

【公開版】

提出年月日	令和2年9月18日	R17
日本原燃株式会社		

M O X 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 屋外の竜巻防護対象施設
- 7. 2 竜巻防護対象施設を収納する建屋
- 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 建屋に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設
- 7. 5 竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設
- 7. 6 竜巻随伴事象に対する設計

## 8. 手順等

### 2章 補足説明資料

事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表

## 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9. 1表（竜巻））

第9. 1表（竜巻） 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
<p>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。</p> <p>（解釈）</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>指針1. 基本的条件</p> <p>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。</p> <p>1. 自然環境</p> <p>(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</p> <p>(2)地盤、地耐力、断層等の地質及び地形等</p> <p>(3)風向、風速、降雨量等の気象</p> <p>(4)河川、地下水等の水象及び水理</p>	<p>追加要求事項</p>

第9. 1表 (竜巻) 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
	<p>指針14. 地震以外の自然現象に対する考慮</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>前記のとおり</p>

第9. 1表 (竜巻) 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
<p>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。</p> <p>(解釈)</p> <p>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。</p> <p>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变化を考慮して適切に組み合わせた場合をいう。</p>	<p>指針14. 地震以外の自然現象に対する考慮</p> <p>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、豪雪のうち予想されるものを設計基礎とすること。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>追加要求事項</p>



第9. 1表 (竜巻) 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
<p>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。</p> <p>(解釈)</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>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。</p> <p>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</p> <p>(解説) 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。</p>	<p>追加要求事項</p>

第9. 1表 (竜巻) 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
<p>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。</p>		<p>前記のとおり</p>

## 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、敷地内又はその周辺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、敷地内又はその周辺で想定される自然現象のうち、洪水及び地滑り並びに津波については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

上記に加え、安全上重要な施設は、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变化を考慮して適切に組み合わせた条件においても、安全機能を損なわない設計とする。

また、安全機能を有する施設は、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、敷地内又はその周辺の状況を基に想定される人為事象のうち、ダム崩壊及び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の組合せについては、地震、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、火山の影響、生物学的事象、森林火災等を考慮する。これらの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に対しては、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める。また、人為事象に対しては、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める。

## （２）外部からの衝撃による損傷に対する設計方針

安全機能を有する施設は、想定される自然現象又は人為事象の影響を受ける場合においても安全機能を損なわない方針とする。

MOX燃料加工施設における重要な安全機能は、臨界防止及び閉じ込めの安全機能である。これらの機能が損なわれることで、公衆に対し過度の放射線被ばくを及ぼさないよう、想定される自然現象又は人為事象により、安全機能を損なわない設計とする。

外部からの衝撃による損傷に対する設計方針を以下に示す。

- ・臨界防止及び閉じ込めの安全機能を有する安全上重要な施設は全て燃料加工建屋に収納する設計とし、想定される自然現象又は人為事象に対しては、燃料加工建屋で防護する設計とする。
- ・建屋による防護ができない外気を取り入れる給気系及び排気系については、想定される自然現象又は人為事象に対して防護する設計とする。
- ・自然現象又は人為事象により発生する外部電源喪失に対して、火

災・爆発による閉じ込め機能の不全を防止するために必要な機能を維持する設計とする。

また、想定される自然現象又は人為事象の発生により、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は、工程停止、送排風機の停止等、MOX燃料加工施設への影響を軽減するための措置を講ずるよう手順を整備する。

### (3) 竜巻

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

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

安全機能を有する施設の安全機能を損なわないようにするため、安全機能を有する施設に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策として、飛来物となる可能性のあるもののうち、運動エネルギ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。飛来物となり得る資機材及び車両のうち、衝突時に与える運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物によるものより大きくなるものについては、固定、固縛、建屋収納、退避又は撤去を実施する。

また、再処理事業所外から飛来するおそれがあり、かつ、再処理事業所内からの飛来物による衝撃荷重を上回ると想定されるものがある場合は、設計飛来物としての考慮の可否を検討する。

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

### 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つて人為によるもの（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

日本で過去（1961年～2013年12月）に発生した最大の竜巻から、設計竜巻の最大風速は92m/sとなるが、竜巻に対する設計に当たっては、蓄積されている知見の少なさといった不確定要素を考慮し、将来の竜巻発生に関する不確実性を踏まえ、基準竜巻の最大風速を安全側

に切り上げて、設計竜巻の最大風速を100m/sとし、安全機能を有する施設の安全機能を損なわないよう、飛来物の発生防止対策及び竜巻防護対策を行う。

a. 飛来物の発生防止対策

竜巻により再処理事業所内の資機材が飛来物となり、安全機能を有する施設の安全機能を損なわないよう、以下の対策を行う。

- (a) 飛来物となる可能性のあるものを固定、固縛、建屋収納又は敷地から撤去する。
- (b) 車両の周辺防護区域内への入構の管理、竜巻の襲来が予想される場合の車両の固縛又は飛来対策区域外の退避場所への退避を行う。

b. 竜巻防護対策

安全機能を有する施設は、設計荷重（竜巻）に対して安全機能を損なわない設計とすること、若しくは竜巻による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間で修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。安全上重要な施設は、設計荷重（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、建物の外壁及び屋根により建物全体で適切に防護することにより安全機能を損なわない設計とすることを基本とする。

竜巻の発生に伴い、降雹が考えられるが、降雹による影響は竜巻防護設計にて想定している設計飛来物の影響に包絡される。また、冬季における竜巻の発生を想定し、積雪による荷重を適切に考慮する。



## 2. 竜巻影響評価の基本方針

原子力規制委員会の定める事業許可基準規則の第九条では、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、MOX燃料加工施設の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、安全上重要な機能を有する構築物及び設備・機器を抽出する。竜巻防護対象施設及びそれらを収納する建屋(以下「竜巻防護対象施設等」という。)は、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、その施設の倒壊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おそれがある施設及び竜巻防護対象施設を収納する建屋は、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収納する建屋及びその施設の倒壊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おそれがある施設を併せて、設計対処施設という。

上記に含まれない安全機能を有する施設は、竜巻及びその随伴事象に対して機能を維持すること若しくは竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

【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。

これらの施設を第9. 1図（竜巻）から第9. 3図（竜巻）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とともに竜巻防護対象施設を収納する建屋を設計対処施設として選定する。また、建屋に収納される竜巻防護対象施設のうち第9. 4図（竜巻）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しない建屋に収納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9. 5図（竜巻）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、建屋に収納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. 建屋に収納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. 屋外の竜巻防護対象施設
- c. 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設
- d. 建屋に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設

なお、屋外の竜巻防護対象施設に該当する施設はない。

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対し、倒壊による機械的影響を及ぼし得る施設及び付属施設の破損等による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、竜巻防護対象施設等との距離を考慮して、破損又は倒壊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、気圧差及び飛来物の衝突による破損等により竜巻防護対象施設の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。

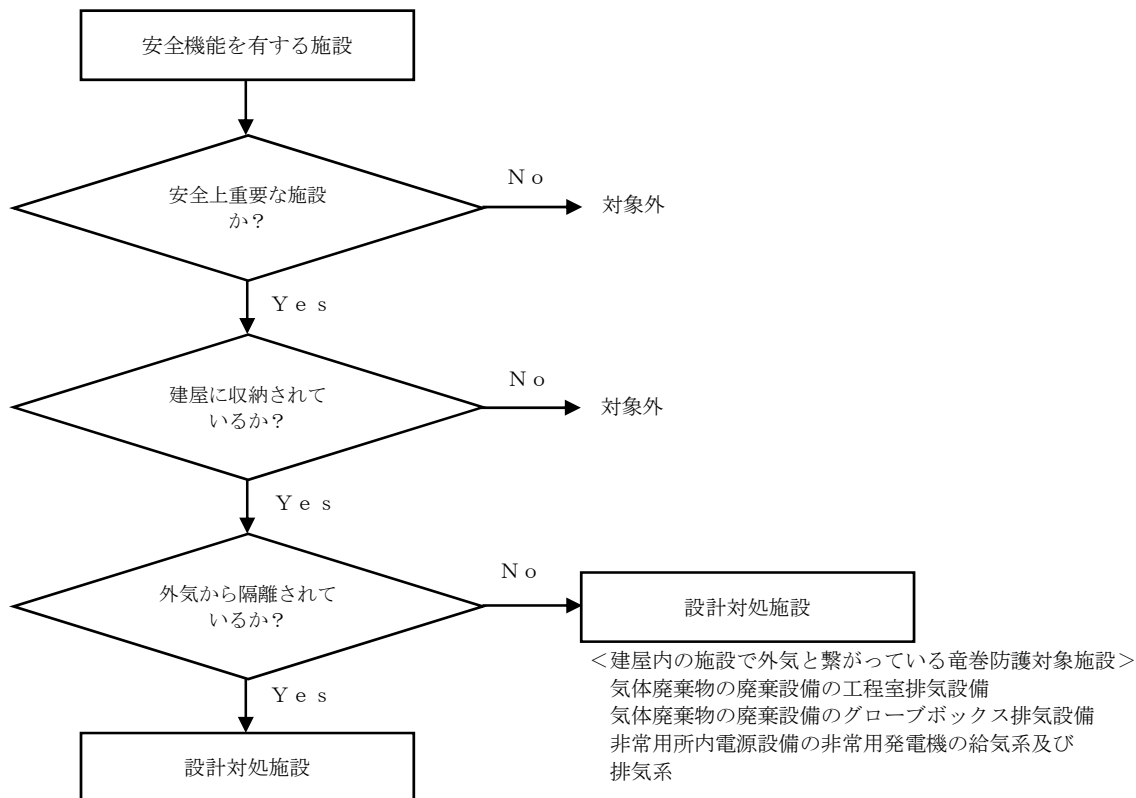
- ・ 竜巻防護対象施設を収納する建屋
- ・ 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設
- ・ 建屋に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設
- ・ 竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設

設計対処施設を以下のとおり，分類ごとに選定する。

- a. 竜巻防護対象施設を収納する建屋
  - (a) 燃料加工建屋
  
- b. 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
  
- c. 建屋に収納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
  
- d. 竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設
  - (a) 気体廃棄物の廃棄設備の排気筒

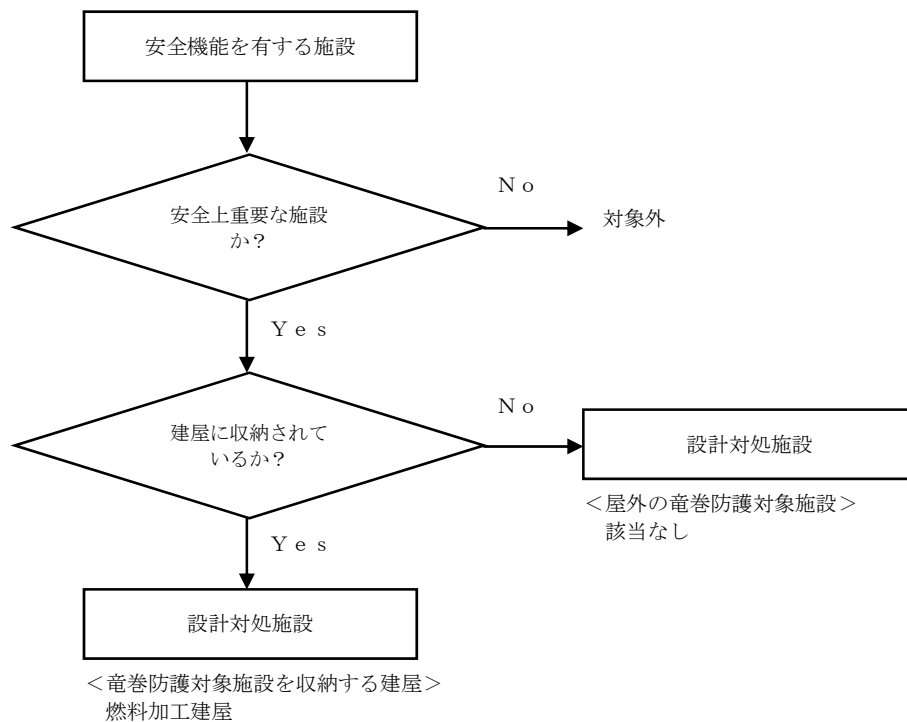
【補足説明資料 3-1～3-4】





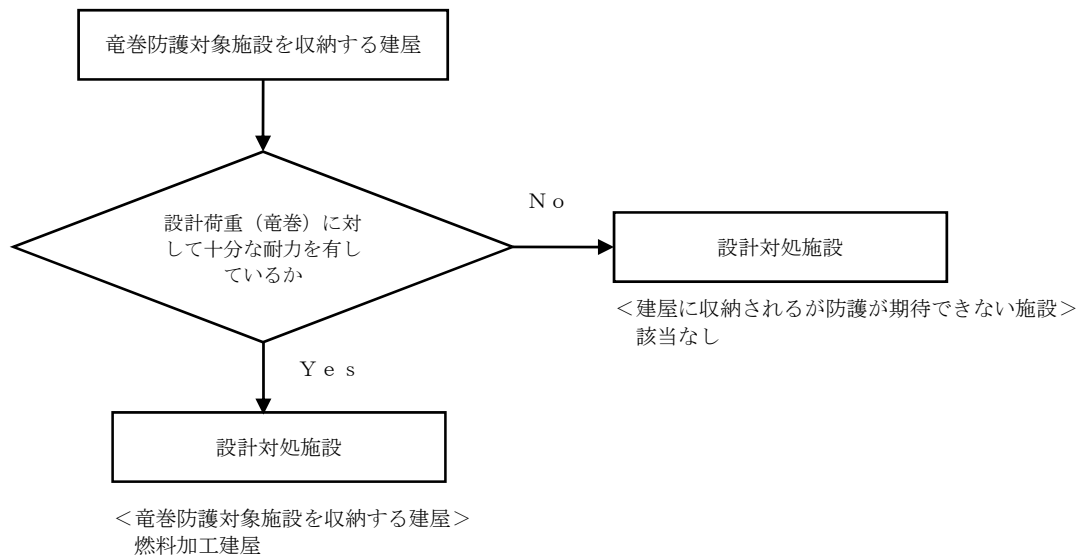
＜竜巻防護対象施設を収納する建屋＞  
 燃料加工建屋

第9. 2図（竜巻） 気圧差に対する設計対処施設の選定フロー

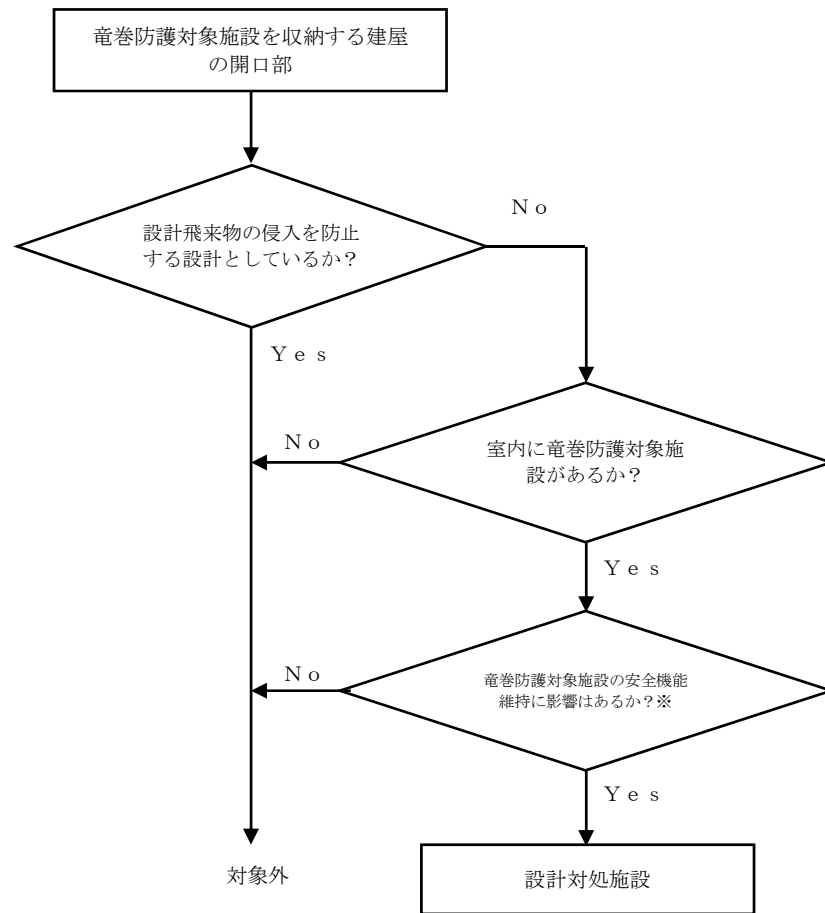


第9. 3図 (竜巻) 飛来物に対する設計対処施設の選定フロー





第9.4図（竜巻） 建屋の耐力に関する設計対処施設の選定フロー



<建屋に収納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9.5図 (竜巻) 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、気象条件の類似性の観点から検討し設定する。

###### (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第9. 6図（竜巻）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型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

第9. 7図（竜巻）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

第9. 8図（竜巻）に、その第9. 2表（竜巻）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<sup>2</sup>）。第9. 9図（竜巻）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<sup>2</sup>（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第9.10図（竜巻）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、竜巻発生環境場との関連付けで、国内外で広く利用され知見が蓄積されている。CAPEの概念を第9.11図（竜巻）に、SReHの概念を第9.12図（竜巻）に示す。

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

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

ここで、(a)式の $g$ は重力加速度、 $\theta$ はストーム周囲の温位、 $\theta'$ 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。(b)式の $\mathbf{V}$ は水平風速ベクトル、 $\boldsymbol{\omega}$ は鉛直シアに伴う水平渦度、 $\mathbf{C}$ 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月から10月)及び寒候期(11月から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月から10月)]

CAPE : 1200 J/kg, SR e H : 350m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>

[寒候期(11月から4月)]

CAPE : 500 J/kg, SR e H : 350m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>

暖候期及び寒候期に対する同時超過頻度分布の算出結果を第9.13図(竜巻)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な値となっている。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、大きい方の風速を設定する。

##### (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 (第9. 14図 (竜巻)) 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、被害があつて初めてその藤田スケールが推定されるため、陸上での藤田スケール不明の竜巻は、被害が少ない藤田スケール0竜巻とみなす。

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

以上を踏まえて、第9.4表(竜巻)のとおり、観測データから53年間の推定データを評価する。

竜巻は気象事象の中でも極めて稀に発生する事象であり、発生数の変動(標準偏差)が大きい分布となり、東京工芸大学委託成果にポリヤ分布への適合性が良いことが示されている。以上より、ハザード曲線の評価に当たって使用する竜巻の年発生数の確率分布は、第9.15図(竜巻)に示すとおりポリヤ分布を採用する。

#### b. 竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率密度分布並びに相関係数

竜巻検討地域における53年間の竜巻の発生数、被害幅及び被害長さを基に、確率密度分布については竜巻ガイド及び竜巻ガイドが参考としている東京工芸大学委託成果を参考に、第9.16図(竜巻)から第9.18

図（竜巻）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い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  
の際には、被害幅又は被害長さが長いほうから優先的に用いることで、被  
害幅又は被害長さの平均値が大きくなるように評価を行う。

さらに、1961年以降の観測データのみを用いて、第9. 5表（竜巻）  
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、第9. 19図（竜巻）に示すとおり設  
計対処施設を包含する円を設置面積とみなし、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（a）式で示される（Wen and Chu）。

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

ここで、Nは竜巻の年発生数、 $v$ は竜巻の年平均発生数、Tは年数で  
ある。 $\beta$ は分布パラメータであり、（b）式で示される。

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

ここで、 $\sigma$ 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(c)式で示される。

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

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 $1.8 \times 10^4 \text{km}^2$ ）、1つの竜巻の風速が $V_0$ 以上となる面積を $DA(V_0)$ とすると(d)式で示される。

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

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

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

ここで、 $H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ はそれぞれ、竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面に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、 $H(\alpha)$ 、 $G(\alpha)$ 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 $1.3 \times 10^4 \text{m}^2$ ）を表す。竜巻影響エリアの直径を $D_0$ とした場合の計算式は（f）式で示される。

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

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、（g）式で示される。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.）。

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

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 (g) 式を適用できる。なお、(g) 式において係数を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、`g a l e i n t e n s i t y v e l o c i t y`と呼ばれ、被害が発生し始める風速に位置付けられる。米国気象局 NWS (N a t i o n a l W e a t h e r S e r v i c e) では、`g a l e i n t e n s i t y v e l o c i t y`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 (`g a l e` : 17.2から20.7m/s) , 風力9は大強風 (`s t r o n g g a l e` : 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、 $V_{min}=25\text{m/s}$ 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第9. 20図 (竜巻) 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. 1 km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1 km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1 km範囲内の被害幅及び被害長さを用いる。以上に基づいて、竜巻検討地域の評価と同様の方法で算定したハザード曲線を第9. 21図 (竜巻) 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1 kmを対象とした場合の54m/sが最大となる。なお、M

OX燃料加工施設は海岸線から陸側1 km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 $V_{B1}=92\text{m/s}$ 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B2}=37\text{m/s}$ 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 $92\text{m/s}$ とする。風速 $92\text{m/s}$ に相当する年超過確率は、ハザード曲線より $1.5\times 10^{-8}$ 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、敷地が平坦であり、竜巻の増幅を考慮する必要がある地形はないと考えられるため、基準竜巻の最大風速に対する割り増しは行わず、設計竜巻の最大風速は92m/sとなるが、竜巻に対する設計に当たっては、蓄積されている知見の少なさといった不確定要素を考慮し、将来の竜巻発生に関する不確実性を踏まえ、基準竜巻の最大風速を安全側に切り上げて、設計竜巻の最大風速を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 $5.3 \times 10^{-9}$ である。

【補足説明資料4-1～4-6】

第9. 2表 (竜巻) 竜巻の発生要因別の地域分布の特徴

総観場 <sup>注)</sup>	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9. 3表 (竜巻) 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	発生場所
1971年07月07日07時50分	35度54分20秒	139度40分45秒	埼玉県大宮市
1990年12月11日19時13分	35度28分39秒	140度18分57秒	千葉県茂原市
1999年09月24日11時07分	34度42分4秒	137度23分5秒	愛知県豊橋市
2006年11月07日13時23分	43度59分20秒	143度42分25秒	北海道網走支庁 佐呂間町
2012年05月06日12時35分	36度6分38秒	139度56分44秒	茨城県つくば市

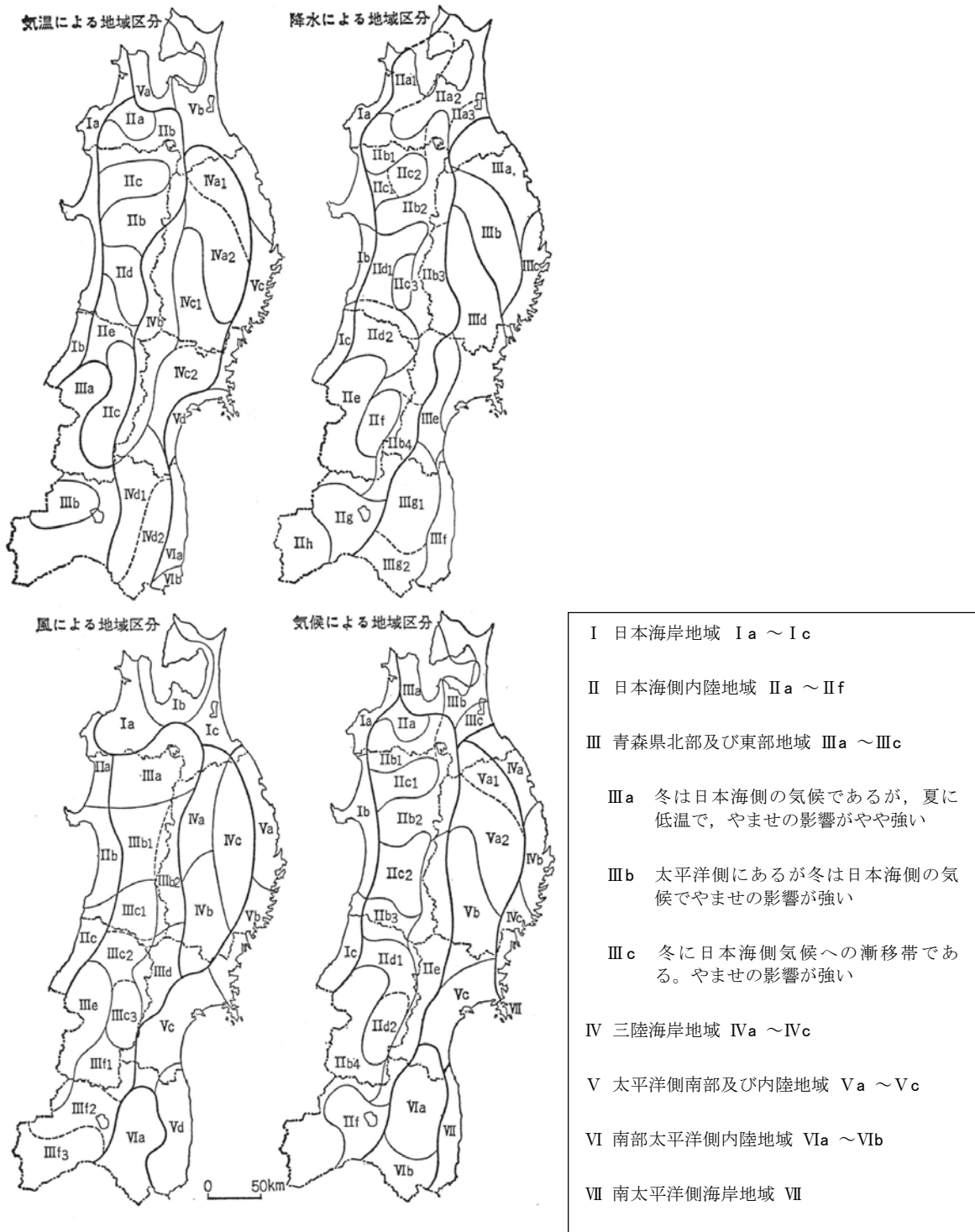


第9. 4表 (竜巻) 竜巻発生数の分析結果

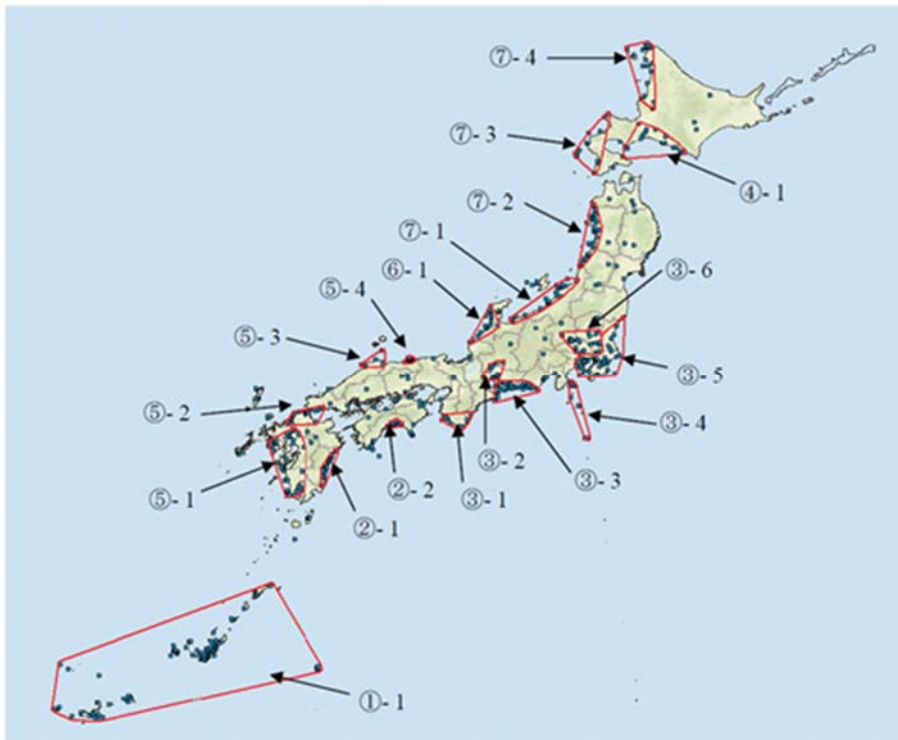
発生数の統計		(陸上+上陸) 竜巻							海上竜巻	総数
		F0	F1	F2	F3	F4	不明	小計	不明	
1961/1~2013/12 (53年間)	期間内総数 (個)	6	9	4	0	0	1	20	5	25
	年平均 (個)	0.11	0.17	0.08	0.00	0.00	0.02	0.38	0.09	0.47
	標準偏差 (個)	0.58	0.51	0.27	0.00	0.00	0.14	0.97	0.41	1.08
1991/1~2013/12 (23年間)	期間内総数 (個)	6	9	2	0	0	1	18	5	23
	年平均 (個)	0.26	0.39	0.09	0.00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

第9.5表（竜巻） 竜巻風速，被害幅及び被害長さの相関係数

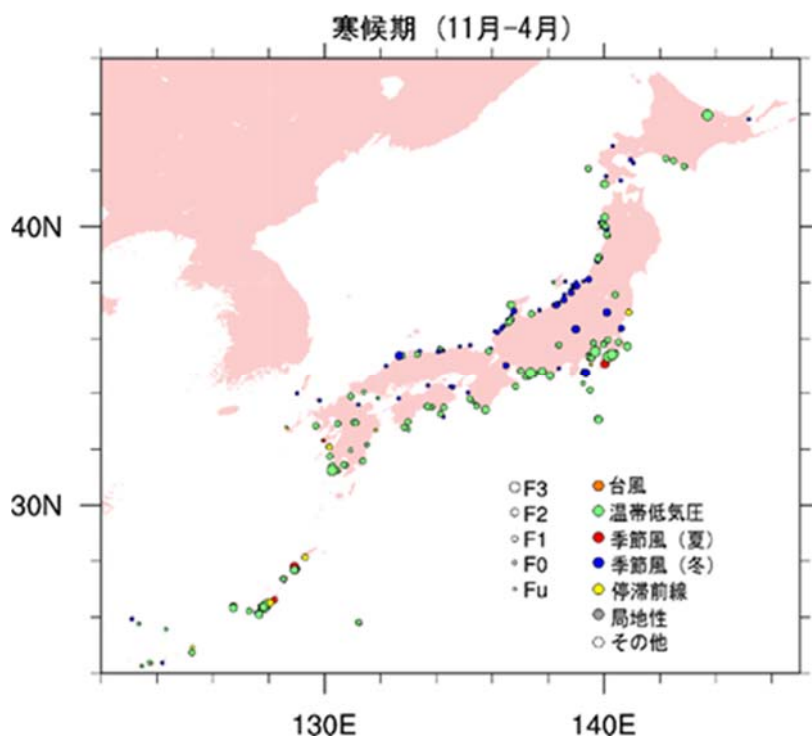
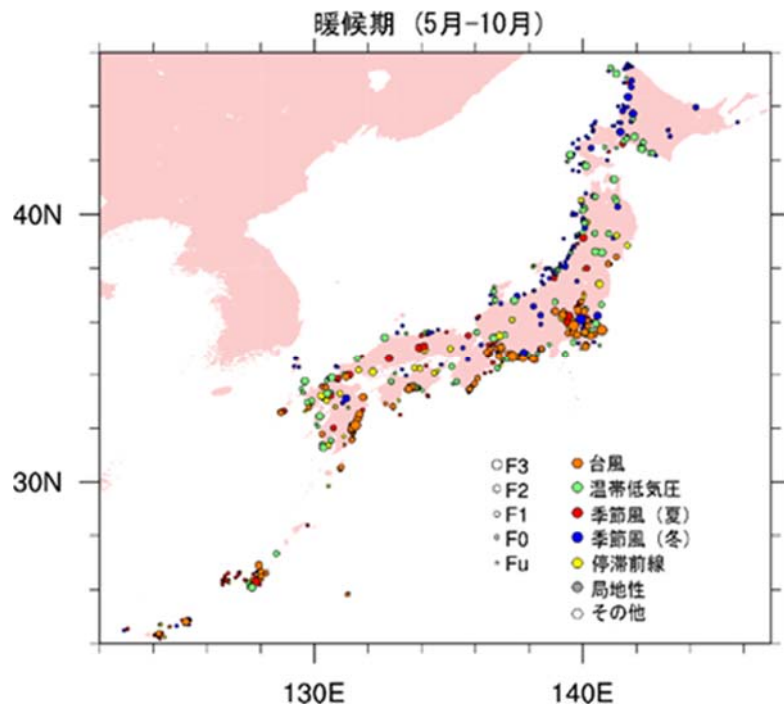
相関係数（対数）	風速（m/s）	被害幅（m）	被害長さ（m）
風速（m/s）	1.0000	0.0800	0.4646
被害幅（m）	0.0800	1.0000	0.2418
被害長さ（m）	0.4646	0.2418	1.0000



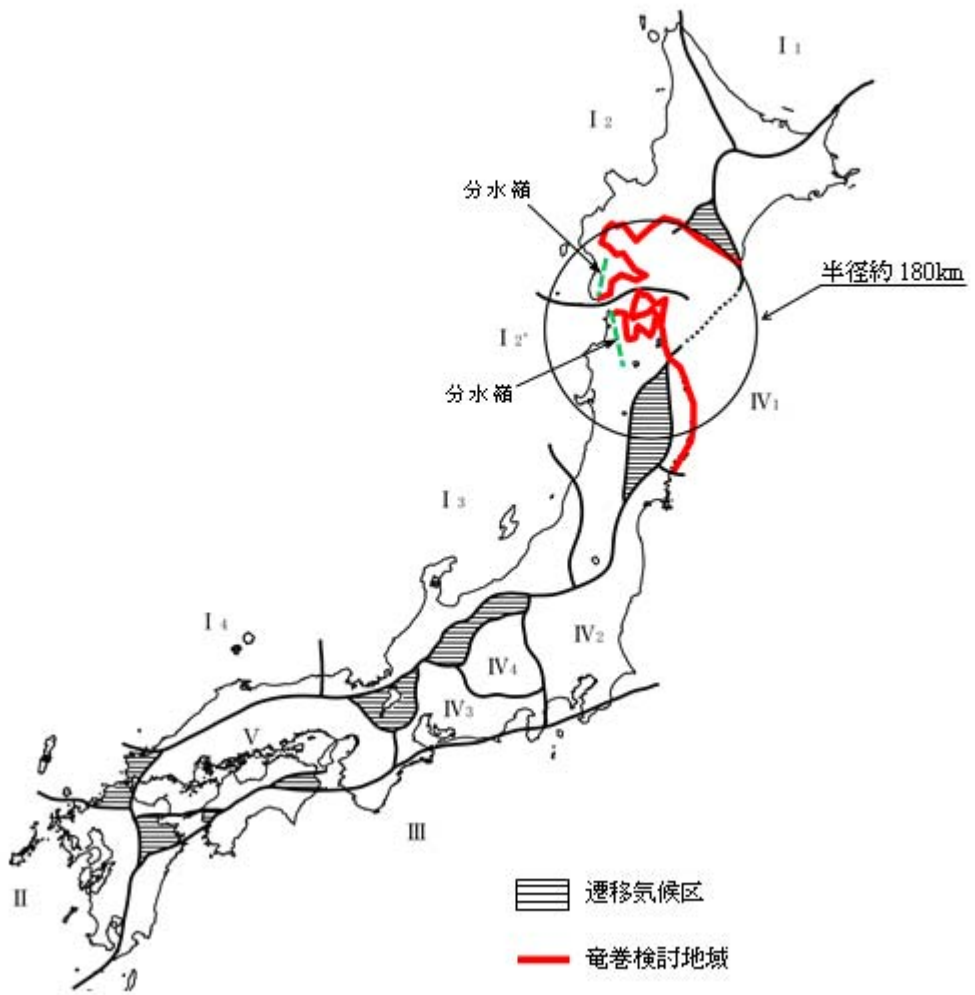
第9. 6図 (竜巻) 吉野正敏 (1967年から) による東北地方の気候区分



第9. 7図（竜巻） 竜巻の発生地点と竜巻が集中する19個の地域

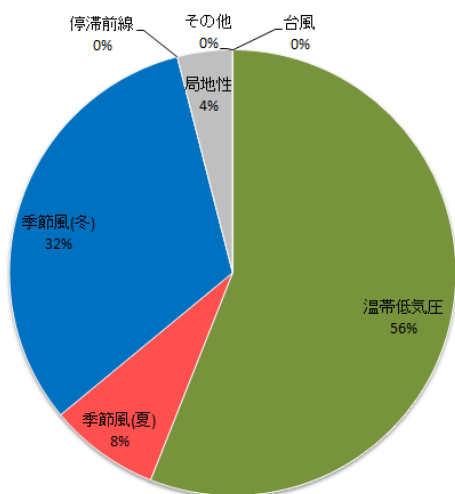


第9. 8図 (竜巻) 竜巻の発生要因別地域分布



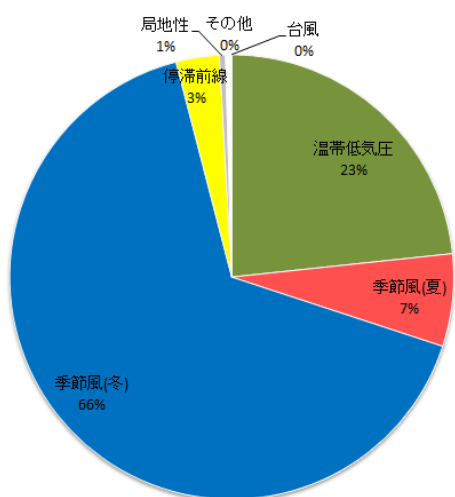
第9.9図（竜巻） 竜巻検討地域

関口武（1959）：日本の気候区分を基に作成



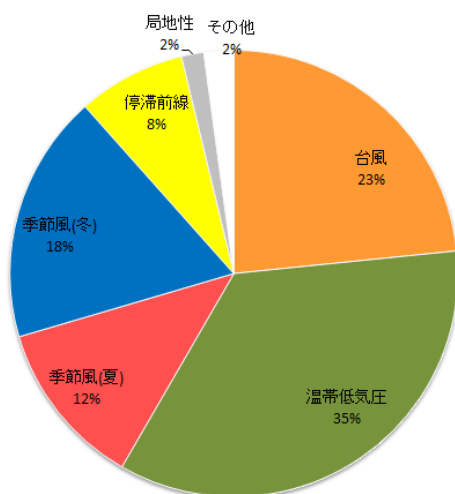
◆ 竜巻検討地域

- ・ 「温帯低気圧」を起源とする竜巻が多い。
- ・ 太平洋側で多くみられる「台風」を起源とする竜巻は確認されていない。



◆ 北海道～山口県の日本海側 (223 事例)

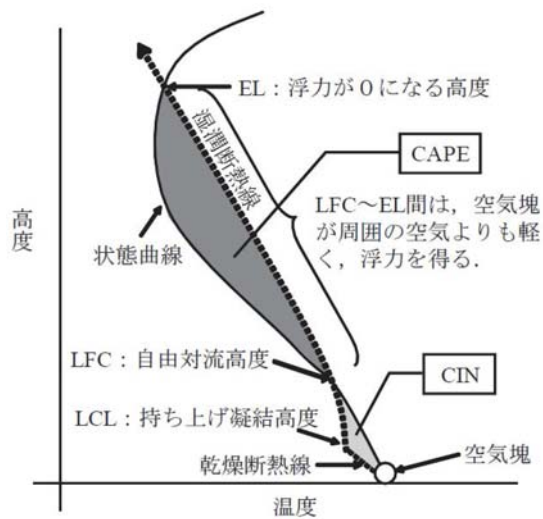
- ・ 「季節風(冬)」を起源とする竜巻が多い。
- ・ 「台風」を起源とする竜巻は確認されていない。



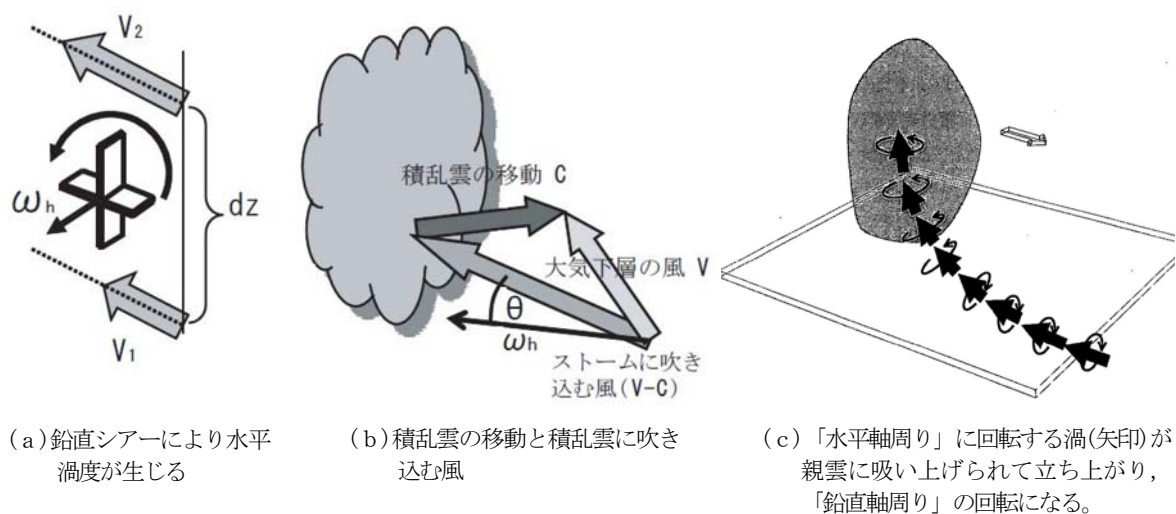
◆ 茨城県以西の太平洋側 (372 事例)

- ・ 竜巻検討地域と比較して、「台風」、「季節風(夏)」、「停滞前線」を起源とする竜巻が多い。
- ・ 太平洋側から暖かく湿った気流が、竜巻の親雲の発達を促すと考えられる。

第 9. 10 図 (竜巻) 竜巻検討地域等における竜巻の発生要因の出現比率



第9. 11 図 (竜巻) CAPE の概念



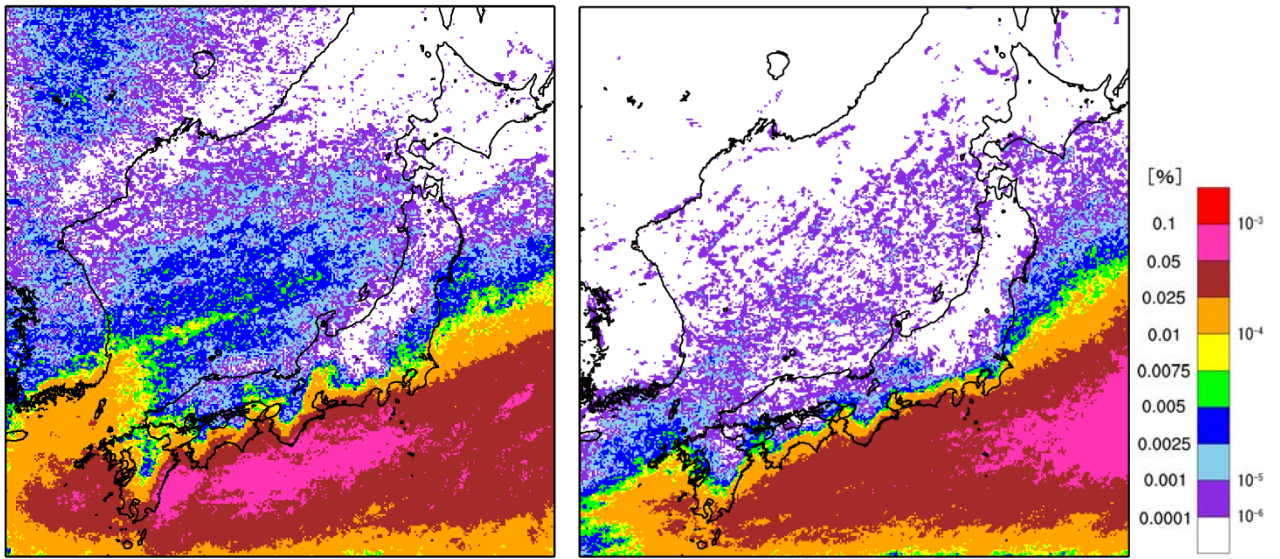
(a) 鉛直シアーにより水平渦度が生じる

(b) 積乱雲の移動と積乱雲に吹き込む風

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

第9. 12 図 (竜巻) SR e H の概念

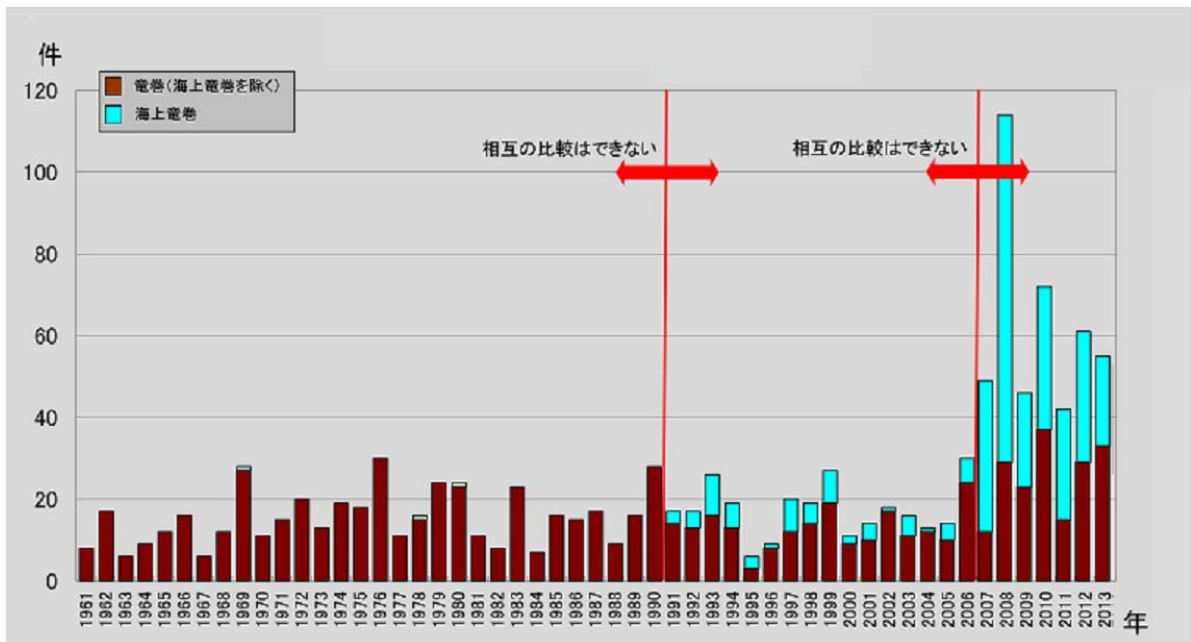




暖候期(5月-10月)における  
CAPE $\geq$ 1200 J/kg かつ SReH $\geq$ 350 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>

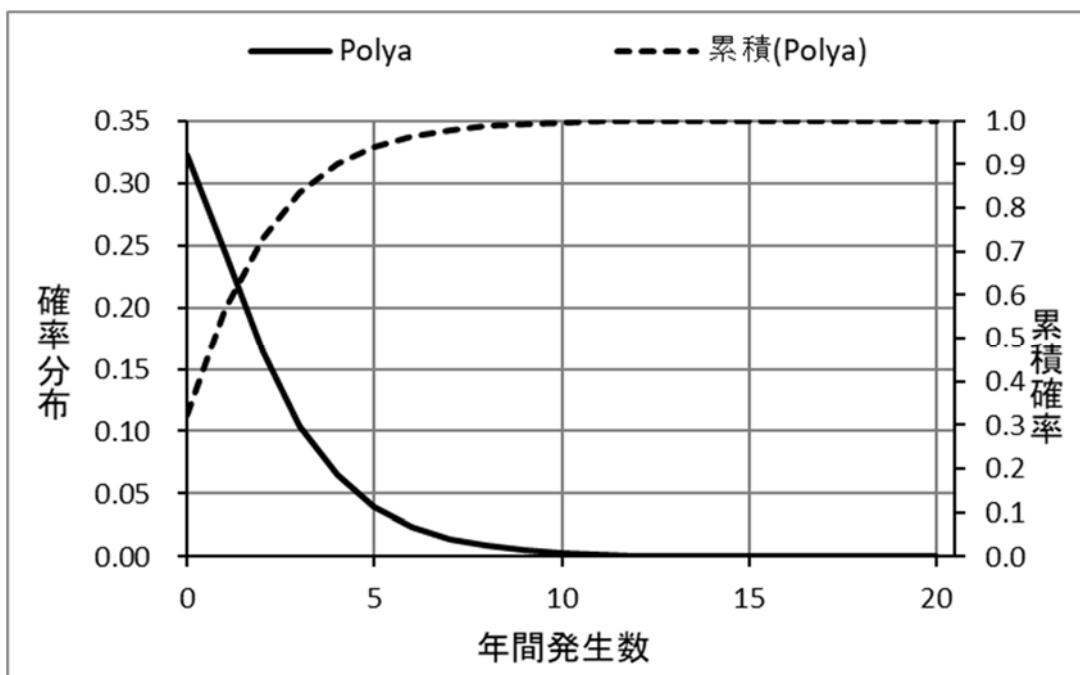
寒候期(11月-4月)における  
CAPE $\geq$ 500 J/kg かつ SReH $\geq$ 350 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>

第9.13図(竜巻) 同時超過頻度分布の算出結果

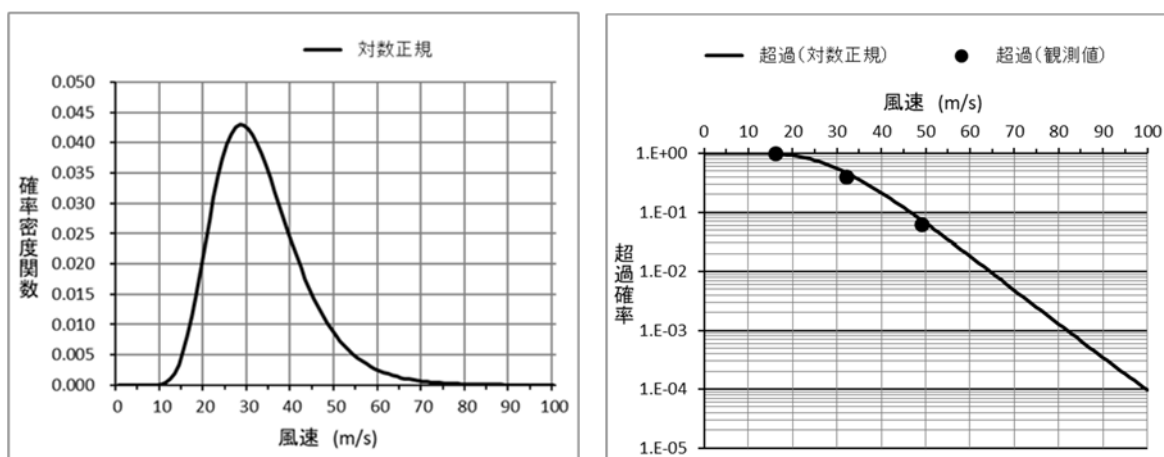


(出典：気象庁「竜巻等の突風データベース」)

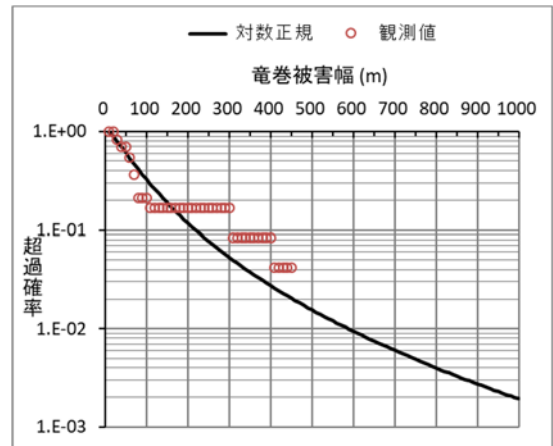
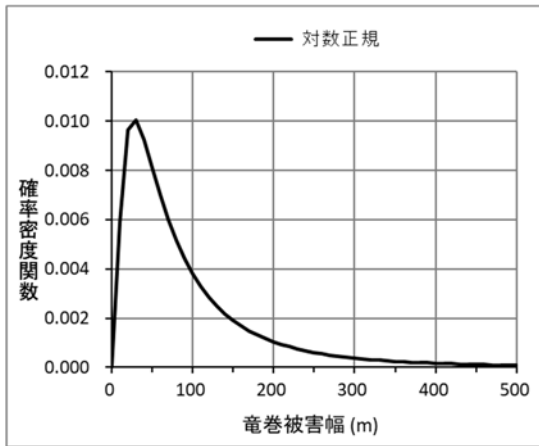
第9.14図(竜巻) 竜巻年別発生確認数



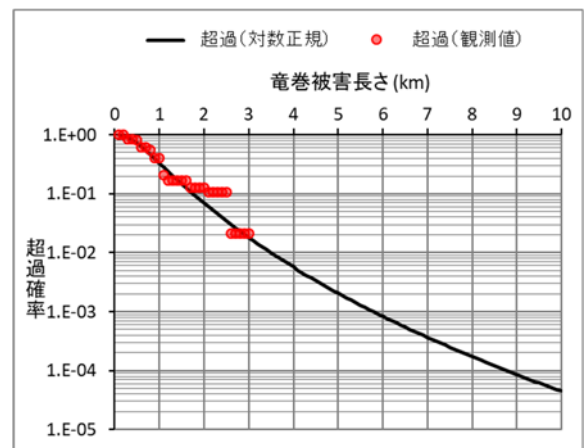
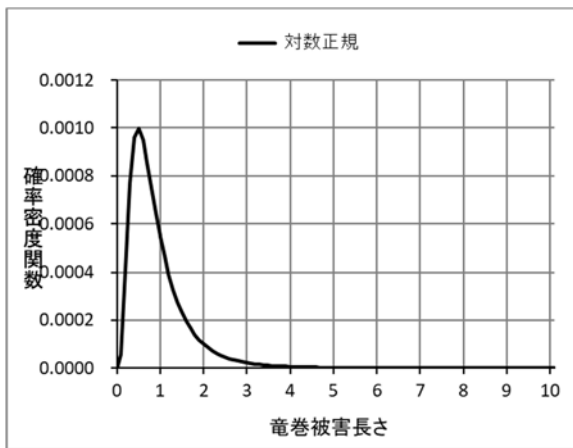
第9.15図 (竜巻) 竜巻検討地域における竜巻発生数の確率分布と累積確率



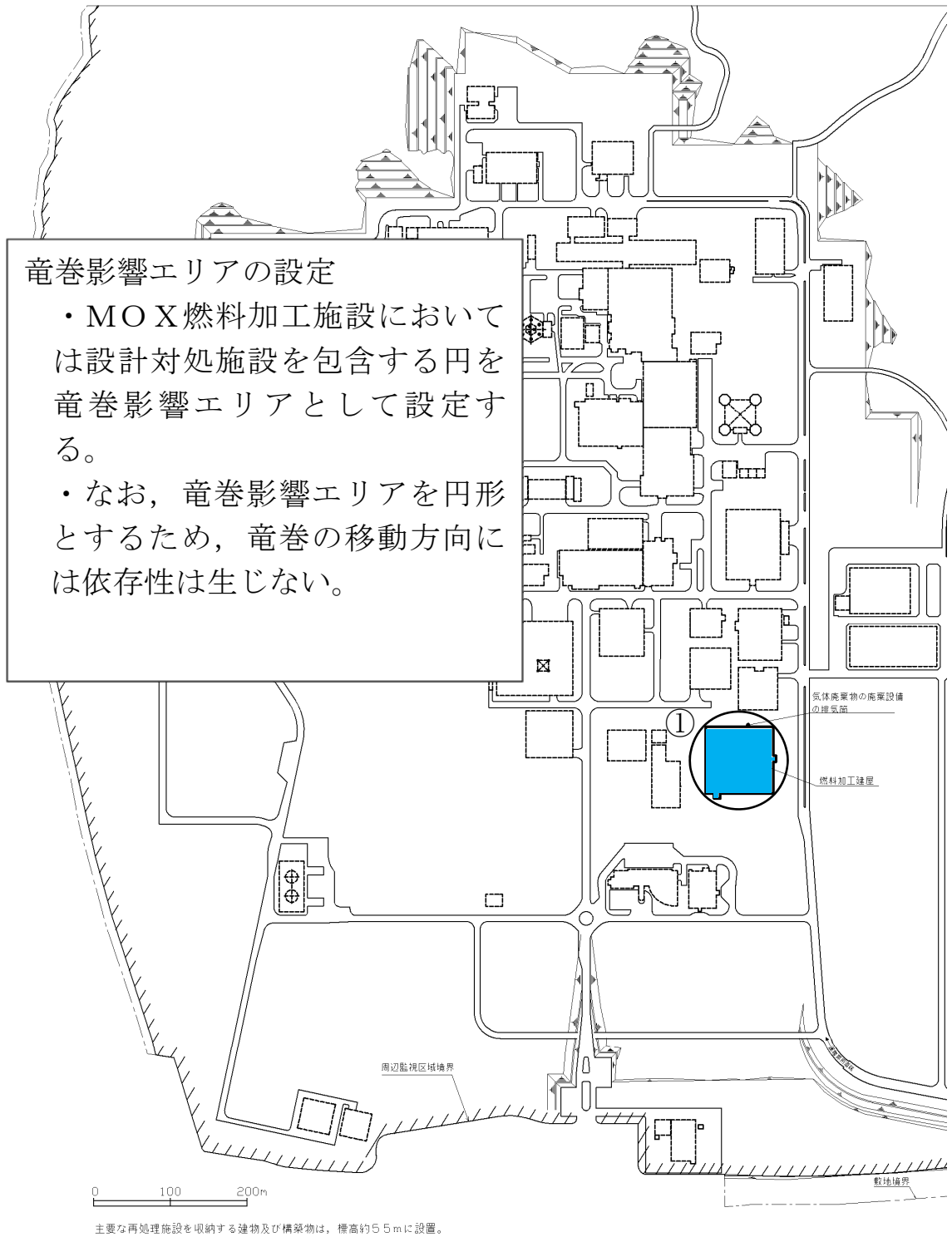
第9.16図 (竜巻) 風速の確率密度分布 (左) と超過確率 (右)



第9. 17 図 (竜巻) 被害幅の確率密度分布 (左) と超過確率 (右)



第9. 18 図 (竜巻) 被害長さの確率密度分布 (左) と超過確率 (右)



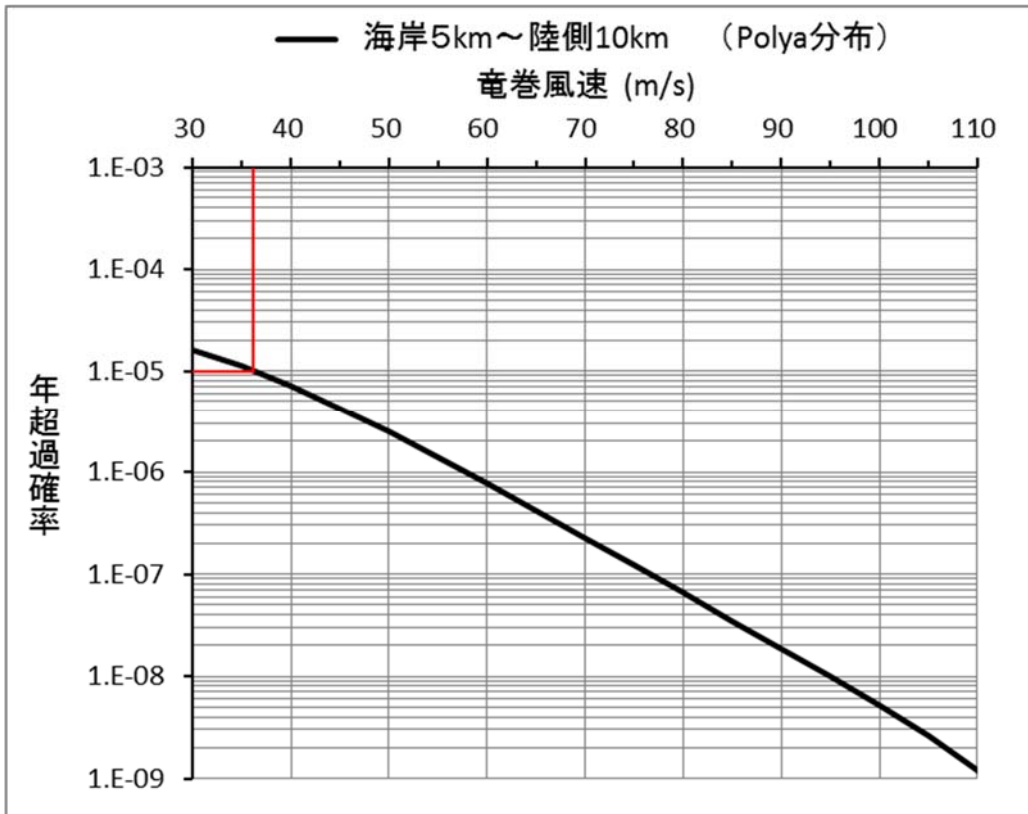
竜巻影響エリアの設定

- ・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。

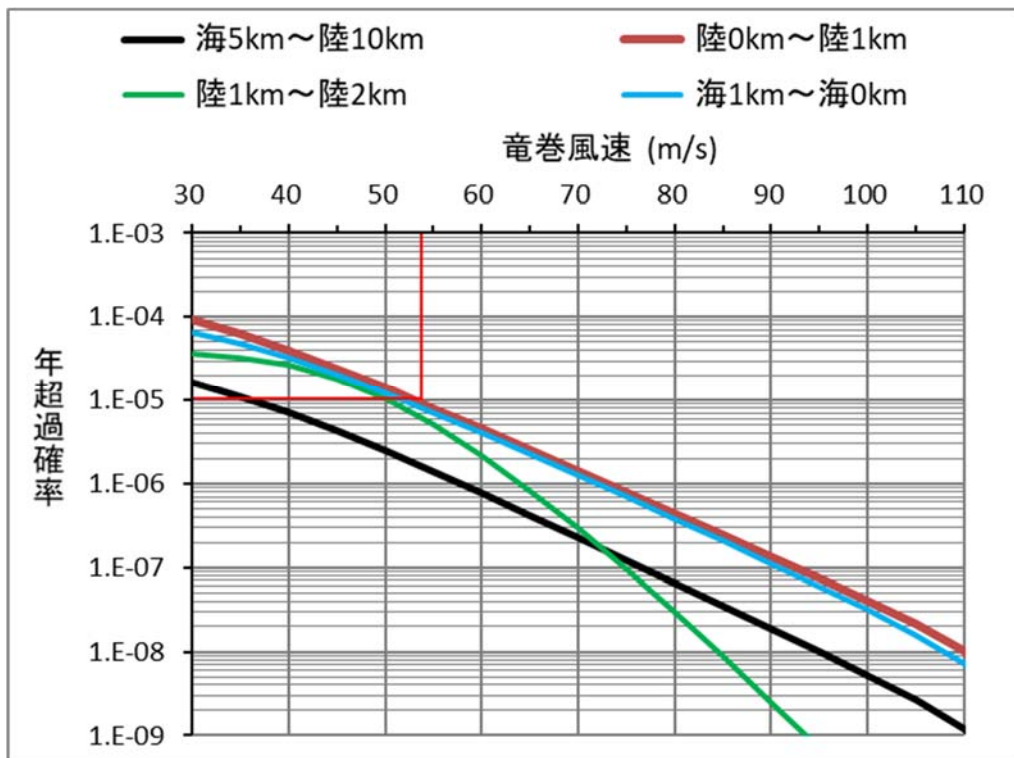
エリア番号	エリア直径 (m)	エリア面積 (m <sup>2</sup> )
①	125	12300
評価に用いる値	130	13300

→竜巻影響エリア

直径：130m 面積：13300m<sup>2</sup>



第9.20 図 (竜巻) 竜巻最大風速のハザード曲線 (竜巻地域検討)



第9.21 図 (竜巻) 竜巻最大風速のハザード曲線 (1 km 範囲)

(参考)

## 5. 設計荷重（竜巻）の設定

設計竜巻の特性値については、現状、設定に足る十分な信頼性を有した観測記録等が無いため、竜巻ガイドを参考に設定する。設計竜巻の特性値を第9.6表（竜巻）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。

### (1) 設計竜巻の移動速度（ $V_T$ ）

設計竜巻の移動速度（ $V_T$ ）は、独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究の成果（以下「東京工芸大学委託成果」という。）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き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

### (2) 設計竜巻の最大接線風速（ $V_{Rm}$ ）

設計竜巻の最大接線風速（ $V_{Rm}$ ）は、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。

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

### (3) 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径（ $R_m$ ）

設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径（ $R_m$ ）は、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。

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

### (4) 設計竜巻の最大気圧低下量（ $\Delta P_{max}$ ）

設計竜巻の最大気圧低下量（ $\Delta P_{max}$ ）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。

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

$\rho$  : 空気密度 (1.22 (kg/m<sup>3</sup>))

(5) 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再処理事業所内をふかんした現地調査及び検討を行い，再処理事業所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，運動エネルギー及び貫通力の大きさを考慮して，設計竜巻により設計対処施設に衝突し得る飛来物（以下「設計飛来物」という。）を設定する。衝突時に設計対処施設に与える運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物によるものより大きくなるものについては，浮き上がり又は横滑りの有無を考慮した上で，固定，固縛，建屋収納又は敷地からの撤去により飛来物とならないようにする。

設計対処施設以外のエネルギー管理建屋，エネルギー管理建屋の屋外機器及び第1 高圧ガストレーラ庫の水素ガス貯蔵容器（以下「屋外機器等」という。）は，衝突時に設計対処施設に与える運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物より大きくなるものを発生させることのないよう，エネルギー管理建屋の屋根及び外壁については飛散させない対策を実施する。また，屋外機器等については，固定又は固縛する対策を実施することから，飛来物の発生源として考慮しない。

車両については，周辺防護区域への入構を管理するとともに，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，再処理事業所外から飛来するおそれがあり，かつ，再処理



事業所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、竜巻ガイドに例示される鋼製材を設計飛来物として設定する。

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絡される。

第9.7表（竜巻）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

### (1) 設計対処施設に作用する設計竜巻荷重

設計竜巻により設計対処施設に作用する設計竜巻荷重を以下に示す。

#### a. 風圧力による荷重

竜巻の最大風速による荷重であり、竜巻ガイドを参考に次式のとおり算出する。

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

ここで、

$W_w$  : 風圧力による荷重

$q$  : 設計用速度圧

$G$  : ガスト影響係数 (=1.0)

$C$  : 風力係数

$A$  : 施設の受圧面積

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

である。ここで、

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

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

ここで、

$W_P$  : 気圧差による荷重

$\Delta P_{max}$  : 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. 通常時に作用している荷重
- 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、「整理資料 第9条：事象選定及びその他外部衝撃」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、設計竜巻荷重に包絡される。

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5mm以上の氷の粒であり、仮に直径10cm程度の大型の降雹を仮定した場合でも、その質量は約0.5kgである。竜巻及び降雹が同時に発生する場合においても、直径10cm程度の降雹の終端速度は59m/s、運動エネルギーは約0.9kJであり、設計飛来物の運動エネルギー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、設計竜巻荷重に包絡される。

c. 設計基準事故時荷重

設計対処施設に作用させる設計竜巻荷重には、設計基準事故時に生ずる応力の組合せを適切に考慮する設計とする。すなわち、竜巻により設計対処施設に作用する荷重及び設計基準事故時に生ずる荷重を、それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して適切に組み合わせて設計する。また、設計基準事故の影響が及ぶ期間に発生すると考えられる竜巻により、設計対処施設に作用する荷重と設計基準事故時に生ずる荷重を適切に設計する。

設計対処施設は、設計竜巻に対して安全機能を損なわない設計とすることから、設計竜巻と設計基準事故は独立事象となる。設計竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいことから、設計基準事故時荷重と設計竜巻荷重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場合、安全上重要な施設に荷重を加える設計基準事故である「露出した状態でMOX粉末を取り扱い、火災源となる潤滑油を保有しているグローブボックスにおいて火災が発生し、火災の影響を受けたMOX粉末が飛散し、外部に放射性物質が放出される事象」による荷重との組み合わせが考えられる。この設計基準事故により荷重を受ける安全上重要な施設であるグローブボックスは、竜巻による荷重を受けることは無いため、設計基準事故時荷重と竜巻の組合せは考慮しない。

以上のことから、設計竜巻荷重と設計基準事故時荷重の組合せは考慮しない。

#### (4) 許容限界

建屋・構築物の設計において、設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離発生の有無の評価については、貫通及び裏面剥離が発生する限界厚さ及び部材の最小厚さを比較することにより行う。さらに、設計荷重（竜巻）により発生する変形又は応力が安全上適切と認められる以下の規格及び基準等による許容応力度等の許容限界に対して安全余裕を有する設計とする。

- ・ 建築基準法
- ・ 日本産業規格
- ・ 日本建築学会等の基準、指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1987（日本電気協会）
- ・ 原子力エネルギー協会（NEI）の基準・指針類

設備の設計においては、設計飛来物の衝突による貫通の有無の評価について、貫通が発生する限界厚さ及び部材の最小厚さを比

較することにより行う。さらに，設計荷重（竜巻）により発生する応力が安全上適切と認められる以下の規格及び基準等による許容応力等の許容限界に対して安全余裕を有する設計とする。

- ・ 日本産業規格
- ・ 日本建築学会等の基準，指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1987（日本電気協会）
- ・ 原子力エネルギー協会（NEI）の基準・指針類

【補足説明資料 5-1～5-7】

第9. 6表 (竜巻) 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 $\Delta P_{max}$ (hPa)	最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

第9. 7表 (竜巻) MOX燃料加工施設における設計飛来物

飛来物の種類	鋼製材
寸法 (m)	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2
質量 (kg)	135
最大水平速度 (m/s)	51
最大鉛直速度 (m/s)	34

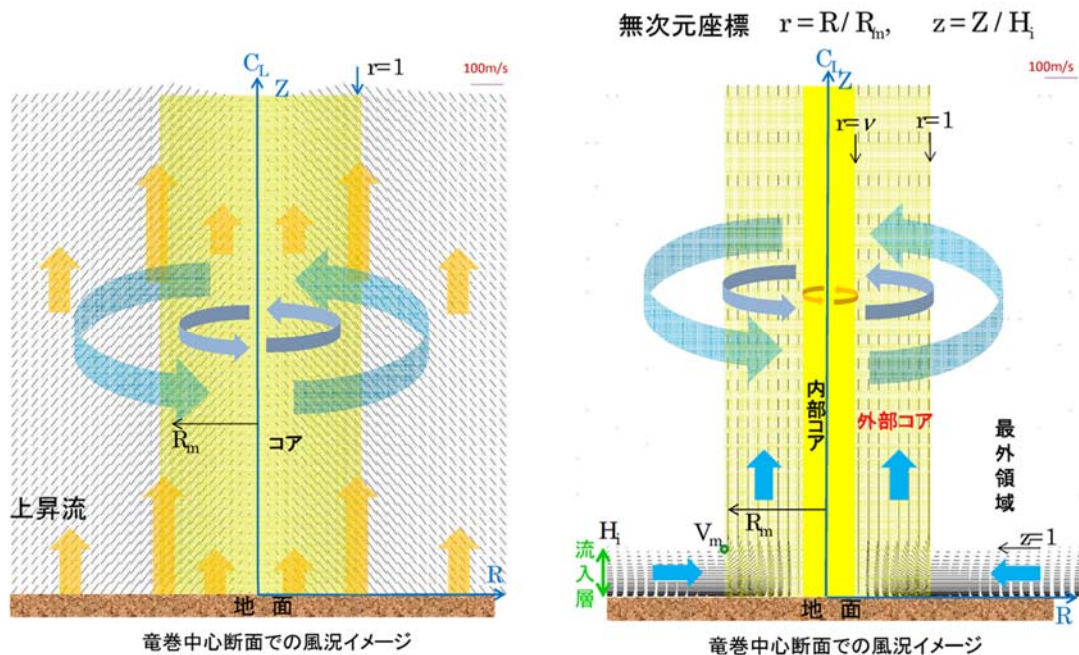


## 6. 評価に使用する風速場モデルについて

ランキン渦モデルは米国原子力規制委員会の基準類で採用されており，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9.22図（竜巻）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9.22図（竜巻） 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収納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（通常時に作用している荷重、運転時荷重、竜巻以外の自然現象による荷重及び設計基準事故時荷重）を適切に組み合わせた設計荷重（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収納する建屋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 竜巻防護対象施設を収納する建屋

竜巻防護対象施設を収納する建屋は、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、貫通及び裏面剥離を防止できる設計とする。

### 7. 2 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構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

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並びに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、構造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. 3 建屋に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設

建屋に収納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. 4 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）を考慮しても倒壊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。具体的には以下のとおりである。

気体廃棄物の廃棄設備の排気筒は、倒壊に至った場合には、燃料加工建屋に波及的影響を及ぼすおそれがあることから、設計飛来物の衝突による貫通及び風圧力による荷重を考慮しても倒壊に至らない設計とし、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

#### 7. 5 竜巻随伴事象に対する設計

竜巻ガイドを参考に、過去の他地域における竜巻被害状況及びMOX燃料加工施設の配置を図面等により確認した結果、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

竜巻により再処理事業所内の屋外にある危険物貯蔵施設等（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の位置関係を踏まえて熱影響を評価した上で、竜巻防護対象施設の許容温度を超えない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。

建屋内に収納される竜巻防護対象施設のうち、開口部を有する室に設置されるものは、設計飛来物に対して建物・構築物による防護対策を講ずることを考慮すると、設計飛来物が当該室に侵入することはないことから、設計竜巻により建屋内に火災が発生し、竜巻防護対象施設に影響を及ぼすことは考えられない。

## (2) 溢 水

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

建屋内に収納される竜巻防護対象施設のうち開口部を有する室に設置されるものは、設計飛来物に対して建物・構築物による防護対策を講ずることを考慮すると、設計飛来物が当該室に侵入することはないことから、設計竜巻により建屋内に溢水が発生し、竜巻防護対象施設に影響を及ぼすことは考えられない。また、竜巻防護対象施設のない開口部を有する室については、設計竜巻による建屋内の溢水が発生したとしても安全機能に影響を与えることはない。

## (3) 外部電源喪失

設計竜巻、設計竜巻と同時に発生する雷・雹等、あるいはダウンバースト等により、送電網に関する施設等が損傷する等による外部電源喪失に対しては、非常用所内電源設備の安全機能を確保できる設計とすることにより、竜巻防護対象施設の安全機能を維持する設計とする。

【補足説明資料 7-1～7-3】

## 8. 手順等

設計竜巻による飛来物の発生防止及び竜巻による安全機能を有する施設への影響の軽減を図るため、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ー及び貫通力が設計飛来物である鋼製材よりも大きなものについて、設置場所に応じて固定、固縛、建屋収納又は敷地からの撤去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。

- ・飛来対策区域は、車両から距離を取るべき離隔対象施設と車両との間を取るべき離隔距離を考慮して設定する。

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

- ・車両の退避場所は、周辺防護区域内及び周辺防護区域外に設ける。また、フジタモデルを適用した解析における不確実性を補うため、

周辺防護区域内の退避場所に退避する車両については固縛の対象とする。

- (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、竜巻による安全機能を有する施設への影響を軽減させるため、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（全工程停止）に加え、グローブボックス排風機以外の送排風機を停止し、MOX燃料加工施設を安定な状態に移行する措置を講ずるとともに、工程室排風機後の排気系統に手動ダンパを設置する設計とし、閉止の措置を行う手順を定める。

【補足説明資料8-1～8-6】



## 2 章 補足説明資料

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	9/18	10	
補足説明資料3-1	設計対処施設の選定について	5/25	9	
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	5/25	2	
補足説明資料3-3	耐震Sクラス施設について	2/25	4	
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	5/25	8	
補足説明資料3-5	排気筒の波及的影響について			補足説明資料7-3に移動
補足説明資料4-1	竜巻検討地域の設定について	5/25	3	
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	5/25	6	
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	2/25	1	
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	5/25	6	
補足説明資料5-2	設計飛来物の設定	9/9	9	
補足説明資料5-3	敷地外からの飛来物の考慮について	5/25	4	
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	5/25	3	
補足説明資料5-5	竜巻時に発生する降雹について	5/25	3	
補足説明資料5-6	空力パラメータについて	5/25	1	
補足説明資料5-7	荷重の組合せ一覧表	8/19	2	新規作成

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	5/25	2	
参考資料1	フジタモデルの適用について	5/25	3	
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	竜巻随件事象の抽出及び設計について	8/19	6	
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	5/25	4	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			補足説明資料8-6に移動
補足説明資料7-3	排気筒の波及的影響について			排気筒を波及的影響を及ぼし得る施設に選定したため、本資料を削除した。
補足説明資料8-1	車両の飛来防止対策について	5/25	6	
補足説明資料8-2	車両の退避について	5/25	3	
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	5/25	7	
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)	5/25	4	
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	5/25	1	
補足説明資料8-6	外部事象に対する加工運転の停止について	8/19	5	補足説明資料7-3から移動

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
<p>2. 設計の基本方針</p> <p>2.1 設計対象施設</p> <p>以下の（１）及び（２）に示す施設を設計対象施設とする。</p> <p>（１）竜巻防護施設</p> <p>「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。</p> <p>（２）竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設</p> <p>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<sup>(注 2.1)</sup>。</p> <hr/> <p>解説 2.1 設計対象施設</p> <p>設計竜巻荷重は、基準地震動 <math>S_s</math> 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。</p> <p>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。</p> <p>(注 2.1) 竜巻防護施設を内包する区画。</p>	<p>⇒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。</p> <p>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」）。</p> <p>⇒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。</p> <p>⇒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収納する建屋」として設計対処施設に選定している。</p>

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
<p>2.2 設計の基本的な考え方</p> <p>2.2.1 設計の基本フロー</p> <p>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。</p> <div data-bbox="302 590 1160 1165" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <pre> graph TD     subgraph "設置許可段階"         A["基準竜巻・設計竜巻・設計荷重の設定 (基準竜巻の設定 年超過確率等を参照した上で最大風速を設定) ↓ 設計竜巻の設定 (基準竜巻に対して発電所サイト特性(注2.2)等を考慮して最大風速及び特性値を設定) ↓ 設計荷重の設定 ・設計竜巻荷重(風圧力、気圧差、飛来物) ・組み合わせ荷重(常時作用する荷重、運転時荷重等)"]         B["施設の抽出及び設計計画 ↓ 設計対象施設の抽出 (系統、機器及び構築物等) ↓ 設計仕様の計画 (機能、配置、構造計画等)"]     end      subgraph "詳細設計段階"         C["設計荷重に対する構造計算"]         D["設計荷重に対する原子炉施設の構造健全性の維持について検討"]         E["安全機能維持の確認"]         F["詳細設計 (配置設計、断面設計等)"]     end      A --&gt; C     B --&gt; C     B --&gt; F     C --&gt; D     D --&gt; E     F --&gt; E     E -- OK --&gt; END["END"]     E -- NG --&gt; NG["NG"]     </pre> <p>(注2.2)地形効果による竜巻の増幅特性等</p> </div> <p>図 2.1 設計の基本フロー</p> <p>解説 2.2.1 設計の基本フロー</p> <p>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、</p>	<p>⇒設計の基本フローに従い、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を設定しており、また、機能・配置・構造計画等から設計対象施設を抽出し、竜巻防護対象施設の安全機能が維持される方針としている。</p>

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
<p>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。</p> <p>2.2.2 設計対象施設に作用する荷重</p> <p>以下に示す設計荷重を適切に設定する。</p> <p>(1) 設計竜巻荷重</p> <p>設計竜巻荷重を以下に示す。</p> <p>①風圧力</p> <p>設計竜巻の最大風速による風圧力</p> <p>②気圧差による圧力</p> <p>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</p> <p>③飛来物の衝撃荷重</p> <p>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</p> <p>(2) 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重</p> <p>設計竜巻荷重と組み合わせる荷重を以下に示す。</p> <p>①設計対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重等</p> <p>②竜巻以外の自然現象<sup>(注2.3)</sup>による荷重、設計基準事故時荷重等</p> <p>(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。</p>	<p>⇒設計竜巻荷重を以下の通りとしている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 風圧力による荷重</li> <li>・ 気圧差による荷重</li> <li>・ 飛来物の衝撃荷重</li> </ul> <p>⇒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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 通常時に作用している荷重</li> <li>・ 竜巻以外の自然現象による荷重（積雪）</li> </ul> <p>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、設計対処施設は、設計竜巻に対して安全機能を損</p>

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
<p>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。</p> <p>2.2.3 施設の安全性の確認</p> <p>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<sup>(注 2.4)</sup>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。</p> <p>(注 2.4) 竜巻防護施設を内包する区画。</p>	<p>なわない設計とすることから、設計竜巻と設計基準事故は独立事象となり、設計竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいことから、設計基準事故時荷重と設計竜巻荷重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場合、安全上重要な施設に荷重を加える設計基準事故である「露出した状態でMOX粉末を取り扱い、火災源となる潤滑油を保有しているグローブボックスにおいて火災が発生し、<u>火災の影響を受けたMOX粉末が飛散し、外部に放射性物質が放出される事象</u>」による荷重との組み合わせが考えられる。この設計基準事故により荷重を受ける安全上重要な施設であるグローブボックスは、竜巻による荷重を受けることはないため、設計基準事故時荷重と竜巻の組合せは考慮しない。</p> <p>⇒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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建屋に収納され防護される竜巻防護対象施設             <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul> </li> <li>・ 建屋に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設</li> </ul>

補 2-1-4



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
<p>3. 基準竜巻・設計竜巻の設定</p> <p>3.1 概要</p> <p>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。</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>解説 3.1 基準竜巻・設計竜巻の最大風速の設定</p> <p>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。</p> </div>	<p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・屋外の竜巻防護対象施設                     <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul> </li> <li>・外気と繋がっている竜巻防護対象施設                     <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul> </li> </ul> <p>⇒「3.3 基準竜巻の設定」及び「3.4 設計竜巻の設定」参照。</p>

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
<div data-bbox="488 236 981 730" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p style="text-align: center;">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 viewpoint から 気象条件等が類似の地域</p> </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div data-bbox="488 347 981 427" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p style="text-align: center;">基準竜巻の最大風速 (<math>V_B</math>) 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)</p> </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div data-bbox="488 448 981 552" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p style="text-align: center;">設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) の設定 (発電所サイト特性<sup>(注3.1)</sup>等を考慮して <math>V_B</math> の割り増し等 を行い最大風速を設定) <math>V_D = \alpha \cdot V_B, \alpha \geq 1</math></p> </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div data-bbox="488 576 981 651" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p style="text-align: center;">設計竜巻の特性値の設定 (<math>V_D</math>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)</p> </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div data-bbox="488 675 981 730" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p style="text-align: center;">設計竜巻荷重 (<math>F_D</math>) 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)</p> </div> <p style="text-align: center;">解説図 3.1 基準竜巻・設計竜巻の設定に係る基本フロー</p> <p>3.2 竜巻検討地域の設定</p> <p>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 viewpoint 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。</p> <p>(注 3.1) 地形効果による竜巻の増幅特性等</p>	

補 2-1-6

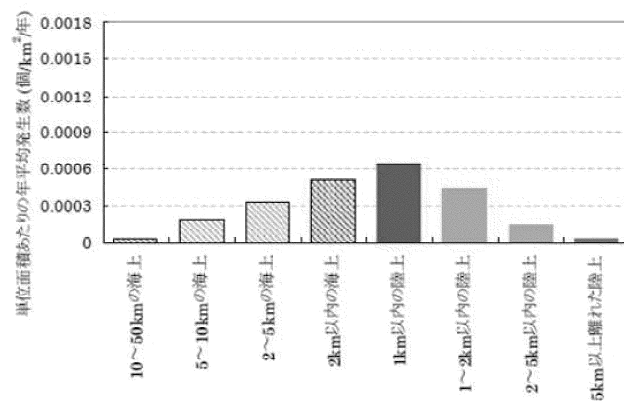
原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
<p>解説 3.2 竜巻検討地域の設定</p> <p>(1) 基本的な条件</p> <p>竜巻検討地域の設定にあたっては、IAEA の基準<sup>(※1)</sup>が参考になる。IAEA の基準では、ある特定の風速を超過する竜巻の年発生頻度の検討にあたって竜巻の記録を調査する範囲として、およそ 10 万 km<sup>2</sup> を目安にあげている。この IAEA の基準を参考として、竜巻検討地域の目安を、原子力発電所を中心とする 10 万 km<sup>2</sup> の範囲とする。しかしながら、日本では、例えば日本海側と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<sup>2</sup> 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。</p> <p>(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</p> <p>解説図 3.2 に日本における竜巻の発生分布<sup>(※2)</sup>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 <math>6.0 \times 10^{-4}</math> (個/km<sup>2</sup>/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。</p>	<p>⇒MOX燃料加工施設を中心とした 10 万 km<sup>2</sup> (半径約 180 km) を目安として竜巻検討地域を設定している。</p> <p>⇒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。</p> <p>⇒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。</p> <p>⇒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 180 km の範囲外であっても竜巻検討地域に含めた。</p> <p>⇒MOX燃料加工施設は海岸から約 5～10 km 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 5 km、陸側 10 km を竜巻検討地域として考慮している。</p>

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）<sup>(注2)</sup>



解説図 3.3 日本沿岸線付近における竜巻の発生状況<sup>(注3)</sup> (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

補 2-1-9

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
<p>風速とする。</p> <p>(1) 基準竜巻の最大風速(<math>V_B</math>)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。</p> <p>(2) 基準竜巻の最大風速(<math>V_B</math>)は、下記に示す <math>V_{B1}</math> と <math>V_{B2}</math> のうちの大きな風速とする。</p> <p>①過去に発生した竜巻による最大風速(<math>V_{B1}</math>)</p> <p>日本で過去に発生した竜巻による最大風速を <math>V_{B1}</math> 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。</p> <p>②竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(<math>V_{B2}</math>)</p> <p>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(<math>P_{B2}</math>)に対応する竜巻最大風速を <math>V_{B2}</math> とする。ここで、<math>P_{B2}</math> は <math>10^{-5}</math> (暫定値) を上回らないものとする。</p> <p>また、竜巻検討地域において基準竜巻の最大風速(<math>V_B</math>)が発生する可能性を定量的に確認するために、<math>V_B</math> の年超過確率を算定することとする。なお、<math>V_B</math> が <math>V_{B1}</math> から決定された場合 (<math>V_B=V_{B1}</math> の場合) は、<math>V_{B2}</math> の算定に用いた竜巻最大風速のハザード曲線を用いて、<math>V_B</math> の年超過確率を算定する。ちなみに、米国 NRC の基準類<sup>(参 4)</sup>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 <math>10^{-7}</math> の風速として設定されている。</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>… 解説 3.3 基準竜巻の最大風速 (<math>V_B</math>) の設定          …          … 解説 3.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速(<math>V_{B1}</math>)の設定          …</p>	<p>⇒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 (<math>V_{B1}</math>) 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 (<math>V_{B2}</math>) のうち、大きな風速を設定することとしている。</p> <p>⇒<math>V_{B1}</math> 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。</p> <p>⇒作成したハザード曲線において年超過確率が <math>10^{-5}</math> に相当する風速 (約 37 m/s) を <math>V_{B2}</math> としている。</p> <p>⇒MO X燃料加工施設においては、<math>V_B=V_{B1}=92\text{m/s}</math> としている。92m/s に相当する年超過確率は、<math>1.5 \times 10^{-8}</math> である。</p>

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														
<p>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 <math>V_{B1}</math> として設定することを原則とする。</p> <p>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。</p> <p>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 <math>V_{B1}</math> 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。</p> <p>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<sup>(注 3.3)</sup>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。</p> <p style="text-align: center;">解説表 3.1 藤田スケールと風速の関係<sup>(参 5)</sup></p> <table border="1" data-bbox="450 863 1010 1153"> <thead> <tr> <th>スケール</th> <th>風速</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F0</td> <td>17~32m/s (約 15 秒間の平均)</td> </tr> <tr> <td>F1</td> <td>33~49m/s (約 10 秒間の平均)</td> </tr> <tr> <td>F2</td> <td>50~69m/s (約 7 秒間の平均)</td> </tr> <tr> <td>F3</td> <td>70~92m/s (約 5 秒間の平均)</td> </tr> <tr> <td>F4</td> <td>93~116m/s (約 4 秒間の平均)</td> </tr> <tr> <td>F5</td> <td>117~142m/s (約 3 秒間の平均)</td> </tr> </tbody> </table> <p>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 (<math>V_{B2}</math>) の算定</p> <p>既往の算定方法 (Wen&amp;Chu<sup>(参 6)</sup>及び Garson et. al<sup>(参 7, 参 8)</sup>) に基づいて <math>V_{B2}</math> 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 <math>V_{B2}</math> の具体的な算定</p>	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)	<p>⇒<math>V_{B1}</math> 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。</p> <p>⇒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果を参考としている。</p>
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)														

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
<p>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<sup>(参 3)</sup>が参考になる。</p> <p>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。</p> <p>(注 3.3) 解説 3.3.3 参照</p> <p>(1) 竜巻影響エリアの設定</p> <p><math>V_{B2}</math> の算定にあたっては、まず始めに <math>V_{B2}</math> 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。</p> <p>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、<math>V_{B2}</math> 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。</p> <p>(2) 竜巻の年発生数の確率分布の設定</p> <p>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 <math>V_{B2}</math> 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。</p>	<p>⇒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。</p> <p>⇒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。</p> <p>⇒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は一貫性を持たせている。</p> <p>⇒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。</p> <p>⇒竜巻検討地域として設定した陸側 10km 及び海側 5 km の範囲について、1 km 範囲ごとに竜巻の年発生数の確率分布を算定し、ハザード曲線を算</p>

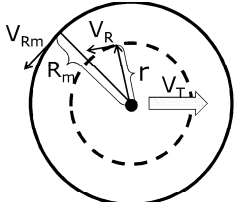
原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
<p>(3) 竜巻最大風速の確率密度分布の設定</p> <p>竜巻最大風速の確率密度分布は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づいて対数正規分布等を仮定して設定することを基本とする。竜巻最大風速の確率密度分布の設定にあたっては、竜巻の年発生数の確率分布の設定と同様に、竜巻検討地域を 1km 範囲ごとに区切ってそれぞれの範囲で確率分布を算定し、そのうちの <math>V_{B2}</math> が最も大きな値として設定される確率分布を設定する等、配慮する。</p> <p>竜巻最大風速の確率密度分布の設定にあたって使用する観測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<sup>(注3.3)</sup>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、<math>V_{B2}</math> 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。</p> <p>(4) 竜巻最大風速のハザード曲線の算定</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>(5) 年超過確率 (<math>P_{B2}</math>) に対応する竜巻最大風速 (<math>V_{B2}</math>) の算定</p> <p>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 <math>P_{B2}</math> (<math>\leq 10^{-5}</math> (暫定値)) の竜巻最大風速を <math>V_{B2}</math> とする。</p>	<p>定している。</p> <p>⇒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。</p> <p>⇒竜巻検討地域を 1 km 範囲ごとに区切って確率密度分布を算定し、これらを用いて竜巻最大風速のハザード曲線を算定している。</p> <p>⇒F 階級の中央値の風速を定義し、超過確率の観測値に最も合致する分布形となるよう算定している。</p> <p>⇒T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ、竜巻風速が <math>V_0</math> 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。</p> <p>⇒竜巻最大風速のハザード曲線により設定する最大風速 <math>V_{B2}</math> は、竜巻ガイドを参考に年超過確率 <math>10^{-5}</math> に相当する風速とし、37m/s としている。</p>



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
<div data-bbox="369 252 1120 678" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">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(<math>V_{B2}</math>)の算定フロー</p> </div> <p>解説 3.3.3 日本版改良藤田スケールの適用について</p> <p>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、<math>V_B</math> 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。</p>	<p>ガイドへの適合性の確認結果</p> <p>⇒<math>V_B</math> 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。</p>

補 2-1-1-13

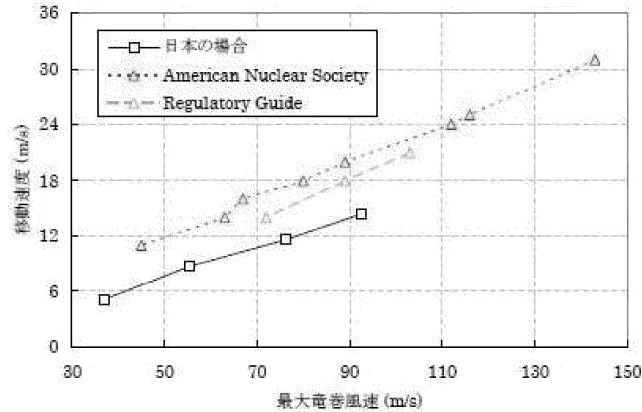
原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	ガイドへの適合性の確認結果
<p>3.4 設計竜巻の設定</p> <p>以下の基本的な方針に基づいて設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) 及び特性値を設定する。ここで、<math>V_D</math> は最大瞬間風速とする。</p> <p>(1) 設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) は、原子力発電所が立地する地域の特性（地形効果による竜巻の増幅特性等）等を考慮して、科学的見地等から基準竜巻の最大風速 (<math>V_B</math>) の適切な割り増し等を行って設定されていること。なお、<math>V_D</math> は、<math>V_B</math> を下回らないものとする。</p> <p>(2) 設計竜巻の特性値は、設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>)、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。</p> <hr/> <p>解説 3.4 設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) 及び特性値の設定</p> <p>解説 3.4.1 設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) の設定で考慮する地形効果による竜巻の増幅特性</p> <p>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<sup>(参9 ほか)</sup>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 (<math>V_D</math>) を設定する。</p> <p>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<sup>(参10、参11)</sup>が、<math>V_D</math> の設定においては、そのような減衰の効果は考慮しない。</p> <p>解説 3.4.2 設計竜巻の特性値の設定</p> <p>解説 3.4.2.1 概要</p> <p>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 (<math>V_D</math>) 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。</p> <p>(1) 移動速度 (<math>V_T</math>)</p> <p>(2) 最大接線風速 (<math>V_{Rm}</math>)</p>	<p>⇒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才. (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。</p> <p>⇒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。</p> <p>⇒左記(1)～(5)に示される各特性値を設定している。</p>

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
<p>(3) 最大接線風速半径 (<math>R_m</math>)</p> <p>(4) 最大気圧低下量 (<math>\Delta P_{max}</math>)</p> <p>(5) 最大気圧低下率 (<math>dp/dt</math>)<sub>max</sub></p> <p>(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。</p> <p>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</p> <p>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<sup>(参 4)</sup>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。</p> <p>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。</p> <div data-bbox="338 1007 1160 1209" style="border: 1px solid black; padding: 5px;">  <p> <math>V_T</math>: 竜巻の移動速度  <math>V_R</math>: 接線風速、<math>r</math>: 竜巻渦中心からの半径  <math>V_{Rm}</math>: 最大接線風速、<math>R_m</math>: 最大接線風速が生じる位置での半径  <math>V_R = V_{Rm} \cdot (r/R_m)</math> (<math>r \leq R_m</math>の範囲)  <math>V_R = V_{Rm} \cdot (R_m/r)</math> (<math>r \geq R_m</math>の範囲)                 </p> </div> <p>解説図 3.5 ランキン渦モデルの概要</p>	<p>⇒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。</p>

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
<p>解説 3.4.2.3 設計竜巻の特性値の設定</p> <p>(1) 設計竜巻の移動速度 (<math>V_T</math>) の設定</p> <p>設計竜巻の移動速度 (<math>V_T</math>) は、以下の算定式を用いて <math>V_D</math> から <math>V_T</math> を算定する。</p> $V_T = 0.15 \cdot V_D \cdots (3.1)$ <p>ここで、<math>V_D</math>(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<sup>(参 3)</sup>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<sup>(参 4)</sup>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。</p> <p>本ガイドでは、設計竜巻の最大速度 (<math>V_D</math>) が一定の場合、移動速度が遅い方が、最大気圧低下量 (<math>\Delta P_{max}</math>) 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。</p>	<p>⇒設計竜巻の特性値を以下の通り設定している。</p> <p>移動速度 (<math>V_T</math>) : 15 m/s</p>

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<sup>(参3)</sup>

(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<sup>(参4)</sup>を参考として、以下の算定式を用いて  $V_{Rm}$  を算定する。

$$V_{Rm} = V_D - V_T \dots (3.2)$$

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。

(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<sup>(参3)</sup>に準拠して以下の値を用いる。

$$R_m = 30 \text{ (m)} \dots (3.3)$$

(4) 設計竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ ) の設定

設計竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ ) は、米国 NRC の基準類<sup>(参4)</sup>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 ( $\Delta P_{max}$ ) を設定する。

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2 \dots (3.4)$$

ここで、 $\rho$  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。

最大接線風速 ( $V_{Rm}$ ) : 85 m/s

⇒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

⇒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 ( $\Delta P_{max}$ ) : 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
<p>(5) 設計竜巻の最大気圧低下率<math>((dp/dt)_{max})</math>の設定</p> <p>設計竜巻の最大気圧低下率<math>((dp/dt)_{max})</math>は、米国 NRC の基準類<sup>(参4)</sup>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<math>(\Delta P_{max})</math>及び最大気圧低下率<math>((dp/dt)_{max})</math>を設定する。</p> $(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max} \cdots (3.5)$ <p>ここで、<math>V_T</math> 及び <math>R_m</math> 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。</p> <p>4. 施設的设计</p> <p>4.1 概要</p> <p>設置許可段階の安全審査において以下を確認する。</p> <p>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）</p> <p>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。</p>	<p>⇒設計竜巻の特性値を以下の通り設定している。</p> <p>最大気圧低下率<math>((dp/dt)_{max})</math> : 45 hPa/s</p> <p>⇒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。</p> <p>⇒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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・建屋に収納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。</li> <li>・建屋に収納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</li> </ul>

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
<p>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。</p> <p>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。</p> <p>-----                  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(<math>V_D</math>)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</p>	<p>設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul> <p>⇒ 「2.1 設計対象施設」参照。</p> <p>⇒ 「2.2.2 設計対象施設に作用する荷重」参照。</p>

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
<p>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。</p> <p>(2) 設計竜巻による鉛直方向の風圧力</p> <p>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。</p> <p>よって、本ガイドでは、設計竜巻の水平方向の最大風速(<math>V_D</math>)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。</p> <p>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、<math>V_D</math> 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。</p> <p>解説 4.3.1.1.3 設計竜巻による風圧力の設定</p> <p>設計竜巻の最大風速(<math>V_D</math>)による風圧力(<math>P_D</math>)の算定について以下に示す。</p> <p>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(<math>P_D</math>)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。</p> <p>なお、(4.2)式の <math>V_D</math> 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> $P_D = q \cdot G \cdot C \cdot A \cdots (4.1)$ <p>ここで、<math>q</math> は設計用速度圧、<math>G</math> はガスト影響係数、<math>C</math> は風力係数、<math>A</math> は施設の受圧面積を表し、<math>q</math> は下式による。</p>	<p>⇒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弱いと考えられる設計対象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。</p> <p>⇒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。</p>



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
<p><math>q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_b^2 \cdots (4.2)</math></p> <p>ここで、<math>\rho</math> は空気密度、<math>V_b</math> は設計竜巻の最大風速である。</p> <p>(4.1)式に示すように、風圧力(<math>P_D</math>)は、(4.2)式で求められる設計用速度圧(<math>q</math>)に、ガスト影響係数(<math>G</math>)、風力係数(<math>C</math>)及び施設の受圧面積(<math>A</math>)を乗じて算定する。</p> <p>ガスト影響係数 <math>G</math> 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(<math>V_b</math>)は、最大瞬間風速として扱うことから <math>G=1.0</math> を基本とする。</p> <p>風力係数(<math>C</math>)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。</p> <p>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</p> <p>解説 4.3.1.2.1 概要</p> <p>前記において設定した設計竜巻による最大気圧低下量(<math>\Delta P_{max}</math>)及び最大気圧低下率(<math>dP/dt</math>)<sub>max</sub> 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。</p> <p>解説 4.3.1.2.2 基本的な考え方</p> <p>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<sup>(参 12)</sup>を参考としている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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</li> </ul>	<p>⇒風圧力の算定に用いるガスト影響係数<math>G=1.0</math>としている。</p> <p>⇒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。</p> <p>⇒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。</p> <p>⇒外気と隔離されている区画の境界部が気圧差による圧力影響を受ける設</p>

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
<p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul> <p>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</p> <p>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。</p> <p>（1）建屋・構築物等</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>建屋・構築物等の開口部に設置された窓、扉、シャッター等</li> <li>外気と隔離されているとみなせる区画の隔壁等（天井等）</li> </ul> <p>（2）設備</p> <p>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</p>	<p>備並びに竜巻防護対象施設を収納する建屋の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。</p> <p>⇒建屋（竜巻防護対象施設を収納する建屋）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。</p> <p>⇒建屋（竜巻防護対象施設を収納する建屋）の開口部について網羅的に調査を実施し、設計荷重（竜巻）に対して、安全機能を損なわない設計としている。また、外気と隔離されている区画の隔壁等（天井等）については、気圧差を含む複合荷重に対して影響評価を行うこととしている。</p> <p>⇒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</p>

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
<p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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）</li> <li>・圧力差の影響を受け得る計器類や空調装置等</li> </ul> <p>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</p> <p>解説 4.3.1.3.1 概要</p> <p>設計竜巻の最大風速(<math>V_0</math>)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。</p> <p>解説 4.3.1.3.2 基本的な考え方</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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<sup>(参13)</sup>を参考とした。</p> <p>①大きな運動エネルギーをもつ飛来物（自動車等）</p>	<p>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。</p> <p>⇒空調系ダクト類や影響を受ける施設について調査し、影響を受ける可能性のある施設については竜巻防護対象施設として抽出し、影響評価を行うこととしている。</p> <p>⇒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。</p> <p>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。</p> <p>⇒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。</p> <p>⇒設計飛来物の設定にあたっては、再処理事業所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再処理事業所内への到達の可能性を検討したうえで除外している。</p> <p>⇒設計対象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</p>

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
<p>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）</p> <p>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）</p> <p>解説 4.3.1.3.3 設計飛来物の速度の設定</p> <p>(1) 基本的な考え方</p> <p>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 (<math>{}_M V_{Hmax}</math>) 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 (<math>V_D</math>) を設計飛来物の最大水平速度として設定してもよい。</p> <p>設計飛来物の最大鉛直速度 (<math>{}_M V_{Vmax}</math>) 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<sup>(参4)</sup>を参考に設定した下式により算定してもよい。</p> ${}_M V_{Vmax} = (2/3) \cdot {}_M V_{Hmax} \cdots (4.3)$ <p>ここで、<math>{}_M V_{Hmax}</math> は、設計飛来物の最大水平速度を表す。</p> <p>(2) 設計飛来物の設定例</p> <p>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 (<math>{}_M V_{Hmax}</math>) は、設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>)=100(m/s)とした条件下で解析的に算定した結果<sup>(参3)</sup>である。また、解説表 4.1 の最大鉛直速度 (<math>{}_M V_{Vmax}</math>) は、米国 NRC の基準類<sup>(参4)</sup>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。</p> <p>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。</p>	<p>から飛来の有無を判断し、運動エネルギー及び貫通力を考慮するとともに、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定、固縛、建屋収納又は敷地から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、鋼製材を設計飛来物としている。</p> <p>⇒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比較し、より大きい方を特性値として設定している。</p> <p>⇒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。</p> <p>⇒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、運動エネルギー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、鋼製材を設計飛来物としている。</p> <p>⇒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</p>

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<sub>D</sub>=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 <sub>H</sub> V <sub>max</sub> (m/s)	49	51	30	60	34
最大鉛直速度 M <sub>V</sub> V <sub>max</sub> (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。

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<sub>w</sub>)、気圧差による荷重(W<sub>p</sub>)、及び設計飛来物による衝撃荷重(W<sub>M</sub>)を組み合わせた複合荷重とし、複合荷重 W<sub>T1</sub> 及び W<sub>T2</sub> は、米国 NRC の基準類<sup>(参 12)</sup>を参考として設定した下式により算定する。

$$W_{T1} = W_p \cdots (4.4)$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M \cdots (4.5)$$

ここで、(4.4)式及び(4.5)式の各変数は下記のとおり。

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。

⇒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象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。

⇒設計飛来物による衝撃荷重は、設計飛来物の形状、剛性等の機械的特性に基づいて適切に設定する。

⇒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
<p> <math>W_{T1}</math>、<math>W_{T2}</math>：設計竜巻による複合荷重  <math>W_W</math>：設計竜巻の風圧力による荷重  <math>W_P</math>：設計竜巻による気圧差による荷重  <math>W_M</math>：設計飛来物による衝撃荷重                      なお、設計対象施設には <math>W_{T1}</math> 及び <math>W_{T2}</math> の両荷重をそれぞれ作用させる。                 </p> <p>4.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定</p> <p>「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。</p> <p>4.4 施設の構造健全性の確認</p> <p>4.4.1 概要</p> <p>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<sup>(注 4.1)</sup>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。</p> <p>(注 4.1) 竜巻防護施設を内包する区画。</p> <p>4.4.2 建屋、構築物等の構造健全性の確認</p> <p>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。</p>	<p>⇒設計対象施設には <math>W_{T1}</math> 及び <math>W_{T2}</math> の両荷重をそれぞれ作用させることとしている。</p> <p>⇒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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・通常時に作用している荷重</li> <li>・竜巻以外の自然現象による荷重（積雪）</li> </ul>

補 2-1-27

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
<p>(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定</p> <p>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<sup>(注4.2)</sup>等に準拠して算定する。</p> <p>(2) 構造健全性の確認</p> <p>「(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。</p> <p>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）</p> <p>設計対象施設が終局耐力等の許容限界<sup>(注4.2)</sup>に対して妥当な安全余裕を有している。</p> <p>②竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設</p> <p>1) 設計対象施設あるいはその特定の区画<sup>(注4.3)</sup>が、終局耐力等の許容限界<sup>(注4.2)</sup>に対して妥当な安全余裕を有している。</p> <p>2) 設計飛来物が設計対象施設あるいはその特定の区画<sup>(注4.3)</sup>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。<sup>(注4.4)</sup></p> <p>(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。</p> <p>(注4.3) 竜巻防護施設を内包する区画。</p> <p>(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。</p>	<p>⇒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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・竜巻防護対象施設を収納する建屋</li> </ul> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設</li> </ul> <p>設計荷重（竜巻）による影響を受けても竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。</p>

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
<p>4.4.3 設備の構造健全性の確認</p> <p>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。</p> <p>(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定</p> <p>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<sup>(注4.5)</sup>等に準拠して算定する。</p> <p>(2) 構造健全性の確認</p> <p>「(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。</p> <p>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）</p> <p>設計対象施設が許容応力度等に基づく許容限界<sup>(注4.5)</sup>に対して適切な安全余裕を有している。</p> <p>②竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設</p> <p>1)設計対象施設あるいはその特定の区画<sup>(注4.6)</sup>が、許容応力度等に基づく許容限界<sup>(注4.5)</sup>に対して適切な安全余裕を有している。</p> <p>2)設計飛来物が設計対象施設あるいはその特定の区画<sup>(注4.6)</sup>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。<sup>(注4.7)</sup></p> <p>(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。</p> <p>(注4.6) 竜巻防護施設を内包する区画。</p>	<p>⇒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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・建屋に収納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。</li> <li>・建屋に収納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。</li> <li>・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。</li> <li>・竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設 設計荷重（竜巻）の影響を受けても竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。</li> </ul>



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
<p>(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。</p> <p>4.5 その他の確認事項</p> <p>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。</p> <p>5. 竜巻随伴事象に対する考慮</p> <p>5.1 概要</p> <p>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。</p> <p>5.2 基本的な考え方及び検討事項</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>⇒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。</p> <p>⇒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。</p>

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
<p>(1) 火災</p> <p>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。</p> <p>(2) 溢水等</p> <p>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。</p>	<p>⇒竜巻により再処理事業所内の屋外にある危険物貯蔵施設等の損傷、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。</p> <p>建屋内に収納される竜巻防護対象施設のうち、開口部を有する室に設置されるものは、設計飛来物に対して建物・構築物による防護対策を講ずることを考慮すると、設計飛来物が当該室に侵入することはないことから、設計竜巻により建屋内に火災が発生し、竜巻防護対象施設に影響を及ぼすことは考えられない。</p> <p>⇒再処理事業所内の屋外タンク等の破損による溢水を想定し、溢水源と竜巻防護対象施設の位置関係を踏まえた影響評価を行った上で、竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えない設計とすることとしている。</p> <p>建屋内に収納される竜巻防護対象施設のうち開口部を有する室に設置されるものは、飛来物に対して建物・構築物による防護対策を講ずることを考慮すると、設計飛来物が当該室に侵入することはないことから、設計竜巻により建屋内に溢水が発生し、竜巻防護対象施設に影響を及ぼすことは考えられない。また、竜巻防護対象施設のない開口部を有する室については、設計竜巻による建屋内の溢水が発生したとしても安全機能に影響を与えることはない。</p>

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
<p>(3) 外部電源喪失</p> <p>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。</p> <p>6. 附則</p> <p>この規定は、平成25年7月8日より施行する。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>⇒設計竜巻，設計竜巻と同時に発生する雷・雹等，あるいはダウンバースト等により，送電網に関する施設等が損傷する等による外部電源喪失に対しては，非常用所内電源設備の安全機能を確保できる設計とすることにより，竜巻防護対象施設の安全機能を確保する設計とする。</p>

# 事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（1/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
<p><b>加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則</b></p> <p>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。</p> <p><b>加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈</b></p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p><b>加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則</b></p> <p>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。</p> <p><b>加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈</b></p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>本文別添</p> <p>一. 加工施設の位置、構造及び設備</p> <p>ロ. 建物の構造</p> <p>(ロ) 構造</p> <p>(6) その他の主要な構造</p> <p>① 加工施設における主要な建物は、敷地で予想される台風、異常寒波、豪雪等の自然現象によってもその安全性が損なわれることのない構造とする。</p> <p>添付書類五</p> <p>イ. 安全設計の方針</p> <p>(イ) 安全設計の基本方針</p> <p>(6) 加工施設は、台風、異常寒波、豪雪等の自然現象によっても安全確保上支障がないように設計する。</p> <p>へ. 地震以外の自然現象に対する考慮</p> <p>加工施設は、敷地で予想される津波、地すべり、陥没、台風、高潮、洪水、異常寒波、豪雪等の自然条件について、敷地及び周辺地域の過去の記録、現地調査を参考にして、予想される自然条件のうち最も過酷と考えられる条件を適切に考慮した設計とする。</p> <p>(イ) 津波・高潮</p> <p>加工施設の敷地は、標高60m前後の 弥栄平 と呼ばれる台地にあり、津波、高潮のおそれのない環境にある。</p> <p>(ロ) 洪水</p> <p>敷地の地形及び表流水の状況から判断して、敷地が洪水による被害を受けることは考えられない。</p> <p>(ハ) 台風・異常寒波・豪雪等</p> <p>気象条件の設定については、原則として最寄りの気象官署である八戸測候所及びむつ特別地域気象観測所の観測資料を使用する。ただし、異常寒波、豪雪の気象条件については、敷地近傍にある六ヶ所地域気象観測所の観測資料も考慮する。</p> <p>燃料加工建屋の設計に当たっては、最大瞬間風速は八戸測候所の観測記録41.3m/s、最低気温は六ヶ所地域気象観測所の観測記録を踏まえ八戸測候所の観測記録-15.7℃、最深積雪は六ヶ所地域気象観測所の観測記録190cmを考慮し、安全確保上支障がないように設計する。</p> <p>また、積雪及び風の荷重を適切に組み合わせて設計する。</p> <p>なお、加工施設には、「建築基準法」等に基づき、避雷設備を設ける。</p> <p>(二) 地すべり・陥没</p> <p>加工施設の敷地は、標高60m前後の弥栄平と呼ばれる台地にあり、地すべりが発生し、加工施設に影響を与えるような急斜面はない。また、敷地の地質状況等からみて、陥没のおそれはない。</p> <p>添付書類七</p> <p>ロ. 事故の想定及び評価</p> <p>(3) その他の自然現象等による事故の災害評価</p> <p>① その他の自然現象</p> <p>主要な加工施設は、十分な地耐力を有する鷹架 層に支持させること、また、敷地の西側部分を標高約55mに整地し配置することから、敷地</p>	<p>【本文】</p> <p>(ト) その他主要な構造</p> <p>(1) 安全機能を有する施設</p> <p>① 外部からの衝撃による損傷の防止</p> <p>安全機能を有する施設は、敷地内又はその周辺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。</p> <p>なお、敷地内又はその周辺で想定される自然現象のうち、洪水及び地滑り並びに津波については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。</p> <p>上記に加え、安全上重要な施設は、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た条件においても、安全機能を損なわない設計とする。</p> <p>また、安全機能を有する施設は、敷地内又はその周辺の状況を基に想定される飛來物（航空機落下等）、ダム崩壊、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。</p> <p>なお、敷地内又はその周辺の状況を基に想定される人為事象のうち、ダム崩壊及び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。</p> <p>自然現象及び人為事象の組合せについては、地震、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、火山の影響、生物学的事象、森林火災等を考慮する。これらの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。</p> <p>ここで、想定される自然現象に対しては、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める。また、人為事象に対しては、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める。また、想定される自然現象及び人為事象の発生により、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は、工程停止、送排風機の停止等、MOX燃料加工施設への影響を軽減するための措置を講ずるよう手順を整備する。</p>	<p>「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」について、既許可申請書本文口項に敷地で予想される台風、異常寒波、豪雪等の自然現象によってもその安全機能が損なわれることのない構造及び配置とすることを記載している。</p> <p>また、上記の本文記載事項に対する設計方針として、既許可申請書添付書類五「イ安全設計の基本方針」及び「へ. 地震以外の自然現象に対する考慮」並びに評価として既許可申請書添付書類七「ロ. 事故の想定及び評価」にMOX燃料加工施設は、敷地で予想される台風、異常寒波、豪雪等の自然現象によってもその安全性が損なわれることのない構造及び配置とすることを記載している。</p> <p>したがって、以下の内容が、指針から明確化された。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>想定される自然現象として、竜巻、落雷、火山の影響、生物学的事象及び森林火災が明確された</li> <li>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。</li> <li>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</li> </ul> <p>上記を踏まえ、適合方針については、明確された森林火災に対する規則要求への適合性を新たに記載する。</p> <p>したがって、以下の内容が指針から追加要求となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>異種の自然現象の重畳を考慮すること。</li> <li>設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮すること。</li> </ul> <p>以上より、適合方針では記載の明確化を実施する。</p> <p>また、竜巻に対する規則要求への適合性を新たに記載する。</p>	<p>【新規制基準の第9条要求による変更】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>規則解釈に合わせ、明確化された自然現象を追加</li> </ul> <p>【新規制基準の第9条要求による変更】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>規則解釈に合わせ、明確化された設計上の考慮を要する自然現象又はその組合せに対して考慮を追加</li> </ul> <p>【新規制基準の第9条要求による変更】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>規則解釈に合わせ、異種の自然現象の重畳及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮することを追記</li> </ul> <p>【新規制基準の第9条要求による変更】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>規則解釈に合わせ、想定される外部人為事象の追加</li> </ul> <p>【新規制基準の第9条要求による変更】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>規則解釈に合わせ、明確化された自然現象を追加</li> </ul> <p>【新規制基準の第9条要求による変更】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>規則解釈に合わせ、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追加</li> </ul>

## 事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（2/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
	<p>周辺の斜面の崩壊等による影響を受けることはない。燃料加工建屋の風荷重に対する設計は、敷地周辺の過去の記録を考慮し設計されるため、台風等の風により損傷を受けることはない。また、燃料加工建屋の最低気温及び最深積雪量に対する設計は、敷地及び周辺地域の過去の記録に基づいて設計することから、これらの自然現象により加工施設が被害を受けることはない。</p>	<p>a. 竜巻</p> <p>安全機能を有する施設は、想定される竜巻が発生した場合においても、作用する設計荷重に対してその安全機能を損なわない設計とする。</p> <p>竜巻に対する防護設計を行うための設計竜巻の最大風速は100m/sとし、設計荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重並びに安全機能を有する施設に通常時に作用している荷重、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。</p> <p>安全機能を有する施設の安全機能を損なわないようにするため、安全機能を有する施設に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策として、飛来物となる可能性のあるもののうち、運動エネルギ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。飛来物となり得る資機材及び車両のうち、衝突時に与える運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物によるものより大きくなるものについては、固定、固縛、建屋収納、退避又は撤去を実施する。</p> <p>また、再処理事業所外から飛来するおそれがあり、かつ、再処理事業所内からの飛来物による衝撃荷重を上回ると想定されるものがある場合は、設計飛来物としての考慮の要否を検討する。</p> <p>竜巻に対する防護設計においては、機械的強度を有する建物により保護すること等により、安全機能を有する施設が安全機能を損なわない設計とすること、若しくは竜巻による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間で修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。</p> <p>【添付書類三】</p> <p>チ. 竜巻</p> <p>基準竜巻及び設計竜巻の設定は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（平成25年6月19日 原規技発第13061911号 原子力規制委員会決定）（以下「竜巻ガイド」という。）を参考に実施する。</p> <p>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。</p> <p>(イ) 竜巻検討地域の設定</p> <p>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、気象条件の類似性の観点から検討し設定する。</p> <p>(1) MOX燃料加工施設が立地する地域の気候</p> <p>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<sup>(1)</sup>。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型でやませの影響が強い）に属している。</p> <p>(2) MOX燃料加工施設が立地する地域の竜巻発生観点での特徴</p> <p>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<sup>(2)</sup>。）で示されている全国19箇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<sup>(2)</sup>を参考</p>		<p>【新規制基準の第9条要求による変更】</p> <p>・想定される自然現象として明確化された竜巻について、規則または解釈に適合させるよう記載を追加</p>

事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（3/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
		<p>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。</p> <p>立地地域周辺における竜巻の発生状況は、日本海側及び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。</p> <p>(3) 竜巻検討地域</p> <p>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①から④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<sup>2</sup>）。添3-チ第4図に竜巻検討地域を示す。</p> <p>① 立地地域の気候及び竜巻発生の特徴を踏まえ、青森県（竜飛岬より太平洋側）から岩手県を基本とする。</p> <p>② IAEAの基準<sup>(3)</sup>を参考に、MOX燃料加工施設を中心とする100000km<sup>2</sup>（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。</p> <p>③ 竜巻検討地域は、分水嶺及び関口武による気候区分<sup>(4)</sup>（1959）を参考に設定する。</p> <p>④ 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。</p> <p>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。</p> <p>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）<sup>(5)</sup>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）<sup>(6)</sup>を算出する。</p> <p>これらの指数は、竜巻発生環境との関連付けで、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、SReHの概念を添3-チ第7図に示す。</p> $CAPE = \int_{LFC}^{EL} g \frac{\theta(z)}{\theta(z')} dz \quad (a)$ $SReH = \int_{地上}^{高度3km} (V - C) \cdot \omega dz \quad (b)$ <p>ここで、(a)式の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。(b)式のVは水平風速ベクトル、ωは鉛直シアに伴う水平渦度、Cはストームの移動速度である。</p> <p>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<sup>(7)</sup>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</p>		



事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（4/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
		<p>時には少なからず降水をもたらされるため、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<sup>(8)</sup>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。</p> <p>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月から10月）及び寒候期（11月から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。</p> <p>〔暖候期（5月から10月）〕 CAPE：1200 J/kg, SReH：350m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup></p> <p>〔寒候期（11月から4月）〕 CAPE：500 J/kg, SReH：350m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup></p> <p>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3-1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な値となっている。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。</p> <p>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。</p> <p>(ロ) 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<sub>B1</sub>）及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V<sub>B2</sub>）のうち、大きい方の風速を設定する。</p> <p>(1) 過去に発生した竜巻による最大風速（V<sub>B1</sub>） 過去に発生した竜巻による最大風速（V<sub>B1</sub>）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<sub>B1</sub>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の竜巻の一覧を示す。</p> <p>(2) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V<sub>B2</sub>） 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<sup>(2)</sup>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。</p> <p>① 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3-1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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>また、藤田スケール不明の竜巻については、以下の取扱い</p>		

事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（5/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
		<p>を行う。</p> <p>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、被害があつ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。</p> <p>一方、海上で発生しその後上陸しなかつた竜巻については、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。</p> <p>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。</p> <p>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<sup>(2)</sup>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。</p> <p>② 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</p> <p>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<sup>(2)</sup>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。</p> <p>また、53年間の推定データの作成に伴い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。</p> <p>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。</p> <p>③ 竜巻影響エリアの設定</p> <p>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設置面積とみなし、竜巻影響エリアとして設定する。</p> <p>なお、竜巻影響エリアを円形とするため、竜巻の移動方向に依存性は生じない。</p> <p>④ ハザード曲線の算定</p> <p>T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が<math>V_0</math>以上となる確率を求め、ハザード曲線を求める。</p> <p>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(a)式で示される(Wen and Chu)<sup>(9)</sup>。</p> $P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} (1 + \beta vT)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 - \beta k) \quad (a)$ <p>ここで、Nは竜巻の年発生数、<math>v</math>は竜巻の年平均発生数、Tは年数である。<math>\beta</math>は分布パラメータであり、(b)式で示される。</p> $\beta = \left(\frac{\sigma^2}{v} - 1\right) \times \frac{1}{v} \quad (b)$ <p>ここで、<math>\sigma</math>は竜巻の年発生数の標準偏差である。</p> <p>Dを竜巻影響評価の対象構造物が風速<math>V_0</math>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<math>V_0</math>以上となる確率を<math>R(V_0)</math>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<math>V_0</math>以上となる確率は(c)式で示される。</p> $P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta vR(V_0)T]^{-1/\beta} \quad (c)$ <p>この<math>R(V_0)</math>は、竜巻影響評価の対象地域の面積を<math>A_0</math>（すなわち、竜巻検討地域の面積約<math>1.8 \times 10^4 \text{km}^2</math>）、1つの竜巻の風速が<math>V_0</math>以上となる面積を<math>DA(V_0)</math>とすると(d)式で示される。</p> $R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (d)$		



事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（6/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
		<p>ここで、<math>E[DA(V_0)]</math>は<math>DA(V_0)</math>の期待値を意味する。</p> <p>本評価では、以下のようにして<math>DA(V_0)</math>の期待値を算出し、(d)式により<math>R(V_0)</math>を推定して、(c)式により<math>P_{V_0,T}(D)</math>を求める。風速を<math>V</math>、被害幅を<math>w</math>、被害長さを<math>l</math>、移動方向を<math>\alpha</math>とし、同時確率密度関数を用いると、<math>DA(V_0)</math>の期待値は(e)式で示される(Garson et al.)<sup>(10)</sup>。</p> $E[DA(V_0)] = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0)lf(V,w,l)dVdwldl + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha)lf(V,l,\alpha)dVld\alpha + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0)G(\alpha)f(V,w,\alpha)dVdw\alpha + S \int_{V_0}^\infty f(V)dV \quad (e)$ <p>ここで、<math>H(\alpha)</math>及び<math>G(\alpha)</math>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、<math>H(\alpha)</math>、<math>G(\alpha)</math>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<math>1.3 \times 10^4 m^2</math>)を表す。竜巻影響エリアの直径を<math>D_0</math>とした場合の計算式は(f)式で示される。</p> $E[DA(V_0)] = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0)lf(V,w,l)dVdwldl + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha)lf(V,l,\alpha)dVld\alpha + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0)G(\alpha)f(V,w,\alpha)dVdw\alpha + S \int_{V_0}^\infty f(V)dV \quad (f)$ <p>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。</p> <p>また、<math>W(V_0)</math>は、竜巻の被害幅のうち風速が<math>V_0</math>を超える部分の幅であり、(g)式で示される。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.)<sup>(10)</sup><sup>(11)</sup>。</p> $W(V_0) = \left(\frac{V_{min}}{V_0}\right)^{1/1.6} \quad (g)$ <p>ここで、係数の1.6については、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.)<sup>(10)</sup>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(g)式を適用できる。なお、(g)式において係数を1.0とした場合がランキン渦モデルに該当する。</p> <p>また、<math>V_{min}</math>は、gale intensity velocityと呼ばれ、被害が発生し始める風速に位置付けられる。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。</p> <p>以上を参考に、本評価においては、<math>V_{min}=25m/s</math>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。</p> <p>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</p>		

事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（7/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
		<p>3-リ第15図に示す。</p> <p>⑤ 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（<math>V_{B2}</math>）          竜巻最大風速のハザード曲線により設定する最大風速<math>V_{B2}</math>は、竜巻ガイドを参考に年超過確率<math>10^{-5}</math>に相当する風速とし、37m/sとする。</p> <p>⑥ 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-リ第16図に示す。これより、年超過確率<math>10^{-5}</math>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。なお、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。</p> <p>(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<math>V_{B1}=92\text{m/s}</math>及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速<math>V_{B2}=37\text{m/s}</math>より、MOX燃料加工施設における基準竜巻の最大風速<math>V_B</math>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<math>1.5 \times 10^{-8}</math>である。</p> <p>(ハ) 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、敷地が平坦であり、竜巻の増幅を考慮する必要のある地形はないと考えられるため、基準竜巻の最大風速に対する割り増しは行わず、設計竜巻の最大風速は92m/sとなるが、竜巻に対する設計に当たっては、蓄積されている知見の少なさとといった不確定要素を考慮し、将来の竜巻発生に関する不確実性を踏まえ、基準竜巻の最大風速を安全側に切り上げて、設計竜巻の最大風速を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<math>5.3 \times 10^{-9}</math>である。</p> <p>添付書類五          イ. 安全設計          (ロ)安全機能を有する施設          ② 竜巻防護に関する設計          a. 竜巻防護に関する設計方針  <u>原子力規制委員会の定める事業許可基準規則の第九条では、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。</u>  <u>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。</u>  <u>(a) 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</u>  <u>(b) MOX燃料加工施設における飛来物に係る調査</u>  <u>(c) 飛来物発生防止対策</u>  <u>(d) 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</u>  <u>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。</u></p>		<p>【新規制基準の第9条要求による変更】          ・想定される自然現象として明確化された竜巻について、規則または解釈に適合させるよう記載を追加</p>

## 事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（8/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
		<p>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、MOX燃料加工施設の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、安全上重要な機能を有する構築物及び設備・機器を抽出する。竜巻防護対象施設及びそれらを収納する建屋（以下「竜巻防護対象施設等」という。）は、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。</p> <p>また、その施設の倒壊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おそれがある施設及び竜巻防護対象施設を収納する建屋は、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収納する建屋及びその施設の倒壊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おそれがある施設を併せて、設計対処施設という。</p> <p>上記に含まれない安全機能を有する施設は、竜巻及びその随伴事象に対して機能を維持すること若しくは竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。</p> <p>b. 設計対処施設</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>これらの施設を添5第16図から添5第18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とともに竜巻防護対象施設を収納する建屋を設計対処施設として選定する。また、建屋に収納される竜巻防護対象施設のうち添5第19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しない建屋に収納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20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、建屋に収納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。</p> <p>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。</p> <p>i. 建屋に収納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）</p> <p>ii. 屋外の竜巻防護対象施設</p> <p>iii. 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設</p> <p>iv. 建屋に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設</p> <p>なお、屋外の竜巻防護対象施設に該当する施設はない。</p> <p>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。</p> <p>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対し、倒壊による機械的影響を及ぼし得る施設及び付属施設の破損等による機能的影響を及ぼし得る施設を以下のとおり選定する。</p> <p>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</p>		<p>【新規基準の第9条要求による変更】</p> <p>・想定される自然現象として明確化された竜巻について、規則または解釈に適合させるよう記載を追加</p>

事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（9/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
		<p>は、建物・構築物の高さ、竜巻防護対象施設等との距離を考慮して、破損又は倒壊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。</p> <p>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、気圧差及び飛来物の衝突による破損等により竜巻防護対象施設の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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 竜巻防護対象施設を収納する建屋</li> <li>・ 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設</li> <li>・ 建屋に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設</li> <li>・ 竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設</li> </ul> <p>設計対処施設を以下のとおり、分類ごとに選定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(i) 竜巻防護対象施設を収納する建屋 <ul style="list-style-type: none"> <li>(i)-1 燃料加工建屋</li> <li>(ii) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設 <ul style="list-style-type: none"> <li>(ii)-1 気体廃棄物の廃棄設備の工程室排気設備</li> <li>(ii)-2 気体廃棄物の廃棄設備のグローブボックス排気設備</li> <li>(ii)-3 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</li> </ul> </li> <li>(iii) 建屋に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設 <ul style="list-style-type: none"> <li>(iii)-1 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</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>(iv) 竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設 <ul style="list-style-type: none"> <li>(iv)-1 気体廃棄物の廃棄設備の排気筒</li> </ul> </li> </ul> <p>c. 設計荷重（竜巻）の設定</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(a) 設計竜巻の設定</li> </ul> <p>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16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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. 設計竜巻の移動速度（<math>V_T</math>）</li> </ul> <p>設計竜巻の移動速度（<math>V_T</math>）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<sup>(50)</sup>（以下「東京工芸大学委託成果」という。）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。</p> $V_T = 0.15 \times V_D$ <p><math>V_D</math> (m/s) : 設計竜巻の最大風速</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ii. 設計竜巻の最大接線風速（<math>V_{Rm}</math>）</li> </ul> <p>設計竜巻の最大接線風速（<math>V_{Rm}</math>）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。</p> $V_{Rm} = V_D - V_T$ <ul style="list-style-type: none"> <li>iii. 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径（<math>R_m</math>）</li> </ul> <p>設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径（<math>R_m</math>）は、東京工芸大学委託成果<sup>(50)</sup>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。</p> $R_m = 30 \text{ (m)}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>iv. 設計竜巻の最大気圧低下量（<math>\Delta P_{max}</math>）</li> </ul> <p>設計竜巻の最大気圧低下量（<math>\Delta P_{max}</math>）は、米国原子力規制委員会の基準類<sup>(52)</sup>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。</p> $\Delta P_{max} = \rho \times V_{Rm}^2$ <p><math>\rho</math> : 空気密度 (1.22 (kg/m<sup>3</sup>))</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>v. 設計竜巻の最大気圧低下率（<math>(dp/dt)_{max}</math>）</li> </ul> <p>設計竜巻の最大気圧低下率（<math>(dp/dt)_{max}</math>）は、米国原子力規制委員会の基準類<sup>(52)</sup>のランキン渦モデルによる</p>		

事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（10/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
		<p>風速分布を参考に、以下の式を用いて算定する。  <math display="block">(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \times \Delta P_{max}</math></p> <p>(b) 設計飛来物の設定            竜巻ガイドを参考に再処理事業所内をふかんした現地調査及び検討を行い、再処理事業所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、運動エネルギー及び貫通力の大きさを考慮して、設計竜巻により設計対処施設に衝突し得る飛来物（以下「設計飛来物」という。）を設定する。衝突時に設計対処施設に与える運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物によるものより大きくなるものについては、浮き上がり又は横滑りの有無を考慮した上で、固定、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。</p> <p>設計対処施設以外のエネルギー管理建屋、エネルギー管理建屋の屋外機器及び第1高圧ガストレーラ庫の水素ガス貯蔵容器（以下「屋外機器等」という。）は、衝突時に設計対処施設に与える運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物より大きくなるものを発生させることのないよう、エネルギー管理建屋の屋根及び外壁については飛散させない対策を実施する。また、屋外機器等については、固定又は固縛する対策を実施することから、飛来物の発生源として考慮しない。</p> <p>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。</p> <p>また、再処理事業所外から飛来するおそれがあり、かつ、再処理事業所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。</p> <p>以上のことから、竜巻ガイドに例示される鋼製材を設計飛来物として設定する。</p> <p>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絡される。</p> <p>添5第17表にMOX燃料加工施設における設計飛来物を示す。</p> <p>(c) 荷重の組合せと許容限界            i. 設計対処施設に作用する設計竜巻荷重            設計竜巻により設計対処施設に作用する設計竜巻荷重を以下に示す。</p> <p>(i) 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。  <math display="block">W_w = q \times G \times C \times A</math>           ここで、  <math>W_w</math> : 風圧力による荷重  <math>q</math> : 設計用速度圧  <math>G</math> : ガスト影響係数 (=1.0)  <math>C</math> : 風力係数  <math>A</math> : 施設の受圧面積  <math display="block">q = (1/2) \times \rho \times V_D^2</math>           である。ここで、  <math>\rho</math> : 空気密度  <math>V_D</math> : 設計竜巻の最大風速            である。</p> <p>ただし、竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として算定されるが、鉛直方向の風圧力に対してせい弱と考えられる設計対処施設が存在する場合には、鉛直方向の最</p>		

事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（11/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
		<p>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。</p> <p>(ii) 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収納する建屋の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に算出する。「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、施設内外に気圧差を生じさせる。</p> $W_p = \Delta P_{max} \times A$ <p>ここで、  <math>W_p</math> : 気圧差による荷重  <math>\Delta P_{max}</math> : 最大気圧低下量  <math>A</math> : 施設の受圧面積</p> <p>である。</p> <p>(iii) 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。</p> <p>ii. 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 (<math>W_w</math>)、気圧差による荷重 (<math>W_p</math>) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (<math>W_M</math>) を組み合わせた複合荷重とし、複合荷重 <math>W_{T1}</math> 及び <math>W_{T2}</math> は米国原子力規制委員会の基準類<sup>(53)</sup>を参考として、以下のとおり設定する。</p> $W_{T1} = W_p$ $W_{T2} = W_w + (1/2) \times W_p + W_M$ <p>設計対処施設には <math>W_{T1}</math> 及び <math>W_{T2}</math> の両荷重をそれぞれ作用させる。</p> <p>iii. 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。</p> <p>(i) 通常時に作用している荷重</p> <p>(ii) 竜巻以外の自然現象による荷重 竜巻は積乱雲又は積雲に伴って発生する現象であり<sup>(35)</sup>、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。</p> <p>なお、風（台風）に対しては、「①b. 竜巻、森林火災及び火山の影響以外の自然現象に対する設計方針」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、設計竜巻荷重に包絡される。 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。</p> <p>(ii)-1 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。</p> <p>(ii)-2 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。</p> <p>(ii)-3 降雹 降雹は積乱雲から降る直径5mm以上の氷の粒であり、仮に直径10cm程度の大型の降雹を仮定した場合でも、その質量は約0.5kgである。竜巻及び降雹が同時に発生する場合においても、直径10cm程度の降雹の終端速度は59m/s<sup>(36)</sup>、運動エ</p>		<p>【新規基準の第9条要求による変更】          ・規則解釈に合わせ、異種の自然現象の重畳及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮することを追記</p>



事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（12/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
		<p>エネルギーは約0.9kJであり、設計飛来物の運動エネルギーと比べて十分小さく、降雹の衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。</p> <p>(ii)-4 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、設計竜巻荷重に包絡される。</p> <p>(iii) 設計基準事故時荷重            設計対処施設に作用させる設計竜巻荷重には、設計基準事故時に生ずる応力の組合せを適切に考慮する設計とする。すなわち、竜巻により設計対処施設に作用する荷重及び設計基準事故時に生ずる荷重を、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して適切に組み合わせて設計する。また、設計基準事故の影響が及ぶ期間に発生すると考えられる竜巻により、設計対処施設に作用する荷重と設計基準事故時に生ずる荷重を適切に設計する。</p> <p>設計対処施設は、設計竜巻に対して安全機能を損なわない設計とすることから、設計竜巻と設計基準事故は独立事象となる。設計竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいことから、設計基準事故時荷重と設計竜巻荷重の組合せは考慮しない。</p> <p>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場合、安全上重要な施設に荷重を加える設計基準事故である「露出した状態でMOX粉末を取り扱い、火災源となる潤滑油を保有しているグローブボックスにおいて火災が発生し、火災の影響を受けたMOX粉末が飛散し、外部に放射性物質が放出される事象」による荷重との組み合わせが考えられる。この設計基準事故により荷重を受ける安全上重要な施設であるグローブボックスは、竜巻による荷重を受けることは無いため、設計基準事故時荷重と竜巻の組合せは考慮しない。</p> <p>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。</p> <p>iv. 許容限界            建屋・構築物の設計において、設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離発生の有無の評価については、貫通及び裏面剥離が発生する限界厚さ及び部材の最小厚さを比較することにより行う。さらに、設計荷重（竜巻）により発生する変形又は応力が安全上適切と認められる以下の規格及び基準等による許容応力度等の許容限界に対して安全余裕を有する設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・建築基準法</li> <li>・日本産業規格</li> <li>・日本建築学会等の基準、指針類</li> <li>・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）</li> <li>・原子力エネルギー協会（NEI）の基準・指針類</li> </ul> <p>設備の設計においては、設計飛来物の衝突による貫通の有無の評価について、貫通が発生する限界厚さ及び部材の最小厚さを比較することにより行う。さらに、設計荷重（竜巻）により発生する応力が安全上適切と認められる以下の規格及び基準等による許容応力等の許容限界に対して安全余裕を有する設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・日本産業規格</li> <li>・日本建築学会等の基準、指針類</li> <li>・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）</li> <li>・原子力エネルギー協会（NEI）の基準・指針類</li> </ul> <p>d. 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収納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。</p>		<p>【新規基準の第9条要求による変更】            ・規則解釈に合わせ、異種の自然現象の重畳及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮することを追記</p>

事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（13/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
		<p>(a) 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</p> <p>(b) 設計竜巻荷重及びその他の荷重（通常時に作用している荷重、運転時荷重、竜巻以外の自然現象による荷重及び設計基準事故時荷重）を適切に組み合わせた設計荷重（竜巻）</p> <p>(c) 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収納する建屋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。</p> <p>i. 竜巻防護対象施設を収納する建屋            竜巻防護対象施設を収納する建屋は、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、貫通及び裏面剥離を防止できる設計とする。</p> <p>ii. 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構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。</p> <p>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並びに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、構造健全性を維持できるような十分な強度を有する設計とする。</p> <p>iii. 建屋に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設            建屋に収納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。</p> <p>iv. 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）を考慮しても倒壊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。具体的には以下のとおりである。</p> <p>気体廃棄物の廃棄設備の排気筒は、倒壊に至った場合には、燃料加工建屋に波及的影響を及ぼすおそれがあることから、設計飛来物の衝突による貫通及び風圧力による荷重を考慮しても倒壊に至らない設計とし、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。</p> <p>e. 竜巻随件事象に対する設計            竜巻ガイドを参考に、過去の他地域における竜巻被害状況及びMOX燃料加工施設の配置を図面等により確認した結果、竜巻随件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。</p> <p>(a) 火災            竜巻により再処理事業所内の屋外にある危険物貯蔵施設等（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の位置関係を踏まえて熱影響を評価した上で、竜巻防護対象施設の許容温度を超えない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「③ 外部火災防護に関する設計」にて考慮する。</p>		



事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（14/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
		<p>建屋内に収納される竜巻防護対象施設のうち、開口部を有する室に設置されるものは、設計飛来物に対して建物・構築物による防護対策を講ずることを考慮すると、設計飛来物が当該室に侵入することはないことから、設計竜巻により建屋内に火災が発生し、竜巻防護対象施設に影響を及ぼすことは考えられない。</p> <p>(b) 溢水 再処理事業所内の屋外タンク等の破損による溢水を想定し、溢水源と竜巻防護対象施設の位置関係を踏まえた影響評価を行った上で、竜巻防護対象施設の安全機能が損なわれないように必要に応じて堰を設ける等の防護対策を講じ、竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えない設計とすることを「(9) 溢水防護に関する設計」にて考慮する。 建屋内に収納される竜巻防護対象施設のうち開口部を有する室に設置されるものは、設計飛来物に対して建物・構築物による防護対策を講ずることを考慮すると、設計飛来物が当該室に侵入することはないことから、設計竜巻により建屋内に溢水が発生し、竜巻防護対象施設に影響を及ぼすことは考えられない。また、竜巻防護対象施設のない開口部を有する室については、設計竜巻による建屋内の溢水が発生したとしても安全機能に影響を与えることはない。</p> <p>(c) 外部電源喪失 設計竜巻、設計竜巻と同時に発生する雷・雹等、あるいはダウンバースト等により、送電網に関する施設等が損傷する等による外部電源喪失に対しては、非常用所内電源設備の安全機能を確保できる設計とすることにより、竜巻防護対象施設の安全機能を維持する設計とする。</p> <p>f. 手順等 設計竜巻による飛来物の発生防止及び竜巻による安全機能を有する施設への影響の軽減を図るため、以下の事項を考慮した手順を定める。 (a) 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ー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。 (b) 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。 ・飛来対策区域は、車両から距離を取るべき離隔対象施設と車両との間を取るべき離隔距離を考慮して設定する。 離隔距離の検討に当たっては、先ず解析により車両の最大飛来距離を求める。解析においては、フジタモデルの方がランキン渦モデルよりも地表面における竜巻の風速場をよく再現していること及び車両は地表面にあることから、フジタモデルを適用する。車両の最大飛来距離の算出結果は170mであるが、フジタモデルを適用した解析における不確実性を補うため、算出結果に安全余裕を考慮して、離隔距離を200mとする。 ・車両の退避場所は、周辺防護区域内及び周辺防護区域外に設ける。また、フジタモデルを適用した解析における不確実性を補うため、周辺防護区域内の退避場所に退避する車両については固縛の対象とする。</p> <p>(c) 竜巻に対する運用管理を確実に実施するために必要な</p>		

事業許可基準規則第9条（竜巻）と許認可実績・適合方針との比較表（15/15）

①事業許可基準規則	②許認可実績等	③適合方針	①事業許可基準規則 - ②許認可実績等 - ③適合方針の比較結果	②許認可実績等 - ③適合方針の本文比較結果
		<p>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実施する。</p> <p>(d) 竜巻によりMOX燃料加工施設に影響を及ぼすおそれが見られる場合は、竜巻による安全機能を有する施設への影響を軽減させるため、全工程停止に加え、グローブボックス排風機以外の送排風機を停止し、MOX燃料加工施設を安定な状態に移行する措置を講ずるとともに、工程室排風機後の排気系統に手動ダンパを設置する設計とし、閉止の措置を行う手順を定める。</p>		