

審査の結果の要旨

氏 名 井上 康博

コロイドを含む流体系は、生体をはじめとして食品、潤滑材など日常、産業のさまざまなところに見られる。このような系の流動特性は、生体機能の解明や高機能製品の開発といった実用上の観点と、また、多数の要素を含む非一様流体系の示す非平衡ダイナミクスといった学術上の観点から重要で、今後の流れ解析に課せられた主要な課題のひとつとなっている。

コロイドのなかでこれまで多くの研究が行われてきたのは、ラテックス、金属微粒子など変形しないコロイド粒子を含む系についてである。一方、液体中の分散液滴、赤血球、ミセルなどは変形することができるソフトなコロイドで、血液流れ、生体中の化学物質輸送、界面活性剤による洗浄プロセスなどに広く見られる。ソフトコロイド系の流動特性に関連した研究はほとんど行われておらず、その重要性に鑑みて、今後、その流動機構、流動特性を明らかにしていくことが必要となってきた。

本研究は、以上を背景とし、ソフトコロイド系の流動特性を解析できるモデルの研究を行い、数値解析モデルを開発すること、そして、それを用いてソフトコロイド系の基礎流動特性を評価することを目指したものである。メゾスコピックな実数型格子ガスモデルを用い、混じり合わない分散液滴としてコロイドをモデル化し、さまざまな解析をとおして解析手法の妥当性と有効性を確認し、ソフトコロイド系の流動機構の検討を行っている。本論文は、このような研究の成果を7つの章にまとめたものである。

第1章は序論であり、研究の背景と位置付けをまとめたものである。ソフトコロイド系のモデルに関する考え方をまとめ、研究目的を述べている。

第2章は実数型格子ガス法の特性を検討した章である。まず、実数型格子ガス法のアルゴリズムを説明し、その特質のひとつとして動的構造因子の統計解析を行っている。この結果から、実数型格子ガス法が自然な形で熱揺らぎを評価できる手法であり、コロイド系の解析に多大な利点を有していることを確認している。

第3章では、コロイドモデルの基礎として実数型格子ガス法を多成分に拡張したモデルを開発し、その妥当性を検証した章である。表面張力、相分離時の代表長さの時間スケーリングについても議論している。

第4章では第3章で開発したモデルを用いてソフトコロイド系を多成分流体としてモデル化する

る手法を説明し、非流動系の数値解析によってコロイドの分散状態や凝集状態が再現できることを示している。

第5章はソフトコロイド系の流動特性を詳細に検討した章である。レオロジー特性として流体のずり速度と粘性の関係をコロイド濃度の関数として現象的に評価し、それがソフトコロイドの配位とどのような関係にあるかを機構的に検討している。そして、生起する Shear-thinning、Shear-thickening の領域と流れ条件との関係を流れのレイヤー構造に結びつけて整理できることを明らかにしている。

第6章では微小循環系を模擬した体系を流れるソフトコロイド系の解析と結果をまとめている。流路曲がり部での壁面せん断応力特性、流路内でのコロイドの流路中心への集中、複雑なネットワーク型流路での流動について、本研究で開発したモデルが有効に機能し、機構的に合理的な結果が得られることを明らかにしている。

第7章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめた章である。

以上を要するに、本論文は、新しい流体解析手法として実数型格子ガス法を拡張してソフトコロイド系の流動解析モデルと解析アルゴリズムを確立し、それを基にして、基礎特性、物理的妥当性を評価し、ソフトコロイド系のレオロジー特性や流動機構を再現して、手法としての妥当性を確認し、合わせて工学問題への適用性を示したものであり、今後の複雑流れ流体解析の進展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。