

題 目: DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION OF AEROSOL PARTICLE MASS  
ANALYZER (APM)

(エアロゾル質量分級装置 (APM) の開発と性能評価)

氏 名 畑下 奈穂子

エアロゾル質量分級装置 (APM) とは粒子を質量対電荷比で分級する装置で、その分級はナノ粒子にまで適用でき、また粒子の形状によって影響を受けないことが特徴である。APM を微分型移動度分析装置 (DMA) と組み合わせることにより、粒子の粒径と質量を同時に測定することができ、その結果密度を決定することができる。以上の特徴より APM はエアロゾル研究分野において種々のエアロゾル特性の評価に使用されてきている。我々は世界で初めて APM の製品化を行った。

本論文は、製品化を行った 2 機種 of APM の開発および APM の適用可能質量範囲や操作パラメータの標準的設定に関する提案と、APM を設計するための体系的な方法論の構築を行った結果をまとめたものである。また APM の基本性能についての評価結果、さらに APM のアプリケーション例として、材料研究における APM の応用についても報告する。本論文の各章の詳細な内容は、以下のとおりである。

第 1 章では、エアロゾル計測の背景と、APM と同じ遠心力を使用した分析器であるエアロゾル遠心分離器の種類とその原理を説明し、APM の原理およびアプリケーションの紹介を行った。本論文の目的、概要についても説明している。

第 2 章では、最初に開発された APM Model 3600 に対して、分級質量範囲および最適な操作条件について報告する。APM にある意味で似たエアロゾル分級器で、APM より広く使われている DMA の場合には、その適用可能粒径範囲は“1 nm から 1000 nm”というおおよその目安が広く受け入れられており、また、例えば“シース流量とエアロゾル流量は 10:1 で使う”といった標準的設定が存在する。これらの適用可能範囲や標準的設定は特に厳密なものではなく、長い年月をかけて多くの人が様々な要素を考慮した上で学んだ知見に基づいた慣習的なものである。これに対して APM では、DMA のような適用可能範囲や標準的設定に関する知見はまだ確立されていない。現実の使用時には、APM の分級特性を最適化する配慮はほとんどなされていなかった。これは、APM の分級特性をコントロールすることについての実用的な知見、例えば実際の装置寸法や使用条件に即した知見が十分に確立されていないことが一因と思われる。そこで、こうした知見の確立に寄与すべく、APM を適用できる範囲と、装置性能を十分に引き出すための標準的設定について、APM Model 3600 を例として理論に基づいた考察を行い、「分級可能質量範囲」を視覚的に一覧できる線図を作成した。さらに、分解能も透過率もどちらも良好である分級条件についても、前述の線図を用いて考察した。以上、分級可能と理論的に予測された範囲内で、実際の装置が本当に分級できるのかどうかを検証するため、確認実験を行った。

第 2 章で報告した APM Model 3600 は装置全体のサイズが、持ち運ぶには大きすぎてフィールドでの利用が必ずしも容易ではなかった。そこで第 3 章では、このモデルよりもよりコンパクトでよりフィールドでの利用が容易な 2 機種目の APM の開発を行った。まず最初に、APM の性能に対する幾つかの要請から設計パラメータに課せられる制約条件を導くための数学的定式化を行い、次に得られた公式を用いて、Model 3600 よりもその大きさが顕著に小さいモデルの設計定数を決定した。最後に、実際にこの設計にもとづく装置を試作し、実験的にその性能評価を行い、1 機種目の Model 3600 と

その性能を比較した結果を報告する。

第 4 章では、ナノ粒子の凝集体の物理的性質を測定するための正確かつ効率的な手法として APM のアプリケーションを紹介する。ポリマー電解質燃料電池は有望なエネルギー源の一つになっている。この触媒担体物質として最も一般的に使用されるのはカーボンブラックである。カーボンブラックは触媒担体物質として必要な高い電子伝導性と高い表面積を持っているが耐久性が比較的低いため、代替材料が必要とされている。窒化チタン (TiN) は、優れた耐酸性を有しており、電子伝導率も高いことが報告されている。そこで、噴霧熱分解法を用いて、高い空隙率を持つ白金担持 TiN (Pt/ TiN) 凝集体の生成を試みた。DMA-APM システムを用いて調製した TiN ナノ粒子凝集体の有効密度を測定し、ナノ粒子凝集体の空隙率を計算した。さらに合成した Pt/ TiN 触媒を電気集塵機で捕集し、形態などを分析した。

第 5 章に、第 4 章までのまとめを示す。