

## 審査の結果の要旨

氏名 榊 和樹

修士（工学）榊和樹提出の論文は、「A Study on Combustion of Pintle-type Injector for Ethanol/Liquid Oxygen Rocket Engine（エタノール/液体酸素ロケットエンジンにおけるピントル型噴射器の燃焼に関する研究）」と題し、5章から成っている。

ピントル型噴射器は、簡素な構造や高い推力制御能力という特徴を有する液体ロケットエンジンの推進剤噴射器であり、1960年代から研究、開発が進められてきた。しかしながら同軸型噴射器や衝突型噴射器と比較すると、本噴射器を対象とした系統的な研究例は非常に限られており、その基礎的な燃焼特性に関する知見はほとんど報告されていないのが現状である。

このような観点から、本研究においては、小型ロケットエンジン燃焼器を用いた燃焼試験を行い、ピントル型噴射器の開発に資する基礎的な燃焼特性に関する知見を得ることを目的としている。噴射形態および噴射条件を変化させた燃焼特性の計測のみならず、作動中のエンジン燃焼室内部の光学計測を行い、非定常噴霧燃焼挙動を高い時間分解能で計測することで、ピントル型噴射器の燃焼挙動の詳細な解明を試みている。

第1章は序論であり、液体ロケットエンジンにおける推進剤噴射器の役割や、これまで開発されてきたピントル型噴射器の事例が述べられた上で、過去の先行研究と対比しながら本研究の意義と目的について説明がなされている。

第2章では、実機形状の円筒型燃焼器とピントル型噴射器を用いて、噴射器の基礎的な燃焼特性を取得するための実験とその結果が説明されている。実験で用いた試験供試体、試験設備や計測システムの測定精度が言及された後に、基礎的な燃焼試験の結果が述べられている。ピントル型噴射器においては、推進剤総運動量比が特性排気速度効率および燃焼安定性に大きな影響を及ぼすことが実験結果から明らかにされている。また、特性排気速度効率と燃焼安定性には強い相関があり、特性排気速度効率が高くなると燃焼の不安定性が増大することが示されている。これは、固体ロケットエンジン燃焼においてDC shiftと呼ばれ良く知られている現象、すなわち圧力振動の非線形性により平均燃焼圧力が増加する現象と関連していることが示唆されている。

第3章では、二次元矩形燃焼器を用いた燃焼室内部の光学計測実験について述べられている。本章においてはピントル型噴射器の光学計測用に設計された特殊な燃焼器が用いられているため、そのような系を用いるに至った経緯や、供試体の概要および特徴について詳細に説明されている。そのうえで第2章と同様に、種々の噴射条件が特性排気速度効率に

及ぼす影響を実験的に調べた結果とともに、それぞれの条件における火炎構造や噴霧構造を高時間分解能で撮影した結果が示されている。まずピントル型噴射器においては噴射形態によらず推進剤総運動量比が燃焼効率を支配していることが示されている。一方光学計測の結果からも、推進剤総運動量比が推進剤噴霧のペネトレーションを支配し、それに伴い燃焼特性を変化させることが示されており、これらの結果から、推進剤総運動量比がピントル型噴射器の燃焼特性を決定する主要因であると結論付けている。また、火炎発光強度の要約統計量の 2 次元分布を用いて、非定常燃焼特性に関する詳細な議論を行っており、推進剤衝突点付近において熱発生の激しい変動が生じることを示している。さらに、点火時の火炎の挙動を高時間分解能で計測することで、噴射形態と点火器の設置位置により点火特性が大きく支配され、特に燃焼室下流域に点火器を設置した場合においては、フェイスプレート付近で急激な燃焼が発生するため、始動時に極端な圧力スパイクが発生するというハードスタート機構の存在を明らかにしている。

第 4 章では、第 2 章と同様な実機形状の円筒型燃焼器を用いて、光学計測によりピントル型噴射器における燃焼振動特性を調べた結果が述べられている。高時間分解能で撮影された火炎の画像に対して、直交固有分解法や動的モード分解法を用いた低次元解析を行うとともに、要約統計量分布を使用して燃焼振動特性を詳細に議論している。その結果、推進剤総運動量比が振動燃焼特性に大きな影響を及ぼし、振動燃焼特性には燃焼に伴う熱発生と燃焼器の音響振動モードが連成したモードと、燃焼室内部における燃焼ガスの滞留時間に対応する周期をもつモードの 2 種類のモードがあることが示され、これらのモードに関して低次元解析等を用いた詳細な分析が行われている。

第 5 章は結論であり、本論文において得られた結果を要約している。

以上要するに、本論文は、液体ロケットエンジン燃焼室におけるピントル型噴射器の基礎的な燃焼特性を解明することを目的として、矩形および円筒型燃焼器を用いた燃焼実験を行うことにより、ピントル型噴射器の燃焼特性を支配するパラメータを特定するとともに、光学計測と低次元解析手法を用いてその非定常燃焼特性を基礎的な観点から明らかにしたものであり、燃焼工学および推進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。