

技術ノート

PIXEを用いる浮遊粒子状物質モニタリングシステムの開発

Development of suspended particulate matter monitoring system by PIXE analysis

中村 優^{*1)} 伊瀬洋昭^{*2)} 白井 忠^{*3)}

1. はじめに

現在の国および地方自治体の浮遊粒子状物質(SPM)常時監視手法では質量濃度のみのデータしか得られない^{1,2)}。発生源の推定およびその寄与を知るために、SPM濃度とその組成について時間分解能を考慮した計測採取システムが必要と考えられる。また、東京都浮遊粒子状物質削減計画の今後の推進のために、有効なモニタリングシステムの確立が求められている。粒子励起X線分光法(以下、PIXE法)はSPMの分析法として優れており、今後の研究計測に際しては必要不可欠な手法と考えられている。しかし、PIXE分析施設を民間企業が利用できる機関は非常に少ない。そのため、民間企業にとって、PIXE分析対応機器の開発上の大きな障害になっている。

従来のPIXE分析用SPMサンプラは、分析されることの少ない環境基準を満たす低濃度時においても、常にサンプリング装置を動作させておかなければならなかった。一方、フィルタ振動法は時間分解能が良いSPM濃度データは得られるが元素分析ができず、この方法だけでは発生源の推定は不可能であった。これらを組み合わせ必要ときにだけ元素分析用試料を採取する装置を開発した。さらに、今後、導入が検討されている微小粒子(PM_{2.5})規制に対応する分離技術を兼ね備えたモニタリングシステムを構築した。

2. 方法

フィルタ振動法SPM分析装置には、東京ダイレック社製TEOM(テオム)モニタを使用した。TEOMは、Taperd Element Oscillating Microbalanceの略で、R&P社特許の秤量原理である。TEOM原理(すなわちフィルタ振動法)を用いて1次的に粒子質量を高精度で計測するリアルタイム、長期連続(通常1ヶ月)モニタで、原理の特徴上、粒子の径・形・比重等に影響されず正確に濃度計測が行える。TEOMモニタの主な仕様は、対応濃度 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 5\text{g}/\text{m}^3$ 、質量検出分解能 0.01mg 、設定可能な検出部流量 $0.5 \sim 5\text{dm}^3/\text{min}$ 、設定可能な検出部温度 30

~ 50 、測定可能な平均濃度 $0.5, 1, 8, 24$ 時間ごとなどであり、瞬時濃度、動作状態などのデータも収録可能となっている

PIXE分析³⁾には、ハイボルテージエンジニアリングヨーロッパ社製タンデトロン加速器HV-4117HC型と同社製セシウムスパッタイオン源860型を用いた。

3. 結果

3.1 TEOMモニタとPIXE分析用試料採取装置の融合化

大気中のSPM計測用に今後導入が検討されているTEOMモニタのバイパスラインに、PIXE分析用の試料採取サンプラを組み入れることにより、SPM濃度の連続計測と同時並行し、PIXE用分析試料の連続採取が可能となった。PIXE分析用試料採取には、 47mm フィルタ上に最大11サンプルを採取可能なフィルターホルダを作成した。

TEOMモニタの濃度情報信号により試料採取装置の動作を制御する事によって、分析に必要な試料を採取できるようになった。

PIXE分析用フィルターホルダ及びTEOMモニタ・センサ部を収納した野外シェルタを作成し、野外での直接計測が可能となった。

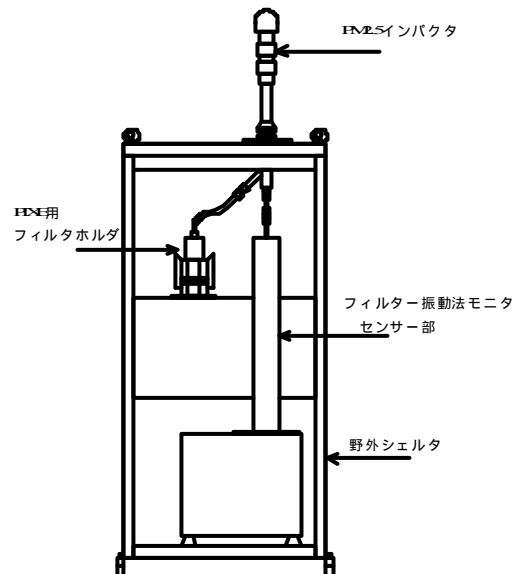


図1 試作した浮遊粒子状物質モニタリング装置の概略図

*1)精密分析技術グループ, *2)企画普及課

*3)(株)東京ダイレック

3.2 微小粒子分離装置の装備

検討の結果、微小粒子分離装置としてはAirmetrics社製ポータブルエアサンプラMiniVol用のインレットを利用することとした。このインレットは軽量で耐候性の高いPVC製で小型であるという特徴を持つ。

大気取り込み空気流量を5dm³/minとし、雨よけ風防内に2.5mmカットインバクタを設置した。PIXE分析用試料採取ラインには2dm³/min、TEOMモニタラインに3dm³/minの空気を流すことによりPM2.5粒子の濃度と組成(PIXE分析用試料採取)が正確に計測可能となる見込みがたった。

3.3 SPM連続採取試料のPIXE分析手法の確立

SPM連続採取試料は、ポリカーボネート製フィルタ上に採取する。ポリカーボネート製フィルタは、他の樹脂製フィルタに比べて耐放射線性が高いことに加えて、フィルタ自身の空分析値が低い。PIXE分析では共存する主成分元素の影響を受けやすいため、標準物質と分析試料の主成分ができるだけ類似していることが望ましい。そこで、PIXE分析用の標準試料として、MicroMatter社製の蛍光エックス線分析用薄膜標準物質を用いることにした。同標準物質はポリカーボネート製フィルタ上に目的とする元素を50μg/cm²程度均一に蒸着したものである。

SPM連続採取試料はおよそ5mmのスポット状に捕集されるため、PIXE分析のビーム径は3mmとした。PIXE分析の主な条件は、照射粒子2MeVプロトン、照射電流3nA、積算電荷量1μCとした。

PIXE分析装置には、重元素用と軽元素用の2台の検出器が装備されている^{4,5)}。そこで、NaからGaまでの元素はKX線を軽元素検出器で、GeからSnまでの元素はKX線を重元素検出器で、SbからYbまでの元素はLX線を軽元素検出器で、LuからUまでの元素はLX線を重元素検

出器で測定するようにした。

感度計測のために、蛍光X線用の標準物質にプロトンを照射し、発生するX線を電荷量で規格化して、原子番号順に並べて感度曲線を得た。この感度曲線により、標準物質の無い元素も補完ができ定量が可能となった。検出限界は、ポリカーボネート製フィルタのブランク値の計数誤差の平方根の3倍の値として計算した(Table 1)。

様々に濃度変化する環境試料を計測する上で分析条件の変更は必要不可欠であるが、分析条件を変化させると感度曲線・検出限界は必然的に変化するので、分析条件を変更するごとに再計算が必要となる。この再計算を迅速に行うため、感度・検出限界値を計算する解析プログラムを開発した。

4. まとめ

本論文は平成11年度共同開発研究の成果をまとめたものである。この共同開発研究では、試作装置の完成により、従来になかったPIXE分析装置用試料採取装置作成のための基礎的なデータを得ることができた。得られたデータをもとに、実用的な捕集装置を完成させる。

参考文献

- 1) 東京都環境保全局：東京都環境白書2000(2000).
- 2) 環境庁：環境白書平成11年度版(1999).
- 3) M.Nakamura,H.Ise:Intern.J.PIXE 7 (1&2)87-92(1997).
- 4) M.Nakamura,H.Ise:Intern.J.PIXE 7 (3&4)235-256(1997).
- 5) M.Nakamura,H.Ise:Intern.J.PIXE 9 (3&4)381-386(1999).

(原稿受付 平成12年8月1日)

Table 1 ポリカーボネート製フィルタを捕集材として用いたときのPIXE分析の検出限界値 (ng)
ビーム径3mm、ビームエネルギー2MeV、ビーム電流3nA、照射電荷量1μC

元素	検出限界値 ng	元素	検出限界値 ng	元素	検出限界値 ng	元素	検出限界値 ng
Na	0.26	Ge	1.7	Sb	1.3	Lu	1.0
Mg	0.21	As	1.8	Te	1.3	Hf	1.0
Al	0.23	Se	1.8	I	1.3	Ta	0.98
Si	0.20	Br	1.8	Cs	1.1	W	0.89
P	0.22	Kr	1.9	Ba	1.2	Re	0.86
S	0.30	Rb	1.9	La	1.4	Os	0.77
Cl	0.32	Sr	2.0	Ce	1.5	Ir	0.69
K	0.33	Y	2.4	Pr	1.3	Pt	0.65
Ca	0.32	Zr	3.3	Nd	1.0	Au	0.66
Sc	0.23	Nb	4.7	Pm	1.5	Hg	0.63
Ti	0.25	Mo	5.9	Sm	1.5	Tl	0.60
V	0.32	Tc	5.6	Eu	1.2	Pb	0.66
Cr	0.30	Ru	5.2	Gd	1.3	Bi	0.76
Mn	0.27	Rh	6.9	Tb	1.4	Th	1.2
Fe	0.54	Pd	9.7	Dy	1.6	U	1.5
Co	0.71	Ag	11	Ho	1.7		
Ni	0.84	Cd	8.6	Er	2.2		
Cu	1.3	In	9.1	Tm	2.0		
Zn	2.2	Sn	9.5	Yb	2.1		
Ga	8.0						