



**第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）に係る説明書  
（その3：耐降下火砕物設計）**

**2022年4月28日**

**日本原子力研究開発機構 大洗研究所  
高速実験炉部**

# 説明概要

## 1. 設計方針

- (1) 基本方針
- (2) 影響を及ぼし得る火山事象の選定
- (3) 降下火砕物防護施設（評価対象施設）の抽出と対応方針
- (4) 荷重条件
- (5) 許容限界
- (6) 降下火砕物による波及的影響評価（対応方針）
- (7) 降下火砕物随伴事象等に対する考慮

## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価（構造健全性評価）

## 3. 「外部からの衝撃による損傷に係る重要安全施設」における降下火砕物の影響評価

## 4. 波及的影響に対する設備対応

## 5. まとめ

## 1. (1) 基本方針 (1/2)

### ●試験炉設置許可基準規則第6条における要求事項

- 1 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。
- 2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。
- 3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

## 1. (1) 基本方針 (2/2)

### ●基本方針 (第6条 外部からの衝撃による損傷の防止)

- ・安全施設は、設計上の考慮を要する自然現象（洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災）又はその組合せに遭遇した場合において、自然事象そのものがもたらす環境条件及びその結果として試験研究用等原子炉施設で生じ得る環境条件においても、安全機能を損なわないように設計する。
- ・「研究炉の重要度分類の考え方」を参考に、その機能、構造及び動作原理を考慮し、その機能喪失により周辺の公衆に過度の放射線被ばくを与えるおそれのある施設として、以下の施設を外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設とする。
  - (i) クラス1
  - (ii) クラス2のうち、周辺の公衆に過度の放射線被ばくを与えることを防止するための安全機能を有し、特に自然現象の影響を受けやすく、かつ、代替手段によってその機能の維持が困難であるか、又はその修復が著しく困難な構築物、系統及び機器（「過度の放射線被ばくを与えるおそれのある」とは、安全機能の喪失による周辺の公衆の実効線量の評価値が発生事故当たり5mSvを超えることをいう。）

### ●基本方針 (第6条その3：耐降下火砕物設計)

- ・耐降下火砕物設計においては、安全機能の重要度分類がクラス1、2、3に属する構築物、系統及び機器を降下火砕物防護施設とし、このうち、外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設に該当する構築物、系統及び機器を影響評価の対象とする。
- ・当該影響評価にあつては、当該重要安全施設の**外殻施設を評価対象とする場合がある**。これらの重要安全施設以外の安全施設は、火山の影響により損傷するおそれがある場合に、**代替措置や修復等により、安全機能を損なわないものとする**。

## 1. (2) 影響を及ぼし得る火山事象の選定



### 大洗研究所（南地区）高速実験炉「常陽」原子炉施設の 地震・津波等の概要

資料1-1

○高速実験炉「常陽」原子炉施設（補正書の提出（平成30年10月26日））の地震・津波等の評価は、大洗研究所（北地区）HTTR（高温工学研究炉）原子炉施設の設置許可申請書（令和2年6月3日許可）を踏まえて実施。相違事項について、下表に示す。

設置許可申請書における項目		大洗研究所（HTTR）との相違点など	備考
地盤	敷地周辺の地質・地質構造	大洗研究所（HTTR）と同様 （13の断層を震源として考慮する活断層として評価）	-
	敷地の地質・地質構造	「常陽」周辺のボーリング調査結果の追加 ・ボーリング調査結果より、敷地に分布する地層はほぼ水平に堆積しており、敷地には将来活動する可能性のある断層等はないことを確認	資料2
地震	検討用地震の選定	大洗研究所（HTTR）と同様 ・「常陽」及び「HTTR」の地震動特性を比較し、両地点が概ね同様であることから、「常陽」の地震動評価には「HTTR」の地震動評価を用いることとしている。	資料3
	検討用地震の地震動特性評価		
	震源を特定せず策定する地震動		
	基準地震動Ssの策定		
津波	概要	大洗研究所（HTTR）と同様 （敷地に最も影響を及ぼす津波波源として「茨城県沖から房総沖に想定する津波波源」を選定し、津波評価を実施。評価の結果、敷地に津波は到達しないことを確認。）	-
	津波の水位評価		
基礎地盤の安定性	基礎地盤の安定性評価	・耐震重要施設の基礎地盤の安定性評価を確認	次回以降ご説明
火山	降下火砕物の層厚及び密度に関する評価	大洗研究所（HTTR）と同様 （降灰量：50cm 密度1.5g/cm <sup>3</sup> と設定）	-

原子炉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る。

# 1. (3) 降下火砕物防護施設（評価対象施設）の抽出と対応方針（1/7）

- 安全施設の機能の確保の考え方を下表に、評価対象施設の抽出の詳細を次葉以降に示す。
- 必要に応じて措置する降下火砕物の除去を考慮した上で、外殻施設或いは重要安全施設について設計降下火砕物荷重に対する構造健全性を確認する。

防護対象	安全施設の安全機能の確保の考え方
<p><b>【外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>クラス1</li> <li>クラス2のうち、周辺の公衆に過度の放射線被ばくを与えることを防止するための安全機能を有し、特に自然現象の影響を受けやすく、かつ、代替手段によってその機能の維持が困難であるか、又はその修復が著しく困難な構築物、系統及び機器（「過度の放射線被ばくを与えるおそれのある」とは、安全機能の喪失による周辺の公衆の実効線量の評価値が発生事故当たり5mSvを超えることをいう。）*1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>想定される降下火砕物に対する影響を評価し、外殻施設又は降下火砕物の除去に係る措置による防護により、その安全機能を損なわないように設計する。</li> <li>※ 設計降下火砕物荷重を踏まえて健全性を評価し、許容限界以下とすることで、安全施設の安全機能を確保する。</li> <li>※ 主冷却機のうち屋外部分及び補機冷却設備のうち非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔及び排気管については、降下火砕物の除去に係る措置により、降下火砕物による波及的影響（閉塞及び目詰まり）によって、必要な安全機能を損なわないものとする。</li> </ul>
<p><b>【外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設以外の安全施設】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>クラス2のうち、周辺の公衆に過度の放射線被ばくを与えることを防止するための安全機能を有し、特に自然現象の影響を受けやすく、かつ、代替手段によってその機能の維持が困難であるか、又はその修復が著しく困難な構築物、系統及び機器に属しないもの*2</li> <li>クラス3*2</li> </ul> <div data-bbox="171 932 733 1148" style="border: 2px solid red; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p><b>（右記のまとめ）</b>  <b>放射性物質の貯蔵、放射線の遮蔽及び放出低減に係る安全機能が損なわれることはなく、また、代替措置が適応可能であることを確認した。</b></p> </div>	<p><b>【原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物や主冷却機建物に内包されるもの】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; 降下火砕物に対する外殻施設を有し、安全機能を損なうことはない。</li> </ul> <p><b>【第一使用済燃料貯蔵建物、第二使用済燃料貯蔵建物に内包されるもの】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; 貯蔵ラック、水冷却池及びサイフォンブレイク弁が該当する（クラス2）。</li> <li>&gt; 貯蔵ラックは、水中に位置し、降下火砕物が堆積することはない。その安全機能（放射性物質の貯蔵）を損なうことはない。水冷却池について、その安全機能（放射性物質の貯蔵及び燃料プール水の保持）に、降下火砕物は影響を及ぼさない。サイフォンブレイク弁の安全機能（燃料プール水の保持）について同様である。</li> </ul> <p><b>【廃棄物処理建物、メンテナンス建物に内包されるもの】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; 液体廃棄物処理設備及び固体廃棄物貯蔵設備が該当する（クラス3）。</li> <li>&gt; 液体廃棄物処理設備及び固体廃棄物貯蔵設備は、基本的に地下階に位置し、降下火砕物が堆積した場合であっても、放射性物質が拡散することはない。安全機能（放射性物質の貯蔵）を損なうことはない。</li> </ul> <p><b>【建物に内包されないもの】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; 外周コンクリート壁（クラス2）：原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物の屋上に位置し、堆積面積が小さいことより、原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物の影響評価に代表されるため、降下火砕物に対して、安全機能（放射線の遮蔽及び放出低減）を損なうことはない。</li> <li>&gt; 主排気筒（クラス2）：放射性廃ガス中の放射性物質の濃度が濃度限度を超える場合には、廃ガスは、廃ガス貯留タンクに圧入貯蔵される。主排気筒の機能を喪失した場合には、廃ガスを廃ガス貯留タンクに保持することを代替措置とする。廃ガス貯留タンクは、原子炉附属建物に内包されるため、安全機能を損なうことはない。</li> <li>&gt; 一般電源系（受電エリア）（クラス3）：一般電源系の機能を喪失した場合には、非常用ディーゼル電源系等により必要な電源を供給する。これらは、MS-1に該当し、外殻施設の健全性が確保されるため、安全機能を損なうことはなく、代替措置により、必要な機能を確保できる。</li> <li>&gt; 屋外管理用モニタリングポスト：屋外管理用モニタリングポストの機能を喪失した場合には、代替措置（可搬型測定器）により、必要な機能を確保する。</li> </ul>

\* 1 p. 6～8参照

\* 2 p. 9～11参照

# 1. (3) 降下火砕物防護施設（評価対象施設）の抽出と対応方針（2/7）

## 降下火砕物防護施設（評価対象施設）の抽出結果

(1) 重要安全施設を内包し保護する外殻施設 …2章に評価を示す。

- ・ 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
- ・ 主冷却機建物

(2) 外殻施設で保護されない重要安全施設 …3章に評価を示す。

- ・ 主冷却機のうち屋外部分（屋外ダクト）
- ・ 非常用ディーゼル電源系に関連する「冷却塔」、「排気管」及び「吸気系統」

### 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設及び外殻施設の抽出 (1/3)

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

# 1. (3) 降下火砕物防護施設（評価対象施設）の抽出と対応方針（3/7）

## 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設及び外殻施設の抽出（2/3）

分類	機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関連系	外殻施設
MS-1	原子炉の緊急停止及び未臨界維持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 制御棒</li> <li>② 制御棒駆動系                             <ul style="list-style-type: none"> <li>1) 駆動機構</li> <li>2) 上部案内管</li> <li>3) 下部案内管</li> </ul> </li> <li>③ 後備炉停止制御棒</li> <li>④ 後備炉停止制御棒駆動系                             <ul style="list-style-type: none"> <li>1) 駆動機構</li> <li>2) 上部案内管</li> <li>3) 下部案内管</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 炉心支持構造物                             <ul style="list-style-type: none"> <li>1) 炉心支持板</li> <li>2) 支持構造物</li> </ul> </li> <li>② 炉心バレル構造物                             <ul style="list-style-type: none"> <li>1) バレル構造体</li> </ul> </li> <li>③ 炉心構成要素                             <ul style="list-style-type: none"> <li>1) 炉心燃料集合体</li> <li>2) 照射燃料集合体</li> <li>3) 内側反射体</li> <li>4) 外側反射体（A）</li> <li>5) 材料照射用反射体</li> <li>6) 遮へい集合体</li> <li>7) 計測線付実験装置</li> <li>8) 照射用実験装置</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物</li> </ul>
	1次冷却材漏えい量の低減機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 原子炉容器                             <ul style="list-style-type: none"> <li>1) リークジャケット</li> </ul> </li> <li>② 1次主冷却系、1次補助冷却系及び1次ナトリウム充填・ドレン系のうち、原子炉冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁の配管（外側）又はリークジャケット</li> <li>③ 1次主冷却系                             <ul style="list-style-type: none"> <li>1) 逆止弁</li> </ul> </li> <li>④ 1次補助冷却系                             <ul style="list-style-type: none"> <li>1) サイフォンブレイク弁</li> </ul> </li> <li>⑤ 1次予熱空素ガス系                             <ul style="list-style-type: none"> <li>1) 仕切弁</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 関連するプロセス計装（ナトリウム漏えい検出器）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物</li> </ul>



# 1. (3) 降下火砕物防護施設（評価対象施設）の抽出と対応方針（4/7）

## 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設及び外殻施設の抽出（3/3）

分類	機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関連系	外殻施設
MS-1	原子炉停止後の除熱機能	① 1次主冷却系 1) 1次主循環ポンプモーター 2) 逆止弁 ② 2次主冷却系 1) 主冷却機（主送風機を除く。）	① 原子炉容器 1) 本体 ② 1次主冷却系、1次補助冷却系及び1次ナトリウム充填・ドレン系 1) 原子炉冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁（ただし、計装等の小口径のものを除く。） ③ 2次主冷却系、2次補助冷却系、2次ナトリウム純化系及び2次ナトリウム充填・ドレン系 1) 冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁（ただし、計装等の小口径のものを除く。）	① 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物 ② 主冷却機建物 ※ 主冷却機のうち屋外部分を除く。
	放射性物質の閉じ込め機能	① 格納容器 ② 格納容器バウンダリに属する配管・弁		① 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
	工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	① 原子炉保護系（スクラム） ② 原子炉保護系（アイソレーション）	① 関連する核計装 ② 関連するプロセス計装	① 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
	安全上特に重要な関連機能	① 中央制御室 ② 非常用ディーゼル電源系（MS-1に関連するもの） ③ 交流無停電電源系（MS-1に関連するもの） ④ 直流無停電電源系（MS-1に関連するもの）	① 関連する補機冷却設備	① 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物 ② 主冷却機建物 ※ 補機冷却設備のうち、非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔を除く。

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

# 1. (3) 降下火砕物防護施設（評価対象施設）の抽出と対応方針（5/7）

## 重要安全施設以外の安全施設の抽出結果

- ・原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
- ・第一使用済燃料貯蔵建物
- ・第二使用済燃料貯蔵建物
- ・主冷却機建物

安全機能の確保及び代替措置の適用を確認済（p.5） → 施設の健全性評価の対象外

## 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設以外の安全施設及び外殻施設の抽出(1/3)

分類	機能	構築物、系統又は機器	外殻施設
PS-2	原子炉カバーガスのバウンダリ機能	① 1次アルゴンガス系 1) 原子炉カバーガスのバウンダリに属する容器・配管・弁（ただし、計装等の小口径のものを除く。） ② 原子炉容器 1) 本体（原子炉冷却材バウンダリに属するもの及び計装等の小口径のものを除く。） ③ 1次主冷却系 1) 原子炉カバーガスのバウンダリに属する容器・配管・弁（原子炉冷却材バウンダリに属するもの及び計装等の小口径のものを除く。） ④ 1次オーバーフロー系 1) 原子炉カバーガスのバウンダリに属する容器・配管・弁（ただし、計装等の小口径のものを除く。） ⑤ 1次ナトリウム充填・ドレン系 1) 原子炉カバーガスのバウンダリに属する容器・配管・弁（ただし、計装等の小口径のものを除く。） ⑥ 回転プラグ（ただし、計装等の小口径のものを除く。）	①～⑥ 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
	原子炉冷却材バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	① 第一使用済燃料貯蔵建物使用済燃料貯蔵設備 1) 貯蔵ラック 2) 水冷却池 ② 第二使用済燃料貯蔵建物使用済燃料貯蔵設備 1) 貯蔵ラック 2) 水冷却池 ③ 気体廃棄物処理設備 1) アルゴン廃ガス処理系	① 第一使用済燃料貯蔵建物 ② 第二使用済燃料貯蔵建物 ③ 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
MS-2	燃料プール水の保持機能	① 第一使用済燃料貯蔵建物使用済燃料貯蔵設備 1) 水冷却池 2) 水冷却浄化設備のうち、サイフォンブレイク弁 ② 第二使用済燃料貯蔵建物使用済燃料貯蔵設備 1) 水冷却池 2) 水冷却浄化設備のうち、サイフォンブレイク弁	① 第一使用済燃料貯蔵建物 ② 第二使用済燃料貯蔵建物
	放射線の遮蔽及び放出低減機能	① 外周コンクリート壁 ② アンユラス部排気系 1) アンユラス部排気系（アンユラス部常用排気フィルタを除く。） ③ 非常用ガス処理装置 ④ 主排気筒 ⑤ 放射線低減効果の大きい遮蔽（安全容器及びコンクリート遮へい体冷却系を含む。）	①④ — ②③⑤ 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物

# 1. (3) 降下火砕物防護施設（評価対象施設）の抽出と対応方針（6/7）

## 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設以外の安全施設及び外殻施設の抽出(2/3)

分類	機能	構築物、系統又は機器	外殻施設
PS-3	1次冷却材を内蔵する機能 (PS-1以外のもの)	① 1次ナトリウム純化系のうち、1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・ポンプ・弁(ただし、計装等の小口径のものを除く。) ② 1次オーバーフロー系のうち、1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・ポンプ・弁(ただし、計装等の小口径のものを除く。) ③ 1次ナトリウム充填・ドレン系のうち、1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・弁(PS-1に属するもの及び計装等の小口径のものを除く。)	①～③ 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物
	2次冷却材を内蔵する機能 (通常運転時の炉心の冷却に関連するもの)	① 2次主冷却系、2次補助冷却系、2次ナトリウム純化系及び2次ナトリウム充填・ドレン系 1) 冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁(ただし、計装等の小口径のものを除く。)	① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物、主冷却機建物(主冷却機のうち屋外部分を除く。)
	放射性物質の貯蔵機能	① 液体廃棄物処理設備 ② 固体廃棄物貯蔵設備	① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物、廃棄物処理建物他 ② 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物、廃棄物処理建物他
	通常運転時の冷却材の循環機能	① 1次主冷却系 1) 1次主循環ポンプ i) 1次主循環ポンプ本体(循環機能) ii) 主電動機 ② 2次主冷却系 1) 2次主循環ポンプ i) 2次主循環ポンプ本体(循環機能) ii) 電動機	① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物  ② 主冷却機建物
	通常運転時の最終ヒートシンクへの熱輸送機能	① 2次主冷却系 1) 主送風機 i) 電動機 ii) 電磁ブレーキ	① 主冷却機建物
	電源供給機能 (非常用を除く。)	① 一般電源系(受電エリア)	① -
	プラント計測・制御機能 (安全保護機能を除く。)	① 原子炉冷却材温度制御系(関連するプロセス計装及び制御用圧縮空気設備を含む。)	① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物、主冷却機建物
	核分裂生成物の原子炉冷却材中への放散防止機能	① 炉心構成要素 1) 炉心燃料集合体 i) 被覆管 2) 照射燃料集合体 i) 被覆管	① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物

# 1. (3) 降下火砕物防護施設（評価対象施設）の抽出と対応方針（7/7） 11

## 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設以外の安全施設及び外殻施設の抽出(3/3)

分類	機能	構築物、系統又は機器	外殻施設
MS-3	制御室外からの安全停止機能	① 中央制御室外原子炉停止盤（安全停止に関連するもの）	① 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
	燃料プール水の補給機能	① 原子炉附属建物使用済燃料貯蔵設備 1) 水冷却浄化設備（MS-2に属するものを除く。） ② 第一使用済燃料貯蔵建物使用済燃料貯蔵設備 1) 水冷却浄化設備（MS-2に属するものを除く。） ③ 第二使用済燃料貯蔵建物使用済燃料貯蔵設備 1) 水冷却浄化設備（MS-2に属するものを除く。）	① 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物 ② 第一使用済燃料貯蔵建物 ③ 第二使用済燃料貯蔵建物
	出力上昇の抑制機能	① インターロック系 1) 制御棒引き抜きインターロック系	① 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
	緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	① 事故時監視計器（MS-2に属するものを除く。） ② 放射線管理施設（MS-2に属するものを除く。） ③ 通信連絡設備 ④ 消火設備 ⑤ 安全避難通路 ⑥ 非常用照明	①～⑥ 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物、主冷却機建物 ※ 放射線管理施設（MS-2に属するものを除く。）のうち屋外管理用モニタリングポストを除く。

## 1. (4) 荷重条件

### ●荷重条件 …建築基準法施行令に基づき設定

- ・設計降下火砕物荷重と他の荷重の組合せは下表のとおり。

対象		組合せ荷重
建物・構築物	屋根部材	$DVL+VA+0.35S$
	耐震壁	$DVL+VA+0.35S+W$
機器・配管系		$DVL+VA+P$

DVL : 構造体自重、積載荷重等の常時作用する荷重

VA : 設計降下火砕物荷重  $7,355\text{N}/\text{m}^2$

(設計上考慮する降下火砕物の最大層厚: 50 cm, 湿潤密度:  $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ )

0.35S : 積雪荷重  $210\text{N}/\text{m}^2$  (積雪荷重を与えるための係数0.35, 大洗町垂直積雪量 $30\text{cm}^{\ast 1}$ ,  
単位積雪量当たりの荷重 $20\text{N}/[\text{m}^2 \cdot \text{cm}]$ )

W : 風荷重 $34\text{m}/\text{s}$  (大洗町の基準風速 $34\text{m}/\text{s}^{\ast 2}$ ,  
風力係数は対象形状に合わせて適切に設定)

P : 運転時荷重

※1 : 積雪量…茨城県建築基準法施行細則第16条の4

※2 : 風速…建築基準法に基づく平成12年建設省告示第1454号

## 1. (5) 許容限界

### ●許容限界

- 建物及び構築物：構造物全体として、十分変形能力の余裕を有し、終局耐力に対して適切な安全余裕を持たせることとする。
- 機器及び配管系：構造物の相当部分が降伏し塑性変形する場合で過大な変形、き裂、破損等が生じ、その施設の機能に影響を及ぼすことがない程度に応力を制限する。

### ●許容応力度

[単位：N/mm<sup>2</sup>]

対象	設計基準強度	長期圧縮	長期せん断	短期圧縮	短期せん断
コンクリート	$F_c=22.06^{*2}$	7.35	0.71	14.71	1.07
鉄筋SD345 (SD35), $D < 29$ *1	—	215	195	$379.5^{*3}$	$379.5^{*3}$
鉄筋SD345 (SD35), $29 \leq D$ *1	—	195	195	$379.5^{*3}$	$379.5^{*3}$
鉄筋SD295 (SD30, D13) *1	—	195	195	$324.5^{*3}$	$324.5^{*3}$
鋼材SS400相当 (SS41相当) *1	$F=245$ $F^*=280$	$163^{*4}$	$94.3^{*4}$	$280^{*5}$	$161^{*5}$

D：鉄筋呼び径

\*1：( )内は、建設当時のJIS規格を示す。

\*2：コンクリートの設計基準強度は、 $225\text{kg/cm}^2$ をSI単位換算。

\*3：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。

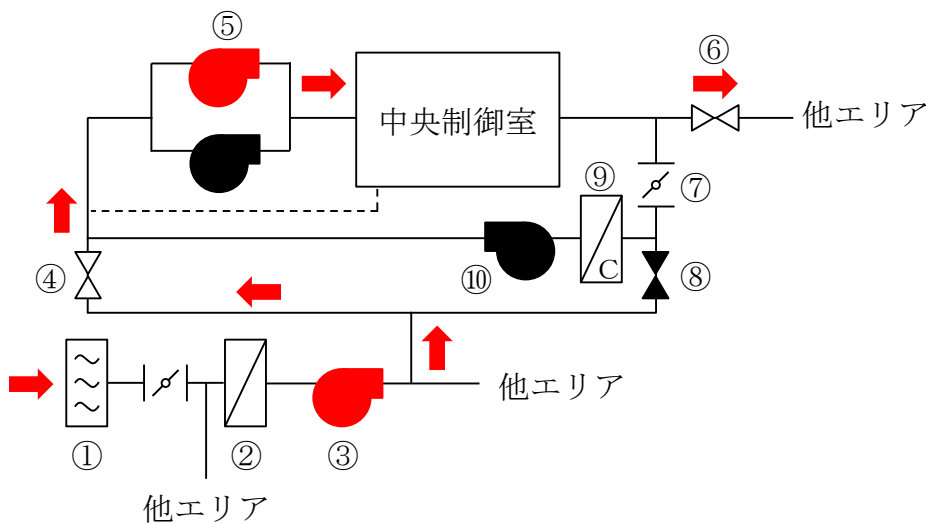
\*4：JSME NC1規格に基づき、供用状態A, Cでの数値（F値より算出）を示す。

\*5：JSME NC1規格に基づき、供用状態Dでの数値（F\*値より算出）を示す。

# 1. (6) 降下火砕物による波及的影響評価（対応方針）

## ●設計における留意事項

- ・外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設については、必要に応じて、降下火砕物の除去に係る措置を講じられるものとし、降下火砕物による波及的影響（閉塞及び目詰まり）によって、その安全機能の重要度に応じて、必要な安全機能を損なわないものとする。
- ・中央制御室については、その居住環境を維持できるものとする。  
中央制御室の空気換気設備の構成は下図のとおりであり、通常運転時には、外気は、ルーバー、フィルタ、外気取入ファン及び空調器を經由して、中央制御室に導入される。必要に応じ、閉回路を構築した再循環運転で換気設備の隔離を図る。
- ・フィルタに閉塞及び目詰まりが生じた場合には、交換及び清掃により対応する。



通常運転時において、外気は、ルーバー（①）、フィルタ（②：グラスウールを使用）、外気取入れファン（③）、V92-1（④）及び空調器（⑤：1台運転）を經由し、中央制御室に導入され、V92-3（⑥）より排気される。また、中央制御室には還流ライン（破線部）が設けられており、一部の空気は還流される。なお、D P92-3（⑦）及びV92-2（⑧）は「閉」、再循環ファン（⑩）は「停止」で運用される。

図 中央制御室空気換気設備の構成

## 1. (7) 降下火砕物随伴事象等に対する考慮

- ・ 降灰予報等が発表され、多量の降下火砕物が原子炉施設に到達するおそれが確認された場合には、次のとおり、原子炉の停止、降下火砕物の除去に必要な措置を講じる。

### ①火山の噴火・降灰の確認及び監視

- ・ 公共放送及び気象庁HPより情報を入手

### ②火山降灰警戒の発令

- ・ 大洗研究所長による「火山降灰警戒」の発令
- ・ 現地対策本部の設置、情報収集及び状況確認

### ③火山降灰警戒の発令時の対応

- ・ 原子炉の停止
- ・ 降下火砕物除去のための要員招集、体制構築、巡視による降灰状況の監視

### ④敷地に降下火砕物の降灰が確認された場合の対応

- ・ 降下火砕物の流入防止板の設置
- ・ 不要な換気空調設備の停止、再循環運転への切替
- ・ フィルタの閉塞及び目詰まりの監視
- ・ 降下火砕物の除去

### ⑤商用電源などが喪失した場合の対応

- ・ 外部電源喪失時は、非常用ディーゼル電源系並びに交流及び直流無停電電源系により、非常用電源が確保され、原子炉保護系の作動により原子炉を停止する。



# 説明概要

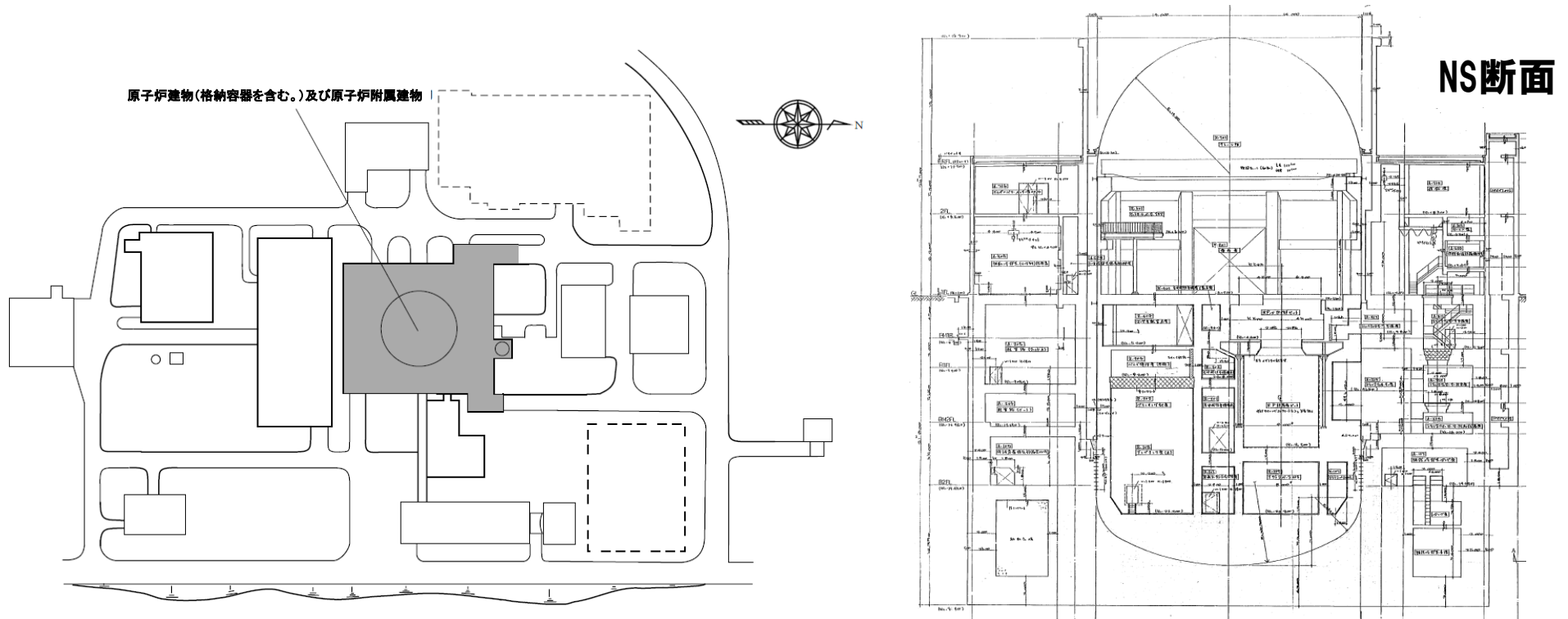
1. 設計方針
2. **外殻施設に係る降下火砕物の影響評価（構造健全性評価）**
  - (1) **原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物**
  - (2) **主冷却機建物**
3. 「外部からの衝撃による損傷に係る重要安全施設」における降下火砕物の影響評価
4. 波及的影響に対する設備対応
5. まとめ

## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価

### (1) 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物（1/9）

#### ●建物の概要

- ・ 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
  - 約55m x 約50m の矩形平面形状で、共に鉄筋コンクリート造の建物
  - 原子炉建物は格納容器に内包され、原子炉附属建物の屋根は陸屋根
- ・ 格納容器
  - 全高約54m、全重量約1,200tonの鋼製容器
  - 半球形の頂部、 $\Phi 28\text{m}$ 円筒形の胴部、半楕円球形の底部鏡板から構成



## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価

### (1) 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物（2/9）

#### ●構造健全性評価の方針

- ・屋根部材：許容応力度評価 或いは FEM弾性解析による評価
- ・耐震壁：層せん断力評価
- ・降下火砕物は短期荷重として評価する。（∵降下火砕物を屋根からの除去を考慮）

#### ●評価対象

建物名称	評価対象部位	組合せ荷重	許容限界
原子炉 附属建物	屋根部材 （①屋根スラブ、②梁）	DVL+VA+0.35S	終局耐力に対して 妥当な安全裕度を 有する許容限界
	③耐震壁	DVL+VA+0.35S+W	保有水平耐力以下 終局耐力に対して 妥当な安全裕度を 有する許容限界
原子炉 格納容器	屋根部材 （④ドーム、 ⑤アニュラス屋根スラブ）	DVL+VA+0.35S	終局耐力に対して 妥当な安全裕度を 有する許容限界

#### ●評価結果

- ・次葉以降に示す評価の結果、①～⑤のいずれの評価対象部位についても許容限界を満足することを確認した。

## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価

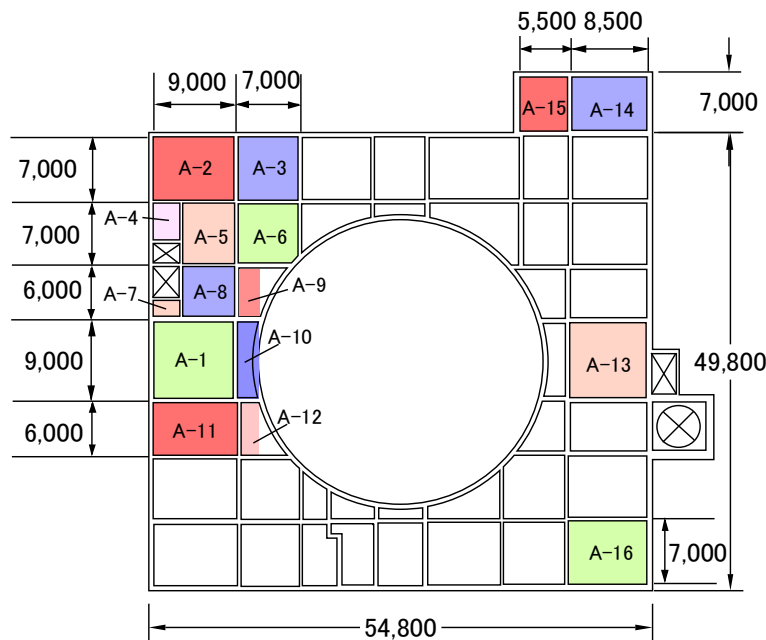
### (1) 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物（3/9）

#### ① 屋根スラブの評価

##### ・ 評価条件①-1：許容応力度評価

- － 等分布荷重を受ける四辺固定スラブとして評価
- － 曲げモーメント及びせん断力はRC基準により算定
- － **屋根スラブ（A-1）以外は短期許容曲げモーメント及び短期許容せん断力が許容限界を満足することを確認した。**

⇒ **屋根スラブ（A-1）は、次葉に示すFEM弾性解析で評価し構造健全性を確認した。**



評価スラブ 番号	モーメント				せん断力	
	短辺		長辺		短辺	長辺
	端部	中央	端部	中央		
Mx1/Ma	Mx2/Ma	My1/Ma	My2/Ma	Qx/Qa	Qy/Qa	
A-1	1.06	0.71	1.15	0.77	0.50	0.55
A-2	0.89	0.60	0.88	0.59	0.42	0.42
A-3	0.65	0.44	0.95	0.63	0.40	0.43
A-4	0.06	0.04	0.05	0.03	0.10	0.10
A-5	0.70	0.47	0.90	0.60	0.41	0.42
A-6	0.63	0.42	0.91	0.60	0.57	0.62
A-7	0.06	0.04	0.05	0.03	0.10	0.10
A-8	0.65	0.43	0.67	0.45	0.36	0.37
A-9	0.33	0.22	0.25	0.17	0.22	0.19
A-10	0.33	0.22	0.23	0.15	0.18	0.17
A-11	0.72	0.48	0.63	0.42	0.36	0.35
A-12	0.28	0.19	0.21	0.14	0.17	0.16
A-13	0.75	0.50	0.79	0.53	0.38	0.40
A-14	0.66	0.44	0.65	0.44	0.43	0.33
A-15	0.56	0.38	0.57	0.38	0.32	0.27
A-16	0.44	0.29	0.30	0.20	0.36	0.14

構造健全性評価の対象は、上図の機器積載範囲（A-1～A-12）及び大区画範囲（A-13～A-16）で包絡される。

## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価

### (1) 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物（4/9）

#### ① 屋根スラブの評価

##### ・ 評価条件①-2：FEM弾性解析による評価

- － 屋根スラブ（A-1）の構造健全性を評価する。
- － 耐震壁、冷却塔基礎等を考慮してモデル化
- － 評価結果は、以下のとおり許容限界を満足することを確認した。

屋根スラブに発生する曲げモーメント（22.33kN・m/m）

＜ 短期許容曲げモーメント（70.06kN・m/m）

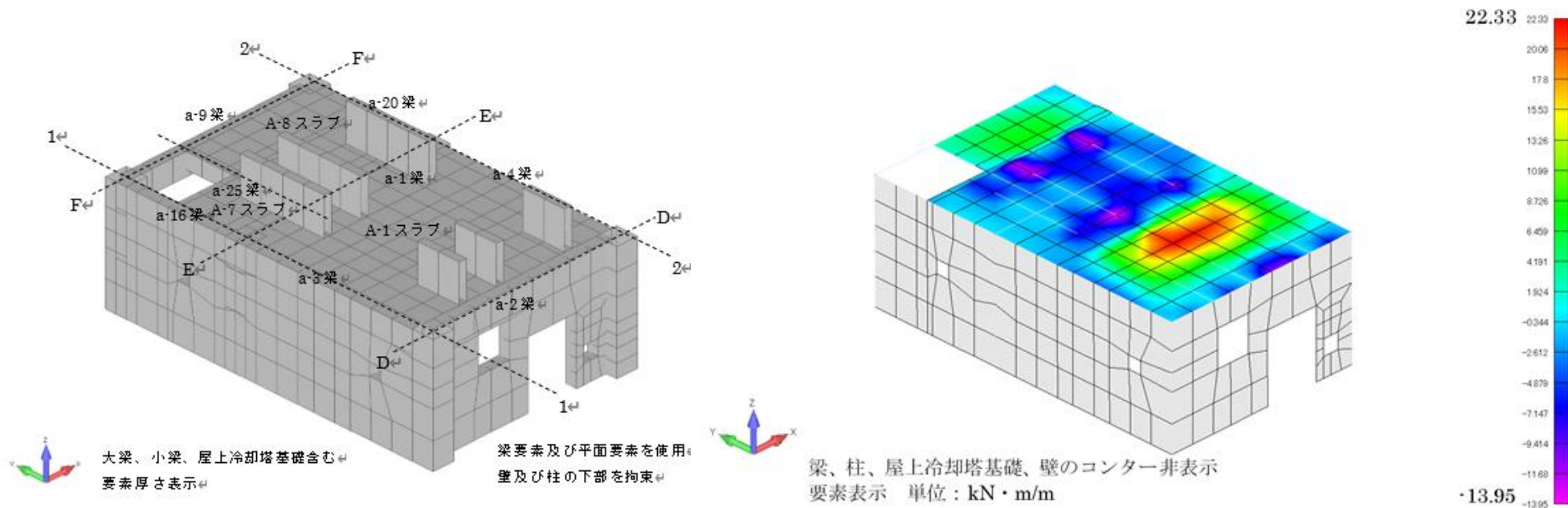


図 FEM弾性解析モデル図

図 FEM弾性解析によるコンター図

## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価

### (1) 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物（5/9）

#### ② 屋根の梁の評価

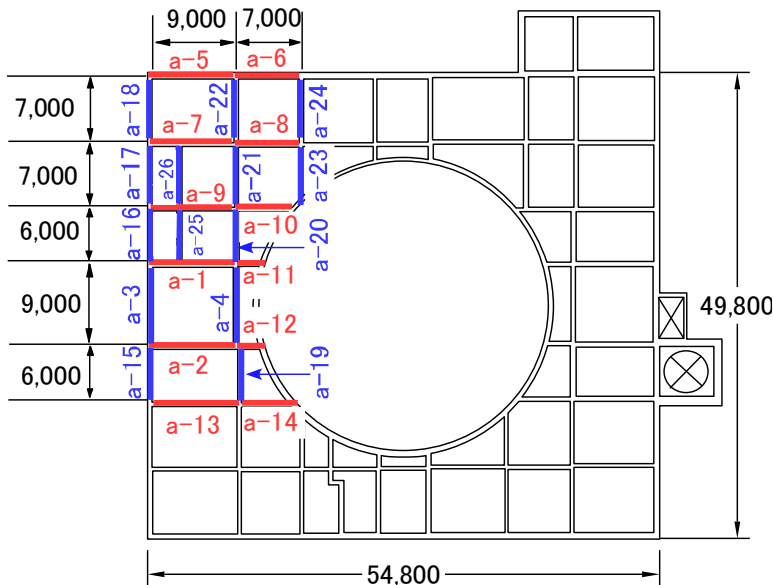
##### ・ 荷重条件／支持条件

**大梁**：大梁及び屋上スラブから受ける荷重、小梁の集中荷重 / 両端固定  
**小梁**：小梁及び屋上スラブから受ける荷重 / 両端ピン支持

##### ・ 曲げモーメント及びせん断力はRC基準等により算定

・ 単純梁の形状とした概略評価において、大梁（a-9）以外は短期許容曲げモーメント及び短期許容せん断力が許容限界を満足することを確認した。

・ 大梁（a-9）は「支持梁＋スラブ」のT形梁とした詳細評価で、許容限界を満足すること（検定比0.97）を確認した。



部材番号	C <sub>A</sub> /C <sub>Aa</sub> (端部A上端)	C <sub>B</sub> /C <sub>Ba</sub> (端部B上端)	M/Ma (中央下端)	Q <sub>A</sub> /Q <sub>Aa</sub> (端部A)	Q <sub>B</sub> /Q <sub>Ba</sub> (端部B)
a-1	0.99	0.98	0.82	0.72	0.71
a-2	0.90	0.90	0.78	0.66	0.66
a-3	0.53	0.53	0.46	0.38	0.38
a-4	0.51	0.51	0.47	0.51	0.51
a-5	0.48	0.48	0.41	0.35	0.35
a-6	0.26	0.26	0.23	0.21	0.21
a-7	0.76	0.76	0.41	0.74	0.73
a-8	0.47	0.47	0.34	0.39	0.39
a-9	1.06	1.05	0.65	0.77	0.76
a-10	0.44	0.44	0.31	0.36	0.36
a-11	0.06	0.06	0.05	0.08	0.08
a-12	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07
a-13	0.60	0.60	0.55	0.59	0.59
a-14	0.39	0.39	0.27	0.32	0.32
a-15	0.16	0.16	0.14	0.14	0.14
a-16	0.12	0.12	0.10	0.11	0.11
a-17	0.17	0.17	0.14	0.15	0.15
a-18	0.25	0.25	0.22	0.20	0.20
a-19	0.25	0.25	0.22	0.22	0.22
a-20	0.28	0.28	0.19	0.24	0.24
a-21	0.46	0.46	0.32	0.38	0.38
a-22	0.47	0.47	0.33	0.38	0.38
a-23	0.47	0.47	0.34	0.39	0.39
a-24	0.45	0.45	0.23	0.37	0.37
a-25(小梁)	0.52	0.52	0.20	0.54	0.54
a-26(小梁)	0.77	0.77	0.29	0.74	0.74

「支持梁＋スラブ」のT形梁とした評価 (a-9)

項目	記号	数値	単位
部材番号	—	a-9	—
位置	—	1~2F	—
梁符号	—	RG4	—
T形梁の有効幅	b	2300	mm
梁せい	D	1000	mm
引張側かぶり厚さ	dt	100	mm
圧縮側かぶり厚さ	dc	100	mm
有効せい	d	900	mm
梁上端筋断面積	at1	3042	mm <sup>2</sup>
スラブ筋断面積	at2	1592	mm <sup>2</sup>
T形梁の有効上端筋断面積 (許容応力度考慮)	at	4403	mm <sup>2</sup>
下端筋断面積	ac	2028	mm <sup>2</sup>
左側スラブ	a	6500	mm
右側スラブ	a	5250	mm
梁スパン	L	9000	mm
左側協力幅	ba	900	mm
右側協力幅	ba	900	mm
スラブ筋ピッチ	@	200	mm
コンクリートの短期許容圧縮応力度	fc	14.71	N/mm <sup>2</sup>
梁鉄筋の短期許容引張応力度 (SD35)	ft	379.5	N/mm <sup>2</sup>
スラブ鉄筋の短期許容引張応力度 (SD30)	ft	324.5	N/mm <sup>2</sup>
鉄筋のヤング係数	E <sub>s</sub>	205000	N/mm <sup>2</sup>
コンクリートのヤング係数	E <sub>c</sub>	22043	N/mm <sup>2</sup>
ヤング係数比	n	9.30	—
T形梁の断面積	A	0	mm <sup>2</sup>
重心位置	g	5331.1	mm
圧縮縁側スラブ筋最大本数	—	9	本
考慮するスラブ筋本数	—	8	本
中立軸までの距離 (T <sub>s</sub> =(C <sub>s</sub> +C <sub>c</sub> )/2となる位置)	X <sub>n</sub>	293.72	mm
n · c · c <sub>c</sub> · ((d-X <sub>n</sub> )/X <sub>n</sub> )	s · o · t	282.39	N/mm <sup>2</sup>
(n-1) · c · c <sub>c</sub> · ((X <sub>n</sub> -d)/X <sub>n</sub> )	s · o · c	80.53	N/mm <sup>2</sup>
コンクリートの短期許容圧縮応力度	f <sub>c</sub> · c · o · c	14.71	N/mm <sup>2</sup>
引張鉄筋の合力 (s · o · t · At)	T <sub>s</sub>	1243	kN
圧縮鉄筋の合力 (s · o · c · ac)	C <sub>s</sub>	163	kN
圧縮コンクリートの合力 (c · o · c · X <sub>n</sub> · b/2)	C <sub>c</sub>	1080	kN
断面A発生モーメント	M	966	kN · m
断面A許容モーメント	Ma	997	kN · m
検定比	M/Ma	0.97	—

構造健全性評価の対象は、上図の機器積載範囲の梁（a-1～a-24）で包絡される。

## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価

### (1) 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物（6/9）

#### ③耐震壁の評価（1/2）

- ・ 建物形状を考慮した風荷重及び風の受圧面積から、建物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。
- ・ 建物屋根に降下火砕物等の鉛直荷重を作用させた。耐震壁の復元力特性の評価法より、第1折点が増加することが明らかである。

表 風荷重及び受圧面積

NS方向

高さ	部位	風荷重 $W=q \cdot Cf$ (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.+26.7m	円筒部(上 1/2)	1,355.9	208.7	283.0	283.0	283.0
G.L.+13.7m	円筒部(下 1/2)	1,355.9	208.7	283.0	1,160.3	1,443.3
	主排気筒	1,355.9	265.2	359.6		
	屋上出入口階段室	2,324.4	33.8	78.8		
	パラベット	2,324.4	42.3	98.3		
G.L.+8.5m	側壁	2,324.4	146.6	340.8	954.2	2,397.5
	パラベット	2,324.4	4.5	10.5		
G.L.+0.2m	側壁	2,324.4	406.0	943.7	632.0	3,029.5
G.L.+0.2m	側壁	2,324.4	271.9	632.0	632.0	3,029.5

EW方向

高さ	部位	風荷重 $W=q \cdot Cf$ (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.+26.7m	円筒部(上 1/2)	1,355.9	208.7	283.0	283.0	283.0
G.L.+13.7m	円筒部(下 1/2)	1,355.9	208.7	283.0	1,160.9	1,443.9
	主排気筒	1,355.9	265.2	359.6		
	パイプシャフト室	2,324.4	9.0	20.9		
	パラベット	2,324.4	47.9	111.3		
G.L.+8.5m	側壁	2,324.4	166.1	386.1	1,013.0	2,456.9
	パラベット	2,324.4	4.5	10.5		
G.L.+0.2m	側壁	2,324.4	431.3	1,002.5	646.2	3,103.1
G.L.+0.2m	側壁	2,324.4	278.0	646.2	646.2	3,103.1

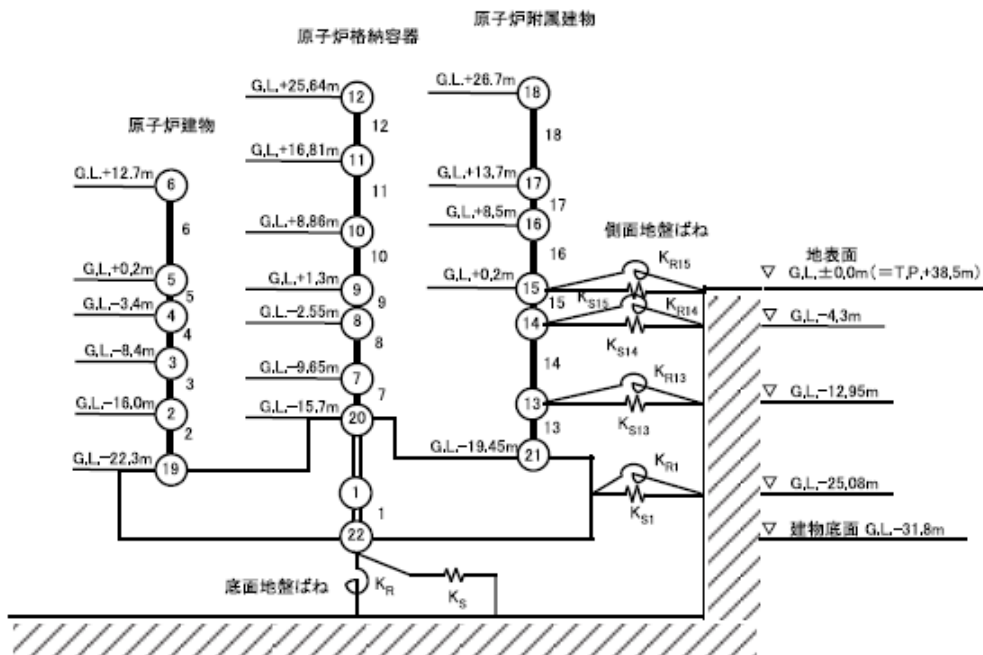


図 質点系解析モデル図



## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価

### (1) 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物（7/9）

#### ③耐震壁の評価（2/2）

- ・下表のとおり、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た結果、風荷重による層せん断力が下回る。
- ・このため、**地震時の評価結果に包絡**されることになる。  
地震に対する評価において許容限界を超えていないことから、**風荷重に対する評価も許容限界を満足することを確認した。**

表 風荷重と地震荷重による層せん断力の比較

NS 方向				EW 方向			
高さ	風荷重による層せん断力① (kN)	設計用地震力による層せん断力② (kN)	①/②	高さ	風荷重による層せん断力① (kN)	設計用地震力による層せん断力② (kN)	①/②
G.L.+26.7m	283.0	7,747	0.037	G.L.+26.7m	283.0	7,482	0.038
G.L.+13.7m	1,443.3	51,110	0.028	G.L.+13.7m	1,443.9	48,378	0.030
G.L.+8.5m	2,397.5	113,360	0.021	G.L.+8.5m	2,456.9	106,290	0.023
G.L.+0.2m	3,029.5	208,990	0.014	G.L.+0.2m	3,103.1	188,350	0.016



## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価

### (1) 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物（8/9）

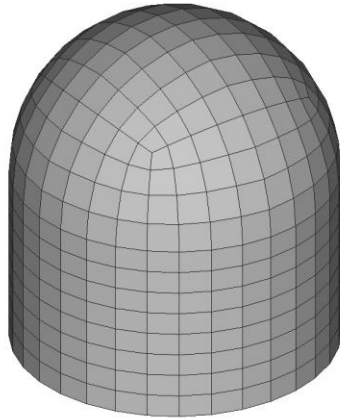
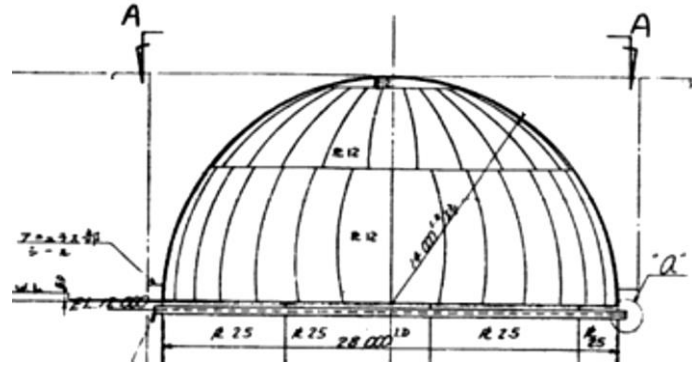
#### ④ 格納容器ドームの評価

##### ・ 荷重条件／拘束条件

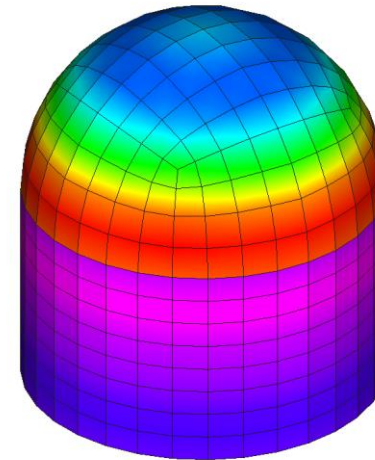
降下火砕物のほか屋根スラブの固定荷重、積載荷重及び積雪荷重 / ドーム下部を拘束

##### ・ 評価結果

FEM弾性解析の結果、発生応力 $8.3\text{N/mm}^2$  ( $8,275\text{kN/m}^2$ ) < 許容値 $280\text{N/mm}^2$  ( $280,000\text{kN/m}^2$ ) であり、許容限界を満足することを確認した。



平面要素使用  
ドーム下部を拘束



8,275

2,878

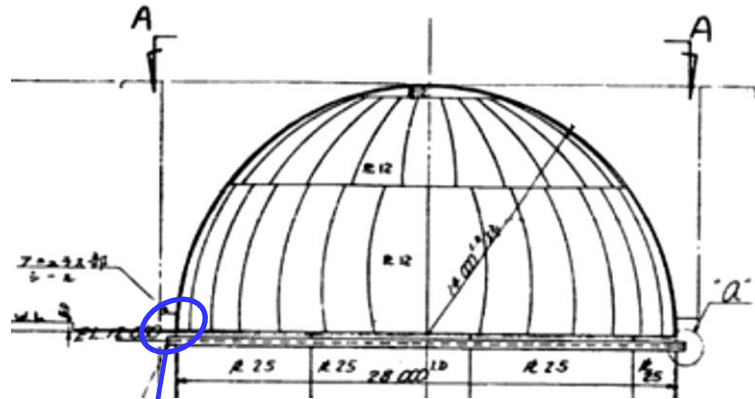
単位:kN/m<sup>2</sup>

## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価

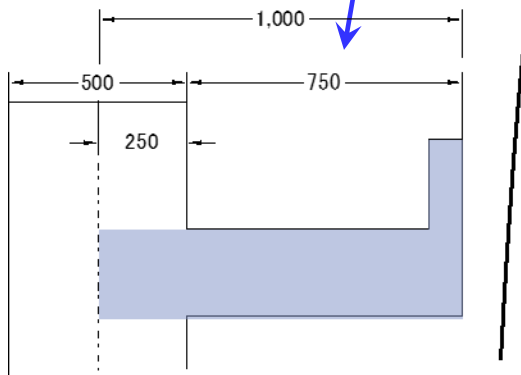
### (1) 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物（9/9）

#### ⑤ 格納容器アニュラス屋根スラブの評価

- 荷重条件：降下火砕物のほか屋根スラブの固定荷重、積載荷重及び積雪荷重による
- 支持条件：片持ち梁
- 評価手法：曲げモーメント及びせん断力はRC基準等により算定
- 評価結果：許容曲げモーメントを満足すること（検定比0.11, 0.55）を確認した。**



アニュラス  
屋根スラブ



スラブ情報	建屋名	記号	単位	アニュラス部屋根部分	
	スラブ幅	b	mm	1000	
	スラブスパン	L	mm	1000	
	かぶり厚さ	dt	mm	40	
	有効せい	d	mm	210	
	有効丈	j	mm	183.8	
	CON強度	-	-	FC225	
	コンクリート設計基準強度	Fc	N/mm <sup>2</sup>	22.06	
	短期許容圧縮応力度	fc	N/mm <sup>2</sup>	14.71	
	短期許容せん断応力度	fs	N/mm <sup>2</sup>	1.07	
	鋼材種(主筋)	-	-	SD30	
	鉄筋の短期許容引張応力度	ft	N/mm <sup>2</sup>	324.5	
	両端_上端筋(1m幅あたり)	-	-	5-D16	
	中央_下端筋(1m幅あたり)	-	-	5-D16	
	上端筋at	at	mm <sup>2</sup>	995	
下端筋at	at	mm <sup>2</sup>	995		
スラブ重量	γ (kN/m <sup>3</sup> )	γ	kN/m <sup>3</sup>	24.0	
	w(梁自重)(kN/m)	w	kN/m	6.0	
荷重	荷重	w	kN/m <sup>2</sup>	7.56	58.76
発生応力	端部曲げモーメント	M	kN・m	6.8	32.4
	端部せん断力	Q	kN	13.6	64.8
許容応力度	許容曲げモーメント	Ma	kN・m	59.3	59.3
	許容せん断力	Qa	kN	196	196
検定比	M検定比	M/Ma	-	0.11	0.55
	Q検定比	Q/Qa	-	0.07	0.33

ドーム部分の降下火砕物がアニュラス部屋根部分に加わった場合

# 説明概要

1. 設計方針
2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価
  - (1) 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
  - (2) 主冷却機建物
3. 「外部からの衝撃による損傷に係る重要安全施設」における降下火砕物の影響評価
4. 波及的影響評価に対する設備対応
5. まとめ

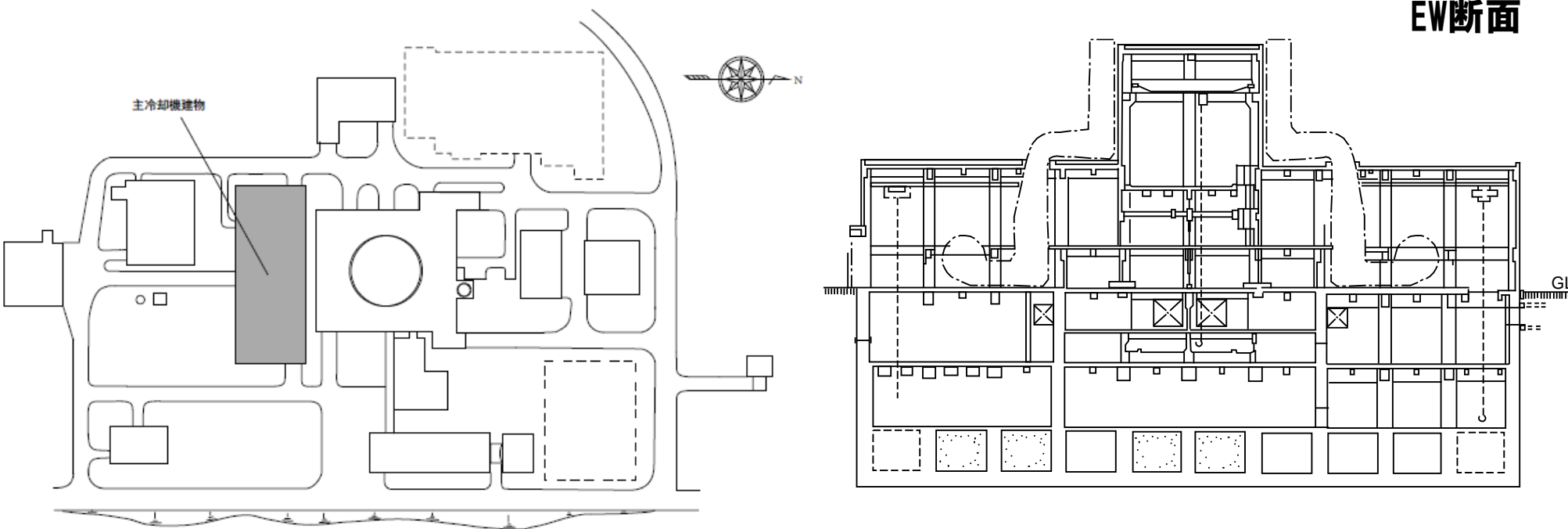
## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価

### (2) 主冷却機建物 (1/6)

#### ●建物の概要

- ・約67m x 約27m の矩形平面形状で、鉄筋コンクリート造の建物
- ・全重量は約50,000ton
- ・基礎底面からの高さは約32m
- ・建物の屋根は陸屋根

#### EW断面



## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価

### (2) 主冷却機建物 (2/6)

#### ●構造健全性評価の方針

- ・屋根部材：許容応力度評価
- ・耐震壁：層せん断力評価
- ・降下火砕物は短期荷重として評価する。（∵降下火砕物を屋根からの除去を考慮）

#### ●評価対象

建物名称	評価対象部位	組合せ荷重	許容限界
主冷却機 建物	屋根部材 (①屋根スラブ、②梁)	DVL+VA+0.35S	終局耐力に対して 妥当な安全裕度を 有する許容限界
	③耐震壁	DVL+VA+0.35S+W	保有水平耐力以下

#### ●評価結果

- ・次葉以降に示す評価の結果、①～③のいずれの評価対象部位についても許容限界を満足することを確認した。

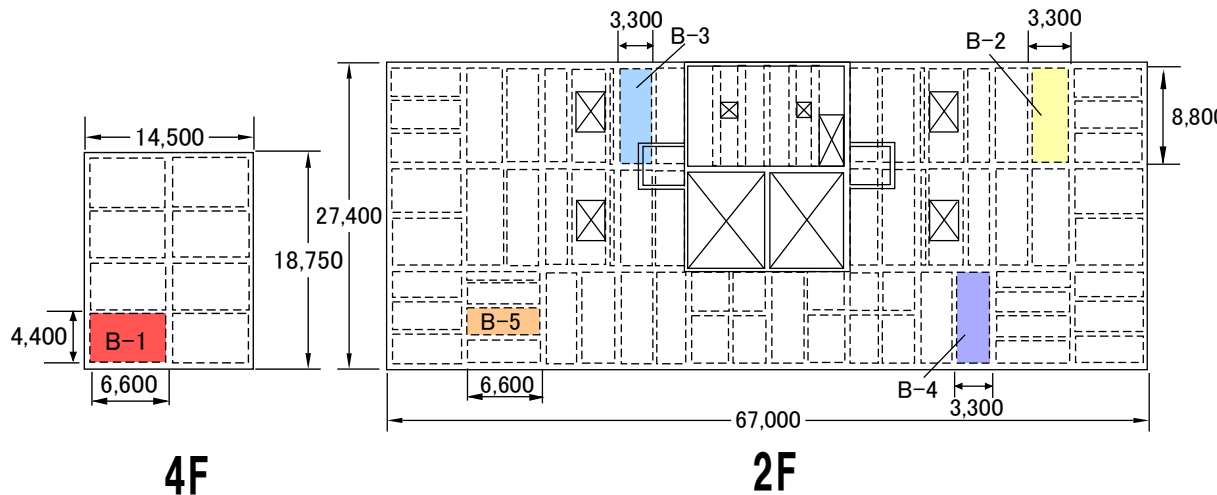
## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価

### (2) 主冷却機建物 (3/6)

#### ① 屋根スラブの評価

##### ・ 評価条件：許容応力度評価

- 等分布荷重を受ける四辺固定スラブとして評価
- 曲げモーメント及びせん断力はRC基準により算定
- **評価した全ての屋根スラブで、短期許容曲げモーメント及び短期許容せん断力を満足することを確認した。**



評価スラブ 番号	モーメント				せん断力	
	短辺		長辺		短辺	長辺
	端部	中央	端部	中央		
	Mx1/Ma	Mx2/Ma	My1/Ma	My2/Ma	Qx/Qa	Qy/Qa
B-1	0.55	0.37	0.45	0.30	0.22	0.21
B-2	0.43	0.29	0.30	0.20	0.19	0.19
B-3	0.48	0.32	0.33	0.22	0.21	0.21
B-4	0.39	0.26	0.27	0.18	0.17	0.17
B-5	0.56	0.38	0.40	0.27	0.29	0.28

注) 1F, 3Fには屋根スラブは無い。

構造健全性評価の対象は、上図の機器積載範囲  
(B-1~B-5) で包絡される。

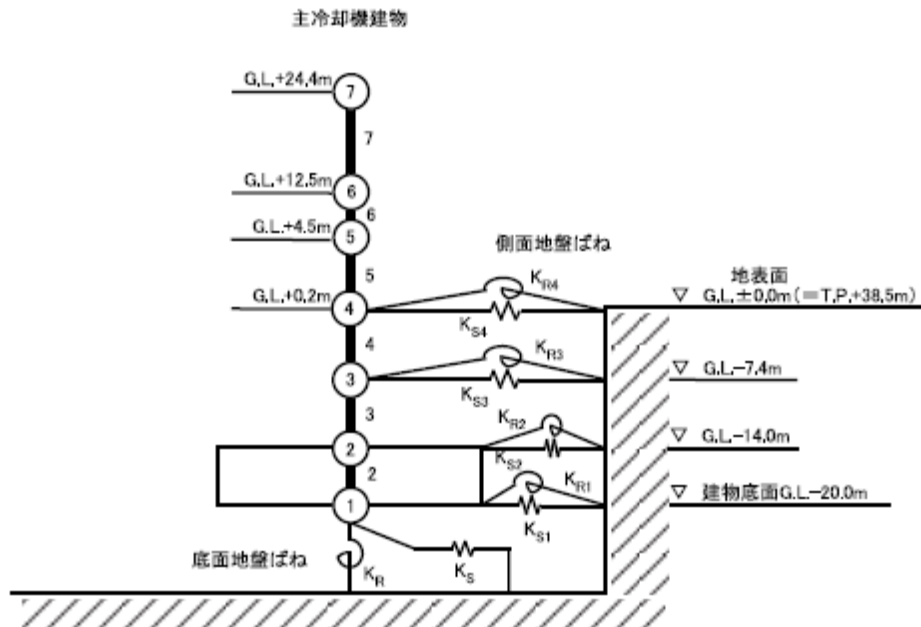


## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価 (2) 主冷却機建物 (5/6)

### ③耐震壁の評価 (1/2)

- ・ 建物形状を考慮した風荷重及び風の受圧面積から、建物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。

**表 風荷重及び受圧面積**



NS 方向

高さ	部位	風荷重 $W=q \cdot Cf$ (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. +24.4m	パラペット	2,275.2	9.4	21.4	217.7	217.7
	側壁	2,275.2	86.3	198.3		
G.L. +12.5m	パラペット	1,516.8	43.6	66.1	2,034.3	2,252.0
	屋上空調室	758.4	34.1	25.9		
	主冷却機	2,275.2	55.7	128.7		
	ボイラー排気塔	3,981.6	249.7	994.2		
	側壁	1,327.2	11.5	15.3		
G.L. +4.5m	ボイラー排気塔	2,275.2	6.2	8.2	955.4	3,207.4
	側壁	2,275.2	412.1	937.6		
	ガラリ	2,275.2	4.2	9.6		
G.L. +0.2m	ボイラー排気塔	1,327.2	2.4	3.2	366.9	3,574.3
	側壁	2,275.2	157.5	358.3		
	ガラリ	2,275.2	2.4	5.4		

EW 方向

高さ	部位	風荷重 $W=q \cdot Cf$ (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. +24.4m	パラペット	2,275.2	12.2	27.8	281.7	281.7
	側壁	2,275.2	111.6	253.9		
G.L. +12.5m	パラペット	2,275.2	17.8	40.5	1,047.4	1,329.1
	屋上空調室	2,275.2	51.0	116.1		
	主冷却機	2,275.2	94.0	374.3		
	ガラリ	2,275.2	5.8	13.2		
G.L. +4.5m	側壁	2,275.2	221.2	503.3	406.6	1,735.7
	ガラリ	2,275.2	188.5	383.4		
G.L. +0.2m	側壁	2,275.2	10.2	23.2	148.8	1,884.5
	側壁	2,275.2	64.4	146.5		
	ガラリ	2,275.2	84.4	188.5		

**図 質点系解析モデル図**



## 2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価

### (2) 主冷却機建物 (6/6)

#### ③耐震壁の評価 (2/2)

- ・建物屋根に降下火砕物等の鉛直荷重を作用させると、耐震壁の復元力特性の評価法より、第1折点が増加することが明らかである。
- ・下表のとおり、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た結果、風荷重による層せん断力が下回る。
- ・このため、**地震時の評価結果に包絡**されることになる。  
地震に対する評価において許容限界を超えていないことから、**風荷重に対する評価も許容限界を満足することを確認した。**

表 風荷重と地震荷重による層せん断力の比較

NS 方向				EW 方向			
高さ	風荷重による 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	高さ	風荷重による 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.+24.4m	217.7	8,952	0.024	G.L.+24.4m	281.7	6,460	0.044
G.L.+12.5m	2,252.0	49,006	0.046	G.L.+12.5m	1,329.1	36,318	0.037
G.L.+4.5m	3,207.4	80,189	0.053	G.L.+4.5m	1,735.7	44,826	0.039
G.L.+0.2m	3,574.3	149,500	0.024	G.L.+0.2m	1,884.5	158,200	0.012

# 説明概要

1. 設計方針
2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価（構造健全性評価）
3. 「外部からの衝撃による損傷に係る重要安全施設」における降下火砕物の影響評価  
(1) 主冷却機のうち屋外部分
4. 波及的影響に対する設備対応
5. まとめ

### 3. 「外部からの衝撃による損傷に係る重要安全施設」における 降下火砕物の影響評価

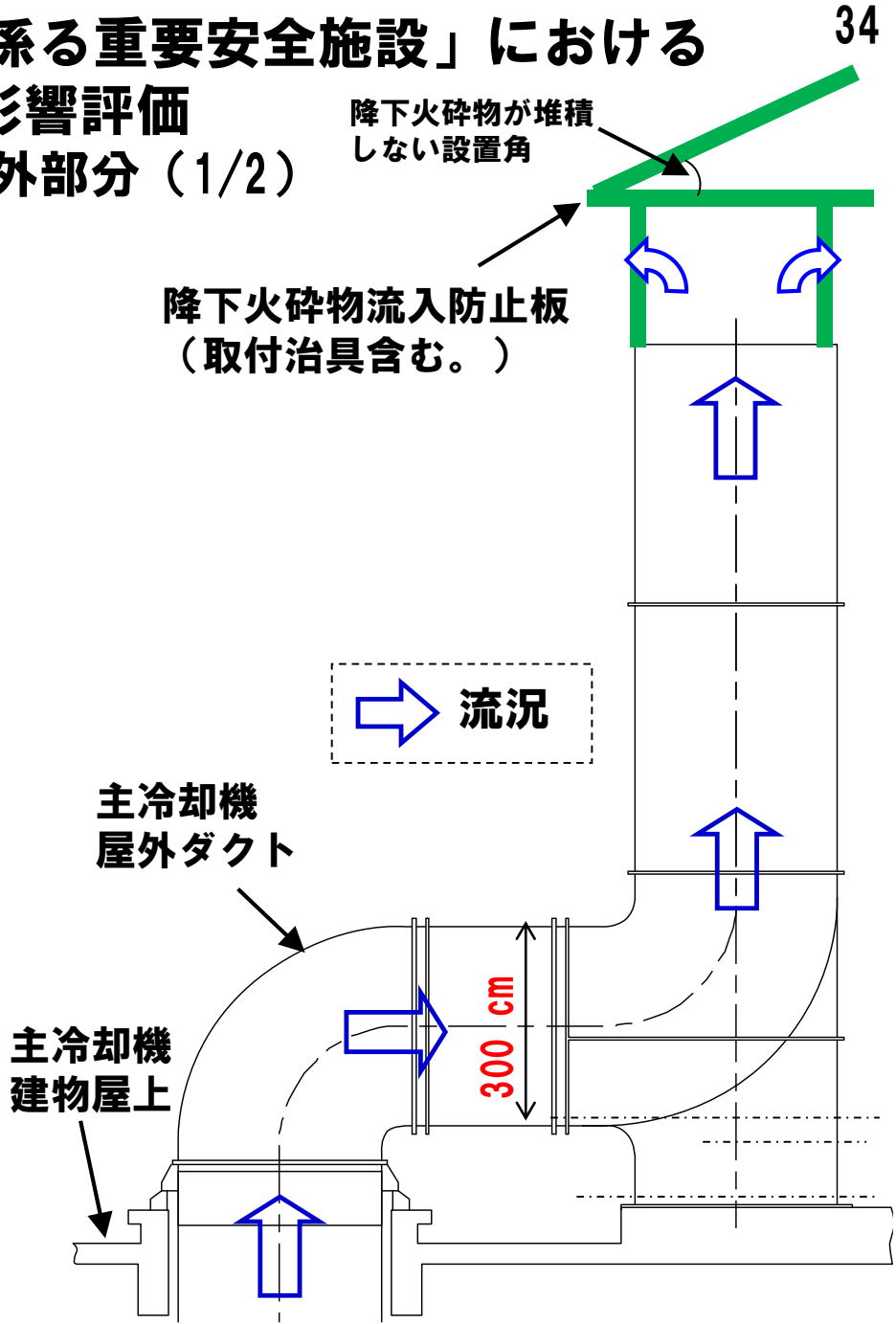
#### (1) 主冷却機のうち屋外部分 (1/2)

##### ●降下火砕物の流入防止措置

- ・ 降灰予報等に基づく原子炉の停止
- ・ 多量の降下火砕物が原子炉施設に到達するおそれが確認された場合、速やかに**主冷却機上部に降下火砕物流入防止板を設置する。**（右図参照）

##### ●影響評価

- ・ ワーストケース：降下火砕物の流入が発生  
**屋外ダクト水平部高さ（300cm）**  
　　> 設計上考慮する降下火砕物の層厚（50cm）  
　　であり、**空気流路は閉塞しない。**  
　　このため、**重要安全施設の安全機能が損なわれることはない。**
- ・ なお、下記の降下火砕物の流入抑制効果も見込まれる。
  - ①自然通風による空気の上昇流
  - ②降下火砕物流入防止板の設置



### 3. 「外部からの衝撃による損傷に係る重要安全施設」における 降下火砕物の影響評価

#### (1) 主冷却機のうち屋外部分 (2/2)

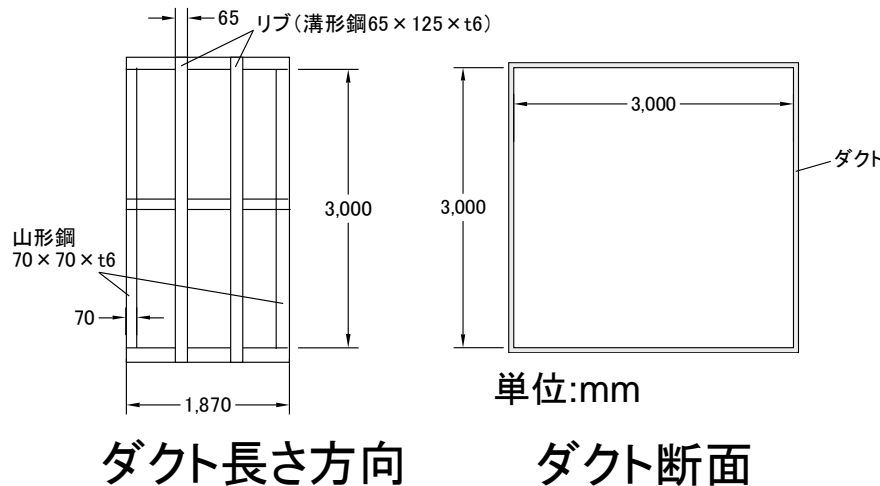
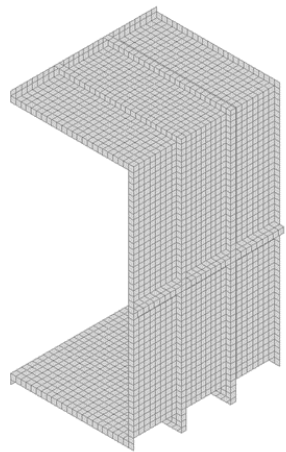
##### ●屋外ダクト水平部の評価

##### ・荷重条件／拘束条件

降下火砕物のほかダクトの固定荷重 / ダクト長さ方向端面を拘束

##### ・評価結果

FEM弾性解析の結果、発生応力 $44.5\text{N/mm}^2$  ( $44,500\text{kN/m}^2$ ) < 許容値 $280\text{N/mm}^2$  ( $280,000\text{kN/m}^2$ )  
であり、許容限界を満足することを確認した。



##### 平面要素使用

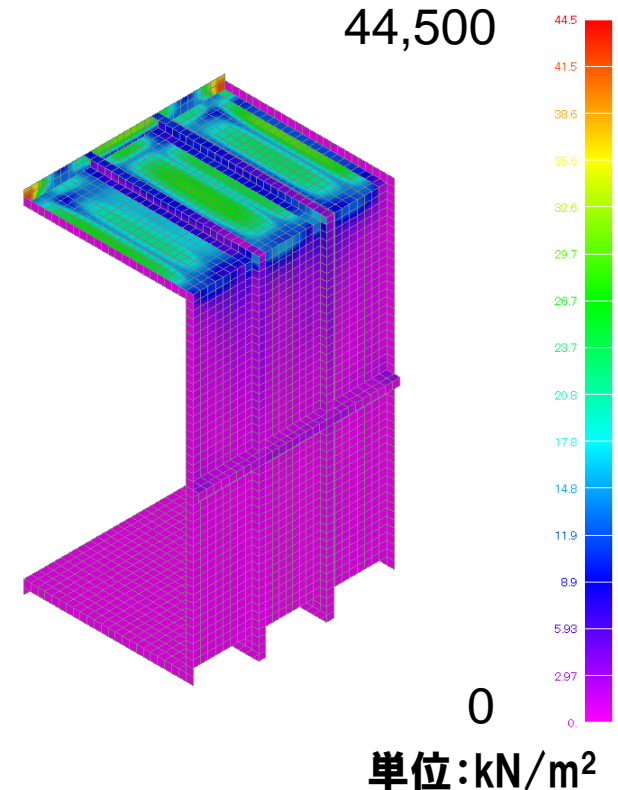
X:幅方向、Y:高さ方向、

Z:長さ方向に定義した

YZ面对称1/2モデル

ダクト長さ方向端面を完全拘束

YZ面には対称境界条件を設定



単位: $\text{kN/m}^2$

# 説明概要

1. 設計方針
2. 外殻施設に係る降下火砕物の影響評価（構造健全性評価）
3. 「外部からの衝撃による損傷に係る重要安全施設」における降下火砕物の影響評価
4. 波及的影響に対する設備対応
  - (1) 非常用ディーゼル電源系に関連する「冷却塔」
  - (2) 非常用ディーゼル電源系に関連する「排気管」
  - (3) 非常用ディーゼル電源系に関連する「吸気系統」
5. まとめ

## 4. 波及的影響に対する設備対応

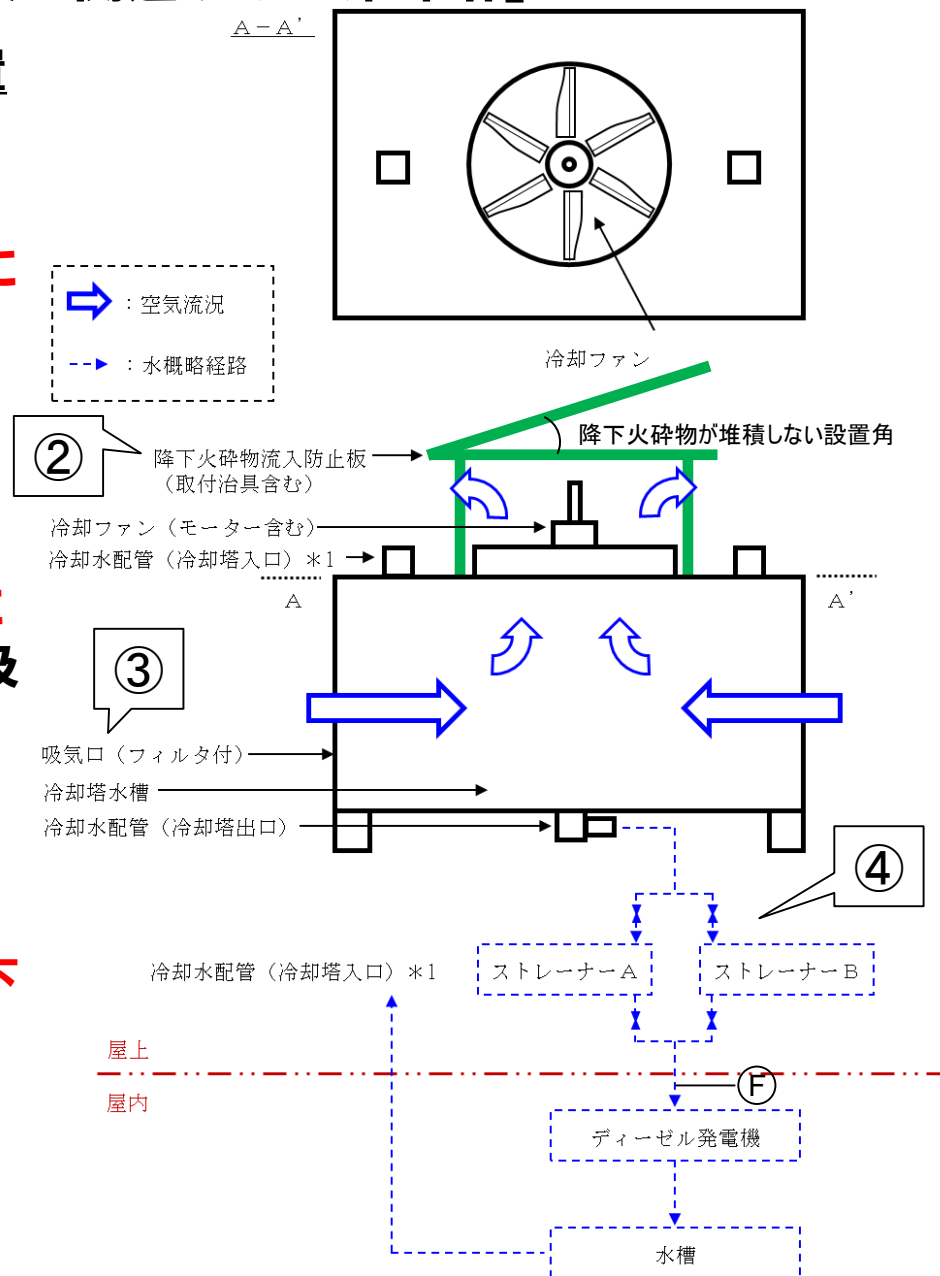
### (1) 非常用ディーゼル電源系に関連する「冷却塔」

#### ●降下火砕物の流入防止措置：流入抑止板の設置

- ①降灰予報等に基づく原子炉の停止
- ②多量の降下火砕物が原子炉施設に到達するおそれが確認された場合、速やかに**冷却塔上部に降下火砕物流入防止板を設置する。**  
(右図参照)
- ③**冷却塔の吸気口には、交換可能なフィルタを設置し、降下火砕物を除去する。**
- ④**冷却水配管には、2式のストレーナーを並列に設置し、降下火砕物の混入を防止する。切替及び清掃により閉塞を防止する。**

#### ●影響評価

- ・上記に加え、冷却塔ファンの作動による上面開口部に向けた上昇流により、一定の粒径を下回る降下火砕物の流入は抑制される。
- ・以上より、重要安全施設の安全機能が損なわれることはない。



## 4. 波及的影響に対する設備対応

### (2) 非常用ディーゼル電源系に関連する「排気管」

#### ●降下火砕物の流入防止措置：排気管端部のベンド

- ・ 既設の非常用DG電源系に関連する排気管は、地下2Fより地上に上向きに設置されているため、降下火砕物の混入による閉塞リスクを有する。
- ・ このため、下図の着色部のとおり、**地上部の排気管端部を恒常的にベンドする措置**を施すことで、降下火砕物の流入リスクを排除する。

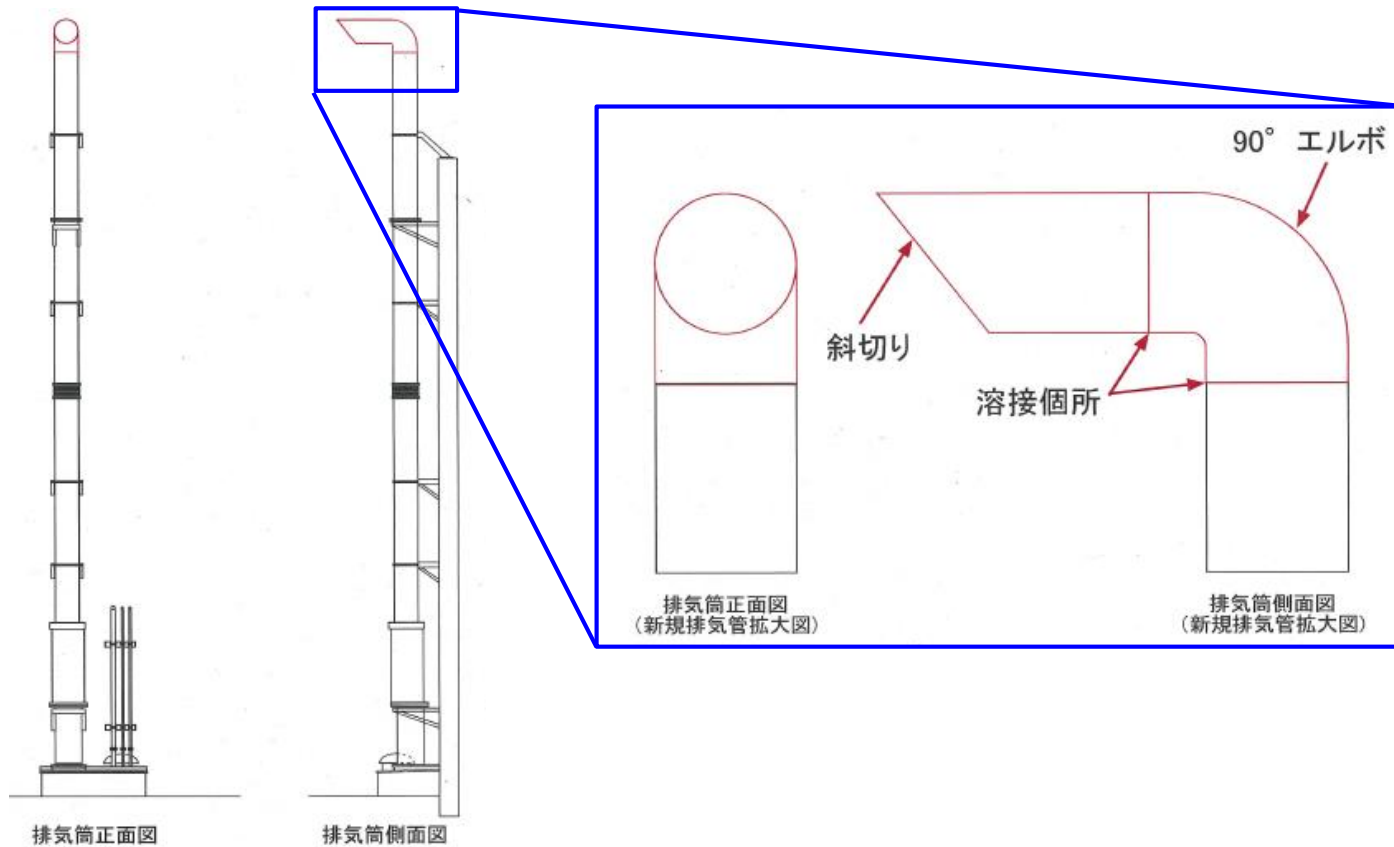


図 非常用DG電源系に係る排気管へのベンド追設案（着色部）

## 4. 波及的影響に対する設備対応

### (3) 非常用ディーゼル電源系に関連する「吸気系統」

#### ●降下火砕物の流入防止措置：主冷却機建物のガラリ、給気口フィルタ

- ・非常用DG電源系の機関の吸気系統の構成は下図のとおりであり、外気は、ガラリ、給気口フィルタを通じて主冷却機建物の室内に導入され、さらにディーゼル発電機室系送風機を通じてディーゼルエンジンに導入される。
- ・ディーゼル発電機室以外の送風機を停止することで、ガラリの空気流入速度を低下させ、降下火砕物を換気空調系へ流入させない。
- ・フィルタに閉塞及び目詰まりが生じた場合には、交換及び清掃により対応する。

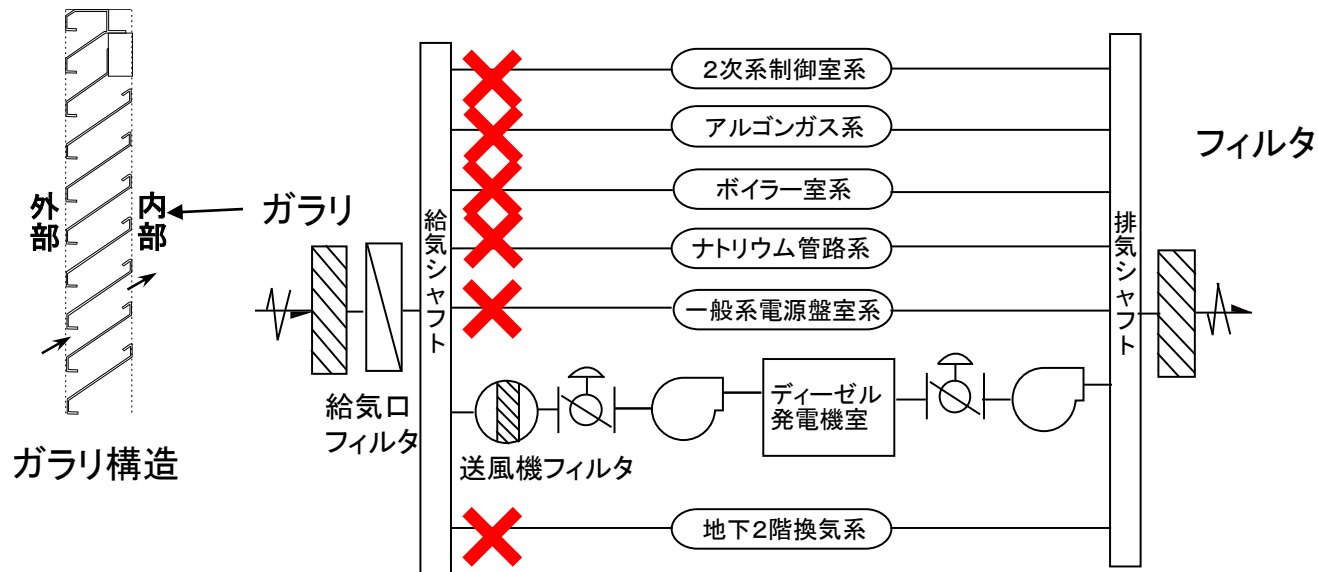


図 主冷却機建物空気換気設備の構成



## 5. まとめ

【想定する設計事象】 **影響を及ぼし得る火山事象は「降下火砕物」のみである。**

降下火砕物の層厚50cmに湿潤密度 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ を乗じて評価される設計降下火砕物荷重は $7,355\text{N}/\text{m}^2$ と重畳する常時作用する荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せ荷重で構造健全性を評価した。

【評価】

- 「**外殻施設**」の評価  
許容応力度比或いはFEM弾性解析による評価を行い、**屋根部材及び耐震壁の構造健全性（許容せん断力／曲げモーメント／層せん断力を満足すること）を確認した。**
- 「外部からの衝撃による損傷に係る重要安全施設」における降下火砕物の影響評価  
外殻施設で保護されない「**主冷却機屋外部分（屋外ダクト）**」については、敷地に降下火砕物の降灰が確認された時点で**仮設の降下火砕物の流入防止板を設置し、空気流路の閉塞を防止する。**なお、屋外ダクト水平部高さ（300cm）> 設計上考慮する降下火砕物の層厚（50cm）であり、空気流路は閉塞しない。
- 「波及的影響に対する設備対応」の評価  
**非常用ディーゼル電源系に関連する「冷却塔」及び「排気管」について、仮設の降下火砕物流入防止板の設置或いは排気管出口をベンドにより、空気流路の閉塞を防止する。**

【多量の降下火砕物が原子炉施設に到達するおそれが確認された場合の対応】

- 運転中にあつては、適切に原子炉を停止する。
- 敷地に降灰が確認された場合は、次の対応を講じる。
 

<ul style="list-style-type: none"> <li>- 降下火砕物流入防止板の設置</li> <li>- 不要な換気空調設備の停止</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 非常用ディーゼル電源系の起動（∵閉塞リスクの排除）</li> <li>- フィルタ閉塞の監視</li> <li>- 降下火砕物の除去</li> </ul>
---	--