

審査の結果の要旨

氏名 藤本 圭一郎

修士(工学)藤本圭一郎提出の論文は、「Study on the Automated CFD Analysis Tools for Conceptual Design of Space Transportation Vehicles」(邦題：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)と題し、本文 5 章から構成されている。

宇宙輸送機の概念設計では、様々な機体コンセプトの提案が可能である。このような機体では、経験する幅広い環境条件と飛行領域に対し多岐にわたる空気力学的評価が必要となるが、その中でも非線形性が強い高亜音速から超音速に至る速度域においては、効率的に空力評価を可能とする高度な数値シミュレーション技術(CFD: Computational Fluid Dynamics)が有効である。概念設計での利用において多くの利点をもつ CFD 解析ではあるが、一般に普及している重合構造格子法、非構造格子法といったシミュレーション手法においては、格子生成等のいわゆる数値計算前処理作業に多大な人的時間を必要としている。近年、この課題を解決し、形状定義から数値計算に至るシミュレーション全体作業を効率化する方法として直交格子法が着目されはじめてきた。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、定量的な解析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。具体的には、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段を提案し、最終的にそれを実現するのに必要な手法の開発を行った。さらに、開発した空力解析手法が概念設計において実用的であること、信頼性に足るものであることを検証するとともに、具体的な概念設計への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。

第 1 章は序論で、宇宙輸送機の概念設計、その中でも特に空気力学分野の現状と課題を概観し、本論文の研究対象を述べている。続いて、CFD 解析技術の現状と残された課題や問題点を示し、それに基づいて本論文の目的と意義を示している。

第 2 章では、空力解析プロセスの自動化のために開発した計算技術として (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、の 3 要素の詳細が述べられている。概念設計で重要となるパラメトリック解析で有効な手法である複雑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 を用いた形状モデリング手法を基本概念として、部分境界適合直交格子法という短時間で粘性計算用の格子を自動生成する手法を提案している。続いて、部分境界適合直交格子法による粘性流れ解析適用の課題解決に必要な格子解像度制御や特徴線保持手法な

どといった必要計算技術を構築している。

第 3 章では、提案した自動空力解析手法が宇宙輸送機の概念設計プロセスにおいて有効であることを確認し、その実用性と工学的インパクトについて議論している。まず、宇宙機空力解析のツールという観点に立ち、本手法により、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生成をほぼ自動的に実現し、短いターンアラウンド時間で一連のシミュレーション作業が実現できることを示している。続いて、部分境界適合直交格子を利用し、いくつかの流れ場解析を行い、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って、ここで開発された部分境界適合直交格子法と合わせて開発した計算手法による数値シミュレーション解析が既存の手法による解析に比べ遜色ないことを確認している。

第 4 章では、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、本解析手法の有効性を証明することにより、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 1 つであることを示している。

第 5 章は、結論であり本研究で得られた成果をまとめている。

以上要するに、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、その実問題への適用を通して、この解析手法が効率的で信頼性のある空力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における CFD 解析の実用化における課題に注目し、解決する手段を提示することで CFD 解析の利用価値を飛躍的に高めた本研究成果の意義は大きい。本研究で開発された手法は、宇宙輸送機の概念設計にとどまらず、課題解決型の数値シミュレーション等にも利用できるものであり、今後の航空宇宙工学に貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。