

HTTR 原子炉施設  
設置許可基準規則への適合性について  
第 6 条(火山)

令和 2 年 6 月 12 日

日本原子力研究開発機構 大洗研究所  
高温ガス炉研究開発センター  
高温工学試験研究炉部

## 第6条：外部からの衝撃による損傷防止（火山）

### <目次>

1. 基本方針
  - 1.1 要求事項の整理
  - 1.2 設置許可申請書における記載
  - 1.3 設置許可申請書の添付書類における記載
    - 1.3.1 安全設計方針
    - 1.3.2 気象等
    - 1.3.3 設備等
  
2. HTTR 原子炉施設の火山事象防護（適合性説明資料（立地評価・影響評価を除く））

## < 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 HTTR 原子炉施設の適合性を示す。

## 1. 基本方針

### 1.1 要求事項の整理

外部からの衝撃による損傷の防止について、設置許可基準規則第6条の要求事項を明確化する（表1）。

表1 設置許可基準規則第6条 要求事項

設置許可基準規則 第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）	備考
1 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。	
2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。	
3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。	



## 1.2 設置許可申請書における記載

### 1.2.1 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

(i) 原子炉施設は、(1) 耐震構造、(2) 耐津波構造に加え、次の基本方針のもとに安全設計を行う。

##### a. (外部からの衝撃による損傷の防止)

安全施設は、原子炉施設敷地で予想される自然現象(洪水・降水、風(台風)、竜巻、凍結、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災)又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として原子炉施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

上記に加え、重要安全施設は、科学的技術的知見を踏まえ、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力を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。

また、安全施設は、敷地及びその周辺において想定される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(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)に対して安全機能を損なわない設計とする。

想定される自然現象及び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に対しては、必要に応じて設備と運用による対策を組み合わせた措置を講じることにより、安全施設が安全機能を損なわない設計とする。また、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める。

### 1.3 設置許可申請書の添付書類における記載

#### 1.3.1 安全設計方針

##### (1) 設計方針

#### 1. 安全設計

##### 1.1 安全設計の方針

###### 1.1.1 安全設計の基本方針

###### 1.1.1.4 外部からの衝撃

安全施設は、原子炉施設敷地で想定される洪水、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、森林火災等の自然現象(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、自然現象の組合せにおいては、風(台風)、積雪及び火山の影響による荷重の組合せを考慮した設計とする。

上記に加え、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じる応力を適切に考慮した設計とする。

さらに、安全施設は、原子炉施設敷地内又はその周辺において想定される飛来物(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、電磁的障害等の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設計とする。

###### 1.2.1 高温工学試験研究炉の特徴

安全上の重要度分類を定めるに当たり、考慮する高温工学試験研究炉の主要な特徴は、次のとおりである。

(1) 発電用軽水炉と比べて、原子炉の熱出力、発熱密度は低く、原子炉の炉心で蓄積される核分裂生成物の量は少ないため、潜在的リスクは小さい。一方、水冷却型試験研究用原子炉と比べ冷却材の温度、圧力が高いことを考慮する必要がある。

(2) 原子炉は、セラミックス等で多重被覆した被覆燃料粒子、減速材及び構造材として黒鉛、冷却材としてヘリウムガスを用いる。

燃料は、耐熱性に優れ、燃料最高温度が1,600℃以下ならば核分裂生成物の保持機能が損なわれることはない。

炉心構造物の黒鉛は、耐熱性に優れ、高温でも炉心構成材としての健全性を保つことができる。

ヘリウムガスは、化学的に不活性で構造材との化学反応はない。また、冷却材の相変化による冷却条件の急激な変化はない。

(3) 炉心は、発熱密度に比して大きな熱容量を有し、出力の過渡変化及び冷却能力の異常な低下に対する炉心構成要素の温度変化が少なく、かつ、緩慢である特性を有する。

事故時の炉心の温度上昇は発電用軽水炉に比べると極めて緩慢であり、事故の拡

大を防止するための処置をとる時間的余裕が大きい。

- (4) 万一、冷却材喪失時に制御棒が挿入されなくても、固有の特性により原子炉の核出力は低下する。この場合に、炉心の強制冷却を行わなくても、原子炉圧力容器外面からの熱除去により炉心からの残留熱除去が可能である。

高温工学試験研究炉を用いた安全性実証試験(特殊運転として実施)によって、炉心流量が喪失した場合に制御棒挿入操作を行わなくても、各種の制限値を上回ることなく、固有の特性により原子炉が安定な状態に維持されることが実証されている。

### 1.3 重要安全施設の設定

#### 1.3.1 選定の基本方針

重要安全施設は、安全機能を有する安全施設のうち特に安全機能の重要度が高いものであり、試験炉設置許可基準規則第6条第2項、第12条第2項及び第28条第1項の要求事項を満たす設計とする。

選定に当たっては、以下に示す高温工学試験研究炉の固有の安全性を考慮した安全確保のために必要な機能(「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」及び「使用済燃料冷却」)を確保できるよう考慮する。

- ① 原子炉の緊急停止機能
- ② 放射性物質の閉じ込め機能(原子炉冷却材圧力バウンダリ及び周辺公衆へ過度の被ばくを及ぼす可能性のある系統)
- ③ 原子炉の停止及び放射性物質の閉じ込めの状態監視に必要な監視機能
- ④ 原子炉建家使用済燃料貯蔵プールの貯蔵機能

なお、炉心冷却機能について、高温工学試験研究炉では、炉心の形成の維持ができれば、原子炉の固有の安全性から自然放熱により炉心の冷却が可能である。

#### 1.3.2 第6条に関する重要安全施設

試験炉設置許可基準規則第6条第2項に規定されている重要安全施設(以下「第6条に関する重要安全施設」という。)は、試験炉設置許可基準規則の解釈に従い、「研究炉の重要度分類の考え方」の「4.(1)自然現象に対する設計上の考慮」を参考に、次の系統を選定する。

- ① クラス1
- ② PS-2のうち機能喪失した場合に周辺公衆へ過度の被ばくを及ぼす可能性のある系統及びMS-2のうち設計基準事故時にプラント状態を把握する機能を有する系統

上記の系統は、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する設計とする。

第6条に関する重要安全施設を第1.3.1表に示す。

## 1.9 火山事象防護

### 1.9.1 火山事象防護に関する基本方針

原子炉施設は、供用期間中に極めてまれであっても、その発生により原子炉施設に影響を与える火山事象として「原子力発電所の火山影響評価ガイド」（以下「火山評価ガイド」という。）<sup>(1)</sup>を参考に想定した火山事象に対して原子炉の安全性を損なわない設計とする。想定する火山事象に対しては、設備と運用による対策を組合せ、安全確保上重要な原子炉の「停止」、「冷却」、「閉じ込め」及び「使用済燃料冷却」機能を損なわない設計とする。

このため、火山事象に対して防護する安全機能として、高温工学試験研究炉の特徴を考慮した原子炉の緊急停止機能、放射性物質の閉じ込め機能（原子炉冷却材圧力バウンダリ及び周辺公衆に過度の被ばくを与える可能性のある系統）及びそれらに必要な監視機能並びに使用済燃料の貯蔵機能を抽出する。

なお、炉心冷却機能については、原子炉の停止後は原子炉の固有の安全性により、自然放熱による炉心の冷却が可能であること、及び使用済燃料の冷却機能については、冷却機能が喪失しても十分な時間的余裕をもって貯蔵機能が維持できることから防護する安全機能として抽出しない。

火山事象から防護する施設（以下「火山防護施設」という。）は、「第1.2 安全機能の重要度分類」に示すクラス1及びクラス2に属する構築物、系統及び機器のうち、防護する安全機能を有するものとして第1.3.1表に示す重要安全施設並びに使用済燃料貯蔵建家の貯蔵セル及び貯蔵ラックを選定し、火山事象の影響を評価し、安全機能を損なわない設計とする。評価に当たっては、火山防護施設を内包する原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家を対象とする。

火山事象に対しては、火山の噴火及び降灰予報に係る情報を気象庁の発表等により入手し、火山の噴火情報を確認し降灰予報による降灰の到達範囲に敷地が含まれる場合には、原子炉施設に影響が及ぶ前に原子炉の停止操作を講じるとともに、停止後の状態及び使用済燃料の冷却の状態を監視する。これらの状態の監視に必要な電源は、火山防護施設である直流電源設備の蓄電池から供給する設計とし、さらに蓄電池の枯渇後（60分以降）は、可搬型計器、可搬型発電機等を用いて、商用電源が復旧するまでの間、必要な監視を継続して行う。

火山防護施設以外のクラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器は、火山による損傷を受けたとしても原子炉は安全に停止・維持でき、また放射性物質の閉じ込め及び使用済燃料の貯蔵は確保できることから、火山事象による影響を評価する対象とせず、代替措置や修復等の対応により必要な機能を確保する。

### 1.9.2 火山事象の影響に対する設計方針

火山評価ガイド<sup>(1)</sup>を参考に将来の活動可能性が否定できない火山について、原子炉施設に影響を及ぼし得る火山事象を抽出した結果、該当する火山事象は降下火砕物のみである。

火山防護施設は、降下火砕物による影響に対して、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家を外殻として防護することにより安全機能を損なわない設計とする。このため、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家は、想定する降下火砕物の層厚 50cm（湿潤密度 1.5g/cm<sup>3</sup>）の荷重に加え、常時作用する荷重及び自然現象（積雪、風）の荷重を適切に組み合わせた荷重に耐える設計とする。なお、降下火砕物の降灰と設計基準事故が同時に発生する頻度は低いことから、降下火砕物による荷重と設計基準事故時荷重との組合せは考慮しない。

降下火砕物により施設に影響が及ぶおそれがある場合には、原子炉の停止、換気系の停止、建家屋根に堆積した降下火砕物の除去作業等の必要な措置を行う。また、降下火砕物により商用電源が喪失し、さらに、非常用発電機による給電も期待できない場合は、直流電源設備の蓄電池による電源供給により、原子炉停止後の状態及び使用済燃料冷却の状態を監視する。さらに、蓄電池の枯渇後(60分以降)は、商用電源が復旧するまでの間、可搬型計器、可搬型発電機等を用いて、原子炉圧力容器上鏡温度、補助冷却器出口ヘリウム圧力、貯蔵プール水位等の必要な監視を継続して行う措置を講じる。可搬型計器、ケーブル等は外殻として防護する原子炉建家内の2箇所に各1式を分散して保管する。また、可搬型発電機は原子炉建家外の2箇所に各1式を分散して保管し、降下火砕物により施設に影響が及ぶ前に原子炉建家内に搬入する。これらにより、監視に必要な資機材を降下火砕物の影響から防護する。

### 1.9.3 参考文献

- (1)「原子力発電所の火山影響評価ガイド」（平成25年6月 原子力規制委員会）

第 1.3.1 表 第 6 条に関する重要安全施設

No.	安全機能	構築物・系統・機器
1	原子炉冷却材圧力バウンダリ	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器配管系
2	過剰反応度の印加防止	スタンドパイプ、スタンドパイプクロージャ
3	炉心の形成	炉心構成要素、炉心支持鋼構造物、炉心支持黒鉛構造物
4	放射性物質の貯蔵	使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プール、貯蔵ラック
5	1 次冷却材の内蔵	1 次ヘリウム純化設備(原子炉冷却材圧力バウンダリとの接続部から原子炉格納容器外側隔離弁までの範囲)
6	実験・照射の関連機能 (核分裂生成物の放散防止)	実験設備の一部
7	原子炉の緊急停止、未臨界維持	制御棒系
8	原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止	1 次冷却設備の安全弁
9	原子炉停止系への起動信号の発生	安全保護系(停止系)
10	安全上特に重要な関連機能	中央制御室
11	事故時のプラント状態の把握	事故時監視計器の一部
12	安全上特に重要な関連機能	直流電源設備
13		安全保護系用交流無停電電源装置

## (2) 適合性

(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

#### 1 について

安全施設は、以下のとおり構造物及び機器の条件を設定し、地震及び津波以外の想定される自然現象によって原子炉施設の安全性が損なわれないようにする。

##### (6) 火山の影響

火山防護施設は、降下火砕物による影響に対して、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家を外殻として防護することにより安全機能を損なわない設計とする。このため、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家は、想定する降下火砕物の層厚 50cm（湿潤密度 1.5g/cm<sup>3</sup>）の荷重に加え、常時作用する荷重及び自然現象（積雪、風）の荷重を適切に組み合わせた荷重に耐える設計とする。また、降下火砕物の降灰と設計基準事故が同時に発生する頻度は低いことから、設計基準事故時荷重と降下火砕物との組合せは考慮しない。

降下火砕物により施設に影響が及ぶおそれがある場合には、原子炉の停止、換気系の停止、建家屋根に堆積した降下火砕物の除去作業等の必要な措置を行う。

#### 2 について

原子炉施設のうち、次に示す重要安全施設は、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じる応力をそれぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して、適切に組み合わせる設計とする。

##### (1) クラス 1

(2) PS-2 のうち機能喪失した場合に周辺公衆へ過度の被ばくを及ぼす可能性のある系統及び MS-2 のうち設計基準事故時にプラント状態を把握する機能を有する系統

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、第 1 項において選定した自然現象に含まれる。HTTR では、重要安全施設は全て原子炉建家内に内包されており、自然現象に対しては建家を外殻として防護する設計としている。このため、自然現象の衝撃が重要安全施設に作用することはない。また、設計基準事故時に建家の健全性に影響を与える有意な応力が生じることもない。

このことから、自然現象により重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力を組み合わせる必要はなく、重要安全施設は、個々の自然現象に対して、安全機能を損なわない設計とする。



### 1.3.2 気象等

## 8. 火 山 (H T T R)

### 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）<sup>(1)</sup>）、「第四紀火山岩体・貫入岩体データベース Ver. 1.00」西来他（2016）<sup>(2)</sup>）、「海域火山データベース」（海上保安庁海洋情報部（2013）<sup>(3)</sup>）、「日本活火山総覧（第 4 版）」（気象庁編（2013）<sup>(4)</sup>）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）<sup>(5)</sup>）を参照して 30 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、たかはらやま 高原山、なすだけ 那須岳、なんたい・によほうかざんぐん 男体・女峰火山群、にっこう 日光  
しらねさん 白根山、あかぎさん 赤城山、ひうちがたけ 燧ヶ岳、あだたらやま 安達太良山、ぼんだいさん 磐梯山、はるなさん 榛名山及びぬまざわ 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、栃木県にっこう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）<sup>(2)</sup>）。高原山の活動履歴については鈴木（1993）<sup>(6)</sup>、井上他（1994）<sup>(7)</sup>、奥野他（1997）<sup>(8)</sup>、山元（2012）<sup>(9)</sup>、弦巻（2012）<sup>(10)</sup>、山元（2013a）<sup>(11)</sup> 及び中野他（2013）<sup>(1)</sup> を参照した。

高原山は、井上他（1994）<sup>(7)</sup> 等によれば第 3 期から第 7 期に区分され、奥野他（1997）<sup>(8)</sup> 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）<sup>(2)</sup>）。那須岳の活動履歴の評価に当たっては鈴木（1992）<sup>(12)</sup>、伴・高岡（1995）<sup>(13)</sup>、山元（1997）<sup>(14)</sup>、山元（2012）<sup>(9)</sup>、中野他（2013）<sup>(1)</sup>、気象庁編（2013）<sup>(4)</sup>及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編（2014）<sup>(15)</sup>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）<sup>(13)</sup>）。最新活動期の茶臼岳は、山元（2012）<sup>(9)</sup>、山元（1997）<sup>(14)</sup>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）<sup>(2)</sup>）。男体・女峰火山群の活動履歴の評価に当たっては村本（1992）<sup>(16)</sup>、鈴木他（1994）<sup>(17)</sup>、佐々木（1994）<sup>(18)</sup>、第四紀火山カタログ委員会編（1999）<sup>(5)</sup>、山元（2013a）<sup>(11)</sup>、中野他（2013）<sup>(1)</sup>及び石崎他（2014）<sup>(19)</sup>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）<sup>(11)</sup>）、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 日光白根山

日光白根山は、栃木県・群馬県境に位置する第四紀火山であり、溶岩流、小型楯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）<sup>(2)</sup>）。日光白根山の活動履歴の評価に当たっては奥野他（1993）<sup>(20)</sup>、佐々木他（1993）<sup>(21)</sup>、鈴木他（1994）<sup>(17)</sup>、高橋他（1995）<sup>(22)</sup>、第四紀火山カタログ委員会編（1999）<sup>(5)</sup>、中野他（2013）<sup>(1)</sup>、気象庁編（2013）<sup>(4)</sup>及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編（2014）<sup>(15)</sup>を参照した。

日光白根山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）<sup>(20)</sup>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）<sup>(21)</sup>）。

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）<sup>(2)</sup>）。赤城山の活動履歴の評価に当たっては大森編（1986）<sup>(23)</sup>、鈴木（1990）<sup>(24)</sup>、富田他（1994）<sup>(25)</sup>、宇井編（1997）<sup>(26)</sup>、青木他（2008）<sup>(27)</sup>、高橋他（2012）<sup>(28)</sup>、及川（2012）<sup>(29)</sup>、山元（2014a）<sup>(30)</sup>、山

元 (2014b) <sup>(31)</sup>、山元 (2016) <sup>(32)</sup>、気象庁編 (2013) <sup>(4)</sup> 及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2014) <sup>(15)</sup> を参照した。

赤城山の活動は中央火口丘形成期、新期成層火山形成期、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) <sup>(30)</sup>、青木他 (2008) <sup>(27)</sup>、及川 (2012) <sup>(29)</sup>、峰岸 (2003) <sup>(33)</sup>)。一方で、早川 (1999) <sup>(34)</sup> 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<sup>あづまかがみ</sup>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) <sup>(29)</sup>、峰岸 (2003) <sup>(33)</sup> 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<sup>ひのえまた</sup>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) <sup>(2)</sup>)。燧ヶ岳の活動履歴の評価に当たっては早川他 (1997) <sup>(35)</sup>、山元 (1999) <sup>(36)</sup>、山元 (2012) <sup>(9)</sup>、中野他 (2013) <sup>(1)</sup>、気象庁編 (2013) <sup>(4)</sup> 及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2014) <sup>(15)</sup> を参照した。

燧ヶ岳は、燧ヶ岳七入テフラ等<sup>ひうちがたけなないり</sup>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<sup>みいけだけ</sup>を形成したとされる (山元 (2012) <sup>(9)</sup>、早川他 (1997) <sup>(35)</sup> 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<sup>こおりやま</sup>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) <sup>(2)</sup>)。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) <sup>(5)</sup>、山元・阪口 (2000) <sup>(37)</sup>、藤縄他 (2001) <sup>(38)</sup>、藤縄・鎌田 (2005) <sup>(39)</sup>、長谷川他 (2011) <sup>(40)</sup>、中野他 (2013) <sup>(1)</sup>、気象庁編 (2013) <sup>(4)</sup> 及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2014) <sup>(15)</sup> 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) <sup>(38)</sup> 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) <sup>(37)</sup> 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<sup>やま</sup>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)<sup>(2)</sup>)。磐梯山の活動履歴の評価に当たっては三村(1994)<sup>(41)</sup>、三村・中村(1995)<sup>(42)</sup>、梅田他(1999)<sup>(43)</sup>、長谷川他(2011)<sup>(40)</sup>、山元(2012)<sup>(9)</sup>、中野他(2013)<sup>(1)</sup>、気象庁編(2013)<sup>(4)</sup>及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2014)<sup>(15)</sup>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)<sup>(9)</sup>、三村(1994)<sup>(41)</sup>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)<sup>(40)</sup>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<sup>たかさき</sup>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)<sup>(2)</sup>)。

榛名山の活動履歴の評価に当たっては(大森編(1986)<sup>(23)</sup>、Soda(1996)<sup>(44)</sup>、第四紀火山カタログ委員会編(1999)<sup>(5)</sup>、下司(2013)<sup>(45)</sup>、山元(2013a)<sup>(11)</sup>、中野他(2013)<sup>(1)</sup>、気象庁編(2013)<sup>(4)</sup>及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2014)<sup>(15)</sup>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)<sup>(45)</sup>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<sup>はるなにつだけい かほ</sup>が噴出したとされる(山元(2013a)<sup>(11)</sup>)。

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<sup>かねやま</sup>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)<sup>(2)</sup>)である。沼沢の活動履歴の評価に当たっては山元(1995)<sup>(47)</sup>、山元(2003)<sup>(48)</sup>、山元(2012)<sup>(9)</sup>、中野他(2013)<sup>(1)</sup>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<sup>ぬまざわしほら</sup>、惣山溶岩ドーム<sup>そうざん</sup>、沼沢前山溶岩ドーム<sup>ぬまざわこ</sup>、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)<sup>(48)</sup>、(2012)<sup>(9)</sup>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 20 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<sup>こもちやま</sup>と笹森山<sup>ささもりやま</sup>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）<sup>(1)</sup>）。子持山の活動履歴の評価に当たっては飯塚（1996）<sup>(4 9)</sup>と中野他（2013）<sup>(1)</sup>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なくとも約 30 万年間の休止期があったとされる（飯塚（1996）<sup>(4 9)</sup>及び中野他（2013）<sup>(1)</sup>）。

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）<sup>(2)</sup>、山元（2015）<sup>(5 2)</sup>）。笹森山の活動履歴の評価に当たっては阪口（1995）<sup>(5 0)</sup>、第四紀火山カタログ委員会編（1999）<sup>(5)</sup>、長橋他（2004）<sup>(5 1)</sup>、中野他（2013）<sup>(1)</sup>、山元（2015）<sup>(5 2)</sup>を参照した。

笹森山は笹森山安山岩と蓬萊火砕流からなるとされ、最新の噴火活動は、最末期の蓬萊火砕流から 1.9Ma～1.8Ma のフィッシュントラック年代が報告されている（山元（2015）<sup>(5 2)</sup>）。

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、日光白根山、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。

一方、残りの 18 火山については、最後の活動終了からの期間が全活動期間より長い火山、若しくは最後の活動終了からの期間が過去の最大休止期間より長い火山であることから、将来の活動可能性のない火山として評価した。

#### 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、高原山と日光白根山については、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）<sup>(53)</sup>、山元（2013a）<sup>(11)</sup>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）<sup>(9)</sup>）。

佐々木（1994）<sup>(18)</sup>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）<sup>(11)</sup>）。

西来他（2016）<sup>(2)</sup>、中野他（2013）<sup>(1)</sup>、赤石・梅田（2002）<sup>(54)</sup>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）<sup>(53)</sup>）。

高橋他（2013）<sup>(55)</sup>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）<sup>(56)</sup>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）<sup>(31)</sup>）から活動を開始したとされる。

山元（2014b）<sup>(31)</sup>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）<sup>(57)</sup>）。

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）<sup>(53)</sup>）。

長井・高橋（2008）<sup>(58)</sup>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) <sup>(31)</sup> 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<sup>いづなみたる</sup>aテフラ (飯縄山<sup>いづな</sup>)

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) <sup>(53)</sup>)。

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) <sup>(59)</sup>)。早津他 (2008) <sup>(59)</sup> によれば、飯縄山は<sup>みょうこう</sup>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) <sup>(59)</sup>)。

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<sup>おんたけ</sup>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) <sup>(53)</sup>)。

御嶽山の活動は、山元 (2014b) <sup>(31)</sup>、及川他 (2014) <sup>(60)</sup> 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) <sup>(61)</sup> 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) <sup>(60)</sup> 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<sup>たにくち</sup>テフラ、大峰<sup>おおみね</sup>テフラ (爺ヶ岳<sup>じいがだけ</sup>)、恵比須峠<sup>えびすとうげ</sup>福田<sup>ふくだ</sup>テフラ、丹生川<sup>にゅうかわ</sup>テフラ (穂高岳<sup>ほただけ</sup>)

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）<sup>(6 2)</sup>）。

及川（2003）<sup>(6 2)</sup>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（おおまち 樅沢岳 もみさわだけ）

大町 A p m テフラ群は、樅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）<sup>(5 3)</sup>）。

西来他（2016）<sup>(2)</sup>、中野他（2013）<sup>(1)</sup>、原山（1990）<sup>(6 3)</sup>、町田・新井（2011）<sup>(5 3)</sup>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、樅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（かいしよかみたから 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）<sup>(5 3)</sup>）。

西来他（2016）<sup>(2)</sup>、中野他（2013）<sup>(1)</sup>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）<sup>(6 4)</sup>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（たまがわ 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）<sup>(5 3)</sup>）。

鈴木・中山（2007）<sup>(6 5)</sup>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）<sup>(4 3)</sup>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) <sup>(66)</sup> 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) <sup>(53)</sup>)。

気象庁編 (2013) <sup>(4)</sup> 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) <sup>(1)</sup> 及び工藤他 (2011) <sup>(67)</sup> 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) <sup>(53)</sup>)。

守屋 (1983) <sup>(68)</sup> 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) <sup>(69)</sup> 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<sup>3</sup> とされる。

また、山元 (2014b) <sup>(31)</sup> 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<sup>3</sup> 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) <sup>(70)</sup> 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) <sup>(71)</sup>) 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<sup>あそ</sup>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）<sup>(5.3)</sup>）。

Nagaoka（1988）<sup>(7.2)</sup>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<sup>くさせんりがはま</sup>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）<sup>(7.3)</sup>）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<sup>あいら</sup>Tnテフラ（始良カルデラ）

始良Tn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）<sup>(5.3)</sup>）。

現在の始良カルデラの活動期は、Nagaoka（1988）<sup>(7.2)</sup>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年以上）は、最新の破局的噴火である約3万年前の始良Tn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Tn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<sup>きかい</sup>アカホヤテフラ、鬼界<sup>きかいとずらはら</sup>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）<sup>(5.3)</sup>）。

現在の鬼界カルデラの活動期は、Nagaoka（1988）<sup>(7.2)</sup>に基づけば、後カルデラ火山噴火ステージ（薩摩<sup>さつま</sup>硫黄島<sup>いおうじま</sup>）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<sup>かさま おおごやま ひぬま</sup>の潤沼川<sup>ひぬまがわ</sup>沿いで確認される「潤沼川テフラ」<sup>(1.1)</sup>（山元（2013a）<sup>(1.1)</sup>）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15cmの軽石質の粗粒火山灰であるとされている（山元（2013a）<sup>(1.1)</sup>）。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<sup>たかはらとむるやま</sup>高原戸室山2テフラ、男体・女峰火山群を噴出源とする<sup>なんたいいまいち</sup>男体今市テフラ、<sup>なんたいしちほんざくら</sup>男体七本桜テフラ、赤城山を噴出源とする<sup>あかぎかぬま</sup>赤城鹿沼テフラ、<sup>あかぎなめかわ</sup>赤城行川2テフラ、<sup>あかぎみずぬま</sup>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<sup>はるなはつき</sup>榛名八崎テフラ、<sup>あずまやさん</sup>四阿山を噴出源とする<sup>あずまやすがだいら</sup>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、涸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)<sup>(53)</sup>)によれば10cm~40cm、山元(2013a)<sup>(11)</sup>では32cm~64cmの32cm等層厚線付近に位置する。山元(2013a)<sup>(11)</sup>、茨城県自然博物館(2001)<sup>(74)</sup>、茨城県自然博物館(2007)<sup>(75)</sup>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35cm、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)<sup>(32)</sup>、高橋他(2012)<sup>(28)</sup>、守屋(1979)<sup>(76)</sup>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  $5\text{km}^3$ ）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  $5\text{km}^3$  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：<sup>たての</sup>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  $12\text{cm}$ ）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  $22\text{cm}$  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  $50\text{cm}$  と設定する。

#### 8.4.1.2 密度に関する評価

富田他（1994）<sup>(25)</sup>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）<sup>(26)</sup>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  $120\text{km}$  の範囲内には高原山、那須岳、男体・女峰火山群、日光白根山の 4 火山が位置する。敷地は<sup>な</sup>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<sup>うりづら</sup>瓜連丘陵に火山性土石流堆積物である粟河軽石が分布する（坂本・宇野沢（1976）<sup>(77)</sup>）。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<sup>かしまだいち</sup>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  $98\text{km}$  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](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/GIJUTSUKUSAI/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](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) : 新潟県飯土火山の形成史と 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) : 妙高火山群ー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) : 御嶽山の噴火ーその歴史と 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 巻 (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 巻 (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, Vol119, 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巻 (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巻, 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巻 (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的特徴とテフラ分布, 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 tephra 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?, 月刊地球, 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巻 (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巻, 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 <sup>※1</sup>	敷地からの距離 (km)	火山の形式 <sup>※2</sup>	活動年代 <sup>※3</sup> (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 ~	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 <sup>※4</sup> ~	900	7 <sup>※4</sup>	○	-
5	塔のへつりカルデラ群	115	カルデラ-火砕流, 溶岩ドーム	1400 ~	400	1000	×	×
6	豊海山	118	複成火山	1600 ~	700	900	×	×
7	二岐山	120	複成火山, 溶岩ドーム	140 ~	50	90	×	×
8	日光白根山	120	溶岩流及び小型桶状火山, 溶岩ドーム	20 ~	20	AD1890	○	-
9	根名草山	121	溶岩ドーム	300 ~	-	300	×	×
10	鷲ヶ岳	121	複成火山?	2700 ~	600	2100	×	×
11	鬼怒沼	125	溶岩流, 火砕流	240	-	240	×	×
12	赤城山	126	複成火山-カルデラ, 溶岩ドーム	300 ~	300	AD1251	○	-
13	四郎岳	126	複成火山?	2200	-	2200	×	×
14	沼上山	127	複成火山	1100	-	1100	×	×
15	会津布引山	127	複成火山	1400	-	1400	×	×
16	桧和田カルデラ	133	カルデラ-火砕流, 溶岩ドーム	3000 ~	400	2600	×	×

※1, 2. 火山名, 火山の形式は中野他 (2013) <sup>①</sup>に基づき、  
 ※3. 活動年代は、中野他 (2013) <sup>①</sup>も含め、それ以降に公表された第四紀火山に関するデータを収集・整理した「第四紀噴火・貫入岩体データベース」(西来他 (2016) <sup>②</sup>) を基本にして評価した。  
 ※4. 大真名子山, 女峰山を含んだ年代を示している中野他 (2013) <sup>①</sup>に基づき評価した。

○: 該当する ×: 該当しない  
 -: 検討対象外

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 <sup>※1</sup>	敷地からの距離 (km)	火山の形式 <sup>※2</sup>	活動年代 <sup>※3</sup> (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	燈ヶ岳	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世紀後半~7世紀初頭	○	-
28	笹森山	154	複成火山?	3700 ~ 1800 <sup>※4</sup>	1900	1800	×	○
29	猫魔ヶ岳	156	複成火山	1430 <sup>※5</sup> ~ 400 <sup>※5</sup>	1030	400	×	× <sup>※5</sup>
30	沼沢	157	溶岩ドーム, カルデラ	110 ~	110	5.4	○	-

○：該当する ×：該当しない  
-：検討対象外

※1. 火山名, 火山の形式は中野他 (2013) <sup>(1)</sup>に基づく。  
 ※2. 活動年代は, 中野他 (2013) <sup>(1)</sup>も含め, それ以降に公表された第四紀火山に関するデータを収集・整理した「第四紀噴火・貫入岩体データベース」(西来他 (2016) <sup>(2)</sup>)を基本として評価した。  
 ※3. 笹森山起源の火砕流堆積物のフィッシャソン・トラック年代を示している山元 (2015) <sup>(3)</sup>による。  
 ※4. 活動休止期間が明確に記される見聞である三村 (2002) <sup>(4)</sup>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体止期間よりも長いとみなせる火山として評価した。  
 ※5. 活動休止期間が明確に記される見聞である三村 (2002) <sup>(4)</sup>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体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出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)		新しい火口の開口 地震変動
			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。	溶岩流 岩層なだれ、地すべり及び斜面崩壊 (50km)
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		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。
8	日光白根山	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。	
12	赤城山	126	約24		
17	巖ヶ岳	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、敷地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		
30	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(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) <sup>*</sup>	
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 <sup>*1</sup>	5
	男体七本桜テフラ	Nt-S	東南東(約110km)	男体・女峰火山群	○	—	0~20cm <sup>*2</sup>	4
	男体今市テフラ	Nt-I					0~20cm <sup>*2</sup>	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 <sup>*3</sup>	5
	日光早乙女テフラ	Nk-SO					16cm以下 <sup>*3</sup>	4
	日光行川テフラ	Nk-NM					16cm以下 <sup>*3</sup>	5
	日光矢板テフラ	Nk-YT					16cm以下 <sup>*3</sup>	4
	赤城鹿沼テフラ	Ag-KP	東南東(約126km)	赤城山	○	—	32cm~64cm <sup>*1</sup>	5
	赤城行川2テフラ	Ag-NM2					4cm以下 <sup>*1</sup>	4
	赤城水沼1テフラ	Ag-MzP1					5cm~20cm <sup>*2</sup>	4
	赤城水沼2テフラ	Ag-MzP2					4cm以下 <sup>*1</sup>	4
	赤城水沼8テフラ	Ag-MzP8					8cm以下 <sup>*1</sup>	4
	赤城水沼9-10テフラ	Ag-MzP9-10					16cm以下 <sup>*1</sup>	4
	燧ヶ岳七入テフラ	Hu-NN	南東(約136km)	燧ヶ岳	○	—	8cm以下 <sup>*3</sup>	5
	沼沢芝原テフラ	Nm-SB	南東(約157km)	沼沢	○	—	16cm以下 <sup>*3</sup>	4
	榛名八崎テフラ	Hr-HP	東(約154km)	榛名山	○	—	0cm~10cm <sup>*2</sup>	4
鬼怒沼黒田原テフラ	Kn-KD	東南東(約125km)	鬼怒沼	×	将来の活動可能性のない火山	16cm以下 <sup>*3</sup>	5	

※噴火規模(VEI)の定義は町田・新井(2011)<sup>(53)</sup>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。

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

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) <sup>*</sup>	
半径160km外	真岡テフラ	MoP	東南東(約172km)	飯土山	×	将来の活動可能性のない火山	32cm~16cm <sup>*1</sup>	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 <sup>*2</sup>	6
	浅間板鼻黄色テフラ	As-YP					0cm以上 <sup>*2</sup>	5
	四阿菅平2テフラ	Azy-SgP2	東(約194km)	四阿山	○	—	0cm以上 <sup>*4</sup>	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 <sup>*2</sup>	6
	箱根吉沢下部7テフラ	Hk-K1p7					0cm以上 <sup>*2</sup>	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 <sup>*5</sup>	?
	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 <sup>*2</sup>	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 <sup>*6</sup>	?
	大峰テフラ(大峰-SK110)	Omn(0mn-SK110)					10cm以下 <sup>*6</sup>	6?
	大町Apmテフラ群	Tky-Ng1	東(約265km)	飛騨山脈(樺沢岳)	×	将来の活動可能性のない火山	0cm以上 <sup>*7</sup>	6?
	恵比須峠福田テフラ	Ebs-Fkd	東(約261km)	飛騨山脈(徳高岳)	×	将来の活動可能性のない火山	約30cm <sup>*6</sup>	7?
	丹生川テフラ(徳高-Kd39)	Nyg(Htk-Kd39)					20cm~10cm <sup>*6</sup>	?
	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 <sup>*2</sup>	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 <sup>*8</sup>	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 <sup>*9</sup>	?
	大山倉吉テフラ	DKP	東北東(約641km)	大山	×	数km <sup>3</sup> 以下の噴火活動が継続	5cm~0cm <sup>*2</sup>	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 <sup>*2</sup>	7
	阿蘇4テフラ	Aso-4					15cm以下 <sup>*2</sup>	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 <sup>*2</sup>	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 <sup>*2</sup>	7	
鬼界葛原テフラ	K-Kz					5cm~2cm <sup>*2</sup>	7	
噴出源不明	潤沼川テフラ	—	—	—	—	(再堆積) <sup>*1,10</sup>	—	

※噴火規模(VEI)の定義は町田・新井(2011)<sup>(53)</sup>に基づく

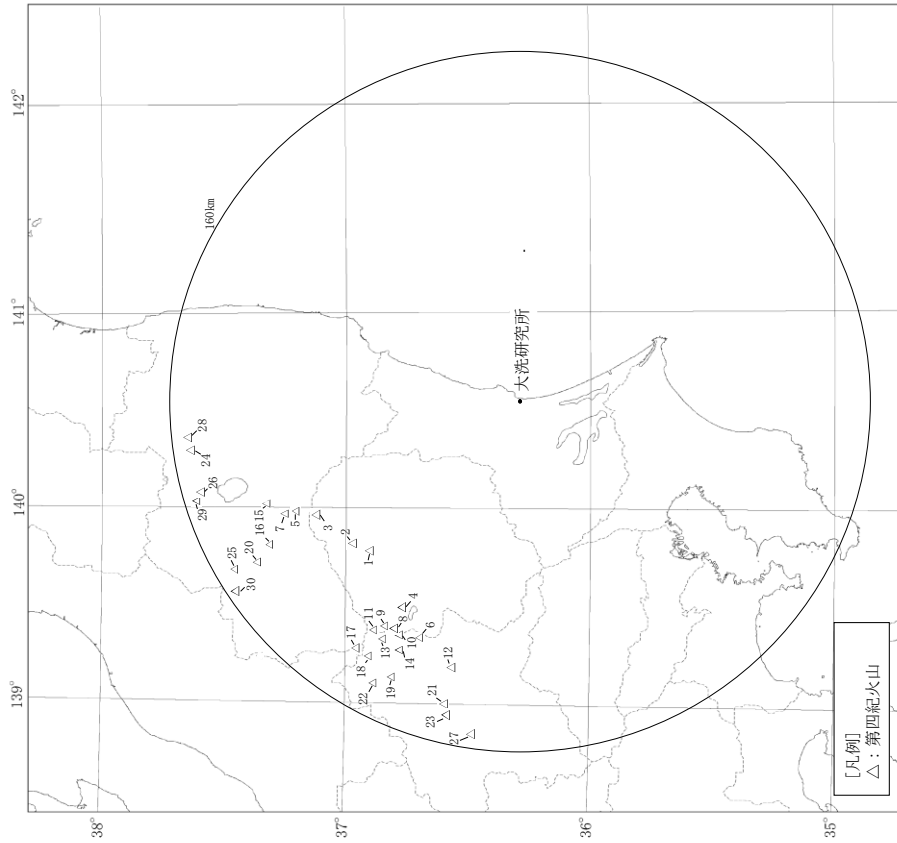
試験研究炉の運用期間中の同規模噴火の可能性あり。  
 試験研究炉の運用期間中の同規模噴火の可能性が十分に小さい。

<sup>\*1</sup>: 山元(2013a)<sup>(11)</sup>, <sup>\*2</sup>: 町田・新井(2011)<sup>(53)</sup>, <sup>\*3</sup>: 山元(2012)<sup>(9)</sup>, <sup>\*4</sup>: 大石(2009)<sup>(79)</sup>, <sup>\*5</sup>: 鈴木(2001)<sup>(80)</sup>  
<sup>\*6</sup>: Tamura et al(2008)<sup>(81)</sup>, <sup>\*7</sup>: 鈴木・早川(1990)<sup>(82)</sup>, <sup>\*8</sup>: 鈴木・中山(2007)<sup>(85)</sup>, <sup>\*9</sup>: 鈴木他(2001)<sup>(83)</sup>  
<sup>\*10</sup>: 山元(2013b)<sup>(46)</sup>

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 <sup>3</sup>	5	山元(2016) <sup>(32)</sup> 及び山元(2013a) <sup>(11)</sup> に基づき設定 (見かけ体積量に降下火砕物の密度800kg/m <sup>3</sup> を乗じた4.0×10 <sup>10</sup> 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) <sup>(80)</sup> による)に基づいて設定	
	噴煙柱分割高さ	m	100	萬年(2013) <sup>(85)</sup> 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 <sup>3</sup>	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) <sup>(11)</sup> 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 <sup>2</sup> /s	0.04	萬年(2013) <sup>(85)</sup> より設定	
	拡散係数	m <sup>2</sup> /s	10,000	萬年(2013) <sup>(85)</sup> より設定	
	Fall Time Threshold	s	3,600	萬年(2013) <sup>(85)</sup> より設定	
	噴 出 源	Plume Ratio	-	0.1	Tephra2のconfigfileに示された事例に基づく一般値
X(東距)		m	338,296	「日本の火山(第3版)」(中野他(2013) <sup>(11)</sup> )より設定	
Y(北距)		m	4,047,614		
標高		m	1,828		

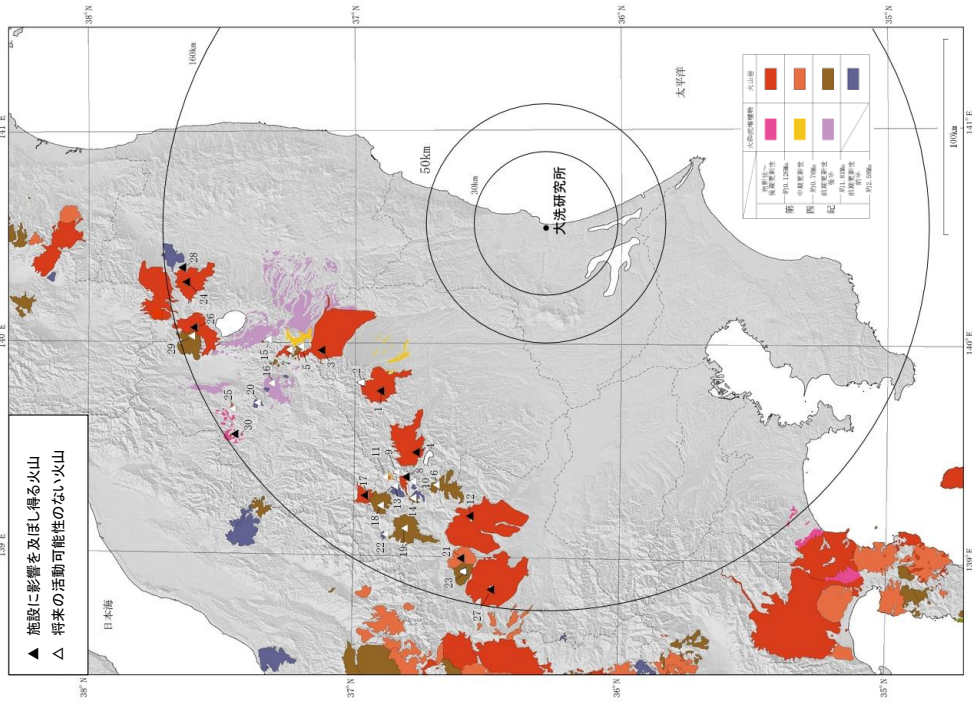




中野他(2013) (1)に基づき作成

No.	第四紀火山	敷地からの距離(km)	No.	第四紀火山	敷地からの距離(km)
1	高原山 たかひらやま UHF5	98	16	松和カルデラ まつかわ D42	133
2	塩原カルデラ しほのへつり UHF6	103	17	燧ヶ岳 たけがけ D17	136
3	那須岳 なす UHF7	108	18	アヤマ平 あやまのひら D18	136
4	男体・女峰火山群 おんなたい・にょぶね UHF8	110	19	上州武蔵山 じょうしゅうぶそう D19	140
5	塔のへつりカルデラ群 たのへつり UHF9	115	20	博士山 はかせやま D20	142
6	皇海山 すかいやま UHF10	118	21	子楯山 こしんやま D21	144
7	二岐山 ふたまたやま UHF11	120	22	奈良原カルデラ ならはら D22	146
8	日光白根山 にっこうしろね UHF12	120	23	小野子山 おのこやま D23	149
9	根名草山 ねなぐさやま UHF13	121	24	安達大良山 あだたらやま D24	153
10	鱒ヶ岳 ますがけ UHF14	121	25	砂子原カルデラ すなごはら D25	153
11	鬼怒沼 おにきぬ UHF15	125	26	磐梯山 いわてやま D26	154
12	赤城山 あかぎやま UHF16	126	27	榛名山 はるなやま D27	154
13	四郎岳 しろうたけ UHF17	126	28	笹森山 ささもりやま D28	154
14	沼上山 ぬまのうみやま UHF18	127	29	猫魔ヶ岳 ねまがけ D29	156
15	会津布引山 あいづぬのきやま UHF19	127	30	沼沢 ぬまざわ D30	157

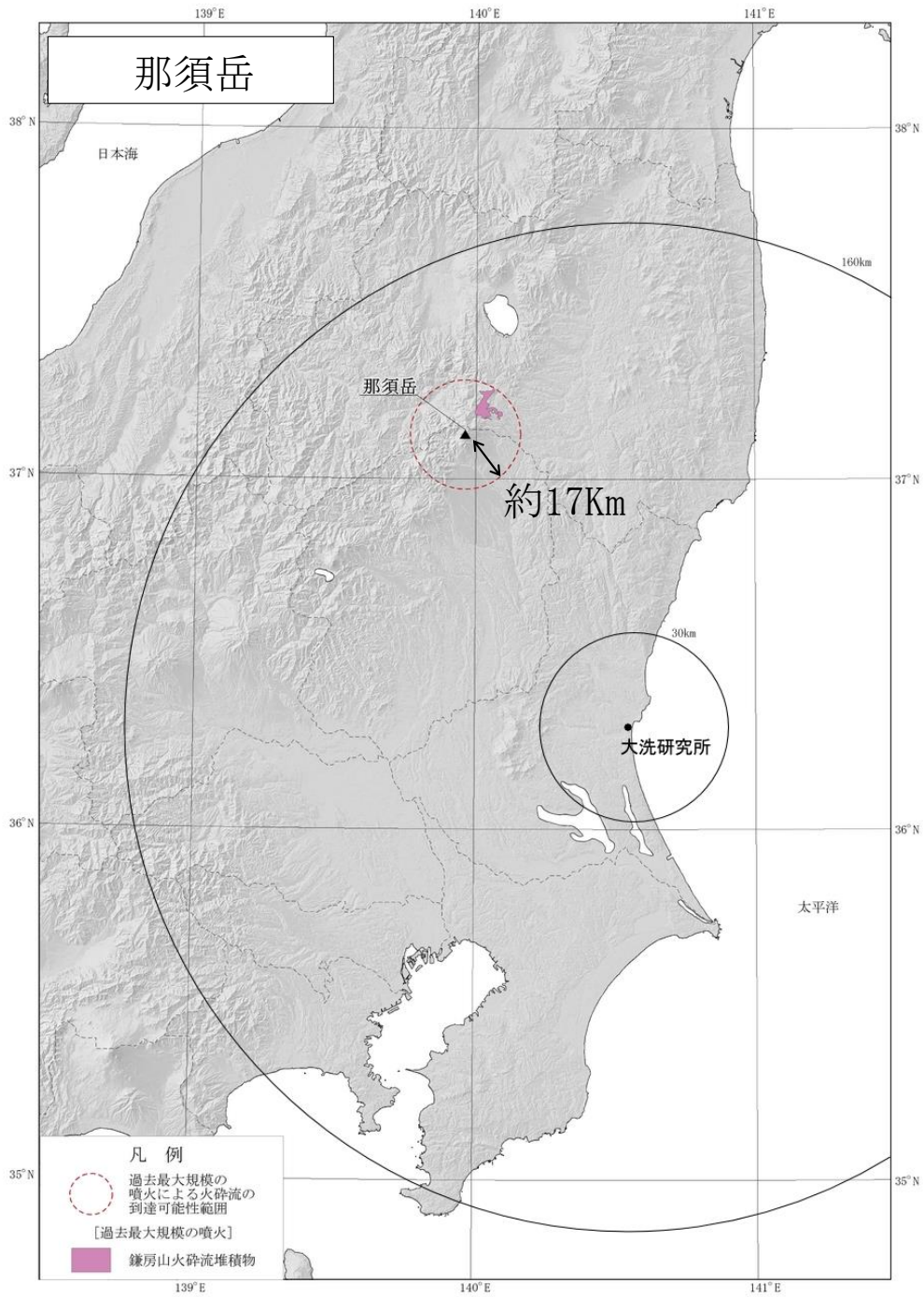
第8.2-1図 地理的領域内の第四紀火山



No.	第四紀火山	敷地からの距離(km)
1	高高山 たかたけやま	98
2	塩原カルデラ しほら	103
3	那須岳 なすだけ	108
4	男体・女峰火山群 おんなたいにょむね	110
5	樺のへつりカルデラ群 はらのへつり	115
6	皇海山 みみかみ	118
7	二岐山 ふたまた	120
8	日光白根山 ひつこうしろね	120
9	根名草山 ねなぐさ	121
10	錫ヶ岳 すねがけ	121
11	鬼怒沼 おにぬま	125
12	赤城山 あかぎ	126
13	四郎岳 しろうだけ	126
14	沼上山 ぬまのうみやま	127
15	会津布引山 あいつゆひ	127
No.	第四紀火山	敷地からの距離(km)
16	桧和田カルデラ ひわだ	133
17	巖ヶ岳 いわがけ	136
18	アヤマ平 あやまのひら	136
19	上州武尊山 じょうしゅうむすね	140
20	博士山 はかせ	142
21	子持山 こもち	144
22	奈良原カルデラ ならはら	146
23	小野子山 おのこ	149
24	安達太良山 あだたら	153
25	砂子原カルデラ すなごはら	153
26	磐梯山 ばんてい	154
27	榛名山 はるね	154
28	笹森山 ささもり	154
29	猫魔ヶ岳 ねこまがけ	156
30	沼沢 ぬまざわ	157

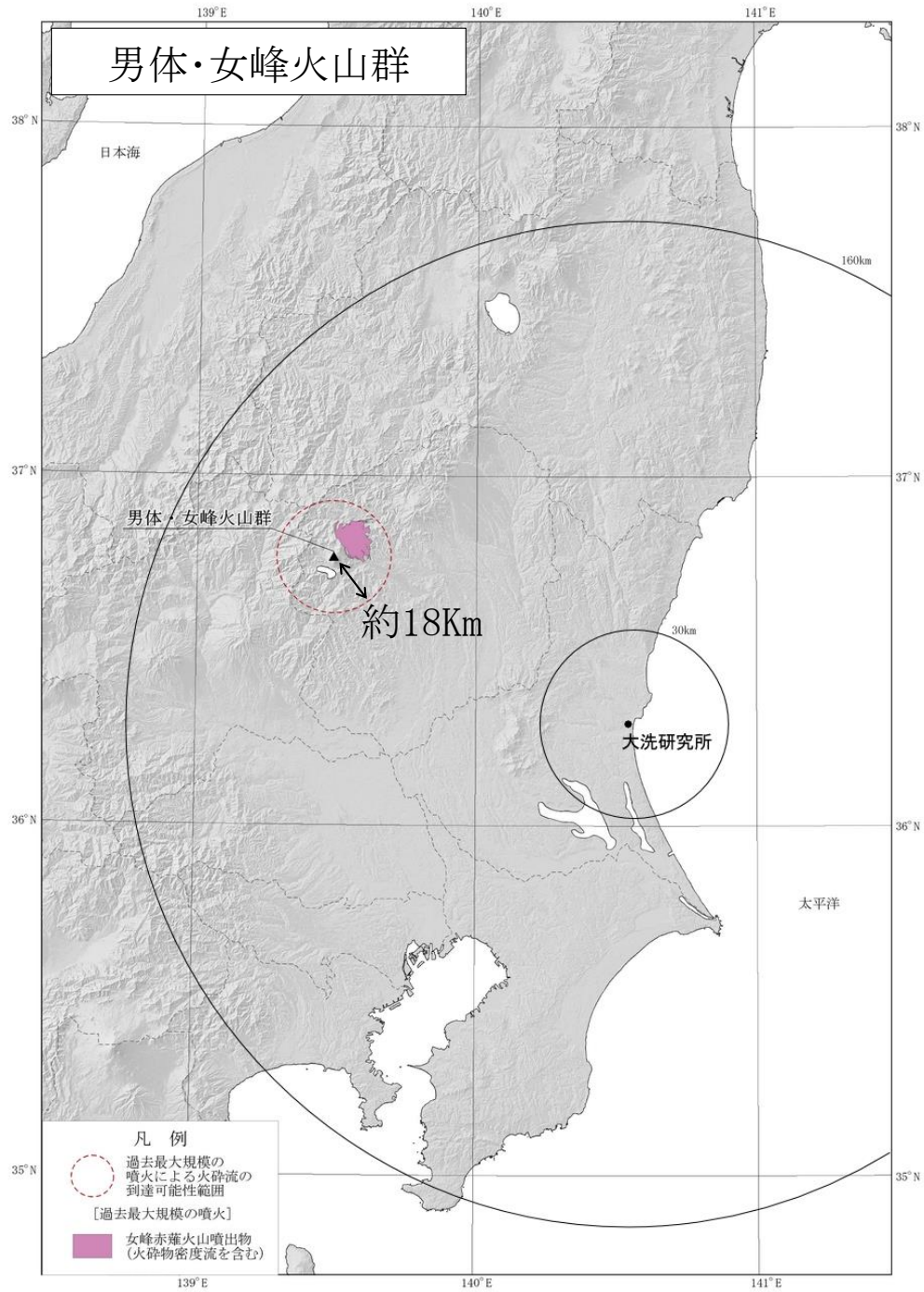
第8.3-1図 地理的領域内の火山地質図

中野直 (2013) (1) に基づき作成



伴・高岡(1995)<sup>(13)</sup>に基づき作成

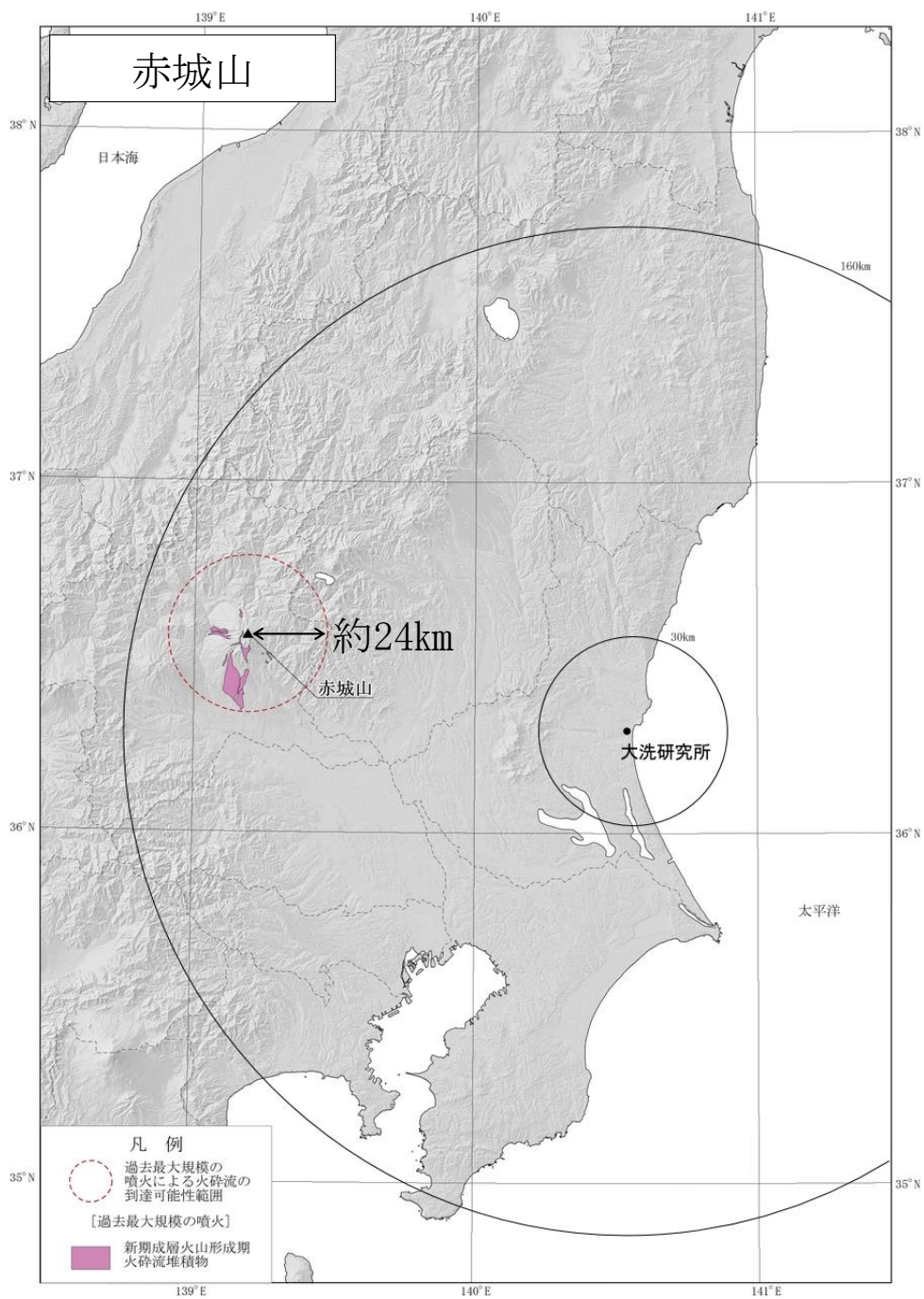
第8.3-2図 (1) 火砕物密度流の到達可能性範囲(那須岳)



佐々木(1994)<sup>(18)</sup>，山崎(1958)<sup>(86)</sup>に基づき作成

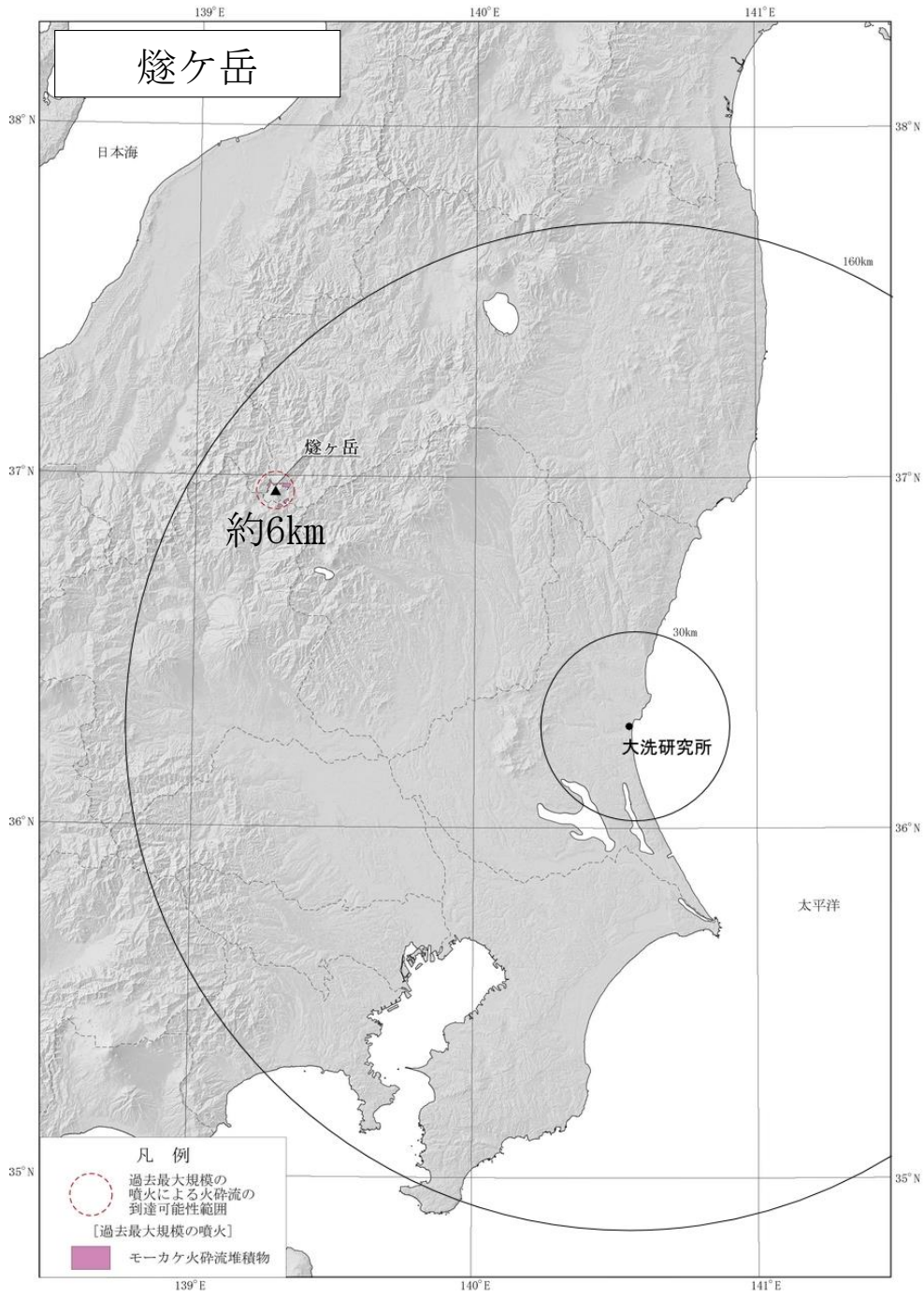
第8.3-2図(2) 火砕物密度流の到達可能性範囲(男体・女峰火山群)





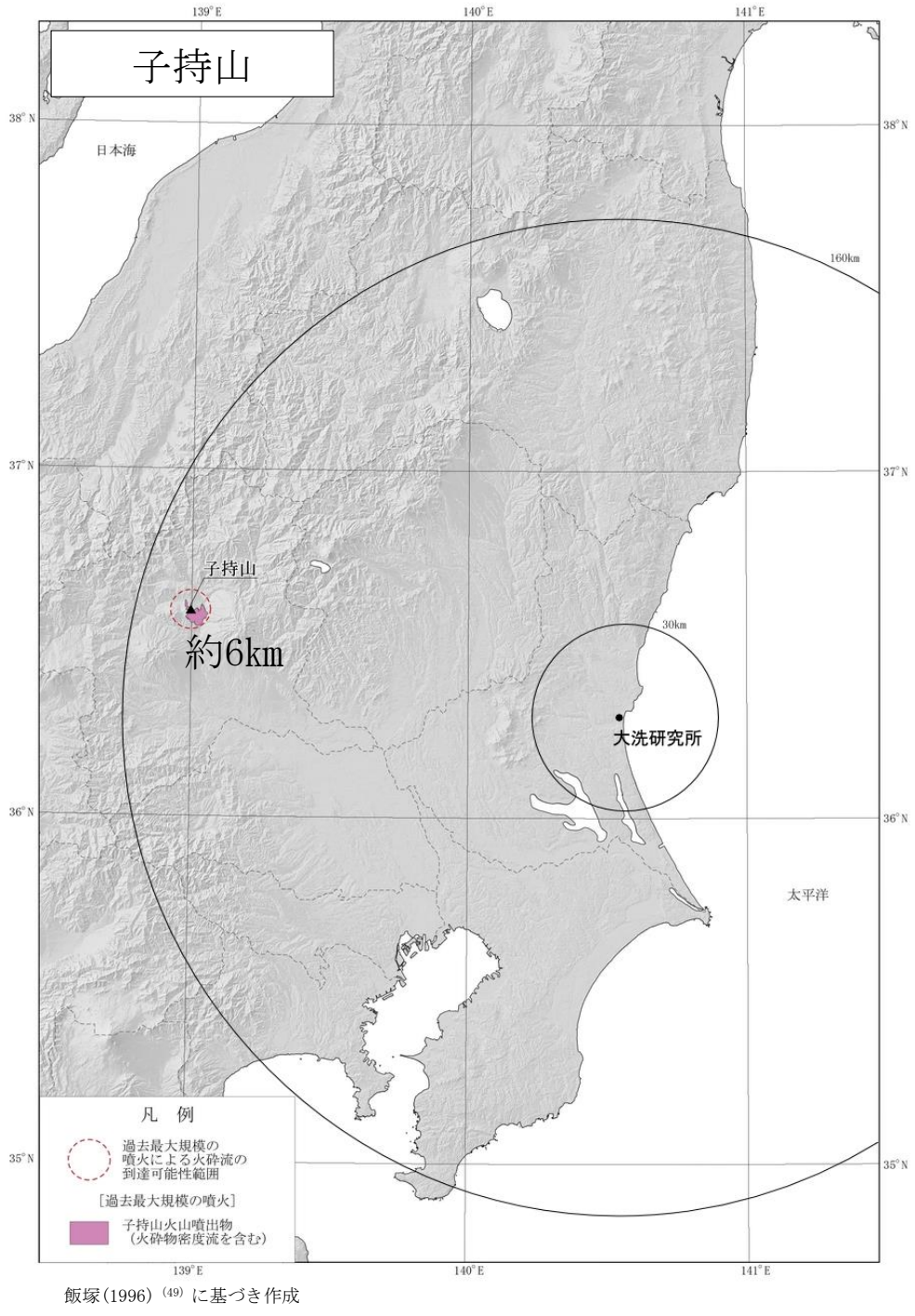
高橋他(2012)<sup>(28)</sup>に基づき作成

第8.3-2図(3) 火砕物密度流の到達可能性範囲(赤城山)



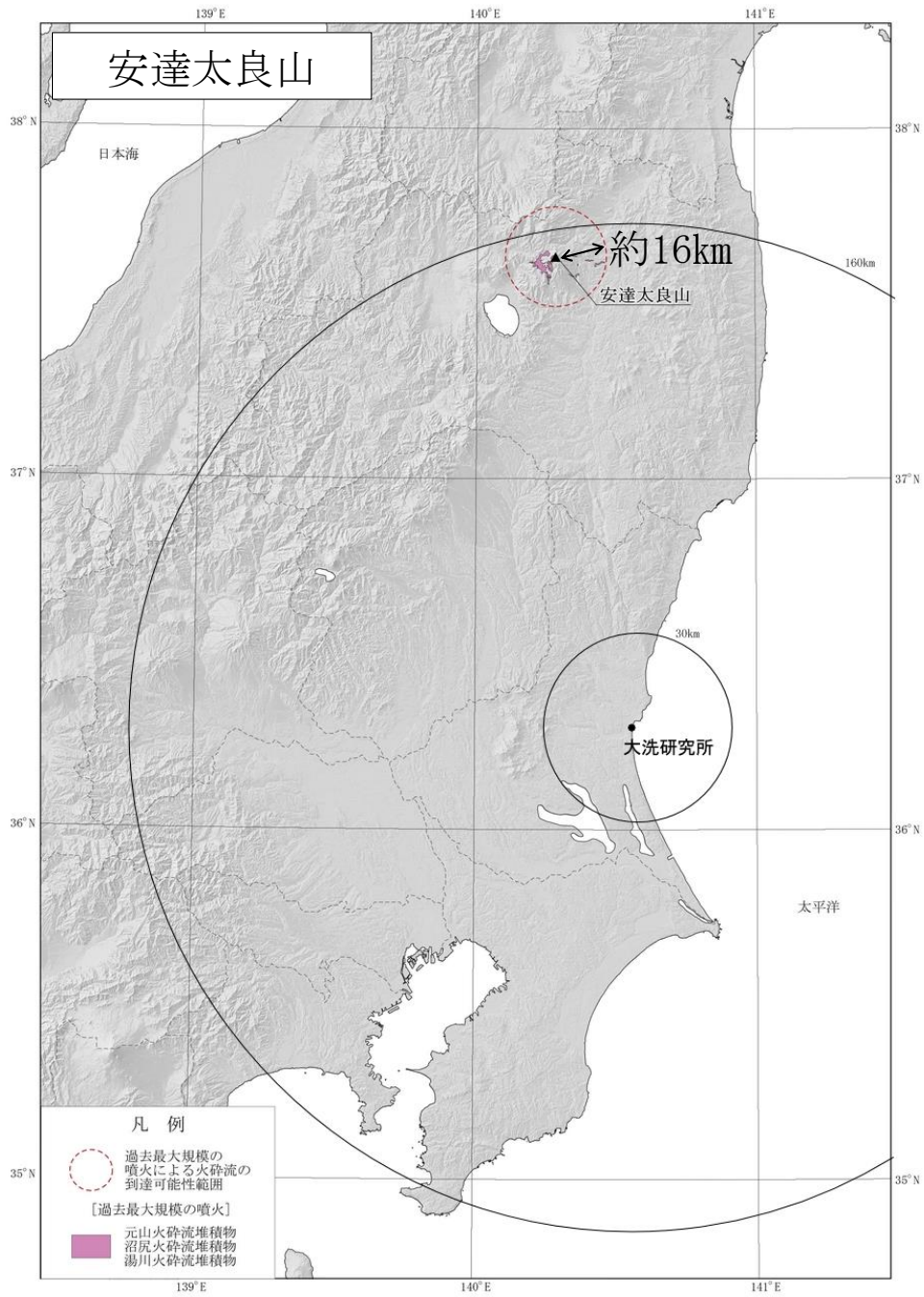
早川他(1997) <sup>(35)</sup> に基づき作成

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)

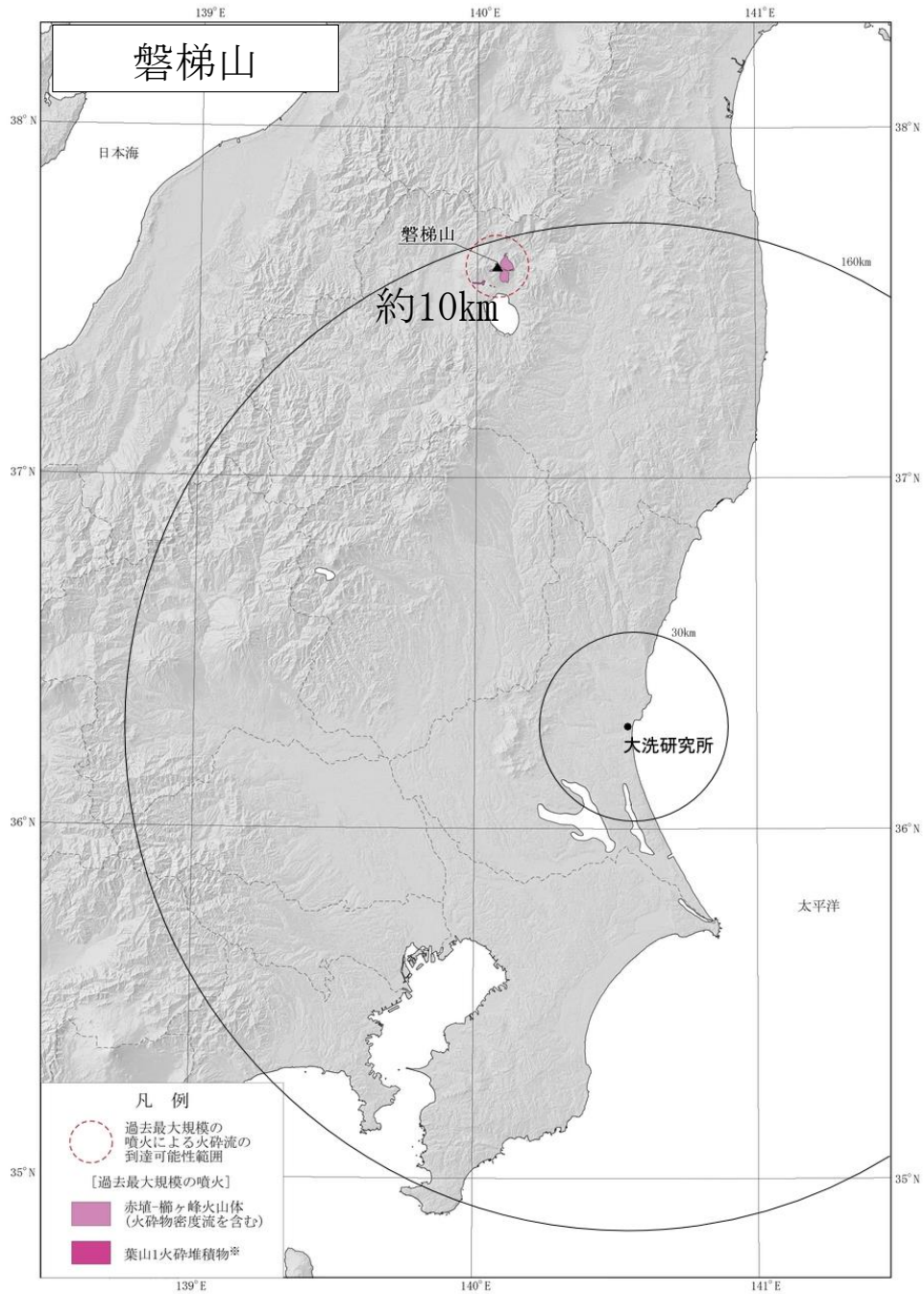




山元・阪口(2000)<sup>(37)</sup>に基づき作成

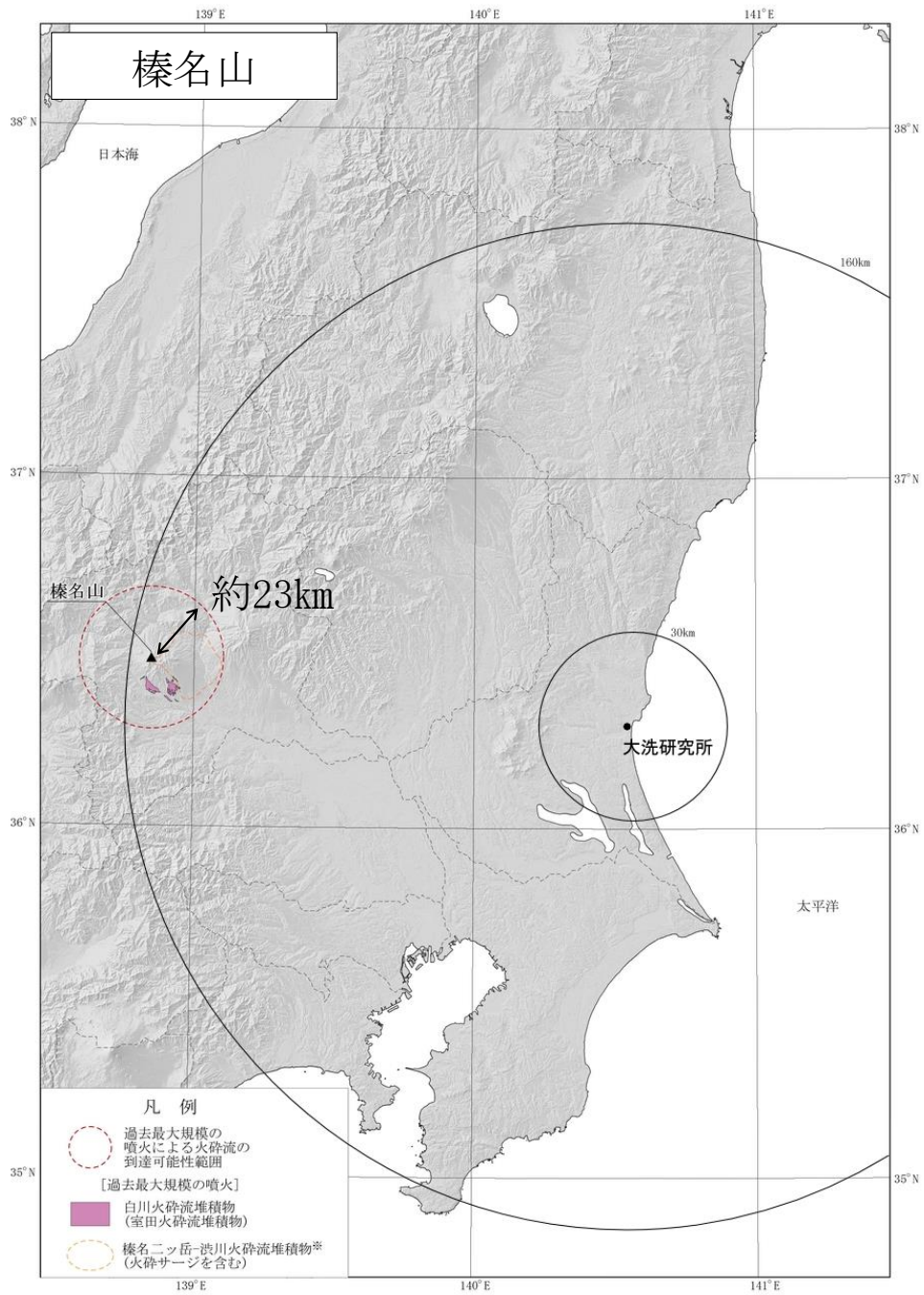
第8.3-2図(6) 火砕物密度流の到達可能性範囲(安達太良山)





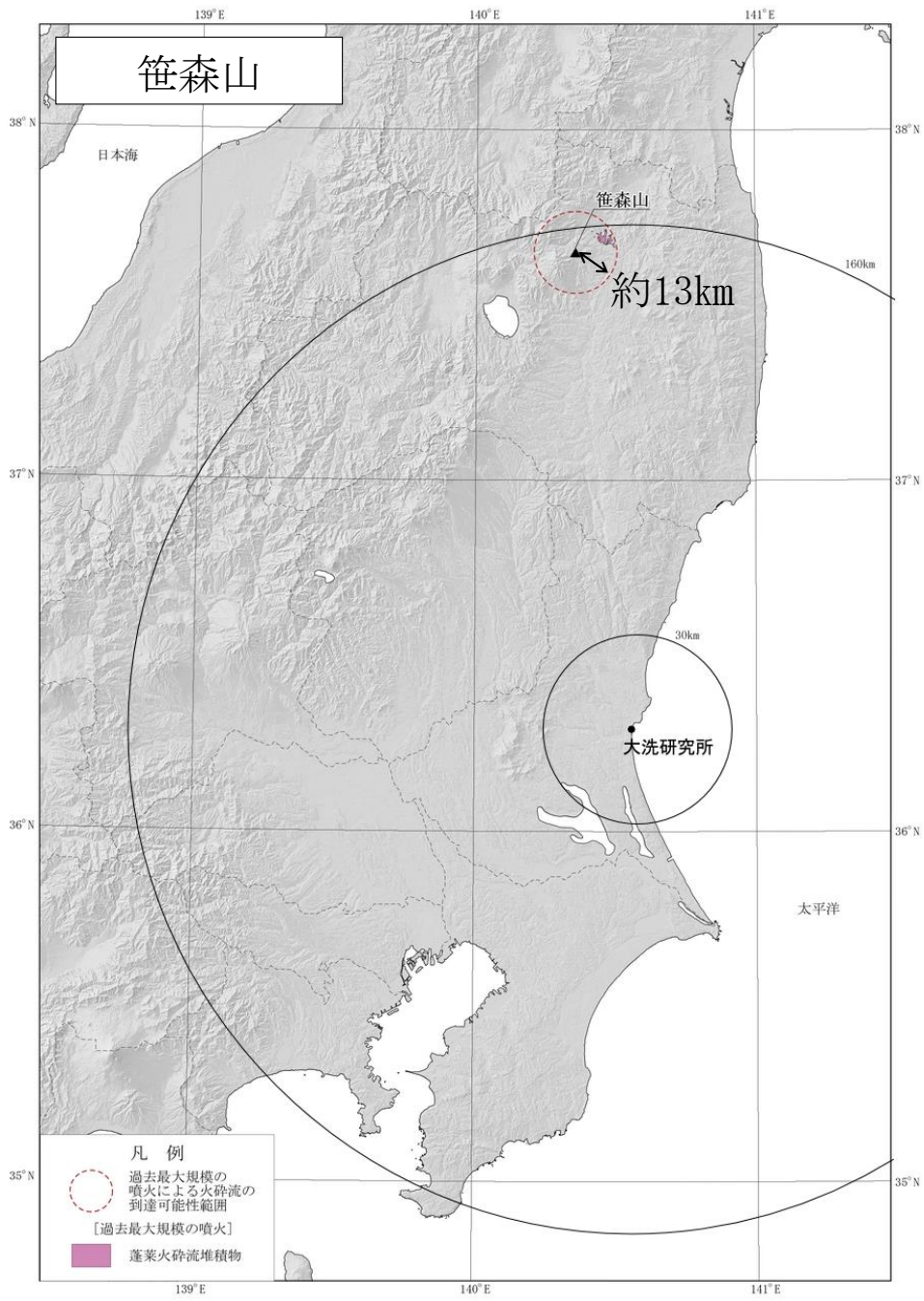
山元(2011)<sup>(87)</sup>, 山元・須藤(1996)<sup>(88)</sup>, 小荒井他(1995)<sup>(89)</sup>に基づき作成  
 ※葉山1火砕流は過去最大規模の噴火ではないが、到達距離としては最大であるため併記した

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)<sup>(23)</sup>，早田(1989)<sup>(90)</sup>に基づき作成  
 ※榛名山ニッ岳-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

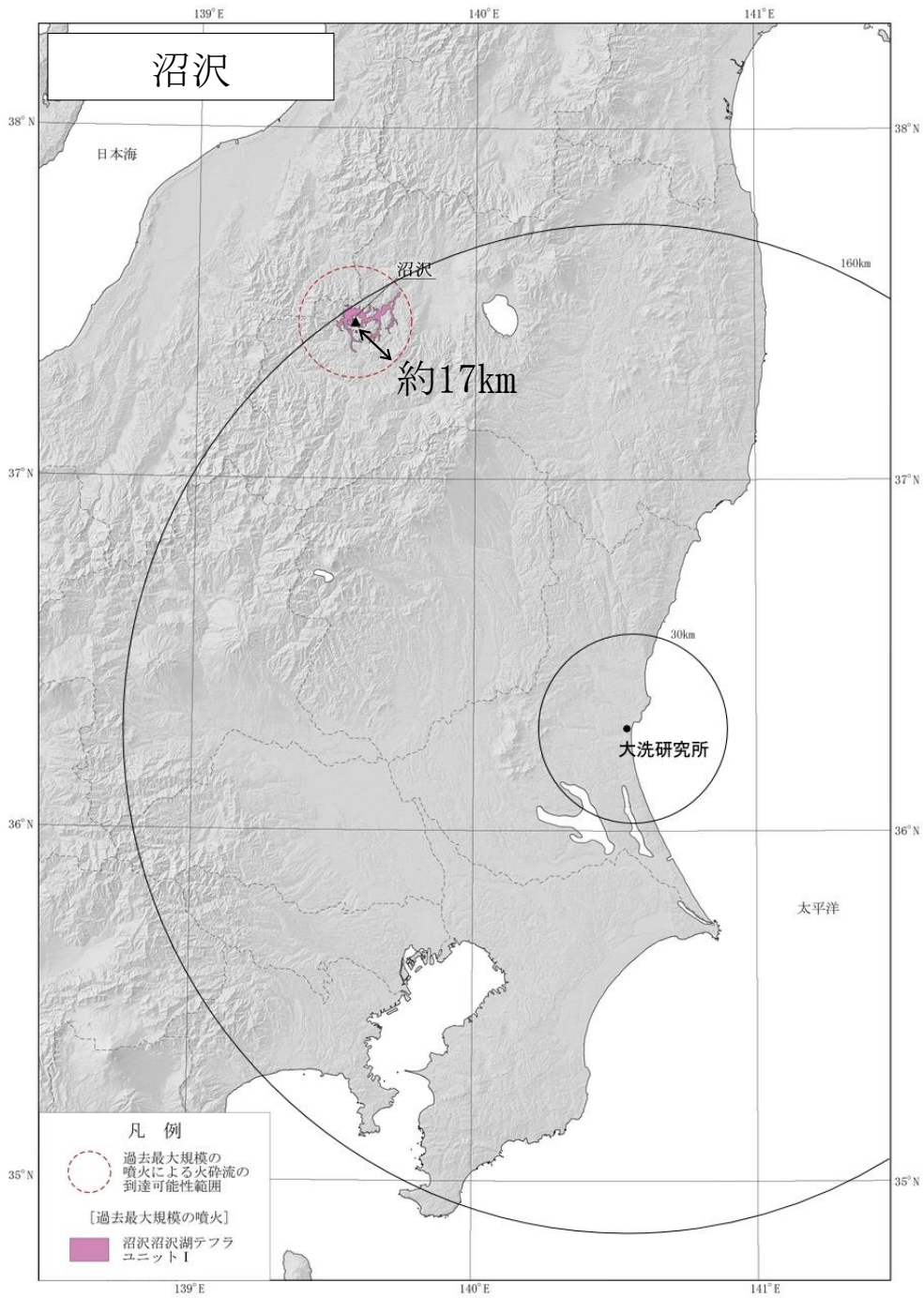
第8.3-2図(8) 火砕物密度流の到達可能性範囲(榛名山)



山元(2015)<sup>(52)</sup>に基づき作成

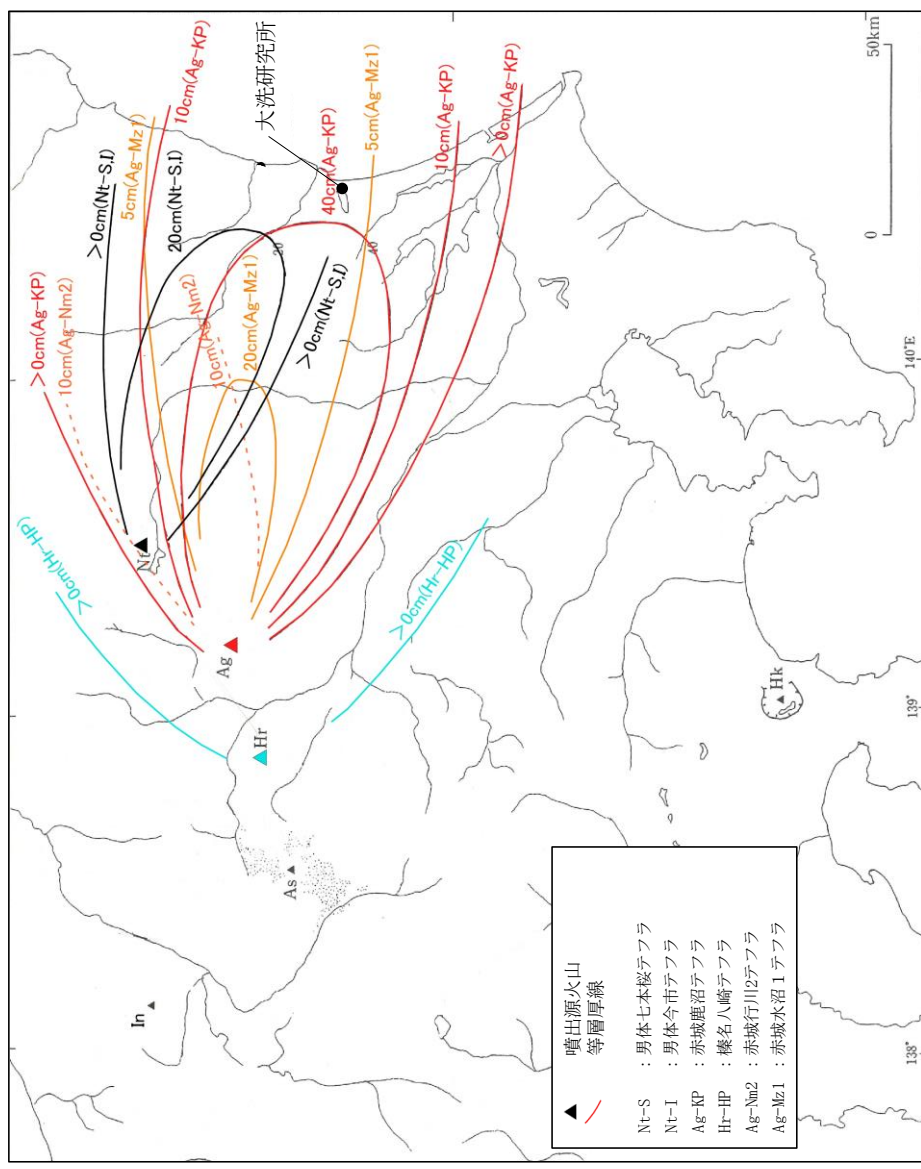
第8.3-2図(9) 火砕物密度流の到達可能性範囲(笹森山)





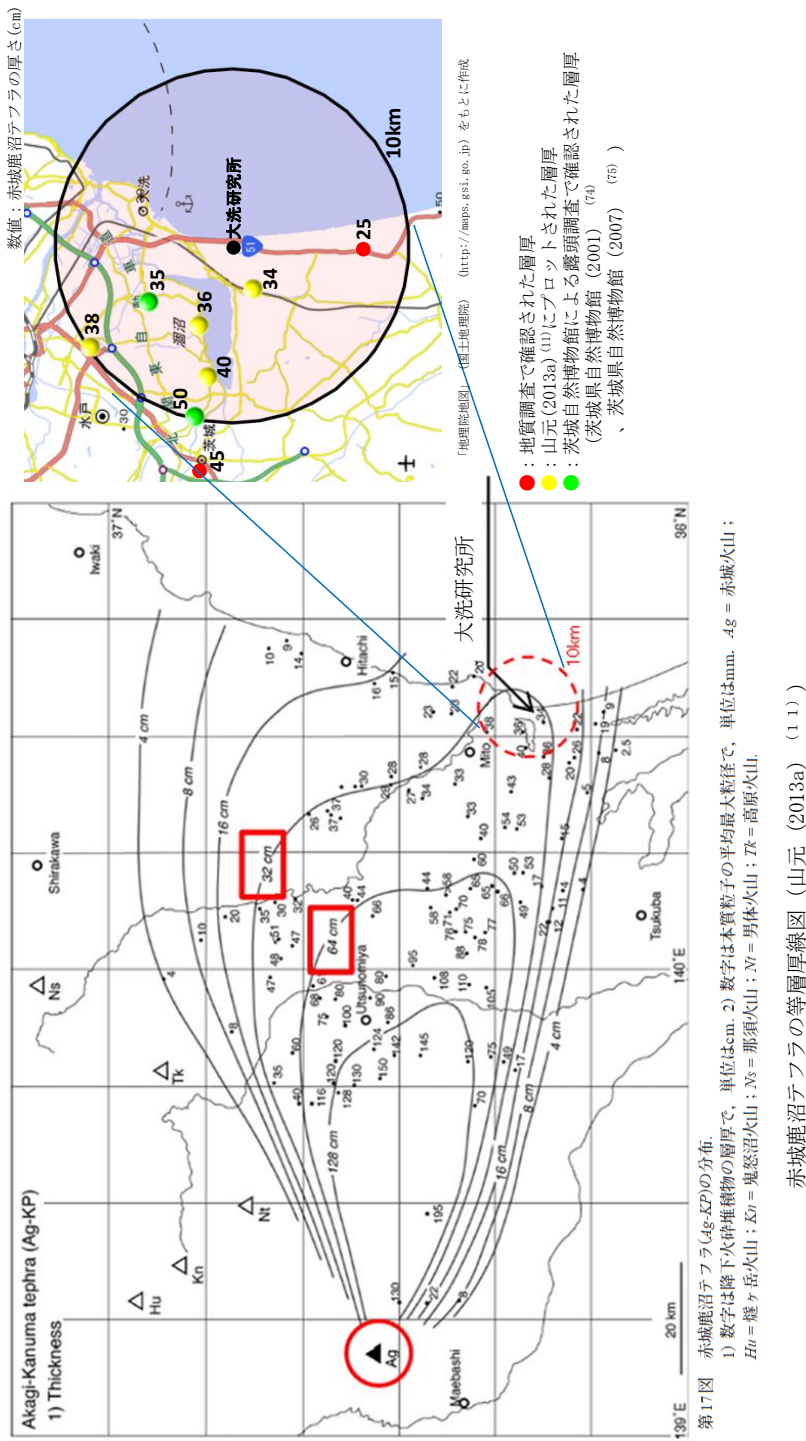
山元(2003)<sup>(48)</sup>，山元・長谷部(2014)<sup>(91)</sup>に基づき作成

第8.3-2図(10) 火砕物密度流の到達可能性範囲(沼沢)



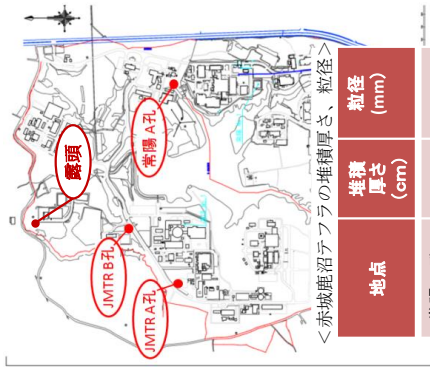
町田・新井(2011) (63) に基づき作成

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

### 敷地内ボーリング調査結果



JMTR B孔柱状図

標尺	標高	層厚	柱状図	土質区分	色相対	相対密度	記	孔内水位	標準貫入試験			
									深度	10cm毎の打撃回数	打撃回数	N値
1	33.15	0.30	ローム	暗茶褐		表面部、草根混入、φ30mm程度の垂円礫少量混入、粘性强い、含水少量、若干スゴリアを混入	4.0	4	30	—		
2	33.34	0.30	軽石	黄褐		φ5mm程度で、指圧により容易に潰れる体積に粘土質となる	2.45	1	2	—		
3	33.66	1.15	ローム	茶褐		粘性强い、砂分多量に混入	3.48	1	2	—		

### 敷地内の露頭



平均最大粒径約3.2mm (上位10層の平均)  
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

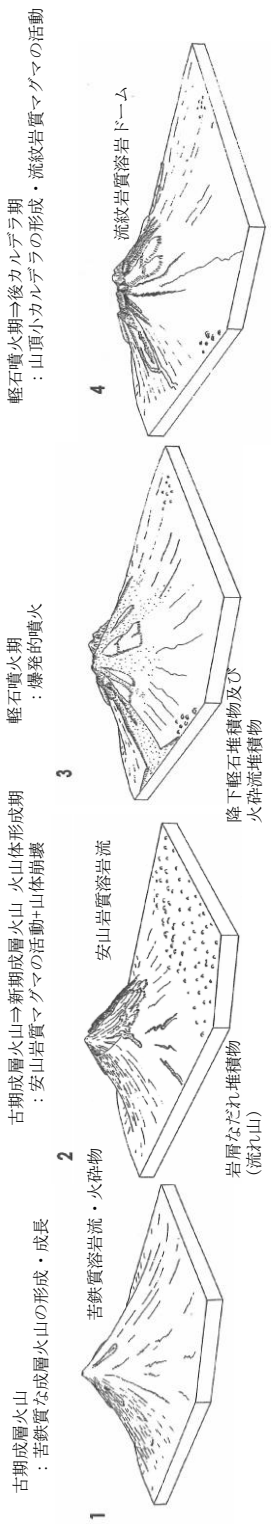
	重鉱物組成*	斜方輝石の屈折率	角閃石の屈折率
軽石 (JMTR B孔)	Ho, Opx	1.706-1.711	1.670-1.680
Ag-KP (町田・新井 (2011) (53))	Ho, Opx, (Cpx)	1.707-1.710	1.671-1.678

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 敷地内の赤城鹿沼テフラの層厚

活動期	新期成層火山		-	古期成層火山	
	火山体形成期	軽石噴火期 (山頂カルデラの形成)		火山体形成期	後カルデラ期 (中央火口丘形成期)
活動期間	22万年前～15万年前	15万年前～4.4万年前	22万年前	22万年前	50万年前～22万年前
マグマ噴出量	20 DRE km <sup>3</sup>	約8 DRE km <sup>3</sup> (カルデラ形成時期(約6万年前の大部軽石流噴火)を併せてマグマ噴出量が急増)	-	-	約46 DRE km <sup>3</sup> (第四紀火山カタログ委員会編(1989) <sup>(55)</sup> を引用し算出)
山体形成様式	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	山体崩壊	山体崩壊	成層火山の形成・成長
主な噴火様式	溶岩・火砕物の噴出	プリニー式噴火 (降下軽石、火砕流)	(水蒸気噴火に起因)	(水蒸気噴火に起因)	溶岩・火砕物の噴出
主な噴出物	下田沢泥流、 花見ヶ原下火砕流、 梶形山溶岩 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	梨木岩屑 なだれ	梨木岩屑 なだれ	荒山溶岩、 利平茶屋溶岩、 沼尾川溶岩 等
マグマ組成	安山岩、 一部デイサイト	安山岩～デイサイト	-	-	玄武岩～デイサイト

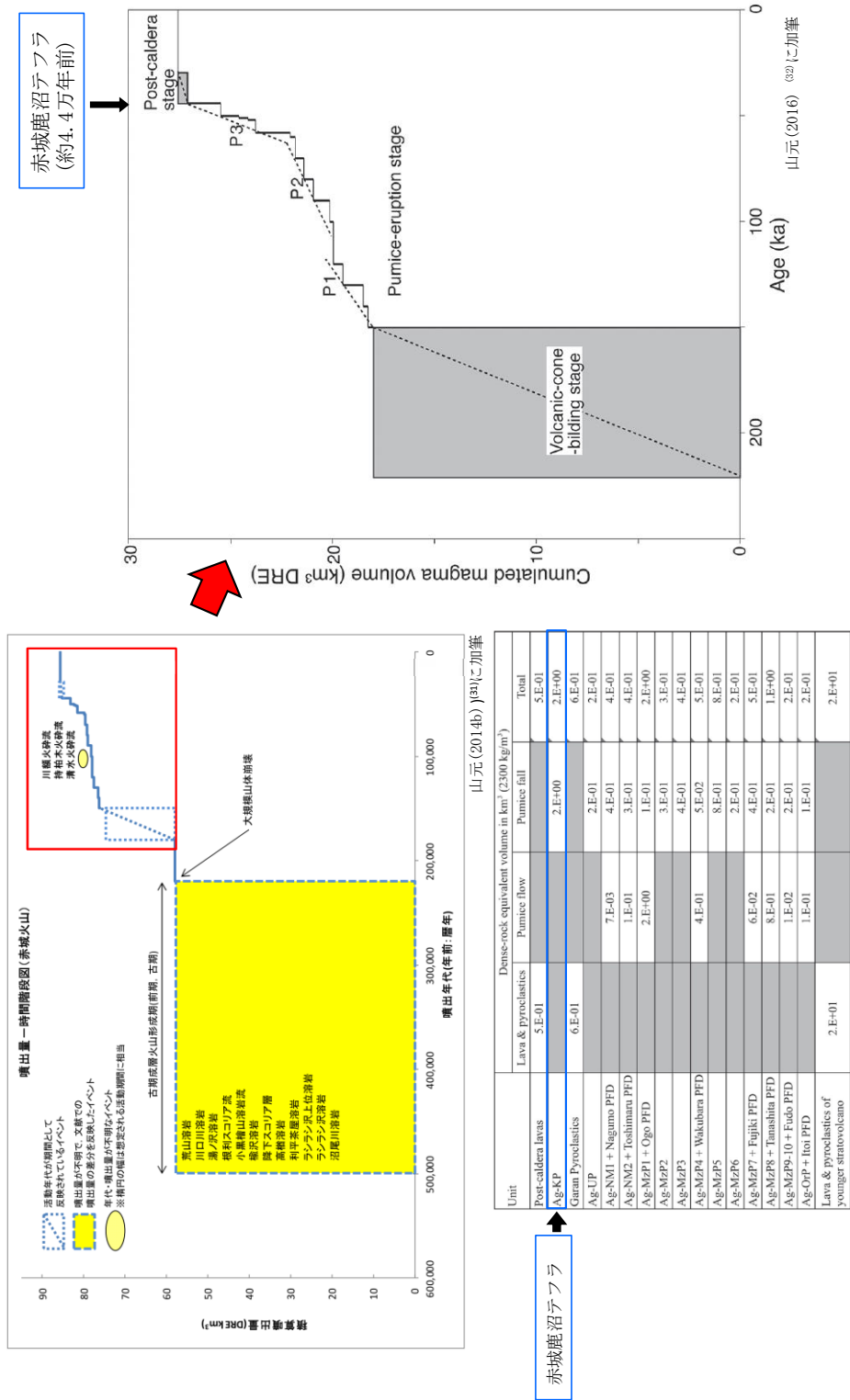
赤城山の火山発達史の概念図



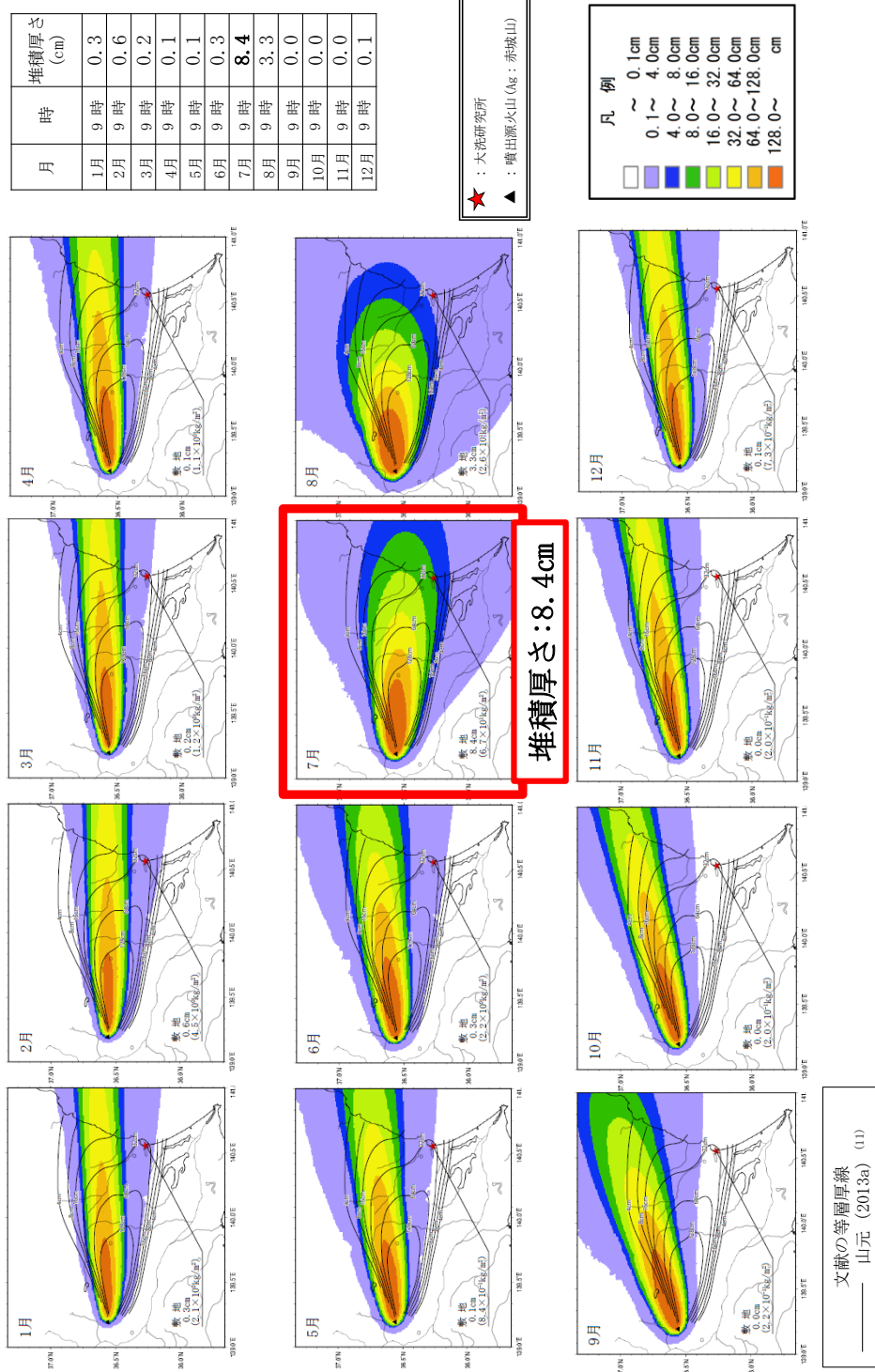
活動期整理表は山元(2016)<sup>(32)</sup>、高橋他(2012)<sup>(28)</sup>、発達モデル図は守屋(1979)<sup>(76)</sup>に基づき作成

第8.4-4図(1) 赤城山の火山発達史の整理





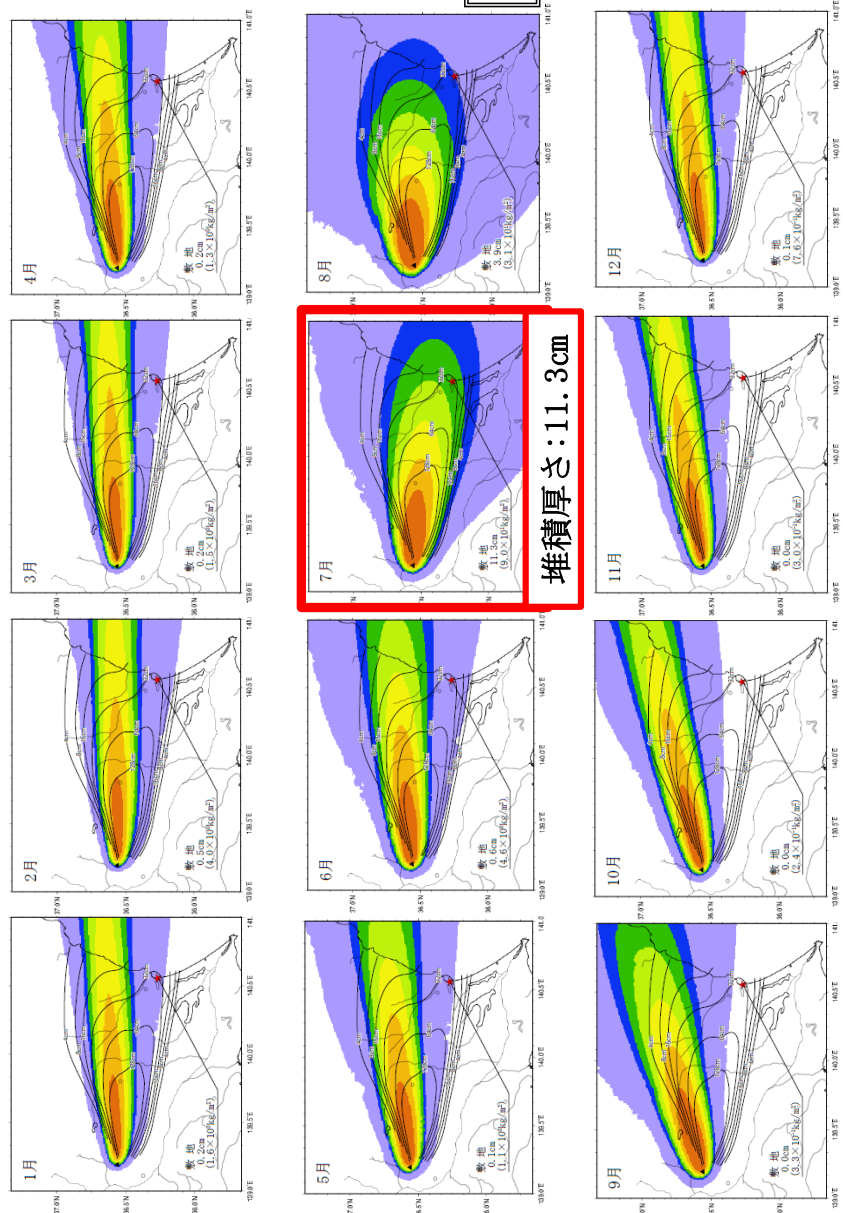
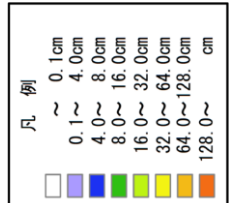
第8.4-4(2) 赤城山の活動履歴



第8.4-5図(1) 月別平年解析結果 (9時)

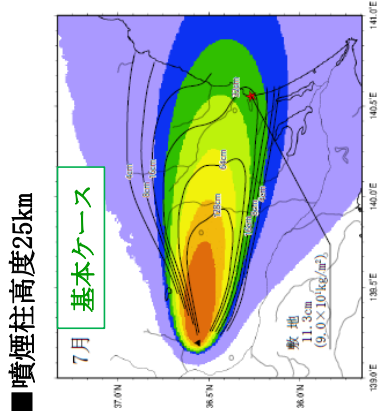
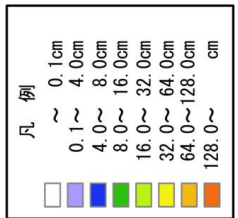
月	時	堆積厚さ (cm)
1月	21時	0.2
2月	21時	0.5
3月	21時	0.2
4月	21時	0.2
5月	21時	0.1
6月	21時	0.6
7月	21時	<b>11.3</b>
8月	21時	3.9
9月	21時	0.0
10月	21時	0.0
11月	21時	0.0
12月	21時	0.1

★ : 大泥研究所  
 ▲ : 噴出源火山(Ag:赤城山)

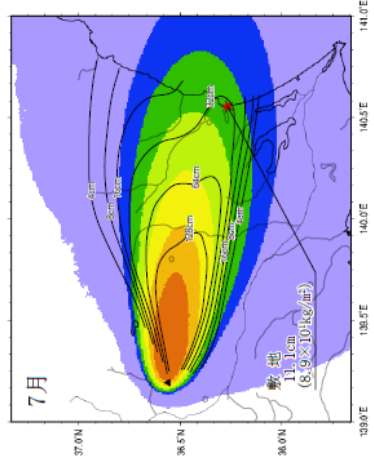


第8.4-5区(2) 月別平年解析結果 (21時)

★ : 大洗研究所  
▲ : 噴出源火山 (Ag: 赤城山)



◇ 噴煙柱高度:30km

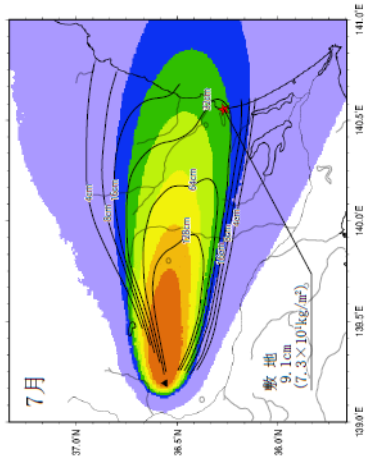


堆積厚さ:11.1cm

堆積厚さ:11.3cm



◇ 噴煙柱高度:20km

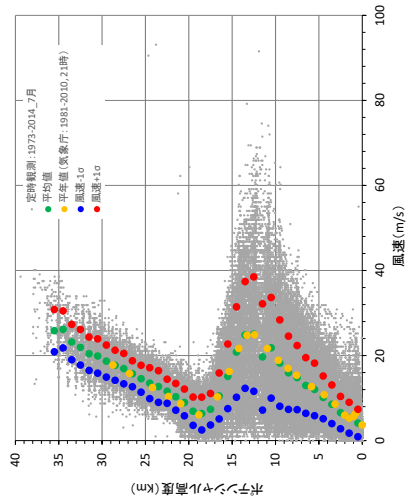


堆積厚さ:9.1cm

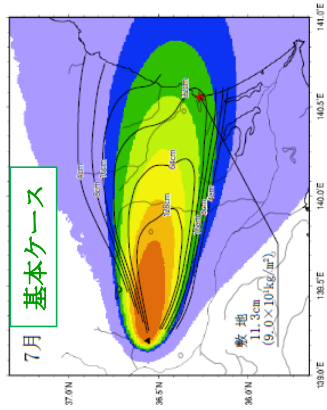
7月 (21時) の平年値の風 (1981年~2010年)

文献の等層厚線 (2013a) (11)  
—— 山元

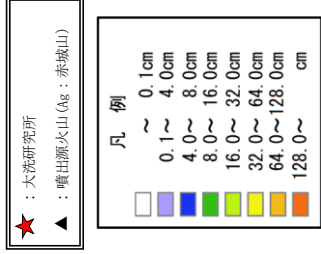
第8.4-6図(1) 不確かさの検討結果 (噴煙柱高度)



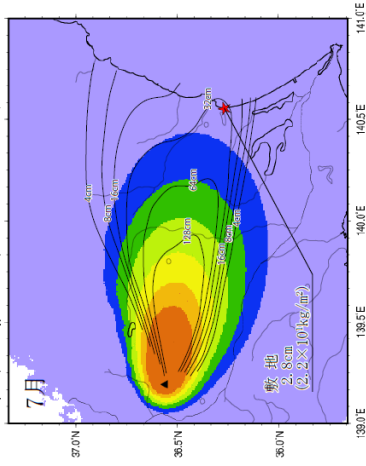
■ 7月(21時)の平均値の風



基本ケース

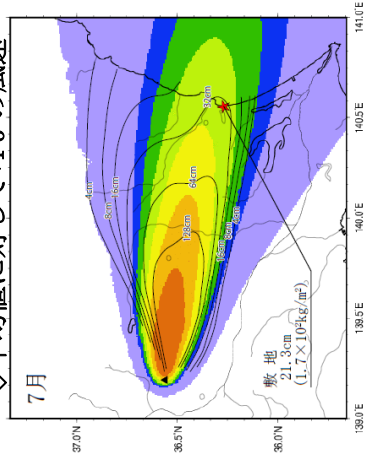


◇ 平均値に対して-1σの風速

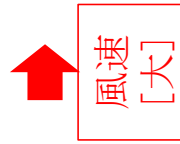
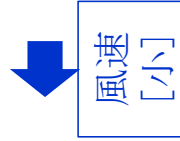


堆積厚さ: 2.8cm

◇ 平均値に対して+1σの風速

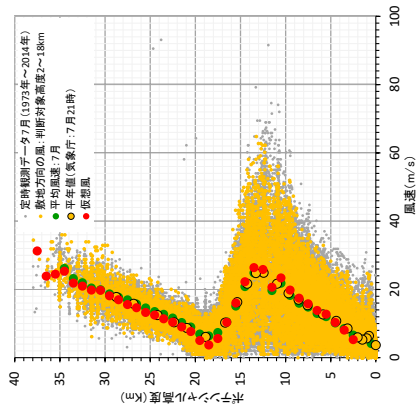
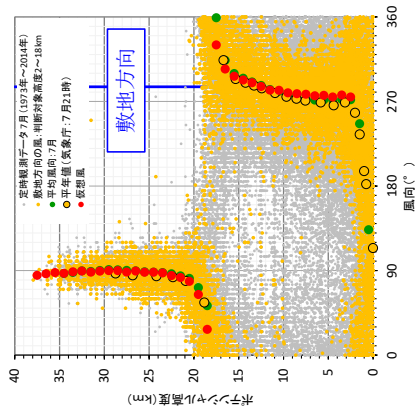


堆積厚さ: 21.3cm

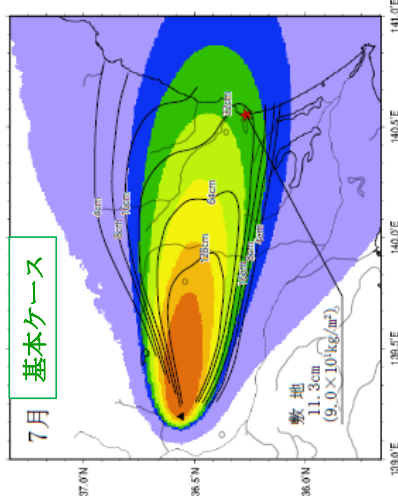


文献の等層厚線  
—— 山元 (2013a) (11)

第8.4-6図(2) 不確かさの検討結果 (風速)

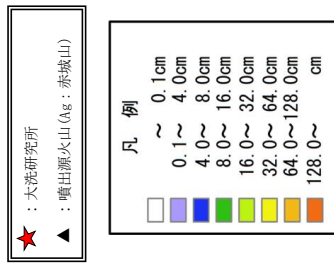


■7月(21時)の平年値の風

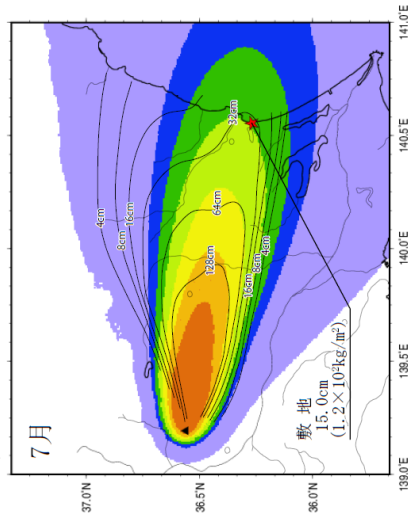


堆積厚さ:11.3cm

文献の等層厚線  
—— 山元 (2013a) (11)



◇敷地方向の風



堆積厚さ:15cm

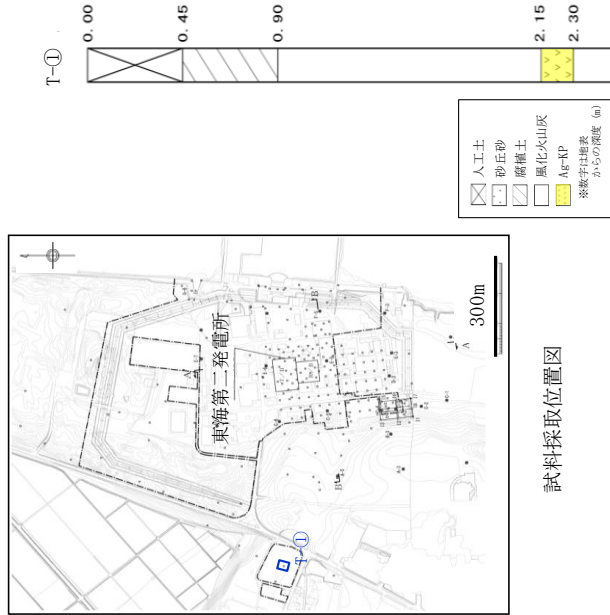


敷地方向の風

第8.4-6図(3) 不確かさの検討結果(風向)

【地質調査】

	最小	最大
湿潤密度	0.9g/cm <sup>3</sup>	1.1g/cm <sup>3</sup>
乾燥密度	0.3g/cm <sup>3</sup>	0.5g/cm <sup>3</sup>



ボーリング柱状図

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	隣車 ルーム
	上層	中層	下層	上層	下層	地区		
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	0.500 0.700	
自然含水比 $w_n$ (%)	213.2	191.5	220.0	175.6	194.0	167.8	109.7	
湿潤密度 $\rho_w$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.062	1.051	1.006	1.039	0.937	0.994	1.301	
乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	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	
孔隙比 $e_s$	6.902	6.362	7.442	6.212	7.488	6.730	3.507	
飽和率 $n_s$ (%)	87.3	86.4	88.15	86.13	88.21	87.06	77.81	
飽和度 $S_s$ (%)	82.7	79.8	78.4	76.7	70.0	69.2	87.4	
三相 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	
比 液相 (%)	14.93	17.42	19.03	20.07	26.46	24.21	9.74	
塑性限界 $\omega_p$ (%)	95~120	82.0	87.0	99.0	80.0	118.4	130.0	
塑性限界 $\omega_L$ (%)	85	67.0	70.0	79.0	68.0	89.8	88.0	

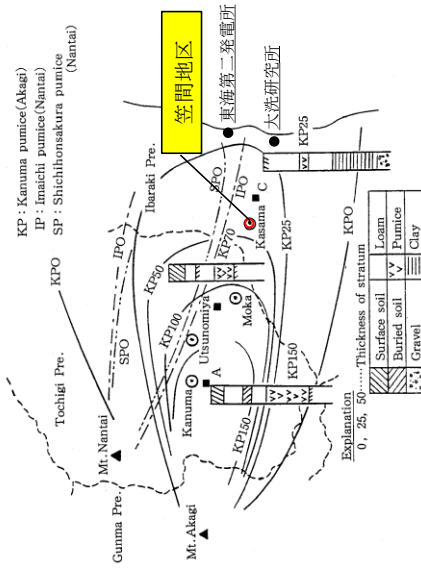
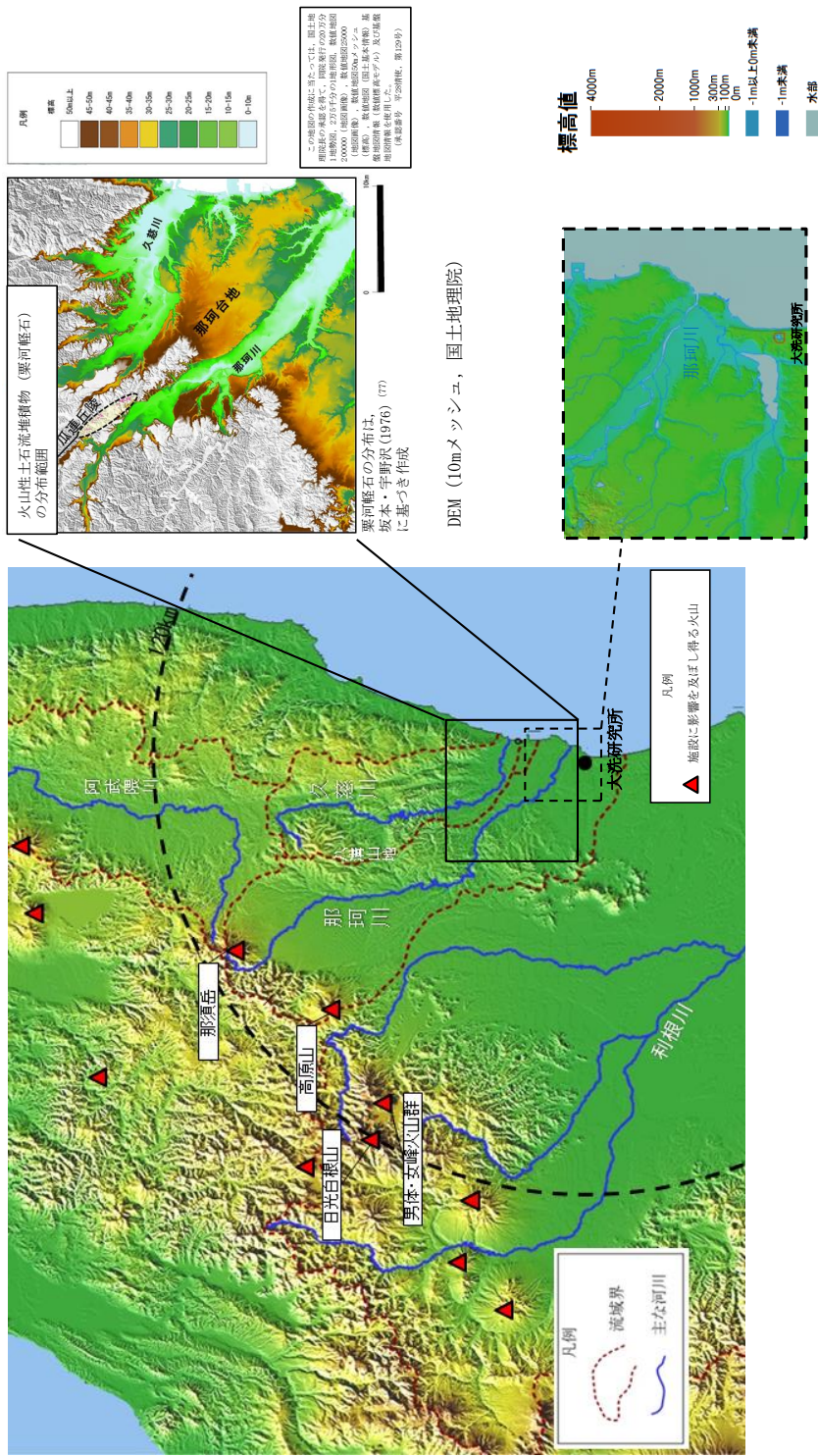


Fig. 1 栃木県における軽石層の分布  
Distribution chart of the volcanic pumice strata in Tochigi prefecture

富田他(1994)<sup>(25)</sup>に加筆

第8.4-7図 敷地周辺の赤城鹿沼沼テフラの密度





第8.4-8図 敷地周辺の地形及び火山灰山土石流堆積物の分布状況



### 1.3.3 設備等

該当無し

## 2. HTTR 原子炉施設の

外部からの衝撃による損傷防止（火山事象）

（適合性説明資料（立地評価・影響評価を除く））

# HTTR原子炉施設

## 第6条 外部からの衝撃による損傷の防止（火山）



### 目次

---

1. 火山影響評価の流れ
2. 防護する安全機能
3. 火山事象に対する防護
  - 3.1 基本方針
  - 3.2 設計方針
4. まとめ
5. 参考



# 1. 火山影響評価の流れ

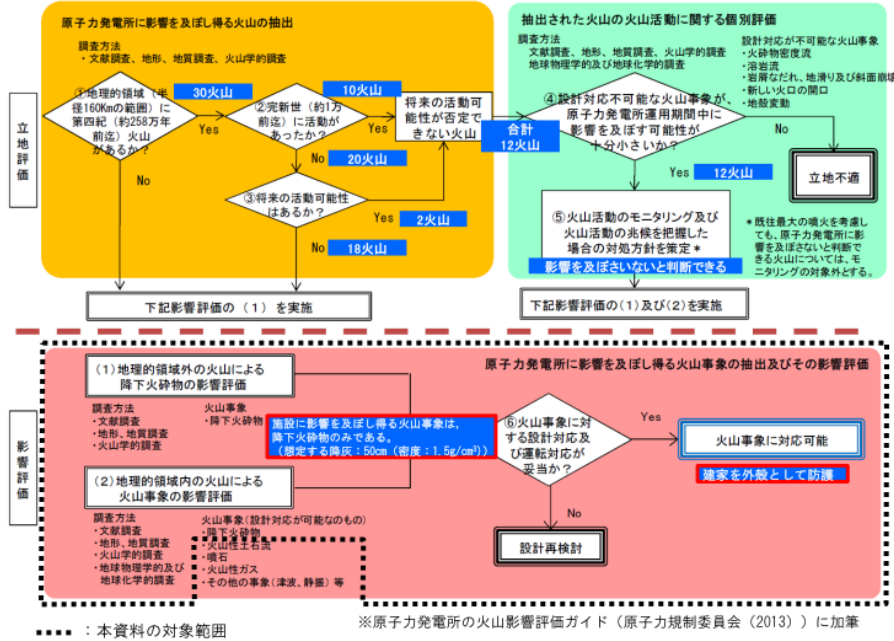
「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に従って、大洗研究開発センターの火山影響評価を実施した。

## 【立地評価結果】

- 施設に影響を及ぼし得る火山として12火山を抽出
- 抽出された火山の火山活動に関する個別評価の結果、設計対応不可能な火山事象が敷地に影響を及ぼす可能性はないと判断される。(モニタリング対象外)

## 【影響評価結果】

- 施設に影響を及ぼし得る火山事象を抽出した結果、降下火砕物以外に影響評価すべき火山事象はない。



# 2. 防護する安全機能(1/2)

平成29年4月18日審査会合資料より抜粋、加筆し掲載

- ◆ 設計上考慮する施設は、外部事象の発生頻度や影響に相応して、またHTTRの固有の安全特性を考慮して以下のように抽出し、安全機能を損なわない設計とする。

➢ 極めてまれな外部事象(火山)に対しては、影響が及ぶ前に原子炉停止が可能であることを踏まえた上で、安全確保上重要な原子炉の「停止」、「冷却」、「閉じ込め」及び「使用済燃料冷却」機能を維持し、原子炉施設全体として安全性を確保する。このために必要な、HTTRの固有の特性を考慮した防護する安全機能(原子炉の緊急停止機能、放射性物質の閉じ込め機能、必要な監視機能及び使用済燃料の貯蔵機能)を有する構築物・系統及び機器とする。(防護する安全機能及び設計上考慮する施設を次頁に示す。)

⇒防護する安全機能を有する構築物・系統及び機器は、全て原子炉建家内及び使用済燃料貯蔵建家内に設置していることから、外殻となる原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家を障壁として防護する。

➢ 設計上考慮する施設以外の安全施設については、想定する火山事象により損傷したとしても、燃料損傷を起こすことなく原子炉は安全に停止・維持され、使用済燃料の貯蔵は確保出来る。



＜防護する安全機能＞

- ①原子炉の緊急停止機能
- ②放射性物質の閉じ込め機能(原子炉冷却材圧カバウンダリ)
- ③原子炉の停止及び放射性物質の閉じ込め状態監視に必要な監視機能
- ④原子炉建家の使用済燃料の貯蔵機能
- ⑤使用済燃料貯蔵建家(SF建家)の使用済燃料の貯蔵機能

炉心冷却機能について、HTTRでは、炉心の形成の維持ができれば、原子炉の固有の安全性から自然放熱により炉心の冷却が可能。

設計上考慮する施設

分類	安全機能	構築物・系統及び機器
PS-1	原子炉冷却材圧カバウンダリ	原子炉冷却材圧カバウンダリを構成する機器配管系
PS-1	過剰反応度の印加防止	スタンドパイプ、スタンドパイプロージャ
PS-1 PS-2	炉心の形成	炉心構成要素、炉心支持鋼構造物、炉心支持黒鉛構造物
PS-2	放射性物質の貯蔵	原子炉建家の使用済燃料貯蔵設備(貯蔵プール及び貯蔵ラック) SF建家の使用済燃料貯蔵設備(貯蔵セル及び貯蔵ラック)
PS-2	1次冷却材の内蔵	1次ベリウム純化設備(原子炉冷却材圧カバウンダリとの接続部から原子炉格納容器外側隔離弁までの範囲)
PS-2	実験・照射に供する機能	実験設備の一部
MS-1	原子炉の緊急停止・未臨界維持	制御棒系
MS-1	原子炉冷却材圧カバウンダリの過圧防止	1次冷却設備の安全弁
MS-1	原子炉停止系への起動信号の発生	安全保護系(停止系)
MS-1	安全上特に重要な関連機能	中央制御室
MS-2	事故時のプラント状態の把握	事故時監視計器の一部
MS-2	安全上特に重要な関連機能	直流電源設備、安全保護系用交流無停電装置



3. 火山事象に対する防護

3.1 基本方針

◆ 想定する火山事象

施設に影響を及ぼし得る火山事象は降下火砕物のみであり、敷地内で確認された層厚約35cm及び敷地周辺(半径10km圏内)で確認された層厚約50cmを考慮し、保守的に降灰量50cmを想定する。なお、降下火砕物密度は文献及び敷地周辺の調査結果1.2g/cm<sup>3</sup>(湿潤密度)を保守的に1.5g/cm<sup>3</sup>とする。

◆ 火山事象(降下火砕物)に対する防護

HTTRの固有の特性を考慮した防護する安全機能(原子炉の緊急停止機能、放射性物質の閉じ込め機能、必要な監視機能及び使用済燃料の貯蔵機能)について、火山事象(降下火砕物)の特性及びHTTRの特徴を考慮し、設備設計に加えて人的措置によっても防護対策を講じる。

- ① 防護する安全機能を有する構築物・系統及び機器は全て原子炉建家内及び使用済燃料貯蔵建家内に設置しており、外殻となる建家を障壁として防護する。
- ② 外殻となる原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家を防護することにより、防護すべき安全機能を損なわないようにする。
- ③ 降下火砕物により施設に影響が及ぶおそれがある場合には、必要な要員の招集、原子炉の停止・換気系等の停止を行う。また、降下火砕物が建家屋根に堆積した場合は、火山灰除去を行う。

＜火山事象(降下火砕物)の特性及びHTTRの特徴＞

- ✓ 想定する火山事象(降下火砕物)の発生は予測可能で、又、敷地から最も近い火山までの距離は約98kmであり、発生してから施設へ影響を及ぼすまでに時間的余裕があり、影響が及ぶ前に原子炉停止が確実に実施可能。
- ✓ 炉心の形成の維持ができれば、原子炉の固有の安全性から自然放熱により炉心の冷却が可能。また、使用済燃料貯蔵設備については、冷却がなくても、十分な時間的な余裕をもって貯蔵機能を確保できる。
- ✓ 想定する火山事象(降下火砕物)は、荷重形態が地震と異なり、建物を外殻として防護することにより建家内部の機器に荷重はかからない。



**□ 安全機能の防護について**

外殻となる原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家は、想定する降下火砕物の荷重(約50cm、密度1.5g/cm<sup>3</sup>)に耐え、建家内に内包する防護すべき安全機能を損なわない設計とする。

なお、建家の耐力については、後段規制で詳細を示すこととし、自然現象(風、積雪)の荷重・常時作用している荷重(自重、積載荷重)を適切に組み合わせ考慮する\*。また、降下火砕物が屋根に堆積した場合は適切に火山灰除去を行うことから、降下火砕物の荷重を短期に生じる荷重とする。

\*考慮を必要としない荷重

火山事象の発生頻度は極めて低いため、設計基準事故との関係において、設計基準事故が発生しその影響が及ぶ期間中に、想定する火山事象が発生するとは考えられないこと、又、火山事象が発生した場合には原子炉を停止することとしていることから、設計基準事故と火山事象の組合せは考慮する必要はない。また、同様に発生頻度が低く、地震荷重との組み合わせは考慮する必要はない。なお、換気系等の停止を行うことから運転の状態として作用する荷重はない。

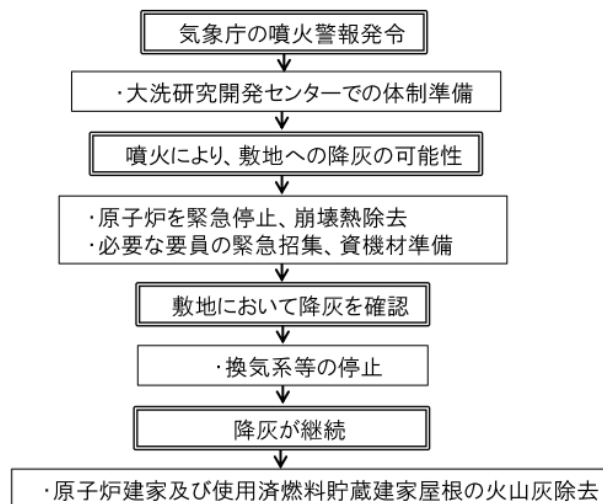
**□ 火山灰除去を実施する等の必要な措置について**

降下火砕物により施設に影響が及ぶおそれがある場合には、次頁に示すフローのとおり、必要な要員の招集、原子炉の停止・換気系等の停止を行う。

また、降灰が継続し建家屋根に降下火砕物が堆積した場合、火山灰除去作業を行う。なお、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の屋根は、既存の階段及び梯子により容易にアクセスすることが可能であり、又、平屋根であり足場の確保がし易く、火山灰除去作業が可能である。作業者は、防塵マスク・保護メガネ・防護服等によって安全性を確保し、ほうき・スコップ等により火山灰除去作業を行う。



**火山事象(降下火砕物)に対する対応フロー**



試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則

(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。

火山事象に対する設計方針※

火山事象に対しては、HTTRの固有の特性を考慮した防護すべき安全機能を損なわない設計とする。なお、防護すべき安全機能は全て原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家内に設置されている。

- 施設に影響を及ぼし得る火山事象は降下火砕物のみであり、その影響に対して、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家を外殻として防護することにより、防護すべき安全機能を損なわない設計とする。このため、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家は、想定した降灰量50cm(密度1.5g/cm<sup>3</sup>)に耐える設計とする。
- 降下火砕物により施設に影響が及ぶおそれがある場合は原子炉の停止、換気系の停止等を行い、又、火山灰が建家屋根に堆積した場合は火山灰除去を行う。

※平成28年11月11日の審査会合では、火山灰除去により安全機能を確保する設計方針としていたが、想定した降灰量(50cm、密度1.5g/cm<sup>3</sup>)に建家が耐える設計方針とする変更を行った。



参考





試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則

(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恐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。

火山事象に対する設計方針

火山事象に対しては、原子炉施設の安全性を確保するために必要な安全機能を損なわない設計とする。

施設に影響を及ぼし得る火山事象※は、降下火砕物のみであり、その影響に対して、火山灰除去を実施する等の管理により、安全施設の安全機能を損なうおそれがない対策を講じる。

※施設に影響を及ぼし得る火山事象の評価結果は、4.2項及び4.3項に示す。



文献調査及び地質調査結果から、降下火砕物(赤城鹿沼テフラ)の密度は以下の通りである。

○調査結果

項目	文献調査 (敷地周辺)	地質調査結果	
		最小	最大
湿潤密度	約1.0～1.2g/cm <sup>3</sup> ※1.※2 (1.2g/cm <sup>3</sup> を超えることがある)※2	約0.9g/cm <sup>3</sup>	約1.1g/cm <sup>3</sup>
乾燥密度	約0.3～0.7g/cm <sup>3</sup> ※1.※2	約0.3g/cm <sup>3</sup>	約0.5g/cm <sup>3</sup>

※1: 富田(1994). ※2: 宇井編(1997)に基づく

注)地質調査結果は、日本原子力発電㈱東海第二発電所敷地内にて採取した試料の結果である。





【施設に影響を及ぼし得る火山の抽出】

- ・敷地を中心とする半径160kmの範囲には30の第四紀火山が位置する。
- ・敷地を中心とする半径160kmの範囲に第四紀火山(30火山)について、完新世の活動の有無、将来の活動可能性の検討を行い、施設に影響を及ぼし得る火山として、以下の12火山を抽出した。

〔 高原山, 那須岳, 男体・女峰火山群, 日光白根山, 赤城山, 燧ヶ岳, 子持山, 安達太良山, 磐梯山, 榛名山, 笹森山, 沼沢 〕

【抽出された火山の火山活動に関する個別評価】

- ・抽出された火山の敷地からの離隔, 並びに敷地周辺における第四紀における火山活動の特徴等の検討結果等から、設計対応不可能な火山事象(火砕物密度流, 溶岩流, 岩屑なだれ他, 新しい火口の開口及び地殻変動)が施設に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。
- ・過去最大規模の噴火を考慮しても施設に影響を及ぼさないと判断できることから、モニタリングの対象となる火山はない。

【施設に影響を及ぼし得る火山事象の抽出】

- ・施設に影響を及ぼし得る火山事象は降下火砕物であり、降灰速度は0.63cm/日とする。

最大層厚を有する降下火砕物(赤城鹿沼テフラ)

- ・文献調査結果：約35cm(敷地近傍)、約50cm(半径10km圏内)
- ・地質調査結果：約35cm(敷地内)

- ・火山性土石流, 火山から発生する飛来物(噴石), 火山ガス及びその他の火山事象のうち、施設への影響を評価すべき事象はない。

【火山事象に対する設計方針】

施設に影響を及ぼし得る火山事象を抽出した結果、該当する火山事象は降下火砕物のみであり、その影響に対して、火山灰除去を実施する等の管理により、安全施設の安全機能を損なうおそれがない対策を講じる。

# HTTR原子炉施設

## 第6条 外部からの衝撃による損傷の防止に 関する基本的考え方



### 目次

---

1. 安全確保の考え方
2. HTTRにおける第6条の要求事項に対する基本的考え方
3. 基本方針
  - 3.1 極めてまれな外部事象(竜巻・火山)に対する基本方針
  - 3.2 その他の外部事象に対する基本方針
4. まとめ
5. 参考

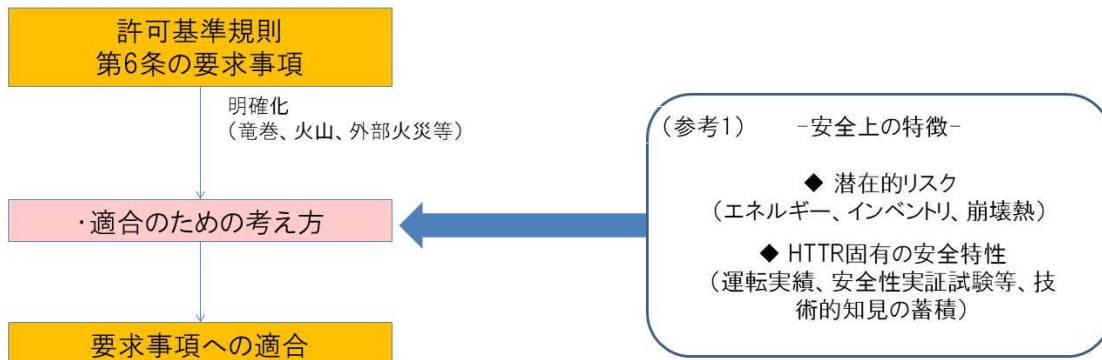


- 外部事象に対して、試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則(許可基準規則)に適合させるよう、設計基準事象とする自然現象等の外部事象(自然現象等)に対する適切な防護対策を講じるとともに、設計基準事象を超える自然現象等が発生した場合に対しても、当該事故の拡大を防止するために必要な措置を講じ、更には、大規模損壊事象が発生した場合に対しても、放射性物質の放出を可能な限り抑制する措置を講じる方針とする。
- 試験研究炉は多種多様で潜在的リスク(エネルギー、インベントリ)も異なることから、固有の特性を十分考慮し、又、自然現象との発生頻度や影響の大きさも考慮して、合理的に達成可能な手段を講じることにより原子炉の安全性を確保する。
- 起因となる自然現象等に対して、試験研究炉の特性を踏まえ、設備設計だけに頼らず人的措置によっても安全確保策を講じる。そのために、確実に実行可能な対応手順等を整備する。



## 2. HTTRにおける第6条の要求事項に対する基本的考え方(1/3)

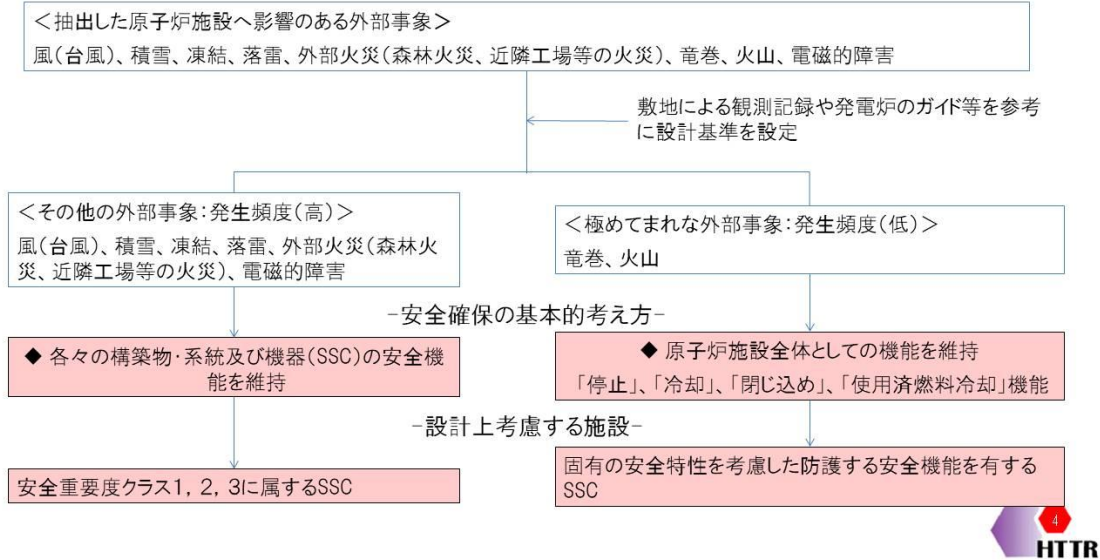
- 新規制基準(許可基準規則 第6条)では、考慮すべき外部事象(設計上考慮すべき自然現象及び設計上考慮すべき人為事象)に係る要求が強化され、特に、火山、竜巻、外部火災(森林火災、近隣工場等の火災)等が明確化。
- 選定した外部事象の特徴に応じて、HTTR固有の安全上の特徴を考慮し、要求事項へ適合。



## 2. HTTRにおける第6条の要求事項に対する基本的考え方(2/3)

-適合のための考え方-

- 抽出した外部事象に対し設計基準を設定した結果から、発生頻度や影響に応じて大別。
- 発生頻度が極めてまれな外部事象(竜巻、火山)に対しては、影響が及ぶ前に原子炉停止が可能であることを踏まえた上で、安全確保上重要な原子炉の「停止」、「冷却」、「閉じ込め」及び「使用済燃料冷却」機能を維持し、原子炉施設全体として安全性を確保。
- このために必要な、HTTRの固有の安全特性を考慮した防護する安全機能を有するSSCを、設計上考慮する施設として抽出し、極めてまれな外部事象に対してその安全機能を損なわないよう設計。



## 2. HTTRにおける第6条の要求事項に対する基本的考え方(3/3)

- 原子炉の「停止」、「冷却」、「閉じ込め」及び「使用済燃料冷却」の維持に必要な安全機能を、HTTRの固有の安全特性を考慮して防護する安全機能として抽出。
- 極めてまれな外部事象に対しては、防護する安全機能を有するSSCを設計上考慮する施設として抽出。

＜防護する安全機能＞

- ①原子炉の緊急停止機能
- ②放射性物質の閉じ込め機能(原子炉冷却材圧力バウンダリ)
- ③原子炉の停止及び放射性物質の閉じ込め状態監視に必要な監視機能
- ④原子炉建家の使用済燃料の貯蔵機能
- ⑤使用済燃料貯蔵建家(SF建家)の使用済燃料の貯蔵機能

炉心冷却機能について、HTTRでは、炉心の形成の維持ができれば、原子炉の固有の安全性から自然放熱により炉心の冷却が可能(参考2)。

### 設計上考慮する施設

分類	安全機能	SSC
PS-1	原子炉冷却材圧力バウンダリ	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器配管系
PS-1	過剰反応度の印加防止	スタンドパイプ、スタンドパイプクローザー
PS-1 PS-2	炉心の形成	炉心構成要素、炉心支持鋼構造物、炉心支持黒鉛構造物
PS-2	放射性物質の貯蔵	原子炉建家の使用済燃料貯蔵設備(貯蔵プール及び貯蔵ラック) SF建家の使用済燃料貯蔵設備(貯蔵セル及び貯蔵ラック)
PS-2	1次冷却材の内蔵	1次ヘリウム純化設備(原子炉冷却材圧力バウンダリとの接続部から原子炉格納容器外側隔離弁までの範囲)
PS-2	実験・照射に供する機能	実験設備の一部
MS-1	原子炉の緊急停止・未臨界維持	制御棒系
MS-1	原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止	1次冷却設備の安全弁
MS-1	原子炉停止系への起動信号の発生	安全保護系(停止系)
MS-1	安全上特に重要な関連機能	中央制御室
MS-2	事故時のプラント状態の把握	事故時監視計器の一部
MS-2	安全上特に重要な関連機能	直流電源設備、安全保護系用交流無停電装置



#### (1) 設計基準の設定

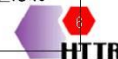
供用期間中に極めてまれではあっても、その発生により原子炉施設に影響を与える竜巻および火山事象を発電炉の影響評価ガイドを参考に設計基準として設定する。

#### (2) 設計上考慮する施設

- ▶ 外部事象の特性を踏まえ、設計上考慮する施設は、安全重要度クラス1及びクラス2から、HTTRの固有の特性を考慮した防護する安全機能を有するSSCとし、影響評価を行い、安全機能を損なわないことを確認する。
- ▶ 評価に当たっては、これらを内包する原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家を設計上の評価対象とする。

#### < 想定する竜巻・火山事象(火山灰)の特性 >

- ①-1 想定する竜巻を、基準竜巻の最大風速の設定において算出したハザード曲線にあてはめると、発生頻度としては、極めて低く(年超過確率 $10^{-6}$ )なる(参考3)。従って、想定される竜巻が供用期間中に発生する可能性は極めて低いと考えられる。【竜巻】
- ①-2 「原子力発電所火山影響評価技術指針(JEAG4625-2015)」(JEAG4625)によれば、供用期間中に極めてまれな火山現象について規定。従って、想定される火山事象が供用期間中に発生する可能性は極めて低いと考えられる。【火山】
- ② 想定する竜巻・火山事象の発生は予測可能で、発生してから施設へ影響を及ぼすまでに時間的余裕があるため、原子炉を予め停止できる。その後、HTTR固有の安全特性により、炉心は自然に冷却されると共に、圧力バウンダリの健全性も維持され、原子炉は安全に停止・維持可能。【竜巻・火山】
- ③ 竜巻および火山事象は荷重形態が地震と異なり、建物を防護することにより建家内部の機器に荷重はかからない。【竜巻・火山】



- ▶ 設計上考慮する施設以外の安全重要度クラス2及びクラス3に属するSSCは、機能喪失した場合の公衆への放射線被ばく影響が小さい施設であり、また竜巻・火山事象による損傷を受けたとしても、燃料損傷を起こすことなく原子炉は安全に停止・維持され、使用済燃料の貯蔵は確保出来る(補足説明資料)。

ここで、想定する竜巻・火山事象の発生頻度は極めて低いため、設計基準事故との関係において、設計基準事故が発生しその影響が及ぶ期間中に、想定する竜巻又は火山事象が発生するとは考えられないこと、また、竜巻又は火山事象が発生した場合には原子炉を停止することとしていることから、設計基準内では設計基準事故と竜巻又は火山事象の組合せは考慮する必要はないと判断している。

なお、HTTRでは、設計基準を超える事象(第53条)として、設計基準事故(二重管破断事故)と自然現象(基準地震動 $S_s$ )の組合せを考慮し、放射性物質の放出拡大防止の措置を行うこととしており、竜巻又は火山事象と設計基準事故の組合せは、これに包絡される。



その他の外部事象：

風(台風)、積雪、凍結、落雷、外部火災(森林火災、近隣工場等の火災)、電磁的障害

#### (1) 設計基準の設定

風(台風)、積雪、凍結、落雷、電磁的障害については、敷地による観測記録等を設計基準として設定する。これらは設置時より考慮しており変更はない。

外部火災については、発電炉のガイドを参考に設計基準(想定する外部火災)を設定する。

#### (2) 設計上考慮する施設

- 設計上考慮する施設は、発生頻度が高いことに鑑み、安全重要度クラス1, 2, 3に属するSSCとする。
- 設計上考慮する施設のうち、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(研究炉指針)(参考4)を参考に、一般産業施設を超える信頼性を要求されている安全重要度クラス1, 2に属するSSCを抽出し、影響評価を行い、安全機能を損なわないことを確認する。
- 安全重要度クラス3に属するSSCについては、電気技術指針(JEAG4612)<sup>1)</sup>を参考に、一般産業施設に適用される規格・基準(建築基準法、日本工業規格、一般の電気工作物規定等)に従い設計することにより、安全機能を損なわない設計とする。

1) 電気技術指針 安全機能を有する電気・機械装置の重要度分類指針(JEAG4612-2010)



- ◆ 外部事象に対する安全確保については、HTTRの安全上の特徴を考慮して、設備設計だけに頼らず、人的措置も考慮し安全施設の安全機能を損なわない設計とする。
- ◆ 設計上考慮する施設は、外部事象の発生頻度や影響に相応して、またHTTRの固有の安全特性を考慮して以下のように抽出し、影響評価を行い、安全機能を損なわない設計とする。
  - ① 極めてまれな外部事象(竜巻および火山)に対しては、影響が及ぶ前に原子炉停止が可能であることを踏まえた上で、安全確保上重要な原子炉の「停止」、「冷却」、「閉じ込め」及び「使用済燃料冷却」機能を維持し、原子炉施設全体として安全性を確保する。このために必要な、HTTRの固有の特性を考慮した防護する安全機能(原子炉の緊急停止機能、放射性物質の閉じ込め機能、必要な監視機能、及び使用済燃料の貯蔵機能)を有するSSCとする。
  - ② 発生頻度が比較的高い外部事象に対しては、安全重要度クラス1, 2, 3に属するSSCとする。
- ◆ 設計上考慮する施設以外の安全施設については、想定する竜巻又は火山事象により損傷したとしても、燃料損傷を起こすことなく原子炉は安全に停止・維持され、使用済燃料の貯蔵は確保出来る。



## 5. 参考



### 参考1.1 HTTRの安全上の特徴(1/2)

- 発電炉との比較において、出力やインベントリーが格段に小さい
- 事故時の事象進展が穏やか、緊急炉心冷却系が不要、物理現象のみで崩壊熱除去可能
- 最終ヒートシンクとして海水を必要としない

表1:HTTRと発電炉の比較

	「HTTR」	軽水型発電炉(BWR)
出力	30,000 kW	3,300,000 kW
冷却材の種類	ヘリウム	水
炉内温度(冷却材)	約395/850又は950℃(入口/出口)	約285℃
炉内圧力	約4 MPa	約7 MPa
ヒートシンク	大気	海水
緊急炉心冷却システム	不要	必要
崩壊熱量 (スクラムから0.1sec、Shureの式)	約2070kW (燃焼度660EFPD)	約227690kW
崩壊熱除去手段	自然循環により冷却できる	ポンプにより強制循環で冷却
炉心に内蔵する放射能	希ガス: 約 $5.0 \times 10^{17}$ Bq ヨウ素: 約 $2.9 \times 10^{17}$ Bq	希ガス: 約 $3.2 \times 10^{19}$ Bq ヨウ素: 約 $3.1 \times 10^{19}$ Bq





### ●内包エネルギー・インベントリ

- ・原子炉出力30MWt、発電炉と比べて低出力(1/100)
- ・被覆燃料粒子の核分裂生成物(FP)閉じ込め性能が極めて高く、炉内の蓄積FPが格段に少ない

### ●冷却材・燃料・炉心構成要素

- ・冷却材はヘリウムガス、燃料はセラミック被覆燃料粒子、炉心構成要素に高純度の黒鉛を使用
- ・ヘリウムガスは不活性で構造材との化学反応が極めて起こりにくい、冷却材の相変化による冷却条件の急激な変化はない。
- ・燃料は耐熱性に優れ1,600°C以下ならばFP保持機能が損なわれることはない、炉心の熱容量が圧倒的に大きい

→ 発電炉に比べて事故時の事象進展が穏やか、炉心損傷及びFP放散を起こし難い

### ●原子炉停止

- ・HTTRを用いた安全性実証試験により、炉心の冷却材流量が喪失した場合に制御棒挿入が行われなくても、各種の制限値を上回ることなく、原子炉が安定な状態に維持されることを実証

→ 原子炉スクラムに失敗しても安全に収束可能、原子炉停止機能への期待度は発電炉ほど高くない

### ●炉心冷却

- ・冷却材喪失時に制御棒が挿入されなくても、固有の特性により原子炉の出力は低下。この場合に、炉心の強制冷却を行わなくても、原子炉圧力容器外面からの熱除去により炉心からの残留熱除去が可能。HTTRを用いた安全性実証試験により、炉心冷却材流量が喪失した場合に制御棒が挿入されなくても、各種の制限値を上回ることなく、原子炉が安定な状態に維持されることを実証

→ 炉心冷却機能に対する期待度は発電炉ほど高くない

- ・使用済燃料の冷却機能が喪失しても、燃料の損傷に至るまでに相当の時間的余裕がある

→ マネジメントによる使用済燃料の冷却を高い信頼性で講じることが可能

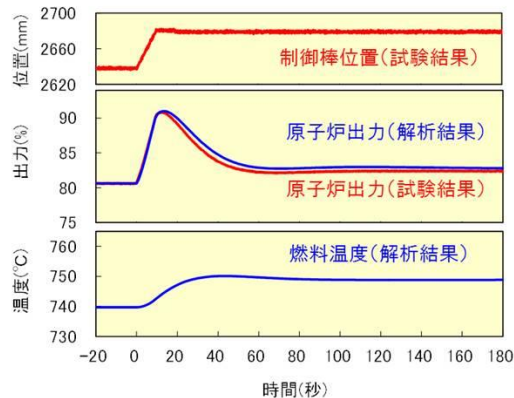
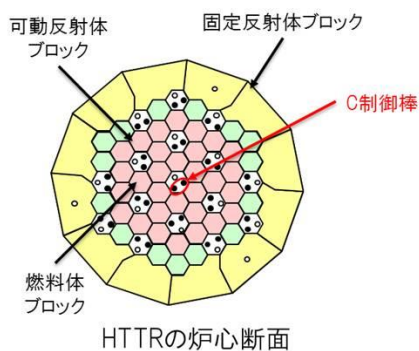
### ●放射性物質の閉じ込め

- ・炉内蓄積FPが格段に少ない。被覆燃料粒子のFP閉じ込め性能が極めて高く、系外への放出率は極めて小さい。

→ 閉じ込め機能に対する期待度は発電炉ほど高くない



### 制御棒引抜き試験



#### 試験内容

- ◇ 炉心中央のC制御棒を引き抜く⇒反応度投入を模擬
- ◇ 出力制御系を切り離し、C制御棒以外の15対の制御棒を試験開始時の位置に保持⇒原子炉出力制御系の不動作を模擬

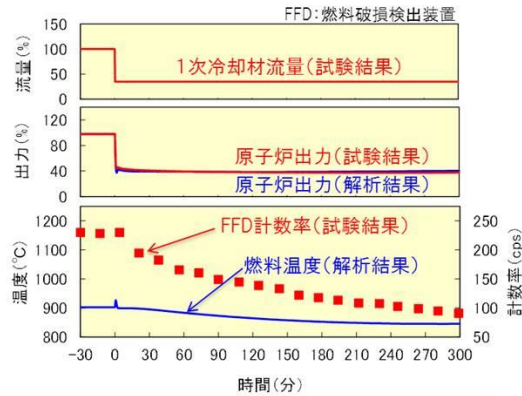
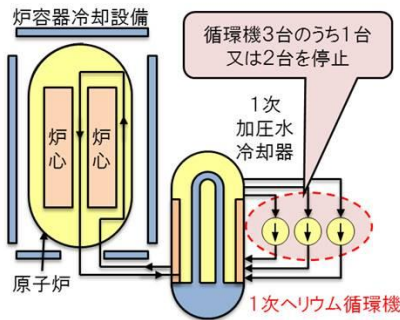
#### 得られた知見

- ・ 反応度投入時でも、大きな負のフィードバック特性のみにより原子炉出力の急激な上昇が抑制され、所定の値に静定する。
- ・ 反応度投入時でも、大きい炉心熱容量により炉心温度上昇は緩慢である。





### 循環機停止試験



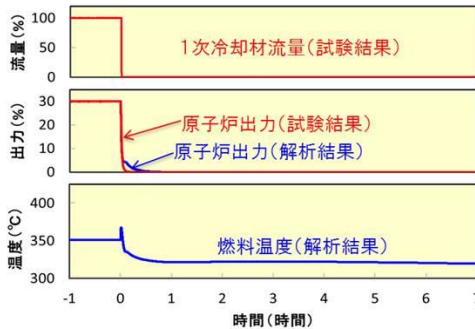
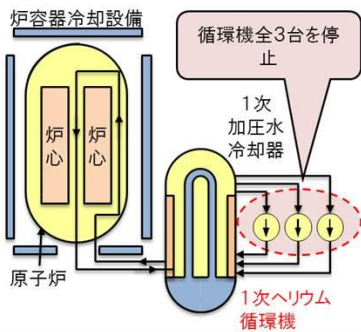
**試験内容**  
 ◇循環機を1台又は2台停止させる⇒強制循環の部分喪失を模擬  
 ◇出力制御系を切り離し、全16対の制御棒を試験開始時の位置に保持⇒原子炉を停止させずに原子炉の動特性を確認

**得られた知見**

- 炉心強制循環冷却機能部分喪失＋原子炉停止系不動作の場合でも、大きな負のフィードバック特性のみにより原子炉出力が低下し、所定の値に静定する。
- 炉心強制循環冷却機能が部分喪失した場合でも、大きい炉心熱容量により炉心温度上昇は緩慢である。



### 循環機3台停止試験



**試験内容**  
 ◇循環機を3台停止させる⇒強制循環の喪失を模擬  
 ◇出力制御系を切り離し、全16対の制御棒を試験開始時位置に保持  
 ⇒原子炉停止系不動作を模擬

**得られた知見**

- 炉心強制循環冷却機能全喪失＋原子炉停止系不動作の場合でも、大きな負のフィードバック特性のみにより原子炉出力が未臨界状態となる。
- 炉心強制循環冷却機能が全て喪失した場合でも、大きい炉心熱容量により炉心温度上昇は緩慢であり、炉心の強制循環冷却がなくても炉心が自然に冷却される特性を有している。



【概要】

- ・原子炉停止(制御棒挿入)
- ・冷却系不動作(ACS,VCS停止)

【結果】

事象発生後、燃料最高温度は原子炉スクラム後に約1,114℃に低下した後、再び上昇するが初期値を上回ることはない。また、原子炉圧力容器の最高温度は、原子炉圧力容器側部に生じ、事象発生後約22時間で約502℃になるが、制限温度を超えることはない。1次加圧水冷却器伝熱管温度及び中間熱交換器伝熱管温度は、いずれも初期値を上回らない。



原子炉を停止し未臨界となった後は、HTTR固有の安全特性により、炉心は自然に冷却されると共に、圧力バウンダリの健全性も維持され、原子炉は安全に停止・維持できる。

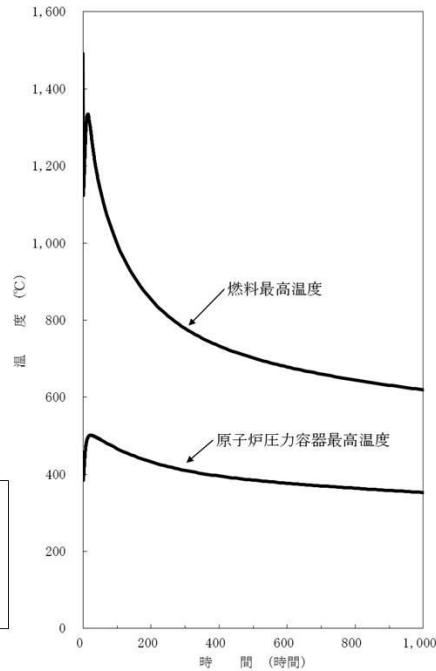


図 全交流動力電源喪失の評価結果 (H27.12.18 第87回審査会合 資料2-2抜粋)



4. 基準竜巻の最大風速(V<sub>B</sub>)の設定(10/11)

基準竜巻の最大風速(V<sub>B</sub>)の設定

【ハザード曲線の算定】

- ・竜巻の年発生数の確率密度分布は、ポリヤ分布の適合度が高い。
- ・以下の式に示すように、T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速がV<sub>0</sub>以上となる確率を求め、ハザード曲線を求めた。
- ・ハザード曲線より、年超過確率10<sup>-5</sup>における風速を求めると63.6m/sとなる。【補足資料4】

T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速がV<sub>0</sub>を超える確率

$$P_{0,T}(D) = 1 - [1 + \beta \cdot R(V_0) \cdot T]^{-1/\beta}$$

$$\beta = \left( \frac{\sigma^2}{\nu} - 1 \right) \times \frac{1}{\nu}$$

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0}$$

$$E[DA(V_0)] = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} W(V_0) f(V, w, l) dV dw dl$$

$$+ \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} f(V, l) dV dl$$

$$+ \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} W(V_0) f(V, w) dV dw$$

$$+ \int_0^{\infty} f(V) dV$$

$$W(V_0) = \left( \frac{V_{min}}{V_0} \right)^{1/1.8} w$$

W(V<sub>0</sub>): 被害幅のうち風速がV<sub>0</sub>を超える部分の幅

β: 竜巻の年発生数の平均と標準偏差で表されるパラメータ

R(V<sub>0</sub>): 1つの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速がV<sub>0</sub>を超える確率

E[DA(V<sub>0</sub>)] 被害面積の期待値

ν: 竜巻の年平均発生数

σ: 竜巻の年発生数の標準偏差

E[\*]: 期待値を意味する

DA(V<sub>0</sub>): 1つの竜巻の風速がV<sub>0</sub>以上となる面積

A<sub>0</sub>: 竜巻検討地域の面積

V: 風速

w: 被害幅

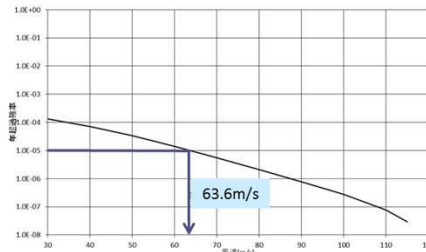
l: 被害長さ

f(\*): 確率密度分布

L: 竜巻影響エリアの直径

S: 竜巻影響エリアの面積

V<sub>min</sub>: 被害幅w内の最小竜巻風速



竜巻最大風速のハザード曲線

(H27.12.18 第87回審査会合 資料2-1抜粋)



## 重要度分類と設計上の基本目標

- ◆ クラス1:合理的に達成し得る最高度の信頼性を確保し、かつ、維持すること。
- ◆ クラス2:高度の信頼性を確保し、かつ、維持すること。
- ◆ クラス3:一般の産業施設と同等以上の信頼性を確保し、かつ、維持すること。

参考5 想定を上回る竜巻・火山による原子炉施設の損傷に伴う  
一般公衆への影響評価

## &lt;目的&gt;

想定を上回る竜巻や火山事象が発生した場合に、原子炉施設の損傷を仮定し、その影響により原子炉施設から放出した放射性物質による一般公衆への影響について評価する。

## &lt;評価対象&gt;

HTTRにおける全ての安全施設(安全重要度クラス1, 2, 3に属するSSC)を対象に、これらの安全施設を内包している建家及び構築物の中から、放射性物質を内包している観点や、竜巻や火山事象が発生した場合の状況等を考慮して、評価対象とする建家及び構築物を抽出する。

- ◆ 安全施設を内包している建家及び構築物

①原子炉建家 ②使用済燃料貯蔵建家 ③搬出入建家 ④冷却塔 ⑤機械棟 ⑥排気筒

- ◆ 放射性物質を内包している建家及び構築物

①原子炉建家 ②使用済燃料貯蔵建家 ③搬出入建家 ⑥排気筒

- ◆ 竜巻や火山事象が発生した場合の状況等を考慮して評価対象を抽出

評価対象  
①原子炉建家 ②使用済燃料貯蔵建家



評価対象外  
③搬出入建家:放射性物質を内包している期間は、燃料移送時の短時間のみのため評価対象外とする。  
④排気筒 :竜巻や火山事象が発生した場合、予め気体廃棄物の放出を停止することができることから、評価対象外とする。



### 1. 事象の説明

- ・発電炉ガイドを参考にして設定した設計風速(100m/s)の竜巻が発生することを想定する。
- ・設計飛来物である鋼製材は仮想的に建家の全ての高さ方向に到達することを想定する。

#### 【原子炉建家】

- ・竜巻の発生を検知し、影響が及ぶ前に運転員により原子炉を手動停止(スクラム)する。竜巻により冷却塔、空気冷却器等の屋外機器は損傷することを想定し、機能を期待できないものとする。
- ・その後、発生した竜巻により、原子炉建家に鋼製材が衝突し、オペレーションフロア(オペフロ)の上部側面の一部に裏面剥離が生じ、コンクリート塊が、格納容器(CV)と使用済燃料貯蔵プール(SFP)上部に衝突する<sup>1)</sup>。

#### 【SF建家】

- ・発生した竜巻により、SF建家に鋼製材が衝突し、外壁の一部に裏面剥離が生じ、コンクリート塊が、使用済燃料貯蔵セル(SFセル)上部に衝突する。

### 2. 影響評価

#### 【原子炉建家】

- ・裏面剥離に対して、CVの燃料交換ハッチ蓋厚さ(44.5mm)、及びSFPの貯蔵ラックプラグの蓋板厚さ(■mm)を有していることから、コンクリート塊の衝突による原子炉圧力バウンダリ及び使用済燃料貯蔵設備への影響はないと考えられる<sup>1)</sup>。
- ・原子炉は、固有の安全性により自然冷却が可能である。また、SFPは、貯蔵ラックへの影響がないことから貯蔵機能を維持できる。なお、商用電源又は非常用発電機等が復旧出来る場合は、冷却回復を行う。

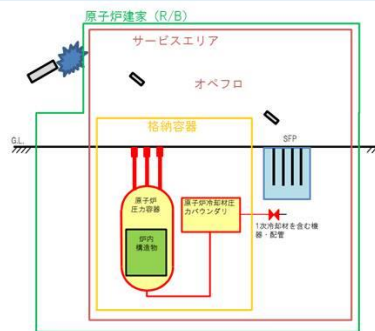
#### 【SF建家】

- ・裏面剥離に対して、SFセルの貯蔵ラック遮へいプラグの蓋板厚さ(■mm)を有していることから、コンクリート塊の衝突による使用済燃料貯蔵設備への影響はないと考えられる。
- ・SFセルは、貯蔵ラックへの影響がないことから貯蔵機能を維持できる。なお、商用電源又は非常用発電機等が復旧出来る場合は、冷却回復を行う。

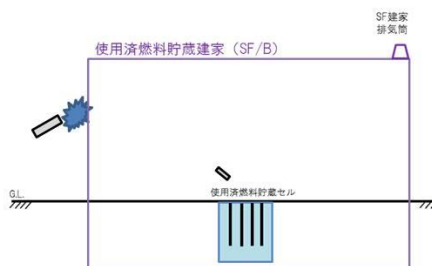


発電炉ガイドを参考にした設計風速100m/sの竜巻による建家の損傷を考慮しても、放射性物質の放出は考えられず、耐震BCクラス施設の機能喪失を想定した一般公衆の被ばく量を上回ることはないと判断。

1)平成28年11月28日 審査会合資料 資料1-1



原子炉建家概要説明図



使用済燃料貯蔵建家概要説明図



### 1. 事象の説明

- ・評価に用いる火山灰は、仮想的に建家許容堆積荷重を超える層厚を想定する。

#### 【原子炉建家】

- ・火山噴火による敷地への降灰可能性を確認し、影響が及ぶ前に運転員により原子炉を手動停止(スクラム)する。火山灰の影響により商用電源は喪失し、降灰中には非常用発電機は期待できないものとする。
- ・当該区画の積載許容荷重を超えることに備え、敷地での降灰を確認した後、除灰作業を開始するとともに、事前にCV隔離弁を閉じ、CVを隔離する。
- ・その後、原子炉建家許容堆積荷重を超える火山灰により損傷する恐れのある原子炉建家屋根(オペフロ頂部)が一部破損し、破損したコンクリート塊がCVとSFP上部へ落下する。

#### 【SF建家】

- ・当該区画の積載許容荷重を超えることに備え、敷地での降灰を確認した後、除灰作業を開始する。
- ・SF建家許容堆積荷重を超える火山灰によりSF建家頂部が一部破損し、破損したコンクリート塊がSFセル上部へ落下する。

### 2. 影響評価

#### 【原子炉建家】

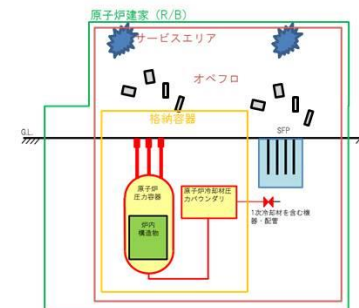
- ・オペフロ頂部の破損に対して、コンクリート塊が一部落下したとしても、CVの燃料交換ハッチ蓋厚さ、SFP上部の上蓋及び貯蔵ラックプラグ等の厚さを考慮すれば、コンクリート塊の落下による原子炉圧力バウンダリ及び使用済燃料貯蔵設備への影響はないと考えられる。
- ・原子炉は、固有の安全性により自然冷却が可能である。また、SFPは、貯蔵ラックへの影響がないことから貯蔵機能を維持できる。なお、商用電源又は非常用発電機等が復旧出来る場合は、冷却回復を行う。

#### 【SF建家】

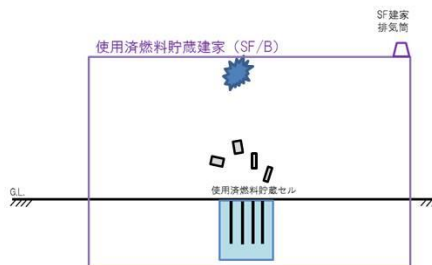
- ・SF建家頂部の破損に対して、コンクリート塊が一部落下したとしても、SFセル上部の上蓋及び貯蔵ラックプラグ等厚さを考慮すれば、コンクリート塊の落下による使用済燃料貯蔵設備への影響はないと考えられる。
- ・SFセルは、貯蔵ラックへの影響がないことから貯蔵機能を維持できる。なお、商用電源又は非常用発電機等が復旧出来る場合は、冷却回復を行う。



仮想的に建家許容堆積荷重を超える層厚を想定し、建家屋根の損傷を考慮しても、放射性物質の放出は考えられず、耐震BCクラス施設の機能喪失を想定した一般公衆の被ばく量を上回ることはないと判断。



原子炉建家概要説明図



使用済燃料貯蔵建家概要説明図





竜巻、火山事象に対する影響確認(設計上考慮する施設以外)

補足説明資料

安全機能の重要度分類			重要安全施設	設置場所	竜巻(*1)		火山(*1)	
分類	安全機能	構築物・系統及び機器			評価	評価結果(*3)	評価	評価結果(*3)
PS-1	原子炉冷却材圧力バウンダリ	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器配管系	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
	過剰反応度の印加防止	スタンドパイプ	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
		スタンドパイプクロージャ	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
	炉心の形成	炉心支持鋼構造物(炉心拘束機構の拘束バンドは除く)及び炉心支持黒鉛構造物のうちサポートポスト(支持機能のみ)	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
MS-1	原子炉の緊急停止未臨界維持	制御棒系	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
	原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止	1次冷却設備の安全弁(開機能)	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
	過剰反応度の抑制	スタンドパイプ固定装置	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
	工学的安全施設及び原子炉停止系への起動信号の発生	安全保護系(停止系)	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
	安全上特に重要な関連機能	中央制御室	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
PS-2	炉心の形成	炉心構成要素(燃料体、可動反射体ブロック、制御棒案内ブロック)	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
		炉心支持鋼構造物のうち炉心拘束機構の拘束バンド及び炉心支持黒鉛構造物(サポートポスト(支持機能のみ)を除く)	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
	放射性物質の貯蔵(ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されているものを除く)	原子炉建家内の使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プール(冠水維持機能)、貯蔵セル及び貯蔵ラック(上蓋を除く)	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
		使用済燃料貯蔵建家内の使用済燃料貯蔵設備の貯蔵セル及び貯蔵ラック(上蓋を除く)	—	SF/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
		気体廃棄物処理設備	—	屋外(排気筒)	○	減衰タンクから放出中は、系統内のバルブを「閉」とすることにより、放出を停止するため、排気筒からの放出低減は不要(概要説明図1)	○	減衰タンクから放出中は、系統内のバルブを「閉」とすることにより、放出を停止するため、排気筒からの放出低減は不要(概要説明図1)
			—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	1次冷却材の内蔵(ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計器等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く)	1次ヘリウム純化設備	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
	安全弁の吹止り	1次冷却設備の安全弁(吹止り機能)	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
	実験・照射に供する機能	実験設備の一部	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
	燃料の安全な取扱い	燃料交換機	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内

竜巻、火山事象に対する影響確認(設計上考慮する施設以外)

補足説明資料

分類	安全機能の重要度分類		重要安全施設	設置場所	竜巻(*1)		火山(*1)	
	安全機能	構築物・系統及び機器			評価	評価結果(*3)	評価	評価結果(*3)
MS-2	未臨界維持	後備停止系	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	炉心冷却	補助冷却設備	—	R/B(He系) 屋外(水系のファン等)	○	原子炉を停止し未臨界となった後は、HTTR固有の安全特性により、炉心は自然に冷却されると共に、圧力バウンダリの健全性も維持され、原子炉は安全に停止・維持可能なことから機能維持は不要(概要説明図2)	○	原子炉を停止し未臨界となった後は、HTTR固有の安全特性により、炉心は自然に冷却されると共に、圧力バウンダリの健全性も維持され、原子炉は安全に停止・維持可能なことから機能維持は不要(概要説明図2)
		炉容器冷却設備(*2)	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	放射性物質の閉じ込め、放射線の遮へい及び放出低減	原子炉格納容器(隔離弁を含む)	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		非常用空気浄化設備	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	原子炉冷却材圧力バウンダリの過熱防止 原子炉停止後の除熱	補助冷却設備	—	R/B(He系) 屋外(水系のファン等)	○	原子炉を停止し未臨界となった後は、HTTR固有の安全特性により、炉心は自然に冷却されると共に、圧力バウンダリの健全性も維持され、原子炉は安全に停止・維持可能なことから機能維持は不要(概要説明図2)	○	原子炉を停止し未臨界となった後は、HTTR固有の安全特性により、炉心は自然に冷却されると共に、圧力バウンダリの健全性も維持され、原子炉は安全に停止・維持可能なことから機能維持は不要(概要説明図2)
		炉容器冷却設備(*2)	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	工学的安全施設及び原子炉停止系への起動信号の発生	安全保護系(工学的安全施設)	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	放射性物質放出の低減	排気管	—	屋外	○	圧力バウンダリの機能が維持されるため非常用空気浄化設備が起動することなく機能維持は不要(概要説明図2)	○	圧力バウンダリの機能が維持されるため非常用空気浄化設備が起動することなく機能維持は不要(概要説明図2)
	事故時のプラント状態の把握	事故時監視計器の一部	○	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設
	中央制御室外からの安全停止	中央制御室外原子炉停止盤	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	安全上重要な関連機能	中央制御室系換気空調装置	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	安全上特に重要な関連機能	非常用発電機	—	R/B(吸気口は屋外)	○	・補助冷却設備、炉容器冷却設備、非常用空気浄化設備の機能維持が不要なため、これらの設備へ動力源としての電力供給は不要。 監視系については、直流電源等から監視に必要な電源が供給可能、蓄電池枯渇後は運転員により可搬型計器等を用いた監視(計器等の準備を含む)が十分な時間的余裕をもって可能なことから、蓄電池への電力供給は不要。(概要説明図2) ・使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プール・貯蔵ラックは、冷却しなくても、十分な時間的余裕をもって貯蔵機能は維持できるため、プール水冷却浄化設備への動力源としての電力供給は不要(概要説明図3) ・使用済燃料貯蔵建家内の使用済燃料貯蔵設備の貯蔵セル・貯蔵ラックは、冷却しなくても機能維持できるため、排風機の動力源としての電力供給は不要(概要説明資料4)	○	・補助冷却設備、炉容器冷却設備、非常用空気浄化設備の機能維持が不要なため、これらの設備へ動力源としての電力供給は不要。 監視系については、直流電源等から監視に必要な電源が供給可能、蓄電池枯渇後は運転員により可搬型計器等を用いた監視(計器等の準備を含む)が十分な時間的余裕をもって可能なことから、蓄電池への電力供給は不要。(概要説明図2) ・使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プール・貯蔵ラックは、冷却しなくても、十分な時間的余裕をもって貯蔵機能は維持できるため、プール水冷却浄化設備への動力源としての電力供給は不要(概要説明図3) ・使用済燃料貯蔵建家内の使用済燃料貯蔵設備の貯蔵セル・貯蔵ラックは、冷却しなくても機能維持できるため、排風機の動力源としての電力供給は不要(概要説明資料4)
		補助冷却水設備	—	C/T(プール、ファンは屋外)	○	・補助冷却設備、炉容器冷却設備の機能維持が不要なため、これらの設備へ冷却水供給は不要。(概要説明図2) ・原子炉建家内の使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プール・貯蔵ラックは、冷却しなくても、十分な時間的余裕をもって貯蔵機能は維持できるため、プール水冷却設備への冷却水供給は不要(概要説明図3)	○	・補助冷却設備、炉容器冷却設備の機能維持が不要なため、これらの設備へ冷却水供給は不要。(概要説明図2) ・原子炉建家内の使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プール・貯蔵ラックは、冷却しなくても、十分な時間的余裕をもって貯蔵機能は維持できるため、プール水冷却設備への冷却水供給は不要(概要説明図3)
		制御用圧縮空気設備	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
直流電源設備		—	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設	
安全保護系用交流無停電電源装置		—	R/B	—	設計上の考慮の対象施設	—	設計上の考慮の対象施設	

竜巻、火山事象に対する影響確認(設計上考慮する施設以外)

補足説明資料

分類	安全機能の重要度分類		重要安全施設	設置場所	竜巻(*1)		火山(*1)	
	安全機能	構築物・系統及び機器			評価	評価結果(*3)	評価	評価結果(*3)
PS-3	1次冷却材の保持 (PS-1, PS-2以外のもの)	計装配管	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		1次ヘリウムサンプリング設備	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		1次ヘリウム貯蔵供給設備	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	放射性物質の貯蔵	液体廃棄物処理設備の廃液槽	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		固体廃棄物処理施設	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	1次冷却材の循環	1次ヘリウム循環機	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	2次冷却系の通常時冷却	2次ヘリウム冷却設備	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		加圧水冷却設備	—	R/B (ファンは屋外)	○	原子炉を停止し未臨界となった後は、HTTR固有の安全特性により、炉心は自然に冷却されると共に、圧力バウンダリの健全性も維持され、原子炉は安全に停止・維持可能なことから機能維持は不要(概要説明図2)	○	原子炉を停止し未臨界となった後は、HTTR固有の安全特性により、炉心は自然に冷却されると共に、圧力バウンダリの健全性も維持され、原子炉は安全に停止・維持可能なことから機能維持は不要(概要説明図2)
	1次・2次ヘリウムの差圧維持	2次ヘリウム貯蔵供給設備	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	電源	非常用発電機以外の設備	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	プラント計測・制御(安全保護機能を除く)	原子炉制御設備	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		原子炉計装	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		プロセス計装	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	プラント補機	制御用圧縮空気設備(MS-2以外のもの)	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	炉容器冷却設備の通常時冷却	炉容器冷却設備(通常時冷却)	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	実験・照射に供する機能	実験設備の一部(PS-2以外のもの)	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	核分裂生成物の1次冷却材中への放散防止	被覆層	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		黒鉛スリーブ(金属性核分裂生成物のみ)	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
1次冷却材の浄化	1次ヘリウム純化設備	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内	

竜巻、火山事象に対する影響確認(設計上考慮する施設以外)

補足説明資料

分類	安全機能の重要度分類		重要安全施設	設置場所	竜巻(*1)		火山(*1)	
	安全機能	構築物・系統及び機器			評価	評価結果(*3)	評価	評価結果(*3)
MS-3	出力上昇の抑制	制御棒引抜阻止インターロック	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		制御棒パターンインターロック	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	炉心の除熱量の減少の抑制	加圧水循環ポンプの電流しゃ断器	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		1次加圧水冷却器加圧水入口温度高インターロック	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		2次加圧水冷却器加圧水流量低インターロック	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	原子炉冷却材圧力バウンダリの温度上昇の抑制	ヘリウム循環機の周波数変換器(停止機能)	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	過冷却による反応度添加の抑制	ヘリウム循環機の周波数変換器(最大回転数の制限機能)	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
	緊急時の防災対策上重要なもの及び異常状態の把握	事故時サンプリング系	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		通信連絡設備	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		放射線監視設備	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		事故時監視計器の一部	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		消火設備	R/B SF/B C/T (屋外消火栓、 高架水槽は屋外)	—	◎	消火器等で対応	○	消火器等で対応
				—	○	消火器等で対応	○	消火器等で対応
		安全避難通路	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内
		非常用照明	—	R/B	◎	建家内	◎	建家内

R/B:原子炉建家、SF/B:使用済燃料貯蔵建家、C/T:冷却塔

◎:竜巻、火山に対し安全機能を維持できる、

○:火山、竜巻により損傷したとしても、原子炉は安全に停止・維持され、使用済燃料の貯蔵は確保出来る。

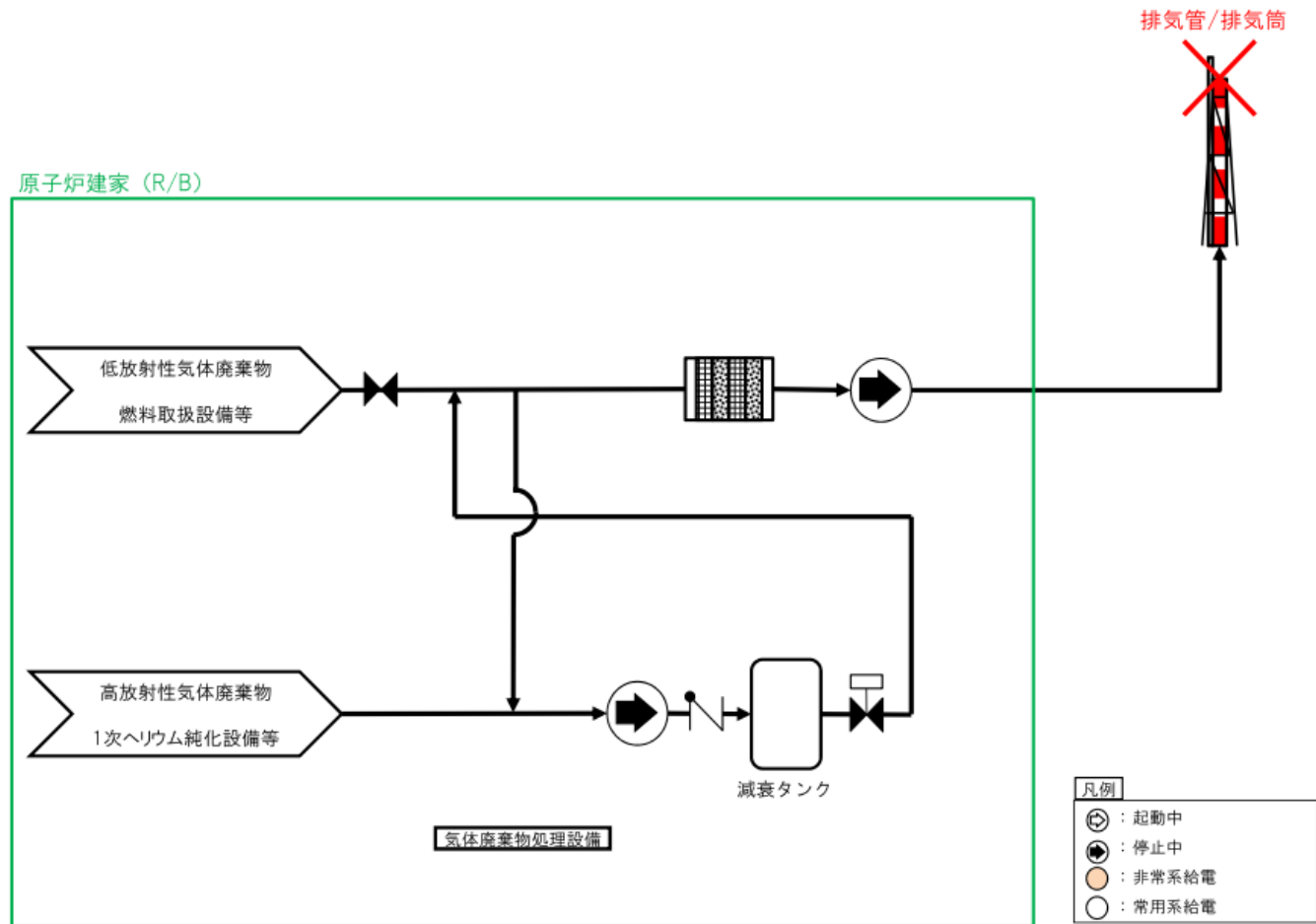
(\*1):竜巻、火山が発生した場合、原子炉施設へ影響が及ぶ前に予め原子炉を手動停止(スクラム)する。

(\*2):関連系(補機冷却水設備のファン等)が屋外のため期待しない。

(\*3):評価結果で、「建家内」と評価されているSSCについては、設計上の考慮の対象施設の評価において、建家の構造健全性を評価するため、安全機能は損なわれない。

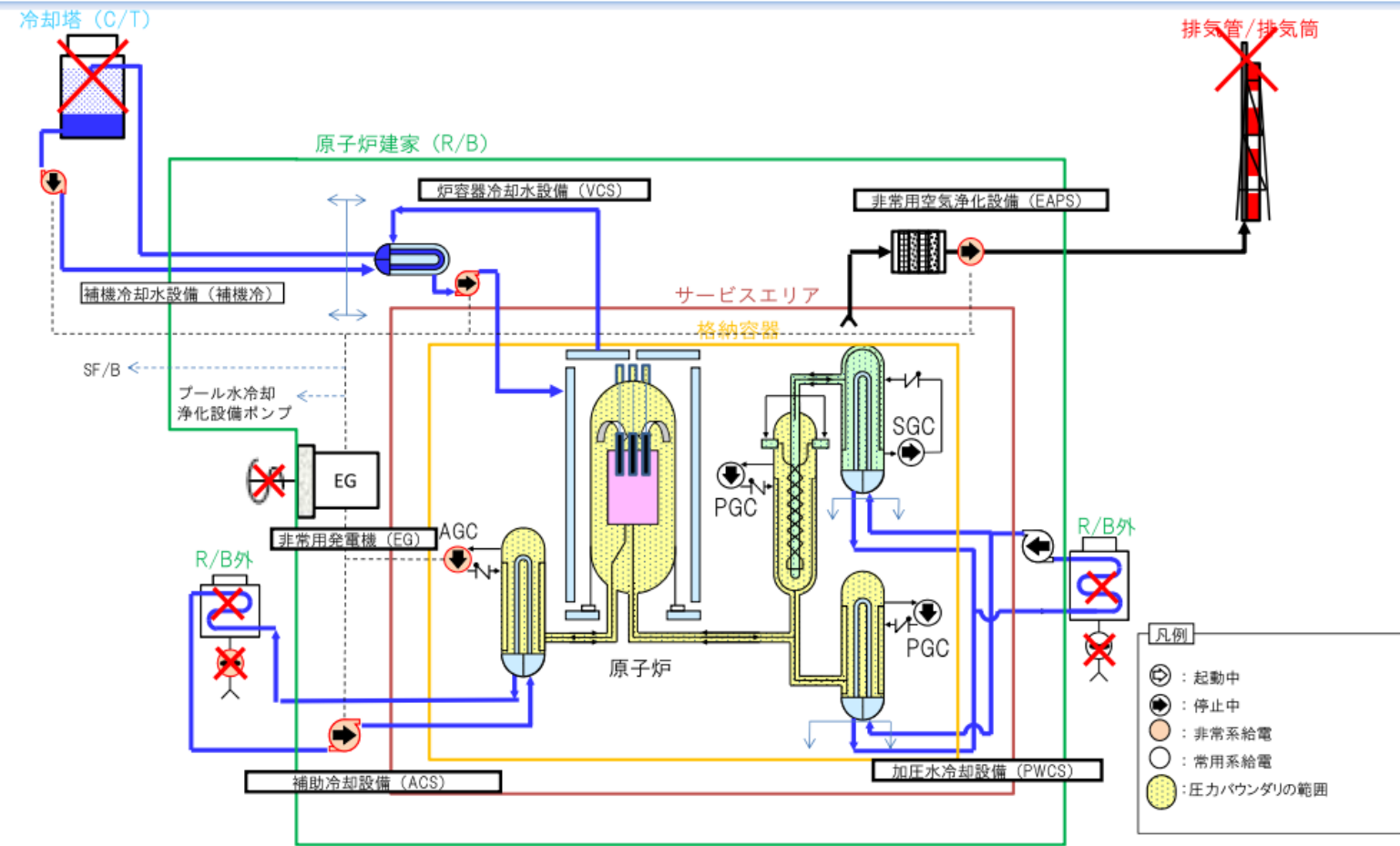


概要説明図1 放射性物質の貯蔵機能(気体廃棄物処理設備)に対する評価概要



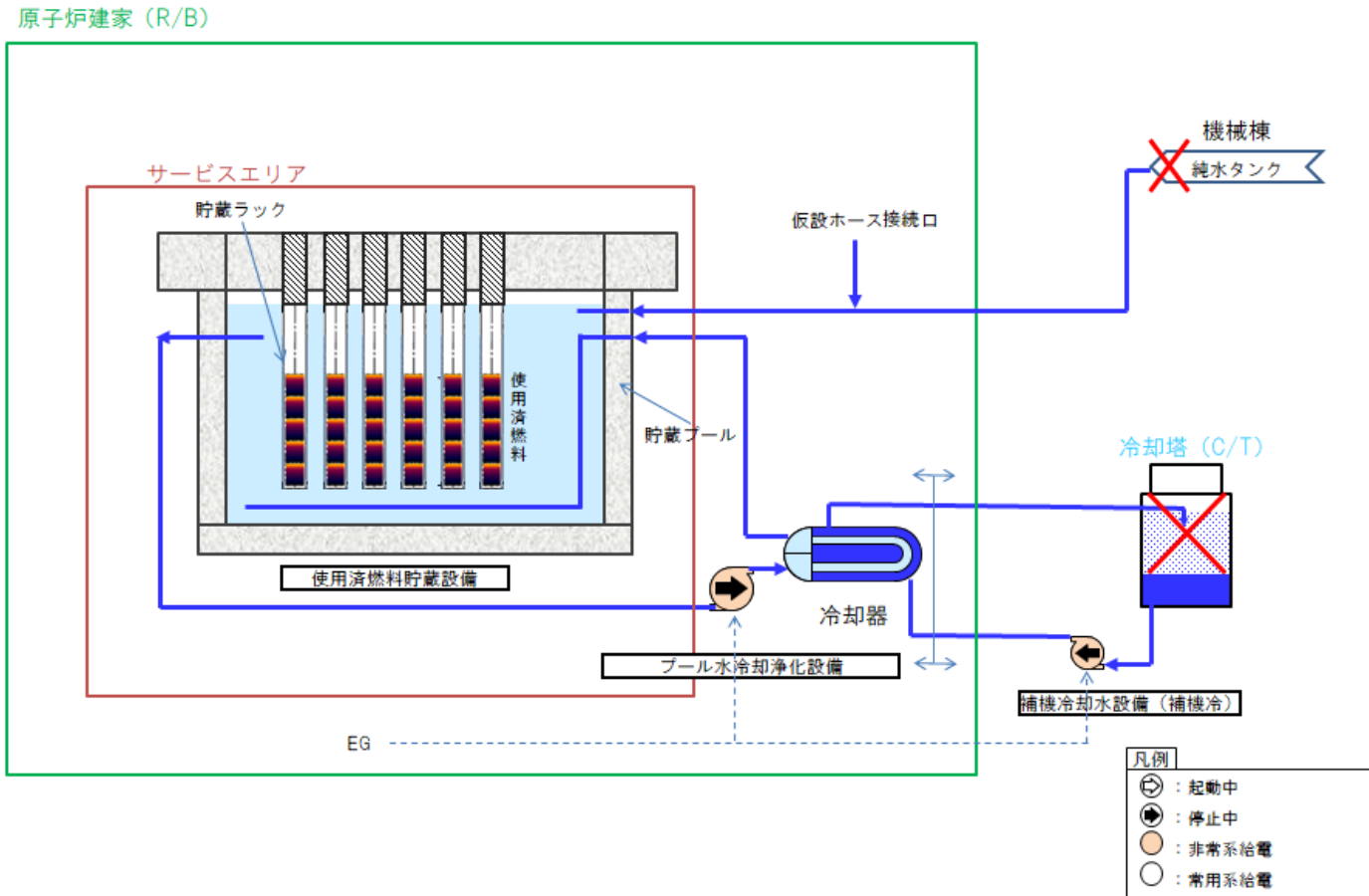
□ 放射性物質の貯蔵【気体廃棄物処理設備】  
減衰タンクから放出中は、系統内のバルブを「閉」とすることにより、放出を停止するため、排気筒からの放出低減は不要

概要説明図2 炉心冷却機能、放出低減機能等に対する評価概要



- 炉心冷却・圧力バウンダリ過熱防止・停止後の除熱【VCS、ACS】  
原子炉を停止し未臨界となった後は、HTTR固有の安全特性により、炉心は自然に冷却されると共に、圧力バウンダリの健全性も維持され、原子炉は安全に停止・維持可能。
- 放射性物質の放出低減【EAPS】  
圧力バウンダリの機能が維持されるため非常用空気浄化設備が起動することはなく機能維持は不要。
- 安全上特に重要な関連機能【EG、補機冷】  
・ACS、VCS、EAPSの機能維持が不要なため、これらの設備へ動力源としての電力供給は不要。監視系については、直流電源等から監視に必要な電源が供給可能、蓄電池枯渇後は運転員により可搬型計器等を用いた監視(計器等の準備を含む)が十分な時間的余裕をもって可能なことから、蓄電池への電力供給は不要。(EG)  
・ACS、VCSの機能維持が不要なため、これらの設備への冷却水供給は不要。(補機冷)
- 2次冷却系の通常時冷却【PWCS】  
原子炉を停止し未臨界となった後は、HTTR固有の安全特性により、炉心は自然に冷却されると共に、圧力バウンダリの健全性も維持され、原子炉は安全に停止・維持可能

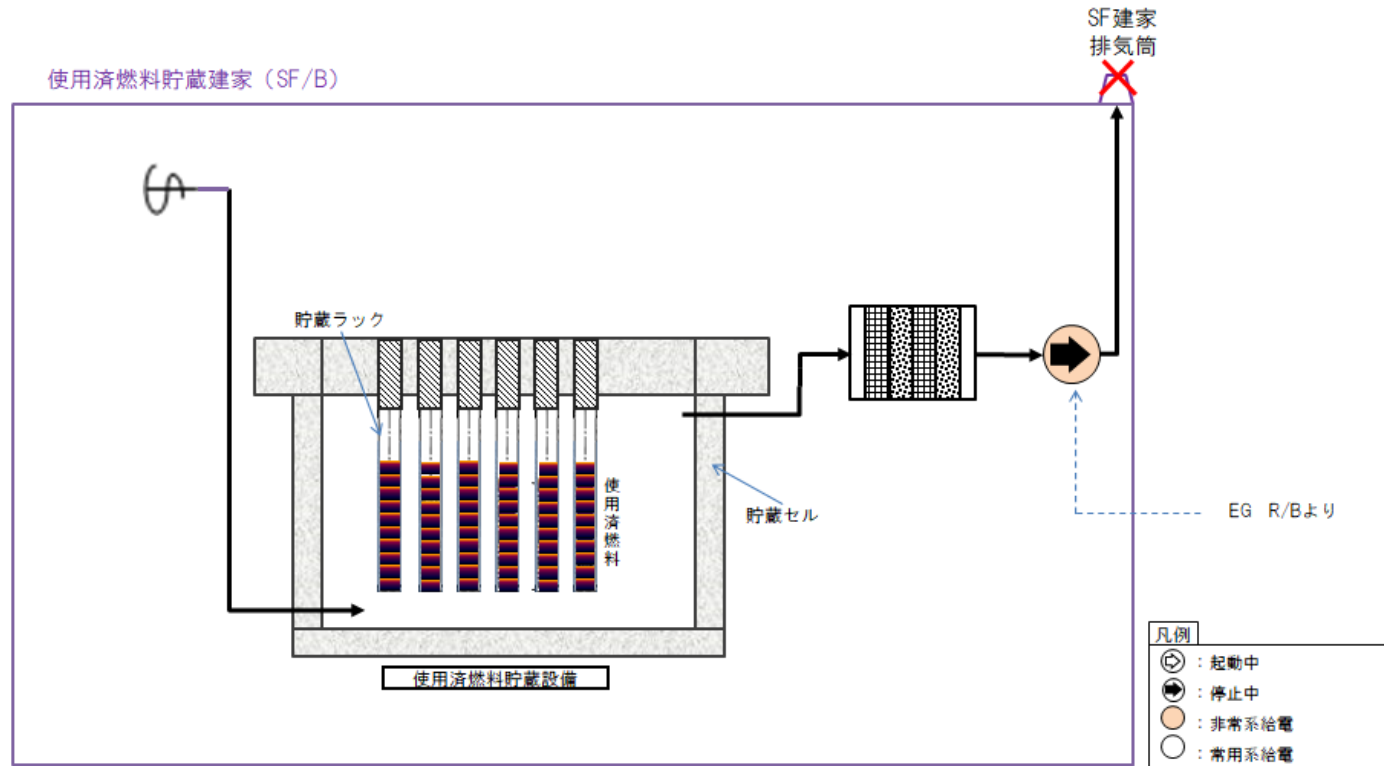
概要説明図3 放射性物質の貯蔵機能(原子炉建家内使用済燃料貯蔵設備)に対する評価概要



- 安全上特に重要な関連機能【EG、補機冷】
- ・貯蔵プール・貯蔵ラックは、冷却しなくても、十分な時間的余裕<sup>±</sup>をもって機能維持できるため、プール水冷却浄化設備への動力源としての電力供給は不要。(EG)
  - ・同様にプール水冷却浄化設備への冷却水供給は不要。(補機冷)

\*約24日で使用済燃料貯蔵ラックの強度を確保できなくなる800°Cに至る可能性がある

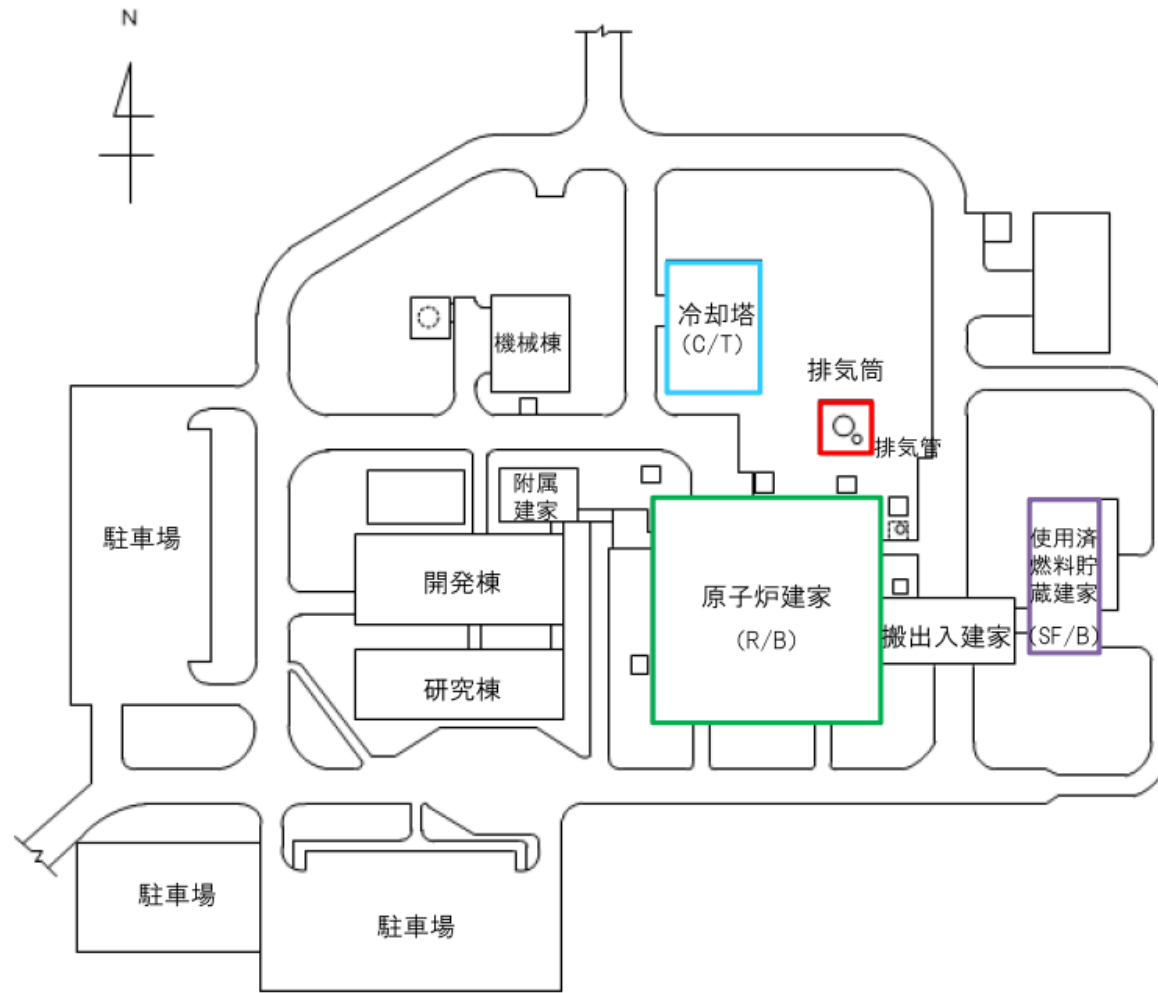
概要説明図4 放射性物質の貯蔵機能(使用済燃料貯蔵建家内使用済燃料貯蔵設備)に対する評価概要



- 安全上特に重要な関連機能【EG】
- ・貯蔵セル・貯蔵ラックは、冷却しなくても機能維持<sup>±</sup>できるため、排風機の動力源としての電力供給は不要。(EG)

\*使用済燃料貯蔵ラックの最高温度は約670℃となり、使用済燃料貯蔵ラックの健全性を維持できなくなる温度800℃を超えることはない。

# 建家配置概要図



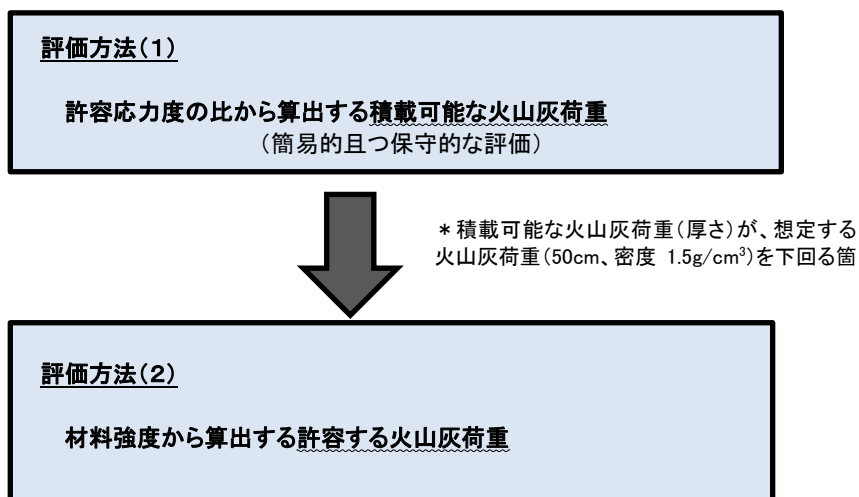
降下火砕物の荷重(降灰量:50cm、密度:1.5g/cm<sup>3</sup>)に建家が耐えることについて、評価の方法・考え方を示すこと。

<回答>

これまでに実施してきた降下火砕物の荷重に対する建家耐力の評価の流れを下記に示す。まずは、(1)の評価方法により、常時作用する荷重に短期/長期の許容応力度の比 1.5 を用いて積載可能な火山灰荷重を算出した。なお、本方法は材料強度から許容する火山灰荷重を算出するものではなく、簡易的且つ保守的に積載可能な荷重を算出したものである。

(1)の評価方法で積載可能な火山灰荷重が想定する火山灰荷重を下回る箇所については、(2)の評価方法により、材料強度から算出する許容応力度を用いて許容する火山灰荷重を算出し、想定する火山灰の荷重に耐える見通しを得ている。評価方法(1)及び(2)の評価方法及び評価イメージを添付に示す。

なお、後段規制においては、下記と同様な流れで評価を行う。評価方法(2)については既計算書の応力・検定比等を確認し、評価上厳しい箇所について詳細な評価を行い、これらの結果を整理し示すこととする。



以上

### 評価方法 (1)の考え方

(1)許容応力度の比から算出する積載可能な火山灰荷重  
(簡易的且つ保守的な評価)

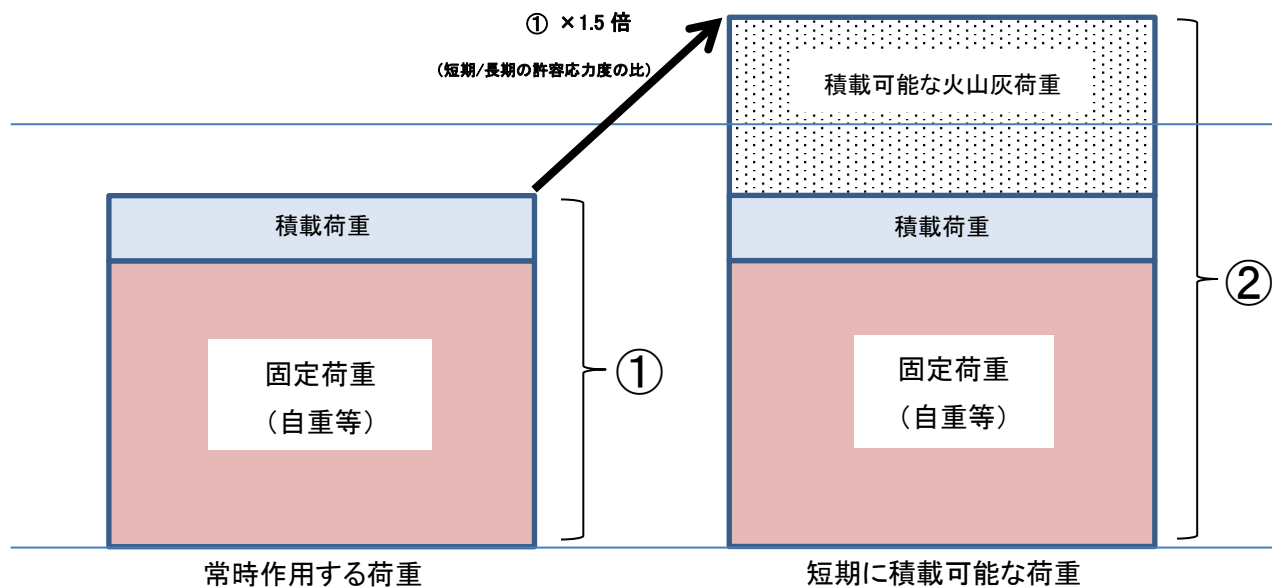
#### (評価方法)

コンクリート、鋼材の部材の許容応力度の差異によらず、常時作用する荷重に短期/長期の許容応力度の比 1.5 を乗じた荷重を短期に積載可能な荷重として求め、その差分を積載可能な火山灰荷重として評価した。なお、本評価方法は、材料強度から求める許容する火山灰荷重を算出したものではなく簡易的且つ保守的な方法により、積載可能な火山灰荷重を算出したものである。

① 常時作用する荷重 (長期荷重)	② 短期に積載可能な荷重 (短期荷重)	積載可能な火山灰荷重 (火山灰厚さ相当)
固定荷重(自重等) + 積載荷重 の分布荷重	① × 1.5 (短期/長期の許容 応力度の比)	② - ①

部材の許容応力度(短期)  
: 長期の 1.5 倍

部材の許容応力度(長期)



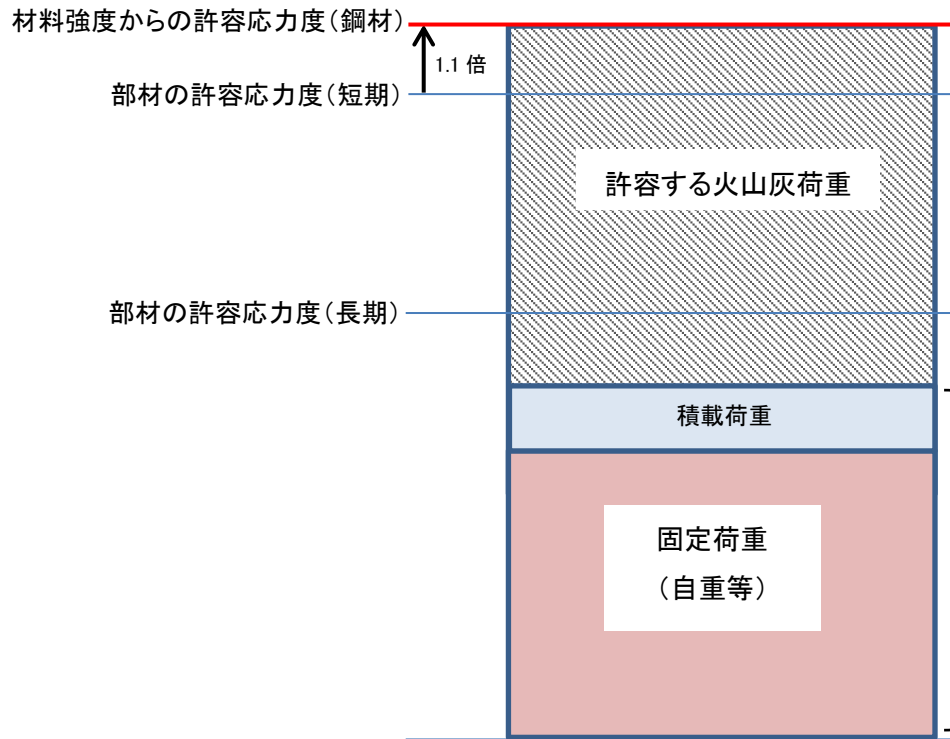
(評価イメージ)

## 評価方法(2)の考え方

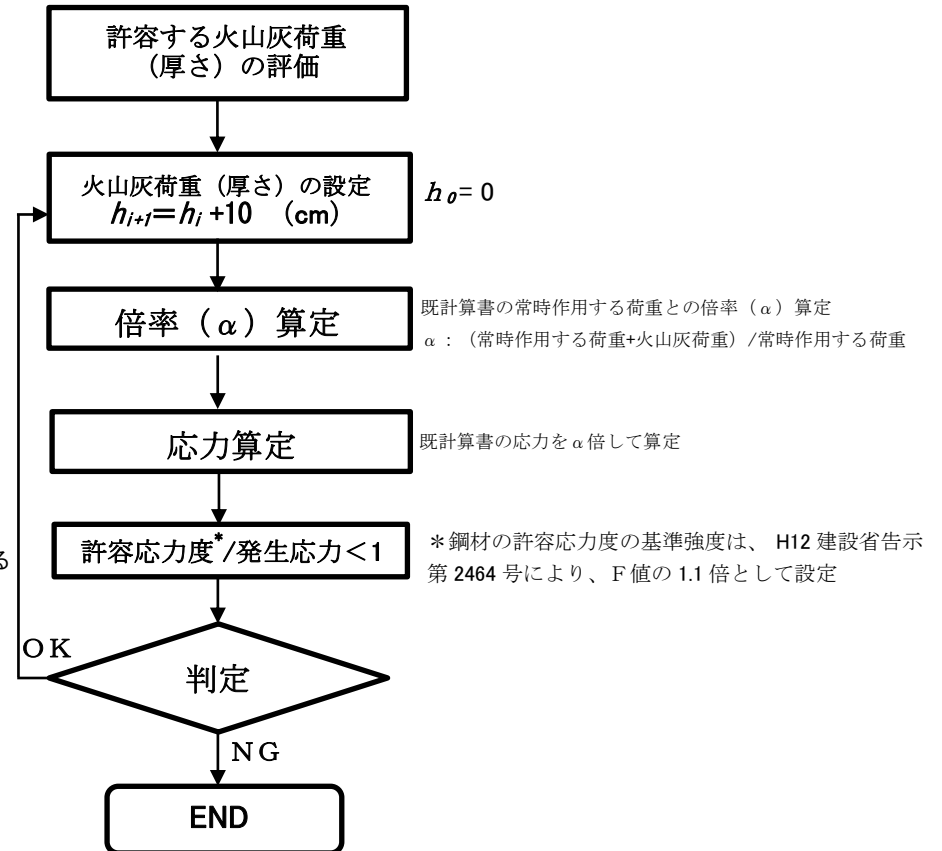
### (評価方法)

評価は部位及び部材毎に、既存の計算書を用いて常時作用する荷重に火山灰荷重を考慮した荷重の倍率算定を行い、発生する応力を算定し、材料強度からの許容応力度と比較・判定して許容する火山灰荷重を算出した。なお、本評価は静的評価で外力の増加割合を算出して部材応力が算定できる方法であり、弾性範囲内で応力は荷重と比例関係にある。

#### (2)材料強度から算出する許容する火山灰荷重



(評価イメージ)





## 2019年3月26日審査会合コメント

竜巻や火山による外部事象に対して、その発生を検知し事前に原子炉を停止することとしているが、原子炉の停止手段、及び停止後の監視の手段について具体的に説明すること。

## 2019年5月22日審査会合コメント

原子炉停止の措置に関して、降灰予報には段階があることを踏まえ、どのような段階で原子炉停止の判断をするのか具体的に説明すること。

### 1. 火山及び竜巻に対する防護の基本的考え方について

HTTRでは、平成29年4月18日の審査会合において、外部からの衝撃による損傷の防止に関する基本的考え方として、試験研究炉であるHTTRは、実用炉と比較して潜在的リスク（エネルギー、インベントリ、崩壊熱）、事故発生時の潜在的な影響の度合いに極めて大きな違いがあり、HTTRの固有の安全特性と相まったグレーデッドアプローチを適用し、第6条の要求事項に適合するための考え方を示した。

発生頻度が極めて稀と考えられる火山及び竜巻に対しては、設備と運用による対策を組み合わせ、安全確保上重要な原子炉の「停止」、「冷却」、「閉じ込め」及び「使用済燃料冷却」機能を損なわない設計とする。このため、火山や竜巻に対して防護する安全機能として、HTTRの固有の安全性を考慮した、①原子炉の緊急停止機能、②放射性物質の閉じ込め機能（原子炉冷却材圧力バウンダリ及び周辺公衆に過度の被ばくを与える可能性のある系統）、③それらに必要な監視機能、及び④使用済燃料の貯蔵機能を抽出した上で、これらの安全機能を有する安全施設を防護対象施設として、影響評価を行い、安全機能を損なわないよう設計する。

火山及び竜巻に対しては、原子炉施設に影響が及ぶ前に原子炉の停止操作を講じるとともに、停止後の状態及び使用済燃料冷却の状態を監視する。監視するために必要な電源は、火山防護施設である直流電源設備の蓄電池から供給する設計とし、さらに蓄電池の枯渇後(60分以降)は、可搬型計器、可搬型発電機等を用いて、必要な監視を商用電源が復旧するまでの間継続して行う措置を講じる。

防護対象施設以外の安全施設は、火山や竜巻による損傷を受けたとしても原子炉は安全に停止・維持でき、また放射性物質の閉じ込め及び使用済燃料の貯蔵は確保できることから、火山や竜巻による影響を評価する対象とせず、損傷した場合には代替措置や修復する等の対応により必要な機能を確保する。

次項に火山発生時における原子炉の事前停止及びその後の対応措置について述べる。

### 2. 火山事象（降下火砕物）に対する対応

降下火砕物に対する対応フローを図1に示す。

#### (1) 大洗研究所の対応

##### ①火山の噴火・降灰の確認及び監視

大洗研究所では、公共放送、気象庁ホームページにより、火山の噴火及び降灰予報<sup>※1</sup>に係る

情報・監視を行い、火山情報を入手することとしている。

## ②火山降灰警戒の発令

火山の噴火情報を確認した場合には、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、降灰による警戒が必要と判断した場合は、大洗研究所長は「火山降灰警戒」を発令し、大洗研究所内に周知することとしている。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こととしている。

## (2) HTTR 原子炉施設の対応

### ①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、原子炉運転中の時は、手動スクラムにより原子炉を停止する。また、HTTR において、降下火砕物の除去作業等に必要の要員を収集し、降下火砕物に対応する体制を構築するとともに、巡視点検等により降灰の状況を監視する。さらに、建家に堆積した降下火砕物を除去するために必要なスコップ、保護メガネ、防塵マスクを準備するとともに、商用電源の喪失に備え、停止後の原子炉の監視を行うために可搬型発電機、可搬型計器等を準備する。可搬型発電機の保管場所を図 2 に示す。

なお、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。

### ②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、原子炉建家内への降下火砕物の侵入を防止するため、換気空調設備を停止する。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は、建家等の降下火砕物の除去を行う。

### ③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

降下火砕物の降灰により商用電源が喪失し、さらに非常用発電機による電力供給を行なわない場合でも、原子炉を停止した後は、HTTR 固有の安全特性により、炉心は自然に冷却されるとともに、原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性は維持され、原子炉は安全に停止・維持が可能である。このため、降灰による商用電源喪失時等においては、補助冷却設備等への動力源としての電源供給は不要であり、蓄電池からの供給により停止後に必要な監視を継続して行う。また、第 42 条（全交流動力電源喪失）に係る対応措置を行うことで、蓄電池の枯渇後（60 分以降）についても、原子炉停止後に必要な監視を可搬型計器、可搬型発電機等により継続する。蓄電池の枯渇後に必要な監視項目は、以下に示す第 42 条に係る監視項目と同様であり、可搬型計器、可搬型発電機等による監視体系は蓄電池枯渇前までに構築する。

#### 1) 炉心冷却機能及び原子炉冷却材圧力バウンダリの閉じ込め機能の監視

原子炉圧力容器上鏡温度及び補助冷却器出口ヘリウム圧力

2) 使用済燃料貯蔵プールの貯蔵機能の監視  
使用済燃料貯蔵プール水位

※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

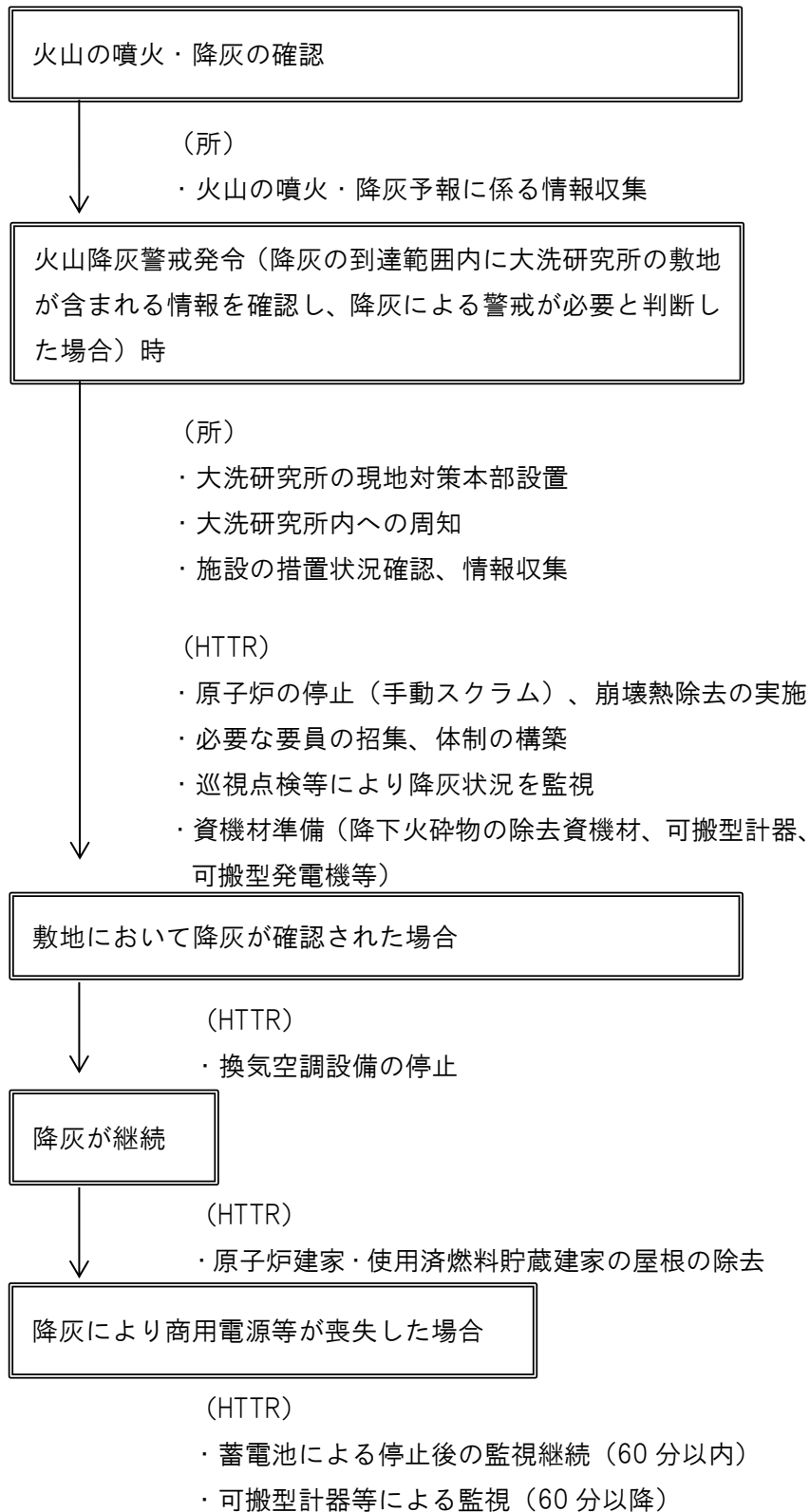


図1 降下火砕物に対する対応フロー

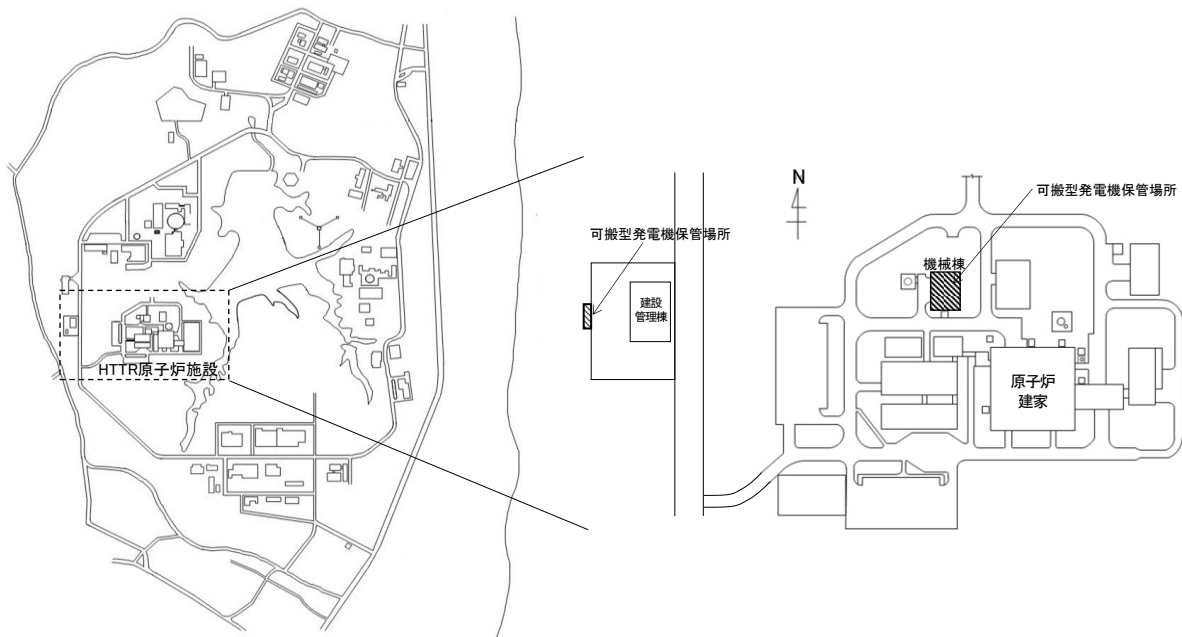


図 2 可搬型発電機の保管場所

2019年5月22日審査会合コメント

可搬型発電機を用いた監視について、必要な要員、分散している保管場所からの移動、接続箇所、ケーブル敷設ルートを検討しても蓄電池の枯渇前に電源供給が可能であることを説明すること。また、中性子束の監視が必要であるかを説明すること。

2019年3月26日審査会合コメントのうち、第28条、30条、42条、47条、51条の質問回答資料にて説明する。

コメント事項

可搬電源接続の成立性について、まとめ資料の説明に加えること。(作業要員、タイムチャート、配置、アクセスルート、連続運転可能時間と給油時間、休日・夜間の対応、特定施設運転員の位置づけ)

【回答】

火山及び竜巻の影響によって全交流電源が喪失した場合の対応は、本体施設運転員 5 名及び特定施設運転員 3 名の合計 8 名並びに運転班以外の事故対応要員で対応する。なお、休日・夜間の事故対応要員は、緊急呼び出し装置により参集され、約 1 時間後には対応に加わることが可能である。

表 1 に本体施設運転員と特定施設運転員\*のみで対応した場合のタイムテーブル、図 1 に可搬型発電機の運搬ルート概略図、図 2 にケーブルの敷設ルート概略図を示す。下表に示す通り、全交流電源が喪失してから 40 分以内に可搬型の計器等を用いたパラメータ監視の開始が可能である。なお、可搬型発電機は燃料タンク約 15L を有しており 10 時間以上の連続運転が可能であり、適宜給油（給油時間：5 分程度）を行い必要な電力を可搬型の計器等に供給し監視を継続する。

\*特定施設運転員：電気設備、換気空調設備、補機冷却水設備等のユーティリティの運転員で、原子炉施設本体の運転は行わない。

表 1 本体施設運転員と特定施設運転員のみで対応した場合のタイムテーブル

	0分	10分	20分	30分	40分	50分	60分
可搬型発電機の運搬 (物置→原子炉建家)		特定2名					
ケーブル敷設			特定2名				
ケーブル接続・監視開始				特定1名 本体1名			

※原子炉運転中は、本体施設運転員及び特定施設運転員合計 8 名が 24 時間体制で運転操作・監視を行う。

〔 本体：本体施設運転員 〕  
〔 特定：特定施設運転員 〕

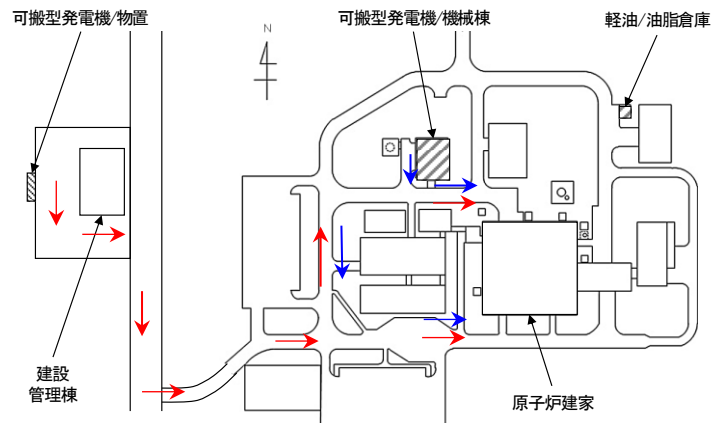


図 1 可搬型発電機の運搬ルート概略図

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

図2 ケーブルの敷設ルート概略図

コメント事項

可搬電源（ディーゼル）の排気はどのように処置しているのか、作業員への悪影響はないのか、まとめ資料で説明すること。

コメント事項

可搬電源（ディーゼル）は扉開口部を開けて使用するとしているが、降灰時に降下火砕物の流入はないのか、まとめ資料で説明すること。

【回答】

可搬型発電機は原子炉建家内に搬入し、屋外との間の扉近傍で使用することとしている。排気ガスは、排気ダクトを用いて屋外に導き排出する。また、降下火砕物の原子炉建家内への流入については、扉開口部をシートで覆い降下火砕物の流入を抑制し、少量の流入は適宜除灰することに対応する。

（下図参照）

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

図 可搬型発電機の排気ガス排出及び降下火砕物流入抑制のイメージ

コメント事項

可搬電源の燃料は油脂倉庫に保管することにしてはいるが、自然現象からの防護設計をどのようにしているかまとめ資料で説明すること。

【回答】

可搬型発電機の燃料として用いる軽油は、油脂倉庫に7日間連続運転できる量（約 250L）を保管する。また、可搬型発電機は燃料タンク約 15L を有しており 10 時間以上の連続運転が可能である。

万一、油脂倉庫が損壊して同倉庫内の軽油が使用できない場合は、保管時に充填されている燃料が消費される前に、大洗研究所内の他施設から融通する、或いは外部調達する等して必要な燃料を確保する。