【公開版】

提出年月日	令和２年２月７日　Ｒ５
日本原燃株式会社	

ＭＯＸ燃料加工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　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　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　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　屋外の竜巻防護対象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

７．６　竜巻随伴事象に対する設計

８．手順等

８．１　飛来物発生防止対策

２章　補足説明資料

令和２年２月７日　Ｒ４

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，加工施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則（以下，「事業許可基準規則」という。）とウラン・　プルトニウム混合酸化物燃料加工施設安全審査指針（以下，「ＭＯＸ指針」という。）の比較により，事業許可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　事業許可基準規則第九条とＭＯＸ指針　比較表（１／５）

事業許可基準規則 第九条（外部からの衝撃による損傷の防止）	ＭＯＸ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、ＭＯＸ燃料加工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	追加要求事項

第１－１表　事業許可基準規則第九条とＭＯＸ指針　比較表（２／５）

事業許可基準規則 第九条（外部からの衝撃による損傷の防止）	ＭＯＸ指針	備　考
	指針14.　地震以外の自然現象に対する考慮 １．　ＭＯＸ燃料加工施設における安全上重要な施設は、ＭＯＸ燃料加工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　事業許可基準規則第九条とＭＯＸ指針　比較表（３／５）

事業許可基準規則 第九条（外部からの衝撃による損傷の防止）	ＭＯＸ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．　ＭＯＸ燃料加工施設における安全上重要な施設は、ＭＯＸ燃料加工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　事業許可基準規則第九条とＭＯＸ指針　比較表（４／５）

事業許可基準規則 第九条（外部からの衝撃による損傷の防止）	ＭＯＸ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加工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措置を含む。 ６ 第３項は、設計基準において想定される加工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、ＭＯＸ燃料加工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）　農業、畜産業、漁業等食物に関する土地利用及び人口分布 （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　事業許可基準規則第九条とＭＯＸ指針　比較表（５／５）

事業許可基準規則 第九条（外部からの衝撃による損傷の防止）	ＭＯＸ指針	備　考
７　第３項に規定する「加工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。		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，ＭＯＸ燃料加工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ＭＯＸ燃料加工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，ＭＯＸ燃料加工施設敷地で想定される自然現象のうち，洪水，地滑りについては，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，ＭＯＸ燃料加工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ＭＯＸ燃料加工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，ＭＯＸ燃料加工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への措置を含める。

また，ＭＯＸ燃料加工施設は，加工運転を停止することで施設として安定した状態となる特徴がある。そのため，自然現象及び人為事象（故意によるものを除く。）については，ＭＯＸ燃料加工施設の特徴を踏まえた運用上の措置を踏まえた設計とする。

（２）竜巻

安全機能を有する施設のうち安全上重要な施設は，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防護する施設（以下，「竜巻防護対象施設」という。）とし，その安全機能を損なわない設計とする。また，その他の安全機能を有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，安全上支障が生じない期間での修復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。

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（以下，「設計対処施設」という。）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。

竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないようにするため，設計対処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，運動エネルギー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。なお，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として，むつ小川原ウィンドファームの風力発電のブレードがあるが，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。

竜巻に対する防護設計においては，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により保護すること等により，竜巻防護対象施設が安全機能を損なわないこと設計とする。

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加工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ＭＯＸ燃料加工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

安全機能を有する施設は，竜巻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竜巻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設計とする。

２．　竜巻影響評価の基本方針

原子力規制委員会の定める「加工施設の位置、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十七号）」第九条では，外部からの衝撃による損傷の防止として，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。

ＭＯＸ燃料加工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）　ＭＯＸ燃料加工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，ＭＯＸ燃料加工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及び設備・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及び設備・機器を漏れなく抽出する観点から，安全上重要な構築物及び設備・機器を抽出し，竜巻により臨界防止及び閉じ込め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壊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復を行うこと又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。

【補足説明資料２－１】

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，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。

これらの施設を添５第18図から添５第20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３－１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添５－第21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

ｄ．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及び設備・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。

・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施設を除く。）

・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

・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

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施設を除く。），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並びに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を以下のとおり選定する。

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施設を除く。）

(a)　燃料加工建屋内の竜巻防護対象施設

燃料加工建屋は「竜巻防護対象施設を設置する施設」として選定する。竜巻防護対象施設を設置する施設として燃料加工建屋があり，全ての竜巻防護対象施設は燃料加工建屋に収納される。

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

(a)　非常用所内電源設備の非常用発電機の給気系及び排気系

ｃ．屋外の竜巻防護対象施設

ＭＯＸ燃料加工施設は竜巻防護対象施設を全て燃料加工建屋に収納することから，該当する施設はない。

ｄ．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）　気体廃棄物の廃棄設備の工程室排気設備

（ｂ）　気体廃棄物の廃棄設備のグローブボックス排気設備

（ｃ）　非常用所内電源設備の非常用発電機の給気系及び排気系

ｅ．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を以下のとおり選定する。

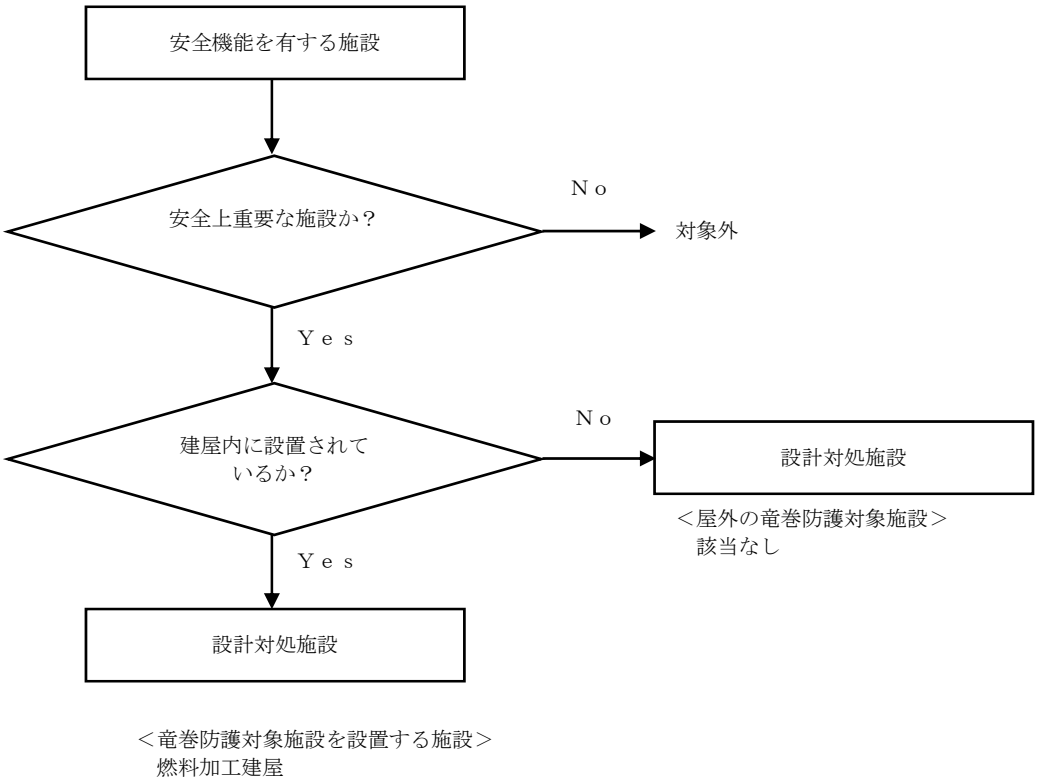
（ａ） 燃料加工建屋

ｆ．竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設

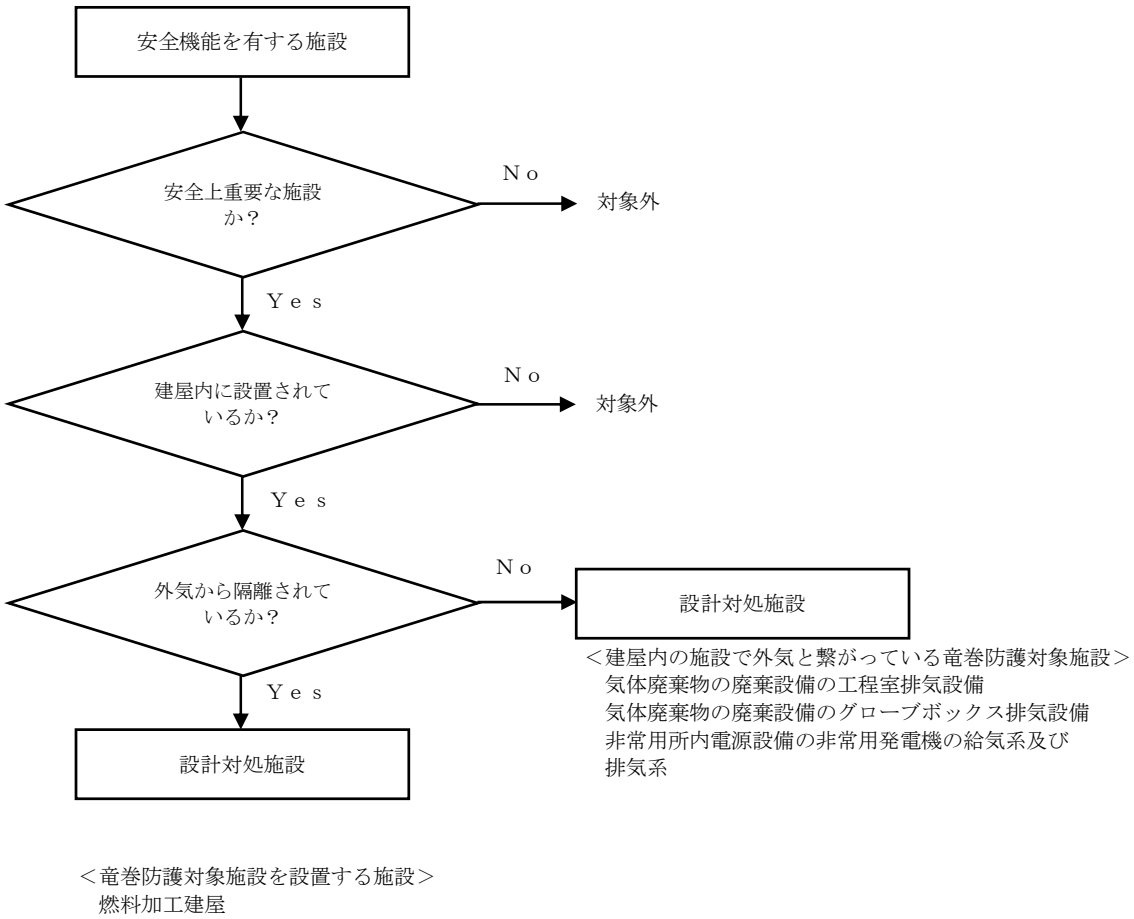
竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設に該当する施設はない。

なお，燃料加工建屋に隣接する気体廃棄物の廃棄設備の排気筒については，燃料加工建屋の外壁から支持する設計とする。したがって，排気筒は風荷重を受けたとしても支持部を介して燃料加工建屋にその荷重を伝達するのみであるため，燃料加工建屋へ波及的影響を与えることはない。

【補足説明資料３－１～３－５】

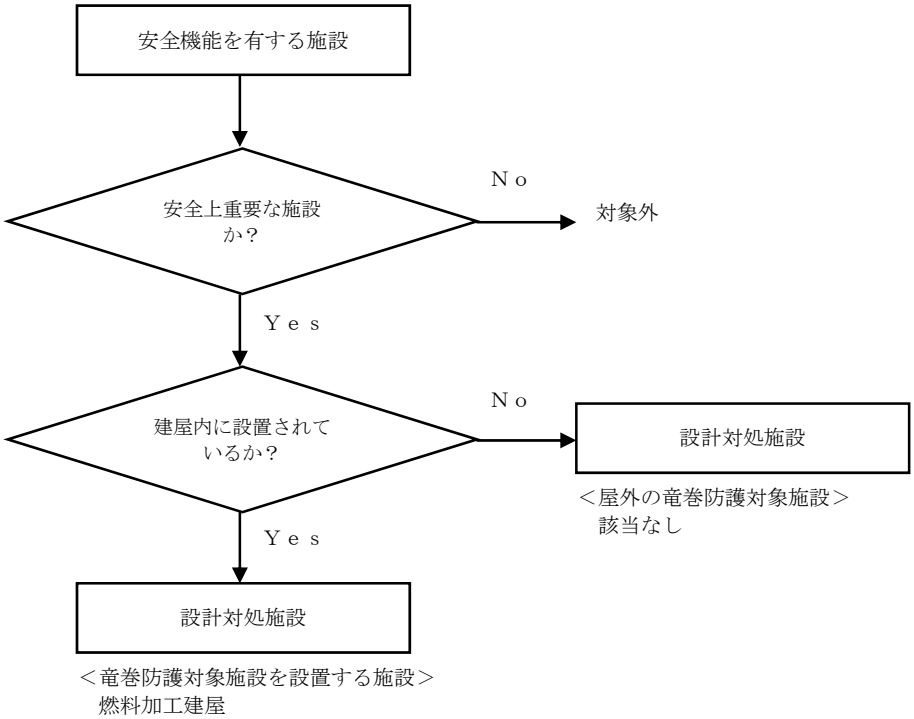


添５第 18 図　風圧力に対する設計対処施設の選定フロー

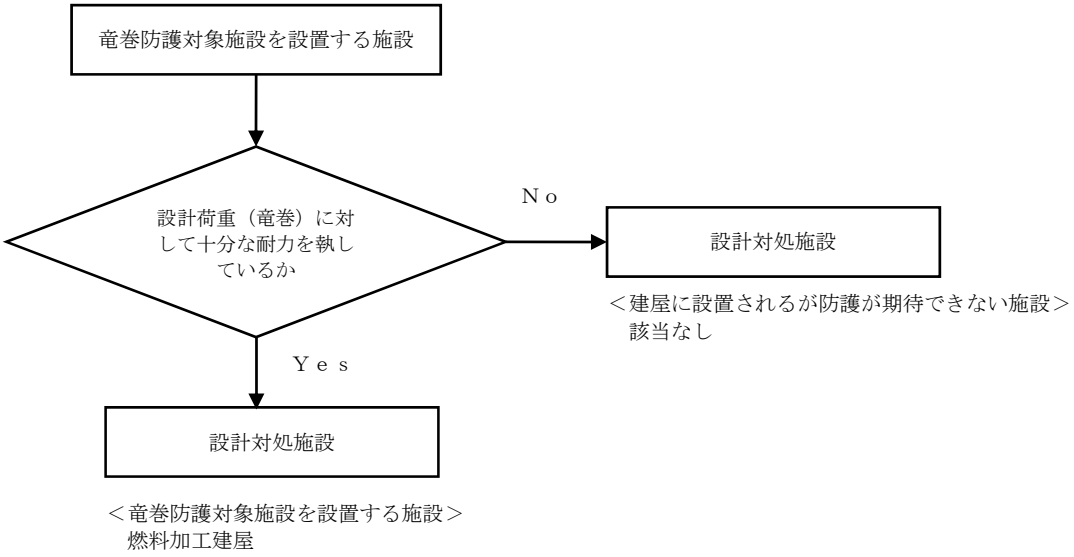


＜竜巻防護対象施設を設置する施設＞
燃料加工建屋

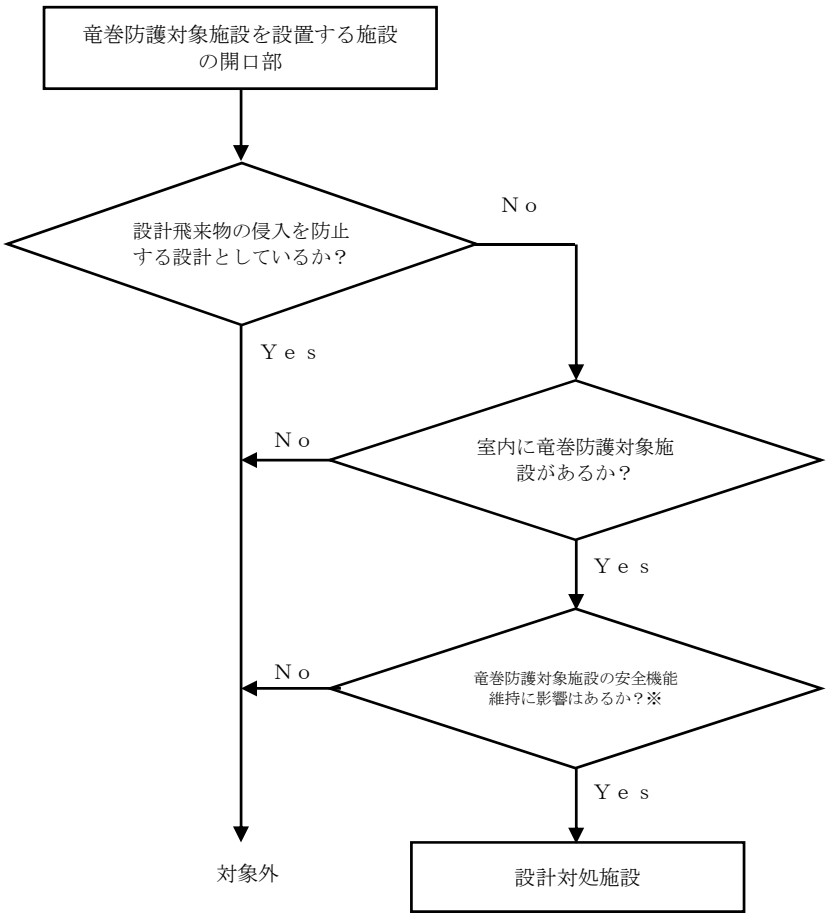
添５第 19 図　気圧差に対する設計対処施設の選定フロー



添５第 20 図　飛来物に対する設計対処施設の選定フロー



第３－１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＞
非常用所内電源設備の非常用発電機の給気系及び排気系

※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。

添５第 21 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ＭＯＸ燃料加工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。

（１）　ＭＯＸ燃料加工施設が立地する地域の気候

ＭＯＸ燃料加工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添３－チ第１図に示す。これによると，ＭＯＸ燃料加工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でやませの影響が強い）に属している。

（２）　ＭＯＸ燃料加工施設が立地する地域の竜巻発生の観点での特徴

添３－チ第２図に示すとおり，ＭＯＸ燃料加工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

添３－チ第３図に，その特徴を添３－チ第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。

（３）　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，ＭＯＸ燃料加工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18000km^2）。添３－チ第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，ＭＯＸ燃料加工施設を中心とする100000km^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．ＭＯＸ燃料加工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添３－チ第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（Ｃｏｎｖｅｃｔｉｖｅ Ａｖａｉｌａｂｌｅ Ｐｏｔｅｎｔｉａｌ Ｅｎｅｒｇｙ：対流有効位置エネルギー）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 Ｈｅｌｉｃｉｔｙ：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の概念を添３－チ第６図に，Ｓ－ＲｅＨの概念を添３－チ第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は鉛直シアーに伴う水平渦度，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添３－チ第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から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。

（１）　過去に発生した竜巻による最大風速（V_{B1}）

過去に発生した竜巻による最大風速（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から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４－１表に日本で過去に発生した藤田スケール３の竜巻一覧を示す。

（２）　竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）

竜巻最大風速のハザード曲線は，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（添３－チ第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（ａ）から（ｃ）の基本的な考え方に基づいて整理を行う。

（ａ）　被害が小さくて見過ごされやすい藤田スケール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，添３－チ第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，添３－チ第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，添３－チ第11図から添３－チ第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，添３－チ第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

ＭＯＸ燃料加工施設においては，添３－チ第14図に示すとおり設計対処施設を包含する円を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。

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

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。

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

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1.8×10^4km^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。

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

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．）。

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

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130ｍ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130mの円の面積：約1.3×10^4m^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。

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

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.）。

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

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，ＭＯＸ燃料加工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から47ノット（17.5から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から20.7m/s），風力９は大強風（ｓｔｒｏｎｇ ｇａｌｅ：20.8から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から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添３－チ第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，37m/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添３－第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54m/sが最大となる。ただし，MOX燃料加工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。

（3）　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}＝37m/s より，ＭＯＸ燃料加工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 1.5×10^{-8} である。

４．３　設計竜巻の最大風速の設定

ＭＯＸ燃料加工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。

ＭＯＸ燃料加工施設では，敷地周辺が平坦であり，地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないと考えられるため，基準竜巻の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5.23×10^{-9}である。

【補足説明資料４－1～４－６】

添３－チ第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，藤田スケール２，藤田スケール３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，藤田スケール２，藤田スケール３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４－１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)

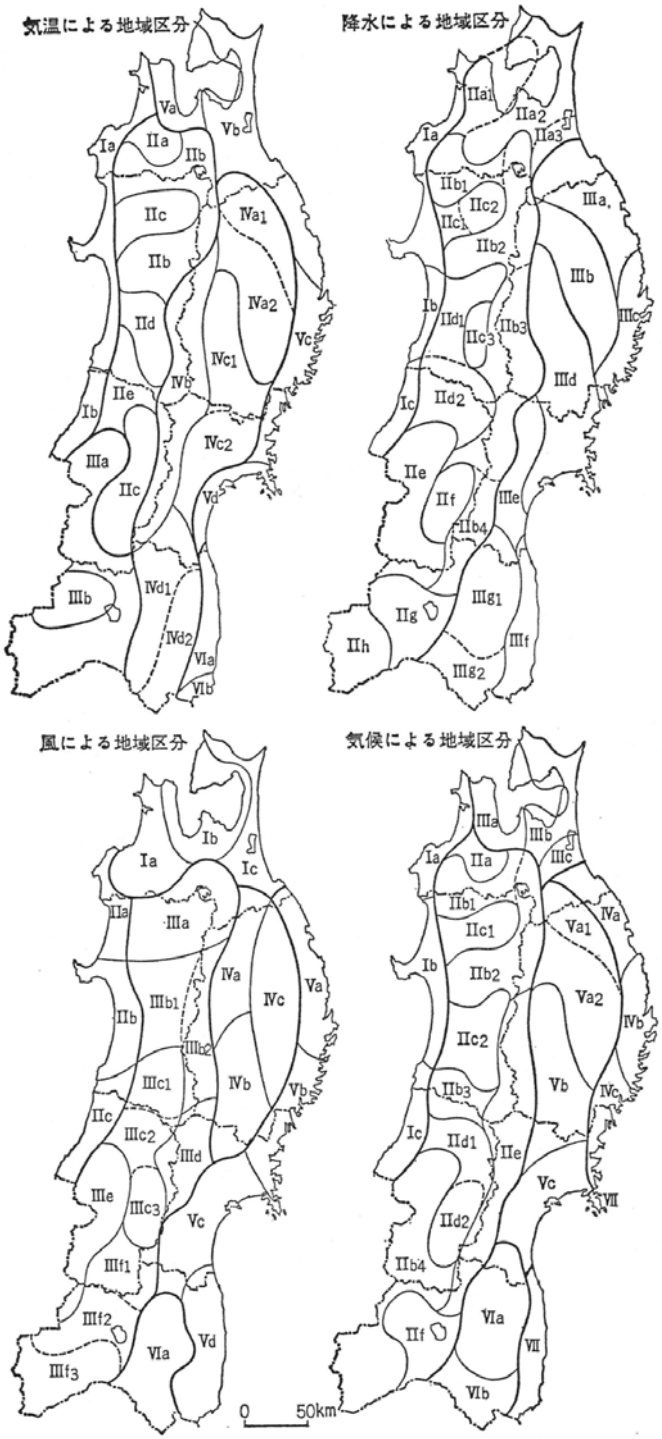
発生日時	発生場所			
	緯度	経度	都道府県	市町村
1971年07年07日07時50分	35度54分20秒	139度40分45秒	埼玉県	大宮市
1990年12年11日19時13分	35度28分39秒	140度18分57秒	千葉県	茂原市
1999年09月24日11時07分	34度42分4秒	137度23分5秒	愛知県	豊橋市
2006年11月07日13時23分	43度59分20秒	143度42分25秒	北海道網走支庁	佐呂間町
2012年05月06日12時35分	36度6分38秒	139度56分44秒	茨城県	つくば市

添３－チ第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

添３－チ第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



Ⅰ 日本海岸地域 Ⅰa ～Ⅰc

Ⅱ 日本海側内陸地域 Ⅱa ～Ⅱf

Ⅲ 青森県北部及び東部地域 Ⅲa ～Ⅲc

Ⅲa 冬は日本海側の気候であるが，夏に低温で，やませの影響がやや強い

Ⅲb 太平洋側にあるが冬は日本海側の気候でやませの影響が強い

Ⅲc 冬に日本海側気候への漸移帯である。やませの影響が強い

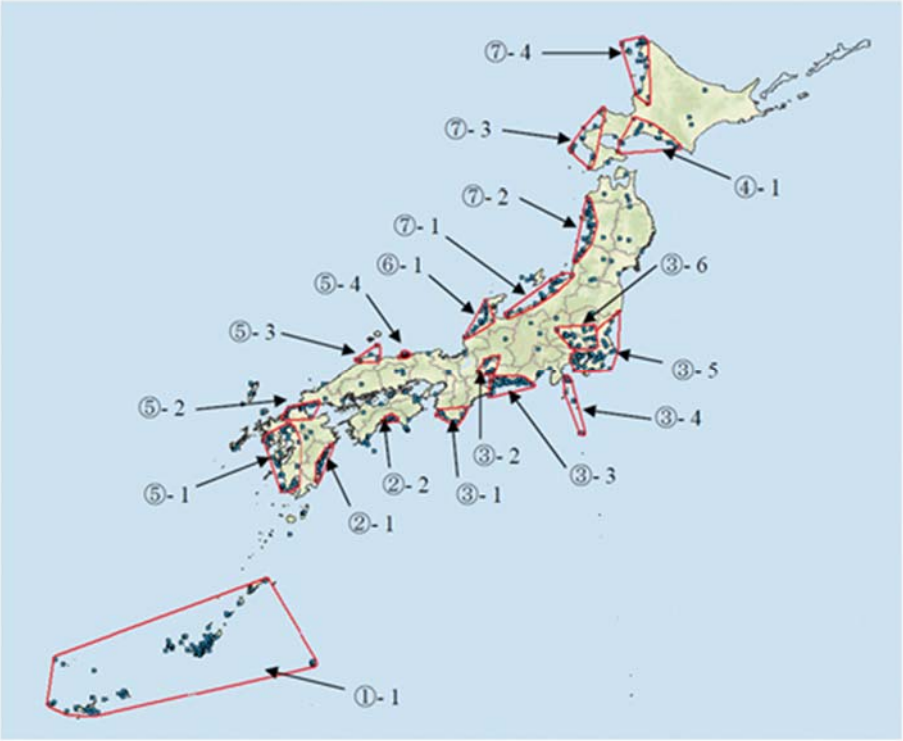
Ⅳ 三陸海岸地域 Ⅳa ～Ⅳc

Ⅴ 太平洋側南部及び内陸地域 Ⅴa ～Ⅴc

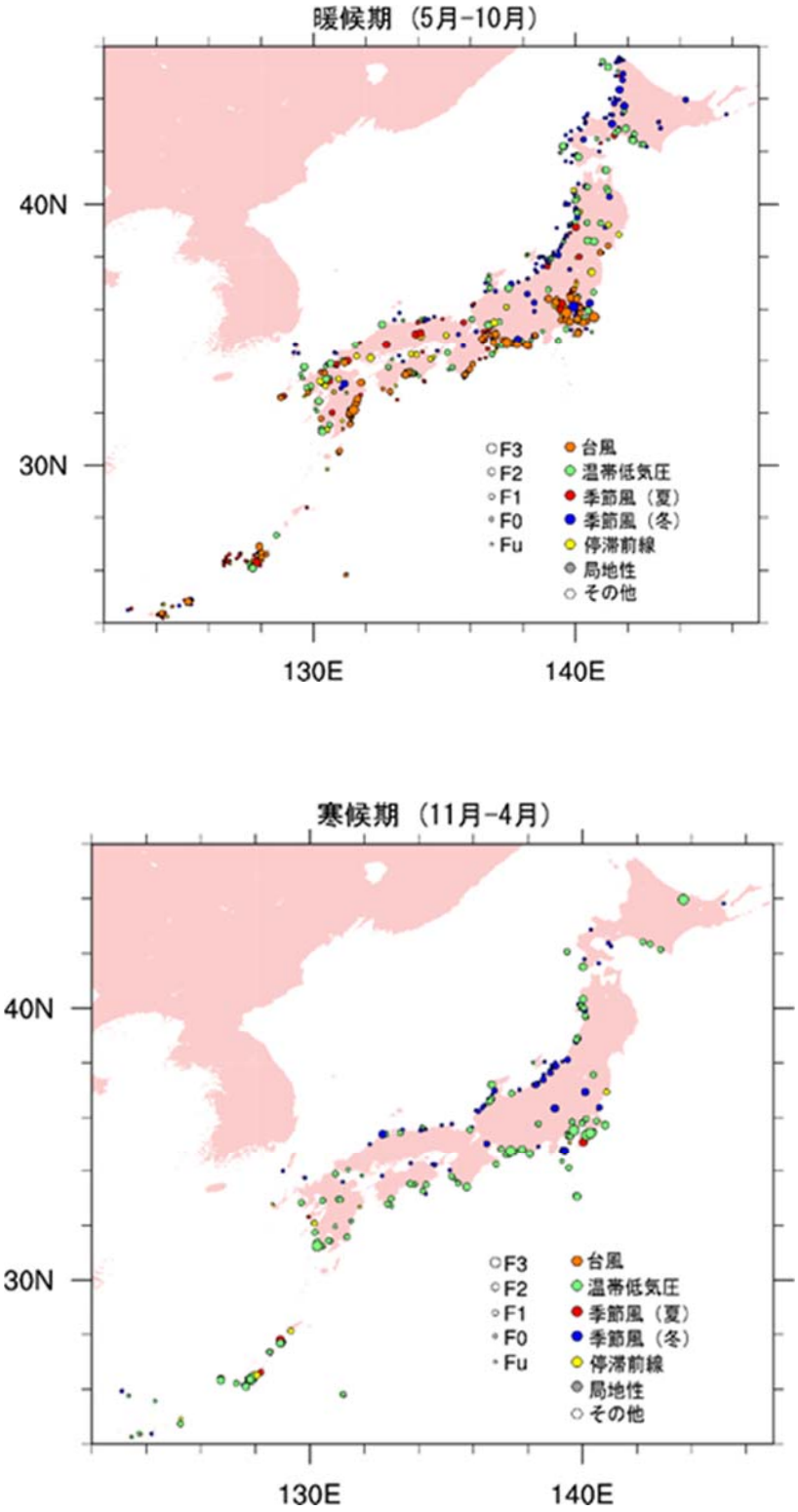
Ⅵ 南部太平洋側内陸地域 Ⅵa ～Ⅵb

Ⅶ 南太平洋側海岸地域 Ⅶ

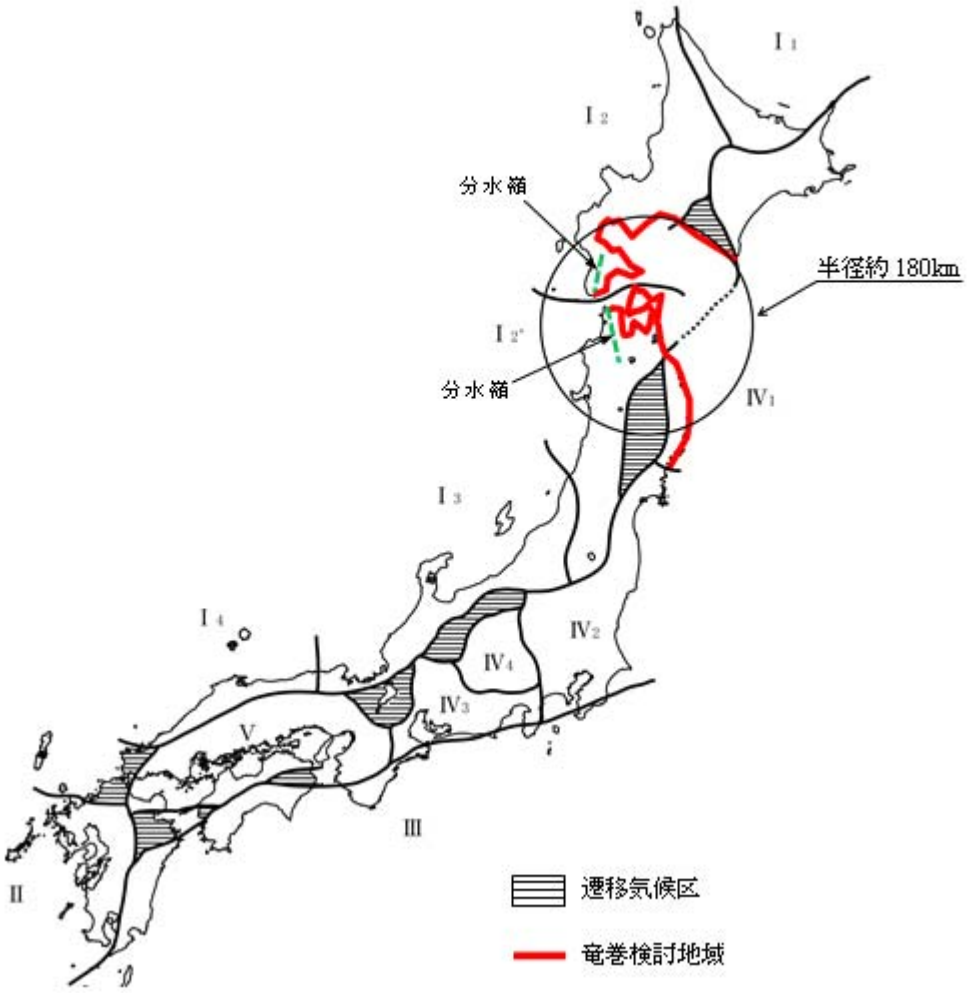
添３－チ第１図　吉野正敏（1967 年）による東北地方の気候区分



添３－チ第２図　竜巻の発生地点と竜巻が集中する 19 個の地域

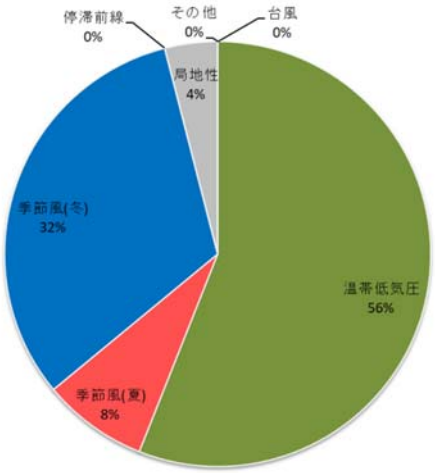


添３－チ第３図　竜巻の発生要因別地域分布



添３－チ第４図　竜巻検討地域

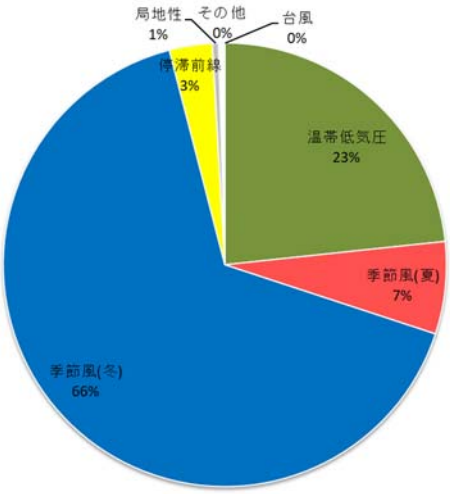
関口武（1959）：日本の気候区分を基に作成



◆竜巻検討地域

・「温帯低気圧」を起源とする竜巻が多い。

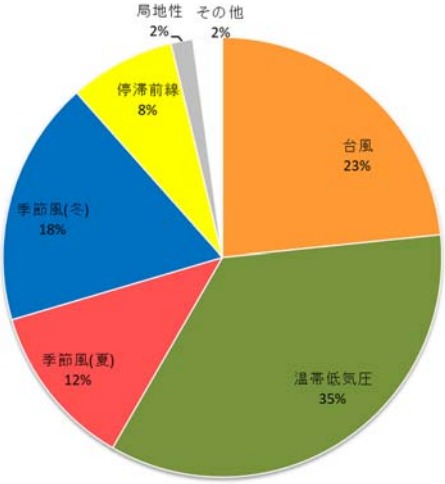
・太平洋側で多くみられる「台風」を起源とする竜巻は確認されていない。



◆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。

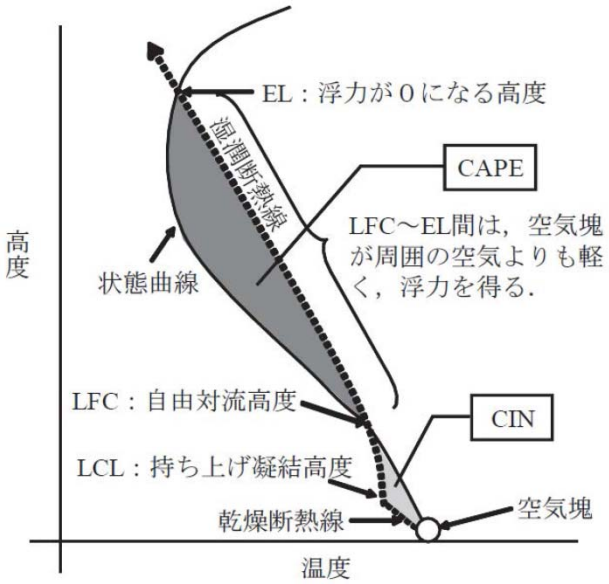


◆茨城県以西の太平洋側（372 事例）

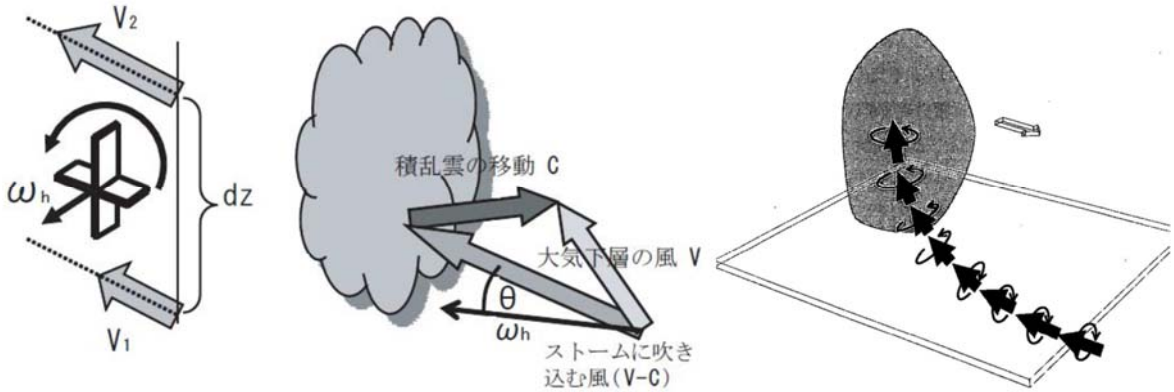
・竜巻検討地域と比較して，「台風」，「季節風(夏)」，「停滞前線」を起源とする竜巻が多い。

・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。

添３－チ第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



添３－チ第６図　ＣＡＰＥの概念

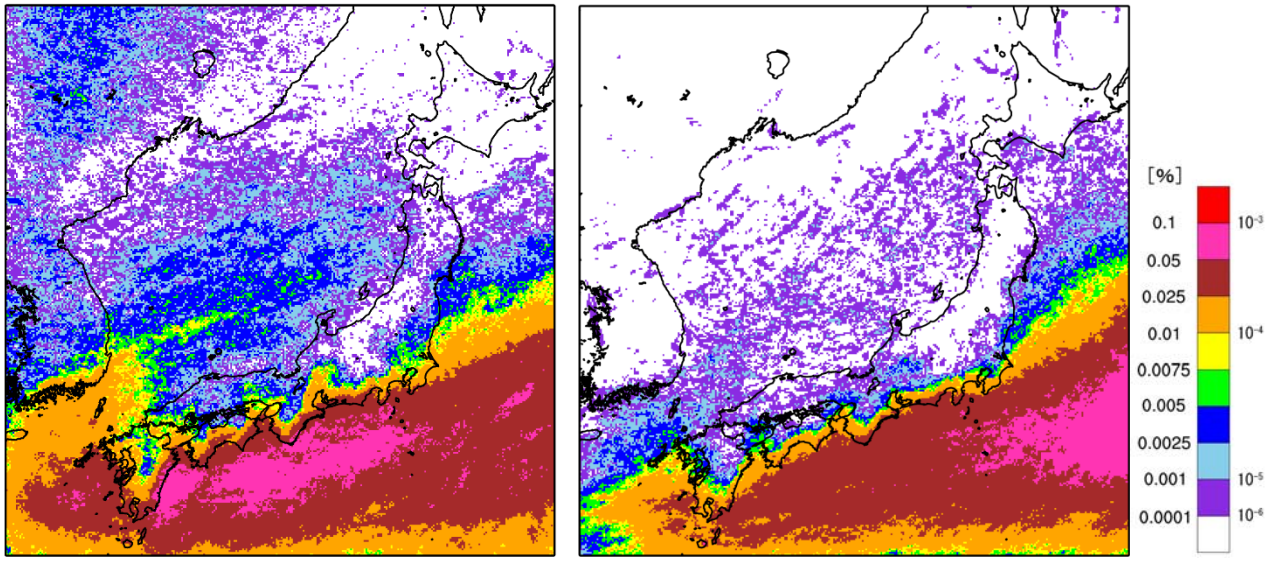


（a）鉛直シアーにより水平渦度が生じる

（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。

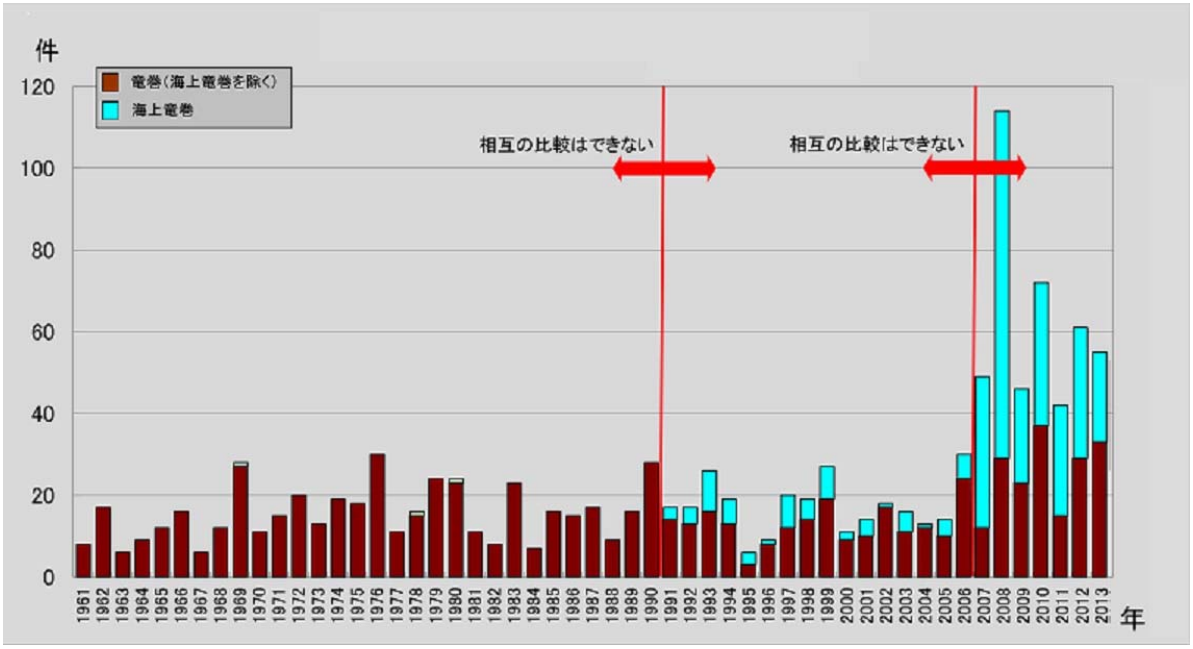
添３－チ第７図　ＳＲｅＨの概念



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

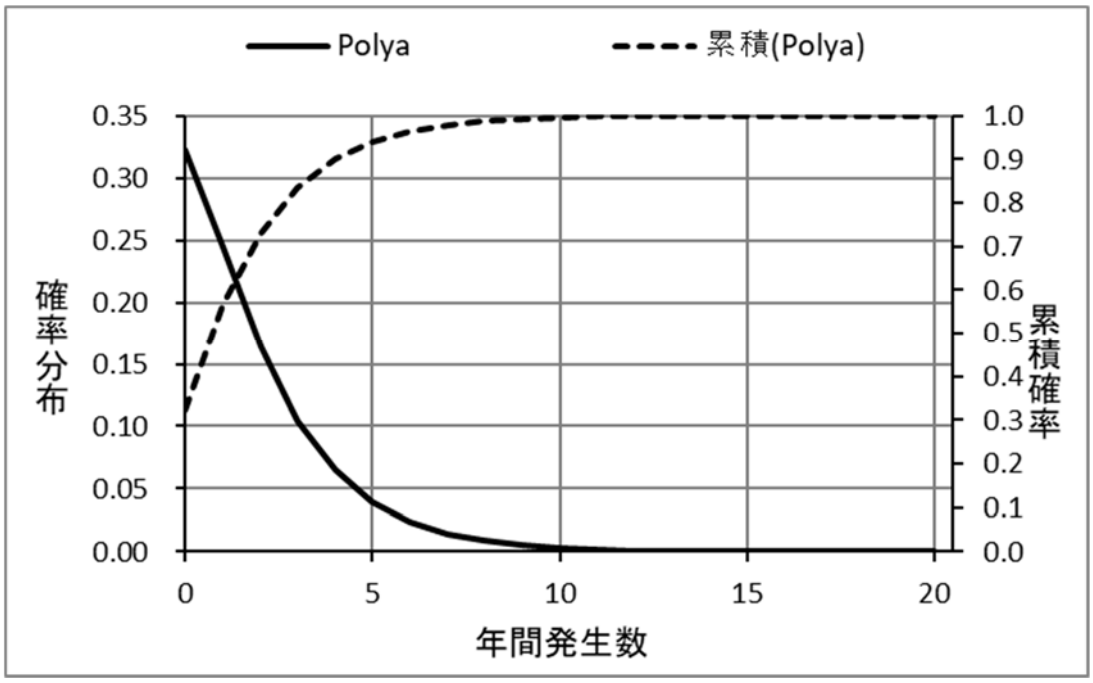
寒候期（11月－4月）における
CAPE≧500 J/kg かつ SReH≧350 m^2/s^2

添３－チ第８図　同時超過頻度分布の算出結果

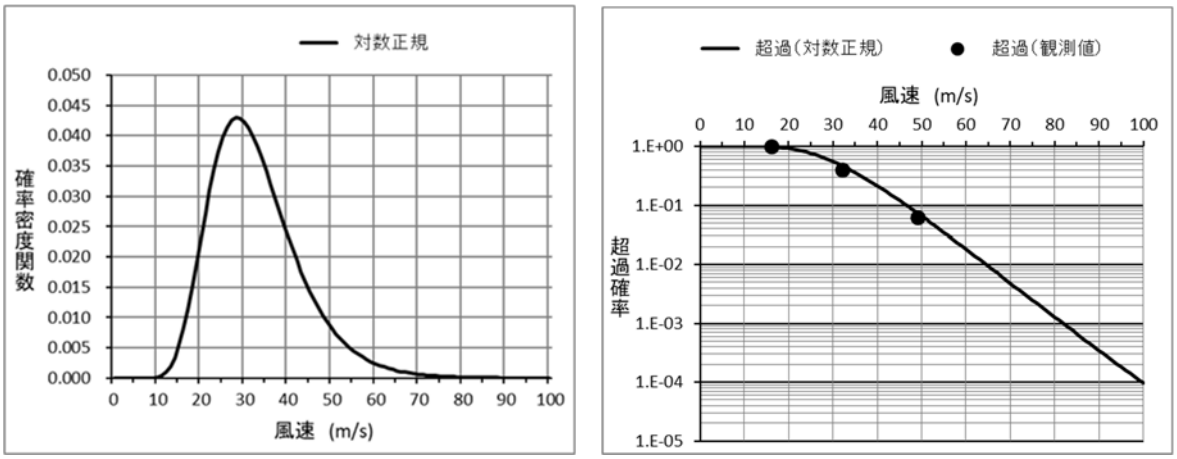


（出典：気象庁「竜巻等の突風データベース」）

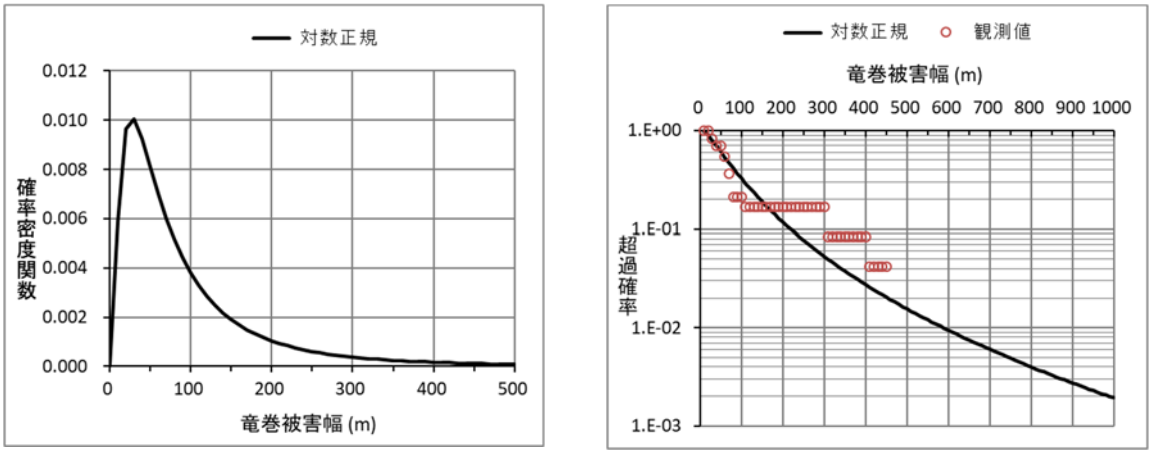
添３－チ第９図　竜巻年別発生確認数



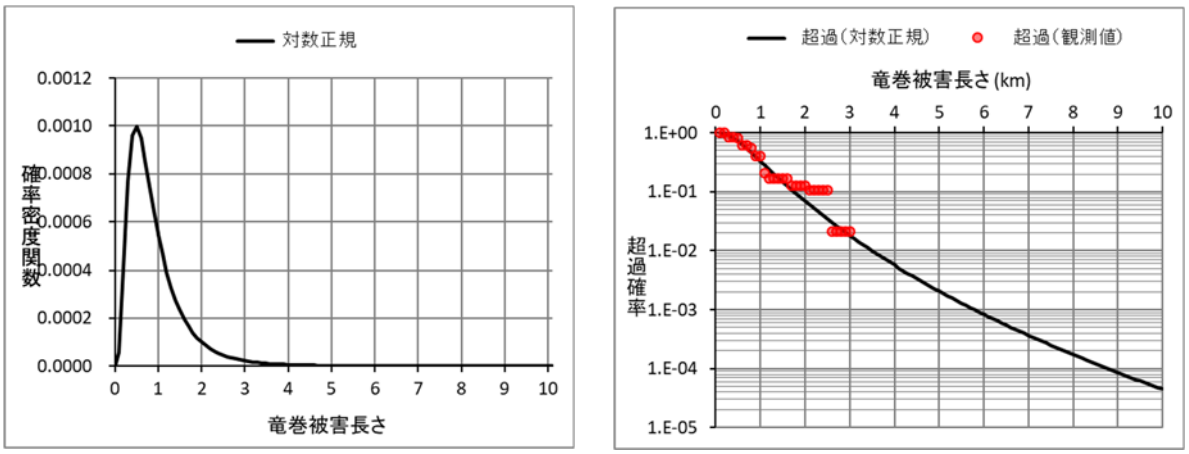
添３－チ第 10 図　竜巻検討地域における竜巻発生数の確率分布と累積確率



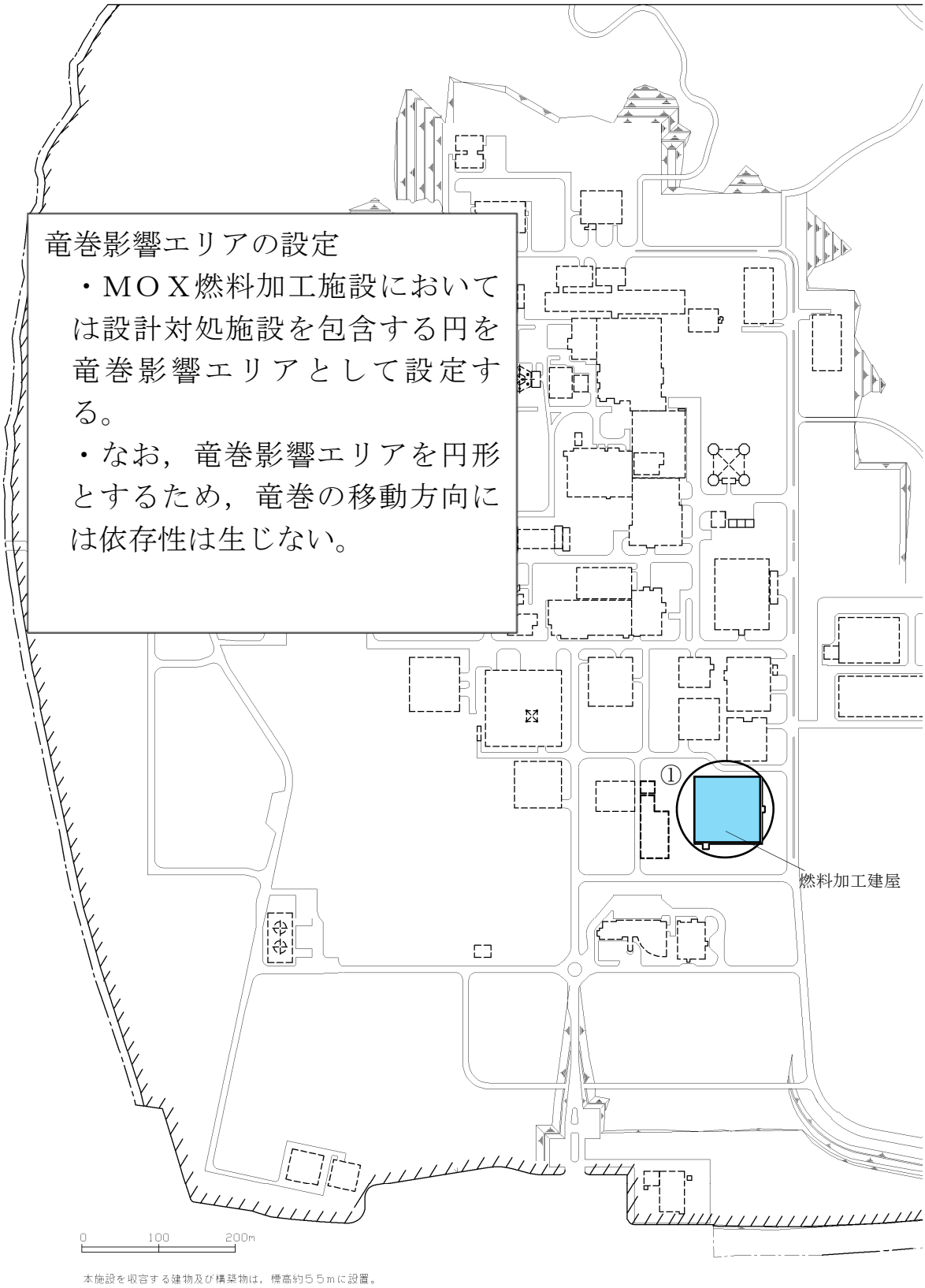
添３－チ第 11 図　風速の確率密度分布（左）と超過確率（右）



添３－チ第 12 図　被害幅の確率密度分布（左）と超過確率（右）



添３－チ第 13 図　被害長さの確率密度分布（左）と超過確率（右）

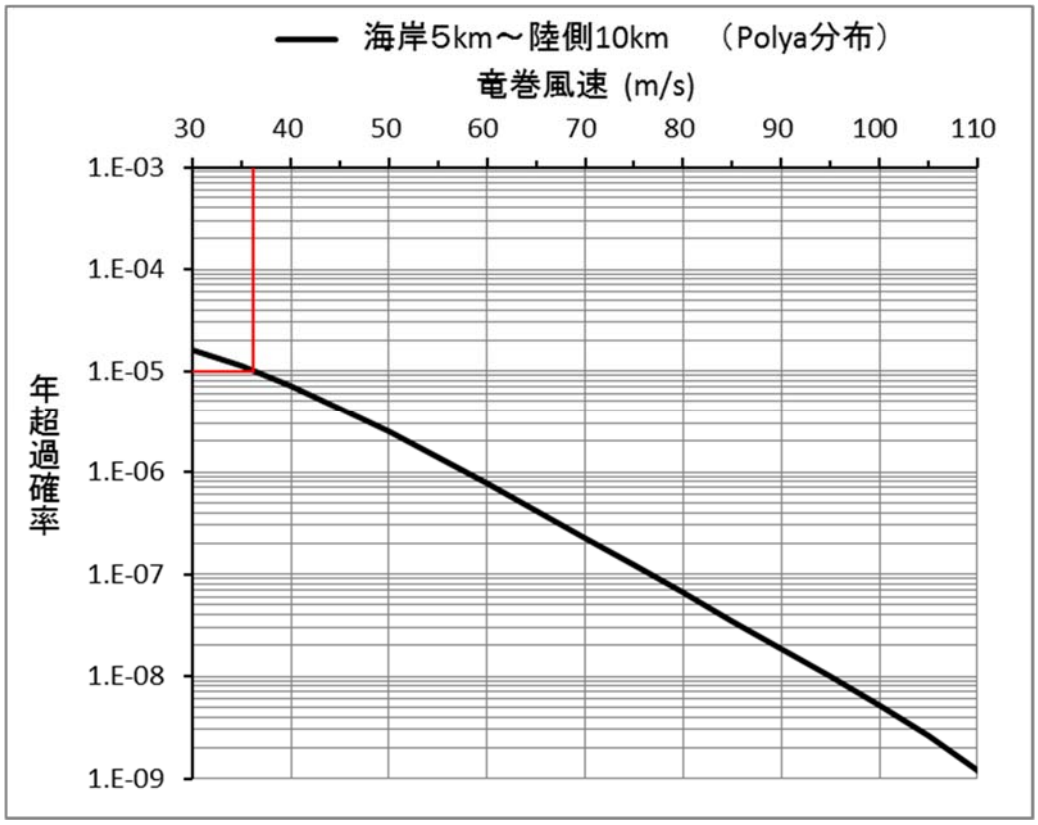


エリア番号	エリア直径（m）	エリア面積（m^2）
①	125	12300
評価に用いる値	130	13300

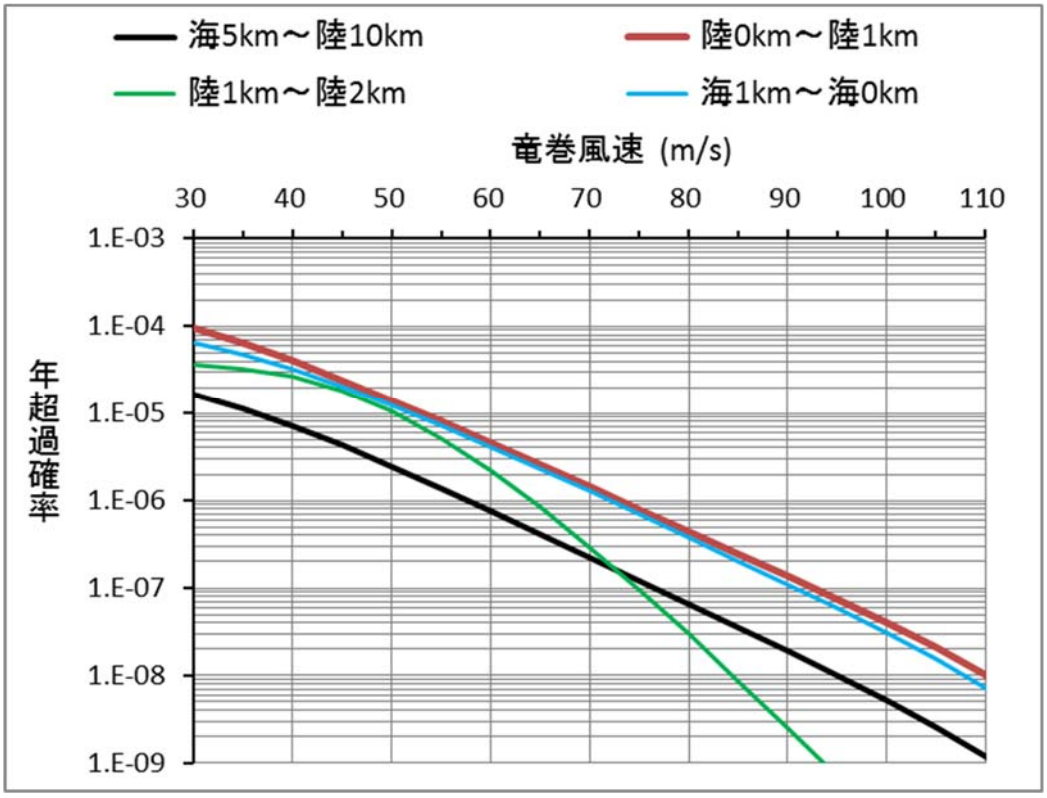
→竜巻影響エリア

直径：130m　面積：13300m^2

添３－チ第 14 図　竜巻影響エリア



添３－チ第 15 図　竜巻最大風速のハザード曲線（竜巻地域検討）



添３－チ第 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添５第25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。

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，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及び鋼製パイプを設計飛来物として設定する。

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。

添５第26表にＭＯＸ燃料加工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　竜巻防護対象施設等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

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。一方，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。

(2)　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―７】

ａ．竜巻防護対象施設等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

ＭＯＸ燃料加工施設の立地地域は，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５㎜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・機器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。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。

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，設計基準事

故発生時の竜巻の襲来を考慮する必要はない。

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規格及び規準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。

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規格及び規準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。

【補足説明資料５－１～５－７】

添５第 25 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

添５第 26 表　ＭＯＸ燃料加工施設における設計飛来物

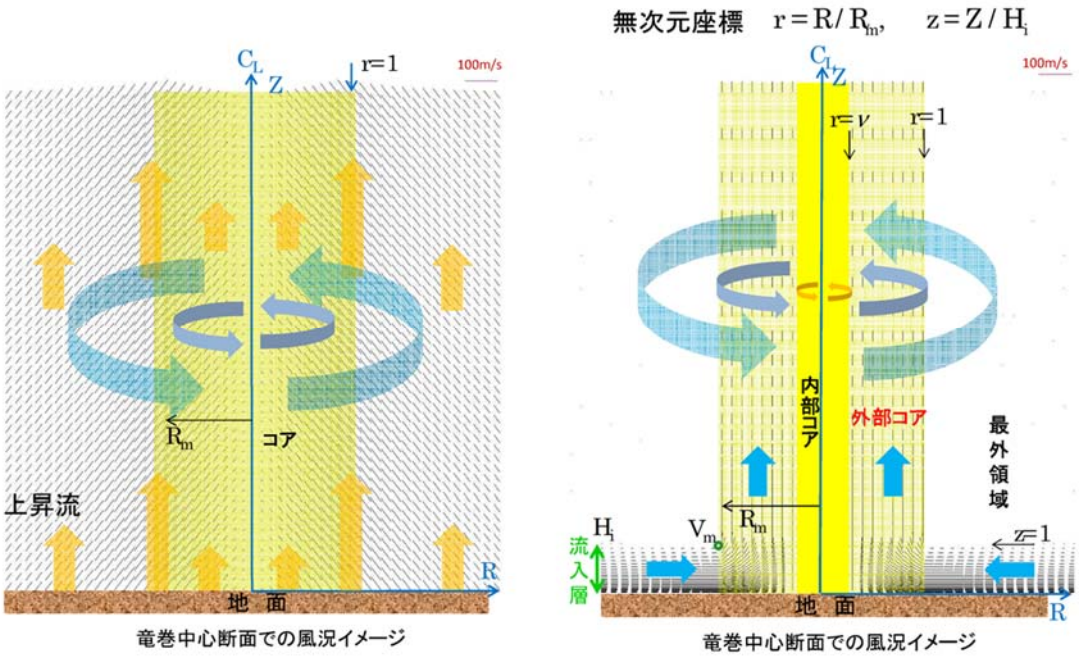
飛来物の種類	鋼製パイプ	鋼製材
寸法 (m)	長さ×直径 2.0×0.05	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3 ×0.2
質量 (kg)	8.4	135
最大水平速度 (m/s)	49	51
最大鉛直速度 (m/s)	33	34

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。

ＭＯＸ燃料加工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し，以下の事項に対して安全機能を損なわない設計とする。

（１）　飛来物の衝突による建屋・構築物の貫通，裏面剥離及び設備・機器の損傷

（２）　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）

（３）　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。

７．１　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。）

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，燃料加工建屋に設置され，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　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

建屋に設置されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設には，非常用所内電源設備の非常用発電機が該当する。設計荷重（竜巻）による影響に対して非常用所内電源設備の非常用発電機の安全機能を損なわない設計とするため，非常用所内電源設備の非常用発電機の給気系及び排気系に対しては，設計飛来物の侵入による損傷を考慮する。具体的には，設計飛来物の侵入を防止するため，非常用所内電源設備の非常用発電機の給気系については建物により迷路構造とすることで設計飛来物の侵入を防止し，排気系はその一部を構成する構築物である非常用所内電源設備の非常用発電機の排気筒を十分な板厚とすることにより設計飛来物の侵入を防止する設計とする。

７．３　建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設は，気圧差荷重に対して健全性を維持できる強度を有する設計とする。

気体廃棄物の廃棄設備の工程室排気設備，グローブボックス排気設備及び非常用所内電源設備の非常用発電機の給気系及び排気系は，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。

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）に対して構造健全性を維持する設計とし，施設内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。また，設計飛来物の衝突に対しては，貫通及び裏面剥離が防止できる設計とする。

７．５　屋外の竜巻防護対象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

ａ．屋外の竜巻防護対象施設

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場合には，竜巻防護対策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。

なお，ＭＯＸ燃料加工施設は竜巻防護対象施設を全て燃料加工建屋に収納することから，該当する施設はない。

ｂ．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よう必要に応じて補強すること等により，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。

なお，竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設に該当する施設はない。

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・貯蔵所及びディーゼル発電機用燃料受入れ・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を設置する施設の位置関係を踏まえて熱影響を評価した上で，竜巻防護対象施設を設置する施設の許容温度を超えない設計とすることにより，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。

（２）　溢　　水

竜巻により，屋外機器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，溢水が竜巻防護対象施設を設置する施設の開口部まで到達しない設計とする。

（３）　外部電源喪失

竜巻の襲来は事前に予測可能であることから，ＭＯＸ燃料加工施設の特徴を踏まえ，予め全工程停止等の措置を講ずることにより，ＭＯＸ燃料加工施設は安定な状態に移行する。したがって，竜巻と同時に発生する外部電源喪失については，随伴事象として考慮不要である。

【補足説明資料７－１～７－３】

８．　手順等

８．１　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。

（１）　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縛，建屋収納又は敷地からの撤去等を実施することを手順に定める。

（２）　車両については，ＭＯＸ燃料加工施設が再処理施設及び廃棄物管理施設と同じ周辺防護区域に位置するため，再処理施設及び廃棄物管理施設が設定する飛来対策区域を考慮した以下の運用とする。

・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，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。

（３）　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。

（４）　竜巻によりＭＯＸ燃料加工施設に影響を及ぼすおそれが予見される場合は，全工程停止，送排風機停止，工程室排風機後の手動ダンパ及びグローブボックス排風機後の手動ダンパの閉止を行うことを手順に定める。

【補足説明資料８－１～８－５】

２章　補足説明資料

令和2年2月7日　R5

MOX燃料加工施設　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）

MOX燃料加工施設　安全審査　整理資料　補足説明資料				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
補足説明資料2-1	竜巻影響評価ガイドへの適合性	2/7	2	
補足説明資料3-1	設計対処施設の選定について	2/7	3	
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	2/7	1	
補足説明資料3-3	耐震Sクラス施設について	2/7	3	
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	2/7	2	
補足説明資料3-5	排気筒の波及的影響について	2/7	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	1/23	2	
補足説明資料4-2	竜巻検討地域の範囲設定について	1/23	1	
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	1/23	1	
~~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~~			
補足説明資料4-4	ハザード曲線による竜巻最大風速（V_{B2}）の計算について	2/7	3	
補足説明資料4-5	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	11/29	0	
補足説明資料4-6	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	11/29	0	
補足説明資料5-1	設計対処施設の設計荷重について	2/7	2	
補足説明資料5-2	設計飛来物の設定	2/7	3	
補足説明資料5-3	敷地外からの飛来物の考慮について	2/7	3	
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	2/7	2	
補足説明資料5-5	竜巻時に発生する降雹について	2/7	2	
補足説明資料5-6	空力パラメータについて	11/29	0	
補足説明資料5-7	荷重の組合せ一覧表	2/7	1	新規作成

令和2年2月7日　R5

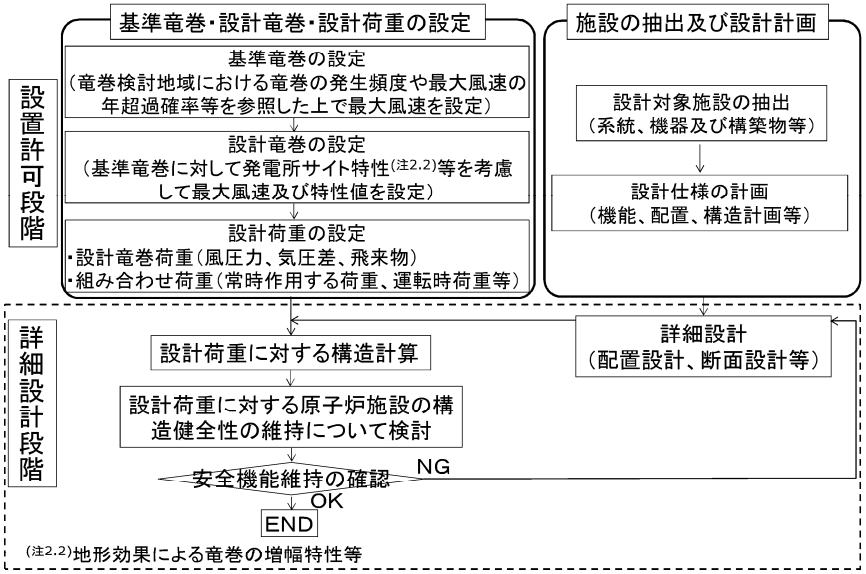
MOX燃料加工施設　安全審査　整理資料　補足説明資料リスト
第9条：外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）

MOX燃料加工施設　安全審査　整理資料　補足説明資料				備考
資料№.	名称	提出日	Rev	
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	1/23	1	
参考資料1	フジタモデルの適用について	12/20	1	
参考資料2	竜巻による物体の浮上・飛来解析について	12/20	1	
補足説明資料7-1	竜巻随伴事象の抽出及び設計について	2/7	3	
補足説明資料7-2	MOX燃料加工施設における竜巻防護設計について	2/7	1	新規作成
補足説明資料7-3	外部事象に対する加工運転の停止について	2/7	0	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	2/7	3	
補足説明資料8-2	車両の退避について	1/23	2	
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	1/23	2	
補足説明資料8-4	MOX燃料加工施設　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）	2/7	2	
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	11/29	0	

令和２年２月７日　R2

補足説明資料２－１（９条　竜巻）

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
2. 設計の基本方針 2.1 設計対象施設 以下の（1）及び（2）に示す施設を設計対象施設とする。 （1）竜巻防護施設 「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・構築物等とする。	⇒竜巻防護対象施設としては安全上重要な施設を選定しており，耐震 S クラスの設備とはしていないが，事業許可基準規則第 9 条及び第 14 条に則った選定としている。 なお，安全上重要な施設は耐震 S クラスの設備を包含し，かつ耐震 S クラスでないものも含んでいる（「安全上重要な施設＞耐震 S クラスの設備」）。
（2）竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設 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否定できない施設、又はその施設の特定の区画(注 2.1)。	⇒破損又は転倒により，上記の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おそれのあるものを「竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設」として選定している。
解説 2.1 設計対象施設 設計竜巻荷重は、基準地震動 Ss による地震荷重と同様に施設に作用するものと捉え、設計対象施設は、耐震設計上の重要度分類を引用して、耐震 S クラス施設及び耐震 S クラス施設に波及的影響を及ぼし得る施設とした。ただし、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、設計対象から除外できる。 竜巻防護施設の例としては、原子炉格納容器や安全機能を有する系統・機器（配管を含む）等が考えられる。外殻となる施設等による防護機能が期待できる設計対象施設の例としては、原子炉格納容器に内包された安全機能を有する設備等が考えられる。	⇒外殻となる建屋によって防護される竜巻防護対象施設については，外殻となる建屋を「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している。
（注 2.1）竜巻防護施設を内包する区画。	

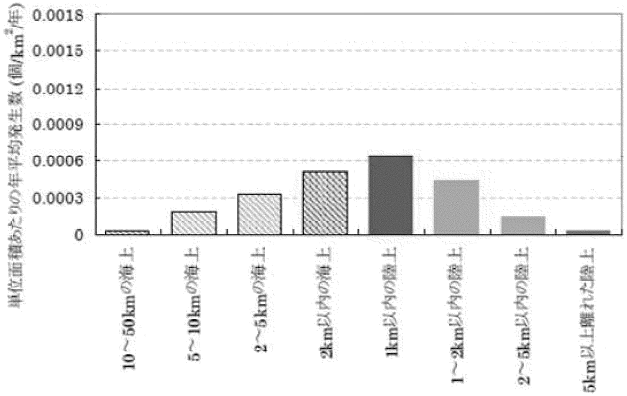
原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
2.2 設計の基本的な考え方 2.2.1 設計の基本フロー 図 2.1 に設計の基本フローを示す。設置許可段階では、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重が適切に設定されていること、並びに設計荷重に対して、機能・配置・構造計画等を経て抽出された設計対象施設の安全機能が維持される方針であることを確認する。ただし、設計荷重については、設置許可段階において、その基本的な種類や値等が適切に設定されていることを確認する。  図 2.1　設計の基本フロー 解説 2.2.1 設計の基本フロー 詳細設計段階においては、配置・断面設計等を経て詳細な仕様が設定された施設を対象に、	⇒3. 参照。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
設計荷重の詳細を設定し、設計荷重に対する構造計算等を実施し、その結果得られた施設の変形や応力等が構造健全性評価基準を満足すること等を確認して、安全機能が維持されることが確認されることを想定している。	
2.2.2 設計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。 ①風圧力 設計竜巻の最大風速による風圧力 ②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設計対象施設内外の気圧差による圧力 ③飛来物の衝撃荷重 設計竜巻によって設計対象施設に衝突し得る飛来物（以下、「設計飛来物」という）が設計対象施設に衝突する際の衝撃荷重	⇒設計竜巻荷重を以下の通りとしている。 ・風圧力による荷重 ・気圧差による荷重 ・飛来物の衝撃荷重
（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。 ①設計対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重等 ②竜巻以外の自然現象(注2.3)による荷重、設計基準事故時荷重等 （注2.3）竜巻と同時発生が想定され得る雷、雪、雹及び大雨等の自然現象を含む。	⇒設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として以下のものを考慮することとしている。 ・竜巻防護対象施設等に常時作用する荷重及び運転時荷重 ・竜巻以外の自然現象による荷重（積雪）

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
なお、上記（２）の②の荷重については、竜巻以外の自然現象及び事故の発生頻度等を参照して、上記（２）の①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判断する。	なお，設計竜巻荷重には設計基準事故時に生ずる応力を適切に組み合わせる方針としているが，設計基準事故は内部事象に起因するものであること，及び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方針であり，竜巻との因果関係はなく，竜巻の影響による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ことから，竜巻と設計基準事故時荷重との組合せは考慮する必要はないものと整理している。また，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することについても，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ため，考慮する必要はないものと整理している。
2.2.3 施設の安全性の確認 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、設計対象施設、あるいはその特定の区画(注 2.4)の構造健全性等が維持されて安全機能が維持される方針であることを確認する。 （注 2.4）竜巻防護施設を内包する区画。	⇒設計竜巻からの防護設計方針を以下の通りとし，安全機能を損なわない設計とする方針としている。 ・建屋に設置され防護される竜巻防護対象施設 建屋による防護により，設計荷重（竜巻）の影響を受けない設計とする。 ・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 建物・構築物による防護により，設計荷重（竜巻）の影響を受けない設計とする。 ・屋外の竜巻防護対象施設 ＭＯＸ燃料加工施設は竜巻防護対象施設を全て燃料加工建屋に収納することから，該当する施設はない。 ・外気と繋がっている竜巻防護対象施設 設計荷重（竜巻）の影響を受けても安全機能を損なわない設計とする。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
3. 基準竜巻・設計竜巻の設定 3.1 概要 設置許可段階の安全審査において、基準竜巻及び設計竜巻が適切に設定されていることを確認する。 解説 3.1 基準竜巻・設計竜巻の最大風速の設定 設計竜巻荷重を設定するまでの基本的な流れは解説図 3.1 に示すとおりである。 竜巻検討地域の設定 発電所が立地する地域及び竜巻発生の観点から 気象条件等が類似の地域 ↓ 基準竜巻の最大風速(V_B)の設定 (竜巻検討地域における竜巻の発生頻度や最大風速の 年超過確率等を参照した上で最大風速を設定) ↓ 設計竜巻の最大風速(V_D)の設定 (発電所サイト特性(注3.1)等を考慮してV_Bの割り増し等 を行い最大風速を設定) $V_D = \alpha \cdot V_B$、$\alpha \geqq 1$ ↓ 設計竜巻の特性値の設定 (V_D等に基づいて移動速度、最大気圧低下量等の 特性値を設定) ↓ 設計竜巻荷重(F_D)の設定 (風圧力、気圧差、飛来物の衝突による衝撃荷重を設定) 解説図 3.1　基準竜巻・設計竜巻の設定に係る基本フロー 3.2 竜巻検討地域の設定 竜巻検討地域は、原子力発電所が立地する地域及び竜巻発生の観点から原子力発電所が立地する地域と気象条件等が類似の地域から設定する。 (注 3.1) 地形効果による竜巻の増幅特性等	⇒3.3, 3.4 参照。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
解説 3.2 竜巻検討地域の設定 （1）基本的な条件 竜巻検討地域の設定にあたっては、IAEA の基準(参1)が参考になる。IAEA の基準では、ある特定の風速を超過する竜巻の年発生頻度の検討にあたって竜巻の記録を調査する範囲として、およそ 10 万 km^2 を目安にあげている。この IAEA の基準を参考として、竜巻検討地域の目安を、原子力発電所を中心とする 10 万 km^2 の範囲とする。しかしながら、日本では、例えば日本海側と太平洋側とで気象条件が異なる等、比較的狭い範囲で気象条件が大きく異なる場合があることから、必ずしも 10 万 km^2 に拘らずに、竜巻発生の観点から原子力発電所が立地する地域と気象条件等が類似する地域を調査した結果に基づいて竜巻検討地域を設定することを基本とする。	⇒ＭＯＸ燃料加工施設を中心とした 10 万ｋｍ^2（半径約 180ｋｍ）を目安として竜巻検討地域を設定している。 ⇒竜巻検討地域，日本海側及び太平洋側とで比較を行うことにより，竜巻検討地域における竜巻発生の傾向が，日本海側，太平洋側のいずれとも異なることを確認している。 ⇒ＭＯＸ燃料加工施設が立地する地域の気候，竜巻発生の観点からの特徴（総観場）の類似性を考慮して竜巻検討地域を設定している。 ⇒類似の気候区分に分類される範囲（岩手県沿岸南部）については，半径 180ｋｍの範囲外であっても竜巻検討地域に含めた。
（2）原子力発電所が海岸線付近に立地する場合の竜巻検討地域の設定 解説図 3.2 に日本における竜巻の発生分布(参2)を示す。解説図 3.2 より日本における竜巻の発生位置は、海岸線付近に集中している傾向が伺える。解説図 3.3 に日本の海岸線付近における竜巻の発生状況を示す。解説図 3.3 をみると、海岸線から 1km 以内の陸上では単位面積あたりの 1 年間の平均発生数は 6.0×10^{-4}(個/km^2/年)を少し超える程度であり、海岸線から離れるに従って竜巻の発生数が減少する傾向が伺える。例えば、解説図 3.3 の陸上側のグラフの分布をみると、海岸線から 5km 以上離れた地域では、竜巻の発生数が急激に減少する傾向がみられる。以上の傾向を踏まえて、原子力発電所が海岸線付近に立地する場合は、海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲を目安に竜巻検討地域を設定することとする。なお、原子力発電所がこの範囲（海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲）を逸脱する地域に立地する場合は、海岸線付近で竜巻の発生が増大する特徴を踏まえつつ竜巻検討地域の範囲を別途検討する必要がある。	⇒ＭＯＸ燃料加工施設は海岸から約５～10ｋｍの地点に立地しているが，竜巻の発生のほとんどが海岸線付近であることから，海岸線に沿った海側５ｋｍ，陸側 10ｋｍを竜巻検討地域として考慮している。

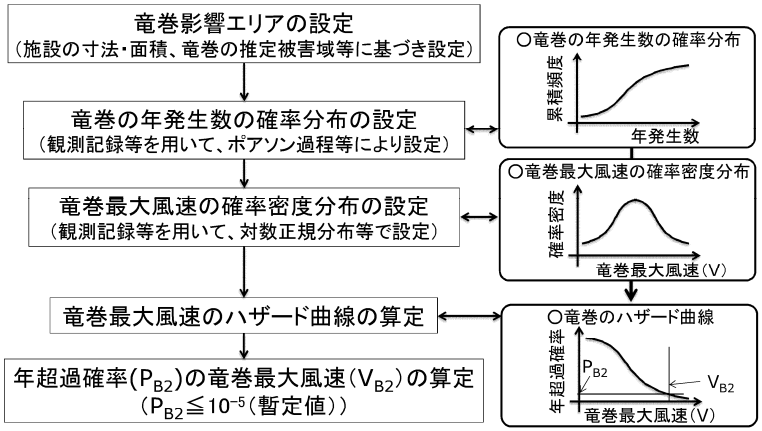
原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
 解説図 3.2　日本における竜巻の発生分布（1961～2011 年、気象庁作成）(参 2)  解説図 3.3　日本の海岸線付近における竜巻の発生状況(参 3)（注 3.2） （1961～2009 年 12 月、規模：F0 以上） （注 3.2）被害の痕跡が残りにくい海上竜巻は、単位面積あたりの年平均発生数が、実際の発生数より特に少ない可能性が考えられる。 3.3 基準竜巻の設定 以下の基本的な方針に基づいて基準竜巻の最大風速(V_B)を設定する。ここで、V_B は最大瞬間	

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
風速とする。 (1)基準竜巻の最大風速(V_B)は、竜巻検討地域において、過去に発生した竜巻の規模や発生頻度、最大風速の年超過確率等を考慮して適切に設定する。	⇒基準竜巻の最大風速は日本で過去に発生した竜巻による最大風速（V_{B1}）と竜巻検討地域における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こととしている。
(2)基準竜巻の最大風速(V_B)は、下記に示す V_{B1} と V_{B2} のうちの大きな風速とする。 ①過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1}) 日本で過去に発生した竜巻による最大風速を V_{B1} として設定することを原則とする。ただし、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の最大風速を十分な信頼性のあるデータ等に基づいて評価できる場合においては、「日本」を「竜巻検討地域」に読み替えることができる。	⇒V_{B1}は，日本で過去（1961 年から 2013 年 12 月）に発生した竜巻の最大風速（92m／ｓ）としている。
②竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2}) 竜巻検討地域における竜巻の観測記録等に基づいて作成した竜巻最大風速のハザード曲線上において、年超過確率(P_{B2})に対応する竜巻最大風速を V_{B2} とする。ここで、P_{B2}は 10^{-5}（暫定値）を上回らないものとする。	⇒作成したハザード曲線において年超過確率が 10^{-5}に相当する風速（約 37 m／ｓ）を V_{B2}としている。
また、竜巻検討地域において基準竜巻の最大風速(V_B)が発生する可能性を定量的に確認するために、V_B の年超過確率を算定することとする。なお、V_B が V_{B1} から決定された場合（V_B=V_{B1} の場合）は、V_{B2} の算定に用いた竜巻最大風速のハザード曲線を用いて、V_B の年超過確率を算定する。ちなみに、米国 NRC の基準類(参 4)では、設計に用いる竜巻（設計基準竜巻：Design-basis tornado）の最大風速は、年超過確率 10^{-7} の風速として設定されている。	⇒ＭＯＸ燃料加工施設においては，V_B＝V_{B1}＝92m／ｓとしている。92m／ｓに相当する年超過確率は，1.5×10^{-8}である。
解説 3.3 基準竜巻の最大風速（V_B）の設定 解説 3.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1})の設定	

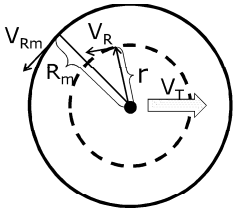
原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
本文に記載のとおり、日本で過去に発生した竜巻による最大風速を V_{B1} として設定することを原則とする。 また、過去に発生した竜巻による最大風速は、竜巻による被害状況等に基づく既往のデータベース、研究成果等について十分に調査・検討した上で設定する必要がある。 日本における過去最大級の竜巻としては、例えば、1990 年 12 月に千葉県茂原市で発生した竜巻、2012 年 5 月に茨城県常総市からつくば市で発生した竜巻等があげられる。竜巻検討地域の観測記録等に基づいて V_{B1} を設定する場合において、これら過去最大級の竜巻を考慮しない場合には、その明確な根拠を提示する必要がある。 竜巻による被害状況から推定された最大風速を参照して設定された藤田スケールを用いて基準竜巻の最大風速を設定する場合(注3.3)は、藤田スケールの各階級（F0～F5）の最大風速を用いる。解説表 3.1 に藤田スケールと風速の関係を示す。なお、風速計等によって観測された風速記録がある場合には、その風速記録を用いてもよい。 解説表 3.1　藤田スケールと風速の関係 (参5) スケール：風速 F0：17～32m/s　(約 15 秒間の平均) F1：33～49m/s　(約 10 秒間の平均) F2：50～69m/s　(約 7 秒間の平均) F3：70～92m/s　(約 5 秒間の平均) F4：93～116m/s　(約 4 秒間の平均) F5：117～142m/s　(約 3 秒間の平均) 解説 3.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線を用いた最大風速（V_{B2}）の算定 既往の算定方法（Wen&Chu(参6)及び Garson et. al(参7, 参8)）に基づいて V_{B2} を算定する方法について、その基本的な考え方を以下に例示する。竜巻最大風速のハザード曲線の算定は、解説図 3.4 に示す算定フローに沿って実施する。なお、本ガイドに示す V_{B2} の具体的な算定	⇒V_{B1} は，日本で過去（1961 年から 2013 年 12 月）に発生した竜巻の最大風速（92m／s）としている。 ⇒竜巻最大風速のハザード曲線の算定にあたっては，東京工芸大学委託成

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
方法については、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[参3)]が参考になる。 また、竜巻最大風速のハザード曲線の算定方法については、技術的見地等からその妥当性を示すことを条件として、いずれの方法を用いてもよいが、竜巻影響エリアの設定の基本的な考え方は、以下の「（１）竜巻影響エリアの設定」に従うことを原則とする。 （注 3.3）解説 3.3.3 参照	果を参考としている。
（１）竜巻影響エリアの設定 V_{B2} の算定にあたっては、まず始めに 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、原子力発電所の号機ごとに設定する。号機ごとのすべての設計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、移動方向等から設定)に基づいて、竜巻影響エリアを設定する。 竜巻による被害域幅、被害域長さ及び移動方向は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録に基づいて対数正規分布等を仮定して設定することを基本とする。また、竜巻による被害域幅、被害域長さ及び移動方向の設定に使用する竜巻の観測記録や仮定条件等は、後述する竜巻の最大風速の確率密度分布の設定に用いる観測記録や仮定条件等との整合性を持たせることを原則とし、V_{B2} の算定に使用するデータ等には一貫性を持たせるように配慮する。	⇒ＭＯＸ燃料加工施設の竜巻影響エリアの設定にあたっては，設計対処施設を包含する円の面積としている。 ⇒竜巻影響エリアを円形とし，竜巻の移動方向に依存性が生じないようにしている。 ⇒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東京工芸大学委託成果を参考に，対数正規分布に従うものとして設定している。また，各々の確率密度分布を設定する際に使用するデータには一貫性を持たせている。
（２）竜巻の年発生数の確率分布の設定 竜巻の年発生数の確率分布は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づいてポアソン過程等により設定することを基本とする。具体的には、竜巻検討地域を海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲に設定した場合は、少なくとも 1km 範囲ごとに竜巻の年発生数の確率分布を算定し、そのうちの V_{B2} が最も大きな値として設定される確率分布を設計で用いることとする。	⇒竜巻は気象現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。したがって，ハザード曲線の評価に当たって使用する年発生数の確率分布は，ポリヤ分布を採用する。

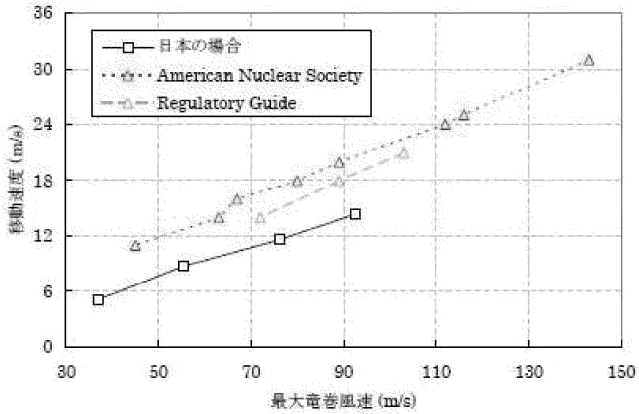
原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
（３）竜巻最大風速の確率密度分布の設定 竜巻最大風速の確率密度分布は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づいて対数正規分布等を仮定して設定することを基本とする。竜巻最大風速の確率密度分布の設定にあたっては、竜巻の年発生数の確率分布の設定と同様に、竜巻検討地域を 1km 範囲ごとに区切ってそれぞれの範囲で確率分布を算定し、そのうちの V_{B2} が最も大きな値として設定される確率分布を設定する等、配慮する。 竜巻最大風速の確率密度分布の設定にあたって使用する観測された竜巻の最大風速を藤田スケールに基づいて評価する場合(注3.3)は、藤田スケールの各階級（F0～F5）の最小風速から最大風速のうち、V_{B2} が最も大きくなる風速を用いる。ただし、風速計等によって観測された風速記録がある場合には、その風速記録を用いてもよい。	⇒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，対数正規分布に従うものとして設定している。
（４）竜巻最大風速のハザード曲線の算定 上記で設定した竜巻の年発生数の確率分布及び竜巻最大風速の確率密度分布を用いて、竜巻最大風速のハザード曲線を算定する。 なお、竜巻最大風速のハザード曲線の算定において、竜巻最大風速の確率密度分布の積分の上限値を設定する場合は、竜巻最大風速の評価を行うハザード曲線が不自然な形状にならないように留意する。	⇒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ている。また，風速の積分範囲の上限値は，ハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として 120 ｍ／ｓに設定している。
（５）年超過確率(P_{B2})に対応する竜巻最大風速(V_{B2})の算定 上記で算定した竜巻最大風速のハザード曲線において年超過確率が P_{B2}（$\leqq 10^{-5}$（暫定値））の竜巻最大風速を V_{B2} とする。	⇒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，37m/s としている。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
 解説図 3.4　竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2})の算定フロー 解説 3.3.3 日本版改良藤田スケールの適用について 2015 年 12 月に気象庁により策定され、2016 年 4 月から竜巻等の突風の調査に使用されている日本版改良藤田スケール（以下「JEF スケール」という。）は、日本の建築物等の種類や特性を踏まえた被害指標及び被害度が用いられており、個別被害から求められる風速の精度の向上が図られている。一方で、2016 年 4 月以降に蓄積された JEF スケールにより評定された竜巻の風速等に関するデータのみで竜巻最大風速の大きさと発生頻度との関係を把握することは困難であることから、V_B の設定は、JEF スケールのデータではなく、2016 年 3 月以前に藤田スケールにより評定された竜巻の風速等に関するデータを用いて行うものとする。ただし、藤田スケールの階級 F3 の最大風速 92m/s に近い値又はそれを超える値が JEF スケールで評定された場合には、気象庁の評定等を踏まえ、その値の扱いを別途検討する。	⇒V_B の設定においては，JEF スケールによるデータは使用せず，F スケールによるデータのみを使用している。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
3.4 設計竜巻の設定 以下の基本的な方針に基づいて設計竜巻の最大風速(V_D)及び特性値を設定する。ここで、V_D は最大瞬間風速とする。 （１）設計竜巻の最大風速(V_D)は、原子力発電所が立地する地域の特性（地形効果による竜巻の増幅特性等）等を考慮して、科学的見地等から基準竜巻の最大風速(V_B)の適切な割り増し等を行って設定されていること。なお、V_D は、V_B を下回らないものとする。 （２）設計竜巻の特性値は、設計竜巻の最大風速(V_D)、並びに竜巻検討地域において過去に発生した竜巻の特性等を考慮して適切に設定する。	⇒ＭＯＸ燃料加工施設の敷地周辺は核燃料物質加工事業変更許可申請添付書類三チ.（ハ）に記載のとおり平坦であり，本来は地形効果による増幅を考慮する必要はないが，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としており，基準竜巻（92m／s）を上回る設定としている。
解説 3.4 設計竜巻の最大風速（V_D）及び特性値の設定 解説 3.4.1 設計竜巻の最大風速(V_D)の設定で考慮する地形効果による竜巻の増幅特性 丘陵等による地形効果によって竜巻が増幅する可能性があると考えられる(参9 ほか)ことから、原子力発電所が立地する地域において、設計対象施設の周辺地形等によって竜巻が増幅される可能性について検討を行い、その検討結果に基づいて設計竜巻の最大風速(V_D)を設定する。 なお、竜巻が丘陵や段差等の上空を通過した際には、竜巻が減衰する可能性が指摘されている(参10、参11)が、V_D の設定においては、そのような減衰の効果は考慮しない。	⇒設計竜巻の設定において，竜巻の減衰効果は考慮していない。
解説 3.4.2 設計竜巻の特性値の設定 解説 3.4.2.1 概要 竜巻検討地域で観測された竜巻に関する情報、並びに設計竜巻の最大風速（V_D）等に基づいて、下記(1)～(5)に示す設計竜巻の各特性値を設定する。 （１）移動速度（V_T） （２）最大接線風速（V_{Rm}）	⇒左記(1)～(5)に示される各特性値を設定している。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
（３）最大接線風速半径（R_m） （４）最大気圧低下量（ΔP_{max}） （５）最大気圧低下率（dp/dt）$_{max}$ (1)～(5)の各特性値については原則として、十分な信頼性を有した観測記録等に基づいて設定したものを、その根拠の明示を条件として用いる。ただし、設定に足る十分な信頼性を有した観測記録等がない場合には、解説 3.4.2.2 及び 3.4.2.3 に示す方法で各特性値を設定することができる。 解説 3.4.2.2 設計竜巻の特性値の設定に係る基本的な考え方 竜巻に関する観測データが不足している等の理由により、観測データ等に基づいた十分に信頼できる数学モデルの構築が困難な場合は、米国 NRC の基準類(参 4)を参考として、ランキン渦モデルを仮定して竜巻特性値を設定する。解説図 3.5 にランキン渦モデルの概要を示す。ランキン渦では、高さ方向によって風速及び気圧が変化しない平面的な流れ場を仮定している。 なお、ランキン渦モデルに比べてより複雑な竜巻渦を仮定した数学モデル等を使用して竜巻特性値を設定する場合は、その技術的な妥当性を示す必要がある。  V_T:竜巻の移動速度 V_R:接線風速、r:竜巻渦中心からの半径 V_{Rm}:最大接線風速、R_m:最大接線風速が生じる位置での半径 $V_R=V_{Rm}\cdot(r/R_m)$（$r\leqq R_m$の範囲） $V_R=V_{Rm}\cdot(R_m/r)$（$r\geqq R_m$の範囲） 解説図 3.5　ランキン渦モデルの概要	⇒設計竜巻の特性値は，ランキン渦モデルを仮定した解説 3.4.2.3 に基づく設定方法に従い設定している。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
解説 3.4.2.3 設計竜巻の特性値の設定 （１）設計竜巻の移動速度(V_T)の設定 設計竜巻の移動速度(V_T)は、以下の算定式を用いて V_D から V_T を算定する。 $V_T = 0.15 \cdot V_D$ ・・・ (3.1) ここで、V_D(m/s)は設計竜巻の最大風速を表す。(3.1)式は、解説図 3.6 に示される日本の竜巻の観測記録に基づいた竜巻移動速度と最大風速との関係(参 3)を参考として設定したものである。解説図 3.6 をみると、青線で示す日本の竜巻による移動速度は、米国 NRC の基準類等(参 4)による移動速度と比べて、同じ最大竜巻風速に対して小さい。解説図 3.6 に示される日本の竜巻に対する移動速度は、藤田スケールに基づいた階級（F3、F2 及び F2～F3、F1 及び F1～F2、F0 及び F0～F1）ごとの平均値であるが、日本で発生する竜巻を個別にみれば、スーパーセルに伴って発生する竜巻等、米国の竜巻に比べて移動速度が速いものも存在すると考えられる。 本ガイドでは、設計竜巻の最大速度(V_D)が一定の場合、移動速度が遅い方が、最大気圧低下量(ΔP_{max})が大きな値になる（(3.2)式、(3.4)式）ことを考慮して、スーパーセルに伴って発生する竜巻等の移動速度が速い竜巻の特性は採用せずに、観測記録の平均値に基づいた解説図 3.6 の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(3.1)式を採用することにした。	⇒設計竜巻の特性値を以下の通り設定している。 移動速度（V_T）：15　m／s

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
 解説図 3.6　竜巻の移動速度と最大風速の関係(参3) （２）設計竜巻の最大接線風速(V_{Rm})の設定 設計竜巻の最大接線風速(V_{Rm})は、米国 NRC の基準類(参4)を参考として、以下の算定式を用いて V_{Rm} を算定する。 $V_{Rm} = V_D - V_T$ ・・・ (3.2) ここで、V_D(m/s)及び V_T(m/s)は、設計竜巻の最大風速及び移動速度である。	⇒設計竜巻の特性値を以下の通り設定している。 最大接線風速（V_{Rm}）：85　m／s
（３）設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径(R_m)の設定 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径(R_m)は、日本における竜巻の観測記録をもとに提案された竜巻モデル(参3)に準拠して以下の値を用いる。 $R_m = 30$ (m) ・・・ (3.3)	⇒設計竜巻の特性値を以下の通り設定している。 最大接線風速半径（R_m）：30　m
（４）設計竜巻の最大気圧低下量(ΔP_{max})の設定 設計竜巻の最大気圧低下量(ΔP_{max})は、米国 NRC の基準類(参4)を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて、最大気圧低下量(ΔP_{max})を設定する。 $\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$ ・・・ (3.4) ここで、ρ 及び V_{Rm} は、それぞれ空気密度、設計竜巻の最大接線風速を示す。	⇒設計竜巻の特性値を以下の通り設定している。 最大気圧低下量（ΔP_{max}）：89　hPa

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
（５）設計竜巻の最大気圧低下率($(dp/dt)_{max}$)の設定 設計竜巻の最大気圧低下率($(dp/dt)_{max}$)は、米国 NRC の基準類(参4)を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて、最大気圧低下量(ΔP_{max})及び最大気圧低下率($(dp/dt)_{max}$)を設定する。 $(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max}$ ・・・ (3.5) ここで、V_T 及び R_m は、それぞれ設計竜巻の移動速度及び最大接線風速が生じる位置での半径を表す。	⇒設計竜巻の特性値を以下の通り設定している。 最大気圧低下率（$(dp/dt)_{max}$）：45　hPa／s
4. 施設の設計 4.1 概要 設置許可段階の安全審査において以下を確認する。	
①設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重）が適切に設定されていること。ただし、設置許可段階においては、その基本的な種類や値等が適切に設定されていることを確認する。(設計対象施設の各部位に作用させる設計荷重の詳細は、詳細設計段階において確認する)	⇒ガイドに従い，設計竜巻荷重及び組合せ荷重を設定している。
②設計荷重に対して、設計対象施設の構造健全性等が維持されて安全機能が維持される方針であること。	⇒設計竜巻からの防護設計方針を以下の通りとし，安全機能を損なわない設計とする方針としている。 ・建屋に設置され防護される竜巻防護対象施設 建屋による防護により，設計荷重（竜巻）の影響を受けない設計とする。 ・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 建物・構築物による防護により，設計荷重（竜巻）の影響を受けない

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
	設計とする。 ・屋外の竜巻防護対象施設 ＭＯＸ燃料加工施設は竜巻防護対象施設を全て燃料加工建屋に収納することから，該当する施設はない。 ・外気と繋がっている竜巻防護対象施設 設計荷重（竜巻）の影響を受けても安全機能を損なわない設計とする。
4.2 設計対象施設 「2.1 設計対象施設」に示したとおりとする。	⇒「2.1 設計対象施設」参照。
4.3 設計荷重の設定 4.3.1 設計竜巻荷重の設定 「2.2.2 設計対象施設に作用する荷重」の「（１）設計竜巻荷重」で示した「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、それぞれ技術的見地等から妥当な荷重を設定する。	⇒「2.2.2 設計対象施設に作用する荷重」参照。
解説 4.3.1 設計竜巻荷重の設定 解説 4.3.1.1 設計竜巻の最大風速による風圧力の設定 解説 4.3.1.1.1 概要 設計竜巻の最大風速(V_D)等に基づいて、設計竜巻によって設計対象施設に作用する風圧力を設定する。 解説 4.3.1.1.2 基本的な考え方 （１）風圧力の算定に用いる風力係数	

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
竜巻によって生じた被害状況と対応する最大風速は、一般的には、竜巻等の非定常な流れ場の気流性状を考慮した風力係数を用いるのではなく、いわゆる通常の強風等を対象とした風力係数を用いて、逆算により推定されることから、本ガイドにおける風圧力の算定には、通常の強風等を対象とした風力係数を用いることを基本とする。 （２）設計竜巻による鉛直方向の風圧力 竜巻による最大風速は、一般的には、竜巻によって生じた被害状況と対応する水平方向の風速として算定される。しかしながら、実際の竜巻によって生じた被害は、少なからず鉛直方向の風速の影響も受けていると考えられる。 よって、本ガイドでは、設計竜巻の水平方向の最大風速(V_D)には、鉛直方向の風速の影響も基本的には含まれているとみなす。 ただし、鉛直方向の風圧力に対して特に脆弱と考えられる設計対象施設が存在する場合は、V_D を入力値とした竜巻の数値解析結果等から推定される鉛直方向の最大風速等に基づいて算定した鉛直方向の風圧力を考慮した設計を行う。	⇒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している。
解説 4.3.1.1.3 設計竜巻による風圧力の設定 設計竜巻の最大風速(V_D)による風圧力(P_D)の算定について以下に示す。 設計竜巻の水平方向の最大風速によって設計対象施設（屋根を含む）に作用する風圧力(P_D)は、「建築基準法施行令」、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説(2004)」等を準用して、下式により算定する。 なお、(4.2)式の V_D は最大瞬間風速であり、「建築基準法施行令」、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説(2004)」の最大風速と定義が異なることに留意する。 $P_D = q \cdot G \cdot C \cdot A$ ･･･ (4.1) ここで、q は設計用速度圧、G はガスト影響係数、 C は風力係数、 A は施設の受圧面積を表し、q は下式による。	⇒ガイドに示される式により風圧力を算定することとしている。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$ ・・・ (4.2) ここで、ρ は空気密度、V_D は設計竜巻の最大風速である。 (4.1)式に示すように、風圧力(P_D)は、(4.2)式で求められる設計用速度圧(q)に、ガスト影響係数(G)、風力係数(C)及び施設の受圧面積(A)を乗じて算定する。 ガスト影響係数 G は、風の乱れによる建築物の風方向振動の荷重効果を表すパラメータであり、強風中における建築物の最大変位と平均変位の比で定義される。本ガイドの最大竜巻風速(V_D)は、最大瞬間風速として扱うことから G=1.0 を基本とする。 風力係数(C)は、「建築基準法施行令」、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説(2004)」等を参考として、施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて適切に設定する。	⇒風圧力の算定に用いるガスト影響係数G＝1.0 としている。 ⇒風力係数は，施設の形状や風圧力が作用する部位に応じて設定することとしている。
解説 4.3.1.2 設計竜巻における気圧低下によって生じる設計対象施設内外の気圧差による圧力の設定 解説 4.3.1.2.1 概要 前記において設定した設計竜巻による最大気圧低下量(ΔP_{max})及び最大気圧低下率 $(dP/dt)_{max}$ に基づいて設計対象施設に作用する気圧差による圧力を設定する。	⇒ガイドに示される式により気圧差による圧力を設定することとしている。
解説 4.3.1.2.2 基本的な考え方 設計竜巻によって引き起こされる最大気圧低下量及び最大気圧低下率によって設計対象施設に作用する圧力を算定する際の基本的な考え方を以下に示す。なお、以下の考え方は、米国 NRC 基準類(参 12)を参考としている。 ・完全に開かれた構築物等の施設が竜巻に曝されたとき、施設の内圧と外圧は竜巻通過中に急速に等しくなる。したがって、施設の内外の気圧の変化はゼロに近づくとみなせる。 ・閉じた施設（通気がない施設）では、施設内部の圧力は竜巻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、施設内外に圧力差を生じさせ	⇒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

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
る。この圧力差により、閉じた施設の隔壁（構築物等の屋根・壁及びタンクの頂部・胴部等）に外向きに作用する圧力が生じるとみなせる。 ・部分的に閉じた施設（通気がある施設等）については、竜巻通過中の気圧変化により施設に作用する圧力は複雑な過程により決定される。また、部分的に閉じた設計対象施設への圧力値・分布の精緻な設定が困難な場合は、施設の構造健全性を評価する上で厳しくなるように作用する圧力を設定することとする。	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」を想定して評価を行うこととしている。例えば，開口が存在する建屋の健全性評価においては「閉じた施設」を想定することで気圧差の影響を加味して保守的に評価している。
解説 4.3. 1.2.3 気圧差による圧力を作用させる施設の設定 気圧差による圧力を作用させる対象は、原子力発電所の図面等を参照して十分に検討した上で設定する。 （1）建屋・構築物等 建屋・構築物等の主要な部材（壁、屋根等）に気圧差による圧力を作用させることは当然であるが、気圧差による圧力の影響を受けることが容易に想定される以下の施設については、気圧差による圧力の影響について検討を行い、当該施設が破損した場合の安全機能維持への影響についても確認を行うこととする。 ・建屋・構築物等の開口部に設置された窓、扉、シャッター等 ・外気と隔離されているとみなせる区画の隔壁等（天井等）	⇒建屋（竜巻防護対象施設を設置する施設）については，気圧差による荷重を含む設計荷重（竜巻）に対して安全機能を損なわない設計とすることとしている。
（2）設備 設備の主要な部材に気圧差による圧力を作用させることは当然であるが、気圧差による圧力の影響を受けることが容易に想定される以下の設備については、気圧差による圧力の影響について検討を行い、当該設備が破損した場合の安全機能維持への影響についても確認を行うこととする。 ・外気と隔離されているとみなせる区画の境界部（空調系ダクト類等） ・圧力差の影響を受け得る計器類や空調装置等	⇒気圧差の影響を受けることが想定される設備（建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設）については，気圧差による荷重を受けても安全機能を損なわない設計とすることとしている。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
解説 4.3.1.3 設計竜巻による飛来物が設計対象施設に衝突する際の衝撃荷重の設定 解説 4.3.1.3.1 概要 設計竜巻の最大風速(V_D)及び特性値等に基づいて、設計飛来物を選定あるいは設定し、それら設計飛来物の飛来速度を設定する。そして、設計飛来物が設定した飛来速度で設計対象施設に衝突することを想定して、飛来物の衝突による設計対象施設への衝撃荷重を設定する。	⇒ガイドを参考に実施した現地調査の結果やガイドに例示された飛来物を検討することにより，設計飛来物を設定している。 また，ガイドを参考として設計飛来物の衝撃荷重を算出することとしている。
解説 4.3.1.3.2 基本的な考え方 竜巻等の突風による被害は、風圧力によって引き起こされるだけでなく、飛来物による被害もかなりの部分を占める。また、竜巻による飛来物は上昇気流の影響もあって比較的遠方まで運ばれる可能性がある。これらの事項に留意して、設計対象施設に到達する可能性がある飛来物について検討を行った上で、設計飛来物を選定あるいは設定する。 一般的には、遠方からの飛来物は相対的に重量が軽いものが多く、仮に衝突した場合でも衝撃荷重は相対的に小さいと考えられることから、設計対象施設に到達する可能性がある飛来物を検討する範囲は、原子力発電所の敷地内を原則とする。ただし、原子力発電所の敷地外からの飛来物による衝撃荷重が、原子力発電所の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得る場合は、原子力発電所の敷地外からの飛来物も考慮する。 また、設計飛来物として、最低限以下の①～③を選定あるいは設定することとする。なお、以下の①～③の設定にあたっては、米国 NRC の基準類(参13)を参考とした。 ①大きな運動エネルギーをもつ飛来物　(自動車等) ②施設の貫入抵抗を確認するための固い飛来物　(鉄骨部材等) ③開口部等を通過することができる程度に小さくて固い飛来物　(砂利等)	⇒ガイドを参考に実施した現地調査の結果やガイドに例示された飛来物を検討することにより，設計飛来物を設定している。 ⇒設計飛来物の設定にあたっては，敷地外から飛来するおそれのあるものとして風力発電施設のブレードについても敷地への到達の可能性を検討したうえで除外している。 ⇒設計対処施設に衝突する可能性のある飛来物のうち，寸法，質量，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するとともに，竜巻防護対策によって防護できない可能性があるものを固縛，撤去することによって飛来させないことを前提とした上で，鋼製材及び鋼製パイプを設計飛来物としている。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
解説 4.3.1.3.3 設計飛来物の速度の設定 （１）基本的な考え方 設計飛来物に設定する速度は、設計竜巻によって飛来した際の最大速度とする。設計飛来物の最大水平速度(${}_{M}V_{Hmax}$)は、非定常な乱流場を数値的に解析できる計算手法等による計算結果等に基づいて設定することを基本とする。ただし、安全側の設計になるように、設計竜巻の最大風速(V_D)を設計飛来物の最大水平速度として設定してもよい。 設計飛来物の最大鉛直速度(${}_{M}V_{Vmax}$)は、最大水平速度と同様に計算等により求めても良いし、米国 NRC の基準類(参 4)を参考に設定した下式により算定してもよい。 $${}_{M}V_{Vmax} = (2/3) \cdot {}_{M}V_{Hmax} \quad \cdots (4.3)$$ ここで、${}_{M}V_{Hmax}$ は、設計飛来物の最大水平速度を表す。	⇒設計飛来物の最大水平速度は，ランキン渦モデルを仮定し「竜巻による物体の浮上・飛来解析コード」を用いて算出した結果及びガイドに記載された値を参考に設定している。 ⇒設計飛来物の最大鉛直速度は，ガイドに示される米国ＮＲＣの基準類を参考に設定し，最大水平速度の２／３としている。
（２）設計飛来物の設定例 設計飛来物の選定あるいは設定、並びに設計飛来物の最大速度を設定する際の参考として、解説表 4.1 に飛来物及びその最大速度の設定例を示す。解説表 4.1 の棒状物、板状物及び塊状物の最大水平速度(${}_{M}V_{Hmax}$)は、設計竜巻の最大風速(V_D)=100(m/s)とした条件下で解析的に算定した結果(参 3)である。また、解説表 4.1 の最大鉛直速度(${}_{M}V_{Vmax}$)は、米国 NRC の基準類(参 4)を参考として設定した(4.3)式を用いて算定した結果である。 なお、解説表 4.1 に示した飛来物よりも小さな開口部を飛来物が通過することの影響等を確認する場合は、さらに小さな飛来物を設定する必要がある。	⇒設計対処施設に衝突する可能性のある飛来物のうち，寸法，質量，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するとともに，竜巻防護対策によって防護できない可能性があるものを固縛，撤去することによって飛来させないことを前提とした上で，鋼製材及び鋼製パイプを設計飛来物としている。 ⇒開口部の洗い出しにおいては，建屋図面の確認を行い，全ての開口部を抽出している。なお，設計飛来物よりも小さい開口部はないことを確認している。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
解説表 4.1　飛来物及び最大速度の設定例（V_D=100(m/s)の場合）	

飛来物の種類	棒状物		板状物	塊状物	
	鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート板	コンテナ	トラック
サイズ (m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3
質量 (kg)	8.4	135	540	2300	4750
最大水平速度 ${}_{M}V_{Hmax}$ (m/s)	49	51	30	60	34
最大鉛直速度 ${}_{M}V_{Vmax}$ (m/s)	33	34	20	40	23

解説 4.3.1.3.4 設計飛来物の衝突方向、衝突範囲及び衝撃荷重の設定

設計飛来物が設計対象施設に衝突する方向は、安全側の設計になるように設定する。

設計飛来物が到達する範囲について解析結果等から想定される場合は、その技術的根拠を示した上で設計飛来物が到達しない範囲を設定することができる。

各設計飛来物による衝撃荷重は、設計飛来物の形状及び剛性等の機械的特性を適切に設定した衝撃解析等の計算結果に基づいて設定するか、あるいは、安全側の設計となるように配慮して設計飛来物を剛体と仮定して設定してもよい。

⇒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こととしている。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こととしている。

解説 4.3.1.4 設計竜巻荷重の組み合わせ

設計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 NRC の基準類 (参 12)を参考として設定した下式により算定する。

$W_{T1}=W_P$ ・・・ (4.4)

$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$ ・・・ (4.5)

ここで、(4.4)式及び(4.5)式の各変数は下記のとおり。

⇒ガイドに従って設計竜巻荷重の組合せを考慮することとしている。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
W_{T1}、W_{T2}：設計竜巻による複合荷重 W_W：設計竜巻の風圧力による荷重 W_P：設計竜巻による気圧差による荷重 W_M：設計飛来物による衝撃荷重 なお、設計対象施設には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。	⇒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こととしている。
4.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定 「2.2.2 設計対象施設に作用する荷重」の「（2）設計竜巻荷重と組み合わせる荷重」に示した各荷重について、それぞれ技術的見地等から妥当な荷重として設定し、設計竜巻荷重と組み合わせる。	⇒設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として以下のものを考慮することとしている。 ・竜巻防護対象施設等に常時作用する荷重及び運転時荷重 ・竜巻以外の自然現象による荷重（積雪）
4.4 施設の構造健全性の確認 4.4.1 概要 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、設計対象施設、あるいはその特定の区画(注 4.1)の構造健全性が維持されて安全機能が維持される方針であることを確認する。 （注 4.1）竜巻防護施設を内包する区画。	
4.4.2 建屋、構築物等の構造健全性の確認 設計荷重に対して、建屋・構築物等の構造健全性が維持されて安全機能が維持される方針であることを確認する。	

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
（１）設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定 建屋・構築物等の形状や特徴等を反映して設定した設計荷重によって設計対象施設に生じる変形や応力等を算定する方針である。設計対象施設に生じる変形や応力等は、その技術的な妥当性を確認した上で、原則として、現行の法律及び基準類(注4.2)等に準拠して算定する。 （２）構造健全性の確認 「（１）設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定」で算定される変形・応力等に基づいて、設計対象施設（建屋・構築物等）が以下の構造健全性評価基準を満足する方針であることを確認する。 ①竜巻防護施設（外殻となる施設等による防護機能が確認された竜巻防護施設を除く） 設計対象施設が終局耐力等の許容限界(注4.2)に対して妥当な安全余裕を有している。 ②竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設 1)設計対象施設あるいはその特定の区画(注4.3)が、終局耐力等の許容限界(注4.2)に対して妥当な安全余裕を有している。 2)設計飛来物が設計対象施設あるいはその特定の区画(注4.3)に衝突した際に、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。(注4.4) （注4.2）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規準・指針類、並びに日本電気協会の原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）等に準拠する。 （注4.3）竜巻防護施設を内包する区画。 （注4.4）貫通及び裏面剥離（コンクリート等の部材に衝突物が衝突した際に、衝突面の裏面でせん断破壊等に起因した剥離が生じる破壊現象）に対して、施設の構造健全性を確認することを基本とする。	⇒設計竜巻からの防護設計方針を以下の通りとし，安全機能を損なわない設計とする方針としている。 ・竜巻防護対象施設を設置する施設 設計荷重（竜巻）に対して施設内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。設計飛来物の衝突に対しては，貫通，裏面剥離を防止し，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ことにより，竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。 ・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該当する施設はない。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
4.4.3 設備の構造健全性の確認 設計荷重に対して、設備（系統・機器）の構造健全性が維持されて安全機能が維持される方針であることを確認する。 （１）設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定 設備の形状や特徴等を反映して設定した設計荷重によって設計対象施設に生じる変形や応力等を算定する方針である。設計対象施設に生じる変形や応力等は、その技術的な妥当性を確認した上で、原則として、現行の法律及び基準類(注4.5)等に準拠して算定する。 （２）構造健全性の確認 「（１）設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定」で算定される変形・応力等に基づいて、設計対象施設（設備）が以下の構造健全性評価基準を満足する方針であることを確認する。 ①竜巻防護施設（外殻となる施設等による防護機能が確認された竜巻防護施設を除く） 設計対象施設が許容応力度等に基づく許容限界(注4.5)に対して妥当な安全余裕を有している。 ②竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設 1)設計対象施設あるいはその特定の区画(注4.6)が、許容応力度等に基づく許容限界(注4.5)に対して妥当な安全余裕を有している。 2)設計飛来物が設計対象施設あるいはその特定の区画(注4.6)に衝突した際に、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。(注4.7) （注4.5）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規準・指針類、並びに日本電気協会の原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）等に準拠する。 （注4.6）竜巻防護施設を内包する区画。	⇒設計竜巻からの防護設計方針を以下の通りとし，安全機能を損なわない設計とする方針としている。 ・建屋に設置され防護される竜巻防護対象施設 建屋による防護により，設計荷重（竜巻）の影響を受けない設計とする。 ・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 建物・構築物による防護により，設計荷重（竜巻）の影響を受けない設計とする。 ・屋外の竜巻防護対象施設 ＭＯＸ燃料加工施設は竜巻防護対象施設を全て燃料加工建屋に収納することから，該当する施設はない。 ・外気と繋がっている竜巻防護対象施設 設計荷重(竜巻)の影響を受けても安全機能を損なわない設計とする。 ・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該当する施設はない。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
（注 4.7）貫通及び裏面剥離（コンクリート等の部材に衝突物が衝突した際に、衝突面の裏面でせん断破壊等に起因した剥離が生じる破壊現象）に対して、施設の構造健全性を確認することを基本とする。	
4.5 その他の確認事項 4.4 に示す以外の確認事項については、原子力発電所の図面等を参照して十分に検討した上で設定する。例えば、中央制御室等の重要な区画等や非常用発電機等の重要な設備等に繋がる給排気ダクト類へ作用する風圧力が安全機能維持に与える影響等、安全機能維持の観点から重要と考えられる確認事項を設定する。そして、それぞれの項目について検討を行い、安全機能が維持される方針であることを確認する。	
5. 竜巻随伴事象に対する考慮 5.1 概要 竜巻随伴事象に対して、竜巻防護施設の安全機能が維持される方針であることを確認する。 5.2 基本的な考え方及び検討事項 検討対象とする竜巻随伴事象は、原子力発電所の図面等を参照して十分に検討した上で設定する。 ただし、竜巻随伴事象として容易に想定される以下の事象については、その発生の可能性について検討を行い、必要に応じてそれら事象が発生した場合においても安全機能が維持される方針であることを確認する。	⇒ＭＯＸ燃料加工施設の配置をもとに，各々の施設への竜巻の影響を検討し，随伴事象を検討している。 ⇒竜巻随伴事象として火災，溢水，外部電源喪失を想定し，これらの事象に対し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こととしている。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
（１）火災 設計竜巻等により燃料タンクや貯蔵所等が倒壊して、重油、軽油及びガソリン等の流出等に起因した火災が発生した場合においても、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。	⇒竜巻により敷地内にある危険物タンク等の損傷，漏えい及び防油堤内での火災の発生を想定しても，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としている。
（２）溢水等 設計竜巻による気圧低下等に起因した使用済燃料プール等の水の流出、屋外給水タンク等の倒壊による水の流出等が発生した場合においても、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。	⇒屋外タンクの破損による溢水を想定して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に影響を与えない設計とすることとしている。
（３）外部電源喪失 設計竜巻、設計竜巻と同時発生する雷・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して外部電源喪失に至った場合においても、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。	⇒竜巻の襲来は事前に予測可能であることから，ＭＯＸ燃料加工施設の特徴を踏まえ，予め全工程停止等の措置を講ずることにより，ＭＯＸ燃料加工施設は安定な状態に移行する。したがって，竜巻と同時に発生する外部電源喪失については，随伴事象として考慮不要としている。
6．附則 この規定は、平成２５年７月８日より施行する。 本ガイドに記載されている以外の計算方法等を設計で使用する場合は、技術的見地等からその妥当性を示す必要がある。	

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
また、竜巻等の発生頻度、特性及びメカニズム等に関する情報、並びに竜巻等による被害の実情に関する情報等が不足している現在の日本の状況では、竜巻等に係る最新情報の調査・入手に努めるとともに、本ガイドは、最新情報を反映して適宜見直しを行うものとする。 なお、将来に観測された竜巻の最大風速が、過去に観測された竜巻の最大風速を上回った場合は、本設計の妥当性について再度見直すこととする。	

令和２年２月７日　R３

補足説明資料３－１（９条　竜巻）

設計対処施設の選定について

１．設計対処施設の選定方針

設計竜巻から防護する施設（竜巻防護対象施設）は，安全上重要な施設とする。これらの施設を第３－１－１図～第３－１－３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３－１－４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３－１－５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設計対処施設に選定する。

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及び設備・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比較して，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，屋外にある竜巻防護対象施設の付属施設のうち屋外にあるもので，風圧力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。

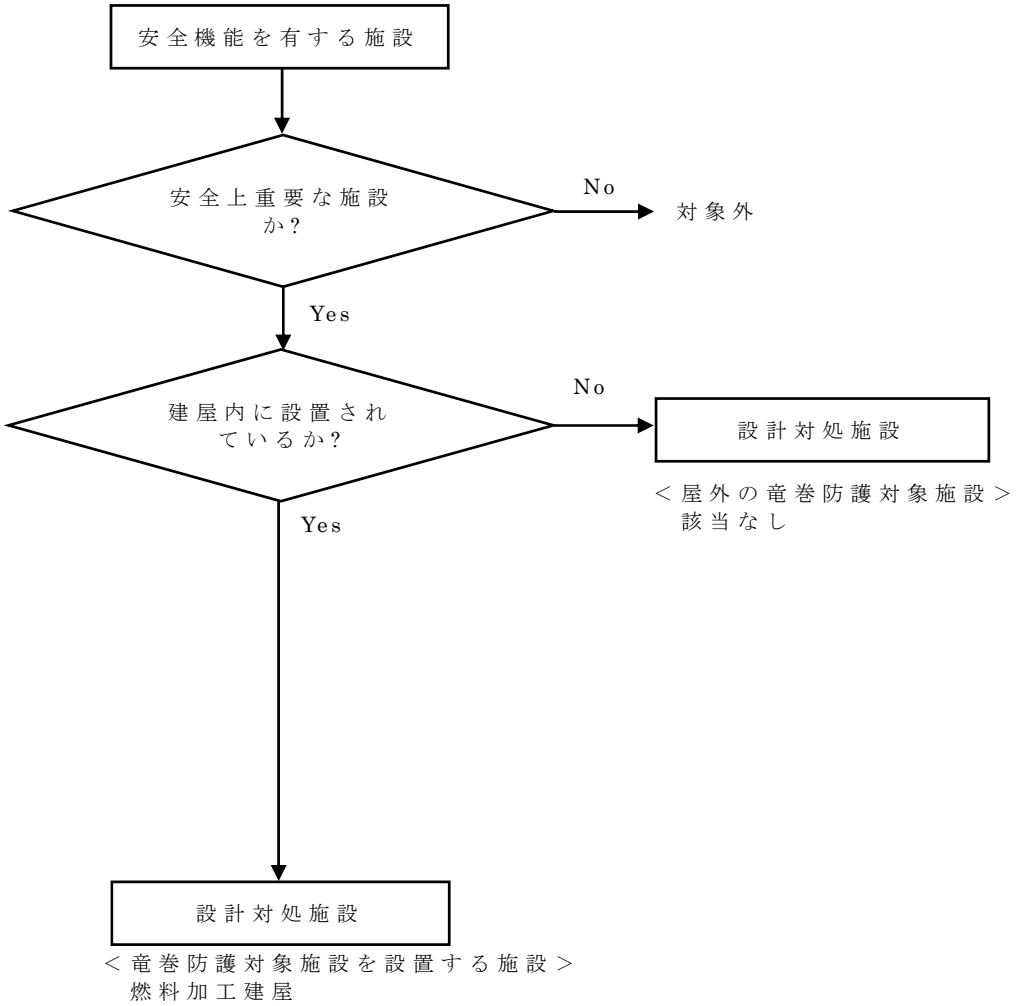
２．設計対処施設の選定結果

核燃料物質加工事業変更許可申請書　添付書類五の「添五第１表　安全上重要な施設」に基づいて，設計対処施設の選定を行った結果を第３－１－１表に示す。

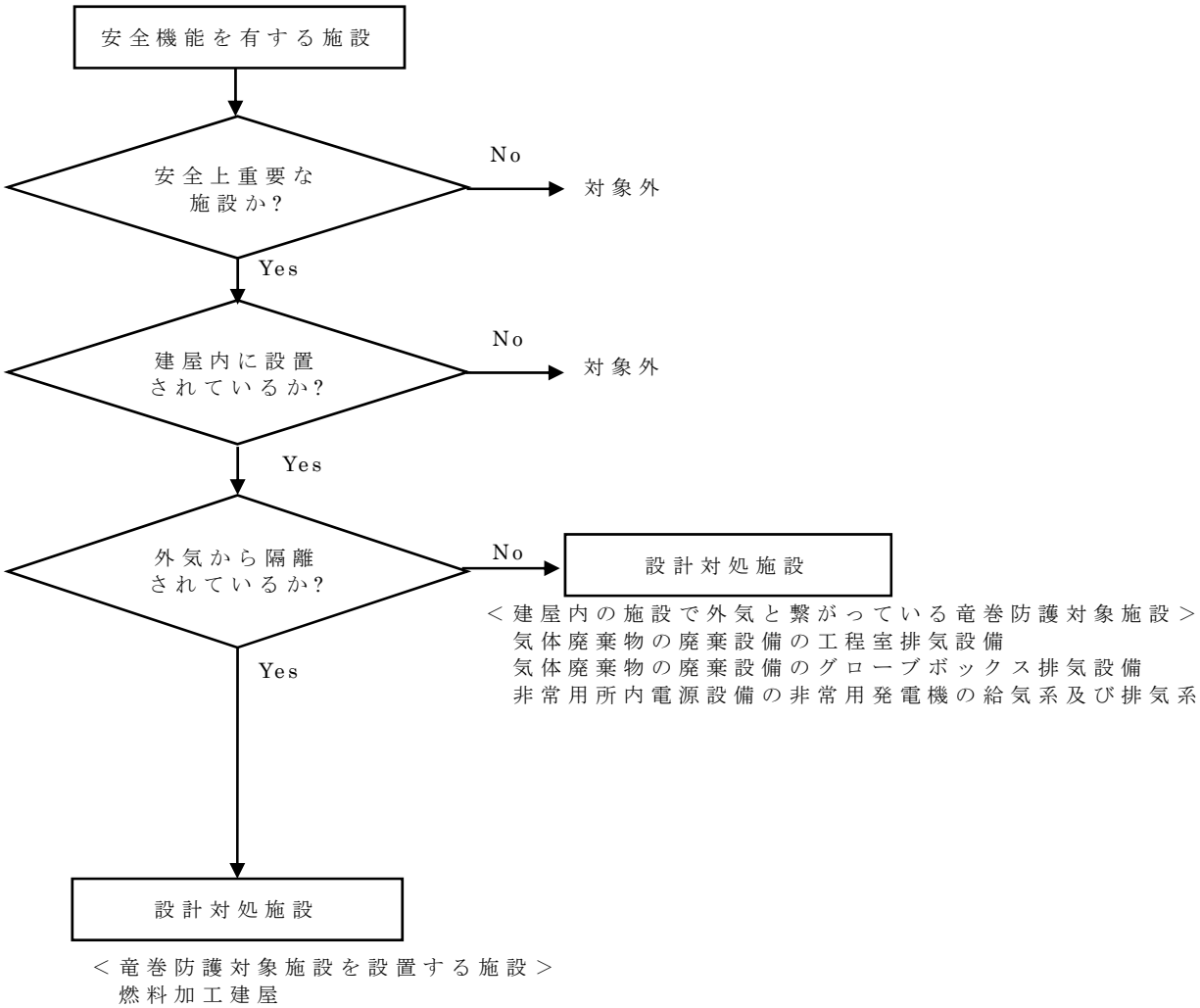
３．設計対処施設と設計対象項目

上記２．の結果から得られた竜巻に対する設計対処施設及びその設計対処項目を第３－１－２表に示すとともに，竜巻防護対象施設を設置する施設，屋外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配置を第３－１－６図に示す。

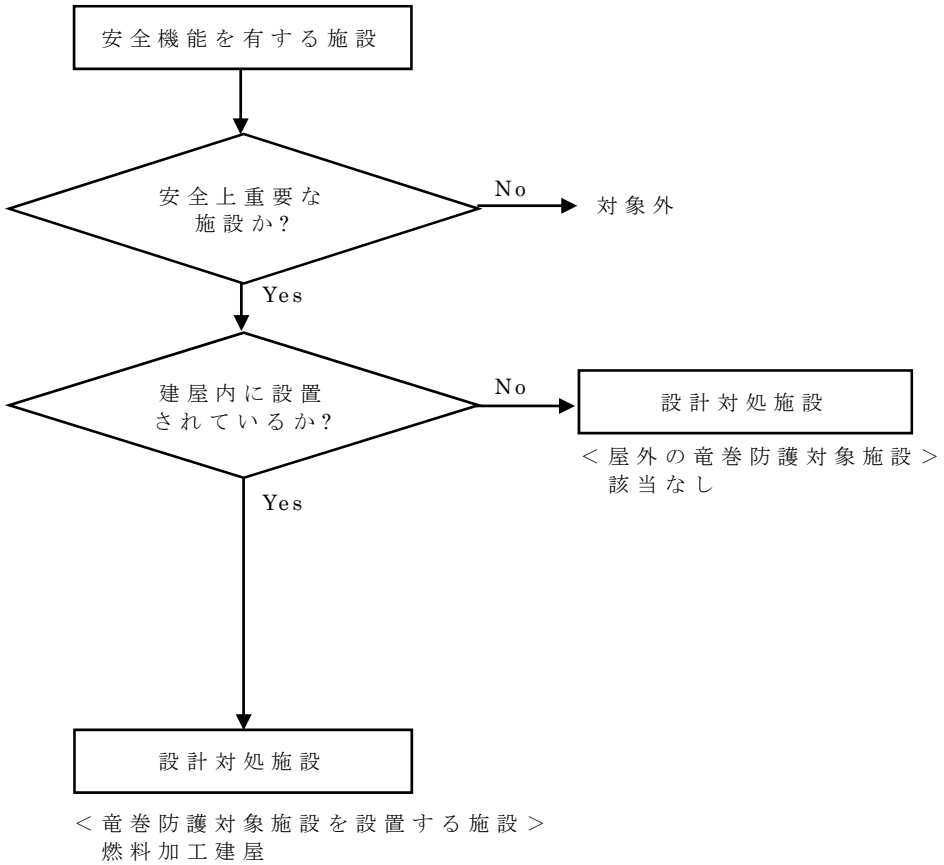
以　上



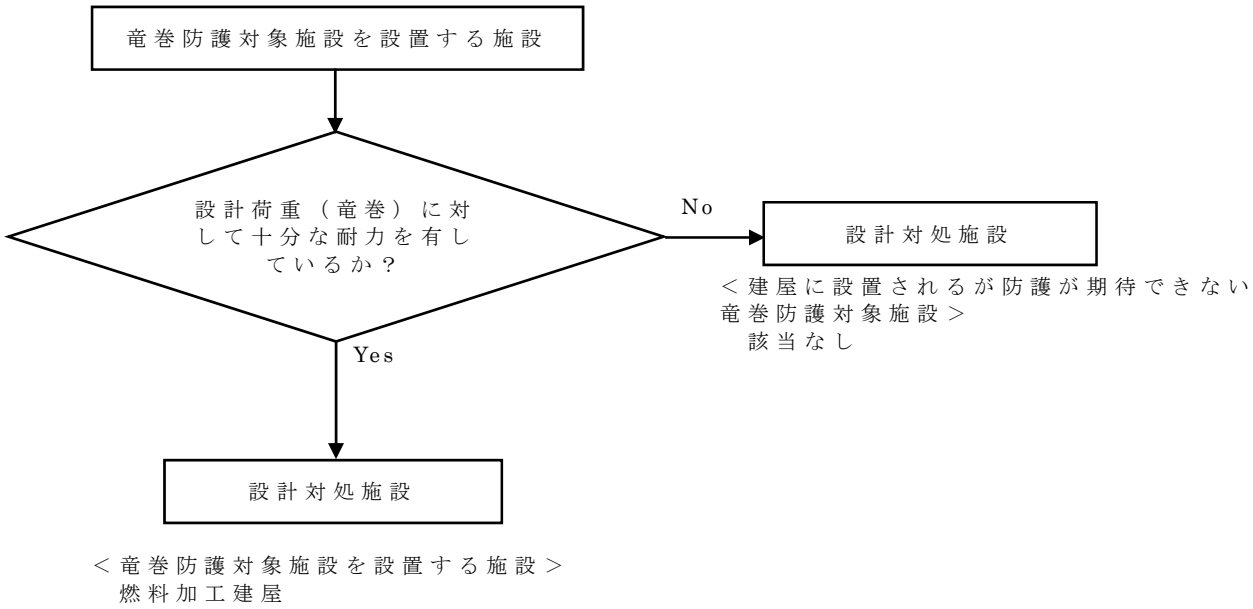
第３－１－１図　風圧力に対する設計対処施設の選定フロー



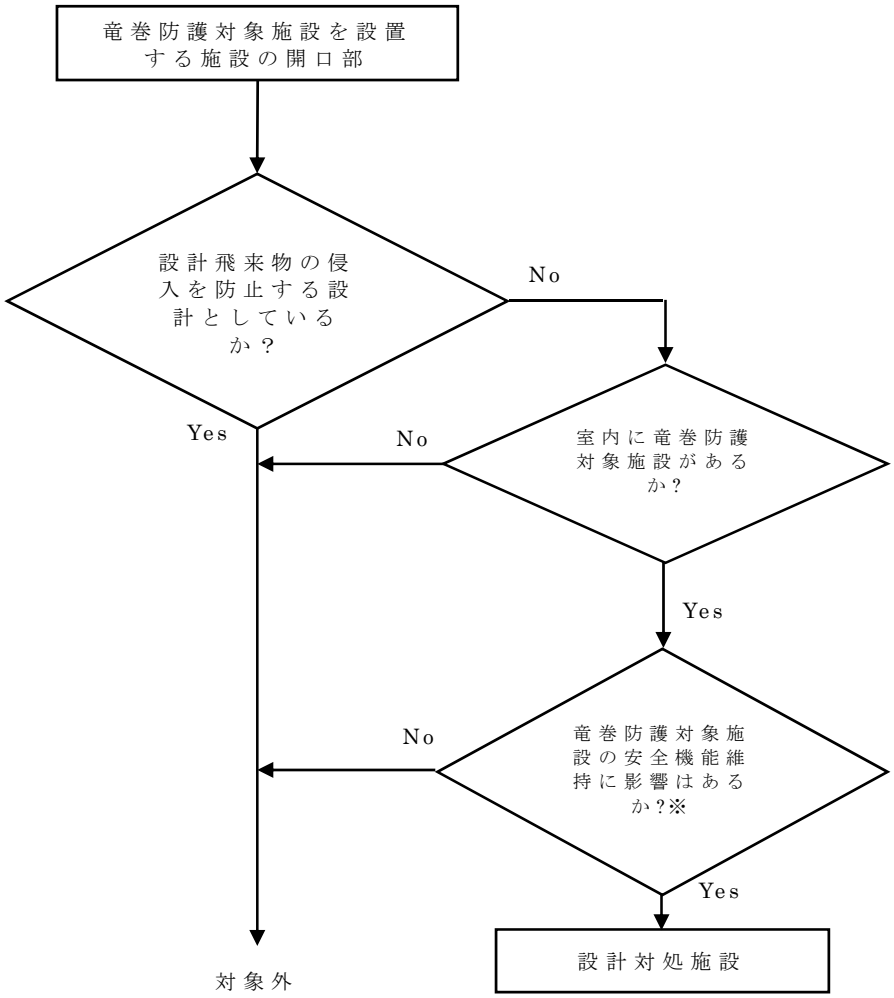
第３－１－２図　気圧差に対する設計対処施設の選定フロー



第３－１－３図　飛来物に対する設計対処施設の選定フロー



第３－１－４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＞
非常用所内電源設備の非常用発電機の給気系及び排気系

※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３－１－５図　開口部に対する設計対処施設の選定フロー

第３－１－１表　竜巻防護対象施設の選定結果一覧（１／６）

施設区分		設備区分	安全上重要な施設	（竜巻）設計項目		
				風圧力	気圧差	飛来物
成形施設	粉末調整工程	原料ＭＯＸ粉末缶取出設備	原料ＭＯＸ粉末缶取出装置グローブボックス	×	×	×
		一次混合設備	原料ＭＯＸ粉末秤量・分取装置グローブボックス	×	×	×
			ウラン粉末・回収粉末秤量・分取装置グローブボックス	×	×	×
			予備混合装置グローブボックス	×	×	×
			一次混合装置グローブボックス	×	×	×
		二次混合設備	一次混合粉末秤量・分取装置グローブボックス	×	×	×
			ウラン粉末秤量・分取装置グローブボックス	×	×	×
			均一化混合装置グローブボックス	×	×	×
			造粒装置グローブボックス	×	×	×
			添加剤混合装置グローブボックス	×	×	×
		分析試料採取設備	原料ＭＯＸ分析試料採取装置グローブボックス	×	×	×
			分析試料採取・詰替装置グローブボックス	×	×	×
		スクラップ処理設備	回収粉末処理・詰替装置グローブボックス	×	×	×
			回収粉末微粉砕装置グローブボックス	×	×	×
			回収粉末処理・混合装置グローブボックス	×	×	×
			再生スクラップ焙焼処理装置グローブボックス	×	×	×
			再生スクラップ受払装置グローブボックス	×	×	×
			容器移送装置グローブボックス	×	×	×

○：評価対象　　×：評価対象（ただし，当該設備を設置する建屋が評価対象）
－：評価対象外

第３－１－１表　竜巻防護対象施設の選定結果一覧（２／６）

施設区分		設備区分	安全上重要な施設	（竜巻）設計項目		
				風圧力	気圧差	飛来物
成形施設	粉末調整工程	粉末調整工程搬送設備	原料粉末搬送装置グローブボックス	×	×	×
			再生スクラップ搬送装置グローブボックス	×	×	×
			添加剤混合粉末搬送装置グローブボックス	×	×	×
			調整粉末搬送装置グローブボックス	×	×	×
	ペレット加工工程	圧縮成形設備	プレス装置（粉末取扱部）グローブボックス	×	×	×
			プレス装置（プレス部）グローブボックス	×	×	×
			空焼結ボート取扱装置グローブボックス	×	×	×
			グリーンペレット積込装置グローブボックス	×	×	×
		焼結設備	焼結ボート供給装置グローブボックス	×	×	×
			焼結炉	×	×	×
			焼結炉内部温度高による過加熱防止回路	×	×	×
			焼結炉内圧力異常検知による炉内圧力異常検知回路	×	×	×
			焼結ボート取出装置グローブボックス	×	×	×
			排ガス処理装置グローブボックス（上部）	×	×	×
			排ガス処理装置	×	×	×
			排ガス処理装置の補助排風機（安全機能の維持に必要な回路を含む。）	×	×	×
		研削設備	焼結ペレット供給装置グローブボックス	×	×	×
			研削装置グローブボックス	×	×	×
			研削粉回収装置グローブボックス	×	×	×

○：評価対象　　×：評価対象（ただし，当該設備を設置する建屋が評価対象）
－：評価対象外

第３－１－１表　竜巻防護対象施設の選定結果一覧（３／６）

施設区分		設備区分	安全上重要な施設	（竜巻）設計項目		
				風圧力	気圧差	飛来物
成形施設	ペレット加工工程	ペレット検査設備	ペレット検査設備グローブボックス	×	×	×
		ペレット加工工程搬送設備	焼結ボート搬送装置グローブボックス	×	×	×
			ペレット保管容器搬送装置グローブボックス（一部を除く。）	×	×	×
			回収粉末容器搬送装置グローブボックス	×	×	×
被覆施設	燃料棒加工工程	燃料棒検査設備	燃料棒移載装置　ゲート	×	×	×
			燃料棒立会検査装置　ゲート	×	×	×
		燃料棒収容設備	燃料棒供給装置　ゲート	×	×	×
貯蔵施設		貯蔵容器一時保管設備	一時保管ピット	×	×	×
			混合酸化物貯蔵容器	×	×	×
		原料ＭＯＸ粉末缶一時保管設備	原料ＭＯＸ粉末缶一時保管装置グローブボックス	×	×	×
			原料ＭＯＸ粉末缶一時保管装置	×	×	×
		粉末一時保管設備	粉末一時保管装置グローブボックス	×	×	×
			粉末一時保管装置	×	×	×
		ペレット一時保管設備	ペレット一時保管棚グローブボックス	×	×	×
			ペレット一時保管棚	×	×	×
			焼結ボート受渡装置グローブボックス	×	×	×
		スクラップ貯蔵設備	スクラップ貯蔵棚グローブボックス	×	×	×
			スクラップ貯蔵棚	×	×	×
			スクラップ保管容器受渡装置グローブボックス	×	×	×
		製品ペレット貯蔵設備	製品ペレット貯蔵棚グローブボックス	×	×	×
			製品ペレット貯蔵棚	×	×	×
			ペレット保管容器受渡装置グローブボックス	×	×	×

○：評価対象　　×：評価対象（ただし，当該設備を設置する建屋が評価対象）
－：評価対象外

第３－１－１表　竜巻防護対象施設の選定結果一覧（４／６）

施設区分		設備区分	安全上重要な施設	（竜巻）設計項目		
				風圧力	気圧差	飛来物
貯蔵施設		燃料棒貯蔵設備	燃料棒貯蔵棚	×	×	×
		燃料集合体貯蔵設備	燃料集合体貯蔵チャンネル	×	×	×
放射性廃棄物の廃棄施設	気体廃棄物の廃棄設備（換気設備）	工程室排気設備	安全上重要な施設のグローブボックス等を設置する工程室から工程室排風機後の手動ダンパまでの範囲	×	○	×
			工程室排気フィルタユニット	×	○	×
			工程室排風機（排気機能の維持に必要な回路を含む。）	×	○	×
		グローブボックス排気設備	安全上重要な施設のグローブボックスからグローブボックス排風機後の手動ダンパまでの範囲及び安全上重要な施設のグローブボックスの給気側のうち，グローブボックスの閉じ込め機能維持に必要な範囲	×	×	×
			グローブボックス排気フィルタ（安全上重要な施設のグローブボックスに付随するもの。）	×	○	×
			グローブボックス排気フィルタユニット	×	○	×
			グローブボックス排風機（排気機能の維持に必要な回路を含む。）	×	○	×

○：評価対象　　×：評価対象（ただし，当該設備を設置する建屋が評価対象）
－：評価対象外

第３－１－１表　竜巻防護対象施設の選定結果一覧（５／６）

施設区分		設備区分	安全上重要な施設	（竜巻）設計項目		
				風圧力	気圧差	飛来物
放射性廃棄物の廃棄施設	気体廃棄物の廃棄設備（換気設備）	窒素循環設備	安全上重要な施設のグローブボックスに接続する窒素循環ダクト	×	×	×
			窒素循環ファン	×	×	×
			窒素循環冷却機	×	×	×
その他加工設備の附属施設	非常用設備	非常用所内電源設備	非常用所内電源設備	×	○	○
	主要な実験設備	小規模試験設備	小規模粉末混合装置グローブボックス	×	×	×
			小規模プレス装置グローブボックス	×	×	×
			小規模焼結処理装置グローブボックス	×	×	×
			小規模焼結処理装置	×	×	×
			小規模焼結処理装置内部温度高による過加熱防止回路	×	×	×
			小規模焼結処理装置炉内圧力異常検知による炉内圧力異常検知回路	×	×	×
			小規模焼結処理装置への冷却水流量低による加熱停止回路	×	×	×
			小規模焼結炉排ガス処理装置グローブボックス	×	×	×
			小規模焼結炉排ガス処理装置	×	×	×
			小規模焼結炉排ガス処理装置の補助排風機（安全機能の維持に必要な回路を含む。）	×	×	×
			小規模研削検査装置グローブボックス	×	×	×
			資材保管装置グローブボックス	×	×	×

○：評価対象　　×：評価対象（ただし，当該設備を設置する建屋が評価対象）
－：評価対象外

第３－１－１表　竜巻防護対象施設の選定結果一覧（６／６）

施設区分		設備区分	安全上重要な施設	（竜巻）設計項目		
				風圧力	気圧差	飛来物
その他加工設備の附属施設	その他の主要な事項	火災防護設備	グローブボックス温度監視装置	×	×	×
			グローブボックス消火装置（安全上重要な施設のグローブボックスの消火に関する範囲）	×	×	×
			延焼防止ダンパ（ダンパ作動回路を含む。）※	×	×	×
		水素・アルゴン混合ガス設備	混合ガス水素濃度高による混合ガス供給停止回路及び混合ガス濃度異常遮断弁（焼結炉系，小規模焼結処理系）	×	×	×
		―	・以下の部屋で構成する区域の境界の構築物 原料受払室，原料受払室前室，粉末調整第１室，粉末調整第２室，粉末調整第３室，粉末調整第４室，粉末調整第５室，粉末調整第６室，粉末調整第７室，粉末調整室前室，粉末一時保管室，点検第1室，点検第2室，ペレット加工第１室，ペレット加工第２室，ペレット加工第３室，ペレット加工第４室，ペレット加工室前室，ペレット一時保管室，ペレット・スクラップ貯蔵室，点検第3室，点検第4室，現場監視第１室，現場監視第２室，スクラップ処理室スクラップ処理室前室，分析第３室	×	×	×

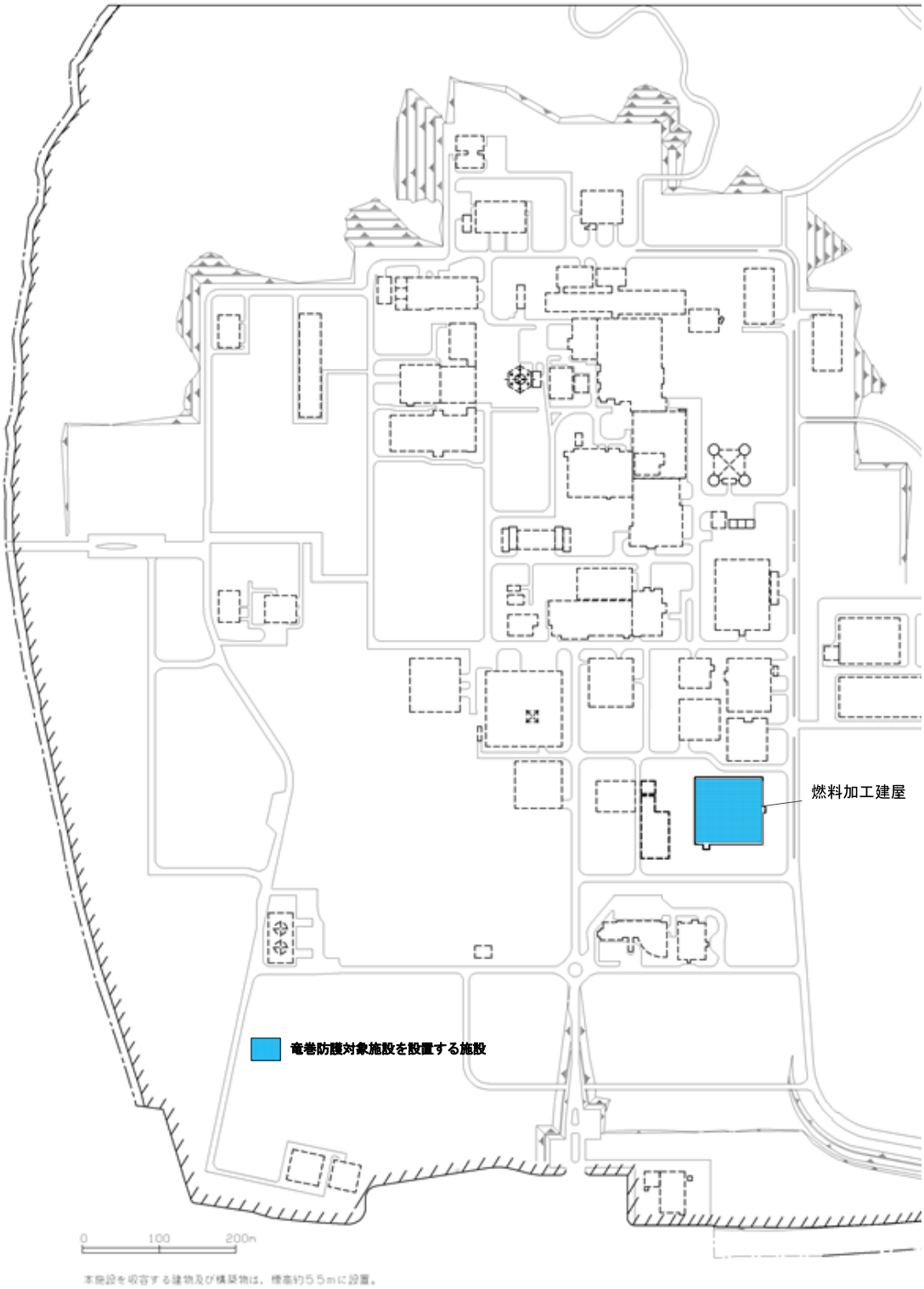
※ 焼結炉を設置するペレット加工第２室及び小規模焼結炉を設置する分析第３室の火災区域を形成する範囲に限る。

○：評価対象　　×：評価対象（ただし，当該設備を設置する建屋が評価対象）
－：評価対象外

第３－１－２表　設計対処施設と設計対象項目

設計対処施設		設計対象項目		
		風圧力	気圧差	飛来物
竜巻防護対象施設を設置する施設	・燃料加工建屋	○	○	○
屋外施設	該当なし			
建屋に設置されるが防護が期待できない施設	・非常用所内電源設備の非常用発電機の給気系及び排気系	－	－	○
竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	該当なし			
建屋内の施設で外気と繋がっている施設	・気体廃棄物の廃棄設備の工程室排気設備	－	○	－
	・気体廃棄物の廃棄設備のグローブボックス排気設備	－	○	－
	・非常用所内電源設備の非常用発電機の給気系及び排気系	－	○	－

凡例）○：設計対象　－：設計対象外



第３－１－６図　設計対処施設の配置

令和２年２月７日　R1

補足説明資料３－２（９条　竜巻）

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

１．選定方針

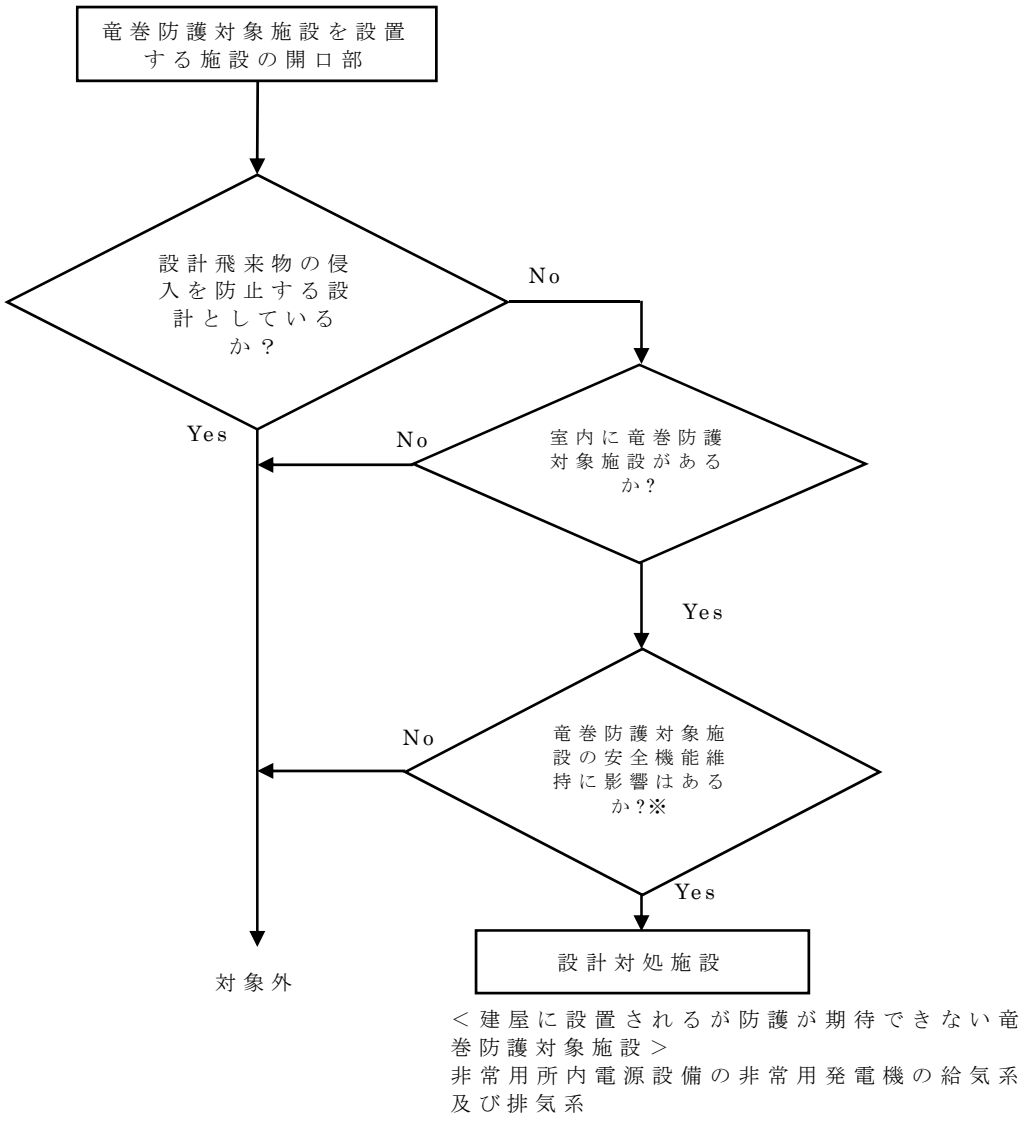
建屋に設置される開口部は，第３－２－１図に示す選定フローに従って竜巻防護対象施設への影響の有無を検討し，影響を受ける竜巻防護対象施設については，「建屋に設置されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設」として選定する。

具体的には，開口部を有する室に竜巻防護対象施設が設置されているか図面によって確認し，設置されている場合には，開口部からの飛来物侵入により竜巻防護対象施設に影響を与えるおそれがあるか検討する。影響を与えるおそれがあると判断した開口部は防護対策を施す対象とするとともに，影響を受ける竜巻防護対象施設を，「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。

２．設計対処施設の選定結果

第３－２－１図示す選定フローに従い選定した開口部は，非常用所内電源設備の非常用発電機の給気系及び排気系となる。

以　上



※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３－２－１図　開口部に対する設計対処施設の選定フロー

令和２年２月７日　R３

補足説明資料３－３（９条　竜巻）

耐震Ｓクラス施設について

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（以下，「竜巻ガイド」という。）においては，竜巻及びその随伴事象等によって施設の安全性を損なわない設計であることを確認する施設（以下，「竜巻防護対象施設」という。）は「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，機能）及び建屋，構築物等とされている。

これに対して，ＭＯＸ燃料加工施設の竜巻影響評価においては安全上重要な施設を竜巻防護対象施設として選定しているが，ＭＯＸ燃料加工施設の耐震Ｓクラス施設は全て安全上重要な施設であるため，竜巻ガイドで要求される竜巻防護対象施設を網羅している。

耐震重要度分類及び安全上重要な施設の関係

耐震重要度分類	安全機能を有する施設	
Ｓクラス	安重	
Ｂクラス	安重	非安重
Ｃクラス	安重	非安重

：ガイドに基づき設定した竜巻防護対象施設の範囲

：ＭＯＸ燃料加工施設における竜巻防護対象施設の範囲

また，竜巻ガイドにおいて，耐震Ｓクラス施設に波及的影響を及ぼし得る施設についても設計対処施設として評価することを要求されているが，これについても上述の竜巻防護対象施設（安全上重要な施設）に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させるおそれがある施設を選定している。

以　上

令和２年２月７日　R2

補足説明資料３－４（９条　竜巻）

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

１．抽出方針

ＭＯＸ燃料加工施設敷地の構築物及び設備・機器のうち竜巻防護対象施設及び竜巻防護対象施設を設置する施設を除く施設（以下,「その他の施設」という。）のうち，竜巻防護対象施設の機能に，次の観点から波及的影響を及ぼし得る施設を抽出する。

第３－４－１図に抽出フローを示す。

(1)機械的影響の観点

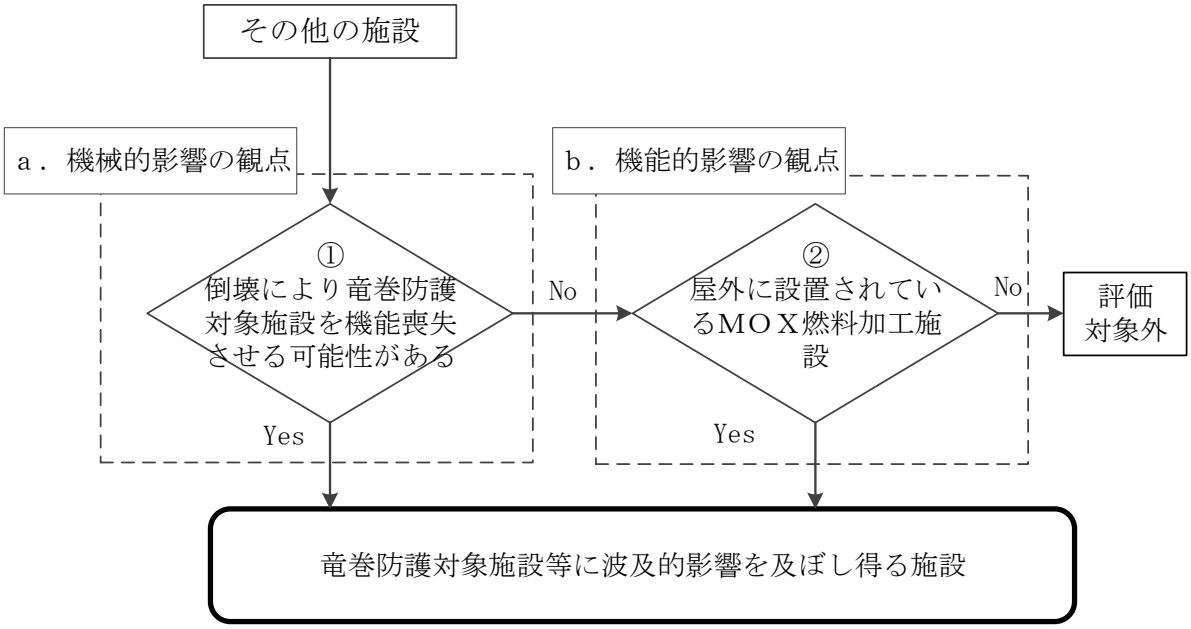
その他の施設のうち，設計竜巻の風圧力，気圧差及び設計飛来物の衝突により倒壊して，竜巻防護対象施設又は竜巻防護対象施設を設置する施設（以下，これらを総称する場合「竜巻防護対象施設等」という。）を機能喪失させる可能性がある施設，又はその施設の特定の区画を抽出する。

(2)機能的影響の観点

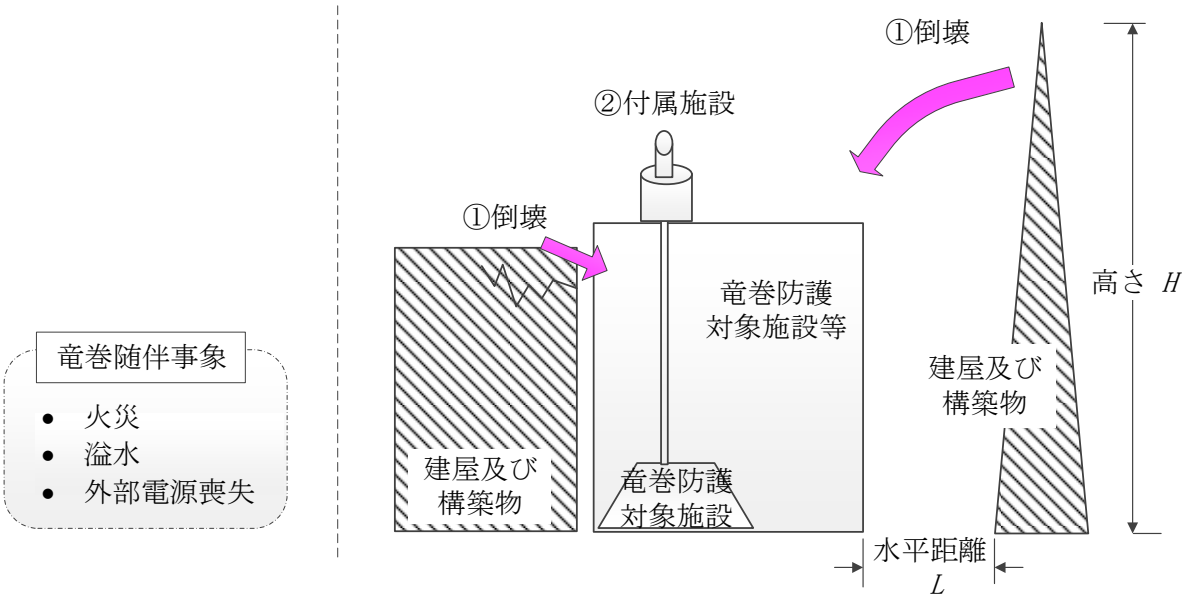
その他の施設のうち，設計竜巻の風圧力，気圧差及び設計飛来物の衝突により損傷して，竜巻防護対象施設等を機能喪失させる可能性があるＭＯＸ燃料加工施設を抽出する。

第３－４－２図に波及的影響を及ぼし得る施設のイメージを示す。

なお，波及的影響を及ぼす要因として，火災，溢水及び外部電源喪失も考えられるが，これらについては，竜巻随伴事象として補足説明資料７－１に整理する。



第３－４－１図　評価対象抽出フロー



第３－４－２図　竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設のイメージ

２．抽出結果

2.1　機械的影響の観点

機械的影響の観点から，その他の施設のうち，倒壊により竜巻防護対象施設等を機能喪失させる可能性がある施設を確認した。

確認の結果，竜巻防護対象施設等である燃料加工建屋の外壁から約 1m 離れた位置に気体廃棄物の廃棄設備の排気筒が設置される。この排気筒が風荷重を受けたとしても，燃料加工建屋にその荷重を伝達するのみであるため，排気筒が竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設とはならない。排気筒の構造については，補足説明資料３－５に示す。また，上記以外の施設については,「高さ＜竜巻防護対象施設等までの水平距離」であることから，竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設とはならない。

2.2　機能的影響の観点

機能的影響の観点から，その他の施設のうち，竜巻による損傷により，竜巻防護対象施設の安全機能を機能喪失させる可能性があるＭＯＸ燃料加工施設を確認した結果を第３－４－１表に示す。

確認の結果，竜巻による損傷により竜巻防護対象施設の安全機能を喪失させる可能性がある施設は無い。

第３－４－１表　竜巻による損傷により竜巻防護対象施設の安全機能を喪失させる可能性がある付属施設の影響確認結果

建屋	対象機器	想定される影響※	波及的影響の有無
燃料加工建屋	非常用所内電源設備の非常用発電機の排気系（注１）	a	無

（注１）:排気系の一部を構成する構築物である燃焼用空気用排気筒及び冷却空気用排気筒により竜巻防護対象施設である建屋内のダクトを設計荷重（竜巻）に対して防護する設計とする。

※ 想定される影響の凡例

a. 非常用所内電源設備の非常用発電機の排気系を飛来物から防護する構築物は，設計竜巻の風圧力に対し，竜巻通過時及び竜巻通過後においても，排気機能を保持するために，排気を行うための流路を確保する設計とする。

また，設計飛来物の衝突に対しては，設計飛来物が鉛直方向に飛来すると竜巻防護対象施設である建屋内のダクトに侵入し，排気系が損傷するおそれがある。そのため，排気系の一部を構成する構築物である非常用所内電源設備の非常用発電機の排気筒は十分な板厚とすることにより設計飛来物の貫通を防止し，竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。ただし，構築物である非常用所内電源設備の非常用発電機の排気筒が変形し，排気に支障が生じたとしても，竜巻の通過後において，修復等の対応がとれる構造とし，運転管理等の運用上の措置により速やかに復旧する運用とすることから，非常用所内電源設備の非常用発電機の運転機能には影響がない。なお，非常用所内電源設備の非常用発電機の排気筒の構造については，補足説明資料７－２に示す。

以　上

令和２年２月７日　R1

補足説明資料３－５（９条　竜巻）

排気筒の波及的影響について

１．排気筒の波及的影響について

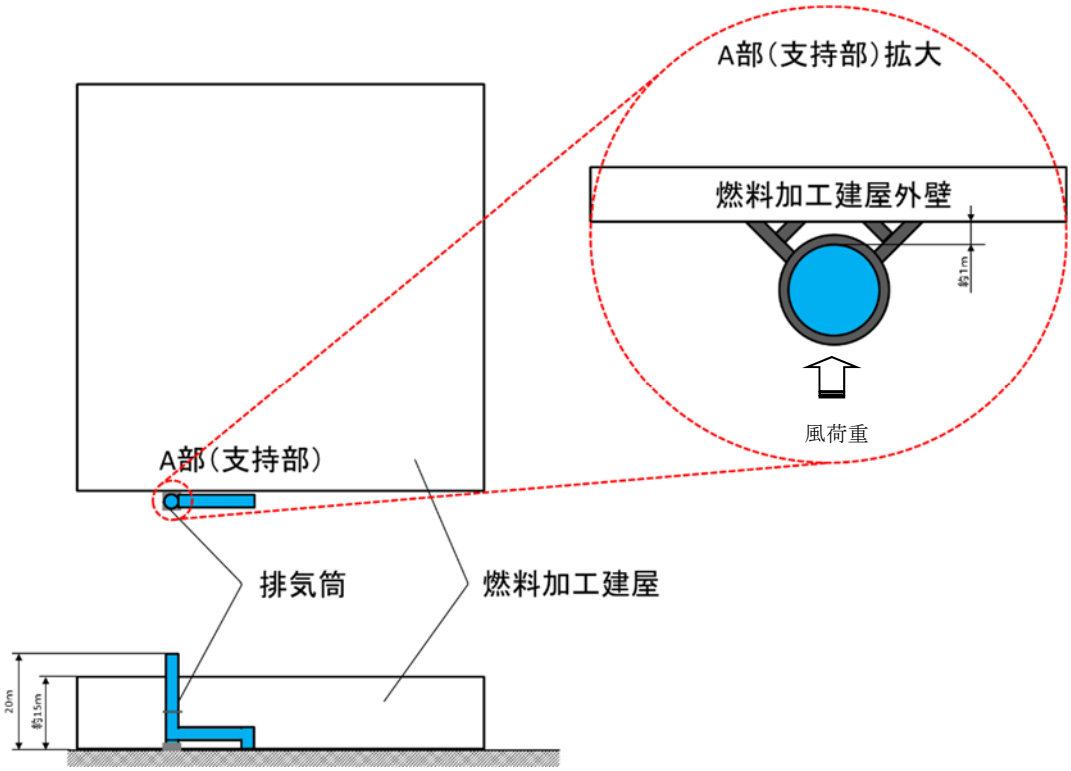
竜巻防護対象施設を収納する燃料加工建屋に隣接して気体廃棄物の廃棄設備の排気筒を設ける設計としている。第３－５－１図に燃料加工建屋と気体廃棄物の廃棄設備の排気筒の位置関係を示す。

気体廃棄物の廃棄設備の排気筒は,コンクリート基礎に下端が固定され,燃料加工建屋の外壁から支持されている。気体廃棄物の廃棄設備の排気筒は燃料加工建屋の外壁から約１m離して設置される。

気体廃棄物の廃棄設備の排気筒が竜巻による風荷重を受けたとしても，支持部を介して燃料加工建屋にその荷重を伝達するのみであるため，燃料加工建屋に波及的影響を及ぼすことはない。

また，気体廃棄物の廃棄設備の排気筒の材質は金属材料であり，溶接されていることから，竜巻による風荷重を受けた場合には，支持部を支点に歪が生じると考えられるが，万が一，燃料加工建屋に接触したとしても，竜巻による風荷重を伝達するのみであり，燃料加工建屋へ波及的影響を与えることはない。

以上のことから，気体廃棄物の廃棄設備の排気筒については，波及的影響を及ぼし得る施設の対象とはならない。



第３－５－１図　燃料加工建屋と気体廃棄物の廃棄設備の排気筒の位置関係

以　上

令和２年２月７日　Ｒ３

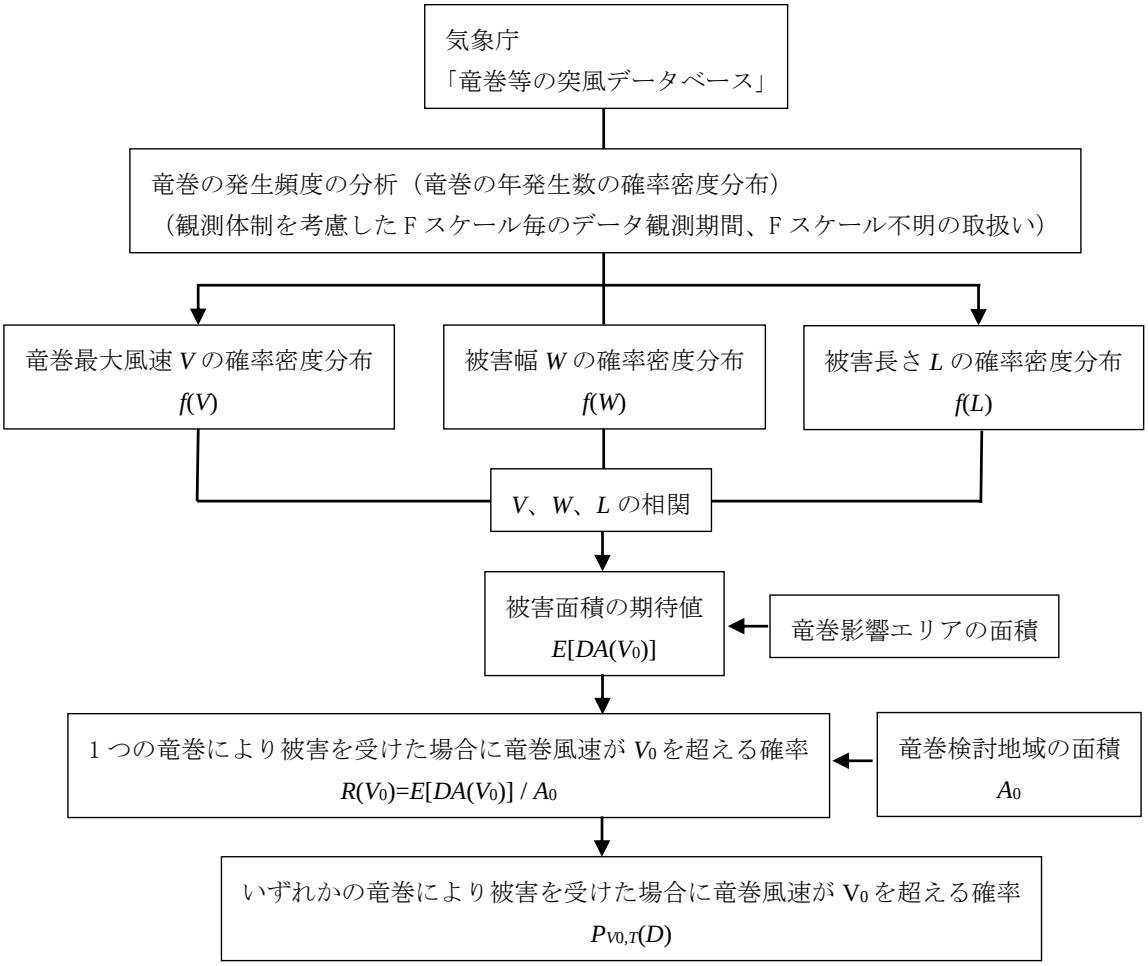
補足説明資料４－４（９条　竜巻）

ハザード曲線による竜巻最大風速（V_{B2}）の計算について

１．評価フロー

竜巻ガイドの解説 3.3.2 に例示されたＷｅｎ＆Ｃｈｕ[1]及びＧａｒｓｏｎ ｅｔ ａｌ．[2][3]による最大風速V_{B2}を算定する。具体的な算定方法については，東京工芸大学委託成果「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究[4]」を参考とする。

第４－４－１図にハザード曲線の算定フローを示す。



第４－４－１図　ハザード曲線の算定フロー

２．竜巻発生頻度の分析

(1)竜巻発生頻度の補正

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 1 月～2013 年 12 月のデータを用いて，竜巻の発生数を分析する。観測体制が段階的に強化されたため，観測データの精度には差がある。特に 2007 年以降の発生数は非常に多くなっている。したがって，観測データを以下の３つの期間に分け，補正を行う。

ａ．2007 年 1 月～2013 年 12 月（ 7 年間）

ｂ．1991 年 1 月～2013 年 12 月（23 年間）

ｃ．1961 年 1 月～2013 年 12 月（53 年間）

上記３つの観測期間それぞれに対して，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第１表に示す。

擬似的な 53 年間のデータや統計量は以下を基本的な考え方として作成した。

ａ．Ｆ０及びＦスケール不明の竜巻については，観測体制が強化される前は見過ごされた可能性が高いことから，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。

ｂ．Ｆ１の竜巻については，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。

ｃ．Ｆ２及びＦ３スケールの竜巻については，見逃される可能性が少ないため 1961 年以降の全期間の年間発生数や標準偏差を採用する。

d．53年間の発生数を上記a～cの観測期間との比率からFスケールごとに推計する。

e．海上のFスケール不明竜巻については補足説明資料4－5に記載のとおり，按分する。陸上のFスケール不明竜巻については，被害が確認されなかったということであるためF0竜巻とする。

以上の分析結果を第4－4－1表に示す。竜巻検討地域において，53年間に25個の竜巻が観測されたことに対し，95個の竜巻が発生したと推定した。

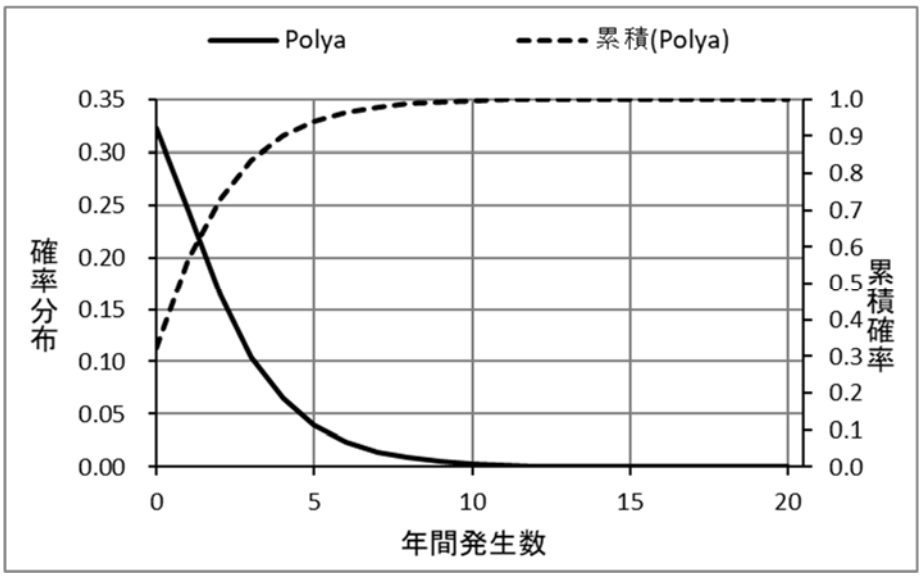
第4－4－1表　竜巻発生数の分析結果

	発生数の統計	（陸上＋上陸）竜巻							海上竜巻	総数
		竜巻スケール						小計	不明	
		F0	F1	F2	F3	F4	不明			
1961_01～	期間内総数(個)	6	9	4	0	0	1	20	5	25
2013_12	年平均(個)	0.11	0.17	0.08	0.00	0.00	0.02	0.38	0.09	0.47
(53 年間)	標準偏差(個)	0.58	0.51	0.27	0.00	0.00	0.14	0.97	0.41	1.08
1991_01～	期間内総数(個)	6	9	2	0	0	1	18	5	23
2013_12	年平均(個)	0.26	0.39	0.09	0.00	0.00	0.04	0.78	0.22	1.00
(23 年間)	標準偏差(個)	0.86	0.72	0.29	0.00	0.00	0.21	1.35	0.60	1.48
2007_01 ～	期間内総数(個)	5	3	0	0	0	0	8	4	12
2013_12	年平均(個)	0.71	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	1.14	0.57	1.71
(7 年間)	標準偏差(個)	1.50	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	1.86	0.98	2.06

	発生数の統計	竜巻スケール						総数
		F0	F1	F2	F3	F4	不明	
疑似	期間内総数(個)	57	32	6	0	0	0	95
(53年間)	年平均(個)	1.07	0.58	0.11	0.00	0.00	0.00	1.76
(按分後)	標準偏差(個)	1.83	0.88	0.33	0.00	0.00	0.00	2.06
疑似	期間内総数(個)	57	32	6	0	0	0	95
(53年間)	年平均(個)	1.08	0.60	0.11	0.00	0.00	0.00	1.79
(全竜巻)	標準偏差(個)	1.83	0.88	0.33	0.00	0.00	0.00	2.06

(2)年発生数の確率密度分布の設定

竜巻の年発生数の確率密度分布の設定に当たっては，竜巻は気象条件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[4]にポリヤ分布への適合性が良いことが示されているため，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４－４－２図に示すポリヤ分布を採用する。



第４－４－２図　竜巻検討地域における竜巻発生数の確率密度分布と累積確率

３．竜巻の被害幅及び被害長さの分析

被害幅及び被害長さについても発生数と同様に解析する。被害幅及び被害長さ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かなり少ない。したがって，以下の手順で 53 年間の被害幅及び被害長さの統計量の分析を行った。

ａ．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，被害幅及び被害長さのデータをＦスケール別に抽出する。

ｂ.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,53 年間の発生数分だけ繰り返しサンプリングを行い,擬似 53 年間のデータとする。

ｃ．擬似 53 年間のデータについて平均値及び標準偏差を求める。

第４－４－２表及び第４－４－３表に擬似 53 年間のデータを基に分析した被害幅及び被害長さの平均値及び標準偏差を示す。

第４－４－２表　被害幅の統計量

	竜巻幅の統計 (m)	計	竜巻スケール					不明	総数
			F0	F1	F2	F3	F4		
1961_01～	期間内総数	15	4	9	2	0	0	10	25
2013_12	平均値 (m)	130	50	188	33	0	0		
(53 年間)	標準偏差 (m)	146	22	174	4	0	0		
疑似	期間内総数	95	57	32	6	0	0	0	95
(53年間)	平均値 (m)	102	50	207	33	0	0		
(全竜巻)	標準偏差 (m)	123	19	166	3	0	0		

第４－４－３表　被害長さの統計量

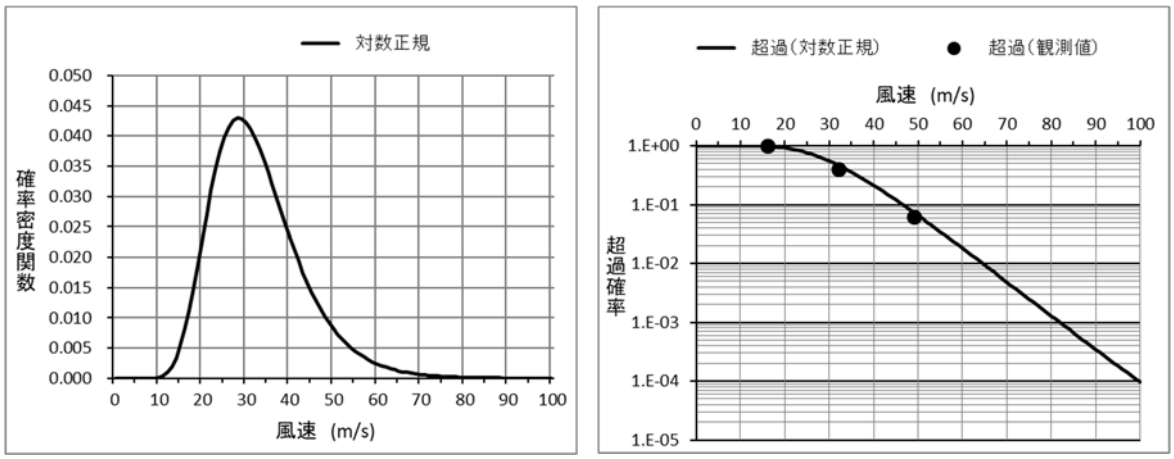
	被害長さの統計 (km)	計	竜巻スケール					不明	総数
			F0	F1	F2	F3	F4		
1961_01～	期間内総数	16	4	9	3	0	0	9	25
2013_12	平均値 (m)	1,188	625	1,222	1,833	0	0		
(53 年間)	標準偏差 (m)	845	350	807	1,258	0	0		
疑似	期間内総数	95	57	32	6	0	0	0	95
(53年間)	平均値 (m)	934	632	1,303	1,833	0	0		
(全竜巻)	標準偏差 (m)	692	307	781	1,125	0	0		

４．竜巻風速，被害幅及び被害長さの確率密度分布及び相関係数

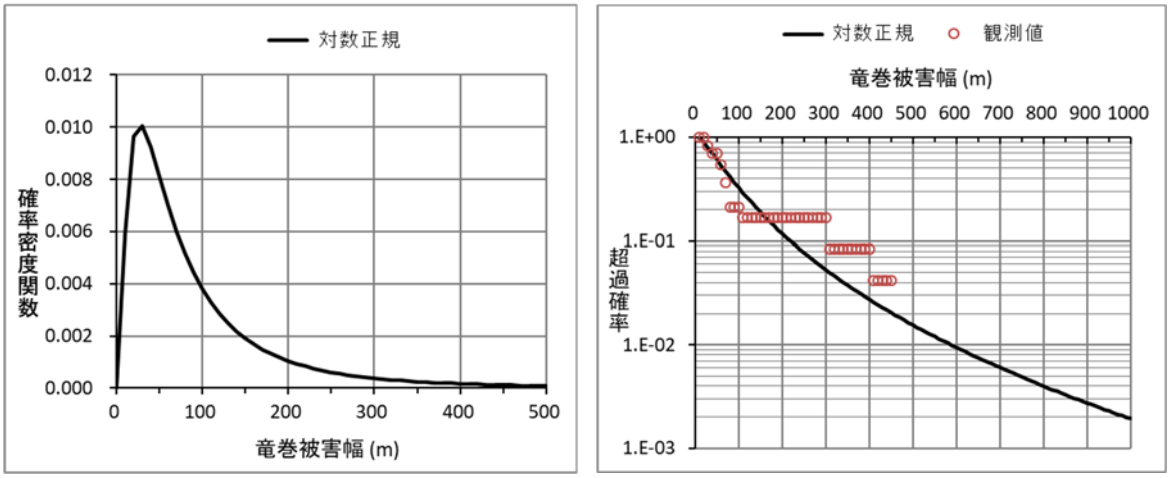
竜巻検討地域における竜巻の発生数，被害幅及び被害長さは，前記で評価した統計量を有する対数正規分布に従うものとする。第４－４－４表に統計量を示す。それぞれの確率密度分布については，第４－４－３図～第４－４－５図に示す。さらに，1961年以降の観測データのみを用いて，第４－４－５表に示すとおり竜巻風速，被害幅及び被害長さについて相関係数を求める。

第４－４－４表　発生数，被害幅及び被害長さの統計量

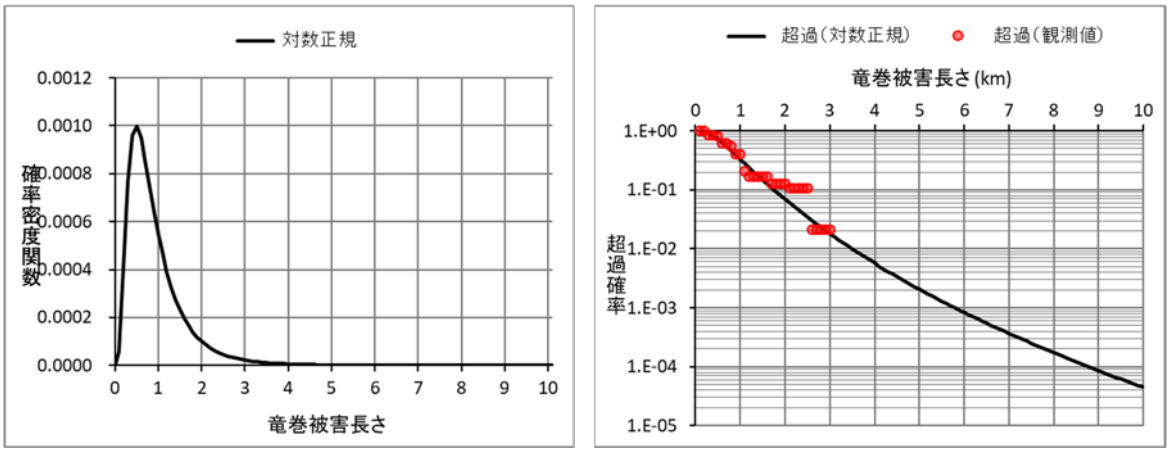
			計	竜巻スケール				
				F0	F1	F2	F3	F4
疑似 (53年間) (全竜巻)	発生数	期間内総数	95	57	32	6	0	0
		年平均(個)	1.79	1.08	0.60	0.11	0.00	0.00
		標準偏差(個)	2.06	1.83	0.88	0.33	0.00	0.00
	被害幅	期間内総数	95	57	32	6	0	0
		平均値 (m)	102	50	207	33	0	0
		標準偏差 (m)	123	19	166	3	0	0
	被害長	期間内総数	95	57	32	6	0	0
		平均値 (m)	934	632	1,303	1,833	0	0
		標準偏差 (m)	692	307	781	1,125	0	0



第４－４－３図　風速の確率密度分布（左）と超過確率（右）



第４－４－４図　被害幅の確率密度分布（左）と超過確率（右）



第４－４－５図　被害長さの確率密度分布（左）と超過確率（右）

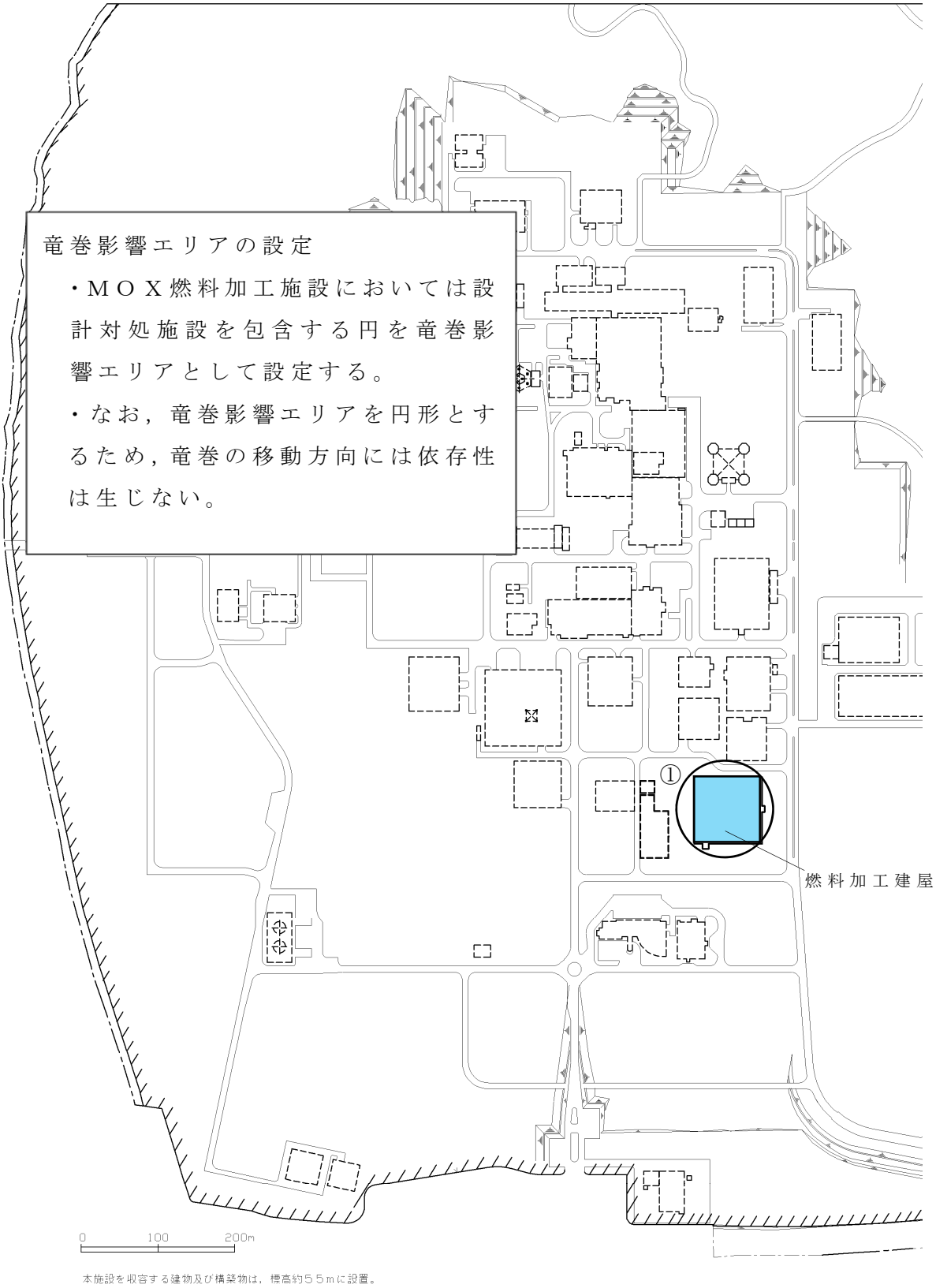
第４－４－５表　竜巻風速，被害幅及び被害長さの相関係数

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

５．竜巻影響エリアの設定

ＭＯＸ燃料加工施設においては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４－４－６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。



エリア番号	エリア直径（ｍ）	エリア面積（ｍ^2）
①	125	12300
評価に用いる値	130	13300

→竜巻影響エリア
直径：130ｍ　面積：13300ｍ^2

第４－４－６図　竜巻影響エリア

６．ハザード曲線の算定方法

前記で設定した竜巻の年発生数の確率分布及び最大風速の確率分布をもとに，以下に示すとおり竜巻ガイドの解説３．３．２に例示されたＷｅｎ＆Ｃｈｕ及びＧａｒｓｏｎ ｅｔ ａｌ.の方法に沿って，ハザード曲線を算定する。

(1) 評価方法

Ｄを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し，ある竜巻が評価対象構造物を襲い，その竜巻の風速がV_0以上となる確率を$R(V_0)$とする。また，ある竜巻の風速がV_0以上となる面積を$DA(V_0)$とする。また，その期待値を$E[DA(V_0)]$にて表す。

ａ．前記に基づき，竜巻の最大風速Ｖ，被害幅ｗ及び被害長さｌの統計値から，次式の３次元対数正規分布型の確率密度分布を与える。

$$f(V,w,l)=\frac{1}{\left(\sqrt{2\pi}\right)^3|\Sigma|^{1/2}}\frac{1}{Vwl}exp\left(-\frac{1}{2}(\mathrm{x}-\mu)^T\Sigma^{-1}(\mathrm{x}-\mu)\right)$$

ここで，

$$\mathrm{x}=\begin{Bmatrix}\ln(V)\\ \ln(w)\\ \ln(l)\end{Bmatrix}\quad,\quad \mu=\begin{Bmatrix}\mu_V\\ \mu_w\\ \mu_l\end{Bmatrix}\quad,\quad \Sigma=\begin{bmatrix}{\sigma_V}^2 & \sigma_V\sigma_w\rho_{Vw} & \sigma_V\sigma_l\rho_{Vl}\\ \sigma_V\sigma_w\rho_{Vw} & {\sigma_w}^2 & \sigma_w\sigma_l\rho_{wl}\\ \sigma_V\sigma_l\rho_{Vl} & \sigma_w\sigma_l\rho_{wl} & {\sigma_l}^2\end{bmatrix}$$

である。

ｘは最大風速，被害幅及び被害長さの対数値ｌｎ(Ｖ)，ｌｎ(ｗ)，ｌｎ(ｌ)によるベクトル，μは各統計値から評価した最大風速，被害幅及び被害長さの対数値の平均からなるベクトル，Σはｌｎ(Ｖ)，ｌｎ(ｗ)，ｌｎ(ｌ)から評価した標準偏差σ_V，σ_w，σ_lと相関係数ρ_{Vw}，ρ_{wl}，ρ_{Vl}からな

る分散共分散行列である。

ｂ．被災領域内には，竜巻の被害幅のうち風速がV_Dを超える部分の幅を与える次式を考慮する。

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

ここで，V_{min}は，Ｇａｌｅ ｉｎｔｅｎｓｉｔｙと呼ばれ（Ｇａｌｅは「非常に強い風」という意味），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（Ｎａｔ－ｉｏｎａｌ Ｗｅａｔｈｅｒ Ｓｅｒｖｉｃｅ）では，34ノット～47ノット（17.5ｍ／ｓ～24.2ｍ／ｓ）とされ，また，気象庁が使用している風力階級では，風力９は大強風（ｓｔ－ｒｏｎｇ ｇａｌｅ：20.8ｍ／ｓ～24.4ｍ／ｓ）と分類され，「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める。」とされていることを参考に，V_{min}を25ｍ／ｓとした。なお，この値はＦ０（17ｍ／ｓ～32ｍ／ｓ）のほぼ中央値に相当する。

ｃ．得られた平均と分散共分散行列を基に，竜巻影響エリアの代表幅D_0を考慮し，次式にて，被災面積期待値Ｅ［ＤＡ（V_0）］を算定する。

$$\mathrm{E}[DA(V_0)] = \int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\int_{V_0}^{\infty} W(V_0)lf(V,w,l)dVdwdl$$

$$+\int_0^{2\pi}\int_0^{\infty}\int_{V_0}^{\infty} H(\alpha)lf(V,l,\alpha)dVdlda\alpha$$

$$+\int_0^{2\pi}\int_0^{\infty}\int_{V_0}^{\infty} W(V_0)G(\alpha)f(V,w,\alpha)dVdwda\alpha + S\int_{V_0}^{\infty} f(V)dV$$

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竜巻影響評価対象構造物を投影した時の長さである。

$$\mathrm{H}(\alpha) = B|\sin\alpha| + A|\cos\alpha|$$

$$\mathrm{G}(\alpha) = A|\sin\alpha| + B|\cos\alpha|$$

ここで，αは竜巻の移動方向であり，ＡとＢは評価対象構造物（四角形）の寸法である。

一方，設計対処施設では，竜巻影響エリアを円形で設定しているため，Ｈ及びＧともに竜巻影響エリアの直径で一定（竜巻の移動方向に依存しない。）となる。

Ｓは竜巻影響エリアの面積（約 1.3×10^4 ｍ^2）を表わす。円の直径をD_0とした場合は，以下の式にて表わされる。

$$\mathrm{E}[DA(V_0)] = \int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\int_{V_0}^{\infty} W(V_0)lf(V,w,l)dVdwdl + D_0\int_0^{\infty}\int_{V_0}^{\infty} lf(V,l)dVdl$$

$$+D_0\int_0^{\infty}\int_{V_0}^{\infty} W(V_0)f(V,w)dVdw + S\int_{V_0}^{\infty} f(V)dV$$

ここで，ｆ（Ｖ，ｌ），ｆ（Ｖ，ｗ），ｆ（Ｖ）は，多変量の対数正規分布であるｆ（Ｖ，ｗ，ｌ）をもとに各成分を抽出した関数

である。

d．竜巻検討地域の面積A_0（約 18000km^2）及び上記の被災面積期待値E[DA(V_0)]から，評価対象構造物が竜巻による被害を受け，その竜巻の風速がV_0以上となる確率R(V_0)を次式にて算定する。

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

e．前述のとおり，竜巻の年発生数の確率密度分布としては，ポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は次式で示される。

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

ここで，N：竜巻の年発生数

v：竜巻の年平均発生数

T：年数

β：分布パラメータであり次式で示される。

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

σ：竜巻の年発生数の標準偏差

である。

発生数がポリヤ分布に従うものとし，年超過確率P_{V_0}を以下の式により算出する。なお，年超過確率P_{V_0}は，年被災確率が十分小さいことより，Garson et al.が示す近似式を用いて表すことができる。

$$P_{V_0} = 1 - [1 + \beta v R(V_0)]^{-1/\beta} = 1 - \left[1 - \frac{1}{\beta}\left(\beta v R(V_0)\right) + \cdots\right] \approx v R(V_0)$$

$$= \frac{v}{A_0} E[DA(V_0)] = pE[DA(V_0)]$$

ここで，Ｐは単位面積当たりの年被災確率である。

以上のことから，竜巻のように被災確率が非常に小さな現象に対しては，年超過確率は竜巻発生数の平均値のみに依存し，発生数の確率密度分布形状にはほとんど無関係であることがわかる。

(2) ハザード曲線

前項で示した評価方法に基づいて，竜巻影響評価の対象構造物が，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$P_{V_0,T}$を次式によって算出し，ハザード曲線を算定する。

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

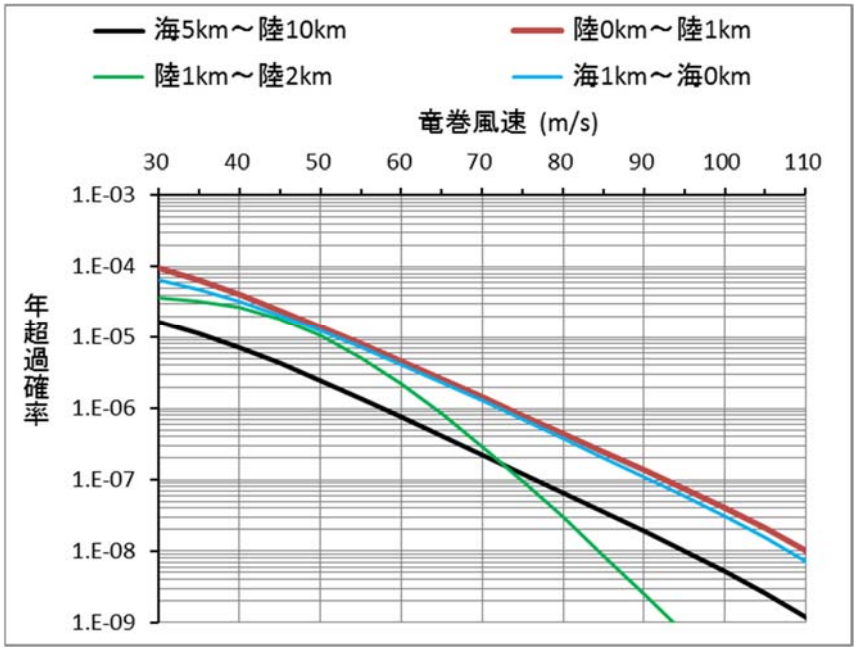
また，ハザード曲線の算定において，風速の積分範囲の上限値はハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として120m／sに設定する。

７．竜巻最大風速のハザード曲線

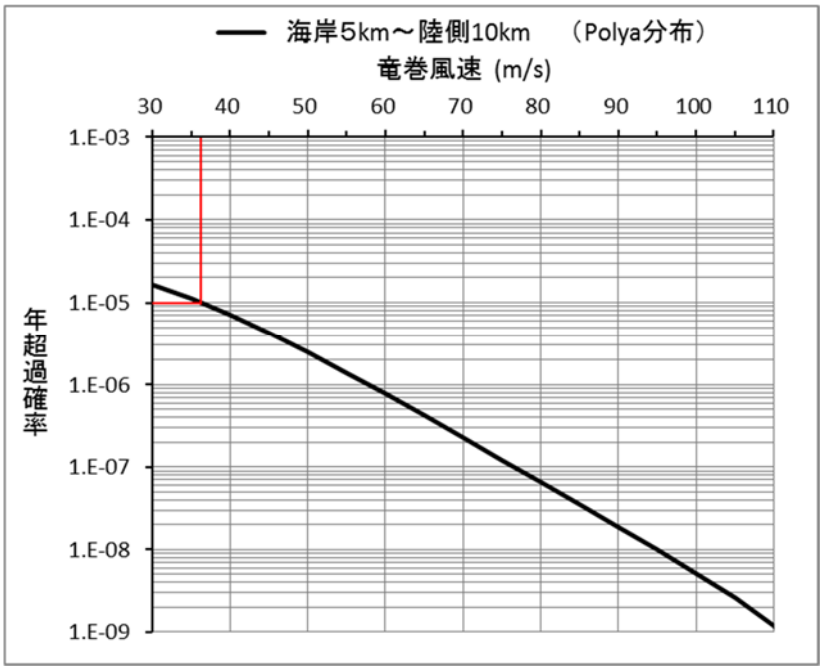
算定した竜巻最大風速のハザード曲線を，第４－４－７図に示す。

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，37m／ｓとする。

なお,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た結果,陸側０ｋｍから１ｋｍまでの１ｋｍ幅領域における 54m／ｓが最大となるが,ＭＯＸ燃料加工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。



(a)　ハザード曲線算定結果



(b)　V_{B2}に相当するハザード曲線（海岸５km～陸側 10km）

第４－４－７図　竜巻検討地域でのハザード曲線

８．参考文献

（１）Yi-kwei Wen and Shin-Lung Chu. “Tornado Risks and Design Wind Speed”. Journal of the Structural Division, ASCE, 1973-12,Vol.99,No.12.

（２）Robert C.Galson,C.Allin Cornell and Jose Morla Catalan. “Tornado Design Winds Based on Risk” . Journal of the Structural Division,ACSE,1975-09,Vol.101,No.9.

（３）Robert C.Galson,C.Allin Cornell and Jose Morla Catalan. “Tornado Risk Evaliation Using Wind Speed Profiles”. Journal of the Structural Division,ASCE, 1975-05, Vol.101,No.5.

（４）東京工芸大学．平成 21～22 年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．2011-02.

以　上

令和２年２月７日　R2

補足説明資料５－１（９条　竜巻）

設計対処施設の設計荷重について

設計対処施設の評価に用いる評価荷重について別表１に整理する。

別表１　設計対処施設の評価に用いる評価荷重一覧表（１／１）

設計対処施設		設計竜巻荷重								備考
		W_W, W_P, W_Mの選定※1				複合荷重の設定※2				
		設置場所	W_W	W_P	W_M	W_{T1}	W_{T2}			
						W_P	W_W	$0.5W_P$	W_M	
竜巻防護対象施設を設置する施設	・燃料加工建屋	屋外	○	○	○	○	○	○	○	
屋外施設	該当なし									
建屋に設置されるが防護が期待できない施設	・非常用所内電源設備の非常用発電機の 給気系及び排気系	屋内	×	×	○	－	－	－	○	
竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	該当なし									
建屋内の施設で外気と繋がっている施設	・気体廃棄物の廃棄設備の工程室排気設備	屋内	×	○	×	○	－	－	－	
	・気体廃棄物の廃棄設備のグローブボックス排気設備	屋内	×	○	×	○	－	－	－	
	・非常用所内電源設備の非常用発電機の 給気系及び排気系	屋内	×	○	×	○	－	－	－	

注記）
※1 表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。 ○：考慮する ×：考慮しない
※2 複合荷重の構成について，○のついた構成で評価を実施。 ○：実施ケース －：該当しないケース

以　上

令和２年２月７日　R３

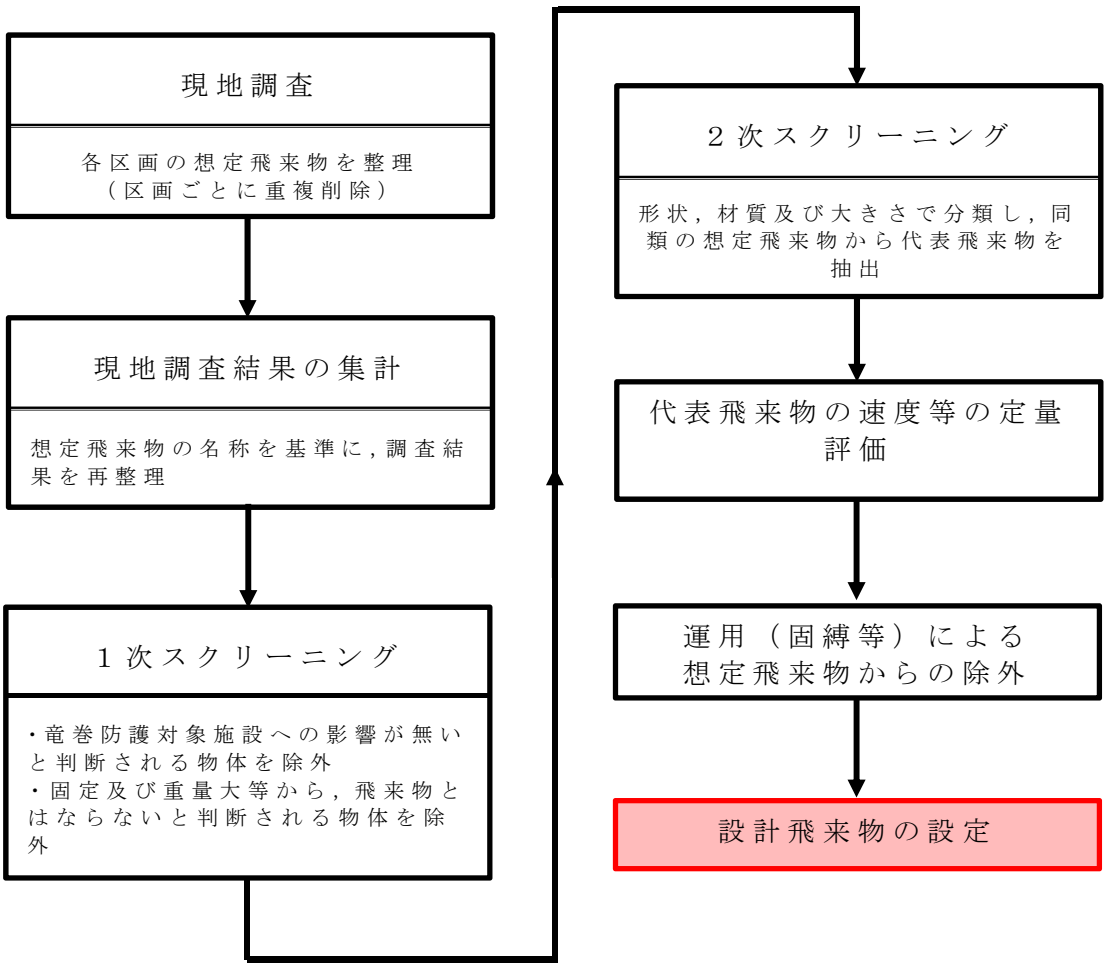
補足説明資料５－２（９条　竜巻）

設計飛来物の設定

1. はじめに

設計飛来物の設定にあたっては，再処理事業所において，飛来物となる可能性のある対象物（以下，「想定飛来物」という。）を現地調査※し，これらの中から竜巻影響評価に用いる代表的な飛来物（以下，「代表飛来物」という。）について定量評価を行った上で，設計飛来物の設定を行った。第５－２－１図に設計飛来物の設定フローを示す。

※　本現地調査は，再処理施設及び廃棄物管理施設に対して行われたものである。ＭＯＸ燃料加工施設は，現在建設中であるものの，再処理施設及び廃棄物管理施設は既に試運転（通水作動試験）後 10 年ほど経過しているため，同じ再処理事業所として，これら２施設の現地調査で得られた飛来物の情報はＭＯＸ燃料加工施設の運転時の想定として有効である。



第５－２－１図　設計飛来物の設定フロー

第５－２－１表　現地調査結果の集計

1	仮設足場	26	仮設トイレ	51	航空障害灯	76	コンクリートミキサ車
2	足場板	27	カラーコーン	52	高所作業車	77	コンテナ
3	足場階段	28	ガラス扉	53	鋼製足場	78	コンテナ（バンボディ）
4	ＬＰガス容器置場	29	仮囲い用鉄板	54	鋼製階段	79	コンプレッサー
5	アスファルト残材	30	換気口	55	鋼製カゴ	80	柵（単管パイプ）
6	アルミ製ステップ	31	監視用電柱	56	鋼製架台	81	産廃コンテナ（鋼製）
7	アルミ製はしご	32	看板	57	鋼製架台（フレーム）	82	産廃ボックス（カゴ）
8	アルミ製蓋	33	看板（合成樹脂製）	58	鋼製材	83	室外機
9	アルミフェンス	34	危険物倉庫	59	鋼製残材	84	室外機囲い
10	アンテナ	35	気象海象観測ブイ	60	鋼製スリーブ	85	自動販売機
11	石	36	気象海象観測ブイ架台	61	鋼製スロープ	86	しゃへいブロック用型枠
12	移動式タンク	37	気象海象観測ブイ部品	62	鋼製朝礼台	87	砂利
13	埋込金物	38	救急車	63	鋼製箱	88	重機（パワーショベル）
14	液化酸素タンク	39	給水車	64	鋼製バリケード	89	重機（ホイールローダ）
15	液化窒素タンク	40	給油口	65	鋼製蓋	90	重機（クローラキャリア）
16	塩ビパイプ	41	重機（杭打機）	66	鋼製フレーム	91	重機（クローラクレーン）
17	大型バス	42	クランプ	67	構台	92	重機用バケット
18	覆工板	43	乗用車	68	鋼矢板（廃材）	93	合成樹脂製資材
19	ガードレール	44	グレーチング	69	コンクリートＵ字溝	94	合成樹脂製タンク
20	ガードレールポスト	45	重機（ラフタークレーン）	70	コンクリート残材	95	合成樹脂製パレット
21	カーブミラー	46	軽トラック	71	コンクリート試験体	96	合成樹脂製蓋
22	加工台	47	ケーブル	72	コンクリート製蓋	97	合成樹脂製水タンク
23	ガスボンベ	48	木製ケーブルドラム	73	コンクリート製ポール	98	消火器
24	仮設小屋	49	鋼管	74	コンクリート棒	99	消火器格納箱
25	仮設タンク	50	航空識別灯管制器	75	コンクリートポンプ車	100	消火栓

第５－２－１表　現地調査結果の集計（つづき）

101	昇降機カゴ	126	貯湯槽	151	バリケード部品（合成樹脂製）	176	木製パレット
102	消防自動車	127	ディーゼルポンプ	152	反射鏡	177	木製蓋
103	照明	128	鉄筋	153	ヒートポンプチラー	178	モルタルブロック
104	照明器具	129	形鋼	154	百葉箱	179	融雪制御盤
105	照明塔	130	鉄板	155	標識	180	ハンドパレット
106	水槽	131	電光掲示板	156	フェンス	181	リヤカー
107	制御盤	132	電信柱	157	フォークリフト	182	冷却器
108	設備機器	133	テント	158	合成樹脂製箱	183	レーダー
109	設備小屋	134	電話ボックス	159	合成樹脂製バリケード	184	ワイヤー
110	側溝グレーチング	135	投光器	160	プレハブ小屋	185	ワイヤメッシュ
111	側溝コンクリート製蓋	136	道路緩衝材	161	プレハブ倉庫	186	散水車
112	台車	137	土のう	162	分電盤	187	避雷針
113	タイヤ	138	トラック	163	木製板		
114	担架格納箱	139	トラック（ユニック）	164	ベンチ		
115	単管ごみ置き場	140	ドラム缶	165	防雪フェンス		
116	単管製小屋	141	泥落とし機	166	ホース		
117	単管手摺	142	ネコ車	167	ホース格納箱		
118	鉄鋼パイプ	143	燃料タンク	168	ポンプ		
119	単管バリケード	144	配管	169	マンホール蓋		
120	脚立	145	配管用部品	170	水タンク		
121	タンク	146	配電盤	171	木・合成樹脂廃材		
122	タンクローリー	147	バケット	172	木製角材		
123	端子盤	148	発電機	173	木製朝礼台		
124	ダンプトラック	149	鋼製ハッチ	174	木製廃材		
125	貯水タンク	150	パラボナアンテナ	175	木製箱		

２．１次スクリーニング

１次スクリーニングでは，現地調査の集計結果のうち，想定飛来物が以下に示す条件を満たすものを設計飛来物の選定から除外する。

・強固に固定されている想定飛来物

・体積に対する重量が非常に大きく，設計飛来物とはならないと判断される想定飛来物

・強度及び剛性が低く，竜巻防護対象施設に与える影響が小さいと判断される想定飛来物

１次スクリーニングにおいて除外される想定飛来物を，第５－２－２表に示す。

第５－２－２表　設計飛来物から除外する想定飛来物

強固に固定されているため，あるいは，体積に対する重量が非常に大きいため，設計飛来物とはならないと判断されるもの		強度及び剛性が低く，竜巻防護対象施設に影響を及ぼさないと判断されるもの		
構台	水槽	木・合成樹脂廃材	木製板	カラーコーン
貯湯槽	ヒートポンプ チラー	タイヤ	塩ビパイプ	木製朝礼台
換気口	室外機（業務用大型）	ベンチ	プレハブ小屋	ケーブル
ポンプ	重機（クローラクレーン）	木製パレット	木製ケーブルドラム	プレハブ倉庫
電話ボックス	危険物倉庫	ホース	木製蓋	合成樹脂製資材
設備機器	冷却器	標識（合成樹脂製）	ワイヤー	看板（合成樹脂製）

第５－２－２表　設計飛来物から除外する想定飛来物（つづき）

強固に固定されているため，あるいは，体積に対する重量が非常に大きいため，設計飛来物とはならないと判断されるもの		強度及び剛性が低く，竜巻防護対象施設に影響を及ぼさないと判断されるもの		
液化酸素タンク	電信柱	合成樹脂製タンク	テント	バリケード部品（合成樹脂製）
重機（杭打機）	液化窒素タンク	看板（木製）	百葉箱	水タンク
コンプレッサー	監視用電柱	木製角材	パラボナアンテナ	土のう
制御盤	貯水タンク	仮設トイレ	アルミフェンス	フェンス
コンクリート製蓋（固定されたもの）	照明塔	木製廃材	ガラス扉	合成樹脂製パレット
端子盤	重機（パワーショベル）	ワイヤメッシュ	木製箱	合成樹脂製蓋

□については核不拡散上の観点から公開できません。

第５－２－２表　設計飛来物から除外する想定飛来物（つづき）

強固に固定されているため，あるいは，体積に対する重量が非常に大きいため，設計飛来物とはならないと判断されるもの		強度及び剛性が低く，竜巻防護対象施設に影響を及ぼさないと判断されるもの		
給油口	コンクリート試験体	仮設小屋	道路緩衝材	
避雷針	融雪制御盤			
配管	鋼製ハッチ			

注）本表の写真は代表例を示す。

３．２次スクリーニング

２次スクリーニングでは，１次スクリーニングで除外の対象とならなかった想定飛来物を対象に，飛来物の定量評価に資するためのスクリーニングを実施する。

２次スクリーニングの実施方針，手順を以下に示す。

・想定飛来物を棒状，板状及び塊状の３つの形状に分類する。
・さらに，面積や重量などの観点から同類と見做せるものに分類し，代表飛来物を抽出する。その際，竜巻影響評価ガイドに例示された飛来物も代表飛来物とすることを考慮する。
・分類された想定飛来物から，定量評価に用いる代表飛来物を抽出する。抽出は，主として外形寸法に着目して実施する。いずれの分類にも属しない想定飛来物は，そのまま代表飛来物として選定とする。

第５－２－３表に棒状，板状及び塊状に分類した想定飛来物の代表を，それぞれ示す。各形状で代表とする想定飛来物は以下である。

棒状：鋼製パイプ／形鋼／角形鋼管／鋼管
板状：マンホール蓋／敷き鉄板／覆工板
塊状：コンクリートＵ字溝／自動販売機／室外機／
　　コンテナ／産廃コンテナ／発電機／気象海象観測ブイ

第５－２－３表　２次スクリーニング結果まとめ

代表飛来物	棒状		板状	塊状	
複数の想定飛来物の代表として抽出した飛来物					
	角形鋼管	形鋼	敷き鉄板	室外機	自動販売機
	角形鋼管	鋼鉄パイプ	覆工板	発電機	コンテナ
	コンクリートU字溝		マンホール蓋	気象海象観測ブイ	産廃コンテナ

第５－２－３表　２次スクリーニング結果まとめ（つづき）

代表飛来物	棒状	板状	塊状		
単独で代表として選定した飛来物					
	コンクリート製ポール	鋼製架台	乗用車	フォークリフト	高所作業車
	コンクリート棒	コンクリート製蓋	トラック	クローラキャリア	コンクリートポンプ車
	ガスボンベ	側溝コンクリート製蓋	ホイールローダー	消防自動車	コンクリートミキサ車
	鉄筋		ラフタークレーン	タンクローリー	ダンプトラック
			大型バス	散水車	ドラム缶
			砂利		

４．代表飛来物の定量評価

４．１　評価方法

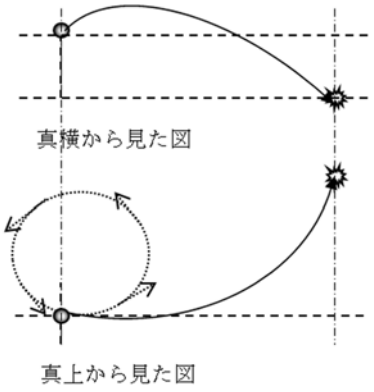
代表的な飛来物の速度，飛散距離および飛散高さは，竜巻による風速場の中での飛来物の軌跡を計算することで評価する。仮定する風速場は，鉛直方向には構造が変化しないランキン渦とする。その風速場の中で，質点系にモデル化した飛来物は，相対速度の２乗に比例した抗力を受けるものとする。この時，飛来物の運動は次式にて表される。

$$\mathrm{m}\ddot{x}(t) = \frac{1}{2}\rho C_D A\left(V\big(x(t)\big) - \dot{x}(t)\right)\left|V\big(x(t)\big) - \dot{x}(t)\right| - mgJ$$

ここで、飛来物の質量をｍ，代表面積をＡ，抗力係数をC_D，時刻ｔでの飛来物の位置をｘ（ｔ），速度を$\dot{x}$（ｔ），加速度を$\ddot{x}$（ｔ），時刻ｔ　での飛来物位置での風速をＶ（ｘ（ｔ）），空気密度をρ，重力をｇ，重力方向成分のみ１のベクトルをＪとする。

なお，抗力係数C_Dは，３方向の面積で重みづけした平均とする。

具体的な飛散距離及び飛散高さの評価においては，上式を離散化することで計算を行う。



第５－２－２図　飛来物の軌跡評価のイメージ

４．２　評価条件

竜巻の最大風速，移動速度，旋回風速，最大半径（R_mとする）及び空気密度は，第５－２－４表のとおりとする。

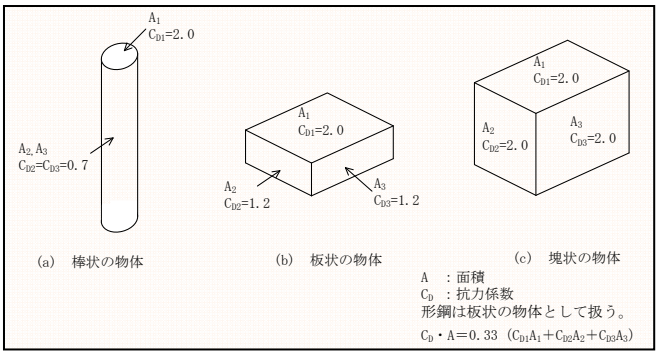
飛来物の初期位置は，水平方向には竜巻の中心より２R_mの円の内部領域に，半径について0.1R_mごと，角度方向について５度ごとの位置にばら撒かれているものとする。鉛直方向には高さ40ｍの位置にあるものとする。初速は０ｍ／ｓとする。

飛来物が高さ０ｍの位置に到達するまでの間の最大速度，最大高さ及び最大飛距離を算定する。

抗力係数は既往文献[1]に基づいて，第５－２－３図のとおりとする。

第５－２－４表　飛来物評価時の竜巻諸元

最大風速（ｍ／ｓ）	100
移動速度（ｍ／ｓ）	15
旋回風速（ｍ／ｓ）	85
最大半径（ｍ）	30
空気密度（ｋｇ／m^3）	1.22


A1
CD1=2.0
A2, A3
CD2=CD3=0.7
(a) 棒状の物体
A1
CD1=2.0
A2
CD2=1.2
A3
CD3=1.2
(b) 板状の物体
A1
CD1=2.0
A2
CD2=2.0
A3
CD3=2.0
(c) 塊状の物体
A ：面積
CD ：抗力係数
形鋼は板状の物体として扱う。
CD・A=0.33 (CD1A1+CD2A2+CD3A3)

第５－２－３図　抗力係数

４．３評価結果

３項で選定した代表飛来物を対象に，竜巻速度が 100m／ｓにおける飛来物の諸元を定量評価した結果を第５－２－５表に示す。

第５－２－５表　代表飛来物の諸元算定結果

代表飛来物		サイズ 幅［ｍ］	サイズ 奥行［ｍ］	サイズ 高さ［ｍ］	質量［ｋｇ］	空力パラメータ	速度［ｍ／ｓ］	運動エネルギ［ｋＪ］	備考
棒状	コンクリート製ポール	4	4	16	1400	0.0022	38.610	1043.512	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
	コンクリート製ポール	0.35	0.35	12	930	0.00218	38.475	688.351	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
	角形鋼管（□-300×300）	0.30	0.30	6.1	492	0.0031	41.390	421.430	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	鉄筋（Ｄ13）	0.013	0.013	12	11.9	0.00613	48.180	13.812	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	鉄筋（Ｄ38）	0.038	0.038	12	107	0.002	37.647	75.825	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	形鋼（Ｈ－300×300）	0.30	0.30	4.0	372	0.00275	40.460	304.484	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
	形鋼（Ｈ－200×200）	0.20	0.20	5.0	250	0.00331	42.079	221.330	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	形鋼（Ｈ－200×150）	0.15	0.19	6.0	179	0.00467	45.374	184.263	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	形鋼（Ｈ－175×175）	0.18	0.18	5.0	202	0.00368	43.024	186.958	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	鋼管（250φ）	0.27	0.27	6.0	254	0.00313	41.505	218.778	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	鋼管（200φ）	0.22	0.22	6.0	181	0.00355	42.707	165.062	浮き上がるが設計飛来物による防護で対策可能。
	鋼製材	0.20	0.30	4.2	135	0.00652	51	175.568	設計飛来物とする。
	角形鋼管（□―100×100）	0.10	0.10	4.0	96.4	0.00339	42.280	86.162	浮き上がるが設計飛来物による防護で対策可能。
	コンクリート棒	0.16	0.16	2.0	123	0.00223	38.747	92.332	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
	鉄筋（Ｄ38）	0.038	0.038	6.0	53.7	0.002	37.647	38.054	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	形鋼（Ｈ－400×200）	0.20	0.40	1.7	111	0.00416	44.252	108.682	浮き上がるが設計飛来物による防護で対策可能。
	鋼管（100φ）	0.11	0.11	5.0	61.0	0.00432	44.601	60.672	浮き上がるが設計飛来物による防護で対策可能。
	鉄筋（Ｄ13）	0.013	0.013	6.0	5.97	0.00612	48.165	6.925	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	ガスボンベ	0.23	0.23	1.5	57.0	0.00332	42.105	50.526	浮き上がるが設計飛来物による防護で対策可能。
	鋼製パイプ	0.049	0.049	6.0	16.4	0.00145	51.826	22.025	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	鋼製パイプ	0.050	0.050	2.0	8.40	0.00572	49	10.085	設計飛来物とする。
	コンクリートＵ字溝	0.40	0.45	2.0	290	0.00276	40.487	237.684	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
板状	鋼板（敷鉄板）大	0.022	1.5	6.1	1600	0.00386	43.401	1506.917	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	鋼板（敷鉄板）小	0.022	1.5	3.0	802	0.0038	43.281	751.171	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	鋼製架台	0.20	2.6	2.8	1640	0.00323	41.854	1436.441	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	覆工板	0.19	1.0	3.0	640	0.0036	42.835	587.148	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	コンクリート板	0.15	1.0	1.5	540	0.00213	30	243.000	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
	覆工板	0.19	1.0	2.0	430	0.00364	42.931	396.260	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	マンホール蓋（大）	0.060	0.98	0.98	88.0	0.00625	48.420	103.158	浮き上がるが設計飛来物による防護で対策可能。
	コンクリート製蓋	0.10	0.50	0.80	96.0	0.00332	42.105	85.096	浮き上がるが設計飛来物による防護で対策可能。
	側溝コンクリート製蓋	0.060	0.40	1.0	57.6	0.00522	46.551	62.409	浮き上がるが設計飛来物による防護で対策可能。
	マンホール蓋（小）	0.050	0.65	0.65	33.5	0.00738	50.395	42.539	浮き上がるが設計飛来物による防護で対策可能。

第５－２－５表　代表飛来物の諸元算定結果（つづき）

代表飛来物		サイズ 幅［ｍ］	サイズ 奥行［ｍ］	サイズ 高さ［ｍ］	質量［ｋｇ］	空力パラメータ	速度［ｍ／ｓ］	運動エネルギ［ｋＪ］	備考
塊状	空調室外機	0.25	0.30	0.80	10.0	0.03434	69.881	24.417	浮き上がるが設計飛来物による防護で対策可能。
	ラフタークレーン（１）	2.6	3.5	11	26500	0.00192	36.622	17770.514	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
	ラフタークレーン（２）	2.6	3.5	11	31900	0.0016	31.404	15730.069	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
	消防自動車	2.5	3.4	9.5	16200	0.00266	40.185	13080.157	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
	大型バス	2.5	3.8	12	12100	0.00469	45.420	12481.007	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	コンクリートミキサ車	2.5	3.7	7.9	10200	0.00381	43.302	9562.822	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	ダンプトラック	2.5	3.3	7.7	10500	0.00336	42.207	9352.512	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	コンクリートポンプ車	2.2	3.0	7.5	9170	0.00332	42.105	8128.430	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	タンクローリー	2.5	3.0	9.2	8660	0.00448	44.918	8736.324	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	高所作業車	2.2	3.6	7.4	7870	0.00431	44.580	7820.326	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	クローラキャリア	2.5	2.9	5.7	11500	0.00221	38.663	8595.259	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
	発電機（大）	1.4	2.1	4.2	6060	0.00195	37.107	4172.096	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
	ホイールローダー	2.3	3.0	6.2	7270	0.00365	42.955	6707.055	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	トラック	1.3	1.9	5.0	4750	0.0026	34	2745.500	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
	フォークリフト	1.3	2.1	3.8	4350	0.0024	39.164	3336.056	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
	フォークリフト	1.1	2.1	3.6	3600	0.00257	39.817	2853.708	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
	トラック	2.2	2.5	8.5	3790	0.001	51.268	4980.833	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	気象海象観測ブイ	2.5	2.5	8.0	4000	0.00479	50.562	5113.032	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	散水車	2.2	2.3	5.7	3420	0.00599	47.966	3934.261	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	コンテナ	2.4	2.6	6.0	2300	0.01051	60	4140.000	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	乗用車ワゴン２	1.9	2.3	5.2	1890	0.00925	53.003	2654.806	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	発電機（中）	1.0	1.6	2.1	1640	0.00287	40.765	1362.664	浮上・飛来解析の結果，浮き上がらない。
	乗用車ワゴン１	1.5	1.8	4.8	1510	0.00819	51.510	2003.226	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	乗用車	1.3	1.6	3.1	1430	0.00517	46.430	1541.358	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	乗用車普通	1.5	1.7	4.4	1140	0.00973	53.636	1639.788	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	発電機（小）	0.65	1.2	1.5	670	0.00354	42.680	610.230	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	乗用車軽自動車１	1.5	1.6	3.4	840	0.01027	54.291	1237.955	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	コンテナ	2.3	2.4	3.7	1100	0.01389	58.083	1855.499	飛散対策により，飛来物とならないようにする
	乗用車軽自動車２	1.5	1.5	3.4	710	0.0117	55.782	1104.629	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	自動販売機（大）	0.74	1.4	1.8	365	0.00893	52.509	503.188	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	室外機（オフィス用）	0.32	0.94	1.4	140	0.00984	53.770	202.385	浮き上がるが設計飛来物による防護で対策可能。
	産廃コンテナ	1.1	1.9	1.9	260	0.01998	62.803	512.748	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	ドラム缶（軽油200Ｌ入り）	0.59	0.59	0.89	188	0.0047	45.443	194.116	飛散対策により，飛来物とならないようにする。
	ドラム缶	0.60	0.60	0.90	24.0	0.03786	71.119	60.695	浮き上がるが設計飛来物による防護で対策可能。
	砂利	0.040	0.040	0.040	0.18	0.01778	61.188	0.337	評価上浮き上がるが，運動エネルギは十分小さい。

５．設計飛来物の設定

運動エネルギ及び貫通限界厚さが鋼製材よりも大きなものは適切な対策を実施し飛来物としないことから，残りのもののうち，最も運動エネルギ及び貫通限界厚さが大きな鋼製材を設計飛来物として設定した。また，防護対象施設の評価において鋼製材の評価に包含できないものとして，竜巻防護ネットを通過する可能性がある鋼製パイプを設計飛来物として設定した。第５－２－６表に設計飛来物を示す。

第５－２－６表　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

＜参考文献＞

（１）【JNES】東京工芸大学：竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究，平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度），平成 23 年２月

以　上

令和２年２月７日　R３

補足説明資料５－３（９条　竜巻）

敷地外からの飛来物の考慮について

１．はじめに

原子力発電所の竜巻影響評価ガイドの要求事項を踏まえ，再処理事業所の敷地の近隣に設置されている風力発電施設のブレードが設計竜巻によって飛来した場合を想定し，設計対処施設への到達の可能性の有無を確認した。

＜原子力発電所の竜巻影響評価ガイドの要求事項＞

４．３．１ 設計竜巻荷重の設定

解説４．３．１．３．２ 基本的な考え方

・・・(略)・・・

一般的には，遠方からの飛来物は相対的に重量が軽いものが多く，仮に衝突した場合でも衝撃荷重は相対的に小さいと考えられることから，設計対象施設に到達する可能性がある飛来物を検討する範囲は，原子力発電所の敷地内を原則とする。ただし，原子力発電所の敷地外からの飛来物による衝撃荷重が，原子力発電所の敷地内からの飛来物の衝撃荷重を上回ると想定され得る場合は，原子力発電所の敷地外からの飛来物も考慮する。

２．風力発電施設の概要

第５－３－１表　風力発電施設の概要

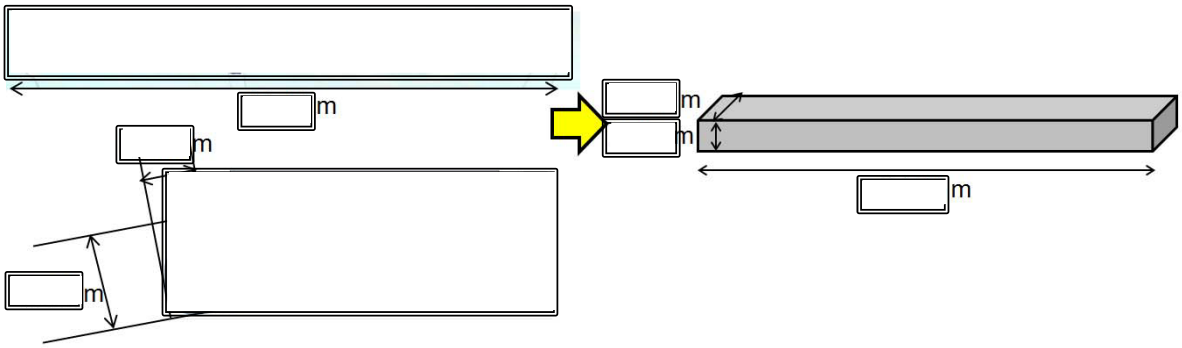
発電所名称	むつ小川原 ウィンドファーム
定格出力	1500　kW/基[1]
ローター直径	64　m[1]
ハブまでの高さ	68　m[1]
設計対処施設 までの最短距離	約 1000　m

（１）むつ小川原ウィンドファームＨＰより

第５－３－１図　風力発電設備の寸法

３．設計竜巻による飛来距離の評価

ブレードのサイズ及び重量の情報を用いて，設計竜巻（ランキン渦モデル，最大風速 100m／ｓ）による物体の浮上・飛来解析コード（TONBOS）による最大飛来距離の算出を行った。



第５－３－２図　風力発電機のブレード寸法

□については商業機密の観点で公開できません。

第５－３－２表　ブレードサイズ及び最大飛来距離

長さ	□ m
高さ	□ m
幅	□ m
重量	□ k g
最大飛来距離	約 □ m

□については商業機密の観点で公開できません。

風力発電施設から設計対処施設までの最短距離は，ブレードの最大飛来距離に比べて十分余裕があり，ブレードが設計対処施設へ到達することは考えられない。

４．まとめ

・ 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

令和２年２月７日　R2

補足説明資料５－４（９条　竜巻）

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

設計飛来物の設定において，１次スクリーニングでは，以下に示す条件を満たすものを設計飛来物の選定から除外する。

・竜巻防護対象施設への影響が無いと判断される物体
・固定，重量大等から，飛来物とはならないと判断される物体

このうち，「竜巻防護対象施設への影響がないと判断される物体」は，過去の主な竜巻の被害概要の調査結果等から，このような物品の状況について検討を行った結果より判断した。

以下に，平成２年以降の主な竜巻による被害概要の調査結果等に基づく検討結果を示す。

（１）分解され小型軽量となる物品（屋外屋根及びガラス窓）

竜巻の被害概要調査結果において，分解され小型軽量となる物品として屋外屋根及びガラス窓が確認できた。これらの被害状況を以下に示す。

ａ．屋外屋根

第５－４－１図～第５－４－５図に屋外屋根の被害状況を示す。これらより，屋外屋根については，Ｆ０～Ｆ３の竜巻において，形を保ったままではなく，分解された状態で飛来していることが分かる。また，厚みが薄いことから形状が変形しており柔飛来物と見なせると考えられることから，衝突の際に与える衝撃荷重及び貫通力については，設計飛来物である鋼製材の評価に包含されると考えられる。

第５－４－１図　平成 16 年６月 27 日佐賀県で発生した
Ｆ２竜巻による屋外屋根の被害状況[1]

屋外トイレ屋根の損傷

カーポート屋根の飛散及び骨組の損傷

カーポート屋根の損傷

第５－４－２図　平成 18 年９月 17 日宮崎県延岡市で発生した

Ｆ２竜巻による屋外屋根の被害状況[2]

折板の損傷

カーポートの被害

第５－４－３図　平成 21 年 10 月８日茨城県土浦市で発生した

Ｆ１竜巻による屋外屋根の被害状況[3]

周囲の田に散乱した屋根ふき材

第５－４－４図　平成 24 年２月１日島根県出雲市で発生した

Ｆ０竜巻による屋外屋根の被害状況[4]

電線等に引っ掛かった飛来物（鋼板製屋根材）

飛来物（鋼板製屋根材）の衝突

飛散した飛来物（鋼板製屋根材）

飛散した折板屋根の損傷状況

ガソリンスタンドの折板屋根の脱落

駐車場の折板屋根の著しい変形

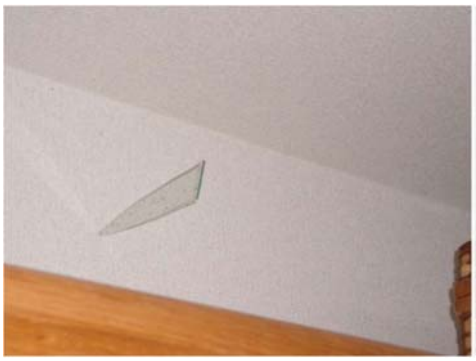
第５－４－５図　平成 24 年５月６日茨城県つくば市で発生した

Ｆ３竜巻による屋外屋根の被害状況[5]

ｂ．ガラス窓

第５－４－６図～第５－４－11図に示すとおり，ガラス窓についてはＦ０～Ｆ３及びＥＦ５の竜巻において損壊し，分解されていることが確認できる。分解された状態では小型軽量となっており，その影響は設計飛来物である鋼製材若しくは鋼製パイプに包含されると考えられる。

エントランスの窓ガラスの破損



破損した窓ガラス片の
屋内壁面への突き刺さり

第５－４－６図　平成18年９月17日宮崎県延岡市で発生したＦ２竜巻によるガラス窓の被害状況[2]

バスの窓ガラス破損

第５－４－７図　平成20年５月25日米国アイオワ州で発生したＥＦ５竜巻によるガラス窓の被害状況[6]

窓ガラスの損壊

窓ガラスの飛来物衝突痕

第５－４－８図　平成 21 年７月 27 日群馬県館林市での

Ｆ１（Ｆ２）竜巻によるガラス窓の被害状況[7]

倉庫の窓ガラスと屋根の被害状況

窓ガラスの損壊

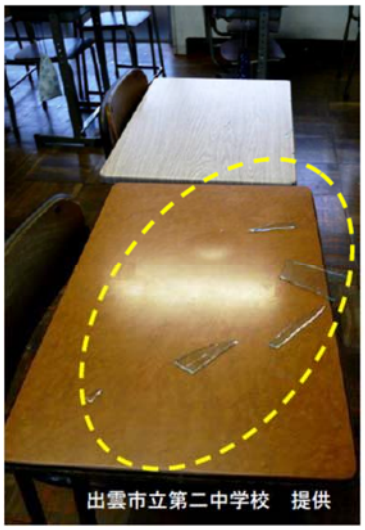
出窓部の窓ガラスの損壊

エントランスのガラス損壊

第５－４－９図　平成 21 年 10 月８日茨城県土浦市で発生した

Ｆ１竜巻によるガラス窓の被害状況[3]

体育館窓ガラスの損傷



教室

廊下

屋外に面した窓ガラス

第５－４－10図　平成24年２月１日島根県出雲市で発生した

Ｆ０竜巻によるガラス窓の被害状況[4]

店舗の窓ガラスの被害状況

店舗の窓ガラスの被害状況

ガラスの被害状況（飛来物衝突痕）

ガラスの被害状況（飛来物衝突痕）

第５－４－11図　平成24年５月６日茨城県つくば市で発生した

Ｆ３竜巻によるガラス窓の被害状況[5]

（２）　再処理事業所の屋外屋根及びガラス窓の状況

再処理事業所における屋外屋根の状況を第５－４－12図，ガラス窓の状況を第５－４－13図に示す。再処理事業所におけるこれらの物品の構造については，上記の被害にあった物品の構造と大きく変わらないことから，竜巻通過時には同様の被害状況になると考えられ，飛来物としては設計飛来物の影響に包含されると考えられる。

第５－４－12図　再処理事業所における屋外屋根

第５－４－13図　再処理事業所におけるガラス窓の状況

（３）損傷するが飛散しない物品（樹木とフェンス）

竜巻の被害概要調査結果等における「損傷するが飛散しない物品」に関し，再処理事業所に存在する物品としてシャッター，樹木，フェンス及び仮設足場が確認できた。これらの被害状況を以下に示す。

ａ．シャッター

第５－４－14図～第５－４－18図にシャッターの被害状況を示す。これらより，シャッターについては，Ｆ１～Ｆ３及びＥＦ５の竜巻において形状は変形しているが，固定部は外れていないことが確認できる。なお，外れて飛来物となったとしても，衝突の際に与える衝撃荷重及び貫通力については，上記の屋外屋根と同様，設計飛来物である鋼製材の評価に包含されると考えられる。

シャッターの外れ

第５－４－14図　平成20年５月25日米国アイオワ州で発生したＥＦ５竜巻によるシャッター被害状況[6]

シャッターの変形

第５－４－15図　平成21年10月８日茨城県土浦市で発生した

Ｆ１竜巻によるシャッターの被害状況[3]

シャッターの外れ

第５－４－16図　平成21年７月27日群馬県館林市で発生した

Ｆ１（Ｆ２）竜巻によるシャッター被害状況[7]

消防団施設のシャッターの変形

第５－４－17図　平成24年５月６日茨城県つくば市で発生した

Ｆ３竜巻によるシャッターの被害状況[5]

シャッターの外れ

第５－４－18図　平成25年９月２日埼玉県で発生した

Ｆ２竜巻によるシャッターの被害状況[8]

ｂ．樹木

第５－４－19 図～第５－４－25 図に樹木の被害状況を示す。これらより，樹木について，Ｆ１～Ｆ３及びＥＦ５の竜巻において幹の折損，根の引き抜き等が見られるが，折れた場合若しくは引き抜かれた場合のいずれにおいても，その場で倒壊しているのみであることが確認できる。これは，竜巻の風荷重により樹木が損壊を受けた後では，竜巻が既に通り過ぎているためと考えられ，樹木が飛来物となることは考えにくい。

倒木（倒れない樹木もあり）

倒木

第５－４－19 図　平成 14 年７月 10 日群馬県境町で発生したＦ２竜巻による樹木被害[9]

樹木の転倒

樹木の転倒

第５－４－20 図　平成 18 年９月 17 日宮崎県延岡市で発生したＦ２竜巻による樹木被害状況[2]

樹木の折損

第５－４－21図　平成20年５月25日米国アイオワ州で発生したＥＦ５竜巻による樹木被害状況[6]

倒木

第５－４－22図　平成21年７月19日岡山県美作市で発生したＦ２竜巻による樹木被害状況[10]

倒木

第５－４－23図　平成21年10月８日茨城県土浦市で発生したＦ１竜巻による樹木被害状況[3]

樹木の折損

樹木の折損と鳥居の被害

樹木の被害

樹木の被害

第５－４－24図　平成24年５月６日茨城県つくば市で発生した

Ｆ３竜巻による樹木被害状況[5]

樹木の被害

樹木の倒壊による小屋組の被害

樹木の被害

樹木の被害

樹木の被害

樹木の被害

第５－４－25図　平成25年９月２日埼玉県で発生した

Ｆ２竜巻による樹木被害状況[8]

Ｃ．フェンス

第５－４－26 図～第５－４－28 図にフェンスの被害状況を示す。これらより，フェンス類については，Ｆ１～Ｆ３の竜巻において傾き，倒壊等が見られるが，樹木と同様にその場で倒壊しているのみであり，倒壊した後では，竜巻は既に通り過ぎていると考えられていることから，竜巻により巻き上げられ，飛来物となることは考えにくい。

フェンスの著しい変形

フェンスの変形

第５－４－26 図　平成 21 年７月 27 日群馬県館林市で発生したＦ１（Ｆ２）竜巻によるフェンスの被害状況[7]

フェンスの変形

道路標識の倒壊

第５－４－27 図　平成 24 年５月６日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻によるフェンス類の被害状況[5]

フェンスの倒壊

屋上フェンスの変形

フェンスの変形

フェンス支柱部の破損

看板の変形

フェンスの変形（工事中の建築物）

フェンスの倒壊

第５－４－28図　平成25年９月２日埼玉県で発生した

Ｆ２竜巻によるフェンス類の被害状況[8]

ｄ．仮設足場

第５－４－29 図に仮設足場の被害状況を示す。これにより，仮設足場については，Ｆ２の竜巻において倒壊していることが確認できる。各足場パイプは容易に分解せず，仮設足場はほぼ組まれた状態で倒壊しているため，飛来物となることは考えにくい。

また，仮に倒壊して後に分解し飛来物となったとしても，その影響は設計飛来物である鋼製材若しくは鋼製パイプに包含されると考えられる。

第５－４－29 図　平成 18 年９月 17 日宮崎県延岡市で発生したＦ２竜巻による仮設足場の被害状況[11]

（４）再処理事業所のシャッター，樹木，フェンス及び仮設足場の状況

再処理事業所におけるシャッターの状況を第５－４－30 図に，樹木の状況を第５－４－31 図に示す。上記の被害実績に示された樹木と大きく変わらないと考えられることから，竜巻通過時には，同様の被害状況になり，幹の折損若しくは根の引き抜きによ

りその場で倒壊するのみと考えられる。

第５－４－30図　再処理事業所におけるシャッターの状況

□については核不拡散上の観点から公開できません。

第５－４－31図　再処理事業所における樹木の状況

再処理事業所におけるフェンスの状況を第５－４－32図に示す。上記にて示した被害にあったフェンスの構造と大きく変わらないことから，竜巻通過時には，同様の被害状況になり変形若しくは倒壊するのみと考えられる。

第５－４－32図　再処理事業所におけるフェンスの状況

□については核不拡散上の観点から公開できません。

再処理事業所における仮設足場の状況を第５－４－33図に示す。上記にて示した被害にあった仮設足場の構造と大きく変わらないことから，竜巻通過時には，同様の被害状況になり変形若しくは倒壊するのみと考えられる。

第５－４－33図　再処理事業所における仮設足場の状況

以上より，シャッター，樹木，フェンス及び仮設足場は，竜巻により損傷若しくは倒壊するが，飛散せず設計飛来物としての選定は不要と判断した。

＜参考文献＞

（１）「佐賀市・鳥栖市竜巻現地被害調査報告」（平成 16 年 7 月 13 日）

（２）「2006 年台風 13 号被害調査報告-延岡市の竜巻被害と飯塚市文化施設の屋根被害-」（平成 18 年 10 月 10 日）

（３）「平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市竜巻被害調査報告」（平成 21 年 10 月 13 日）

（４）「平成 24 年 2 月 1 日島根県出雲市で発生した突発被害調査報告」（平成 24 年 2 月 14 日）

（５）「平成 24 年（2012 年）5 月 6 日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害調査報告」（ISSN1346-7328　国総研資料第 703 号 ISSN0286-4630 建築研究資料第 141 号平成 25 年 1 月）

（６）「米国アイオワ州におけるトルネード被害調査報告」（平成 20 年 6 月 9 日）

（７）「平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市竜巻被害調査報告」（平成 21 年 8 月 17 日一部修正）

（８）「平成 25 年 9 月 2 日に発生した竜巻による埼玉県越谷市，北葛飾郡松伏町及び千葉県野田市での建築物等被害（速報）」（国土交通省国土技術政策総合研究所独立行政法人建築研究所平成 25 年 9 月 10 日一部修正）

（９）「群馬県境町で発生した突風による建築物等の被害について」（平成 14 年 7 月 26 日独立行政法人建築研究所）

(10)「平成 21 年 7 月 19 日岡山県美作市竜巻被害調査報告」（平

成 21 年 8 月 4 日）

（11）「2006 年台風 13 号に伴って発生した竜巻による延岡市の建物被害」

以　上

令和２年２月７日　R2

補足説明資料５－５（９条　竜巻）

竜巻時に発生する降雹について

竜巻と同時に発生する自然現象のうち,降雹についての評価結果を示す。

雹は積乱雲から降る直径５ｍｍ以上の氷の粒であり，文献[1]より直径の上限は 10ｃｍ，終端速度は 59m／ｓとして評価を実施した。この雹の質量は約 0.5ｋｇであり，運動エネルギは約 0.9ｋＪである。

直径 10ｃｍの雹と設計飛来物の運動エネルギとの比較を第１表に示す。これより，雹の運動エネルギは設計飛来物の運動エネルギより十分小さく,雹の衝突による荷重は設計竜巻荷重に包含できると言える。

第５－５－１表　粒径 10ｃｍの雹と設計飛来物との比較

評価対象	運動エネルギ（ｋＪ）
雹（直径 10ｃｍ）	0.9
設計飛来物（鋼製材）	79

＜参考文献＞

（１）小倉義光．一般気象学．第２版，東京大学出版会，1999.

以　上

令和２年２月７日　R1

補足説明資料５－７（９条　竜巻）

荷重の組合せ一覧表（建物・構築物）

分類	荷重の種類	内容	長期荷重	短期荷重① （地震）	短期荷重② （風）	短期荷重③ （竜巻）	短期荷重④ （火山）	短期荷重⑤ （雪）
通常時に作用している荷重	・固定荷重	構造物自体の重さによる荷重	○	○	○	○	○	○
	・機器配管荷重	建物に設置される機器及び配管の荷重	○	○	○	○	○	○
	・積載荷重	家具，什器，人員荷重のほか，機器・配管荷重に含まれない小さな機器類の荷重	○	○	○	○	○	○
	・土圧荷重（静土圧）	地下外壁に作用する土圧	○	○ （地震時土圧）	○	○	○	○
個別荷重	・積雪荷重	積雪深さに応じて算定する荷重	○ （190cm×0.70）	○ （190cm×0.35）	○ （190cm×0.35）	○ （190cm×0.35）	○ （150cm）	○ （190cm）
	・地震荷重	Ss，Sd，1/2Sd 及び静的地震力による荷重 地震時土圧及び設備・機器からの反力もこれに含まれる	－	○	－	－	－	－
	・風荷重	基準風速 34m/s（瞬間風速 45.4m/s 相当）に応じて算定する荷重	－	＊1	○	－	○	－
	・竜巻荷重	設計竜巻（100m/s）による風圧力，気圧差及び飛来物の衝撃荷重	－	－	－	○	－	－
	・降下火砕物による荷重	降下火砕物の堆積量（55cm）に応じて算定する荷重	－	－	－	－	○	－

＊1　風荷重の影響が地震荷重と比べて相対的に無視できないような構造，形状及び仕様の施設においては，組合せを考慮する。
　　また，風荷重の算定は，平均的な風荷重とするため，ガスト影響係数 Gf=1 とする。

注1　ある荷重の組合せ状態での評価が明らかに厳しいことが判明している場合には，その他の荷重の組合せ状態での評価は行わないことがある。

注2　屋外施設については，建物・構築物の荷重の組合せに準じることとする。

荷重の組合せ一覧表（設備・機器）

分類	荷重の種類	内容	長期荷重	短期荷重① （地震）	短期荷重② （竜巻）
通常時に作用している荷重	・死荷重（自重）	施設自体の重さによる荷重	○	○	○
	・圧力荷重	当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重	○	○	○
	・機械荷重	当該設備に設計上定められた機械的荷重 （例：ポンプ振動，クレーン吊荷荷重等）	○	○	○
個別荷重	・地震荷重	Ss，Sd，1/2Sd，静的地震力による荷重	－	○	－
	・事故時荷重*1	設計基準事故時に生じる荷重	－	○	○
	・竜巻荷重	竜巻（気圧差）	－	－	○

＊１　MOX 燃料加工施設においては，設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重は，長時間施設に作用するものがないため，地震荷重と組み合わせるものはない。

注１　ある荷重の組合せ状態での評価が明らかに厳しいことが判明している場合には，その他の荷重の組合せ状態での評価は行わないことがある。

注２　屋外施設については，建物・構築物の荷重の組合せに準じることとする。

令和２年２月７日　R３

補足説明資料７－１（９条　竜巻）

竜巻随伴事象の抽出及び設計について

１．概要

過去の竜巻被害事例及びＭＯＸ燃料加工施設の配置から想定される竜巻の随伴事象を検討し，ＭＯＸ燃料加工施設において考慮する必要がある事象として，火災，溢水及び外部電源喪失を抽出した。

２．過去の竜巻被害について

1990 年以降の主な竜巻による被害概要を調査した文献から検討を行った。第７－１－１表に，1990 年以降に日本で発生した最大級の竜巻であるＦ３クラスの竜巻を示す。

第７－１－１表　1990 年以降のＦ３クラス竜巻

発生日時	発生場所	藤田スケール	死者	負傷者	住宅全壊	住宅半壊
2012 年 5 月 6 日	茨城県常総市	Ｆ３	1	37	76	158
2006 年 11 月 7 日	北海道佐呂間町	Ｆ３	9	31	7	7
1999 年 9 月 24 日	愛知県豊橋市	Ｆ３	0	415	40	309
1990 年 12 月 11 日	千葉県茂原市	Ｆ３	1	73	82	161

竜巻被害の状況写真（第７－１－１図～７－１－３図）から，竜巻被害としては風圧力及び気圧差による被害及び飛来物の衝突による損傷のみであり，また，竜巻の随伴事象とし

て電柱や電線の損傷による停電が発生していると判断される。

全壊した家屋

飛来物により被害を受けた住宅等

倒れた電柱（復旧作業時）

倒壊電柱に直撃された家屋

第７－１－１図　2012年５月６日茨城県にて発生したＦ３竜巻による被害[1]

全壊した工事事務所周辺

飛来物による被害を受けた建物

倒壊した道路標識支柱

道路側へ倒壊した電柱

第７－１－２図　2006 年 11 月 7 日北海道にて発生した

Ｆ３竜巻による被害[2][3]

残骸（飛散物）で埋め尽された道路

吹き飛ばされた建物

横転したバス

曲がった鉄筋（工事現場）

第７－１－３図　1990 年 12 月 11 日千葉県にて発生した

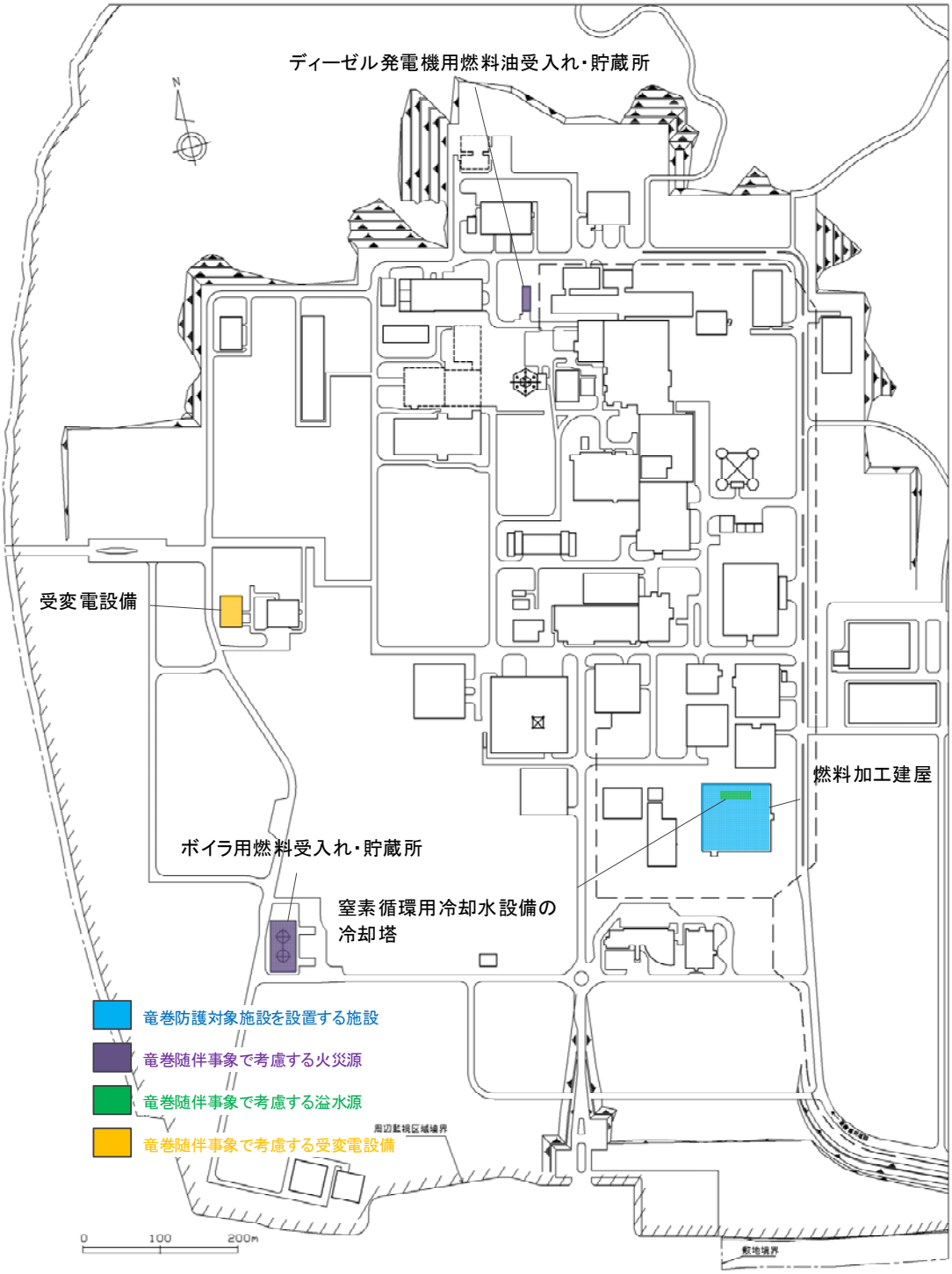
Ｆ３竜巻による被害[4]

３．ＭＯＸ燃料加工施設にて考慮すべき竜巻随伴事象

上述の過去の竜巻による被害事例及びＭＯＸ燃料加工施設の配置から判断すると，ＭＯＸ燃料加工施設においては送電線等が竜巻による被害を受けることにより，外部電源喪失の発生が考えられる。さらに，屋外に油タンク及び水タンクが配備されていることから，飛来物の衝突により火災及び溢水が発生する可能性がある。なお，これらの事象は，竜巻ガイドでも容易に発生が想定されるものとして検討を要求されている。

これらを踏まえ，ＭＯＸ燃料加工施設の配置図に示される各施設に対して竜巻の荷重を考慮した場合にどのような事象が発生するかを検討した。検討結果を第７－１－４図に示す。

以上のことから，ＭＯＸ燃料加工施設における竜巻随伴事象として，火災，溢水及び外部電源喪失を抽出する。



第７－１－４図　ＭＯＸ燃料加工施設の設計対処施設のうち竜巻防護対象施設を設置する施設及び竜巻随伴事象の検討対象施設の配置図

４．竜巻随伴事象に対する設計の一例

竜巻防護設計においては，前述のとおり竜巻随伴事象として火災，溢水及び外部電源喪失を想定し，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こととしている。

ここでは，火災及び溢水について当該設計の一例を示す。

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）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，竜巻防護対象施設を設置する施設の許容温度を超えない設計とすることにより，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。

ここで，火災源となり竜巻防護対象施設に影響を与えることが考えられるボイラ用燃料受入れ・貯蔵所，ディーゼル発電機用燃料受入れ・貯蔵所については，火災が発生したとしても，燃料加工建屋の外壁表面の温度がコンクリートの許容温度以下とすることで，竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えない設計としている。

２）溢水

竜巻により，屋外機器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，溢水が竜巻防護対象施設を設置する施設の開口部まで到達しない設計とする。

<設計の一例>

ＭＯＸ燃料加工施設における屋外機器の破損による溢水源は，「ＭＯＸ燃料加工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　第十一条　溢水による損傷の防止」にて示すとおりである。

竜巻防護対象施設を設置する施設である燃料加工建屋の屋上に，窒素循環用冷却水設備の冷却塔が設置されており，当該機器は最も近い溢水源である。当該機器が破損したとしても雨水排水用の竪樋により適切に排水できること，当該機器から発生した溢水により，燃料加工建屋周辺の溢水高さが建屋の開口高さである１ｍを上回ることはないため，当該建屋に対し溢水による影響を与えることはない。

＜参考文献＞

(1) （財）消防科学総合センター，平成 24 年(2012 年)5 月 6 日茨城県つくば市竜巻災害写真報告，2012

(2) （財）消防科学総合センター，平成 18 年 11 月 7 日北海道佐呂間町竜巻災害写真報告，2006

(3) （社）土木学会　北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査団，平成 18 年 11 月　北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査，2007 年 4 月

(4) 千葉県総務部消防地震防災課，防災誌「風水害との闘い」第 3 章　90m 超えの突風に街が飛ばされた！－茂原で最大スケールの竜巻が発生－，平成 22 年 3 月

以　上

令和２年２月７日　R1

補足説明資料７－２（９条　竜巻）

ＭＯＸ燃料加工施設の竜巻防護対策について

１．竜巻防護対策について

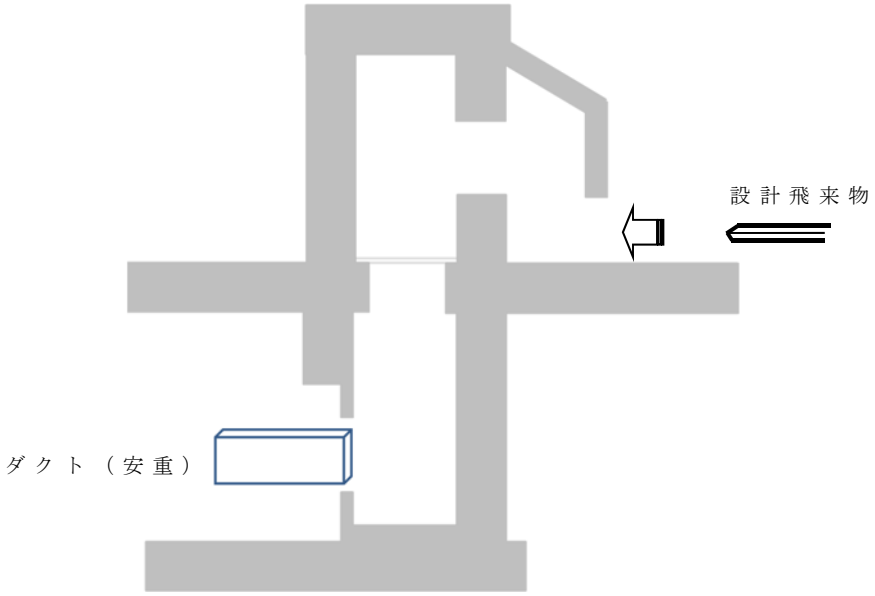
ＭＯＸ燃料加工施設では，竜巻防護対象施設は全て燃料加工建屋 に収納される。

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には，非常用所内電源設備の非常用発電機が該当する。設計荷重（竜巻）による影響に対して非常用所内電源設備の非常用発電機の安全機能を損なわない設計とするため，非常用発電機の給気系及び排気系に対しては，設計飛来物の侵入による損傷を考慮する。

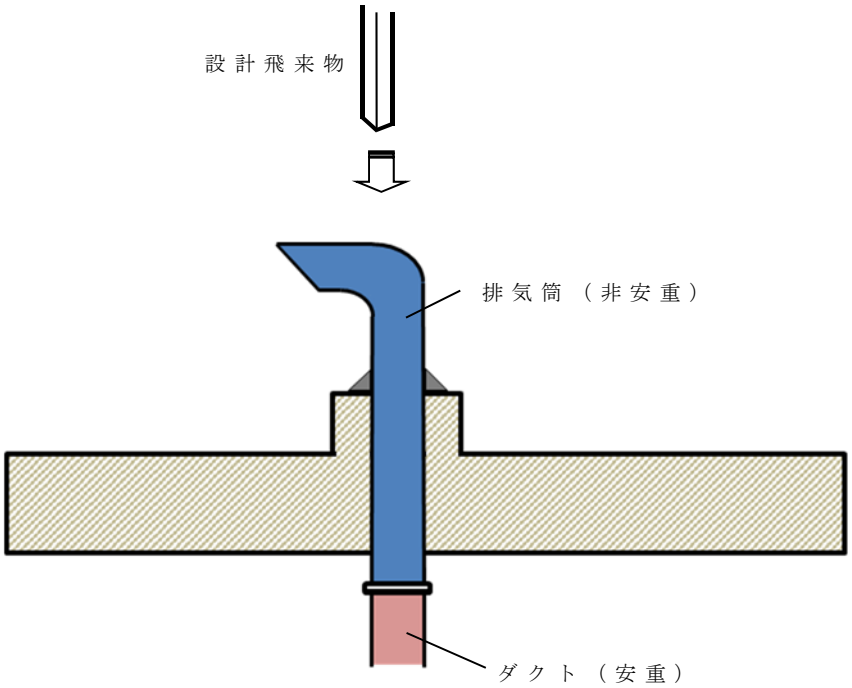
第７－２－１図に非常用発電機の給気系及び排気系に対する竜巻防護設計のイメージを示す。

非常用発電機の給気系については，設計飛来物の侵入に対して建物により迷路構造とすることにより，設計飛来物の侵入を防止する設計とする。

非常用発電機の排気系については，排気系の一部を構成する構築物である非常用発電機の排気筒は十分な板厚を確保することにより，設計飛来物の衝突に対して貫通しない設計とする。また，設計飛来物の侵入によって，閉塞したとしても取り外しが可能な設計とする。



ａ．非常用発電機の給気系



ｂ．非常用発電機の排気系

第７－２－１図　非常用発電機の給気系及び排気系に対する竜巻防護設計のイメージ

以　上

令和２年２月７日　ＲＯ

補足説明資料７－３（９条　竜巻）

外部事象に対する加工運転の停止について

１．ＭＯＸ燃料加工施設の特徴を踏まえた異常時の措置

ＭＯＸ燃料加工施設は，以下に示す特徴を有することから，加工運転を停止することで施設が安定な状態となる。

(1) ＭＯＸ燃料加工施設で取扱うＭＯＸは化学的に安定な酸化物であり，焼結処理，焙焼処理及び一部の分析作業を除いて過渡的変化を伴う化学プロセスはない。

(2) ＭＯＸ燃料加工工程は，単位操作毎に処理（バッチ処理）するため，各処理は独立しており，異常が発生したとしても，事象の範囲は当該処理単位に限定される。

(3) 非密封のＭＯＸは，地下階に気密性の高いグローブボックス等に閉じ込めている。

(4) 設計基準事故の選定事象である露出したＭＯＸ粉末を取り扱うグローブボックス内における火災及び焼結炉等の水素爆発は，加工運転を停止し，動力電源を遮断することにより，それぞれの発生原因であるケーブルの過電流による発火及び焼結炉の異常な温度上昇を防止することができる。

また，通常運転時における核燃料物質の閉じ込めについては，燃料加工建屋，工程室，グローブボックスの順に気圧を低くすることで，放射性物質の漏えいの拡大を防止する設計としているが，大きな事故に進展するおそれのある事象に対しては，送風機及び排風機を停止し，地下階において，気密性の高いグローブボックス等の中にＭＯＸ粉末を静置させることで，建屋外への放射性物質の放出のリスクを低減することができる。

また，事業許可基準規則において，加工施設は制御室等に対し，設計基準事故が発生した場合にＭＯＸ燃料加工施設の安全性を確保するための措置をとるため，従事者が支障なく制御室に入り，又は一定期間とどまり，かつ，当該措置をとるための操作を行うことができるための防護措置は求められていない。

このため，大きな事故に進展するおそれのある外部事象及び居住性に影響を与える恐れのある外部事象が発生した際は，リスク低減の観点から上記の措置を講ずることで，制御室及び中央監視室においてＭＯＸ燃料加工施設の安全機能を維持するために常時監視・操作を必要としない安定な状態に移行し，運転員は退避することが可能となる。

本資料では，加工運転の停止措置及び施設に大きな影響を与える外部事象の特徴について以下のとおり整理した。

２．加工運転の停止の種類について

加工運転の停止の種類については，通常操作による設備停止及び非常停止操作による設備停止がある。また，加工運転の停止の停止範囲として，各制御室における各設備又は各工程単位での停止と中央監視室において行うことができる全工程の一括停止がある。送風機及び排風機の停止については，管理区域の送排風機の停止と非管理区域も含めた送排風機の停止がある。第７－３－１表に工程停止及び送排風機の停止の用語の種類と停止範囲を示す。

第７－３－１表　工程停止及び送排風機の停止の用語の種類と停止範囲について

用語	停止範囲	通常停止操作場所	非常停止操作場所
工程停止	換気設備等のユーティリティの停止を含まない一部の加工工程の停止をいう。 なお，加工工程とは，加工の方法の概要に記載されている燃料製造，スクラップ処理，試験・分析，核燃料物質の貯蔵，その他作業(ただし，廃棄のうち，気体廃棄を除く)を示し，その工程に所属する設備全体を示す。	制御第１室から制御第６室	制御第１室から制御第６室
全工程停止	換気設備等のユーティリティの停止を含まない全ての加工工程の停止をいう。	制御第１室から制御第６室	中央監視室
送排風機の停止	気体廃棄物の廃棄設備の建屋排風機，工程室排風機，グローブボックス排風機，送風機及び窒素循環ファンの手動停止を指す。	中央監視室	中央監視室
全送排風機の停止	気体廃棄物の廃棄設備の建屋排風機，工程室排風機，グローブボックス排風機，送風機及び窒素循環ファン並びに燃料加工建屋の非管理区域の換気・空調を行う設備の手動停止を指す。	中央監視室	中央監視室

３．　外部事象に対する加工運転の停止に係る基本的な考え方

（１）　加工運転の停止によるリスク低減措置

加工施設は，設備・機器に異常が発生した場合には，当該設備・機器及びその異常により影響を受けるおそれのある設備･機器を停止し，異常状態を解消するために必要な措置を講ずる。

外部事象に対して，ＭＯＸ燃料加工施設の安全機能を損なわない設計としているが，事前に事象発生が予測可能な外部事象については，ＭＯＸ燃料加工施設に重大な影響を及ぼすおそれがあると判断した場合，全工程停止等の措置を講ずる。また，換気運転を継続することで設備・機器への影響がある場合又は加工施設の外部で有毒ガスが発生した場合等，運転員に有害な影響を及ぼすおそれがある場合には，全送排風機停止等の措置を講ずる。

（２）　異常事象ごとの対処方針

（１）の考え方に基づいた，異常事象毎の対処方針を第７－３－２表に示す。なお，事象の進展の度合い等状況に応じて，それぞれに必要な措置を講ずるものとする。また，第７－３－1 図に示す通常運転の停止操作と非常時の停止操作に要する時間の目安を踏まえ，時間猶予及び復旧作業時の運転員の安全性を考慮して運転停止の方法を適切に選択する。時間猶予がない場合は，設備停止したうえで事象が収束した後に，状況に応じて核燃料物質を貯蔵設備に貯蔵する等の必要な措置を講ずる。

第７－３－２表　異常事象毎の対処方針

異常事象		運転停止の判断（目安）	時間猶予	対処
予測可能	竜巻	車両の退避・固縛を実施する場合	10 数 min	・竜巻の気圧差による施設への影響を限定するため，全工程停止，送排風機の停止，工程室排風機後の手動ダンパ及びグローブボックス排風機後の手動ダンパの閉止を行う。
	外部火災（森林火災）	施設に火炎が迫ってくる状態	数 h	・森林火災で発生したばい煙・有毒ガスの建屋内への侵入による設備・機器への影響を防止するため全工程停止，全送排風機の停止及び系統上のダンパの閉止を実施する。
	火山（降灰）	降灰予報により敷地への多量の降灰が予測された場合	数 10min	・降下火砕物の建屋内への侵入による設備・機器への影響を防止するため，全工程停止，全送排風機の停止及び系統上のダンパの閉止を実施する。
予測不可能（注1）	地震	中央監視室に表示される加速度計の指示値が，水素・アルゴン混合ガス及び水配管の遮断弁作動の設定加速度以上（耐震Ｃクラスの設備・機器に適用する静的震度（1.2Ci）程度）を確認した場合	—	・施設の安全性を確保するため，全工程停止を行う。
	外部火災（敷地内タンク火災）	敷地内の重油タンクが炎上している場合		・敷地内の重油タンクの火災で発生したばい煙・有毒ガスの建屋内への侵入による設備・機器への影響を低減するため全工程停止，全送排風機の停止及び系統上のダンパの閉止を実施する。
	外部火災（航空機墜落火災）	敷地内に航空機が墜落した場合		・敷地内の航空機墜落火災で発生したばい煙・有毒ガスの建屋内への侵入による設備・機器への影響を低減するため全工程停止，全送排風機の停止及び系統上のダンパの閉止を実施する。
	有毒ガス	有毒ガスの発生等運転員へ影響を及ぼす兆候が見られた場合		・有毒ガスの建屋内への侵入による運転員への影響を低減するため，全工程停止を行い，不要な運転員を退避させる。また，全送排風機停止及び手動ダンパの閉止を行う。

（注1）　異常事象の影響範囲を考慮して通常の設備停止と非常停止を選択する

	状態	安定度	完了までの時間（目安）
非常停止操作	操作直後の状態を維持。 （容器等昇降動作の途中であっても途中の状態で強制停止。）	低	数 sec～数 min
通常停止操作	操作後，搬送等一定の動作を完了して停止。 （容器等昇降動作の途中であれば昇降完了してから停止。）		10 数 min
各工程通常停止操作後に貯蔵（※）	貯蔵施設に安定した状態で貯蔵している状態。	高	数 10min～10 数 h

※バッチ処理完了までの時間猶予がある場合は，処理完了後に停止する。なお，新たな加工運転は行わない。

第７－３－１図　非常停止操作と通常停止操作の完了までに要する時間について

令和２年２月７日　R３

補足説明資料８－１（９条　竜巻）

車両の飛来防止対策について

概要

車両は飛来防止対策を行うことにより，設計飛来物から除外する。車両の飛来防止対策は，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，当該区域内の車両の運用を管理することにより行う。

飛来対策区域は車両の最大飛来距離を 170m，最大飛来距離に安全余裕を考慮した，車両が衝突しないよう離隔対象施設から離す距離（以下，「離隔距離」という。）を 200m，離隔距離をとるべき，車両の衝突を防止する対象として選定する施設（以下，「離隔対象施設」という。）を選定した上で設定する。

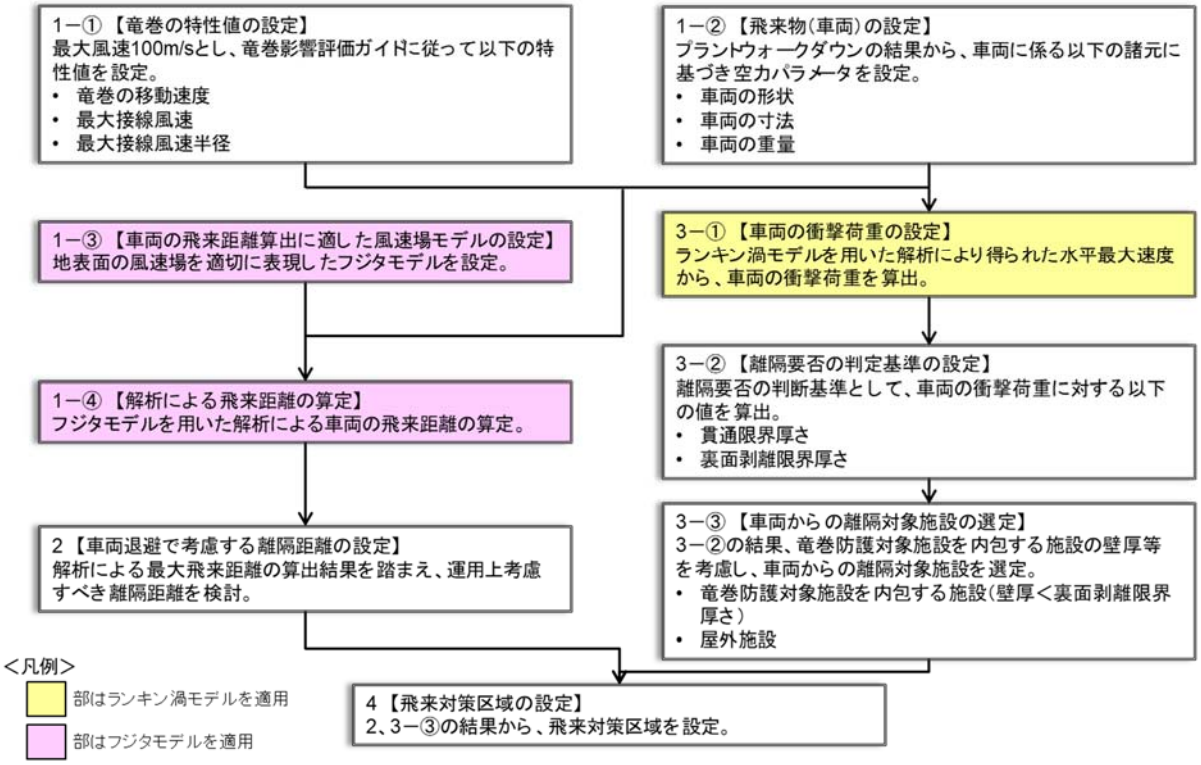
飛来対策区域設定に関する全体フローを第８－１－１図に示す。

車両の飛来距離の算定においては風速場モデルとしてフジタモデルを適用した上で安全余裕を考慮する。

離隔対象施設は，ランキン渦モデルを用いて算出した車両の衝撃荷重に基づき選定する。

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，周辺防護区域内の車両は固縛又は退避の対象とする。

飛来対策区域内の車両は，飛来物とならないように固縛又は周辺防護区域外への退避を実施する事を手順に定める。



第８－１－１図　飛来対策区域設定に関する全体フロー

１．車両の飛来距離

１．１　竜巻の特性値の設定

竜巻影響評価ガイドに基づいて，最大風速V_D＝100m／s の竜巻の特性値を以下のとおり設定する。

なお，これら特性値は，風速場モデルに依存しないため，フジタモデルにも適用することができると考えられる。

(1)　設計竜巻の移動速度（V_T（m／s））

日本の竜巻の観測記録に基づいた竜巻移動速度と最大風速との関係を参考として以下のとおり設定する。

$$V_T = 0.15 \times V_D = 15$$

(2)　最大接線風速（V_{Rm}（m／s））

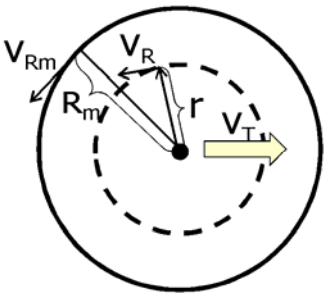
米国ＮＲＣの基準類を参考として以下のとおり設定する。

$$V_{Rm} = V_D - V_T = 85$$

(3)　最大接線風速が生じる位置での半径（R_m（m））

日本における竜巻の観測記録をもとに提案された竜巻モデルに準拠して以下の値を用いる。

$$R_m = 30$$



V_T:竜巻の移動速度
V_R:接線風速、r:竜巻渦中心からの半径
V_{Rm}:最大接線風速、R_m:最大接線風速が生じる位置での半径
$V_R = V_{Rm} \cdot (r/R_m)$（$r \leqq R_m$の範囲）
$V_R = V_{Rm} \cdot (R_m/r)$（$r \geqq R_m$の範囲）

第８－１－２図　竜巻の特性値の設定について[1]

１．２　飛来物（車両）の設定

現地調査にて抽出した車両を対象とし，より飛来しやすい形状である塊状物体の形状係数を用いて空力パラメータを算出する。

第８－１－１表　現地調査で抽出した車両の諸元と空力パラメータ

車両の種類	長さ（m）	幅（m）	高さ（m）	質量（kg）	空力パラメータ C_DA/m（m^2/kg）
大型バス	12	2.5	3.8	12100	0.0047
トラック	8.5	2.2	2.5	3790	0.0080
乗用車　普通	4.4	1.7	1.5	1140	0.0097
乗用車　ワゴン１	4.8	1.8	1.5	1510	0.0082
乗用車　ワゴン２	5.2	1.9	2.3	1890	0.0092
軽自動車１	3.4	1.5	1.6	840	0.0102
軽自動車２	3.4	1.5	1.5	710	0.0116

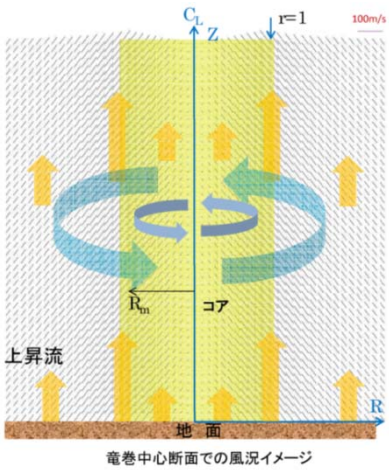
１．３　解析に適した風速場モデルの選定

ランキン渦モデルは，地面からも上昇流が発生するモデルとなっており，実現象と乖離している。また，風速分布は高さに依存せず，竜巻全域に上昇流が存在する。

フジタモデルは，実際に近い竜巻風速場として，地表面で渦の中心に向かう水平方向の流れをモデル化している。また，接線風速は高さ依存性があり，上昇流は外部コアのみに存在する。

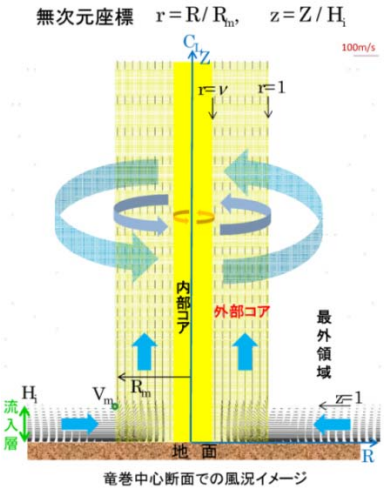
フジタモデルは，ＮＲＣの要請により藤田博士が開発した竜巻風速場の工学モデルである。フジタモデルの詳細な報告は，米国エネルギー省向けにまとめられており，ＮＲＣガイドにも引用されている。ＮＲＣは両モデルを比較し，より単純なランキン渦モデルを選択している。

ＭＯＸ燃料加工施設は平坦な地形に立地しており，かつ敷地内の車両は地表面にあるため，車両の飛来距離算定においてはフジタモデルを適用する。



第８－１－３図

ランキン渦モデル[2]



第８－１－４図

フジタモデル[2]

第８－１－２表　飛来物評価モデルの比較（２）

モデル名	メリット	問題点	評価
ランキン渦モデル	・非常に簡単な式で風速場を記述することができる。 ・NRCガイドで採用されており，利用実績が高い。	・上昇流が全領域に存在し，飛来物が落下しにくい。 ・風速場が高さに依存しないため，地面付近では非現実的な風速場となる。	○
フジタモデル	・観測に基づき考案されたモデルであり，実際の風速場に近い。 ・比較的簡単な代数式で風速場を表現しうる。 ・NRCガイドでもランキン渦モデルと並列に参照されている。	・ランキン渦モデルと比較して，風況をモデル化する上で解析プログラムが複雑。（近年の計算機能力向上と竜巻評価コードの高度化により，問題点は解決された）	◎
非定常乱流渦モデル（LES）	・風速の時間的な変動（乱れ）をある程度模擬している。	・人為的な計算条件を用いるため実際の竜巻を必ずしも再現していない。 ・膨大な計算機資源が必要であり，実務での評価には不向きである。	△

１．４　解析による飛来距離の算定

算定方法の概要及び算定結果を以下に示す。

・フジタモデルに基づいて竜巻を内部コア，外部コア及び最外領域の３つの領域に分割して風速場を設定する。

内部コアは，中心周りの剛体回転運動を考慮し，上昇流はない。外部コアは，剛体回転運動及び上昇流を考慮する。最外領域は，自由渦と地面付近で中心に向かう流れ（流入層）を考慮する。

竜巻の３つの領域に応じて，周方向風速，半径方向風速及び上昇風速を定義し，風速ベクトルを設定する。

車両が空中にあるときは平均抗力と重力，車両が地面付近にあるときには浮き上がり（揚力）を考慮し，物体の運動方程式を定義する。与えられる風速ベクトル及び運動方程式の時間積分より，車両の速度及び位置の時刻歴データを得る。

算定に用いたパラメータ及び車両の飛来距離の算定結果は第８－１－３表のとおりである。

第８－１－３表　算定に用いたパラメータ及び車両の飛来距離の算定結果

解析に用いたパラメータ値

最大風速 V_D(m/s)	100
移動速度 V_T(m/s)	15
最大接線風速 V_{Rm}(m/s)	85
最大接線風速半径 R_m(m)	30
初期設定位置高さ(m)	0

車両の飛来距離、飛来高さの算定結果

車両の種類	最大飛来距離(m)	最大飛来高さ(m)
大型バス	130	7.5
トラック	160	11
乗用車　普通	150	6.0
乗用車　ワゴン１	90	4.5
乗用車　ワゴン２	170	12
軽自動車１	160	7.0
軽自動車２	170	8.5

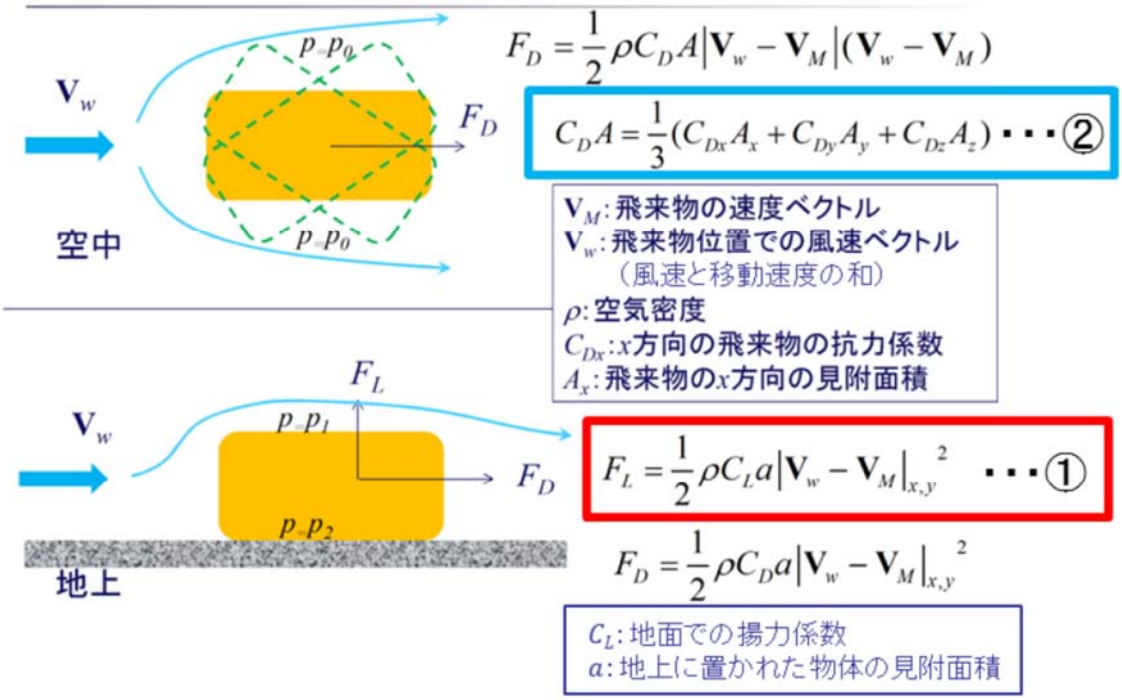
１．４．１　物体の浮き上がりにおける保守性の考慮

浮上・飛来解析における物体の浮き上がりの判定においては，以下に示すような保守性を考慮している。

式①のとおり地表面においては揚力を考慮するが，解析においてはＣ$_L$ａの代わりに，式②の抗力係数と見附面積の積の平均値Ｃ$_D$Ａを用いる。

$$F_L = \frac{1}{2}\rho C_D A|\boldsymbol{V}_w - \boldsymbol{V}_M|_{x,y}^2 \quad ・・・③$$

風洞実験で得られた車両のＣ$_L$ａの最大値と式②で計算されるＣ$_D$Ａの下限値を比較した結果によると，$C_D A > C_L a$　の関係が成立するため，解析においてＣ$_L$ａの代わりにＣ$_D$Ａを用いる方が保守的である。



第８－１－５図　飛来物に作用する流体力[3]

第８－１－４表　$C_L a$ と $C_D A$ の比較

物体	円柱 ϕ: d	自動車 (1974 Dodge Dart)	自動車 (セダン)	自動車 (ミニバン)
文献	(29)	(29)	(10)	(10)
$C_L a$	**$2.8d^2$**	48.7 ft.^{2}	9.5m^2 *	9.7m^2 *
$C_D A$	**$7.1d^2$**	129 ft.^{2}	12.0m^2	14.4m^2

*4輪のうち，少なくとも1つのタイヤ反力がゼロとなる風速から逆算したもの

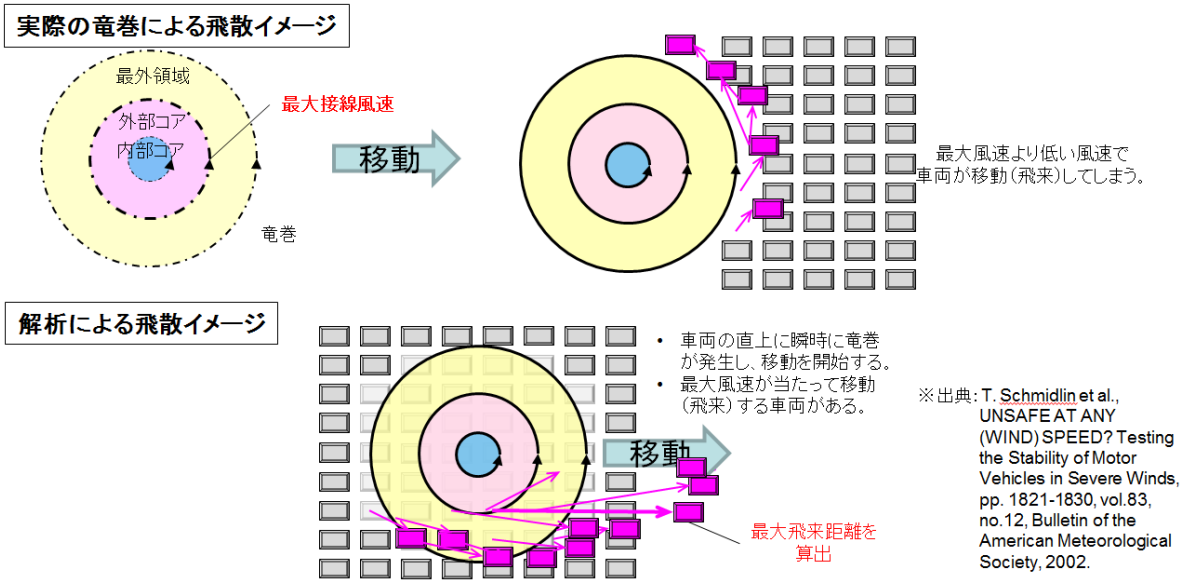
出典：
文献(29)Wind Field and Trajectory Models for Tornado Propelled Objects, EPRI NP-748, 1978.
文献(10) T. Schmidlin *et al.*, Unsafe at Any (Wind) Speed? Testing the Stability of Motor Vehicles in Severe Winds, pp.1821-1830, vol.83, no.12, Bulletin of the American Meteorological Society, 2002.

１．４．２　飛来に至る過程における保守性の考慮

浮上・飛来解析による飛来距離算定では，以下のとおり保守的な評価結果が得られるような内容となっている。

実際の竜巻は，遠方から車両に近づくため，最大風速より低い風速（風洞実験の結果，浮上する限界風速は自動車のうちセダンで 51m／s，ミニバンで 65m／s[4]）で竜巻の外周部の低風速領域に移動する（第８－１－６図の上図参照）。

解析においては，車両が最大風速を受けるように，51×51 台の車両の直上に竜巻を発生させ（第８－１－６図の下図参照），移動又は飛来した車両の中から最も飛来距離が大きいものを最大飛来距離として算出している。



第８－１－６図　実際の竜巻による飛散と解析による飛散のイメージ

２．　車両退避で考慮する離隔距離の設定

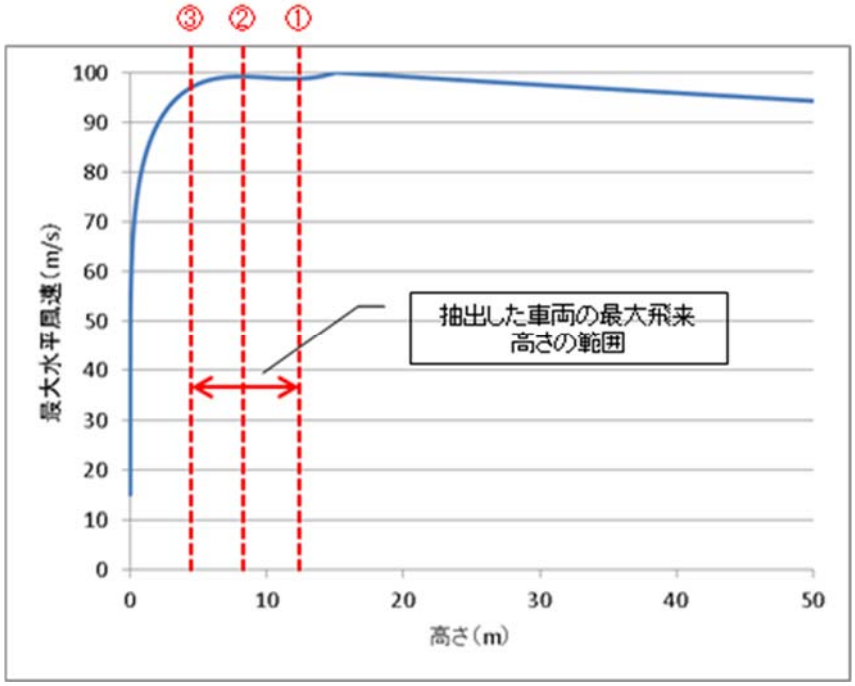
最大飛来距離の算定の結果（第８－１－５表参照），最大値を与えた「乗用車　ワゴン２」及び「軽自動車２」について，運用上考慮すべき離隔距離の設定について検討した。

フジタモデルの最大水平風速の分布によると，現地調査により敷地内をふかんした調査において抽出した車両の最大飛来高さ 4.5m～12mの場合における風速は，最大風速 100m／ｓと比較して１～５％程度低く，最大風速の 0.95～0.99 倍となる（第８－１－７図参照）。

運動エネルギーは速度の二乗に比例することから，保守性を考慮して，高さ 4.5～12mにおける風速と最大風速の差の二乗分（$0.95^2 \fallingdotseq 0.90$）の逆数を最大飛来距離 170mに乗じ，結果として，運用上考慮すべき車両の離隔距離を 200mとする。

第８－１－５表　最も大きい最大飛来距離を与える車両及び最も低い最大飛来高さを与える車両の算定結果

	①乗用車 ワゴン２	②軽自動車２	③乗用車 ワゴン１
最大飛来距離（ｍ）	170	170	90
最大飛来高さ（ｍ）	12	8.5	4.5



第８－１－７図　水平最大風速の分布

（フジタモデル，100ｍ／ｓ）

１～２の各段階において，考慮している保守的な条件を第８－１－６表に示す。

第８－１－６表　離隔距離設定に至る各段階で考慮した保守的条件

段階	保守的条件の考慮	設定内容
１．１ 竜巻の特性値の設定	－	日本の竜巻の観測記録等を参考としたガイドの考え方に基づいて設定（最大風速 100m／s）。
１．２ 飛来物（車両）の設定	○※	より飛来しやすい形状である塊状物体の形状係数を用いて空力パラメータを算出
１．３ 解析に適した風速場モデルの選定	－	フジタモデルを設定。
１．４ 解析による飛来距離の算定	○※	・物体に働く揚力において$C_L a$の代わりに$C_D A$を用いる（$C_L a < C_D A$）（浮き上がりやすい条件を設定）。 ・51×51 台の車両のうち，飛来距離が最大となるものを算出（解析コードの保守性）。
２． 車両退避で考慮する離隔距離の設定	○	鉛直方向の風速分布を参考に，１．４の算定結果に対して裕度を考慮。

※　当該部分の保守的条件は，ランキン渦モデルを用いる場合も同様に設定される。

３．離隔距離

３．１　車両の衝撃荷重の設定及び離隔要否の判定基準の設定

車両が竜巻により飛来し，衝突した時の貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さを算出し，竜巻防護対象施設を設置する施設のうち壁厚がこれらを下回るものを車両からの離隔対象施設とする。

車両の最大水平速度はランキン渦モデルにより算出する。

(1)　貫通限界厚さ

飛来物による鉄筋コンクリートの貫通限界厚さ（ｅ）は下式により求める。

$$\mathrm{e} = \alpha_e e' \times 2.54$$

ただし，$1.52 \leq X/d \leq 13.42$ の場合，

$$\frac{e'}{d} = 0.69 + 1.29\left(\frac{X}{d}\right)$$

$1.52 \geq X/d$ の場合，

$$\frac{e'}{d} = 2.2\left(\frac{X}{d}\right) - 0.3\left(\frac{X}{d}\right)^2$$

貫入深さ（Ｘ）は，$X/d \leq 2.0$の場合

$$\frac{X}{d} = 2\left\{\left(\frac{180}{\sqrt{f_c{}'}}\right)Nd^{0.2}D\left(\frac{V}{1000}\right)^{1.8}\right\}^{0.5}$$

$X/d \geq 2.0$ の場合

$$\frac{X}{d} = \left(\frac{180}{\sqrt{f_c{}'}}\right)Nd^{0.2}D\left(\frac{V}{1000}\right)^{1.8} + 1$$

である。ここで，

ｅ　　：貫通限界厚さ（ｃｍ）

e’　　：Degen式による貫通限界厚さ（in）

X　　：貫入深さ（in）

d　　：飛来物有効直径（in）

fc’　：コンクリート圧縮強度（設計基準強度を用いる，lbf／in^2）

D　　：W／d^3（lbf／in^3）

W　　：飛来物重量（lbf）

V　　：衝突速度（ft／s）

N　　：飛来物先端形状係数（0.72）

α_e　：飛来物係数（1.0）

である。

(2)　裏面剥離限界厚さ

飛来物による裏面剥離限界厚さ（s）は下式により求める。

$$s = 1.84\alpha_s\left(\frac{V_o}{V}\right)^{0.13}\frac{(MV^2)^{0.4}}{(d^{0.2}f_c{}'^{0.4})}30.48$$

ここで，

s　　：裏面剥離限界厚さ（cm）

V_0　：飛来物基準速度（200ft／s）

V　　：衝突速度（ft／s）

M　　：飛来物質量（lb）

d　　：飛来物有効直径（ft）

fc’　：コンクリート圧縮強度（設計基準強度を用いる，lbf／ft^2）

α_s　：飛来物係数（1.0）

である。

現地調査で抽出した各車両の貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さを第８－１－７表に示す。

第８－１－７表　車両による貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さ算出結果

飛来物	貫通限界厚さ（cm）	裏面剥離限界厚さ（cm）
大型バス	65	145
トラック	46	105
乗用車　普通	30	70
乗用車　ワゴン１	33	75
乗用車　ワゴン２	35	80
軽自動車１	27	65
軽自動車２	26	60

３．２　車両からの離隔対象施設の選定

大型バスは，裏面剥離限界厚さ 145ｃｍが竜巻防護対象施設を内包する施設の壁厚より大きいため，飛来対策区域には駐車しない運用とする。なお，大型バスは構内を巡回しており，速やかに退避行動に移ることができる。

大型バス以外の車両は，裏面剥離限界厚さが最大 105ｃｍであるため，竜巻防護対象施設を設置する施設のうち壁厚が 105ｃｍを下回る建屋を車両からの離隔対象施設とする。なお，ＭＯＸ燃料加工施設における竜巻防護対象施設を設置する施設として燃料加工建屋があるが，当該建屋の壁厚は 120cm 以上であるため，離隔対象施設には該当しない。

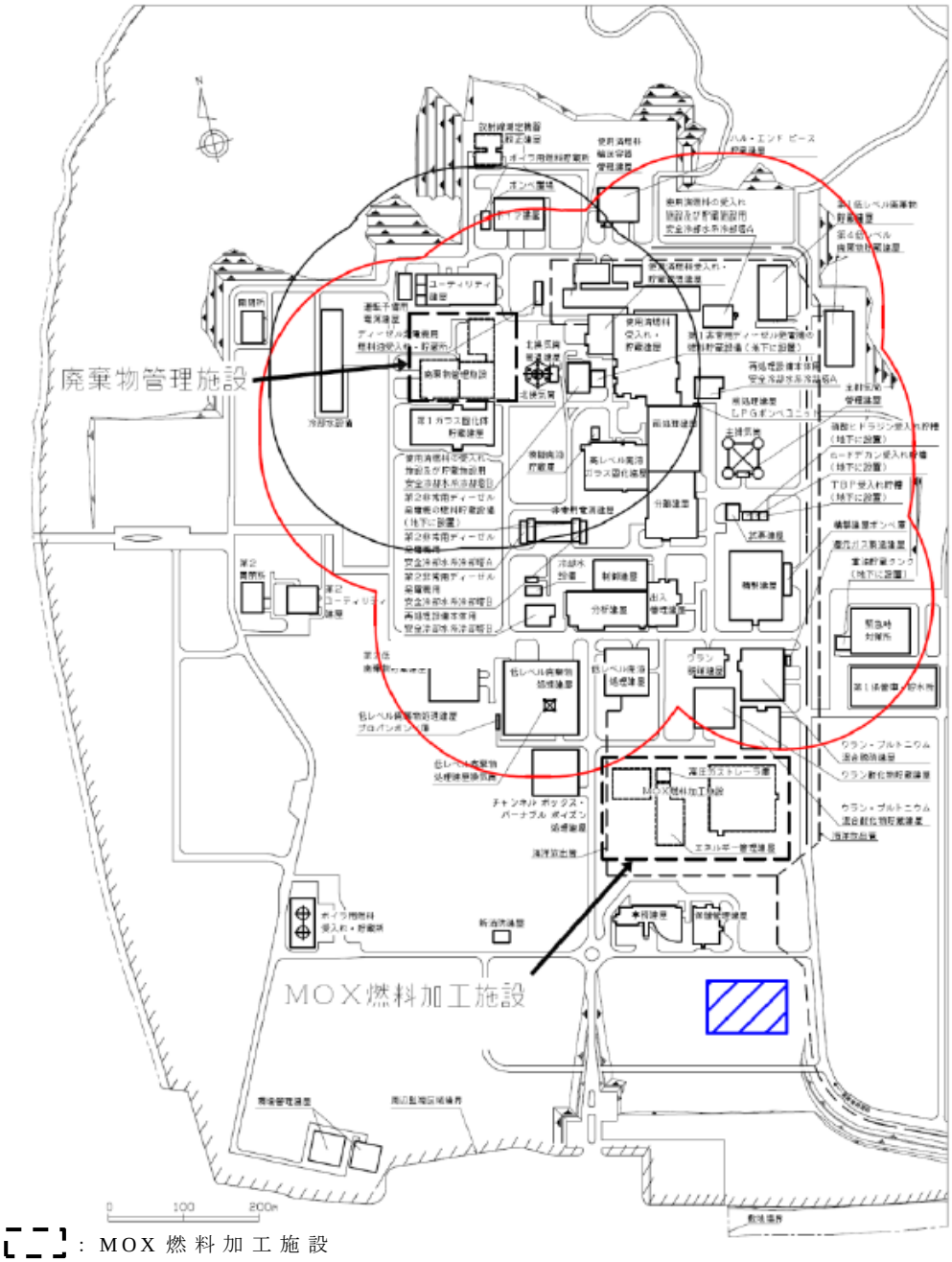
第８－１－８表　車両からの離隔対象施設の選定結果

竜巻防護対象施設を設置する施設	外壁の厚さ(cm)
燃料加工建屋	120 以上

なお，ＭＯＸ燃料加工施設と同じ再処理事業所に位置する再処理施設及び廃棄物管理施設では，第１ガラス固化貯蔵建屋，非常用電源建屋及び主排気筒管理建屋等を車両からの離隔対象施設として選定している。

したがって，ＭＯＸ燃料加工施設では，同じ事業所に位置する再処理施設及び廃棄物管理施設が離隔対象施設の選定の結果設定する飛来対策区域に基づく車両の管理等を行う。

再処理施設及び廃棄物管理施設における飛来対策区域を第８－１－８図に示す。



：MOX燃料加工施設

：車両の退避場所

再処理事業における「飛来対策区域」（赤線の内側）
および廃棄物管理事業における「飛来対策区域」（黒線の内側）

第８－１－８図　再処理事業及び廃棄物事業における飛来対策区域

４．車両の管理

４．１　敷地内の車両の管理について

竜巻への対応を円滑に行うため，「通常」，「竜巻警戒」及び「竜巻避難」の３段階に分けて対応を行う。

飛来対策区域における車両の運用は以下のとおりとする。

(1)駐車する場合は，予め竜巻により飛散しないよう固縛する。ただし，速やかに車両の移動が可能な場合を除く。

(2)竜巻避難の発表により，飛来対策区域内を走行または停車している車両の運転手は，速やかに退避または固縛を行い，近くの建物に退避する。

(3)周辺防護区域内への車両の入構に係る審査時には，車両の飛来距離の評価を行い，飛来距離が 170m 以下と評価される車両にのみ入構を許可する。

(4)入構を許可された車両の運転手には，車両の退避，固縛等に係る事項を周知する。また，既に許可を与えられた車両の運転手にも同様の内容を周知する。

４．２　車両の飛来防止対策の概略イメージ

車両の飛来防止対策は，十分な強度を有する固縛装置で拘束する方法により実施する。

固縛装置による飛来防止は，車両が浮上するのを防止できる設計とする。

第８－１－９図　飛来防止対策イメージ

５．参考文献

(1)「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」

(2)原子力発電所の竜巻影響評価について，－設計風速および飛来物速度の評価－　改定４，2014年9月9日　日本保全学会　原子力規制関連事項検討会

(3)原子力発電所の竜巻影響評価　平成26年12月12日(一社)日本溶接協会　原子力プラント機器の健全性評価に関する講習会

(4)T. Schmidlin et al., UNSAFE AT ANY (WIND) SPEED? Testing the Stability of Motor Vehicles in Severe Winds, pp. 1821-1830, vol.83, no.12, Bulletin of the American Meteorological Society, 2002.

以　上

令和２年２月７日　R2

補足説明資料８－４（９条　竜巻）

ＭＯＸ燃料加工施設

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）

ＭＯＸ燃料加工施設は，現在建設中であるが，同じ再処理事業所内に位置する再処理施設の運用，手順に従い定めることとする。

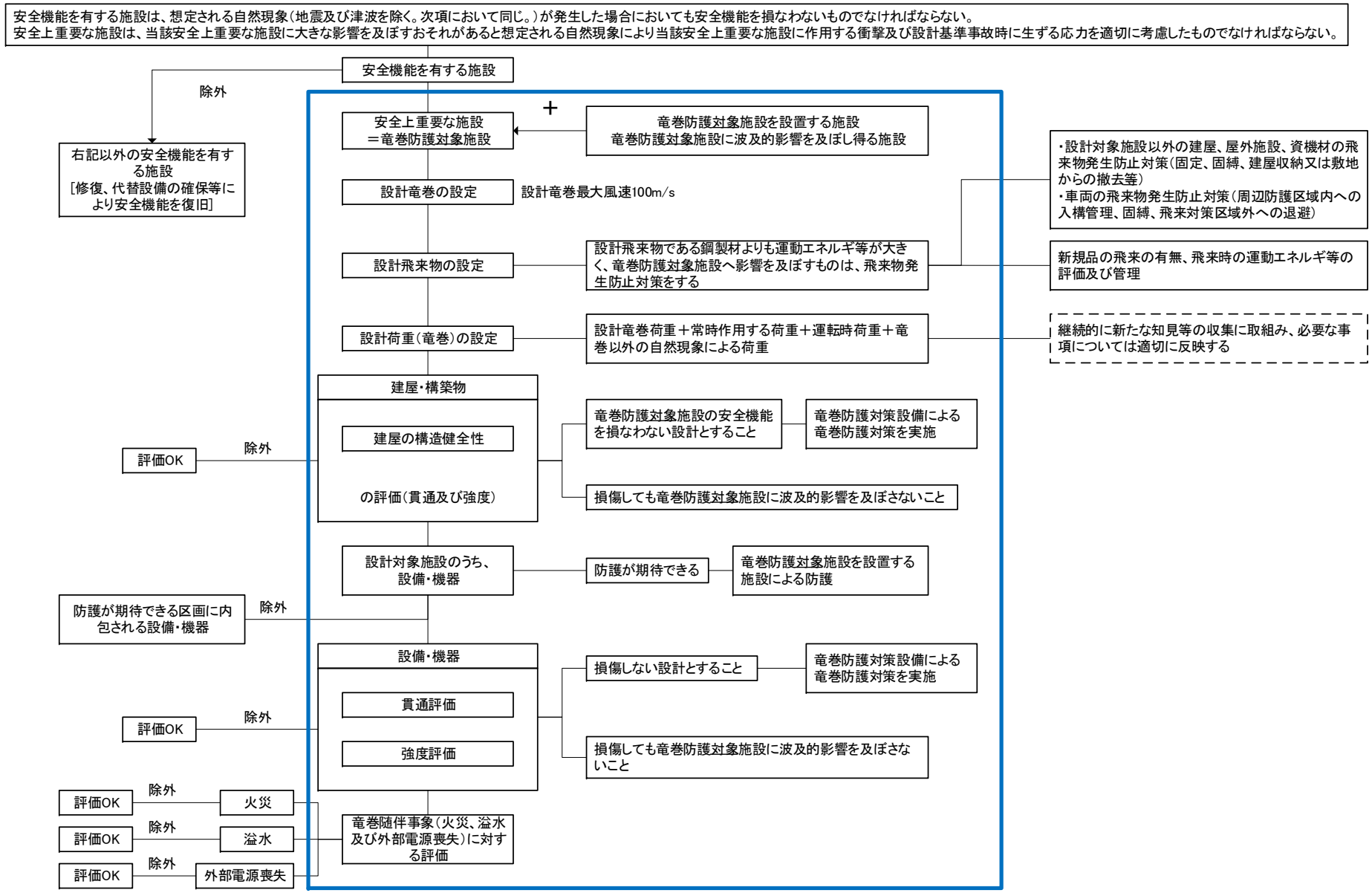
（第九条　竜巻）

安全機能を有する施設は，想定される自然現象（地震，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。

安全機能を有する施設は，想定される自然現象（地震，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。

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。


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。
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。
安全機能を有する施設
除外
右記以外の安全機能を有する施設
[修復、代替設備の確保等により安全機能を復旧]
＋
安全上重要な施設
＝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
設計竜巻の設定
設計竜巻最大風速100m/s
・設計対象施設以外の建屋、屋外施設、資機材の飛来物発生防止対策（固定、固縛、建屋収納又は敷地からの撤去等）
・車両の飛来物発生防止対策（周辺防護区域内への入構管理、固縛、飛来対策区域外への退避）
設計飛来物の設定
設計飛来物である鋼製材よりも運動エネルギ等が大きく、竜巻防護対象施設へ影響を及ぼすものは、飛来物発生防止対策をする
新規品の飛来の有無、飛来時の運動エネルギ等の評価及び管理
設計荷重（竜巻）の設定
設計竜巻荷重＋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
継続的に新たな知見等の収集に取組み、必要な事項については適切に反映する
建屋・構築物
建屋の構造健全性
の評価（貫通及び強度）
評価OK
除外
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と
竜巻防護対策設備による竜巻防護対策を実施
損傷しても竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼさないこと
設計対象施設のうち、設備・機器
防護が期待できる
竜巻防護対象施設を設置する施設による防護
防護が期待できる区画に内包される設備・機器
除外
設備・機器
貫通評価
強度評価
評価OK
除外
損傷しない設計とすること
竜巻防護対策設備による竜巻防護対策を実施
損傷しても竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼさないこと
評価OK
除外
火災
評価OK
除外
溢水
評価OK
除外
外部電源喪失
竜巻随伴事象（火災、溢水及び外部電源喪失）に対する評価

加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則	対象項目	区分	運用対策等
第９条　外部からの衝撃による損傷の防止	資機材，車両等の飛来物発生防止対策（固縛，固定，設計対処施設からの隔離，建屋内収納又は撤去等）	運用・手順	・屋外の飛散するおそれのある資機材，車両等について，飛来時の運動エネルギ等を評価し，設計対処施設への影響の有無を確認する。設計対処施設へ影響を及ぼす資機材，車両等については，固縛，固定，設計対処施設からの隔離，建屋内収納又は撤去の飛来物発生防止対策について手順等を定める。 ・エネルギー管理建屋については，その破損により発生する飛来物の影響により周辺の設計対処施設に影響を及ぼさないよう飛来物発生防止対策を実施する。
		体制	・担当課による保守・点検の体制
		保守・点検	・日常点検 ・定期点検 ・損傷時の修復
		教育・訓練	・運用・手順，保守・点検に関する教育

加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則	対象項目	区分	運用対策等
第９条　外部からの衝撃による損傷の防止	設計対処施設を防護するための操作・確認事項	運用・手順	・竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後において，設計対処施設を防護するための操作・確認，修復等が必要となる事項について手順等を定める。 ［操作・確認事項］ ・竜巻に関する情報入手及び情報入手後の対応 （情報の入手，周知，体制判断，実施方法と手順） ・竜巻襲来が予想される場合の対応に関する運用・手順 （竜巻襲来が予想される場合の使用中の資機材の固縛等） ・竜巻襲来が予想される場合の加工施設の運用・手順 ［修復］ ・設備が損傷した場合の代替設備の確保及び修復，取替等の運用，手順
		体制	・担当課による作業中止等の実施体制 ・竜巻襲来に備えた体制の構築，実施及び解除の判断基準，実施手順，連絡方法等 ・担当課による保守・点検の体制 ・担当課による損傷箇所の修復体制
		保守・点検	・日常点検 ・定期点検 ・損傷時の修復
		教育・訓練	・運用・手順，体制，保守・点検に関する教育