

$m = 0$ コイルへの低周波電流印加による無電極プラズマ加速実験
Experiment on Electrodeless Plasma Acceleration
by Applying a Low Frequency Current to $m = 0$ Coil

西村修一, 荒井大介, 桑原大介, 篠原俊二郎
 S. Nishimura, D. Arai, D. Kuwahara, S. Shinohara

農工大工
 TUAT

深宇宙探査には、比推力と呼ばれる燃費を表す指標が、化学推進機に比べ電気推進機が優位である。電気推進機の多くは推進剤をプラズマ化し、静電的・電磁的な作用を加え加速させて排気し推進力を得るものであり、代表例にイオンスラスタがある。イオンスラスタはプラズマ加速の際にプラズマと加速電極が直接接触する為、電極損耗が生じ、スラスタ寿命が制限される。そこで我々はプラズマと電極がプラズマ生成・加速両過程において直接接触しない長寿命電気推進機の開発を行っている[1]。無電極高密度プラズマ生成の研究は高密度ヘリコンプラズマの使用により確立されたといえる。しかし無電極プラズマ加速は未確立であり、本研究室では $m = 0$ コイルを用いた無電極プラズマ加速法について研究[1,2]している。

図1に $m = 0$ 加速法の概念図を示す。真空容器外壁に $m = 0$ コイルを巻き、交流電流 I_{ext} を印加し、電磁誘導によってプラズマ中に j_θ を誘起する。この j_θ と外部磁場の径方向成分 B_r によってローレンツ力 $f_z = j_\theta \times B_r$ を発生させ、プラズマ加速を行う。交流電流を印加する為、1周期間に加速相と減速相が存在する。減速相では後退したプラズマが真空容器中に留まるか、前部放電管壁に衝突するが、系全体では減速しない。本研究室の先行研究より効果的な $m = 0$ 加速法を行うためには、コイル起磁力 NI_{ext} 、周波数 f を大きくすることが良いと分かっている。しかし、 f が大きいと $m = 0$ コイル影響範囲内にイオンがトラップされることも示唆されており、適正な f を選択する必要がある。

図2に本研究室で開発した Small Helicon Device (SHD) [3]を示す。内径20 mm (全長350 mm) 部と内径56 mm (全長125 mm) 部からなる段付き石英管に、プラズマ生成用のダブルハーフターンアンテナ ($m = \pm 1$) と、プラズマ加速用の $m = 0$ コイルを取り付ける。生成されたプラズマは全長865 mm、内径165 mmの真空チャン

バーへと流れ、排気される。放電は1 s毎に100 ms間のパルスであり、 $m = 0$ コイル電流は放電開始から50 ms後に印加する。

図3に $f = 5$ kHz、 $I_{p-p} = 300$ Aの電流印加時の $r = 7$ mm、 $z = 10$ mmでのマッハプローブによるプラズマ流速 v_i の測定結果を示す。これより電流印加によって v_i の増加 (電子密度 n_e も増加) が見られる。本発表では v_i の印加周波数依存性に加えて、 n_e 変化等の詳細な結果を報告する。

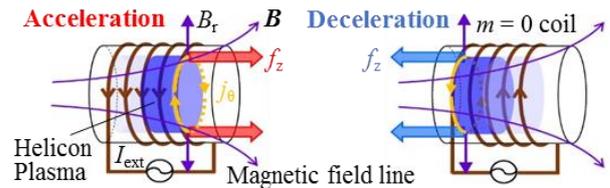


Fig. 1 Concept of $m = 0$ acceleration.

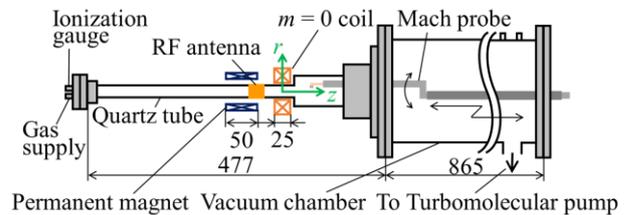


Fig. 2 Experimental setup in SHD.

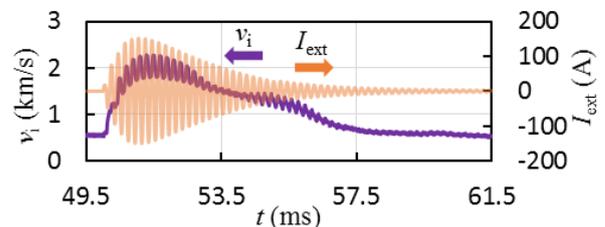


Fig. 3 Time evolution of plasma velocity with $m = 0$ coil antenna current.

- [1] Shinohara, S. *et al.*, IEEE Trans. Plasma Sci. **42** (2014) pp. 1245-1254.
- [2] Ishii, T. *et al.*, JPS Conf. Proc. **1** (2014) pp. 015047-1~7.
- [3] Kuwahara, D. *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **84** (2013) pp. 103502-1~4.