

【公開版】

| | | |
|----------|------------|----|
| 提出年月日 | 令和元年12月13日 | R2 |
| 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. 設計対象施設

4. 基準竜巻・設計竜巻の設定

4. 1 竜巻検討地域の設定

4. 2 基準竜巻の最大風速の設定

4. 3 設計竜巻の最大風速の設定

5. 設計荷重（竜巻）の設定

5. 1 設計飛来物の設定

5. 2 荷重の組合せと許容限界

6. 評価に使用する風速場モデルについて

7. 竜巻防護設計

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

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

7. 3 竜巻防護施設のうち建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護施設

7. 4 竜巻防護施設を設置する施設

7. 5 竜巻随件事象に対する設計

8. 手順等

8. 1 飛来物発生防止対策

2章 補足説明資料

2 章 補足説明資料

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)

| 加工施設 安全審査補足説明資料(今回提出) | | | | 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 | 11月29日 | 0 | |
| 補足説明資料3-1 | 設計対象施設の選定について | 12月13日 | 0 | |
| 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 | 11月29日 | 0 | |
| 補足説明資料3-3 | 耐震Sクラス施設について | 11月29日 | 0 | |
| 補足説明資料3-4 | エネルギー管理建屋における竜巻襲来時の波及的影響への対策について | | | |
| 補足説明資料4-1 | 竜巻検討地域の設定について | 11月29日 | 0 | |
| 補足説明資料4-2 | 竜巻検討地域の範囲設定について | 11月29日 | 0 | |
| 補足説明資料4-3 | 竜巻検討地域の設定の妥当性について | 11月29日 | 0 | |
| 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 | 11月29日 | 0 | |
| 補足説明資料4-5 | 海上のFスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について | 11月29日 | 0 | |
| 補足説明資料4-6 | 竜巻発生数の確率分布(ポアソン, ボリヤ分布)がハザード結果に及ぼす影響につい | 11月29日 | 0 | |
| 補足説明資料5-1 | 評価対象施設等の設計荷重について | 11月29日 | 0 | |
| 補足説明資料5-2 | 設計飛来物の設定 | 11月29日 | 0 | |
| 補足説明資料5-3 | 敷地外からの飛来物の考慮について | 12月13日 | 1 | |
| 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 | 11月29日 | 0 | |
| 補足説明資料5-5 | 竜巻時に発生する降雹について | 11月29日 | 0 | |
| 補足説明資料5-6 | 空カパラメータについて | 11月29日 | 0 | |
| 補足説明資料6-1 | ランキン渦モデルとフジタモデルの適用の考え方について | 11月29日 | 0 | |
| 参考資料1 | フジタモデルの適用について | 11月29日 | 0 | |
| 参考資料2 | 竜巻による物体の浮上・飛来解析について | 11月29日 | 0 | |
| 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 | 12月13日 | 0 | |
| 補足説明資料8-1 | 車両の飛来防止対策について | 12月13日 | 0 | |
| 補足説明資料8-2 | 車両の退避について | 12月13日 | 0 | |
| 補足説明資料8-3 | 竜巻襲来までに要する時間の設定の妥当性について | 12月13日 | 0 | |
| 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) | 12月13日 | 0 | |
| 補足説明資料8-5 | 竜巻発生確度ナウキャスト及び雷ナウキャストについて | 11月29日 | 0 | |

令和元年 12 月 13 日 RO

補足説明資料 3 - 1 (9 条 竜巻)

設計対象施設の選定について

1. 設計対象施設の選定方針

設計竜巻から防護する施設（竜巻防護施設）は、安全上重要な施設とする。これらの施設を第3-1-1図～第3-1-3図に示す選定フローに従い、竜巻による風圧力、気圧差及び飛来物に対する設計対象施設として選定する。ただし、竜巻防護施設を設置する建屋については、竜巻防護施設を設置する施設として設計対象施設に選定する。

また、建屋に設置される竜巻防護施設のうち第3-1-4図に示す選定フローに従い選定される設計荷重（竜巻）に対して十分な耐力を有さない建屋に設置される竜巻防護施設及び開口部を有する室に設置される竜巻防護施設のうち第3-1-5図に示す選定フローに従い選定される竜巻防護施設は、建屋に設置されるが防護が期待できない竜巻防護施設として選定する。

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設は、当該施設の破損又は転倒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おそれがある施設、又はその施設の特定の区画とする。具体的には、構内配置図によって竜巻防護施設又は竜巻防護施設を設置する施設の周囲にある建屋・構築物を抽出し、それらが転倒するおそれがあるか、若しくは転倒した場

合に竜巻防護施設又は竜巻防護施設を設置する施設に影響を与えるおそれがあるか検討し、影響を与えるおそれがあると判断したものを竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として選定する。

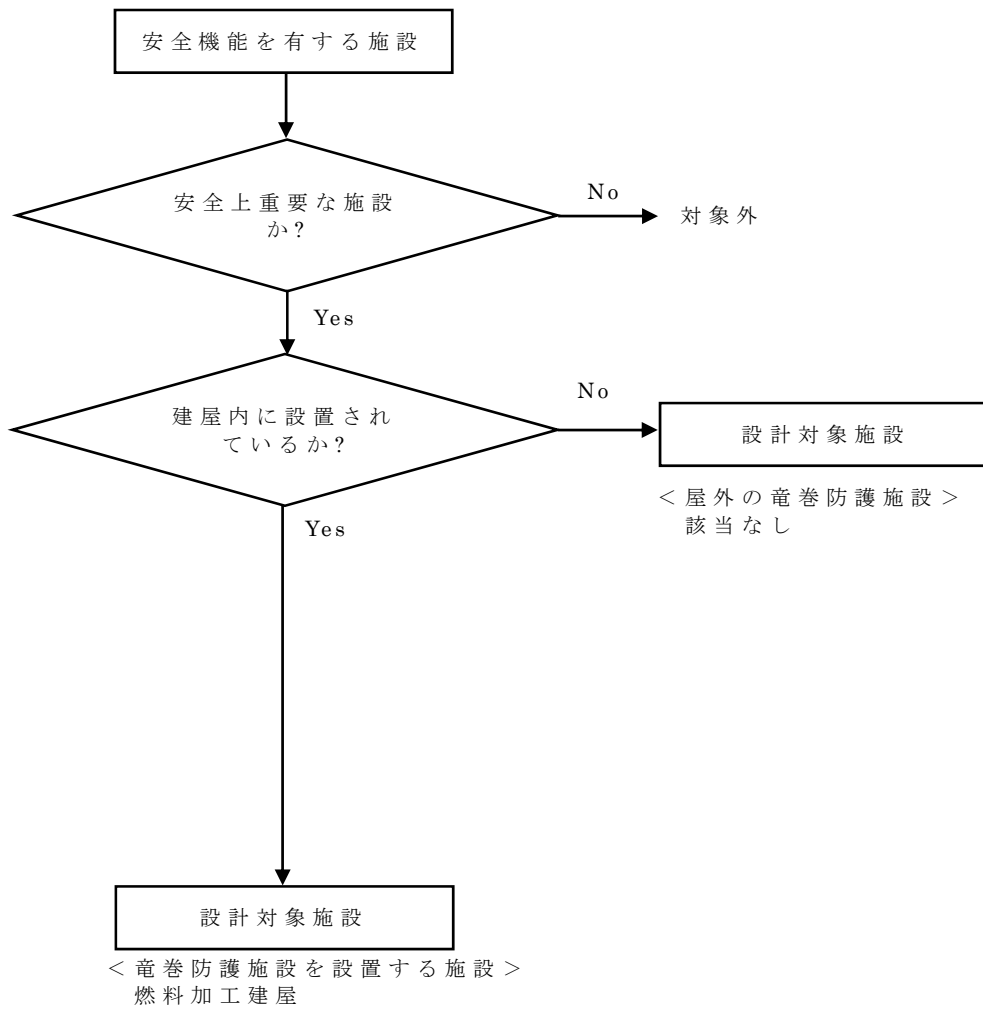
2. 設計対象施設の選定結果

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

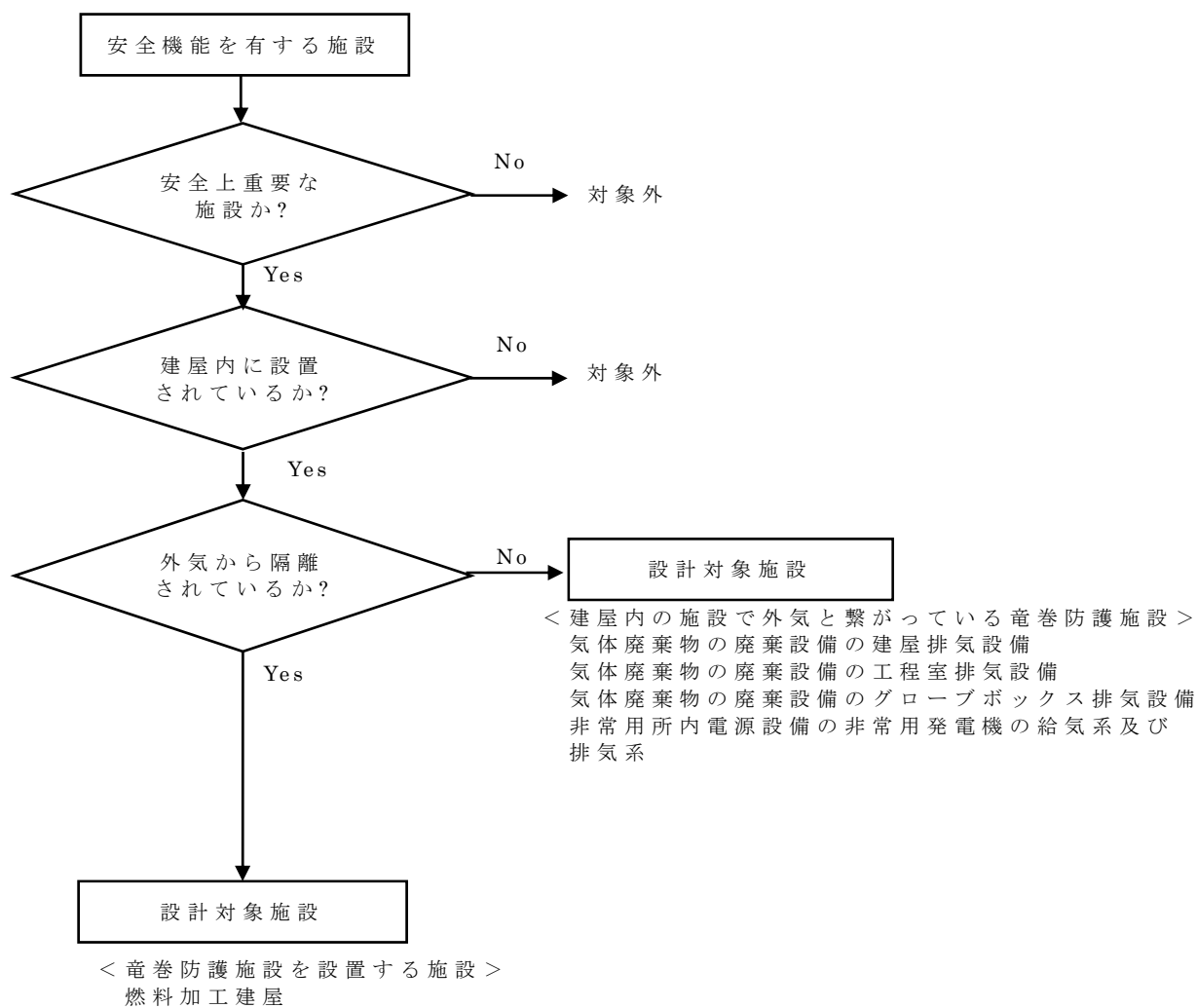
3. 設計対象施設と設計対象項目

上記2.の結果から得られた竜巻に対する設計対象施設及びその設計対象項目を第3-1-2表に示すとともに、竜巻防護施設を設置する施設、屋外施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の配置を第3-1-6図に示す。

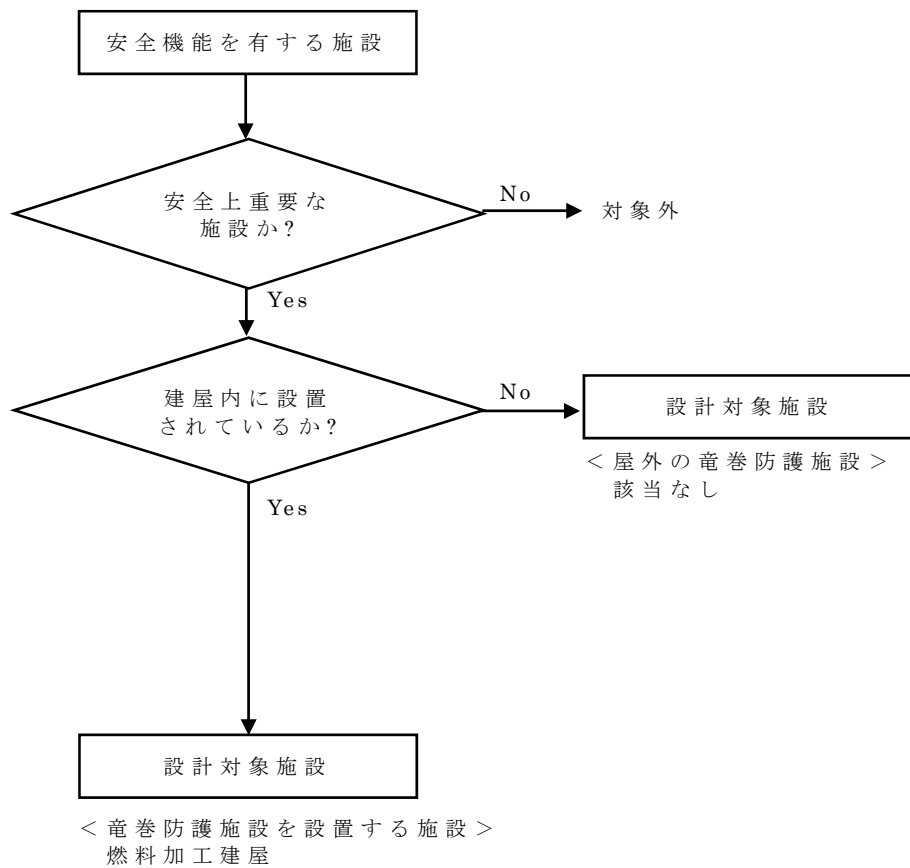
以 上



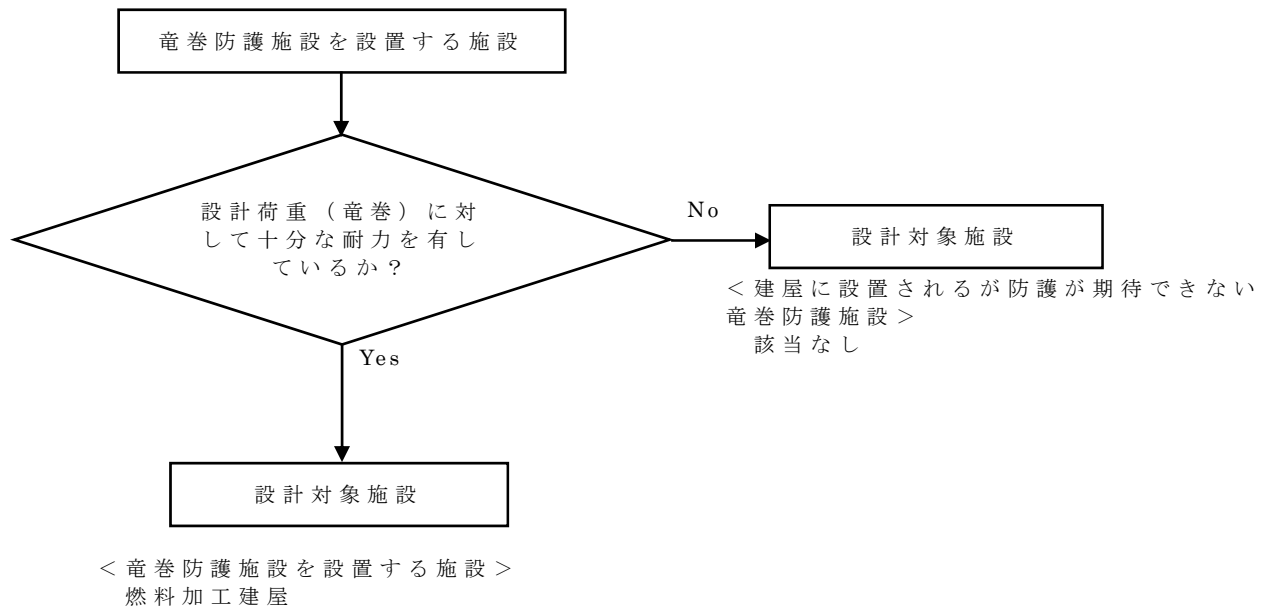
第 3 - 1 - 1 図 風圧力に対する設計対象施設の選定フロー



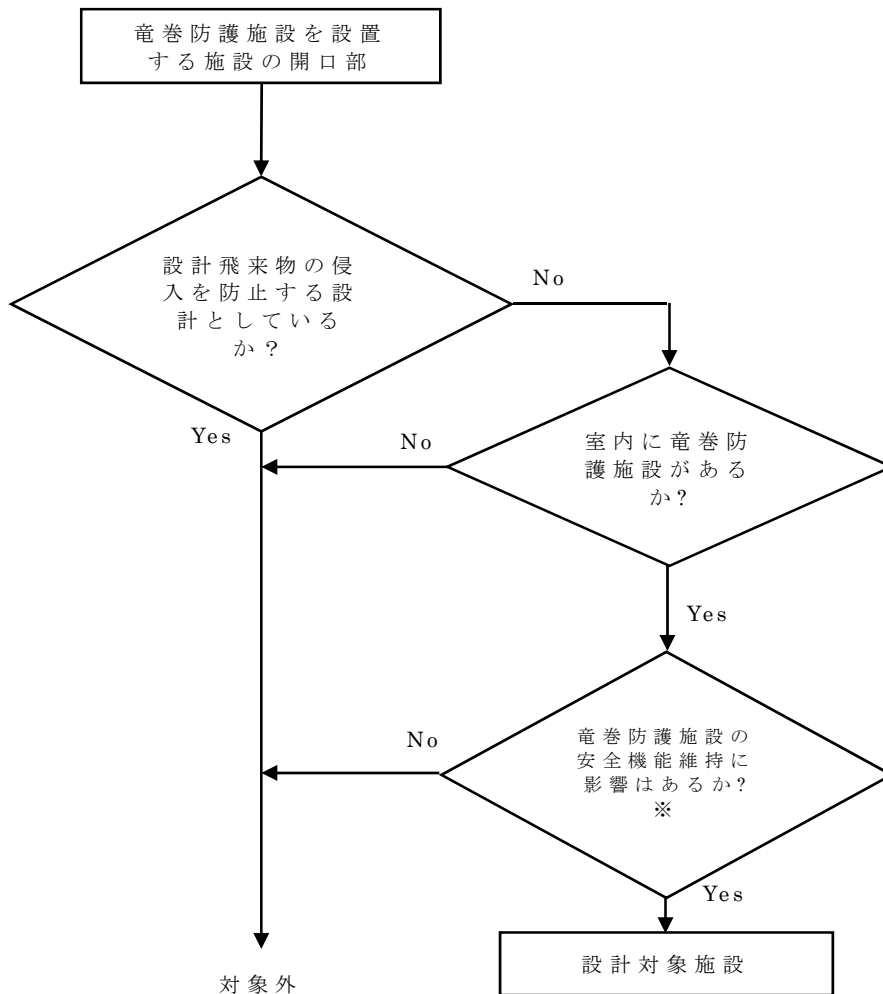
第 3 - 1 - 2 図 気圧差に対する設計対象施設の選定フロー



第 3 - 1 - 3 図 飛来物に対する設計対象施設の選定フロー



第 3 - 1 - 4 図 建屋の耐力に関する設計対象施設の
選定フロー



< 建屋に設置されるが防護が期待できない竜巻防護施設 >
 非常用所内電源設備の非常用発電機の給気系及び排気系

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

第 3 - 1 - 5 図 開口部に対する設計対象施設の選定フロー

第3-1-1表 竜巻防護施設の選定結果一覧（1/6）

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

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

第3-1-1表 竜巻防護施設の選定結果一覧（2/6）

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

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

第3-1-1表 竜巻防護施設の選定結果一覧 (3/6)

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

○：評価対象 ×：評価対象 (ただし、当該設備を設置する建屋が評価対象)
 -：評価対象外 補 3-1-10

第3-1-1表 竜巻防護施設の選定結果一覧（4/6）

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

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

第3-1-1表 竜巻防護施設の選定結果一覧（5/6）

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

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

第3-1-1表 竜巻防護施設の選定結果一覧（6／6）

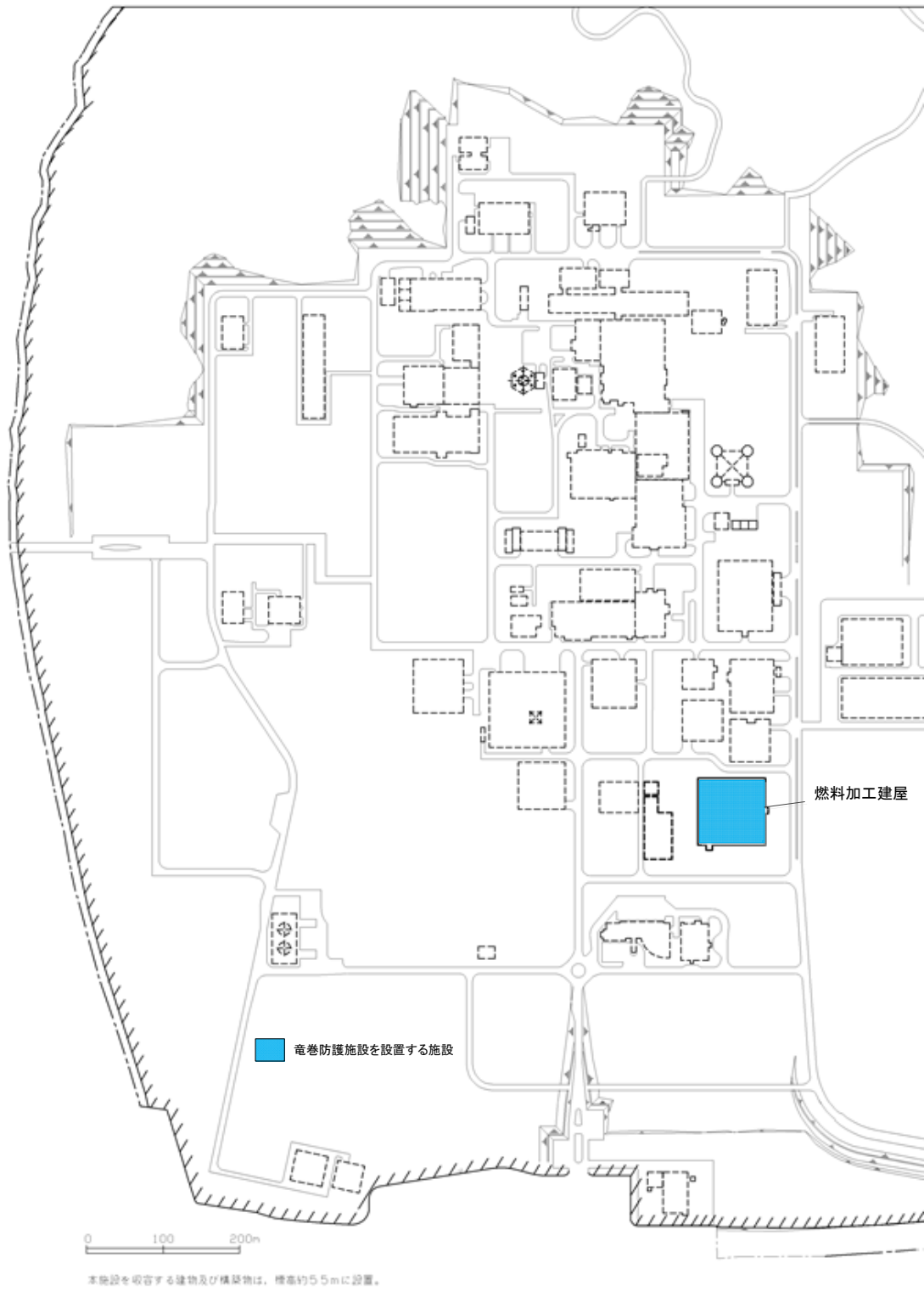
| 施設区分 | | 設備区分 | 安全上重要な施設 | (竜巻) 設計項目 | | |
|--------------|-----------|---------------|---|-----------|-----|-----|
| | | | | 風圧力 | 気圧差 | 飛来物 |
| その他加工設備の附属施設 | その他の主要な事項 | 火災防護設備 | グローブボックス温度監視装置 | × | × | × |
| | | | 自動火災報知設備（二酸化炭素消火装置及び安全上重要な施設の窒素消火装置への火災信号移報回路（火災感知器を含む。）） | × | × | × |
| | | | グローブボックス局所消火装置 | × | × | × |
| | | | グローブボックス消火装置（安全上重要な施設のグローブボックスの消火に関する範囲） | × | × | × |
| | | | 窒素消火装置（火災区域に設定する室の消火に関する範囲） | × | × | × |
| | | | 二酸化炭素消火装置 | × | × | × |
| | | | 延焼防止ダンパ（ダンパ作動回路を含む。） | × | × | × |
| | | | 防火シャッター（シャッター作動回路を含む。） | × | × | × |
| | | | 防火扉（火災区域境界に設置するもの。） | × | × | × |
| | | | 避圧エリア形成用自動閉止ダンパ（ダンパ作動回路を含む。） | × | × | × |
| | | 溢水防護設備 | 緊急遮断弁（加速度大による緊急遮断弁作動回路を含む。） | × | × | × |
| | | | 堰 | × | × | × |
| | | 水素・アルゴン混合ガス設備 | 混合ガス水素濃度高による混合ガス供給停止回路及び混合ガス濃度異常遮断弁（焼結炉系，小規模焼結処理系） | × | × | × |
| | | 燃料加工建屋 | 燃料加工建屋 | ○ | ○ | ○ |
| | | 工程室 | 工程室 | × | × | × |

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

第3-1-2表 設計対象施設と設計対象項目

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

凡例) ○：設計対象 —：設計対象外



第3-1-6図 設計対象施設の配置

令和元年 12 月 13 日 R1

補足説明資料 5 - 3 (9 条 竜巻)

敷地外からの飛来物の考慮について

1. はじめに

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

<原子力発電所の竜巻影響評価ガイドの要求事項>

4. 3. 1 設計竜巻荷重の設定

解説 4. 3. 1. 3. 2 基本的な考え方

・・・(略)・・・

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

2. 風力発電施設の概要

第5-3-1表 風力発電施設の概要

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

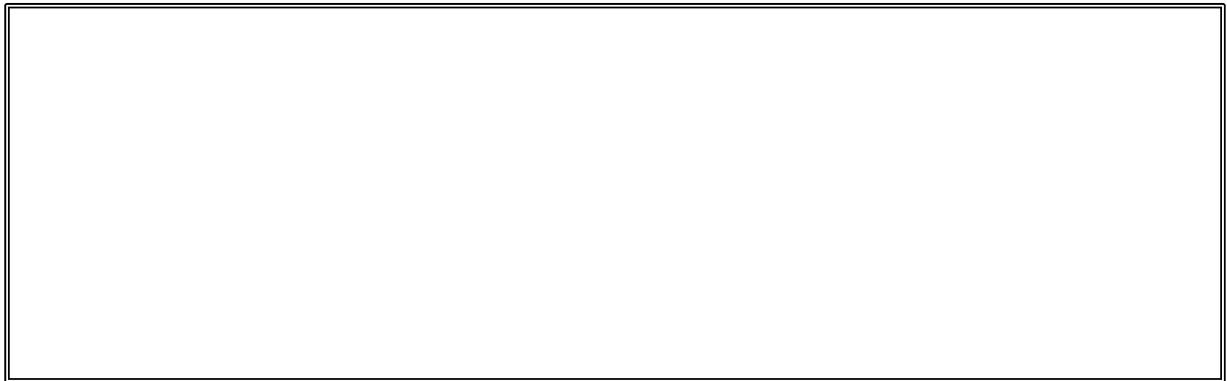
(1) むつ小川原ウィンドファームHPより



第5-3-1図 風力発電設備の寸法

3. 設計竜巻による飛来距離の評価

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




第 5 - 3 - 2 図 風力発電機のブレード寸法

第 5 - 3 - 2 表 ブレードサイズ及び最大飛来距離

| | |
|--------|--|
| 長さ | |
| 高さ | |
| 幅 | |
| 重量 | |
| 最大飛来距離 | |

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

 : 商業機密の観点から公開できません。

4. まとめ

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

以 上

令和元年 12 月 13 日 RO

補足説明資料 7 - 1 (9 条 竜巻)

竜巻随件事象の抽出及び設計について

1. 概要

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

2. 過去の竜巻被害について

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

第7-1-1表 1990年以降のF3クラス竜巻

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

竜巻被害の状況写真（第7-1-1図～7-1-3図）から、竜巻被害としては風圧力及び気圧差による被害及び飛来物の衝突による損傷のみであり、また、竜巻の随件事象として電柱や電線の損傷による停電が発生していると判断される。



全壊した家屋



飛来物により被害を受けた住宅等



倒れた電柱(復旧作業時)



倒壊電柱に直撃された家屋

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



全壊した工事事務所周辺



飛来物による被害を受けた建物



倒壊した道路標識支柱



道路側へ倒壊した電柱

第7-1-2図 2006年11月7日北海道にて発生した
F3竜巻による被害⁽²⁾⁽³⁾
補7-1-2



残骸（飛散物）で埋め尽された道路



吹き飛ばされた建物



横転したバス



曲がった鉄筋（工事現場）

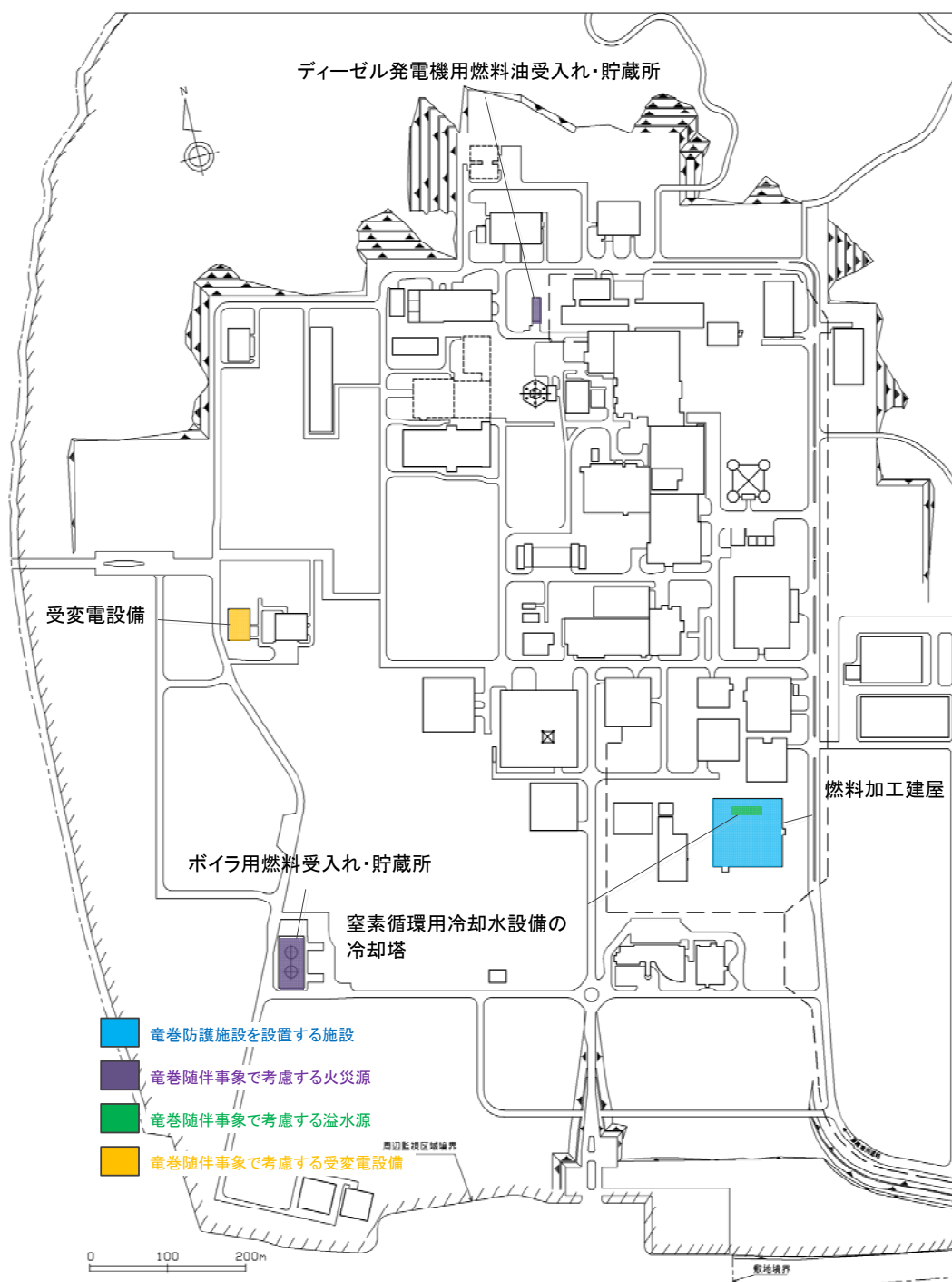
第 7 - 1 - 3 図 1990 年 12 月 11 日千葉県にて発生した
F 3 竜巻による被害⁽⁴⁾

3. 本施設にて考慮すべき竜巻随件事象

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

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

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



第 7 - 1 - 4 図 本施設的设计対象施設のうち屋外施設及び
竜巻随伴事象の検討対象施設の配置図

4. 竜巻随件事象に対する設計の一例

竜巻防護設計においては、前述のとおり竜巻随件事象として火災、溢水及び外部電源喪失を想定し、これらの事象が発生した場合においても、竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とすることとしている。

ここでは、火災及び溢水について当該設計の一例を示す。

1) 火災

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

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

2) 溢水

竜巻により、屋外機器の破損による溢水を想定し、溢水源と竜巻防護施設の位置関係を踏まえた影響評価を行った上で、溢水が竜巻防護施設を設置する施設の開口部まで到達しない設計とする。

<設計の一例>

本施設における屋外機器の破損による溢水源は、「MOX燃料加工施設における新規制基準に対する適合性 安全審査整理資料 第十一条 溢水による損傷の防止」にて示すとおりである。

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

< 参考文献 >

- (1) (財) 消防科学総合センター, 平成 24 年(2012 年)5 月 6 日茨城県つくば市竜巻災害写真報告, 2012
- (2) (財) 消防科学総合センター, 平成 18 年 11 月 7 日北海道佐呂間町竜巻災害写真報告, 2006
- (3) (社) 土木学会 北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査団, 平成 18 年 11 月 北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査, 2007 年 4 月
- (4) 千葉県総務部消防地震防災課, 防災誌「風水害との闘い」第 3 章 90m 超えの突風に街が飛ばされた!ー茂原で最大スケールの竜巻が発生ー, 平成 22 年 3 月

以 上

令和元年 12 月 13 日 RO

補足説明資料 8 - 1 (9 条 竜巻)

車両の飛来防止対策について

概要

車両は飛来防止対策を行うことにより、設計飛来物から除外する。車両の飛来防止対策は、固縛又は退避を必要とする区域（以下、「飛来対策区域」という。）を設定し、当該区域内の車両の運用を管理することにより行う。

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

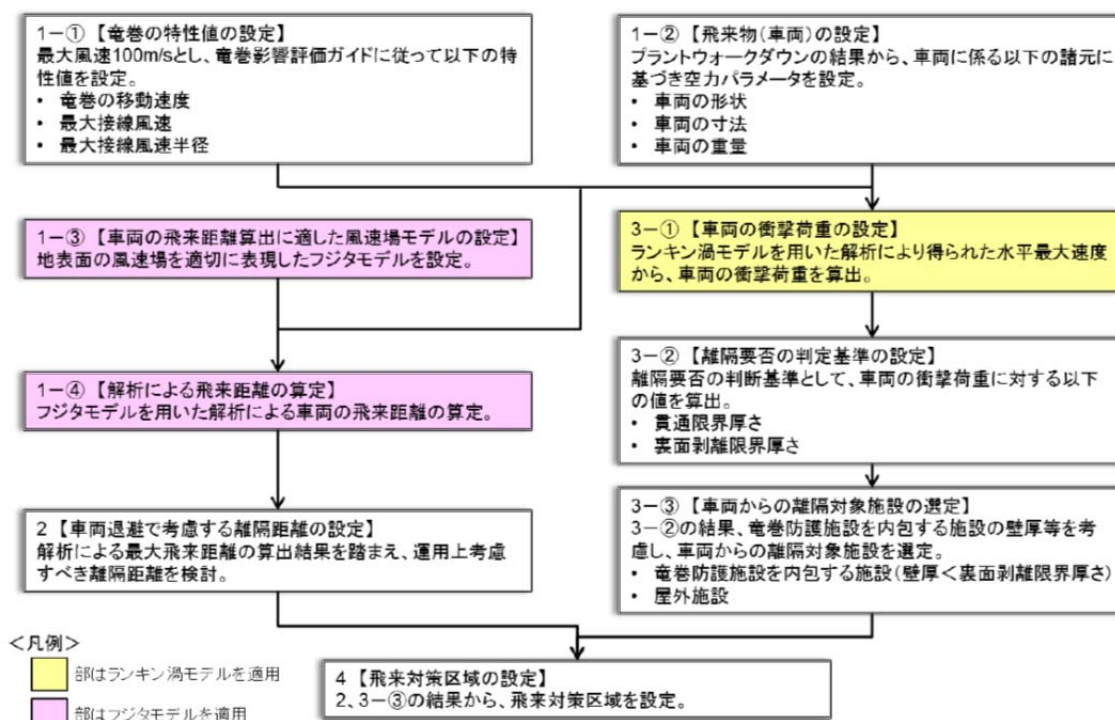
飛来対策区域設定に関する全体フローを第 8-1-1 図に示す。

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

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

また、フジタモデルを適用した解析における不確実性を補うため、周辺防護区域内の車両は固縛又は退避の対象とする。

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



第 8 - 1 - 1 図 飛来対策区域設定に関する全体フロー

1. 車両の飛来距離

1. 1 竜巻の特性値の設定

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

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

(1) 設計竜巻の移動速度 (V_T (m/s))

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

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

(2) 最大接線風速 (V_{Rm} (m/s))

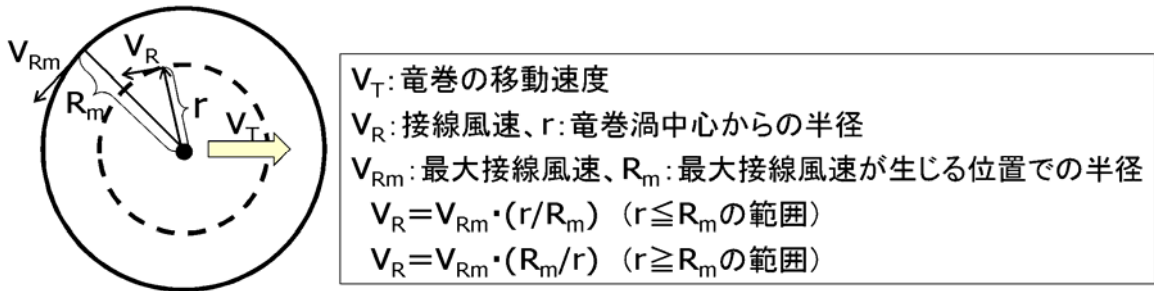
米国 N R C の基準類を参考として以下のとおり設定する。

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

(3) 最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m (m))

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

$$R_m = 30$$



第 8 - 1 - 2 図 竜巻の特性値の設定について⁽¹⁾

1. 2 飛来物 (車両) の設定

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

第 8 - 1 - 1 表 現地調査で抽出した車両の諸元と

空力パラメータ

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

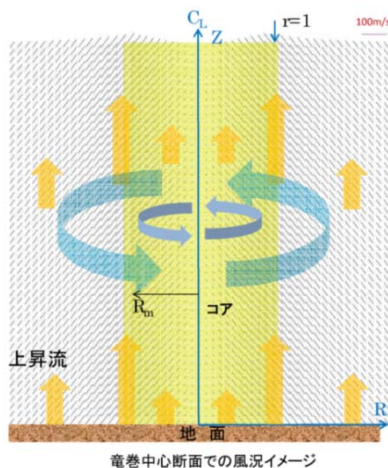
1. 3 解析に適した風速場モデルの選定

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

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

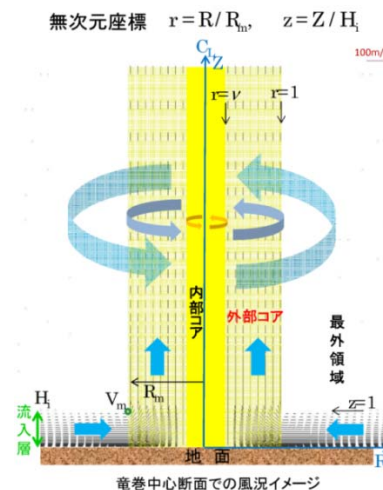
フジタモデルは、NRCの要請により藤田博士が開発した竜巻風速場の工学モデルである。フジタモデルの詳細な報告は、米国エネルギー省向けにまとめられており、NRCガイドにも引用されている。NRCは両モデルを比較し、より単純なランキン渦モデルを選択している。

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



第8-1-3図

ランキン渦モデル⁽²⁾



第8-1-4図

フジタモデル⁽²⁾

第 8 - 1 - 2 表 飛来物評価モデルの比較 ⁽²⁾

| モデル名 | メリット | 問題点 | 評価 |
|-----------------|---|--|----|
| ランキン渦モデル | <ul style="list-style-type: none"> 非常に簡単な式で風速場を記述することができる。 NRCガイドで採用されており、利用実績が高い。 | <ul style="list-style-type: none"> 上昇流が全領域に存在し、飛来物が落下しにくい。 風速場が高さに依存しないため、<u>地面付近では非現実的な風速場となる。</u> | ○ |
| フジタモデル | <ul style="list-style-type: none"> 観測に基づき考案されたモデルであり、<u>実際の風速場に近い。</u> 比較的簡単な代数式で風速場を表現しうる。 NRCガイドでもランキン渦モデルと並列に参照されている。 | <ul style="list-style-type: none"> ランキン渦モデルと比較して、風況をモデル化する上で解析プログラムが複雑。(近年の計算機能力向上と竜巻評価コードの高度化により、問題点は解決された) | ◎ |
| 非定常乱流渦モデル (LES) | <ul style="list-style-type: none"> 風速の時間的な変動(乱れ)をある程度模擬している。 | <ul style="list-style-type: none"> 人為的な計算条件を用いるため <u>実際の竜巻を必ずしも再現していない。</u> 膨大な計算機資源が必要であり、実務での評価には不向きである。 | △ |

1. 4 解析による飛来距離の算定

算定方法の概要及び算定結果を以下に示す。

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

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

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

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

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

第8-1-3表 算定に用いたパラメータ及び車両の
飛来距離の算定結果

解析に用いたパラメータ値

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

車両の飛来距離、飛来高さの算定結果

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

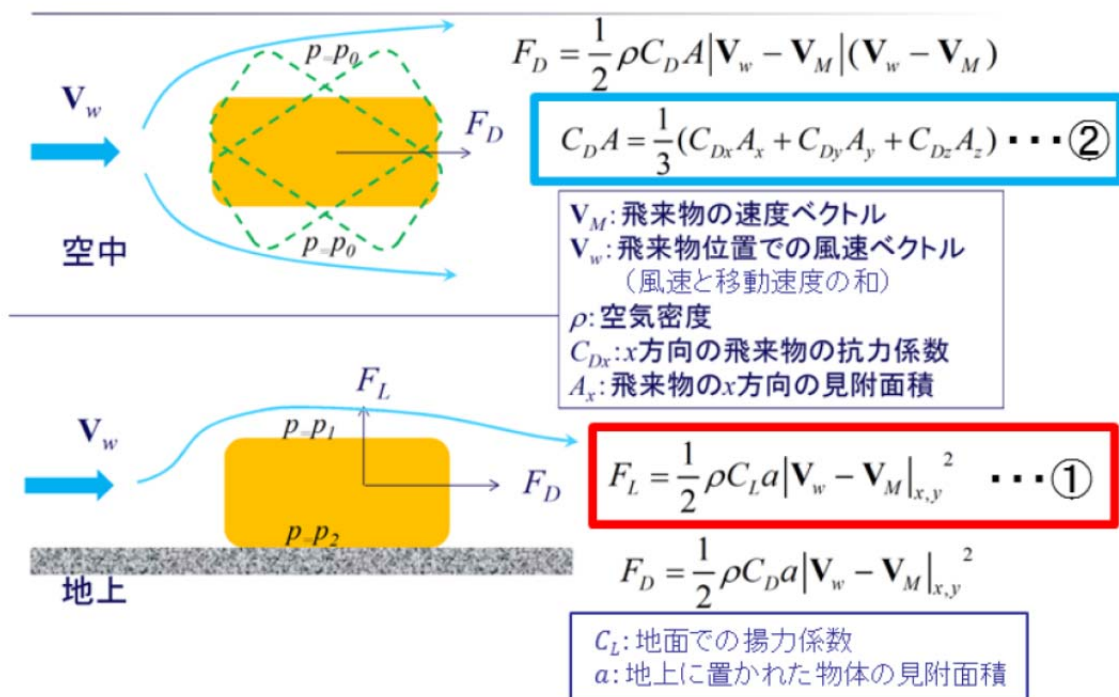
1. 4. 1 物体の浮き上がりにおける保守性の考慮

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

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

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

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



第 8 - 1 - 5 図 飛来物に作用する流体力 ⁽³⁾

第 8 - 1 - 4 表 $C_L a$ と $C_D A$ の比較

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

*4輪のうち、少なくとも1つのタイヤ反力がゼロとなる風速から逆算したもの

出典：

文献(29) Wind Field and Trajectory Models for Tornado Propelled Objects, EPRI NP-748, 1978.

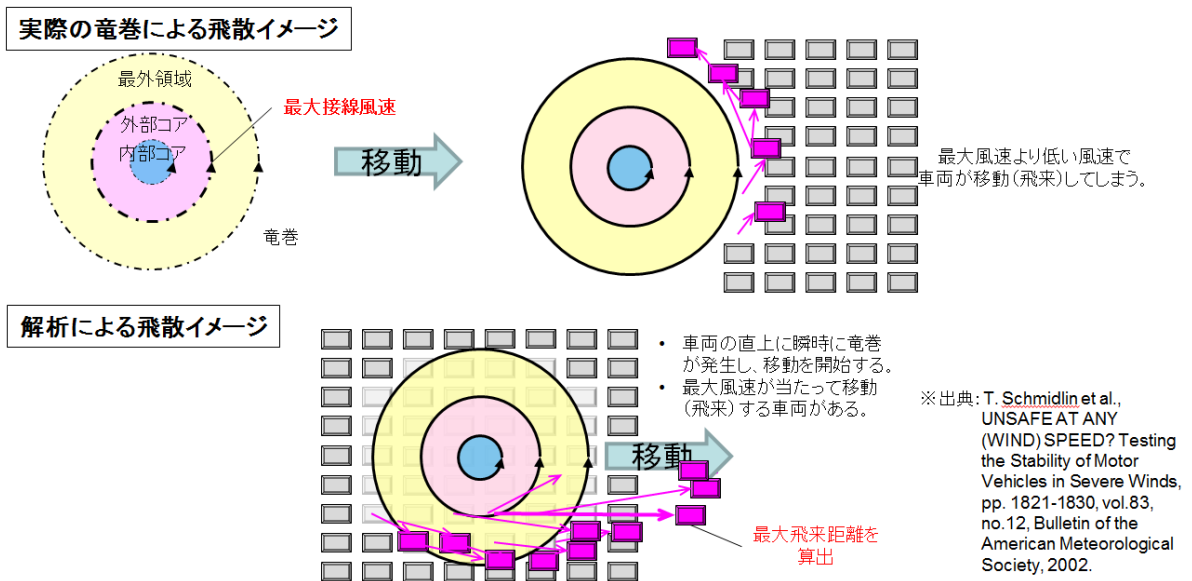
文献(10) T. Schmidlin *et al.*, Unsafe at Any (Wind) Speed? Testing the Stability of Motor Vehicles in Severe Winds, pp.1821-1830, vol.83, no.12, Bulletin of the American Meteorological Society, 2002.

1. 4. 2 飛来に至る過程における保守性の考慮

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

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

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



第8-1-6図 実際の竜巻による飛散と解析による飛散のイメージ

2. 車両退避で考慮する離隔距離の設定

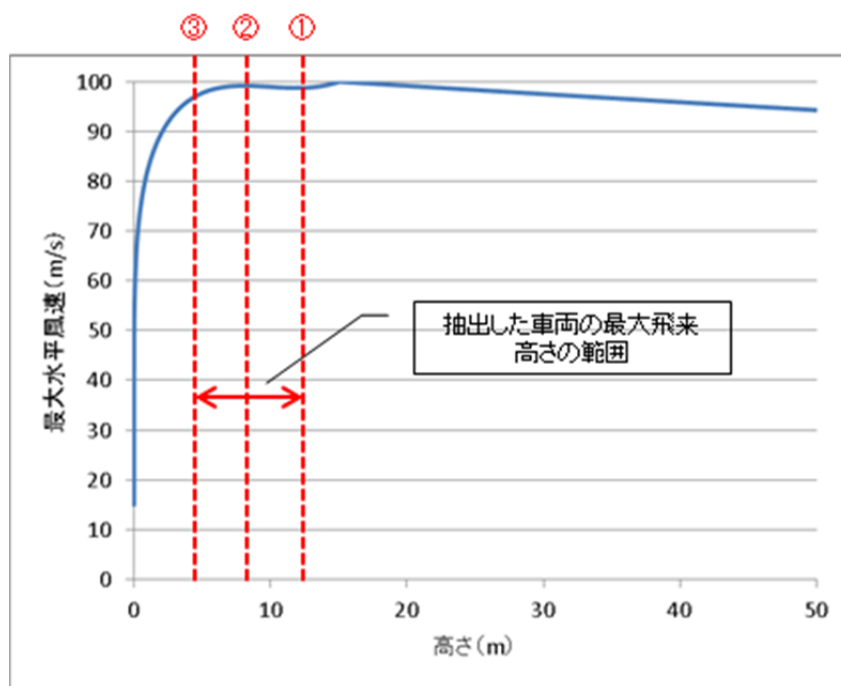
最大飛来距離の算定の結果（第8-1-5表参照）、最大値を与えた「乗用車 ワゴン2」及び「軽自動車2」について、運用上考慮すべき離隔距離の設定について検討した。

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

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

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

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



第 8 - 1 - 7 図 水平最大風速の分布
(フジタモデル, 100m / s)

1～2の各段階において、考慮している保守的な条件を第8-1-6表に示す。

第8-1-6表 離隔距離設定に至る各段階で考慮した保守的条件

| 段階 | 保守的条件の考慮 | 設定内容 |
|------------------------|----------|---|
| 1.1 竜巻の特性値の設定 | — | 日本の竜巻の観測記録等を参考としたガイドの考え方に基づいて設定（最大風速100m/s）。 |
| 1.2 飛来物（車両）の設定 | ○* | より飛来しやすい形状である塊状物体の形状係数を用いて空力パラメータを算出 |
| 1.3 解析に適した風速場モデルの選定 | — | フジタモデルを設定。 |
| 1.4 解析による飛来距離の算定 | ○* | <ul style="list-style-type: none"> 物体に働く揚力においてC_{La}の代わりにC_{DA}を用いる（$C_{La} < C_{DA}$）（浮き上がりやすい条件を設定）。 51×51台の車両のうち、飛来距離が最大となるものを算出（解析コードの保守性）。 |
| 2. 車両退避で考慮する離隔距離の設定 | ○ | 鉛直方向の風速分布を参考に、1.4の算定結果に対して裕度を考慮。 |

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

3. 離隔距離

3.1 車両の衝撃荷重の設定及び離隔要否の判定基準の設定

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

車両の最大水平速度はランキン渦モデルにより算出する。

(1) 貫通限界厚さ

飛来物による鉄筋コンクリートの貫通限界厚さ（ e ）は下式により求める。

$$e = \alpha_e e' \times 2.54$$

ただし、 $1.52 \leq X/d \leq 13.42$ の場合、

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

$1.52 \geq X/d$ の場合、

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

貫入深さ（ X ）は、 $X/d \leq 2.0$ の場合

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

$X/d \geq 2.0$ の場合

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

である。ここで、

e : 貫通限界厚さ（c m）

e' : D e g e n 式による貫通限界厚さ（i n）

- X : 貫入深さ (i n)
- d : 飛来物有効直径 (i n)
- f c ' : コンクリート圧縮強度 (設計基準強度を用
いる, l b f / i n ²)
- D : W / d ³ (l b f / i n ³)
- W : 飛来物重量 (l b f)
- V : 衝突速度 (f t / s)
- N : 飛来物先端形状係数 (0.72)
- α_e : 飛来物係数 (1.0)

である。

(2) 裏面剥離限界厚さ

飛来物による裏面剥離限界厚さ (s) は下式により求める。

$$s = 1.84\alpha_s \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.13} \frac{(MV^2)^{0.4}}{(d^{0.2}f_c'^{0.4})} 30.48$$

ここで,

- s : 裏面剥離限界厚さ (c m)
- V₀ : 飛来物基準速度 (200 f t / s)
- V : 衝突速度 (f t / s)
- M : 飛来物質量 (l b)
- d : 飛来物有効直径 (f t)
- f c ' : コンクリート圧縮強度 (設計基準強度を用
いる, l b f / f t ²)
- α_s : 飛来物係数 (1.0)

である。

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

第 8 - 1 - 7 表 車両による貫通限界厚さ及び裏面剥離限界
厚さ算出結果

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

3. 2 車両からの離隔対象施設の選定

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

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

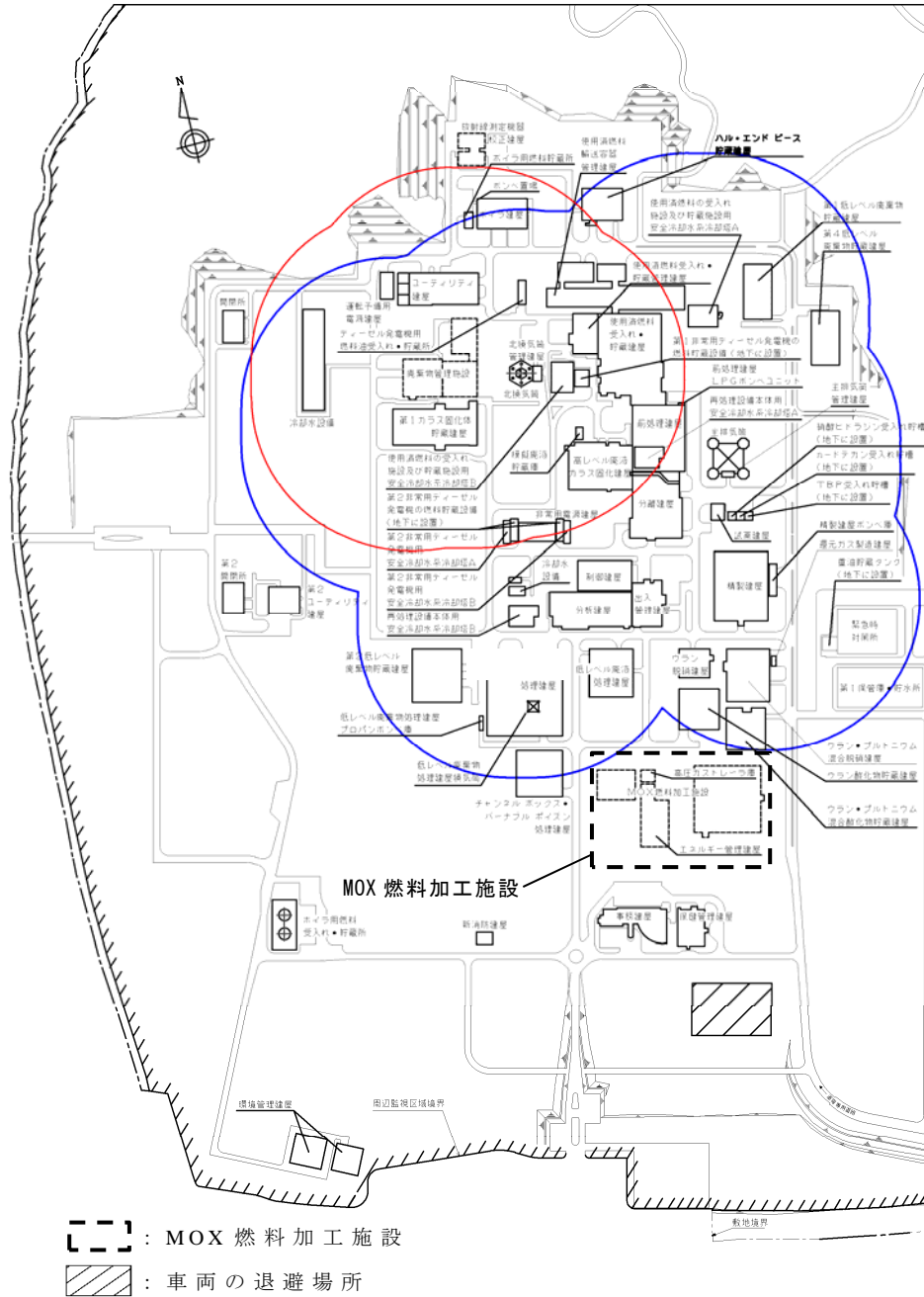
第 8 - 1 - 8 表 車両からの離隔対象施設の選定結果

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

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

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

再処理施設及び廃棄物管理施設における飛来対策区域を第8-1-8図に示す。



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

第8-1-8図 再処理事業及び廃棄物事業における
 飛来対策区域

4. 車両の管理

4. 1 敷地内の車両の管理について

竜巻への対応を円滑に行うため、「通常」、「注意喚起」及び「竜巻準備体制」の3段階に分けて対応を行う。

飛来対策区域における車両の運用は以下のとおりとする。

- (1) 駐車する場合は、予め竜巻により飛散しないよう固縛する。ただし、速やかに車両の移動が可能な場合を除く。
- (2) 竜巻準備体制の発表により、飛来対策区域内を走行または停車している車両の運転手は、速やかに退避または固縛を行い、近くの建物に退避する。
- (3) 周辺防護区域内への車両の入構に係る審査時には、車両の飛来距離の評価を行い、飛来距離が170m以下と評価される車両にのみ入構を許可する。
- (4) 入構を許可された車両の運転手には、車両の退避、固縛等に係る事項を周知する。また、既に許可を与えられた車両の運転手にも同様の内容を周知する。

4. 2 車両の飛来防止対策の概略イメージ

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

固縛装置による飛来防止は、車両が浮上するのを防止できる設計とする。



第 8 - 1 - 9 図 飛来防止対策イメージ

5. 参考文献

- (1) 「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」
- (2) 原子力発電所の竜巻影響評価について，－設計風速および飛来物速度の評価－ 改定4，2014年9月9日 日本保全学会 原子力規制関連事項検討会
- (3) 原子力発電所の竜巻影響評価 平成26年12月12日(一社) 日本溶接協会 原子力プラント機器の健全性評価に関する講習会
- (4) T. Schmidlin et al., UNSAFE AT ANY (WIND) SPEED? Testing the Stability of Motor Vehicles in Severe Winds, pp. 1821-1830, vol.83, no.12, Bulletin of the American Meteorological Society, 2002.

以 上

令和元年 12 月 13 日 RO

補足説明資料 8 - 2 (9 条 竜巻)

車両の退避について

本施設は、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ことから、再処理施設及び廃棄物管理施設と同様の車両の運用を行う。

参考として再処理施設における車両の退避の実現性の確認結果を以下に示す。

<参考> 再処理施設の車両の退避について

1. はじめに

竜巻発生予測の実績等から竜巻発生 15 分前には予測が可能であることを考慮して、竜巻襲来時の車両の退避時間の実現性を確認した。

2. 評価の前提条件

(1) 車両の種類と台数

周辺防護区域内にある車両を調査した結果を基とし、①社有車、②警備車両、③一時的に入構する作業車両（一時入構車両）④シャトルバスについて対象台数を以下のとおりとして退避時間の算定に用いた。

① 社有車

【使用目的】：周辺防護区域内で業務に従事する運転員等が、現場巡視等を目的として移動する手段として使用する車両。

【運用管理】：使用していない社有車は周辺防護区域外に駐車するか、飛来防止対策を施した駐車場所に駐車することで、竜巻襲来時の退避対応を必要としない運用とする。

社有車を使用して現場巡視先へ移動する場合は、飛来防止対策を施した駐車区域（固縛装置）に駐車する事で、竜巻襲来時の退避対応を必要としない運用

とする。

【車両台数】：調査結果より，周辺防護区域内に同時に存在する
最多車両台数は 56 台である。

② 警備車両

【使用目的】：警備員が周辺防護区域内のパトロール，立入制限
区域への入退域管理の対応のために移動する手段
として使用する車両。

【運用管理】：使用していない警備車両は，周辺防護区域外の駐
車区域に駐車することで，竜巻襲来時の退避対応を
必要としない運用とする。使用中の警備車両につい
ては，常時警備員が乗車するか，または警備員がす
ぐに車両に戻れる状態にすることで，竜巻襲来時に
は速やかに退避することができる運用とする。

【車両台数】：調査結果より，周辺防護区域内に同時に存在する
最多車両台数は 28 台である。

③ 一時入構車両

【使用目的】：周辺防護区域内で作業を行う一時立入者（工事作
業員，燃料油の給油作業員等）が，工事用資機材の
搬出入や燃料油の給油等を行うための車両。

【運用管理】：工事用資機材の搬出入作業や燃料油の給油作業に
あたっては，車両の運転手と作業員を別とすること
で，速やかに退避することができる運用とするか，
または，飛来防止対策を施した駐車区域に駐車する
ことで竜巻発生時の退避を必要としない運用とす
る。作業のない夜間，休日等には周辺防護区域内よ

り退去する運用とする。

【車両台数】：調査結果より，周辺防護区域内に同時に存在する
最多車両台数は 230 台である。

④ シャトルバス

【使用目的】：周辺防護区域内で業務に従事する職員及び協力会
社職員等が，周辺防護区域内の移動を目的として使
用する大型バス車両。

【運用管理】：使用していないシャトルバスは，周辺防護区域外
に停車することで，竜巻襲来時の退避対応を必要と
しない運用とする。周辺防護区域内を巡回中のシャ
トルバスは，常に運転手が搭乗し，竜巻襲来時には
速やかに退避することができる運用とする。

【車両台数】：調査結果より，周辺防護区域内に同時に存在する
最多車両台数は 3 台である。

(2) 退避の対象となる車両の台数

- ・退避対象車両数については，周辺防護区域内に同時に存在す
る最多車両総数から固縛装置に駐車する台数を除いた車両
を対象とし，周辺防護区域内に同時に存在する最大車両総数
(56 台 + 28 台 + 230 台 + 3 台) - 周辺防護区域内の固縛装置設
置数 (132 台分 (予定)) = 185 台を避難対象車両として退避
時間の算定に用いる。


(3) 退避速度，距離

周辺防護区域外への車両の退避条件を，以下の通り設定した。

- ・ 周辺防護区域内道路の制限速度は 30 k m / h であるが，退避時間の算定にあたっては保守的に想定するため，全区間の平均速度を 20 k m / h とした。これは冬季（積雪や凍結）を考慮しても余裕のある速度である。
- ・ 各ゲートから最も遠い周辺防護区域内を走行または停車している車両から周辺防護区域外までの距離は，第 8 - 2 - 1 図に示す通りとし，メインゲート方向はサブゲート方向の導線に突き当たるまでの 1116m（走行所要時間 3 分 21 秒），サブゲート方向は 1886m（走行所要時間 5 分 40 秒）を移動距離として算定する。

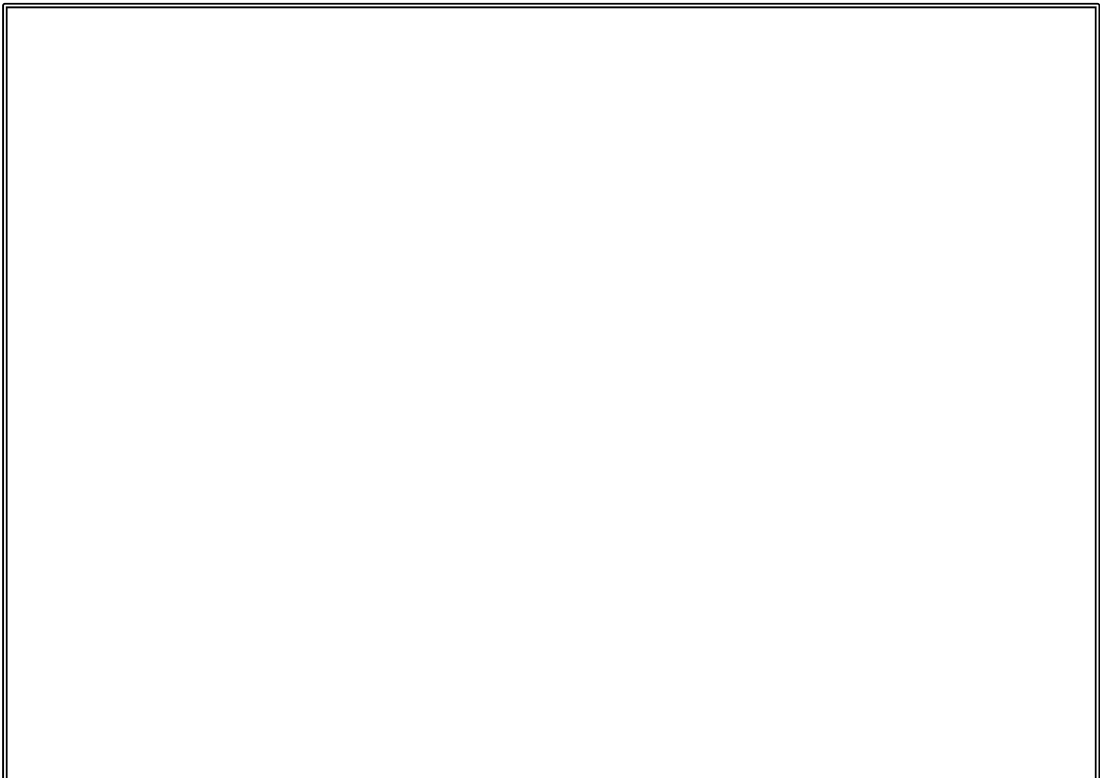


第 8 - 2 - 1 図 周辺防護区域内におけるメインゲート及びサブゲートまでの最長距離


 : 核不拡散上の観点から公開できません。

(4) その他評価上の仮定

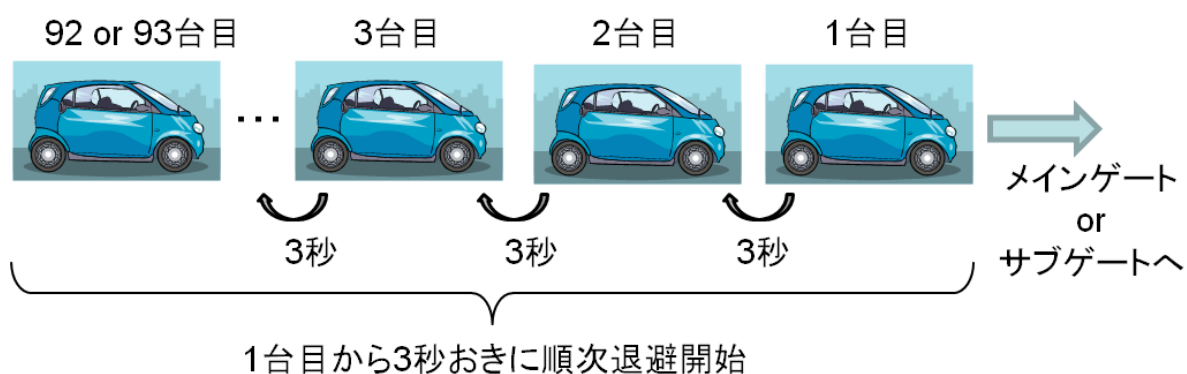
- ・ゲートから最も遠い場所に全退避車両が後ろ詰めで渋滞している状態で竜巻準備体制が発表された場合を想定し、退避時間を算定する。
- ・各ゲートは内側・外側共に開放し、退避車両をチェック無しで通過させるものとする。
- ・ゲートから最も遠い場所を基点にしてサブゲート側に 93 台、メインゲート側に 92 台が 10m 間隔で渋滞した場合を考慮する。
- ・上記車列について、メインゲート側及びサブゲート側の車はそれぞれ第 8 - 2 - 2 図に示す導線で各ゲートへ向かうものとする。



第 8 - 2 - 2 図 メインゲート及びサブゲートへの車両退避に
想定される渋滞状況

 : 核不拡散上の観点から公開できません。

- ・ 周知・連絡のための時間は余裕を持って2分とする。
- ・ 各ゲートの開放にかかる時間は，竜巻準備体制が発表されてから1分（実測では45秒）とする。
- ・ 実際には先頭車両の発車と同時にゲート開放が始まるが，ゲートが開放されてから先頭車両が出発するものとする。
- ・ 車列先頭の車両から余裕を持って3秒に1台の間隔で順次発進することを想定する。第8-2-3図に車両退避イメージを示す。この時，最後尾の車両が発進するのはメインゲート側では先頭車両が発進してから4分33秒後（3秒間隔×91台=273秒=4分33秒），サブゲート側では先頭車両が発進してから4分36秒後（3秒間隔×92台=276秒=4分36秒）となる。



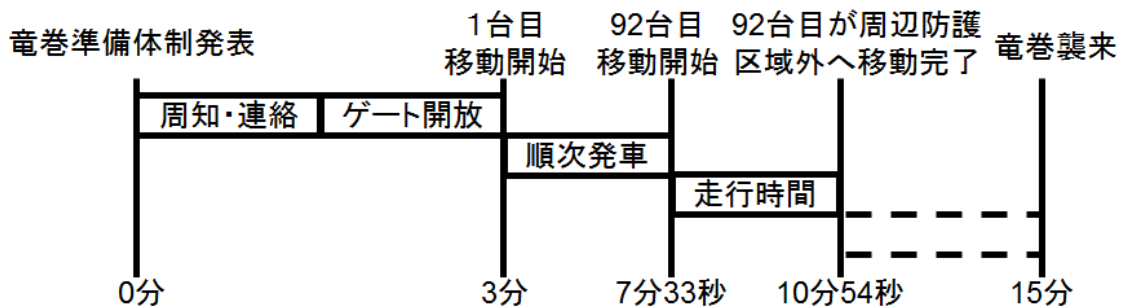
第8-2-3図 車両退避イメージ

3. 評価結果

評価結果は下記の通りとなり，竜巻準備体制が発表されてから15分以内に車両の退避が可能と評価した。メイン及びサブゲートの車両退避時間を第8-2-4図及び第8-2-5図に示す。

・メインゲート側：

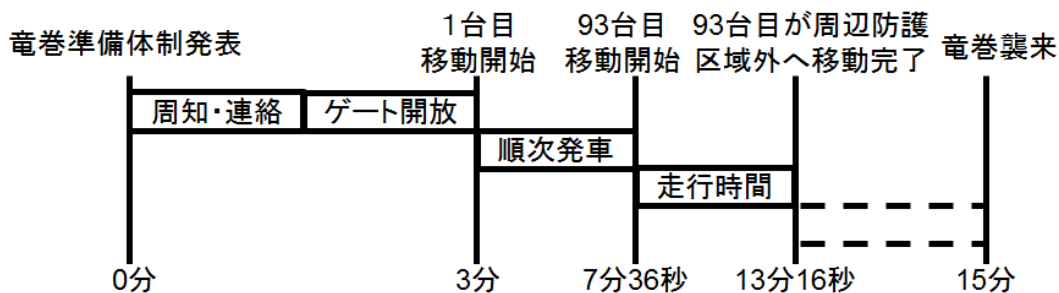
周知・連絡時間2分＋ゲート開放時間1分＋最後尾車両が発車するまでの時間4分33秒＋最後尾車両のメインゲート外までの走行所要時間3分21秒＝10分54秒。



第8-2-4図 メインゲートに向かう車両退避時間

・サブゲート側：

周知・連絡時間2分＋ゲート開放時間1分＋最後尾車両が発車するまでの時間4分36秒＋最後尾車両のメインゲート外までの走行所要時間5分40秒＝13分16秒。



第8-2-5図 サブゲートに向かう車両退避時間

以上

令和元年 12 月 13 日 RO

補足説明資料 8 - 3 (9 条 竜巻)

竜巻襲来までに要する時間の設定の妥当性について

本施設は、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ことから、再処理施設及び廃棄物管理施設と同様の運用を行うこととしている。

参考として再処理施設における竜巻襲来までに要する時間の設定の妥当性の確認結果を以下に示す。

1. 基本方針

再処理施設内の安全機能維持に影響を与えないよう、再処理施設内に駐車及び停車している車両を固縛又は退避させる必要がある。竜巻による再処理施設の被害を防止するため、竜巻の兆候を早期に検知し、事前に準備をする必要性がある。兆候を早期に検知する方法として、気象庁から発表される雷注意報及びレーダーナウキャストによる予測を用いる。気象庁の監視体制は2013年3月のドップラーレーダー化完了により強化され、さらに研究も進んでいることから、今後さらなる予測精度の向上が見込まれる。よって以下の判断基準等については、今後もデータ及び知見等の収集に努め、より信頼度の高い判断基準となるよう検討を継続し、改善を図っていくものとする。

2. 判断基準の定義

再処理施設での竜巻襲来における体制の発表等の判断する検知基準として、第8-3-1表に示す2段階の判断基準を設定する。

第8-3-1表 竜巻準備体制の判断基準

| 判断基準 | 定義 |
|------|-------------------------|
| 1 | 竜巻警戒（竜巻への注意喚起） |
| 2 | 竜巻避難（竜巻襲来に備え資機材等の固縛，退避） |

3. 各判断基準への対応

判断基準1及び判断基準2の条件，取るべき対応等を第2表に示す。また監視対象範囲は第8-3-1図に示す。

（1）判断基準1（暫定案）

< 検知基準 >

以下①及び②の2つの状況の「or」条件とする。

- ①雷注意報が発表される。監視対象範囲は六ヶ所村とする。
- ②竜巻発生確度ナウキャスト（以下，「竜巻NC」という。）発生確度1が認められる。監視対象範囲は再処理事業所を含む40km×40kmのメッシュ範囲とする。

< 対応 >

- ・事業所内への周知
- ・屋外作業の一時中断
- ・車両退避の準備（運転者は車両に戻る。）

(2) 判断基準 2

< 検知基準 >

以下①及び②の2つの状況の「and」条件とし、監視対象範囲は再処理事業所及び濃縮・埋設事業所を含む最小メッシュ範囲とする。

①竜巻NCの発生確度2が認められる。監視対象範囲は再処理事業所内上空を含む10km×10kmのメッシュ範囲とする。

②雷ナウキャスト（以下、「雷NC」という。）の活動度3が認められる。監視対象範囲は再処理事業所内上空の4km×4km範囲内とする。

< 対応 >

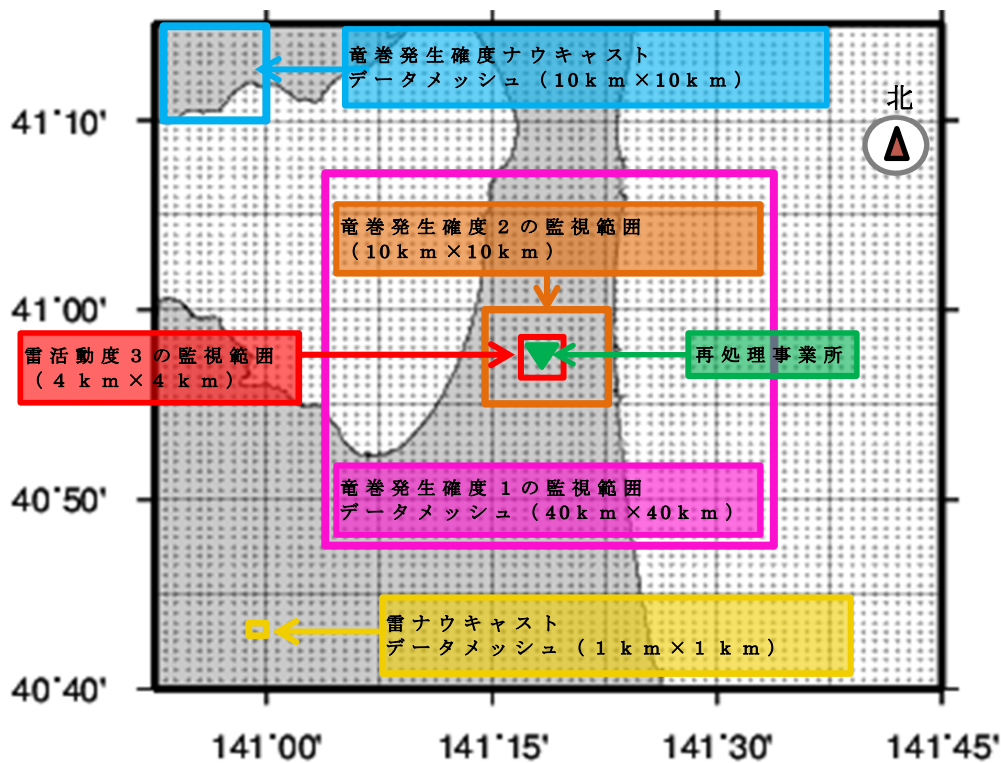
- ・ 屋外作業用資機材の固縛・撤去
- ・ 屋外作業員の屋内への避難
- ・ 車両退避

第8-3-2表 判断基準1及び判断基準2に対応する

アクション及び検知条件

| | アクション | 検知条件 |
|------------------------|---|------------------------|
| 判断基準1 (竜巻警戒 レベル) | <ul style="list-style-type: none">・ 事業所内への周知・ 屋外作業の一時中断・ 車両退避の準備（運転者は車両に戻る） | 雷注意報 又は 竜巻発生確度1 |
| 判断基準2 (竜巻避難 レベル) | <ul style="list-style-type: none">・ 屋外作業用資機材の固縛又は撤去・ 屋外作業員の屋内への避難・ 車両退避 | 竜巻発生確度2 かつ 雷活動度3 |

上記判断基準1及び判断基準2に係る情報を一般財団法人日本気象協会より提供いただき運用する。



第8-3-1図 判定基準1及び判定基準2における判断基準の監視範囲

4. 判断基準に用いる気象情報の妥当性

第8-3-3表に気象庁から発表される情報発表時刻(雷注意報または竜巻発生確度1)から竜巻発生時刻までの時間差(以下「リードタイム」という。)をF1以上の竜巻について5分ごとに集計し、竜巻捕捉率として算出した(第8-3-3表)。集計するデータは、気象庁ホームページにて竜巻発生確度等の発表のデータが整理されている2010年~2015年を対象とした。全体としての竜巻捕捉率は100%と高く、時間経過に依存して竜巻捕捉率が減衰傾向を示す。リードタイム15分超における竜巻捕捉率は93%、さらにリードタイム30分超において竜巻捕捉率は84%といずれも高い捕捉率を示している。

第 8 - 3 - 3 表 F 1 以上の竜巻におけるリードタイムごとの竜巻捕捉率

| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 計 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 発令なし・遅れ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5分以内 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 5分超～10分以内 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 10分超～15分以内 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 15分超～20分以内 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 |
| 20分超～25分以内 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25分超～30分以内 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 30分超～35分以内 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| 35分超～40分以内 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 40分超～45分以内 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 45分超～50分以内 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 5 |
| 50分超～55分以内 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 55分超～60分以内 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 60分超 | 0 | 3 | 7 | 16 | 3 | 6 | 35 |
| 計 | 6 | 5 | 10 | 21 | 6 | 9 | 57 |
| 全体 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 5分超 | 100% | 100% | 100% | 95% | 100% | 100% | 98% |
| 10分超 | 100% | 100% | 100% | 90% | 100% | 100% | 96% |
| 15分超 | 100% | 80% | 100% | 86% | 100% | 100% | 93% |
| 20分超 | 83% | 80% | 100% | 76% | 100% | 100% | 88% |
| 25分超 | 83% | 80% | 100% | 76% | 100% | 100% | 88% |
| 30分超 | 67% | 80% | 90% | 76% | 100% | 100% | 84% |
| 35分超 | 67% | 80% | 80% | 76% | 83% | 100% | 81% |
| 40分超 | 50% | 80% | 80% | 76% | 83% | 100% | 79% |
| 45分超 | 17% | 80% | 80% | 76% | 83% | 100% | 75% |
| 50分超 | 0% | 80% | 80% | 76% | 50% | 78% | 67% |
| 55分超 | 0% | 80% | 80% | 76% | 50% | 67% | 65% |
| 60分超 | 0% | 60% | 70% | 76% | 50% | 67% | 61% |

藤田スケールの被害指標では、F 3 の場合には「自動車は持ち上げられ飛ばされる。」となっており、万一衝突した場合の影響が大きい車両が再処理施設に影響を及ぼす竜巻はF 3 以上と考えられるが、第 8 - 3 - 4 表のとおり、竜巻NC運用開始後に発生したF 3 スケール以上の竜巻については発生確度 2 が事前に出されていることから、「竜巻発生確度 2」を用いることで、F 3 スケールの竜巻予測は可能と考えられる。

第 8 - 3 - 4 表 竜巻 N C による F 3 竜巻の予測実績

| 発生時間 | 発生箇所 | 竜巻発生確度 及び発令時間 |
|----------------------------|-------|------------------|
| 2012. 5 . 6 12:35～12:53 | 茨城常総市 | 確度 2 (12:20) |

また、雷は積乱雲内の上昇気流によって発生⁽¹⁾することから、雷 N C も考慮に加えることとした。

強い竜巻は、スーパーセルと呼ばれる発達した積乱雲の下で発生する。竜巻発生確度 2 は、メソサイクロン（スーパーセル中にある水平規模数 k m の小さな低気圧）の検出が条件となっているが、これはメソサイクロン付近で竜巻などの激しい突風の可能性がある⁽²⁾と判断されるためである。さらに降水強度を低めに見積もることによって、発達中の積乱雲から発生する突風を見逃さないようにしている。

積乱雲は成長期、成熟期及び衰退期の 3 段階のライフサイクルで形成、消滅⁽²⁾するが、このサイクル中で竜巻及び雷が発生するのは積乱雲が最も発達した成熟期であり、この成熟期の初期段階又は発達した積乱雲の接近を把握する方法として、雷 N C を利用する。

雷は積乱雲内の上昇気流によって発生するため、落雷が発生している場所（活動度 3 以上の地域）は強い上昇気流場であると言えるが、雷 N C の活動度 3 以上の場所は、既に対地放電が起きている強い放電密度を持った場所を示しており、強い雷雲の位置を示していることになる。

また、雷活動度の予測には盛衰傾向による補正が加えられており、現時点では成長期及び成熟期初期にある積乱雲に対して継続期間を考慮した予測がなされている。すなわち、単純な積乱雲の移動による雷の発生予測だけではなく、積乱雲の発達も考慮に加⁽²⁾えられている。

以上より、竜巻発生確度 2 及び雷活動度 3 以上の組み合わせを、竜巻発生の指標とすることは妥当であると判断した。

< 参考文献 >

- (1) 大野久雄：雷雨とメソ気象（2001，東京堂出版）
- (2) 雷ナウキャストにおける雷の解析・予測技術と
利用方法（測候時報 78. 3 2011）

以 上

令和元年 12 月 13 日 RO

補足説明資料 8 - 4 (9 条 竜巻)

MOX 燃料加工施設

運用，手順説明資料

外部からの衝撃による損傷の防止

(竜巻)

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

(第九条 竜巻)

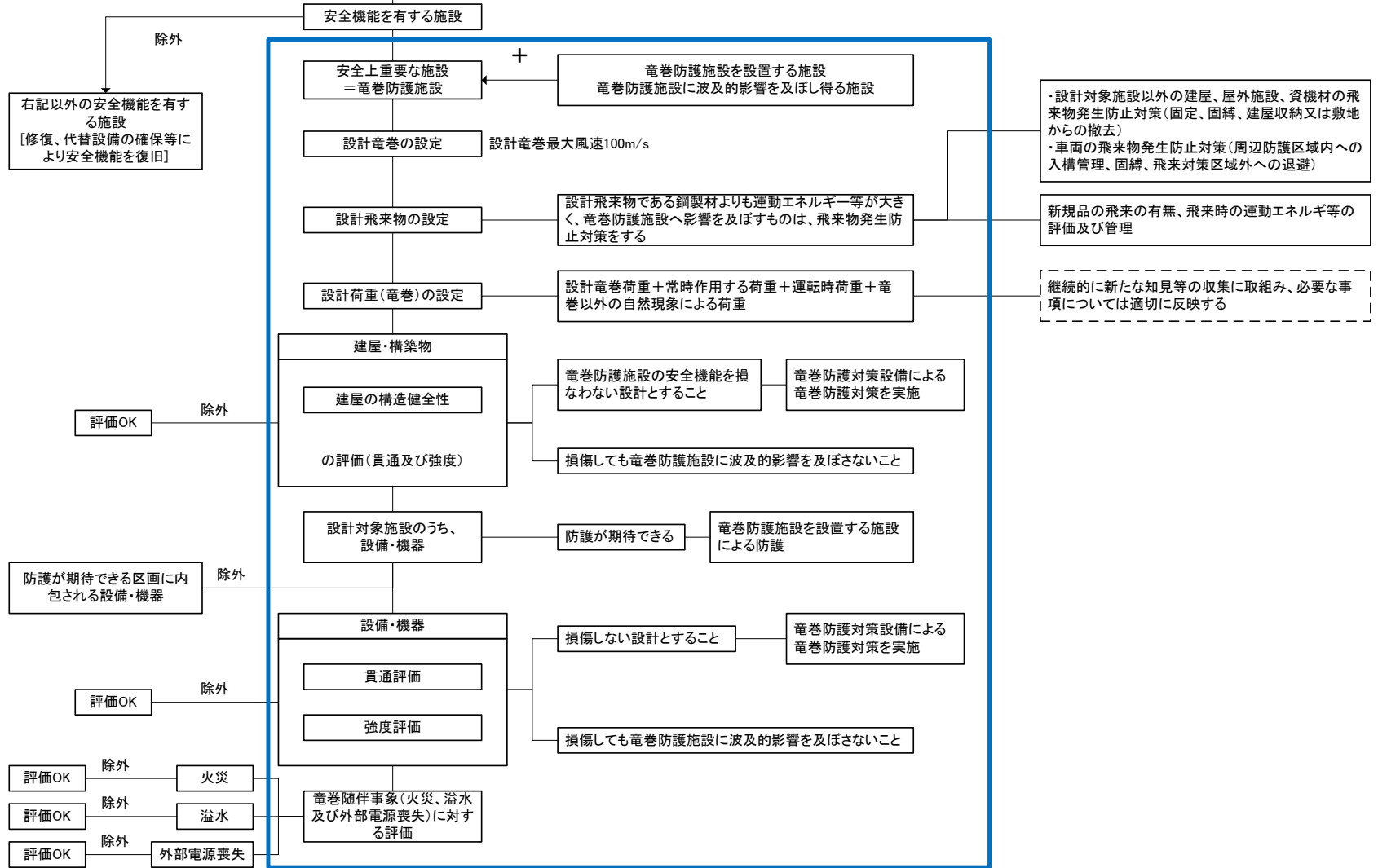
安全機能を有する施設は、想定される自然現象（地震，津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

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

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

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

安全機能を有する施設は、想定される自然現象(地震及び津波を除く。次項において同じ。)が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。
 安全上重要な施設は、当該安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該安全上重要な施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。



| 加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則 | 対象項目 | 区分 | 運用対策等 |
|-------------------------|--|-------|---|
| 第9条 外部からの衝撃による損傷の防止 | 資機材、車両等の飛来物発生防止対策（固縛，固定，設計対象施設からの隔離，建屋内収納又は撤去） | 運用・手順 | <ul style="list-style-type: none"> ・屋外の飛散するおそれのある資機材，車両等について，飛来時の運動エネルギー等を評価し，設計対象施設への影響の有無を確認する。設計対象施設へ影響を及ぼす資機材，車両等については，固縛，固定，設計対象施設からの隔離，建屋内収納又は撤去の飛来物発生防止対策について手順等を定める。 |
| | | 体制 | <ul style="list-style-type: none"> ・担当課による保守・点検の体制 |
| | | 保守・点検 | <ul style="list-style-type: none"> ・日常点検 ・定期点検 ・損傷時の修復 |
| | | 教育・訓練 | <ul style="list-style-type: none"> ・運用・手順，保守・点検に関する教育 |

| 加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則 | 対象項目 | 区分 | 運用対策等 |
|-------------------------|-----------------------|-------|--|
| 第9条 外部からの衝撃による損傷の防止 | 設計対象施設を防護するための操作・確認事項 | 運用・手順 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後において、設計対象施設を防護するための操作・確認、修復等が必要となる事項について手順等を定める。 [操作・確認事項] <ul style="list-style-type: none"> ・ 竜巻に関する情報入手及び情報入手後の対応（情報の入手，周知，体制判断，実施方法と手順） ・ 竜巻襲来が予想される場合の対応に関する運用・手順（竜巻襲来が予想される場合の使用中の資機材の固縛等） ・ 竜巻襲来が予想される場合の加工施設の運用・手順 [修復] <ul style="list-style-type: none"> ・ 設備が損傷した場合の代替設備の確保及び修復，取替等の運用，手順 |
| | | 体制 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 担当課による作業中止等の実施体制 ・ 竜巻襲来に備えた体制の構築，実施及び解除の判断基準，実施手順，連絡方法等 ・ 担当課による保守・点検の体制 ・ 担当課による損傷箇所の修復体制 |
| | | 保守・点検 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 日常点検 ・ 定期点検 ・ 損傷時の修復 |
| | | 教育・訓練 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 運用・手順，体制，保守・点検に関する教育 |