

単一微粒子の履歴解析装置；有機物が計れる イオンビーム質量分析とナノスケール質量イメージング

チームリーダー 藤井正明（東京工業大学資源化学研究所・教授）

Keyword 大気浮遊粒子状物質、収束イオンビーム

タイプ 機器開発タイプ

開発課題名 収束イオンビーム/レーザーイオン化法による単一微粒子の履歴解析装置

■ 参画機関：新日本製鐵(株)、分子科学研究所、工学院大学

■ 開発期間：平成16～21年度(「プロトタイプ実証・実用化タイプ」において(株)トヤマが引き続き開発実施中)

課題概要

ナノスケール加工可能な収束イオンビームと特定の分子種を選択検出できるレーザーイオン化を融合した新たな局所分析法により、微粒子の表面と内部の組成の違いを計測する単一微粒子履歴解析装置を開発する。有害な大気浮遊粒子状物質のうち環境場や発生源に特徴的な微粒子に適用し、年輪のように刻まれている組成分布情報から発生源や浮遊履歴を解明する。これにより汚染物質の生成機構を明確化する事で環境科学に貢献する。

得られた開発成果の概要

■開発の背景／経緯

大気浮遊粒子状物質は多様な発生源を有する極めて複雑な混合物であり、しかも存在する環境場の影響により複雑な反応を経て変化する。そこで、汚染の実態把握と対策への貢献を目指し、微粒子に年輪のように刻まれている組成分布を計測する「単一微粒子の履歴解析装置」の開発を行った。

■開発の成果

有害有機物の選択検出

環境微粒子は無機・有機を含め複雑な混合物である。このなかから有害物質だけを検出するために、従来のFIBスパッタリングによって発生する二次イオンではなく、紫外線領域のレーザー光によりイオン化し、有害物質(ピレン)を選択的に検出することができた(図1)。

大気環境微粒子内部の分析

FIBで狙った粒子を断面加工し、ユーセントリック回転機構と併せたナノサンプリング法(特許出願)を用いることで、断面をマッピングすることに成功した。図2の例では一般大気から捕集した粒子においてMgとCaが相補的に分布していることが明らかとなり、粒子の発生機構に関する情報が得られる。また、

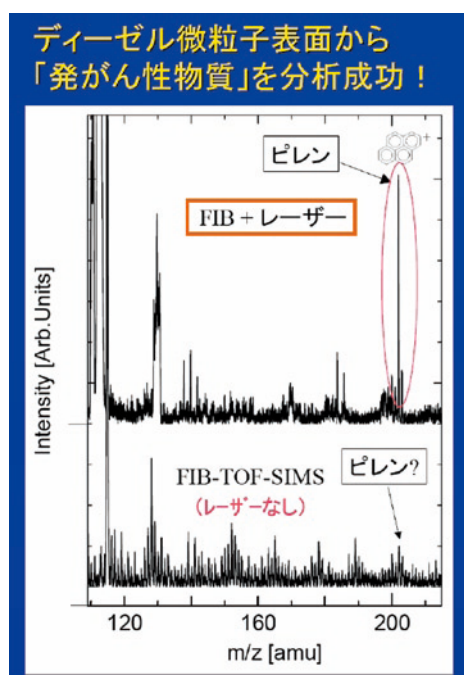


図1 ディーゼル粒子の分析結果

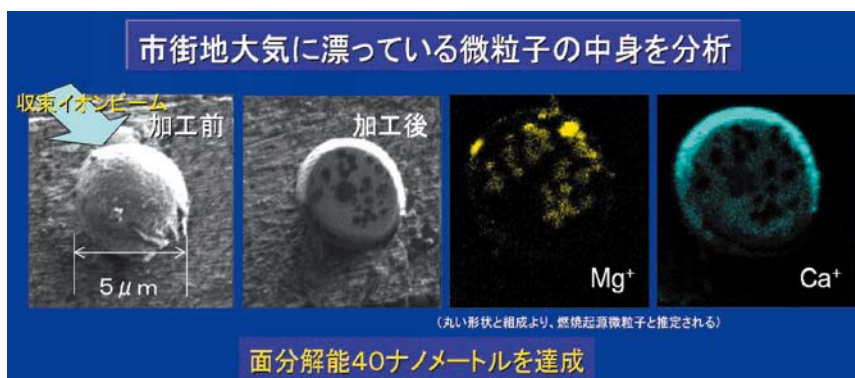


図2 大気微粒子の内部解析の例

マッピング分解能として40nmの世界最高分解能を達成した。
マイクロチップUVレーザー試作とレーザーイオン化法の開発
本装置に最適な小型・高繰り返し・高輝度のマイクロチップUV

パルスレーザーを試作し100Hzでの有機物イオン化分析が可能となった。これを用いて有機分子や高分子材料の質量イメージングに成功した。

大気浮遊粒子を削って汚染物質の生成のしくみを明らかにし、環境問題への取り組みを支援

本プロジェクトは次世代の夢の環境分析装置「単一微粒子履歴解析装置」を実現するものであるが、環境解析のみならず、材料開発などの分野へも貢献が期待される。現状でも無機物に関しては成分別にナノスケール質量イメージングが実現されているが、開発後半で追加した高繰り返し専用レーザー開発が完了すると、有機物に関しても化学構造情報を保持したイメージングが可能になる。これにより、様々な最先端研究やナノテク時代のものづくり現場のニーズに応える事の出来る先端分析装置としての寄与も見込まれる。

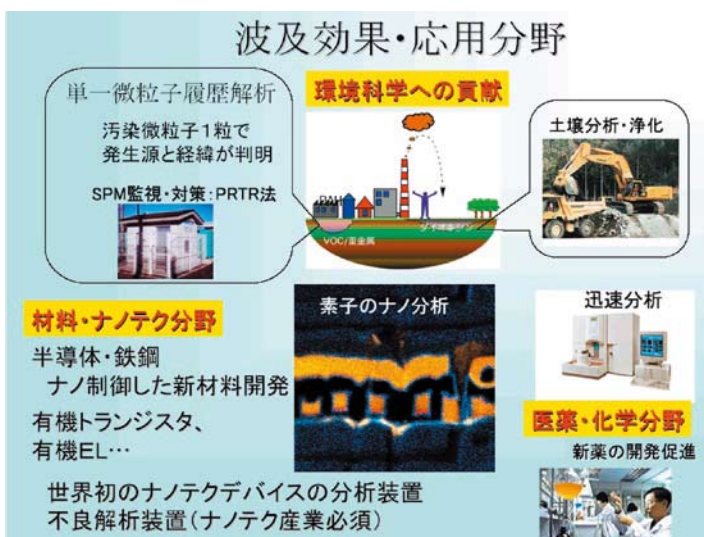
■環境科学への貢献

「単一微粒子履歴解析装置」の目指す分析機能は僅か1個の微粒子からその成分のみならず発生源とその後の飛来経路や成長履歴を明らかにするものであり、特定地点で検出された環境微粒子の発生源と経路の特定など、従来は不可能と思われた様々な分析が可能になる。また、単一微粒子による分析は究極の微量環境分析であるため、軽量かつ簡易な携帯型サンプラーを用いて広い地域での同時多点測定が可能であり、浮遊履歴まで含めての微粒子の時間・空間変動の解析を実現可能とする。

■材料開発への貢献

本装置の有する「非破壊観察可能なナノ加工・分析機能」、「有機物にも使えるナノスケール顕微質量分析機能」は有機薄膜、液晶、ブレンドポリマー素材など材料分野に対して極めて広範な

ニーズを有する。さらに、ナノテクノロジーの目指す分子デバイス・分子エレクトロニクスの開発にはSTM、AFMのような主に表面形状を走査する顕微鏡だけでは不十分であり、ナノメートル単位でサンプリングして成分分析できる手段が必要不可欠である。特にナノテクノロジーが作り上げるデバイスの多くは有機物を含むもので、これを分析できるのは本プロジェクトで開発するFIB-REMPL装置において他には存在しない。即ちオンリーワンの先端分析装置である。さらに、本装置の根幹である収束イオンビーム質量分析部の性能は分析時の面分解能が40nmに達しており、世界最高の分解能である。レーザーと組み合わせた場合の信号増強により、従来の方法と比較して感度も30倍以上高い。従って、本分析装置は世界最高性能の表面質量分析装置である。



上記成果の科学技術的根拠

【出願特許】

1. 特開2008-39521、「集束イオンビームを用いる微細部位解析装置」、出願人：東京工業大学、新日本製鐵(株)
2. 特開2007-327929、「イオン化分析装置及びイオン化分析方法」、出願人：東京工業大学、新日本製鐵(株)

【発表論文等】

1. Tetsuo Sakamoto, Masaomi Koizumi, Jyunji Kawasaki and Jyun Yamaguchi, "Development of a High Lateral Resolution TOF-SIMS Apparatus for Single Particle Analysis", Applied Surface Science, 255 (4), 1617-1620 (2008).