

回転外部磁場による非一様密度プラズマ内への磁場浸透

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 rotating magnetic field into the non-uniform cylindrical plasma

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 such as those to outer planets. On the other hand, the performance of many of the conventional electric thrusters (e.g., ion engines) is limited by electrode wastage. In order to overcome this difficulty, we have initiated the HEAT (Helicon Electrodeless Advanced Thruster) project [1], in order to pursue research and development of completely electrodeless thrusters (the electrode does not border on plasma directly).

Among several different types of electrodeless plasma acceleration schemes we propose, in this presentation we discuss the acceleration concept utilizing the Rotating Magnetic Field (RMF), which has been developed primarily for an application to the plasma confinement in the field-reversed configuration [3]. In this scheme, a rotating external magnetic field is applied to the cylindrical helicon plasma [2], in such a way that the external magnetic field drives the azimuthal electron current. If the background magnetic field has a finite radial components, axial Lorentz force is generated, which can be used as a thruster power [4].

We will show the results of numerical modeling of the interaction between the cylindrical plasma and the RMF. In the past, numerical modeling of the RMF has been studied assuming a uniform density profile in the cylindrical plasma geometry [5]. We have shown that three essential, non-dimensional (normalized) parameters in the system depend on the plasma dissipation, the RMF magnitude and the radial magnetic field strength in the uniform density of plasma. However, the plasma density in the actual experiments is non-uniform and becomes low near the boundary. In comparison with the above-mentioned results, fraction of the magnetic field penetration into the plasma as well as the penetration space scale and time scale will be discussed in detail.

惑星探査などの長期ミッションにおいては比推力の高い電気推進機関が有効であり注目されている。これは推進剤としてプラズマを用い、これを加速することにより推進力を得る方法である。一方、イオンエンジン等、既存の多くの電気推進機関は有電極型のため、プラズマとの接触による電極摩耗による寿命の制限が大きな問題となっている。この現状を踏まえ、我々はプラズマ生成、プラズマ加速の両段階ともに電極がプラズマに直接接していない完全無電極型の新しい電気推進機関の開発研究を始動した(HEATプロジェクト)[1]。

無電極プラズマ生成はヘリコン波を用いることにより、安定に高密度・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]。無電極プラズマ加速としてはいくつかの方法が考えられるが、本研究では回転磁場(RMF)型の加速機構について発表する[3]。この方法では、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かけることにより、プラズマ内部に周回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。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]。

本講演では、発散磁場のもとでのRMF機構について、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。径方向磁場の無い場合については幾つかの計算結果があるが[5]、これらでは円柱内のプラズマ密度は一様と仮定されている。しかし、実際の円柱プラズマ内のプラズマ密度は非一様であり、壁近傍ほどプラズマ密度は低くなる。この非一様密度の円柱プラズマをモデル化し、プラズマ密度が一様な場合と比較し、プラズマ散逸、外部磁場強度、そして径方向磁場の主要パラメータに依存してどのように磁場浸透の空間スケール及び時間スケールが決まるかを議論する。

[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.