

氏 名	にしむら ももは 西村 桃葉
学位(専攻分野)	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	博甲第 1059 号
学 位 授 与 の 日 付	令和 4 年 9 月 26 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	Development of computational aerodynamics for moving boundary problems with multiple objects (複数物体の移動境界問題に対する計算空気力学の開発)
審 査 委 員	(主査)教授 山川勝史 教授 西田秀利 准教授 北川石英

論文内容の要旨

爆発的に混雑が予想される空域において、その安全のための技術革新のベースとなる手法について提案と検討を行ったものである。これは近接する飛行物体周りの流れ場や両者による相互干渉を効率的にシミュレーションするための、これまでに前例の無い計算手法の構築である。通常、計算流体力学においては静止した計算領域内に対象とする物体を配置し、そこに一様流を当てることで流れ場を表現している。本論文では複数の飛行体のすれ違いなど複雑な現象を表現するため、計算領域を複数設置し、各々の領域を飛行体の運動に合わせて移動させると共に、両方の計算領域を融合や分離させるという画期的なアイデアにより、この問題を解決している。

第 1 章で本研究の動機と位置づけを示した後、第 2 章では本研究で取り扱う圧縮性流体の数値計算手法について説明し、支配方程式とその離散化の手法、非粘性流束ベクトルの評価法、空間高次精度化の方法、時間進行法について述べている。続く第 3 章では大規模な移動を伴う物体のシミュレーションを可能にする移動計算領域法について記述している。固定された計算領域内ですべての物体を移動させる従来の方法の代わりに、物体の移動に合わせて計算領域も同時に移動させる移動計算領域法を採用することで、航空機のような長距離の軌跡を描く物体のシミュレーションがコストを増大させることなく計算可能となることを述べている。第 4 章では、移動計算領域法を複数物体に拡張し、対象となる計算領域を複数使用することで、複数の移動物体周りの流れ場に対する効率的な計算方法を提案している。それぞれの物体周辺に作成された計算領域間で物理量の伝達を行うためのオーバーセット法について説明し、それぞれの格子の計算担当領域の決定方法、重なる格子の探索方法、補間の方法について述べている。

本論文の中核となる第 5 章では、構築された計算手法の妥当性を検証している。まずは厳密解が存在する衝撃波管問題について、管内部に動く格子を含む条件で検証を行い、重なる格子間で物理量が問題なく伝達されること、および格子の移動が計算結果に影響を及ぼさないことを確

認している。次に球の近距離でのすれ違いを検証し、他者による先行研究との比較の結果、球の運動に沿って移動する計算領域間でも物理量が問題なく伝達されることを確認している。さらにヘリコプターモデルを用いた回転翼の計算を行い、JAXAにより開発されたソルバFaSTAR-Moveを用いて同様に計算した結果と比較し、胴体周りに作成された格子とメインローター周りに作成された格子間で物理量が問題なく伝達されることを確認しており、本手法が航空機モデルに適用可能であることを示している。続く第6章では、本研究の実問題への適用例として、実際に事例が報告されている2台のヘリコプターの接近飛行を例にシミュレーションを行っている。互いの飛行経路が垂直方向に交差するケースと、水平方向に交差するケースの2種類のすれ違いを取り扱い、それぞれの場合において両機体にかかる空力的な影響を計算し、評価している。垂直交差の飛行においては、もう一台のヘリコプターの後ろ側を通過するヘリコプターにおいて、すれ違いの際に空力係数とモーメント係数の乱れが確認されている。特にモーメント係数の乱れは、もう一台のヘリコプターから放出された翼端渦に起因している可能性が検討されている。水平交差の飛行においては、両方のヘリコプターにおいてすれ違いの際の両係数の乱れが確認されており、特に顕著な結果として、上側を通過するヘリコプターの揚力係数が大きく下降することが示されている。これらの結果から、本手法が航空機の接近飛行において発生する流れ場と機体にかかる空力的な影響をコンピュータ上で調査できることを提示している。最後に第7章の結論において本研究で得られた結果を総括している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、これまでに例を見ない移動する複数の計算領域を同時に採用するものであり、それら領域の結合や分離まで行う技術的に非常に高度な計算手法を取り扱っている。申請者は自ら本手法の提案を行うと共に、幅広い関連分野の調査を実施し、理論に裏付けされた計算手法についての難解なコーディングをほぼ一人で実行し、本論文を書き上げている。この複数の計算領域を自在に移動させ融合・分離する計算手法は、数十年後に商用化がほぼ見込まれている有人ドローン、所謂空飛ぶクルマの運用や管制業務のための重要なシミュレーション技術の基礎となるものである。明確なターゲットとして飛行機体を選定しているため、圧縮性流体を対象とした論文構成となっているが、基本的な考え方はこれに捕らわれるものではなく、非圧縮性流体も含めた非常に幅広い分野への応用が期待できる。よって社会的インパクトも非常に大きいものとなっている。

本論文の基礎となっている学術論文（以下1および2）、および国際学会での査読付きプロシードィングス（以下3から5）は合計5編であり、全て申請者が筆頭著者である。

1. Momoha Nishimura, Masashi Yamakawa, Shinichi Asao, Seiichi Takeuchi, Mehdi Badri

- Ghomizad, Moving computational multi-domain method for modelling the flow interaction of multiple moving objects, *Advances in Aerodynamics* 4, Article number: 5 (2022)
- 2. Momoha Nishimura and Masashi Yamakawa, *Simulation of Nearly Missing Helicopters Through the Computational Fluid Dynamics Approach* Lecture Notes in Computer Science, LNCS 13353, pp. 329–342 (2022)
 - 3. Momoha Nishimura, Ryuta Sakashita, Masashi Yamakawa, Kenichi. Matsuno and Shinichi. Asao, Numerical simulation of aircraft model towards digital flight based on unstructured moving computational domain method, *Proc. of the 27th International Symposium on Transport Phenomena*, ISTP27-168, (2016)
 - 4. Momoha Nishimura, Ryuta Sakashita, Masashi Yamakawa, Kenichi. Matsuno and Shinichi. Asao, *Simulation of Aerobatic Maneuver with unstructured Moving Computational Domain method*, *Proc. of the 2016 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology*, APISAT-2016-A5-2, (2016)
 - 5. Momoha Nishimura, Masashi Yamakawa, Ryuta Sakashita, Shinichi Asao and Mitsuru Tanaka, *Parallel Computing for Trajectory Prediction of Aircraft*, *Proc. of the 10th International Conference on Computational Methods* (ICCM2019), ScienTech Publisher. pp. 165–170, (2019)