

## 添付書類

- 1-1. 防火帯に係る「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」への適合性
- 2-1. 排気筒、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の構造(外部火災に対する健全性評価)に関する説明書
- 2-2. 排気筒、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の構造(外部火災に対する健全性評価)に係る「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」への適合性
- 3-1. 原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の構造(火山及び竜巻に対する健全性評価)のうち火山に関する説明書
- 3-2. 原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の構造(火山及び竜巻に対する健全性評価)のうち竜巻に関する説明書
- 3-3. 原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の構造(火山及び竜巻に対する健全性評価)に係る「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」への適合性
- 4-1. 避雷針に係る「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」への適合性
- 5-1. 火災対策機器(火災感知器、消火器、消火栓等)に関する説明書(可燃物の保管制限量)
- 5-2. 原子炉格納容器内の煙感知器及び熱感知器に係る感知範囲の網羅性について
- 5-3. 火災対策機器(火災感知器、消火器、消火栓等)に係る「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」への適合性
- 6-1. 全交流動力電源喪失時の対応機器(可搬型計器、可搬型発電機等)に係る「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」への適合性
- 7-1. 原子炉施設[H T T R (高温工学試験研究炉)]の変更に係る設計及び工事の計画の分割申請の理由に関する説明書

- 7-2. 原子炉施設[H T T R (高温工学試験研究炉)]の変更に係る「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」への適合性説明の要否について
  
- 8-1. 設計及び工事の計画に係る「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大洗研究所(北地区)原子炉設置変更許可申請書」との整合性に関する説明書
  
- 8-2. 大洗研究所原子炉施設等品質マネジメント計画書に係る「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大洗研究所(北地区)原子炉設置変更許可申請書」との整合性に関する説明書

1-1. 防火帯に係る「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」への適合性

本申請のうち防火帯の設定に対する健全性評価に係る設計及び工事の計画と「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」に掲げる技術上の基準への適合性は、以下に示すとおりである。

技術基準の条項		評価の必要性の有無		適合性
		有・無	項・号	
第一条	適用範囲	—	—	—
第二条	定義	—	—	—
第三条	特殊な設計による試験研究用等原子炉施設	—	—	—
第四条	廃止措置中の試験研究用等原子炉施設の維持	無	—	—
第五条	試験研究用等原子炉施設の地盤	無	—	—
第六条	地震による損傷の防止	無	—	—
第七条	津波による損傷の防止	無	—	—
第八条	外部からの衝撃による損傷の防止	有	1項	別添-1に示すとおり。
第九条	試験研究用等原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	無	—	—
第十条	試験研究用等原子炉施設の機能	無	—	—
第十一条	機能の確認等	無	—	—
第十二条	材料及び構造	無	—	—
第十三条	安全弁等	無	—	—
第十四条	逆止め弁	無	—	—
第十五条	放射性物質による汚染の防止	無	—	—
第十六条	遮蔽等	無	—	—
第十七条	換気設備	無	—	—
第十八条	適用	—	—	—
第十九条	溢水による損傷の防止	無	—	—
第二十条	安全避難通路等	無	—	—
第二十一条	安全設備	無	—	—
第二十二条	炉心等	無	—	—
第二十三条	熱遮蔽材	無	—	—
第二十四条	一次冷却材	無	—	—
第二十五条	核燃料物質取扱設備	無	—	—
第二十六条	核燃料物質貯蔵設備	無	—	—
第二十七条	一次冷却材処理装置	無	—	—
第二十八条	冷却設備等	無	—	—
第二十九条	液位の保持等	該当なし	—	—
第三十条	計測設備	該当なし	—	—
第三十一条	放射線管理施設	無	—	—
第三十二条	安全保護回路	無	—	—

技術基準の条項		評価の必要性の有無		適合性
		有・無	項・号	
第三十三条	反応度制御系統及び原子炉停止系統	無	—	—
第三十四条	原子炉制御室等	無	—	—
第三十五条	廃棄物処理設備	無	—	—
第三十六条	保管廃棄設備	無	—	—
第三十七条	原子炉格納施設	該当なし	—	—
第三十八条	実験設備等	無	—	—
第三十九条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	該当なし	—	—
第四十条	保安電源設備	無	—	—
第四十一条	警報装置	無	—	—
第四十二条	通信連絡設備等	無	—	—
第四十三条～第五十二条	第三章 研究開発段階原子炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	該当なし	—	—
第五十三条	適用	—	—	—
第五十四条	原子炉冷却材圧力バウンダリ	無	—	—
第五十五条	計測設備	無	—	—
第五十六条	原子炉格納施設	無	—	—
第五十七条	試験用燃料体	無	—	—
第五十八条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	無	—	—
第五十九条	準用	—	—	—
第六十条～第七十条	第五章 ナトリウム冷却型高速炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	該当なし	—	—
第七十一条	第六章 雑則	無	—	—

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第八条 試験研究用等原子炉施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）によりその安全性を損なうおそれがある場合において、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

2 試験研究用等原子炉施設は、周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合において、事業所における火災又は爆発事故、危険物を搭載した車両、船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）により試験研究用等原子炉施設の安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

3 試験研究用等原子炉を船舶に設置する場合にあっては、原子炉格納容器に近接する船体の部分は、衝突、座礁その他の要因による原子炉格納容器の機能の喪失を防止できる構造でなければならない。

4 試験研究用等原子炉施設は、航空機の墜落により試験研究用等原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合において、防護措置その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

本原子炉施設は、想定される自然現象のうち森林火災に対して、「第1編 その他試験研究用等原子炉の附属施設のうち防火帯」のとおり、原子炉施設の安全性を損なわないよう、火災による延焼を防止するための防火帯を設置することとしており、第1項に適合する設計となっている。

なお、防火帯の防火帯幅及び危険距離の設定に当たっては、「第2編 放射性廃棄物の廃棄施設のうち排気筒(外部火災に対する健全性評価)及びその他試験研究用等原子炉の附属施設のうち原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の構造(外部火災に対する健全性評価)」の「添付書類2-1 排気筒、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の構造(外部火災に対する健全性評価)」に関する説明書」の評価により確認された値を用いている。

2-1. 排気筒、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の構造  
(外部火災に対する健全性評価)に関する説明書

## 目 次

1. 森林火災による影響評価	
1.1 影響評価	添2 — 1 — 1
1.2 評価結果	添2 — 1 — 13
2. 石油コンビナート等の火災・爆発による影響評価	
2.1 影響評価	添2 — 1 — 16
2.2 評価結果	添2 — 1 — 16
3. 敷地内の危険物貯蔵所等の火災・爆発による影響評価	
3.1 影響評価	添2 — 1 — 20
3.2 評価結果	添2 — 1 — 22
4. 航空機墜落で発生する火災による影響評価	
4.1 影響評価	添2 — 1 — 27
4.2 評価結果	添2 — 1 — 39
5. 重畳事象の想定及び評価	
5.1 重畳事象の想定	添2 — 1 — 41
5.2 評価内容	添2 — 1 — 41
5.3 評価結果	添2 — 1 — 41
6. 二次的影響について	
6.1 外部火災発生時の対応	添2 — 1 — 42
6.2 H T T R原子炉施設への影響	添2 — 1 — 42



## 表 目 次

第 1.1 表	地表火の評価で使用する各種パラメータ	添 2 — 1 — 7
第 1.2 表	地表火の評価で使用するパラメータの計算式	添 2 — 1 — 8
表 1.3 表	地表火の評価結果	添 2 — 1 — 9
第 1.4 表	樹冠火の評価で使用するパラメータ	添 2 — 1 — 10
第 1.5 表	樹冠火の評価結果	添 2 — 1 — 10
第 1.6 表	原子炉建家外壁コンクリート表面温度の評価結果	添 2 — 1 — 13
第 1.7 表	風上に樹木がない場合の火線強度と最小防火帯幅の関係	添 2 — 1 — 14
第 2.1 表	大洗研究所敷地外 10km 以内の危険物貯蔵施設屋外タンク	添 2 — 1 — 17
第 2.2 表	大洗研究所敷地外 10km 以内の高圧ガス貯蔵設備	添 2 — 1 — 18
第 3.1 表	大洗研究所敷地内にある屋外の危険物タンク	添 2 — 1 — 22
第 3.2 表	評価に用いる H T T R 機械棟屋外タンクのパラメータ	添 2 — 1 — 23
第 3.3 表	原子炉建家外壁コンクリート表面温度の評価結果	添 2 — 1 — 24
第 3.4 表	使用済燃料貯蔵建家外壁コンクリート表面温度の評価結果	添 2 — 1 — 24
第 3.5 表	冷却塔外壁コンクリート表面温度の評価結果	添 2 — 1 — 24
第 3.6 表	排気筒の外殻のコンクリート表面温度の評価結果	添 2 — 1 — 25
第 3.7 表	敷地内にある高圧ガス貯蔵設備	添 2 — 1 — 25
第 4.1 表	航空機落下事故のカテゴリ	添 2 — 1 — 27
第 4.2 表	算出した標的面積と離隔距離(原子炉建家)	添 2 — 1 — 29
第 4.3 表	算出した標的面積と離隔距離(使用済燃料貯蔵建家)	添 2 — 1 — 29
第 4.4 表	算出した標的面積と離隔距離(冷却塔)	添 2 — 1 — 29
第 4.5 表	算出した標的面積と離隔距離(排気筒)	添 2 — 1 — 30
第 4.6 表	評価対象航空機のパラメータ	添 2 — 1 — 37
第 4.7 表	原子炉建家外壁コンクリート表面温度の評価結果	添 2 — 1 — 39
第 4.8 表	使用済燃料貯蔵建家外壁コンクリート表面温度の評価結果	添 2 — 1 — 39
第 4.9 表	冷却塔外壁コンクリート表面温度の評価結果	添 2 — 1 — 40
第 4.10 表	排気筒の外殻のコンクリート表面温度の評価結果	添 2 — 1 — 40
第 5.1 表	重畳事象による評価結果	添 2 — 1 — 41

## 目 次

第 1.1 図	森林火災で想定する発火点及び延焼経路	添 2 — 1 — 2
第 1.2 図	大洗研究所及び H T T R 原子炉施設周辺の植生	添 2 — 1 — 4
第 1.3 図	火炎中央部の高さの風速	添 2 — 1 — 4
第 1.4 図	形態係数及び輻射強度の算出時の考え方	添 2 — 1 — 12
第 1.5 図	防火帯の設定位置	添 2 — 1 — 15
第 2.1 図	大洗研究所敷地外 10km 以内の危険物貯蔵施設屋外タンク	添 2 — 1 — 18
第 2.2 図	大洗研究所敷地外 10km 以内の高圧ガス貯蔵設備	添 2 — 1 — 19
第 3.1 図	敷地内の危険物貯蔵施設屋外タンクと H T T R 原子炉施設の位置	添 2 — 1 — 23
第 3.2 図	敷地内の高圧ガス貯蔵設備と H T T R 原子炉施設の位置	添 2 — 1 — 26
第 4.1 図 (1)	離隔距離のイメージ (原子炉建家)	添 2 — 1 — 30
第 4.1 図 (2)	離隔距離のイメージ (原子炉建家)	添 2 — 1 — 31
第 4.1 図 (3)	離隔距離のイメージ (原子炉建家)	添 2 — 1 — 31
第 4.2 図 (1)	離隔距離のイメージ (使用済燃料貯蔵建家)	添 2 — 1 — 32
第 4.2 図 (2)	離隔距離のイメージ (使用済燃料貯蔵建家)	添 2 — 1 — 32
第 4.2 図 (3)	離隔距離のイメージ (使用済燃料貯蔵建家)	添 2 — 1 — 33
第 4.3 図 (1)	離隔距離のイメージ (冷却塔)	添 2 — 1 — 33
第 4.3 図 (2)	離隔距離のイメージ (冷却塔)	添 2 — 1 — 34
第 4.3 図 (3)	離隔距離のイメージ (冷却塔)	添 2 — 1 — 34
第 4.4 図 (1)	離隔距離のイメージ (排気筒)	添 2 — 1 — 35
第 4.4 図 (2)	離隔距離のイメージ (排気筒)	添 2 — 1 — 35
第 4.4 図 (3)	離隔距離のイメージ (排気筒)	添 2 — 1 — 36

## 1. 森林火災による影響評価

本評価は、原子炉施設敷地外で発生する森林火災に対して、火災がH T T R原子炉施設に迫った場合でも、安全施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

### 1.1 影響評価

#### 1.1.1 評価対象

重要安全施設を内包する原子炉建家及び使用済燃料貯蔵設備を内包する使用済燃料貯蔵建家並びに冷却塔及び排気筒を対象とする。

#### 1.1.2 評価内容

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」(以下「外部火災評価ガイド」という。)<sup>(1)</sup>に基づく「付属書A 森林火災の原子力発電所への影響評価について」を参考に、森林火災を想定し、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻の熱影響に対する評価を行う。また、森林火災の延焼から原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒を防護するために設定する防火帯に対する評価を行う。

##### (1) 火災の想定

- a. 発火点は、H T T R原子炉施設から直線距離 10km 間で設定する。
- b. 人為的行為に起因するものとする。
- c. 風向は、水戸気象台の観測データ(2004～2013年)で記録された風向データとする。
- d. 火災はH T T R原子炉施設に向かうものとする。

##### (2) 発火点の考え方

- a. 原子炉施設敷地周囲 10km 圏内は、東に太平洋、北に涸沼川、北西に涸沼があり、南から西の方面は耕地となっている。大洗研究所周辺には国有林等の広大な森林はなく、大規模な森林火災は発生しないと考える。
- b. 大洗研究所敷地境界に沿って道路が敷設されており、発火点は、道路沿いで人為的行為を想定する。
- c. 風向データの卓越風向から、北東、南東及び南西方面を想定する(第 1.1 図)。

##### (3) 延焼の考え方

- a. 大洗研究所敷地周辺の道路沿いで発生した火災が大洗研究所内の植生に延焼することを想定する。
- b. 発火点を中心として横に延焼する。
- c. 横方向への延焼は、発火点から、H T T R原子炉施設周辺の森林境界まで火災が到達する時間分、無風状態を想定した延焼速度で横方向に延焼するものとする。
- d. 横に広がった火炎幅でH T T R原子炉施設周辺の森林境界まで延焼する。
- e. 森林境界まで延焼した火災が森林境界に沿って延焼する。

##### (4) 防火帯設定の考え方

- a. 防火帯幅は、外部火災評価ガイドに記載の Alexander and Fogarty の手法を用い、

防火帯と防火帯の風上 20m 内には樹木が存在しない条件の元、火災の防火帯突破確率 1%の値を最低限必要なものとする。

- b. 防火帯は、その外縁(火炎側)が原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒に対する危険距離(外殻のコンクリート表面温度が 200℃となる距離)を上回るように設定する。



第 1.1 図 森林火災で想定する発火点及び延焼経路

### 1.1.3 評価方法

#### (1) 概要

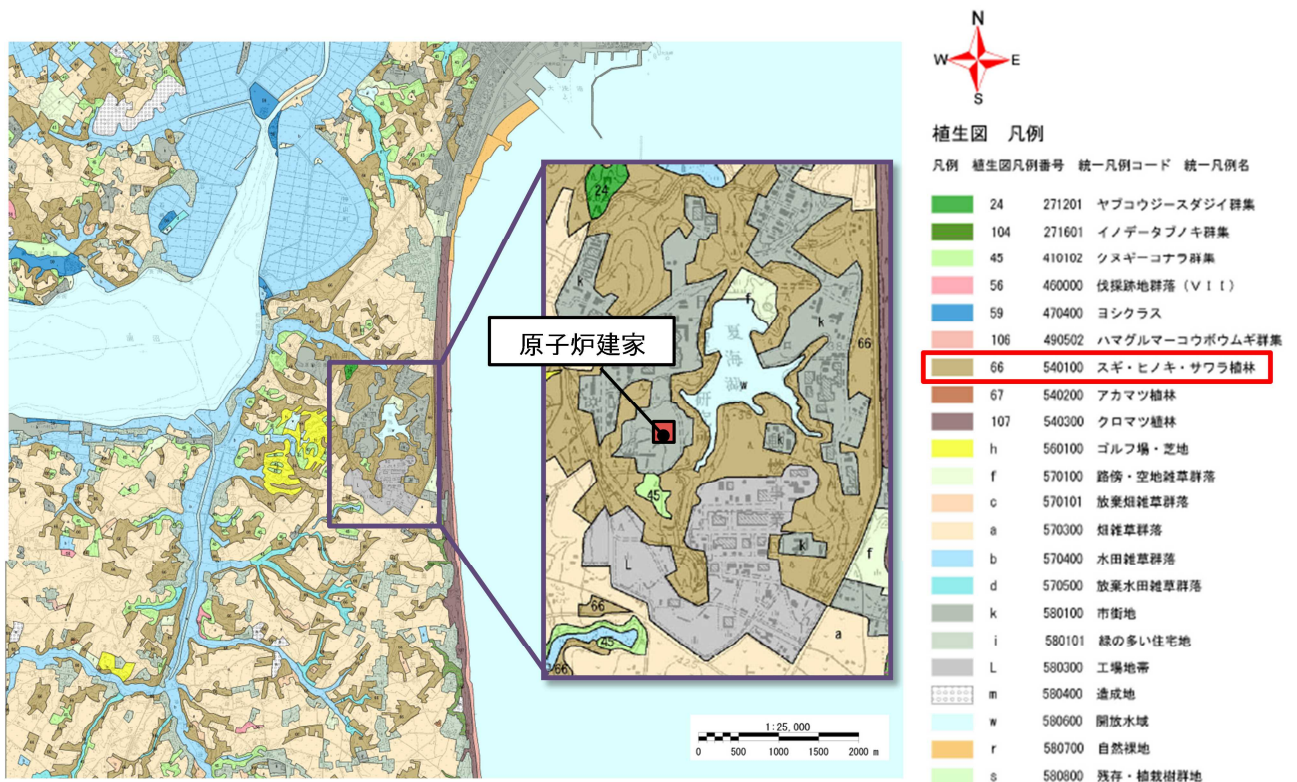
- a. 外部火災評価ガイドで推奨されている森林火災シミュレーション解析コード(以下「FARSITE」という。)で使用されている評価式<sup>(2)</sup>を用いて評価を行う。
- b. 火災については、FARSITE で評価されている地表を伝播する火災(以下「地表火」という。)及び樹冠を伝播する火災(以下「樹冠火」という。)について行う。

- c. FARSITE の評価式で使用する物性値等の入力パラメータは、外部火災評価ガイドで引用している文献等を参考にする。
- d. H T T R 原子炉施設周辺の植生、地形については、植生図、国土地理院地形図を参考にするとともに、実際の樹種や生育状況について実地調査を行う。
- e. 地表火及び樹冠火の評価結果から、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度の評価を行う。
- f. 地表火及び樹冠火の評価で得られる火線強度から防火帯幅の評価を行う。
- g. 原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の危険距離の評価を行う。

(2) 地形・植生・気象データ

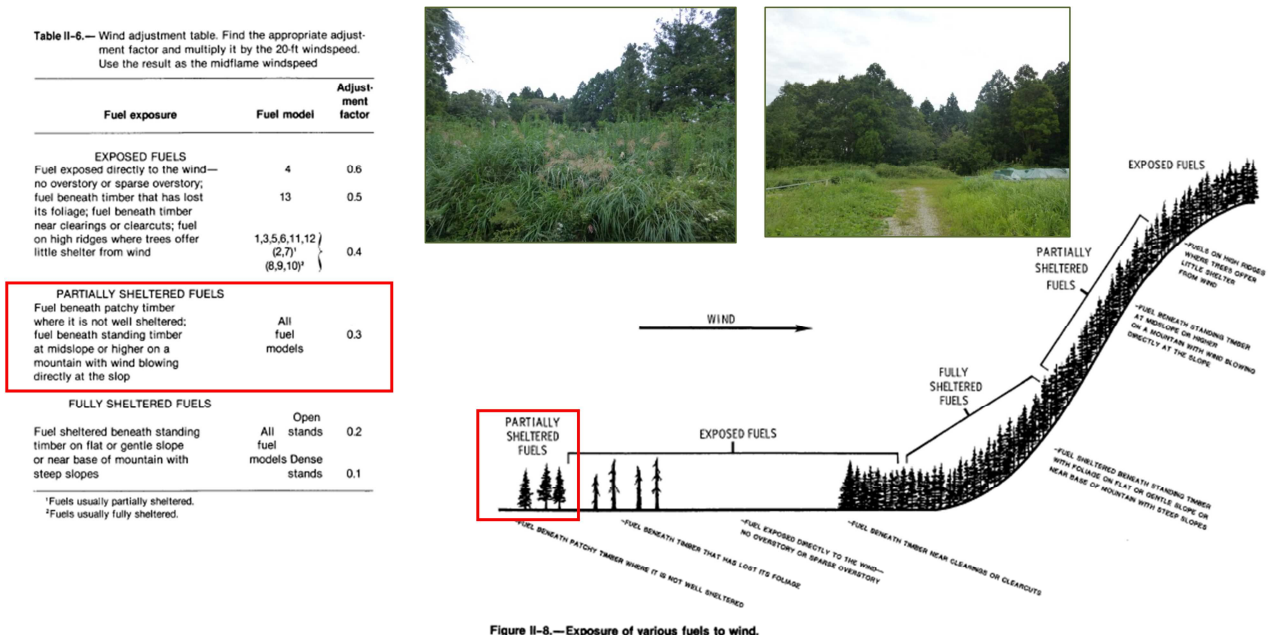
- a. 地形条件の設定に当たっては国土地理院の基盤地図情報の中の標高データ及び実地調査により、ほぼ平地であることを確認した。評価においては全体の傾斜角を保守的に上向きに  $5^{\circ}$  とした。
- b. 資料、実地調査を行った結果、スギが主な植生であることを確認した(第 1.2 図)。
- c. 風速は、水戸気象台の観測データ(2004~2013 年)を調査し、最大風速(10 分間平均値、測定高さ約 15m)である  $17.4 \text{ m/s}$ (2013 年)を採用した。

なお、本評価において Rothermel の延焼速度予測モデル<sup>(3)</sup>を用いるが、Rothermel モデルでの火炎中央部の高さの風速は、地形及び樹林の影響で上空の風速よりも遅くなるため、現地の地形及び植生から、火炎中央部の高さの風速は最大風速の  $0.3$  倍<sup>(4)</sup>とした(第 1.3 図)。



出典：自然環境保全基礎調査 植生調査 環境省 自然環境局 生物多様性センター  
(資料を加工して作成)

第 1.2 図 大洗研究所及びHTTR原子炉施設周辺の植生



出典：How to Predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires より抜粋

第 1.3 図 火炎中央部の高さの風速

(3) 地表火の評価

地表火の評価では、外部火災評価ガイド及び FARSITE で使用されている以下の評価式を用いて、延焼速度 $R$ 、火線強度 $I_b$ 、単位面積当たりの熱量 $H_A$ 、火炎輻射強度(反応強度) $I_R$ 及び火炎長 $L_f$ を計算する。各評価式で必要となるパラメータは文献調査、実地調査等により設定する(第 1.1 表、第 1.2 表)。

延焼速度(m/min) :  $R$

$$R = \frac{I_r \xi (1 + \Phi_W + \Phi_S)}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}} \dots\dots\dots (1-1)$$

- $I_r$  : 火炎輻射強度(kJ/min・m<sup>2</sup>)
- $\xi$  : 反応強度のうち隣接可燃物の加熱に使われる割合
- $\Phi_W$  : 風による割増し係数(-)
- $\Phi_S$  : 傾斜による割増し係数(-)
- $\rho_b$  : 可燃物の堆積密度(kg/m<sup>3</sup>)
- $\varepsilon$  : 炎によって加熱される可燃物の割合
- $Q_{ig}$  : 単位重量当たりの可燃物が発火するまでに必要な熱量(kJ/kg)

火線強度(kW/m) :  $I_b$

$$I_b = \frac{I_r}{60} \frac{12.6R}{\sigma} \dots\dots\dots (1-2)$$

$\sigma$  : 可燃物の表面積-体積比(cm<sup>-1</sup>)

単位面積当たりの熱量(kJ/m<sup>2</sup>) :  $H_A$

$$H_A = I_b \frac{60}{R} \dots\dots\dots (1-3)$$

火炎輻射強度(反応強度)(kW/m<sup>2</sup>) :  $I_R$

$$I_R = \frac{1}{60} \Gamma' W_n h \eta_M \eta_S \dots\dots\dots (1-4)$$

$\Gamma'$  : 理想熱分解速度(min<sup>-1</sup>)

$W_n$  : 可燃物中の有機物量 (kg/m<sup>2</sup>)

$h$  : 可燃物の発熱量 (kJ/kg)

$\eta_M$  : 可燃物中の水分による熱分解速度減少係数

$\eta_S$  : 可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数

火炎長 (m) :  $L_f$

$$L_f = 0.0775 I_b^{0.46} \dots\dots\dots (1-5)$$



第 1.1 表 地表火の評価で使用する各種パラメータ<sup>(5)</sup>

パラメータ	記号	結果	備考
可燃物の表面積-体積比( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma$	60.51	文献調査
可燃物の真の密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$\rho_p$	411.38	文献調査
単位面積当たりの可燃物量( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	$W_0$	0.5	文献調査
可燃物の堆積深(m)	$\delta$	0.04	実地調査
可燃物の含水率	$M_f$	0.01	文献調査
限界含水率	$M_x$	0.32	文献調査
可燃物中のシリカ以外の無機含有率	$S_e$	0.046	文献調査
可燃物中の無機含有率	$S_T$	0.060	文献調査
可燃物の発熱量( $\text{kJ}/\text{kg}$ )	H	20,963	文献調査
炎の高さ中央部の風速( $\text{m}/\text{min}$ )	U	313.2	気象データ
傾斜角度	$\phi$	5	保守的に設定
可燃物中の有機物量( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	$W_n$	0.470	計算値
可燃物の堆積密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$\rho_b$	12.500	計算値
可燃物の堆積密度と比重の比	$\beta$	0.030	計算値
熱分解速度が最大となるときの $\beta$	$\beta_{op}$	0.007	計算値
定数	A	0.346	計算値
最大熱分解速度( $\text{min}^{-1}$ )	$\Gamma'_{max}$	15.310	計算値
理想熱分解速度( $\text{min}^{-1}$ )	$\Gamma'$	8.115	計算値
可燃物中の水分による熱分解速度減少係数	$\eta_M$	0.924	計算値
可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数	$\eta_S$	0.312	計算値
燃焼による単位時間当たりの放出熱量(火炎輻射強度)( $\text{kJ}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ )	$I_r$	23,074	計算値
炎によって加熱される可燃物の割合	$\varepsilon$	0.928	計算値
反応強度のうち隣接可燃物の加熱に使われる割合	$\xi$	0.075	計算値
単位重量当たりの可燃物が発火するまでに必要な熱量( $\text{kJ}/\text{kg}$ )	$Q_{ig}$	607	計算値
定数	B	1.465	計算値
定数	C	0.002	計算値
定数	E	0.369	計算値
風による割増し係数	$\Phi_W$	27.606	計算値
傾斜による割増し係数	$\Phi_S$	0.115	計算値

第 1.2 表 地表火の評価で使用するパラメータの計算式<sup>(5)</sup>

パラメータ	計算式
可燃物中の有機物量	$W_n = W_0(1 - S_T)$
可燃物の堆積密度	$\rho_b = W_0/\delta$
可燃物の堆積密度と比重の比	$\beta = \rho_b/\rho_p$
熱分解速度が最大となる時の $\beta$	$\beta_{op} = 0.20395\sigma^{-0.8189}$
定数 : A	$A = 8.9033\sigma^{-0.7913}$
最大熱分解速度	$\Gamma'_{max} = (0.0591 + 2.926\sigma^{-1.5})^{-1}$
理想熱分解速度	$\Gamma' = \Gamma'_{max} \left( \frac{\beta}{\beta_{op}} \exp\left(1 - \frac{\beta}{\beta_{op}}\right) \right)^A$
可燃物中の水分による熱分解速度減少係数	$\eta_M = 1 - 2.59 \left( \frac{M_f}{M_x} \right) + 5.11 \left( \frac{M_f}{M_x} \right)^2 - 3.52 \left( \frac{M_f}{M_x} \right)^3$
可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数	$\eta_S = 0.174S_e^{-0.19}$
燃焼による単位時間当たりの放出熱量 (火炎輻射強度)	$I_r = \Gamma' W_n h \eta_M \eta_S$
炎によって加熱される可燃物の割合	$\varepsilon = \exp\left(\frac{-4.528}{\sigma}\right)$
反応強度のうち隣接可燃物の加熱に使われる割合	$\xi = (192 + 7.9095\sigma)^{-1} \exp((0.792 + 3.7597\sigma^{0.5})(\beta + 0.1))$
単位重量当たりの可燃物が発火するまでに必要な熱量	$Q_{ig} = 581 + 2594M_f$
定数 : B	$B = 0.15988\sigma^{0.54}$
定数 : C	$C = 7.47 \exp(-0.8711\sigma^{0.55})$
定数 : E	$E = 0.715 \exp(-0.01094\sigma)$
風による割増し係数	$\Phi_W = C(3.281U)^B \left( \frac{\beta}{\beta_{op}} \right)^{-E}$
傾斜による割増し係数	$\Phi_S = 5.275\beta^{-0.3} \tan^2\phi$

地表火の評価結果は第 1.3 表のとおりである。

第 1.3 表 地表火の評価結果

パラメータ	記号	結果
延焼速度 (m/min)	$R$	7.05
火線強度 (kW/m)	$I_b$	565
火炎長 (m)	$L_f$	1.43
単位面積当たり熱量 (kJ/m <sup>2</sup> )	$H_A$	4,805
火炎輻射強度 (反応強度) (kW/m <sup>2</sup> )	$I_R$	385

(4) 樹冠火の評価

樹冠火の評価は、FARSITE で使用されている以下の評価式を用いて火線強度を計算する。その他の延焼速度 $R$ 、火炎輻射強度 (反応強度) $I_R$ 及び火炎長 $L_f$ に関しては、地表火と同様の式を用いて計算する (第 1.4 表)。

樹冠火の火線強度 (kW/m) :  $I_c$

$$I_c = 300 \left( \frac{I_B}{300R} + CFB \cdot CBD(H - CBH) \right) R \dots\dots\dots (1-6)$$

$I_B$  : 火炎反応強度 (kW/m)

$$I_B = hwR/60$$

$h$  : 可燃物の燃焼熱 (kJ/kg)

$w$  : 単位面積当たりの燃料量 (kg/m<sup>2</sup>)

$R$  : 延焼速度 (m/min)

$CFB$  : 樹冠燃焼率

$CBD$  : 樹冠の充填密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$H$  : 樹木高さ (m)

$CBH$  : 樹冠までの高さ (m)

第 1.4 表 樹冠火の評価で使用するパラメータ

パラメータ	記号	結果	備考
樹冠燃焼率	<i>CFB</i>	1	
樹冠充填密度 (kg/m <sup>3</sup> )	<i>CBD</i>	0.2	
樹木高さ (m)	<i>H</i>	15	実地調査
樹冠までの高さ (m)	<i>CBH</i>	4.0	実地調査
可燃物の燃焼熱 (kJ/kg)	<i>h</i>	18,000	文献調査
単位面積当たりの燃料量 (kg/m <sup>2</sup> )	<i>w</i>	2.2	

樹冠火の評価結果は第 1.5 表のとおりである。

第 1.5 表 樹冠火の評価結果

パラメータ	記号	結果
延焼速度 (m/min)	<i>R</i>	7.05
火線強度 (kW/m)	<i>I<sub>c</sub></i>	9,307
火炎長 (m)	<i>L<sub>f</sub></i>	5.19
単位面積当たり熱量 (kJ/m <sup>2</sup> )	<i>H<sub>A</sub></i>	39,600
火炎輻射強度 (反応強度) (kW/m <sup>2</sup> )	<i>I<sub>R</sub></i>	3,170

(5) 形態係数、輻射強度等の評価

原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度を評価するために、発火点からの延焼経路及び植生に基づき、外部火災評価ガイドに従って輻射強度*E*を計算する。地表火及び樹冠火の評価結果から、以下の評価式を用いて燃焼半径*R<sub>r</sub>*、燃焼時間*t*、円筒火炎モデル数*F*及び形態係数*Φ<sub>i</sub>*を計算する。

燃焼半径 (m) : *R<sub>r</sub>*

$$R_r = \frac{L_f}{3} \dots\dots\dots (1-7)$$

*L<sub>f</sub>* : 火炎長 (m)

燃焼時間(s) :  $t$

$$t = \frac{H_A}{I_R} \dots\dots\dots (1-8)$$

$H_A$  : 単位面積当たり熱量(kJ/m<sup>2</sup>)

$I_R$  : 火炎輻射強度(反応強度)(kW/m<sup>2</sup>)

円筒火炎モデル数(-) :  $F$

$$F = \frac{W}{2R_r} \dots\dots\dots (1-9)$$

$W$  : 火炎到達幅(m)

形態係数(-) :  $\Phi_i$

$$\Phi_i = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \dots\dots\dots (1-10)$$

ただし、 $m = \frac{L_f}{R_r} \cong 3$ ,  $n = \frac{L_i}{R_r}$ ,  $A = (1+n)^2 + m^2$ ,  $B = (1-n)^2 + m^2$

$L_i$  : 離隔距離(m)

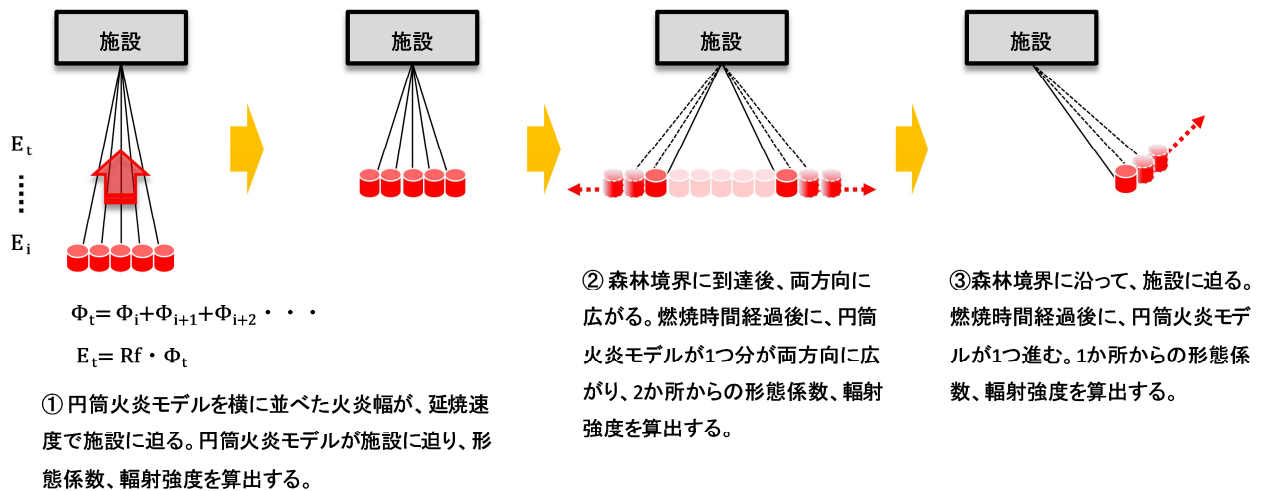
輻射強度(W/m<sup>2</sup>) :  $E$

$$E = R_f \Phi_t \dots\dots\dots (1-11)$$

$R_f$  : 火炎輻射発散度(W/m<sup>2</sup>) (=  $I_R \times 0.377$ )

$\Phi_t$  : 各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値

形態係数及び輻射強度の算出の考え方については、第1.4図のとおりである。



第 1.4 図 形態係数及び輻射強度の算出時の考え方

(6) コンクリート表面温度の評価

輻射強度から外殻のコンクリート表面温度の影響評価を行う。受熱面の温度は輻射強度が時間的に変化することから、一次元非定常熱伝導を前進差分法で数値計算する。一次元の非定常熱伝導について、温度伝導率を $\alpha$ 、温度を $T$ 、コンクリート深さを $x$ とすると、深さ方向の温度分布は次式で表される。

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2} \dots\dots\dots (1-12)$$

- $\alpha$  : 温度伝導率 ( $\alpha = \lambda / (\rho \times C_p)$ )
- $C_p$  : コンクリート比熱 (0.963 kJ/kg · K)
- $\rho$  : コンクリート密度 (2,400 kg/m<sup>3</sup>)
- $\lambda$  : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m · K)
- $T$  : 温度 (°C)
- $x$  : コンクリート深さ (m)

上式について、 $x=0$ の時の境界条件を与えて前進差分法を用いて評価する。

$$T_{i,n+1} = \left(\frac{\alpha \Delta t}{\Delta x^2}\right) (T_{i+1,n} - 2T_{i,n} + T_{i-1,n}) + T_{i,n} \dots\dots\dots (1-13)$$

- $n$  : 微小時間
- $i$  : 微小距離

$x=0$  の境界条件

$$E = -\lambda \frac{dT}{dx} \Big|_{x=0} \dots\dots\dots (1-14)$$

外殻のコンクリート表面温度の初期温度を 40°Cとし、本評価で用いる許容温度については、火災時に短期温度上昇した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度として 200°C<sup>(6)</sup>とする。

また、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒のそれぞれに対して迫る円筒火炎モデルの距離を外挿し、外殻のコンクリート表面温度が 200°Cとなる距離を危険距離として評価する。

(7) 防火帯幅の評価

地表火と樹冠火の火線強度から、Alexander and Fogarty の手法により、防火帯と防火帯の風上 20m 内には樹木が存在しない条件のもと、火炎の防火帯突破確率 1%の値を最低限必要な防火帯幅として評価する。

1.2 評価結果

(1) 原子炉建家

原子炉建家外壁コンクリート表面温度を評価した結果、137°Cとなり許容温度 200°C以下であることを確認した(第 1.6 表)。発火点は、迫る火炎の熱影響を最も受ける発火点 c を想定した。

なお、火炎到達後は熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。

第 1.6 表 原子炉建家外壁コンクリート表面温度の評価結果

項目	結果
延焼速度 (m/min)	7.05
火線強度 (kW/m)	9,871
火炎長 (m)	5.19
単位面積当たり熱量 (kJ/m <sup>2</sup> )	39,600
火炎輻射強度(反応強度) (kW/m <sup>2</sup> )	3,554
コンクリート表面温度 (°C)	137

(2) 使用済燃料貯蔵建家

使用済燃料貯蔵建家外壁コンクリート表面温度を評価した結果、138℃となり許容温度 200℃以下であることを確認した。発火点は、迫る火炎の熱影響を最も受ける発火点 b を想定した。

なお、火炎到達後は熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。

(3) 冷却塔

冷却塔外壁コンクリート表面温度を評価した結果、135℃となり許容温度 200℃以下であることを確認した。評価は、迫る火炎の熱影響を最も受ける発火点 a を想定した。

なお、火炎到達後は熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。

(4) 排気筒

排気筒の外殻のコンクリート表面温度を評価した結果、112℃となり許容温度 200℃以下であることを確認した。評価は、迫る火炎の熱影響を最も受ける発火点 a を想定した。

なお、火炎到達後は熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。

(5) 防火帯

火線強度を評価した結果、9,871 kW/m であることを確認した。Alexander and Fogarty の手法により、風上に樹木がない場合の火線強度と最小防火帯幅の関係から、火炎の防火帯突破確率 1%に最低限必要な防火帯幅は、9.5m となることを確認した(第 1.7 表)。また、危険距離を評価した結果、原子炉建家 42m、使用済燃料貯蔵建家 32m、冷却塔 45m 及び排気筒 45m であることを確認した。

以上の結果から、防火帯は、幅 9.5m の帯状のものとし、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の危険距離を上回り、かつ、それら設備を取り囲むように設定する。また、風上に樹木がない場合の評価条件を満足するため、防火帯の外縁(火炎側)から 20m の範囲には、樹木がないよう管理する(第 1.5 図)。

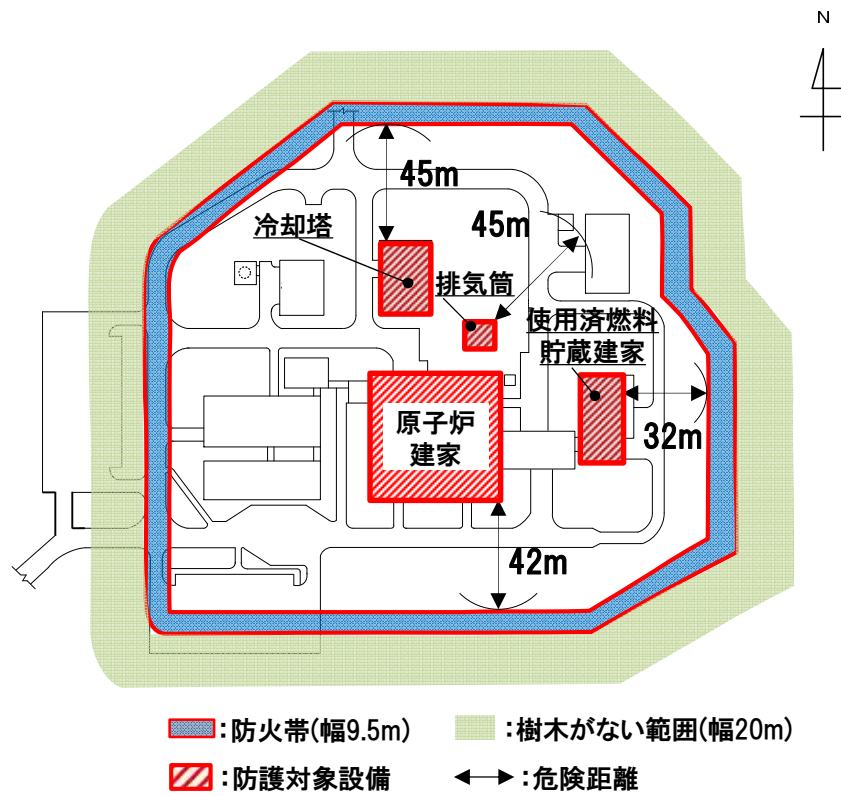
防火帯では、原則として、駐車を禁止するとともに可燃物を置かないよう管理し、工事や物品の搬出入等に伴い、やむをえず防火帯に停車する必要がある場合や一時的に可燃物を置く必要がある場合については、長時間の停車や仮置を禁止する、速やかに車両や物品を移動できるよう人員を配置する等の運用上の措置を講ずるものとする。

第 1.7 表 風上に樹木がない場合の火線強度と最小防火帯幅の関係※

火線強度 (kW/m)	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	6.2	6.4	6.7	7.1	7.4	7.8	9.5	11.3	13.1	14.8

※火炎の防火帯突破確率 1%





第 1.5 図 防火帯の設定位置

## 2. 石油コンビナート等の火災・爆発による影響評価

本評価は、原子炉施設敷地外で発生する石油コンビナート等の火災やガス爆発が、HTTR原子炉施設に隣接する地域で起こった場合でも、安全施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

### 2.1 影響評価

#### 2.1.1 評価対象

重要安全施設を内包する原子炉建家及び使用済燃料貯蔵設備を内包する使用済燃料貯蔵建家並びに冷却塔及び排気筒とする。

#### 2.1.2 評価内容

外部火災評価ガイドに基づく「付属書B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」を参考に、大洗研究所敷地外 10km(HTTR原子炉施設からの距離)以内の石油コンビナート、危険物貯蔵所等の設置状況を調査し、それらの火災・爆発による原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の影響評価を行う。

#### 2.1.3 評価方法

大洗研究所敷地外 10km 以内の石油コンビナート、石油コンビナート施設以外の産業施設として危険物貯蔵施設屋外タンク及び高圧ガス貯蔵設備の設置状況を調査し、それら施設の油種、数量、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵設備までの距離を確認する。

なお、高圧ガス貯蔵設備については、15 t 以上の液化石油ガス及び 1t 以上の可燃性の高圧ガスを有する設備を対象とする。また、高圧ガス貯蔵設備の爆発については、評価上必要とされる危険限界距離(ガス爆発の爆風圧が 0.01MPa 以下になる距離)が、評価対象までの距離を下回っていることを確認する。

危険限界距離の算出は以下の式を用い、 $K$ の数値については、外部火災評価ガイドに示されている常用の温度に関わらず、最大のものを使用する。

$$X = 0.04\lambda\sqrt[3]{K \times W} \dots\dots\dots (2-1)$$

$X$  : 危険限界距離 (m)

$\lambda$  : 換算距離 14.4 (m・kg<sup>-1/3</sup>)

$K$  : 石油類の定数 (-)

$W$  : 設備定数 (-)

### 2.2 評価結果

#### (1) 石油コンビナート等

大洗研究所敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート施設がないことを確認

した。

なお、大洗研究所に近接する石油コンビナート等特別防災区域としては、鹿島臨海地区が指定されており、大洗研究所から南方約 35km にある。

(2) 石油コンビナート施設以外の産業施設

大洗研究所敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート施設以外の産業施設として危険物貯蔵施設屋外タンク及び高圧ガス貯蔵設備について自治体等への情報開示請求により確認した。その結果を第 2.1 表、第 2.2 表、第 2.1 図及び第 2.2 図に示す。これらの施設の油種、数量等を確認した結果、各施設から原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒までの距離は十分あり、火災・爆発の影響を受けないことを確認した。

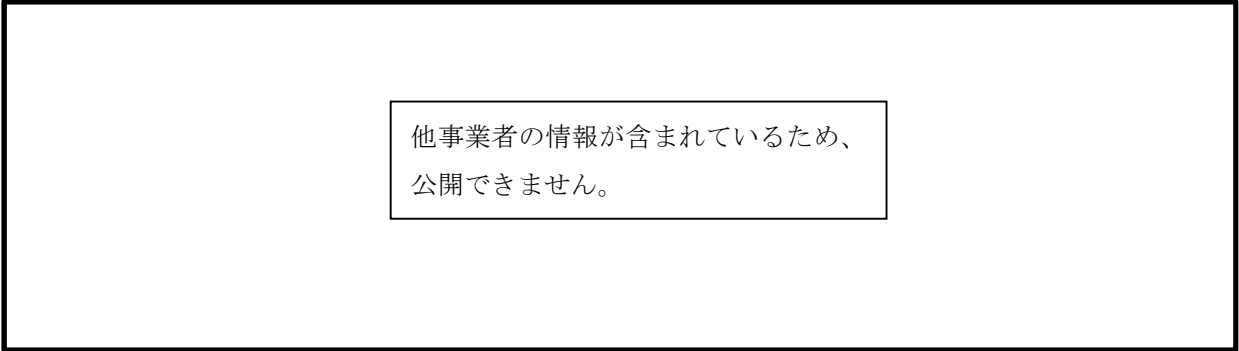
第 2.1 表 大洗研究所敷地外 10km 以内の危険物貯蔵施設屋外タンク

他事業者の情報が含まれているため、  
公開できません。



第 2.1 図 大洗研究所敷地外 10km 以内の危険物貯蔵施設屋外タンク

第 2.2 表 大洗研究所敷地外 10km 以内の高圧ガス貯蔵設備





他事業者の情報が含まれているため、  
公開できません。

第 2.2 図 大洗研究所敷地外 10km 以内の高圧ガス貯蔵設備

### 3. 敷地内の危険物貯蔵所等の火災・爆発による影響評価

本評価は、原子炉施設敷地内で発生する危険物貯蔵所等の火災・爆発が、H T T R原子炉施設の安全施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

#### 3.1 影響評価

##### 3.1.1 評価対象

重要安全施設を内包する原子炉建家及び使用済燃料貯蔵設備を内包する使用済燃料貯蔵建家並びに冷却塔及び排気筒とする。

##### 3.1.2 評価内容

外部火災評価ガイドに基づく「付属書B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」及び「付属書C 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」を参考に、原子炉敷地内の危険物貯蔵所等の火災・爆発による原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の影響評価を行う。

##### 3.1.3 評価方法

###### (1) 火災の想定

危険物貯蔵施設屋外タンクの火災の想定は以下のとおりとする。

- 危険物貯蔵施設屋外タンクの貯蔵量は、危険物施設として許可された貯蔵容量を超えない運用上の最大貯蔵量とする。
- 離隔距離は、評価上厳しくなるよう、危険物貯蔵施設屋外タンク位置から評価対象施設までの直線距離とする。
- 危険物貯蔵施設屋外タンクの破損等による防油堤内の全面火災を想定する。
- 気象条件は無風状態とする。
- 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とした。

###### (2) 火災の影響評価

次の式から形態係数を算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \dots\dots\dots (3-1)$$

$$\text{ただし、 } m = \frac{H}{R} \cong 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

- Φ：形態係数(-)
- L：離隔距離(m)
- H：火炎の高さ(m)
- R：延焼半径(m)

延焼半径は燃焼面積が防油堤面積に等しいと考えて算出した。

輻射強度は、火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射発散度に形態係数を乗じた値になり、以下のとおり算出する。

$$E = R_f \Phi \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

- $E$  : 輻射強度(W/m<sup>2</sup>)
- $R_f$  : 輻射発散度(W/m<sup>2</sup>)
- $\Phi$  : 形態係数(-)

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で除した値になる。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v} \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

- $t$  : 燃焼継続時間(s)
- $V$  : 燃料量(m<sup>3</sup>)
- $R$  : 延焼半径(m)
- $v$  : 燃焼速度(m/s)

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外殻のコンクリートが昇温されるものとして、以下の半無限物体の非定常熱伝導方程式によりコンクリート表面温度を求め、許容温度以下であることを評価する。

本評価で用いる許容温度については、火災時に短期温度上昇した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度として 200℃とする。

$$T = T_0 + \frac{2 \times q \sqrt{\alpha \times t}}{\lambda} \times \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp\left(-\frac{x^2}{4 \times \alpha \times t}\right) - \frac{x}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}} \times \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}}\right) \right] \quad \dots\dots\dots (3-4)$$

- $T$  : コンクリート表面温度(℃)
- $T_0$  : 初期温度(40(℃))
- $q$  : 輻射強度(=  $E$  (W/m<sup>2</sup>))
- $\alpha$  : 温度伝導率( $\alpha = \lambda / (\rho \times C_p)$ )
- $C_p$  : コンクリート比熱(0.963 kJ/kg・K)
- $\rho$  : コンクリート密度(2,400 kg/m<sup>3</sup>)
- $\lambda$  : コンクリート熱伝導率(1.74 W/m・K)
- $x$  : コンクリート深さ(m)
- $t$  : 燃焼継続時間(s)

- (3) ガス爆発の想定
  - a. 気象条件は無風状態とする。
  - b. 高圧ガス漏えい、引火によるガス爆発とする。
- (4) 危険限界距離の算出

次の式から危険限界距離(ガス爆発の爆風圧が 0.01MPa 以下になる距離)を算出する。  
 なお、 $K$ の数値については、外部火災評価ガイドに示されている常用の温度に関わらず、最大のものを使用する。

$$X = 0.04\lambda\sqrt[3]{K \times W} \dots\dots\dots (3-5)$$

- $X$  : 危険限界距離(m)
- $\lambda$  : 換算距離 14.4(m・kg<sup>-1/3</sup>)
- $K$  : 石油類の定数(-)
- $W$  : 設備定数(-)

### 3.2 評価結果

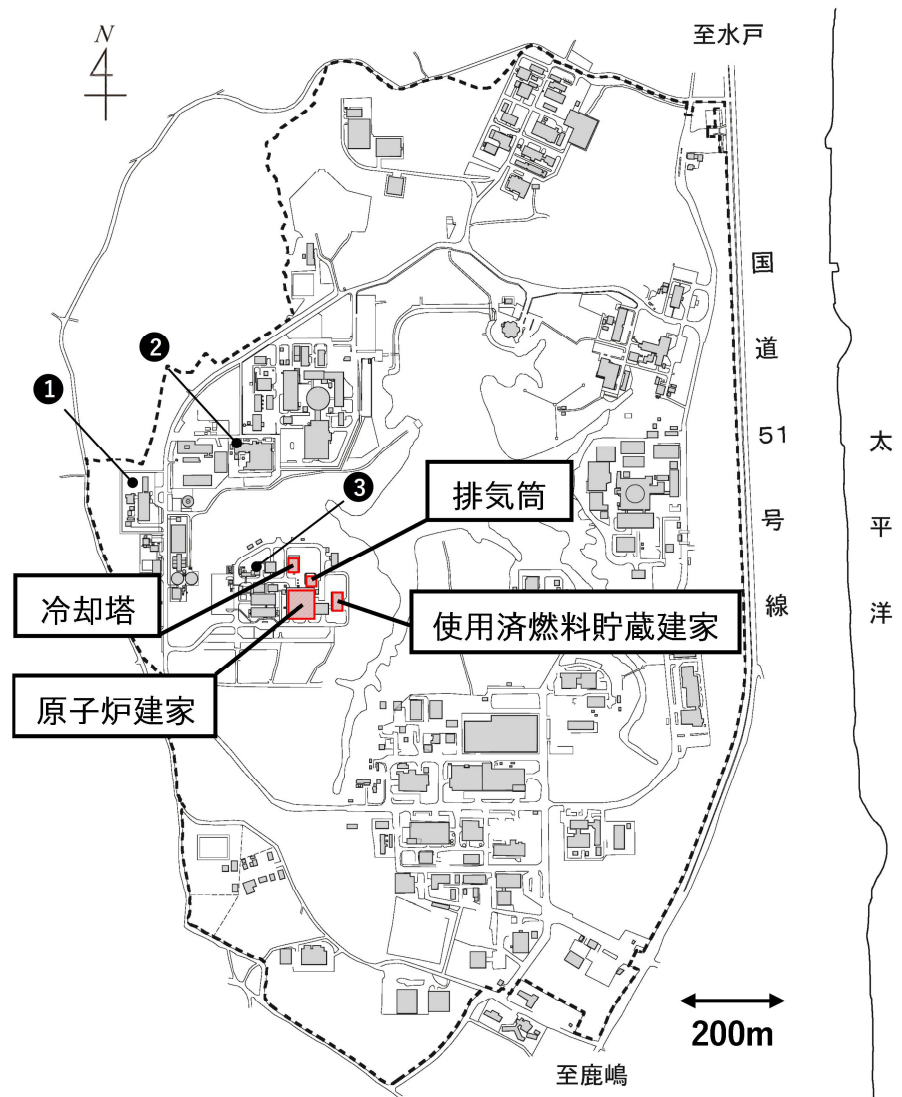
#### (1) 危険物貯蔵施設屋外タンクの火災

敷地内にある危険物貯蔵施設屋外タンクは 3 基あることを確認した(第 3.1 表、第 3.1 図)。このうち、最も容量が大きくかつ評価対象の H T T R 原子炉施設までの直線距離が最短となる H T T R 機械棟屋外タンクの火災を想定し、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度を評価した。評価に用いるパラメータは第 3.2 表のとおりである。

第 3.1 表 大洗研究所敷地内にある屋外の危険物タンク

No.	名称	油種	貯蔵量 (m <sup>3</sup> )
1	燃料研究棟屋外タンク	A 重油	10
2	照射燃料試験施設屋外タンク	A 重油	7
3	H T T R 機械棟屋外タンク	A 重油	62





第 3.1 図 敷地内の危険物貯蔵施設屋外タンクとHTTR原子炉施設の位置

第 3.2 表 評価に用いるHTTR機械棟屋外タンクのパラメータ

項目	数値
燃料量(m <sup>3</sup> )	62
防油堤面積(m <sup>2</sup> ) (8.3m×8.3m)	68.9
輻射発散度(W/m <sup>2</sup> )	23,000 <sup>(1)</sup>
質量低下速度(kg/m <sup>2</sup> /s)	0.035 <sup>(7)</sup>
燃料密度(kg/m <sup>3</sup> )	1,000 <sup>(7)</sup>
燃焼速度(m/s)	3.5×10 <sup>-5</sup>
燃焼継続時間(s)	25,714

原子炉建家外壁コンクリート表面温度を評価した結果、59℃となり、許容温度 200℃以下であることを確認した。

なお、燃焼継続時間以降は、熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。評価結果を第 3.3 表に示す。

第 3.3 表 原子炉建家外壁コンクリート表面温度の評価結果

項目	数値
離隔距離(m)	70
形態係数	$8.77 \times 10^{-3}$
輻射強度(W/m <sup>2</sup> )	202
コンクリート表面温度(℃)	59

使用済燃料貯蔵建家外壁コンクリート表面温度を評価した結果、46℃となり、許容温度 200℃以下であることを確認した。

なお、燃焼継続時間以降は、熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。評価結果を第 3.4 表に示す。

第 3.4 表 使用済燃料貯蔵建家外壁コンクリート表面温度の評価結果

項目	数値
離隔距離(m)	130
形態係数	$2.53 \times 10^{-3}$
輻射強度(W/m <sup>2</sup> )	58
コンクリート表面温度(℃)	46

冷却塔外壁コンクリート表面温度を評価した結果、76℃となり、許容温度 200℃以下であることを確認した。

なお、燃焼継続時間以降は、熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。評価結果を第 3.5 表に示す。

第 3.5 表 冷却塔外壁コンクリート表面温度の評価結果

項目	数値
離隔距離(m)	50
形態係数	$17.1 \times 10^{-3}$
輻射強度(W/m <sup>2</sup> )	393
コンクリート表面温度(℃)	76

排気筒の外殻のコンクリート表面温度を評価した結果、54℃となり、許容温度 200℃以下であることを確認した。

なお、燃焼継続時間以降は、熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。評価結果を表 3.6 表に示す。

第 3.6 表 排気筒の外殻のコンクリート表面温度の評価結果

項目	数 値
離隔距離(m)	80
形態係数	$6.71 \times 10^{-3}$
輻射強度(W/m <sup>2</sup> )	154
コンクリート表面温度(℃)	54

敷地内に存在するナトリウム取扱施設（一般取扱施設、保有量 350 トン、HTTR 原子炉施設からの離隔距離約 350m）でナトリウム火災が発生した場合の原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度を評価した結果、原子炉建家 43℃、使用済燃料貯蔵建家 44℃、冷却塔 42℃及び排気筒 42℃であり、許容温度 200℃以下であることを確認した。

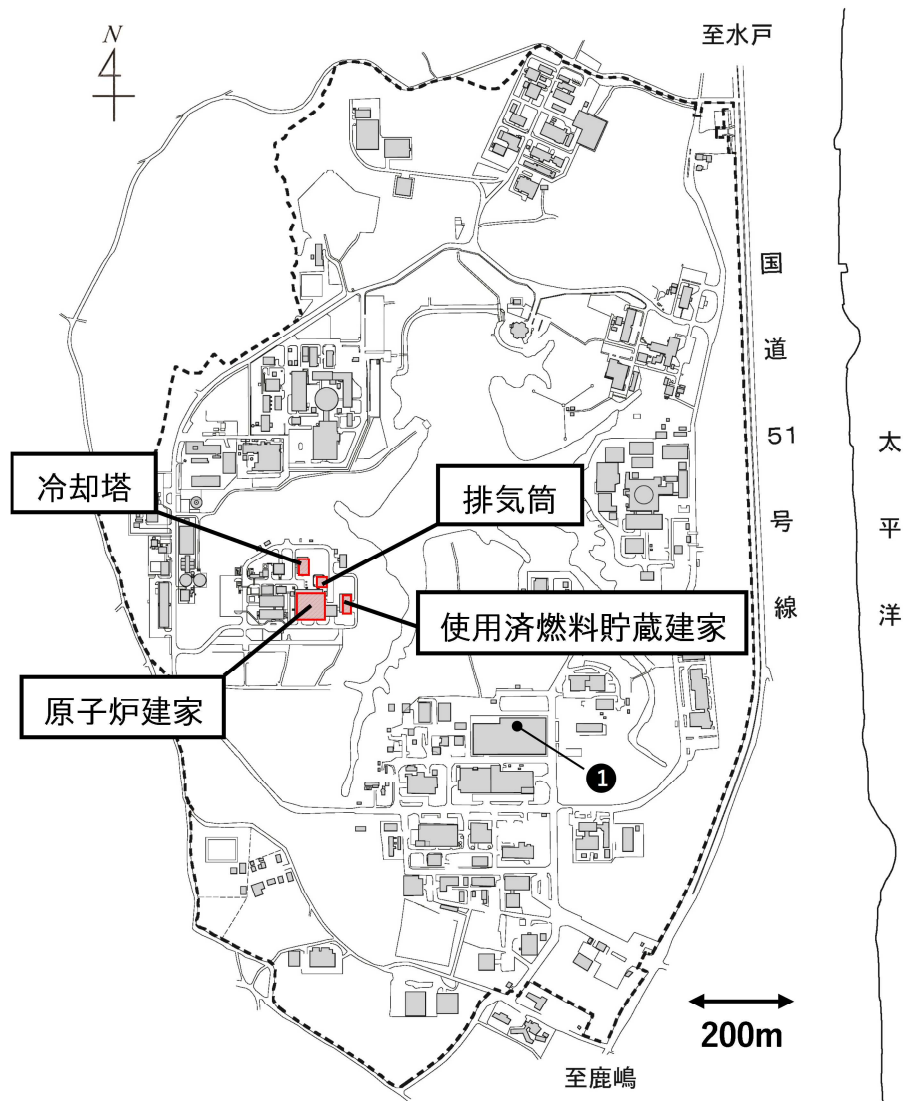
なお、ナトリウム火災の熱影響評価は、保有するナトリウムと同重量の重油火災を想定しており、ナトリウムの燃焼熱は重油に比べて小さいこと、燃焼時における火炎の高さが低いこと及び屋外での燃焼を想定していること等から、熱影響評価は保守的である。

(2) 高圧ガス貯蔵設備の爆発

敷地内に高圧ガス貯蔵設備があることを確認した(第 3.7 表、第 3.2 図)。危険限界距離を算出し、爆発による影響を評価した結果、危険限界距離は各高圧ガス貯蔵設備から原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒までの距離を下回っており、影響を及ぼさないことを確認した。

第 3.7 表 敷地内にある高圧ガス貯蔵設備

No.	ガス種類	貯蔵能力 (kg)	石油類の定数	危険限界距離(m)	評価対象までの 距離(m)
1	ブタン	400,385	640,000	135	約 320



第 3.2 図 敷地内の高圧ガス貯蔵設備とHTTR原子炉施設の位置

#### 4. 航空機墜落で発生する火災による影響評価

本評価は、原子炉施設敷地内への航空機墜落で発生する火災がH T T R原子炉施設の安全施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

##### 4.1 影響評価

###### 4.1.1 評価対象

重要安全施設を内包する原子炉建家及び使用済燃料貯蔵設備を内包する使用済燃料貯蔵建家並びに冷却塔、排気筒とする。

###### 4.1.2 評価内容

外部火災評価ガイドに基づく「付属書C 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」を参考に、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻の熱影響に対する評価を行う。

###### 4.1.3 評価方法

航空機落下確率評価では、カテゴリ別に落下確率を求めている。落下確率については、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準」（平成 21・06・25 原院第 1 号）(以下「航空機落下確率評価基準」という。)等を参考とし、評価条件の違いからカテゴリに分けて求める。また、航空機落下事故については、訓練中の事故等、民間航空機又は自衛隊機若しくは米軍機では、その発生状況が必ずしも同一ではなく、自衛隊機又は米軍機の中でも、機種によって飛行形態が同一ではないと考えられる。したがって、第 4.1 表に示すカテゴリごとに航空機墜落による火災影響を評価する。

第 4.1 表 航空機落下事故のカテゴリ

落下事故のカテゴリ		
1) 計器飛行方式 民間航空機	① 飛行場での離着陸時	
	② 航空路を巡航中	
2) 有視界飛行方式民間航空機		
3) 自衛隊機又は 米軍機	① 訓練空域外を飛行中	①-1 空中給油機等、高高度での 巡航が想定される大型固定翼機
		①-2 その他の大型固定翼機、小型固定 翼機及び回転翼機
	② 基地－訓練空域間往復時	

##### (1) 火災の想定

航空機墜落の火災の想定は以下のとおりとした。

- a. 航空機は、大洗研究所における航空機墜落評価の対象航空機のうち燃料積載量が最

大の機種とした。

- b. 航空機は燃料を満載した状態を想定した。
- c. 航空機の墜落は、大洗研究所敷地内であって航空機落下確率が  $10^{-7}$  (回/炉・年) 以上になる範囲のうち原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒への影響が最も厳しくなる地点で起こることを想定した。
- d. 航空機の墜落によって燃料に着火し、火災が起こることを想定した。
- e. 気象条件は無風状態とした。
- f. 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

(2) 離隔距離の算出

評価対象施設と標的面積の関係から火災評価上の離隔距離  $L$  を算出する。評価対象施設の外殻 (縦  $X$ 、横  $Y$ ) から等距離に離隔距離  $L$  をとり、航空機落下確率が  $10^{-7}$  (回/炉・年) となる標的面積を  $A$  とした場合、以下の式が成り立つ。

$$A = XY + 2LX + 2LY + \frac{\pi L^2}{4} \times 4$$

$$\pi L^2 + 2(X + Y)L + XY - A = 0$$

よって、2 次方程式の解の公式より、離隔距離  $L$  は以下のようにになる。

$$L = \frac{-(X+Y) + \sqrt{(X+Y)^2 - \pi(XY-A)}}{\pi} \dots\dots\dots (4-1)$$

算出した標的面積と離隔距離を第 4.2 表から第 4.5 表に、離隔距離のイメージを第 4.1 図から第 4.4 図に示す。

第 4.2 表 算出した標的面積と離隔距離(原子炉建家)

カテゴリ		標的面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	離隔距離 $L$ (m)	建家の長さ (m)	
				縦 $X$	横 $Y$
計器飛行民間航空機	①	1,070,644	552	52	50
	②	966,661	522		
有視界飛行民間航空機		12,098	31		
自衛隊機又は米軍機	①-1	456,299	349		
	①-2	49,310	94		
	②	18,164	45		

第 4.3 表 算出した標的面積と離隔距離(使用済燃料貯蔵建家)

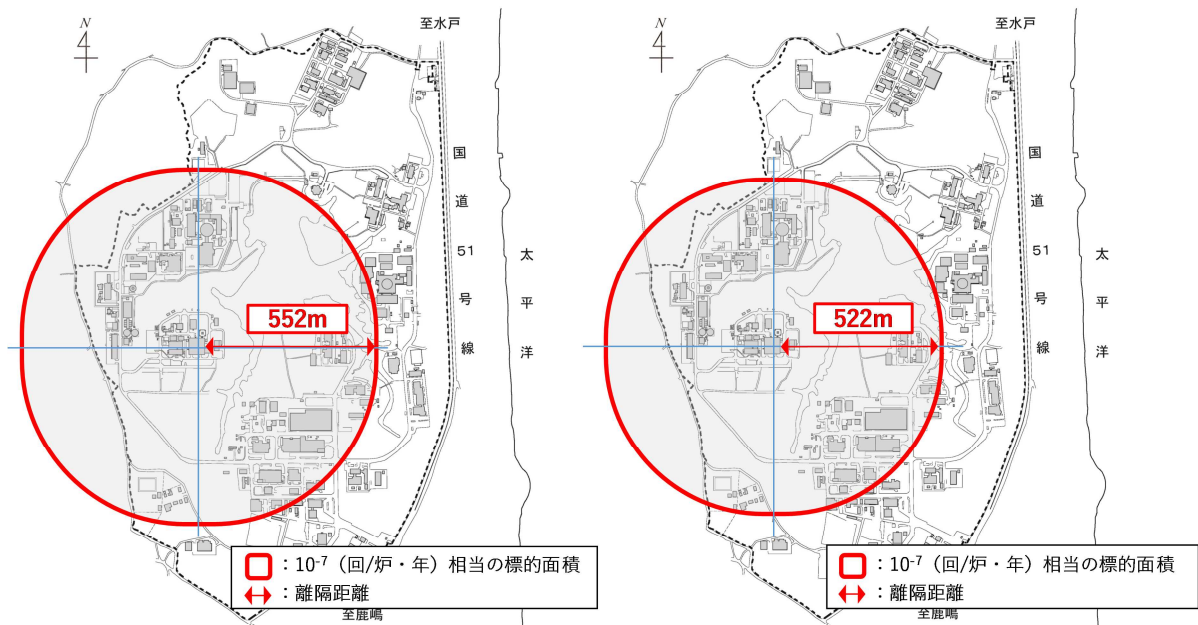
カテゴリ		標的面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	離隔距離 $L$ (m)	建家の長さ (m)	
				縦 $X$	横 $Y$
計器飛行民間航空機	①	1,070,644	568	32.4	16.4
	②	966,661	539		
有視界飛行民間航空機		12,098	47		
自衛隊機又は米軍機	①-1	456,299	366		
	①-2	49,310	110		
	②	18,164	61		

第 4.4 表 算出した標的面積と離隔距離(冷却塔)

カテゴリ		標的面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	離隔距離 $L$ (m)	建家の長さ (m)	
				縦 $X$	横 $Y$
計器飛行民間航空機	①	1,070,644	568	30	20
	②	966,661	539		
有視界飛行民間航空機		12,098	47		
自衛隊機又は米軍機	①-1	456,299	365		
	①-2	49,310	110		
	②	18,164	61		

第 4.5 表 算出した標的面積と離隔距離(排気筒)

カテゴリ		標的面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	離隔距離 $L$ (m)	外殻の長さ (m)	
				縦 $X$	横 $Y$
計器飛行民間航空機	①	1,070,644	572	18.4	18.4
	②	966,661	543		
有視界飛行民間航空機		12,098	51		
自衛隊機又は米軍機	①-1	456,299	369		
	①-2	49,310	114		
	②	18,164	65		

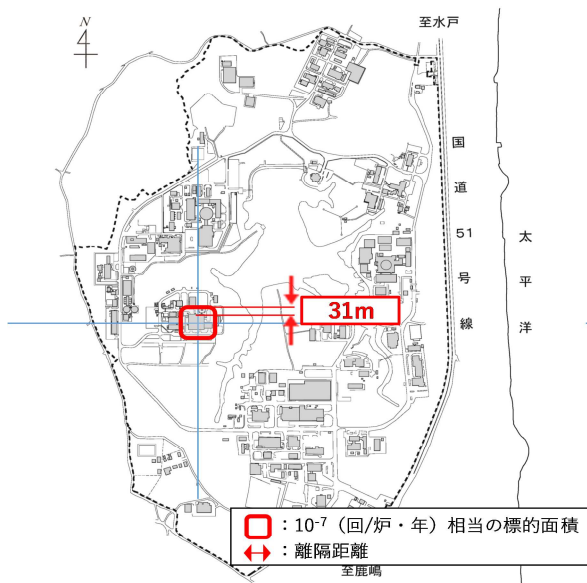


1) 計器飛行方式民間航空機  
①飛行場での離着陸時

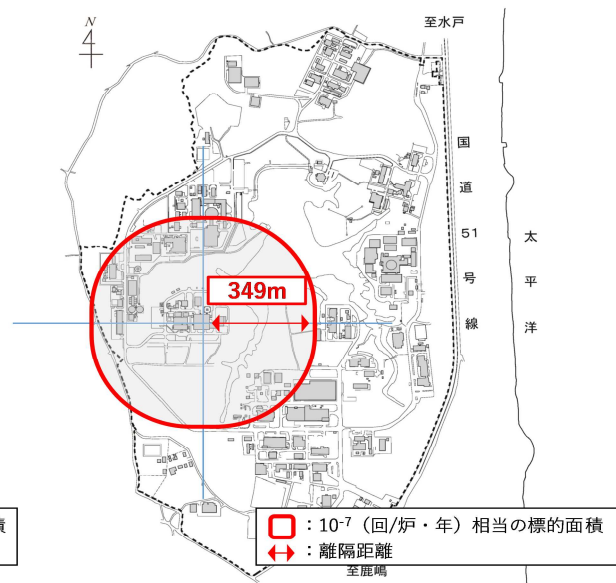
1) 計器飛行方式民間航空機  
②航空路を巡行中

第 4.1 図 (1) 離隔距離のイメージ (原子炉建家)



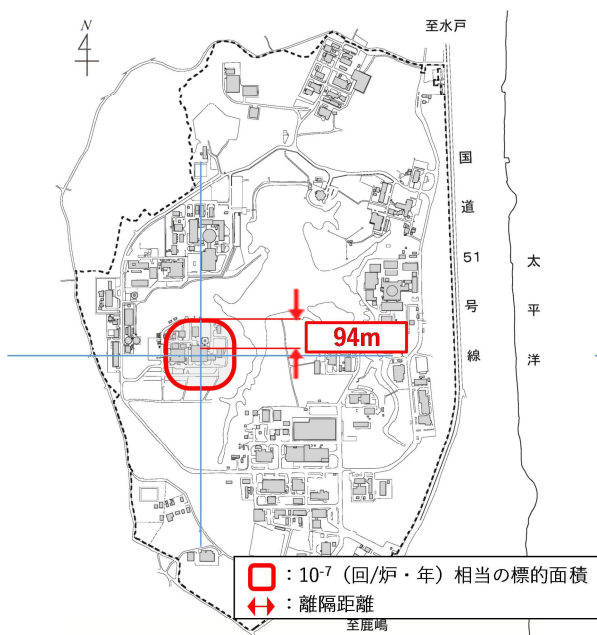


2) 有視界飛行方式民間航空機

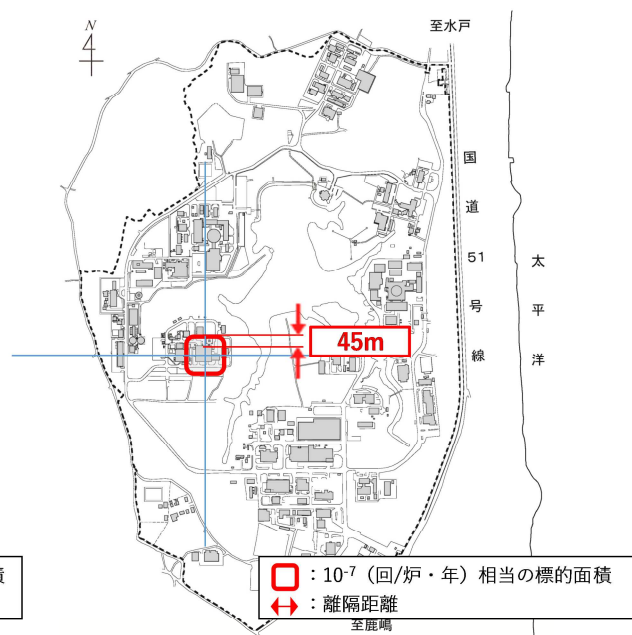


3) 自衛隊機又は米軍機  
 ①訓練空域外を飛行中  
 ①-1空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機

第 4.1 図 (2) 離隔距離のイメージ(原子炉建家)

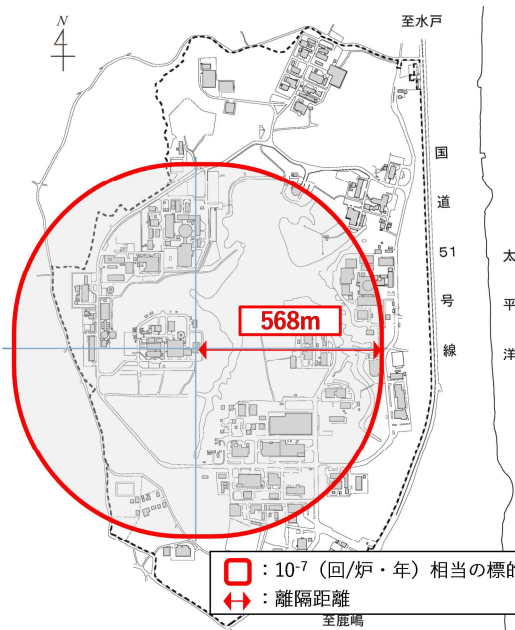


3) 自衛隊機又は米軍機  
 ①訓練空域外を飛行中  
 ①-2その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機

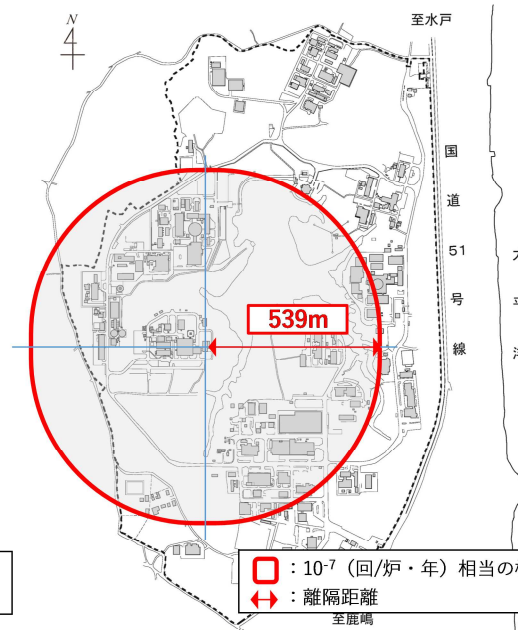


3) 自衛隊機又は米軍機  
 ②基地—訓練空域間往復

第 4.1 図 (3) 離隔距離のイメージ(原子炉建家)

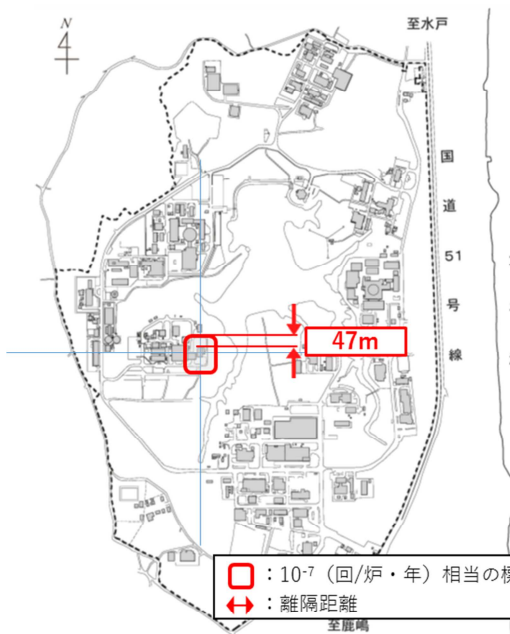


1) 計器飛行方式民間航空機  
①飛行場での離着陸時

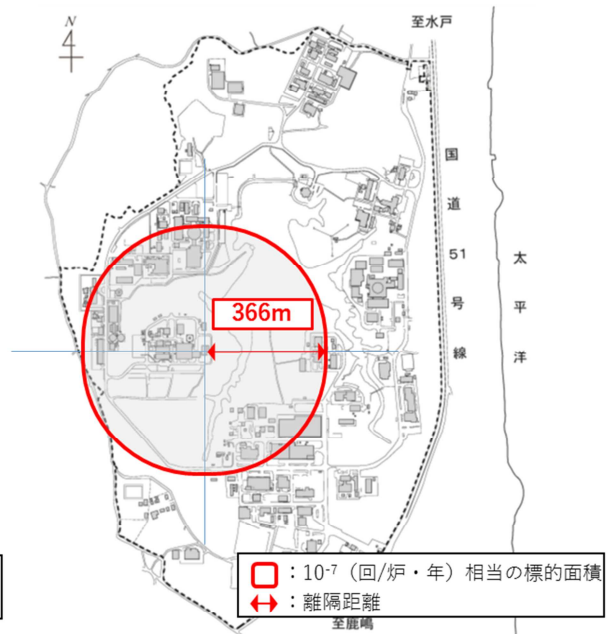


1) 計器飛行方式民間航空機  
②航空路を巡行中

第 4.2 図(1) 離隔距離のイメージ(使用済燃料貯蔵建家)

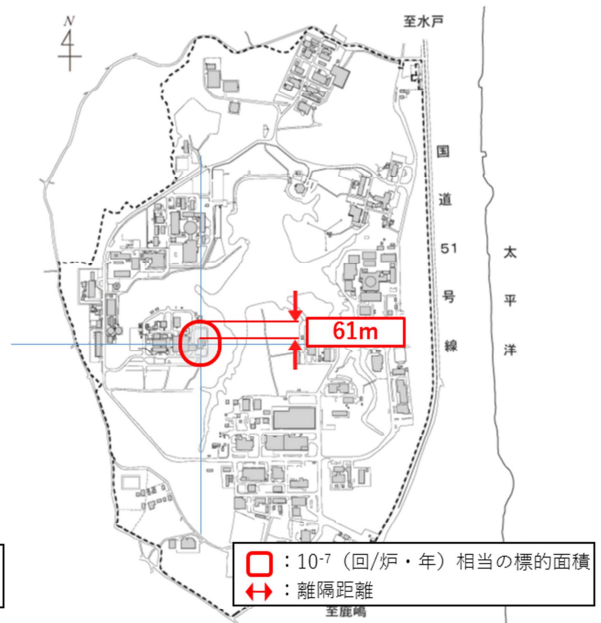
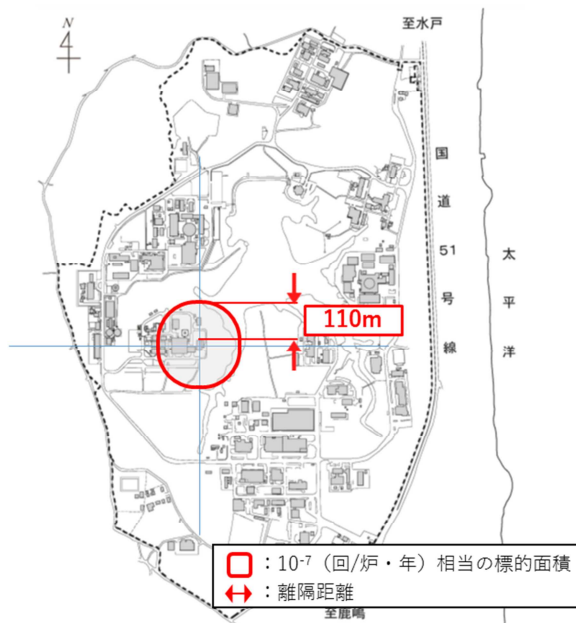


2) 有視界飛行方式民間航空機



3) 自衛隊機又は米軍機  
①訓練空外を飛行中  
①-1空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機

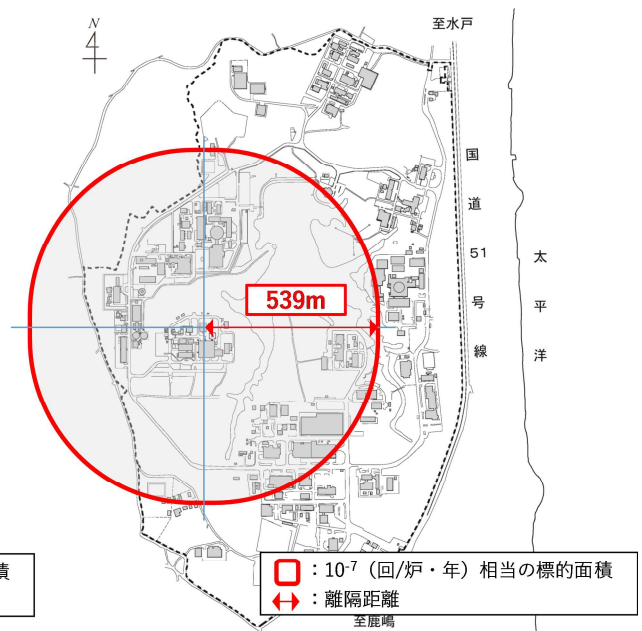
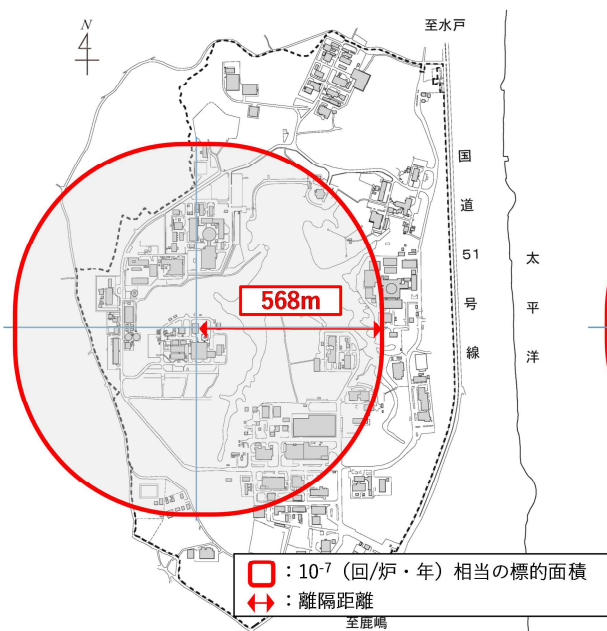
第 4.2 図(2) 離隔距離のイメージ(使用済燃料貯蔵建家)



- 3) 自衛隊機又は米軍機  
 ①訓練空域外を飛行中  
 ①-2その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機

- 3) 自衛隊機又は米軍機  
 ②基地-訓練空域間往復

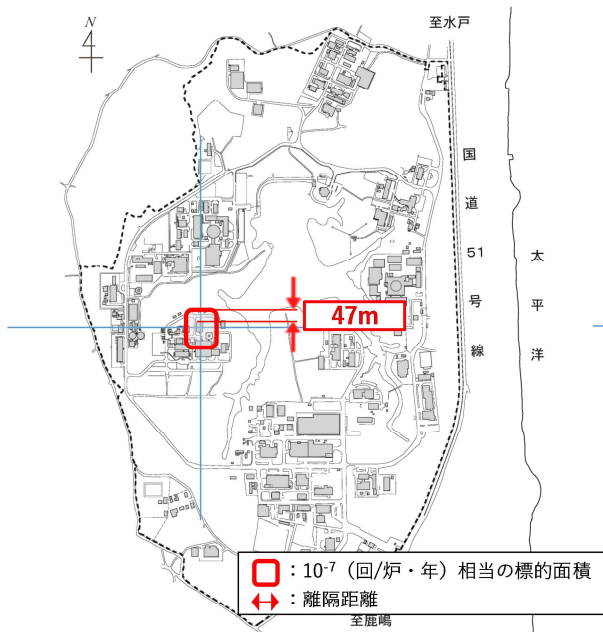
第 4.2 図(3) 離隔距離のイメージ(使用済燃料貯蔵建家)



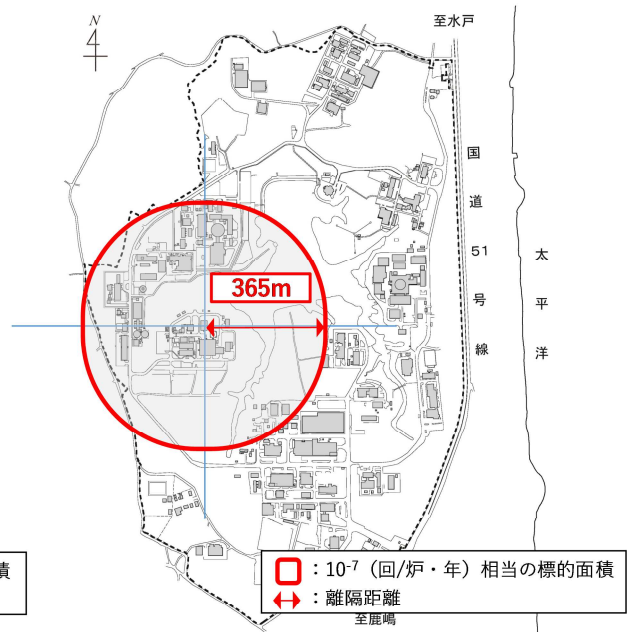
- 1) 計器飛行方式民間航空機  
 ①飛行場での離着陸時

- 1) 計器飛行方式民間航空機  
 ②航空路を巡行中

第 4.3 図(1) 離隔距離のイメージ(冷却塔)



2) 有視界飛行方式民間航空機



3) 自衛隊機又は米軍機

①訓練空外を飛行中

①-1空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機

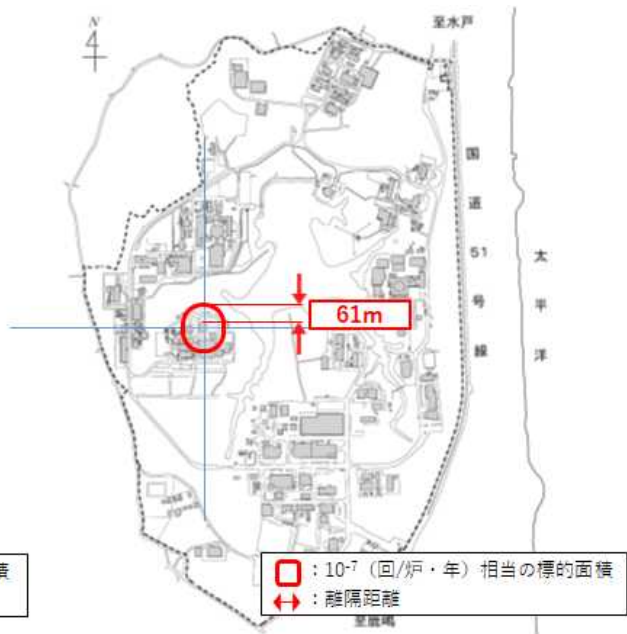
第 4.3 図(2) 離隔距離のイメージ(冷却塔)



3) 自衛隊機又は米軍機

①訓練空域外を飛行中

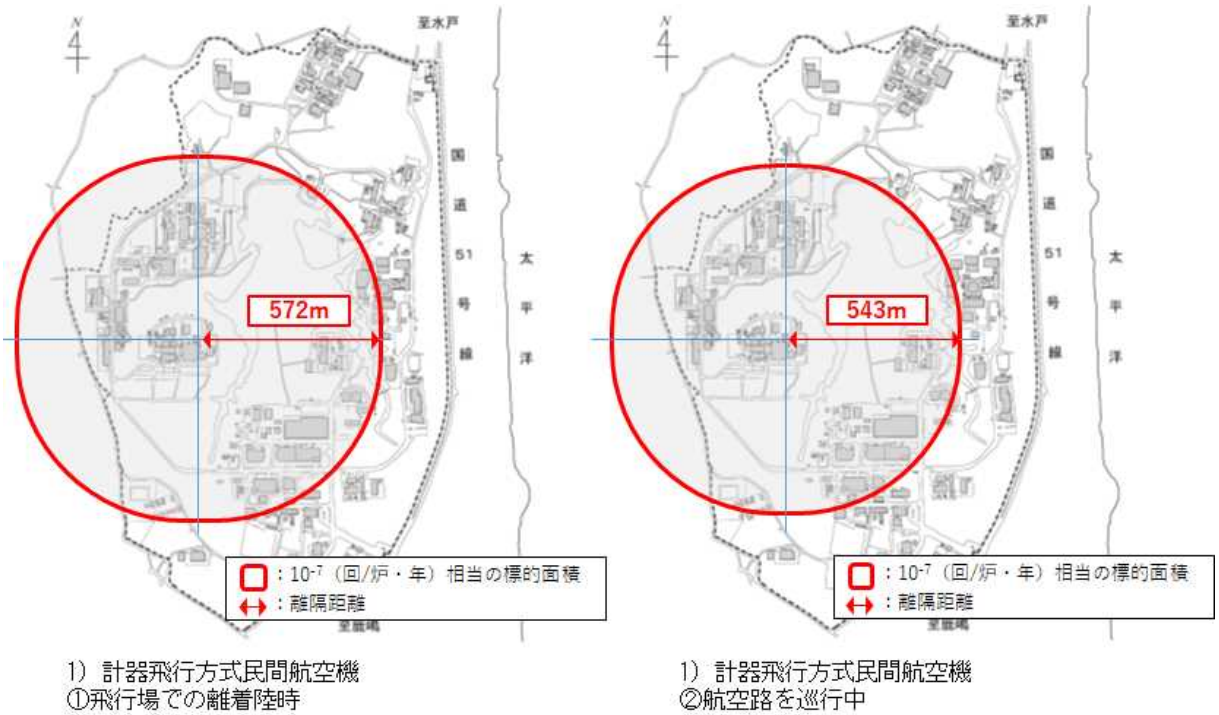
①-2その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機



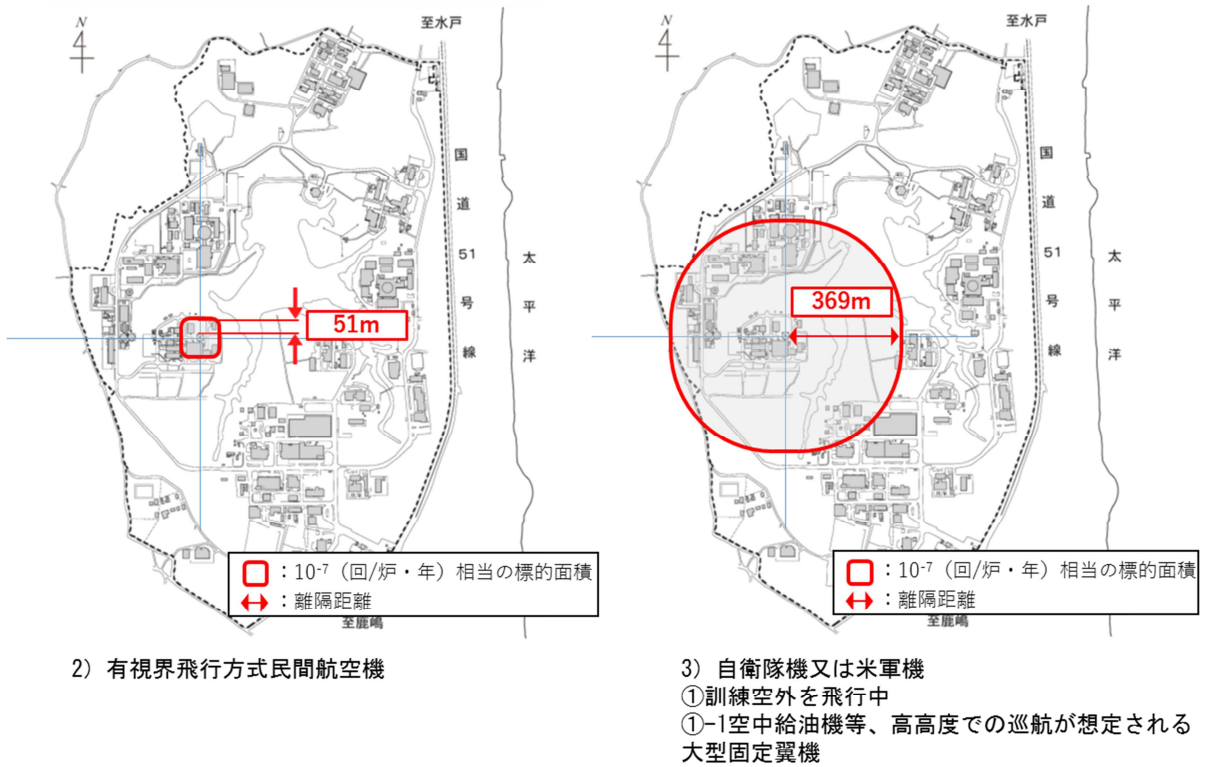
3) 自衛隊機又は米軍機

②基地-訓練空域間往復

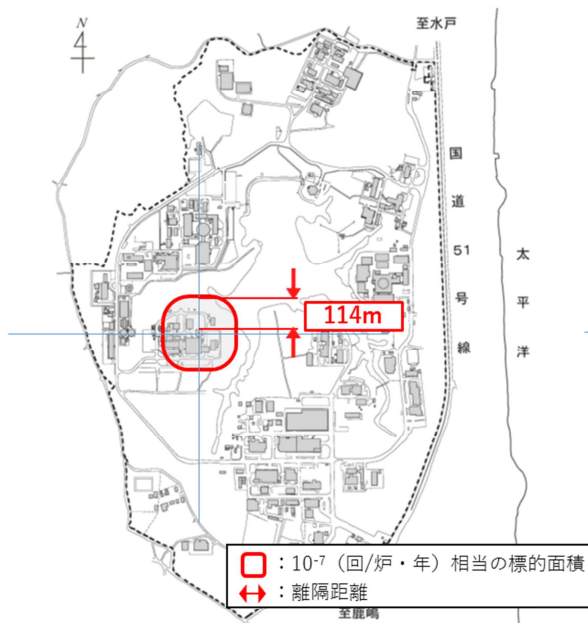
第 4.3 図(3) 離隔距離のイメージ(冷却塔)



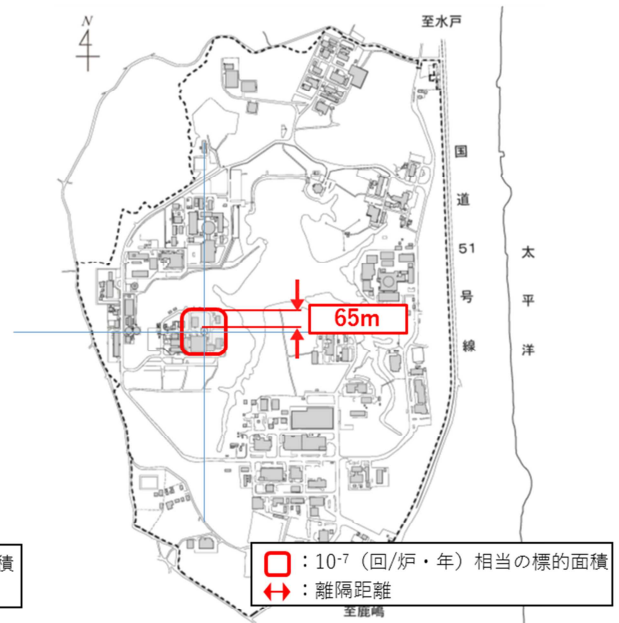
第 4.4 図(1) 離隔距離のイメージ(排気筒)



第 4.4 図(2) 離隔距離のイメージ(排気筒)



- 3) 自衛隊機又は米軍機  
 ①訓練空域外を飛行中  
 ①-2その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機



- 3) 自衛隊機又は米軍機  
 ②基地-訓練空域間往復

第 4.4 図(3) 離隔距離のイメージ(排気筒)

(3) 評価で用いるパラメータ

評価で用いるパラメータは第 4.6 表のとおりである。

第 4.6 表 評価対象航空機のパラメータ

項目	計器飛行民間航空機		有視界飛行民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	①	②		①-1	①-2	②
対象航空機	B747-400	B747-400	AS332L-1	KC-767	F-15	F-15
燃料の種類	Jet A-1	Jet A-1	Jet A-1	JP-4	JP-4	JP-4
燃料量(m <sup>3</sup> )	216.84 <sup>(8)</sup>	216.84 <sup>(8)</sup>	3.0 <sup>(9)</sup>	145.03 <sup>(10)</sup>	14.87 <sup>(11)</sup>	14.87 <sup>(11)</sup>
輻射発散度 (W/m <sup>2</sup> )	50×10 <sup>3(1)</sup>	50×10 <sup>3(1)</sup>	50×10 <sup>3(1)</sup>	58×10 <sup>3(1)</sup>	58×10 <sup>3(1)</sup>	58×10 <sup>3(1)</sup>
質量低下速度 (kg/m <sup>2</sup> ・s)	0.039 <sup>(7)</sup>	0.039 <sup>(7)</sup>	0.039 <sup>(7)</sup>	0.051 <sup>(7)</sup>	0.051 <sup>(7)</sup>	0.051 <sup>(7)</sup>
燃料密度 (kg/m <sup>3</sup> )	850 <sup>(12)</sup>	850 <sup>(12)</sup>	850 <sup>(12)</sup>	760 <sup>(7)</sup>	760 <sup>(7)</sup>	760 <sup>(7)</sup>
燃焼速度 (m/s)	4.59×10 <sup>-5</sup>	4.59×10 <sup>-5</sup>	4.59×10 <sup>-5</sup>	6.71×10 <sup>-5</sup>	6.71×10 <sup>-5</sup>	6.71×10 <sup>-5</sup>

(4) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \dots\dots\dots (4-2)$$

$$\text{ただし、} m = \frac{H}{R} \cong 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

- Φ : 形態係数 (-)
- L : 離隔距離 (m)
- H : 火炎の高さ (m)
- R : 延焼半径 (m)

延焼半径は、燃焼面積が航空機の面積(全長×胴体全幅)に等しいと考えて算出した。

(5) 輻射強度の算出

火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を乗じた値になる。

$$E = R_f \Phi \quad \dots\dots\dots (4-3)$$

$E$  : 輻射強度 (W/m<sup>2</sup>)  
 $R_f$  : 輻射発散度 (W/m<sup>2</sup>)  
 $\Phi$  : 形態係数 (-)

(6) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で除した値になる。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v} \quad \dots\dots\dots (4-4)$$

$t$  : 燃焼継続時間 (s)  
 $V$  : 燃料量 (m<sup>3</sup>)  
 $R$  : 延焼半径 (m)  
 $v$  : 燃焼速度 (m/s)

(7) 外殻のコンクリート表面温度の評価

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でコンクリートが昇温されるものとして、半無限物体の非定常熱伝導方程式により外殻のコンクリート表面温度を求め、許容温度以下であるかを評価する。

本評価で用いる許容温度については、火災時に短期温度上昇した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度として 200°C とする。

$$T = T_0 + \frac{2 \times q \sqrt{\alpha \times t}}{\lambda} \times \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp\left(-\frac{x^2}{4 \times \alpha \times t}\right) - \frac{x}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}} \times \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}}\right) \right] \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

$T$  : コンクリート表面温度 (°C)  
 $T_0$  : 初期温度 (40 (°C))  
 $q$  : 輻射強度 (=  $E$  (W/m<sup>2</sup>))  
 $\alpha$  : 温度伝導率 ( $\alpha = \lambda / (\rho \times C_p)$ )  
 $C_p$  : コンクリート比熱 (0.963 kJ/kg・K)  
 $\rho$  : コンクリート密度 (2,400 kg/m<sup>3</sup>)  
 $\lambda$  : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m・K)  
 $x$  : コンクリート深さ (m)  
 $t$  : 燃焼継続時間 (s)



## 4.2 評価結果

### (1) 原子炉建家

原子炉建家外壁コンクリート表面温度を評価した結果、75℃となり、許容温度 200℃以下であることを確認した。

なお、燃焼継続時間以降は、熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。評価結果を第 4.7 表に示す。

第 4.7 表 原子炉建家外壁コンクリート表面温度の評価結果

項目	計器飛行民間航空機		有視界飛行 民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	①	②		①-1	①-2	②
形態係数	$1.42 \times 10^{-3}$	$1.59 \times 10^{-3}$	$37.7 \times 10^{-3}$	$2.06 \times 10^{-3}$	$3.16 \times 10^{-3}$	$13.7 \times 10^{-3}$
輻射強度 (W/m <sup>2</sup> )	71	79	1886	120	183	793
燃焼継続時間(s)	6,751	6,751	1,055	5,334	4,968	4,968
コンクリート 表面温度(℃)	44	44	75	45	48	72

### (2) 使用済燃料貯蔵建家

使用済燃料貯蔵建家外壁コンクリート表面温度を評価した結果、58℃となり、許容温度 200℃以下であることを確認した。

なお、燃焼継続時間以降は、熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。評価結果を第 4.8 表に示す。

第 4.8 表 使用済燃料貯蔵建家外壁コンクリート表面温度の評価結果

項目	計器飛行民間航空機		有視界飛行 民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	①	②		①-1	①-2	②
形態係数	$1.34 \times 10^{-3}$	$1.49 \times 10^{-3}$	$17.3 \times 10^{-3}$	$1.88 \times 10^{-3}$	$2.28 \times 10^{-3}$	$7.48 \times 10^{-3}$
輻射強度 (W/m <sup>2</sup> )	67	74	866	109	133	434
燃焼継続時間(s)	6,751	6,751	1,055	5,334	4,968	4,968
コンクリート 表面温度(℃)	44	44	56	45	46	58

(3) 冷却塔

冷却塔外壁コンクリート表面温度を評価した結果、58℃となり、許容温度 200℃以下であることを確認した。

なお、燃焼継続時間以降は、熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。評価結果を第 4.9 表に示す。

第 4.9 表 冷却塔外壁コンクリート表面温度の評価結果

項目	計器飛行民間航空機		有視界飛行 民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	①	②		①-1	①-2	②
形態係数	$1.34 \times 10^{-3}$	$1.49 \times 10^{-3}$	$17.7 \times 10^{-3}$	$1.88 \times 10^{-3}$	$2.30 \times 10^{-3}$	$7.59 \times 10^{-3}$
輻射強度 (W/m <sup>2</sup> )	67	75	883	109	134	440
燃焼継続時間(s)	6,751	6,751	1,055	5,334	4,968	4,968
コンクリート 表面温度(℃)	44	44	57	45	46	58

(4) 排気筒

排気筒の外殻のコンクリート表面温度を評価した結果、56℃となり、許容温度 200℃以下であることを確認した。

なお、燃焼継続時間以降は、熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。評価結果を第 4.10 表に示す。

第 4.10 表 排気筒の外殻のコンクリート表面温度の評価結果

項目	計器飛行民間航空機		有視界飛行 民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	①	②		①-1	①-2	②
形態係数	$1.32 \times 10^{-3}$	$1.47 \times 10^{-3}$	$15.1 \times 10^{-3}$	$1.84 \times 10^{-3}$	$2.14 \times 10^{-3}$	$6.68 \times 10^{-3}$
輻射強度 (W/m <sup>2</sup> )	66	73	753	107	124	388
燃焼継続時間(s)	6,751	6,751	1,055	5,334	4,968	4,968
コンクリート 表面温度(℃)	44	44	54	45	45	56

## 5. 重畳事象の想定及び評価

### 5.1 重畳事象の想定

航空機落下確率が $10^{-7}$ (回/炉・年)以上となる面積の外周部にある森林に航空機が落下し、その火災によって森林火災が発生する事象及びH T T R機械棟屋外タンクに火災が発生する事象を想定する。

### 5.2 評価内容

- a. 評価対象は、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒とする。
- b. 落下する航空機の機種は、各評価対象において熱影響が最も大きいものとする。
- c. 航空機の落下に伴い火災となる森林は、各評価対象において最も熱影響が大きいものとする。
- d. その他の条件は、森林火災、敷地内の危険物貯蔵所等の火災・爆発及び航空機墜落による火災の影響評価において設定したものと同一とする。

### 5.3 評価結果

重畳事象による原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度の評価結果を第 5.1 表に示す。

いずれの重畳事象を想定した場合でも、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度は、許容温度 200℃以下であることを確認した。

第 5.1 表 重畳事象による評価結果

項目	森林火災 (℃)	屋外タンク の火災 (℃)	航空機墜落 による火災 (℃)	森林・航空機 墜落による火 災の重畳 (℃)	屋外タンク・ 航空機墜落に よる火災の重 畳 (℃)
原子炉建家	137	59	75	172	94
使用済燃料貯蔵 建家	138	46	58	156	64
冷却塔	135	76	58	163	94
排気筒	112	54	56	128	70

## 6. 二次的影響について

森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発、原子炉施設敷地内で発生する危険物貯蔵所等の火災・爆発及び航空機墜落による火災において発生するばい煙等による二次的影響について、外部火災発生時の対応及びH T T R原子炉施設への影響について記載する。

### 6.1 外部火災発生時の対応

原子炉施設敷地外で発生する森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発、原子炉施設敷地内で発生する危険物貯蔵所等の火災・爆発及び航空機墜落による火災において発生するばい煙等に対して、中央制御室での居住者の活動性を確保するため、中央制御室系換気空調設備を閉回路循環方式に切り替えることで対応する。設備起動に当たっては、原子炉施設保安規定に基づくH T T R運転手引に定める手順書に従って、外気取入れダンパを閉止、排風機を停止及び循環送風機を起動すること等により閉回路循環方式に切り替える措置を講ずる。

なお、中央制御室系換気空調装置は、設計及び工事の方法の認可を得ている設備である（4安（原規）第312号（平成4年9月30日）認可）。

### 6.2 H T T R原子炉施設への影響

#### (1) 外気を取り込む空調の給気系統

H T T R原子炉施設の外気を取り込む空調系統には、外気処理器又は空調器が設置され、プレフィルタ及び粗フィルタ（捕集効率85%）により、粒径3～30 $\mu$ mのばい煙粒子を除去できる。そのため、ばい煙が空調系統の外気取入口から内部に侵入する可能性は小さく、外気取入れを停止し閉回路循環方式で運転できる中央制御室系換気空調装置以外の換気空調設備については、外部火災発生時に機器を停止することで、ばい煙の侵入を阻止できる。

#### (2) 外気を直接設備内に取り込む機器

H T T R原子炉施設の外気を直接設備内に取り込む機器には、非常用発電機がある。当該機器の起動時、外部火災で発生するばい煙を吸気した場合、機器内部にばい煙が取り込まれるが、ばい煙粒子の主成分は炭化物であり、タービンブレード等の内部機器より軟らかく、摩擦による損傷が発生することはない。また、当該機器は、重油を燃料とした内燃機関を有しており、通常運転においても燃料の燃焼に伴うばい煙が発生していることから、内部の機器に損傷を与えることなく運転機能を維持できる。

上記(1)、(2)から、外部火災で発生するばい煙が、H T T R原子炉施設へ影響を及ぼすことはない。

## 参考文献

- (1) 原子力規制委員会, 「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」, 平成 25 年 6 月
- (2) Mark A. Finney ” FARSITE Fire Area Simulator—Model Development and Evaluation” ,  
USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Research Paper RMRS-RP-4 Revised,  
March 1998, revised February 2004
- (3) Rothermel R. C. “A mathematical model for predicting fire spread in wild land fires” ,  
USDA For. Serv. Res. Pap. INT-115:1-40, 1972
- (4) Rothermel, R. C. ” How to predict the spread and intensity of forest and range fires” ,  
USDA Forest Service General Technical Report. INT-143, 1983
- (5) 後藤義明 他 “日本で発生する山火事の強度の検討—Rothermel の延焼速度予測モデル  
を用いた Byram の火線強度の推定—”, 日林誌, 87(3)2005
- (6) 原田和典, 「建築火災のメカニズムと火災安全設計」, 財団法人日本建築センター, 2007 年
- (7) U. S. Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Reactor Regulation Washington,  
DC, ” Fire Dynamics Tools (FDT<sup>S</sup>)” , December 2004
- (8) ボーイング社ホームページ “TechnicalCharacteristicsBoeing747-400”
- (9) EADS Company “EUROCOPTER AS332 L1 Technical Data 332 L1 07.101.02 E”
- (10) 酣燈社, 「航空情報 4 月号増刊 世界航空機年鑑 2012-2013」, 平成 25 年 4 月
- (11) 航空ジャーナル社, 「航空ジャーナル 2 月号臨時増刊 F-15 イーグル」, 昭和 55 年 2 月
- (12) 昭和シェル石油, 「安全データシート(Jet A-1)」, 平成 30 年 2 月

2-2. 排気筒、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の  
構造(外部火災に対する健全性評価)に係る「試  
験研究の用に供する原子炉等の技術基準に關す  
る規則」への適合性

本申請のうち外部火災に対する健全性評価に係る設計及び工事の計画と「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」に掲げる技術上の基準への適合性は、以下に示すとおりである。

技術基準の条項		評価の必要性の有無		適合性
		有・無	項・号	
第一条	適用範囲	—	—	—
第二条	定義	—	—	—
第三条	特殊な設計による試験研究用等原子炉施設	—	—	—
第四条	廃止措置中の試験研究用等原子炉施設の維持	無	—	—
第五条	試験研究用等原子炉施設の地盤	無	—	—
第六条	地震による損傷の防止	無	—	—
第七条	津波による損傷の防止	無	—	—
第八条	外部からの衝撃による損傷の防止	有	1、2項	別添-1に示すとおり。
第九条	試験研究用等原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	無	—	—
第十条	試験研究用等原子炉施設の機能	無	—	—
第十一条	機能の確認等	無	—	—
第十二条	材料及び構造	無	—	—
第十三条	安全弁等	無	—	—
第十四条	逆止め弁	無	—	—
第十五条	放射性物質による汚染の防止	無	—	—
第十六条	遮蔽等	無	—	—
第十七条	換気設備	無	—	—
第十八条	適用	—	—	—
第十九条	溢水による損傷の防止	無	—	—
第二十条	安全避難通路等	無	—	—
第二十一条	安全設備	無	—	—
第二十二条	炉心等	無	—	—
第二十三条	熱遮蔽材	無	—	—
第二十四条	一次冷却材	無	—	—
第二十五条	核燃料物質取扱設備	無	—	—
第二十六条	核燃料物質貯蔵設備	無	—	—
第二十七条	一次冷却材処理装置	無	—	—
第二十八条	冷却設備等	無	—	—
第二十九条	液位の保持等	該当なし	—	—
第三十条	計測設備	該当なし	—	—
第三十一条	放射線管理施設	無	—	—

技術基準の条項		評価の必要性の有無		適合性
		有・無	項・号	
第三十二条	安全保護回路	無	—	—
第三十三条	反応度制御系統及び原子炉停止系統	無	—	—
第三十四条	原子炉制御室等	無	—	—
第三十五条	廃棄物処理設備	無	—	—
第三十六条	保管廃棄設備	無	—	—
第三十七条	原子炉格納施設	該当なし	—	—
第三十八条	実験設備等	無	—	—
第三十九条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	該当なし	—	—
第四十条	保安電源設備	無	—	—
第四十一条	警報装置	無	—	—
第四十二条	通信連絡設備等	無	—	—
第四十三条 ～第五十二条	第三章 研究開発段階原子炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	該当なし	—	—
第五十三条	適用	—	—	—
第五十四条	原子炉冷却材圧力バウンダリ	無	—	—
第五十五条	計測設備	無	—	—
第五十六条	原子炉格納施設	無	—	—
第五十七条	試験用燃料体	無	—	—
第五十八条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	無	—	—
第五十九条	準用	—	—	—
第六十条 ～第七十条	第五章 ナトリウム冷却型高速炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	該当なし	—	—
第七十一条	第六章 雑則	無	—	—



(外部からの衝撃による損傷の防止)

第八条 試験研究用等原子炉施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）によりその安全性を損なうおそれがある場合において、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

2 試験研究用等原子炉施設は、周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合において、事業所における火災又は爆発事故、危険物を搭載した車両、船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）により試験研究用等原子炉施設の安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

3 試験研究用等原子炉を船舶に設置する場合にあっては、原子炉格納容器に近接する船体の部分は、衝突、座礁その他の要因による原子炉格納容器の機能の喪失を防止できる構造でなければならない。

4 試験研究用等原子炉施設は、航空機の墜落により試験研究用等原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合において、防護措置その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

本原子炉施設は、想定される自然現象及び外部からの衝撃による影響のうち外部火災（森林火災、近隣の産業施設等の火災・爆発及び航空機墜落による火災）に対して、「添付書類 2-1 排気筒、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の構造（外部火災に対する健全性評価）に関する説明書」のとおり、原子炉施設の安全性を損なわない設計であることを原子炉施設の構造健全性の影響評価により確認しており、第 1 項及び第 2 項に適合する設計となっている。

なお、第 1 項の自然現象に係る森林火災に対しては、「第 1 編 その他試験研究用等原子炉の附属施設のうち防火帯」のとおり、火災による延焼を防止するため防火帯を設置する設計となっている。

3-1. 原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の構造(火山及び竜巻に対する健全性評価)のうち火山に関する説明書

## 目 次

1. 概要	添 3 — 1 — 1
2. 一般事項	添 3 — 1 — 1
2.1 位置	添 3 — 1 — 1
2.2 構造概要	添 3 — 1 — 1
2.3 評価方針	添 3 — 1 — 6
2.4 準拠規格・基準	添 3 — 1 — 8
3. 評価条件	添 3 — 1 — 8
3.1 評価対象部位	添 3 — 1 — 8
3.2 荷重の設定及び組合せ	添 3 — 1 — 9
3.3 使用材料	添 3 — 1 — 10
3.4 許容限界	添 3 — 1 — 11
4. 建家屋根の評価	添 3 — 1 — 12
4.1 原子炉建家	添 3 — 1 — 12
4.2 使用済燃料貯蔵建家	添 3 — 1 — 32
5. 耐震壁の評価	添 3 — 1 — 42
5.1 原子炉建家	添 3 — 1 — 42
5.2 使用済燃料貯蔵建家	添 3 — 1 — 46

## 表 目 次

第 2.1 表	火山防護施設	添 3 — 1 — 7
第 3.1 表	評価対象部位	添 3 — 1 — 9
第 3.2 表	組合せ荷重	添 3 — 1 — 10
第 3.3 表	鋼材の許容応力度	添 3 — 1 — 10
第 3.4 表	コンクリートの許容応力度	添 3 — 1 — 11
第 3.5 表	鉄筋の許容応力度	添 3 — 1 — 11
第 3.6 表	許容限界	添 3 — 1 — 11
第 4.1 表	原子炉建家屋根に常時作用する荷重	添 3 — 1 — 13
第 4.2 表	許容応力度の比を用いた原子炉建家屋根の評価結果	添 3 — 1 — 13
第 4.3 表	原子炉建家屋根トラス架構の部材リスト	添 3 — 1 — 15
第 4.4 表	原子炉建家屋根トラス 降下火砕物堆積時の評価用床荷重	添 3 — 1 — 16
第 4.5 表	原子炉建家屋根トラス常時床荷重	添 3 — 1 — 16
第 4.6 表	原子炉建家屋根トラス断面算定結果(常時荷重時)	添 3 — 1 — 23
第 4.7 表	原子炉建家屋根トラス断面算定結果(降下火砕物堆積時)	添 3 — 1 — 24
第 4.8 表	原子炉建家屋根スラブ降下火砕物堆積時の評価用床荷重	添 3 — 1 — 25
第 4.9 表	原子炉建家屋根スラブ断面算定結果	添 3 — 1 — 28
第 4.10 表	原子炉建家小梁降下火砕物堆積時の評価用床荷重	添 3 — 1 — 29
第 4.11 表	原子炉建家小梁の断面算定結果	添 3 — 1 — 31
第 4.12 表	使用済燃料貯蔵建家屋根部材リスト	添 3 — 1 — 33
第 4.13 表	使用済燃料貯蔵建家屋根鉄骨梁 降下火砕物堆積時の評価用床荷重	添 3 — 1 — 34
第 4.14 表	使用済燃料貯蔵建家屋根鉄骨梁断面算定結果(3 通り)	添 3 — 1 — 37
第 4.15 表	使用済燃料貯蔵建家屋根スラブ 降下火砕物堆積時の評価用床荷重	添 3 — 1 — 38
第 4.16 表	使用済燃料貯蔵建家屋根スラブ断面算定結果	添 3 — 1 — 41
第 5.1 表	原子炉建家風荷重の計算条件	添 3 — 1 — 42

第 5.2 表	原子炉建家各高さにおける風荷重	添 3 — 1 — 42
第 5.3 表	原子炉建家風荷重及び受圧面積	添 3 — 1 — 43
第 5.4 表	原子炉建家風荷重と地震荷重による層せん断力の比較	添 3 — 1 — 45
第 5.5 表	使用済燃料貯蔵建家風荷重の計算条件	添 3 — 1 — 46
第 5.6 表	使用済燃料貯蔵建家各高さにおける風荷重	添 3 — 1 — 46
第 5.7 表	使用済燃料貯蔵建家風荷重及び受圧面積	添 3 — 1 — 47
第 5.8 表	使用済燃料貯蔵建家 風荷重と地震荷重による層せん断力の比較	添 3 — 1 — 49

## 目 次

第 2.1 図	原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の位置	添 3 — 1 — 1
第 2.2 図	原子炉建家の断面図	添 3 — 1 — 2
第 2.3 図	原子炉建家の屋根伏図	添 3 — 1 — 3
第 2.4 図	使用済燃料貯蔵建家の断面図	添 3 — 1 — 5
第 2.5 図	使用済燃料貯蔵建家の屋根伏図	添 3 — 1 — 6
第 2.6 図	評価フロー	添 3 — 1 — 8
第 4.1 図	原子炉建家屋根評価の領域区分	添 3 — 1 — 12
第 4.2 図	原子炉建家の断面図(NS 断面)	添 3 — 1 — 14
第 4.3 図	原子炉建家屋根トラス解析モデル(6 通り)	添 3 — 1 — 15
第 4.4 図	原子炉建家屋根トラス常時応力図(6 通り、軸力)	添 3 — 1 — 17
第 4.5 図	原子炉建家屋根トラス 降下火砕物堆積時応力図(6 通り、軸力)	添 3 — 1 — 17
第 4.6 図	原子炉建家屋根トラス 常時応力図(6 通り、曲げモーメント)	添 3 — 1 — 18
第 4.7 図	原子炉建家屋根トラス 降下火砕物堆積時応力図(6 通り、曲げモーメント)	添 3 — 1 — 18
第 4.8 図	原子炉建家屋根トラス常時応力図(6 通り、せん断力)	添 3 — 1 — 19
第 4.9 図	原子炉建家屋根トラス 降下火砕物堆積時応力図(6 通り、せん断力)	添 3 — 1 — 19
第 4.10 図	屋根スラブの評価モデル	添 3 — 1 — 25
第 4.11 図	小梁の評価モデル	添 3 — 1 — 29
第 4.12 図	使用済燃料貯蔵建家断面図	添 3 — 1 — 32
第 4.13 図	使用済燃料貯蔵建家屋根平面図	添 3 — 1 — 33
第 4.14 図	使用済燃料貯蔵建家 応力解析結果(3 通り、降下火砕物堆積時)	添 3 — 1 — 35
第 4.15 図	屋根スラブの評価モデル	添 3 — 1 — 38
第 5.1 図	原子炉建家の質点系解析モデル	添 3 — 1 — 44
第 5.2 図	使用済燃料貯蔵建家の質点系解析モデル	添 3 — 1 — 48

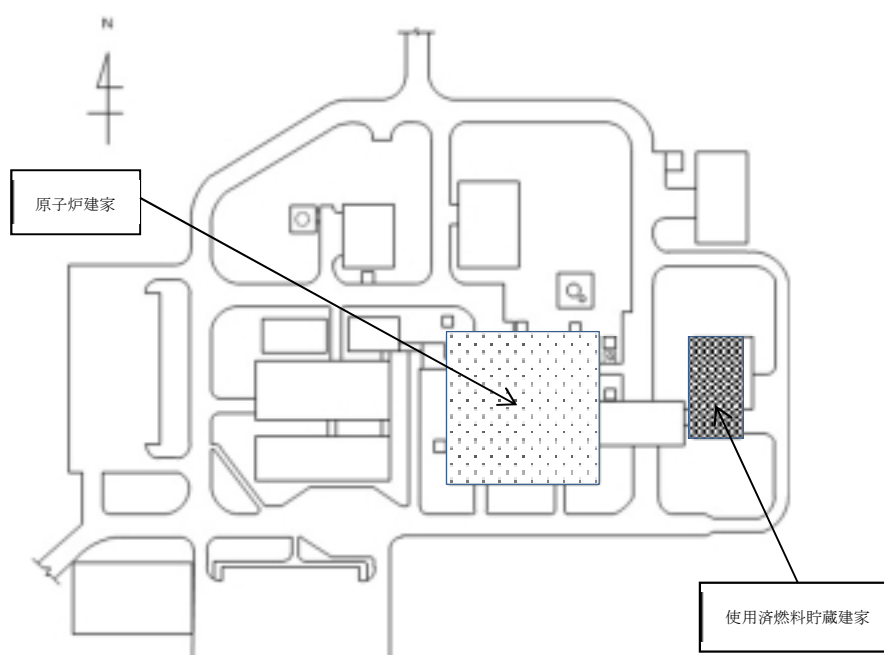
## 1. 概要

本資料は、「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」第八条（外部からの衝撃による損傷の防止）のうち火山事象について、火山事象から防護すべき安全機能を内包する原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家が施設に影響を及ぼし得る火山事象である降下火砕物に対して構造強度を有するものであることを評価するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 位置

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の位置を第 2.1 図に示す。



第 2.1 図 原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の位置

## 2.2 構造概要

### 2.2.1 原子炉建家

原子炉建家は、平面形状が 52.0m(NS) × 50.0(EW) のほぼ正方形を成しており、地上高さ 24.2m(地上 2 階)、地下深さ 30.5m(地下 3 階) で上部に鉄骨造屋根を持つ鉄筋コンクリート造(一部、鉄骨鉄筋コンクリート造)の建物である。また、耐震壁として平面的に閉じた形をした開口部の少ない外壁と内壁をバランス良く配置し、建家全体として剛性の高い設計となっている。建家の断面図を第 2.2 図、建家の屋根伏図を第 2.3 図に示す。

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 2.2 図 原子炉建家の断面図



核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 2.3 図 原子炉建家の屋根伏図

### 2.2.2 使用済燃料貯蔵建家

使用済燃料貯蔵建家は、平面 32.4m(NS)×16.4m(EW)、地上高さ 17.2m(地上1階)、地下深さ 10.8m(地下1階)で矩形の鉄筋コンクリート造(一部、鉄骨鉄筋コンクリート造、屋根部：鉄骨造)である。また、耐震壁として平面的に閉じた形をした外壁とセル躯体をバランス良く配置し、建家全体として剛性の高い設計となっている。建家の断面図を第 2.4 図、建家の屋根伏図を第 2.5 図に示す。

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 2.4 図 使用済燃料貯蔵建家の断面図

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 2.5 図 使用済燃料貯蔵建家の屋根伏図

### 2.3 評価方針

火山事象に対して防護する安全機能は、高温工学試験研究炉の固有の安全性を考慮した、原子炉の緊急停止機能、放射性物質の閉じ込め機能（以下「原子炉冷却材圧力バウンダリ」という。）及びそれらに必要な監視機能並びに使用済燃料の貯蔵機能とし、「安全機能の重要度分類」に示すクラス1 及びクラス2 に属する構築物、系統及び機器のうち、防護する安全機能を有する施設を火山事象から防護する施設（以下「火山防護施設」という。）として抽出した。第2.1 表に火山防護施設を示す。

火山事象に対して、施設に影響を及ぼし得る火山事象は降下火砕物のみであり、火山防護施設を内包する原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家を外殻として防護することにより安全機能を損なわない設計とする。このため、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家が降下火砕物に対して構造強度を有するものであることを評価する。

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の降下火砕物に対する建家の構造強度の評価は、想定する降下火砕物の荷重に加えて、常時作用する荷重及び自然現象(積雪、風)の荷

重を適切に組み合わせた荷重（以下「降下火砕物等の荷重」という。）を建家に作用させ、評価対象部位に作用する応力等が許容限界に収まることを確認する。

なお、屋根部材の評価においては、許容応力度の比を用いた簡易評価で降下火砕物等の荷重に耐えられるか確認し、不可となる部位について応力解析による詳細評価を行う。

また、降下火砕物の除去に係る手順を定め、降下火砕物を屋根から除去することにより長期に荷重を掛け続けない対応を図ることから、降下火砕物等の荷重を短期に生じる荷重として評価する。評価のフローを第 2.6 図に示す。

第 2.1 表 火山防護施設

火山防護施設を内包する建家	安全機能	構築物・系統・機器
原子炉建家	原子炉冷却材圧力バウンダリ	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器配管系
	過剰反応度の印加防止	スタンドパイプ、スタンドパイプクロージャ
	炉心の形成	炉心構成要素、炉心支持鋼構造物、炉心支持黒鉛構造物
	放射性物質の貯蔵	使用済燃料貯蔵設備の貯蔵ラック、貯蔵プール
	1 次冷却材の内蔵	1 次ヘリウム純化設備（原子炉冷却材圧力バウンダリとの接続部から原子炉格納容器外側隔離弁までの範囲）
	実験・照射の関連機能 （核分裂生成物の放散防止）	実験設備の一部
	原子炉の緊急停止、未臨界維持	制御棒系
	原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止	1 次冷却設備の安全弁
	原子炉停止系への起動信号の発生	安全保護系（停止系）
	安全上特に重要な関連機能	中央制御室
	事故時のプラント状態の把握	事故時監視計器の一部
安全上特に重要な関連機能	直流電源設備、安全保護系用交流無停電電源装置	
使用済燃料貯蔵建家	放射性物質の貯蔵	使用済燃料貯蔵設備の貯蔵ラック、貯蔵セル



第 2.6 図 評価フロー

## 2.4 準拠規格・基準

準拠する基準、規格等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 茨城県建築基準法施行細則
- ・ 建築構造設計基準の資料(国土交通省 平成 30 年度版)
- ・ 平成 12 年建設省告示第 1454 号
- ・ 平成 12 年建設省告示第 2464 号
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計法―(日本建築学会)  
(以下「RC 規準」という。)
- ・ 鋼構造設計規準 ―許容応力度設計法―(日本建築学会)  
(以下「S 規準」という。)
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書  
(国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)

## 3. 評価条件

### 3.1 評価対象部位

評価は、降下火砕物等の鉛直荷重が直接作用する屋根部材及び風荷重が作用する耐震壁を評価対象部位として選定する。評価対象部位を第 3.1 表に示す。

第 3.1 表 評価対象部位

建家名称	評価対象部位
原子炉建家	屋根部材 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 屋根トラス</li> <li>・ 屋根スラブ</li> <li>・ 小梁</li> </ul> 耐震壁
使用済燃料貯蔵建家	屋根部材 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 屋根鉄骨梁</li> <li>・ 屋根スラブ</li> </ul> 耐震壁

### 3.2 荷重の設定及び組合せ

#### (1) 常時作用する荷重 (DVL)

常時作用する荷重は持続的に生じる荷重であり、構造体自重(自重：DL)、搭載する機器荷重(機器：EL)及び配管荷重(配管：PL)、積載荷重(積載：LL)を考慮する。

なお、積載荷重(積載：LL)は、除灰時の人員荷重として、「建築構造設計基準の資料(国土交通省 平成 30 年度版)」における「屋上(通常人が使用しない場合)」の床版計算用積載荷重における  $980 \text{ N/m}^2$  を包絡した  $1000 \text{ N/m}^2$  とする。

#### (2) 降下火砕物の荷重 (VA)

敷地において設計上考慮する降下火砕物の層厚は 50cm、湿潤密度は  $1.5 \text{ g/cm}^3$  であり、降下火砕物による鉛直荷重を  $7355 \text{ N/m}^2$  とする。

#### (3) 積雪荷重 (S)

積雪深さは、茨城県建築基準法施行細則第 16 条の 4 による大洗町の垂直積雪量 30cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を乗じた 10.5cm として考慮する。また、積雪の単位荷重は、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により  $20 \text{ N/m}^2$  であり、積雪による鉛直荷重を  $210 \text{ N/m}^2$  とする。

#### (4) 風荷重 (W)

風速は、建築基準法に基づく平成 12 年建設省告示第 1454 号に定められた大洗町の基準風速である  $34 \text{ m/s}$  とし、風荷重については、建家の形状により風力係数等が異なるため、建家ごとに算出する。

なお、建家に風の荷重が作用すると、屋根に対して鉛直上向きの荷重が働き、鉛直下向きの荷重が低減されるため、保守的に風による鉛直方向の荷重は考慮しない。

#### (5) 荷重の組合せ

評価対象部位ごとの組合せ荷重を第 3.2 表に示す。

第 3.2 表 組合せ荷重

評価対象部位		組合せ荷重
原子炉建家	屋根部材	DVL+VA+S
使用済燃料貯蔵建家	耐震壁	DVL+VA+S+W

### 3.3 使用材料

使用材料及び許容応力度を第 3.3 表～第 3.5 表に示す。

第 3.3 表 鋼材の許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種類		基準強度 F	長期		短期		弾性限界	
			圧縮 引張 曲げ	せん断	圧縮 引張 曲げ	せん断	圧縮 引張 曲げ	せん断
SM400 <sup>※1</sup> (SM41) <sup>※2</sup>	t ≤ 40mm	235	156	90	235	135	258.5 <sup>※3</sup>	135
SS400 <sup>※1</sup> (SS41) <sup>※2</sup>	t ≤ 40mm							
SN400 <sup>※1</sup>	t ≤ 40mm							
SN490 <sup>※1</sup>	t ≤ 40mm	325	216	125	325	187	357.5 <sup>※3</sup>	187

※1 圧縮、曲げの許容応力度及び弾性限界は上限値であり、座屈長さなどを勘案して設定する。

※2 ( )内は、建設当時 JIS 規格の種類を示す。

※3 弾性限界に用いる数値は、平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき、鋼材の基準強度の 1.1 倍の数値とする。



第 3.4 表 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 Fc	長期		短期		終局	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断	圧縮	せん断
23.5	7.83	0.725	15.6	1.08	23.5	1.08

第 3.5 表 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種類		長期		短期		弾性限界	
種類	鉄筋径	圧縮	せん断	圧縮	せん断	圧縮	せん断
		引張	補強筋	引張	補強筋	引張	補強筋
SD345 (SD35) <sup>※1</sup>	D29 未満	215	195	345	345	379 <sup>※2</sup>	345
	D29 以上	195					
SD295A (SD30A) <sup>※1</sup>	D13	195	195	295	295	-	-

※1 ( )内は、建設当時 JIS 規格の種類を示す。

※2 弾性限界に用いる数値は、平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき、鉄筋の基準強度の 1.1 倍の数値とする。

### 3.4 許容限界

各評価対象部位の許容限界を第 3.6 表に示す。

第 3.6 表 許容限界

評価対象部位		許容限界
原子炉建家 使用済燃料貯蔵建家	屋根部材	終局耐力に対して妥当な安全裕度を有する許容限界 <sup>※</sup>
	耐震壁	最大せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup>

※ 弾性限耐力として「S 規準」の短期許容応力度の評価式に F 値×1.1 倍を適用。

#### 4. 建家屋根の評価

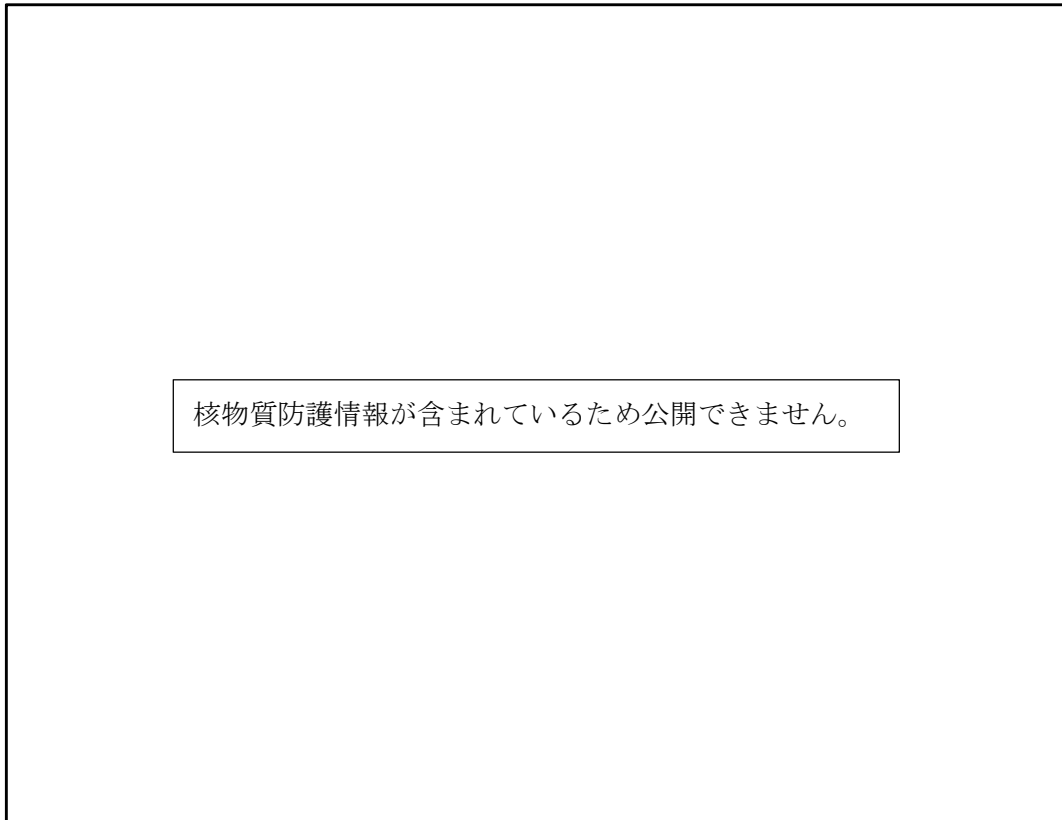
##### 4.1 原子炉建家

###### 4.1.1 許容応力度の比を用いた屋根部材の評価

###### (1) 評価方法

屋根に使用される部材の長期と短期の許容応力度の比は1.5(短期/長期)以上であることから、短期としては少なくとも長期荷重として設定された常時作用する荷重(DVL)の1.5倍の荷重を負担することが可能である。そのため、短期として屋根に積載可能な荷重(P)は、短期として負担できる荷重( $1.5 \times \text{DVL}$ )と常時作用する荷重(DVL)の差分から求められる。この荷重を降下火砕物の荷重( $7355 \text{ N/m}^2$ )、積雪荷重( $210 \text{ N/m}^2$ )及び除灰時作業員の荷重( $1000 \text{ N/m}^2$ )の和( $8565 \text{ N/m}^2$ )と比較し、これを上回る場合は、屋根に鉛直方向に作用する降下火砕物等の組み合わせた荷重に対して十分な強度を有しているものと判断できる。第4.1図に原子炉建家屋根評価の領域区分、第4.1表に屋根に常時作用する荷重を示す。

$$P = 1.5 \times \text{DVL} - \text{DVL} \text{ (N/m}^2\text{)} > 8565 \text{ (N/m}^2\text{)}$$



第4.1図 原子炉建家屋根評価の領域区分

第 4.1 表 原子炉建家屋根に常時作用する荷重

領域	固定荷重 DL (N/m <sup>2</sup> )	積載荷重 LL <sup>*</sup> (N/m <sup>2</sup> )	機器荷重 EL <sup>*</sup> (N/m <sup>2</sup> )	配管荷重 PL (N/m <sup>2</sup> )	常時作用 する荷重 (長期荷重) DVL (N/m <sup>2</sup> )
①	12160	3432	0	1961	17553
②	16867	3432	0	0	20299
②'	16867	3432	0	1961	22260
②''	16867	3432	3677	1961	25937
③	19221	3432	0	1961	24614
③'	19221	3432	6374	1961	30988

※ 床・小梁、架構の包絡性を考慮して最小値を用いる。

(2) 評価結果

評価結果を第 4.2 表に示す。許容値である降下火砕物の荷重、積雪の荷重及び除灰時作業員の荷重を組み合わせた荷重値 8565 N/m<sup>2</sup>を上回ることを確認した。

なお、その他の領域は、本評価結果に包絡される。

第 4.2 表 許容応力度の比を用いた原子炉建家屋根の評価結果

評価部位	常時作用 する荷重 (長期荷重) DVL (N/m <sup>2</sup> )	短期に負担が 可能な荷重 1.5・DVL (N/m <sup>2</sup> )	屋根に堆積 可能な荷重 P 1.5・DVL-DVL (N/m <sup>2</sup> )	許容値 VA+S+LL (N/m <sup>2</sup> )	判定
①	17553	26329	8776	8565	可
②	20299	30448	10149		可
③	24614	36921	12307		可

#### 4.1.2 応力解析による屋根部材の評価

本評価においては、原子炉建家のうち屋根の最上部(T. P. 60.7m)について、屋根トラス、屋根スラブ、小梁の部位及び部材ごとに応力解析を行う。

##### 4.1.2.1 屋根トラス

###### (1) 構造概要

屋根トラスは、天井走行クレーンエリア上部屋根を支持する構造部材であり、水下側上弦材上端レベル T.P. 60.425m、トラススパン 21m、トラスせい 2m(上弦材と下弦材の外面寸法)の鉄骨造並行弦トラスである。



第 4.2 図 原子炉建家の断面図(NS 断面)

第 4.3 表 原子炉建家屋根トラス架構の部材リスト

部位	要素 番号	部材リスト
上弦材 CH1	1～16	H-350×350×12×19
下弦材 CH2	17～24	H-350×350×12×19
斜材 L1	25～27 38～40	H-250×250×9×14
斜材 L2	28、29 36、37	H-200×200×8×12
斜材 L3	30～35	H-175×175×7.5×11
束材 L4	41～47	2Ls-90×90×10

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 4.3 図 原子炉建家屋根トラス解析モデル(6 通り)

(2) 評価方法

① 応力解析

屋根トラスの応力解析は2次元フレームモデルとし、各通りのうち支配面積が最大となる6通りについて行う。

応力解析は静的弾性解析であるため、荷重(外力)と応力(断面力)は比例関係となる。そのため、降下火砕物堆積のない常時の荷重と降下火砕物堆積時の荷重の倍率から、応力を算定する。常時の応力図を第4.4図、第4.6図及び第4.8図、倍率により算定した降下火砕物堆積時の応力図を第4.5図、第4.7図及び第4.9図に示す。

また、評価において考慮する降下火砕物堆積時の評価用床荷重を第4.4表、常時の床荷重を第4.5表に示す。

第4.4表 原子炉建家屋根トラス降下火砕物堆積時の評価用床荷重

荷重の種類		荷重(N/m <sup>2</sup> )
常時作用する荷重 (DVL)	固定荷重 (DL)	8629 <sup>※1</sup>
	積載荷重 (LL)	1000
降下火砕物の荷重 (VA)		7355
積雪荷重 (S)		210
計		17194 → <sup>※2</sup> 17200

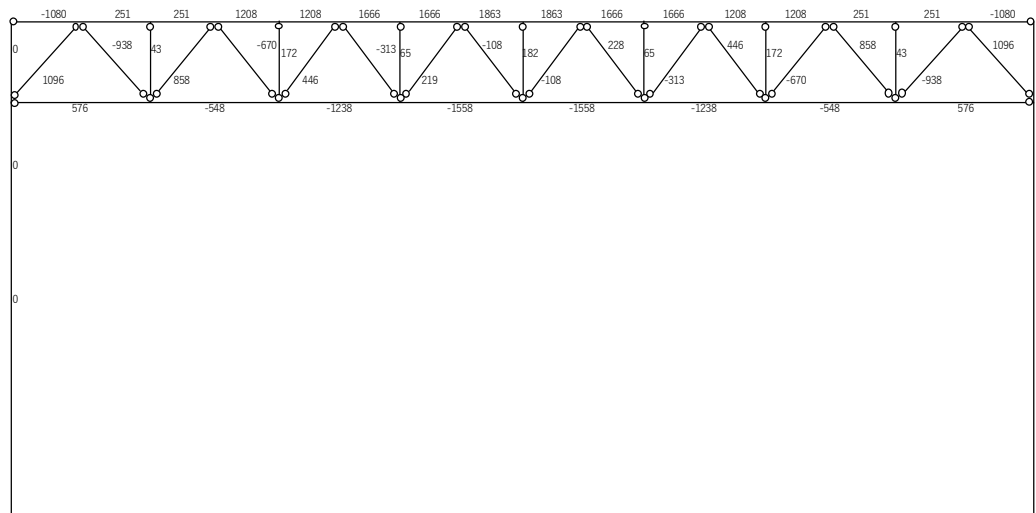
※1 屋根スラブの荷重の他に小梁の荷重(60kg/m<sup>2</sup>×9.80665=588N/m<sup>2</sup>)を含む。

※2 保守側に端数処理をして評価する。

第4.5表 原子炉建家屋根トラス常時床荷重

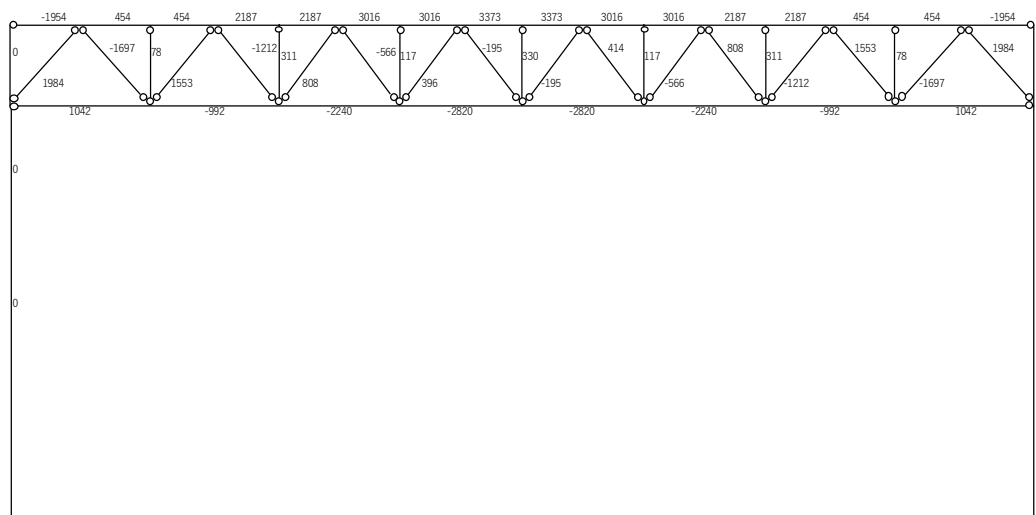
荷重の種類		荷重(N/m <sup>2</sup> )
常時作用する荷重 (DVL)	固定荷重 (DL)	8629 <sup>※</sup>
	積載荷重 (LL)	882
計		9511

※ 屋根スラブの荷重の他に小梁の荷重(60kg/m<sup>2</sup>×9.80665=588N/m<sup>2</sup>)を含む。



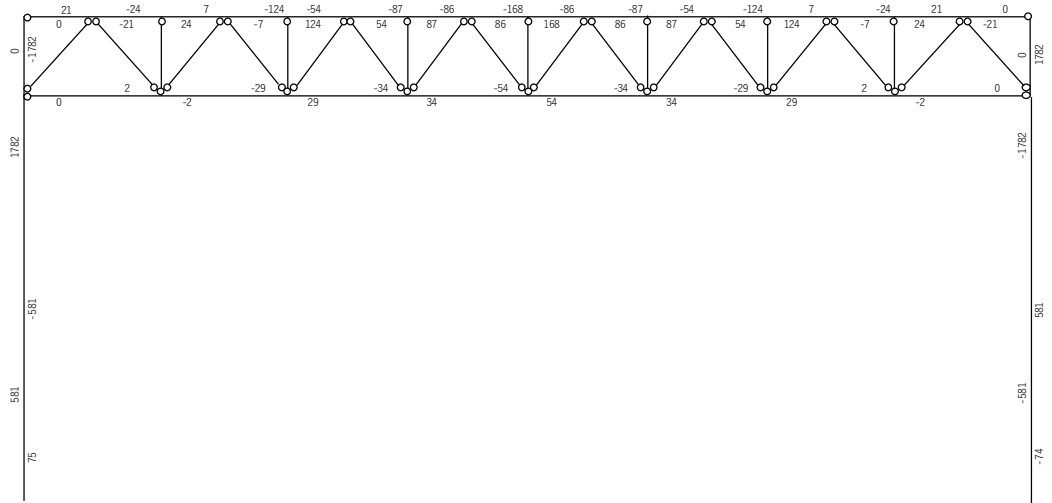
単位：(kN)

第 4.4 図 原子炉建家屋根トラス常時応力図(6 通り、軸力)



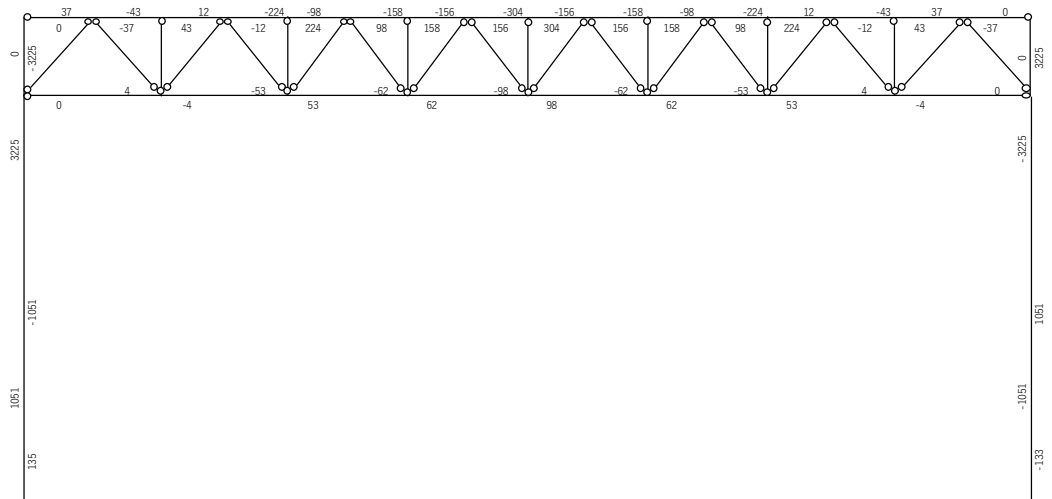
単位：(kN)

第 4.5 図 原子炉建家屋根トラス降下火砕物堆積時応力図(6 通り、軸力)



単位：(kN・m)

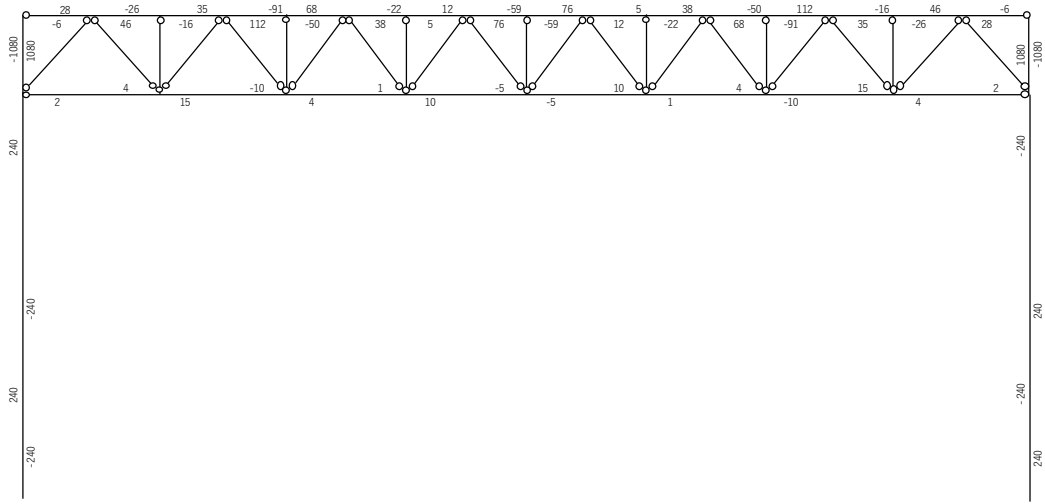
第 4.6 図 原子炉建家屋根トラス常時応力図(6 通り、曲げモーメント)



単位：(kN・m)

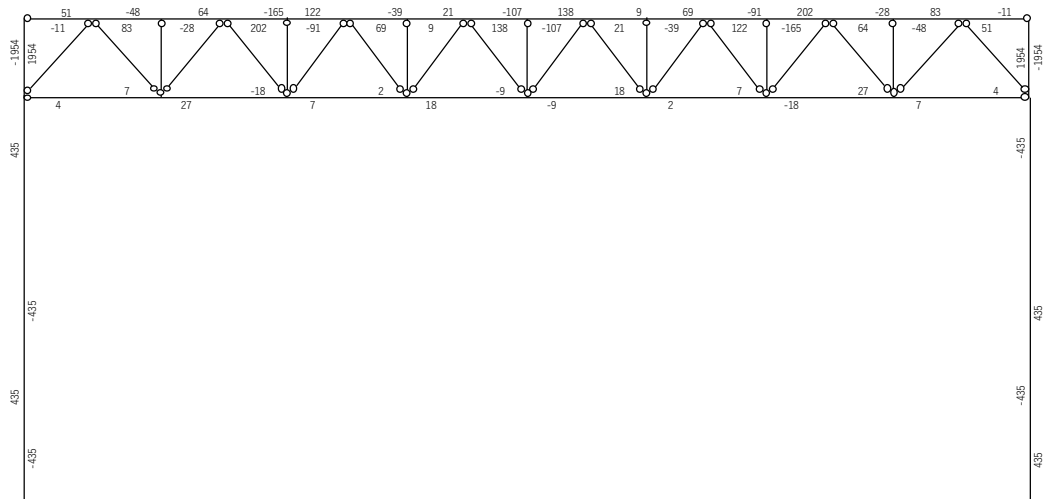
第 4.7 図 原子炉建家屋根トラス降下火砕物堆積時応力図(6 通り、曲げモーメント)





単位：(kN)

第 4.8 図 原子炉建家屋根トラス常時応力図(6 通り、せん断力)



単位：(kN)

第 4.9 図 原子炉建家屋根トラス降下火碎物堆積時応力図(6 通り、せん断力)

## ② 断面算定

応力解析の結果得られた各部材の軸力、曲げモーメント及びせん断力に対し、「S 規準」に準拠して断面算定を行い、許容限界である弾性限に基づく許容値を超えないことを確認する。

### (a) 圧縮力及び曲げモーメントに対する断面算定方法

圧縮力及び曲げモーメントが生じる部材は、座屈を考慮し、部材に生じる最大圧縮応力度及び最大曲げ応力度が「S 規準」の短期許容応力度の評価式に F 値×1.1 倍を適用して算定した許容圧縮応力度及び許容曲げ応力度を超えないことを確認する。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ここで、

$\sigma_c$  : 圧縮応力度 (=N/A) (N/mm<sup>2</sup>)

N : 圧縮力(N)

A : 全断面積(mm<sup>2</sup>)

$f_c$  : 許容圧縮応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 (=M/Z) (N/mm<sup>2</sup>)

M : 曲げモーメント(N・mm)

Z : 断面係数(mm<sup>3</sup>)

$f_b$  : 許容曲げ応力度(N/mm<sup>2</sup>)

### (b) 引張力及び曲げモーメントに対する断面算定方法

引張力及び曲げモーメントが生じる部材は、部材に生じる最大引張応力度及び最大曲げ応力度の合計値が「S 規準」の短期許容応力度の評価式に F 値×1.1 倍を適用して算定した許容引張応力度を超えないことを確認する。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leq 1.0$$

ここで、

$\sigma_t$  : 引張応力度 (=T/A<sub>N</sub>) (N/mm<sup>2</sup>)

T : 引張力(N)

A<sub>N</sub> : 引張断面積(mm<sup>2</sup>)

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 (=M/Z) (N/mm<sup>2</sup>)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

f<sub>t</sub> : 許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(c) せん断力に対する断面算定方法

せん断力が生じる部材は、部材に生じる最大せん断応力度が「S 規準」の評価式に基づく許容せん断応力度を超えないことを確認する。

$$\frac{\tau}{f_s} \leq 1.0$$

ここで、

τ : せん断応力度 (=Q/A<sub>s</sub>) (N/mm<sup>2</sup>)

Q : せん断力 (N)

A<sub>s</sub> : せん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

f<sub>s</sub> : 許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(3) 評価結果

断面算定の要素番号位置を示した屋根トラスの解析モデルを第 4.3 図に示す。断面算定位置は、各部位について、最大照査値が発生する位置とする。

屋根トラスの軸力と曲げモーメント及びせん断力に対する断面算定結果を第 4.6 表及び第 4.7 表に示す。

降下火砕物堆積時における屋根トラスの各応力度が許容限界である弾性限に基づく許容値を超えないことを確認した。

第 4.6 表 原子炉建家屋根トラス断面算定結果(常時荷重時)

部位		6 通り			
		上弦材	下弦材	斜材	束材
要素番号		8	19	25	44
部材		H-350×350 ×12×19	H-350×350 ×12×19	H-250×250 ×9×14	2Ls-90×90 ×10
種類		SM400 (SM41)	SM400 (SM41)	SM400 (SM41)	SS400 (SS41)
A (cm <sup>2</sup> )		690.9	-	92.2	34.0
A <sub>N</sub> (cm <sup>2</sup> )		-	127.6	-	-
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )		37.4	26.1	-	-
Z (cm <sup>3</sup> )		2300	1740	-	-
荷重組合せ		常時	常時	常時	常時
設計応力 長期	N (×10 <sup>3</sup> N)	1863	-1238	1096	182
	M (×10 <sup>6</sup> N・mm)	168	34	-	-
	Q (×10 <sup>3</sup> N)	76	4.0	-	-
設計 応力度 長期	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	27.0	-	118.9	53.5
	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	97.0	-	-
	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	73.04	19.54	-	-
	$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	20.32	1.533	-	-
許容 応力度	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	148.2	127.1	144.4	122.7
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	156.0	156.0	-	-
	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	156.0	156.0	-	-
	$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	90.0	90.0	-	-
照査値	$\sigma_c/f_c$	0.18	-	0.82	0.44
	$\sigma_t/f_t$	-	0.62	-	-
	$\sigma_b/f_b$	0.47	0.13	-	-
	$\tau/f_s$	0.23	0.02	-	-
	$\sigma_c/f_c + \sigma_b/f_b$	0.65	-	-	-
	$(\sigma_t + \sigma_b) / f_t$	-	0.75	-	-
判定		可	可	可	可

第 4.7 表 原子炉建家屋根トラス断面算定結果(降下火砕物堆積時)

部位		6 通り			
		上弦材	下弦材	斜材	束材
要素番号		8	19	25	44
部材		H-350×350 ×12×19	H-350×350 ×12×19	H-250×250 ×9×14	2Ls-90×90 ×10
種類		SM400 (SM41)	SM400 (SM41)	SM400 (SM41)	SS400 (SS41)
A (cm <sup>2</sup> )		690.9	-	92.2	34.0
A <sub>N</sub> (cm <sup>2</sup> )		-	127.6	-	-
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )		37.4	26.1	-	-
Z (cm <sup>3</sup> )		2300	1740	-	-
荷重組合せ		常時+火山	常時+火山	常時+火山	常時+火山
設計応力 短期	N (×10 <sup>3</sup> N)	3373	-2240	1984	330
	M (×10 <sup>6</sup> N・mm)	304	62	-	-
	Q (×10 <sup>3</sup> N)	138	7.0	-	-
設計 応力度 短期	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	48.8	-	215.2	97.1
	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	175.5	-	-
	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	132.2	35.6	-	-
	$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	36.9	2.7	-	-
許容 応力度	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	245.6	210.6	239.3	203.2
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	258.5	258.5	-	-
	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	258.5	258.5	-	-
	$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	135.0	135.0	-	-
照査値	$\sigma_c/f_c$	0.20	-	0.90	0.48
	$\sigma_t/f_t$	-	0.68	-	-
	$\sigma_b/f_b$	0.51	0.14	-	-
	$\tau/f_s$	0.27	0.02	-	-
	$\sigma_c/f_c + \sigma_b/f_b$	0.71	-	-	-
	$(\sigma_t + \sigma_b) / f_t$	-	0.82	-	-
判定		可	可	可	可

#### 4.1.2.2 屋根スラブ

##### (1) 評価方法

屋根スラブの降下火砕物堆積に対する評価は「RC 規準」に基づき、以下に示す荷重の組合せにより生じる応力に対して断面算定を行い、短期許容応力度を超えないことを確認する。評価において考慮する降下火砕物堆積時の評価用床荷重を第 4.8 表に示す。

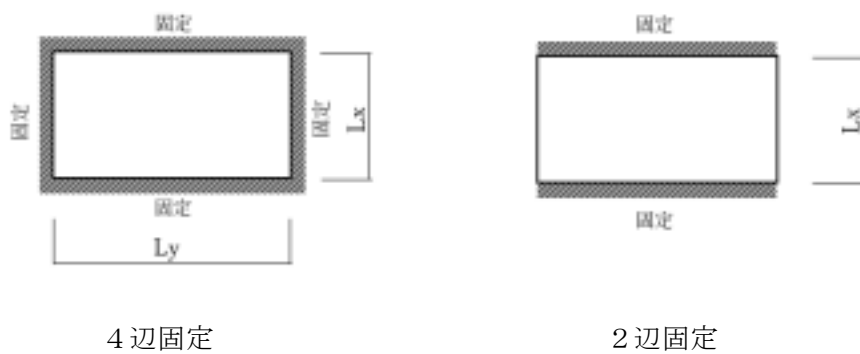
第 4.8 表 原子炉建家屋根スラブ降下火砕物堆積時の評価用床荷重

荷重の種類		荷重 (N/m <sup>2</sup> )
常時作用する荷重 (DVL)	固定荷重 (DL)	8041
	積載荷重 (LL)	1000
降下火砕物の荷重 (VA)		7355
積雪荷重 (S)		210
計		16606 →* 16700

※ 保守側に端数処理をして評価する。

##### ① 応力算定

屋根スラブは 4 辺固定スラブとして評価する。ただし、せん断力算定時は保守側として短辺方向を固定とした 1 方向 (2 辺固定) スラブとして算定する。屋根スラブの評価モデルを第 4.10 図に示す。



第 4.10 図 屋根スラブの評価モデル

(a) 曲げモーメントの応力算定方法

短辺方向 端部の曲げモーメント

$$M_{x1} = \frac{1}{12} \cdot w_x \cdot L_x^2$$

短辺方向 中央の曲げモーメント

$$M_{x2} = \frac{1}{18} \cdot w_x \cdot L_x^2$$

長辺方向 端部の曲げモーメント

$$M_{y1} = \frac{1}{24} \cdot w \cdot L_x^2$$

長辺方向 中央の曲げモーメント

$$M_{y2} = \frac{1}{36} \cdot w \cdot L_x^2$$

(b) せん断力の応力算定方法

せん断力（1方向スラブとして算定）（ $Q_x$ ）

$$Q_x = \frac{1}{2} \cdot w \cdot L_x$$

ここで、

$$w_x = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} \cdot w$$

$w$  : 原子炉建家屋根スラブの降下火砕物堆積時の床荷重

② 断面算定

(a) 曲げモーメントに対する断面算定方法

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

ここで、

$M_a$  : 許容曲げモーメント (N・mm)

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)



$f_t$  : 鉄筋の短期許容引張応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$j$  : 応力中心間距離 (mm) (=  $7/8d$ )

$d$  : 有効せい (mm)

(b) せん断に対する断面算定方法

$$Q_a = b \cdot j \cdot f_s$$

ここで、

$Q_a$  : 許容せん断力 (N)

$b$  : 幅 (mm)

$j$  : 応力中心間距離 (mm) (=  $7/8d$ )

$d$  : 有効せい (mm)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

(2) 評価結果

屋根スラブの断面算定結果を第 4.9 表に示す。降下火砕物堆積時における屋根スラブの各応力度が短期許容応力度を超えないことを確認した。

第 4.9 表 原子炉建家屋根スラブ断面算定結果

部位		T.P. 60.7m 屋根スラブ							
方向		短辺		長辺					
位置		端部	中央	端部	中央				
配筋	上端	核物質防護情報が含まれているため公開できません。							
	下端								
スパン (mm)									
厚さ (mm)									
有効せい d(mm)									
応力中心間距離 j(mm)									
荷重 W (N/m <sup>2</sup> )						16700			
発生 応力	M (×10 <sup>6</sup> N・mm)					8.720	5.813	4.886	3.258
	Q (×10 <sup>3</sup> N) ※	21.92		—					
断面 算定	a <sub>t</sub> (mm <sup>2</sup> )	995		995					
	f <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	295							
	M <sub>a</sub> (×10 <sup>6</sup> N・mm)	41.09	41.09	35.96	35.96				
	検定値 M/M <sub>a</sub>	0.21	0.14	0.14	0.09				
	f <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	1.08							
	Q <sub>a</sub> (×10 <sup>3</sup> N)	151.2		—					
	検定値 Q/Q <sub>a</sub>	0.14		—					
判定		可	可	可	可				

※ 保守側として短辺方向を固定とした 1 方向スラブとして評価する。

#### 4.1.2.3 小梁の評価

##### (1) 評価方法

小梁の降下火砕物堆積に対する評価は「S 規準」に基づき、以下に示す荷重の組合せにより生じる応力に対して断面算定を行い、許容限界である弾性限に基づく許容値を超えないことを確認する。

評価において考慮する降下火砕物堆積時の評価用床荷重を第 4.10 表に示す。

第 4.10 表 原子炉建家小梁降下火砕物堆積時の評価用床荷重

荷重の種類		荷重 (N/m <sup>2</sup> )
常時作用する荷重 (DVL)	固定荷重 (DL)	8629 <sup>※1</sup>
	積載荷重 (LL)	1000
降下火砕物の荷重 (VA)		7355
積雪荷重 (S)		210
計		17194 → <sup>※2</sup> 17200

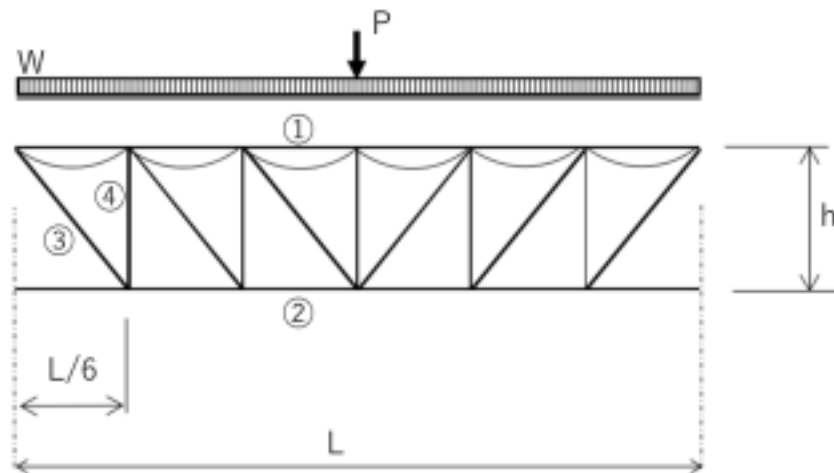
※1 屋根スラブの荷重の他に小梁の荷重(60kg/m<sup>2</sup>×9.80665=588N/m<sup>2</sup>)を含む。

※2 保守側に端数処理をして評価する。

##### ① 応力算定

小梁の構造はトラス構造であり、各部材に生じる応力（断面力）は、以下のとおり算定する。

なお、トラス上弦材は屋根スラブを直接支持しているため、束材間を支持点とする曲げモーメントを考慮する。小梁の評価モデルを第 4.11 図に示す。



第 4.11 図 小梁の評価モデル

M0：単純梁と見なしたときの中央部曲げモーメント

$$M0 = \frac{1}{8} \cdot w \cdot L^2 + \frac{1}{4} \cdot P \cdot L$$

M1：単純梁束材位置の曲げモーメント

$$M1 = \frac{1}{9} \cdot w \cdot L^2 + \frac{1}{4} \cdot \frac{2}{3} \cdot P \cdot L$$

Q：単純梁と見なしたときのせん断力

$$Q = \frac{1}{2} \cdot w \cdot L + \frac{1}{2} \cdot P$$

m0：屋根スラブにより生じる上弦材に発生する曲げモーメント

$$m0 = -\frac{1}{8} \cdot w \cdot (L/6)^2$$

ここで、w：小梁に作用する等分布荷重

P：小梁に作用する集中荷重

- |         |         |   |
|---------|---------|---|
| (a) 上弦材 | 圧縮      | $C1 = M0/h$                               |
|         | 曲げモーメント | m0  |
| (b) 下弦材 | 引張      | $T1 = -M1/h$                              |
| (c) 束材  | 圧縮      | $C2 = Q$                                  |
| (d) 斜材  | 引張      | $T = -C2 \times \sqrt{(L/6)^2 + h^2} / h$ |

## ② 断面算定

断面算定の方法は、4.1.2.1の屋根トラスの評価による。

## (2) 評価結果

小梁の断面算定結果を第4.11表に示す。降下火砕物堆積時における小梁の各応力度が許容限界である弾性限に基づく許容値を超えないことを確認した。

第 4.11 表 原子炉建家小梁の断面算定結果

部位	6-7 通り間 (TB1)				
	上弦材	下弦材	斜材	束材	
要素番号	①	②	③	④	
部材	H-294×200×8×12	2L-75×75 ×9	2L-75×75 ×9	2L-75×75 ×6	
種類	SS400 (SS41)	SS400 (SS41)	SS400 (SS41)	SS400 (SS41)	
断面算定位置					
A (cm <sup>2</sup> )	7240	2150	2150	1740	
Z (cm <sup>3</sup> )	771000	-	-	-	
荷重組合せ	常時+火山	常時+火山	常時+火山	常時+火山	
設計 応力 短期	N (×10 <sup>3</sup> N)	587.9	-457.3	-431.4	315.6
	M (×10 <sup>6</sup> N・mm)	13.89	-	-	-
設計 応力 度 短期	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	81.2	-	-	181.4
	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	212.7	200.7	-
	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	18.02	-	-	-
許容 応力 度	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	258.5	-	-	186.9
	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	258.5	258.5	-
	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	258.5	-	-	-
検定 比	$\sigma_c/f_c + \sigma_b/f_b,$ $(\sigma_t + \sigma_b) / f_t$	0.38	0.82	0.78	0.97
判定	可	可	可	可	

## 4.2 使用済燃料貯蔵建家

本評価においては、使用済燃料貯蔵建家の屋根について、屋根鉄骨梁、屋根スラブの部位ごとに応力解析を行う。

### 4.2.1 屋根鉄骨梁

#### (1) 屋根鉄骨梁の構造概要

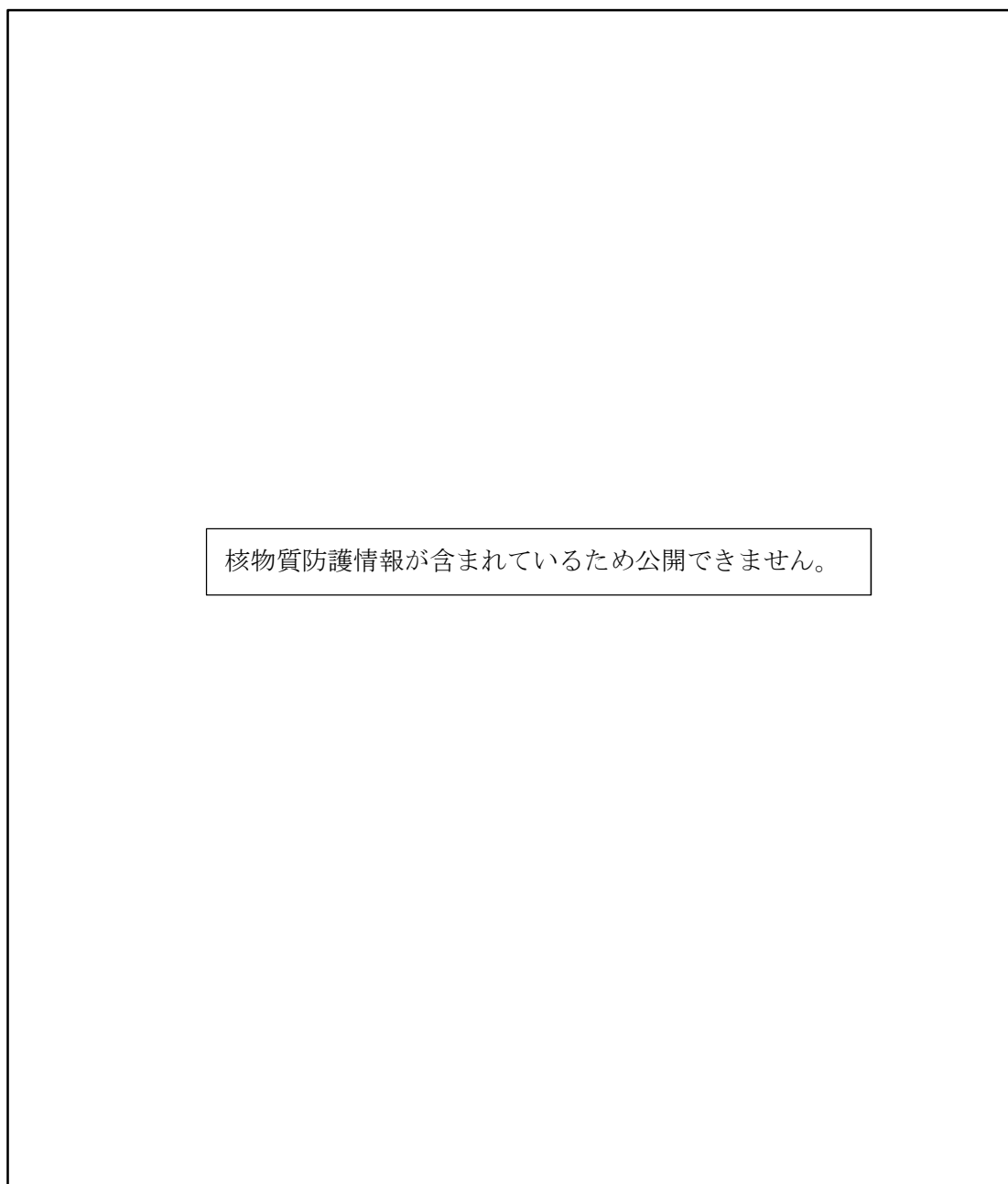
使用済燃料貯蔵建家の屋根は、天井走行クレーンエリア上部屋根を支持する構造部材であり、水下側コンクリートスラブ天端レベル T.P. 53.7m、大梁スパン 15mの鉄骨造である。



第 4.12 図 使用済燃料貯蔵建家断面図

第 4.12 表 使用済燃料貯蔵建家屋根部材リスト

部位	部材リスト
SG1	BH-900×400×16×36



第 4.13 図 使用済燃料貯蔵建家屋根平面図

(2) 評価方法

① 応力解析

応力解析は 3 次元フレームモデルとし、一貫構造計算プログラム「Super Build /SS3(ユニオンシステム株式会社)」を用いて行う。一貫計算プログラム SS3 の入力に用いた降下火砕物堆積時の評価用床荷重を第 4.13 表に示す。また、各通りのうち支配面積が最大となる 3~5 通りの代表として、3 通りの応力解析結果を第 4.14 図に示す。

第 4.13 表 使用済燃料貯蔵建家屋根鉄骨梁降下火砕物堆積時の評価用床荷重

荷重の種類		荷重(N/m <sup>2</sup> )	
常時作用する荷重 (DVL)	固定荷重 (DL)	8650 <sup>※1</sup>	
	積載荷重 (LL)	1000	
降下火砕物の荷重 (VA)		7355	7565 → <sup>※2</sup> 7600
積雪荷重 (S)		210	
計		17250	

※1 一貫計算プログラム SS3 内部で用いられる使用部材の密度、換算係数等から、固定荷重は荷重の設定値 8433 N/m<sup>2</sup>を上回る 8650 N/m<sup>2</sup>で計算される。

※2 保守側に端数処理をして評価する。



核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 4.14 図 使用済燃料貯蔵建家応力解析結果(3 通り、降下火砕物堆積時)

## ② 断面算定

応力解析の結果得られた各部材の曲げモーメント及びせん断力に対し、「S 規準」に準拠して断面算定を行い、許容限界である弾性限に基づく許容値を超えないことを確認する。

### (a) 曲げモーメントに対する断面算定方法

曲げモーメントが生じる部材は、最大曲げ応力度が「S 規準」の評価式に基づく許容曲げ応力度を超えないことを確認する。

$$\frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ここで、

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 (=M/Z) (N/mm<sup>2</sup>)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$f_b$  : 許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

### (b) せん断力に対する断面算定方法

せん断力が生じる部材は、最大せん断応力度が「S 規準」の評価式に基づく許容せん断応力度を超えないことを確認する。

$$\frac{\tau}{f_s} \leq 1.0$$

ここで、

$\tau$  : せん断応力度 (=Q/A<sub>s</sub>) (N/mm<sup>2</sup>)

Q : せん断力 (N)

A<sub>s</sub> : せん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

$f_s$  : 許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(3) 評価結果

屋根鉄骨梁の曲げモーメント及びせん断力に対する断面算定結果を第4.14表に示す。  
降下火砕物堆積時における屋根鉄骨梁の各応力度が許容限界である弾性限に基づく許容値を超えないことを確認した。

第4.14表 使用済燃料貯蔵建家屋根鉄骨梁断面算定結果(3通り)

部位		3通り 屋根鉄骨梁	
位置		端部	中央
鉄骨 断面	部材	BH-900×400×16×36	
	種類	SN490	
荷重組合せ		常時+火山	
発生 応力	M (×10 <sup>6</sup> N・mm)	1908	1173
	Q (×10 <sup>3</sup> N)	786	—
発生 応力度	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	144.0	86.0
	$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	65	—
許容 応力度	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	325	325
	$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	187	—
照査値	$\sigma_b / f_b$	0.45	0.27
	$\tau / f_s$	0.35	—
判定		可	可

#### 4.2.2 屋根スラブ

##### (1) 評価方法

屋根スラブの降下火砕物堆積に対する評価は「RC 規準」に基づき、以下に示す荷重の組合せにより生じる応力に対して断面算定を行い、短期許容応力度を超えないことを確認する。評価において考慮する降下火砕物堆積時の評価用床荷重を第 4.15 表に示す。

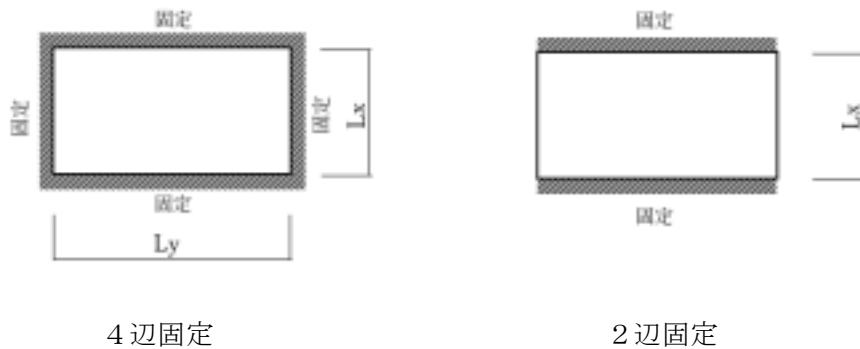
第 4.15 表 使用済燃料貯蔵建家屋根スラブ降下火砕物堆積時の評価用床荷重

荷重の種類		荷重 (N/m <sup>2</sup> )
常時作用する荷重 (DVL)	固定荷重 (DL)	8433
	積載荷重 (LL)	1000
降下火砕物の荷重 (VA)		7355
積雪荷重 (S)		210
計		16998 →※ 17000

※ 保守側に端数処理をして評価する。

##### ① 応力算定

屋根スラブは、保守側として短辺方向を固定とした 1 方向（2 辺固定）スラブとして算定する。屋根スラブの評価モデルを第 4.15 図に示す。



第 4.15 図 屋根スラブの評価モデル

(a) 曲げモーメントの応力算定方法

短辺方向 端部の曲げモーメント

$$M_{x1} = \frac{1}{12} \cdot w_x \cdot L_x^2$$

短辺方向 中央の曲げモーメント

$$M_{x2} = \frac{1}{18} \cdot w_x \cdot L_x^2$$

長辺方向 端部の曲げモーメント

$$M_{y1} = \frac{1}{24} \cdot w \cdot L_x^2$$

長辺方向 中央の曲げモーメント

$$M_{y2} = \frac{1}{36} \cdot w \cdot L_x^2$$

(b) せん断力の応力算定方法

せん断力 ( $Q_x$ )

$$Q_x = \frac{1}{2} \cdot w \cdot L_x$$

ここで、

$$w_x = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} \cdot w$$

$w$  : 使用済燃料貯蔵建家屋根スラブの降下火砕物堆積時の床荷重

② 断面算定

(a) 曲げモーメントに対する断面算定方法

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

ここで、

$M_a$  : 許容曲げモーメント ( $N \cdot mm$ )

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 ( $mm^2$ )

$f_t$  : 鉄筋の短期許容引張応力度 ( $N/mm^2$ )

$j$  : 応力中心間距離 ( $mm$ ) (=  $7/8d$ )

$d$  : 有効せい ( $mm$ )

(b) せん断に対する断面算定方法

$$Q_a = b \cdot j \cdot f_s$$

ここで、

$Q_a$  : 許容せん断力 (N)

$b$  : 幅 (mm)

$j$  : 応力中心間距離 (mm) (=  $7/8d$ )

$d$  : 有効せい (mm)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

(2) 評価結果

屋根スラブの断面算定結果を第 4.16 表に示す。降下火砕物堆積時における屋根スラブの各応力度が短期許容応力度を超えないことを確認した。

第 4.16 表 使用済燃料貯蔵建家屋根スラブ断面算定結果

部位		T.P. 53.7m 屋根スラブ							
方向		短辺		長辺					
位置		端部	中央	端部	中央				
配筋	上端	核物質防護情報が含まれているため公開できません。							
	下端								
スパン (mm)									
厚さ (mm)									
有効せい d(mm)									
応力中心距離 j(mm)									
荷重 W (N/m <sup>2</sup> )						17000			
発生 応力	M (×10 <sup>6</sup> N・mm) ※					4.09	2.73	—	—
	Q (×10 <sup>3</sup> N) ※	14.5		—					
断面 算定	a <sub>t</sub> (mm <sup>2</sup> )	635		635					
	f <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	295							
	M <sub>a</sub> (×10 <sup>6</sup> N・mm)	26.2	26.2	—	—				
	検定値 M/M <sub>a</sub>	0.16	0.10	—	—				
	f <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	1.08							
	Q <sub>a</sub> (×10 <sup>3</sup> N)	151.2		—					
	検定値 Q/Q <sub>a</sub>	0.10		—					
判定		可	可	可	可				

※ 保守側として短辺方向を固定とした 1 方向スラブとして評価する。

## 5. 耐震壁の評価

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家について、各建家の質点系解析モデルを用いて風荷重により耐震壁に発生するせん断ひずみを評価し、許容限界を超えないことを確認する。

### 5.1 原子炉建家

#### (1) 風荷重の算出

風荷重は、建築基準法施行令第87条に基づき算出する。

なお、高さH(建築物の高さと軒の高さとの平均)が5m以上であるため、Hが $Z_b$ を超える場合の式を用いる。第5.1表に風荷重の計算条件、第5.2表に解析モデルでの各高さにおける風荷重を示す。

$$W = q \cdot C_f$$

W : 風荷重 (N/m<sup>2</sup>)

q : 速度圧 (N/m<sup>2</sup>)

$C_f$  : 風力係数

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E \cdot V_0^2$$

$E = E_r^2 \cdot G_f$  (速度圧の高さ方向の分布を示す係数)

$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha$  (Hが $Z_b$ を超える場合)

$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^\alpha$  (Hが $Z_G$ 以下の場合)

第5.1表 原子炉建家風荷重の計算条件

基準風速 $V_0$ (m/s)	高さ H (m)	$Z_b$ (m)	$Z_G$ (m)	$\alpha$	ガスト 影響係数 $G_f$	速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )
34	24.7	5	350	0.15	2.102	1901

第5.2表 原子炉建家各高さにおける風荷重

高さ	速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )	風力係数 $C_f$	風荷重 W=q・ $C_f$ (N/m <sup>2</sup> )
G. L. +24.2m	1901	1.2	2281
G. L. +14.2m	1901	1.1	2091
G. L. +8.2m	1901	1.0	1901



## (2) 評価方法

建家の形状を考慮した風荷重及び風の受圧面積から、建家質点系解析モデルの各質点高さでの風荷重による層せん断力を算出する。建家屋根に降下火砕物等の鉛直荷重を作用させると復元力特性における第1折れ点が増加することが明らかであることから、風荷重による層せん断力と地震荷重による層せん断力を比較し、風荷重による層せん断力が下回る場合は、地震時の評価結果に包絡され、地震に対する評価において許容限界を超えないことから、風荷重に対する評価が許容限界を超えないことが確認できる。

なお、包絡関係が確認できない場合に、風荷重の層せん断力により耐震壁に発生するせん断ひずみの評価を行う。また、隣接する建家の風の遮断効果は、安全側の評価となるよう考慮しない。第5.3表に風荷重及び受圧面積、第5.1図に建家の質点系解析モデルを示す。

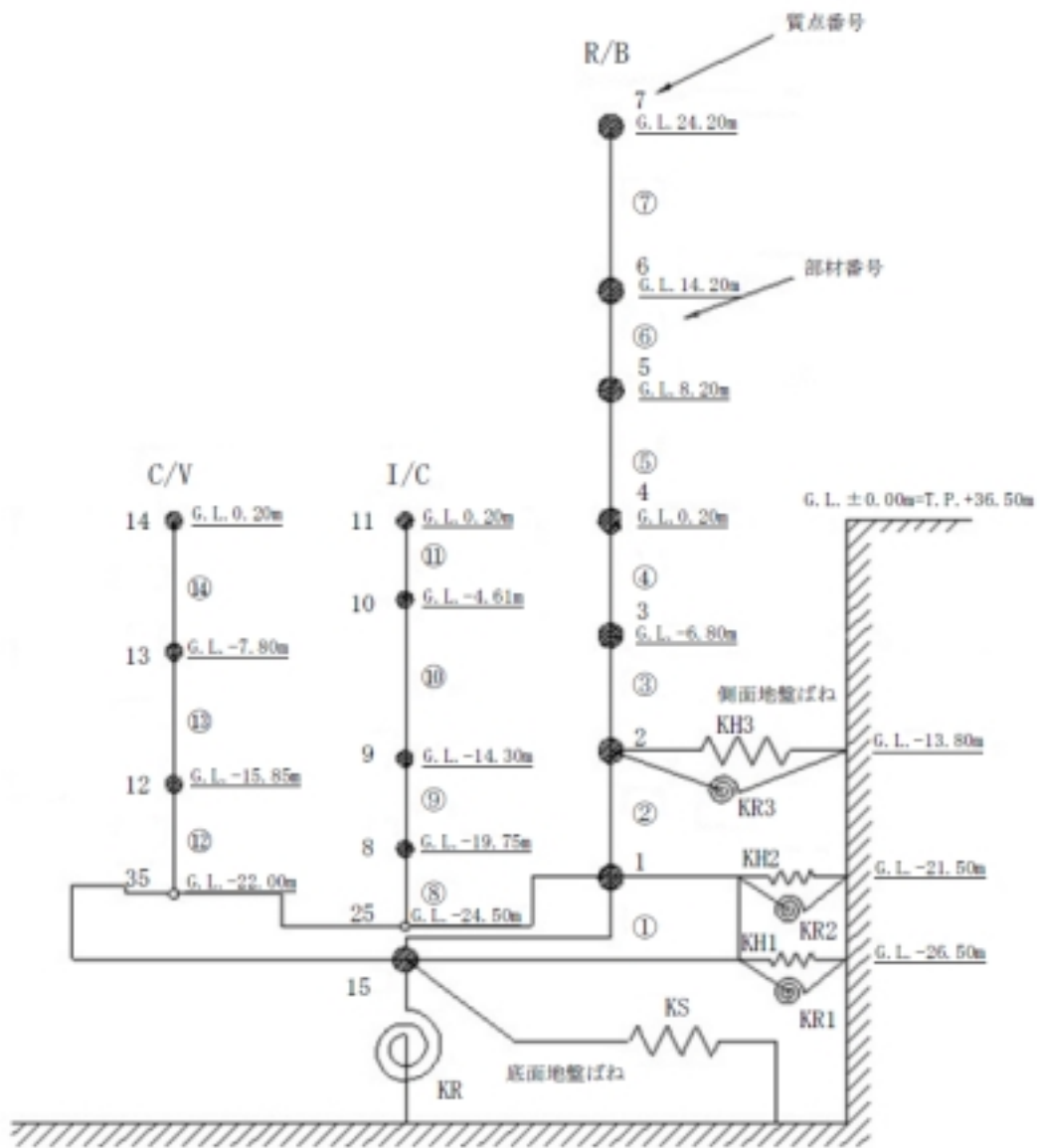
第5.3表 原子炉建家風荷重及び受圧面積

### NS 方向

高さ	風荷重 W (N/m <sup>2</sup> )	受圧面積 (m <sup>2</sup> )	水平力 (kN)	層せん断力 (kN)
G. L. +24. 2m	2281	283. 5	646. 7	646. 7
G. L. +14. 2m	2091	394. 7	825. 3	1472
G. L. +8. 2m	1901	350. 0	665. 4	2137

### EW 方向

高さ	風荷重 W (N/m <sup>2</sup> )	受圧面積 (m <sup>2</sup> )	水平力 (kN)	層せん断力 (kN)
G. L. +24. 2m	2281	165. 1	376. 6	376. 6
G. L. +14. 2m	2091	413. 5	864. 6	1241
G. L. +8. 2m	1901	364. 0	692. 0	1933



第 5.1 図 原子炉建家の質点系解析モデル

(3) 評価結果

風荷重による層せん断力と地震荷重による層せん断力を比較し、風荷重による層せん断力が地震荷重による層せん断力を十分に下回り、耐震壁に発生するせん断ひずみは、地震時の評価結果に包絡され許容限界を超えないことを確認した。第 5.4 表に風荷重と地震荷重による層せん断力の比較を示す。

第 5.4 表 原子炉建家風荷重と地震荷重による層せん断力の比較

NS 方向

高さ	風による 層せん断力① (kN)	設計用地震力による 層せん断力② (kN)	①/②
G. L. +24. 2m	646. 7	14906	0. 043
G. L. +14. 2m	1472	37756	0. 039
G. L. +8. 2m	2137	79728	0. 027

EW 方向

高さ	風による 層せん断力① (kN)	設計用地震力による 層せん断力② (kN)	①/②
G. L. +24. 2m	376. 6	14220	0. 026
G. L. +14. 2m	1241	37167	0. 033
G. L. +8. 2m	1933	79728	0. 024

## 5.2 使用済燃料貯蔵建家

### (1) 風荷重の算出

風荷重は、建築基準法施行令第 87 条に基づき算出する。

なお、高さ H(建築物の高さと軒の高さとの平均)が 5m 以上であるため、H が  $Z_b$  を超える場合の式を用いる。第 5.5 表に風荷重の計算条件、第 5.6 表に解析モデルでの各高さにおける風荷重を示す。

$$W = q \cdot C_f$$

W : 風荷重 (N/m<sup>2</sup>)

q : 速度圧 (N/m<sup>2</sup>)

$C_f$  : 風力係数

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E \cdot V_0^2$$

$E = E_r^2 \cdot G_f$  (速度圧の高さ方向の分布を示す係数)

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_G \text{ 以下の場合})$$

第 5.5 表 使用済燃料貯蔵建家風荷重の計算条件

基準風速 $V_0$ (m/s)	高さ H (m)	$Z_b$ (m)	$Z_G$ (m)	$\alpha$	ガスト 影響係数 $G_f$	速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )
34	17.7	5	350	0.15	2.149	1761

第 5.6 表 使用済燃料貯蔵建家各高さにおける風荷重

高さ	速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )	風力係数 $C_f$	風荷重 W=q · $C_f$ (N/m <sup>2</sup> )
G. L. +17.2m	1761	1.2	2113
G. L. +11.325m	1761	1.1	1937
G. L. +8.2m	1761	1.1	1937
G. L. +4.2m	1761	1.0	1761

## (2) 評価方法

建家の形状を考慮した風荷重及び風の受圧面積から、建家質点系解析モデルの各質点高さでの風荷重による層せん断力を算出する。建家屋根に降下火砕物等の鉛直荷重を作用させると復元力特性における第1折れ点が増加することが明らかであることから、風荷重による層せん断力と地震荷重による層せん断力を比較し、風荷重による層せん断力が下回る場合は、地震時の評価結果に包絡され、地震に対する評価において許容限界を超えないことから、風荷重に対する評価が許容限界を超えないことが確認できる。

なお、包絡関係が確認できない場合に、風荷重の層せん断力により耐震壁に発生するせん断ひずみの評価を行う。また、隣接する建家の風の遮断効果は、安全側の評価となるよう考慮しない。第5.7表に風荷重及び受圧面積、第5.2図に建家の質点系解析モデルを示す。

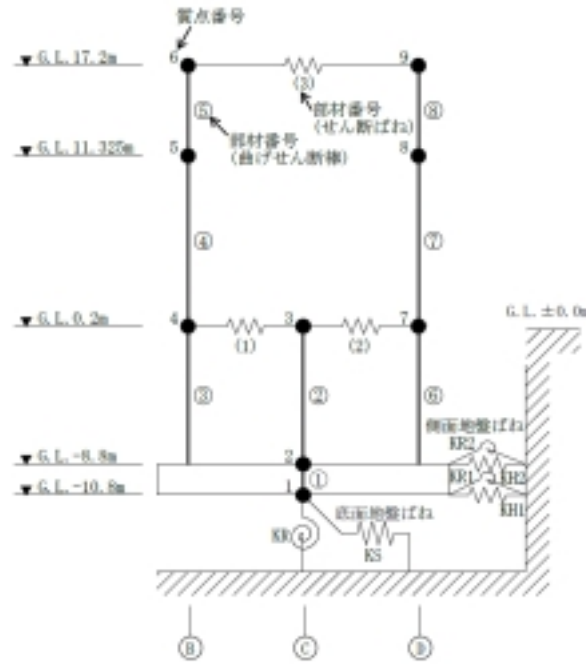
第5.7表 使用済燃料貯蔵建家風荷重及び受圧面積

### NS 方向

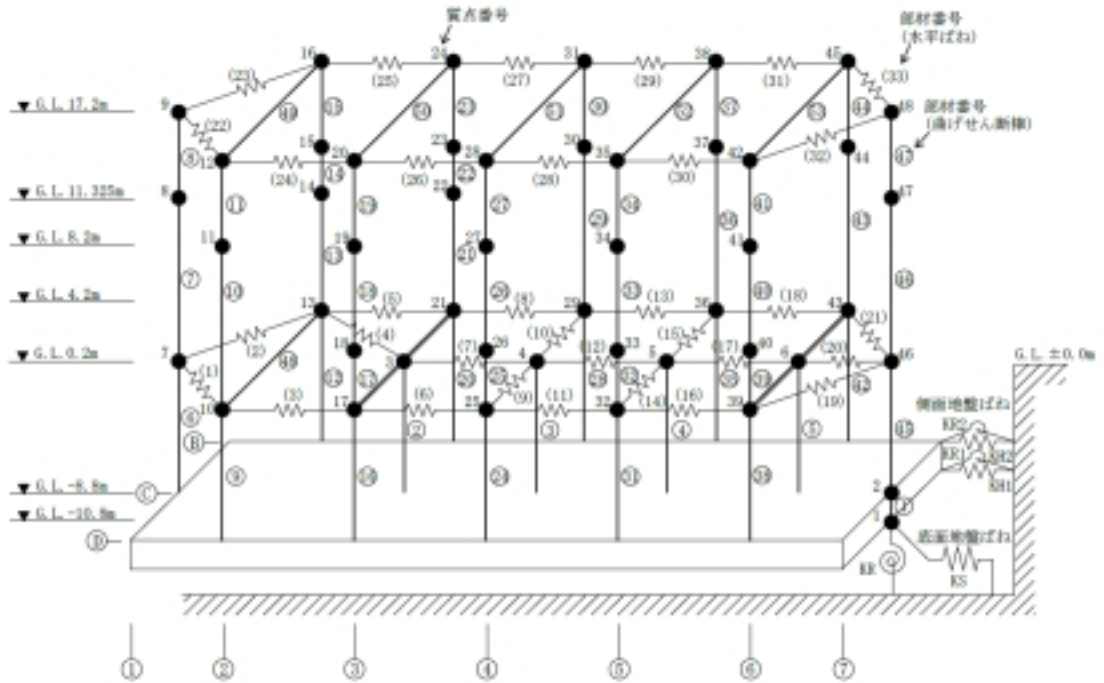
高さ	風荷重 W (N/m <sup>2</sup> )	受圧面積 (m <sup>2</sup> )	水平力 (kN)	層せん断力 (kN)
G. L. +17.2m	2113	81.00	171.2	171.2
G. L. +11.325m	1937	73.90	143.1	314.3
G. L. +8.2m	1937	78.50	152.1	466.4
G. L. +4.2m	1761	109.6	193.0	659.4

### EW 方向

高さ	風荷重 W (N/m <sup>2</sup> )	受圧面積 (m <sup>2</sup> )	水平力 (kN)	層せん断力 (kN)
G. L. +17.2m	2113	160.0	338.1	338.1
G. L. +11.325m	1937	145.9	282.6	620.7
G. L. +8.2m	1937	115.5	223.7	844.4
G. L. +4.2m	1761	129.6	228.2	1073



NS 方向



EW 方向

第 5.2 図 使用済燃料貯蔵建家の質点系解析モデル

(3) 評価結果

風荷重による層せん断力と地震荷重による層せん断力を比較し、風荷重による層せん断力が地震荷重による層せん断力を十分に下回り、耐震壁に発生するせん断ひずみは、地震時の評価結果に包絡され許容限界を超えないことを確認した。第 5.8 表に風荷重と地震荷重による層せん断力の比較を示す。

第 5.8 表 使用済燃料貯蔵建家風荷重と地震荷重による層せん断力の比較

NS 方向

高さ	風による 層せん断力① (kN)	設計用地震力による 層せん断力② (kN)	①/②
G. L. +17. 2m	171. 2	3138	0. 055
G. L. +11. 325m	314. 3	6669	0. 047
G. L. +8. 2m	466. 4		0. 070
G. L. +4. 2m	659. 4		0. 099

EW 方向

高さ	風による 層せん断力① (kN)	設計用地震力による 層せん断力② (kN)	①/②
G. L. +17. 2m	338. 1	6080	0. 056
G. L. +11. 325m	620. 7	6963	0. 089
G. L. +8. 2m	844. 4	7355	0. 115
G. L. +4. 2m	1073	8041	0. 133

3-2. 原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の構造(火山及び竜巻に対する健全性評価)のうち竜巻に関する説明書



## 目 次

1. 概要	添 3 — 2 — 1
2. 一般事項	添 3 — 2 — 2
2.1 位置	添 3 — 2 — 2
2.2 構造概要	添 3 — 2 — 2
2.3 評価方針	添 3 — 2 — 13
2.4 準拠規格・基準	添 3 — 2 — 13
3. 評価条件	添 3 — 2 — 14
3.1 評価対象施設の抽出	添 3 — 2 — 14
3.2 評価対象施設の評価	添 3 — 2 — 20
3.3 設計荷重の設定	添 3 — 2 — 20
3.4 評価対象施設の評価部位について	添 3 — 2 — 30
3.5 使用材料	添 3 — 2 — 32
3.6 評価方法	添 3 — 2 — 34
4. 竜巻防護施設の外殻となる施設に対する竜巻影響評価結果	添 3 — 2 — 36
4.1 設計荷重に対する構造健全性の評価	添 3 — 2 — 36
4.2 屋根が飛来物とならないことの評価	添 3 — 2 — 43
4.3 設計飛来物の評価	添 3 — 2 — 54
4.4 開口部の評価	添 3 — 2 — 65
5. 波及的影響を及ぼし得る施設に対する評価	添 3 — 2 — 73
5.1 排気筒の評価方法	添 3 — 2 — 73
5.2 排気筒の構造健全性評価	添 3 — 2 — 73
6. 竜巻随件事象に対する評価	添 3 — 2 — 99
添付資料 1 裏面剥離コンクリートの衝突評価について	添 3 — 2 — 100
参考文献	添 3 — 2 — 108

## 表 目 次

第 2.1 表	HTTR 排気筒の概要	添 3 — 2 — 11
第 3.1 表	竜巻防護施設	添 3 — 2 — 14
第 3.2 表	竜巻防護施設の外殻となる施設と内包する竜巻防護施設	添 3 — 2 — 17
第 3.3 表	設計竜巻の特性値 ( $V_b=100\text{m/s}$ )	添 3 — 2 — 21
第 3.4 表	風圧力算定に用いる諸元	添 3 — 2 — 22
第 3.5 表	設計飛来物の諸元 ( $V_b=100\text{m/s}$ )	添 3 — 2 — 25
第 3.6 表	衝撃荷重算定に用いた鋼製材の諸元	添 3 — 2 — 28
第 3.7 表	鋼材の許容応力度 (排気筒)	添 3 — 2 — 32
第 3.8 表	鉄骨及び鉄筋コンクリートの材料定数 (排気筒)	添 3 — 2 — 32
第 3.9 表	コンクリートの許容応力度	添 3 — 2 — 33
第 3.10 表	鉄筋の許容応力度	添 3 — 2 — 33
第 4.1 表	原子炉建家の EW 方向受圧面積	添 3 — 2 — 36
第 4.2 表	原子炉建家の NS 方向受圧面積	添 3 — 2 — 37
第 4.3 表	使用済燃料貯蔵建家の EW 方向受圧面積	添 3 — 2 — 38
第 4.4 表	使用済燃料貯蔵建家の NS 方向受圧面積	添 3 — 2 — 38
第 4.5 表	設計荷重に対する構造健全性の 評価結果 (原子炉建家 EW 方向)	添 3 — 2 — 41
第 4.6 表	設計荷重に対する構造健全性の 評価結果 (原子炉建家 NS 方向)	添 3 — 2 — 41
第 4.7 表	原子炉建家の保有水平耐力	添 3 — 2 — 41
第 4.8 表	設計荷重に対する構造健全性の 評価結果 (使用済燃料貯蔵建家 EW 方向)	添 3 — 2 — 42
第 4.9 表	設計荷重に対する構造健全性の 評価結果 (使用済燃料貯蔵建家 NS 方向)	添 3 — 2 — 42
第 4.10 表	使用済燃料貯蔵建家の保有水平耐力	添 3 — 2 — 42
第 4.11 表	原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家屋根スラブの検討荷重	添 3 — 2 — 47
第 4.12 表	原子炉建家屋根スラブの小梁諸元	添 3 — 2 — 48
第 4.13 表	使用済燃料貯蔵建家屋根スラブの小梁諸元	添 3 — 2 — 48
第 4.14 表	原子炉建家屋根スラブの評価結果	添 3 — 2 — 52
第 4.15 表	原子炉建家屋根スラブの諸元	添 3 — 2 — 52
第 4.16 表	使用済燃料貯蔵建家屋根スラブの評価結果	添 3 — 2 — 53
第 4.17 表	使用済燃料貯蔵建家屋根スラブの諸元	添 3 — 2 — 53
第 4.18 表	外壁及び屋根に対する飛来物評価の諸元	添 3 — 2 — 60
第 4.19 表	原子炉建家のコンクリート必要厚さ	添 3 — 2 — 60

第 4.20 表	使用済燃料貯蔵建家のコンクリート必要厚さ	添 3 — 2 — 60
第 4.21 表	原子炉建家の設計飛来物による貫通、裏面剥離の評価結果	添 3 — 2 — 63
第 4.22 表	使用済燃料貯蔵建家の設計飛来物による 貫通、裏面剥離の評価結果	添 3 — 2 — 64
第 4.23 表	開口部に対する貫通限界厚さ	添 3 — 2 — 66
第 4.24 表	原子炉建家の開口部の 設計飛来物の衝突に対する評価結果	添 3 — 2 — 68
第 4.25 表	使用済燃料貯蔵建家の開口部の 設計飛来物の衝突に対する評価結果	添 3 — 2 — 72
第 5.1 表	質点重量	添 3 — 2 — 75
第 5.2 表	筒身部の風荷重	添 3 — 2 — 77
第 5.3 表	鉄塔部の風荷重	添 3 — 2 — 78
第 5.4 表	設計飛来物の衝撃荷重	添 3 — 2 — 79
第 5.5 表	風荷重のみによる評価の断面検定結果(支柱材)	添 3 — 2 — 83
第 5.6 表	風荷重のみによる評価の断面検定結果(斜材)	添 3 — 2 — 84
第 5.7 表	風荷重のみによる評価の断面検定結果(水平材)	添 3 — 2 — 85
第 5.8 表	風荷重のみによる評価の断面検定結果(筒身)	添 3 — 2 — 85
第 5.9 表	風荷重に加えて飛来物が斜材に衝突した際の 断面検定結果(支柱材)	添 3 — 2 — 89
第 5.10 表	風荷重に加えて飛来物が斜材に衝突した際の 断面検定結果(斜材)	添 3 — 2 — 90
第 5.11 表	風荷重に加えて飛来物が斜材に衝突した際の 断面検定結果(水平材)	添 3 — 2 — 91
第 5.12 表	風荷重に加えて飛来物が斜材に衝突した際の 断面検定結果(筒身)	添 3 — 2 — 91
第 5.13 表	風荷重に加えて飛来物が筒身に衝突した際の 断面検定結果(支柱材)	添 3 — 2 — 95
第 5.14 表	風荷重に加えて飛来物が筒身に衝突した際の 断面検定結果(斜材)	添 3 — 2 — 96
第 5.15 表	風荷重に加えて飛来物が筒身に衝突した際の 断面検定結果(水平材)	添 3 — 2 — 97
第 5.16 表	風荷重に加えて飛来物が筒身に衝突した際の 断面検定結果(筒身)	添 3 — 2 — 97
添付第 2.1 表	鋼製材により壁面から生じる裏面剥離 コンクリートの形状算定	添 3 — 2 — 101
添付第 2.2 表	鋼製材により屋根スラブから生じる裏面剥離	

	コンクリートの形状算定	添 3 — 2 — 102
添付第 3.1 表	壁面及び屋根スラブから生じる 裏面剥離コンクリートの諸元	添 3 — 2 — 105
添付第 3.2 表	壁面から生じた裏面剥離コンクリートによる 貫通評価結果	添 3 — 2 — 107
添付第 3.3 表	屋根スラブから生じた裏面剥離コンクリートによる 貫通評価結果	添 3 — 2 — 107

## 目 次

第 2.1 図	原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家及び排気筒の位置	添 3 — 2 — 2
第 2.2 図	原子炉建家の断面図	添 3 — 2 — 3
第 2.3 図(1)	原子炉建家の平面図	添 3 — 2 — 4
第 2.3 図(2)	原子炉建家の平面図	添 3 — 2 — 5
第 2.4 図	使用済燃料貯蔵建家の断面図	添 3 — 2 — 7
第 2.5 図(1)	使用済燃料貯蔵建家の平面図	添 3 — 2 — 8
第 2.5 図(2)	使用済燃料貯蔵建家の平面図	添 3 — 2 — 9
第 2.5 図(3)	使用済燃料貯蔵建家の平面図	添 3 — 2 — 10
第 2.6 図	排気筒の立面図	添 3 — 2 — 12
第 2.7 図	竜巻影響評価の基本フロー	添 3 — 2 — 13
第 3.1 図	評価対象施設の抽出フロー	添 3 — 2 — 15
第 3.2 図	竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フロー	添 3 — 2 — 16
第 3.3 図	波及的影響を及ぼし得る施設の抽出フロー	添 3 — 2 — 19
第 3.4 図	竜巻防護施設の外殻となる施設の評価フロー	添 3 — 2 — 20
第 3.5 図	閉鎖型建築物における壁面と陸屋根面の風力係数	添 3 — 2 — 23
第 3.6 図	竜巻襲来時に飛来物となりうる物品への対策状況	添 3 — 2 — 26
第 3.7 図	衝撃荷重算出時の鋼製材衝突方向	添 3 — 2 — 28
第 4.1 図	原子炉建家の受圧面図	添 3 — 2 — 39
第 4.2 図	使用済燃料貯蔵建家の受圧面図	添 3 — 2 — 40
第 4.3 図	原子炉建家平面図 (T.P. 60.7m)	添 3 — 2 — 45
第 4.4 図	使用済燃料貯蔵建家平面図 (T.P. 53.7m)	添 3 — 2 — 46
第 4.5 図(1)	原子炉建家の評価対象区画	添 3 — 2 — 55
第 4.5 図(2)	原子炉建家の評価対象区画	添 3 — 2 — 56
第 4.6 図	使用済燃料貯蔵建家の評価対象区画	添 3 — 2 — 57
第 4.7 図	貫通・裏面剥離限界厚さ算出時の鋼製材衝突方向	添 3 — 2 — 57
第 4.8 図	屋根スラブの構造(最上部)	添 3 — 2 — 64

第 4.9 図	貫通限界厚さ算出時の鋼製材衝突方向	添 3 — 2 — 66
第 4.10 図	原子炉建家の開口部位置 (T. P. 36. 7m~T. P. 44. 7m)	添 3 — 2 — 69
第 4.11 図	原子炉建家の開口部位置 (T. P. 44. 7m~T. P. 50. 0m)	添 3 — 2 — 70
第 4.12 図	原子炉建家の開口部位置 (T. P. 50. 0m~T. P. 50. 7m)	添 3 — 2 — 71
第 4.13 図	使用済燃料貯蔵建家の開口部位置 (T. P. 36. 7m)	添 3 — 2 — 72
第 5.1 図	解析モデルの概要	添 3 — 2 — 74
第 5.2 図	境界条件及び風向	添 3 — 2 — 80
第 5.3 図	風荷重によって最も検定比が高くなる部材	添 3 — 2 — 86
第 5.4 図	斜材又は水平材のうち飛来物を載荷する部材	添 3 — 2 — 87
第 5.5 図	風荷重に加えて飛来物が斜材に衝突した際に 最も検定比が高くなる部材	添 3 — 2 — 92
第 5.6 図	主柱材又は筒身のうち飛来物を載荷する部材	添 3 — 2 — 93
第 5.7 図	風荷重に加えて飛来物が筒身に衝突した際に 最も検定比が高くなる部材	添 3 — 2 — 98
添付第 2.1 図	壁面から生じる裏面剥離コンクリートの形状	添 3 — 2 — 103
添付第 2.2 図	屋根スラブから生じる裏面剥離コンクリートの形状	添 3 — 2 — 104

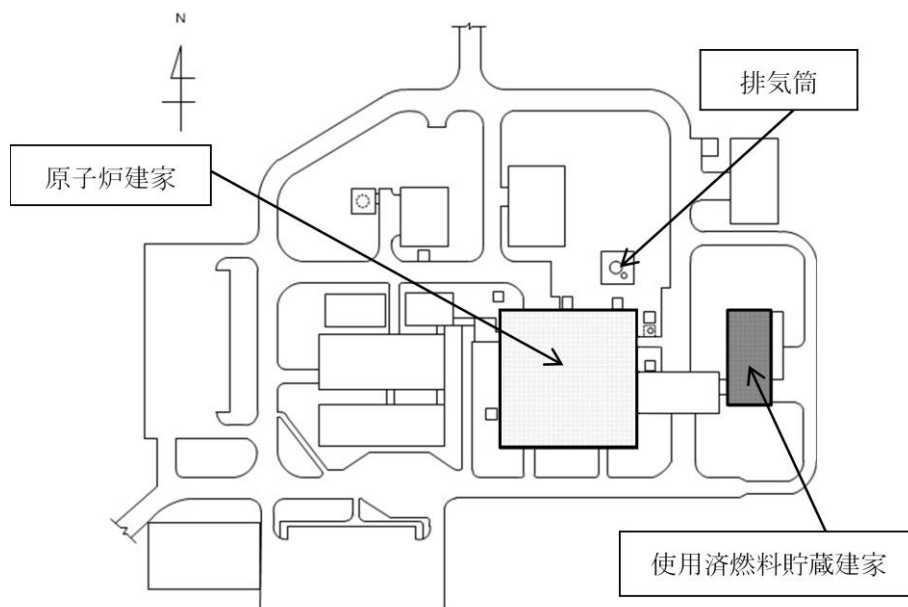
## 1. 概要

本資料は、「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」第八条(外部からの衝撃による損傷の防止)のうち竜巻事象について、竜巻防護施設を内包する原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家を外殻として防護することにより安全機能を損なわない設計であることを評価するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 位置

原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家及び排気筒の位置を第 2.1 図に示す。



第 2.1 図 原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家及び排気筒の位置

### 2.2 構造概要

#### 2.2.1 原子炉建家

原子炉建家は、平面形状が 52.0m(NS)×50.0m(EW)のほぼ正方形を成しており、地上 2 階、地下 3 階で上部に鉄骨造屋根を持つ鉄筋コンクリート造(一部、鉄骨鉄筋コンクリート造)の建物である。また、耐震壁として平面的に閉じた形をした開口部の少ない外壁と内壁をバランス良く配置し、建家全体として剛性の高い設計となっている。建家の断面図を第 2.2 図、建家の平面図(地上部分)を第 2.3 図に示す。

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 2.2 図 原子炉建家の断面図



核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 2.3 図(1) 原子炉建家の平面図

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 2.3 図(2) 原子炉建家の平面図

### 2.2.2 使用済燃料貯蔵建家

使用済燃料貯蔵建家は、平面形状 32.4m(NS)×16.4m(EW)、地上1階、地下1階で矩形の鉄筋コンクリート造(一部、鉄骨鉄筋コンクリート造、屋根部:鉄骨造)である。また、耐震壁として平面的に閉じた形をした外壁とセル躯体をバランス良く配置し、建家全体として剛性の高い設計となっている。建家の断面図を第2.4図、建家の平面図(地上部分)を第2.5図に示す。

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

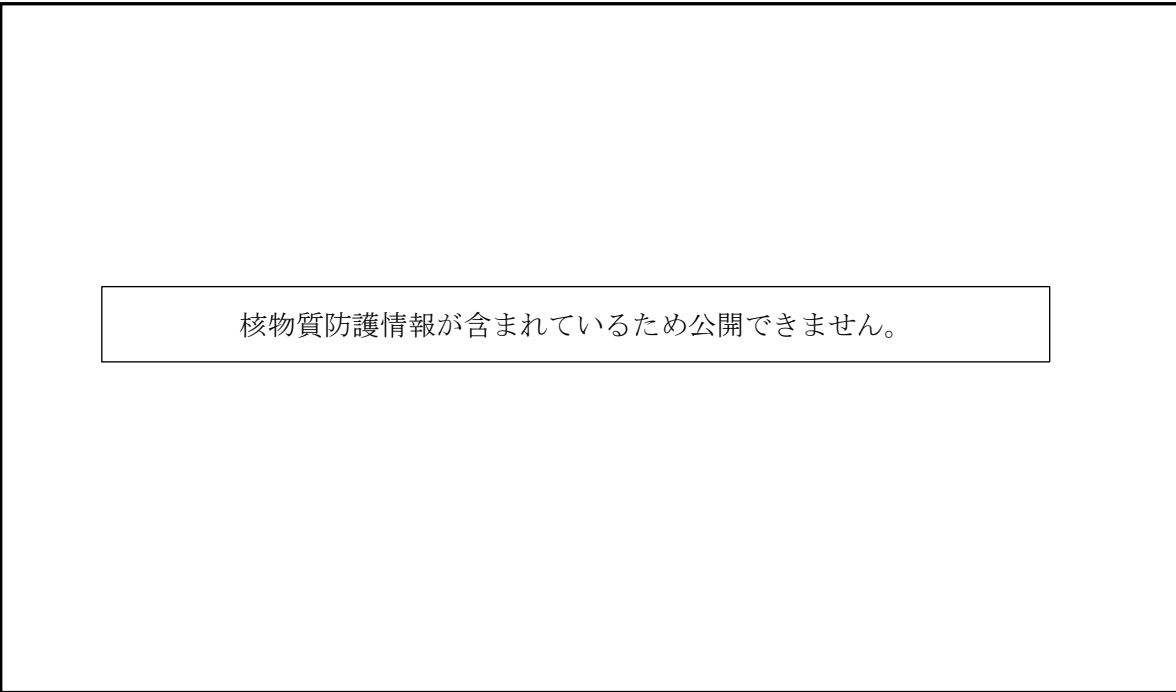
第 2.4 図 使用済燃料貯蔵建家の断面図

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 2.5 図(1) 使用済燃料貯蔵建家の平面図

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 2.5 図(2) 使用済燃料貯蔵建家の平面図



核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 2.5 図(3) 使用済燃料貯蔵建家の平面図

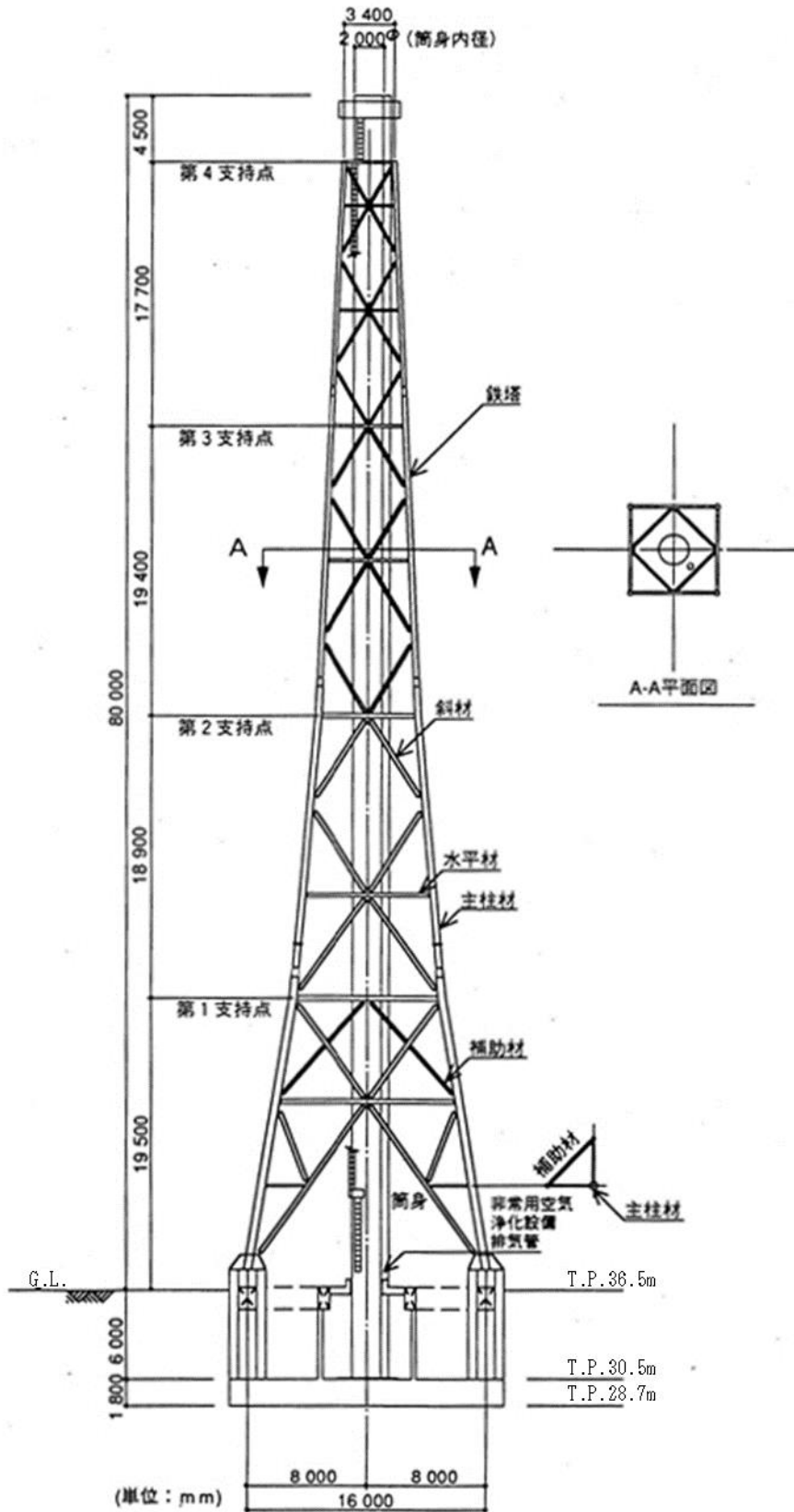
### 2.2.3 排気筒

排気筒は、筒身と鉄塔からなる鉄塔支持型排気筒である。筒身は非常用空気浄化設備排気管を支持している。第 2.1 表に排気筒の概要、第 2.6 図に排気筒の立面図を示す。

第 2.1 表 H T T R 排気筒の概要

設備名	H T T R 排気筒
構造	四角鉄塔支持形鋼管構造
排気筒高さ	G. L. 80.0m (T. P. 116.5m)
排気筒内径	2.0m φ
鉄塔高さ	G. L. 75.5m (T. P. 112.0m)
鉄塔幅	頂部 3.4m 根開き 16.0m
支持点位置	T. P. 56.0m 74.9m 94.3m 112.0m
基礎	鉄筋コンクリート造 べた基礎

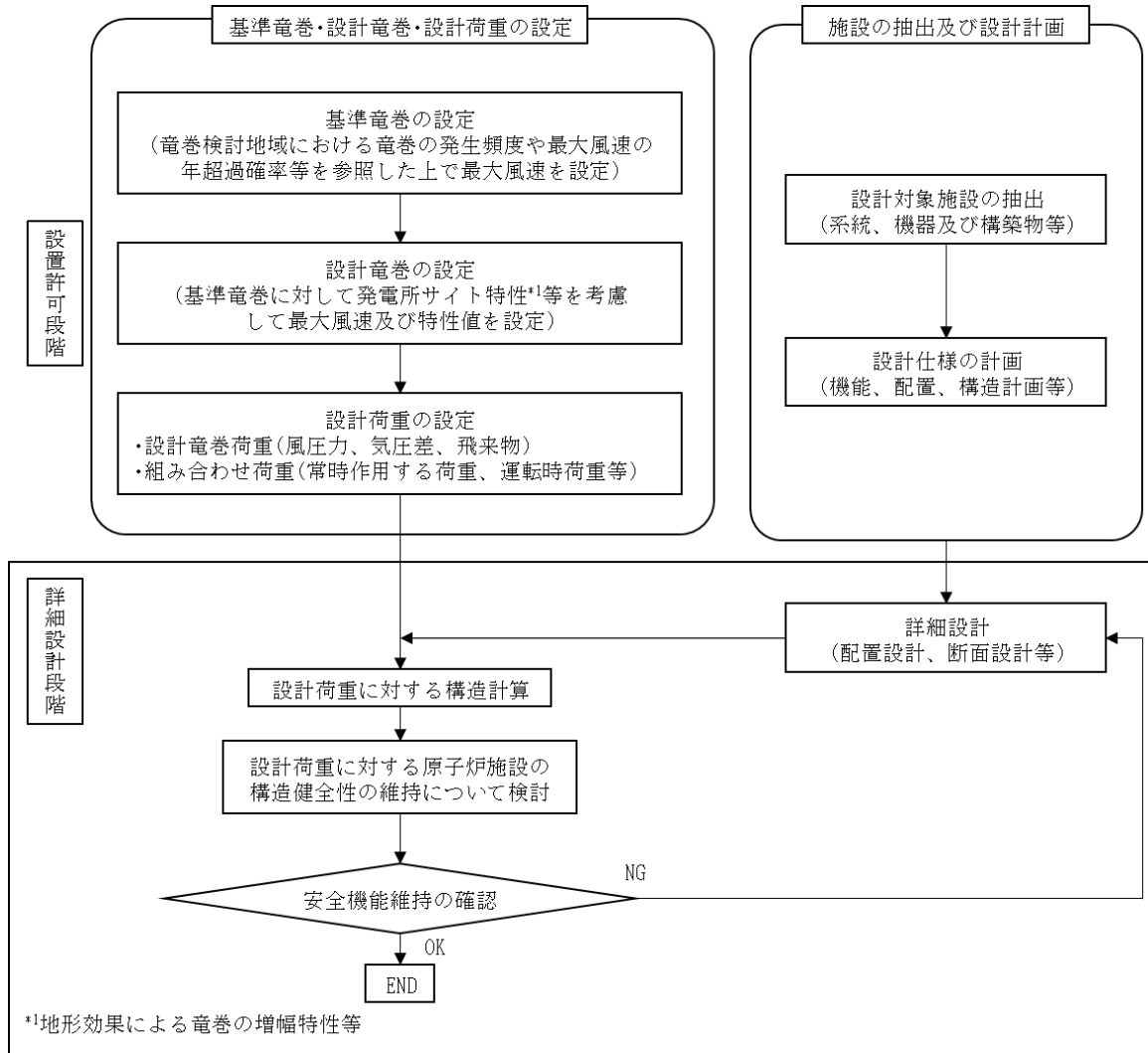




第 2.6 図 排気筒の立面図

### 2.3 評価方針

原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家及び排気筒を竜巻及びその随伴事象に対する構造強度の評価対象として抽出し、これら施設について、「原子力発電所の竜巻影響ガイド」<sup>(1)</sup>（以下「竜巻ガイド」という。）を参考にして、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を設定し、想定すべき設計荷重に対して構造健全性評価を行い、安全機能が維持されていることを確認する。第 2.7 図に竜巻影響評価の基本フローを示す。



第 2.7 図 竜巻影響評価の基本フロー

### 2.4 準拠規格・基準

準拠する基準、規格等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令<sup>(2)</sup>
- ・ 日本建築学会建築物荷重指針・同解説<sup>(3)</sup>
- ・ 建設省告示第 1454 号（平成 12 年 5 月 31 日）<sup>(4)</sup>
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説<sup>(5)</sup>

### 3. 評価条件

#### 3.1 評価対象施設の抽出

##### 3.1.1 竜巻防護施設の抽出

竜巻に対して防護する安全機能は、高温工学試験研究炉の固有の安全性を考慮した、原子炉の緊急停止機能及び放射性物質の閉じ込め機能（以下「原子炉冷却材圧力バウンダリ」という。）及びそれらに必要な監視機能並びに使用済燃料の貯蔵機能とし、「安全機能の重要度分類」に示すクラス 1 及びクラス 2 に属する構築物、系統及び機器のうち、防護する安全機能を有する施設を竜巻から防護する施設（以下「竜巻防護施設」という。）として抽出した。第 3.1 表に竜巻防護施設を示す。

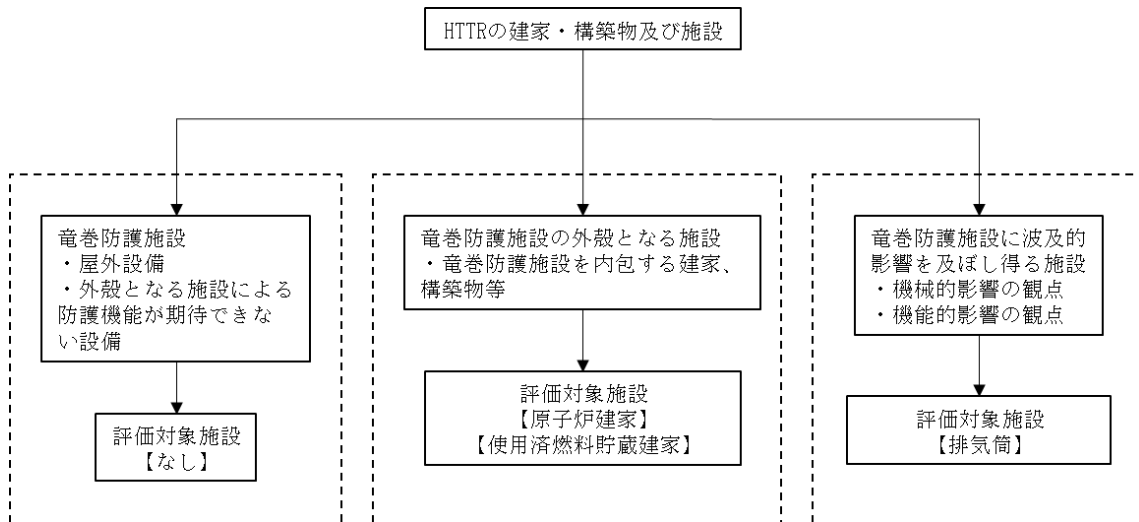
第 3.1 表 竜巻防護施設

竜巻防護施設を内包する建家	安全機能	構築物・系統・機器
原子炉建家	原子炉冷却材圧力バウンダリ	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器配管系
	過剰反応度の印加防止	スタンドパイプ、スタンドパイプクロージャ
	炉心の形成	炉心構成要素、炉心支持鋼構造物、炉心支持黒鉛構造物
	放射性物質の貯蔵	使用済燃料貯蔵設備の貯蔵ラック、貯蔵プール
	1 次冷却材の内蔵	1 次ヘリウム純化設備（原子炉冷却材圧力バウンダリとの接続部から原子炉格納容器外側隔離弁までの範囲）
	実験・照射の関連機能 （核分裂生成物の放散防止）	実験設備の一部
	原子炉の緊急停止、未臨界維持	制御棒系
	原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止	1 次冷却設備の安全弁
	原子炉停止系への起動信号の発生	安全保護系（停止系）
	安全上特に重要な関連機能	中央制御室
	事故時のプラント状態の把握	事故時監視計器の一部
使用済燃料貯蔵建家	放射性物質の貯蔵	直流電源設備、安全保護系用交流無停電電源装置
		使用済燃料貯蔵設備の貯蔵ラック、貯蔵セル

### 3.1.2 竜巻影響評価を行う対象施設の抽出

竜巻影響評価を行う評価対象施設を①竜巻防護施設、②竜巻防護施設の外殻となる施設及び③竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の各区分から抽出した。

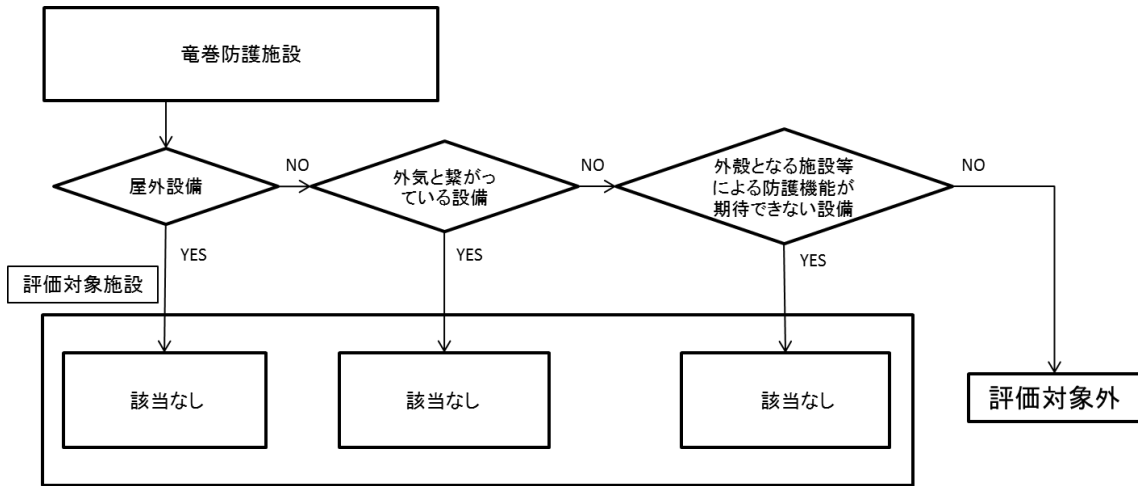
抽出の結果、竜巻防護施設の外殻となる施設として原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として排気筒をそれぞれ抽出した。第3.1図に評価対象施設の抽出フローを示す。



第3.1図 評価対象施設の抽出フロー

(1) 竜巻防護施設に該当する評価対象施設

竜巻防護施設について、屋外設備、外気と繋がっている設備又は外殻となる施設による防護が期待できない設備を抽出した結果、竜巻防護施設で評価対象となる施設はない。第 3.2 図に竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フローを示す。



第 3.2 図 竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フロー

(2) 竜巻防護施設の外殻となる施設に該当する評価対象施設

竜巻防護施設の外殻となる施設として、竜巻防護施設を内包する建家・構築物等を抽出した結果、すべての竜巻防護施設は原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家に内包されていることを確認した。このことから、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家を竜巻防護施設の外殻となる施設として抽出した。第 3.2 表に竜巻防護施設の外殻となる施設と内包する竜巻防護施設を示す。

第 3.2 表 竜巻防護施設の外殻となる施設と内包する竜巻防護施設

竜巻防護施設の外殻となる施設	内包する竜巻防護施設
原子炉建家	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器配管系</li><li>・ スタンドパイプ、スタンドパイプクロージャ</li><li>・ 炉心構成要素、炉心支持鋼構造物、炉心支持黒鉛構造物</li><li>・ 使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プール、貯蔵ラック</li><li>・ 1次ヘリウム純化設備(原子炉冷却材圧力バウンダリとの接続部から原子炉格納容器外側隔離弁までの範囲)</li><li>・ 実験設備の一部</li><li>・ 制御棒系</li><li>・ 1次冷却設備の安全弁</li><li>・ 安全保護機系(停止系)</li><li>・ 中央制御室</li><li>・ 事故時監視計器の一部</li><li>・ 直流電源設備・安全保護系用交流無停電電源装置</li></ul>
使用済燃料貯蔵建家	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 貯蔵セル、貯蔵ラック</li></ul>

(3) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設に該当する評価対象施設

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、機械的影響、機能的影響及び二次飛来物の発生を想定して抽出した。その結果、波及的影響を及ぼし得る施設として排気筒を抽出した。第 3.3 図に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出フローを示す。

① 機械的影響

隣接している建物・構築物が竜巻により倒壊して、竜巻防護施設及びその外殻となる施設を損傷させる可能性がある施設、また、隣接していない建物・構築物が竜巻により倒壊して、竜巻防護施設及びその外殻となる施設を損傷させる可能性がある施設として、排気筒を抽出する。

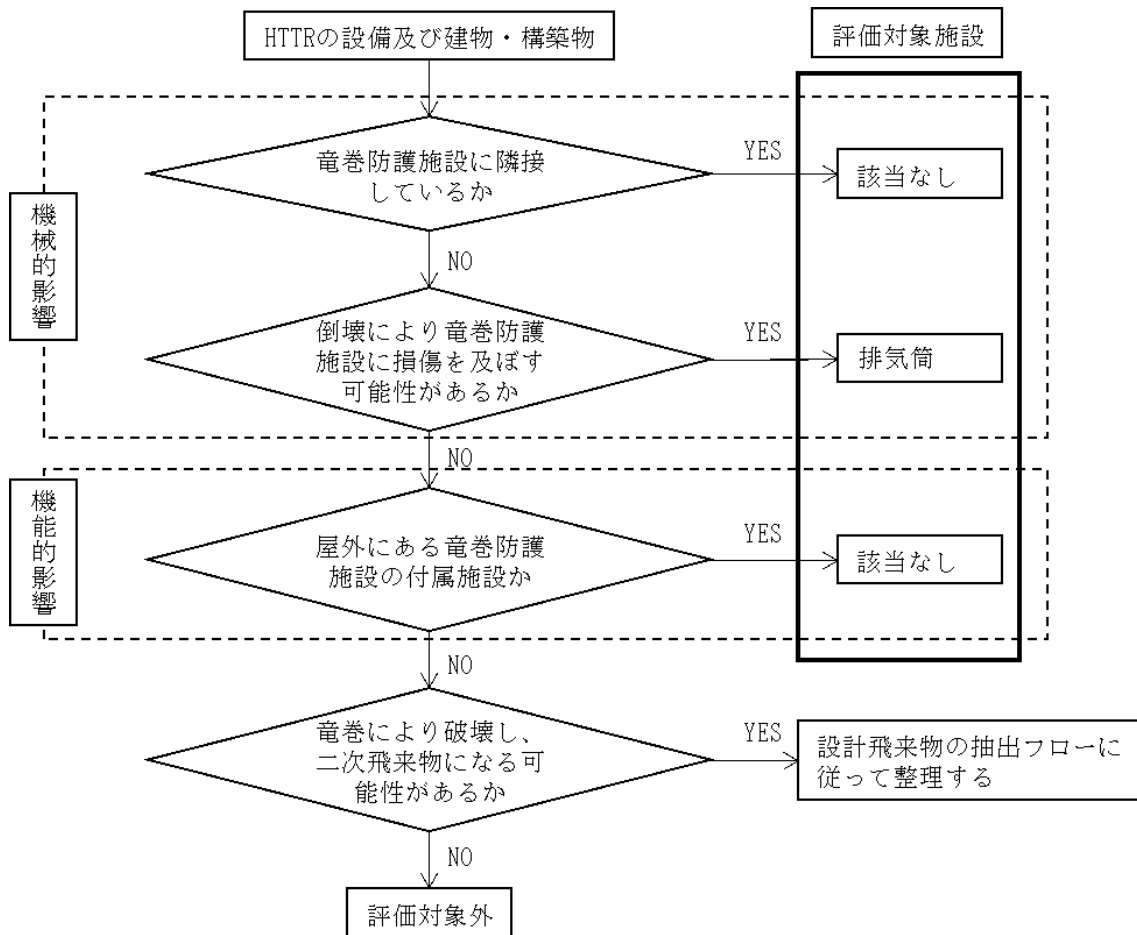
② 機能的影響

竜巻防護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、竜巻防護施設の機能に影響を及ぼす可能性がある施設に該当する施設はない。

なお、設計飛来物よりも小さい飛来物が飛来した場合、換気空調設備や非常用発電機の給気系に悪影響を及ぼし、これらの機能を喪失させることが考えられる。しかしながら、これらの設備は竜巻襲来時には機能を期待しておらず、また、竜巻防護施設の機能維持に必要な設備ではない。このことから、設計飛来物よりも小さい飛来物が飛来したとしても竜巻防護施設の機能に影響を与えることはない。

③ 二次飛来物の発生

竜巻により破損し飛来物となる可能性がある施設に該当する施設はない。



第 3.3 図 波及的影響を及ぼし得る施設の抽出フロー

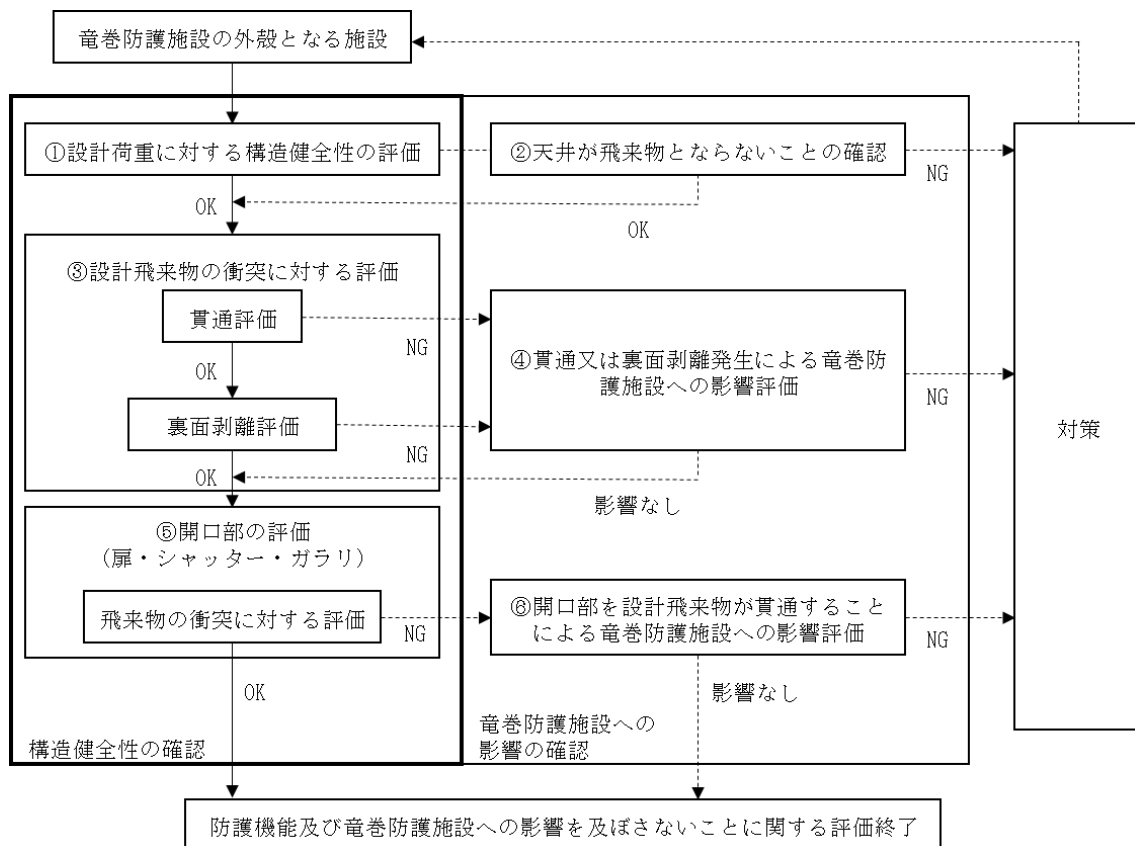


### 3.2 評価対象施設の評価

竜巻防護施設の外殻となる施設として原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家並びに竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として排気筒を評価対象とする。

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家については、設計竜巻に対し、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る場合は、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。第 3.4 図に竜巻防護施設の外殻となる施設の評価フローを示す。

排気筒については、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼさないことを確認する。



第 3.4 図 竜巻防護施設の外殻となる施設の評価フロー

### 3.3 設計荷重の設定

#### 3.3.1 評価に用いる設計竜巻の特性値の設定

設計竜巻の最大風速は、国内最大級 F3 クラスの発生実績から最大風速 92m/s に余裕を見込んで 100m/s を用いる。第 3.3 表に竜巻影響評価に使用する設計竜巻の特性値を示す。

第 3.3 表 設計竜巻の特性値 ( $V_D=100\text{m/s}$ )

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	88.1	44.1

以下に、設計竜巻の特性値の算定式を示す。

(1) 設計竜巻の移動速度の ( $V_T$ ) 設定

設計竜巻の移動速度 ( $V_T$ ) は、以下の算定式<sup>(1)</sup>を用いて  $V_D$  から  $V_T$  を算定する。

$$V_T = 0.15 \times V_D = 15 \text{ (m/s)}$$

(2) 設計竜巻の最大接線風速 ( $V_{Rm}$ ) 設定

設計竜巻の最大接線風速 ( $V_{Rm}$ ) は、以下の算定式<sup>(1)</sup>を用いて算定する。

$$V_{Rm} = V_D - V_T = 85 \text{ (m/s)}$$

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

設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 ( $R_m$ ) は、日本における竜巻の観測記録をもとに提案された竜巻モデルに準拠して以下の値<sup>(1)</sup>を用いる。

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

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

設計竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P_{\max}$ ) は、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<sup>(1)</sup>。

$$\begin{aligned} \Delta P_{\max} &= \rho \times V_{Rm}^2 \text{ (空気密度 } \rho = 1.22 \text{ (kg/m}^3\text{))} \\ &= 8810 \text{ (N/m}^2\text{)} \rightarrow 88.1 \text{ (hPa)} \end{aligned}$$

(5) 設計竜巻の最大気圧低下率 ( $(dp/dt)_{\max}$ ) の設定

設計竜巻の最大気圧低下率 ( $(dp/dt)_{\max}$ ) は、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて、最大気圧低下率 ( $(dp/dt)_{\max}$ ) を設定する<sup>(1)</sup>。

$$\begin{aligned} (dp/dt)_{\max} &= (V_T/R_m) \times \Delta P_{\max} \\ &= 44.1 \text{ (hPa/s)} \end{aligned}$$

### 3.3.2 設計竜巻荷重の設定

設計竜巻の最大風速( $V_D$ )等に基づき、風圧力、気圧差による圧力及び飛来物の衝撃荷重を以下のとおり設定する。

#### (1) 設計竜巻による風圧力の設定

設計竜巻の水平方向の最大風速によって施設(屋根を含む。)に作用する風圧力( $P_D$ )は、「建築基準法及び同施行令」<sup>(2)</sup>及び「日本建築学会建築物荷重指針・同解説 2015」<sup>(3)</sup>に準拠して、以下の式<sup>(1)</sup>により算出する。

なお、ガスト影響係数( $G$ )は $G=1.0$ とし、風力係数( $C_f$ )は施設の形状や風圧力が作用する部位(屋根、壁等)に応じて設定する。第3.4表に風圧力算定に用いる諸元を示す。

$$W_w = P_D = q \times G \times C_f \times A^{(1)}$$

$W_w$ : 風荷重                       $P_D$ : 風圧力  
 $q$ : 設計用速度圧                 $G$ : ガスト影響係数(=1.0)  
 $C_f$ : 風力係数                     $A$ : 施設の受圧面積  
 $q = (1/2) \rho V_D^2$   
 $= 6100 \text{ (N/m}^2\text{)}^{(1)}$   
 $\rho$ : 空気密度                       $V_D$ : 設計竜巻の最大風速

第3.4表 風圧力算定に用いる諸元

項目	記号	数値	備考
最大風速	$V_D$	100(m/s)	
空気密度	$\rho$	1.22(kg/m <sup>3</sup> )	「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」 <sup>(3)</sup> による。
設計用速度圧	$q$	6100(N/m <sup>2</sup> )	「竜巻ガイド」 <sup>(1)</sup> による。
ガスト影響係数	$G$	1.0	「竜巻ガイド」 <sup>(1)</sup> による。
風力係数	$C_f$	「建設省告示第1454号」(平成12年5月31日制定) <sup>(4)</sup> により算定する。	

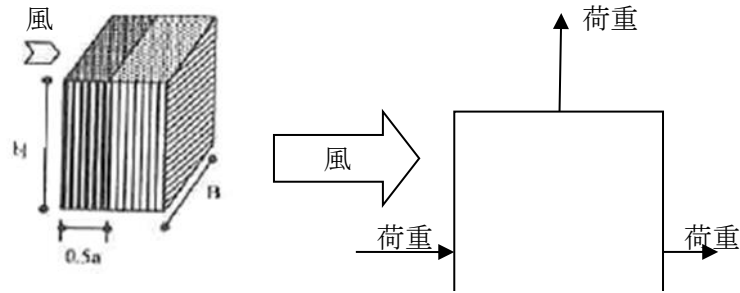
設計竜巻の水平方向の最大風速によって施設に作用する風圧力算定における風力係数については、「建設省告示第1454号(平成12年5月31日制定)」<sup>(4)</sup>に準拠して算定する。第3.5図に閉鎖型建築物における壁面と陸屋根面の風力係数を示す。

$$C_f = C_{pe} - C_{pi}$$

$C_f$  : 風力係数

$C_{pe}$ : 外圧係数

$C_{pi}$ : 内圧係数



表一 壁面の  $C_{pe}$

部位	風上壁面	側壁面		風下壁面
		風上端部より0.5aの領域	左に掲げる領域以外の領域	
$C_{pe}$	0.8kz	-0.7	-0.4	-0.4

表二 陸屋根面の  $C_{pe}$

部位	風上端部より0.5aの領域	上に掲げる領域以外の領域
$C_{pe}$	-1.0	-0.5

第 3.5 図 閉鎖型建築物における壁面と陸屋根面の風力係数

・ 水平方向(壁面)

風上壁面の風力係数は、 $C_{pe}=0.8$ (「建設省告示第 1454 号 (平成 12 年 5 月 31 日)」<sup>(4)</sup>を参考に、保守的に  $kz=1.0$  とする。)とし、風下壁面は、 $C_{pe}=-0.4$  とする。パラペットは独立壁として評価し、 $C_{pe}=0.8-(-0.4)=1.2$  とする。

・ 垂直方向(屋根)

屋根は保守的な評価として、全ての面において  $C_{pe}=-1.0$  とする。

(2) 設計竜巻における気圧差による荷重の設定

設計竜巻による評価対象施設内外の気圧差による荷重は、最大気圧低下量( $\Delta P_{\max}$ )に基づき設定する。

設定に際し、気圧差による圧力荷重が最も大きくなる「閉じた施設」を想定し、内外気圧差による圧力荷重  $W_p$  を、以下の式により算出する。

$$W_p = \Delta P_{\max} A$$

$\Delta P_{\max}$  : 最大気圧低下量      A: 施設の受圧面積

(3) 設計飛来物及び設計飛来物による衝撃荷重

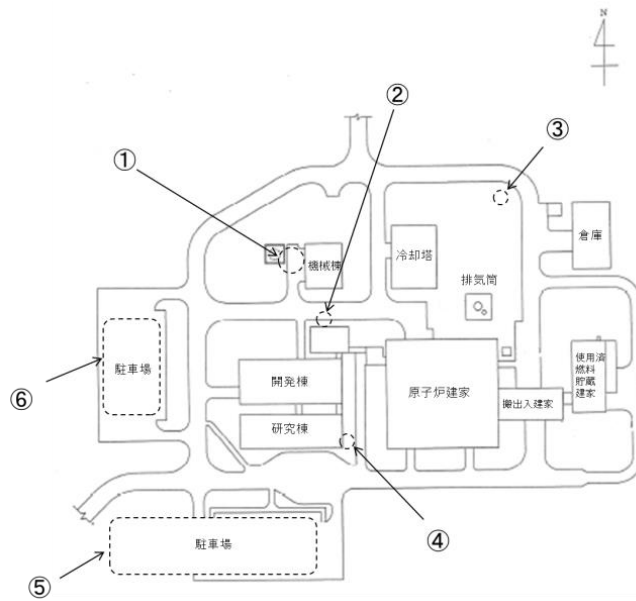
鋼製パイプ及び鋼製材を設計飛来物として設定する。第 3.5 表に設計飛来物の諸元を示す。なお、飛来物となる可能性のあるもののうち、飛来した場合の運動エネルギーが設計飛来物よりも大きいものについては、本申請では離隔又は撤去の対策を講じることとしており、固縛又は固定を行うものはない。また、車両については、施設に影響が及ぶおそれがある竜巻が接近した場合には退避等の必要な措置を講ずることを原子炉施設保安規定に定め管理することから、車両による影響はないものとして評価する。竜巻襲来時に飛来物となりうる物品及びその対策状況を第 3.6 図に示す。

第 3.5 表 設計飛来物の諸元<sup>(1)</sup> ( $V_D=100\text{m/s}$ )

飛来物の種類	鋼製パイプ	鋼製材
サイズ(m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2
質量(kg)	8.4	135
最大水平速度(m/s)	49	51 <sup>*1</sup>
最大鉛直速度(m/s)	33	34 <sup>*1</sup>
運動エネルギー(水平)(kJ)	10.1 <sup>*2</sup>	176 <sup>*2</sup>
運動エネルギー(鉛直)(kJ)	4.57 <sup>*2</sup>	78.0 <sup>*2</sup>
衝撃荷重 $W_M$ (kN)	鋼製材で代表させる	1760

\*1 鋼製材の最大水平速度、最大鉛直速度は改正後の竜巻ガイド<sup>(1)</sup>の値

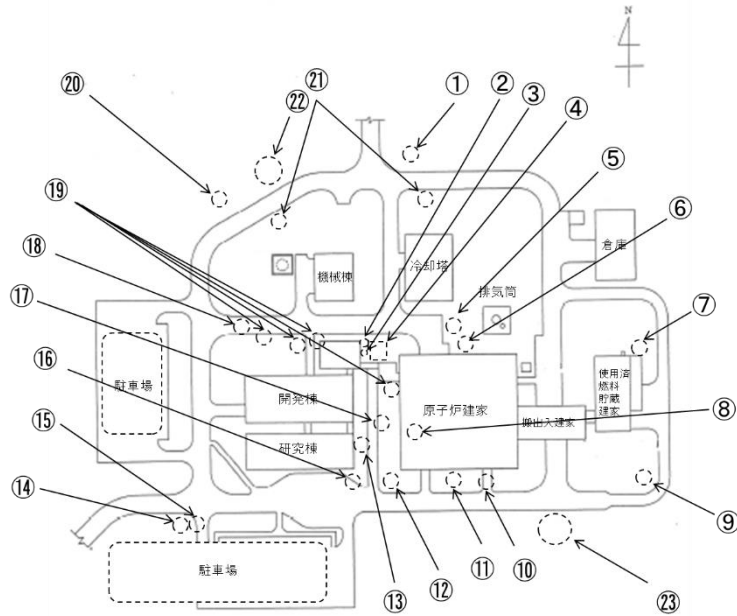
\*2 最大速度より算出した値

















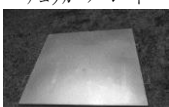








No.	物品名称	対策	対策前	対策後
①	純水運搬車	隔離		
②	自動販売機	撤去		
③	敷鉄板	撤去		
④	自動販売機	撤去		
⑤	車両	隔離 (退避)		施設に影響が及ぶおそれがある竜巻が接近した場合、退避を行う。
⑥	車両	隔離 (退避)		施設に影響が及ぶおそれがある竜巻が接近した場合、退避を行う。

(a) 隔離・撤去の対策をした物品

第 3.6 図 竜巻襲来時に飛来物となりうる物品への対策状況(1/2)



No.	物品	No.	物品	No.	物品	No.	物品
①	プレハブ 	⑦	空調室外機 	⑬	自転車置き場 	⑰	空調室外機 
②	小型発電機 	⑧	空調室外機 	⑭	消火栓 	⑳	プレハブ 
③	電気温水器 	⑨	外灯 	⑮	標識 	㉑	消火栓 
④	プレハブ 	⑩	地下タンク蓋 	⑯	石碑 	㉒	プレハブ※ 
⑤	チェッカープレート 	⑪	空調室外機 	⑱	百葉箱 	㉓	テント※ 
⑥	地下タンク蓋 	⑫	太陽光モジュール 	⑱	グレーチング 		

※老朽化又は使用終了のため撤去した。

(b) 対策を要しない物品

第 3.6 図 竜巻襲来時に飛来物となりうる物品への対策状況 (2/2)



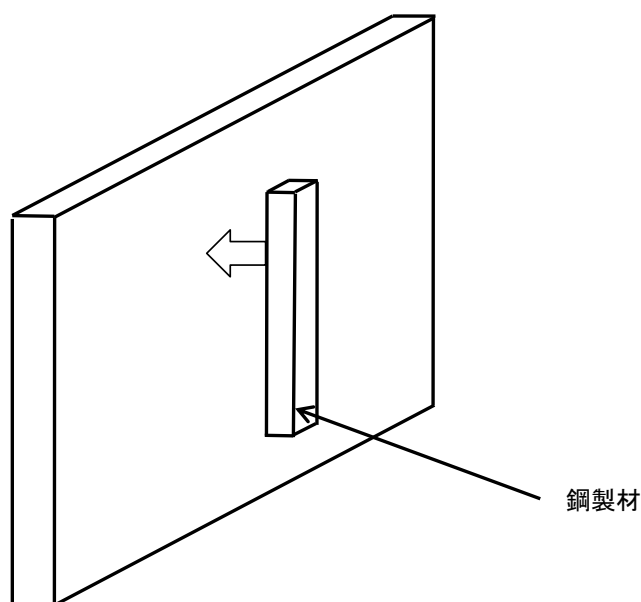
(4) 衝撃荷重の設定について

設計竜巻による飛来物に対し、最大風速( $V_D$ )条件下での衝撃荷重を算出し、複合荷重に用いる。衝撃荷重は、設計飛来物のうち運動エネルギーが最も大きい鋼製材について算出する。鋼製材による衝撃荷重は、鋼製材と被衝突体との接触時間を設定し、鋼製材の衝突前の運動量と衝撃荷重による力積が等しいものとして算出した静的な鋼製材による衝撃荷重を、各層の層せん断力として考慮する。鋼製材による衝撃荷重の算定式を以下に示す。第 3.7 図に衝撃荷重算出時の鋼製材衝突方向を示す。第 3.6 表に衝撃荷重算定に用いた鋼製材の諸元を示す。

$$W_M = m \times \frac{V}{\tau} = m \times \frac{V^2}{L} = 1760(\text{kN})$$

L: 鋼製材の最も短い辺の長さ(m)     $\tau$ : 鋼製材と被衝突体との接触時間(s)

V: 鋼製材の最大速度(m/s)    m: 鋼製材の質量(kg)



第 3.7 図 衝撃荷重算出時の鋼製材衝突方向

第 3.6 表 衝撃荷重算定に用いた鋼製材の諸元<sup>(1)</sup>

飛来物の種類	サイズ:長さ×幅×奥行 (m)	質量 (kg)	速度(m/s)	
			水平	鉛直
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	51	34

### 3.3.3 その他の組合せ荷重の設定

評価対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重、その他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について、設計竜巻荷重との組合せを以下のように設定した。

#### (1) 常時作用する荷重、運転時荷重

- ① 自重：屋根スラブの自重について、設計竜巻によって評価対象施設の屋根スラブに生じる吹上荷重と組み合わせることとする。
- ② 死荷重：評価対象施設内に設置しているポンプや構築物などの死荷重は設計竜巻によって評価対象施設外壁、屋根スラブに加わる荷重と相乗しないため、死荷重はないものとする。
- ③ 活荷重：評価対象施設内に設置している動的機器や人の移動によって生じる活荷重は設計竜巻によって評価対象施設外壁、屋根スラブに加わる荷重と相乗しないため、活荷重はないものとする。
- ④ 運転時荷重：原子炉運転によって、評価対象施設の建家外壁、屋根スラブに荷重は加わらないことから、設計竜巻による評価対象施設外壁、屋根スラブに加わる荷重と相乗しないため、運転時荷重はないものとする。

#### (2) その他竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻と同時に発生する雷、雪、ひょう、大雨については、以下の理由により施設への影響が相乗しないため、竜巻との組合せはないものとする。

- ① 雷：竜巻は建家、構築物及び設備（系統・機器）に対する風荷重、気圧差荷重及び飛来物の衝撃荷重があるが、落雷は雷撃であり影響モードが異なることから、竜巻との組合せはないものとする。
- ② 雪：冬期に発生した海上竜巻が襲来する場合は、竜巻通過前後に降雪を伴う可能性はあるが、上昇流の竜巻本体周辺では、竜巻通過時に雪は降らない。また、下降流の竜巻通過時や竜巻通過前に積もった雪は竜巻の風に吹き飛ばされ、施設への影響は生じないことから、竜巻との組合せはないものとする。
- ③ ひょう：上昇流の竜巻本体周辺では、竜巻通過時に降ひょうは生じない。竜巻通過前に積もったひょうは竜巻の風に吹き飛ばされ、施設への影響は生じない。また、下降流により降ひょうがあっても、設計飛来物に包含されることから、竜巻との組合せはないものとする。
- ④ 大雨：上昇流の竜巻本体周辺では、竜巻通過時に雨は降らない。下降流の竜巻通過時や竜巻通過前後に雨が降っても施設への影響は建家への浸水であり、影響モードが異なることから、竜巻との組合せはないものとする。

### (3) 設計基準事故時荷重

竜巻防護施設は原子炉建家内又は使用済燃料貯蔵建家内に全て設置されており、設計竜巻に対して原子炉建家又は使用済燃料貯蔵建家が外殻となることから当該竜巻防護施設は防護され、設計竜巻の影響を受けない。設計竜巻は、発生頻度が極めて低いため、設計基準事故との同時発生はないものとする。

## 3.4 評価対象施設の評価部位について

評価対象施設の評価に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重( $W_W$ )、気圧差による荷重( $W_P$ )、及び設計飛来物による衝撃荷重( $W_M$ )を組合せた複合荷重とし、以下の式<sup>(1)</sup>により算定する。

$$W_{T1}=W_P$$

$$W_{T2}=W_W+0.5W_P+W_M$$

$W_{T1}, W_{T2}$ :設計竜巻による複合荷重

$W_W$ :設計竜巻の風圧力による荷重

$W_P$ :設計竜巻の気圧差による荷重

$W_M$ :設計飛来物による衝撃荷重

### (1) 構造健全性の評価

設計竜巻による複合荷重  $W_{T1}=W_P$  及び  $W_{T2}=W_W+0.5W_P+W_M$  によって竜巻防護施設の外殻となる施設の外壁に生じる層せん断力が、評価基準値を下回ることを確認する。

### (2) 部位による評価

竜巻防護施設外殻となる施設を構成する屋根スラブ及び外壁について、設計竜巻による複合荷重により発生する応力等が評価基準を下回ることを確認する。

複合荷重  $W_{T1}=W_P$ 、 $W_{T2}=W_W+0.5W_P+W_M$  による評価のうち、 $W_{T2}$  については、設計飛来物が衝突する場合(a)と衝突しない場合(b)の両方を想定し、以下の2ケースに区分して評価する。

(a)  $W_{T2}=W_W+0.5W_P$  による評価

(b)  $W_{T2}=W_W+0.5W_P+W_M$  による評価

(a)  $W_{T2}=W_W+0.5W_P$  による評価

#### ①壁面

壁面に対しては、(1)の構造健全性の評価に包含される。

#### ②屋根スラブ

設計竜巻による複合荷重によって、竜巻防護施設の外殻となる施設の屋根スラブに生じる吹上荷重に対して、屋根スラブに発生する応力が評価基準値

を下回ることを確認する。

なお、 $W_{T1}$ については、後述の「4.2 屋根が飛来物とならないことの評価」にて、 $W_{T1} < W_{T2}$ となることから  $W_{T2}$ の評価に包含される。

(b)  $W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$ による評価

①壁面

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の壁面に設計飛来物が衝突した際の貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さが壁面の評価基準値を下回ることを確認する。評価基準値を上回る場合は、貫通した設計飛来物及び裏面剥離により生じたコンクリート片の衝突に対する貫通限界厚さが区画内にある竜巻防護施設の評価基準値を下回ることを確認する。

②屋根スラブ

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の屋根に設計飛来物が衝突した際の貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さが屋根の評価基準値を下回ることを確認する。評価基準値を上回る場合は、貫通した設計飛来物及び裏面剥離により生じたコンクリート片の衝突に対する貫通限界厚さが区画内にある竜巻防護施設の評価基準値を下回ることを確認する。

(3) 開口部の評価

竜巻防護施設の外殻となる施設の開口部に設計飛来物が衝突した際の貫通限界厚さが開口部鋼板の評価基準値を下回ることを確認する。評価基準値を上回る場合は、貫通した設計飛来物の衝突に対する貫通限界厚さが区画内にある竜巻防護施設の評価基準値を下回ることを確認する。

(4) 排気筒の評価

排気筒の内部は大気と通じており気圧差による荷重は生じないことから、複合荷重のうち  $W_P$  はないものとする。この複合荷重  $W_{T2} = W_W + W_M$  により生じる層せん断力が、排気筒の評価基準値を下回ることを確認する。

### 3.5 使用材料

使用材料、許容応力度及び材料定数を第 3.7 表～第 3.10 表に示す。

第 3.7 表 鋼材の許容応力度(排気筒)<sup>\*1</sup>

(単位:N/mm<sup>2</sup>)

材質		許容応力度 を決定する 場合の基準 値	長期			短期
			引張	せん断	継手板 の支圧	
SS400 STK400 SMA400A	t ≤ 40mm	235	156	90	293	左記の 1.5 倍
	t > 40mm	215	143	82	268	
STK490	t ≤ 40mm	325	216	125	406	
	t > 40mm	295	196	113	368	

<sup>\*1</sup> 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会、2005 改定)<sup>(6)</sup>に記載されている値又は記載されている計算式に基づき算定した値

第 3.8 表 鉄骨及び鉄筋コンクリートの材料定数(排気筒)<sup>(6)</sup>

部位	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鉄骨部 (筒身部、鉄塔部)	205000	79000	0.3
鉄筋コンクリート部 (基礎部)	21500	8960	0.2

第 3.9 表 コンクリートの許容応力度

(単位:N/mm<sup>2</sup>)

評価対象	設計基準強度 Fc
原子炉建家	
使用済燃料貯蔵建家	

核物質防護情報が  
含まれているため  
公開できません。

第 3.10 表 鉄筋の許容応力度<sup>(5)</sup>

(単位:N/mm<sup>2</sup>)

種類		長期		短期	
種類	鉄筋径	圧縮 引張	せん断 補強筋	圧縮 引張	せん断 補強筋
	SD345	D29 未満	215	195	345
D29 以上		195			
SD295A		195	195	295	295

### 3.6 評価方法

#### 3.6.1 竜巻防護施設の外殻となる施設に対する評価

竜巻防護施設の外殻となる施設について、設計荷重に対して竜巻防護施設に影響しないことを確認する。

##### (1) 設計荷重に対する構造健全性の評価

設計竜巻による複合荷重によって竜巻防護施設の外殻となる施設の外壁に生じる層せん断力が、評価基準値を下回ることを確認する。

評価基準値は「日本原子力研究所大洗研究所の原子炉施設[H T T R (高温工学試験研究炉)]の変更に係る設計及び工事の方法の認可申請書 添付計算書 I-ニ-5 原子炉建家の強度計算書(2原研 53 第 4 号(平成 2 年 12 月 17 日)申請、2安(原規)第 733 号(平成 3 年 1 月 8 日)認可)」及び「日本原子力研究所大洗研究所の原子炉施設の変更[H T T R (高温工学試験研究炉)の設置]に係る設計及び工事の方法の認可申請書 添付計算書 ニ-4-6 使用済燃料貯蔵建家の強度計算書(11原研 53 第 30 号(平成 11 年 6 月 11 日)申請、11安(原規)第 124 号(平成 11 年 9 月 8 日)認可)」に記載されている保有水平耐力とする。

##### (2) 天井が飛来物とならないことの確認

設計竜巻による複合荷重によって竜巻防護施設の外殻となる施設の屋根スラブに生じる吹上荷重に対して、屋根スラブに発生する応力が短期許容応力値を上回らないことを確認する。

##### (3) 設計飛来物の衝突に対する評価

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の壁面及び屋根に設計飛来物が衝突した際の貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さが壁面及び屋根の評価基準値を下回ることを確認する。評価基準値は、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の壁面及び屋根のコンクリート厚さとする。

評価基準値を上回る場合は、貫通した設計飛来物及び裏面剥離により生じたコンクリート片の衝突に対する貫通限界厚さが区画内にある竜巻防護施設の評価基準値を下回ることを確認する。評価基準値は、竜巻防護施設の鋼板厚さとする。

##### (4) 開口部の評価

竜巻防護施設の外殻となる施設の開口部に設計飛来物が衝突した際の設計飛来物の貫通限界厚さが開口部鋼板の評価基準値を下回ることを確認する。評価基準値は、開口部の鋼板厚さとする。

評価基準値を上回る場合は、貫通した設計飛来物の貫通限界厚さが区画内にあ

る竜巻防護施設の評価基準値を下回ることを確認する。評価基準値は、竜巻防護施設の鋼板厚さとする。

### 3.6.2 波及的影響を及ぼす可能性のある施設に対する評価

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす可能性のある施設である排気筒について、設計竜巻による複合荷重により生じる層せん断力が、排気筒の評価基準値を下回ることを確認する。

評価基準値は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法— 2005年 日本建築学会」<sup>(6)</sup>に基づき算出した短期許容圧縮応力度及び「鋼構造設座屈設計指針 2009年 日本建築学会」<sup>(16)</sup>に基づき算出した短期許容圧縮応力度および曲げ応力度とする。



#### 4. 竜巻防護施設の外殻となる施設に対する竜巻影響評価結果

##### 4.1 設計荷重に対する構造健全性の評価

竜巻防護施設の外殻となる施設について、設計荷重に対する構造健全性を確認する。

##### 4.1.1 竜巻防護施設の外殻となる施設の受圧面積

竜巻防護施設の外殻となる施設の受圧面積を以下に示す。受圧面積について、地震応答解析モデルにおける質点とその直上の質点との中間高さから、質点とその直下の質点との中間高さまでの領域をその質点における受圧面積とした。また、パラペット、機器及び排気煙道についても受圧面積に含める。

なお、風圧力による荷重の算定における受圧面積は、東西・南北方向とした。原子炉建家の受圧面積を第 4.1 表及び第 4.2 表に、使用済燃料貯蔵建家の受圧面積を第 4.3 表及び第 4.4 表に示す。評価に用いた原子炉建家の受圧面図を第 4.1 図に、使用済燃料貯蔵建家の受圧面図を第 4.2 図に示す。

##### (1) 原子炉建家の受圧面積

##### ①EW 方向受圧面

第 4.1 表 原子炉建家の EW 方向受圧面積

受圧面	受圧面積(m <sup>2</sup> )	備考
①	44.8	パラペット(×2倍;西側、東側)
②-1	8.3	排気煙道
②-2	112.0	
③-1	94.8	機器
③-1	35.6	パラペット(×2倍;西側、東側)
③-2	112.0	
③-3	7.2	排気煙道
③-4	35.6	パラペット(×2倍;西側、東側)
③-5	16.6	
③-5	14.4	パラペット(×2倍;エレベータ機械室)
④-1	14.4	パラペット(×2倍;階段室)
④-2	156.0	
⑤-1	156.0	
⑤-2	45.2	パラペット(西側のみ)
⑥	208.0	
⑦	208.0	

②NS 方向受圧面

第 4.2 表 原子炉建家の NS 方向受圧面積

受圧面	受圧面積(m <sup>2</sup> )	備考
①	81.0	パラペット(×2 倍 ; 北側、南側)
②	202.5	
③-1	202.5	
③-1	63.4	パラペット(×2 倍 ; 北側、南側)
③-2	22.6	
③-2	19.6	パラペット(×2 倍 ; エレベータ機械室)
④-1	150.0	
④-2	8.2	パラペット(×2 倍 ; 階段室)
⑤-1	150.0	
⑤-2	46.8	パラペット(×2 倍 ; 北側、南側)
⑥	200.0	
⑦	200.0	

(2) 使用済燃料貯蔵建家の受圧面積

①EW 方向受圧面

第 4.3 表 使用済燃料貯蔵建家の EW 方向受圧面積

受圧面	受圧面積(m <sup>2</sup> )	備考
①	64.8	パラペット(×2 倍 ; 西側、東側)
②	95.2	
③	95.2	
④	50.7	
⑤	50.7	
⑤-1	9.3	パラペット(西側のみ)
⑥	64.8	
⑦	64.8	
⑦-1	23.1	パラペット(東側のみ)
⑧	64.8	
⑨	64.8	

②NS 方向受圧面

第 4.4 表 使用済燃料貯蔵建家の NS 方向受圧面積

受圧面	受圧面積(m <sup>2</sup> )	備考
①	32.8	パラペット(×2 倍 ; 北側、南側)
②	48.2	
③	48.2	
④	25.7	
⑤	25.7	
⑤-1	10.0	パラペット(×2 倍 ; 北側、南側)
⑥	32.8	
⑥-1	10.0	
⑦	32.8	
⑦-1	10.0	
⑦-2	12.0	パラペット(×2 倍 ; 北側、南側)
⑧	32.8	
⑧-1	10.0	
⑧-2	12.0	
⑨	54.8	

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 4.1 図 原子炉建家の受圧面図

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 4.2 図 使用済燃料貯蔵建家の受圧面図

#### 4.1.2 原子炉建家の評価

竜巻防護施設の外殻となる施設のうち原子炉建家について、設計竜巻による複合荷重により生じる層せん断力が、評価基準値を上回らないことを確認した。

設計荷重に対する構造健全性の評価結果を第 4.5 表及び第 4.6 表に、評価基準値である原子炉建家の保有水平耐力を第 4.7 表に示す。

第 4.5 表 設計荷重に対する構造健全性の評価結果(原子炉建家 EW 方向)

T. P. (m)	設計竜巻荷重		保有水 平耐力 (kN)	結果
	複合荷重 ( $W_{T1}$ ) による 層せん断力 (kN)	複合荷重 ( $W_{T2}$ ) による 層せん断力 (kN)		
60.7	1070	3500	110000	良
50.7	4470	8770	181000	良
44.7	7680	13400	382000	良

第 4.6 表 設計荷重に対する構造健全性の評価結果(原子炉建家 NS 方向)

T. P. (m)	設計竜巻荷重		保有水 平耐力 (kN)	結果
	複合荷重 ( $W_{T1}$ ) による 層せん断力 (kN)	複合荷重 ( $W_{T2}$ ) による 層せん断力 (kN)		
60.7	1790	4730	56900	良
50.7	5100	9790	132000	良
44.7	8180	14300	377000	良

第 4.7 表 原子炉建家の保有水平耐力

T. P. (m)	保有水平耐力(EW 方向)		保有水平耐力(NS 方向)	
	(t)	(kN)	(t)	(kN)
60.7	11240 <sup>*1</sup>	110000	5810 <sup>*1</sup>	56900
50.7	18540 <sup>*1</sup>	181000	13530 <sup>*1</sup>	132000
44.7	39040 <sup>*1</sup>	382000	38520 <sup>*1</sup>	377000

\*1 日本原子力研究所大洗研究所の原子炉施設[H T T R (高温工学試験研究炉)]の変更に係る設計及び工事の方法の認可申請書 添付計算書 I-ニ-5 原子炉建家の強度計算書(2原研 53 第 4 号(平成 2 年 12 月 17 日)申請、2安(原規)第 733 号(平成 3 年 1 月 8 日)認可)から引用

#### 4.1.3 使用済燃料貯蔵建家の評価

竜巻防護施設の外殻となる施設のうち使用済燃料貯蔵建家について、設計竜巻による複合荷重により生じる層せん断力が、評価基準値を上回らないことを確認した。

設計荷重に対する構造健全性の評価結果を第 4.8 表及び第 4.9 表に、評価基準値である使用済燃料貯蔵建家の保有水平耐力を第 4.10 表に示す。

第 4.8 表 設計荷重に対する構造健全性の評価結果(使用済燃料貯蔵建家 EW 方向)

T. P. (m)	設計竜巻荷重		保有水平耐力 (kN)	結果
	複合荷重( $W_{T1}$ )による 層せん断力(kN)	複合荷重( $W_{T2}$ )による 層せん断力(kN)		
53.7	840	3350	43800	良
47.825	2130	5060	42500	良
44.7	3150	6490	34300	良
40.7	4290	8170	26000	良

第 4.9 表 設計荷重に対する構造健全性の評価結果(使用済燃料貯蔵建家 NS 方向)

T. P. (m)	設計竜巻荷重		保有水平耐力 (kN)	結果
	複合荷重( $W_{T1}$ )による 層せん断力(kN)	複合荷重( $W_{T2}$ )による 層せん断力(kN)		
53.7	425	2570	100000	良
47.825	1080	3430	75900	良
44.7	1690	4310		良
40.7	2550	5540		良

第 4.10 表 使用済燃料貯蔵建家の保有水平耐力

T. P. (m)	保有水平耐力(EW 方向)		保有水平耐力(NS 方向)	
	(t)	(kN)	(t)	(kN)
53.7	4470 <sup>*1</sup>	43800	10257 <sup>*1</sup>	100000
47.825	4338 <sup>*1</sup>	42500	7748 <sup>*1</sup>	75900
44.7	3504 <sup>*1</sup>	34300		
40.7	2660 <sup>*1</sup>	26000		

\*1 日本原子力研究所大洗研究所の原子炉施設の変更[H T T R (高温工学試験研究炉)の設置]に係る設計及び工事の方法の認可申請書 添付計算書 ニー4-6 使用済燃料貯蔵建家の強度計算書(11原研53第30号(平成11年6月11日)申請、11安(原規)第124号(平成11年9月8日)認可)から引用

#### 4.2 屋根が飛来物とならないことの評価

設計竜巻による複合荷重によって竜巻防護施設の外殻となる施設の屋根スラブに生じる吹上荷重により、屋根スラブが飛来物とならないことを確認する。

評価方法は、設計竜巻によって竜巻防護施設の外殻となる施設の屋根スラブに生じる吹上荷重(気圧差荷重( $W_p$ )並びに風圧力による荷重及び気圧差荷重による複合荷重( $W_w+0.5W_p$ ))によって、屋根スラブに発生する応力が短期許容応力値を上回らないことを確認する。



#### 4.2.1 吹上荷重の算定

設計竜巻によって竜巻防護施設の外殻となる施設の屋根スラブに生じる吹上荷重を以下に示す。第 4.3 図及び第 4.4 図に原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の平面図を、第 4.11 表に原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の屋根スラブの検討荷重を、第 4.12 表及び第 4.13 表に原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の評価に用いる屋根スラブに発生する応力算定に用いた諸元を示す。

- ・風圧力:  $W_w/A$

$$\frac{W_w}{A} = \frac{P_D}{A} = \frac{q \times G \times C_f \times A}{A} = q \times G \times C_f = -6100(\text{N/m}^2)$$

→6.10(kN/m<sup>2</sup>) (上向き正)

- ・気圧差による圧力:  $W_p/A$

$$\frac{W_p}{A} = \frac{\Delta P_{\max} \times A}{A} = \Delta P_{\max} = 88.1(\text{hPa}) = 8.81(\text{kN/m}^2) (\text{上向き正})$$

- ・吹上荷重:  $(W_w + 0.5W_p)/A$

$$\frac{W_w + 0.5W_p}{A} = \frac{W_w}{A} + 0.5 \frac{W_p}{A} = 10.5(\text{kN/m}^2) (\text{上向き正})$$

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 4.3 図 原子炉建家平面図 (T. P. 60. 7m)

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 4.4 図 使用済燃料貯蔵建家平面図 (T. P. 53. 7m)

第 4.11 表 原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家屋根スラブの検討荷重

項目		値	備考
ガスト影響係数	G	1.0	「竜巻ガイド」 <sup>(1)</sup> により 1.0 とする。
風力係数	Cf	1.0 (上向き正)	「建設省告示第 1454 号 (平成 12 年 5 月 31 日制定) <sup>(4)</sup> 及び 「日本建築学会 建築物荷重指 針・同解説」 <sup>(3)</sup> により算定する。
風圧力	$W_w/A$	6.10 (kN/m <sup>2</sup> ) (上向き正)	$W_w$ : 風荷重 $A$ : 受圧面積
気圧差による圧力	$W_p/A$	8.81 (kN/m <sup>2</sup> ) (上向き正)	$W_p$ : 気圧差による荷重 $A$ : 受圧面積
吹上荷重	$(W_w+0.5W_p)/A$	10.5 (kN/m <sup>2</sup> ) (上向き正)	「竜巻ガイド」 <sup>(1)</sup> による。
原子炉建家 スラブ厚さ	$t_g$	核物質防護情報が含まれているため公開 できません。	
使用済燃料貯蔵建家 スラブ厚さ	$t_s$	核物質防護情報が含まれているため公開 できません。	
鉄筋コンクリートの 単位体積重量	$\rho$	24 (kN/m <sup>3</sup> )	鉄筋コンクリート構造計算規準・同 解説 <sup>(5)</sup> より
原子炉建家 スラブ自重	$W_g$	核物質防護情報が含まれているため公開 できません。	核物質防護情報が含まれてい るため公開できません。
使用済燃料貯蔵建家 スラブ自重	$W_s$	核物質防護情報が含まれているため公開 できません。	

第 4.12 表 原子炉建家屋根スラブの小梁諸元

項目	値
小梁スパン(Lx)短辺	2650(mm)
小梁スパン(Ly)長辺	4750(mm)

第 4.13 表 使用済燃料貯蔵建家屋根スラブの小梁諸元

項目	値
小梁スパン(Lx)短辺	1700(mm)
小梁スパン(Ly)長辺	6000(mm)

#### 4.2.2 吹上荷重によってスラブが受ける曲げモーメント

設計竜巻によって、竜巻防護施設の外殻となる施設の屋根スラブに生じる吹上荷重により屋根スラブに発生する曲げモーメントについて、算定方法及び算定結果を(1)～(3)に示す。

##### (1) 屋根スラブに生じる曲げモーメントの算定方法

屋根スラブは等分布荷重を受ける四辺固定スラブであり、長方形スラブの応力は荷重状態とスラブ周辺の支持条件で変化する。長方形スラブが等分布荷重を受けるとき(a)～(d)式<sup>(5)</sup>により単位幅当たりの曲げモーメントを算定できる。

##### ① 短辺 X 方向の曲げモーメント

- ・両端最大曲げモーメント

$$M_{x1} = -\frac{1}{12}W_x L_x^2 \quad (a)$$

- ・中央部最大正曲げモーメント

$$M_{x2} = \frac{1}{18}W_x L_x^2 \quad (b)$$

$$W_x = \frac{Ly^4}{Lx^4 + Ly^4} W$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。原子炉建家

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。使用済燃料貯蔵建

家

##### ② 長辺 Y 方向の曲げモーメント

- ・両端最大曲げモーメント

$$M_{y1} = -\frac{1}{24}WL_x^2 \quad (c)$$

- ・中央部最大正曲げモーメント

$$M_{y2} = \frac{1}{36}WL_x^2 \quad (d)$$

$L_x$ :短辺有効スパン

$L_y$ :長辺有効スパン

$W$ :単位面積についての全荷重

(2) 原子炉建家の屋根スラブに生じる曲げモーメントの算定結果

① 短辺 X 方向の曲げモーメント

- ・両端最大負曲げモーメント: $M_{x1}$

$$M_{x1} = -\frac{1}{12}W_xL_x^2$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。

- ・中央部最大正曲げモーメント: $M_{x2}$

$$M_{x2} = \frac{1}{18}W_xL_x^2$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。

② 長辺 Y 方向の曲げモーメント

- ・両端最大負曲げモーメント: $M_{y1}$

$$M_{y1} = -\frac{1}{24}WL_x^2$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。

- ・中央部最大正曲げモーメント: $M_{y2}$

$$M_{y2} = \frac{1}{36}WL_x^2$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。

(3) 使用済燃料貯蔵建家の屋根スラブに生じるモーメントの算定結果

① 短辺 X 方向の曲げモーメント

・ 両端最大負曲げモーメント:  $M_{x1}$

$$M_{x1} = -\frac{1}{12}W_xL_x^2$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。

・ 中央部最大正曲げモーメント:  $M_{x2}$

$$M_{x2} = \frac{1}{18}W_xL_x^2$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。

② 長辺 Y 方向の曲げモーメント

・ 両端最大負曲げモーメント:  $M_{y1}$

$$M_{y1} = -\frac{1}{24}W_yL_y^2$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。

・ 中央部最大正曲げモーメント:  $M_{y2}$

$$M_{y2} = \frac{1}{36}W_yL_y^2$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。

#### 4.2.3 許容曲げモーメント

竜巻防護施設の外殻となる施設の屋根スラブの許容曲げモーメントについて、算定方法及び算定結果を以下に示す。

##### (1) 許容曲げモーメントの算定方法

単位幅当たりの許容曲げモーメントは以下の式<sup>(5)</sup>にて算定する。

$$M_a = a \times f_t \times j = a \times f_t \times \frac{7}{8} \times d$$

$M_a$ : 許容曲げモーメント

$a$ : 鉄筋断面積

$f_t$ : 鉄筋の許容引張応力(短期)

$d$ : スラブの有効せい

$j$ : スラブの有効丈  $j = \frac{7}{8}d$

##### (2) 原子炉建家の屋根スラブの許容曲げモーメントの算定結果

$$M_a = a \times f_t \times j = a \times f_t \times \frac{7}{8} \times d$$

→核物質防護情報が含まれているため公開できません。

$$a = 1.986(\text{cm}^2) \times \frac{1000(\text{mm})}{200(\text{mm})} = 9.93(\text{cm}^2) = 9.93 \times 10^{-4}(\text{m}^2)$$

$d =$ 核物質防護情報が含まれているため公開できません。

##### (3) 使用済燃料貯蔵建家の屋根スラブの許容曲げモーメントの算定結果

$$M_a = a \times f_t \times j = a \times f_t \times \frac{7}{8} \times d$$

→核物質防護情報が含まれているため公開できません。

$$a = 1.267(\text{cm}^2) \times \frac{1000(\text{mm})}{200(\text{mm})} = 6.34(\text{cm}^2) \rightarrow 6.34 \times 10^{-4}(\text{m}^2)$$

$d =$ 核物質防護情報が含まれているため公開できません。



#### 4.2.4 評価結果

竜巻防護施設の外殻となる施設の屋根について、設計竜巻によって生じる吹上荷重により発生する応力が短期許容応力値を上回らないことから、屋根が飛来物にならないことを確認した。

##### 4.2.4.1 原子炉建家の屋根が飛来物とならないことの確認

竜巻防護施設の外殻となる施設のうち、原子炉建家の屋根スラブについて、設計竜巻によって生じる吹上荷重により発生する応力が短期許容応力値を上回らないことから、屋根が飛来物にならないことを確認した。

第 4.14 表及び第 4.15 表に原子炉建家の屋根スラブの評価結果と諸元を示す。

第 4.14 表 原子炉建家屋根スラブの評価結果

T. P. (m)	発生応力				断面算定	結果
	短辺		長辺		許容曲げ モーメント (kN・m)	
	端部曲げ モーメント (kN・m)	中央曲げ モーメント (kN・m)	端部曲げ モーメント (kN・m)	中央曲げ モーメント (kN・m)		
核物質防護情報が含まれているため公開できません。						良

第 4.15 表 原子炉建家屋根スラブの諸元

項目	値	
スラブ厚さ	t	核物質防護情報が含まれているため公開できません。
	d	
かぶり厚さ	—	
設計配筋 (D16-@200(上下とも) {SD345})	a	断面積: 1.986 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(7)</sup>
	—	直径: 15.9 (mm) <sup>(7)</sup>
鉄筋の許容引張応力	f <sub>t</sub>	345 (N/mm <sup>2</sup> )
設計荷重(吹上荷重)	W	核物質防護情報が含まれているため公開できません。

4.2.4.2 使用済燃料貯蔵建家の屋根が飛来物とならないことの確認

竜巻防護施設の外殻となる施設のうち、使用済燃料貯蔵建家の屋根スラブについて、設計竜巻によって生じる吹上荷重により発生する応力が短期許容応力値を上回らないことから、屋根が飛来物にならないことを確認した。

第 4.16 表及び第 4.17 表に使用済燃料貯蔵建家の屋根スラブの評価結果と諸元を示す。

第 4.16 表 使用済燃料貯蔵建家屋根スラブの評価結果

T. P. (m)	発生応力				断面算定	結果
	短辺		長辺		許容曲げ モーメント (kN・m)	
	端部曲げ モーメント (kN・m)	中央曲げ モーメント (kN・m)	端部曲げ モーメント (kN・m)	中央曲げ モーメント (kN・m)		
核物質防護情報が含まれているため公開できません。						良

第 4.17 表 使用済燃料貯蔵建家屋根スラブの諸元

項目	値	
スラブ厚さ	t	核物質防護情報が含まれているため 公開できません。
	d	
かぶり厚さ	—	
設計配筋 (D13-@200(上下とも) {SD295A} )	a	断面積:1.267 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(7)</sup>
	—	直径:12.7 (mm) <sup>(7)</sup>
鉄筋の許容引張応力	f <sub>t</sub>	295 (N/mm <sup>2</sup> )
設計荷重(吹上荷重)	W	核物質防護情報が含まれているため公開できません。

#### 4.3 設計飛来物の評価

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の外壁及び屋根に設計飛来物が衝突した際に、設計飛来物によって貫通及び裏面剥離が生じないことを確認する。貫通又は裏面剥離が生じる場合は貫通した設計飛来物又は裏面剥離によって生じたコンクリート破片により、竜巻防護施設が影響を受けないことを確認する。

評価方法は、設計飛来物が衝突した際の貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さが壁面及び屋根の評価基準値を下回ることを確認する。評価基準値を上回る場合は、貫通した設計飛来物及び裏面剥離により生じたコンクリート片の衝突に対する貫通限界厚さが区画内にある竜巻防護施設の評価基準値を下回ることを確認する。

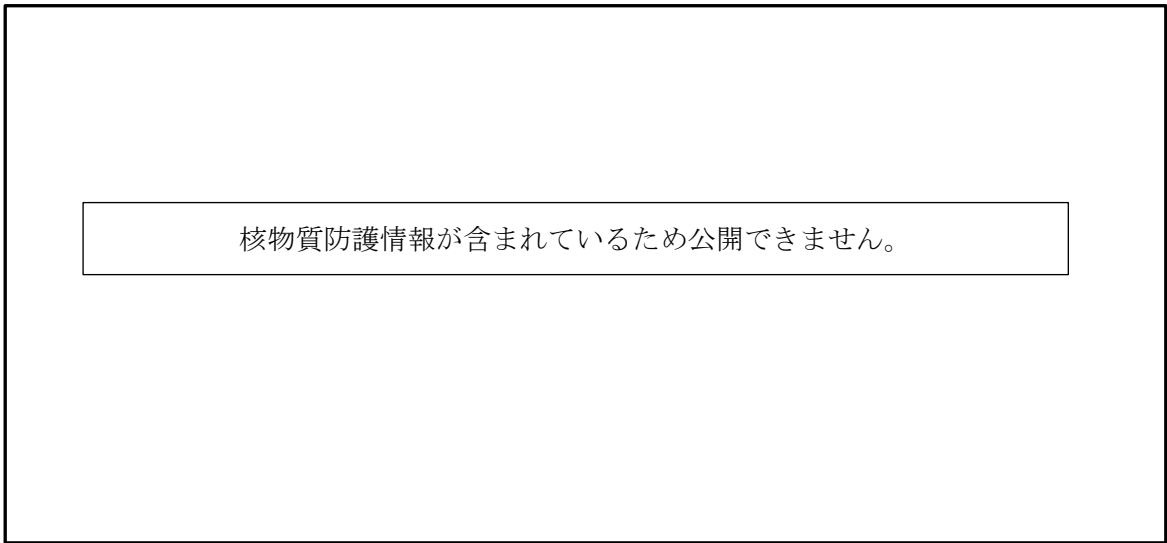
第 4.5 図に原子炉建家の評価対象区画を、第 4.6 図に使用済燃料貯蔵建家の評価対象区画を、第 4.7 図に貫通・裏面剥離限界厚さ算出時の鋼製材衝突方向を示す。

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

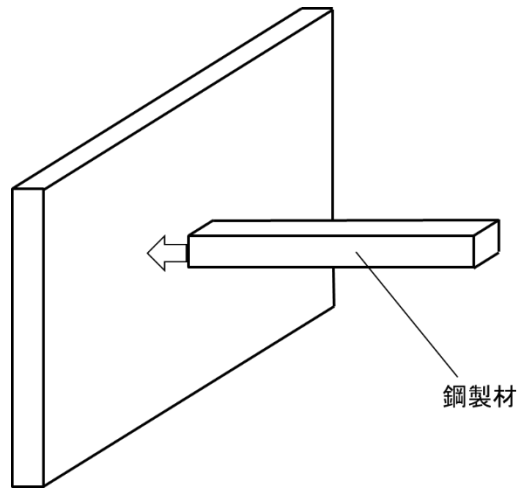
第 4.5 図(1) 原子炉建家の評価対象区画

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 4.5 図(2) 原子炉建家の評価対象区画



第 4.6 図 使用済燃料貯蔵建家の評価対象区画



第 4.7 図 貫通・裏面剥離限界厚さ算出時の鋼製材衝突方向

#### 4.3.1 貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さ算出方法

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の鉄筋コンクリート造部に対する貫通限界厚さ及び壁面コンクリートの裏面剥離限界厚さの評価は、ミサイル評価式<sup>(8)</sup>を用いて行う。

##### (1) 貫通限界厚さの算出方法

貫通限界厚さは、貫入深さを(a)に示す修正 NDRC 式により算出し、(b)に示す Degen 式により求める。

$$X_c = \alpha_c \sqrt{4kWND \left( \frac{V}{1000D} \right)^{1.8}}, \quad \text{for } \frac{X_c}{\alpha_c D} < 2.0 \quad (\text{a})$$

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left( \frac{X_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left( \frac{X_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}, \quad \text{for } \frac{X_c}{\alpha_c D} < 1.52 \quad (\text{b})$$

$X_c$ : 貫入深さ (in)                       $\alpha_c$ : 飛来物低減係数                       $k$ :  $180/\sqrt{F_c}$   
 $W$ : 飛来物重量 (lb)                       $N$ : 形状係数     $D$ : 飛来物直径 (in)  
 $V$ : 衝突速度 (ft/s)                       $F_c$ : コンクリート強度 (psi)  
 $t_p$ : 貫通限界厚さ (in)                       $\alpha_p$ : 飛来物低減係数

##### (2) 裏面剥離限界厚さの算出方法

裏面剥離限界厚さは、(c)式に示す Chang 式により算出する。

$$t_s = \alpha_s 1.84 \left( \frac{200}{V} \right)^{0.13} \frac{(MV^2)^{0.4}}{\left( \left\{ \frac{D}{12} \right\}^{0.2} \times \{144F_c\}^{0.4} \right)} \quad (\text{c})$$

$t_s$ : 裏面剥離限界厚さ (ft)                       $\alpha_s$ : 飛来物低減係数                       $V$ : 衝突速度 (ft/s)  
 $M$ : 質量  $W/g$  (lb/(ft/s<sup>2</sup>))                       $g$ : 重力加速度 32.2 (ft/s<sup>2</sup>)  
 $D$ : 飛来物直径 (in)                       $F_c$ : コンクリート強度 (psi)

評価式に適用する飛来物低減係数については、剛飛来物は、貫通・裏面剥離=1.0、柔飛来物は、貫通=0.65、裏面剥離=0.6とする<sup>(9)</sup>。また、形状係数については、剛飛来物=1.14、柔飛来物=0.72とする<sup>(10)</sup>。剛飛来物は、角が当たることを想定し、非常に鋭い場合とする。柔飛来物は先端が潰れて平坦になると考えられることから、平坦な場合とする。

#### 4.3.2 貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの算出結果

貫通限界厚さ及び壁面コンクリートの裏面剥離限界厚さの算出に用いる飛来物は、最も衝撃荷重が大きい鋼製材を設計飛来物とする。外壁及び屋根に対する飛来物評価の諸元を第 4.18 表に示す。原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の外壁及び屋根について、貫通限界厚さ及び壁面コンクリートの裏面剥離限界厚さを第 4.19 表及び第 4.20 表に示す。

##### (1) 原子炉建家のコンクリートに対する算出結果

###### ① 貫入深さ

$$X_c = \alpha_c \sqrt{4kWND \left( \frac{V}{1000D} \right)^{1.8}}, \quad \text{for } \frac{X_c}{\alpha_c D} < 2.0$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。: 水平

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。: 鉛直

###### ② 貫通限界厚さ

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left( \frac{X_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left( \frac{X_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}, \quad \text{for } \frac{X_c}{\alpha_c D} < 1.52$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。: 水平

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。: 鉛直

###### ③ 裏面剥離限界厚さ

$$t_s = \alpha_s 1.84 \left( \frac{200}{V} \right)^{0.13} \frac{(MV^2)^{0.4}}{\left( \left\{ \frac{D}{12} \right\}^{0.2} \times \{144F_c\}^{0.4} \right)}$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。: 水平

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。: 鉛直

##### (2) 使用済燃料貯蔵建家のコンクリートに対する算出結果

###### ① 貫入深さ

$$X_c = \alpha_c \sqrt{4kWND \left( \frac{V}{1000D} \right)^{1.8}}, \quad \text{for } \frac{X_c}{\alpha_c D} < 2.0$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。: 水平

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。: 鉛直

###### ② 貫通限界厚さ



$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left( \frac{X_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left( \frac{X_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}, \quad \text{for } \frac{X_c}{\alpha_c D} < 1.52$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。:水平

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。:鉛直

③ 裏面剥離限界厚さ

$$t_s = \alpha_s 1.84 \left( \frac{200}{V} \right)^{0.13} \frac{(MV^2)^{0.4}}{\left( \left\{ \frac{D}{12} \right\}^{0.2} \times \{144F_c\}^{0.4} \right)}$$

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。:水平

=核物質防護情報が含まれているため公開できません。:鉛直

第 4.18 表 外壁及び屋根に対する飛来物評価の諸元

飛来物		鋼製材	
飛来物重量	W	135 (kg) (298 (lb))	
飛来物直径	D	27.6 (cm) (10.9 (in))	
衝突速度	水平方向	V	51 (m/s) (167 (ft/s))
	鉛直方向		34 (m/s) (112 (ft/s))
コンクリート強度	原子炉建家	F <sub>c</sub>	核物質防護情報が含まれているため公開できません。
	使用済燃料貯蔵建家		

飛来物直径 D は、飛来物断面積と等価な円の直径の値とする。

第 4.19 表 原子炉建家のコンクリートに対する限界厚さ

項目	限界厚さ	
	壁(水平)	屋根(鉛直)
貫通 (cm)	核物質防護情報が含まれているため公開できません。	
裏面剥離 (cm)		

第 4.20 表 使用済燃料貯蔵建家のコンクリートに対する限界厚さ

項目	限界厚さ	
	壁(水平)	屋根(鉛直)
貫通 (cm)	核物質防護情報が含まれているため公開できません。	
裏面剥離 (cm)		

#### 4.3.3 設計飛来物の衝突に係る評価結果

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の外壁及び屋根について、竜巻飛来物が衝突した際の貫通・裏面剥離の評価結果を第 4.21 表及び第 4.22 表に示す。

##### (1) 原子炉建家鉄筋コンクリート造部

設計飛来物の貫通について、外壁及び屋根の厚さは貫通限界厚さを上回っており、飛来物の貫通がないことを確認した。

また、壁面コンクリートの裏面剥離について、一部の外壁及び屋根の厚さが裏面剥離限界厚さを上回る箇所が確認されたが、以下に示すように裏面剥離が生じても竜巻防護施設に影響はないことを確認した。

##### ①原子炉建家外壁

###### (i) 原子炉建家外壁(T. P. 52.3～53.6m 及び T. P. 53.6～60.7m)

設計飛来物が外壁に衝突し、裏面剥離によって生じたコンクリート片が原子炉格納容器、使用済燃料貯蔵プールに落下しても、貫通限界厚さが原子炉格納容器燃料交換ハッチ蓋鋼板及び使用済燃料貯蔵プール貯蔵ラック遮へいプラグの盖板の厚さより小さいことから、剥離コンクリートによる竜巻防護施設への影響はない(添付資料 1)。

###### (ii) 原子炉建家外壁(T. P. 44.7～53.0m)

設計飛来物が外壁に衝突し、裏面剥離によってコンクリート片が生じたとしても、当該区画には竜巻防護施設は設置していないため、剥離コンクリートによる竜巻防護施設への影響はない。

##### ②原子炉建家屋根スラブ

###### (i) 原子炉建家屋根スラブ(T. P. 60.7m)

原子炉建家屋根スラブ(T. P. 60.7m)にはデッキプレート(鋼板)が施工されていることから、裏面剥離によりコンクリート片は飛散しない\*1。第 4.8 図に屋根スラブの構造(最上部)を示す。

設計飛来物が原子炉建家屋根スラブに衝突し、仮にデッキプレートがない状態で裏面剥離によるコンクリート片が生じて原子炉格納容器及び使用済燃料貯蔵プールに落下した場合を想定しても、貫通限界厚さが原子炉格納容器燃料交換ハッチ蓋鋼板及び使用済燃料貯蔵プール貯蔵ラック遮へいプラグの盖板の厚さより小さいことから、剥離コンクリートによる竜巻防護施設への影響はない(添付資料 1)。

(ii) 原子炉建家屋根スラブ (T. P. 50. 7m)

設計飛来物が屋根に衝突し、裏面剥離によってコンクリート片が生じたとしても、当該区画には竜巻防護施設は設置していないため、剥離コンクリートによる竜巻防護施設への影響はない。

\*1 「飛来物の衝突に対するコンクリート構造物の耐衝撃設計手法」<sup>(11)</sup> に、デッキプレートが剥離物の飛散防止に有効であることの記載がある。

(2) 使用済燃料貯蔵建家鉄筋コンクリート造部

使用済燃料貯蔵建家屋根スラブ (T. P. 53. 7m) にはデッキプレート (鋼板) が施工されていることから、裏面剥離によりコンクリート片は飛散しない\*1。第 4. 8 図に屋根スラブの構造 (最上部) を示す。

設計飛来物の貫通について、外壁及び屋根の厚さは貫通限界厚さを上回っており、飛来物の貫通がないことを確認した。

また、壁面コンクリートの裏面剥離について、一部について外壁及び屋根の厚さが裏面剥離限界厚さを上回る箇所が確認されたが、以下に示すように裏面剥離が生じても竜巻防護施設に影響はないことを確認した。

(i) 貯蔵セル A

貯蔵セル A については、貯蔵ラック上部にステンレス製蓋板が設置されており、貫通限界厚さが蓋板の厚さより小さいことから、剥離コンクリートによる竜巻防護施設への影響はない (添付資料 1)。

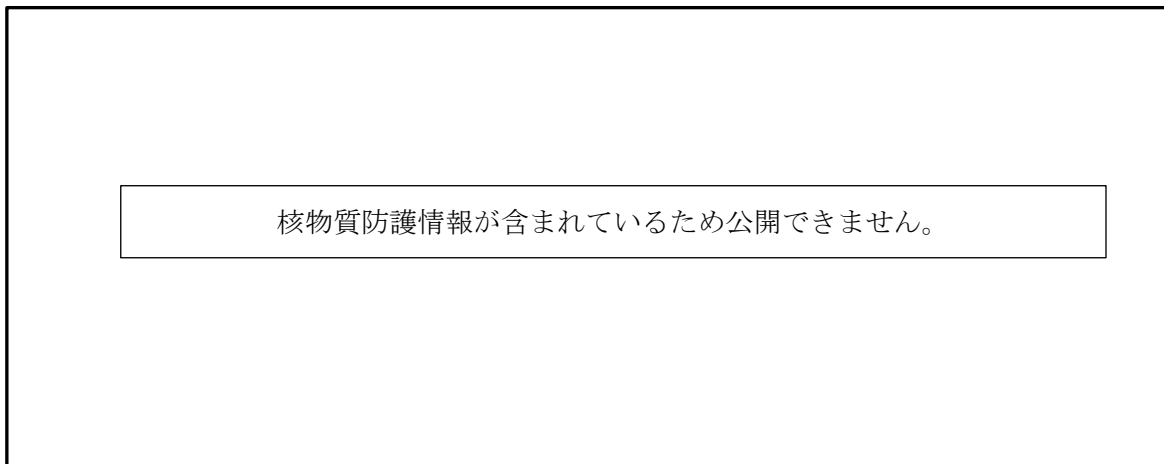
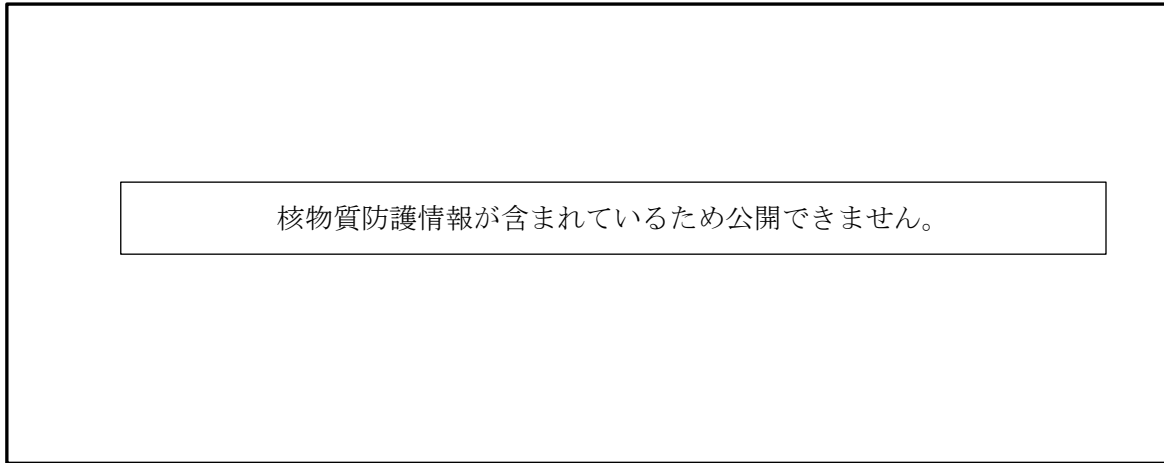
(ii) 貯蔵セル B 及び C

貯蔵セル B 及び C は、現在はまだ使用しておらず、内部に使用済燃料の貯蔵ラックがない。そのため、剥離コンクリートによる影響は無い。

第 4.21 表 原子炉建家の設計飛来物による貫通、裏面剥離の評価結果

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 4.22 表 使用済燃料貯蔵建家の設計飛来物による貫通、裏面剥離の評価結果



第 4.8 図 屋根スラブの構造(最上部)

#### 4.4 開口部の評価

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の開口部に設計飛来物が衝突した際に、設計飛来物によって開口部鋼板に貫通が生じないことを評価する。貫通が生じる場合は貫通した設計飛来物によって、竜巻防護施設が影響を受けないことを評価する。

評価方法は、貫通限界厚さが開口部鋼板の評価基準値を下回ることを確認する。評価基準値を上回る場合は、貫通した設計飛来物の貫通限界厚さが区画内にある竜巻防護施設の評価基準値を下回ることを確認する。

第 4.9 図に貫通限界厚さ算出時の鋼製材衝突方向を示す。

##### 4.4.1 貫通限界厚さ計算方法

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家開口部（鋼板部分）に対する貫通限界厚さは、BRL 式<sup>(12)</sup>を用いて算出する。第 4.23 表に貫通限界厚さを示す。

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{17400K^2d^{3/2}}$$

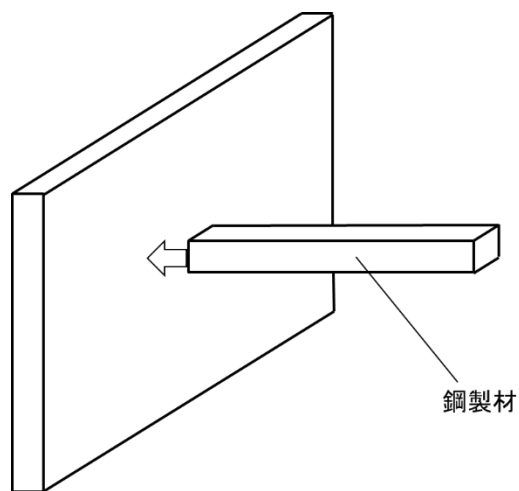
T: 鋼板貫通限界厚さ (in)    M: ミサイル質量 (lb/(ft/s<sup>2</sup>))=W/g    V: ミサイル速度 (ft/s)

d: ミサイル直径 (in)    K: 鋼板の材質に関する係数=1    g: 重力加速度 (ft/s<sup>2</sup>)

$$T = \left( \frac{0.5MV^2}{17400K^2d^{3/2}} \right)^{\frac{2}{3}} = \boxed{\text{核物質防護情報が含まれているため公開できません。}}$$

第 4.23 表 開口部に対する貫通限界厚さ

対象	必要厚さ (mm)
鋼板	核物質防護情報が含まれているため公開できません。



第 4.9 図 貫通限界厚さ算出時の鋼製材衝突方向

#### 4.4.2 原子炉建家の開口部評価

原子炉建家の開口部の設計飛来物の衝突に対する評価結果を第 4.24 表に示す。

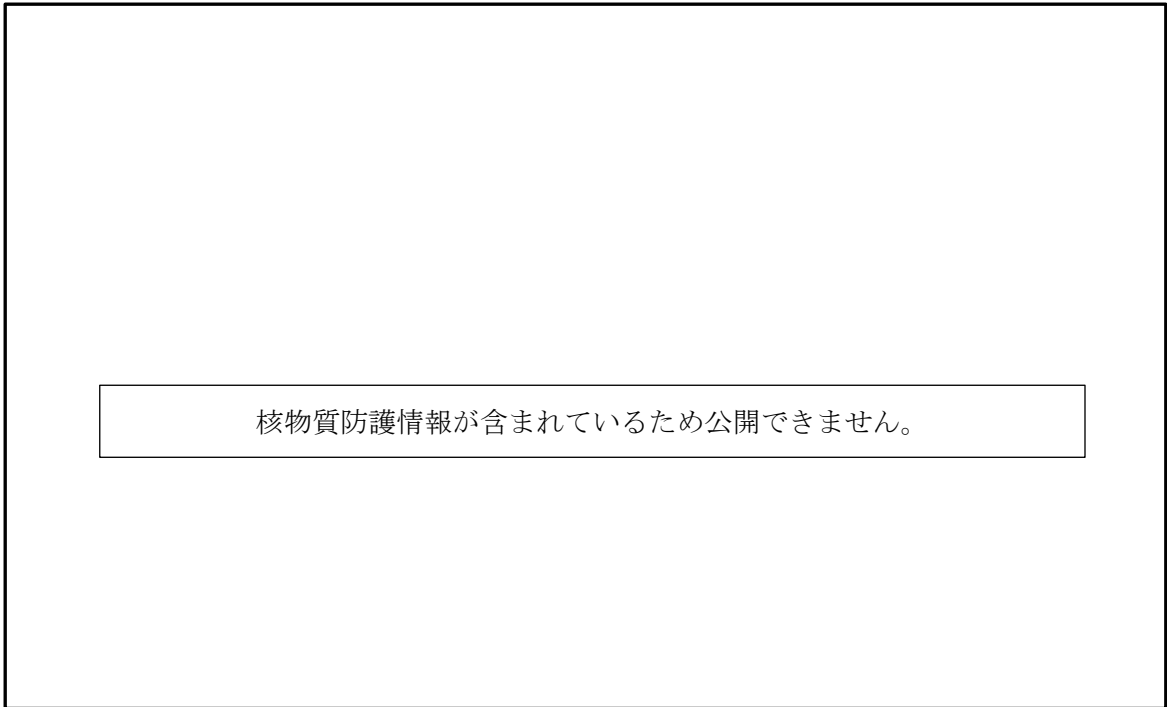
一部の開口部について貫通限界厚さが鋼板厚さ上回る箇所が確認されたが、飛来物の貫通が生じる扉については、貫通が生じた部屋に竜巻防護施設が設置されていないことを確認した。

また、シャッター、ガラリについては、飛来物は板厚に関わらず貫通するものとしたが、貫通が生じた部屋に竜巻防護施設が設置されていないことを確認した。原子炉建家の開口部位置を第 4.10 図～第 4.12 図に示す。



第 4.24 表 原子炉建家の開口部の設計飛来物の衝突に対する評価結果

核物質防護情報が含まれているため公開できません。



第 4.10 図 原子炉建家の開口部位置 (T. P. 36.7m~T. P. 44.7m)

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 4.11 図 原子炉建家の開口部位置 (T. P. 44.7m~T. P. 50.0m)

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 4.12 図 原子炉建家の開口部位置 (T. P. 50.0m~T. P. 50.7m)

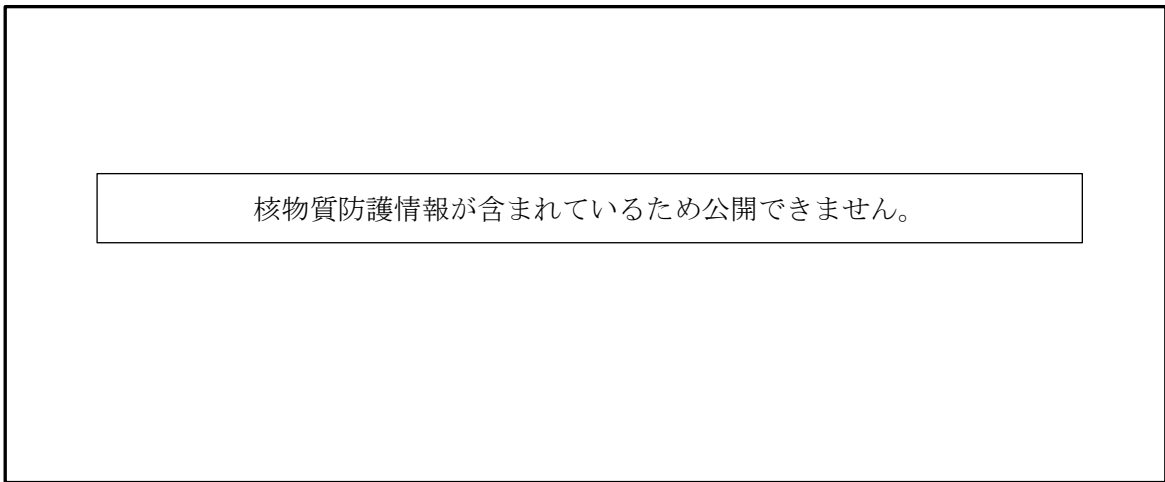
#### 4.4.3 使用済燃料貯蔵建家の開口部評価

使用済燃料貯蔵建家の開口部の設計飛来物の衝突に対する評価結果を第 4.25 表に示す。

開口部について、貫通限界厚さが鋼板厚さを上回る箇所が確認されたが、仮に設計飛来物が衝突時と同じ状態で使用済燃料貯蔵ラックに衝突したとしても、貫通限界厚さが使用済燃料貯蔵ラックの上蓋の厚さより小さくなることから、竜巻防護施設に影響がないことを確認した。使用済燃料貯蔵建家の開口部位置を第 4.13 図に示す。

第 4.25 表 使用済燃料貯蔵建家の開口部の設計飛来物の衝突に対する評価結果

高さ T. P. (m)	型式	種類	有効板厚 (mm)	限界厚さ (mm)	貫通の 有無	貫通先の部屋 の竜巻防護施 設への影響	結果
核物質防護情報が含まれているため公開できません。							良



第 4.13 図 使用済燃料貯蔵建家の開口部位置 (T. P. 36.7m)

## 5 波及的影響を及ぼし得る施設に対する評価

### 5.1 排気筒の評価方法

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす可能性のある施設について、竜巻工学モデル DBT-77(フジタモデル)<sup>(13)</sup>を用いて、風荷重及び設計飛来物の衝突による衝撃荷重によって排気筒が倒壊しないことを確認する。

### 5.2 排気筒の構造健全性評価

#### 5.2.1 評価概要

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設である排気筒について、設計荷重に対する構造健全性を確認する。

評価方法は、設計竜巻による複合荷重により生じる層せん断力( $W_{T2}$ (風圧力による荷重( $W_w$ )+設計飛来物の衝撃荷重( $W_M$ ))が、評価基準値を下回ることを確認する。

#### 5.2.2 解析プログラム

解析に用いるプログラムは以下の通りとする。

- DYNA2E ver8.0.07

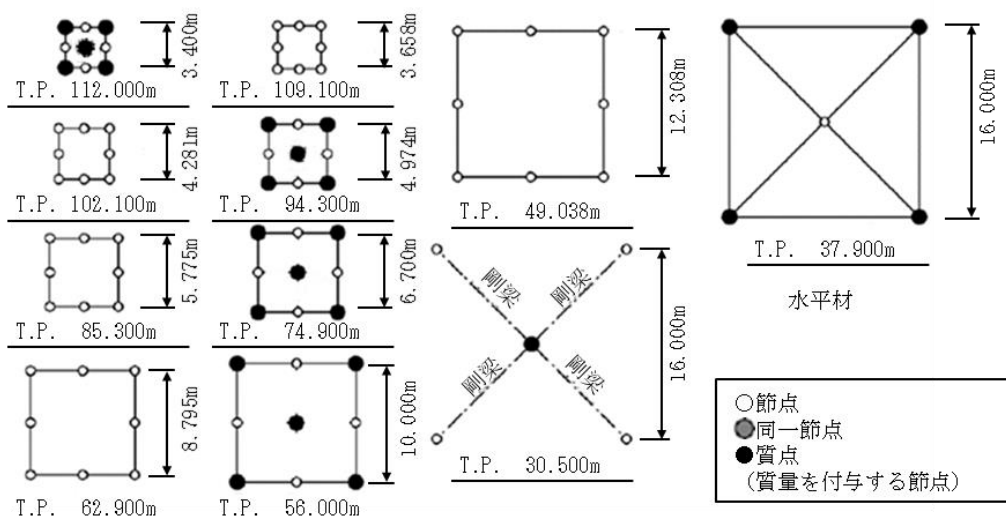
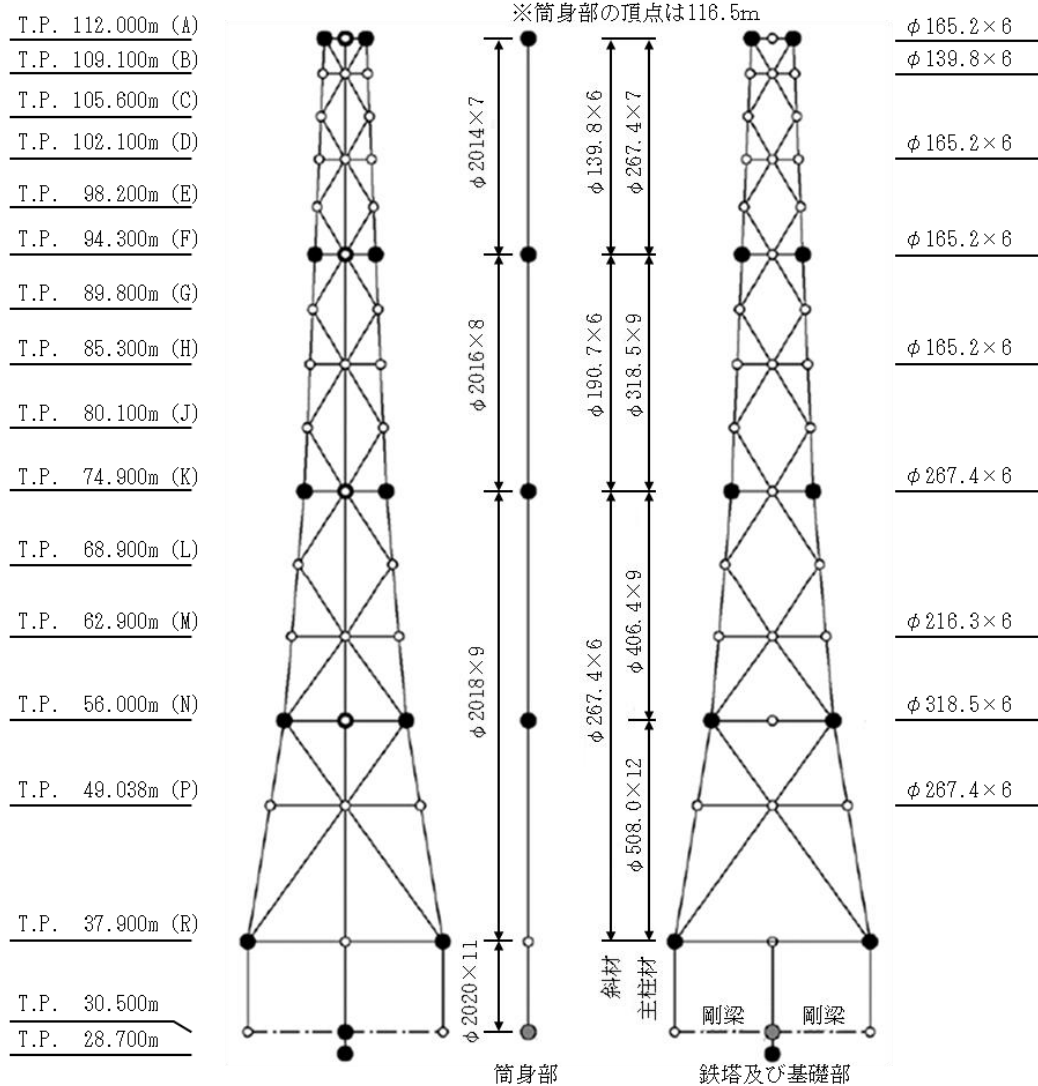
#### 5.2.3 解析モデル

##### 5.2.3.1 解析モデル概要

解析モデルは立体架構モデルを用いる。

立体架構モデルでは、筒身部は曲げ、せん断変形を想定した1軸の質点系でモデル化し、鉄塔部は支柱材、水平材をビーム要素で、斜材をトラス要素で個別にモデル化する。ここで、支柱材と接続する水平材の端部はピン接合とし、その他のビーム要素の接合部は剛接合とする。

解析モデルの概要を第5.1図に示す。



第 5.1 図 解析モデルの概要

### 5.2.3.2 質点重量

第 5.1 表に質点重量を示す。

質点重量は筒身部と鉄塔部の接続位置に集約して付与する。ただし、鉄塔部の質点重量は支柱材の節点位置に 4 分割して付与する。

ビーム要素でモデル化する筒身部、支柱材、水平材については、軸剛性、曲げ剛性、せん断剛性及びねじり剛性を想定する。

なお、静的解析により部材に生じる応力を保守的に評価するため、静的解析に用いる断面性能については腐食代を除いた断面性能とする。

第 5.1 表 質点重量\*1

部位	T. P. (m)	質点重量 (kN)
筒身部	112.0	$1.094 \times 10^2$
	94.3	$1.435 \times 10^2$
	74.9	$1.481 \times 10^2$
	56.0	$1.881 \times 10^2$
鉄塔部	112.0	$8.865 \times 10^1$
	94.3	$1.846 \times 10^2$
	74.9	$2.724 \times 10^2$
	56.0	$4.180 \times 10^2$
	37.9	$1.001 \times 10^4$

\*1 質点重量は、日本原子力研究所大洗研究所の原子炉施設[H T T R (高温工学試験研究炉)]の変更に係る設計及び工事の方法の認可申請書 添付計算書 III-ニ-16 排気筒及び排気管の耐震計算書(4原研 53 第 2 号(平成 4 年 2 月 17 日)申請、4安(原規)第 47 号(平成 4 年 4 月 9 日)認可)から引用



#### 5.2.4 荷重条件

設計竜巻による風荷重の算定方法を示す。

「竜巻ガイド」<sup>(1)</sup>より、設計竜巻による風荷重を筒身部及び鉄塔部それぞれについて、次式で算定する。

なお、本検討では見付面積が最大となる45度方向の風荷重を用いて解析を実施する。

$$W_w = P_D = q \times G \times C_f \times A$$

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

ここで、

$W_w$  : 風荷重(N)

$P_D$  : 風圧力(N)

$q$  : 設計用速度圧(N/m<sup>2</sup>)

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

$V_D$  : 設計竜巻の最大風速(m/s)

$G$  : ガスト影響係数→ $G=1.0$ <sup>(1)</sup>

$C_f$  : 風力係数

$A$  : 見付面積

風力係数の算定方法は各指針等により異なるが、本検討では「建築基準法施行令87条関連告示平12建告1454号」<sup>(14)</sup>を準用した算定方法を用いる。

#### 5.2.4.1 風荷重

設計竜巻による荷重を算定する。筒身部、鉄塔部それぞれの風荷重を第 5.2 表及び第 5.3 表に示す。

第 5.2 表 筒身部の風荷重

位置	高さ		風力係数	$w/\sqrt{2}$
	T. P.	G. L.		Fx, Fy
	(m)	(m)	Cf	(kN)
A	112	75.5	0.9	85.99
F	94.3	57.8	0.9	132.45
K	74.9	38.4	0.9	147.80
N	56	19.5	0.9	135.47
R	37.9	1.4	0.9	80.60
G. L.	36.5	0	-	-

第 5.3 表 鉄塔部の風荷重

位置	高さ		45° 方向	
	T. P.	G. L.	風力係数	w/√2
			Cf	Fx, Fy
	(m)	(m)		(kN)
A	112	75.5	1.54	4.13
B	109.1	72.6	1.54	7.70
C	105.6	69.1	1.62	7.75
D	102.1	65.6	1.62	9.62
E	98.2	61.7	1.62	8.89
F	94.3	57.8	1.62	12.66
G	89.8	53.3	1.62	13.40
H	85.3	48.8	1.62	16.53
J	80.1	43.6	1.62	16.00
K	74.9	38.4	1.62	25.18
L	68.9	32.4	1.62	26.00
M	62.9	26.4	1.62	34.68
N	56	19.5	1.62	46.73
P	49.038	12.538	1.70	80.37
R	37.9	1.4	1.70	21.58
G. L.	36.5	0	-	-

#### 5.2.4.2 設計飛来物

設計飛来物は風荷重に対する排気筒の発生応力に対する裕度が最も厳しい点(複数個所には衝突しない。)に衝突するものとする。

なお、米国原子力規制庁は飛散物(自動車)が9.14m(30ft)以下に影響を及ぼすとしている<sup>(15)</sup>ことを踏まえ、設計飛来物は高さ10mまで影響を及ぼすものとして評価する。

衝撃荷重は、鋼製材と被衝突体との接触時間を設定し、鋼製材の衝突前の運動量と衝撃荷重による力積が等しいものとして算出する。鋼製材による衝撃荷重の算定式を以下に示す。第5.4表に設計飛来物の衝撃荷重を示す。

$$W_M = m \times \frac{V}{\tau} = m \times \frac{V^2}{L} = 90(\text{kN})$$

L: 鋼製材の最も短い辺の長さ(m)     $\tau$ : 鋼製材と被衝突体との接触時間(s)

V: 鋼製材の最大速度(m/s)    m: 鋼製材の質量(kg)

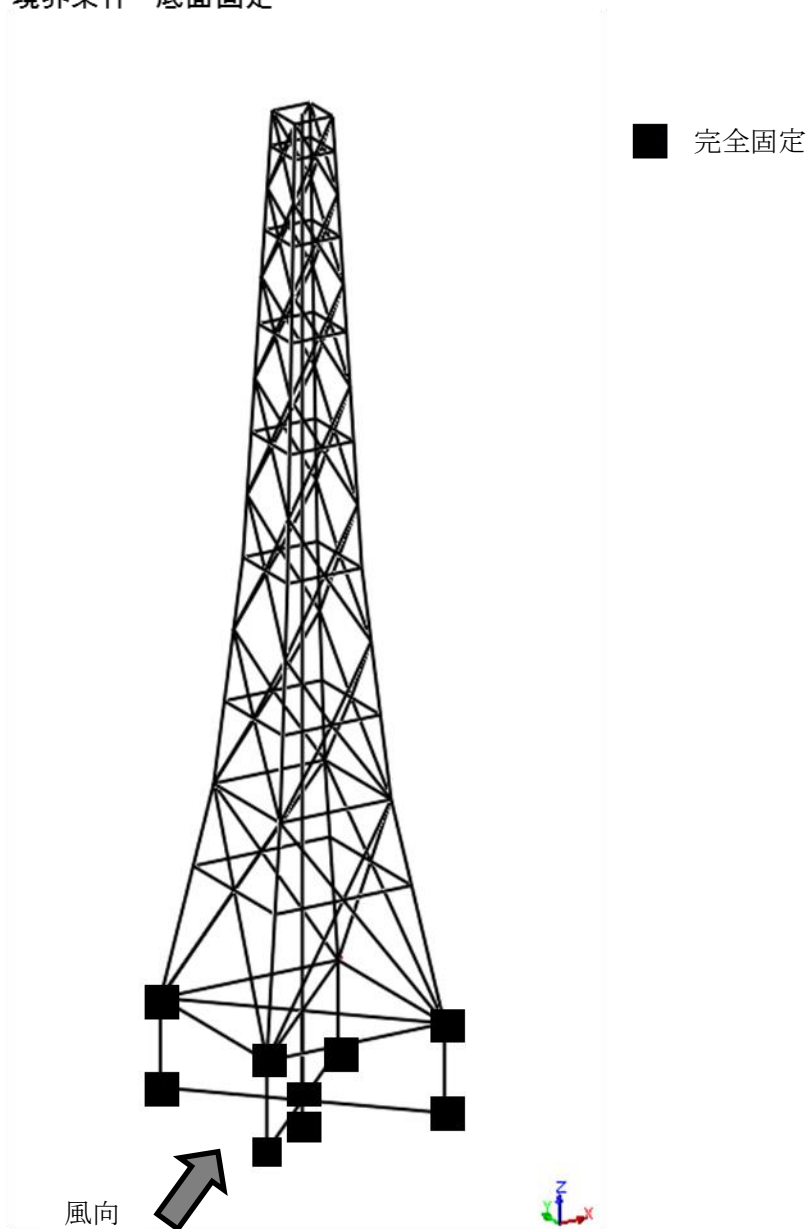
第5.4表 設計飛来物の衝撃荷重

名称	鋼製材
最大飛散高さ	G. L. 10(m)
飛散速度	11.524(m/s)
衝撃荷重	90(kN)(集中荷重)

### 5.2.5 境界条件及び風向

自重解析時の境界条件並びに風荷重による静的解析時の境界条件及び風向を第5.2図に示す。

#### 境界条件 底面固定



第 5.2 図 境界条件及び風向

## 5.2.6 評価結果

### 5.2.6.1 風荷重のみによる評価

#### 5.2.6.1.1 発生応力に対する断面検定

各部材の発生応力が許容値以下であることを確認する。検定に用いる部材の発生応力は自重解析による初期応力とし、風荷重による静的解析を実施し、部材に生じる各応力成分の最大発生値を用いる。

なお、検定に用いる各部材の曲げ応力は各要素の主軸平面内と主軸平面に直交する平面内の曲げ応力の最大値を二乗和平方根して用い、軸力と曲げの組合せ応力に対する検討についても軸力、曲げ共に最大値を組合せて検定する。

$$M_{\max} = \sqrt{M_{1\max}^2 + M_{2\max}^2}$$

ここで、

$M_{\max}$  : 検定に用いる部材の曲げモーメント

$M_{1\max}$  : 材軸-主軸平面内の最大発生曲げモーメント

$M_{2\max}$  : 材軸-主軸平面内に直交する平面内の最大発生曲げモーメント

主柱材、斜材、水平材の短期許容圧縮応力度は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法— 2005年 日本建築学会」<sup>(6)</sup>から、下式により求める。

$$f_c = 1.5 \times \frac{\left\{1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} (F \times 1.1)}{v}, \quad \lambda \leq \Lambda$$

$$f_c = 1.5 \times \frac{0.277(F \times 1.1)}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2}, \quad \lambda > \Lambda$$

ここで、

F : 許容応力度を決定する場合の基準値

$\lambda$  : 細長比

E : ヤング係数

$\Lambda$  : 限界細長比  $\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$

$v$  :  $v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$

また、筒身部の短期許容圧縮応力度および曲げ応力度は「鋼構造設座屈設計指針 2009年 日本建築学会」<sup>(16)</sup>から下式で求める。

$$f_c'' = \left\{ 1.08 - 0.71 \frac{(F \times 1.1) D}{E t} \right\} (F \times 1.1) \quad , \quad 0.11 < \frac{(F \times 1.1) D}{E t} < 0.67$$

$$f_c'' = 8200 \frac{t}{D} \quad , \quad \frac{(F \times 1.1) D}{E t} \geq 0.67$$

ここで、

F : 許容応力度を決定する場合の基準値

E : ヤング係数

D : 鋼管外径

t : 管厚

各部材の断面検定結果を第 5.5 表～第 5.8 表に示す。表には部材種別、部材レベルごとに検定比が最大となる部材を示している。

第 5.5 表 風荷重のみによる評価の断面検定結果(主柱材)

T. P. (m)	許容値		発生応力		検定比 $\sigma_c/f_c + \sigma_b/f_b$
	圧縮 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
112.0~109.1	490	357	22.8	10.7	0.08
109.1~105.6	470	357	22.8	18.3	0.10
105.6~102.1	470	357	57.5	18.3	0.18
102.1~98.2	455	357	57.4	17.8	0.18
98.2~94.3	455	357	123.9	46.7	0.41
94.3~89.8	460	357	84.1	44.8	0.31
89.8~85.3	460	357	149.7	48.1	0.47
85.3~80.1	437	357	149.5	47.6	0.48
80.1~74.9	437	357	244.1	93.7	0.83
74.9~68.9	453	357	198.1	81.3	0.67
68.9~62.9	453	357	272.9	81.3	0.84
62.9~56.0	430	357	272.2	68.8	0.83
56.0~49.0	461	357	186.3	9.6	0.44
49.0~37.9	487	357	186.2	8.1	0.41



第 5.6 表 風荷重のみによる評価の断面検定結果(斜材)

T. P. (m)	許容値	発生応力	検定比 $\sigma_c/f_c$
	圧縮 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	
112.0~109.1	278	25.5	0.10
109.1~105.6	240	32.9	0.14
105.6~102.1	240	37.8	0.16
102.1~98.2	210	47.0	0.23
98.2~94.3	210	43.5	0.21
94.3~89.8	253	60.2	0.24
89.8~85.3	253	65.9	0.27
85.3~80.1	219	79.8	0.37
80.1~74.9	219	67.9	0.32
74.9~68.9	261	65.7	0.26
68.9~62.9	261	68.0	0.27
62.9~56.0	220	81.6	0.38
56.0~49.0	217	106.0	0.49
49.0~37.9	268	140.3	0.53

第 5.7 表 風荷重のみによる評価の断面検定結果(水平材)

T. P. (m)	許容値		発生応力		検定比 $\sigma_c/f_c + \sigma_b/f_b$
	圧縮 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
112.0	365	258	9.8	0.0	0.03
109.1	351	258	4.6	2.5	0.03
102.1	352	258	5.6	4.2	0.04
94.3	341	258	9.2	9.3	0.07
85.3	326	258	12.9	7.8	0.07
74.9	355	258	8.6	35.1	0.17
62.9	308	258	18.5	27.6	0.17
56.0	339	258	23.1	0.0	0.07
49.0	290	258	20.6	1.2	0.08

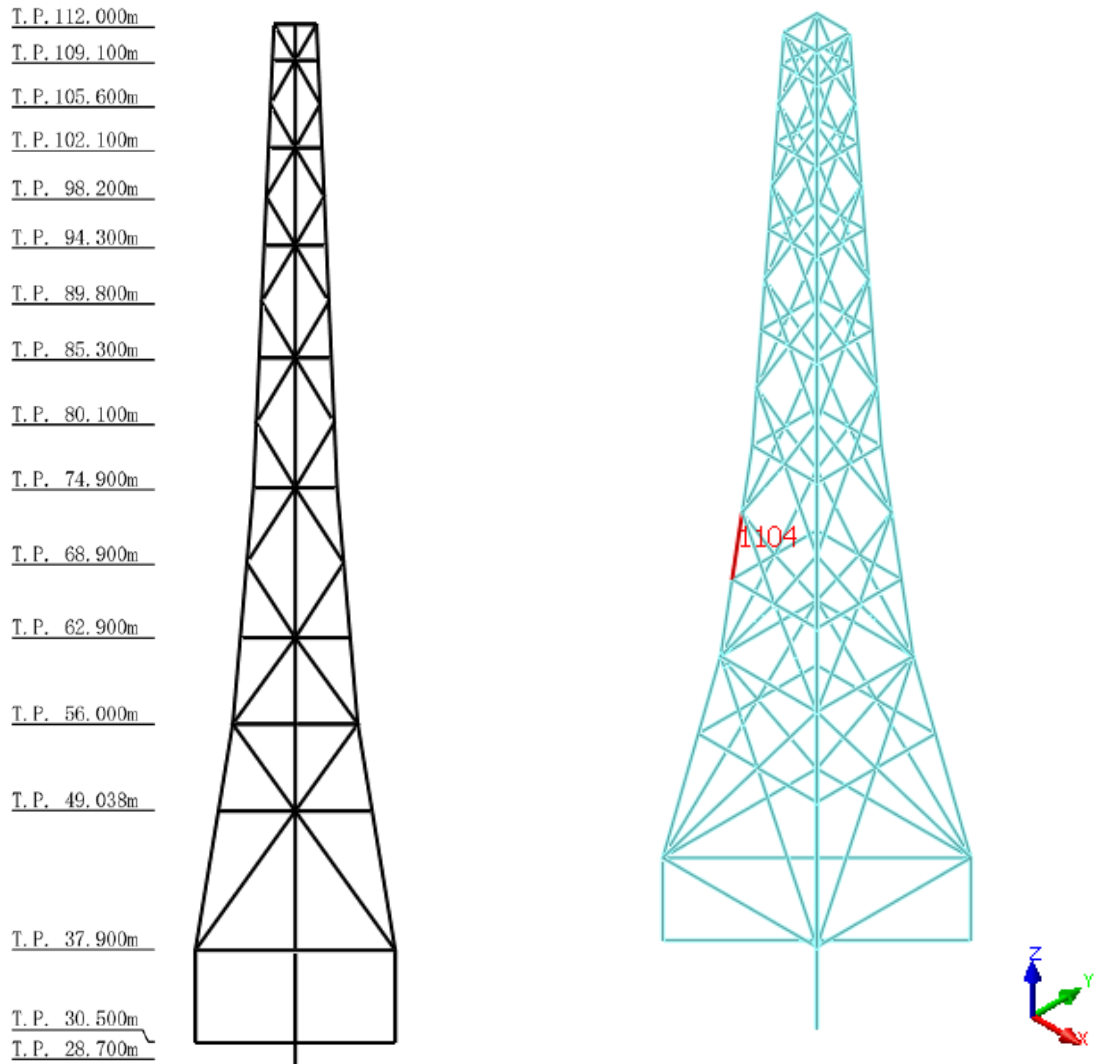
第 5.8 表 風荷重のみによる評価の断面検定結果(筒身)

T. P. (m)	曲げ耐力 $f_c''$ (N/mm <sup>2</sup> )	発生応力		検定比 $(\sigma_c + \sigma_b)/f_c''$
		圧縮 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
112.0~94.3	186	3.5	18.7	0.12
94.3~74.9	201	6.7	63.4	0.35
74.9~56.0	212	9.1	54.3	0.30
56.0~37.9	212	13.4	34.9	0.23
37.9~30.5	227	10.4	29.4	0.18

#### 5.2.6.1.2 まとめ

風荷重のみによる結果より、L-M 間の主柱材(要素 1104)が最も厳しい結果であることを確認した。その検定比は 0.84 となり、許容値を超える荷重が発生しないことを確認した。

要素 1104 は第 5.3 図に示す位置の部材である。



第 5.3 図 風荷重によって最も検定比が高くなる部材

## 5.2.6.2 風荷重に加えて飛来物が水平材又は斜材に衝突した際の評価

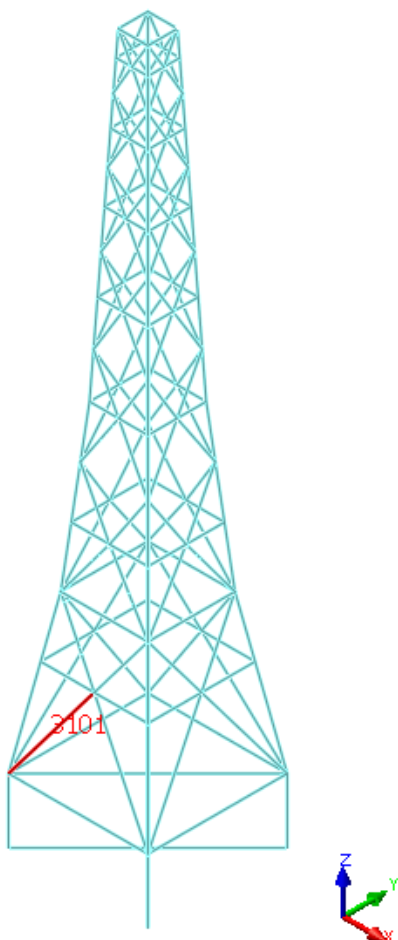
### 5.2.6.2.1 飛来物載荷位置

水平材、斜材に関して、飛来物の載荷点は下記の条件で決定した。

飛来物は地表面から 10m までの高さまで上昇する<sup>(15)</sup>ため、本検討においては風荷重に対する断面検定結果で最も検定比が高い P-R 間の部材に衝突することを想定する。

水平材、斜材は材径も小さく飛来物衝突により破断すると考え、風荷重のみの評価で最も検定比が大きくなった部材を取り除いたモデルを作成し、そのモデルに風荷重のみとした解析を再度実施する。

本検討では、第 5.4 図に示す部材が載荷位置となった。



第 5.4 図 斜材又は水平材のうち飛来物を載荷する部材

#### 5.2.6.2.2 発生応力に対する断面検定

各部材の断面検定結果を第 5.9 表～第 5.12 表に示す。表には部材種別、部材レベルごとに検定比が最大となる部材を示している。

第 5.9 表 風荷重に加えて飛来物が斜材に衝突した際の断面検定結果(主柱材)

T. P. (m)	許容値		発生応力		検定比 $\sigma_c/f_c + \sigma_b/f_b$
	圧縮 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
112.0~109.1	490	357	23.3	11.4	0.08
109.1~105.6	470	357	23.3	19.1	0.11
105.6~102.1	470	357	57.1	19.1	0.18
102.1~98.2	455	357	56.9	17.2	0.18
98.2~94.3	455	357	124.5	47.0	0.41
94.3~89.8	460	357	84.5	46.7	0.32
89.8~85.3	460	357	150.7	48.0	0.47
85.3~80.1	437	357	150.4	47.4	0.48
80.1~74.9	437	357	247.2	94.2	0.83
74.9~68.9	453	357	200.5	83.8	0.68
68.9~62.9	453	357	277.6	83.8	0.85
62.9~56.0	430	357	276.9	66.6	0.84
56.0~49.0	461	357	199.8	25.2	0.51
49.0~37.9	487	357	200.0	37.4	0.52

第 5.10 表 風荷重に加えて飛来物が斜材に衝突した際の断面検定結果(斜材)

T. P. (m)	許容値	発生応力	検定比 $\sigma_c/f_c$
	圧縮 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	
112.0~109.1	278	26.4	0.10
109.1~105.6	240	34.6	0.15
105.6~102.1	240	39.4	0.17
102.1~98.2	210	48.7	0.24
98.2~94.3	210	45.2	0.22
94.3~89.8	253	61.6	0.25
89.8~85.3	253	67.6	0.27
85.3~80.1	219	81.6	0.38
80.1~74.9	219	69.8	0.32
74.9~68.9	261	71.1	0.28
68.9~62.9	261	73.1	0.29
62.9~56.0	220	86.3	0.40
56.0~49.0	217	122.3	0.57
49.0~37.9	268	155.9	0.59

第 5.11 表 風荷重に加えて飛来物が斜材に衝突した際の断面検定結果(水平材)

T. P. (m)	許容値		発生応力		検定比 $\sigma_c/f_c + \sigma_b/f_b$
	圧縮 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
112.0	365	258	11.2	0.0	0.04
109.1	351	258	5.2	4.5	0.04
102.1	352	258	5.6	4.1	0.04
94.3	341	258	8.4	12.9	0.08
85.3	326	258	12.9	10.4	0.08
74.9	355	258	8.7	43.5	0.20
62.9	308	258	17.5	34.5	0.20
56.0	339	258	49.9	0.0	0.15
49.0	290	258	14.7	24.0	0.15

第 5.12 表 風荷重に加えて飛来物が斜材に衝突した際の断面検定結果(筒身)

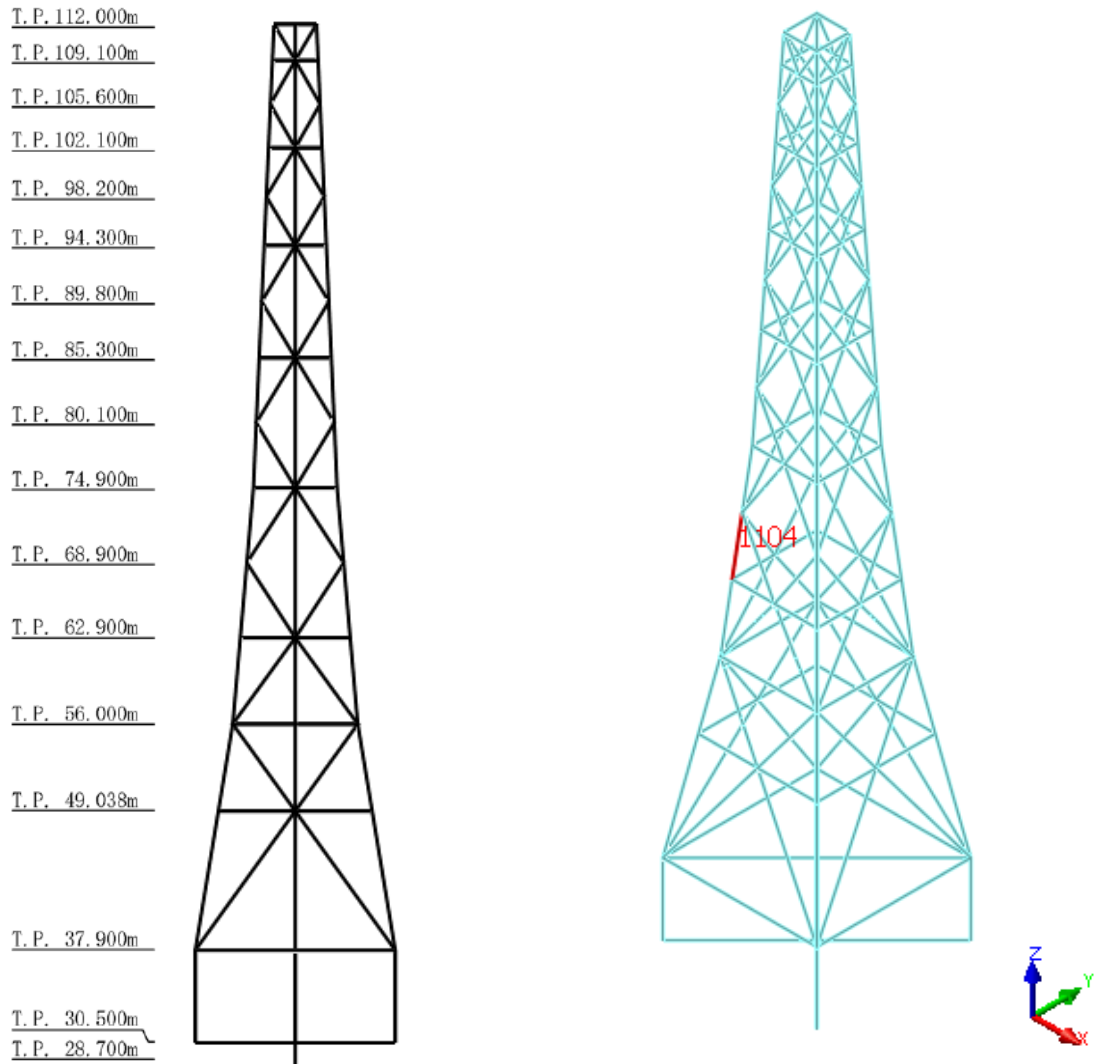
T. P. (m)	曲げ耐力 $f_c''$ (N/mm <sup>2</sup> )	発生応力		検定比 $(\sigma_c + \sigma_b)/f_c''$
		圧縮 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
112.0~94.3	186	3.5	18.5	0.12
94.3~74.9	201	6.7	64.8	0.36
74.9~56.0	212	9.1	55.5	0.31
56.0~37.9	212	13.4	29.0	0.20
37.9~30.5	227	10.4	39.0	0.22



### 5.2.6.2.3 まとめ

風荷重に加えて飛来物が斜材に衝突した際の断面検定結果より、L-M間の支柱材(要素1104)が最も厳しい結果であることを確認した。その検定比は0.85となり、許容値を超える荷重が発生しないことを確認した。

要素1104は第5.5図に示す位置の部材である。



第5.5図 風荷重に加えて飛来物が斜材に衝突した際に最も検定比が高くなる部材

### 5.2.6.3 風荷重に加えて飛来物が支柱材又は筒身に衝突した際の評価

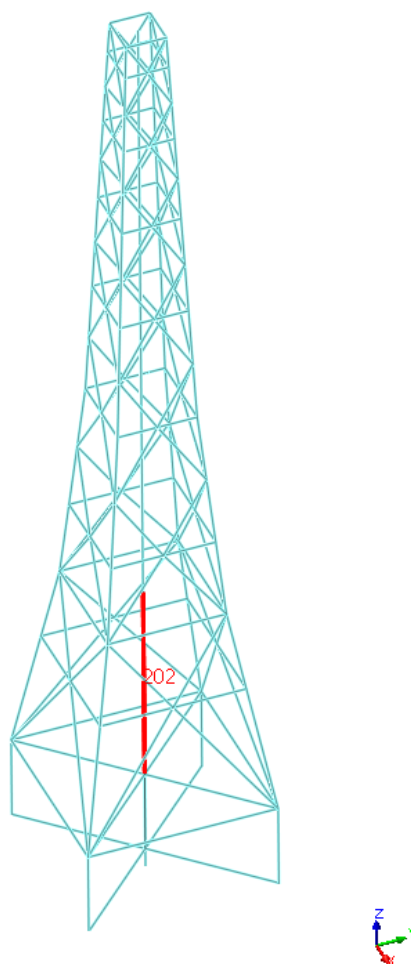
#### 5.2.6.3.1 飛来物載荷位置

筒身部、支柱に関して、飛来物の載荷点は下記の条件で決定した。

飛来物は地表面から 10m までの高さまで上昇する<sup>(15)</sup>ため、本検討においては風荷重に対する断面検定結果で最も検定比が高い P-R 間の部材に衝突することを想定する。

部材中央に載荷することを考えて、「曲げ応力 / 曲げ耐力」が最大となった部材の中央に載荷することと設定した。

本検討では、第 5.6 図に示す部材が載荷位置となった。



第 5.6 図 支柱材又は筒身のうち飛来物を載荷する部材

#### 5.2.6.3.2 発生応力に対する断面検定

各部材の断面検定結果を第 5.13 表～第 5.16 表に示す。表には部材種別、部材レベルごとに検定比が最大となる部材を示している。

第 5.13 表 風荷重に加えて飛来物が筒身に衝突した際の断面検定結果(主柱材)

T. P. (m)	許容値		発生応力		検定比 $\sigma_c/f_c + \sigma_b/f_b$
	圧縮 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
112.0~109.1	490	357	22.8	10.7	0.08
109.1~105.6	470	357	22.8	18.2	0.10
105.6~102.1	470	357	57.5	18.3	0.18
102.1~98.2	455	357	57.4	17.8	0.18
98.2~94.3	455	357	123.8	46.6	0.41
94.3~89.8	460	357	84.0	44.8	0.31
89.8~85.3	460	357	149.8	48.2	0.47
85.3~80.1	437	357	149.6	47.6	0.48
80.1~74.9	437	357	244.3	93.9	0.83
74.9~68.9	453	357	198.2	81.2	0.67
68.9~62.9	453	357	272.3	81.2	0.83
62.9~56.0	430	357	271.6	68.9	0.83
56.0~49.0	461	357	187.0	9.9	0.44
49.0~37.9	487	357	186.9	7.8	0.41

第 5.14 表 風荷重に加えて飛来物が筒身に衝突した際の断面検定結果(斜材)

T. P. (m)	許容値	発生応力	検定比 $\sigma_c/f_c$
	圧縮 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	
112.0~109.1	278	25.4	0.10
109.1~105.6	240	32.9	0.14
105.6~102.1	240	37.8	0.16
102.1~98.2	210	46.9	0.23
98.2~94.3	210	43.4	0.21
94.3~89.8	253	60.2	0.24
89.8~85.3	253	66.0	0.27
85.3~80.1	219	79.9	0.37
80.1~74.9	219	68.0	0.32
74.9~68.9	261	65.1	0.25
68.9~62.9	261	67.5	0.26
62.9~56.0	220	81.2	0.37
56.0~49.0	217	109.5	0.51
49.0~37.9	268	143.7	0.54

第 5.15 表 風荷重に加えて飛来物が筒身に衝突した際の断面検定結果(水平材)

T. P. (m)	許容値		発生応力		検定比 $\sigma_c/f_c + \sigma_b/f_b$
	圧縮 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
112.0	365	258	9.8	0.0	0.03
109.1	351	258	4.6	2.4	0.03
102.1	352	258	5.6	4.1	0.04
94.3	341	258	9.2	9.2	0.07
85.3	326	258	12.9	7.7	0.07
74.9	355	258	5.4	34.9	0.16
62.9	308	258	18.5	27.5	0.17
56.0	339	258	25.3	0.0	0.08
49.0	290	258	20.5	1.2	0.08

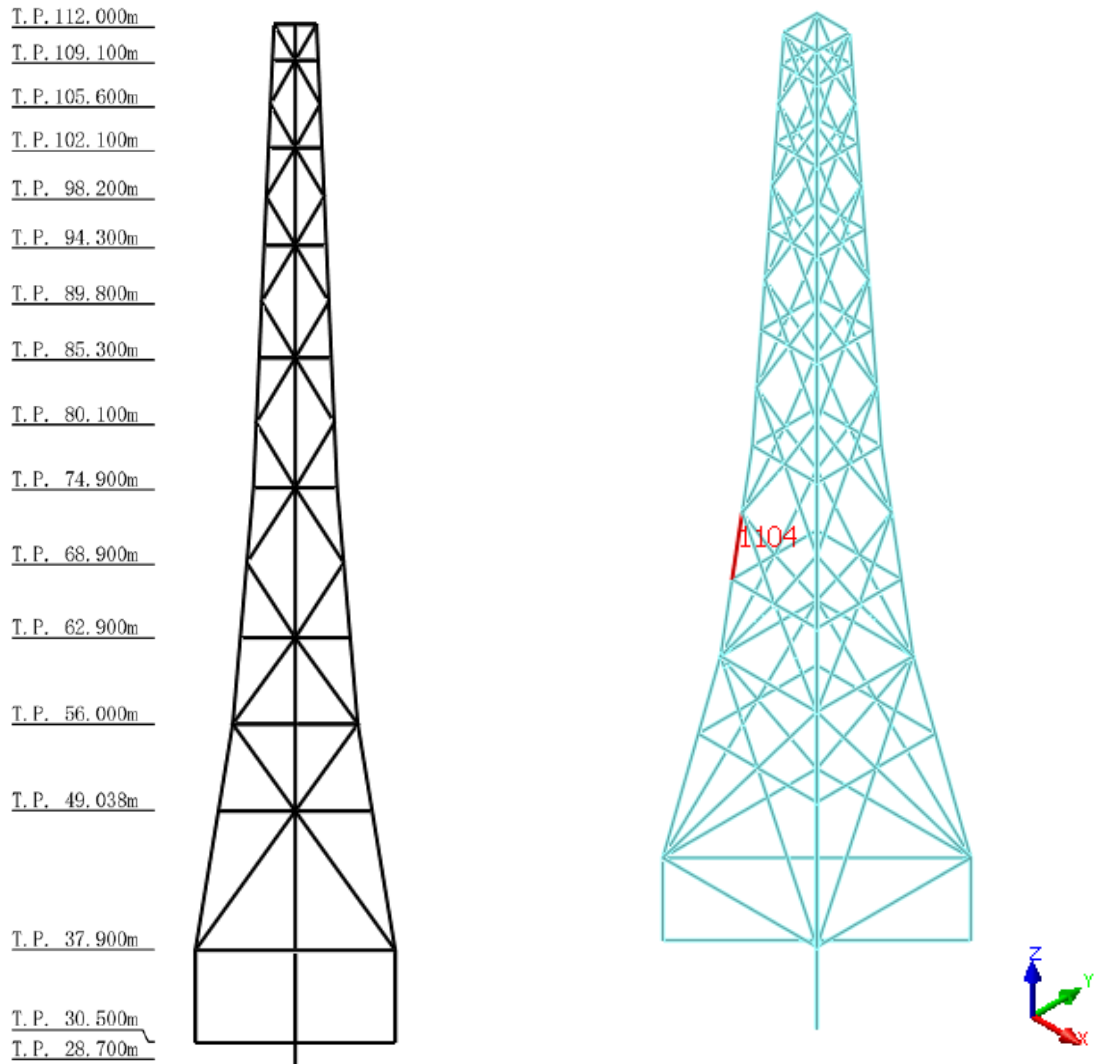
第 5.16 表 風荷重に加えて飛来物が筒身に衝突した際の断面検定結果(筒身)

T. P. (m)	曲げ耐力 $f_c''$ (N/mm <sup>2</sup> )	発生応力		検定比 $(\sigma_c + \sigma_b)/f_c''$
		圧縮 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
112.0~94.3	186	3.5	18.8	0.12
94.3~74.9	201	6.7	62.6	0.35
74.9~56.0	212	9.1	53.7	0.30
56.0~37.9	212	13.4	40.4	0.26
37.9~30.5	227	10.4	41.7	0.23

### 5.2.6.3.3 まとめ

風荷重に加えて飛来物が筒身に衝突した際の断面検定結果より、L-M間の支柱材(要素1104)が最も厳しい結果であることを確認した。その検定比は0.83となり、許容値を超える荷重が発生しないことを確認した。

要素1104は第5.7図に示す位置の部材である。



第5.7図 風荷重に加えて飛来物が筒身に衝突した際に最も検定比が高くなる部材

## 6. 竜巻随件事象に対する評価

想定される竜巻随件事象は火災、溢水及び外部電源喪失としている。

### (1) 火災

評価対象施設周辺にある危険物貯蔵施設屋外タンクのうち、最も容量が大きく、かつ、評価対象施設までの直線距離が最短となるH T T R機械棟屋外タンクの火災を想定しても、原子炉建家外壁、使用済燃料貯蔵建家外壁及び排気筒外殻のコンクリート表面温度は許容温度を超えないことから、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家及び排気筒の健全性は維持され、竜巻防護施設への影響はない。

### (2) 溢水

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の屋根スラブは竜巻飛来物によって貫通しないため、設計竜巻によって原子炉建家の屋外配管が損傷し、溢水しても、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家内部への浸水はないことから、溢水による竜巻防護施設への影響はない。

### (3) 外部電源喪失

設計竜巻が襲来しても竜巻防護施設の外殻である原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家によって、竜巻防護施設である安全保護系用交流無停電電源装置及び直流電源設備の健全性は維持される。したがって、外部電源が喪失しても安全保護系によって原子炉は自動停止し、原子炉停止後においては、必要な監視項目である中性子束、原子炉圧力容器上鏡温度及び補助冷却器出口ヘリウム圧力の監視を行うことができる。また、直流電源設備の蓄電池の枯渇後（60分以降）は、可搬型計器、可搬型発電機等を使って、原子炉圧力容器上鏡温度、補助冷却器出口ヘリウム圧力及び使用済燃料貯蔵プール水位の監視を継続することができる。



## 添付資料 1

### 裏面剥離コンクリートの衝突評価について

#### 1. 概要

原子炉建家内の原子炉格納容器（以下「CV」という。）及び使用済燃料貯蔵設備の貯蔵ラック（以下「SF ラック」という。）上蓋並びに使用済燃料貯蔵建家内の使用済燃料貯蔵設備の貯蔵ラック（以下「使用済燃料貯蔵建家 SF ラック」という。）上蓋について、これらが、設計飛来物の衝突により発生した裏面剥離コンクリートが衝突しても破損しないことを確認する。

評価方法は、設計飛来物の衝突により発生した裏面剥離コンクリートの衝突に対する鋼板の貫通限界厚さが、CV、SF ラック上蓋及び使用済燃料貯蔵建家 SF ラック上蓋の鋼板の厚さを下回ることを確認する。

#### 2. 裏面剥離コンクリートの形状算定

##### (1) 壁面から生じる裏面剥離コンクリート

設計飛来物である鋼製材が壁面に衝突した際に、かぶり部から生じる裏面剥離コンクリートが落下することを想定する。裏面剥離コンクリートが CV、SF ラック上蓋及び使用済燃料貯蔵建家 SF ラック上蓋に衝突する際の断面積を  $S_a$  とする。添付第 2.1 表に裏面剥離コンクリートの形状算定、添付第 2.1 図に裏面剥離コンクリートの形状を示す。

##### (2) 屋根スラブから生じる裏面剥離コンクリート

裏面剥離コンクリートの落下影響を確認するため、設計飛来物である鋼製材が屋根スラブに衝突した際に、かぶり部から生じる裏面剥離コンクリートが落下することを想定する。CV、SF ラック及び使用済燃料貯蔵建家 SF ラックを設置している区画の屋根スラブにはデッキプレートを施工しているため、裏面剥離コンクリートが発生しても飛散は防がれるが、本評価では、屋根スラブにデッキプレートがない状態を想定し、裏面剥離コンクリートは CV、SF ラック上蓋及び使用済燃料貯蔵建家 SF ラック上蓋に直接落下し衝突するものとする。その際、裏面剥離コンクリートの大きさを保守的に大きく評価するために、デッキプレートの凹凸部は全て最大厚さのコンクリートと見なすこととする。裏面剥離コンクリートが CV、SF ラック上蓋及び使用済燃料貯蔵建家 SF ラック上蓋に衝突する際の断面積を  $S_a$  とする。添付第 2.2 表に裏面剥離コンクリートの形状算定を、添付第 2.2 図に裏面剥離コンクリートの形状を示す。また、添付第 2.3(1)図に原子炉建家屋根スラブの形状を、添付第 2.3(2)図に使用済み燃料貯蔵建家屋根スラブの形状を示す。

添付第 2.1 表 鋼製材により壁面から生じる裏面剥離コンクリートの形状算定

項目			値	備考
原子炉建家壁面	壁面の厚さ	ta	核物質防護情報が含まれているため公開できません。	評価対象部位の最大値
	壁面のかぶり厚さ	tb		
	裏面剥離コンクリートの 屋内側寸法(縦)	La1		
	裏面剥離コンクリートの 屋内側寸法(横)	Lb1		
	裏面剥離コンクリートの体積	V		
	裏面剥離コンクリートの断面 積	Sa		裏面剥離コンクリートの 断面積の最小値
	裏面剥離コンクリートの断面 積の等価直径	d		$((4/\pi) \times Sa)^{1/2}$
	裏面剥離コンクリートの重量	W		コンクリート密度*1 $\rho = 2.45 \times 10^3 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
使用済燃料貯蔵建家壁面	壁面の厚さ	ta	核物質防護情報が含まれているため公開できません。	評価対象部位の最大値
	壁面のかぶり厚さ	tb		
	裏面剥離コンクリートの 屋内側寸法(縦)	La1		
	裏面剥離コンクリートの 屋内側寸法(横)	Lb1		
	裏面剥離コンクリートの体積	V		
	裏面剥離コンクリートの断面 積	Sa		裏面剥離コンクリートの 断面積の最小値
	裏面剥離コンクリートの断面 積の等価直径	d		$((4/\pi) \times Sa)^{1/2}$
	裏面剥離コンクリートの重量	W		コンクリート密度*1 $\rho = 2.45 \times 10^3 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

\*1 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社)日本建築学会、2010年改定)<sup>(5)</sup>に記載されている鉄筋コンクリートの単位体積重量から算出した。

添付第 2.2 表 鋼製材により屋根スラブから生じる裏面剥離コンクリートの形状算定

項目			値	備考
原子炉建家屋根スラブ	屋根スラブの厚さ	ta	核物質防護情報が含まれているため公開できません。	評価対象部位の最大値
	屋根スラブのかぶり厚さ	tb		*2
	裏面剥離コンクリートの 屋内側寸法(縦)	La1		
	裏面剥離コンクリートの 屋内側寸法(横)	Lb1		
	裏面剥離コンクリートの体積	V		
	裏面剥離コンクリートの断面 積	Sa		裏面剥離コンクリートの 断面積の最小値
	裏面剥離コンクリートの断面 積の等価直径	d		$((4/\pi) \times Sa)^{1/2}$
	裏面剥離コンクリートの重量	W		コンクリート密度*1 $\rho = 2.45 \times 10^3 (\text{kg/m}^3)$
	使用済燃料貯蔵建家屋根スラブ	屋根スラブの厚さ		ta
屋根スラブのかぶり厚さ		tb	*2	
裏面剥離コンクリートの 屋内側寸法(縦)		La1		
裏面剥離コンクリートの 屋内側寸法(横)		Lb1		
裏面剥離コンクリートの体積		V		
裏面剥離コンクリートの断面 積		Sa	裏面剥離コンクリートの 断面積の最小値	
裏面剥離コンクリートの断面 積の等価直径		d	$((4/\pi) \times Sa)^{1/2}$	
裏面剥離コンクリートの重量		W	コンクリート密度*1 $\rho = 2.45 \times 10^3 (\text{kg/m}^3)$	

\*1 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社)日本建築学会、2010年改定)<sup>(5)</sup>に記載されている鉄筋コンクリートの単位体積重量から算出した。

\*2 屋根スラブのかぶり部の厚さにデッキプレートの厚さを全てコンクリートとみなした厚さを加えた値とした。

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

添付第 2.1 図 壁面から生じる裏面剥離コンクリートの形状

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

添付第 2.2 図 屋根スラブから生じる裏面剥離コンクリートの形状

3. 裏面剥離したコンクリートが鋼板に衝突する時の速度

裏面剥離コンクリートは発生した時点で設計飛来物である鋼製材と同速度で飛散し、自由落下により加速するものとする。添付第 3.1 表に CV、SF ラック上蓋及び使用済燃料貯蔵建家 SF ラック上蓋に衝突する飛来物の諸元を示す。

$$\frac{1}{2}mV_0^2 + mgh = \frac{1}{2}mV_1^2$$

$V_0$ :発生した時点での裏面剥離コンクリート速度  $m$ :裏面剥離コンクリート重量

$V_1$ :衝突する時点での裏面剥離コンクリート速度  $g$ :重力加速度

$h$ :裏面剥離コンクリートの発生場所から衝突場所までの高さ (原子炉建家 24(m)、使用済燃料貯蔵建家 17(m))

(1) 壁面から生じる裏面剥離コンクリートの速度

$$V_1 = \sqrt{2gh + V_0^2} = 55.4(\text{m/s})(\text{原子炉建家})、V_1 = 54.2(\text{m/s})(\text{使用済燃料貯蔵建家})$$

(2) 屋根スラブから生じる裏面剥離コンクリートの速度

$$V_1 = \sqrt{2gh + V_0^2} = 40.3(\text{m/s})(\text{原子炉建家})、V_1 = 38.6(\text{m/s})(\text{使用済燃料貯蔵建家})$$

添付第 3.1 表 壁面及び屋根スラブから生じる裏面剥離コンクリートの諸元

裏面剥離コンクリートの発生源		飛来物重量 W	飛来物直径 d	衝突速度 V
壁面	原子炉建家	核物質防護情報が含まれているため公開できません。		55.4(m/s) (182(ft/s))
	使用済燃料貯蔵建家			54.2(m/s) (178(ft/s))
屋根スラブ	原子炉建家			40.3(m/s) (132(ft/s))
	使用済燃料貯蔵建家			38.6(m/s) (127(ft/s))

#### 4. CV、SF ラック上蓋及び使用済燃料貯蔵建家 SF ラック上蓋の貫通評価

裏面剥離コンクリートが CV、SF ラック上蓋及び使用済燃料貯蔵建家 SF ラック上蓋の鋼板に衝突した場合の鋼板の貫通限界厚さを、BRL 式<sup>(12)</sup>を用いて算出する。評価の結果、裏面剥離コンクリート衝突による貫通限界厚さは、CV、SF ラック上蓋及び使用済燃料貯蔵建家 SF ラック上蓋の鋼板厚さを下回っており、鋼板の貫通が生じないことを確認した。添付第 3.2 表及び 3.3 表に、また算出過程を下記に示す。

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{17400K^2d^{3/2}}$$

T: 鋼板貫通限界厚さ (in) M: ミサイル質量 (lb · s<sup>2</sup>/ft) = W/g V: ミサイル速度 (ft/s)  
d: ミサイル直径 (in) K: 鋼板の材質に関する係数=1 g: 重力加速度 (ft/s<sup>2</sup>)

##### (1) 壁面から生じる裏面剥離コンクリート

###### ① 原子炉建家外壁

$$T = \left( \frac{0.5MV^2}{17400K^2d^2} \right)^{\frac{2}{3}} = \text{核物質防護情報が含まれているため公開できません。}$$

###### ② 使用済燃料貯蔵建家外壁

$$T = \left( \frac{0.5MV^2}{17400K^2d^2} \right)^{\frac{2}{3}} = \text{核物質防護情報が含まれているため公開できません。}$$

##### (2) 屋根スラブから生じる裏面剥離コンクリート

###### ① 原子炉建家屋根スラブ

$$T = \left( \frac{0.5MV^2}{17400K^2d^2} \right)^{\frac{2}{3}} = \text{核物質防護情報が含まれているため公開できません。}$$

###### ② 使用済燃料貯蔵建家屋根スラブ

$$T = \left( \frac{0.5MV^2}{17400K^2d^2} \right)^{\frac{2}{3}} = \text{核物質防護情報が含まれているため公開できません。}$$

添付第 3.2 表 壁面から生じた裏面剥離コンクリートによる貫通評価結果

項目	原子炉建家		使用済燃料貯蔵建家
	CV	SF ラック上蓋	SF ラック上蓋
貫通限界厚さ	核物質防護情報が含まれているため公開できません。		
有効厚さ			
結果	良	良	良

添付第 3.3 表 屋根スラブから生じた裏面剥離コンクリートによる貫通評価結果

項目	原子炉建家		使用済燃料貯蔵建家
	CV	SF ラック上蓋	SF ラック上蓋
貫通限界厚さ	核物質防護情報が含まれているため公開できません。		
有効厚さ			
結果	良	良	良



## 参考文献

- (1) 原子力規制委員会, “原子力発電所の竜巻影響評価ガイド”, 2013年6月(2014年9月17日一部改正)
- (2) 建築基準法及び同施行令
- (3) 日本建築学会, “建築物荷重指針・同解説”, 2015年
- (4) 建設省告示第1454号, 2000年5月31日
- (5) 日本建築学会, “鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説”, 2010年
- (6) 日本建築学会, “鋼構造設計基準—許容応力度設計法—”, 2005年
- (7) JIS G 3112 鉄筋コンクリート用棒鋼
- (8) ERIN Engineering & Research, Inc., NEI 07-13 Revision 7, “Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs”, May 2009
- (9) Kiyoshi Muto, etc., “Experimental Studies on Local Damage of Reinforced Concrete Structures by the Impact of Deformable Missiles Part 4: Overall Evaluation of Local Damage”
- (10) R. P. KENNEDY., A REVIEW OF PROCEDURES FOR THE ANALYSIS AND DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES TO RESIST MISSILE IMPACT EFFECTS, December 1975
- (11) 財団法人電力中央研究所:伊藤他., “飛来物の衝突に対するコンクリート構造物の耐衝撃設計手法”, 1991年7月
- (12) Richard C. Gwaltney, “MISSILE GENERATION AND PROTECTION IN LIGHT-WATER-COOLED POWER REACTOR PLANTS”, September 1968
- (13) T. Theodore Fujita, “WORKBOOK of TORNADOES AND HIGH WINDS for Engineering Applications”, September 1978
- (14) 建築基準法施行令 87 条関連告示平 12 建告 1454 号
- (15) U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, “REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS”, March 2007
- (16) 日本建築学会, “鋼構造設座屈設計指針”, 2009年

3-3. 原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の構造(火山及び竜巻に対する健全性評価)に係る「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」への適合性

本申請のうち火山及び竜巻に対する健全性評価（火山及び竜巻）に係る設計及び工事の計画と「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」に掲げる技術上の基準への適合性は、以下に示すとおりである。

技術基準の条項		評価の必要性の有無		適合性
		有・無	項・号	
第一条	適用範囲	—	—	—
第二条	定義	—	—	—
第三条	特殊な設計による試験研究用等原子炉施設	—	—	—
第四条	廃止措置中の試験研究用等原子炉施設の維持	無	—	—
第五条	試験研究用等原子炉施設の地盤	無	—	—
第六条	地震による損傷の防止	無	—	—
第七条	津波による損傷の防止	無	—	—
第八条	外部からの衝撃による損傷の防止	有	1項	別添-1に示すとおり。
第九条	試験研究用等原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	無	—	—
第十条	試験研究用等原子炉施設の機能	無	—	—
第十一条	機能の確認等	無	—	—
第十二条	材料及び構造	無	—	—
第十三条	安全弁等	無	—	—
第十四条	逆止め弁	無	—	—
第十五条	放射性物質による汚染の防止	無	—	—
第十六条	遮蔽等	無	—	—
第十七条	換気設備	無	—	—
第十八条	適用	—	—	—
第十九条	溢水による損傷の防止	無	—	—
第二十条	安全避難通路等	無	—	—
第二十一条	安全設備	無	—	—
第二十二条	炉心等	無	—	—
第二十三条	熱遮蔽材	無	—	—
第二十四条	一次冷却材	無	—	—
第二十五条	核燃料物質取扱設備	無	—	—
第二十六条	核燃料物質貯蔵設備	無	—	—
第二十七条	一次冷却材処理装置	無	—	—
第二十八条	冷却設備等	無	—	—
第二十九条	液位の保持等	該当なし	—	—
第三十条	計測設備	該当なし	—	—
第三十一条	放射線管理施設	無	—	—

技術基準の条項		評価の必要性の有無		適合性
		有・無	項・号	
第三十二条	安全保護回路	無	—	—
第三十三条	反応度制御系統及び原子炉停止系統	無	—	—
第三十四条	原子炉制御室等	無	—	—
第三十五条	廃棄物処理設備	無	—	—
第三十六条	保管廃棄設備	無	—	—
第三十七条	原子炉格納施設	該当なし	—	—
第三十八条	実験設備等	無	—	—
第三十九条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	無	—	—
第四十条	保安電源設備	無	—	—
第四十一条	警報装置	無	—	—
第四十二条	通信連絡設備等	無	—	—
第四十三条 ～第五十二条	第三章 研究開発段階原子炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	該当なし	—	—
第五十三条	適用	—	—	—
第五十四条	原子炉冷却材圧力バウンダリ	無	—	—
第五十五条	計測設備	無	—	—
第五十六条	原子炉格納施設	無	—	—
第五十七条	試験用燃料体	無	—	—
第五十八条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	無	—	—
第五十九条	準用	—	—	—
第六十条 ～第七十条	第五章 ナトリウム冷却型高速炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	該当なし	—	—
第七十一条	第六章 雑則	無	—	—

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第八条 試験研究用等原子炉施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）によりその安全性を損なうおそれがある場合において、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

2 試験研究用等原子炉施設は、周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合において、事業所における火災又は爆発事故、危険物を搭載した車両、船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）により試験研究用等原子炉施設の安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

3 試験研究用等原子炉を船舶に設置する場合にあつては、原子炉格納容器に近接する船体の部分は、衝突、座礁その他の要因による原子炉格納容器の機能の喪失を防止できる構造でなければならない。

4 試験研究用等原子炉施設は、航空機の墜落により試験研究用等原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合において、防護措置その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

#### 1. (1)火山事象

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家は、想定する降下火砕物の層厚 50cm(湿潤密度  $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ )の荷重に加え、常時作用する荷重及び自然現象(積雪、風)の荷重を適切に組み合わせた荷重に対して、構造強度を有するものである。

#### (2)竜巻

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家は、設計竜巻(最大風速 100m/s)の風圧力及び気圧差による荷重、設計飛来物(鋼製材(135kg、4.2m×0.3m×0.2m)、鋼製パイプ(8.4kg、2m×φ0.05m))による衝撃荷重、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家に常時作用する荷重、竜巻以外の自然現象による荷重、設計基準事故時荷重を適切に組み合わせた荷重に対して、構造強度を有するものである。

なお、車両については、施設に影響が及ぶおそれがある竜巻が接近した場合には退避等の必要な措置を講ずる。

4-1. 避雷針に係る「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」への適合性

本申請のうち避雷針の設置に係る設計及び工事の計画と「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」に掲げる技術上の基準への適合性は、以下に示すとおりである。

技術基準の条項		評価の必要性の有無		適合性
		有・無	項・号	
第一条	適用範囲	—	—	—
第二条	定義	—	—	—
第三条	特殊な設計による試験研究用等原子炉施設	—	—	—
第四条	廃止措置中の試験研究用等原子炉施設の維持	無	—	—
第五条	試験研究用等原子炉施設の地盤	無	—	—
第六条	地震による損傷の防止	無	—	—
第七条	津波による損傷の防止	無	—	—
第八条	外部からの衝撃による損傷の防止	有	1項	別添-1 に示すとおり。
第九条	試験研究用等原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	無	—	—
第十条	試験研究用等原子炉施設の機能	無	—	—
第十一条	機能の確認等	無	—	—
第十二条	材料及び構造	無	—	—
第十三条	安全弁等	無	—	—
第十四条	逆止め弁	無	—	—
第十五条	放射性物質による汚染の防止	無	—	—
第十六条	遮蔽等	無	—	—
第十七条	換気設備	無	—	—
第十八条	適用	—	—	—
第十九条	溢水による損傷の防止	無	—	—
第二十条	安全避難通路等	無	—	—
第二十一条	安全設備	無	—	—
第二十二条	炉心等	無	—	—
第二十三条	熱遮蔽材	無	—	—
第二十四条	一次冷却材	無	—	—
第二十五条	核燃料物質取扱設備	無	—	—
第二十六条	核燃料物質貯蔵設備	無	—	—
第二十七条	一次冷却材処理装置	無	—	—
第二十八条	冷却設備等	無	—	—
第二十九条	液位の保持等	該当なし	—	—
第三十条	計測設備	該当なし	—	—
第三十一条	放射線管理施設	無	—	—
第三十二条	安全保護回路	無	—	—
第三十三条	反応度制御系統及び原子炉停止系統	無	—	—

技術基準の条項		評価の必要性の有無		適合性
		有・無	項・号	
第三十四条	原子炉制御室等	無	—	—
第三十五条	廃棄物処理設備	無	—	—
第三十六条	保管廃棄設備	無	—	—
第三十七条	原子炉格納施設	該当なし	—	—
第三十八条	実験設備等	無	—	—
第三十九条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	該当なし	—	—
第四十条	保安電源設備	無	—	—
第四十一条	警報装置	無	—	—
第四十二条	通信連絡設備等	無	—	—
第四十三条 ～第五十二条	第三章 研究開発段階原子炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	該当なし	—	—
第五十三条	適用	—	—	—
第五十四条	原子炉冷却材圧力バウンダリ	無	—	—
第五十五条	計測設備	無	—	—
第五十六条	原子炉格納施設	無	—	—
第五十七条	試験用燃料体	無	—	—
第五十八条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	無	—	—
第五十九条	準用	—	—	—
第六十条 ～第七十条	第五章 ナトリウム冷却型高速炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	該当なし	—	—
第七十一条	第六章 雑則	無	—	—



(外部からの衝撃による損傷の防止)

第八条 試験研究用等原子炉施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）によりその安全性を損なうおそれがある場合において、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

2 試験研究用等原子炉施設は、周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合において、事業所における火災又は爆発事故、危険物を搭載した車両、船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）により試験研究用等原子炉施設の安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

3 試験研究用等原子炉を船舶に設置する場合にあつては、原子炉格納容器に近接する船体の部分は、衝突、座礁その他の要因による原子炉格納容器の機能の喪失を防止できる構造でなければならない。

4 試験研究用等原子炉施設は、航空機の墜落により試験研究用等原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合において、防護措置その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

本原子炉施設は、想定される自然現象のうち落雷に対して、「第4編 その他試験研究用等原子炉の附属施設のうち避雷針」のとおり、原子炉施設の安全性を損なわないよう、建築基準法に基づき排気筒へ避雷針を設置することとしており、第1項に適合する設計となっている。