

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 高畑 和弥

メッシュフリー粒子法はラグランジュ的手法であり、計算において格子を使用する代わりに、粒子を使用する。不連続体のメッシュフリー粒子法として、**Discrete Element Method**（以下、**DEM** と記す）が広く知られている。**DEM** は原子力工学、化学工学をはじめとする多くの工学分野における粉体流れおよび固体粒子を含む混相流の数値シミュレーションに応用されている。本研究では、三本ロールミル体系において湿潤粒子の付着メカニズムを解明するとともに、固気混相流において圧力ポアソン方程式の密度スケーリングモデルおよび薄板モデルを開発している。本論文は、以下に示す6つの章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景および目的が述べられている。粉体を対象とする体系として、医薬品の生産プロセスおよび燃料デブリの取り出しを挙げ、粉体の現象把握に数値シミュレーション技術の導入が期待されていることが述べられている。また、**DEM** および **DEM** と **Computational Fluid Dynamics**（以下、**CFD** 法と記す）を連成した **DEM-CFD** 法に関する既存研究を調査し、三本ロールミルにおける液架橋を有する湿潤粉体の流れのメカニズム、任意形状壁面を有する固気混相流の計算手法および薄板を有する固気混相流の計算手法において研究課題を抽出し、それらを解決することが本研究の目的であることが述べられている。

第2章では、本研究において使用している粉体・混相流の数値シミュレーション手法について述べられている。まず、**DEM** の概要、**DEM** の液架橋力モデルの概要、**DEM-CFD** 法の概要について述べられている。次に、壁境界モデルが概説されており、スカラーフィールドを用いた **DEM** の任意形状壁面モデルとして **Signed Distance Function**（以下、**SDF** と記す）が述べられるとともに、**DEM-CFD** 法の任意形状壁面モデルとして **SDF** と **Immersed boundary**（以下、**IB** と記す）法を結合した **SDF/IB** 法が述べられている。さらに、**Dual grid model** に **SDF/IB** 法を導入した **Flexible Eulerian-Lagrangian Method**（以下、**FELM** と記す）の説明および **SDF/IB** 法を導入した際の圧力ポアソン方程式の密度スケーリング法の説明がなされている。

第3章は、トロイダル近似を用いた液架橋力の **DEM** シミュレーションについ

て述べられている。トロイダル近似に基づく液架橋力モデルが導入されている **DEM** によって、三本ロールミルにおける湿潤粉体の高速ロールへの付着メカニズムが明らかにされている。三本ロールミルでは、湿潤粉体に対して、ロール軸中心高さよりも上側では圧縮力が作用し、下側では引張力が作用している。三本ロールミルの中心軸高さよりも下側において湿潤粒子に作用するフォースバランスを評価することにより、湿潤粉体が必ず高速のロール側に付着する現象が初めて明らかになった。

第4章では、密度スケーリングを用いた固気混相流シミュレーションについて述べられている。計算領域内部に構造物を有する噴流層体系において、密度スケーリングの有効性を検討している。噴流層体系において、従来手法では気流が構造物を貫通することにより固体粒子の挙動が不自然となることを示し、密度スケーリングを導入することでこの問題を解決できることを示している。

第5章では、薄板を有する固気混相流シミュレーションについて述べられている。薄板を有する固気混相流体系の数値シミュレーションを実行するために **FELM** を開発している。**FELM** について、薄板を有する固気二相流体系において既存手法に対する優位性および妥当性検証を行っている。従来手法では、計算が実質的に不可能とされている固気混相流体系が、**FELM** により計算可能となることが示されている。

第6章は、結論であり、本論文の成果および今後の研究課題の方向性について述べられている。

以上を要すれば、本研究は メッシュフリー粒子法のひとつの **DEM** において、数値シミュレーション手法の開発および産業体系におけるメカニズム解明を行っており、当該分野における数値シミュレーション技術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。