

流体および粒子モデル計算による外部回転磁場の円柱プラズマ内への浸透

山之口 和輝 [1]; 羽田 亨 [1]; 篠原 俊二郎 [2]
[1] 九大総理工; [2] 東京農工大・工

Penetration of external Rotating Magnetic Field (RMF) into cylindrical plasma in the fluid and particle simulation models

Kazuki Yamanokuchi[1]; Tohru Hada[1]; Shunjiro Shinohara[2]
[1] ESST, Kyushu Univ; [2] Inst. Eng, TUAT

Electric thrusters, characterized with high specific impulse, are considered to be useful for long-term space missions in outer space. The specific impulse of these electric thrusters is much higher than that of chemical thrusters. On the other hand, the electric thrusters (e.g., ion engine) have electrodes inside, and accelerated particles collide with the electrodes. The performance of many of the conventional electric thrusters is limited by this electrode wastage. In order to overcome this difficulty, we have been engaging in the research and development of the next generation thrusters in which electrodes do not contact with the plasma directly (the Helicon Electrodeless Advanced Thruster project)[1].

Stable production of a dense and low temperature plasma using helicon waves is well established experimentally [2]. As for the plasma acceleration, among several different types of schemes we consider, in this presentation we discuss the concept utilizing the Rotating Magnetic Field (RMF). In this scheme, the transverse magnetic field drives the azimuthal electron current, which in turn pushes the plasma via the Lorentz force (i.e., the electron current times the background magnetic field). This concept has been developed primarily for an application to the plasma confinement in the field-reversed configuration [3]. If the background magnetic field has a finite radial component, axial component of the Lorentz force is generated, which can be used as a thruster power [4].

We will show results of numerical modeling of the RMF in a cylindrical plasma, computed by the fluid simulation and also by the Particle-in-cell simulation using VORPAL. PIC simulation of the FRC is being developed recently [6]. On the other hand, the PIC simulation of the RMF with application in the electric thrusters is an open issue. We will examine the magnetic field penetration, azimuthal electron current production, and dependence of these to various plasma and field parameters. Details of the computations will be given in the presentation.

宇宙空間における長期間のミッションには高比推力の電気推進機関が有効であり注目されている。これは生成したプラズマを加速させ推進力を得るもので、化学推進に比べ非常に高い比推力を特徴に持つ。一方、イオンエンジンなどの既存の電気推進機関の多くは内部に電極を有する。これが加速した荷電粒子と直接接触することで電極摩耗を生じ、推進機関の寿命を制限するため大きな問題となっている。この現状を踏まえ、我々はプラズマの生成と加速の両段階ともに電極にプラズマが直接接触しない完全無電極型の新しい電気推進機関の研究を行っている (HEAT プロジェクト) [1]。

このプロジェクトにおいて、無電極型プラズマ生成はヘリコン波を用いることにより、安定的に高密度・低温度プラズマが得られることが実験的にほぼ確立している [2]。無電極型プラズマ加速としては様々な方法が考えられているが、本研究では回転磁場 (RMF) 型の加速機構を扱う。RMF 型加速は円柱プラズマに対して、その軸と垂直方向に回転外部磁場を印加することで、プラズマ内部に周方向の定常電子電流を誘起する。これは核融合分野で知られた、回転磁場による磁場逆転配位のプラズマ閉じ込め (FRC) の方法と同じものである [3]。さらに背景磁場に径方向成分があれば (発散磁場配位であれば)、励起された電子電流と背景磁場とのローレンツ力により軸方向の定常推進力が得られるはずである [4]。

RMF 型のプラズマ加速が成立するための必要条件は、実際に回転磁場がプラズマ内に浸透することである。本講演では、円柱プラズマでの RMF の計算モデルについて、流体および粒子 (PIC) 数値シミュレーションを行った結果を発表する。円柱プラズマを流体として扱い、回転外部磁場を境界条件として与えて発展方程式系を解くことにより、プラズマ内への磁場浸透を定量的に評価することができる [5]。さらに VORPAL コードを用い、PIC シミュレーションでの計算も行う。核融合分野においては FRC の計算が行われているが [6]、推進機関として粒子法を用いた RMF の計算はほとんど行われていない。より現実的なパラメータで外部磁場浸透、周方向誘起電子電流、プラズマ散逸などの考察を行い、流体計算と粒子計算の比較を行った結果を報告する。

[1] 文部科学省科学研究費基盤研究 (S)、ヘリコン源を用いた先進的無電極プラズマロケットエンジンの研究開発、代表 篠原俊二郎、平成 21-25 年度。

[2] cf. Shinohara, S. et al., Phys. Plasmas vol. 16, 057104, 2009.

[3] Jones, I. R., Phys. Plasmas vol. 6, 1950, 1999.

- [4] Inomoto, M., I.E.E.J. Trans. vol. 128, 319, 2008.
- [5] Milroy, R. D., Phys. Plasmas vol. 6, 2771, 1999.
- [6] D.R.Welch, et al., J. Fusion Energ. Vol. 29, 584, 2010