

氏 名	あさお しんいち 浅尾 慎一
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 5 5 5 号
学位授与の日付	平成 22 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学 位 論 文 題 目	非圧縮流れの移動境界問題に対する移動埋め込み格子法に関する研究
審 査 委 員	(主査)教授 松野謙一 教授 森西晃嗣 教授 西田秀利 教授 村田 滋 准教授 山川勝史

論文内容の要旨

本論文は複数移動境界を含む非圧縮流れ場を計算するための新しい手法として、移動埋め込み格子法を提案、その計算アルゴリズムを構築するとともに、複数の移動物体が作り出す様々な流れ場に適用することにより本手法の有効性を示している。

複数の物体が領域内を大きく移動するような流れ場を数値シミュレーションする場合に有用な手法として従来は重畳格子法が一般に利用されてきた。重畳格子法は全計算領域を覆うように形成した主格子上に、物体を含む補助格子を重ね、物体ごと補助格子を移動させ流れを解くものである。しかし、主格子と補助格子が重なる部分では一般に格子点が一致しないため、物理量を代数的に内挿する必要がある、その結果、計算精度の低下と流れの保存則を満足しないといった欠点を有している。本論文では、このような複数物体の移動境界問題に対して、重畳格子法のように補助格子を重ねるのではなく、物体を含む補助格子を主格子の中に埋め込むことによって内挿処理することなく保存則を完全に満たしながら自由に主格子中を動き回ることのできる移動埋め込み格子を提案している。この手法の特徴は、埋め込み格子を移動させる際、埋め込み格子の進行方向前方の主格子を削除し、同時に削除した格子を後方に付け加え、平行して側面の格子連結線を付け替える操作を流れの保存則を破ることなく行っていることである。この格子点の削除・追加と格子線の付け替え処理を完全に物理保存則を満たしながら実行するために、時間と空間を統一した四次元空間に置いた検査体積を対象に離散化を行う移動格子有限体積法を拡張・発展することによって実現している。

二次元流および三次元流に対する定式化の詳細を示した後、まず、埋め込み格子が主格子中を自由に移動しても物理保存則を満たしていること等の基礎的な手法の検証を例題を用いて行った後、応用として本手法を二次元及び三次元の様々な移動境界が作り出す流れ場に適用している。まず、二次元流れについては複数物体の追い越し・すれ違い問題に適用し、物体が受ける力を推定できることを示した。また、容器内の二種流体をかき混ぜ棒で強制混合させる三次元流れ場のシミュレーションに適用し、流れ場の詳細を示すとともに、かき混ぜ方の違いによる濃度拡散の違いについて考察した。

以上のことより、本研究で新たに提案し構築した移動埋め込み格子法は複数物体の大移動境界問題に対して有効な手法であると結論している。

論文審査の結果の要旨

計算科学の先駆的分野として計算流体力学は著しい発展を遂げ、現在では設計開発のツールとして用いられるとともに、その理論的基盤としてのシミュレーション技術の研究は盛んに行われ発展を続けている。最近の研究動向は非定常流や流体と物体の連成問題にあり、特に物体の運動によって誘起される流れと物体との干渉流れ場は最近盛んに研究されており、様々な新しい計算手法が報告されている。

申請者の研究はそのような最近の流れに位置付けられるのもので、複数物体が領域内を自由に運動する場合に誘起される流れ場のシミュレーション手法として有効な新しい計算アルゴリズムを提案している。この新しい計算手法は「移動埋め込み格子法」と名づけられ、計算領域全体を覆う主格子の中に物体を含む補助格子を埋め込み、その前後に位置する格子点を削除と追加を行いながら埋め込んだ補助格子を、物体ごと主格子中を自由に移動させながら物体の運動が誘起する流れ場をシミュレーションするものである。格子点の追加と削除の処理を、物理保存則を破ることなく実現させるため、支配方程式の離散化を時間・空間を統一した四次元空間に置いた検査体積を基に構成しており、従来とは異なる新しい申請者のアイデアであり、それを構造格子系で実現していることは評価に値する。申請者はその新しい移動埋め込み格子法について丁寧な検証を行い、埋め込み格子を移動させるために格子点の追加・削除を行っても物理保存則を破らないこと、従来の手法との比較を通して計算精度については同等であること等を示している。応用として複数物体の追い越し・すれ違い時に起こる非定常な流れ場や容器内の濃度の異なる流体の強制攪拌流れに適用し、流れ場の詳細を示すとともに、手法の有効性を示している。

以上のように申請者の研究は、新しいアイデアを提案し、適切な検証と応用例を通してその有効性を示しており、工学的に寄与する成果を上げており高く評価できる。なお、本論文の主要部分は、申請者を筆頭著者とする以下の2編の査読付き学会論文集と1編の査読付き国際会議プロシーディングとして公表されている。

1. 浅尾慎一, 松野謙一, 非圧縮性流体の大移動境界問題に対する移動埋め込み格子法, 日本機械学会論文集B編, Vol.74, No.737, (2008), pp.25-33.
2. Shinichi Asao, Kenichi Matsuno, Parallel Computation of Incompressible Flows Driven by Moving Multiple Obstacles Using a New Moving Embedded-Grid Method, Parallel Computational Fluid Dynamics 2007, (2009), pp.147-154.
3. 浅尾慎一, 松野謙一, 大移動する複数物体によって誘起される非圧縮性流れに対する三次元移動埋め込み格子法, 日本機械学会論文集B編, Vol.75, No.755, (2009), pp.1379-1386.