

審査の結果の要旨

氏名 神田 大樹

本博士論文「フラーレンC₆₀を作動流体とする負イオン推進機の実験的研究 (Laboratory Experiment on Negative Ion Propulsion using Fullerene C₆₀)」では、フラーレン負イオン源を用いた正負イオンスラストシステムの提案と実験的検証を行なった。既存の正イオンを推力源とするイオンスラストにおいて中和器は、宇宙機を電気的中性に保つために電子を放出する役割を担うが、推力に寄与しないにも関わらず推進剤と電力を消費している。そこで中和器を排除し、その代替として負電荷を射出する負イオン源を用いた正負イオンスラストが構築できれば、スラストシステム全体としての理想化がおこなえる。本研究では、フラーレン負イオン源を開発し、キセノン正イオン源と組み合わせた正負イオンスラストシステム成立性の実験的検証を行った。本論文は8章から成り、構成は以下となっている。

第1章では、既存の正イオンスラストの構成や、地上で用いられる負イオン源、さらには正負イオンスラストシステムに関する先行研究を説明し、本研究の位置づけを行い、最後に研究目的を明示している。

第2章では、既存のキセノン正イオンスラストと、フラーレン負イオン源とキセノン正イオン源を用いた正負イオンスラストの性能評価を、理論式を用いた比較を行った。

第3章では、本研究で使われた真空装置等の地上実験の設備や、キセノン正イオン源、そしてフラーレン負イオン源の構成を図表とともにまとめた。フラーレン負イオン源は、フィラメントを用いた直流放電型イオン源であり、負電荷である電子の引き出しを抑制するため、負イオン源に磁気フィルタと電子収集電極を用いることによりグリッド上流の電子密度を減衰させている。

第4章では、フラーレンの供給装置の開発について述べられている。これまでに研究されてきたフラーレン供給装置は、容器内にフラーレンを入れ、容器を加熱し昇華を行うるつぼ型で、本研究も同様な供給器を用いた。さらに本研究ではフラーレンを長時間かつ低電力で供給することが可能な螺旋ブラシを用いた独自のフラーレン供給システムの開発を行った。電子天秤を用いた供給レートの測定結果より、従来のるつぼ型供給器は温度調節により昇華量を制御するのに対し、螺旋ブラシを用いた供給器は、その回転速度に依存する移送量に呼応して長時間安定的にフラーレンを供給できることを実験的に実証した。

第5章では、フラーレン負イオンビーム引き出しの実証として、E × B プロ

ープ、磁気フィルタ付ファラデープローブ、ビームターゲット法の3つの手法によりビーム測定を行っている。結果として本研究で開発したフラレン負イオン源は、電子ビームを含まないサブmA級のフラレン負イオンビームを噴射し、推力を発生することを示した。

第6章では、正負イオンスラスタのビーム中和についての考察を得るため、エミッシブプローブによるビーム中の空間電位の測定と、ファラデープローブによるビームプロファイルの測定結果について述べている。正負イオン同時射出時のビーム中の空間電位測定の結果、正または負イオン単独射出と比べて空間電位の緩和が見られたが、正イオンビームの電子による中和と比べて局所的な電位の上昇が認められた。この局所的な電位構造は、正負イオンのビーム交差を誘発する電場となっていることが分かった。さらにビームプロファイル測定の結果、正負イオン同時射出時のビーム発散角は、正または負イオン単体射出時と比べて大幅に減少していることが分かった。

第7章では、正負イオン同時射出のデモンストレーションについて述べている。負イオンスラスタと正イオンスラスタを電氣的に結合し、宇宙機搭載を模擬したフロート状態で中和器を用いずに正負イオンの加速を行った。結果として正負イオンスラスタシステムにおけるスラスタ基準電位は、フィードバック制御により長時間かつ安定的に0[V]に維持することが可能であるとわかった。また同時射出時のE × Bプローブ測定により、ビーム中にフラレン負イオンとキセノン正イオンが混在していることを実験的に示した。さらにビームターゲットを用いた推力測定を行い、正負イオンスラスタシステムはビーム電流と加速電圧から求められる推力と同程度の推力を発生していることを示した。

第8章では、本研究の成果をまとめ、正負イオンスラスタシステムの成立性の実験的検証に成功したと結論づけた。

以上を要約すると、本研究はイオンスラスタの新たなアプローチとして、フラレン負イオン源を用いた正負イオンスラスタシステムを提案するとともに、多くの実験を通してその成立性の検証に成功している。この成果はプラズマ工学および宇宙工学への貢献が大きい。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。