

氏名	とうのすすむ 東野達
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第2261号
学位授与の日付	平成元年7月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	エアロゾル粒子の性状とその変化に関する基礎的研究 —凝集粒子の形態解析を中心として—
論文調査委員	(主査) 教授 高橋幹二 教授 平岡正勝 教授 住友恒

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、凝集エアロゾル粒子の形態とその生成条件および動力学的挙動との関係を定量的に明らかにすることを目的とした研究の成果をまとめたもので、7章からなる。

第1章は序論であって、本研究の概要について述べている。

第2章では、多分散エアロゾル粒子の物理的換算径の分布を測定機器で計測する場合のデータ処理法、すなわち機器の感度交差を考慮して測定量から粒度分布を求めるための逆問題について検討した。カスケードインパクターと静電型粒度分布測定器を対象として、逆問題の定式化を行ない、非線形反復法を適用した場合の適用限界、計算打ち切りの判定条件などについて検討し、実用的な計算方法を提案した。また、主成分と粒子核成分からなる2成分エアロゾル粒子にカスケードインパクターを適用したとき、粒子核成分のみの測定から粒度分布の推定が可能であることを示した。

第3章では、不整形粒子の幾何学的形状解析を行なうために、テレビカメラとイメージスキャナーを画像入力とし、入出力制御・演算部に主としてマイクロコンピューターを用いた画像解析システムを作成し、解析結果の精度などを検討した。計算アルゴリズムには、粒子画像の二値化・周囲長・面積・フェレー径・回転半径・フーリエ解析・フラクタル次元解析などが含まれている。粒子不整形度の指数としては粒子周囲長に対するフラクタル次元を用い、またフラクタル次元だけでは評価の困難な形状の異方性に対してはオープニングの概念にもとづき、構成画素の格子点配列に対応した基準図形の分布によって粒子の特性を表現することを提案している。さらにこのための解析法および凝集粒子から構成単粒子を分離するためのアルゴリズムを示している。

第4章では、空間的に一様な場における球形エアロゾル粒子に対する一般動力学方程式の定式化と数値解法について検討している。すなわち、単成分粒子については、凝集・凝縮場における粒子性状の時間的変化の数値計算結果と解析解との比較から数値計算の精度について検討し、ブラウン凝集による粒度分布変化過程のシミュレーションに対してその有用性を示した。多成分粒子については、粒子半径を独立変数として、凝集・凝縮・重力沈降による除去および生成を含む系に対する多成分区間分割法の再定式化を図

り、数値計算の方法とその精度について検討した。また、これらの方法をスモッグチャンバー内の光化学的エアロゾル生成実験結果の説明に適用している。

第5章では、電気炉による蒸発凝縮法と気相反応法で発生させた金属エアロゾル粒子の大きさ・形状と発生の操作因子との関係について検討している。1段電気炉加熱法およびこれに赤外瞬間加熱炉を連結した2段加熱法により、炉温度を変えて様々の鉛フェーム粒子を発生させ、個々の粒子の回転半径と周囲長の関係から粒子群についてのフラクタル次元を求めることを提案し、操作条件とマルチフラクタル性の関係について検討した。

CO-O₂ 炎中の気相反応法により、Al, Fe, Co のキレート化合物から生成した金属酸化物エアロゾル粒子の、単粒子径に最も大きく影響する因子は溶質濃度であり、生成粒子の形状はCO流量に大きく依存すること、また、形状の特性を表すにはフラクタル解析が有効であることを示した。

第6章では、電気炉で発生させた鉛フェームを用いてブラウン凝集実験を行ない、画像処理法を適用して凝集による粒子形状の変化を定量的に記述することを試みている。すなわち、凝集の進行とともに粒子の面積等価径・平均円形度・均斉度などの一般的形状パラメーターの他にマルチフラクタル性にも明らかな変化がみられることを確認した。また粒子の周囲長と回転半径の関係において、フラクタル次元の高次側と低次側の交点に対応する回転半径を境界回転半径と定義したとき、境界回転半径とその大きさ以下の低凝集度粒子の個数割合が凝集の進行と相関をもって推移していくことを示した。さらに、投影面積等価径分布から質量等価径分布を推定するために凝集体のマルチフラクタル性を用いる方法を提案した。

凝集体のブラウン拡散係数とフラクタル次元に関する従来の研究成果も利用しながら、さらにその動力学的形状係数と質量等価径およびフラクタル次元との新たな関係を誘導した。これは、凝集体の動力学的特性が、構成単粒子に関する要因と単粒子の凝集形態に依存することを示唆するものである。また、動力学径についての実験値と質量等価径分布から推定した値は比較的よい一致を示した。さらに、ここでえられた動力学的形状係数を含む凝集定数を用いて4章の方法によりブラウン凝集場の粒度分布変化を計算し、実験との対比によって、粒子衝突半径に対する形状の効果について考察している。

第7章は結論であって、本研究の成果を要約し今後の展望について述べている。

論文審査の結果の要旨

不整形エアロゾル粒子の形態とその動力学的性状との関係については従来からいくつかの研究があるが、その多くは比較的簡単な形状の粒子に対するものであり、また粒子の形態解析結果をもとにこれを定量的に論じたものはほとんどない。本論文は、不整形エアロゾル粒子のより一般的な形態解析手法を開発し、凝集粒子の生成条件・動力学的特性と形態との関連を理論的・実験的に検討したものであって、えられた成果の主なものは次のとおりである。

1. 多分散・多成分エアロゾル粒子の粒度分布測定に関して、測定器の感度交差を考慮した逆問題の定式化を行ない、非線形反復法による粒度分布決定法を提案してその実用性を実験的に確かめた。

2. 不整形粒子の形態解析を行なうための簡便なシステムを開発し、各種の不整形粒子に適用した場合の精度について詳細に検討した。また、凝集体から単粒子を分離するための新しい手法を提案し、粒子の

凝集構造を表すものとして周囲長に関するフラクタル次元が、不整形粒子の構成と異方性形態に対してはオープニングの概念が有用であることを明らかにした。

3. エアロゾル粒子性状の時間的変化を表す一般動力学方程式の数値解法として多成分区間分割法を再定式化し、凝集・凝縮・生成・沈降を含む場の粒度・成分の時間的変化の計算と精度の検討を行ない、実験結果とも対比しながらその実用性を確かめた。

4. 1段または二段加熱による蒸発凝縮法またはCO-O₂炎中の気相反応法で生成させた金属フェーム粒子の形態解析から、発生操作条件と単粒子の大きさおよび凝集粒子の形態との関連を定量的に示すための有用な知見をえた。

5. ブラウン凝集場の粒子について、フラクタル解析などにより凝集体の形態特性解析を行ない、マルチフラクタル特性の指標として境界回転半径を提唱した。また、凝集体の動力学的形状係数と質量平均径およびフラクタル次元との新しい関係式を誘導し、粒子の動力学的特性がそれを構成する単粒子と凝集形態の2つの因子に関連することを示した。

以上要するに、本論文は凝集エアロゾル粒子の形態と動力学的特性に関する基礎的かつ応用上の有用な知見を与えたものであって、学術上、實際上寄与すべきところが少なくない。よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成元年5月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行なった結果、合格と認めた。