

資料4-2-2

※本資料における については商業機密又は防護上の機密を含むため公開できません。

伊方発電所保安規定審査資料	
資料番号	TS(66)-02-02 (改4)
提出年月日	平成30年11月13日

伊方発電所3号炉 非常用ディーゼル発電機吸気消音器 フィルタの閉塞について

平成30年11月
四国電力株式会社

目 次

1. 対策の概要
2. 火山灰フィルタの取付け時間について
 - (1) 降灰到達時間
 - (2) 火山灰フィルタの取付け時間
3. 火山灰フィルタ閉塞時間の算出に用いる大気中の降下火砕物濃度
4. 火山灰フィルタ閉塞時間について
5. フィルタエレメントの取替え時間について
6. フィルタエレメントの清掃について
7. まとめ

別紙1 フィルタの性能試験について

別紙2 降灰到達時間について

別紙3 気中降下火砕物濃度の算出方法及び算出結果

別紙4 フィルタエレメント清掃性の検証について

別紙5 気中降下火砕物濃度を超える降下火砕物濃度に対する非常用ディーゼル発電機の機能維持期間について

非常用ディーゼル発電機については、屋外に設置している吸気消音器のフィルタの閉塞が想定されるため、高濃度の降下火砕物濃度に対して確実に非常用ディーゼル発電機の機能を維持できるよう、非常用ディーゼル発電機の吸気消音器フィルタに対策を講じる。

また、対策による効果を確認するため、閉塞時間及びフィルタエレメントの取替え時間を算出する。

1. 対策の概要

火山影響等発生時において発電所敷地に高濃度の降下火砕物が予想される場合、非常用ディーゼル発電機の吸気消音器に着脱可能な火山灰フィルタを取り付ける。

火山灰フィルタは、非常用ディーゼル発電機運転中においてもカートリッジ式のフィルタエレメントを取替え・清掃することが可能である。また、フィルタエレメントには、500 メッシュの金属フィルタをプリーツ状にすることで面積を拡大させたフィルタを使用する。フィルタエレメントは同じものを2式配備することにより、清掃中においても常にフィルタ流路を確保する。

火山灰フィルタの主な仕様を第1表に、概要図及び取付けについて第1図、第2図に示す。また、フィルタの性能試験の概要及び結果を別紙1に示す。

なお、フィルタエレメント取替え時には、降下火砕物侵入防止のため閉止板を火山灰フィルタに挿入するが、閉止板により塞がれるフィルタの最大面積は [] である。このときの有効面積は [] であり、既設の吸気消音器フィルタの有効面積 [] を上回っていることから、非常用ディーゼル発電機の運転に必要な風量を確保できる。

第1表 火山灰フィルタの主な仕様

火山灰フィルタ台数 (台) ^{※1}	1
フィルタエレメント個数 (個) ^{※2}	14
火山灰フィルタ外形寸法 (mm)	3,950×2,900×900
火山灰フィルタ有効面積 (m ²)	[]
火山灰フィルタの降下火砕物捕集容量 (g/m ²)	60,000

※1 非常用ディーゼル発電機1台当たり

※2 火山灰フィルタ1台当たり。取替え・清掃のため上記とは別に1式(14個)配備している。

2. 火山灰フィルタの取付け時間について

(1) 降灰到達時間

気象条件等を考慮し、噴火から降下火砕物が発電所敷地に到達するまでの時間を保守的に80分とする。降灰到達時間の考え方について別紙2に示す。

(2) 火山灰フィルタの取付け時間

火山灰フィルタ取付けに要する時間は、伊方発電所保安規定審査資料「TS(66)-02-01 伊方発電所3号炉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体制の整備について」(以下「審査資料 TS(66)-02-01」という。) の「4. (2)a. 非常用ディーゼル発電機への火山灰フィルタの取付け」に示すとおり 65 分である。

したがって、火山灰フィルタの取付けは降下火砕物が発電所敷地に到達する前に実施可能である。

3. 火山灰フィルタ閉塞時間の算出に用いる大気中の降下火砕物濃度

火山灰フィルタ閉塞時間の算出に用いる大気中の降下火砕物濃度は、「原子力発電所の火山影響評価ガイド（平成 29 年 11 月 29 日改正）」(以下「ガイド」という。) の添付 1 「気中降下火砕物濃度の推定手法について」に定められた手法により推定した気中降下火砕物濃度とする。

気中降下火砕物濃度の算出方法及び算出結果を別紙 3 に示す。

別紙 3 の結果より、気中降下火砕物濃度は 3.1 g/m^3 とする。

4. 火山灰フィルタ閉塞時間について

火山灰フィルタ閉塞時間は、以下の条件に基づいて算出した結果、約 3.1 時間である。

①非常用ディーゼル発電機 火山灰フィルタの降下火砕物捕集容量 (g/m^2)	60,000
②非常用ディーゼル発電機 火山灰フィルタ有効面積 (m^2)	[Redacted]
③非常用ディーゼル発電機 火山灰フィルタの降下火砕物捕集量 (g) $= ① \times ②$	[Redacted]
④気中降下火砕物濃度 (g/m^3)	3.1
⑤非常用ディーゼル発電機吸気流量 (m^3/h)	[Redacted]
⑥閉塞までの時間 (h) $= ③ / ④ / ⑤$	3.1

5. フィルタエレメントの取替え時間について

フィルタエレメントの取替え時間は、審査資料 TS(66)-02-01 の「4. (2)d. 非常用ディーゼル発電機の火山灰フィルタエレメントの取替え・清掃」に示すとおり要員 6 名で、作業時間に十分余裕を持った約 2 時間以内とする。

事前に交換用のフィルタエレメント及び防護具(マスク、ゴーグル)を配備する。

6. フィルタエレメントの清掃について

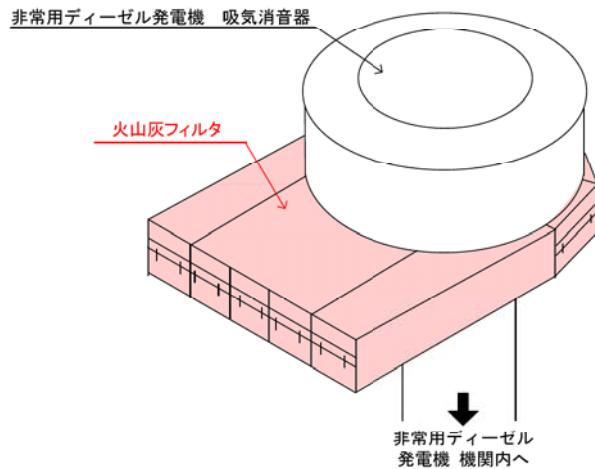
フィルタエレメントは、定められた清掃手順により降下火砕物を除去することにより繰り返し使用する。

フィルタエレメントの清掃性の検証結果を別紙 4 に示す。

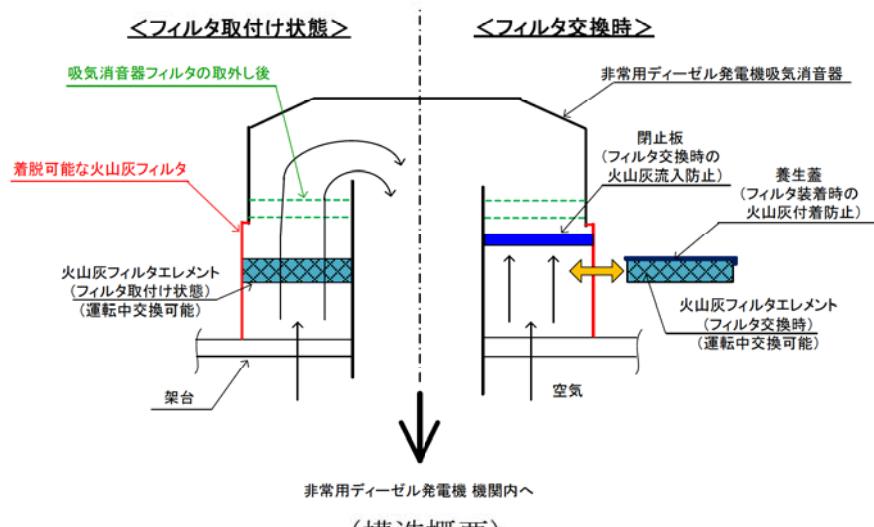
7.まとめ

非常用ディーゼル発電機の吸気消音器に対策を行った火山灰フィルタは、気中降下火碎物濃度 $3.1\text{g}/\text{m}^3$ に対し余裕を持ってフィルタエレメントを交換することが可能である。

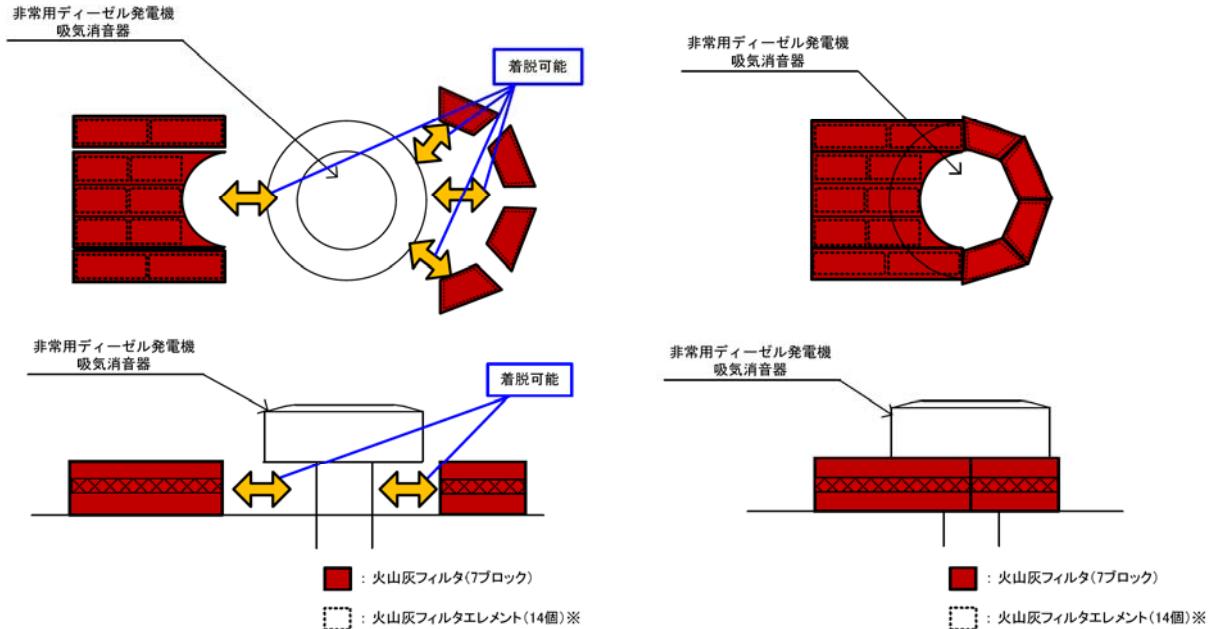
以上



(外形図)



(構造概要)
第1図 火山灰フィルタ概要図



(取付け前) (取付け後)
第2図 非常用ディーゼル発電機吸気消音器への火山灰フィルタの取付け

フィルタの性能試験について

1. 試験の概要

非常用ディーゼル発電機火山灰フィルタのフィルタエレメントには、500 メッシュの金属フィルタをプリーツ状にすることで面積を拡大させたフィルタを使用する。

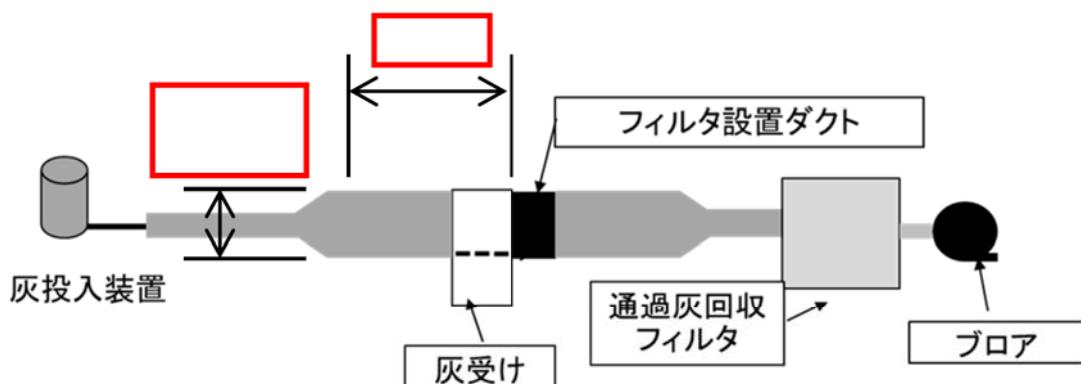
本試験では、フィルタの性能を確認するため、降下火碎物捕集容量を測定する。

2. 試験方法

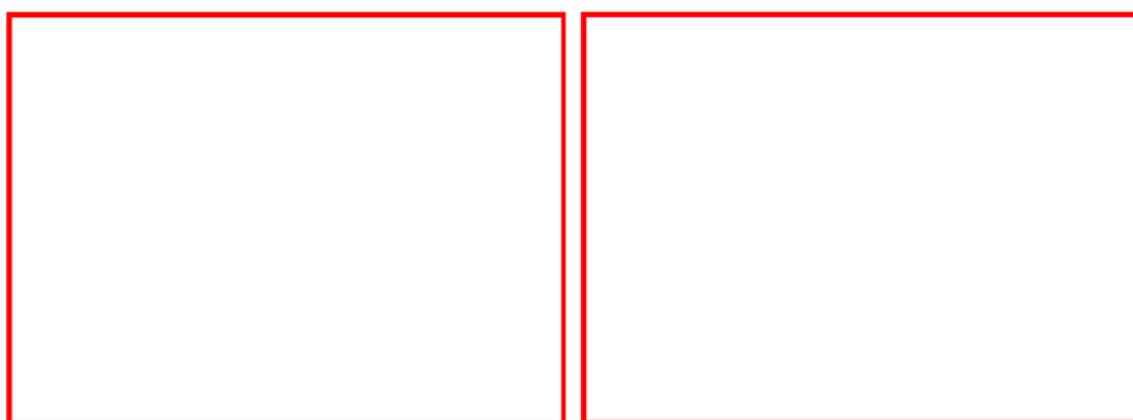
(1) 試験装置

第1図、第2図に示す試験装置にフィルタを挿入し、フィルタ通過風速が非常用ディーゼル発電機運転時と同じになるよう流量調整した後、上流より降下火碎物を供給する。

本試験では流量を一定に保ってフィルタの圧力損失を連続的に測定し、許容差圧に到達した時点で装置を停止し、試験終了までの降下火碎物捕集量とフィルタの有効面積よりフィルタの降下火碎物捕集容量を算出する。



第1図 試験装置概要



第2図 試験状況

(2) 試験条件

試験条件を第1表に示す。

第1表 試験条件

試験フィルタ	500 メッシュプリーツ型金属フィルタ
フィルタ寸法	W180mm×H290mm
試験風速	1.7m/s
使用降下火碎物	桜島火山灰 (Tephra2 シミュレーション結果をもとに粒径調整)
降下火碎物濃度	3.1g/m ³
許容差圧*	

* 非常用ディーゼル発電機の継続的な運転に必要な風量から要求されるフィルタ設計上の差圧

3. 試験結果

試験結果を第2表に示す。

試験結果に基づき、フィルタ閉塞の試算に用いる降下火碎物捕集容量は保守的に 60,000g/m² とする。

第2表 試験結果

許容差圧到達時間	190min 以上
降下火碎物供給量	2,827.2g
降下火碎物捕集容量	60,047g/m ²

降灰到達時間について

噴火後に降下火砕物が発電所敷地に到達するまでの時間（以下「降灰到達時間」という。）について考え方を以下に示す。

降下火砕物は、火口から上空まで上昇し、風によって水平方向に移動し、重力によって落下して発電所敷地に到達することになる。

したがって、降灰到達時間は火砕物が上昇する時間、水平に移動する時間、落下する時間から算出されるが、ここでは、保守的に鉛直方向の上昇時間及び落下時間は考慮せず、水平方向の移動時間のみを考慮して降灰到達時間を算出する。

降灰到達時間の算出には、Tephra2 による発電所敷地に堆積する降下火砕物の層厚が最も厳しい結果となる解析ケースにおける最大風速と伊方発電所と九重山の距離を用いる。

- ・伊方発電所敷地への水平方向の最大風速：21.7m/s
- ・伊方発電所と九重山の距離：108km

最短の降灰到達時間の計算結果は約 83 分であることから、降灰到達時間は保守的に 80 分とする。

以 上

気中降下火碎物濃度の算出方法及び算出結果

原子力発電所の火山影響評価ガイド（以下「ガイド」という。）が改正され、設計及び運用等による安全施設の機能維持が可能かどうかを評価するための基準である気中降下火碎物濃度を推定する手法が示された。

伊方発電所について、ガイドに基づき、気中降下火碎物濃度の算出を行った。

1. 気中降下火碎物濃度の推定手法

ガイドにおいては、以下の2つの手法のうちいずれかにより気中降下火碎物を推定することが求められている。

- a. 降灰継続時間を仮定して降灰量から気中降下火碎物濃度を推定する手法
- b. 数値シミュレーションにより気中降下火碎物濃度を推定する手法

これらの手法のうち、設置許可段階での降灰量（層厚）の数値シミュレーション（Tephra2）との連続性の観点から、「a. 降灰継続時間を仮定して降灰量から気中降下火碎物濃度を推定する手法」により気中降下火碎物濃度を推定する。

「a. 降灰継続時間を仮定して降灰量から気中降下火碎物濃度を推定する手法」については、粒径の大小に関わらず同時に降灰が発生すると仮定していること、粒子の凝集を考慮しないことから、保守的な手法となっている。また、気中降下火碎物濃度の算出に用いている降下火碎物の層厚 15 cmは、文献調査及び地質調査では敷地付近で想定する火山噴火（九重第一噴火）の降下火碎物はほぼ 0 cmと評価されるものの、補助的に実施した数値シミュレーション（Tephra2）の計算結果が 14 cmであることを踏まえて保守的に評価した値であり、これを前提として算出する「a. 降灰継続時間を仮定して降灰量から気中降下火碎物濃度を推定する手法」による気中降下火碎物濃度は保守的である。

なお、「b. 数値シミュレーションにより気中降下火碎物濃度を推定する手法」については、数値シミュレーション（3次元の大気拡散シミュレーション）で使用する噴煙高さの設定や噴出率の時間変化等に課題を残しているため、結果の妥当性を判断することが困難である。

2. 気中降下火碎物濃度の算出方法

ガイドに基づく気中降下火碎物濃度の算出方法を以下に示す。

$$\textcircled{1} \text{ 粒径 } i \text{ の降灰量 } W_i = p_i W_T \quad (p_i : \text{粒径 } i \text{ の割合 } \quad W_T : \text{総降灰量})$$

$$\textcircled{2} \text{ 粒径 } i \text{ の堆積速度 } v_i = \frac{W_i}{t} \quad (t : \text{降灰継続時間})$$

$$\textcircled{3} \text{ 粒径 } i \text{ の気中濃度 } C_i = \frac{v_i}{r_i} \quad (r_i : \text{粒径 } i \text{ の降下火碎物の終端速度})$$

$$\textcircled{4} \text{ 気中降下火碎物濃度 } C_T = \sum_i C_i$$

3. 入力条件及び計算結果

入力条件及び計算結果を第1表に示す。

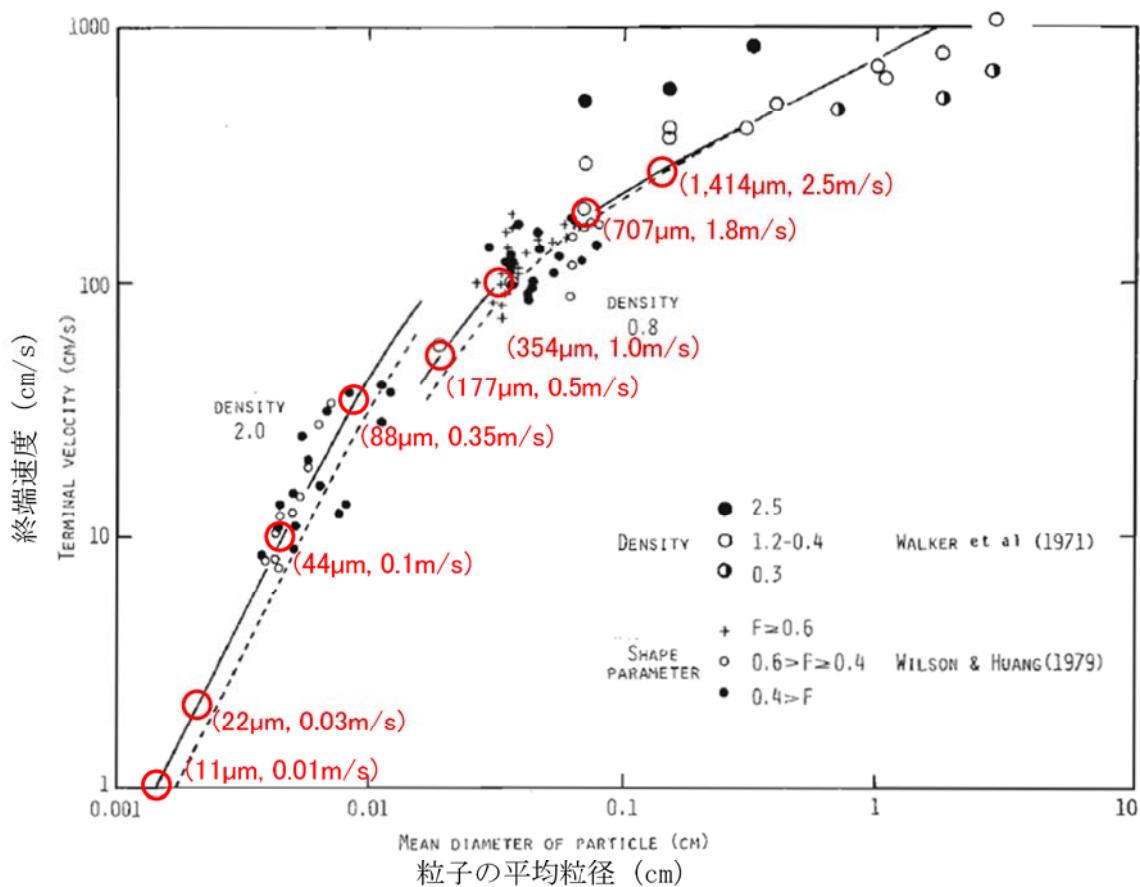
第1表の計算結果より、伊方発電所における気中降下火碎物濃度を 3.1g/m^3 とする。

第1表 入力条件及び計算結果

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(第2図)
総降灰量 W_T	150,000g/m ²	設計層厚×降下火碎物密度 1g/cm ³
降灰継続時間 t	24h	Carey and Sigurdsson(1989)参考
粒径 <i>i</i> の割合 p_i		Tephra2による粒径分布の計算値
粒径 <i>i</i> の降灰量 W_i		式①
粒径 <i>i</i> の堆積速度 v_i		式②
粒径 <i>i</i> の終端速度 r_i		Suzuki(1983)参考(第1図)
粒径 <i>i</i> の気中濃度 C_i		式③
気中降下火碎物濃度 C_T	3.1g/m ³	式④による計算結果を保守的に切り上げ

別表1 粒径ごとの入力条件及び計算結果

粒径 <i>i</i> ϕ (μ m)	-1~0 (1,414)	0~1 (707)	1~2 (354)	2~3 (177)	3~4 (88)	4~5 (44)	5~6 (22)	6~7 (11)	合計
割合 p_i (wt%)	0	1.4×10^{-2}	52.19	37.13	8.83	1.71	0.12	4.2×10^{-3}	100
降灰量 W_i (g/m ²)	0	2.1×10	7.8×10^4	5.6×10^4	1.3×10^4	2.6×10^3	1.8×10^2	6.3	$W_T=150,000$
堆積速度 v_i (g/s · m ²)	0	2.4×10^{-4}	0.91	0.64	0.15	3.0×10^{-2}	2.1×10^{-3}	7.3×10^{-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	—
気中濃度 C_i (g/m ³)	0.0	1.4×10^{-4}	0.91	1.29	0.44	0.30	0.07	7.3×10^{-3}	$C_T=3.01$



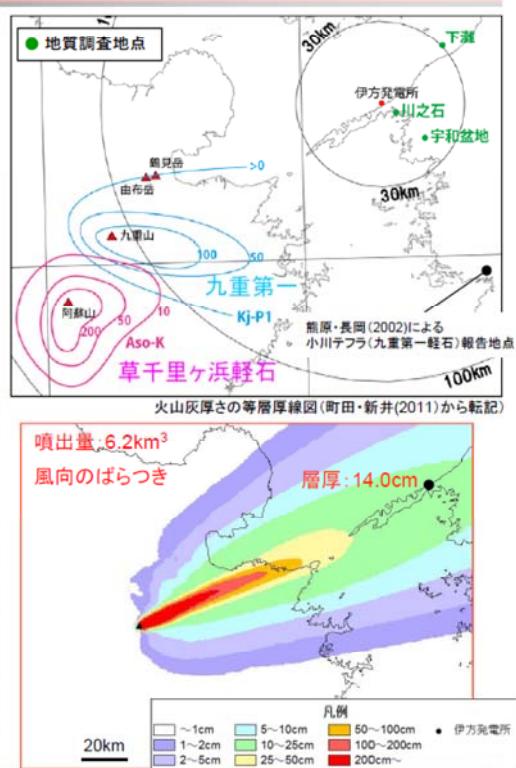
第1図 Suzuki (1983) *における降下火碎物の粒径と終端速度との関係図
(粒径*i*の終端速度を赤丸表示)

* Suzuki, T. (1983) A theoretical model for dispersion of tephra, Arc Volcanism : Physics and Tectonics : 95–116, Terra Scientific Publishing.

設計で考慮する降下火砕物の厚さ

- 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 ³	6.2km ³
	平均0.5cm (最大2.2cm)	平均1.5cm (最大6.9cm)
降下火山灰シミュレーションによる火山灰層厚	最大4.5cm	最大14.0cm
不確かさの考慮		



第2図 敷地における降下火砕物の層厚評価

フィルタエレメント清掃性の検証について

1. 検証の概要

火山灰フィルタのフィルタエレメントが、定められた清掃手順により、所要時間内に清掃を完了させることができ、かつ、十分な清掃効果が得られることを検証により確認する。

2. 清掃手順

本検証での清掃手順は以下のとおりとする。

- ①フィルタエレメントを叩く。
- ②フィルタエレメント全領域をエアブローする。

3. 検証内容

(1) 試験装置を用いた圧力損失の検証

別紙1に示す試験装置によりフィルタエレメントに降下火碎物を付着させ、フィルタエレメント清掃前後でフィルタエレメントの圧力損失を比較し、十分な清掃ができていることを確認する。なお、火山灰フィルタは吸気口が下向きであり、雨水は直接フィルタエレメント内部に侵入しにくい構造となっているが、検証は雨天を想定し、ミスト噴霧を行いながらフィルタエレメントに降下火碎物を付着させる。

試験装置を用いた圧力損失の検証条件を第1表に示す。

第1表 試験装置を用いた圧力損失の検証条件

試験フィルタ	500 メッシュプリーツ型金属フィルタ
フィルタ寸法	W180mm×H290mm
試験風速	1.7m/s
使用降下火碎物	桜島火山灰 (Tephra2 シミュレーション結果をもとに粒径調整)
目標差圧	許容差圧 [] 以上
清掃方法	「2. 清掃手順」のとおり
清掃時間	10 秒

(2) 実機模擬体を用いた作業性の検証

「3. (1) 試験装置を用いた圧力損失の検証」において使用したフィルタエレメントは実機フィルタエレメントと比べ寸法が異なることから、フィルタエレメントと同程度の寸法を模擬した実機模擬体に降下火碎物を付着させて清掃を行い、作業性を確認する。なお、検証は雨天を想定し、実機模擬体に降下火碎物を付着させ、その上から水を振りかけウェット状態とする。

実機模擬体を用いた作業性の検証条件を第2表に示す。

第2表 実機模擬体を用いた作業性の検証条件

試験フィルタ	500 メッシュプリーツ型金属フィルタ
フィルタ寸法	W400mm×H800mm
使用降下火碎物	桜島火山灰
降下火碎物付着量	□ *以上
清掃方法	「2. 清掃手順」のとおり

※ 降下火碎物捕集容量 $60,000\text{g/m}^2 \times \text{フィルタ有効面積}$ □

4. 検証結果

(1) 試験装置を用いた圧力損失の検証

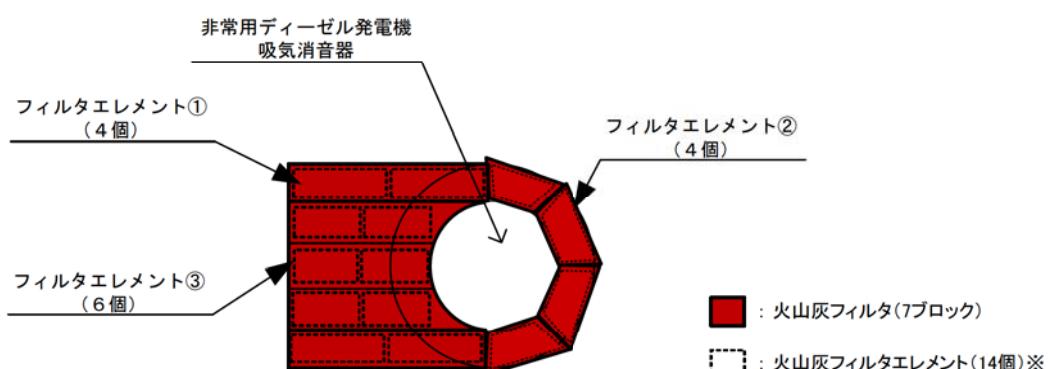
「3. (1) 試験装置を用いた圧力損失の検証」の検証結果を第3表に示す。

第3表の結果より、清掃により圧力損失は回復していることから、十分な清掃ができていることを確認した。

第3表 試験装置を用いた圧力損失の検証結果

↓	降下火碎物付着前	降下火碎物付着後	清掃後
1回目	2.1mmAq	268.0mmAq	3.5mmAq
2回目	3.5mmAq	273.3mmAq	8.0mmAq
3回目	8.0mmAq	263.3mmAq	6.6mmAq
4回目	6.6mmAq	265.5mmAq	9.9mmAq
5回目	9.9mmAq	266.6mmAq	14.0mmAq
6回目	14.0mmAq	266.8mmAq	18.5mmAq

本検証において設定した清掃時間 10 秒から、試験用フィルタエレメントと実機フィルタエレメントの面積を考慮して、フィルタエレメントを叩くこと及びエアブローに必要な清掃時間を設定する。フィルタエレメントには第1図のとおり形状が3種類あり、それぞれの清掃時間を第4表に示す。



※: 火山灰フィルタエレメントは、非常用ディーゼル発電機運転中の取替え・清掃のため上記とは別に1式(14個)を配備している。

第1図 フィルタエレメントの形状

第4表 フィルタエレメントの形状毎の清掃時間

	個数	有効面積	試験用フィルタエレメントとの面積比	清掃時間
試験用フィルタエレメント	—		—	10秒
フィルタエレメント①	4個		約14.4	180秒*／個
フィルタエレメント②	4個		約6.6	100秒*／個
フィルタエレメント③	6個		約8.1	110秒*／個

* 試験用フィルタエレメントと実機フィルタエレメントの面積を考慮して、保守的に約1.2倍した時間を叩くこと及びエアブローによる清掃時間として設定する。

この清掃時間は、叩くこと及びエアブローのみに必要な時間であるため、フィルタエレメントの清掃ボックスへのセット、エアブロー治具の準備等を含めた通し作業を訓練用モックアップにより検証した結果、必要な時間は審査資料TS(66)-02-01の別紙4に示すとおり約51分(第5表)となった。この結果から、想定時間70分に対して余裕をもって清掃可能である。

第5表 フィルタエレメントの通し作業による清掃検証結果

	個数	通し作業による 実績清掃時間	実績清掃時間の フィルタ全数量合計
フィルタエレメント①	4個	293秒／個	約51分
フィルタエレメント②	4個	183秒／個	
フィルタエレメント③	6個	193秒／個	

(2) 実機模擬体を用いた作業性の検証

「3.(2) 実機模擬体を用いた作業性の検証」の検証結果を第6表に示す。また、フィルタエレメント清掃の状況を第2図に示す。

フィルタエレメントと同程度の寸法を模擬した実機模擬体においても作業性に問題はなく、繰返し清掃を行っても降下火砕物をほぼ除去できていることを確認した。

第6表 実機模擬体を用いた作業性の検証結果

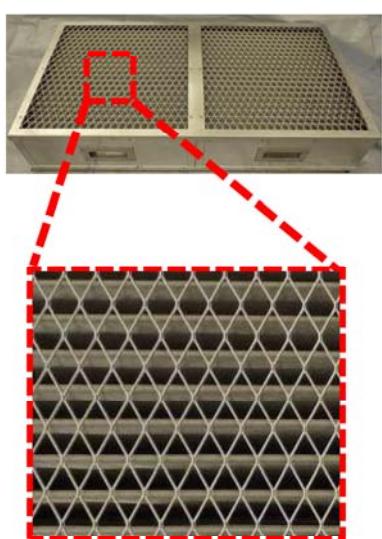
	降下火碎物付着前	降下火碎物付着後	清掃後
1回目	9.6kg	26.9kg	9.6kg
2回目	9.6kg	26.9kg	9.6kg
3回目	9.6kg	26.9kg	9.6kg
4回目	9.6kg	26.9kg	9.6kg
5回目	9.6kg	26.9kg	9.6kg
6回目	9.6kg	26.9kg	9.6kg



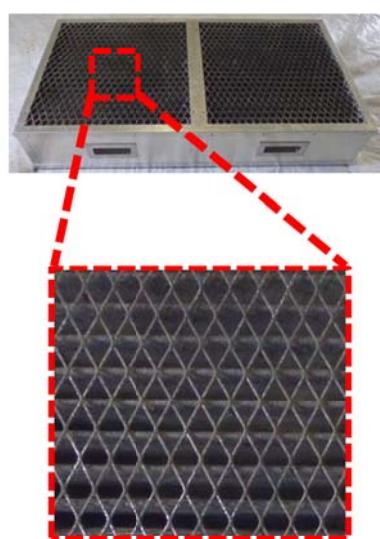
(手順①)



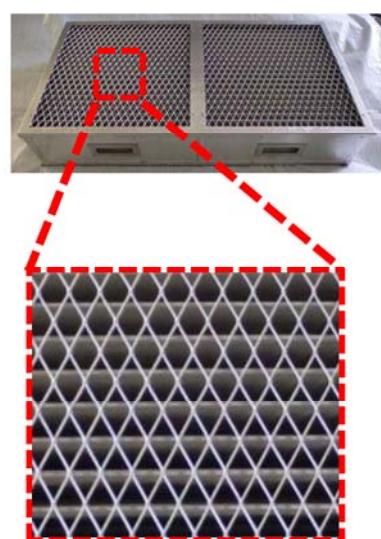
(手順②)



(降下火碎物付着前)



(降下火碎物付着後)



(清掃後)

第2図 フィルタエレメント清掃の状況

気中降下火碎物濃度を超える降下火碎物濃度に対する非常用ディーゼル発電機の
機能維持期間について

火山影響等発生時において、気中降下火碎物濃度を超える降下火碎物濃度になることを想定し、非常用ディーゼル発電機の機能維持期間を設定する。降下火碎物濃度は、保守的に気中降下火碎物濃度の2倍を想定する。

気中降下火碎物濃度における火山灰フィルタ閉塞時間は、本文「4. 火山灰フィルタ閉塞時間について」に示すとおり気中降下火碎物濃度 $3.1\text{g}/\text{m}^3$ において、3.1 時間（190 分）以上である。これは、別紙1「フィルタの性能試験について」に示すフィルタ許容差圧 までの到達時間に余裕をみて 190 分に対応する降下火碎物捕集容量 ($60,047\text{g}/\text{m}^2$) から設定した $60,000\text{g}/\text{m}^2$ より求めた時間である。

降下火碎物濃度として、気中降下火碎物濃度の2倍の $6.2\text{g}/\text{m}^3$ と設定した場合の火山灰フィルタ閉塞時間は、下表のとおり約 1.6 時間（95 分）である。

したがって、非常用ディーゼル発電機の機能維持期間として、保守的にフィルタエレメントの取替え・清掃を考慮せず、95 分を設定する。

①非常用ディーゼル発電機 火山灰フィルタの降下火碎物捕集容量 (g/m^2)	60,000
②非常用ディーゼル発電機 火山灰フィルタ有効面積 (m^2)	<input type="text"/>
③非常用ディーゼル発電機 火山灰フィルタの降下火碎物捕集量 (g) $=① \times ②$	<input type="text"/>
④気中降下火碎物濃度を超える降下火碎物濃度 (g/m^3)	6.2
⑤非常用ディーゼル発電機吸気流量 (m^3/h)	<input type="text"/>
⑥閉塞までの時間 (分) $=③ / ④ / ⑤ \times 60$	95