

## 全粒子シミュレーションによる磁気プラズマセイルの推力解析

# 芦田 康将 [1]; 船木 一幸 [2]; 山川 宏 [3]; 梶村 好宏 [4]  
[1] 京大・生存研; [2] JAXA; [3] 京大・生存圏; [4] 宇宙研・JAXA

### Two-dimensional particle-in-cell simulation of magneto plasma sail

# yasumasa ashida[1]; Ikkoh Funaki[2]; Hiroshi Yamakawa[3]; Yoshihiro Kajimura[4]  
[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] JAXA; [3] RISH, Kyoto Univ.; [4] ISAS,JAXA

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp>

The magnetic sail is a spacecraft propulsion system using the interaction between the magnetic field and the solar wind (Zuburin et al. 1991). Using the solar wind, which is a super sonic plasma flow mainly consisting of protons and electrons, the magnetic sail provides the efficient thrust in the deep space exploration. In addition, MPS (Magnetic Plasma Sail), or M2P2 (Mini Magneto Plasma Propulsion) is proposed (Winglee et al. 2000). MPS inflates the original magnetic field by a plasma injection from the spacecraft and MPS is expected to be able to provide a large thrust with a small coil size. As the previous researches, several numerical simulations have been performed to calculate the thrust of Magnetic Sail and MPS. For a very large magnetosphere, where the ion finite Larmor radius effect can be neglected (MHD scale), MHD simulations are appropriate to evaluate the thrust with the single fluid approximation. If the ion finite Larmor radius effect should be considered (Ion inertial scale), Hybrid-PIC (Particle-In-Cell) simulations, which treat ions as particles and electrons as a fluid, are used. In the present study, we conduct a 2D Full-PIC simulation for a very small magnetosphere (several 100 m to several 1000 m, Electron inertial scale) generated by MPS because the thrust characteristics in this scale are still unknown. The Full-PIC simulation treats both ions and electrons as particles and charge separation is considered. Hence we particularly analyze the MPS in terms of how the thrust is affected by charge separation and what injection plasma parameters enhance the thrust efficiently. As a result, it is revealed by 2D Full-PIC simulation that the charge separation and electron Larmor motion affect the thrust of the magnetic sail. In addition, the mechanism how the magnetic field interacts with the solar wind and how the magnetic sail generates thrust depends on the magnetospheric size. MPS simulations also revealed that the MPS could generate efficient thrust. By the plasma injection, the thrust of MPS (15 micro N/m) becomes up to 5 times larger than the original thrust of magnetic sail (3 micro N/m). The efficiency defined as MPS thrust / (Magnetic sail thrust + Plasma injection) is 270%. The thrust of MPS depends on the plasma injection manner. When the high-energy electron beam and thermal ion with low energy are injected, the efficiency becomes highest. It is expected that more efficient parameters should be found by parametric study about injection energy and injection angle in the future work.

磁気セイルは太陽風と宇宙機から発生させた磁場との相互作用により人工の磁気圏を形成し、太陽風を受け止めることによって推力を発生させる推進システムである (Zuburin et al., 1991)。太陽風という自然エネルギーを利用することで、既存の推進システムに比べて高効率の推力発生が可能になると期待されている。さらに磁気プラズマセイル (MPS) と呼ばれる推進システムが提案され、宇宙機から少量のプラズマを噴射することによってより大きな推力を発生させることができるとされた (Winglee et al., 2000)。過去の研究では、プラズマ粒子のラーマー運動が無視できるような MHD スケール、イオンのラーマー運動のみを考える必要があるイオンスケールでの推力特性の検討が行われてきた。本研究では、小型実証機で想定される数 100 m から数 km 程度の磁気圏サイズ (電子スケール) を対象として Full-PIC (Particle-In-Cell) シミュレーションを用いた磁気セイル / 磁気プラズマセイルの推力解析を行う。結果として、電子スケールの磁気セイルの推力発生には、磁気圏境界面での電荷分離及び電子のラーマー運動が強く影響することがわかった。また、人工磁気圏の形成過程や推力発生の仕方は、磁気圏サイズに依存することもわかった。磁気プラズマセイルの解析では、宇宙機からのプラズマ噴射によって推力が最大で 5 倍になるパラメータ設計を行った。具体的には、高速の電子ビームとそれを中和する低温のイオンを噴射することで、磁気プラズマセイル推力 / (磁気セイル推力 + プラズマ噴射による推力) で定義する効率が 270% を超えることがわかった。また推力の増加は、プラズマの噴射エネルギーや噴射角度等に依存するため、今後の検討によってより効率的な推力発生が可能となると期待できる。

