

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

第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）

（その3：耐降下火砕物設計）

2023年2月7日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

大洗研究所高速実験炉部

第6条：外部からの衝撃による損傷の防止

(その3：耐降下火砕物設計)

目次

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

(別紙)

- 別紙1 : 原子炉施設の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の評価
- 別紙2 : 降下火砕物に対する安全施設の安全機能の確保
- 別紙3 : 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物に係る降下火砕物影響評価結果
- 別紙4 : 主冷却機建物に係る降下火砕物影響評価結果
- 別紙5 : 主冷却機のうち屋外部分に係る降下火砕物影響評価結果
- 別紙6 : 主排気筒に係る降下火砕物影響評価結果
- 別紙7 : 第一使用済燃料貯蔵建物に係る降下火砕物影響評価結果
- 別紙8 : 第二使用済燃料貯蔵建物に係る降下火砕物影響評価結果
- 別紙9 : 非常用ディーゼル電源系に関連する「冷却塔」、「排気筒」及び「吸気系統」に係る降下火砕物影響評価結果
- 別紙10 : 降下火砕物に対する中央制御室の居住性確保

別紙 11 : 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フロー

(添付)

添付 1 : 設置許可申請書における記載

添付 2 : 設置許可申請書の添付書類における記載 (安全設計)

添付 3 : 設置許可申請書の添付書類における記載 (適合性)

添付 4 : 設置許可申請書の添付書類における記載 (気象等)

< 概 要 >

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

1. 要求事項の整理

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

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

| 要求事項 | 変更の有無 |
|---|-------|
| <p>1 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。</p> <p>【解釈】</p> <ul style="list-style-type: none">第6条は、設計基準において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等への措置を含む。第1項に規定する「想定される自然現象」とは、敷地の自然環境を基に、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災等から適用されるものをいう。第1項に規定する「想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないもの」とは、設計上の考慮を要する自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然事象そのものがもたらす環境条件及びその結果として試験研究用等原子炉施設で生じ得る環境条件において、その設備が有する安全機能が達成されることをいう。 | 有 |

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

| 要求事項 | 変更の有無 |
|---|-------|
| <p>2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。</p> <p>【解釈】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 第 2 項に規定する「重要安全施設」については、「水冷却型試験研究用原子炉施設に関する安全設計審査指針」（平成 3 年 7 月 18 日原子力安全委員会決定）の「添付 水冷却型試験研究用原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する基本的な考え方」の「4. (1)自然現象に対する設計上の考慮」に示されるものとする。水冷却型研究炉以外の炉型についても、これを参考とすること。 ・ 第 2 項に規定する「大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象」とは、対象となる自然現象に対応して、最新の科学的技術的知見を踏まえて適切に予想されるものをいう。なお、過去の記録、現地調査の結果、最新知見等を参考に、必要のある場合には、異種の自然現象を重畳させるものとする。 ・ 第 2 項に規定する「適切に考慮したもの」とは、大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故が発生した場合に生じる応力を単純に加算することを必ずしも要求するものではなく、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して適切に組み合わせた場合をいう。 | 有 |
| <p>3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。</p> <p>【解釈】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 第 3 項は、設計基準において想定される試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設、設備等への措置を含む。 ・ 第 3 項に規定する「試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）」とは、敷地及び敷地周辺の状況をもとに選択されるものであり、飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害等をいう。なお、上記の「航空機落下」については、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成 14・07・29 原院第 4 号（平成 14 年 7 月 30 日原子力安全・保安院制定））等に基づき、防護設計の要否について確認する。 | 有 |

2. 設置許可申請書における記載

添付 1 参照

3. 設置許可申請書の添付書類における記載

3.1 安全設計方針

(1) 設計方針

添付 2 参照

(2) 適合性

添付 3 参照

3.2 気象等

添付 4 参照

3.3 設備等

該当なし

※ 添付の朱書き：審査進捗を踏まえて記載を見直す箇所

4. 要求事項への適合性

4.1 基本方針

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

安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても、安全機能を損なわない設計とする。また、重要安全施設については、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力について、それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して適切に組み合わせる。

自然現象（地震及び津波を除く。）については、網羅的に抽出する。

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

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

(a-9) 火山の影響

安全施設は、原子炉施設の運用期間中において原子炉施設の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象として設定した層厚 50cm、湿潤密度を $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ の降下火砕物に対し対策を行い、建屋による防護、構造健全性の維持、代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

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

(i) クラス 1

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

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

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

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

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

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

* : 上記関連系は、当該系と同位の重要度を有するものとする。

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

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

4.2 火山事象防護

4.2.1 火山事象防護に関する基本方針

安全施設が火山事象に対して原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能を損なわない設計とする。このため、「添付書類6 8.火山」で評価し抽出された原子炉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、対策を行い、建屋による防護、構造健全性の維持、代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

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、外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設に該当する構築物、系統及び機器を影響評価の対象とする。

【原子炉施設の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の評価：別紙1参照】。

4.2.2 評価方針

後述する評価対象施設について、評価を行う。当該影響評価にあつては、当該安全施設の外殻施設を評価対象とする場合がある。想定される降下火砕物に対する影響を評価し、構造、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設計とする。重要安全施設以外の安全施設は、降下火砕物により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等を含め安全機能を損なわないものとする。

4.2.3 評価対象施設の抽出

降下火砕物の影響評価を行う降下火砕物影響評価対象施設を以下の各区分から抽出する【降下火砕物に対する安全施設の安全機能の確保：別紙2参照】。

(1) 重要安全施設を内包し保護する外殻施設

原子炉建物（格納容器を含む。）、原子炉附属建物及び主冷却機建物

(2) 外殻で保護されない重要安全施設

主冷却機のうち屋外部分（屋外ダクト）、非常用ディーゼル電源系に関連する「冷却塔」、「排気筒」及び「吸気系統」（主冷却機建物空調換気設備）

(3) 安全施設を内包し保護する外殻施設

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

(4) 外殻で保護されない安全施設

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

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

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

評価対象施設から除外した。

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

(5) 降下火砕物を含む空気の流路となる施設

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」及び「排気筒」、主排気筒、中央制御室に係る換気空調設備、換気空調設備（外気取入口）

(6) 外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

非常用ディーゼル電源系に関連する「吸気系統」（主冷却機建物空調換気設備）、原子炉保護系及び関連する計装設備、非常用ディーゼル電源系及び無停電電源系に関連する盤

4.2.4 降下火砕物による影響の選定

降下火砕物の特徴及び評価対象施設等の構造や設置状況等を考慮して、降下火砕物が直接及ぼす影響（以下「直接的影響」という。）とそれ以外の影響（以下「間接的影響」という。）を選定する。

4.2.4.1 降下火砕物の特徴

各種文献の調査結果より、降下火砕物は以下の特徴を有する。

- (a) 火山ガラス片、鉱物結晶片から成る^[1]。ただし、火山ガラス片は砂よりもろく硬度は低く^[2]、主要な鉱物結晶片の硬度は砂同等又はそれ以下である^{[3] [4]}。
- (b) 硫酸等を含む腐食性のガス（以下「腐食性ガス」という。）が付着している^[1]。ただし、金属腐食研究の結果より、直ちに金属腐食を生じさせることはない^[5]。
- (c) 水に濡れると導電性を生じる^[1]。
- (d) 湿った降下火砕物は乾燥すると固結する^[1]。
- (e) 降下火砕物粒子の融点は約 1,000℃であり、一般的な砂に比べ低い^[1]。

4.2.4.2 直接的影響

降下火砕物の特徴から直接的影響の要因となる荷重、閉塞、摩耗、腐食、大気汚染、水質汚染及び絶縁低下を抽出し、評価対象施設等の構造や設置状況等を考慮して直接的な影響因子を以下のとおり選定する。

(1) 荷重

「荷重」について考慮すべき影響因子は、建屋及び屋外設備の上に堆積し静的な負荷を与える「構造物への静的負荷」である。

(2) 閉塞

「閉塞」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物を含む水が流路の狭隘部等を閉塞させる「水循環系の閉塞」及び降下火砕物を含む空気が機器の狭隘部や換気系の流路を閉塞させる「換気系、電気系及び計測制御系の機械的影響（閉塞）」である。

(3) 摩耗

「摩耗」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物を含む水が流路に接触する

ことにより配管等を摩耗させる「水循環系の内部における摩耗」及び降下火砕物を含む空気が動的機器の摺動部に侵入し摩耗させる「換気系、電気系及び計測制御系の機械的影響（摩耗）」である。

(4) 腐食

「腐食」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物に付着した腐食性ガスにより建屋及び屋外施設の外面を腐食させる「構造物への化学的影響（腐食）」、換気系、電気系及び計測制御系において降下火砕物を含む空気の流路を腐食させる「換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）」及び冷却水に溶出した腐食性成分により配管等を腐食させる「水循環系の化学的影響（腐食）」である。

(5) 大気汚染

「大気汚染」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物により汚染された原子炉施設周辺の大気が運転員の常駐する中央制御室内に侵入することによる居住性の劣化及び降下火砕物の除去、屋外設備の点検等、屋外における作業環境を劣化させる「原子炉施設周辺の大気汚染」である。

(6) 水質汚染

「水質汚染」については、給水等に使用する工業用水に降下火砕物が混入することによる汚染が考えられるが、原子炉施設では給水処理設備により水処理した給水を使用しており、降下火砕物の影響を受けた工業用水を直接給水として使用しないこと、また水質管理を行っていることから、安全施設の安全機能には影響しない。

(7) 絶縁低下

「絶縁低下」について考慮すべき影響因子は、湿った降下火砕物が、電気系及び計測制御系絶縁部に導電性を生じさせることによる「盤の絶縁低下」である。

1.7.4.4.3 間接的影響

(1) 外部電源喪失及びアクセス制限

降下火砕物によって原子炉施設に間接的な影響を及ぼす因子は、湿った降下火砕物が送電線の碍子、開閉所等の充電露出部等に付着し絶縁低下を生じさせることによる広範囲にわたる送電網の損傷に伴う「外部電源喪失」及び降下火砕物が道路に堆積することによる交通の途絶に伴う「アクセス制限」である。

4.2.5 設計降下火砕物荷重の算定法

「添付書類6 8. 火山」に示したように、敷地における降下火砕物の想定される最大層厚は50cmであり、これを設計上考慮する降下火砕物の層厚とする。原子炉施設の耐降下火砕物設計に用いる設計降下火砕物荷重は、設計上考慮する降下火砕物の層厚を50cmに、湿潤密度を $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ を乗じて算定することを基本とする。ただし、降下火砕物の層厚については、原子炉施設において、必要に応じて、降下火砕物が降下火砕物防護施設又は外殻施設への積灰を抑制するための措置を講じることを考慮して設定する場合がある。

4.2.6 荷重の組合せと許容限界

4.2.6.1 荷重の組合せにおいて考慮する原子炉施設の状態

(1) 建物・構築物

(i) 運転時の状態

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

(ii) 設計基準事故時の状態

原子炉施設が設計基準事故時にある状態

(2) 機器・配管系

(i) 通常運転時の状態

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

(ii) 運転時の異常な過渡変化時の状態

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

(iii) 設計基準事故時の状態

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

4.2.6.2 荷重の種類

(1) 建物・構築物

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

(ii) 運転時の状態で作用する荷重

(iii) 設計基準事故時の状態で作用する荷重

(iv) 設計降下火砕物荷重、風荷重、積雪荷重

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

(2) 機器・配管系

(i) 通常運転時の状態で作用する荷重

(ii) 運転時の異常な過渡変化時の状態で作用する荷重

(iii) 設計基準事故時の状態で作用する荷重

(iv) 設計降下火砕物荷重

4.2.6.3 荷重の組合せ

設計降下火砕物荷重と他の荷重との組合せは以下のとおりとする。

- (1) 建物・構築物
 - (i) 常時作用している荷重及び運転時の状態で作用する荷重と設計降下火砕物荷重、風荷重及び積雪荷重を組み合わせる。
- (2) 機器・配管系
 - (i) 通常運転時の状態で作用する荷重、又は運転時の異常な過渡変化時の状態若しくは設計基準事故時の状態で作用する荷重のうち、長時間その作用が続く荷重と設計降下火砕物荷重を組み合わせる。
- (3) 荷重の組合せ上の留意事項
 - (i) 明らかに、他の荷重の組合せ状態での評価が厳しいことが判明している場合には、その荷重の組合せ状態での評価は行わなくてもよいものとする。
 - (ii) 複数の荷重が同時に作用する場合、それらの荷重による応力の各ピークの生起時刻に明らかなずれがあることが判明しているならば、必ずしも、それぞれの応力のピーク値を重ねなくともよいものとする。
 - (iii) 設計基準事故時に評価対象施設に応力は生じず、降下火砕物防護施設の外殻による防護に影響ないため、設計降下火砕物荷重及び設計基準事故時に生じる応力の組み合わせは考慮しない。

4.2.6.4 許容限界

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

- (1) 建物・構築物
 - (i) 建物・構築物が構造物全体として、十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、終局耐力に対して妥当な安全余裕を持たせることとする【原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物に係る降下火砕物影響評価結果：別紙 3 参照】【主冷却機建物に係る降下火砕物影響評価結果：別紙 4 参照】【主冷却機のうち屋外部分に係る降下火砕物影響評価結果：別紙 5 参照】【主排気筒に係る降下火砕物影響評価結果：別紙 6 参照】【第一使用済燃料貯蔵建物に係る降下火砕物影響評価結果：別紙 7 参照】【第二使用済燃料貯蔵建物に係る降下火砕物影響評価結果：別紙 8 参照】。なお、終局耐力は、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又はひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力とし、既往の実験式等に基づき適切に定めるものとする。
- (2) 機器・配管系
 - (i) 構造物の相当部分が降伏し塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生じ、その施設の機能に影響を及ぼすことがない程度に応力を制限する。

4.2.7 設計における留意事項

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、原子炉を停止する。また、降下火砕物を除去するために必要な措置を講じる。

4.2.7.1 荷重以外の直接的影響

(1) 構造物への化学的影響（腐食）

金属腐食研究の結果より、降下火砕物に含まれる腐食性ガスによって直ちに金属腐食を生じないが、外装の塗装等によって短期での腐食により、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

(2) 水循環系の閉塞、内部における摩耗及び化学的影響（腐食）

降下火砕物を考慮すべき水循環系としては、非常用ディーゼル電源系の冷却塔の冷却水がある。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の確認された場合には、降下火砕物が冷却塔の内部に流入することを防止するため、冷却塔の上部に、降下火砕物流入防止板を設置する。

また、冷却塔の吸気口に設置するフィルタは、降下火砕物により閉塞した場合に、降下火砕物を除去、又は閉塞したフィルタを交換できる構造とする。

さらに、冷却塔の内部に降下火砕物が流入した場合を想定し、ディーゼル発電機に水を供給するための配管の途中にストレーナーを設ける。なお、2式のストレーナー及びその配管を並列に設けるものとし、一方が閉塞した場合において、他方を使用し、その間にストレーナーを交換できる構造とする。

ストレーナーを通過した粒子による内部における摩耗については、主要な降下火砕物は砂と同等又は砂より硬度が低くもろいことから、摩耗による影響は小さい。また当該施設については、定期的な内部点検及び日常保守管理により、状況に応じて補修が可能であり、摩耗により外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

ストレーナーを通過した粒子による化学的影響（腐食）については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないが、耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって、腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお、長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

(3) 電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）

降下火砕物を考慮すべき原子炉保護系及び関連する計装設備、非常用ディーゼル電源系及び無停電電源系に関連する盤はすべて建屋内に設置する。

建屋の換気空調系の吸気口はガラリ構造として降下火砕物を吸い込みづらい構造にし、さらにフィルタを設置することで、降下火砕物の侵入に対する高い防護性能を有する設計とする。なお、建屋の空気換気設備の一部を停止し、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措置をとる場合もある。

ガラリ及びフィルタを通過した粒子による化学的影響（腐食）については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないが、耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって、腐食により安全機能を損なうことのない設計とする。なお、長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

(4) 絶縁低下及び化学的影響（腐食）

降下火砕物による絶縁低下及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は、外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設である原子炉保護系及び関連する計装設備、非常用ディーゼル電源系及び無停電電源系に関連する盤である。

建屋の換気空調系の吸気口はガラリ構造として降下火砕物を吸い込みづらい構造にし、さらにフィルタを設置することで、降下火砕物の侵入に対する高い防護性能を有する設計とする。

また、原子炉保護系及び関連する計装設備が設置されている中央制御室空調換気設備は、フィルタの設置により降下火砕物の侵入に対する高い防護性能を有すること、また閉回路を構築した再循環運転による侵入防止が可能な設計とすることにより、降下火砕物の付着に伴う絶縁低下及び化学的影響（腐食）による影響を防止し、安全機能を損なわない設計とする。

(5) 外気取入口等からの降下火砕物の侵入（大気汚染）に対する設計

外気取入口からの降下火砕物の侵入に対して、以下のとおり安全機能を損なわない設計とする。

- ・建屋の換気空調系の吸気口はガラリ構造として降下火砕物を吸い込みづらい構造にし、さらにフィルタを設置することで、降下火砕物の侵入に対する高い防護性能を有する設計とする。さらに降下火砕物がフィルタに付着した場合でも取替又は清掃が可能な構造とすることで、降下火砕物により閉塞しない設計とする。
- ・中央制御室空調換気設備は、フィルタの設置により降下火砕物の侵入に対する高い防護性能を有すること、また閉回路を構築した再循環運転による侵入防止が可能な設計とする
- ・非常用ディーゼル電源系に関連する「排気筒」は、降下火砕物が混入することにより閉塞するリスクを有することから、地上部の排気筒端部を恒常的にベンドする措置を施し、降下火砕物の流入を防止した設計とする。
- ・主排気筒は、降下火砕物が侵入した場合でも、主排気筒の構造から排気流路が閉塞しない設計とする。
- ・主冷却機のうち屋外部分（以下、「屋外ダクト」という。）は、降下火砕物が侵入した場合でも、屋外ダクトの構造から空気流路が閉塞しない設計とする。

4.2.7.2 間接的影響

降下火砕物発生時において原子炉施設外で想定される外部電源喪失等に対しては、原子炉保護系の作動等により、原子炉を自動停止するものとする。また、広範囲にわたる送電網の損傷による7日間の外部電源喪失及び敷地外での交通の途絶によるアクセス制限事象が生じた場合については、降下火砕物に対して非常用ディーゼル発電機の安全機能を維持することで、必要となる電源の供給が非常用ディーゼル発電機により継続できる設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

4.2.8 手順等

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づき、原子炉施設保安規

定を定める。原子炉施設保安規定には降下火砕物対策について、以下の内容を含む手順を定め、適切な管理を行う。

・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の以下の措置に関すること。

- (1) 原子炉を停止する判断基準を定める。
- (2) 降灰が確認された場合には、建屋や屋外の設備に長期間降下火砕物による荷重を掛け続けられないこと、また降下火砕物の付着による閉塞・腐食等が生じる状況を緩和するために、評価対象施設等に堆積した降下火砕物の除去を適切に実施する手順を定める。
- (3) 降灰が確認された場合には、状況に応じて換気空調設備の停止又は閉回路循環運転により、建屋内への降下火砕物の侵入を防止する手順を定める。
- (4) 降灰が確認された場合には、非常用ディーゼル電源系の冷却塔への降下火砕物の流入を防止するため、冷却塔の上部に、降下火砕物流入防止板を設置する手順を定める。また、冷却塔の内部に降下火砕物が流入した場合を想定し、配管に設置した2式並列のストレーナの切替、交換・清掃する手順を定める。

[1] 広域的な火山防災対策に係る検討会（第3回）資料2 内閣府

[2] 「シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状」武若耕司, コンクリート工学, Vol. 42, 2004

[3] 「新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺] 第2刷」町田洋ほか, 東京大学出版会, 2011

[4] 「理科年表 (2017)」国立天文台編

[5] 「火山環境における金属材料の腐食」出雲茂人, 末吉秀一他, 防食技術 Vol. 39, 1990

4.3 要求事項（試験炉設置許可基準規則第6条）への適合性説明

（外部からの衝撃による損傷の防止）

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

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

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

適合のための設計方針（耐降下火砕物）

1 について

（9）火山の影響

敷地における降下火砕物の想定される最大層厚は50cmであり、これを設計上考量する降下火砕物の層厚とする。原子力施設の耐降下火砕物設計に用いる設計降下火砕物荷重は、設計上考慮する降下火砕物の層厚50cmに、湿潤密度を $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ を乗じて算定することを基本とする。ただし、降下火砕物の層厚については、原子炉施設において、必要に応じて、降下火砕物が降下火砕物防護施設又は外殻施設への積灰を抑制するための措置を講じることを考慮して設定する場合がある。

a. 直接的影響に対する設計

降下火砕物防護施設は、直接的影響に対して、以下により安全機能を損なわない設計とする。また、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、原子炉を停止するとともに、降下火砕物を除去するために必要な措置（除去等）を講じる。

設計降下火砕物荷重に対して、建物・構築物が構造物全体として、十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、終局耐力に対して適切な安全余裕を持っていることを確認する。また、機器・配管系について、構造物の相当部分が降伏し塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生じ、その施設の機能に影響を及ぼすことがない程度に応力を制限する。

構造物の化学的影響（腐食）、水循環系の化学的影響（腐食）並びに換気系、電気系及び計測制御系の化学的影響（腐食）に対して短期での腐食が発生しない設計とする。

水循環系の閉塞に対して降下火砕物流入防止板を設置するとともに、狭隘部等が閉塞しない設計とする。

水循環系の内部における摩耗並びに換気系、電気系及び計測制御系の機械的影響（摩耗）に対して摩耗しにくい設計とする。

電気系及び計測制御系の盤の絶縁低下に対して空気を取り込む機構を有する原子炉保護

系及び関連する計装設備、非常用ディーゼル電源系及び無停電電源系に関連する盤の設置場所の換気空調設備は降下火砕物が侵入しにくい設計とする。

原子炉施設周辺の大気汚染に対して中央制御室換気系は降下火砕物が侵入しにくく、さらに外気を遮断できる設計とする。

降下火砕物による静的負荷や腐食等の影響に対して降下火砕物の除去や換気空調設備外気取入口のフィルタの取替え若しくは清掃又は換気空調設備の停止若しくは閉回路循環運転の実施により安全機能を損なわない設計とする。

安全施設のうち、一般電源系（受電エリア）及び屋外管理用モニタリングポストについては、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。

b. 間接的影響に対する設計

降下火砕物発生時において原子炉施設外で想定される外部電源喪失等に対しては、原子炉保護系の作動等により、原子炉を自動停止するものとする。また、広範囲にわたる送電網の損傷による7日間の外部電源喪失及び敷地外での交通の途絶によるアクセス制限事象が生じた場合については、降下火砕物に対して非常用ディーゼル発電機の安全機能を維持することで、必要となる電源の供給が非常用ディーゼル発電機により継続できる設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

原子炉施設の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の評価

施設に影響を及ぼし得る火山を抽出し、原子炉施設の安全性に影響を与える可能性のある火山事象について評価した【原子炉設置変更許可申請書添付書類六：添付4参照】。

評価結果のまとめを第1表に、概要を以下に示す。

(1) 評価対象の抽出

- ・施設に影響を及ぼし得る火山として12火山（高原山、那須岳、男体・女峰火山群、日光白根火山群、赤城山、燧ヶ岳、子持山、安達太良山、磐梯山、榛名山、笹森山及び沼沢）を抽出した。
- ・施設に影響を及ぼし得る火山として抽出した12火山は、敷地から約90km以上の距離を有する【添付4「8.3」及び添付4「第8.3.1表」参照】。
このため、降下火砕物以外の火山事象について、施設に影響を及ぼす可能性は十分に小さい【添付4「8.4.2～8.4.5」参照】。

(2) 設計降下火砕物荷重の設定

- ・設計降下火砕物荷重は、設計上考慮す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、設計降下火砕物荷重（降下火砕物による鉛直荷重）は $7,355\text{N}/\text{m}^2$ となる。
- ・文献より赤城山からの降下火砕物の層厚が最大となる【添付4「第8.4.1表」参照】。
露頭確認による降下火砕物の分布状況及び降下火砕物シミュレーションによる検討結果から総合的に判断し、設計上考慮する降下火砕物の層厚は保守的に50cmと評価される【添付4「8.4.1.1(4)参照】】。
- ・また、湿潤密度は $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ と設定する【密度に関する評価：添付4「8.4.1.2」参照】。

第1表 原子炉施設に影響を及ぼし得る火山事象の評価

| 事象 | 影響 | 概要 | 添付4 |
|--------------------|---|--|-------|
| 抽出された火山の活動に関する個別評価 | 十分に小さい | 施設に影響を及ぼし得る火山(12火山)のうち敷地に最も近い高原山で約98kmの距離を有し、且つ基地は、火山フロントより前弧側(東方)に位置し、敷地周辺では火成活動は確認されていないため、施設に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと判断される。 | 8.3 |
| 火山事象の影響評価 | | | |
| 降下火砕物 | 与える可能性有 ・設計上考慮する降下火砕物の層厚50cm ・密度1.5g/cm ³ | 敷地周辺に分布が確認または推定される降下火砕物を抽出し、層厚とその噴火規模が最も大きい赤城鹿沼テフラを対象に、設計上考慮する降下火砕物とした。 | 8.4.1 |
| 火山性土石流、火山泥流及び洪水 | 十分に小さい | 施設に影響を及ぼし得る12火山のうち、敷地から120kmの範囲内には、敷地の那珂川上流に高原山、那須岳、男体・女峰火山群、日光白根火山群の4火山が位置する。 文献調査の結果、那珂川に沿う瓜連丘陵に火山性土石流堆積物である栗河軽石が分布する。しかしながら、那珂川の流下方向は敷地へ向かっていない。また、那珂川と敷地の間には鹿島台地が分布し敷地は台地上に位置する。このことから、火山性土石流、火山泥流及び洪水が施設に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと判断される。 | 8.4.2 |
| 火山から発生する飛来物(噴石) | 十分に小さい | 施設に影響を及ぼし得る12火山のうち、最も近い高原山でも敷地から約98kmと十分離れているため、施設に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと判断される。 | 8.4.3 |
| 火山ガス | 十分に小さい | 施設に影響を及ぼし得る12火山のうち、最も近い高原山でも敷地から約98kmと十分離れていること、敷地は太平洋に面する台地上に位置しており火山ガスが滞留する地形ではないため、施設に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと判断される。 | 8.4.4 |
| その他火山事象 | 十分に小さい | 施設に影響を及ぼし得る12火山のうち、最も近い高原山でも敷地から約98kmと十分離れていること、敷地は火山フロントより前弧側(東方)に位置することから、津波及び静振、大気現象、火山性地震とこれに関連する事象、熱水系及び地下水の異常について、施設に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと判断される。 | 8.4.5 |

降下火砕物に対する安全施設の安全機能の確保

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。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する。外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設に該当する構築物、系統及び機器に影響評価の対象とする。当該影響評価にあつては、当該安全施設の外殻施設を評価対象とする場合がある。想定される降下火砕物に対する影響を評価し、外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設が、外殻施設又は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。重要安全施設以外の安全施設は、降下火砕物により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等を含めて安全機能を損なわないものとする。安全施設の安全機能の確保の考え方を第1表に示す。

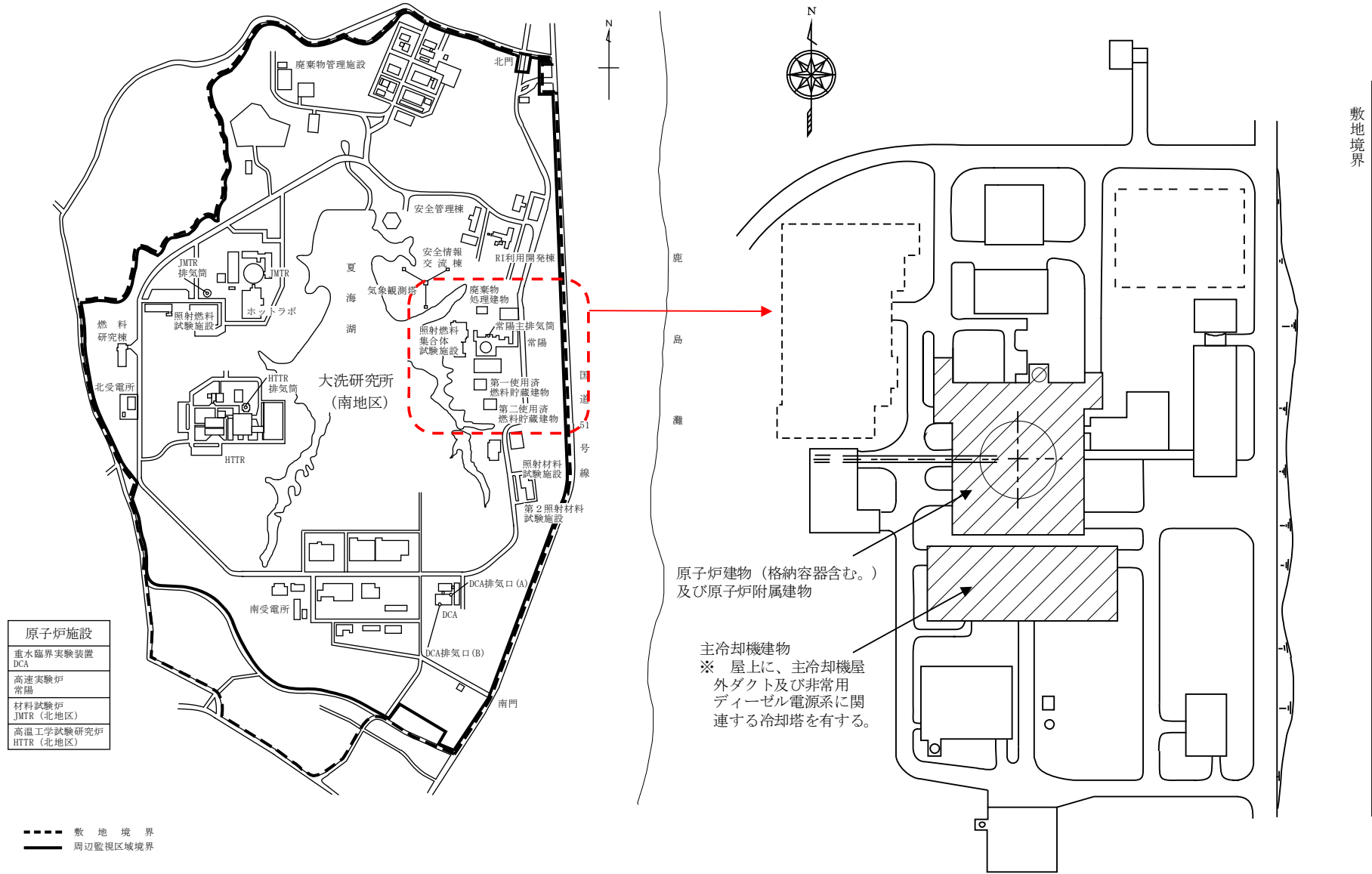
重要安全施設は、基本的に、原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物又は主冷却機建物（第1図参照）を外殻施設としており、影響評価の対象部位は、これらの建物の天井スラブ（コンクリート）とする。また、主冷却機のうち屋外部分及び補機冷却設備のうち非常用ディーゼル電源系に関連する「冷却塔」、「排気筒」及び「吸気系統」については、降下火砕物の除去等に係る措置により、降下火砕物による波及的影響（閉塞及び目詰まり）によって、必要な安全機能を損なわないことを確認する。

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には、原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物又は主冷却機建物ではなく、第一使用済燃料貯蔵建物、第二使用済燃料貯蔵建物、廃棄物処理建物、メンテナンス建物を外殻施設とするものがある。このうち、廃棄物処理建物、メンテナンス建物を外殻施設としている安全施設にあつては、以下の設計により、必要な機能を確保できるものとする。

- ・ 環境条件から降下火砕物が堆積するおそれのないもの
- ・ 誤作動を考慮しても必要な機能を達成できるもの（フェイルセーフ）
- ・ 代替手段により必要な機能を達成できるもの
- ・ 降下火砕物を起因とする事象において、原子炉を停止し、放射性物質の閉じ込め機能を維持するために、また、停止状態にある場合は、引き続きその状態を維持するために当該構築物、系統及び機器が必須ではないもの

第1表 安全施設の安全機能の確保の考え方

| 防護対象 | 安全施設の安全機能の確保の考え方 |
|---|--|
| <p>【外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ クラス1 ・ クラス2のうち、特に自然現象の影響を受けやすく、かつ、代替手段によってその機能の維持が困難であるか、又はその修復が著しく困難な構築物、系統及び機器^{*1} | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 <ul style="list-style-type: none"> ※ 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。 ※ 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筒については、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。 |
| <p>【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】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ クラス2のうち、特に自然現象の影響を受けやすく、かつ、代替手段によってその機能の維持が困難であるか、又はその修復が著しく困難な構築物、系統及び機器に属しないもの^{*2} ・ クラス3^{*2} | <p>【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】</p> <ul style="list-style-type: none"> ＞ 設計降下火砕物荷重を踏まえて健全性を評価する外殻施設を有し、安全機能を損なうことはない。 <p>【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】</p> <ul style="list-style-type: none"> ＞ 貯蔵ラック、水冷却池及びサイフォンブレイク止弁が該当する（クラス2）。 ＞ 外殻施設について、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、貯蔵ラック、水冷却池及びサイフォンブレイク止弁の安全機能（放射性物質の貯蔵、放射性物質の貯蔵及び燃料プール水の保持）を確保する。 <p>【廃棄物処理建物、メンテナンス建物に内包されるもの】</p> <ul style="list-style-type: none"> ＞ 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）。 ＞ 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にあっても、放射性物質が拡散することはなく、安全機能（放射性物質の貯蔵）を損なうことはない。 <p>【建物に内包されないもの】</p> <ul style="list-style-type: none"> ＞ 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。 ＞ 主排気筒（クラス2）：降下火砕物の堆積面積は小さく、主排気筒が倒壊することはない。また、スタック下部に50cmの降下火砕物の堆積を考慮しても流路（高さ：約400cm）が閉塞されることはなく、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。 ＞ 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。 ＞ 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。 |
| <p>*1 「参考第1表 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」参照</p> <p>*2 「参考第2表 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」参照</p> | |



第1図 影響評価対象施設の配置

参考第1表(1) 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設及び外殻施設

| 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 |

6条(3)-別紙2-4

参考第1表(2) 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設及び外殻施設

| 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 | ① 制御棒 ② 制御棒駆動系 1) 駆動機構 2) 上部案内管 3) 下部案内管 ③ 後備炉停止制御棒 ④ 後備炉停止制御棒駆動系 1) 駆動機構 2) 上部案内管 3) 下部案内管 | ① 炉心支持構造物 1) 炉心支持板 2) 支持構造物 ② 炉心バレル構造物 1) バレル構造体 ③ 炉心構成要素 1) 炉心燃料集合体 2) 照射燃料集合体 3) 内側反射体 4) 外側反射体 (A) 5) 材料照射用反射体 6) 遮へい集合体 7) 計測線付実験装置 8) 照射用実験装置 | ① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物 |
| | 1次冷却材漏えい量の低減機能 | ① 原子炉容器 1) リークジャケット ② 1次主冷却系、1次補助冷却系及び1次ナトリウム充填・ドレン系のうち、原子炉冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁の配管(外側)又はリークジャケット ③ 1次主冷却系 1) 逆止弁 ④ 1次補助冷却系 1) サイフォンブレーク止弁 ⑤ 1次予熱室素ガス系 1) 仕切弁 | ① 関連するプロセス計装(ナトリウム漏えい検出器) | ① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物 |

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

| 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。 |

参考第1表(4) 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

| 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止弁 | | 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 |

参考第2表(1) 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設以外の安全施設及び外殻施設

| 分類 | 機能 | 構築物、系統又は機器 | 外殻施設 |
|------|---|---|--|
| PS-2 | 原子炉カバーガス等のバウンダリ機能 | 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止弁 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止弁 | 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 |

参考第2表(2) 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設以外の安全施設及び外殻施設

| 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 |

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

| 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。 |

原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物に係る
降下火砕物影響評価結果

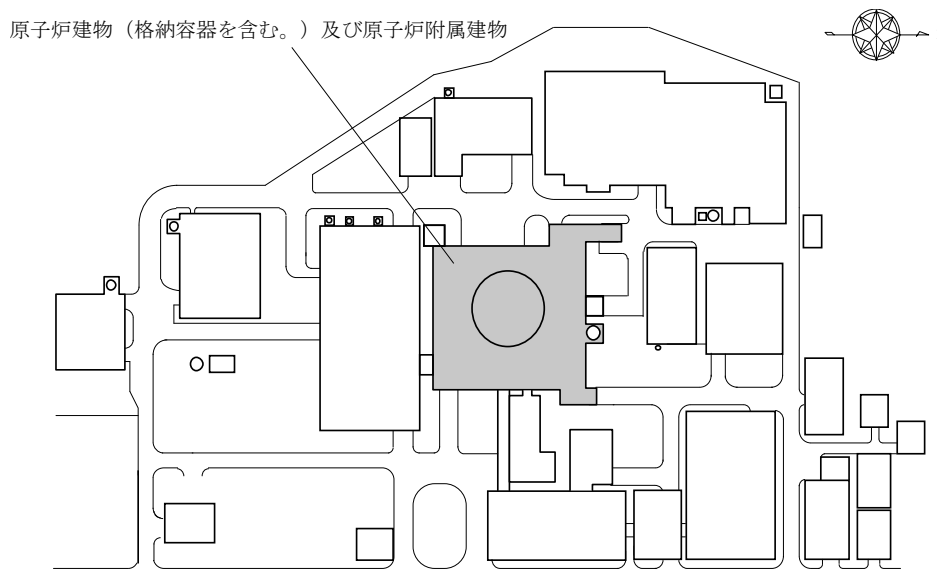
1. 概要

降下火災物から防護すべき安全機能を内包する原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物が降下火砕物を考慮しても構造健全性に問題ないことを確認する。なお、ここでは、降灰予報等が発表され、多量の降灰が生じるおそれの確認された場合には、原子炉を停止すること、また、降下火砕物を除去するために必要な措置を講じることを降下火砕物発生時の対策の基本方針とするため、降下火砕物は短期荷重として扱う。

2. 一般事項

2.1 建物の位置

原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物の位置を第 2.1 図に示す。



第 2.1 図 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物の位置

2.2 建物の構造概要

原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物は、約 55m×約 50m のほぼ正方形の平面形状を有する。格納容器は、半球形の頂部、円筒形の胴部（直径 28m）及び半楕円球形の底部鏡板から構成する全高約 54m・全重量約 1,200t の鋼製容器であり、その内部に円筒状等の剛の壁で構成する鉄筋コンクリート造の原子炉建物を有する。原子炉附属建物は、格納容器の周囲に配置された鉄筋コンクリート造の建物である。屋根については、周囲部（原子炉附属建物）は陸屋根、中央部の格納容器については、半球形の頭部（ドーム部）が露出した構造を有する。

建物の断面図を第 2.2 図、建物屋上の平面図を第 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 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物の断面図

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

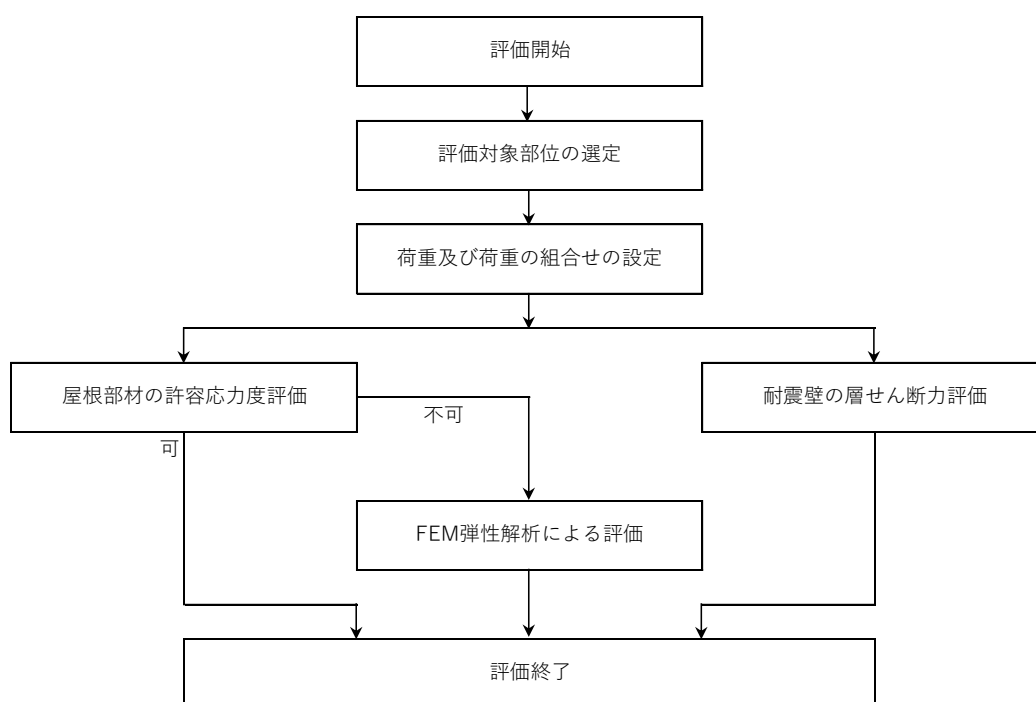
第 2.3 図 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物屋上の平面図

2.3 評価方針

原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物の降下火砕物に対する評価は、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。）を建物に作用させ、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【建屋の屋根除灰作業（案）：別紙 12-別添 1 参照】、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られ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 2.4 図に示す。



第 2.4 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。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法施行細則
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第 I 編 軽水炉規格（以下「JSME NC1 規格」という）
- (4) 平成 12 年建設省告示第 1454 号
- (5) 平成 12 年建設省告示第 2464 号
- (6) 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。）
- (7) 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。）
- (8) 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書
- (9) 建築構造ポケットブック

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 |
|---------|------------------------------|
| 原子炉附属建物 | 屋根部材 ・ 屋根スラブ、大梁、小梁 耐震壁 |
| 原子炉格納容器 | ドーム |

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)、搭載する機器等の積載荷重(積載:LL)を考慮する。

(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 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ であり、降下火砕物による鉛直荷重を $7,355\text{ N}/\text{m}^2$ 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 項により積雪量 1cm ごとに $20\text{N}/\text{m}^2$ であり、積雪による鉛直荷重を $210\text{N}/\text{m}^2$ 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 $34\text{m}/\text{s}$ とし、風荷重については、建物の形状により風力係数等が異なるため、建物ごとに算出する。また、限界耐力計算とするため、算出した風圧力を 1.6 倍する。

なお、建物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 |
|--------|----------------|
| 屋根部材 | DVL+VA+0.35S |
| 耐震壁 | DVL+VA+0.35S+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 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

| 設計基準強度*1 Fc | 長期 | | 短期 | |
|----------------|------|------|-------|------|
| | 圧縮 | せん断 | 圧縮 | せん断 |
| 22.06 | 7.35 | 0.71 | 14.71 | 1.07 |

*1：設計基準強度は、225kg/cm²をSI単位換算。

第 3.4 表 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

| 種類 | | 長期 | | 短期 | |
|-------------------|-----------|----------|------------|----------|------------|
| | 鉄筋径 | 圧縮 引張 | せん断 補強筋 | 圧縮 引張 | せん断 補強筋 |
| SD345 (SD35)*1 | D29 未満 | 215 | 195 | 379.5*2 | 379.5*2 |
| | D29 以上 | 195 | | | |
| SD295 (SD30)*1 | D13 | 195 | 195 | 324.5*2 | 324.5*2 |

*1：()内は、建設当時 JIS 規格の種類を示す。

*2：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。

第 3.5 表 鋼材の許容応力度

(単位：N/mm²)

| 種類 | | 基準強度 | | 長期*2 | | 短期*3 | |
|-------------------------|----------|------|-----|----------|--------|----------|-------|
| | | F | F* | 圧縮 引張 | せん断 | 圧縮 引張 | せん断 |
| SS400 相当 (SS41 相当)*1 | t ≤ 16mm | 245 | 280 | 163*2 | 94.3*2 | 280*3 | 161*3 |

*1：()内は建設当時 JIS 規格の種類を示す。

*2：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。

*3：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。

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 |
|--------|-------------------------|
| 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 |
| 耐震壁 | 保有水平耐力以下 |

4. 建物屋根部材の評価

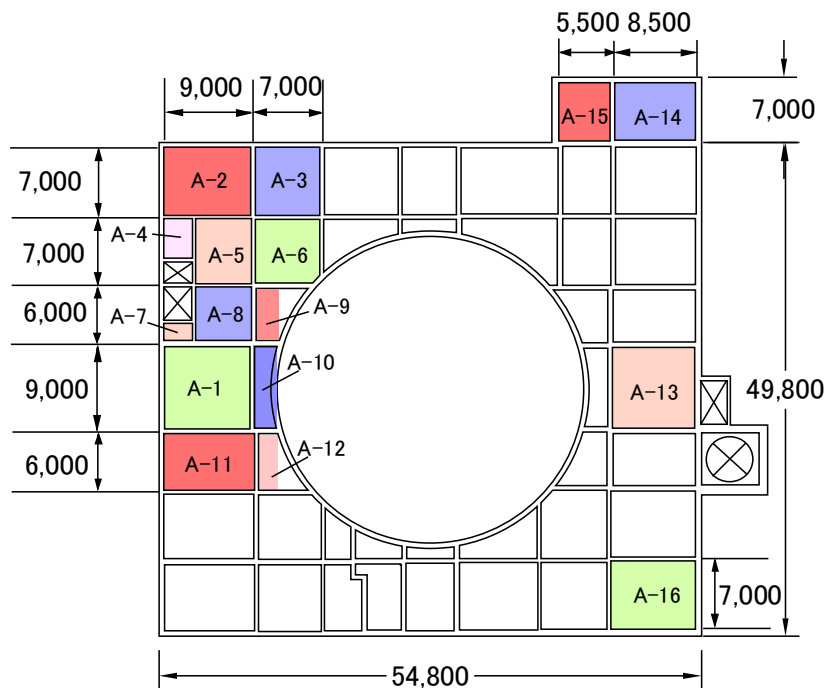
4.1 屋根スラブ

評価方法は、降下火砕物によって建物屋根スラブに生じる荷重によって、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。なお、評価には降下火砕物のほか屋根スラブの固定荷重、積載荷重、積雪荷重を考慮するものとし、これらは重力によって下向きの荷重が作用しているものとする。

4.1.1 屋根スラブが受ける曲げモーメント及びせん断力

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、スラブに発生する応力は、荷重状態とスラブ周辺の支持条件で変化する。降下火砕物のほか屋根スラブの組合せ荷重により屋根スラブに発生する単位幅当たりの曲げモーメント及びせん断力は、RC 規準より算定する。

算定する屋根スラブの位置を第 4.1 図の平面図に示す。評価対象は、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。



第 4.1 図 算定する屋根スラブの位置

4.1.2 許容曲げモーメント及びせん断力

(1) 許容曲げモーメント

建物屋根スラブの単位幅当たりの許容曲げモーメントは、RC 規準より以下の式で算定する。

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

a_t : 鉄筋断面積 (mm²)

f_t : 鉄筋の短期引張許容応力度 (N/mm²)

(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)

j : スラブの有効丈 (mm)

$$j = \frac{7}{8} \cdot d$$

d : スラブの有効せい (mm)

(2) 許容せん断力

建物屋根スラブの単位幅当たりの許容せん断力は、以下の式で算定する。

$$Q_a = j \cdot f_s$$

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

4.1.3 評価結果

屋根スラブの許容応力度計算の結果、屋根スラブ A-1 以外は短期許容曲げモーメント、短期許容せん断力を上回らないことを確認した。

屋根スラブの許容応力度評価結果 (代表 : A-1) を第 4.1 表に示す。また、屋根スラブすべての許容応力度検定比を第 4.2 表に示す。

屋根スラブ (A-1) については、曲げモーメントの検定比 1.15 と 1.0 を超過するため、FEM 弾性解析による評価を実施した。FEM 弾性解析で用いたモデルを第 4.2 図に示す。解析結果を第 4.3 図に示す。

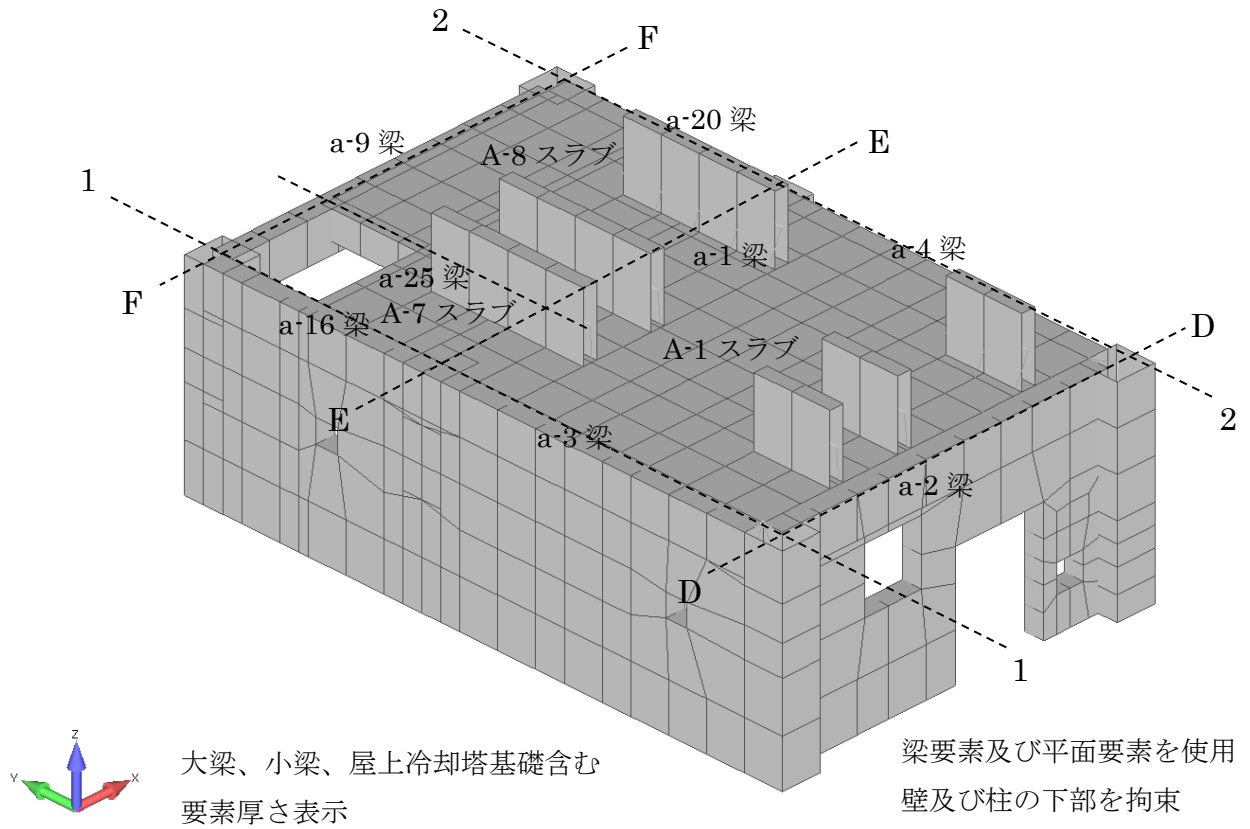
耐震壁、冷却塔基礎等を考慮した FEM 弾性解析の結果、屋根スラブに発生する曲げモーメントは 22.33kN・m/m であり、短期許容曲げモーメントが 70.06kN・m/m で、検定比 0.32 と許容値を満足していることを確認した。

第 4.1 表 屋根スラブの許容応力度評価結果 (代表 : A-1)

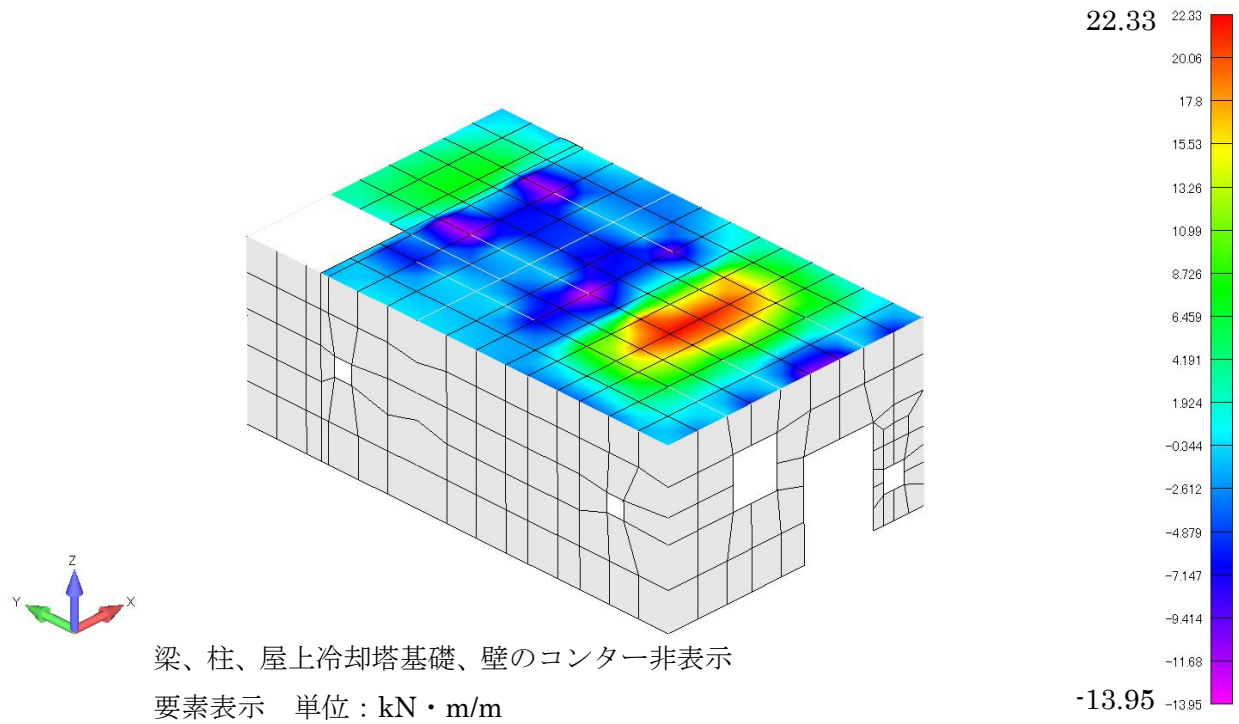
核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第 4.2 表 屋根スラブの許容応力度検定比

| 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 |



第 4.2 図 FEM 解析モデル



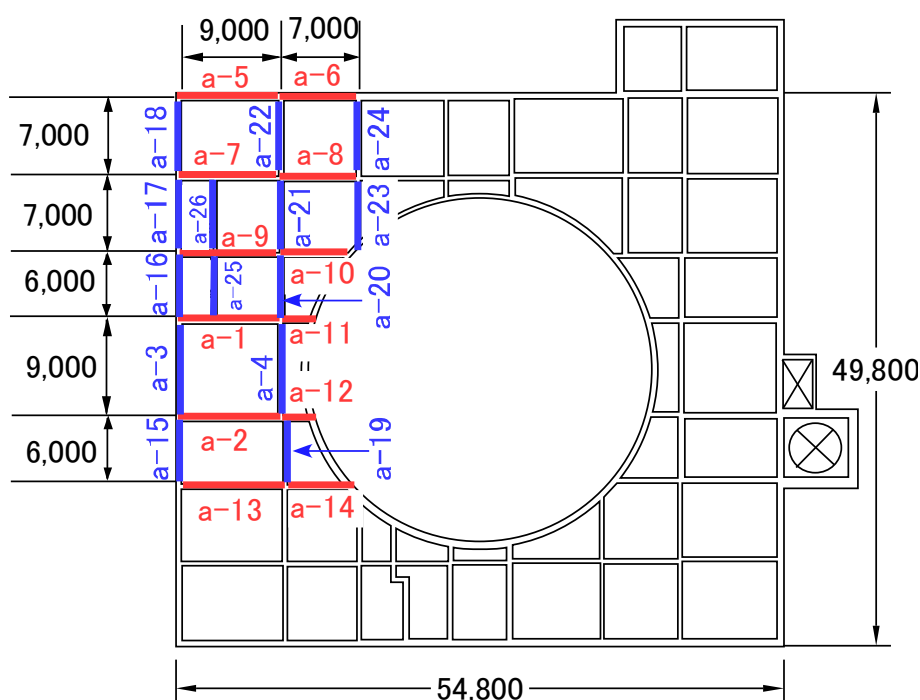
第 4.3 図 屋根スラブ (A-1) の FEM 弾性解析による Y 方向モーメントコンター

4.2 大梁、小梁

4.2.1 大梁、小梁が受ける曲げモーメント、せん断力

大梁は、大梁自体から受ける荷重、屋上スラブから受ける荷重、スラブ内に小梁がある場合は小梁の集中荷重を考慮し、小梁は、小梁自体から受ける荷重、屋上スラブから受ける荷重を考慮する。曲げモーメント、せん断力は、大梁が両端固定、小梁が両端ピン支持とし取り扱い、RC 規準等より算定する。許容応力度計算では、梁下部に耐震壁はないものとしている。

算定する大梁、小梁の位置を第 4.4 図の平面図に示す。評価対象は、機器積載範囲の梁(a-1～a-24)で包絡される。



第 4.4 図 算定する大梁、小梁の位置

4.2.2 許容曲げモーメント、せん断力

(1) 許容曲げモーメント

大梁、小梁の許容曲げモーメントは、以下の式で算定する。

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

a_t : 鉄筋断面積 (mm²)

f_t : 鉄筋の短期引張許容応力度 (N/mm²)

(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)

j : 大梁、小梁の有効丈 (mm)

$$j = \frac{7}{8} \cdot d$$

d : 大梁、小梁の有効せい (mm)

(2) 許容せん断力

大梁、小梁の許容せん断力は、以下の式で算出する。

$$Q_a = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ただし、

$$\alpha = \frac{4}{\frac{M}{Q \cdot d} + 1} \quad \text{かつ} \quad 1 \leq \alpha \leq 2$$

b : 梁の幅、または T 形梁のウェブの幅 (mm)

j : 梁の応力中心距離 (mm)

$$j = \frac{7}{8} \cdot d$$

d : 大梁、小梁の有効せい (mm)

α : 梁のせん断スパン比 $\frac{M}{Q \cdot d}$ による割増係数 (—)

M : 梁の最大曲げモーメント (N・mm)

Q : 梁の最大せん断力 (N)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

$w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)

4.2.3 評価結果

屋根スラブを支持する大梁、小梁を長方形梁と見なして許容応力度計算した結果、大梁、小梁に発生する曲げモーメントは、大梁 a-9 以外は短期許容曲げモーメントを上回らないことを確認した。

大梁、小梁の許容応力度評価結果 (代表 : a-1、a-9) を第 4.3 表に示す。また、大梁、小梁すべての許容応力度検定比を第 4.4 表に示す。

大梁 a-9 については、曲げモーメントの検定比 1.06 と 1.0 を超過するため、RC 規準より長方形梁とスラブが一体となった構造であることを考慮して T 形梁として許容応力度計算を実施した。T 形梁の評価結果を第 4.5 表に示す。

T 形梁として大梁 a-9 を評価した結果、端部に発生する曲げモーメント 966kN・m に対して、端部短期許容曲げモーメントは 997kN・m となり、検定比 0.97 と許容値を満足することを確認した。

第 4.3 表 大梁、小梁の許容応力度評価結果 (代表 : a-1、a-9)

| | | | | | |
|--------------|---|-----------------|-------------------|---------|--------|
| 梁情報 | G.L. | - | m | +13.7m | +13.7m |
| | 評価番号 | - | - | a-1 | a-9 |
| | 位置 | - | - | 1~2,E | 1~2,F |
| | 梁符号 | - | - | RG1 | RG4 |
| | 梁幅 | b | mm | 500 | 500 |
| | 梁せい | D | mm | 1000 | 1000 |
| | 梁長さ | l | mm | 9000 | 9000 |
| | かぶり厚さ | dt | mm | 100 | 100 |
| | 有効せい | d | mm | 900 | 900 |
| | 有効丈 | j | mm | 787.50 | 787.50 |
| | 鋼材種(主筋) | - | - | SD35 | SD35 |
| | 鉄筋の許容短期引張応力度 | ft | N/mm ² | 379.5 | 379.5 |
| | 両端_上端筋A | - | - | 6-D25 | 6-D25 |
| | 上端筋Aの断面積 | Aat | mm ² | 3042 | 3042 |
| | 両端_上端筋B | - | - | 6-D25 | 6-D25 |
| | 上端筋Bの断面積 | Bat | mm ² | 3042 | 3042 |
| | 中央_下端筋 | - | - | 4-D25 | 5-D25 |
| | 下端筋の断面積 | at | mm ² | 2028 | 2535 |
| | せん断補強筋 | - | - | 2-16φ | 2-16φ |
| | せん断補強筋のピッチ | x | mm | 200 | 200 |
| | 鋼材種(せん断補強筋) | - | - | SD30 | SD30 |
| | せん断補強筋の許容短期引張応力度 | wft | N/mm ² | 324.5 | 324.5 |
| | せん断補強筋の断面積 | aw | mm ² | 402 | 402 |
| せん断補強筋の鉄筋比 | pw | - | 0.00402 | 0.00402 | |
| 梁自重 | 鉄筋コンクリートの単位体積重量 | γ | kN/m ³ | 23.54 | 23.54 |
| | 梁せい(スラブ厚分を引いたもの) | D | mm | 750 | 750 |
| | 梁自重 | w | kN/m | 8.83 | 8.83 |
| | 梁自重による両端部モーメント | C | kN・m | 59.6 | 59.6 |
| | 梁自重による中央部モーメント | Mo | kN・m | 29.8 | 29.8 |
| | 梁自重によるせん断力 | Qo | kN | 39.7 | 39.7 |
| 発生モーメント、せん断力 | 端部Aモーメント合計 | C _A | kN・m | 900 | 966 |
| | 端部Bモーメント合計 | C _B | kN・m | 892 | 950 |
| | 中央部モーメント合計 | Mo | kN・m | 496 | 492 |
| | 端部Aせん断力合計 | Q _A | kN | 491 | 528 |
| | 端部Bせん断力合計 | Q _B | kN | 486 | 517 |
| 許容モーメント、せん断力 | 端部A許容モーメント | C _{Aa} | kN・m | 909 | 909 |
| | 端部B許容モーメント | C _{Ba} | kN・m | 909 | 909 |
| | 中央部許容モーメント | Ma | kN・m | 606 | 758 |
| | 端部A許容せん断力 | Q _{Aa} | kN | 682 | 683 |
| | 端部B許容せん断力 | Q _{Ba} | kN | 682 | 683 |
| 検定比 | C _A /C _{Aa} (端部上端A) | - | - | 0.99 | 1.06 |
| | C _B /C _{Ba} (端部上端B) | - | - | 0.98 | 1.05 |
| | M/Ma(中央下端) | - | - | 0.82 | 0.65 |
| | Q _A /Q _{Aa} (端部A) | - | - | 0.72 | 0.77 |
| | Q _B /Q _{Ba} (端部B) | - | - | 0.71 | 0.76 |

第 4.4 表 大梁、小梁の許容応力度検定比

| 部材番号 | C_A/C_{Aa} (端部A上端) | C_B/C_{Ba} (端部B上端) | M/Ma (中央下端) | Q_A/Q_{Aa} (端部A) | Q_B/Q_{Ba} (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 |

第 4.5 表 大梁 a-9 を T 形梁とした許容応力度評価結果

| 項目 | 記号 | 数値 | 単位 |
|---|-----------------|--------|-------------------|
| 部材番号 | - | a-9 | - |
| 位置 | - | 1~2,F | - |
| 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 ² |
| スラブ筋断面積 | at2 | 1592 | mm ² |
| T形梁の有効上端筋断面積 (許容応力度考慮) | at | 4403 | mm ² |
| 下端筋断面積 | ac | 2028 | mm ² |
| 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 ² |
| 梁鉄筋の短期許容引張応力度 (SD35) | ft | 379.5 | N/mm ² |
| スラブ鉄筋の短期許容引張応力度 (SD30) | ft | 324.5 | N/mm ² |
| 鉄筋のヤング係数 | Es | 205000 | N/mm ² |
| コンクリートのヤング係数 | Ec | 22043 | N/mm ² |
| ヤング係数比 | n | 9.30 | - |
| T形梁の断面積 | A | 950000 | mm ² |
| 重心位置 | g | 676.0 | 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 (Ts-(Cs+Cc)=0となる位置) | Xn | 293.72 | mm |
| $n \cdot c \sigma_c \cdot ((d-Xn)/Xn)$ | s σ_t | 282.39 | N/mm ² |
| $(n-1) \cdot c \sigma_c \cdot ((Xn-dc)/Xn)$ | s σ_c | 80.53 | N/mm ² |
| コンクリートの短期許容圧縮応力度 | fc=c σ_c | 14.71 | N/mm ² |
| 引張鉄筋の合力(s $\sigma_t \cdot at$) | Ts | 1243 | kN |
| 圧縮鉄筋の合力(s $\sigma_c \cdot ac$) | Cs | 163 | kN |
| 圧縮コンクリートの合力(c $\sigma_c \cdot Xn \cdot b/2$) | Cc | 1080 | kN |
| 端部A発生モーメント | M | 966 | kN・m |
| 端部A許容モーメント | Ma | 997 | kN・m |
| 検定比 | M/Ma | 0.97 | - |

5. 建物耐震壁の評価

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 風荷重の算出

風荷重は、建築基準法に基づく平成 12 年建設省告示第 1454 号に基づき算出する。

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 表に各高さにおける風荷重を示す。

$$W = q \cdot C_f$$

W : 風荷重 (N/m²)

q : 速度圧 (N/m²)

C_f : 風力係数

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E \cdot V_0^2 = 1937$$

$$E = E_r^2 \cdot G_f \text{ (速度圧の高さ方向の分布を示す係数)} = 2.792$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \text{ (H が } Z_b \text{ を超える場合)} = 1.156$$

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

第 5.1 表 原子炉附属建物の風荷重計算条件

| 基準風速 V ₀ (m/s) | 高さ H (m) | Z _b (m) | Z _G (m) | α | ガスト 影響係数 G _f | 速度圧 q (N/m ²) |
|------------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|------|-------------------------------|---------------------------------|
| 34 | 26.7 | 5 | 350 | 0.15 | 2.089 | 1,937 |

第 5.2 表 原子炉附属建物の各高さにおける風荷重

| 高さ | 部位 | 速度圧 q (N/m ²) | 風力係数 C _f | 風荷重 W=q・C _f (N/m ²) |
|--------------|------------|---------------------------------|------------------------|--|
| G. L. +26.7m | 円筒部(上 1/2) | 1,937 | 0.7 | 1,355.9 |
| G. L. +13.7m | 円筒部(下 1/2) | 1,937 | 0.7 | 1,355.9 |
| | 主排気筒 | 1,937 | 0.7 | 1,355.9 |
| | 屋上出入口階段室 | 1,937 | 0.8-(−0.4) | 2,324.4 |
| | パラペット | 1,937 | 0.8-(−0.4) | 2,324.4 |
| | 側壁 | 1,937 | 0.8-(−0.4) | 2,324.4 |
| G. L. +8.5m | パラペット | 1,937 | 0.8-(−0.4) | 2,324.4 |
| | 側壁 | 1,937 | 0.8-(−0.4) | 2,324.4 |
| G. L. +0.2m | 側壁 | 1,937 | 0.8-(−0.4) | 2,324.4 |

5.2 評価方法

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。よって、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ることになり、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超えないことが確認できる。

包絡関係が確認できない場合は、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。なお、隣接建物による風の遮断効果は、考慮しないものとする。

風荷重及び受圧面積を第5.3表に示す。原子炉建物（原子炉格納容器を含む。）及び原子炉附属建物の質点系解析モデルを第5.1図に示す。

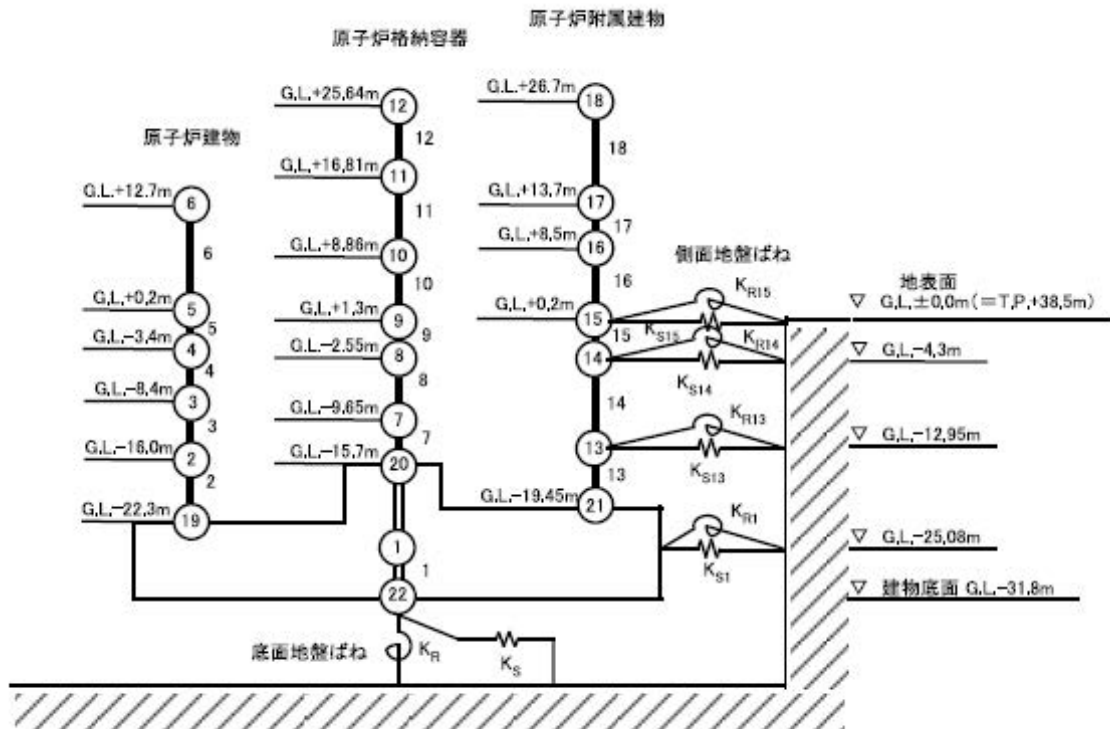
第 5.3 表 原子炉附属建物の風荷重及び受圧面積

NS 方向

| 高さ | 部位 | 風荷重 $W=q \cdot Cf$ (N/m^2) | 受圧面積 (m^2) | 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 | 78.6 | | |
| | パラペット | 2,324.4 | 42.3 | 98.3 | | |
| | 側壁 | 2,324.4 | 146.6 | 340.8 | | |
| G. L. +8.5m | パラペット | 2,324.4 | 4.5 | 10.5 | 954.2 | 2,397.5 |
| | 側壁 | 2,324.4 | 406.0 | 943.7 | | |
| 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^2) | 受圧面積 (m^2) | 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 | | |
| | パラペット | 2,324.4 | 47.9 | 111.3 | | |
| | 側壁 | 2,324.4 | 166.1 | 386.1 | | |
| G. L. +8.5m | パラペット | 2,324.4 | 4.5 | 10.5 | 1,013.0 | 2,456.9 |
| | 側壁 | 2,324.4 | 431.3 | 1,002.5 | | |
| G. L. +0.2m | 側壁 | 2,324.4 | 278.0 | 646.2 | 646.2 | 3,103.1 |



第 5.1 図 原子炉建物（原子炉格納容器を含む。）及び原子炉附属建物の質点系解析モデル

5.3 評価結果

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。

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 原子炉附属建物の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. +13.7m | 1,443.3 | 51,110 | 0.028 |
| G. L. +8.5m | 2,397.5 | 113,360 | 0.021 |
| G. L. +0.2m | 3,029.5 | 208,990 | 0.014 |

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 |
|--------------|--------------------------|-----------------------------|-------|
| G. L. +26.7m | 283.0 | 7,482 | 0.038 |
| G. L. +13.7m | 1,443.9 | 48,378 | 0.030 |
| G. L. +8.5m | 2,456.9 | 106,290 | 0.023 |
| G. L. +0.2m | 3,103.1 | 188,350 | 0.016 |

6. 原子炉格納容器ドーム、アニュラス屋根スラブの評価

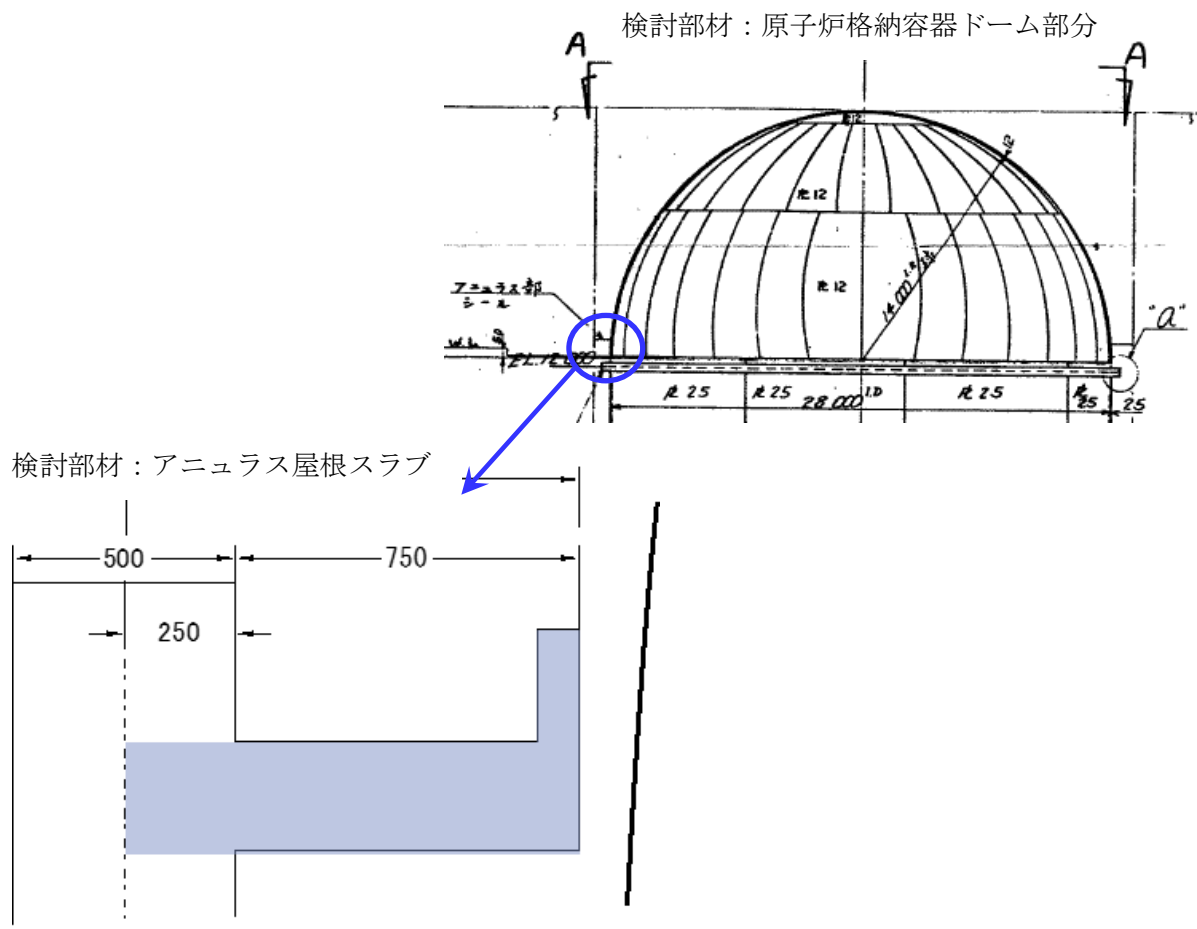
6.1 原子炉格納容器ドーム部分の評価

評価方法は、降下火砕物によって原子炉格納容器ドーム、アニュラス屋根スラブに生じる荷重によって、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。算定する原子炉格納容器ドーム、アニュラス屋根スラブ部分を第 6.1 図に示す。

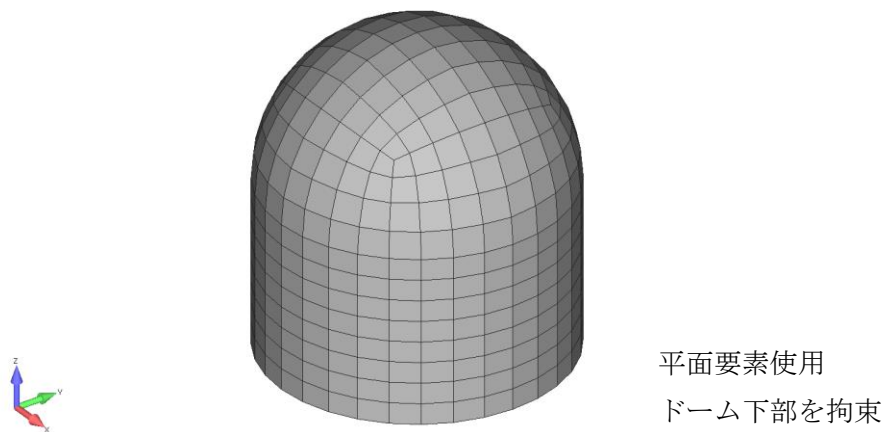
評価には降下火砕物のほか屋根スラブの固定荷重、積載荷重、積雪荷重を考慮するものとし、これらは重力によって下向きの荷重が作用しているものとする。

ドーム部分は、公式での許容応力度評価が困難であることから、FEM 弾性解析による評価を実施する。なお、FEM 弾性解析で用いた原子炉格納容器ドーム部分のモデルを第 6.2 図に示す。

アニュラス部の屋根スラブは、等分布荷重を受ける片持ち梁として曲げモーメント、せん断力を RC 規準等より算定する。



第 6.1 図 原子炉格納容器ドーム、アニュラス屋根スラブ部分



第 6.2 図 原子炉格納容器ドーム部分の FEM 解析モデル

6.2 許容値

6.2.1 原子炉格納容器ドーム

原子炉格納容器ドームの許容応力は、第 3.5 表に示すとおりとする。

6.2.2 アニュラス部屋根スラブ

(1) 許容曲げモーメント

許容曲げモーメントは、以下の式で算定する。

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

a_t : 鉄筋断面積 (mm²)

f_t : 鉄筋の短期引張許容応力度 (N/mm²)

(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)

j : スラブの有効丈 (mm)

$$j = \frac{7}{8} \cdot d$$

d : スラブの有効せい (mm)

(2) 許容せん断力

許容せん断力は、以下の式で算出する。

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

b : スラブ幅 (mm)

j : スラブの応力中心距離 (mm)

$$j = \frac{7}{8} \cdot d$$

d : スラブの有効せい (mm)

6.3 評価結果

6.3.1 原子炉格納容器ドーム

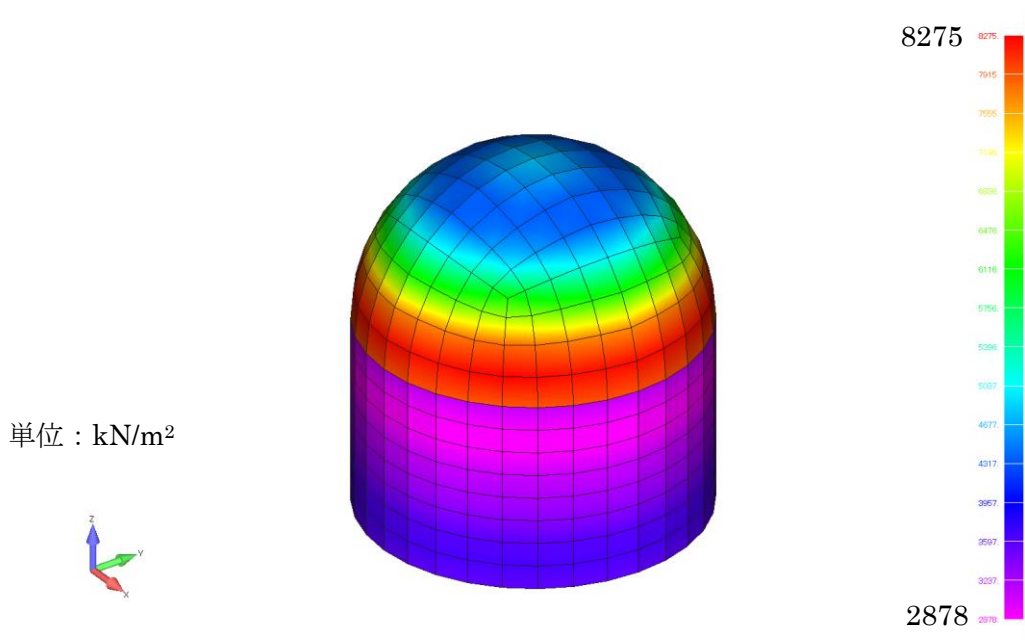
原子炉格納容器ドームの降下火砕物による応力評価の結果、発生応力は 8.3N/mm² (8275kN/m²)、許容値 280.0N/mm² を上回らないことを確認した。

原子炉格納容器ドームのミーゼス応力コンターを第 6.3 図に示す。

6.3.2 アニュラス部屋根スラブ

アニュラス部屋根スラブの許容応力度計算の結果、発生する曲げモーメントは、短期許容曲げモーメントを上回らないことを確認した。

アニュラス部屋根スラブの許容応力度評価結果を第 6.1 表に示す。



第 6.3 図 原子炉格納容器ドームのミーゼス応力コンター

第 6.1 表 アニュラス部屋根スラブの許容応力度評価結果

| |
|--|
| <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>核物質防護情報が含まれているため公開できません。</p> </div> |
|--|

主冷却機建物に係る降下火碎物影響評価結果

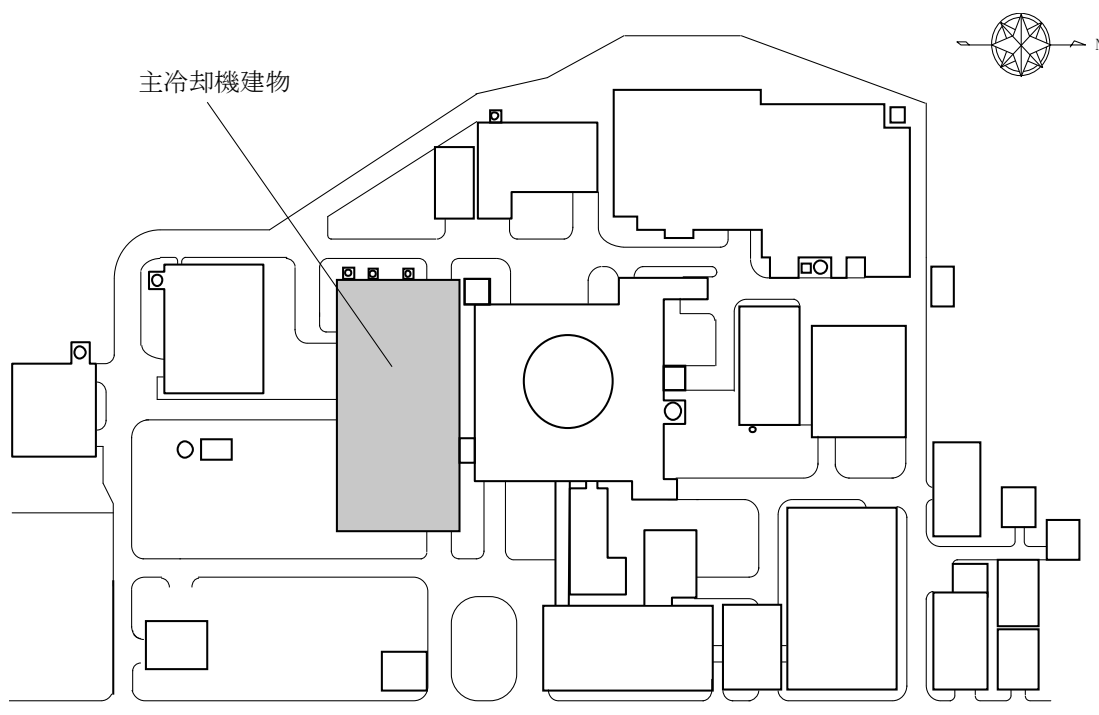
1. 概要

降下火砕物から防護すべき安全機能を内包する主冷却機建物が設計降下火砕物荷重を考慮しても構造健全性に問題ないことを確認する。なお、ここでは、降灰予報等が発表され、多量の降灰が生じるおそれの確認された場合には、原子炉を停止すること、また、降下火砕物を除去するために必要な措置を講じることを降下火砕物発生時の対策の基本方針とするため、降下火砕物は短期荷重として扱う。

2. 一般事項

2.1 建物の位置

主冷却機建物の位置を第 2.1 図に示す。



第 2.1 図 主冷却機建物の位置

2.2 建物の構造概要

主冷却機建物は、約 67m×約 27m の矩形の平面形状を有する鉄筋コンクリート造の建物である。主冷却機建物の全重量は約 50,000t であり、基礎底面からの高さは約 32m である。屋根については、陸屋根構造を有する。

建物の断面図を第 2.2 図、建物屋上の平面図を第 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 主冷却機建物の断面図

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

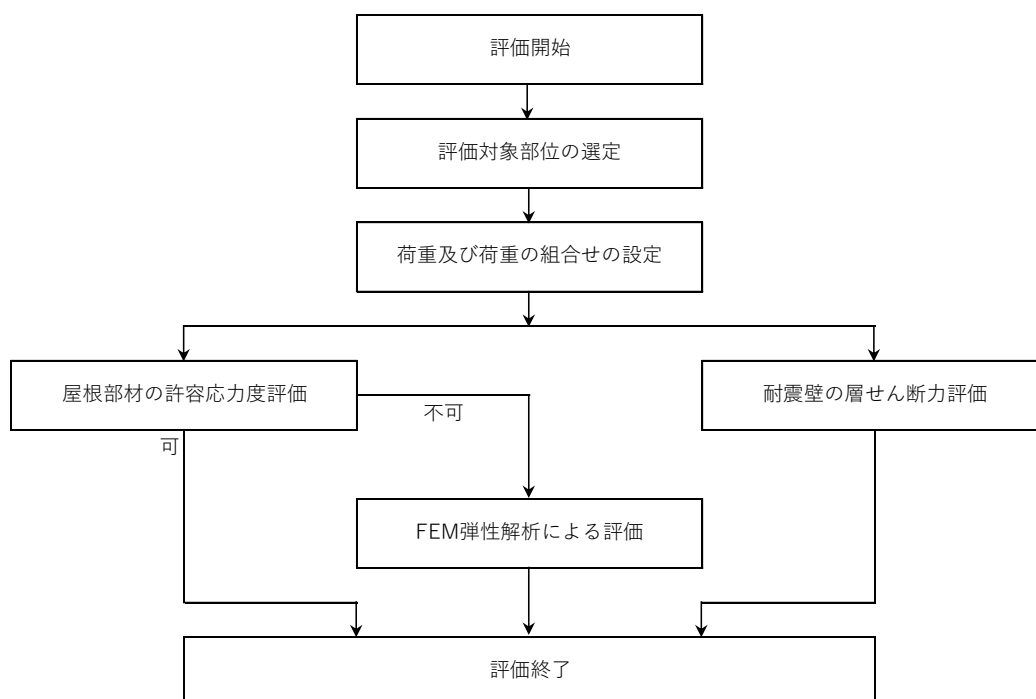
第 2.3 図 主冷却機建物屋上の平面図

2.3 評価方針

主冷却機建物の降下火砕物に対する評価は、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。)を建物に作用させ、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、屋根スラブの評価においては、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2.4図に示す。



第2.4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。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法施行細則
- (3) 平成12年建設省告示第1454号
- (4) 平成12年建設省告示第2464号
- (5) 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。)
- (6) 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。)
- (7) 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書
- (8) 建築構造ポケットブック

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スラブ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 |
|--------|-----------------------------|
| 主冷却機建物 | 屋根部材 ・屋根スラブ、大梁、小梁 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)、搭載する機器等の積載荷重(積載:LL)を考慮する。

(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 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ であり、降下火砕物による鉛直荷重を $7,355\text{ N}/\text{m}^2$ 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 項により積雪量 1cm ごとに $20\text{N}/\text{m}^2$ であり、積雪による鉛直荷重を $210\text{N}/\text{m}^2$ 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 $34\text{m}/\text{s}$ とし、風荷重については、建物の形状により風力係数等が異なるため、建物ごとに算出する。

なお、建物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 |
|--------|----------------|
| 屋根部材 | DVL+VA+0.35S |
| 耐震壁 | DVL+VA+0.35S+W |

3.3 使用材料

使用材料及び許容応力度を第 3.3 表～第 3.4 表に示す。

第 3.3 表 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

| 設計基準強度*1 Fc | 長期 | | 短期 | |
|----------------|------|------|-------|------|
| | 圧縮 | せん断 | 圧縮 | せん断 |
| 20.59 | 6.86 | 0.69 | 13.73 | 1.03 |

*1：設計基準強度は、210kg/cm²を SI 単位換算。

第 3.4 表 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

| 種類 | | 長期 | | 短期 | |
|-------------------|-----------|-----------|------------|----------|------------|
| SD345 (SD35)*1 | 鉄筋径 | 圧縮 引張 | せん断 補強筋 | 圧縮 引張 | せん断 補強筋 |
| | | D29 未満 | 215 | 195 | 379.5*2 |
| | D29 以上 | 195 | | | |
| SD295 (SD30)*1 | D13 | 195 | 195 | 324.5*2 | 324.5*2 |

*1：()内は、建設当時 JIS 規格の種類を示す。

*2：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 3.5 表に示す。

第 3.5 表 許容限界

| 評価対象部位 | 許容限界 |
|--------|-------------------------|
| 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 |
| 耐震壁 | 保有水平耐力以下 |

4. 建物屋根部材の評価

4.1 屋根スラブ

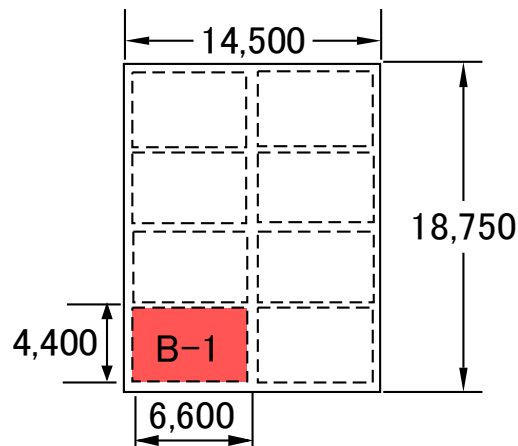
評価方法は、降下火砕物によって建物屋根スラブに生じる荷重によって、屋根スラブに発生する応力が短期許容応力値を上回らないことを確認する。なお、評価には降下火砕物のほか屋根スラブの固定荷重、積載荷重、積雪荷重を考慮するものとし、これらは重力によって下向きの荷重が作用しているものとする。

4.1.1 屋根スラブが受ける曲げモーメント

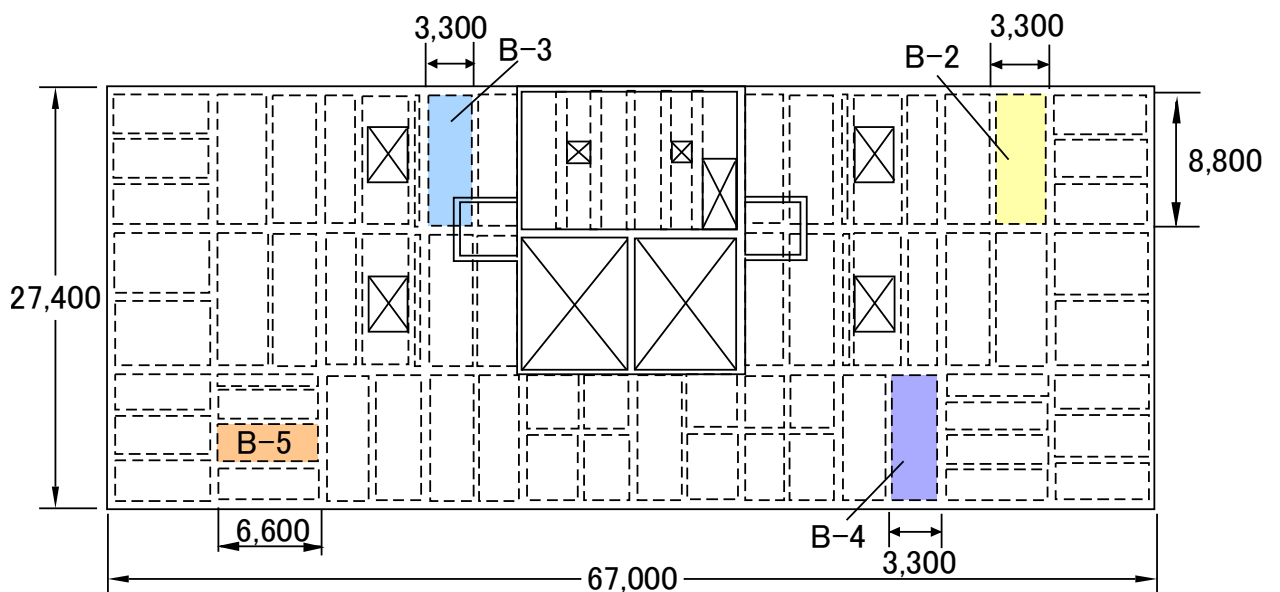
屋根スラブは、等分布荷重を受ける四辺固定スラブであり、スラブに発生する応力は、荷重

状態とスラブ周辺の支持条件で変化する。降下火砕物のほか屋根スラブの組合せ荷重により屋根スラブに発生する単位幅当たりの曲げモーメントは、RC 規準より算定する。

算定する屋根スラブの位置を第 4.1 図～第 4.2 図の平面図に示す。評価対象は、機器積載範囲(B-1～B-5)で包絡される。



第 4.1 図 算定する 4F 屋根スラブの位置



第 4.2 図 算定する 2F 屋根スラブの位置

4.1.2 許容曲げモーメント及びせん断力

(1) 許容曲げモーメント

建物屋根スラブの単位幅当たりの許容曲げモーメントは、RC 規準より算定する。

$$M_a = a \cdot f_t \cdot j$$

a : 鉄筋断面積 (mm^2)

f_t : 鉄筋の短期引張許容応力度 (N/mm^2)

(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)

j : スラブの有効丈 (mm)

$$j = \frac{7}{8} \cdot d$$

d : スラブの有効せい (mm)

(2) 許容せん断力

建物屋根スラブの単位幅当たりの許容せん断力は、以下の式で算定する。

$$Q_a = j \cdot f_s$$

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

4.1.3 評価結果

屋根スラブの許容応力度評価結果 (代表 : B-5) を第 4.1 表に示す。また、屋根スラブすべての許容応力度検定比を第 4.2 表に示す。

屋根スラブの許容応力度計算の結果、屋根スラブに発生する曲げモーメントは、短期許容曲げモーメントを上回らないことを確認した。

第 4.1 表 屋根スラブの許容応力度評価結果 (代表 : B-5)

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 表 屋根スラブの許容応力度検定比

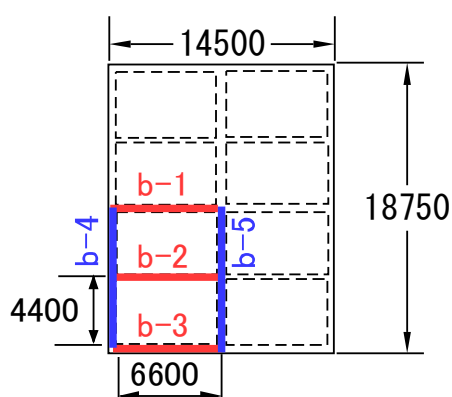
| 評価スラブ 番号 | モーメント | | | | せん断力 | |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|-----------|
| | 短辺 | | 長辺 | | 短辺 | 長辺 |
| | 端部 | 中央 | 端部 | 中央 | | |
| | M_{x1}/M_a | M_{x2}/M_a | M_{y1}/M_a | M_{y2}/M_a | Q_x/Q_a | Q_y/Q_a |
| B-1 | 0.55 | 0.37 | 0.45 | 0.30 | 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 |

4.2 大梁、小梁

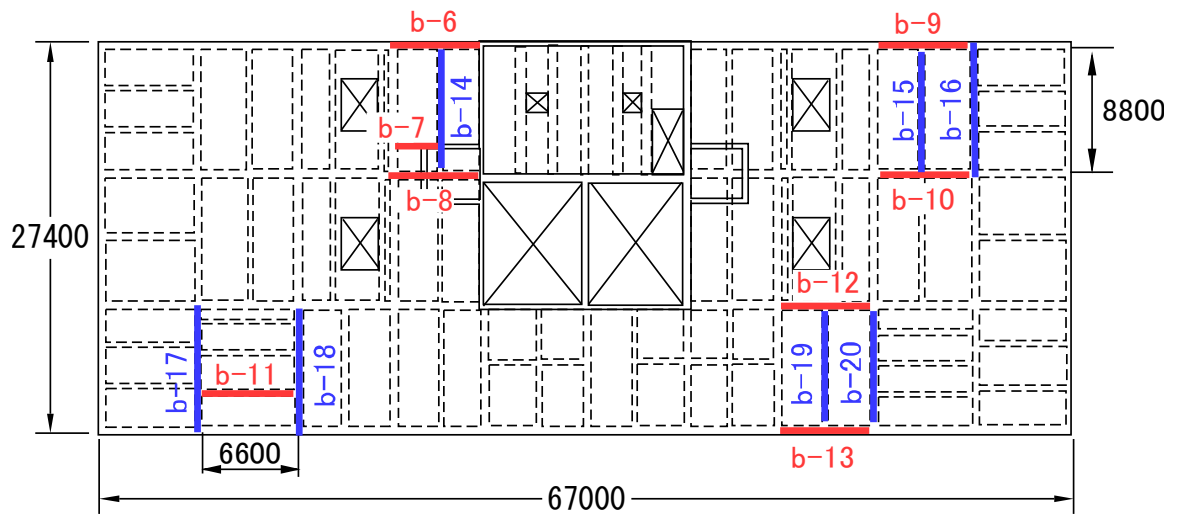
4.2.1 大梁、小梁が受ける曲げモーメント、せん断力

大梁は、大梁自体から受ける荷重、屋上スラブから受ける荷重、スラブ内に小梁がある場合は小梁の集中荷重を考慮し、小梁は、小梁自体から受ける荷重、屋上スラブから受ける荷重を考慮する。曲げモーメント、せん断力は、大梁が両端固定、小梁が両端ピン支持とし取り扱い、RC 規準より算定する。

算定する大梁、小梁の位置を第 4.3 図～第 4.4 図の平面図に示す。評価対象は、機器積載範囲の梁 (b-1～b-20) で包絡される。



第 4.3 図 算定する 4F 大梁、小梁の位置



第 4.4 図 算定する 2F 大梁、小梁の位置

4.2.2 許容曲げモーメント、せん断力

(1) 許容曲げモーメント

大梁、小梁の許容曲げモーメントは、RC 規準より算定する。

$$M_a = a \cdot f_t \cdot j$$

a : 鉄筋断面積 (mm^2)

f_t : 鉄筋の短期引張許容応力度 (N/mm^2)

(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)

j : 大梁、小梁の有効丈 (mm)

$$j = \frac{7}{8} \cdot d$$

d : 大梁、小梁の有効せい (mm)

(2) 許容せん断力

大梁、小梁の許容せん断力は、RC 規準より算出する。

$$Q_a = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ただし、

$$\alpha = \frac{4}{\frac{M}{Q \cdot d} + 1} \quad \text{かつ} \quad 1 \leq \alpha \leq 2$$

b : 梁の幅、または T 形梁のウェブの幅 (mm)

j : 梁の応力中心距離 (mm)

$$j = \frac{7}{8} \cdot d$$

d : 大梁、小梁の有効せい (mm)

α : 梁のせん断スパン比 $\frac{M}{Q \cdot d}$ による割増係数 (—)

M : 梁の最大曲げモーメント (N・mm)

Q : 梁の最大せん断力 (N)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

wf_t : せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)

4.2.3 評価結果

屋根スラブを支持する大梁、小梁の許容応力度計算の結果、大梁、小梁に発生する曲げモーメントは、短期許容曲げモーメントを上回らないことを確認した。

大梁、小梁の許容応力度評価結果（代表：b-2、b-17）を第 4.3 表に示す。また、大梁、小梁すべての許容応力度検定比を第 4.4 表に示す。

第 4.3 表 大梁、小梁の許容応力度評価結果 (代表 : b-2、b-17)

| | | | | | |
|------------------|---|-------------------|-------------------|---------|------------|
| 梁情報 | FL | - | m | GL+24.4 | GL+12.5 |
| | 評価番号 | - | - | b-2 | b-17 |
| | 位置 | - | - | 5~6,B~C | 2,A~B |
| | 梁符号 | - | - | 小梁Rg1 | 4BA2 |
| | 梁幅 | b | mm | 300 | 500 |
| | 梁せい | D | mm | 700 | 1200 |
| | 梁長さ | l | mm | 6600 | 8800 |
| | かぶり厚さ | dt | mm | 40 | 50 |
| | 有効せい | d | mm | 660 | 1150 |
| | 有効丈 | j | mm | 577.50 | 1006.25 |
| | 鋼材種(主筋) | - | - | SD35 | SD35(D29≦) |
| | 鉄筋の許容短期引張応力度 | ft | N/mm ² | 379.5 | 379.5 |
| | 両端_上端筋A | - | - | 2-D25 | 4-D32 |
| | 上端筋Aの断面積 | Aat | mm ² | 1014 | 3176 |
| | 両端_上端筋B | - | - | 3-D25 | 4-D32 |
| | 上端筋Bの断面積 | Bat | mm ² | 1521 | 3176 |
| | 中央_下端筋 | - | - | 3-D25 | 6-D32 |
| | 下端筋の断面積 | at | mm ² | 1521 | 4764 |
| | せん断補強筋 | - | - | 2-D13 | 2-D13 |
| | せん断補強筋のピッチ | x | mm | 200 | 250 |
| | 鋼材種(せん断補強筋) | - | - | SD35 | SD35 |
| せん断補強筋の許容短期引張応力度 | wft | N/mm ² | 379.5 | 379.5 | |
| せん断補強筋の断面積 | aw | mm ² | 254 | 254 | |
| せん断補強筋の鉄筋比 | pw | - | 0.0042 | 0.0020 | |
| 梁自重 | 鉄筋コンクリートの単位体積重量 | γ | kN/m ³ | 23.54 | 23.54 |
| | 梁せい(スラブ厚分を引いたもの) | D | mm | 500 | 1000 |
| | 梁自重 | w | kN/m | 3.53 | 11.77 |
| | 梁自重による両端部モーメント | C | kN m | 12.8 | 76.0 |
| | 梁自重による中央部モーメント | Mo | kN m | 6.4 | 38.0 |
| | 梁自重によるせん断力 | Qo | kN | 11.7 | 51.8 |
| 発生モーメント、せん断力 | 端部Aモーメント合計 | C _A | kN m | 192 | 956 |
| | 端部Bモーメント合計 | C _B | kN m | 192 | 967 |
| | 中央部モーメント合計 | Mo | kN m | 108 | 482 |
| | 端部Aせん断力合計 | Q _A | kN | 145 | 531 |
| | 端部Bせん断力合計 | Q _B | kN | 145 | 549 |
| 許容モーメント、せん断力 | 端部A許容モーメント | C _{Aa} | kN m | 222 | 1213 |
| | 端部B許容モーメント | C _{Ba} | kN m | 333 | 1213 |
| | 中央部許容モーメント | Ma | kN m | 333 | 1819 |
| | 端部A許容せん断力 | Q _{Aa} | kN | 311 | 822 |
| | 端部B許容せん断力 | Q _{Ba} | kN | 311 | 822 |
| 検定比 | C _A /C _{Aa} (端部上端A) | - | - | 0.86 | 0.79 |
| | C _B /C _{Ba} (端部上端B) | - | - | 0.57 | 0.80 |
| | M/Ma(中央下端) | - | - | 0.32 | 0.26 |
| | Q _A /Q _{Aa} (端部A) | - | - | 0.47 | 0.65 |
| | Q _B /Q _{Ba} (端部B) | - | - | 0.47 | 0.67 |

第 4.4 表 大梁、小梁の許容応力度検定比

| 部材番号 | C_A/C_{Aa} (端部A上端) | C_B/C_{Ba} (端部B上端) | M/Ma (中央下端) | Q_A/Q_{Aa} (端部A) | Q_B/Q_{Ba} (端部B) | 備考 |
|------|-------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|----|
| b-1 | 0.07 | 0.15 | 0.06 | 0.12 | 0.12 | |
| b-2 | 0.86 | 0.57 | 0.32 | 0.47 | 0.47 | 小梁 |
| b-3 | 0.12 | 0.12 | 0.09 | 0.12 | 0.12 | |
| b-4 | 0.26 | 0.32 | 0.31 | 0.28 | 0.28 | |
| b-5 | 0.20 | 0.40 | 0.20 | 0.24 | 0.24 | |
| b-6 | 0.28 | 0.28 | 0.31 | 0.28 | 0.28 | |
| b-7 | 0.31 | 0.31 | 0.12 | 0.15 | 0.15 | 小梁 |
| b-8 | 0.35 | 0.35 | 0.36 | 0.32 | 0.32 | |
| b-9 | 0.35 | 0.35 | 0.28 | 0.26 | 0.26 | |
| b-10 | 0.32 | 0.32 | 0.41 | 0.35 | 0.35 | |
| b-11 | 0.76 | 0.76 | 0.24 | 0.49 | 0.49 | 小梁 |
| b-12 | 0.47 | 0.48 | 0.40 | 0.44 | 0.46 | |
| b-13 | 0.33 | 0.33 | 0.27 | 0.25 | 0.25 | |
| b-14 | 0.41 | 0.94 | 0.30 | 0.51 | 0.50 | 小梁 |
| b-15 | 0.94 | 0.47 | 0.37 | 0.54 | 0.54 | 小梁 |
| b-16 | 0.33 | 0.33 | 0.12 | 0.41 | 0.41 | |
| b-17 | 0.79 | 0.80 | 0.26 | 0.65 | 0.67 | |
| b-18 | 0.41 | 0.42 | 0.32 | 0.42 | 0.44 | |
| b-19 | 0.86 | 0.86 | 0.27 | 0.49 | 0.49 | 小梁 |
| b-20 | 0.36 | 0.36 | 0.29 | 0.39 | 0.39 | |

5. 建物耐震壁の評価

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 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 表に各高さにおける風荷重を示す。

$$W = q \cdot C_f$$

W : 風荷重 (N/m²)

q : 速度圧 (N/m²)

C_f : 風力係数

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E \cdot V_0^2 = 1,896$$

$$E = Er^2 \cdot Gf \text{ (速度圧の高さ方向の分布を示す係数)} = 2.734$$

$$Er = 1.7 \cdot (H/ZG)^\alpha \text{ (H が } Z_b \text{ を超える場合)} = 1.140$$

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

第 5.1 表 主冷却機建物の風荷重計算条件

| 基準風速 V_0 (m/s) | 高さ H (m) | Z_b (m) | Z_G (m) | α | ガスト 影響係数 G_f | 速度圧 q (N/m^2) |
|---------------------|------------------|--------------|--------------|----------|----------------------|---------------------------|
| 34 | 24.4 | 5 | 350 | 0.15 | 2.104 | 1,896 |

第 5.2 表 主冷却機建物の各高さにおける風荷重

| 高さ | 部位 | 速度圧 q (N/m^2) | 風力係数 C_f | 風荷重 $W=q \cdot C_f$ (N/m^2) |
|--------------|---------|---------------------------|---------------|---------------------------------------|
| G. L. +24.4m | パラペット | 1,896 | 0.8-(-0.4) | 2,275.2 |
| | 側壁 | 1,896 | 0.8-(-0.4) | 2,275.2 |
| G. L. +12.5m | パラペット | 1,896 | 0.8-(-0.4) | 2,275.2 |
| | 屋上空調室 | 1,896 | 0.8-(-0.4) | 2,275.2 |
| | 主冷却機 | 1,896 | 2.1 | 3,981.6 |
| | ボイラー排気塔 | 1,896 | 0.7 | 1,327.2 |
| | ガラリ | 1,896 | 0.8-(-0.4) | 2,275.2 |
| | 側壁 | 1,896 | 0.8-(-0.4) | 2,275.2 |
| G. L. +4.5m | ボイラー排気塔 | 1,896 | 0.7 | 1,327.2 |
| | 側壁 | 1,896 | 0.8-(-0.4) | 2,275.2 |
| | ガラリ | 1,896 | 0.8-(-0.4) | 2,275.2 |
| G. L. +0.2m | ボイラー排気塔 | 1,896 | 0.7 | 1,327.2 |
| | 側壁 | 1,896 | 0.8-(-0.4) | 2,275.2 |
| | ガラリ | 1,896 | 0.8-(-0.4) | 2,275.2 |

5.2 評価方法

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。よって、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ことになり、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超えないことが確認できる。

包絡関係が確認できない場合は、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。なお、隣接建物による風の遮断効果は、考慮しないものとする。

風荷重及び受圧面積を第 5.3 表に示す。主冷却機建物の質点系解析モデルを第 5.1 図に示す。

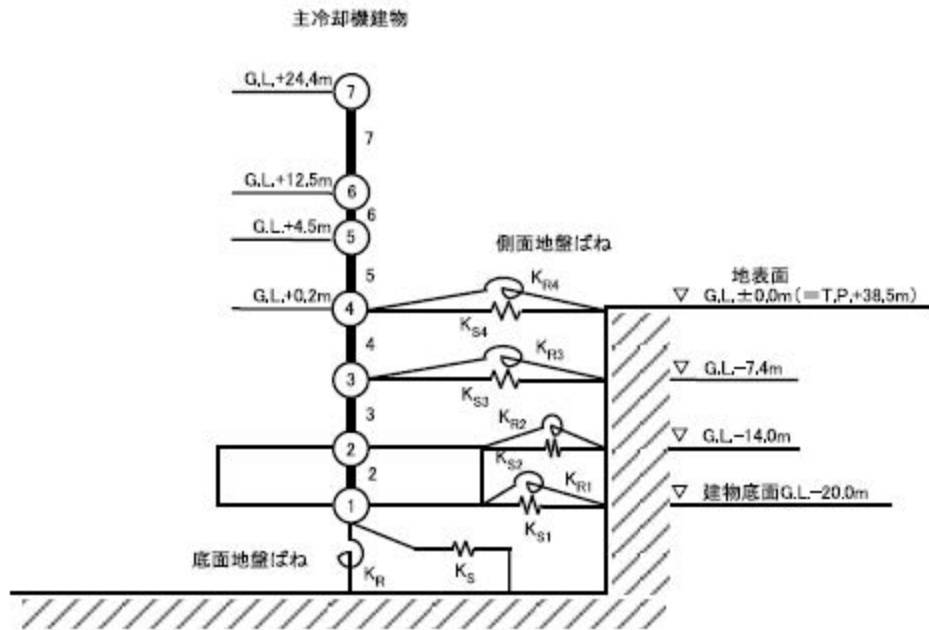
第 5.3 表 主冷却機建物の風荷重及び受圧面積

NS 方向

| 高さ | 部位 | 風荷重 $W=q \cdot Cf$ (N/m^2) | 受圧面積 (m^2) | 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 | 196. 3 | | |
| G. L. +12. 5m | パラペット | 1, 516. 8 758. 4 | 43. 6 34. 1 | 66. 1 25. 9 | 2, 034. 3 | 2, 252. 0 |
| | 屋上空調室 | 2, 275. 2 | 55. 7 | 126. 7 | | |
| | 主冷却機 | 3, 981. 6 | 249. 7 | 994. 2 | | |
| | ボイラー排気塔 | 1, 327. 2 | 11. 5 | 15. 3 | | |
| | 側壁 | 2, 275. 2 | 354. 3 | 806. 1 | | |
| G. L. +4. 5m | ボイラー排気塔 | 1, 327. 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^2) | 受圧面積 (m^2) | 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 | 3, 981. 6 | 94. 0 | 374. 3 | | |
| | ガラリ | 2, 275. 2 | 5. 8 | 13. 2 | | |
| | 側壁 | 2, 275. 2 | 221. 2 | 503. 3 | | |
| G. L. +4. 5m | 側壁 | 2, 275. 2 | 168. 5 | 383. 4 | 406. 6 | 1, 735. 7 |
| | ガラリ | 2, 275. 2 | 10. 2 | 23. 2 | | |
| G. L. +0. 2m | 側壁 | 2, 275. 2 | 64. 4 | 146. 5 | 148. 8 | 1, 884. 5 |
| | ガラリ | 2, 275. 2 | 1. 0 | 2. 3 | | |



第 5.1 図 主冷却機建物の質点系解析モデル

5.3 評価結果

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。

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 主冷却機建物の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. +12.5m | 2,252.0 | 49,006 | 0.046 |
| G. L. +4.5m | 3,207.4 | 60,189 | 0.053 |
| G. L. +0.2m | 3,574.3 | 149,500 | 0.024 |

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 |
|--------------|--------------------------|-----------------------------|-------|
| G. L. +24.4m | 281.7 | 6,460 | 0.044 |
| G. L. +12.5m | 1,329.1 | 36,318 | 0.037 |
| G. L. +4.5m | 1,735.7 | 44,626 | 0.039 |
| G. L. +0.2m | 1,884.5 | 158,200 | 0.012 |

主冷却機のうち屋外部分に係る降下火碎物影響評価結果

1. 評価方針

主冷却機のうち屋外部分（以下、「屋外ダクト」という。）を対象とし、降下火砕物により、主冷却機の空気流路の閉塞が生じないことを確認する。

2. 評価結果

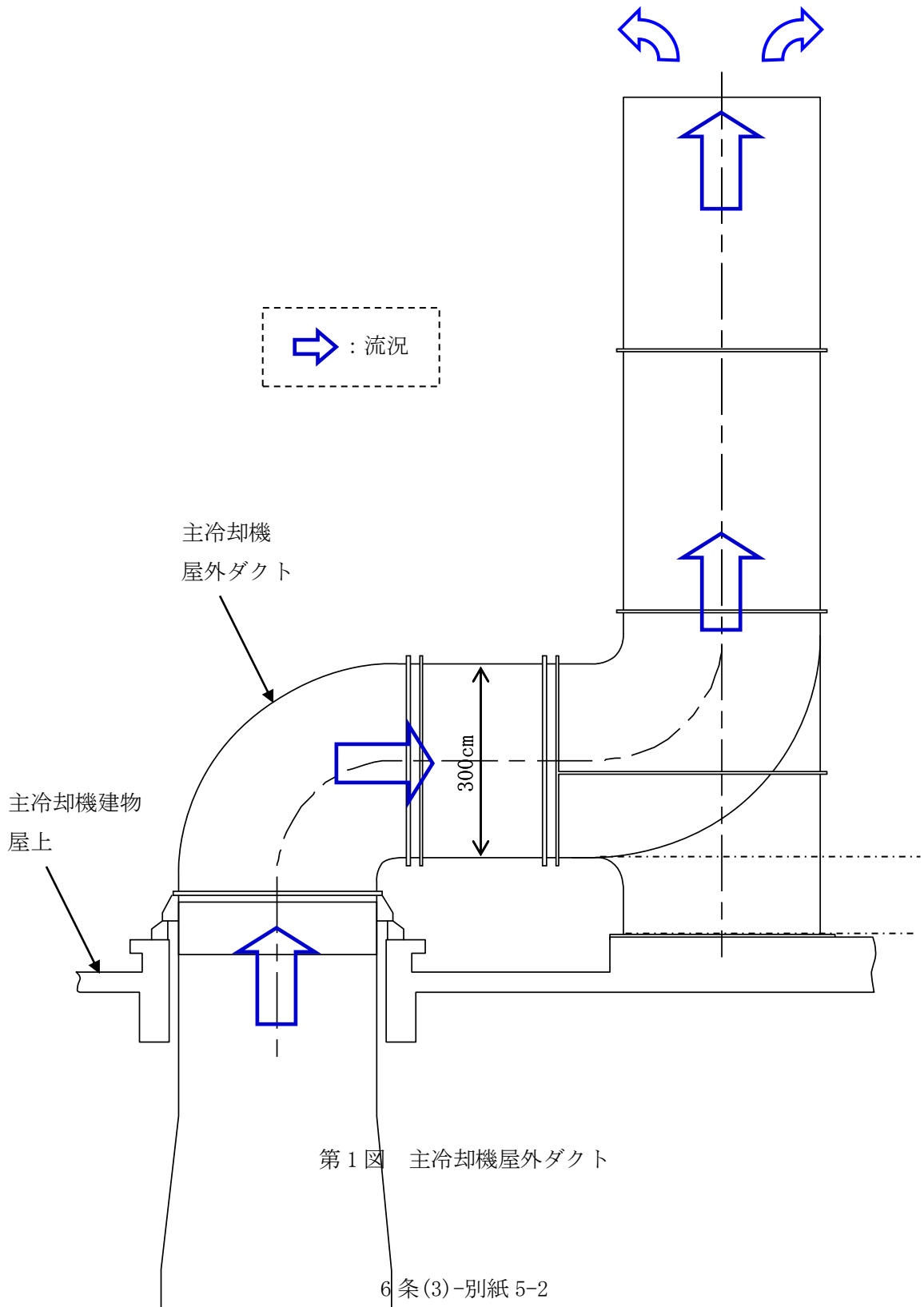
2.1 降下火砕物の流入

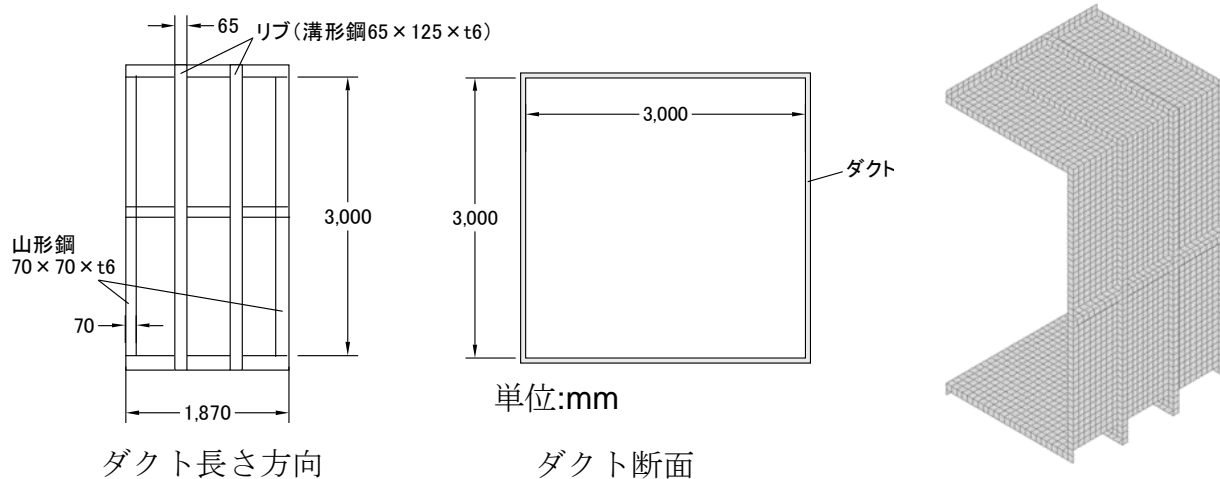
原子炉停止時であっても、自然通風により、最終ヒートシンクである大気に熱を輸送するため、屋外ダクトには、上面開口部に向けた空気の流れが存在する。当該流況により、一定の粒径を下回る降下火砕物が上面開口部から流入することを抑制できる。仮に、降下火砕物が屋外ダクトに流入した場合であっても、設計上考慮する降下火砕物の層厚 50cm に対して、屋外ダクト水平部は約 300cm の高さを有しており、主冷却機の空気流路が閉塞されることはない。主冷却機屋外ダクトを第 1 図に示す。

2.2 降下火砕物の水平ダクト部への積灰

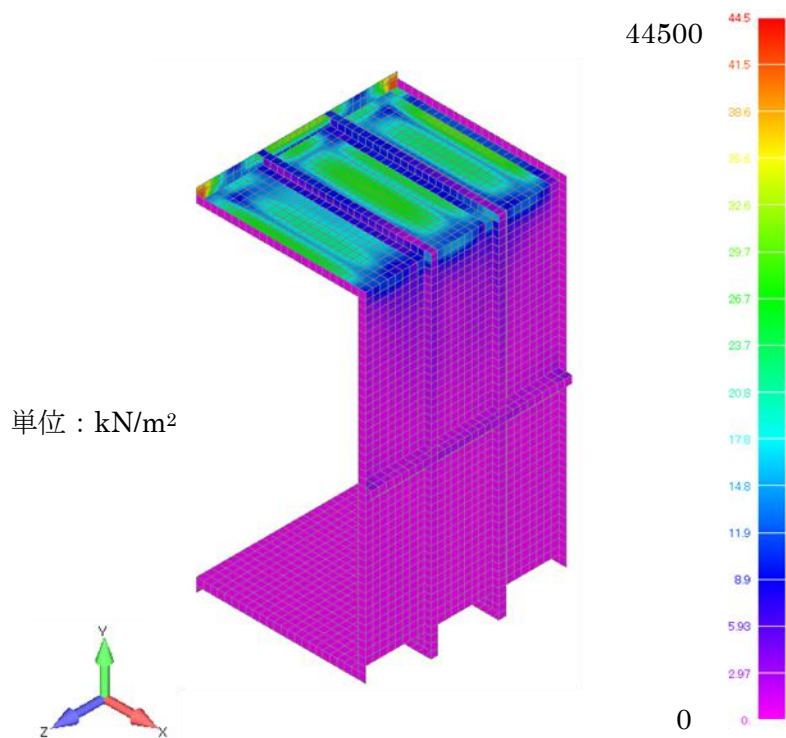
屋外ダクト水平部に設計上考慮する降下火砕物が 50cm 積もった場合について、健全性を確認するため、FEM 弾性解析による評価を実施する。FEM 弾性解析で用いた屋外ダクト水平部の図面及び FEM モデルを第 2 図に示す。応力評価の結果、発生応力は 44.5N/mm^2 ($44,500\text{kN/m}^2$)、許容値 280.0N/mm^2 を上回らないことを確認した。屋外ダクト水平部のミーゼス応力コンターを第 3 図に示す。

よって、屋外ダクトは、想定される降下火砕物が発生した場合において閉塞することはない、降下火砕物防護施設の安全機能が損なわれることはない。





第2図 屋外ダクト水平部図面及びFEMモデル



第3図 屋外ダクト水平部のミーゼス応力コンター

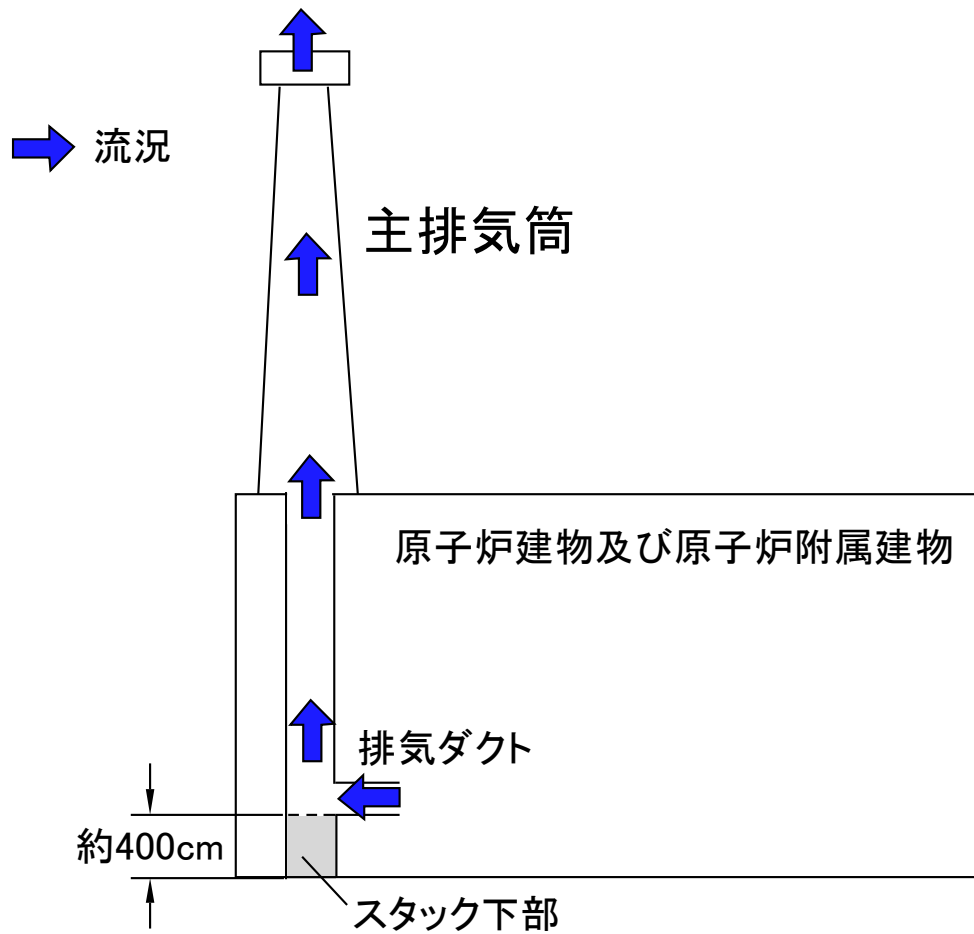
主排気筒に係る降下火砕物影響評価結果

1. 評価方針

主排気筒を対象とし、降下火砕物により、主排気筒の空気流路の閉塞が生じないことを確認する。

2. 評価結果

主排気筒の流路を第1図に示す。第1図より、スタック下部に50cmの降下火砕物の堆積を考慮しても流路（高さ：約400cm）が閉塞されることはなく、重要安全施設の安全機能が損なわれることはない。



第1図 主排気筒の空気流路

第一使用済燃料貯蔵建物に係る降下火砕物影響評価結果

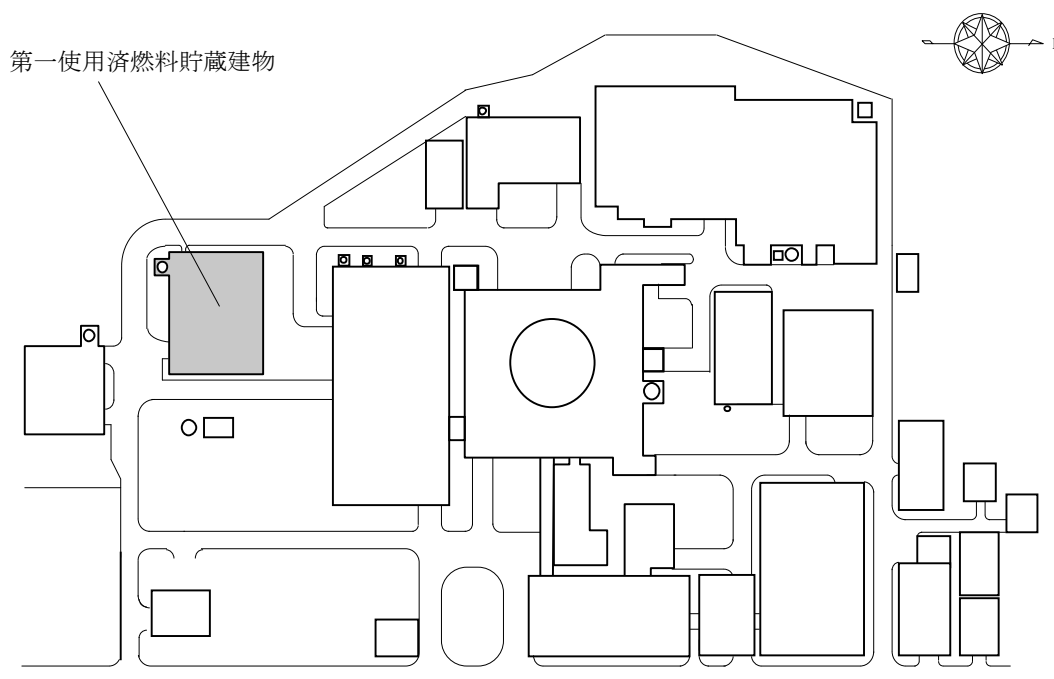
1. 概要

降下火砕物から防護すべき安全機能を内包する第一使用済燃料貯蔵建物が設計降下火砕物荷重を考慮しても構造健全性に問題ないことを確認する。なお、ここでは、降灰予報等が発表され、多量の降灰が生じるおそれが確認された場合には、原子炉を停止すること、また、降下火砕物を除去するために必要な措置を講じることを降下火砕物発生時の対策の基本方針とするため、降下火砕物は短期荷重として扱う。

2. 一般事項

2.1 建物の位置

第一使用済燃料貯蔵建物の位置を第 2.1 図に示す。



第 2.1 図 第一使用済燃料貯蔵建物の位置

2.2 建物の構造概要

第一使用済燃料貯蔵建物は、約 26m×約 32m の矩形の平面形状を有する鉄筋コンクリート造の建物である。第一使用済燃料貯蔵建物の全重量は約 26,000t であり、基礎底面からの高さは約 31m である。屋根については、陸屋根構造を有する。

建物の断面図を第 2.2 図、建物屋上の平面図を第 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 第一使用済燃料貯蔵建物の断面図

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

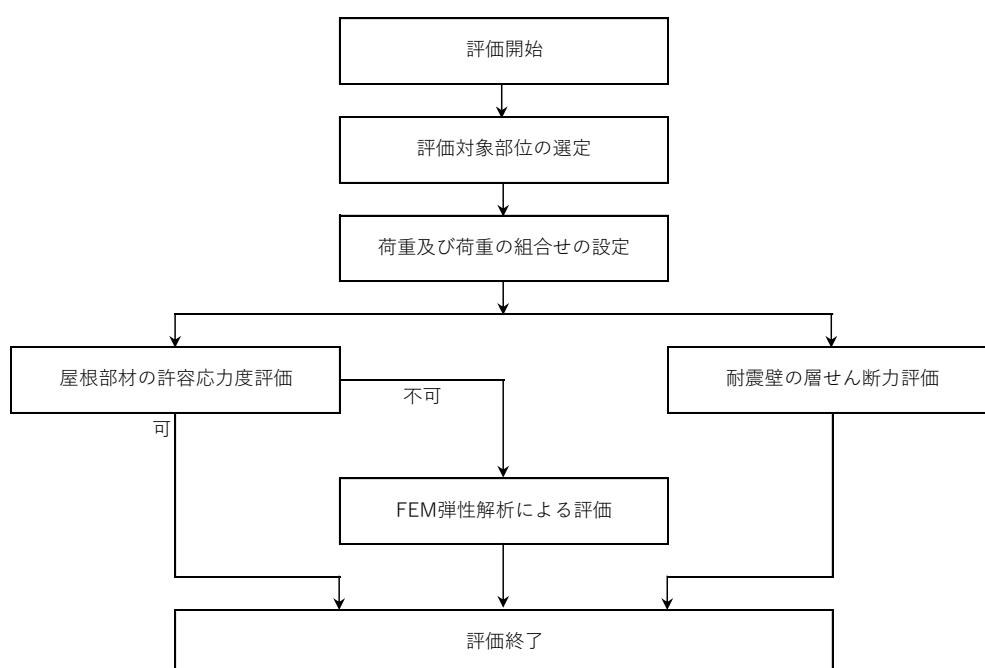
第 2.3 図 第一使用済燃料貯蔵建物屋上の平面図

2.3 評価方針

第一使用済燃料貯蔵建物の降下火砕物に対する評価は、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。)を建物に作用させ、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、屋根スラブの評価においては、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2.4図に示す。



第2.4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。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法施行細則
- (3) 平成12年建設省告示第1454号
- (4) 平成12年建設省告示第2464号
- (5) 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。)
- (6) 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。)
- (7) 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書
- (8) 建築構造ポケットブック
- (9) 合成梁構造設計指針・解説

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スラブ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 |
|-------------|-----------------------------|
| 第一使用済燃料貯蔵建物 | 屋根部材 ・屋根スラブ、大梁、小梁 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)、搭載する機器等の積載荷重(積載:LL)を考慮する。

(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 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ であり、降下火砕物による鉛直荷重を $7,355\text{ N}/\text{m}^2$ 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 項により積雪量 1cm ごとに $20\text{N}/\text{m}^2$ であり、積雪による鉛直荷重を $210\text{N}/\text{m}^2$ 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 $34\text{m}/\text{s}$ とし、風荷重については、建物の形状により風力係数等が異なるため、建物ごとに算出する。

なお、建物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 |
|--------|----------------|
| 屋根部材 | DVL+VA+0.35S |
| 耐震壁 | DVL+VA+0.35S+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 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

| 設計基準強度*1 Fc | 長期 | | 短期 | |
|----------------|------|------|-------|------|
| | 圧縮 | せん断 | 圧縮 | せん断 |
| 20.59 | 6.86 | 0.69 | 13.73 | 1.03 |

*1：設計基準強度は、210kg/cm²を SI 単位換算。

第 3.4 表 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

| 種類 | | 長期 | | 短期 | |
|-------------------|-----------|-----------|------------|----------|------------|
| SD345 (SD35)*1 | 鉄筋径 | 圧縮 引張 | せん断 補強筋 | 圧縮 引張 | せん断 補強筋 |
| | | D29 未満 | 215 | 195 | 379.5*2 |
| | D29 以上 | 195 | | | |
| SD295 (SD30)*1 | D13 | 195 | 195 | 324.5*2 | 324.5*2 |

*1：()内は、建設当時 JIS 規格の種類を示す。

*2：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。

第 3.5 表 鋼材の許容応力度

(単位：N/mm²)

| 種類 | | 基準強度 | | 長期 | | 短期 | |
|---------------------|----------|------|-----|----------------|--------|----------------|-------|
| | | F | F* | 圧縮 引張 曲げ | せん断 | 圧縮 引張 曲げ | せん断 |
| SS400*1 (SS41)*2 | t ≤ 16mm | 245 | 280 | 163*3 | 94.3*3 | 280*4 | 161*4 |
| SM490*1 (SM50)*2 | t ≤ 40mm | 325 | 343 | 216.7 | 125.1 | 343 | 198 |

*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：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。

*4：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。

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 |
|--------|-------------------------|
| 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 |
| 耐震壁 | 保有水平耐力以下 |

4. 建物屋根部材の評価

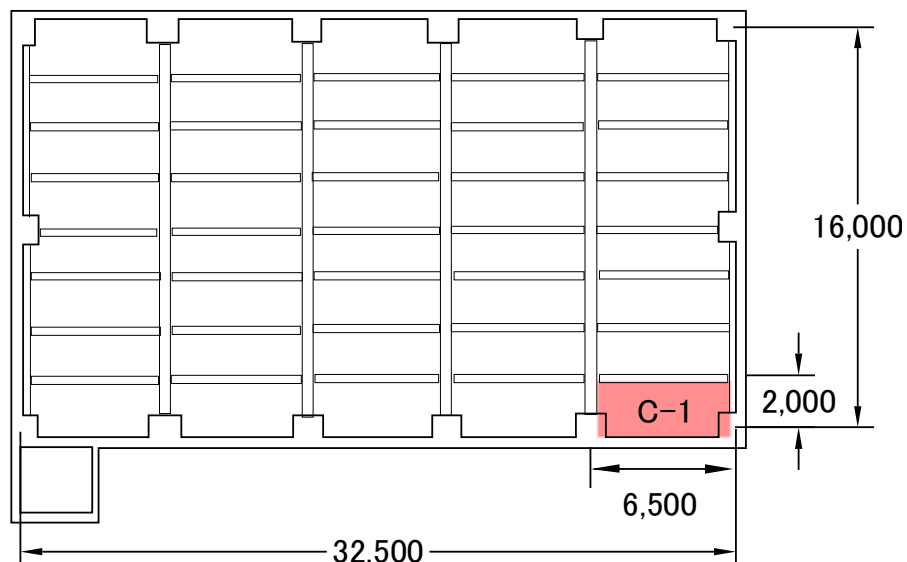
4.1 屋根スラブ

評価方法は、降下火砕物によって建物屋根スラブに生じる荷重によって、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。なお、評価には降下火砕物のほか屋根スラブの固定荷重、積載荷重、積雪荷重を考慮するものとし、これらは重力によって下向きの荷重が作用しているものとする。

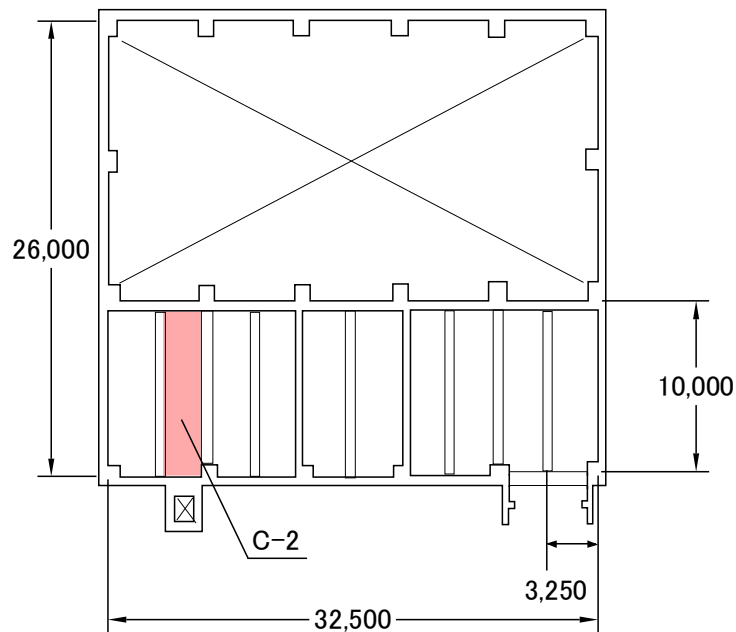
4.1.1 屋根スラブが受ける曲げモーメント

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、スラブに発生する応力は、荷重状態とスラブ周辺の支持条件で変化する。降下火砕物のほか屋根スラブの組合せ荷重により屋根スラブに発生する単位幅当たりの曲げモーメントは、RC 規準より算定する。

算定する屋根スラブの位置を第 4.1 図～第 4.2 図の平面図に示す。評価対象は、機器積載範囲(C-1～C-2)で包絡される。



第 4.1 図 算定する屋上屋根スラブの位置



第 4.2 図 算定する 2F 屋根スラブの位置

4.1.2 許容曲げモーメント及びせん断力

(1) 許容曲げモーメント

建物屋根スラブの単位幅当たりの許容曲げモーメントは、RC 規準より算定する。

$$M_a = a \cdot f_t \cdot j$$

a : 鉄筋断面積 (mm²)

f_t : 鉄筋の短期引張許容応力度 (N/mm²)

(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)

j : スラブの有効丈 (mm)

$$j = \frac{7}{8} \cdot d$$

d : スラブの有効せい (mm)

(2) 許容せん断力

建物屋根スラブの単位幅当たりの許容せん断力は、以下の式で算定する。

$$Q_a = j \cdot f_s$$

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

4.1.3 評価結果

屋根スラブの許容応力度評価結果 (代表 : C-1) を第 4.1 表に示す。また、屋根スラブすべての許容応力度検定比を第 4.2 表に示す。

屋根スラブの許容応力度計算の結果、屋根スラブに発生する曲げモーメントは、短期許容曲げモーメントを上回らないことを確認した。

第 4.1 表 屋根スラブの許容応力度評価結果 (代表 : C-1)

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 表 屋根スラブの許容応力度検定比

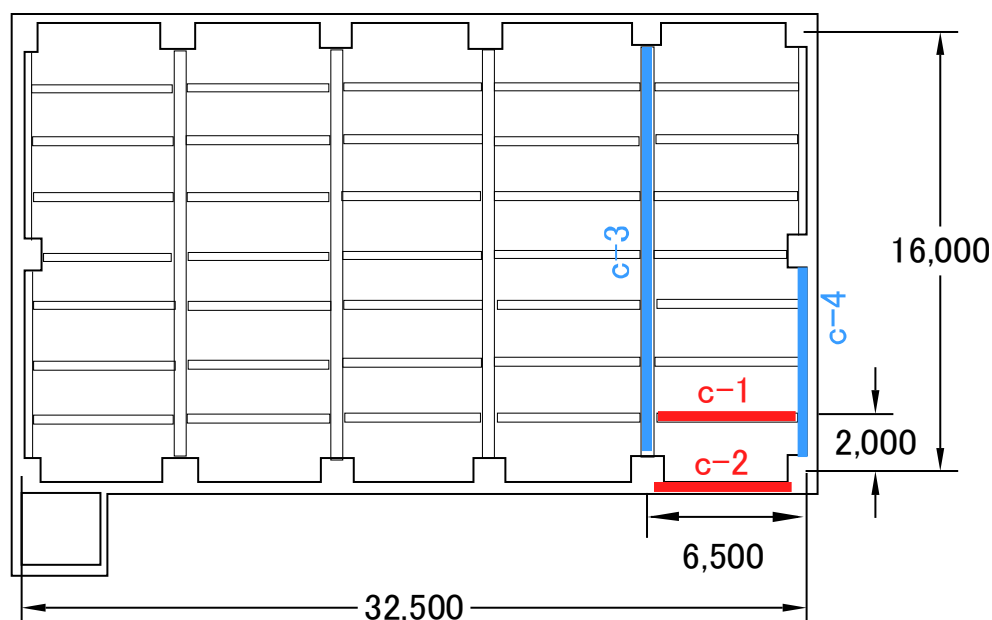
| 評価スラブ 番号 | モーメント | | | | せん断力 | |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 短辺 | | 長辺 | | 短辺 | 長辺 |
| | 端部 | 中央 | 端部 | 中央 | | |
| | $Mx1/Ma$ | $Mx2/Ma$ | $My1/Ma$ | $My2/Ma$ | $Qx1/Qa$ | $Qy1/Qa$ |
| C-1 | 0.25 | 0.17 | 0.29 | 0.19 | 0.13 | 0.12 |
| C-2 | 0.65 | 0.43 | 0.74 | 0.49 | 0.19 | 0.19 |

4.2 大梁、小梁

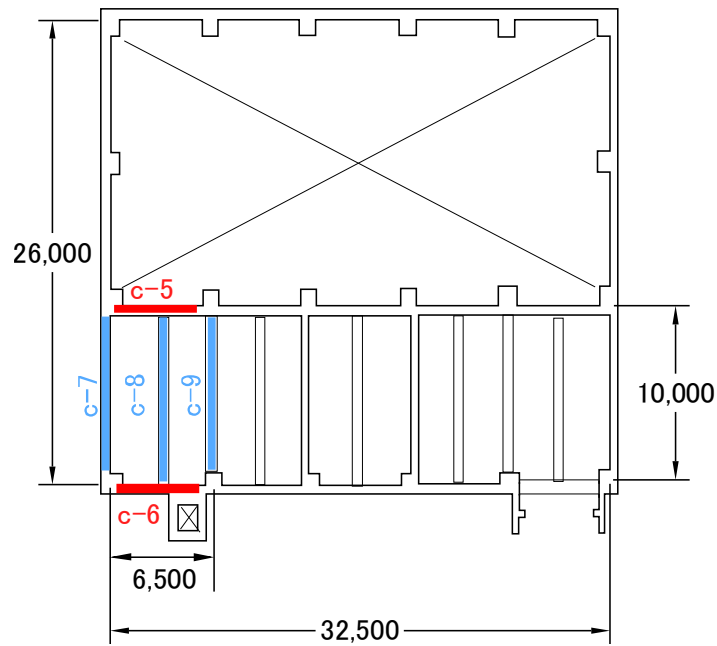
4.2.1 大梁、小梁が受ける曲げモーメント、せん断力

大梁は、大梁自体から受ける荷重、屋上スラブから受ける荷重、スラブ内に小梁がある場合は小梁の集中荷重を考慮し、小梁は、小梁自体から受ける荷重、屋上スラブから受ける荷重を考慮する。曲げモーメント、せん断力は、大梁が両端固定、小梁が両端ピン支持とし取り扱い、RC 規準等より算定する。

算定する大梁、小梁の位置を第 4.3 図～第 4.4 図の平面図に示す。評価対象は、機器積載範囲の梁(c-1～c-9)で包絡される。



第 4.3 図 算定する屋上大梁、小梁の位置



第 4.4 図 算定する 2F 大梁、小梁の位置

4.2.2 許容曲げモーメント、せん断力

(1) 許容曲げモーメント

RC の大梁、小梁の許容曲げモーメントは、RC 規準より算定する。

$$M_a = a \cdot f_t \cdot j$$

a : 鉄筋断面積 (mm^2)

f_t : 鉄筋の短期引張許容応力度 (N/mm^2)

(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)

j : 大梁、小梁の有効丈 (mm)

$$j = \frac{7}{8} \cdot d$$

d : 大梁、小梁の有効せい (mm)

鉄骨の大梁、小梁の許容曲げモーメントは、以下の式で算定する。

$$M_a = f_b \cdot Z$$

M_a : 屋根鉄骨の大梁、小梁の許容曲げモーメント

f_b : 鉄骨の横座屈許容応力度

(2) 許容せん断力

RC の大梁、小梁の許容せん断力は、RC 規準より算出する。

$$Q_a = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ただし、

$$\alpha = \frac{4}{\frac{M}{Q \cdot d} + 1} \quad \text{かつ} \quad 1 \leq \alpha \leq 2$$

b : 梁の幅、または T 形梁のウェブの幅 (mm)

j : 梁の応力中心距離 (mm)

$$j = \frac{7}{8} \cdot d$$

d : 大梁、小梁の有効せい (mm)

α : 梁のせん断スパン比 $\frac{M}{Q \cdot d}$ による割増係数 (—)

M : 梁の最大曲げモーメント (N・mm)

Q : 梁の最大せん断力 (N)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

wf_t : せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)

鉄骨の大梁、小梁の許容せん断力は、以下の式で算出する。

$$Q_a = \min(Q_a, Q_{ba}, Q_{ga})$$

Q_a : 鉄骨の許容せん断力 (N)

$$Q_a = f_s \cdot A_{we}$$

f_s : 鉄骨の短期許容せん断応力度 (N/mm²)

A_{we} : 鉄骨の断面積 (mm²)

$$A_{we} = \alpha \cdot A_w$$

α : ウェブ断面低減率 (—)

A_w : 鉄骨の断面積 (mm²)

Q_{ba} : 接続ボルトの許容せん断力 (N)

$$Q_{ba} = q_{b1} \cdot n$$

q_{b1} : 接続ボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (N)

n : 接続ボルト本数 (—)

Q_{ga} : ガセットプレートの許容せん断力 (N)

$$Q_{ga} = f_s \cdot tg \cdot he$$

f_s : 短期許容せん断応力度 (N/mm²)

tg : ガセットプレート板厚 (mm)

he : ガセットプレートボルト穴考慮せい (mm)

4.2.3 評価結果

屋根スラブを支持する大梁、小梁の許容応力度計算の結果、大梁、小梁に発生する曲げモーメントは、小梁 c-1 及び大梁 c-8 以外は、短期許容曲げモーメントを上回らないことを確認した。

大梁、小梁の許容応力度評価結果 (代表 : c-4、c-6) を第 4.3 表に示す。また、大梁、小梁すべての許容応力度検定比を第 4.4 表に示す。ピン支持となる小梁 (鉄骨) c-1 について

は、中央の曲げモーメントの検定比 1.07 と 1.0 を超過するため、合成梁構造設計指針・解説より鉄骨梁とスラブが一体となった構造であることを考慮して、合成梁として許容応力度計算を実施した。合成梁の評価結果を第 4.5 表に示す。大梁 c-8 については、端部の曲げモーメントの検定比 1.23 と 1.0 を超過するため、RC 規準より長方形梁とスラブが一体となった構造であることを考慮して、T 形梁として許容応力度計算を実施した。T 形梁の評価結果を第 4.6 表に示す。

合成梁として小梁（鉄骨）c-1 を評価した結果、鉄骨梁下端部の発生応力度 96.7N/mm^2 に対して、鋼材許容応力度は 258.5N/mm^2 となり、検定比 0.37 と許容値を満足することを確認した。

また、T 形梁として大梁 c-8 を評価した結果、端部に発生する曲げモーメント $545\text{kN}\cdot\text{m}$ に対して、端部短期許容曲げモーメントは $635\text{kN}\cdot\text{m}$ となり、検定比 0.86 と許容値を満足することを確認した。

第 4.3 表 大梁、小梁の許容応力度評価結果 (代表 : c-4、c-6)

| | | | | | |
|--------------|---|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 梁情報 | FL | - | m | GL+16.4 | GL+10.4 |
| | 評価番号 | - | - | c-4 | c-6 |
| | 位置 | - | - | 6,B~C | 1~2,A |
| | 梁符号 | - | - | bRG2 | aRG7 |
| | 梁幅 | b | mm | 500 | 800 |
| | 梁せい | D | mm | 1300 | 1000 |
| | 梁長さ | l | mm | 8000 | 6500 |
| | かぶり厚さ | dt | mm | 120 | 120 |
| | 有効せい | d | mm | 1180 | 880 |
| | 有効丈 | j | mm | 1032.50 | 770.00 |
| | 鋼材種(主筋) | - | - | SD35(D29 \leq) | SD35(D29 \leq) |
| | 鉄筋の許容短期引張応力度 | ft | N/mm ² | 379.5 | 379.5 |
| | 両端_上端筋A | - | - | 4-D29 | 4-D32 |
| | 上端筋Aの断面積 | Aat | mm ² | 2568 | 3176 |
| | 両端_上端筋B | - | - | 4-D29 | 4-D32 |
| | 上端筋Bの断面積 | Bat | mm ² | 2568 | 3176 |
| | 中央_下端筋 | - | - | 4-D29 | 4-D32 |
| | 下端筋の断面積 | at | mm ² | 2568 | 3176 |
| | せん断補強筋 | - | - | 2-D13 | 4-D13 |
| | せん断補強筋のピッチ | x | mm | 200 | 200 |
| | 鋼材種(せん断補強筋) | - | - | SD30 | SD30 |
| | せん断補強筋の許容短期引張応力度 | wft | N/mm ² | 324.5 | 324.5 |
| | せん断補強筋の断面積 | aw | mm ² | 254 | 508 |
| せん断補強筋の鉄筋比 | pw | - | 0.0025 | 0.0032 | |
| 梁自重 | 鉄筋コンクリートの単位体積重量 | γ | kN/m ³ | 23.54 | 23.54 |
| | 梁せい(スラブ厚分を引いたもの) | D | mm | 1075 | 800 |
| | 梁自重 | w | kN/m | 12.7 | 15.1 |
| | 梁自重による両端部モーメント | C | kN m | 67.5 | 53.0 |
| | 梁自重による中央部モーメント | Mo | kN m | 33.7 | 26.5 |
| | 梁自重によるせん断力 | Qo | kN | 50.6 | 49.0 |
| 発生モーメント、せん断力 | 端部Aモーメント合計 | C _A | kN m | 352 | 340 |
| | 端部Bモーメント合計 | C _B | kN m | 352 | 340 |
| | 中央部モーメント合計 | Mo | kN m | 199 | 285 |
| | 端部Aせん断力合計 | Q _A | kN | 228 | 238 |
| | 端部Bせん断力合計 | Q _B | kN | 228 | 238 |
| 許容モーメント、せん断力 | 端部A許容モーメント | C _{Aa} | kN m | 1006 | 928 |
| | 端部B許容モーメント | C _{Ba} | kN m | 1006 | 928 |
| | 中央部許容モーメント | Ma | kN m | 1006 | 928 |
| | 端部A許容せん断力 | Q _{Aa} | kN | 966 | 1085 |
| | 端部B許容せん断力 | Q _{Ba} | kN | 966 | 1085 |
| 検定比 | C _A /C _{Aa} (端部上端A) | - | - | 0.35 | 0.37 |
| | C _B /C _{Ba} (端部上端B) | - | - | 0.35 | 0.37 |
| | M/Ma(中央下端) | - | - | 0.20 | 0.31 |
| | Q _A /Q _{Aa} (端部A) | - | - | 0.24 | 0.22 |
| | Q _B /Q _{Ba} (端部B) | - | - | 0.24 | 0.22 |

第 4.4 表 大梁、小梁の許容応力度検定比

| 部材番号 | C_A/Ma (端部A上端) | C_B/Ma (端部B上端) | M_o/Ma (中央下端) | Q_A/Qa (端部A) | Q_B/Qa (端部B) |
|-----------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| c-1(鉄骨小梁) | 0.00 | 0.00 | 1.07 | 0.24 | 0.24 |
| c-2 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.08 | 0.08 |
| c-3(鉄骨大梁) | 0.92 | 0.92 | 0.47 | 0.35 | 0.35 |
| c-4 | 0.35 | 0.35 | 0.20 | 0.24 | 0.24 |
| c-5 | 0.17 | 0.17 | 0.13 | 0.11 | 0.11 |
| c-6 | 0.37 | 0.37 | 0.31 | 0.22 | 0.22 |
| c-7 | 0.17 | 0.13 | 0.16 | 0.22 | 0.22 |
| c-8 | 1.23 | 1.23 | 0.38 | 0.31 | 0.31 |
| c-9 | 0.26 | 0.26 | 0.13 | 0.16 | 0.16 |

第 4.5 表 小梁（鉄骨）c-1 を合成梁とした許容応力度評価結果

| 項目 | 記号 | 数値 | 単位 |
|------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| 左側 | a | 1751.0 | mm |
| 右側 | a | 1751.0 | mm |
| 梁スパン | l | 6500 | mm |
| 左側 | ba | 592.5 | mm |
| 右側 | ba | 592.5 | mm |
| スラブ筋ピッチ | | 300 | mm |
| 縁側スラブ筋最大本数 | | 4.6 | 本 |
| 考慮するスラブ筋本数 | | 0 | 本 |
| 合成梁の弾性剛性算定に用いる床スラブの有効幅 | B | 1383 | mm |
| | D | 696 | mm |
| I形鋼の高さ | H | 446 | mm |
| I形鋼の幅 | B | 199 | mm |
| I形鋼の厚さ | t1 | 8 | mm |
| I形鋼の厚さ | t2 | 12 | mm |
| 鉄骨梁の全断面積 | sa | 8297 | mm ² |
| | sAw | 3376 | mm ² |
| 鉄骨梁の断面二次モーメント | sl | 2.81E+08 | mm ⁴ |
| | sd | 473 | mm |
| | pt | 0.01268 | - |
| | t1 | 0.42283 | - |
| ヤング係数比 | n | 15 | - |
| 判定 | | 中立軸床スラブ外 | |
| 判定 | : 中立軸床スラブ外するとき | | |
| 中立軸 | xn | 215.75 | mm |
| 有効等価断面二次モーメント | cln | 1.14E+09 | mm ⁴ |
| スラブ上端の断面係数 | cZc | 7.92E+07 | mm ³ |
| 鉄骨梁下端の断面係数 | cZt | 2.37E+06 | mm ³ |
| 発生曲げモーメント | M(中央) | 226.9 | kN・m |
| 発生応力度(スラブ上端) | σ_{bs} | 2.87 | N/mm ² |
| 発生応力度(鉄骨梁下端) | σ_{br} | 95.7 | N/mm ² |
| CON許容応力度 | fc | 14.7 | N/mm ² |
| 鋼材許容応力度 | 1.1F | 258.5 | N/mm ² |
| 検定比(スラブ上端) | σ_{bs}/fc | 0.19 | |
| 検定比(鉄骨梁下端) | $\sigma_{br}/1.1F$ | 0.37 | |

第 4.6 表 大梁 c-8 を T 形梁とした許容応力度評価結果

| 項目 | 記号 | 数値 | 単位 |
|---|-------------------|---------|-------------------|
| T形梁の有効幅 | b | 2418 | mm |
| 梁せい | D | 1200 | mm |
| 引張側かぶり厚さ | dt | 50 | mm |
| 圧縮側かぶり厚さ | dc | 50 | mm |
| 有効せい | d | 1150 | mm |
| 梁上端筋断面積 | at1 | 1161 | mm ² |
| スラブ筋断面積 | at2 | 426 | mm ² |
| T形梁の有効上端筋断面積 (許容応力度考慮) | at | 1525 | mm ² |
| 下端筋断面積 | ac | 1935 | mm ² |
| 左側スラブ | a | 2950 | mm |
| 右側スラブ | a | 2450 | mm |
| 梁スパン | L | 10000 | mm |
| 左側協力幅 | ba | 953 | mm |
| 右側協力幅 | ba | 865 | mm |
| スラブ筋ピッチ | @ | 300 | mm |
| コンクリートの短期許容圧縮応力度 | fc | 13.7 | N/mm ² |
| 梁鉄筋の短期許容引張応力度 (SD35) | ft | 379.5 | N/mm ² |
| スラブ鉄筋の短期許容引張応力度 (SD30) | ft | 324.5 | N/mm ² |
| 鉄筋のヤング係数 | Es | 205000 | N/mm ² |
| コンクリートのヤング係数 | Ec | 21541 | N/mm ² |
| ヤング係数比 | n | 9.52 | |
| T形梁の断面積 | A | 1083600 | mm ² |
| 重心位置 | g | 761.6 | mm |
| 圧縮縁側スラブ筋最大本数 | | 6.06 | 本 |
| 考慮するスラブ筋本数 | | 6 | 本 |
| 中立軸までの距離 (Ts-(Cs+Cc)=0となる位置) | Xn | 196.79 | mm |
| | $\sigma \epsilon$ | 39.88 | N/mm ² |
| $\{(n \cdot c \sigma c \cdot (d-xn/xn))\}$ | s σt | 379.5 | N/mm ² |
| $\{(n-1) \cdot c \sigma c \cdot (xn-dc/xn)\}$ | s σc | 52.3 | N/mm ² |
| コンクリートの短期許容圧縮応力度 | fc=c σc | 8.23 | N/mm ² |
| 引張鉄筋の合力 | Ts | 579 | kN |
| 圧縮鉄筋の合力 | Cs | 101 | kN |
| 圧縮コンクリートの合力 | Cc | 486 | kN |
| 許容応力度 | Ma | 635 | kN・m |
| 発生応力(端部上端A) | M | 545 | kN・m |
| | M/Ma | 0.86 | |

5. 建物耐震壁の評価

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 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 表に各高さにおける風荷重を示す。

$$W = q \cdot Cf$$

W : 風荷重 (N/m²)

q : 速度圧 (N/m²)

Cf : 風力係数

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E \cdot V_0^2 = 1,726$$

$$E = Er^2 \cdot Gf \text{ (速度圧の高さ方向の分布を示す係数)} = 2.488$$

$$Er = 1.7 \cdot (H/ZG)^\alpha \text{ (H が } Z_b \text{ を超える場合)} = 1.074$$

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

第 5.1 表 第一使用済燃料貯蔵建物の風荷重計算条件

| 基準風速 V ₀ (m/s) | 高さ H (m) | Z _b (m) | Z _G (m) | α | ガスト 影響係数 Gf | 速度圧 q (N/m ²) |
|------------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|------|-------------------|---------------------------------|
| 34 | 16.4 | 5 | 350 | 0.15 | 2.157 | 1,726 |

第 5.2 表 第一使用済燃料貯蔵建物の各高さにおける風荷重

| 高さ | 部位 | 速度圧 q (N/m ²) | 風力係数 Cf | 風荷重 W=q・Cf (N/m ²) |
|--------------|-------|---------------------------------|------------|--------------------------------------|
| G. L. +16.4m | パラペット | 1,726 | 0.8-(-0.4) | 2,071.2 |
| | 側壁 | 1,726 | 0.8-(-0.4) | 2,071.2 |
| G. L. +10.4m | パラペット | 1,726 | 0.8-(-0.4) | 2,071.2 |
| | 排気塔 | 1,726 | 0.7 | 1,208.2 |
| | 屋上出入口 | 1,726 | 0.8-(-0.4) | 2,071.2 |
| | 側壁 | 1,726 | 0.8-(-0.4) | 2,071.2 |
| G. L. +4.7m | 側壁 | 1,726 | 0.8-(-0.4) | 2,071.2 |
| G. L. +0.2m | 側壁 | 1,726 | 0.8-(-0.4) | 2,071.2 |

5.2 評価方法

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。よって、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ことになり、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超えないことが確認できる。

包絡関係が確認できない場合は、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。なお、隣接建物による風の遮断効果は、考慮しないものとする。

風荷重及び受圧面積を第5.3表に示す。第一使用済燃料貯蔵建物の質点系解析モデルを第5.1図に示す。

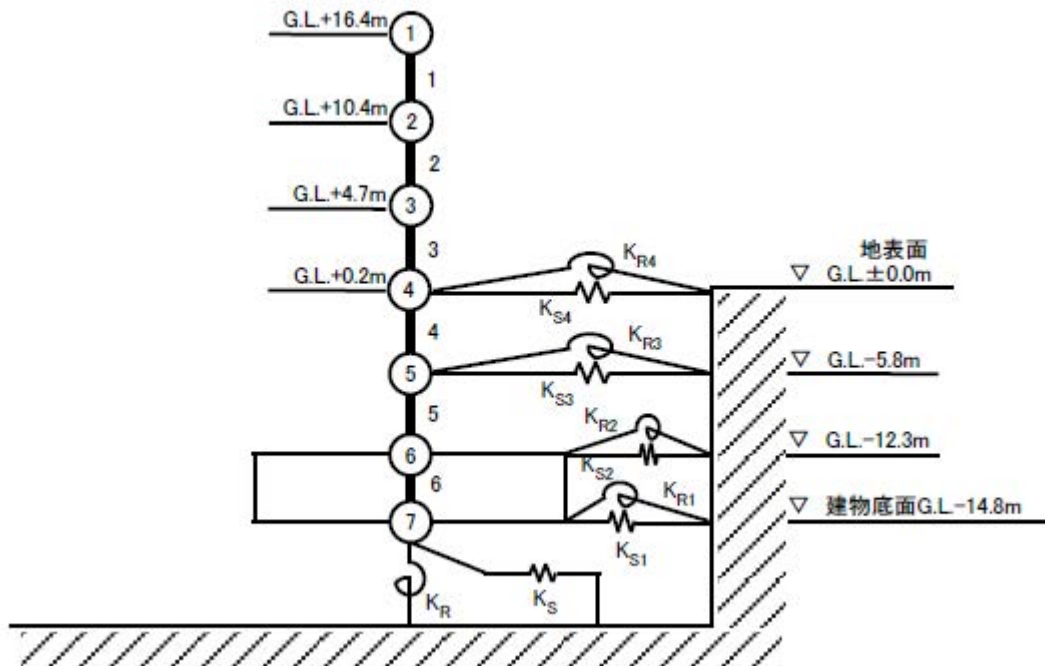
第 5.3 表 第一使用済燃料貯蔵建物の風荷重及び受圧面積

NS 方向

| 高さ | 部位 | 風荷重 $W=q \cdot Cf$ (N/m^2) | 受圧面積 (m^2) | 水平力 (kN) | | 層 せん断力 (kN) |
|---------------|-------|--------------------------------------|-------------------|-------------|--------|-------------------|
| G. L. +16. 4m | パラペット | 2, 071. 2 | 25. 3 | 52. 4 | 261. 8 | 261. 8 |
| | 側壁 | 2, 071. 2 | 101. 1 | 209. 4 | | |
| G. L. +10. 4m | パラペット | 2, 071. 2 | 45. 5 | 94. 2 | 525. 3 | 787. 1 |
| | 排気塔 | 1, 208. 2 | 18. 9 | 22. 8 | | |
| | 側壁 | 2, 071. 2 | 197. 1 | 408. 3 | | |
| G. L. +4. 7m | 側壁 | 2, 071. 2 | 171. 9 | 356. 1 | 356. 1 | 1, 143. 2 |
| G. L. +0. 2m | 側壁 | 2, 071. 2 | 82. 6 | 171. 1 | 171. 1 | 1, 314. 3 |

EW 方向

| 高さ | 部位 | 風荷重 $W=q \cdot Cf$ (N/m^2) | 受圧面積 (m^2) | 水平力 (kN) | | 層 せん断力 (kN) |
|---------------|-------|--------------------------------------|-------------------|-------------|--------|-------------------|
| G. L. +16. 4m | パラペット | 2, 071. 2 | 15. 0 | 31. 1 | 155. 2 | 155. 2 |
| | 側壁 | 2, 071. 2 | 59. 9 | 124. 1 | | |
| G. L. +10. 4m | パラペット | 2, 071. 2 | 13. 5 | 27. 9 | 352. 5 | 507. 7 |
| | 排気塔 | 1, 208. 2 | 18. 9 | 22. 8 | | |
| | 屋上出入口 | 2, 071. 2 | 8. 3 | 17. 2 | | |
| | 側壁 | 2, 071. 2 | 137. 4 | 284. 6 | | |
| G. L. +4. 7m | 側壁 | 2, 071. 2 | 138. 7 | 287. 3 | 287. 3 | 795. 0 |
| G. L. +0. 2m | 側壁 | 2, 071. 2 | 66. 6 | 138. 0 | 138. 0 | 933. 0 |



第 5.1 図 第一使用済燃料貯蔵建物の質点系解析モデル

5.3 評価結果

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。

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 第一使用済燃料貯蔵建物の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. +16.4m | 261.8 | 11,776 | 0.022 |
| G. L. +10.4m | 787.1 | 27,685 | 0.028 |
| G. L. +4.7m | 1,143.2 | 40,770 | 0.028 |
| G. L. +0.2m | 1,314.3 | 87,103 | 0.015 |

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 |
|--------------|--------------------------|-----------------------------|-------|
| G. L. +16.4m | 155.2 | 11,053 | 0.014 |
| G. L. +10.4m | 507.7 | 25,603 | 0.020 |
| G. L. +4.7m | 795.0 | 36,973 | 0.022 |
| G. L. +0.2m | 933.0 | 84,175 | 0.011 |

第二使用済燃料貯蔵建物に係る降下火砕物影響評価結果

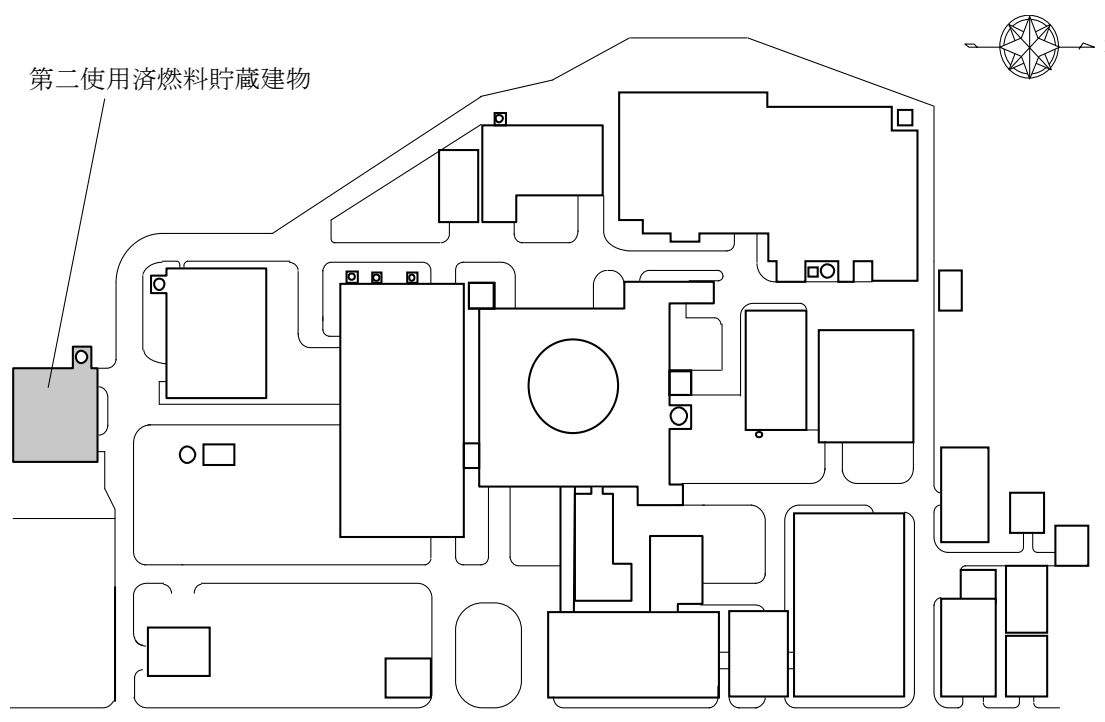
1. 概要

降下火砕物から防護すべき安全機能を内包する第二使用済燃料貯蔵建物が設計降下火砕物荷重を考慮しても構造健全性に問題ないことを確認する。なお、ここでは、降灰予報等が発表され、多量の降灰が生じるおそれが確認された場合には、原子炉を停止すること、また、降下火砕物を除去するために必要な措置を講じることを降下火砕物発生時の対策の基本方針とするため、降下火砕物は短期荷重として扱う。

2. 一般事項

2.1 建物の位置

第二使用済燃料貯蔵建物の位置を第 2.1 図に示す。



第 2.1 図 第二使用済燃料貯蔵建物の位置

2.2 建物の構造概要

第二使用済燃料貯蔵建物は、約 26m×約 26m のほぼ正方形の平面形状を有する鉄筋コンクリート造の建物である。第二使用済燃料貯蔵建物の全重量は約 28,000t であり、基礎底面からの高さは約 33m である。屋根については、陸屋根構造を有する。

建物の断面図を第 2.2 図、建物屋上の平面図を第 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 第二使用済燃料貯蔵建物の断面図

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

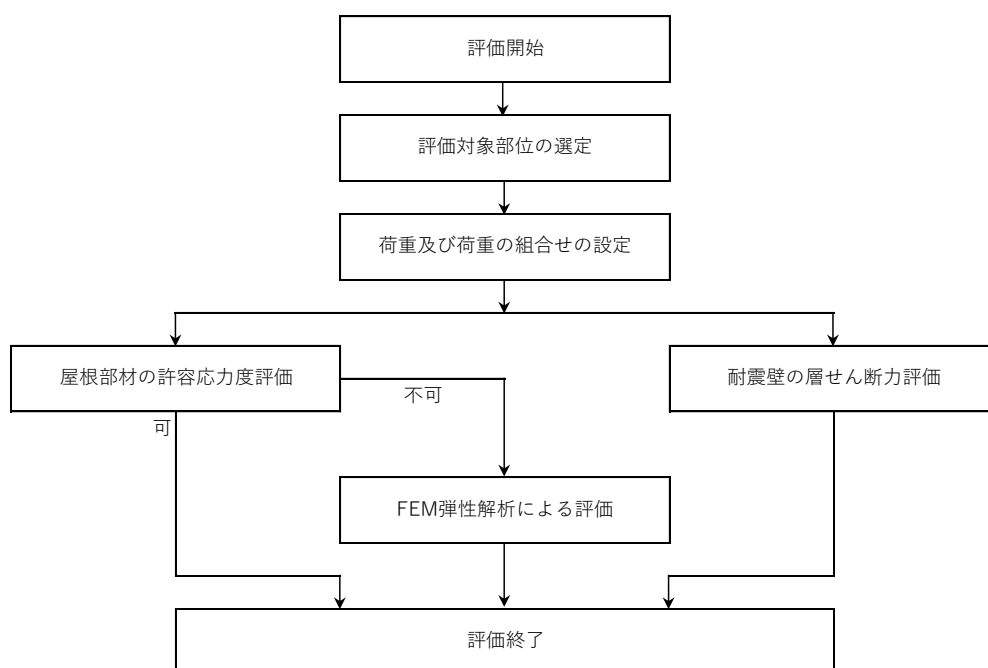
第 2.3 図 第二使用済燃料貯蔵建物屋上の平面図

2.3 評価方針

第二使用済燃料貯蔵建物の降下火砕物に対する評価は、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。)を建物に作用させ、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、屋根スラブの評価においては、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2.4図に示す。



第2.4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。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法施行細則
- (3) 平成12年建設省告示第1454号
- (4) 平成12年建設省告示第2464号
- (5) 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。)
- (6) 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。)
- (7) 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書
- (8) 建築構造ポケットブック
- (9) 合成梁構造設計指針・解説

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スラブ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 |
|-------------|-----------------------------|
| 第二使用済燃料貯蔵建物 | 屋根部材 ・屋根スラブ、大梁、小梁 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)、搭載する機器等の積載荷重(積載:LL)を考慮する。

(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 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ であり、降下火砕物による鉛直荷重を $7,355\text{ N}/\text{m}^2$ 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 項により積雪量 1cm ごとに $20\text{N}/\text{m}^2$ であり、積雪による鉛直荷重を $210\text{N}/\text{m}^2$ 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 $34\text{m}/\text{s}$ とし、風荷重については、建物の形状により風力係数等が異なるため、建物ごとに算出する。

なお、建物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 |
|--------|----------------|
| 屋根部材 | DVL+VA+0.35S |
| 耐震壁 | DVL+VA+0.35S+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 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

| 設計基準強度* ¹ Fc | 長期 | | 短期 | |
|----------------------------|------|------|-------|------|
| | 圧縮 | せん断 | 圧縮 | せん断 |
| 22.06 | 7.35 | 0.71 | 14.71 | 1.07 |

*1：設計基準強度は、225kg/cm²を SI 単位換算。

第 3.4 表 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

| 種類 | | 長期 | | 短期 | |
|-------------------------------|-----------|-----------|------------|---------------------|---------------------|
| SD345 (SD35)* ¹ | 鉄筋径 | 圧縮 引張 | せん断 補強筋 | 圧縮 引張 | せん断 補強筋 |
| | | D29 未満 | 215 | 195 | 379.5* ² |
| | D29 以上 | 195 | | | |
| SD295 (SD30)* ¹ | D13 | 195 | 195 | 324.5* ² | 324.5* ² |

*1：()内は、建設当時 JIS 規格の種類を示す。

*2：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。

第 3.5 表 鋼材の許容応力度

(単位：N/mm²)

| 種類 | | 基準強度 | | 長期 | | 短期 | |
|---|----------|------|-----|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | | F | F* | 圧縮 引張 曲げ | せん断 | 圧縮 引張 曲げ | せん断 |
| SS400* ¹ (SS41)* ² | t ≤ 16mm | 245 | 280 | 163* ³ | 94.3* ³ | 280* ⁴ | 161* ⁴ |
| SM490* ¹ (SM50)* ² | t ≤ 40mm | 325 | 343 | 216.7 | 125.1 | 343 | 198 |

*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：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。

*4：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。

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 |
|--------|-------------------------|
| 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 |
| 耐震壁 | 保有水平耐力以下 |

4. 建物屋根部材の評価

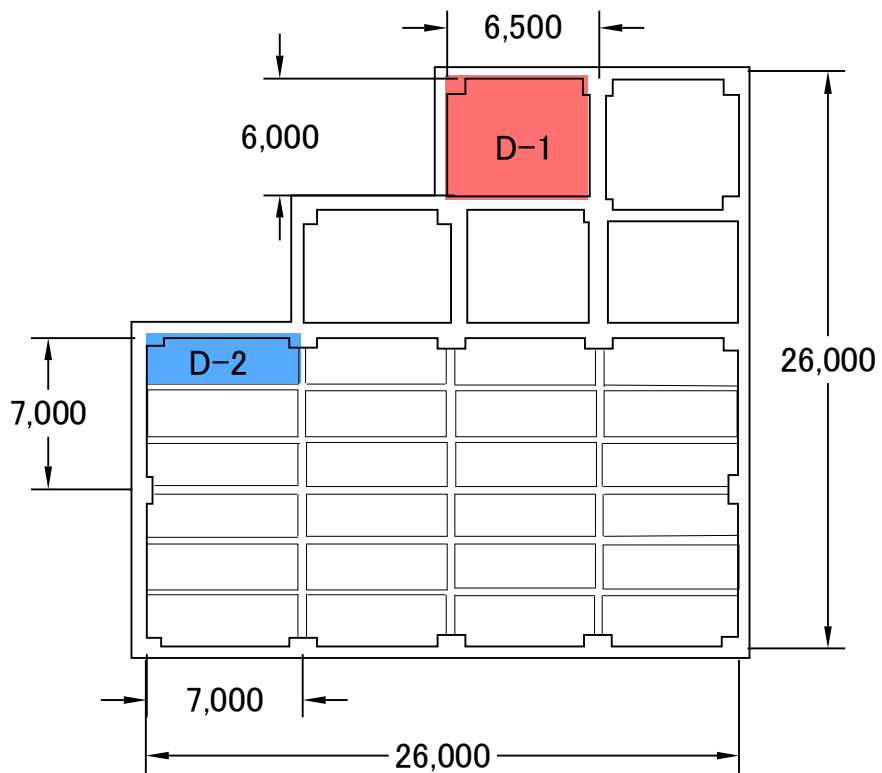
4.1 屋根スラブ

評価方法は、降下火砕物によって建物屋根スラブに生じる荷重によって、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。なお、評価には降下火砕物のほか屋根スラブの固定荷重、積載荷重、積雪荷重を考慮するものとし、これらは重力によって下向きの荷重が作用しているものとする。

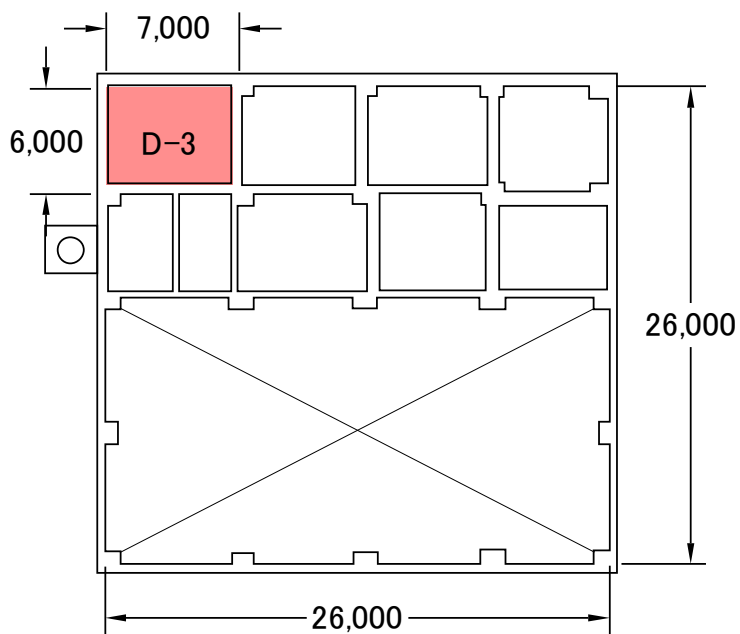
4.1.1 屋根スラブが受ける曲げモーメント

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、スラブに発生する応力は、荷重状態とスラブ周辺の支持条件で変化する。降下火砕物のほか屋根スラブの組合せ荷重により屋根スラブに発生する単位幅当たりの曲げモーメントは、RC 規準より算定する。

算定する屋根スラブの位置を第 4.1 図～第 4.2 図の平面図に示す。評価対象は、機器積載範囲(D-1～D-3)で包絡される。



第 4.1 図 算定する屋上屋根スラブの位置



第 4.2 図 算定する 3F 屋根スラブの位置

4.1.2 許容曲げモーメント及びせん断力

(1) 許容曲げモーメント

建物屋根スラブの単位幅当たりの許容曲げモーメントは、RC 規準より算定する。

$$M_a = a \cdot f_t \cdot j$$

a : 鉄筋断面積 (mm²)

f_t : 鉄筋の短期引張許容応力度 (N/mm²)

(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)

j : スラブの有効丈 (mm)

$$j = \frac{7}{8} \cdot d$$

d : スラブの有効せい (mm)

(2) 許容せん断力

建物屋根スラブの単位幅当たりの許容せん断力は、以下の式で算定する。

$$Q_a = j \cdot f_s$$

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

4.1.3 評価結果

屋根スラブの許容応力度評価結果（代表：D-1）を第4.1表に示す。また、屋根スラブすべての許容応力度検定比を第4.2表に示す。

屋根スラブの許容応力度計算の結果、屋根スラブに発生する曲げモーメントは、短期許容曲げモーメントを上回らないことを確認した。

第4.1表 屋根スラブの許容応力度評価結果（代表：D-1）

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 表 屋根スラブの許容応力度検定比

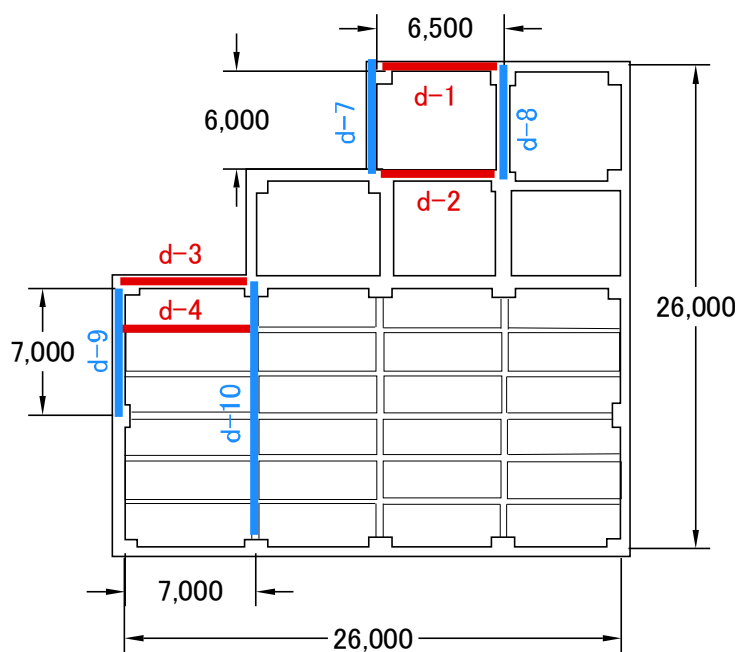
| 評価スラブ 番号 | モーメント | | | | せん断力 | |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 短辺 | | 長辺 | | 短辺 | 長辺 |
| | 端部 | 中央 | 端部 | 中央 | | |
| | $Mx1/Ma$ | $Mx2/Ma$ | $My1/Ma$ | $My2/Ma$ | $Qx1/Qa$ | $Qy1/Qa$ |
| D-1 | 0.76 | 0.51 | 0.70 | 0.47 | 0.23 | 0.24 |
| D-2 | 0.32 | 0.21 | 0.24 | 0.16 | 0.13 | 0.12 |
| D-3 | 0.52 | 0.34 | 0.42 | 0.28 | 0.23 | 0.23 |

4.2 大梁、小梁

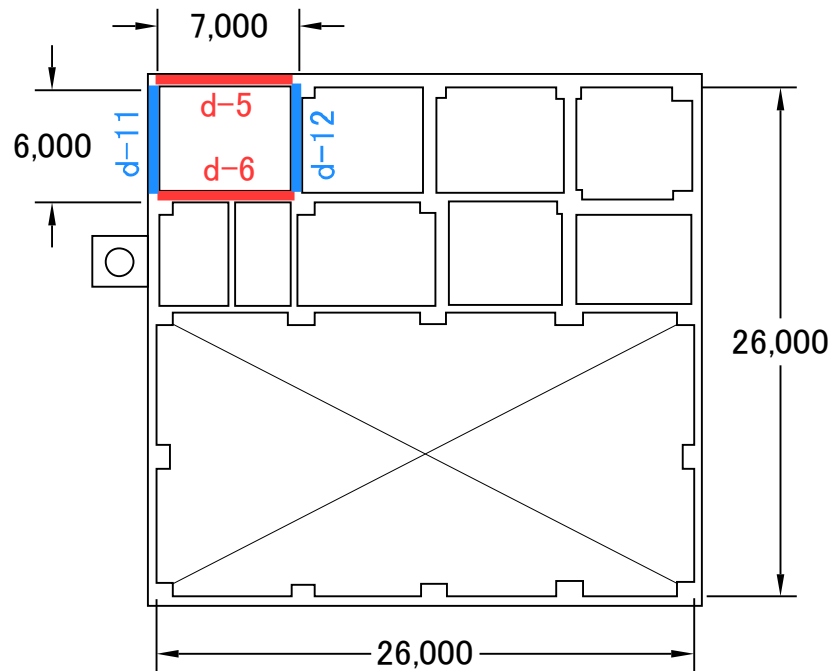
4.2.1 大梁、小梁が受ける曲げモーメント、せん断力

大梁は、大梁自体から受ける荷重、屋上スラブから受ける荷重、スラブ内に小梁がある場合は小梁の集中荷重を考慮し、小梁は、小梁自体から受ける荷重、屋上スラブから受ける荷重を考慮する。曲げモーメント、せん断力は、大梁が両端固定、小梁が両端ピン支持とし取り扱い、RC 規準より算定する。

算定する大梁、小梁の位置を第 4.3 図～第 4.4 図の平面図に示す。評価対象は、機器積載範囲の梁 (d-1～d-12) で包絡される。



第 4.3 図 算定する屋上大梁、小梁の位置



第 4.4 図 算定する 3F 大梁、小梁の位置

4.2.2 許容曲げモーメント、せん断力

(1) 許容曲げモーメント

大梁、小梁の許容曲げモーメントは、RC 規準より算定する。

$$M_a = a \cdot f_t \cdot j$$

a : 鉄筋断面積 (mm^2)

f_t : 鉄筋の短期引張許容応力度 (N/mm^2)

(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)

j : 大梁、小梁の有効丈 (mm)

$$j = \frac{7}{8} \cdot d$$

d : 大梁、小梁の有効せい (mm)

鉄骨の大梁、小梁の許容曲げモーメントは、以下の式で算定する。

$$M_a = f_b \cdot Z$$

M_a : 屋根鉄骨の大梁、小梁の許容曲げモーメント

f_b : 鉄骨の横座屈許容応力度

(2) 許容せん断力

大梁、小梁の許容せん断力は、RC 規準より算出する。

$$Q_a = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ただし、

$$\alpha = \frac{4}{\frac{M}{Q \cdot d} + 1} \quad \text{かつ} \quad 1 \leq \alpha \leq 2$$

b : 梁の幅、または T 形梁のウェブの幅 (mm)

j : 梁の応力中心距離 (mm)

$$j = \frac{7}{8} \cdot d$$

d : 大梁、小梁の有効せい (mm)

α : 梁のせん断スパン比 $\frac{M}{Q \cdot d}$ による割増係数 (—)

M : 梁の最大曲げモーメント (N・mm)

Q : 梁の最大せん断力 (N)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

wf_t : せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)

鉄骨の大梁、小梁の許容せん断力は、以下の式で算出する。

$$Q_a = \min(Qa, Qba, Qga)$$

Qa : 鉄骨の許容せん断力 (N)

$$Qa = f_s \cdot A_{we}$$

f_s : 鉄骨の短期許容せん断応力度 (N/mm²)

A_{we} : 鉄骨の断面積 (mm²)

$$A_{we} = \alpha \cdot A_w$$

α : ウェブ断面低減率 (—)

A_w : 鉄骨の断面積 (mm²)

Qba : 接続ボルトの許容せん断力 (N)

$$Qba = q_{b1} \cdot n$$

q_{b1} : 接続ボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (N)

n : 接続ボルト本数 (—)

Qga : ガセットプレートの許容せん断力 (N)

$$Qga = f_s \cdot tg \cdot he$$

f_s : 短期許容せん断応力度 (N/mm²)

tg : ガセットプレート板厚 (mm)

he : ガセットプレートボルト穴考慮せい (mm)

4.2.3 評価結果

屋根スラブを支持する大梁、小梁の許容応力度計算の結果、大梁、小梁に発生する曲げモーメントは、小梁 d-4 及び大梁 d-10 以外は、短期許容曲げモーメントを上回らないことを確認した。

大梁、小梁の許容応力度評価結果 (代表 : d-6、d-9) を第 4.3 表に示す。また、大梁、小

梁すべての許容応力度検定比を第 4.4 表に示す。ピン支持となる小梁（鉄骨）d-4 については、中央の曲げモーメントの検定比 1.60 と 1.0 を超過するため、合成梁構造設計指針・解説より鉄骨梁とスラブが一体となった構造であることを考慮して、合成梁として許容応力度計算を実施した。合成梁の評価結果を第 4.5 表に示す。大梁（鉄骨）d-10 については、端部の曲げモーメントの検定比 1.39 と 1.0 を超過するため、小梁 d-4 と同様に合成梁として許容応力度計算を実施した。合成梁の評価結果を第 4.6 表に示す。

合成梁として小梁（鉄骨）d-4 を評価した結果、鉄骨梁下端部の発生応力度 94.6N/mm^2 に対して、鋼材許容応力度は 258.5N/mm^2 となり、検定比 0.37 と許容値を満足することを確認した。

また、合成梁として大梁（鉄骨）d-10 を評価した結果、端部に発生する曲げモーメント $138.5\text{kN}\cdot\text{m}$ に対して、端部短期許容曲げモーメントは $258.5\text{kN}\cdot\text{m}$ となり、検定比 0.54 と許容値を満足することを確認した。

第 4.3 表 大梁、小梁の許容応力度評価結果 (代表 : d-6、d-9)

| | | | | | |
|--------------|---|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 梁情報 | FL | - | m | GL+9.6 | GL+16.6 |
| | 評価番号 | - | - | d-6 | d-9 |
| | 位置 | - | - | 1~2,D | 1,B~C |
| | 梁符号 | - | - | 3G2a | aRG4 |
| | 梁幅 | b | mm | 600 | 500 |
| | 梁せい | D | mm | 1200 | 1000 |
| | 梁長さ | l | mm | 7000 | 7000 |
| | かぶり厚さ | dt | mm | 120 | 120 |
| | 有効せい | d | mm | 1080 | 880 |
| | 有効丈 | j | mm | 945.0 | 770.0 |
| | 鋼材種(主筋) | - | - | SD35(D29 \leq) | SD35(D29 \leq) |
| | 鉄筋の許容短期引張応力度 | ft | N/mm ² | 379.5 | 379.5 |
| | 両端_上端筋A | - | - | 8-D32 | 4-D32 |
| | 上端筋Aの断面積 | Aat | mm ² | 6352 | 3176 |
| | 両端_上端筋B | - | - | 8-D32 | 4-D32 |
| | 上端筋Bの断面積 | Bat | mm ² | 6352 | 3176 |
| | 中央_下端筋 | - | - | 4-D32 | 4-D32 |
| | 下端筋の断面積 | at | mm ² | 3176 | 3176 |
| | せん断補強筋 | - | - | 3-D13 | 3-D13 |
| | せん断補強筋のピッチ | x | mm | 200 | 200 |
| | 鋼材種(せん断補強筋) | - | - | SD30 | SD30 |
| | せん断補強筋の許容短期引張応力度 | wft | N/mm ² | 324.5 | 324.5 |
| | せん断補強筋の断面積 | aw | mm ² | 381 | 381 |
| せん断補強筋の鉄筋比 | pw | - | 0.0032 | 0.0038 | |
| 梁自重 | 鉄筋コンクリートの単位体積重量 | γ | kN/m ³ | 23.54 | 23.54 |
| | 梁せい(スラブ厚分を引いたもの) | D | mm | 900 | 775 |
| | 梁自重 | w | kN/m | 12.7 | 9.1 |
| | 梁自重による両端部モーメント | C | kN m | 51.9 | 37.2 |
| | 梁自重による中央部モーメント | Mo | kN m | 26.0 | 18.6 |
| | 梁自重によるせん断力 | Qo | kN | 44.5 | 31.9 |
| 発生モーメント、せん断力 | 端部Aモーメント合計 | C _A | kN m | 420.20 | 248.87 |
| | 端部Bモーメント合計 | C _B | kN m | 420.20 | 248.87 |
| | 中央部モーメント合計 | Mo | kN m | 287.78 | 124.96 |
| | 端部Aせん断力合計 | Q _A | kN | 289.95 | 175.43 |
| | 端部Bせん断力合計 | Q _B | kN | 289.95 | 175.43 |
| 許容モーメント、せん断力 | 端部A許容モーメント | C _{Aa} | kN m | 2278.00 | 928.07 |
| | 端部B許容モーメント | C _{Ba} | kN m | 2278.00 | 928.07 |
| | 中央部許容モーメント | Ma | kN m | 1139.00 | 928.07 |
| | 端部A許容せん断力 | Q _{Aa} | kN | 1140.45 | 741.53 |
| | 端部B許容せん断力 | Q _{Ba} | kN | 1140.45 | 741.53 |
| 検定比 | C _A /C _{Aa} (端部上端A) | - | - | 0.18 | 0.27 |
| | C _B /C _{Ba} (端部上端B) | - | - | 0.18 | 0.27 |
| | M/Ma(中央下端) | - | - | 0.25 | 0.13 |
| | Q _A /Q _{Aa} (端部A) | - | - | 0.25 | 0.24 |
| | Q _B /Q _{Ba} (端部B) | - | - | 0.25 | 0.24 |

第 4.4 表 大梁、小梁の許容応力度検定比

| 部材番号 | C_A/Ma (端部A上端) | C_B/Ma (端部B上端) | M_o/Ma (中央下端) | Q_A/Qa (端部A) | Q_B/Qa (端部B) |
|------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| d-1 | 0.16 | 0.16 | 0.09 | 0.15 | 0.15 |
| d-2 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.23 | 0.23 |
| d-3 | 0.13 | 0.13 | 0.06 | 0.10 | 0.10 |
| d-4(鉄骨小梁) | 0.00 | 0.00 | 1.60 | 0.31 | 0.31 |
| d-5 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.12 | 0.12 |
| d-6 | 0.18 | 0.18 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| d-7 | 0.13 | 0.13 | 0.08 | 0.11 | 0.11 |
| d-8 | 0.13 | 0.13 | 0.14 | 0.20 | 0.20 |
| d-9 | 0.27 | 0.27 | 0.13 | 0.24 | 0.24 |
| d-10(鉄骨大梁) | 1.39 | 1.39 | 0.72 | 0.40 | 0.40 |
| d-11 | 0.11 | 0.11 | 0.06 | 0.08 | 0.08 |
| d-12 | 0.21 | 0.21 | 0.12 | 0.16 | 0.16 |

第 4.5 表 小梁（鉄骨）d-4 を合成梁とした許容応力度評価結果

| 項目 | 記号 | 数値 | 単位 |
|------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| | | | |
| 左側 | a | 2084.3 | mm |
| 右側 | a | 2084.3 | mm |
| 梁スパン | l | 7000 | mm |
| 左側 | ba | 669.8 | mm |
| 右側 | ba | 669.8 | mm |
| スラブ筋ピッチ | | 300 | mm |
| 縁側スラブ筋最大本数 | | 5.1 | 本 |
| 考慮するスラブ筋本数 | | 0 | 本 |
| 合成梁の弾性剛性算定に用いる床スラブの有効幅 | B | 1539 | mm |
| | D | 696 | mm |
| I形鋼の高さ | H | 446 | mm |
| I形鋼の幅 | B | 199 | mm |
| I形鋼の厚さ | t1 | 8 | mm |
| I形鋼の厚さ | t2 | 12 | mm |
| 鉄骨梁の全断面積 | sa | 8297 | mm ² |
| | sAw | 3376 | mm ² |
| 鉄骨梁の断面二次モーメント | sl | 2.81E+08 | mm ⁴ |
| | sd | 473 | mm |
| | pt | 0.01140 | - |
| | t1 | 0.42283 | - |
| ヤング係数比 | n | 15 | - |
| 判定 | | 中立軸床スラブ外 | |
| 判定 | : 中立軸床スラブ外するとき | | |
| 中立軸 | xn | 207.42 | mm |
| 有効等価断面二次モーメント | cln | 1.17E+09 | mm ⁴ |
| スラブ上端の断面係数 | cZc | 8.47E+07 | mm ³ |
| 鉄骨梁下端の断面係数 | cZt | 2.40E+06 | mm ³ |
| 発生曲げモーメント | M(中央) | 226.9 | kN・m |
| 発生応力度(スラブ上端) | σ_{bs} | 2.68 | N/mm ² |
| 発生応力度(鉄骨梁下端) | σ_{br} | 94.6 | N/mm ² |
| CON許容応力度 | fc | 14.7 | N/mm ² |
| 鋼材許容応力度 | 1.1F | 258.5 | N/mm ² |
| 検定比(スラブ上端) | σ_{bs}/fc | 0.18 | |
| 検定比(鉄骨梁下端) | $\sigma_{br}/1.1F$ | 0.37 | |

第 4.6 表 大梁（鉄骨）d-10 を合成梁とした許容応力度評価結果

| 項目 | 記号 | 数値 | 単位 |
|------------------------|---------------------|----------|-------------------|
| | | | |
| 左側 | a | 6850.0 | mm |
| 右側 | a | 6700.0 | mm |
| 梁スパン | l | 14000 | mm |
| 左側 | ba | 1414.0 | mm |
| 右側 | ba | 1426.1 | mm |
| スラブ筋ピッチ | | 200 | mm |
| 縁側スラブ筋最大本数 | | 15.7 | 本 |
| 考慮するスラブ筋本数 | | 15 | 本 |
| 合成梁の弾性剛性算定に用いる床スラブの有効幅 | B | 3140 | mm |
| | D | 1150 | mm |
| I形鋼の高さ | H=sD | 900 | mm |
| I形鋼の幅 | B | 300 | mm |
| I形鋼の厚さ | t1 | 16 | mm |
| I形鋼の厚さ | t2 | 28 | mm |
| 鉄骨梁の全断面積 | sa | 30580 | mm ² |
| | sAw | 13504 | mm ² |
| 鉄骨梁の断面二次モーメント | sl | 4.04E+09 | mm ⁴ |
| | dc | 32.5 | mm |
| | rd' | 1117.5 | mm |
| | sxn | 450.0 | mm |
| 鉄筋の断面積 | ra | 1065 | mm ² |
| | sd | 700 | mm |
| | pt | 0.01391 | - |
| | t1 | 0.28571 | - |
| ヤング係数比 | n | 15 | - |
| 中立軸 | xn' | 472 | mm |
| 断面二次モーメント | cln' | 4.50E+09 | mm ⁴ |
| 鉄筋の断面係数 | cZc' | 9.52E+06 | mm ³ |
| 鉄骨梁下端の断面係数 | cZt' | 6.97E+06 | mm ³ |
| 発生曲げモーメント | M(中央) | 965.8 | kNm |
| 発生応力度(スラブ上端鉄筋) | σ_{bs} | 101.4 | N/mm ² |
| 発生応力度(鉄骨梁下端) | σ_{br} | 138.5 | N/mm ² |
| 鉄筋短期許容応力度 | 1.5ft | 324.5 | N/mm ² |
| 鋼材短期許容応力度 | 1.1F | 258.5 | N/mm ² |
| 検定比(スラブ上端) | $\sigma_{bs}/1.5ft$ | 0.31 | |
| 検定比(鉄骨梁下端) | $\sigma_{br}/1.1F$ | 0.54 | |

5. 建物耐震壁の評価

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 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 表に各高さにおける風荷重を示す。

$$W = q \cdot C_f$$

W : 風荷重 (N/m²)

q : 速度圧 (N/m²)

C_f : 風力係数

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E \cdot V_0^2 = 1,842$$

$$E = E_r^2 \cdot G_f \text{ (速度圧の高さ方向の分布を示す係数)} = 2.655$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \text{ (H が } Z_b \text{ を超える場合)} = 1.118$$

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

第 5.1 表 第二使用済燃料貯蔵建物の風荷重計算条件

| 基準風速 V ₀ (m/s) | 高さ H (m) | Z _b (m) | Z _G (m) | α | ガスト 影響係数 G _f | 速度圧 q (N/m ²) |
|------------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|------|-------------------------------|---------------------------------|
| 34 | 21.4 | 5 | 350 | 0.15 | 2.124 | 1,842 |

第 5.2 表 第二使用済燃料貯蔵建物の各高さにおける風荷重

| 高さ | 部位 | 速度圧 q (N/m ²) | 風力係数 C _f | 風荷重 W=q・C _f (N/m ²) |
|--------------|-------|---------------------------------|------------------------|--|
| G. L. +21.4m | パラペット | 1,842 | 0.8-(-0.4) | 2,210.4 |
| | 側壁 | 1,842 | 0.8-(-0.4) | 2,210.4 |
| G. L. +16.6m | パラペット | 1,842 | 0.8-(-0.4) | 2,210.4 |
| | 側壁 | 1,842 | 0.8-(-0.4) | 2,210.4 |
| G. L. +9.6m | パラペット | 1,842 | 0.8-(-0.4) | 2,210.4 |
| | 排気塔 | 1,842 | 0.7 | 1,289.4 |
| | 側壁 | 1,842 | 0.8-(-0.4) | 2,210.4 |
| G. L. +5.1m | 側壁 | 1,842 | 0.8-(-0.4) | 2,210.4 |
| G. L. +0.2m | 側壁 | 1,842 | 0.8-(-0.4) | 2,210.4 |

5.2 評価方法

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。よって、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ことになり、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超えないことが確認できる。

包絡関係が確認できない場合は、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。なお、隣接建物による風の遮断効果は、考慮しないものとする。

風荷重及び受圧面積を第5.3表に示す。第二使用済燃料貯蔵建物の質点系解析モデルを第5.1図に示す。

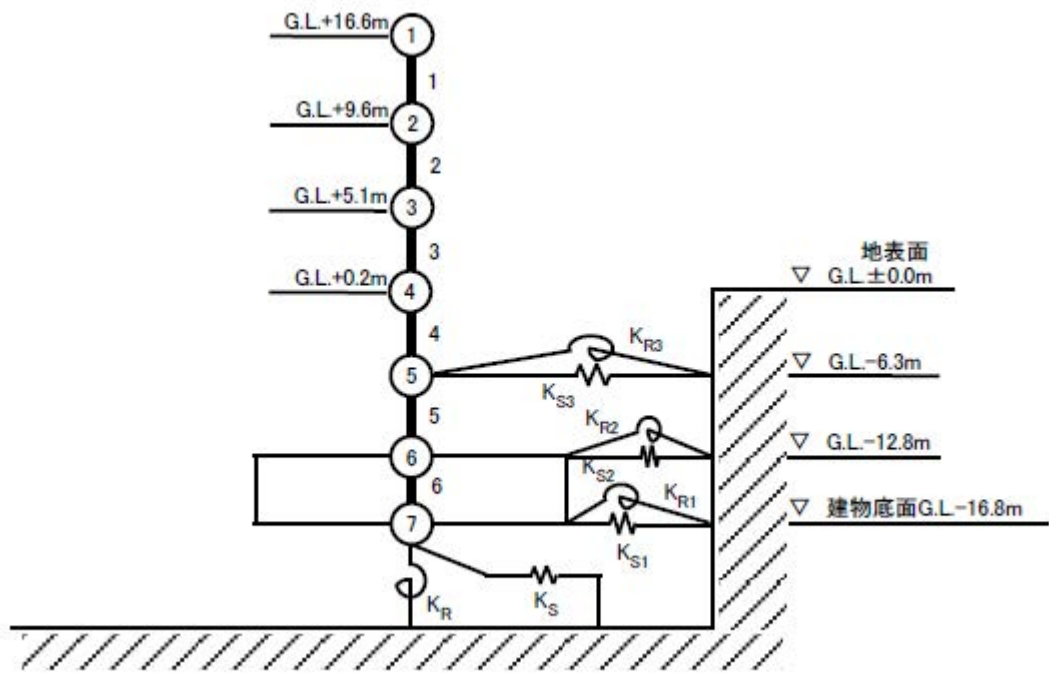
第 5.3 表 第二使用済燃料貯蔵建物の風荷重及び受圧面積

NS 方向

| 高さ | 部位 | 風荷重 $W=q \cdot Cf$ (N/m^2) | 受圧面積 (m^2) | 水平力 (kN) | | 層 せん断力 (kN) |
|---------------|-------|--------------------------------------|-------------------|-----------------|--------|-------------------|
| G. L. +21. 4m | パラペット | 2, 210. 4 | 5. 4 | 12. 0 | 52. 9 | 52. 9 |
| | 側壁 | 2, 210. 4 | 18. 5 | 40. 9 | | |
| G. L. +16. 6m | パラペット | 2, 210. 4 | 24. 5 | 54. 2 | 305. 5 | 358. 4 |
| | 側壁 | 2, 210. 4 | 113. 7 | 251. 3 | | |
| G. L. +9. 6m | パラペット | 1, 473. 6 736. 8 | 0. 0 10. 6 | 0. 0 7. 8 | 379. 9 | 738. 3 |
| | 排気塔 | 1, 289. 4 | 20. 5 | 26. 4 | | |
| | 側壁 | 2, 210. 4 | 156. 4 | 345. 7 | | |
| G. L. +5. 1m | 側壁 | 2, 210. 4 | 127. 8 | 282. 5 | 282. 5 | 1, 020. 8 |
| G. L. +0. 2m | 側壁 | 1, 473. 6 736. 8 | 121. 0 72. 1 | 178. 3 53. 1 | 231. 4 | 1, 252. 2 |

EW 方向

| 高さ | 部位 | 風荷重 $W=1. 6q \cdot Cf$ (N/m^2) | 受圧面積 (m^2) | 水平力 (kN) | | 層 せん断力 (kN) |
|---------------|-------|--|-------------------|---------------|--------|-------------------|
| G. L. +21. 4m | パラペット | 2, 210. 4 | 4. 9 | 10. 8 | 47. 7 | 47. 7 |
| | 側壁 | 2, 210. 4 | 16. 7 | 36. 9 | | |
| G. L. +16. 6m | パラペット | 2, 210. 4 | 24. 6 | 54. 4 | 302. 8 | 350. 5 |
| | 側壁 | 2, 210. 4 | 112. 4 | 248. 4 | | |
| G. L. +9. 6m | パラペット | 1, 473. 6 736. 8 | 9. 5 0. 0 | 14. 0 0. 0 | 388. 1 | 738. 6 |
| | 排気塔 | 1, 289. 4 | 20. 5 | 26. 4 | | |
| | 側壁 | 2, 210. 4 | 157. 3 | 347. 7 | | |
| G. L. +5. 1m | 側壁 | 2, 210. 4 | 128. 5 | 284. 1 | 284. 1 | 1, 022. 7 |
| G. L. +0. 2m | 側壁 | 2, 210. 4 | 121. 7 | 269. 0 | 269. 0 | 1, 291. 7 |



第 5.1 図 第二使用済燃料貯蔵建物の質点系解析モデル

5.3 評価結果

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。

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。ただし、G. L+16.6mm 以上は層とみなしていない。

第 5.4 表 第二使用済燃料貯蔵建物の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. +16.6m | 358.4 | 15,345 | 0.023 |
| G. L. +9.6m | 738.3 | 31,791 | 0.023 |
| G. L. +5.1m | 1,020.8 | 43,689 | 0.023 |
| G. L. +0.2m | 1,252.2 | 70,568 | 0.018 |

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 |
|--------------|--------------------------|-----------------------------|-------|
| G. L. +16.6m | 350.5 | 16,257 | 0.022 |
| G. L. +9.6m | 738.6 | 33,251 | 0.022 |
| G. L. +5.1m | 1,022.7 | 45,239 | 0.023 |
| G. L. +0.2m | 1,291.7 | 68,082 | 0.019 |

非常用ディーゼル電源系に関連する「冷却塔」、「排気筒」及び「吸気系統」に係る降下火砕物影響評価結果

1. 評価方針

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対象とし、降下火砕物により、ディーゼル系冷却塔に汲み上げられた水を、ディーゼル発電機に供給するための配管に閉塞が生じないことを確認する。なお、当該冷却塔は、更新することを予定している。

2. 冷却塔

2.1 降下火砕物の流入防止措置

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、原子炉を停止する。また、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あっては、降下火砕物が、冷却塔の内部に流入することを防止するため、冷却塔の上部に、降下火砕物流入防止板を設置する（非常用ディーゼル電源系の冷却塔における降下火砕物流入防止板等の設置イメージ：第1図参照）。なお、降下火砕物流入防止板は、その上部に堆積した降下火砕物を適宜取り除ける構造とする（一時的な撤去を含む。）。また、冷却塔の吸気口に設置するフィルタは、降下火砕物により閉塞した場合に、降下火砕物を除去、又は閉塞したフィルタを交換できる構造とする。

さらに、冷却塔の内部に降下火砕物が流入した場合を想定し、ディーゼル発電機に水を供給するための配管の途中にストレーナーを設ける。なお、2式のストレーナー及びその配管を並列に設けるものとし、一方が閉塞した場合において、他方を使用し、その間にストレーナーを交換できる構造とする。

2.2 評価結果

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、原子炉を停止するため、当該機能は原子炉停止後に外部電源を喪失した場合に使用される。外部電源喪失時には冷却塔の上部に設置された冷却ファンが作動し、冷却塔内には上面開口部に向けた空気の流れが存在する。当該流況により、一定の粒径を下回る降下火砕物が上面開口部から流入することを抑制できる。また、冷却塔の上部に設置する降下火砕物流入防止板を設置することで、上面開口部からの降下火砕物の流入を防止する。

冷却塔の吸気口にはフィルタを設置しており、降下火砕物の流入を防止できる。当該フィルタが閉塞した場合には、降下火砕物の除去又は閉塞したフィルタの交換により必要な吸気を確保できる。なお、仮に、降下火砕物が冷却塔に流入した場合であっても、ディーゼル発電機に水を供給するための配管の途中にストレーナーを有しており、一定粒径以上の降下火砕物の流入を排除することで配管閉塞を防止できる。ストレーナーを通過した粒子については、配管、機関へ影響を与えることはない（別添1参照）。

ディーゼル系冷却塔に汲み上げられた水を、ディーゼル発電機に供給するための配管は、想定される降下火砕物が発生した場合において閉塞することはなく、降下火砕物防護施設の安全機能が損なわれることはない。

3. 排気筒

3.1 降下火砕物の流入防止措置

既設の非常用 DG 電源系に係る排気筒は、地下 2F より地上に上向きに設置されているため、多量の

降下火砕物が混入することにより閉塞するリスクを有することから、地上部の排気筒端部を恒常的にベンドする措置を施し、降下火砕物の流入を防止した設計（非常用 DG 電源系に係る排気筒へのベンド追設案：第 2 図参照）とする。

3.2 評価結果

排気筒端部にベントを設置することにより、排気筒内部への降下火砕物の流入リスクは排除されるため、降下火砕物防護施設の安全機能が損なわれることはない。

4. 吸気系統

4.1 降下火砕物の流入防止措置

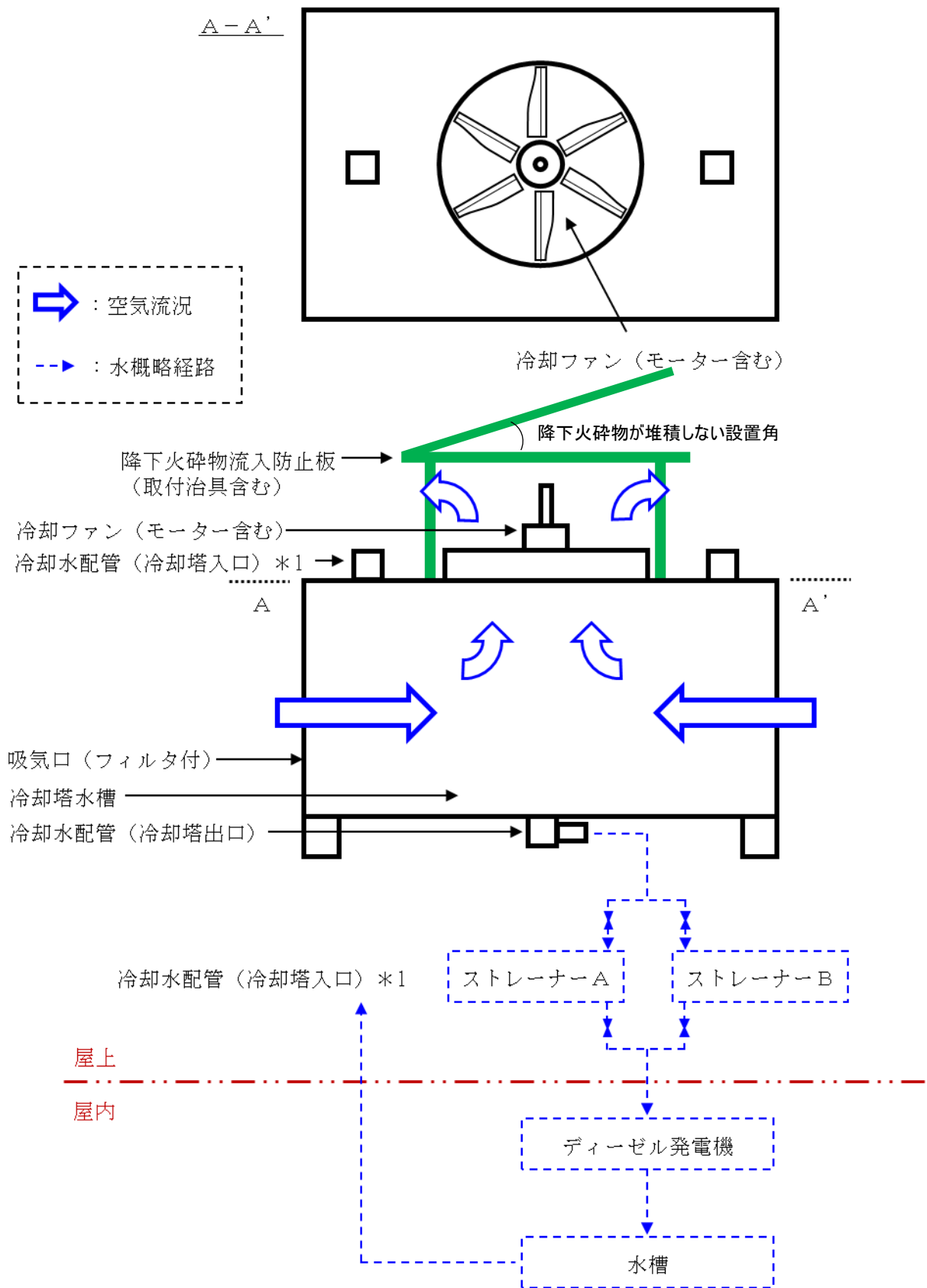
非常用 DG へ供給される外気は、主冷却機建物ガラリ、吸気口フィルタを通じて主冷却機建物の室内に導入され、さらにディーゼル発電機室送風機を通じてディーゼルエンジンに導入される（主冷却機建物空気換気設備の構成：第 3 図参照）。ディーゼル発電機室以外の送風機を停止させることで、ガラリの空気流入速度を低下させ、降下火砕物を換気空調系へ流入させない。

また、フィルタに閉塞及び目詰まりが発生した場合には、交換及び清掃により対応する。

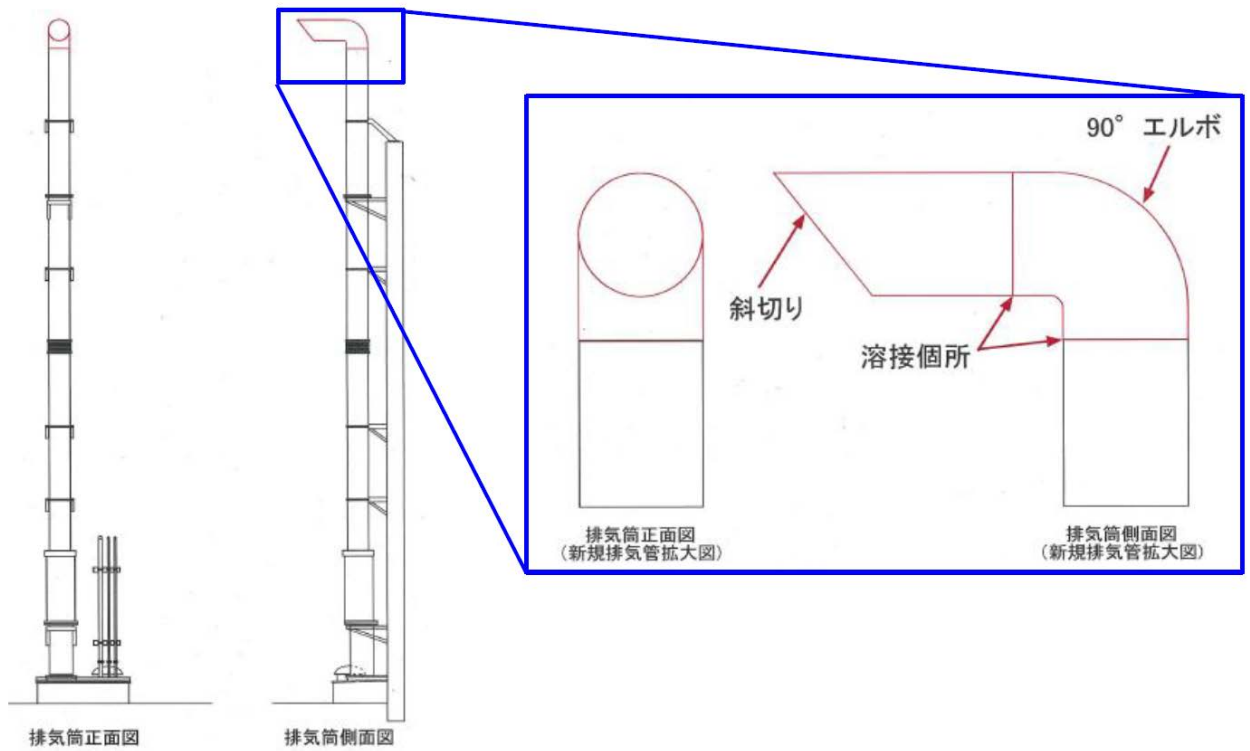
4.2 評価結果

降灰予報等により、降下火砕物が原子炉施設に到達するおそれがある場合にはディーゼル発電機室以外の送風機を停止させることでガラリの空気流入速度を低下させることで、主冷却機建物内への降下火砕物の流入を防ぐとともに、吸気口フィルタにより降下火砕物の換気空調系への流入を防ぐため、降下火砕物が換気空調系内部へ流入することにより機器の機能が損なわれることはない。

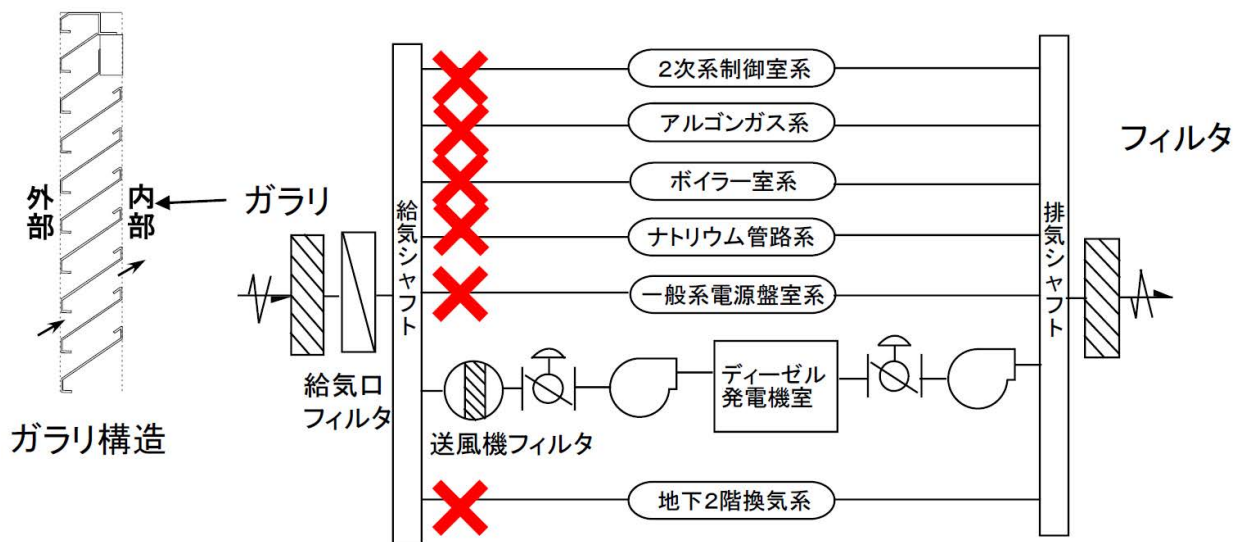
また、フィルタに閉塞及び目詰まりが生じた場合には、交換及び清掃により対応することから、降下火砕物防護施設の安全機能が損なわれることはない。



第1図 非常用ディーゼル電源系の冷却塔における降下火碎物流入防止板等の設置イメージ



第2図 非常用DG電源系に係る排気筒へのバンド追設案



第3図 主冷却機建物空気換気設備の構成

| |
|-------------------------------------|
| ディーゼル発電機冷却水配管のストレーナーを通過する降下火砕物の影響評価 |
|-------------------------------------|

ディーゼル発電機の冷却水に侵入した降下火砕物は冷却水配管中のストレーナーに捕獲される。ストレーナーを通過する粒子径の小さな降下火砕物の機器への影響を評価する。

(1) 評価内容

① 機械的影響（摩耗）

ストレーナーを通過した降下火砕物の粒子が、ポンプ等の摺動部に侵入する可能性を考慮し、侵入した場合の機械的影響（摩耗）について評価する。

② 閉塞

ストレーナーを通過した降下火砕物の粒子が冷却水配管の流路を閉塞しないことを評価する。

③ 化学的影響（腐食）

ストレーナーを通過した降下火砕物の粒子が冷却水の循環系に侵入し、構造物内部の腐食により機器の機能に影響がないことを評価する。

(2) 評価結果

① 機械的影響（摩耗）

ストレーナーを通過した降下火砕物の粒子がポンプ等の摺動部に侵入した場合であっても、降下火砕物は硬度が低く脆いため、摺動部に侵入した降下火砕物により直ちに摩耗が発生し、摺動部を損傷させることはない。

② 閉塞

ストレーナーを通過した降下火砕物の粒子が冷却水の循環系に侵入した場合であっても、配管の流路に対して粒子径が十分に小さいため、直ちに流路の閉塞を発生させることはなく、機能に影響を及ぼすことはない。

③ 化学的影響（腐食）

ストレーナーを通過した降下火砕物の粒子が冷却水の循環系に侵入した場合であっても、構造材として耐食性のある材料を用いていること、並びに連続通水状態であり、著しい腐食環境とはならないことから、腐食により機器に影響を及ぼすことはない。

(4) まとめ

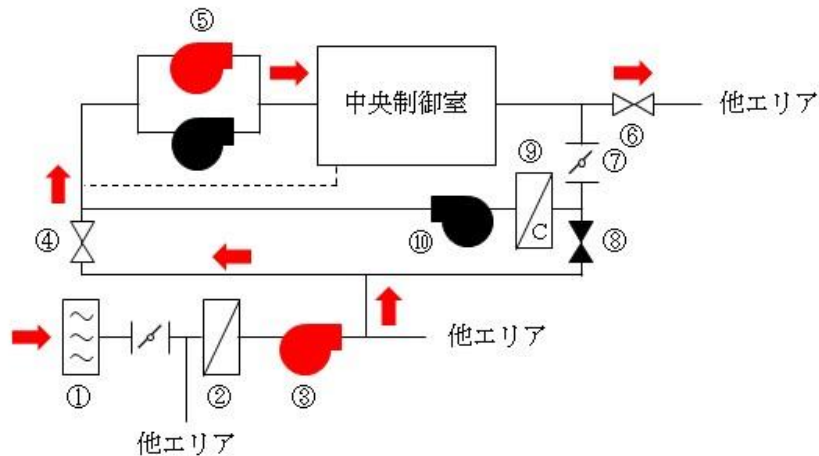
ディーゼル発電機冷却水配管のストレーナーを通過する降下火砕物の影響は、摩耗、閉塞、腐食が想定されるが、各影響因子を考慮して影響評価を実施した結果、直ちに機器の健全性に影響を与えることはない。

また、長期的には、機器の保守点検において、系統内の洗浄や部品交換によって系統内に侵入した降下火砕物を除去するため、粒子径の小さな降下火砕物の蓄積による機器の損傷を防止することができる。

降下火砕物に対する中央制御室の居住性確保

中央制御室空調換気設備の構成を第1図に示す。通常運転時において、外気は、ルーバー、フィルタ、外気取入れファン及び空調器を経由し、中央制御室に導入される。フィルタにより、降下火砕物の流入を抑止することで、中央制御室の居住性を確保する。フィルタに閉塞及び目詰まりが生じた場合には、交換・清掃により対応する。

また、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。



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) を経由し、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、DP92-3 (⑦) 及びV92-2 (⑧) は「閉」、再循環ファン (⑩) は「停止」で運用される。

第1図 中央制御室空調換気設備の構成

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フロー

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、原子炉を停止する。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フローを以下に示す。

① 火山の噴火・降灰の確認

大洗研究所において、公共放送や気象庁ホームページにより、火山情報（火山の噴火及び降灰予報^{※1}）を入手する。

※1： 「降灰予報」とは、火山の噴火後に、どこに、どれだけの量（「少量」、「やや多量」、「多量」の3段階に区分）の火山灰が降るかについて、気象庁がホームページなどで示す詳細な情報

② 火山降灰警戒の発令

火山の噴火が発生した場合には、降灰予報の状況等から、降灰の到達範囲内（「少量」、「やや多量」、「多量」のいずれの場合においても）に大洗研究所の敷地が含まれるかどうかを確認する。降灰による警戒が必要と判断した場合には、大洗研究所所長は「火山降灰警戒」を発令し、大洗研究所内に周知する。また、大洗研究所の現地対策本部を設置し、降灰予報に係る情報収集及び各施設対応状況の確認を行う。

③ 火山降灰警戒発令時の対応

火山降灰警戒が発令された場合、原子炉運転中にある場合は、原子炉を停止する。また、降下火砕物を除去するために必要な措置（除去等）を講じるため、必要な要員を収集し、対応体制を構築するとともに、巡視等により、降灰の状況を監視する。さらに、降下火砕物を除去するために必要な資機材（保護具を含む。）を準備する。なお、サイトでの設計上考慮する最大層厚の想定因子となる降下火砕物の給源火山（赤城山）から敷地までの距離は126kmであり、風速約40m/s（堆積厚さが最大となるシミュレーション解析の最大風速）の条件で、約50分で火山灰が敷地まで移動すると想定される。

④ 敷地に降下火砕物の降灰が確認された場合の対応

大洗研究所の敷地に降下火砕物の降灰が確認された場合は、降下火砕物を除去するため、以下の措置を講じる。

- ・ 降下火砕物の流入防止措置（降下火砕物流入防止板の設置）
- ・ 中央制御室換気設備の閉回路運転

※必要に応じ、外気の取り入れを停止し再循環運転を行うことで中央制御室内の居住性を確保する。

- ・ 不要な換気空調設備の停止
- ・ フィルタの閉塞及び目詰まりの監視

※ 閉塞等した場合には、系統切替やフィルタ交換を実施。

- ・ 降下火砕物の除去（別添1参照）

※ 降下火砕物の降灰が継続し原子炉施設に重大な損傷を及ぼすおそれがあると判断した場合。

⑤ 降下火砕物の降灰により商用電源等が喪失した場合の対応

降下火砕物発生時において原子炉施設外で想定される外部電源喪失等に対しては、原子炉保護系の作動等により、原子炉を自動停止する。外部電源喪失時は非常用ディーゼル電源系、交

流無停電電源系及び直流無停電電源系により非常用電源が確保される。原子炉建物・原子炉附属建物及び主冷却機建物は、開口部にガラリ又はフィルタを有し、降下火砕物の流入を抑止できる。また、ディーゼル発電機は、吸気口を主冷却機建物内に配置している。

以上の対応を示したタイムチャートを別添 2 に示す。

建屋の屋根除灰作業（案）

1. 除灰に必要な物

- ・防塵マスク
- ・防護めがね（コンタクトレンズを使わず眼鏡を着用する）
- ・墜落制止用器具
- ・命綱
- ・ヘルメット
- ・滑りにくい靴
- ・清掃用具（ほうき、スコップ等）
- ・土のう袋

2. 手順

設計上考慮されている降下火砕物の層厚は 50cm を超過しないよう、大洗研究所所長の「火砕降灰警戒」発令に基づき設置される現地対策本部指示に基づき、速やかに除灰作業を行う。

2.1 作業前準備

- ・防護具を着用する。
- ・除灰対象建屋の周辺を立入禁止にする。
- ・命綱を取り付ける。

2.2 除灰作業

- ・火山灰をほうきで掃くか、スコップ等ですくい地上に落とす。
- ・落とした火山灰を土のう袋に詰め回収する。
- ・除灰作業は雨が降る前に実施し散水は極力避ける（火山灰が水分を吸い屋根が潰れる危険がある）。

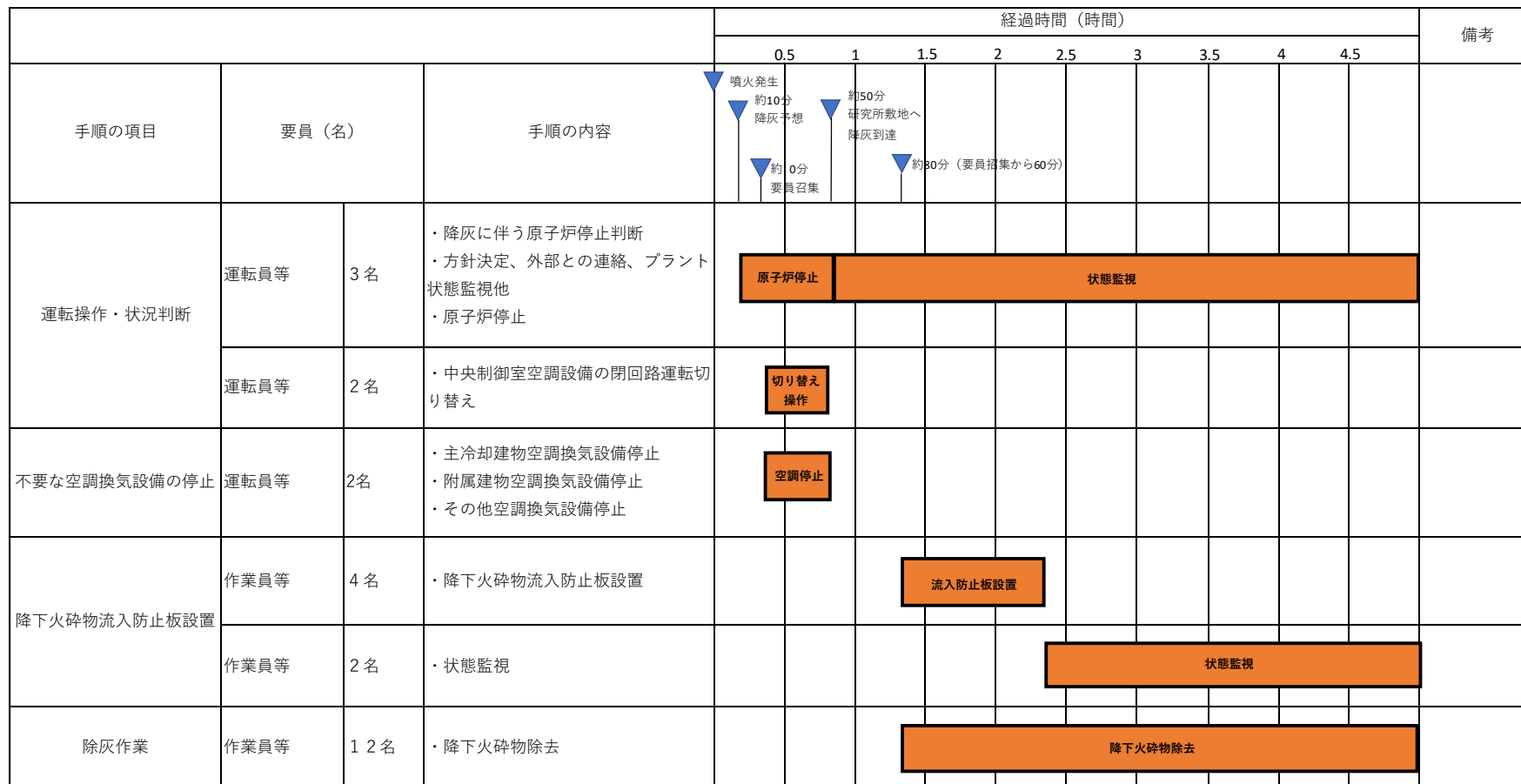
2.3 後片付け

- ・命綱を取り外す。
- ・除灰対象建屋周辺の立入禁止を解除する。

タイムチャート (案)

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、原子炉停止、降下火砕物除去等の処置を行う。対策の手順と人員に関するタイムチャートを第 1 図に示す。

第1図 降灰事象に対する手順のタイムチャート



6条(3)-別紙11-別添2-2

添付 1 設置許可申請書における記載

5. 試験研究用等原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備

ロ. 試験研究用等原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(a-9) 火山の影響

安全施設は、原子炉施設の運用期間中において原子炉施設の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象として設定した層厚 50cm、湿潤密度を $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ の降下火砕物に対し対策を行い、建屋による防護、構造健全性の維持、代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

添付2 設置許可申請書の添付書類における記載（安全設計）

添付書類八

1. 安全設計の考え方

1.7 外部からの衝撃による損傷の防止に係る設計

1.7.4 火山事象防護

1.7.4.1 火山事象防護に関する基本方針

安全施設が火山事象に対して原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能を損なわない設計とする。このため、「添付書類6 8. 火山」で評価し抽出された原子炉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、対策を行い、建屋による防護、構造健全性の維持、代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

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、外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設に該当する構築物、系統及び機器を影響評価の対象とする。

1.7.4.2 評価方針

後述する評価対象施設について、評価を行う。当該影響評価にあつては、当該安全施設の外殻施設を評価対象とする場合がある。想定される降下火砕物に対する影響を評価し、構造、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設計とする。重要安全施設以外の安全施設は、降下火砕物により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等を含め安全機能を損なわないものとする。

1.7.4.3 評価対象施設の抽出

降下火砕物の影響評価を行う降下火砕物影響評価対象施設を以下の各区分から抽出する。

(1) 重要安全施設を内包し保護する外殻施設

原子炉建物（格納容器を含む。）、原子炉附属建物及び主冷却機建物

(2) 外殻で保護されない重要安全施設

主冷却機のうち屋外部分（屋外ダクト）、非常用ディーゼル電源系に関連する「冷却塔」、「排気筒」及び「吸気系統」（主冷却機建物空調換気設備）

(3) 安全施設を内包し保護する外殻施設

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

(4) 外殻で保護されない安全施設

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

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

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

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

（5）降下火砕物を含む空気の流路となる施設

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」及び「排気筒」、主排気筒、中央制御室に係る換気空調設備、換気空調設備（外気取入口）

（6）外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

非常用ディーゼル電源系に関連する「吸気系統」（主冷却機建物空調換気設備）、原子炉保護系及び関連する計装設備、非常用ディーゼル電源系及び無停電電源系に関連する盤

1.7.4.4 降下火砕物による影響の選定

降下火砕物の特徴及び評価対象施設等の構造や設置状況等を考慮して、降下火砕物が直接及ぼす影響（以下「直接的影響」という。）とそれ以外の影響（以下「間接的影響」という。）を選定する。

1.7.4.4.1 降下火砕物の特徴

各種文献の調査結果より、降下火砕物は以下の特徴を有する。

(a) 火山ガラス片、鉍物結晶片から成る^[1]。ただし、火山ガラス片は砂よりもろく硬度は低く^[2]、主要な鉍物結晶片の硬度は砂同等又はそれ以下である^{[3] [4]}。

(b) 硫酸等を含む腐食性のガス（以下「腐食性ガス」という。）が付着している^[1]。ただし、金属腐食研究の結果より、直ちに金属腐食を生じさせることはない^[5]。

(c) 水に濡れると導電性を生じる^[1]。

(d) 湿った降下火砕物は乾燥すると固結する^[1]。

(e) 降下火砕物粒子の融点は約 1,000℃であり、一般的な砂に比べ低い^[1]。

1.7.4.4.2 直接的影響

降下火砕物の特徴から直接的影響の要因となる荷重、閉塞、摩耗、腐食、大気汚染、水質汚染及び絶縁低下を抽出し、評価対象施設等の構造や設置状況等を考慮して直接的な影響因子を以下のとおり選定する。

（1）荷重

「荷重」について考慮すべき影響因子は、建屋及び屋外設備の上に堆積し静的な負荷を与える「構造物への静的負荷」である。

（2）閉塞

「閉塞」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物を含む水が流路の狭隘部等を閉塞させる「水循環系の閉塞」及び降下火砕物を含む空気が機器の狭隘部や換気系の

流路を閉塞させる「換気系、電気系及び計測制御系の機械的影響（閉塞）」である。

（3）摩耗

「摩耗」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物を含む水が流路に接触することにより配管等を摩耗させる「水循環系の内部における摩耗」及び降下火砕物を含む空気が動的機器の摺動部に侵入し摩耗させる「換気系、電気系及び計測制御系の機械的影響（摩耗）」である。

（4）腐食

「腐食」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物に付着した腐食性ガスにより建屋及び屋外施設の外面を腐食させる「構造物への化学的影響（腐食）」、換気系、電気系及び計測制御系において降下火砕物を含む空気の流路を腐食させる「換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）」及び冷却水に溶出した腐食性成分により配管等を腐食させる「水循環系の化学的影響（腐食）」である。

（5）大気汚染

「大気汚染」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物により汚染された原子炉施設周辺の大気が運転員の常駐する中央制御室内に侵入することによる居住性の劣化及び降下火砕物の除去、屋外設備の点検等、屋外における作業環境を劣化させる「原子炉施設周辺の大気汚染」である。

（6）水質汚染

「水質汚染」については、給水等に使用する工業用水に降下火砕物が混入することによる汚染が考えられるが、原子炉施設では給水処理設備により水処理した給水を使用しており、降下火砕物の影響を受けた工業用水を直接給水として使用しないこと、また水質管理を行っていることから、安全施設の安全機能には影響しない。

（7）絶縁低下

「絶縁低下」について考慮すべき影響因子は、湿った降下火砕物が、電気系及び計測制御系絶縁部に導電性を生じさせることによる「盤の絶縁低下」である。

1.7.4.4.3 間接的影響

（1）外部電源喪失及びアクセス制限

降下火砕物によって原子炉施設に間接的な影響を及ぼす因子は、湿った降下火砕物が送電線の碍子、開閉所等の充電露出部等に付着し絶縁低下を生じさせることによる広範囲にわたる送電網の損傷に伴う「外部電源喪失」及び降下火砕物が道路に堆積することによる交通の途絶に伴う「アクセス制限」である。

1.7.4.5 設計降下火砕物荷重の算定法

「添付書類6 8. 火山」に示したように、敷地における降下火砕物の想定される最大層厚は50cmであり、これを設計上考慮する降下火砕物の層厚とする。原子炉施設の耐降下火砕物設計に用いる設計降下火砕物荷重は、設計上考慮する降下火砕物の層厚を50cmに、湿潤密度を $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ を乗じて算定することを基本とする。ただし、降下火砕物の層厚については、原子炉施設において、必要に応じて、降下火砕物が降下火砕物防護施設又は外殻施設

への積灰を抑制するための措置を講じることを考慮して設定する**場合がある**。

1.7.4.6 荷重の組合せと許容限界

1.7.4.6.1 荷重の組合せにおいて考慮する原子炉施設の状態

(1) 建物・構築物

(i) 運転時の状態

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

(ii) 設計基準事故時の状態

原子炉施設が設計基準事故時にある状態

(2) 機器・配管系

(i) 通常運転時の状態

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

(ii) 運転時の異常な過渡変化時の状態

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

(iii) 設計基準事故時の状態

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

1.7.4.6.2 荷重の種類

(1) 建物・構築物

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

(ii) 運転時の状態で作用する荷重

(iii) 設計基準事故時の状態で作用する荷重

(iv) 設計降下火砕物荷重、風荷重、積雪荷重

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

(2) 機器・配管系

(i) 通常運転時の状態で作用する荷重

(ii) 運転時の異常な過渡変化時の状態で作用する荷重

(iii) 設計基準事故時の状態で作用する荷重

(iv) 設計降下火砕物荷重

1.7.4.6.3 荷重の組合せ

設計降下火砕物荷重と他の荷重との組合せは以下のとおりとする。

(1) 建物・構築物

(i) 常時作用している荷重及び運転時の状態で作用する荷重と設計降下火砕物荷重、**風荷重**及び積雪荷重を組み合わせる。

(2) 機器・配管系

(i) 通常運転時の状態で作用する荷重、又は運転時の異常な過渡変化時の状態若しくは設計基準事故時の状態で作用する荷重のうち、長時間その作用が続く荷重と設計降下火砕物荷重を組み合わせる。

(3) 荷重の組合せ上の留意事項

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

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

1.7.4.6.4 許容限界

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

(1) 建物・構築物

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

(2) 機器・配管系

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

1.7.4.7 設計における留意事項

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、原子炉を停止する。また、降下火砕物を除去するために**必要な措置**を講じる。

1.7.4.7.1 荷重以外の直接的影響

(1) 構造物への化学的影響（腐食）

金属腐食研究の結果より、降下火砕物に含まれる腐食性ガスによって直ちに金属腐食を生じないが、外装の塗装等によって短期での腐食により、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

(2) 水循環系の閉塞、内部における摩耗及び化学的影響（腐食）

降下火砕物を考慮すべき水循環系としては、非常用ディーゼル電源系の冷却塔の冷却水がある。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の確認された場合には、降下火砕物が冷却塔の内部に流入することを防止するため、冷却塔の上部に、降下火砕物流入防止板を設置する。

また、冷却塔の吸気口に設置するフィルタは、降下火砕物により閉塞した場合に、降下火砕物を除去、又は閉塞したフィルタを交換できる構造とする。

さらに、冷却塔の内部に降下火砕物が流入した場合を想定し、ディーゼル発電機に水を供給するための配管の途中にストレーナーを設ける。なお、2式のストレーナー及びその配管を並列に設けるものとし、一方が閉塞した場合において、他方を使用し、その間にストレーナーを交換できる構造とする。

ストレーナーを通過した粒子による内部における摩耗については、主要な降下火砕物は砂と同等又は砂より硬度が低くもろいことから、摩耗による影響は小さい。また当該施設については、定期的な内部点検及び日常保守管理により、状況に応じて補修が可能であり、摩耗により外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

ストレーナーを通過した粒子による化学的影響（腐食）については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないが、耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって、腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお、長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

(3) 電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）

降下火砕物を考慮すべき原子炉保護系及び関連する計装設備、非常用ディーゼル電源系及び無停電電源系に関連する盤はすべて建屋内に設置する。

建屋の換気空調系の吸気口はガラリ構造として降下火砕物を吸い込みづらい構造にし、さらにフィルタを設置することで、降下火砕物の侵入に対する高い防護性能を有する設計とする。なお、建屋の空気換気設備の一部を停止し、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措置をとる場合もある。

ガラリ及びフィルタを通過した粒子による化学的影響（腐食）については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないが、耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって、腐食により安全機能を損なうことのない設計とする。なお、長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

(4) 絶縁低下及び化学的影響（腐食）

降下火砕物による絶縁低下及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は、外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設である原子炉保護系及び関連する計装設備、非常用ディーゼル電源系及び無停電電源系に関連する盤である。

建屋の換気空調系の吸気口はガラリ構造として降下火砕物を吸い込みづらい構造に

し、さらにフィルタを設置することで、降下火砕物の侵入に対する高い防護性能を有する設計とする。

また、原子炉保護系及び関連する計装設備が設置されている中央制御室空調換気設備は、フィルタの設置により降下火砕物の侵入に対する高い防護性能を有すること、また閉回路を構築した再循環運転による侵入防止が可能な設計とすることにより、降下火砕物の付着に伴う絶縁低下及び化学的影響（腐食）による影響を防止し、安全機能を損なわない設計とする。

(5) 外気取入口等からの降下火砕物の侵入（大気汚染）に対する設計

外気取入口からの降下火砕物の侵入に対して、以下のとおり安全機能を損なわない設計とする。

- ・建屋の換気空調系の吸気口はガラリ構造として降下火砕物を吸い込みづらい構造にし、さらにフィルタを設置することで、降下火砕物の侵入に対する高い防護性能を有する設計とする。さらに降下火砕物がフィルタに付着した場合でも取替又は清掃が可能な構造とすることで、降下火砕物により閉塞しない設計とする。
- ・中央制御室空調換気設備は、フィルタの設置により降下火砕物の侵入に対する高い防護性能を有すること、また閉回路を構築した再循環運転による侵入防止が可能な設計とする
- ・非常用ディーゼル電源系に関連する「排気筒」は、降下火砕物が混入することにより閉塞するリスクを有することから、地上部の排気筒端部を恒常的にバンドする措置を施し、降下火砕物の流入を防止した設計とする。
- ・主排気筒は、降下火砕物が侵入した場合でも、主排気筒の構造から排気流路が閉塞しない設計とする。
- ・主冷却機のうち屋外部分（以下、「屋外ダクト」という。）は、降下火砕物が侵入した場合でも、屋外ダクトの構造から空気流路が閉塞しない設計とする。

1.7.4.7.2 間接的影響

降下火砕物発生時において原子炉施設外で想定される外部電源喪失等に対しては、原子炉保護系の作動等により、原子炉を自動停止するものとする。また、広範囲にわたる送電網の損傷による7日間の外部電源喪失及び敷地外での交通の途絶によるアクセス制限事象が生じた場合については、降下火砕物に対して非常用ディーゼル発電機の安全機能を維持することで、必要となる電源の供給が非常用ディーゼル発電機により継続できる設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

1.7.4.8 手順等

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

- ・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の以下の措置に関すること。

(1) 原子炉を停止する判断基準を定める。

- (2) 降灰が確認された場合には、建屋や屋外の設備に長期間降下火砕物による荷重を掛け続けられないこと、また降下火砕物の付着による閉塞・腐食等が生じる状況を緩和するために、評価対象施設等に堆積した降下火砕物の除去を適切に実施する手順を定める。
- (3) 降灰が確認された場合には、状況に応じて換気空調設備の停止又は閉回路循環運転により、建屋内への降下火砕物の侵入を防止する手順を定める。
- (4) 降灰が確認された場合には、非常用ディーゼル電源系の冷却塔への降下火砕物の流入を防止するため、冷却塔の上部に、降下火砕物流入防止板を設置する手順を定める。また、冷却塔の内部に降下火砕物が流入した場合を想定し、配管に設置した2式並列のストレーナの切替、交換・清掃する手順を定める。

[1] 広域的な火山防災対策に係る検討会（第3回）資料2 内閣府

[2] 「シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状」武若耕司, コンクリート工学, Vol. 42, 2004

[3] 「新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺] 第2刷」町田洋ほか, 東京大学出版会, 2011

[4] 「理科年表 (2017)」国立天文台編

[5] 「火山環境における金属材料の腐食」出雲茂人, 末吉秀一他, 防食技術 Vol. 39, 1990

申請書においては、参考文献については「1.9 参考文献」に追加する。

添付3 設置許可申請書の添付書類における記載（適合性）

添付書類八

1. 安全設計の考え方

1.8 「設置許可基準規則」への適合

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

(外部からの衝撃による損傷の防止)

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

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

適合のための設計方針

1 について

(9) 火山の影響

敷地における降下火砕物の想定される最大層厚は50cmであり、これを設計上考慮する降下火砕物の層厚とする。原子力施設の耐降下火砕物設計に用いる設計降下火砕物荷重は、設計上考慮する降下火砕物の層厚50cmに、湿潤密度を 1.5g/cm^3 を乗じて算定することを基本とする。ただし、降下火砕物の層厚については、原子炉施設において、必要に応じて、降下火砕物が降下火砕物防護施設又は外殻施設への積灰を抑制するための措置を講じることを考慮して設定する場合がある。

a. 直接的影響に対する設計

降下火砕物防護施設は、直接的影響に対して、以下により安全機能を損なわない設計とする。また、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、原子炉を停止するとともに、降下火砕物を除去するために必要な措置（除去等）を講じる。

設計降下火砕物荷重に対して、建物・構築物が構造物全体として、十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、終局耐力に対して妥当な安全余裕を持っていることを確認する。また、機器・配管系について、構造物の相当部分が降伏し塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生じ、その施設の機能に影響を及ぼすことがない程度に応力を制限する。

構造物の化学的影響（腐食）、水循環系の化学的影響（腐食）並びに換気系、電気系及び計測制御系の化学的影響（腐食）に対して短期での腐食が発生しない設計とする。

水循環系の閉塞に対して降下火砕物流入防止板を設置するとともに、狹隘部等が閉塞しない設計とする。

水循環系の内部における摩耗並びに換気系、電気系及び計測制御系の機械的影響（摩耗）に対して摩耗しにくい設計とする。

電気系及び計測制御系の盤の絶縁低下に対して空気を取り込む機構を有する原子炉保護系及び関連する計装設備、非常用ディーゼル電源系及び無停電電源系に関連する盤の設置場所の換気空調設備は降下火砕物が侵入しにくい設計とする。

原子炉施設周辺の大気汚染に対して中央制御室換気系は降下火砕物が侵入しにくく、さらに外気を遮断できる設計とする。

降下火砕物による静的負荷や腐食等の影響に対して降下火砕物の除去や換気空調設備

外気取入口のフィルタの取替え若しくは清掃又は換気空調設備の停止若しくは閉回路循環運転の実施により安全機能を損なわない設計とする。

安全施設のうち、一般電源系（受電エリア）及び屋外管理用モニタリングポストについては、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。

b. 間接的影響に対する設計

降下火砕物発生時において原子炉施設外で想定される外部電源喪失等に対しては、原子炉保護系の作動等により、原子炉を自動停止するものとする。また、広範囲にわたる送電網の損傷による 7 日間の外部電源喪失及び敷地外での交通の途絶によるアクセス制限事象が生じた場合については、降下火砕物に対して非常用ディーゼル発電機の安全機能を維持することで、必要となる電源の供給が非常用ディーゼル発電機により継続できる設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

添付書類六の以下の項目参照

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

添付書類八の以下の項目参照

1. 安全設計の考え方

添付書類六 8. 火山

8. 火山

8.1 検討の基本方針

自然現象に対する設計上の考慮として、想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないことを確認するため、試験研究炉の運用期間における火山影響評価を実施する。

初めに立地評価として施設に影響を及ぼし得る火山の抽出を行い、抽出された火山を対象に設計対応不可能な火山事象が試験研究炉の運用期間中に影響を及ぼす可能性について評価を行う。次に影響評価として、試験研究炉の安全性に影響を与える可能性のある火山事象について評価を行う。

8.2 施設に影響を及ぼし得る火山の抽出

8.2.1 地理的領域内の第四紀火山

敷地の地理的領域 (半径 160km の範囲) に対して、「日本の火山 (第 3 版)」 (中野他 (2013) ⁽¹⁾)、「第四紀火山岩体・貫入岩体データベース Ver. 1.00」西来他 (2016) ⁽²⁾、「海域火山データベース」 (海上保安庁海洋情報部 (2013) ⁽³⁾)、「日本活火山総覧 (第 4 版)」 (気象庁編 (2013) ⁽⁴⁾) 及び「日本の第四紀火山カタログ」 (第四紀火山カタログ委員会編 (1999) ⁽⁵⁾) を参照して 31 の第四紀火山 (第 8.2.1 図) を抽出した。

8.2.2 完新世に活動を行った火山

第四紀火山のうち完新世に活動を行った火山は、高原山、那須岳、男体・女峰火山群、日光白根火山群、赤城山、燧ヶ岳、安達太良山、磐梯山、榛名山及び沼沢であり、これらの 10 火山を完新世に活動を行った火山として抽出した。各火山の形式、活動年代及び最後の活動からの経過期間等を第 8.2.1 表に示す。

8.2.2.1 高原山

高原山は、栃木県日光市北部に位置する第四紀火山であり、成層火山と溶岩ドームで構成される。敷地からの距離は約 98km である。活動年代は、約 30 万年前～約 6500 年前とされている (西来他 (2016) ⁽²⁾)。高原山の活動履歴については鈴木 (1993) ⁽⁶⁾、井上他 (1994) ⁽⁷⁾、奥野他 (1997) ⁽⁸⁾、山元 (2012) ⁽⁹⁾、弦巻 (2012) ⁽¹⁰⁾、山元 (2013a) ⁽¹¹⁾ 及び中野他 (2013) ⁽¹⁾ を参照した。

高原山は、井上他 (1994) ⁽⁷⁾ 等によれば第 3 期から第 7 期に区分され、奥野他 (1997) ⁽⁸⁾ 等によれば約 6500 年前には (マグマ) 水蒸気噴火が発生したとされる。

完新世に活動を行った火山であり、施設に影響を及ぼし得る火山として抽出し

た。

8.2.2.2 那須岳

那須岳は、栃木県・福島県境付近に位置する第四紀火山であり、成層火山で構成される。敷地からの距離は約 108km である。活動年代は、約 50 万年前以降で、最新噴火は 1963 年とされている（西来他（2016）⁽²⁾）。那須岳の活動履歴の評価に当たっては鈴木（1992）⁽¹²⁾、伴・高岡（1995）⁽¹³⁾、山元（1997）⁽¹⁴⁾、山元（2012）⁽⁹⁾、中野他（2013）⁽¹⁾、気象庁編（2013）⁽⁴⁾及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編（2014）⁽¹⁵⁾を参照した。

那須岳は、南月山、茶臼岳、朝日岳、三本槍岳、甲子旭岳、二岐山の成層火山の集合体である（伴・高岡（1995）⁽¹³⁾）。最新活動期の茶臼岳は、山元（2012）⁽⁹⁾、山元（1997）⁽¹⁴⁾等によれば約 1.9 万年前以降に活動し、1963 年には水蒸気噴火が発生したとされる。

完新世に活動を行った火山であり、施設に影響を及ぼし得る火山として抽出した。

8.2.2.3 男体・女峰火山群

男体・女峰火山群は、栃木県日光市に位置する第四紀火山であり、成層火山と溶岩ドームで構成される。敷地からの距離は約 110km である。活動年代は、約 90 万年前以降で、最新の噴火は約 7000 年前（男体山）とされている（西来他（2016）⁽²⁾）。男体・女峰火山群の活動履歴の評価に当たっては村本（1992）⁽¹⁶⁾、鈴木他（1994）⁽¹⁷⁾、佐々木（1994）⁽¹⁸⁾、第四紀火山カタログ委員会編（1999）⁽⁵⁾、山元（2013a）⁽¹¹⁾、中野他（2013）⁽¹⁾及び石崎他（2014）⁽¹⁹⁾を参照した。

男体・女峰火山群は、女峰赤薙火山、日光溶岩ドーム群、男体火山、三ツ岳火山により構成され、最新活動期である男体火山は 2.4 万年前から活動し（山元（2013a）⁽¹¹⁾）、7 千年前にはマグマ水蒸気噴火が発生したとされる。

完新世に活動を行った火山であり、施設に影響を及ぼし得る火山として抽出した。

8.2.2.4 日光白根火山群

日光白根火山群は、栃木県・群馬県境に位置する第四紀火山であり、溶岩流、小型楕状火山及び溶岩ドームで構成される。敷地からの距離は約 120km である。活動年代は約 2 万年前以降で、最新噴火は 1890 年とされている（西来他（2016）⁽²⁾）。日光白根火山群の活動履歴の評価に当たっては奥野他（1993）⁽²⁰⁾、佐々木他（1993）⁽²¹⁾、鈴木他（1994）⁽¹⁷⁾、高橋他（1995）⁽²²⁾、第四紀火山カタログ委員会編（1999）⁽⁵⁾、中野他（2013）⁽¹⁾、気象庁編（2013）⁽⁴⁾及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編（2014）⁽¹⁵⁾を参照した。

日光白根火山群の活動は新期と古期に区分され、約 2 万年前以降～1890 年に

活動したとされる（奥野他（1993）⁽²⁰⁾等）。また、確認されている有史時代以降の活動は、全て水蒸気噴火であるとされる（佐々木他（1993）⁽²¹⁾）。

完新世に活動を行った火山であり、施設に影響を及ぼし得る火山として抽出した。

8.2.2.5 赤城山

赤城山は、群馬県前橋市北部に位置する第四紀火山であり、複成火山ーカルデラ、溶岩ドームで構成される。敷地からの距離は約 126km である。活動年代については、30 万年前より古くから活動し、最新噴火は 1251 年とされている（西来他（2016）⁽²⁾）。赤城山の活動履歴の評価に当たっては大森編（1986）⁽²³⁾、鈴木（1990）⁽²⁴⁾、富田他（1994）⁽²⁵⁾、宇井編（1997）⁽²⁶⁾、青木他（2008）⁽²⁷⁾、高橋他（2012）⁽²⁸⁾、及川（2012）⁽²⁹⁾、山元（2014a）⁽³⁰⁾、山元（2014b）⁽³¹⁾、山元（2016）⁽³²⁾、気象庁編（2013）⁽⁴⁾及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編（2014）⁽¹⁵⁾を参照した。

赤城山の活動は中央火口丘形成期、新时期層火山形成期、古期成層火山形成期に分けられる。最新活動期の中央火口丘形成期は 4.4 万年前に開始され、最新の噴火は 1251 年噴火であり、この噴火による降下火砕物が確認されている（山元（2014a）⁽³⁰⁾、青木他（2008）⁽²⁷⁾、及川（2012）⁽²⁹⁾、峰岸（2003）⁽³³⁾）。一方で、早川（1999）⁽³⁴⁾によれば、1251 年噴火に対応する堆積物は確認されておらず、1251 年噴火の根拠とされる吾妻鏡の記録は、噴火ではなく山火事の記録である可能性が指摘されている。しかし及川（2012）⁽²⁹⁾、峰岸（2003）⁽³³⁾では、1251 年の水蒸気噴火による堆積物の可能性がある火山灰層が認められ、同時期の噴火を記録した別の歴史記録も報告されている。

完新世に活動を行った火山であり、施設に影響を及ぼし得る火山として抽出した。

8.2.2.6 燧ヶ岳

燧ヶ岳は、福島県檜枝岐村に位置する第四紀火山であり、成層火山で構成される。敷地からの距離は約 136km である。活動年代は約 16 万年前以降で、最新噴火は 1544 年とされている（西来他（2016）⁽²⁾）。燧ヶ岳の活動履歴の評価に当たっては早川他（1997）⁽³⁵⁾、山元（1999）⁽³⁶⁾、山元（2012）⁽⁹⁾、中野他（2013）⁽¹⁾、気象庁編（2013）⁽⁴⁾及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編（2014）⁽¹⁵⁾を参照した。

燧ヶ岳は、燧ヶ岳七入テフラ等の噴出から活動を開始したとされ、460 年前には御池岳溶岩ドームを形成したとされる（山元（2012）⁽⁹⁾、早川他（1997）⁽³⁵⁾等）。最新の噴火は、1544 年の水蒸気噴火である。

完新世に活動を行った火山であり、施設に影響を及ぼし得る火山として抽出した。

8.2.2.7 安達太良山

安達太良山は、福島県郡山市北部に位置する第四紀火山であり、複成火山と溶岩ドームで構成される。敷地からの距離は約 153km である。活動年代は約 55 万年前～1900 年とされている（西来他（2016）⁽²⁾）。安達太良山の活動履歴の評価に当たっては第四紀火山カタログ委員会編（1999）⁽⁵⁾、山元・阪口（2000）⁽³⁷⁾、藤縄他（2001）⁽³⁸⁾、藤縄・鎌田（2005）⁽³⁹⁾、長谷川他（2011）⁽⁴⁰⁾、中野他（2013）⁽¹⁾、気象庁編（2013）⁽⁴⁾及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編（2014）⁽¹⁵⁾を参照した。

安達太良山の活動は早期、ステージ 1、ステージ 2、ステージ 3 に区分され、ステージ 1 は 55 万年前から活動し、最新活動期であるステージ 3 は約 25 万年前から活動したとされる（藤縄他（2001）⁽³⁸⁾等）。最新の噴火は、1900 年にマグマ水蒸気噴火が発生した（山元・阪口（2000）⁽³⁷⁾等）。

完新世に活動を行った火山であり、施設に影響を及ぼし得る火山として抽出した。

8.2.2.8 磐梯山

磐梯山は、福島県耶麻郡北東部に位置する第四紀火山であり、複成火山である。敷地からの距離は約 154km である。活動年代は約 70 万年前～1888 年とされている（西来他（2016）⁽²⁾）。磐梯山の活動履歴の評価に当たっては三村（1994）⁽⁴¹⁾、三村・中村（1995）⁽⁴²⁾、梅田他（1999）⁽⁴³⁾、長谷川他（2011）⁽⁴⁰⁾、山元（2012）⁽⁹⁾、中野他（2013）⁽¹⁾、気象庁編（2013）⁽⁴⁾及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編（2014）⁽¹⁵⁾を参照した。

磐梯山は先磐梯火山、古磐梯火山、磐梯火山に区分され、約 70 万年前から活動を開始したとされる（山元（2012）⁽⁹⁾、三村（1994）⁽⁴¹⁾等）。また、最新活動期である磐梯火山は 8 万年前から活動し、最新の噴火である 1888 年の噴火では、水蒸気噴火に伴う山体崩壊による岩屑なだれ、火砕サージ等が発生した（長谷川他（2011）⁽⁴⁰⁾等）。

完新世に活動を行った火山であり、施設に影響を及ぼし得る火山として抽出した。

8.2.2.9 榛名山

榛名山は、群馬県高崎市に位置する第四紀火山であり、成層火山ーカルデラ、溶岩ドーム及び火砕丘で構成される。敷地からの距離は約 154km である。活動年代は約 50 万年前以降で、最新噴火は 6 世紀後半～7 世紀初頭とされている（西来他（2016）⁽²⁾）。

榛名山の活動履歴の評価に当たっては（大森編（1986）⁽²³⁾、Soda（1996）⁽⁴⁴⁾、第四紀火山カタログ委員会編（1999）⁽⁵⁾、下司（2013）⁽⁴⁵⁾、山元（2013a）⁽¹¹⁾、中野他（2013）⁽¹⁾、気象庁編（2013）⁽⁴⁾及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編（2014）⁽¹⁵⁾）を参照した。

榛名山は古期榛名火山、新期榛名火山に区分される（下司（2013）⁽⁴⁵⁾等）。最新の噴火では、プリニー式噴火により降下火砕物、火砕流として榛名二ツ岳伊香保テフラが噴出したとされる（山元（2013a）⁽¹¹⁾）。

完新世に活動を行った火山であり、施設に影響を及ぼし得る火山として抽出した。

8.2.2.10 沼沢

沼沢は、福島県金山町に位置する第四紀火山であり、溶岩ドーム、カルデラで構成される。敷地からの距離は約 157km である。活動年代は約 11 万年前～約 5400 年前（西来他（2016）⁽²⁾）である。沼沢の活動履歴の評価に当たっては山元（1995）⁽⁴⁷⁾、山元（2003）⁽⁴⁸⁾、山元（2012）⁽⁹⁾、中野他（2013）⁽¹⁾を参照した。

沼沢は 11 万年前～約 5400 年前に活動し、沼沢芝原テフラ、惣山溶岩ドーム、沼沢前山溶岩ドーム、沼沢湖テフラ等を噴出したとされる。最新の活動である沼沢湖テフラの噴出に伴ってカルデラが形成された（山元（2003）⁽⁴⁸⁾、2012⁽⁹⁾等）。

完新世に活動を行った火山であり、施設に影響を及ぼし得る火山として抽出した。

8.2.3 完新世に活動を行っていない火山のうち将来の火山活動可能性が否定できない火山

完新世に活動を行っていない 21 の火山のうち、最後の活動終了からの期間が、全活動期間もしくは過去の最大休止期間より短いとみなされる場合は、将来の活動可能性が否定できないと判断し、その結果、子持山と笹森山の 2 火山を将来の活動可能性が否定できない火山として抽出した。各火山の形式、活動年代及び最後の活動からの経過期間等を第 8.2.1 表に示す。

8.2.3.1 子持山

子持山は、群馬県沼田市・渋川市境に位置する第四紀火山であり、複成火山と溶岩ドームで構成される。敷地からの距離は約 144km である。活動年代は約 90 万年前～約 20 万年前とされている（中野他（2013）⁽¹⁾）。子持山の活動履歴の評価に当たっては飯塚（1996）⁽⁴⁹⁾と中野他（2013）⁽¹⁾を参照した。

子持山の活動は、綾戸活動期、前期子持火山活動期、後期子持火山活動期に区分される。また、綾戸活動期と前期子持火山活動期の間に少なくとも約 30 万年間の休止期があったとされる（飯塚（1996）⁽⁴⁹⁾及び中野他（2013）⁽¹⁾）。

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が短い火山であり、施設に影響を及ぼし得る火山として抽出した。

8.2.3.2 笹森山

笹森山は、福島県福島市南西部に位置する第四紀火山であり、複成火山である

可能性がある。敷地からの距離は約 154km である。活動年代は約 370 万年前～約 180 万年前とされている（西来他（2016）⁽²⁾、山元（2015）⁽⁵²⁾）。笹森山の活動履歴の評価に当たっては阪口（1995）⁽⁵⁰⁾、第四紀火山カタログ委員会編（1999）⁽⁵⁾、長橋他（2004）⁽⁵¹⁾、中野他（2013）⁽¹⁾、山元（2015）⁽⁵²⁾を参照した。

笹森山は笹森山安山岩と蓬莱火砕流からなるとされ、最新の噴火活動は、最末期の蓬莱火砕流から 1.9Ma～1.8Ma のフィッシュトラック年代が報告されている（山元（2015）⁽⁵²⁾）。

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が短い火山であり、施設に影響を及ぼし得る火山として抽出した。

8.2.4 将来の活動可能性が否定できない火山の抽出

地理的領域内に分布する第四紀火山について、「完新世に活動を行った火山」及び「完新世に活動を行っていない火山のうち将来の火山活動可能性が否定できない火山」を評価し、施設に影響を及ぼし得る火山として、高原山、那須岳、男体・女峰火山群、日光白根火山群、赤城山、燧ヶ岳、子持山、安達太良山、磐梯山、榛名山、笹森山及び沼沢の 12 火山を抽出した。

8.3 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

施設に影響を及ぼし得る火山（12 火山）について、活動履歴に関する文献調査により、評価の対象となる設計対応不可能な火山事象の顕著な発生実績及び過去最大規模の噴火による火山噴出物の敷地への到達可能性について第 8.3.1 表に整理した。

火砕物密度流については、各火山の過去最大規模の火砕物密度流の分布から到達可能性範囲を検討した。まず、高原山と日光白根火山群については、活動履歴上、噴出物は溶岩及び火砕物が主であり、火砕物密度流の発生は認められない。それ以外の火山については、過去最大規模の火砕物密度流の分布はいずれも山体周辺に限られ、敷地周辺までの到達は認められない（第 8.3.1 図、第 8.3.2 図）。また、溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊については、施設に影響を及ぼし得る火山（12 火山）のうち敷地に最も近い高原山でも敷地から約 98km と十分離れている。したがって、これらの火山事象が敷地に到達する可能性は十分に小さいと判断される。

新しい火口の開口及び地殻変動については、敷地は、火山フロントより前弧側（東方）に位置すること、敷地周辺では火成活動は確認されていないことから、これらの火山事象が敷地において発生する可能性は十分に小さいと判断される。

以上のことから、施設に影響を及ぼし得る火山（12 火山）については過去最大規模の噴火を想定しても設計対応不可能な火山事象が施設に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価し、火山活動のモニタリングは不要と判断した。

8.4 火山事象の影響評価

施設に影響を及ぼし得る火山（12 火山）について、試験研究炉の運用期間中における活動可能性と規模を考慮し、施設の安全性に影響を与える可能性について検討した。
なお、降下火砕物については、地理的領域外の火山も含めてその影響を評価した。

8.4.1 降下火砕物

8.4.1.1 層厚に関する評価

町田・新井（2011）⁽⁵³⁾、山元（2013a）⁽¹¹⁾等に基づき、敷地周辺に分布が確認または推定される降下火砕物を抽出した。そのうち、噴出源が同定できる降下火砕物については、当該火山の将来の噴火の可能性について噴火履歴等から検討した。一方、噴出源が同定できない降下火砕物については、その堆積状況より検討した。敷地周辺で分布が推定される主な降下火砕物の噴出源と敷地の距離、敷地での層厚、噴火規模、試験研究炉の運用期間中における同規模の噴火の可能性の有無について、文献調査の結果の整理を第 8.4.1 表に示し、試験研究炉の運用期間中に同規模の噴火の可能性のある降下火砕物の分布を第 8.4.1 図に示す。

(1) 噴出源を同定できる降下火砕物の同規模噴火の可能性

a. 満美穴テフラ、日光早乙女テフラ、日光行川テフラ、日光矢板テフラ（男体・女峰火山群）

満美穴テフラ、日光早乙女テフラ、日光行川テフラ及び日光矢板テフラは男体女峰火山群を噴出源とし、それぞれ約 10 万年前、約 13 万年前、約 14 万年前に噴出したとされる（山元（2012）⁽⁹⁾）。

佐々木（1994）⁽¹⁸⁾によれば、男体・女峰火山群において、約 60 万年前から約 7 万年前までは女峰赤薙火山が活動し、日光溶岩ドーム群の活動を経て、約 2 万年前以降に男体火山、三ツ岳火山、日光白根火山が活動したとされる。

上記を踏まえると、満美穴テフラ、日光早乙女テフラ、日光行川テフラ及び日光矢板テフラが噴出されたのは女峰赤薙火山の活動期であり、現在の活動は男体火山の活動期であると考えられる。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中における満美穴テフラ、日光早乙女テフラ、日光行川テフラ及び日光矢板テフラと同規模噴火の発生可能性は十分に小さいと判断される。

b. 真岡テフラ（飯士山）

真岡テフラは飯士山を噴出源とし、約 22 万年前に噴出したとされる（山元（2013a）⁽¹¹⁾）。

西来他（2016）⁽²⁾、中野他（2013）⁽¹⁾、赤石・梅田（2002）⁽⁵⁴⁾によれば、飯士山の活動形式は成層火山であり、その活動年代は約 30 万年前～約 20 万年前とされている。

上記を踏まえると、全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長いことから、飯士山は将来の活動可能性はない火山と判断される。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中における真岡テフラと同規模噴火の発生可能性は十分に小さいと判断される。

c. 立川ローム上部ガラス質テフラ、浅間板鼻黄色テフラ（浅間山）

立川ローム上部ガラス質テフラは約 1.5 万年前～約 1.6 万年前に、浅間板鼻黄色テフラは約 1.5 万年前～約 1.65 万年前に、浅間山を噴出源として噴出した広域テフラである（町田・新井（2011）⁽⁵³⁾）。

高橋他（2013）⁽⁵⁵⁾によれば、浅間山の活動は、黒斑火山、仏岩火山、前掛火山に区分される。高橋・安井（2013）⁽⁵⁶⁾によれば、最新活動期である前掛火山は約 1 万年前（山元（2014b）⁽³¹⁾）から活動を開始したとされる。

山元（2014b）⁽³¹⁾によれば、立川ローム上部ガラス質テフラ及び浅間板鼻黄色テフラは仏岩火山の活動であり、現在は前掛火山の活動となっており、2015 年にはごく小規模な噴火が発生し、微量の降灰が確認された（気象庁（2015）⁽⁵⁷⁾）。

なお、現在の活動での最大規模の噴火は、浅間Bテフラであるが、敷地周辺（半径約 30km 以内）で確認または分布は推定されない。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中における立川ローム上部ガラス質テフラ及び浅間板鼻黄色テフラと同規模噴火の発生可能性は十分に小さいと判断される。

d. 箱根東京テフラ、箱根吉沢下部7テフラ（箱根火山群）

箱根東京テフラは約 6.6 万年前に、箱根吉沢下部7テフラは約 12.8 万年前～約 13.2 万年前の間に、箱根火山群を噴出源として噴出した広域テフラである（町田・新井（2011）⁽⁵³⁾）。

長井・高橋（2008）⁽⁵⁸⁾によれば、箱根火山群の活動は、初期の陸上火山活動であるステージ1、玄武岩～安山岩質成層火山群形成期のステージ2、安山岩質成層火山群及び独立単成火山群形成期のステージ3、カルデラ及び単成火山群形成期のステージ4、前期中央火口丘形成期のステージ5、爆発的噴火期のステージ6、後期中央火口丘形成期のステージ7に区分される。

山元（2014b）⁽³¹⁾によれば、箱根東京テフラは爆発的噴火を主体としていたステージ6、箱根吉沢下部7テフラはステージ5で発生した降下火砕物である。現在は中央火口丘での溶岩ドームの活動であるステージ7であり、顕著な降下火砕物の発生は確認されない。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中における箱根東京テフラ及び箱根吉沢下部7テフラと同規模噴火の発生可能性は十分に小さいと判断される。

e. 飯縄上樽 a テフラ（飯縄山）

飯縄上樽 a テフラは、約 13 万年前に飯縄山を噴出源として噴出したテフラである（町田・新井（2011）⁽⁵³⁾）。

飯縄山は、第Ⅰ活動期と第Ⅱ活動期の2つの活動期間に大別され、第Ⅰ活動期は、約 34 万年前ごろ、第Ⅱ活動期は約 20 万年前にはじまり、飯縄上樽 a テフラは第Ⅱ活動期に発生した（早津他（2008）⁽⁵⁹⁾）。早津他（2008）⁽⁵⁹⁾によれば、飯縄山は妙高火山群を構成する火山の1つであり、その活動は玄武岩質マグマによって開始し、デイサイト質マグマの活動によって終わるとされ、飯縄山の第Ⅱ活動期においても、噴出するマグマの性質が玄武岩質から安山岩質、安山岩質からデイサイト質へと変化したとされる。また、第Ⅱ活動期は、飯縄上樽 a テフラ噴出後の活動である溶岩

ドーム群の活動を最後に急速に衰退し、約 6 万年前の水蒸気爆発の発生以降、噴火の痕跡は確認されず、噴気活動や高温の温泉の湧出等は全く認められないことから、現在、火山活動は完全に停止状態にあると考えられている（早津他（2008）⁽⁵⁹⁾）。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中における飯縄上樽 a テフラと同規模噴火の発生可能性は十分に小さいと判断される。

f. 御嶽第 1 テフラ（御嶽山）

御嶽第 1 テフラは、約 9.5 万年前～約 10 万年前に御嶽山を噴出源として噴出した広域テフラである（町田・新井（2011）⁽⁵³⁾）。

御嶽山の活動は、山元（2014b）⁽³¹⁾、及川他（2014）⁽⁶⁰⁾によれば、古期御嶽火山と新期御嶽火山に分けられ、現在は新期御嶽火山の活動期であり、御嶽第 1 テフラは約 10 万年前に発生したとされる。また、木村（1993）⁽⁶¹⁾によれば、新期御嶽火山の活動は 3 つのステージに分けられ、御嶽第 1 テフラをもたらした噴火が発生したステージは O1 ステージ（デイサイトー流紋岩質のプリニー式噴火と、カルデラ陥没及び溶岩ドームの形成）であり、現在は山頂付近の小円錐火山群の形成期である O3 ステージで、約 2 万年前以降は水蒸気噴火を中心とした活動であるとされる。

なお、及川他（2014）⁽⁶⁰⁾によれば、過去 1 万年以内に少なくとも 4 回のマグマ噴火が確認されている。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中における御嶽第 1 テフラと同規模噴火の発生可能性は十分に小さいと判断される。

g. 谷口テフラ、大峰テフラ（爺ヶ岳）、恵比須峠福田テフラ、丹生川テフラ（穂高岳）

谷口テフラ及び大峰テフラの噴出源である爺ヶ岳、並びに恵比須峠福田テフラ及び丹生川テフラの噴出源である穂高岳はいずれも飛騨山脈に位置する第四紀火山である（及川（2003）⁽⁶²⁾）。

及川（2003）⁽⁶²⁾によれば、飛騨山脈での火成活動は Stage I～III の 3 つの活動期に区分され、谷口テフラ、大峰テフラ、恵比須峠福田テフラ、丹生川テフラを発生させた時期はいずれも Stage I（2.5Ma～1.5Ma）である。

現在の活動期は Stage III（0.8Ma～0Ma）であり、東西圧縮応力場のもとで、成層火山形成を主体とした活動が継続していることから、飛騨山脈において Stage I で発生した大規模な噴火の発生可能性は十分に小さいと考えられる。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中において谷口テフラ、大峰テフラ、恵比須峠福田テフラ、丹生川テフラと同規模の噴火の発生可能性は十分に小さいと判断される。

h. 大町 A p m テフラ群（樺沢岳）

大町 A p m テフラ群は、樺沢岳を噴出源として噴出した広域テフラ群である（町田・新井（2011）⁽⁵³⁾）。

西来他（2016）⁽²⁾、中野他（2013）⁽¹⁾、原山（1990）⁽⁶³⁾、町田・新井（2011）⁽⁵³⁾等によれば、火山の活動形式は火砕流であり、その活動年代は約 40 万年～約 30 万年前とされている。

上記を踏まえると、樫沢岳は全活動期間より、最後の活動終了からの期間が長いことから、将来の活動可能性はないと判断される。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中における大町 A p m テフラ群と同規模噴火の可能性は十分に小さいと判断される。

i. 貝塩上宝テフラ（上宝）

貝塩上宝テフラは、上宝を噴出源として噴出した広域テフラである（町田・新井（2011）⁽⁵³⁾）。

西来他（2016）⁽²⁾、中野他（2013）⁽¹⁾によれば、火山の活動形式は火砕流であり、その活動期間は約 60 万年前とされている。また、鈴木（2000）⁽⁶⁴⁾等によれば、約 62 万年前から約 60 万年前の間に大規模な噴火が発生し、貝塩給源火道から上宝火砕流及び貝塩上宝テフラが噴出したとされる。上記を踏まえると、全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長いことから、将来の活動可能性はないと判断される。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中における貝塩上宝テフラと同規模噴火の可能性は十分に小さいと判断される。

j. 玉川 R 4 テフラ（玉川カルデラ）

玉川 R 4 テフラは、約 200 万年前に玉川カルデラを噴出源とし噴出した広域テフラである（町田・新井（2011）⁽⁵³⁾）。

鈴木・中山（2007）⁽⁶⁵⁾によれば、敷地周辺に玉川 R 4 テフラの分布が示され、その降灰年代は 2.0Ma と推定されるとしている。梅田他（1999）⁽⁴³⁾によれば、東北日本の 2Ma 以降の火山活動は、活動年代、噴出量、噴火様式、広域応力場変遷の観点から次の 3 ステージに区分される。stage1（2Ma～1Ma）では、弱圧縮応力場の環境下で大規模珪長質火砕流の噴出が卓越したとされる。stage2（1Ma～0.6Ma）では、強圧縮応力場の環境下で成層火山の活動が卓越したとされる。stage3（0.6Ma 以降）では、強圧縮応力場におかれ、脊梁山脈全体で断層運動が活発化し、大規模珪長質火砕流、成層火山の活動が共に認められ、マグマ噴出量が増大したとされる。

現在の東北日本における火山活動は stage3 に相当することに加え、高橋（1995）⁽⁶⁶⁾によれば、大量の珪長質マグマを蓄積するには低地殻歪速度が必要であるとされる。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中における玉川 R 4 テフラと同規模噴火の発生可能性は十分に小さいと判断される。

k. 八甲田国本テフラ（八甲田カルデラ）

八甲田国本テフラは、約 76 万年前に八甲田カルデラ（八甲田火山）を噴出源として噴出した広域テフラである（町田・新井（2011）⁽⁵³⁾）。

気象庁編（2013）⁽⁴⁾によれば、八甲田火山は、南八甲田火山群、北八甲田火山群に区分され、八甲田カルデラは北八甲田火山群の直下～北東に存在するとされている。中野他（2013）⁽¹⁾及び工藤他（2011）⁽⁶⁷⁾によれば、八甲田火山の活動を、南八甲田火山群、八甲田カルデラ、北八甲田火山群の活動に区分し、このうち、八甲田カルデラにおいては、約 1Ma（八甲田中里川）、0.9Ma（八甲田黄瀬）、0.76Ma（八

甲田第1期)、0.4Ma(八甲田第2期)に大規模火砕流を噴出したとされている。八甲田火山は、110万年前から活動を開始し、南八甲田火山群及び八甲田カルデラの活動後、最近30万年間では、北八甲田火山群のみの活動が継続している。八甲田国本テフラは八甲田カルデラの活動で発生したものであり、現在は北八甲田火山群の活動である。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中における八甲田国本テフラと同規模噴火の発生可能性は十分に小さいと判断される。

1. 大山倉吉テフラ(大山)

大山倉吉テフラは、約5.5万年前に大山を噴出源として噴出した広域テフラである(町田・新井(2011)⁽⁵³⁾)。

守屋(1983)⁽⁶⁸⁾の日本の第四紀火山の地形発達過程に基づく分類によれば大山は最終期である第4期とされる。また、米倉(2001)⁽⁶⁹⁾によれば、一般にこの第4期の噴出量は第1期～第3期と比べて少なく、数 km^3 とされる。

また、山元(2014b)⁽³¹⁾による活動履歴情報の整理に基づけば、約40万年前以降、最も規模の大きな噴火は大山倉吉テフラ噴火であるが、これに至る活動間隔は、大山倉吉テフラ噴火以降の経過期間に比べて十分に長い。

ただし、数 km^3 以下の規模の噴火については、大山倉吉テフラ噴火以前もしくは以降においても繰り返し発生している。また、Zhao et al.(2011)⁽⁷⁰⁾によれば、大山の地下深部に広がる低速度層と、大山の西方地下で発生している低周波地震の存在から、地下深部にはマグマ溜まりが存在している可能性が示唆される。保守的に、この低速度層をマグマ溜まりとして評価した場合、その深度は20km以深に位置し、これは爆発的噴火を引き起こす珪長質マグマの浮力中立点の深度7km(東宮(1997)⁽⁷¹⁾)よりも深い位置に相当する。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中における大山倉吉テフラと同規模噴火の発生可能性は十分に小さいと判断される。

m. 阿蘇4、阿蘇3テフラ(阿蘇カルデラ)

阿蘇4テフラは約8.5万年前～約9万年前に、阿蘇3テフラは約13万年前に、いずれも阿蘇カルデラを噴出源として噴出した広域テフラである(町田・新井(2011)⁽⁵³⁾)。

Nagaoka(1988)⁽⁷²⁾に基づけば、現在の阿蘇カルデラの活動期は、最新の破局的噴火(約9万年前の阿蘇4テフラの噴出)以降、阿蘇山において草千里ヶ浜軽石等の多様な噴火様式による小規模噴火が発生していることから、阿蘇山における後カルデラ噴火ステージの活動と考えられ、苦鉄質火山噴出物及び珪長質火山噴出物の給源火口の分布(三好他(2005)⁽⁷³⁾)から、地下に大規模な珪長質マグマ溜まりは存在していないと考えられる。また、破局的噴火の最短の活動間隔(約2万年)は、最新の破局的噴火からの経過期間(約9万年)と比べて短い。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中における阿蘇4、阿蘇3テフラと同規模噴火の発生可能性は十分に小さいと判断される。

n. 始良T_nテフラ(始良カルデラ)

始良T nテフラは、南九州の始良カルデラを噴出源とし、約 2.8 万年前～約 3 万年前に噴出した広域テフラである（町田・新井（2011）⁽⁵³⁾）。

現在の始良カルデラの活動期は、Nagaoka（1988）⁽⁷²⁾に基づけば、後カルデラ火山噴火ステージであると考えられる。また、破局的噴火の活動間隔（約 6 万年以上）は、最新の破局的噴火である約 3 万年前の始良T nテフラの噴出からの経過期間と比べ十分に長く、現在は破局的噴火に先行して発生するプリニー式噴火ステージの兆候が認められない。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中における、始良T nテフラと同規模噴火の可能性は十分に小さいと判断される。

o. 鬼界アカホヤテフラ、鬼界葛原テフラ（鬼界カルデラ）

鬼界アカホヤテフラは約 7,300 年前に、鬼界葛原テフラは約 9.5 万年前に、いずれも鬼界カルデラを噴出源として噴出した広域テフラである（町田・新井（2011）⁽⁵³⁾）。

現在の鬼界カルデラの活動期は、Nagaoka（1988）⁽⁷²⁾に基づけば、後カルデラ火山噴火ステージ（薩摩硫黄島）であると考えられる。また、鬼界カルデラにおける破局的噴火の活動間隔は約 5 万年以上であり、最新の破局的噴火からの経過期間（約 0.7 万年）に比べて十分長い。

以上のことから、試験研究炉の運用期間中における鬼界アカホヤテフラ及び鬼界葛原テフラと同規模噴火の発生可能性は十分に小さいと判断される。

(2) 噴出源が同定できない降下火砕物

敷地周辺で確認された噴出源が同定できない降下火砕物は、敷地から西北西に約 23km の茨城県笠間市大古山の潤沼川沿いで確認される「潤沼川テフラ」（山元（2013a）⁽¹¹⁾）の 1 つである。本テフラは見和層下部のエスチュアリー相泥質堆積物中に再堆積物として挟まれる層厚 15 cmの軽石質の粗粒火山灰であるとされている（山元（2013a）⁽¹¹⁾）。また、潤沼川テフラは敷地近傍においてその分布が認められないことから、敷地への影響は十分に小さいと判断される。

(3) 設計上考慮する降下火砕物の層厚の検討

文献調査結果から、敷地周辺で分布が推定される主な降下火砕物のうち、噴出源が同定でき、試験研究炉の運用期間中における同規模の噴火の可能性のある降下火砕物として、高原山を噴出源とする高原戸室山 2 テフラ、男体・女峰火山群を噴出源とする男体今市テフラ、男体七本桜テフラ、赤城山を噴出源とする赤城鹿沼テフラ、赤城行川 2 テフラ、赤城水沼 1 テフラ、赤城水沼 2 テフラ、赤城水沼 8 テフラ、赤城水沼 9－10 テフラ、燧ヶ岳を噴出源とする燧ヶ岳七入テフラ、沼沢を噴出源とする沼沢芝原テフラ、榛名山を噴出源とする榛名八崎テフラ、四阿山を噴出源とする四阿菅平 2 テフラが挙げられる。

一方、噴出源が同定できない降下火砕物として、潤沼川テフラが認められる。

これらの降下火砕物のうち、敷地周辺において層厚とその噴火規模が最も大きい降下火砕物は赤城鹿沼テフラであり、設計上考慮する降下火砕物として詳細に検討を行った。

a. 降下火砕物の分布状況

赤城鹿沼テフラの分布に関する以下の敷地周辺の層厚調査及び敷地内の地質調査の結果から、赤城鹿沼テフラの敷地及び敷地近傍での層厚は約 35cm であるが、敷地周辺で最大 50cm が確認され、保守性を考慮して 50cm と評価される。

(a) 敷地周辺の層厚調査

降下火砕物の等層厚線図から、敷地において最も層厚が大きい降下火砕物は赤城鹿沼テフラと判断される。その分布主軸は敷地の方向を向いており、「新編 火山灰アトラス」(町田・新井(2011)⁽⁵³⁾)によれば 10cm~40cm、山元(2013a)⁽¹¹⁾では 32cm~64cm の 32cm 等層厚線付近に位置する。山元(2013a)⁽¹¹⁾、茨城県自然博物館(2001)⁽⁷⁴⁾、茨城県自然博物館(2007)⁽⁷⁵⁾及び敷地周辺の地質調査結果より敷地周辺の赤城鹿沼テフラの層厚を調査したところ、敷地近傍で約 35 cm、敷地周辺で概ね 40cm 以下、敷地から噴出源方向に約 10km の地点で最大 50cm が確認される。(第 8.4.2 図)

(b) 敷地内の地質調査

敷地での赤城鹿沼テフラの層厚を把握するため、地質調査を実施した。ボーリング調査において、ローム層中に黄褐色の軽石層が認められ、火山灰分析の結果、赤城鹿沼テフラに対比される。また、ボーリング調査による層厚は 25~30cm、露頭で層厚 30~35cm であり、文献で示される層厚に整合している。(第 8.4.3 図)

b. 降下火砕物シミュレーション

現在の気象条件での敷地における降下火砕物の層厚を検討するため、敷地周辺における堆積厚さが最も大きい赤城鹿沼テフラの噴出源である赤城山を対象に降下火砕物シミュレーションを行った。

山元(2016)⁽³²⁾、高橋他(2012)⁽²⁸⁾、守屋(1979)⁽⁷⁶⁾によれば、赤城山の活動は約 50 万年前から溶岩と火砕物を主とした噴火様式の古期成層火山の活動から始まり、約 22 万年前の山体崩壊を境に、その後、新期成層火山の活動となっている。新期成層火山についても 3 つの活動期に分けられ、赤城鹿沼テフラは現在の活動ステージである後カルデラ期に発生した降下火砕物であるとされる。現在の赤城山の活動ステージにおいて最大規模の噴火による降下火砕物噴出は赤城鹿沼テフラであり、その噴出量は $2\text{km}^3\text{DRE}$ (見かけ体積 5km^3) とされている(第 8.4.4 図)。このことを踏まえ、解析条件の噴出量には見かけ体積 5km^3 を設定した。主な解析条件については第 8.4.2 表に示す。

風向・風速は、気象庁が行っているラジオゾンデの定期観測データ(観測地点:館野)を用いて行った。

月別平年解析の結果、1 年を通じて偏西風の影響を受け、分布主軸が東から東北東に向く傾向があり、敷地における降下火砕物の堆積厚さは 7 月の 21 時の風のケースで最大(約 12cm)となる(第 8.4.5 図)。さらに、層厚が最大となった 7 月の 21 時を基本ケースとして、噴煙柱・風速・風向の 3 つの要素について、不確かさに関する検討を行った(第 8.4.6 図)。その結果、風速の不確かさを考慮した場合が最大で層厚は約 22cm であり、敷地及び敷地周辺の調査で確認された層厚を上回らない。

(4) 設計上考慮する降下火砕物の層厚の設定

上記を踏まえ、降下火砕物の分布状況及び降下火砕物シミュレーションによる検討結果から総合的に判断し、設計上考慮する降下火砕物の層厚を保守的に 50 cm と設定する。

8.4.1.2 密度に関する評価

富田他（1994）⁽²⁵⁾によれば、笠間地区における赤城鹿沼テフラの密度は湿潤状態で $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、乾燥状態で $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ である。また、地質調査（土質試験）により赤城山から敷地までの距離とほぼ同一な距離における赤城鹿沼テフラの密度を確認した結果、湿潤密度で最大約 $1.1\text{g}/\text{cm}^3$ 、乾燥密度で最小約 $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ であった（第 8.4.7 図）。

一方で、宇井編（1997）⁽²⁶⁾によれば、乾燥した火山灰は密度が $0.4\text{g}/\text{cm}^3 \sim 0.7\text{g}/\text{cm}^3$ であるが、湿ると $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ を超えることがあるとされている。

以上のことから、湿潤密度は $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ と設定する。

8.4.2 火山性土石流、火山泥流及び洪水

施設に影響を及ぼし得る 12 火山のうち、敷地から 120 km の範囲内には高原山、那須岳、男体・女峰火山群、日光白根火山群の 4 火山が位置する。敷地は那珂川流域に位置し、上流域に対象火山が存在する。

文献調査の結果、那珂川に沿う瓜連丘陵に火山性土石流堆積物である栗河軽石が分布する（坂本・宇野沢（1976）⁽⁷⁷⁾）。しかしながら、那珂川の流下方向は敷地へ向かっていない。また、那珂川と敷地の間には鹿島台地が分布し敷地は台地上に位置する。（第 8.4.8 図）。このことから、火山性土石流、火山泥流及び洪水が施設に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと判断される。

8.4.3 火山から発生する飛来物（噴石）

施設に影響を及ぼし得る 12 火山のうち、最も近いものでも敷地から約 98km と十分離れていることから、火山から発生する飛来物が施設に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと判断される。

8.4.4 火山ガス

施設に影響を及ぼし得る 12 火山のうち、最も近いものでも敷地から約 98km と十分離れていること、敷地は太平洋に面する台地上に位置しており火山ガスが滞留する地形ではないことから、火山ガスが施設に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと判断される。

8.4.5 その他火山事象

施設に影響を及ぼし得る 12 火山のうち、最も近いものでも敷地から約 98km と十分離れていること、敷地は火山フロントより前弧側（東方）に位置することから、津波及び静振、大気現象、火山性地震とこれに関連する事象、熱水系及び地下水の異常について、施設に

影響を及ぼす可能性は十分に小さいと判断される。

8.5 参考文献

- (1) 中野俊・西来邦章・宝田晋治・星住英夫・石塚吉浩・伊藤順一・川辺禎久・及川輝樹・古川竜太・下司信夫・石塚治・山元孝広・岸本清行（2013）：日本の火山（第3版），産業技術総合研究所地質調査総合センター
- (2) 西来邦章，伊藤順一，上野龍之，内藤一樹，塚本斉（2016）：産業技術総合研究所地質調査総合センター（2016）：第四紀噴火・貫入活動データベース，産業技術総合研究所地質調査総合センター，https://gbank.gsj.jp/quaternary/index_qvir.php
- (3) 海上保安庁海洋情報部（2013）：海域火山データベース，<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/kaiikiDB/list-2.htm>
- (4) 気象庁編（2013）：日本活火山総覧（第4版），気象業務支援センター
- (5) 第四紀火山カタログ委員会編（1999）：日本の第四紀火山カタログ，日本火山学会
- (6) 鈴木毅彦（1993）：北関東那須野原周辺に分布する指標テフラ層，地学雑誌，102，p. 73-90
- (7) 井上道則，吉田武義，藤巻宏和，伴雅雄（1994）：東北本州弧，高原火山群における山体形成史とマグマの成因，核理研研究報告，第27巻，第2号，1994年12月，p169-198
- (8) 奥野充，守屋以智雄，田中耕平，中村俊夫（1997）：北関東，高原火山の約6500cal yr BPの噴火，火山，42，p393-402
- (9) 山元孝広（2012）：福島-栃木地域における過去約30万年間のテフラの再記載と定量化，地質調査研究報告，63，p35-91
- (10) 弦巻賢介（2012）：東北日本弧南部，高原火山における山体形成史とマグマ供給系の発達，日本火山学会講演予稿集，p56
- (11) 山元孝広（2013a）：栃木-茨城地域における過去約30万年間のテフラの再記載と定量化，地質調査研究報告，第64巻，第9/10号，p251-304，2013
- (12) 鈴木毅彦（1992）：那須火山のテフロクロノロジー，火山，37，p251-263
- (13) 伴雅雄，高岡宣雄（1995）：東北日本弧，那須火山群の形成史，岩鉱，90，p195-214，1995
- (14) 山元孝広（1997）：テフラ層序から見た那須茶臼岳火山の噴火史，地質学雑誌，103，p676-691
- (15) 産業技術総合研究所地質調査総合センター編（2014）：1万年噴火イベントデータ集（ver. 2.2），<https://gbank.gsj.jp/volcano/eruption/index.html>
- (16) 村本芳英（1992）：日光火山群東方地域に分布する中・後期更新世テフラ-日光火山群の噴火史-，静岡大学地球科学研究報告，18，p59-91
- (17) 鈴木毅彦，奥野充，早川由紀夫（1994）：テフラからみた日光火山群の噴火史，月刊地球，16，p. 215-221
- (18) 佐々木実（1994）：日光火山群の岩石学，月刊地球，116，p221-230
- (19) 石崎泰男，森田考美・岡村裕子・小池一馬・宮本亜里沙・及川輝樹（2014）：男体火山

- の最近 17000 年間の噴火史, 火山, 59, 3, p185-206
- (20) 奥野充, 中村俊夫, 守屋以智雄 (1993) : 那須・高原・日光白根火山の完新世テフラの加速器 14C 年代, 日本火山学会講演予稿集, p6, p92
- (21) 佐々木 実, 橋野 剛, 村上 浩 (1993) : 日光火山群, 日光白根火山および三ツ岳火山の地質と岩石, 弘前大学理学部地球科学科報告, 40, p101-117 (1993)
- (22) 高橋正樹, 小堀容子, 矢島有紀子 (1995) : 日光白根火山下マグマ供給システムの岩石学的モデル, 月間地球, 17, p113-119
- (23) 大森昌衛編 (1986) : 日本の地質 3 関東地方, 共立出版, p335
- (24) 鈴木毅彦 (1990) : テフロクロノロジーからみた赤城火山最近 20 万年間の噴火史, 地学雑誌, 99, 2 (1990), p60-75
- (25) 富田平四郎, 中野政詩, 鈴木敬 (1994) : 地域, 深さによる鹿沼土の物理的構成と各種物理性の差異について, 土壌の物理性, 第 69 号, p11-21 (1994)
- (26) 宇井忠英編 (1997) : 火山噴火と災害, 東京大学出版会
- (27) 青木かおり, 入野智久, 大場忠道 (2008) : 鹿島沖海底コア MD01-2421 の後期更新世テフラ層序, 第四紀研究, 47, (6), p391-407
- (28) 高橋正樹, 関慎一郎, 鈴木洋美, 竹本弘幸, 長井雅史, 金丸龍夫 (2012) : 赤城火山噴出物の全岩化学組成-分析データ 381 個の総括-, 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 47, p341-400
- (29) 及川輝樹 (2012) : 赤城山と栗駒山の歴史時代の噴火記録, 日本火山学会講演予稿集, p140
- (30) 山元孝広 (2014a) : 赤城火山の噴火履歴の再検討と定量化, 日本火山学会講演予稿集
- (31) 山元孝広 (2014b) : 日本の主要第四紀火山の積算マグマ噴出量階段図, 地質調査総合センター研究資料集, 613, 産総研地質調査総合センター
- (32) 山元孝広 (2016) : 赤城火山軽石噴火期のマグマ噴出率と組成の変化, 地質学雑誌, 122, p109-126
- (33) 峰岸純夫 (2003) : 中世における赤城山於呂嶽(荒山)の噴火と富士山浅間信仰, 日本中世史の再発見, 吉川弘文館, p. 132-144.
- (34) 早川由紀夫 (1999) : 赤城山は活火山か?, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集 (CD-ROM), As-012
- (35) 早川由紀夫, 新井房夫, 北爪智啓 (1997) : 燧ヶ岳火山の噴火史, 地学雑誌, 106, p660-664
- (36) 山元孝広 (1999) : 福島-栃木地域に分布する 30-10 万年前のプリニー式降下火砕物: 沼沢・燧ヶ岳・鬼怒沼・砂子原火山を給源とするテフラ群の層序, 地質調査所月報, 50, p743-767
- (37) 山元孝広, 阪口圭一 (2000) : テフラ層序からみた安達太良火山, 最近約 25 万年間の噴火活動, 地質学雑誌, 106, p865-882
- (38) 藤縄明彦, 林信太郎, 梅田浩司 (2001) : 安達太良火山の K-Ar 年代: 安達太良火山形成史の再検討, 火山, 46, p95-106
- (39) 藤縄明彦, 鎌田光春 (2005) : 安達太良火山の最近 25 万年間における山体形成史とマ

- グマ供給系の変遷, 岩石鉱物科学, 34, p35-58
- (40) 長谷川健, 藤縄明彦, 伊藤太久 (2011) : 磐吾妻, 安達太良 : 活火山ランク B の三火山, 地質学雑誌, 117, p33-48
- (41) 三村弘二 (1994) : 磐梯火山の放射年代-概報-, 地質調査所月報, 第 45 巻, 第 10 号, p565-571, 1994
- (42) 三村弘二, 中村洋一 (1995) : 磐梯山の地質形成史と岩石, 磐梯火山, p87-101 (1995)
- (43) 梅田浩司, 林信太郎, 伴雅雄, 佐々木実, 大場司, 赤石和幸 (1999) : 東北日本, 火山フロント付近の 2.0Ma 以降の火山活動とテクトニクスの推移, 火山, 第 44 巻 (1999) , p233-249
- (44) Soda, Tsutomu. (1996) : Explosive activities of Haruna volcano and their impacts on human life in the sixth century A.D , Geograph.Rep. Tokyo Metropolitan Univ, 31, p37-52
- (45) 下司信夫 (2013) : 詳細火山データ集 : 榛名火山, 日本の火山, 産業技術総合研究所地質調査総合センター (https://gbank.gsj.jp/volcano/Act_Vol/haruna/index.html)
- (46) 山元孝広 (2013b) : 東茨城台地に分布する更新統の新層序と MIS5-7 海面変化との関係 : 地下地質とテフラ対比による茨城層, 見和層, 夏海層, 笠神層の再定義, 地質調査所報告, 第 64 巻, 第 9/10 号, p225-249
- (47) 山元孝広 (1995) : 沼沢火山における火砕流噴火の多様性, 沼沢湖および水沼火砕堆積物の層序, 火山, 40, p6.7-81
- (48) 山元孝広 (2003) : 東北日本, 沼沢火山の形成史 : 噴出物層序, 噴出年代及びマグマ噴出量の再検討, 地質調査研究報告, 54, p323-340
- (49) 飯塚義之 (1996) : 子持火山の地質と活動年代, 岩鉱, 91, p73-85
- (50) 阪口圭一 (1995) : 5 万分の 1 地質図幅「二本松地域の地質」, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, p66
- (51) 長橋良隆, 木村裕司, 大竹二男, 八島隆一 (2004) : 福島市南西部に分布する鮮新世「笹森山安山岩」の K-Ar 年代, 地球科学, 58, p407-412
- (52) 山元孝広 (2015) : 新たに認定された第四紀火山の放射年代 : 笹森山火山, 地質調査研究報告, 66, p15-20
- (53) 町田洋・新井房夫 (2011) : 新編火山灰アトラスー日本列島とその周辺, 東京大学出版会
- (54) 赤石和幸, 梅田浩司 (2002) : 新潟県飯士火山の形成史と K-Ar 年代 (演旨) 日本鉱物学会年会, 日本岩石鉱物鉱床学会学術講演会講演要旨集, P304
- (55) 高橋正樹, 市川寛海, 金丸龍夫, 安井真也, 間瀬口輝浩 (2013) : 浅間黒斑火山崩壊カルデラ壁北部仙人岩付近のプロキシマル火砕岩相ー牙溶岩グループの火山角礫岩・凝灰角礫岩および仙人溶岩グループの溶結火砕岩ー, 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 48, p. 141-168
- (56) 高橋正樹・安井真也 (2013) : 浅間前掛火山のプロキシマル火山地質学及び巡検案内書ー浅間前掛火山黒豆河原周辺の歴史時代噴出物ー, 火山, 58, p. 311-328

- (57) 気象庁 (2015) : 浅間山の火山活動解説資料, 火山活動解説資料 (平成 27 年 6 月 24 日 18 時 30 分), 気象庁地震火山部火山監視・情報センター, p. 1-10
- (58) 長井雅史, 高橋正樹 (2008) : 箱根火山の地質と形成史, 神奈川県立博物館研究調査報告 (自然), 13, p. 25-42.
- (59) 早津賢二, 新井房夫, 小島正巳, 大場孝信 (2008) : 妙高火山群 —— 多世代火山のライフヒストリー, p424
- (60) 及川輝樹, 鈴木雄介, 千葉達郎 (2014) : 御嶽山の噴火—その歴史と 2014 年噴火, 科学, 岩波書館, p1218-1225
- (61) 木村純一 (1993) : 後期更新世の御岳火山 : 火山灰層序と火山層序学を用いた火山活動史の再検討, 地球科学, 47, p301-321
- (62) 及川輝樹 (2003) : 飛騨山脈の隆起と火成活動の時空的関連, 第四紀研究 42 (3) p. 141-156
- (63) 原山智 (1990) : 上高地地域の地質, 地域地質研究報告, 5 万分の 1 地質図幅, 地質調査所, p175
- (64) 鈴木毅彦 (2000) : 飛騨山脈貝塚給源火道起源の貝塚上宝テフラを用いた中期更新世前半の地形面編年, 地理学評論, 73A-1, p1-25
- (65) 鈴木毅彦, 中山俊雄 (2007) : 東北日本弧, 仙岩地熱地域を給源とする 2.0Ma に噴出した大規模火砕流に伴う広域テフラ, 火山, 第 52 卷 (2007), 第 1 号, p. 23-38
- (66) 高橋正樹 (1995) : 大規模珪長質火山活動と地殻歪速度, 火山, 第 40 卷 (1995), p. 33-42
- (67) 工藤崇, 檀原徹, 山下透, 植木岳雪, 佐藤大介 (2011) : 八甲田カルデラ起源火砕流堆積物の層序の再検討, 日本第四紀学会講演要旨集, p144-145
- (68) 守屋以智雄 (1983) : 日本の火山地形, 東京大学出版会, p135
- (69) 米倉伸之 (2001) : 日本の地形 (1) 総説, 東京大学出版会, p349
- (70) Zhao Dapeng, Wei Wei, Nishizono Yukihisa, Inakura Hirohito (2011) : Low-frequency earthquakes and tomography in western Japan: Insight into fluid and magmatic activity, Journal of Asian Earth Sciences, 42, p. 1381-1393
- (71) 東宮昭彦 (1997) : 実験岩石学的手法で求めるマグマ溜まりの深さ, 月刊地球, Vol19, No11, p720-724
- (72) Nagaoka Shinji (1988) : The late quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around kagoshima bay, southern kyushu, Japan, 23, p. 49-122
- (73) 三好雅也, 長谷中利昭, 佐野貴司 (2005) : 阿蘇カルデラ形成後に活動した多様なマグマとそれらの因果関係について, 火山, 第 50 卷 (2005), 第 5 号, p. 269-283
- (74) 茨城県自然博物館 (2001) : 茨城県自然博物館 第 2 次総合調査報告書 (2001) 関東ローム層, p. 87-102
- (75) 茨城県自然博物館 (2007) : 茨城県自然博物館 第 4 次総合調査報告書 (2007) 関東ローム層, p. 85-99
- (76) 守屋以智雄 (1979) : 日本の第四紀火山の地形発達と分類, 地理学評論, 52-9, p479-501, 1979

- (77) 坂本亨, 宇野沢昭 (1976) : 茨城県瓜連丘陵の第四系と久慈川・那珂川の河谷発達史, 地質調査所月報, 第 27 卷, 第 10 号 p655-664, 1976
- (78) 三村弘二 (2002) : 東北日本, 猫魔火山の地質と放射年代, 火山, 第 47 卷 (2002) , 第 4 号, p217-225
- (79) 大石雅之 (2009) : 四阿火山を起源とする噴出物の岩石記載の特徴とテフラ分布, 地学雑誌, 118 (6) , p.1237-1246, 2009
- (80) 鈴木毅彦 (2001) : 海洋酸素同位体ステージ 5-6 境界に降下した飯縄上樽テフラ群とその編年学的意義, 第四紀研究, 40⁽¹⁾, p. 29-41
- (81) Tamura Itoko, Yamazaki Haruo, Mizuno Kiyohide (2008) : Characteristics for the recognition of Pliocene and early Pleistocene marker tephtras in central Japan, Quaternary International 178 (2008) , p. 85-99
- (82) 鈴木毅彦・早川由紀夫(1990) : 中期更新世に噴出した大町 Apm テフラ群の層位と年代, 第四紀研究, 29 (2) , p. 105-120
- (83) 鈴木毅彦, 檀原徹, 藤原治 (2001) : 東北日本の大規模火砕流は広域テフラを生産したか?, 月間地球, Vol23, No9, p. 610-613
- (84) Newhall and Self (1982) : The Volcanic Explosivity Index (VEI) 'An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 87, NO. C2, p1231-1238, FEBRUARY 20, 1982
- (85) 萬年一剛 (2013) : 降下火山灰シミュレーションコード Tephra2 の理論と現状-第四紀学での利用を視野に, 第四紀研究, 52 (4) , p. 173-187
- (86) 山崎正男 (1958) : 日光火山群, 地球科学, 第 36 号 (1958 年 2 月) , p. 27-35
- (87) 山元孝広 (2011) : 磐梯火山最初期噴出物におけるマグマ組成の時間変化: 裏磐梯高原コアの化学分析結果, 火山, 第 56 卷 (2011) , 第 6 号, p. 189-200
- (88) 山元孝広, 須藤茂 (1996) : テフラ層序からみた磐梯火山の噴火活動史, 地質調査所月報, 第 47 卷, 第 6 号, p335-359, 1996
- (89) 小荒井衛, 津沢正晴, 星野実 (1995) : 磐梯山の地形発達史, 「火山地域における土砂災害発生予測手法の開発に関する国際共同研究」「岩屑流発生場に関する研究」分科会研究成果, 磐梯火山, p135-143
- (90) 早田勉 (1989) : 6 世紀における榛名火山の 2 回の噴火とその災害, 第四紀研究, 27 (4) , p. 297-312
- (91) 山元孝広, 長谷部忠夫 (2014) : 福島県只見町叶津の埋没化石林の放射性炭素年代: 沼沢火山水沼噴火年代の再検討, 地質学雑誌, 第 120 卷, 第 1 号, p1-9

第 8.2.1 表(1) 地理的領域内の第四紀火山における活動可能性

| No. | 火山名 ^{※1} | 敷地からの距離 (km) | 火山の形式 ^{※2} | 活動年代 ^{※3} (千年前) | 全活動期間 (千年) | 最後の活動からの期間 (千年前) | 施設に影響を及ぼし得る火山 (12火山) | |
|-----|-------------------|--------------|---------------------|--------------------------|------------|------------------|----------------------|-------------------------|
| | | | | | | | 完新世に活動を行った火山 (10火山) | 将来の活動可能性が否定できない火山 (2火山) |
| 1 | 高原山 | 98 | 複成火山, 溶岩ドーム | 300 ~ | 300 | 6.5 | ○ | - |
| 2 | 塩原カルデラ | 103 | カルデラ-火砕流 | 350 ~ 300 | 50 | 300 | × | × |
| 3 | 那須岳 | 108 | 複成火山 | 500 ~ | 500 | AD1963 | ○ | - |
| 4 | 男体・女峰火山群 | 110 | 複成火山, 溶岩ドーム | 900 ~ | 900 | 3.3 | ○ | - |
| 5 | 甲子 | 114 | 複成(複合)火山 | 1300 ~ 1200 | 100 | 1200 | × | × |
| 6 | 塔のへつりカルデラ群 | 115 | カルデラ-火砕流, 溶岩ドーム | 1400 ~ 1000 | 400 | 1000 | × | × |
| 7 | 皇海山 | 118 | 複成火山 | 1600 ~ 900 | 700 | 900 | × | × |
| 8 | 二岐山 | 120 | 複成火山, 溶岩ドーム | 140 ~ 90 | 50 | 90 | × | × |
| 9 | 日光白根火山群 | 120 | 溶岩流及び小型楯状火山, 溶岩ドーム | 20 ~ | 20 | AD1890 | ○ | - |
| 10 | 根名草山 | 121 | 溶岩ドーム | 300 | - | 300 | × | × |
| 11 | 錫ヶ岳 | 121 | 複成火山? | 2700 ~ 2100 | 600 | 2100 | × | × |
| 12 | 鬼怒沼 | 125 | 溶岩流, 火砕流 | 240 | - | 240 | × | × |
| 13 | 赤城山 | 126 | 複成火山-カルデラ, 溶岩ドーム | 300 ~ | 300 | AD1251 | ○ | - |
| 14 | 四郎岳 | 126 | 複成火山? | 2500 ~ 2200 | - | 2200 | × | × |
| 15 | 沼上山 | 127 | 複成火山 | 1100 | - | 1100 | × | × |
| 16 | 会津布引山 | 127 | 複成火山 | 1400 | - | 1400 | × | × |

※1, 2 火山名, 火山の形式は中野他(2013)⁽¹⁾に基づく。

※3 活動年代は, 中野他(2013)⁽¹⁾及び「第四紀噴火・貫入岩データベース」(西来他(2016)⁽²⁾)に基づき評価した。

第 8.2.1 表(2) 地理的領域内の第四紀火山における活動可能性

| No. | 火山名 ^{※1} | 敷地からの距離 (km) | 火山の形式 ^{※2} | 活動年代 ^{※3} (千年前) | 全活動期間 (千年) | 最後の活動からの期間 (千年前) | 施設に影響を及ぼし得る火山 (12火山) | |
|-----|-------------------|--------------|-----------------------|---------------------------|------------|------------------|----------------------|-------------------------|
| | | | | | | | 完新世に活動を行った火山 (10火山) | 将来の活動可能性が否定できない火山 (2火山) |
| 17 | 燧ヶ岳 | 136 | 複成火山 | 160 ~ | 160 | AD1544 | ○ | - |
| 18 | アヤマ平 | 136 | 複成火山 | 1600 | - | 1600 | × | × |
| 19 | 上州武尊山 | 140 | 複成火山 | 1200 ~ 1000 | 200 | 1000 | × | × |
| 20 | 博士山 | 142 | 複成火山 | 2800 ~ 2500 | 300 | 2500 | × | × |
| 21 | 子持山 | 144 | 複成火山, 溶岩ドーム | 900 ~ 200 | 700 | 200 | × | ○ |
| 22 | 奈良俣カルデラ | 146 | カルデラ-火砕流 | 2100 | - | 2100 | × | × |
| 23 | 小野子山 | 149 | 複成火山 | 1300 ~ 1200 | 100 | 1200 | × | × |
| 24 | 安達太良山 | 153 | 複成火山, 溶岩ドーム | 550 ~ | 550 | AD1900 | ○ | - |
| 25 | 砂子原カルデラ | 153 | カルデラ, 溶岩ドーム | 290 ~ 220 | 70 | 220 | × | × |
| 26 | 磐梯山 | 154 | 複成火山 | 700 ~ | 700 | AD1888 | ○ | - |
| 27 | 榛名山 | 154 | 複成火山-カルデラ, 溶岩ドーム, 火砕丘 | 500 ~ | 500 | 6世紀中頃 | ○ | - |
| 28 | 笹森山 | 154 | 複成火山? | 3700 ~ 1800 ^{※4} | 1900 | 1800 | × | ○ |
| 29 | 猫魔ヶ岳 | 156 | 複成火山 | 1430 ~ 400 ^{※5} | 1030 | 400 | × | × |
| 30 | 西鴉川 | 157 | 複成(複合)火山 | 1850 ~ 1140 | 710 | 1140 | × | × |
| 31 | 沼沢 | 157 | 溶岩ドーム, カルデラ | 110 ~ | 110 | 5.4 | ○ | - |

※1, 2 火山名, 火山の形式は中野他(2013)⁽¹⁾に基づく。

※3 活動年代は, 中野他(2013)⁽¹⁾及び「第四紀噴火・貫入岩データベース」(西来他(2016)⁽²⁾)に基づき評価した。

※4 笹森山起源の火砕流堆積物のフィッション・トラック年代を示している山元(2015)⁽³⁾による。

※5 活動休止期間が明確に記されている知見である三村(2002)⁽⁴⁾に基づき, 最後の活動からの経過期間が活動期間中の最大休止期間よりも長いとみなせる火山として評価した。

第 8.3.1 表 設計対応不可能な火山事象とその噴火物の敷地への到達可能性

| No. | 火山名 | 敷地からの距離 (km) | 火砕物密度流 (160km) | | 溶岩流 岩屑なだれ、地すべり及び 斜面崩壊 (50km) | 新しい火口の開口 地殻変動 |
|-----|--------------|--------------|------------------|---|---------------------------------------|---|
| | | | 到達可能性 範囲 (km) | 評価結果 | | |
| 1 | 高原山 | 98 | - | 活動履歴上、噴出物は溶岩や火砕物が主であり、火砕物密度流の発生実績は認められない。 | 敷地と火山の距離から、施設に影響を及ぼす可能性はない。 | 敷地は、火山フロントより前弧側（東方）に位置すること、敷地周辺では火成活動は確認されていないことから、この事象が試験研究炉の運用期間中に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。 |
| 3 | 那須岳 | 108 | 約17 | 敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から、敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。 | | |
| 4 | 男体・女峰 火山群 | 110 | 約18 | | | |
| 9 | 日光白根火山群 | 120 | - | 活動履歴上、噴出物は溶岩や火砕物が主であり、火砕物密度流の発生実績は認められない。 | | |
| 13 | 赤城山 | 126 | 約24 | | | |
| 17 | 燧ヶ岳 | 136 | 約6 | | | |
| 21 | 子持山 | 144 | 約6 | | | |
| 24 | 安達太良山 | 153 | 約16 | 敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から、施設に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。 | | |
| 26 | 磐梯山 | 154 | 約10 | | | |
| 27 | 榛名山 | 154 | 約23 | | | |
| 28 | 笹森山 | 154 | 約13 | | | |
| 31 | 沼沢 | 157 | 約17 | | | |

第 8.4.1 表(1) 降下火砕物の文献調査結果

| 敷地と火山との距離 | 敷地及び敷地近傍で確認される主な降下火砕物 | 記号 | 火山から敷地への方向(距離(k m)) | 給源火山 | 試験研究炉の運用期間中の同規模噴火の可能性 (○:あり, ×:可能性は十分に小さい) | 敷地の層厚 | 降下火砕物の噴火規模(VEI) [*] | |
|-----------|-----------------------|---------------|---------------------|----------|---|---|------------------------------|---|
| 半径160km内 | 高原戸室山2テフラ | Tk-TM2 | 南東(約98km) | 高原山 | ○ | — | 8cm以下 ^{*1} | 5 |
| | 男体七本桜テフラ | Nt-S | 東南東(約110km) | 男体・女峰火山群 | ○ | — | 0~20 c m ^{*2} | 4 |
| | 男体今市テフラ | Nt-I | | | | | 0~20 c m ^{*2} | 4 |
| | 満美穴テフラ | Nk-Ma | 東南東(約110km) | 男体・女峰火山群 | × | 女峰赤薙火山の活動で発生した降下火砕物であり、現在は男体山、三ツ岳火山の活動が継続 | 32cm以下 ^{*3} | 5 |
| | 日光早乙女テフラ | Nk-SO | | | | | 16cm以下 ^{*3} | 4 |
| | 日光行川テフラ | Nk-NM | | | | | 16cm以下 ^{*3} | 5 |
| | 日光矢板テフラ | Nk-YT | | | | | 16cm以下 ^{*3} | 4 |
| | 赤城鹿沼テフラ | Ag-KP | 東南東(約126km) | 赤城山 | ○ | — | 32cm~64cm ^{*1} | 5 |
| | 赤城行川2テフラ | Ag-NM2 | | | | | 4cm以下 ^{*1} | 4 |
| | 赤城水沼1テフラ | Ag-MzP1 | | | | | 5cm~20cm ^{*2} | 4 |
| | 赤城水沼2テフラ | Ag-MzP2 | | | | | 4cm以下 ^{*1} | 4 |
| | 赤城水沼8テフラ | Ag-MzP8 | | | | | 8cm以下 ^{*1} | 4 |
| | 赤城水沼9-10テフラ | Ag-MzP9-10 | | | | | 16cm以下 ^{*1} | 4 |
| | 巖ヶ岳七入テフラ | Hu-NN | 南東(約136km) | 巖ヶ岳 | ○ | — | 8cm以下 ^{*3} | 5 |
| | 沼沢芝原テフラ | Nm-SB | 南東(約157km) | 沼沢 | ○ | — | 16cm以下 ^{*3} | 4 |
| 榛名八崎テフラ | Hr-HP | 東(約154km) | 榛名山 | ○ | — | 0cm~10cm ^{*2} | 4 | |
| 鬼怒沼黒田原テフラ | Kn-KD | 東南東(約125 k m) | 鬼怒沼 | × | 将来の活動可能性のない火山 | 16cm以下 ^{*3} | 5 | |

※噴火規模(VEI)の定義は町田・新井(2011)⁽⁵³⁾に基づく

- 試験研究炉の運用期間中の同規模噴火の可能性あり。
 試験研究炉の運用期間中の同規模噴火の可能性が十分に小さい。

^{*1}: 山元(2013a)⁽¹¹⁾, ^{*2}: 町田・新井(2011)⁽⁵³⁾, ^{*3}: 山元(2012)⁽⁹⁾, ^{*4}: 大石(2009)⁽⁷⁹⁾, ^{*5}: 鈴木(2001)⁽⁸⁰⁾
^{*6}: Tamura et al(2008)⁽⁸¹⁾, ^{*7}: 鈴木・早川(1990)⁽⁸²⁾, ^{*8}: 鈴木・中山(2007)⁽⁶⁵⁾, ^{*9}: 鈴木他(2001)⁽⁸³⁾
^{*10}: 山元(2013b)⁽⁴⁶⁾

第 8.4.1 表(2) 降下火砕物の文献調査結果

| 敷地と火山との距離 | 敷地及び敷地近傍で確認される主な降下火砕物 | 記号 | 火山から敷地への方向(距離(km)) | 給源火山 | 試験研究炉の運用期間中の同規模噴火の可能性 (○:あり, ×:可能性は十分に小さい) | 敷地の層厚 | 降下火砕物の噴火規模(VEI)※ | |
|-----------|------------------------|----------------|--------------------|-----------|---|-----------------------------------|------------------|----|
| 半径160km外 | 真岡テフラ | MoP | 東南東(約172km) | 飯士山 | × | 将来の活動可能性のない火山 | 32cm~16cm*1 | 5 |
| | 立川ローム上部ガラス質テフラ | UG | 東(約183km) | 浅間山 | × | 仏岩期の活動で発生した降下火砕物であり、現在は前掛火山の活動が継続 | 0cm以上*2 | 6 |
| | 浅間板鼻黄色テフラ | As-YP | | | | | 0cm以上*2 | 5 |
| | 四阿菅平2テフラ | Azy-SgP2 | 東(約194km) | 四阿山 | ○ | — | 0cm以上*4 | 5 |
| | 箱根東京テフラ | Hk-TP | 北東(約180km) | 箱根火山群 | × | 現在は溶岩ドームの活動が継続(顕著な降下火砕物発生はない) | 0cm以上*2 | 6 |
| | 箱根吉沢下部7テフラ | Hk-K1p7 | | | | | 0cm以上*2 | 5 |
| | 飯縄上樽aテフラ | In-Kta | 東(約223km) | 飯縄山 | × | 現在は活動停止期が継続 | 0cm以上*5 | ? |
| | 御岳第1テフラ | On-Pm1 | 東北東(約280km) | 御嶽山 | × | 山頂付近における小規模の噴火活動が継続 | 10cm~0cm*2 | 6 |
| | 谷口テフラ | Tng | 東(約254km) | 飛騨山脈(爺ヶ岳) | × | 将来の活動可能性のない火山 | 30cm以下*6 | ? |
| | 大峰テフラ(大峰-SK110) | Omn(Omn-SK110) | | | | | 10cm以下*6 | 6? |
| | 大町Apmテフラ群 | Tky-Ng1 | 東(約265km) | 飛騨山脈(権沢岳) | × | 将来の活動可能性のない火山 | 0cm以上*7 | 6? |
| | 恵比須峠福田テフラ | Ebs-Fkd | 東(約261km) | 飛騨山脈(穂高岳) | × | 将来の活動可能性のない火山 | 約30cm*6 | 7? |
| | 丹生川テフラ(徳高-Kd39) | Nyg(Htk-Kd39) | | | | | 20cm~10cm*6 | ? |
| | 貝塩上宝テフラ | KMT | 東(約275km) | 飛騨山脈(上宝) | × | 将来の活動可能性のない火山 | 0cm以上*2 | 6? |
| | 玉川R4テフラ | Tmg-R4 | 南(約412km) | 玉川カルデラ | × | 将来の活動可能性のない火山 | 0cm以上*8 | 6 |
| | 八甲田1テフラ(八甲田国本テフラ, Ku1) | Hkd1 | 南(約491km) | 八甲田カルデラ | × | 現在は後カルデラ火山の活動が継続 | 0cm以上*9 | ? |
| | 大山倉吉テフラ | DKP | 東北東(約641km) | 大山 | × | 数km ³ 以下の噴火活動が継続 | 5cm~0cm*2 | 6 |
| | 阿蘇3テフラ | Aso-3 | 東北東(約943km) | 阿蘇カルデラ | × | 現在は後カルデラ火山の活動が継続 | 0cm以上*2 | 7 |
| | 阿蘇4テフラ | Aso-4 | | | | | 15cm以下*2 | 7 |
| | 始良Tnテフラ | AT | 東北東(約1045km) | 始良カルデラ | × | 現在は後カルデラ火山の活動が継続 | 20cm~10cm*2 | 7 |
| | 鬼界アカホヤテフラ | K-Ah | 北東(約1126km) | 鬼界カルデラ | × | 現在は後カルデラ火山の活動が継続 | 20cm~0cm*2 | 7 |
| | 鬼界葛原テフラ | K-Kz | | | | | 5cm~2cm*2 | 7 |
| | 噴出源不明 | 濁沼川テフラ | — | — | — | — | (再堆積)*1,10 | — |

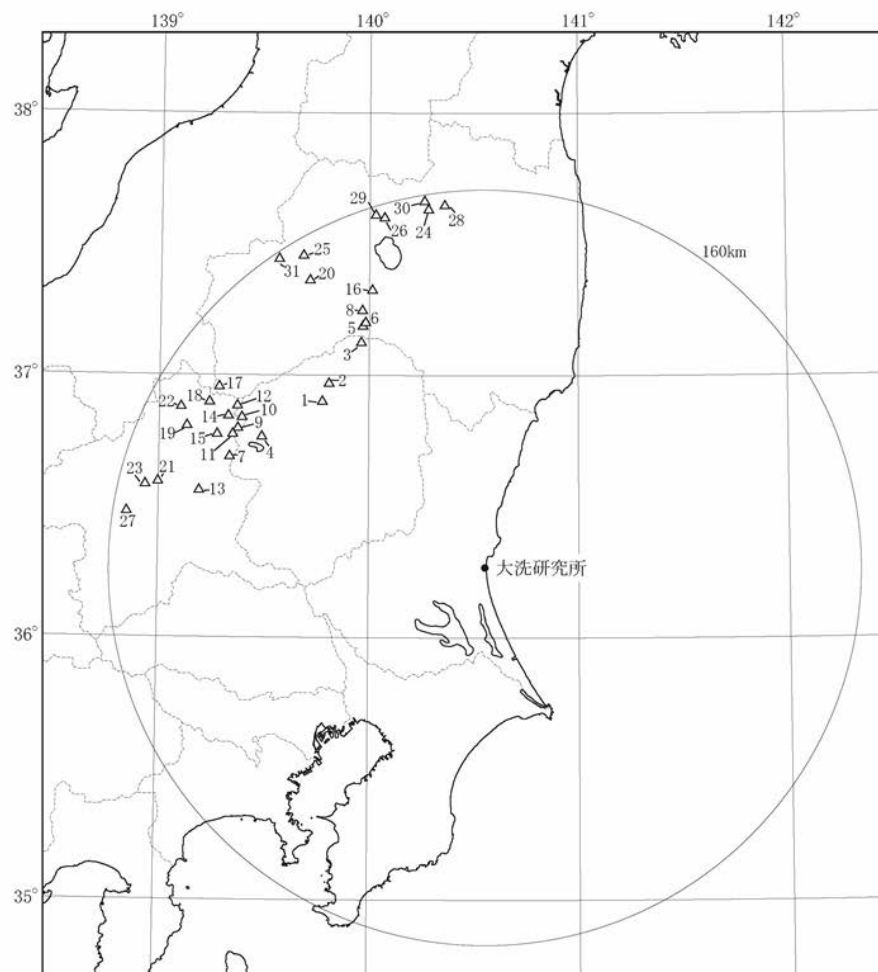
※噴火規模(VEI)の定義は町田・新井(2011)⁽⁵³⁾に基づく

- 試験研究炉の運用期間中の同規模噴火の可能性あり。
- 試験研究炉の運用期間中の同規模噴火の可能性が十分に小さい。

*1: 山元(2013a)⁽¹¹⁾, *2: 町田・新井(2011)⁽⁵³⁾, *3: 山元(2012)⁽⁹⁾, *4: 大石(2009)⁽⁷⁹⁾, *5: 鈴木(2001)⁽⁸⁰⁾
 *6: Tamura et al(2008)⁽⁸¹⁾, *7: 鈴木・早川(1990)⁽⁸²⁾, *8: 鈴木・中山(2007)⁽⁶⁵⁾, *9: 鈴木他(2001)⁽⁸³⁾
 *10: 山元(2013b)⁽⁴⁶⁾

第 8.4.2 表 降下火砕物シミュレーションの主な解析条件

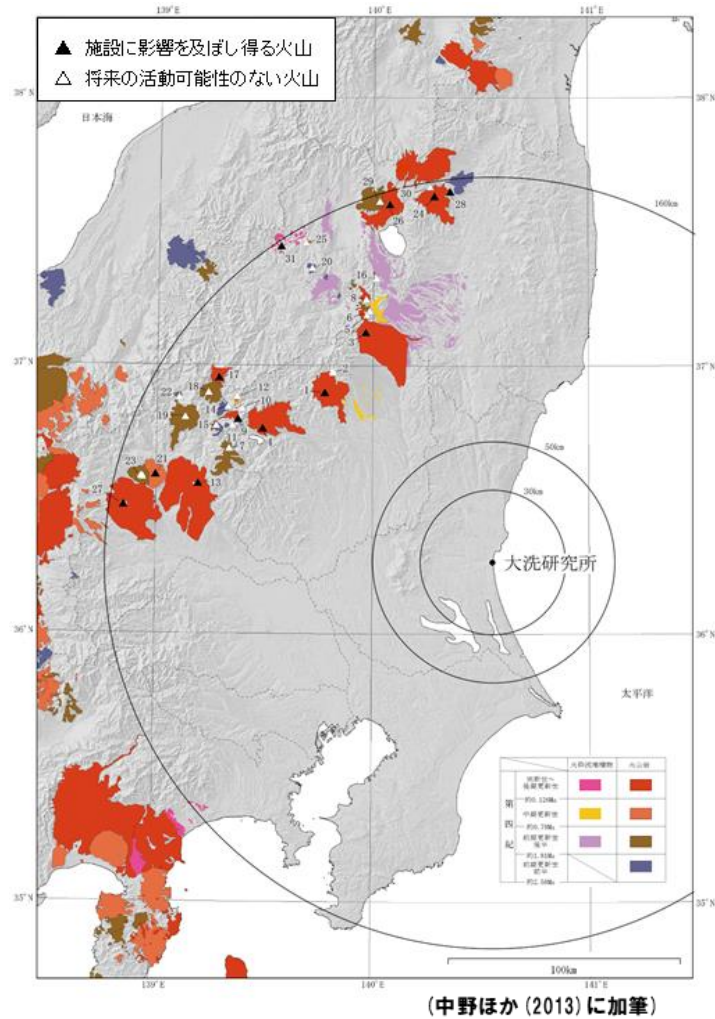
| 設定噴火規模 | パラメータ | 単位 | 設定値 | 設定根拠等 | |
|--------------------|---------------------|-------------------|-----------|---|---|
| 赤城鹿沼テフラ (Ag-KP) | 噴出量(見かけ体積量) | km ³ | 5 | 山元(2016) ⁽³²⁾ 及び山元(2013a) ⁽¹¹⁾ に基づき設定 (見かけ体積量に降下火砕物の密度800kg/m ³ を乗じた4.0×10 ¹² kgを設定) | |
| | 噴煙柱高度 | km | 25 | 同程度の規模の噴火(VEI5)の一般値(Newhall and Self(1982) ⁽⁸⁴⁾ による)に基づいて設定 | |
| | 噴煙柱分割高さ | m | 100 | 萬年(2013) ⁽⁸⁵⁾ より設定 | |
| | 粒径 | 最大 | mm (Φ) | 1,024 (-10) | Tephra2のconfigfileに示された珪長質噴火の一般値 |
| | | 最小 | mm (Φ) | 1/1,024 (10) | Tephra2のconfigfileに示された珪長質噴火の一般値 |
| | | 中央 | mm (Φ) | 1/2 (1.0) | Tephra2のconfigfileに示される他の噴火事例に基づいて設定(エトナ1998年噴火の例を参照) |
| | | 標準偏差 | mm (Φ) | 1/3 (1.5) | Tephra2のconfigfileに示される他の噴火事例に基づいて設定(エトナ1998年噴火の例を参照) |
| | 粒子密度 | t/m ³ | 1.0 | 噴出物を構成する粒子が全て軽石と想定 なお、山元(2013a) ⁽¹¹⁾ において赤城鹿沼テフラは発泡の良い軽石火山礫からなるとされており、 地質調査においても軽石主体であることが確認されている。 | |
| | 見かけの渦拡散係数 | m ² /s | 0.04 | 萬年(2013) ⁽⁸⁵⁾ より設定 | |
| | 拡散係数 | m ² /s | 10,000 | 萬年(2013) ⁽⁸⁵⁾ より設定 | |
| | Fall Time Threshold | s | 3,600 | 萬年(2013) ⁽⁸⁵⁾ より設定 | |
| | Plume Ratio | - | 0.1 | Tephra2のconfigfileに示された事例に基づく一般値 | |
| | 噴出源 | X(東距) | m | 338,296 | 「日本の火山(第3版)」(中野他(2013) ⁽¹⁾)より設定 |
| Y(北距) | | m | 4,047,614 | | |
| 標高 | | m | 1,828 | | |



| No. | 第四紀火山 | 敷地からの距離 (km) |
|-----|------------------------------|--------------|
| 1 | たかはらやま 高原山 | 98 |
| 2 | しおばら 塩原カルデラ | 103 |
| 3 | なすだけ 那須岳 | 108 |
| 4 | なんたい・によほう 男体・女峰火山群 | 110 |
| 5 | かっし 甲子 | 114 |
| 6 | とうのへつり 塔のへつりカルデラ群 | 115 |
| 7 | すかいさん 皇海山 | 118 |
| 8 | ふたまたやま 二岐山 | 120 |
| 9 | にっこうしらね 日光白根火山群 | 120 |
| 10 | ねなくさやま 根名草山 | 121 |
| 11 | すすがたけ 錫ヶ岳 | 121 |
| 12 | きぬぬま 鬼怒沼 | 125 |
| 13 | あかぎさん 赤城山 | 126 |
| 14 | しろうだけ 四郎岳 | 126 |
| 15 | ぬまのかみやま 沼上山 | 127 |

| No. | 第四紀火山 | 敷地からの距離 (km) |
|-----|-----------------------------|--------------|
| 16 | あいづぬのひきやま 会津布引山 | 127 |
| 17 | ひうちがたけ 樋ヶ岳 | 136 |
| 18 | あやめだいら アヤメ平 | 136 |
| 19 | じょうしょうほたかやま 上州武尊山 | 140 |
| 20 | はかせやま 博士山 | 142 |
| 21 | こもちやま 子持山 | 144 |
| 22 | ならまた 奈良俣カルデラ | 146 |
| 23 | おのこやま 小野子山 | 149 |
| 24 | あだたらやま 安達太良山 | 153 |
| 25 | すなごほら 砂子原カルデラ | 153 |
| 26 | ぼんだいさん 磐梯山 | 154 |
| 27 | はるなさん 樺名山 | 154 |
| 28 | さきもりやま 笹森山 | 154 |
| 29 | ねこまがたけ 猫魔ヶ岳 | 156 |
| 30 | にしからすがわ 西鴉川 | 157 |
| 31 | ぬまざわ 沼沢 | 157 |

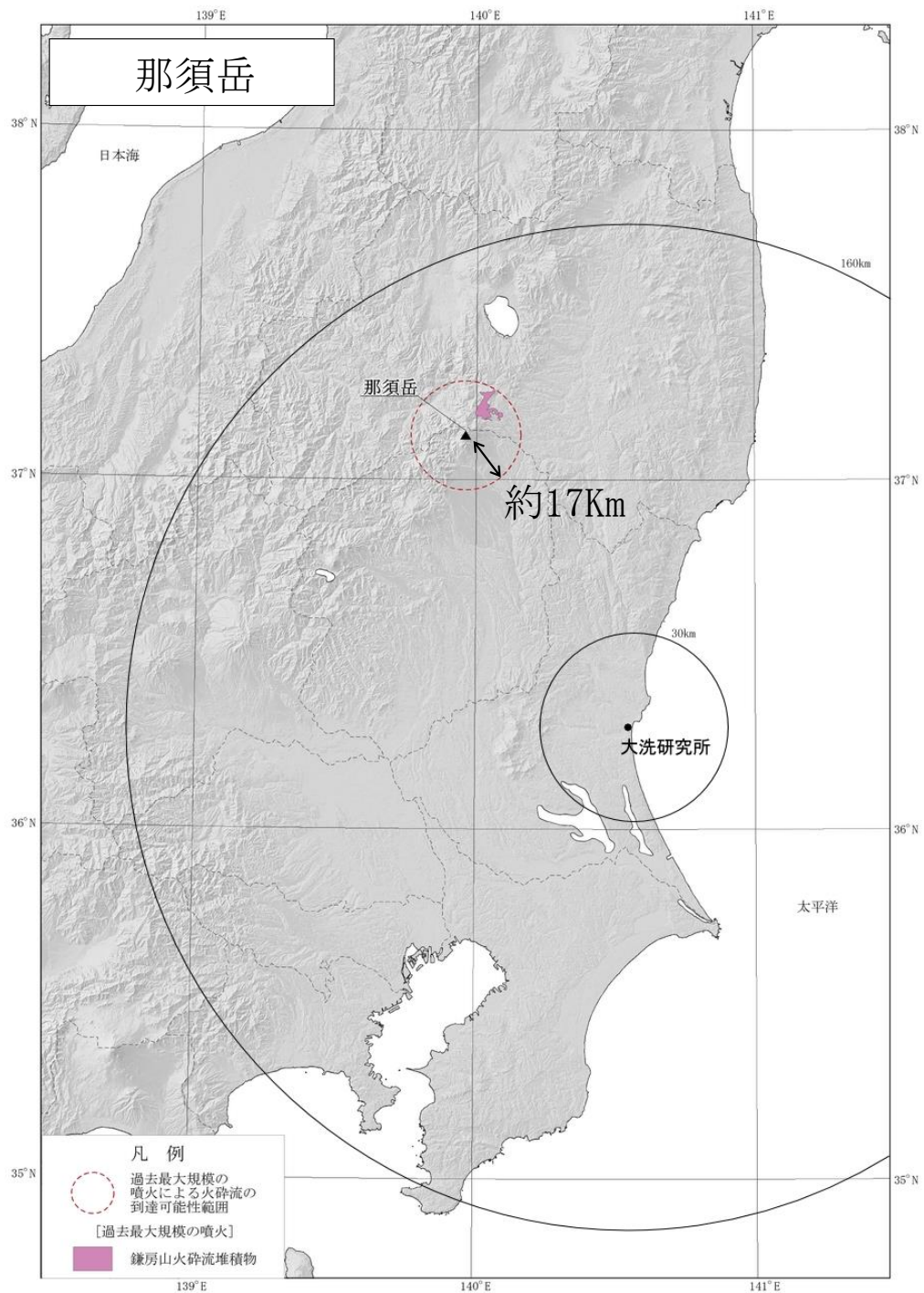
第 8.2.1 図 地理的領域内の第四紀火山



| No. | 第四紀火山 | 敷地からの距離 (km) |
|-----|-----------------------|--------------|
| 1 | たかはらやま 高取山 | 98 |
| 2 | しおぼら 塩原カルデラ | 103 |
| 3 | なすだけ 那須岳 | 108 |
| 4 | なんたい-にょぼう 男体・女峰火山群 | 110 |
| 5 | かっし 甲子 | 114 |
| 6 | とうのへつり 塔のへつりカルデラ群 | 115 |
| 7 | すかいさん 皇海山 | 118 |
| 8 | ふたまたやま 二岐山 | 120 |
| 9 | にっこうしらね 日光白根火山群 | 120 |
| 10 | ねなくさやま 根名草山 | 121 |
| 11 | すずがたけ 錫ヶ岳 | 121 |
| 12 | きぬぬま 鬼怒沼 | 125 |
| 13 | あかざん 赤城山 | 126 |
| 14 | しろうだけ 四郎岳 | 126 |
| 15 | ぬまのかみやま 沼上山 | 127 |

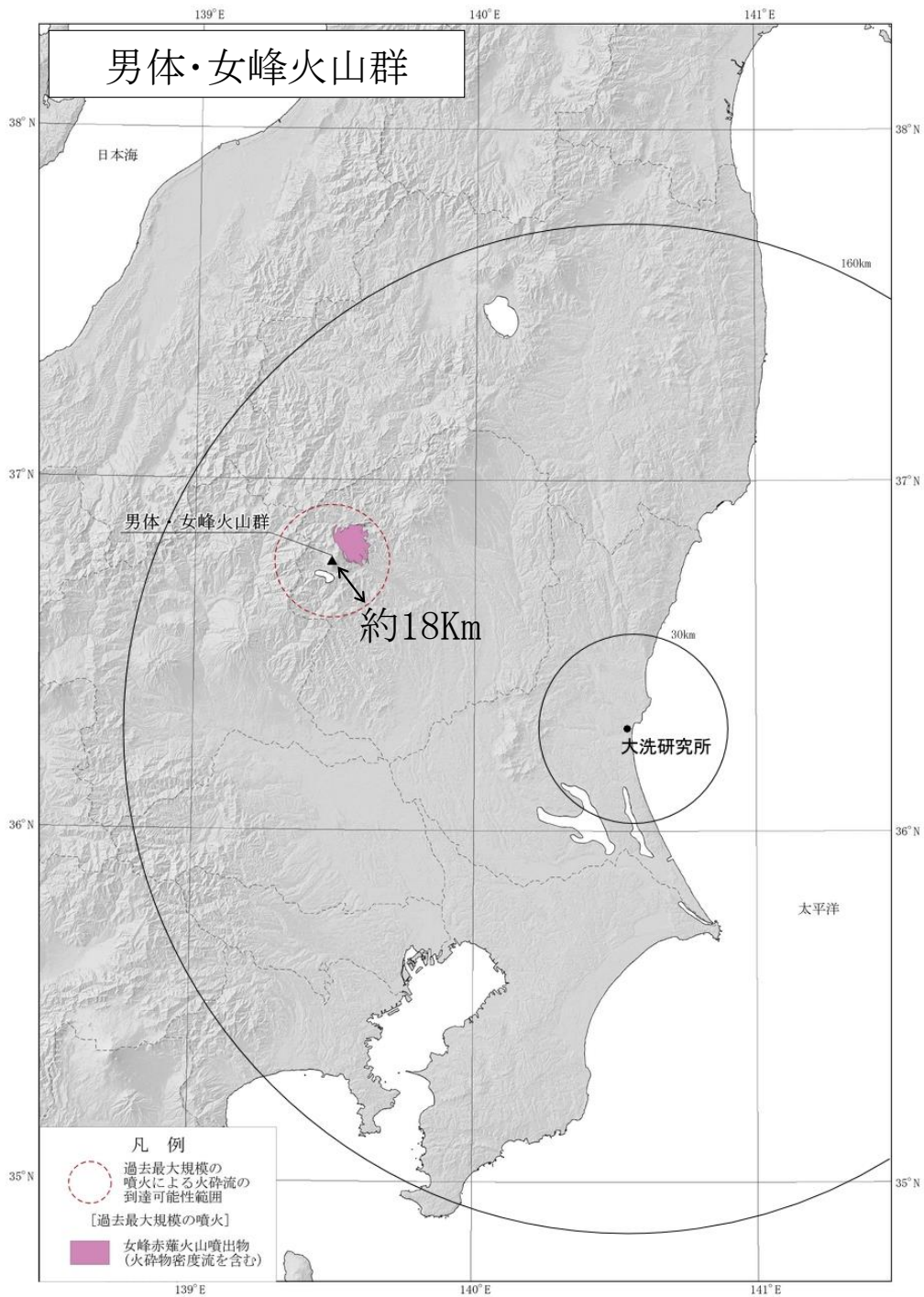
| No. | 第四紀火山 | 敷地からの距離 (km) |
|-----|----------------------|--------------|
| 16 | あいづぬのひきやま 会津布引山 | 127 |
| 17 | ひうちがたけ 麓ヶ岳 | 136 |
| 18 | あやめだいら アヤメ平 | 136 |
| 19 | じょうしゅうほたかやま 上州武尊山 | 140 |
| 20 | はかせやま 博士山 | 142 |
| 21 | こもちやま 子持山 | 144 |
| 22 | ならまた 奈良俣カルデラ | 146 |
| 23 | おのこやま 小野子山 | 149 |
| 24 | あだたらやま 安達太良山 | 153 |
| 25 | すなごほら 砂子原カルデラ | 153 |
| 26 | ばんだいさん 磐梯山 | 154 |
| 27 | はるなさん 榛名山 | 154 |
| 28 | ささもりやま 笹森山 | 154 |
| 29 | ねこまがたけ 猫魔ヶ岳 | 156 |
| 30 | にしからすがわ 西鴉川 | 157 |
| 31 | ぬまざわ 沼沢 | 157 |

第 8.3.1 図 地理的領域内の火山地質図



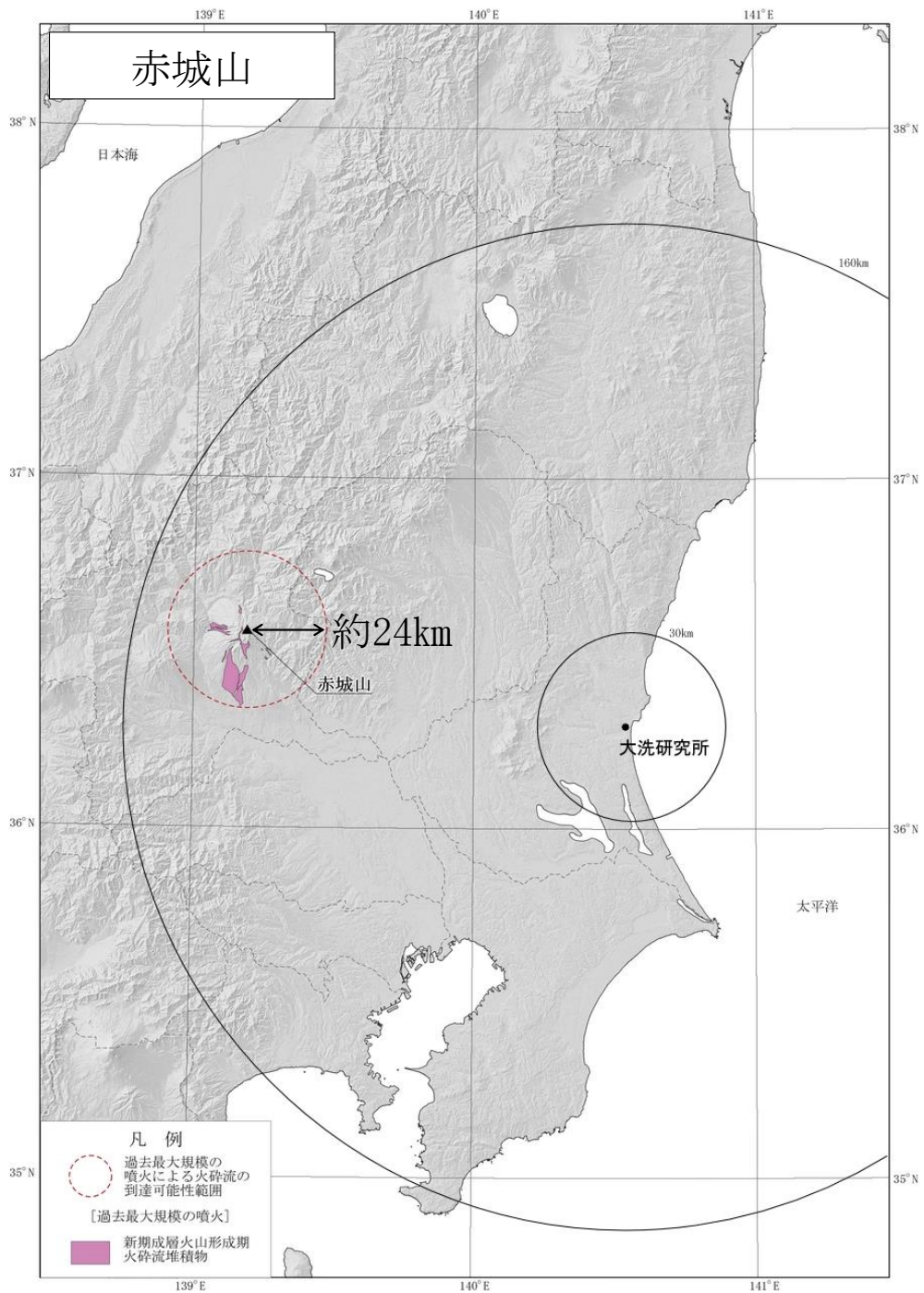
伴・高岡(1995) ⁽¹³⁾ に基づき作成

第 8.3.2 図(1) 火砕物密度流の到達可能性範囲 (那須岳)



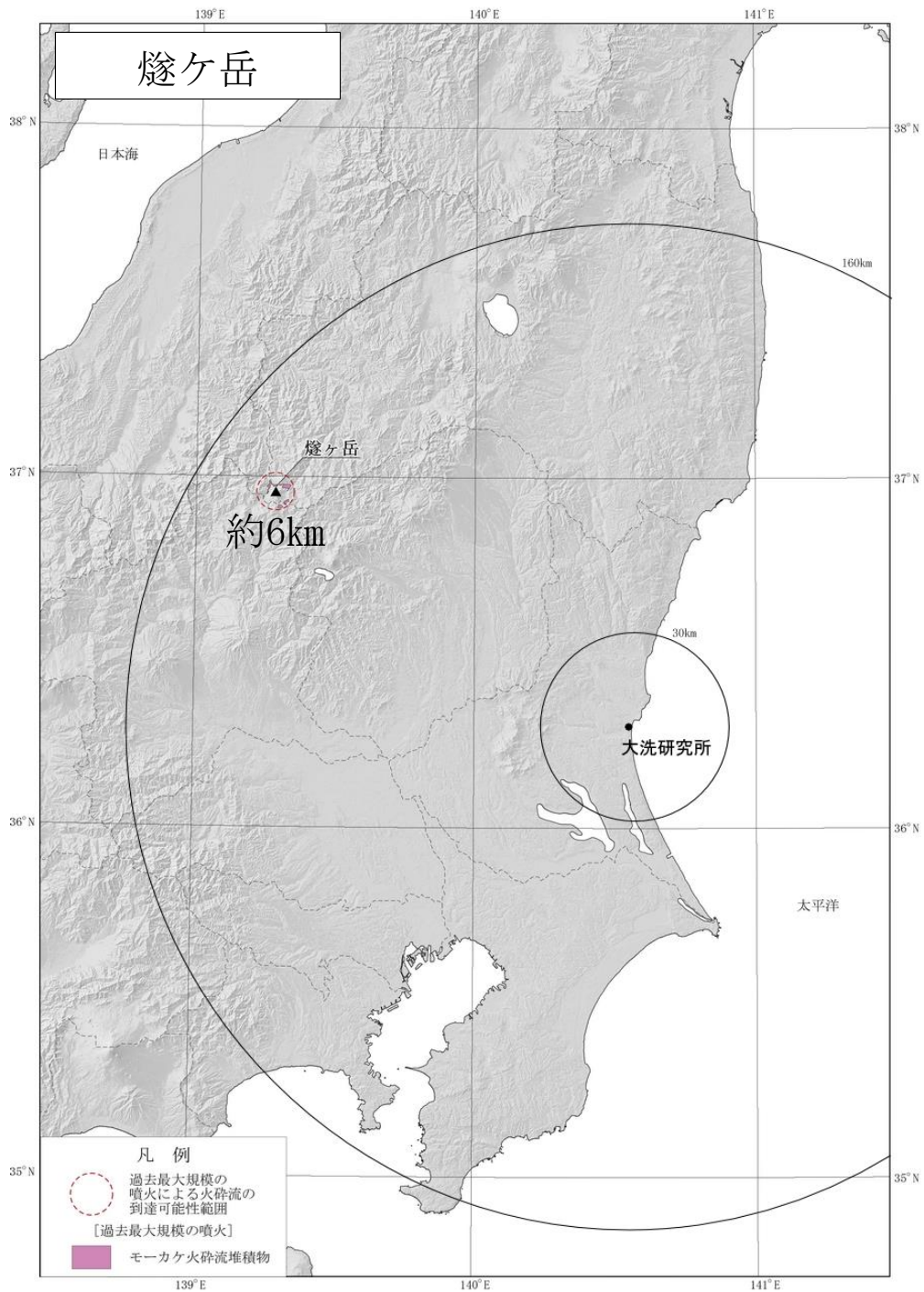
佐々木(1994)⁽¹⁸⁾, 山崎(1958)⁽⁸⁶⁾に基づき作成

第 8.3.2 図(2) 火砕物密度流の到達可能性範囲 (男体・女峰火山群)



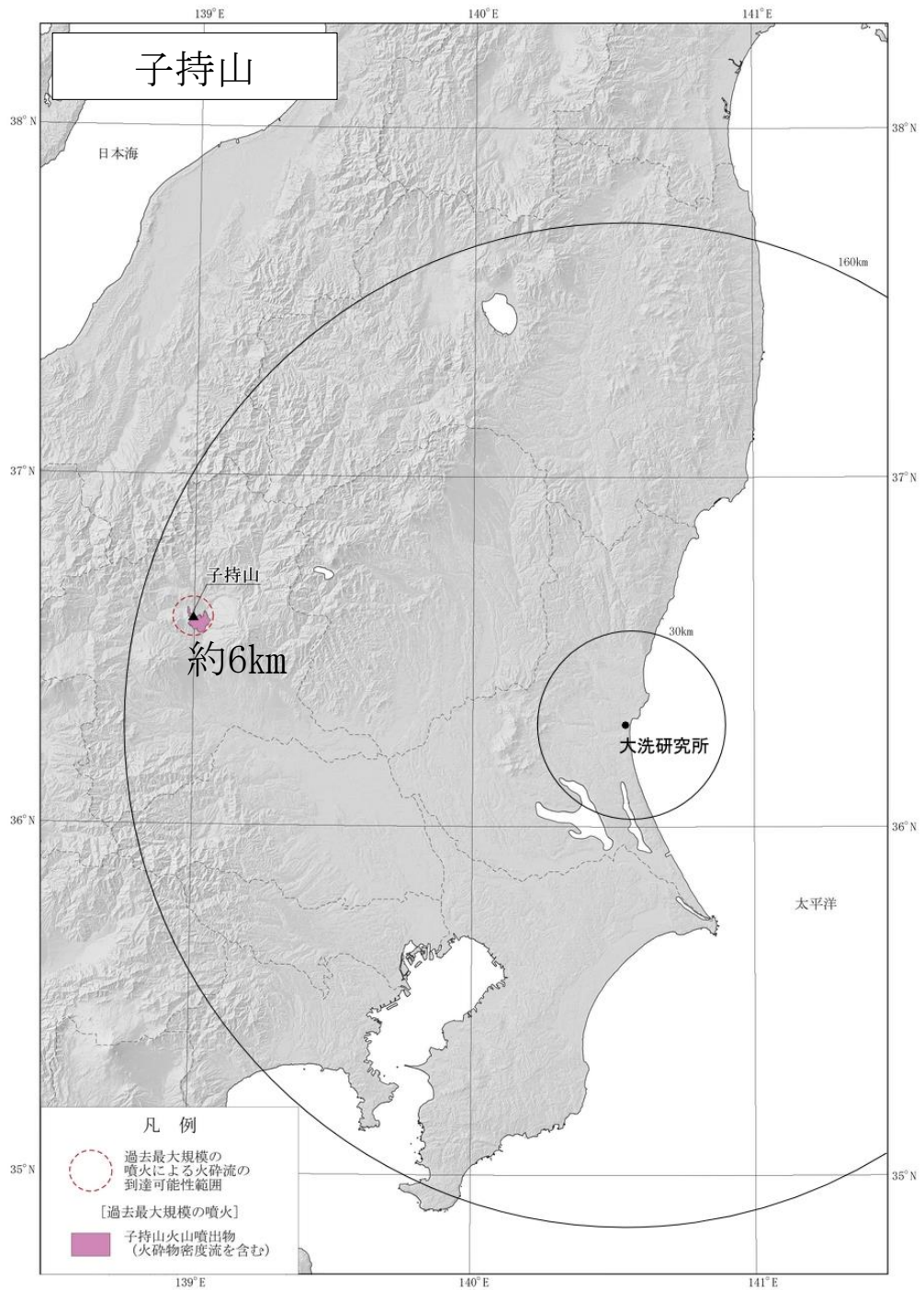
高橋他(2012)⁽²⁸⁾に基づき作成

第 8.3.2 図(3) 火砕物密度流の到達可能性範囲(赤城山)

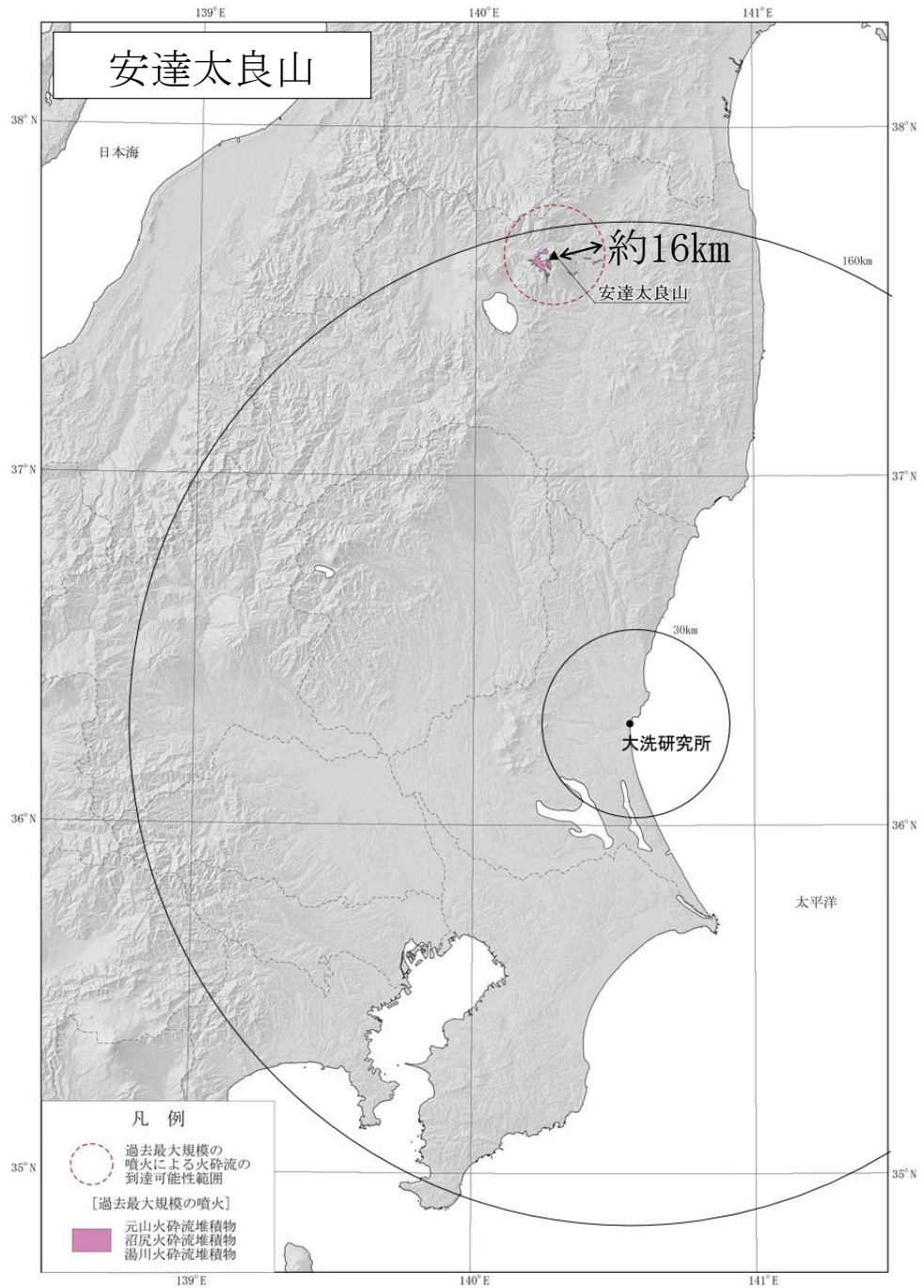


早川他(1997) ⁽³⁵⁾に基づき作成

第 8. 3. 2 図(4) 火砕物密度流の到達可能性範囲 (燧ヶ岳)

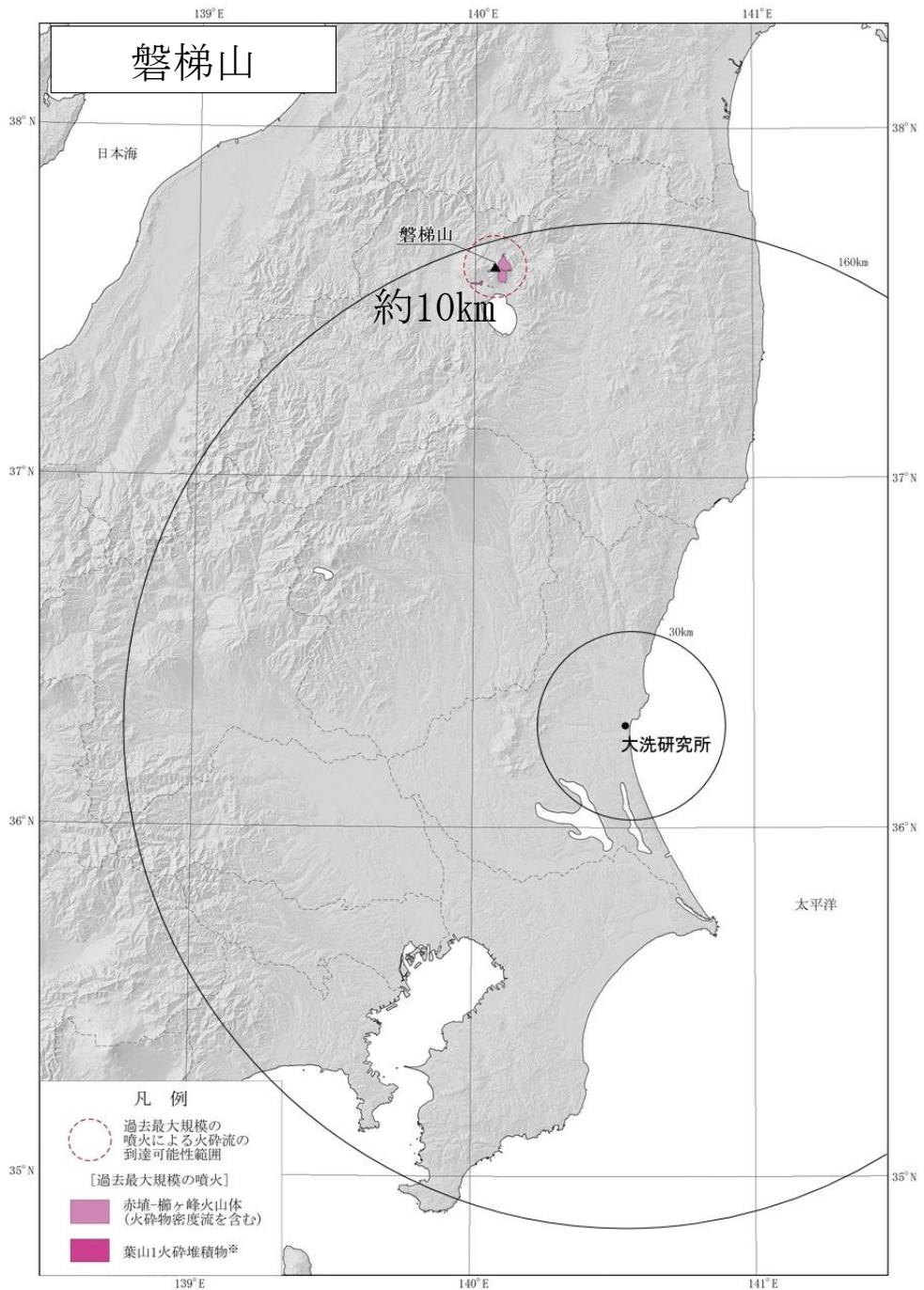


第 8.3.2 図(5) 火砕物密度流の到達可能性範囲(子持山)



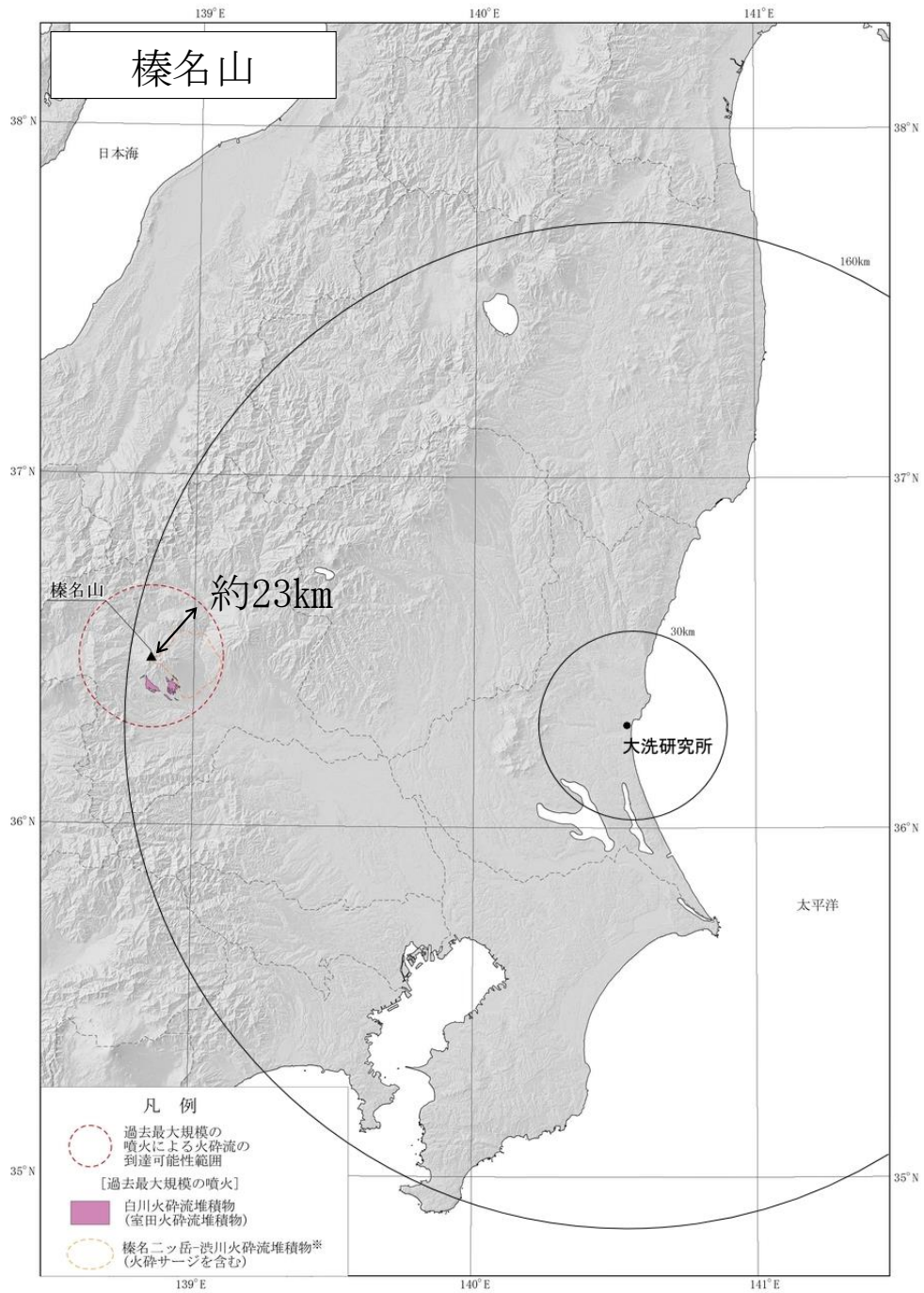
山元・阪口(2000)⁽³⁷⁾に基づき作成

第 8.3.2 図(6) 火砕物密度流の到達可能性範囲(安達太良山)



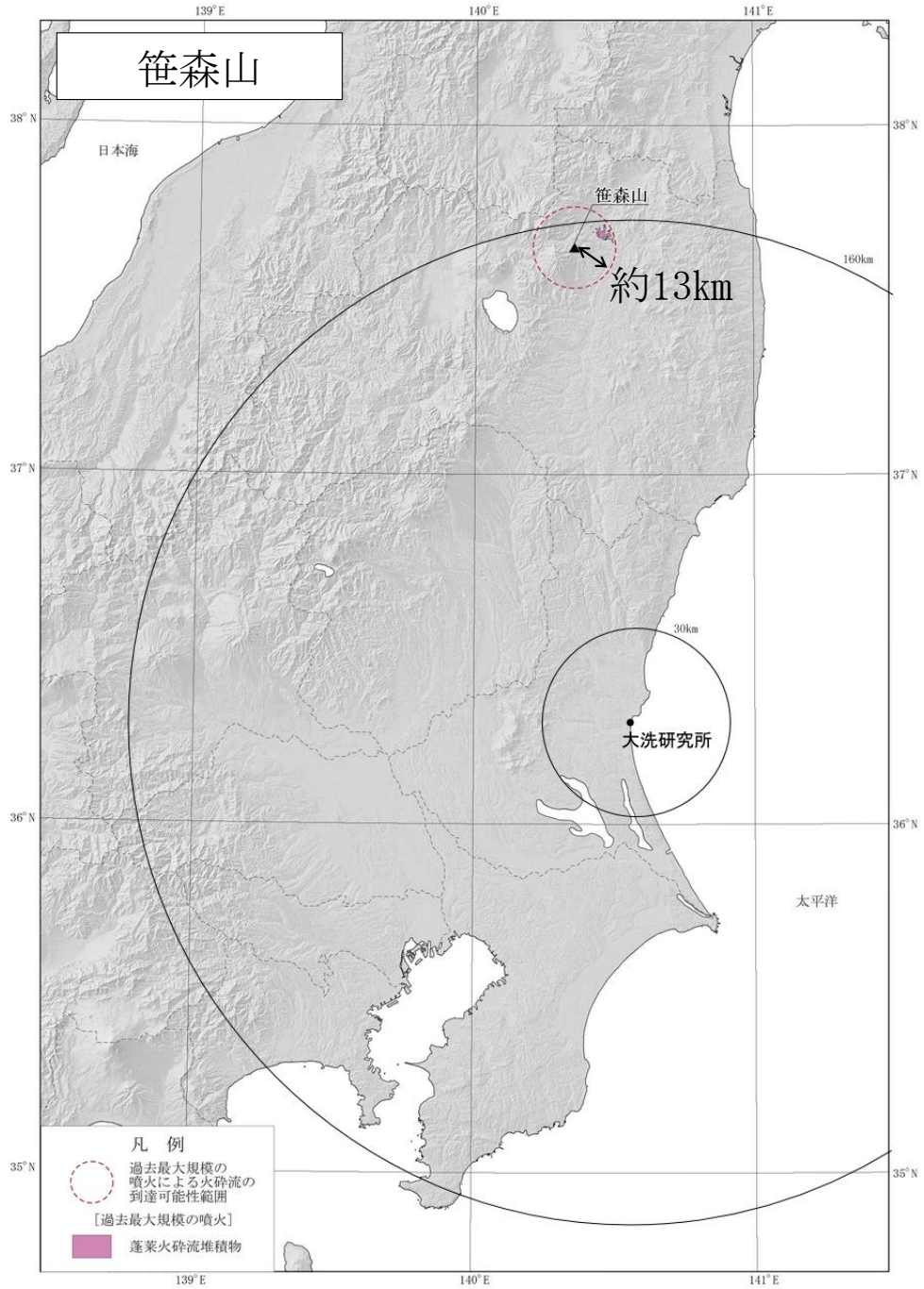
山元(2011)⁽⁸⁷⁾，山元・須藤(1996)⁽⁸⁸⁾，小荒井他(1995)⁽⁸⁹⁾に基づき作成
 ※葉山1火砕流は過去最大規模の噴火ではないが、到達距離としては最大であるため併記した

第 8.3.2 図(7) 火砕物密度流の到達可能性範囲(磐梯山)



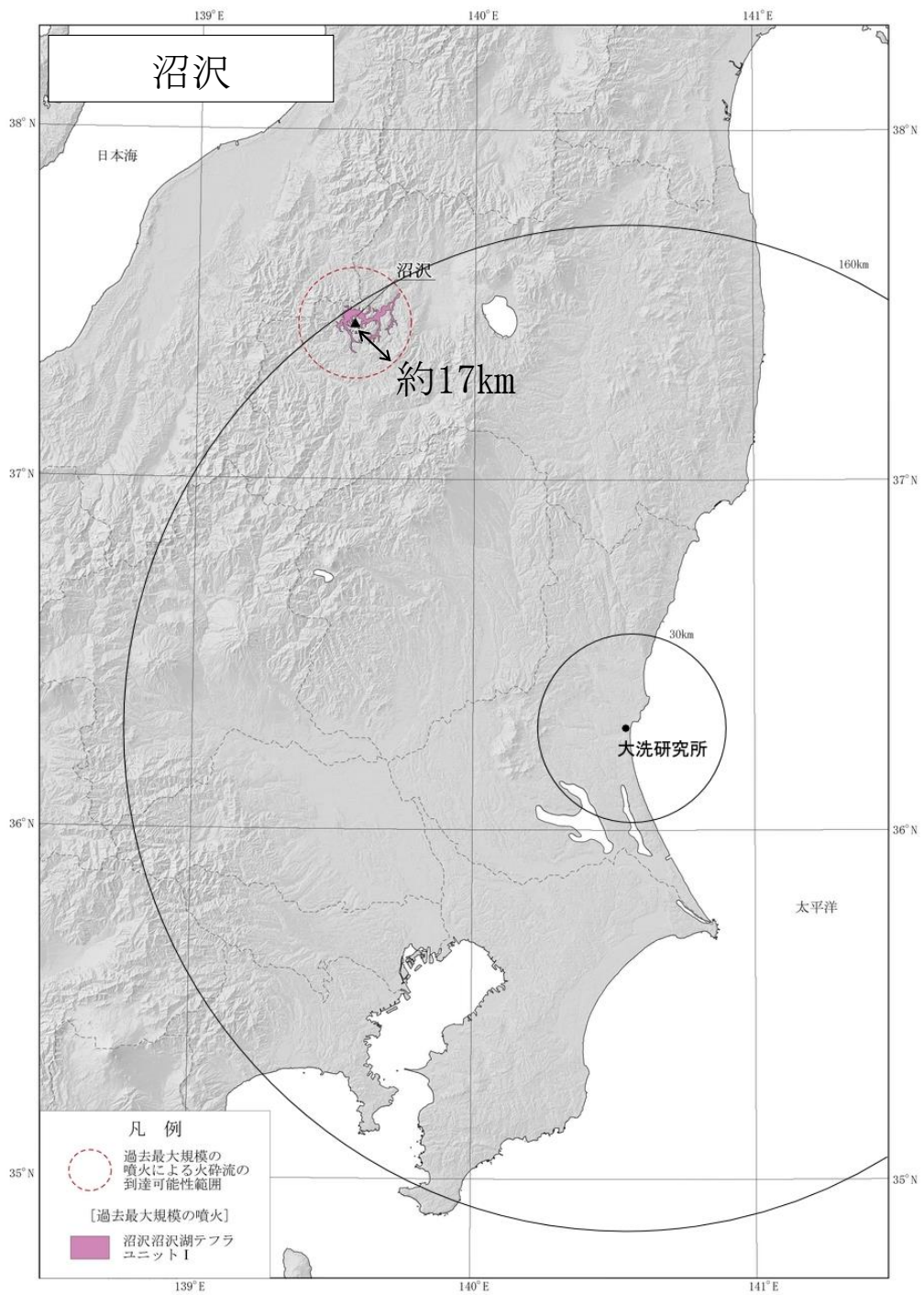
大森編(1986)⁽²³⁾, 早田(1989)⁽⁹⁰⁾に基づき作成
 ※榛名ニッ岳-渋川火砕流堆積物(火砕サージを含む)は過去最大規模の噴火ではないが、到達距離としては最大であるため併記した

第 8.3.2 図(8) 火砕物密度流の到達可能性範囲(榛名山)



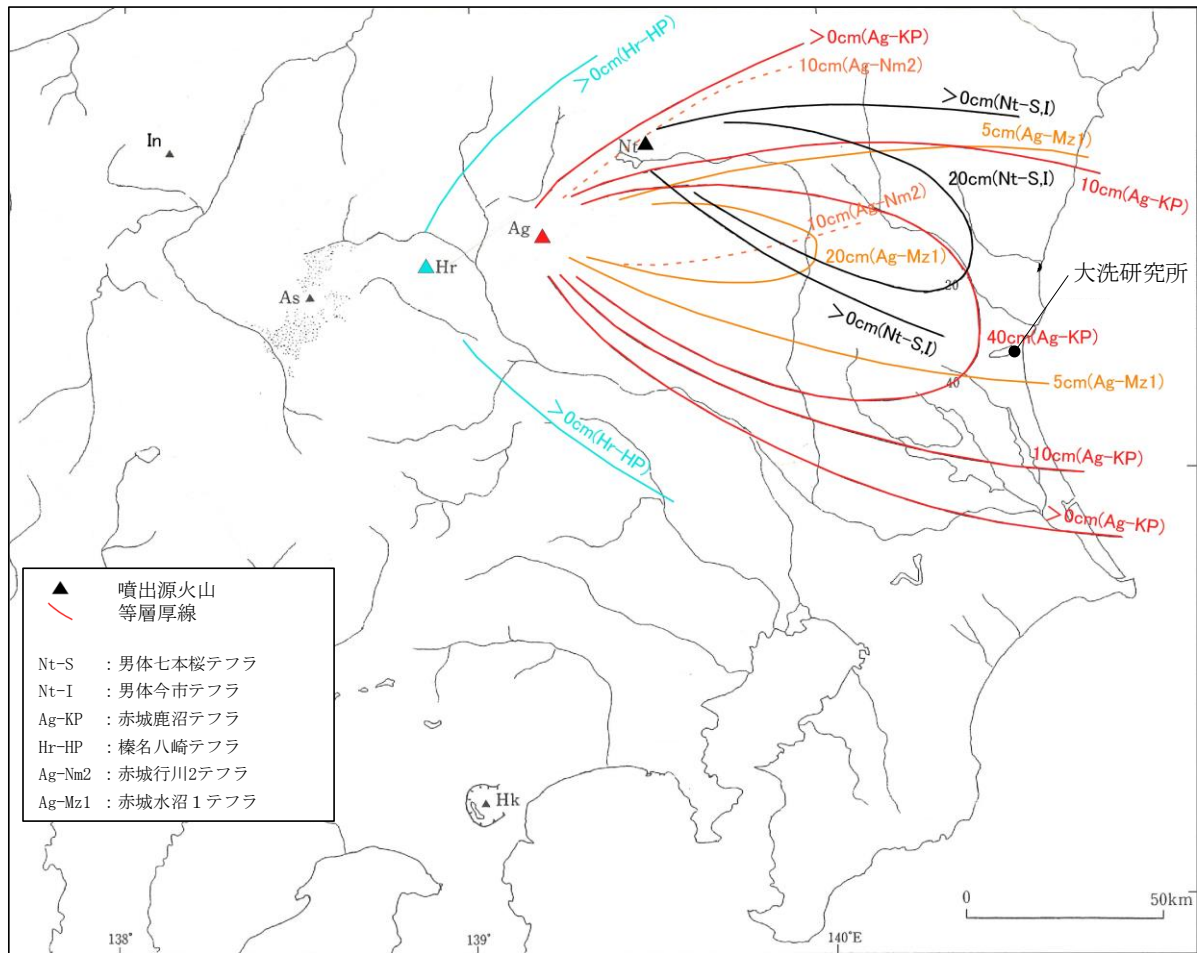
山元(2015)⁽⁵²⁾に基づき作成

第 8.3.2 図(9) 火砕物密度流の到達可能性範囲 (笹森山)



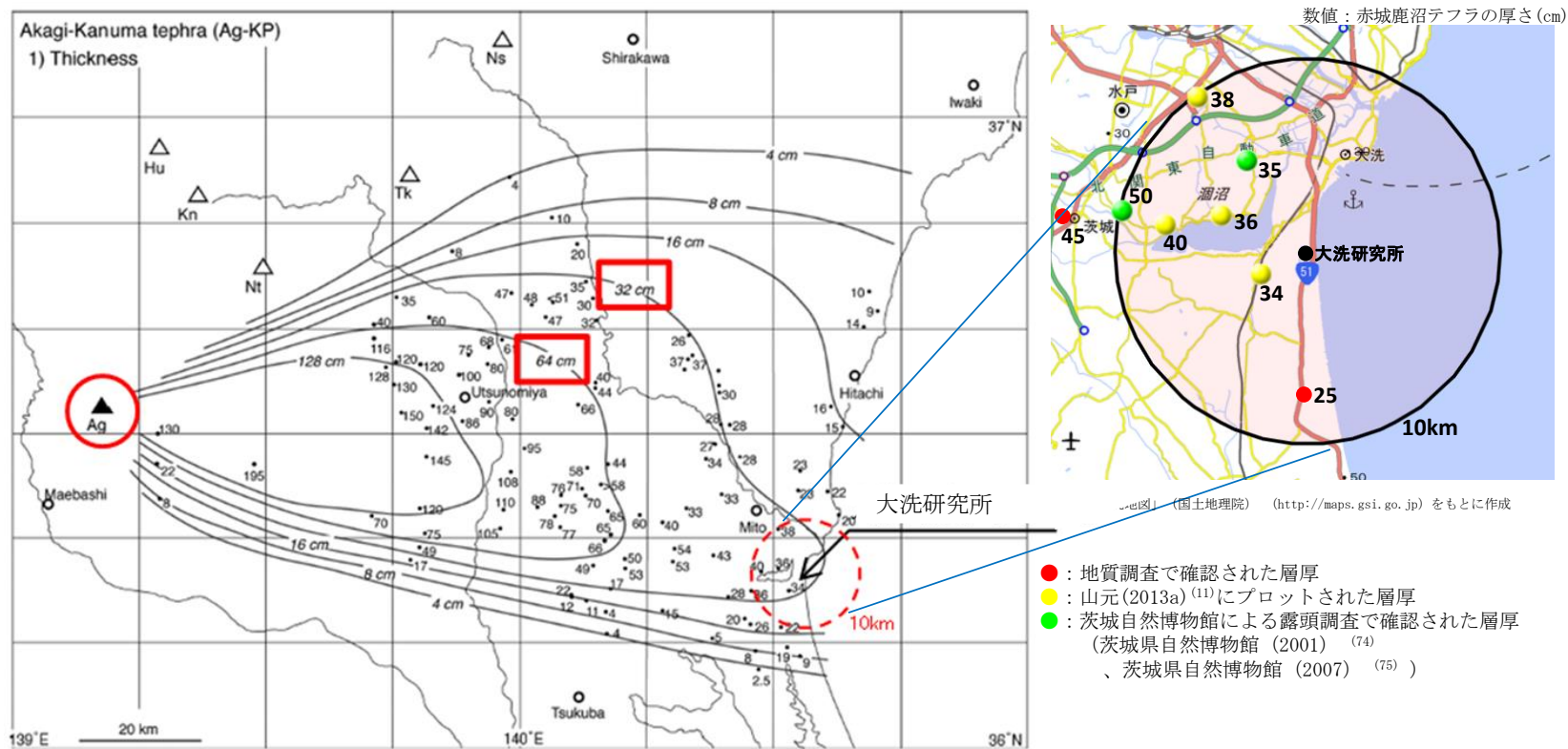
山元(2003)⁽⁴⁸⁾, 山元・長谷部(2014)⁽⁹¹⁾に基づき作成

第 8.3.2 図(10) 火砕物密度流の到達可能性範囲(沼沢)

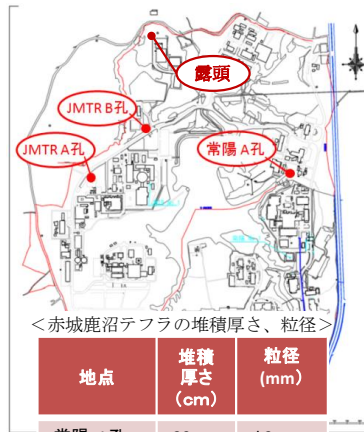


町田・新井(2011) ⁽⁵³⁾ に基づき作成

第 8.4.1 図 敷地周辺の主な降下火砕物の分布



第 8.4.2 図 敷地周辺の赤城鹿沼テフラの層厚分布



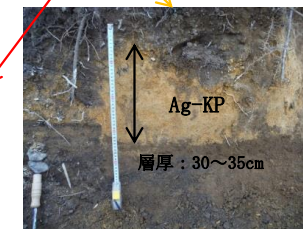
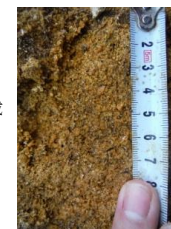
| 地点 | 堆積厚さ (cm) | 粒径 (mm) |
|---------|-----------|---------|
| 常陽 A孔 | 30 | φ2 |
| JMTR A孔 | 25 | φ2~5 |
| JMTR B孔 | 30 | φ2~5 |

敷地内ボーリング調査結果

| 標尺 | 標高 | 層厚 | 深 | 柱状 | 土質 | 色 | 相対 | 相対 | 記 | 孔内水位 m / 測定月日 | 標準貫入試験 | | | | | | | | | |
|----|-------|------|------|----|-----|--------|----|----|--|------------------|--------|------------|----|----|------|-----|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | 深 | 10cm毎の打撃回数 | | | N 値 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 0 | 10 | 20 | | | | | | |
| m | m | m | m | 図 | 区分 | 調 | 度 | 度 | 事 | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | ローム | 暗茶褐 | | | 表層部、草根混入、φ30mm程度の垂円礫少量混入 以深、均質・粘性弱い、含水少量 若干スコリアを混入 | | | | | | | | | | | |
| 2 | 33.84 | 0.30 | 2.10 | | 軽石 | 黄褐 | | | φ2~5mm程度で、指圧により容易に潰れる | 2.15 | | | | | | | | | | |
| 3 | 32.68 | 1.15 | 3.25 | | ローム | 暗茶褐~茶褐 | | | 均質、全体的に粘土質となる 粘性強い、3.25m付近、砂分多量に混入 | 2.45 | 1 | 1 | 2 | 4 | 30 | 4.0 | | | | |
| | | | | | | | | | | 10/2 | 3.15 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 3.48 | 1 | 2 | 2 | 5 | 15.0 | | | | | |

JMTR B孔柱状図

敷地内の露頭



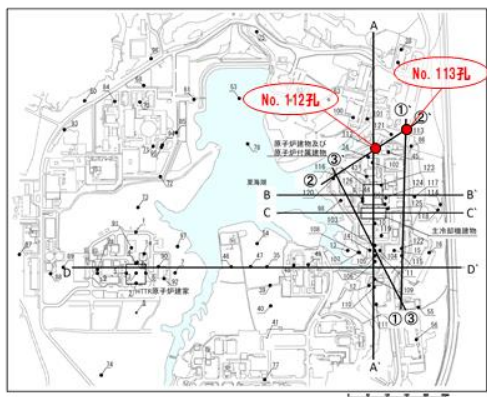
地表から約95cmの深度にAg-KPが認められ、上面は凹凸を示すが、基底面は比較的水平で平滑な状態で堆積している。

テフラ分析結果

| | 重鉱物組成※ | 斜方輝石の屈折率 | 角閃石の屈折率 |
|---------------------------|----------------|-------------|-------------|
| 軽石 (JMTR B孔) | Ho, Opx | 1.706-1.711 | 1.670-1.680 |
| Ag-KP (町田・新井 (2011) (53)) | Ho, Opx, (Cpx) | 1.707-1.710 | 1.671-1.678 |

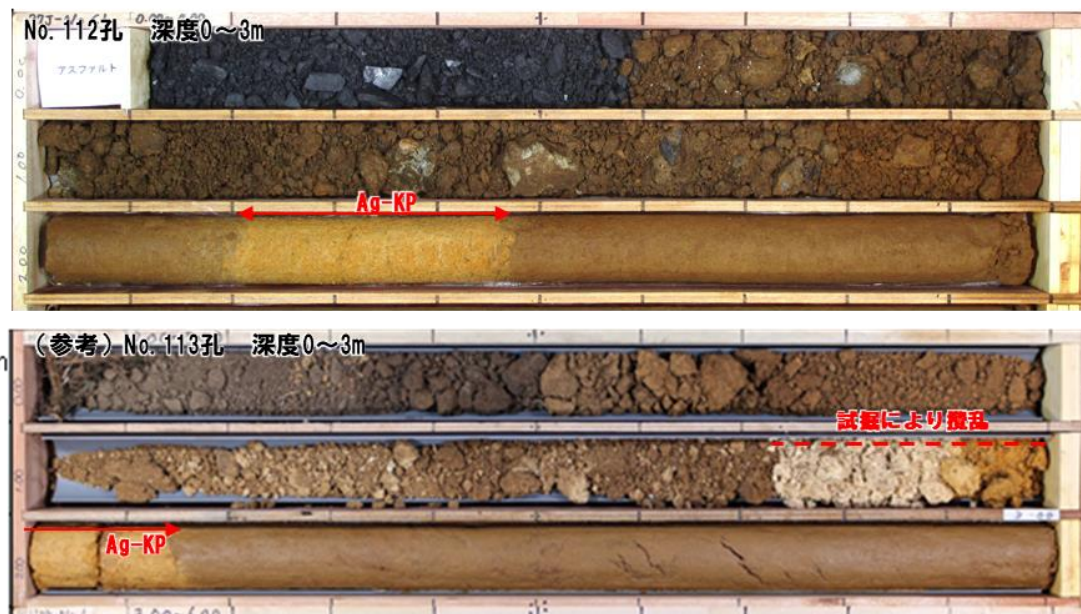
Ho：普通角閃石
Opx：斜方輝石
Cpx：単斜輝石
※含有量が多いものから順に記載
()内は含有量が僅少ななもの

第 8.4.3 図(1) 敷地内の赤城鹿沼テフラの層厚



| 地点 | 堆積厚さ (cm) |
|----------|-----------|
| No. 112孔 | 27 |
| No. 113孔 | (試掘により攪乱) |

敷地内ボーリング調査結果 (全体の結果は第396回審査会合資料に掲載)



テフラ分析結果

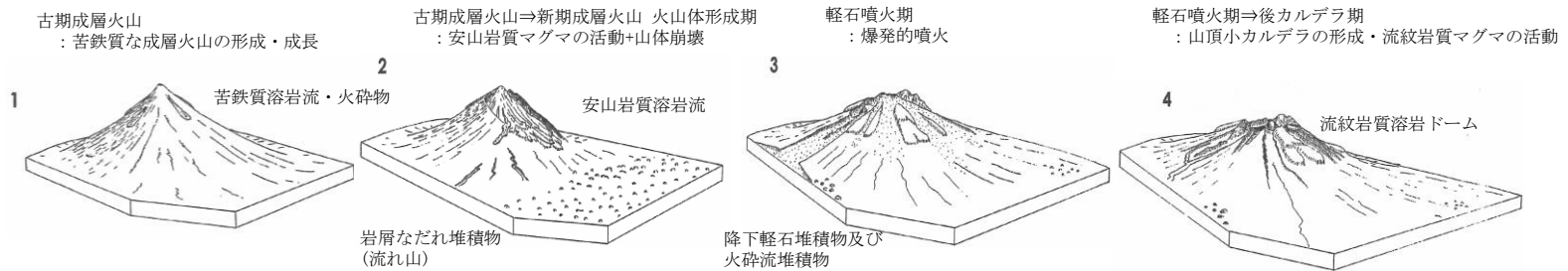
| | 火山ガラス タイプ | 火山ガラスの 屈折率 | 重鉱物組成* | 斜方輝石の 屈折率 | 角閃石の 屈折率 |
|---------------------------|--------------|---------------|-------------------|--------------|-------------|
| 軽石 (No. 113孔) | 軽石型 | 1.502-1.505 | Gho, Opx | 1.704-1.713 | 1.671-1.680 |
| Ag-KP (町田・新井, 2011) | 軽石型 | 1.504-1.508 | Ho, Opx, (Cpx) | 1.707-1.710 | 1.671-1.678 |

Ho: 普通角閃石 Gho: 緑色普通角閃石 Opx: 斜方輝石
Cpx: 単斜輝石 ※含有量が多いものから順に記載
()内は含有量が僅少ななもの

第 8.4.3 図(2) 敷地内の赤城鹿沼テラフの層厚

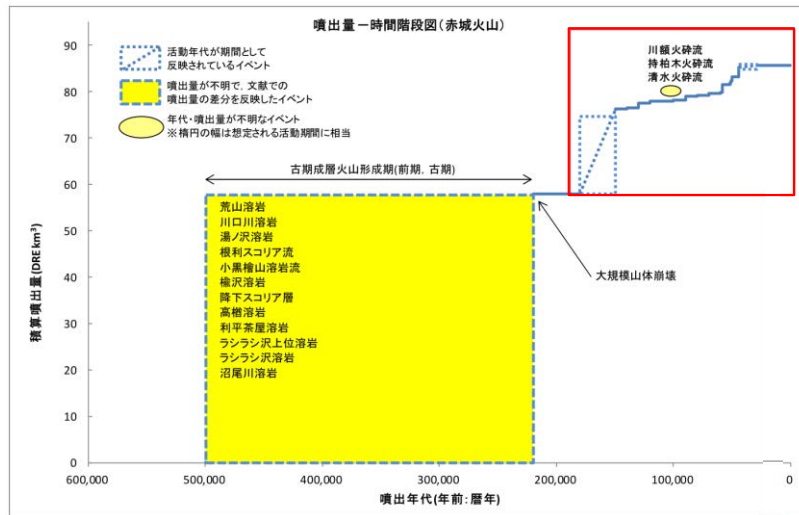
| 活動期 | 古期成層火山 | — | 新期成層火山 | | |
|--------|---|--------------------|--------------------------------|--|--|
| | | | 火山体形成期 | 軽石噴火期 (山頂カルデラの形成) | 後カルデラ期 (中央火口丘形成期) |
| 活動期間 | 50万年前～22万年前 | 22万年前 | 22万年前～15万年前 | 15万年前～4.4万年前 | 4.4万年前以降 (溶岩ドームはATに覆われる) |
| マグマ噴出量 | 約46 DRE km ³ (第四紀火山カタログ委員会編 (1999) ⁽³⁰⁾ を引用し算出) | — | 20 DRE km ³ | 約8 DRE km ³ (カルデラ形成時期(約6万年前の大胡軽石流 噴火)を抜んでマグマ噴出率が急増) | 2.5 DRE km ³ |
| 山体形成様式 | 成層火山の形成・成長 | 山体崩壊 | 成層火山体の再生 | 火山麓扇状地の拡大, 山頂カルデラの形成 | 中央火口丘の形成 |
| 主な噴火様式 | 溶岩・火砕物の噴出 | (水蒸気 噴火に 起因) | 溶岩・火砕物の噴出 | プリニー式噴火 (降下軽石, 火砕流) | 溶岩・火砕物の噴出 |
| 主な噴出物 | 荒山溶岩, 利平茶屋溶岩, 沼尾川溶岩 等 | 梨木岩層 なだれ | 下田沢泥流, 花見ヶ原下火砕流, 榊形山溶岩 等 | 大胡軽石流・赤城水沼1降下軽石, 棚下軽石流・赤城水沼8降下軽石 等 | 赤城鹿沼テフラ 1251年噴火噴出物(?) 小沼溶岩, 小沼(降下)火山礫 等 |
| マグマ組成 | 玄武岩～デイサイト | — | 安山岩, 一部デイサイト | 安山岩～デイサイト | デイサイト～流紋岩 |

赤城山の火山発達史の概念図



活動期整理表は山元(2016)⁽³²⁾, 高橋他(2012)⁽²⁸⁾, 発達モデル図は守屋(1979)⁽⁷⁶⁾に基づき作成

第 8.4.4 図(1) 赤城山の火山発達史の整理



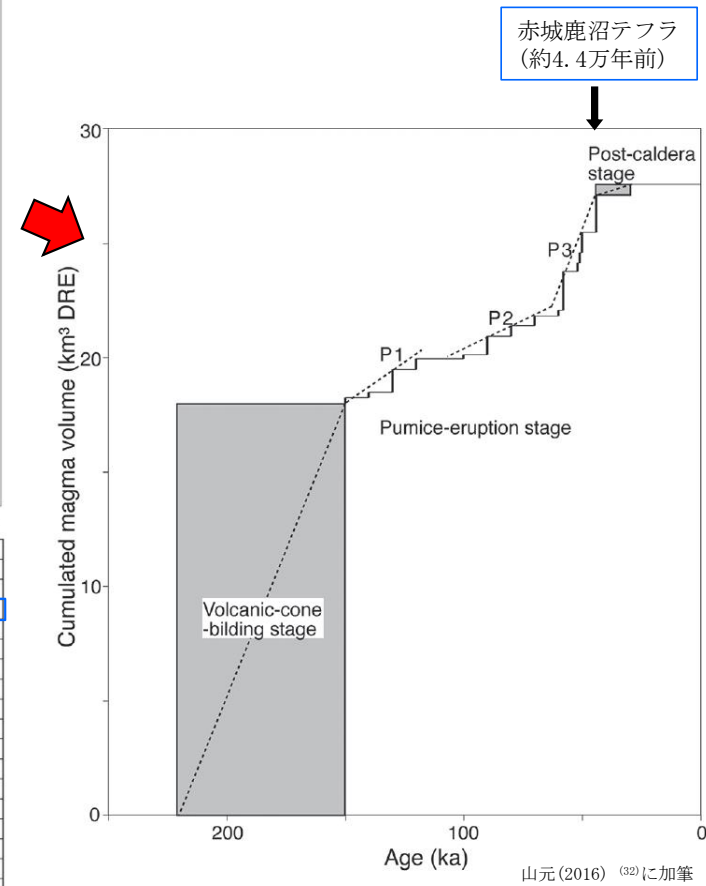
山元 (2014b) ⁽³¹⁾ に加筆

赤城鹿沼テフラ

| Unit | Dense-rock equivalent volume in km ³ (2300 kg/m ³) | | | |
|--|---|-------------|-------------|--------|
| | Lava & pyroclastics | Pumice flow | Pumice fall | Total |
| Post-caldera lavas | 5.E-01 | | | 5.E-01 |
| Ag-KP | | | 2.E+00 | 2.E+00 |
| Garan Pyroclastics | 6.E-01 | | | 6.E-01 |
| Ag-UP | | | 2.E-01 | 2.E-01 |
| Ag-NM1 + Nagumo PFD | | 7.E-03 | 4.E-01 | 4.E-01 |
| Ag-NM2 + Toshimaru PFD | | 1.E-01 | 3.E-01 | 4.E-01 |
| Ag-MzP1 + Ogo PFD | | 2.E+00 | 1.E-01 | 2.E+00 |
| Ag-MzP2 | | | 3.E-01 | 3.E-01 |
| Ag-MzP3 | | | 4.E-01 | 4.E-01 |
| Ag-MzP4 + Wakubara PFD | | 4.E-01 | 5.E-02 | 5.E-01 |
| Ag-MzP5 | | | 8.E-01 | 8.E-01 |
| Ag-MzP6 | | | 2.E-01 | 2.E-01 |
| Ag-MzP7 + Fujiki PFD | | 6.E-02 | 4.E-01 | 5.E-01 |
| Ag-MzP8 + Tanashita PFD | | 8.E-01 | 2.E-01 | 1.E+00 |
| Ag-MzP9-10 + Fudo PFD | | 1.E-02 | 2.E-01 | 2.E-01 |
| Ag-OrP + Itoi PFD | | 1.E-01 | 1.E-01 | 2.E-01 |
| Lava & pyroclastics of younger stratovolcano | 2.E+01 | | | 2.E+01 |

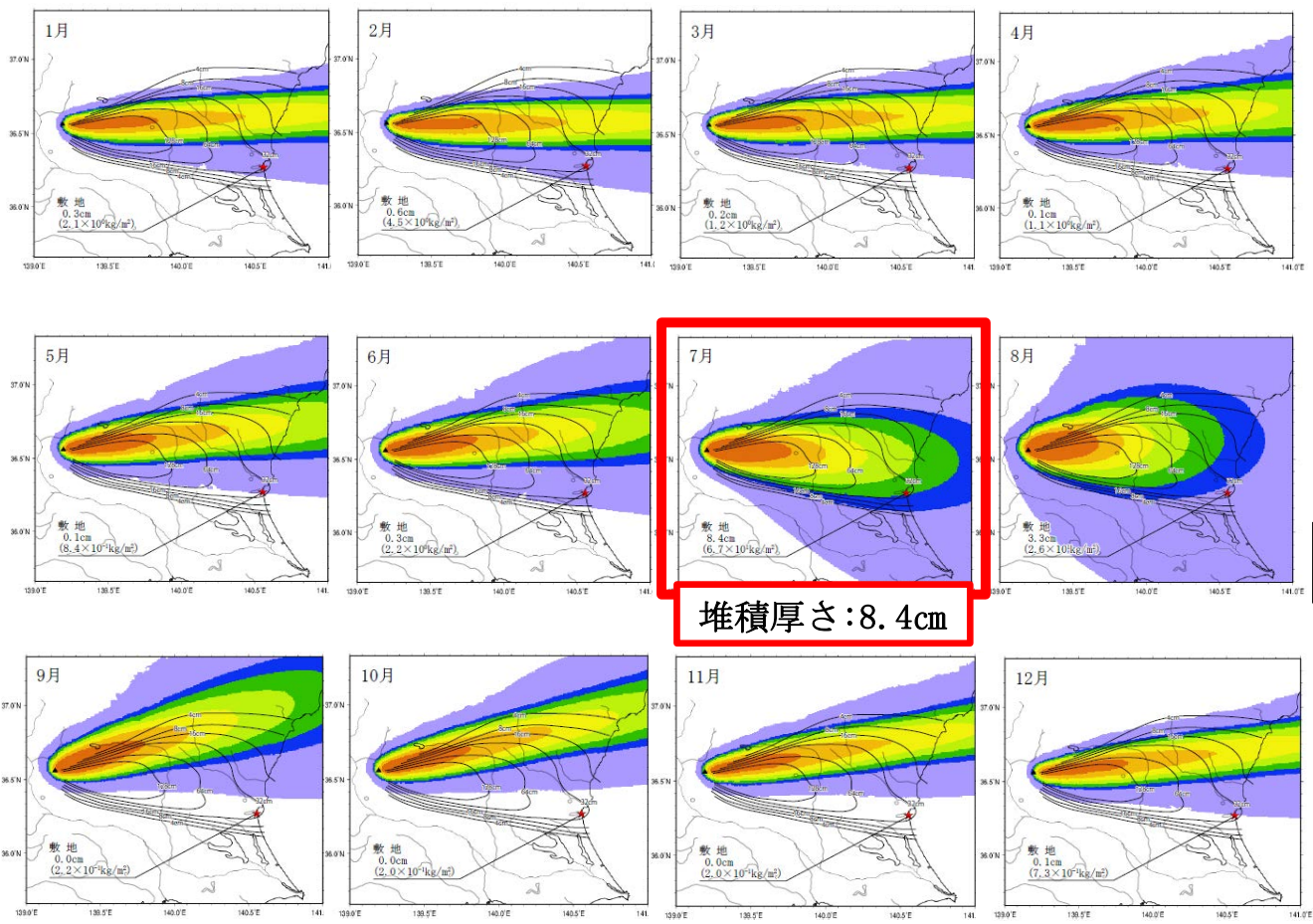
Table 2. Dense-rock equivalent volumes of the eruption units from younger Akagi Volcano. Data for the pumice falls are taken from Yamamoto (2012, 2013a).

山元 (2016) ⁽³²⁾ に加筆



山元 (2016) ⁽³²⁾ に加筆

第 8.4.4 図(2) 赤城山の活動履歴



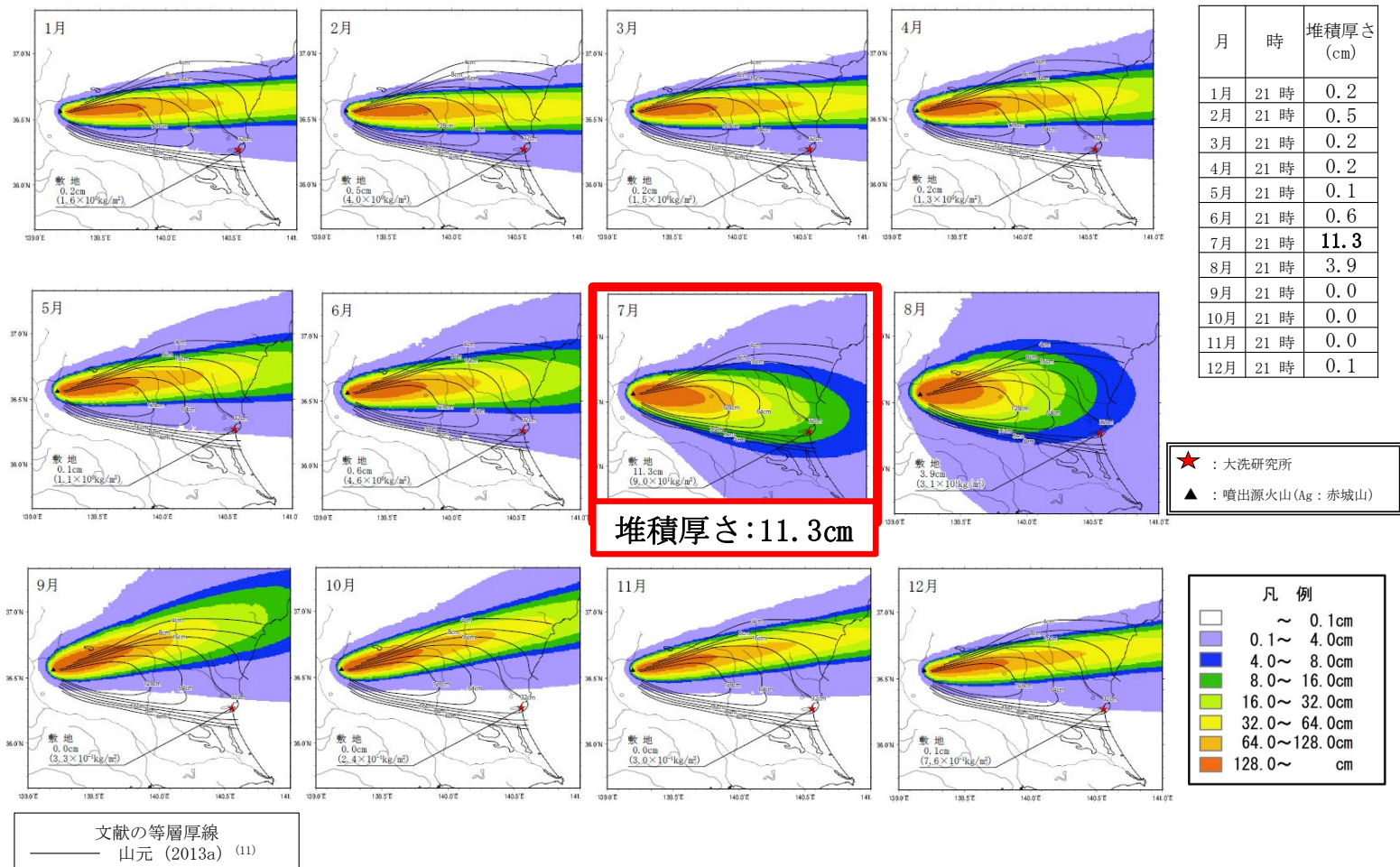
| 月 | 時 | 堆積厚さ (cm) |
|-----|----|------------|
| 1月 | 9時 | 0.3 |
| 2月 | 9時 | 0.6 |
| 3月 | 9時 | 0.2 |
| 4月 | 9時 | 0.1 |
| 5月 | 9時 | 0.1 |
| 6月 | 9時 | 0.3 |
| 7月 | 9時 | 8.4 |
| 8月 | 9時 | 3.3 |
| 9月 | 9時 | 0.0 |
| 10月 | 9時 | 0.0 |
| 11月 | 9時 | 0.0 |
| 12月 | 9時 | 0.1 |

★ : 大洗研究所
 ▲ : 噴出源火山 (Ag : 赤城山)

| 凡例 | |
|----|---------------|
| □ | ~ 0.1cm |
| □ | 0.1~ 4.0cm |
| □ | 4.0~ 8.0cm |
| □ | 8.0~ 16.0cm |
| □ | 16.0~ 32.0cm |
| □ | 32.0~ 64.0cm |
| □ | 64.0~ 128.0cm |
| □ | 128.0~ cm |

文献の等層厚線
 山元 (2013a) (11)

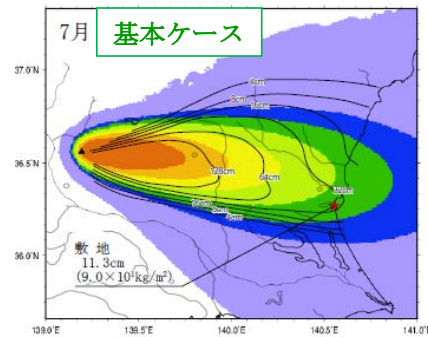
第 8.4.5 図(1) 月別平年解析結果 (9時)



堆積厚さ: 11.3cm

第 8.4.5 図 (2) 月別平年解析結果 (21 時)

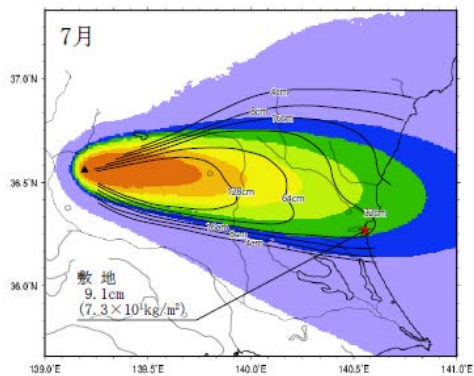
■噴煙柱高度25km



★ : 大洗研究所
▲ : 噴出源火山 (Ag : 赤城山)

| 凡 例 | |
|-----|--------------|
| □ | ~ 0.1cm |
| □ | 0.1~ 4.0cm |
| □ | 4.0~ 8.0cm |
| □ | 8.0~ 16.0cm |
| □ | 16.0~ 32.0cm |
| □ | 32.0~ 64.0cm |
| □ | 64.0~128.0cm |
| □ | 128.0~ cm |

◇噴煙柱高度:20km



堆積厚さ:9.1cm

堆積厚さ:11.3cm

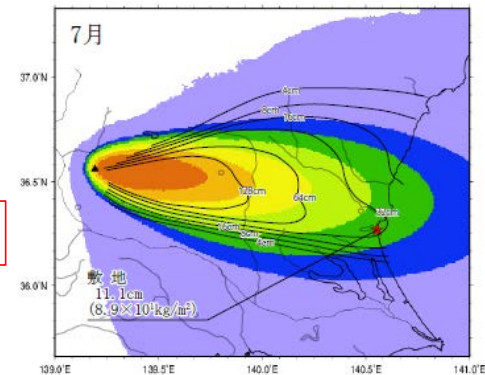


- 5 km



+ 5 km

◇噴煙柱高度:30km

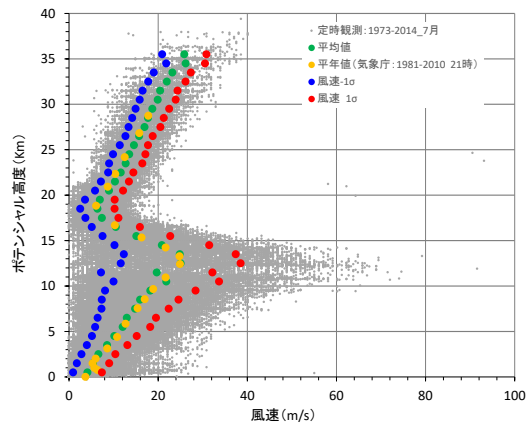


堆積厚さ:11.1cm

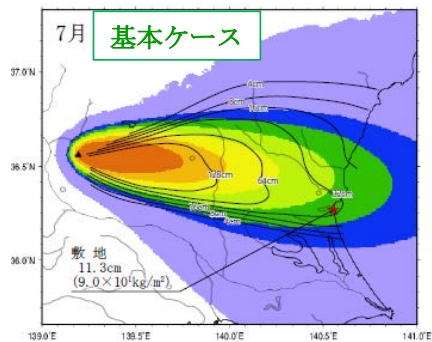
7月 (21時) の平年値の風 (1981年~2010年)

文献の等層厚線
—— 山元 (2013a) ⁽¹¹⁾

第 8.4.6 図(1) 不確かさの検討結果 (噴煙性高度)



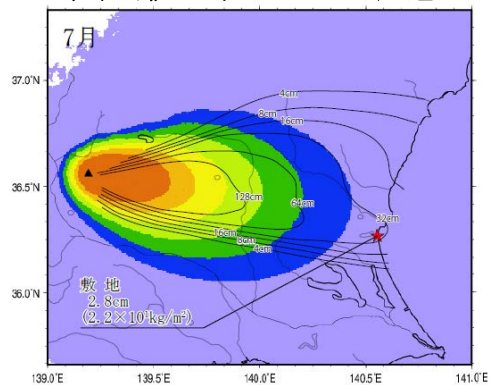
■ 7月(21時)の平年値の風



★ : 大洗研究所
▲ : 噴出源火山 (Ag: 赤城山)

| 凡例 | |
|----|---------------|
| □ | ~ 0.1cm |
| ■ | 0.1~ 4.0cm |
| ■ | 4.0~ 8.0cm |
| ■ | 8.0~ 16.0cm |
| ■ | 16.0~ 32.0cm |
| ■ | 32.0~ 64.0cm |
| ■ | 64.0~ 128.0cm |
| ■ | 128.0~ cm |

◇ 平均値に対して-1σの風速



堆積厚さ: 2.8cm

堆積厚さ: 11.3cm

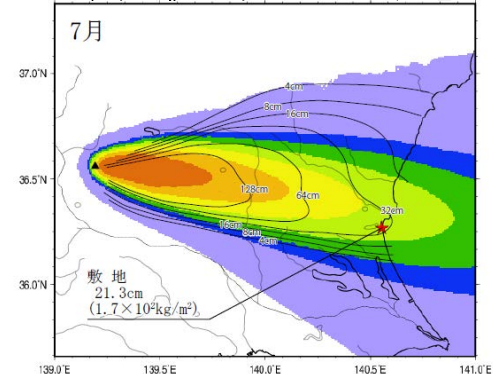


風速
[小]



風速
[大]

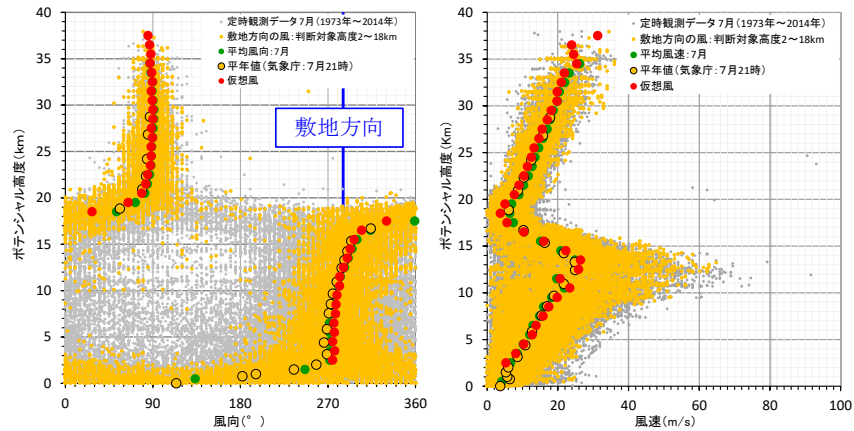
◇ 平均値に対して+1σの風速



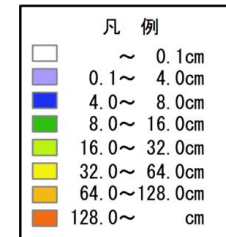
堆積厚さ: 21.3cm

文献の等層厚線
—— 山元 (2013a) (11)

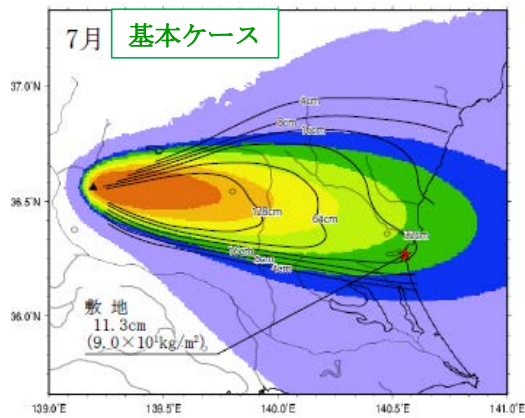
第 8.4.6 図(2) 不確かさの検討結果 (風速)



★ : 大洗研究所
▲ : 噴出源火山 (Ag : 赤城山)



■7月(21時)の平年値の風



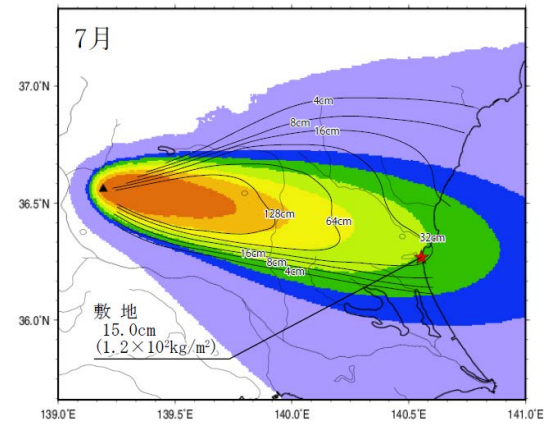
堆積厚さ: 11.3cm

文献の等層厚線
—— 山元 (2013a) (11)



敷地方向の風

◇敷地方向の風



堆積厚さ: 15cm

第 8.4.6 図(3) 不確かさの検討結果 (風向)

Table 2 鹿沼土の物理的性質
Physical properties of Kanumatsuchi

| 項目 | 鹿沼地区 | | | 真岡地区 | | 笠間地区 | 関東ローム | |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|
| | 上層 | 中層 | 下層 | 上層 | 下層 | | | |
| 採取深さ (m) | 0.390 0.765 | 0.765 1.290 | 1.290 1.845 | 0.760 1.135 | 1.135 1.480 | 0.500 0.700 | | |
| 自然含水比 ω_s (%) | 213.2 | 191.5 | 220.0 | 175.6 | 194.0 | 167.8 | 109.7 | |
| 湿潤密度 ρ_w (g/cm ³) | 1.062 | 1.051 | 1.006 | 1.039 | 0.937 | 0.994 | 1.301 | |
| 乾燥密度 ρ_d (g/cm ³) | 0.339 | 0.361 | 0.315 | 0.378 | 0.318 | 0.367 | 0.620 | |
| 比重 G_s | 2.674 | 2.650 | 2.653 | 2.718 | 2.701 | 2.776 | 2.794 | |
| 間隙比 e_s | 6.902 | 6.362 | 7.442 | 6.212 | 7.488 | 6.730 | 3.507 | |
| 間隙率 n_s (%) | 87.3 | 86.4 | 88.15 | 86.13 | 88.21 | 87.06 | 77.81 | |
| 飽和度 S_r (%) | 82.7 | 79.8 | 78.4 | 76.7 | 70.0 | 69.2 | 87.4 | |
| 三相比 | 固相 (%) | 12.70 | 13.60 | 11.85 | 13.83 | 11.81 | 13.29 | 22.19 |
| | 液相 (%) | 72.37 | 68.98 | 69.12 | 66.10 | 61.73 | 62.50 | 68.07 |
| | 気相 (%) | 14.93 | 17.42 | 19.03 | 20.07 | 26.46 | 24.21 | 9.74 |
| 液性限界 ω_l (%) | 95~120 | 82.0 | 87.0 | 99.0 | 87.0 | 80.0 | 118.4 | 130.0 |
| 塑性限界 ω_p (%) | 85 | 67.0 | 70.0 | 79.0 | 68.0 | 89.8 | 88.0 | |

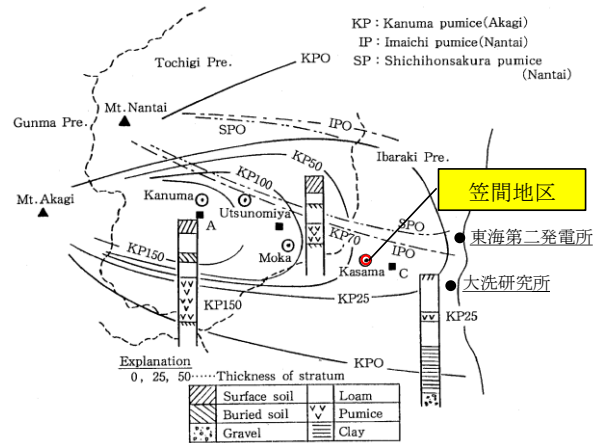
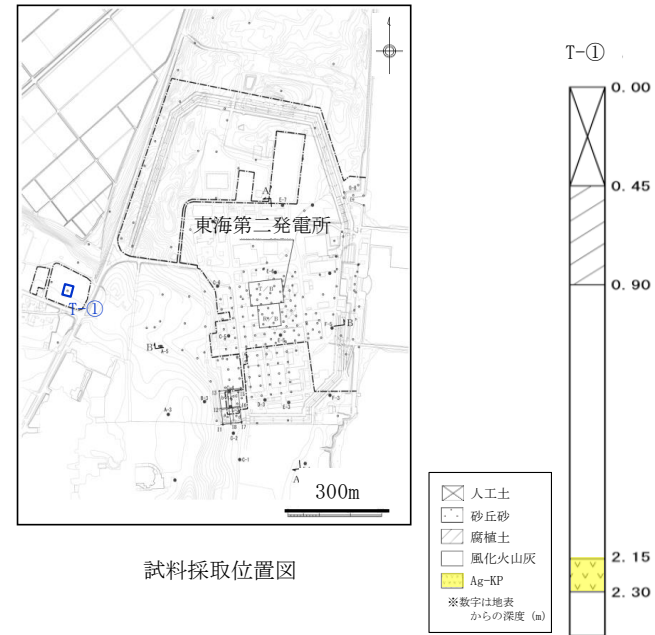


Fig. 1 栃木県における軽石層の分布
Distribution chart of the volcanic pumice strata in Tochigi prefecture

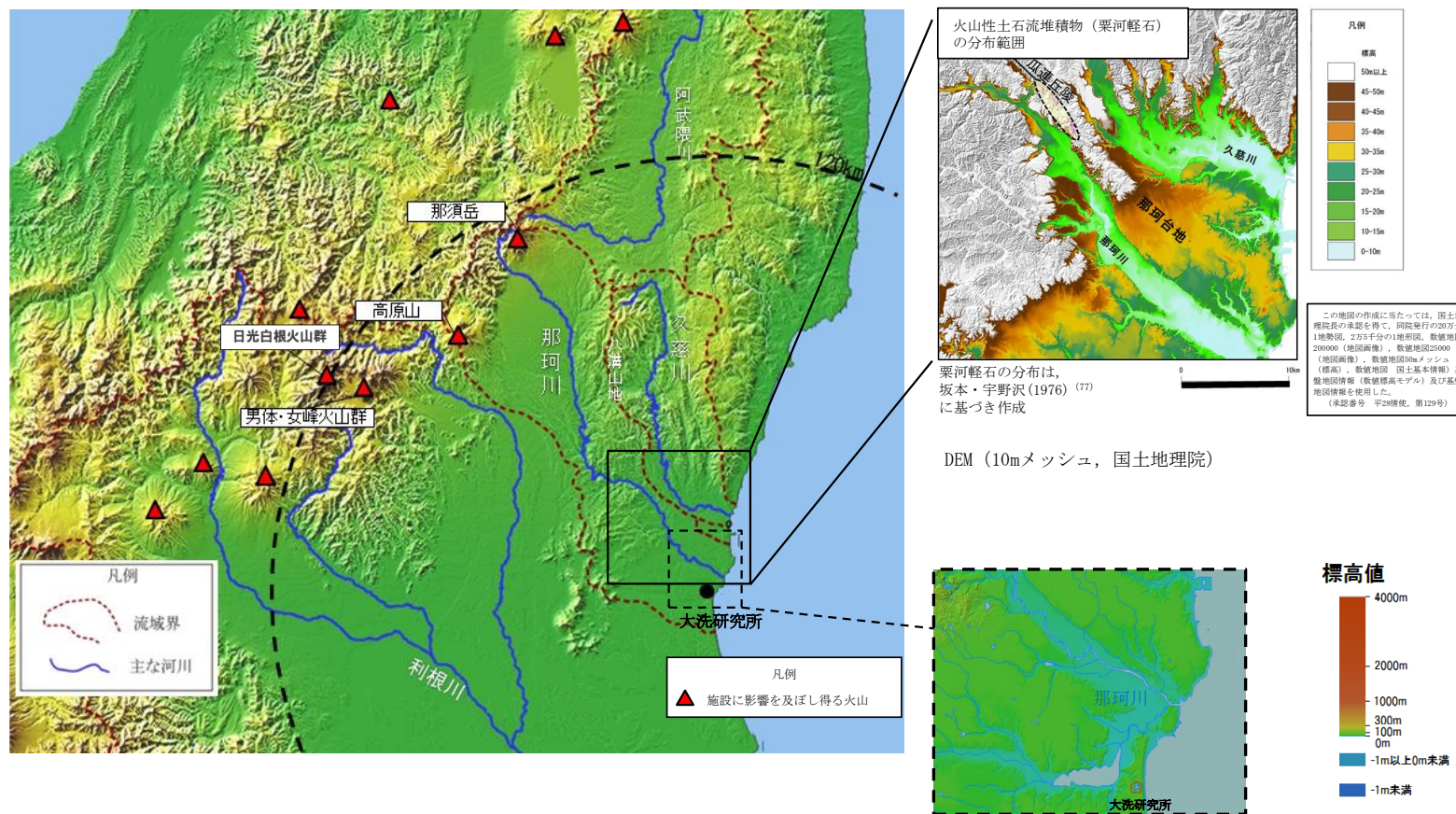
富田他(1994)⁽²⁵⁾に加筆

【地質調査】

| | 最小 | 最大 |
|------|----------------------|----------------------|
| 湿潤密度 | 0.9g/cm ³ | 1.1g/cm ³ |
| 乾燥密度 | 0.3g/cm ³ | 0.5g/cm ³ |



第 8.4.7 図 敷地周辺の赤城鹿沼テフラの密度



第 8.4.8 図 敷地周辺の地形及び火山灰土石流堆積物の分布状況