

## 論文の内容の要旨

論文題目 Study on the Automated CFD Analysis Tools  
for Conceptual Design of Space Transportation Vehicles  
(宇宙輸送機概念設計に向けた CFD 解析の自動化に関する研究)

氏名 藤本 圭一郎

本論文は、複雑形状に対する粘性流れ解析を自動的かつ短時間に実現する CFD 解析手法を確立し、その宇宙輸送機概念設計への適応を通して、この解析手法が効率的で信頼性のある空力概念設計に有効であることを明らかにしたものである。

宇宙輸送機概念設計では、多くの機体コンセプトの中から、とくに優れた設計候補を選定することが重要である。このようなコンセプト選定では、広範囲にわたる気流条件下における機体の空力学的評価が必要となるが、その中でも非線形性が強く動圧の高い亜音速から超音速までの速度域では、効率的に空力評価の可能な数値シミュレーション技術(CFD: Computational Fluid Dynamics)が有効である。概念設計における CFD 解析には、複雑形状への適合性、プロセスの自動化、粘性解析が求められる。概念設計での利用において多くの利点をもつ CFD 解析であるが、従来の重合構造格子法、非構造格子法では、格子生成等のいわゆる前処理作業に多大な人的時間を必要とする。近年、CFD 解析の設計問題への実用化を強く意識し、CAD などの形状定義から数値計算までの作業を効率化する手法として直交格子の利用が注目されてきている。しかしながら、そのほとんどは非粘性流れのみを扱うものであり、剥離流れを伴い、しかもかなりの形状複雑性を有する宇宙輸送機を対象とした手法として、空力特性の定量的な評価を短時間で可能とする手法はいまだに実現されていない。

このような背景から、筆者は、宇宙輸送機概念設計での利用を念頭に、高亜音速から超音速に至る流体非線形性の強い速度域を対象として、複雑機体に対する粘性流れ解析を短いターンアラウンド時間で実現する空力解析手法の確立を目的とした研究を行った。

まず、形状データから CFD 解析までの空力解析プロセスの自動化における課題を分析し、個々の課題を解決する手法の開発を行なった。さらに、開発した空力解析手法の概念設計における実用性、解析結果の信頼性を検証するとともに、宇宙輸送機に対する適用例を示すことで、開発した解析手法の有効性を明らかにしている。

まず、空力解析プロセスの、形状定義、格子生成、数値計算のそれぞれに対して、(1)形状モデリング手法、(2)粘性計算用格子自動生成手法、(3)効率的な流れ計算ソルバー、を提案し、その実現に必要な計算技術の開発を行った。宇宙輸送機コンセプトの機体形状は、胴体や主翼、空力デバイスなど多くの構成要素からなることから、各コンポーネントを独立したデータとして取り扱い、機体の構成要素を自由に選択し、ひとつの形状として組み上げる **Component-based approach** を用いた新しい形状モデリング手法を提案した。また、直交格子をベースとし、物体近傍の格子点の投影により境界層計算用の格子を生成する部分境界適合直交格子法という複雑機体周りの粘性計算用格子の自動生成が可能な手法を提案した。そして、その実現に必要な格子解像度制御や特徴線保持手法などといった計算技術の構築を行った。さらに、空力解析プロセスの自動化に欠かせない解適合格子法を含めた、効率的な流れ計算ソルバーを開発した。

次に、提案した自動空力解析手法を宇宙輸送機周りの空力解析問題に適応し、従来法では不可能であった複雑機体周りの粘性計算格子をほぼ自動的に生成し、しかも短いターンアラウンド時間で一連のシミュレーションを実現できることを示した。続いて、宇宙輸送機の飛行時に見られる局所衝撃波、離脱衝撃波、大規模剥離流れといった流れ解析に本空力解析手法を適応し、実験データや既存数値シミュレーション手法との比較により、本空力解析手法が既存の手法と同程度の空力予測精度をもつことを確認した。

さらに、提案した自動空力解析手法を実際の概念設計問題例に適用し、剥離流れを含むような信頼性の求められる空力解析が、従来の手法よりも十数倍早いターンアラウンド時間で可能であることを示した。本解析手法は実空力概念設計問題においても有効であり、本手法が現段階で最も効率的で信頼性を有する空力設計手法のひとつであることを示した。