

[別紙 2]

審査の結果の要旨

氏名 中田 大将

修士（工学）中田大将提出の論文は「Discharge Pattern and Energy Balance in an MPD Thruster（MPDスラスタの放電形状とエネルギー収支）」と題し、英文で書かれ、5章と付録からなっている。

MPDスラスタは、陽極・陰極間に流れるアーク放電によって推進剤を加熱・電離し、生じた高密度プラズマを放電電流と自己誘起磁場とによるローレンツ力によって加速するという代表的な電磁加速型電気推進機である。MPDスラスタは推力密度が高いこと、高電圧を必要としないこと、多種にわたる推進剤ガスを利用できることなど数多くの利点を有するためこれまでに数多くの研究が行われてきたが、推進性能が高くないこと、内部機構の解明が充分でなく比例則も未だ確立しないため実用化に至っていない。

本研究は、MPDスラスタの放電形状がプラズマの加速過程に及ぼす影響が大きいことに着目し、推力測定、プラズマ診断などの実験と理論解析の両面から、推進性能ならびにエネルギー収支について詳細に分析したものである。

第1章は序論であり、MPDスラスタ実用化のため改善されるべき推進性能の目標値について昨今の動向を踏まえて言及している。

第2章はプラズマ加速に関する準一次元解析を用い、MPDスラスタにおいて電極形状が推進性能に与える影響について調べたものである。過去の研究者の多くが直線型、末広がり型、先細り末広がり型と云った大まかな形状変化の影響のみを論じているのに対し、ここでは入口出口比などの多様なスケールパラメータや、磁気レイノルズ数の違いについてもふれて、これらの設定によっても推進性能が大きく変化することを指摘している。

第3章は7種類の陽極形状を用い、実際のMPDスラスタにおける作動特性（電圧特性、推力特性、電流分布）を実験的に求める方法とその結果について述べたものである。実験データは過去の事例と比してより高い測定精度で取得されており、各形状の特性を詳らかにしている。さらに、形状の効果に加え、推進剤ガス種の影響、陰極材料の影響についても言及している。陰極材料では世界で初めて酸化イットリウムタングステン及び酸化ニランタンタングステンをMPDスラスタの陰極として適用し、高い推進効率を得ることに成功している。

第4章では電極近傍の薄い境界層「静電シース」における降下電圧について実験的に求める手法とその結果を述べたものである。一般にこの静電シースの降下電圧は理論解析や数値シミュレーションでは定量的な見積もりが困難であるが、MPDスラスタのエネルギー収支を論じるには欠かせないものである。本研究では溶接アークの分野で用いられている電極間隔接近法と呼ばれる手法を

用いて降下電圧の定量化を行った。その結果、降下電圧の値は予測した値に比べて数倍程度大きく、推進性能やエネルギー収支に及ぼす影響は大であることがわかった。

第5章では前述の結果をふまえ、実際のMPDスラスタの内部流について定量的な考察を行った。まず、第3章から得られた性能特性より各形状における実効的な陽極内径と電気伝導度、そして局所的な磁気レイノルズ数を求めた。磁気レイノルズ数は陽極付近では概ね1以下であり、電流のチャンネル入口及び出口への集中は見られず、陽極形状が性能に及ぼす影響は小さいことがわかった。一方で陰極付近では5から10程度の磁気レイノルズ数があり、形状効果による推進性能の向上の可能性が示唆された。また、第4章より得られた電極降下電圧を考慮して、各形状におけるエネルギー収支について論じている。未広がり型や先細り未広がり型は直線型に比べ内部での熱損失を若干低減する効果がある一方、準一次元解析をはじめとするこれまでの多くの数値解析では考慮されることのなかった電極降下電圧がエネルギー収支に大きく影響していることを指摘した。このような知見は多様な形状について定量的に論じた例はなく、推進性能の向上や比例則を確立する上で極めて有益であると考えられる。

以上を要するに、本論文は、MPDスラスタの放電形状がプラズマの加速過程に及ぼす影響が大きいことに着目して、実験と理論解析の両面から、推進性能ならびにエネルギー収支について詳細に分析したものであり、その成果は宇宙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。