

## 審査の結果の要旨

論文提出者 富安 文武乃進

本論文は「高精細微粒子分析法の開発と応用」と題し、従来の微粒子分析法では実現出来なかった、大きさ数ミクロンの単一微粒子の内部形状や粒内元素分布の様な精細な微粒子情報を得ることができる新しい微粒子分析法を開発し、さらにこの高精細微粒子分析法を、環境微粒子の起源解析や機能材料微粒子の評価ならびに高純度製品中の不純物分析などに応用したものであり、全5章からなる。

第1章は序論であり、研究背景について述べるとともに、環境微粒子による大気汚染問題の解決や、その健康影響などについて詳しく調べるために微粒子分析が必要になること、また、様々な高機能微粒子材料を開発する上でも重要な要素技術となることについても述べている。

第2章では、大気環境微粒子に関する精密起源解析法の開発について述べている。EPMA法を用いた粒別起源解析法は、大気浮遊粒子状物質(SPM)の起源解析に有利な方法であり、この粒別起源解析法にSPM短時間捕集を組み合わせることで、起源解析の高時間分解能化を行うことが出来ることを示した。即ち、開発した「高時間・高空間分解能SPM粒別起源解析法」によれば、SPM大気汚染の細かい時間変動や空間変動が捕らえられることが明らかとなった。また、ディーゼル排気微粒子(DEP)などの正確な起源解析を行うために、「軽元素組成情報の取得が可能なSPM試料前処理・捕集法」を開発したが、この方法によれば、DEPなどの更に詳しい起源解析ができる。

第3章では、機能材料微粒子に対する高精度評価法の開発について述べている。本論文では、Ga-FIB SIMS法の微細加工能力と高空間分解能元素分布解析機能とを一体化した、「高精度微粒子三次元分析法」を開発している。また本法の高精度化を目的として、装置の高感度化などを行い、50 nm程度の極めて高い空間分解能での高感度三次元微粒子分析を実現している。一方、微粒子の粒別定量分析には、Ga-FIB SIMS法によるshave-off定量分析法が有利であるが、本論文では、この定量分析法

の高い信頼性を踏まえて shave-off 分析法による「高精度粒内元素分布解析法」を開発している。本法によれば、微粒子の内部形状や粒内元素分布などの重要な情報を得ることができる。またさらに、shave-off 走査をより低速かつ精密に行うことで、「高精度 shave-off 深さ方向分析法」を開発した。本法とナノスケール FIB 技術を組み合わせれば、深さ方向分解能 1.4 nm の高精度分析ができることが予測され、微粒子表層などの局所の正確な深さ方向分析法が実現できる。

第 4 章では、開発した分析法を環境微粒子や機能材料微粒子などに応用した結果について述べている。開発した「高時間・高空間分解能 SPM 粒別起源解析法」を都市人工空間に適用した結果、人工空間の構造や換気システムの運転方法が、汚染を制御する上で重要な役割を担うことが分かった。また海外都市域の SPM 起源解析に応用した結果、有鉛ガソリン車を起源とする粒子の同定など、多くの情報を詳しく調べられることが分かった。さらに「高精度 shave-off 深さ方向分析法」を、医療用リン注入石英ガラス微粒子の評価に適用した。この結果、微粒子表層でのイオン注入元素の正確な深さ方向濃度分布が計測され、深さ方向分解能が 5 nm 以下であることが分かった。次いで、開発した高精細微粒子分析法を組み合わせ、鋼中の介在物粒子の解析に応用した。その結果、個々の介在物粒子の化学組成と粒内元素分布が計測され、起源や生成過程についての重要な情報が得られることが分かった。

第 5 章では、本論文の総括を行い、開発した単一微粒子に対する高精細微粒子分析法の更なる高精度化や、分析対象微粒子の拡張とその意義などについての今後の展望を述べている。

以上本論文は、環境微粒子の起源解析や機能材料微粒子のキャラクタリゼーションを目的として、高精細微粒子情報を得ることのできる新しい微粒子分析法を開発したことを述べており、またその微粒子分析法を、種々の微粒子分析に応用することにより、その有効性についての検討をも行っており、ここで開発された高精細微粒子分析法が、従来法では取得が困難な詳しい微粒子情報を得ることができ、微粒子の正確なキャラクタリゼーションを行う上で極めて重要な分析法であると結論している。したがって、工業分析化学、環境計測化学、等の各分野に対して貢献することが顕著である。よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。