

# 担当

## エアフィルタによる ナノ粒子の分級捕集

大谷 吉生  
おおたに よしお

金沢大学 理工研究域  
自然システム学系 教授

大気中に浮遊する微小な粒子状汚染物質の健康影響への関心が世界的に高まっている。吸入された粒子の呼吸器内での沈着部位は、粒子径によって異なるため、大気中浮遊粒子の生体影響を議論するためには、粒子の粒径ごとの化学的組成を明らかにする必要がある。

一方、ナノテクノロジーの中核をなすナノ材料（ナノ粒子）の製造過程、使用時のばく露によるヒトへの生体影響も懸念されている。ナノ粒子は、粒子径をナノサイズにすることでバルクでは実現できない特性を発揮させることを目的に製造されるため、その意図された利益だけでなく、環境や健康に予測できない大きな影響を与える可能性がある。またナノ粒子を利用した最終製品が密封されていても、流通や廃棄の段階でナノ粒子が飛散し、これらの粒子に人がばく露される可能性もある。現在、ナノ粒子の毒性・ばく露評価が国内ではNEDOプロジェクトを中心に実施されているが、依然として未知な部分が多いと言わざるをえない。

ナノ材料に対するばく露防止の対応について、厚生労働省は平成20年2月に厚生労働省労働基準局長通達・基発第207004号「ナノ材料製造・取扱い作業現場における当面のばく露防止のための予防的対応について」を発表した。この通達では、対象となるナノ材料は、元素等を原材料として製造された固体状の材料であって、大きさを示す3次元のうち少なくとも一つの次元が100 nmよりも小さいナノ粒子及びナノ構造体（内部にナノスケールの構造を持つ物体、ナノ粒子の凝集したものを含む）としている。そして、ばく露防止のための予防的対応として、製造設備については原則として密閉構造とし、それが困難な場合は局所排気装置を設置し、労働者がナノ材料にばく露しない措置を講じ、ナノ材料を直接取り扱う労働者はマスクなどの適切な保護具や作業衣を着用することを要求している。しかし、作業環境中のナノ粒子の測定法、ばく露評価法が確立されていないため、実施したばく露防止策が適切かどうかの判断が困難という問題がある。したがって、早急に、簡便で安価、かつ迅速な環境中に浮遊するナノ粒子の計測法の開発が求められている。

一般に、化学分析機器で組成分析を行うためにはmgオーダーの粒子質量が必要であり、このような質量を100 nm以下の粒子で得るために、大流量で短時間にナノ粒子を捕集できるサンプリング装置が必要である。

エアフィルタは、従来、清浄空気を得るため、全ての粒径範囲の粒子を高効率で捕集する粒子除去集装置として用いられてきた。しかし、エアフィルタは、サイクロン、インパクトなどとは異なり、様々な捕集機構（慣性、さえぎり、重力、静電気力、拡散など）によって粒子を捕集するため、一般にフィルタの捕集効率を粒子径に対してプロットすると、粒子径に対して下に凸の曲線となり、慣性（あるいは重力、さえぎり）とブラウン拡散のどちらの捕集機構も有効に作用しない粒子径が存在する。この最小捕集効率を与える粒径は最大透過粒子径（Most penetrating particle size, MPPS）と呼

ばれる。筆者らが考案した慣性フィルタ (Inertial filter) は、高速でエアロゾルをフィルタに通すことにより、慣性捕集の促進と拡散捕集の抑制を同時に実現し、粒子を分級するものである。フィルタ構造、ろ過条件を適切に選んで、粒子透過率曲線を望む形にチューニングすれば、フィルタによって粒子の分級が可能となる。

サブミクロン粒子を慣性によってフィルタで分級するためには、(1) 高ろ過速度を達成できるように圧力損失が小さいこと、(2) 高ろ過速度でも気流によって圧縮されずフィルタ構造を維持できることが必要である。そこで慣性フィルタでは、SUS繊維からなる不織布をフィルタとして選択した。テスト粒子として多分散ZnCl<sub>2</sub>粒子を用い、フィルタ入口、出口の個数濃度分布を走査型電気移動度粒径分析装置 (Scanning mobility particle sizer, SMPS, TSI) で測定した結果、ろ過速度を50 m/sと大きくすることにより、30 nm以上の粒子に対して慣性のみが捕集機構となり、数十nm以下の微小粒子に対しては拡散による捕集をほぼ完全に抑制でき、ろ過速度50 m/sにおいては理想的な捕集効率曲線に近い形がえられることを示した。そして、分級精度は、固体衝突板を持つ従来のインパクタとほぼ等しいことを明らかにした。

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り、最大透過粒子径 (最も捕れ難い粒子径) が存在することはフィルタの大きな欠点であった。しかし、その欠点を逆に利用して、選択的に最大粒子径を持つ粒子だけ通過させることができれば、フィルタを微分式分級装置とすることも可能である。フィルタの最大の長所は、使用目的に応じて多様なフィルタ構造と繊維素材、そしてろ過条件を選択できることにある。今後、フィルタ構造および慣性フィルタとしての操作条件を最適化すれば、さらに高性能な分級も可能と考えられる。

また、慣性フィルタを実用化するために解決しなければならない問題としては、高速でフィルタにエアロゾルを通すため、粗大粒子の再飛散が起こることが挙げられる。慣性フィルタでは、ろ過速度が数10 m/sと高速であるため、サブミクロン粒子でも跳ね返りが起こる。跳ね返りを抑制できる繊維素材の利用や、慣性フィルタのカットオフ径をナノサイズに設定した場合には、サブミクロン以上の粒子を予め除去しておくなどの対策が必要である。このような観点から、慣性フィルタと従来のカスケードインパクタを組み合わせさせた大気サンプリング装置を現在開発中である。

慣性フィルタは、大気塵の分級サンプリングだけでなく、高濃度で発生したナノ粒子から凝集粒子をPOU (Point of use) で分離し、ナノ粒子層を作成するのに利用できる。慣性フィルタの最大のメリットは、フィルタ構造、ろ過速度を調節して希望する部分粒子透過率を有する慣性フィルタを作れば、希望する粒径分布を持つ粒子をフィルタから取り出せるということである。



#### 略 歴

1977年 金沢大学工学部化学工学科卒業  
1982年 米国シラキュース大学大学院  
工学研究科博士課程修了 (P. h. D.)  
金沢大学工学部助手  
1997年 Harvard大学公衆衛生学部客員研究員  
1998年 金沢大学工学部教授  
2005年 北陸科学技術先端大学 客員教授

#### 主な要職・受賞歴

2000年 粉体工学情報センターIP学術奨励賞  
2002年 日本エアロゾル学会編集委員長・常任理事  
2004年 空気清浄協会 研究大会会長奨励賞  
2004年 ISO/TC24/SC4 国内小委員会委員長、  
WG8コンベン  
2005年 化学工学会関西支部副支部長  
空気清浄協会 研究大会会長奨励賞  
2006年 ISO/TC142 国内委員会委員長  
日本エアロゾル学会副会長  
空気清浄協会 研究大会会長賞  
2007年 日本エアロゾル学会論文賞  
2007年 粉体工学会理事