

ブルガスは DMA に導入され、ここで分級される。DMA は二重管となっており、それらの間で電場が形成されている。電場の中をシースガスエアが流れており、その外側からサンプルガスが導入され、サンプルガス中に存在するプラスに帯電した粒子がマイナスに印加された中央の電極に向かって、静電気力と気体の抵抗力が釣り合った状態で移動する。この時、ある速度（電気移動度）を有する粒子のみがサンプリングスリット付近に誘導される。その誘導された同一の電気移動度を有する粒子はサンプリングスリットを通り抜けて小流量のガスとともに取り出され、凝縮式粒子計数器に導入されて計数される。帯電数が一定の場合、電気移動度と粒径の対応は一对一の関係となるため、DMA の中央の電極の電圧を変化させ、移動度の異なる粒子をスリットに通過させることで粒径毎の粒子数を計測する。ここで、計測された粒子は総粒子数の内、+1 価の電荷を有する一部の粒子のみなので、総粒子数は既知の帯電パターンを考慮して推計される。

なお、本研究では、SMPS Model 3936(以下、これを SMPS と称す。)と同様の原理を有する Wide-Range Particle Spectrometer Model1000XP(WPS : MSP Inc.製)を使用した。SMPS、WPS の外観をそれぞれ図 2.4 及び図 2.5 に、仕様をそれぞれ表 2.3、表 2.4 に示す。

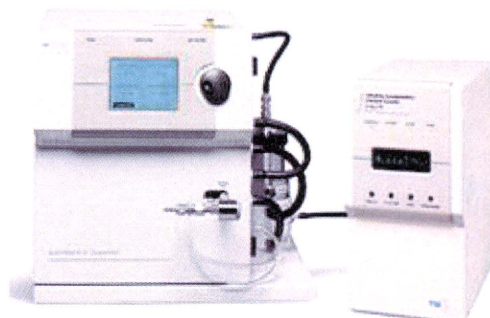


図 2.4 SMPS の外観



図 2.5 WPS の外観

表 2.3 SMPS の仕様

濃度範囲	1~10 <sup>7</sup> pt/cm <sup>3</sup>
粒径範囲	10~1000nm
粒径分解能	167 チャンネル
吸引流量	1.0 L/min
静電分粒器流量 (エアロゾル)	0.20~2.0L/min
静電分粒器流量 (シースエア)	エアロゾル流量 (通常) 2~15 lpm
計測時間	最大 : 15~600 秒 (ユーザー選択、自動連続計測)
サンプリング回数	1~999 回
電源	100/115/220/240VAC、50~60Hz、40W

表 2.4 WPS の仕様

項目	MODEL 1000XP	
	コンフィグレーション A	コンフィグレーション B
サンプリング流量	1.0L/min	0.3L/min
DMA シース流量	3.0L/min	
可測粒子径範囲	10nm~10,000nm	10nm~500nm
DMA 粒径測定精度	平均モビリティ粒径 : ±3% NIST トレーサブル PSL(100.7nm, 269nm)を使用	
CPC 個数濃度測定精度	±10%(MSP) シングル粒子カウントモード	
CPC 凝縮液	n-ブチルアルコール(ブタノール)	
DMA-CPC 粒子濃度範囲	500~10 <sup>7</sup> 個/cm <sup>3</sup>	
LPS 粒子濃度範囲	0~500 個/cm <sup>3</sup>	
計測モード	WPS(DMS+LPS)	
	SWS(SMS+LPS)	
計測時間	SMS, SWS : 24~400 秒	SMS : 24~400 秒
	DMS, WPS : 24~1200 秒	DMS : 24~1200 秒
	LPS : 1~3200 秒	
動作温湿度	10~35°C, 0~90%RH(結露しないこと)	
大きさ	幅 432×高さ 318×奥行き 512mm(突起物含まない)	
質量	約 25kg	

- ⑦ 電界放出型走査型電子顕微鏡 : Field Emission- Scanning Electron Microscope :  
FE-SEM、日本電子製、FE-SEM は、電子銃に電界放出型電子銃を利用した走査型

電子顕微鏡で、800,000 倍までの観測が可能である。FE-SEM の仕様を表 2.5 に示す。

表 2.5 FE-SEM の仕様

電子銃	熱陰極 FE 電子銃
分解能	二次電子像 1nm (15 kV) 、1.4nm (1 kV)
倍率	×20～×800,000
加速電圧	0.1～2.0kV (リターディング) 0.5～30 kV (標準)
検出方法	二次電子像、反射電子像、STEM 像 (明視野像, 暗視野像)

使用する各種測定器 (P-5H、LD-5、GT-526、CPC、WPS、SMPS)の測定範囲を図 2.6 に示す。なお、CPC における点線部は 50%カウントを示す範囲である。

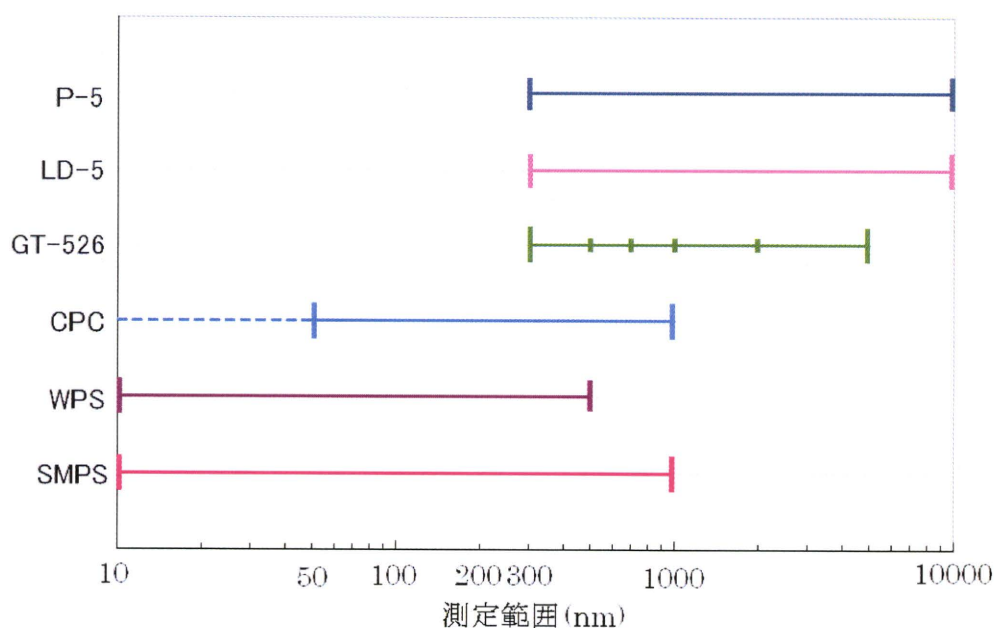


図 2.6 使用する測定器の測定範囲

## 2 実験室系でのナノ粒子に対する各種測定器の測定特性

### 2.1 実験目的

ナノ粒子をバルク分散法と超音波分散法の二種の方法でチャンバー内に分散させたとき、ナノ粒子に対して、市販の粉じん計はどのような挙動を示すか確認するとともに、CPC や SMPS といったナノサイズの粒径を測定範囲にもつ測定器と比べて、相関性が存在するかどうかを検証した。なお、本実験で使用したナノマテリアルは、カーボンナノチューブ (以下、CNT) 、炭化ケイ素及びヒュームドシリカである。また、CNT 測

定実験では、今後 SEM を使用することが不可欠であることから、どのフィルターが一番電子顕微鏡で観察しやすいかも併せて検討した。

## 2.2 ナノ粒子分散法

### 1) バルク分散法

粒子バルク分散器（柴田科学株式会社製）と呼ばれる装置を用いる。その外観を図 2.7 に示す。粒子バルク分散器は、まだ製作途中段階のものであるが、図 2.7 のようにチューブ接続部分に薬さじで約 1 杯、試料を充填する。右の部分にモーターが付けられており、一定電圧（約 3V）を加えることで、そのモーターの先端が回転し、そこに歯車のように取り付けられた金属部分が試料充填部に接続されており、振動が伝わる。試料充填部分が振動することで、試料同士が互いにぶつかり合い、それぞれのバルク物性によって、細かく分散する。また、下からエアを送気することで、分散した粒子が巻き上げられ、チューブ内に送られる。ここで、粒子が帯電していると、静電気力によって容易に分散しにくくなるので、試料充填部に送られるエアは、事前にイオナイザー（型番:514697B、（株）キーエンス製）を経由して、静電気が除去された状態のエアにしておく必要がある。イオナイザーとは、陽イオンと陰イオンを発生させて、帯電した物体を逆極性のイオンで中和し、静電気を除去するものである。

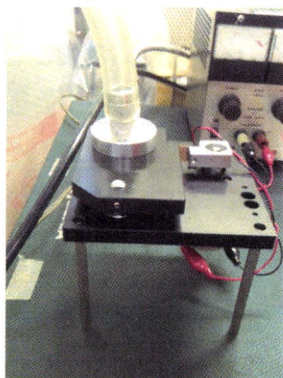


図 2.7 粒子バルク分散器

### 2) 超音波分散法

この方法では分散にアトマイザー（柴田科学株式会社製）を用いる。アトマイザーの外観を図 2.8 に示す。事前に試料懸濁液を調製しておき、それを右上部の容器に充填する。マスフローメーターを通じて、エアを試料充填容器に送ると、気泡が生じ、水面で気泡が破裂し、微小なミストが生成され、中央のチャンバー内に送られる。これにより、試料懸濁液の濃度を低くすることで、一つの水滴に粒子がおおよそ一つ含んだ状態にすることができる。中央下部に測定器をチューブで接続することができるガラス管（外径:8mm）が取り付けられており、そこまでの、ガラス管にはヒーターが巻かれている。そこで、ヒーターにより 100℃以上の熱を加えることで、ミストを蒸発させ、ミスト内に含まれている粒子のみを中央下部のチャンバー内に飛散させる。



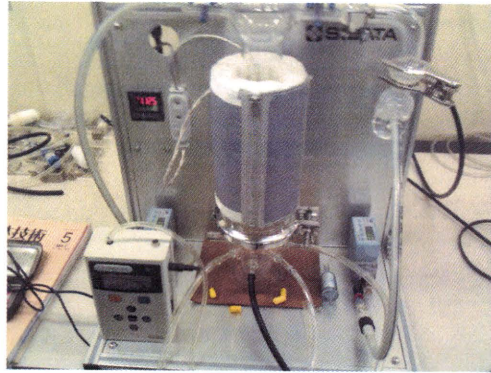


図 2.8 アトマイザーの外観

## 2.3 フィルターの選定

### 2.3.1 使用した試料

本実験で使用したカーボンナノチューブ (carbon nanotube :以下 CNT と略す) は、製品として、CNT に樹脂コーティングされ、実際現場で使用されているものを供給して貰い使用した。CNT の外観を図 2.9 に、FE-SEM による観察像を図 2.10 に示す。



図 2.9 CNT の外観

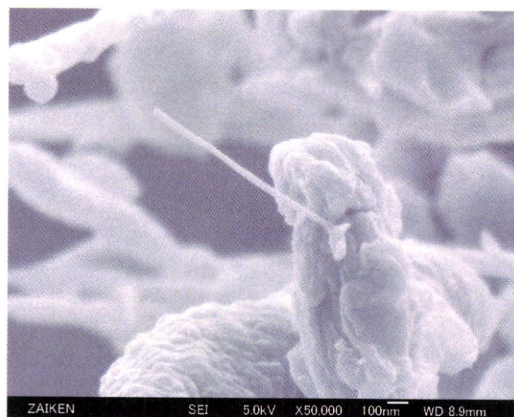


図 2.10 CNT の FE-SEM 観察像 (×50,000)

図 2.10 のように、実際は CNT 粒子が凝集して、さらに樹脂コーティングされていることから、粒径がマイクロオーダーで、かつ粒径が一定ではなかったため、粒子分散器で分散させて、測定を行った。

### 2.3.2 使用フィルターの種類

#### (1) テフロンバインダーグラスファイバーフィルターT60A20

テフロンバインダーグラスファイバーフィルターT60A20 (PALLFLEX Inc.製、以下、T60A20 と略す。) は、幅広い粒子状物質の捕集に対応しており、特に粉じんの捕集に適している。また、メンブランフィルターや従来のグラスファイバーフィルターに比べてはるかに吸湿性が低いため、恒量にするための高湿槽処理やデシケーター内放置を必要としない。よって秤量時に湿度の影響による重量増減がなく、精度の高い秤量を行うことができる。T60A20 の形態を図 2.11 に示す。



図 2.11 FE-SEM による T60A20 の形態(×5,000)

#### (2) メンブランフィルター

メンブランフィルター(ADVANTEC Inc、以下、メンブランと略す。) は、多孔質のフィルム状フィルターで、繊維のからみあった形態で形成されるろ材とは異なり、円形に近い孔が相互につながりあった孔構造をもっている。均一で微細な孔が数多く空いているため、微生物や微粒子の捕捉に適しており、用途面では、微生物/微粒子試験用と、一般ろ過用に分けられている。メンブランの形態を図 2.12 に示す。

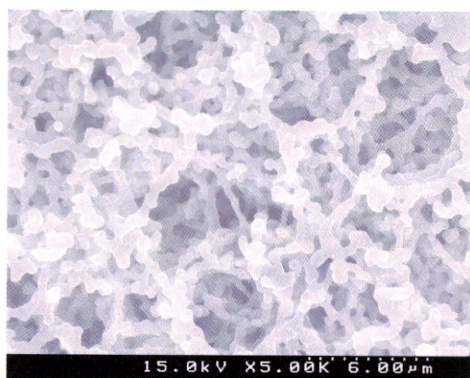


図 2.12 FE-SEM によるメンブランの形態(×5,000)

### (3) 銀メンブランフィルター

銀メンブランフィルター (SKC Inc.、以下、銀メンブランと略す。)は、純度 99.97 % の銀を使用したメンブランフィルターであり、強固に金属結合しているため、メンブラン繊維が溶出することがない。銀メンブランの形態を図 2.13 に示す。



図 2.13 FE-SEM による銀メンブランの形態(×5,000)

### (4) ニュークリポアフィルター

ニュークリポアフィルター (SKC Inc.、以下、ニュークリポアと略す。)は、ポリカーボネートフィルターの種類で、均一な表示径の円筒状直孔を持つスクリーンタイプのフィルターである。捕捉物の光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡観察において有効で、液体中、気体中の微粒子計数や微生物検査などに使われる。ニュークリポアの形態を図 2.13 に示す。

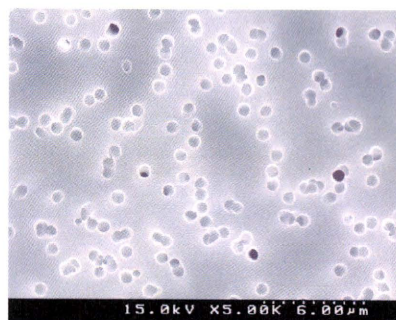


図 2.13 FE-SEM によるニュークリポアの形態(×5,000)

## 2.3.3 実験方法

粒子発生装置フロー、また、粒子発生装置の様子、ガラスダクトチャンバーの外観、マスフローメーターの外観をそれぞれ図 2.14、2.15 及び図 2.16 に示す。ポンプからマスフローコントローラーが付いたマスフローメーター (型番:ERS03A、(株)山武製) で流量を調節しながら、送気する。図 2.14 のように、一つはそのままガラスダクトチャンバーに、一つはイオナイザーと粒子バルク分散器を経由させる。粒子バルク分散器の試料充填部に CNT 試料を充填し、付属のモーターに電圧約 3.0V を加え、試料充填部



分を振動させ、試料を分散させたのち、チューブを通じてガラスダクトチャンバーに導入する。ガラスダクトチャンバー拡大図を図 4.16 に示す。図 4.15 のようにガラスダクトチャンバーに接続されているガラス管（外径:8mm）にチューブをつないで、測定器を接続する。試料をバルク分散させてから 30 分間測定を行った。4 つのオープンフェイスを用いて、4 種類のフィルター上に捕集された CNT を FE-SEM を用いて観察した。

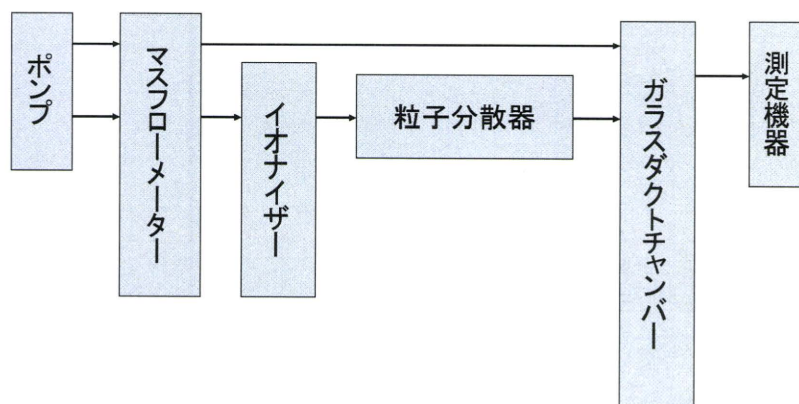


図 2.14 粒子発生装置フロー



図 2.15 粒子発生フローの様子



図 2.16 ガラスダクトチャンバーの外観



### 2.3.4 実験条件

主な測定条件を表 2.6 に示す。

表 2.6 主な測定条件

送気流量	直接：10.1L/min 粒子バルク分散器：5.0L/min
測定時間	30 分
オープン用ポンプ流量	2.0L/min
チューブ	トアロンチューブ

### 2.3.5 実験結果

バルク分散法で CNT を発生させ、T60A20、メンブラン、銀メンブラン、ニュークリポアのフィルターで捕集した後、それぞれのフィルターの捕集面を FE-SEM を用いて観察した。各フィルターに捕集された CNT をそれぞれ図 2.17～図 2.24 に示す。なお、捕集後のフィルターの観察には JEOL-JSM-6500F を使用した。

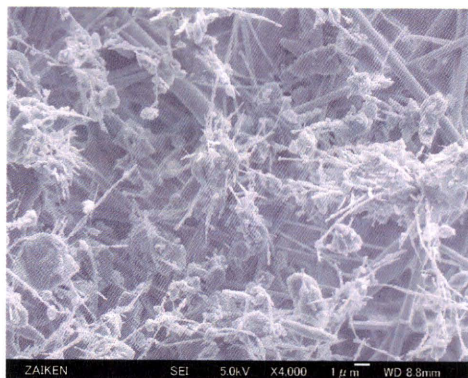


図 2.17 T60A20 (×4,000)

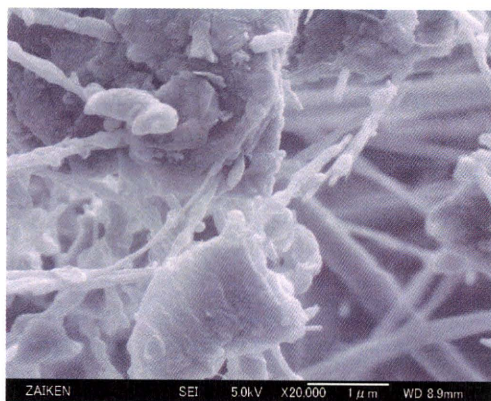


図 2.18 T60A20 (×20,000)

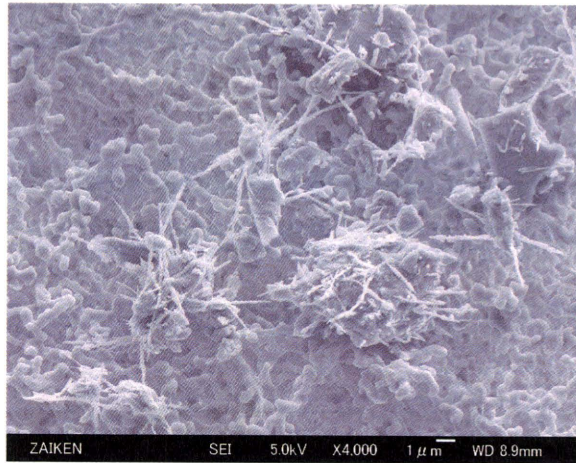


図 2.19 メンブラン (×4,000)

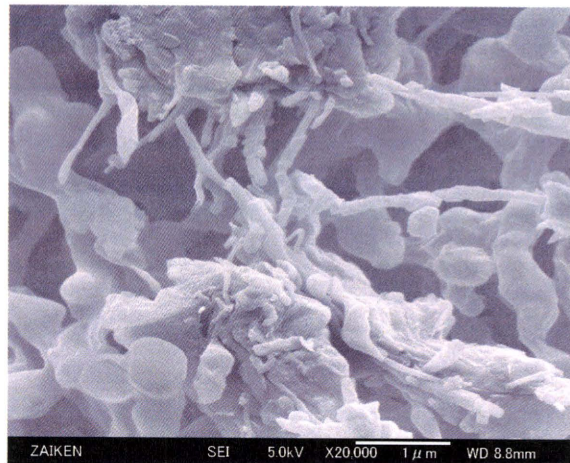


図 2.20 メンブラン (×20,000)

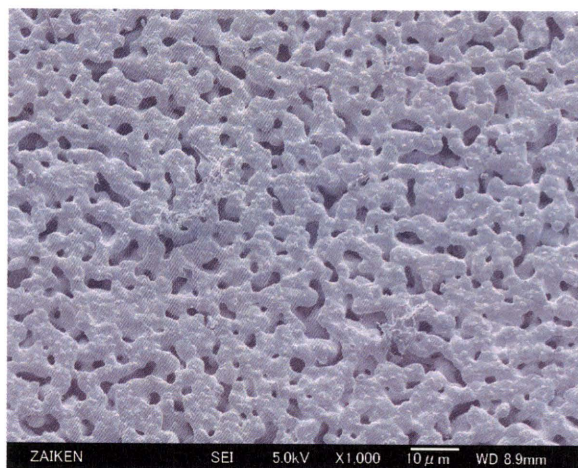


図 2.21 銀メンブラン (×1,000)



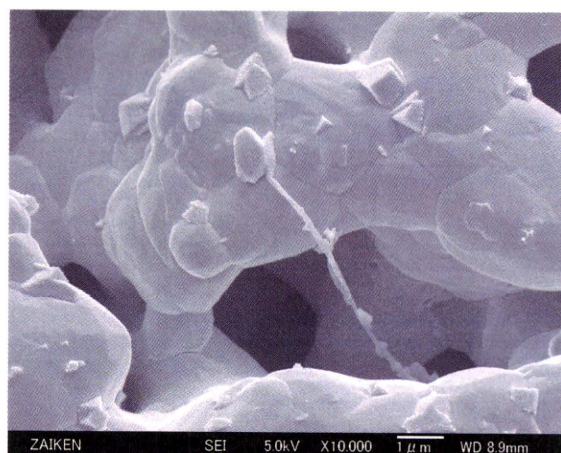


図 2.22 銀メンブラン (×10,000)

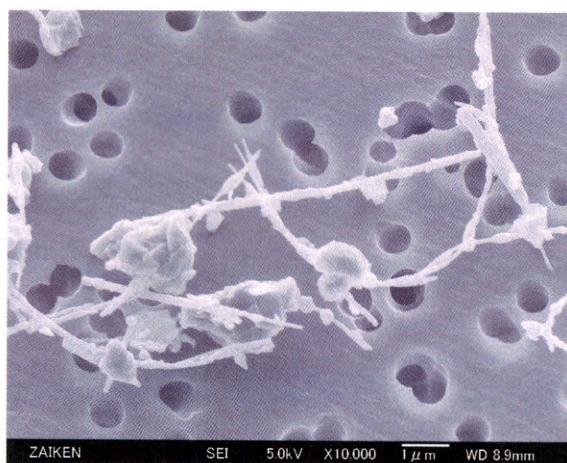


図 2.23 ニュークリポア (×10,000)

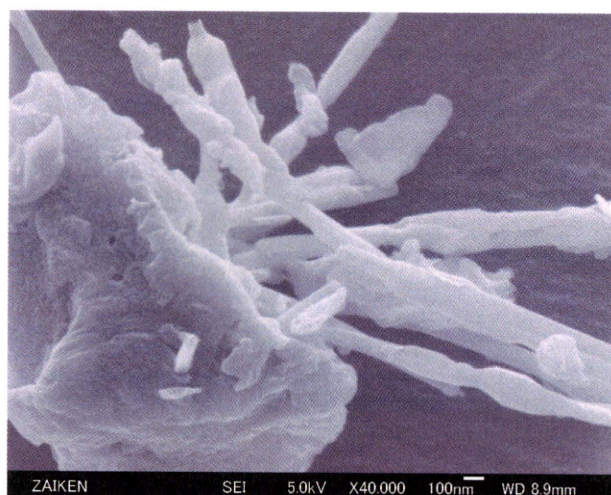


図 2.24 ニュークリポア (×40,000)



### 2.3.6 考察

図 2.17 より、T60A20 は、そのもの自体が繊維状なため、細長い形状をした CNT は、凝集していても観察しにくい像となった。図 2.18 から、樹脂と思われる粒子に含まれているものが CNT であると思われるが、樹脂にコーティングされた CNT の凝集体は繊維質が重なり合っているため、T60A20 と判別しづらいことから、T60A20 は繊維状のナノ粒子を FE-SEM で観察することにはあまり有効でないと考えられる。

図 2.19 より、メンブランは、材質の凹凸が大きいため、CNT は確認できるものの、樹脂の固形粒子が確認しにくい像となった。図 2.20 のように 20,000 倍に拡大しても、樹脂にコーティングされた凝集体の大きさが断定しにくかった。また、目的の粒子が粒状の場合、材質との違いが判断しにくい面から、本来の CNT のような繊維状粒子が飛散していると思われる環境でのサンプリングにおいては、有効であると考えられる。

図 2.21 から、銀メンブランは、その材質が、細孔付近が丸みを帯びている分、CNT の凝集体が T60A20 やメンブランに比べて、確認しやすい像となった。10,000 倍に拡大した像が図 2.22 である。ところどころに粒状の付着物が確認できるが、これが銀粒子であると思われる。そして中央部の繊維状粒子が、CNT の凝集体である。CNT は芽が出た種のような形状をしているが、図 2.22 ではそれがいくつも連なってマイクロオーダーの粒子を形成しているのが分かる。また、銀粒子が付着しているので、導電性をもっていることから、銀メンブランは FE-SEM での観察に有効なフィルターであると考えられるが、目的粒子が粒状であった場合、銀粒子と混同する可能性もあるので、銀メンブランはメンブラン同様、CNT のような繊維状粒子が飛散していると思われる環境でのサンプリングにおいて、有効であると考えられる。

図 2.23 から、ニュークリポアは表面が非常に平滑なため、CNT 粒子の凝集体が捕集されていることがはっきり確認することができた。また、この図を見渡すと CNT が単分散していないことも分かった。凝集体を拡大した像が図 2.24 である。他のフィルターに比べて、材質の不均一性や付着物がないため、FE-SEM による観察に有効なフィルターであると考えられる。

以上のことから、これ以降は SEM、FE-SEM 観察試料用のフィルターとして、銀メンブランとニュークリポアを使用することとした。

## 2.4 炭化ケイ素粒子の測定

### 2.4.1 使用した試料

本実験で使用した炭化ケイ素粒子（比重：3.22、分子量：40）は、メーカーサイズで 70~80nm のものを使用した。炭化ケイ素粒子の外観を図 2.25 に、FE-SEM による観察像を図 2.26 に示す。

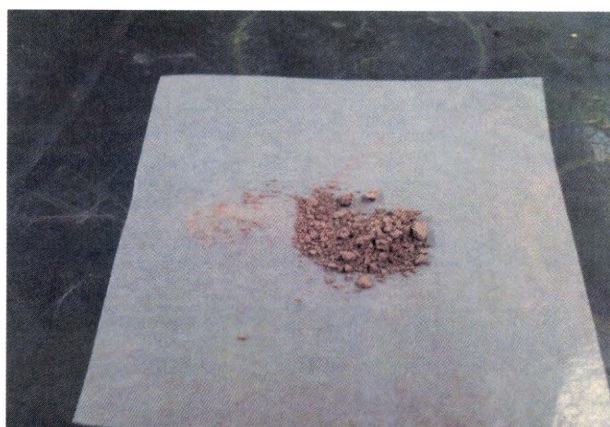


図 2.25 炭化ケイ素粒子の外観



図 2.26 炭化ケイ素粒子の FE-SEM 観察像 (×50,000)

図 2.26 のように、実際にフィルター上に捕集された炭化ケイ素粒子は炭化ケイ素粒子が凝集して、約 300nm の粒径の粒子が形成されていた。

#### 2.4.2 使用機器

- (1) LD-5
- (2) GT-526
- (3) CPC
- (4) SMPS
- (5) 粒子バルク分散器
- (6) アトマイザー

#### 2.4.3 実験方法

- (1) バルク分散法による実験

実験方法は、「2.3 フィルター選定実験」と同様である。また、本実験では、オープンフェイスを併行測定しなかったため、エアーを直接ガラスダクトチャンバーに送気せず、全てに分散器を通して実験を行った。さらに、0～5分は流量 12.0L/min、5～15分は流量 5.0L/min、15～25分は流量 12.0L/min に戻して、測定を行った。

(2) 超音波分散法による実験（試料懸濁液調製）

- ① マイクロシリンジの 1 滴平均を算出する。
- ② 電子天秤で、炭化ケイ素を 1g 量りとり、100mL 三角フラスコに充填し、全量を 100mL となるように超純水を加えた後、ふたをして、超音波浸透器で 5 分間攪拌する。これを原液とする。
- ③ 原液を 1 滴と 5 滴、マイクロシリンジで別々のメスフラスコにとり、全量 40mL となるように超純水を加え、ふたをして、超音波浸透器で 5 分間攪拌する。

以上の操作より、濃度の違う試料懸濁液を 2 つ調製した。

(3) 超音波分散法による実験

(2)で調製した試料懸濁液をアトマイザーの試料充填容器に充填し、マスフローメーターを通じて、エアーを送気する。125℃でガラス管を熱し、ミストが蒸発するように設定して、中央下部のガラス管にチューブで測定器を接続し、15分間測定を行った。

2.4.4 実験条件

(1) バルク分散法による実験

バルク分散法による実験の測定条件を表 2.7 に示す。

表 2.7 バルク分散実験の測定条件

送気流量	5.0L/min、12.0L/min
測定時間	30 分
チューブ	トアロンチューブ
SMPS 分解能	10～1000nm 内で 113ch

(2) 超音波分散法による実験

超音波分散法による実験の測定条件を表 2.8 に示す。

表 2.8 超音波分散実験の測定条件

送気流量	3.5L/min、4.0L/min、4.5L/min
測定時間	15 分
ヒーター温度	125℃
チューブ	トアロンチューブ
SMPS 分解能	10～1000nm 内で 113ch
試料懸濁液濃度	原液 1 滴: $7.501 \times 10^{-6}$ mol/L 原液 5 滴: $3.751 \times 10^{-5}$ mol/L



### 2.4.5 実験結果

#### (1) バルク分散法による実験

##### (a) WPSによる粒度分布

WPSによる粒度分布を図 4.26 に示す。なお、図 2.27 の縦軸  $dN/d\log D_p$  は、単位粒径範囲における粒子個数を表したものである。WPS では設定チャンネル数によって、粒径範囲が変わってくるため、その粒径範囲でのカウント数を粒径範囲の対数で微分することで、異なった粒径範囲を等間隔にみなしたカウント数が得られる。

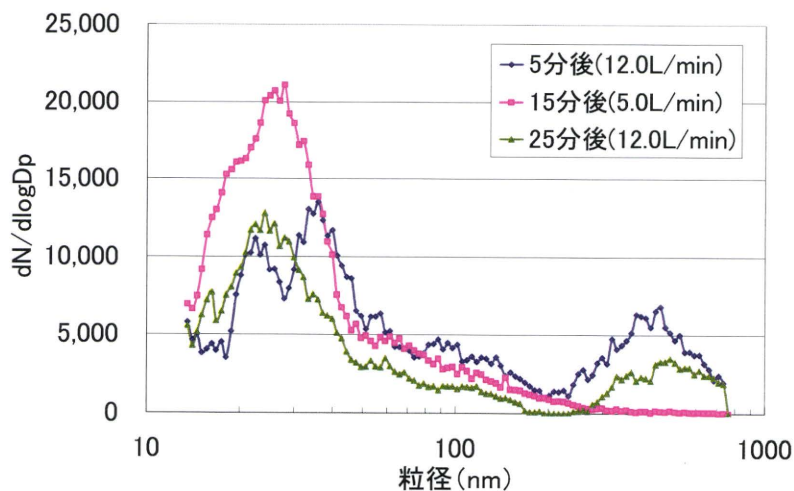


図 2.27 WPSによる粒度分布 (バルク分散)

##### (b) 市販の粉じん計およびCPCによる測定結果

GT-526による測定結果、GT-526( $0.3\ \mu\text{m}$ )とLD-5の測定結果の比較、GT-526( $0.3\ \mu\text{m}$ )とCPCの測定結果の比較、LD-5とCPCの測定結果の比較をそれぞれ、図 2.28 ~ 2.31 に示す。

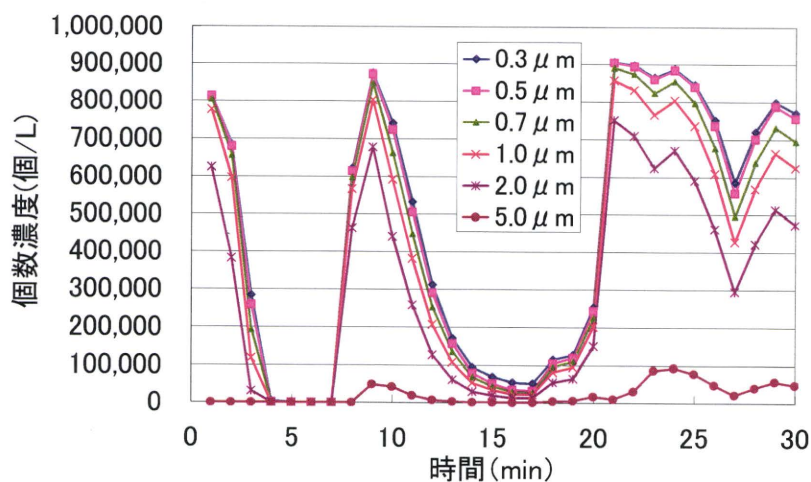


図 2.28 GT-526の測定結果 (バルク分散)

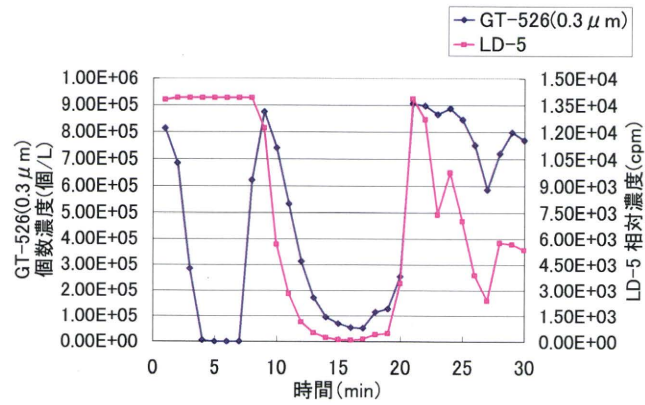


図 2.29 GT-526(0.3 μm)と LD-5 の比較 (バルク分散)

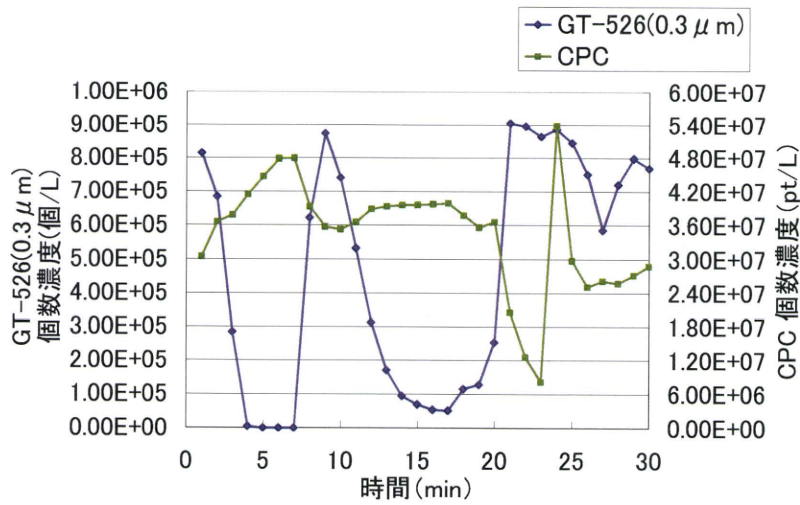


図 2.30 GT-526(0.3 μm)と CPC の比較 (バルク分散)

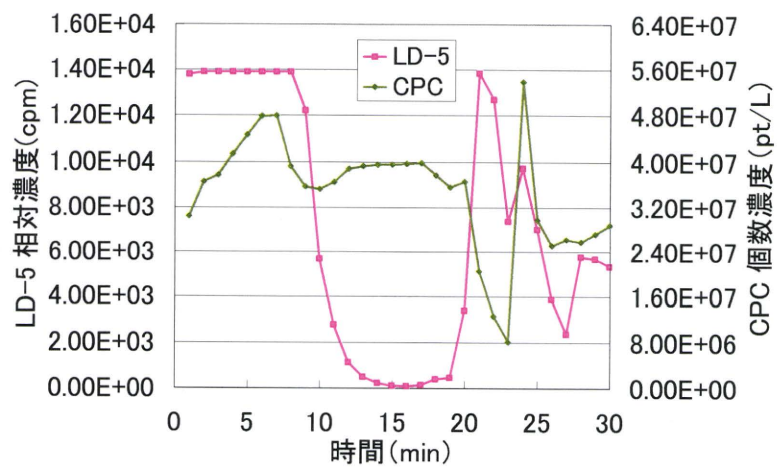


図 2.31 LD-5 と CPC の比較 (バルク分散)

(2) 超音波分散法による実験

(a) WPS による粒度分布

WPS による粒度分布を図 2.32 に示す。

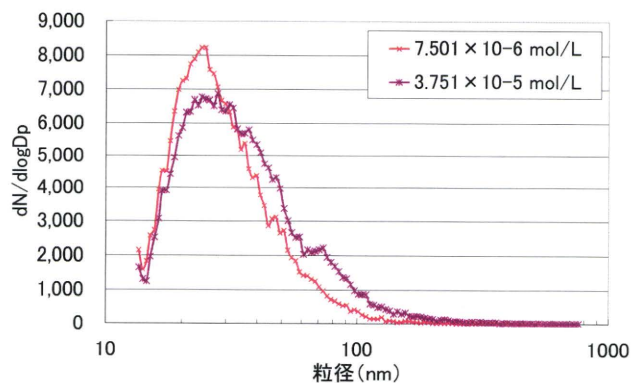


図 2.32 SMPS による粒度分布(超音波分散)

(b) 市販の粉じん計による測定結果

GT-526 の測定結果(濃度:  $7.501 \times 10^{-6}$  mol/L)、GT-526 の測定結果(濃度:  $3.751 \times 10^{-5}$  mol/L)、濃度:  $7.501 \times 10^{-6}$  mol/L での GT-526( $0.3 \mu\text{m}$ )と LD-5 および、CPC の測定結果の比較それぞれ、図 2.33~2.35 に示す。

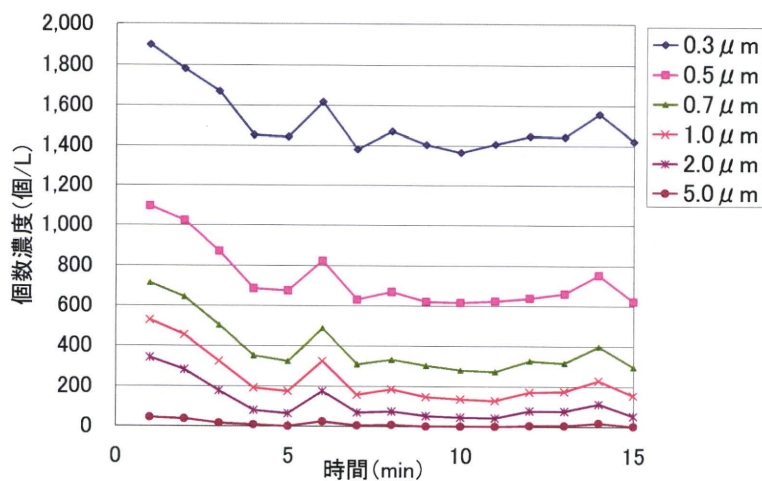


図 2.33 GT-526 の測定結果 (超音波分散、濃度: $7.501 \times 10^{-6}$  mol/L)



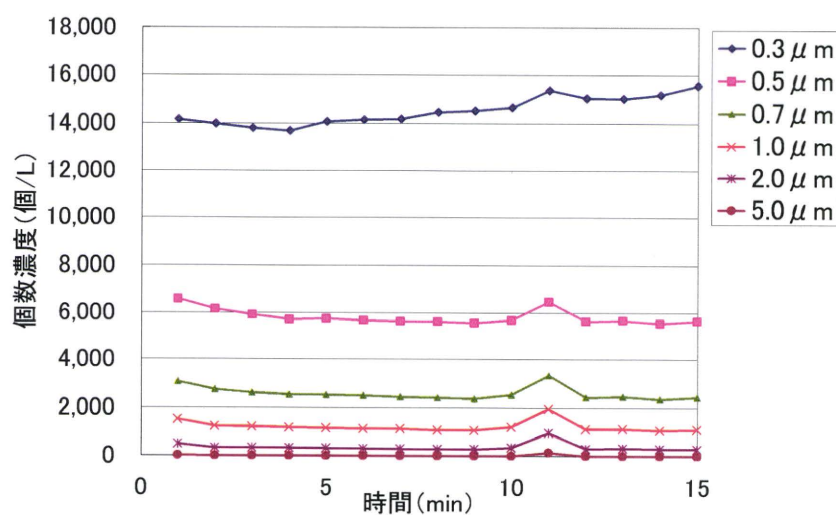


図 2.34 GT-526 の測定結果 (超音波分散、 $3.751 \times 10^{-5}$  mol/L)

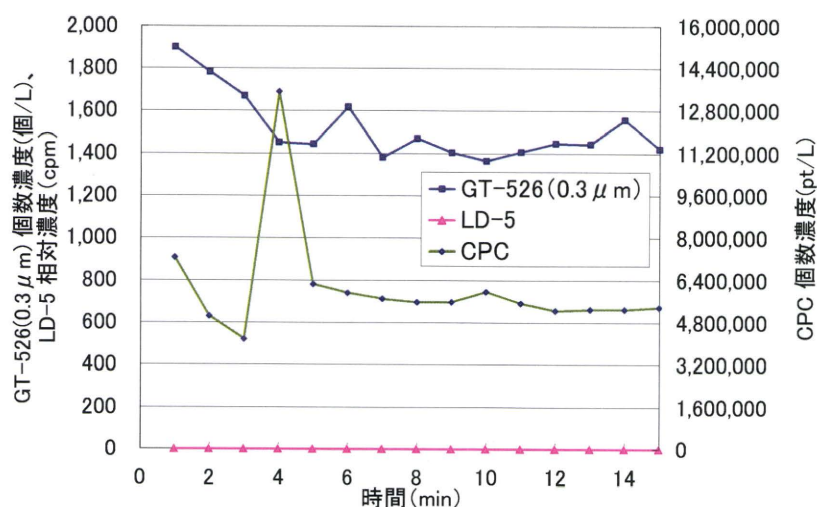


図 2.35 GT-526 (0.3 μm) と LD-5、および CPC の比較 (超音波分散、濃度: $7.501 \times 10^{-6}$  mol/L)

### 2.3.6 考察

#### (1) バルク分散法による実験

##### (a) WPS による粒度分布

図 2.27 によると、0~5 分、15~25 分で流量 12.0L/min のときの粒度分布と、5~15 分で流量 5.0L/min のときの粒度分布は大きく異なる結果となった。0~5 分、15~25 分で流量 12.0L/min のときの粒度分布では、ピークが 2 つに分かれ、約 10~50nm と約 250~730nm に確認されたが、5~15 分で流量 5.0L/min のときの粒度分布では約 250~730nm のピークがなくなり、約 10~50nm のピークが大きくなった。このこと

から、流量を下げることで、ナノ粒子が増加したと考えることができる。これは、粒子バルク分散器によって、ナノ粒子は結合力を失い、チューブ内もしくは、チャンバー内で単分散するはずが、0～5分、15～25分では流量が大きいため、分散しきる前に測定器を通過したために、約250～730nmの粒子にピークが見られたが、流量が小さくなると、チャンバー内での滞留時間が、相対的に長くなるので、チャンバー内で分散して、ナノ粒子となり、測定器を通過したので、5～15分では約10～50nmのカウント数が増加したと考えられる。

#### (b) 市販の粉じん計による測定結果

図2.28によると、全体的に大きく測定値が変動しているのがわかる。4～7分にかけて、測定中に値が0となった。図2.27のWPSの結果からも分かるように、粒子数が0になることはありえないので、これは測定器が何かしらのエラーを起こしていたと考えられる。これに関しては図2.29においても、LD-5の値が0～7分で全く同じ値を示しており、相対濃度が13500cpmほどと非常に高濃度であることから、測定上限を超えたと考えられる。特に図2.30より、CPCは0～7分で最高 $4.80 \times 10^6$ pt/Lで測定上限 $1.00 \times 10^7$ pt/Lを超えていないことから、CPCが検出できる50～1,000nmの範囲より大きい粒子であり、なおかつ図2.28より、 $5.0 \mu\text{m}$ の測定値が小さいため、 $1.0 \sim 5.0 \mu\text{m}$ の粒子がかなり高濃度で存在していて、両測定器ともそれらをカウントするため、エラーを起こしたのではないかと思われる。また、GT-526の測定結果において、0.3、0.5、0.7、1.0、 $2.0 \mu\text{m}$ が同じような挙動を示していたため、これらの粒径の粒子を管理する場合は、どれか一つの粒径を測定すれば、他の粒径の挙動も推定できると考える。

流量を落としてみると、濃度も落ちてきたため、図2.29より、8～15分にかけて、両測定器のカウントが落ちていることがわかる。15分での測定値は図2.27の15分後の粒度分布を見ても、300nmのピークが出ていないため、この時点での両測定器の測定値は信頼性があると考えられる。その後、流量を再び戻した時点では、再び高濃度となり、両測定器ともカウント数が増加したが、20～30分にかけて、同じような挙動をしながら、減少していつている。これは、0～20分間で粒子バルク分散器内の試料量が少なくなったためであると思われる。

また、図2.29より、GT-526、LD-5およびCPCの関係において、30分間の測定のうち、LD-5とGT-526( $0.3 \mu\text{m}$ )の結果は、10分以降では、比較的似た挙動を示していることから、LD-5の測定下限粒径とGT-526( $0.3 \mu\text{m}$ )の測定粒径が近いことから、相関性が無いとは言いきれないと考える。しかし、図2.30および図2.31は、一見GT-526およびLD-5のCPCに対する相関性は認めにくいように思えるが、CPCの個数濃度はGT-526の個数濃度と2桁の差があり、CPCの測定範囲を考えると、 $0.3 \mu\text{m}$ の粒径に対する計測値であることから一概に相関性がないとは言えない。つまり、 $0.3 \mu\text{m}$ 前後の粒子が多い場合は、GT-526およびLD-5のCPCに対する相関性が生じる可能性があると考えられる。

## (2) 超音波分散法による実験

### (a) WPS による粒度分布

図 2.32 によると、濃度を変えると、大きな分布の違いは見られず、どちらも約 10~50nm のナノ粒子に大きくピークが確認できたが、比較して濃度の高い  $3.751 \times 10^{-5}$  mol/L の方が、ピークの高さが低くなり、40~800nm の測定値が濃度  $7.501 \times 10^{-6}$  mol/L よりも高くなっているのが確認できた。これは濃度が高くなったことで、粒子数が増加し、凝集体が形成されやすくなったためであると考えられる。凝集体を形成することでナノ粒子の個数が減少したため、ピークが低くなったと考えられる。濃度  $7.501 \times 10^{-6}$  mol/L においては、図 2.26 のように凝集していた炭化ケイ素粒子が、単分散したものである。

### (b) 市販の粉じん計による測定結果

図 2.33 と図 2.34 より、カウント数が安定しているため、流量調整されたエアリーによって、チャンバー内に送られてくる粒子数が安定していたことがわかった。また、0.3~5.0  $\mu\text{m}$  のうちの 6 つの粒径全てが同じような挙動を示していたため、これらの粒径の粒子を管理する場合は、どれか一つの粒径を測定すれば、他の粒径の挙動も推定できると考える。ここで、図 2.32 の SMPS に粒度分布と比較すると、濃度  $3.751 \times 10^{-5}$  mol/L における GT-526 の測定値が、濃度  $7.501 \times 10^{-6}$  mol/L における測定値よりも多くカウントしていることから、濃度を高くすることで、ナノ粒子が凝集し、マイクロオーダーの凝集体を形成すると考えられる。

図 2.35 において、CPC の 4 分において、急激にナノ粒子をカウントしたようなピークが見られるが、このときアルコールエラーがおき、アルコールを再充填した直後であったので、このような極端なピークが見られたものと思われる。それ以外の挙動は、GT-526(0.3  $\mu\text{m}$ )と同じように安定した値であった。6 分および 14 分で、GT-526(0.3  $\mu\text{m}$ )では、ピークが見られるのに対し、CPC では見られなかったが、全体の挙動が形状的に似ているため、相関性が無いとは言い切れないと考える。一方、LD-5 については、図 2.35 に見られるように、0 カウントしか表示しなかった。これは、超音波分散法がバルク分散法に比べて分散性がよく、図 2.27 および図 2.32 の比較から分かる様に、100nm 以上の粒子を比較的発散させていないことと、図 2.30 および図 2.31 に比べて発生濃度が著しく低いため、LD-5 は、バルク分散法による実験の時とは違って、カウントをしなかったと考えられる。

以上のことから、炭化ケイ素粒子のバルク分散においては、GT-526 および LD-5 と CPC の間に相関性に関して、0.3  $\mu\text{m}$  の粒子濃度が 2 桁も違う濃度であるため、相関性が無いと判断するのは難しいと考えられる。一方、超音波分散法においては、図 2.32 から分かるように、0.3  $\mu\text{m}$  の粒子濃度が著しく小さいため、GT-526 と CPC における相関性に対して結論を出すのは難しいと考える。また、LD-5 は高濃度では GT-526(0.3  $\mu\text{m}$ )と相関性が認められるが、低濃度では相関性が認められなかった。