

HEPA フィルタを用いた粒子分級装置の検討

粒子分級装置 エアフィルタ 最大透過粒子径
慣性力 粒径別個数濃度 捕集効率

AJ15074 二反田 有希
指導教員 西村 直也



1. 研究の目的と背景

(1) 研究の目的

空気質の研究分野では、試験用粉体として様々な粒子が多岐にわたり利用されているが、任意の粒子径に絞って粒子を取り出すことは困難である。既存の粒子分級装置としては、遠心力や水中での沈降速度の差を利用したものなどが挙げられるが、どれも機構が複雑且つ高価なものである。そこで、現状の分級装置の問題点を考慮した上で新たな分級機構を有し、コスト面でも優れた粒子分級装置を検討する。

本研究では、分級装置の新たな方向性として、クリーンルームなどにおける空調設備に設けられているエアフィルタに着目する。エアフィルタの従来の使用目的は、清浄空気を得ることである。高性能エアフィルタとして知られている HEPA フィルタは、 $0.3\mu\text{m}$ の粒子に対して 99.97% 以上の粒子捕集率をもち非常に高性能だが、一定の粒径の粒子がフィルタをすり抜け易いという欠点が存在する。このフィルタをすり抜ける粒子量が多い粒子径のことを、最大透過粒子径 (Most Penetrating Particle Size, MPPS) と呼ぶ。フィルタの長所として、使用目的に応じてさまざまな繊維素材やフィルタ構造を選択できる点が挙げられるため、フィルタの使い分けによって MPPS をある程度変化させることが出来る。ここでフィルタの欠点である MPPS の特性に注目して、最大透過粒子径をもつ粒子のみを透過させることができれば、フィルタを分級装置として用いることが可能である。

2. 研究方法

MPPS の特性をより顕著にさせる分級装置を作成する。実験では、HEPA フィルタの上流側および下流側に SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) を設け、それぞれにおける粒度分布を測定するが、実験装置については既存の例がないため、その機構について考察していく。エアフィルタはさまざまな捕集機構(慣性、さえぎり、重力、静電気力、ブラウン拡散など)によって粒子を捕集する。最たる捕集機構は“慣性”、“ブラウン拡散”、および“さえぎり”である。“さえぎり”は、粒子が気流の流線に沿って動き、繊維に付着する現象である。捕集効率が最低値を

示すような粒径範囲では、“さえぎり”が主な捕集機構となる。“慣性”は、気流に乗った粒子がフィルタ繊維の近辺での流線の急速な変化に速やかに対応することが出来ず、流線からはずれて繊維に衝突する現象であり、大粒径粒子の捕集に対して支配的な機構となる。また、小さな粒子の場合は、繊維によって気流が変化しない流線上を移動しているときでも、繊維付近を通過する際に、ブラウン運動によって“拡散”し繊維に衝突する。一般に、繊維層エアフィルタにおいて MPPS 近辺の粒径に対する支配的な捕集機構は「さえぎり」と拡散」であって、重力や慣性衝突といった捕集機構はあまり影響がないとされ、粒子の慣性と拡散のどちらの捕集機構も有効に作用しない粒子径が MPPS と呼ばれる。逆説的に、慣性力を変化させることで MPPS 近辺の粒子に関しては影響を及ぼさず、それ以外の粒子径の透過量を抑えることが出来ると考えられる。したがって、図 1 のような実験装置を作成する。大気の吸込み口としてロウボリウムエアサンプラ (LV) のポンプを用い、粒子を HEPA フィルタに透過させる際に風量を変化させ、慣性力に変化をつけることが可能な装置である。測定概要を表 1 に示す。また、試験用粒子は幅広い粒度分布のものを用いるため大気塵を使用する。

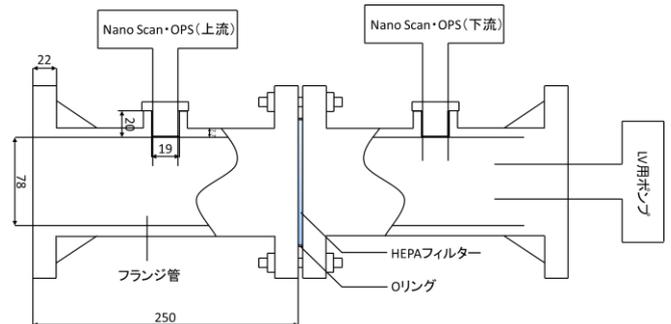


図 1 粒子分級装置モデル

表 1 測定概要

測定項目	測定機器	測定対象	測定時間
粒径別個数濃度	NanoScan SMPS 3910	10~300nm	1 分間毎 に 1 回を 計 2 時間
	OPS 3330	300~10,00 0m	

3. 実験結果・検証

(1) 実験の結果

各流量 (32.5ℓ/min, 35ℓ/min, 37.5ℓ/min, 40ℓ/min) における粒径別捕集効率のグラフを図2に示す。捕集効率は、下流側の粒径別個数濃度を上流側の粒径別個数濃度で除して、HEPA フィルタの粒子透過率を算出することで導出した。

図2より、各流量にてMPPSは0.2738μmであることが分かる。さらに、流量が増すにつれてMPPS付近でのHEPA フィルタの捕集効率は低下している。

一方で、MPPS以外の粒径範囲においては流量の変化による捕集効率の変化はほぼ見られなかった。したがって今回、HEPA フィルタを用いた粒子分級装置を作成したが、流量を増していくとMPPSの特徴が顕著に現れ、粒子分級装置の機構としてHEPA フィルタを使用することが有効である可能性が見出された。

(2) 実験値の有効性の検証

実験によって得られた値が有効な結果であるかを検証するために、HEPA フィルタの理論上の総合捕集効率の値を算出した。例として、流量40ℓ/minの場合の代表点として、微小粒径0.05μm、MPPSである0.2738μm、大きな粒径0.4μmの3点の捕集効率を表2に示す。E_D、E_R、E_{DR}はそれぞれ、拡散による単一繊維捕集効率、さえぎりによる単一繊維捕集効率、拡散粒子のさえぎりによる捕集量の増加を考慮する捕集効率を示す。

図2および表2より、算出した流量40ℓ/minにおける理論上の捕集効率と実験結果の値を比較すると、概ね値は一致していると言える。僅かな数値のずれはNano ScanやOPSの測定機器による精度の限界によるものであると考えられる。

したがって、本研究から得られた実験値は有効である。このことから、HEPA フィルタのMPPSの特性を活かした新たな粒子分級装置の検討における先駆けとして、作成した粒子分級装置は適していると言える。

4. 結論

粒子分級装置の新たな方向性として、HEPA フィルタを組み込んだ粒子分級装置について検討し、実際にその性能を確かめるために捕集効率を実験によって確認した。流量が増加するにつれてMPPSの性質がより明確になり、良好な結果が得られた。しかし、本研究は粒子分級装置の基盤づくりの位置づけであるため、多数の課題が残っている。

今後の課題としてまず一点、流量の引き上げが挙げられる。本研究で用いたロウボリウムエアサンプラは本来、大気中の浮遊粒子状物質の測定に用いられるものであり、設定可能流量は8ℓ/minから40ℓ/minとなっている。今回の実験においては最大値の40ℓ/minまで用いて実験を行った

が、それ以上の流量となった場合に、同様にMPPSの特徴が顕著になり、且つそれ以外の粒径範囲のものが変わらないという結果が得られるのかは定かではない。よって、今後さらに大きな流量でも実験を行い、粒子分級装置として最適な流量の設定を定めることが必要である。

次に、分級する粒径の選択方法についての検討が問題となる。既存の分級装置の問題点を踏まえた新しい装置の検討に重きを置き、その方向性の基盤を示したが、実際にどのような方法で取り出したい粒子の粒径を選択するのかという点においては更なる追求が必要である。例えばHEPA フィルタ以外のエアフィルタの採用 (ULPA や PTFE など) や、複数のフィルタを組み合わせるなどしてMPPSの粒径を操作する方法があると考えられる。

最後に、粒子分級装置の改良は今後も続けていかなくてはならない。本研究で作成した粒子分級装置は結果としては比較的良好なものとなったが、寸法の変更やフランジ管以外の適した装置形態を模索することで、より精密な結果が得られる可能性がある。

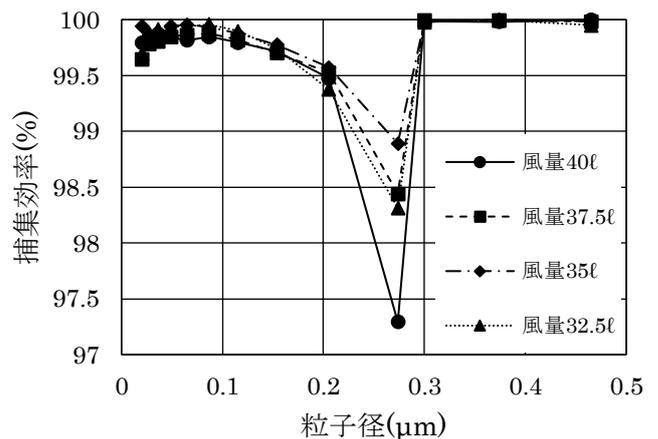


図2 粒径別捕集効率

表2 捕集効率(理論値)

粒径	E _D	E _R	E _{DR}	E _Σ	捕集効率(100-100×P)
0.05	0.1204	0.0030	0.0229	0.1464	99.0560
0.2738	0.0200	0.0801	0.0185	0.1187	97.7204
0.4	0.0143	0.1608	0.0185	0.1936	99.7902

引用・参考文献

- 1) 上島 直也：エアフィルタユニットの性能，日本エアロゾル学会，1989. 12
- 2) William C. Hinds：Aerosol Technology，1982. 2
- 3) 西村直也：クリーンルームの性能評価における少数データの特性に関する研究，1998. 9