

## 論文の内容の要旨

論文題目 「化学ロケットの振動燃焼に関する理論的研究」

学位申請者 森田 貴和

キーワード：固体ロケット L\*-不安定 ハイブリッドロケット 低周波燃焼不安定 燃料後退速度

固体ロケットは高エネルギー化に向けて不断の研究開発が続けられてきた。高エネルギー化により推進性能等は向上するが、振動燃焼が発生する可能性は増大する。また上段固体モータにおいては、従来推進剤に添加物として用いられてきたアルミ粒子の使用が、スペースデブリ低減の観点から今後規制される可能性がある。このアルミ粒子は、推進性能向上に寄与することのみならず、振動燃焼抑制にも寄与するので、これが制限されると過去には問題とならなかった条件下でも振動燃焼が発生するようになり得る。これらのことから、固体ロケットの振動燃焼の理解と対策の重要性は益々増大している。一方ハイブリッドロケットは、安全で安価であることから、民間企業や大学で実用化に向けた取り組みが盛んに行われている。ただし、その実用化を妨げているのが、燃料後退速度の低さ、燃焼効率の低さ、振動燃焼の存在などである。このうち振動燃焼は、多岐にわたる複雑な物理機構に起因するため未解明の問題が多い。本研究では、これらの化学ロケットにおける振動燃焼の機構について理論的に検討した。第1章の序論に引き続き、第2章では固体ロケットモータ内部の流れの影響を考慮して、バルクモードの低周波燃焼不安定の特性を数値的に解析した。その結果、L\*-不安定の安定限界曲線や中立安定時の振動周波数の特性を得た。これらは、モータ内の流れが遅い場合、従来のL\*-不安定の線形安定性解析の結果とよい一致を示した。またモータ内の流れが速い場合では、燃焼室の前端と後端の定常圧力の平均値を取ることで、線形安定性解析と比較できることを見出した。さらに、振動が増幅しリミットサイクルや一時消炎に至る現象を数値的に再現し、消炎曲線を求めた。これらの知見は、バルクモードで圧力が変動するノズルレスロケットモータ等の振動燃焼の理解において非常に有用である。第3章では、振動燃焼解析の基本の一つでもある運動量輸送と熱輸送のアナロジ、ならびに燃料後退速度式を求めた。標準的な燃料後退速度のモデルとして Marxman らの式があるが、このモデルでは簡単化のためにプラントル数および乱流プラントル数をともに1と仮定したレイノルズのアナロジを使用している。一方、プラントル数の効果を考慮した研究は複数存在するが、それ

らの多くが境界層内の火炎の影響を考慮しておらず、相似性が崩れた火炎の後流部分に対してもこのアナログを適用している。これに対し本研究は、これらの影響を考慮し、より現実的なハイブリッドロケットの燃焼に適合したモデルを作成し、プラントル数が燃料後退速度に及ぼす影響について調べた。本研究で導出された運動量輸送と熱輸送のアナログは、ハイブリッドロケットの燃焼応答関数や他の境界層燃焼を扱う場合においても有効である。第 4 章では、バルクモードとみなせる場合において、液体酸化剤の燃焼時間遅れに起因する振動燃焼に対し、線形安定性解析を行った。従来の解析では、チャンバー内のガスの状態変化に等温過程を仮定してきたが、本研究では、様々な不可逆的効果により実際にはポリトロプ過程と見なす方が適切と判断した。本章ではこの効果を導入した上で、バルクモードでの線形安定限界や振動周波数を、より簡潔で一般的な式に表した。また、得られた理論値は、LOX/PMMA を用いた酸化剤旋回流型ハイブリッドロケットの実験結果と比較し、振動周波数がよく一致することを確認した。さらに安定限界については、線形安定性解析による結果と定性的に適合することを確認した。第 5 章では、機軸方向の物理量の変化を考慮した液体酸化剤の燃焼時間遅れに起因する振動燃焼について、線形安定性解析を行った。この振動燃焼に関する従来の解析では、バルクモードの仮定が大半であったが、ポート長が長く機軸方向に物理量に変化する場合には、この仮定が不適切と判断した。本研究で提案する方法では、このような場合においても合理的に取り扱うことが可能となった。本章で得られた伝達関数を用いて供給系やモータの形状等による振動燃焼特性を求めた。特に小型のモータにおいて、液体酸化剤の燃焼時間遅れが大きい場合は、バルクモードとの違いは十分小さいことを確認した。第 6 章では、各章の結果についてまとめ、本論文の結論を述べた。