

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	A moving mesh framework based on multi-moment finite volume method and its application to fluid-structure interactions
著者(和文)	JIN PENG
Author(English)	Peng Jin
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11248号, 授与年月日:2019年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:肖 鋒,奥野 喜裕,青木 尊之,末包 哲也,長崎 孝夫
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11248号, Conferred date:2019/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名	金 鵬 (JIN Peng)	
論文審査 審査員		氏 名		職 名	氏 名	職 名
	主査	肖 鋒		教 授	長崎孝夫	准教授
	審査員	奥野喜裕		教 授		
		青木尊之		教 授		
末包哲也			教 授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「A moving mesh framework based on multi-moment finite volume method and its application to fluid-structure interactions」と題し、圧縮性・非圧縮性流れ、固体・流体連成問題などの複雑な流れ現象を解析するための移動格子に基づく数値流体計算フレームワークの開発に関する研究をまとめたものであり、英文7章から構成されている。

第1章「Introduction」では、衝撃波のような不連続解や異なる性質の流体間にある移動境界の計算手法を概観し、既存手法を固定格子に基づく捕獲法と移動格子に基づく追跡法に分類するとともに、それぞれの特徴と問題点を述べている。さらに、移動格子に基づく数値解析モデルの必要性を述べ、高性能数値解法を用いた移動格子に基づいた数値計算フレームワークの提案を研究目的として掲げている。

第2章「Governing Equations」では、移動格子を定式化するALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) 法とそれに基づいた支配方程式を示している。本研究で用いるマルチモーメント有限体積法を適用するために、ALE 移動格子系における微分及び積分型のオイラー方程式とナビエーストクス方程式を導出している。

第3章「Multi-moment finite volume ALE scheme for Euler equations」では、第2章で導かれたALE系のオイラー方程式に対して、マルチモーメント有限体積法に基づく移動格子数値計算フレームワークを提案している。本手法では、格子セルごとに物理変数の体積分平均値 (VIA: Volume Integrated Average) および節点における点値 (PV: Point Value) を計算変数としている。VIAは有限体積法、PVは微分リーマンソルバーによって求めている。従って、VIAは完全に保存され、かつコンパクトなステーションルの高精度空間離散化が構築されている。さらに、PVが常に移動格子の節点に定義されているので、従来の有限体積法と異なり、移動格子点でのPVを改めて求める必要がない。本手法は、幾何保存則 (Geometrical Conservation Law) を完全に満たしており、また、数値実験により非構造移動格子において空間3次精度を有することが確認されている。さらに、本手法の格子品質に対するロバスト性も検証している。

第4章「Viscous compressible flow involved with forced moving body」では、第3章で構築したALEフレームワークを圧縮性粘性流れに展開するとともに、強制振動する固体を含んだ流体解析に適用している。移動格子の計算において放射基底関数 (Radial Basis Function) を用いることにより格子の品質を確保できることを示し、衝撃波を含む高マッハ流れや物体・渦干渉によるロックイン現象などのベンチマークテストにおいて本手法の精度を検証している。

第5章「Incompressible flows on moving domain and fluid-solid body interaction」では、非圧縮性粘性流体解析へのALEマルチモーメント有限体積法の計算フレームワークを提案し、さらにそれに基づく固体・流体連成解析システムを開発している。非圧縮性の条件を満たすために、圧力プロジェクトン法を用い、固体・流体の密度比が低い連成計算の安定性を保障するために、弱連成モデルだけではなく、反復計算による半陰的な強連成モデルも構築している。2次元 (円柱) 及び3次元 (球) による渦励起振動などの検証問題において本手法の計算精度及び有用性を確認している。

第6章「Moving body in free-surface flow」では、気体・液体・固体の三相を含む流れの数値解析モデルを構築している。気・液自由界面計算に移動境界捕獲法を適用し、固体運動に追従するALE系フレームワークを導入している。移動パドルにより発生する孤立波のベンチマークテストにおいて、高精度な計算結果が得られることを示している。

第7章「Summary and future work」では、本研究で得られた成果をまとめるとともに、今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文は複雑流体の高性能数値解法を確立するために、新しい計算手法による移動格子に基づく数値計算フレームワークの開発と検証をまとめたもので、理学上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (理学) 論文として十分な価値を有すると認められる。