PIC/MCC 法によるマイクロ ECR プラズマスラスタの数値解析

PIC/MCC Analysis of a Micro ECR Plasma Thruster

^O上野佳祐¹, 森大輔¹, 鷹尾祥典¹, 江利口浩二¹, 斧高一¹(1.京大院工)

[°]Keisuke Ueno¹, Daisuke Mori¹, Yoshinori Takao¹, Koji Eriguchi¹, and Kouichi Ono¹ (1.Kyoto Univ.)

E-mail: ueno.keisuke.65m@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

近年,小型宇宙機の開発が活発に行われており、ミッションコストを減らす試みがなされている. そして,小型宇宙機の推進システムは,高精度の位置制御,姿勢制御の必要性からさらなる小型化が 求められている.

2. マイクロ ECR プラズマスラスタ

Fig. 1 に我々の開発した新しいタイプの無電極マイクロ ECR スラスタの概略を示す. このマイクロ スラスタは、石英のマイクロプラズマチャンバとそれを囲む永久リング磁石、石英管で覆われたマイ クロ波アンテナとによって構成される. 推進剤は Xe であり、プラズマは 10 W 以下、4 GHz のマイク ロ波を用いた ECR 放電によって生成される. リング磁石の作る発散磁場による磁気ノズルでイオンが 加速され、推力を得る.

3. 計算手法

本計算では粒子モデル (Particle-in-Cell/Monte Carlo Collision: PIC/MCC) を用いて[1],加速部でのプラズマ密度,静電ポテンシャル,粒子速度の解析を行った.粒子として Xe⁺と e⁻の 2 種類を考慮し, イオン-中性粒子間衝突 (運動量輸送,電荷交換) と電子-中性粒子間衝突 (運動量輸送,電離)を扱った.静電ポテンシャルはポアソン方程式を解くことで求め,得られる静電場とリング磁石による印加 磁場を用いて粒子の運動を計算した. Fig. 2 に計算領域を示す (Fig. 1 中赤枠部分). 円筒軸対称を仮定 し,グリッド幅は 0.1 mm とした. 固体壁上でポテンシャルは 0 V とし, z 軸上は反射境界,残りの境 界は無限境界とした. Plasma Generation Area におけるプラズマ密度を一様かつ一定 (1×10¹⁶ m⁻³) とし, 中性粒子の圧力と温度は計算領域で一定 (0.5, 1.0, 2.0 mTorr, and 300 K) と仮定した.

4. 計算結果

Fig. 3 に中性粒子の圧力が 0.5 mTorr のときのイオン密度とz方向イオン速度の 2 次元分布,あわせ て印加磁場の磁力線を示す.これらの結果から、生成されたイオンは印加磁場によって閉じ込められ ていることがわかる.また、加速部へ拡散したイオンは、発散磁場の作る磁気ノズルによって 12 mm < z < 30 mm の範囲で 1000 m/s 以下から 3000 m/s 以上 (0.7 eV 以下から 6 eV 以上) へと加速されている ことがわかる.リング磁石の形状および位置の最適化による推力上昇が今後の課題である.







Fig. 2. Simulation area.



Fig. 3. Two-dimensional distributions of the ion (a) density and (b) velocity in the z-direction.

[1] Y.Takao et al., Plasma Sources Sci. Technol. 23, 064004 (2014).