

審査の結果の要旨

氏名 浅川 純

修士（工学）浅川 純 提出の論文「常温蒸発を用いた小型水スラスタの推進性能および宇宙機システムへの応用 Water Micro-Propulsion System Using Room-temperature Evaporation: Thrust Performance and its Application to Spacecraft」では、常温蒸発を用いた小型水レジストジェットスラスタを提案し、実験的に推進性能評価を行った上で、宇宙機との熱結合を考慮したシステム設計手法を構築した。現在、キューブサットの台頭により、小型宇宙機は研究段階から実利用段階へと移行しようとしている。しかし、小型推進系の研究開発レベルは未だ低く、小型宇宙機のミッション幅を狭め、実利用化に向けたボトルネックの一つとなっている。実際、従来の小型推進系は、高圧ガス使用に伴う構造質量比の低下により達成可能速度増分が数十 m/s 程度と低かった。さらに、推進剤の毒性や危険性が地上作業や試験での障害となっていた。これらの課題を解決するため、これまでに推進剤として水を用いた推進系が研究されている。水は常温常圧で液体貯蔵可能であり、推進系全システムを低圧で構築することが可能である。さらに、安全無毒で取扱性が良く、射場や宇宙ステーション等の軌道上居住施設での充填作業も可能になる。また、分子量が小さく高比推力化に繋がること、将来的な宇宙資源として注目を集めている他惑星由来の水を推進剤とすることで持続的な深宇宙探査が可能となること等のメリットが挙げられる。一方で、過去の宇宙実証では気液分離に失敗するといった課題や、水特有の潜熱の大きさのために消費電力が大きいというデメリットがあった。この中で、本論文で提案されたスラスタは、明示的に蒸発部と加熱部を分離した機構（気化室）を設けることで、従来の課題であった気液分離が実現可能となる。さらに、常温蒸発部において、宇宙機に搭載された他機器の排熱を再利用することで消費電力の低減が可能である。一方、低圧気体流れや推進剤供給特性に依存する推進性能の評価、および宇宙機とスラスタとの熱結合を考慮したシステム設計手法の確立が必要となる。本論文は 5 章から成り、構成は以下のようになっている。

第 1 章では、現在研究開発が行われている小型スラスタについて網羅的に述べたのち、小型スラスタが抱える課題や、水を推進剤として用いたスラスタの

先行研究や課題を整理し、本研究の意義を位置付けている。その上で、提案する常温蒸発を用いた水レジストジェットの概要および原理を説明し、最後に研究目的を述べている。

第 2 章では、構築した提案スラスタの実験室モデルの性能評価結果について述べている。特に、本論文で新規に設計・構築された倒立振子式スラスタスタンドは、推力および質量流量のリアルタイム測定を可能にした。このスタンドを用いることで、真空環境下における推力および質量流量のリアルタイム測定を行い、水蒸気の低レイノルズ数流れにおける比推力効率および比推力を明らかにした。さらに、供給方法によって変化する水蒸気の加熱効果を明らかにし、気化室を伴うスラスタシステムの推進性能特性を明らかにした。

第 3 章では、宇宙機と小型水スラスタとの熱結合を考慮したシステム統合設計手法について述べている。前章で得られた実験結果をもとに小型水スラスタのモデル化を行い、宇宙機熱数学モデルに組み込むことでシステム統合熱モデルを確立した。そして、システム統合熱モデルを用いて得られた計算結果と実験結果とを比較しモデルの妥当性を評価した。さらに、モデルを用いたパラメータ解析を行い、小型水スラスタの推進性能特性を明らかにした。

第 4 章では、小型水スラスタの宇宙用実機（フライトモデル）を用いることで、前章で確立したシステム統合設計手法の適用性について評価している。使用されたフライトモデルは、10 kg 級キューブサットに搭載用の水レジストジェットスラスタであり、衛星システムとして実験的に推進性能を評価した。前章で構築されたシステム統合熱モデルを用いて得られた計算結果と実験結果とを比較し、構築手法の適用性を明らかにした。

第 5 章では、提案する常温蒸発を用いた小型水レジストジェットスラスタについて得られた実験的成果、宇宙機との熱結合を考慮したシステム統合設計手法とその適用可能性確認において明らかとなった事項についてまとめられている。

以上を要約すると、本論文では、今後の小型宇宙機の発展に大きく貢献する汎用的な小型水スラスタを提案し、その推進特性を明らかにすると共に、宇宙機への統合のためのシステム設計手法を確立している。これらの成果は、宇宙推進工学において新しい小型スラスタ分野を確立するだけでなく、制約の多い小型宇宙機における小型スラスタの発展および実利用へ大きく貢献することが期待される。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。