

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	High-fidelity Numerical Model for Compressible Multi-component Flow
著者(和文)	デン シ
Author(English)	Xi Deng
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10938号, 授与年月日:2018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10938号, Conferred date:2018/9/20, 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		DENG Xi (鄧 希)	
論文審査 審査員		氏名		職名		氏名	職名
	主査	肖 鋒		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、「High-fidelity Numerical Model for Compressible Multi-component Flow」と題し、不連続を含む単相・多相圧縮性複雑流れおよび反応性流れの高性能数値解法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、単相・多相圧縮性流れおよび反応性流れの数学モデルである支配方程式を記述するとともに、それらの流れを計算する数値解法の現状を概観し、既存解法の問題点を述べている。従来型の有限体積法の数値散逸および局所高次精度再構築における数値振動など未解決の問題に焦点を絞り、新しい数値計算手法の提案を研究目的として掲げている。

第2章「Boundary variation diminishing (BVD) principle」では、保存形双曲型微分方程式の主たる解法である有限体積法の構築において、BVD (Boundary Variation Diminishing) 概念に基づく実用性の高い新しいアルゴリズムを提案している。新しい手法では BVD 許容再構築関数に対して格子セル境界の TBV (Total Boundary Variation)、または隣接セルにおける同一関数の再構築によるセル境界における BV (Boundary Variation) が最小になるように再構築関数を定めている。既存の BVD 法に比べ、局所のステンシルにおいて再構築関数を一意的に決定することが可能となり、計算効率や非構造格子への拡張において大きな利点があることを示している。

第3章「Practical BVD schemes for single phase and reacting Euler equations」では、第2章で提案した BVD アルゴリズムをもとに、単相および反応を伴うオイラー方程式の数値解法を開発している。数値解法の実用性を念頭に計算負荷の少ない MUSCL (Monotonic Upwind Scheme for Conservation Laws) 法と THINC (tangent of hyperbola for interface capturing) 法を許容再構築関数として用い、MUSCL-THINC-BVD 法と Adaptive THINC-BVD 法を提案している。これらの数値解法は連続解および不連続解を同時に高精度で捉えており、特に既存解法では再現性が低い接触不連続面の計算結果を画期的に改善している。さらに、反応性圧縮流れ (CJ-detonation モデル) に適用し、WENO (Weighted Essentially Non-Oscillatory) 法など従来手法が再現できない反応のフロントを精確に捉えている。

第4章「Implementation of BVD schemes on compressible multiphase flows with moving interface」では、自由界面を含む圧縮性多相流の「5 方程式」モデルに第3章で示した MUSCL-THINC-BVD 法を適用し、異なる物性を持つ2つの気体および気体と液体からなる多相流に対する数値モデルを開発している。このモデルでは異なる流体を識別する体積率を他の物理変数と同様に MUSCL-THINC-BVD 法で解くことにより各物理変数の間の整合性が保たれている。本手法は数値散逸を大きく抑えているため、長期間のシミュレーションにおいても自由界面を含む流れ構造を高い精度で解像できている。

第5章「Multi-moment finite volume method with boundary gradient switching (BGS) limiting on structured grids」では、BVD 原理を MCV (Multi-moment finite volume) 法の数値振動を回避するためのリミター (limiter) の構築に適用し、局所自由度を持つ高次精度解法に BVD 概念を導入することに成功している。本手法は数値振動を抑えつつ、4次精度を有することが数値実験によって検証されている。

第6章「A multi-moment finite volume method with boundary variation diminishing principle on hybrid unstructured grids」では、2次元及び3次元非構造格子におけるオイラー方程式の数値解法を構築している。空間再構築の高精度化を図るためにマルチモーメント有限体積法を用い、広範囲のマッハ数に対応するための前処理を導入し、数値振動及び数値散逸を防ぐために BVD 法を適用している。様々なベンチマークテストにおいて本数値解法を検証した結果、連続解に対しては3次精度が保たれ、不連続解に対しては数値振動を抑えると同時に数値散逸を大幅に減少しており、既存解法に比べ渦などの流れ構造の再現性が非常に優れていることを実証している。

第7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、本論文は複雑圧縮性流体の数値解法における既存の問題点を解決するために、新しい計算手法の提案と実証を行ったもので、理学的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。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。