

3次元ハイブリッド粒子シミュレーションによるプラズマセイルの推進性能評価

Thrust Evaluation of Plasma Sail

Using Three-Dimensional Hybrid Particle-in-Cell Code.



梶村好宏¹⁾、船木一幸¹⁾、篠原 育¹⁾、臼井英之²⁾、松本 正晴¹⁾、上野一磨³⁾、大塩裕哉³⁾、山川 宏⁴⁾
 1)宇宙航空研究開発機構、2)神戸大学工学研究科、3)総合研究大学院大学、4)京大大学生存圏研究所
 Yoshihiro KAJIMURA¹⁾, Ikkoh FUNAKI¹⁾, Iku Shinohara¹⁾, Hideyuki USUI²⁾, Masaharu Matsumoto¹⁾,
 Kazuma Ueno³⁾, Yuya Ooshio³⁾, Hiroshi YAMAKAWA⁴⁾

1)Japan Aerospace Exploration Agency, 2)Kobe University, 3) The Graduate University for Advanced Studies, 4)Kyoto University

概要

惑星間宇宙航行システムとして提案されている磁気プラズマセイル(MPS)は、宇宙機の周辺に人工的なダイポール磁場による小規模磁気圏を作り、それを宇宙機からのプラズマ噴射にて広範囲に展開させ、太陽風を受け止めて推力を得る。

MPSの推力伝達メカニズムについては、Ideal MHD (MagnetoHydroDynamics)を用いた数値シミュレーションによって明らかにされ、以下の知見が出されている。

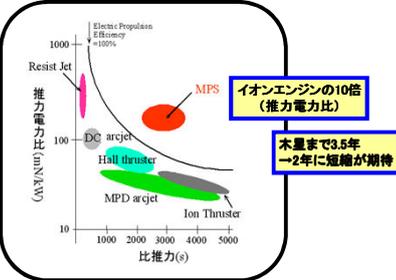
***噴射したプラズマが超音速である場合、磁気圏境界面に流れる太陽風起源の誘導電流によって生じる誘導磁場が、宇宙機から超音速で噴射したプラズマによって打ち消されてしまい、コイルに生じる電磁学的な推力は0となる。**

***よって、MPSにおいて、推力を得るためには、磁気圏拡大の為に噴射するプラズマを、亜音速以下の流速(噴射プラズマのβ値を1以下)となるよう工夫する必要がある。**

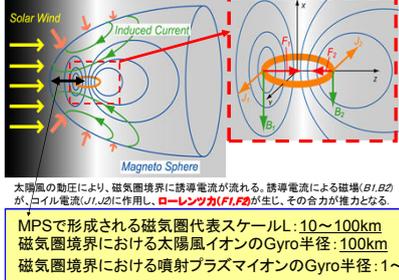
本研究では、現実的なMPSにおいて想定される磁気圏(太陽風イオンのローマー半径>磁気圏スケール)において、有限ローマー半径効果を考慮したハイブリッド粒子モデルを用いた数値解析によって、MHDモデルから出された結論を確かめるべく検討を行い、推力の定量的評価を行う。



磁気プラズマセイル(MPS)の性能



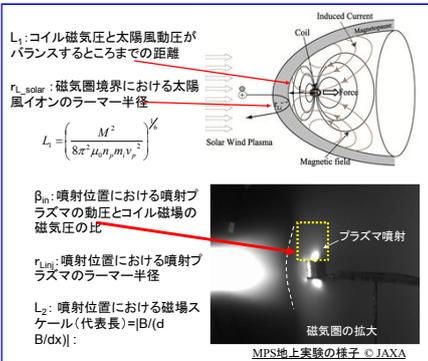
推力発生メカニズムと磁気圏代表スケール



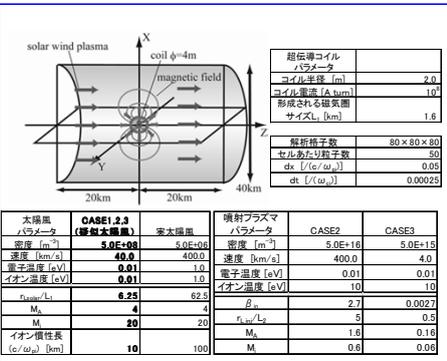
シミュレーションで用いる基礎式

太陽風、噴射プラズマイオンの有限ローマー半径効果を考慮すべく、イオンを粒子、電子を流体として取り扱うハイブリッドモデルを用いる。
 イオンの運動方程式 $m_i \frac{dv_i}{dt} = Ze(E + v_i \times B)$ (e: 電子, i: イオン)
 電子の運動方程式 → 質量を0と仮定 $m_e \frac{dv_e}{dt} = -en_e(E + v_e \times B - \eta J) - \nabla p_e$
 アンペアの法則 $\nabla \times B = \mu_0(J_e + J_i)$
 ファラデーの法則 $\frac{\partial B}{\partial t} = -\nabla \times E$
 電流密度 $J_e = -en_e v_e, J_i = en_i v_i$
 電場の計算式 $E = \frac{1}{Zen_i} \left[\frac{1}{c} (\nabla \times B_p) \times B - J \times B - ZT_e \nabla(n_i) \right], \nabla^2 \phi = 0$ (真空領域)
 電磁場の解法にはCAM-QL法 (Current Advance Method and Cyclic Leapfrog)を用いた。

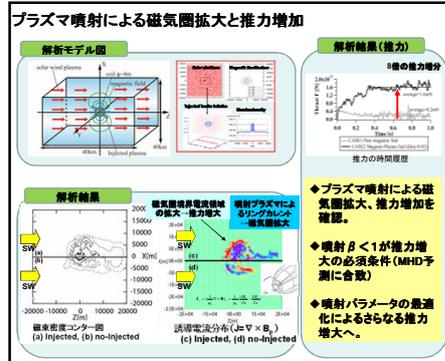
MPSにおける重要なパラメータ



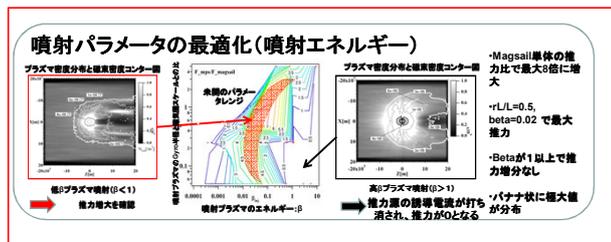
解析モデル図とパラメータ



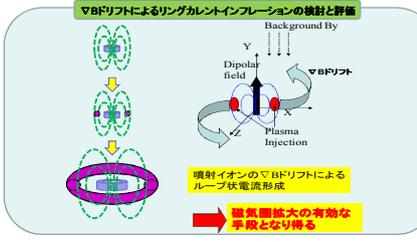
磁気プラズマセイルの推力評価



磁気プラズマセイルの推力評価と推力最適化



さらなる効率化、大推力化に向けた磁気プラズマセイルの改良とその評価



今後の課題と方針

本解析では、理想的な等方噴射を仮定し、最大8倍(プラズマを噴射後)の推力増分が得られることを示した。また、局所噴射による推力増分も評価した。今後の課題として以下を挙げる。

- >低エネルギー噴射(リングカレントインフレーション)による磁気圏拡大の評価と得られる推力の定量的評価。
- >コイルの磁気モーメントが太陽風に対して垂直なケースの実験の実施。
- >IMF強度、方向を考慮した際の推力特性の変化や推力ベクトル、トルク特性を評価し、MPSIにおける安定姿勢を決定する。
- >イオンエンジンなどの推進システムと比較した際の優位性を得るための改良。

Presented by Yoshihiro Kajimura
 梶村好宏
 宇宙科学研究所
 〒252-5210 神奈川県横浜市
 中央区自由が丘4-1-1(A-3809)
 Tel.050-3362-5271 Fax.042-759-8570
 E-Mail: kajimura@gs.nas.jaxa.jp

