

# 無電極電気推進の為の $m = 0$ コイルプラズマ加速に関する数値的研究

## Numerical Study of Plasma Acceleration Using an $m = 0$ Coil for Electrodeless Electric Thruster

山川雄大, 高橋聖幸, 大西直文

Yudai YAMAKAWA, Masayuki TAKAHASHI, Naofumi OHNISHI

東北大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Tohoku University

### 1 緒言

比推力の大きな電気推進は、長期間宇宙探査の推進システムとして有望である。現行の電気推進では、推進剤であるプラズマ中の高エネルギー荷電粒子と加速電極の衝突による電極損耗により、探査機の寿命が制限されてしまう。この問題を解決する為に、プラズマ生成と加速に於いて、接触電極を一掃した無電極電気推進が幾つか提案されており、 $m = 0$  ( $m$  は周方向モード) コイルを用いたプラズマ加速法もその一つである [1]。この方法では、推進機外壁に巻かれたコイルに交流電流を流す事で、電磁誘導により電子を回転させて周方向電流  $j_\theta$  を駆動し、磁気ノズルの半径方向磁場  $B_{MN,r}$  とのローレンツ力  $F_L = j_\theta \cdot B_{MN,r}$  によって電子を軸方向に加速する。先行電子に起因する電荷分離により生じた電場がイオンを推進機下流へと駆動する。実際に、実験に於いてイオン流速の増加が見られたが、加熱や圧力勾配による加速等他の要因も示唆されており、推進機として実現する為には加速機構の詳細な解明が望まれる [2]。本研究では、数値計算による  $m = 0$  コイルプラズマ加速法の加速機構解明を目指して二次元軸対称流体コードを構築し、ローレンツ力による加速に注目してプラズマ内部の現象を調査した。

### 2 数値モデル

支配方程式は、電子及びイオンに対する連続の式、運動方程式、周方向電場  $\widetilde{E}_\theta$ 、半径方向磁場  $\widetilde{B}_r$ 、軸方向磁場  $\widetilde{B}_z$  を求める為の Maxwell 方程式、 $r - z$  平面での静電ポテンシャルを求める為の Poisson 方程式である。周方向電子電流密度を介して流体計算と電磁場計算を結合する。

### 3 結果

初期数密度  $10^{19} \text{ m}^{-3}$  のプラズマを配置し、平均半径  $r = 52 \text{ mm}$ 、軸方向位置  $z = 75 \text{ mm}$  のコイルに振幅  $150 \text{ A}$ 、周波数  $200 \text{ kHz}$  の交流電流を印加した。

プラズマの遮蔽効果により、変動磁場の浸透領域、電子の軸方向加速による電荷分離はプラズマ表面付近に限定された。又、プラズマ表面付近で強いイオン加速が得られた。従って、ローレンツ力による加速はプラズマ表面付近でのみ効果的であると考えられる (Fig. 1)。

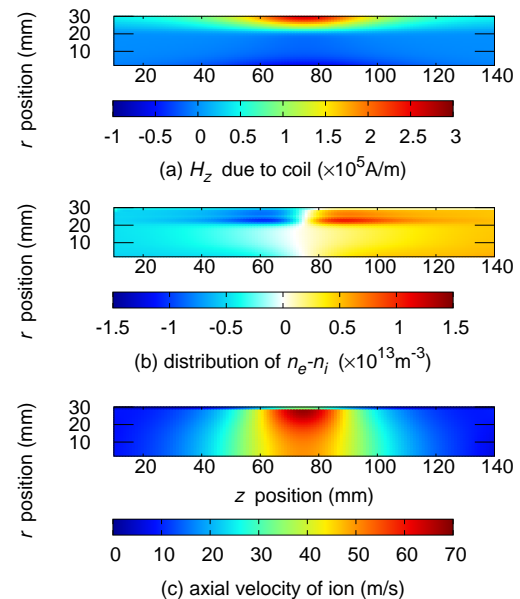


Fig. 1 Distributions of (a) variable magnetic field, (b) difference of number density, and (c) axial ion velocity.

### 4 結言

二次元軸対称数値計算によって、 $m = 0$  コイルを用いた場合のプラズマ加速について調査した。電磁場はプラズマ表面のみにしか浸透せず、ローレンツ力によってプラズマ全体を加速するには電磁場を浸透させるか、ガラス管直径を小さくする必要がある。

[1] S. Shinohara *et al.*, J. Plasma Fusion Res. **91**, No. 6, pp. 412–428 (2015)

[2] S. Shinohara *et al.*, IEEE Trans. Plasma Sci. **42**, pp. 1245–1254 (2014).