



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Numerical investigation of the free energy based lattice Boltzmann method for two-phase flow with large density ratio [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	龔, 加明
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11944号
Issue Date	2015-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/59700
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Jiaming_Gong_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 龔 加明

審査担当者 主 査 教 授 大島 伸行
 副 査 教 授 渡部 正夫
 副 査 准教授 田部 豊

学位論文題名

Numerical investigation of the free energy based lattice Boltzmann method for two-phase flow with large density ratio

(自由エネルギーに基づいた大密度比二相流体ラティス・ボルツマン法解析に関する数値研究)

高分子形燃料電池は高効率, 低エミッションかつ小型可搬性に優れるなどの利点から従来の燃焼機関に替わりうる車両や家庭用のエネルギー源として注目を集めている. 本研究論文では, 高分子形燃料電池の数値シミュレーション技術の確立と実用化を目標とし, 特に, 多孔質や微小流路内の気液流動場に着眼して, それらの高精度な数値予測に適した数値解析モデルとして, 特に, ラティス・ボルツマン法および自由エネルギー理論に基づく気液界面流動場シミュレーション法の確立を図るため, その数値誤差の特性と制御に関する基礎的な研究を行った.

第一章では, 気液界面流動場シミュレーション法, 特に, 本研究で対象とするラティス・ボルツマン法および自由エネルギー理論に基づく気液界面モデルに関する研究状況を概観し, 本研究の目的を述べている.

第二章では, ラティス・ボルツマン法および自由エネルギー理論に基づく気液界面モデルを概説し, 特に Inamuro らが提案し, 田部らにより改良研究された, 高密度比の気液 2 相場に適した数値シミュレーション法の定式を解説し, 特に, 実際の数値解析に際しての従来手法の問題点として, 数値誤差を要因とする気液界面の変形や体積変化を生じる課題を挙げた. その詳細分析を以下の章で述べている.

第三章では, 第 1 の要因として, ラティス・ボルツマン法における流入・流出境界条件に起因する気液界面の体積変化を分析している. ここでは, ラティス・ボルツマン法に一般的に適用される流入・流出境界条件に生じる数値誤差によって気液界面に相変化に相当する誤差が誘起され, 時間発展計算において孤立した液相界面の非物理的な体積増加を与えることが明らかとなった.

第四章では, 第 2 の要因として, 自由エネルギー理論に基づく気液界面モデルがあらわす各物理項の離散化誤差に起因する気液界面の形状変形を分析している. ここでは, 気液界面モデルの離散化誤差によって生じる spurious velocity(誤った速度場) が気液界面の非物理的な形状変形を誘起することを明らかにするとともに, 詳細な数値シミュレーションによって, 初期条件から定常解へ至る時間発展計算の過程において, 界面の変形誤差が, 4 つの特徴的な段階を経て進行する過程を示した.

第五章では, 前章の第 2 の要因による界面変形を抑制する手段として, 田部らにより改良された圧力場計算の離散化方法の最適化を図っている. ここでは, 圧力場計算の離散化方法の選択を界面曲率と厚さの比に応じて最適化することによって, spurious velocity の絶対値と空間分布を制御して非物理的な界面変形を最小化できること数値検証によって示している.

第六章では、第 3 の要因として、自由エネルギー理論に基づく気液界面モデルにおいて導入されている数値安定化手法に起因する界面形状の誤差を分析している。ここでは、界面厚さ分布を与える近似関数に対して、従来手法で数値安定化のために用いられていた cut-off 値が実際に得られた数値解と適合しない場合に界面形状の誤差要因となることを明らかにしている。

第七章では、上記成果のもとづく本研究の結論を述べ、特にこれらの成果は従来研究では個々に検討されていた複数の誤差要因を系統づけるとともに、実際の数値解析における計算条件に応じた誤差分析を可能していることを述べている。

以上のように本論文では、気液流動場の高精度な数値予測に適した数値解析モデルとして、ラティス・ボルツマン法および自由エネルギー理論に基づく気液界面モデルの詳細な検討によって、流動場シミュレーション法の確立に大きく貢献し、複雑な流動現象の連成数値シミュレーション技術における有用な新規知見を与えている。それらは機械工学、特に、計算流体工学の発展に寄与するところ大である。よって、著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。