

## 吸気フィルタの火山灰目詰試験

山元孝広<sup>1</sup>・古川竜太<sup>1</sup>・奥山一博<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

Institute of Earthquake and Volcano Geology, Geological Survey of Japan, AIST

<sup>2</sup> 進和テック（株）

Shinwa corporation

Takahiro Yamamoto, Ryuta Furukawa and Kazuhiro Okuyama (2016) Dust-loading tests for air filters with volcanic ash. Open-File Report of the Geological Survey of Japan, AIST, no.629, p.1-26.

### 1. はじめに

火山噴火で大気中に放出された火山灰は、気象条件次第であらゆる方向に到達可能であり、火山の風下にある地域では降灰の影響を避けることができない。日本では桜島火山の大正噴火以降、これを超える大噴火は起きておらず、主要都市圏が大規模な火山灰災害を被ることは幸い起きていないものの、いずれそのような火山災害が発生するものと考えておく必要がある。内閣府が2013年5月に公表した「大規模火山災害への提言」([http://www.bousai.go.jp/kazan/kouikibousai/pdf/20130516\\_teigen.pdf](http://www.bousai.go.jp/kazan/kouikibousai/pdf/20130516_teigen.pdf))では、このような現状認識から大規模な降灰による都市型災害への備えの必要性が説かれている。現代の都市が大規模降灰に見舞われた経験は他国の事例においてもなく、大規模降灰時に生じる事態の想定や影響の定量評価は難しい。そのため、電力供給施設を含む都市インフラへの影響について実験による定量的な把握を含む基礎的研究の推進が提言では求められている。特に日本では東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、都市インフラの要である電力供給を過度に火力発電に依存する状況が続いている。電力各社は発電効率やCO<sub>2</sub>放出量の軽減のためにガスタービン（GT）を使ったコンバインドサイクル発電を進めてきているが、GTの基本機構は航空機のジェットエンジンと同じである。GT燃焼室の温度は1100～1450℃と火山灰の融点を超えており、仮に噴火により火山灰がGTに吸引されると航空機と同様の深刻なトラブルが発生しかねない。GTの大気取り入れ口には吸気フィルタが装着されており、簡単には異物が内部に入り込まない構造となっているが、大規模な降灰はフィルタの目詰まりによる性能低下をもたらす可能性がある（藤井・尾関，2014）。特に東京電力の火力発電所は東京湾岸に集中配置されており、1回の大規模な噴火でそのほとんどが降灰の影響を被るリスクが大きい（Yamamoto and Nakada, 2015）。また、換気空調用エアフィルタは、多くの製造工場で必須の施設であり、大規模降灰によるエアフィルタの性能低下は、産業に広範囲の影響を及ぼし得る。

本報告書に示す火山灰目詰試験は、文部科学省のエネルギー対策特別会計委託事業による委託

業務として、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が実施した平成 26・27 年度「外部ハザードに対する崩壊熱除去機能のマージン評価手法の研究開発」のうち、産業技術総合研究所が再委託業務として実施した「火山噴火ハザード評価手法の開発」で行ったものである。これまで原子力発電所は地震に対する安全確保が重要視されてきたが、東京電力福島第一原子力発電所の事故後、地震のみならず様々な外部ハザードに対して安全性を確保することが重要であると認識された。特に、ナトリウム冷却高速炉の崩壊熱除去系は大気で除熱していることから、プラント上からの多様な外部ハザードに対するプラントの安全性を評価する手法を開発する必要がある (Yamano et al., 2016)。このうち火山噴火による降灰時には空気冷却器に設置されたエアフィルタの目詰まりにより、空気冷却系が閉塞する可能性が指摘できるため、その降灰影響を評価する目的で試験を行っている。ただし試験自体は GT や換気空調に使われる市販のエアフィルタを用いており、目詰試験の結果はエアフィルタ一般に広く適応できるものとなっている。

## 2. 吸気フィルタの概要

吸気フィルタは通常、捕集する粒径の範囲が異なる 2 または 3 種類のフィルタを直列に並べて使用されている (図 1)。例えば 3 種類を設置した吸気ダクトでは  $5\mu\text{m}$  以上の粒子捕集を目的としたプレフィルタ、 $5\sim 1\mu\text{m}$  の中性能フィルタ、 $1\mu\text{m}$  以下の高性能フィルタ (表 1) の順に空気が通過する構造となっている (吉竹, 2009)。また、フィルタの寿命は各フィルタ前後の圧力損失の経時変化で管理され (図 1)、ダストによる目詰まりで圧損が使用限界値に達すると交換の目安となる。

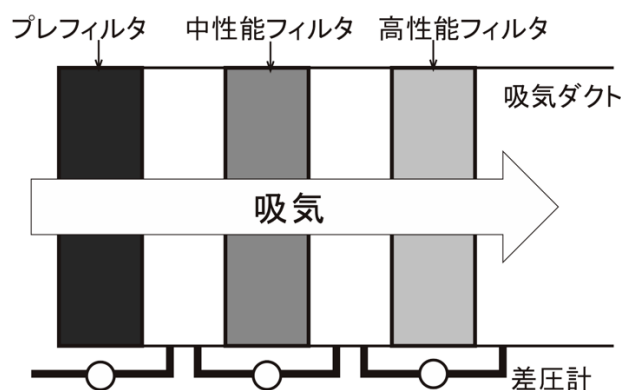


図 1 吸気フィルタの模式図。藤井・尾関(2014)を簡略化。

表 1 吸気フィルタの種類。藤井・尾関(2014)を簡略化

種類	形状	捕集対象粒径	捕集効率	寿命	価格
プレフィルタ	パネル型, 自動巻取型, 吹流し型 等	$5\mu\text{m}$ 以上	低	短	低
中性能フィルタ	箱形, 筒型 等	$1\sim 5\mu\text{m}$	中	中	中
高性能フィルタ	箱形 等	$1\mu\text{m}$ 以下	高	長	高

### 3. 火山灰供給によるフィルタ性能変化確認試験

#### 3-1. 試験方法

日本工業規格 JIS B 9908「換気用エアフィルタユニット・換気用電気集じん器の性能試験方法」に準拠し、日本エアフィルター株式会社の試験ダクトに供試フィルタ（プレフィルタ・中性能フィルタ）を取り付けて、ダストフィーダにて火山灰を供給してフィルタの性能変化（圧力損失、粉じん保持量、外観）を確認した。試験ダクトの概略を図 2 に示す。試験では、最終圧力損失に到達するまでの時間と到達したフィルタの火山灰保持量を計測している。なお、本試験は沈降火山灰がフィルタへ全量直接流入したと想定したものである。高性能フィルタの試験は実施していないが、供給した火山灰のほとんど全ては中性能フィルタで捕集され、これを通過することはないことを確認している。

平成 26 年度試験は、乾燥状態の火山灰をそのまま供給して試験を実施した。これに対して平成 27 年度は、ダストフィーダーにて火山灰を供給すると同時にファンの前のから二流体ノズルにて散水し、降雨を想定した湿潤状態での試験を実施している。これは、GT の吸気フィルタがダストによりかなり目詰まりした状況で降雨があると一次的に圧損が増加する現象が知られており（吉竹，2009）、同様の降雨影響が火山灰でも起こるのかどうかを確認するためである。

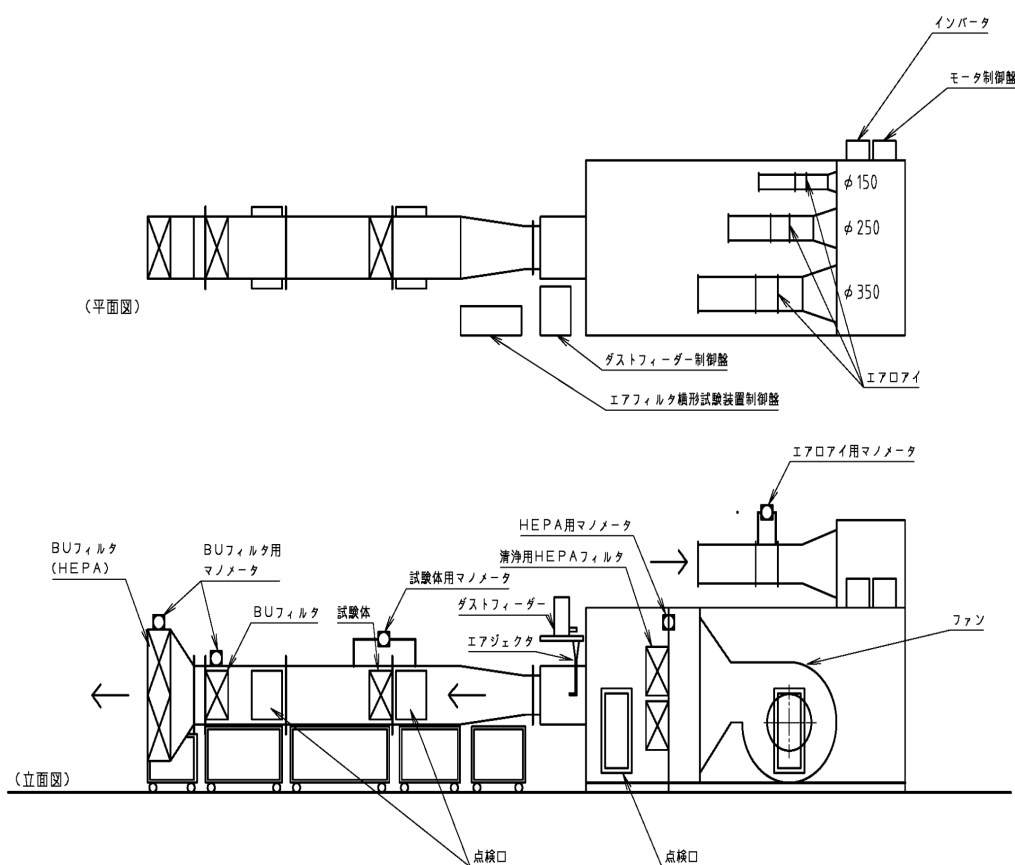


図 2 試験ダクトの概略

### 3-2. 試験条件

#### 3-2-1 供試フィルタ

プレフィルタ：質量法 85%グレード品

製品名，型番：デアマット G85（ガラス繊維フィルタ）

フィルタ寸法：610×610×50mm

定格風量：56m<sup>3</sup>/min

フィルタ圧力損失：44～147Pa

中性能フィルタ：比色法 90%グレード品

製品名，型番：ミラセル MCS-S9-FF2Z/A（両フランジ，両面フェースガード付き）

フィルタ寸法：594×594×292mm

定格風量：56m<sup>3</sup>/min

フィルタ圧力損失：155～294Pa

フィルタ組合せ：プレフィルタのみ，中性能フィルタのみ，プレ+中性能フィルタ組合せの 3 パターン

試験風量：定格風量（面風速 2.5m/s），定格風量の 50%の 2 パターン

#### 3-2-2. 供給火山灰

火山灰種別：入戸火砕流堆積物を粉砕したガラス質火山灰

火山灰粒径：3.0φ（≒0.125mm）以上の粒径をカットしたものを使用（図 3）

火山灰の状態：乾燥状態とする

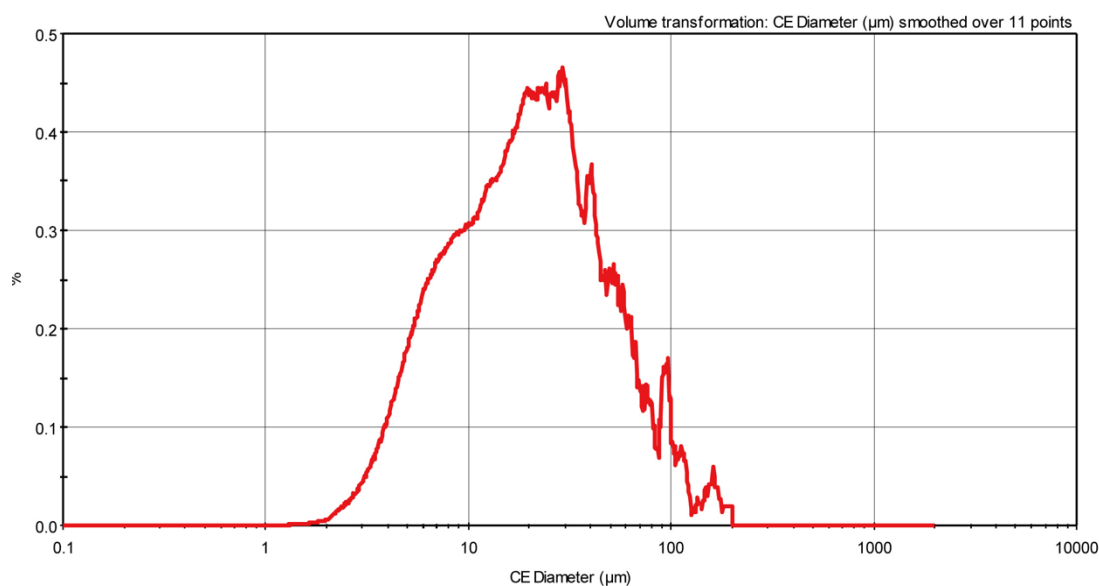


図 3 供給火山灰の粒径分布

### 3-2-3. 供給条件

火山灰濃度が  $70\text{mg/m}^3$  (JIS によるフィルタ試験時の試験用粉体供給濃度), およびその 10 倍, 100 倍となるようにダストフィーダの供給スピードを設定した. ダストフィーダには, K-Tron 社 K-Qx を使用している.

$3.0\phi$  の火山灰の場合, その終端速度 (約  $0.2\text{m/s}$ ) から, 火山灰濃度  $700\text{mg/m}^3$  は毎時数 mm の降灰, 火山灰濃度  $7000\text{mg/m}^3$  は毎時数 cm の降灰に相当する.

### 3-3. 試験結果 (乾燥状態)

試験結果概要を表 2 に示す.

表 2 火山灰供給試験 (乾燥状態) 結果概要

供試フィルタ	試験結果					
	試験風量 ( $\text{m}^3/\text{min}$ )	設定供給濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	供給量 (g)	交換圧損 到達時間	火山灰保持量 (g/unit)	捕集率 (%)
プレフィルタ デアマット G85	56	70	903.0	3h33m0s	414.8	47.3
	56	700	1118.2	0h26m30s	518.1	49.2
	56	7000	2110.0	0h5m6s	915.1	49.6
	28	70	2525.4	20h45m0s	1769.4	78.7
	28	700	2720.1	2h15m45s	1854.7	79.0
	28	7000	4161.0	0h20m30s	1759.8	86.3
中性能フィルタ ミラセル S	56	70	402.0	1h35m13s	381.6	100.0
	56	700	435.5	0h10m15s	415.1	99.9
	56	7000	675.3	0h1m40s	590.4	100.0
	28	70	716.2	5h52m30s	613.1	99.4
	28	700	710.0	0h35m30s	615.6	100.0
	28	7000	1739.0	0h8m30s	1235.4	100.0
プレフィルタ + 中性能フィルタ					プレ / 中性能	
	56	70	753.5	2h58m0s	330.4 / 377.8	99.6
	56	700	1072.4	0h26m15s	502.1 / 487.2	99.9
	56	7000	1477.0	0h3m30s	452.7 / 791.8	100.0
	28	70	2300.4	18h54m0s	1599.7 / 339.2	100.0
	28	700	1953.1	1h36m45s	1044.0 / 515.1	100.0
	28	7000	6982.0	0h34m30s	2616.0 / 633.5	100.0

#### 3-3-1. 火山灰濃度によるフィルタ交換圧損到達時間

プレフィルタ単体, 中性能フィルタ単体, およびプレと中性能フィルタの二段使用時いずれにおいても, 火山灰濃度が高くなるほど交換圧損への到達時間が短くなることが確認できた (供給濃度  $70\text{mg}/\text{m}^3$  と比較して、 $700\text{mg}/\text{m}^3$  で約 1/10、 $7000\text{mg}/\text{m}^3$  で約 1/50 ; 図 4, 5, 6). また, 試験風量を定格  $56\text{m}^3/\text{min}$  の半分とした場合, フィルタに到達する前に落下してしまう火山灰量が増えるため, 交換圧損に到達する時間は大幅に伸びることが分かった (図 7, 8, 9).

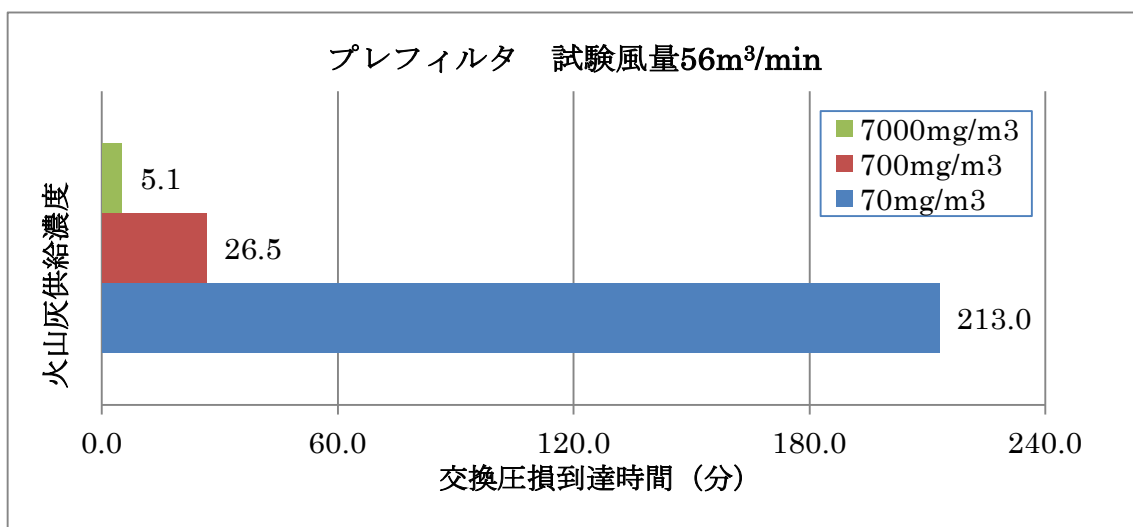


図 4 フィルタ交換圧損到達時間(プレフィルタ単体, 定格風量)

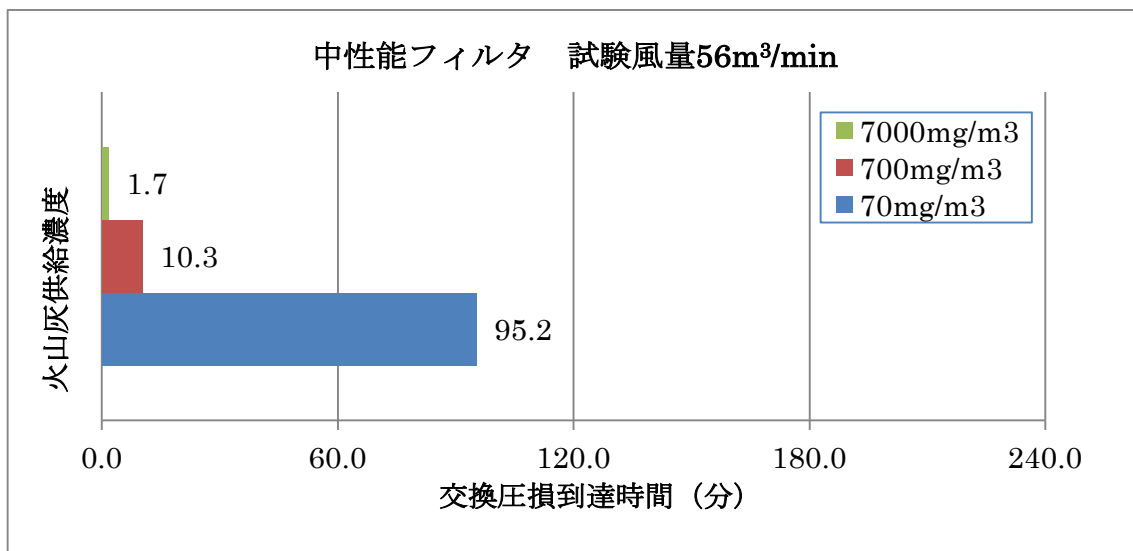


図 5 フィルタ交換圧損到達時間(中性能フィルタ単体, 定格風量)

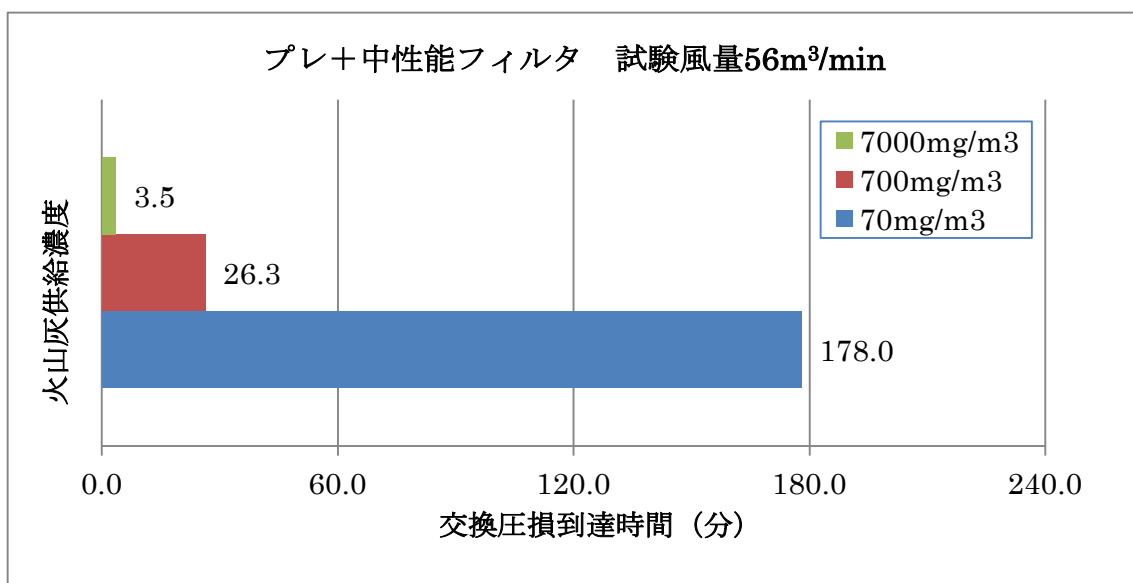


図 6 フィルタ交換圧損到達時間(プレ+中性能フィルタ 2 段, 定格風量)

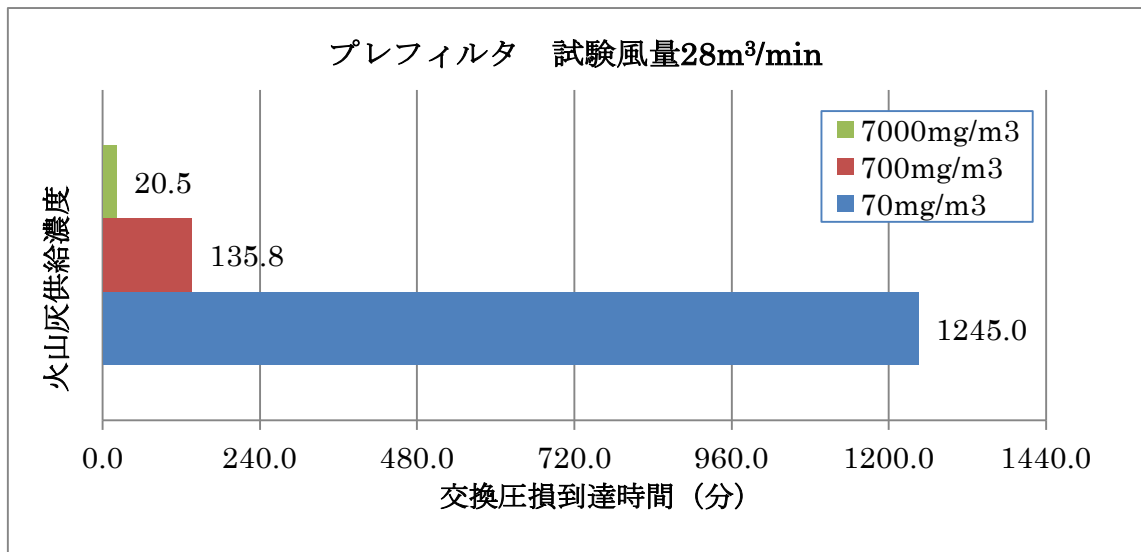


図 7 フィルタ交換圧損到達時間(プレフィルタ単体, 定格風量の 50%)

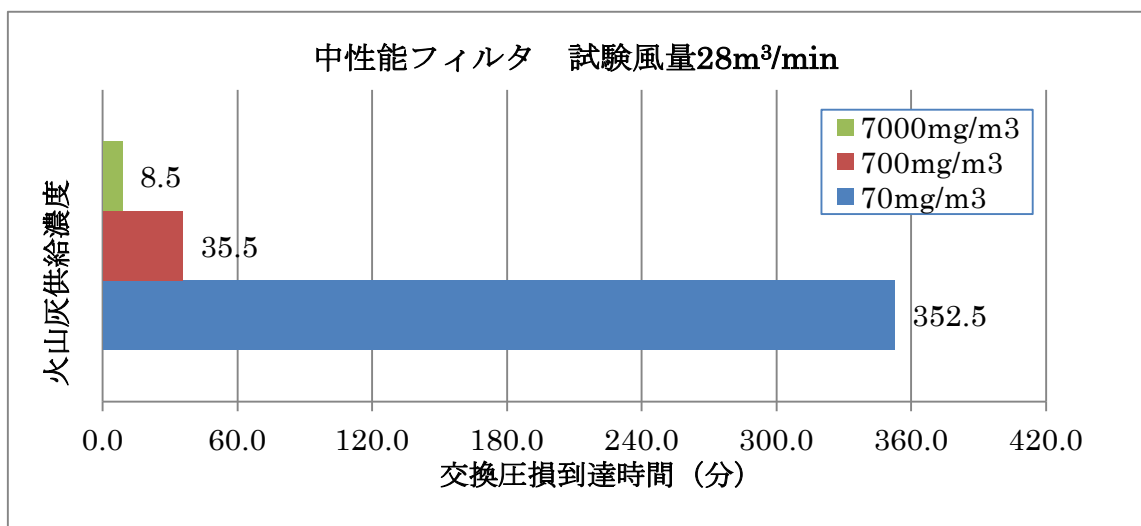


図 8 フィルタ交換圧損到達時間(中性能フィルタ単体, 定格風量の 50%)

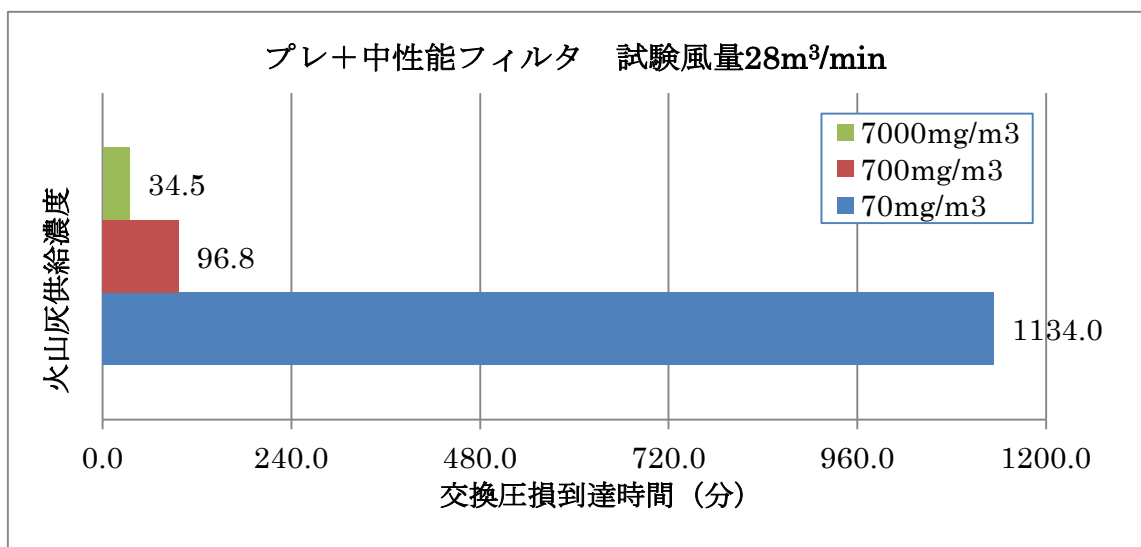


図 9 フィルタ交換圧損到達時間(プレ+中性能フィルタ 2 段, 定格風量の 50%)

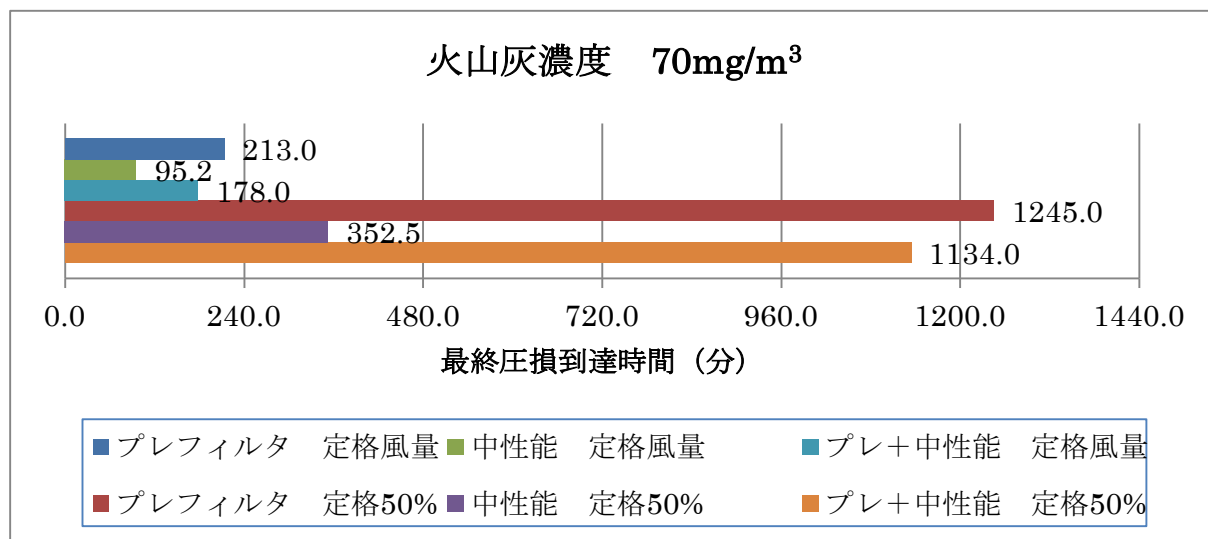


図 10 フィルタ組合せによるフィルタ交換圧損到達時間(火山灰濃度 70mg/m<sup>3</sup>)

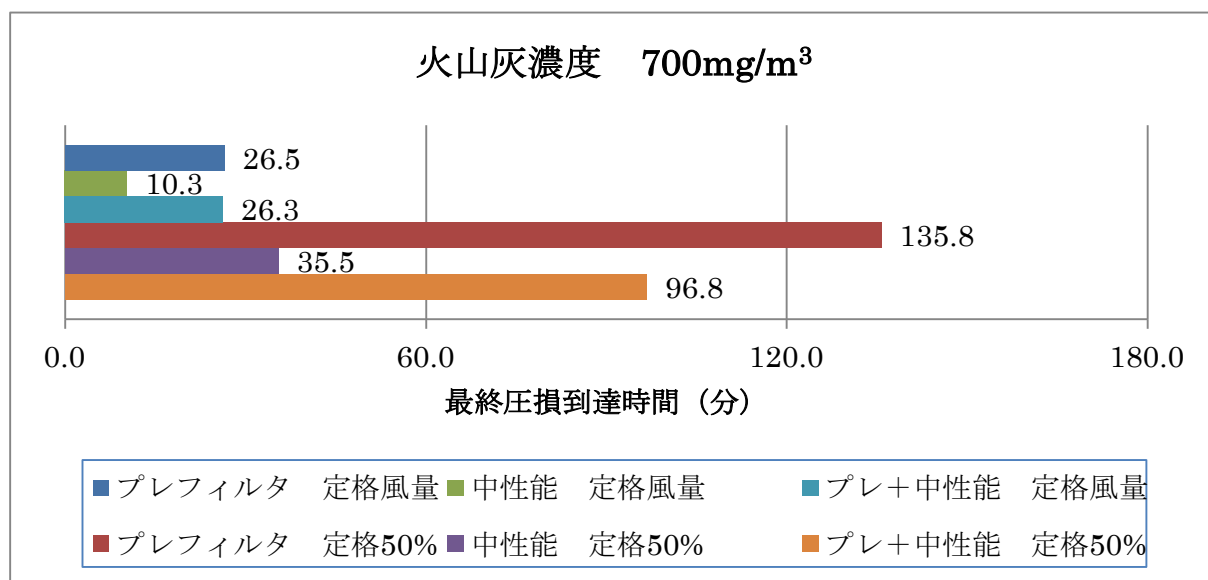


図 11 フィルタ組合せによるフィルタ交換圧損到達時間(火山灰濃度 700mg/m<sup>3</sup>)

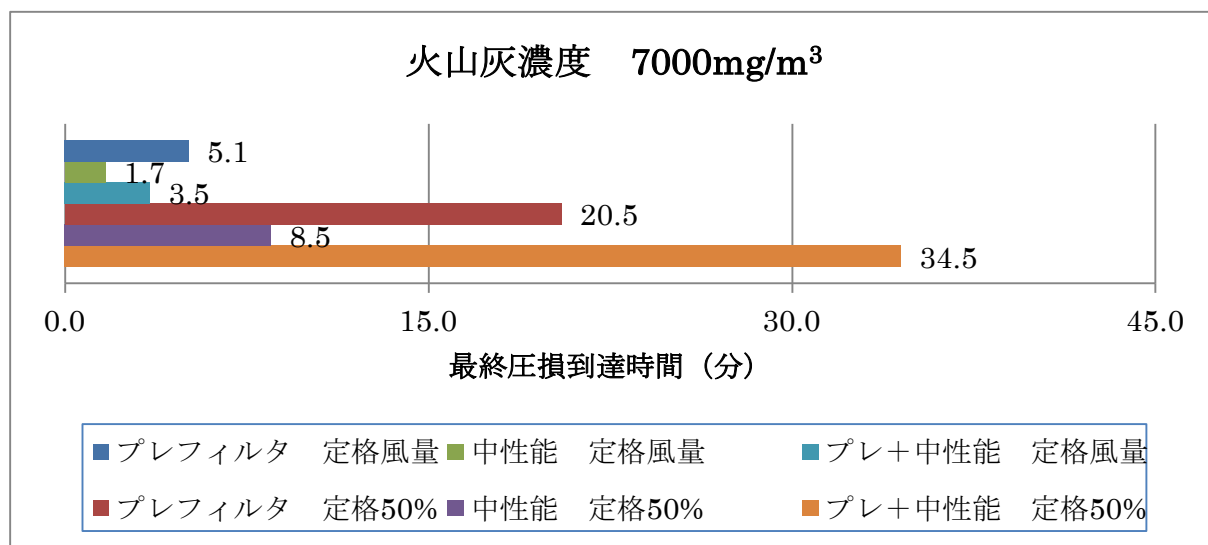


図 12 フィルタ組合せによるフィルタ交換圧損到達時間(火山灰濃度 7000mg/m<sup>3</sup>)



### 3-3-2. フィルタ組合せによるフィルタ交換圧損到達時間

プレフィルタ単体で使用した場合は、中性能フィルタを使用した場合と比較して捕集効率が低い（フィルタ下流側に抜ける量が多い）ことから、目詰まりまでの時間は長くなる。通常の使用組合せである、プレと中性能フィルタの二段使用時の場合は、中性能フィルタを単独で使用した場合と比較して、プレフィルタで適切に火山灰を処理でき、中性能フィルタに流入する火山灰濃度が低くなることから、目詰まりまでの時間は長くなることが確認できた（図 10, 11, 12）。

### 3-3-3. フィルタ組合せによる火山灰保持量

定格風量で使用した場合、供給火山灰濃度の高いほうが火山灰保持量が多くなる傾向が見られた（図 13, 14, 15）。これは、本試験を行った JIS 試験装置（規格上の供給濃度  $70\text{mg/m}^3$ ）においてより高い濃度で火山灰を供給した場合、火山灰の分散が悪く粒子同士が凝集して、フィルタの目詰まりが起これにくくなったためと考えられる。また、定格風量の 50% で試験した場合は、プレフィルタ単体ではあまり顕著ではないが、やはり濃度  $7000\text{ mg/m}^3$  の場合に火山灰保持量が多くなる傾向が見られた。なお、プレ+中性能フィルタの組み合わせにおいて、中性能フィルタの火山灰保持量は中性能フィルタ単体での保持量とほぼ同等であったが、プレフィルタ単体での保持量よりは減少した。これは、プレ+中性能フィルタの試験は中性能フィルタの交換圧損到達時に終了しているため、プレフィルタ自体はまだ交換圧損に到達していないためである。

### 3-3-4. 火山灰捕集率

火山灰捕集率は、JIS に規定されている方法に準拠し、供給した火山灰の量と、供試フィルタの下流側に設置したバックアップフィルタの捕集量（＝供試フィルタを通過した量）より、次式で計算した。

$$E = (1 - m/M) \times 100 (\%)$$

E: 火山灰捕集率（質量法, %）

M: 火山灰供給量（g）, 供試フィルタに到達せずダクト内に落下した量を除く

m: バックアップフィルタ捕集量（g）, BU フィルタに到達せず落下した量を含む

プレフィルタ単体では、定格風量時に捕集率が約 50%, 定格風量の半分での試験で 80% 程度前後であった（図 16）。JIS 試験粉体によるプレフィルタ仕様値（質量法平均効率で 85%）よりも低くなったが、これは粉体の種類・粒度の違いによるものと推測される。中性能フィルタ（比色法平均効率で 90%, 質量法換算では 95% 以上）では、測定誤差によるばらつきは見られるが、ほぼ完全に火山灰を捕集できていることが明らかになった（図 17, 18）。

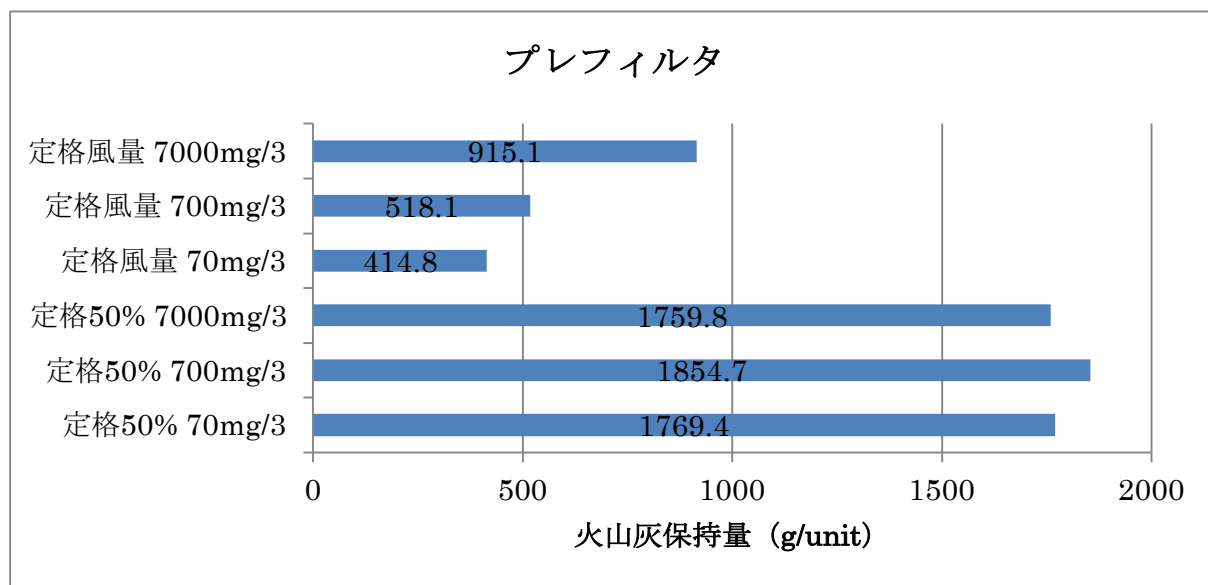


図 13 フィルタ組合せによる火山灰保持量(プレフィルタ単体)

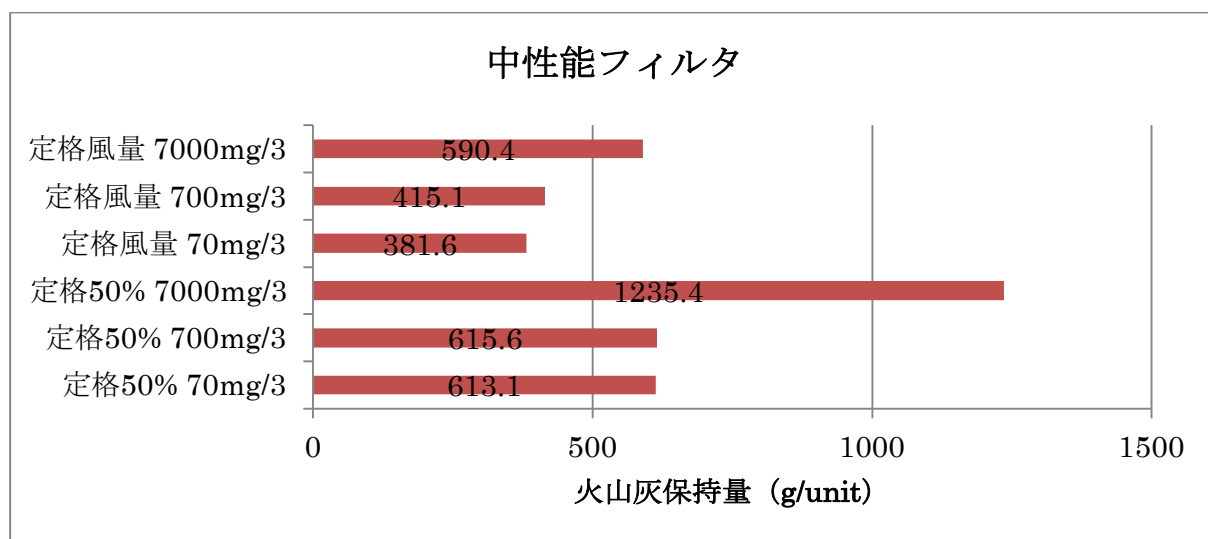


図 14 フィルタ組合せによる火山灰保持量(中性能フィルタ単体)

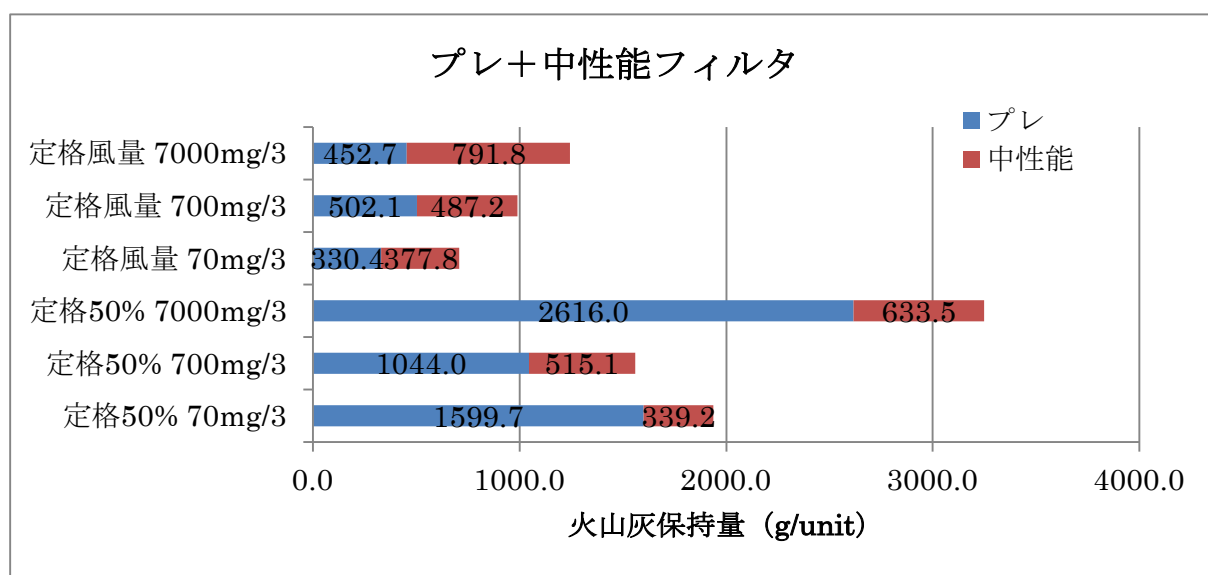


図 15 フィルタ組合せによる火山灰保持量(プレ+中性能フィルタ 2 段)

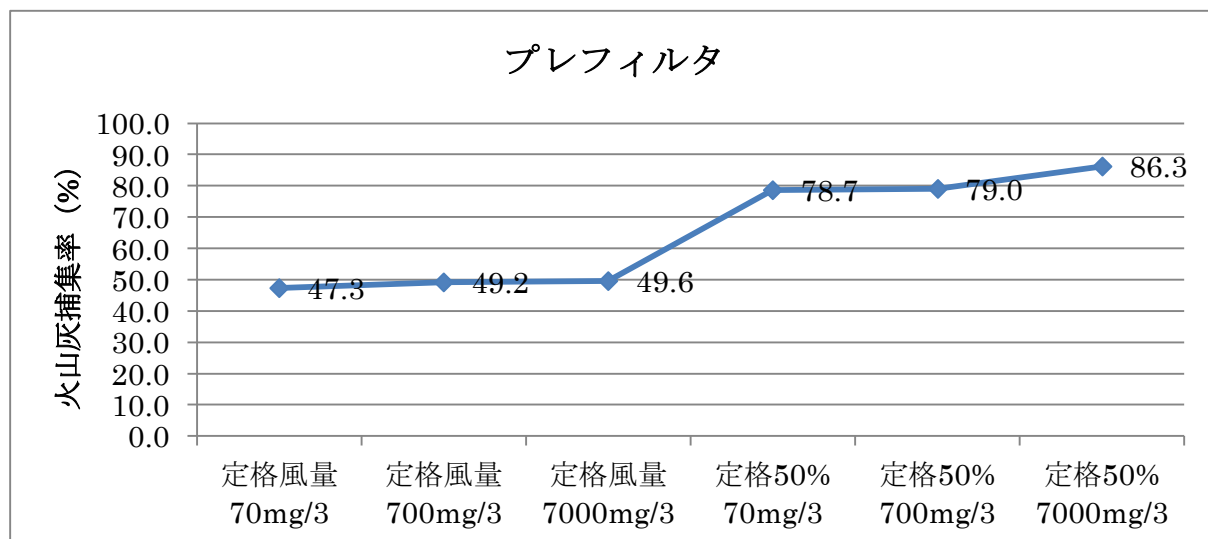


図 16 火山灰捕集率(プレフィルタ単体)

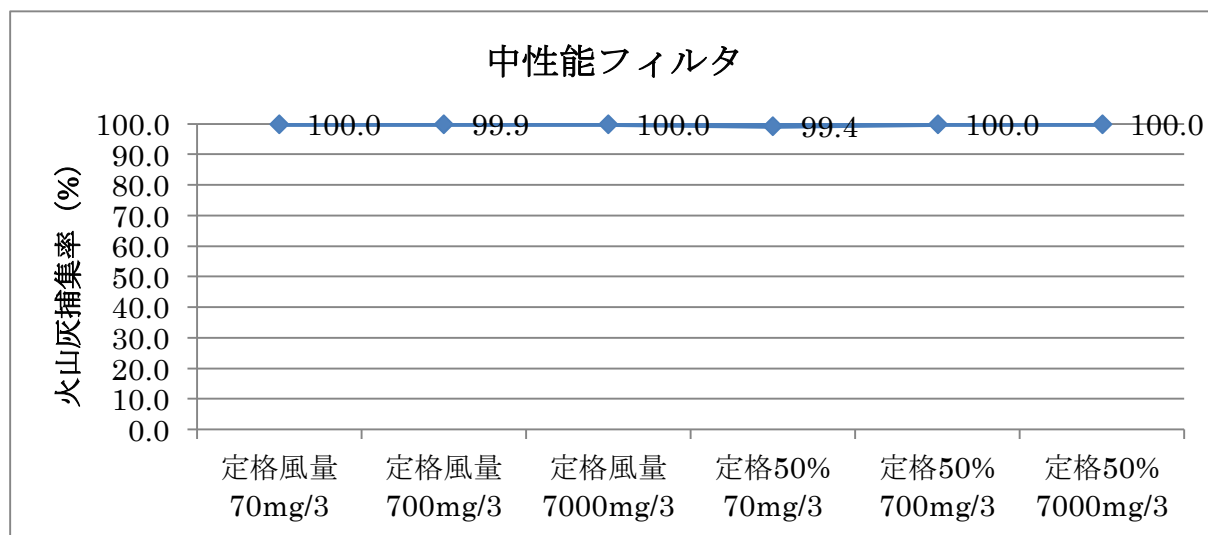


図 17 火山灰捕集率(中性能フィルタ単体)

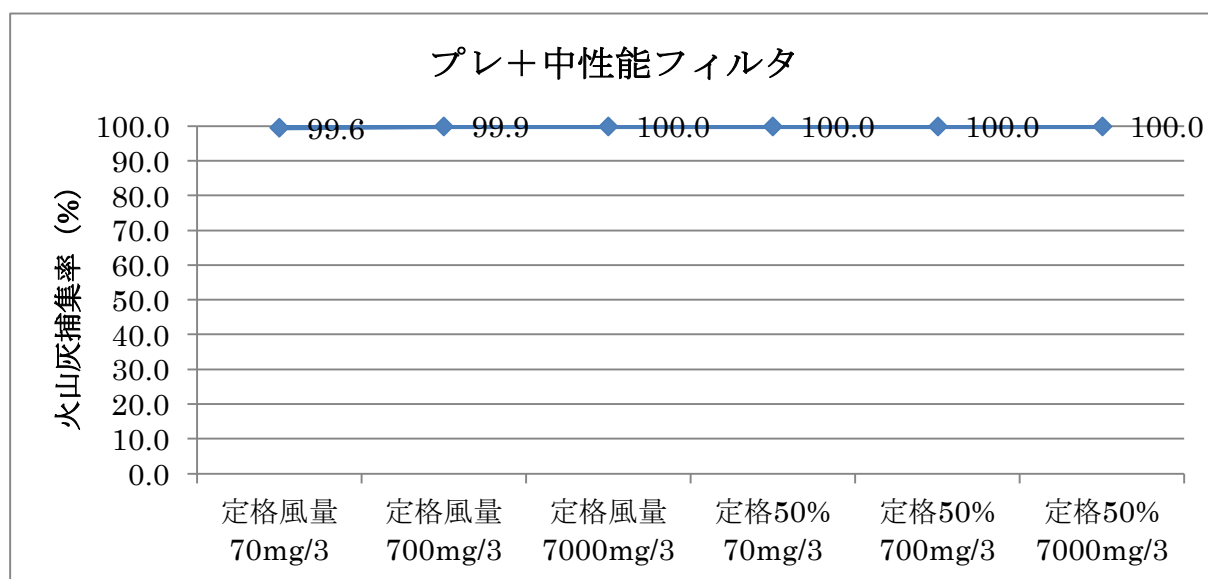


図 18 火山灰捕集率(プレ+中性能フィルタ 2 段)

### 3-4. 試験結果（散水状態）

ダストフィーダーにて火山灰を供給すると同時に二流体ノズルにてファンの前に散水することにより、降雨時の湿潤状態を再現した（図 19）。散水試験の結果を前述の乾燥状態での試験と合わせて表 4 に示す。試験風量については定格風量（面風速 2.5m/s）のみを実施したが、これは風量 50%の散水条件では火山灰のほとんどがダクト内に堆積してしまうためである。

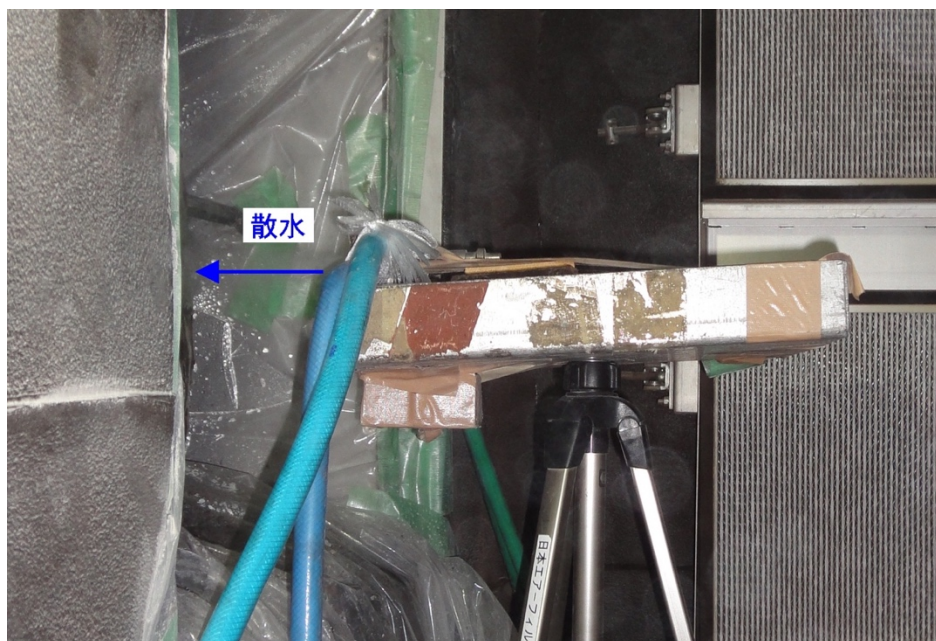


図 19 ファンとダストフィーダーの間に設置した散水ノズル。ミスト状の水が試験ダクトに供給されている

表 3 火山灰供給試験（散水条件）結果概要 比較のため表 2 の乾燥条件結果も示している（薄緑）。水色ハッチの試験では圧損が交換圧損まで上らず試験途中で中止した。

供試フィルタ	試験結果						
	試験風量 ( $\text{m}^3/\text{min}$ )	供給 状態	設定供給濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	供給量 (g)	交換圧損 到達時間	粉体保持量 (g/unit)	捕集率 (%)
プレフィルタ デアマット G85	56	乾燥	70	903.0	3h33m0s	414.8	47.3%
	56	乾燥	700	1,118.2	0h26m30s	518.1	49.2%
	56	乾燥	7,000	2,110.0	0h5m6s	915.1	49.6%
	56	散水	70	2,033.1	8h38m39s	688.0	46.9%
	56	散水	700	2,091.3	0h53m21s	387.8	—
	56	散水	7,000	3,579.0	0h9m8s	402.7	48.1%
中性能フィルタ ミラセルS	56	乾燥	70	402.0	1h35m13s	381.6	100.0%
	56	乾燥	700	435.5	0h10m15s	415.1	99.9%
	56	乾燥	7,000	675.3	0h1m40s	590.4	100.0%
	56	散水	70	501.3	2h7m53s	409.3	99.7%
	56	散水	700	529.7	0h13m31s	437.2	99.4%
	56	散水	7,000	1,044.8	0h2m40s	804.5	99.6%
プレフィルタ デアマット G85 + 中性能フィルタ ミラセルS						プレ	中性能
	56	乾燥	70	753.5	2h58m0s	330.4	377.8
	56	乾燥	700	1,072.4	0h26m15s	502.1	487.2
	56	乾燥	7,000	1,477.0	0h3m30s	452.7	791.8
	56	散水	70	979.8	4h9m57s	365.2	309.3
	56	散水	700	1,006.7	0h25m32s	506.0	381.5
	56	散水	7,000	2,024.3	0h5m10s	877.2	460.2

#### 3-4-1. 火山灰濃度によるフィルタ交換圧損到達時間

プレフィルタ単体，中性能フィルタ単体，およびプレと中性能フィルタの二段使用時いずれにおいても，火山灰濃度が高くなるほど交換圧損への到達時間が短くなることが確認できた（供給濃度  $70\text{mg/m}^3$  と比較して、 $700\text{mg/m}^3$  で約 1/10、 $7000\text{mg/m}^3$  で約 1/50；図 20, 21, 22）。散水条件においても，供給濃度による到達時間の変化率は乾燥時と同等であった。

#### 3-4-2. 乾燥状態、散水によるフィルタ交換圧損到達時間

散水条件では，火山灰が水を含んで重くなり，試験ダクト内に落下して供試フィルタまで到達する量が少なくなるため，乾燥条件よりも交換圧損到達時間が長くなる傾向が見られた（プレフィルタ単体で約 2 倍，中性能フィルタを使用した場合で約 1.4 倍；図 23, 24, 25）。

#### 3-4-3. フィルタ組合せによるフィルタ交換圧損到達時間

プレフィルタ単体で使用した場合は，中性能フィルタを使用した場合と比較して捕集効率が低い（フィルタ下流側に抜ける量が多い）ことから，目詰まりまでの時間は長くなる。一方，通常の使用組合せである，プレと中性能フィルタの二段使用時の場合は，中性能フィルタを単独で使した場合と比較して，プレフィルタで適切に火山灰を処理でき，中性能フィルタに流入する火山灰濃度が低くなることから，目詰まりまでの時間は長くなることが確認できた（図 26, 27, 28）。

#### 3-4-4. フィルタ組合せによる火山灰保持量

定格風量で使用した場合，供給火山灰濃度が高いほうが火山灰保持量が多くなる傾向が見られた。これは，本試験を行った JIS 試験装置（規格上の供給濃度  $70\text{mg/m}^3$ ）においてより高い濃度で火山灰を供給した場合，火山灰の分散が悪く粒子同士が凝集して，フィルタの目詰まりが起これにくくなったためと考えられる。散水条件では，火山灰に湿分を含むため保持量（フィルタの質量増加分）が減ると予想されたが，火山灰濃度  $7000\text{mg/m}^3$  では増加・減少の明確な傾向が見られず，その他の濃度ではバラツキはあるものの乾燥条件とさほど変わらなかった（図 29, 30, 31）。

#### 3-4-5. 火山灰捕集率

プレフィルタ単体では，散水・乾燥での大きな違いは見られなかった。JIS 試験粉体によるプレフィルタ仕様値（質量法平均効率で 85%）よりも低くなったが，これは粉体の種類・粒度の違いによるものと推測される（なお，散水時  $700\text{mg/m}^3$  は交換圧損まで到達しなかったためデータ欠損）。中性能フィルタ（比色法平均効率で 90%，質量法換算では 95%以上）では，測定誤差によるばらつきは見られるが，ほぼ完全に火山灰を捕集できていることが明らかになった（図 32, 33, 34）。

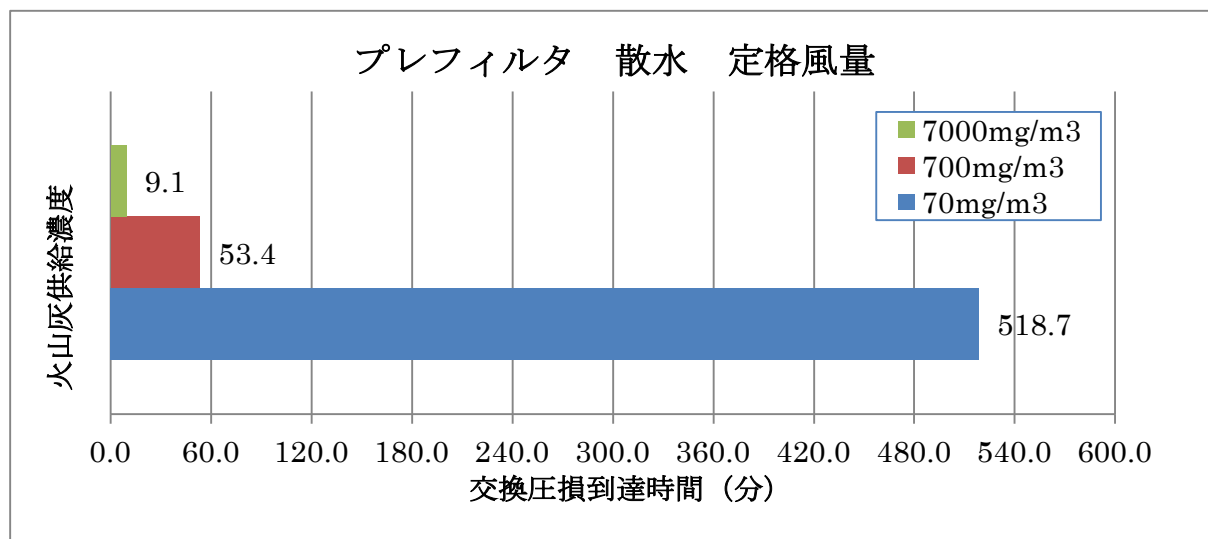


図 20 フィルタ交換圧損到達時間(プレフィルタ単体, 散水時)

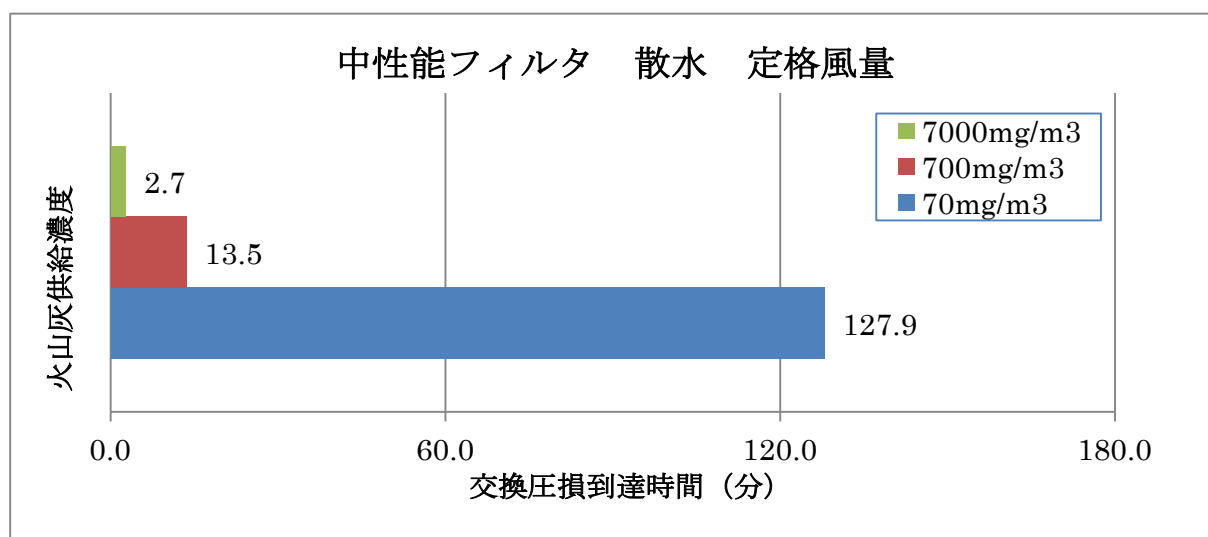


図 21 フィルタ交換圧損到達時間(中性能フィルタ単体, 散水時)

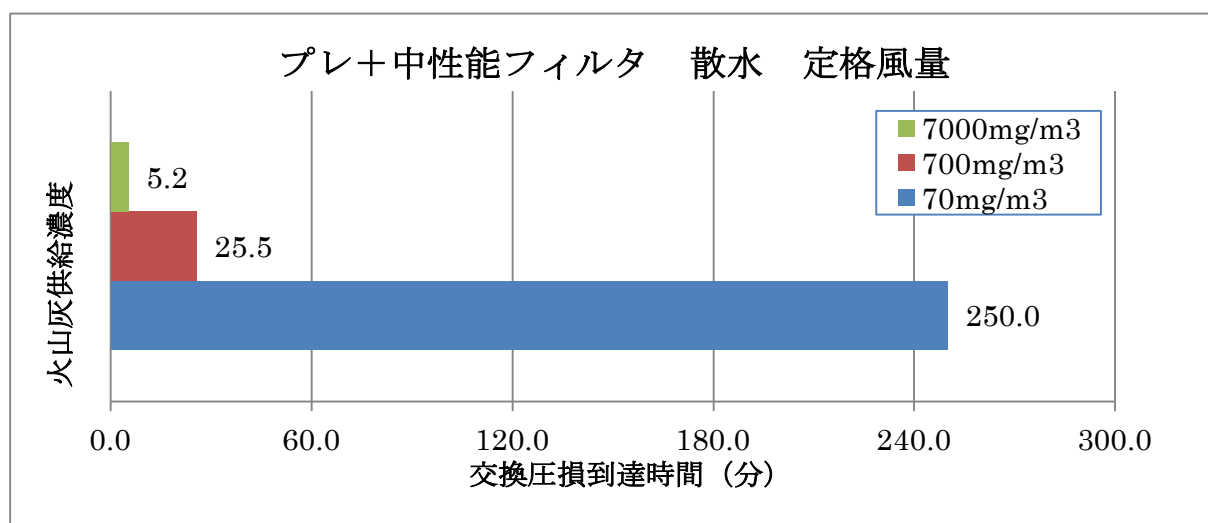


図 22 フィルタ交換圧損到達時間(プレ+中性能フィルタ2段, 散水時)

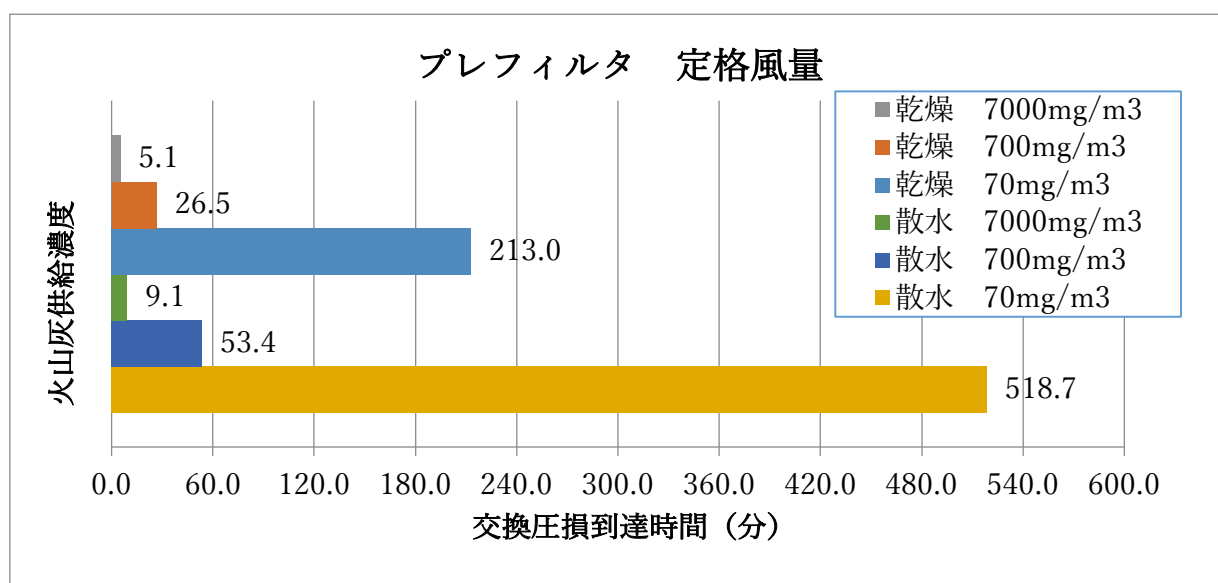


図 23 フィルタ交換圧損到達時間(プレフィルタ)

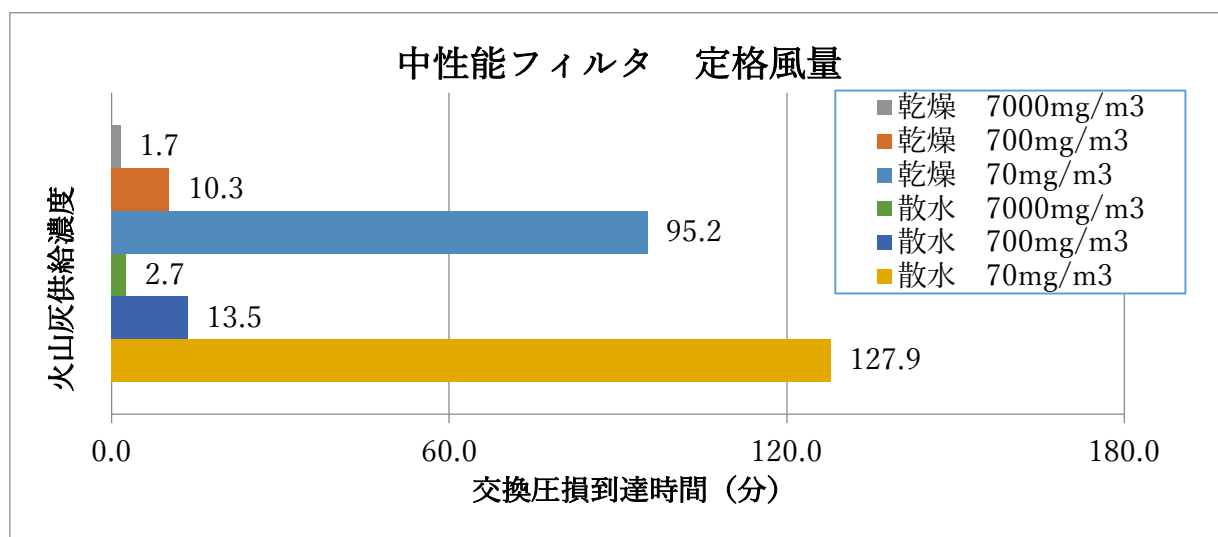


図 24 フィルタ交換圧損到達時間(中性能フィルタ)

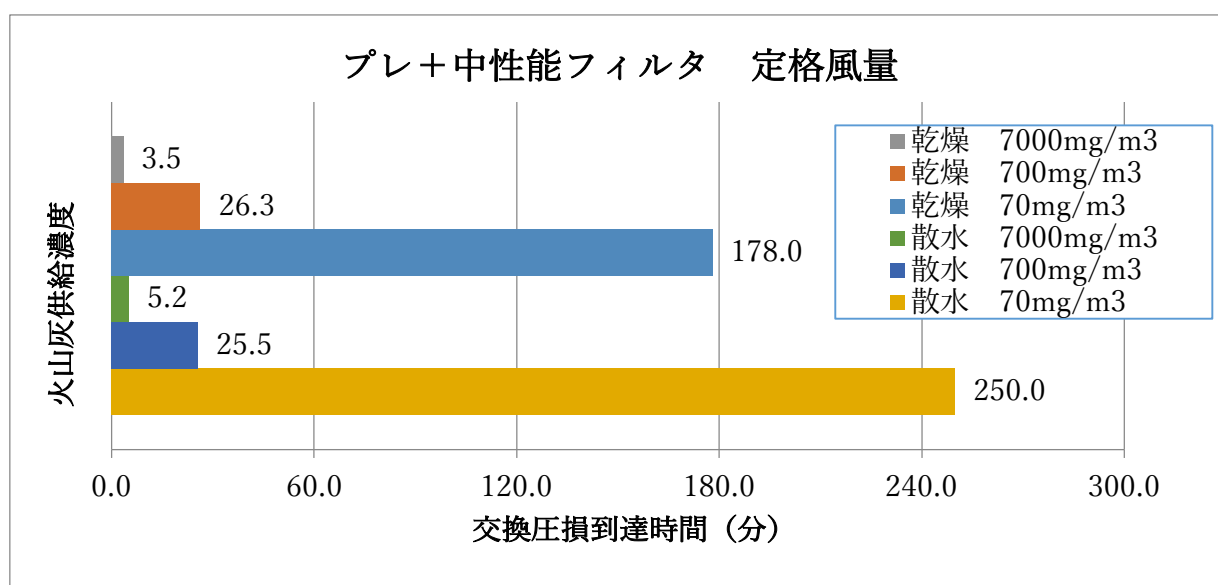


図 25 フィルタ交換圧損到達時間(プレ+中性能フィルタ)

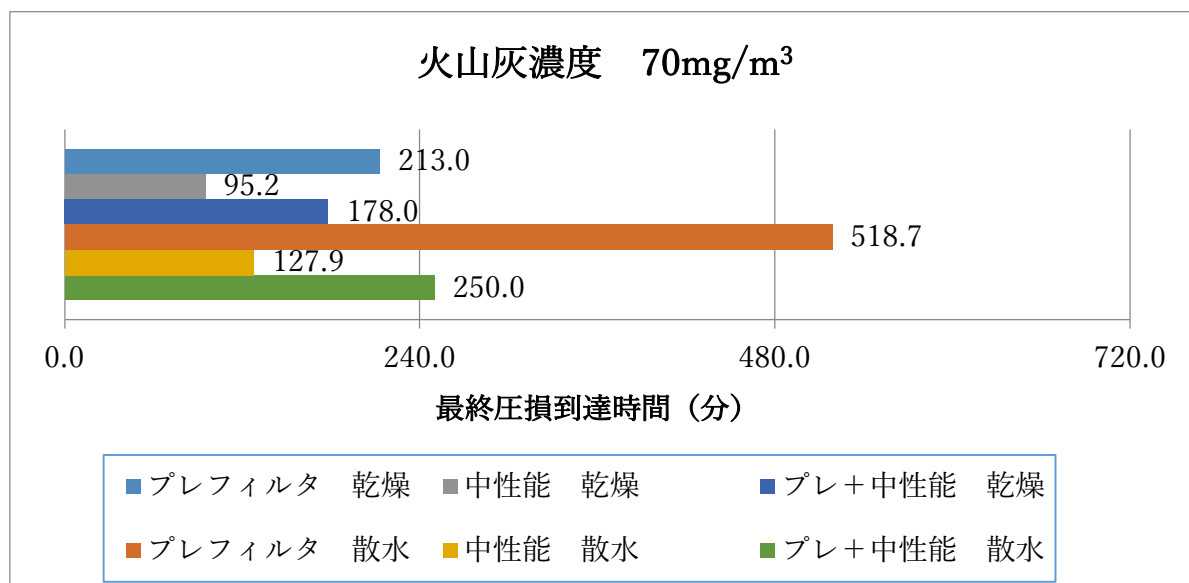


図 26 フィルタ組合せによるフィルタ交換圧損到達時間(火山灰濃度 70mg/m<sup>3</sup>)

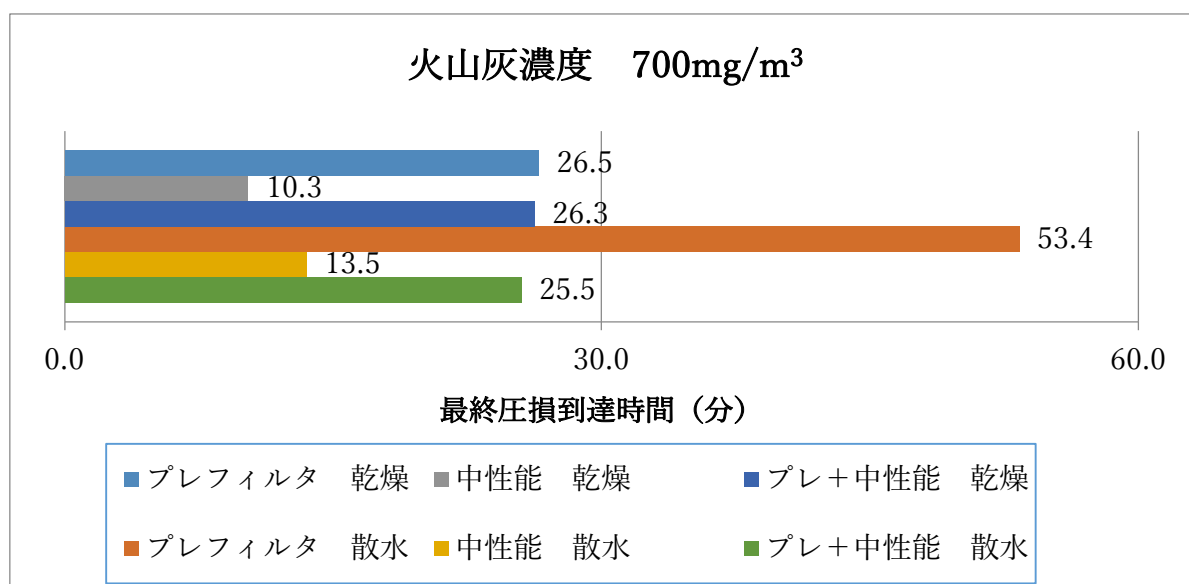


図 27 フィルタ組合せによるフィルタ交換圧損到達時間(火山灰濃度 700mg/m<sup>3</sup>)

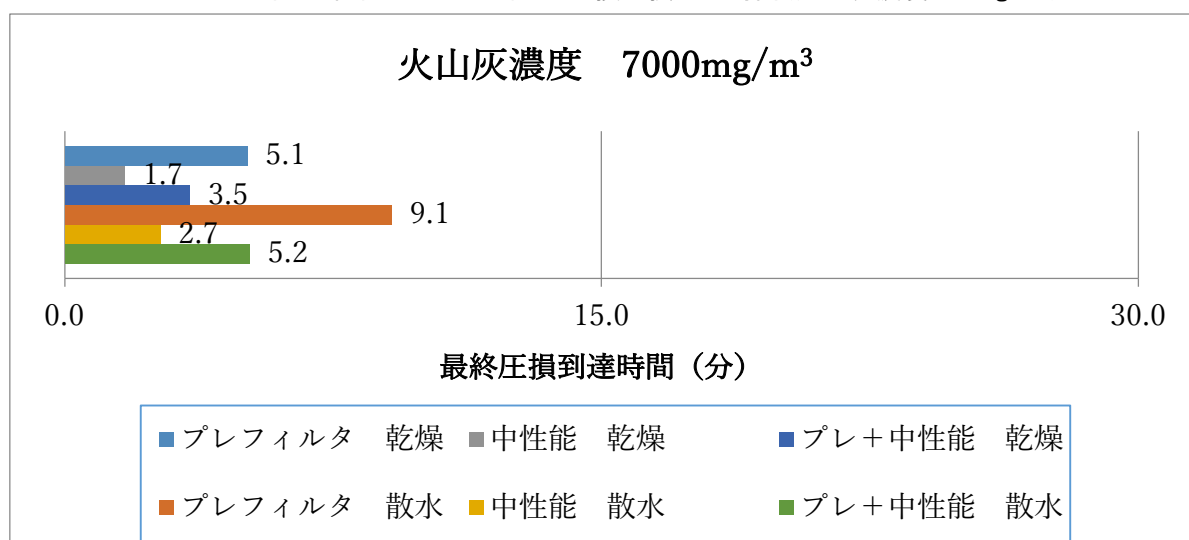


図 28 フィルタ組合せによるフィルタ交換圧損到達時間(火山灰濃度 7000mg/m<sup>3</sup>)



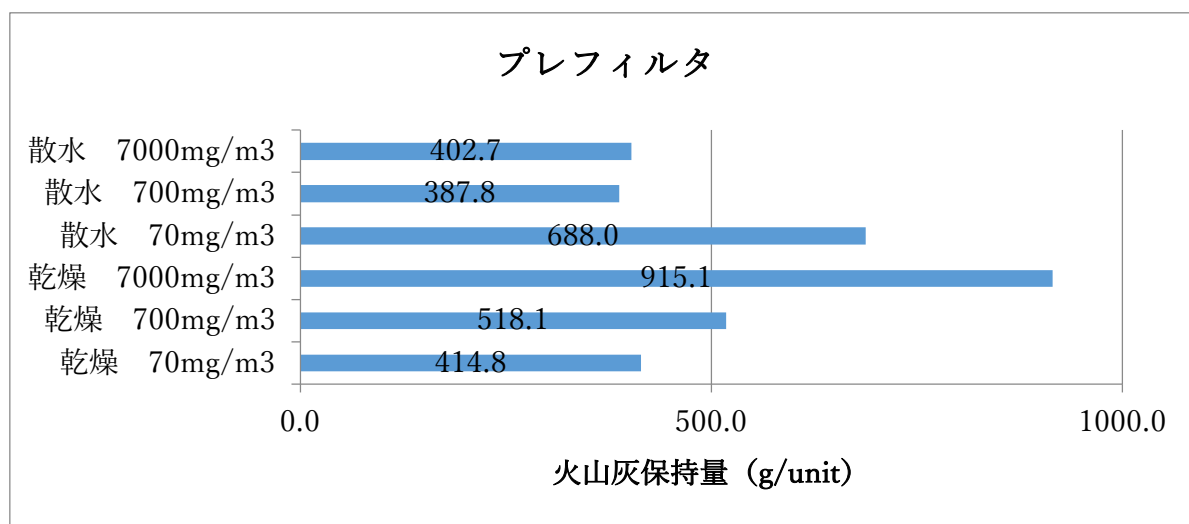


図 29 フィルタ組合せによる火山灰保持量(プレフィルタ単体)

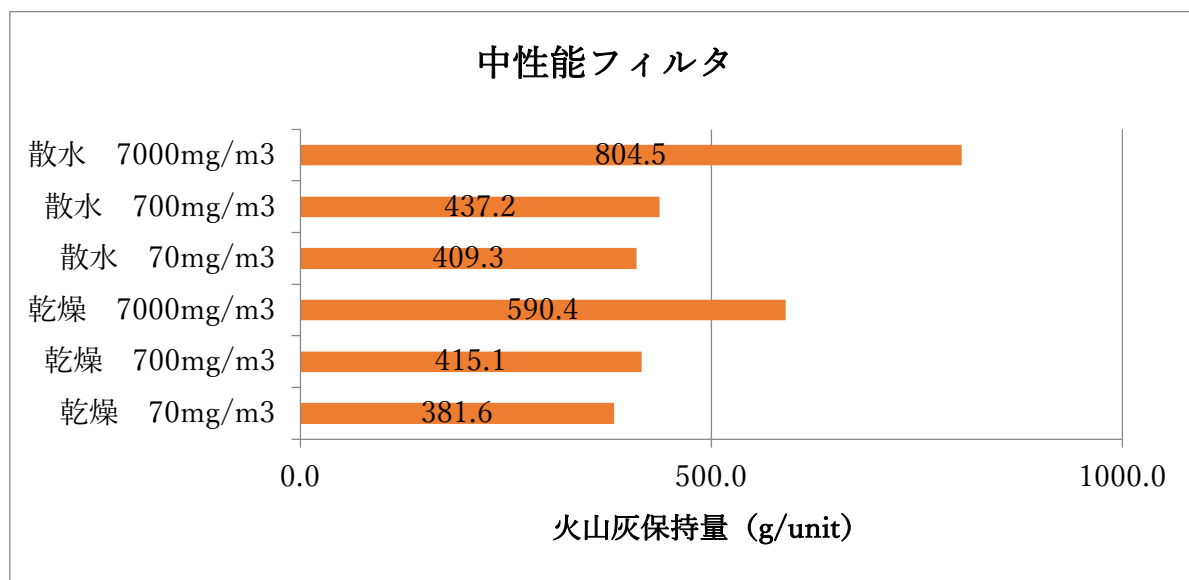


図 30 フィルタ組合せによる火山灰保持量(中性能フィルタ単体)

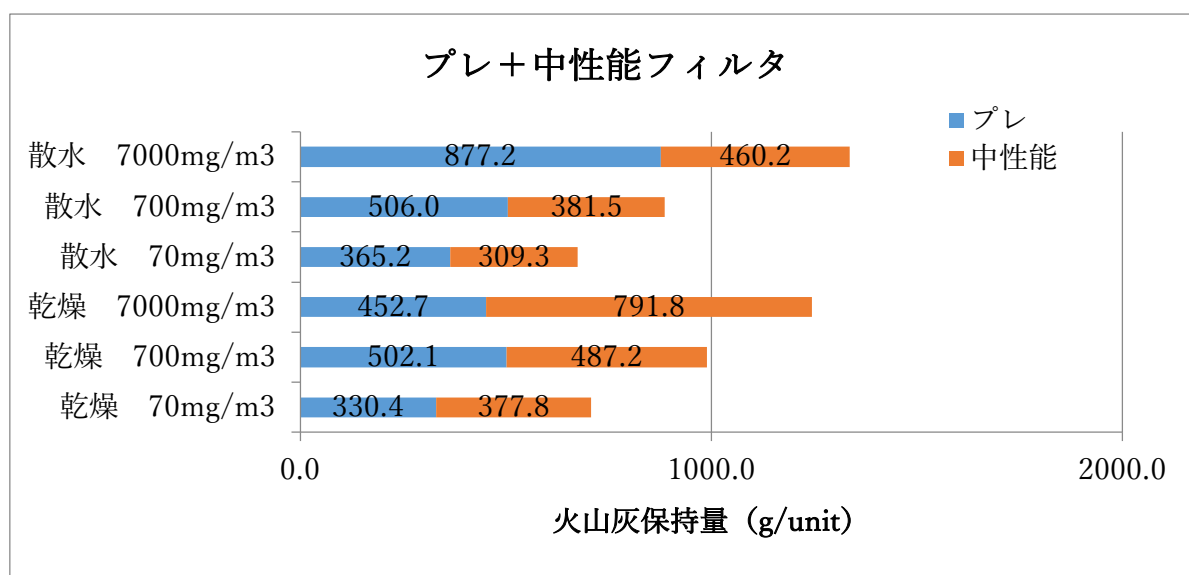


図 31 フィルタ組合せによる火山灰保持量(プレ+中性能フィルタ 2 段)

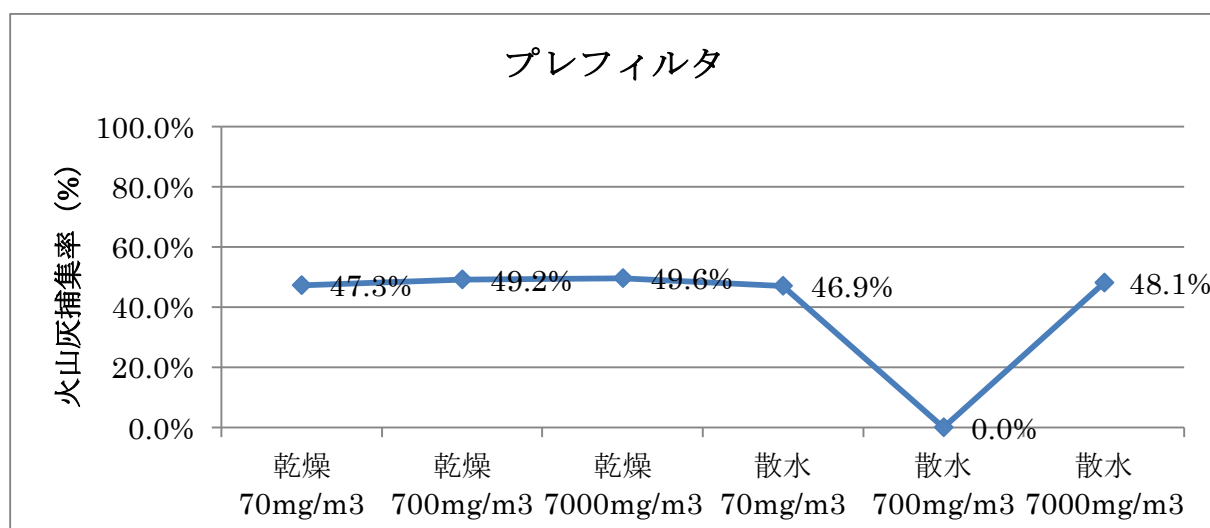


図 32 火山灰捕集率(プレフィルタ単体). 散水 700mg/m3 試験では、交換圧損に達しなかったためデータが欠損している。

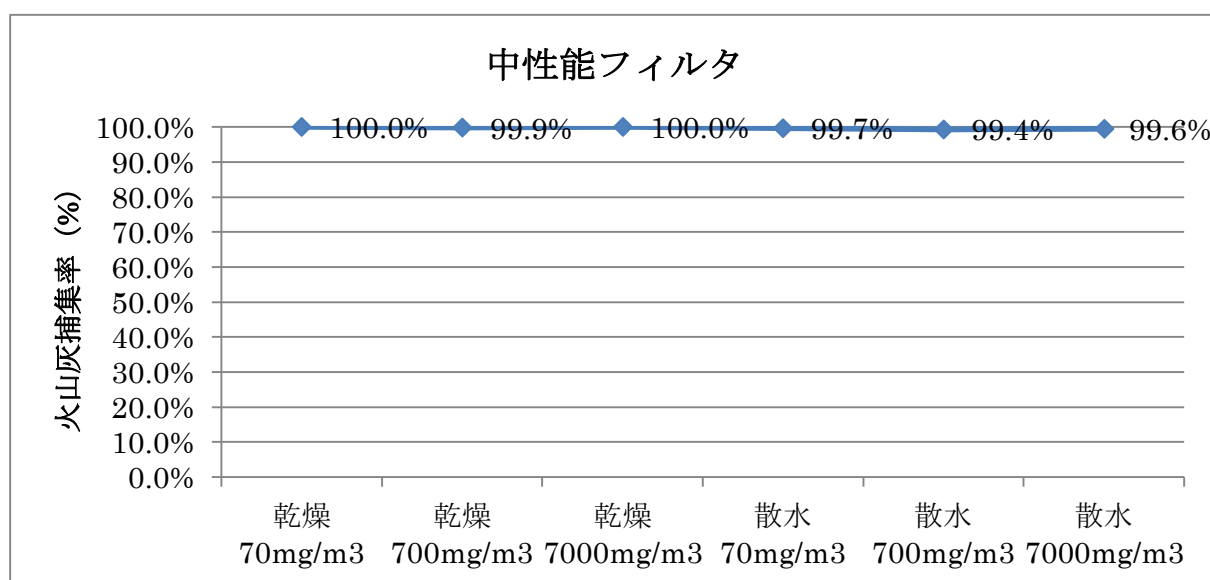


図 33 火山灰捕集率(中性能フィルタ単体)

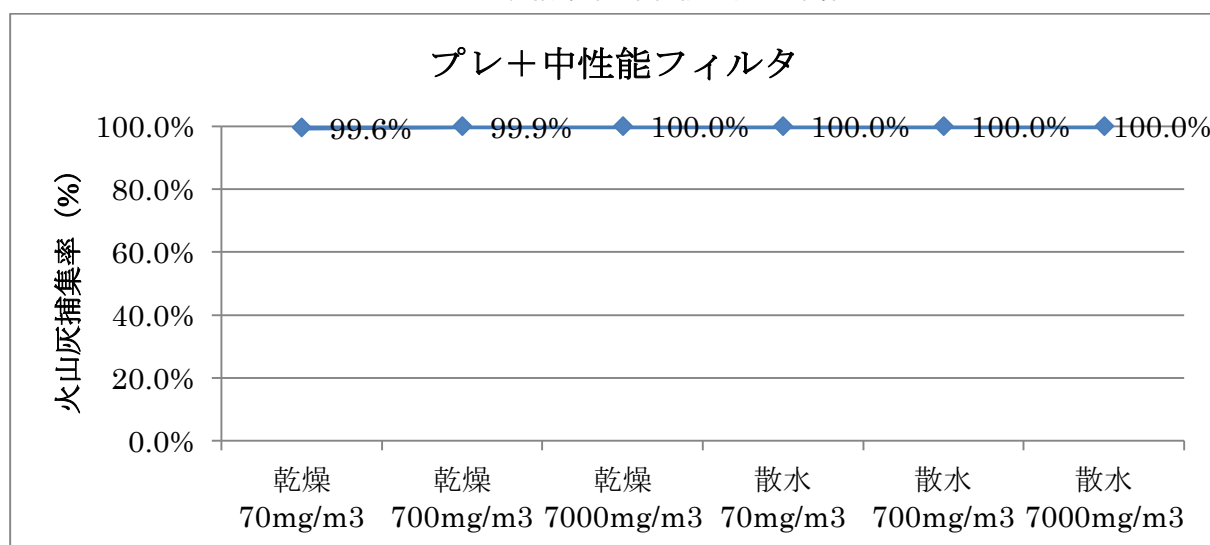


図 34 火山灰捕集率(プレ+中性能フィルタ 2 段)

## 4. 火山灰供給によるフィルタ破損確認試験

### 4-1. 試験方法

日本工業規格 JIS B 9908「換気用エアフィルタユニット・換気用電気集じん器の性能試験方法」に準拠し、供試フィルタを耐圧試験ダクトに取り付けて（図 35）、圧力損失を強制的に上昇させ、フィルタ破損の有無を確認した。供試フィルタは、プレフィルタ単体、中性能フィルタ単体、プレ+中性能フィルタ 2 段である。供給火山灰は、フィルタ性能変化確認試験と同じものを乾燥状態で用い、火山灰濃度が  $700\text{mg/m}^3$ （JIS によるフィルタ試験時の試験用粉体供給濃度の 10 倍）となるように簡易ダストフィーダでの供給量を設定した。この簡易ダストフィーダは、ラスキンノズルを使用した手動型フィーダである。また、火山灰供給と同時に二流体ノズルにて散水した条件での試験も実施している（図 36）。



図 35 耐圧試験ダクトの外観



図 36 散水状態試験時の耐圧試験ダクト内部の状況

## 4-2. 試験結果

### 4-2-1. プレフィルタ単体（乾燥状態）

試験結果概要を表 4 に示す. プレフィルタについては, 400Pa を超えると風圧でろ材が押され, ろ材周囲の枠との間に隙間が生じてそこから火山灰がリークした (図 37, 38, 39, 40).

表 4 フィルタ耐圧性能確認試験結果概要(プレフィルタ)

供試フィルタ	試験結果			
	試験風量 (m <sup>3</sup> /min)	設定供給濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	フィルタ 圧力損失 (Pa)	フィルタの状態
プレフィルタ デアマット G85	56	700	62	変化なし
			120	変化なし
			150	変化なし
			200	下流側にふくらみ始める
			250	同上
			300	ふくらみがさらに拡大
			400	大きくふくらみ、枠間に隙間発生
			500	さらに拡大
フィルタ捕集火山灰量（参考）：			2544.1	





図 37 耐圧試験時のプレフィルタ状態写真(圧力損失 62Pa)



図 38 耐圧試験時のプレフィルタ状態写真(圧力損失 500Pa). 赤円で示した部分に隙間が発生.



図 39 隙間部分の拡大写真(圧力損失 500Pa)



図 40 下流側へのふくらみ状態写真(圧力損失 500Pa)

#### 4-2-2. 中性能フィルタ単体（乾燥状態）

試験結果概要を表 5 に示す。中性能フィルタは、推奨交換圧力損失である 300Pa を超えても、2500Pa 程度までは使用可能であることが確認できた（ただし、捕集効率等の性能は保証外である）。2500Pa を超えるとフィルタろ材に亀裂が発生し（図 41, 42, 43, 44），最悪の場合フィルタが破損する恐れがあることから、これを超えての使用は不可能である。

表 5 フィルタ耐圧性能確認試験結果概要(中性能フィルタ)

供試フィルタ	試験結果				
	試験風量 (m <sup>3</sup> /min)	設定供給濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	フィルタ 圧力損失 (Pa)	到達時間 (累積)	フィルタの状態
中性能フィルタ  ミラセルS	56	700	300	－	変化なし
			600	10m	変化なし
			900	20m	変化なし
			1200	30m	一部目開き発生
			1500	40m	目開き箇所が増える
			1800	50m	目開き大きさが拡大
			2100	60m	さらに拡大
			2400	70m	さらに拡大
			2700	80m	ろ材に亀裂発生
フィルタ捕集火山灰量（参考）：			2819.1 g		





図 41 耐圧試験時のフィルタ状態写真(圧力損失 300Pa)

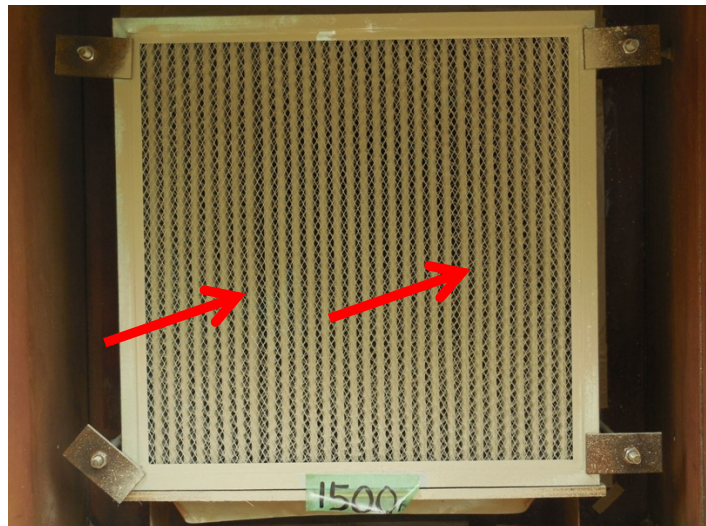


図 42 耐圧試験時のフィルタ状態写真(圧力損失 1500Pa). ろ材に亀裂発生(赤矢印)

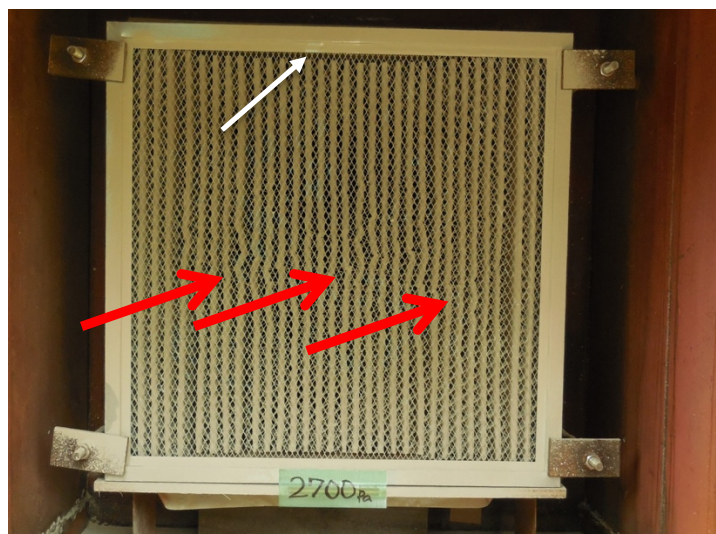


図 43 耐圧試験時のフィルタ状態写真(圧力損失 2700Pa). ろ材に亀裂発生(赤矢印). ろ材が下流側に押されて隙間発生(白矢印)



図 44 ろ材亀裂部分の拡大写真(圧力損失 2700Pa)

#### 4-2-3. プレフィルタ+中性能フィルタ 2 段（乾燥状態）

試験結果概要を表 6 に示す。プレフィルタと中性能フィルタの組合せでは、試験装置の構造上プレフィルタの状態しか確認できなかったが、昨年度試験の実績より中性能フィルタは 2500Pa までは使用可能であることから、プレフィルタが先に使用不可の状態となることが明らかである。

表 6 フィルタ耐圧性能確認試験結果概要(プレフィルタ+中性能フィルタ 2 段)

供試フィルタ	試験結果				
	試験風量 (m <sup>3</sup> /min)	設定供給濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	フィルタ 圧力損失(Pa)		フィルタの状態
			プレ	中性能	
プレフィルタ デアマット G85 + 中性能フィルタ ミラセルS	56	700	70	157	変化なし
			140	210	変化なし
			190	300	変化なし
			265	400	変化なし
			335	600	変化なし
			360	800	変化なし
			450	1300	プレの枠間に隙間発生
フィルタ捕集火山灰量（参考）：			3042	1443	

#### 4-2-4. 中性能フィルタ単体（散水状態）

試験結果概要を表 7 に示す。乾燥状態（表 5）と比較して、目開き・隙間発生までの時間が若干長くなっている。これは、二流体ノズルでの散水と同時に実施したため火山灰が水滴によってダクト内に落下し（図 36）、供試フィルタまで到達する量が減ったことが要因と考えられる。また、フィルタ上流側の保護用フェイスガードに、湿気を含んだ火山灰が多数付着していた。



表 7 フィルタ耐圧性能確認試験結果概要(中性能フィルタ単体:散水状態)

供試フィルタ	試験結果				
	試験風量 (m <sup>3</sup> /min)	設定供給濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	フィルタ 圧力損失(Pa)	到達時間 (累積)	フィルタの状態
中性能フィルタ ミラセルS	56	700	157	-	変化なし
			300	5m	変化なし
			600	15m	変化なし
			900	30m	変化なし
			1200	45m	一部目開き発生
			1500	60m	目開き大きさが拡大
			1800	75m	目開き大きさが拡大
			2100	90m	目開き大きさが拡大
			2400	105m	目開き大きさが拡大
			3000	120m	バック上部に隙間発生
火山灰総供給量（参考）：			7030 g		
フィルタ捕集火山灰量（参考）：			3670.5 g		

フィルタの破損は、散水有り・無しどちらの条件においても 2500～3000Pa の間で発生しており、フィルタとしての強度限界は同等であった。

## 5. まとめ

- 火山灰の供給濃度が高くなると、当然ながらフィルタ交換圧損までの到達時間が短くなることが確認できた。また、実際の噴火時の火山灰濃度は不明な部分も多いが、例として  $7\text{g}/\text{m}^3$  という濃度を想定すると、この場合は乾燥状態では数分でフィルタ交換圧損まで到達してしまうことが明らかとなった。

- プレフィルタと中性能フィルタを組み合わせることで、より適切に火山灰を捕集できることが明らかとなった。プレフィルタ単体で使用するとフィルタ交換圧損までの到達時間は延長できるが、フィルタを通過する火山灰量も多くなる。

- 降雨を想定した散水条件での火山灰目詰まり試験では、当初期待したような乾燥状態よりも少ない火山灰保持量での交換圧損到達は確認できなかった。従って、フィルタ損傷に対する降雨の重畳効果はほとんどないものと判断できる。

- 中性能フィルタは、推奨交換圧力損失である 300Pa を超えても、2500Pa 程度までは使用可能であることが確認できた。2500Pa を超えるとフィルタろ材に亀裂が発生し、最悪の場合フィルタが破損する恐れがあることから、これを超えての使用は不可能である。プレフィルタについては、400Pa を超えると風圧でろ材が押され、ろ材周囲の枠との間に隙間が生じてそこから火山灰がリークした。このことから、プレフィルタと中性能フィルタの組合せでは、プレフィルタが先に使用不可の状態となることが明らかとなった。耐圧試験でも乾燥・散水条件で強度限界は同等であった。

## 引用文献

藤井智晴・尾関高行 (2014) ガスタービン用吸気フィルタの保守管理の実態調査. 電力中央研究所報告, M13008, 17p.

Yamamoto, T. and Nakada, S. (2015) Extreme Volcanic Risks 2: Mount Fuji. In: Papale, P. (Ed.), *Volcanic Hazards, Risks, and Disasters*. Elsevier, Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, Netherlands, pp. 355-376.

Yamano, H., Nishino, H., Okano, Y., Yamamoto, T. and Takata, T. (2016) Development of Risk Assessment Methodology Against External Hazards for Sodium-Cooled Fast Reactors.

In: Kamae, K. (Ed.), *Earthquakes, Tsunamis and Nuclear Risks*. Springer, pp. 111-121.

吉竹 茂 (2009) ガスタービン吸気フィルタ技術. 日本ガスタービン学会誌, vol.37, p.197-202.