

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 藤 樹龍

異なる相の流体から構成される多相流は、原子炉の冷却を初めとした様々な産業プロセスに広く現れる流れで、各種プラントの効率向上や設計の合理化のため、その精度の高い予測手法の確立が望まれている。これまで、一般の連続体近似に基づく流体解析手法に、相間の力学的、熱的相互作用を構成関係式として導入したり、相間の界面を陽的に追跡するアルゴリズムを交えるなどして、多相流に対する流体解析が行われ、成果を収めつつあるところである。しかし、大規模実験への依存性をなくして解析の普遍性を高め、また、相の合体や分裂など複雑な相形状の変化を含む多相流れを解析するためには、従来の手法を延長するよりは、解析のアルゴリズムや相界面の記述に新たな視点を取り込んだり、粒子的もしくはミクロ的な流れの記述法を基礎とする方が、自然な枠組みで複雑な多相流を表現できると考えられるため、新しい流体解析手法の多相流への適用が研究されている。

格子ボルツマン法はこのような解析手法のひとつであり、ボルツマン方程式に保持されている分子論的背景を残したまま、高い計算効率を達成することが可能であるため、多相流を含む複雑流れの解析手法として今後の発展が期待されている。しかしながら、格子ボルツマン法を多相流に適用する際には、相の密度比が大きい場合に解析の安定性が悪化すること、実際の体系の物性を反映するのが困難であること、非一様格子を使用できないことなどの問題点がある。

本論文は、以上の問題点を解決し、適用性の高い多相流解析手法として格子ボルツマン法を確立することを目的に行われた研究の成果をまとめたものであり、全体で 8 つの章より構成されている。

第 1 章は序論であり、研究の背景とこれまでの格子ボルツマン多相流解析をまとめ、問題点を整理し、合わせて本論文の目的を述べている。

第 2 章では格子ボルツマン法の基本的な考え方を紹介し、次いで、格子ガス法から導かれた格子ボルツマン法が、また、連続ボルツマン方程式の離散近似としても導出され、互いに等価であることを議論している。

第 3 章は本論文で提案する新しい格子ボルツマン多相流解析手法について述べた章である。格子ボルツマン法を連続ボルツマン方程式の離散近似と捉えることにより、差分法で開発されたさまざまな技法を適用することができることに着目し、相界面の解析に

対して系統的にいろいろな差分スキームを調べている。その結果、人工圧縮付きの TVD が最も適切であるとして、それを格子ボルツマン法に取り込んだ新しい解析手法 LBTVD/AC を開発している。

第 4 章では、その LBTVD/AC 法を用いて相の共存状態の解析を行い、二相界面に界面張力が発生すること、それがラプラス則を満たすことを示し、密度プロファイルについて理論値との比較検討を行っている。解析の精度と安定性についても言及し、120 までの密度比が安定に解析できること、また、非一様格子を適用して局所的な精度を高めることが可能であることを実証している。

第 5 章は相界面のダイナミクスを検討することにより本手法の妥当性を確認した章である。密度分布から界面厚さを評価し、その変化と擬速度の分布を求め、また、ガリレイ不変性について議論を行っている。

第 6 章では、本手法が適切な無次元数の定義を用いて、適当なモデルのパラメータを調節することによって、現実世界に現れる実際の気液二相流と対応する解析が可能であることを示している。具体的に相分離過程、せん断流れ場における分散滴の変形、キャピラリ波などに適用し、妥当な解析結果を得ている。

第 7 章では、液相中における単一気泡の上昇を扱い、詳細な気泡形状と気泡内部、周辺での流れ場を求めている。特に気泡形状については、特徴的な形を示す無次元数の領域分けの実験結果と比較して良い一致が得られることを確認している。また、気泡径の振動について物理的な考察を加えている。

第 8 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、本論文は格子ボルツマン法を新しい視点で捉えて、LBTVD/AC という多相流解析に適切な流体解析手法を提案し、基本的な数値特性、相界面ダイナミクス、多相ダイナミクスの解析と検討を通してその有効性と適用性を実証し、新たな多相流解析手法を確立したものであり、工学における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。