

学 位 論 文 題 名

、 端面燃焼式ハイブリッドロケットの研究

学位論文内容の要旨

宇宙開発は、その初期段階では基本的に国家が主導する大型プロジェクトを中心に進められてきた。しかし、信頼性の向上に伴って民営化が押し進められ、人工衛星を使った様々なサービスが誕生している。民営化と共に人工衛星の開発・打ち上げ・運用に掛かるコスト削減競争にも拍車がかかっている。その結果として、人工衛星には小型化が、ロケットには機動性の良さが求められてきている。

これまで、小型衛星の打ち上げには固体ロケットが使用されてきた。しかし、固体ロケットは推進薬に火薬を使用しているため、静電気や衝撃などにより発火し、事故につながる危険性がある。そのため、固体ロケットの製造、輸送、打ち上げに関しては多くの規制を伴う。よって、今後小型衛星の打ち上げ需要が増大したときに、固体ロケットでは機動力のある打ち上げ体制を整えることは難しいと思われる。また、ほとんどの固体ロケットが性能、安全性等の理由により酸化剤として過塩素酸アンモニウムを使用しているが、その排気に含まれる有害な塩素化合物による大気汚染などの問題が懸念されている。そのため、固体ロケットに変わるロケットとして、ハイブリッドロケットの実用化が期待されている。

機動性が求められる今後の人工衛星打ち上げ市場において、安全・安価・低公害で推進剤の取り扱いが容易なハイブリッドロケットは非常に魅力的である。ハイブリッドロケットは、基本的に酸化剤と燃料を混合させない限り燃焼しないので、安全であり、少なくとも製造、輸送に関する規制は少ないと考えられる。また、酸化剤に酸素を使用すれば、有毒な排気ガスを出すことを避けることができる。ハイブリッドロケットのアイディアは比較的古くから提案され、研究が続けられてきたが、固体ロケットに比較して、①推力が低いこと、②酸化剤とガス化燃料の混合が悪く、燃焼効率が低いこと、③燃焼中の酸燃比変化による比推力損失、などの理由により未だ実用化には至っていない。

本論文では上記従来型ハイブリッドロケットの欠点の内、②と③を改善することを目的として提案している端面燃焼式ハイブリッドロケットについて述べる。まず、ハイブリッドロケットの設計に必要な不可欠な、燃焼安定性、燃料後退速度の圧力依存性などを含めた燃焼特性を調べる実験を行った。その結果を元に、端面燃焼式ハイブリッドロケットの小型モータを設計、作成して燃焼実験を行い、得られた実験結果より、実用化のために必要な条件の検討を行った。

本論文の構成は以下の通りである。

第 1 章は序論であり、研究背景からなぜハイブリッドロケットの実用化が期待されているかを述べ、端面燃焼式ハイブリッドロケットの構造、燃焼方式などについて説明している。

第 2 章は、端面燃焼式ハイブリッドロケットの有効性を調べるために、フィルター状燃料を用いた実験を行い、その結果と考察から得られた結論を述べている。

第 3 章は、設計に必要な燃焼特性を調べる実験について述べている。燃料ポートの一つをモデル化した円柱状の燃料の穴内に酸素ガスを流し、下流側端面で点火して燃焼させる実験を行い、穴径、雰囲気圧力、酸素流量の影響をみた。条件の違いによって燃え広がり燃焼と安定燃焼が観察され、両燃焼形態の境界条件を調べた。燃料後退速度の圧力依存性など、設計に必要なデータも取得した。

第 4 章は、燃え広がり燃焼と安定燃焼の境界を決定する機構を調べるために行った、火炎先端部を詳細に観察する実験について述べている。

第 5 章は、隣接する燃料ポート同士の相互作用の有無を調べるため、複数の穴をもつ固体燃料を用いた実験について述べている。燃料ポート同士の相互作用に対する検討の他、第 3 章で得られた結果を元にした燃料後退予測値と実際の結果の比較を行い、燃料後退量予測の有効性について述べている。

第 6 章は、第 5 章で得られたデータを元に行った、端面燃焼式ハイブリッドロケットの設計について述べている。燃料に PMMA、酸化剤に気体酸素を用いた小型のロケットモータを設計した。

第 7 章は、第 6 章で設計した小型端面燃焼式ハイブリッドロケットモータの燃焼試験について述べている。この章でも第 3 章で得られた燃料後退量予測の有効性を確認し、燃焼起動特性についても述べている。

第 8 章は結論であり、本研究で得られた結果を要約している。

本論文で著者は打ち上げ時に有害な塩素化合物を撒き散らすといった欠点を持っていて代替ロケットの開発が強く求められている固体ロケットの将来版であるハイブリッドロケットの有効性に着目し、世界で始めて端面燃焼式を提案した。その基本的な性能に係わる現象の解明を行うとともに、その解明をもとに実際にロケットとして用いるための設計、実証を行った。

学位論文審査の要旨

主査	教授	工藤	勲
副査	教授	工藤	一彦
副査	教授	藤田	修
副査	助教授	永田	晴紀

学位論文題名

端面燃焼式ハイブリッドロケットの研究

宇宙開発は、その初期段階では基本的に国家が主導する大型プロジェクトを中心に進められてきた。しかし、信頼性の向上に伴って民営化が押し進められ、人工衛星を使った様々なサービスが誕生している。民営化と共に人工衛星の開発・打ち上げ・運用に掛かるコスト削減競争にも拍車がかかっている。その結果として、人工衛星には小型化が、ロケットには機動性の良さが求められてきている。

これまで、小型衛星の打ち上げには固体ロケットが使用されてきた。しかし、固体ロケットは推進薬に火薬を使用しているため、静電気や衝撃などにより発火し、事故につながる危険性がある。そのため、固体ロケットの製造、輸送、打ち上げに関しては多くの規制を伴う。よって、今後小型衛星の打ち上げ需要が増大したときに、固体ロケットでは安価、安全、かつ機動力のある打ち上げ体制を整えることは難しいと思われる。また、ほとんどの固体ロケットが性能、安全性等の理由により酸化剤として過塩素酸アンモニウムを使用しているが、その排気に含まれる有害な塩化物による大気汚染などの問題が懸念されている。そのため、固体ロケットに変わるロケットとして、ハイブリッドロケットの実用化が期待されている。

機動性が求められる今後の人工衛星打ち上げ市場において、安全・安価・低公害で推進剤の取り扱いが容易なハイブリッドロケットは非常に魅力的である。ハイブリッドロケットは、基本的に酸化剤と燃料を混合させない限り燃焼しないので、安全であり、少なくとも製造、輸送に関する規制は少ないと考えられる。また、酸化剤に酸素を使用すれば、有毒な排気ガスを出すことを避けることができる。ハイブリッドロケットのアイディアは比較的古くから提案され、研究が続けられてきたが、固体ロケットに比較して、①推力が低いこと、②酸化剤とガス化燃料の混合が悪く、燃焼効率が低いこと、③燃焼中の酸燃比変化による比推力損失、などの理由により未だ実用化には至っていない。

本論文では上記従来型ハイブリッドロケットの欠点の内、②と③を改善することを目的として提案している端面燃焼式ハイブリッドロケットについて述べている。まず、ハイブリッドロケットの設計に必要不可欠な、燃焼安定性、燃

燃料後退速度の圧力依存性などを含めた燃焼特性を調べる実験を行った。その結果を元に、端面燃焼式ハイブリッドロケットの小型モータを設計、製作して燃焼実験を行い、得られた実験結果より、実用化のために必要な条件の検討を行っている。

本論文の構成は以下の通りである。

第1章は序論であり、研究背景からなぜハイブリッドロケットの実用化が期待されているかを述べ、端面燃焼式ハイブリッドロケットの構造、燃焼方式などについて説明している。

第2章は、端面燃焼式ハイブリッドロケットの有効性を調べるために、フィルター状燃料を用いた実験を行い、その結果と考察から得られた結論を述べている。

第3章は、設計に必要な燃焼特性を調べる実験について述べている。燃料ポートの一つをモデル化した円柱状の燃料の穴内に酸素ガスを流し、下流側端面で点火して燃焼させる実験を行い、穴径、雰囲気圧力、酸素流量の影響をみた。条件の違いによって燃え広がり燃焼と安定燃焼が観察され、両燃焼形態の境界条件を調べるとともに、燃料後退速度の圧力依存性など、設計に必要なデータも取得している。

第4章は、燃え広がり燃焼と安定燃焼の境界を決定する機構を調べるために行った、火炎先端部を詳細に観察する実験について述べている。

第5章は、隣接する燃料ポート同士の相互作用の有無を調べるため、複数の穴をもつ固体燃料を用いた実験について述べている。燃料ポート同士の相互作用に対する検討の他、第3章で得られた結果を元にした燃料後退予測値と実際の結果の比較を行い、燃料後退量予測の有効性について述べている。

第6章は、第5章で得られたデータを元に行った端面燃焼式ハイブリッドロケットの設計について述べている。燃料にPMMA、酸化剤に気体酸素を用いた小型のロケットモータを設計している。

第7章は、第6章で設計した小型端面燃焼式ハイブリッドロケットモータの燃焼試験について述べている。この章でも第3章で得られた燃料後退量予測の有効性を確認し、燃焼起動特性についても述べている。

第8章は結論であり、本研究で得られた結果を要約し、将来への展望について述べている。

これを要するに、著者はこれまで小型衛星の打ち上げに使用されてきた固体ロケットの代替として、推進剤に火薬を使用しないため安全性が高く、大幅なコストダウンが見込めるハイブリッドロケットの有効性に着目し、世界で初めて端面燃焼式を提案した。その基本的な性能に係わる現象の解明を行うとともに、その解明をもとに実際にロケットとして用いるための設計、実証を行っている。この結果は宇宙ロケット工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。