

氏 名	飯 村 健 次
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3903 号
学位授与の日付	平 成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	凝集性微粒子分散モデルの構築と流れ場における動力学シミュレーション
論文調査委員	(主 査) 教 授 東 谷 公 教 授 増 田 弘 昭 教 授 宮 原 稔

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、多くの工業プロセスで見られる不安定な凝集性微粒子の巨大凝集体の流れ場中での挙動予測に適用可能なシミュレーションモデルを構築し、巨大凝集体を中心に、せん断流れ、伸張流れ等の流れ場中での種々の基礎現象をシミュレーションし、従来不可能であった不安定コロイド分散系で生じる諸現象の理解に資することを目的としたもので、全11章からなっている。

第1章は、本論文の重要性、既往の研究、研究で用いられる基礎的理論、最後に、本論文の構成について述べている。

第2章は、2粒子からなる凝集体に対し、軌道理論に基づき、せん断流れ場および伸張流れ場中での等経、異径の2粒子凝集体について安定性の評価を行っている。粒子間相互作用に関する諸要因、ならびに異径2粒子凝集体における粒径比の安定性に及ぼす影響を明らかにしている。また、流れ場の散逸エネルギーを基準にして、せん断および伸張流れ場の分散に対する有効性の比較を行っている。さらには、分散・凝集の安定性の限界を推定する簡易手法も提案している。

第3章、第4章では、離散要素法を基礎とし、それぞれ、2次元ならびに3次元のモデルの構築を行い、2次元モデルでは定性的、3次元モデルでは定量的なモデルの妥当性の検討を行っている。本モデルは、離散要素法に、流れに露出した有効表面への流体抗力・トルクおよび近接粒子による流れ速度低減効果を組み込んだモデルである。特に3次元モデルでは、規則構造凝集体の沈降シミュレーションにおいて実験結果と良い一致が見られ、モデルの定量的な妥当性を確認した。また本モデルによるシミュレーション結果は、せん断および伸張流れ中の凝集体の分裂プロセス、分裂後の凝集体の構成粒子次数とせん断・伸張応力の累乗関係が既往の実験結果と整合性があることを確認している。また、分散後の凝集体の粒子次数の推測が可能な無次元パラメータを導出している。

第5章、第6章では、3次元修正離散要素法モデルを、それぞれ、静止流体中で凝集体が平板に沈着する過程、ならびにその沈着粒子のせん断流れ場による再飛散過程のシミュレーションに適用している。沈着過程のシミュレーションでは通常測定することが困難な内部構造の推定に成功し、複雑な構造形成プロセスが存在することを指摘している。また、平板に沈着した凝集粒子の飛散過程のシミュレーションでは、凝集体の沈着形態ならびに、せん断応力が再飛散過程に与える影響を明らかにしている。また、再飛散過程には、粒子間および粒子―壁面間付着力に応じて2つの飛散機構が存在するを示した。

第7章、第8章では、3次元修正離散要素法モデルを、気相中での凝集体の分散プロセス、凝集体のフィルターへの捕集プロセスに、それぞれ適用している。その結果、気相中の加速度場においては、液相中でのせん断ならびに伸張場による分散と比較して遙かに小さな凝集体へと分散することを明らかにした。また、繊維フィルターへの衝突による分散については、加速度場よりもさらに有効であることを明らかにした。また、繊維フィルターによる捕集については、粒子―繊維間の van der Waals 引力が増加するとある程度の範囲までは捕集率は緩やかに増加するが、大きくなりすぎると付着時の粒子の運動が阻害され逆に捕集率の低下する減少することを見出した。また、凝集体の場合、単繊維捕集効率は、単一粒子のそれに比べて大きく低下することを明らかにした。

第9章、第10章では、それぞれ、より多数の粒子を含む大規模系に適用可能な3次元簡略化修正離散要素法モデルの構築、

並びに、凝集性粒子サスペンションのせん断流れ中でのレオロジー特性のシミュレーションを行っている。その結果、本モデルの有効性を確認すると共に、相対粘度変化が凝集体の変形・分散挙動と密接に関係しており、せん断速度による粘度低減効果が推定できることを確認している。さらに、凝集性粒子サスペンションのレオロジー特性について、凝集体の成長と伴に見かけ粘度は増加し、やがて定常になることを確認し、体積分率、静電反発力が粘度増加に及ぼす影響を明らかにした。

第11章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、多くの工業プロセスで見られる不安定な凝集性微粒子の巨大凝集体の流れ場中での挙動予測に適用可能なシミュレーションモデルを構築し、巨大凝集体を中心に、せん断流れ、伸張流れ等の流れ場中での種々の基礎現象をシミュレートし、従来不可能であった不安定コロイド分散系で生じる諸現象の理解に資することを目的とした。得られた結果は下記の通りである。

- 1) まず、軌道理論に基づき、せん断流れ場および伸張流れ場中での等径、異径の2粒子凝集体について安定性を評価し、無次元数により、せん断場中での凝集・セミ分散・分散領域に整理できることを示した。
- 2) 離散要素法を基礎とし不安定な巨大凝集体にも適用可能な修正離散要素法モデル (mDEM) を構築した。モデルの種々の実験結果との整合性を検討し、定量性のあることを確認した。また、種々のせん断場における凝集粒子の分散過程をシミュレートし、分散過程が無次元数で整理できることを明らかにした。
- 3) 開発したモデルを用いて、静止流体中で凝集体が平板に沈着するプロセスをシミュレートし、沈着構造体は複雑な構造を取ることを明らかにした。次に、この凝集体が沈着した平板と平行にせん断場を架して、再飛散過程をシミュレートしたところ、粒子間引力と粒子平板間引力の違いにより、飛散メカニズムの異なることを見出した。
- 4) 開発したモデルを用いて、均一な高速度場での気流中と液流中との分散過程の比較を行ったところ、両者は大きく異なることを見出した。また、水平な円筒型の繊維フィルターに凝集体を衝突させ、その捕集率を検討したところ、速度と共に一旦高くなって、その後は減少するという複雑な挙動を示すことを明らかにした。さらに、凝集体の単繊維捕集効率率は、単一粒子のそれに比べて大きく低下することを明らかにした。
- 5) 修正離散要素法モデルをさらに大規模系に適用するため簡略化修正離散要素法モデル (smDEM) を開発し、その妥当性を確認した。これを用いて、不安定系サスペンションのレオロジー特性を検討し、本モデルが、従来不可能であった不安定系のサスペンションのレオロジー特性の推定に利用できることを明らかにした。

以上の内容により、本論文は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成18年1月24日、論文内容とそれに関連した事項に関し試問を行った結果、合格と認めた。