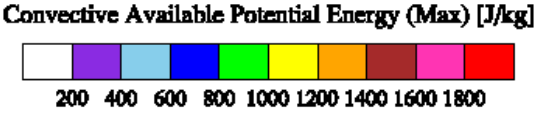
500m 高度における風向・風速及び相当温位







SReH

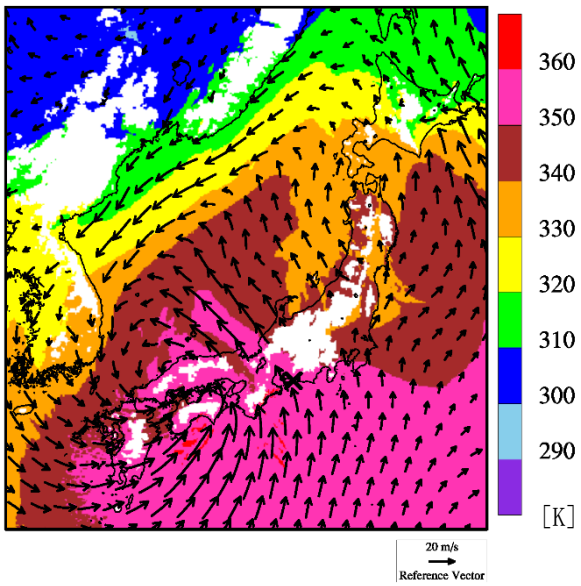


最大 CAPE

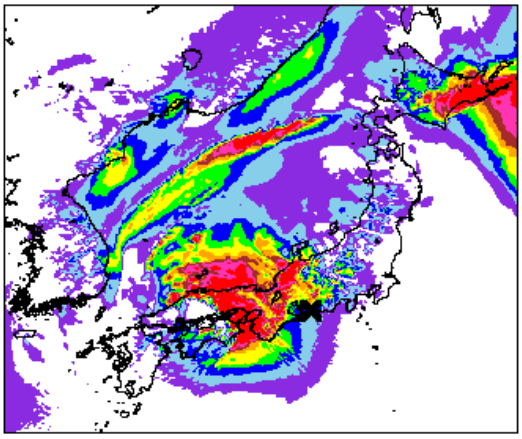
第 4.2-1 06/11/07 の F3 事例における気象場と突風関連指数

4.3 愛知県豊橋市(1999/09/24)F3 事例（台風）

台風の中心は隠岐の南西沖にあり，四国東部・紀伊半島の沿岸部及び濃尾平野では，台風中心から遠く離れているが，太平洋側からの非常に不安定な暖湿流が流れ込み（CAPE が非常に大きく），SReH も高くなっている。濃尾平野では 4 個の竜巻（2 個の F1，1 個の F2，1 個の F3）が発生した。台風中心が日本海側にあり，日本海側の SReH は太平洋側に比べて決して小さくはないが，不安定度は格段に小さいのが見てとれる。



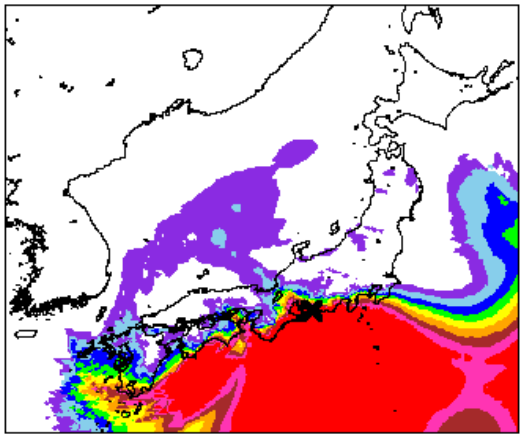
500m 高度における風向・風速及び相当温位



Storm Relative Helicity [m²/s²]

100 150 200 250 300 350 400 450 500

SReH



Convective Available Potential Energy (Max) [J/kg]

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

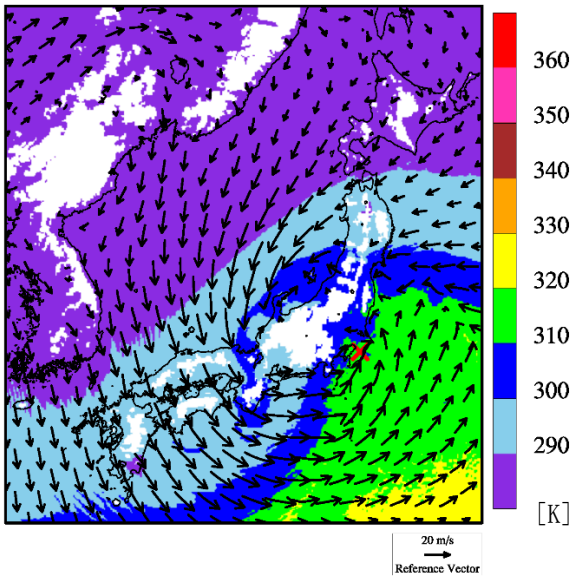
最大 CAPE

第 4.3-1 図　1999/09/24 の F3 事例における気象場と突風関連指数

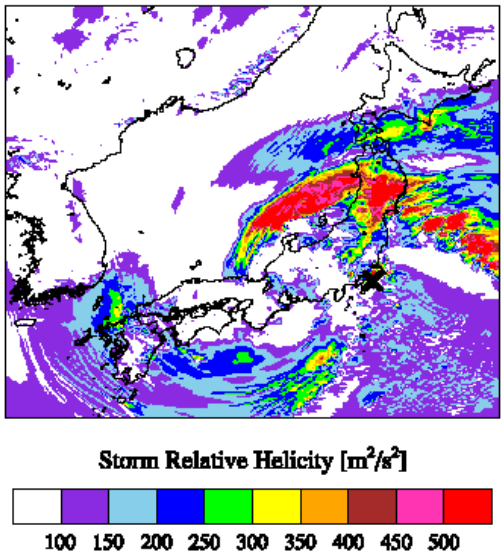
4.4 千葉県茂原市(1990/12/11)F3 事例（暖気の移流・気圧の谷，寒冷前線）

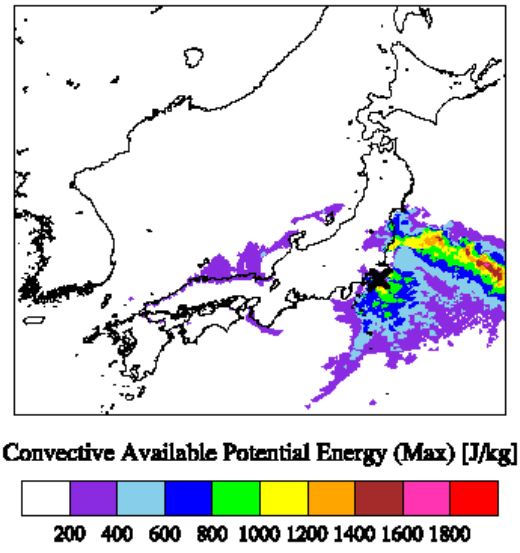
房総半島と日本海に低気圧があり，房総半島の低気圧からは南西方向に寒冷前線が伸びている。そのため，寒冷前線及び房総半島にある低気圧を境に温位差が大きくなっている（寒色系と暖色系（緑色）の境が明瞭である)。房総半島には低気圧中心に向かって暖かく，不安定な空気塊が流入しており，房総半島では局所的に SReH の値も高い。房総半島周辺では大小 7 個の竜巻が発生した。

日本海側の低気圧をとりまくように，特に北側で SReH が非常に高くなっているが，温位が低く，CAPE の値も小さくなっている。一方，福島県沖に CAPE の高い領域が見られるが，SReH の値は大きくなく，相当温位も比較的低く，房総半島周辺とは状況が異なる。



500m 高度における風向・風速及び相当温位





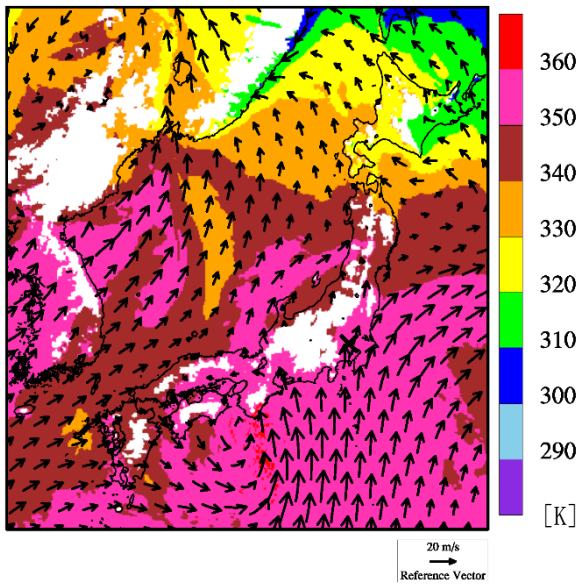
SReH

最大 CAPE

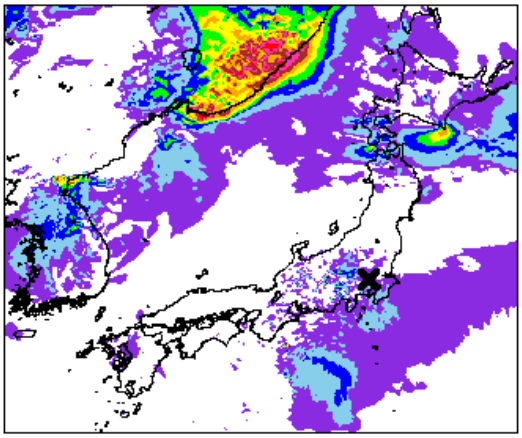
第 4.4-1 図　1990/12/11 の F3 事例における気象場と突風関連指数

4.5 埼玉県浦和市(1971/07/07)F3 事例（台風）

台風の中心は紀伊半島の南西沖にあり，中部から東日本にかけては，太平洋側から非常に CAPE が高く，不安定な空気塊が流入している。SReH は，1999/09/24 F3 事例（豊橋竜巻）ほど大きくはないが，発生地点周辺では SReH が比較的高くなっており（×でやや見づらい），SReH と CAPE の両方が共に大きい環境場となっていた。



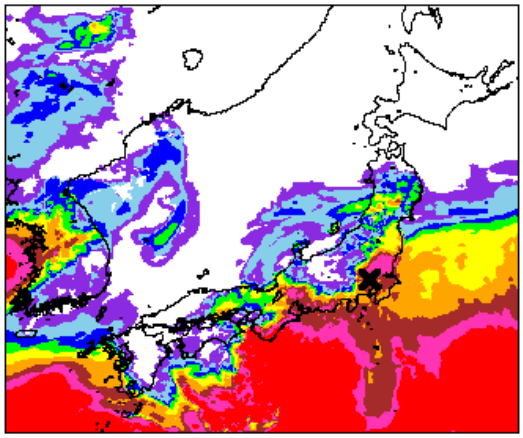
500m 高度における風向・風速及び相当温位



Storm Relative Helicity [m²/s²]

100 150 200 250 300 350 400 450 500

SReH



Convective Available Potential Energy (Max) [J/kg]

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

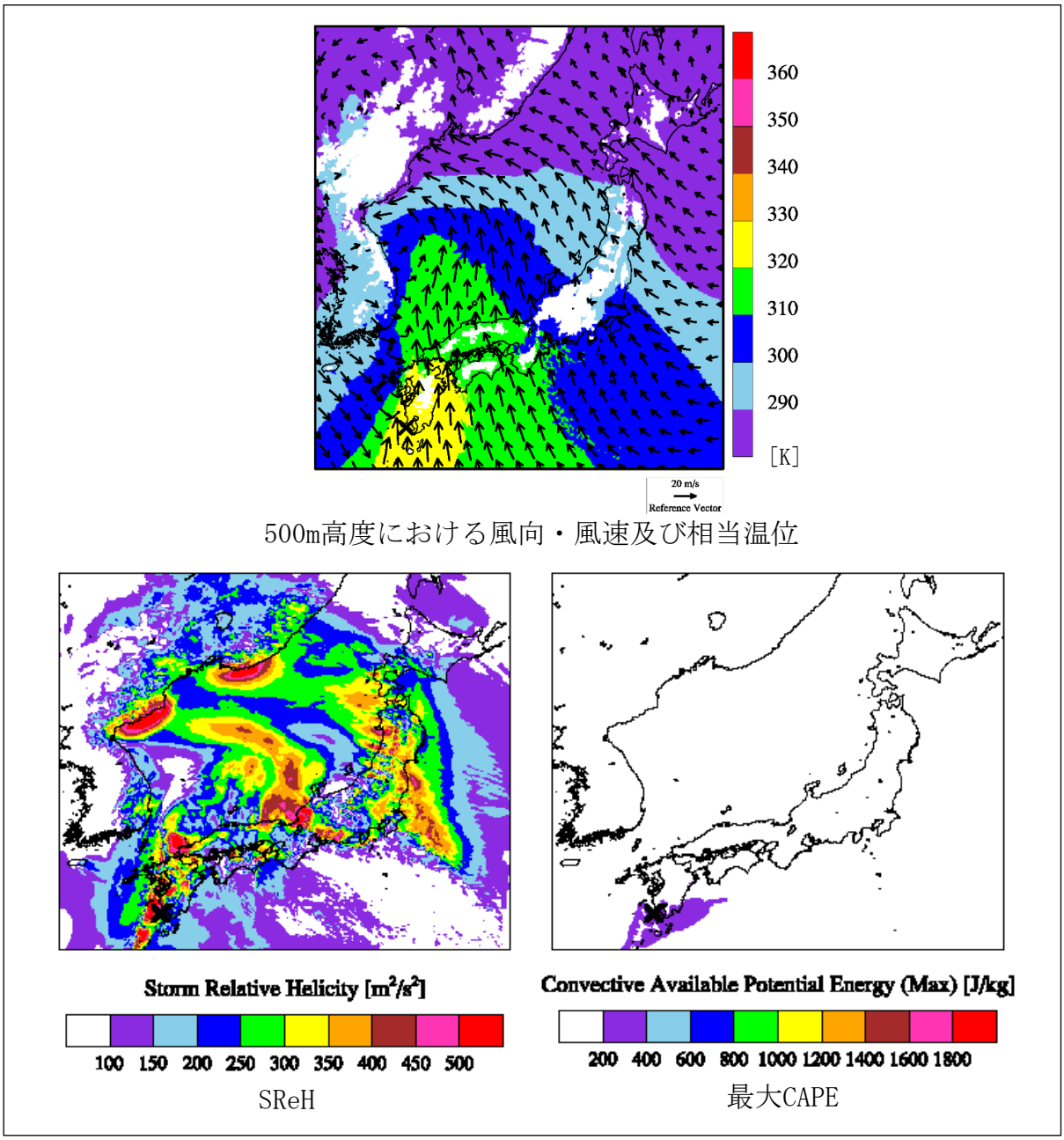
最大 CAPE

第 4.5-1 図　1971/07/07 の F3 事例における気象場と突風関連指数

4.6 鹿児島県枕崎市(1990/02/19)F2-F3 事例(寒冷前線・暖気の移流・その他(低気圧))

朝鮮半島東部の沖合にある低気圧から寒冷前線と温暖前線が伸び，九州から近畿にかけては比較的暖かい気流が太平洋側から流入している。その中でも発生地点周辺には最も暖かい空気塊が流入しており，鹿児島県南部では局所的に CAPE の値がやや高くなっている。

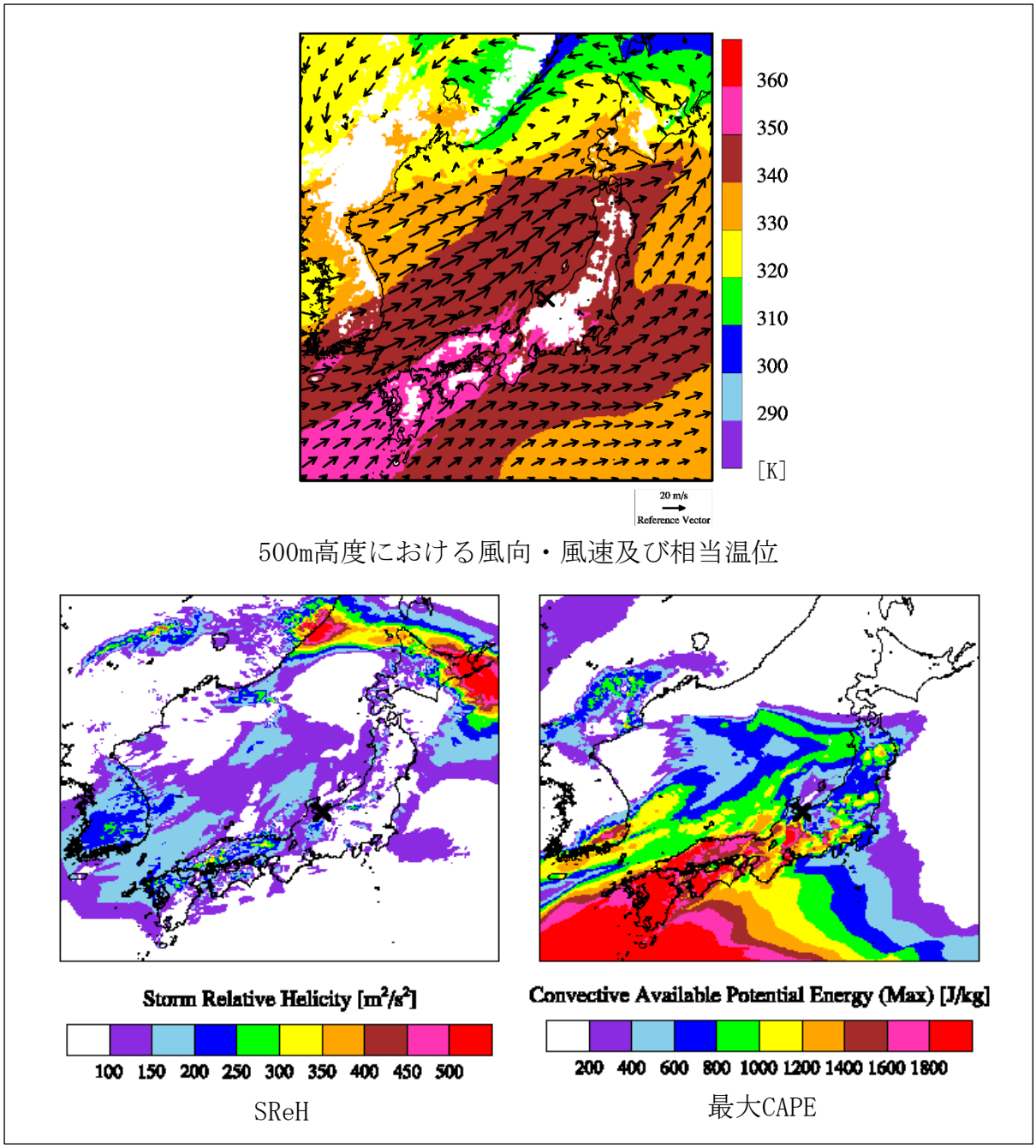
しかし，CAPE 値は F3 竜巻事例に見られるほど高くない。一方，寒冷前線に沿って SReH が非常に高かった。不安定性にやや欠けていたのが，F3 規模には至らなかった理由の一つであると考えられる。



第4.6-1図　1990/02/19のF2-F3事例における気象場と突風関連指数

4.7 富山県魚津市(1991/06/12)日本海側 F2 事例（寒冷前線・局地性擾乱）

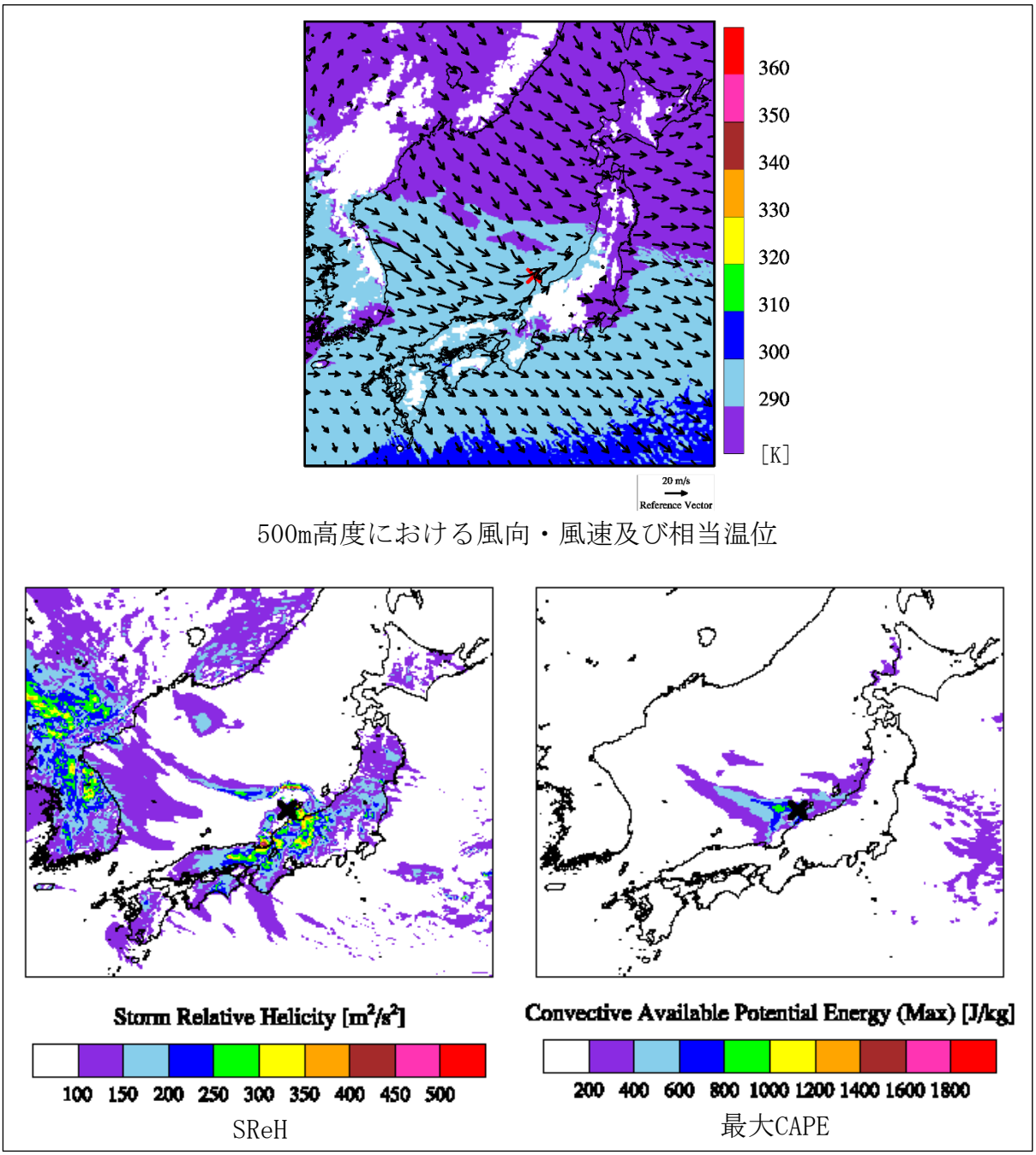
日本海側沿岸に沿って寒冷前線があり，その北側では西南西の風が吹いている。空気塊の暖かさとしては太平洋側と同等のもの（茶色）が，対馬海峡から日本海に入り込んでおり，青森県沖まで到達している。ただし，大気不安定度は暖候期にしては大きくなく，寒冷前線南側の九州から近畿にかけての不安定度（CAPE 分布の赤い領域）と比べるとかなり小さい。SReH の値も特段高い傾向は見られず，F3 発生時の環境場とは様相が異なる。



第4.7-1図　1991/06/12のF2事例における気象場と突風関連指数

4.8 石川県羽咋郡(1990/04/06) 日本海側 F2 事例 (オホーツク海低気圧・気圧の谷)

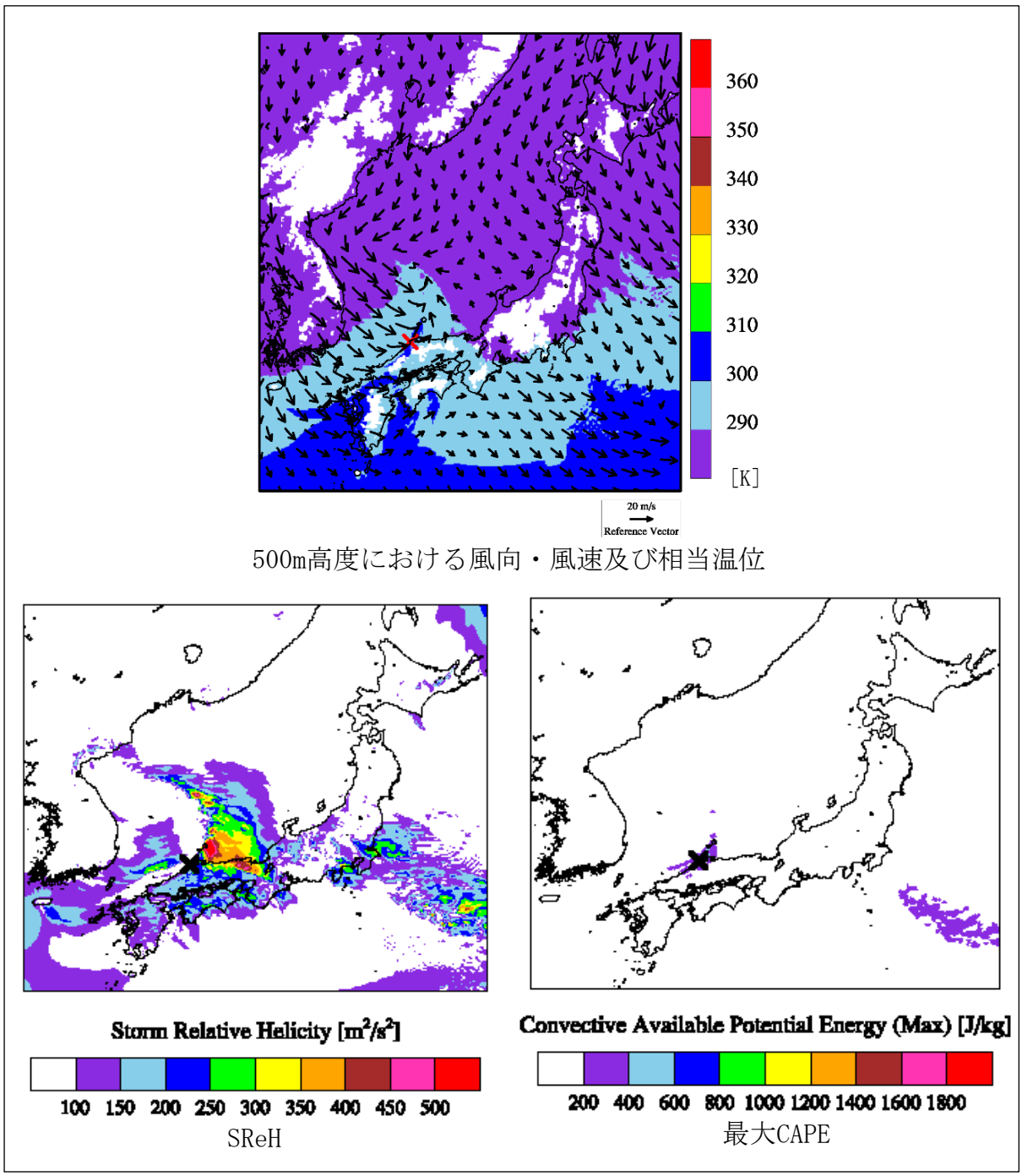
オホーツク海にある低気圧と九州の南西海上にある高気圧との間で，西高東低の気圧配置となっており，朝鮮半島東部から季節風が能登半島から敦賀湾に向かって流れ込んでいる。冬季によく見られる状況といえる。能登半島周辺での不安定度の高さは，海上で寒気が暖められて大気が不安定になったことが原因であり，SReH も高めである。特に能登半島周辺では高い。不安定化のメカニズムは異なるが 2006/11/07 F3 竜巻（佐呂間竜巻）と似た環境場になっている。ただし，SReH が佐呂間竜巻に比べて 4 割程度低く，これが F3 規模に達しなかった理由の一つであると考えられる。



第4.8-1図　1990/04/06のF2事例における気象場と突風関連指数

4.9 島根県簸川郡(1989/03/16)日本海側 F2 事例（局地性擾乱・寒気の移流）

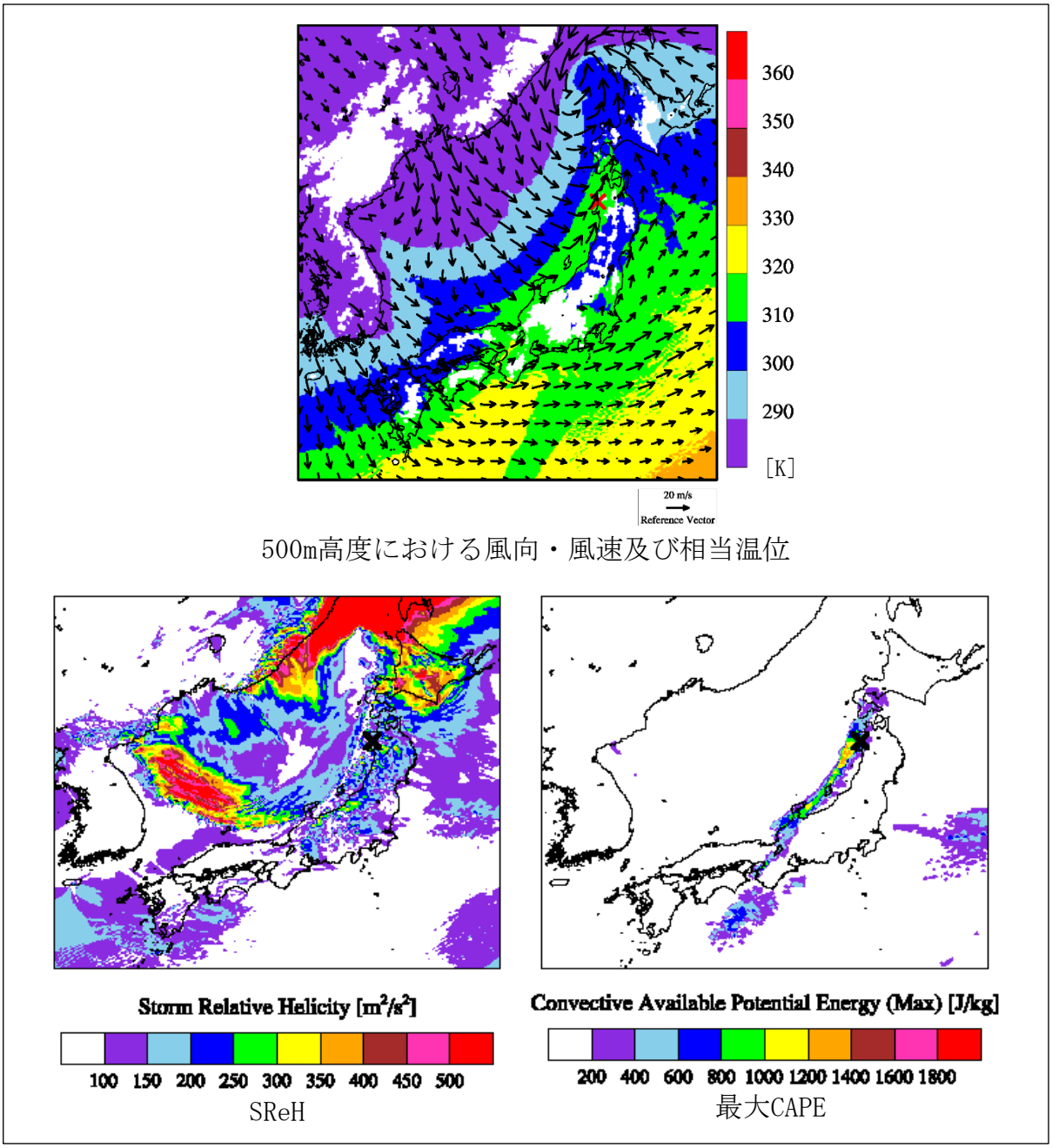
西高東低の弱い冬型の気圧配置にあり，朝鮮半島から寒気が流入している。島根県の沖で渦状の流れが形成されており，SReH がかなり高くなっている。しかし，やや不安定な大気になっているものの，他の日本海側 F2 事例よりもさらに不安定度が低くなっており，環境場の観点では，F3 規模まで発達するには不安定度合が欠如していたと考えられる。



第4.9-1図　1989/03/16のF2事例における気象場と突風関連指数

4.10 秋田県八森町(1999/11/25)日本海側 F1-F2 事例（日本海低気圧・寒冷前線）

北海道の西海上にある低気圧から延びた寒冷前線が日本海沿岸を通過した際に発生した。寒冷前線上では温位のコントラスト（青色と緑色）が明瞭であり，寒冷前線に沿った地域の中でも発生地点周辺は SReH が比較的高く，CAPE の高い範囲の北端部に位置している。CAPE の大きさは，寒候期に発生した F3 竜巻事例を上回ったが，SReH は低かった。



第4.10-1図　1999/11/25のF1-F2事例における気象場と突風関連指数

4.11 SReH・CAPE と竜巻強度との関係性

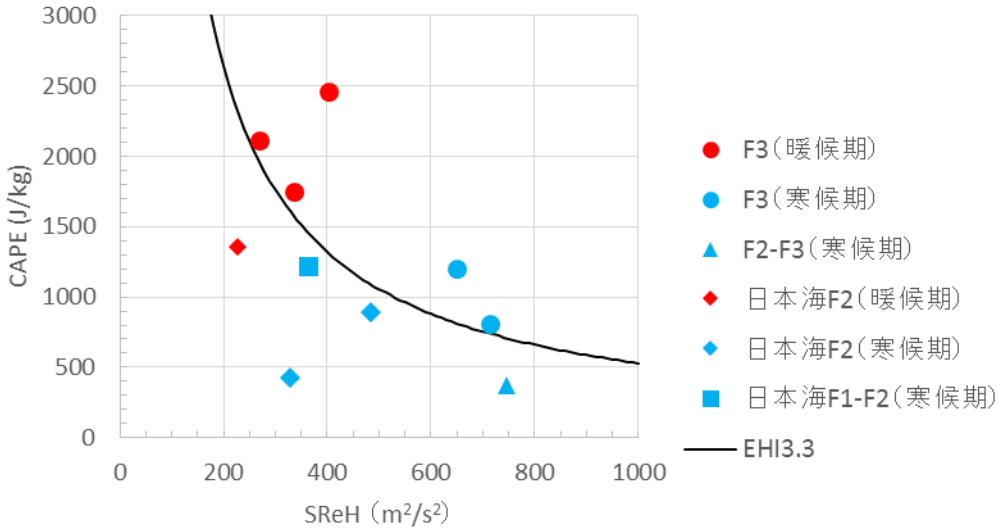
10 事例を分析した結果から以下の傾向が見られる。

① F3 竜巻事例では共通して，SReH と最大 CAPE の両方が大きく，太平洋側からの暖湿流の流入が見られた。寒候期（11 月～4 月）に発生した事例では CAPE が暖候期（5 月～10 月）に比べて小さいが，SReH が非常に大きく，大気不安定度の小ささを補っているようである。

② 今回分析した F2-F3 竜巻時の発生環境場は，CAPE（大気不安定度）が F3 竜巻発生時に比べてかなり低かった。F2 規模と F3 規模とで風速レベルで違いが大きく，本検討において F2-F3 竜巻を F3 竜巻と混合して扱うべきではない。

③ F2 竜巻でも SReH は F3 竜巻事例と同レベルの大きさになりうる。冬季の西高東低型の気圧配置下での日本海上での気団変質時，寒冷前線通過時，暖候期の場合は対馬海峡から日本海に向かって空気塊が流れ込む時に大気がやや不安定な状況が見られたが，多くの事例で大気不安定度は F3 竜巻発生時よりも小さかった。不安定度が大きかった事例もあるが，その場合 SReH が大きくなかった。つまり，両指数が共に大きくなる状況は見られなかった[1]。

第 4.11-1 図は第 4-2 表における SReH と最大 CAPE の値を竜巻のカテゴリ別にプロットしたものである。F3 竜巻においては，暖候期と寒候期で CAPE の大きさが大きく異なっており（5 章参照），寒候期では暖候期に比べて値が小さいが，SReH が非常に大きい傾向が見られる。



第 4.11-1 図　SReH と最大 CAPE の関係

事例数が少ないことが課題であるが，日本海側のF2規模竜巻の発生環境場では小

[1]太平洋側の F2，F2-F3 竜巻はこの点で日本海側の F2 竜巻と異なるようである．太平洋側からの暖気流の流入下で起こるため，F3 竜巻と同レベルあるいは大きな指数になるケースが見られる．実際，小さな竜巻が F3 竜巻発生時の前後あるいはほぼ同時に発生することが F3 竜巻 5 事例中 4 事例見られた。

さな指数値の下でも竜巻が発生しているという点において,F3規模竜巻の発生環境場との違いが見られる。SReHとして250～300m^2/s^2程度以上,（最大）CAPEとして1600J/kg（暖候期）あるいは600J/kg（寒候期）程度以上の環境場においてF3竜巻が発生しているとみなすことができる。EHIに対しては,3.3程度を超える場合にF3竜巻が発生している。この場合,季節に分けずに通年単位で分析できる可能性がある。

国内外の関連研究をレビューしたものを付録Bに記した。現時点では各研究とも課題がある状況であるが,特に米国での成果では,F3規模以上とそれ以外といった大きな竜巻とそれ以外を区分けすることにおいては両指数が活用できそうである。そこで,次節では,国内最大規模F3あるいはそれ以上の規模の竜巻が発生するのに適した環境場を対象に,その生起頻度の地域性について検討する。

5. 竜巻発生環境場の生起頻度分析

前節において過去に発生した竜巻に対する環境場を分析したところ,国内で（太平洋側で）発生したF3竜巻では,SReHと（最大MU）CAPEの両方が大きな値をとる傾向が見られた。ここでは,SReHとCAPEそれぞれに対してある閾値を設け,その閾値を同時に超える頻度を分析することにより,国内最大規模F3あるいはそれ以上の規模の竜巻発生を観点とした地域性について議論する。（杉本ら 2014a）また,参考としてEHIに対しても同様に検討することとする。

5.1 用いる気象データ

突風関連指数の地域性を見出すには,詳細なメッシュ間隔でかつ長期間のデータが必要である。そこで,ヨーロッパ中期予報センター（ECMWF）の再解析データERA-Interim（1989年以降；水平分解能約70km）及びERA40（1989年まで；水平分解能約250km）をもとに,気象モデルを用いて数値的に気象場を解析したデータセット（橋本ら 2011）を用いる。当データセットは,気象庁と電力中央研究所が共同で作成したJRA-25再解析データ（Onogi et al. 2007）よりも5km・1時間毎と時空間解像度が細かく,豪雨事例の再現性も高まっている（橋本ら 2013）。本検討では,1961年から2010年までの50年間にわたって1時間毎に解析されたデータを用いる。詳細メッシュでかつこれほど長期間のデータセットは他に類をみない。

ECMWFの再解析データは,地球温暖化予測を目的として世界的に広く活用されており,最も精度が高いものと認識されている。しかし,空間分解能が非常に粗いため,物理的ダウンスケーリング手法として,WRFモデルを用いた長期再解析により5kmメッシュの気象場を算出してデータセットを作成し,本データセットで解析されている上空風,気温,気圧等の気象データを用いて,SReHとCAPEの値を1時間毎・5kmメッシュで算出した。50年間にわたるデータサンプル数は各メッシュに対して約4.4×10^5個存在することとなる。

5.2 季節間の傾向差

F3 竜巻の発生環境場の特徴として，寒候期（11 月～4 月）に発生した竜巻の CAPE が暖候期（5 月～10 月）に比べて小さく，SReH が高い傾向にあった。こうした季節に応じた指数の特徴の違いについて考察する。

第 5.3-1 図は，SReH の閾値を 150 m^2/s^2，CAPE（最大 CAPE ではない）の閾値を 250 J/kg に設定し，各指数に対する超過頻度（全体の母数に対する割合（%））を各モデル格子点に対して月別に算出したものである。ここでは小さな閾値を設定している[1]。SReH に対しては，日本海及び沿岸域では冬季に頻度が大きく，大きな値をとる傾向が示唆されている。また，関東平野，及び日高山脈周辺では年間を通じて他地域に比べて高い頻度を有している。7 月は全体的に低くなっている。一方，CAPE に対しては，寒候期で低い値をとり，暖候期で高い値をとる傾向が見られ，緯度依存性も見られ，Chuda and Niino(2005)の分析結果と整合している。この緯度依存性は，熱帯域ほど暖かく，高い雲ができやすいことと関係している。CAPE については，季節・緯度依存性が強く，南に行くほど，暖かい季節になるほど絶対値が大きくなっている。加藤(2008a)でも指摘されているように超過頻度を検討する上ではこの特徴を踏まえる必要がある。そのため，以下の検討では，季節に応じた最大 CAPE の閾値を設定して超過頻度を求めている。

ところで，閾値が変わると第 5.3-1 図で見られる頻度分布もそれに応じて変わるが，相対的な頻度大小関係はある程度保持される。国内最大規模 F3 の竜巻は太平洋側沿岸の平野部で発生しているが，CAPE の値は基本的に南ほど高い値をとるため，CAPE の地域性とは整合しない（例えば，沖縄では F3 竜巻は発生していない）。また，SReH においても整合しない（例えば，日本海側で F3 竜巻は発生していない）。少なくとも片方の指数だけでは F3 竜巻発生地点の地域傾向を説明することはできない。したがって，SReH・CAPE の関係性（第 4.11-1 図）から両方の指数を考慮した場合に説明づけられるか否かがポイントとなる。

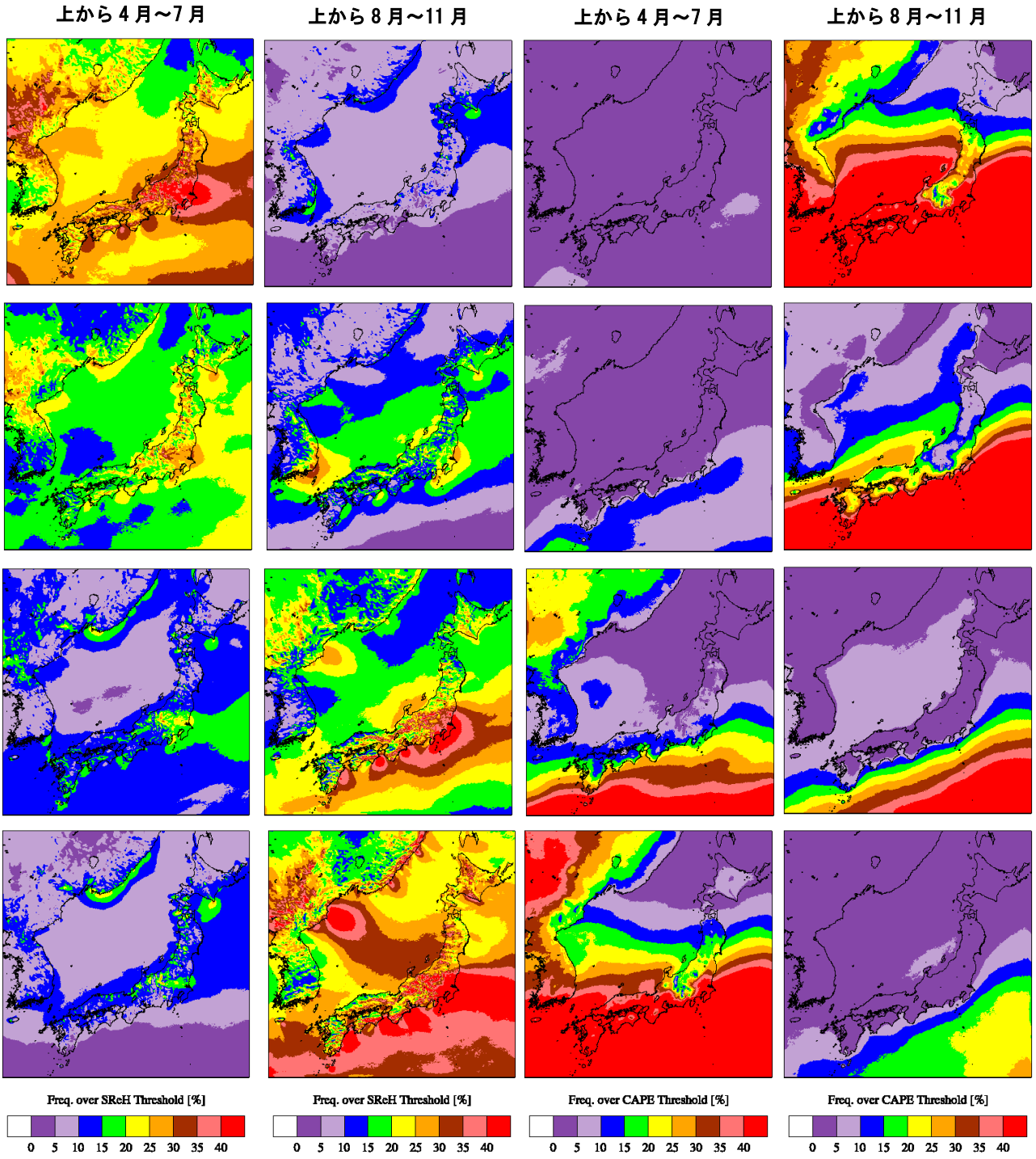
5.3 同時超過頻度分布に見られる傾向

前節における検討結果（第 4.11-1 図）を踏まえ，SReH の閾値を 250m^2/s^2，CAPE の閾値を 1600J/kg（暖候期）あるいは 600J/kg（寒候期）として，同時超過頻度を算出する。また，竜巻発生時には降水現象を伴うものと考えられることから，降水量の閾値 2mm/hr を条件に追加した。なお，降水量の閾値については頻度値の大小に若干影響を及ぼすが，結果の解釈には全く影響しないことを確認している。

暖候期・寒候期別に同時超過頻度を算出した結果を第 5.3-2 図に示す。また，第 5.3-3 図は，気象庁の「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 竜巻の発生箇所を示したものである。暖候期においては，同時超過頻度 0.01%前後の地域が茨城県以西の太平洋側及び九州の沿岸域の平野部に広がっており，超過

[1]閾値を小さく設定するということは，スーパーセルだけではなく，小さな雷雨発生の環境場も捕捉することを意味する。

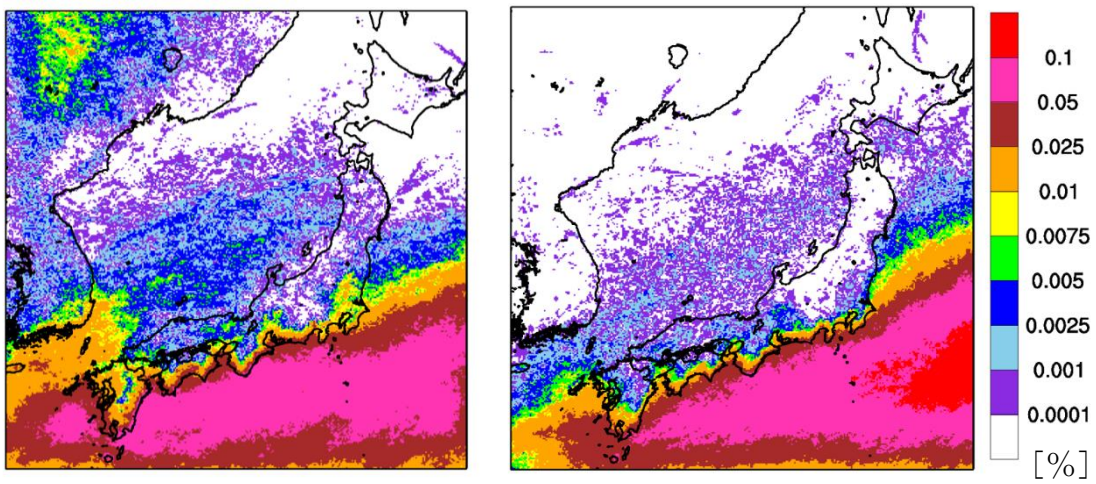
頻度の高い地域はF3規模の竜巻の発生箇所を含包している。つまり，超過頻度の高い地域でF3規模以上の竜巻発生に適した環境場が整いやすいことが示唆されている。それに対し，日本海側，東北太平洋側，及び北海道・下北半島といった北日本での超過頻度の値は，1～2オーダ以上小さな値となっている。



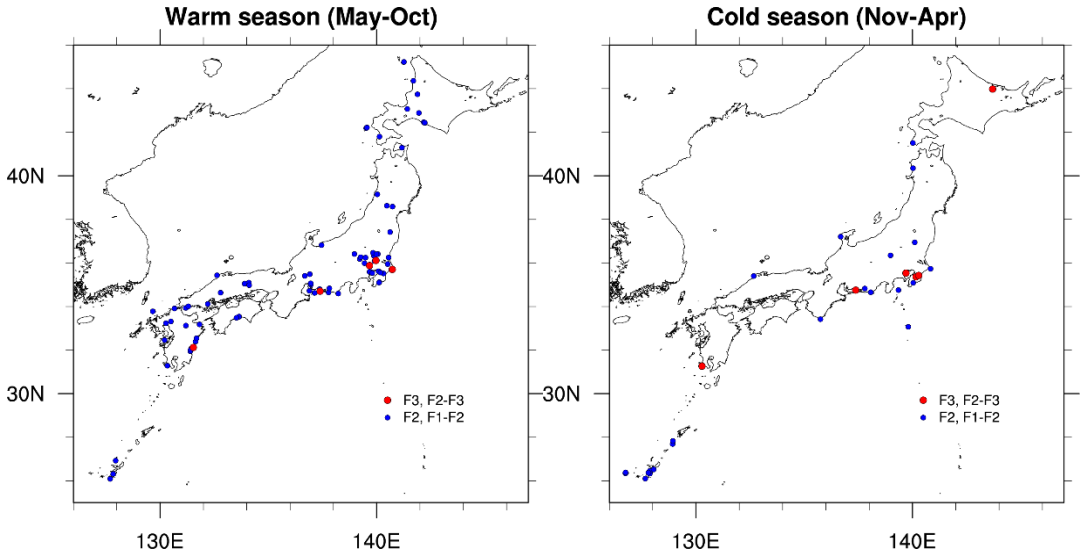
第5.3-1図 月別のSReH（左側2列）及びCAPE（右側2列）の超過頻度分布

また，寒候期の超過頻度分布では，頻度が高い地域が南側にシフトしているが，F3竜巻発生箇所がより沿岸に近い地点に限られていることと対応している。全体的に暖

候期に見られる傾向と同様であり，また F3 規模竜巻の発生数に季節間の差が見られないことも反映されている。このように，過去の F3 竜巻発生時の環境場の解析結果を踏まえて設定した SReH と CAPE の閾値を両方超過する頻度の分布は，実際の F3 竜巻の発生箇所の傾向と整合している。



第 5.3-2 図　同時超過頻度分布（F3 規模以上を対象；左：暖候期，右：寒候期）
（実績ベースの閾値（SReH：250 m^2/s^2，最大 CAPE：1600 J/kg（暖）600J/kg（寒）））



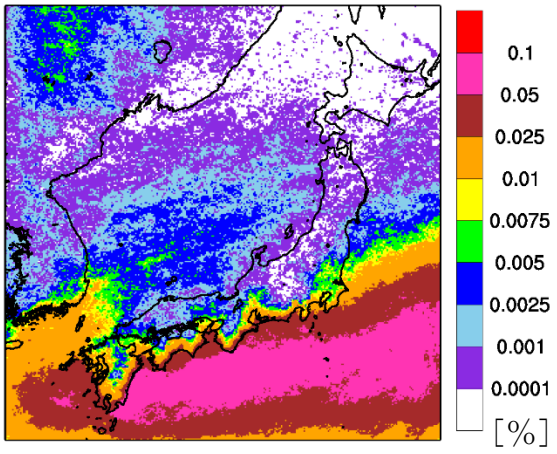
第 5.3-3 図　F3 竜巻（F2-F3 を含む）及び F2 竜巻（F1-F2 を含む）の発生箇所
（左：暖候期，右：寒候期）

同時超過頻度分布は，閾値を「超過する」という意味において，F3 規模あるいはそれ以上の規模の竜巻が発生するのに適した環境場の生起しやすさを表現していると解釈できる。

この分布では，高標高山岳（九州山地，四国山地，中国山地，中央アルプス等）の南北で頻度が大きく異なっており，これら山岳によって太平洋側からの暖気流が

遮断される効果（第 2.3-3 図参照）が大きな竜巻の発生に影響していることも示唆されている。

EHI を用いた場合，第 5.3-2 図に見られる両季節の傾向の中間的な傾向が見られる。図 24 は，EHI の閾値を 3.3（第 4.11-1 図参照）にした際の超過頻度分布である。通年単位で閾値を設定しているため，中間的な傾向を示すのは妥当である。また，SReH と CAPE の両方の指数を用いる方法においても問題がないことを示唆している。つまり，米国とは異なり（付録 B 参照），国内においては，SReH あるいは CAPE の片方が異常に大きく，EHI がある程度高い値を示すような事例が稀であるからである。



第 5.3-4 図　超過頻度分布（通年；EHI の閾値：3.3）

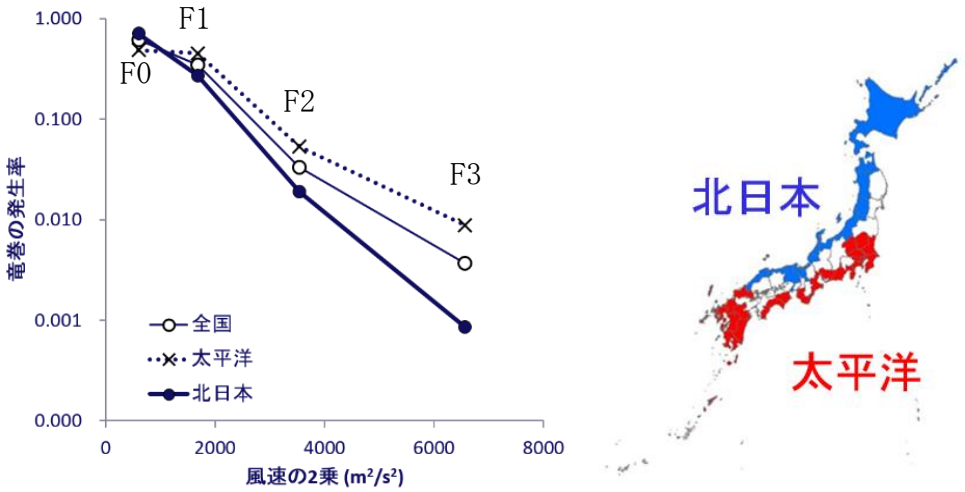
5.4 F3 規模の最大風速を考慮すべき地域

第 5.3-2 図より国内最大規模の F3 竜巻が発生するのに適した環境場が形成される頻度には地域差があることがわかった。この分布形態から実際に F3 規模の竜巻を考慮すべき地域を特定するには確率論的な議論が必要である。つまり，国内の竜巻影響評価ガイドで記載されている超過確率 10^{-5}，米国の評価ガイド等（Ramsdell and Rishel 2007，U.S. NRC 2007）で記載されている超過確率 10^{-7} を参考として必要となる風速レベルを考慮する必要がある。

第 5.4-1 図は，ハザード評価と同様に海上 F 不明竜巻を按分して各 F スケール竜巻の 51.5 年間（1961 年～2012 年 6 月）擬似発生数を分析し，F スケール毎に発生率（対象 F スケールの発生数/擬似発生数）を地域別にプロットしたものである。太平洋側と北日本とでは竜巻の全発生数に大差はないことから，この発生率で対象 F スケール竜巻の発生しやすさを概ね把握することができる。Dotzek et al.（2005）と同様，F スケールが大きくなるほど指数的に頻度が低減しているが，F3 規模の発生率は，茨城県以西太平洋側・九州沿岸では，その他の地域に比べ 1 オーダ程度発生率が高くなっており，突風関連指数の分析結果と整合していることがわかる。日本海側沿岸や東北太平洋側・下北半島では，F3 竜巻が発生していないため，もっと頻度が小さくなることが予想できる。また，F2 規模になると地域差が小さくなり，

F0 規模ではむしろ太平洋側の方が若干少なくなることも見てとれる。

九州電力川内原子力発電所を対象とした竜巻影響評価において，(海岸線に対して陸側・海側 5km の竜巻検討地域に対する）ハザード評価結果では，F3 規模竜巻（風速 92m/s）に対する超過確率は大凡 10^{-6}～10^{-7} にある。上記のように，日本海側を含む北日本では F3 規模竜巻の発生しやすさ，及び発生数は，太平洋側に比べて少なくとも 1 オーダは低いことを考慮すると，F3 規模竜巻の風速が生起する確率は，超過確率にして 10^{-7}～10^{-8} を下回る。この超過確率レベルは米国の評価ガイドに規定されているレベルを下回っている。そのため，北日本・日本海側の地域では，F3 規模竜巻の風速レベルは基準竜巻風速としては想定範囲外の範疇に入ると考えることができる。



第 5.4-1 図　各 F スケールの発生率

5.5 閾値が同時超過頻度の分析結果に及ぼす感度

小さな閾値を設定すると，雷雨（非竜巻）・小さな竜巻の発生を勘案することとなるため，全体的に頻度値が上昇し，（発生実績と同様に）地域性が明瞭でなくなる。一方，非常に大きな閾値を設定すると，F4・F5 規模の非常に大きな竜巻に着目することになり，高頻度域は太平洋側のさらに限定された地域になる。杉本ら（2014b）は，国内最大規模の F3 規模が発生する環境場として適切な閾値を，SReH については 150～550m^2/s^2 の範囲（100m^2/s^2 刻み），最大 CAPE に対しては，200～1500J/kg（100J/kg 刻み）の範囲の値の組み合わせで検討した。最適とみなされた組み合わせに対する結果は第 5.3-2 図に示した結果に概ね沿ったものとなっている(付録 E)。

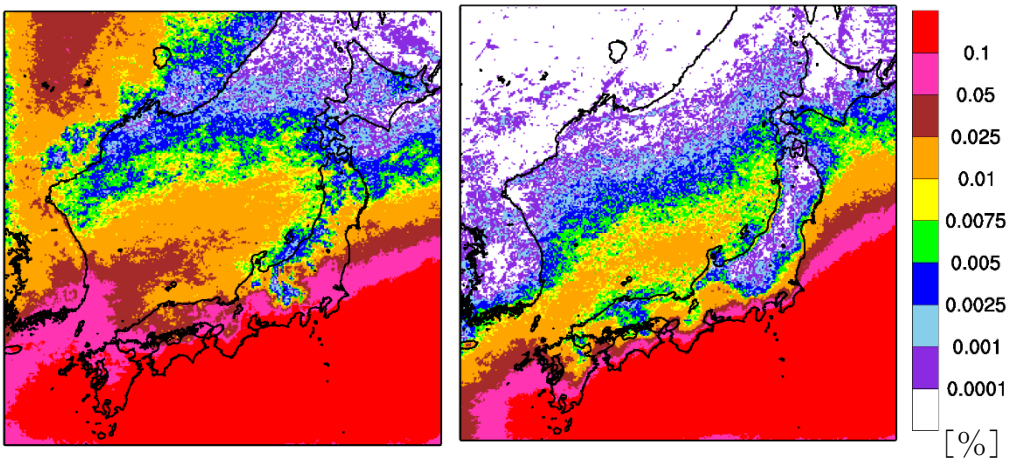
突風関連指数を用いたメソスケール分析はスーパーセル型竜巻に適するため，非スーパーセル型竜巻を含む F2 規模の竜巻を含めた分析に SReH や CAPE といった突風関連指数を用いる適用性は微妙ではあるが，ここでは F2 規模以上の竜巻の発生頻度を念頭においた閾値について考えてみる。第 4.11-1 図の結果から両指数の閾値を

SReH：200m^2/s^2

最大 CAPE：1000J/kg（暖候期），350J/kg（寒候期）

とする[1]。ただし，暖候期については 参考にできる竜巻が 1 事例しかないため，650J/kg の閾値についても検討する。EHI を用いる場合，島根県で発生した 1989/03/16 F2 事例以外は 1.5～2.0 前後の EHI に入っているが，1989/03/16 F2 事例では 0.8 強にとどまっている。そこで，1.5 と 0.8 を EHI の閾値として超過頻度の算出を試みる。

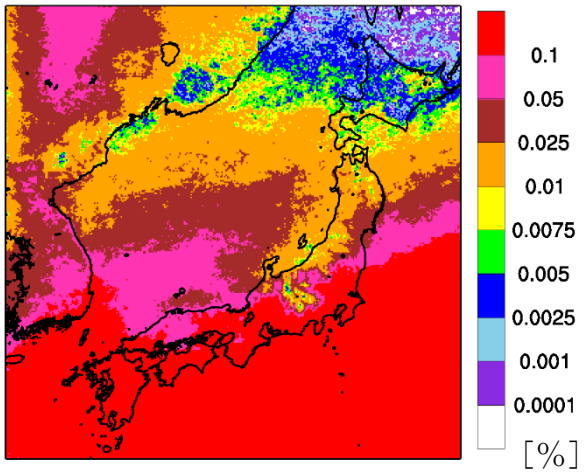
同時超過頻度の算出結果を第 5.5-1 図に示す。F3 規模以上の竜巻を対象とする場合よりも頻度は全体的に上がっている。第 5.3-2 図では奄美・沖縄方面では本州（茨城県以西）太平洋側に比べて頻度がやや低くなる傾向が推測されるが，第 5.5-1 図では奄美・沖縄地方でも値が高い傾向が推測され，実際の発生箇所（第 5.3-3 図）に整合している。



第 5.5-1 図　同時超過頻度分布（F2 規模以上を対象；左：暖候期，右：寒候期）
（SReH の閾値：200m^2/s^2，最大 CAPE の閾値：1000J/kg（暖）350J/kg（寒））

暖候期においては，福島県から宮城県の太平洋側及び本州日本海側沿岸での頻度が高まり，中部地方以西では内陸も含めて頻度が高く，東日本も内陸深くまで頻度が高くなっている。実際の F2 規模以上の発生箇所の多くを含包できている。しかし，北海道の石狩地方以北で F2 竜巻が計 4 個発生しているが，同時超過頻度はかなり低い。CAPE の閾値を 1000J/kg から 650 J/kg 程度まで落とすと対応性は高まり（第 5.5-2 図），能登半島以北の日本海側・北日本における頻度は本州・中日本以南に比べて少し低い程度となって，全体的に地域間の差は薄れる。第 5.4-1 図（F2 規模以上の場合，全国平均からの差は，太平洋側とそれ以外の地域ともに 1 オーダの差はない）を踏まえると，第 5.5-2 図の方がベターと考えられる。

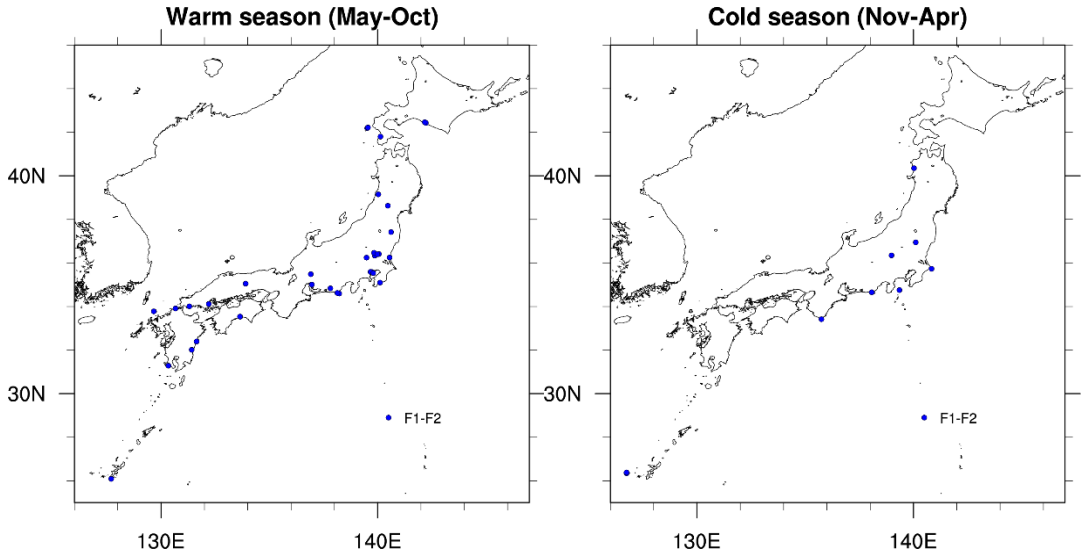
[1]太平洋側 F2・F1-F2 竜巻の場合は F3 規模に対する閾値を同時に超過する竜巻がいくつか存在する。その一部は F3 竜巻（茂原竜巻，豊橋竜巻，つくば竜巻）とともに発生したものである。環境場としては F3 竜巻が発生しうる状況下でも，マイクロスケールの気象メカニズム等で小さな竜巻が発生することがあると解釈できる。つまり，閾値は，環境場（親雲スケールの気象場）を観点とした，対象規模の竜巻が発生するための「必要条件」であるといえる。



第 5.5-2 図　同時超過頻度分布（暖候期）
（SReH の閾値：200m^2/s^2，最大 CAPE の閾値：650J/kg）

オホーツク地方で頻度が高く，F2 規模程度の竜巻が発生する環境場は東北・道南地方に匹敵した確率で形成されうるといえる。

寒候期においても福島県から宮城県の太平洋側，襟裳岬から道南方面の沿岸部，及び本州・道南の日本海側沿岸で頻度が大きくなっている。道南より北側の日本海側沿岸で頻度が増えていないのは実態と整合している。中央アルプス以北の中央山地で頻度は低めである。この地域で竜巻は 2 箇所発生している（第 5.3-3 図）が，共に F1-F2 規模の小さな竜巻である（第 5.5-3 図）。

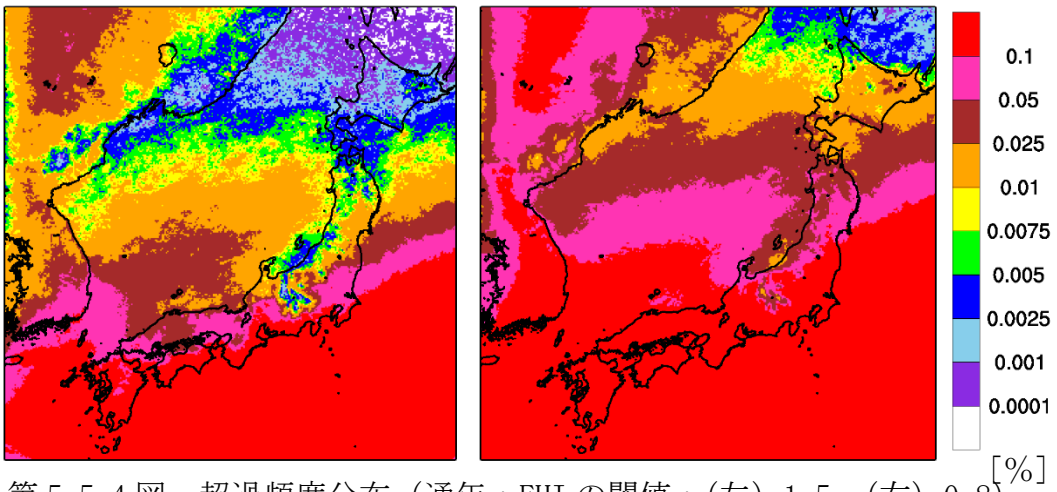


第 5.5-3 図　F1-F2 竜巻の発生箇所

第 4 節における個別竜巻の分析事例において，暖候期に対しては 1988 年以降に発生した F2 あるいは F1-F2 竜巻が 1 事例しかない。第 5.5-1 図に示した東北太平洋側沿岸から道南・道東にかけての頻度において，暖候期の方が低いというのは海水温

の高さの季節性との整合性にも欠けるため，最大 CAPE の閾値は 1000J/kg よりも小さくした方がよいと思われる。第 5.5-2 図で用いた閾値 650 J/kg の妥当性の判断は今後発生するであろう F2 規模の竜巻の発生を踏まえた分析結果をもとに再度検討する必要があるが，概ね発生状況の地域性は表現できている。

EHI を用いた場合，EHI1.5 では，第 5.5-1 図の暖候期，寒候期の状況を平均的に見た時の頻度分布に大凡あてはまる（第 5.5-4 図左図）。1989/03/16 F2 事例を参考に 0.8 まで閾値を下げると，地域性は殆ど見られなくなる（第 5.5-4 図右図）。上述のように，暖候期の分布は第 5.5-1 図よりも閾値を下げた第 5.5-2 図の分布の方がよい傾向が見られることから，EHI1.5 の結果は頻度を過少に評価している可能性がある。しかし，閾値を 0.8 まで落とした結果では，茨城県以西太平洋側＋九州沿岸と，それ以外の地域との差がかなり小さく，落としすぎのようである。いずれにしても，F2 規模以上の竜巻を対象とする場合，F3 規模以上を対象とする場合とは異なって季節間での発生数の差があり（第 5.3-3 図），EHI を用いた通年評価をすることについては議論の余地が大きい。



第 5.5-4 図　超過頻度分布（通年；EHI の閾値：（左）1.5，（右）0.8）

6. 佐呂間竜巻に対する考察

第 5.3-2 図の同時超過頻度分布において，北海道では超過頻度が非常に低いが，網走支庁網走支庁佐呂間町では F3 竜巻が発生している。ここではこの竜巻に対する考察及び影響評価における取り扱いの方向性について述べる。

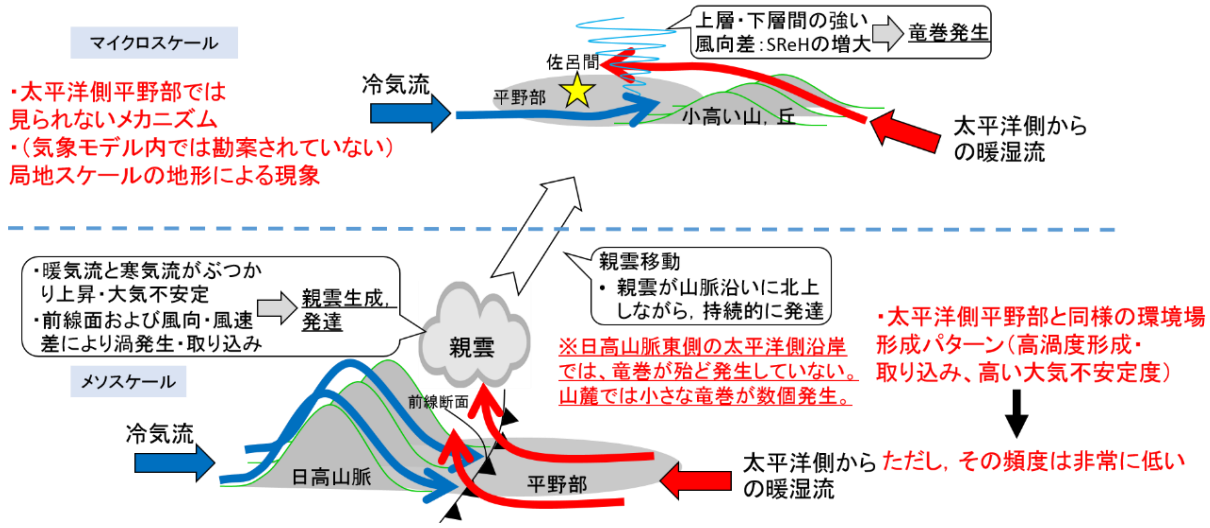
佐呂間竜巻の発生メカニズムについて過去の知見を踏まえ，第 6-1 図のように模式的に示した。第 4.2-1 図に示したように，当竜巻発生時においては，太平洋側からの暖気流が道東・オホーツク地方に流入している環境下で，高い SReH を伴う寒冷前線が通過しており，第 4.11-1 図に示すように，SReH，CAPE ともに一定の高さを保持していた。この意味で，太平洋側で過去に発生した F3 竜巻の環境場の特徴と同様の特徴を有する。ただし，CAPE については，第 4.2-1 図に示したように，SReH とは異なり，降水域が発達した日高山脈の東側に広く高い値をとっているわけではなかった。

一方，加藤（2008b）が以下のように指摘しているように，この竜巻に対しては周辺地形によるマイクロスケールの影響を無視できない。

「下層での鉛直シアの強化は，ガストフロントの前面下層の気圧低下による水平風加速に加えて，強い鉛直渦度生成領域の風上（南南東）側に南南西～北北東に伸びる最大標高 600m 以上で幅 10km ほどの尾根による山岳波の影響を少なからず受けている。実際の竜巻発生位置の風上側にも同様な尾根が存在していることから，佐呂間竜巻は地形の影響を受けて発生したと考えられる。」

このマイクロスケールの効果は環境場では考慮できない（解像できない）ため，両指数の値は，特に SReH では第 4.11-1 図でプロットした結果よりも高まっている可能性が高い[1]。

前節でも議論したように，オホーツク地方は北海道の中でも F2 規模以上の竜巻であれば本州北日本と同等の頻度で環境場が形成されやすい地域であるが，F3 規模以上の竜巻に対しては環境場が形成され難い，つまり F3 規模に到る程度に大気不安定な空気塊の流入と高渦度を有した総観場の通過が同時に発生する頻度が極めて低い。佐呂間竜巻が地形影響を受けていることを踏まえると，竜巻発生を観点とした気候としては，この地域で F3 規模の竜巻発生に適した環境場は極めて生起しがたく，佐呂



第 6-1 図　佐呂間竜巻の発生メカニズムに関する模式図

間竜巻発生時においても F3 規模竜巻の発生には（特に最大 CAPE においては）微妙な環境場であった[2]が，近隣の周辺地形の影響を強く受けて F3 規模の竜巻発生に到ったと解釈するのが妥当と考えられる。

上述のように，竜巻発生環境場に関する同時超過頻度分布（第 5.3-2 図），及び発生率の分析結果（第 5.4-1 図）をもととした超過確率の議論では，竜巻検討地域の設

[1]MLCAPE の値は非常に小さく（瀧下ら 2011），MUCAPE の値は大きめであることから，尾根を乗り越えた先の佐呂間町上空における（寒冷前線起因の）冷気流の上側で，大気が局所的に不安定になっている可能性は否定できない。

[2]佐呂間竜巻は季節の変わり目に発生したが，暖候期の傾向が強かった（第 5.5-1 図参照）といえる。

定及び基準竜巻風速 V_{B1} の設定に佐呂間竜巻を特段考慮する必要はない。それはこの竜巻が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・小さな空間スケールを有する地形影響を受けたものであるからである。むしろ，この影響については，竜巻影響評価ガイドにおける設計竜巻 V_D の設定時に考慮するのがガイドの趣旨に沿っている。

佐呂間竜巻のような竜巻が発生するかどうかについては，当時の気象場（総観場（寒冷前線），気流場，大気不安定度）と周辺地形の類似性を確認すればよい。確認のポイントとしては，これまでに説明した気象場の分析結果を踏まえれば以下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）暖気流の流入方向に尾根状の丘・山が存在すること。

この条件を満たせば，寒冷前線通過時に，暖かい空気塊が尾根を乗り越えて寒冷前線起因の冷気流の上側に流入できる。このような確認を行う必要があるのは，東北太平洋側や北海道オホーツク地方・道南地方等太平洋に面した地域に立地した発電所である。発電所は沿岸部に立地しているため，佐呂間竜巻で影響を及ぼしたような尾根形状の島が沖近くに存在するかがポイントとなる。 日本海側沿岸部に立地した発電所においては，高標高山岳の影響が大きいため（第 2.3-3 図），不安定性の非常に大きい暖湿流が流れ込むような状況は生じがたい。

7. まとめと今後の課題

以上，数値気象モデル及びモデル解析データをもととした竜巻検討地域の設定方法について，特に検討地域における最大竜巻規模を基準竜巻風速 V_{B1} として採用できるかどうかを観点として，竜巻発生環境場の分析を行った。その結果，以下の結果が得られた。

・ F3 規模の竜巻，F2-F3 規模の竜巻（1988 年以降），日本海側 F2 規模の竜巻（1988 年以降），及び日本海側 F1-F2 規模の竜巻（1988 年以降）を対象に，WRF モデルと ECMWF 再解析データを用いた気象解析を行い，5 km 解像度での気象場と突風関連指数（SReH・CAPE）の分布を分析した。
・ 上記竜巻事例に対して竜巻発生地点周辺における SReH と CAPE の両指数の値を分析し，F3 規模以上の場合と F2 規模以上の場合の両方に対して，地域性を考える際の妥当な閾値について検討した。
・ F3 規模以上の竜巻を対象とした閾値を同時に超過する頻度の分布を 50 年間の長期再解析データをもとに算定した。その結果，茨城県以西の太平洋側沿岸及び九州沿岸の平野部で頻度が高く，実際の竜巻発生箇所とも整合していた。一方，その他の地域では，上記太平洋側地域に比べて 1～2 オーダ以下の頻度であった。
・ 総観スケールでの気流場では，日本列島の高標高山脈によって太平洋側から流れ込む不安定性の高い暖湿流が遮断され（第 2.3-3 図），この気流パターンが F3 規模の大きな竜巻が日本海側で発生せず，茨城県以西の太平洋側沿岸域において発

生するという実績と関係していると考えられる。大きな竜巻はさまざまな総観場区分に発生しているが，総観場区分で「局地性」と判定された竜巻は、スケールの小さな非スーパーセル型であり，上記太平洋側沿岸域と対応していない。一方，総観場として「台風性」と判定された大きな竜巻の発生箇所は対応している。そのため，台風性の大きな竜巻の発生箇所を検討地域の設定の参考にすることは一つの方法として考えられる。

- 同時超過頻度分布の特徴は，擬似竜巻発生数を用いたF3竜巻の発生率の地域差と対応していた。2 つの突風関連指数を用いた分析は地域性検討に有効であると考えられる。また，超過確率の観点では，10^{-7} の超過確率以上の風速を検討対象とするのであれば，F3竜巻の風速レベルを考慮すべき地域は上記太平洋側・九州の沿岸域に限られる。
- 佐呂間竜巻に関連して，オホーツク地方は気候的にはF2竜巻が一定以上の生起確率で発生しうる地域であるが，F3規模以上の竜巻発生環境場は極めて形成されがたい地域である。佐呂間竜巻に対しては周辺地形の影響を少なからず受けたことが報告されており，基準竜巻設定ではなく，設計竜巻設定時にこの竜巻と類似したものが発生する可能性を定性的に考慮するのが評価ガイドに沿っている。
- EHIを用いた評価は，F3規模以上の場合では概ね良好であるが，F2規模以上の場合では，季節間の発生数の違いが大きいため，通年レベルでの評価が難しいようである。現時点では，季節を分けてSReHと最大CAPEを用いて評価する方がベターだと思われる。
- メソスケールで分析した結果は，竜巻の発生メカニズムの観点において，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。総観場傾向から設定した検討地域は，メソスケールでの分析結果と概ね整合した。
- メソスケールでの検討によって得られた必要条件的な傾向は，突風関連指数の分析においては，実際には大きな竜巻が発生しなくとも発生しうる環境場であった事例を排除していないため，実態よりも広い範囲で大きな竜巻が発生しうる地域を評価する点において保守的な評価を行っているといえる。

今後の課題として，将来的な気候変動により規模や発生数の増加傾向となることは否定できないため，最新のデータ・知見をもって気候変動の影響に注視し，必要に応じて見直しを実施していくものとする。

参考文献

- Bluestein, H. B., 2013: Severe Convective Storms and Tornadoes. Springer, 456 pp.
- Brady, R. H., and E. J. Szoke, 1989: A case study of nonmesocyclone tornado development in northeast Colorado: similarities to waterspout formation. Mon. Wea. Rev.,843-856.
- Browning, K. A., 1964: Airflow and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the winds. J. Atmos. Res., 21, 634-639.
- Bunkers, M. J., B. A. Klimowski, J. W. Zeitler, R. L. Thompson, and M. L. Weisman, 2000: Predicting supercell motion using a new hodograph technique. Wea. Forecasting, 15, 61-79.
- Burgess, D. W., M. A. Magsig, J. Wurman, D. C. Doswell, and Y. Richardson, 2002: Radar observations of the 3 May 1999 Oklahoma City tornado. Wea. Forecasting, 17, 456-471.
- Chuda, T., and H. Niino, 2005: Climatology of environmental parameters for mesoscale convections in Japan. J. Meteor. Soc. Japan, 83, 391-408.
- Davies, J. M., 1993: Hourly helicity, instability, and EHI in forecasting supercell tornadoes. 17th Conf. on Severe Local Storms, St. Louis, MO, Amer. Meteor. Soc., 107-111.
- Davis-Jones, R., D. Burgess, and M. Foster, 1990: Test of helicity as a tornado forecast parameter. 16th Conf. on Severe Local Storms, Kananaskis Park, AB., Canada, Amer. Meteor. Soc., 588-592.
- Doswell III, C. A., and J. S. Evans, 2003: Proximity sounding analysis for derechos and supercells: an assessment of similarities and differences. Atmos. Res., 67-68, 117-133.
- Dotzek, N., M. V. Kurgansky, J. Grieser, B. Feuerstein, and P. Nevir, 2005:Observational evidence for exponential tornado intensity distributions over specific kinetic energy. Geophys. Res. Letters, 32, L24813, doi:10.1029/2005GL024583.
- Fujita, T. T., 1981: Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scale. J. Atmos. Sci., 38, 1511-1534.
- Klemp, J. B., and R. B. Wilhelmson, 1978: Simulations of right- and left-moving storms produced through storm splitting. J. Atmos. Sci., 35, 1097-1110.
- Lee, B. D., and R. B. Wilhelmson, 1997: The numerical simulation of nonsupercell tornadogenesis. Part II: Evolution of a family of tornadoes along a weak outflow boundary. J. Atmos. Sci., 54, 2387-2415.
- Mashiko, W., H. Niino, and T. Kato, 2009: Numerical simulation of

tornadogenesis in an outer-rainband minisupercell of typhoon Shanshan on 17 September 2006. Mon. Wea. Rev., 137, 4238-4260.
・ Moncrieff, M., and M. J. Miller, 1976: The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 102, 373-394.
・ Noda, A. T., and H. Niino, 2010: A numerical investigation of a supercell tornado: Genesis and vorticity budget. J. Meteor. Soc. Japan, 88, 135-159.
・ Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira, 2007: The JRA-25 Reanalysis. J. Meteor. Soc. Japan, 85, 369-432.
・ Orlanski, I., 1975: A rational subdivision of scales for atmospheric processes. Bull. Amer. Meteorol. Soc., 56 , 527-530.
・ Ramsdell, J. V. Jr., and J. P. Rishel, 2007: Tornado climatology of the contiguous United States. NUREG/CR-4461, Revision 2.
・ Rasmussen, E. N.: 2003: Refined supercell and tornado forecast parameters. Wea. Forecasting, 18, 530-535.
・ Rasmussen, E. N., and D. Blanchard, 1998: A baseline climatology of sounding-derived supercell and tornado forecast parameters. Wea. Forecasting, 13, 1148-1164.
・ Roberts, R. D., and J. W. Wilson, 1995: The genesis of three nonsupercell tornadoes observed with dual-Doppler radar. Mon. Wea. Rev., 123, 3408-3436.
・ Rotunno, R., and J. B. Klemp, 1985: On the rotation and propagation of simulated supercell storms. J. Atmos. Sci., 42, 271-292.
・ Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers : A description of the advanced research WRF version 2. NCAR Tech. Note, NCAR/TN-468+STR, 88 pp., 2005.
・ Suzuki, O, H. Niino, H. Ohno, and H. Nirasawa, 2000: Tornado-producing mini supercells associated with Typhoon 9019. Mon. Wea. Rev., 128, 1868-1882.
・ Trapp, R. J., 2013: Mesoscale-Convective Processes in the Atmosphere. Cambridge, 346 pp.
・ U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, 2007: Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1.
・ Wakimoto, R. M., and J. W. Wilson, 1989: Non-supercell tornadoes. Mon. Wea. Rev., 117, 1113-1140.
・ 飯塚義浩, 加治屋秋実, 2011: 数値予報資料から求めた竜巻に関連する大気環境指数の統計的検証. 天気, 58, 19-30.
・ 大野久雄, 2001: 雷雨とメソ気象. 東京堂出版, 309 pp.
・ 原子力規制委員会, 2013: 原子力発電所の竜巻評価ガイドの制定について. 原管

研発第13061911 号，2013 年6 月19 日制定
(http://www.nsr.go.jp/nra/kettei/data/20130628_jitsuyoutatsumaki.pdf).
・ 加藤輝之，2008a：竜巻発生の環境場に関する研究（Ⅰ）－竜巻をもたらす発生環境に関する統計的研究－，平成19 年度科学技術振興調整費 重要政策課題への機動的対応の推進，6-12.
・ 加藤輝之，2008b：竜巻発生の環境場に関する研究（Ⅲ）－スーパーセルを伴う竜巻の発生機構の研究－，平成19 年度科学技術振興調整費 重要政策課題への機動的対応の推進，39-44.
・ 杉本聡一郎，野原大輔，平口博丸，2014a：国内既往最大規模の竜巻を対象とした発生頻度の地域性について．2014 年度保全学会年次学術講演会，395-402.
・ 杉本聡一郎，野原大輔，平口博丸，2014b：突風関連指数を用いた大きな竜巻の発生環境場の地域性に関する検討．2014 年度日本気象学会春季大会講演予稿集，B464.
・ 瀧下洋一，2011：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－．測候時報，78，57-93.
・ 新野 宏，2007：竜巻．天気，54，933-936.
・ 橋本篤，平口博丸，豊田康嗣，中屋耕，2011：温暖化に伴う日本の気候変化予測（その1）－気象予測・解析システムNuWFAS の長期気候予測への適用性評価－．電力中央研究所報告 N10044，22pp.
・ 橋本篤，平口博丸，田村英寿，服部康男，松梨史郎，2013：領域気候モデルを用いた過去53 年間の気象・気候再現．電力中央研究所報告，N13004，18 pp.

付録 A 温位について

気体の状態方程式によれば，同じ気圧下で密度が小さいほど気体の温度は高くなる。したがって，ある空気塊が周囲よりも高温であれば，その空気塊は浮力を得て上昇する。この時，下層での空気塊の気温が高いからといって，ある高い高度に断熱的に持ち上げた空気塊は，その高度の周囲の気温より高いとは限らない。同じ高度（気圧）で気温の高低を比較してはじめて，空気塊が浮力を受けるかどうかがわかる。温位を用いれば，本文の式(3)のように，1000hPa という基準気圧（高度）での気温を算出するため，二つの空気塊の相対的な暖かさや浮力の発生有無を容易に判断できる。

1 万メートル程度上空における飛行機の客室内の気温を例にとると，客室内は与圧されて 800hPa 程度の気圧となっており，温位は 310K 程度とする。それに対し，飛行高度での気圧（100～200hPa）での気温が約-70℃とすると温位は 360K 程度である。外気をそのまま取り込むと，温位は保存されるため，客室内での温位 360K に対する気温は約 60℃となる。このため，外気を取り込んだ際に空気を冷やす必要が（吉崎・加藤 2007)。上空ほど気温は低いため，パラドックス的に感じるが，このように温位を用いれば空気塊の暖かさについて容易に把握・比較することが可能である。温位が高いほど暖かく，上昇しやすいということから，大気の不安定性を論じるのに温位や相当温位が使われるのはそういう理由である。

参考文献

・吉崎正憲，加藤輝之，2007：豪雨・豪雪の気象学．朝倉書店，187 pp.

付録 B SReH 及び CAPE と竜巻強度との関係に関する過去文献のレビュー

B-1 これまでの知見整理

Davies (1993)は，最も近い観測点で得られたラジオゾンデデータから SReH をはじめとした鉛直シア関係の指数に関する調査を行い，例えば 0-3km SReH については，平均値として F2・F3 竜巻の場合 369m^2/s^2 (21 事例)，F4・F5 竜巻の場合 539m^2/s^2 (10 事例) と報告した。ただし，スーパーセル竜巻のポテンシャルの見積もりには，大気不安定性と風のシアもしくは SReH の組み合わせを調べるべきであると指摘している。Johns et al. (1993)は，F2 規模以上の竜巻に対して 0-2km SReH と CAPE との間に図 B-1 の関係性を報告した。

殆どの F2 規模以上の竜巻が EHI (=CAPE×SReH/160000) 2 程度を超える場合に発生していることがみてとれる。また,F4･F5 規模の竜巻(図中の Violent ○)の場合，より大きな EHI で発生している傾向にある。関連した成果は，EHI>2 でスーパーセルが発達する可能性が非常に高く，EHI>4 で非常に大きな竜巻が発生する可能性が高いとする文献にも見られる (Davies 1993)。

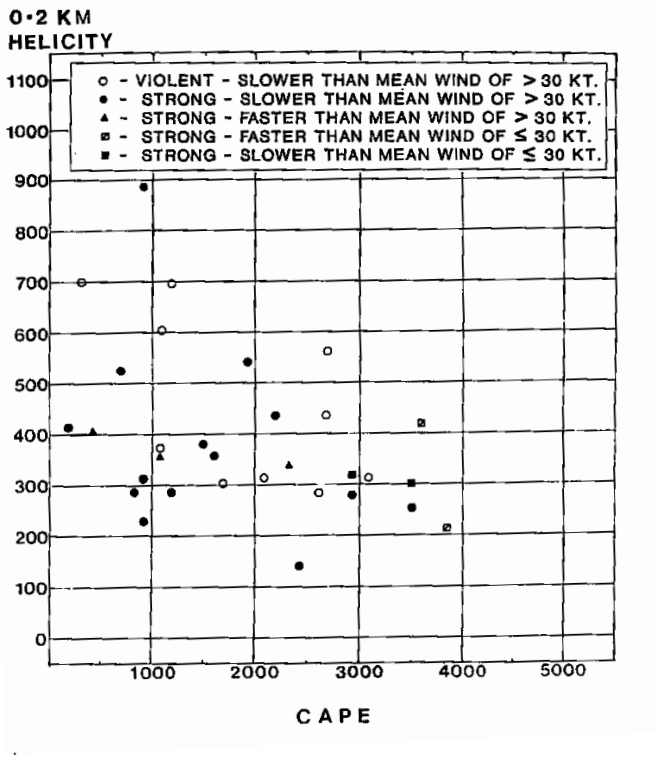


図 B-1 CAPE と 0-2km SReH の関係
(プロットは F2 規模以上。○は F4・F5 規模)

Rasmussen and Blanchard (1998)は，1992 年に米国で実施されたラジオゾンデデータ (0 時 UTC (世界標準時) の約 3000 のデータ) を分析し，竜巻発生地点から 400km 以内の観測地点のデータから竜巻発生時の突風関連指数の

気候学的特性について調べた。F2 規模以上の竜巻とそれ以外の差（中央値の差）は，SReH，CAPE 単独で用いる場合よりも両方を複合させた EHI の方が区別できていることが見てとれる（図 B-2)。ただし，F2 規模以上の竜巻が発生した範囲のうち値の小さな EHI で F1 規模以下の竜巻が発生しているケースもある。

全ての竜巻・非竜巻を対象とすると，EHI のヒストグラムの結果では，竜巻発生指標としての EHI の有効性が低いと考えられるという報告もある（櫻井・川村 2008)。上記で取りあげた各文献を踏まえれば，突風関連指数の適用性は F0･F1 規模以上か非竜巻かという小さな竜巻の発生有無の区別には向かず，F2 規模以上か否かの区別では適用性が高まり，むしろ F3･F4 規模以上か否かといった大きな竜巻の発生有無を議論するのに適しているといえる。なお，Rasmussen and Blanchard（1988)では，F3 規模以上の高強度の竜巻とそれ以外を区別することについては検討していない。

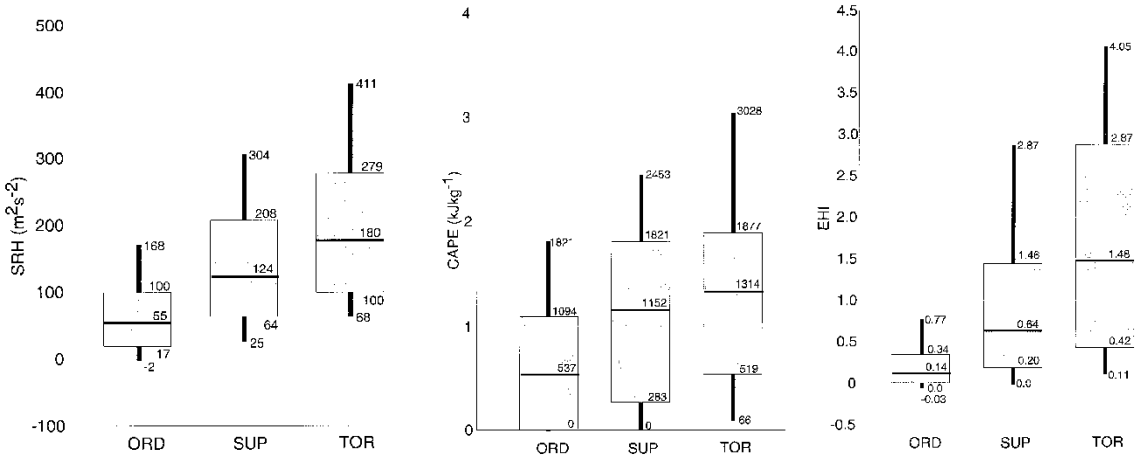


図 B-2　各突風指数(左：SReH，中：CAPE，右：EHI)に対する箱ひげ図(箱は値の小さい方から 25%から 75%の範囲を表し，箱中の太線は中央値を示す。TOR は F2 規模以上の竜巻，SUP は F1 規模以下の竜巻，ORD は非スーパーセル雷雨を表す。)

Rasmussen（2003)は，SReH を求める際の地上からの層厚について検討し，これまでガイドライン的に使われてきた 0-3km SReH（Davies-Jones et al. 1990）の殆どは，地上から 1km までの大気（0-1km SReH）に起因するため，SReH 算出の層厚を 0-1km とすることを提案している。その他，SReH を求める際のストームの移動ベクトル算出方法についてもいくつか方法がある。指数の算出手法に関連して，CAPE についてはより複雑である。特に，数値モデルによる解析値・予測値を算出する場合，対流不安定が解消されることにより CAPE 値が小さく見積もられる場合がある（瀧下 2011)．そのため，Rasumussen and Blancard(1998)では，その影響を軽減する算出方法を用いている。また，CAPE を算出する際の持ち上げ空気塊の性質によりさまざまな種類の CAPE がある。例えば，地上数キ

ロまでの大気の平均的な性質を持たせることもあれば（MLCAPE と呼ばれる），最大の不安定度になる高さの空気塊を持ち上げることもできる（MUCAPE)。MLCAPE がよく用いられることが多いが，一般的に MUCAPE の方が値は高く（Chuda and Niino 2008)，米国の SPC（Storm Prediction Center）のような実運用の場で MUCAPE が SCP（ =MUCAPE/1000 × 0-3km SReH/100 × BulkRichardson Number/40）の算出に用いられる場合がある（※今回の検討でも MUCAPE を用いている)。特に，下層に寒気があり，その上に暖気がある安定した条件下のケース（佐呂間竜巻の佐呂間町付近では地形影響でその傾向が増大していると考えられる）では MLCAPE にもとづく不安定度は非常に小さくなる。このように，SReH や CAPE の算出方法についても議論すべき余地がある。

ゾンデデータを用いる解析は，竜巻発生地点との距離差が大きいことが課題である。そこで，数値気象モデルによる解析・予測による格子点データを用いた分析もなされている。米国の水平解像度 40km 予報データ（1 時間毎）を用いた分析では（Thompson et al. 2003)，SReH，CAPE，EHI の全体的な傾向として Rasmussen and Blanchard（1988)と同様の結果が得られているが，F2 規模以上の竜巻に対する EHI の中央値が 2 程度と大きくなる等，Davies(1993)に近い結果となっている。SCP では F2 規模以上とそれ以外の差が顕著であり（図 B-3)，CAPE や SReH に関連した複合関連指数として EHI 以外の指数の検討の余地がある

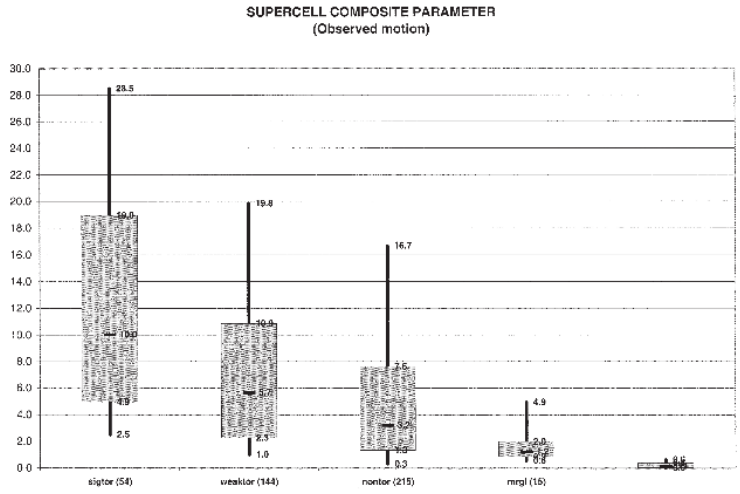


図 B-3　SCP に対する箱ひげ図(sigtor は F2 規模以上,weaktor は F1 規模以下，nontor は非竜巻，mrgl はややスーパーセル化したストーム，nonsuper は非スーパーセルストームを表し，括弧内の数字は事例数を表す．箱ひげ図の意味は図 B-2 と同じ。）

飯塚・加治屋(2011)は，気象庁のメソ客観解析データ（水平解像度 10km・鉛直総数 16 層・3 時間毎）のデータを用いて，2006 年 2 月から 3 ヵ年の間に発生した 141 個の竜巻・非発生事例を分析した。その際，発生地点から 40km 範囲内

に存在する格子点に対する突風関連指数の最大値をピックアップしている。他文献と同様に CAPE や SReH 単独では竜巻・非竜巻の区別，あるいはスーパーセル竜巻・非スーパーセルの区別が明瞭でないが，EHI のような複合パラメータではより明瞭になっている（図 B-4)。図 B-4 では F スケール別の傾向も示されているが，F1 規模と F2・F3 規模（F3 は佐呂間竜巻のみ）との間に差はなく，米国の結果とはやや異なる。現象論の観点では，大きな竜巻はスーパーセル化が明瞭となり，大きな空間スケールの現象が駆動力（large-scale forcing）となって発生するため，数 km から十数 km 程度の空間代表性を有する格子点データやラジオゾンデデータをもととした突風関連指数で十分に議論ができる一方，小さな竜巻は大きな竜巻を伴わない場合は large-scale forcing の影響が小さい，局地的な擾乱に伴う頻度が多くなるため，突風関連指数との関連性が薄れていると解釈できる。

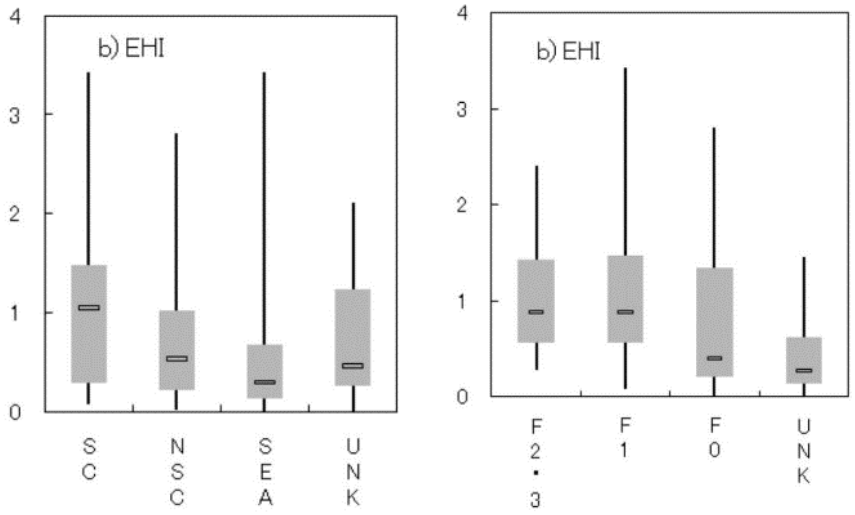


図 B-4　EHI に対する箱ひげ図（左：竜巻種別，右：F スケール別；SC はスーパーセル型竜巻，NSC はノンスーパーセル型竜巻，SEA は海上竜巻，UNK は陸上竜巻でスーパーセル判定ができなかった竜巻を表す。）

瀧下(2011)は，気象庁の数値予報資料（MSM）（気象庁メソ客観解析データと空間分解能等は同じ仕様だが解析データではなく，予報データである）を用いて，2004 年から 3 ヵ年に発生した竜巻やダウンバースト発生時の SReH，CAPE，EHI の関係を調べた（図 B-5)。発生地点を中心とした 50km 四方内の最大の値を採用している。この図から，最も大きく，唯一の F3 竜巻である佐呂間竜巻の環境場において（ML）CAPE が非常に小さく（それゆえ，EHI も非常に小さく），また，F1 竜巻と F2・F3 竜巻で特段の違いが見られないことから，指数で竜巻強度を判断するのは困難であると結論づけている。

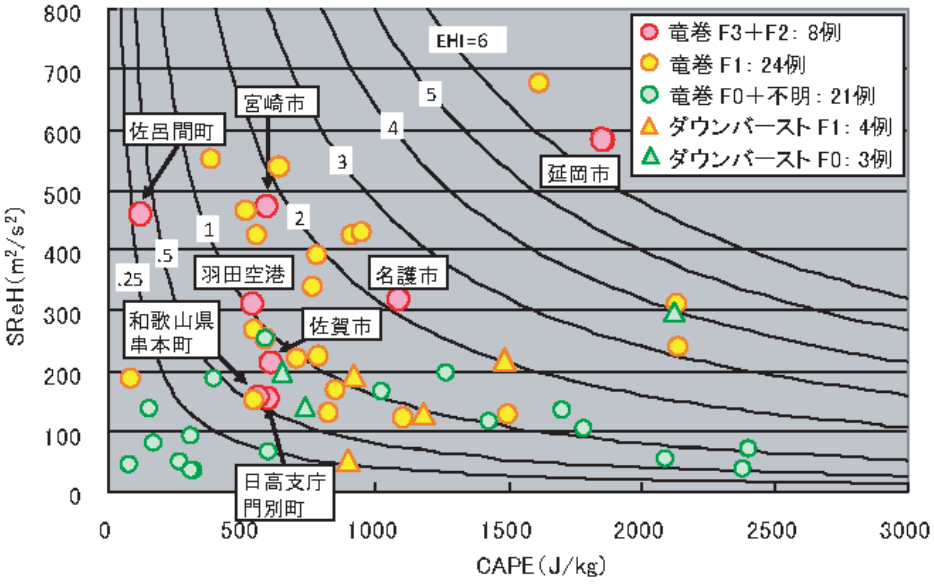


図 B-5　竜巻及びダウンバースト事例における分析例

F1 竜巻と F2・F3 竜巻の区別については，これまで挙げた文献同様，やはり困難なようである。しかし，佐呂間竜巻において CAPE 値が非常に小さい点についてはその解釈に注意しなければならない。同種のデータを用いた飯塚・加治屋(2011)は，850hPa 以下の総数は 7 層しかなく，ゾンデ観測データよりも鉛直分解能が粗いため，結果の解釈には注意を要することを指摘している。つまり，CAPE 算出において，適切な空気塊を持ち上げていない可能性は否定できない。また，加藤（2008a)が指摘するように，佐呂間竜巻発生時には，佐呂間町の南東側にある山を暖気流が乗り越え，佐呂間町付近では下層では冷たい西よりの気流と，その直上に東よりの暖気流が流れ込み，鉛直シアが増大していたと考えられる。このような場合，地表面付近がやや安定傾向となるため上述のように，MLCAPE の値は非常に小さくなる。MUCAPE の場合は地表面付近の大気が冷たい場合に，その上空で発生しうる elevated convection を考慮できるが，佐呂間竜巻に対して結果的に CAPE 値が大きくなる（本文参照)。つまり，算出方法に検討の余地が大きいため，佐呂間竜巻といった 1 つの F3 竜巻事例をもって，SReH，CAPE 系の突風関連指数の限界を断じることは難しい。

B-2　今後の研究の方向性

以上のように，検討時点でのデータの品質等々が低かった等，各文献ともに検討の余地があり，今後は各文献の知見を全て踏まえた解析方法・データをもって分析・考察することが重要である。大局的には，スーパーセル化が顕著な（F3 規模程度以上の）大きな竜巻とそれ以外の竜巻の発生環境場は，EHI 値の差が有意である傾向が見られることから，SReH 値と CAPE 値とから地域レベルで

の傾向を議論できる可能性がある。また，こうした突風関連指数の活用は，F2規模以上とそれ以外の比較が限度であり，F1規模以上とそれ以外というように，小さな竜巻の発生予測への指数の活用は向かないと考えられる。

欧米や国内の気象学会では，突風関連指数の有効性について現在も検討がなされている。もととするデータ品質の観点では，これまで離れた箇所の高層ゾンデデータや空間解像度の粗い解析・予測データをもとに分析されてきた点が課題であり，高精度な解析データをもって，これまでの文献・知見が正しいかどうか確認する必要がある。その際，過去文献において指数値の算出に工夫されている点を可能な限り採用するとともに，SReH，CAPE をはじめとした単一指数もしくはそれらの組み合わせ（加藤 2008b）に加え，EHI，SCP，STP 等の複合パラメータの説明性の高さについて広範に適用性を検討することが求められる。

現時点では，時空間解像度の高い長期気象解析データ（水平解像度 5km・10分毎データ）をもとに，CAPE に対する算出方法を工夫した上で，SReH，CAPE の特性，加藤(2008b)と同様に SReH と CAPE を組み合わせて用いた方法，及び EHI について検討し，SReH と CAPE を用いる方法と EHI を用いる手法とでは，F3 規模以上の竜巻が発生する地域性を観点とした解析結果に大差がないことを確認した（本文参照)。

参考文献

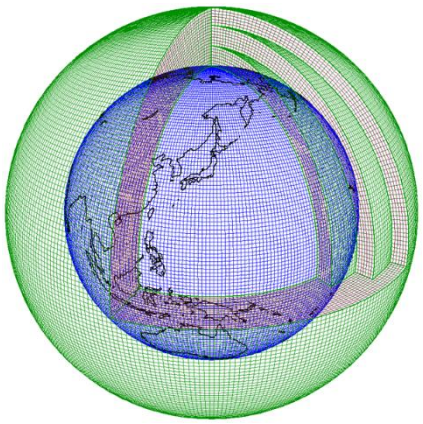
- Chuda, T., and H. Niino, 2005: Climatology of environmental parameters for mesoscale convections in Japan. J. Meteor. Soc. Japan, 83, 391-408.
- Davies, J. M., 1993: Hourly helicity, instability, and EHI in forecasting supercell tornadoes. 17th Conf. on Severe Local Storms, St. Louis, MO., Amer. Meteor. Soc., 107-111.
- Davies, J. M., and R. H. Johns, 1993: Some wind and instability parameters associated with stron and violent tornadoes. 1. Wind shear and instability. The Tornado: Its structure dynamics, prediction, and hazards. C. Church, D. Burgess, C. Doswell and R. Davies-Jones, Eds., American Geophysical Union, 573-582.
- Johns, R. H., J. M. Davies, and P. W. Leftwich, 1993: Some wind and instability parameters associated with stron and violent tornadoes. 2. Variations in the combination of wind and instability parameters. The Tornado: Its structure dynamics, prediction, and hazards. C. Church, D. Burgess, C. Doswell and R. Davies-Jones, Eds., American Geophysical Union, 573-582.
- Rasmussen, E. N., and D. O. Blanchard, 1998: A baseline climatology of sounding-derived supercell and tornado forecast parameters. Wea. Forecasting, 13, 1148-1164.

・ Rasmussen, E. N.: 2003: Refined supercell and tornado forecast parameters. Wea. Forecasting, 18, 530-535.
・ Thompson, R. L., R. Edwards, J. A. Hart, K. L. Elmore, and P. Markowski, 2003: Close proximity soundings within supercell environments obtained from the Rapid Update Cycle. Wea. Forecasting, 18, 1243-1261.
・ 飯塚義浩，加治屋秋実，2011：数値予報資料から求めた竜巻に関連する大気環境指数の統計的検証．天気，58，19-30.
・ 加藤輝之，2008a：竜巻発生の環境場に関する研究（Ⅲ）－スーパーセルを伴う竜巻の発生機構の研究－，平成 19 年度科学技術振興調整費 重要政策課題への機動的対応の推進，39-44.
・ 加藤輝之，2008b：竜巻発生の環境場に関する研究（Ⅰ）－竜巻をもたらす発生環境に関する統計的研究－，平成 19 年度科学技術振興調整費 重要政策課題への機動的対応の推進，6-12.
・ 瀧下洋一，2011：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－．測候時報，78，57-93.

付録C 気象モデルの概要

気象モデルとは，物理・力学的法則に基づいて，物理量の時間変化を計算機により数値的に解くために各諸過程を概念化したもので，気象庁による日々の気象予報もこの気象モデルを用いて実施されている。図C-1のように計算対象領域を3次元格子で覆い，各格子点上で気圧，風などの物理量を定義する。観測データや気象庁等の解析・予報結果をもとに計算開始時刻の物理量を決めて，計算領域境界部の値を時々刻々変化させながら（図C-2），運動方程式，熱力学方程式，連続式，及び水分量の保存式等を数値積分すると，将来時刻における気象要素の値が計算される。各方程式中の運動量や熱・水のソース・シンク項は各物理過程によって生み出される（例えば，水蒸気から水滴が生成されるとその潜熱が熱力学方程式中のソースとなる）が，気象モデルでは図C-3に示すような物理過程がモデル化され，力学系の各保存式のソルバーと連携している。

この種の気象モデルは，放射性汚染気塊の輸送量計算にも使用されており，WSPEEDI-Ⅱ（Worldwide version of System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information；世界版緊急時環境線量情報予測システム第2版）では，本検討に用いたWRFモデルの前身に位置づけられるMM5（PSU/NCARMesoscale Model version 5；Dudhia 1993）が気象場の入力情報の作成に用いられている（山澤ら 1997）。WRFモデルは，MM5の力学系・物理モデル共に大幅な改良が加えることにより開発されたものであり，現在米国においては気象の現業・研究の両面で活用されている。また，わが国を含めた諸外国においても広く活用されている。



図C-1　計算グリッド構造の例

（気象庁ホームページhttp://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/whitep/1-3-1.htmlより）

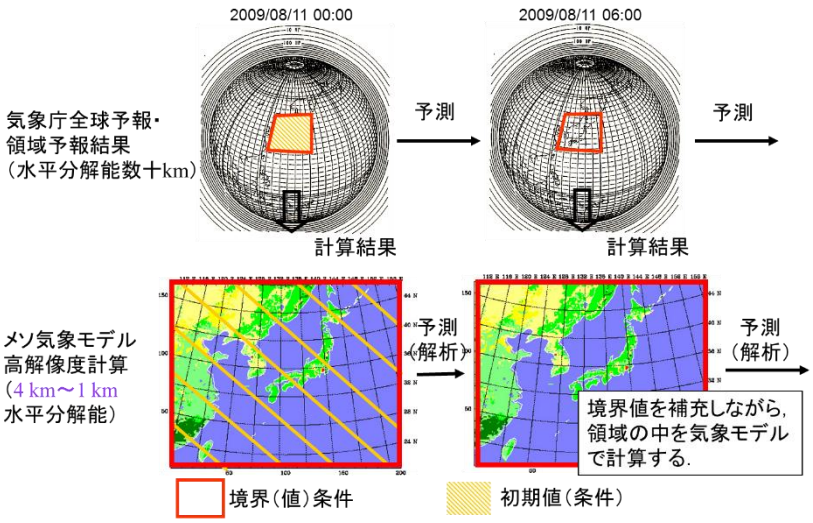


図 C-2　気象モデルを用いた解析・予測計算の流れの概念図
（気象庁全球モデルを例に）

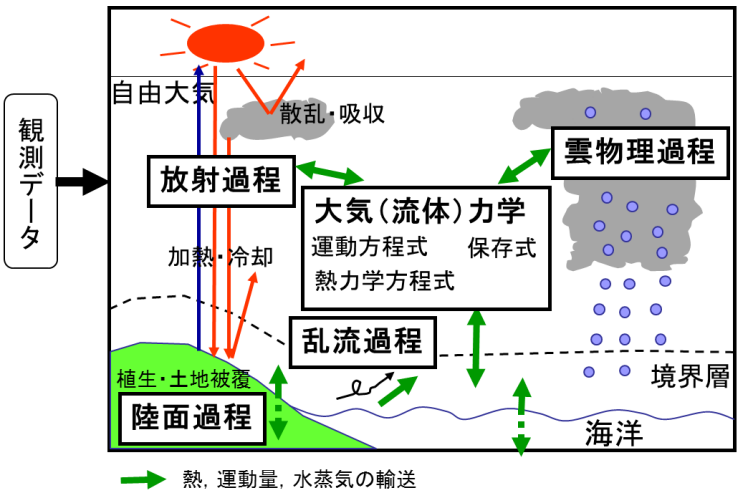


図 C-3　気象モデルを用いた計算の模式図

参考文献

- Dudhia, J., 1993: A nonhydrostatic version of the Penn State-NCAR mesoscale model: validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. Mon. Wea. Rev., 121, 1493-1513.
- 山澤弘実，茅野政道，永井晴康，古野朗子，1997：緊急時環境線量情報予測システム（世界版）WSPEEDI の開発と検証．日本原子力学会誌，39，881-892.

付録 D 高標高山岳が及ぼす影響

1990 年 12 月 11 月に千葉県茂原市で発生した日本最大級 F3 竜巻時（総観場：暖気の移流，気圧の谷，寒冷前線）の海抜 100m 高度における気象場（風向・風速及び相当温位の分布）を図 D-1 左図に示す。太平洋上は（相当温位の高い）暖かく湿潤な大気状態にあり，12 月の冬季としては暖かく湿った大気（緑色）が太平洋側から千葉県南東部房総半島沿岸に発生した地点に流れ込んでいることが解析されている。この大気は内陸部に中心をもつ低気圧の大きな渦に沿って日本海側へ運ばれているが，日本海側では，相当温位が低くなり，不安定性が解消されていることがわかる。

このような高い山岳の南側と北側で空気塊の性質が変わることはいずれの F3 規模の竜巻でも見られている（例えば，図 D-1 右図）。太平洋側から流入した大気下層の空気塊が山岳を越えようとした場合，空気塊の上昇に伴い気温が低下し，昇り斜面上空で空気塊が飽和して降水粒子が生成され，湿潤不安定な状態が解消されることもある。この場合，空気塊が山岳を乗り越えたとしても乾燥・安定化の進んだ空気塊になるため，太平洋沿岸部で竜巻を引き起こした大気が，例えば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日本海側に流入して大きな竜巻を引き起こすことは考えられない。つまり，台風等の接近・通過時の渦度が高い時間帯に同時に太平洋側から暖かく湿った空気塊が特に開けた平野部（関東平野，濃尾平野，宮崎平野等）に流入する」という F3 規模竜巻の発生シナリオが日本海側ではあてはまり難いことを示唆している。

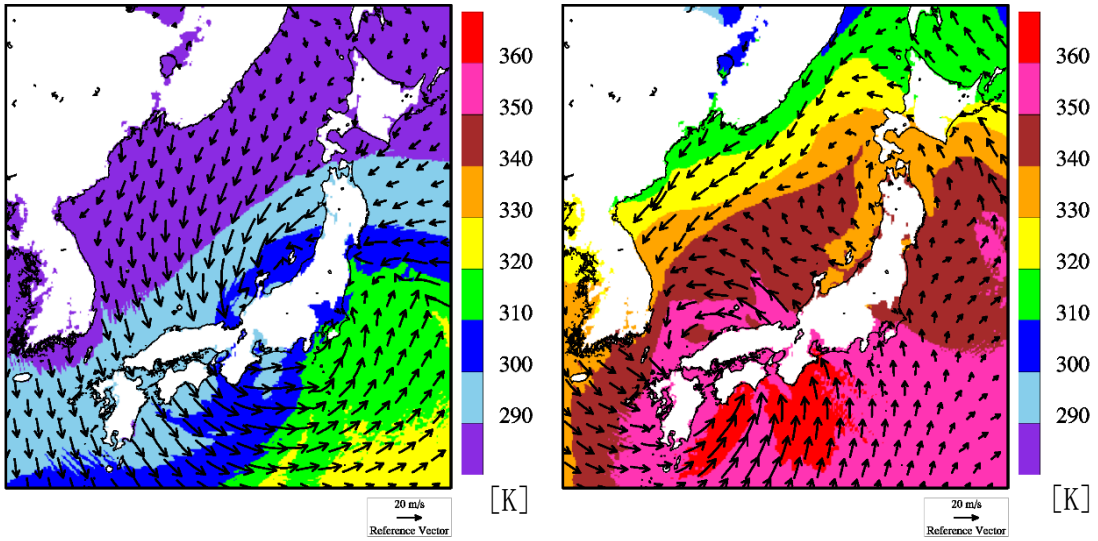


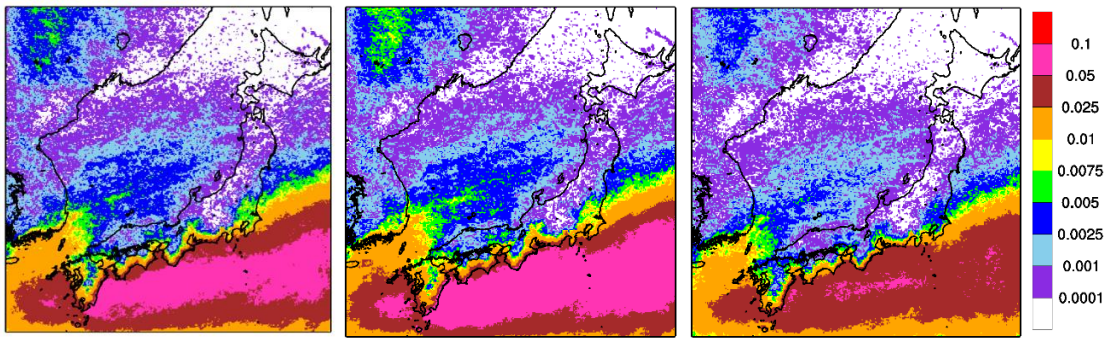
図 D-1　海抜 100m 高度における風向・風速及び相当温位
（左：1990/12/11 F3 事例，右：1999/09/24 F3 事例）

付録 E 閾値の感度

突風関連指数に不確実性が存在するのは確かである。そこで，今回設定した閾値に対してばらつき分を考慮し，ばらつき分が超過頻度分布にどのような影響を及ぼすかについて確認した。

(a)EHI

今回用いた閾値 3.3 に対し，3.0 及び 3.6（もともとの値の±1 割程度）の閾値にした場合の超過頻度分布を図 E-1 に示す。閾値を 3.6 にした場合，関東平野内での F3 竜巻の発生箇所を含包できておらず（図 E-2 参照），値として大きすぎることがわかる。一方，閾値を 3.0 にすると，対馬海上からの暖気流入に対応して島根県沖に高い値（超過頻度分布の 0.01%前後以上）が見られるようになる。いずれの閾値においても，日本海側沿岸域・北日本と太平洋側沿岸域との差は維持されている。



閾値 3.3　　閾値 3.0　　閾値 3.6

図 E-1　同時超過頻度分布（EHI の閾値は左から，3.3，3.0，3.6）

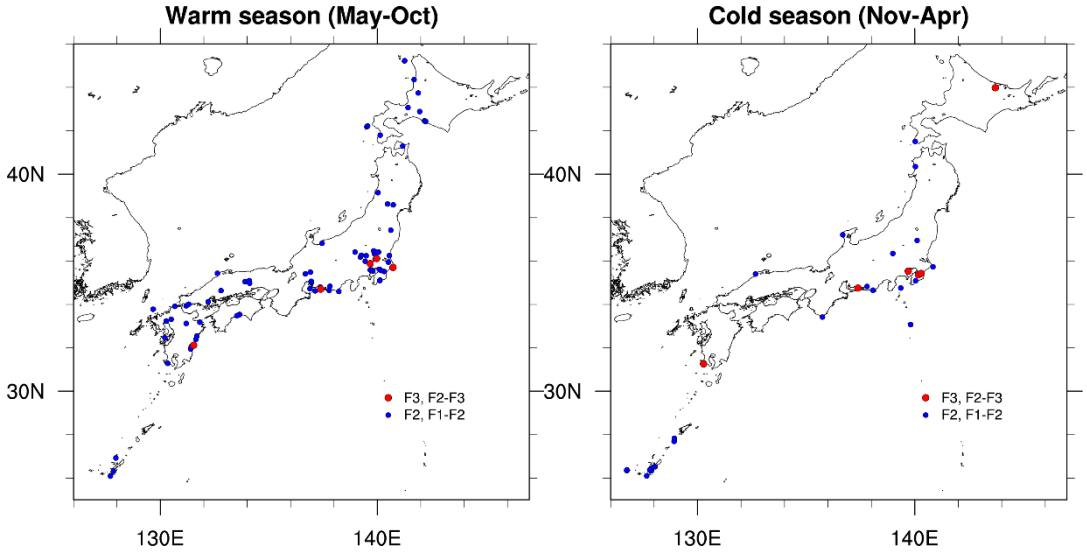
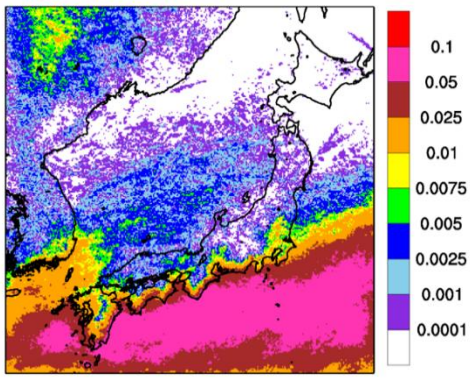


図 E-2　F3 竜巻（F2-F3 を含む）及び F2 竜巻（F1-F2 を含む）の発生箇所
（左：暖候期，右：寒候期）

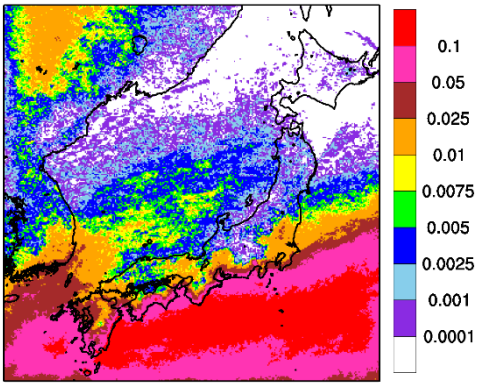
(b)SReH と CAPE（暖候期）

今回用いた閾値は，SReH が 250 m^2/s^2，CAPE が 1600J/kg である。そこで，SReH を 200～300m^2/s^2（50m^2/s^2刻み），CAPE を 1550～1650J/kg（50J/kg 刻み）で変化させ，各組み合わせで検討した。図 3 は 5 ケース分プロットしたものである。閾値を小さくするほど，頻度は全体的に大きくなる。



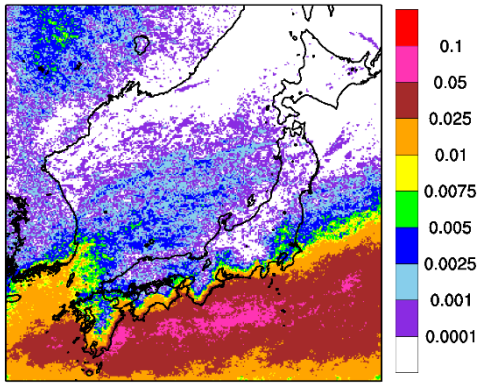
［%］

SReH 閾値：250m^2/s^2
CAPE 閾値：1600J/kg



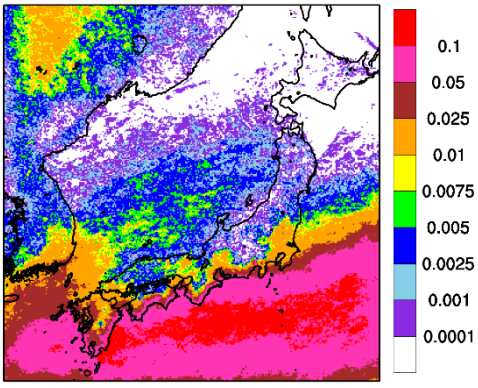
［%］

SReH 閾値：200m^2/s^2
CAPE 閾値：1550J/kg



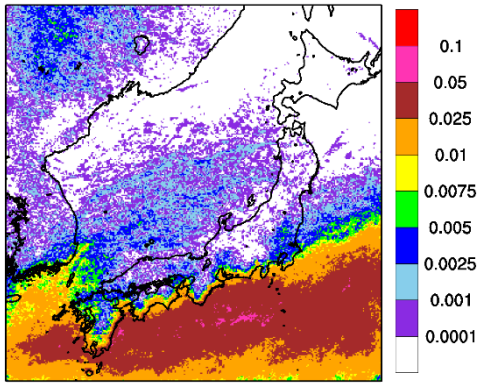
［%］

SReH 閾値：300m^2/s^2
CAPE 閾値：1550J/kg



［%］

SReH 閾値：200m^2/s^2
CAPE 閾値：1650J/kg



［%］

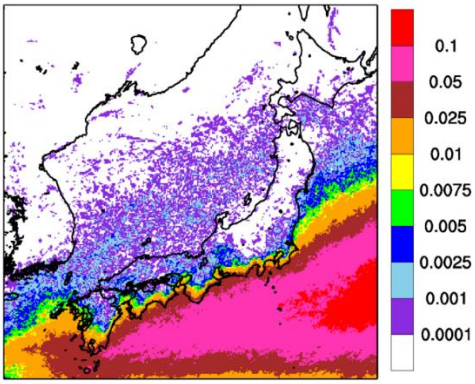
SReH 閾値：300m^2/s^2
CAPE 閾値：1650J/kg

図 E-3　同時超過頻度分布（暖候期）

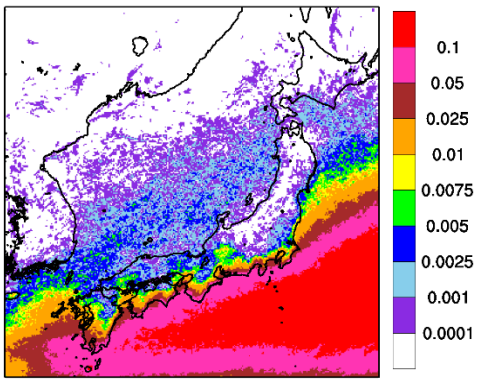
今回設定した閾値（SReH の閾値：250m^2/s^2，CAPE の閾値：1600J/kg）に対する頻度分布の 0.01%前後よりも大きな地域が，発生箇所を含包していることがわかる。特に，いずれかの閾値を大きくすると，EHI の場合と同様に，関東平野内の F3 竜巻の発生箇所を含包できない傾向にある。特に SReH の感度が高い。SReH と CAPE の両方の閾値を小さくした場合(SReH:200 m^2/s^2,CAPE の閾値:1550J/kg)においては，全体的な頻度は高まり，内陸部深くまで頻度が高まっており，閾値を小さくしすぎていることがわかるが，それでも日本海側沿岸・北日本と茨城県以西太平洋側との差異は維持されている。

図 E-4 は寒候期に対する図であるが,今回設定した閾値(SReH の閾値:250m^2/s^2, CAPE の閾値：600J/kg）に対しては，0.025%前後より大きな値をとる地域が F3 竜巻の発生箇所を含包している。暖候期ほど閾値に敏感ではないが，暖候期に対する感度分析の傾向が寒候期に対しても見られる。

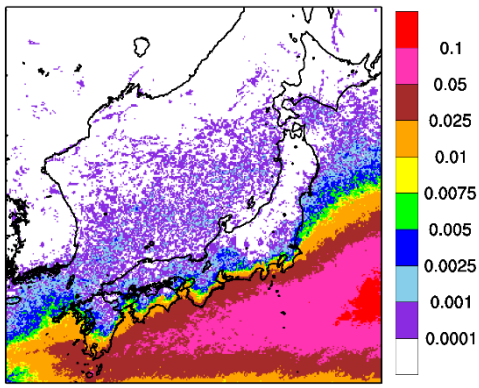
平成 27 年 2 月 3 日の審査会合において用いた閾値は，今回の検討のように感度解析的に閾値を変えて決めたわけではない。あくまで，数は少ないながらも過去の F3 竜巻発生時の環境場を解析し，下限の指数値を決めたが，その結果は F3 竜巻の発生の実態をよく表現できていると考えられる。閾値に幅を持たせた分析結果では，閾値を小さくするほど，小さな竜巻が発生する環境場をカウントするため，超過頻度が大きくなる。暖候期は寒候期に比べて閾値にやや敏感であるが，茨城県以西の太平洋側沿岸域と，日本海側及び北日本の沿岸域との差は維持されることを確認できた。これは，EHI を用いる場合でも，CAPE と SReH を用いる場合においても同様である。



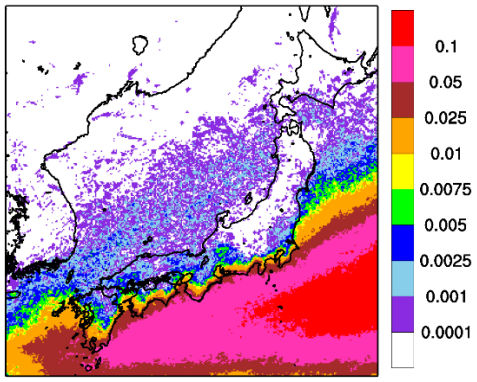
SReH 閾値：250 m^2/s^2 ［%］
CAPE 閾値：600 J/kg



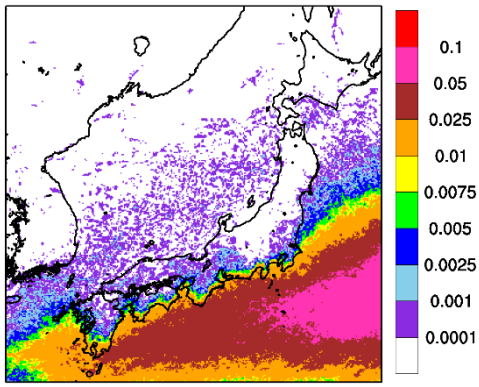
SReH 閾値：200m^2/s^2 ［%］
CAPE 閾値：550J/kg



SReH 閾値：300m^2/s^2 ［%］
CAPE 閾値：550J/kg



SReH 閾値：200m^2/s^2 ［%］
CAPE 閾値：650J/kg



SReH 閾値：300m^2/s^2 ［%］
CAPE 閾値：650J/kg

図 E-4　同時超過頻度分布（寒候期）

竜巻検討地域及び全国で発生した竜巻

1. 竜巻検討地域において発生した竜巻

気象庁の竜巻等の突風データベースより，1961 年～2012 年 6 月の 51.5 年間を対象とした，竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の一覧を下表に示す。

	発生日	発生場所	F スケール※	総観場 1	総観場 2	総観場 3
1	1962/07/02	茨城県稲敷郡東村	(F2)	温暖前線	梅雨前線	局地性じょう乱
2	1965/09/05	青森県むつ市	(F2)	閉塞前線		
3	1967/03/23	千葉県銚子市	(F1～F2)	寒冷前線		
4	1967/10/28	千葉県飯岡町	(F2～F3)	台風		
5	1971/08/31	千葉県飯岡町	不明	台風		
6	1971/09/08	千葉県飯岡町	(不明)	台風		
7	1974/03/13	福島県いわき市	F1	移動性高気圧		
8	1975/11/15	千葉県大網白里町	F1	南岸低気圧		
9	1979/05/27	茨城県鹿島郡旭村	(F1～F2)	気圧の谷	寒気の移流	雷雨（熱雷を除く）
10	1980/10/31	北海道門別町	(F1～F2)	閉塞前線		
11	1990/12/12	茨城県海上～那珂湊市	F1	寒気の移流	局地性じょう乱	その他
12	1992/08/07	宮城県本吉郡唐桑町	F1	局地性じょう乱	雷雨(熱雷)	
13	1994/10/05	北海道門別町	F1	寒冷前線		
14	1994/10/05	北海道門別町	F1～F2	寒冷前線		
15	1997/10/07	北海道苫小牧市	F1	雷雨（熱雷を除く）	暖気の移流	寒気の移流
16	1998/09/16	宮城県名取市	F1	台風	暖気の移流	
17	1999/10/27	茨城県多賀郡十王町	F1	南岸低気圧		
18	2003/09/29	北海道(海上)	不明	気圧の谷		
19	2004/10/22	北海道門別町	F2	寒冷前線	暖気の移流	
20	2005/10/02	北海道伊達市	F0	寒冷前線		
21	2006/10/11	北海道新ひだか町	F1	寒冷前線		
22	2006/10/11	北海道新ひだか町	F1	寒冷前線		
23	2006/11/07	北海道日高町	不明	寒冷前線		
24	2006/11/07	北海道日高町	F1	寒冷前線	暖気の移流	
25	2007/10/04	北海道(海上)	不明	気圧の谷	暖気の移流	地形効果
26	2007/10/17	北海道(海上)	不明	気圧の谷	寒気の移流	
27	2008/11/07	北海道様似郡様似町	F0～F1	寒冷前線		
28	2009/10/08	千葉県山武郡九十九里町	F1	台風	暖気の移流	
29	2010/11/01	千葉県山武郡九十九里町	F0	南岸低気圧		

※ 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. 全国の沿岸±5km 範囲で発生した竜巻

気象庁の竜巻等の突風データベースより，1961 年～2012 年 6 月の 51.5 年間を対象とした，全国の沿岸±5km 範囲で過去に発生した竜巻の一覧を下表に示す。

	発生日	発生場所	F スケール※	総観場 1	総観場 2	総観場 3
1	1961/1/24	鹿児島県川辺郡知覧町	F1	寒冷前線	－	－
2	1961/1/24	福岡県北九州市	F1	寒冷前線	－	－
3	1961/10/7	静岡県清水市	F1	寒冷前線	－	－
4	1962/7/2	茨城県稲敷郡東村	(F2)	温暖前線	梅雨前線	局地性じょう乱
5	1962/8/26	静岡県浜松市	(F2)	台風	－	－
6	1962/8/26	静岡県榛原郡御前崎町	(F1～F2)	台風	－	－
7	1962/9/28	北海道東利尻町	(F2)	寒冷前線	－	－
8	1962/12/30	静岡県千浜村	(F1～F2)	二つ玉低気圧	温暖前線	－
9	1964/1/17	東京都八丈町	F2	南岸低気圧	－	－
10	1965/9/5	青森県むつ市	(F2)	閉塞前線	－	－
11	1965/9/30	秋田県秋田市	F1	日本海低気圧	温暖前線	－
12	1965/9/30	秋田県西目村	F0～F1	日本海低気圧	温暖前線	－
13	1965/10/14	東京都大田区	(F1～F2)	温暖前線	－	－
14	1967/3/23	千葉県銚子市	(F1～F2)	寒冷前線	－	－
15	1967/10/28	千葉県鴨川町	(F2)	台風	－	－
16	1967/10/28	千葉県飯岡町	(F2～F3)	台風	－	－
17	1968/1/8	新潟県中頸城郡大潟町	F1	季節風	－	－
18	1968/8/28	高知県南国市	(F1～F2)	台風	－	－
19	1968/9/24	宮崎県宮崎市	F1	台風	－	－
20	1968/9/24	宮崎県高鍋町	(F2)	台風	－	－
21	1968/9/24	宮崎県高鍋町	(F2～F3)	台風	－	－
22	1968/9/24	宮崎県高鍋町	(F2)	台風	－	－
23	1969/6/22	山口県阿武郡須佐町	F1	寒冷前線	－	－
24	1969/8/23	千葉県鴨川町	(F1～F2)	台風	－	－
25	1969/10/11	北海道(海上)	不明	気圧の谷	－	－
26	1969/11/18	山形県酒田市	F1	気圧の谷	－	－
27	1969/12/7	愛知県豊橋市	(F2～F3)	二つ玉低気圧	－	－
28	1970/7/7	長崎県福江市	F1	熱帯低気圧(台風以外)	－	－
29	1971/2/1	石川県河北郡内灘町	F1	日本海低気圧	寒冷前線	－
30	1971/8/31	静岡県清水市	F0～F1	台風	－	－
31	1971/8/31	千葉県鴨川市	不明	台風	－	－
32	1971/8/31	千葉県千葉市	(F2)	台風	－	－
33	1971/8/31	千葉県飯岡町	不明	台風	－	－
34	1971/9/8	千葉県飯岡町	(不明)	台風	－	－

	発生日	発生場所	Fスケール※	総観場1	総観場2	総観場3
35	1971/10/17	北海道羽幌町	(F2)	寒気の移流	－	－
36	1971/10/17	北海道羽幌町	F0～F1	寒気の移流	－	－
37	1972/6/6	沖縄県糸満市	不明	東シナ海低気圧	暖気の移流	－
38	1972/6/6	沖縄県糸満市	(F1～F2)	東シナ海低気圧	暖気の移流	－
39	1972/6/6	鹿児島県大島郡知名町	F1	寒冷前線	－	－
40	1972/11/21	富山県黒部市	F1	寒冷前線	寒気の移流	季節風
41	1973/5/21	石川県羽咋郡押水町	F0～F1	寒冷前線	日本海低気圧	－
42	1973/9/27	北海道礼文町	F1	閉塞前線	－	－
43	1973/10/22	秋田県秋田市	F1	日本海低気圧	寒冷前線	－
44	1974/3/13	福島県いわき市	F1	移動性高気圧	－	－
45	1974/4/21	長崎県西彼杵郡外海町	F1	寒冷前線	－	－
46	1974/6/6	静岡県静岡市	F0～F1	気圧の谷	－	－
47	1974/7/6	高知県南国市	(F1～F2)	台風	暖気の移流	－
48	1974/7/8	静岡県磐田郡福田町	F1	台風	停滞前線	－
49	1974/7/8	静岡県小笠郡浜岡町	(F1～F2)	台風	梅雨前線	－
50	1974/8/8	秋田県山本郡峰浜村	F0～F1	寒冷前線	－	－
51	1974/10/3	北海道奥尻郡奥尻町	(F1～F2)	温暖前線	－	－
52	1974/10/20	北海道檜山郡上ノ国町	(F1～F2)	寒冷前線	－	－
53	1975/2/6	鹿児島県大島郡伊仙町	(F2)	南岸低気圧	－	－
54	1975/2/15	東京都大島町	(F1～F2)	季節風	寒気の移流	－
55	1975/5/31	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
56	1975/5/31	島根県簸川郡大社町	F0～F1	日本海低気圧	局地性じょう乱	寒気の移流
57	1975/5/31	島根県簸川郡大社町	F0～F1	日本海低気圧	局地性じょう乱	寒気の移流
58	1975/8/22	三重県熊野市	F1	台風	－	－
59	1975/9/8	北海道奥尻郡奥尻町	(F1～F2)	日本海低気圧	暖気の移流	－
60	1975/10/12	長崎県東彼杵郡東彼杵町	F1	寒冷前線	不安定線	その他（低気圧）
61	1975/10/12	熊本県本渡市	F2	寒冷前線	－	－
62	1975/11/14	高知県安芸郡東洋町	F1	南岸低気圧	温暖前線	－
63	1975/11/15	東京都三宅島三宅村	F1	南岸低気圧	温暖前線	－
64	1975/11/15	千葉県大網白里町	F1	南岸低気圧	－	－
65	1976/2/28	鹿児島県阿久根市	F1	不安定線	－	－
66	1976/8/16	福岡県遠賀郡芦屋町	(F1～F2)	寒冷前線	－	－
67	1976/10/23	沖縄県南風原村	F1	東シナ海低気圧	暖気の移流	－

	発生日	発生場所	Fスケール※	総観場1	総観場2	総観場3
68	1977/1/13	石川県金沢市	F0～F1	日本海低気圧	寒気の移流	－
69	1977/9/8	福岡県福岡市	F1	寒冷前線	台風	寒気の移流
70	1978/2/10	鹿児島県加世田市	F1	寒冷前線	暖気の移流	－
71	1978/2/28	神奈川県川崎市	F2～F3	寒冷前線	暖気の移流	－
72	1978/8/14	北海道豊富町	不明	日本海低気圧	－	－
73	1978/10/27	長崎県西彼杵郡西彼町	F1	局地性じょう乱	寒冷前線	暖気の移流
74	1979/5/27	茨城県鹿島郡旭村	(F1～F2)	気圧の谷	寒気の移流	雷雨（熱雷を除く）
75	1979/9/3	宮崎県宮崎市	F1	台風	－	－
76	1979/10/31	石川県羽咋郡富来町	F0～F1	寒気の移流	日本海低気圧	－
77	1979/11/2	北海道松前郡松前町	(F2)	日本海低気圧	温暖前線	－
78	1980/8/28	長崎県富江町	F1	局地性じょう乱	暖気の移流	－
79	1980/10/13	鹿児島県中種子町	F1	台風	－	－
80	1980/10/14	宮崎県宮崎市	F1	台風	－	－
81	1980/10/14	宮崎県宮崎市	F1	台風	－	－
82	1980/10/31	北海道門別町	(F1～F2)	閉塞前線	－	－
83	1981/6/29	佐賀県佐賀郡川副町	F1	梅雨前線	－	－
84	1983/3/12	沖縄県糸満市	F1	東シナ海低気圧	その他	－
85	1983/4/4	熊本県玉名郡長洲町	F1	寒冷前線	－	－
86	1983/9/25	沖縄県伊是名村	(F2)	台風	－	－
87	1983/9/25	沖縄県東村	F1	台風	－	－
88	1983/9/27	長崎県南松浦郡富江町	F1	台風	－	－
89	1984/11/19	鳥取県米子市	F1	寒冷前線	－	－
90	1985/6/23	福岡県北九州市	F1	梅雨前線	暖気の移流	－
91	1985/8/31	宮崎県日向市	(F1～F2)	台風	暖気の移流	－
92	1985/9/28	鹿児島県枕崎市	(F1～F2)	東シナ海低気圧	－	－
93	1985/10/5	高知県土佐市	F1	台風	太平洋高気圧	暖気の移流
94	1985/10/5	高知県高知市	F1	台風	大陸高気圧	暖気の移流
95	1986/12/19	愛知県渥美郡赤羽根町	F1	閉塞前線	－	－
96	1987/1/5	沖縄県勝連町	(F2)	寒冷前線	－	－
97	1987/1/11	秋田県南秋田郡若美町	F0～F1	その他（低気圧）	－	－
98	1987/1/11	秋田県八竜町	F1	その他（低気圧）	－	－
99	1987/8/30	長崎県富江町	F1	台風	－	－

	発生日	発生場所	Fスケール※	総観場1	総観場2	総観場3
100	1988/9/25	和歌山県串本町	F1	寒冷前線	暖気の移流	－
101	1989/3/16	島根県簸川郡大社町	(F2)	局地性じょう乱	寒気の移流	－
102	1989/7/4	沖縄県沖縄市	F2	停滞前線	暖気の移流	－
103	1989/9/22	大阪府泉南郡岬町	F1	寒冷前線	－	－
104	1990/2/19	鹿児島県枕崎市	(F2～F3)	寒冷前線	暖気の移流	その他(低気圧)
105	1990/3/12	三重県志摩郡志摩町	F1	日本海低気圧	寒冷前線	－
106	1990/4/3	沖縄県国頭郡金武町	F2	寒冷前線	－	－
107	1990/4/6	石川県羽咋郡富来町	F2	オホーツク海低気圧	気圧の谷	－
108	1990/9/19	静岡県浜松市、舞阪町、雄踏町	不明	台風	－	－
109	1990/12/11	千葉県鴨川市	F2	暖気の移流	気圧の谷	雷雨(熱雷を除く)
110	1990/12/12	茨城県海上～那珂湊市	F1	寒気の移流	局地性じょう乱	その他
111	1991/1/13	新潟県(海上)	不明	日本海低気圧	－	－
112	1991/2/13	沖縄県国頭郡恩納村	不明	東シナ海低気圧	暖気の移流	－
113	1991/2/13	沖縄県那覇市	F1	東シナ海低気圧	暖気の移流	－
114	1991/2/15	福井県(湖上)	F1	二つ玉低気圧	－	－
115	1991/4/7	沖縄県島尻郡具志川村	F2	暖気の移流	寒冷前線	－
116	1991/4/7	沖縄県島尻郡具志川村	F1～F2	暖気の移流	寒冷前線	－
117	1991/9/17	北海道(海上)	不明	寒気の移流	気圧の谷	局地性じょう乱
118	1991/11/28	宮崎県日南市	F1	南岸低気圧	－	－
119	1991/11/28	和歌山県日置川町	F0～F1	南岸低気圧	－	－
120	1991/11/28	東京都新島若郷	F0	南岸低気圧	－	－
121	1991/12/11	石川県金沢市	F1	寒冷前線	－	－
122	1992/1/6	鹿児島県大島郡知名町	F1	東シナ海低気圧	寒冷前線	暖気の移流
123	1992/2/15	沖縄県島尻郡具志川村	F1	寒冷前線	－	－
124	1992/3/31	沖縄県(海上)	不明	東シナ海低気圧	暖気の移流	－
125	1992/4/15	和歌山県日置川町	不明	寒冷前線	－	－
126	1992/5/17	沖縄県(海上)	不明	東シナ海低気圧	暖気の移流	－
127	1992/8/7	宮城県本吉郡唐桑町	F1	局地性じょう乱	雷雨(熱雷)	－

	発生日	発生場所	Fスケール※	総観場1	総観場2	総観場3
128	1992/9/13	北海道(海上)	不明	移動性高気圧	－	－
129	1992/9/17	北海道増毛町	F1	寒気の移流	－	－
130	1992/9/17	北海道(海上)	不明	寒気の移流	－	－
131	1992/9/22	沖縄県名護市	F1	台風	－	－
132	1992/11/19	宮崎県北浦町	不明	不安定線	移動性高気圧	－
133	1993/1/7	和歌山県印南町	不明	南岸低気圧	－	－
134	1993/1/23	沖縄県竹富町	F0	停滞前線	－	－
135	1993/5/27	沖縄県西原町	F1	梅雨前線	－	－
136	1993/6/18	福岡県大牟田市	F1	停滞前線	－	－
137	1993/9/3	高知県土佐清水市	F1	台風	－	－
138	1993/9/3	宮崎県延岡市	F0～F1	台風	－	－
139	1993/9/3	高知県吾川郡春野町	F2	台風	－	－
140	1993/9/26	北海道留萌市	不明	寒気の移流	－	－
141	1993/10/17	石川県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
142	1993/10/23	新潟県(海上)	不明	寒冷前線	－	－
143	1993/11/24	新潟県(海上)	不明	季節風	－	－
144	1993/12/1	鹿児島県指宿郡頴娃町	F1	寒冷前線	暖気の移流	－
145	1993/12/1	鹿児島県垂水市	F1	寒冷前線	－	－
146	1994/2/9	山口県(海上)	不明	寒冷前線	季節風	寒気の移流
147	1994/3/23	鹿児島県大島郡伊仙町	F0～F1	その他(低気圧)	－	－
148	1994/3/26	山形県酒田市	F1	寒気の移流	気圧の谷	－
149	1994/8/20	沖縄県伊良部町	F2	台風	－	－
150	1994/9/1	新潟県(海上)	不明	寒冷前線	気圧の谷	雷雨(熱雷を除く)
151	1994/9/29	愛知県豊橋市	F1	台風	－	－
152	1994/9/29	愛知県蒲郡市	F1	台風	－	－
153	1994/9/29	静岡県新居町	F0～F1	台風	－	－
154	1994/10/4	高知県(海上)	不明	暖気の移流	－	－
155	1994/10/4	高知県(海上)	不明	暖気の移流	－	－
156	1994/10/4	高知県(海上)	不明	暖気の移流	－	－
157	1994/10/4	高知県香美郡赤岡町	F0	暖気の移流	－	－
158	1994/10/4	高知県南国市	F0	暖気の移流	－	－
159	1994/10/5	北海道門別町	F1	寒冷前線	－	－
160	1994/10/5	北海道門別町	F1～F2	寒冷前線	－	－
161	1994/10/12	高知県芸西村	F0～F1	日本海低気圧	暖気の移流	－
162	1995/9/23	沖縄県読谷村	F0	台風	－	－
163	1995/9/23	沖縄県与那城町	F1	台風	－	－
164	1995/12/1	石川県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
165	1996/3/30	鹿児島県枕崎市	F1	寒冷前線	日本海低気圧	－

	発生日	発生場所	Fスケール※	総観場1	総観場2	総観場3
166	1996/7/1	鹿児島県喜入町	F1	停滞前線	－	－
167	1996/7/5	千葉県千葉市	F2	日本海低気圧	温暖前線	－
168	1996/8/4	長崎県大村市	F0	局地性じょう乱	－	－
169	1996/9/5	秋田県由利郡金浦町	不明	日本海低気圧	寒冷前線	－
170	1996/10/4	愛媛県(海上)	不明	日本海低気圧	寒気の移流	－
171	1996/10/8	北海道遠別町	F1	気圧の谷	寒気の移流	－
172	1996/11/30	新潟県柏崎市	F1	寒気の移流	－	－
173	1997/1/22	新潟県新潟市	F0	寒気の移流	－	－
174	1997/3/29	沖縄県糸満市	F2	寒冷前線	－	－
175	1997/9/6	高知県(海上)	不明	停滞前線	暖気の移流	－
176	1997/9/14	鹿児島県熊毛郡中種子町	F1	台風	－	－
177	1997/9/16	高知県南国市	F1	台風	暖気の移流	－
178	1997/9/28	愛媛県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
179	1997/10/5	福岡県(海上)	不明	寒冷前線	－	－
180	1997/10/7	北海道苫小牧市	F1	雷雨(熱雷を除く)	暖気の移流	寒気の移流
181	1997/10/14	長崎県壱岐郡郷ノ浦町	F1～F2	寒冷前線	局地性じょう乱	暖気の移流
182	1997/10/14	長崎県壱岐郡郷ノ浦町	F1	局地性じょう乱	寒冷前線	暖気の移流
183	1997/11/17	東京都八丈町	F1	温暖前線	暖気の移流	－
184	1997/11/28	鹿児島県知名町	F0	東シナ海低気圧	暖気の移流	－
185	1998/1/14	沖縄県豊見城村	F0	寒冷前線	暖気の移流	－
186	1998/2/14	沖縄県竹富町	F0	寒冷前線	－	－
187	1998/2/17	沖縄県久米島具志川村	F1～F2	停滞前線	－	－
188	1998/2/19	沖縄県南大東村	F1	その他(低気圧)	－	－
189	1998/4/18	高知県(海上)	不明	南岸低気圧	－	－
190	1998/9/2	長崎県(海上)	不明	気圧の谷	局地性じょう乱	－
191	1998/9/16	宮城県名取市	F1	台風	暖気の移流	－
192	1998/9/18	宮崎県宮崎市	F1	台風	－	－
193	1998/9/24	京都久美浜町	不明	停滞前線	暖気の移流	－
194	1998/9/24	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
195	1998/10/17	宮崎県児湯郡川南町	F0～F1	台風	－	－
196	1998/10/17	宮崎県日向市	F0	台風	－	－
197	1998/10/31	石川県(海上)	不明	日本海低気圧	－	－
198	1998/11/15	山形県酒田市	F1	寒冷前線	－	－

	発生日	発生場所	Fスケール※	総観場1	総観場2	総観場3
199	1999/4/10	高知県芸西村	F1	その他(低気圧)	気圧の谷	－
200	1999/5/4	愛知県渥美郡赤羽根町	F1	日本海低気圧	－	－
201	1999/6/30	静岡県富士市	F0	日本海低気圧	寒冷前線	－
202	1999/7/3	沖縄県(海上)	不明	停滞前線	暖気の移流	－
203	1999/7/21	沖縄県(海上)	不明	熱帯低気圧(台風以外)	－	－
204	1999/8/12	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
205	1999/8/21	山口県阿知須町	(F1～F2)	暖気の移流	雷雨(熱雷)	－
206	1999/9/23	長崎県式見町	F0～F1	停滞前線	局地性じょう乱	台風
207	1999/9/24	高知県南国市	F1	台風	暖気の移流	－
208	1999/9/24	山口県小野田市	F2	台風	－	－
209	1999/9/24	愛知県豊橋市	F3	台風	－	－
210	1999/9/24	愛知県蒲郡市	F1	台風	－	－
211	1999/9/24	愛知県小坂井町	F2	台風	－	－
212	1999/9/24	愛知県海部郡弥富町	F1	台風	－	－
213	1999/10/8	石川県(海上)	不明	寒冷前線	－	－
214	1999/10/20	香川県(海上)	不明	大陸高気圧	寒気の移流	暖気の移流
215	1999/10/27	茨城県多賀郡十王町	F1	南岸低気圧	－	－
216	1999/10/29	秋田県能代市	F0～F1	寒冷前線	－	－
217	1999/11/1	愛知県西尾市	F1	日本海低気圧	－	－
218	1999/11/2	静岡県静岡市	不明	その他(前線)	寒気の移流	－
219	1999/11/15	高知県大方町	F0～F1	日本海低気圧	寒気の移流	－
220	1999/11/25	秋田県八森町	(F1～F2)	日本海低気圧	寒冷前線	－
221	2000/7/25	福井県福井市	不明	停滞前線	－	－
222	2000/7/25	福井県坂井郡三国町	不明	停滞前線	－	－
223	2000/8/7	千葉県(海上)	不明	雷雨(熱雷)	－	－
224	2000/9/11	和歌山県新宮市	F0～F1	台風	停滞前線	暖気の移流
225	2000/9/11	愛知県南知多町	F2	台風	停滞前線	－
226	2000/12/25	東京都大島町	F1	寒気の移流	－	－
227	2001/1/13	沖縄県糸満市	F0	寒冷前線	－	－
228	2001/5/29	愛知県東海市	F0	局地性降水	－	－
229	2001/6/1	青森県西津軽郡岩崎村	F1	局地性じょう乱	－	－
230	2001/6/19	福井県敦賀市	F1	日本海低気圧	－	－
231	2001/7/8	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	－	－

	発生日	発生場所	Fスケール※	総観場1	総観場2	総観場3
232	2001/7/9	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
233	2001/8/4	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
234	2001/8/4	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
235	2001/10/1	和歌山県南部町	F0～F1	日本海低気圧	暖気の移流	－
236	2002/1/21	愛知県田原町	F1	二つ玉低気圧	温暖前線	暖気の移流
237	2002/4/3	沖縄県沖縄市	F2	東シナ海低気圧	気圧の谷	暖気の移流
238	2002/9/23	富山県下新川郡朝日町	F0～F1	寒気の移流	局地性じょう乱	－
239	2002/9/24	秋田県由利本荘市	F1	寒気の移流	－	－
240	2002/10/6	鹿児島県加世田市	F1	寒冷前線	－	－
241	2002/10/6	鹿児島県鹿児島市	F1	寒冷前線	－	－
242	2002/10/6	愛知県南知多町	F1	二つ玉低気圧	－	－
243	2002/10/7	東京都大島町	F1	日本海低気圧	－	－
244	2002/10/7	神奈川県横須賀市	F1	日本海低気圧	雷雨（熱雷を除く）	暖気の移流
245	2002/10/15	静岡県磐田郡浅羽町、小笠郡大須賀町、小笠郡大東町	F0	日本海低気圧	寒冷前線	－
246	2002/11/3	香川県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
247	2002/11/4	石川県加賀市	F0	寒気の移流	－	－
248	2002/11/5	福井県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
249	2002/12/16	高知県室戸市	F0～F1	日本海低気圧	暖気の移流	－
250	2003/1/11	東京都(海上)	不明	気圧の谷	－	－
251	2003/6/19	宮崎県東臼杵郡門川町	F1	台風	－	－
252	2003/7/19	山口県岩国市	F1～F2	梅雨前線	－	－
253	2003/8/8	宮崎県日南市	F0～F1	台風	－	－
254	2003/8/8	宮崎県日向市	F0～F1	台風	－	－
255	2003/8/28	山口県山陽町	F1	寒冷前線	局地性じょう乱	－
256	2003/9/12	高知県高知市	F1	台風	暖気の移流	－
257	2003/9/29	北海道(海上)	不明	気圧の谷	－	－
258	2003/10/12	宮崎県延岡市	F0	その他（低気圧）	－	－
259	2003/10/12	高知県安芸市	F0～F1	停滞前線	暖気の移流	－
260	2003/10/18	福井県(海上)	不明	暖気の移流	－	－
261	2004/6/1	沖縄県北中城村	不明	梅雨前線	暖気の移流	－
262	2004/6/27	佐賀県佐賀市	F2	梅雨前線	－	－
263	2004/8/15	北海道礼文郡礼文町	F0未満	気圧の谷	－	－

	発生日	発生場所	Fスケール※	総観場1	総観場2	総観場3
264	2004/9/16	福岡県北九州市	F1	暖気の移流	雷雨(熱雷)	－
265	2004/9/27	沖縄県名護市	F1	台風	－	－
266	2004/9/27	沖縄県今帰仁村	F1	台風	－	－
267	2004/9/29	愛知県豊橋市	F0～F1	台風	－	－
268	2004/9/30	東京都大田区	F1～F2	台風	－	－
269	2004/10/22	北海道門別町	F2	寒冷前線	暖気の移流	－
270	2005/1/12	鳥取県(海上)	不明	季節風	寒気の移流	－
271	2005/1/27	沖縄県読谷村	F1	寒冷前線	暖気の移流	－
272	2005/5/1	高知県高知市	F0～F1	その他(低気圧)	暖気の移流	－
273	2005/9/5	宮崎県宮崎市	F1	台風	－	－
274	2005/10/2	北海道伊達市	F0	寒冷前線	－	－
275	2005/12/5	島根県出雲市	F1	寒気の移流	－	－
276	2005/12/25	山形県酒田市	F1	寒冷前線	－	－
277	2006/1/19	鹿児島県瀬戸内町	F1	停滞前線	－	－
278	2006/3/28	和歌山県串本町	F1～F2	日本海低気圧	寒冷前線	－
279	2006/4/20	神奈川県藤沢市	F1	寒冷前線	－	－
280	2006/8/13	佐賀県(海上)	不明	雷雨(熱雷)	－	－
281	2006/8/29	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
282	2006/9/17	宮崎県日南市	F1	台風	－	－
283	2006/9/17	宮崎県日向市	F1	台風	－	－
284	2006/9/17	宮崎県延岡市	F2	台風	－	－
285	2006/9/17	大分県臼杵市	F2	台風	－	－
286	2006/9/19	高知県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
287	2006/9/25	沖縄県南大東村	F0	その他	－	－
288	2006/10/11	北海道新ひだか町	F1	寒冷前線	－	－
289	2006/10/11	北海道新ひだか町	F1	寒冷前線	－	－
290	2006/11/6	和歌山県(海上)	不明	日本海低気圧	－	－
291	2006/11/7	北海道日高町	不明	寒冷前線	－	－
292	2006/11/7	北海道日高町	F1	寒冷前線	暖気の移流	－
293	2006/11/9	北海道奥尻郡奥尻町	F1	寒冷前線	暖気の移流	－
294	2006/11/11	山口県山口市	F0	寒冷前線	－	－
295	2006/11/18	沖縄県名護市	F2	停滞前線	－	－
296	2006/11/22	沖縄県東村	F1	停滞前線	暖気の移流	－
297	2006/11/26	高知県土佐清水市	F1	南岸低気圧	暖気の移流	－
298	2007/2/14	沖縄県島尻郡座間味村	F0～F1	寒冷前線	暖気の移流	－
299	2007/2/14	和歌山県日高郡印南町	F1	日本海低気圧	寒冷前線	－
300	2007/3/15	沖縄県中頭郡読谷村	F1	気圧の谷	暖気の移流	－
301	2007/4/18	沖縄県宮古島市	F1	寒冷前線	－	－
302	2007/5/31	千葉県(海上)	不明	雷雨(熱雷を除く)	寒気の移流	－

	発生日	発生場所	Fスケール※	総観場1	総観場2	総観場3
303	2007/8/24	山形県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
304	2007/8/24	山形県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
305	2007/8/28	沖縄県(海上)	不明	雷雨(熱雷)	－	－
306	2007/8/28	沖縄県(海上)	不明	雷雨(熱雷)	－	－
307	2007/8/29	沖縄県(海上)	不明	その他(高気圧)	気圧の谷	－
308	2007/8/29	沖縄県(海上)	不明	その他(高気圧)	気圧の谷	－
309	2007/9/2	沖縄県(海上)	不明	太平洋高気圧	雷雨(熱雷)	－
310	2007/9/9	福岡県(海上)	不明	気圧の谷	局地性じょう乱	－
311	2007/9/14	宮崎県延岡市	不明	台風	－	－
312	2007/10/1	北海道(海上)	不明	気圧の谷	寒気の移流	－
313	2007/10/1	北海道(海上)	不明	気圧の谷	寒気の移流	－
314	2007/10/1	北海道(海上)	不明	気圧の谷	－	－
315	2007/10/4	北海道(海上)	不明	気圧の谷	暖気の移流	地形効果
316	2007/10/4	北海道(海上)	不明	気圧の谷	暖気の移流	－
317	2007/10/4	佐賀県佐賀市	F0	太平洋高気圧	気圧の谷	－
318	2007/10/4	北海道(海上)	不明	気圧の谷	－	－
319	2007/10/9	鹿児島県長島町	不明	東シナ海低気圧	－	－
320	2007/10/9	鹿児島県(海上)	不明	東シナ海低気圧	－	－
321	2007/10/9	鹿児島県(海上)	不明	東シナ海低気圧	－	－
322	2007/10/11	青森県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
323	2007/10/11	青森県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
324	2007/10/14	三重県(海上)	不明	停滞前線	気圧の谷	－
325	2007/10/14	長崎県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
326	2007/10/14	長崎県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
327	2007/10/16	島根県(海上)	不明	気圧の谷	寒気の移流	－
328	2007/10/17	北海道(海上)	不明	気圧の谷	寒気の移流	－
329	2007/11/22	富山県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
330	2007/12/2	山形県酒田市	F0	気圧の谷	－	－
331	2008/3/25	神奈川県(海上)	不明	気圧の谷	寒気の移流	－
332	2008/3/25	神奈川県(海上)	不明	気圧の谷	寒気の移流	－
333	2008/3/25	神奈川県(海上)	不明	気圧の谷	寒気の移流	－
334	2008/3/27	鹿児島県いちき串木野市	F1	東シナ海低気圧	－	－
335	2008/3/27	鹿児島県垂水市	F1	東シナ海低気圧	－	－

	発生日	発生場所	Fスケール※	総観場1	総観場2	総観場3
336	2008/4/7	高知県土佐清水市	F0	その他(低気圧)	―	―
337	2008/4/9	鹿児島県枕崎市	F0	東シナ海低気圧	―	―
338	2008/4/23	愛知県豊橋市	不明	気圧の谷	―	―
339	2008/5/1	鹿児島県熊毛郡中種子町	F0	その他(低気圧)	―	―
340	2008/5/19	愛知県(海上)	不明	気圧の谷	南岸低気圧	―
341	2008/5/27	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	―	―
342	2008/5/27	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	―	―
343	2008/5/27	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	―	―
344	2008/6/1	秋田県(海上)	不明	日本海低気圧	―	―
345	2008/6/29	高知県安芸市	F0	梅雨前線	―	―
346	2008/7/3	沖縄県(海上)	不明	太平洋高気圧	気圧の谷	―
347	2008/7/22	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	―	―
348	2008/7/22	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	―	―
349	2008/7/22	沖縄県島尻郡与那原町	F0未満	気圧の谷	―	―
350	2008/7/22	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	―	―
351	2008/7/22	沖縄県島尻郡与那原町付近	不明	気圧の谷	―	―
352	2008/7/22	沖縄県島尻郡与那原町付近	不明	気圧の谷	―	―
353	2008/7/30	鳥取県(海上)	不明	暖気の移流	―	―
354	2008/7/30	鳥取県(海上)	不明	暖気の移流	―	―
355	2008/7/30	鳥取県(海上)	不明	暖気の移流	―	―
356	2008/7/30	鳥取県(海上)	不明	暖気の移流	―	―
357	2008/7/30	鳥取県(海上)	不明	暖気の移流	―	―
358	2008/7/30	鳥取県(海上)	不明	暖気の移流	―	―
359	2008/7/30	鳥取県(海上)	不明	暖気の移流	―	―
360	2008/8/8	沖縄県(海上)	不明	その他(低気圧)	―	―
361	2008/8/8	沖縄県石垣市	不明	その他(低気圧)	―	―
362	2008/8/12	福岡県(海上)	不明	その他(低気圧)	暖気の移流	―
363	2008/8/12	福岡県福津市	F0	その他(低気圧)	暖気の移流	―
364	2008/8/14	山形県(海上)	不明	熱帯低気圧(台風以外)	暖気の移流	―
365	2008/8/15	鳥取県鳥取市	F0以下	熱帯低気圧(台風以外)	雷雨(熱雷を除く)	―
366	2008/8/16	千葉県千葉市	F0以下	台風	停滞前線	雷雨(熱雷)

	発生日	発生場所	F スケール※	総観場 1	総観場 2	総観場 3
367	2008/8/16	千葉県(海上)	不明	台風	停滞前線	雷雨(熱雷)
368	2008/8/26	鹿児島県(海上)	不明	暖気の移流	－	－
369	2008/9/6	愛媛県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
370	2008/9/14	北海道(海上)	不明	寒気の移流	－	－
371	2008/9/14	北海道(海上)	不明	寒気の移流	－	－
372	2008/9/21	香川県仲多度郡多度津町	F1	停滞前線	－	－
373	2008/9/21	新潟県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
374	2008/9/21	徳島県鳴門市	F0 未満	停滞前線	－	－
375	2008/10/1	秋田県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
376	2008/10/1	秋田県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
377	2008/10/7	沖縄県(海上)	不明	停滞前線	－	－
378	2008/10/7	沖縄県(海上)	不明	停滞前線	－	－
379	2008/10/7	沖縄県島尻郡久米島町	F0 未満	停滞前線	－	－
380	2008/10/7	沖縄県(海上)	不明	停滞前線	－	－
381	2008/10/7	沖縄県名護市	F0～F1	停滞前線	－	－
382	2008/10/10	秋田県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
383	2008/10/10	秋田県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
384	2008/10/10	秋田県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
385	2008/10/10	沖縄県糸満市	不明	気圧の谷	－	－
386	2008/10/11	北海道檜山郡江差町	F0	寒冷前線	－	－
387	2008/10/15	新潟県新潟市	F0	気圧の谷	－	－
388	2008/10/15	山形県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
389	2008/10/15	新潟県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
390	2008/10/24	三重県志摩市	F1	南岸低気圧	－	－
391	2008/10/26	新潟県新潟市	F0	寒冷前線	－	－
392	2008/10/27	福井県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
393	2008/10/27	千葉県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
394	2008/10/27	千葉県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
395	2008/10/27	千葉県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
396	2008/10/27	千葉県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
397	2008/10/27	千葉県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
398	2008/10/30	鳥取県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
399	2008/10/30	鳥取県岩美郡岩美町	F0	寒気の移流	－	－
400	2008/10/30	鳥取県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
401	2008/10/31	石川県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
402	2008/11/2	新潟県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
403	2008/11/3	徳島県(海上)	不明	その他(前線)	寒気の移流	－
404	2008/11/7	北海道様似郡様似町	F0～F1	寒冷前線	－	－
405	2008/11/8	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
406	2008/11/19	石川県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
407	2008/11/19	新潟県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
408	2008/11/20	新潟県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
409	2008/11/20	石川県(海上)	不明	寒気の移流	－	－

	発生日	発生場所	Fスケール※	総観場1	総観場2	総観場3
410	2008/11/20	石川県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
411	2008/11/20	石川県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
412	2008/11/20	新潟県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
413	2008/11/20	石川県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
414	2008/11/23	石川県羽咋郡志賀町	F0～F1	気圧の谷	寒気の移流	－
415	2008/12/5	東京都品川区	F1	寒冷前線	－	－
416	2008/12/6	大分県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
417	2009/1/24	北海道(海上)	不明	寒気の移流	－	－
418	2009/1/24	北海道(海上)	不明	寒気の移流	－	－
419	2009/2/7	秋田県秋田市	F0	寒冷前線	－	－
420	2009/2/26	沖縄県(海上)	不明	その他(高気圧)	－	－
421	2009/3/9	沖縄県糸満市	F0	寒冷前線	－	－
422	2009/3/14	鳥取県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
423	2009/6/26	沖縄県(海上)	不明	梅雨前線	－	－
424	2009/7/6	沖縄県(海上)	不明	暖気の移流	－	－
425	2009/7/6	沖縄県石垣市	不明	暖気の移流	－	－
426	2009/7/25	高知県安芸市	F0	梅雨前線	－	－
427	2009/7/30	沖縄県(海上)	不明	その他(高気圧)	－	－
428	2009/8/8	沖縄県宮古島市	不明	台風	－	－
429	2009/8/8	沖縄県宮古島市	F0	台風	－	－
430	2009/8/8	沖縄県(海上)	不明	台風	－	－
431	2009/8/23	山形県鶴岡市	不明	気圧の谷	寒気の移流	－
432	2009/8/23	山形県鶴岡市	不明	気圧の谷	寒気の移流	－
433	2009/9/10	新潟県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
434	2009/9/10	新潟県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
435	2009/9/13	山形県鶴岡市	F0	日本海低気圧	－	－
436	2009/9/15	沖縄県(海上)	不明	暖気の移流	－	－
437	2009/10/4	秋田県秋田市	不明	気圧の谷	－	－
438	2009/10/8	千葉県山武郡九十九里町	F1	台風	暖気の移流	－
439	2009/10/27	新潟県糸魚川市	不明	寒気の移流	－	－
440	2009/10/30	青森県西津軽郡深浦町	F0	寒冷前線	寒気の移流	－
441	2009/10/30	秋田県能代市	F1	寒冷前線	－	－
442	2009/11/3	富山県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
443	2009/11/3	富山県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
444	2009/11/3	富山県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
445	2009/11/3	富山県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
446	2009/11/3	富山県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
447	2009/11/6	熊本県(海上)	不明	暖気の移流	－	－
448	2009/11/11	静岡県掛川市	F0	寒気の移流	－	－
449	2009/11/13	宮崎県児湯郡川南町	F0	その他(低気圧)	－	－

	発生日	発生場所	F スケール※	総観場 1	総観場 2	総観場 3
450	2009/12/18	石川県金沢市	F0	寒気の移流	－	－
451	2009/12/18	鳥取県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
452	2010/2/1	鹿児島県南さつま市	F0	東シナ海低気圧	寒冷前線	－
453	2010/2/1	鹿児島県南九州市	F0	東シナ海低気圧	寒冷前線	－
454	2010/4/24	長崎県(海上)	不明	移動性高気圧	－	－
455	2010/4/29	高知県安芸市	F0	寒冷前線	－	－
456	2010/6/25	宮崎県児湯郡都農町	F0	梅雨前線	－	－
457	2010/7/9	和歌山県東牟婁郡那智勝浦町	F0	梅雨前線	－	－
458	2010/7/25	沖縄県(海上)	不明	太平洋高気圧	－	－
459	2010/7/28	沖縄県(海上)	不明	暖気の移流	－	－
460	2010/8/4	愛知県(海上)	不明	暖気の移流	－	－
461	2010/8/11	高知県香南市	F0	台風	暖気の移流	－
462	2010/8/14	沖縄県(海上)	不明	太平洋高気圧	－	－
463	2010/8/18	沖縄県(海上)	不明	太平洋高気圧	－	－
464	2010/8/25	北海道(海上)	不明	気圧の谷	－	－
465	2010/8/25	北海道留萌市	F0 未満	気圧の谷	－	－
466	2010/9/7	秋田県秋田市	F0	停滞前線	－	－
467	2010/9/13	沖縄県島尻郡伊是名村	F0	太平洋高気圧	－	－
468	2010/9/16	兵庫県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
469	2010/9/17	新潟県(海上)	不明	気圧の谷	寒気の移流	－
470	2010/9/17	新潟県長岡市	F0 以下	気圧の谷	寒気の移流	－
471	2010/9/23	和歌山県(海上)	不明	停滞前線	－	－
472	2010/9/28	静岡県焼津市	F0	二つ玉低気圧	－	－
473	2010/10/2	沖縄県(海上)	不明	その他(高気圧)	－	－
474	2010/10/2	沖縄県(海上)	不明	その他(高気圧)	－	－
475	2010/10/7	高知県(海上)	不明	その他(高気圧)	－	－
476	2010/10/9	千葉県南房総市	F0	その他(低気圧)	－	－
477	2010/10/15	石川県羽咋郡志賀町	F0	気圧の谷	寒気の移流	－
478	2010/10/15	新潟県胎内市	F0	気圧の谷	寒気の移流	－
479	2010/10/15	新潟県胎内市	F1	気圧の谷	寒気の移流	－
480	2010/10/17	秋田県山本郡八峰町	F0	気圧の谷	－	－

	発生日	発生場所	Fスケール※	総観場1	総観場2	総観場3
481	2010/10/17	秋田県潟上市	F0	気圧の谷	－	－
482	2010/10/22	沖縄県島尻郡久米島町	F0以下	停滞前線	暖気の移流	－
483	2010/10/26	北海道(海上)	不明	寒気の移流	－	－
484	2010/10/26	北海道(海上)	不明	寒気の移流	－	－
485	2010/10/26	北海道(海上)	不明	寒気の移流	－	－
486	2010/10/26	北海道石狩市	F0未満	寒気の移流	－	－
487	2010/10/26	北海道(海上)	不明	寒気の移流	－	－
488	2010/10/26	北海道(海上)	不明	寒気の移流	－	－
489	2010/10/26	北海道(海上)	不明	寒気の移流	－	－
490	2010/10/26	北海道(海上)	不明	寒気の移流	－	－
491	2010/11/1	千葉県山武郡九十九里町	F0	南岸低気圧	－	－
492	2010/11/12	秋田県山本郡八峰町	F0	寒冷前線	－	－
493	2010/11/22	鹿児島県大島郡和泊町	F0	停滞前線	暖気の移流	－
494	2010/11/29	石川県羽咋郡志賀町	F0	寒気の移流	－	－
495	2010/11/29	福井県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
496	2010/11/29	福井県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
497	2010/11/29	福井県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
498	2010/12/3	神奈川県鎌倉市	F0～F1	日本海低気圧	暖気の移流	－
499	2010/12/3	新潟県新潟市	F0	気圧の谷	寒気の移流	－
500	2010/12/3	新潟県新潟市	F0未満	気圧の谷	寒気の移流	－
501	2010/12/3	新潟県新潟市	F1	気圧の谷	寒気の移流	－
502	2010/12/9	新潟県上越市	F0～F1	気圧の谷	寒気の移流	－
503	2010/12/15	富山県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
504	2010/12/16	新潟県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
505	2010/12/17	北海道(海上)	不明	気圧の谷	－	－
506	2010/12/18	鳥取県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
507	2010/12/24	鳥取県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
508	2010/12/27	石川県羽咋郡志賀町	F0	寒気の移流	－	－
509	2010/12/29	京都(海上)	不明	寒気の移流	－	－
510	2010/12/29	京都(海上)	不明	寒気の移流	－	－
511	2011/1/2	長崎県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
512	2011/1/2	長崎県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
513	2011/1/3	新潟県(海上)	不明	気圧の谷	寒気の移流	－
514	2011/2/3	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
515	2011/2/11	沖縄県豊見城市	F0	停滞前線	－	－
516	2011/2/25	沖縄県(海上)	不明	その他(高気圧)	－	－
517	2011/3/9	福井県あわら市	F0未満	寒気の移流	－	－
518	2011/3/9	鳥取県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
519	2011/3/31	新潟県(海上)	F0未満	気圧の谷	寒気の移流	－
520	2011/5/28	沖縄県石垣市	F1	台風	－	－
521	2011/7/18	三重県津市	F0	台風	暖気の移流	－
522	2011/8/13	青森県(海上)	不明	暖気の移流	－	－

	発生日	発生場所	Fスケール※	総観場1	総観場2	総観場3
523	2011/8/20	北海道(海上)	不明	気圧の谷	－	－
524	2011/8/20	北海道(海上)	不明	気圧の谷	－	－
525	2011/8/20	北海道(海上)	不明	気圧の谷	－	－
526	2011/8/21	長崎県平戸市	F0	停滞前線	その他(低気圧)	－
527	2011/8/21	福岡県福岡市	F1	その他(低気圧)	－	－
528	2011/8/22	北海道(海上)	不明	気圧の谷	－	－
529	2011/8/22	沖縄県(海上)	不明	太平洋高気圧	－	－
530	2011/8/22	沖縄県(海上)	不明	太平洋高気圧	－	－
531	2011/8/23	長崎県(海上)	不明	停滞前線	－	－
532	2011/9/20	北海道(海上)	不明	気圧の谷	－	－
533	2011/10/14	宮崎県延岡市	F0	暖気の移流	－	－
534	2011/10/21	高知県土佐清水市	F0	暖気の移流	－	－
535	2011/11/15	新潟県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
536	2011/11/15	新潟県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
537	2011/11/15	新潟県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
538	2011/11/15	新潟県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
539	2011/11/15	新潟県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
540	2011/11/18	鹿児島県大島郡徳之島町	F2	停滞前線	暖気の移流	－
541	2011/11/24	富山県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
542	2011/11/25	富山県(海上)	不明	寒気の移流	－	－
543	2011/11/30	沖縄県(海上)	不明	停滞前線	気圧の谷	－
544	2011/12/4	東京都(海上)	不明	寒気の移流	－	－
545	2011/12/4	東京都(海上)	不明	寒気の移流	－	－
546	2011/12/4	東京都(海上)	不明	寒気の移流	－	－
547	2011/12/4	東京都(海上)	不明	寒気の移流	－	－
548	2011/12/24	石川県(海上)	不明	気圧の谷	寒気の移流	－
549	2012/2/1	島根県出雲市	F0	寒冷前線	－	－
550	2012/2/28	沖縄県うるま市	F0	停滞前線	－	－
551	2012/5/9	愛知県(海上)	不明	気圧の谷	寒気の移流	－
552	2012/5/13	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
553	2012/5/13	沖縄県(海上)	不明	気圧の谷	－	－
554	2012/6/5	沖縄県島尻郡南大東村	F0	台風	－	－

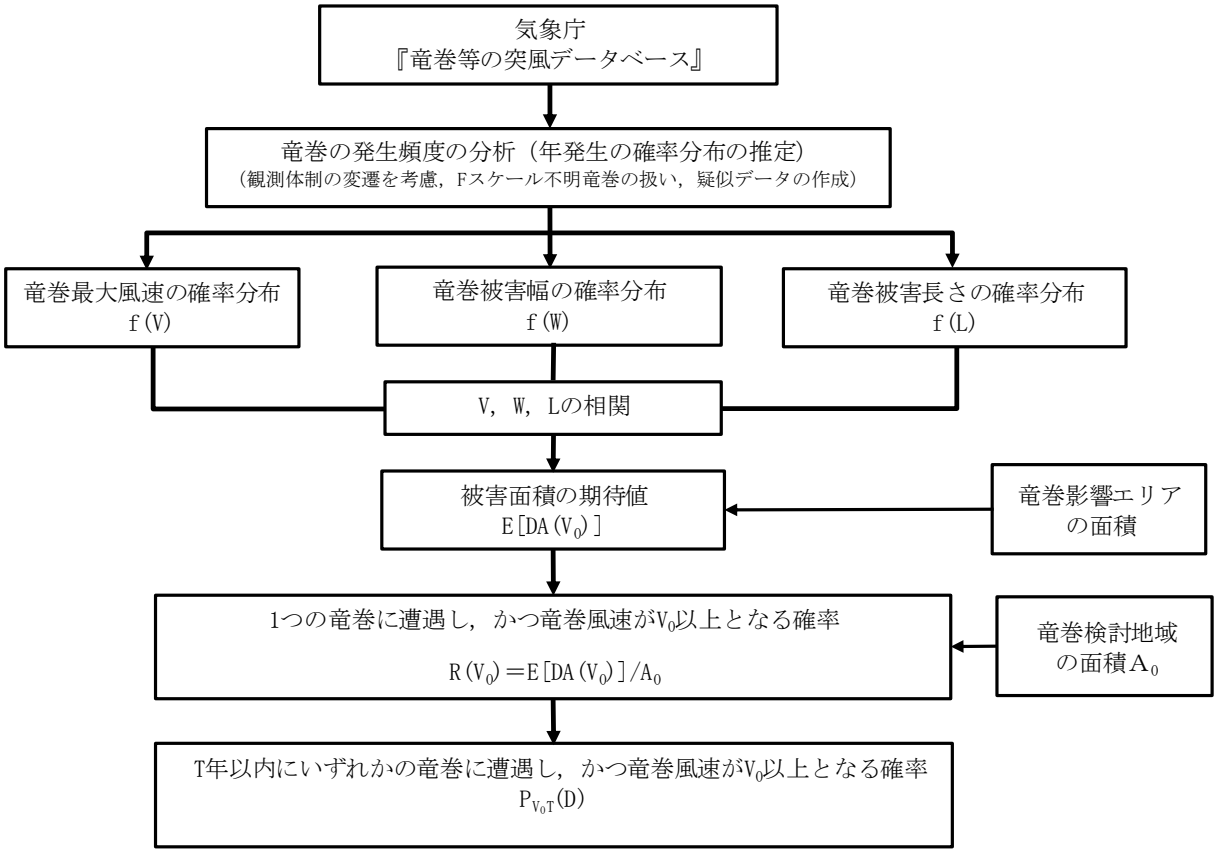
※ Fスケールは，ア）被害の詳細な情報等から推定できたもの，イ）文献等からの引用又は被害のおおまかな情報等から推定したものがあり，F2以上の事例ではア）とイ）を区別し，イ）の場合には値を括弧で囲んでいる。

竜巻最大風速のハザード曲線の求め方

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（以下，「竜巻影響評価ガイド」という）に基づき，竜巻に遭遇し，かつ竜巻がある風速以上になる確率モデルの推定法（Wen and Chu及びGarson et. al）に基づいて竜巻最大風速のハザード曲線を算定し，V_{B2}を算定した。具体的には，独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究の成果（以下，「東京工芸大学委託成果」という。）も参考とし以下のとおり算定した。

1. 評価フロー

本評価は，竜巻の発生頻度の分析，竜巻風速・被害幅・被害長さの確率密度分布及び相関係数の算定，並びにハザード曲線の算出によって構成されている。評価フローを第1.1図に示す。



第 1.1 図　竜巻最大風速ハザード曲線の算定フロー

2. 竜巻の発生頻度の分析

2.1 適用データ

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1961年～2012年6月までの竜巻発生データを用いた。

2.2 竜巻の発生頻度

気象庁「竜巻等の突風データベース」は 1961 年以降のデータがデータベース化されているが，観測体制は近年になるほど強化されており，年代により観測値の質にばらつきがある。観測体制が強化された 2007 年以降は，発生数が非常に多くなっており，海上竜巻の増加が特に顕著である。ただし，これら海上竜巻の多くは，その詳細が“不明”となっているのも特徴である。

観測体制の変遷や観測された竜巻の特徴を考慮して，解析に用いるデータの観測期間を以下のように設定した。

- ✓ 観測体制が強化された2007～2012/6（5.5年間）
- ✓ 観測体制が整備された1991～2012/6（21.5年間）
- ✓ 観測記録が整備された1961～2012/6（51.5年間）

上記 3 つの観測期間について，竜巻発生数，年間平均発生数及びその標準偏差を F スケール毎に調査した結果を表 2.1 に示す。同表の 1～3 段目までは，1961～，1991～，2007～2012/6 の結果をそれぞれ表し，小計は F0 から F3 竜巻の発生数の合計，総数は不明（陸上・海上）も含めた合計を表す。

1961 年以降の 51.5 年間で，29 個の竜巻が観測されているが，そのうちの 13 個（45%）は F1 竜巻である。詳細が不明な竜巻は 6 個観測されているが，そのうちの 2 個は 2007 年以降の 5.5 年間に観測された海上竜巻である。F0 竜巻については，2 個観測されており，そのうち 1 個は 2007 年以降の観測である（残りの 1 個は 2005 年に観測）。

一方，F2 竜巻については，51.5 年間で 7 個観測されているが，2007 年以降の発生例は無く，観測体制の強化に伴う影響をそれほど受けていないことが示唆される。また，F3 竜巻は，1967 年に千葉県飯岡町で観測された F2.5 竜巻（被害域長さ 11km）の 1 例である。

以上の結果を踏まえ，擬似的な 51.5 年間のデータや統計量を F スケール毎に作成した。その基本的な考え方は以下のとおりある。

① 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。

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 被害が小さくて見過ごされやすい F0 及び F 不明竜巻は，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。

④　51.5 年間の発生数を，①～③の観測期間との比率から F スケール毎に推計する。

このようにして得られた結果（以下,「疑似データ」という。）を第2.1表の4段目に示す。ここでの小計には，陸上での不明竜巻を含めた。その結果，51.5年間に発生した竜巻61個のうち,不明も含む陸上竜巻が42個,海上竜巻は19個と推定された。

竜巻は，被害があって初めてその F スケールが推定されるため，陸上での不明竜巻（上陸竜巻を含む）は被害が少ない F0 竜巻に分類するのが合理的である。一方，海上竜巻(非上陸)については,その竜巻スケールを推定することは困難であるが，沿岸部近傍での竜巻の発生特性は陸上と海上では類似していると考えられる。【参考資料 1】そこで，以下のような仮定の下に，検討地域の竜巻発生数を推計した。

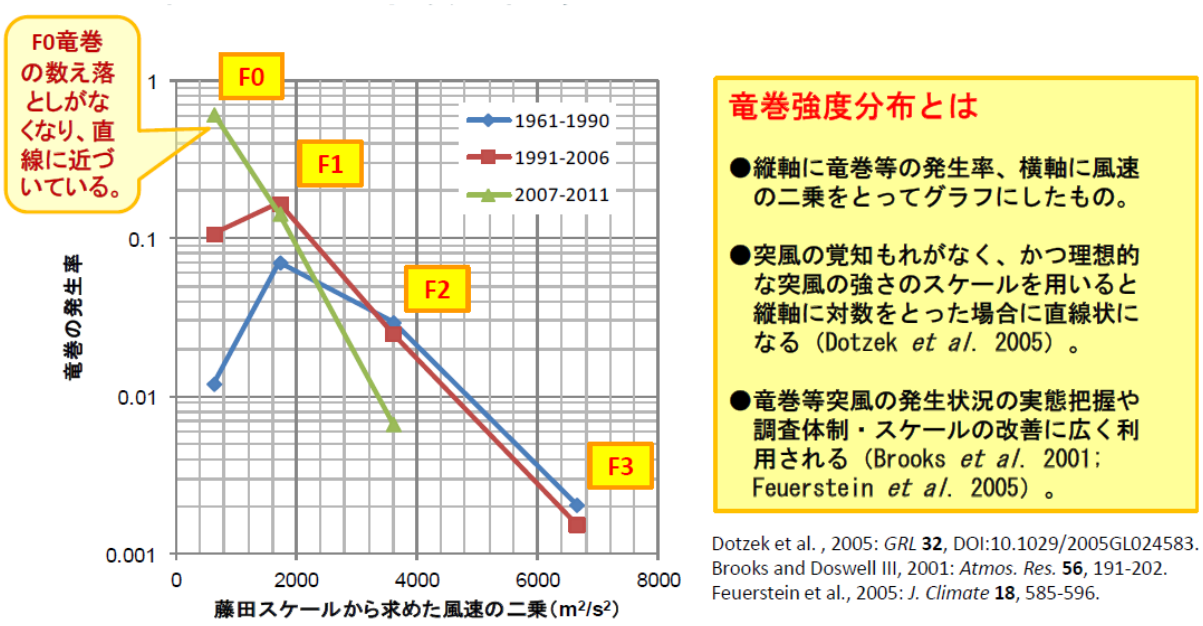
⑤　陸上で発生した F スケールが不明な竜巻，及び海上で発生しその後上陸した F 不明竜巻は F0 に含める。これにより，全ての陸上竜巻を F0～F3 に分類する。
⑥　沿岸部近傍での海上竜巻の発生特性は，陸上竜巻の発生特性と類似しているとの仮定の下，不明な海上竜巻の発生数を陸上竜巻の F スケール別発生比率で按分する。

このようにして得られた結果を第 2.1 表の 5 段目に示す。検討地域における 51.5 年間の竜巻の発生総数は 63 個，その 5 割以上が F1，2 割以上が F0 と推定された。また，F2 竜巻は，実際の観測数は 51.5 年間で 7 個であったが，海上竜巻を考慮したため，疑似データでは 11 個に増加している。

また，第 2.1 図に示す日本における竜巻強度分布の変遷より，理想的な竜巻強度分布（縦軸：竜巻の発生率，横軸：風速の二乗）は直線上になる。今回の実施した疑似データ作成方法においても,直線となる期間から F スケール毎の使用データを選定しており，適切な方法と考えられる。

第 2.1 表　竜巻発生数の分析結果

竜巻検討地域（沿岸 ±5 km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不　明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	23	2	13	7	1	3	3	29
	平均値（年）	0.45	0.04	0.25	0.14	0.02	0.06	0.06	0.56
	標準偏差（年）	0.67	0.20	0.56	0.35	0.14	0.31	0.31	0.81
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	14	2	10	2	0	1	3	18
	平均値（年）	0.65	0.09	0.47	0.09	0.00	0.05	0.14	0.84
	標準偏差（年）	0.80	0.30	0.75	0.30	0.00	0.22	0.47	0.97
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	3	1	2	0	0	0	2	5
	平均値（年）	0.55	0.18	0.36	0.00	0.00	0.00	0.36	0.91
	標準偏差（年）	0.58	0.43	0.55	0.00	0.00	0.00	0.86	0.80
疑似51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	42	10	24	7	1	0	19	61
	平均値（年）	0.80	0.18	0.47	0.14	0.02	0.00	0.36	1.17
	標準偏差（年）	0.93	0.43	0.75	0.35	0.14	0.00	0.86	1.27
疑似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	63	15	35	11	2	0	0	0
	平均値（年）	1.17	0.26	0.68	0.20	0.03	0.00	0.00	0.00
	標準偏差（年）	1.13	0.52	0.90	0.42	0.17	0.00	0.00	0.00



第 2.1 図　日本における竜巻強度分布の変遷
（出典：気象庁「竜巻等突風の強さの評定に関する検討会」第一回資料 3）

2.3 年発生数の確率密度分布の設定

設定に当たっては，竜巻は気象事象の中でも極めて稀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，東京工芸大学委託成果にならってポリヤ分布により設定した。

なお，ポリヤ分布は，竜巻影響評価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，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。【参考資料2】

3. 竜巻の被害幅，被害長さの分析

竜巻発生数と同様にして，3つの観測期間を対象にして，被害幅の観測データを解析した結果を第3.1表に示す。ここで記載したF不明とは，被害幅とFスケールの両方もしくは片方が不明であることを表す。また，気象庁のデータベース上で，被害幅が0mと記録されている竜巻も不明扱いとし，解析対象からは除外した。

本竜巻検討地域では，51.5年間に29個の竜巻が観測されているが，Fスケールが分かっているものが23個（第2.1表の1段目の小計），Fスケールと幅の両方が分かっているものが19個（第3.1表の1段目の小計）である。被害幅の解析に利用可能なデータ数は，発生数のデータ数に比べて少ないことが分かる。先に推定したFスケール毎の発生数（第2.1表）との整合性も確保する必要がある。そこで，以下のようにして51.5年間の被害幅の統計量を推定した。

① 統計量を確保するために，1961 年以降の観測データを使用し，F スケール別に被害幅データを抽出する。このデータをもとに，F スケール別に被害幅のデータや平均値・標準偏差を求める（第 3.1 表の上段)。
② 各スケール別の 51.5 年間のデータ数は，①で得られる観測値ではなく，第 2.1 表で推定された 51.5 年間の疑似データの発生数とする。
③ 具体的には，①で抽出された F スケール別の被害幅データを大きい順に並び替え※，②で設定した 51.5 年間の発生数分だけ繰り返し集積を行い，51.5 年間の疑似データ（幅のデータ）を作成する。
④ 作成された疑似データの平均値や標準偏差を求める。

※：51.5年間の発生数分だけ繰り返し集積する際に，より大きな被害幅データを集積することで保守的なデータとなるように，大きい順に並べ替えた。

このようにして求めた結果を第 3.1 表の最下段に示す。F スケール別の平均値や標準偏差は，繰り返し集積を行っている関係で，最上段の観測値とは若干異なっている（若干大きい)。以上により，F スケール毎の被害幅の発生特性を保持しつつ，発生数との整合性を確保することができる。

竜巻被害長さについても，被害域幅と同様の解析を行った。結果を第 3.2 表に示す。

第 3.1 表　竜巻被害域幅の解析結果

竜巻検討地域 （沿岸 ±5 km）	竜巻幅 の統計 (m)	小計	竜巻スケール				不　明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～ 2012/6 （51.5年間）	期間内総数	19	1	12	5	1	7	3	29
	平均値 (m)	112	150	121	75	150			
	標準偏差 (m)	110	―	133	71	―			
1991～ 2012/6 （21.5年間）	期間内総数	12	1	10	1	0	3	3	18
	平均値 (m)	108	150	112	30	―			
	標準偏差 (m)	117	―	131	―	0			
2007～ 2012/6 （5.5年間）	期間内総数	3	1	2	0	0	0	2	5
	平均値 (m)	67	150	25	―	―			
	標準偏差 (m)	62	―	7	0	0			
疑似 51.5年間 （全竜巻）	期間内総数	63	15	35	11	2	0	0	63
	平均値 (m)	124	150	124	86	150			
	標準偏差 (m)	103	0	130	74	0			

第 3.2 表　竜巻被害域長さの解析結果

竜巻検討地域 （沿岸 ±5 km）	被害長さ の統計(km)	小計	竜巻スケール				不　明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～ 2012/6 （51.5年間）	期間内総数	21	2	12	6	1	5	3	29
	平均値 (km)	3.119	0.500	1.875	5.167	11.000			
	標準偏差 (km)	3.851	0.000	1.562	5.680	―			
1991～ 2012/6 （21.5年間）	期間内総数	14	2	10	2	0	1	3	18
	平均値 (km)	1.393	0.500	1.500	1.750	―			
	標準偏差 (km)	1.124	0.000	1.168	1.768	0.000			
2007～ 2012/6 （5.5年間）	期間内総数	3	1	2	0	0	0	2	5
	平均値 (km)	0.967	0.500	1.200	―	―			
	標準偏差 (km)	0.548	―	0.707	0.000	0.000			
疑似 51.5年間 （全竜巻）	期間内総数	63	15	35	11	2	0	0	63
	平均値 (km)	2.510	0.500	1.917	5.591	11.000			
	標準偏差 (km)	3.357	0.000	1.517	5.467	0.000			

4. 竜巻風速，被害幅，被害長さの確率分布，相関係数

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，竜巻風速・被害幅・被害長さの確率分布が必要となる。そこで，本竜巻検討地域における51.5年間の竜巻の発生数・被害幅・被害長さのデータ（第4.1表）を用いて各確率密度分布を求める。その際，竜巻影響評価ガイド並びに東京工芸大学委託成果を参照して，確率密度関数が対数正規分布に従うものとした。

①竜巻風速の確率密度分布

Fスケールの竜巻風速には幅があるため，具体的な風速の設定方法には任意性があり，Fスケールの範囲内のある値（中央値等）に設定する方法やFスケールの風速範囲内で一様に分布すると仮定する方法などが考えられる。

第4.1図に竜巻風速が中央値に集中した場合（黒い実線）及び一様に分布するとした場合（赤い実線）について，風速の分布形（超過確率）を推定した結果を示す。●印は，各Fスケール下限値における観測値（疑似51.5年間データ）の超過確率を表しており，例えば，F0の下限値(17m/s)以上となる確率は1.0，F2の下限値(50m/s)以上となる確率は約0.2である。また，〇印は，F3が1個観測された場合を仮定してプロットをした。

ハザード解析においては，特定の風速以上となる確率が重要であることから，●印で表された観測値ベースの超過確率と適合度が高い分布形が望ましい。第4.1図(a)の〇印も含めて評価すると，中央値の方が一様分布の場合よりも適合度が良いと言える。

以上より，風速分布としては中央値を採用した。風速分布を中央値とした場合の竜巻風速の確率密度分布，年超過確率分布の算定結果を第4.2図に示す。

②竜巻の被害幅の確率密度分布

竜巻の被害幅は，竜巻風速とは異なり具体的な値が直接観測されていることから，任意性はなく，観測値から作成した疑似データに基づき，確率密度分布を推定する。

竜巻の被害幅の確率密度分布，年超過確率分布の算定結果を第4.3図に示す。算定結果は，年超過確率の図より観測結果を適切に推定できていることがわかる。

③竜巻の被害長さの確率密度分布

竜巻の被害長さは，竜巻風速とは異なり具体的な値が直接観測されていることから，任意性はなく，観測値から作成した疑似データに基づき，確率密度分布を推定する。

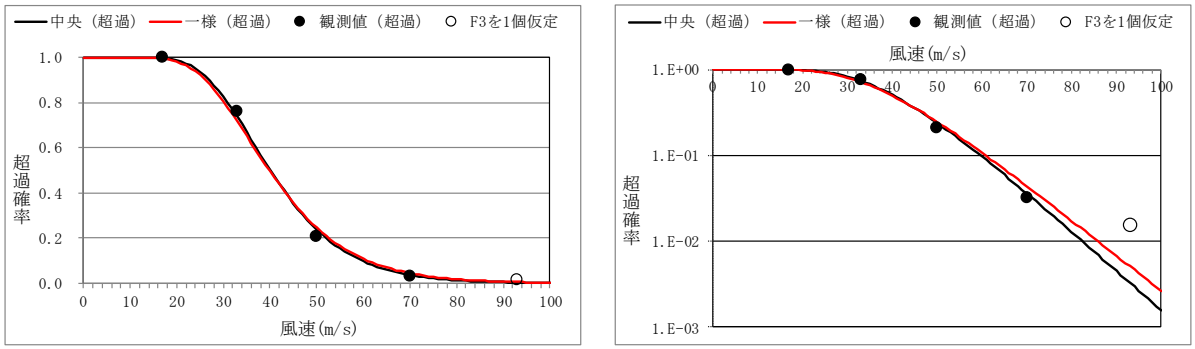
竜巻の被害長さの確率密度分布，年超過確率分布の算定結果を第4.4図に示す。算定結果は，年超過確率の図より観測結果を適切に推定できていることがわかる。

ハザード曲線を算定する際，2変量又は3変量の確率分布関数を対象とするため，竜巻風速，被害幅，被害長さの相関係数の検討を実施した。相関係数は，1961年以降の観測データで，3変量が同時に観測されているデータを用いるのが理想的であるが，十分なデータ数を確保するため，風速と幅のみが観測されているデータ等，2変量の比較が行える観測データも併せて用いて相関係数を算定した。

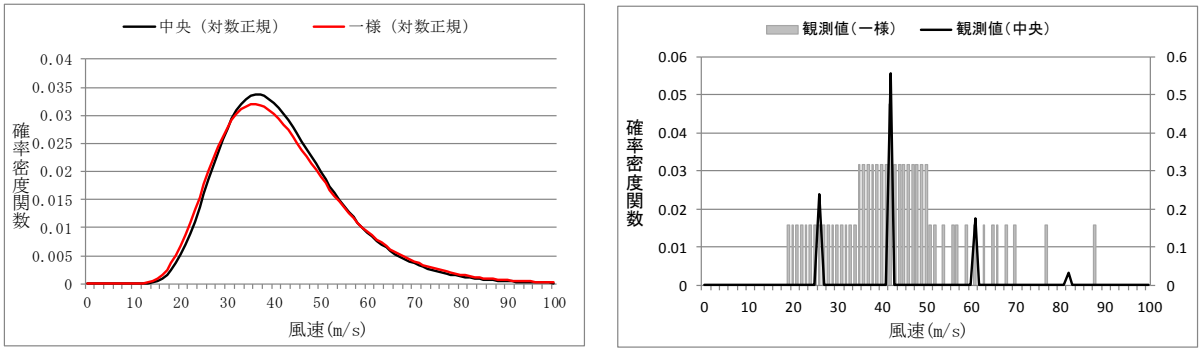
なお，竜巻風速，被害幅，被害長さの確率密度分布の推定では，発生頻度が重要であるために繰り返しサンプリングを行ったデータを用いたが，以下の理由により，相関係数の推定ではそのような措置を行わず，観測の元データをもとに推定した。

Fスケール不明やF0竜巻では，被害規模が小さいために被害幅や被害長さの観測データがF2竜巻に比べて得られる機会が少なく，ばらつきも大きいものと考えられる。そのようなデータをサンプリングにより増やすと，F2竜巻で見られる相関の高さが反映されない算定結果になることが懸念される。

第4.2表に示す算定結果によれば，本竜巻検討地域では，竜巻風速と被害長さには相関係数0.59程度，被害幅と被害長さには，0.17程度の相関が認められた。相関を求めた際のデータ数，平均値，標準偏差及び相関係数を第4.2表に示す。



(a)超過確率



(b)確率密度関数（左：推定値，右：観測値）

第4.1図　竜巻風速の確率分布の推定結果と観測値の比較

第 4.1 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
疑似 51.5年間 （全竜巻）	発生数	期間内総数	63	15	35	11	2
		平均値（年）	1.22	0.29	0.68	0.21	0.04
		標準偏差（年）	1.13	0.52	0.90	0.42	0.17
	被害幅	期間内総数	63	15	35	11	2
		平均値（m）	124	150	124	86	150
		標準偏差（m）	103	0	130	74	0
	被害長	期間内総数	63	15	35	11	2
		平均値（km）	2.510	0.500	1.917	5.591	11.000
		標準偏差（km）	3.357	0.000	1.517	5.467	0.000

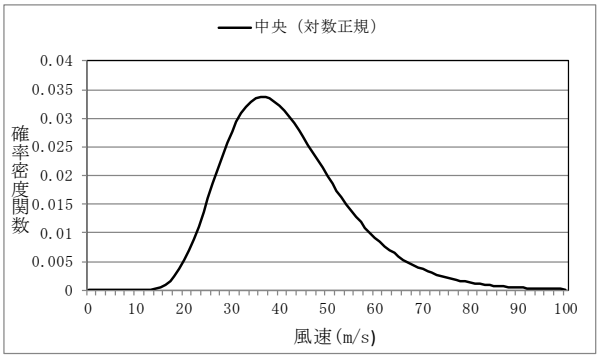
第 4.2 表(1)　相関係数算定に用いた竜巻風速，被害幅，被害長さのデータ数（単位：個）

データ数	風速	被害幅	被害長さ
風速	23	19	21
被害幅	19	20	20
被害長さ	21	20	22

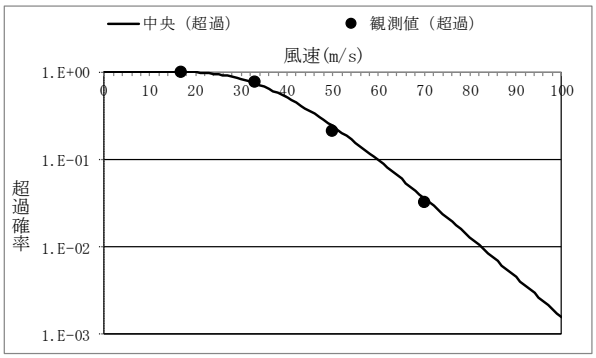
第 4.2 表(2)　竜巻風速，被害幅，被害長さの相関係数（単位無し）

データ数	風速	被害幅	被害長さ
風速	1.000	-0.073*	0.590
被害幅	-0.073*	1.000	0.173
被害長さ	0.590	0.173	1.000

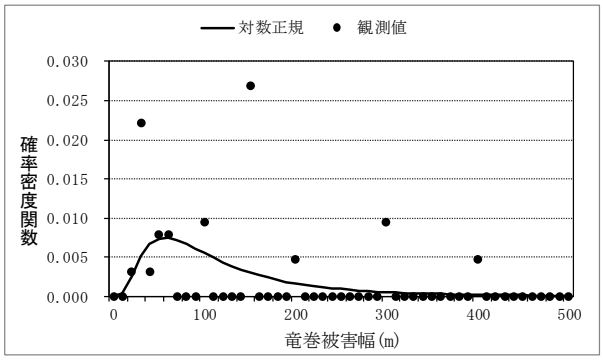
*風速と被害幅は無相関との知見が得られたため，ハザード算定の際には，相関係数 0 として計算



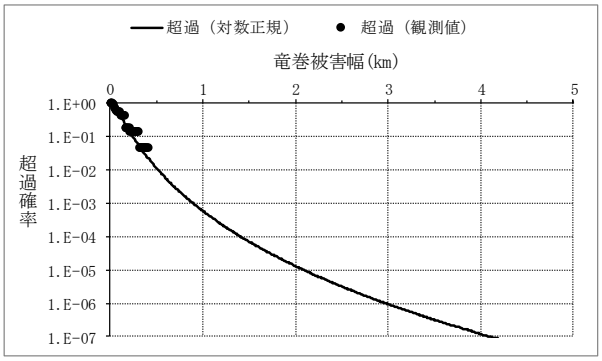
第4.2図(1)　竜巻風速の確率密度分布図



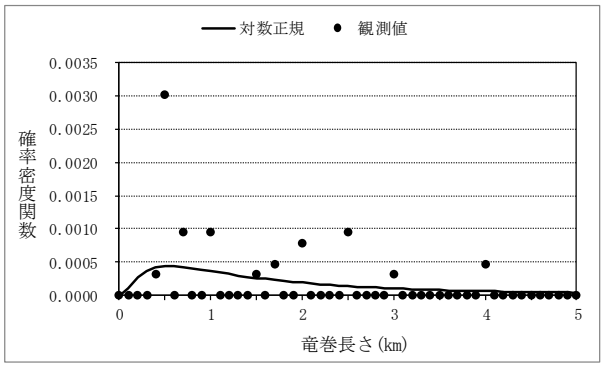
第4.2図(2)　竜巻風速の年超過確率分布



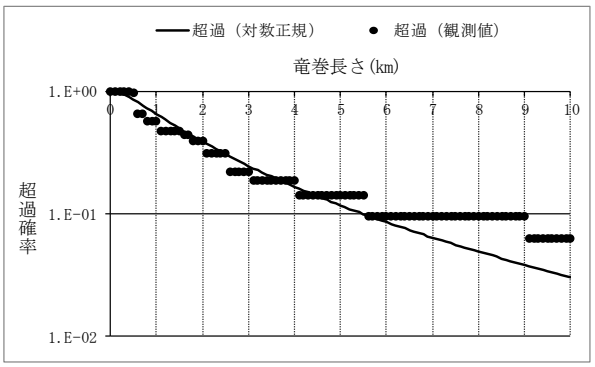
第4.3図(1)　被害幅の確率密度分布



第4.3図(2)　被害幅の年超過確率分布



第4.4図(1)　被害長さの確率密度分布



第4.4図(2)　被害長さの年超過確率分布

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

5. 竜巻影響エリア

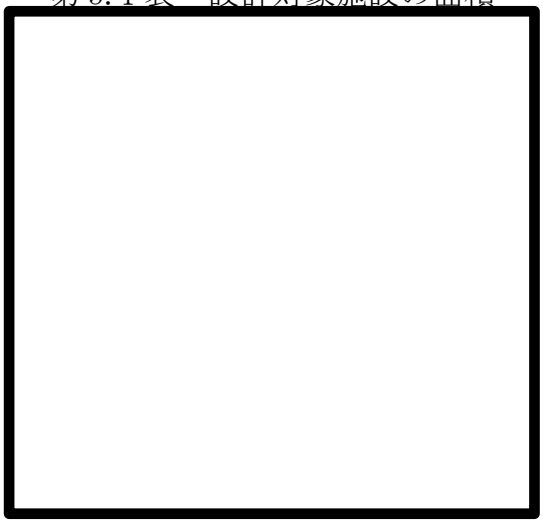
竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）の算定にあたり，V_{B2}の発生エリアである竜巻影響エリアを設定する。竜巻影響エリアは，女川原子力発電所2号炉の評価対象施設の設置面積の合計値及び推定される竜巻被害域(被害幅，被害長さから設定)に基づいて設定する。

女川原子力発電所2号炉における評価対象施設の位置を第5.1図に，評価対象施設の面積を第5.1表に示す。評価対象施設の位置が分散しているため，保守的にそれぞれを包含する円形エリアを竜巻影響エリア（面積約114,000m^2（直径380mの円））として設定した（図5.2)。

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。(式(6.7)及び式(6.5')参照)。

第 5.1 図　評価対象施設の位置

第 5.1 表　設計対象施設の面積



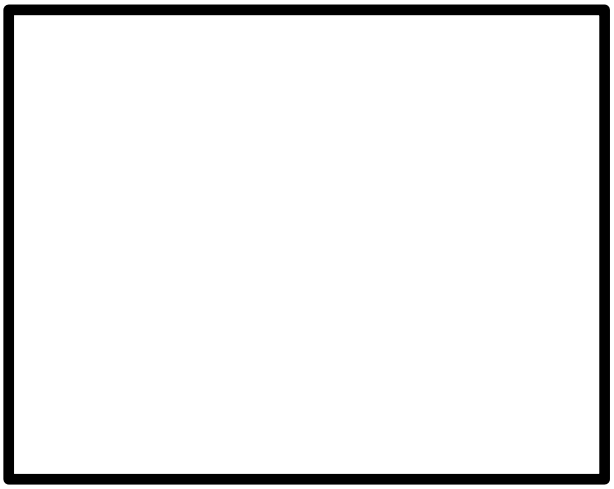


図 5.2　竜巻影響エリア

6. ハザード曲線の算定

東京工芸大学委託成果によれば，Wen and Chu は，竜巻に遭遇し，かつ竜巻風速がある値以上になる確率モデルの推定法を提案している。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，(6.1)式に示すポリヤ分布の適合性が良いとされている。本ハザード曲線の算定においても，東京工芸大学委託成果にならって適合性の良いポリヤ分布により設定した。

$$P_T(N)=\frac{(\nu T)^N}{N!}(1+\beta\nu T)^{-N-1/\beta}\prod_{k=1}^{N-1}(1+\beta k) \qquad (6.1)$$

ここで，

N ：竜巻の年発生数

ν ：竜巻の年平均発生数

T ：年数

σ ：竜巻の年発生数の標準偏差

$$\beta=\left(\frac{\sigma^2}{\nu}-1\right)\times\frac{1}{\nu} \qquad (6.2)$$

対象とする構造物が，T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，その竜巻の風速が V_0 以上となる確率は式(6.1)から導出され以下の式(6.3)となる。

$$P_{V_0,T}(D)=1-\left[1+\beta\,\nu\,R(V_0)T\right]^{-1/\beta}$$

ここで，

D ：対象とする構造物が風速 V_0 以上の竜巻に遭遇する事象

$R(V_0)$ ：リスク評価対象構造物が 1 つの竜巻に増遇し，竜巻風速が V_0 以上となる確率

$$R(V_0)=\frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \qquad (6.3)$$

$DA(V_0)$：竜巻による構造物の被害面積

$E[DA(V_0)]$：$DA(V_0)$の期待値

A_0 ：リスクの評価対象とする地域の面積

次に，E[DA(V_0)]の求め方を説明する。

1 個の竜巻の風速が V_0 以上となる面積 DA(V_0)は以下のように表される。

$$\begin{aligned} DA(V_0)&=WL+HL+WG+AB \quad ;\mathrm{Vi}\geq \mathrm{V}_0 \\ DA(V_0)&=0 \quad ;\mathrm{Vi}<\mathrm{V}_0 \end{aligned} \qquad (6.4)$$

ここで，W は竜巻の被害域幅，L は被害域長さ，A,B は構造物の寸法，H と G は竜巻の被害域幅や長さ方向への構造物の投影長さである。

上記の関係を，竜巻風速・被害幅・被害長さ・竜巻移動方向の確率分布を用いると，式（6.5）のように表すことができる。

$$E[DA(V_0)]=\int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\int_{V_0}^{\infty}W(V_0)\,l\,f(V,w,l)\,dV\,dw\,dl$$
$$+\int_0^{2\pi}\int_0^{\infty}\int_{V_0}^{\infty}H(\alpha)\,l\;\;f(V,l,\alpha)\,dV dl\,d\alpha+\int_0^{2\pi}\int_0^{\infty}\int_{V_0}^{\infty}W(V_0)G(\alpha)\,f(V,w,\alpha)\,dV dw\,d\alpha \qquad (6.5)$$
$$+AB\int_{V_0}^{\infty}f(V)dV$$

ここで,

V ：竜巻最大風速

W ：竜巻の被害幅

l ：竜巻の被害長さ

α ：竜巻の移動方向

f（・）：確率密度分布

$$H(\alpha)=B|\sin\alpha|+A|\cos\alpha|$$
$$G(\alpha)=A|\sin\alpha|+B|\cos\alpha|$$
$$W(V_0)=\left(\frac{V_{\min}}{V_0}\right)^{1/1.6}w \qquad (6.6)$$

式(6.5)の右辺第1項は，被害幅と被害長さの積，即ち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項と第3項は，被害幅・被害長さと構造物寸法の積，即ち面構造物あるいは線状構造物の被害面積を表す。竜巻の幅は長さに比べて短いため，第3項の寄与は第2項に比べて1オーダー小さい。第4項は建物面積ABに依存する項である。

$W(V_0)$は，竜巻の被害幅のうち風速がV_0以上となる部分の幅であり，式(6.6)により算出される。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。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。以上を参考にして，V_{min}=25m/sとした。この値は，F0（17～32m/s）のほぼ中央値に相当する。なお，この値よりも小さなV_{min}（例えば，F0の最小風速17m/s）を用いると，風速V_0以上となる被害面積は小さくなる。

また，H(α)及びG(α)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竜巻影響評価対象構造物を投影した時の長さである。前述の5.にて竜巻影響エリアを円形（直径D_0）で設定しているため，竜巻の移動方向には依存せず，一定値となる。

$$H(\alpha)=G(\alpha)=D_0 \qquad (6.7)$$

従って，式(6.5)は式(6.5')と表すことができる。

$$E[DA(V_0)]=\int_0^\infty\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty W(V_0)\,l\,f(V,w,l)\,dV\,dw\,dl$$
$$+D_0\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty l\,f(V,l)\,dV\,dl+D_0\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty W(V_0)\,f(V,w)\,dV\,dw \qquad (6.5')$$
$$+(D_0{}^2\pi/4)\int_{V_0}^\infty f(V)\,dV$$

2 変量, 3 変量の対数正規分布は, 以下の式(6.8)又は式(6.9)のように表される。

$$f(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}}\frac{1}{xy}\exp\left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left\{\left(\frac{\ln(x)-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2-2\rho\left(\frac{\ln(x)-\mu_x}{\sigma_x}\right)\left(\frac{\ln(y)-\mu_y}{\sigma_y}\right)+\left(\frac{\ln(y)-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right\}\right] \qquad (6.8)$$

$$f(x,y,z)=\frac{1}{(2\pi)^{3/2}\left|\begin{matrix}\sigma_x^2 & \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_x\sigma_z\rho_{xz}\\ \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz}\\ \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} & \sigma_z^2\end{matrix}\right|^{1/2}}\times\frac{1}{xyz}$$
$$\times\exp\left[-\frac{1}{2}\begin{pmatrix}\ln(x)-\mu_x & \ln(y)-\mu_y & \ln(z)-\mu_z\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\sigma_x^2 & \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_x\sigma_z\rho_{xz}\\ \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz}\\ \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} & \sigma_z^2\end{pmatrix}^{-1}\begin{pmatrix}\ln(x)-\mu_x\\ \ln(y)-\mu_y\\ \ln(z)-\mu_z\end{pmatrix}\right] \qquad (6.9)$$

ここにμ_x，μ_y，μ_zは変量 ln(x), ln(y), 及び ln(z)の平均値であり，σ_x，σ_y，σ_zは変量 ln(x), ln(y), 及び ln(z)の標準偏差を表す。また，ρ_{xy}は ln(x)と ln(y)の相関係数を表し，ρ_{yz}等についても同様である。

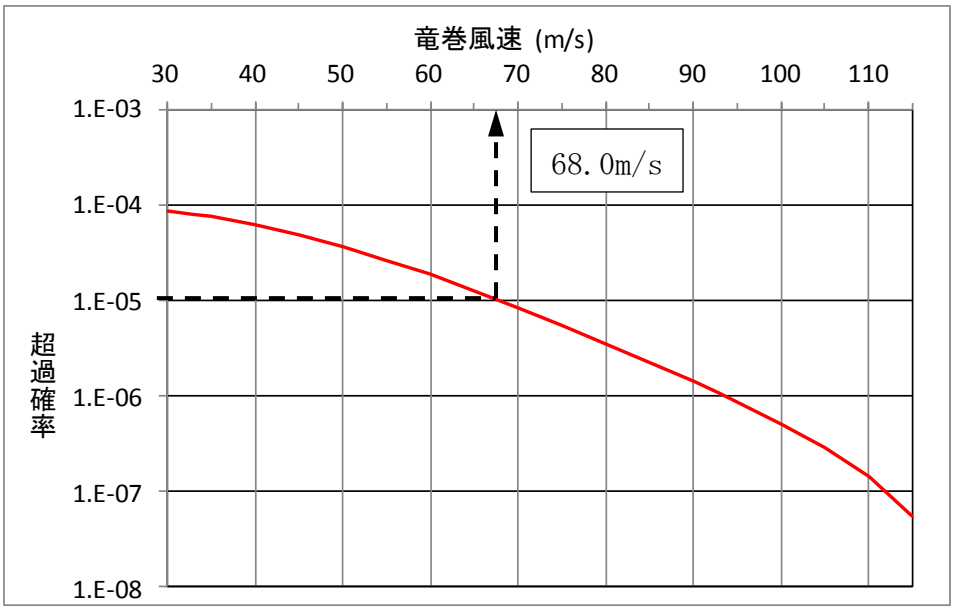
なお，変量 x と ln(x)の平均値をそれぞれμ，μ_{ln}，標準偏差をそれぞれ σ，σ_{ln}と表せば，これらの間には以下の関係がある。

$$\sigma_{ln}^2=\ln\left(CV^2+1\right) \qquad (6.10)$$

$$\mu_{ln}=\ln(\mu)-\frac{\sigma_{ln}^2}{2} \qquad (6.11)$$

ここに，CV は変動係数（σ/μ）である。本評価では上記の関係式を用いて，4 節にて求めた竜巻風速，被害幅，被害長さの平均値及び標準偏差からμ_x, σ_xなどを定めた。

竜巻最大風速のハザード曲線の算定結果を第 6.1 図に示す。第 6.1 図より，竜巻影響評価ガイドを参考に年超過確率 10^{-5} に相当する風速は 68.0m/s となった。



第 6.1 図　竜巻最大風速のハザード曲線（海側，陸側 5km 範囲）

7.　1km 毎の領域での竜巻ハザード曲線について

ガイドに従い，竜巻検討地域を1km範囲ごとに細分化した場合のハザード曲線の算定を行った。算定においては，以下の条件で算定を行った。計算に使用するパラメータは第7.1表に示す。

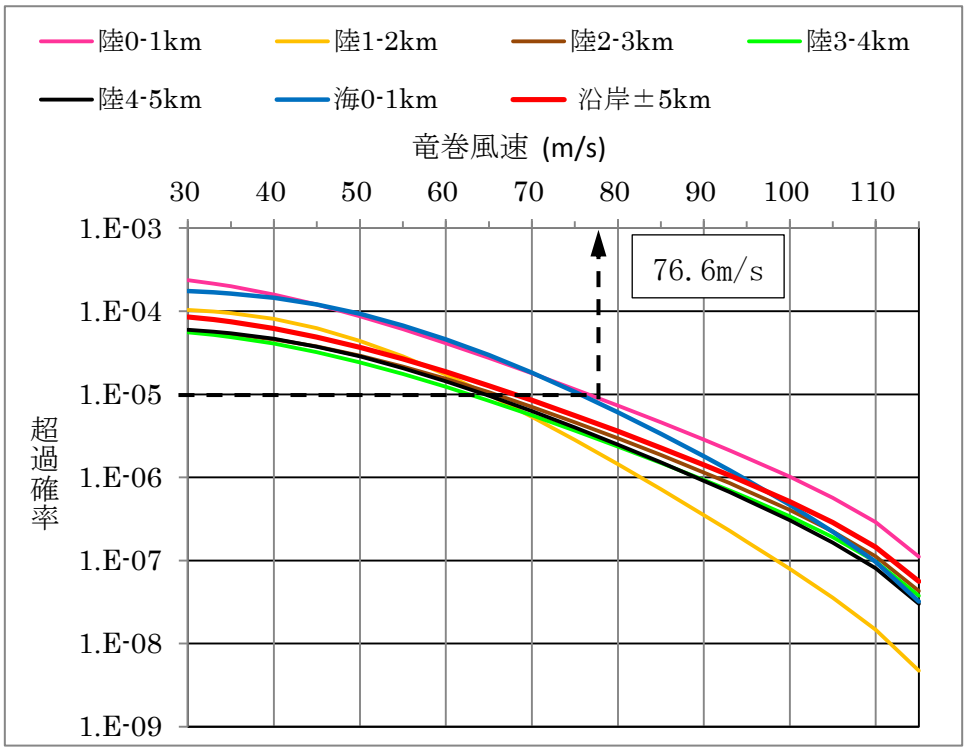
- 竜巻発生数は，竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した竜巻である通過竜巻もカウントする
- 被害幅及び被害長さは，それぞれ1km範囲内の被害幅及び被害長さを用いる
- 海側の竜巻発生位置は不明な場合が多く，竜巻移動経路が短冊を横切る長さを精度良く求められないため，海側0-1kmのセグメント長さの評価に陸側0-1km短冊の値を代用する方法を用いる
- 1km毎の領域のデータ数は少ないため，相関係数は±5kmでの値を代用する

第7.1表　保守的なハザード曲線算定に用いるパラメータ

竜巻検討地域（1km毎エリア）	統計量	発生数（個）	風速 m/s	幅 m	長さ m	相関係数 U ～ W	U ～ L	W ～ L
±5km	平均値	1.22	42.0714	124.2857	2509.524	（検討地域±5kmの値を代用）		
	標準偏差	1.13	13.3368	102.8382	3356.924			
陸 0-1km	平均値	0.74	41.6184	133.2895	1020.868			
	標準偏差	0.74	13.4744	104.0808	929.186			
陸 1-2km	平均値	0.39	47.2000	95.2500	773.900			
	標準偏差	0.62	11.0482	94.4997	419.966			
陸 2-3km	平均値	0.16	51.1250	166.2500	1041.625			
	標準偏差	0.36	14.8486	116.3661	339.265			
陸 3-4km	平均値	0.14	49.8571	185.7143	1174.143			
	標準偏差	0.30	15.5636	110.7335	93.756			
陸 4-5km	平均値	0.19	47.3500	146.0000	842.100			
	標準偏差	0.36	13.3334	112.3684	746.783			
海 0-1km	平均値	0.58	47.2500	124.6667	842.833			
	標準偏差	0.66	11.6254	122.1569	1605.728			

以上の条件で算定したハザード曲線を海側，陸側5km範囲内でのハザード曲線と併せて第7.1図に示す。

第7.1図より，年超過確率10^{-5}に相当する風速が最も大きく評価されたのは，陸側0～1km範囲での76.6m/sであった。



第 7.1 図　1km 範囲毎のハザード曲線と±5km 範囲のハザード曲線

第 7.2 表　年超過確率 10^{-5} に対応した竜巻風速

短冊ケース	竜巻風速[m/s]
陸 0-1km	76.6
陸 1-2km	64.9
陸 2-3km	65.7
陸 3-4km	62.7
陸 4-5km	64.5
海 0-1km	75.6
（参考）海側及び陸側各±5km	68.0

参考に陸側0～1km，1～2km，2～3km，3～4km，4～5km，海側0～1kmの竜巻発生・通過数を第7.3～7.8表に示す。

第7.3表　陸側0-1km範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域（陸0-1km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不　明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	20	1	11	7	1	3	0	23
	平均値（年）	0.39	0.02	0.21	0.14	0.02	0.06	0.00	0.45
	標準偏差（年）	0.57	0.14	0.41	0.35	0.14	0.31	0.00	0.64
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	11	1	8	2	0	1	0	12
	平均値（年）	0.51	0.05	0.37	0.09	0.00	0.05	0.00	0.56
	標準偏差（年）	0.60	0.22	0.50	0.30	0.00	0.22	0.00	0.68
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	3	1	2	0	0	0	0	3
	平均値（年）	0.55	0.18	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55
	標準偏差（年）	0.58	0.43	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58
疑似51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	38	10	20	7	1	0	0	38
	平均値（年）	0.71	0.18	0.37	0.14	0.02	0.00	0.00	0.71
	標準偏差（年）	0.74	0.43	0.50	0.35	0.14	0.00	0.00	0.74
疑似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	38	10	20	7	1	0	0	0
	平均値（年）	0.71	0.18	0.37	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00
	標準偏差（年）	0.74	0.43	0.50	0.35	0.14	0.00	0.00	0.00

第7.4表　陸側1-2km範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域（陸1-2km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不　明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	13	1	7	4	1	1	0	14
	平均値（年）	0.25	0.02	0.14	0.08	0.02	0.02	0.00	0.27
	標準偏差（年）	0.52	0.14	0.40	0.27	0.14	0.14	0.00	0.53
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	8	1	6	1	0	0	0	8
	平均値（年）	0.37	0.05	0.28	0.05	0.00	0.00	0.00	0.37
	標準偏差（年）	0.59	0.22	0.56	0.22	0.00	0.00	0.00	0.59
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	1	0	1	0	0	0	0	1
	平均値（年）	0.18	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
	標準偏差（年）	0.43	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43
疑似51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	20	0	15	4	1	0	0	20
	平均値（年）	0.38	0.00	0.28	0.08	0.02	0.00	0.00	0.38
	標準偏差（年）	0.62	0.00	0.56	0.27	0.14	0.00	0.00	0.62
疑似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	20	0	15	4	1	0	0	0
	平均値（年）	0.38	0.00	0.28	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00
	標準偏差（年）	0.62	0.00	0.56	0.27	0.14	0.00	0.00	0.00

第7.5表　陸側2-3km範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域（陸2-3km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不　明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	5	0	2	2	1	1	0	6
	平均値（年）	0.10	0.00	0.04	0.04	0.02	0.02	0.00	0.12
	標準偏差（年）	0.30	0.00	0.20	0.20	0.14	0.14	0.00	0.32
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	3	0	2	1	0	0	0	3
	平均値（年）	0.14	0.00	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.14
	標準偏差（年）	0.36	0.00	0.30	0.22	0.00	0.00	0.00	0.36
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	0	0	0	0	0	0	0	0
	平均値（年）	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	標準偏差（年）	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
疑似51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	8	0	5	2	1	0	0	8
	平均値（年）	0.15	0.00	0.09	0.04	0.02	0.00	0.00	0.15
	標準偏差（年）	0.36	0.00	0.30	0.20	0.14	0.00	0.00	0.36
疑似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	8	0	5	2	1	0	0	0
	平均値（年）	0.15	0.00	0.09	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00
	標準偏差（年）	0.36	0.00	0.30	0.20	0.14	0.00	0.00	0.00

第7.6表　陸側3-4km範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域（陸3-4km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不　明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	4	0	2	1	1	0	0	4
	平均値（年）	0.08	0.00	0.04	0.02	0.02	0.00	0.00	0.08
	標準偏差（年）	0.27	0.00	0.20	0.14	0.14	0.00	0.00	0.27
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	2	0	2	0	0	0	0	2
	平均値（年）	0.09	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
	標準偏差（年）	0.30	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	0	0	0	0	0	0	0	0
	平均値（年）	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	標準偏差（年）	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
疑似51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	7	0	5	1	1	0	0	7
	平均値（年）	0.13	0.00	0.09	0.02	0.02	0.00	0.00	0.13
	標準偏差（年）	0.30	0.00	0.30	0.14	0.14	0.00	0.00	0.30
疑似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	7	0	5	1	1	0	0	0
	平均値（年）	0.13	0.00	0.09	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00
	標準偏差（年）	0.30	0.00	0.30	0.14	0.14	0.00	0.00	0.00

第7.7表　陸側4-5km範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域（陸4-5km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不　明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	5	0	3	1	1	0	0	5
	平均値（年）	0.10	0.00	0.06	0.02	0.02	0.00	0.00	0.10
	標準偏差（年）	0.30	0.00	0.24	0.14	0.14	0.00	0.00	0.30
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	3	0	3	0	0	0	0	3
	平均値（年）	0.14	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
	標準偏差（年）	0.36	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	0	0	0	0	0	0	0	0
	平均値（年）	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	標準偏差（年）	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
疑似51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	10	0	8	1	1	0	0	10
	平均値（年）	0.18	0.00	0.14	0.02	0.02	0.00	0.00	0.18
	標準偏差（年）	0.36	0.00	0.36	0.14	0.14	0.00	0.00	0.36
疑似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	10	0	8	1	1	0	0	0
	平均値（年）	0.18	0.00	0.14	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00
	標準偏差（年）	0.36	0.00	0.36	0.14	0.14	0.00	0.00	0.00

第7.8表　海側0-1km範囲の竜巻発生・通過数

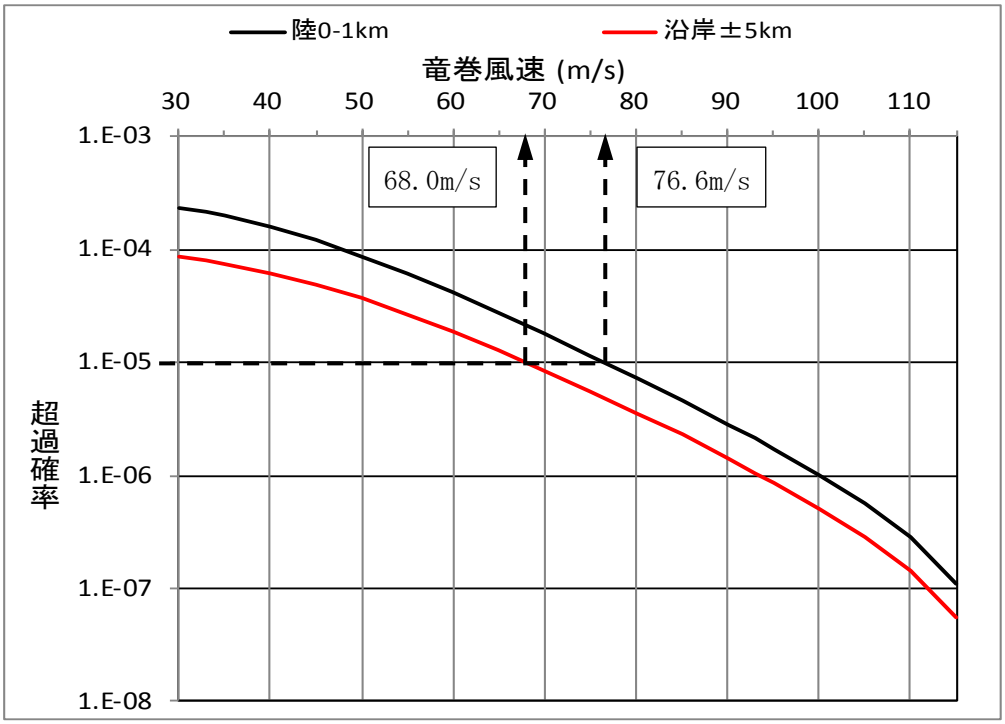
竜巻検討地域（海0-1km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不　明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	11	0	7	3	1	2	2	15
	平均値（年）	0.21	0.00	0.14	0.06	0.02	0.04	0.04	0.29
	標準偏差（年）	0.46	0.00	0.35	0.24	0.14	0.20	0.20	0.54
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	8	0	6	2	0	1	2	11
	平均値（年）	0.37	0.00	0.28	0.09	0.00	0.05	0.09	0.51
	標準偏差（年）	0.59	0.00	0.46	0.30	0.00	0.22	0.30	0.68
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	1	0	1	0	0	0	1	2
	平均値（年）	0.18	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.18	0.36
	標準偏差（年）	0.43	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.43	0.55
疑似51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	19	0	15	3	1	0	10	29
	平均値（年）	0.36	0.00	0.28	0.06	0.02	0.00	0.18	0.54
	標準偏差（年）	0.52	0.00	0.46	0.24	0.14	0.00	0.43	0.67
疑似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	30	0	23	5	2	0	0	0
	平均値（年）	0.54	0.00	0.43	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00
	標準偏差（年）	0.66	0.00	0.57	0.29	0.17	0.00	0.00	0.00

8. 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）

第 8.1 図に，海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km 全域（竜巻検討地域）及び竜巻検討地域を 1km 範囲ごとに細分化した場合のハザード曲線を示す。

第 8.1 図より，5km 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 68.0m/s，竜巻検討地域を 1km 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 76.6m/s（陸側 0～1km）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，5km 全域及び 1km 範囲のハザード評価結果のうち大きい方を採用し，V_{B2}＝76.6m/s とする。



第 8.1 図　±5km 範囲のハザード曲線と 1km 範囲毎のハザード曲線