

氏 名	いのもと たけし <b>井ノ本 健</b>
学位(専攻分野)	博 士 ( 工 学 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 7 6 0 号
学位授与の日付	平成 27 年 9 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学 位 論 文 題 目	<b>移動格子有限体積法の展開と応用に関する研究</b>
審 査 委 員	(主査)教授 松野謙一 教授 森西晃嗣 教授 西田秀利 准教授 山川勝史

## 論文内容の要旨

本論文は、移動境界問題について有効な解析手法の一つである「移動格子有限体積法」を対象に、非圧縮流の三次元非構造格子に対してその拡張・定式化を示し、検証計算を通してその有効性を示している。次に、本移動格子有限体積法をベースに、ブーメランの運動に代表される流体力学と運動力学との連成系に対するアプローチの方法を提案し、幾つかの連成系への応用・展開を試みている。また、新しい方向としてニューラルネットワークと組み合わせた解適合格子法の提案を行っている。

計算科学の先駆的分野である計算流体力学の最近の研究動向のひとつに、物体境界が動くことにより流れが誘起されるいわゆる移動境界問題がある。移動境界を含む流れ場に対して物体適合格子系を用いて解く場合、物体の移動に伴い必然的に格子も移動変形させる必要がある。このとき計算スキームは、物理保存則を満足するだけでなく、幾何保存則も満足しなければならない。幾何保存則を満足するとは、格子が移動・変形しても、流れ場はそれに影響されることなく正しく計算されることを言う。物理保存則と幾何保存則を同時に満足し、移動格子に適した計算スキームとして提案されたのが「移動格子有限体積法」であり、空間・時間を統合した四次元空間の検査体積に対し離散化を適用した方法である。本スキームは、圧縮流、非圧縮流、二次元流、三次元流、そして構造格子系、非構造格子系に対し、適用は行われている。しかしながら、非圧縮流の三次元非構造格子に対しては未だ報告はない。そこで、本論文では、三次元非圧縮流体に対する非構造格子系における移動格子有限体積法を開発し、検証計算をとおしてその精度と妥当性を示している。次に、応用計算として、流体中を重力の影響を受けて運動する物体の解析を行った。重力の影響で物体が運動を行い、その運動により流れが誘起されそれが物体に対する抵抗となる。したがって、流体力学方程式と運動方程式を連成して解くことが必要で、本論文では、慣性座標系で記述された流体力学方程式と物体固定運動座標系で記述された運動方程式をクォータニオンにより結びつける方法を導入した。吹き玉およびブーメランに適用し、実験結果と比較することによりアプローチの妥当性と有効性を示した。更に、パラシュートの落下運動およびクラゲの遊泳運動に適用し、誘起される流体運動のメカニズムを解析している。

最後に、新しい分野への展開として、移動衝撃波等の流れ場中の不連続面をニューラルネットワークによる同定を行い、移動内部境界とみなしてそこに格子点を集中させることにより不連続面を鋭く捕える解適合格子法に移動格子有限体積法を適用し分解能の向上を図った。

## 論文審査の結果の要旨

計算科学の先駆的分野である計算流体力学の最近の研究動向のひとつに、非定常流解析があり、とくに物体境界が動くことにより流れが誘起されるいわゆる移動境界問題は、現在、精力的に研究がなされている。移動境界を含む流れ場に対して物体適合格子系を用いて解く場合、物体の移動に伴い必然的に格子も移動変形させる必要がある。この場合、計算スキームは、物理保存則と幾何保存則を同時に満足しなければならない。物理保存則と幾何保存則を同時に満足し、移動格子に適した計算スキームとして提案されたのが「移動格子有限体積法」であり、様々な流れに適用されその有効性が示されて来たが、唯一、非圧縮性流の三次元非構造格子系に対しては報告されていない。そこで、申請者は、本学位論文において、非圧縮性流体の三次元非構造格子系に対する移動格子有限体積法の定式化の詳細を示し、その計算コードを開発、検証計算を通してその妥当性・有効性を示した。非構造格子系に対する計算コードを開発したことによりその応用範囲を広げたことは、今後の研究に大いに寄与するといえる。また、応用例として、ブーメランの飛行に代表される、流体力学と運動力学の連成系の解析手法の研究に取り組み、物体の運動と共に計算領域も移動させる移動計算領域法を導入することによる運動範囲の制限の回避、流体方程式を定義する慣性座標系と物体固定運動方程式系とをクォータニオンを通して結びつける手法の導入等、様々な新しい方法を導入することにより、連成系に対するアプローチを確立し、実験との比較を通してその有効性を実証したことは評価できる。

以上のように申請者の研究は、移動格子有限体積法を対象に、適用範囲の拡大を図るとともに、計算流体力学と運動力学の連成系に支配される問題に対し新しいアプローチの方法を提案し、適切な検証と応用例を通してその有効性を示しており、工学的に寄与する成果を上げている。なお、本論文の主要部分は、申請者を筆頭著者とする以下の2編の査読付き学会誌論文集と2編（その内1編は印刷中）の査読付き国際会議プロシーディングとして公表されている。

1. 井ノ本健、松野謙一、山川勝史、移動格子有限体積法を用いた流体力学—運動力学の連成解析手法、日本計算工学会論文集、Vol.2015, Paper No.20150008 (2015)
  2. 井ノ本健、松野謙一、ニューラルネットワークを用いた流れ場の不連続面同定、日本機械学会論文集 B編、Vol.70, No.695, pp.1695-1702, (2004)
  3. T. Inomoto, K. Matsuno, M. Yamakawa, S. Asao, and S. Ishihara, Application of Unstructured Moving-Grid Finite-Volume Method for Incompressible Flow to Fall Motion of Parachute, The 25th International Symposium on Transport Phenomena, CD-ROM, Paper 144 (2014)
- T. Inomoto, K. Matsuno, M. Yamakawa, S. Asao, and S. Ishihara, Numerical Simulation of Flows Around Jellyfish in a Current, The 6th International Conference on Computational Methods, Proceedings, (2015) (印刷中)