

磁気ステアリングによるヘリコンスラスタの多方向への推力偏向 Multi-directional thrust deflection of a helicon thruster by a magnetic steering

今井涼二, 高橋和貴
Ryoji IMAI and Kazunori TAKAHASHI

東北大院工
Dept. Electrical Eng., Tohoku Univ.

電気推進機の一つであるヘリコンスラスタは無電極構造であり, 他の種類の推進機と比べて長寿命化や大電力運用が可能と考えられ, 将来の新宇宙探査ミッション等での利用が期待されている. ヘリコンスラスタにおける推力生成過程において, プラズマ誘起の周方向電流 j_θ と外部印加磁場によりローレンツ力 $j_\theta \times B$ が生じ, その反力が磁気ノズルに与えられることで推力の増加につながるということが明らかになっている[1]. 宇宙機には軌道調整のための推力ベクトル制御技術が必要不可欠であり, 新たな制御手法の一つとして, 磁気ノズル偏向による制御(磁気ステアリング)が考案されている[2,3]. これまでに, 磁気ノズル偏向時の推力ベクトルの直接計測[4]やプラズマ源下流でのプラズマ計測[2,4], 数値シミュレーションによる評価[3]等が行われ, 磁気ステアリングによる推力ベクトル制御の検証, 及び物理機構の解明が進められてきた. 筆者らのこれまでの実験では, z 軸に対して x 方向への磁気ノズル偏向が可能なスラスタ構造を用いることで x 方向への推力ベクトル制御の実証を報告している[4].

一方で, 磁気ステアリング技術の確立には x 方向に加えて y 方向への推力偏向も必要であるため, スラスタ構造の改良が必要である. そこで今回, 図 1(a)に示すように中心軸上磁場生成用のソレノイド (S1) に加え, 上下左右に 4 つのソレノイド (S2~S5) を配置し, 多方向への磁気ノズル偏向が可能なスラスタ構造を設計・試作した. また, 9 チャンネルでの同時計測が可能な多チャンネルラングミュアプローブを用いて, プラズマの x - y 分布計測を実施した[図 1(b)].

イオン飽和電流の x - y 平面分布計測結果から, プラズマのプルームが x - y 平面上の任意の方向に偏向される様子が確認された. また, 得られたデータを元に密度勾配起因

の周方向電流を算出し, 計測した平面における $j_\theta \times B$ 起因の磁気ノズルに生じる推力成分を計算した結果, 今回のスラスタ構造を用いることにより, 任意の向きへの推力偏向が可能であることを示唆するデータが得られた. 詳細はプレゼンにて報告する.

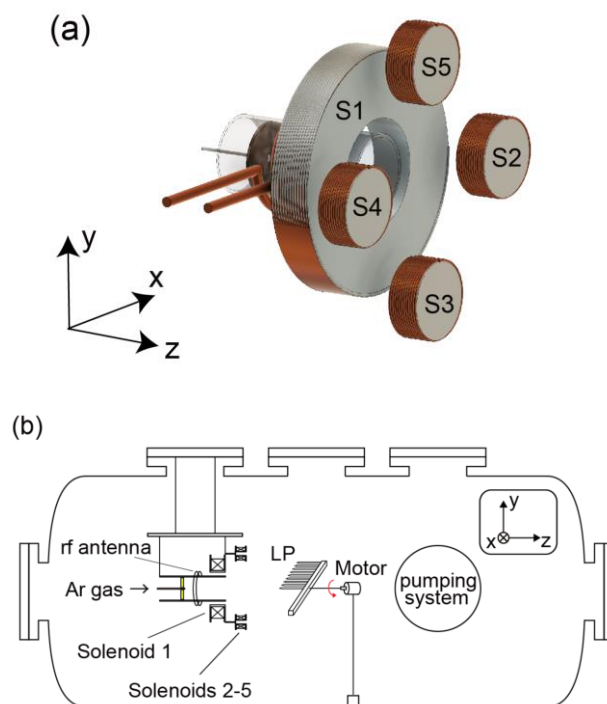


図 1. (a)試作したスラスタ構造, 及び(b)実験装置の概略図.

References

- [1] K. Takahashi, *Rev. Mod. Plasma Phys.* **3**, 3 (2019)
- [2] C. Charles *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **93**, 251501 (2008)
- [3] M. Merino and E. Ahedo, *Plasma Sources Sci. Technol.*, **26**, 095001 (2017)
- [4] R. Imai and K. Takahashi, *Appl. Phys. Lett.*, **118**, 264102 (2021)