

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Development of numerical model for complex flows on unstructured grids using multi-moment finite volume formulations
著者(和文)	XieBin
Author(English)	Bin Xie
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9960号, 授与年月日:2015年9月25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9960号, Conferred date:2015/9/25, 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		XIE Bin (謝彬)	
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	肖 鋒	准教授	審査員	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、「Development of numerical model for complex flows on unstructured grids using multi-moment finite volume formulations」と題し、非構造格子を用いた複雑流体の数値シミュレーションモデルの開発に関して論じたものであり、英文6章から構成されている。

第1章「Introduction」では、数値流体力学計算モデルの開発の現状、特に複雑流路や自由界面を含む多相流を伴う複雑流れの既存計算手法とそれらの問題点を概観し、非構造格子における高精度・高ロバスト性・高効率性を持つ計算手法及び数値モデル開発の必要性を述べている。また、従来型の有限体積法に比べ、マルチ・モーメント有限体積法の優位性を説明し、本手法を基礎とする数値モデルの開発を本研究の目的として掲げている。

第2章「Reconstructions based on multi-moments and multi-moment constraints on unstructured grids」では、非構造格子におけるマルチ・モーメント及びマルチ・モーメント制約条件を用いた再構築補間法を述べている。計算セルに対する体積積分平均値 (VIA モーメント) とセル節点上に定義される点の値 (PV モーメント) をモデル変数とした場合、対象セルとそれに隣接するセルで構成するステンシルを用いて補間関数を構築する。高次補間関数を作るために、対象セルの VIA と節点の PV モーメントのほかに、セル中心の微分値も制約条件として加える。これによって、三角形 (二次元) や四面体 (三次元) を含む任意形状を持つセルに対し、二次以上の補間関数を構築することができる。さらに、この定式化は従来型の有限体積法及び DG (Discontinuous Galerkin) 法など既存の高精度解法に比べ、計算精度と計算負荷から実用性の高い数値解法であることを示している。

第3章「Numerical models for Navier-Stokes equations using VPM and MCV」では、第2章で示した再構築補間法をもとに、Navier-Stokes 方程式の数値解法として Volume-integrated average and Point value based Multi-moment (VPM) 法及び Multi-moment Constrained finite Volume (MCV) 法について述べている。VPM 法は VIA と PV を共に従属変数とするのに対し、MCV 法では VIA の代わりにセル中心点の値を従属変数としている。計算式は VIA を含むマルチ・モーメント補間から導出されるため、VIA に対する数値的保存性が保たれている。マルチ・モーメント補間再構築関数は区分的な連続性があり、(微分) リーマン・ソルバーや最小二乗法などによって空間離散式を導くことができる。あらゆるマッハ数の流れに適用可能とするため、完全な保存性を持つ圧力プロジェクション法を用いている。また、勾配リミター (slope limiter) を用いることで、不連続解に伴う数値振動を抑え、強い衝撃波を伴う圧縮性流れから非圧縮性流れまでさまざまな複雑流れを安定して解くことができる。さらに、多数のベンチマーク・テストを行い、従来手法に比べ、本計算手法の優位性を実証している。

第4章「Algebraic interface capturing scheme on unstructured grid」では、代数型自由界面捕獲法である THINC (Tangent of Hyperbola for Interface Capturing) 法の非構造格子への適用について述べている。幾何的な界面再構築を行う必要がない利点を活用し、非構造格子における2次曲面による界面記述定式化に成功している。本手法は、従来の高精度 VOF (Volume of Fluid) 法に匹敵する計算精度を有することを示している。

第5章「Numerical model for incompressible interfacial multiphase flow」では、上述の計算手法に基づき、数値流体力学分野の課題の一つである非構造格子における自由界面多相流数値モデルの構築について述べている。THINC 法とマルチ・モーメント補間法を用いた界面幾何情報抽出及び表面張力の計算法を開発し、気液二相流のベンチマーク・テストを通して数値モデルの精度及び格子品質に対するロバスト性などを実証している。

第6章「Conclusions 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検討している。

以上を要するに、本論文は汎用性の高い非構造格子数値流体計算モデルに関する基礎的な計算法及び数値モデルを開発し、その有用性を様々な検証テストにより明らかにしており、理學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。