

# 火山灰の原発への影響と対策

○中村隆夫（大阪大学）

岩田吉左（電源開発(株)）

2019年9月19日

日本原子力学会 シニアネットワーク  
エネルギー会  
合同講演座談会  
(株)新大倉 東京支社 会議室

## 目次

1. はじめに
2. 火山に対する発電所の安全確保の考え方
3. 火山影響評価の流れ
4. 立地段階における火山影響評価
  - 4.1 調査対象の火山及び火山現象選定の考え方
  - 4.2 火山活動の可能性評価の方法
5. 発電所設備等に対する火山影響評価
  - 5.1 設備設計および運用上の配慮の基本方針
  - 5.2 設備等の具体的対応方針
  - 5.3 重大事故等対処施設の火山灰等の影響評価
6. 火山現象の不確かさへの今後の取り組み

## 1. はじめに

- ▶ 最近の原子力発電所（以下、発電所）の運転差し止め裁判では、火山現象に対する安全性が大きな争点の一つとされ、一躍社会の関心を集めた
- ▶ 従来、発電所は火山活動の影響のおそれの少ない地点を選定して立地が行われてきた
- ▶ 東電福島第一原子力発電所以降は、万一に備えて火山現象の影響を評価することにより安全性を確認している
- ▶ 発電所の安全を確保するため、広範囲に影響が及ぶおそれのある火山灰を対象にその設備への影響を評価し対策を講じている
- ▶ 火山灰以外の火山現象に対しては、発電所への影響のおそれのない立地点を選定していることを、火山に関する様々な調査を行うことにより確認している

2

## 参考 火山の巨大噴火に関する基本的考え方 (原子力規制庁資料より)

- 巨大噴火の可能性評価は、火山学上の各種の知見を参照しつつ、巨大噴火の活動間隔、最後の火山噴火からの経過時間、現在のマグマ溜まりの状況、地殻変動の観測データ等から総合的に評価を行う。
- 巨大噴火を想定した法規制や防災対策は原子力安全規制以外の分野においては行われておらず、そのリスクは社会通念上容認される水準と判断される。
- 火山の現在の活動状況は巨大噴火が差し迫った状態ではないことが確認でき、かつ、運用期間中に巨大噴火が発生するという科学的に合理性のある具体的な根拠があるとは言えない場合は、少なくとも運用期間中は、「巨大噴火の可能性が十分に小さい」と判断できる。
- 「運用期間中は巨大噴火の可能性が十分に小さい」と評価して許可を行った場合にあっても、評価の根拠が継続していることを確認するため、火山活動のモニタリングを行う。

3

## 2. 火山に対する発電所の安全確保の考え方

発電所は、供用期間中に極めてまれではあっても、その噴火により発電所に影響を与える火山現象に対して、安全性が損なわれないように設計並びに運用することが求められる



「火山現象から屋外設備を防護する」こと、及び建屋内設備については「建屋内に火山現象の影響を及ぼさない」ことにより、重要な安全機能の喪失を防ぎ、安全を確保することを基本とする



発電所は、原子力規制委員会の火山影響評価ガイド及び日本電気協会のJEAG4625に基づき、火山現象に対する安全評価を行う

4

## 3. 火山影響評価の流れ

### ステップ 1

既往の文献をもとに評価対象となる火山を選定

### ステップ 2

文献調査、地形調査、地質調査結果等をもとに供用期間中に噴火する可能性のある火山（活動の可能性を考慮する火山）を選定

### ステップ 3

活動を考慮する火山の火山現象が原子力発電所に与える影響を評価

### ステップ 4

各火山現象の影響評価項目を整理し詳細設計及び運転段階での対応可能性を評価

5

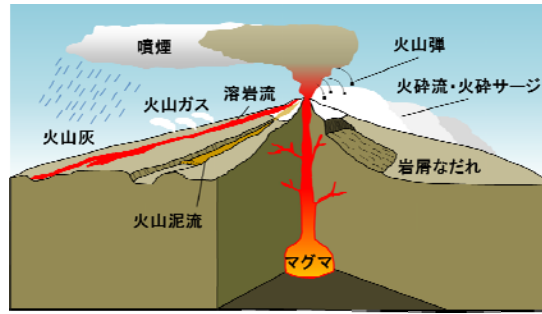
## 4. 立地段階における火山影響評価

### 4.1 調査対象の火山及び火山現象選定の考え方

【調査対象火山】  
第四紀火山

調査対象の火山現象

- ①火山灰
- ②火山弾
- ③火砕流、火砕サージ
- ④溶岩流
- ⑤火山ガス
- ⑥岩屑(がんせつ)なだれ
- ⑦火山泥流
- ⑧新火口形成



調査対象範囲

火山現象	敷地との位置関係
②火山弾等の放出	噴出中心が敷地から10km以内
③火砕流及び火砕サージ	噴出中心が敷地から160km以内
④溶岩流	噴出中心が敷地から50km以内
⑤火山ガスの噴出	噴出中心が敷地から160km以内
⑥岩屑なだれ	噴出中心が敷地から50km以内
⑦火山泥流	噴出中心が敷地から120km以内

#### 火山灰、火山ガス以外の火山現象

現在の知見では設備設計及び運用上の対応が困難であり、現象が発電所敷地に到達すると評価された段階でその発電所敷地は立地を再検討する

6

## 調査対象火山の選定方法

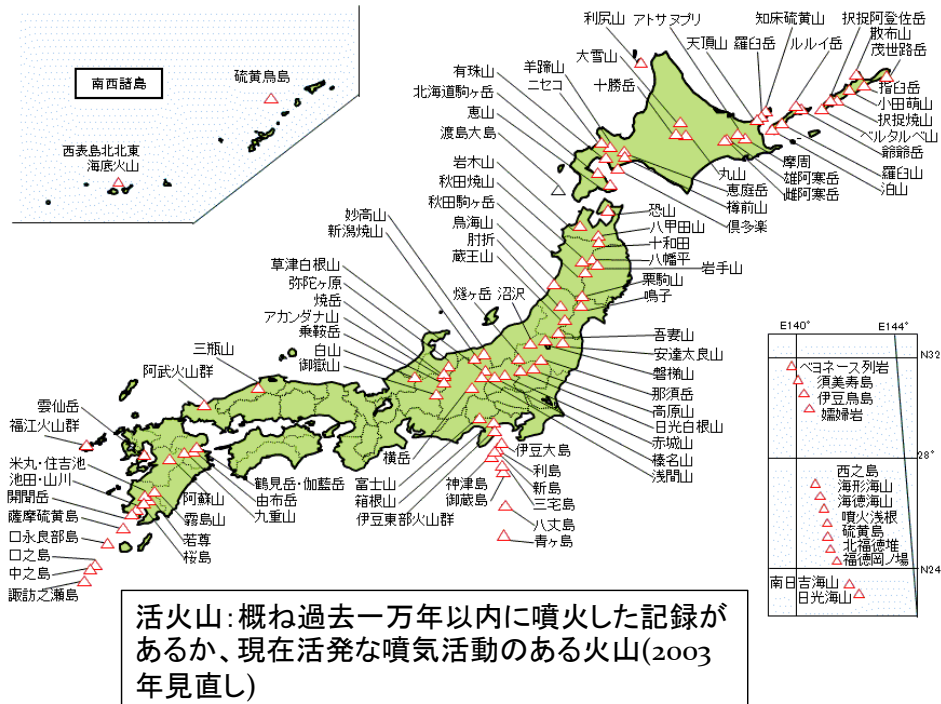
【調査手法】

文献調査	調査対象範囲の火山・火山現象・火山噴出物に関する既往の文献を収集する <ul style="list-style-type: none"> <li>・日本の第四紀火山カタログ</li> <li>・日本の第四紀火山 等</li> <li>・新編 火山灰アトラス [日本列島とその周辺]</li> </ul>
地形調査	地形図、空中写真等を用いた判読を実施する
地質調査	地表地質調査等を行い、必要に応じ、ボーリング、ピット掘削等を実施し、適宜火山噴出物の試料採取・分析・年代測定等を行う
地球物理学的調査等 ※	例えば、地震観測、重力探査、弾性波探査を実施する

※マグマ活動に関連する地下構造等の更なる資料が必要な場合に実施

7

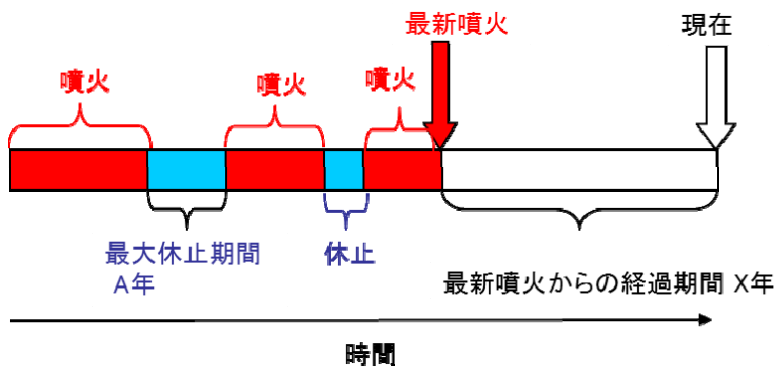
# 参考 調査対象の火山



出典: 気象庁ホームページ 8

## 4.2 火山活動の可能性の評価方法

【影響評価の方法】



$X > A$  の場合：  
活動の可能性を考慮しない。  
 $X < A$  の場合：  
活動の可能性を考慮する。

「活動の可能性を考慮する火山」であるか否かは、一律な最新活動の時期によって決定するのではなく、当該火山の活動履歴を踏まえ、最大休止期間と、最新噴火からの経過期間との比較等により判断する

## 考慮対象となる火山現象の選定方法

### 「活動の可能性を考慮する火山」とされた火山

供用期間中に当該火山が噴火した場合、火山噴出物が敷地に到達する可能性を火山現象ごとに検討

- ・火砕流、溶岩流、火山泥流等

当該火山における過去の火山活動を考慮し、類似火山からの類推も踏まえ、噴出が予想される火山噴出物が敷地に到達する可能性を地形等の情報も用いて検討

- ・火山灰

噴出源にかかわらず、敷地及び敷地付近に降下した既往の火山灰の厚さと同程度の厚さの火山灰が降下すると評価

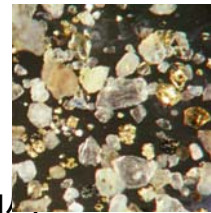
「原子力発電所の安全性に与える影響を考慮する火山現象」に火砕流、溶岩流、火山泥流等が含まれる場合には、詳細設計段階での対応可能性を示すことができず立地を再検討する

10

## 参考 火山灰の特性と影響

### 【火山灰の特徴】

- 粒子の直径が2 mmより小さな噴出物
- マグマが噴火時に破碎・急冷したガラス片・鉱物結晶
- 火山灰の融点は1 0 0 0℃
- 亜硫酸ガス(SO<sub>2</sub>)、硫化水素(H<sub>2</sub>S)、フッ化水素(HF)等のガス成分が付着
- 水に濡れると硫酸イオン等が溶出
- 溶出した硫酸イオンは、火山灰に含まれるカルシウムイオンと反応し、硫酸カルシウム(石膏)となり、乾燥すると固結する



### 【影響】

- 火山灰荷重による屋外設備(タンク等)の座屈変形
- 硫酸イオンによる金属腐食
- 回転機器等の摺動部における摩耗
- 空調系の閉塞・・・など

11

## 参考 火山灰の噴出量と 発電所敷地における降灰量の評価

火山灰の降灰量の設定のアプローチには、以下の2つの方法が主流となっている

### 1. 地質調査及び文献調査による降灰量の設定 (JEAG4625)

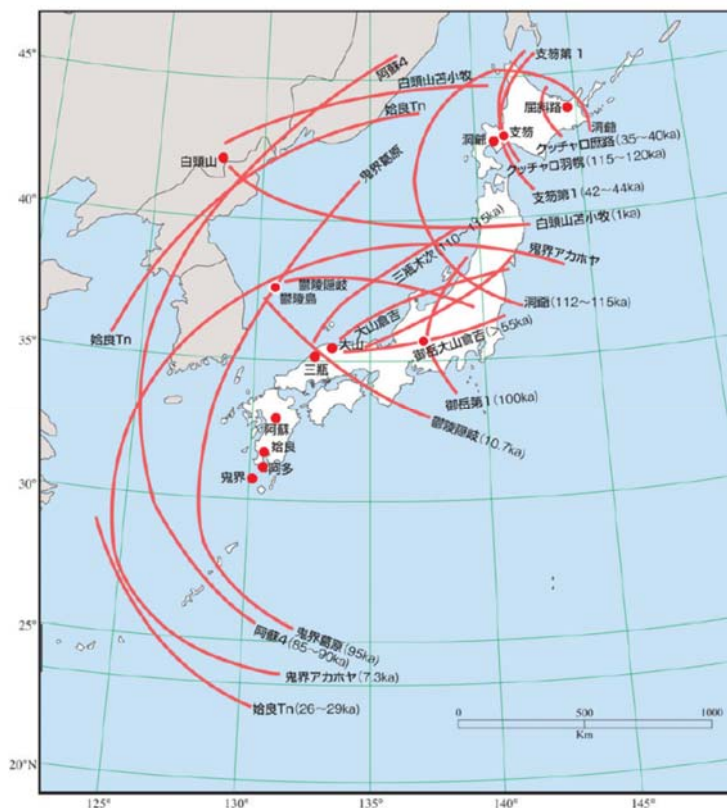
- 火山灰等の敷地における層厚の想定にあたっては、敷地及び敷地付近における層厚資料のみでなく、文献により等層厚線図が公表されているものについては、それによる層厚についても検討する
- 現在敷地に見出されない場合でも、敷地付近に当該火山灰等が分布する場合には、堆積後に削剥された可能性について検討が必要である

### 2. 計算機コード (Tephra2)

- Tephra2は、火山と発電所敷地との距離、火山の噴出量や一定の風向を設定することで、発電所敷地における層厚を計算することができる
- 2次元コードであり、降灰時間は計算できない
- 地質調査を補完することを目的に使用されていたが、調査等では設定が困難な場合にも使用される

12

## 参考 最近12万年間における広域火山灰の分布範囲



(出典：理科年表)  
赤丸は噴出源の火山  
( )内の数値は噴出年代  
で100kaは10万年前

13

## 5. 発電所設備等に対する火山影響評価

調査で得られた火山影響評価データを基に、「原子力発電所の安全性に与える影響を考慮する火山現象」がある地点に原子力発電所を立地する場合において、機械・電気設備等の詳細設計段階での対応可能性を評価する

設備に対する影響評価を行う火山現象

- ・ 火山灰（軽石含む）
- ・ 火山ガス

- ・ 火山灰と火山ガスは影響範囲が広いいため、発電所と火山の距離で到達の有無を評価できないことから選定する
- ・ その他の火山現象（火砕流や溶岩流など）は、発電所に到達すると、現在の知見では設計対応が困難であり、発電所の立地不適な現象として整理する

14

### 5.1 設備設計及び運用上の配慮の基本方針

火山灰等が発電所敷地に到達した状況において、以下の要件を達成することを目的とする

- ・ 発電所を安全に停止し、高温停止状態から、冷温停止状態へ移行し、且つ、冷温停止状態を維持すること
- ・ 使用済燃料貯蔵プールの冷却機能を維持すること

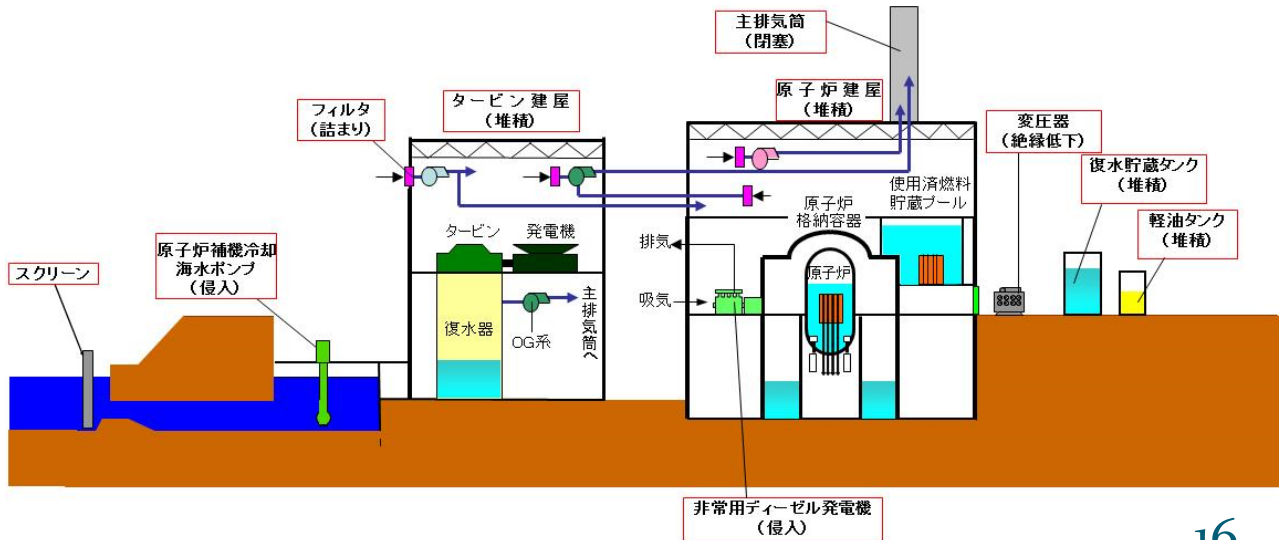
15



## 対象機器選定の考え方と選定例

- 原子炉の安全停止に関わる系統及び使用済燃料貯蔵プールの冷却に関わる設備を整理し、火山灰等の影響を受ける設備を選定
- 設備の選定にあたっては、安全機能を直接果たす役割を有するいわゆる直接系に加えて、電源供給設備等の間接系も対象

【火山灰等により影響を受ける可能性のある設備の例（A BWR）】



16

## 対象機器の選定例

火山評価対象設備の例（BWR）

	カテゴリ	対象設備	火山灰等影響内容
1	屋外タンク	復水貯蔵タンク	堆積による損傷（座屈等）
		D/G燃料油タンク	
2	屋外ポンプ	D/G燃料移送ポンプ	侵入による作動不良
		海水ポンプ	
3	非常用電源	ディーゼル機関	侵入による作動不良
4	換気空調設備	給気フィルタ	フィルタの閉塞
5	排気筒	排気筒	侵入による閉塞
6	取水設備	海水除塵装置	侵入による海水系設備への影響
7	海水系機器	熱交換器	侵入による閉塞
8	建屋	原子炉建屋、タービン建屋等	堆積による損傷
	その他	開閉所・変圧器	絶縁低下

17

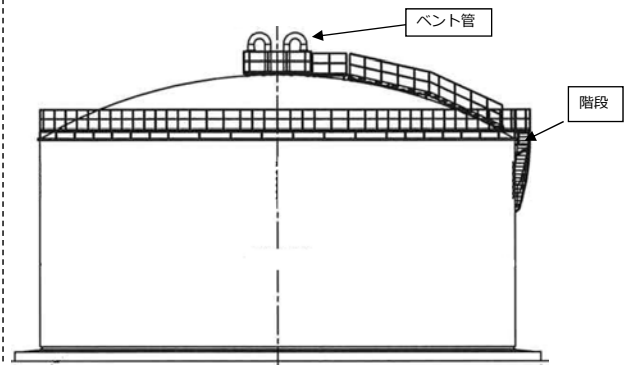
## 5.2 設備等の具体的対応方針例－屋外タンク

### 配慮事項

- ・タンクの屋根へ容易にアクセスできる階段が設置されている等、堆積した火山灰を除去することができる構造であること
- ・屋外タンクベント管は、吸込み口が下向きに設置されている等、火山灰が管内に侵入し難い構造であること

座屈等が発生する火山灰堆積厚さを求め、火山灰除去の開始時期等を定めた作業計画を策定する

サイトごとに火山灰堆積厚さを調査・評価して設定し、火山灰堆積荷重に対して耐える構造であることを評価してもよい



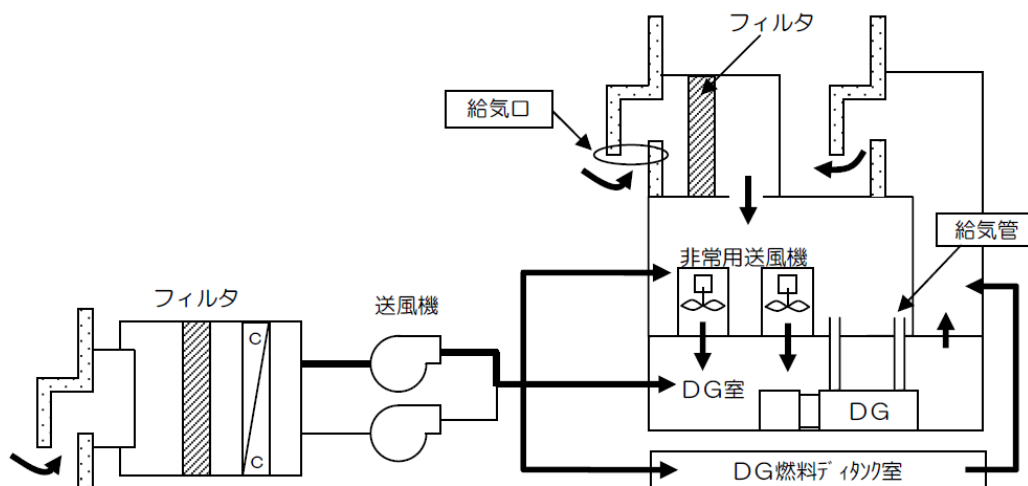
屋外タンク概略図

18

## 設備等の具体的対応方針例－非常用ディーゼル発電機

### 配慮事項

- ・火山灰が内燃機関内部に侵入しない様フィルタが設置されていること  
または火山灰が給気口に侵入し難い構造となっていること



非常用ディーゼル発電機室換気空調設備概略図

19

## 参考 保安規定における非常用DG等の機能維持対策 (H29.11.NRA火山影響評価ガイド改正に伴う)

火山灰対策についての検討を行った国の「降下火砕物の影響評価に関する検討チーム」では、降灰による電源喪失に対して多層的な防護を求める観点から、気中の降灰濃度（別紙）に応じた3つの対策を次のとおり求めることとした。

- 非常用交流動力電源設備の機能維持対策（参考濃度の降灰に対する非常用ディーゼル発電機のフィルター対策）・・・イ）
- 代替電源設備の機能維持対策（非常用ディーゼル発電機が偶発的に多重故障を起こした場合をあえて想定した対策）・・・ロ）
- 全交流動力電源喪失を想定した炉心損傷防止対策（深層防護の考え方に基づく対策）・・・ハ）

これら3つの対策に基づき、規則では、以下のイ号からハ号までの対策に関する体制整備を要求し、保安規定の認可段階で規制に確認されることになる。

20

別紙

## 原子力発電所の火山影響評価ガイド(NRA)

- 標記ガイドは、IAEAの火山ハザードに係るガイドライン及び日本電気協会「原子力発電所火山影響評価技術指針（JEAG4625）を参考に検討を重ねH25年に制定されたものである。
- その後、非常用発電機のフィルタ閉塞までの時間やフィルタ交換成立性の評価に使用する気中の火山灰濃度の設定が課題となっていた。
- 火山に係る有識者及びNRAで構成される検討会において、気中火山灰濃度の設定方法が議論され、H29.11にその手法を反映してガイドが改正された。

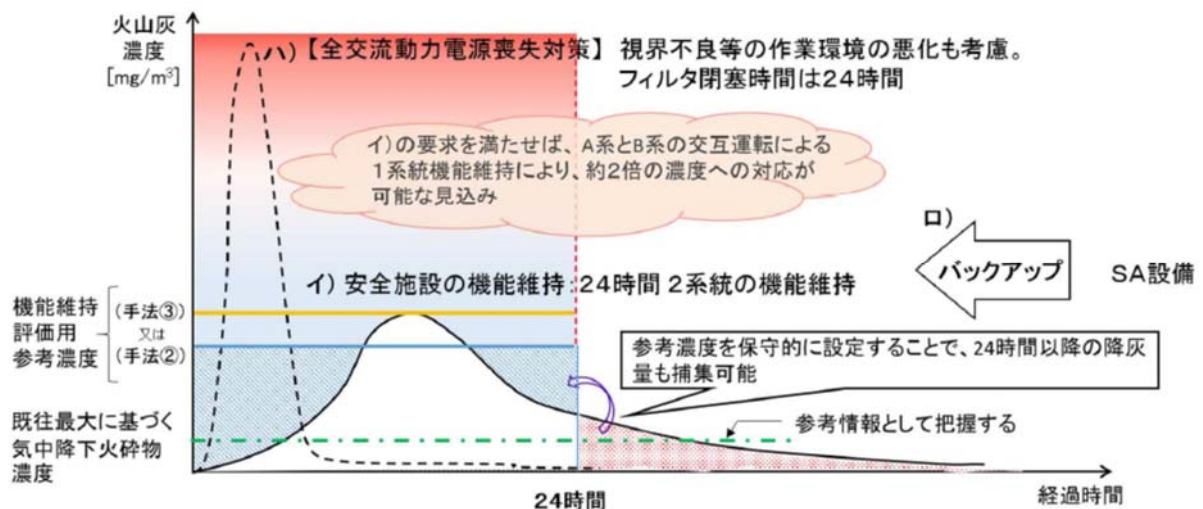
- ① 降灰継続時間（24時間）を仮定して、層厚から気中火山灰濃度を推定する方法
  - ✓ 数 $\mu\text{m}$ オーダーの粒径の火山灰は、計算上24時間で地表に到達できないが、それらすべてが24時間以内に到達すると仮定)
- ② 数値シミュレーションを用いて推定する方法
  - ✓ 降灰時間を表現できる3次元シミュレーションコードはあるものの研究段階であり、実質的に設計には使用していない。

21

○規則 第八十四条の二

- 五 火山影響等発生時における発電用原子炉施設の保全のための活動を行うために必要な次に掲げる事項を定め、これを要員に守らせること。
- イ 火山影響等発生時における非常用交流動力電源設備の機能を維持するための対策に関すること。
- ロ イに掲げるもののほか、火山影響等発生時における代替電源設備その他の炉心を冷却するために必要な設備の機能を維持するための対策に関すること。
- ハ ロに掲げるもののほか、火山影響等発生時に交流動力電源が喪失した場合における炉心の著しい損傷を防止するための対策に関すること

## 火山影響評価ガイド改定版における 火山灰に対する規制上の考え方



## 運転員及び作業員の安全確保

火山灰雰囲気における屋外作業への配慮

- ・目の保護のため、保護めがねを装着
- ・火山灰吸入防止のため、火山灰用の防じんマスクを装着

火山ガス雰囲気における作業への配慮

【中央制御室】

- ・外気の火山ガス濃度を定期的を確認する
- ・火山ガス濃度が上昇した際は、直ちに中央制御室換気系を外気遮断運転モードに切替える

【屋外及び屋内（中央制御室以外）】

- ・人が立ち入るエリアの火山ガス濃度を定期的を確認する
- ・作業時は保護めがね、防毒マスクを装着するとともに、予備の吸収缶、ポータブルガス検知器を携帯する

24

## 火山現象の間接的影響への配慮

間接的影響	発電所への影響	対策例	外部支援実施時の考慮事項例
外部電源の喪失	非常用DG燃料油の補給が必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料油の備蓄</li> <li>・タンクローリーの手配（道路交通の遮断に注意）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料、資機材等の広域的な調達・輸送計画を定めておく（道路交通が遮断されることを考慮し、代替輸送手段についても検討）</li> <li>・他地区からの応援要員の派遣計画を定めておく</li> <li>・自治体に対する発電所近郊の道路の除灰作業支援要請の指標を定めておく</li> </ul>
道路交通の遮断	人員参集、資機材搬入が困難となる	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事前の人員招集</li> <li>・資機材の備蓄</li> <li>・代替輸送手段の検討</li> </ul>	
工業用水等の停止	常・非常用水源の補給が必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・給水車の手配（道路交通の遮断に注意）</li> <li>・プラント内水源の融通</li> </ul>	
通信の途絶	—	— (現在進められている衛星通信化等により対応可能)	

25

## 5.3 重大事故等対処施設の火山灰等の影響評価

- ・当該設備が待機状態にあるときを想定
- ・火山噴火の終息後、何らかの要因によって重大事故が発生する場合に備え、アクセスルートの除灰等の運用面についても考慮
- 火山灰堆積荷重に対して耐える構造であること、または、除灰により座屈等の発生を防止できること
- 火山灰等により閉塞しない構造であること、または、容易に除去できる構造であること
- 火山灰等による重大事故対応を阻害する要因を除去できる資機材及び体制が整備されていること
- 除灰等の作業において、火山灰及び火山ガス雰囲気での屋外作業を伴うことから作業員の安全確保についても考慮

26

## 6. 火山現象の不確かさへの今後の取り組み

- 火山現象については、歴史資料や観測データに基づき数多くの研究がなされているが、火山の噴火間隔は数百年以上にも及ぶものが多く、それぞれの火山の噴火も発生様式が一様ではなく、噴火ごとに多様性がある
- 地震や津波など他の外部事象に比べると、歴史資料や観測データが、噴火頻度、噴火様式、噴火規模を定量的に評価できるほどには蓄積されていない
- 特に火山灰の到達範囲や、気中濃度については、噴出量等に加えて大気条件（風向・風速等）に大きく影響される
- 現在の火山影響評価は、火山現象の持つ不確かさを考慮し極めて保守的な条件により安全性の確認が行われてきている
- 今後は、これらの「不確かさ」について更に検討を進めることが重要となる。

27