

除いて、通過は観察されず、発生したナノ粒子に対する捕集性能が確認されたと考える。区分 RL2、RL1 の場合、フィルターを通過した粒子の個数は発生粒子と比較してかなり少量であったことから発生粒子はほぼ捕集されていたと考えられる。

図 3.2.18 については、メカニカルフィルターの最も捕集されにくいとされる粒径が約 300nm であるため、約 300nm の凝集体の通過が多く観察されたと考えられる。

#### (2) 二酸化チタン

図 3.2.19 より、粒度分布では、約 150~200nm にピークがあり、試料は平均粒径約 50nm であるので、主に凝集体が多く発生していたと考えられる。図 3.2.20、図 3.2.21 より、FE-SEM 観察においても約 200nm や約 100nm 以下の凝集体も観察された。区分 RL3、PL100 のフィルターの場合、通過した粒子が少量確認された S4N を除いて、通過は確認されず、発生したナノ粒子に対する捕集性能が確認できたと考える。区分 RL2、RL1 の場合、フィルターを通過した粒子の個数は発生粒子と比較してかなり少量であったことから、このような発生粒子もほぼ捕集していたと考えられる。図 3.2.25 より、メカニカルフィルターの最も捕集効率が悪いとされる粒径が約 300nm であるため、約 300nm の凝集体の通過が比較的多く確認されたと考える。

#### (3) 多層カーボンナノチューブ

図 3.2.26 より、ほぼ単分散の状態が発生していたと考えられる。全フィルターについて、通過粒子は観察されず、表 3.2.11 に示す発生濃度では、国家検定区分に関係なくどのフィルターにおいても、多層カーボンナノチューブに対して有効である事が確認できた。繊維状の形状を持つナノ材料は、球形粒子に比べて、フィルターに捕集されやすい事が示唆される。

#### (4) 銀ナノ粒子

FE-SEM 観察より、検討試料の単粒子の粒径はばらつきが見られるが、約 40~50nm が多く観察された。粒度分布では、約 40nm にピークがあり、図 3.2.29 の FE-SEM 観察画像では単粒子と約 500nm 以下の凝集体が観察された。区分 PL100 の V3 と RL3 の T4 の場合、粒子の通過は確認されず、発生粒子に対する有効性が示せた。その他の全フィルターでは、粒子の通過が確認されたが、発生粒子と比較するとかなり少量であった。約 100nm の凝集体の通過が観察された。

また、約 300nm の凝集体の通過が観察されたのは、ラテックス粒子、二酸化チタン同様、メカニカルフィルターの捕集特性によるものであると考える。

### 3.2.3 防じんマスクフィルター通過粒子測定試験

通過粒子が確認された防じんマスクフィルターについて、WPS と CPC を用いて通過粒子の粒度分布と個数濃度の測定を行い、防じんマスクフィルターの捕集効率を算出した。

#### (1) 試験フィルター

前節で、各検討試料において通過粒子が確認された防じんマスクフィルターについて検討を行った。それを、表 3.2.13 に示す。検討試料は、前節と同様である。多層カーボンナノチューブについては、全フィルターにおいて通過粒子が確認されなかったため、検討は行わない事とした。

表 3.2.13 検討フィルター

検討試料	防じんマスクフィルター 品番		
	RL3	RL2	RL1
ポリスチレン ラテックス粒子	S4N	C2, R2, U2, L2W, U2W, P2W	R1, L
二酸化チタン	S4N	C2, R2, U2, L2W, U2W, P2W	R1, L
銀ナノ粒子	S4N, N3, L4N	C2, R2, U2, L2W, U2W, P2W	R1, L

(2) 実験方法

実験装置概略図を図 3.2.35 に示す。各防じんマスクフィルターを直径 25mm の円形に切り取り、ディスポーサブルサンプラーに装着し、アトマイザー発生部、CPC(No. 1, No. 2)、WPS を図 3.2.35 のように接続する。超音波分散法により各検討試料を発生させ、CPC(No. 1)で防じんマスクフィルター通過前濃度として発生粒子の個数濃度を、CPC(No. 2)で防じんマスクフィルター通過後濃度として通過粒子の個数濃度を測定し、式(3.2.2)より捕集効率を算出した。WPS に関しては、通過粒子の粒度分布を測定し、防じんマスクフィルターを装着しない状態で測定した発生粒子の粒度分布から式(3.2.2)より、粒径ごとの捕集効率を算出した。実験風景を図 3.2.36 に示す。

$$\text{捕集効率}[\%] = \frac{(\text{通過前個数濃度} - \text{通過後個数濃度})}{\text{通過前個数濃度}} \times 100 \quad (3.2.2)$$

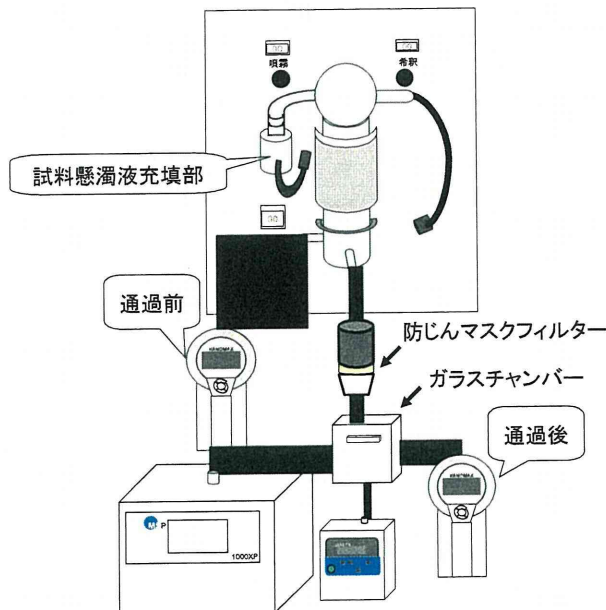


図 3.2.35 実験概略図

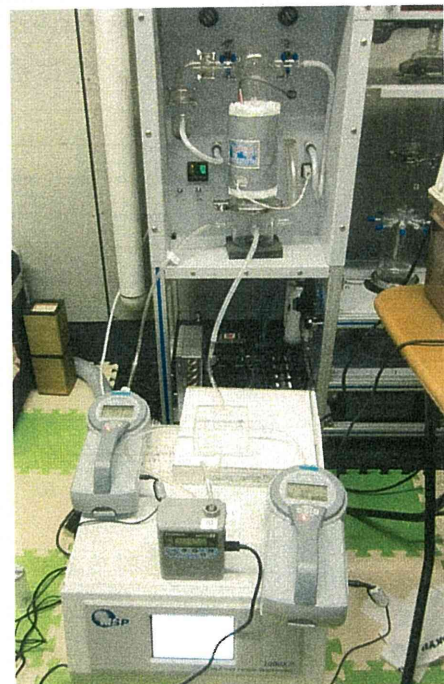


図 3.2.36 通過粒子測定実験の実験風景

主な実験条件を表 3.2.14 に示す。試料調整は、防じんマスクフィルター通過粒子確認試験とほぼ同様であるが、二酸化チタンについては、さらに分散性を得るために分散剤を使用した。その条件を表

3.2.15 に示す。

表 3.2.14 通過粒子測定条件

測定時間	20 分	
アトマイザー	希釈流量	7L/min
	噴霧流量	3L/min
	ヒーター温度	80℃
WPS 測定範囲	10nm～500nm で 12ch	
CPC 測定範囲	15nm～1000nm (15nm～50nm: カウント効率 50%以上)	
吸引流量	2.9L/min	

表 3.2.15 二酸化チタン調整条件

二酸化チタン	TiO <sub>2</sub> -4	薬さじ小 1/4
分散剤	りん酸水素二ナトリウム	0.05g

### (3) 実験結果

#### (a) ポリスチレンラテックス粒子

検討試料をポリスチレンラテックス粒子として、CPC 測定値より算出した各防じんマスクフィルターの捕集効率を区分ごとに図 3.2.37～図 3.2.39 に示す。

図 3.2.37～図 3.2.39 より、全フィルターにおいて 20 分間ほぼ一定の捕集効率を保っていた。また、フィルターによって多少のばらつきは見られるものの、区分に関係なく高い捕集効率を示していた。

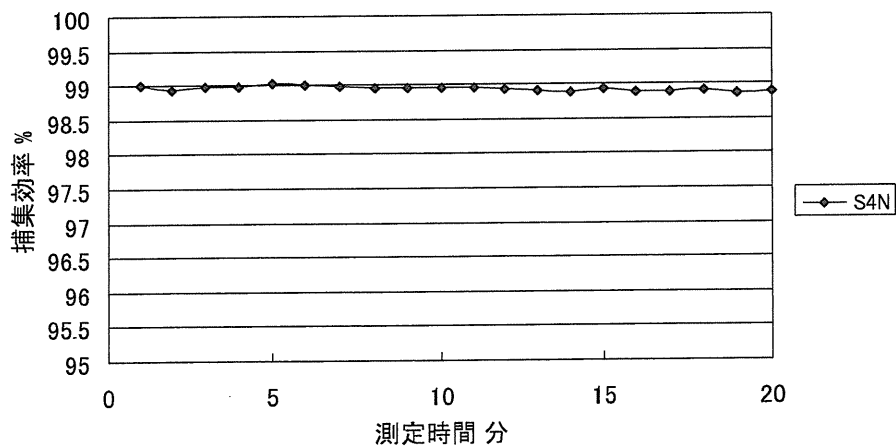


図 3.2.37 区分 RL3 フィルターの捕集効率  
(試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子)

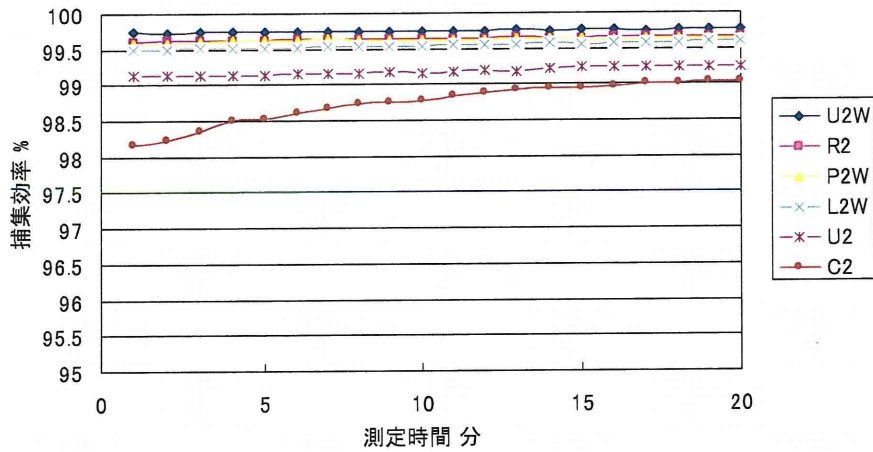


図 3.2.38 区分 RL2 フィルターの捕集効率  
(試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子)

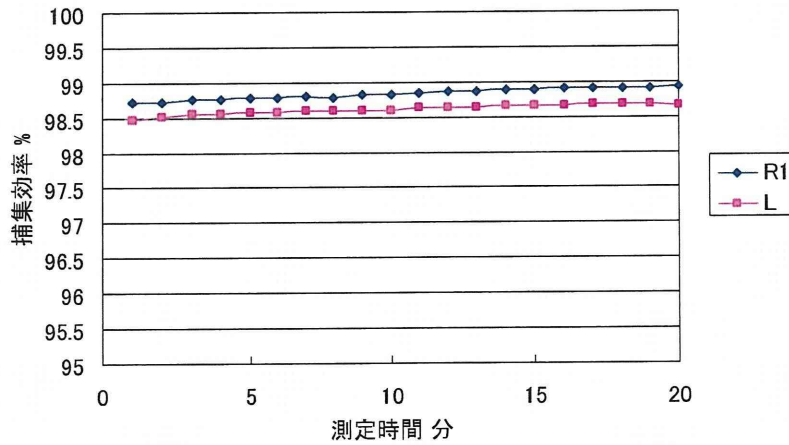


図 3.2.39 区分 RL1 フィルターの捕集効率  
(試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子)

発生粒子の粒度分布を図 3.2.40 に、WPS 測定値より算出した各防じんマスクフィルターの各粒径における捕集効率を図 3.2.41～図 3.2.43 に示す。

図 3.2.40 から、発生粒子は約 100nm のほぼ単分散であった。また図 3.2.41～図 3.2.43 から約 70nm を除いてどの粒径でも全てのフィルターの捕集効率はほぼ 100%近い値であった。なお 50nm においては、発生粒子が 0 であったため、捕集効率は算出できなかった。

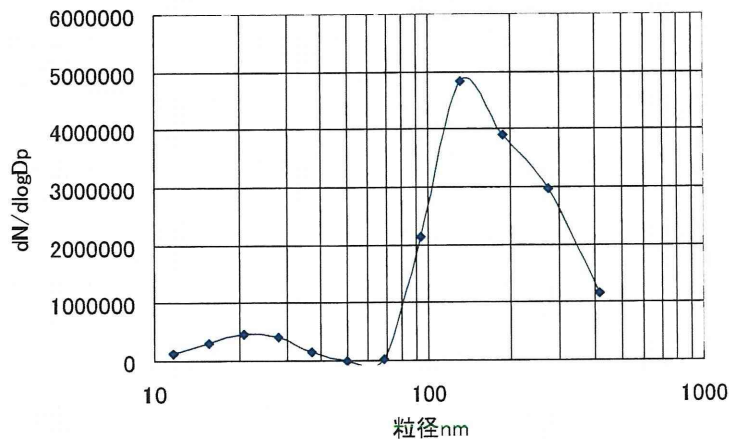


図 3.2.40 発生粒子粒度分布

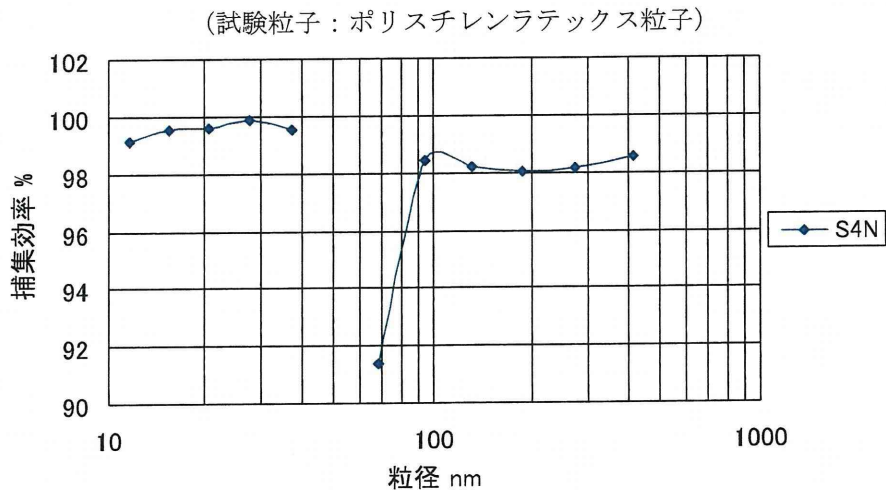


図 3.2.41 各粒径における捕集効率(区分 RL3)  
(試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子)

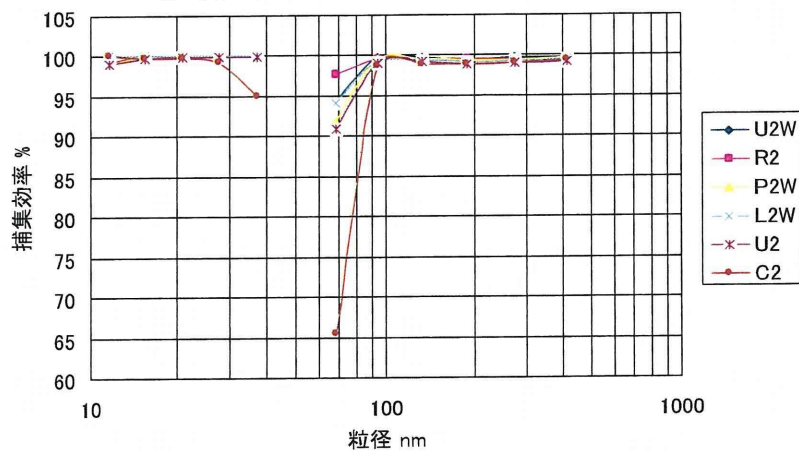


図 3.2.42 各粒径における捕集効率(区分 RL2)  
(試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子)

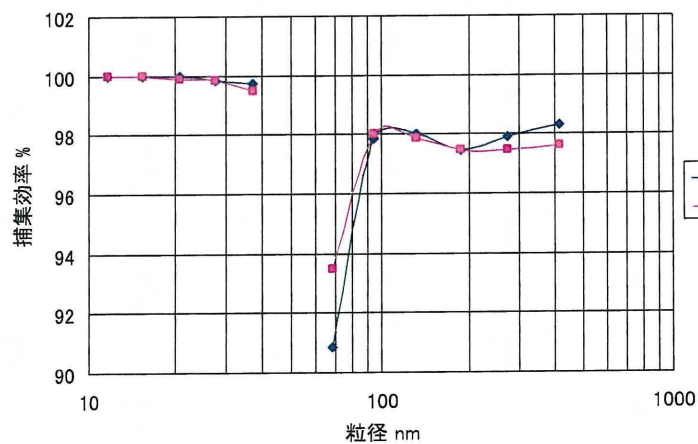


図 3.2.43 各粒径における捕集効率(区分 RL1)  
(試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子)

(b) 二酸化チタン

検討試料を二酸化チタンとして、CPC 測定値より算出した各防じんマスクフィルターの捕集効率を区分ごとに図 3.2.44～図 3.2.46 に示す。

図 3.2.44～図 3.2.46 より、フィルターの種類によって多少の違いは見られるものの、全てのフィル



ターで 20 分間ほぼ一定の高い捕集効率を保っていた。

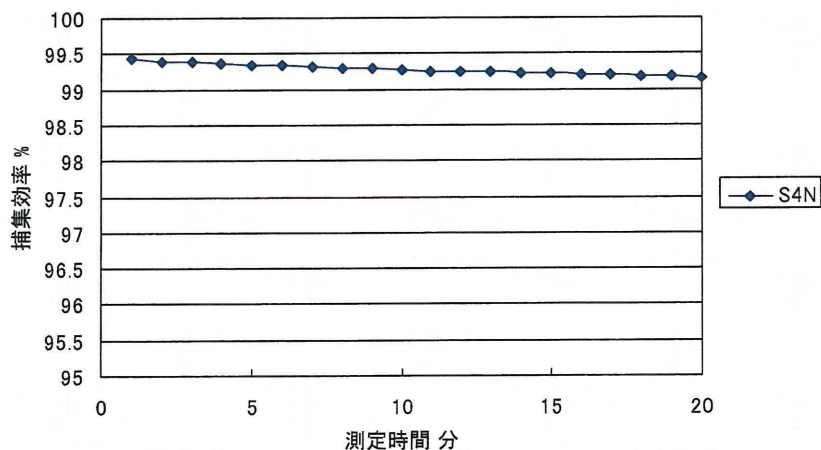


図 3.2.44 区分 RL3 フィルターの捕集効率  
(試験粒子：二酸化チタン)

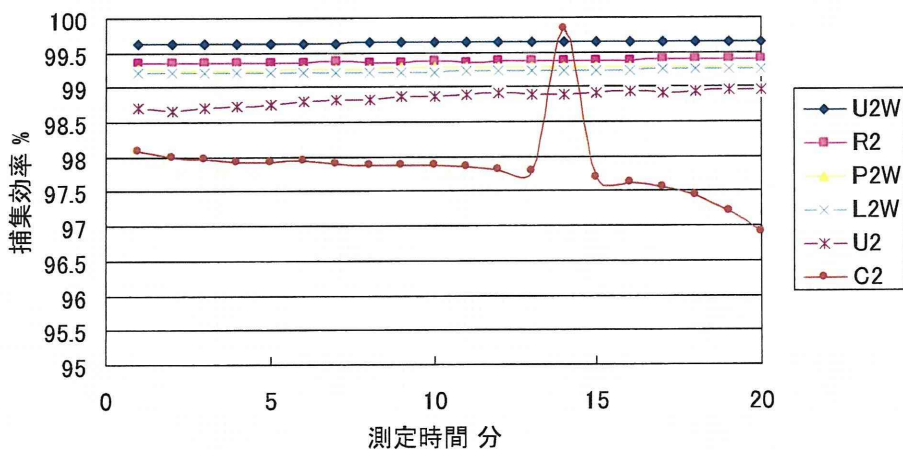


図 3.2.45 区分 RL2 フィルターの捕集効率  
(試験粒子：二酸化チタン)

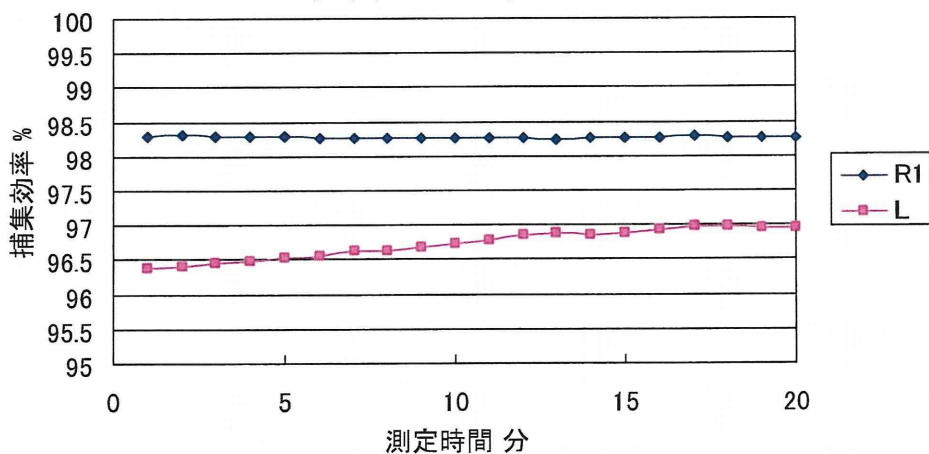


図 3.2.46 区分 RL1 フィルターの捕集効率  
(試験粒子：二酸化チタン)

発生粒子の粒度分布を図 3.2.47 に、WPS 測定値より算出した各防じんマスクフィルターの各粒径における捕集効率を図 3.2.48～図 3.2.50 に示す。

図 3.2.47 より、発生粒子では 50～70nm 付近にピークが見られた。また、図 3.2.48～図 3.2.50 より、全てのフィルターが 200～300nm 付近で捕集効率が低下していた。

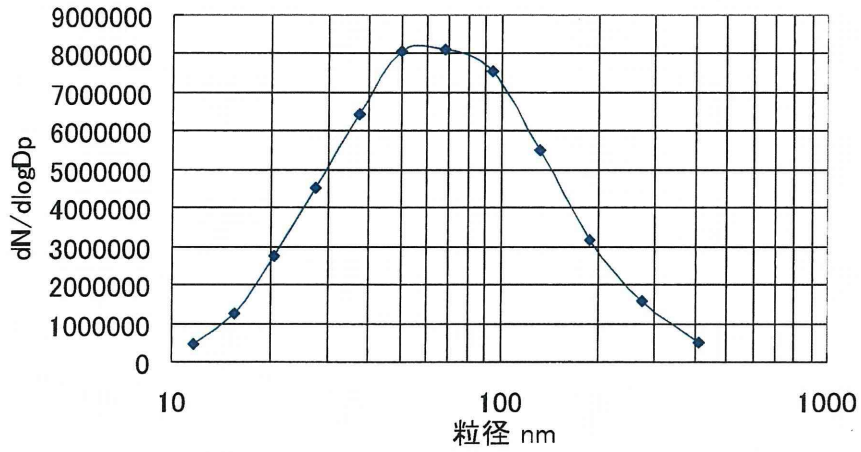


図 3.2.47 発生粒子粒度分布  
(試験粒子：二酸化チタン)

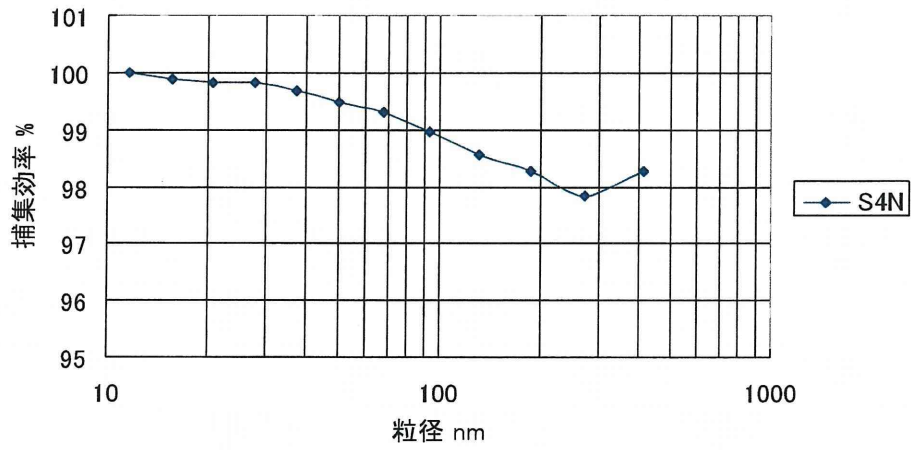


図 3.2.48 各粒径における捕集効率(区分 RL3)  
(試験粒子：二酸化チタン)

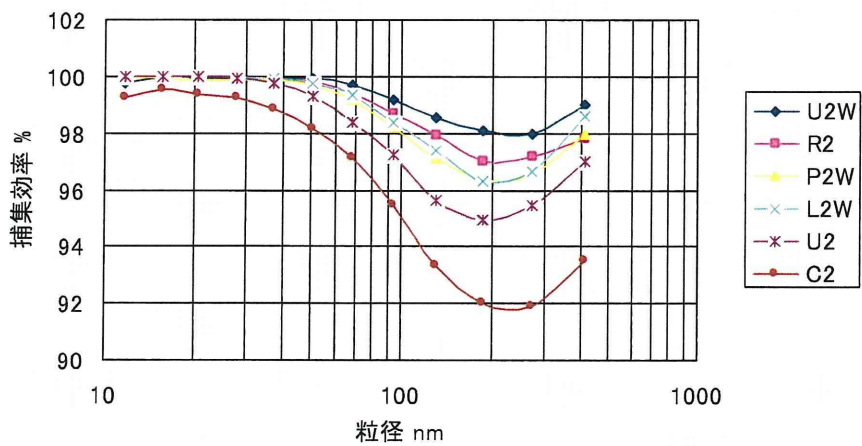


図 3.2.49 各粒径における捕集効率(区分 RL2)  
(試験粒子：二酸化チタン)

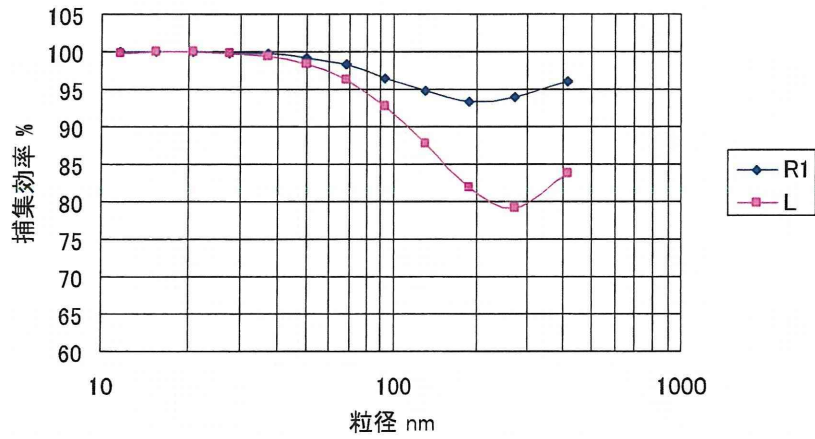


図 3.2.50 各粒径における捕集効率(区分 RL1)  
(試験粒子：二酸化チタン)

(c) 銀ナノ粒子

検討試料を銀ナノ粒子として、CPC 測定値より算出した各防じんマスクフィルターの捕集効率を区分ごとに図 3.2.51～図 3.2.53 に示す。

図 3.2.51～図 3.2.53 より、区分 RL3 の N3、L4N の捕集効率は極めて高く、その他のフィルターについてもかなり高い捕集効率を示し、20 分間においてほぼ一定の捕集効率を保っていた。

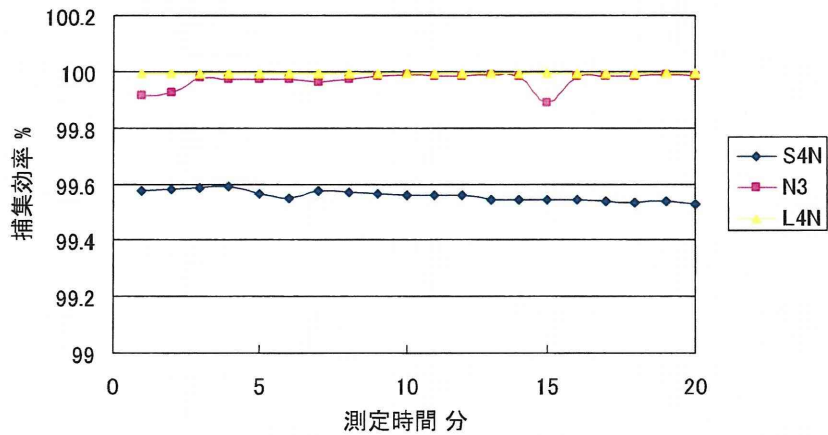


図 3.2.51 区分 RL3 フィルター捕集効率  
(試験粒子：銀ナノ粒子)



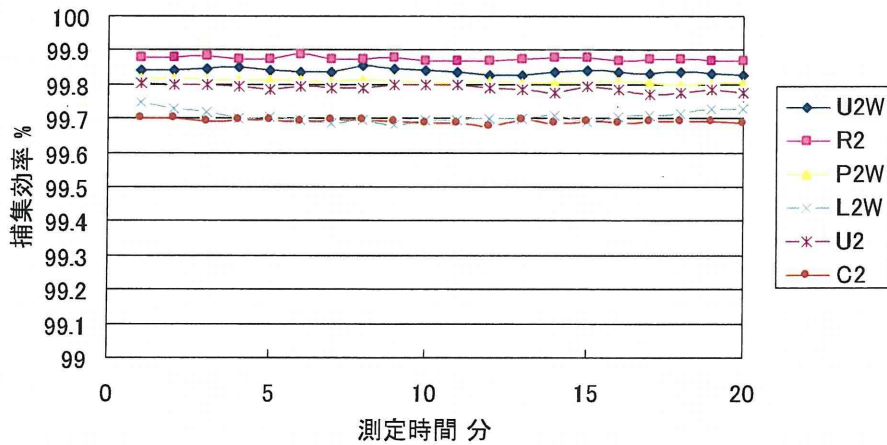


図 3.2.52 区分 RL2 フィルター捕集効率  
(試験粒子：銀ナノ粒子)

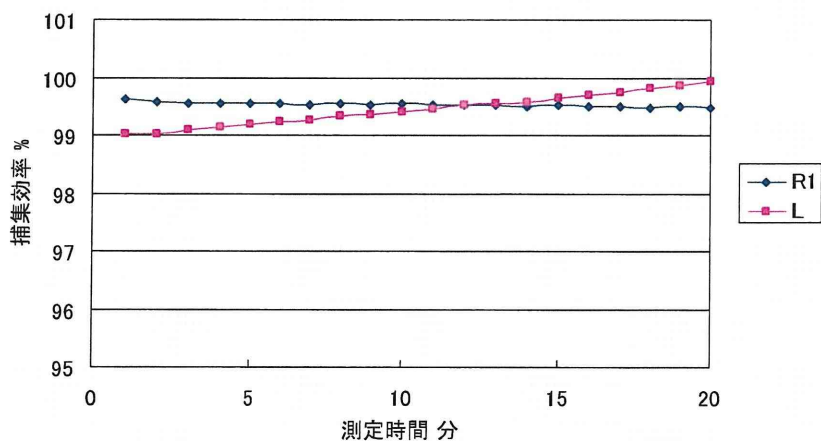


図 3.2.53 区分 RL1 フィルター捕集効率  
(試験粒子：銀ナノ粒子)

発生粒子の粒度分布を図 3.2.54 に、WPS 測定値より算出した各防じんマスクフィルターの各粒径における捕集効率を図 3.2.55～図 3.2.57 に示す。図 3.2.54 から、約 40nm に粒度分布のピークがあり、図 3.2.55～図 3.2.57 より、どの粒径に対しても高い捕集効率を示していた。

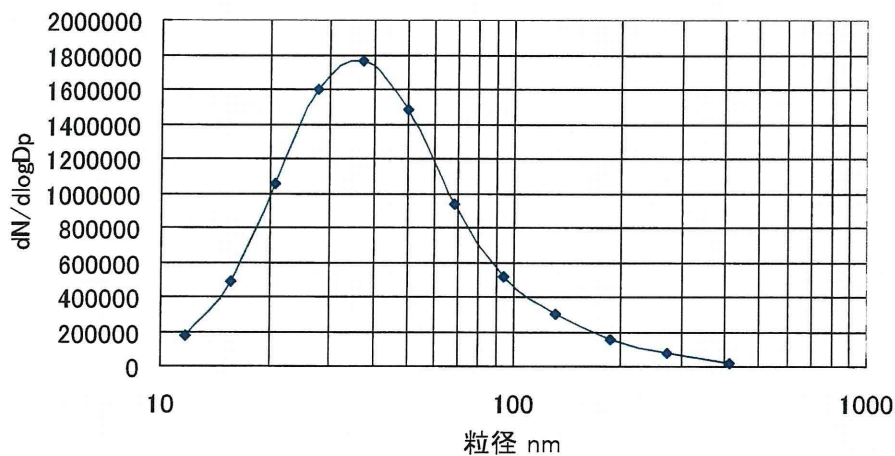


図 3.2.54 発生粒子粒度分布  
(試験粒子：銀ナノ粒子)

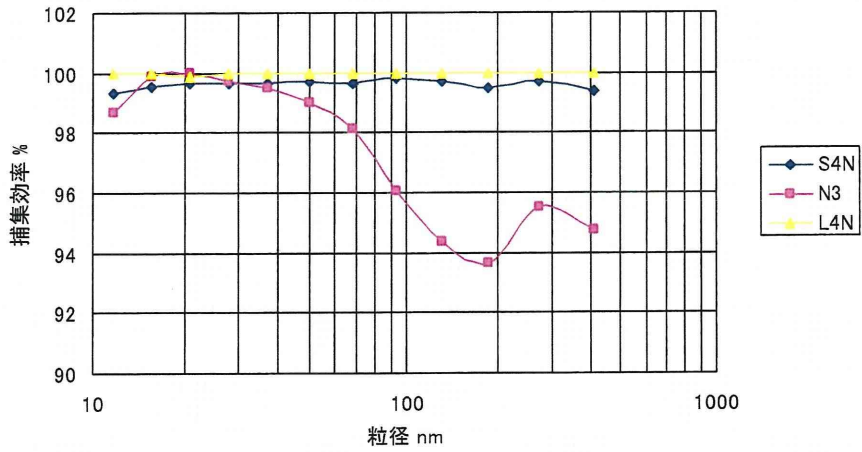


図 3.2.55 各粒径における捕集効率(区分 RL3)  
(試験粒子：銀ナノ粒子)

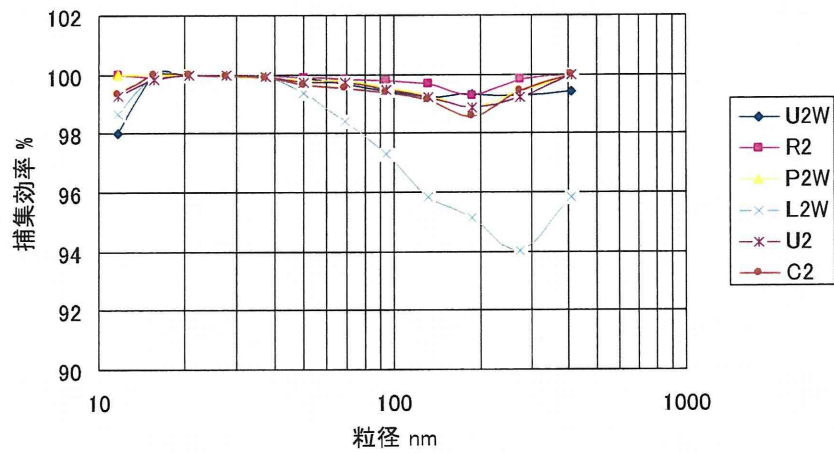


図 3.2.56 各粒径における捕集効率(区分 RL2)  
(試験粒子：銀ナノ粒子)

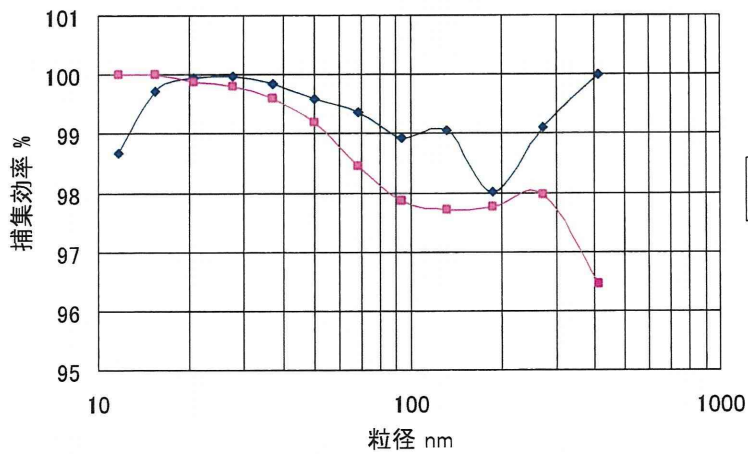


図 3.2.57 各粒径における捕集効率(区分 RL1)  
(試験粒子：銀ナノ粒子)

#### (4) 考察

##### (a) ポリスチレンラテックス粒子

図 3.2.41～図 3.2.43 において、全フィルターについて約 70nm で捕集効率が低くなっていた。これは、捕集効率算出時の誤差によると考えられる。すなわち、70nm の発生粒子の個数濃度測定値は、そ

の次に測定値の低い粒径 10nm の発生粒子の測定値よりも 10 分の 1 以下とかなり小さいため、捕集効率を算出する際の誤差による影響が大きいと考えられる。

発生粒子の粒度分布から、約 30nm 付近は超純水または分散剤の残渣で約 100nm のピークは試料の分散によると考えられる。

区分 RL2 のフィルターでどの粒径に対しても 100% 近くの高い捕集効率を示していた。区分 RL3 の S4N と区分 RL1 の R1、L は、約 200~300nm で捕集効率が少し下がっているが、それにおいても約 98% と高い捕集効率を示していた。最も区分の低い RL1 の R1、L については DOP による捕集効率が 82% であるのに対し、約 98% とかなり高い値であった。このことから全フィルターにおいて、単分散のナノ粒子に対し高い捕集効率を示す事が確認できた。

#### (b) 二酸化チタン

発生粒子の粒度分布では、約 50~70nm にピークが見られ、単粒子が多く発生していると考えられる。図 3.2.48~図 3.2.50 より、全フィルターについてフィルターの種類によって程度は異なるものの、約 200~300nm で捕集効率が最も低下しており、200nm 以下では、粒径が小さくなる程捕集効率が高くなっていった。これは、ナノ粒子のような粒径が小さい粒子に有効である拡散効果によるものと考えられる。S4N、U2、C2、L は、粒径によっては DOP による捕集効率よりも低い値を示していたが、全粒径に対する捕集効率はほぼ 100% 近くであり、ナノ粒子に対して高い捕集効率を示す事が確認できた。

#### (c) 銀ナノ粒子

二酸化チタンの結果と同様、粒径が小さくなる程捕集効率は上昇し、約 100% の高い値を示していた。N3、L2W については、粒径によっては DOP による捕集効率よりも低い値ではあるが、全粒径に対する捕集効率はかなり高い値を示しており、銀ナノ粒子に対しても高い捕集性能を示す事が確認できた。

### 3.2.4 まとめ

本実験で検討を行った国家検定区分 RL3、RL2、RL1 の 13 種類の防じんマスクフィルターについては、検討を行った粒径や粒子形状の異なる全てのナノ粒子に対して高い捕集効率を示し、ナノ粒子に対する捕集性能は有効であった。

区分やフィルターによって捕集効率は異なるが、全粒径に対する捕集効率は全フィルターにおいて 96% 以上と高い値を示しており、国家検定に使用されているフタル酸ジオクチルよりもそれ以上にナノ粒子を捕集する事が出来る事が分かった。

また、約 200~300nm の粒子に対する捕集効率は低下するが、ナノ粒子の拡散効果によって粒径が小さくなるほど、捕集効率が上昇する。

多層カーボンナノチューブのような繊維状のナノマテリアルについては、球形粒子に比べて、フィルターに捕集されやすいと考えられ、形状が異なる事による捕集性能の違いが考えられる。

## 参考文献

### 2.2

- 1) エアロゾルの科学：S.K.フリードランダー著、早川一也、芳住邦雄訳、産業図書、1983
- 2) エアロゾルテクノロジー：W.Hinds 著、早川一也訳、1985
- 3) 柴田科学株式会社：シングルエレクトロスプレー取扱説明書
- 4) 名古屋俊士 他 10名：作業環境測定ガイドブック 1－鉱物性粉じん・石綿、p48～51、(社)日本作業環境測定協会、2006
- 5) 南條正男：走査電子顕微鏡の基礎と応用、共立出版株式会社 1989
- 6) <http://www.remus.dti.ne.jp/~kkkkwing>：走査型電子顕微鏡
- 7) 堀内繁雄著：高分解能電子顕微鏡、共立出版株式会社、1988
- 8) 戸村彰著：電子顕微鏡技術、丸善株式会社、1989
- 9) 合志陽一、佐藤公隆：エネルギー分散型 X 線分析、： 学会出版センター、1989
- 10) 柴田科学株式会社：NANO AEROSOL GENERATOR 取扱説明書
- 11) Shepson Atmospheric Chemistry Group  
<http://www.chem.purdue.edu/shepson/new-soa.html>  
最終閲覧日 2011/01/13 14:38
- 12) (株) 日本カノマックス：HANDHELD CPC MODEL3800 取扱説明書
- 13) TSI Inc. Model 3936 SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)Instruction Manual  
<http://www.univ-tln.fr/Recherche/unites/lepi/instruments/smeps3936.pdf>  
最終閲覧日 2011/01/15 16:51
- 14) (株) 日本カノマックス:Wide-Range Particle Spectrometer MODEL 1000XP カタログ

### 2.4

- 1) JIS Z 8827-1 粒子径解析－画像解析法－：日本工業標準調査会、2008

### 2.6

- 1) エアロゾルテクノロジー：W.Hinds 著、早川一也訳、1985
- 2) Wen, Thermophoretic Samler and its Application in Ultrafine Particle Collection, Aerosol Science and Technology, 41, 624-629, 2007
- 3) [http://www.kobelcokaken.co.jp/zigyoku/kadaikaiketsu/it/pdf/k/18\\_b.pdf](http://www.kobelcokaken.co.jp/zigyoku/kadaikaiketsu/it/pdf/k/18_b.pdf) FE-TEMによるナノ領域分析技術

### 3.1

- 1) Masks N More、Tecnol Fluidshield PFR 95  
<http://www.masksnmore.com/tefl46.html>
- 2) 重松製作所、取替え式防じんマスク DR33L  
<http://www.sts-japan.com/products/bojin/detail.php?id=DR33L>
- 3) 明星敏彦、エアフィルタによるナノ粒子除去について、2008

### 3.2

#### 1) 株式会社重松製作所、防じんマスク

<http://www.sts-japan.com/products/bojin/pdf/catalog.pdf#page=3>

#### 2) 明星敏彦、防じんマスクのナノ粒子に対する捕集性能、J UOEH(産業医科大学雑誌) 33 (2):163-171、2011

## E. 結論

### 1. ナノマテリアルを測定対象とした新型粉じん計の開発

ナノ粒子への感度を増大させることを目的に、市販のデジタル粉じん計 LD-5 型の光源波長を短波長とした新型粉じん計 LD-5N を試作した。両機を用いて実験チャンバー内において酸化チタン粉体に対する測定値を調べた結果、LD-5N はナノサイズの粒子を選択的に検知している可能性が考えられた。また鑄鉄鑄造作業場において両機を併行測定した結果から、LD-5N はナノ粒子を良好に検知している可能性が考えられた。

なお、レーザーダイオードの波長 405nm は入手可能なものとして理論検証の対象としたが、これより波長の短い半導体光源も供給されるようになってきていることから、さらに小さな粒子の散乱光強度を増す可能性がある。また、散乱光の受光角度 30° と 90° のみで検証したが、他の散乱光受光角度や検出する角度範囲等の検討を加えることでさらに小さな粒子の散乱光強度を上げる可能性もあると考えられる。

今回は光源波長のみを変更することにより、ナノ粒子の検出感度の増大を確認することができたが、散乱光の受光角度の検討によりさらに検出感度を増やすことが理論的にも期待できる。また、改良された試作する LD-5N について、単分散粒子を発生させ、どの領域のナノ粒子まで計測できるのか検証を行う。今後このような方向で LD-5N の改良を進め、完成品として市場に投入することが出来れば、ナノ粒子取扱い現場におけるナノ粒子の状況把握のためのスクリーニングを目的とした、一般の粉じん測定と同様の簡便な測定を十分可能にし、健康影響が懸念される粒子に対する環境管理を効率よく進める重要な技術となると考える。

一方、22 年度に提案した「ナノマテリアル取扱い作業環境における作業環境管理フロー」に従い、LD-5 相対濃度計及び LD-5N 相対濃度計を用いて、一次スクリーニングを行い、「粉じんの環境管理」と「ナノ粒子の環境管理」のどちらの測定方法により、管理を実施した方が良いかを判断する。その際、従来の一次スクリーニング用として使用していた P-5H 型デジタル粉じん計、パーティクルカウンター GT-526 及び CPC の持ち込みは不要となり、LD-5 相対濃度計及び LD-5N 相対濃度計だけの使用で済み、従来の一次スクリーニングの測定が簡略化が可能となった。また、ナノマテリアル測定用凝縮粒子カウンタ (CPC) と相対濃度計を持って判断していたが、測定器の濃度単位が個数濃度 (個/cm<sup>3</sup>) と相対濃度 (cpm) と異なるため濃度の違いを正確に評価出来ない難しさがあった。ナノマテリアル取扱い現場で、一次スクリーニングを行う時、LD-5N と LD-5 とで同時併行測定を行った結果、両測定器が同じ様な相対濃度を示した場合は、「粉じんの環境管理」で対応する。一方、LD-5N が高い相対濃度を示した場合は、「ナノ粒子の環境管理」が必要と思われる現場と考えられるので、CPC や電子顕微鏡で観察することに特化した測定を行い、ナノ粒子に対応した管理を行う必要がある。LD-5N の開発により、一次スクリーニングの精度が向上することで、簡易測定法が可能となる。ただし、完成された LD-5N を用いてさらに現場での検証が必要で



ある。

ナノマテリアル取扱い現場が、「粉じんの環境管理」及び「ナノ粒子の管理」のどちらの測定方法により管理した方が良いか判断された場合、決められた測定方法を用いて作業環境基準に従ったA測定を実施することで、ナノマテリアルを取り扱う作業現場に関する作業環境管理ができると考える。

粉じん環境管理の場合は、ナノマテリアル取扱い作業環境に単位作業場所を設定する。LD-5 相対濃度計によりA測定を行う。ただし、LD-5N 相対濃度計も併せて行うことを勧める。NW-354 型質量濃度粉じん計の吸入性粉じん濃度と LD-5 との併行測定をおこない、LD-5 の質量濃度変換係数K値を求める。K値とLD-5 のA測定の相対濃度から、単位作業場所の質量濃度を求め環境管理を行う。ただし、FE-SEM 等による三次スクリーニング評価が出来ない場合は、下記の3.2の測定を行う。

一方、「ナノ粒子の管理」の場合は、ナノマテリアル取扱い作業環境に単位作業場所を設定する。CPC によりA測定を行う。シーオタスと CPC との併行測定を行う。シーオタスの併行測定に用いる濃度は、最小捕集粒度である  $0.25\mu\text{m}$  以下の質量濃度である。シーオタスの質量濃度と CPC の個数濃度から CPC の個数濃度変換係数K値を求める。K値を CPC によるA測定の個数濃度に乗じることで質量濃度に変換した結果から、単位作業場所の環境管理を行う。

## 2. ナノマテリアル粒子捕集用サーマルプレシピテーターの開発の開発

電子顕微鏡（特に、FE-SEM）によるナノ粒子の確認は、ナノマテリアル測定環境においては、不可欠な重要なことである。そのためには、ナノマテリアルを観測対象とした専用の捕集器の必要性が増してくることが考えられる。そこで、サーマルプレシピテーターの粒子捕集特性に注目して、サーマルプレシピテーターを開発のための基礎実験を行った。また、ナノ粒子を取扱う作業環境中に浮遊しているナノ粒子の形態を電子顕微鏡で観察を行う場合、フィルター上に捕集された粒子は、作業環境中に浮遊していた状態で捕集されたのか、フィルター上で先に捕集された粒子に後から捕集された粒子が付着して凝集体状況を示す粒子になったのかが分からない。さらに、サーマルプレシピテーターが、ナノ粒子が飛散している作業環境で単体粒子から凝集粒子まで同時に測定できる測定器であることを検証した。

サーマルプレシピテーターにより、静電噴霧式の粒子発生装置により発生させた粒径  $100\text{nm}$  のポリスチレンラテックス標準粒子を捕集することができた。ナノ粒子は、温度差が大きく、流量も少ないほうが速く沈着することが確認された。また、実際のナノマテリアルに対してもサーマルプレシピテーターによる捕集が有効であることが確認された。また、TEM で粒子の確認ができたことから、サーマルプレシピテーターを用いて SEM 用の試料だけでなく、TEM 用の試料としても捕集できることが分かった。本実験では FE-STEM-EDX による元素分析は行っていないが、EDX を用いることにより、粒子の組成分析が可能となることが期待される。この結果より、サーマルプレシピテーターを用いて、形態観察のための FE-SEM 用試料捕集、また必要に応じて行える、FE-STEM 用の試料捕集が可能となった。

一方、ナノ粒子をナノマテリアル連続発生装置で発生させ、サーマルプレシピテーターで捕集し、電子顕微鏡で  $20$  視野以上観察した結果、捕集面の中心にはナノ粒子の凝集体が、捕集面の端側にはナノサイズの粒子が確認されたことから、単体粒子から凝集粒子まで同時に測定できこ

とが検証された。この結果、ナノ粒子の形態観察で必要としていた、一つのサンプラーで幅広い粒子をカバー出来る、画期的なサンプラーが開発出来たと考える。

### 3. 防じんマスクのナノマテリアルに対する捕集特性

ナノ粒子に対する防じんマスクのメカニカルフィルターの捕集効果とその捕集特性に関する実験を行った。市販の防じんマスクの内、防じんマスクの区分 RL3 (99.9%) を 4 種類、RL2 (95.0%) を 6 種類、RL1 (80.0%) を 2 種類及び PL100 (99.9%) を 1 種類のフィルターの計 13 種類の防じんマスクフィルターに対して、粒径や粒子形状の異なる全てのナノ粒子（ポリスチレンラテックス、二酸化チタン、多層カーボンナノチューブ及び銀ナノ粒子）について、ナノ粒子連続発生装置から発生させ、FE/SEM による漏洩確認実験（3 万倍、20 視野）、ナノマテリアル測定用凝縮粒カウンタ（CPC）による全粒子に対する捕集率実験、走査型移動度粒径測定器（WPS）を用いて防じんマスクのメカニカルフィルターの各粒子に対する捕集効率を求める実験を行った。その結果、区分やフィルターによって捕集効率は異なるが、発生させた粒径や粒子形状の異なる各種ナノ粒子の全粒径に対する捕集効率は全フィルターにおいて 96% 以上と高い値を示した。また、WPS を用いて防じんマスクフィルターの各粒子に対する捕集効率を求めた。その結果、メカニカルフィルターによる粒子に対する 4 つの捕集機構である沈降効果、慣性効果、さえぎり効果、拡散効果のうち、ナノ粒子の拡散効果によって粒径が小さくなるほど捕集効率が上昇する確認された。一方で、ろ過捕集機構から捕集効率が最も悪いと考えられている約 200~300nm の粒子に対する捕集の低下が確認された。また、多層カーボンナノチューブのような繊維状のナノマテリアルについては、球形粒子に比べて形状が異なることによる捕集性能の向上が確認された。

ナノ粒子に対する防じんマスクの捕集特性の成果は、今後、ナノ粒子に関する防じんマスクの国家検定の規格作りや JIS 化に大いに役立つ情報が提供できたと考える。特に、ろ過捕集機構から、ナノ粒子に対しては拡散効果が有効に働き、捕集できると推測していた事を証明することが出来た。一方、捕集機構から捕集効率が最も悪いと言われている約 200~300nm の粒子に対する捕集の低下が確認されたことは、300nm の粒子が防じんマスクの捕集効率など性能評価に重要な粒径になることを示唆した。本研究の成果は、今後ナノマテリアルに関連する測定や個人曝露防止対策の実施を予定している労働行政に対して大いに役立つ知見を提供できると考える。

## F. 健康危険情報

研究者は、基礎実験においてナノ粒子を取扱うために曝露防止を考慮して電動ファン付き呼吸用保護具を装着して実験を行っている。また、実験中のナノ粒子が実験施設の環境中に飛散しないようにナノ粒子発散装置を囲い式チャンバー内に設置して実験を行っている。現場測定に際して、測定者は、電動ファン付き呼吸用保護具を装着して測定を行っている。

## G. 研究発表

### 1. 研究論文

- 1) 矢口禎章、渡辺雄亮、吉田さやか、名古屋俊士：各種金属酸化物触媒を用いた代替フロン HFC-23 の分解に関する研究、作業環境 Vol. 33, No. 2 p 69~76
- 2) 森雄亮、村田克、小山博己、名古屋俊士：ナノマテリアル粒子捕集用サーマルプラシビ

テーターの開発に関する研究、作業環境 Vol. 33、No. 2 p 77～80

- 3) 長谷川彰、村田克、名古屋俊士：金属加工時に発生する切削油剤ミスト濃度測定法の開発に関する研究：作業環境 Vol. 32、No. 3 (掲載決定)
- 4) 長谷川彰、村田克、名古屋俊士：溶媒抽出-GC/FID法による切削油剤ミスト濃度の測定法の開発に関する研究：作業環境 Vol. 32、No. 3 (掲載決定)
- 5) 村田克、原田侑宣、森雄亮、小山博己、名古屋俊士：ナノ粒子を測定対象とした新型粉じん計の開発に関する基礎的研究：作業環境 Vol. 32、No. 3 (掲載決定)
- 6) 原田侑宣、村田克、中村憲司、小山博己、明星俊彦、名古屋俊士、ナノマテリアル取扱い作業現場における作業環境管理に関する研究：作業環境 Vol. 32、No. 4 (掲載決定)
- 7) 矢口禎章、名古屋俊士：金属酸化物触媒を用いた代替フロンの分解及び分解生成物の処理に関する研究：作業環境 Vol. 33、(掲載決定)
- 8) 森雄亮、村田克、小山博己、名古屋俊士：サーマルプレシピテーターによるナノマテリアルの捕集特性検証に関する研究、作業環境 Vol. 33、(掲載決定)
- 9) 名古屋俊士他：粒状活性炭-加熱脱着-GC/FID法による作業環境中の有機溶剤測定法の確立に関する研究、作業環境 Vol. 32、No. 3 p 34～37、  
作業環境測定協会 2011
- 10) 小林亜矢他：スチレンジビニルベンゼン共重合体樹脂を用いるローボリウムエアサンプラーによる大気中ガス状多環芳香族炭化水素採取法と迅速前処理法の開発  
分析化学 59、p 645～652 日本分析化学会 2010

## 2. 研究発表

- 1) 矢口禎章他：各種金属酸化物触媒を用いた代替フロンの分解に関する研究、  
第 51 回日本労働衛生工学会、p 140～141 2011
- 2) 森雄亮他：サーマルプレシピテーターを用いたナノ粒子最適捕集条件の検討(その 2)  
第 51 回日本労働衛生工学会、p 146～147 2011
- 3) 原田侑宣他：ナノマテリアル取扱い作業現場における作業環境管理に関する研究  
第 51 回日本労働衛生工学会、p 144～145 2011
- 4) 村田克他：ナノ粒子を測定対象とした新型粉じん計の開発に関する基礎的研究  
第 51 回日本労働衛生工学会、p 144～145 2011
- 5) 山田憲一他：作業形態別にみた作業環境測定結果とばく露測定結果の比較  
第 51 回日本労働衛生工学会、p 74～75 2011
- 6) 渡辺牧子他：光触媒を用いた水中の有機溶剤の分解に関する基礎的研究、  
第 51 回日本労働衛生工学会、p 170～171 2011
- 7) 信太省吾他：格子状光触媒を用いた有機溶剤の分解とその応用に関する研究  
第 51 回日本労働衛生工学会、p 172～173 2011
- 8) 長谷川彰他：溶媒抽出-GC/FID法による切削油剤ミスト濃度の測定法の開発に関する研究：  
第 51 回日本労働衛生工学会、p 142～143 2011
- 9) 加藤智美他：鋳物の製造工程における流体解析シミュレーションを用いた粉じん対策の提案  
第 51 回日本労働衛生工学会、p 58～59 2011

- 10) 原田侑宣、藤井由貴、村田克、明星俊彦、名古屋俊士：ナノマテリアルに対する防じんマスクのサジカルフィルターの捕集特性、23年度 ISRP アジア支部研究発表予稿集 2011
- 11) 中村憲二他：位相差顕微鏡法と分散染色法の結像原理の違いによる石綿計数への影響  
第51回日本労働衛生工学会、p24～25 2011

#### H. 知的財産の出願・登録状況

23年度は、市販の測定器の現場適用の検討のため特許出願はありません。

発表者 氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
名古屋俊士	各種金属酸化物触媒を用いた代替フロン HFC-23 の分解に関する研究	作業環境	Vol. 33、No. 2	69～76	2012
名古屋俊士	ナノマテリアル粒子捕集用サーマルプレシピテーターの開発に関する研究	作業環境	Vol. 33、No. 2	77～80	2012
名古屋俊士	金属加工時に発生する切削油剤ミスト濃度測定法の開発に関する研究	作業環境	Vol. 22、No. 3	掲載決定	2012
名古屋俊士	溶媒抽出-GC/FID 法による切削油剤ミスト濃度の測定法の開発に関する研究	作業環境	Vol. 22、No. 3	掲載決定	2012
名古屋俊士	溶媒抽出-GC/FID 法による切削油剤ミスト濃度の測定法の開発に関する研究	作業環境	Vol. 22、No. 4	掲載決定	2012
名古屋俊士	溶媒抽出-GC/FID 法による切削油剤ミスト濃度の測定法の開発に関する研究	作業環境	Vol. 22、No. 4	掲載決定	2012
名古屋俊士	粒状活性炭-加熱脱着-GC/FID 法による作業環境中の有機溶剤測定法の確立に関する研究	作業環境	Vol. 32、No. 3	34～37	2011
名古屋俊士	スチレンジビニルベンゼン共重合体樹脂を用いるローボリウムエアサンプラーによる大気中ガス状多環芳香族炭化水素採取法と迅速前処理法の開発	分析化学	Vol. 59	p 645～652	2010



