

流体および粒子モデル計算によるRMF型加速機構の磁場浸透の研究

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

Study of the magnetic field penetration in the RMF acceleration scheme by the fluid and particle simulation models

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

As announced at several times of SGEPS conference, 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]. As for the plasma acceleration, among several different types of schemes we consider, we examine the concept utilizing the Rotating Magnetic Field (RMF) acceleration.

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 [2]. 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 [3].

About the acceleration mechanism of the RMF concept, we discussed the dependence on parameters (RMF strength, angular frequency, plasma radius, plasma resistivity, plasma density and so on) of the penetration rate in the plasma due to RMF in the fluid and particle model.

In the fluid calculation model, we can evaluate the magnetic field penetration into the plasma by solving the evolution equation system which treats cylindrical plasma as fluid, and gives the external rotating magnetic field as boundary condition [4][5][6][7]. We calculate the fluid model with high mode.

PIC simulation of the FRC is being developed recently [8]. The PIC simulation of the RMF with application in the electric thrusters did not study before. Therefore, we also calculated the Particle-In-Cell simulation using the VORPAL code. It is not realistic to calculate plasma density with a real value because very long time is necessary. But we can set high collision frequency and calculate with real parameters by setting dense neutral gas. Furthermore, in the particle model, a particle escapes along the line of magnetic force direction and particles gather in the center by ponderomotive power. We have not yet known how these particles behavior influence on the penetration rate and penetration time due to RMF.

These fluid and particle models are organized by using two dimensionless parameters, and the plasma parameters used more realistic values (external RMF strength, angular frequency, the plasma density and so on). We discussed that how the magnetic field penetration depends on two dimensionless parameters in both results of fluid model and particle model, comparison of two models and particle behavior in the particle model. We will show results of numerical modeling of the RMF in cylindrical plasma, computed by the fluid simulation and also by the Particle-in-cell simulation.

これまで何回かのSGEPSS講演会にて発表してきたように、我々は完全無電極型の新しい電気推進機関の開発を目指し、HEATプロジェクト[1]として研究をすすめている。その中で著者たちは、回転磁場(RMF)型の加速機構について考察している。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[2]。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[3]。

RMF型の加速機構について、これまで回転外部磁場のプラズマ内への浸透度合い、浸透時間のパラメータ(回転磁場強度や回転周波数、プラズマ半径、プラズマ抵抗率、プラズマ密度など)への依存性を流体モデルと粒子モデルによって議論した。流体モデルの計算では、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][6][7][8]。さらに流体モデルでは回転磁場のモードのカップリングが起こるため、より高次モードでの計算を行う。

粒子モデルは核融合分野においてはFRCの計算が行われているが[9]、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。そこで粒子法での計算が可能なVORPALコードを用いてParticle-In-Cellシミュレーションの計算もあわせて行う。プラズマ密度などを実際の値で計算することは非常に長時間の計算時間が必要になるため現実的ではないが高密度の中性ガスを設定することで衝突周波数を高く設定することが可能になり実際の環境に近い状態での計算を行う。また、粒子モデルの計算結果には粒子が磁力線方向に沿って逃げ、また粒子がポンドロモティブ力により中心に集中する挙動が見られた。これらが磁場の浸透度合いや浸透時間に対してどのような影響を与えるかまだ分かっていない。

このような流体モデルと粒子モデルを流体モデルの無次元化によって得られる2つのパラメータで整理し、さらに与

えるパラメータは可能な限り現実的な値を用いた。無次元パラメータに依存してどのように磁場浸透に影響を与えるか、また、二つのモデルでの比較、さらに粒子モデル計算において見られる粒子の挙動を明らかにすることを目指し計算を行い、数値シミュレーションを行った結果を発表する。

[1] Grants-in-Aid for Scientific Research (S) Research and Development of a Novel Electrodeless Plasma Rocket Engine Using a Helicon Source FY2009-2013, *This work was supported by the Grants-in-Aid for Scientific Research under Contract , No.(S)21226019 from the Japan Society for the Promotion of Science.

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

[3] Inomoto, M., I.E.E.J. Trans. vol. 128, 319, 2008.

[4] Milroy, R. D., Phys. Plasmas vol. 6, 2771, 1999.

[5] I.R.Jones, et al., J. Plasma Phys., Vol. 26, part3, 441, 1981.

[6] W.N.Hugrass, et al., J. Plasma Phys., Vol. 26, part3, 455, 1981.

[7] W.N.Hugrass, J. Phys., Vol. 51, 859, 1998.

[8] D.R.Welch, et al., J. Fusion Energ., Vol. 29, 584, 2010.