

誘導結合プラズマによる無電極電気推進器中の
イオンエネルギー分布の距離依存性

Distance dependence of ion energy distribution
in electrodeless electrical propulsion using inductively coupled plasmas

小田島裕太、佐々木徹、菊池崇志、高橋一匡

Yuta Odashima, Toru Sasaki, Takashi Kikuchi, Kazumasa Takahashi

長岡技術科学大学

Nagaoka University of Technology

近年、宇宙探査の推進機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投入することでプラズマを生成し、プラズマ中のイオン、中性粒子を加速させて排出することで推力を得る。電気推進機は、推力は低い但比推進力が高く長期の宇宙ミッションに適している。しかしプラズマの生成・加速によって電極がプラズマにさらされ損耗することで寿命や性能の低下が懸念される。そこで、電極損耗による性能低下を回避するため、無電極でプラズマの生成・加速を行う、誘導結合プラズマとパルス磁場を利用したパルス磁場印加型RFプラズマ推進機を開発を進めている。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が示された[4]。しかし、推進機の推力及び比推力に寄与するイオンの速度は計測されておらず、そのメカニズムが明らかになっていない。本研究は、パルス磁場印加型RFプラズマ推進機推力算出に向け、定常プラズマにおけるイオンの速度分布を計測することが目的である。

図1に実験装置の概略図を示す。本装置は、Arガスを導入したのち、ハーフヘリカルアンテナに13.56MHzの電力を印加することで誘導結合プラズマを生成する。プラズマ中のイオンの速度は電界反射型エネルギーアナライザを用いて行う。アナライザは4段のグリッドとコレクタで構成される。1段目のグリッドはアナライザに進入するプラズマを制限する。2段目は浮遊電位よりも低い電位にすることで電子を追い返し、3段目のグリッドの電位 V_d を変動させることでイオンを選別する。4段目はコレクタよりも低い電位にすることで2次電子を抑制、最終段のコレクタによってイオンを電流 I_c として測定する。得られた I_c を V_d で微分することにより、次式からイオンの速度分布を算出する[5]。

$$f(v) = -\frac{m_i}{e^2 A_p} \frac{dI_c}{d(V_d - V_s)}$$

ここで、 m_i はイオンの質量、 V_s はプラズマ電位、 A_p はグリッドの透過率である。

本手法を用いて、投入電力100W、300Wで生成した定常プラズマ中におけるイオンの速度分布をアンテナからの位置を変え、測定を行った。その結果、得られた速度分布はマクスウェル分布に従わず、2つのピークを持つ速度分布が測定された。またアンテナからの位置が遠くなるほどピークが低速側に遷移する特性が得られた。

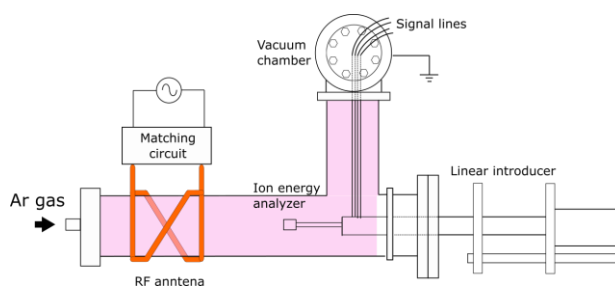


図1 実験装置の概略図

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] 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)
- [5] Christian Böhm, Jérôme Perrin : “Retarding-field analyzer for measurements of ion energy distributions and secondary electron emission coefficients in low-pressure radio frequency discharges”, Rev. Sci. Instrum., Vol. 64, No. 1, pp.31-44(1993)