

38 . 次世代型微小粒子測定器の開発

担 当 機 関 財団法人日本環境衛生センター 興嶺清志

分野 大気環境

研究期間 平成13年～平成14年度

研究予算総額 92,863千円

研究の背景と目的

大気中の超微小粒子（粒径数百 nm 以下の粒子）は、欧州諸国を中心とした最近の研究によって、人の健康への影響の可能性が指摘されている。また、環境大気中における超微小粒子の主要な発生源の一つと考えられているディーゼルエンジン車について、黒煙やNO_x 対策は強化されつつあるものの、NO_x 対策のためのエンジンの改良は超微小粒子の排出増加を導く可能性があるとの指摘もある。しかしながら、環境大気中における超微小粒子については、適当な測定装置が普及していないため、国内における測定事例はほとんど無く、実態把握が進んでいない。

本開発研究では、環境大気中の超微小粒子の粒子数濃度の測定が可能な、安価で操作性の高い可搬型超微小粒子測定装置を開発する。また、開発した超微小粒子測定装置にデータ送信システムを組み込み、広域的なモニタリングシステム構築のための基盤となる技術の確立を図る。これらの研究開発により、今後の我が国の超微小粒子に関するデータの蓄積や、ディーゼル排ガス対策の進捗状況の把握、大気汚染軽減のための車輛誘導システム等への貢献が期待出来る。

研究の成果

本研究では、既存技術の改良及び新規開発した技術を組み合わせ、大気中の超微小粒子数濃度と同時に現在健康影響への影響が認められ、米国において環境基準が設定されているPM_{2.5} 質量濃度も同時に測定可能な性能を持つ装置を開発した。以下に主要要素技術ごとにその概要を記す。

開発した装置は操作性の向上のため2つに分離運搬できるよう設計し、各々のユニットは約20Kgと1人で運べるサイズ、重量とした。また市販価格も500万円を切る設定が可能となり、装置の普及に関しても十分なコストを設定することができた。開発した超微小粒子測定装置試作機の構成を図1に示す。

1) 試料導入部

(分粒器)

試料大気は、図1の大気導入部で分粒器を通し、粒径が2.5μmを越える粗大粒子をカットする。この分粒器について初年度に開発した試験機においては、米国環境保護庁で採用しているインパクト方式の分粒器（Wins インパクト）を用いたが、この分粒器は毎分16.7Lの試料吸引量を要し装置小型化の障害となったため、平成14年度には、毎分1.7LでWinsインパクトと同等のカットオフ特性を持つサイクロン式分粒器を開発作製し用いた。

(希釈装置)

超微小粒子は、環境大気1cc中に通常10⁴個以上あり、そのまま計数装置に導入すると光学的な計数可能範囲を超え定量的な計数ができない。このため本装置では試料大気を2段階で千分の一程度に希釈することとし、小型希釈装置を開発作製した。従来より市販されている希釈器に比べて

大幅な小型化と使用空気量の削減を果たし、かつ希釈性能に遜色の無いことが確認できた。希釈装置の概要を図2に示す。

2) 微小粒子検出部

試料導入部から導入した粒子(PM2.5)は、1段目の希釈後、レーザー光を用いた光散乱方式による粒子検出部で粒子数の測定を行う。図3に粒子径と検出器の出力との関係を示す。この特性をもとに、粒径0.3-0.5、0.5-1.0、1.0-2.0、2.0-2.5 μm の4粒径区分別の粒子数を計測し記録する。この粒径別の粒子数濃度から最適な係数を求めてPM2.5の質量濃度を求める。この測定値は標準測定法と良好な一致性を示すことが確認できた。なお図3に見られるように、粒径0.3 μm 以下の超微小粒子は通常のレーザー光による光散乱方式ではほとんど感度が得られないことからPM2.5の質量濃度測定に関して問題はないと考えられる。

3) 超微小粒子検出部

図3に見られるように、超微小粒子は通常の光学的測定法では計測が困難なことから、超微小粒子をアルコール等の過飽和雰囲気を導入し、この粒子を核としてアルコール等の蒸気を凝縮成長させることにより光散乱方式で測定可能な大きさにし、レーザー光を用いた光散乱法により粒子の数を計測するものである。従来、凝縮核成長装置としては、加熱・冷却法が広く用いられているが、凝縮液として有害なフタル酸ジブチルやブタノール等の物質が使われ、また消費量の多さから頻繁に凝縮液を補充する必要があるといった課題があった。

本研究では、過飽和雰囲気の生成に、常温の試料空気と高温の凝縮液蒸気を強制混合させる蒸気混合法を採用することにより、無害で使用量の少ないグリコール系の凝縮液の使用を可能にする技術を確立すると共に、装置の小型軽量化を行った。

凝縮液による粒子検出効率の試験を、数種類の凝縮液について試験した結果、本装置ではプロピレングリコールを採用することとした。プロピレングリコールにおける粒子の粒径に対する計数効率の試験結果を図4に示す。凝縮液としてプロピレングリコールを使用した場合は、粒径10nm(0.01 μm)付近までほぼ90%以上の計数効率を維持し、粒径7~8nm程度でも約50%程度の計数効率を有しており、粒径10nm程度の超微小粒子を精度良く測定できることが確認された。

4) 超微小粒子発生装置

超微小粒子の測定機は、適当な校正装置がなくそのデータの信頼性の確保が難しいため、本研究では超微小粒子の測定装置と共に、超微小粒子を安定して発生させる装置の開発を行った。超微小粒子の発生方式としては、装置の小型化やコスト等を考慮し、二酸化硫黄ガスに紫外線を照射して粒子化させる方法を採用した。

本装置では二酸化硫黄ガスからの粒子の発生装置として流通式反応器(体積1.1L)を用い、光照射は紫外線殺菌ランプ(波長254nm・出力6W)を用いた。超微小粒子発生の実験装置の概要を図5に示す。この装置を用いて二酸化硫黄濃度、光量、温度、湿度、反応時間等のパラメータを変え、安定した多分散超微小粒子の発生条件等の検討を行ったところ安定した粒径を7~8時間発生可能な条件を求めることができた。これらの検討結果を基に、本システムの市販用装置化を行っている。

5) データの送信

本開発装置では、測定データをリアルタイムで把握するためのデータ送信システムを搭載した。このシステムは、NTTドコモの packets 通信サービス (D o P a) を利用したものである。このシステムでは、一定時間ごとに読みとったデータをファイル化し、インターネットを利用したメールの形で、基地局のサーバー内に設けた専用のメールアドレスに送信する。このデータファイルは、基地局のパソコンにインストールされた専用のソフトウェアにより自動的に読みとられ、表計算ソフト上に時系列的に張り付けられる。今回の実験では、日付、時間、4 粒径区分ごとの微小粒子の計数値及び超微小粒子の計数値を一つのデータファイルとし、5 分ごとのデータを収集することとした。複数の測定局からのデータに対しては、局ごとにファイル名を変えることにより、個別に集計管理することができ、使い勝手の良いソフトを開発した。

6) フィールド調査

本研究では、実際の環境大気中において、開発した装置と超微小粒子、PM_{2.5} 等の既存の各種測定装置との並行稼働試験を行い、その性能確認を行った。

(超微小粒子)

超微小粒子数については、既存の測定装置として、クリーンルーム等の超微小粒子測定に用いられる SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) を用いた。図 6 は開発した試験機によるデータの一例であるが、ほぼ同等の個数濃度を示し、良好な一致性が得られた。

(PM_{2.5})

開発装置 (UFPC : Ultra Fine Particle Counter) により得られた粒子の、5 粒径区分ごとの粒子数濃度に適当な計数で補正して求めた PM_{2.5} の質量濃度 (1 日平均値) と、PM_{2.5} 測定における米国環境保護庁の公定法 (FRM : U.S. Federal Reference Method) であるローボリウムエアサンプラ (LV) を用いた質量濃度測定法との比較データの例を図 7 に示す。両者は非常に良い相関を示し、本開発装置で採用した光散乱法による PM_{2.5} 測定が、十分実用に耐えるものであることが確認された。

(多成分との関係)

本研究では、既存の各測定器としてカーボンアナライザ、ナイトレートアナライザ、サルフェートアナライザも並行稼働し、一般に微小粒子側に存在しているといわれる化学成分の挙動と超微小粒子数濃度との関係についても調査した。

研究のまとめ

現在、健康影響の可能性が指摘されているものの、適当な測定機が開発途上にあること等から、我が国ではごく限られたデータしか得られていない環境大気中の超微小粒子の測定について、道路沿道等に設置して使用可能な安価で操作性の高い装置の開発を行い十分な実用性を持つことを確認した。

本装置では、超微小粒子と同時に、PM_{2.5} の測定も可能な機能を備えると共に、将来の広域モニタリング等によるリアルタイムの現況把握を可能にするデータ通信システムを組み込んでいる。また、超微小粒子測定機の機能確認のための超微小粒子発生装置の開発も同時に行った。

本装置の開発により、超微小粒子の実態把握や健康被害に対する解明の利用が見込まれる。

また現在商品化のための、さらなる小型化等の改良を行っているところである。

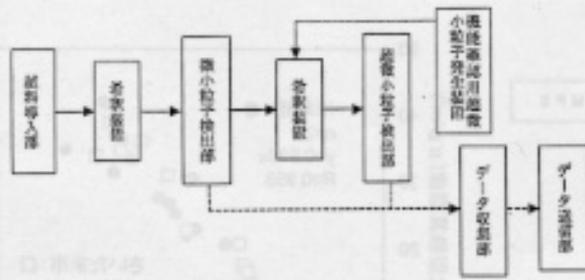


図 1 超微小粒子測定装置試作機の基本構成

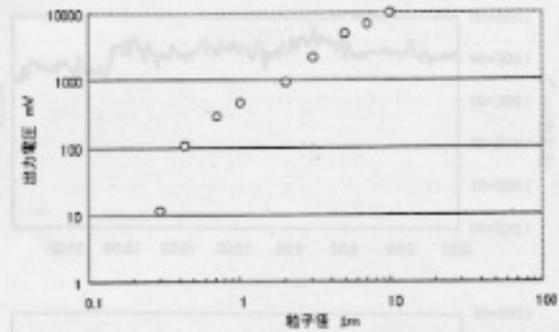


図 3 レーザー式粒子測定装置の出力特性

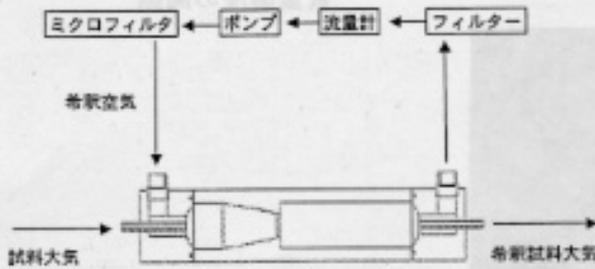


図 2 希釈装置の概要

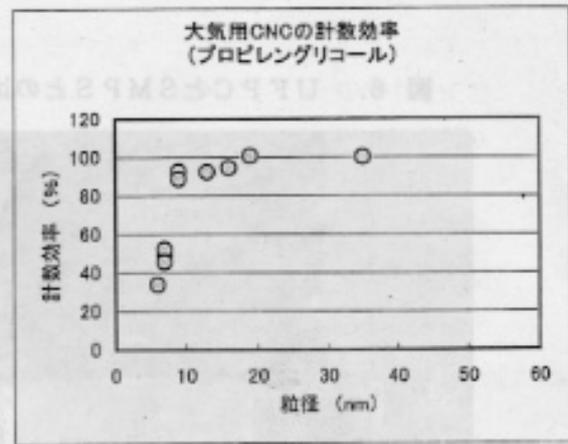


図 4 粒径に対する計数効率 (プロピレングリコール)

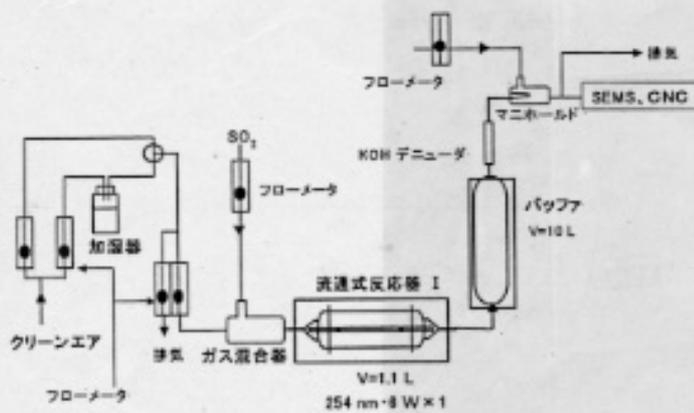


図 5 超微小粒子発生実験装置の概要

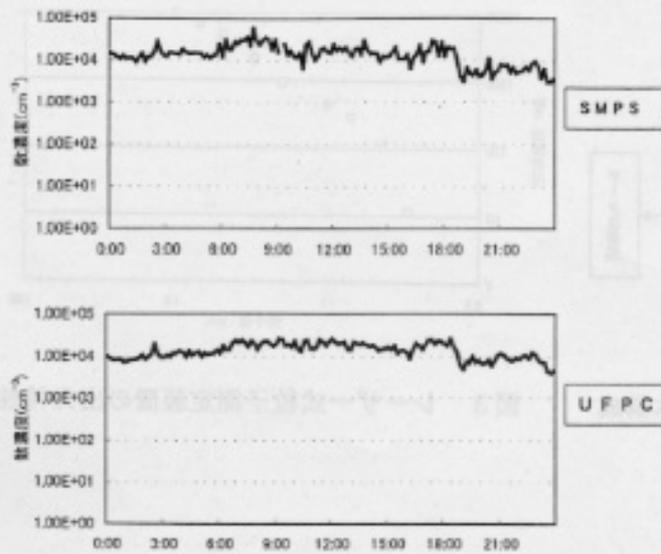


図 6 UFPCとSMPSとの比較

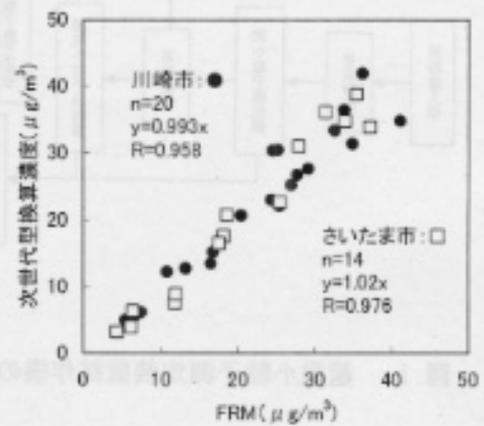


図 7 FRMとUFPCとの
質量濃度の関係



写真 1 開発した装置

研究発表

発表題名	掲載法 / 学会等	発表年月	発表者
(口頭発表) ・凝縮 / 光散乱法を用いた超微小粒子測定装置の開発(その1) ・凝縮 / 光散乱法を用いた超微小粒子測定装置の開発(その2) - 大気中微小粒子濃度の測定とSMP S測定データの比較 ・紫外光を用いた超微小粒子の発生 ・Measurement of size dividing number concentration of PM2.5 and ultra fine particles in suburban atmosphere using new developed condensation/optical-counter. ・Development of continuous particle counter for separation number of PM2.5 and ultra fine particles using condensing growth/light scattering method.	第 19 回エアロゾル科学・技術研究討論会	14.3	関口、坂本、興嶺、根津、吉村、楠谷、小山、富田、福島
	第 19 回エアロゾル科学・技術研究討論会	14.3	
	第 19 回エアロゾル科学・技術研究討論会	14.3	坂本、横山、鈴木、関口、鈴木、坂本、興嶺、根津、吉村、楠谷、小山、富田、福島、大竹
	The 3rd Asian Aerosol Conference	15.7	
	8 TH International conference on atmospheric science and application to air quality.	15.3	関口、坂本、興嶺、根津、吉村、小山、富田、福島

工業所有権

特許等の名称	願書年月日	広告番号	広告期日	登録番号
ダイアフラムポンプ	平成 14 年 10 月 7 日	出願中		