

## 審査の結果の要旨

氏名 井出 舜一郎

修士（工学）井出舜一郎提出の論文は「MPDスラスタの準定常作動における定常性評価と作動特性の実験的探索 Evaluation of Quasi-steady State and Parametric Investigation of Magneto-Plasma-Dynamic Thruster in Extended Pulsed Operation」と題する。本論文が取り扱うMagnetoplasmadynamic (MPD)スラスタは、kA級のアーク放電による電磁力を主加速力とするため、大電力化の潮流に適した次世代の電気推進機として注目されている。宇宙での定常運用に向けた地上試験では装置規模の制約から、汎用的なパルス電源であるPulse Forming Network (PFN)による1 ms程度のパルス放電方式において、PFNの時定数程度の放電電流が安定する区間を電磁流体力学的な定常状態であるとして、これを準定常作動とよんで定常作動性能と同等に評価してきた。しかし物理現象的な理論予測やいくつかの定常作動性能と比較して、異常に高い比推力が報告されてきた。これは準定常状態としての評価区間があまりにも短く、電源の特性上生ずる非定常区間が推力評価に大きく影響したと考えられる。また推進剤ガスの供給時間と比較してもその放電時間は1/10程度に短く、先行投入されたガスが放電に寄与した可能性もある。本研究は準定常作動の定常性について実験的調査を行い、その定量的評価を行うことを目的としている。本論文は5章から成り、構成は以下となっている。

第1章では、序論として電気推進の一種であるMPDスラスタの基本原理や位置づけ、およびその準定常作動の意義と問題点、そして近年の研究動向をまとめている。本研究の研究目的として1) MPDスラスタの準定常作動における定常性の定量的評価、2) 準定常作動時のスラスタ特性の外部磁場・推進剤種類・流量・放電室長などのパラメータ依存性の広範囲にわたる取得、の2点を設定している。

第2章では、MPDスラスタの実験系として、スラスタ本体、電力供給系、推進剤供給系、作動制御系、推力測定系、真空排気系の設計や特性および校正方法について詳述している。

第3章では、準定常作動の定常性評価に特化した電源装置を提案し、回路シミュレーションを用いた開発について述べている。結果として、従来のPFNに比べてより理想に近い矩形波かつパルス幅が可変である電源の安全な動作を確認し、放電時間をパラメータに放電波形と推力の取得に成功している。これにより、放電波形の定常性を確認するとともに、実験系由来の誤差を評価すること

で、準定常作動領域を定量的に設定した。本実験系では、誤差を含む予測区間が10%以内となる1.5ms以上かつ、ガスパルス幅以下である5ms以下を準定常作動の定常性が保証された作動領域であると結論付けている。また、推力の時間履歴の直接的な測定方法として加速度計を用いることを提案し、機械構造的振動の制約から外部磁場なしでの作動条件下に限定されるものの、放電時間と推進剤種をパラメータとした推力波形の取得に成功している。

第4章では、前章の実験系における準定常作動領域内である2msの作動で、短時間作動の簡便性と広域性を生かしたパラメータ探索を行っている。これにより以下の3点を明らかにした。1) 外部磁場を最大800mTまで印可することで推力が増大すること。2) 推進剤として定常作動での放電継続性が悪い水素および定常作動では高コストとなるキセノンを用いた際に、特に水素において推進性能が向上すること。3) 構成変更が簡便な矩形放電室を用いて放電室長さを変更して取得した作動特性と理論推力やエネルギーバランスの観点からの考察の結果、放電室長さごとに外部磁場が推進性能に与える効果が異なっていること。

第5章は結論であり、本論文の研究成果をまとめている。

以上要するに、本研究では、MPDスラスタの準定常作動の定常性について実験的に評価する方法としてウルトラキャパシタとInsulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)を用いた独自開発の電源により最長で従来の10倍程度長い放電時間かつ非定常区間が少なく理想的な矩形波に近い放電波形を達成し、さらにその放電時間幅を可変に制御することで準定常作動の放電時間特性を初めて定量的に調査したうえで、そのような準定常作動の実験系を活かした多様なスラスタ設計・作動パラメータ探索を行うことで実験環境・手法としての準定常作動の有用性を示しており、航空宇宙工学、特に電気推進工学に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。