

ディーゼル機器に対する排ガスフィルターの性能評価に関する研究 ～ディーゼル微粒子の簡易測定法について～

中野 欽章* 山田 岳大*

Study on A Performance Evaluation of the Filter for Diesel Equipment ～ the Simplified Measurement Method of DEP ～

NAKANO Yoshiaki* , YAMADA Takehiro*

抄録

大気中の SPM の中で特に人体への影響が懸念されている PM2.5 の測定方法について検討した。SPM と PM2.5 を同時測定する方法をフィルターのみで行う簡易測定法の開発を検討した。2 種類のフィルターを利用することで PM2.5 を分画でき、SPM と PM2.5 の質量濃度に良好な相関性が見られた。回帰式から SPM 中の 62 % が PM2.5 であると推測した。

キーワード：簡易測定法，SPM，PM2.5，フィルター

1. はじめに

大気中の浮遊粒子状物質(SPM)は、ディーゼル車から排出される割合が多いとされているが、ディーゼル車から排出されるディーゼル微粒子(DEP)はその大部分が SPM よりも小さい PM2.5 であると言われている。PM2.5 は、国立環境研究所等が行った疫学調査により喘息や花粉症の発症につながる物質として疑われている¹⁾。国民の生活環境を考慮し、PM2.5 を環境基準として導入することは、もはや時間の問題とも言われている。現在、環境省の諮問機関「浮遊粒子状物質総合対策検討会」で検討しており、暫定案では SPM の測定方法と同様の方法として 線吸収方式が有力とされている。

しかし、線吸収方式は装置構成が複雑になり非常に高価であること、また 線の吸収量の違いによって質量濃度に換算する手法であるため、他

の方法と測定値が異なるという難点がある。

そこで本研究では、マニュアル測定による PM2.5 の測定方法を提案する。装置構成を簡便にし、線吸収方式を利用した測定装置よりも大幅なコストダウンを狙う。

具体的目標としては、SPM と PM2.5 の同時測定を行い、測定結果を質量濃度(単位は mg/m³)で表す。測定の実証として、SPM と PM2.5 の相関関係を考察する。

簡便な測定を実現することで、SPM と PM2.5 を局所的に測定できるようになり、PM2.5 の大気汚染状況データを大幅に蓄積することで、汚染のメカニズムを解明する重要な指標になる。また、埼玉県で推進している「彩の国 5 か年計画 21」中の「有害物質の不安のない社会をつくる」の推進に資するものと考えられる。

2. 実験方法

2.1 測定概要

試料は、実際の大気を測定試料とすることにし

* 生産技術部

た。大気中 SPM の測定には洗浄部や吸収部、捕集部、吸引部等多数のプロセスを必要とした。本研究では測定の簡易さを追求するため、実際の大気を吸引部で吸引し、捕集部で SPM と PM2.5 を捕集する構成とした。なお、表 1 に SPM と PM2.5 の定義を記す。

表1 SPM、PM2.5の定義²⁾

	SPM	PM2.5
定義	空気動力学径 10 μ m 以下の粒子	空気動力学径 2.5 μ m 以下の粒子
分級基準	10 μ m の粒子は 100 % カットする	2.5 μ m の粒子を 50 % カットする

2.2 吸引部

大気試料の吸引は、吸引速度を速くした方が短時間で測定できる。しかし、吸引速度を速くしすぎると吸引流量の精度管理に問題が生じる。そこで本研究では、吸引部にアスピレーターを使用した。測定時の吸引速度は 5 dm³/min とした。

2.3 捕集部

PM2.5 を測定するためには、SPM 中の 2 ~ 3 μ m の粒子を分級するプロセスが欠かせない。そこで、簡易に分級プロセスを実現するための方法として 2 枚のフィルターを重ねる方法をとった。フィルターは、材質がフッ素系である(株) Millipore 製オムニポア・メンブランフィルター(以下、OMF と記)と材質がポリカーボネートの(株) Millipore 製アイソポア・メンブランフィルター(以下、IMF と記)を用いた。フィルターの重ね方として、異なる孔径の OMF2 枚の場合と IMF と OMF を 1 枚ずつ使用した場合について検討した。

2.4 SPM, PM2.5 質量濃度の算出方法

測定は、予めフィルターをデシケーター中に 48 時間以上保存しておき、測定前に秤量 (M₁) する。秤量には 0.001mg まで測定が可能な精密天秤を用いた。測定後、フィルターを再びデシケーターに入れ、48 時間以上放置した。精密天秤で測定後の秤量を行い (M₂)、秤量された重量の差を総吸引流量 (V) で除して SPM (PM2.5) の質

量濃度を計算した³⁾。また、湿度の影響、天秤の装置誤差をなるべく軽減する目的で直接測定に関与しないブランクのフィルターについても同様に秤量を行い (M₃, M₄)、これらに差が生じた場合はフィルターの重量差に加味した。

即ち、SPM (PM2.5) の質量濃度 [mg/m³] を次式で計算した。ここで M₁ ~ M₄ は [mg]、V は [m³] の単位である。

$$\text{質量濃度 [mg/m}^3\text{]} = \frac{M_2 - M_1 - (M_4 - M_3)}{V}$$

2.5 SEM による捕集粒子の観察

フィルターに捕集された SPM (PM2.5) は、走査型電子顕微鏡 (以下 SEM と略) で観察した。使用した SEM は(株)日立製作所製 S-2150 である。観察の前処理として、オスミウムのコーティングを行った。

3. 実験結果

3.1 SPM の測定

まず、本研究の簡易な装置構成で SPM を測定できる必要がある。そこで、捕集部に OMF (孔径 1 μ m. 以下 OMF-1 と記) を 1 枚セットし、SPM の測定を行った。測定は、SKIP シティ A-1 街区内の赤外分光試料調整室 (高さは地上からおよそ 10m) の窓際で、窓を開放した状態で室外の大気を捕集した。

図 1 は、2 月 17 日に行った SPM の測定結果を示したものであり、縦軸は SPM 質量濃度 [mg/m³] を、横軸は測定時間を表す。測定時間は 60, 92, 125 分で行った。

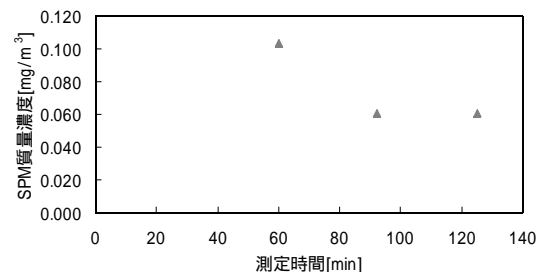


図1 SPM質量濃度の測定結果

これを見ると、測定時間 60 分の SPM 質量濃度が最も高く、0.103 [mg/m³] であるが、測定時間が長くなるとそれは小さくなる傾向があった。これは SPM の質量濃度が 1 日の中で変動しているこ

とを示唆する。

図2は、OMF-1に捕集した粒子のSEM像である。捕集した粒子は、定方向最大径(粒子の中で最長の長さ)と定義されている)で評価した。図2では左下の方にある粒子が最も大きく、粒子径はおおよそ10 μ mであった。

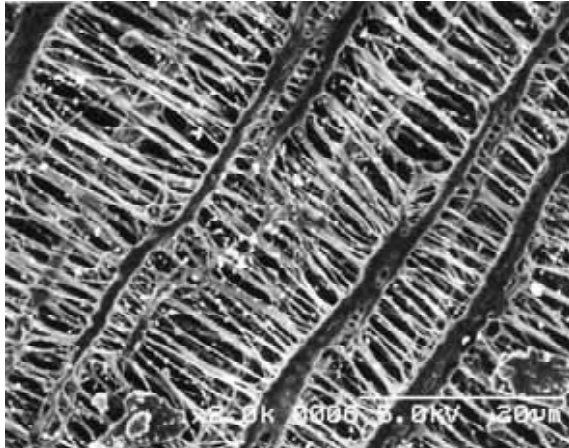


図2 SPM測定後のSEM像(OMF-1,2000倍)

3.2 SPM、PM2.5の同時測定

3.2.1 フィルターの選択及び測定法

フィルターによる粒子の分級について、初めに孔径10 μ mのOMF(以下OMF-10と記)とOMF-1を2枚重ねてみたが、粒子を分級することはできなかった。一般にフィルターによる粒子の捕集は、慣性衝突効果、さえぎり効果、拡散効果、重力効果といった複数の機構が組み合わさって行われる⁴⁾。OMFはその厚さが80 μ m前後あるため、これらの機構によって微小粒子も捕捉されたものと考えられる。実際、OMF-10とOMF-1で別々にSPMの測定を行ってみたところ、粒子の捕集状況はほぼ同等であった。(SEMで確認、図省略)

そこで、孔径3 μ mのIMF(以下、IMF-3と記)を上、OMF-1を下に重ね合わせたところ、粒子の分級が2~3 μ mの間で進んでいると推察した。IMFは、フィルターに円形の穴が空いており、厚さが10 μ mと薄いため、液相だけでなく気相中の粒子も粒径分離が可能なものである。このIMFの構造により、微粒子の捕集機構はOMFのように複雑でなくなると考えられる。

SPMとPM2.5の同時測定は、IMF-3を上、

OMF-1を下に重ね合わせて行った。SPM質量濃度は、IMF-3とOMF-1の両方のPM捕集量の和から、PM2.5の質量濃度はOMF-1の捕集量からそれぞれ2.4の要領で算出した。注意すべき点としては、IMFはOMFよりも静電気が帯電しやすいことが挙げられる。静電気によって精密天秤の秤量値に誤差が生じやすくなるため、秤量前に十分に静電気を取り除く必要がある。

3.2.2 測定結果 ~測定時間を因子にした場合~

最初に測定時間を因子においた測定結果について報告する。図3は2月19日に測定したSPMおよびPM2.5の質量濃度と測定時間の関係を表したものである。測定時間は60,90,120,150[min]で行った。この結果から、測定時間の因子では質量濃度と明確な関係は求められなかった。このことは、SPM(PM2.5)の質量濃度が時間とともに変動していることを示唆するものと考えられる。

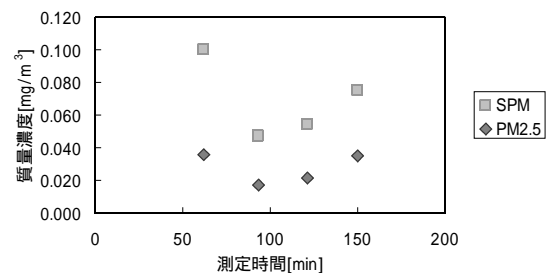


図3 SPM,PM2.5の質量濃度と測定時間の関係

また、測定後のフィルターをSEMで観察し、捕集粒子径の大きさについて注目した。図4はIMF-3、図5はOMF-1のSEM像である。

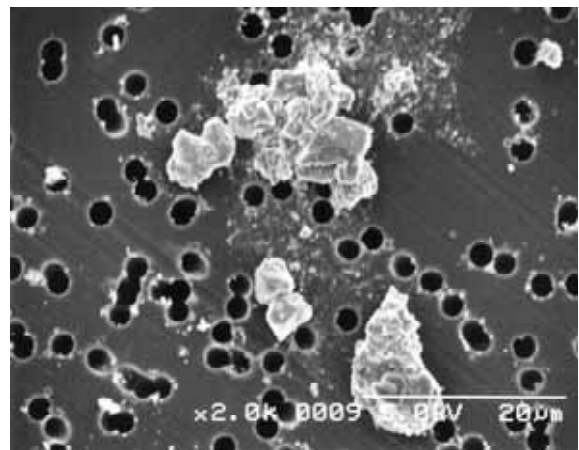


図4 IMF-3のSEM像(2000倍)

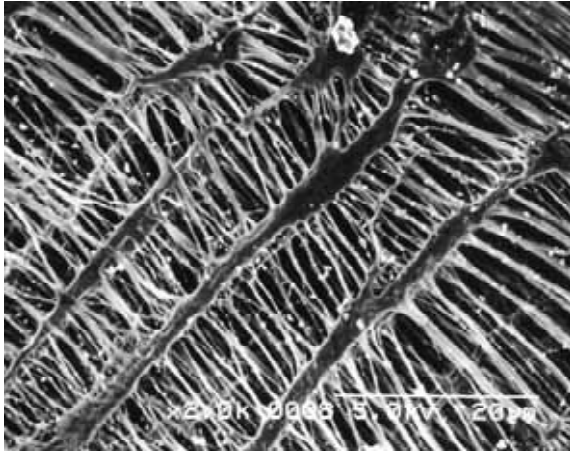


図5 OMF-1のSEM像(2000倍)

この測定では、2枚重ねた上にあるIMF-3にはSPMの中で粒子径が $2.5\ \mu\text{m}$ 以上、2枚重ねた下にあるOMF-1には $2.5\ \mu\text{m}$ 以下の粒子が捕捉されているはずである。図4よりIMF-3の上には $10\sim 2\ \mu\text{m}$ 程度の粗大粒子が捕捉されている。またそれより細かい微小粒子も捕捉されているように見える。これは、粒子の慣性力で細かい粒子はIMF-3の表面に当たらないように穴をすり抜けようとするが、比較的大きな粒子はフィルターの表面に衝突する。この際、粒子の一部がはがれ落ちたため、IMF-3の穴の周りに細かな粒子が見えるものと思われる。

しかし、図5を見るとIMF-3を通過したOMF-1の上には、大きくても $2\ \mu\text{m}$ 程度の粒子しか見えていない。図2と比較すれば、違いは明瞭である。これより、IMF-3によってSPM中のPM2.5の分級がされたと考えられる。

3.2.3 測定結果 ~ 1時間ごとの質量濃度の変動について ~

次に、1時間ごとにSPM,PM2.5質量濃度の測定を行った。図6は2月24日に行った測定結果である。測定は10:00から17:00まで行い、1時間ごとにフィルターを交換した。

この結果を見ると、午前中はSPM,PM2.5の濃度が高めに出ており、正午過ぎに低下する。夕方に近づくにつれてまたSPMの濃度が高くなっており、先に考察した通りSPM質量濃度の時間変動があった。しかし、その原因は分からなかった。また、SPMの質量濃度の変動とPM2.5のそれと

はほぼ同じ傾向で推移した。

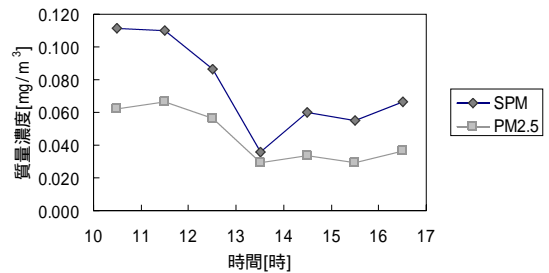


図6 1時間ごとのSPM,PM2.5質量濃度の変化

3.2.4 SPMとPM2.5の質量濃度の相関関係と回帰直線

図6におけるSPMとPM2.5の質量濃度の関係を図7に示す。その結果、比例式の最小二乗法で R^2 値が0.9175であり、強い直線性であることが見出された。

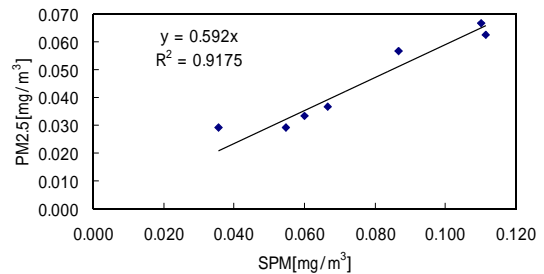


図7 2月19日測定におけるSPM,PM2.5質量濃度の関係

また、図8には図7の7データに加え、その他の日に同様に測定を行った結果を示す。グラフ上のプロット数は32である。

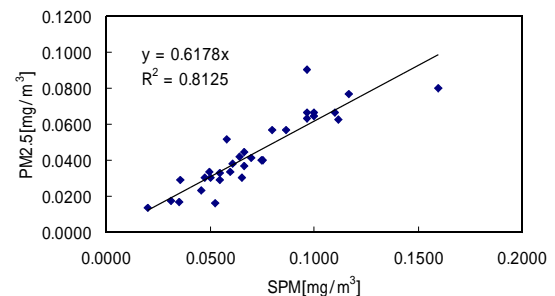


図8 SPM,PM2.5質量濃度の関係

その結果、32データになっても比例式の最小二乗法で R^2 値が0.8125となり、強い相関関係があった。また傾きの値より本測定でSPMのおよそ62%がPM2.5であると推測した。他の報告で60~70%としているものもあり⁵⁾、測定場所こそ異なるが、まずまずの精度で測定されていると

思われる。

定器

4.まとめ

IMF と OMF の分級による SPM,PM2.5 の同時測定法の開発を検討した。

(1)測定方法

捕集部は2枚のフィルターを重ね合わせ、吸引部としてアスピレーター(真空ポンプでも可)を使用する簡易な構成で、SPM および PM2.5 の質量濃度の測定を行った。

(2)SPM と PM2.5 の同時測定

OMF に IMF を併用することで、2 ~ 3 μ m レベルでの簡易分級ができ、SPM と PM2.5 の同時測定が可能となった。これにより、PM2.5 の測定について、種々の SPM(PM2.5)自動測定器よりも大幅なコストダウンが可能になった⁹⁾。以上のことから安価で簡易な SPM,PM2.5 の同時測定ができることが分かった。

(3)SPM と PM2.5 の相関性

質量濃度としての SPM と PM2.5 には強い相関があった。比例式の最小二乗法から SPM の約 62%が PM2.5 と推測した。

謝 辞

本研究を進めていくにあたり、ご多忙の中埼玉大学工学部の廣瀬卓司教授に親切、丁寧にご指導いただきました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 若松伸司：大気中微小粒子状物質・ディーゼル排気粒子に関する研究の動向と今後の課題，(独)国立環境研究所研究報告第 172 号，(2002)104-133
- 2) 戸矢崎保雄：PM2.5 を主とする浮遊粒子状物質のモニタリングの現状，大気環境学会環境大気モニタリング分科会第 13 回資料，(2004)11
- 3) JIS Z 8813：浮遊粉じん濃度測定方法通則
- 4) 本間克典：実用エアロゾルの計測と評価，技報堂出版株式会社，(1990)101
- 5) 若松伸司：大気中微小粒子状物質・ディーゼル排気粒子に関する研究の動向と今後の課題，(独)国立環境研究所研究報告第 172 号，(2002)5
- 6) JIS B 7954：大気中の浮遊粒子状物質自動測