

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 柳 沼 和 也

修士（工学）柳沼 和也 提出の論文「高周波プラズマを用いた無電極推進機のための電磁誘導加速に関する研究 Experimental Study on Electromagnetic Inductive Acceleration of RF plasma for Electrodeless Propulsion System」では、高周波プラズマを電磁誘導電流による電磁力によって加速する電気推進機を提案し、その推進機の推力特性を実験的に評価した上で、構築したプラズマ加速モデルにおける説明を行っている。本論文は、将来的に計画されている有人の深宇宙探査ミッションや月・地球間の大規模宇宙輸送ミッションにおいて不可欠とされる大電力電気推進の実現に向けた基礎研究である。このようなミッションでは 100 kW 級の電気推進が待望されており、高周波プラズマの無電極加速は大きな期待を集めている。その一方で、高い効率と推力を有する決定的な無電極推進機は現れていない。本論文では新しいタイプの無電極推進機を提案するとともに、その基礎特性を明らかにしようとするものである。本論文は 7 章から成り、構成は以下のようになっている。

第 1 章では、これまでに提案・研究されてきた数多くの電気推進を系統的に分類することにより各推進機の特徴と課題を明らかにしている。はじめに、従来からの加速方法に基づく分類により、静電加速、電熱加速、電磁加速の特徴を述べ、電磁加速は大電流化への障害が少なく高効率化が期待できる加速原理と位置づけている。さらに、多数の加速方法が混在している電磁加速方式に対して、独自に電流および磁場の誘導方式に着目した分類を展開し、大電力化および実用化に向けた課題を整理している。最終的に、高周波磁場とそれに伴う誘導電流による電磁力を用いた推進機の有用性をまとめた上で、過去の研究の課題を克服する可能性のある新しい推進機を提案している。

第 2 章では、提案した推進機の作動概念と基礎原理について述べている。提案する推進機は円筒形状のガラス管の周りに 2 種類の異なる周波数の高周波コイルを配置するものであり、それぞれに期待する効果に応じてプラズマ生成用コイル（周波数は 13.56 MHz）とプラズマ加速用コイル（周波数が 50 から 1000 kHz）と呼ばれる。また、電磁加速型推進機の推力に関する一般的な表現を示し、特に軸対称な変動磁場が印加された場合に関して、電磁力の各項のオーダー見

積みを行っている。

第 3 章では、本論文で使用した実験装置についてまとめている。これらは大排気能力を有するスペースチェンバー、2つの高周波電源、生成用と加速用の2つのコイル、プラズマ2次元分布測定装置、そして推力測定装置からなる。特に加速用高周波電源を作動させるために独自に設計・構築されたインピーダンス・マッチング装置は、本論文の実験の要となる装置であり、その詳細が記されている。

第 4 章では、本論文における実験方法がまとめられている。特に、パルス作動における微小インパルス計測を可能とするための解析方法、ダブルプローブを用いたプラズマ測定方法、ならびにインピーダンス・マッチングにおける方法と実験上の工夫が述べられている。

第 5 章では、本論文における実験結果がまとめられている。対象とするプラズマの密度および温度が明らかにされた後に、測定された推力の依存性が示されている。この結果、提案した推進機のプラズマ加速では、推力電力比を最大にする加速周波数があることが示唆され、大口径で短軸の低アスペクト比の推進機形状が推力電力比の増加に大きく寄与することを明らかにしている。

第 6 章では、電磁流体方程式に基づく加速モデルが導出され、パラメータ解析と実験結果との比較を行っている。本モデルではプラズマとそこに発生する誘導電流が複数の電流ループの集合として捉えられ、各ループが相互インダクタンスにより結合されている。このモデルをプラズマ中の電子に対して衝突優勢と無衝突の2つの極限において解くことにより、推進機の基本的な特性を明らかにしている。この結果、ある自己インダクタンスとプラズマ密度に対して実験結果の定性的説明が可能であることを示した。

第 7 章では、本研究の成果をまとめており、提案する電磁加速推進機に対して、最適な周波数がある可能性と放電室形状の大きな依存性が示され、これらの説明に電磁流体方程式に基づく回路モデルが有効であると結論づけた。

以上を要約すると、本論文では、大電力推進機を実現するための方法として新しい電磁加速方式を提案し、実験的にその基礎的な特性を明らかにし、その特性を説明するモデルの構築と有効性の検証に成功している。これらの成果は、宇宙推進工学における電磁加速推進機の理解を深め、将来的な大電力推進機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。