

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)	謝 彬
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)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	創造エネルギー	専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 (理学)
学生氏名： Student's Name	謝 彬		指導教員 (主)： 肖 鋒 Academic Advisor(main)
			指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

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んだ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。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	創造エネルギー	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	( 理学 )
学生氏名 : Student's Name	謝 彬		指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	肖 鋒	
			指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

In this study, I developed unstructured numerical schemes and models for simulation of complex flow based on multi-moment finite volume method. For spatial discretization, volume integrated average and point value based multi-moment (VPM) method and multi-moment constrained finite volume (MCV) method are proposed by adding point values (PVs) at cell vertices as a new degree of freedoms. With additional computational variable, higher order reconstruction is realized within compact stencil. For interface capturing in multiphase fluid dynamics, unstructured multidimensional tangent of hyperbola interface capturing (UMTHINC) scheme is developed by using multi-dimensional hyperbolic function which gives sufficient accuracy comparable to Piecewise-Linear Interface Calculation (PLIC) type volume of fluid (VOF) scheme while without complicated geometrical interface reconstruction.

Using VPM/MCV and UMTHINC schemes, Mach uniform compressible model and incompressible interfacial multiphase model are constructed based on pressure projection solution procedure. In order to suppress unphysical oscillation, a total variation diminishing (TVD) limiter is devised for VPM/MCV scheme without introducing excessive numerical dissipation. Particular attention is also paid for surface tension model to minimize spurious current.

All the numerical formulations have been extended to unstructured grids of arbitrary element shape in 2 and 3 dimensions and extensively verified and validated by a wide range of benchmark tests, including analysis of errors and convergence rates, evaluation of robustness and computational cost, as well as the reliability of the numerical model for real-case applications. The numerical results show that the present models ensure rigorous conservativeness and achieve significant improvements in accuracy, robustness while minimized numerical dissipation, complexity and cost. The present models are of high practicality due to well-balanced performance and applicability for wide spectrum of physical phenomena. It is thus can be expected as a reliable and practical framework for numerical simulations for complex flows in real-case applications.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).