【公開版】

提出年月日	令和２年３月 13 日　R14
日本原燃株式会社	

六ヶ所再処理施設における新規制基準に対する適合性

安全審査　整理資料

第９条：外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）

目　次

１章　基準適合性

１．基本方針

１．１　要求事項の整理

１．２　要求事項に対する適合性

１．３　規則への適合性

２．竜巻影響評価の基本方針

３．設計対処施設

４．基準竜巻・設計竜巻の設定

４．１　竜巻検討地域の設定

４．２　基準竜巻の最大風速の設定

４．３　設計竜巻の最大風速の設定

５．設計荷重（竜巻）の設定

５．１　設計飛来物の設定

５．２　荷重の組合せと許容限界

６．評価に使用する風速場モデルについて

７．竜巻防護設計

７．１　竜巻防護対象施設のうち建屋に設置される竜巻防護対象施設（外気と繋がっている竜巻防護対象施設を除く）

７．２　竜巻防護対象施設のうち建屋に設置されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設

７．３　竜巻防護対象施設のうち屋外の竜巻防護対象施設及び建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

７．４　竜巻防護対象施設を設置する施設

７．５　竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設

７．６　竜巻随伴事象に対する設計
８．手順等
９．竜巻防護対策設備
９．１　概要
９．２　設計方針
９．３　主要設備の仕様
９．４　主要設備
９．５　試験・検査
９．６　評価

２章　補足説明資料

１章　基準適合性

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，事業指定基準規則第九条と再処理施設安全審査指針の比較並びに当該指針を踏まえたこれまでの許認可実績により，事業指定基準規則第九条において追加された要求事項を整理する。（第１－１表）

第１－１表　事業指定基準規則第九条と再処理施設安全審査指針　比較表（１／５）

事業指定基準規則 第九条（外部からの衝撃による損傷の防止）	再処理施設安全審査指針	備　考
1　安全機能を有する施設は、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９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、安全機能を有する施設が安全機能を損なわないために必要な重大事故等対処設備への措置を含む。 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、森林火災等をいう。 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。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」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当該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。	指針1. 基本的立地条件 事故の誘因を排除し、災害の拡大を防止する観点から、再処理施設の立地地点及びその周辺における以下の事象を検討し、安全確保上支障がないことを確認すること。 1.　自然環境 (1)地震、津波、地すべり、陥没、台風、高潮、洪水、異常寒波、豪雪等の自然現象 (2)地盤、地耐力、断層等の地質及び地形等 (3)風向、風速、降雨量等の気象 (4)河川、地下水等の水象及び水理 （解説） 1　自然環境及び社会環境について、申請者が行った文献調査及び現地調査の結果を、建物・構築物の配置を含む設計の妥当性の判断及び各種の評価に用いることが適切であることを確認するほか、必要に応じ現地調査等を行い、申請者の行った各種の調査結果の確認を行うものとする。	追加要求事項

第１－１表　事業指定基準規則第九条と再処理施設安全審査指針　比較表（２／５）

事業指定基準規則 第九条（外部からの衝撃による損傷の防止）	再処理施設安全審査指針	備　考
	指針14　地震以外の自然現象に対する考慮 1　再処理施設における安全上重要な施設は、再処理施設の立地地点及びその周辺における自然環境をもとに津波、地すべり、陥没、台風、高潮、洪水、異常寒波、豪雪等のうち予想されるものを設計基礎とすること。 2　これらの設計基礎となる事象は、過去の記録の信頼性を十分考慮のうえ、少なくともこれを下回らない苛酷なものであって、妥当とみなされるものを選定すること。 3　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して設計基礎とすること。	前記のとおり

第１－１表　事業指定基準規則第九条と再処理施設安全審査指針　比較表（３／５）

事業指定基準規則 第九条（外部からの衝撃による損傷の防止）	再処理施設安全審査指針	備　考
2　安全上重要な施設は、当該安全上重要な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安全上重要な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「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応して、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、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。 5　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安全上重要な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14　地震以外の自然現象に対する考慮 1　再処理施設における安全上重要な施設は、再処理施設の立地地点及びその周辺における自然環境をもとに津波、地すべり、陥没、台風、高潮、洪水、異常寒波、豪雪等のうち予想されるものを設計基礎とすること。 2　これらの設計基礎となる事象は、過去の記録の信頼性を十分考慮のうえ、少なくともこれを下回らない苛酷なものであって、妥当とみなされるものを選定すること。 3　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して設計基礎とすること。	追加要求事項

第１－１表　事業指定基準規則第九条と再処理施設安全審査指針　比較表（４／５）

事業指定基準規則 第九条（外部からの衝撃による損傷の防止）	再処理施設安全審査指針	備　考
3　安全機能を有する施設は、工場等内又はその周辺において想定される再処理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） 1　第９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、安全機能を有する施設が安全機能を損なわないために必要な重大事故等対処設備への措置を含む。 6　第３項は、設計基準において想定される再処理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、安全機能を有する施設が安全機能を損なわないために必要な重大事故等対処設備への措置を含む。	指針1　基本的立地条件 事故の誘因を排除し、災害の拡大を防止する観点から、再処理施設の立地地点及びその周辺における以下の事象を検討し、安全確保上支障がないことを確認すること。 2　社会環境 (1)　近接工場における火災、爆発等 (2)　航空機事故等による飛来物等 (3)　水の利用状況、飲食物の生産・流通状況、人口分布状況等 （解説） 2　社会環境に関する事象として注目すべき点は、近接工場における事故及び航空機に係る事故である。 　近接工場における事故については、事故の種類と施設までの離隔距離との関連においてその影響を評価した上で、必要な場合、安全上重要な施設が適切に保護されていることを確認すること。 　航空機に係る事故については、航空機に係る施設の事故防止対策として、航空機の施設上空の飛行制限等を勘案の上、その発生の可能性について評価した上で、必要な場合は、安全上重要な施設のうち特に重要と判断される施設が、適切に保護されていることを確認すること。	追加要求事項

第１－１表　事業指定基準規則第九条と再処理施設安全審査指針　比較表（５／５）

事業指定基準規則 第九条（外部からの衝撃による損傷の防止）	再処理施設安全審査指針	備　考
７　第３項に規定する「再処理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基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、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・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、防護設計の要否について確認する。 ８　第３項に規定する「安全機能を損なわないもの」とは、想定される偶発的な外部人為事象に対し、冷却、水素掃気、火災・爆発の防止、臨界防止等の安全機能を損なわないことをいう。		前記のとおり

１．２　要求事項に対する適合性

（１）外部からの衝撃による損傷の防止

安全機能を有する施設は，再処理施設敷地の自然環境を基に想定される洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学的事象，森林火災等の自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む組合せに遭遇した場合において，自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として当該施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお，再処理施設敷地で想定される自然現象のうち，洪水，地滑り及び津波については，立地的要因により設計上考慮する必要はない。

上記に加え，安全上重要な施設に対しては，最新の科学的技術的知見を踏まえ，当該安全上重要な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安全上重要な施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を，それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して適切に組み合わせる。

また，安全機能を有する施設は，再処理施設敷地内又はその周辺の状況を基に想定される飛来物（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，電磁的障害等のうち再処理施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。以下，「人為事象」という。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお，再処理施設敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち，ダムの崩壊，船舶の衝突については，立地的要因により設計上考慮する必要はない。

自然現象及び人為事象（故意によるものを除く。）の組合せについて

は，地震，津波，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，火山の影響，生物学的事象，森林火災等を考慮する。事象が単独で発生した場合の影響と比較して，複数の事象が重畳することで影響が増長される組合せを特定し，その組合せの影響に対しても安全機能を損なわない設計とする。

ここで，想定される自然現象及び人為事象（故意によるものを除く。）に対して，安全機能を有する施設が安全機能を損なわないために必要な安全機能を有する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。

（２）竜巻

安全機能を有する施設は，想定される竜巻が発生した場合においても，作用する設計荷重に対してその安全機能を損なわない設計とする。

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

安全機能を有する施設の安全機能を損なわないようにするため，安全機能を有する施設に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策として，飛来物となる可能性のあるもののうち，運動エネルギ及び貫通力の大きさを踏まえ，設計上考慮すべき飛来物（以下「設計飛来物」という。）を設定する。飛来物となり得る資機材及び車両のうち，竜巻防護対策によって防護できない可能性のあるものは，固縛，建屋収納，退避又は撤去を実施する。

また，敷地外から飛来するおそれがあり，かつ敷地内からの飛来物による衝撃荷重を上回ると想定されるものがある場合は，設計飛来物としての考慮の要否を検討する。

竜巻に対する防護設計においては，機械的強度を有する建物により保護する，竜巻防護対策設備を設置すること等により，安全機能を有する施設が安全機能を損なわない設計とする，若しくは竜巻による損傷を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること，安全上支障のない期間で修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，その安全機能を損なわない設計とする。

（３）竜巻防護対策設備

設計竜巻から防護する施設（以下，「竜巻防護対象施設」という。）は建屋内に設置し，建屋による防護によって，設計荷重に対して安全機能を損なわない設計とすることを基本とする。ただし，建屋による防護が期待できない竜巻防護対象施設及び屋外に設置される竜巻防護対象施設については，設計飛来物の衝突によって安全機能を損なうことを防止するため，竜巻防護対策設備を設置する。

（ａ） 構　造

竜巻防護対策設備は，設計竜巻によって発生する設計飛来物による安全機能を有する施設への影響を防止するための飛来物防護板及び飛来物防護ネットで構成する。

飛来物防護板及び飛来物防護ネットは地震及び火山の影響により竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

（ｂ） 主要な設備の種類

飛来物防護板

種　　類	防護板
材　　料	鋼材又は鉄筋コンクリート

飛来物防護ネット

種　　類	防護ネット
材　　料	鋼線（ネット）
	鋼材（支持架構）

１．３　規則への適合性

（外部からの衝撃による損傷の防止）

第九条　安全機能を有する施設は，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。

２　安全上重要な施設は，当該安全上重要な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安全上重要な施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

３　安全機能を有する施設は，工場等内又はその周辺において想定される再処理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。

適合のための設計方針

第１項及び第２項について

安全機能を有する施設は，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。）に対して再処理施設の安全性を損なわない設計とする。また，安全上重要な施設は，想定される自然現象により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する。

（１）竜巻

日本で過去（1961年から2013年12月）に発生した最大の竜巻から，設計竜巻の最大風速は92ｍ／ｓとなるが，竜巻に対する設計に当たっては，蓄積されている知見の少なさといった不確定要素を考慮し，設計及び運用に安全余裕を持たせるために，設計竜巻の最大風速を100

m／sとし，安全機能を有する施設の安全機能を損なわないよう，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

竜巻により敷地内の資機材が飛来物となり，安全機能を有する施設の安全機能を損なわないよう，以下の対策を行う。

(a) 飛来物となる可能性のあるものを固縛，建屋収納又は敷地から撤去する。

(b) 車両の周辺防護区域内への入構の管理，竜巻の襲来が予想される場合の車両の固縛又は飛来対策区域外の退避場所への退避を行う。

b．竜巻防護対策

安全機能を有する施設は，設計荷重（竜巻）に対して安全機能を損なわない設計とする，若しくは竜巻による損傷を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること，安全上支障のない期間で修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，その安全機能を損なわない設計とする。安全上重要な施設は，竜巻防護対象施設とし，建物の外壁及び屋根により建物全体で適切に防護することにより安全機能を損なわない設計とすることを基本とする。屋外に設置される竜巻防護対象施設や，建物・構築物による防護が期待できない竜巻防護対象施設については，設備による竜巻防護対策として，飛来物防護板及び飛来物防護ネットを設置することにより安全機能を損なわない設計とする。

竜巻の発生に伴い，降雹が考えられるが，降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含される。また，冬季における竜巻の発生を想定し，積雪による荷重を適切に考慮する。

２．竜巻影響評価の基本方針

原子力規制委員会の定める「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年 12 月 6 日原子力規制委員会規則第二十七号)」第九条では，外部からの衝撃による損傷防止として，安全機能を有する施設は，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，竜巻を挙げている。

再処理施設の供用期間中に極めてまれに発生する突風，強風を引き起こす自然現象としての竜巻及びその随伴事象等によって安全機能を有する施設の安全機能を損なわない設計であることを評価するため，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（平成 25 年 6 月 19 日　原規技発第 13061911 号　原子力規制委員会決定）（以下「竜巻ガイド」という。）を参照し，以下の竜巻影響評価について実施する。

(1)　設計竜巻及び設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重）の設定

(2)　再処理施設における飛来物に係る調査

(3)　飛来物発生防止対策

(4)　考慮すべき設計荷重に対する設計対処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

安全機能を有する施設は，再処理施設が竜巻の影響を受ける場合においてもその安全機能を確保するために，竜巻に対して安全機能を損なわない設計とする。

その上で，竜巻によってその安全機能が損なわれないことを確認する施設を，全ての安全機能を有する構築物，系統及び機器とする。設計竜巻から防護する施設（以下「竜巻防護対象施設」という。）としては，安全評価上その機能を期待する構築物，系統及び機器を漏れなく抽出する観点から，安全上重要な構築物，系統及び機器を抽出し，竜巻により冷却，水素掃気，火災・爆発の防止，臨界防止等の安全機能を損なわないよう機械的強度を有すること等により，安全機能を損なわない設計とする。

また，その施設の破損等により竜巻防護対象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及び竜巻防護対象施設を設置する建屋は，機械的強度を有すること等により，竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。ここで，竜巻防護対象施設，竜巻防護対象施設を設置する建屋及びその施設の破損等により竜巻防護対象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併せて，設計対処施設という。

上記に含まれない安全機能を有する施設は，竜巻及びその随伴事象に対して機能を維持すること若しくは竜巻及びその随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での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，その安全機能を損なわない設計とする。

なお，使用済燃料輸送容器（以下「キャスク」という。）に使用済燃料が収納された使用済燃料収納キャスクは再処理施設内に一時的に保管されることを踏まえ，竜巻により使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

【補足説明資料 2-2】

３．設計対処施設

設計対処施設は，竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないよう，設計竜巻に対して設計上の考慮を行う施設全体とする。

安全機能を有する施設のうち，安全評価上その機能を期待する施設の安全機能を維持し，かつ，冷却，水素掃気，火災・爆発の防止，臨界防止等の安全機能を損なわないようにするため，安全上重要な施設を竜巻防護対象施設とする。

これらの施設を第３－１図から第３－３図に示す選定フローに従い，竜巻による風圧力，気圧差及び飛来物に対する設計対処施設として選定する。ただし，竜巻防護対象施設を設置する建屋については，「竜巻防護対象施設を設置する施設」として設計対処施設に選定する。また，建屋に設置される竜巻防護対象施設のうち第３－４図に示す選定フローに従い選定される設計荷重（竜巻）に対して十分な耐力を有さない建屋に設置される竜巻防護対象施設及び開口部を有する室に設置される竜巻防護対象施設のうち第３－５図に示す選定フローに従い選定される竜巻防護対象施設は，建屋に設置されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設として選定する。

以上の選定結果から，竜巻防護対象施設は以下のように分類できる。

ａ．建屋に設置される竜巻防護対象施設（外気と繋がっている竜巻防護対象施設を除く）

ｂ．建屋に設置されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設

ｃ．屋外の竜巻防護対象施設及び建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

また，安全上重要な施設以外の安全機能を有する施設については，当該施設の破損等により竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼして安全機

能を損なわせる可能性がある施設又はその施設の特定の区画を，竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設として選定する。

竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設としては，竜巻防護対象施設等を除く構築物，系統及び機器の中から，竜巻防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設及び竜巻防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る施設を以下のとおり選定する。

竜巻防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設としては，建物・構築物の高さと竜巻防護対象施設等との距離を考慮して，破損又は転倒により竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼして安全機能を損なわせるおそれがある施設を竜巻防護対象施設に機械的影響を及ぼし得る施設として選定する。

竜巻防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る施設としては，竜巻防護対象施設の付属設備のうち屋外にあるもので，風圧力，気圧差及び設計飛来物の衝突による損傷により竜巻防護対象施設の安全機能を損なわせる可能性がある施設を，竜巻防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る施設として選定する。

選定した結果から，設計対処施設は以下に分類される。

・屋外の竜巻防護対象施設

・建屋に設置されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設

・建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

・竜巻防護対象施設を設置する施設

・竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設のうち，建屋に設置されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設，屋外の竜巻防護対象施設及び建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設を以下のとおり選定する。

ａ．建屋に設置されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設

(a)　第２非常用ディーゼル発電機

(b)　前処理建屋の安全蒸気系

(c)　前処理建屋の非常用所内電源系統

(d)　前処理建屋の計測制御系統施設

(e)　精製建屋の非常用所内電源系統

(f)　精製建屋の計測制御系統施設

(g)　高レベル廃液ガラス固化建屋の非常用所内電源系統

(h)　高レベル廃液ガラス固化建屋の計測制御系統施設

(i)　高レベル廃液ガラス固化建屋の安全冷却水系

(j)　第１ガラス固化体貯蔵建屋床面走行クレーンの遮蔽容器

(k)　非常用電源建屋の非常用所内電源系統

(l)　主排気筒の排気筒モニタ

(m)　制御建屋中央制御室換気設備

ｂ．屋外の竜巻防護対象施設

(a)　使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用　安全冷却水系冷却塔

(b)　再処理設備本体用　安全冷却水系冷却塔

(c)　再処理設備本体用　安全冷却水系冷却塔に接続する屋外設備

(d)　第２非常用ディーゼル発電機用　安全冷却水系冷却塔

(e)　主排気筒

(f)　ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備

(g)　高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備

(h)　前処理建屋換気設備

(i)　分離建屋換気設備

(j)　精製建屋換気設備

(k)　ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備

(l)　高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備

なお，屋外の竜巻防護対象施設のうち，(c)を「冷却塔に接続する屋外設備」，(f)～(l)を合わせて「主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクト」という。

c．建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

(a)　せん断処理・溶解廃ガス処理設備

(b)　前処理建屋塔槽類廃ガス処理設備

(c)　分離建屋塔槽類廃ガス処理設備

(d)　精製建屋塔槽類廃ガス処理設備

(e)　ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備

(f)　高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備

(g)　高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備

(h)　前処理建屋換気設備の排気系

(i)　分離建屋換気設備の排気系

(j)　精製建屋換気設備の排気系

(k)　ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備の排気系

(l)　ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋換気設備の貯蔵室からの排気系

(m)　高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備の排気系

(n)　ガラス固化体貯蔵設備の収納管

(o)　制御建屋中央制御室換気設備

竜巻防護対象施設を設置する施設を以下のとおり選定する。

⑴　使用済燃料受入れ・貯蔵建屋

⑵　前処理建屋

⑶　分離建屋

⑷　精製建屋

⑸　ウラン脱硝建屋

⑹　ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋

⑺　ウラン酸化物貯蔵建屋

⑻　ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋

⑼　高レベル廃液ガラス固化建屋

⑽　第１ガラス固化体貯蔵建屋

⑾　チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋

⑿　ハル・エンドピース貯蔵建屋

⒀　制御建屋

⒁　分析建屋

⒂　非常用電源建屋

⒃　主排気筒管理建屋

竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設を以下のとおり選定する。

⑴　北換気筒

⑵　使用済燃料輸送容器管理建屋

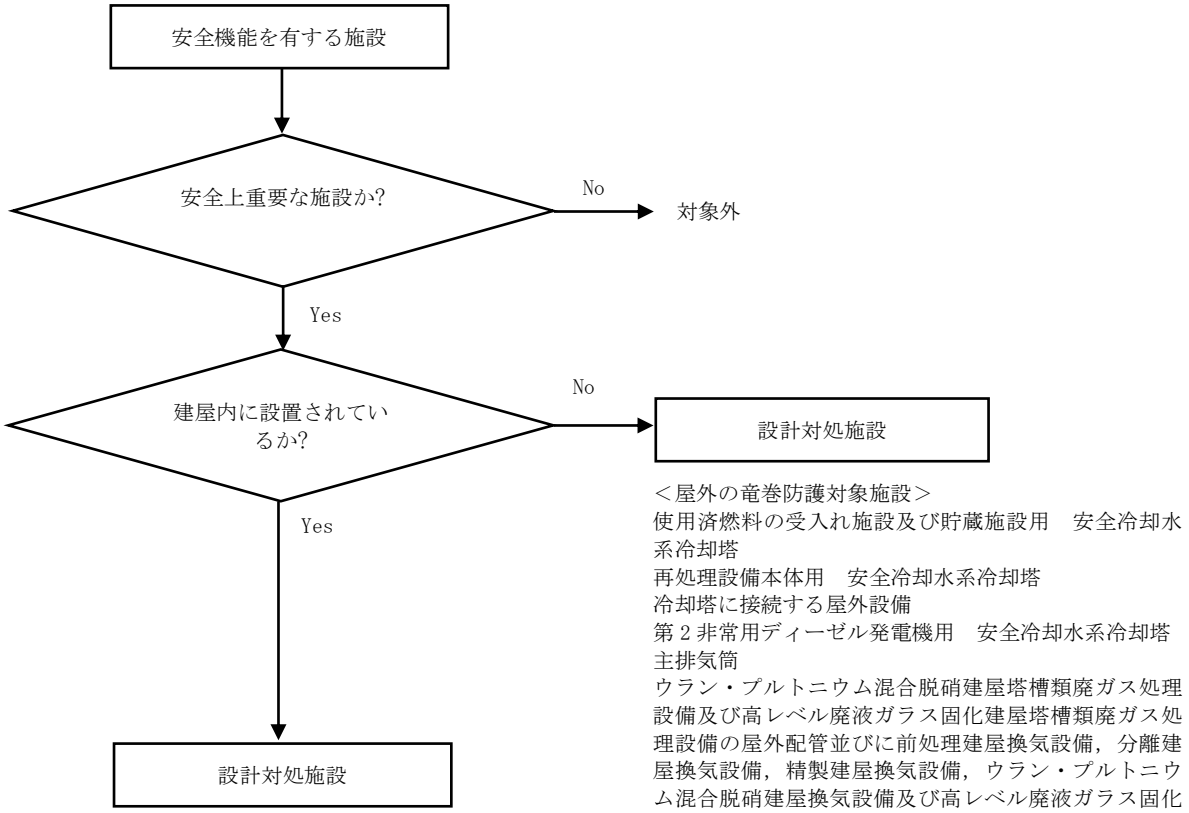
⑶　使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋

⑷　低レベル廃棄物処理建屋

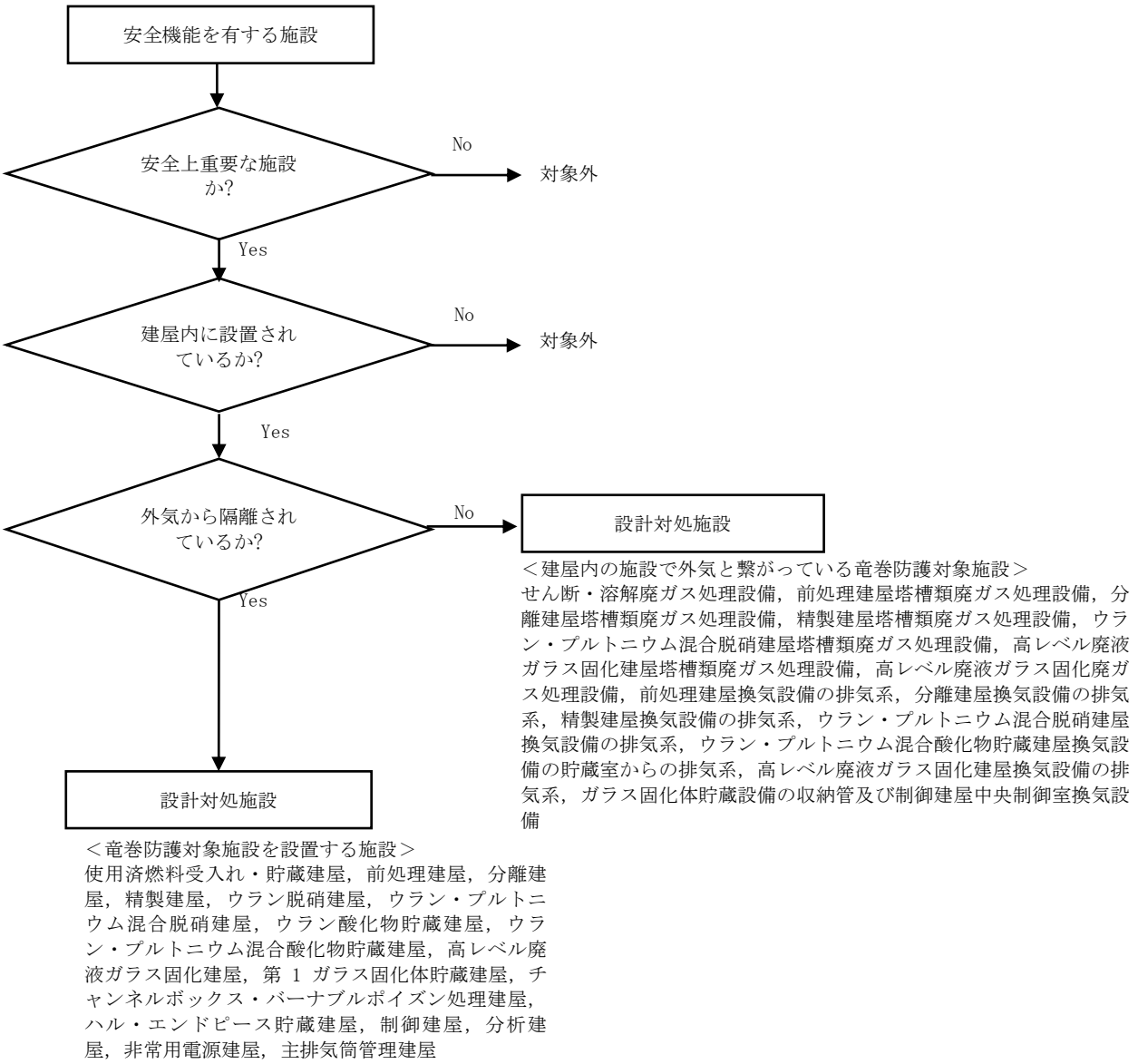
⑸　出入管理建屋

なお，再処理施設内に一時的に保管される使用済燃料収納キャスクは，竜巻により波及的破損を与えない設計とする。

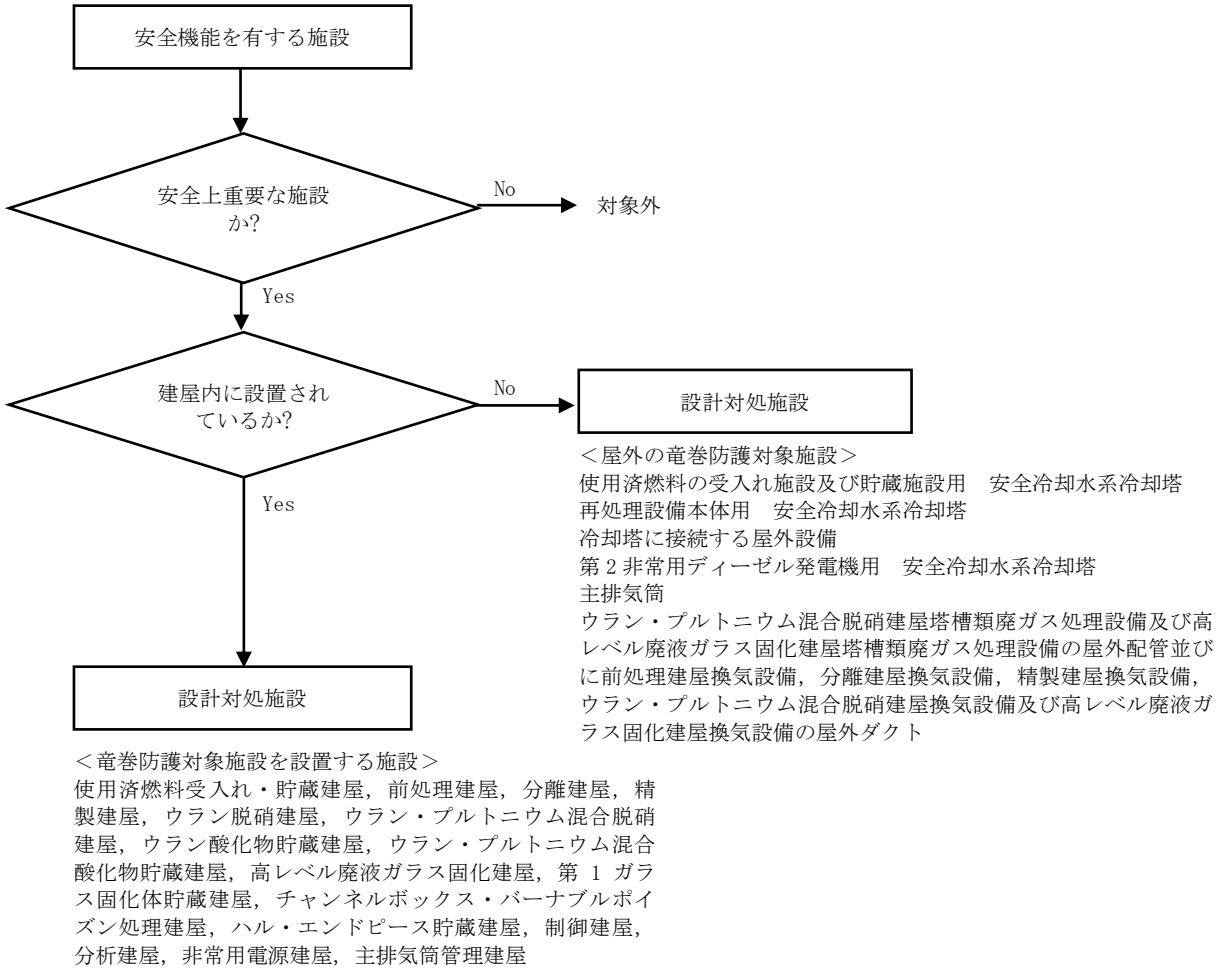
【補足説明資料 3-1～3-4】



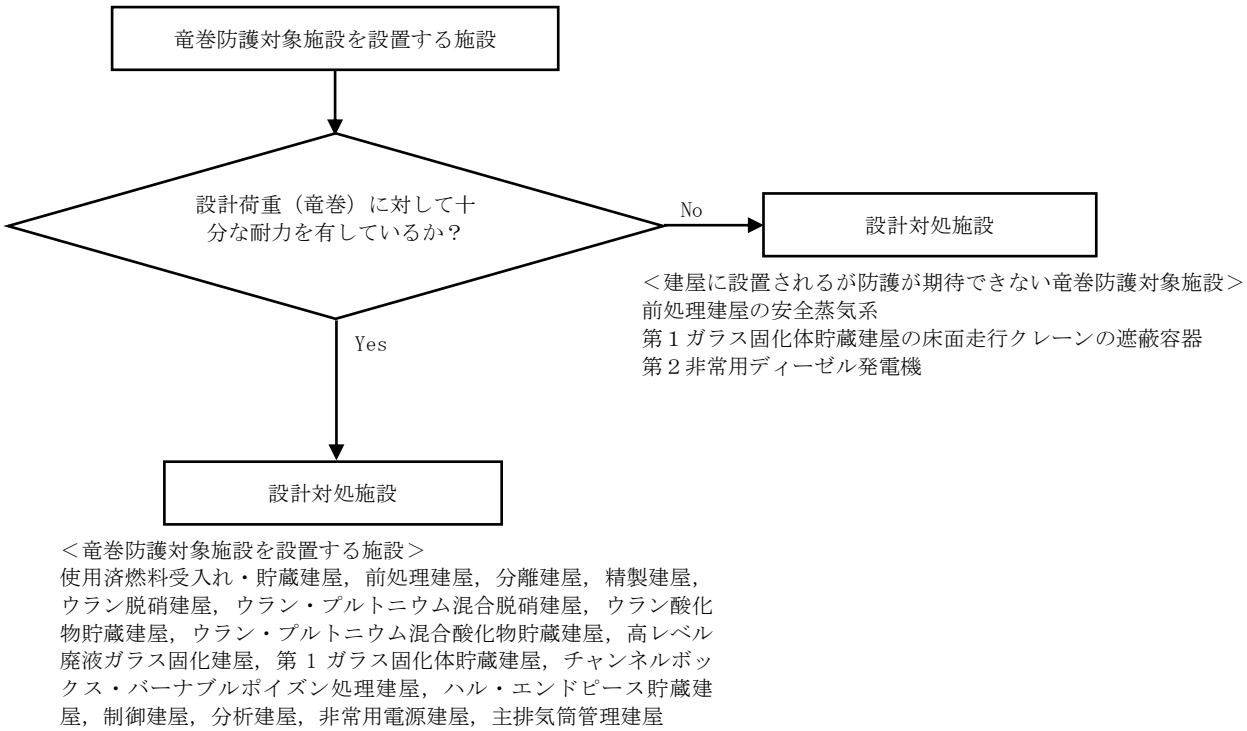
第３－１図　風圧力に対する設計対処施設の選定フロー



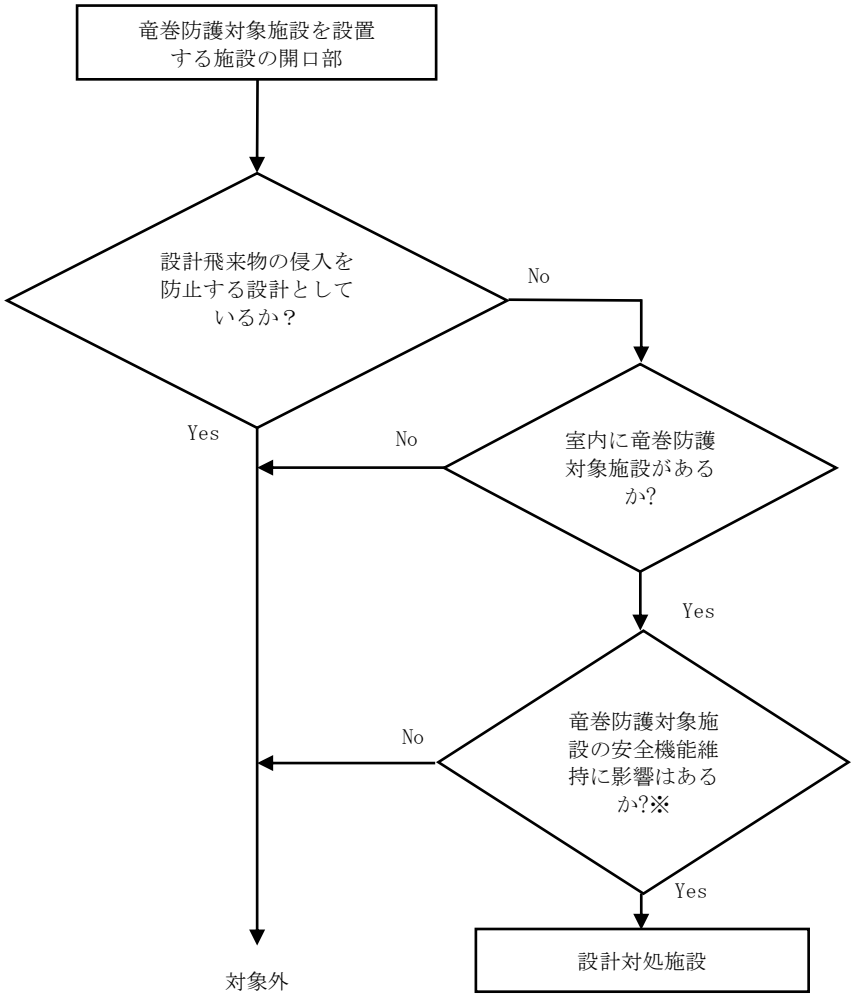
第３－２図　気圧差に対する設計対処施設の選定フロー



第３－３図　飛来物に対する設計対処施設の選定フロー



第３－４図　建屋の耐力に関する設計対処施設の選定フロー



＜建屋に設置されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設＞
前処理建屋の安全蒸気系
前処理建屋，精製建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋の非常用所内電源系統及び計測制御系統施設
高レベル廃液ガラス固化建屋の安全冷却水系
非常用電源建屋の非常用所内電源系統
制御建屋中央制御室換気設備

※設計飛来物が開口部を通じて室内へ侵入した場合に，安全上重要な施設へ衝突する可能性の有無を確認する。

第３－５図　開口部に対する設計対処施設の選定フロー

４．基準竜巻・設計竜巻の設定

基準竜巻及び設計竜巻の設定は竜巻ガイドを参考に実施する。

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

４．１　竜巻検討地域の設定

竜巻検討地域の設定は，竜巻ガイドを参考に再処理施設が立地する地域，気象条件の類似性を考慮して実施する。

⑴　再処理施設が立地する地域の気候

再処理施設が立地する地域は，竜飛岬から奥羽山脈の分水嶺より東側にあり，その地域の気候は，日本海側の気候と太平洋側の気候の両面の特徴を合わせもっている。東北地方を気温，降水及び風により詳細に区分した気候区分を第４－１図に示す。これによると，再処理施設が立地する地域は，区分Ⅲ（青森県北部及び東部地域）のうち区分Ⅲｂ（太平洋側にあるが冬は日本海側の気候型でやませの影響が強い）に属している。

⑵　再処理施設が立地する地域の竜巻発生の観点での特徴

第４－２図に示すとおり，再処理施設が立地する地域周辺においては，もともと竜巻の発生数は少なく，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。）で示されている，全国19個の竜巻集中地域からも離れている。

竜巻発生時の総観場は，東京工芸大学委託成果を参考に，気象庁「竜巻等の突風データベース」の総観場を，竜巻を発生させる親雲の発生要因を考慮して，７種に再編した総観場を用い，竜巻の発生要因別の地域分布の特徴を把握した。竜巻の発生要因別地域分布を第４－

３図に，その特徴を第４－１表に示す。

立地地域周辺における竜巻の発生状況は，日本海側や，茨城県以西の太平洋側における発生状況とも特徴が異なり，日本海側に特徴的な寒候期の竜巻の発生はほとんどなく，暖候期に竜巻が発生している。また，茨城県以西の太平洋側で特徴的な台風起源の竜巻の発生はなく，太平洋海岸付近及び海上での竜巻の発生はほとんどない。

⑶　竜巻検討地域

竜巻検討地域の設定は，竜巻ガイドを参考に，再処理施設が立地する地域の気候及び竜巻発生の観点での特徴を踏まえて実施する。当該地域はもともと竜巻の発生数が少ないため，以下のａ．からｄ．に示す条件を考慮して，青森県から岩手県の太平洋側（竜飛岬から御崎岬）及び北海道地方の南側（白神岬から襟裳岬）の海岸線に沿った海側５ｋｍ及び陸側10ｋｍの範囲を竜巻検討地域に設定する（面積約18,000ｋｍ^2）。第４－４図に竜巻検討地域を示す。

ａ．立地地域の気候及び竜巻発生の観点での特徴を踏まえ，青森県（竜飛岬より太平洋側）から岩手県を基本とする。

ｂ．ＩＡＥＡの基準を参考に，再処理施設を中心とする10万ｋｍ^2（半径約180ｋｍ）の範囲を目安とし，その範囲に掛かる北海道南西部は，立地地域と同じ太平洋側に面していることを考慮して，竜巻検討地域に含める。

ｃ．竜巻検討地域は，分水嶺及び関口武による気候区分（1959）を参考に設定する。

ｄ．再処理施設が海岸線から約５ｋｍの位置に立地していること及び竜巻の発生がほとんど海岸線付近であることから，海岸線に沿った海側５ｋｍ及び陸側10ｋｍの範囲を考える。

ここで，設定した竜巻検討地域の妥当性を確認するために，竜巻検討地域における竜巻の発生要因の出現比率と，日本海側及び太平洋側における出現比率とを比較した結果を第４－５図に示す。竜巻検討地域における竜巻の発生要因の出現比率は，日本海側及び太平洋側の出現比率とも傾向が異なっていることが確認できる。

また，藤田スケール３以上の竜巻の発生しやすさの地域性の検討として，「突風関連指数」による解析を行う。突風関連指数として，積乱雲を発生させる上昇流の強さの目安であるＣＡＰＥ（Ｃｏｎｖｅｃ－ｔｉｖｅ Ａｖａｉｌａｂｌｅ Ｐｏｔｅｎｔｉａｌ Ｅｎｅｒｇｙ：対流有効位置エネルギ）及び積乱雲がスーパーセルに発達しやすいかどうかの指標となるＳＲｅＨ（Ｓｔｏｒｍ Ｒｅｌａｔｉｖｅ Ｈｅｌ－ｉｃｉｔｙ：ストームの動きに相対的なヘリシティ）を算出する。

これらの指数は，竜巻発生の環境場との関連づけで，国内外で広く利用され知見が蓄積されている。ＣＡＰＥの概念を第４－６図に，ＳＲｅＨの概念を第４－７図に示す。

$$\mathrm{CAPE} = \int_{LFC}^{EL} g \frac{\theta'(z) - \theta(z)}{\theta(z)} dz \qquad (a)$$

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

ここで，式（ａ）のｇは重力加速度，θはストーム周囲の温位，θ’は下層の空気塊を上空に持ち上げた際の温位であり，ｄｚは鉛直方向の層厚である。ＬＦＣは自由対流高度，ＥＬは平衡高度である。式（ｂ）のＶは水平風速ベクトル，ωは鉛直シアに伴う水平渦度，Ｃはストームの移動速度である。

各指数の計算は，ヨーロッパ中期予報センター（ＥＣＭＷＦ）の再

解析データ ＥＣＭＷＦ－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）を基に，水平分解能５ｋｍ，時間分解能１時間に解析した気象データセットを用いて，1961年から2010年までの50年間について行い，それに基づいて両指数が同時に閾値を超過する頻度を計算する。同時超過頻度の算出に当たっては，竜巻発生時には少なからず降水がもたらされるため，降水量の閾値（４ｍｍ／ｈ）を設定する。また，ＣＡＰＥは降水過程により安定化し小さくなり得るため，周辺のＣＡＰＥの大きな空気塊が当該メッシュに向かって流入することを考慮した方法を参考に，当該メッシュの風上側半径25ｋｍの扇状範囲内のＣＡＰＥの最大値を算出する。

ＣＡＰＥについては，緯度及び季節で絶対値が大きく変動するため，暖候期（５月～10月）及び寒候期（11月～４月）に分けて，それぞれ閾値を設定する。藤田スケール３以上の竜巻が発生し得る環境場として以下の閾値を用いる。

［暖候期（５月～10月）］

ＣＡＰＥ：1,200Ｊ／ｋｇ，　ＳＲｅＨ：350m^2／s^2

［寒候期（11月～４月）］

ＣＡＰＥ： 500 Ｊ／ｋｇ，　ＳＲｅＨ：350m^2／s^2

暖候期及び寒候期に対する同時超過頻度分布の算出結果を第４－８図に示す。暖候期においては，太平洋側及び東シナ海から対馬海峡にかけては比較的大きな値となっている。また，沿岸域では，茨城県東海岸から西の本州太平洋側，九州太平洋側及び東シナ海側で高く，特に宮崎平野沿岸では大きい値となっている。それに比べて，日本海側及び茨城県以北の太平洋側の値は１～２桁以上小さな値であり，藤田スケール３規

模の竜巻の発生が未だ確認されていないことと対応している。

本手法による解析により，藤田スケール３以上の竜巻の発生しやすさの地域性を特定でき，竜巻検討地域において藤田スケール３以上の竜巻は極めて発生し難いといえる。

４．２　基準竜巻の最大風速の設定

基準竜巻の最大風速は，竜巻ガイドを参考に，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。

⑴　過去に発生した竜巻による最大風速（V_{B1}）

過去に発生した竜巻による最大風速（V_{B1}）の設定に当たっては，日本で過去（1961年から2013年12月）に発生した最大の竜巻は藤田スケール３であり，藤田スケール３における風速は70ｍ／ｓ～92ｍ／ｓであることから，その最大風速を基にV_{B1}を92ｍ／ｓとする。第４－２表に日本で過去に発生した藤田スケール３の竜巻の一覧を示す。

⑵　竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）

竜巻最大風速のハザード曲線は，竜巻ガイドを参考とした既往の算定方法に基づき，具体的には，東京工芸大学委託成果を参考に算定する。本評価は，竜巻データの分析，竜巻風速，被害幅及び被害長さの確率密度分布の算定，相関係数の算定並びにハザード曲線の算定によって構成される。

ａ．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」に掲載されている竜巻年別発生確認数（第４－９図）を基に，竜巻検討地域（海岸線から陸側に10ｋｍ，海側に５ｋｍの計15ｋｍ幅の範囲）における1961年から2013年12月までの53年間の統計量を藤田スケール別に算出する。また，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⒜から⒞の基本的な考え方に基づいて整理を行う。

⒜　被害が小さくて見過ごされやすい藤田スケール０及び藤田スケール不明の竜巻に対しては，観測体制が強化された2007年以降の年間発生

数や標準偏差を用いる。

(b) 被害が比較的軽微な藤田スケール１竜巻に対しては，観測体制が整備された1991年以降の年間発生数や標準偏差を用いる。

(c) 被害が比較的大きく見逃されることがないと考えられる藤田スケール２及び藤田スケール３竜巻に対しては，観測記録が整備された1961年以降の全期間の年間発生数や標準偏差を用いる。

また，藤田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藤田スケールが推定されるため，陸上での藤田スケール不明の竜巻は，被害が少ない藤田スケール０竜巻とみなす。

一方，海上で発生しその後上陸しなかった竜巻については，その竜巻の藤田スケールを推定することは困難であることから，「沿岸部近傍での竜巻の発生特性は，陸上と海上とで類似している」という仮定に基づいて各藤田スケールに分類する。

以上を踏まえて，第４－３表のとおり，観測データから53年間の推定データを評価する。

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）が大きい分布となり，東京工芸大学委託成果にポリヤ分布への適合性が良いことが示されている。以上より，ハザード曲線の評価に当たって使用する竜巻の年発生数の確率分布は，第４－10図に示すとおりポリヤ分布を採用する。

b．竜巻風速，被害幅及び被害長さの確率密度分布並びに相関係数

竜巻検討地域における53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竜巻ガイド及び竜巻ガイドが参考と

している東京工芸大学委託成果を参考に，第４－11図から第４－13図に示すとおり対数正規分布に従うものとする。

また，53年間の推定データ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る。その際は，被害幅又は被害長さが長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評価を行う。

さらに，1961年以降の観測データのみを用いて，第４－４表に示すとおり竜巻風速，被害幅及び被害長さについて相関係数を求める。

ｃ．竜巻影響エリアの設定

再処理施設においては設計対処施設が敷地内に分散しているため，それぞれの設計対処施設を包含する円を設置面積とみなし，これらの設置面積の合計値と等価な面積の円を第４－14図に示すとおり竜巻影響エリアとして設定する。

なお，竜巻影響エリアを円形とするため，竜巻の移動方向には依存性は生じない。

ｄ．ハザード曲線の算定

Ｔ年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，かつ，竜巻風速がV_0以上となる確率を求め，ハザード曲線を求める。

前述のとおり，竜巻の年発生数の確率分布としてポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は式（ａ）で示される（Ｗｅｎ　ａｎｄ　Ｃｈｕ）。

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

ここで，Ｎは竜巻の年発生数，νは竜巻の年平均発生数，Ｔは年数である。βは分布パラメータであり，式（ｂ）で示される。

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

ここで，σは竜巻の年発生数の標準偏差である。

Ｄを竜巻影響評価の対象構造物が風速V_0以上の竜巻に遭遇する事象と定義し，対象構造物が１つの竜巻に遭遇し，その竜巻の風速がV_0以上となる確率をＲ（V_0）としたとき，Ｔ年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，かつ，竜巻風速がV_0以上となる確率は式（ｃ）で示される。

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

このＲ（V_0）は，竜巻影響評価の対象地域の面積をA_0（すなわち，竜巻検討地域の面積約1.8×10^4 ｋｍ^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（ｄ）で示される。

$$R(V_0) = \frac{E\left[DA(V_0)\right]}{A_0} \qquad \text{（d）}$$

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（ｄ）によりＲ（V_0）を推定して，式（ｃ）により$P_{V_0,T}(D)$を求める。風速をＶ，被害幅をｗ，被害長さをｌ，移動方向をαとし，同時確率密度関数を用いると，ＤＡ（V_0）の期待値は式（ｅ）で示される（Ｇａｒｓｏｎ ｅｔ ａｌ．）。

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

ここで，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対象構造物を投影したときの長さである。竜巻影響エリアを円形で設定しているため，Ｈ（α），Ｇ（α）ともに竜巻影響エリアの直径560ｍで一定となる（竜巻の移動方向に依存しない）。Ｓは竜巻影響エリアの面積（直径560ｍの円の面積：約2.5×10^5 m^2）を表す。竜巻影響エリアの直径をD_0とした場合の計算式は式（ｆ）で示される。

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

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

また，Ｗ（V_0）は，竜巻の被害幅のうち風速がV_0を超える部分の幅であり，式（ｇ）で示される。この式により，被害幅内の風速分布に応じて被害様相に分布がある（被害幅の端ほど風速が小さくなる）ことが考慮されている（Ｇａｒｓｏｎ　ｅｔ　ａｌ.）。

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

ここで，係数の1.6について，既往の研究では例えば0.5や1.0などの値も提案されている。竜巻ガイドが参考としている文献　（Ｇａｒｓｏｎ　ｅｔ　ａｌ.）では，観測値が不十分であるため，より厳しい評価となるよう1.6を用いることが推奨されており，本検討でも1.6を用

いる。また，再処理施設の竜巻影響評価では，ランキン渦モデルによる竜巻風速分布に基づいて設計竜巻の特性値を設定する。ランキン渦モデルは高さ方向によって風速及び気圧が変化しないため，地表から上空まで式（ｇ）を適用できる。なお，式（ｇ）において係数を1.0とした場合がランキン渦モデルに該当する。

また，V_{min}は，ｇａｌｅ ｉｎｔｅｎｓｉｔｙ ｖｅｌｏｃｉｔｙと呼ばれ，被害が発生し始める風速に位置づけられる。米国気象局ＮＷＳ（Ｎａｔｉｏｎａｌ Ｗｅａｔｈｅｒ Ｓｅｒｖｉｃｅ）では，ｇａｌｅ ｉｎｔｅｎｓｉｔｙ ｖｅｌｏｃｉｔｙは34～47ノット（17.5～24.2ｍ／ｓ）とされている。また，気象庁が使用している風力階級では，風力８は疾強風（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，本評価においては，V_{min}＝25ｍ／ｓとする。なお，この値は藤田スケール０（17～32ｍ／ｓ）のほぼ中央値に相当する。

以上より，竜巻検討地域を対象に算定したハザード曲線を第４－15図に示す。

ｅ．竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）

竜巻最大風速のハザード曲線により設定する最大風速V_{B2}は，竜巻ガイドを参考に年超過確率10^{-5}に相当する風速とし，49ｍ／ｓとする。

ｆ．１ｋｍ範囲ごとの評価（参考評価）

竜巻検討地域を海岸線に沿って１ｋｍ範囲ごとに細分化した短冊状の範囲を対象にハザード曲線を求める。評価の条件として，発生数は，短冊状の範囲を通過した竜巻もカウントしている。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。以上に基づいて，竜巻検討地域の評価と同様の方法で算定したハザード曲線を第４－16図に示す。これより，年超過確率10^{-5}に相当する風速を求めると，海岸線から陸側１ｋｍを対象とした場合の65ｍ／ｓが最大となる。ただし，再処理施設は海岸線から陸側１ｋｍの範囲にないため，本評価は参考とする。

⑶　基準竜巻の最大風速

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}＝49ｍ／ｓより，再処理施設における基準竜巻の最大風速V_Bは92ｍ／ｓとする。風速92ｍ／ｓに相当する年超過確率は，ハザード曲線より5.2×10^{-8}である。

４．３　設計竜巻の最大風速の設定

再処理施設が立地する地域の特性を考慮して，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。

再処理施設では，敷地が平坦であり，竜巻の増幅を考慮する必要のある地形はないと考えられるため，基準竜巻の最大風速に対する割り増しは行わず，設計竜巻の最大風速は92ｍ／ｓとなるが，竜巻に対する設計に当たっては，蓄積されている知見の少なさといった不確定要素を考慮し，設計及び運用に安全余裕を持たせるために，設計竜巻の最大風速を100ｍ／ｓとする。風速100ｍ／ｓに相当する年超過確率は，ハザード曲線より1.86×10^{-8}である。

【補足説明資料 4-1～4-7】

第４－１表　竜巻の発生要因別の地域分布の特徴

総観場注)	気象庁竜巻データベースの分類	発生分布の特徴
台風	台風	関東以西の太平洋側(特に東～南方向に開けた地域)で発生頻度が高く，Ｆ２，Ｆ３スケールの強い竜巻も多い。
温帯低気圧	南岸低気圧，日本海低気圧，二つ玉低気圧，東シナ海低気圧，オホーツク海低気圧，その他(低気圧)，寒冷前線，温暖前線，閉塞前線	全国的に発生頻度が高く，Ｆ２，Ｆ３スケールの竜巻も見られる。特に，南～西方向に開けた地域はより頻度が高い。
季節風(夏)	暖気の移流，熱帯低気圧，湿舌，太平洋高気圧	太平洋側や内陸を中心に，全国的に多くみられる。
季節風(冬)	寒気の移流，気圧の谷，大陸高気圧，季節風	日本海側や関東以北で発生頻度が高い。
停滞前線	停滞前線，梅雨前線，前線帯，不安定線，その他(前線)	関東以西でみられる。
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	移動性高気圧，中緯度高気圧，オホーツク海高気圧，帯状高気圧，その他(高気圧)，大循環異常，その他	全国的に発生数が少なく，地域差はみられない。

注）東京工芸大学委託成果を参考に，気象庁「竜巻等の突風データベース」の総観場を，竜巻を発生させる親雲の発生要因を考慮して，７種に再編した。

第４－２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）

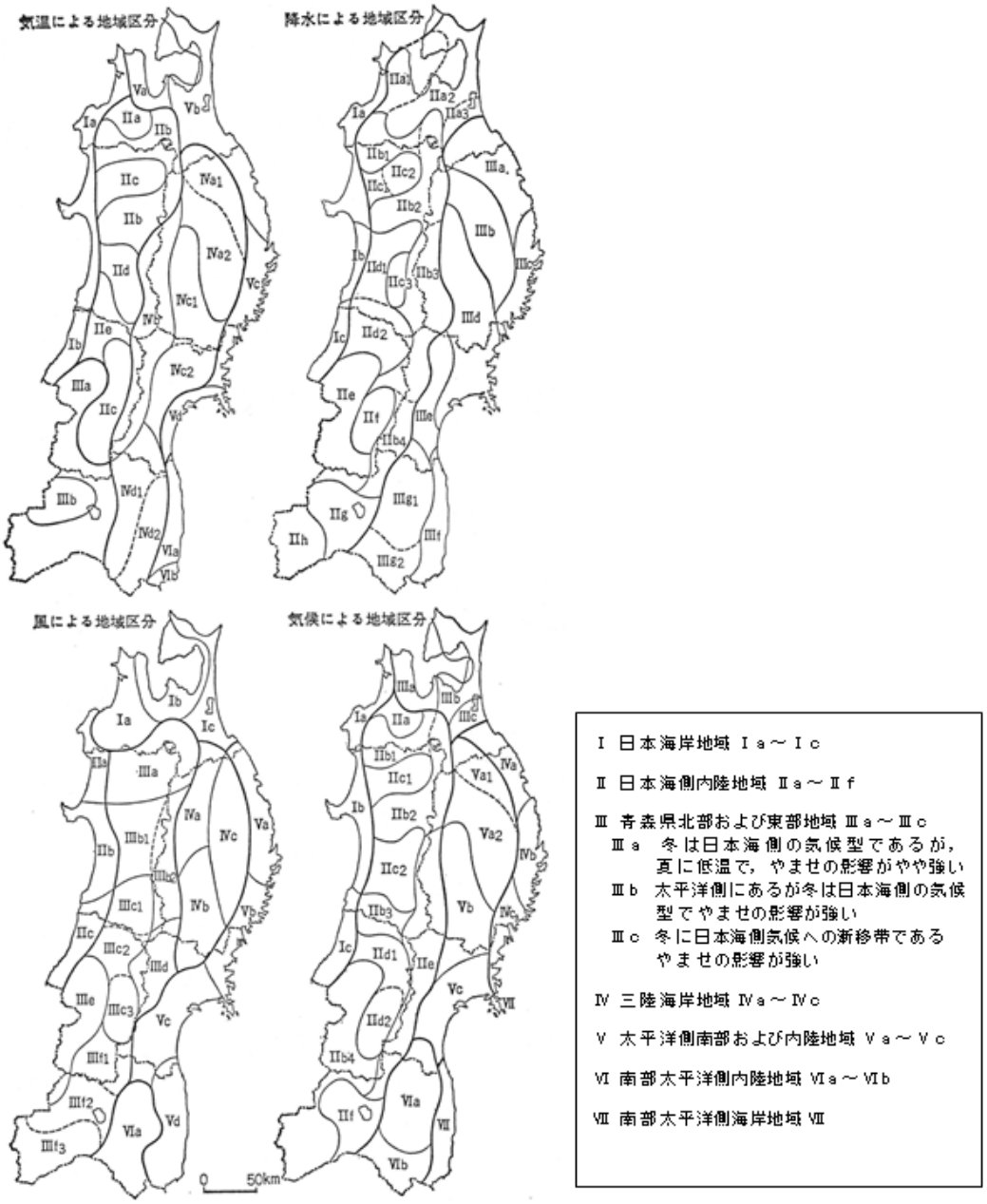
発生日時	発生場所			
	緯度	経度	都道府県	市町村
1971年07年07日07時50分	35度54分20秒	139度40分45秒	埼玉県	大宮市
1990年12月11日19時13分	35度28分39秒	140度18分57秒	千葉県	茂原市
1999年09月24日11時07分	34度42分4秒	137度23分5秒	愛知県	豊橋市
2006年11月07日13時23分	43度59分20秒	143度42分25秒	北海道網走支庁	佐呂間町
2012年05月06日12時35分	36度6分38秒	139度56分44秒	茨城県	つくば市

第４－３表　竜巻発生数の分析結果

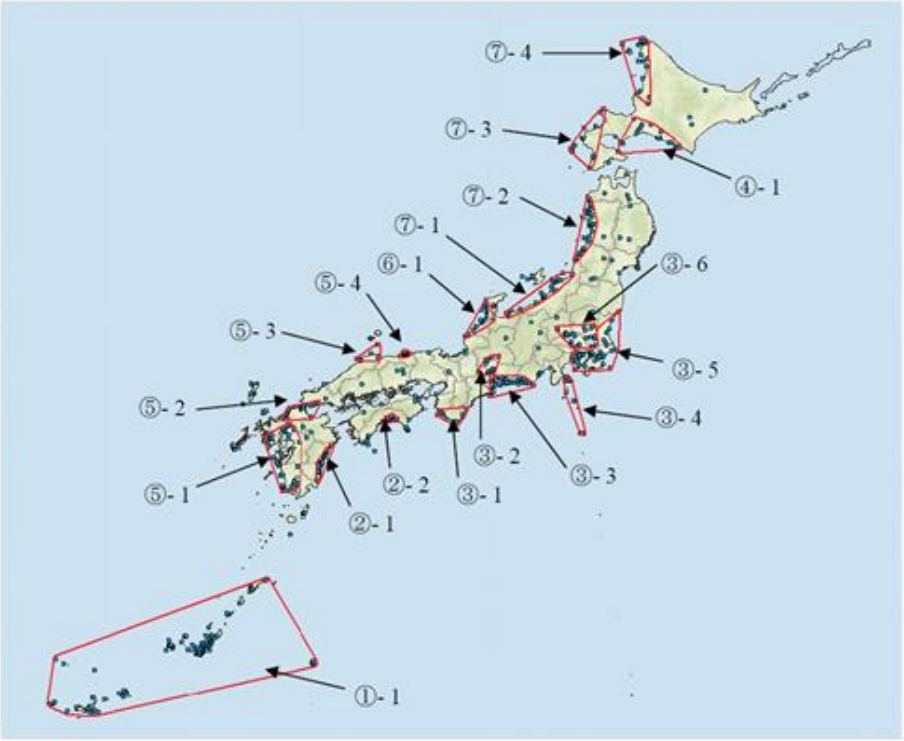
発生数の統計		（陸上＋上陸）竜巻							海上竜巻	総数
		F0	F1	F2	F3	F4	不明	小計	不明	
1961/1～2013/12 （53 年間）	期間内総数（個）	6	9	4	0	0	1	20	5	25
	年平均（個）	0.11	0.17	0.08	0.00	0.00	0.02	0.38	0.09	0.47
	標準偏差（個）	0.58	0.51	0.27	0.00	0.00	0.14	0.97	0.41	1.08
1991/1～2013/12 （23 年間）	期間内総数（個）	6	9	2	0	0	1	18	5	23
	年平均（個）	0.26	0.39	0.09	0.00	0.00	0.04	0.78	0.22	1.00
	標準偏差（個）	0.86	0.72	0.29	0.00	0.00	0.21	1.35	0.60	1.48
2007/1～2013/12 （7 年間）	期間内総数（個）	5	3	0	0	0	0	8	4	12
	年平均（個）	0.71	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	1.14	0.57	1.71
	標準偏差（個）	1.50	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	1.86	0.98	2.06
推定データ （53 年間） （按分後）	期間内総数（個）	57	32	6	0	0	0			95
	年平均（個）	1.07	0.58	0.11	0.00	0.00	0.00			1.76
	標準偏差（個）	1.83	0.88	0.33	0.00	0.00	0.00			2.06
推定データ （53 年間） （全竜巻）	期間内総数（個）	57	32	6	0	0	0			95
	年平均（個）	1.08	0.60	0.11	0.00	0.00	0.00			1.79
	標準偏差（個）	1.83	0.88	0.33	0.00	0.00	0.00			2.06

第４－４表　竜巻風速，被害幅及び被害長さの相関係数

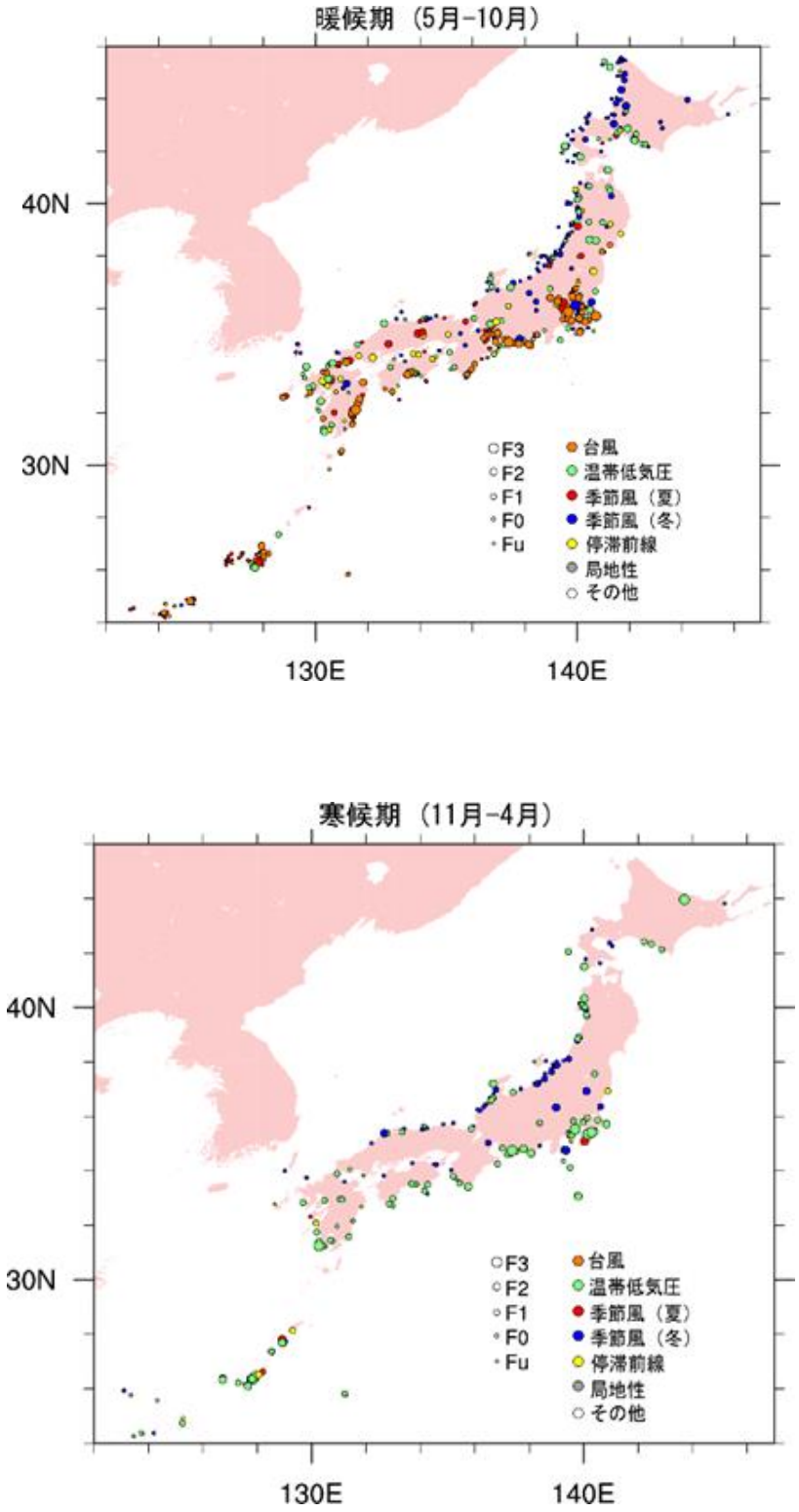
相関係数（対数）	風速（m／ｓ）	被害幅（m）	被害長さ（m）
風速（m／s）	1.0000	0.0800	0.4646
被害幅（m）	0.0800	1.0000	0.2418
被害長さ（m）	0.4646	0.2418	1.0000



第４－１図　吉野正敏（1967～）による東北地方の気候区分



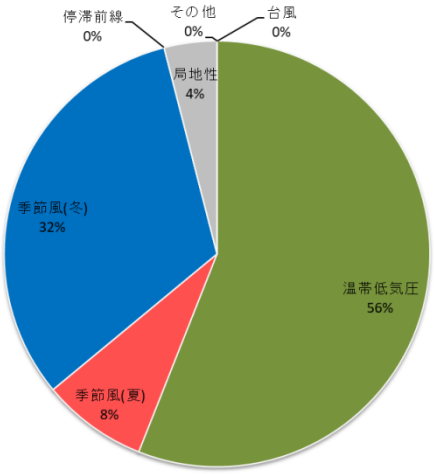
第４－２図　竜巻の発生地点と竜巻が集中する 19 個の地域



第４－３図　竜巻の発生要因別地域分布

第４－４図　竜巻検討地域

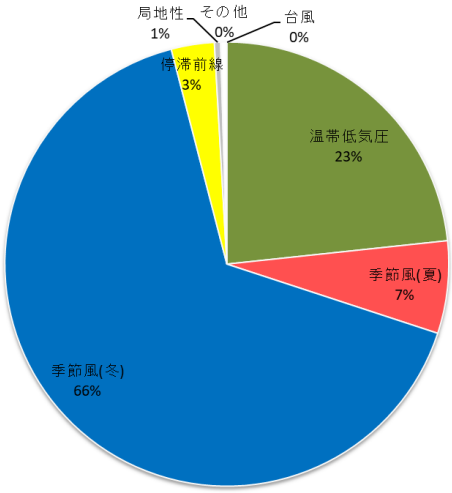
関口武（1959）：日本の気候区分を基に作成



◆竜巻検討地域

・「温帯低気圧」を起源とする竜巻が多い。

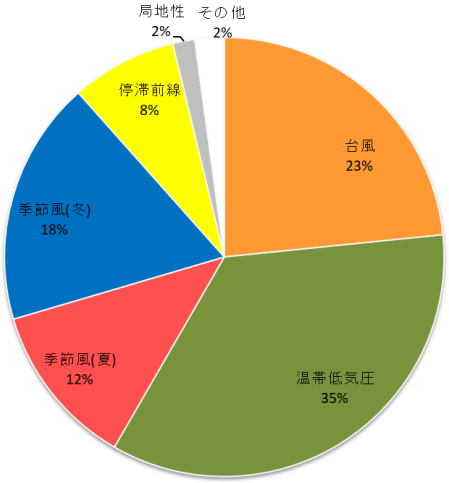
・太平洋側で多くみられる「台風」を起源とする竜巻は確認されていない。



◆北海道～山口県の日本海側（223 事例）

・「季節風(冬)」を起源とする竜巻が多い。

・「台風」を起源とする竜巻は確認されていない。

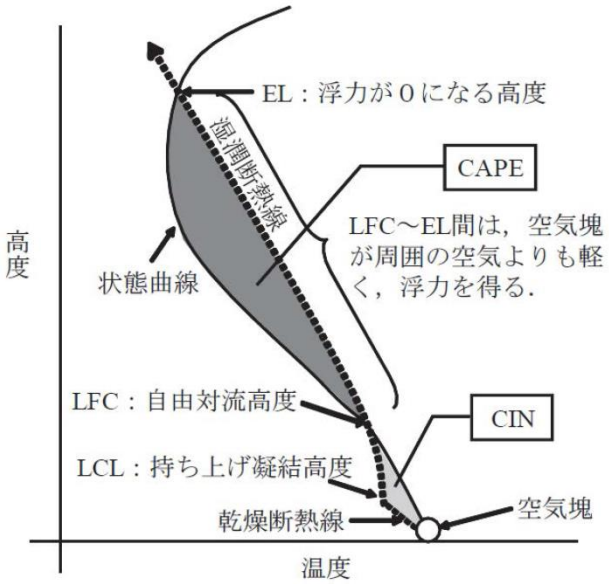


◆茨城県以西の太平洋側（372 事例）

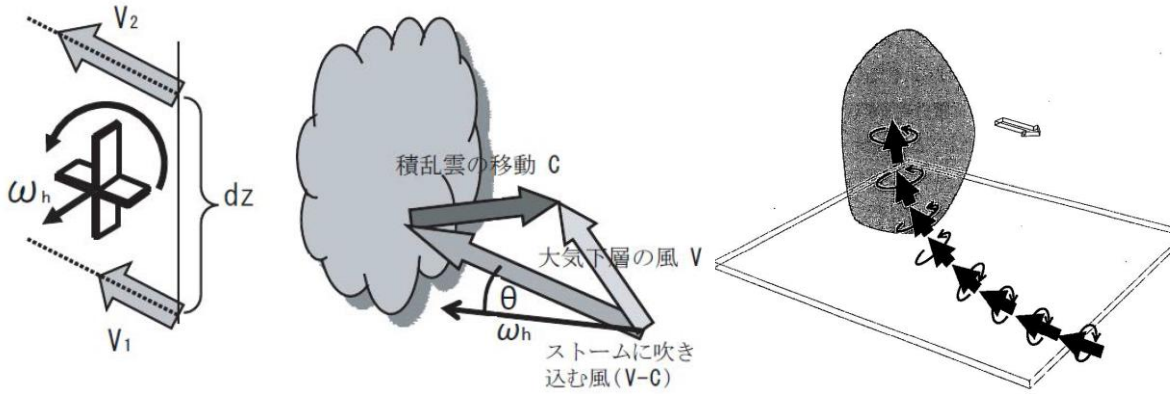
・竜巻検討地域と比較して，「台風」，「季節風(夏)」，「停滞前線」を起源とする竜巻が多い。

・太平洋側から暖かく湿った気流が，竜巻の親雲の発達を促すと考えられる。

第４－５図　竜巻検討地域等における竜巻の発生要因の出現比率



第４－６図　ＣＡＰＥの概念

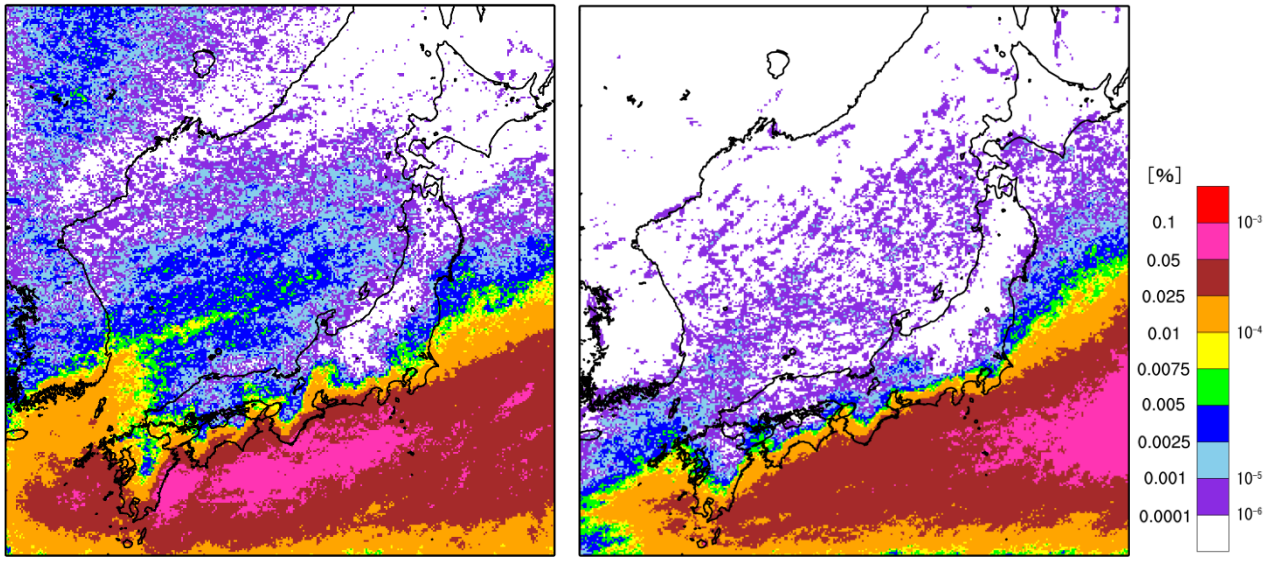


（a）鉛直シアーにより水平渦度が生じる

（b）積乱雲の移動と積乱雲に吹き込む風

（c）「水平軸周り」に回転する渦(矢印)が親雲に吸い上げられて立ち上がり，「鉛直軸周り」の回転になる。

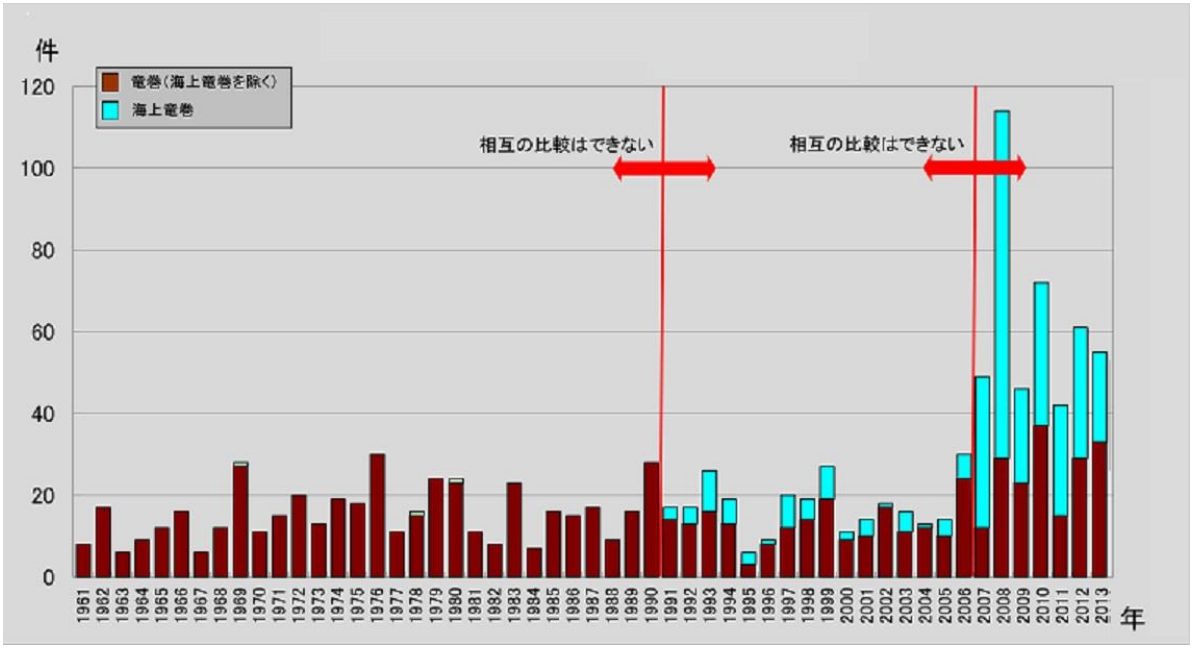
第４－７図　ＳＲｅＨの概念



暖候期（5月－10月）における
CAPE≧1200 J/kg かつ SReH≧350 m^2/s^2

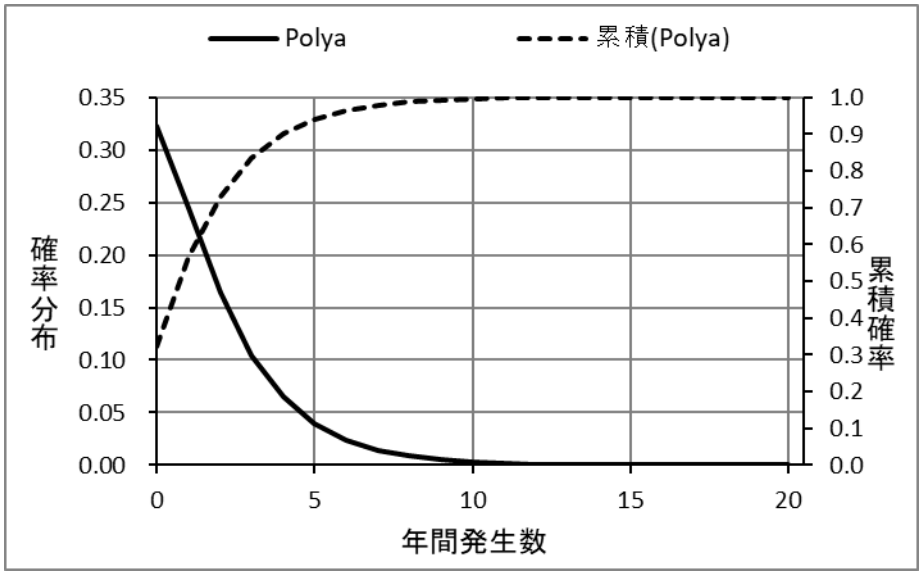
寒候期（11月－4月）における
CAPE≧500 J/kg かつ SReH≧350 m^2/s^2

第４－８図　同時超過頻度分布の算出結果

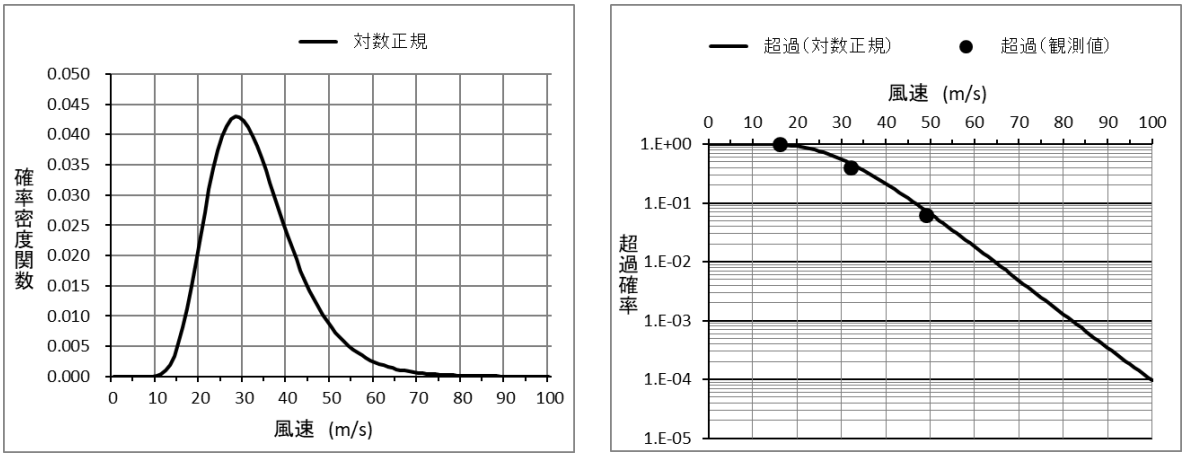


（出典：気象庁「竜巻等の突風データベース」）

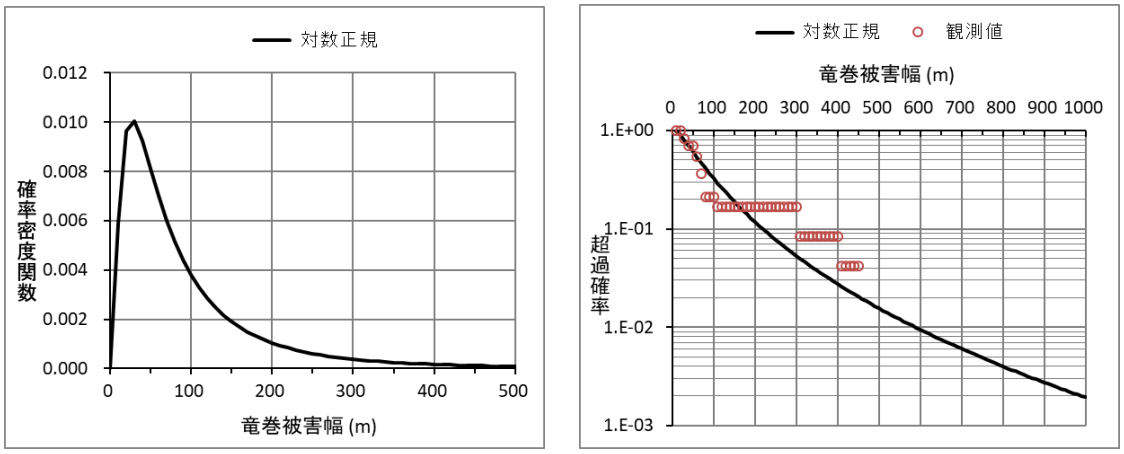
第４－９図　竜巻年別発生確認数



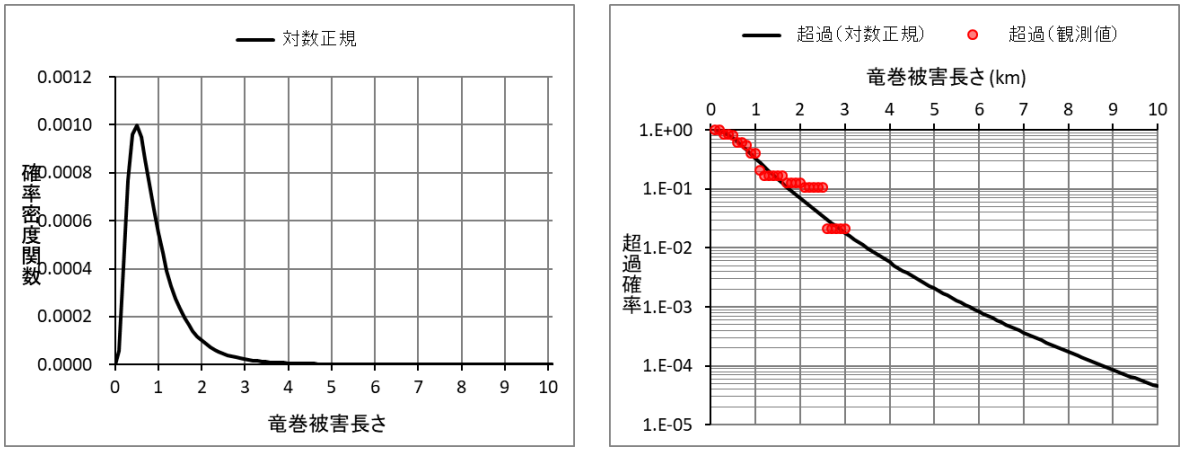
第４－10 図　竜巻検討地域における竜巻発生数の確率分布と累積確率



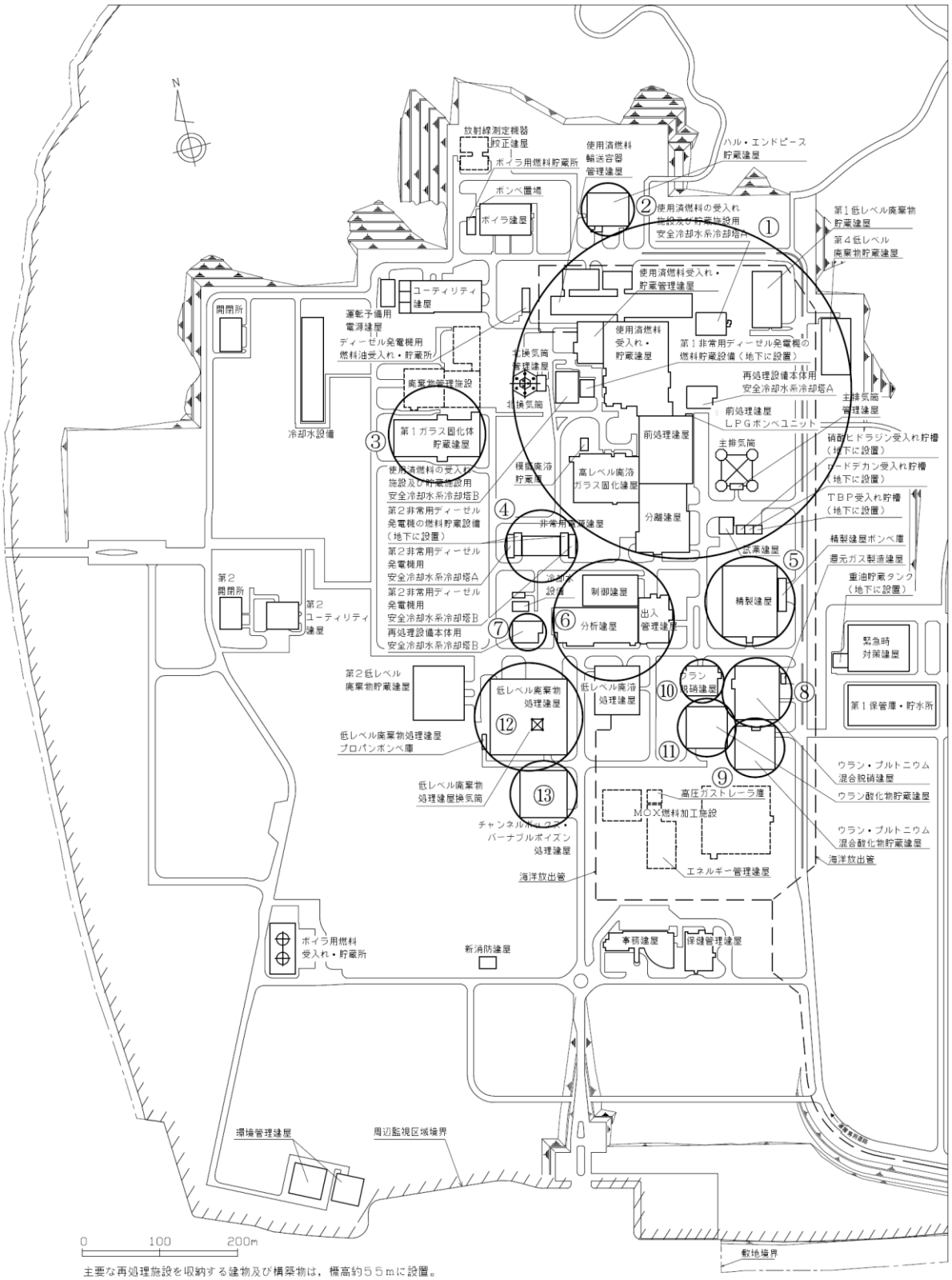
第４－11 図　風速の確率密度分布（左）と超過確率（右）



第４－12 図　被害幅の確率密度分布（左）と超過確率（右）



第４－13 図　被害長さの確率密度分布（左）と超過確率（右）



主要な再処理施設を収納する建物及び構築物は，標高約５５ｍに設置。

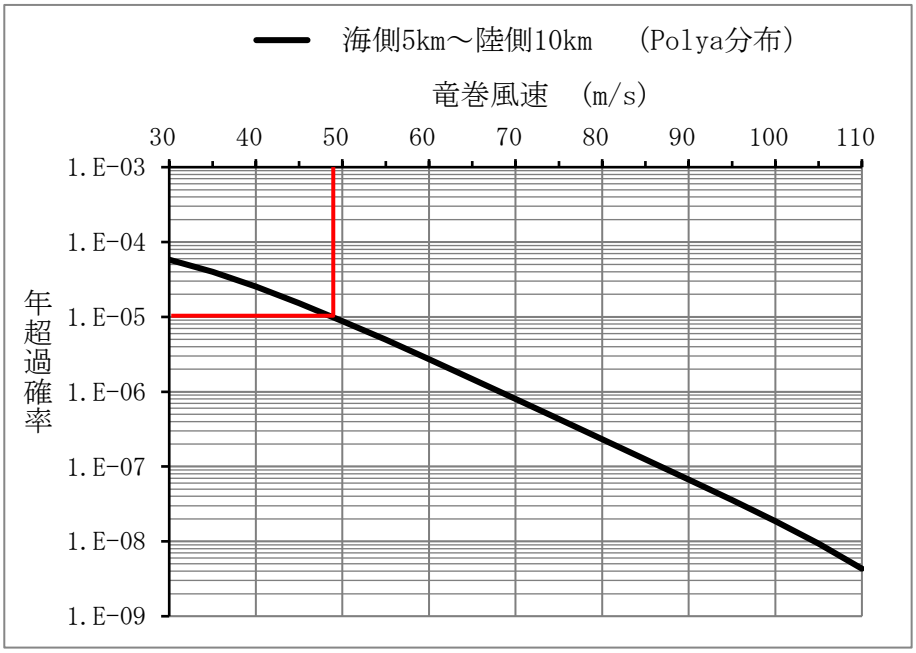
エリア番号	直径(m)	面積(m²)
①	437	1.5×10^5
②	68	3.7×10^3
③	126	1.2×10^4
④	93	6.8×10^3
⑤	116	1.1×10^4

エリア番号	直径(m)	面積(m²)
⑥	157	1.9×10^4
⑦	48	1.8×10^3
⑧	89	6.3×10^3
⑨	76	4.5×10^3
⑩	56	2.5×10^3

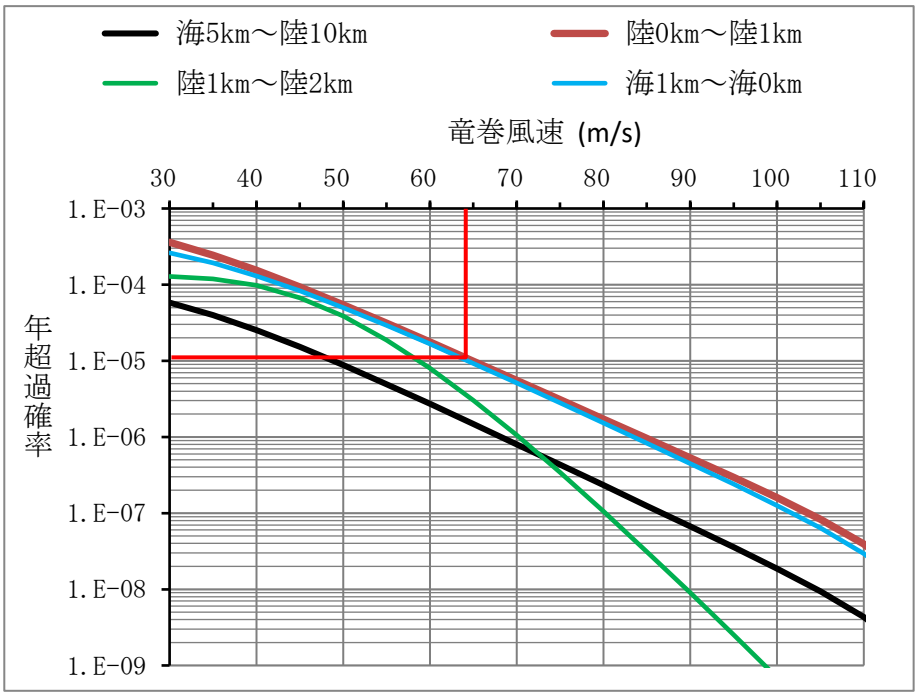
エリア番号	直径(m)	面積(m²)
⑪	75	4.4×10^3
⑫	143	1.6×10^4
⑬	86	5.8×10^3
合計値	(557)	2.4×10^5
評価に用いる値	560	2.5×10^5

（　）内は換算値

第４－14図　竜巻影響エリア



第４－15 図　竜巻最大風速のハザード曲線（竜巻検討地域）



第４－16 図　竜巻最大風速のハザード曲線（１ｋｍ範囲）（参考）

５．設計荷重（竜巻）の設定

設計竜巻の特性値については，現状，設定に足る十分な信頼性を有した観測記録等が無いため，竜巻ガイドを参考に設定する。設計竜巻の特性値を第５－１表に示す。また，設計竜巻については，今後も継続的に観測データ及び増幅に関する新たな知見の収集に取り組み，必要な事項については適切に反映を行う。

⑴設計竜巻の移動速度（V_T）

設計竜巻の移動速度（V_T）は，東京工芸大学委託成果を参考に，日本の竜巻における移動速度と最大竜巻風速の関係に基づく以下の式を用いて算定する。

$$V_T = 0.15 \times V_D$$

V_D（m／s）：設計竜巻の最大風速

⑵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，米国原子力規制委員会の基準類を参考に，以下の式を用いて算定する。

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

⑶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，東京工芸大学委託成果による日本の竜巻の観測記録を基に提案されたモデルを参考として，以下の値を用いる。

$$R_m = 30 \text{（m）}$$

⑷設計竜巻の最大気圧低下量（ΔP_{max}）

設計竜巻の最大気圧低下量（ΔP_{max}）は，米国原子力規制委員会の基準類のランキン渦モデルによる風速分布を参考に，　以下の式を用いて算定する。

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

ρ ：空気密度（1.22（ｋｇ／m^3））

⑸設計竜巻の最大気圧低下率（$(dp/dt)_{max}$）

設計竜巻の最大気圧低下率（$(dp/dt)_{max}$）は，米国原子力規制委員会の基準類のランキン渦モデルによる風速分布を参考に，以下の式を用いて算定する。

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

５．１　設計飛来物の設定

竜巻ガイドを参考に現地調査により敷地内をふかんした調査及び検討を行い，敷地内の資機材の設置状況を踏まえ，設計対処施設に衝突する可能性のある飛来物を抽出する。抽出した飛来物に竜巻ガイドに例示される飛来物を加え，それぞれの寸法，質量及び形状から飛来の有無を判断し，運動エネルギ及び貫通力を考慮して，竜巻防護対策によって防護が出来ない可能性があるものは，浮き上がり又は横滑りの有無を考慮した上で，固縛，建屋収納又は敷地からの撤去により飛来物とならないようにする。

設計対処施設以外の建屋及び屋外施設は，竜巻防護対策によって防護出来ない可能性のある飛来物を発生させることのないよう，建屋の屋根及び外壁を固定する運用とすることから，飛来物の発生源として考慮しない。

車両については，周辺防護区域への入構を管理するとともに，固縛又は退避を必要とする区域（以下「飛来対策区域」という。）を設定し，竜巻の襲来が予想される場合には，停車又は走行している場所に応じて固縛するか又は飛来対策区域外の避難場所へ退避することにより，飛来物とならないよう管理を行うことから，設計飛来物として考慮しない。

また，敷地外から飛来するおそれがあり，かつ敷地内からの飛来物による衝撃荷重を上回ると想定されるものとしてむつ小川原ウィンドファームの風力発電施設のブレードがある。むつ小川原ウィンドファームの風力発電施設から設計対処施設までの距離及び設計竜巻によるブレードの飛来距離を考慮すると，ブレードが設計対処施設まで到達するおそれはないことから，ブレードは設計飛来物として考慮しない。

以上のことから，設計対処施設に衝突する可能性がある飛来物として，竜巻ガイドに例示される鋼製材を設計飛来物として設定する。更に，飛来物防護ネットの形状及び寸法を考慮して，鋼製材より小さく飛来物防護ネ

ットを通過する可能性がある設計飛来物として，竜巻ガイドに例示される鋼製パイプを設定する。

鋼製パイプより小さく，飛来物防護ネットで捕捉できない飛来物として砂利が考えられるが，衝突時の運動エネルギは十分小さく，飛来物防護ネットを設置する施設は砂利による影響を受けない。

なお，降下火砕物の粒子による影響については，設計飛来物の影響に包含される。

第５－２表に再処理施設における設計飛来物を示す。

５．２　荷重の組合せと許容限界

⑴　設計対処施設に作用する設計竜巻荷重

設計竜巻により設計対処施設に作用する設計竜巻荷重を以下に示す。

ａ．風圧力による荷重

竜巻の最大風速による荷重であり，竜巻ガイドを参考に次式のとおり算出する。

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

ここで，

W_W　：風圧力による荷重

q　：設計用速度圧

G　：ガスト影響係数（＝1.0）

C　：風力係数（施設の形状や風圧力が作用する部位に応じて設定する。）

A　：施設の受圧面積

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

である。ここで，

ρ　：空気密度

V_D　：設計竜巻の最大風速

である。

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設計対処施設が存在する場合には，鉛直方向の最大風速に基づいて算出した鉛直方向の風圧力による荷重についても考慮した設計とする。

ｂ．気圧差による荷重

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

る設備並びに竜巻防護対象施設を設置する施設の建屋壁及び屋根においては，設計竜巻による気圧低下によって生じる設計対処施設の内外の気圧差による圧力荷重を考慮し，より厳しい結果を与える「閉じた施設」を想定して次式のとおり算出する。「閉じた施設」とは通気がない施設であり，施設内部の圧力が竜巻の通過以前と以後で等しいとみなせる。他方，施設の外側の圧力は竜巻の通過中に変化し，施設内外に圧力を生じさせる。

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

ここで，

W_P　　：気圧差による荷重

ΔP_{max}：最大気圧低下量

A　　：施設の受圧面積

である。

c．飛来物の衝撃荷重

竜巻ガイドを参考に，衝突時の荷重が大きくなる向きで設計飛来物が設計対処施設に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。

また，貫通評価においても，設計飛来物の貫通力が大きくなる向きで衝突することを考慮して評価を行う。

⑵　設計竜巻荷重の組合せ

設計対処施設の設計に用いる設計竜巻荷重は，竜巻ガイドを参考に風圧力による荷重（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。

$$W_{T1} = W_P$$

$W_{T2} = W_W + (1/2) \cdot W_P + W_M$

設計対処施設にはW_{T1}及びW_{T2}の両荷重をそれぞれ作用させる。

(3) 設計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。

【補足説明資料5-8】

a．設計対処施設に常時作用する荷重及び運転時荷重

b．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，積乱雲の発達時に竜巻と同時に発生する可能性がある自然現象は，落雷，積雪，降雹及び降水である。これらの自然現象により発生する荷重の組合せの考慮は，以下のとおりとする。

なお，風（台風）に対しては，「その他外部衝撃」にて考慮することとしている建築基準法に基づく風荷重が設計竜巻を大きく下回ることから，設計竜巻荷重に包含される。

ただし，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。

(a) 落　　雷

竜巻及び落雷が同時に発生する場合においても，落雷による影響は雷撃であり，荷重は発生しない。

(b) 積　　雪

再処理施設の立地地域は，冬季においては積雪があるため，冬季における竜巻の発生を想定し，建築基準法に基づいて積雪の荷重を適切に考慮する。

(c) 降　　雹

降雹は積乱雲から降る直径５ｍｍ以上の氷の粒であり，仮に直径10ｃｍ程度の大型の降雹を仮定した場合でも，その質量は約0.5ｋｇである。竜巻及び降雹が同時に発生する場合においても，直径10ｃｍ程度の降雹の終端速度は59ｍ／ｓ，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て十分小さく，降雹の衝突による荷重は設計竜巻荷重に包含される。

(d) 降　　水

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

ｃ．設計基準事故時荷重

設計対処施設に作用させる設計竜巻荷重には，設計基準事故時に生ずる応力の組合せを適切に考慮する設計とする。

設計基準事故は，設備又は系統における内部事象を起因とするものであり，外部からの荷重である竜巻との因果関係はない。また，竜巻に対して安全上重要な施設の安全機能を損なわない設計とすることから，竜巻の影響及び時間的変化による設計基準事故への進展も考えられない。したがって，設計竜巻と設計基準事故は独立事象となる。独立事象であ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と考えられる。

仮に，設計基準事故発生時に，風速が小さく発生頻度の高い竜巻が襲来したとしても，設計基準事故時に期待する影響緩和機能は，竜巻による影響を受けない設計とすることから，時間的変化による設計基準事故発生への影響はない。

以上のことから，設計竜巻荷重と設計基準事故時荷重の組合せは考

慮しない。

⑷　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及び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（竜巻）により発生する変形又は応力が安全上適切と認められる以下の規格及び規準等による許容応力度等の許容限界に対して安全余裕を有する設計とする。

・建築基準法

・日本産業規格

・日本建築学会等の基準，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）

・原子力エネルギー協会（ＮＥＩ）の基準・指針類

設備の設計においては，設計飛来物の衝突による貫通の有無の評価について，貫通が発生する限界厚さ及び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（竜巻）により発生する応力が安全上適切と認められる以下の規格及び規準等による許容応力の許容限界に対して安全余裕を有する設計とする。

・日本産業規格

・日本建築学会等の基準，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）

・原子力エネルギー協会（ＮＥＩ）の基準・指針類

【補足説明資料 5-1～5-6，5-8】

第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 R_m （m）	最大気圧低下量 ΔP_{max} （hPa）	最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$ （hPa／s）
100	15	85	30	89	45

第５－２表　再処理施設における設計飛来物

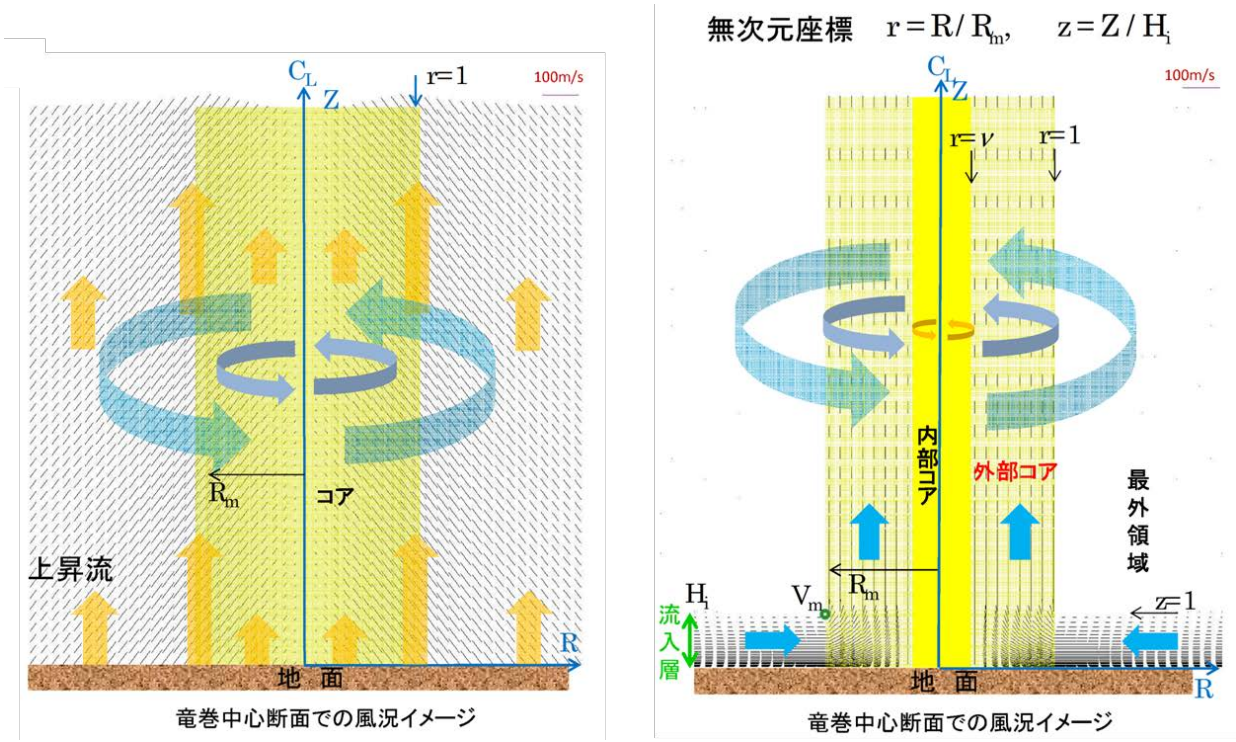
飛来物の種類	鋼製パイプ	鋼製材
寸法 （m）	長さ×直径 2.0×0.05	長さ×幅×奥行き 4.2× 0.3×0.2
質量 （kg）	8.4	135
最大水平速度 （m／s）	49	51
最大鉛直速度 （m／s）	33	34

６．評価に使用する風速場モデルについて

ランキン渦モデルはＮＲＣガイドで採用されており，利用実績が高く，非常に簡単な式で風速場を記述することができる。しかし，風速場が高さに依存しないため，地表面付近では非現実的な風速場となることがデメリットとしてあげられる。

フジタモデルはランキン渦モデルと比較して，解析プログラムが複雑であるが，観測に基づき考案され，実際に近い竜巻風速場をモデル化している。第６－１図に風速場モデルを示す。

再処理施設の竜巻影響評価では，基本的にランキン渦モデルを採用するが，車両の固縛又は退避の運用において考慮する離隔距離の設定においては，車両が全て地表面にあることから，地表面の風速場をよく再現しているフジタモデルを採用する。



第６－１図　風速場モデル

（ランキン渦モデル（左），フジタモデル（右））

【補足説明資料 6-1】

７．竜巻防護設計

竜巻に対する防護設計においては，竜巻ガイドを参考に，基準竜巻，設計竜巻及び設計荷重を適切に設定し，竜巻防護対象施設又は竜巻防護対象施設を設置する区画の構造健全性を確保するため，機械的強度を有する，建物の外壁及び屋根により建物全体を保護する，あるいは竜巻防護対策を講じることにより，以下の事項に対して安全機能を損なわない設計とする。

⑴　飛来物の衝突による建屋・構築物の貫通，裏面剥離及び設備（系統・機器）の損傷

⑵　設計竜巻荷重及びその他の荷重（常時作用する荷重，運転時荷重，竜巻以外の自然現象による荷重及び設計基準事故時荷重）を適切に組み合わせた設計荷重（竜巻）

⑶　竜巻による気圧の低下

竜巻防護対象施設，竜巻防護対象施設を設置する施設及び竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設の設計竜巻からの防護設計方針を以下に示す。また，竜巻防護対象施設及び防護対策等を第７－１表に，竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設及び防護対策等を第７－２表に，竜巻防護対象施設を設置する施設及び防護対策等を第７－３表に示す。

７．１　竜巻防護対象施設のうち建屋に設置される竜巻防護対象施設（外気と繋がっている竜巻防護対象施設を除く）

竜巻防護対象施設のうち建屋に設置され防護される竜巻防護対象施設（外気と繋がっている竜巻防護対象施設を除く）は，建屋による防護により，設計荷重（竜巻）による影響に対して安全機能を損なわない設計とする。具体的には以下のとおりである。

建屋内に設置される竜巻防護対象施設（外気と繋がっている竜巻防護対象施設を除く）は，使用済燃料受入れ・貯蔵建屋，前処理建屋，分離建屋，精製建屋，ウラン脱硝建屋，ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋，ウラン酸化物貯蔵建屋，ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋，高レベル廃液ガラス固化建屋，第１ガラス固化体貯蔵建屋，チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋，ハル・エンドピース貯蔵建屋，制御建屋，分析建屋及び非常用電源建屋に設置され，設計荷重（竜巻）並びに設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離を防止することによって安全機能を損なわない設計とする。

ただし，建屋による防護が期待できない場合には７．２のとおりとする。

７．２　竜巻防護対象施設のうち建屋に設置されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設

建屋に設置される竜巻防護対象施設のうち，建屋が設計竜巻の影響により損傷する可能性があるために設計竜巻による影響から防護できない可能性のある竜巻防護対象施設は，竜巻防護対策を講じることにより，設計荷重（竜巻）による影響に対して，安全機能を損なわない設計とし，安全上重要な施設の安全機能が維持される設計とする。

なお，設計竜巻による開口部の開放及び設計飛来物の衝突による開口部の建具の貫通が発生することが考えられるが，竜巻防護対象施設を設置する室の開口部には竜巻防護対策を講じることにより，竜巻防護対象施設の安全機能が維持される設計とする。具体的には以下のとおりである。

ａ．第２非常用ディーゼル発電機

第２非常用ディーゼル発電機は，外部電源が喪失した場合に，再処理施設（使用済燃料の受入れ及び貯蔵に必要な施設を除く）の安全上重要な施設の安全機能確保に電源が必要な機器（以下「安全上重要な負荷」という。）に給電するための非常用所内電源として２台備える。

設計飛来物の衝突により，第２非常用ディーゼル発電機の安全機能が喪失するおそれのある建屋外壁及び開口部には，飛来物防護板を設置し，設計飛来物の衝突による貫通を防止することによって，竜巻による外部電源喪失時にも安全機能を損なわない設計とする。

ｂ．前処理建屋の安全蒸気系

安全蒸気系は，崩壊熱による沸騰のおそれがあるか，又はｎ－ドデカンの引火点に達するおそれのある漏えい液を安全に移送するための

スチームジェットポンプに蒸気を供給するための設備であり，セル等内に設置の機器から液体状の放射性物質の漏えいが生じた場合で一般蒸気系が使用できない場合に使用する。

前処理建屋の安全蒸気系を設置する室の外壁及び屋根並びに前処理建屋の安全蒸気系の安全機能が喪失するおそれのある建屋開口部には飛来物防護板を設置し，飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離を防止することによって安全機能を損なわない設計とする。

c．前処理建屋，精製建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋の非常用所内電源系統及び計測制御系統施設並びに高レベル廃液ガラス固化建屋の安全冷却水系

前処理建屋，精製建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋の非常用所内電源系統は，6.9ｋＶ非常用主母線から変圧器を通して460Ｖ非常用母線に受電し，前処理建屋，精製建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋内の安全上重要な負荷に給電する。

また，前処理建屋，精製建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋の計測制御系統施設は，安全機能を有する施設の健全性に係るプロセス変数を集中的に監視及び制御する。

高レベル廃液ガラス固化建屋の安全冷却水系は，冷却水によってその安全機能が維持される再処理施設の安全上重要な施設のうち高レベル廃液ガラス固化建屋に設置される施設へ冷却水を供給する。

設計飛来物の衝突により，非常用所内電源系統，計測制御系統施設及び安全冷却水系の安全機能が喪失するおそれのある建屋開口部には，飛来物防護板を設置し，設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離を防止することによって安全機能を損なわない設計とする。

d．第１ガラス固化体貯蔵建屋床面走行クレーンの遮蔽容器

第１ガラス固化体貯蔵建屋床面走行クレーンに設置する遮蔽容器は，ガラス固化体３本，収納管プラグ及び収納管ふたを収納する。

第１ガラス固化体貯蔵建屋床面走行クレーンの遮蔽容器を設置する室の外壁には飛来物防護板を設置し，飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離を防止することによって遮蔽容器の安全機能を損なわない設計とする。

ｅ．非常用電源建屋の非常用所内電源系統

非常用電源建屋の非常用所内電源系統は，第２非常用ディーゼル発電機から6.9ｋＶ非常用主母線を通して各建屋の460Ｖ主母線に給電する。これらの一連の非常用所内電源系統に対して建屋開口部に飛来物防護板を設置し，設計飛来物の衝突による貫通を防止することによって安全機能を損なわない設計とする。

ｆ．主排気筒の排気筒モニタ

主排気筒管理建屋に設置される排気筒モニタは，主排気筒から放出される気体廃棄物に含まれる放射性希ガスを連続監視する。

主排気筒の排気筒モニタ及びこれを設置する主排気筒管理建屋に飛来物防護板を設置し，設計飛来物の衝突による貫通を防止することによって安全機能を損なわない設計とする。

ｇ．制御建屋中央制御室換気設備

制御建屋中央制御室換気設備は，気体状の放射性物質及び外部火災により発生する有毒ガスに対して，運転員その他の従事者を防護する設備である。

設計飛来物の衝突により当該機能が喪失するおそれのある建屋開口部に飛来物防護板を設置し，設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離を防止することによって安全機能を損なわない設計とする。

７．３　竜巻防護対象施設のうち屋外の竜巻防護対象施設及び建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

屋外の竜巻防護対象施設は，設計荷重（竜巻）により安全機能を損なう可能性のある場合には，竜巻防護対策を講じることにより安全機能を損なわない設計とする。

また，外気と繋がっている竜巻防護対象施設は，気圧差荷重に対して健全性が維持できるものとする。

ａ．使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用　安全冷却水系冷却塔

使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用の安全冷却水系は，独立した２系列の冷却塔，冷却水循環ポンプ及び配管系により構成する。

使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用　安全冷却水系冷却塔は，風圧力による荷重及び冷却塔の自重に対して構造健全性を維持し，安全機能を損なわない設計とする。

その上で，２系列の冷却塔に対して，飛来物防護ネット及び飛来物防護板を設置し，飛来物の衝突による損傷を防止することによって，安全機能を損なわない設計とする。

ｂ．再処理設備本体用　安全冷却水系冷却塔

再処理設備本体用　安全冷却水系は，独立した２系列の冷却塔，冷却水循環ポンプ及び配管系により構成する。

再処理設備本体用　安全冷却水系冷却塔は，風圧力による荷重及び冷却塔の自重に対して構造健全性を維持し，安全機能を損なわない設計とする。

その上で，２系列の冷却塔に対して，飛来物防護ネット及び飛来物防護板を設置し，飛来物の衝突による損傷を防止することによって，

安全機能を損なわない設計とする。

c．冷却塔に接続する屋外設備

冷却塔に接続する屋外設備は，再処理設備本体用　安全冷却水系冷却塔Ａにて除熱した安全冷却水を，再処理設備本体用の安全冷却水系に供給するための冷却水配管及び再処理設備本体用　安全冷却水系冷却塔Ａへの給電系統のうち屋外に設置される範囲をいう。

冷却塔に接続する屋外設備は，設計荷重（竜巻）に対して構造健全性を維持し，安全機能を損なわない設計とする。また，冷却塔に接続する屋外設備は，飛来物の衝突による貫通を防止することができるように，それ自体が十分な厚さを有する配管又は鋼板で構成すること，又は設計飛来物の衝突により損傷するおそれがある箇所について，飛来物防護板を設置することによって安全機能を損なわない設計とする。

d．第２非常用ディーゼル発電機用　安全冷却水系冷却塔

第２非常用ディーゼル発電機は，独立した２系列の冷却塔を有する設計とする。

冷却塔は，風圧力による荷重及び冷却塔の自重に対して構造健全性を維持し，安全機能を損なわない設計とする。

その上で，飛来物防護ネット及び飛来物防護板を設置し，飛来物の衝突による損傷を防止することによって安全機能を損なわない設計とする。

e．主排気筒

主排気筒は，せん断処理・溶解廃ガス処理設備，塔槽類廃ガス処理設備及び高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備で処理した気体状の放射性物質を，換気設備の排気とともに大気へ放出する。

主排気筒は，設計荷重（竜巻）に対して構造健全性を維持し，安全

機能を損なわない設計とする。また，主排気筒の筒身は，飛来物の衝突によって貫通し，排気経路の維持機能を損なわないよう十分な厚さを有する設計とする。

f．主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクト

ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備及び高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備の屋外配管並びに前処理建屋換気設備，分離建屋換気設備，精製建屋換気設備，ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備及び高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備の屋外ダクト（以下「主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクト」という。）は，風圧力による荷重及び主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの自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，主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトに対しては，設計飛来物の衝突により損傷することを考慮して，飛来物防護板を設置し，飛来物の衝突による貫通を防止することによって安全機能を損なわない設計とする。

g．外気と繋がっている竜巻防護対象施設

せん断処理・溶解廃ガス処理設備，前処理建屋塔槽類廃ガス処理設備，分離建屋塔槽類廃ガス処理設備，精製建屋塔槽類廃ガス処理設備，ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備，高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備，高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備，前処理建屋換気設備の排気系，分離建屋換気設備の排気系，精製建屋換気設備の排気系，ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備の排気系，ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋換気設備の貯蔵室からの排気系及び高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備の排気系は，気圧差荷重に対して健全性を維持できるよう十分な強

度を有する設計とする。

ガラス固化体貯蔵設備の収納管は，通風管との間に冷却空気を流す構造としている。収納管は気圧差による荷重に対して健全性を維持できるよう十分な強度を有する設計とする。

７．４　竜巻防護対象施設を設置する施設

竜巻防護対象施設を設置する施設は，設計荷重（竜巻）に対して，主架構の構造健全性を維持するとともに，個々の部材の破損により施設内の竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

また，設計飛来物の衝突に対しては，貫通及び裏面剥離の発生により竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。具体的には以下のとおりである。

ａ．使用済燃料受入れ・貯蔵建屋，分離建屋，ウラン脱硝建屋，ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋，ウラン酸化物貯蔵建屋，ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋，チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋，ハル・エンドピース貯蔵建屋及び分析建屋

設計荷重（竜巻）に対して主架構の構造健全性を維持するとともに，個々の部材の破損により竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

また，設計飛来物の衝突に対しては，貫通及び裏面剥離の発生により施設内の竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

ｂ．前処理建屋，精製建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋

設計荷重（竜巻）に対して主架構の構造健全性を維持するとともに，個々の部材の破損により竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

また，設計飛来物の衝突に対しては，貫通及び裏面剥離の発生により竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

非常用所内電源系統，計測制御系統施設，安全冷却水系及び安全蒸気系を設置する室の外壁，屋根及び開口部には飛来物防護板を設置し，設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離を防止する設計とする。

ｃ．第１ガラス固化体貯蔵建屋

設計荷重（竜巻）に対して主架構の構造健全性を維持する設計とするとともに，個々の部材の破損により竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

第１ガラス固化体貯蔵建屋床面走行クレーンの遮蔽容器を設置する室の外壁には飛来物防護板を設置し，設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離を防止する設計とする。

ｄ．非常用電源建屋

設計荷重（竜巻）に対して主架構の構造健全性を維持する設計とするとともに，個々の部材の破損により竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

第２非常用ディーゼル発電機及びこれに接続される非常用所内電源系統を設置する室の外壁及び開口部には飛来物防護板を設置し，設計飛来物の衝突による貫通を防止する設計とする。

ｅ．主排気筒管理建屋

設計荷重（竜巻）に対して主架構の構造健全性を維持する設計とする。

主排気筒の排気筒モニタを設置する室の外壁及び屋根には飛来物防護板を設置し，飛来物の衝突による貫通を防止する設計とする。

ｆ．制御建屋

設計荷重（竜巻）に対して主架構の構造健全性を維持するとともに，個々の部材の破損により竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

また，設計飛来物の衝突に対しては，貫通及び裏面剥離の発生により竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

制御建屋中央制御室換気設備を設置する室の開口部には飛来物防護

板を設置し，設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離を防止する設計とする。

７．５　竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設については，設計荷重（竜巻）を考慮しても転倒に至らない設計とすること等により，周辺の竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。具体的には以下のとおりである。

北換気筒，使用済燃料輸送容器管理建屋，使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋，低レベル廃棄物処理建屋及び出入管理建屋は，転倒に至った場合には周辺の施設に波及的影響を及ぼすおそれがあることから，設計飛来物の衝突による貫通及び風圧力による荷重を考慮しても転倒に至らない設計とし，周辺の竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

７．６　竜巻随伴事象に対する設計

竜巻ガイドを参考に，竜巻随伴事象として以下の事象を想定し，これらの事象が発生した場合においても，竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

（１）火　　災

竜巻により敷地内にある危険物タンク等（ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所，ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所及びボイラ用燃料貯蔵所）が損傷し，漏えい及び防油堤内での火災が発生したとしても，火災源と竜巻防護対象施設の位置関係を踏まえて熱影響を評価した上で，竜巻防護対象施設の許容温度を超えないように防護対策を講じ，竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えない設計とすることを「外部火災防護に関する設計」にて考慮する。

建屋内に設置される竜巻防護対象施設のうち開口部を有する室に設置されるものは，飛来物防護板の設置による防護対策を講じることを考慮すると，設計飛来物が当該室に侵入することはないことから，設計竜巻により建屋内に火災が発生し，竜巻防護対象施設に影響を及ぼすことは考えられない。

（２）溢　　水

屋外タンクの破損による溢水を想定し，溢水源と竜巻防護対象施設の位置関係を踏まえた影響評価を行った上で，竜巻防護対象施設の安全機能が損なわれないよう必要に応じて堰を設ける等の防護対策を講じ，竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えない設計とすることを「溢水による損傷の防止に関する設計」にて考慮する。

建屋内に設置される竜巻防護施設のうち開口部を有する室に設置されるものは，飛来物防護板の設置による防護対策を講じることを考慮する

と設計飛来物が当該室に侵入することはないことから，設計竜巻により建屋内に溢水が発生し，竜巻防護対象施設に影響を及ぼすことは考えられない。また，竜巻防護対象施設のない開口部を有する室については，設計竜巻による建屋内の溢水が発生したとしても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，設計竜巻と同時に発生する雷・雹等，あるいはダウンバースト等により，送電網に関する施設等が損傷する等による外部電源喪失に対しては，第２非常用ディーゼル発電機及び非常用所内電源系統の安全機能を確保できる設計とすることにより，安全機能を維持する設計とする。

【補足説明資料 7-2～7-3】

第７－１表　竜巻防護対象施設及び防護対策等

<table>
<tr><th>竜巻防護対象施設</th><th>竜巻の最大
風速条件</th><th>想定する
設計飛来物</th><th>飛来物対策</th><th>防護対策</th></tr>
<tr><td>使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用　安全冷却水系冷却塔</td><td rowspan="10">100m／ｓ</td><td rowspan="10">鋼製材
鋼製パイプ</td><td rowspan="10">固縛又は車両の退避等の飛来物発生防止</td><td>飛来物防護ネット及び飛来物防護板</td></tr>
<tr><td>再処理設備本体用　安全冷却水系冷却塔</td><td>飛来物防護ネット及び飛来物防護板</td></tr>
<tr><td>冷却塔に接続する屋外設備</td><td>設計飛来物に対して貫通しない十分な厚さを有する設計
損傷するおそれがある箇所への飛来物防護板設置</td></tr>
<tr><td>第２非常用ディーゼル発電機用　安全冷却水系冷却塔</td><td>飛来物防護ネット及び飛来物防護板</td></tr>
<tr><td>主排気筒</td><td>設計飛来物に対して貫通しない十分な厚さを有する設計</td></tr>
<tr><td>主排気筒の排気筒モニタ</td><td>排気筒モニタ並びに主排気筒管理建屋外壁及び屋根への飛来物防護板設置</td></tr>
<tr><td>非常用所内電源系統
　第２非常用ディーゼル発電機</td><td>非常用電源建屋外壁への飛来物防護板設置</td></tr>
<tr><td>前処理建屋の安全蒸気系</td><td>室の外壁，屋根及び開口部への飛来物防護板設置</td></tr>
<tr><td>前処理建屋の非常用所内電源系統及び計測制御系統施設
精製建屋の非常用所内電源系統及び計測制御系統施設
高レベル廃液ガラス固化建屋の非常用所内電源系統，計測制御系統施設及び安全冷却水系
非常用電源建屋の非常用所内電源系統
制御建屋中央制御室換気設備</td><td>室の開口部への飛来物防護板設置</td></tr>
<tr><td>第１ガラス固化体貯蔵建屋床面走行クレーンの遮蔽容器</td><td>室の外壁への飛来物防護板設置（第１ガラス固化体貯蔵建屋床面走行クレーンの遮蔽容器が設置される室のみ）</td></tr>
</table>

第７－１表　竜巻防護対象施設及び防護対策等（つづき）

竜巻防護対象施設	竜巻の最大風速条件	想定する設計飛来物	飛来物対策	防護対策
せん断処理・溶解廃ガス処理設備 前処理建屋塔槽類廃ガス処理設備 分離建屋塔槽類廃ガス処理設備 精製建屋塔槽類廃ガス処理設備 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備 高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備 高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備 前処理建屋換気設備の排気系 分離建屋換気設備の排気系 精製建屋換気設備の排気系 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備の排気系 ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋換気設備の貯蔵室からの排気系 高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備の排気系 ガラス固化体貯蔵設備の収納管 制御建屋中央制御室換気設備	100m／ｓ	鋼製材 鋼製パイプ	固縛又は車両の退避等の飛来物発生防止	気圧差荷重に対して健全性を維持できる十分な強度を有する設計 主排気筒に接続する屋外ダクトへの飛来物防護板設置

第７－２表　竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設及び防護対策等

竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	竜巻の最大風速条件	想定する設計飛来物	飛来物対策	防護対策
北換気筒 使用済燃料輸送容器管理建屋 使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋 低レベル廃棄物処理建屋 出入管理建屋	100m／ｓ	鋼製材 鋼製パイプ	固縛又は車両の退避等の飛来物発生防止	風荷重及び設計飛来物の衝撃荷重に対し転倒しない強度を有する設計

第７－３表　竜巻防護対象施設を設置する施設及び防護対策等

<table>
<tr><th>竜巻防護対象施設を設置する施設</th><th>竜巻の最大
風速条件</th><th>想定する
設計飛来物</th><th>飛来物対策</th><th>防護対策</th></tr>
<tr><td>使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
分離建屋
ウラン脱硝建屋
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
ウラン酸化物貯蔵建屋
ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋
ハル・エンドピース貯蔵建屋
分析建屋</td><td rowspan="4">100m／ｓ</td><td rowspan="4">鋼製材
鋼製パイプ</td><td rowspan="4">固縛又は車両の退避等の飛来物発生防止</td><td>・設計荷重（竜巻）に対して主架構の構造健全性を維持するとともに，個々の部材の破損により施設内の竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計
・設計飛来物の衝突に対して貫通及び裏面剥離により安全機能を損なわない設計</td></tr>
<tr><td>前処理建屋</td><td>・設計荷重（竜巻）に対して主架構の構造健全性を維持するとともに，個々の部材の破損により施設内の竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計
・設計飛来物の衝突に対して貫通及び裏面剥離により安全機能を損なわない設計
・非常用所内電源系統及び計測制御系統施設を設置する室の開口部への飛来物防護板設置
・安全蒸気系を設置する室の外壁，屋根及び開口部への飛来物防護板の設置</td></tr>
<tr><td>精製建屋</td><td>・設計荷重（竜巻）に対して主架構の構造健全性を維持するとともに，個々の部材の破損により施設内の竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計
・設計飛来物の衝突に対して貫通及び裏面剥離により安全機能を損なわない設計
・非常用所内電源系統及び計測制御系統施設を設置する室の開口部への飛来物防護板設置</td></tr>
<tr><td>高レベル廃液ガラス固化建屋</td><td>・設計荷重（竜巻）に対して主架構の構造健全性を維持するとともに，個々の部材の破損により施設内の竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計
・設計飛来物の衝突に対して貫通及び裏面剥離により安全機能を損なわない設計
・非常用所内電源系統、計測制御系統施設及び安全冷却水系を設置する室の開口部への飛来物防護板設置</td></tr>
</table>

第７－３表　竜巻防護対象施設を設置する施設及び防護対策等（つづき）

<table>
<tr><th>竜巻防護対象施設を設置する施設</th><th>竜巻の最大
風速条件</th><th>想定する
設計飛来物</th><th>飛来物対策</th><th>防護対策</th></tr>
<tr><td>第１ガラス固化体貯蔵建屋</td><td rowspan="4">100m／ｓ</td><td rowspan="4">鋼製材
鋼製パイプ</td><td rowspan="4">固縛又は車両の退避等の飛来物発生防止</td><td>・設計荷重（竜巻）に対して主架構の構造健全性を維持するとともに，個々の部材の破損により施設内の竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計
・設計飛来物の衝突に対して貫通及び裏面剥離により安全機能を損なわない設計
・第１ガラス固化体貯蔵建屋床面走行クレーンの遮蔽容器を設置する室の外壁への飛来物防護板設置</td></tr>
<tr><td>主排気筒管理建屋</td><td>・主排気筒の排気筒モニタを設置する室の外壁及び屋根に飛来物防護板設置</td></tr>
<tr><td>非常用電源建屋</td><td>・設計荷重（竜巻）に対して主架構の構造健全性を維持するとともに，個々の部材の破損により施設内の竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計
・設計飛来物の衝突に対して貫通及び裏面剥離により安全機能を損なわない設計
・第２非常用ディーゼル発電機を設置する室の外壁及び開口部への飛来物防護板設置
・第２非常用ディーゼル発電機に接続する非常用所内電源系統を設置する室の開口部への飛来物防護板設置</td></tr>
<tr><td>制御建屋</td><td>・設計荷重（竜巻）に対して主架構の構造健全性を維持するとともに，個々の部材の破損により施設内の竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計
・設計飛来物の衝突に対して貫通及び裏面剥離により安全機能を損なわない設計
・制御建屋中央制御室換気設備を設置する室の開口部への飛来物防護板設置</td></tr>
</table>

８．手順等

(1) 飛来物発生防止対策

設計竜巻による飛来物の発生防止を図るため，以下の事項を考慮した手順を定める。

- 設計対処施設以外の建屋，屋外施設及び資機材で飛来物となる可能性のあるものは，浮き上がり又は横滑りの有無を考慮した上で，飛来時の運動エネルギ及び貫通力が設計飛来物である鋼製材よりも大きなものについて，設置場所に応じて固定，固縛，建屋収納又は敷地からの撤去を行う。
- 車両については，周辺防護区域内への入構を管理するとともに，飛来対策区域を設定し，竜巻の襲来が予想される場合に車両が飛来物とならないよう固縛又は飛来対策区域外の退避場所へ退避する。
- 飛来対策区域は，車両から距離を取るべき離隔対象施設と車両との間に取るべき離隔距離を考慮して設定する。

  離隔距離の検討に当たっては，先ず解析により車両の最大飛来距離を求める。解析においては，フジタモデルの方がランキン渦モデルよりも地表面における竜巻の風速場をよく再現していること及び車両は地表面にあることから，フジタモデルを適用する。フジタモデルを適用した車両の最大飛来距離の算出結果を第８－１表に示す。車両の最大飛来距離の算出結果は170ｍであるが，フジタモデルを適用した解析における不確実性を補うため，算出結果に安全余裕を考慮して，離隔距離を200ｍとする。

  飛来対策区域を第８－１図のとおりとする。
- 車両の退避場所は，周辺防護区域内及び周辺防護区域外に設ける。

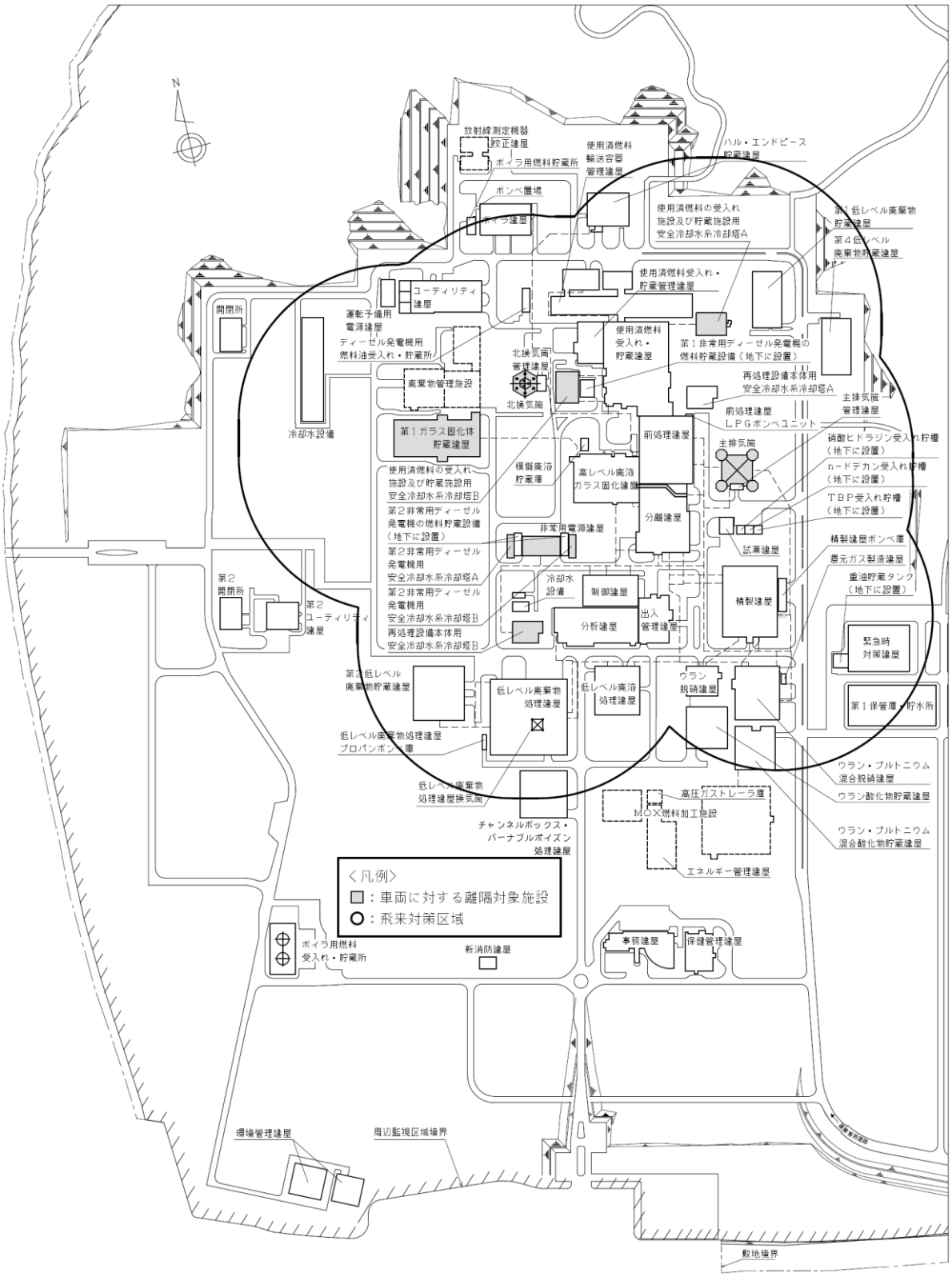
また，フジタモデルを適用した解析における不確実性を補うため，周辺防護区域内の退避場所に退避する車両については固縛の対象とする。

- 竜巻に対する運用管理を確実に実施するために必要な技術的能力を維持・向上させることを目的とし，教育及び訓練を定期的に実施する。

【補足説明資料 8-1～8-5】

第８－１表　現地調査にて抽出した車両の諸元及び最大飛来距離

車両の種類	長さ （m）	幅 （m）	高さ （m）	質量 （ｋｇ）	最大飛来距離 （m）
大型バス	12	2.5	3.8	12,100	130
トラック	8.5	2.2	2.5	3,790	160
乗用車　普通	4.4	1.7	1.5	1,140	150
乗用車　ワゴン１	4.8	1.8	1.5	1,510	90
乗用車　ワゴン２	5.2	1.9	2.3	1,890	170
軽自動車１	3.4	1.5	1.6	840	160
軽自動車２	3.4	1.5	1.5	710	170



第８－１図　車両に対する離隔対象施設及び飛来対策区域

９．竜巻防護対策設備

９．１　概　　要

竜巻防護対策設備は，竜巻が襲来した場合において竜巻防護対象施設を設計飛来物の衝突から防護するためのものであり，飛来物防護板及び飛来物防護ネットで構成する。

飛来物防護板は，前処理建屋の安全蒸気系を設置する室の外壁，屋根及び開口部，前処理建屋，精製建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋の非常用所内電源系統を設置する室，計測制御系統施設を設置する室及び安全冷却水系を設置する室の開口部，非常用電源建屋の第２非常用ディーゼル発電機を設置する室の外壁及び開口部並びに非常用所内電源系統を設置する室の開口部，第１ガラス固化体貯蔵建屋床面走行クレーンの遮蔽容器を設置する室の外壁，主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクト，主排気筒の排気筒モニタ及びこれを設置する主排気筒管理建屋，制御建屋中央制御室換気設備を設置する室の開口部並びに冷却塔に接続する屋外設備に設置する。

飛来物防護ネットは，使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用　安全冷却水系冷却塔，再処理設備本体用　安全冷却水系冷却塔及び第２非常用ディーゼル発電機用　安全冷却水系冷却塔に設置し，飛来物防護ネットが設置出来ない部分については飛来物防護板を設置する。

９．２　設計方針

竜巻防護対策設備の設計に際しては，竜巻防護対象施設が安全機能を損なわないよう，次のような方針で設計する。

⑴　飛来物防護板

ａ．設計飛来物の貫通を防止することができる設計とする。

ｂ．地震及び火山の影響により竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

ｃ．竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えない設計とする。

ｄ．設計荷重（竜巻）に対して，支持架構の構造健全性を維持できる設計とする。

⑵　飛来物防護ネット

ａ．設計飛来物の運動エネルギを吸収することができる設計とする。

ｂ．設計飛来物の通過を防止できる設計とする。

ｃ．地震及び火山の影響により竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

ｄ．冷却塔の冷却性能に影響を与えない設計とする。

ｅ．設計荷重（竜巻）に対して，支持架構の構造健全性を維持できる設計とする。

９．３　主要設備の仕様

竜巻防護対策設備の仕様を第９－１表に示す。

９．４　主要設備

⑴　飛来物防護板

飛来物防護板は，前処理建屋の安全蒸気系を設置する室の外壁，屋根及び開口部，前処理建屋，精製建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋内の非常用所内電源系統を設置する室，計測制御系統施設を設置する室及び安全冷却水系を設置する室の開口部，非常用電源建屋の第２非常用ディーゼル発電機を設置する室の外壁及び開口部並びに非常用所内電源系統を設置する室の開口部，第１ガラス固化体貯蔵建屋床面走行クレーンの遮蔽容器を設置する室の外壁，主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクト，主排気筒の排気筒モニタを設置する室の外壁及び屋根，制御建屋のうち制御建屋中央制御室換気設備を設置する室の開口部並びに冷却塔に接続する屋外設備に設ける設計とする。

飛来物防護板の配置を第９－１図に，飛来物防護板の概略図を第９－２図に示す。

⑵　飛来物防護ネット

飛来物防護ネットは，使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用　安全冷却水系冷却塔，再処理設備本体用　安全冷却水系冷却塔及び第２非常用ディーゼル発電機用　安全冷却水系冷却塔に向かってあらゆる方向から飛来する設計飛来物から防護するため，それぞれの冷却塔全体を覆う設計とする。

また，飛来物防護ネットが設置出来ない部分には飛来物防護板を設け，設計飛来物から防護する設計とする。

飛来物防護ネットの設置位置を第９－１図に，飛来物防護ネットの概略図を第９－３図に示す。

９．５　試験・検査

飛来物防護板及び飛来物防護ネットは，定期的に検査を行うことによりその健全性を確認する。

９．６　評　　価

⑴　飛来物防護板

ａ．飛来物防護板は，設計飛来物の貫通を防止することができる設計とすることから，竜巻防護対象施設が損傷を受けることはなく，安全機能を損なうことはない。

ｂ．飛来物防護板は，地震及び火山の影響によって竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼさない設計とすることから，竜巻防護対象施設の安全機能を損なうことはない。

ｃ．飛来物防護板は，設計荷重（竜巻）に対して，支持架構の構造健全性を維持できる設計とすることから，竜巻防護対象施設が損傷を受けることはなく，安全機能を損なうことはない。

ｄ．飛来物防護板は定期的に検査を行うことから，その健全性を維持することができる。

⑵　飛来物防護ネット

ａ．飛来物防護ネットは，設計飛来物の運動エネルギを吸収することができ，かつ，設計飛来物の通過を防止できる設計とすることから，設計飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することはない。

ｂ．飛来物防護ネットは，地震及び火山の影響によって竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼさない設計とすることから，竜巻防護対象施設の安全機能を損なうことはない。

ｃ．飛来物防護ネットは，冷却塔の冷却性能に影響を与えない設計とすることから，安全上重要な施設の冷却機能を維持することができる。

ｄ．飛来物防護ネットは，設計荷重（竜巻）に対して，支持架構の構造健全性を維持できる設計とすることから，竜巻防護対象施設が損傷を受けることはなく，安全機能を損なうことはない。

ｅ．飛来物防護ネットは定期的に検査を行うことから，その健全性を維持することができる。

【補足説明資料9-1，9-2】

第９－１表　竜巻防護対策設備の仕様

⑴　飛来物防護板

ａ．前処理建屋の安全蒸気系設置室の飛来物防護板

種　　類　　防護板

基　　数　　１式

材　　料　　鋼材又は鉄筋コンクリート*

ｂ．前処理建屋の非常用所内電源系統及び計測制御系統施設設置室の飛来物防護板

種　　類　　防護板

基　　数　　３式

材　　料　　鋼材又は鉄筋コンクリート*

ｃ．精製建屋の非常用所内電源系統及び計測制御系統施設設置室の飛来物防護板

種　　類　　防護板

基　　数　　２式

材　　料　　鋼材又は鉄筋コンクリート*

ｄ．高レベル廃液ガラス固化建屋の非常用所内電源系統，計測制御系統施設及び安全冷却水系設置室の飛来物防護板

種　　類　　防護板

基　　数　　３式

材　　料　　鋼材又は鉄筋コンクリート*

ｅ．非常用電源建屋の第２非常用ディーゼル発電機及び非常用所内電源系統設置室の飛来物防護板

種　　類　　防護板

基　　数　　４式

材　　料　　鋼材又は鉄筋コンクリート*

f．第１ガラス固化体貯蔵建屋床面走行クレーンの遮蔽容器設置室の飛来物防護板

種　　類　　防護板

基　　数　　１式

材　　料　　鋼材又は鉄筋コンクリート*

g．主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（主排気筒周り）

種　　類　　防護板

基　　数　　１式

材　　料　　鋼材

h．主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（分離建屋屋外）

種　　類　　防護板

基　　数　　１式

材　　料　　鋼材

i．主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（精製建屋屋外）

種　　類　　防護板

基　　数　　１式

材　　料　　鋼材

j．主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（高レベル廃液ガラス固化建屋屋外）

種　　類　　防護板

基　　数　　１式

材　　料　　鋼材

k．制御建屋中央制御室換気設備設置室の飛来物防護板

種　　類　　防護板

基　　数　　１式

材　　料　　鋼材又は鉄筋コンクリート*

l．冷却塔に接続する屋外設備の飛来物防護板

種　　類　　防護板

基　　数　　１式

材　　料　　鋼材又は鉄筋コンクリート*

注）＊印の材料は，当該箇所周辺の設計条件を考慮して適切なものを選定する。

⑵　飛来物防護ネット

a．使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用　安全冷却水系冷却塔の飛来物防護ネット*（一部，飛来物防護板）

種　　類　　防護ネット

基　　数　　２式

主要材料　　鋼線（ネット）

鋼材（支持架構）

種　　類　　防護板

基　　数　　２式

材　　料　　鋼材

b．再処理設備本体用　安全冷却水系冷却塔の飛来物防護ネット（一部，飛来物防護板）

種　　類　　防護ネット

基　　数　　２式

主要材料　　鋼線（ネット）

　　鋼材（支持架構）

種　　類　　防護板

基　　数　　２式

材　　料　　鋼材

ｃ．第２非常用ディーゼル発電機用　安全冷却水系冷却塔の飛来物防護ネット（一部，飛来物防護板）

種　　類　　防護ネット

基　　数　　２式

主要材料　　鋼線（ネット）

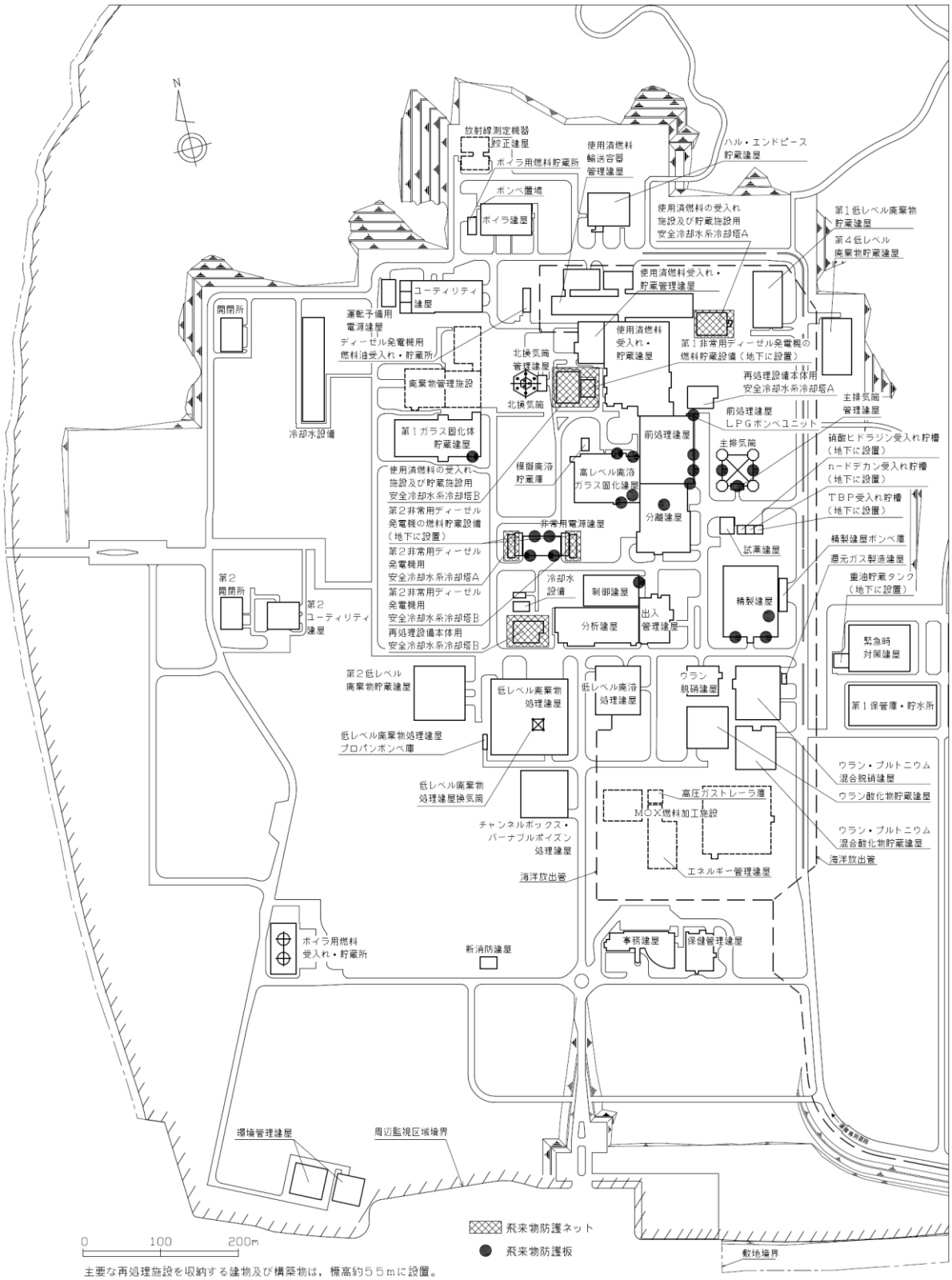
　　鋼材（支持架構）

種　　類　　防護板

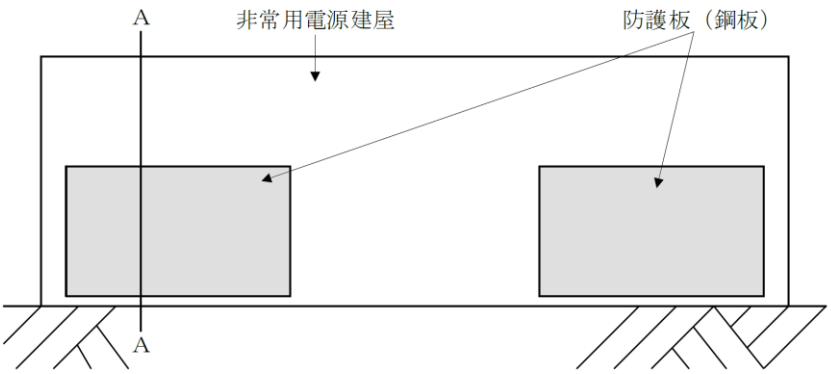
基　　数　　２式

材　　料　　鋼材

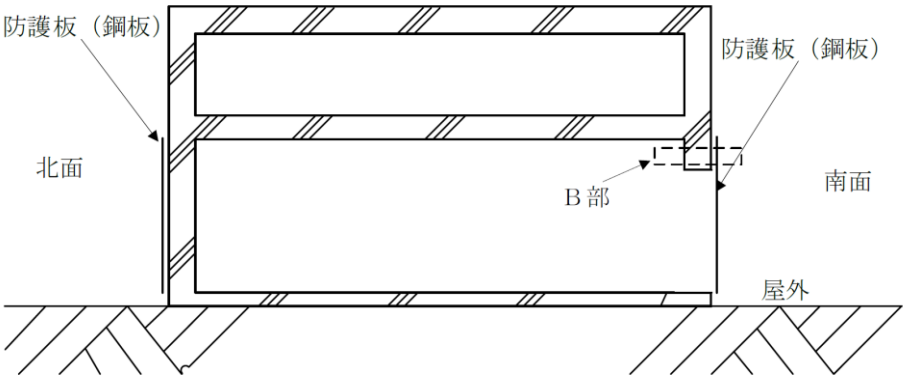
注）＊印の設備は，使用済燃料の受入れ及び貯蔵に係る設備である。



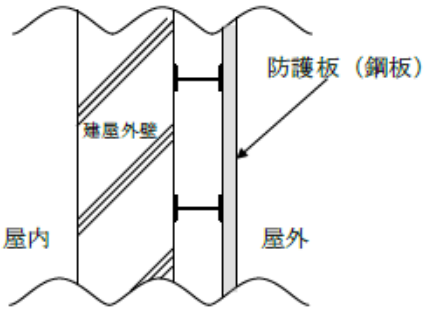
第９－１図　竜巻防護対策設備配置図



南立面図

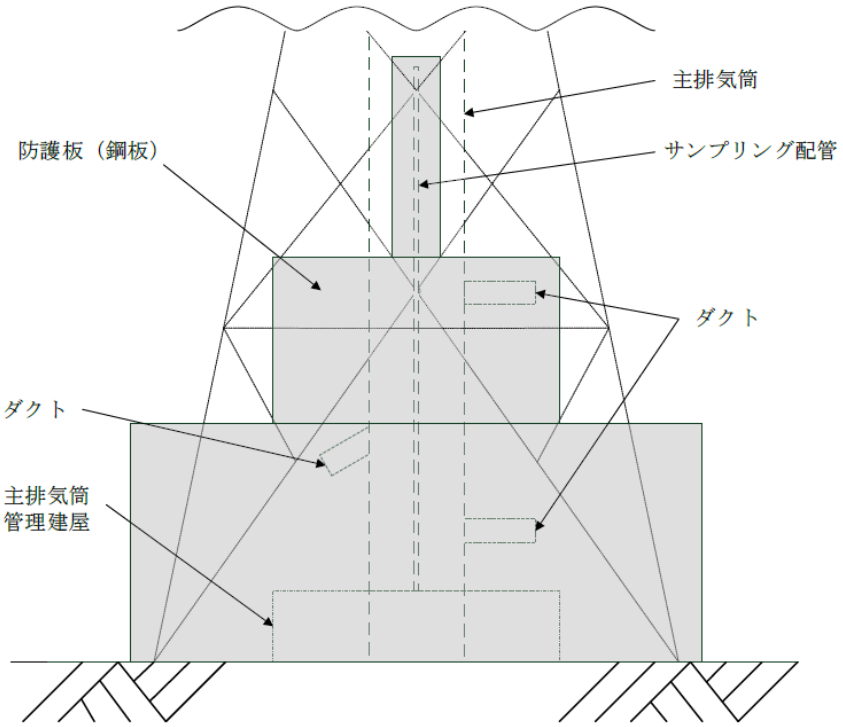


Ａ－Ａ断面図

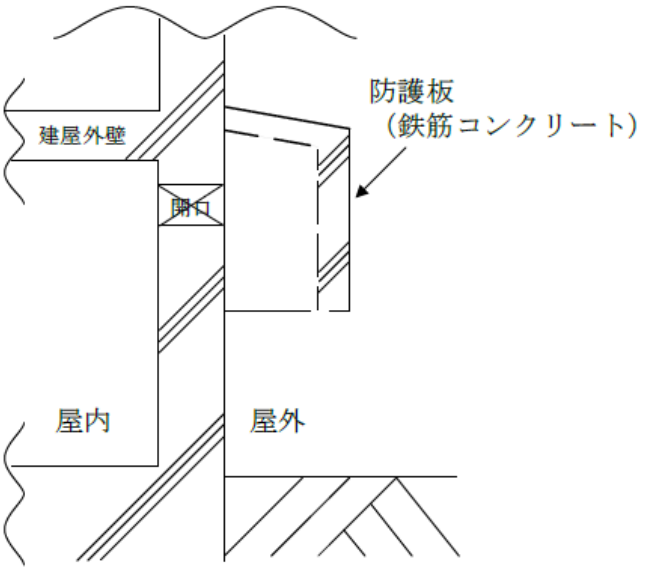


Ｂ部拡大図

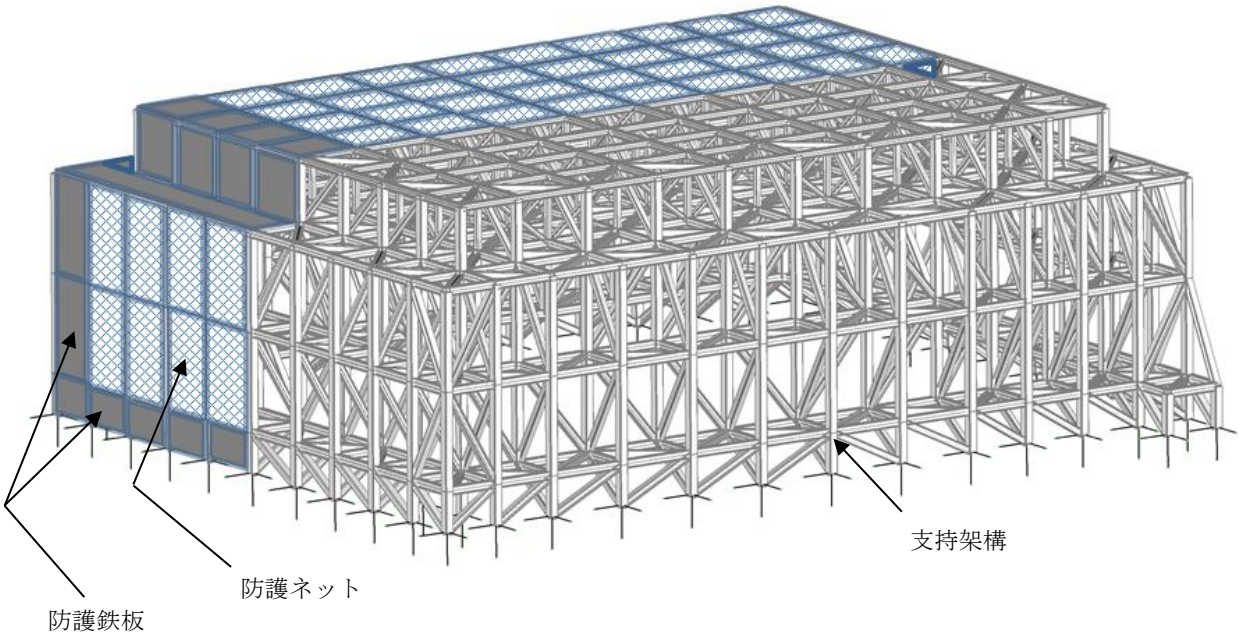
第９－２図（１）　飛来物防護板概略図（非常用電源建屋）



第９－２図（２）　飛来物防護板概略図（主排気筒周辺）



第９－２図（３）飛来物防護板概略図（開口部）



第９－３図　飛来物防護ネット概略図

２章　補足説明資料

再処理施設　安全審査　整理資料　補足説明資料リスト

第9条：外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）

再処理施設　安全審査　整理資料　補足説明資料				備考（8月提出済みの資料については、資料番号を記載）
資料No.	名称	提出日	Rev	
~~補足説明資料1-1~~	~~事業指定基準規則第9条と許認可実績等との比較表~~	~~11/15~~	~~1~~	~~新規作成~~
~~補足説明資料2-1~~	~~その他の安全機能を有する施設の対処について~~	~~10/18~~	~~0~~	第9条：外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部衝撃）にて提出
補足説明資料2-2	竜巻影響評価ガイドへの適合性	2/14	4	新規作成（精査中）
補足説明資料3-1	設計対処施設の選定について	2/14	6	別添資料-1　Ⅰ．設計対象施設　（精査中） 添付資料1　設計対象施設の選定について
補足説明資料3-2	竜巻に対して防護する必要のある開口部の選定について	2/14	3	新規作成
補足説明資料3-3	耐震Sクラス施設について	2/14	4	添付資料2　耐震Sクラス施設について
補足説明資料3-4	竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出について	2/14	1	新規作成
補足説明資料4-1	竜巻検討地域の設定について	12/18	3	添付資料3　竜巻検討地域の設定について
補足説明資料4-2	竜巻検討地域の範囲設定について	11/15	2	新規作成
補足説明資料4-3	竜巻検討地域の設定の妥当性について	11/21	1	新規作成
補足説明資料4-4	竜巻影響エリアの設定の妥当性について	2/14	5	新規作成
補足説明資料4-5	ハザード曲線による竜巻最大風速（V_{B2}）の計算について	2/14	6	添付資料4　ハザード曲線による竜巻最大風速（V_{B2}）の計算について　（精査中）
補足説明資料4-6	海上のFスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について	11/21	2	別紙4-1　海上のFスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について
補足説明資料4-7	竜巻発生数の確率分布（ポアソン，ポリヤ分布）がハザード結果に及ぼす影響について	11/6	2	別紙4-2　竜巻発生数の確率分布（ポアソン，ポリヤ分布）がハザード結果に及ぼす影響について
補足説明資料5-1	評価対象施設等の設計荷重について	2/14	2	別紙5-1　評価対象施設等の設計荷重について
補足説明資料5-2	設計飛来物の設定	2/14	4	別添資料-1　参考3　設計飛来物の設定　（精査中）
補足説明資料5-3	敷地外からの飛来物の考慮について	2/14	2	別添資料-1　参考4　敷地外からの飛来物の考慮について
補足説明資料5-4	設計飛来物の設定における1次スクリーニングについて	2/14	4	別紙6-1　設計飛来物の設定における1次スクリーニングについて
補足説明資料5-5	竜巻時に発生する降雹について	10/18	1	添付資料7　竜巻時に発生する降雹について
補足説明資料5-6	空力パラメータについて	11/6	2	別紙6-2　空力パラメータについて

第9条：外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）

再処理施設　安全審査　整理資料　補足説明資料				備考（8月提出済みの資料については、資料番号を記載）
資料No.	名称	提出日	Rev	
~~補足説明資料5-7~~	~~竜巻に伴う気圧低下による塔槽類廃ガス処理設備及び換気設備への影響について~~	~~10/18~~	~~0~~	補足説明資料7-3に移動
補足説明資料5-8	荷重の組合せ一覧表	1/23	0	新規作成
補足説明資料6-1	ランキン渦モデルとフジタモデルの適用の考え方について	11/15	1	新規作成
参考資料1	フジタモデルの適用について	12/18	5	別添資料-1　参考1フジタモデルについて，参考2竜巻による物体の浮上・飛来解析について
参考資料2	竜巻による物体の浮上・飛来解析について	12/18	1	新規作成
~~補足説明資料7-1~~	~~安全冷却水系の系統構成~~	~~11/15~~	~~1~~	~~新規作成~~
補足説明資料7-2	竜巻随伴事象の抽出及び設計について	2/14	5	別添資料-1　Ⅳ．3．竜巻防護対策　（精査中）
補足説明資料7-3	竜巻に伴う気圧低下による塔槽類廃ガス処理設備及び換気設備への影響について	11/15	2	新規作成
補足説明資料8-1	車両の飛来防止対策について	2/14	6	別添資料-1　Ⅴ．手順等
補足説明資料8-2	車両の退避について	2/14	5	新規作成
補足説明資料8-3	竜巻襲来までに要する時間の設定の妥当性について	12/18	3	新規作成
補足説明資料8-4	再処理施設　運用，手順説明資料　外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）	2/14	3	添付資料8　再処理施設　運用，手順説明資料　外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）（精査中）
補足説明資料8-5	竜巻発生確度ナウキャスト及び雷ナウキャストについて	12/10	3	新規作成
補足説明資料9-1	竜巻防護対策設備の設計について	2/14	2	別添資料-1　Ⅳ．3．竜巻防護対策
補足説明資料9-2	竜巻防護対策設備の設計及び評価方針	2/14	4	新規作成（精査中）