

# 高密度プラズマを利用した無電極パルス磁場推進機の開発 Development of electrode-less pulsed-magnetic thruster by using high density plasma

吉田聖, 五十嵐一輝, 小田島裕太, 高橋一匡, 佐々木徹, 菊池崇志  
Akira Yoshida, Kazuki Igarashi, Yuta Odashima,  
Kazumasa Takahashi, Toru Sasaki, Takashi Kikuchi

長岡技術科学大学  
Nagaoka University of Technology

近年、宇宙開発における宇宙機の推進システムとして電気推進機の開発や研究が進められている [1-3]。電気推進機は、推進剤に電気エネルギーを与えてプラズマを生成し、そのプラズマ中のイオンまたは中性粒子を加速させて排出することで推力を得る。しかし、推力が低く長期運用が必要となる電気推進機において、有電極放電によるプラズマの生成・加速方式では、電極の侵食損耗に伴う寿命や性能の低下が避けられない [4]。そこで、電気推進機の電極損耗などの影響を低減するため、誘導結合プラズマとパルス磁場を利用した無電極電気推進機の開発を進めている。先行研究により、誘導結合プラズマにパルス磁場を印加することで、プラズマのイオンフラックスが増加することを実証し [5]、より大きな推力増分が得られる外部磁場条件を示した。一方で、イオンフラックスの増加のメカニズムが明らかになっておらず、静電的な加速 [6] や磁気ノズルによる電磁的加速など様々な加速メカニズムが考えられる。また、現在使用しているプラズマ源の電離度が低く、弱電離プラズマであることからパルス磁場に応答する粒子の割合が少ない。本研究では、さらなる推力向上を目指し、推進機の推力に寄与する荷電粒子の密度を高くするために、プラズマに静磁場を印加して、高い電離度を有する誘導結合プラズマとパルス磁場を利用した無電極電気推進機の開発を目的とする。

本装置は、ハーフヘリカルアンテナで 13.56MHz の高周波 (RF) により無電極で推進剤を誘導結合させてプラズマを生成する直径 5cm の RF プラズマ源と、最大 94mT の発散磁場を生成する連結ソレノイドコイルをアンテナを挟むように設置し、プラズマをパルス磁場で加速するためのパルス磁場印加回路、プラズマ計測部からなる実験系で構成され、背後にダンプタンクが設置されている。なお、推進剤として Ar ガスを装置前段から流入させる。パルス磁場の印加には、RLC

放電を用いたパルス電流発生回路と磁場印加用コイルを用いた。パルス電流発生回路はトランスを介して昇圧した後に 156 $\mu$ F のコンデンサに充電される。充電完了後、任意のタイミングでサイリスタを ON にすることでパルス電流が磁場印加用コイルに流れ、パルス磁場が発生する。磁場印加用コイルには、パルス幅 2ms の磁場が印加される半径 40mm のコイルを用いて、誘導結合プラズマにパルス磁場を印加時のイオンフラックスの時間変化を観測した。生成したプラズマの計測にはラングミュアプローブ法を用いた。

本実験では、発散磁場のプラズマ生成への影響を調べるため、発散磁場の有無によるイオン密度の比較を行った。発散磁場の印加により、先行研究で得た電離度よりも、高密度なプラズマを生成した。その後、パルス磁場を印加しイオンフラックスの計測を行った。

本講演では、電離度の違いがイオンフラックスへ与える影響について議論を行う。

## References

- [1] 栗木恭一, 荒川義博: 「電気推進ロケット入門」, 東京大学出版会 (2003)
- [2] 鈴木弘一: 「ロケットエンジン」, 森北出版株式会社 (2004)
- [3] H. Tahara : “Current Status and Prospects of Electric Rocket Propulsion Technology”, J. Plasma Fusion Res., Vol.94, No.2, pp.58-59 (2018)
- [4] 都木恭一郎, 他 : 「ヘリコンプラズマ源を用いた無電極 MPD スラスタの検討」, 宇宙航空研究開発機構特別資料 JAXA-SP-, pp.73-95 (2009)
- [5] K. Hachiya, K. Takahashi, K. Takahashi, T. Sasaki, T. Kikuchi : “Development of Electric Propulsion System Using RF-Plasma with Pulsed Magnetic Field”, The 2017 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace technology: APISAT2017, No.22 (2017)
- [6] K. Takahashi, T. Lafleur, C. Charles, P. Alexander, R. W. Boswell, M. Perren, R. Laine, S. Pottinger, V. Lappas, T. Harle, and D. Lamprou: “Direct thrust measurement of a permanent magnet helicon double layer thruster”, Appl. Phys. Lett., Vol.98, 141503 (2011)