

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 船見 祐揮

修士（工学）船見祐揮提出の論文は、「反応流・伝熱統合解析によるハイブリッドロケット内部弾道特性の数値予測技術に関する研究（Study on Numerical Evaluation Method for Hybrid Rocket Internal Ballistics with Combined Analysis of Reactive Flow and Heat Transfer）」と題し、本文5章と付録A、B、Cよりなっている。

ハイブリッドロケットは固体燃料と液体酸化剤を搭載することから、高い安全性、制御性、環境適合性、低コスト性等の利点が指摘されており、近年では、有人サブオービタル宇宙機スペースシップ2の主エンジンとして開発が進められるなど、期待が寄せられている。しかし、ハイブリッドロケットでは燃料発生量が燃料表面近傍の火炎からの熱伝達に左右されるため、酸化剤噴射方式や燃焼室の寸法・形状等の影響を受けて酸化剤燃料比が変化する。このためロケットシステムの概念設計において、燃焼器の仕様を振ってトレードオフを行う場合、固体ロケットでは推進薬の燃焼速度特性を圧力と初期温度に対して知れば寸法・形状をほぼ自在に設計できるのに対して、ハイブリッドロケットを自在に設計するためには、燃焼実験或は燃焼流の大規模な数値シミュレーションを用いて、寸法・形状の異なる多くの燃焼器について内部弾道特性を取得する必要がある、作業量が膨大になるという問題がある。

筆者はこの状況に鑑み、ハイブリッドロケットの最適設計やスケールアップに必要となる自由度の高い内部弾道特性データを効率よく作成するための数値予測技術を構築することを本論文の目的とし、数値予測手法として、計算時間を抑えつつ、ある程度の予測精度を確保できる、準1次元反応流解析と伝熱解析を統合した解析手法を提案している。さらに提案手法中のパラメータが予測結果に及ぼす影響度について本数値予測技術の特性を評価した上で、既往の実験データとの比較によってモデルを検証し、提案手法による自由度の高い設計データの構築例を示して本数値予測技術の実用性を確認している。

第1章は序論であり、研究の背景としてハイブリッドロケットの特徴と設計における課題を述べ、内部弾道特性の数値予測技術に関する既往研究をまとめ、本研究の目的と概要について述べている。

第2章では、燃料グレインポート内およびノズル内の反応性流れを、燃料の

湧き出し項と燃料混合分率の輸送方程式を付加した準1次元化学平衡非粘性流れでモデル化して解く事で、ハイブリッドロケット燃焼室内の圧力、速度、温度の軸方向分布の時間履歴等の内部弾道特性を予測する手法を解説している。一方、燃料壁面上の境界層内に量論比で化学平衡状態の火炎を想定し、火炎から燃料への対流及び輻射熱伝達量を燃料表面から燃料内部への熱伝導量及び、燃料の熱分解に要する気化熱によって収支を合わせる関係式を示し、燃料後退速度を表面温度のアーレニウス関数で表して、その関係式を表面温度について解く事によって燃料湧き出し項の軸方向分布を算定できることを示している。

第3章では、提案した予測手法の感度解析を行っている。既往実験結果が比較的整った気体酸素と高密度ポリエチレンのハイブリッドロケットを題材にして、平均燃料後退速度の予測結果に対する燃料の活性化エネルギー、前指数因子、対流熱伝達の質量流束指数、火炎位置の速度増加、輻射熱伝達、燃料気化熱の感度を調べている。その結果、燃料後退速度の特性評価において、火炎位置の速度増加の感度と輻射熱伝達の感度が高いことを見出している。

第4章では、火炎位置での速度増大及び輻射を共に考慮しないモデルと、それらを共に考慮するモデルの二通りを使うことで、気体酸素／高密度ポリエチレン系の既往実験や気体酸素／末端水酸基ポリブタジエン系の既往実験の燃料後退速度の上下限を予測できることを示し、本手法の有用性を確認している。さらに、上記のモデルを用いて、燃焼器スケール、ポート長、燃料初期温度、酸化剤流入温度、ノズルスロート径をそれぞれ変化させる解析を実施し、結果の物理的解釈を議論して、設計に有用な燃料後退速度のパラメータ依存性を把握できる事と、解析時間が概念設計の用途に相応しい事を確認している。

第5章は結論であり、本研究の成果をまとめ、今後の課題を述べている。

以上、要するに、本論文は、ハイブリッドロケット設計の立場から、設計データベース生成に関する本質的な問題点を指摘し、その解決への一つのアプローチを具体的に示し、提案手法の有用性を実証しており、ハイブリッドロケットの設計工学と航空宇宙工学上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。