

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 バシンスカス ギティス

化学工学および原子力工学が関係する工業製品の多くは、粉体混合工程を経て製造される。産業における粉体混合を例示すると、原子燃料の製造工程では密度差のある複数の粉体の混合が行われ、食品や薬品の製造工程では複雑な形状または複雑な駆動機構の容器において粉体混合が行われる。既存研究では、実験および数値シミュレーションの両面から粉体混合の評価がなされてきたが、実験においてはサンプリングの評価精度そのものに問題があったり、数値シミュレーションにおいては実用的な体系のモデル化に問題があったりしたため、実際の粉体プロセスにおいて精度の良い粉体混合評価がなされていなかった。そこで、本研究では、実際の粉体プロセスにおける粉体混合を評価するための計算手法を提案することを目的とする。本論文は、全体で9つの章から構成されている。

第1章では、粉体混合に関する既存研究についてまとめられている。まず、既存の実験および数値シミュレーションの粉体混合評価手法について述べられている。特に、物性制御、分析および粉体の空間配置の把握において、離散要素法による数値シミュレーションが粉体混合の検討において優れていることが記述されている。次に、既存の離散要素法を用いた数値シミュレーション技術が、壁面境界および付着力のモデリングにおける技術的な問題により、複雑形状容器内の粉体混合および付着性粒子の粉体混合に応用されていないことを示している。これらの背景より、本研究の目的を、離散要素法を用いた数値シミュレーションにより複雑容器内における粉体混合の評価とすることが述べられている。

第2章から第4章には、本研究の予備知識や事前検討が示されている。第2章では、主として、離散要素法の概要、時間差分スキーム、接触力のモデリング、符号付距離関数を用いた壁面境界モデルおよび DEM の並列計算について述べられている。第3章では、主として、既存研究で用いられた粉体混合評価指標の概要およびグラニューラ温度の定義について記述されている。第4章には、既存の粉体混合指標の比較および選定、物性が二軸混練機内の粉体流れに

及ぼす影響の評価、などの事前検討がなされている。

第5章には、リボンミキサーにおける粉体混合が記述されている。まず、符号付距離関数を壁面境界モデルとして導入した離散要素法をリボンミキサー内の粉体流れに応用できることを示している。具体的には、同一条件下で行った数値シミュレーションと実験について両者のマクロ挙動が一致することを確認して、数値シミュレーションにより実際の粉体混合を模擬できることを示した。次に、攪拌翼の回転速度、粉体投入量、粉体の初期配置、などが粉体混合に与える影響を評価した。さらに、密度差のある粉体の混合も検討した。リボンミキサーにおいて粉体投入量および粉体の初期配置が粉体混合において極めて重要な条件であることを見いだした。

第6章には、ポットブレンダーにおける粉体混合が記述されている。本章においても、計算結果と実験結果の比較により、符号付距離関数を導入した離散要素法をポットブレンダー内の粉体流れに応用できることを示した。次に、容器の回転速度、粉体投入量、粉体の初期配置、などが粉体混合に与える影響を評価した。ポットブレンダーにおいても粉体投入量および粉体の初期配置が粉体混合において極めて重要な条件であることを見いだした。さらに、グラニューラ温度が粉体混合に関係することを見いだした。

第7章には、付着力を伴う粉体のための線形バネを用いた接触力モデルについて記述されている。付着力を伴う粉体の接触モデルとして、**JKR** モデルがある。**JKR** モデルを用いると、時間刻みを小さく設定する必要があるため、実用的な体系の粉体シミュレーションを効率よく実行することができなかった。そこで、この問題を解決するための線形バネを用いた接触力モデルの開発を試みた。数値実験により、本研究で開発した接触力モデルの妥当性を示した。

第8章は、総合討論であり、主に第5章および第6章の関連性やまとめを記している。

第9章は結論であり、本論文の成果をまとめている。

以上を要すれば、本研究は粉体の数値シミュレーションの産業応用に向けて、粉体混合の評価において信頼性の高い数値解析モデルを提案したものであり、化学工学および原子力工学における粉体の数値シミュレーションの発展に貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。