

氏名	林 寛
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博甲第253号
学位授与の日付	平成19年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	マイクロ波放電式イオンエンジンの高比推力化に関する研究
論文審査委員	主査 教授 趙 孟 佑 " 並 木 章 " 匹 田 政 幸 " 橘 武 史

学位論文内容の要旨

代表的な電気推進ロケットであるイオンエンジンは、従来の化学推進ロケットや他の電気推進ロケットと比較して排気速度が大きいため、推進性能の指標の一つである比推力が極めて高い。そのため、僅かな推進剤で宇宙機に大きな速度変化を与えることが可能であり、既に静止衛星の姿勢制御や惑星探査機の主推進として比推力が3,000秒級のイオンエンジンが実用化されている。近年、国内においてもハイブリッドソーラーセイルによる木星探査機等のために10,000級の比推力を誇るイオンエンジンが要求されている。そこで本論文では、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の小惑星探査機「はやぶさ」に搭載されているマイクロ波放電式イオンエンジン「 $\mu 10$ 」を高比推力化させた「 $\mu 10\text{Hisp}$ 」を試作し、マイクロ波放電式イオンエンジンの高比推力化に欠かせない加速グリッドと高電圧絶縁器機の開発と評価、及び高比推力マイクロ波放電式イオンエンジンの推進性能を行ったので報告する。

第1章では、本研究の背景、目的、体制および本論文の構成について示す。

第2章では、電気推進ロケットの概要や特長について簡単に紹介し、これに続いてイオンエンジンの動作原理と構成、推進性能の評価指標、応用について述べる。さらに本論文の研究対象であるマイクロ波放電式イオンエンジンの動作原理、これを搭載した工学試験探査機「はやぶさ」とその主推進用イオンエンジン「 $\mu 10$ 」を紹介する。最後にイオンエンジンの高比推力化の物理について論じ、ここからイオンエンジンの高比推力化にあたっての技術的課題を述べ、本研究の目標を示す。

第3章では、イオンエンジンの高比推力化の方法の一つとして、軽質量の推進剤ガスの採用について検討した。推進剤ガスを変更すると、推進剤ガスの電離電圧が増大する事によりイオン源でのイオン生成量が大幅に減少し、エンジンの推進性能に甚大な影響を与えることが危惧される。そこで作動ガスとしてキセノン、アルゴン、酸素を用いた場合のマイクロ波放電式中和器の動作特性を比較し、これにより推進剤ガスの違いがイオンエンジンの作動や推進性能に与える影響について検討した。また、マイクロ波放電式中和器の宇宙プラズマ環境シミュレータ用プラズマ源への応用についても触れることにする。

第4章では、マイクロ波電力伝送系の絶縁に使用するDCブロックの高耐圧化について述べる。イオンエンジンの高比推力化においてイオンの加速電圧の増大は不可欠である。「 $\mu 10\text{Hisp}$ 」イオンエンジンでは10,000秒の比推力を達成するために15kVの加速電圧が必要となり、エンジン各部の高電圧絶縁が重要である。イオンエンジン本体とマイクロ波電源の間の絶縁には、DCブロックと呼ばれる絶縁器機の挿入して絶縁を行う。本研究では、耐電圧30kV以上、挿入損失5%以下の性能を有する高耐圧仕様のDCブロックを試作するため、絶縁材となる窒化ホウ素の絶縁特性(短時間特性、長時間特性、沿面放電)やマイクロ波伝送特性を計測して、これを踏まえて高耐圧DCブロックの試作と絶縁性能とマイクロ波伝送性能を評価した。

第5章では、推進剤ガスの供給ラインの絶縁を行うガスアイソレータの高耐圧化について報告する。ガスアイソレータは、ガス配管内部におけるガス放電を抑制するためにイオン源と推進剤ガスタンクの間に取り付けられる絶縁器機である。本研究では、ガス流量2.3sccmにおいて耐電圧30kV以上

の性能有するガスアイソレータを開発するため、そのスペーサ段数、シールドメタル粗さ、ガス流量等に対する放電試験を行い、その結果に基づき2種類の高耐圧ガスアイソレータを試作し、その絶縁性能を評価した。

第6章では、高比推力マイクロ波イオンエンジンのイオン加速試験の結果について述べる。イオン加速試験に際しては、新規に高比推力仕様の加速グリッドを開発した。イオン加速試験では、この加速グリッドのイオン光学特性と電子逆流特性について評価する為、スクリーン電圧、又はアクセル電圧に対するイオン電流特性を取得した。又、これに併せてイオンエンジンの推進性能についても評価した。その結果、加速電圧が15kVでは抽出イオンの一部が、アクセルグリッドに衝突していることが明らかになった。これに従い、イオンエンジンの推進性能も目標にわずかに届かず、比推力が約9,500秒、推力25mNであることが分かった。電子逆流特性については、300V以上のアクセル電圧であれば電子逆流が抑制できることが確認された。これらの結果から今後の課題を検討し、加速グリッドのイオン光学設計の改良により目標の推進性能が達成できる見通しを立てることができた。

学位論文審査の結果の要旨

上記の論文に対して審査を行い、本研究が将来の惑星探査を支える基幹技術であるイオンエンジンの高性能を達成するにあたって必須の技術開発に大きく貢献したことを認め、研究過程及び論文の記述から本人が研究者として自立するに相応しい素養を身に付けたと判断した。以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。