

フィルタ性能評価技術の開発（Ⅰ）

1991年7月



動力炉・核燃料開発事業団
東 海 事 業 所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。(注)

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 (Tokai Works)

技術協力部 技術管理室

(Technology Management Section)

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technology Management Section Office, Tokai Work, Power Reactor and Nuclear
Fuel Development Corporation 4-33, Muramatu Ooaza, Tokai, Naka-gun, Ibaraki,
319-11, Japan (注)

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation) 1991

フィルタ性能評価技術の開発（I）

都所昭雄*，小林博英*，藤田元一*
関 昭雄**，松本盛雄*，郷田 正*

要　　旨

フィルタ性能評価技術の開発は、高性能エアフィルタの性能試験を実施し、排気設備の健全性を解析・評価するための基礎データを得ると共に、排気設備の現場試験技術を開発し、事業団における現場試験法の確立に資することを目的としている。

本報告書では、昭和62年度から平成元年度までに実施した、開発試験計画、試験装置の設備、フィルタ性能試験及び現場試験実施状況に関する調査について報告する。

試験装置の整備においては、高性能エアフィルタの試験で必要となる、フィルタ性能試験装置、粒子測定装置及び粒子発生装置の整備を行った。

また、現場試験技術を開発するため、排気設備基礎試験装置の整備を行った。

フィルタ性能試験においては、NaCl粒子を用い、高性能エアフィルタの粒径 0.1~0.5 μm を対象とした、粒径別捕集特性試験を実施した。

本試験により、高性能エアフィルタのDF（除染係数）が最も低くなる粒径は、0.15 μm 付近に存在し、DFは、風量に強く依存するという結果が得られた。

* 放射線管理第一課
**核燃料サイクル工学研修室

目 次

1. 緒 言	1
2. 目 的	2
3. 開発試験計画	3
3. 1 開発試験工程	3
3. 2 開発試験手順	8
3. 2. 1 フィルタ性能試験	10
3. 2. 2 現場試験法の確立	11
4. 実施内容	13
4. 1 試験装置の整備	13
4. 1. 1 フィルタ性能試験装置	13
4. 1. 2 粒子測定装置	22
4. 1. 3 粒子発生装置	36
4. 1. 4 排気設備基礎試験装置	43
4. 2 フィルタ性能試験	47
4. 2. 1 試験方法	48
4. 2. 2 試験結果	53
4. 3 現場試験実施状況に関する調査	63
5. ま と め	65
6. 今後の課題	66
7. 謝 辞	67
8. 別添資料	68
参考文献	71

表 目 次

表 1 DMA分級特性試験結果	34
表 2 試験条件（捕集特性試験）	52
表 3 フィルタ圧力損失測定結果	54
表 4 H E P A フィルタの捕集特性測定結果	59
表 5 U L P A フィルタの捕集特性測定結果	60
表 6 東海事業所における現場試験の実施状況	64

図 目 次

図1	全体開発試験工程	4
図2	昭和62年度開発試験工程	5
図3	昭和63年度開発試験工程	6
図4	平成元年度開発試験工程	7
図5	開発試験フローシート	12
図6	フィルタ性能試験装置フローシート	15
図7	フィルタ性能試験装置	16
図8	試験装置フローシート（エアロゾル混合特性試験）	20
図9	エアロゾル混合特性試験結果	21
図10	粒子測定装置フローシート	24
図11	LPCの光学システム	26
図12	DMAのブロックダイアグラム	27
図13	CNCのブロックダイアグラム	28
図14	試験装置フローシート（DMA分級特性試験）	32
図15	DMAの設定流量の関係	33
図16	標準粒子の粒径分布	35
図17	レーザ極微粒子発生装置フローシート	39
図18	レーザ極微粒子発生装置	40
図19	ラテックス粒子発生装置フローシート	41
図20	密封交換型試験用ユニット	46
図21	試験装置フローシート（捕集特性試験）	49
図22	圧力損失 ΔP と風量Qの関係	55
図23	NaC1粒子の粒径分布	58
図24	HEPAフィルタの捕集特性	61
図25	ULPAフィルタの捕集特性	62

写 真 目 次

写真 1 フィルタ性能試験装置	17
写真 2 粒子測定装置	25
写真 3 ラテックス粒子発生装置	42
写真 4 試験エアフィルタ及び試験装置	51

用語

用語	意味
エアロゾル	固体又は液体の微粒子が気体中に分散している系
極微粒子 (サブミクロン粒子)	粒径が非常に小さく、一般には気体中又は液体中に浮遊したとき、ほとんど沈降しない $1 \mu\text{m}$ 程度以下の粒子。
単分散DOP粒子	DOPによる一定粒径のエアロゾル(液滴粒子)で、HEPAフィルタの性能試験に用いられる。DOPを一定温度で蒸発させたのち、常温空気で急冷すると、 $0.25\sim 0.35 \mu\text{m}$ の粒子が70%以上得られる。DOPの粒子屈折率は波長 589nm の光に対し1.49。
多分散DOP粒子	DOPエアロゾルで、主として空気清浄装置の性能試験に用いられる。常温で圧縮空気によりラスキンノズル又はネブライザから発生させたDOP粒子をいう。このDOP粒子は質量中位径で $0.8 \mu\text{m}$ 、幾何標準偏差 1.6~2.0程度であり、单分散DOP粒子に比して広い粒径分布をもつ。
PSL粒子	PSL (polystyrene latex) によって生成された極めて粒径のそろった单分散固体粒子。光散乱式粒子計数器及び光遮断式粒子計数器の粒径弁別機能の校正などに用いる。通常濃縮懸濁液の状態で市販され、汚染が少ない水で適当な濃度に希釈した後噴霧、乾燥空気と混合し、水を蒸発させて試験用粒子を作る。PSL粒子の屈折率は波長 589nm の光に対し1.59。
相対質量濃度	相対濃度で示された質量濃度
個数濃度	標準状態における単位体積の気体に含まれている微粒子の個数
粒径分布	浮遊微粒子及び試験用ダストの粒径区分別の分布割合
フォトメータ	試料中の多数の粒子へ同時に光線を照射し、その光の変化によって濃度を求める測定器。この測定器には、散乱光の強さを測定する方式と透過光量の減衰度を測定する方式とがある。
レーザパーティクルカウンタ (LPC)	試料を細い流れにしてレーザビームと交差させ、個々の粒子によって散乱された光を電気信号(パルス波)に変換し、その波高値から粒径を、波数から個数を求める測定器。
凝縮核測定器 (CNC)	気体中で蒸気が過飽和状態になって急激に温度が低下した場合、浮遊微粒子を核とし凝縮して液滴に成長する現象を利用した粒子測定器。レーザパーティクルカウンタでは直接検出が困難な微小粒子の計数に用い、断熱膨張形、加熱冷却形及び蒸気混合形がある。
静電式エアロゾル分級器 (DMA)	試料気体を乱れない一様な流れにして静電場に導き、荷電した浮遊微粒子の電気移動度が、粒子のストークス径と荷電量とに依存することを利用してエアロゾルを分級するものであり、 $0.1 \mu\text{m}$ 以下の粒径領域で多く用いられる。
同時計数損失誤差	光散乱式粒子計数器を用いて高濃度の粒子を計測する際に、カウンタの感光域に同時に2個以上の粒子が入り、粒子の個数を数え落とすと同時に、2個以上の粒子に対応する散乱光を発生し、粒子径を代表しなくなる現象。
HEPAフィルタ	定格風量で粒径が $0.3 \mu\text{m}$ の粒子に対して 99.97% 以上の粒子捕集率をもち、かつ圧力損失が 245Pa ($25\text{mmH}_2\text{O}$) 以下の性能をもつエアフィルタ。

用語

用語	意味
多風量HEPAフィルタ	定格風量で粒径が $0.3\mu\text{m}$ の粒子に対して99.97%以上の粒子捕集率、圧力損失が245Pa(25mmH ₂ O)以下の性能をもち、HEPAフィルタと同寸法で大風量(HEPAフィルタの1.5~2.0倍)の処理ができるエアフィルタ。
ULPAフィルタ	定格風量で粒径が $0.1\mu\text{m}$ の粒子に対して99.9995%以上の粒子捕集率をもち、かつ圧力損失が245Pa(25mmH ₂ O)以下の性能をもつエアフィルタ。
定格風量	エアフィルタ等の基準となる処理風量
圧力損失	エアフィルタの上流側と下流側の全圧差
捕集率(捕集効率)	フィルタにおいて、それを通過する空気中の粒子を捕集する効率。フィルタを通過する前後の相対質量濃度又は個数濃度をC ₁ 、C ₂ とするとき、 $\eta = (C_1 - C_2) / C_1$ で定義される。
総合捕集効率	フィルタを装置に設置後、実施する試験により得られる捕集効率で、締め付けやガスケット、その他の取付け部などによるリーク等を含めた装置としての捕集効率。
DF(除染係数)	フィルタを通過する前後の相対質量濃度又は個数濃度をC ₁ 、C ₂ とするとき、 $DF = C_1 / C_2$ で定義される。
多段エアフィルタ装置	HEPAフィルタを1系列に直列に2段以上設置してある装置
排気設備現場試験	排気設備が設置されている現場において、フィルタに生じたピンホール又はフィルタの取付け不良などによって生じる漏れの有無を試験する方法。漏れの有無の検出にはDOP粒子などが用いられる。

1. 緒 言

核燃料物質使用施設等における排気設備は、施設内空気を清浄空気にろ過し、施設外への放射性物質の放出を防止するという重要な役割を果たしている。

排気設備は、施設内において、グローブボックス排気系、フード排気系、工程室排気系等、系統ごとに設けられており、本設備には、排気フィルタシステムとして、放射性粒子除去のためのプレフィルタ及び高性能エアフィルタ、放射性ガス除去のためのチャコールフィルタが使用されている。

特に、高性能エアフィルタは、放射性微粒子を完全に除去するものとして、排気設備の主要設備に用いられている。

従来、高性能エアフィルタの捕集効率の最も低くなる粒径は、一般的に $0.3 \mu\text{m}$ 付近とされていたことから、高性能エアフィルタの性能試験は、 $0.3 \mu\text{m DOP}$ (Diethyl phthalate) 粒子を用いて行われており、このときの捕集効率の合格基準は、99.97%以上となっている。

近年になって、測定技術が向上し捕集効率が最も低くなる粒径は $0.3 \mu\text{m}$ ではなく、 $0.1 \mu\text{m}$ 付近に存在するとの報告もあり、高性能エアフィルタの粒径別捕集特性について、最新の測定技術をもって測定評価・把握しておくことが必要となってきた。

一方、排気設備は、高性能エアフィルタ設置後に現場試験を行い、規定の総合捕集効率が維持されていることを確認することは、排気設備の安全性及び信頼性を高める上で重要である。

しかし、わが国では、現場試験法の基準となるものがなかったことから、現場試験法の策定を目的とし、昭和57年以来、日本空気清浄協会において、科学技術庁の委託による調査・研究が進められ、平成2年に日本空気清浄協会より現場試験法に関する指針* が出された。

このような実情から、本指針に基づき、事業団の排気設備に適用できる現場試験のための技術開発を行っておくことが必要となってきた。

フィルタ性能評価技術の開発は、これらを背景として進めており、本報告は、昭和62年度～平成元年度までに実施した試験装置の整備、試験結果等をまとめたものである。

* 核燃料施設における高性能エアフィルタの現場試験法に関する指針

2. 目的

核燃料使用施設等で使用されている高性能エアフィルタの粒径別捕集特性を把握しておくことは、施設内において放射性物質の漏洩等が発生し排気系に移行した場合、施設外への影響を評価する上で重要である。

一方、排気設備の現場試験では、粒子測定器としてANSI N510に基づきフォトメータがよく使用されている。本測定器は、低濃度に対する検出感度が低く、2段高性能エアフィルタシステムを測定評価することは困難であった。

近年、低濃度に対し高い検出感度を持ち、粒径別の測定評価ができるレーザパーティクルカウンタ (Laser Particle Counter、以下LPCという) が開発され、使用されるようになってきたことから、本測定器を現場試験装置に適用することにより、2段高性能エアフィルタシステムの測定評価ができる可能性がでてきた。

以上のことから、フィルタ性能評価技術の開発は、高性能エアフィルタのサブミクロン粒子を対象とした粒径別捕集特性試験を実施し、排気設備の健全性の解析・評価のための基礎データを得ると共に、現場試験法に関する指針に基づいた粒子発生技術、測定技術並びに評価技術を開発し、事業団における現場試験法の確立に資することを目的としている。

3. 開 発 試 験 計 画

3.1 開発試験工程

フィルタ性能評価技術の開発は、昭和62年度～平成4年度にわたって実施する予定である。

全体開発試験工程を図1に、昭和62年度、昭和63年度及び平成元年度の開発試験工程を図2、図3、図4に示す。

開発試験は、フィルタ性能試験と現場試験法の確立の2項目に大別し、実施する。

フィルタ性能試験については、昭和62年度～平成2年度までに試験装置を整備し、平成元年度～平成3年度に高性能エアフィルタの性能試験及び解析・評価を実施する。

現場試験法の確立は、平成元年度～平成3年度に現場試験装置、排気設備基礎試験装置を整備し、平成4年度に排気設備基礎試験、現場模擬試験及び解析・評価を実施する。

項目	昭和62年度	昭和63年度	平成元年度	平成2年度	平成3年度	平成4年度
1. フィルタ性能評価試験						
1) 文献調査及び実施計画の作成	↔	↔	↔	↔	↔	
2) 試験装置の整備		↔	↔	↔	↔	
(1) フィルタ性能試験装置の整備		↔	↔	↔	↔	
(2) 粒子測定装置、粒子発生装置の整備	↔	↔	↔	↔	↔	
(3) フィルタ性能試験装置、粒子測定装置、粒子発生装置の特性試験	↔	↔	↔	↔	↔	
3) フィルタ性能試験		↔	↔	↔	↔	
4) フィルタ性能試験結果の解析及び評価		↔	↔	↔	↔	
2. 現場試験法の確立						
1) 文献調査及び実施計画の作成	↔	↔	↔	↔	↔	
2) 排気設備基礎試験装置、現場試験装置の整備			↔	↔	↔	
3) 排気設備基礎試験			↔	↔	↔	
4) 現場模擬試験			↔	↔	↔	
5) 排気設備基礎試験、現場模擬試験結果の解析及び評価			↔	↔	↔	
6) 現場試験法の運用の検討			↔	↔	↔	

図1 全体開発試験工程

項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1. フィルタ性能評価試験												
1) 文献調査及び実施計画の作成				←					→			
2) 試験装置の整備							←					→
(1) 凝縮核測定器								←				→
(2) パルス変換器							←					→
(3) ラテックス粒子発生装置							←					→
2. 現場試験方法の確立												
1) 文献調査及び実施計画の作成				←					→			

図2 昭和62年度開発試験工程

項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1. フィルタ性能評価試験												
1) 文献調査及び実施計画の作成	←					→						
2) 試験エアフィルタの整備						←	→					
3) 試験装置の整備												→
(1) フィルタ性能試験装置の整備			←									
(2) 粒子測定装置の整備												→
① エアロゾル分級器							←					→
② エアロゾル中和器							←					→
③ データ処理装置							←					→
(3) 試験装置の特性試験												
① ラテックス粒子発生装置	←	→										
② レーザパーティクルカウンタ・ 波高分析器	←	→										
2. 現場試験方法の確立												
1) 文献調査及び実施計画の作成	←					→						

図3 昭和63年度開発試験工程

項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1. フィルタ性能評価試験												
1) 文献調査及び実施計画の作成	←					→						
2) 試験装置の整備	←		→									
(1) 粒子測定装置の整備	←		→									
(2) 極微粒子発生装置の整備	←		→			←						
(3) 試験装置の特性試験	←		→									
① フィルタ性能試験装置	←	→										
② エアロゾル分級器・凝縮核測定器	←	→										
3) フィルタ性能試験						←						
(1) フィルタ圧力損失						←						
(2) 0.1~0.5 μm粒子による捕集特性						←						
4) フィルタ性能試験結果の解析及び評価						←						
2. 現場試験法の確立												
1) 文献調査及び実施計画の作成	←					→						
2) 排気設備基礎試験装置の整備	←					→						
(1) 試験用ダクト	←					→						
(2) 密封交換型試験用ユニット	←					→						

図4 平成元年度開発試験工程

3.2 開発試験手順

わが国において、原子力施設用高性能エアフィルタに関する規格としては、J I S Z 4 8 1 2 (放射性エアロゾル用高性能エアフィルタ) がある。本規格のフィルタユニット試験装置は、M I L - S T D - 2 8 2 (Filter Units, Protective Clothing Gas Mask Components And Related Products, Performance Test Methods) に準じたものになっていであることから、高性能エアフィルタ製造時の性能試験は、M I L - S T D - 2 8 2 Q - 1 0 7 型の試験装置により行われている。

この試験法は、ホットD O P 試験とも言われており、高性能エアフィルタの捕集性能は、D O P 液を加熱蒸発させた後に冷却凝縮することによって生成した、 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ の単分散D O P 粒子により評価し、合格基準は捕集効率 99.97%以上となっている。

また、フィルタ圧力損失についても測定評価し、合格基準は、 $25.0\text{ mmH}_2\text{O}$ 以下となっている。

本試験法は、粒径 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ に対する評価のみであり、粒径別捕集特性を評価するものではない。このことから、フィルタ性能評価技術の開発では、高性能エアフィルタの粒径別捕集特性を評価するための試験技術を開発することにした。

一方、排気設備の現場試験に関する規格は、わが国ではなく、代表的なものとしては、アメリカのA N S I N 5 1 0 があげられる。本規格では、加圧噴霧式のD O P 発生器等で発生させた多分散エアロゾルを使用し、フォトメータにより測定評価を行っている。しかし、フォトメータは、高性能エアフィルタ 1段の性能評価については問題ないが、2段の総合捕集性能を評価する場合は検出感度が低く、評価が困難であった。

事業団の施設内排気設備には、多段高性能エアフィルタシステムが多く採用されており、検出感度の高いL P C 等の開発状況を勘案し、これらの装置を取り入れた現場試験技術を開発することにした。

以上のことから、開発に必要な試験装置、試験方法等を検討するため、高性能エアフィルタの種類、性能試験法さらに排気設備の種類、現場試験法の調査を行った。

これらの結果をもとに、フィルタ性能試験及び現場試験法の確立について、開発試験手順を定めた。また、開発試験の実施場所は、事業団東海事業所 安全管理別棟とした。

開発試験フローシートを図5に示す。

フィルタ性能試験では、試験用高性能エアフィルタの選定を行い、フィルタ性能試験装置、粒子測定装置、粒子発生装置を整備した後、フィルタの性能試験を行い、捕集特性について

把握する。

現場試験法の確立では、フィルタ性能試験で開発した基礎技術を排気設備基礎試験装置、粒子発生及び粒子測定装置から構成される現場試験装置に反映させて整備する。

さらに、整備した試験装置を用いて排気設備基礎試験、現場模擬試験を実施し、解析・評価を行った後、現場試験法を確立する。

以下に、具体的な開発試験手順について述べる。

3.2.1 フィルタ性能試験

高性能エアフィルタの粒径 $0.1 \mu m$ 前後の粒径別捕集性能試験を実施するためには、フィルタ性能試験装置、 $0.1 \mu m$ 前後の粒子測定装置及び粒子発生装置を開発し、整備していく必要がある。

試験装置の整備は、以下の要領で行うこととした。

フィルタ性能試験装置の開発は、フィルタメーカーの試験装置等を参考にし、設計・製作を行い整備する。

粒子測定装置の開発は、市販されているサブミクロン粒子測定装置を調査・検討し、粒径範囲が $0.01 \sim 0.5 \mu m$ の粒子測定装置を整備する。

粒子発生装置の開発は、蒸発凝縮法による NaCl 粒子発生装置を試作し、試料加熱温度、冷却凝縮温度及びキャリアガス流量等、 $0.1 \mu m$ 以下の粒子発生についての基礎試験を実施する。

基礎試験結果をもとに、高融点金属粒子の発生も行えるレーザ極微粒子発生装置を開発する。

なお、粒径範囲 $0.1 \sim 0.5 \mu m$ の粒子測定及び発生技術に関しては“呼吸保護具性能評価法（V）”（PNC SN8530 87-01、1987）で報告されている試験装置を使用する。

平成元年度のフィルタ性能試験は、フィルタ寸法 $203^W \times 203^H \times 150^D mm$ の高性能エアフィルタについて、NaCl 試験粒子を用い、粒径範囲 $0.1 \sim 0.5 \mu m$ を対象とした基礎試験を実施する。

平成 2 年度～平成 3 年度のフィルタ性能試験は、同寸法の高性能エアフィルタについて、粒径 $0.01 \sim 0.5 \mu m$ を対象とした試験を本格的に実施する。

3.2.2 現場試験法の確立

現場試験法を確立する上では、試験エアロゾルの濃度・粒径分布、エアロゾル混合度、エアロゾルのサンプリング方法等が重要なものとしてあげられる。

これらについては、“HEPAフィルタ 現場試験方法 現場調査と試験法の検討”(PNC SN841-80-56、1980)に述べられている。

上記報告書の現場試験装置、現場試験条件、また、日本空気清浄協会より出された「核燃料施設における高性能エアフィルタの現場試験法に関する指針」JACA No.23 (1990)を検討すると共に、フィルタ性能試験で開発した試験技術を適用し現場試験のための粒子測定装置、粒子発生装置を開発する。

さらに、排気設備を模擬した試験用ダクト、密封交換型試験用ユニット等の排気設備基礎試験装置を設計・製作し、エアロゾル混合度及び代表性の良いサンプリング方法、エアフィルタ装着時のガスケット締付け圧力とリークの関係について調べるための基礎試験を実施する。

また、排気設備基礎試験装置及び現場試験装置を使用し、排気設備の総合捕集性能に関する現場模擬試験を実施する。

現場模擬試験結果については、総合的な解析・評価を行い、事業団における現場試験の適用性や現場試験法の運用についての検討を行っていく。

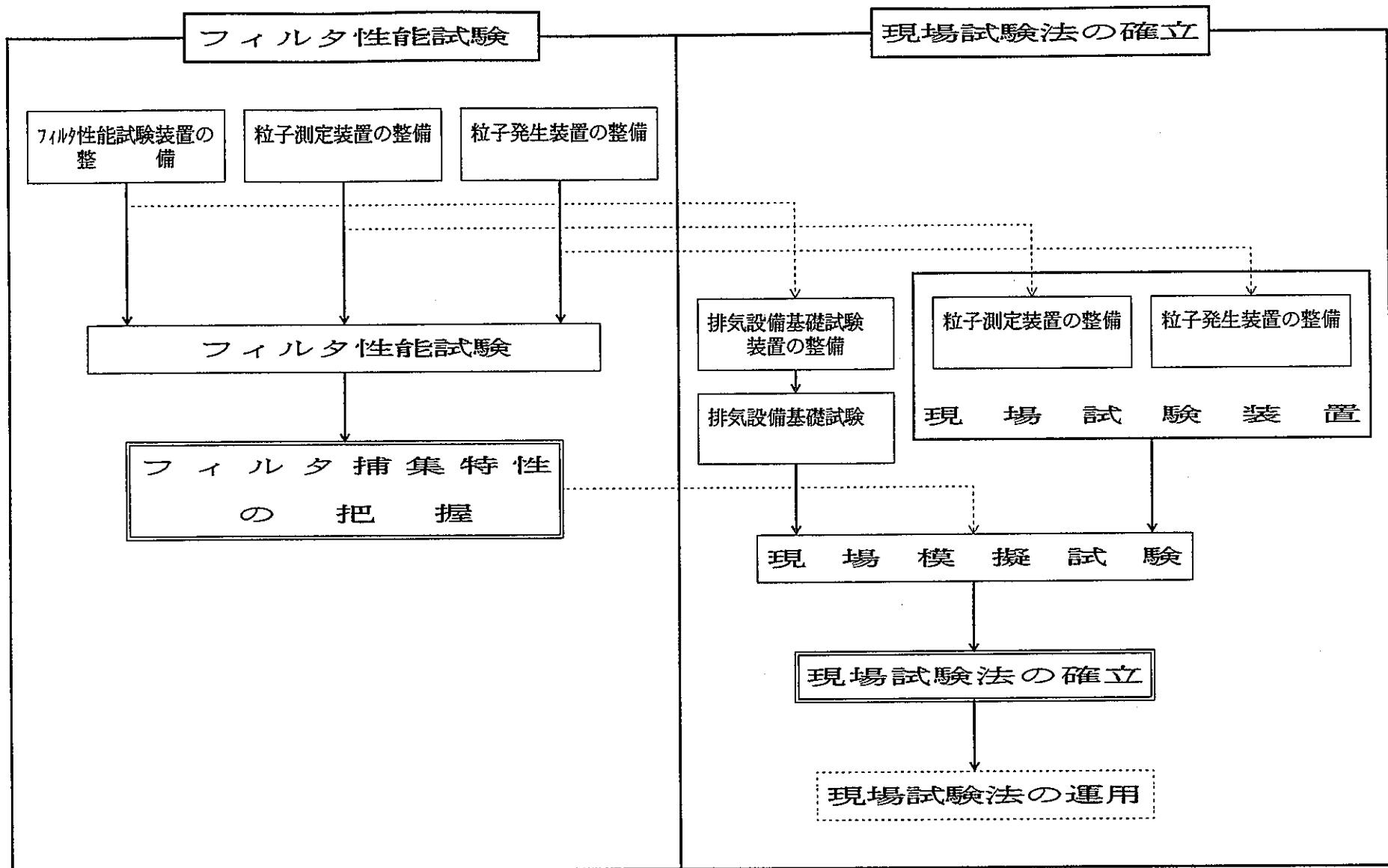


図5 開発試験フローシート

4. 実施内容

4.1 試験装置の整備

4.1.1 フィルタ性能試験装置

フィルタ性能評価技術の開発では、フィルタ性能試験装置を開発し、整備することが必要であり、MIL-STD-282 Q-107型フィルタ試験装置等を参考にして検討を行い、以下の試験装置を設計・製作した。

本装置のフローシートを図6に、装置の外観を図7及び写真1に示す。

フィルタ性能試験装置は、フィルタ寸法 $203^W \times 203^H \times 150^D$ mmの試験用エアフィルタの圧力損失及び捕集性能を測定するための装置であり、空気前処理部、エアロゾル混合部、試験体固定部、圧力損失測定部、エアロゾル採取部、微差圧計、風量測定・調整部、操作盤等から構成されている。

本装置では、風量 $0.3 \sim 3.0 \text{ m}^3/\text{min}$ の範囲において任意の試験風量に設定でき、エアロゾル、ダスト等の粒子に対する捕集特性、エアロゾルが試験体に負荷された時の負荷特性、さらに、2段エアフィルタの総合捕集特性等の試験ができるようになっている。

装置の試験ダクトは、試験ダクト(I)、試験ダクト(II)の2系統からなり、試験粒子が異なる場合等に対応できるようになっている。

1) 各部の概要

(1) 空気前処理部

空気前処理部は、装置の空気取入れ口に位置し、プレフィルタ及びフィルタ寸法 $305^W \times 305^H \times 150^D$ mm、定格風量 $3.5 \text{ m}^3/\text{min}$ のULPA (Ultra Low Penetration Air) フィルタによって構成されている。

ULPA フィルタの捕集効率は、 $0.1 \mu\text{m}$ 粒子に対し、99.9995%以上であることから、試験ダクト内の空気を極めて清浄度の高い状態に保つことができる。

(2) エアロゾル混合部

エアロゾル混合部は、SUS製丸ダクト（寸法： $\phi 76.3^{\circ,\text{D}} \times 3.0^{\text{l}}$ mm）、異径管（寸法： $\phi 76.3^{\circ,\text{D}} \times \phi 50.8^{\circ,\text{D}} \times 110^{\text{l}} \times 3.0^{\text{l}}$ mm）、角ダクト（寸法： $180^W \times 180^H \times 3.0^{\text{l}}$ mm）によって構成されている。

エアロゾル混合部は、ダクト内に送られた試験粒子をダクト内の清浄空気と十分混

合し、フィルタ上流側の濃度分布を均一化するためのものである。

粒子の混合度については、最大及び最小濃度が平均濃度の±10%以内になるように設計されている。

(3) 試験体固定部

試験体固定部は、SUS製角ダクト（寸法：180^W × 180^H × 3.0^t mm）で、フィードから気流方向にダクト径5倍以上離れた位置にあり、試験体は、油圧駆動により固定部フランジを前進させて固定し、反対に後退させることにより取り出しができる構造になっている。

また、2段フィルタ性能試験のため、試験体2台を1m間隔で固定することもできる。

(4) 圧力損失測定部

圧力損失測定部は、試験風量において試験体の圧力損失を測定するものである。

圧力損失を測定するための静圧取出し口は、試験体の前面及び後面からダクト径の1/2離れた2箇所にあり、ここに、フルスケール30mmH₂Oとフルスケール100mmH₂Oの微差圧計が設けられている。

(5) エアロゾル採取部

エアロゾル採取部は、試験体の上流側・下流側の濃度測定において、代表性の良いサンプリングを行うためのものであり、プローブ、サンプリングノズル等で構成されている。

エアロゾルのサンプリングは、ダクト断面において、中心の1点サンプリングとし、ダクト長手方向の採取位置は、上流側が試験体前面から10cm、下流側がダクト径の5倍以上のところに設けられている。

本装置では、等速吸引によるサンプリングを行うことから、吸引流量0.3ℓ/minの粒子測定器を使用する際は、角ダクト内でφ2.6mmのプローブ、丸ダクト内でφ1.0mmのプローブを使用する。また、吸引流量3.0ℓ/minの粒子測定器を使用する際は、角ダクト内でφ8.1mmのプローブ、丸ダクト内でφ3.0mmのプローブを使用する。

(6) 風量測定・調整部

風量測定・調整部は、風量測定範囲0.21～5.0m³/min、測定精度±1%F.Sの超音波流量計、最大風量8.7m³/min、最大静圧490mmH₂Oの排風機、定格容量3KV

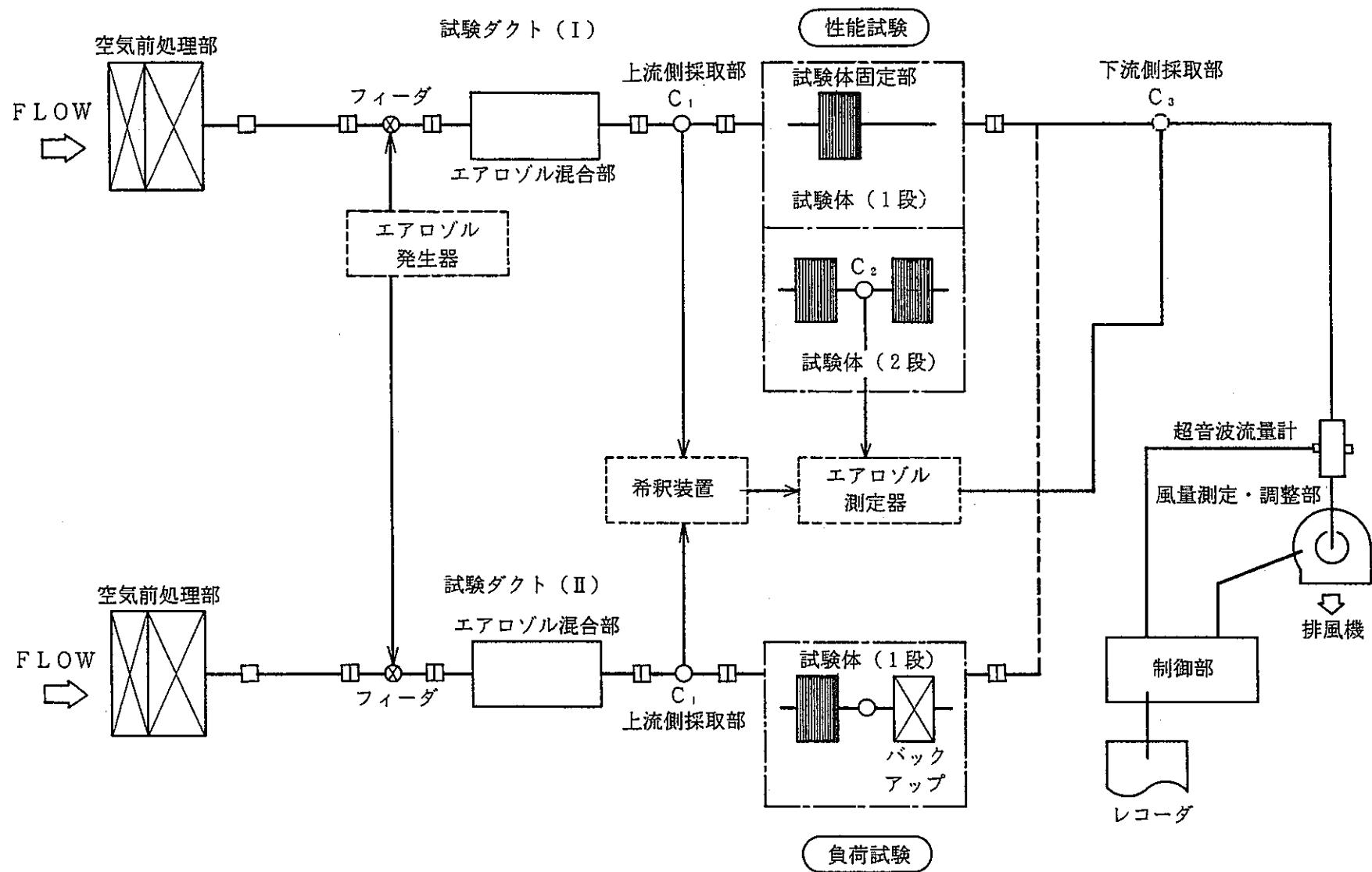


図6 フィルタ性能試験装置フローシート

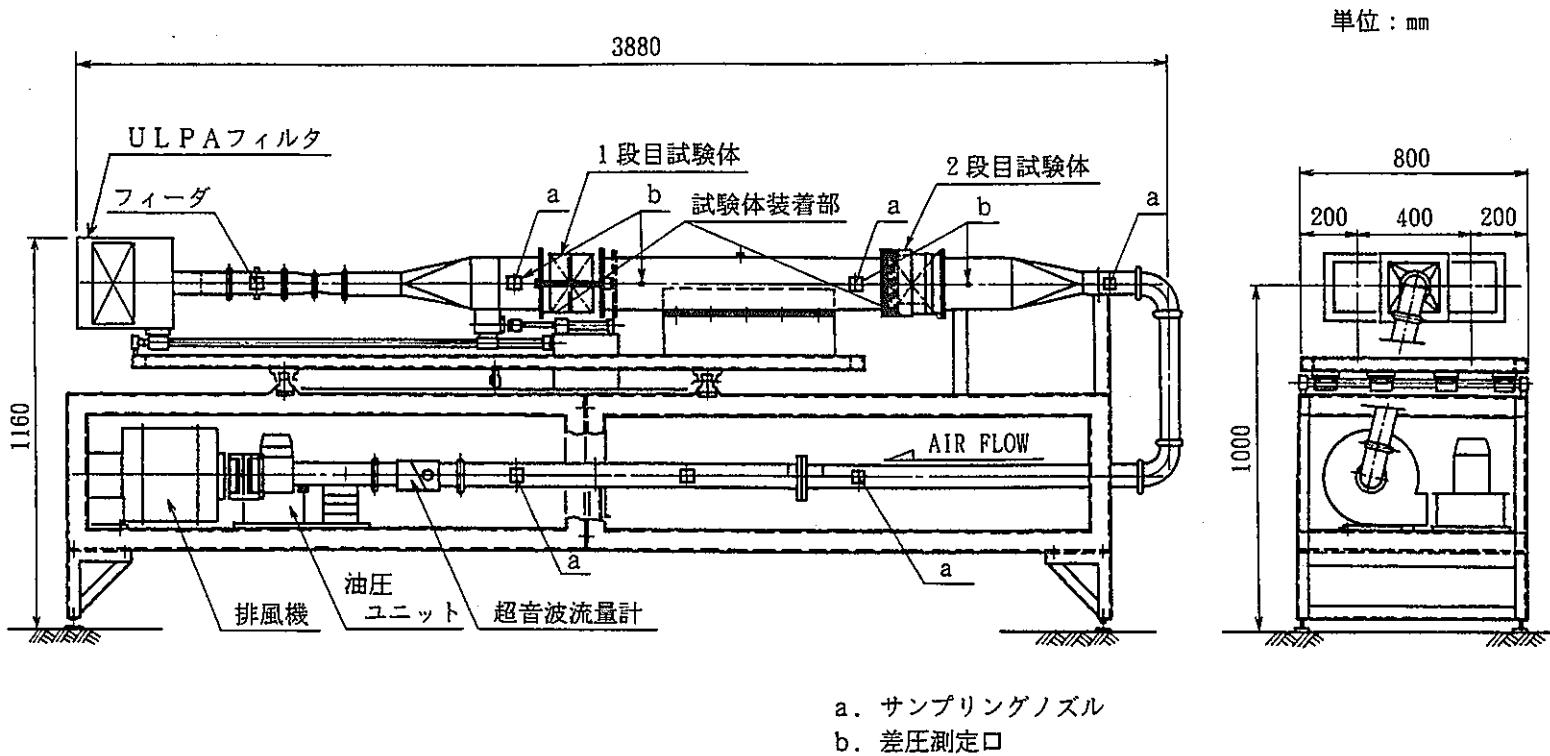
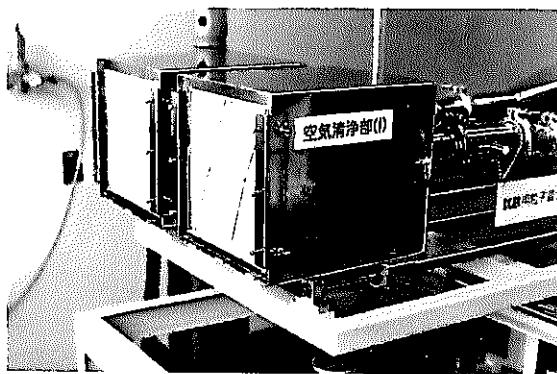
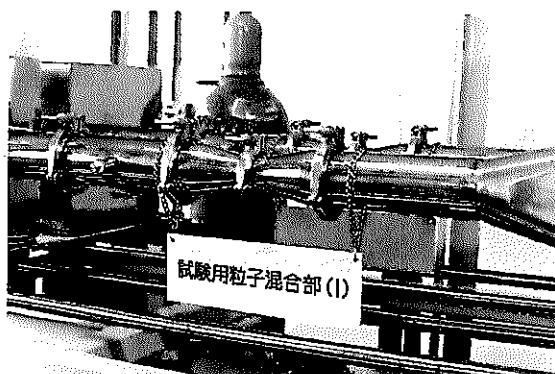


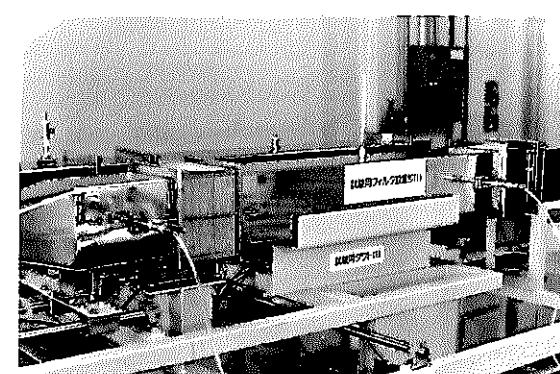
図 7 フィルタ性能試験装置



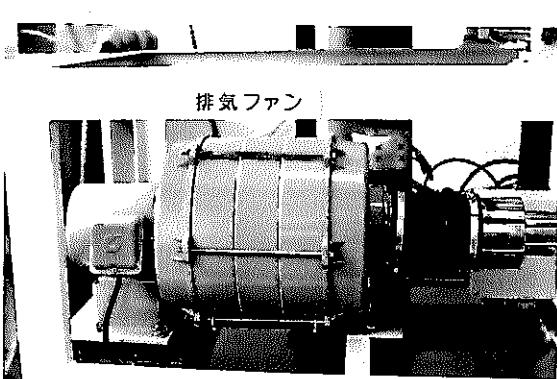
空気前処理部



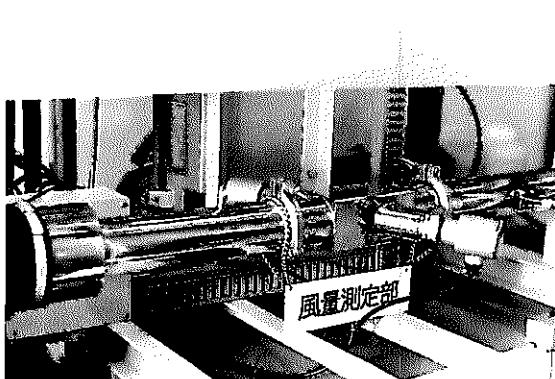
粒子混合部



サンプリング部及び試験体固定部



排風機



風量測定部



試験装置操作盤

写真1 フィルタ性能試験装置

Aのインバータにより構成されている。

本装置では、超音波流量計の測定信号をインバータにフィードバックし、排風機の回転を制御することから、任意の風量設定を自動的に行うことができる。このため、エアフィルタの負荷試験の際に試験体の差圧が上昇しても、試験風量は一定に保つことができるようになっている。

2) エアロゾル混合特性試験

フィルタ性能試験装置は、ダクト内のエアロゾルが十分混合し、サンプリングノズルにおいて代表性の良いサンプリングが行えるよう設計・製作することが重要であることから、エアロゾル混合部の特性把握を目的とし、エアロゾル混合特性試験を実施した。

本試験結果について以下に述べる。

(1) 試験方法

試験装置フローシートを図8に示す。

本試験では、試験体固定部にダクト断面（寸法：168^W × 156^H mm）を9分割し、分割面中心9点のサンプリングができる試料採取管を設置した。この後、ラテックス粒子発生装置を用い、ポリスチレンラテックス粒子（以下、PSL粒子という）を発生させてダクト内に供給し、ダクト断面の濃度分布をLPCで測定した。

試験粒子には、粒径 0.109 μm、0.198 μm、0.305 μm、0.394 μm の混合粒子を用い、試験風量は、0.28 m³/min、1.4 m³/min、2.8 m³/min の3種類とした。

エアロゾルの混合は、ANSI N510-1980に基づき、平均濃度±10%（相対濃度偏差）以内により評価した。

なお、相対濃度偏差は、エアロゾルが十分混合した状態からのずれを表し、(1)式により算出した。

$$\sigma(C_R) = \pm \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \quad (1)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

ここで、 $\sigma (C_R)$: 相対濃度偏差 (%)

σ : \bar{X} の標準誤差

\bar{X} : 断面内の平均濃度 (個/ ℓ)

X_i : 個々の濃度 (個/ ℓ)

n : 断面内の読み取り値の数

(2) 試験結果

試験結果を図9に示す。

図9において、エアロゾルの混合と風量及び粒径の関係についてみた場合、風量が増加するに従って、エアロゾルの混合は、低下していく傾向にあり、粒径の違いに対しては、顕著な傾向は認められなかった。

風量 $2.8 \text{ m}^3/\text{min}$ 、粒径 $0.25 \sim 0.30 \mu\text{m}$ のとき、相対濃度偏差は $\pm 0.93\%$ と最も大きくなっているが、評価値である平均濃度 $\pm 10\%$ (相対濃度偏差) 以内を十分満足しており、フィルタ性能試験装置のエアロゾル混合については問題ないと言える。

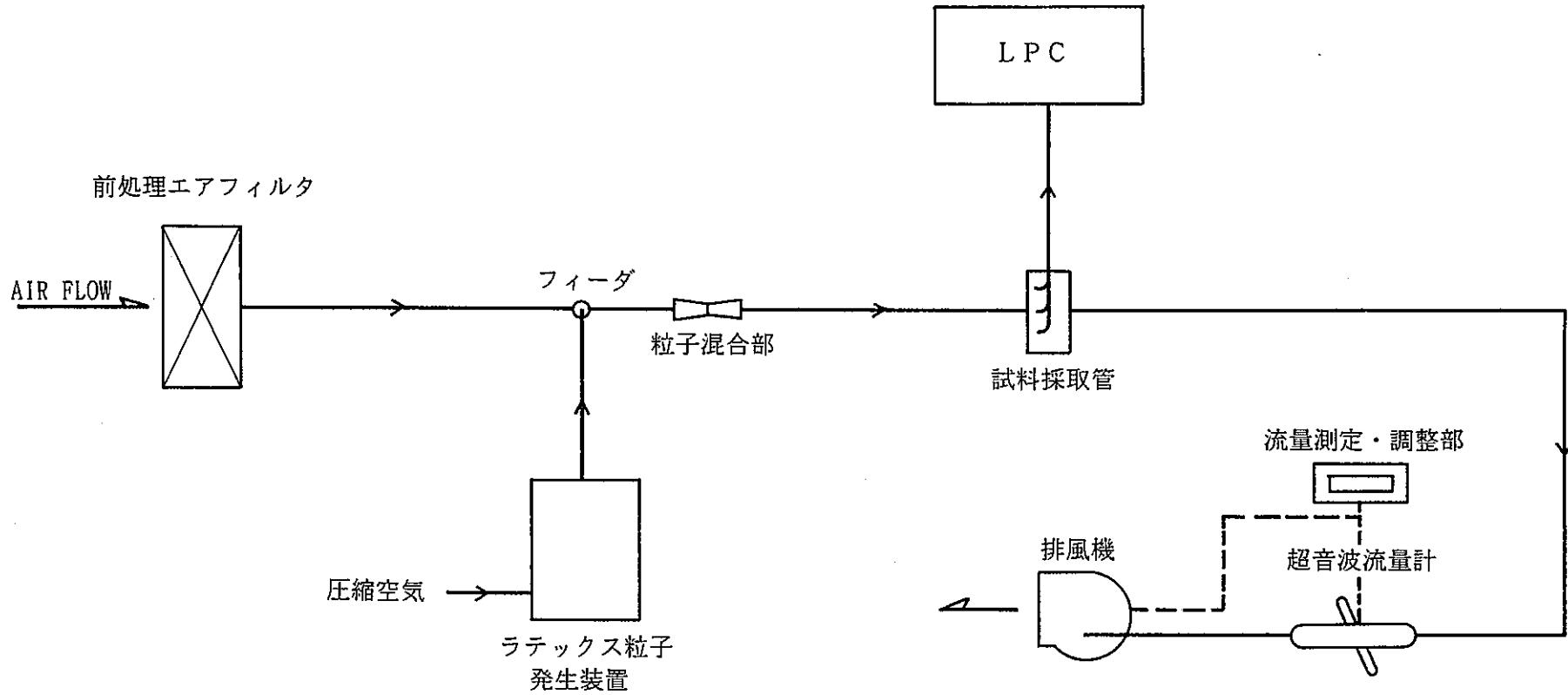


図8 試験装置フローシート（エアロゾル混合特性試験）

試験風量 (m³/min)	採取位置	粒径 (μm)			0. 10~0. 15			0. 15~0. 20			0. 20~0. 25			0. 25~0. 30			0. 30~0. 50		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0. 28	U	0. 978	0. 982	1. 002	0. 983	0. 993	0. 992	0. 982	0. 982	0. 998	0. 985	0. 988	0. 988	0. 986	0. 989	1. 001			
		0. 997	1. 011	0. 994	0. 986	1. 004	0. 997	1. 005	1. 002	1. 000	1. 001	1. 002	0. 991	0. 991	1. 002	0. 992			
		1. 015	1. 019	1. 002	1. 014	1. 017	1. 015	1. 016	1. 012	1. 003	1. 021	1. 009	1. 016	1. 012	1. 014	1. 013			
	$\sigma (C_R) = \pm 0.47\%$			$\sigma (C_R) = \pm 0.43\%$			$\sigma (C_R) = \pm 0.39\%$			$\sigma (C_R) = \pm 0.44\%$			$\sigma (C_R) = \pm 0.37\%$						
	M	0. 991	0. 973	0. 969	0. 987	0. 985	0. 991	1. 008	0. 979	0. 964	0. 985	0. 975	0. 969	1. 008	0. 985	0. 971			
		1. 001	1. 011	0. 986	1. 002	1. 009	0. 982	1. 004	1. 011	0. 985	0. 997	1. 003	1. 015	1. 004	0. 998	0. 998			
		1. 034	1. 023	1. 012	1. 027	1. 022	0. 994	1. 025	1. 011	1. 013	1. 035	1. 021	1. 001	1. 022	1. 014	1. 001			
	$\sigma (C_R) = \pm 0.74\%$			$\sigma (C_R) = \pm 0.54\%$			$\sigma (C_R) = \pm 0.65\%$			$\sigma (C_R) = \pm 0.72\%$			$\sigma (C_R) = \pm 0.50\%$						
1. 40	U	1. 037	1. 009	0. 995	0. 996	1. 014	0. 981	1. 033	1. 030	0. 987	1. 014	1. 031	0. 966	1. 017	1. 009	0. 990			
		1. 029	1. 008	0. 983	1. 034	0. 995	0. 977	1. 003	0. 993	0. 983	1. 028	1. 023	0. 985	1. 011	1. 010	0. 965			
		0. 992	0. 980	0. 968	1. 030	1. 012	0. 961	1. 009	1. 000	0. 961	1. 008	0. 993	0. 952	1. 007	1. 005	0. 987			
	$\sigma (C_R) = \pm 0.76\%$			$\sigma (C_R) = \pm 0.82\%$			$\sigma (C_R) = \pm 0.76\%$			$\sigma (C_R) = \pm 0.93\%$			$\sigma (C_R) = \pm 0.55\%$						

注) 図のダクト面は上流側から下流側を見た位置を示し、また、1、2、3は横方向の位置、U、M、Dは高さ方向の上位、中位、下位の位置を示す。
ダクト断面の各値は、分割面中心濃度を平均濃度で除した相対エアロゾル濃度を示し、 $\sigma (C_R)$ は、エアロゾルが十分混合した状態からのずれを表す相対濃度偏差を示す。

図9 エアロゾル混合特性試験結果

4.1.2 粒子測定装置

フィルタ性能試験に一般的に用いられる測定器としては、粒径測定は行えないが機器の安定性、操作性が良いフォトメータ、 $0.1\mu\text{m}$ 以上の粒径別の粒子濃度が測定でき検出感度の高いLPC、また、サブミクロン領域の粒子を感度良く計数する凝縮核測定器(Condensation Nuclei Counter、以下CNCという)等が知られている。

フィルタ性能評価技術の開発では、高性能エアフィルタの捕集性能において $0.1\mu\text{m}$ 前後の粒径を評価対象としていることから、粒子測定装置の整備は、粒径 $0.01\sim 0.5\mu\text{m}$ の測定範囲を対象として実施した。

粒子測定装置のフローシートを図10、外観を写真2に示す。

粒径 $0.1\sim 0.5\mu\text{m}$ の粒子測定器としては、“呼吸保護具性能評価法(V)”(PNC S N 8 5 3 0 87-01、1987)で報告されているLPCを使用することにした。

本測定器は、He-Neレーザを光源とし、 $0.1\mu\text{m}$ 以上の粒径に対して6段階のレンジ($0.10\mu\text{m}$ 以上、 $0.15\mu\text{m}$ 以上、 $0.20\mu\text{m}$ 以上、 $0.25\mu\text{m}$ 以上、 $0.30\mu\text{m}$ 以上、 $0.50\mu\text{m}$ 以上)を有し、最大 2.0×10^6 個/ ℓ の濃度まで同時に測定が可能である。なお、この測定器の計数損失は、 2.0×10^6 個/ ℓ のとき5%以下となっている。

高性能エアフィルタの性能試験では、さらに詳細な粒径別のデータを得るために、パルス変換器を作成した。本変換器からの出力信号を、放射線計測用波高分析器(以下PHAという)に入力することにより、 $0.1\sim 0.5\mu\text{m}$ の粒径範囲において $0.01\mu\text{m}$ ステップで粒子濃度が測定できるLPC・PHAを開発し整備した。

LPC・PHAの粒径校正は、標準粒子としてPSL粒子を用いて行った。

一方、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の粒子測定は調査の結果、静電式エアロゾル分級器(Differential Mobility Analyzer、以下DMAという)、CNC及び直流標準電圧発生器をシステム化することにより、可能であることがわかり、これらの装置について整備した。

本装置による測定は、測定エアロゾルをDMA内に送り、ここでは、粒径測定の対象となる粒子のみが分級され、単分散粒子となり、この粒子濃度をCNCで測定することにより行われる。

エアロゾルの分級は、DMAの測定粒径に対する分級電圧を直流標準電圧発生器で設定することにより行うことができる。

粒径別濃度の測定は、DMAの分級電圧の設定とCNCによる測定を、各粒径毎に順次繰り返すことにより行う。

本装置は、DMAの流量設定条件をクリーンエア流量 20 l/min 、排気流量 20 l/min 、エアロゾル流量 3 l/min 、サンプル流量 3 l/min にしたとき、 $0.01\sim0.19\mu\text{m}$ までを $0.01\mu\text{m}$ ステップで測定でき、最大濃度 1.24×10^5 個/ l の測定が可能である。

また、LPC・PHA及びDMA・CNCによる測定を自動化し、さらに、測定データの処理を行うため、パーソナルコンピュータ、レーザプリンタによって構成されるデータ処理装置を整備した。

以上により、 $0.01\sim0.5\mu\text{m}$ の粒子測定が $0.01\mu\text{m}$ ステップで自動測定ができ、さらにデータ処理が行える粒子測定装置を整備することができた。

一方、フィルタ性能試験を実施するにあたっては、試験体の上流側が高濃度となり、最大測定濃度を超えることから、希釈装置が必要となる。このため、上流側濃度の測定においては、“呼吸保護具性能評価法（V）”で報告されている希釈装置（希釈率300倍）を使用することにした。

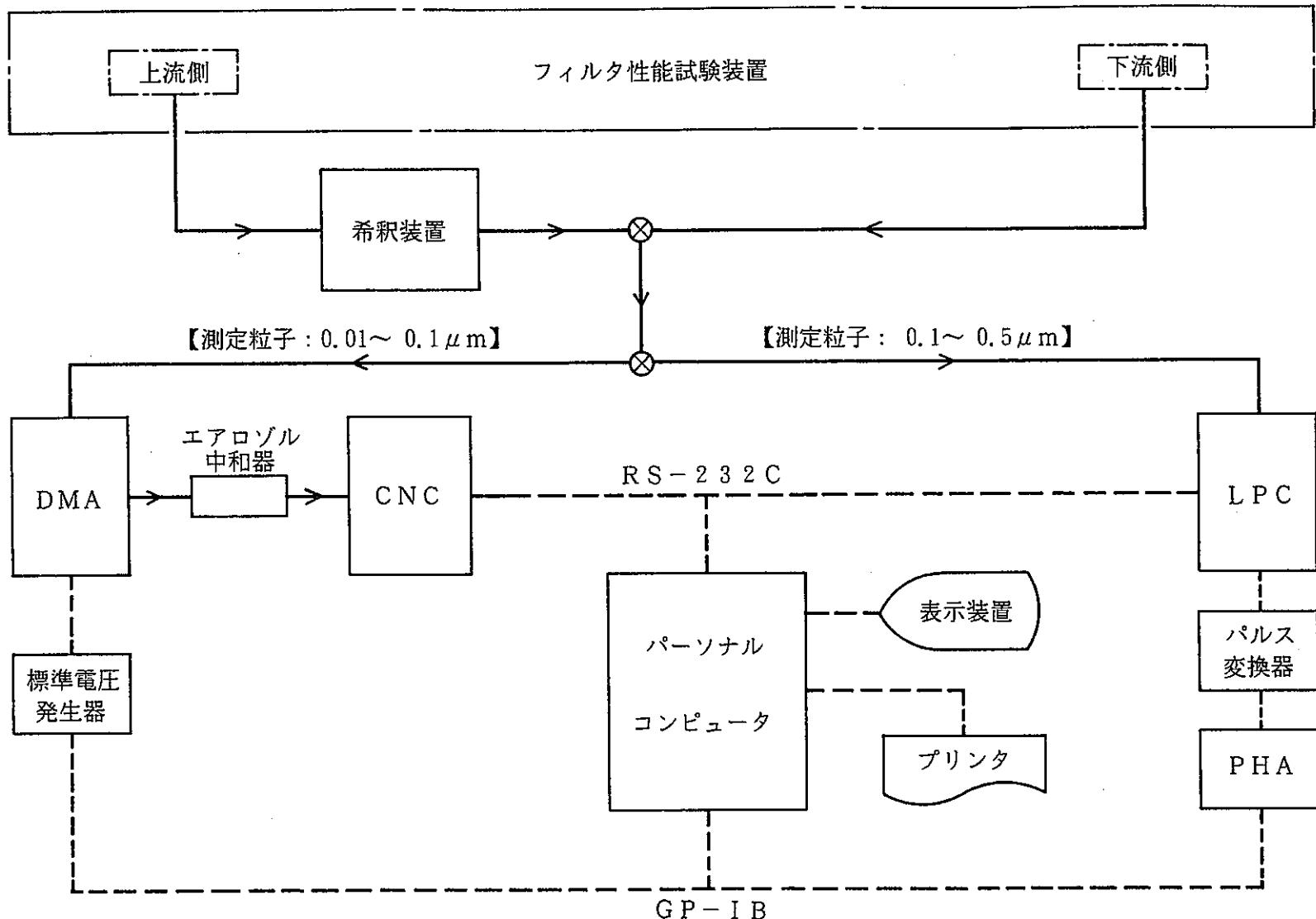
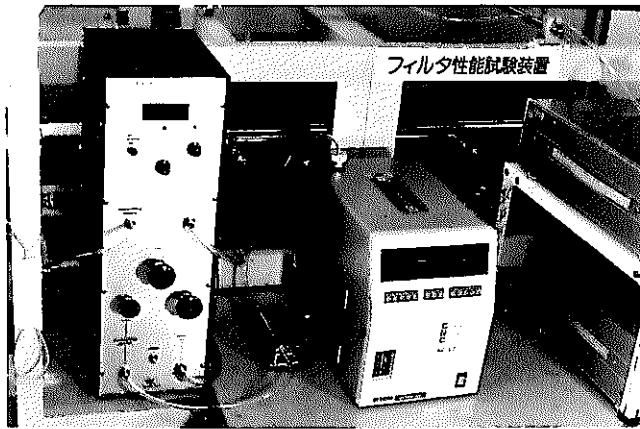
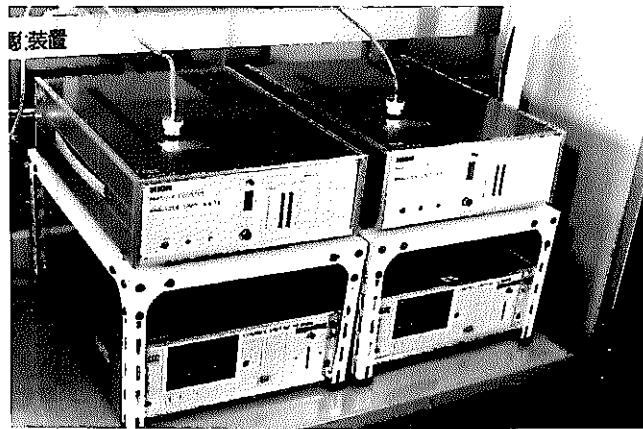


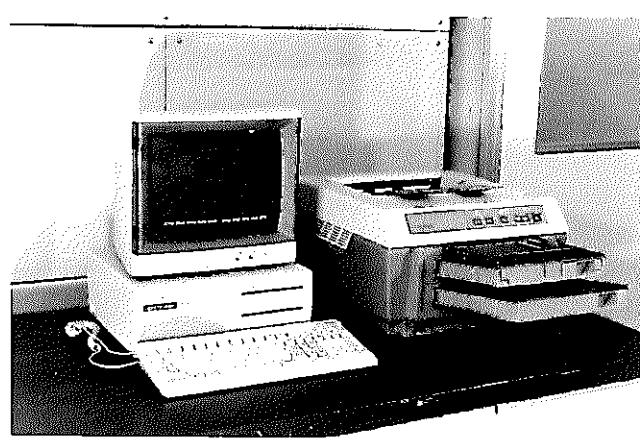
図10 粒子測定装置フローシート



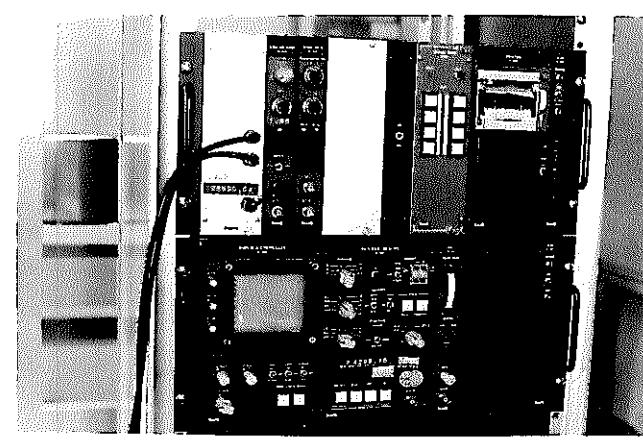
静電式エアロゾル分級器・凝縮核測定器



レーザパーティクルカウンタ



データ処理装置



波高分析器

写真2 粒子測定装置

1) 粒子測定機器の概要

① L P C (リオン社製 KC-14)

本測定器の光学システムを図11に示す。

測定原理は、ポンプによって試料を吸引し、He-Neレーザ（波長 633nm）の光源による照射領域を通過させ、このとき個々の粒子によって散乱した光を光電変換素子でパルス状の電気信号に変換する。この信号をPHAによって、標準粒子を基準とした、いくつかの粒径区分に仕分け、一定の体積の試料を測定後、その計数値を集計して粒径分布、個数濃度を知ることができる。

本装置は、効率良く散乱光を集光するため、粒子検出光学系に橢円面鏡を使用している。

■レーザ光と橢円鏡による工学システム

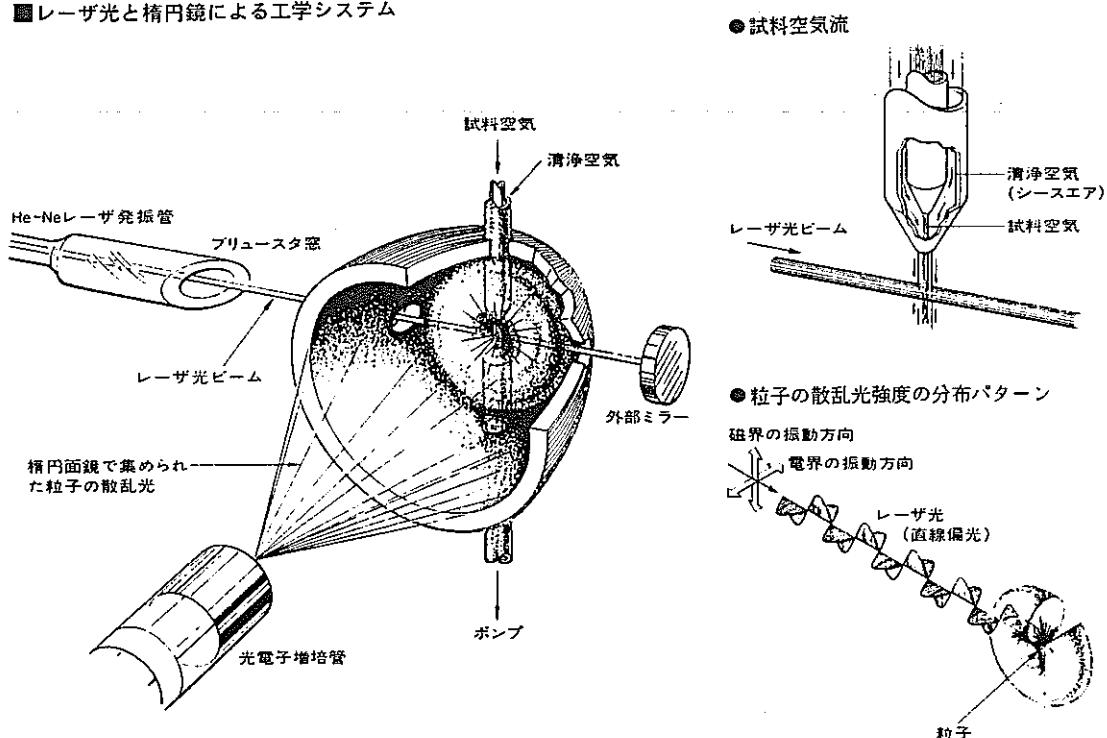


図11 L P Cの光学システム

② DMA (TSI社製 MODEL 3071)

本装置のブロックダイヤグラムを図12に示す。

動作原理は、単一荷電を帯びた粒子の粒径と電気移動度（モビリティ）の関係を応用したものである。

エアロゾルを双極平衡荷電状態にするには、 ^{85}Kr （放射性同位元素）から成る双極荷電部を通過させることにより行われる。

粒子が单一荷電を有するならば、モビリティ分級作用により、单分散エアロゾルが得られることになる。

図12において、エアロゾル試料と清浄空気が上部から入り、シリンダー間の同心円状の部分を層流が流下する。この領域では、エアロゾルは、狭いエアの円筒部を形づくる清浄空気のコアで取り囲まれている。“コレクタロッド”である円筒部内には、負の直流電圧を印加し、外側の円筒は絶縁されている。

大きなモビリティを有する粒子はロッドの上部に付着し、小さなものは出口流れに沿って移動する。そして、あるモビリティを有する粒子、つまり、同一粒径のものだけがサンプリングスリット付近に誘導される。そこで、それらの粒子は、スリットを通ってくる小流量のエアによって单分散エアロゾルとして外部に取り出される。

なお、高い荷電を有する单分散エアロゾルは、サンプル流量の後方に設けられたエアロゾル中和器 (^{85}Kr) により、除電される。

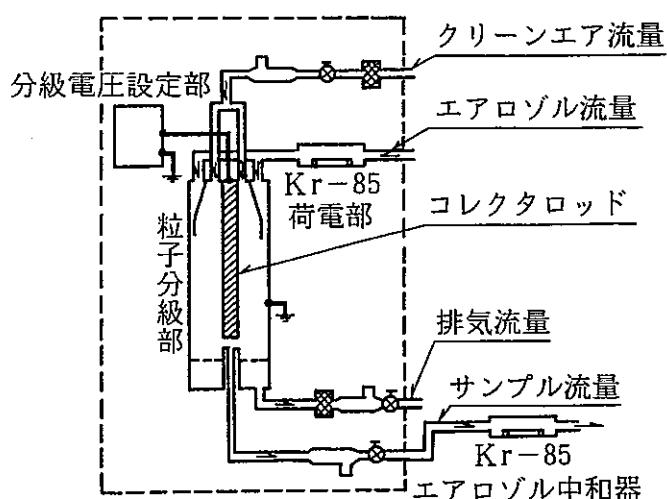


図12 DMAのブロックダイアグラム

③ CNC (リオン社製 KC-60)

本装置のブロックダイヤグラムを図13に示す。

測定原理は、過飽和状態において $0.1 \mu\text{m}$ 未満の微粒子を液滴にまで成長させ、この液滴を光散乱方式により測定するものである。

本測定器では、アルコールを飽和させ、飽和蒸気を作り、混合部において測定試料と飽和蒸気を混合する。次に混合した気体を凝縮部において冷却し、微粒子を核として蒸気を凝縮させる。

微粒子は、同じ時間、同じ過飽和状態に暴露され、初期粒径に関係なく、粒径約 $10 \mu\text{m}$ にまで成長する。すべての微粒子が液滴に成長するため、液滴と微粒子の個数濃度は同じになる。

装置は、光軸交角 70° の側方散乱方式であり、光源に半導体レーザ（波長 780nm ）を、また、集光系には、球面レンズを使用している。

測定は、 $0.01 \mu\text{m}$ 以上の粒子（NaCl 粒子で 100% 計数時）について連続的に行なうことができ、最大測定濃度は、 3×10^4 個/ ℓ となっている。

なお、計数損失は、 3×10^4 個/ ℓ のとき 5 % 以下である。

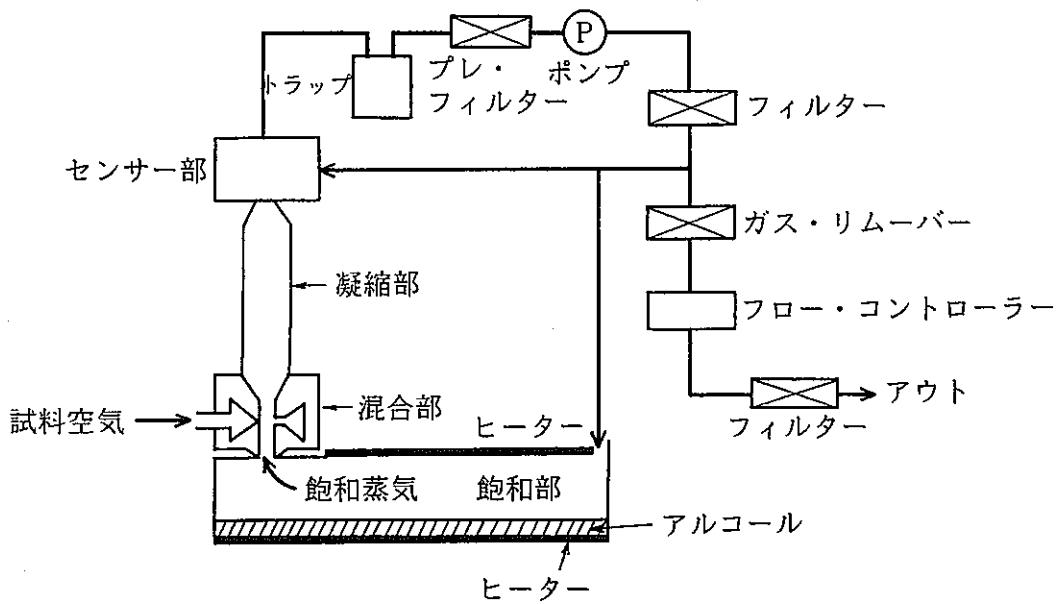


図13 CNCのブロックダイアグラム

2) DMA分級特性試験

DMAの特性として、DMA設定流量と分級電圧がエアロゾルの分級精度に影響する。

本試験は、設定流量及び分級精度の把握を目的とし実施した。

① 試験方法

本試験装置のフローシートを図14、DMAの設定流量の関係を図15に示す。

試験装置は、ラテックス粒子発生装置、フィルタ性能試験装置、DMA・CNC、標準電圧発生器、パーソナルコンピュータ等により構成される。

DMAの分級電圧は、分級する粒径とDMAの設定流量により、(4)、(5)式で求めることができる。

$$Z_p = \frac{e C \times 10^7}{3 \pi \mu D_p} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (4)$$

ここで、 Z_p ：単一荷電粒子のモビリティ ($\text{cm}^2/\text{volt} \cdot \text{sec}$)

e ：電気素量 (c)

C ：カンニガムの補正係数 (-)

μ ：空気の粘性係数 (poise)

D_p ：粒子径 (cm)

一方、DMAの設定流量が $q_s = q_c$ 、 $q_c = 20 \ell/\text{min}$ の場合、単一荷電粒子のモビリティ Z_p とコレクタロッド電圧 V の関係は (5) 式のようになる。

$$Z_p = \frac{q_c \ell n (r_2 / r_1)}{2 \pi V L} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (5)$$

ここで、 Z_p ：単一荷電粒子のモビリティ ($\text{cm}^2/\text{volt} \cdot \text{sec}$)

q_c ：クリーンエア流量 (cm^3/sec) $20 \ell/\text{min} = 333.3 \text{cm}^3/\text{sec}$

r_1 ：同心円状のギャップ空間の内径 (cm) 0.937cm

r_2 ：同心円状のギャップ空間の外径 (cm) 1.958cm

V ：コレクタロッドの印加電圧 (V)

L ：分級部コレクタロッドの長さ (cm) 44.44cm

よって(5)式は、

$$Z_p = \frac{0.8797}{V} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (6)$$

(4)、(6)式より粒径と分級電圧の関係が得られ、(7)式のようになる。

$$D_p = \frac{e C V \times 10^7}{0.8797 \times 3 \pi \mu} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (7)$$

試験では、パーソナルコンピュータに粒径 D_p とクリーンエア流量 q_a を入力して分級電圧を計算し、この電圧信号を標準電圧発生器に送り、本器で発生させた電圧を DMA に入力することにより、分級電圧を発生させた。

標準粒子の表示値及び試験機器の設定条件を以下に示す。

標準粒子： P S L 粒子 (Dow Chemical社製)

形 状； 球 形

密 度； 1.05 g/cm³

表示値；

粒 径 (μm)	標準偏差 (μm)
-----------------	------------------

0.109	0.0027
-------	--------

0.198	0.0036
-------	--------

・ラテックス粒子発生装置：

キャリア流量； 4 l/min

キャリア圧力； 1.4 kg/cm²

希釈乾燥流量； 50 l/min

希釈乾燥温度； 90°C

• D M A

クリーンエア流量 ; 20 ℥ / min

排気流量 ; 20 ℥ / min

エアロゾル流量 ; 3 ℥ / min

サンプル流量 ; 3 ℥ / min

• C N C

吸引流量 ; 3 ℥ / min

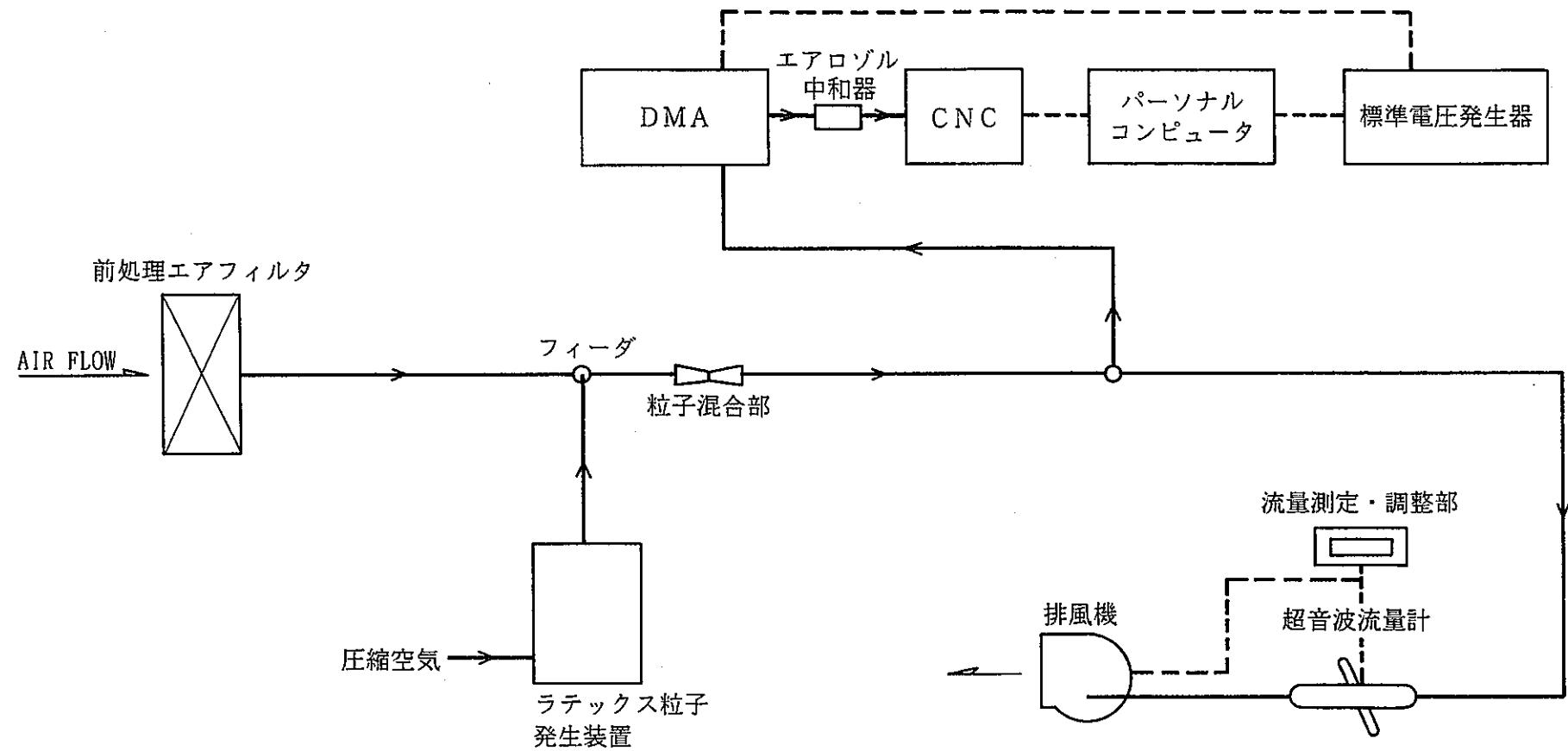
サンプル量 ; 1 ℥

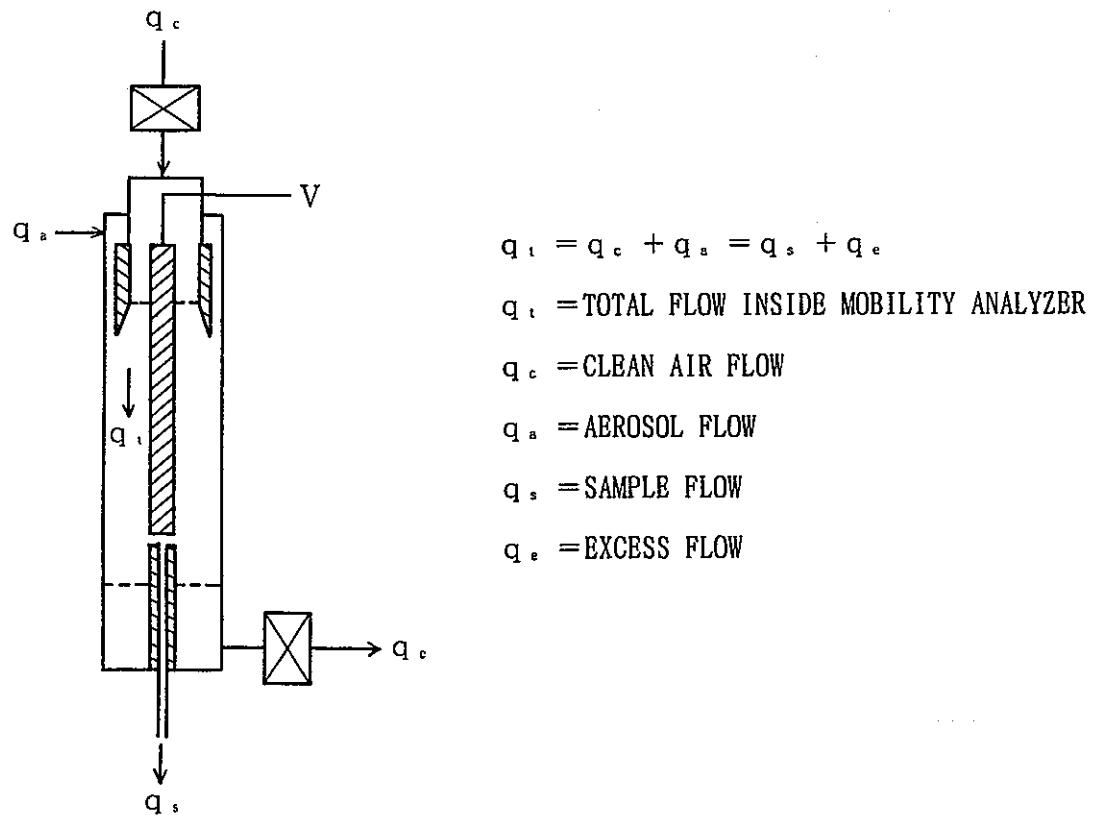
• フィルタ性能試験装置 :

試験風量 ; 1.5 m³ / min

試験は、以下の手順で実施した。

- (イ) DMAの流量設定を行った後、フィルタ性能試験装置を試験風量 1.5 m³ / min に設定する。
- (ロ) ラテックス粒子発生装置で P S L 粒子の懸濁液を加圧噴霧し、希釈乾燥することにより標準粒子を発生させ、フィルタ性能試験装置のダクト内に供給する。
- (ハ) パーソナルコンピュータに粒径測定範囲及び粒径ステップを入力し、サンプリングノズルより吸引した標準粒子をDMA・CNCにより測定する。





MODEL NUMBER	NOTATION	DESCRIPTION	VALUE MEASURED	CORRESPONDING PANEL LABELS
3071	q_t	TOTAL FLOW INSIDE MOBILITY ANALYZER	NO	NONE
	q_c	CLEAN AIR FLOW	YES	SHEATH AIR
	q_a	AEROSOL FLOW	NO	POLYDISPERSE AEROSOL
	q_s	SAMPLE FLOW	YES	MONODISPERSE AEROSOL
	q_e	EXCESS FLOW	YES	EXCESS AIR
	V	COLLECTOR VOLTAGE	YES	ANALYZER VOLTAGE

図15 DMAの設定流量の関係

② 試験結果

試験結果を表1、標準粒子の粒径分布の1例を図16に示す。

本試験では、標準粒子の表示値と実測値（最頻度径）の誤差は、±2%以内となつておあり、標準粒子の表示値と実測値（最頻度径）は、よい一致を示した。

DMAの設定流量として、クリーンエア及び排気流量を20ℓ/min、エアロゾル及びサンプル流量を3ℓ/minに設定した場合、本装置によるエアロゾルの分級が十分行える事を確認した。

表1 DMA分級特性試験結果

標準粒子の粒径表示値 (μm)	測定値（最頻度径） (μm)	表示値と測定値の誤差 (%)
0.109	0.111	+1.8
0.198	0.195	-1.5

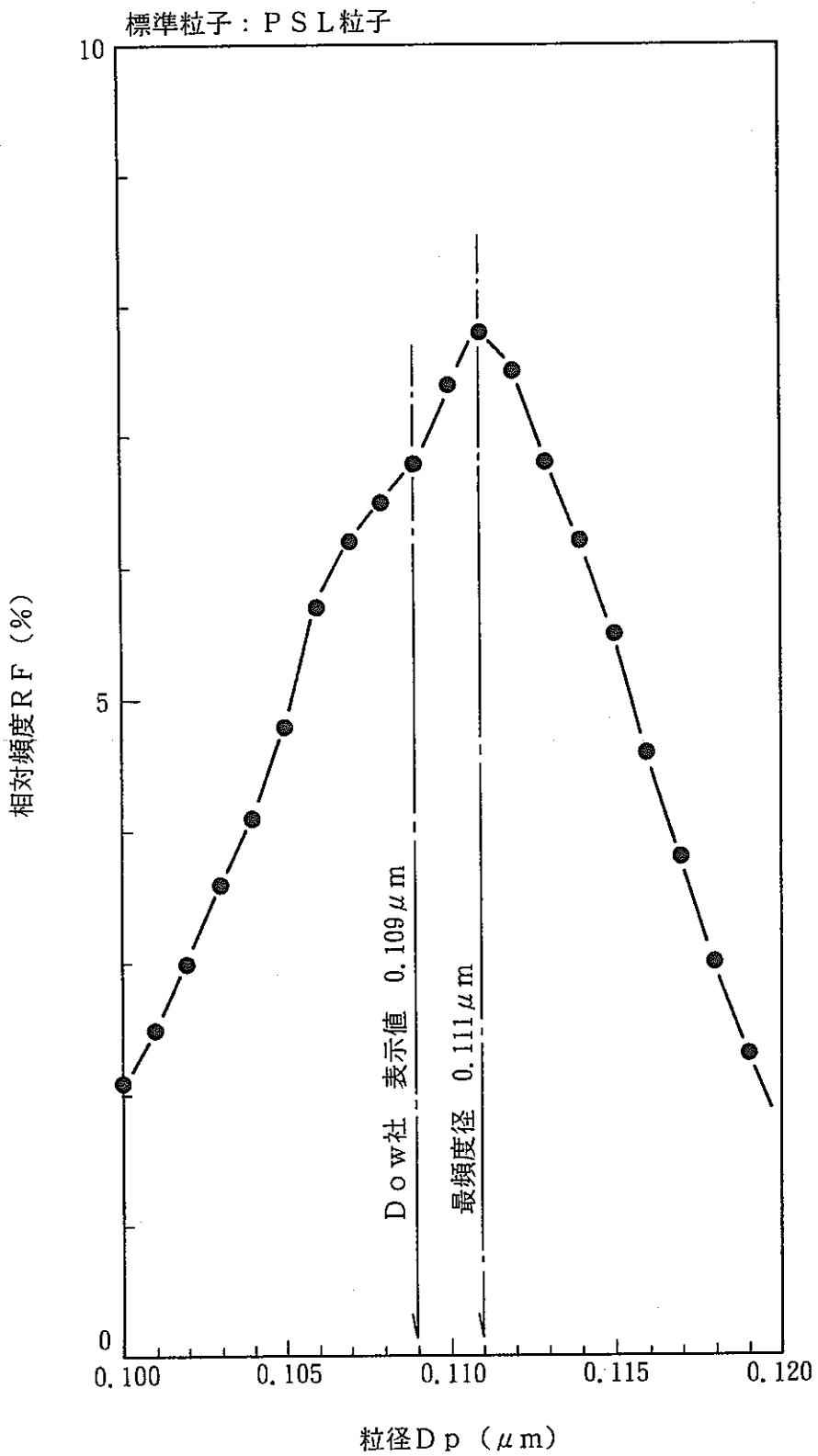


図16 標準粒子の粒径分布

4.1.3 粒子発生装置

粒子発生装置には、発生するエアロゾルの種類、発生量及び粒径分布等、用途に応じた各種のものが有り、本装置の選定上の留意点としては、粒径変動、濃度変動が少なく安定性が良いこと等が上げられる。

以下に一般的な粒子発生法及び発生装置等について述べる。

ステアリン酸、DOP等の標準粒子の発生装置として代表的なものに、Sinclair-Lamer型の発生装置がある。

本装置では、個数中央径 (Count Median Diameter、以下CMDという) $0.05 \sim 5 \mu\text{m}$ 、幾何標準偏差 (Geometric Standard Deviation、以下 σ_g という) $1.2 \sim 1.3$ 程度の均一な粒子の発生が可能である。

なお、フィルタ製造段階でのDOP試験に使用されている、MIL-STD-282 Q-107型試験装置の粒子発生部は、Sinclair-Lamer型の発生原理に基づいたものである。

また、多分散DOP粒子の発生法としては、ラスキンノズルを用いた加圧噴霧式の発生器がある。

本発生器では、CMD $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 、質量中央径 (Mass Median Diameter、以下MMDという) $0.5 \sim 0.7 \mu\text{m}$ 、 σ_g $1.5 \sim 1.6$ 程度の粒子を発生させることができる。

一方、NaCl粒子の発生法としては、イギリスのBS 3928に基づいた噴霧乾燥する方法があり、NaCl水溶液(2.5wt%)の噴霧には、コリソンアトマイザ等が使用される。

本発生装置では、MMD $0.2 \sim 0.39 \mu\text{m}$ 、 σ_g $1.7 \sim 1.9$ の粒子発生が可能である。

また、熱的NaCl粒子発生法として、NaClのスティック (85% NaCl、2% ethyl-hydroxy-cellulose、13% magnesium) をプロパンバーナ中で連続的に燃焼させ、NaClを蒸発凝縮させる発生法があり、本方式による粒子発生装置では、CMD $0.05 \sim 0.4 \mu\text{m}$ の多分散粒子が得られる。

以上の粒子発生法ならびに粒子発生装置について検討を行った結果、フィルタ性能評価技術の開発では、高性能エアフィルタの $0.1 \mu\text{m}$ 前後の粒径を評価対象としていることから、粒子発生装置の整備は、粒径 $0.01 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の範囲について行うこととした。

“呼吸保護具性能評価法(V)” (PNC SN8530 87-01、1987)において、粒径 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ のNaCl粒子発生装置 (柴田科学器械工業社製 MODEL PG-

1200N) が報告されており、発生粒子の粒径分布は、CMD $0.22\text{ }\mu\text{m}$ 、 σ_s 1.4、また、最大発生量として約 10^{12} 個/min という結果が得られている。

したがって、高性能エアフィルタの捕集特性を 0.1~0.5 μm について評価する場合は、本報告に基づいたNaCl粒子発生装置を使用することとした。

0.1 μm 以下の粒子の発生については、発生装置を開発する必要があり、文献調査を行った結果、蒸発凝縮法による Espensheide らの NaCl 粒子発生装置があることがわかった。

本装置は、電気炉を用い NaCl 試料を溶融して蒸発させ、これを冷却して凝縮させることにより微粒子を得ている。なお、蒸発物質の酸化を防ぐため、通常、H₂、N₂、などの不活性ガスをキャリアガスとして使用している。

以上のことから、蒸発凝縮法による電気炉を用いた NaCl 粒子発生装置を試作し、粒子発生基礎試験を行った。

この結果、本方法により、0.1 μm 以下の粒子発生が可能であり、発生条件に関する基礎資料を得ることができた。

粒子発生に関する基礎試験結果をもとに、発生用試料にレーザを照射し溶融することにより、1500°C付近の高融点金属粒子についても発生が行える、レーザ極微粒子発生装置について検討し、開発を進めた。

本装置のフローシートを図17、外観を図18に示す。

装置は、レーザ発振制御部、試料照射部及び粒子生成部等により構成され、金属等の試料表面を、集束レンズ、ガルバノメータスキャナによって、ビーム径 $\phi 6\text{ mm}$ でレーザを走査することができるようになっている。

レーザ発振制御部から出たレーザは、試料照射部において試料を加熱溶融し、金属は、プリヒートした N₂ 雰囲気中で蒸発する。この蒸発物質を粒子生成部で冷却凝縮させることにより、金属粒子を生成する。

発生粒子は、0.01~0.5 μm 付近の粒子が得られるよう検討し設計・製作を進めた。

一方、エアロゾル測定器の粒径校正を行うものとして、ラテックス粒子発生装置（柴田科学器械工業社製 MODEL-102LB）を整備した。

本装置のフローシートを図19、外観を写真3に示す。

装置は、制御部、空気洗浄部、粒子発生部によって構成される。

制御部は、装置の運転及び発生条件の設定、空気洗浄部は、各種のフィルタによって圧

縮空気中のオイルミスト等の不純物の除去、粒子発生部は、アトマイザ、分級管、乾燥管によってミストの発生及び粒子の生成を行う。

本装置は、P S L粒子の懸濁液をアトマイザによって噴霧し、粒子を含んだミストを発させ、希釈乾燥管において乾燥した清浄空気と混合することにより、単分散P S L粒子を安定した濃度で発生させることができる。

発生粒子の粒径範囲は 0.1~ 2.0 μ m、発生濃度は 10^6 個/cc、濃度安定性は± 5 %/hr以下となっている。

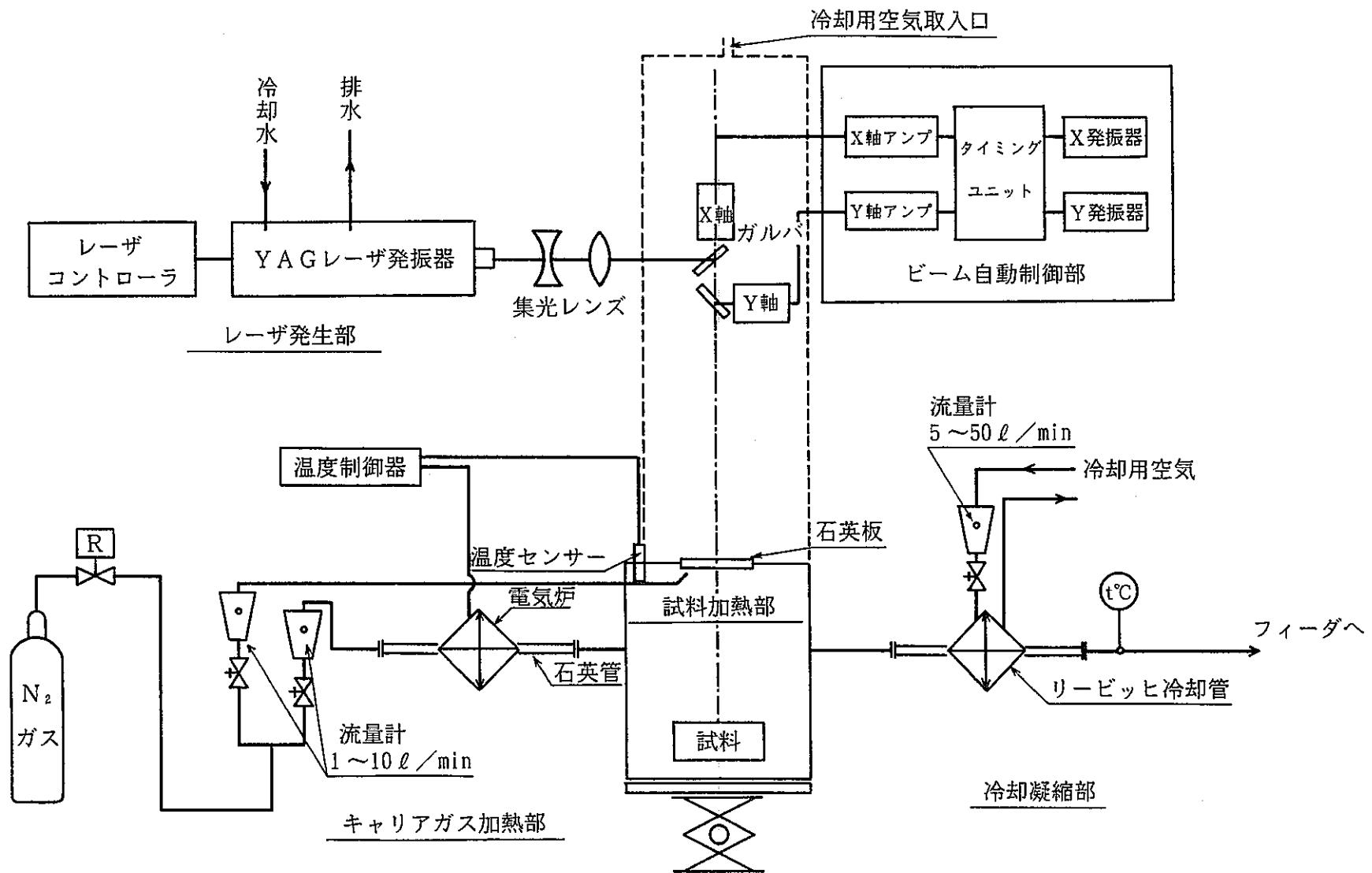


図17 レーザ極微粒子発生装置フローシート

単位:mm

番号	名 称
1	レーザユニット
2	石英板
3	試料加熱室
4	試 料
5	断熱材
6	ラボラトリージャッキ
7	リーピッヒ冷却管
8	ガラスクランプ
9	電気炉
10	架 台
11	架 台
12	レーザカバー
13	カバー
14	断熱材
15	流量計

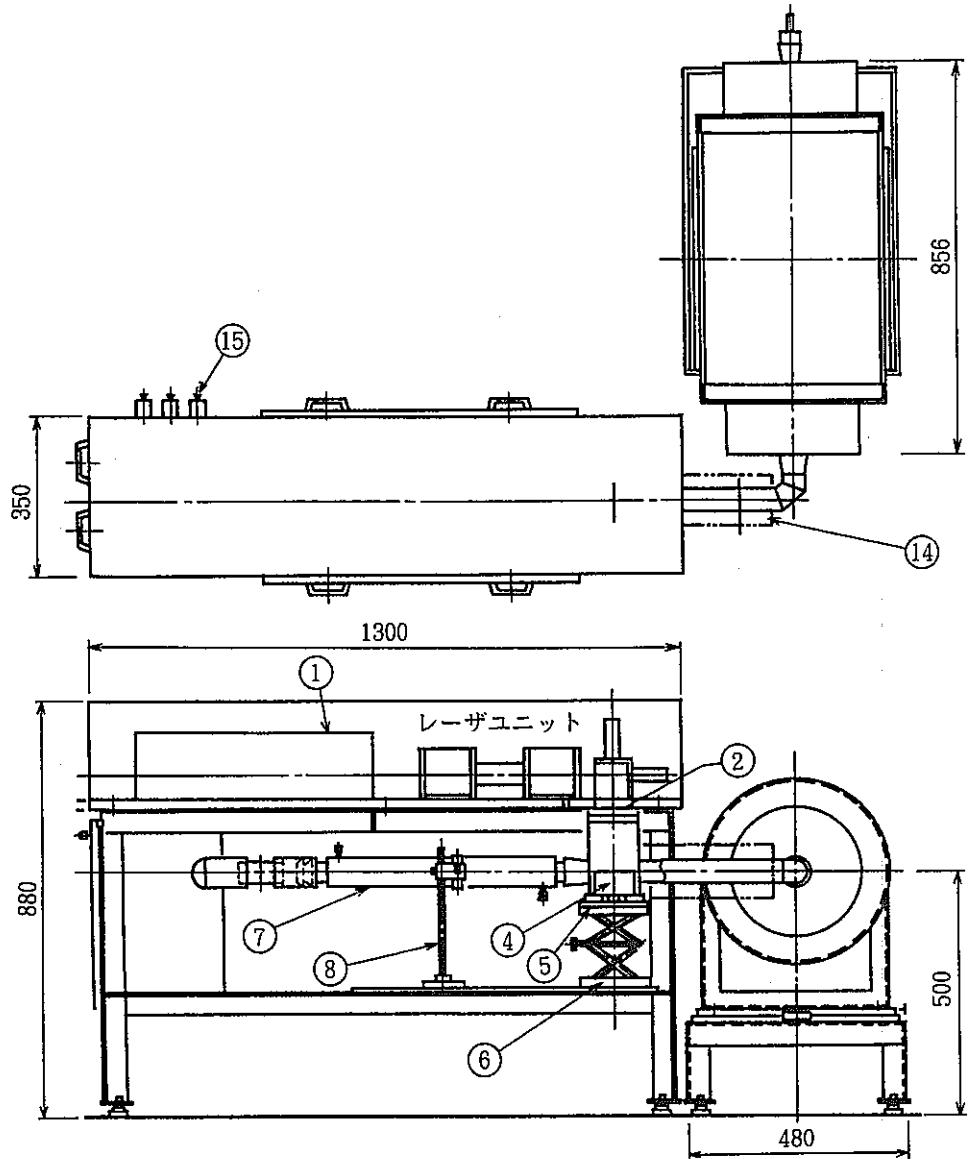


図18 レーザ極微粒子発生装置

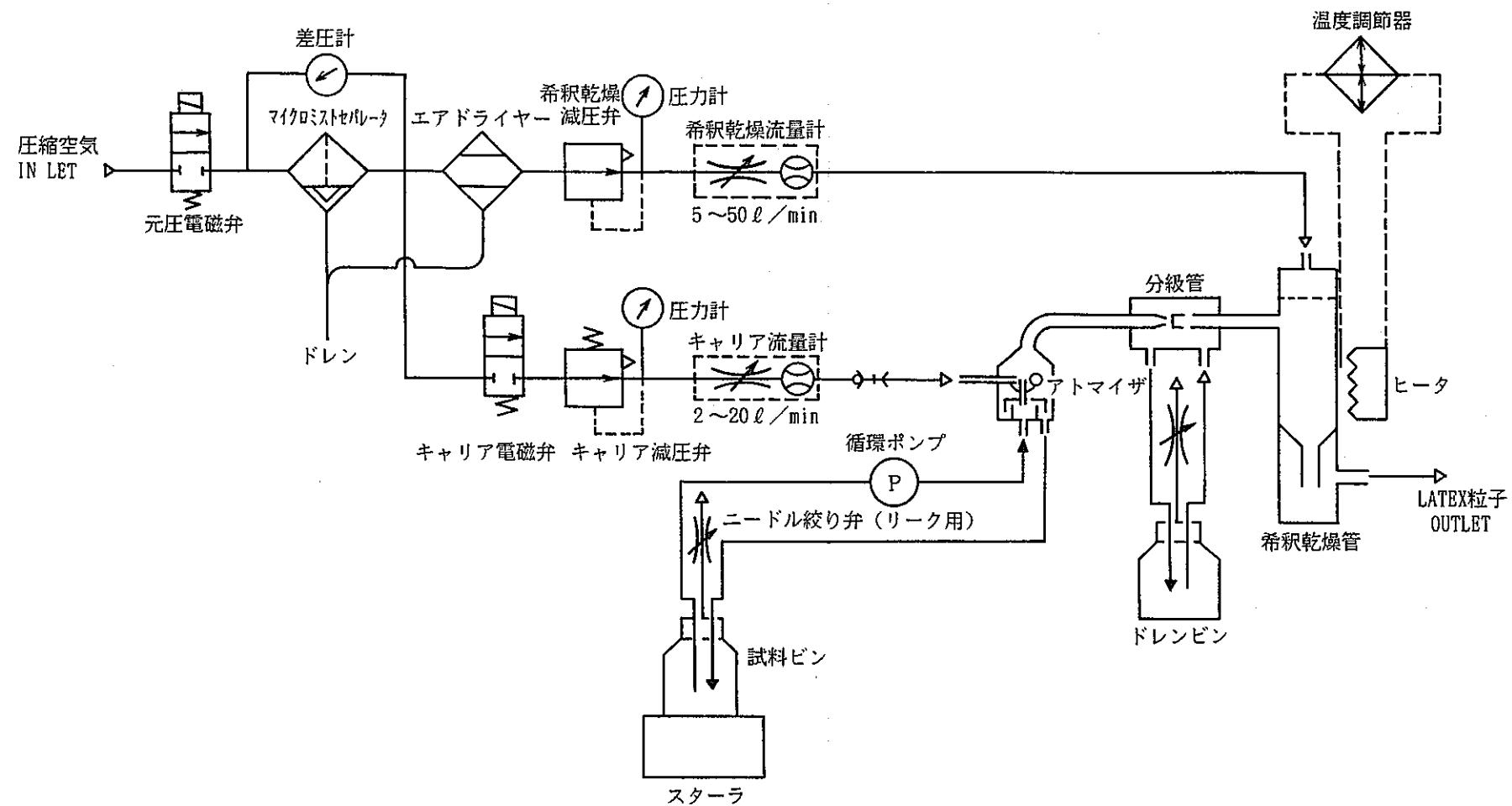


図19 ラテックス粒子発生装置フローシート

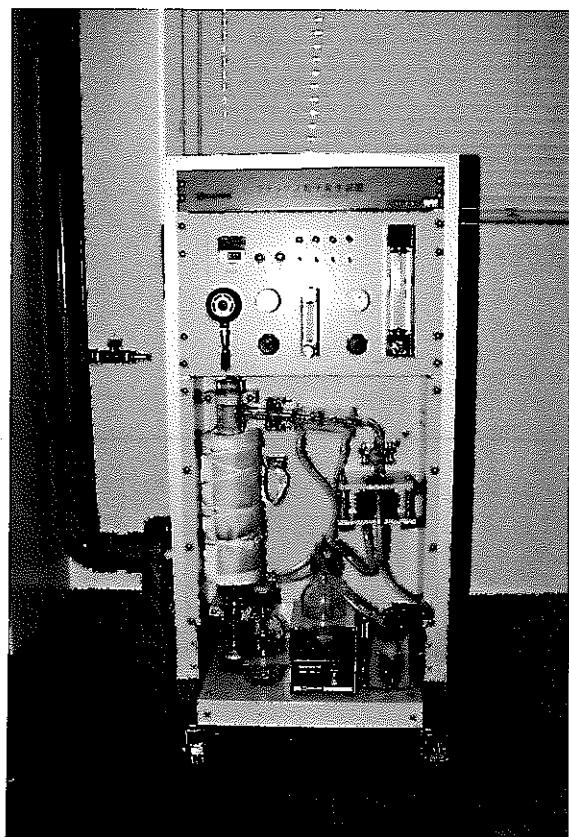


写真3 ラテックス粒子発生装置

4.1.4 排気設備基礎試験装置

1) 試験用ダクト

排気設備の総合捕集性能を評価する現場試験では、排気設備の上流側及び下流側からエアロゾルの代表的試料をサンプリングする事が重要である。

核燃料使用施設等においては、排気設備の構造、配置等が異なることからサンプリング方法について十分検討しておく必要がある。

以上のことから、排気設備の上流側及び下流側のサンプリング位置、ダクト内における試験エアロゾルの混合度についての基礎試験を行うため、直管、エルボ等からなる試験用ダクトを設計・製作した。

試験用ダクトの仕様を以下に示す。

(1) 採取口付直管

① 材質：SUS-304

② 寸法及び数量：

(a) $\phi 76^{0.0}$ mm × 300 ^L mm × 2 ^t mm	1本
(b) $\phi 76^{0.0}$ mm × 500 ^L mm × 2 ^t mm	1本

③ 採取口位置：一方のフランジ端から 100mm の位置

(2) 直 管

① 材質：SUS-304

② 寸法及び数量：

(a) $\phi 76^{0.0}$ mm × 160 ^L mm × 2 ^t mm	2本
(b) $\phi 76^{0.0}$ mm × 200 ^L mm × 2 ^t mm	2本
(c) $\phi 76^{0.0}$ mm × 390 ^L mm × 2 ^t mm	1本
(d) $\phi 76^{0.0}$ mm × 500 ^L mm × 2 ^t mm	2本

(3) エルボ

① 材質：SUS-304

② 寸法及び数量：

(a) $\phi 76^{0.0}$ mm × R110 mm × 2 ^t mm	8本
--	----

2) 密封交換型試験用ユニット

排気設備の総合捕集性能は、高性能エアフィルタの捕集性能だけでなく、フィルタ装着時のガスケットの締付け圧力、フィルタハウジング内のバイパスリーク等によっても大きく左右されることから、これらについての基礎資料を得ることは排気設備の性能評価技術を開発する上で重要である。

このことから、ガスケットの締付け圧力とリークの関係についての基礎試験、また、ハウジングのバイパスリークモデルによる基礎試験を行うため、密封交換型試験用ユニットを設計・製作し、整備した。

装置の外観を図20に示す。

本装置は、概設フィルタ性能試験装置の風量測定・調整部と組合せて使用することから、フィルタ性能試験装置の架台上に設置し、ハウジングの側面にはサンプリングノズル、フィルタ圧力損失測定口、リークモデル取付口が設けられている。高性能エアフィルタのフランジへの固定は、空気圧シリンダーで行い、締付け圧力を $0 \sim 3 \text{ kg f/cm}^2$ の範囲で任意に設定できるようになっている。

密封型交換型試験用ユニットの仕様を以下に示す。

(1) 密封交換型試験用ユニット

① 型式：密封交換式縦型

② 定格風量： $1.5 \text{ m}^3/\text{min}$

③ 段数：3段

1段目：プレフィルタ ($203^W \text{ mm} \times 203^H \text{ mm} \times 50^D \text{ mm}$)

2段目：HEPAフィルタ ($203^W \text{ mm} \times 203^H \text{ mm} \times 150^D \text{ mm}$)

3段目：HEPAまたはULPAフィルタ ($203^W \text{ mm} \times 203^H \text{ mm} \times 150^D \text{ mm}$)

④ 材質：SUS-304

⑤ 外径寸法： $400\text{mm}^W \times 550\text{mm}^H \times 400\text{mm}^D$

(2) 上流側ダクト

① ダクト形状及び数量：

採取口付直管 ($\phi 76^{O,D} \text{ mm} \times 1000^L \text{ mm} \times 2^T \text{ mm}$) 1本

エルボ ($\phi 76^{O,D} \text{ mm} \times R110 \text{ mm} \times 2^T \text{ mm}$) 1本

② 材質：SUS-304

(3) 下流側ダクト

① ダクト形状及び数量：

採取口付直管 ($\phi 76^{0.0}$ mm $\times 1000^L$ mm $\times 2^t$ mm)	1本
直 管 ($\phi 76^{0.0}$ mm $\times 390^L$ mm $\times 2^t$ mm)	1本

② 材 質：SUS-304

(4) 排気フィルタ

① プレフィルタ

外径寸法 : 203^W mm \times 203^H mm \times 50^D mm

定格風量 : 1.5 m³/min

捕集効率 : 90% 以上 (A F I 重量法による)

圧力損失 : 10 mm H₂O 以下

② H E P A フィルタ

外径寸法 : 203^W mm \times 203^H mm \times 150^D mm

定格風量 : 1.5 m³/min

捕集効率 : 99.97% 以上 (0.3 μm HOT-DOP 試験による)

圧力損失 : 25 mm H₂O 以下

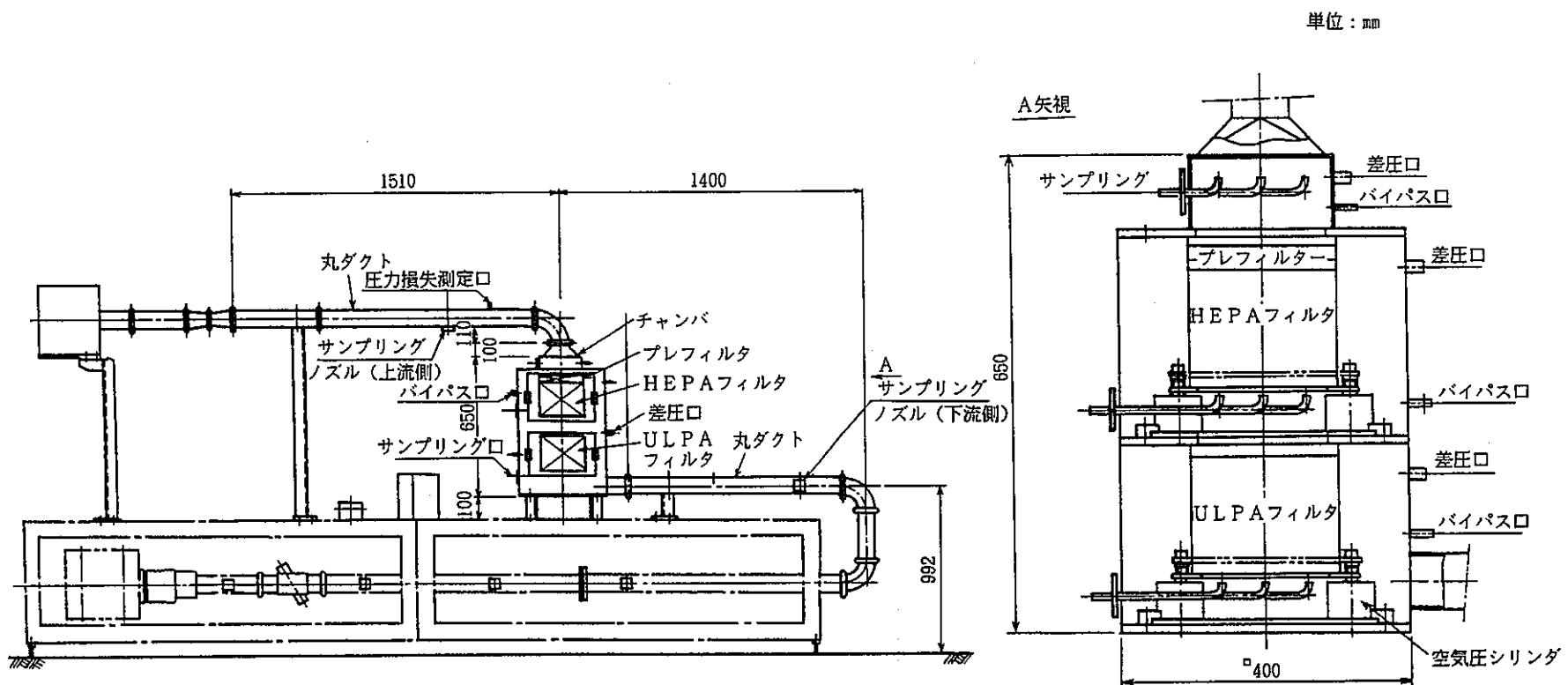
③ U L P A フィルタ

外径寸法 : 203^W mm \times 203^H mm \times 150^D mm

定格風量 : 1.5 m³/min

捕集効率 : 99.9995% 以上 (0.1 μm 粒子による)

圧力損失 : 25 mm H₂O 以下



4.2 フィルタ性能試験

フィルタ性能試験は、1) フィルタ圧力損失の測定、2) 捕集特性試験について実施した。

フィルタ圧力損失の測定は、フィルタ交換時期 ($\Delta P \geq 2 \times \text{初期値}$ 、 $\Delta P \geq 50 \text{ mmH}_2\text{O}$) 、負圧維持管理等において重要と考えられたことから、圧力損失と風量の関係の把握を目的として行った。

一方、捕集特性試験は、高性能エアフィルタの最も捕集性能の低下する粒径は、 $0.3 \mu\text{m}$ でなく、 $0.1 \mu\text{m}$ 付近に存在するとの報告もあることから、 $0.1 \mu\text{m}$ 付近の粒径別捕集特性を詳細に把握することを目的としている。

平成元年度は、基礎試験として、粒径範囲 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ を対象とした高性能エアフィルタの捕集特性試験を実施した。

試験は、排気設備に一般的に使用されているHEPAフィルタ、処理風量が多く省スペースに有効な多風量HEPAフィルタ、また、近年になって開発され、 $0.1 \mu\text{m}$ 粒子に対し、捕集効率 99.9995%以上という捕集性能が極めて高いULPAフィルタの、各3台について行った。

4.2.1 試験方法

1) フィルタ圧力損失の測定

フィルタ圧力損失の測定は、試験体をフィルタ性能試験装置に固定し、定格風量において約30分のプリフローを行った後、風量 $0.3 \sim 3.0 \text{ m}^3/\text{min}$ の範囲10点に対する圧力損失を微差圧計により測定した。

得られたデータをもとに圧力損失と風量の関係式を最小2乗法により求めた。

圧力損失と風量の関係は、(8)式で表すことができる。

$$\Delta P = a Q^b \quad \dots \quad (8)$$

ここで、

ΔP : フィルタ圧力損失 ($\text{mm H}_2\text{O}$)

Q : 風量 (m^3/min)

a : 定数

b : 定数

2) 捕集特性試験

試験装置のフローシートを図21、試験エアフィルタ及び試験装置を写真4に示す。

試験体をフィルタ性能試験装置に固定した後、定格風量に設定し、試験体上流側及び下流側のバックグランドをLPC・PHAで1~10分間測定し、 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の粒子数が1個/ ℓ 以下であることを確認した。

試験は、フィルタ性能試験装置を試験風量に設定し、“呼吸保護具性能評価法(V)”(PNC SN8530 87-01、1987)で報告されているNaCl粒子発生装置により、粒径 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の多分散エアロゾルを発生させ、フィルタ上流側が $10^6 \sim 10^7$ 個/ ℓ になるように試験濃度を調整した。

上流側濃度が安定した後、LPC・PHAにより試験体の上流側及び下流側濃度を測定した。なお、上流側は、LPCの最大計測濃度(2×10^6 個/ ℓ)を超えることから、希釈装置により300倍の希釈を行い測定した。

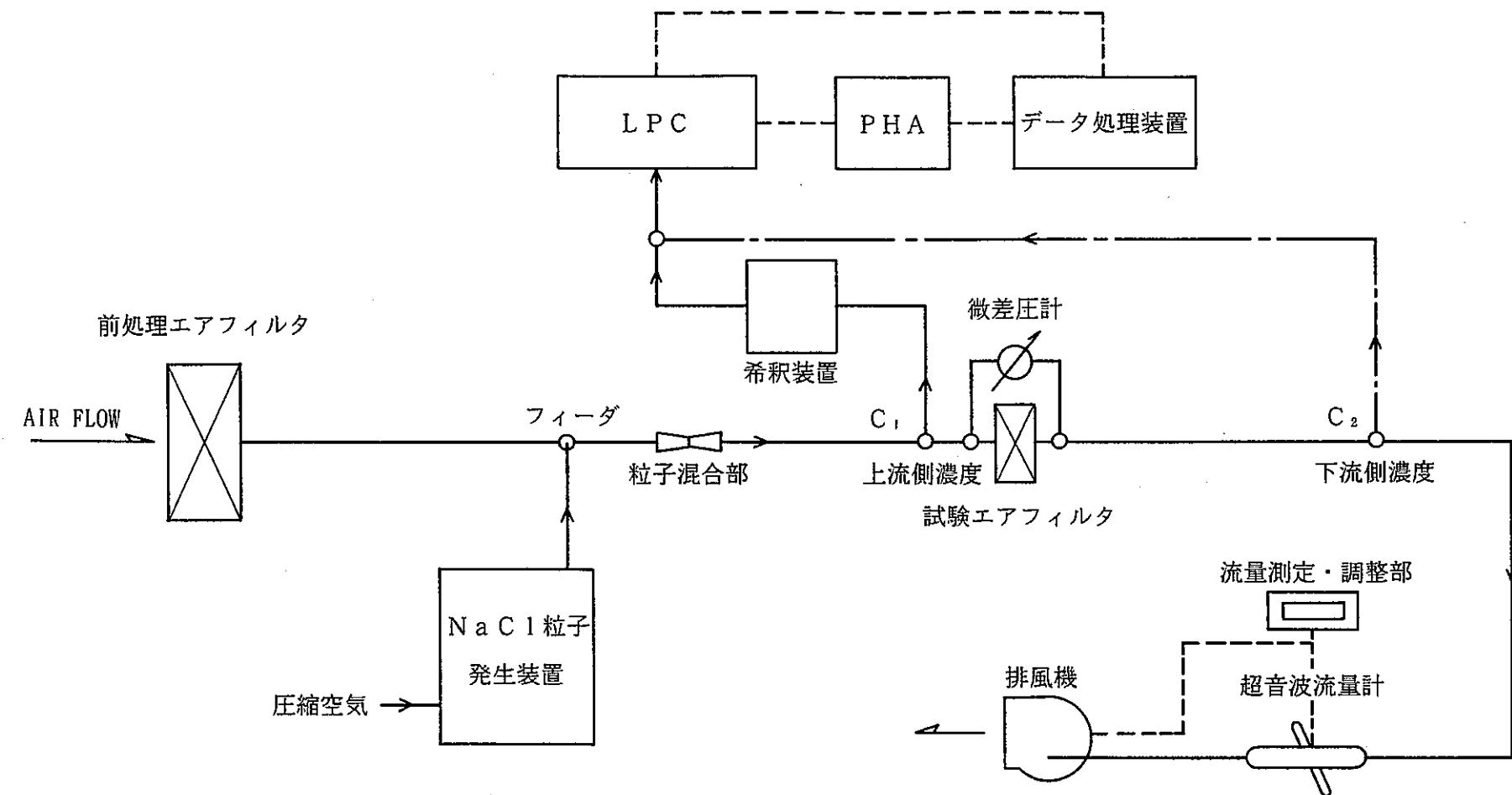


図21 試験装置フローシート（捕集特性試験）

試験条件を表2に示す。

本試験では、試験エアフィルタの捕集特性を除染係数DF(Decontamination Factor)により評価した。なお、DFは(9)式により求めた。

$$D\ F = C_1 / C_2 \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (9)$$

$$C_1 = D \times C_1' \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (10)$$

$$D = Q / q \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (11)$$

ここで、

D F : 除染係数 (-)

C₁ : 上流側濃度 (個/ℓ)

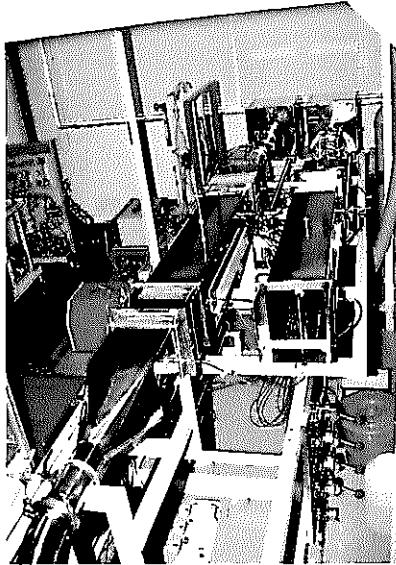
C₁' : C₁ 希釀後の上流側濃度 (個/ℓ)

C₂ : 下流側濃度 (個/ℓ)

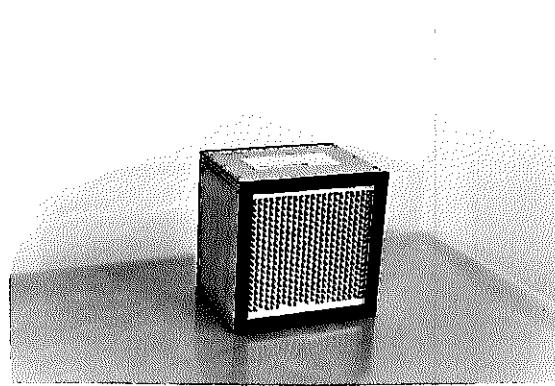
D : 希釀率 (-)

Q : 希釀装置全流量 (ℓ/min)

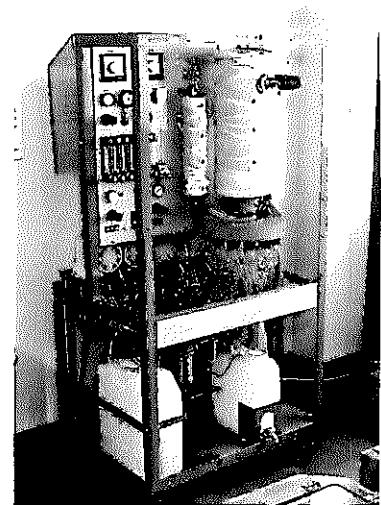
q : 希釀装置サンプリング流量 (ℓ/min)



フィルタ性能試験装置

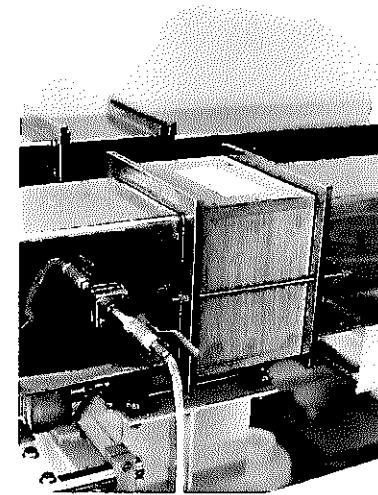


試験エアフィルタ

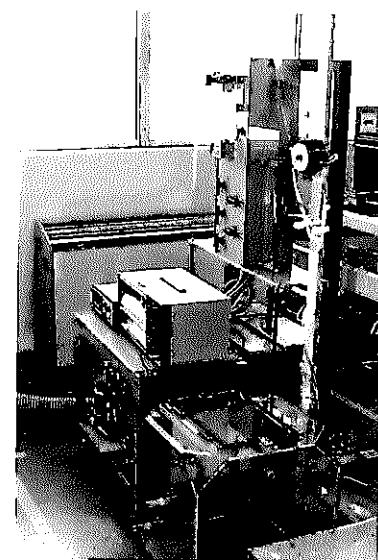


NaCl粒子発生装置

写真4 試験エアフィルタ及び試験装置



ダクトに固定した試験エアフィルタ



希釀装置

表2 試験条件(捕集特性試験)

試験エアフィルタ		フィルタ性能試験装置		NaCl粒子発生装置					希釈装置			レーザパーティクルカウンタ	
種類	定格風量 (m ³ /min)	定格風量に 対する倍率 (倍)	試験風量 (m ³ /min)	NaCl 溶液濃度 (wt %)	アトマイザ 使用本数 (本)	キャリア圧力 (kg/cm ²)	キャリア流量 (ℓ/min)	乾燥温度 (℃)	希釈倍率 (倍)	サンプリング 流量 (ℓ/min)	全流量 (ℓ/min)	上流側測定時間 (sec)	下流側測定時間 (sec)
HEPA フィルタ	1.5	0.2	0.30	10	2	2	19	150	300	0.3	90	60	2000
		0.4	0.60	"	2	"	19	"	"	"	"	"	600
		0.6	0.90	"	3	"	30	"	"	"	"	"	"
		0.8	1.20	"	4	"	41	"	"	"	"	"	"
		1.0	1.30	"	5	"	51	"	"	"	"	"	"
		1.5	2.25	"	6	"	61	"	"	"	"	"	"
		2.0	3.00	"	6	"	61	"	"	"	"	"	"
多風量HEPA フィルタ	2.2	0.2	0.44	10	2	2	19	150	300	0.3	90	60	2000
		0.4	0.88	"	3	"	30	"	"	"	"	"	600
		0.6	1.32	"	4	"	41	"	"	"	"	"	"
		0.8	1.76	"	5	"	51	"	"	"	"	"	"
		1.0	2.20	"	6	"	61	"	"	"	"	"	"
		1.4	3.08	"	6	"	61	"	"	"	"	"	"
ULPA フィルタ	1.3	0.2	0.26	10	2	2	18	150	300	0.3	90	60	2000
		0.4	0.52	"	3	"	30	"	"	"	"	"	600
		0.6	0.78	"	4	"	39	"	"	"	"	"	"
		0.8	1.04	"	5	"	50	"	"	"	"	"	"
		1.0	1.30	"	6	"	60	"	"	"	"	"	"
		1.5	1.95	"	10	"	99	"	"	"	"	"	"
		2.0	2.60	"	10	"	99	"	"	"	"	"	"

4.2.2 試験結果

1) フィルタ圧力損失と風量の関係

試験結果を表3及び図22に示す。

試験結果の比較・検討は、試験エアフィルタ3台の平均値により行った。

表3において、HEPAフィルタ、多風量HEPAフィルタ、ULPAフィルタの圧力損失は、圧力損失の性能基準により評価するとすべて $25\text{mmH}_2\text{O}$ 以下であり、基準値を十分満足していることがわかった。

本試験結果を基準としフィルタメーカーの測定結果と比較すると、全フィルタにおいて最大で±7%程度の差異がみられた。

また、定格風量において、HEPAフィルタの圧力損失を基準とし多風量HEPAフィルタと比較すると多風量HEPAフィルタは、約18%低くなっている圧力損失の性能については、このフィルタのほうが良いことがわかった。

一方、圧力損失と風量の関係式において、定数aはULPAフィルタが16.065と最も大きく、次にHEPAフィルタの14.416、多風量HEPAフィルタの7.656の順となっている。

定数bは、各フィルタとも1.1に近い値となっており、圧力損失は、風量に対し直線的に増加することがわかる（図22参照）。

また、相関係数rはほぼ1であることから、この関係式の相関は極めて良いと言える。

表3 フィルタ圧力損失測定結果

試験エアフィルタ		表 示 値		測 定 結 果			
種 類	フィルタ No.	定格風量 (m ³ /min)	定格風量の圧力損失 (mmH ₂ O)	定格風量の圧力損失 (mmH ₂ O)		圧力損失△Pと風量Qの関係式 [*] の 定数a、b及び相関係数r	
				実測値	平均値	実測値	平均値
HEPA フィルタ	1	1.5	23.0	22.5	22.6	a = 14.625 b = 1.075 r = 0.9998	a = 14.697 b = 1.074 r = 0.9998
	2	"	"	22.8		a = 14.759 b = 1.080 r = 0.9997	
	3	"	"	22.6		a = 14.708 b = 1.068 r = 0.9999	
多風量 HEPA フィルタ	1	2.2	19.5	18.5	18.3	a = 7.776 b = 1.104 r = 0.9996	a = 7.656 b = 1.109 r = 0.9996
	2	"	"	18.2		a = 7.593 b = 1.114 r = 0.9996	
	3	"	"	18.1		a = 7.601 b = 1.109 r = 0.9995	
ULPA フィルタ	1	1.3	20.0	21.3	21.2	a = 16.114 b = 1.066 r = 0.9999	a = 16.065 b = 1.065 r = 0.9999
	2	"	"	21.1		a = 16.014 b = 1.064 r = 0.9999	
	3	"	"	21.1		a = 16.068 b = 1.065 r = 0.9999	

$$* \Delta P = a \times Q^b$$

ΔP : フィルタ圧力損失 (mmH₂O)

Q : 風 量 (m³/min)

a、b : 定 数

r : 相関係数

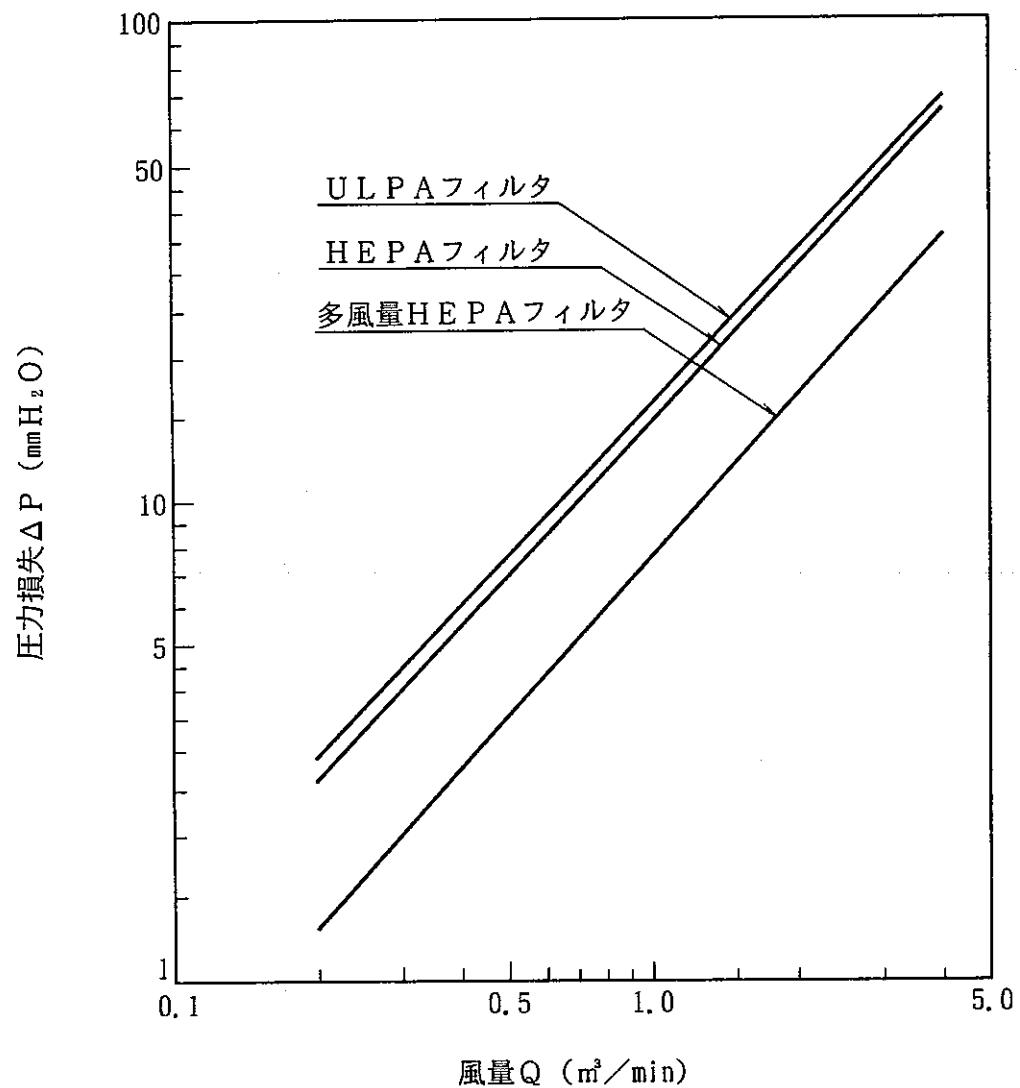


図22 圧力損失 ΔP と風量 Q の関係

2) 捕集特性試験

捕集特性試験は、基礎試験として実施し、NaCl多分散エアロゾルを用い粒径 0.1 ~ 0.5 μmについてフィルタ捕集特性を評価した。

本試験に用いたエアロゾルの粒径分布を図23に示す。図23より粒径分布は対数正規分布となっており、CMD 0.19 μm、 σ_g 1.74であった。

捕集特性試験は、HEPAフィルタ、多風量HEPAフィルタ、ULPAフィルタの各3台について実施した。また、粒径別DFの評価は、平均値により行った。

試験風量 0.3~3.0 m³/min におけるHEPAフィルタの試験結果を表4及び図24に示す。

表4において、試験風量 0.3~3.0 m³/min の範囲では風量が増加するに従って最小のDFは、 8.39×10^5 から 9.02×10^3 へと約2桁低下し、また、DFの最小となる粒径は、0.23 μmから0.13 μmへと小さくなっている。

定格風量 1.5 m³/min では、0.16 μmにおいて最小となり、その値は 1.51×10^4 となっている。また、定格風量においてHEPAフィルタの性能評価基準である 0.3 μm粒子に着目すると、DFは、 1.43×10^5 であり、最小のDFより約1桁高くなっている。

図24は、試験風量をパラメータにとりDFと粒径の関係を示したものである。

HEPAフィルタの粒径別捕集特性は、DFの最小値が存在する曲線になり、風量と共に変化することを示している。

多風量HEPAフィルタの粒径別捕集特性は、定格風量 2.2 m³/min において試験した結果、HEPAフィルタと同様の曲線となり、0.3 μm粒子に対する捕集性能は基準値を十分満足しているが、DFの最小となる粒径に対しては基準値付近であるという結果が得られた。

多風量HEPAフィルタについては、より信頼性の高い測定評価を行っていくため、引き続きデータの蓄積を図っていく必要がある。

ULPAフィルタについて、定格風量 1.3 m³/min で行った試験結果を表5及び図25に示す。

表5では、ULPAフィルタのDFの最小となる粒径は0.16 μm、最小のDFは 1.1×10^6 となっている。

ULPAフィルタとHEPAフィルタを比較すると、DFの最小となる粒径は、ほぼ一致しており、最小のDFはHEPAフィルタより約2桁高い値となっている。

図25より、ULPAフィルタの粒径別捕集特性はHEPAフィルタと同様の曲線となり、DFはHEPAフィルタより全体的に高く、極めて高性能であることを示している。

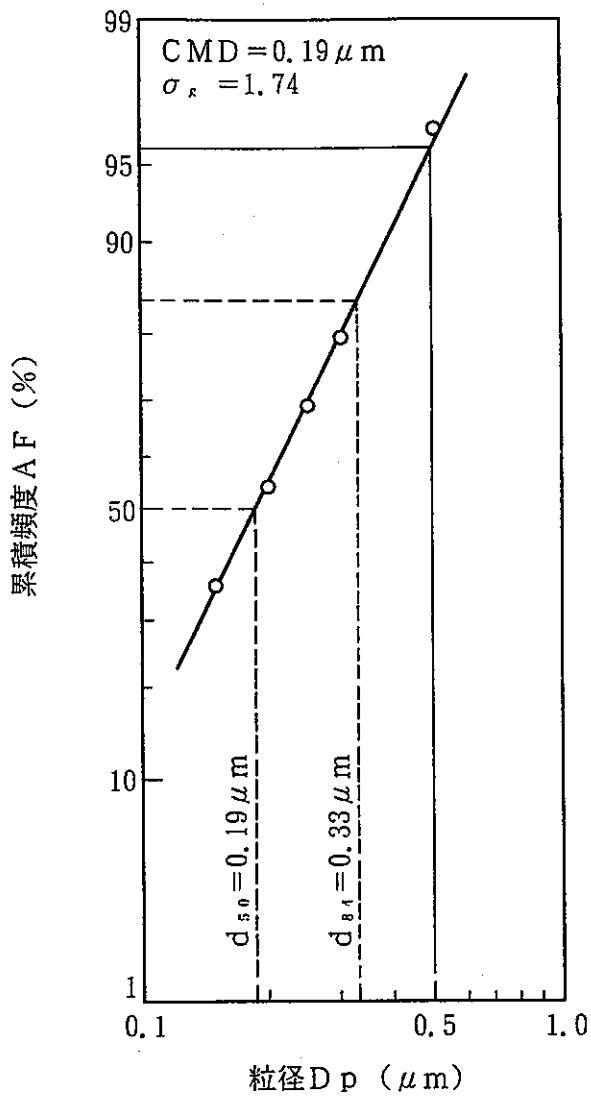
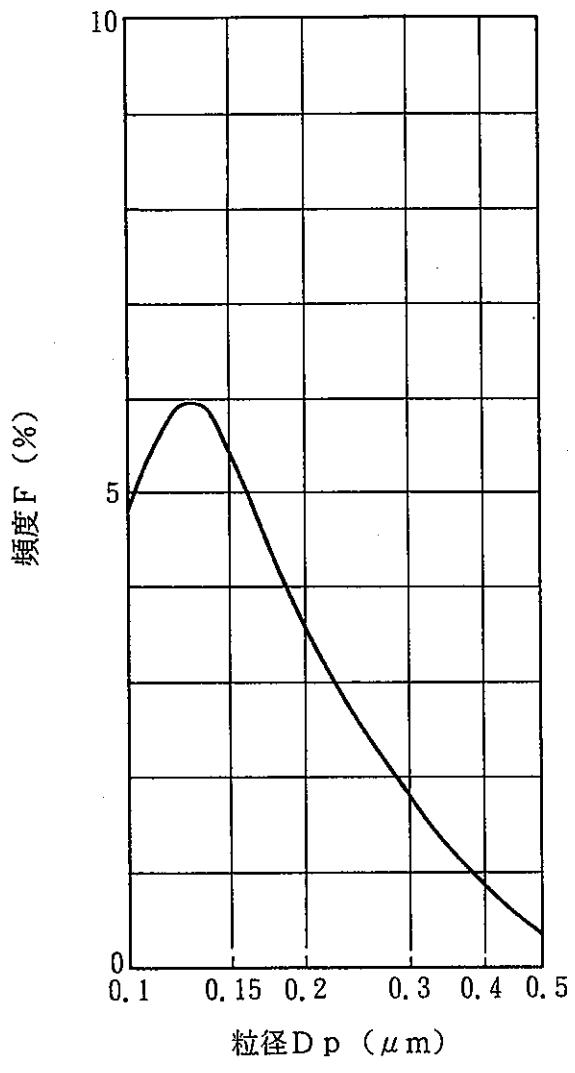


図23 NaCl粒子の粒径分布

表4 H E P A フィルタの捕集特性測定結果

風量 (m ³ /min)	フィルタ 番号	粒径別 D F				D F の最小値	
		0.10 μm	0.15 μm	0.20 μm	0.30 μm	粒径(μm)	D F
0.30	No. 1	2.67×10 ⁷	1.39×10 ⁶	0.67×10 ⁶	1.04×10 ⁶	0.22	6.17×10 ⁵
	No. 2	4.65×10 ⁷	2.78×10 ⁶	1.41×10 ⁶	1.67×10 ⁶	0.24	11.3 ×10 ⁵
	No. 3	6.12×10 ⁷	2.39×10 ⁶	0.96×10 ⁶	1.36×10 ⁶	0.24	7.71×10 ⁵
	平均	4.48×10 ⁷	2.19×10 ⁶	1.01×10 ⁶	1.36×10 ⁶	0.23	8.39×10 ⁵
0.60	No. 1	0.99×10 ⁶	1.06×10 ⁵	0.81×10 ⁵	3.51×10 ⁵	0.19	0.78×10 ⁵
	No. 2	1.86×10 ⁶	2.44×10 ⁵	1.73×10 ⁵	5.31×10 ⁵	0.22	1.71×10 ⁵
	No. 3	1.90×10 ⁶	1.84×10 ⁵	1.21×10 ⁵	3.58×10 ⁵	0.19	1.16×10 ⁵
	平均	1.58×10 ⁶	1.78×10 ⁵	1.25×10 ⁵	4.13×10 ⁵	0.20	1.22×10 ⁵
0.90	No. 1	0.82×10 ⁵	3.16×10 ⁴	4.16×10 ⁴	2.69×10 ⁵	0.16	3.14×10 ⁴
	No. 2	2.38×10 ⁵	4.87×10 ⁴	4.99×10 ⁴	2.08×10 ⁵	0.17	4.36×10 ⁴
	No. 3	2.13×10 ⁵	4.14×10 ⁴	4.05×10 ⁴	1.91×10 ⁵	0.18	3.57×10 ⁴
	平均	1.78×10 ⁵	4.06×10 ⁴	4.40×10 ⁴	2.23×10 ⁵	0.17	3.69×10 ⁴
1.20	No. 1	3.78×10 ⁴	1.65×10 ⁴	2.35×10 ⁴	1.72×10 ⁵	0.15	1.64×10 ⁴
	No. 2	7.98×10 ⁴	2.17×10 ⁴	2.52×10 ⁴	1.40×10 ⁵	0.16	2.08×10 ⁴
	No. 3	5.67×10 ⁴	1.85×10 ⁴	2.29×10 ⁴	1.13×10 ⁵	0.16	1.80×10 ⁴
	平均	5.81×10 ⁴	1.89×10 ⁴	2.39×10 ⁴	1.42×10 ⁵	0.16	1.84×10 ⁴
1.50 (定格)	No. 1	2.50×10 ⁴	1.25×10 ⁴	2.12×10 ⁴	1.45×10 ⁵	0.15	1.25×10 ⁴
	No. 2	4.62×10 ⁴	1.70×10 ⁴	2.34×10 ⁴	1.48×10 ⁵	0.16	1.67×10 ⁴
	No. 3	4.38×10 ⁴	1.61×10 ⁴	2.19×10 ⁴	1.35×10 ⁵	0.16	1.60×10 ⁴
	平均	3.83×10 ⁴	1.52×10 ⁴	2.22×10 ⁴	1.43×10 ⁵	0.16	1.51×10 ⁴
2.25	No. 1	1.17×10 ⁴	0.82×10 ⁴	1.81×10 ⁴	2.49×10 ⁵	0.13	0.77×10 ⁴
	No. 2	2.42×10 ⁴	1.35×10 ⁴	2.77×10 ⁴	3.71×10 ⁵	0.14	1.30×10 ⁴
	No. 3	2.03×10 ⁴	1.13×10 ⁴	2.22×10 ⁴	3.23×10 ⁵	0.14	1.10×10 ⁴
	平均	1.87×10 ⁴	1.10×10 ⁴	2.27×10 ⁴	3.14×10 ⁵	0.14	1.06×10 ⁴
3.00	No. 1	0.89×10 ⁴	0.85×10 ⁴	2.44×10 ⁴	5.94×10 ⁵	0.12	7.04×10 ³
	No. 2	1.73×10 ⁴	1.11×10 ⁴	2.98×10 ⁴	5.40×10 ⁵	0.13	10.1 ×10 ³
	No. 3	1.44×10 ⁴	1.18×10 ⁴	3.26×10 ⁴	5.95×10 ⁵	0.13	9.92×10 ³
	平均	1.35×10 ⁴	1.05×10 ⁴	2.89×10 ⁴	5.76×10 ⁵	0.13	9.02×10 ³

表5 U L P A フィルタの捕集特性測定結果

風量 (m ³ /min)	番号	粒径別 D F				D F の最小値	
		0.10 μm	0.15 μm	0.20 μm	0.30 μm	粒径(μm)	D F
1.30	No. 1	5.94×10^6	0.99×10^6	1.36×10^6	0.91×10^7	0.16	0.93×10^6
	No. 2	3.59×10^6	1.33×10^6	1.73×10^6	1.89×10^7	0.15	1.31×10^6
	No. 3	6.14×10^6	1.13×10^6	1.39×10^6	1.02×10^7	0.16	1.05×10^6
	平均	5.22×10^6	1.15×10^6	1.49×10^6	1.27×10^7	0.16	1.10×10^6

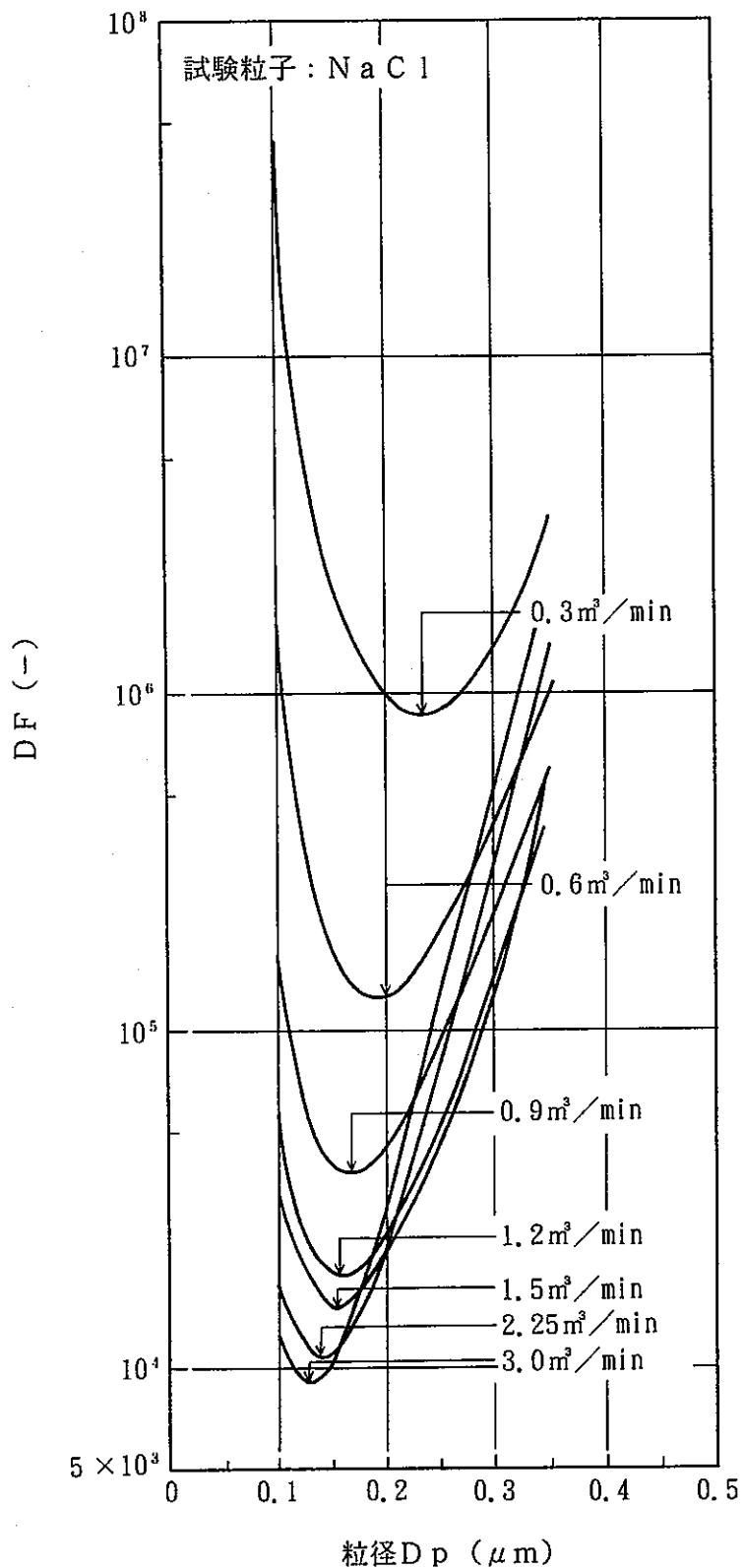


図24 H E P A フィルタの捕集特性

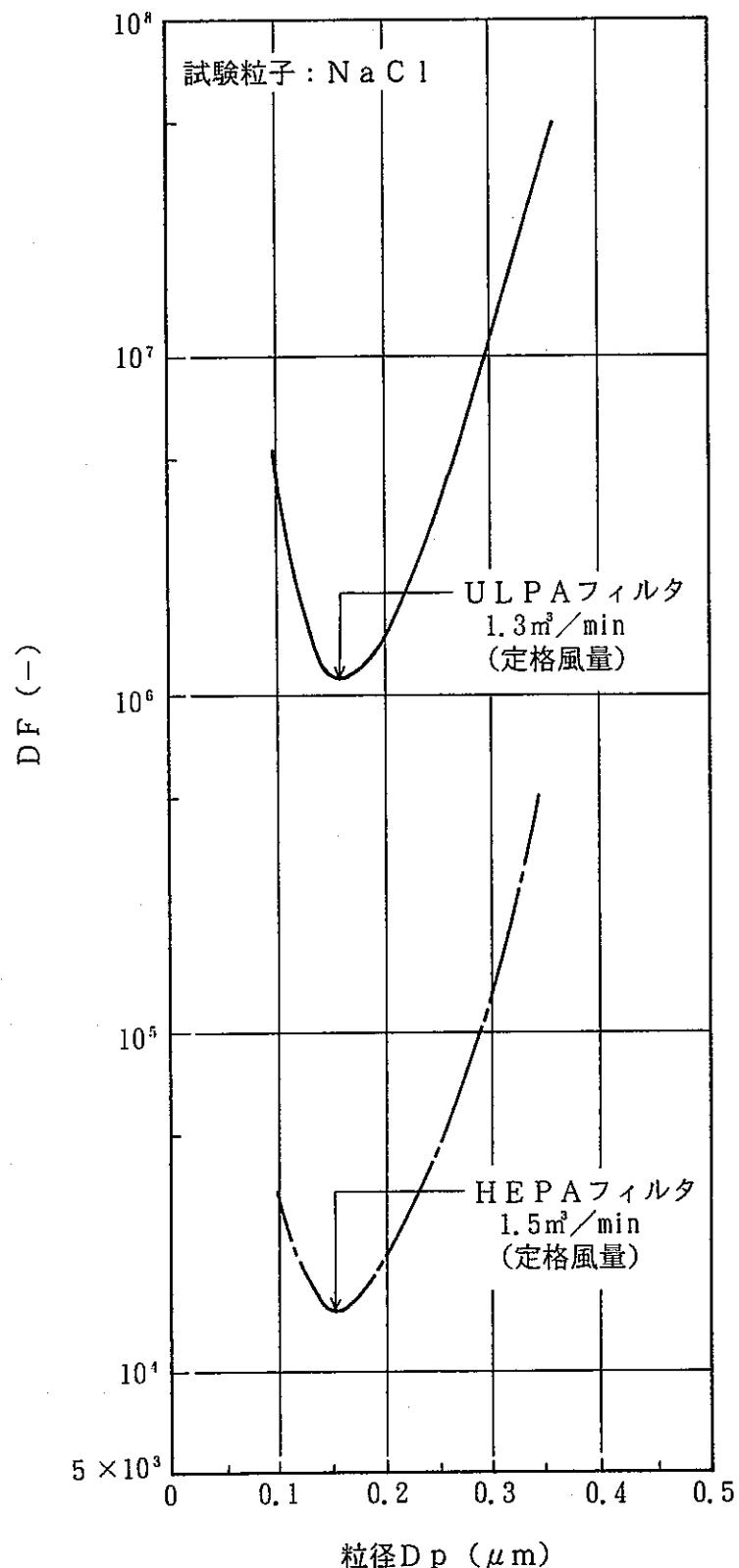


図25 U L P A フィルタの捕集特性

4.3 現場試験実施状況に関する調査

東海事業所で現在行われている現場試験の実施状況を把握するため、排気設備の種類、現場試験実施の有無、現場試験法等について調査を行った。この結果を表6に示す。

現場試験は、15施設中の4施設で行われており、排気設備の種類別にみると密封交換型の2施設、バンク型の2施設で行われているのに対し、セルフコンテンド型は、行われておらず、全体的には実施している施設は少ないのが実状であった。

表 6 東海事業所における現場試験の実施状況

施設名	項目 排気設備の 種類	現場試験 実施の有無 (現在)	現在行っている現場試験の試験方法及び現場試験設備の状況				
			試験方法	試験粒子	測定装置	試験粒子混入法	試験粒子採取法
再処理工場	密封交換型	有	COLD DOP	DOP * ¹	光散乱法 * ²	混入管より	サンプリング管より
C P F	密封交換型	有	COLD DOP	DOP * ¹	光散乱法 * ²	混入管より	サンプリング管より
A 棟	バンク型	無	—	—	—	—	—
B 棟	セルフコンテンド型	無	—	—	—	—	—
応用試験棟	バンク型	無	—	—	—	—	—
ウラン濃縮施設	バンク型	有	COLD DOP	DOP * ¹	光散乱法 * ²	換気口より	サンプリング管より
Pu燃第一開発室	セルフコンテンド型	無	—	—	—	混入管あり	—
Pu燃第二開発室	セルフコンテンド型	無	—	—	—	混入管あり	サンプリング管あり
Pu燃第三開発室	セルフコンテンド型	無	—	—	—	混入管あり	サンプリング管あり
P W T F	セルフコンテンド型	無	—	—	—	—	—
P W S F	セルフコンテンド型	無	—	—	—	—	—
洗濯場	バンク型	無	—	—	—	—	—
焼却場	密封交換型	無	—	—	—	—	—
安全管理棟	バンク型	無	—	—	—	—	サンプリング管あり
安全管理別棟	バンク型	有	COLD DOP	DOP * ¹	光散乱法 * ²	換気口より	サンプリング管より

* 1 : 0.3 μm以上のDOP (ROYCO製スモーク発生装置を使用)

* 2 : 光散乱粒子測定器を使用

5. まとめ

これまでに行った試験装置の整備、フィルタ性能試験について要約すると以下のようになる。

1) 試験装置の整備

- (1) 高性能エアフィルタの捕集特性試験を実施するため、風量 $0.3 \sim 3.0 \text{ m}^3/\text{min}$ の範囲において任意の試験風量で試験が行え、さらに、フィルタ圧力損失の測定ができるフィルタ性能試験装置を設計・製作し整備した。
- (2) 粒径 $0.01 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の粒子濃度を測定するため、静電式エアロゾル分級器・凝縮核測定器及びレーザパーティクルカウンタ・波高分析器により構成される粒子測定装置を整備した。
- (3) $0.1 \mu\text{m}$ 以下の粒子発生技術を開発するため、蒸発凝縮法による、電気炉を用いた NaC1 粒子発生装置を試作し、基礎試験を行った結果、 $0.1 \mu\text{m}$ 以下の粒子の発生を確認した。
本試験結果を踏まえ、レーザ極微粒子発生装置の設計・製作を進めた。
- (4) 現場試験条件についての基礎資料を得るため、試験用ダクト、密封交換型試験用ユニットを設計・製作し排気設備基礎試験装置を整備した。

2) フィルタ性能試験

- (1) HEPA フィルタ（定格風量 $1.5 \text{ m}^3/\text{min}$ ）、多風量HEPA フィルタ（定格風量 $2.2 \text{ m}^3/\text{min}$ ）、ULPA フィルタ（定格風量 $1.3 \text{ m}^3/\text{min}$ ）の圧力損失は、風量の増加と共に直線的に上昇し、定格風量では、基準値 $25 \text{ mmH}_2\text{O}$ 以下を満足していることを確認した。
- (2) HEPA フィルタのNaC1 粒子に対する捕集特性は、粒径 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ において、定格風量では、 $0.15 \mu\text{m}$ 付近に DF の最小値が存在し、最小の DF は、約 1.5×10^4 であった。
- (3) ULPA フィルタのNaC1 粒子に対する捕集特性は、粒径 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ において、定格風量では、 $0.15 \mu\text{m}$ 付近に DF の最小値が存在し、最小の DF は、約 1.1×10^6 であった。
HEPA フィルタと比較すると、DF の最小となる粒径はほぼ一致しており、最少の DF は、HEPA フィルタより約 2 枠高く、極めて高性能のフィルタであることを確認した。

6. 今後の課題

フィルタ性能評価技術を高めていく上で、今後の課題としては、以下のことがあげられる。

(1) フィルタ性能試験は、今までに開発してきた試験技術の試行に重点をおいた基礎試験であったため、試験粒子は、1種類、また、試験エアフィルタは、代表的フィルタメーカー1社について実施した。したがって、本試験では、高性能エアフィルタの基本的捕集特性の把握にとどまり、試験粒子及びフィルタメーカーの違い等、捕集特性についての総合的な評価については行えなかった。

このことから、今後のフィルタ性能試験では、試験粒子としてNaClの固体粒子だけでなく、DOP等の液滴粒子も用い、また、試験エアフィルタも代表的メーカー数社について実施し、高性能エアフィルタの総合的、かつ、信頼性の高い基礎データの蓄積を図っていく必要がある。

(2) 発生技術の開発項目であるレーザ極微粒子発生装置については、本体の製作もさることながら、レーザ取扱いに係る安全性の確保についても十分配慮していく必要がある。

(3) 現場試験装置の開発については、装置の基本設計を行う上で、排気設備の構造や設置状態を把握しておくことが重要であることから、排気設備の現場調査をさらに押し進めていく必要がある。

7. 謝 辞

開発試験計画の立案に際し、有益な助言を戴いた千代田保安用品㈱狐塚正夫氏に本紙面を借りて謝意を表します。

8. 別添資料

1) 超音波流量計の測定原理

(1) 流速の測定原理

静止気体中の超音波の伝播速度Cは、気体の種類、温度、圧力が定まれば一定値となるが気体が流動するとその流向と流速に対応して変化する。

例えば、流れの向きと超音波の伝播方向が順方向であれば伝播速度は、流速分だけ増加し、逆方向であれば流速分だけ減少する。

図1のように、管壁に超音波送受波器（プローブ）を、互いに向い合せにして斜めに取り付け、交互に繰り返してパルスを送受信させた場合、ガス体の流れに対して順方向の伝播時間を t_1 、逆方向の伝播時間を t_2 とし、気体の流速Vとの関係を求めるとき(3)式のようになる。

$$t_1 = \frac{L}{C + V \cos \theta} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$t_2 = \frac{L}{C - V \cos \theta} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2)$$

(1)、(2)式より

$$V = \frac{L}{2 \cos \theta} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (3)$$

ここで、

V : 流速 (m/sec)

L : 送受波器間の距離 (m)

θ : 超音波伝播軸と管の中心軸とがなす角度 ($^{\circ}$)

C : 静止気体中の超音波の伝播速度 (m/sec)

(2) 流速～流量の換算

流量は管の断面平均流速に断面積を乗じて求めることができるが、超音波流量計で測定される流速は、超音波の伝播軸（測線）の線平均流速であり、断面平均流速に換算する必要がある。この換算式は Prandtlの速度分布方程式によって(4)式の通りとなる。

$$\bar{V} = V \times \left(\frac{1}{1 + 0.01 \sqrt{6.25 + 431 Re^{-0.237}}} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

ここで、

\bar{V} : 断面平均流速 (m/sec)

V : 超音波流量計で測定された線平均流速 (m/sec)

Re : レイノルズ数

気体の流量換算の場合、温度、圧力の影響を補正する必要がある。この補正式は、Boyle - Charles の法則により(5)式の通りとなる。

$$Q_0 = 3600 \times \bar{V} \times S \times \frac{T_0 \times P}{T \times P_0} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

ここで、

Q_0 : 流量 ($N m^3/hr$)

\bar{V} : 断面平均流速 (m/sec)

S : 管の断面積 (m^2)

T_0 : 標準状態の流体温度 ($^{\circ} K$)

T : 使用状態の流体温度 ($^{\circ} K$)

P_0 : 標準状態の流体圧力 ($mm H_2O$ abs)

P : 使用状態の流体圧力 ($mm H_2O$ abs)

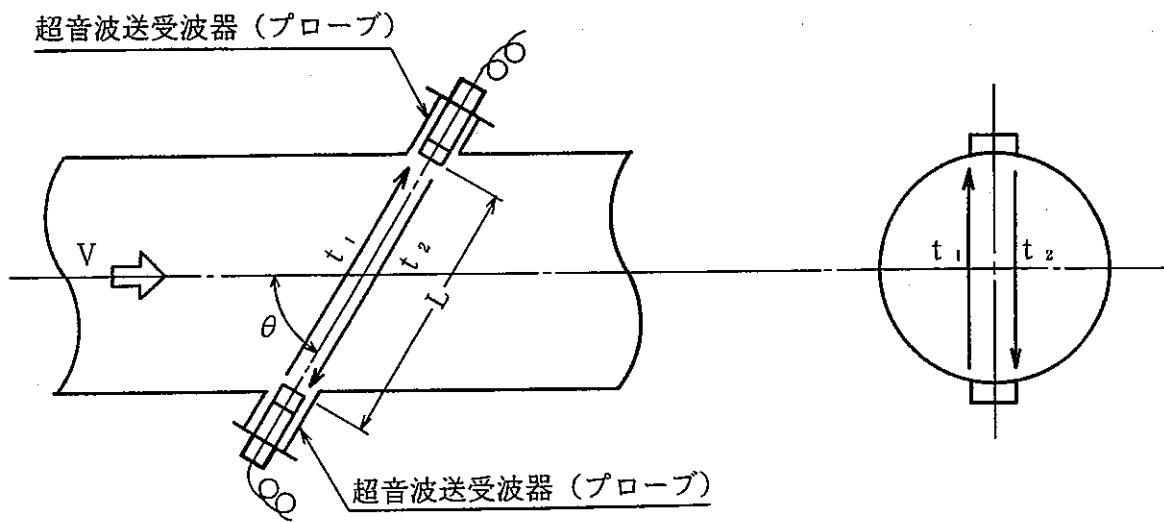


図1 超音波流量計の測定原理

参考文献

- 1) J I S Z 4 8 1 2 - 1 9 7 5 放射性エアロゾル用高性能エアフィルタ
- 2) J I S Z 8 1 2 2 - 1 9 8 8 コンタミネーションコントロール用語
- 3) M I L - F - 5 1 0 6 8 - E Filter, Particulate, High-Efficiency, Fire Resistant
- 4) M I L - S T D - 2 8 2 Filter Units, Protective Clothing Gas Mask Components And Related Products, Performance Test Methods
- 5) A N S I N 5 1 0 - 1 9 8 0 Testing of Nuclear Air-Cleaning Systems
- 6) 木谷 進 他：核燃料施設用高性能エアフィルタの安全性に関する試験研究－2段設置時の性能試験：昭和55年度原子力平和利用委託研究（1981）
- 7) 尾崎 誠、金川 昭：高性能エアフィルタの苛酷時健全性試験（I）：原子力誌、27〔7〕、626（1985）
- 8) 加藤 仁三 他：多段HEPAフィルターの空気中の微粒子（特にPu微粒子）捕集効率に関する文献調査、N 8 4 3 - 7 8 - 0 4
- 9) 関 昭雄、春田 秀人 他：呼吸保護具性能評価法（V）、P N C S N 8 5 3 0 8 7 - 0 1
- 10) 社団法人日本空気清浄協会高性能エアフィルタ現場試験法専門委員会：核燃料施設における高性能エアフィルタの現場試験法に関する指針 J A C A №23、空気清浄、182(27・4)、1(1990)
- 11) 木下 瞳 他：プルトニウム核燃料施設におけるDOPを用いたHEPAフィルター現場テスト、S N 8 4 1 - 7 1 - 0 9
- 12) 関 昭雄、江花 稔 他：HEPAフィルタ現場試験法 現場調査と試験法の検討、S N 8 4 1 - 8 0 - 5 6
- 13) ウィリアムC. ハインズ 著：エアロゾルテクノロジー
- 14) 高橋 幹二 著：基礎エアロゾル工学、養賢堂
- 15) 諫早 典夫、中江 茂、平沢 紘介 編：空気清浄のための浮遊微粒子の計測・制御総合技術、R & D プランニング