

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
大洗研究所（南地区）高速実験炉原子炉施設（「常陽」）

第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）

（その4：耐竜巻設計）

2023年3月14日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

大洗研究所高速実験炉部

第 6 条：外部からの衝撃による損傷の防止

(その 4：耐竜巻設計)

本 日 ご 提 示 範 囲

目 次

1. 要求事項の整理
2. 設置許可申請書における記載
3. 設置許可申請書の添付書類における記載
  - 3.1 安全設計方針
  - 3.2 気象等
  - 3.3 設備等
4. 要求事項への適合性
  - 4.1 基本方針
  - 4.2 耐竜巻設計
  - 4.3 手順等
  - 4.4 要求事項（試験炉設置許可基準規則第 6 条）への適合性説明

(別紙)

別紙 1：竜巻に対する安全施設の安全機能の確保

別紙 2：設計竜巻の最大風速の設定

別紙 3：竜巻影響評価におけるランキン渦モデルとフジタモデルの適用範囲

別紙 4：風圧力及び気圧差による圧力の設定

別紙 5：設計竜巻荷重の設定における設計飛来物の選定

別紙 6：竜巻以外の自然現象の考慮

別紙 7：竜巻が原子炉施設に到達するおそれが確認された場合の対応フロー

別紙 8：設計竜巻荷重に対する構造健全性評価結果（原子炉建物（格納容器を含む）及び原子炉附属建物並びに主冷却機建物）

別紙 9：設計竜巻荷重に対する構造健全性評価結果（第一使用済燃料貯蔵建物及び第二使用

済燃料貯蔵建物)

別紙 10：設計竜巻荷重に対する構造健全性評価結果（主冷却機のうち屋外部分）

別紙 11：設計竜巻荷重に対する構造健全性評価結果（補機冷却設備のうち非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔）

別紙 12：設計竜巻荷重に対する構造健全性評価結果（主排気筒）

別紙 13：設計飛来物に対する竜巻影響評価対象施設の貫通及び裏面剥離評価結果

別紙 14：竜巻随件事象のうち溢水に係る評価結果

別紙 15：竜巻随件事象のうち火災に係る評価結果

(添付)

添付 1 : 設置許可申請書における記載

添付 2 : 設置許可申請書の添付書類における記載（安全設計）

添付 3 : 設置許可申請書の添付書類における記載（適合性）

添付 4 : 設置許可申請書の添付書類における記載（気象等）

< 概 要 >

試験研究用等原子炉施設の設置許可基準規則の要求事項を明確化するとともに、それら要求に対する高速実験炉原子炉施設の適合性を示す。

1. 要求事項の整理

試験炉設置許可基準規則第6条における要求事項等を第1.1表に示す。本要求事項は、新規制基準における追加要求事項に該当する。

第1.1表 試験炉設置許可基準規則第6条における要求事項  
及び本申請における変更の有無 (1/2)

要求事項	変更の有無
<p>1 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。</p> <p><b>【解釈】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 第6条は、設計基準において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等への措置を含む。</li> <li>・ 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。</li> <li>・ 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試験研究用等原子炉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。</li> </ul>	<p>有</p>

第 1.1 表 試験炉設置許可基準規則第 6 条における要求事項  
及び本申請における変更の有無 (2/2)

要求事項	変更の有無
<p>2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。</p> <p><b>【解釈】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 第 2 項に規定する「重要安全施設」については、「水冷却型試験研究用原子炉施設に関する安全設計審査指針」（平成 3 年 7 月 18 日原子力安全委員会決定）の「添付 水冷却型試験研究用原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する基本的な考え方」の「4. (1)自然現象に対する設計上の考慮」に示されるものとする。水冷却型研究炉以外の炉型についても、これを参考とすること。</li> <li>・ 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、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。</li> <li>・ 第 2 項に規定する「適切に考慮したもの」とは、大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故が発生した場合に生じる応力を単純に加算することを必ずしも要求するものではなく、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して適切に組み合わせた場合をいう。</li> </ul>	有
<p>3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。</p> <p><b>【解釈】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 第 3 項は、設計基準において想定される試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設、設備等への措置を含む。</li> <li>・ 第 3 項に規定する「試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）」とは、敷地及び敷地周辺の状況をもとに選択されるものであり、飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、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。</li> </ul>	有

2. 設置許可申請書における記載

添付 1 参照

3. 設置許可申請書の添付書類における記載

3.1 安全設計方針

(1) 設計方針

添付 2 参照

(2) 適合性

添付 3 参照

3.2 気象等

添付 4 参照 (火山 (事象評価) の審査結果を反映したものととして別途提出する。)

3.3 設備等

該当なし

※ 添付の朱書き：審査進捗を踏まえて記載を見直す箇所

## 4. 要求事項への適合性

### 4.1 基本方針

原子炉施設は、(1) 耐震構造、(2) 耐津波構造に加え、以下の基本方針に基づき、「設置許可基準規則」に適合するように設計する。

安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても、安全機能を損なわないように設計する。また、重要安全施設については、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力を適切に考慮するものとする。

自然現象（地震及び津波を除く。）については、網羅的に抽出する。

なお、敷地で想定される自然現象のうち、高潮については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象は、以下に選定した自然現象に含まれる。また、設計基準事故により、重要安全施設のうち屋外部分及び重要安全施設の外殻施設に応力が生じることはない。よって、重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象と設計基準事故の重畳を考慮する必要はない。このため、重要安全施設は、個々の事象に対して、安全機能を損なわない設計とする。

#### (a-10) 竜巻の影響

安全施設は、原子炉施設の運用期間中において原子炉施設の安全機能に影響を及ぼし得る設計竜巻として設定した最大風速 100m/s の竜巻に対し対策を行い、建屋による防護、構造健全性の維持、代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。なお、竜巻注意情報等が発表され、竜巻が接近するおそれが確認された場合には、原子炉を停止する。

原子炉施設の耐竜巻設計に用いる設計竜巻荷重は、風圧力、気圧差による圧力及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた複合荷重として算定する。風圧力については、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準を準用して算出する。気圧差による圧力については、設計竜巻による最大気圧低下量及び最大気圧低下率に基づいて設定する。飛来物の衝撃荷重については、原子炉施設周囲の状況等を勘案した上で、設計竜巻の最大風速及び物性値等に基づいて、設計飛来物を選定あるいは設定し、当該設計飛来物が竜巻防護施設又は外殻施設に衝突することを想定して算出する。

設計飛来物は、サイズ及び剛柔や浮き上がり有無、飛散防止対策を判定基準とした上で、運動エネルギー、衝撃荷重、貫通力等を考慮し、代表的なものとする。飛来物の飛散速度については電力中央研究所が開発した竜巻飛来物評価解析コード”TONBOS”を用いた。当該評価結果を踏まえ、設計飛来物は、竜巻ガイドを参考に、鋼製材（中・剛）、足場板（中・剛）、ワゴン車（大・柔：飛散時に空中分解しないもの）、コンクリートブロック（小・剛）とした。なお、コンクリートブロックは主冷却機建物屋上（高さ 12.5m）からの飛来を想定した。また、竜巻防護施設及びその外殻施設の健全性評価等には、竜巻ガイドに記載されている鋼製材（長さ 4.2m×幅 0.3m×高さ 0.2m、質量 135kg、飛来時の水平速度 51m/s、飛来時の鉛直速度 34m/s）を考慮した。



飛来物となる可能性のあるもののうち、飛来した場合の運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物又は竜巻ガイドの鋼製材を超える物品については、竜巻防護施設を内包する建物から隔離（屋内への移動を含む。）、固縛又は固定化を行い、確実に飛来物とならない対策を講じる。

「研究炉の重要度分類の考え方」を参考に、その機能、構造及び動作原理を考慮し、その機能喪失により周辺の公衆に過度の放射線被ばくを与えるおそれのある施設として、以下の施設を外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設とする（第 4.1.1 表参照）。

(i) クラス 1

(ii) クラス 2のうち、特に自然現象の影響を受けやすく、かつ、代替手段によってその機能の維持が困難であるか、又はその修復が著しく困難な構築物、系統及び機器

耐竜巻設計、耐降下火砕物設計、耐外部火災設計においては、安全機能の重要度分類がクラス 1、2、3に属する構築物、系統及び機器を竜巻防護施設、降下火砕物防護施設、外部火災防護施設とし、外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設に該当する構築物、系統及び機器を影響評価の対象とする。当該影響評価にあつては、当該安全施設の外殻施設を評価対象とする場合がある。重要安全施設以外の安全施設は、竜巻、火山の影響及び外部火災（森林火災及び近隣工場等の火災）により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等を含めて、安全機能を損なわないものとする。

第 4. 1. 1 表(1) 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設

分類	機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関連系
P S - 1	原子炉冷却材バウンダリ機能	① 原子炉容器 1) 本体 ② 1次主冷却系、1次補助冷却系及び1次ナトリウム充填・ドレン系 1) 原子炉冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁（ただし、計装等の小口径のものを除く。）	
	炉心形状の維持機能	① 炉心支持構造物 1) 炉心支持板 2) 支持構造物 ② 炉心バレル構造物 1) バレル構造体 ③ 炉心構成要素 1) 炉心燃料集合体 2) 照射燃料集合体 3) 内側反射体 4) 外側反射体 (A) 5) 材料照射用反射体 6) 遮へい集合体 7) 計測線付実験装置 8) 照射用実験装置	

第 4. 1. 1 表(2) 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設

分類	機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関連系*
MS-1	原子炉の緊急停止及び未臨界維持機能	① 制御棒 ② 制御棒駆動系 1) 駆動機構 2) 上部案内管 3) 下部案内管 ③ 後備炉停止制御棒 ④ 後備炉停止制御棒駆動系 1) 駆動機構 2) 上部案内管 3) 下部案内管	① 炉心支持構造物 1) 炉心支持板 2) 支持構造物 ② 炉心バレル構造物 1) バレル構造体 ③ 炉心構成要素 1) 炉心燃料集合体 2) 照射燃料集合体 3) 内側反射体 4) 外側反射体 (A) 5) 材料照射用反射体 6) 遮へい集合体 7) 計測線付実験装置 8) 照射用実験装置
	1次冷却材漏えい量の低減機能	① 原子炉容器 1) リークジャケット ② 1次主冷却系、1次補助冷却系及び1次ナトリウム充填・ドレン系のうち、原子炉冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁の配管(外側)又はリークジャケット ③ 1次主冷却系 1) 逆止弁 ④ 1次補助冷却系 1) サイフォンブレイク止弁 ⑤ 1次予熱室素ガス系 1) 仕切弁	① 関連するプロセス計装(ナトリウム漏えい検出器)
	原子炉停止後の除熱機能	① 1次主冷却系 1) 1次主循環ポンプポニーモータ 2) 逆止弁 ② 2次主冷却系 1) 主冷却機(主送風機を除く。)	① 原子炉容器 1) 本体 ② 1次主冷却系、1次補助冷却系及び1次ナトリウム充填・ドレン系 1) 原子炉冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁(ただし、計装等の小口径のものを除く。) ③ 2次主冷却系、2次補助冷却系、2次ナトリウム純化系及び2次ナトリウム充填・ドレン系 1) 冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁(ただし、計装等の小口径のものを除く。)
	放射性物質の閉じ込め機能	① 格納容器 ② 格納容器バウンダリに属する配管・弁	
	工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	① 原子炉保護系(スクラム) ② 原子炉保護系(アイソレーション)	① 関連する核計装 ② 関連するプロセス計装
	安全上特に重要な関連機能	① 中央制御室 ② 非常用ディーゼル電源系(MS-1に関連するもの) ③ 交流無停電電源系(MS-1に関連するもの) ④ 直流無停電電源系(MS-1に関連するもの)	① 関連する補機冷却設備

\* : 上記関連系は、当該系と同位の重要度を有するものとする。

第 4. 1. 1 表(3) 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設

分類	機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関連系
PS-2	原子炉冷却材 バウンダリに 直接接続されていない ものであって、 放射性物質を 貯蔵する機能	① 原子炉附属建物使用済燃料貯蔵設備 1) 貯蔵ラック 2) 水冷却池	
	燃料を安全に 取り扱う機能	① 核燃料物質取扱設備	
MS-2	燃料プール水 の保持機能	① 原子炉附属建物使用済燃料貯蔵設備 1) 水冷却池 2) 水冷却浄化設備のうち、サイフォンブレイク止弁	
	事故時のプラント状態 の把握機能	① 事故時監視計器の一部	
	安全上重要な関連機能	① 非常用ディーゼル電源系 (MS-1に属するものを除く。) ② 交流無停電電源系 (MS-1に属するものを除く。) ③ 直流無停電電源系 (MS-1に属するものを除く。)	

## 4.2 耐竜巻設計

### 4.2.1 竜巻防護施設

安全施設が竜巻に対して、原子炉施設の安全性を確保するために必要な安全機能を損なわないよう、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を適切に設定し、以下の事項に対して対策を行い、外殻による防護、構造健全性の維持、代替措置や修復等によって、安全機能を損なわない設計とする。

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

- a. 飛来物の衝突による施設の貫通及び裏面剥離
- b. 設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物等による衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重並びにその他の組合せ荷重（常時作用している荷重、運転時荷重、竜巻以外の自然現象による荷重及び設計基準事故時荷重）を適切に組み合わせた設計荷重
- c. 竜巻による気圧の低下

耐竜巻設計においては、安全機能の重要度分類がクラス1、2、3に属する構築物、系統及び機器を竜巻防護施設とする。このうち、外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設に該当する構築物、系統及び機器を影響評価の対象とする。

想定される竜巻に対する影響を評価し、外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設が、外殻施設又は飛来物が衝突することを防止するために必要に応じて講じる措置による防護により、その安全機能を損なわない設計とする。重要安全施設以外の安全施設は、竜巻により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等を含めて安全機能を損なわないものとする。

### 4.2.2 評価方針

4.2.3項で後述する評価対象施設について、評価を行う。当該影響評価にあつては、竜巻防護施設の外殻施設を評価対象とする場合がある。想定される竜巻の特性値及び当該竜巻に対する影響を、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（以下、「竜巻ガイド」という。）を参考にして設定、評価し、外殻施設又は飛来物が衝突することを防止するために必要に応じて講じる措置による防護により、その安全機能が維持されることを確認する。重要安全施設以外の安全施設は、竜巻により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等を含め安全機能を損なわないものとする。

### 4.2.3 評価対象施設の抽出

竜巻の影響評価を行う竜巻影響評価対象施設を以下の各区分から抽出する。【竜巻に対する安全施設の安全機能の確保：別紙1参照】。

- (1) 重要安全施設を内包し保護する外殻施設  
原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物、主冷却機建物
- (2) 外殻で保護されない重要安全施設  
主冷却機のうち屋外部分（屋外ダクト）及び非常用ディーゼル電源系に関連する冷

却塔

(3) 安全施設を内包し保護する外殻施設

第一使用済燃料貯蔵建物、第二使用済燃料貯蔵建物、液体廃棄物処理施設、メンテナンス建物の液体廃棄物処理設備及び固体廃棄物貯蔵設備

(4) 外殻で保護されない安全施設

主排気筒、外周コンクリート壁、一般電源系（受電エリア）及び屋外管理用モニタリングポスト

廃棄物処理建物、メンテナンス建物に内包される液体廃棄物処理設備及び固体廃棄物処理設備は、基本的にコンクリート構造の地下階に位置し、上部にはエリアを隔てる蓋が設置されているため、竜巻が来襲した場合であっても、影響を受けず、安全機能（放射性物質の貯蔵）を損なうことはないため、評価対象施設から除外した。

一般電源系（受電エリア）は、一般電源系の機能を喪失した場合には、非常用ディーゼル電源系等により必要な電源を供給し、これらはMS-1に該当し、外殻施設の健全性が確保されるため、安全機能を損なうことはなく、代替措置により、必要な機能を確保できるため、評価対象施設から除外した。

屋外管理用モニタリングポストは、屋外管理用モニタリングポストの機能を喪失した場合には、代替措置（可搬型測定器）により、必要な機能を確保できるため、評価対象施設から除外した。

外気と接続されている施設である、中央制御室に関連する空調系（換気空調系）及び非常用ディーゼル電源系に関連する空調系は、設置されている区画と当該施設のダクト内の気圧が同一であるため評価対象施設から除外した。

#### 4.2.4 波及的影響評価対象施設の抽出

破損等により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性がある施設について、以下の機械的影響及び機能的影響の発生を考慮して抽出した。波及的影響を及ぼし得る施設は主排気筒のみである。

(1) 機械的影響

- ・隣接している建物・構築物が竜巻より防護すべき施設を内包する施設に接触し、防護対象施設を損傷させる。
- ・隣接していない建物・構築物が竜巻により倒壊して防護対象施設を損傷させる。

(2) 機能的影響

- ・防護対象施設の外気と繋がる部位が、竜巻による風、気圧変化等により損傷を生じ、防護対象施設の機能に影響する。

#### 4.2.5 評価対象施設の健全性の確認方法

竜巻防護施設の外殻施設である原子炉建物及び原子炉附属建物、主冷却機建物については、設計竜巻に対する構造健全性を評価することにより、内包する竜巻防護施設への影響が無いことを確認する。壁や屋根などに損傷が生じた場合は、損傷による竜巻防護施設への影響が無いことを確認する。

竜巻防護施設のうち、外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設である非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔及び主冷却機のうち屋外（建物屋上）部分については、設計竜巻に対して安全機能を喪失しないことを確認する。

#### 4.2.6 波及的影響の確認方法

波及的影響評価の対象施設として抽出した主排気筒については、竜巻防護施設に影響を与えないことを評価し、確認する。

#### 4.2.7 開口部の評価方法

外殻施設の開口部のうち、付近に外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設が位置している箇所については、飛来物の衝突による開口部の鋼板の貫通評価を行い、必要に応じて防護策として貫通限界厚さを上回るように、開口部又は開口部から侵入する飛来物が衝突する安全施設を鋼板等で補強する。

#### 4.2.8 設計竜巻荷重の算定法

原子炉施設の耐竜巻設計に用いる設計竜巻荷重は、風圧力、気圧差による圧力及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた複合荷重として算定する。風圧力については、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準を準用して算出する。気圧差による圧力については、設計竜巻による最大気圧低下量及び最大気圧低下率に基づいて設定する。飛来物の衝撃荷重については、原子炉施設周囲の状況等を勘案した上で、設計竜巻の最大風速及び物性値等に基づいて、設計飛来物を選定あるいは設定し、当該設計飛来物が竜巻防護施設又は外殻施設に衝突することを想定して算出する。

「添付書類 6 9. 竜巻」に示すように、設計竜巻の最大風速は 92m/s である。なお、耐竜巻設計にあつては、将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を考慮し、設計竜巻の最大風速（92m/s）を安全側に切り上げ、最大風速として 100m/s を用いる。

設計飛来物は、竜巻防護施設又は外殻施設に衝突することを防止するための措置（固縛、固定化又は移動）を講じることを考慮して、選定あるいは設定するものとする。

【設計竜巻の最大風速の設定：別紙 2】

【竜巻影響評価におけるランキン渦モデルとフジタモデルの適用範囲：別紙 3】

【風圧力及び気圧差による圧力の設定：別紙 4】

【設計竜巻荷重の設定における設計飛来物の選定：別紙 5】

【竜巻以外の自然現象の考慮：別紙 6】

#### 4.2.9 設計飛来物の設定

原子炉施設敷地内の飛来物に係る現地調査及び検討を行い、現地調査により確認された飛来物について、竜巻防護施設及びその外殻施設に衝突する可能性のある飛来物を抽出する。

設計飛来物は、サイズ及び剛柔や浮き上がり有無、飛散防止対策を判定基準とした上で、運動エネルギー、衝撃荷重、貫通力等を考慮し、代表的なものとする。飛来物の飛散速度については電力中央研究所が開発した竜巻飛来物評価解析コード” TONBOS” を用いた。当該評

価結果を踏まえ、設計飛来物は、竜巻ガイドを参考に、鋼製材（中・剛）、足場板（中・剛）、ワゴン車（大・柔：飛散時に空中分解しないもの）、コンクリートブロック（小・剛）とした。なお、コンクリートブロックは主冷却機建物屋上（高さ 12.5m）からの飛来を想定した。また、竜巻防護施設及びその外殻施設の健全性評価等には、竜巻ガイドに記載されている鋼製材（長さ 4.2m×幅 0.3m×高さ 0.2m、質量 135kg、飛来時の水平速度 51m/s、飛来時の鉛直速度 34m/s）を考慮した。

飛来物となる可能性のあるもののうち、飛来した場合の運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物又は竜巻ガイドの鋼製材を超える物品については、竜巻防護施設を内包する建物から隔離（屋内への移動を含む。）、固縛又は固定化を行い、確実に飛来物とならない対策を講じる。

#### 4.2.10 荷重の組合せと許容限界

##### 4.2.10.1 荷重の組合せにおいて考慮する原子炉施設の状態

###### (1) 建物・構築物

###### (i) 運転時の状態

原子炉施設が通常運転時若しくは運転時の異常な過渡変化時にあり、通常の自然条件下におかれている状態

###### (ii) 設計基準事故時の状態

原子炉施設が設計基準事故時にある状態

###### (2) 機器・配管系

###### (i) 通常運転時の状態

原子炉施設の起動、停止、出力運転、燃料交換等が計画的に行われた場合であって、運転条件が所定の制限値以内にある運転状態

###### (ii) 運転時の異常な過渡変化時の状態

原子炉施設の通常運転時に予想される機械又は器具の単一の故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作及びこれらと類似の頻度で発生すると予想される外乱によって発生する異常な状態であって、当該状態が継続した場合には炉心又は原子炉冷却材バウンダリの著しい損傷が生ずるおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

###### (iii) 設計基準事故時の状態

発生頻度が運転時の異常な過渡変化より低い異常な状態であって、当該状態が発生した場合には原子炉施設から多量の放射性物質が放出するおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

##### 4.2.10.2 荷重の種類

###### (1) 建物・構築物

(i) 原子炉のおかれている状態にかかわらず常時作用している荷重（固定荷重、積載荷重、土圧、水圧並びに通常の気象条件による荷重）

(ii) 運転時の状態で作用する荷重



(iii) 設計基準事故時の状態で作用する荷重

(iv) 設計竜巻荷重、積雪荷重

なお、運転時の状態で作用する荷重及び設計基準事故時の状態で作用する荷重には、機器・配管系から作用する荷重が含まれるものとする。

(2) 機器・配管系

(i) 通常運転時の状態で作用する荷重

(ii) 運転時の異常な過渡変化時の状態で作用する荷重

(iii) 設計基準事故時の状態で作用する荷重

(iv) 設計竜巻荷重

#### 4.2.10.3 荷重の組合せ

設計竜巻荷重と他の荷重との組合せは以下のとおりとする。

(1) 建物・構築物

(i) 常時作用している荷重及び運転時の状態で作用する荷重と設計竜巻荷重及び積雪荷重を組み合わせる。

(2) 機器・配管系

(i) 通常運転時の状態で作用する荷重、又は運転時の異常な過渡変化時の状態で作用する荷重のうち、長時間その作用が続く荷重と設計竜巻荷重を組み合わせる。

(3) 荷重の組合せ上の留意事項

(i) 明らかに、他の荷重の組合せ状態での評価が厳しいことが判明している場合には、その荷重の組合せ状態での評価は行わなくてもよいものとする。

(ii) 複数の荷重が同時に作用する場合、それらの荷重による応力の各ピークの生起時刻に明らかなずれがあることが判明しているならば、必ずしも、それぞれの応力のピーク値を重ねなくともよいものとする。

(iii) 設計基準事故時に評価対象施設に応力は生じず、竜巻防護施設の外殻による防護に影響ないため、設計竜巻荷重及び設計基準事故時に生じる応力の組み合わせは考慮しない。

#### 4.2.10.4 許容限界

各施設の設計竜巻荷重と他の荷重とを組み合わせた状態に対する許容限界は、以下のとおりとする。

(1) 建物・構築物

(i) 建物・構築物が構造物全体として、十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、終局耐力に対して妥当な安全余裕を持たせることとする【設計竜巻荷重に対する構造健全性評価結果（原子炉建物（格納容器を含む）及び原子炉附属建物並びに主冷却機建物）：別紙 8 参照】【設計竜巻荷重に対する構造健全性評価結果（第一使用済燃料貯蔵建物及び第二使用済燃料貯蔵建物）：別紙 9 参照】【設計竜巻荷重に対する構造健全性評価結果（主冷却機のうち屋外部分）：別紙 10 参照】【設計竜巻荷重に対する構造健全性評価結果（補機冷却設備のうち非常用ディーゼル電源系に関連する冷却

塔)：別紙 11 参照】【設計竜巻荷重に対する構造健全性評価結果 (主排気筒)：別紙 12 参照】。なお、終局耐力は、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又はひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力とし、既往の実験式等に基づき適切に定めるものとする。

(2) 機器・配管系

(i) 構造物の相当部分が降伏し塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生じ、その施設の機能に影響を及ぼすことがない程度に応力を制限する。

4.2.11 設計における留意事項

(1) 設計飛来物が竜巻防護施設又は外殻施設に衝突した際に生じる影響

設計飛来物が、竜巻防護施設又は外殻施設に衝突した際に生じる影響 (貫通及び裏面剥離) によって、その安全機能を損なわないよう設計する【設計飛来物に対する竜巻影響評価対象施設の貫通及び裏面剥離評価結果：別紙 13 参照】。なお、影響評価に当たっては、設計竜巻の最大風速を適用する。外殻施設については竜巻ガイドに記載されている鋼製材の衝突を考慮する。

設計飛来物については、原子炉施設において、必要に応じて、飛来物が竜巻防護施設又は外殻施設に衝突することを防止するための措置 (固縛、固定化又は移動) を講じることを考慮して、選定あるいは設定するものとする。

(2) 竜巻随件事象等に対する考慮

竜巻注意情報等が発表され、竜巻が接近するおそれの確認された場合には、原子炉を停止する【竜巻が原子炉施設に到達するおそれの確認された場合の対応フロー：別紙 7】。また、飛来物が竜巻防護施設又は外殻施設に衝突することを防止するために必要な措置 (固縛又は移動) を講じる。竜巻随件事象として想定される外部電源喪失等に対しては、原子炉保護系の作動等により、原子炉を自動停止するものとする。**竜巻随件事象として、過去の竜巻被害事例及び原子炉施設の配置から想定される事象である、外部電源喪失、溢水及び火災を考慮する。**

一般電源系の機能を喪失した場合には、非常用ディーゼル電源系等により必要な電源を供給するため、他の安全機能を損なうことはない。

溢水に対しては、建物屋外で発生した場合に竜巻防護施設に影響を与えないよう、建物の外壁及び開口部等により浸水しないものとする。竜巻飛来物の衝突及び貫通によって、建物屋上及び室内で発生する溢水にあつては、その影響により安全機能を損なわないよう対策を講じる【竜巻随件事象のうち溢水に係る評価結果：別紙 14】。**当該対策は、火災による損傷の防止に係る設計に包絡される。**

建物付近にて車両火災が発生した場合、建物外壁温度は 200℃を下回るため、安全機能を損なうことはないが、建物外壁面に不燃塗料を塗布し、さらに火災の影響を緩和する。不燃塗料は必要に応じ、一定期間経過後に塗りなおしを実施する。竜巻飛来物が建物を貫通し、建物内部において火災が発生した場合にあつては、その影響により安全機能を損なわないよう対策を講じる【竜巻随件事象のうち溢水に係る評価結果：別紙 15】。**当該対策は、溢水による損傷の防止に係る設計に包絡される。**

#### 4.3. 手順等

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づく原子炉施設保安規定には、竜巻対策について、以下の内容を含む手順を定め、適切な管理を行う。

- ・ 竜巻が大洗研究所に到達するおそれが確認された場合の措置に関すること。
- ・ 竜巻飛来物となりうる物品の管理に関すること。

#### 4.4 要求事項（試験炉設置許可基準規則第6条）への適合性説明

（外部からの衝撃による損傷の防止）

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

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

3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

#### 適合のための設計方針（耐竜巻設計）

##### 1 について

##### （4）竜巻

耐竜巻設計の基本方針として、安全機能の重要度分類がクラス1、2、3に属する構築物、系統及び機器を竜巻防護施設とする。このうち、外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設に該当する構築物、系統及び機器を影響評価の対象とする。当該影響評価にあつては、当該安全施設の外殻施設を評価対象とする場合がある。これらの影響評価の対象外の安全施設は、竜巻により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等により、安全機能を損なわないものとする。

評価対象施設は、安全施設を内包し保護する外殻施設として、原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物、主冷却機建物、第一使用済燃料貯蔵建物、第二使用済燃料貯蔵建物、液体廃棄物処理施設、メンテナンス建物の液体廃棄物処理設備及び固体廃棄物貯蔵設備を抽出し、外殻施設で保護されない安全施設として、主冷却機のうち屋外部分（屋外ダクト）、非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔、主排気筒、外周コンクリート壁、一般電源系（受電エリア）及び屋外管理用モニタリングポストを抽出した。廃棄物処理建物、メンテナンス建物に内包される液体廃棄物処理設備及び固体廃棄物処理設備は、基本的にコンクリート構造の地下階に位置し、上部にはエリアを隔てる蓋が設置されているため、竜巻が来襲した場合にあつても、影響を受けず、安全機能（放射性物質の貯蔵）を損なうことはないため、評価対象施設から除外した。一般電源系（受電エリア）は、一般電源系の機能を喪失した場合には、非常用ディーゼル電源系等により必要な電源を供給し、これらはMS-1に該当し、外殻施設の健全性が確保されるため、安全機能を損なうことはなく、代替措置により、必要な機能を確保できるため、評価対象施設から除外した。屋外管理用モニタリングポストは、屋外管理用モニタリングポストの機能を喪失した場合には、代替措置（可搬型測定器）により、必要な機能を確保できるため、評価対象施設から除外した。破損等により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性がある施設（波及的影響評価対象施設）について、機械的影響、機能的影響の発生を考慮して主排気筒を抽出した。

抽出した評価対象施設及び波及的影響評価対象施設について、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイドライン」を参考にして構造健全性評価を行い、安全機能が維持されることを確認する。竜巻防護施設の外殻施設である原子炉建物及び原子炉附属建物、主冷却機建物については、設計竜巻に対する構造健全性を評価することにより、内包する竜巻防護施設が影響を受けないことを確認する。壁や屋根などに損傷が生じた場合は、損傷による竜巻防護施設への影響が無いことを確認する。竜巻防護施設のうち、外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設である非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔及び主冷却機のうち屋外（建物屋上）部分については、設計竜巻に対して安全機能を喪失しないことを確認する。波及的影響評価対象施設として抽出した主排気筒については、竜巻防護施設に影響を与えないことを評価し、確認する。

竜巻検討地域は、大洗研究所（南地区）が立地する地域と、気象条件の類似性の観点から検討を行い、宮城県、福島県、茨城県、千葉県、東京都、神奈川県、静岡県、愛知県、三重県、和歌山県、徳島県、高知県、山口県及び九州（沖縄県含む）の海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲（面積：約 89,500km<sup>2</sup>）を竜巻検討地域に設定する。竜巻検討地域において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計竜巻の最大風速として設定する。日本で過去に発生した竜巻のよる最大風速 ( $V_{B1}$ ) は、「竜巻等の突風データベース」によるとフジタスケール（以下、F スケール）で F3 である。F3 スケールにおける風速は 70m/s～92m/s であることから、竜巻検討地域において過去に発生した竜巻による最大風速 ( $V_{B1}$ ) を 92m/s と設定する。ハザード曲線による竜巻最大風速 ( $V_{B2}$ ) は、竜巻影響エリアの設置、竜巻データの分析、竜巻風速・被害幅・被害長さの確率密度分布及び相関係数の算定を基に評価した。竜巻影響エリアは、評価対象施設を含む円形に設定する。原子炉建物・原子炉附属建物などの主要な施設が、直径 320m の円内に収まることから、この円（面積：約 80,500m<sup>2</sup>）を竜巻影響エリアとした。竜巻データの分析では、年代による観測値の品質のばらつきを考慮した。得られたハザード曲線より、年超過確率  $10^{-5}$  における風速を求めると 68.1m/s となることから、竜巻最大風速 ( $V_{B2}$ ) を 68.1m/s と設定する。基準竜巻の最大風速  $V_B$  は、 $V_{B1}$  と  $V_{B2}$  のうちの大きい方の風速とすることから、原子炉施設における基準竜巻の最大風速  $V_B$  は 92m/s とする。大洗研究所（南地区）は標高約 38m の平坦な台地に位置し、敷地内には 13～16m 位の高低がある。高速実験炉原子炉施設は標高 35m～40m に位置しており、東西方向及び南北方向からみても下り斜面には位置していないため、基準竜巻が周辺地形により増幅される可能性はなく、設計竜巻 ( $V_D$ ) = 基準竜巻 ( $V_B$ ) と考えられる。なお、耐竜巻設計においては、将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を考慮し、設計竜巻の最大風速（92m/s）を安全側に切り上げ、最大風速として 100m/s を用いる。

原子炉施設敷地内の飛来物に係る現地調査及び検討を行い、現地調査により確認された飛来物について、竜巻防護施設及びその外殻施設に衝突する可能性のある飛来物を抽出する。設計飛来物は、サイズ及び剛柔や浮き上がり有無、飛散防止対策を判定基準とした上で、運動エネルギー、衝撃荷重、貫通力等を考慮し、代表的なものとする。飛来物の飛散速度については電力中央研究所が開発した竜巻飛来物評価解析コード”TONBOS”を用いた。これらの評価結果を踏まえ、設計飛来物は、竜巻ガイドを参考に、鋼製材（中・剛）、足場板（中・

剛)、ワゴン車(大・柔:飛散時に空中分解しないもの)、コンクリートブロック(小・剛)とした。なお、コンクリートブロックは主冷却機建物屋上(高さ12.5m)からの飛来を想定した。また、竜巻防護施設及びその外殻施設の健全性評価等には、竜巻ガイドに記載されている鋼製材(長さ4.2m×幅0.3m×高さ0.2m、質量135kg、飛来時の水平速度51m/s、飛来時の鉛直速度34m/s)も考慮した。飛来物となる可能性のあるもののうち、飛来した場合の運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物又は竜巻ガイドの鋼製材を超える物品については、竜巻防護施設を内包する建物から隔離(屋内への移動を含む。)、固縛又は固定化を行い、確実に飛来物とならない対策を講じる。

原子炉施設の耐竜巻設計に用いる設計竜巻荷重は、風圧力、気圧差による圧力及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた複合荷重として算定する。風圧力については、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準を準用して算出する。気圧差による圧力については、設計竜巻による最大気圧低下量及び最大気圧低下率に基づいて設定する。飛来物の衝撃荷重については、設計飛来物が、竜巻防護施設又は外殻施設に衝突することを想定して算出する。竜巻影響評価対象施設に常時作用する荷重(固定荷重、積載荷重、土圧、水圧並びに通常の気象条件による荷重)は設計竜巻荷重と適切に組み合わせる。設計基準事故時において評価対象施設に応力は生じないため、設計竜巻荷重及び設計基準事故時に生じる応力の組み合わせは考慮しない。竜巻との同時発生が想定され得る雷、雪、雹及び大雨のうち、雷、雹及び大雨については施設への影響が相乗しないことから、設計竜巻との組み合わせは考慮しない。自然現象の組み合わせについて、安全施設へ影響を与えるパラメータ(荷重、温度及び電氣的影響)を考慮し、**積雪が起り得る環境下であり、保守的な評価となる場合には「竜巻」+「積雪」**を考慮する。

設計における留意事項として、設計飛来物が竜巻防護施設又は外殻施設に衝突した際に生じる影響(貫通及び裏面剥離)によって、その安全機能を損なわないよう設計する。外殻施設については竜巻ガイドの鋼製材の衝突を考慮する。外殻施設の開口部のうち、付近に外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設が位置している箇所については、設計飛来物の衝突による開口部の鋼板の貫通評価を行い、必要に応じて防護策として貫通限界厚さを上回るように鋼板等で補強する。

竜巻随件事象として想定される外部電源喪失等に対しては、非常用ディーゼル電源系等により必要な電源を供給するため、他の安全機能を損なうことはない。

溢水に対しては、建物屋外で発生した場合に竜巻防護施設に影響を与えないよう、建物の外壁及び開口部等により浸水しないものとする。竜巻飛来物の衝突及び貫通によって発生する、建物屋上及び室内で発生する溢水にあつては、その影響により安全機能を損なわないよう対策を講じる。

建物付近にて車両火災が発生した場合、建物外壁温度は200℃を下回るため、安全施設への影響はないが、建物外壁面に不燃塗料を塗布し、さらに火災の影響を緩和する。不燃塗料は必要に応じ、一定期間経過後に塗りなおしを実施する。竜巻飛来物が建物を貫通し、建物内部において火災が発生した場合にあつては、その影響により安全機能を損なわないよう対策を講じる。

竜巻注意情報及び竜巻発生確度ナウキャストにより、竜巻が大洗研究所に到達するおそれ

が確認された場合、その確度に基づいて所内に竜巻対応準備指示又は竜巻対応指示を発令し、原子炉を停止し、車両の移動、物品の固縛等の措置を実施する。

## 添付 1 設置許可申請書における記載

### 5. 試験研究用等原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備

#### ロ. 試験研究用等原子炉施設の一般構造

##### (3) その他の主要な構造

###### (a-10) 竜巻の影響

安全施設は、原子炉施設の運用期間中において原子炉施設の安全機能に影響を及ぼし得る設計竜巻として設定した最大風速 100m/s の竜巻に対し対策を行い、建物による防護、構造健全性の維持、代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。なお、竜巻注意情報等が発表され、竜巻が接近するおそれの確認された場合には、原子炉を停止する。

原子炉施設の耐竜巻設計に用いる設計竜巻荷重は、風圧力、気圧差による圧力及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた複合荷重として算定する。風圧力については、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準を準用して算出する。気圧差による圧力については、設計竜巻による最大気圧低下量及び最大気圧低下率に基づいて設定する。飛来物の衝撃荷重については、原子炉施設周囲の状況等を勘案した上で、設計竜巻の最大風速及び物性値等に基づいて、設計飛来物を選定あるいは設定し、当該設計飛来物が竜巻防護施設又は外殻施設に衝突することを想定して算出する。

設計飛来物は、サイズ及び剛柔や浮き上がり有無、飛散防止対策を判定基準とした上で、運動エネルギー、衝撃荷重、貫通力等を考慮し、代表的なものとする。飛来物の飛散速度については電力中央研究所が開発した竜巻飛来物評価解析コード”TONBOS”を用いた。当該評価結果を踏まえ、設計飛来物は、竜巻ガイドを参考に、鋼製材（中・剛）、足場板（中・剛）、ワゴン車（大・柔：飛散時に空中分解しないもの）、コンクリートブロック（小・剛）とした。なお、コンクリートブロックは主冷却機建物屋上（高さ 12.5m）からの飛来を想定した。また、竜巻防護施設及びその外殻施設の健全性評価等には、竜巻ガイドに記載されている鋼製材（長さ 4.2m × 幅 0.3m × 高さ 0.2m、質量 135kg、飛来時の水平速度 51m/s、飛来時の鉛直速度 34m/s）を考慮した。

飛来物となる可能性のあるもののうち、飛来した場合の運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物又は竜巻ガイドの鋼製材を超える物品については、竜巻防護施設を内包する建物から隔離（屋内への移動を含む。）、固縛又は固定化を行い、確実に飛来物とならない対策を講じる。



## 添付2 設置許可申請書の添付書類における記載（安全設計）

### 添付書類八

#### 1. 安全設計の考え方

##### 1.7 外部からの衝撃による損傷の防止に係る設計

###### 1.7.3 耐竜巻設計

###### 1.7.3.1 竜巻防護施設

安全施設が竜巻に対して、原子炉施設の安全性を確保するために必要な安全機能を損なわないよう、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を適切に設定し、以下の事項に対して対策を行い、外殻による防護、構造健全性の維持、代替措置や修復等によって、安全機能を損なわない設計とする。

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

- a. 飛来物の衝突による施設の貫通及び裏面剥離
- b. 設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物等による衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重並びにその他の組合せ荷重（常時作用している荷重、運転時荷重、竜巻以外の自然現象による荷重及び設計基準事故時荷重）を適切に組み合わせた設計荷重
- c. 竜巻による気圧の低下

耐竜巻設計においては、安全機能の重要度分類がクラス1、2、3に属する構築物、系統及び機器を竜巻防護施設とする。このうち、外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設に該当する構築物、系統及び機器を影響評価の対象とする。

想定される竜巻に対する影響を評価し、外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設が、外殻施設又は飛来物が衝突することを防止するために必要に応じて講じる措置による防護により、その安全機能を損なわない設計とする。重要安全施設以外の安全施設は、竜巻により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等を含めて安全機能を損なわないものとする。

###### 1.7.3.2 評価方針

後述する評価対象施設について、評価を行う。当該影響評価にあつては、竜巻防護施設の外殻施設を評価対象とする場合がある。想定される竜巻の特性値及び当該竜巻に対する影響を、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（以下「竜巻ガイド」という。）を参考にして設定、評価し、外殻施設又は飛来物が衝突することを防止するために必要に応じて講じる措置による防護により、その安全機能が維持されることを確認する。重要安全施設以外の安全施設は、竜巻により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等を含め安全機能を損なわないものとする。

###### 1.7.3.3 評価対象施設の抽出

竜巻の影響評価を行う竜巻影響評価対象施設を以下の各区分から抽出する。

- (1) 重要安全施設を内包し保護する外殻施設  
原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物、主冷却機建物
- (2) 外殻で保護されない重要安全施設  
主冷却機のうち屋外部分（屋外ダクト）及び非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔
- (3) 安全施設を内包し保護する外殻施設  
第一使用済燃料貯蔵建物、第二使用済燃料貯蔵建物、液体廃棄物処理施設、メンテナンス建物の液体廃棄物処理設備及び固体廃棄物貯蔵設備
- (4) 外殻で保護されない安全施設  
主排気筒、外周コンクリート壁、一般電源系（受電エリア）及び屋外管理用モニタリングポスト

廃棄物処理建物、メンテナンス建物に内包される液体廃棄物処理設備及び固体廃棄物処理設備は、基本的にコンクリート構造の地下階に位置し、上部にはエリアを隔てる蓋が設置されているため、竜巻が来襲した場合にあっても、影響を受けず、安全機能（放射性物質の貯蔵）を損なうことはないため、評価対象施設から除外した。

一般電源系（受電エリア）は、一般電源系の機能を喪失した場合には、非常用ディーゼル電源系等により必要な電源を供給し、これらはMS-1に該当し、外殻施設の健全性が確保されるため、安全機能を損なうことはなく、代替措置により、必要な機能を確保できるため、評価対象施設から除外した。

屋外管理用モニタリングポストは、屋外管理用モニタリングポストの機能を喪失した場合には、代替措置（可搬型測定器）により、必要な機能を確保できるため、評価対象施設から除外した。

外気と接続されている施設である、中央制御室に関連する空調系（換気空調系）及び非常用ディーゼル電源系に関連する空調系は、設置されている区画と当該施設のダクト内の気圧が同一であるため評価対象施設から除外した。

#### 1.7.3.4 波及的影響評価対象施設の抽出

破損等により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性がある施設について、以下の機械的影響及び機能的影響の発生を考慮して抽出した。波及的影響を及ぼし得る施設は主排気筒のみである。

##### (1) 機械的影響

- ・ 隣接している建物・構築物が竜巻より防護すべき施設を内包する施設に接触し、防護対象施設を損傷させる。
- ・ 隣接していない建物・構築物が竜巻により倒壊して防護対象施設を損傷させる。

##### (2) 機能的影響

- ・ 防護対象施設の外気と繋がる部位が、竜巻による風、気圧変化等により損傷を生じ、防護対象施設の機能に影響する。

#### 1.7.3.5 評価対象施設の健全性の確認方法

竜巻防護施設の外殻施設である原子炉建物及び原子炉附属建物、主冷却機建物については、設計竜巻に対する構造健全性を評価することにより、内包する竜巻防護施設への影響がないことを確認する。壁や屋根などに損傷が生じた場合は、損傷による竜巻防護施設への影響がないことを確認する。

竜巻防護施設のうち、外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設である非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔及び主冷却機のうち屋外（建物屋上）部分については、設計竜巻に対して安全機能を喪失しないことを確認する。

#### 1.7.3.6 波及的影響の確認方法

波及的影響評価の対象施設として抽出した主排気筒については、竜巻防護施設に影響を与えないことを評価し、確認する。

#### 1.7.3.7 開口部の評価方法

外殻施設の開口部のうち、付近に外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設が位置している箇所については、飛来物の衝突による開口部の鋼板の貫通評価を行い、必要に応じて防護策として貫通限界厚さを上回るように、開口部又は開口部から侵入する飛来物が衝突する安全施設を鋼板等で補強する。

#### 1.7.3.8 設計竜巻荷重の算定法

原子炉施設の耐竜巻設計に用いる設計竜巻荷重は、風圧力、気圧差による圧力及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた複合荷重として算定する。風圧力については、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準を準用して算出する。気圧差による圧力については、設計竜巻による最大気圧低下量及び最大気圧低下率に基づいて設定する。飛来物の衝撃荷重については、原子炉施設周囲の状況等を勘案した上で、設計竜巻の最大風速及び物性値等に基づいて、設計飛来物を選定あるいは設定し、当該設計飛来物が竜巻防護施設又は外殻施設に衝突することを想定して算出する。

「添付書類 6 9. 竜巻」に示すように、設計竜巻の最大風速は 92m/s である。なお、耐竜巻設計にあつては、将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を考慮し、設計竜巻の最大風速（92m/s）を安全側に切り上げ、最大風速として 100m/s を用いる。

設計飛来物は、竜巻防護施設又は外殻施設に衝突することを防止するための措置（固縛、固定化又は移動）を講じることを考慮して、選定あるいは設定するものとする。

#### 1.7.3.9 設計飛来物の設定

原子炉施設敷地内の飛来物に係る現地調査及び検討を行い、現地調査により確認された飛来物について、竜巻防護施設及びその外殻施設に衝突する可能性のある飛来物を抽出する。

設計飛来物は、サイズ及び剛柔や浮き上がり有無、飛散防止対策を判定基準とした上で、運動エネルギー、衝撃荷重、貫通力等を考慮し、代表的なものとする。飛来物の飛散速度については電力中央研究所が開発した竜巻飛来物評価解析コード”TONBOS”を用いた。当該評価結果を踏まえ、設計飛来物は、竜巻ガイドを参考に、鋼製材（中・剛）、足場板（中・剛）、

ワゴン車（大・柔：飛散時に空中分解しないもの）、コンクリートブロック（小・剛）とした。なお、コンクリートブロックは主冷却機建物屋上（高さ 12.5m）からの飛来を想定した。また、竜巻防護施設及びその外殻施設の健全性評価等には、竜巻ガイドに記載されている鋼製材（長さ 4.2m×幅 0.3m×高さ 0.2m、質量 135kg、飛来時の水平速度 51m/s、飛来時の鉛直速度 34m/s）を考慮した。

飛来物となる可能性のあるもののうち、飛来した場合の運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物又は竜巻ガイドの鋼製材を超える物品については、竜巻防護施設を内包する建物から隔離（屋内への移動を含む。）、固縛又は固定化を行い、確実に飛来物とならない対策を講じる。

#### 1.7.3.10 荷重の組合せと許容限界

##### 1.7.3.10.1 荷重の組合せにおいて考慮する原子炉施設の状態

###### (1) 建物・構築物

###### (i) 運転時の状態

原子炉施設が通常運転時若しくは運転時の異常な過渡変化時にあり、通常の下条件におかれている状態

###### (ii) 設計基準事故時の状態

原子炉施設が設計基準事故時にある状態

###### (2) 機器・配管系

###### (i) 通常運転時の状態

原子炉施設の起動、停止、出力運転、燃料交換等が計画的に行われた場合であって、運転条件が所定の制限値以内にある運転状態

###### (ii) 運転時の異常な過渡変化時の状態

原子炉施設の通常運転時に予想される機械又は器具の単一の故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作及びこれらと類似の頻度で発生すると予想される外乱によって発生する異常な状態であって、当該状態が継続した場合には炉心又は原子炉冷却材バウンダリの著しい損傷が生ずるおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

###### (iii) 設計基準事故時の状態

発生頻度が運転時の異常な過渡変化より低い異常な状態であって、当該状態が発生した場合には原子炉施設から多量の放射性物質が放出するおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

##### 1.7.3.10.2 荷重の種類

###### (1) 建物・構築物

(i) 原子炉のおかれている状態にかかわらず常時作用している荷重（固定荷重、積載荷重、土圧、水圧並びに通常的气象条件による荷重）

(ii) 運転時の状態で作用する荷重

(iii) 設計基準事故時の状態で作用する荷重

(iv) 設計竜巻荷重、積雪荷重

なお、運転時の状態で作用する荷重及び設計基準事故時の状態で作用する荷重には、機器・配管系から作用する荷重が含まれるものとする。

(2) 機器・配管系

- (i) 通常運転時の状態で作用する荷重
- (ii) 運転時の異常な過渡変化時の状態で作用する荷重
- (iii) 設計基準事故時の状態で作用する荷重
- (iv) 設計竜巻荷重

1.7.3.10.3 荷重の組合せ

設計竜巻荷重と他の荷重との組合せは以下のとおりとする。

(1) 建物・構築物

- (i) 常時作用している荷重及び運転時の状態で作用する荷重と設計竜巻荷重及び積雪荷重を組み合わせる。

(2) 機器・配管系

- (i) 通常運転時の状態で作用する荷重、又は運転時の異常な過渡変化時の状態で作用する荷重のうち、長時間その作用が続く荷重と設計竜巻荷重を組み合わせる。

(3) 荷重の組合せ上の留意事項

- (i) 明らかに、他の荷重の組合せ状態での評価が厳しいことが判明している場合には、その荷重の組合せ状態での評価は行わなくてもよいものとする。
- (ii) 複数の荷重が同時に作用する場合、それらの荷重による応力の各ピークの生起時刻に明らかなずれがあることが判明しているならば、必ずしも、それぞれの応力のピーク値を重ねなくともよいものとする。

(iii) 設計基準事故時に評価対象施設に応力は生じず、竜巻防護施設の外殻による防護に影響ないため、設計竜巻荷重及び設計基準事故時に生じる応力の組み合わせは考慮しない。

1.7.3.10.4 許容限界

各施設の設計竜巻荷重と他の荷重とを組み合わせた状態に対する許容限界は、以下のとおりとする。

(1) 建物・構築物

- (i) 建物・構築物が構造物全体として、十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、終局耐力に対して妥当な安全余裕を持たせることとする。なお、終局耐力は、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又はひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力とし、既往の実験式等に基づき適切に定めるものとする。

(2) 機器・配管系

- (i) 構造物の相当部分が降伏し塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生じ、その施設の機能に影響を及ぼすことがない程度に応力を制限する。

#### 1.7.3.11 設計における留意事項

##### (1) 設計飛来物が竜巻防護施設又は外殻施設に衝突した際に生じる影響

設計飛来物が、竜巻防護施設又は外殻施設に衝突した際に生じる影響（貫通及び裏面剥離）によって、その安全機能を損なわないよう設計する。なお、影響評価に当たっては、設計竜巻の最大風速を適用する。外殻施設については竜巻ガイドに記載されている鋼製材の衝突を考慮する。

設計飛来物については、原子炉施設において、必要に応じて、飛来物が竜巻防護施設又は外殻施設に衝突することを防止するための措置（固縛、固定化又は移動）を講じることを考慮して、選定あるいは設定するものとする。

##### (2) 竜巻随件事象等に対する考慮

竜巻注意情報等が発表され、竜巻が接近するおそれの確認された場合には、原子炉を停止する。また、飛来物が竜巻防護施設又は外殻施設に衝突することを防止するために必要な措置（固縛又は移動）を講じる。竜巻随件事象に対しては、原子炉保護系の作動等により、原子炉を自動停止するものとする。

**竜巻随件事象として、過去の竜巻被害事例及び原子炉施設の配置から想定される事象である、外部電源喪失、溢水及び火災を考慮する。**

一般電源系の機能を喪失した場合には、非常用ディーゼル電源系等により必要な電源を供給するため、他の安全機能を損なうことはない。

溢水に対しては、建物屋外で発生した場合に竜巻防護施設に影響を与えないよう、建物の外壁及び開口部等により浸水しないものとする。竜巻飛来物の衝突及び貫通によって、建物屋上及び室内で発生する溢水にあつては、その影響により安全機能を損なわないよう対策を講じる。**当該対策は、「1.5 火災による損傷の防止に係る設計」に包絡される。**

建物付近にて車両火災が発生した場合、建物外壁温度は200℃を下回るため、安全機能を損なうことはないが、建物外壁面に不燃塗料を塗布し、さらに火災の影響を緩和する。不燃塗料は必要に応じ、一定期間経過後に塗りなおしを実施する。竜巻飛来物が建物を貫通し、建物内部において火災が発生した場合にあつては、その影響により安全機能を損なわないよう対策を講じる。**当該対策は、「1.6 溢水による損傷の防止に係る設計」に包絡される。**

#### 1.7.3.12 手順等

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づく原子炉施設保安規定には、竜巻対策について、以下の内容を含む手順を定め、適切な管理を行う。

- ・ 竜巻が大洗研究所に到達するおそれの確認された場合の措置に関すること。
- ・ 竜巻飛来物となりうる物品の管理に関すること。

添付 3 設置許可申請書の添付書類における記載（適合性）

添付書類八

1. 安全設計の考え方

1.8 「設置許可基準規則」への適合

原子炉施設は、「設置許可基準規則」に適合するように設計する。各条文に対する適合のための設計方針は次のとおりである。

(外部からの衝撃による損傷の防止)

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

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

## 適合のための設計方針

### 1 について

#### (4) 竜巻

耐竜巻設計の基本方針として、安全機能の重要度分類がクラス1、2、3に属する構築物、系統及び機器を竜巻防護施設とする。このうち、外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設に該当する構築物、系統及び機器に影響評価の対象とする。当該影響評価にあつては、当該安全施設の外殻施設を評価対象とする場合がある。これらの影響評価の対象外の安全施設は、竜巻により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等により、安全機能を損なわないものとする。

評価対象施設は、安全施設を内包し保護する外殻施設として、原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物、主冷却機建物、第一使用済燃料貯蔵建物、第二使用済燃料貯蔵建物、液体廃棄物処理施設、メンテナンス建物の液体廃棄物処理設備及び固体廃棄物貯蔵設備を抽出し、外殻施設で保護されない安全施設として、主冷却機のうち屋外部分（屋外ダクト）、非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔、主排気筒、外周コンクリート壁、一般電源系（受電エリア）及び屋外管理用モニタリングポストを抽出した。廃棄物処理建物、メンテナンス建物に内包される液体廃棄物処理設備及び固体廃棄物処理設備は、基本的にコンクリート構造の地下階に位置し、上部にはエリアを隔てる蓋が設置されているため、竜巻が来襲した場合にあつても、影響を受けず、安全機能（放射性物質の貯蔵）を損なうことはないため、評価対象施設から除外した。一般電源系（受電エリア）は、一般電源系の機能を喪失した場合には、非常用ディーゼル電源系等により必要な電源を供給し、これらはMS-1に該当し、外殻施設の健全性が確保されるため、安全機能を損なうことはなく、代替措置により、必要な機能を確保できるため、評価対象施設から除外した。屋外管理用モニタリングポストは、屋外管理用モニタリングポストの機能を喪失した場合には、代替措置（可搬型測定器）により、必要な機能を確保できるため、評価対象施設から除外した。破損等により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性がある施設（波及的影響評価対象施設）について、機械的影響、機能的影響の発生を考慮して主排気筒を抽出した。

抽出した評価対象施設及び波及的影響評価対象施設について、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイドライン」を参考にして構造健全性評価を行い、安全機能が維持されることを確認する。竜巻防護施設の外殻施設である原子炉建物及び原子炉附属建物、主冷却機建物については、設計竜巻に対する構造健全性を評価することにより、内包する竜巻防護施設が影響を



受けないことを確認する。壁や屋根などに損傷が生じた場合は、損傷による竜巻防護施設への影響が無いことを確認する。竜巻防護施設のうち、外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設である非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔及び主冷却機のうち屋外（建物屋上）部分については、設計竜巻に対して安全機能を喪失しないことを確認する。波及的影響評価対象施設として抽出した主排気筒については、竜巻防護施設に影響を与えないことを評価し、確認する。

竜巻検討地域は、大洗研究所（南地区）が立地する地域と、気象条件の類似性の観点から検討を行い、宮城県、福島県、茨城県、千葉県、東京都、神奈川県、静岡県、愛知県、三重県、和歌山県、徳島県、高知県、山口県及び九州（沖縄県含む）の海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲（面積：約 89,500km<sup>2</sup>）を竜巻検討地域に設定する。竜巻検討地域において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計竜巻の最大風速として設定する。日本で過去に発生した竜巻による最大風速 ( $V_{B1}$ ) は、「竜巻等の突風データベース」によるとフジタスケール（以下、F スケール）で F3 である。F3 スケールにおける風速は 70m/s～92m/s であることから、竜巻検討地域において過去に発生した竜巻による最大風速 ( $V_{B1}$ ) を 92m/s と設定する。ハザード曲線による竜巻最大風速 ( $V_{B2}$ ) は、竜巻影響エリアの設置、竜巻データの分析、竜巻風速・被害幅・被害長さの確率密度分布及び相関係数の算定を基に評価した。竜巻影響エリアは、評価対象施設を含む円形に設定する。原子炉建物・原子炉附属建物などの主要な施設が、直径 320m の円内に収まることから、この円（面積：約 80,500m<sup>2</sup>）を竜巻影響エリアとした。竜巻データの分析では、年代による観測値の品質のばらつきを考慮した。得られたハザード曲線より、年超過確率  $10^{-5}$  における風速を求めると 68.1m/s となることから、竜巻最大風速 ( $V_{B2}$ ) を 68.1m/s と設定する。基準竜巻の最大風速  $V_B$  は、 $V_{B1}$  と  $V_{B2}$  のうちの大きい方の風速とすることから、原子炉施設における基準竜巻の最大風速  $V_B$  は 92m/s とする。大洗研究所（南地区）は標高約 38m の平坦な台地に位置し、敷地内には 13～16m 位の高低がある。高速実験炉原子炉施設は標高 35m～40m に位置しており、東西方向及び南北方向からみても下り斜面には位置していないため、基準竜巻が周辺地形により増幅される可能性はなく、設計竜巻 ( $V_D$ ) = 基準竜巻 ( $V_B$ ) と考えられる。なお、耐竜巻設計においては、将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を考慮し、設計竜巻の最大風速（92m/s）を安全側に切り上げ、最大風速として 100m/s を用いる。

原子炉施設敷地内の飛来物に係る現地調査及び検討を行い、現地調査により確認された飛来物について、竜巻防護施設及びその外殻施設に衝突する可能性のある飛来物を抽出する。設計飛来物は、サイズ及び剛柔や浮き上がり有無、飛散防止対策を判定基準とした上で、運動エネルギー、衝撃荷重、貫通力等を考慮し、代表的なものとする。飛来物の飛散速度については電力中央研究所が開発した竜巻飛来物評価解析コード”TONBOS”を用いた。これらの評価結果を踏まえ、設計飛来物は、竜巻ガイドを参考に、鋼製材（中・剛）、足場板（中・剛）、ワゴン車（大・柔：飛散時に空中分解しないもの）、コンクリートブロック（小・剛）とした。なお、コンクリートブロックは主冷却機建物屋上（高さ 12.5m）からの飛来を想定した。また、竜巻防護施設及びその外殻施設の健全性評価等には、竜巻ガイドに記載されている鋼製材（長さ 4.2m×幅 0.3m×高さ 0.2m、質量 135kg、飛来時の水平速度 51m/s、飛来

時の鉛直速度 34m/s) も考慮した。飛来物となる可能性のあるもののうち、飛来した場合の運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物又は竜巻ガイドの鋼製材を超える物品については、竜巻防護施設を内包する建物から隔離（屋内への移動を含む。）、固縛又は固定化を行い、確実に飛来物とならない対策を講じる。

原子炉施設の耐竜巻設計に用いる設計竜巻荷重は、風圧力、気圧差による圧力及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた複合荷重として算定する。風圧力については、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準を準用して算出する。気圧差による圧力については、設計竜巻による最大気圧低下量及び最大気圧低下率に基づいて設定する。飛来物の衝撃荷重については、設計飛来物が、竜巻防護施設又は外殻施設に衝突することを想定して算出する。竜巻影響評価対象施設に常時作用する荷重（固定荷重、積載荷重、土圧、水圧並びに通常の気象条件による荷重）は設計竜巻荷重と適切に組み合わせる。設計基準事故時において評価対象施設に応力は生じないため、設計竜巻荷重及び設計基準事故時に生じる応力の組み合わせは考慮しない。竜巻との同時発生が想定され得る雷、雪、雹及び大雨のうち、雷、雹及び大雨については施設への影響が相乗しないことから、設計竜巻との組み合わせは考慮しない。自然現象の組み合わせについて、安全施設へ影響を与えるパラメータ（荷重、温度及び電氣的影響）を考慮し、**積雪が起こり得る環境下であり、保守的な評価となる場合には**「竜巻」+「積雪」を考慮する。

設計における留意事項として、設計飛来物が竜巻防護施設又は外殻施設に衝突した際に生じる影響（貫通及び裏面剥離）によって、その安全機能を損なわないよう設計する。外殻施設については竜巻ガイドの鋼製材の衝突を考慮する。外殻施設の開口部のうち、付近に外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設が位置している箇所については、設計飛来物の衝突による開口部の鋼板の貫通評価を行い、必要に応じて防護策として貫通限界厚さを上回るように鋼板等で補強する。

竜巻随件事象として想定される外部電源喪失等に対しては、非常用ディーゼル電源系等により必要な電源を供給するため、他の安全機能を損なうことはない。

溢水に対しては、建物屋外で発生した場合に竜巻防護施設に影響を与えないよう、建物の外壁及び開口部等により浸水しないものとする。竜巻飛来物の衝突及び貫通によって建物屋上及び室内で発生する溢水にあつては、その影響により安全機能を損なわないよう対策を講じる。

建物付近にて車両火災が発生した場合、建物外壁温度は 200℃を下回るため、安全施設への影響はないが、建物外壁面に不燃塗料を塗布し、さらに火災の影響を緩和する。不燃塗料は必要に応じ、一定期間経過後に塗りなおしを実施する。竜巻飛来物が建物を貫通し、建物内部において火災が発生した場合にあつては、その影響により安全機能を損なわないよう対策を講じる。

竜巻注意情報及び竜巻発生確度ナウキャストにより、竜巻が大洗研究所に到達するおそれが確認された場合、その確度に基づいて所内に竜巻対応準備指示又は竜巻対応指示を発令し、原子炉の停止、車両の移動及び物品の固縛等の措置を実施する。

添付書類六の以下の項目参照

2. 気象
3. 地盤
4. 水理
6. 社会環境
8. 火山
9. 竜巻
10. 生物

添付書類八の以下の項目参照

1. 安全設計の考え方