

4. 防じんマスクのナノ材料に対する捕集特性及び性能

ナノ材料を連続発生させる装置を用いて、そこで発生させたナノ粒子を用いて防じんマスクに使用されているメカニカルフィルターによるナノ粒子の捕集効率と捕集特性の把握を行った。

4.1 試験に用いた防じんマスク

本実験では、Sample1、Sample2、Sample3 の3種類の取替え式防じんマスクに使用されているフィルターと、比較用としてサージカルマスク及びNIOSH(米国労働安全衛生研究所)が認定するN95基準に適合した医療用マスクを使用した。本実験で検討を行った各フィルターの仕様を表4.1に、各フィルターの外観を図4.1に示す。また、各フィルターの表面形状のFE-SEM観察画像を図4.2~図4.6に示す。

表 4.1 試験フィルターの仕様

フィルター	フィルター種類	メーカー	用途
Sample1	メカニカルフィルター	興研	作業環境
Sample2	メカニカルフィルター 捕集効率 82%	重松製作所	オイルミスト 土石に適応
Sample3	静電フィルター 捕集効率 95%	興研	溶接作業
サージカルマスク	メカニカルフィルター	アゼアス	ハウスダスト、花粉
N95 マスク	メカニカルフィルター 捕集効率 95%(0.3 μ m)	Tecnol	医療現場で使用 微生物、血液に適応

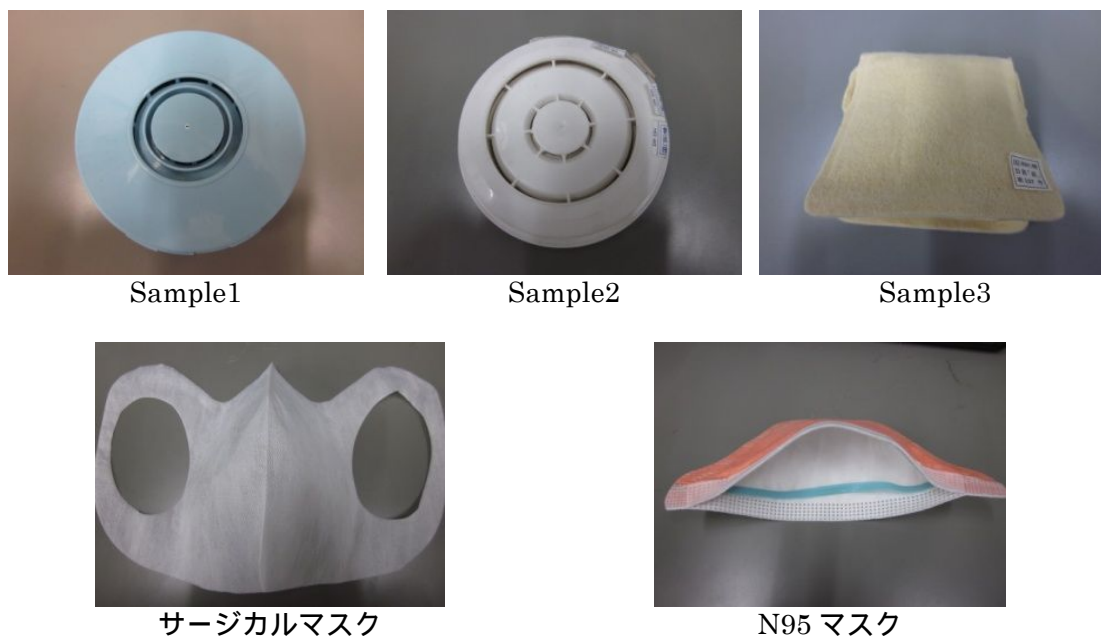


図 4.1 防じんマスクフィルター外観



図 4.2 Sample1 表面形態
(× 1,000)

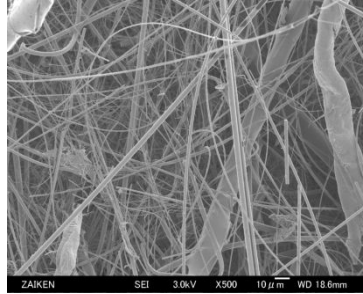


図 4.3 Sample2 表面形態
(× 500)

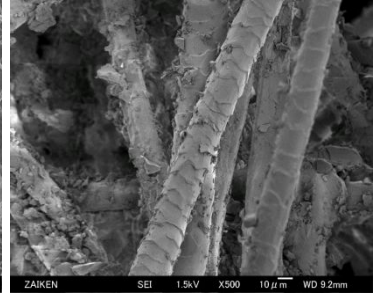


図 4.4 Sample3 表面形態
(× 500)

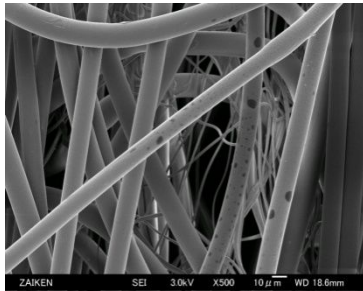


図 4.5 サージカルマスク表面形態(× 500)

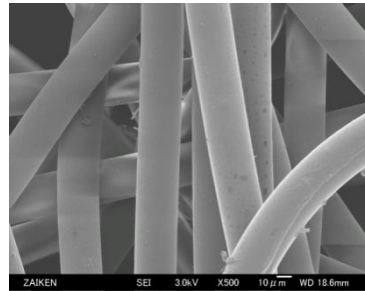


図 4.6 N95 マスク表面形態 (× 500)

4.2 実験概要

実験室において、粒径や粒子形状の異なるナノ粒子に対する、防じんマスクフィルターの捕集性能の評価を行った。

4.2.1 実験フロー

防じんマスクフィルターの捕集性能評価を行う上で、まず FE-SEM を用いて、防じんマスクフィルターを通過する粒子の有無を確認し、通過粒子が確認されたものについて、WPS と CPC を用いて通過粒子の粒度分布と個数濃度測定を行い、その測定値から捕集効率を算出し、ナノ粒子に対する各防じんマスクフィルターの捕集性能の評価を行った。また、試料を変えて同様に実験した際の各防じんマスクフィルターの捕集性能を比較することにより試料の粒径や粒子形状が防じんマスクフィルターの捕集性能に与える影響を検討した。実験フローを図 4.7 に示す。

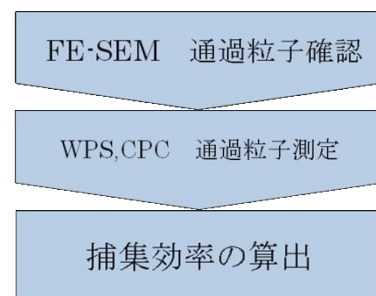


図 4.7 実験フロー

4.2.2 試験フィルター

本実験において検討を行った防じんマスクフィルターは、重松製作所製の取替え式防じんマスクフィルター12種類と、比較用として、電動ファン付き呼吸用保護具用取替え式フィルター1種類の、計13種類のフィルターである。各フィルターの詳細を表 4.2～表 4.5 に示す。前章の Sample2 として検討を行ったフィルターは、本章で使用した品番 L のフィルターと同じものである。

表 4.2 各フィルターの仕様(その 1)

品番	V3	T4	S4N
国家検定区分	PL100	RL3	
フィルター種類	メカニカルフィルター		
性能	DOP		
試験粒子 捕集効率	99.97%以上	99.99%以上	99.9%以上
対象粉じんの 種類と作業例	石綿作業(呼吸用保護具区分 1)、 ナノ粒子、インジウム・スズ酸化 物取扱作業、土壌汚染第 2 種特定 有害物質(一部除く)、各種粉体 取扱作業(製薬・化学薬品工場等)	ナノ粒子、放射性粉じ ん、ダイオキシン類(レ ベル 1)、石綿作業(呼 吸用保護具区分 3)、重 金属含有粉じん	ダイオキシ ン類(レベル 1)、放射性粉 じん、重金属 含有粉じん

表 4.3 各フィルターの仕様(その 2)

品番	L4N	N3	P2W
国家検定区分	RL3	RL2	
フィルター種類	メカニカルフィルター		
性能	DOP		
試験粒子 捕集効率	99.9%以上	99.9%以上	96.0%以上
対象粉じんの 種類と作業例	放射性粉じん、ダイオキシン類 (レベル 1)、重金属含有粉じん、 石綿作業(呼吸用保護具区分 3)	オゾン、不快臭、金属ヒューム、ター ルミスト、オイルミスト、水ミスト	

表 4.4 各フィルターの仕様(その 3)

品番	C2	L2W	U2W	R2	U2
国家検定区分	RL2				
フィルター種類	メカニカルフィルター				
性能	DOP				
試験粒子 捕集効率	96.0%以上				
対象粉じんの 種類と作業例	石綿作業呼吸用保護具区分 4、重金属含有粉じん、金属ヒューム(溶接・溶 断溶解作業)、タールミスト、オイルミスト、水ミスト(湿式研磨作業等)				

表 4.5 各フィルターの仕様(その 4)

品番	R1	L
国家検定区分	RL1	
フィルター種類	メカニカルフィルター	
性能	DOP	
試験粒子 捕集効率	82.0%以上	
対象粉じんの 種類と作業例	掘削粉砕作業	オイルミスト、タールミスト、 水ミスト、掘削粉砕作業

4.3 防じんマスクフィルター通過粒子確認試験

4.3.1 試験試料等について

1) 試験試料

- (a) ポリスチレンラテックス (PSL) 粒子 : JSR 株式会社製、STADDEX SC-0100-D、平均
粒径 100nm

- (b) 二酸化チタン：日本エアロジル株式会社製、TiO₂-4、平均粒径 50nm
 - (c) 多層カーボンナノチューブ(MWCNT)：シグマアルドリッチ製、659258-2G 粒子径 110-170nm、長さ 5-9μm。
 - (d) 銀ナノ粒子：シグマアルドリッチ製、576832-5G、粒径 < 100nm
 - (e) 分散剤 (MWCNT 用)：TritonX-100、関東化学株式会社製、21568-1A、
- 2) 分散剤(その他粒子)：りん酸水素二ナトリウム・12 水、関東化学株式会社製、37240-00
- 3) 試料調製法

超音波分散法で発じんさせる場合、試料懸濁液調製は以下の手順に従った。表 4.6 に調製条件を示す。

50ml 三角フラスコに超純水を充填する。分散剤を添加する場合は、この時点で分散剤を添加し、超音波振とう器で 5 分間攪拌する。

試料を加え、ふたをする。

超音波振とう器で 30 分間攪拌する。

なお、多層カーボンナノチューブについては、30 分間アトマイザーを稼働する間に試料が沈殿してしまう事から、各捕集実験毎に 30 分間超音波振とう器にかけた試料に交換した。

表 4.6 試料懸濁液調製条件

調製試料	試料量	溶媒
ポリスチレンラテックス粒子	1ml	超純水 50ml
二酸化チタン	薬さじ小 1/4	
多層カーボンナノチューブ	薬さじ小 1/5 (TritonX-100 : マイクロシリンジ 1 滴)	
銀ナノ粒子	薬さじ小 1/5	

4.3.2 実験方法

実験装置の概略図を図 4.8 に示す。防じんマスクフィルターを通過する粒子を調べるため、ディスポーザブルサンプラーに直径 25mm の円形に切り取った各防じんマスクフィルターを装着し、さらにその後ろにバックアップとしてニュークリポアフィルター (SKC 社製) をセットした。このディスポーザブルサンプラーを実験チャンバーに接続し、ポンプで吸引する事により、ニュークリポアフィルターに通過粒子を捕集した。試験粒子の発生は、NANO AEROSOL GENERATOR (柴田科学株式会社製) を用いて、超音波分散法により各試料を実験チャンバー内に発生させた。このディスポーザブルサンプラー内のニュークリポアフィルターを、一定倍率に設定した FE-SEM (日立ハイテクノロジーズ製 S-4500S) を用いて 20 視野観察し、20 視野中の通過粒子数の計数を行った。

なお、防じんマスクフィルター通過粒子捕集実験を行う前に、WPS (MSI Inc. 製 MODEL 1000XP) を用いて発生粒子の粒度分布の測定を行った。また、ニュークリポアフィルターのみを装着したディスポーザブルサンプラーを用いて発生粒子を捕集し、FE-SEM を用いてこのフィルターを観察した。

フィルターを通過する吸引流量について、防じんマスクの国家検定の試験流量 85L/min で吸引した際に、防じんマスクフィルターを通過する気流の速度は、有効ろ過面積の違いのためマスクによって異なるが、概ね 0.1m/s とされている²⁾。そこで、この値を用いて吸引流量を式(4.1)より算出した。

$$\frac{X[1/\text{min}] \times 10^3}{60[\text{s}] \times \pi r^2[\text{cm}^2]} = 10[\text{cm}^3/\text{s}] \quad \dots (4.1)$$

ここで、X：吸引流量、r：1.25[cm]（防じんマスクフィルター半径）

WPS による発生粒子の粒度分布測定の実験条件を表 4.7 に、通過粒子捕集実験の実験条件を表 4.8 に、FE-SEM での観察条件を表 4.9 に示す。なお、表 4.9 の FE-SEM での観察倍率は、ポリスチレンラテックス粒子、二酸化チタン、銀ナノ粒子については 30,000 倍に倍率設定を統一して観察を行ったが、多層カーボンナノチューブについては、繊維長が長いため 5,000 倍と設定した。

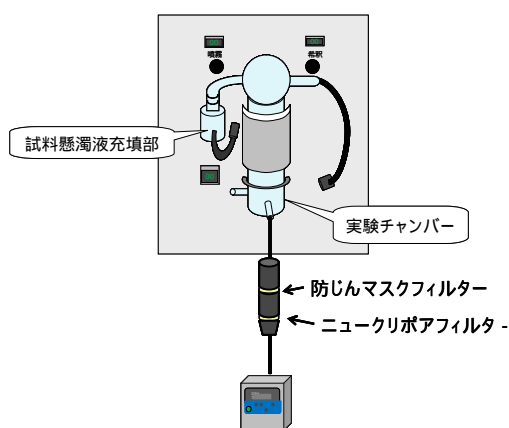


図 4.8 実験装置概略図

発生粒子粒度分布測定の実験風景を図 4.9 に、通過粒子捕集実験の実験風景を図 4.10 に示す。

表 4.7 発生粒子粒度分布測定の実験条件

測定時間		30 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 分解能		10nm ~ 500nm で 12ch

表 4.8 通過粒子捕集実験の実験条件

捕集時間		30 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
吸引流量		2.9L/min

表 4.9 FE-SEM 観察条件

FE-SEM	倍率	30,000、5,000
	視野数	20 視野
	加速電圧	15kV
	作動距離(W.D)	15mm
蒸着	蒸着試料	Pt-Pd
	膜厚	12nm



図 4.9 発生粒子粒度分布測定の実験風景

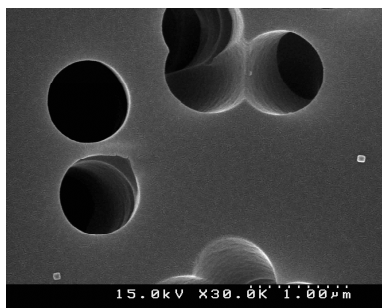


図 4.10 通過粒子捕集実験の実験風景

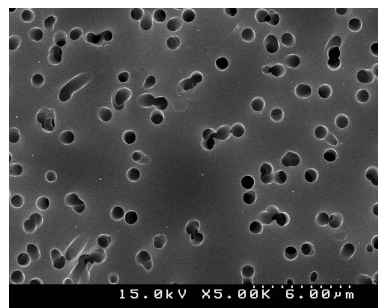
4.3.3 防じんマスクフィルター通過粒子の観察

(1) ニュークリポアフィルター

ブランクのニュークリポアフィルターの 30,000 倍、5,000 倍における観察画像を図 4.11 に示す。図 4.11 より、この正方形の粒子はフィルター製造時に付着したと考えられるが、他の粒子と明らかに形状が違うので計数しないこととした。



(× 30,000)



(× 5,000)

図 4.11 ニュークリポアフィルター（ブランク）

(2) ポリスチレンラテックス粒子

まず、超音波分散法により、発生させたポリスチレンラテックス粒子の粒度分布を図 4.12 に、ニュークリポアフィルターに捕集されたポリスチレンラテックス粒子の FE-SEM 観察画像を図 4.13 に示す。

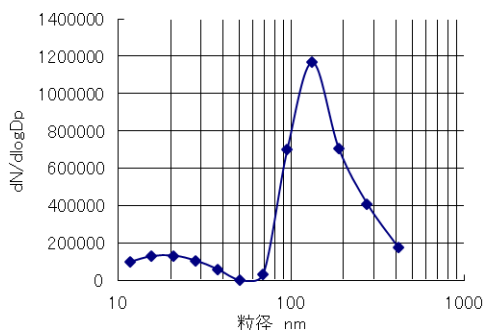


図 4.12 WPS による粒度分布
(試験粒子：ポリスチレンラテックス)

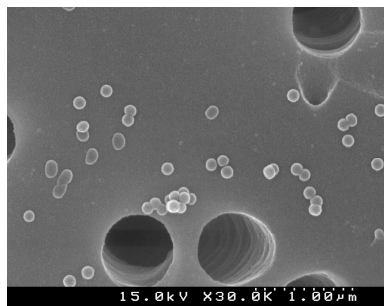


図 4.13 ポリスチレンラテックス粒子
(×30,000)

また、13 種類の防じんマスクフィルターをそれぞれ通過した粒子を捕集した、各ニュークリポアフィルターを観察したところ、まず区分 RL3 のフィルターである T4、L4N、N3 と、区分 PL100 の V3 では粒子の通過は確認されなかった。また、S4N(RL3)については、少量の粒子の通過が確認された。区分 RL2、RL1 のフィルターは、全てのフィルターについて粒子の通過が確認された。

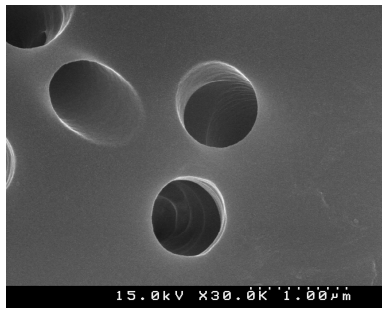
各フィルターについて 20 視野観察し、通過した粒子数を計数した結果を表 4.10 に示す。

表 4.10 通過粒子数計数結果

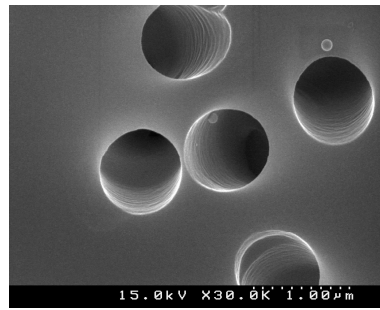
国家検定区分	品番	通過粒子数(個) 20 視野中
PL100	V3	0
RL3	T4,L4N,N3	0
	S4N	2
RL2	R2	2
	L2W	4
	U2W	24
	U2	12
	P2W	8
	C2	20
RL1	R1	107
	L	13

また、各フィルターを通過した粒子の 30,000 倍における FE-SEM 観察画像を図 4.14 に示す。区分 RL3 の T4、S4N、区分 RL2 の L2W、区分 RL1 の L の結果をそれぞれ(a)~(d)に示す。

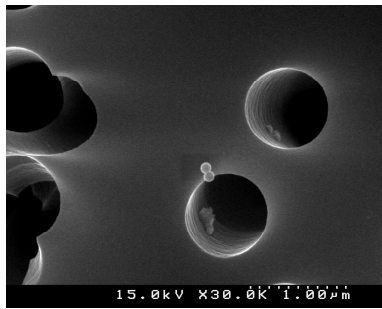
なお通過粒子には単体粒子と凝集体が確認され、凝集体には約 300nm のものが多く観察された。区分 RL2 の L2W を通過した凝集体の FE-SEM 観察画像を図 4.15 に示す。



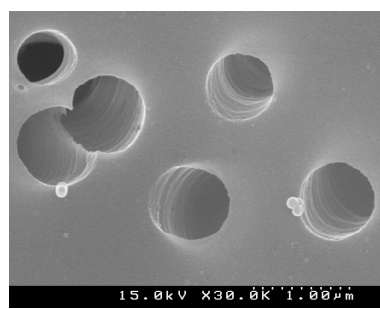
(a) フィルター：T4(RL3)



(b) フィルター：S4N(RL3)



(c) フィルター：L2W(RL2)



(d) フィルター：L(RL1)

図 4.14 各フィルターを通過した粒子の FE-SEM 観察画像(ポリスチレンラテックス粒子)

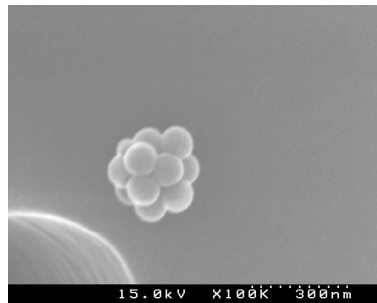


図 4.15 L2W(RL2)を通過した粒子(凝集体)(ポリスチレンラテックス粒子)

(3) 二酸化チタン

まず、超音波分散法により発生させた二酸化チタンの粒度分布を図 4.16 に、ニュークリポアフィルターに捕集された二酸化チタンの FE-SEM 観察画像を図 4.17 に示す。

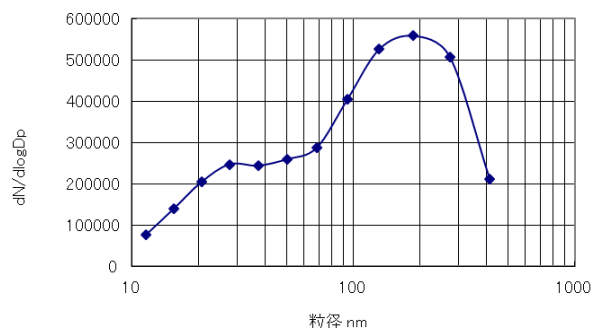


図 4.16 WPS による粒度分布(試験粒子：二酸化チタン)

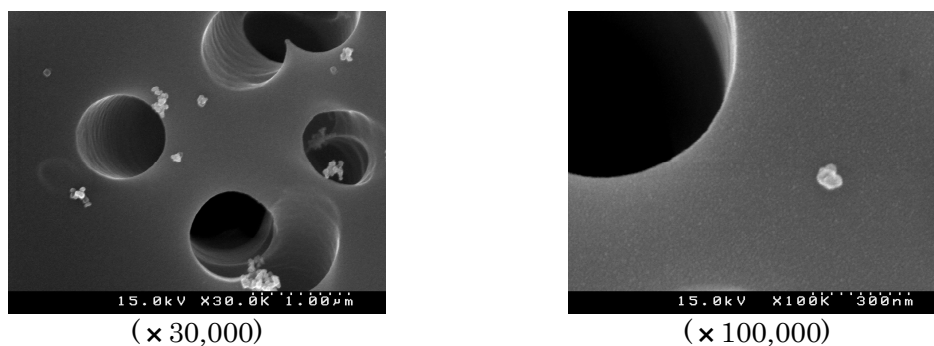


図 4.17 二酸化チタン粒子

また、13種類の防じんマスクフィルターをそれぞれ通過した粒子を捕集した、各ニュークリポアフィルターを観察したところ、まず区分RL3のフィルターであるT4、L4N、N3と、区分PL100のV3では粒子の通過は確認されなかった。S4N(RL3)については、少量の粒子の通過が確認された。

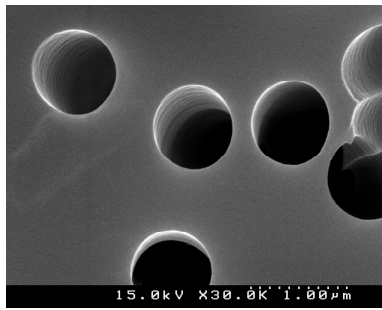
区分RL2、RL1のフィルターは、全フィルターについて粒子の通過が確認された。各フィルターについて、20視野観察し、通過した粒子数を計数した結果を表4.11に示す。

表 4.11 通過粒子数計数結果

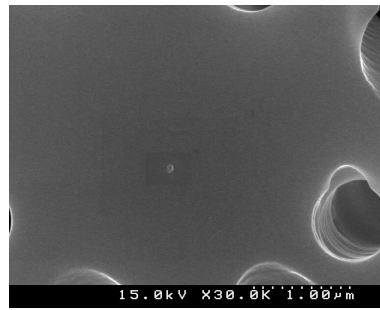
国家検定区分	品番	通過粒子数(個) 20 視野中
PL100	V3	0
RL3	T4,L4N,N3	0
	S4N	6
RL2	C2,P2W	1
	R2,U2,L2W	2
	U2W	4
RL1	L	2
	R1	8

さらに、各フィルターを通過した粒子の30,000倍におけるFE-SEM観察画像を図4.18に示す。区分RL3のT4とS4N、区分RL2のL2W、区分RL1のLの結果をそれぞれ(a)~(d)に示す。

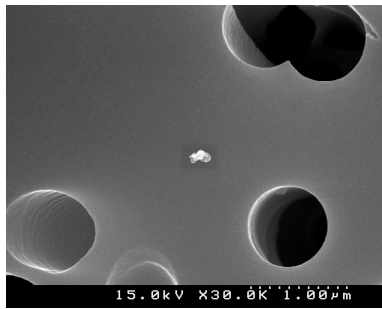
また、区分に関係なく、単体粒子と凝集体の通過が観察され、凝集体については約300nmのものも確認された。区分RL2のR2とC2、区分RL1のLを通過した単体粒子と凝集体のFE-SEM観察画像を図4.19、図4.20及び図4.21に示す。



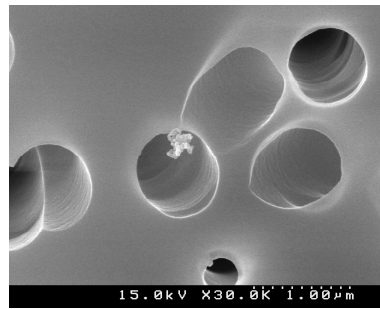
(a) フィルター：T4(RL3)



(b) フィルター：S4N(RL3)



(c) フィルター：L2W(RL2)



(d) フィルター：L(RL1)

図 4.18 各フィルターを通過した粒子の FE-SEM 観察画像(試験粒子：二酸化チタン)

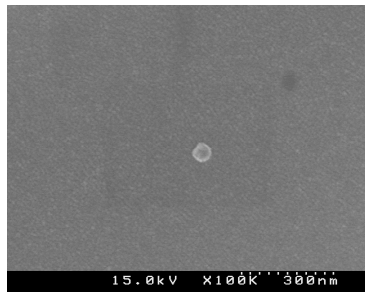


図 4.19 R2(RL2)を通過した
単体粒子

(試験粒子：二酸化チタン)

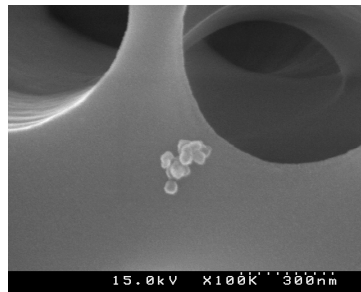


図 4.20 C2(RL2)を通過した
粒子(凝集体)

(試験粒子：二酸化チタン)

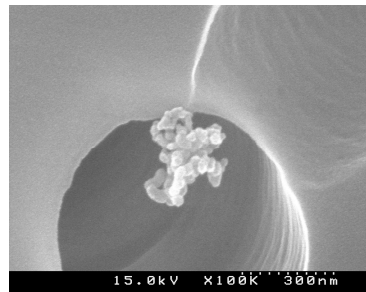


図 4.21 L(RL1)を通過した
粒子(凝集体)

(試験粒子：二酸化チタン)

(4) 多層カーボンナノチューブ

まず、超音波分散法により多層カーボンナノチューブを発生させ、ニュークリポアフィルターに捕集された多層カーボンナノチューブの FE-SEM 観察画像を図 4.22 に示す。なお、WPS の測定については、繊維状の多層カーボンナノチューブは DMA 内で壁面に付着して長く連なり、対面に届いてしまうとショートして故障の原因となるので、粒度分布の測定は行わなかった。

参考として、ニュークリポアフィルター上に均一に捕集されていると仮定して、5,000 倍観察画像の 20 視野中の発生粒子数カウント値と吸引流量、フィルター面積から、発生粒子の換算濃度を算出した。その結果を表 4.12 に示

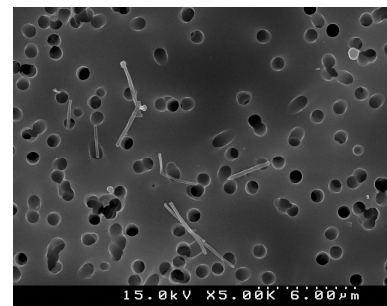


図 4.22 多層カーボン
ナノチューブ(×5,000)

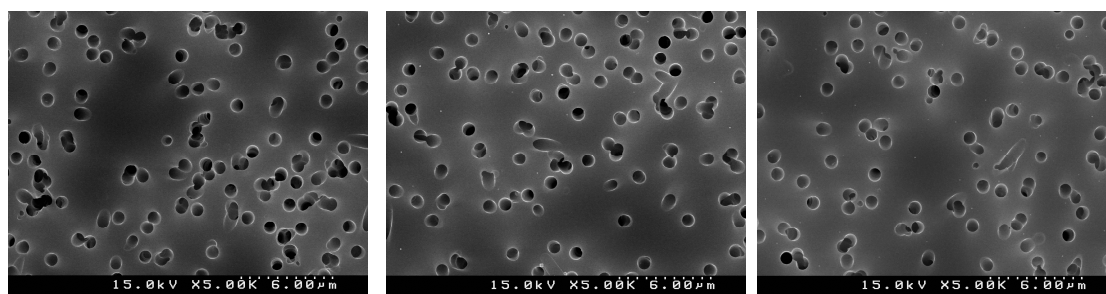
す。

表 4.12 発生粒子

20 視野中通過粒子数	23 本
換算濃度	1.6×10^4 本/L

また、13 種類の防じんマスクフィルターをそれぞれ通過した粒子を捕集した各ニュークリポアフィルターを観察したところ、全フィルターについて粒子の通過は確認されなかった。

各防じんマスクフィルターのバックアップフィルターの 5,000 倍における FE-SEM 観察画像を図 4.23 に示す。区分 RL3 の T4、区分 RL2 の L2W、区分 RL1 の L の結果をそれぞれ(a) ~ (c)に示す。



(a) フィルター：T4(RL3) (b) フィルター：L2W(RL2) (c) フィルター：L(RL1)

図 4.23 各バックアップフィルターの FE-SEM 観察画像
(試験試料：多層カーボンナノチューブ)

(5) 銀ナノ粒子

まず、超音波分散法により発生させた銀ナノ粒子の粒度分布を図 4.24 に、ニュークリポアフィルターに捕集された銀ナノ粒子の FE-SEM 観察画像を図 4.25 に示す。

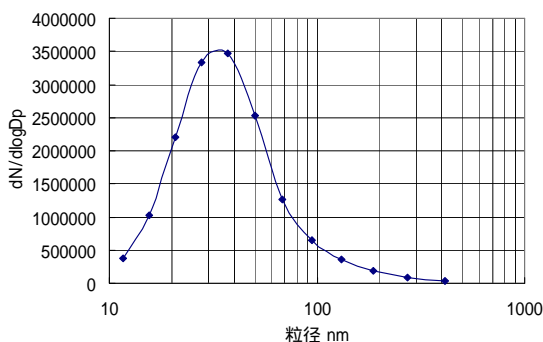


図 4.24 WPS による粒度分布
(試験粒子：銀ナノ粒子)

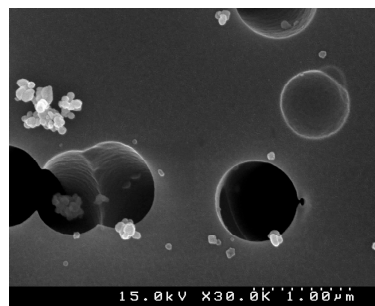


図 4.25 銀ナノ粒子(×30,000)

また、13 種類の防じんマスクフィルターをそれぞれ通過した粒子を捕集した各ニュークリポアフィルターを観察したところ、まず区分 RL3 の T4 と区分 PL100 の V3 では全く粒子の通過が確認出来なかった。また、区分 RL3 の N3、L4N、S4N のフィルターについて

は、少量の粒子の通過が観察され、区分 RL2、RL1 は全フィルターについて粒子の通過が確認された。

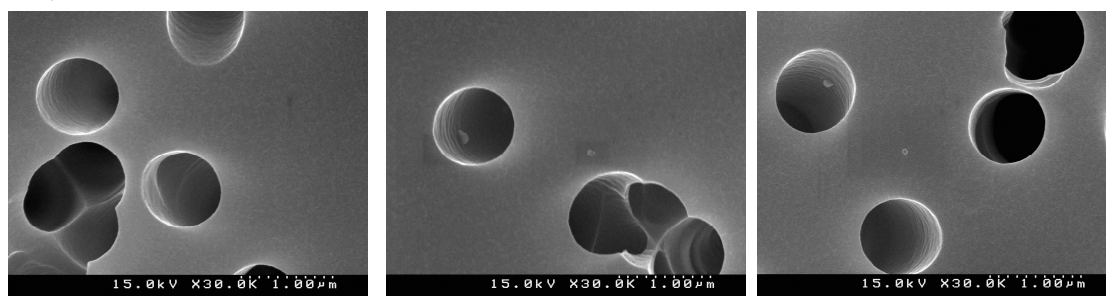
各フィルターについて、20視野観察し、通過した粒子数を計数した結果を表 4.13 に示す。

表 4.13 通過粒子数計数結果

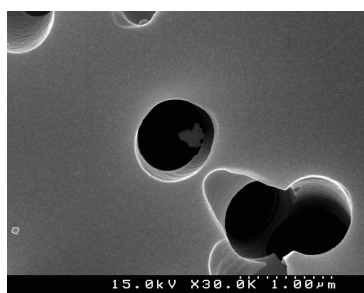
国家検定区分	品番	通過粒子数(個) 20 視野中
PL100	V3	0
RL3	T4	0
	N3	1
	L4N,S4N	3
RL2	U2W,U2,L2W	2
	R2,C2	3
	P2W	4
RL1	R1	4
	L	9

さらに、各フィルターを通過した粒子の 30,000 倍における FE-SEM 観察画像を図 4.26 に示す。区分 RL3 の T4、N3、S4N、区分 RL2 の L2W、区分 RL1 の L の結果をそれぞれ (a) ~ (e) に示す。

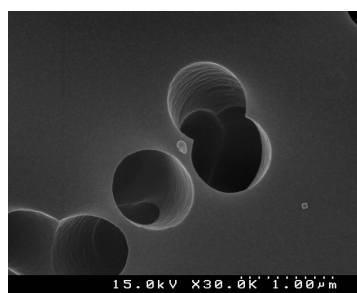
なお区分 RL3、PL100 のフィルターについては、凝集体は確認されなかったが、区分 RL2、RL1 のフィルターについては単体粒子と凝集体が確認された。凝集体については、約 300nm のものも確認された。区分 RL2 の R2 を通過した凝集体の FE-SEM 観察画像を図 4.27 に示す。



(a) フィルター：T4(RL3) (b) フィルター：N3(RL3) (c) フィルター：S4N(RL3)



(d) フィルター：L2W(RL2)



(e) フィルター：L(RL1)

図 4.26 各フィルターを通過した粒子の FE-SEM 観察画像(試験試料：銀ナノ粒子)

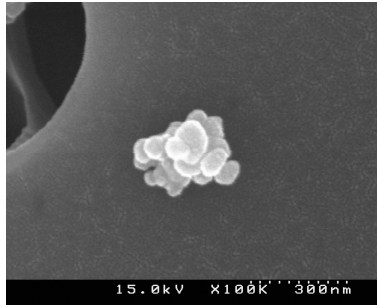


図 4.27 R2(RL2)を通過した粒子(凝集体)(試験粒子：銀ナノ粒子)

4.3.4 防じんマスクフィルターの捕集粒子の観察

防じんマスクフィルターにはどのように粒子が捕集されているのかを調べるため、捕集実験後に防じんマスクフィルターに捕集された粒子についても FE-SEM 観察を行った。区分 RL2 の L2W と区分 RL1 の L のブランクをそれぞれ図 4.28、図 4.29 に示す。各試料における区分 RL2 の L2W、区分 RL1 の L の観察結果を図 4.30 に示す。ポリスチレンラテックス粒子、二酸化チタン、多層カーボンナノチューブ、銀ナノ粒子の観察結果をそれぞれ(a)～(h)に示す。

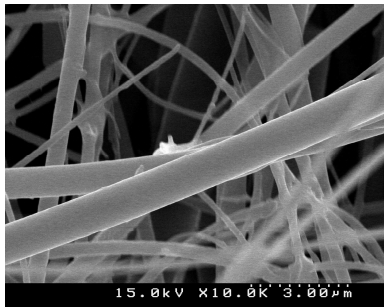


図 4.28 L2W(RL2) ブランクの FE-SEM 観察画像

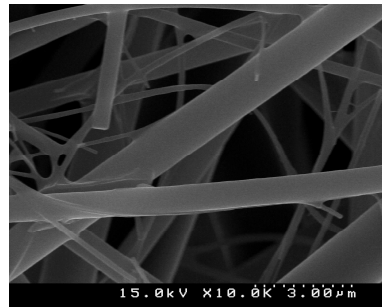
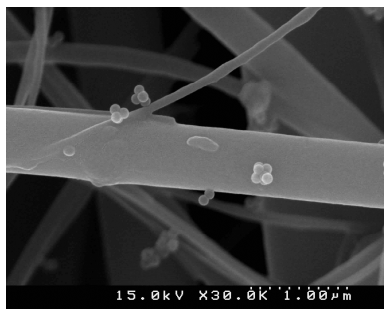
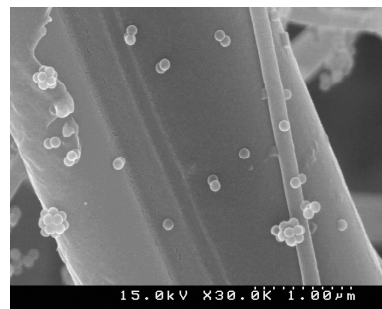


図 4.29 L(RL1) ブランクの FE-SEM 観察画像



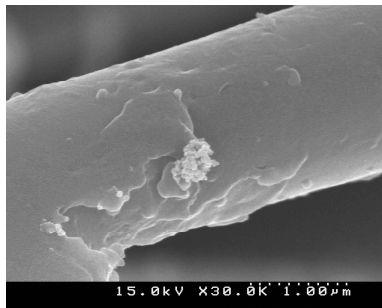
(a) フィルター：L2W



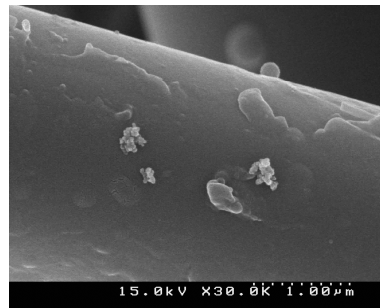
(b) フィルター：L

試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子 試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子

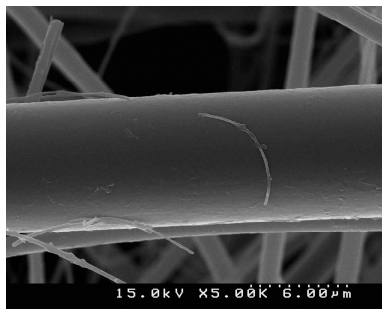
図 4.30 各フィルターに捕集された粒子の FE-SEM 観察画像(その 1)



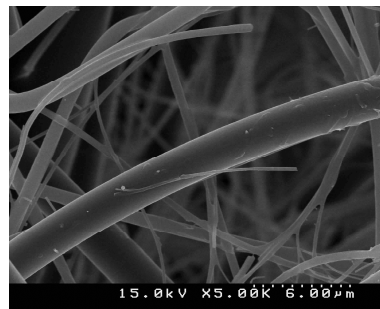
(c) フィルター：L2W
試験粒子：二酸化チタン



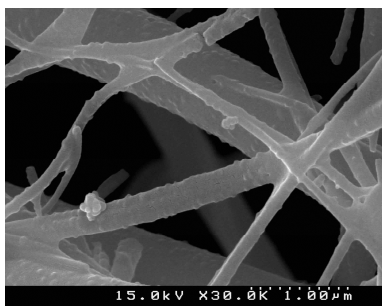
(d) フィルター：L
試験粒子：二酸化チタン



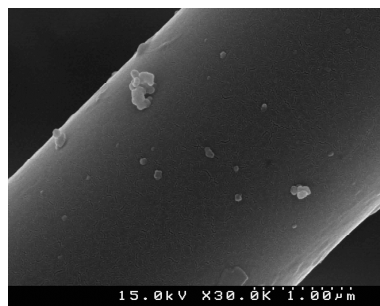
(e) フィルター：L2W
試験粒子：多層カーボンナノチューブ



(f) フィルター：L
試験粒子：多層カーボンナノチューブ



(g) フィルター：L2W
試験粒子：銀ナノ粒子



(h) フィルター：L
試験粒子：銀ナノ粒子

図 4.30 各フィルターに捕集された粒子の FE-SEM 観察画像(その 2)

4.3.5 考察

(1) ポリスチレンラテックス粒子

発生粒子の粒度分布は約 100nm にピークがあり、図 4.13 より FE-SEM 観察では、少量の凝集体も見られるがほとんどが単一の粒子であることからほぼ単分散の粒子が発生していたと考えられる。このような粒子に対し、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 4.15 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 4.16 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 4.17、図 4.18 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 4.19 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 4.20 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 4.12 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 4.23 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。

4.4 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。

4.4.1 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 4.14 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 4.14 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

4.4.2 実験方法

実験装置概略図を図 4.31 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、ディスポーザ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 4.31 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(4.3)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(4.3)より、粒径ごとの捕集効率を算出した。実験風景を図 4.32 に示す。

$$\text{捕集効率[\%]} = \frac{(\text{通過前個数濃度} - \text{通過後個数濃度})}{\text{通過前個数濃度}} \times 100 \quad (4.3)$$

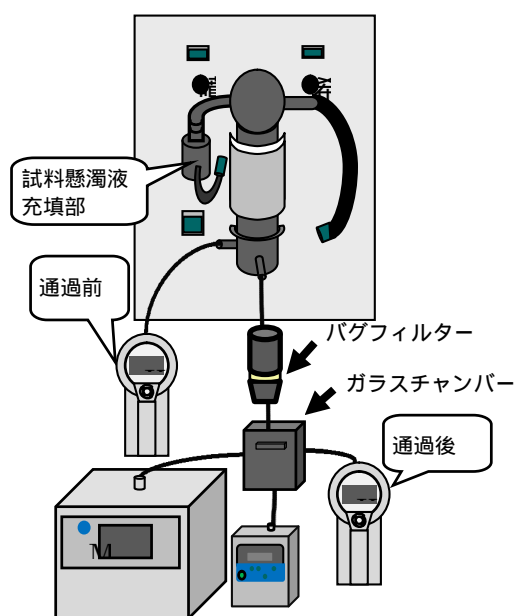


図 4.31 実験概略図



図 4.32 通過粒子測定実験の実験風景

主な実験条件を表 4.15 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 4.16 に示す。

表 4.15 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 4.16 二酸化チタン調整条件

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

4.4.3 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 4.33 ~ 図 4.35 に示す。

図 4.33 ~ 図 4.35 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。

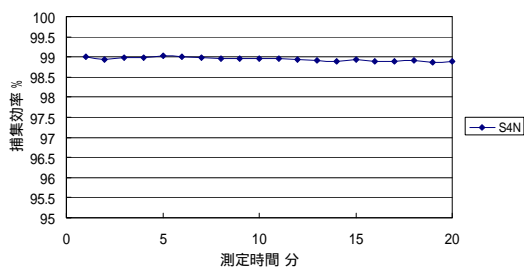


図 4.33 区分 RL3 フィルターの捕集効率 (試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子)

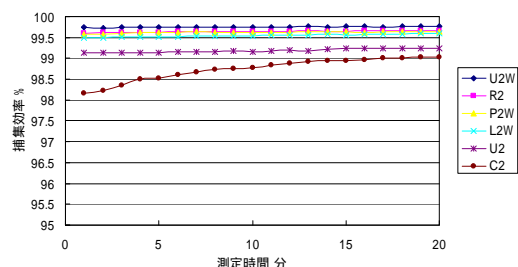


図 4.34 区分 RL2 フィルターの捕集効率 (試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子)

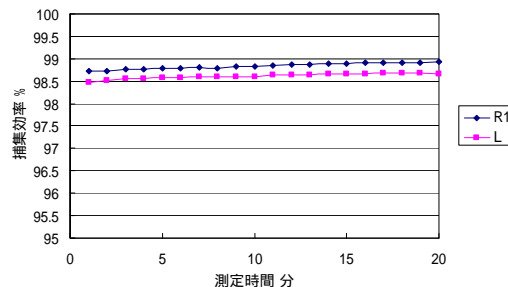


図 4.35 区分 RL1 フィルターの捕集効率(試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子)

発生粒子の粒度分布を図 4.36 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 4.37～図 4.39 に示す。

図 4.36 から、発生粒子は約 100nm のほぼ単分散であった。また図 4.37～図 4.39 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。

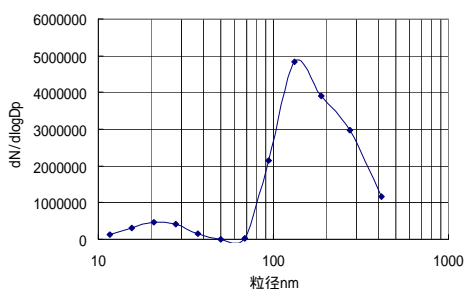


図 4.36 発生粒子粒度分布
(試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子)

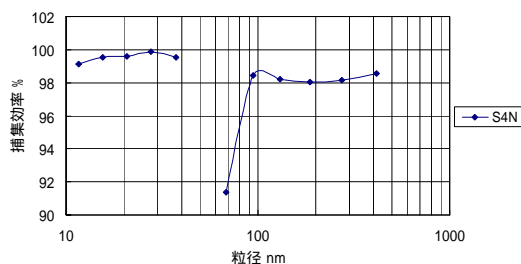


図 4.37 各粒径における捕集効率(区分 RL3)
(試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子)

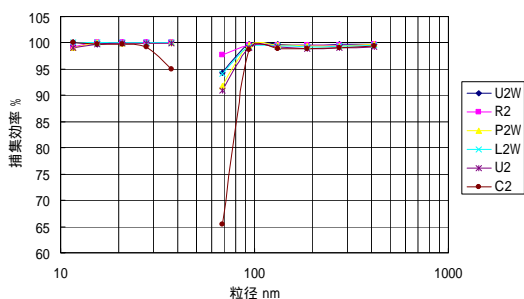


図 4.38 各粒径における捕集効率(区分 RL2)
(試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子)

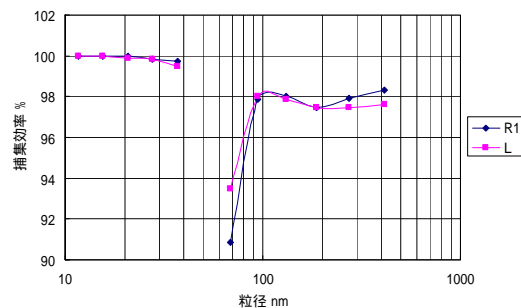


図 4.39 各粒径における捕集効率(区分 RL1)
(試験粒子：ポリスチレンラテックス粒子)

(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 4.40～図 4.42 に示す。

図 4.40～図 4.42 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。

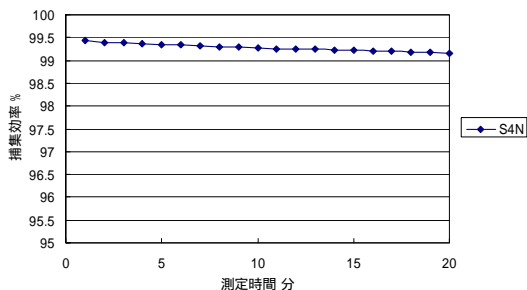


図 4.40 区分 RL3 フィルターの捕集効率
(試験粒子：二酸化チタン)

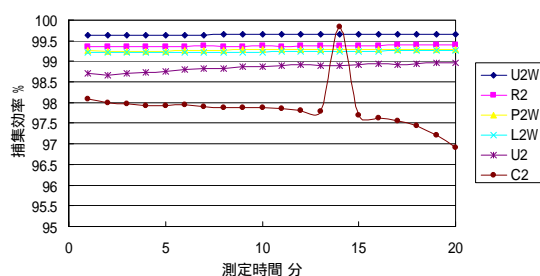


図 4.41 区分 RL2 フィルターの捕集効率
(試験粒子：二酸化チタン)

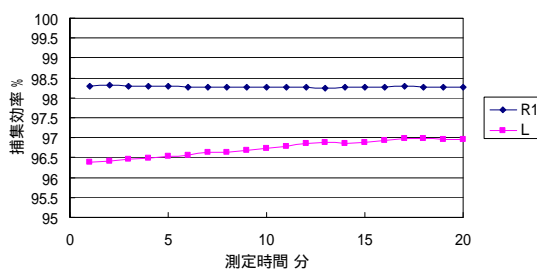


図 4.42 区分 RL1 フィルターの捕集効率
(試験粒子：二酸化チタン)

発生粒子の粒度分布を図 4.43 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 4.44 ~ 図 4.46 に示す。

図 4.43 より、発生粒子では 50 ~ 70nm 付近にピークが見られた。また、図 4.44 ~ 図 4.46 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。

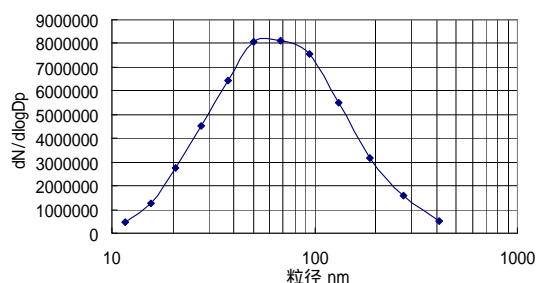


図 4.43 発生粒子粒度分布
(試験粒子：二酸化チタン)

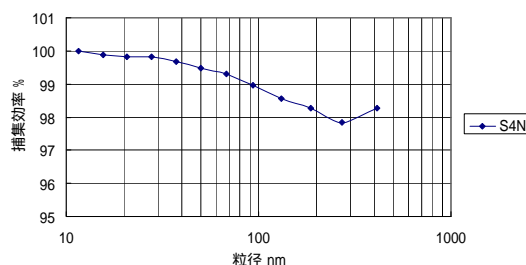


図 4.44 各粒径における捕集効率(区分 RL3)
(試験粒子：二酸化チタン)

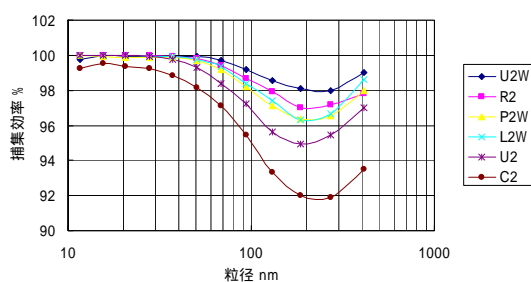


図 4.45 各粒径における捕集効率(区分 RL2)
(試験粒子：二酸化チタン)

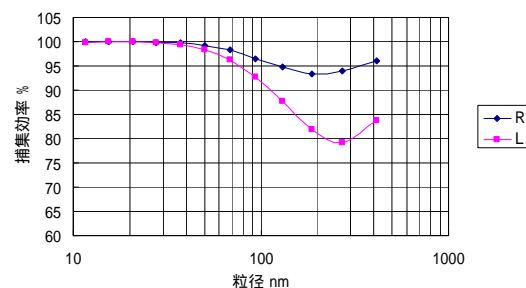


図 4.46 各粒径における捕集効率(区分 RL1)
(試験粒子：二酸化チタン)

(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 4.47 ~ 図 4.49 に示す。

図 4.47 ~ 図 4.49 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。

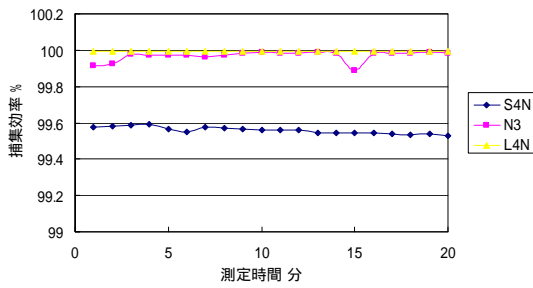


図 4.47 区分 RL3 フィルター捕集効率
(試験粒子：銀ナノ粒子)

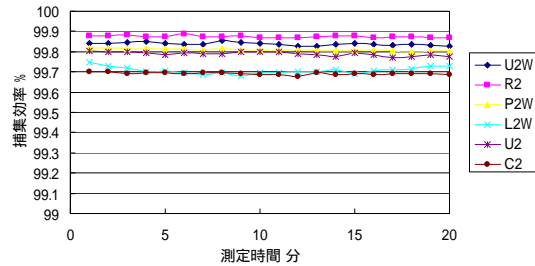


図 4.48 区分 RL2 フィルター捕集効率
(試験粒子：銀ナノ粒子)

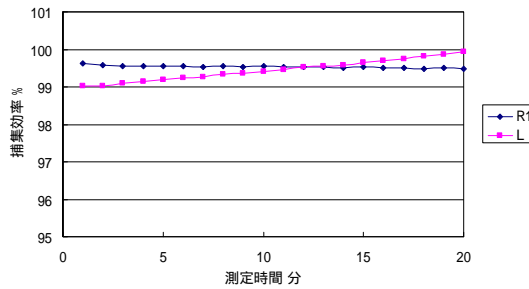


図 4.49 区分 RL1 フィルター捕集効率(試験粒子：銀ナノ粒子)

発生粒子の粒度分布を図 4.50 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 4.51～図 4.53 に示す。図 4.50 から、約 40nm に粒度分布のピークがあり、図 4.51～図 4.53 より、どの粒径に対しても高い捕集効率を示していた。

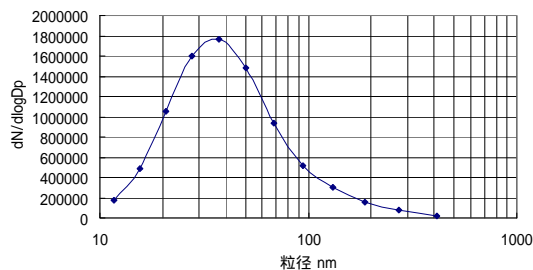


図 4.50 発生粒子粒度分布
(試験粒子：銀ナノ粒子)

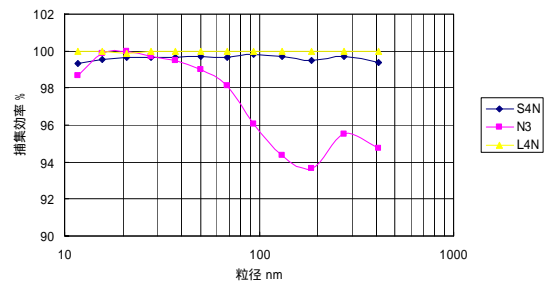


図 4.51 各粒径における捕集効率(区分 RL3)
(試験粒子：銀ナノ粒子)

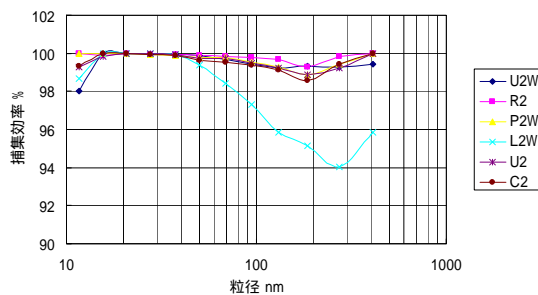


図 4.52 各粒径における捕集効率(区分 RL2)
(試験粒子：銀ナノ粒子)

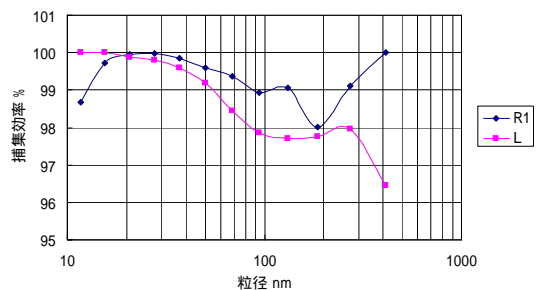


図 4.53 各粒径における捕集効率(区分 RL1)
(試験粒子：銀ナノ粒子)