

スクラムジェットエンジンへの MHD発電技術適用へ向けた数値解析

学生証番号 86077 氏名 前原 義明
(指導教員 鈴木 宏二郎 教授)

Key Words : Key Words : SCRAM-jet engine, Computational Fluid Dynamics, MHD generator, MHD accelerator

1. 概要

完全再利用型のスペースプレーンの開発において必要不可欠と考えられているのが、極超音速飛行時に動作するスクラムジェットエンジンである。

しかし、スクラムジェットエンジンは様々な気流条件に対応しづらいという問題がある。例えば、構造を簡単にして形状を固定すると、エンジンの冷却は容易になり、設計された条件では高い性能を実現できるが、一方で、加速途中など設計値からずれた気流条件では最適な条件を作れない。

そこで本研究では MHD 発電技術を適用した MHD 発電技術適用型スクラムジェットエンジンのシステムを提案し、数値解析的な検討を行った。具体的には、インテークに設置された MHD 発電機で発生するローレンツ力を用いて流れの制御を行い、ノズルに設置された MHD 加速器によってインテークで失われた流速の回復が行われる、というシステムを考案した。

2. 解析対象

解析対象は、宇宙航空研究開発機構で研究が行われているスクラムジェットエンジン¹⁾の形状をもとにして計算用のモデルを作成した。

解析はインテーク、燃焼器、ノズルそれぞれ別々に数値計算手法を開発し、最終的にすべての要素を関連させて解析した。

3. インテークの解析

インテークの解析は Yee の Symmetric-TVD スキーム²⁾を用いて MHD の効果を考慮した 2 次元オイラー方程式を解くことによって解析した。

解析した結果の x 軸方向の流速および圧力プロファイルを観察することによって、MHD 発電機をインテークに設置することによって流れの減速および圧縮を補助することが可能であることが理解できた。

4. 燃焼器の解析

燃焼器では 1 次元を仮定し、流れは非粘性で拡散もなし、定常状態、熱的平衡が仮定された化学非平衡流れを解いた。

様々な流速における燃焼反応を観察することによって、MHD 発電機によって流速を減少させれば、燃焼器での燃焼反応を安定化できることが理解できた。

5. ノズルの解析

ノズルでの数値計算は、MHD 発電機が設置されたインテークでの数値計算から得られた知見を元に、電磁場および電流の近似を行った。対流項の離散化はインテークの場合と同様に Yee の Symmetric-TVD スキームを用いて行った。

ノズルでの解析により、スクラムジェットエンジンのノズルに MHD 加速器をつけることにより、MHD 発電機によって失われた流速が回復できることが理解できた。

6. MHD 適用型スクラムジェットエンジンの解析

流れ場の電気伝導度は 10.0 S/m と仮定、MHD 発電機および MHD 加速器の印加磁場は 1.5 T、MHD 加速器の外部起電力は 1500 V として計算を行った。

その結果により、インテークに MHD 発電機を設置して流れの流速を減少させることによって燃焼器での燃焼反応を安定化させることが可能であることが理解できた。

参考文献

- 1) 三谷徹, 富岡定毅, 菊田丈士, 谷香一郎, 鎮西信夫, 河内俊憲: RJTF 試験におけるスクラムジェット性能達成度, 日本航空宇宙学会論文, 52(2004), pp. 1-9.
- 2) Yee, H.: Upwind and Symmetric Shock-Capturing Schemes, NASA TM 89464, 1987.