

セラミックフィルターを用いた低レベル放射性  
固体廃棄物焼却処理装置に関する試験的研究

---

1976年3月

---

日本原子力研究所

Japan Atomic Energy Research Institute

## JAERI レポート

この報告書は、日本原子力研究所で行なわれた研究および技術の成果を研究成果編集委員会の審査を経て、不定期に刊行しているものです。

### 研究成果編集委員会

委員長 山本賢三(理事)

#### 委員

赤石 準(保健物理安全管理部)	岡下 宏(原子炉化学部)
朝岡 卓見(原子炉工学部)	小幡 行雄(物理部)
浅見 哲夫(物理部)	栗山 将(開発試験場)
阿部 俊彦(企画室)	佐藤 一男(動力炉開発・安全性研究管理部)
天野 恕(製造部)	田中 正俊(核融合研究部)
石塚 信(動力試験炉部)	長崎 隆吉(燃料工学部)
石原 豊秀(東海研究所長付)	能沢 正雄(安全工学部)
大内 信平(材料試験炉部)	原田吉之助(物理部)
大西 寛(原子炉化学部)	平田 実穂(動力炉開発・安全性研究管理部)
大森 栄一(技術情報部)	堀田 寛(研究部)

入手(資料交換による)、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部(〒319-11 茨城県那珂郡東海村)あて、お申しこみください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会情報サービス事業部(茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内)で複写による実費頒布をおこなっております。

## JAERI Report

Published by the Japan Atomic Energy Research Institute

### Board of Editors

Kenzo Yamamoto (Chief Editor)

Toshihiko Abe	Jun Akaishi	Hiroshi Amano
Tetsuo Asami	Takumi Asaoka	Kichinosuke Harada
Mitsuho Hirata	Hiroshi Hotta	Toyohide Ishihara
Makoto Ishizuka	Isamu Kuriyama	Ryukichi Nagasaki
Masao Nozawa	Yukio Obata	Eiichi Ohmori
Hiroshi Okashita	Hiroshi Onishi	Shinpei Ouchi
Kazuo Sato	Masatoshi Tanaka	

Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to the Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Nakagun, Ibaraki-ken, Japan.

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 三美印刷株式会社

## セラミックフィルタを用いた低レベル放射性固体廃棄物 焼却処理装置に関する試験的研究

日本原子力研究所 東海研究所

町田 忠司・加藤 清・刈田 陽一\*

(1975年3月14日 受理)

本報告は、高温排ガスのろ過にセラミックフィルタを使用した焼却処理装置の、実用化のために実施した試験ならびに結果についてのべたものである。

試験装置は、2段のフィルタチャンバーのそれぞれに、平均気孔径  $44\mu\text{m}$  のセラミックフィルタ 36本をそなえており、 $12\text{kg/hr}$  の処理能力をもつ。試験項目は、セラミックフィルタに対する圧力損失の変化率測定と再燃焼試験、および装置の除染係数測定である。52日間(352時間)の運転を通じて、圧力損失の変化は1次フィルタではほとんどなかった。2次フィルタでかなりの増加がみられたが、この原因となった主要物質はタールであった。セラミックフィルタの特色である再燃焼効果を調べるため、排ガス中のすす、タールを高温に保った1次フィルタにより燃焼させたところ、すすは大部分が排ガス中から消滅した。タールは完全燃焼しなかったが、1次フィルタ通過後排ガスの冷却によってエアロゾルになり、大部分2次フィルタで捕集された。

装置の除染係数の測定は、4種の放射性物質 ( $^{132}\text{CsCl}$ ,  $^{85}\text{SrCl}_2$ ,  $^{58}\text{CoCl}_2$ ,  $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$ ) を用いて行った。除染係数および焼却炉内への残存係数は放射性物質の性状によって差違があるが、1次フィルタより2次フィルタの除染係数の方が大きく、また、残存係数を含めた総括除染係数は  $10^5\sim 10^6$  に達することが明らかになった。

これらの試験によって、セラミックフィルタは放射性排ガスに対して高い除染性能を有し、また未燃焼物の再燃焼効果においてもすぐれ、そのうえ圧力損失の増加率も小さいので、放射性廃棄物の焼却処理のための集じん装置としてすぐれていることを明らかにすることができた。

\* 外来研究員 (日本碍子株式会社)

## Development of an Incinerator Using Ceramic Filters for Low Level Radioactive Solid Waste Treatment

Chuji Machida, Kiyoshi Kato and Yoichi Karita\*

Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received March 14, 1975)

A test incinerator was constructed at the Tokai Research Establishment of the Japan Atomic Energy Research Institute in 1972 in cooperation with the NGK Insulators, LTD in order to obtain data on operational characteristics of an incinerator which uses ceramic filters.

This facility has treatment capacity of 12 kg/hr, and is equipped with a furnace, two ceramic filter chambers, each of which hangs inside the 36 ceramic filter elements having mean pore size of 44  $\mu\text{m}$ .

Three series of experiments were performed during a period from October 1972 to August 1973. The first was measurement of the change of pressure drop of the primary and the secondary filters after an operation of 52 days (352 hours). The pressure drop of the primary filter did not change during the operation, but the secondary brought a fairly large increment, from 79 to 140 mmAq.

The second was measurement of the after-burning effect of the primary filter for the soot and tar in the off-gas. Through the after-burning most of the soot was removed from the off-gas, though the tar was not perfectly taken off. At the secondary filter, some of the tar was burnt, but most of it was caught by the filter as aerosol.

The third was measurement of decontamination factors of radioactivities of the filters. Decontamination factors and a retention factor in the furnace, i. e. input radioactivity to the furnace/output radioactivity from the furnace, were found to depend on the kind of radioactive materials. The decontamination factors of both the primary and the secondary filters and the retention factor for four kinds of radioactive materials were respectively as follows: for  $^{132}\text{CsCl}$ ,  $1.7 \times 10^2$ ,  $2.5 \times 10^2$ , 4.1; for  $^{85}\text{SrCl}_2$ ,  $5.5 \times 10$ ,  $1.0 \times 10^3$ ,  $9.3 \times 10$ ; for  $^{58}\text{CoCl}_2$ ;  $4.5 \times 10$ ,  $2.1 \times 10^2$ ,  $4.8 \times 10$ , and for  $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$ ;  $3.7 \times 10$ ,  $1.1 \times 10^3$ ,  $1.9 \times 10$ .

This result shows that the secondary filter has a better dust collection efficiency than the primary, and the total decontamination factor of the incinerator including retention factor is estimated to reach  $10^5 \sim 10^6$ .

By these results of the experiments, it was proven that the ceramic filter has excellent characteristics connected with decontamination factor and after-burning effect.

---

\* NGK Insulators, LTD

## 目 次

1. 序言	1	4.1.4 目詰りの原因	8
2. 焼却処理装置	2	4.2 再燃焼試験	9
2.1 セラミックフィルタ	2	4.2.1 可燃分の再燃焼	9
2.2 焼却処理装置	2	4.2.2 排ガス中のタールの挙動	10
3. 試験方法	5	4.3 除染係数測定試験	11
3.1 圧力損失試験	5	4.3.1 除染係数	11
3.2 再燃焼試験	5	4.3.2 単分散粒子による捕集効率	11
3.3 除染係数測定試験	5	5. その他の考察	13
4. 試験結果	7	5.1 物質の状態変化	13
4.1 圧力損失試験	7	5.2 共存エアロゾルへの随伴	13
4.1.1 圧力損失	7	6. 結語	15
4.1.2 堆積粉じん	7	文献	15
4.1.3 圧力損失と計算値の比較	7		

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Incinerator using ceramic filters as a dust collector .....	2
2.1 Ceramic filter .....	2
2.2 Incinerator .....	2
3. Method of experiments .....	5
3.1 Pressure drop measurement .....	5
3.2 After-burning effect .....	5
3.3 Measurement of decontamination factors .....	5
4. Result of experiments .....	7
4.1 Pressure drop experiment .....	7
4.1.1 Pressure drop .....	7
4.1.2 Piled dust on the ceramic filter .....	7
4.1.3 Calculation of pressure drop .....	7
4.1.4 Cause of ceramic filter clogging .....	8
4.2 After-burning effect .....	9
4.2.1 After-burning of soot and tar .....	9
4.2.2 Behavior of tar in the off gas .....	10
4.3 Measurement of decontamination factor .....	11
4.3.1 Decontamination factor of the ceramic filters .....	11
4.3.2 Collection efficiency of ceramic filter to mono-disperse aerosol particles .....	11
5. Other considerations .....	13
5.1 State of radioactive material in temperature change .....	13
5.2 Accompaniment of radioactive materials to aerosol .....	13
6. Conclusion .....	15
References .....	15

## 1. 序 言

原子炉施設の定常業務により排出される低レベル放射性固体廃棄物（以下「廃棄物」と略称する）は80%（重量基準）以上が可燃性のため、これを焼却処理することにより容積を1/100程度にまで減少させることができる<sup>1)2)</sup>。したがって、原子炉施設では焼却処理装置を設置しているところが多い。

焼却処理では、排ガス中に含まれる放射性エアロゾルを除去するための除じん設備を必要とする。焼却装置の排ガスの特徴は、広い範囲の粒子径分布をもつ放射性エアロゾル（フライアッシュ、すす、ミスト状タールおよび廃棄物細片）を含むこと、排ガス温度の高いこと、塩素などの腐食性物質を含むことなどである。そのため焼却処理装置を設置する場合、集じん装置に何を選ぶかが重要な問題である。

排ガスの放射能濃度を許容基準値以下にするためには、高い除染係数が要求されるので、サイクロン、スクラバ、電気集じん器、フィルタなどの集じん装置の中から数種類を選び、これらを組み合わせる必要のある除染係数が得られるように設計する。集じん装置系のうち、スクラバを使用する湿式法は、ガス温度を急速に下げることができるので、安全に排ガスの処理を行うことができるが、集じん装置の金属部分に腐食が起きやすい欠点がある。他方、スクラバを使用しない乾式法は、洗浄による廃液の発生がないこと、比較的腐食が少ないことなどの特色を持つが、集じん系にすす、タールなどが蓄積しやすく、これに火の粉が飛来すると集じん系内部で火災を発生する危険性があり<sup>3)</sup>、また有害ガス（ $\text{Cl}_2$ 、 $\text{SO}_2$ など）の除去ができないなどの欠点がある。

排気中のエアロゾル除去には、繊維状ろ材で作ったエアフィルタが有効とされている。その理由は、概して捕集効率が高いうえ、運転操作が比較的容易だからである。しかしエアロゾル濃度の高い排ガスにより、短時間でフィルタ気孔の閉そく、いわゆる目詰り現象がおきやすい。また耐熱性に問題があるので高温度での使用はむづかしい。従って繊維質フィルタは、高温度でエアロゾル濃度の高い排ガスのろ過には不適当である。それにもかかわらずフィルタには上記のすぐれた性能があるので、高温度、高濃度の排ガス処理に使用できるフィルタがあると、著しく進歩した形式の乾式焼却装置を設計することが可能になる。

日本原子力研究所放射性汚染処理課は1962年以来放

射性廃棄物の試験用焼却処理装置2基、実用焼却処理装置1基の建設と、10年以上に及ぶ運転管理の経験を通じて、すぐれた集じん装置の開発に関心を有していたが、西独カールスルーエ研究所によって、高温用フィルタとしてセラミックフィルタを使用した焼却処理装置が開発されたという報告<sup>1)</sup>を得た。しかし、高温用フィルタの最大の問題点である放射性エアロゾルに対する除染係数と、既述のフィルタの気孔閉そくによる圧力損失の増加率に関するデータが不明であった。

除染係数は焼却処理装置の設計にとって重要な項目であって、各段のセラミックフィルタの除染係数が明らかにされなければ、焼却処理装置の設計は困難である。またエアロゾルによるセラミックフィルタの圧力損失は、その耐用時間数と、プロアの容量に深い関係がある。このフィルタは燃焼室の出口に設置され、きわめて濃度の高いばいじんをろ過しなければならないので、通常の判断では急速にフィルタの気孔閉そくがおきるものと推定された。

さらにこの装置の著しい特色は、排ガス中のすす、タールなどを、高温度に保たれたセラミックフィルタによって再燃焼させることである。しかしフィルタによる再燃焼という手法は、従来の方法と全く異なるので不明な点が多かった。

この全く新しい集じん機構を有する焼却処理装置を設計するには、以上の諸問題に関し、確実なデータを把握し、セラミックフィルタの性能を十分理解しなければならない。

そこで日本原子力研究所は、セラミック製品について高度の技術を有する日本碍子株式会社との共同研究によって、その試験的研究を実施することとした。試験には東海研究所廃棄物処理場に設置された焼却試験装置を使用し、1972年10月から1973年9月までの1カ年間にわたって研究を行った。

共同研究の項目には、セラミックフィルタについて上記問題点の解決に必要な下記の3件を選んだ。

試験 I 圧力損失試験

試験 II 再燃焼試験

試験 III 除染係数測定試験

なお試験 I に関連して、使用済みセラミックフィルタの熱処理試験、試験 III に関連して、単分散エアロゾルによるセラミックフィルタの捕集効率測定を補足した。

## 2. 焼却処理装置

### 2.1 セラミックフィルタ<sup>(注1)</sup>

セラミックフィルタの素材には窯炉用材料が使用されるが、なかでも高アルミナ質、シリコンカーバイド質などの材料は、特に高温における強度にすぐれている<sup>4)</sup>。今回の試験に選ばれたのは高アルミナ質のもので、粒度調整、バインダの混和、成形、焼成の過程を経て製作されたものである。

セラミックフィルタの組織は、耐熱性粒子による一種の充てん層で、材料粒子の調整によってフィルタの気孔径を変えることができる。この多孔質の充てん層組織によって、エアロゾルのろ過を行うのである。

一般に充てん層を通る流体の圧力損失は、層流領域では充てん層の厚みに比例し、比表面積の2乗に逆比例する<sup>(注2)</sup>。従って圧力損失に関する限り、粗い粒子径の素材で薄い層に作ったものがよいこととなるが、粗い粒子は気孔径が大きくなるので、除染係数が小さくなり、またあまり薄い層では十分な機械強度が得られない。

このフィルタの繊維質フィルタと著しく異なる特色は、フィルタによる再燃焼効果、すなわち高温ガス中に含まれる未燃焼物を、フィルタ表面および気孔内で再燃焼させ、除去するところにある。再燃焼によってフィルタは加熱されるので、使用時における温度は800°Cを越す。さらに焼却炉が断続的に運転される場合、フィルタ

注1) 以下繊維状フィルタなどと混同の恐れのないときは、簡単のためにフィルタと略称する。

注2) 4.1.3 参照。

エレメントには、加熱、冷却の熱サイクルがかかる。しかるにこのフィルタは、繊維質フィルタに比べて、その交換に費用、時間が多くかかるので、長時間の使用に耐えることが要求される。

### 2.2 焼却処理装置

焼却試験装置は小型の実用炉で、焼却能力 12 kg/hr、廃棄物の供給はバッチ式、供給間隔は5分ごとに1 kg、補助燃料にはプロパンガスを使用している。

排ガス処理系は、はじめにセラミックフィルタが2段あり、そのあとに熱交換器、高性能フィルタ、排風器、排気筒がある。またフィルタの性能を測定するため、排ガス流量計、温度計、圧力計を取り付けた (Fig. 1)。

焼却試験装置および測定装置の詳細は次のとおり。

#### (1) 燃焼室

型式	蓄熱型平炉
給気	自然流入式
排気	強制排気式
燃焼室容積	0.25 m <sup>3</sup>
火格子面積	0.51 m <sup>2</sup>
ガス流量	150 Nm <sup>3</sup> /hr

#### (2) 補助燃料燃焼装置

バーナ	低圧ベロシティバーナ
燃料	プロパンガス
燃料使用量	予熱時 約 4.8 Nm <sup>3</sup> /hr 焼却時 約 1.2 Nm <sup>3</sup> /hr

#### (3) フィルタ

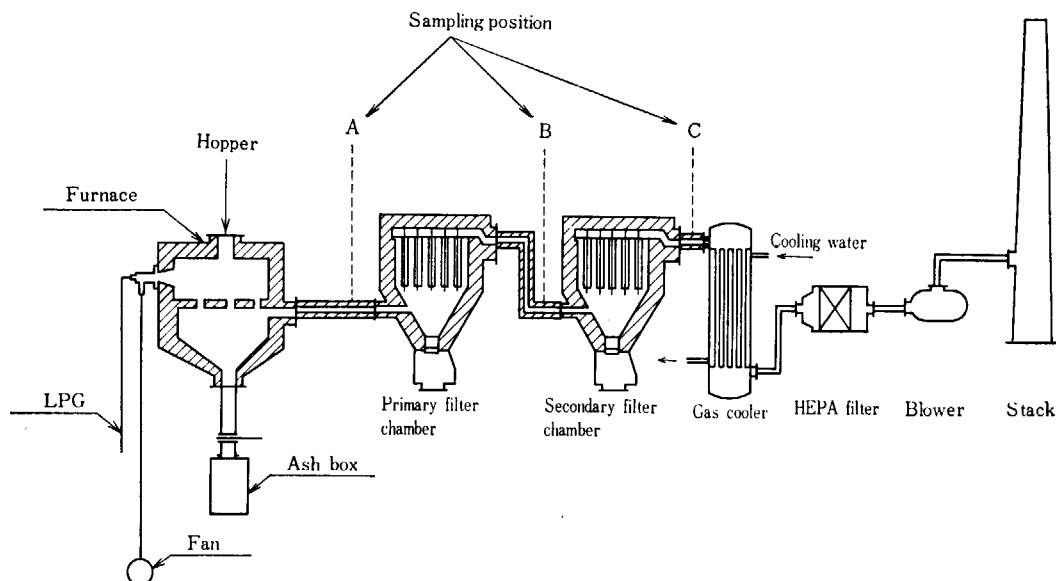


Fig. 1 Test incinerator using ceramic filters.



材質	高アルミナ質 (平均粒子径, 120 μm)	空げき率	35%
形状	内径 40 mm	(4) フィルタチャンバ (Fig. 2 参照)	
	外径 60 mm (上部, 70 mm)	段数	2段 (各段同型, 同一フィルタ使用)
	長さ 500 mm	フィルタ配置	6本×6本
	底厚 10 mm (上部, 開口)	フィルタ本数	36本×2段
平均ろ過面積	0.08 m <sup>2</sup>	ろ過面積	2.88 m <sup>2</sup> /段
平均気孔径	44 μm (最大気孔径 47 μm)	外側寸法	800×800×1,480 mm

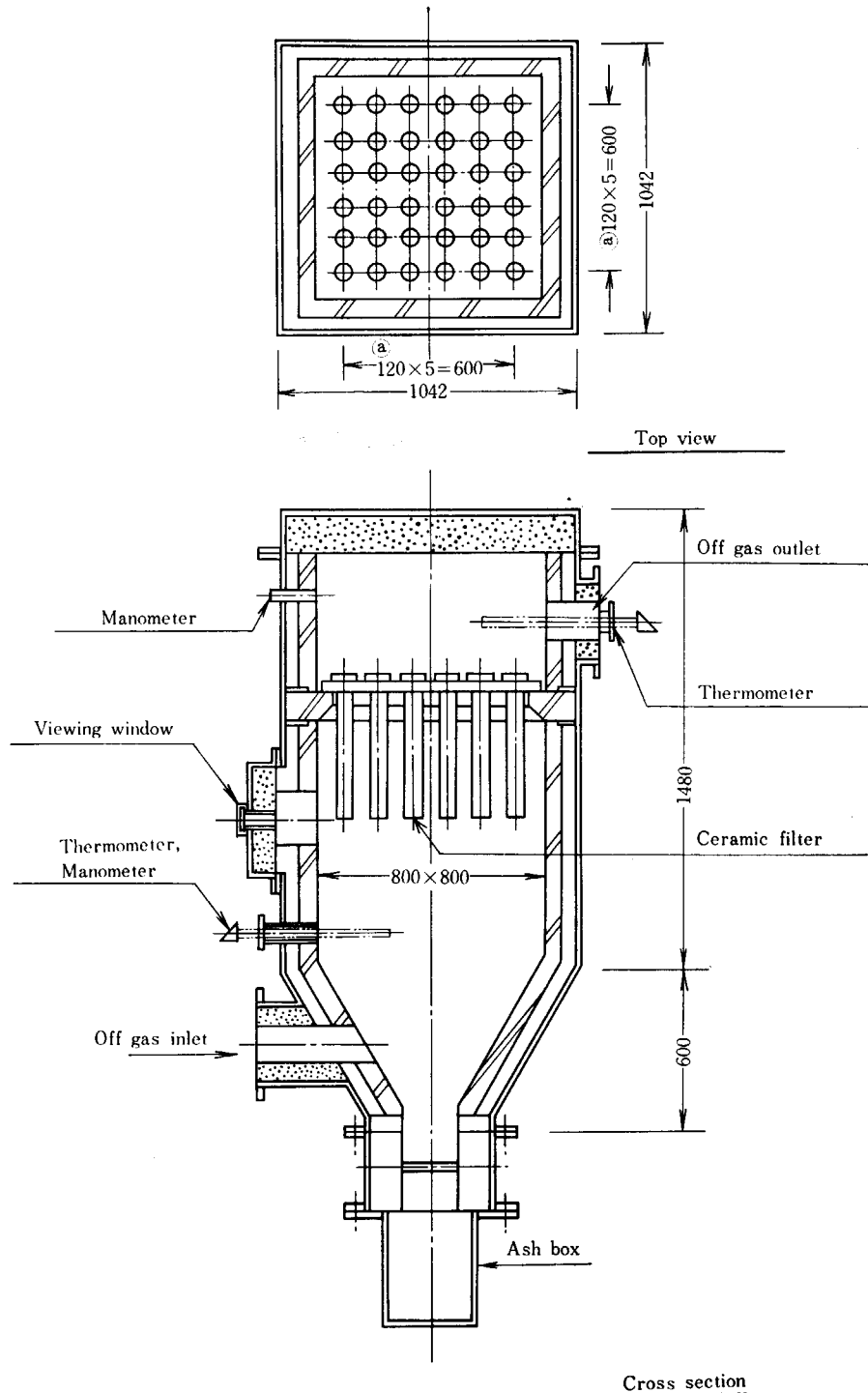


Fig. 2 Ceramic filter chamber.

集灰箱	チャンバ下部に取り付け	一次フィルタ入口および出口
ガス出入口径	150 mm $\phi$	(各1カ所)
耐火材	SK 38 またはキャストブル	二次フィルタ入口および出口
(5) 排風器		(各1カ所)
型式	ルーツブロア	熱交換器出口 (1)
吸入圧力	2,000 mmAq	ブロア入口 (1)
容量	400 Nm <sup>3</sup> /hr	
(6) 計装		圧力計
排ガス流量計		アネロイド型 焼却炉内
型式	オリフィス式	U字管型 一次フィルタチャンバ入口, 出口
温度計		二次フィルタチャンバ入口, 出口
型式	熱電温度計	
設置位置	燃焼炉内(3)(注)	

(注) ( ) 内は設置数

### 3. 試験方法

#### 3.1 圧力損失試験

試験はいわゆるコールド試験で、その概要は次のとおりである。

運転日数	52 日
通算運転時間	352 時間
供試廃棄物	下記の物質を 1 個あたり 1 kg づつ紙袋で包装したもの
	新聞紙 約 3,000 kg
	布ウエス 60 kg
	松板材 60 kg
	ポリエチレン
	塩化ビニールシート } 8 kg
1 日の運転時間	7.0~7.5 時間
フィルタ予熱時間	1.5~2.0 時間
焼却時間	5~6 時間
焼却量	12 kg/hr

フィルタの予熱は、フィルタの表面温度を、未燃物の再燃焼に必要な温度まで上昇させるために行う。この試験では一次フィルタの予熱温度を 700°C に設定した。この温度に対する二次フィルタ温度は約 400°C である。予熱完了後、供試廃棄物を 5 分間に 1 kg の割合で燃焼室に供給し、焼却した。

圧力損失の測定は、各フィルタチャンパの入口および出口の圧力計指示値の差から求めた。温度測定は圧力測定部とほぼ同位置に設けた温度計によって行った。

#### 3.2 再燃焼試験

試験 II は一次フィルタによるすすとタールの再燃焼効果を定量的に測定するための試験である。焼却炉内における不完全燃焼によって発生するすすおよび液体状タールの量を各フィルタの前後で捕集して、両者の差をフ

ィルタによる再燃焼量とした。

ばいじんの採取位置は燃焼室と一次フィルタ間の煙道 (A 点)、一次、二次両フィルタ間の煙道 (B 点) および二次フィルタと熱交換器間の煙道 (C 点) である (Fig. 1 参照)。

ばいじん採取方法は JIS Z 8808 「煙道排ガス中のばいじん量の測定方法」により、上記の採取位置に Fig. 3 に示すばいじん採取装置を取り付けた。ばいじん採取装置の概要とその使用方法是次のとおりである。

ばいじん採取装置

サンプリングチューブ JIS Z 8808 のろ紙による測定法に準拠。  
東洋ろ紙円筒型 (86 R, 88 R)

流量計 湿式ガスメータ (5 l/Rev. ±2%)

吸引装置 真空ポンプ (50 l/min)

使用方法

吸引位置 煙道中央部 1ヶ所

吸引時間 A 点; 10 分毎にろ紙交換

B 点; 240 分連続

C 点; 240 分連続

ろ紙に採取されたばいじん中には、すす、タールミストなど可燃物のほかに、フライアッシュなど不燃物が含まれているので、試料ろ紙を 800°C、空気中で 1 時間加熱処理し、この結果減量した分を可燃物量とした。A, B, C の各点における可燃物量と吸引ガス量から可燃物濃度を算出し、前段と後段の可燃物濃度を比較して再燃焼率を計算した。なお試験 II は試験 I を実施中に並行して実施した。

#### 3.3 除染係数測定試験

試験 III では、4 種類のトレーサ核種によって、各段フィルタの除染係数と、燃焼室へ供給した放射性物質量の炉内に残存する比率、すなわち残存係数を測定した。

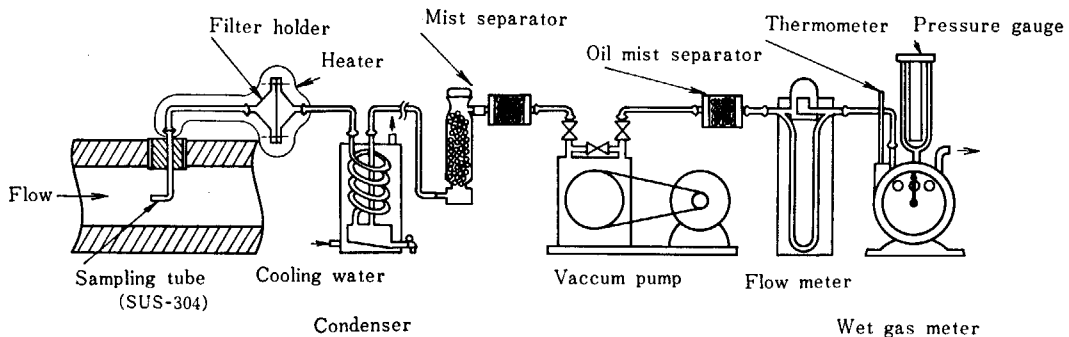


Fig. 3 Dust sampling arrangement.

TABLE 1 Radioactive materials used for the test

Nuclide	Chemical form*	Radiation	Half life (d)	mCi/package
$^{132}\text{Cs}$	CsCl	$\beta, \gamma$	6.2	0.6
$^{85}\text{Sr}$	SrCl <sub>2</sub>	$\beta, \gamma$	65.0	0.21
$^{58}\text{Co}$	CoCl <sub>2</sub>	$\beta, \gamma$	71.0	1.04
$^{32}\text{P}$	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$\beta$	14.3	1.6
$^{32}\text{P}$	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$\beta$	14.3	10.7

\* in dilute hydrochloric acid solution

トレーサには、廃棄物中の核種の代表性と、半減期を考慮し、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{132}\text{Cs}$  の4核種を選定した。これらの放射性物質の水溶液 50 ml を、1 kg の新聞紙に平均にふりかけたのち、紙バケツに入れ密封したものを供試廃棄物とした。使用した放射性物質を TABLE 1 に示す。なお、ホット試験に先立って、フィルタは全数同種類の新品と交換した。

試料採取には前述のばいじん採取装置 (Fig. 3) のダストチューブに、ゲルマンのグラスファイバ Type A を取り付けて使用した。試料採取場所は Fig. 1 A, B, C の3点で、1ろ紙当りの試料採取時間は、A, B 点では 10 分間、C 点では 10~数 10 分間である。吸引速度は再燃焼効果測定の場合と同一である。試料採取管の内部な

ど、ろ紙以外の部分に付着した放射性物質も、採取作業完了後これを捕集測定して、ろ紙の捕集量に加算した。こうして測定された放射性物質量を吸引ガス量で除して、各採取位置における核種別の排ガス中の放射能濃度を算出した。

除染係数および残存係数の定義を次に示す。

一次フィルタの除染係数； A点とB点の排ガス放射能濃度の比

二次フィルタの除染係数； B点とC点の排ガス放射能濃度の比

炉内への残存係数<sup>(注)</sup>； 燃焼室へ供給した放射性物質量と、排ガス中へ移行した放射性物質量の比

なお放射能測定装置は、 $^{32}\text{P}$  に対しては端窓型 GM カウンタ、または低バックグラウンド用プロポーションナルカウンタを、また  $^{132}\text{Cs}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{58}\text{Co}$  に対してはシンチレーション型低バックグラウンド用  $\gamma$  線波高分析器 (5"  $\phi$   $\times$  4", NaI(Tl), 400 チャンネル, TMC 製) を使用した。

(注) 焼却装置全体の除染能力を表わすときは下式による。  
総括除染係数 = 炉への残存係数  $\times$  集じん器の除染係数の相乗積

## 4. 試験結果

### 4.1 圧力損失試験

#### 4.1.1 圧力損失

一次および二次フィルタの圧力損失変動を長期にわたってあらわしたものが Fig. 4 である。測定時間は、毎日の運転に先立って行われるフィルタの予熱の完了時（一次フィルタが 700°C、二次フィルタが 400°C に達したとき）である。

一次フィルタの圧力損失変化状況は、使用開始後約 4 時間で 150 mm より 200 mmAq まで急激に増加し、その後は漸次下降して、70 時間で使用前の値である 150 mmAq に復した。それ以後はこの水準を上下しながら安定した状態を保ち、340 時間後では 140 mmAq とやや減少した。

二次フィルタは、一次フィルタと異なり、使用開始時における一時的圧力損失増加は示さず、従って圧力損失の回復も認められない。ただ時間とともに圧力損失が増加し、300 時間後には一次フィルタとほぼ同じ値に達し

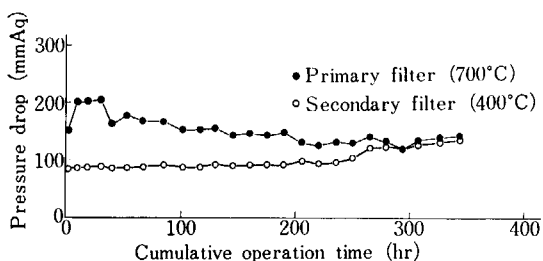


Fig. 4 Change of pressure drop through the ceramic filters.

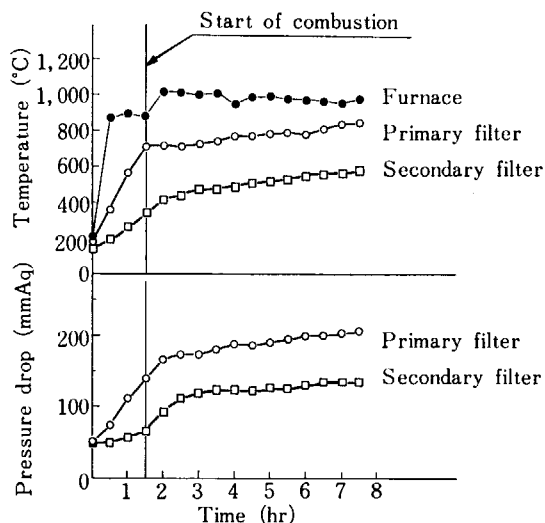


Fig. 5 Variation of temperature and pressure drop during a daily operation.

た。すなわち繊維質フィルタと同じ傾向を示す。

次に短期間（1日）における温度と圧力損失の関係を Fig. 5 に示す。燃焼室温度は、廃棄物の燃焼が開始されると数 10 分で 1,000°C に達するが、それ以上の温度上昇は炉材料を損傷するので、それ以後は 1,000°C を保つように運転した。フィルタの温度は一次、二次ともに、運転時間とともに蓄熱効果があらわれ、次第に上昇する。温度の上昇は、排ガスの量と粘性係数を増加させるので、その結果圧力損失も増加する。燃焼室、一次および二次フィルタの温度上昇状況は全試験期間を通じて Fig. 5 とほぼ同じパターンであった。

#### 4.1.2 堆積粉じん

繊維質フィルタによって粉じんろ過を行ったときと同様に、このフィルタ表面にも堆積粉じんが認められた。その堆積状態を Fig. 6 に示す。この堆積粉じんは、繊維質フィルタの場合と違って付着力が弱く、堆積層の厚みが 7 mm 程度に達すると、自然にはく離し、フィルタの表面が現われる。このため繊維質フィルタに設けられる堆積粉じんの除去機構を必要としない。堆積粉じんはきわめてポーラスな組織でその真比重 4.7 に対し、見掛比重が 0.1~0.2 程度であった。なお二次フィルタには堆積粉じんは生成しなかった。

この堆積粉じんの生成は、可燃性エアロゾルが排ガス中に混ざって一次フィルタ表面に達し、再燃焼によってエアロゾルの容積が減少して灰分だけがポーラスな状態で残ったものと考えられる。

この試験における燃焼ガス中には平均約 400 mg/Nm<sup>3</sup> のばいじんが含まれているので (TABLE 4 参照), 150 Nm<sup>3</sup>/hr の流量で 1 日 6 時間燃焼すると, 360 g のばいじんが発生する。そこでこのばいじんがすべて一次フィルタによってろ過されたとすると, ろ過面積は 2.88 m<sup>2</sup> (2.2 (4) 参照) であるから, フィルタのばいじん負荷は 1 日当り 12.5 mg/cm<sup>2</sup> となる。この中の灰分だけがフィルタ表面に残留し, 堆積粉じんを形成する。ばいじん中の灰分の重量比率は約 1/10 で (4.2.1 参照), 見掛比重は約 0.15 (0.1~0.2) であるから, 1 日に付着する粉じんの厚みは  $0.0125/0.15 \times 10 \approx 0.0083$  [cm] となる。52 日間では 4.3 mm となる。この計算値は実測値 5 mm とよく一致している (4.2.1 参照)。

#### 4.1.3 圧力損失と計算値の比較

フィルタおよび堆積粉じんの組織を充てん層と仮定し, 一次フィルタおよび堆積粉じんによる圧力損失を計算によって求める。流体の充てん層による圧力損失  $\Delta P$

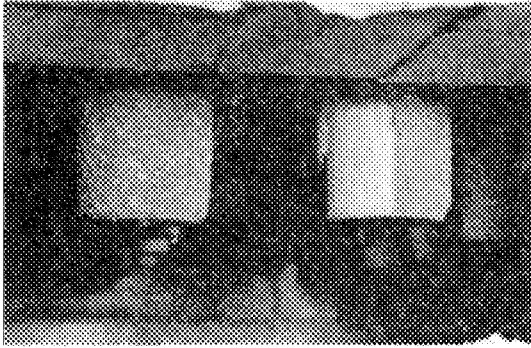


Fig. 6 Piled dust on the primary filter elements.

は、Kozeny-Carman の式<sup>5)</sup>により

$$\Delta P_1 = k \frac{(1-\varepsilon_i)^2 S_{vi}^2 u \mu L_i}{\varepsilon_i^3 g c} \quad [\text{kg/m}^2]$$

$i$ : 1 はフィルタ; 2 は堆積粉じん

$k$ : Kozeny の係数

$\varepsilon_i$ : 空げき率  $[-]$

$S_{vi}$ : 単位体積あたり表面積  $[\text{m}^2/\text{m}^3]$

$u$ : 見かけの平均排ガス速度  $[\text{m}/\text{sec}]$

$\mu$ : 排ガス静粘性係数  $[\text{kg}/\text{m}\cdot\text{sec}]$

$L_i$ : 充てん層の厚み  $[\text{m}]$

$g c$ : 重力換算係数  $[\text{kg}\cdot\text{m}/\text{kg}\cdot\text{sec}^2]$

で表わすことができる。 $\varepsilon_1$ は 0.35 で、堆積粉じんの真比重は 4.7 である。見掛比重は 0.1~0.2 の平均値であるからこれを 0.15 とすると、 $4.7(1-\varepsilon_2)=0.15$  から  $\varepsilon_2=0.97$  を得る。この  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  から  $(1-\varepsilon_i)^2/\varepsilon_i^3$  を計算すると、それぞれ 9.85, 0.029 である。また堆積粉じんの平均粒子径は、フィルタ素材の平均粒子径 122  $\mu\text{m}$  に比べ、桁違いの差はない<sup>(注)</sup>。そこで比表面積について、 $S_{v1}=S_{v2}$  と仮定すると  $\Delta P_1/\Delta P_2$  は約 3,400,  $S_{v1}=S_{v2}/10$  としても 34 である。すなわちフィルタと堆積粉じんの全圧力損失に対し堆積粉じんの寄与は小さい。そこでこの計算において  $\Delta P_2$  を無視することとする。

$\Delta P_1$  を計算するため、まずフィルタ充てん層におけるレイノルズ数  $Re=\rho u/\mu(1-\varepsilon)S_v$  を計算する。 $S_v=6/\phi_c D_p$  であるから、 $\phi_c=1$  (球状粒子) とすると、

$$Re = \frac{\rho u D_p}{6(1-\varepsilon)\mu}$$

ここに  $D_p$  はフィルタの平均粒子径  $[\text{m}]$  で  $1.22 \times 10^{-4}$  m,  $\rho$  は排ガス密度  $[\text{kg}/\text{m}^3]$  である。排ガス温度を 800°C とすると、

TABLE 2 Comparison between measured and calculated pressure drops

Temperature (°C)	Observed value (mmAq)	Calculated value (mmAq)
20	20	24
700	151	187

$$Re = 3.5 \times 10^{-2}$$

となり、一次フィルタを通過する排ガスは層流状態と考えられる。そこで粒子を球状とみなし、Kozeny 定数に 5 を採用すると<sup>5)</sup>、圧力損失は

$$\Delta P_1 \approx 180 \frac{(1-\varepsilon_1)^2 \mu u L_1}{\varepsilon_1^3 g c D^2 p}$$

20°C と 700°C における  $\Delta P_1$  の計算値と、同温度における実測値の比較を TABLE 2 に示す。この表から理論値と実測値がよく一致することが認められる。従ってこの結果セラミックフィルタを粉体の充てん層とみなして計算してもよい結果が得られることが明らかになった。

また一般に繊維質フィルタを常温で使用すると、堆積粉じんの圧力損失の方が繊維質層のそれより大きくなるが、このフィルタの場合には逆であって、堆積粉じんのそれは、高温度においても高々数 mmAq 程度にすぎない。

#### 4.1.4 目詰りの原因

長時間にわたってフィルタで排ガス処理を行ったとき、一次フィルタの圧力損失が増加せず、二次のそれが増加する現象は試験前の予想と違う結果であった。この原因を解明するために、コールドテストの完了後、使用済の一次および二次フィルタを加熱し、加熱前後におけるフィルタによる圧力損失を調べた。試料には使用済フィルタの両端を切断した、長さ 50 mm の円筒を用いた。圧力損失の測定は、使用済の状態と、これを 810°C および 1,100°C で 1 時間加熱後冷却したものについて行った。その結果を TABLE 3 に示す。

これによると、ばいじんろ過により、圧力損失の増加したフィルタは、加熱によって一般に圧力損失の減少、換言すれば通気性が回復する。このフィルタの通気性回

(注) 焼却灰のフライアッシュ粒子径は、78  $\mu\text{m}$  以上 46.8%, 78~55  $\mu\text{m}$ , 23.8%, 55~33  $\mu\text{m}$ , 20.3% という報告がある<sup>6)</sup>。

TABLE 3 Heat treatment effect on pressure drop of the used filter

Flow rate (l/min)	Pressure drop of primary filter (mmAq)			Pressure drop of secondary filter (mmAq)			Pressure drop ratio	
	Before treat. (A)	800°C	1,100°C (A')	Before treat. (B)	800°C	1,100°C (B')	A/A'	B/B'
30	129	128	122	151	141	125	1.06	1.21
50	218	206	202	247	232	206	1.08	1.20
70	289	282	273	345	313	281	1.06	1.23
90	383	381	360	447	409	391	1.06	1.14

Dimension of specimen: 60 mm  $\phi$   $\times$  40 mm  $\phi$   $\times$  50 mm l

Heat treatment: one hour in air

復は、まずフィルタ組織内に蓄積した物質が加熱によって燃焼または蒸発し、この気体がフィルタ組織外へ移動して、閉そくした気孔が開通したためである。特に圧力損失増加の大きい二次フィルタの方が、その回復も著しい。

Fig. 4 によれば、試験終了時における両フィルタの圧力損失は同程度であったが、気体の温度を常温にして行った熱処理前の値を比較すると (TABLE 3), 二次フィルタの圧力損失の方が大きい。従ってフィルタ内部の蓄積量も二次フィルタの方が多きこととなる。そこで主として二次フィルタに蓄積していた物質について考察することとする。

二次フィルタの平均気孔径は一次と同じであるので、一次フィルタでろ過されたエアロゾルが二次フィルタで捕集されるためには、一次フィルタを通過後、二次フィルタに達するまでの間で、あるエアロゾルの粒子径が増大していなければならない。

一次、二次フィルタ間の煙道中の排ガスに含まれる物質で、加熱によって燃焼または蒸発する可能性のある物質は、カーボン、未燃焼物およびタールである。しかし再燃焼試験における観察では、両フィルタ間煙道の排ガス中には、未燃焼物やすすなどの固体状エアロゾルが少く、そのほとんどがタールであることが認められた (4.2.1 参照)。さらに試験後の点検においても、一次、二次フィルタ間の煙道および二次フィルタチャンバ内に未燃焼物やすすはほとんど存在しなかった。また二次フィルタ表面には、固体状の粉じんは認められず、白色のフィルタ素地が褐色に着色していただけである。

以上の観察結果から、フィルタ内部に蓄積した主要物質はタールであって、これが二次フィルタの圧損増加の主要な原因といえることができる。そこでタールのエアロゾル化の過程について考える。

燃焼室内で発生したガス状のタールは、大部分が燃焼室や一次フィルタで燃焼するが、その一部が未燃焼のまま一次フィルタを通過する。一次フィルタを通過した排ガスが、二次フィルタに達するまでに要する時間は約7秒である。この間にタールは、チャンバおよび煙道で、800°C から 500°C まで冷却される。この温度領域に沸点のあるタール成分は液体状の分子に変化して、排ガスと共に移動しながら結合を繰返し、エアロゾルに成長す

る。エアロゾルの粒子径が二次フィルタの気孔を通過できない大きさに達したものが捕集され、フィルタ内部に蓄積する。

以上はタール捕集の一つの型を示したものであるが、排ガス温度やタール成分により、エアロゾル生成には複雑な変化があるものと思われる。また、沸点がタールと同程度の無機化合物も、類似の行動をとることであろう。放射性物質とタールの関係は後述 (5.2 参照) する。

以上の結果から、フィルタの圧力損失現象を次のようにまとめることができる。すなわち、一次フィルタの圧力損失ははじめ急速に増加するが、その後ほぼ使用前の状態に回復し、その後圧力損失の増加は認められない。これに反し、二次フィルタは使用時間の増加とともに圧力損失も増加する。

フィルタの圧力損失は理論値とほぼ等しい。一次フィルタ表面には堆積粉じん層が形成し、これにより予備ろ過が行われているが、その圧力損失への影響は無視することができる。二次フィルタの圧損増加の原因であるフィルタ内部の蓄積物質は大部分がタールで、凝縮後成長して二次フィルタで捕集されることがわかった。

## 4.2 再燃焼試験

### 4.2.1 可燃分の再燃焼

Fig. 7 は新聞紙を焼却した排ガス中のばいじんを、円形ろ紙により Fig. 1 に示した A, B, C の3個所において捕集した写真である。また、Fig. 8 はB点の試料の顕微鏡写真である。A点においては、フライアッシュ、未燃焼物のほかに、多量のすすが短時間に捕集されたが、B, C 点の試料はタール分の捕集による着色が主で、Bは褐色、Cは薄い黄色を呈し、ともに肉眼で粉末状の粒子を認めることは困難であった。

Fig. 7 の試料を測定した結果が TABLE 4 である。A点でのばいじん濃度の範囲は 281~628 mg/Nm<sup>3</sup> で、平均 387 mg/Nm<sup>3</sup> である。この円筒ろ紙を空气中 800°C で加熱したところ、ろ紙に残留した灰分は平均 39 mg/Nm<sup>3</sup> で、ばいじんの約 10% であった。したがって、A点における可燃物量の占める比率は全ばいじん量の約 90% にあたる。同様にして B, C 点における可燃物量は、平

TABLE 4 After-burning effect of soot and tar by the primary filter

Sampling position	Concentration of soot, tar & ash				Conc. of ash (mg/Nm <sup>3</sup> )	Conc. of soot and tar (mg/Nm <sup>3</sup> )	After-burning ratio (A-B)/A, (B-C)/B (%)
	min. (mg/Nm <sup>3</sup> )	max. (mg/Nm <sup>3</sup> )	mean				
			(mg/Nm <sup>3</sup> )	(%)			
A	281	628	387	100.0	39	348	
B	16.1	23.2	18.7	4.8	—	18.7*	94.6
C	9.6	15.8	12.7	3.3	—	12.7*	32.0

A; Before the primary filter    B; After the primary filter    C; After the secondary filter

\* Tar only

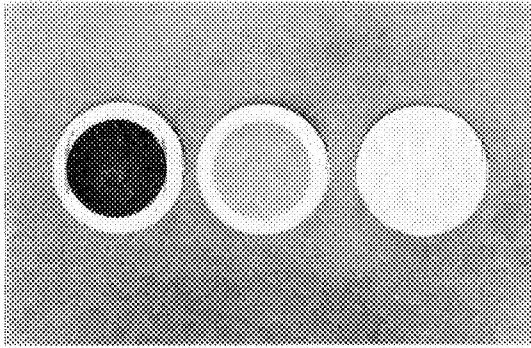


Fig. 7 Comparison of aerosol in the off gas.  
A; before the primary filter  
B; after the primary filter  
C; after the secondary filter

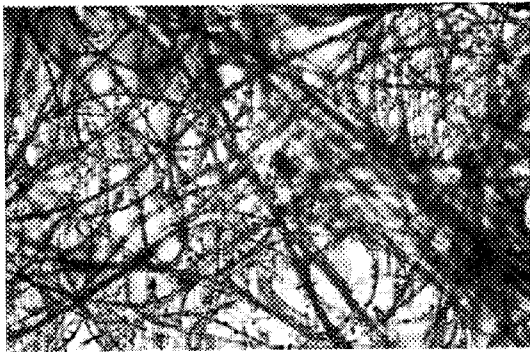


Fig. 8 Aerosol particles captured by filter paper between the primary and secondary ceramic filters.

均値で 18.7 および 12.7 mg/Nm<sup>3</sup> であった。これを A 点における濃度と比較すると 4.8 および 3.3% となる。

一次フィルタの再燃焼率を A, B 点の可燃物量の差と A 点の可燃物量との比であらわし、二次については B, C 点について同様に定めると、一次フィルタの再燃焼率は 94.6% で、二次フィルタでは 30.2% である。一次フィルタでの再燃焼率が高いのは、ばいじん中のカーボンのほとんど全部がここで再燃焼するためであり、二次フィルタによる再燃焼率が小さいのは、一次フィルタよりフィルタ温度が低いからである。

なお二次フィルタを通過した排ガスは熱交換器（伝熱面積 1.37 m<sup>2</sup>、水道水による間接冷却）により 200~350°C から 25~30°C に冷却されるので、排ガス中に残っているタール分のほとんどは、ここで凝縮し、水分とともに熱交換器のドレンとして捕集される。排ガスはその後 HEPA フィルタへ送られるが、本試験を通じて HEPA フィルタに支障を与える問題は起きなかった。

#### 4.2.2 排ガス中のタールの挙動

本節ではタールのろ過、再燃焼、凝縮の 3 過程を図式化し、その変化状況を明らかにする。ガス状と液体状のタールがおのおの一定質量ずつ排ガス中に混じって一次フィルタに達し、上述の 3 段階を経て、二次フィルタに達するまでの状況を Fig. 9 に示す。

まず、ガス状タールについて考える。フィルタで排ガス温度が低下しないとすれば、ガス状タールはフィルタ

を通過するので、ろ過効果は零であり、ガス状タールの量は変わらない。しかし、フィルタにおける再燃焼によって一部は CO<sub>2</sub> となり、残部は冷却によって凝縮し、再び液体に変化するので、一次フィルタ後の煙道におけるガス状タール量は減少しているはずである。液体状タールの中には、粒子径が大きいため一次フィルタによって捕集されるもの、および再燃焼するものがあるので、ろ過と再燃焼 2 段階ではタール量が減少する。しかし一次フィルタ通過後の凝縮の段階では、前述のガス状タールの凝縮分が加わるので、かえって液状タール量は増加する。

Fig. 9 において  $G, G'$  をそれぞれ測定点 A, B における排ガス中のガス状タール量、 $L, L'$  を液体のタール量とし、液状タールに対するセラミックフィルタの捕集率（捕集された後、再燃焼する分は含まない）を  $f$  (注)、ガス状、液状タールの再燃焼率（捕集された後の再燃焼分を含む）をそれぞれ  $b_g$  および  $b_l$ 、フィルタ通過後のガス状タール凝縮率を  $c$  であらわすと、A 点における  $G, L$  と、B 点における  $G', L'$  との間には

$$G' = G(1 - b_g)(1 - c)$$

$$L' = Gc(1 - b_g) + L(1 - f)(1 - b_l)$$

$$G' + L' = G(1 - b_g) + L(1 - f)(1 - b_l)$$

なる関係が成立つ。二次フィルタへは  $G' + L'$  が供給されるが、これについても同様の関係が成立つ。

フィルタによるタールの再燃焼率には、 $(G - G') + (L - L')$  と  $G + L$  の比をとらなければならない。しかし 4.2.1 で実際に測定したものは、ろ紙に捕集できる  $L$  と  $L'$  だけから得た  $L - L'$  と  $L$  の比で、ガス状タールの再燃焼分が含まれていない。他方  $L'$  中にはガス状タールの凝縮分が含まれているので、 $(L - L')/L$  の値は液状タールだけの再燃焼率よりもやや低い値を示している。

以上の結果をまとめると、一次フィルタの再燃焼効果は、すずに対してきわめて大であって、新聞紙の焼却時

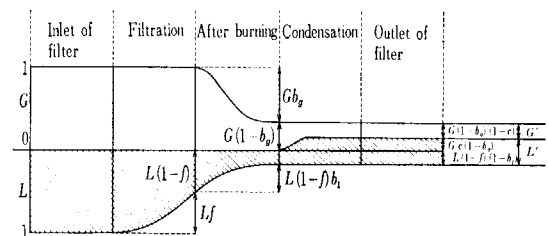


Fig. 9 The change of high temperature tar passing ceramic filter.

$G$ : Gaseous tar

$L$ : Liquid tar

$f$ : Filtration ratio

$b_g$ : After-burning ratio of gaseous tar

$b_l$ : After-burning ratio of liquid tar

$c$ : Condensation ratio

(注)  $f = \frac{\text{捕集された液体状タール量}}{\text{排ガス中の液体状タール量}}$   
 $b, c$  も同様



にはそのほとんどが再燃焼されていることがわかった。

タール分の再燃焼は、一次フィルタの方が二次より温度が高いので、より有効に作用しているものと推定されるが、定量的にあらわすことはできなかった。二次フィルタの圧力損失増加の原因となるフィルタ内蓄積物質の大部分は液体状タールである。

### 4.3 除染係数測定試験

#### 4.3.1 除染係数

除染係数測定の結果を TABLE 5 に示す。まず炉内への放射性物質の残存係数についてみると、<sup>132</sup>Cs が 4.1 と最も少なく、ほかには <sup>32</sup>P が 19, <sup>58</sup>Co が 48, <sup>85</sup>Sr が 93 といずれも高い。<sup>132</sup>Cs の残存量が少ないのは、セシウム化合物が高温において揮発性を有するためと考えられる。

一次フィルタによる除染係数は、残存係数とは逆に、<sup>132</sup>Cs が  $1.7 \times 10^2$  であったのに比し、他の 3 種類は  $3.7 \times 10 \sim 5.5 \times 10$  とやや低く、かつ比較的近い値をもつという結果を得た。

これに対し二次フィルタによる除染係数は、<sup>32</sup>P の  $1.1 \times 10^3$  をはじめ、<sup>85</sup>Sr が  $1.0 \times 10^3$ , <sup>58</sup>Co が  $2.1 \times 10^2$ , <sup>132</sup>Cs が  $2.5 \times 10^2$  でいずれも一次より高い。この結果、一次と二次の除染係数の相乗積は、<sup>32</sup>P が  $7.6 \times 10^4$  で最高値、<sup>58</sup>Co が  $9.5 \times 10^3$  で最小値、他の 2 核種はこの間にあるが、いずれも  $10^4$  程度の高い除染係数を有する。フィルタの除染係数に、燃焼室への残存効果を加えるため、残存係数と除染係数の相乗積を求めると、4 核種ともに  $10^5 \sim 10^6$  に達した。

従来の集じん装置の中で最も除染係数の高いのは HEPA フィルタの  $3 \times 10^3$  ( $0.3 \mu\text{m}$  の DOP エアロゾルに対し) であるといわれるが、これに比べてセラミックフィルタの  $10^4$  の除染係数は、実用規模の試験で得られた点を考慮に入れば、きわめて高い値であるといえることができる。

#### 4.3.2 単分散粒子による捕集効率

B 点におけるエアロゾルの顕微鏡写真 (Fig. 8) によると、一次フィルタ通過後のエアロゾル粒子径は数  $\mu\text{m}$  程度のものである。

フィルタの気孔径とエアロゾル粒子径の関係を明らかにするために、エアロゾルにポリスチレンラテックス

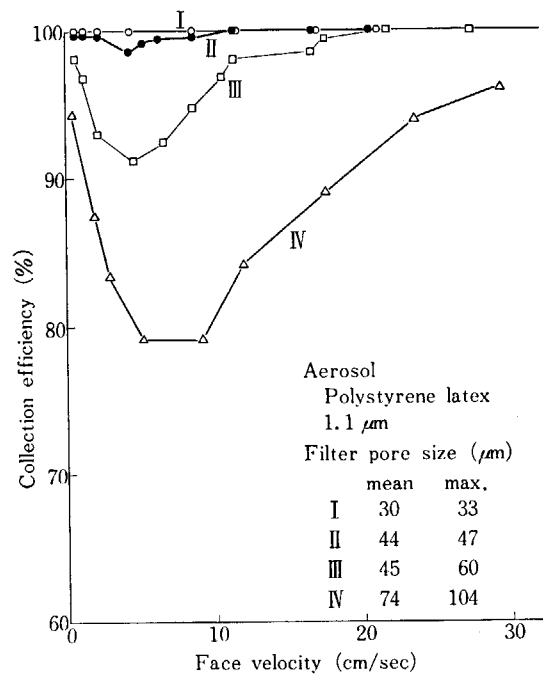


Fig. 10 Dust collection efficiencies of the ceramic filters (I).

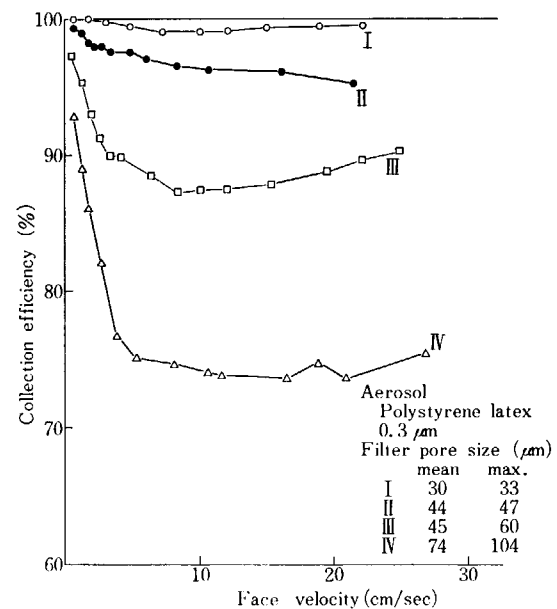


Fig. 11 Dust collection efficiencies of the ceramic filters (II).

( $0.3, 1.0, 2.0 \mu\text{m}$ ) を使用し、見かけ速度  $0.6 \sim 30 \text{ cm/sec}$  の範囲におけるフィルタの捕集効率を求める試験を行った。フィルタには本試験に使用されたものを含

TABLE 5 Decontamination factor of the incinerator

Nuclides	Retention factor (a)	D.F. of ceramic filter			Total (a)×(b)×(c)
		Primary (b)	Secondary (c)	(b)×(c)	
<sup>132</sup> Cs	4.1	$1.7 \times 10^2$	$2.5 \times 10^2$	$3.9 \times 10^4$	$1.6 \times 10^5$
<sup>85</sup> Sr	$9.3 \times 10$	$5.5 \times 10$	$1.0 \times 10^3$	$5.5 \times 10^4$	$5.1 \times 10^6$
<sup>58</sup> Co	$4.8 \times 10$	$4.5 \times 10$	$2.1 \times 10^2$	$9.5 \times 10^3$	$4.5 \times 10^5$
<sup>32</sup> P	$1.9 \times 10$	$3.7 \times 10$	$1.1 \times 10^3$	$7.6 \times 10^4$	$7.6 \times 10^5$

め4種類の気孔径を選定した。

1  $\mu\text{m}$  のエアロゾルの試験結果を Fig. 10 に、0.3  $\mu\text{m}$  の結果を Fig. 11 に示す。2  $\mu\text{m}$  のエアロゾルは 44  $\mu\text{m}$  気孔径フィルタによりほとんど捕集され、通過したエアロゾルは検出されなかった。

試験 III における一次フィルタに対する排ガスの見かけ速度は 5.8 cm/sec (800°C) であった。この流速に対応するエアロゾルの捕集効率を Fig. 10, 11 によって求める。フィルタの平均気孔径 30, 44, 45, 74  $\mu\text{m}$  に対し、1  $\mu\text{m}$  のエアロゾルのときは、それぞれ 100, 99, 92, 79% であり、0.3  $\mu\text{m}$  のエアロゾルのときは、それぞれ 99, 97, 89, 75% である。

焼却炉で発生する実際のエアロゾルの粒子径は多分散であるが、このうち 2  $\mu\text{m}$  以上の粒子は平均気孔径 44  $\mu\text{m}$  以下のフィルタを使用すれば全部捕集できる。そこで、粒子径 2  $\mu\text{m}$  以下のエアロゾルが全体に対し占める割合と、それらの代表的粒子径に対する捕集効率があれば、計算によって排ガス中のエアロゾルに対する捕集効率を求めることができる。一般に焼却処理時に発生するフライアッシュの粒子径は  $\mu\text{m}$  以下のものが少ないので(11  $\mu\text{m}$  以下が 0.5%<sup>6)</sup>), 高い精度を要求しない時は Fig. 10, 11 を使って計算することが可能である。

またこの試験の結果は、排ガスの流速がフィルタの捕集効率と関係があることを示している。すなわち Fig. 10 では、排ガス速度を 30 cm/sec より 0.6 cm/sec まで変化させると、はじめ速度の低下により捕集効率はいった

ん低下するが、2 cm/sec 以下になると急速に捕集効率が上昇する。最も捕集効率が悪い速度領域は 4~7 cm/sec である。Fig. 11 では速度の大きい領域で捕集効率が向上する現象はあらわれていないが、2 cm/sec 以下では、Fig. 10 と同様、急速に捕集効率が增加する。

エアロゾルの速度低下によって捕集効率が増加したのは、拡散沈着効果が強くあらわれたことを示している。また 1  $\mu\text{m}$  のエアロゾルが、20 cm/sec 以上の速度で効率が向上しているのは、慣性衝突効果が強くあらわれてきたことを示す。

試験 III における排ガス流速は一次フィルタで約 6 cm/sec、二次フィルタで約 4 cm/sec であるが、この速度は 1  $\mu\text{m}$  前後のエアロゾルに対し、最も捕集効率の低い速度である。従って、排ガス速度についてさらに詳細な検討を必要とするが、これを拡散領域で使用しようとすると数倍の本数のフィルタエレメントを必要とする。また慣性領域で使用しようとするれば、本数を減ずることができようが、圧力損失が増加するので排風機、消費電力量に影響が及ぶであろう。

以上の結果をまとめると、このフィルタの総括除染係数は  $10^4$  に及ぶので、焼却処理装置の集じん装置に要求される水準に達していることが明らかになった。また粒子径の小さなエアロゾルに対しては、気孔径の小さなフィルタを選定すれば捕集効率を向上させうること、およびフィルタに対する排ガス流速を検討する必要があることがわかった。

## 5. その他の考察

### 5.1 物質の状態変化

試験 III において、核種により残存係数、除染係数が異っていたが、その原因の一つである物質の状態変化について考察する。焼却装置各部の温度は、定常状態においてほぼ次の値をとる。

燃焼室内部	900~1,000°C
一次フィルタ入口	800°C
二次フィルタ入口	500°C
ガス冷却器入口	300°C

まず沸点のやや低い Cs\*Cl について考える。CsCl は加熱に対して化学的には安定な物質であるが、燃焼室の温度に対し蒸気圧がやや高く<sup>7)</sup>、1,000°C で 100 mmHg を越える。放射性物質の量は微小であるため、理論とは異なるかもしれないが、一般に CsCl がこの温度で加熱されれば、その一部はガス化し、排ガスとともに燃焼室外へ移行する。炉を出た排ガスは煙道および集じん系で急速に冷却される。CsCl の融点は 646°C であるから、一次フィルタにおける CsCl は液体状（一部ガス化）であるが、二次フィルタに到達する時は融点以下に冷却されているので、固体状に変化している。すなわち、CsCl は排ガス温度の変化に伴い、気体、液体、固体に変化するのである。先に述べたように、放射性物質はごく微量であるから、多量に存在する他の物質の影響によって、放射性物質自身におこった上述の変化が潜在化する場合がある。Cs の残存係数、除染係数が他の 3 核種と異なるのは、周辺の物質の影響が比較的少なく、Cs の状態変化が顕在化したためと考えられる。

これに対し、沸点が高く、炉内で加熱されても蒸発量が少ない放射性物質は、固体状のまま炉内に残留し、燃焼室内の灰と挙動を共にする。Sr\*、Co\* が炉内で SrO、CoO の化学形に変化すると、これらの化合物は融点が高く、気化しにくいので、このカテゴリーに属する。この場合、放射性物質は炉内火格子にある大量の灰に混入し、灰と挙動を共にする。

他方、放射性物質の沸点が低く、焼却装置の出口における排ガス温度以下の場合には、その全部が気体のままフィルタ系を通過する。燃焼によってガス化する C\*O<sub>2</sub>、S\*O<sub>2</sub> などはこのカテゴリーに属し、特別な捕集機構を設けなければ排ガスから分離できない。

一般に、沸点が高く、炉内へ残留しやすい放射性物質は、排ガスに混入しても集じん装置によって捕集できるので焼却処理に適する。これに反し、燃焼によってガス化する放射性物質は、現在一般に使用されている焼却処

理装置では捕集困難なので、焼却処理に適しない。炉内の燃焼によって放射性物質に化学変化がおきる場合には、その過程および新しい化合物についての状態を考える必要がある。

現在の集じん装置はエアロゾルを固液の区別なく捕集する機構であるから、固液間の変化はよいが、気体に対しては、スクラバを除き、ほとんど除去能力がないので、放射性化合物が気体状になる化学変化には十分注意しなければならない。

### 5.2 共存エアロゾルへの随伴

1 mCi の <sup>32</sup>P の重量は  $3.5 \times 10^{-9}$  g であるから、これで汚染した廃棄物 1 kg を焼却し、重量で 1/30 の灰を得たとすると、<sup>32</sup>P と灰の重量比は  $1/10^{10}$  である。核種と化学形によってこの比率が変わるが重量比が小さいことは変わらない。

従って、ガス状になって排ガスに混入する場合を除き、液体状または固体状の放射性物質は、単独で挙動するよりは付着力等によって共存する物質に随伴する場合が多い。すなわち、周辺に存在する物質がエアロゾルとして排ガス中へ移行すれば、放射性物質もエアロゾルに伴われて炉外へ搬出される。

この共存エアロゾルへの随伴現象（以下随伴現象と呼ぶこととする）は燃焼室内で発生するだけでなく、排ガス中にあるガス状の放射性物質が冷却されて、液体または固体状の微粒子になった場合にもおこる。すなわち、ガス状の放射性分子が凝縮して液体分子に変化した後、排ガス中に共存するエアロゾルと衝突を繰返して次第に粒子径が大きくなり、やがて放射性エアロゾルに成長する。このように焼却処理における随伴現象は、炉内における燃焼過程のほかに、集塵系などにおける冷却過程においても発生するのが特色である。

一次、二次両フィルタ間の煙道内にはタールのエアロゾルが多いので、放射性物質がこれらに随伴され、捕集されることはすでに述べた。随伴現象は排ガス中のエアロゾルが多いほどその機会が多いと考えられる。例えば、二次フィルタ間のタールエアロゾルは、冷却効果を高めるほど増加し、捕集効率が向上しよう。また東海研究所の他の焼却処理装置の運転結果によれば、スクラバの液ガス比を増加すると、その後段にある電気集じん器の捕集効率が增加する。これもスクラバの洗浄水蒸発によって、排ガス中に水滴のエアロゾル発生量が増加したこと起因しよう。

随伴現象とエアロゾルの成長を組み合わせると、水蒸

気または水滴（一般には沸点の低い不燃性液体）を高温ガス中に吹込むことによって、一般に捕集が困難とされている  $\mu\text{m}$  以下のエアロゾルの捕集効果を高めることが可能となろう。

## 6. 結 語

この試験によって得たデータにより、この2段のセラミックフィルタを集じん装置とする焼却処理装置は、すぐれた性能を有する方式であることを確認することができた。すなわち、炉への残存係数を含めない一次、二次両フィルタの除染係数の積だけで $10^4$ に及んでいるので、焼却処理装置の集じん系が要求される一般的レベルに達している。従って、このフィルタだけでも焼却処理装置の設計が可能である。

また、フィルタの急速な圧力損失増加の恐れがないことも試験の結果によって実証された。このため、セラミックフィルタは高温度と熱サイクルによって損傷しない限り、いつまでも使用できることが明らかになった。最近、2,000時間以上にわたって800°C以上の高温に耐え、また腐食性ガスにも強い。シリコンカーバイド質フィルタが日本碍子株式会社によって製作され、その性能が確められたので、フィルタの寿命に関する課題は解決したといえる。

そのほか、この装置は可動部分が少ないので故障しにくいこと、二次廃棄物が少ないこと、集塵系統における腐食の恐れが少ないこと、運転要員が少なく、かつ熟練を要しないことなど、運転管理の上ですぐれた性能を有する方式であることがわかった。

これらの結果から、セラミックフィルタを使用した処理装置に対する技術的な確信をえたが、さらに装置の設計について改善すべき点を発見することができた。

例えば、西独では二次フィルタに一次と同じ気孔径のフィルタを使用している。しかし本試験の結果、二次フィルタは、一次フィルタを通過した後、煙道中で成長したミクロン級のエアロゾルを捕集していることが明らかになっており、また、本試験で使用した44 $\mu$ m気孔径の

フィルタは、サブミクロンのエアロゾルに対する捕集効率がやや低いが、気孔径を小さくすれば向上するという結果も得ている。そこで、二次フィルタの気孔径を44 $\mu$ mから30 $\mu$ m以下に変更し、サブミクロンのエアロゾルに対する捕集効率を向上させれば、よりよい捕集効率を得ることができるであろう。

また、二次フィルタにはタール質のエアロゾルが蓄積し、圧力損失が次第に増加することが確かめられた。しかし、このフィルタ中のエアロゾルは、加熱によって除去することが可能であることも立証できた。そこで、二次フィルタチャンバにバーナを取り付け、フィルタの圧力損失が増加した時に、フィルタエレメントを800~1,000°Cの高温で加熱し、フィルタからタール成分を揮発させれば、圧力損失は減少し、フィルタの再使用が可能となろう。これらの知見をもとに将来この型式の焼却処理装置を国内で製作することが可能となった。

この試験を実施するに当たり多くの方々のお協力をいただいた。まず、焼却処理装置の改造に関しては日本碍子KKの渡部勝、伊藤勲および原研平山勝嘉の諸氏、装置の運転に関しては古平登、鈴木正樹、長岡幸男の諸氏、捕集効率測定については放射線管理課管理技術係の諸氏、また放射性物質の入手ではアイソトープ製造部の御協力をいただいた。試験結果の解析について京大教授筒井天尊氏、日本碍子伴野嘉彦氏、内容について原研石原豊秀氏、木谷進氏、宮永一郎氏、吉田芳和氏らの御指導を受けた。これらの方々のお厚意に対し、ここに深く感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) Bähr *et al.*: Survey of operating and development work for treatment and disposal of radioactive waste at the Karlsruhe Nuclear Center. KFK 1455, pp. 9 (1971)
- 2) 町田忠司, 鈴木正樹: 低レベル放射性固体廃棄物の物質構成. 保健物理, 10 (No. 2), 17 (1975)
- 3) Burns R.H., Clarke J.H.: Harwell experiences in waste management. IAEA-SM-137/7, pp. 426 (1970)
- 4) 菅原晋雄: 熱管理要説 (新版), pp. 337, 産業図書 (1961)
- 5) 化学工学協会: 化学工学便覧 三版, pp. 923, 丸善 (1968)
- 6) 河西 晃, 武田憲明: ごみ焼き炉設備, pp. 52, 丸善 (1968)
- 7) Mellor J.W.: Inorganic and theoretical chemistry, Vol. II, Supplement III, pp. 2357, Longmans. (1963)