



Title	伝熱および変形を伴う粒子群と流体の相互作用に対する数値計算法に関する研究
Author(s)	上山, 篤史
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/58340">https://hdl.handle.net/11094/58340</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href=" <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> ">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	上 山 篤 史
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学 位 記 番 号	第 24563 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 23 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当
	工学研究科機械工学専攻
学 位 論 文 名	伝熱および変形を伴う粒子群と流体の相互作用に対する数値計算法に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 梶島 岳夫 (副査) 教授 田中 敏嗣 教授 矢野 猛

### 論文内容の要旨

流体と固体の相互作用問題は工業装置、自然環境、生体流れに関連する分野において広範に表れる研究課題である。このような相互作用問題では流体力による固体の変形や流体・固体間で生じる熱伝達が流れ場に対して大きな影響を及ぼすことが知られており、これらが熱・物質輸送に与える影響を把握することが極めて重要な問題となる。近年、相互作用問題に対する数値計算法には著しい発展がみられるが、熱交換器や機能性熱流体など、現実に見られる流れ場は複数の物体を含むことが多く、このことが実用規模での数値計算を困難なものにする一因となっていた。

以上の背景から、本論文では多数の物体を含む流れ場の相互作用問題のうち、多数の柔軟な固体を含む流れ場および流体・固体間で伝熱を伴う流れ場における相互作用問題に対する数値計算法を開発し、手法の検証および適用例を示した。本論文は以下の6章より構成されている。

第1章では、本研究の背景および流体と固体の相互作用問題に対する既往の数値計算法の概要、本研究の目的を述べた。

第2章では、柔軟な固体と流体の相互作用問題に対する数値計算法として、相間相互作用を扱う体積力型埋め込み境界法と構造解析手法である有限要素法を組み合わせたIB-FEMを提案した。また、手法の検証結果を示し、その妥当性を確認した。

第3章では、IB-FEMを多数の柔軟粒子を含む分散性二相流に適用し、粒子の柔軟さが粒子の回転運動や集団挙動、流れ場に対して大きな影響を及ぼすことを示した。また、弾性平板および弾性円柱群と流体の相互作用問題の計算例を示し、本手法が大変形を伴う多数の固体と流体の相互作用問題に対して有用となることを示した。

第4章では流体・固体間で伝熱を伴う相互作用問題に対する数値計算法として、体積力型埋め込み境界法をベースに熱流束に対する固体界面の方向性を考慮した相間伝熱モデルの提案ならびに中立密度の相互作用問題に対する数値積分法を構築した。さらにモデルの検証を行い、その妥当性を確認した。

第5章では本手法を分散性混相流に適用し、熱伝導が支配的な場合、二相媒体の熱伝導

率は離散的に存在する粒子の密集度には依らず体積率によって定まるが、これを単純な体積平均で近似できないことを確認した。一方、対流伝熱が起こる場合には粒子数、体積率、粒子の流動性の有無によって伝熱特性が変化することを明らかにした。

第6章では以上の結果をまとめ、その成果を総括した。

本論文で提案した計算手法により、多数の物体を含む流れ場において、固体の変形および相間における熱伝達のそれぞれが流れ場に対して及ぼす影響を直接的に計算することが可能となった。

### 論文審査の結果の要旨

流体と固体の相互作用は、工業装置、自然環境、あるいは生体に関連する流動において広範に観察される現象である。流体力による固体の変形や流体・固体間の熱伝達が系全体の熱流動に及ぼす影響の解明は特に大きな関心を集めている。その目的に対しては、強い連成問題を効率よく解析する手法の確立が不可欠である。特に、境界形状の運動や変形に応じて境界適合格子を生成する方法は限界に達しており、直交固定格子において境界を捕獲する方法が注目されている。

本論文は、流体と固体の相互作用問題のうち、多数の柔軟な固体を含む流れ場および流体・固体間で伝熱を伴う流れ場における連成問題に対して、流体側には直交固定格子を用いる数値計算法を開発し、手法の検証および適用結果を取りまとめたものである。本論文の成果は以下のように要約できる。

1. 流体と柔軟な固体の相互作用問題に対する数値計算法として、体積力型埋め込み境界法 (Immersed-Boundary Method: IBM) によって境界での運動量交換を表し、非線形性も考慮した有限要素法(Finite-Element Method: FEM) によって固体の大変形を扱う結合法 (IB-FEM) を開発し、手法の妥当性を検証している。
2. 多数の柔軟粒子を含む分散性二相流に IB-FEM を適用し、粒子の形状や弾性が回転運動や集団挙動の変化を通して系全体の流動に大きな影響を及ぼすことを示し、本手法が大変形を伴う多数の固体と流体の連成問題の解析のために有用であることを実証している。
3. 伝熱を伴う移動境界に対する数値計算法として、合理的な熱流束を与える相間伝熱モデルを IBM に組み込む手法を提案し、加えて中立密度の粒子の運動を扱う安定な数値計算法を開発し、多数の粒子が流動する固液混相状態での伝熱特性を解析している。その結果、各相の熱物性の体積平均的な従来型の表現では混相伝熱特性を表すことができない例を明示している。

以上のように、本論文で提示された計算手法により、多数の物体を含む流れ場において、固体の変形および相間ににおける熱伝達のそれぞれが流れ場に対して及ぼす影響を直接的に計算することが可能となった。埋め込み境界法を基盤とする本手法は、それほど高くないレイノルズ数においては境界層に格子を集中する必要がないため、境界の形状や運動の任意性に関しては、境界適合格子法に比べて著しく有利である。また、本手法は物質移動や固体間相互作用のモデルを導入する基盤としての拡張性が高く、本論文の成果は、流体・固体間の相互作用を伴う複合的な熱流動問題を理解するための数値シミュレーション技術の進展に貢献するものである。

よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。