

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	High-resolution positivity-preserving schemes for complex compressible flows
著者(和文)	TannSiengdy
Author(English)	Siengdy Tann
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11593号, 授与年月日:2020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 (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11593号, Conferred date:2020/9/25, 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		TANN Siengdy	
		氏名		職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	肖 鋒		教授		長崎孝夫	准教授
	審査員	奥野喜裕		教授	審査員		
		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-resolution positivity-preserving schemes for complex compressible flows」と題し、生成項を含む单相および多相の複雑な圧縮性流れを安定かつ高精度で解析するための数値流体計算手法の開発に関する研究をまとめたものであり、英文で6章から構成されている。

第1章「Introduction」では、衝撃波などの不連続解と渦や波などの連続解が共存する圧縮性流れの数値シミュレーション手法の現状を概観し、既存手法に過剰な数値散逸が存在し、詳細な流れ構造を十分に解像できず、また超高速流れや低密度流れなどの計算において不安定性が生じるなどの問題点があることを述べ、高精度、低散逸を保持しつつ、極限状態の計算でもロバスト性を確保する数値解法の提案を研究目的として掲げている。

第2章「Reconstruction approach by using MOOD and THINC method」では、アポステリオリ型の空間再構築法 MOOD (Multi-dimensional Optimal Order Detection) 法に THINC (Tangent of Hyperbola Interface Capturing) 法を導入している。PAD (Physical Admissible Detection) により、密度や圧力に負の値が発生するような非物理的な計算結果を回避した。ベンチマーク問題において、従来の MOOD 定式化と比べ極値近辺における計算精度の劣化が改善されたことを示している。

第3章「Solution property preserving reconstruction: BVD+MOOD scheme」では、圧縮性流れに対し、連続解と不連続解を同時に高精度で捉えつつ、極限の計算条件においても密度や圧力に負の値が発生しない計算結果を保障するロバストな数値解法を目指して、BVD (Boundary Variation Diminishing) 法と MOOD 法の結合による新しい定式化を提案している。リーマン・ソルバーの数値散逸を最小化する指針に基づき連続解と不連続解にそれぞれ高次多項式と THINC 補間関数を適用することで数値散逸を改善する BVD 法に MOOD 法の PAD 修正を組み合わせ、超高速、真空に近い低密度流れなど極限状態の流れ現象において高精度かつロバストな数値解析を実現している。提案手法に対して精度検証を行い、4次多項式を用いた場合、連続解において数値誤差が5次精度を有することを明らかにしている。また、マッハ数 2000 の高速ジェットや密度が $10^{-13} \text{ (kg/m}^3\text{)}$ になるような低密度流れなどの厳しいベンチマーク問題において安定かつ高精度な計算結果が得られている。

第4章「BVD+MOOD scheme for compressible Euler equations with source terms」では、第3章で構築した数値解法に対して生成項を含む問題にも適用できるよう改良するとともに、重力効果や反応を含む圧縮性流れへの適用を展開し、真空に近い状態へ発展する膨張波のシミュレーションに成功している。また、爆轟を伴う流れにおいて、BVD 法により反応フロントにおける数値拡散を抑制し、現在広く使われている WENO (Weighed Essentially Non-Oscillatory) 法に伴う疑似反応衝撃波問題を解消している。また、2次元爆轟波の90度および180度折れ曲がった流路における回折現象において、密度や圧力の負の値など非物理的な計算結果を防げることを示している。

第5章「Implementation of BVD+MOOD scheme for compressible multi-phase flows」では、BVD+MOOD 法に基づく圧縮性自由界面多相流の数値モデルを開発している。気相と液相からなる圧縮性流体を対象に、5方程式モデル (5-Equation model) を用いている。すべての物理量に対し、4次多項式と THINC 関数を許容補間関数とした BVD 法を適用している。これにより既存手法では解決できなかった数値散逸により移動界面がぼやける難題を大きく改善している。さらに、衝撃波、接触不連続面、渦、波などの流れ構造を鮮明に捉えている。

第6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、本論文は複雑な圧縮性流れの高精度数値解析および関連分野の工学応用に向けて、高精度かつ物理的整合性を持つ数値計算法の開発と検証をまとめたもので、工学上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (工学) 論文として十分な価値を有すると認められる。