

### Station Year 法（S Y 法）による $10^{-6}$ 相当の確率値算出手順

単独の気象官署が蓄積しているデータは長くとも 140 年分程度であり、ここから 100 万年オーダーといった極めて再現期間の長い現象を推算することは困難である。

そこで、この問題を改善するため、S Y 法によりサンプル数を増やすことを試みた。S Y 法は、再現期間が長い確率値を推算するにあたって課題となる観測資料数の不足を補うために用いられる一般的な方法で、基準化した各地点のデータを合併して極値統計解析を行う手法である。

S Y 法の計算手順を第 1.1 図に示す。第 1.1 図では A・B・C の 3 地点におけるデータを合併する例を示したが、本調査では国内の原子力施設周辺の気象官署 32 地点におけるデータの合併を実施している。

国内の原子力施設周辺の気象官署 32 地点における観測開始年から 2025 年までの日最低気温データを S Y 法により合併し、合併したデータを基に最適極値分布を求め、これから伊方原子力発電所周辺の気象官署 2 地点（松山，宇和島）の年超過確率  $10^{-6}$  相当の極値を求め、これらの内の最大値とした。

各地点における、確率値の算出手順を以下に示す。

①各地点におけるデータ  $X_i^j$  を Gumbel 分布によりフィッティングし、この2年確率値 (M2) を確率分布の中央値、10年確率値 (M10) を確率分布の広がりとする。ここで、 $i$  はデータを大きい方から並べた順番を、 $j$  は地点を表す。

②以下の式により、各地点の M2 及び M10 からデータを基準化する。

$$Y_i^j = \frac{X_i^j - M2^j}{M10^j - M2^j}$$

③基準化したデータ  $Y_i^j$  を 32 地点分合併し、これを  $Y_i$  とする。

④Hazen プロットを用い、 $Y_i$  の最適分布  $Y_t$  を求める。

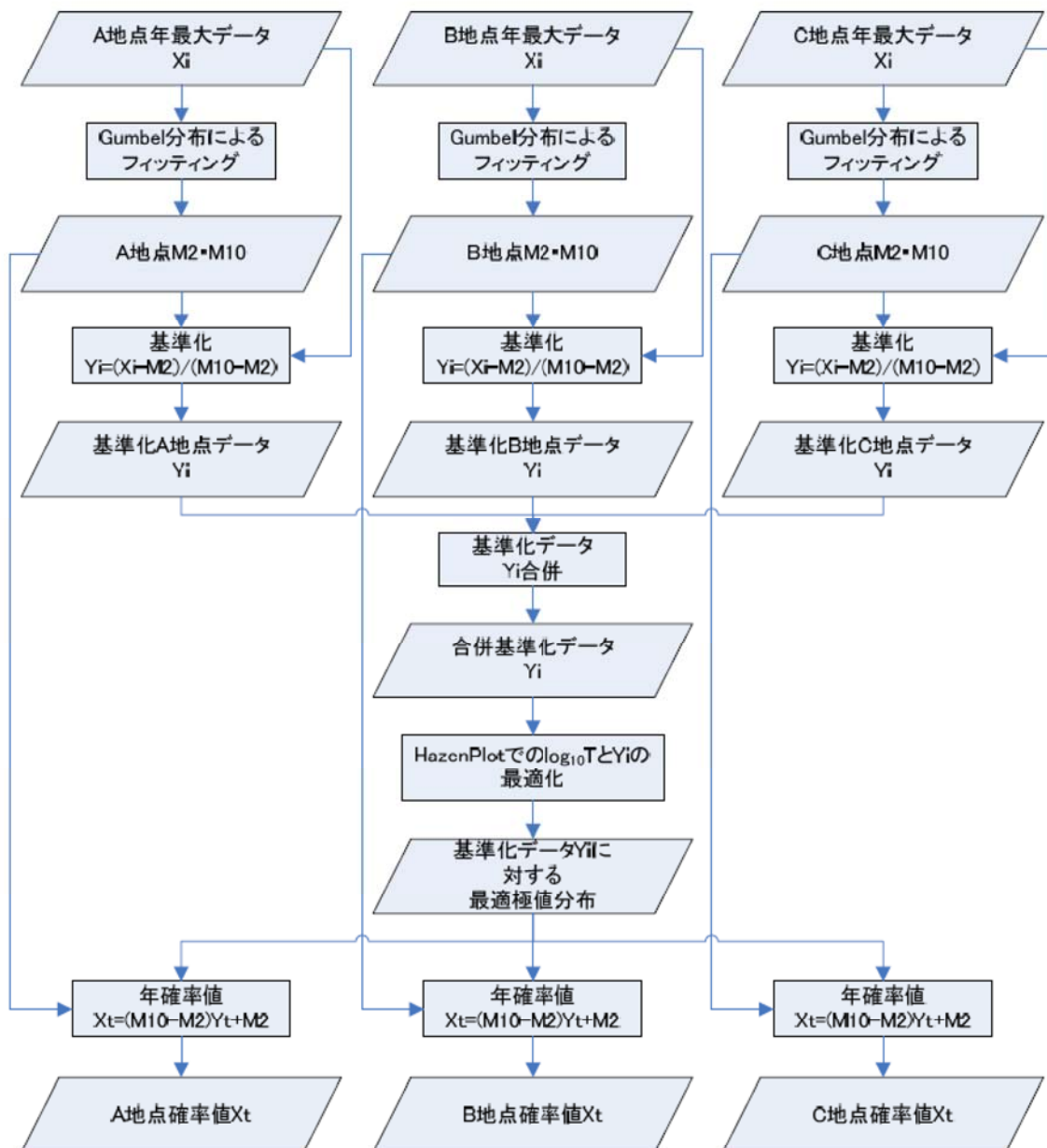
⑤各地点における確率値  $X_t^j$  を以下の式で求める。

$$X_t^j = (M10^j - M2^j)Y_t + M2^j$$

なお、気象データを収集した気象官署 32 地点は下記の通り。

<国内原子力発電所及び事業所に対応する気象官署>

寿都、小樽、函館、むつ、八戸、石巻、仙台、小名浜、大船渡、水戸、銚子、新潟、高田、御前崎、浜松、金沢、輪島、福井、呉、松山、宇和島、大分、福岡、平戸、鹿児島、阿久根、枕崎、敦賀、舞鶴、松江、米子、鳥取（合計 32 地点）



第 1.1 図 S Y 法による確率値の算出手順

## 降下火砕物に係る安全裕度評価の評価条件の設定について

平成 27 年 7 月 15 日付け原規規発第 1507151 号にて許可された設置変更許可及び平成 30 年 12 月 17 日付け原規規発第 1812178 号にて認可された伊方発電所原子炉施設保安規定（以下、これらをあわせて「既許可」という。）に基づき、敷地において考慮すべき降下火砕物の層厚を保守的に 15cm と評価している。今回の安全裕度評価では、設計上の想定である 15cm を超える層厚を仮定し、評価を実施することから、層厚以外の降下火砕物に係る安全裕度評価の評価条件を検討する。

### 1. 既許可における降下火砕物の評価条件

安全裕度評価の評価条件を検討する前に、既許可における降下火砕物の評価条件を整理する。既許可において、伊方発電所に影響を及ぼし得る火山を抽出した上で、文献調査、地質調査、降下火山灰シミュレーションを実施し、降下火砕物の評価条件を設定した。

降下火砕物の評価の概要を第 1.1 図に示す。

### 2. 安全裕度評価における降下火砕物の評価条件

前述した既許可における降下火山灰シミュレーションでは、風向の不確かさ（九重山から敷地向きの風）を考慮したケースにおいて敷地での降灰が最も厳しくなる。そこで、安全裕度評価として、この最も厳しいケースから更に層厚を増加させた場合の炉心冷却手段の限界を特定する。層厚を増加させた場合、前述の既許可の評価条件のうち、層厚に基づい



て算定される気中降下火砕物濃度も高くなる関係にある。「原子力発電所の火山影響評価ガイド」（以下「火山ガイド」という。）に示された降下火砕物の気中降下火砕物濃度の算定手法によると、既許可の気中降下火砕物濃度は、降下火山灰シミュレーションによる敷地における降下火砕物の粒径分布に基づき、粒径ごとの降灰量に応じた気中降下火砕物濃度の積算から算出されている。今回の検討において、粒径分布は層厚の増加に関わらず一定であることから、気中降下火砕物濃度は層厚と比例関係となる（第2.1図）。なお、実際は噴出量が大きくなった場合に敷地での層厚が比例倍で大きくなるわけではないものの、今回の検討にあたっては安全裕度評価として、層厚と気中降下火砕物濃度が仮想的に大きくなるケースを想定するため、敷地での降灰が噴出量に比例して厚くなるものとした。

一方、降下火山灰シミュレーションによる粒径分布は、評価地点から遠方の火山を給源とするほど細粒になる傾向がある。火山ガイドに示された気中降下火砕物濃度の算定手法によると、同じ層厚の場合には細粒分が多いほど気中降下火砕物濃度が高くなる。今回の検討のように層厚を増加させて限界を特定する場合、同じ層厚に対応する気中降下火砕物濃度が高い方が、施設への影響が大きい。そのため、敷地から見て偏西風の風上に位置する九州において、地理的領域内（敷地から160km内）に分布する発電所運用期間中の活動可能性を考慮すべき火山のうち、最も遠方に位置する阿蘇（敷地から約130km）についても、降下火砕物の層厚と気中降下火砕物濃度の関係を検討する。

阿蘇を給源とする降下火山灰シミュレーションにあたっては、まず既許可で設定したパラメータを踏襲した上で、最も厳しい不確かさケースを考慮する観点から既許可における九重山から敷地向きの風の合成方法

に倣って阿蘇から敷地向きの風を合成した上で解析を実施する（第 2.1 表）。降下火山灰シミュレーションの結果、敷地での層厚は約 3.2 cm

（第 2.2 図），気中降下火砕物濃度は  $0.8\text{g/m}^3$ （第 2.2 表）となり，層厚と気中降下火砕物濃度は第 2.3 図に示すような比例関係にある。また，第 2.1 図と第 2.3 図を比較すると，阿蘇を給源とする降下火砕物の方が同じ層厚に対する気中濃度が高くなる。

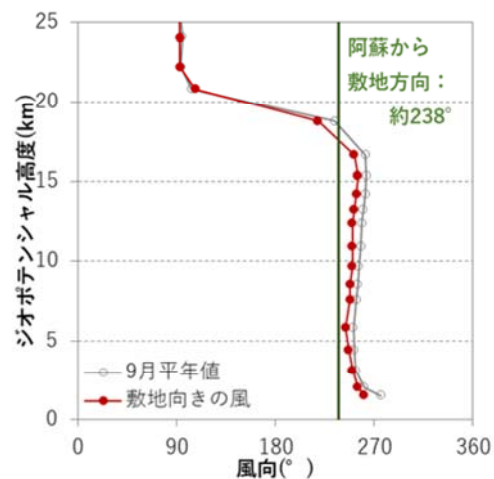
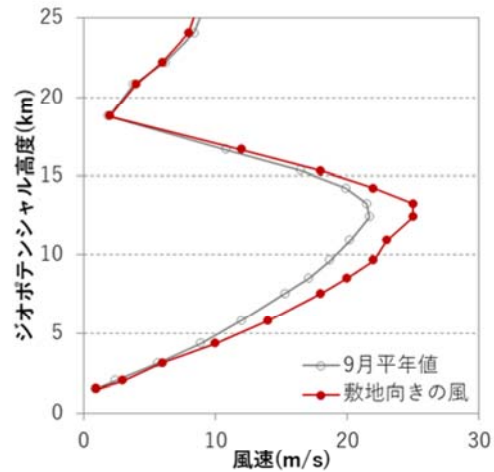
上記を踏まえ，気中降下火砕物濃度の影響を評価する場合は，降下火砕物の層厚から気中濃度を算定する際，阿蘇を給源とする降下火砕物の気中濃度が伊方発電所に影響を及ぼし得る他の火山を給源とする降下火砕物の気中濃度を包絡するため，阿蘇を給源とする降下火砕物の層厚と気中濃度の関係に基づき，安全裕度評価を実施する。

### 3. 降下火砕物の層厚の確率論的評価

既許可において参照した火山灰層厚の確率論的評価に関し，許可後，敷地に近い宇和盆地における火山灰層厚の調査結果が国際学術誌に査読論文（Tsuji et al., 2018）として公表された（第 3.1 図）。信頼性が高いとされる約 33 万年前以降のデータに基づけば，最大層厚は始良カルデラを給源とする A T 火山灰の 38 cm であり，層厚約 40 cm を超えるような降灰は認められない。大西ほか(2019)による Tsuji et al. (2018) に基づいた火山灰層厚の確率論的評価では，敷地における設計層厚 15 cm の年超過確率は  $10^{-4} \sim 10^{-5}$  であり，設計の妥当性が改めて裏付けられるとともに，敷地における層厚約 40 cm の年超過確率は  $10^{-5} \sim 10^{-6}$  程度と極低頻度の事象である（第 3.2 図）。

第 2.1 表 阿蘇から敷地向きの風を想定した  
降下火山灰シミュレーションのパラメータ

| パラメータ               | 単位               | 値                  |
|---------------------|------------------|--------------------|
| 噴出量                 | km <sup>3</sup>  | 2.39               |
| 噴煙柱高度               | m                | 25000              |
| 平均粒径                | mm               | 1/2 <sup>4.5</sup> |
| 粒径分散                | mm               | 1/2 <sup>3.0</sup> |
| 給源（北緯）              | -                | 32° 53' 1"         |
| 給源（東経）              | -                | 131° 5' 49"        |
| 給源（標高）              | m                | 1506               |
| Fall Time Threshold | s                | 3600               |
| 岩石密度                | t/m <sup>3</sup> | 2.6                |
| 軽石粒子密度              | t/m <sup>3</sup> | 1.0                |
| 拡散係数                | -                | 200                |
| 渦拡散係数               | -                | 0.04               |
| 最大粒径                | mm               | 1/2 <sup>-10</sup> |
| 最小粒径                | mm               | 1/2 <sup>10</sup>  |
| 風向                  | m/s              | 敷地<br>向きの風         |
| 風速                  | °                |                    |



第 2.2 表 阿蘇から敷地向きの風を想定した敷地の気中降下火砕物濃度

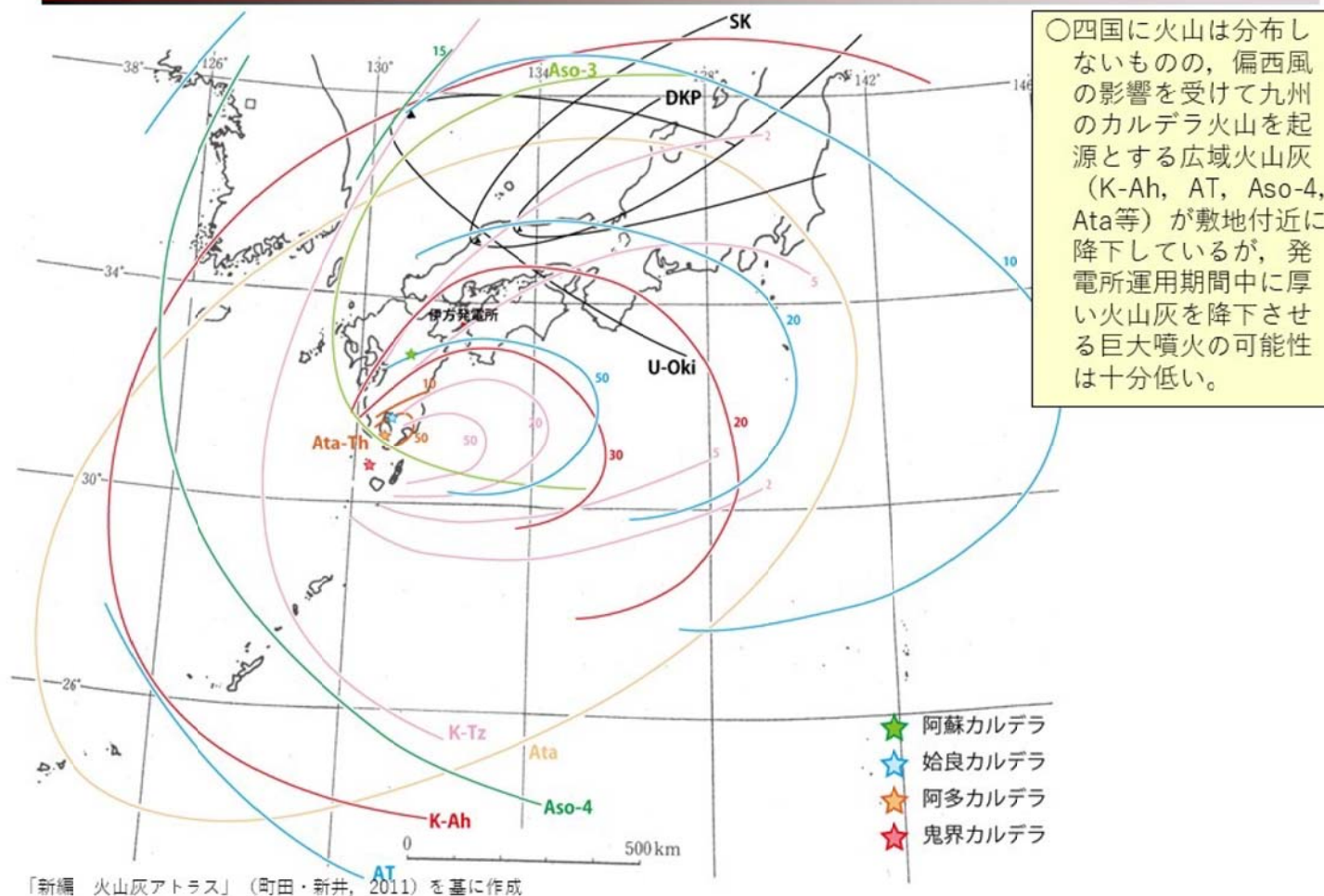
| 入力条件/計算結果          |                        | 備 考                            |
|--------------------|------------------------|--------------------------------|
| 想定層厚               | 3.2cm                  | 想定層厚                           |
| 総降灰量 $W_T$         | 32,000g/m <sup>2</sup> | 想定層厚×降下火砕物密度1g/cm <sup>3</sup> |
| 降灰継続時間 $t$         | 24h                    | Carey and Sigurdsson(1989)参考   |
| 粒径 $i$ の割合 $p_i$   | 下表参照                   |                                |
| 粒径 $i$ の降灰量 $W_i$  |                        |                                |
| 粒径 $i$ の堆積速度 $v_i$ |                        |                                |
| 粒径 $i$ の終端速度 $r_i$ |                        |                                |
| 粒径 $i$ の気中濃度 $C_i$ |                        |                                |
| 気中降下火砕物濃度 $C_T$    | 0.8g/m <sup>3</sup>    | 計算結果を保守的に切り上げ                  |

| 粒径 $i$ $\phi$<br>( $\mu$ m)         | -1~0<br>(1,414) | 0~1<br>(707)         | 1~2<br>(354)      | 2~3<br>(177)      | 3~4<br>(88)       | 4~5<br>(44)          | 5~6<br>(22)          | 6~7<br>(11)          | 合 計          |
|-------------------------------------|-----------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|
| 割合 $P_i$<br>(wt%)                   | 0.00            | 0.02                 | 23.03             | 61.09             | 13.02             | 2.60                 | 0.23                 | 0.01                 | 100          |
| 降灰量 $W_i$<br>(g/m <sup>2</sup> )    | 0               | $5.4 \times 10^0$    | $7.4 \times 10^3$ | $2.0 \times 10^4$ | $4.2 \times 10^3$ | $8.3 \times 10^2$    | $7.4 \times 10^1$    | $2.6 \times 10^0$    | $W_T=32,000$ |
| 堆積速度 $v_i$<br>(g/s・m <sup>2</sup> ) | 0               | $6.3 \times 10^{-5}$ | 0.09              | 0.23              | 0.05              | $9.6 \times 10^{-3}$ | $8.5 \times 10^{-4}$ | $3.0 \times 10^{-5}$ | —            |
| 終端速度 $r_i$<br>(m/s)                 | 2.5             | 1.8                  | 1.0               | 0.5               | 0.35              | 0.1                  | 0.03                 | 0.01                 | —            |
| 気中濃度 $C_i$<br>(g/m <sup>3</sup> )   | 0.00            | 0.00                 | 0.09              | 0.45              | 0.14              | 0.10                 | 0.03                 | 0.00                 | $C_T=0.80$   |



## 評価に用いる降下火砕物の厚さ①<文献調査(1/3)>

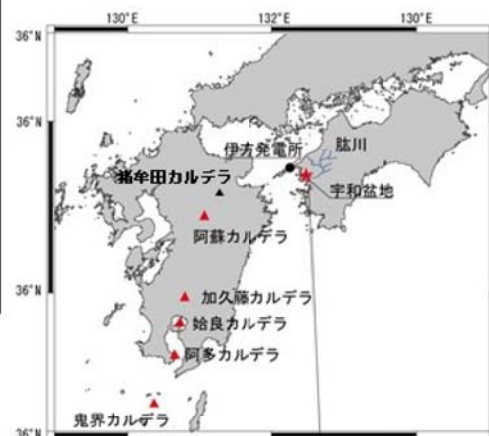


第 1.1 図(1) 既許可における降下火砕物の評価の概要



## 評価に用いる降下火砕物の厚さ②<文献調査(2/3)>

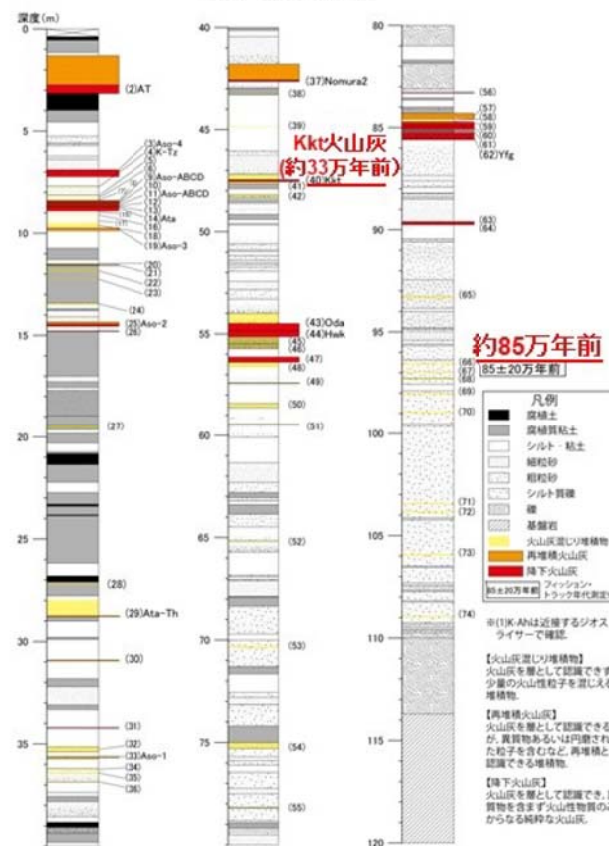
○町田・新井(2011)等で四国西部に降下したとされるKkt火山灰(約33万年前)以降の主要な広域火山灰はすべて本コア中に含まれており、地理的領域外の火山を含めた九州のカルデラ火山による広域火山灰の信頼性の高い地質データである。



### 【評価】

○厚さ5cmを超える降下火山灰はいずれも九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰であり、地下構造に関する文献調査によると現在の九州のカルデラ火山のマグマ溜まりは巨大噴火直前の状態ではないため、発電所運用期間中に同規模の噴火の可能性は十分低く、これらの降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価する。

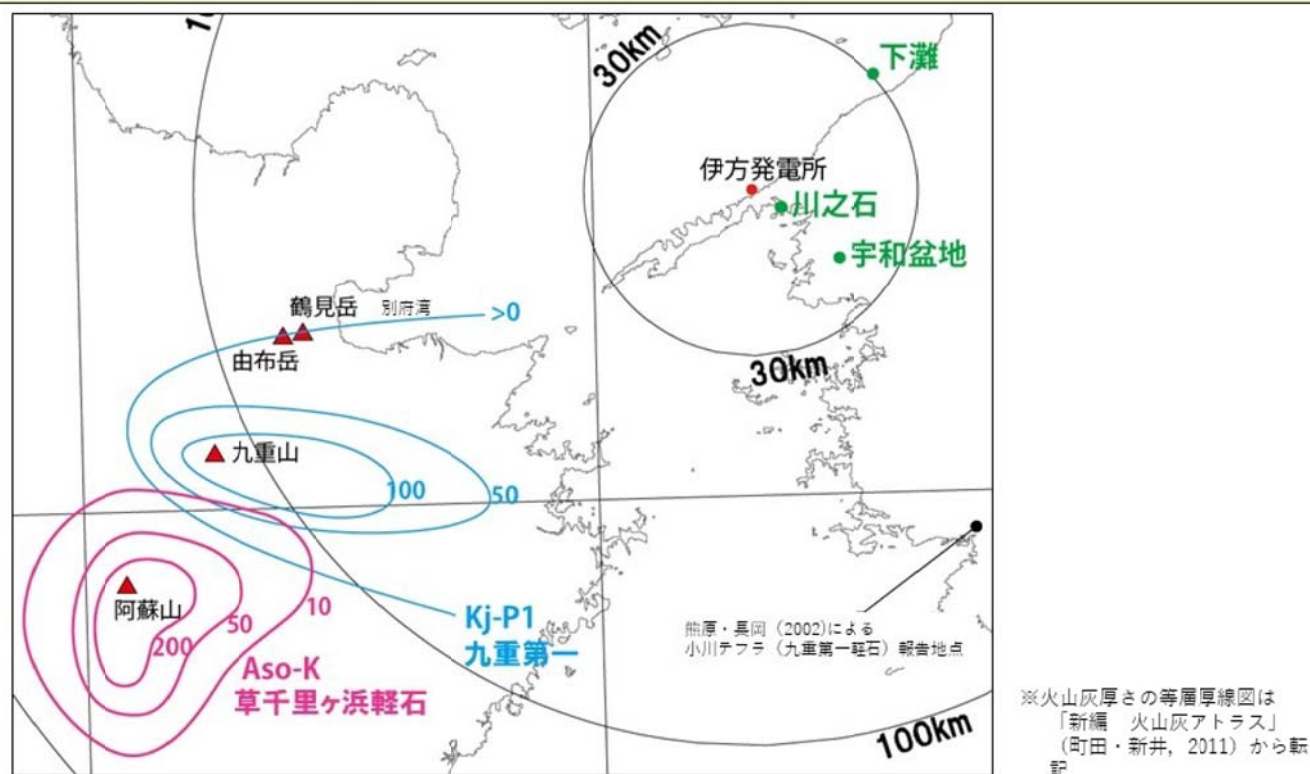
### コア柱状図



第 1.1 図(2) 既許可における降下火砕物の評価の概要

## 評価に用いる降下火砕物の厚さ③<文献調査(3/3)>

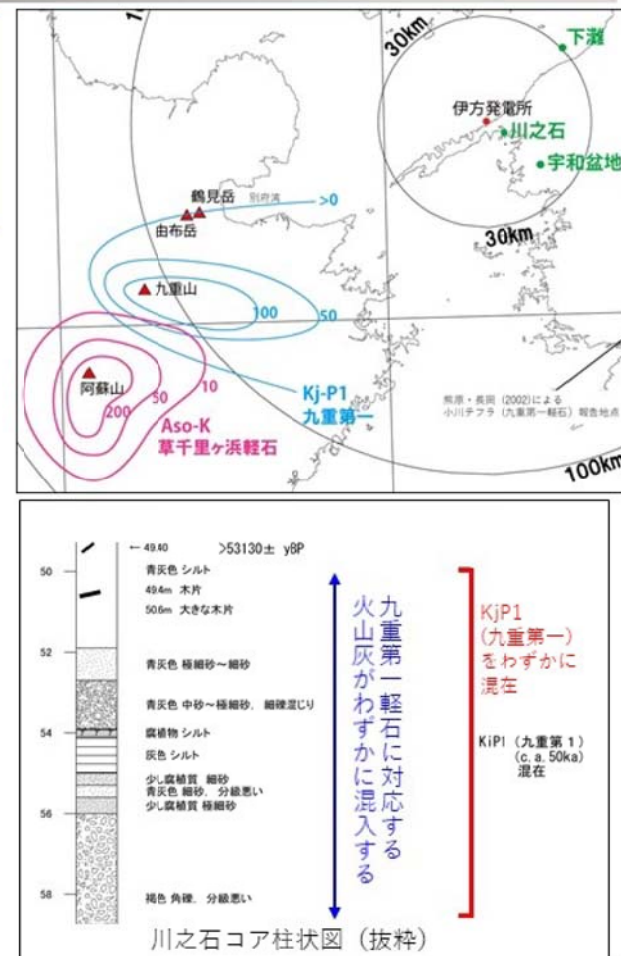
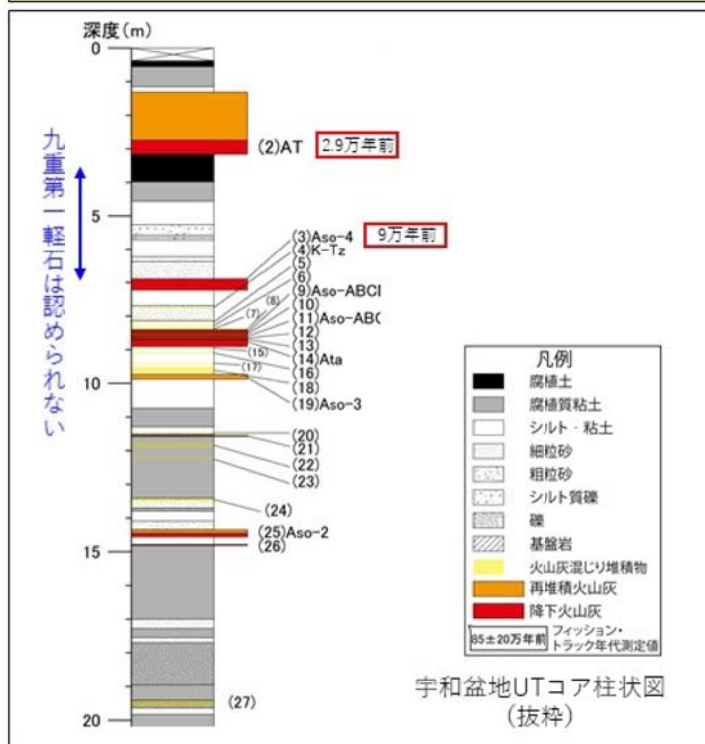
○「新編 火山灰アトラス」(町田・新井, 2011)によると, 地理的領域内の火山による降下火山灰の等層厚線図として, 九重山を給源とする九重第一軽石(約5万年前)と阿蘇山を給源とする草千里ヶ浜軽石(約3万年前)が示されている。九重第一軽石は東南東方向に細長い分布を示し, 四国南西端の宿毛市で火山灰の報告がある(熊原・長岡, 2002)。一方, 草千里ヶ浜軽石は阿蘇山を中心とする同心円状の分布を示し, 四国における報告はみられない。



第 1.1 図(3) 既許可における降下火砕物の評価の概要

## 評価に用いる降下火砕物の厚さ④<地質調査>

○川之石港では九重第一軽石（50ka）に対応する火山灰がわずかに（肉眼観察できないほど微量）混入するが、宇和盆地の連続した細粒堆積物中に九重第一軽石と対応する火山灰層は認められない。既存文献に示された通り、九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり、敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される。



第 1.1 図(4) 既許可における降下火砕物の評価の概要



## 評価に用いる降下火砕物の厚さ⑤<降下火山灰シミュレーション(1/2)>

○約5万年前の九重第一軽石は当時の気象条件に応じて東南東方向へ火山灰が降下したが、同様の噴火が起こった時に現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを検討する。

■解析コード：Tephra2（移流拡散モデル）

■用いたパラメータ

| イベント名  | パラメータ               |                  | 単位              | 値                  | 設計資料等                                                          |
|--------|---------------------|------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------------------------------------|
| 九重第一軽石 | 噴出量                 | 基本(1)            | km <sup>3</sup> | 2.03               | 須藤ほか(2007)による九重第一軽石の噴出量2.03km <sup>3</sup> より設定                |
|        |                     | 基本(2)            | km <sup>3</sup> | 6.2                | 長岡・奥野(2014)による九重第一軽石の噴出量6.2km <sup>3</sup> を参照して設定             |
|        | 噴煙柱高度               |                  | m               | 25000              | 下鶴ほか編(2008)によるVEI5の噴煙柱高度(25km<)より設定                            |
|        | 平均粒径                |                  | mm              | 1/2 <sup>4.5</sup> | Tephra2推奨値(プリニー式噴火, 1980年セントヘレンズVEI5: 1/2 <sup>4.5</sup> )より設定 |
|        | 粒径分散                |                  | mm              | 1/2 <sup>3.0</sup> | Tephra2推奨値(プリニー式噴火, 1980年セントヘレンズVEI5: 1/2 <sup>3.0</sup> )より設定 |
|        | 給源(北緯)              | -                |                 | 33° 5' 9"          | 日本活火山総覧(第4版)(気象庁, 2013)より設定                                    |
|        | 給源(東経)              | -                |                 | 131° 14' 56"       |                                                                |
|        | 給源(標高)              | m                |                 | 1791               |                                                                |
|        | Fall Time Threshold |                  | s               | 3600               | 萬年(2013)より設定                                                   |
|        | 岩石密度                | t/m <sup>3</sup> |                 | 2.6                | Tephra2推奨値より設定                                                 |
|        | 軽石粒子密度              | t/m <sup>3</sup> |                 | 1.0                | Tephra2推奨値より設定                                                 |
|        | 拡散係数                | -                |                 | 200                | Tephra2初期値, 萬年(2013)より設定                                       |
|        | 渦拡散係数               | -                |                 | 0.04               | Suzuki(1983)より設定                                               |
|        | 最大粒径                | mm               |                 | 1/2 <sup>-10</sup> | Tephra2推奨値(珪長質:-10)より設定                                        |
|        | 最小粒径                | mm               |                 | 1/2 <sup>10</sup>  | Tephra2推奨値(珪長質:10)より設定                                         |
|        | 風向                  | m/s              | 月別平年値           |                    | 福岡における高層気象観測データ(「高層気象観測年報」収録)より設定※                             |
|        | 風速                  | °                | 月別平年値           |                    | 福岡における高層気象観測データ(「高層気象観測年報」収録)より設定※                             |

※福岡と鹿児島に高層の風データがあり、両者に大きな差がないことを確認したうえで福岡の風データを使用

■解析方針

1月～12月の月別平年値の風による敷地での降下火山灰厚さを評価する。12か月の中で敷地で最も厚い火山灰厚さとなる月の風を用いたシミュレーションを保守的に基本ケースとし、さらに各種の不確かさを考慮して敷地における火山灰厚さへの影響について検討する。

- ①風速±1σ(風速のばらつきによる影響を検討)
- ②ばらつきを考慮して風向を敷地方向へ近づける(風向のばらつきによる影響を検討)
- ③噴煙柱高さ±5km(噴煙柱の高低による影響を検討)

■解析方針

九重第一軽石の等層厚線図と解析結果を比較する。

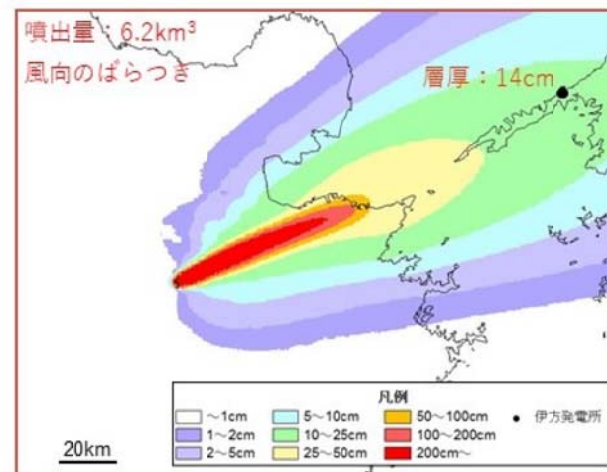
第 1.1 図(5) 既許可における降下火砕物の評価の概要



## 評価に用いる降下火砕物の厚さ⑥<降下火山灰シミュレーション(2/2)>

| 計算結果一覧<br>(九重第一軽石)      |           | 基本<br>ケース(1)<br>噴出量2.03km <sup>3</sup> | 基本<br>ケース(2)<br>噴出量6.2km <sup>3</sup> |       |
|-------------------------|-----------|----------------------------------------|---------------------------------------|-------|
| 基本ケース<br>の選定<br>(月別平年値) | 1月        | 0.0cm                                  | 0.1cm                                 |       |
|                         | 2月        | 0.0cm                                  | 0.1cm                                 |       |
|                         | 3月        | 0.0cm                                  | 0.1cm                                 |       |
|                         | 4月        | 0.1cm                                  | 0.3cm                                 |       |
|                         | 5月        | 0.2cm                                  | 0.6cm                                 |       |
|                         | 6月        | 0.6cm                                  | 1.9cm                                 |       |
|                         | 7月        | 1.1cm                                  | 3.2cm                                 |       |
|                         | 8月        | 0.8cm                                  | 2.5cm                                 |       |
|                         | 9月(基本)    | 2.2cm                                  | 6.8cm                                 |       |
|                         | 10月       | 0.2cm                                  | 0.8cm                                 |       |
|                         | 11月       | 0.1cm                                  | 0.2cm                                 |       |
|                         | 12月       | 0.0cm                                  | 0.1cm                                 |       |
| 不確かさ<br>の考慮             | 風速        | + 1 $\sigma$                           | 1.6cm                                 | 4.8cm |
|                         |           | - 1 $\sigma$                           | 1.4cm                                 | 4.4cm |
|                         | 風向        | 伊方向き                                   | 4.7cm                                 | 14cm  |
|                         | 噴煙柱<br>高さ | - 5km(20km)                            | 2.1cm                                 | 6.3cm |
|                         |           | + 5km(30km)                            | 2.3cm                                 | 7.1cm |

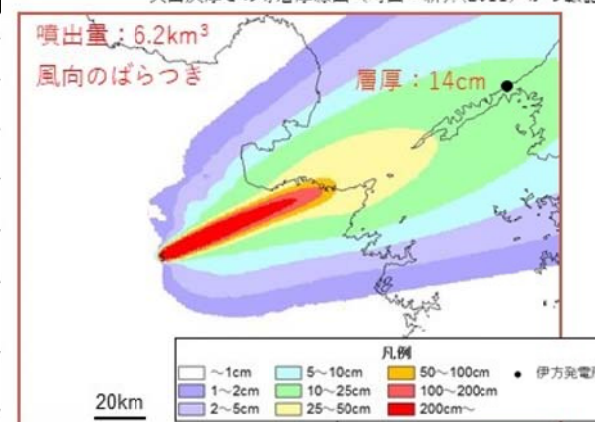
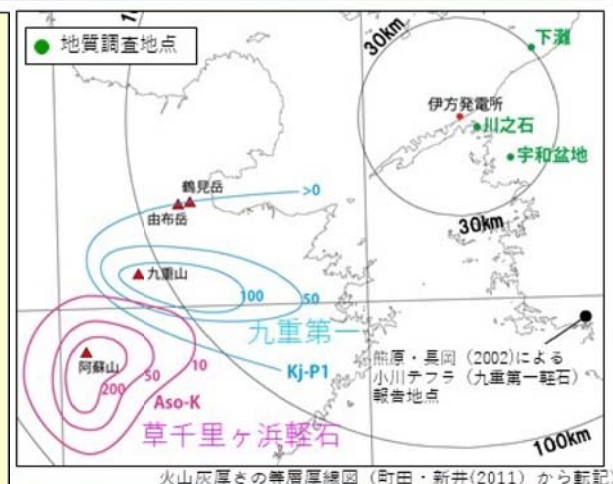
- 九重第一軽石の降下火山灰シミュレーションによると、ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価され、各種の不確かさを考慮すると敷地において**最大4.7cm**と評価される。なお、九重第一軽石の等層厚線図と解析結果を比較すると、四国南西方まで降下厚さ10cmの領域が細長く伸びることから給源から遠方（敷地相当）への火山灰到達を概ね再現できているものの、給源付近の降下厚さについてはやや小さい傾向がある。
- そこで、噴出量を既存の知見より大きく6.2km<sup>3</sup>とした場合の解析を行った結果、ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さは0～数cmと評価され、各種の不確かさを考慮すると敷地において**最大14cm**と評価される。なお、九重第一軽石の等層厚線図と解析結果を比較すると、基本ケースとして選定した9月について、給源付近の降下厚さ50cm以上の到達距離がよく一致する。



第 1.1 図(6) 既許可における降下火砕物の評価の概要

## 評価に用いる降下火砕物の厚さ⑦<まとめ>

- 地理的領域内の火山のうち九重山を給源とする九重第一軽石は東南東方向に細長い分布を示し、純層ではないものの四国南西端の宿毛市で火山灰の報告がある。
- 地質調査の結果、既存文献に示された通り、九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり、敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される。また、九重第一軽石と同等の噴火が起こった時に、現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを降下火山灰シミュレーションによって検討した結果、ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価される。
- ただし、同規模の噴火時に風向きによっては敷地において厚さ数cmの降下火山灰が想定され、さらに既存の知見よりも噴出量を大きく見積もると十数cmの降下火山灰が想定される。
- 原子力安全に対する信頼向上の観点から、既存の知見を上回る噴出量を考慮し、敷地において考慮すべき降下火砕物の厚さを保守的に15cmと評価する。



|                       |         |                      |                      |
|-----------------------|---------|----------------------|----------------------|
| 敷地からの距離               |         | 108km                |                      |
| イベント名                 |         | 九重第一軽石               |                      |
| イベント年代                |         | 50ka                 |                      |
| 地質調査に基づく敷地付近の火山灰厚さ    |         | ほぼ0cm                |                      |
| 噴出量                   |         | 2.03km <sup>3</sup>  | 6.2km <sup>3</sup>   |
| 降下火山灰シミュレーションによる火山灰層厚 | 月別平年値の風 | 平均0.5cm<br>(最大2.2cm) | 平均1.5cm<br>(最大6.9cm) |
|                       | 不確かさの考慮 | 最大4.7cm              | 最大14.0cm             |

第 1.1 図(7) 既許可における降下火砕物の評価の概要

## 評価に用いる降下火砕物の粒度及び密度

### 粒度

#### 【文献調査結果】

敷地に最も影響の大きい降灰イベントである九重第一軽石について、九重山から約130kmの高知県宿毛市における粒度が0.5mm以下であり、一般に噴出源から離れるほど火山灰の粒度が細粒となることを踏まえれば、九重山から約108kmの距離に位置する敷地において九重第一軽石に相当する火山灰が降下する場合の粒径は1mm以下が主体と評価される。

#### 【地質調査結果】

敷地は火山と離隔があり、地質調査結果に基づき、厚さ1cm～数十cmまで各種の厚さ（噴火規模）の火山灰のいずれも粒度は1mm以下主体と評価される。

#### 【設備への影響】

設備影響評価において、降下火砕物の粒径によって懸念されるのは「水循環系の閉塞」による影響である。海水取水系統には各段階に除塵装置、ストレーナがあり、これらが目詰まりした場合は清掃等を実施することとしており、各設備に影響を及ぼさないようにしている。1mmを超える降下火砕物があっても設備影響評価が変わるものではない。



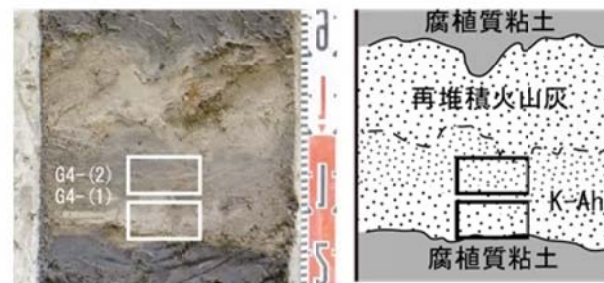
#### 【降下火砕物の評価条件】

- a. 評価条件の検討  
「粒径は1mm以下が主体」
- b. 評価条件の設定  
「粒径1mm以下と設定」

### 密度

- 宇和盆地において最上位のK-Ah火山灰の密度試験を実施した。K-Ah火山灰は約7千年前の降下であるため、ときほぐして降下直後の状態に調整した試料の密度試験も実施した。
- ときほぐした試料の密度試験結果は、乾燥状態で0.665g/cm<sup>3</sup>、湿潤状態で1.323g/cm<sup>3</sup>である。
- 上記の密度試験結果を包含するように、火山灰の密度を、乾燥状態で0.5g/cm<sup>3</sup>、湿潤状態で1.5g/cm<sup>3</sup>として設備の影響評価を行う。

K-Ah火山灰試料採取位置（G4ジオスライサー）



|        | ときほぐした<br>試料 (g/cm <sup>3</sup> ) |       | <参考><br>不攪乱試料 (g/cm <sup>3</sup> ) |       |
|--------|-----------------------------------|-------|------------------------------------|-------|
|        | 乾燥                                | 湿潤    | 乾燥                                 | 湿潤    |
| G4-(2) | 0.698                             | 1.359 | 0.842                              | 1.423 |
| G4-(1) | 0.632                             | 1.286 | 0.890                              | 1.417 |
| 平均     | 0.665                             | 1.323 | 0.866                              | 1.420 |

第1.1図(8) 既許可における降下火砕物の評価の概要



## 評価に用いる降下火砕物の気中濃度

○火山ガイドにおける「a. 降灰継続時間を仮定して降灰量から気中降下火砕物濃度を推定する手法」により気中降下火砕物濃度を右表の通り設定する。

| 入力条件/計算結果          |                         | 備 考                            |
|--------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 設計層厚               | 15cm                    | 設置（変更）許可を得た設計層厚                |
| 総降灰量 $W_T$         | 150,000g/m <sup>2</sup> | 設計層厚×降下火砕物密度1g/cm <sup>3</sup> |
| 降灰継続時間 $t$         | 24h                     | Carey and Sigurdsson(1989)参考   |
| 粒径 $i$ の割合 $p_i$   | 下表参照                    | Tephra2による粒径分布の計算値             |
| 粒径 $i$ の降灰量 $W_i$  |                         | 式①                             |
| 粒径 $i$ の堆積速度 $v_i$ |                         | 式②                             |
| 粒径 $i$ の終端速度 $r_i$ |                         | Suzuki(1983)参考                 |
| 粒径 $i$ の気中濃度 $C_i$ |                         | 式③                             |
| 気中降下火砕物濃度 $C_T$    | 3.1g/m <sup>3</sup>     | 式④による計算結果を保守的に切り上げ             |

### 【降下火砕物の気中濃度の算定方法】

- ① 粒径 $i$ の降灰量 :  $W_i = p_i W_T$  ( $p_i$ : 粒径 $i$ の割合,  $W_T$ : 総降灰量)  
 ② 粒径 $i$ の堆積速度 :  $v_i = \frac{W_i}{t}$  ( $t$ : 降灰継続時間)  
 ③ 粒径 $i$ の気中濃度 :  $C_i = \frac{v_i}{r_i}$  ( $r_i$ : 粒径 $i$ の降下火砕物の終端速度)  
 ④ 気中降下火砕物濃度 :  $C_T = \sum C_i$

|    | 粒径 $i$ $\phi$<br>( $\mu\text{m}$ ) | -1~0<br>(1,414) | 0~1<br>(707)         | 1~2<br>(354)      | 2~3<br>(177)      | 3~4<br>(88)       | 4~5<br>(44)          | 5~6<br>(22)          | 6~7<br>(11)          | 合 計           |
|----|------------------------------------|-----------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| -  | 割合 $p_i$ (wt%)                     | 0               | $1.4 \times 10^{-2}$ | 52.19             | 37.13             | 8.83              | 1.71                 | 0.12                 | $4.2 \times 10^{-3}$ | 100           |
| 式① | 降灰量 $W_i$ (g/m <sup>2</sup> )      | 0               | $2.1 \times 10^4$    | $7.8 \times 10^4$ | $5.6 \times 10^4$ | $1.3 \times 10^4$ | $2.6 \times 10^3$    | $1.8 \times 10^2$    | 6.3                  | $W_T=150,000$ |
| 式② | 堆積速度 $v_i$ (g/s・m <sup>2</sup> )   | 0               | $2.4 \times 10^{-4}$ | 0.91              | 0.64              | 0.15              | $3.0 \times 10^{-2}$ | $2.1 \times 10^{-3}$ | $7.3 \times 10^{-5}$ | -             |
| -  | 終端速度 $r_i$ (m/s)                   | 2.5             | 1.8                  | 1.0               | 0.5               | 0.35              | 0.1                  | 0.03                 | 0.01                 | -             |
| 式③ | 気中濃度 $C_i$ (g/m <sup>3</sup> )     | 0.0             | $1.4 \times 10^{-4}$ | 0.91              | 1.29              | 0.44              | 0.30                 | 0.07                 | $7.3 \times 10^{-3}$ | $C_T=3.01$    |

第 1.1 図 (9) 既許可における降下火砕物の評価の概要



## 年超過確率の参照

○宇和盆地における調査結果（約85万年前以降に66枚の火山灰層）から火山灰の降下厚さの年超過確率について検討した。敷地において考慮する火山灰厚さ15cmは年超過確率 $10^{-4}$ ～ $10^{-5}$ の発生頻度である。

＜発電用軽水炉型原子炉施設に係る新規規制基準骨子＞より抜粋

「設計基準事故」とは、「運転時の異常な過渡変化」を超える異常な状態であって、発生する頻度はまれではあるが、原子炉施設の安全設計の観点から想定するものをいう。

### ご意見の概要

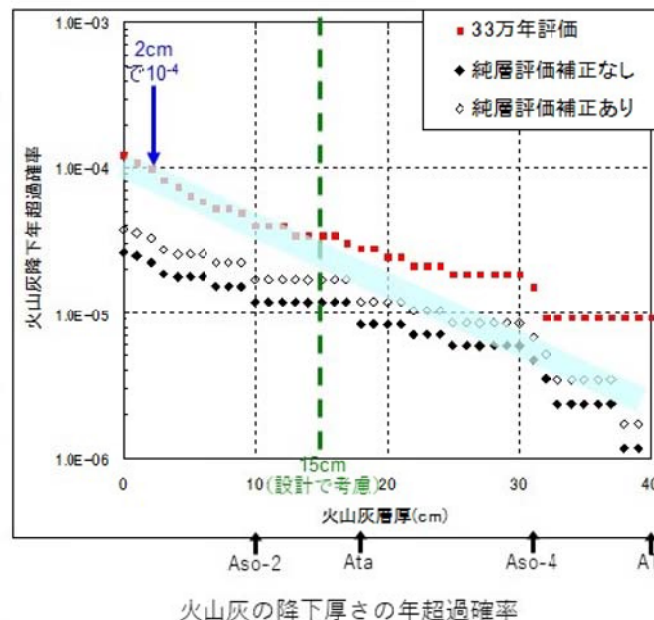
「設計基準事故」の定義は、曖昧であり、一般にも分かり易い記述が必要である。

設計基準事故の定義における「発生頻度はまれ」とする一方、シビアアクシデントの定義には「発生する頻度が極めてまれ」とある。「まれ」と「極めてまれ」の違いが明確にされていないと、恣意的判断が入り、規制の客観性と一貫性が保たれないおそれがある。

### 考え方

「設計基準事故」の定義については、従来の安全設計評価指針における「事故」を「設計基準事故」と書き換えたものです。設計基準事故は、「原子炉施設の寿命期間中に予想される」頻度の運転時の異常な過渡変化よりもさらに低頻度のものであり、「プラントの寿命中にまれではあるが発生し得るもの」とされています。このため、プラント寿命中に1回の頻度が $10^{-1}$ /年～ $10^{-2}$ /年となることを踏まえ、**設計基準事故については、それよりも低頻度であることから、 $10^{-3}$ /年～ $10^{-4}$ /年程度の発生頻度を念頭においています。**また、シビアアクシデントに至る事故の発生頻度はさらに低いものと考えています。

発電用軽水炉型原子炉施設に係る新安全基準骨子案に対する意見募集の結果  
(平成25年4月3日 原子力規制庁 技術参事課)より抜粋



※33 万年評価は薄い火山灰層の評価に達しており、純層評価は年超過確率の下限を示して厚い火山灰層の評価に達していると考えられる。

第 1.1 図(10) 既許可における降下火砕物の評価の概要

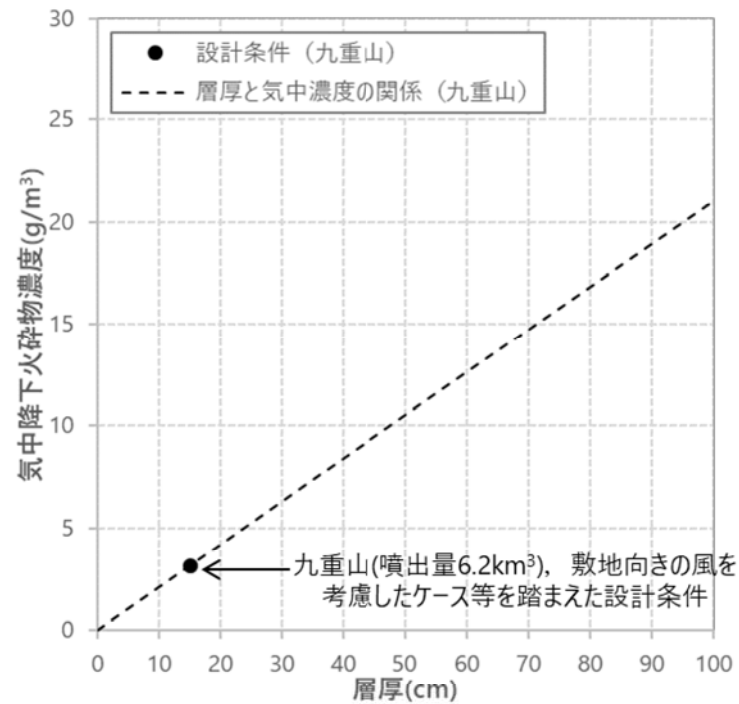
## 評価に用いる降下火砕物のまとめ

○伊方発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象として降下火砕物が抽出され、地質調査結果等に基づき、評価条件は以下の通りとする。

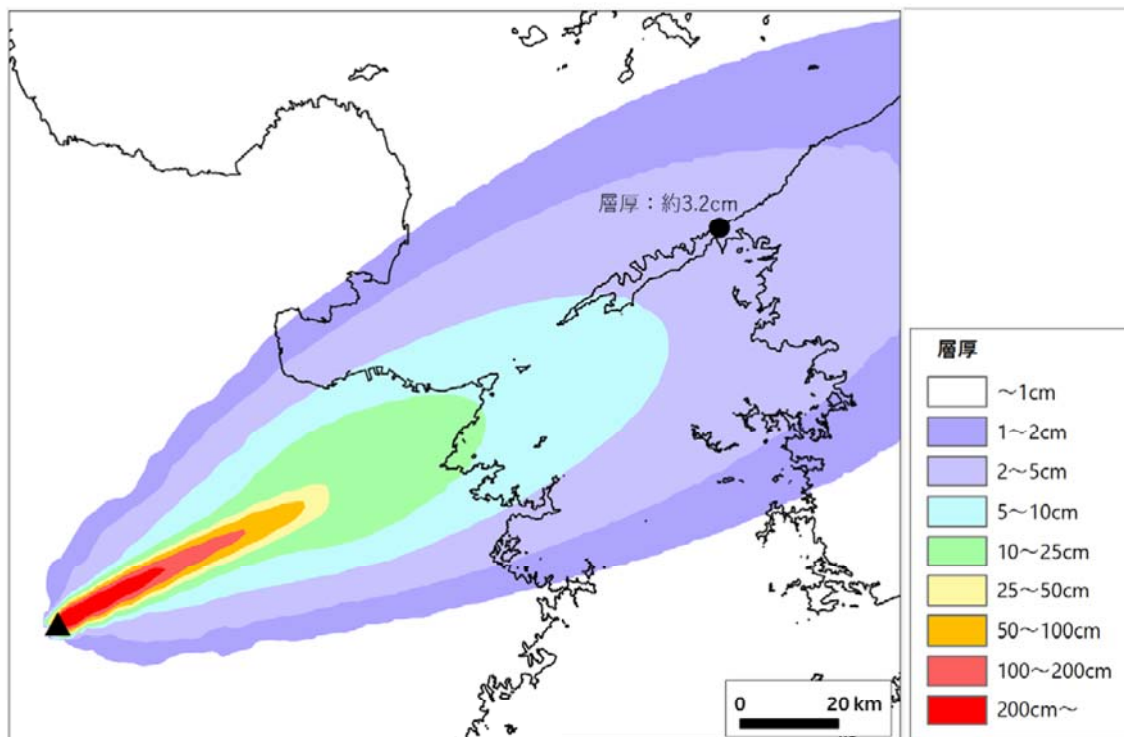
### 降下火砕物の評価条件

|               |                                                                  |
|---------------|------------------------------------------------------------------|
| ➤降下火砕物の厚さ     | 15cm                                                             |
| ➤降下火砕物の粒度（粒径） | 1mm以下主体                                                          |
| ➤降下火砕物の密度     | 乾燥状態      湿潤状態<br>0.5g/cm <sup>3</sup> ~    1.5g/cm <sup>3</sup> |
| ➤降下火砕物の気中濃度   | 3.1g/m <sup>3</sup>                                              |

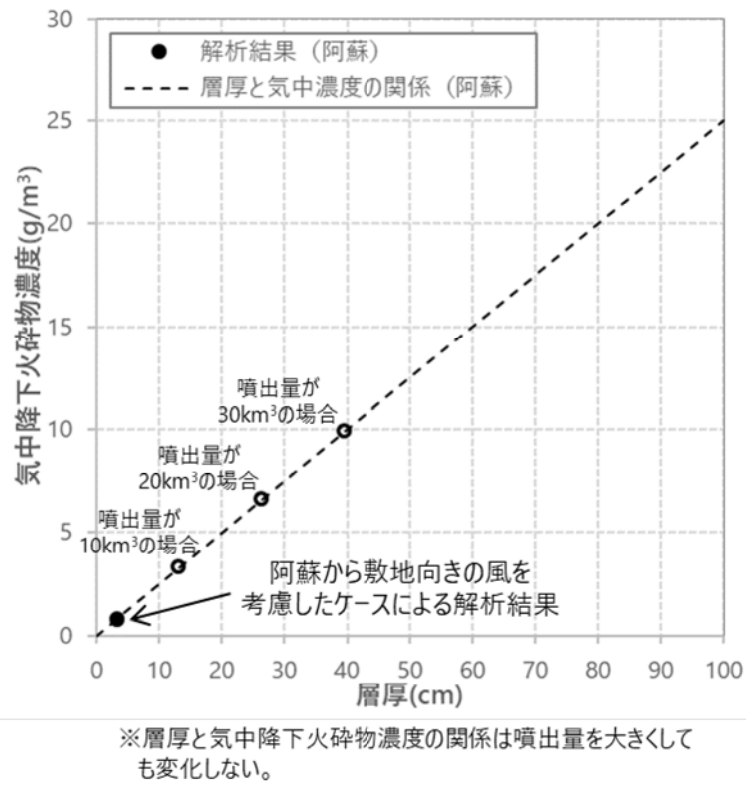
第 1.1 図(11) 既許可における降下火砕物の評価の概要



第 2.1 図 九重山を給源とする敷地の層厚と気中降下火砕物濃度の関係

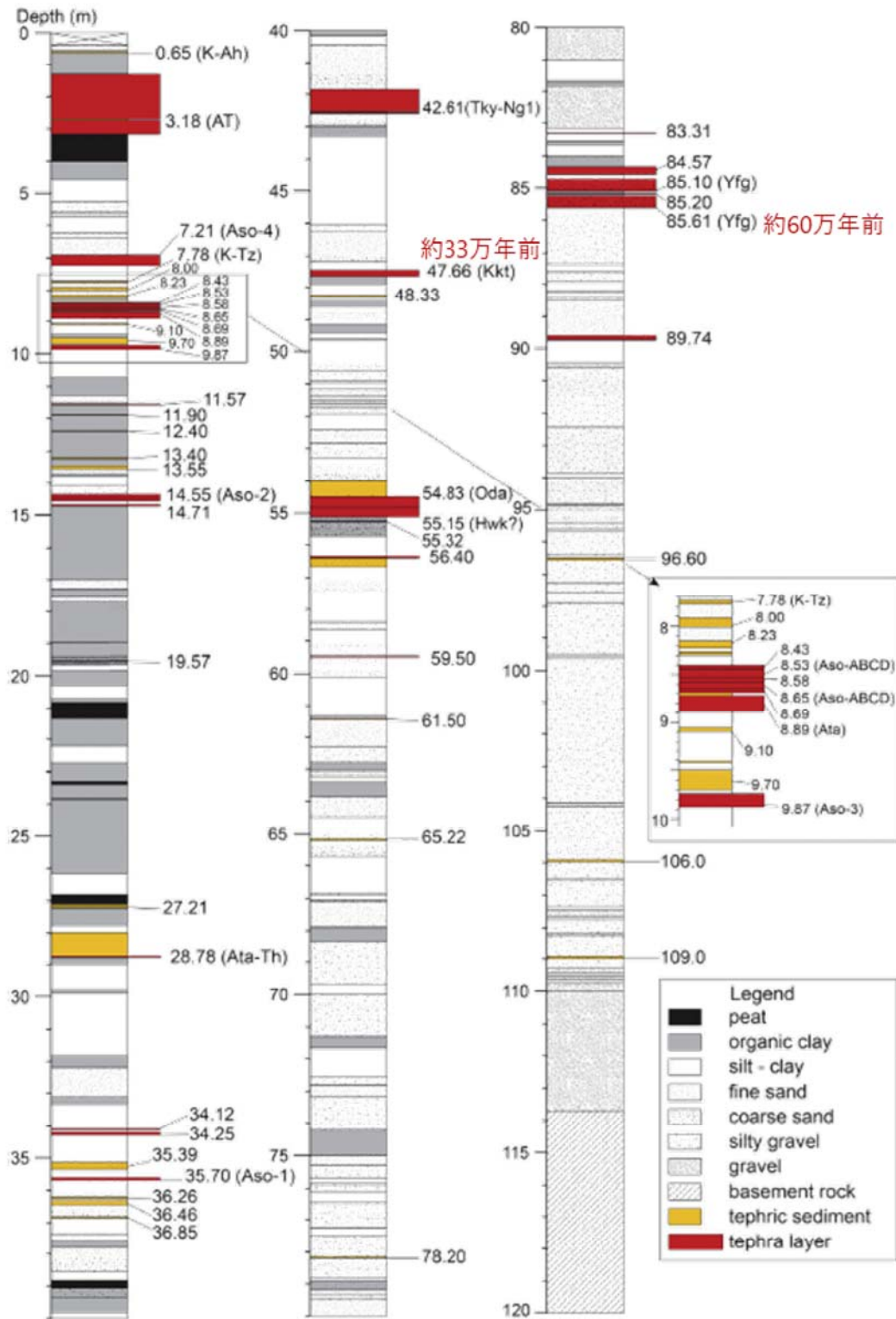


第 2.2 図 阿蘇から敷地向きの風を想定した  
降下火山灰シミュレーション結果



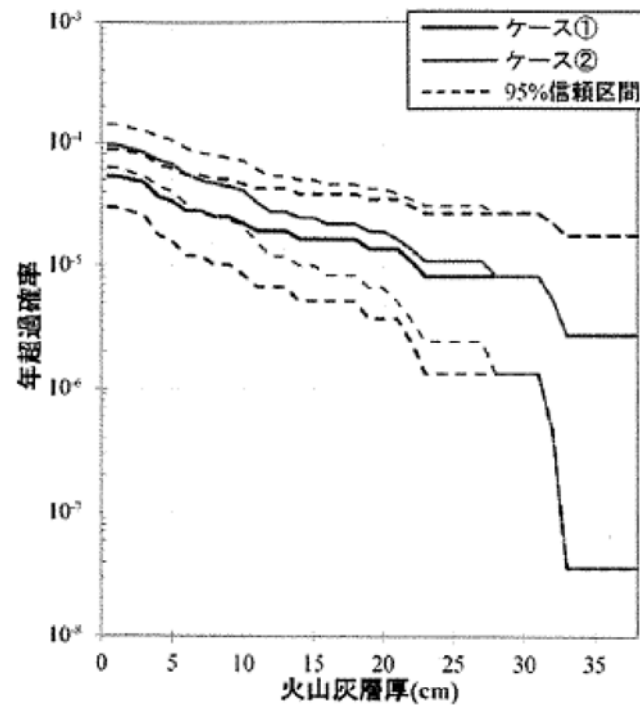
第 2.3 図 阿蘇を給源とする敷地の層厚と気中降下火砕物濃度の関係



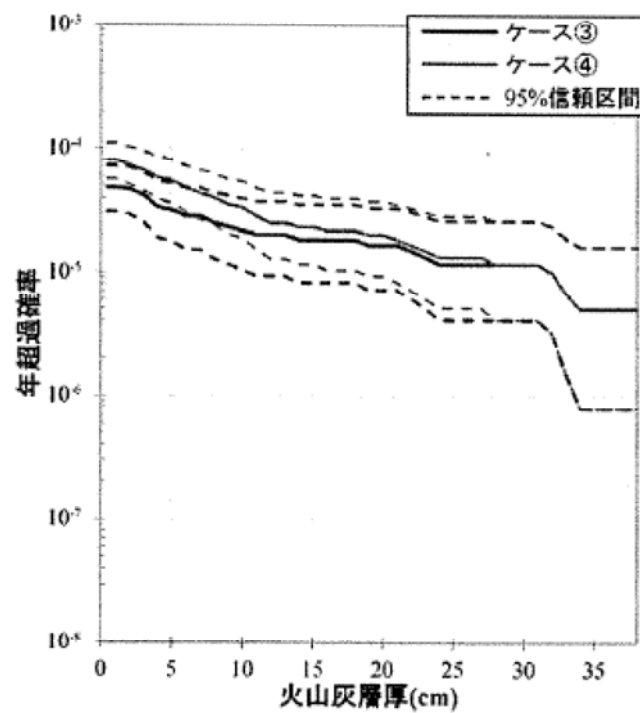


Tsuji et al.(2018)に一部加筆

第 3.1 図 宇和盆地におけるボーリング柱状図



図一6 35万年評価の火山灰ハザードカーブ



図一7 60万年評価の火山灰ハザードカーブ

第 3.2 図 Tsuji et al. (2018)によるデータを用いた  
火山灰層厚の確率論的評価

降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）を変動させた場合に  
考慮すべき影響因子について

1. 概要

降下火砕物の層厚（層厚に比例する気中降下火砕物濃度）を変動させた場合に、考慮すべき降下火砕物の影響因子について検討を実施する。

2. 考慮すべき降下火砕物の影響因子

発電用原子炉設置変更許可申請書添付書類八に記載する降下火砕物の直接的影響及び間接的影響について、降下火砕物の層厚（層厚に比例する気中降下火砕物濃度）を変動させた場合にそれぞれ考慮すべき影響因子かどうか検討した結果を次頁の第 1 表に示す。

表 1 に示すとおり、降下火砕物の層厚（層厚に比例する気中降下火砕物濃度）を変動させた場合に考慮すべき影響因子は以下の 3 つである。

- ・ 荷重：構造物への静的負荷
- ・ 閉塞：水循環系の閉塞
- ・ 閉塞：換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）

これらの影響因子に対し、各炉心冷却手段の影響を確認し、限界層厚を特定する。

第1表 降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）を変動させた場合に考慮すべき影響因子

| 分類        | 要因     | 影響因子                        | 降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）を変動させた場合の影響                                                                                                                                            | 考慮要否 |
|-----------|--------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 直接的<br>影響 | 荷重     | 構造物への静的負荷                   | 降下火砕物の層厚が変動した場合に、構造物への静的負荷（荷重）が変動するため考慮する                                                                                                                                 | ○    |
|           |        | 粒子の衝突                       | 降下火砕物は微小な粒子であり、粒子の衝突による影響については、竜巻による設計飛来物に十分包含されているため、考慮不要である。                                                                                                            | ×    |
|           | 閉塞     | 水循環系の閉塞                     | 降下火砕物の層厚が変動した場合に、水循環系の閉塞の影響を受ける可能性があるため、考慮する。                                                                                                                             | ○    |
|           |        | 換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞） | 降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が変動した場合に、換気系、電気系及び計装制御系に対して閉塞の影響を受ける可能性があるため、考慮する。                                                                                                     | ○    |
|           | 摩耗     | 水循環系の内部における摩耗               | 降下火砕物は、砂より硬度が低くもろいことから短期での摩耗への影響はないため、降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が変動したとしても考慮不要である。                                                                                                | ×    |
|           |        | 換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（摩耗） |                                                                                                                                                                           |      |
|           | 腐食     | 構造物への化学的影響（腐食）              | 降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が変動したとしても、短期的な腐食が発生しやすくなるわけではないため、考慮不要である。<br>なお、発電所内の施設は、基本的に外装の塗装や耐腐食材料の使用等を行っていることから、短期での腐食への影響はない。                                                 | ×    |
|           |        | 換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食） |                                                                                                                                                                           |      |
|           |        | 水循環系の化学的影響（腐食）              |                                                                                                                                                                           |      |
|           | 大気汚染   | 発電所周辺の大気汚染                  | 大気汚染は環境面での影響因子として挙げられており、直接定量的評価を実施するものではないため、降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が変動したとしても考慮不要である。<br>なお、中央制御室の換気空調系は閉回路循環運転が可能であり、その他換気空調系もダンパ閉止が可能である。屋外作業要員については、ゴーグル、マスク等の防護具を準備している。 | ×    |
| 間接的<br>影響 | 水質汚染   |                             | 水質汚染は環境面での影響因子として挙げられており、直接定量的評価を実施するものではないため、降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が変動したとしても考慮不要である。<br>なお、降下火砕物の影響を受けた海水及び渓流水を直接給水として使用せず、給水処理設備により水処理した給水を使用しているため、安全施設の安全機能には影響しない。      | ×    |
|           | 絶縁低下   |                             | 降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が変動したとしても、絶縁低下そのものが発生しやすくなるわけではないため、考慮不要である。<br>なお、絶縁低下を考慮する施設は空調管理された区域に設置されていることから、絶縁低下への影響はない。                                                      | ×    |
|           | 外部電源喪失 |                             | 外部電源喪失については、火山事象を起因として発生することを考慮しているため、降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）の変動による影響は考慮不要である                                                                                                 | ×    |
| 間接的<br>影響 | アクセス制限 |                             | 発電所外での交通の途絶によるアクセス制限事象については、評価の上で考慮しているため、降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）の変動による影響は考慮不要である。                                                                                            | ×    |



## 2 次系純水タンクの事象の過程の進展を防止する措置

### 1. 概要

本資料は、限界層厚の小さい 2 次系純水タンクの事象の過程の進展を防止する措置の検討内容を説明するものである。

### 2. 事象の過程の進展を防止する措置の検討方針

2 次系純水タンクの限界層厚を表 1 に示す。

2 次系純水タンクの限界層厚は、降下火砕物による構造物への静的荷重で決まることから、降下火砕物による構造物への静的荷重に対する対策、具体的には、2 次系純水タンクの除灰作業について検討する。

除灰量は、人的要因（除灰要員数・除灰速度）で決まることから、これらを 3. 項で整理し、4. 項でこれらを踏まえた事象の過程の進展を防止する措置を検討し、5. 項にて検討した措置に基づく限界層厚を算出する。

### 3. 人的要因の整理

#### (1) 2 次系純水タンク上部で除灰作業可能な人数

2 次系純水タンクの降下火砕物等に対する強度評価結果から、2 次系純水タンク上部で除灰作業可能な人数を算出する。

2 次系純水タンクの荷重に関する評価は、平成 30 年 12 月 17 日付け原規規発第 1812178 号にて認可された保安規定の審査資料 TS(66)-02-01（改 5）において、降下火砕物 15cm の荷重（ $2,205\text{N/m}^2$ 、 $66,500\text{kg}$ ）と設計上考慮する積雪量（7 cm）に基づく荷重（ $140\text{N/m}^2$ 、 $4,300\text{kg}$ ）

を合わせた荷重（2,345N/m<sup>2</sup>，70,800kg）に風による荷重を組み合わせ  
て評価を実施しており，本計算書での強度評価のうち，最小裕度を表  
2 に示す。

本結果をもとに，除灰を行わない場合の降下火砕物の限界層厚を算  
定すると，

$$15 \times \frac{2,345 \times \frac{234}{714}}{2,205} = 5.228 \text{ (cm)} \quad (\text{積雪なし条件})$$

$$15 \times \frac{2,345 \times \frac{234}{714} - 140}{2,205} = 4.275 \text{ (cm)} \quad (\text{積雪あり条件})$$

となる。

2 次系純水タンクは降下火砕物の層厚 5 cm（積雪がある場合は 4  
cm）を上回らないよう除灰を行う運用としていることから，上記限界  
層厚と除灰により維持される層厚との差（積雪ありと比較し，差が小  
さい積雪なし条件の 0.228cm）より，2 次系純水タンク上部で除灰作業  
可能な人数を算出する。

降下火砕物 0.228cm 分の荷重は 1,010kg（66,500kg ÷ 15cm × 0.228cm）  
であることから，除灰作業員 1 名（資機材重量含む）の重量を 100kg と  
すると最大 10 名まで除灰作業に従事できる。

## (2) 除灰作業に従事できる要員数

現状の 2 次系純水タンクの除灰作業は，緊急時対応要員が 1 班 2 名  
の 2 班（合計 4 名）体制にて交替しながら実施することとしている。

一方で，伊方発電所において自然災害等の非常時には徒歩でも 4 時  
間以内に 45 名程度の要員が参集する体制を整備している。そこで，緊  
急時対応要員 4 名に加え，降灰開始 170 分後<sup>註 1</sup>から参集要員 6 名が除  
灰作業を開始する場合の事象の過程の進展を防止する措置を検討す

る。（ケース 1）

また、外出機会の多い日曜昼間に発生した、伊方発電所第 3 号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がり事象（令和 2 年 1 月 12 日）の電力社員副長以上全員招集実績を調査したところ、火山噴火から降灰開始までの 80 分<sup>注 2</sup>に余裕を見た呼び出しから約 1 時間で電力社員 18 人が参集した実績がある。そこで、こうした過去の実績を踏まえたより現実的なケースとして、降灰開始前までに保守的に参集要員 6 名が参集して除灰作業に従事する場合の事象の過程の進展を防止する措置についても検討する。（ケース 2）

注 1：火山噴火から多量降灰予報発表時等までの時間（10 分）、火山噴火から発電所に降灰が到達するまでの時間（80 分<sup>注 2</sup>）及び多量降灰予報発表時等から参集要員が参集するまでの時間（240 分）から想定した時間

注 2：平成 30 年 12 月 17 日付け原規規発第 1812178 号にて認可された保安規定の審査資料 TS(66)-02-01（改 5）及び TS(66)-02-02（改 4）で想定した時間

要員の配員については、上記以外にも運転要員の活用等様々なケースが考えられるが、本検討においては、これら 2 ケースについて、代表して検討する。

### (3) 現状の体制で 1 日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚

2 次系純水タンクの除灰作業は 1 班 2 名の 2 班が交替して実施している。ここでは、2 次系純水タンク（1 / 8 モデル）での除灰作業検証試験<sup>注 3</sup>を基に、現状の体制で 1 日あたりの除灰可能な降下火砕物の

層厚を評価する。

本検証試験は、作業員 2 名が、保守的に密度を  $1.7\text{g}/\text{cm}^3$  とした模擬降下火砕物が 5 cm 堆積した条件で実施し、約 10 分毎に 2 分程度の休憩（以下「インターバル休憩」という。）をとりながら作業を行った。

2 次系純水タンク（1 / 8 モデル）の除灰作業検証条件を表 3、除灰作業検証試験の実測結果を表 4 に示す。

注 3：平成 30 年 12 月 17 日付け原規規発第 1812178 号にて認可された保安規定の審査資料 TS(66)-02-01（改 5）別紙 4 作業の成立性について 別添－3 2 次系純水タンクの除灰作業の検証について

**【インターバル休憩を行う場合の除灰可能な降下火砕物の層厚】**

除灰作業員 2 名でインターバル休憩を含めた作業時間での 1 日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚は次式で計算でき、21cm/日となる。

$$(\text{層厚}[\text{cm}]) = (\text{模擬降下火砕物層厚 } 5 \text{ cm}) \div (\text{作業時間 } 42 \text{ 分}) \div (8) \times (60 \text{ 分}) \times (24 \text{ 時間})$$

**【インターバル休憩を行わない場合の除灰可能な降下火砕物の層厚】**

実際の除灰作業は、降下火砕物が降灰次第開始するため除灰作業の負荷が小さく、交替要員が確保されており適宜交替が可能であることから、インターバル休憩を除くことも可能であると考えられる。



除灰作業員 2 名でインターバル休憩を除いた作業時間での 1 日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚は次式で計算でき、28cm/日となる。

$$(\text{層厚}[\text{cm}]) = (\text{模擬降下火砕物層厚 } 5 \text{ cm}) \div (\text{作業時間 } 32 \text{ 分}) \div (8) \times (60 \text{ 分}) \times (24 \text{ 時間})$$

#### 4. 事象の過程の進展を防止する措置の検討

3. 項で整理した人的要因を踏まえ、事象の過程の進展を防止する措置を検討した。検討した措置を表 5 に、その詳細内容を以下に記す。

##### 【ケース 1】

降灰開始 170 分までは、現行の体制で除灰作業を継続するが、降灰開始 170 分後に参集する参集要員を除灰作業に従事させ、最大 10 名が、2 班に分かれて交替で除灰作業を行う。ここで、除灰作業に際し、インターバル休憩を行う場合をケース 1-1、行わない場合をケース 1-2 とする。

##### 【ケース 2】

降灰開始前までに参集する参集要員を除灰作業に従事させ、最大 10 名が、2 班に分かれて交替で除灰作業を行う。ここで、除灰作業に際し、インターバル休憩を行う場合をケース 2-1、行わない場合をケース 2-2 とする。

## 5. 事象の過程の進展を防止する措置を踏まえた限界層厚の算出

限界層厚は、積雪も考慮することとし、設計上考慮する積雪荷重（ $140\text{N/m}^2$ ）相当の降下火砕物層厚  $1\text{ cm}$ （ $147\text{N/m}^2$ ）が既に堆積しているとして算出する。なお、除灰作業中に降る雪は降下火砕物と混合して湿潤状態の降下火砕物になるが、除灰作業検証試験で、降下火砕物の密度  $1.5\text{g/cm}^3$ （湿潤状態）より保守的な密度  $1.7\text{g/cm}^3$  とした模擬降下火砕物を設定していることから影響はない。

4. 項で検討した事象の過程の進展を防止する措置のうちケース 1 は、時間とともに除灰作業要員数が変動するため、体制毎の 1 日あたりの限界層厚を以下の式でそれぞれ算定し、小さい方の値がその措置の限界層厚となる。ケース 2 については、除灰作業要員数が変動しないことから、ケース 1 の算出式のうち、「参集要員到着前までの 1 日あたりの限界層厚」を適用し、限界層厚を算出する。

## 【参集要員到着前までの 1 日あたりの限界層厚】

参集要員が到着するまでは除灰要員が少なく、降灰量が除灰量を上回るが、降下火砕物の層厚  $5\text{ cm}$  までは 2 次系純水タンクの構造健全性を維持できることから、除灰作業中に堆積する許容降灰量の層厚は、以下の式で計算される。

（許容降灰量の層厚[cm]）

$$= (1 \text{ 日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚}) \div (1,440 \text{ 分}) \\ \times (\text{除灰作業時間}) + (5 \text{ cm} - 1 \text{ cm})$$

1 日あたりの限界層厚は、許容降灰量の層厚を作業時間で割るこ

とで 1 分あたりの層厚に換算後, 1,440 分を掛けて 1 日あたりの層厚に変換した以下の式で算出される。

$$\begin{aligned} & (\text{1 日あたりの限界層厚[cm]}) \\ & = (\text{1 日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚}) \\ & \quad + ((5 \text{ cm} - 1 \text{ cm}) \div (\text{除灰作業時間}) \times (1,440 \text{ 分})) \end{aligned}$$

**【参集要員到着以降の 1 日あたりの限界層厚】**

参集要員到着前に 2 次系純水タンクの構造健全性を維持できる層厚 5 cm まで降下火砕物が堆積することを許容していることから, 除灰量と降灰量が一致するポイントが 1 日あたりの限界層厚となり, 1 日あたりの限界層厚は以下の式で算出される。

$$\begin{aligned} & (\text{1 日あたりの限界層厚[cm]}) \\ & = (\text{1 日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚}) \\ & \quad \times ((1 \text{ 班あたりの除灰作業要員}) \div (2 \text{ 名})) \end{aligned}$$

算出した各措置の限界層厚を表 6 に示す。また, 時間とともに除灰作業要員数変動するケース 1 の 2 次系純水タンク上部の降下火砕物の層厚変化を図 1 に示す。

ケース 1-1 では, 参集要員到着以降の 1 日あたりの限界層厚である 52cm をこのケースの限界層厚としている。この限界層厚 52cm と等しい降灰量が時間あたり一定で降下すると, 参集要員到着前までは, 除灰量より降灰量が大きいため 2 次系純水タンク上部の層厚が増加するが, 層厚

が 5 cm に達する前に参集要員が到着し、それ以降の除灰量と降灰量が一致し、層厚が維持される。2 次系純水タンク上部の層厚は、5 cm に若干の余裕がある状態で維持されるものの、参集要員到着後に、除灰量と降灰量が一致するポイントを、保守的にこのケースの 1 日あたりの限界層厚とした。

ケース 1-2 では、参集要員到着前までの 1 日あたりの限界層厚である 61cm をこのケースの限界層厚としている。この限界層厚 61cm と等しい降灰量が時間あたり一定で降下すると、参集要員到着前までは、除灰量より降灰量が大きいため、2 次系純水タンク上部の層厚が 5 cm まで堆積するが、参集要員到着以降は除灰量が大きくなるため減少に転じ層厚 5 cm を超えることはない。このため、参集要員到着前までの 1 日あたりの限界層厚をこのケースの 1 日あたりの限界層厚とした。

## 6. まとめ

3. (2) 「除灰作業に従事できる要員数」で整理した代表的な 2 ケースについて、事象の過程の進展を防止する措置を検討し、2 次系純水タンクの限界層厚を算出した。

具体的には、参集要員を 2 次系純水タンクの除灰に、優先的に配員するという事象の過程の進展を防止する措置を検討し、それに基づくと、限界層厚は 52cm～74cm 程度まで向上する。

2 次系純水タンクの構造健全性は、除灰作業という人的要因に頼っており、限界層厚についても当該要因に左右されるため、参集要員を優先的に 1 人でも多く配員すれば、その分、2 次系純水タンクの火山事象に対する耐性が増す。この対応については、整備済みの手順に影響を及ぼす内容ではないが、内規等に明記することで、実効性を高めることがで



きることから，令和 2 年 10 月に内規等に反映した。

第 1 表 2 次系純水タンクの限界層厚

| 評価対象      | 要因 | 影響因子                            | 限界層厚<br>(cm) |
|-----------|----|---------------------------------|--------------|
| 2 次系純水タンク | 荷重 | 構造物への静的負荷                       | 25           |
|           | 閉塞 | 換気系，電気系及び計装制御系<br>に対する機械的影響（閉塞） | — 注          |

注：降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が増加した場合を考慮しても，閉塞することはない。

第 2 表 2 次系純水タンクの降下火砕物等に対する

強度評価結果（最小裕度抜粋）

| 評価部材                 | 発生応力<br>(MPa) | 許容応力<br>(MPa) | 裕度<br>許容応力/発生応力 |
|----------------------|---------------|---------------|-----------------|
| 屋根板支持部材<br>(トッププレート) | 714           | 234           | 0.32            |

第 3 表 2 次系純水タンク（1／8 モデル）の除灰作業検証条件

|                                                            |      |
|------------------------------------------------------------|------|
| 模擬降下火砕物 海砂と山砂の混合物(密度：約 1.7g/cm <sup>3</sup> ) <sup>注</sup> |      |
| 模擬降下火砕物層厚                                                  | 5 cm |
| 作業員数                                                       | 2 名  |
| インターバル休憩時間を含めた作業時間                                         | 42 分 |
| インターバル休憩時間を除いた作業時間                                         | 32 分 |

注：原子炉設置変更許可申請書添付書類六に記載する降下火砕物の  
 湿潤密度（1.5g/cm<sup>3</sup>）に対し保守的に設定しており，想定して  
 いる積雪荷重もこの保守性に包絡される。

第 4 表 除灰作業検証試験の実測結果

| 活動内容     | 作業時間      | 経過時間      |
|----------|-----------|-----------|
| 除灰作業     | 10 分 00 秒 | 10 分 00 秒 |
| インターバル休憩 | 2 分 30 秒  | 12 分 30 秒 |
| 除灰作業     | 9 分 40 秒  | 22 分 10 秒 |
| インターバル休憩 | 3 分 20 秒  | 25 分 30 秒 |
| 除灰作業     | 8 分 30 秒  | 34 分 00 秒 |
| インターバル休憩 | 4 分 30 秒  | 38 分 30 秒 |
| 除灰作業     | 3 分 28 秒  | 41 分 58 秒 |

除灰作業時間合計：31 分 38 秒  
 インターバル休憩時間合計：10 分 20 秒

第 5 表 事象の過程の進展を防止する措置

| 措置<br>ケース | 体制                                                  | インターバル<br>休憩 |
|-----------|-----------------------------------------------------|--------------|
| 現状        | ・ 1 班 2 名で 2 班が交替                                   | あり           |
| 1-1       | ・ 170 分まで：1 班 2 名で 2 班が交替                           | あり           |
| 1-2       | ・ 170 分以降：1 班 5 名（緊急時対応要員 2 名<br>＋参集要員 3 名）で 2 班が交替 | なし           |
| 2-1       | ・ 1 班 5 名（緊急時対応要員 2 名＋参集要員 3                        | あり           |
| 2-2       | 名）で 2 班が交替                                          | なし           |

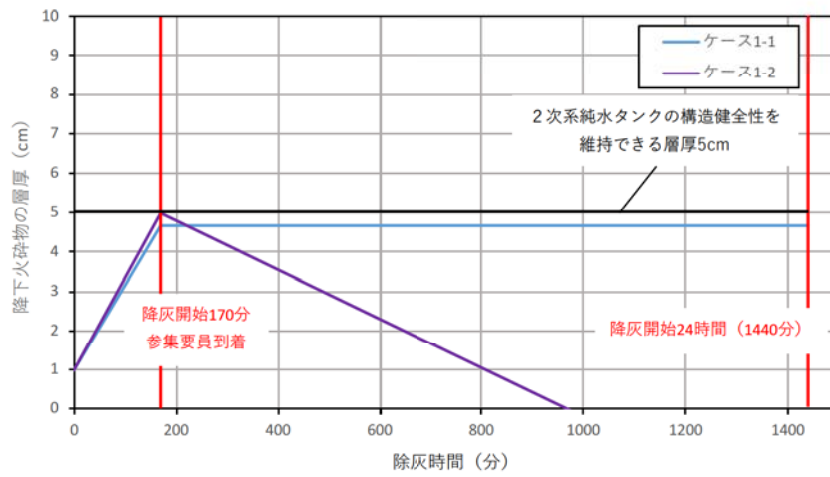
第 6 表 各事象の過程の進展を防止する措置の限界層厚

| 措置<br>ケース | 1 日あたりの限界層厚 |          | 措置後の限界層厚 |
|-----------|-------------|----------|----------|
|           | 参集要員到着前まで   | 参集要員到着以降 |          |
| 現状        | 25cm        | — 注 1    | 25cm     |
| 1-1       | 54cm        | 52cm     | 52cm     |
| 1-2       | 61cm        | 70cm     | 61cm     |
| 2-1       | —           | 56cm 注 2 | 56cm     |
| 2-2       | —           | 74cm 注 2 | 74cm     |

注 1：参集要員に期待しない。

注 2：降灰開始前までに参集要員が到着する。





第 1 図 2 次系純水タンク上部の降下火砕物の層厚変化

## 非常用ディーゼル発電機の事象の過程の進展を防止する措置

### 1. 概要

本資料は、限界層厚の小さい非常用ディーゼル発電機（以下「DG」という。）の事象の過程の進展を防止する措置を検討し、検討内容を考慮した限界層厚を評価するものである。

### 2. 事象の過程の進展を防止する措置の検討

DGの限界層厚を表 1 に示す。

DGの限界層厚は、降下火砕物による換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）で決まることから、同影響に対する対策として、具体的には、火山灰フィルタ取替え・清掃について検討する。

表 1 に示す限界層厚は、現行の手順書に基づき火山灰フィルタ取替え・清掃に要する時間を 120 分と設定して評価を行ったが、実績時間<sup>注</sup>に基づき検討する。火山灰フィルタ取替え・清掃タイムスケジュールを図 1 に示す。

注：平成 30 年 12 月 17 日付け原規規発第 1812178 号にて認可された  
保安規定の審査資料 TS(66)-02-01（改 5） 別紙 4 作業の成立  
性について

現行の手順では、降下火砕物条件下でDGを運転させるため火山灰フィルタが閉塞しないよう、1 班 6 名（A 系 3 名，B 系 3 名）の 2 班で交替しながら，DG-A 系と DG-B 系の火山灰フィルタ取替え・清掃を並行して行う。DG-A 系と DG-B 系が給電する設備が異なることで吸気

量が異なること、火山灰フィルタ清掃に個人差があること等から、降下火砕物の影響により D G 2 基が同時に停止することは考えにくい。ため、降下火砕物の影響により停止した D G の要員を含め、運転側 D G の火山灰フィルタ取替え・清掃に注力すれば、高頻度で火山灰フィルタを交換できるため、より高濃度の条件下で運転を継続することができる。

火山灰フィルタは 14 個のフィルタエレメントからなっており、D G 1 基にフィルタエレメント 14 個×2 式が準備されている。通常の火山灰フィルタ取替え・清掃では、火山灰フィルタ内のフィルタエレメントと清掃済みのフィルタエレメントの交換後、清掃ボックスを用いて取り外したフィルタエレメントを清掃する。

D G 1 基に注力した場合、取り外したフィルタエレメントを停止側 D G の要員が停止側 D G の清掃ボックスを用いて清掃する。火山灰フィルタ取替え終了後は、運転側 D G の清掃ボックスを用いて運転側 D G 要員が取り外したフィルタエレメント清掃を行うことができるため、残りの火山灰フィルタ清掃時間は実績時間の半分で行え、限界は 38.5 分となる。なお、D G-A 系と D G-B 系の火山灰フィルタは同じ仕様であり、停止側 D G のフィルタエレメントを活用することで、効率的な清掃作業が可能である。

### 3. 限界層厚の評価方法

2. 項の検討内容を踏まえ、D G 1 基に注力した場合の限界層厚を評価する。

気中降下火砕物濃度が火山灰フィルタ取替え・清掃により対応可能な濃度であれば火山灰フィルタは閉塞せず D G の運転が可能であるため、火山灰フィルタ取替え・清掃に要する時間から、D G の運転が可能な限

界濃度を求め、その濃度から限界層厚を算出する。

まず、片系 D G の火山灰フィルタ取替え・清掃に注力した場合に要する時間は 38.5 分と想定しており、この時間から火山灰フィルタの設計上の限界濃度を算出する。

火山灰フィルタの限界濃度については、平成 30 年 12 月 17 日付け原規規発第 1812178 号にて認可された保安規定の審査資料 TS(66)-02-02 (改 4) の「4. 火山灰フィルタ閉塞時間について」に示す火山灰フィルタの降下火砕物捕集量及び D G 吸気流量を用いて、以下の式で算出する。

$$\begin{aligned}
 & (\text{火山灰フィルタの限界濃度} [\text{g}/\text{m}^3]) \\
 &= (\text{火山灰フィルタの降下火砕物捕集量} [\text{g}]) \div \\
 & \quad ((\text{D G 吸気流量} [\text{m}^3/\text{h}]) \times (\text{閉塞までの時間} \\
 & \quad 38.5 \text{ 分}) \div 60) \\
 &= 15.4 \text{ g}/\text{m}^3
 \end{aligned}$$

次に、火山灰フィルタの限界濃度  $15.4 \text{ g}/\text{m}^3$  から限界層厚を算出する。

気中降下火砕物濃度が厳しくなる阿蘇を給源とする降下火砕物の層厚と気中降下火砕物濃度の関係を図 2 に示す。

降下火砕物の層厚と気中降下火砕物濃度に比例の関係があることから、以下の式より限界層厚を算出する。

$$(\text{限界層厚} [\text{cm}]) = (\text{降下火砕物の限界濃度 } 15.4 \text{ g}/\text{m}^3) \div (0.25)$$

#### 4. 評価結果

D G について現状の限界層厚と 3. 項の評価方法より求めた事象の過程の進展を防止する措置を実施後の限界層厚の比較を表 2 に示す。

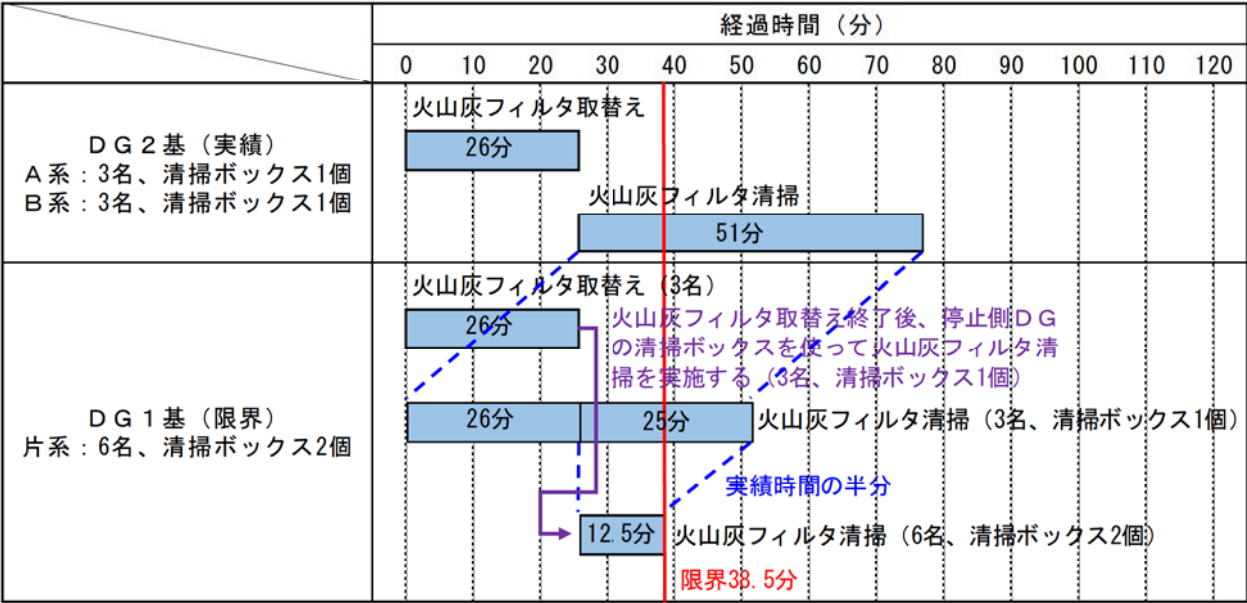


第 1 表 D G の限界層厚

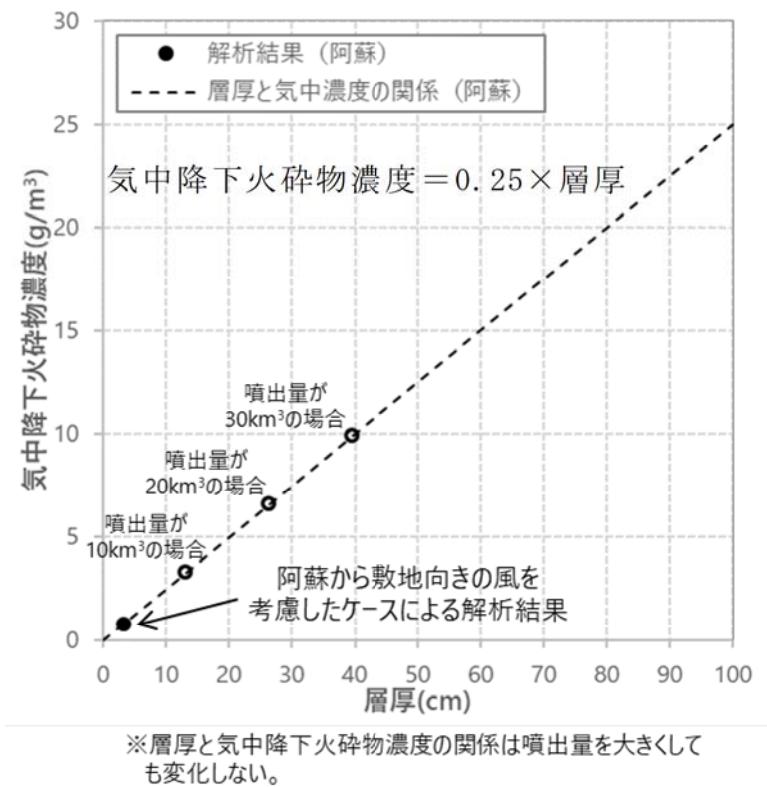
| 評価対象 | 要因 | 影響因子                            | 限界層厚<br>(cm) |
|------|----|---------------------------------|--------------|
| D G  | 荷重 | 構造物への静的負荷                       | 45           |
|      | 閉塞 | 換気系，電気系及び計装制御系<br>に対する機械的影響（閉塞） | 19           |

第 2 表 D G の限界層厚

| 評価対象 | 要因 | 影響因子                                | 火山灰フィルタ取替え・清掃体制                           | 限界層厚<br>(cm) |
|------|----|-------------------------------------|-------------------------------------------|--------------|
| D G  | 荷重 | 構造物への静的負荷                           | —                                         | 45           |
|      | 閉塞 | 換気系，電気系及び<br>計装制御系に対する<br>機械的影響（閉塞） | 【現 状】<br>A系：3名，清掃ボックス1個<br>B系：3名，清掃ボックス1個 | 19           |
|      |    |                                     | 【措置後】<br>片系：6名，清掃ボックス2個                   | 61           |



第 1 図 火山灰フィルタ取替え・清掃タイムスケジュール



第 2 図 降下火砕物の層厚と気中降下火砕物濃度のグラフ

(別紙 3. 1. 1. 2. 2. 5. 3. 11-1 第 2. 3 図より)

評価における定性的な保守性について

1. 概要

今回の火山事象に対する安全裕度評価においては、決定論的な考え方にに基づき、一定の条件下で定量化可能な範囲で評価している。一方で、定量化が困難な保守性もあることから、今回の評価結果は、更に余裕があると考えられる。本資料では、この定性的な保守性について、降下火砕物のパラメータ設定の観点と施設の限界層厚評価の観点で説明する。

2. 降下火砕物のパラメータ設定における保守性について

今回の安全裕度評価では、層厚以外の降下火砕物の特性については設計と同様とし、設計上の想定である 15cm を超える層厚を仮定して評価を実施し、気中降下火砕物濃度については、対象となる 5 つの火山（鶴見岳，由布岳，九重山，阿蘇，阿武火山群）の条件を包絡した阿蘇の値を設定している。降下火砕物のパラメータ設定における定性的な保守性を表 1 にまとめる。

3. 施設の限界層厚評価における保守性について

今回の火山事象に対する安全裕度評価では、施設を網羅的に抽出し、2. 項に記載の保守性を考慮した降下火砕物のパラメータ設定に基づき、様々な保守性を考慮し、各施設の限界層厚を評価している。ここでは、各施設の限界層厚評価が有する定性的な保守性について、事象の過程の進展を防止する措置実施後の限界層厚評価において、各収束シナリオの限界層厚となった施設（2 次系純水タンク，非常用ディーゼル発電機，

原子炉建屋，タービン建屋（脱気器部））について，具体的に考察する。

(1) 2 次系純水タンクの限界層厚評価における定性的な保守性

2 次系純水タンクの限界層厚評価では，2 次系純水タンク（1 / 8 モデル）での除灰作業検証試験<sup>注</sup>に基づき，1 日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚を評価した。2 次系純水タンクの限界層厚評価における定性的な保守性を表 2 にまとめる。

注：平成 30 年 12 月 17 日付け原規規発第 1812178 号にて認可された保安規定の審査資料 TS(66)-02-01（改 5）別紙 4 作業の成立性について 別紙－3 2 次系純水タンクの除灰作業の検証について

(2) 非常用ディーゼル発電機の限界層厚評価における定性的な保守性

非常用ディーゼル発電機（以下「DG」という。）の限界層厚評価では，DG（吸気消音器 屋根板）の降下火砕物に対する強度評価と，火山灰フィルタ取替え・清掃に要する時間から，降下火砕物の層厚を算出している。DG の限界層厚評価における定性的な保守性を表 3 にまとめる。

(3) 原子炉建屋及びタービン建屋（脱気器部）の限界層厚評価における定性的な保守性

原子炉建屋及びタービン建屋（脱気器部）の限界層厚評価では，降下火砕物による鉛直荷重による強度評価を行い，建屋部位ごとに検定値（発生値 / 許容値）を算出し，最も評価結果が厳しい建屋部位の限界層厚を評価している。原子炉建屋及びタービン建屋（脱気器部）の



限界層厚評価における定性的な保守性を表4にまとめる。

#### 4. まとめ

今回の火山事象に対する安全裕度評価においては、前述したとおり、降下火砕物のパラメータ設定や各施設の限界層厚評価において、定量的に示すことが困難な各種の定性的な保守性を有しており、実際には更に余裕があると考えられる。

なお、本資料で整理した定性的な保守性を理解すれば、事象の進展を適切に予測でき、原子力防災管理者等の判断の根拠として助けとなり有用である。

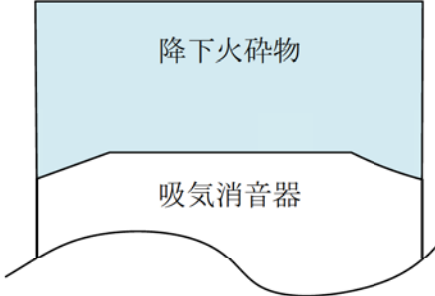
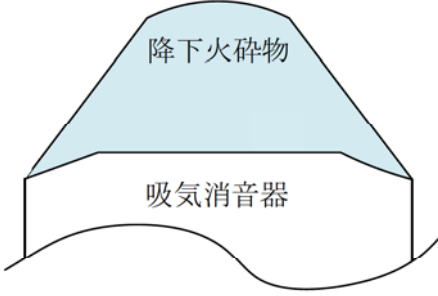
第 1 表 降下火砕物のパラメータ設定における定性的な保守性

| 項 目       | 定性的な保守性                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 層厚        | 降下火山灰シミュレーションでは、敷地での降灰が厳しくなる 9 月の観測データから風向を敷地方向に変え、敷地方向に一定の風向・風速が継続すると設定しているが、実際には、風向・風速は時々刻々と変化すると考えられるため、敷地方向に一定の風向・風速が継続する設定よりも、層厚は小さくなる。なお、既許可の九重山の噴出量 $6.2\text{km}^3$ の降下火山灰シミュレーション結果では、9 月の観測データで層厚 $6.8\text{cm}$ であったが、敷地方向の一定の風向・風速が継続する設定としたところ、層厚 $14\text{ cm}$ となった。このことから、敷地方向に一定の風向・風速が継続する設定は保守的評価である。 |
| 密度        | 既許可では四国西部の宇和盆地における降下火砕物の試験結果（密度：乾燥状態 $0.665\text{g/cm}^3$ ，湿潤状態 $1.323\text{g/cm}^3$ ）を包含するように密度 $0.5\text{g/cm}^3$ （乾燥状態）～ $1.5\text{g/cm}^3$ （湿潤状態）を設定している。<br>降下火砕物の荷重評価では、保守的に湿潤状態の密度 $1.5\text{g/cm}^3$ を設定している。                                                                                                    |
| 気中降下火砕物濃度 | 火山ガイドに示された気中降下火砕物濃度の算定手法は、粒径の小さな降下速度が非常に小さく 24 時間以内に降下しない火砕物も含め、粒径の大小に関わらず 24 時間以内に粒形分布を維持しながら全て降灰すると仮定した保守的な手法となっている。<br>また、粒径の小さな降下火砕物は降下する過程で凝集するものの、凝集することで粒径が大きくなった降下火砕物は落下速度が大きくなるため、気中降下火砕物濃度の算定手法に基づけば、気中降下火砕物濃度は小さくなるにも関わらず、凝集を考慮しない保守的な算定方法となっている。                                                             |

第 2 表 2 次系純水タンクの限界層厚評価における定性的な保守性

| 項 目                                             | 定性的な保守性                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 模 擬 降 下<br>火 碎 物 の<br>密 度                       | 降下火碎物の荷重評価では、保守的に $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ （湿潤状態）を設定するが、除灰作業検証試験は更に保守的な $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ を設定している。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 模 擬 降 下<br>火 碎 物 の<br>層 厚                       | 現実的には降灰が開始次第除灰を行うが、除灰作業検証試験は模擬降下火碎物層厚を 5 cm に設定して除灰作業を行っている。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| タ ン ク 形<br>状                                    | 2 次系純水タンクの天井部は、中心から周辺に向かって緩やかな下り坂になっていることから、平地で実施した除灰作業検証試験より効率的に除灰できる。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 参集時間                                            | <p>2 次系純水タンクの事象の過程の進展を防止する措置については、参集要員から 6 名を除灰作業に追加配員した評価を行っているが、想定より前に参集し除灰を開始する要員<sup>注 1</sup>がいれば、より多く除灰できる。</p> <p>注 1：伊方発電所第 3 号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がり事象（令和 2 年 1 月 12 日）の電力社員副長以上全員招集実績を調査したところ、火山噴火から伊方発電所への降灰到達時間である 80 分<sup>注 2</sup>より前の、呼び出しから約 1 時間で電力社員 18 人が参集していた。</p> <p>注 2：降灰到達時間は、保守的に敷地方向に一定の風向・風速が継続する条件で九重山から伊方発電所までの水平距離で算出しているが、実際には、風向・風速は時々刻々と変化するものであり、火碎物の火口からの上昇時間や伊方発電所への落下時間も考慮する必要があるため、降灰到達時間はより長くなると考えられ、降灰前に伊方発電所に到着する参集要員は更に多くなると考えられる。（なお、参考として、平成 28 年 10 月 8 日の阿蘇山中岳第一火口噴火での伊方発電所降灰到達時間は 2 時間 54 分であった。）</p> |
| 2 次 系 純<br>水 タ ン ク<br>上 部 で 除<br>灰 可 能 な<br>人 数 | 2 次系純水タンクの事象の過程の進展を防止する措置の中で、2 次系純水タンクの上部で除灰可能な人数は 10 人と評価し、交替時に 10 名がタンク上部に合流する想定で 1 班 5 名の 2 班が交替しながら除灰する条件を設定した。しかしながら、交替時にタンク上部に合流する人数を 10 名以下になるように管理すれば、5 名以上の除灰作業員で作業を継続できるため、1 日あたりの除灰可能な降下火碎物の層厚は大きくなると考えられる。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

第 3 表 DG の限界層厚評価における定性的な保守性

| 項 目                   | 定性的な保守性                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 吸気消音器の上部に堆積した降下火砕物の形状 | <p>屋根板の曲げ評価は、吸気消音器の上部に降下火砕物が垂直に堆積する条件で評価しているが、実際には周辺部の降下火砕物は崩れて堆積しないため、なだらかな三角形状に堆積することから、保守的な限界層厚となる。吸気消音器の上部に堆積した降下火砕物のイメージを以下に示す。</p> <p>なお、現実には以下のイメージのように降下火砕物が堆積した状態でそのまま放置しておくことはあり得ないことからすれば、実際の限界層厚は本評価で確認した限界層厚よりも大きくなる。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>評価のイメージ</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>現実のイメージ</p> </div> </div> <p>図 吸気消音器の上部に堆積した降下火砕物のイメージ</p> |
| DG 吸気量                | <p>DG は定格運転していると仮定し、火山灰フィルタ閉塞時間を評価しているが、実際に炉心冷却に必要な電力量は定格容量よりも少ない。容量が減ると吸気量・流速も下がるため、火山灰フィルタに捕集される降下火砕物量（単位時間当たり）・圧損ともに減少し、その結果、火山灰フィルタが閉塞するまでの時間は評価結果よりも長くなる。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 吸気口の向き（下向き効果）         | <p>降下火砕物は全て吸気口に吸い込まれると仮定し（つまり、吸気消音器の吸気口は上向きと仮定し）、火山灰フィルタ閉塞時間を評価しているが、実際は下向きに設置されている。吸気口に吸い込まれない粒形の降下火砕物も含め全て吸い込むと仮定して、火山灰フィルタ閉塞時間を評価しているため、火山灰フィルタ閉塞までの時間は評価結果よりも長くなる。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |



第 4 表 原子炉建屋及びタービン建屋（脱気器部）の  
限界層厚評価における定性的な保守性

| 項 目  | 定性的な保守性                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 発生応力 | 規格式に基づき降下火砕物堆積により屋根に発生する応力を算定しているが、規格式は実際より発生応力が大きく評価される。                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 許容限界 | 降下火砕物堆積による荷重に対して屋根が弾性状態にとどまることを確認しているが、弾性状態を超えた場合でも終局状態までには余裕があり、屋根が直ちに脱落することはない。                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 影響範囲 | <p>降下火砕物に対して防護すべき設備が設置されている位置等によらず、建屋の一部分でも許容限界を超えると建屋の機能を維持できないと評価しているが、設備が設置されている位置等を踏まえれば、影響範囲を限定することができる。</p> <p>例えば、原子炉建屋の限界層厚を与える具体的な箇所は原子炉周辺補機棟の屋根のスラブであり、当該箇所には建屋の換気のために設置しているガラリがある。ガラリが損傷することで、建屋の換気能力に影響を与える可能性があるが、そもそも降灰時には、火山事象に対する影響を防ぐためダンパを閉止することも想定し、設備を設計していることから、降下火砕物の荷重でスラブが損傷することで、ガラリが機能喪失しても炉心冷却の成功パスに影響しない。</p> |

### 3.1.2 確率論的リスク評価（PRA）

当社は従来から定期安全レビューにおいて、内部事象を対象とした出力運転時レベル1 PRA、出力運転時レベル1.5 PRA及び停止時レベル1 PRAを実施している。また、新規制基準適合性審査における重大事故等対策の有効性評価に係る事故シーケンスグループ等の選定において、定期安全レビューで実施したPRAに加えて、外部事象として地震及び津波を対象とした出力運転時レベル1 PRAを実施している。

安全性向上評価においては、プラントの設計・運用情報の更新や伊方3号プロジェクトにおいて実施した海外専門家によるレビューコメント、原子力規制庁による適切性確認における修正箇所、NRRCの外部諮問体制である技術諮問委員会によるコメント（以下「海外専門家レビューコメント等」という。）等、得られた知見を反映したPRAを実施している。

第4回安全性向上評価においては、以下のリスク指標を対象として、内部事象を対象としたレベル1 PRA（出力運転時、停止時）及びレベル2 PRA（出力運転時）並びに外部事象として地震及び津波を対象としたレベル1 PRA及びレベル2 PRAについて、それまでに実施したプラント設計・運用情報の更新や得られた知見を反映して、5年ごとの改訂を実施した。

- (1) 炉心損傷頻度
- (2) 格納容器機能喪失頻度
- (3) 事故時のCs-137の放出量が100TBqを超えるような事故の発生頻度
- (4) 敷地境界における実効線量

第5回安全性向上評価においては、第4回安全性向上評価届出の評価時点以降、評価結果が変わるような大規模な工事等を行っていないため、改めて調査、分析または評価を実施する必要はない。なお、次回の5年ごとの改訂に係る評価は、評価を実施した直近の届出に係る評価時点（令和6年11月12日）を起算日とし、5年の期間を経過する日（令和11年11月12日）以後最初の定期事業者検査の終了後に行う安全性向上評価となる。

### 3.1.3 ハザード評価

#### 3.1.3.7 第 5 回安全性向上評価届出（評価時点：令和 8 年 1 月 21

日）に係る評価の見直し可否

「第 2 章 2.2.2 国内外の最新の科学的知見及び技術的知見」のとおり、第 17 回定期事業者検査終了日の翌日（令和 6 年 11 月 13 日）から評価時点である第 18 回定期事業者検査終了日（令和 8 年 1 月 21 日）において、安全評価の前提となっている内部事象及び外部事象の評価（ハザード評価）を見直す必要があるような科学的知見及び技術的知見は得られていない。なお、評価の見直し可否を判断するにあたって確認した内容を以降の別紙に示す。

以上より、第 5 回安全性向上評価届出において改めて調査、分析または評価を実施する必要はない。



## 地震・津波に関する新知見関連情報の確認結果について

### 1. 概要

本資料は、外部事象に係る最新の文献並びに調査等から得られた科学的知見及び技術的知見について、反映が必要な新知見情報ではないが、原子炉施設の設計の前提条件への影響を確認したもののうち、地震・津波に関する新知見関連情報の概要と影響確認結果を記すものである。

地震・津波に関する新知見関連情報の概要と影響確認結果については第1.1表及び第1.2表に示すとおりであり、設計・評価への反映が必要な情報がないことを確認した。

以下に確認結果の詳細を記す。

### 2. 確認結果

#### 2.1. 南海トラフの地震活動の長期評価（第二版一部改訂）について

##### 2.1.1 概要

地震調査委員会(2013)による「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）について」（以下「第二版」という。）の改訂版として、地震調査委員会(2025)による「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版一部改訂）について」（以下「第二版一部改訂」という。）が令和7年9月に公表され、南海トラフで大地震が発生する確率の計算手法が変更された。第二版一部改訂では、「時間予測モデル」の計算に用いるすべり量（隆起量）の推定値には不確実性があることを考慮し、第二版で用いられたブラウン緩和振動過程モデ

ル（BPT モデル：Brownian Passage Time model）に地震ごとのすべり量（隆起量）の違いを取り入れたすべり量依存 BPT モデル（SSD-BPT モデル：Slip-Size Dependent BPT model）が採用されている。また，第二版と同様に BPT モデルによる計算手法を採用しつつも，地震発生確率の不確実性を考慮し，計算に必要なパラメータ（平均発生間隔，変動係数）の推定方法が最尤法からベイズ推定に変更されている（以下第二版の BPT モデルを「BPT モデル（最尤法）」，第二版一部改訂の BPT モデルを「BPT モデル（ベイズ推定）」という。）。

これを踏まえ，以下では，第二版一部改訂における地震発生確率の計算手法の変更が平成 27 年 7 月 15 日付設置変更許可（以下「既許可」という。）における確率論的地震ハザード評価及び確率論的津波ハザード評価に及ぼす影響について確認した。

#### 2.1.2 既許可評価における地震動評価への影響

既許可における伊方発電所の地震動評価では，基準地震動  $S_s$  の超過確率の参照として，確率論的地震ハザード解析によって算定した敷地における地震動の一樣ハザードスペクトルと基準地震動の応答スペクトルを比較しており，一樣ハザードスペクトルの作成に際しては，特定震源モデルとして敷地前面海域の断層群（中央構造線断層帯）による地震，その他の活断層で発生する地震及び南海地震・南海トラフの巨大地震を対象地震としている。

既許可評価で設定した南海地震・南海トラフ巨大地震のロジックツリーを第 2.1.1 図に示す。既許可評価では計算モデルとして BPT モデルを採用しており，地震発生確率の計算手法については，「時

間予測モデル」により計算する手法（第 2.1.1 図「時間予測モデル」に対応）と「BPT モデル（最尤法）」により計算する手法（第 2.1.1 図「更新過程」に対応）を採用している。

影響評価では、既許可評価で設定した南海地震・南海トラフ巨大地震のロジックツリーにおける地震発生確率の計算手法を、第二版一部改訂における地震発生確率の計算手法に置き換えて南海地震・南海トラフ巨大地震の地震ハザードを算定し、既許可評価への影響を確認した。具体的には、第二版一部改訂を踏まえ、既許可評価の「時間予測モデル」を「SSD-BPT モデル」に、既許可評価の「BPT モデル（最尤法）」を「BPT モデル（ベイズ推定）」に置き換えて地震ハザードを算定した。影響評価における南海地震・南海トラフ巨大地震のロジックツリーを第 2.1.2 図に示す。影響評価における評価起点は第二版一部改訂とあわせて 2025 年 1 月に設定し、地震発生確率は第二版一部改訂で示された 70%信用区間のうち期待値（50 年発生確率は、SSD-BPT モデル：89%，BPT モデル（ベイズ推定）：69%）の値を用いる。なお、参考として、地震発生確率の計算手法の違いによる影響を確認する観点から、上記影響評価の評価起点を既許可評価と同じ 2014 年 1 月に設定（50 年発生確率は、SSD-BPT モデル：86%，BPT モデル（ベイズ推定）：53%）した地震ハザードも算定するとともに、地震発生確率の不確実性を保守的に考慮する観点から、地震発生確率の値に 70%信用区間の上限値（50 年発生確率は、SSD-BPT モデル：100%，BPT モデル（ベイズ推定）：90%）を用いた地震ハザード（評価起点は 2025 年 1 月）も算定した。

周期 0.02 秒の平均ハザード曲線の比較を第 2.1.3 図及び第

2.1.4 図に示す。南海地震・南海トラフ巨大地震の平均ハザード曲線について、影響評価は既許可評価とほぼ同レベルであり、既許可評価における全震源の平均ハザード曲線より十分小さいことから、既許可評価への影響がないことを確認した。

#### 2.1.3 既許可評価における津波評価への影響

既許可評価で設定した伊方発電所3号炉地点における津波ハザード曲線の内訳を第2.1.5図に示す。基準津波による津波高さ付近に着目すると、津波の上昇側・下降側ともに全体のハザード曲線（波源すべて）と中央構造線断層帯による津波のハザード曲線がほぼ一致しており、中央構造線断層帯による津波が支配的であることから、南海トラフの地震による津波の変更を考慮しても既許可評価への影響がないことを確認した。

### 3. 参考文献

- (1) 「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版一部改訂）について」地震調査研究推進本部地震調査委員会，2025.

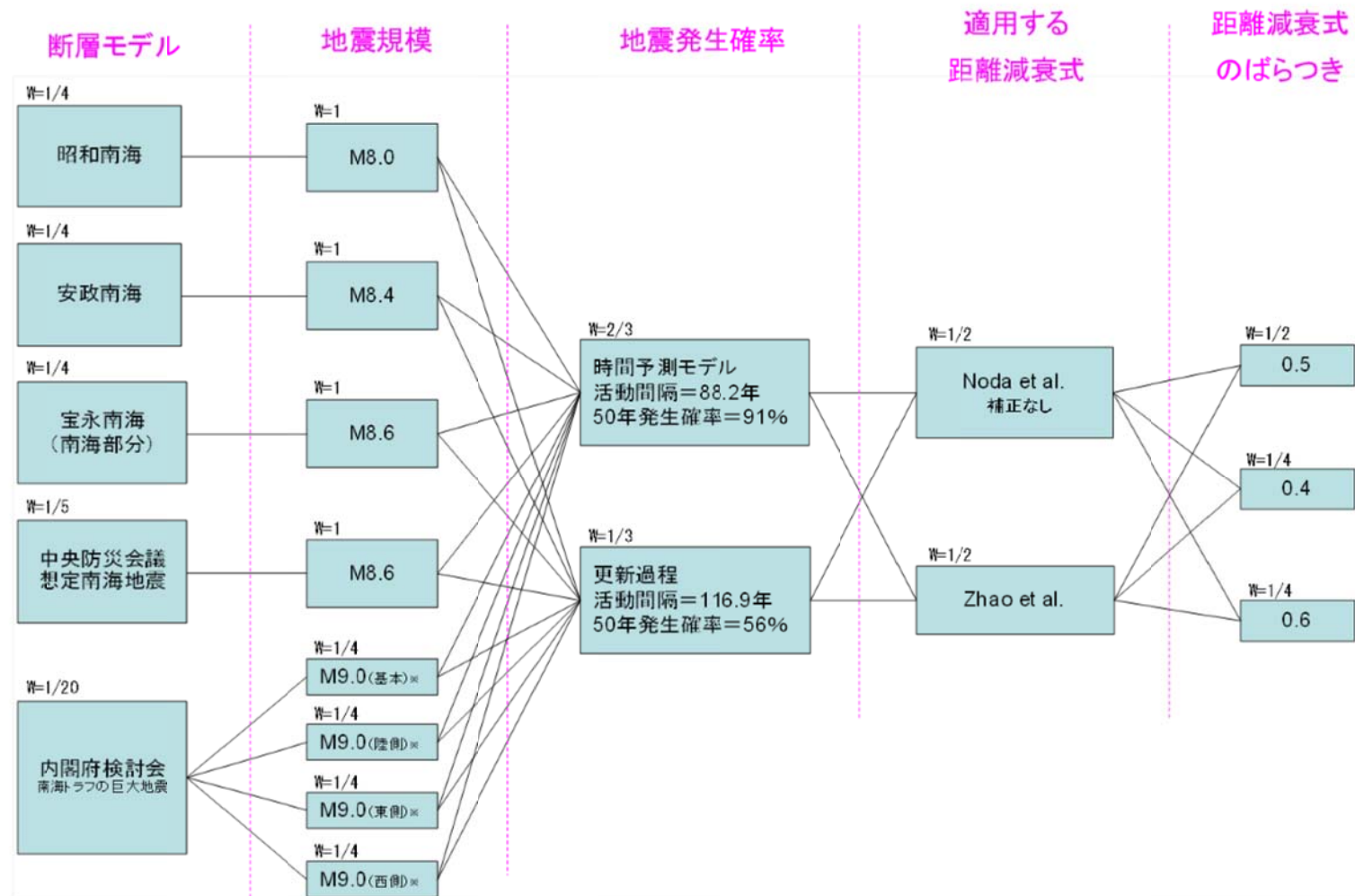


第1.1表 地震に関する新知見関連情報の概要と影響確認結果

| No. | 情報名称                                               | 概 要                                                                                                                                                                                                           | 判断根拠                                                                                                                                                                                                         |
|-----|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 南海トラフの地震活動の長期評価（第二版一部改訂）について<br>（地震調査研究推進本部ホームページ） | 新たに導入された「すべり量依存 BPT モデル（SSD-BPT モデル）」は、従来の BPT モデルに地震のすべり量（≒地震規模）依存性を加味したものであり、発生間隔と地震規模の両方を考慮した地震発生確率の評価が可能となった。今後 30 年以内の南海トラフ地震の発生確率については、SSD-BPT モデルによる評価が 60%から 90%程度以上、従来の BPT モデルによる評価が 20%から 50%とされた。 | 第二版一部改訂を踏まえた影響評価は既許可評価とほぼ同レベルであり、既許可評価における全震源の平均ハザード曲線より十分小さく、既許可評価への影響がないことを確認したため、反映不要とした。なお、伊方 SSHAC プロジェクトで算定した地震ハザードについては、南海トラフの大地震の地震発生確率（震源特性）の寄与が軽微であることが感度解析により確認されており、第二版一部改訂による影響はないことから、反映不要とした。 |

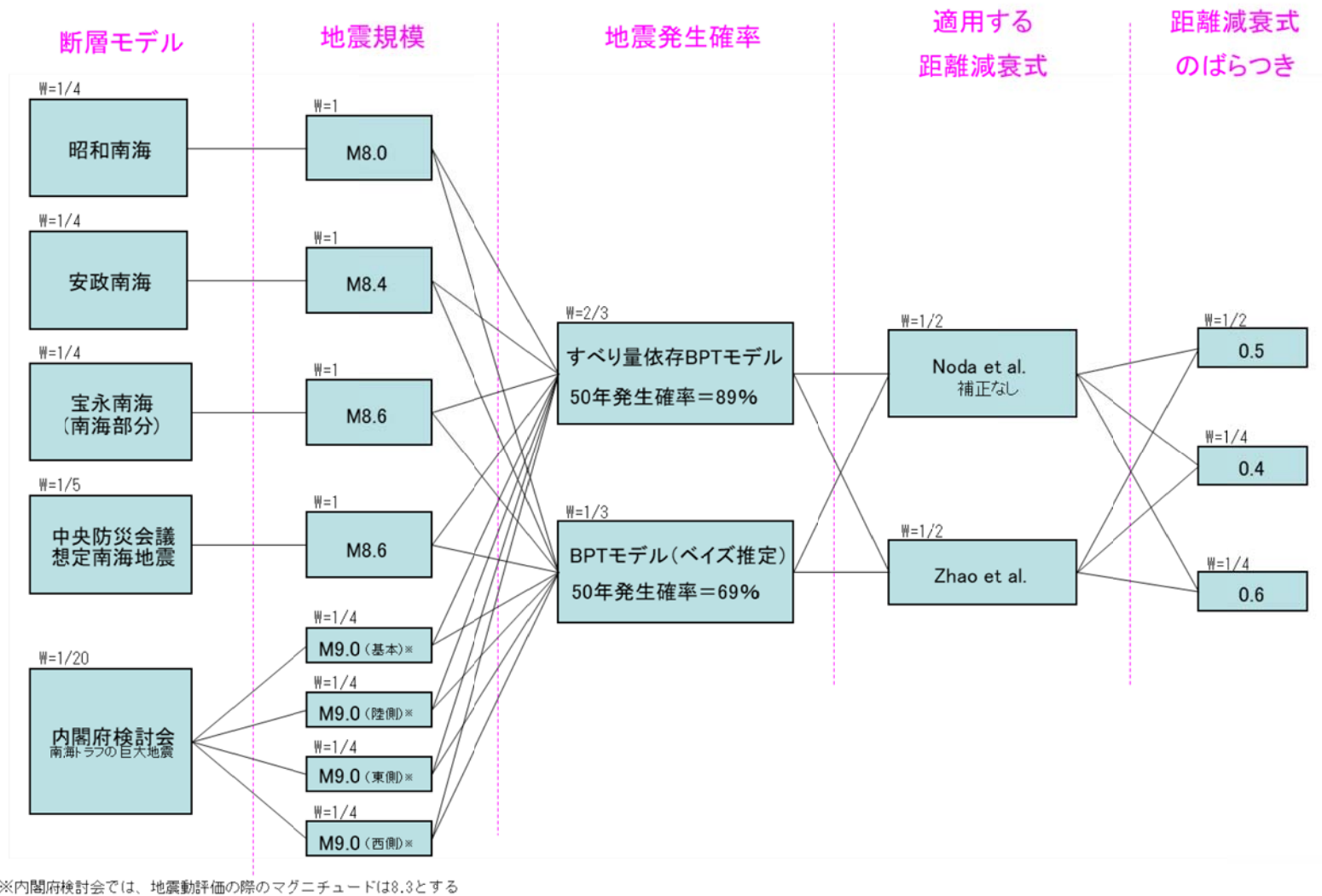
第1.2表 津波に関する新知見関連情報の概要と影響確認結果

| No. | 情報名称                                               | 概 要      | 判断根拠                                                                      |
|-----|----------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 南海トラフの地震活動の長期評価（第二版一部改訂）について<br>（地震調査研究推進本部ホームページ） | 第1.1表と同じ | 中央構造線断層帯による津波が支配的であり、南海トラフの地震による津波の変更を考慮しても既許可評価への影響がないことを確認したため、反映不要とした。 |

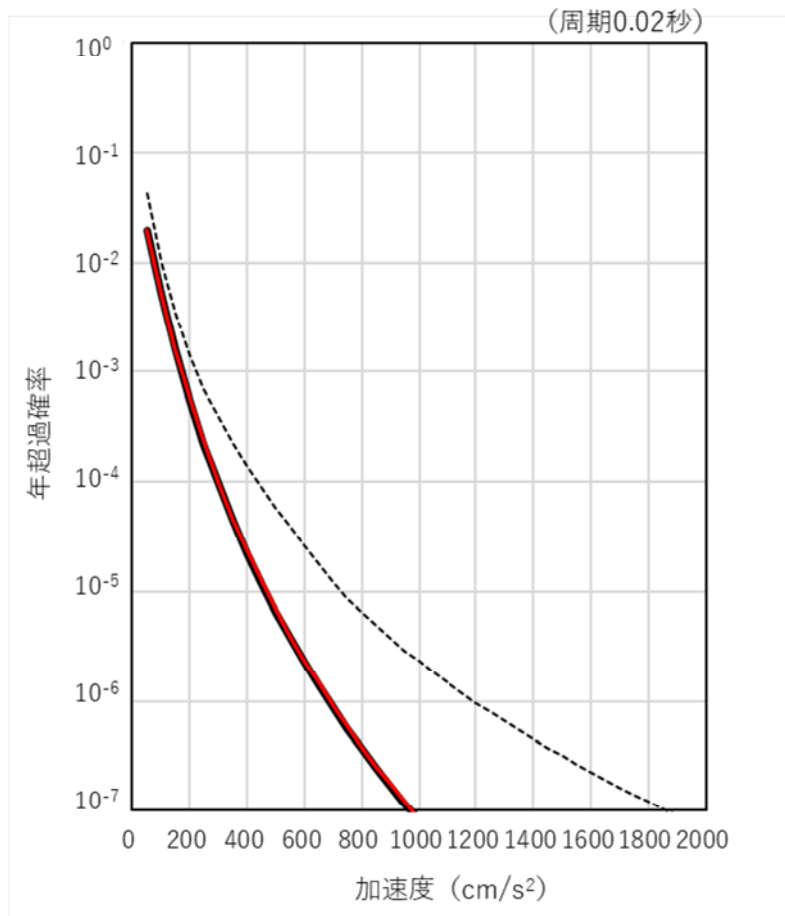


※内閣府検討会では、地震動評価の際のマグニチュードは8.3とする

第 2.1.1 図 既許可評価におけるロジックツリー (南海地震・南海トラフの巨大地震)



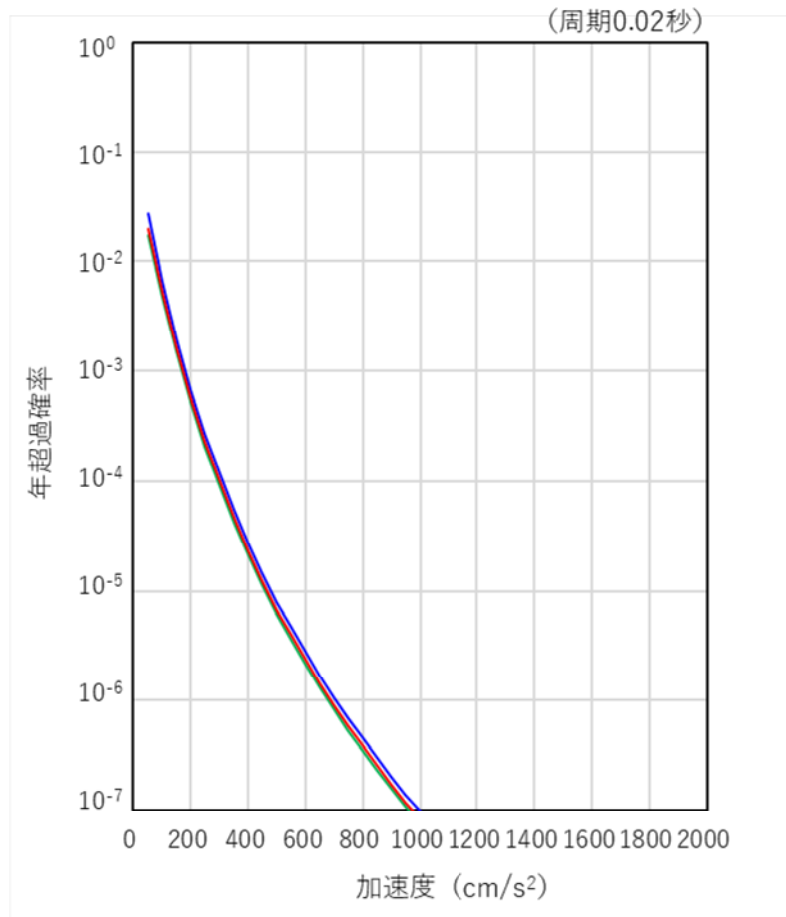
第 2.1.2 図 影響評価におけるロジックツリー（南海地震・南海トラフの巨大地震）



- : 既許可評価 全震源  
評価起点 2014年1月
- : 既許可評価 南海地震・南海トラフ巨大地震  
評価起点 2014年1月
- : 第二版一部改訂(期待値) 南海地震・南海トラフ巨大地震  
評価起点 2025年1月

第 2.1.3 図 既許可評価と影響評価における平均ハザード曲線の比較  
(周期 0.02 秒)



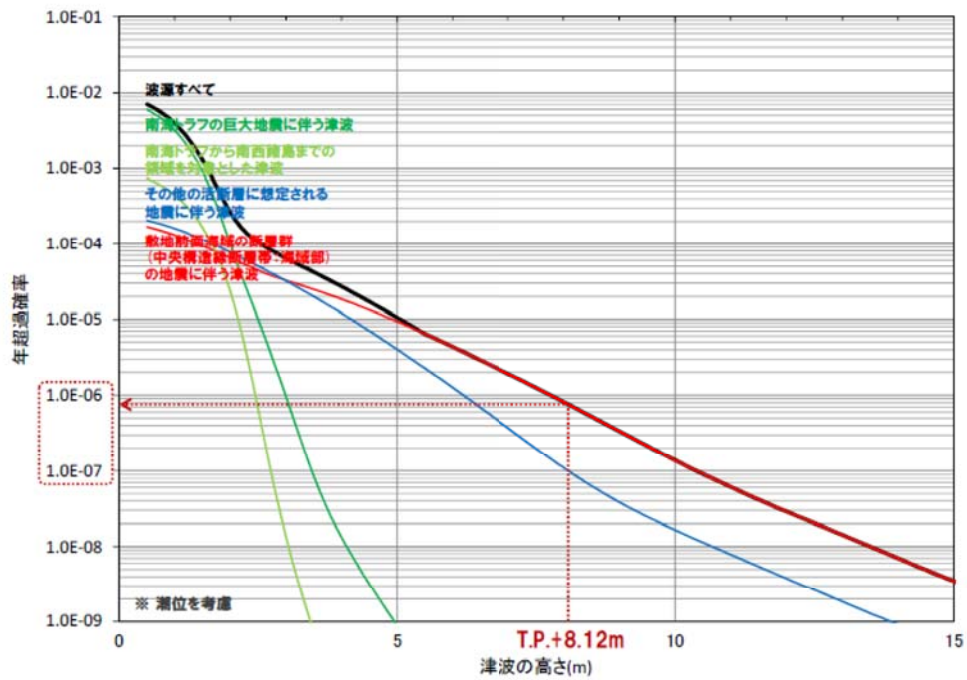


- : 第二版一部改訂 (期待値) 南海地震・南海トラフ巨大地震  
評価起点 2025年1月
- : 第二版一部改訂 (期待値) 南海地震・南海トラフ巨大地震  
評価起点 2014年1月
- : 第二版一部改訂 (上限値) 南海地震・南海トラフ巨大地震  
評価起点 2025年1月

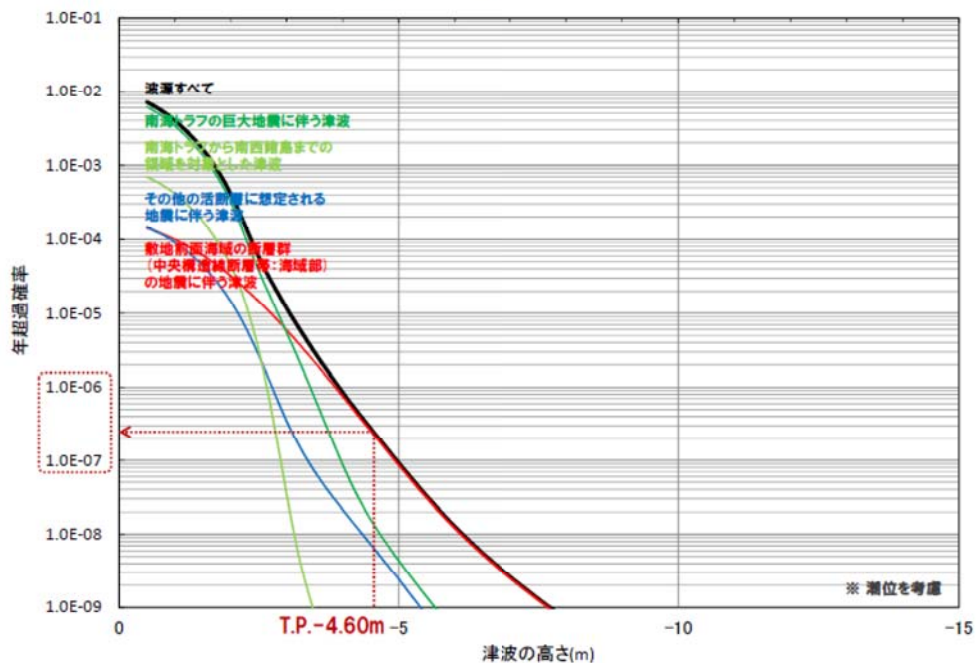
第 2.1.4 図 各影響評価における平均ハザード曲線の比較

(周期 0.02 秒)

### 3号炉敷地前面（上昇側）



### 3号炉海水取水口（下降側）



第 2. 1. 5 図 津波ハザード曲線の内訳

大分県有識者会議で報告された国東半島沖の断層帯による  
影響確認結果について

1. 概要

本資料は、外部事象に係る最新の文献並びに調査等から得られた科学的知見及び技術的知見のうち、大分県地震被害想定の見直し等に関する有識者会議（以下「大分県有識者会議」という。）において報告された国東半島沖の断層帯について、新知見関連情報ではないものの、同断層帯を踏まえた大分県地震被害想定の見直しが進められていることを踏まえ、大分県有識者会議での議論の概要と伊方発電所の既許可評価（地震動評価・津波評価）への影響確認結果を記すものである。

2. 確認結果

2.1. 概要

大分県有識者会議は、令和 6 年能登半島地震を踏まえた大分県の被害推定の見直しを行っており、第 3 回有識者会議（令和 7 年 7 月 30 日）において産業技術総合研究所が実施した国東半島沖の断層帯の海上音波探査の調査結果が報告された。大分県有識者会議で報告された国東半島沖の地質構造図（暫定版）を第 2.1.1 図に示す。

大分県有識者会議では、断層の分布と長さとしては、国東半島の沖合から山口県の屋代島（周防大島）にかけて、少なくとも長さ 60km にわたり一連の活断層が連続していることが確認されており、さらにその延長部にも断層構造が見られるため、全体としてはさらに長くな

る可能性がある」と報告されている。また、断層の活動時期としては、姫島近辺で、約1万年前より新しい地層（完新統）が上下にずれていることが確認され、この断層が1万年前よりも後に活動した（地震を起こした）可能性が示されており、さらに、2万年前以降に少なくとも2回程度の地震活動があった可能性が示唆されたと報告されている。

想定される地震と津波については、断層の長さから地震の規模を推定すると、確認された60kmの断層が一括で活動した場合、M7.8程度が想定され、安芸灘側に伸びる部分まで含めると長さ70kmを超え（第2.1.1図によると70～75km）、M7.9程度になる可能性もあると報告されている。断層の傾斜については全体として高角（ほぼ垂直）と想定するのが妥当ではないかとの見解が示されており、断層のずれのタイプは横ずれが主体で、過去の地震での上下のずれは音波探査で見える限り1m程度と推定されるため、能登半島地震（最大4m程度の隆起）のような大きな津波にはならない可能性があるものの、海底に段差が生じれば原理的には津波は発生しうると考えられると報告されている。

以上を踏まえ、大分県有識者会議で報告された国東半島沖の断層帯が既許可評価（地震動評価・津波評価）に及ぼす影響について確認した。

## 2.2 既許可評価への影響

既許可評価で確認した敷地周辺の活断層分布を第2.1.2図に示す。第2.1.2図のうち、中央構造線断層帯の北方に位置するF-3断層群及びF-4断層群が、大分県有識者会議で報告された国東半島沖の断層帯に対応しており、既許可評価においては、F-3断層群及びF-4断層群



を把握した上で、伊方発電所の地震動評価及び津波評価に最も影響の大きい地震として中央構造線断層帯による地震を選定している。また、大分県有識者会議で報告された国東半島沖の断層帯と既許可評価における中央構造線断層帯の諸元を比較した結果を第 2.1.1 表に示す。地震規模は中央構造線断層帯の方が大きく、断層最短距離は中央構造線断層帯の方が小さい値となっており、津波評価に影響のある上下変位量も中央構造線断層帯の方が大きい値となっている。したがって、大分県有識者会議で報告された国東半島沖の断層帯を踏まえても敷地に最も影響の大きい地震が中央構造線断層帯による地震であることに変わりなく、既許可評価（地震動評価・津波評価）への影響がないことを確認した。

以上のとおり、大分県有識者会議で報告された国東半島沖の断層帯を踏まえても既許可評価には影響がないと考えられるものの、定量的な確認として、国東半島沖の断層帯に対して地震動および津波の影響評価を行った。

地震動の影響評価については、既許可評価において Zhao et al. (2006) によって応答スペクトルを評価し、検討用地震を選定していることから、国東半島沖の断層帯（断層長さ 75km, Mw7.5）に対しても同様に Zhao et al. (2006) による評価を実施した。評価結果を第 2.1.3 図に示す。国東半島沖の断層帯による地震動は、敷地前面海域の断層群（中央構造線断層帯）による地震動を全周期帯で下回ることを確認した。

津波の影響評価については、国東半島沖の断層帯（断層長さ 73.5km, Mw7.5）に対して中央構造線断層帯における既許可の概略パラメータスタディとあわせた条件（横ずれを主体とする同走向の断層

であることからすべり角 180 度を基本として $\pm 10$  度の不確かさを考慮し、傾斜角は大分県有識者会議の見解に基づき 90 度に設定) で伊方発電所に対する津波評価を実施した。津波評価における波源として設定した国東半島沖の断層帯の位置図は第 2.1.4 図のとおりである。評価結果を第 2.1.2 表および第 2.1.5 図に示す。なお、第 2.1.5 図については参考資料 5 に示す。国東半島沖の断層帯による津波は、中央構造線断層帯による津波と比較して伊方発電所への影響が小さいことを確認した。

なお、中央構造線断層帯は長さ 400km を超える長大断層であるため、国東半島沖の断層帯の断層長さが変わっても上記結論に影響はない。また、確率論的地震・津波ハザード評価については、国東半島沖の断層帯は既許可評価において F-3 断層群及び F-4 断層群として考慮した上でハザード評価を実施しているが、確率論的地震・津波ハザード評価においては中央構造線断層帯による地震が支配的であることから、大分県有識者会議の報告を踏まえて F-3 断層群及び F-4 断層群の連動を考慮しても既許可評価への影響はない。

### 3. 参考文献

- (1) 「【配布資料 2】国東半島沖（防予諸島周辺海域）の断層帯について」大分県有識者会議，2025.
- (2) 「Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period」J. X. Zhao, J. Zhang, A. Asano, Y. Ohno, T. Oouchi, T. Takahashi, H. Ogawa, K. Irikura, H. K. Thio, P. G. Somerville, Y. Fukushima, Y. Fukushima, BSSA (Bulletin of the Seismological

Society of America), 96, 898-913, 2006.

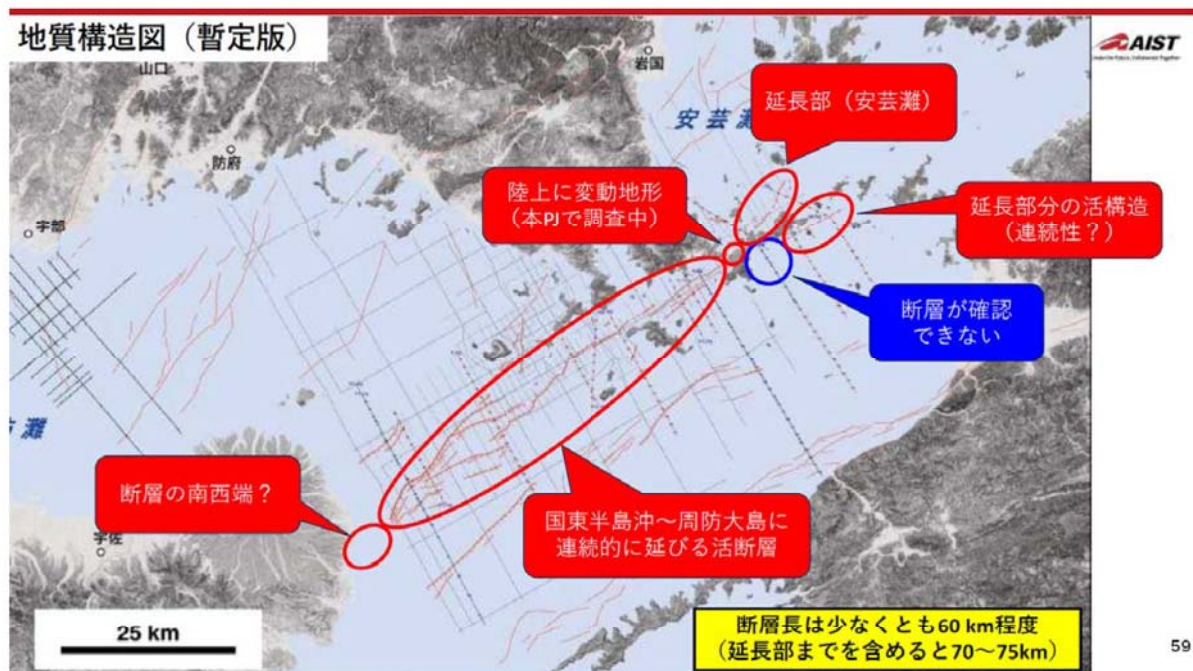
第 2.1.1 表 大分県有識者会議で報告された「国東半島沖の断層帯」と  
既許可評価における中央構造線断層帯の諸元の比較

|                    | 国東半島沖の断層帯<br>(大分県有識者会議) | 敷地前面海域の断層群<br>(中央構造線断層帯)<br>(伊方発電所の既許可評価) |
|--------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| 断層長さ               | 70～75km                 | 400km以上                                   |
| 地震規模<br>(マグニチュード)  | M7.9程度                  | M8.0以上                                    |
| 伊方発電所までの<br>断層最短距離 | 約35km                   | 約8km                                      |
| ずれのタイプ             | 横ずれ断層が主体                | 横ずれ断層が主体                                  |
| 上下変位量              | ～1m程度                   | ～2m程度                                     |

第 2.1.2 表 津波高さの比較結果

| 断層名       | 水位上昇側       | 水位下降側        |
|-----------|-------------|--------------|
|           | 3号炉<br>敷地前面 | 3号炉<br>海水取水口 |
| 国東半島沖の断層帯 | 0.95 m      | -0.64 m      |
| 中央構造線断層帯  | 4.11 m      | -1.61 m      |

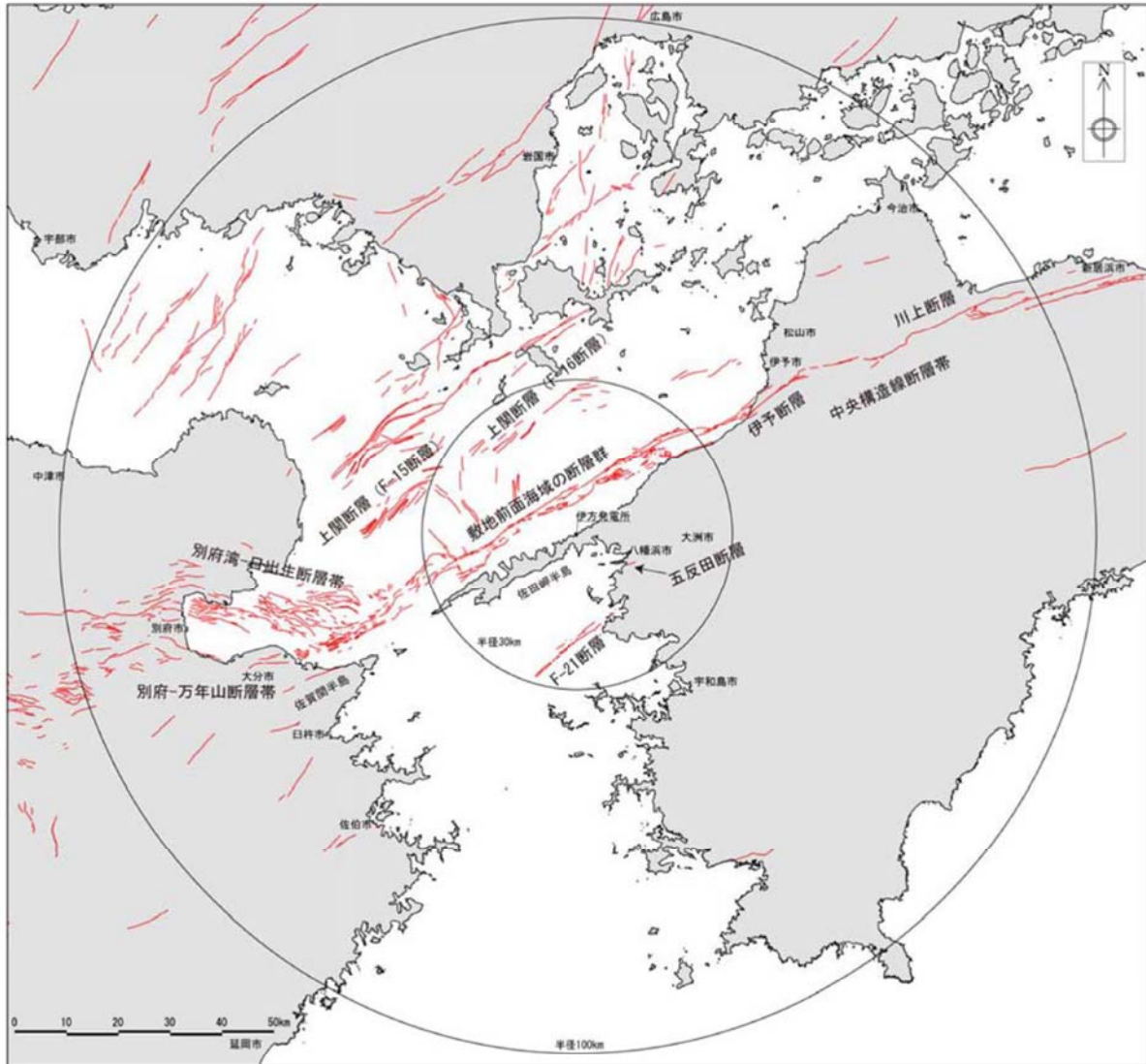




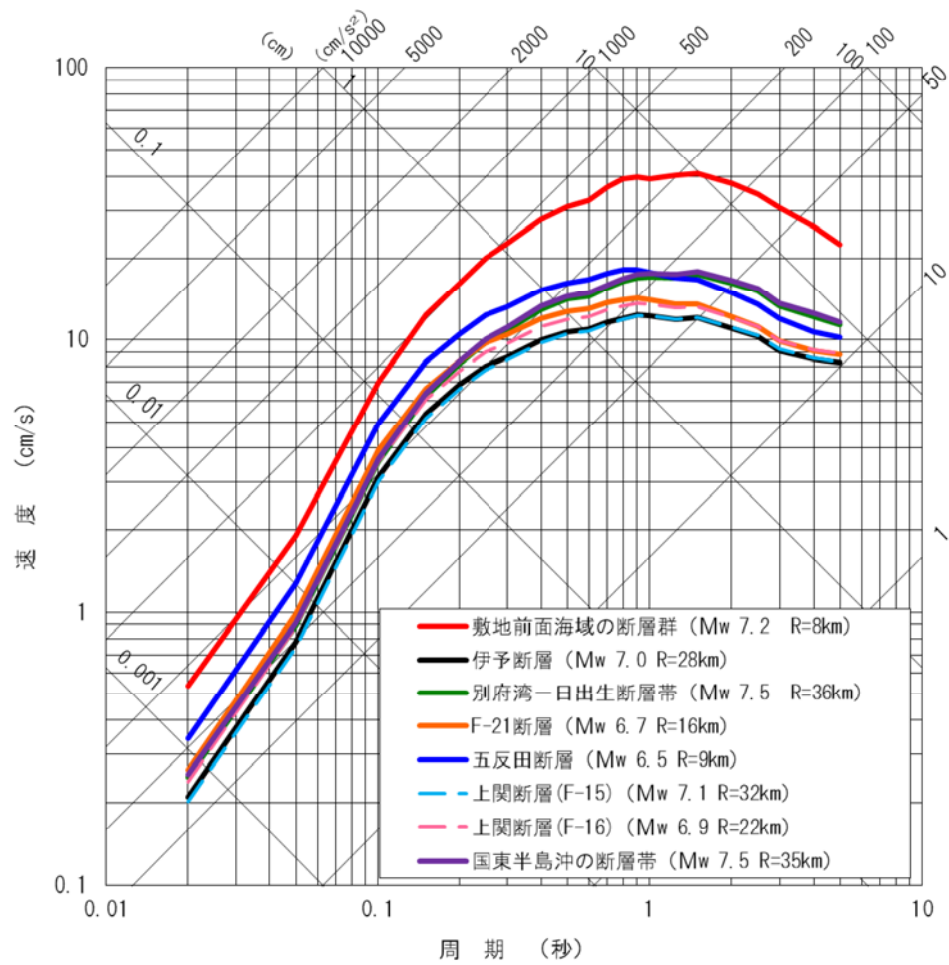
59

第 2.1.1 図 国東半島沖の地質構造図（暫定版）

「第 3 回大分県有識者会議【配布資料 2】国東半島沖（防予諸島周辺海域）の断層帯について」より一部抜粋



第 2.1.2 図 敷地周辺の活断層分布図(半径 30km 以遠を含む)



第2.1.3図 Zhao et al. (2006) による比較結果



第 2.1.4 図 国東半島沖の断層帯の波源の設定

参考資料 5 に記載する。

第 2.1.5 図 国東半島沖の断層帯による津波高さ



地震に関する安全性向上に向けた自主的な取組みとして

当社が関わった成果について

## 1. 概要

本資料は、外部事象に係る最新の文献並びに調査等から得られた科学的知見及び技術的知見について、地震に関する安全性向上に向けた自主的な取組みとして当社が関わった成果を記すものである。

成果の概要と影響確認結果を第 1.1 表に示す。以下には確認結果の詳細を記す。

## 2. 確認結果

### 2.1. 敷地の地盤増幅特性に関する知見

既許可評価では、深部ボーリング孔を活用した調査等から敷地地盤の速度構造は水平成層かつ均質であること、伊方発電所で観測した地震記録から顕著な増幅特性を示す地震がないことを確認している。

Nishizaka et al. (2025) は、伊方発電所の深部ボーリング孔の深度 2000m から地表付近にかけて設置した地震計による鉛直アレイ観測で得た地震観測記録及び、PS 検層や密度検層等の結果を踏まえて設定した水平成層の地下構造モデルから、敷地地盤の増幅特性とその要因を評価したものである。2012 年 12 月の観測開始以来の地震観測記録を用いて、地震観測記録を説明する地下構造モデルを多数探索してサイト応答解析を実施し、深度 2000m から 5 m にかけての地盤増幅率の周波数依存性について評価した結果、地盤増幅率の中央値（50%）は 0.3Hz から 1 Hz で

1 程度，1 Hz から 30Hz で 1 未満の値が得られるとともに，これらの結果が頑健であることが示された（第 2.1.1 図）。この結果は深部ボーリング地点において地震動の顕著な増幅は発生せず，特に高周波数帯においてはむしろ減衰効果が卓越することを示している。

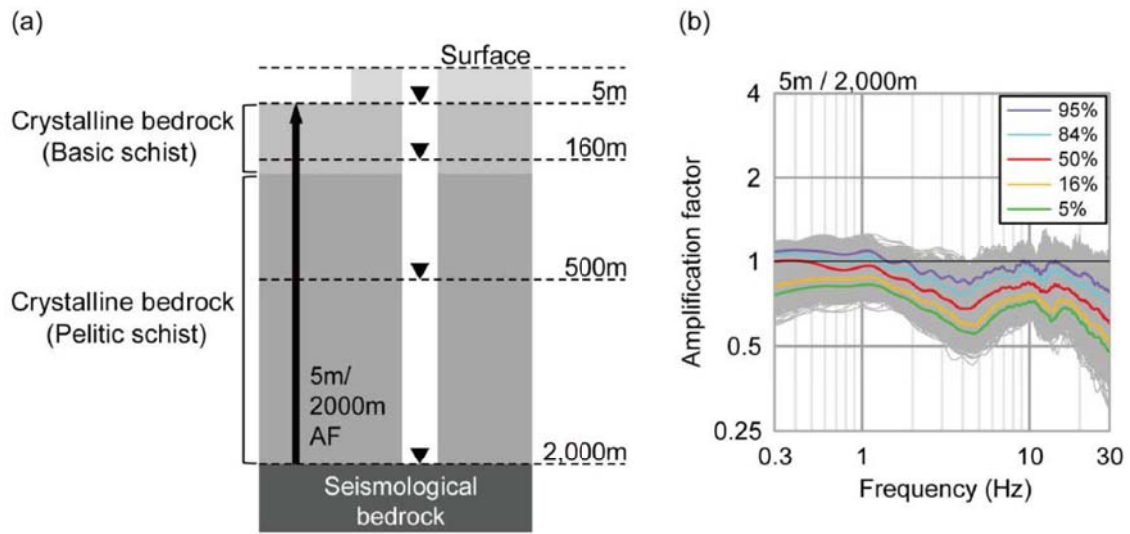
これは，地震動評価上，敷地地盤の速度構造が水平成層かつ均質であることを支持し，伊方発電所で観測した地震が顕著な増幅特性を示さないとした既許可評価の妥当性を裏付けるものである。

### 3. 参考文献

- (1) Nishizaka, N., Sato, H., Tsuji, T., Ishikawa, Y., Nagai, C., Yamauchi, Y. Characteristics and controlling factors of seismic site response at a crystalline bedrock site based on quality factor inversion using deep borehole data. Scientific Reports 15, 13230, 2025.

第1.1表 地震に関する安全性向上に向けた自主的な取り組みとして当社  
が関わった成果の概要と影響確認結果

| No. | 情報名称                                                                                                                                                                                    | 概 要                                                                                                                       | 判断根拠                                                                   |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Characteristics and controlling factors of seismic site response at a crystalline bedrock site based on quality factor inversion using deepborehole data (Scientific Reports 15, 13230) | 伊方発電所の深部ボーリング孔に設置した地震計を用いた鉛直アレイ観測で得た地震観測記録から地盤の増幅特性とその要因を評価した結果、深度 2000m から地表付近にかけて地震動の顕著な増幅が発生せず、高周波数帯においてはむしろ減衰効果が卓越する。 | 敷地地盤の速度構造が水平成層かつ均質であり、伊方発電所で観測した地震が顕著な増幅特性を示さないとした既許可評価の妥当性を裏付けるものである。 |



Nishizaka et al. (2025) より抜粋

第 2.1.1 図 深度 2000m から 5 m までの地盤増幅率



## 伊方発電所前面海域調査の実施について

### 1. 概要

本資料は、外部事象に係る最新の文献並びに調査等から得られた科学的知見及び技術的知見について、更なる安全性向上に向けた自主的な地質データ拡充及び知見の充実の一環として実施する伊方発電所前面海域における地質調査の計画について記すものである。

### 2. 伊方発電所前面海域調査の実施について

当社は、伊方発電所前面海域の地質データを拡充するために、海底ボーリング調査及び海上音波探査を実施する計画である。

当社はこれまで、伊方発電所の更なる安全性向上に向けた自主的な取り組みの一環として、伊方発電所において将来生じる可能性のある地震動を国際的な基準である Senior Seismic Hazard Analysis Committee ガイドラインの Level3 に準拠して確率論的に評価するプロジェクトを実施した。今回のボーリング調査によって得られた地質データを既存の調査（第 2.1 図）を含む海上音波探査による海底地質断面に基づいて伊方発電所前面の伊予灘に分布する中央構造線断層帯まで追跡し、中央構造線断層帯の活動時期等に係る地質データの拡充及び知見の充実を図る。今回の調査を踏まえて、確率論的地震ハザード解析の一層の精緻化ができれば、伊方発電所の更なる安全性の向上が期待できる。

伊方発電所前面海域調査の詳細を以下に記す。

(1) 調査範囲

伊方発電所前面の海域（約 2km×10km の範囲：第 2.2 図）

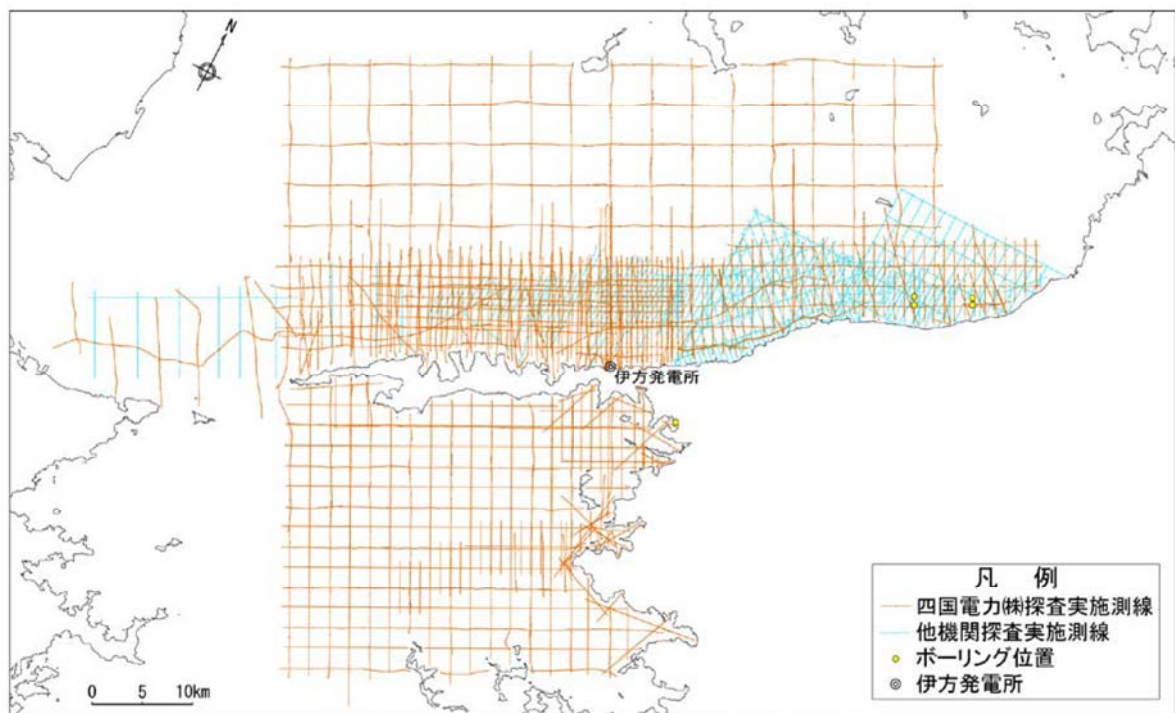
(2) 現地調査期間

2026 年 4 月～9 月（予定）

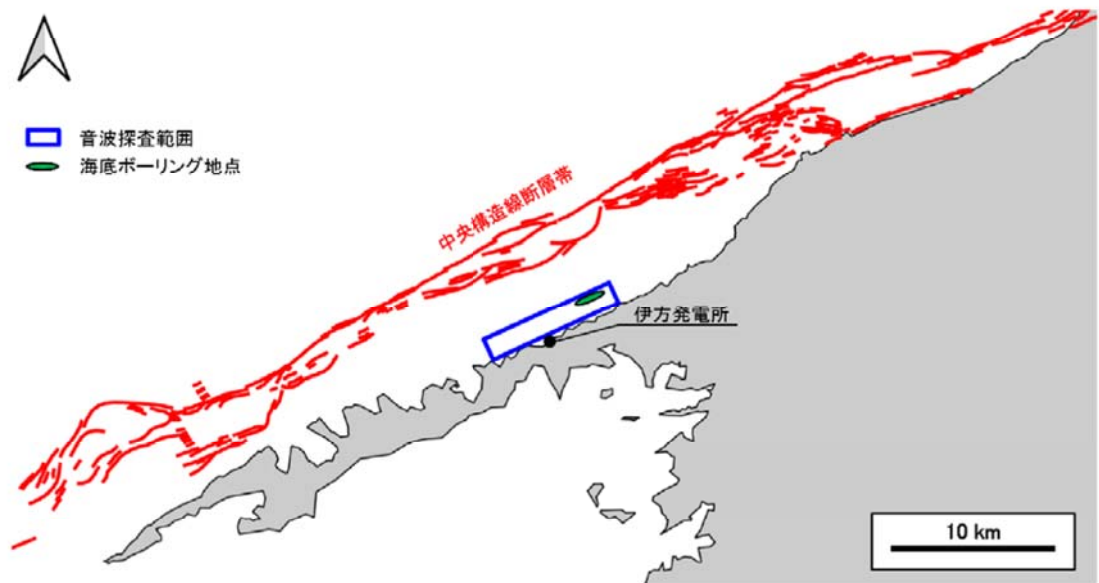
(3) 現地調査内容

海底ボーリング調査及び海上音波探査

今後、調査結果を踏まえて地震ハザードへの影響の分析を進める予定である。



第 2.1 図 敷地周辺の既存の海上音波探査測線図



第 2.2 図 調査範囲

## 別紙 3.1.3.7-5

## 航空機落下確率及び航空機墜落の火災影響評価の再評価について

伊方発電所 3 号炉に対する航空機落下確率について、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成 21・06・25 原院第 1 号）に基づき、「NRA 技術ノート 航空機落下事故に関するデータ（平成 15～令和 4 年）」（令和 7 年 3 月 原子力規制庁長官官房技術基盤グループ シビアアクシデント研究部門）等を用いて評価を行ったところ、結果は伊方発電所 3 号炉で約  $6.8 \times 10^{-8}$  回／炉・年、使用済燃料乾式貯蔵施設で約  $5.7 \times 10^{-8}$  回／炉・年となり、判断基準値である  $10^{-7}$  回／炉・年を下回ることを確認した。

また、航空機墜落の火災影響評価については、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会）に基づき評価を行うが、上で述べた航空機落下確率評価から算出される火災影響評価に用いる各カテゴリの離隔距離を既評価※の離隔距離と比較したところ、同じもしくは既評価の方が短くなることから、今回評価において既評価における輻射強度を上回ること無く、既評価を変更する必要がないことを確認した。

※：「NRA 技術ノート 航空機落下事故に関するデータ（平成 13 年～令和 2 年）」（令和 5 年 3 月原子力規制庁長官官房技術基盤グループ シビアアクシデント研究部門）等を用いた評価（第 4 回安全性向上評価届出書参照）

評価対象事故、評価に用いた数値および評価結果について、以下に示す。



## 1. 評価対象事故

| 評価<br>対象                                 | 1) 計器飛行方式民間<br>航空機の落下事故        |                       | 2) 有視界飛<br>行方式民間<br>航空機の落<br>下事故 | 3) 自衛隊機または米軍機の<br>落下事故                      |                                |
|------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|
|                                          | ①飛行場での<br>離着陸時に<br>おける落下<br>事故 | ②航空路を巡<br>航中の落下<br>事故 |                                  | ①訓練空域内で<br>訓練中および<br>訓練空域外を<br>飛行中の落下<br>事故 | ②基地－訓練<br>空域間を往<br>復時の落下<br>事故 |
| 伊方<br>発電所<br>3号炉<br>／使用済<br>燃料乾式<br>貯蔵施設 | ×注1                            | ○注2                   | ○                                | ○<br>〔訓練空域外を飛<br>行中の落下事故〕                   | ○注3                            |

○：対象，×：対象外

注1：発電所は，滑走路方向に対して±60°扇型区域から外れている。

注2：発電所上空には，広域航法（RNAV）経路として「Y23」，「Y40」，「Y351」が存在する。

注3：自衛隊機および米軍機の想定飛行範囲内に原子炉施設が存在する。

## 2. 評価に用いた数値

## 1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故

## ② 航空路を巡航中の落下事故

$$Pc = fc \cdot Nc \cdot A / W$$

$Pc$  : 対象施設への巡航中の航空機落下確率 (回/年)

$Nc$  : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数 (飛行回/年)

$A$  : 原子炉施設の標的面積 ( $\text{km}^2$ )

$W$  : 航空路幅 (km)

$fc = Gc / Hc$  : 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率

(回/(飛行回・km))

$Gc$  : 巡航中事故件数 (回)

$Hc$  : 延べ飛行距離 (飛行回・km)

| 評価対象<br>パラメータ | 伊方発電所 3 号炉                                     | 使用済燃料<br>乾式貯蔵施設        |
|---------------|------------------------------------------------|------------------------|
| 対象航空路         | Y23, Y40, Y351                                 |                        |
| $Nc$ 注 1      | Y23 : 16,790<br>Y40 : 9,855<br>Y351 : 182.5    |                        |
| $A$ 注 2       | 0.012                                          | 0.010                  |
| $W$ 注 3       | Y23, Y40, Y351 : 18.52                         |                        |
| $fc$ 注 4      | 0.5 / 11,940,888,697 = $4.187 \times 10^{-11}$ |                        |
| $Pc$          | $7.28 \times 10^{-10}$                         | $6.07 \times 10^{-10}$ |

注 1 : 国土交通省航空局への問い合わせ結果 (令和 6 年のピークデいの値) を 365 倍した値。なお、ピークデイにおける各航空路の値は、Y23 が 46, Y40 が 27, Y351 が 0.5 であり、令和 6 年 9 月 30 日のデータである。(Y351 はピークデイ交通量 0 のため 0.5 と仮定する)

注 2 : 伊方発電所 3 号炉は、原子炉建屋、原子炉補助建屋、屋外タンク、海水ポンプ設置エリアの合計値が  $0.01119 \text{ km}^2$  であるので標的面積を  $0.012 \text{ km}^2$  とする。使用済燃料乾式貯蔵建屋の水平面積は  $0.010 \text{ km}^2$  未満であるので、標的面積は  $0.010 \text{ km}^2$  とする。

注 3 : 広域航法経路 (Y23, Y40, Y351) については、「AIP JAPAN」の航法精度に基づき、中心線から両側に  $5 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 1.852 \text{ km}$ , 全幅 :  $18.52 \text{ km}$ ) とする。

注 4 : 巡航中事故件数 ( $Gc$ ) は、平成 15 年～令和 4 年の間で 0 件のため 0.5 件と仮定する。延べ飛行距離 ( $Hc$ ) は、平成 15 年～令和 4 年の「航空輸送統計調査年報 第 1 表 総括表 1. 輸送実績」における運航キロメートルの国内の値 (幹線, ローカル線, 不定期の合計値) を合計した値。

## 2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

$$P_V = (f_V / S_V) \cdot A \cdot \alpha$$

$P_V$  : 対象施設への航空機落下確率 (回/年)

$f_V$  : 単位年当たりの落下事故率 (回/年)

$S_V$  : 全国土面積 (km<sup>2</sup>)

$A$  : 原子炉施設の標的面積 (km<sup>2</sup>)

$\alpha$  : 対象航空機の種類による係数

| 評価対象<br>パラメータ | 伊方発電所 3 号炉                                                                           | 使用済燃料<br>乾式貯蔵施設       |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| $f_V$ 注 1     | 大型固定翼機 0.5/20=0.025<br>小型固定翼機 16/20=0.800<br>大型回転翼機 1/20=0.050<br>小型回転翼機 17/20=0.850 |                       |
| $S_V$ 注 2     | 372,000                                                                              |                       |
| $A$           | 0.012                                                                                | 0.010                 |
| $\alpha$ 注 3  | 大型固定翼機, 大型回転翼機 : 1<br>小型固定翼機, 小型回転翼機 : 0.1                                           |                       |
| $P_V$         | $7.74 \times 10^{-9}$                                                                | $6.45 \times 10^{-9}$ |

注 1 : 「NRA 技術ノート 航空機落下事故に関するデータ (平成 15～令和 4 年)」 (令和 7 年 3 月 原子力規制庁長官官房技術基盤グループ シビアアクシデント研究部門) より。大型固定翼機の事故件数は 0 件のため, 0.5 件と仮定する。

注 2 : 「NRA 技術ノート 航空機落下事故に関するデータ (平成 15～令和 4 年)」 (令和 7 年 3 月 原子力規制庁長官官房技術基盤グループ シビアアクシデント研究部門) より。全国土面積は 372,973km<sup>2</sup> であるが, 丸め値を用いて保守的に評価することとする。

注 3 : 「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」 (平成 21・06・25 原院第 1 号) より。

## 3) 自衛隊機または米軍機の落下事故

## ① 訓練空域外を飛行中の落下事故

$$P_{so} = (f_{so} / S_o) \cdot A$$

$P_{so}$  : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率 (回/年)

$f_{so}$  : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率 (回/年)

$S_o$  : 全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積 (km<sup>2</sup>)

$A$  : 原子炉施設の標的面積 (km<sup>2</sup>)

| 評価対象<br>パラメータ | 伊方発電所 3 号炉                               | 使用済燃料<br>乾式貯蔵施設       |
|---------------|------------------------------------------|-----------------------|
| $f_{so}$ 注 1  | 自衛隊機 13 / 20 = 0.70<br>米軍機 5 / 20 = 0.20 |                       |
| $S_o$ 注 2     | 自衛隊機 294,000<br>米軍機 372,000              |                       |
| $A$           | 0.012                                    | 0.010                 |
| $P_{so}$      | $3.46 \times 10^{-8}$                    | $2.88 \times 10^{-8}$ |

注 1 : 「NRA技術ノート 航空機落下事故に関するデータ(平成15～令和4年)」(令和7年3月 原子力規制庁長官官房技術基盤グループ シビアアクシデント研究部門)より。

注 2 : 「NRA技術ノート 航空機落下事故に関するデータ(平成15～令和4年)」(令和7年3月 原子力規制庁 長官官房 技術基盤グループ シビアアクシデント研究部門)より。自衛隊の $S_o$ は294,779km<sup>2</sup>, 米軍の $S_o$ は372,464km<sup>2</sup>であるが, 丸め値を用いて保守的に評価することとする。



- ② 基地－訓練空域間を往復時の落下事故（想定飛行範囲内に原子炉施設が存在する場合）

$$Pse = (fse / Sse) \cdot A$$

$Pse$ ：対象施設への航空機落下確率（回／年）

$fse$ ：基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）

$Sse$ ：想定飛行範囲の面積（ $\text{km}^2$ ）

$A$ ：原子炉施設の標的面積（ $\text{km}^2$ ）

| 評価対象<br>パラメータ | 伊方発電所 3 号炉                                    | 使用済燃料<br>乾式貯蔵施設       |
|---------------|-----------------------------------------------|-----------------------|
| $fse$ 注 1     | 自衛隊機 0.5 / 20 = 0.025<br>米軍機 0.5 / 20 = 0.025 |                       |
| $Sse$ 注 2     | 自衛隊機 40,080<br>米軍機 17,840                     |                       |
| $A$           | 0.012                                         | 0.010                 |
| $Pse$         | $2.43 \times 10^{-8}$                         | $2.03 \times 10^{-8}$ |

注 1：「NRA 技術ノート 航空機落下事故に関するデータ（平成 15～令和 4 年）」（令和 7 年 3 月 原子力規制庁長官官房技術基盤グループ シビアアクシデント研究部門）より。自衛隊機，米軍機の事故については 0 件のため，0.5 件と仮定する。

注 2：「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成 21・06・25 原院第 1 号）に基づき算出。

### 3. 落下確率値の合計値

(回／炉・年)

| 評価対象            | 1) 計器飛行方式民間航空機の<br>落下事故        |                        | 2) 有視界飛行方式民間<br>航空機の落<br>下事故 | 3) 自衛隊機または米軍機<br>の落下事故                          |                               | 合 計                  |
|-----------------|--------------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|
|                 | ①飛行場での<br>離着陸時に<br>おける落下<br>事故 | ②航空路を巡<br>航中の落下<br>事故  |                              | ①訓練空域内<br>で訓練中お<br>よび訓練空<br>域外を飛行<br>中の落下事<br>故 | ②基地－訓練<br>空域間往復<br>時の落下事<br>故 |                      |
| 伊方発電所<br>3号炉    | —                              | $7.28 \times 10^{-10}$ | $7.74 \times 10^{-9}$        | $3.46 \times 10^{-8}$                           | $2.43 \times 10^{-8}$         | $6.8 \times 10^{-8}$ |
| 使用済燃料<br>乾式貯蔵施設 | —                              | $6.07 \times 10^{-10}$ | $6.45 \times 10^{-9}$        | $2.88 \times 10^{-8}$                           | $2.03 \times 10^{-8}$         | $5.7 \times 10^{-8}$ |

### 3.2 安全性向上に係る活動の実施状況に関する中長期的な評価

#### 3.2.4 10 年ごとの改訂以外の届出における活動

##### 3.2.4.1 第 5 回安全性向上評価届出（評価時点：令和 8 年 1 月 21 日） における評価

第 4 回安全性向上評価（評価時点：令和 6 年 11 月 12 日）において、IAEA 安全ガイド「Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants」（No. SSG-25）と同等の規格である日本原子力学会標準「原子力発電所の安全性向上のための定期的な評価に関する実施基準：2023」（AESJ-SC-S006:2023）を参考として、安全因子レビュー及び総合評価を実施し、妥当且つ実行可能な安全性向上措置について実行計画を策定した。策定した安全性向上計画については、計画的に取り組んでいる。

第 5 回安全性向上評価は、10 年ごとの改訂時期ではないため、改めて調査、分析または評価を実施していない。次回の評価を実施するまでの期間においては、現状の保安活動等を着実に実施していくとともに、将来を見据えた中長期的な視点でのプラント環境の変化を把握するなど、評価を実施するためのデータを蓄積していく。

また、中長期的な評価のレビュー項目のひとつである設計の経年化評価については、内的事象を対象とした評価を第 3 回届出の添付資料 4 において、外部事象を対象とした評価については第 5 回届出（今回）の添付資料 3 において、実施している。

なお、次回の 10 年ごとの改訂に係る評価は、評価を実施した直近の届出に係る評価時点（令和 6 年 11 月 12 日）を起算日とし、10 年の期間を経過する日（令和 16 年 11 月 12 日）以後最初の定期事

業者検査の終了後に行う安全性向上評価となる。