

宇宙線修正衝撃波の安定性問題 Stability problem of cosmic ray modified shock

齋藤 達彦^{1*}, 星野 真弘¹

Tatsuhiko Saito^{1*}, Masahiro Hoshino¹

¹ 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

¹EPS, The University of Tokyo

エネルギーが $10^{15.5}$ eV までの宇宙線は主に銀河系内で起きた超新星爆発が起源と考えられている。爆発時に発生する衝撃波が宇宙空間を伝播していく過程で高エネルギー粒子が生成される。こうした衝撃波における粒子加速理論として一般的なのが Bell (1978)、Blandford & Ostriker (1978) 等によって提唱された、Diffusive Shock Acceleration (DSA) 理論である。しかしながら、DSA 理論によって実現可能な最大加速エネルギーは、 10^{14} eV にとどまり、観測結果とオーダーで1桁のギャップが存在するため、DSA 理論のみでは、宇宙線の加速問題を十分には説明できず、これは、未だ解決されていない問題である。

この問題に対して、1つの知見を与えるのが、Drury & Volk (1981) らによって提唱された、「宇宙線修正衝撃波」である。この系では、衝撃波近傍で加速された宇宙線が衝撃波に対して反作用を及ぼし、衝撃波の圧縮率をより高めて、さらに高エネルギーな粒子を生成できるようになる。近年の超新星残骸の観測からも、このメカニズムが働いていることで、下流の熱的プラズマの温度が Rankine-Hugoniot 関係から与えられる値よりも低くなっていることが示唆されており (Hughes 2000, Helder et al. 2009)、衝撃波での粒子加速において非線形修正加速が十分に考慮される可能性がある。

本研究では、Drury & Volk によって提案された「2流体モデル」を用いて、この機構を議論した。背景プラズマと宇宙線からなる系では、Rankine-Hugoniot 関係を満たす衝撃波解が複数存在する場合がある。この時、それぞれの解を数値計算によって時間発展させると、それぞれの解の間で、衝撃波構造の遷移が見られ、安定解と不安定解が存在することが分かり、宇宙線は圧力が最大または最小になるように変化していく。さらに、不安定解においては衝撃波の構造遷移過程で衝撃波波面が波打つ波形不安定がおきることが、Mond & Drury 1998 によって理論的に予測されているが、本研究では2流体モデルの2次元シミュレーションを行い、この不安定性について調べた。

キーワード: 宇宙線, 衝撃波加速, 安定性

Keywords: cosmic rays, shock acceleration, stability

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PEM026-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

太陽風と局所的磁場を持つ誘電物体との相互作用に関する2次元プラソフシミュレーション

Vlasov simulation of the interaction between the solar wind and a dielectric body with magnetic anomaly

伊藤 陽介^{1*}

Yosuke Ito^{1*}

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹ Solar-Terrestrial Environment Laboratory

月のような固有磁場を持たない誘電物体に太陽風が当たると、夜側にウェイクと呼ばれる真空の領域が形成される。これは太陽風速度がイオンの熱速度に比べてはるかに大きく、イオンが月の夜側に侵入することができないためである。ところが、2009年に日本の月周回衛星「かぐや」が月面上空100kmよりイオン密度、電子密度、磁場の観測を行ったところ、ウェイク内部にてイオンが観測された。これは月表面の磁気異常とIMFとの相互作用により、月昼側の太陽風イオンが散乱・加速され、月裏側に侵入したためと考えられている。本研究では月に見立てた誘電物体に弱いダイポール磁場を配置し、太陽風との相互作用についての2次元プラソフシミュレーションを行った。磁気異常によって散乱された太陽風イオンの軌道について調べる。

PEM026-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

BENの低周波成分の励起メカニズムに関する粒子シミュレーション Particle simulations about generation mechanism of low frequency component of BEN

広野 哲也¹, 三宅 壮聡^{1*}, 大村 善治², 小嶋 浩嗣²

Tetsuya Hirono¹, Taketoshi Miyake^{1*}, Yoshiharu Omura², Hirotsugu Kojima²

¹ 富山県立大学, ² 京都大学生存圏研究所

¹ Toyama Prefectural University, ² RISH, Kyoto University

地球磁気圏のプラズマシート境界層を始めとする様々な領域で広帯域静電ノイズ (BEN) が観測されている。BENの波形は Geotail 衛星の観測結果によって、静電孤立波 (ESW) の孤立したパルス状の波形によって構成されていることが確認された。しかし、BENの高周波成分は ESWとして説明できるが、その低周波成分の波動モード、励起メカニズムに関しては未解明である。本研究では BENの低周波成分が、その高周波成分である ESWと同様にビーム不安定性の非線形発展の結果励起されるという仮定に基づき、ビーム不安定性からの低周波波動励起に関する2次元粒子シミュレーションを行った。観測結果によると BENの低周波成分は磁場に垂直方向に振動している。そこで、ビーム不安定性の長時間発展の結果現れる磁場に垂直方向の低周波波動に着目し、そのパラメータ依存性について検討した。

シミュレーションを実行した結果、磁場が強くイオンの磁場に垂直方向の温度が高い場合では、初期段階において磁場に垂直方向に揃ったポテンシャル構造を持つ ESW が励起され、さらに時間が経過すると、磁場に垂直方向の波動が成長した。このシミュレーションで得られた電界をフーリエ解析した結果、BENの低周波成分に見られるような磁場に垂直方向の広帯域な低周波波動が確認できた。さらに様々なパラメータでシミュレーションを実行、比較することで低周波波動が励起される条件を検証した。

キーワード: 広帯域静電ノイズ, 粒子シミュレーション, 低周波プラズマ波動

Keywords: Broadband Electrostatic Noise, Particle simulation, Low frequency plasma wave

磁気回転不安定性の非線形段階における初期磁場構造の影響

The influence of the initial magnetic field configuration on the nonlinear state of MRI

齋 和人^{1*}, 寺田 直樹¹, 加藤 雄人¹, 松本 洋介²

Kazuhito Sai^{1*}, Naoki Terada¹, Yuto Katoh¹, Yosuke Matsumoto²

¹ 東北大・理・地球物理, ² 名古屋大・STE 研

¹Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku, ²STE Lab., Nagoya

磁気回転不安定性(以下、MRI)は、降着円盤を始めとした差動回転する系において生じる MHD 不安定性の一種である。MRI は、差動回転する系において、磁場の増幅を引き起こし、その結果として、磁気乱流状態を生み出す。そのため、質量降着や、質量放出、惑星形成といった降着円盤内で生じる様々な現象を解き明かす上で、MRI とその磁気乱流の理解が必要とされている。

MRI 乱流とそれによる応力の、密度構造や、プラズマ といった初期条件に対する依存性を解明するため、今までに多くの三次元の数値シミュレーション研究が行われてきている。それによると、初期磁場の構造によって、得られる飽和状態が大きく異なることが指摘されている。Hawley et al. (1995) によると、密度一様とした非層化モデル中で、初期磁場が円盤に垂直な場合と、円盤ガスの回転方向を向く場合とを比べた際に、飽和状態の乱流応力やプラズマ が約 2 桁異なるという結果が示されている。

しかし、現在多く行われている、中心天体の重力により密度成層したモデル(層化モデル)のシミュレーション研究では、初期磁場の設定としては、方位角成分のみの場合と、磁場の垂直成分が正弦波分布(空間平均が0)となるような場合がほとんどである。現在考えられている降着円盤の形成過程は、磁力線方向に運動して磁力線に垂直な面にガスが集まり、それが中心天体の重力に引き寄せられてスピナップし、円盤が形成される、というものである。従って、磁場の初期条件として、円盤に垂直方向の成分の空間平均が0とならない場合を考える必要がある。

そこで私たちは、独自に開発を進めている三次元 MHD コードを用いて、層化モデルの下、磁場の垂直成分が空間平均しても0にならないという初期条件で、MRI のシミュレーション研究を行った。その結果、非線形段階に移行後も緩やかな磁場の増幅が確認された。また、飽和段階に至る前で、観測から示唆されているよりも強い乱流応力と、円盤の赤道面付近における質量降着流が確認された。さらに、円盤を数周するだけで密度構造が初期状態から大きく逸脱し、そのため、計算モデルが局所近似を用いていることに伴い課されていた「シミュレーション空間全体がケプラー回転する」という境界条件が破綻することが確認された。本発表では、これまでのシミュレーションによって得られた結果に基づいて、MRI 乱流による乱流応力や磁場の増幅が円盤ガスの運動へ及ぼす影響について議論する。一方、円盤形成過程を考慮すると、磁場の初期条件として円盤に垂直方向の成分と、方位角方向の成分の両方を持っている場合も想定し得る。本発表では、方位角方向成分を考慮した初期磁場構造での磁気回転不安定性についてもシミュレーションを実施し、非線形飽和レベルの初期磁場構造に対する依存性について議論する。

キーワード: MHD, 降着円盤, 磁気回転不安定性

Keywords: MHD, accretion disk, magneto - rotational instability

PEM026-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

ドリフト波乱流中の渦構造におけるイオン組成の効果 Effect of ion composition on vortex structures in drift wave turbulence

福永 航平^{1*}, 成行 泰裕²

Kouhei Fukunaga^{1*}, Yasuhiro Nariyuki²

¹ 高知高専・専攻科, ² 高知高専・電気情報

¹Advanced course, KNCT, ²EE, KNCT

電離圏、イオトラス、実験室中の磁化プラズマには圧力・密度・温度勾配が普遍的に存在し、それらによってドリフト波乱流が励起されると考えられる。このようなドリフト波乱流を記述する基本的な方程式としては、Hasegawa-Mima方程式がよく知られている。近年、熱の輸送現象に大きく寄与するドリフト波のミクロスケールの揺動の「寄り集まり(バンチング)」によって生じる周方向の流れの塊(ストリーマー)が実験室プラズマ中で観測され、さらにこのストリーマー構造がHasegawa-Mima方程式から導かれる非線形方程式のソリトン解(渦構造)に対応していることが指摘された。しかし、Hasegawa-Mima方程式では温度を0とした単一粒子種の運動を仮定しているため、温度比やイオン組成が構造の振る舞いにどのような影響を与えるかは明らかにされていない。

本研究では、まず始めに反磁性ドリフトを考慮した多種イオンプラズマ中のHasegawa-Mima方程式の導出を行う。次に、導出したHasegawa-Mima方程式からKdV方程式の導出を行い、ソリトン解の温度比、イオン組成への依存性の評価を示す。

キーワード: ドリフト波, 渦構造, イオン組成

Keywords: drift wave, vortex structures, ion composition

疑似乱数との比較による銀河中心デシメートルパルス存在の検証 Confirmation of Decimeter Radio Pulses From our Galaxy Center Comparing with a Time Series of Pseudo Random Number

西阪 飛鳥^{1*}, 大家 寛¹, 小野 高幸²

Asuka Nishizaka^{1*}, Hiroshi Oya¹, Takayuki Ono²

¹ 東北大・理・地球物理, ² 東北大・理

¹Geophys. Sci., Tohoku Univ., ²Geophys. Sci., Tohoku Univ.

In 1999, the discovery of 24 kinds of radio pulses was made in the decimeter radio wave frequency range [Oya and Iizima, 1999]. The levels of these pulses were in a range with the order of about 0.1% of the background level of the decimeter radio waves from the center part of our Galaxy. As origins of these decimeter radio wave pulses, the authors proposed possible radiations from the rotating black holes in the center part of our Galaxy. The 24 kinds of periods ranging from 0.327214sec to 129.992sec are considered to be generated from the rotating Kerr black holes coinciding with the rotation periods of black holes. Further studies for the radiation characteristics of Kerr black holes [Oya,2011] indicate that the detectable period of the radio wave pulses have sources near the event horizon. These works also indicate that the rotation periods show divergence for the radiation sources which are located at the position a part from the event horizon. The deviation rate of the rotation period becomes larger corresponding to longer distance apart from the event horizon, even in the region close to the event horizon. It is further clarified by his paper that the red shift rate of the radiated electromagnetic waves varies as a function of the source position, approximately depending on the root of the deviation rate of distance from the event horizon. When it is assumed that the radiation frequency is controlled by the red shift rate, it is suggested that the decimeter radio wave pulse period is spread wider than the cases of decimeter radio wave pulses. To confirm this theoretical prediction, we observed center part of our Galaxy at 1.4GHz with 10m dish antenna, in 2007 and 2008 at Fukui University of Technology where the receiving systems for decimeter radio waves are facilitated.

The present studies are concerned with analyses of the observation data of decimeter radio wave pulses whose levels show a range from 1/1000 to 1/10000 of the background level of the decimeter radio waves from the center part of our Galaxy. To search for the pulse shape, then, 1200000 times of period coherent accumulations of time series data, i.e. box-car method, have been applied, after the coarse decision of the pulse periods by applying FFT method. For this purpose, the data during 21 days observations are utilized. To carry out the box-car method, the periods for analyses have been swept with step of 4/100000 of the center periods for search. The obtained wave forms are evaluated defining the index which gives identification of the quality of the detected pulse forms distinguished from background noise.

Because of the extremely low signal to noise ratio with the order of 0.01% of the background noise level, comparison of the analyzed results with those for time series of pseudo random numbers has been made. Consequently it is verified that the results for decimeter pulses are confident; we can utilize them to investigate the deviation of the period to compare with that of decimeter radio wave pulses.

Reference

- (1)Oya.H. and M.Iizima, Clusters of Super Massive Black Holes in the Central Region of Our Galaxy Observed by Decimeter Radio Wave Pulses: Discovery of 24 Super Massive Black Holes and Their Motions, Tohoku Geophys. J.,35, 1-78(1999)
- (2)Oya.H, On the Detection of Rotation Periods of Kerr Black Holes, submitted to Apj(2011)

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PEM026-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月25日10:30-13:00

太陽風アルフェン波シミュレーションのための新しい数値計算法：Vlasov-MHD モデルの開発

A new numerical method for simulating the solar wind Alfven waves: Development of the Vlasov-MHD model

成行 泰裕^{1*}, 梅田 隆行², 羽田 亨³

Yasuhiro Nariyuki^{1*}, Takayuki Umeda², Tohru Hada³

¹ 高知高専・電気情報, ² 名大・STE 研, ³ 九大・総理工

¹EE, KNCT, ²STEL, Nagoya Univ., ³ESST, Kyushu Univ.

本講演では、太陽コロナ・太陽風プラズマ中のアルフェン波の非線形発展を解析するための新しい計算モデル (Vlasov-MHD) モデルについて報告する。Vlasov-MHD モデルは、背景磁場に平行 (垂直) 方向の成分を Vlasov(MHD) 方程式で解析するモデルで、非線形性があまり大きくない場合には、アルフェン波の線形・非線形発展を正確に記述することが出来る。講演では、Vlasov-MHD モデルのコロナ加熱・太陽風加速への適用についても述べる。

キーワード: ブラソフシミュレーション, 太陽風, アルフェン波

Keywords: Vlasov simulation, solar wind, Alfven wave

イオ-木星系のためのセミディスクリット中心スキームを用いた磁気多流体コードの開発

Development of a new multi-fluid code for the Io-Jupiter system based on the semi-discrete central scheme

松田 和也^{1*}, 寺田 直樹¹, 加藤 雄人¹, 三澤 浩昭¹
Kazuya Matsuda^{1*}, Naoki Terada¹, Yuto Katoh¹, Hiroaki Misawa¹

¹ 東北大学大学院理学研究科

¹ Graduate school of Science, Tohoku Univ.

Subcorotation of Iogenic plasma in the Io plasma torus has been understood as electric drift by a perpendicular electric field with respect to the Jovian magnetic field. A part of the radially integrated potential has been considered to be imposed along the magnetic field lines. The purpose of this study is to clarify where and how the actual the electric fields arise in the Io-Jupiter system. Here, we take notice of the importance of the electron convection term in the generalized Ohm's law. We applied a semi-discrete central scheme to extended MHD equations which include the electron convection term and prescribe the dynamics of one or two ion species, and investigated the role of the electron convection term in a one-dimensional model of the Io-Jupiter system.

We find that the parallel electric field arising from the electron convection term works like negative pressure. For the cases of steady state discontinuities, the sum of the electric force arising from the electron convection term and a steepening effect due to the ion convection term balance with the ion pressure gradient. An electrostatic potential difference across a discontinuity equals the electron kinetic energy obtained from a transition through the discontinuity. The electron convection term enables us to describe a situation in which a parallel electric field and parallel electron acceleration coexist, which is impossible for ideal or resistive MHD.

Each ion sound mode becomes unstable if the parallel current density exceeds some threshold associated with the individual ion temperature. If the sound mode of the cold ions is unstable and that of the hot ions is stable with the specific current density, the growth of the unstable sound mode saturates after a while. At this stage cold ions gather around the high density region since the negative pressure arising from the electron convection term exceeds the pressure of the cold ions. The discrete parallel electric field forms at the boundary of the high- and low-density regions and prevents cold ions from going through the field. Although the growth rate of the ion sound mode does not reproduce that of the actual Debye-scale ion acoustic mode, the process of the wave growth and saturation would approximate that of the Debye-scale current driven instability in the large spatial and temporal scales.

PEM026-P09

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

MHD および PIC シミュレーションへの高速ポアソン解法の導入 Implementation of a fast Poisson solver into MHD and PIC simulations

松本 洋介^{1*}

Yosuke Matsumoto^{1*}

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹ STEL, Nagoya University

Poisson equation appears in various situations in numerical simulations of space plasmas. For example, the electrostatic potential in the ionosphere is obtained by solving the Poisson equation with the field-aligned current given by the global MHD simulation of the magnetosphere.

The equation is generally solved by iterative solvers. Successive Over-Relaxation (SOR) and Conjugate Gradient (CG) methods are of well used solvers, but the number of iterations increases as $N^{3/2}$ as the system size ($N \times N$) increases. Thus a fast Poisson solver is necessary in a large-scale numerical simulation.

In this presentation, an implementation of Multigrid poisson solver into a MHD simulation code and its application to the global MHD simulation are shown. The solver is implemented in order to remove the monopole of the magnetic field that arises due to the numerical discretization. This enables us to examine a large scale global MHD simulation with keeping $\text{div}(\mathbf{B})$ negligibly small. The multigrid solver is also applied to the PIC simulation code in which Maxwell equations are solved implicitly. This enables us to simulate under larger $c/v_{te} = \omega_{pe} / \Omega_{ge} / \sqrt{\beta}$ parameters with a large time step.

キーワード: PIC シミュレーション, MHD シミュレーション, ポアソン方程式, マルチグリッド, SOR 法
Keywords: PIC simulation, MHD simulation, Poisson equation, Multigrid, SOR method

ラグランジュ座標系における HLLD 近似リーマン解法 The HLLD approximate Riemann solver in Lagrangian coordinate system

三好 隆博^{1*}, 草野 完也²

Takahiro Miyoshi^{1*}, Kanya Kusano²

¹ 広島大学大学院理学研究科, ² 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹Grad. Sch. Sci., Hiroshima Univ., ²STEL, Nagoya Univ.

磁気流体力学 (MHD) 方程式はプラズマの巨視的ダイナミクスを記述する極めて重要な基礎方程式である。理想 MHD 方程式は非線形双曲型保存則であるため、非線形シミュレーションにおいて速進衝撃波や遅進衝撃波などの不連続解がしばしば出現する。それ故、近年、MHD 方程式に対する衝撃波捕獲法が急速に発展してきた。特に、MHD 方程式の数学的性質をよく反映した近似リーマン解法が幾つか提案され [1,2]、実際の物理シミュレーション研究に用いられるようになった。近似リーマン解法では、セル境界におけるリーマン問題の厳密解または近似解をセル全体にわたって積分することによって数値解が安定に得られる。しかし、強い衝撃波相互作用問題など極めて強い不連続を含む問題については、一様なオイラー座標系格子で取り扱いは容易でなく、ラグランジュ型の数値解法がより適切な場合がある。そこで本研究では、ラグランジュ型数値解法の基礎となるラグランジュ座標系における MHD リーマン問題の近似解を探索する。MHD 方程式はラグランジュ質量座標系において保存形式で書きあらわされるため [3]、オイラー座標系における HLL 型の近似手法が適用可能である。特に、ラグランジュ質量座標系におけるリーマンファンを 5 つの波で分解する HLLD 型の近似解 [2] を求め、その性質について詳細に議論を行う。

[1] Brio, Wu, J. Comput. Phys., 75 (1988), 400

[2] Miyoshi, Kusano, J. Comput. Phys., 208 (2005), 315.

[3] Dai, Woodward, J. Comput. Phys., 111 (1994), 354.

キーワード: MHD, 衝撃波捕獲法, ラグランジュ座標系, 保存則, HLLD 近似リーマン解法

Keywords: MHD, shock capturing scheme, Lagrange coordinates, conservation laws, HLLD approximate Riemann solver

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PEM026-P11

会場:コンベンションホール

時間:5月25日10:30-13:00

無電極電気推進における回転電界型プラズマ加速の実験的研究 Experimental Study of Plasma Acceleration Using Rotating Electric Field for Electrodeless Plasma Thruster

西田 浩之^{1*}, 中村隆弘¹, 横井賢二¹, 松岡健之², 船木一幸², 篠原俊二郎¹, 谷川隆夫³, 羽田 亨⁴

Hiroyuki Nishida^{1*}, Takahiro Nakamura¹, Kenji Yokoi¹, Takeshi Matsuoka², Ikkoh Funaki², shunjiro Shinohara¹, Takao Tanikawa³, Tohru Hada⁴

¹ 東京農工大学, ² 宇宙航空研究開発機構, ³ 東海大学, ⁴ 九大院総理工

¹Tokyo Univ. Agriculture and Technology, ²JAXA, ³Tokai University, ⁴Kyushu University

比推力が大きい電気推進は、宇宙探査や大規模宇宙輸送など長期にわたる宇宙ミッションに適した宇宙推進システムである。電気推進は既にいくつかの宇宙ミッションにおいて成功を収めその有用性が実証されている。しかしながら、従来型の電気推進機にはプラズマの加速・生成のプロセスにおいて放電電極とプラズマが接触し、それによって発生する電極損耗が推進機の寿命を減じてしまう問題がある。そこで本研究では、ヘリコンプラズマを用いた完全無電極である電気推進の開発を目指し研究を行っている。プラズマに回転電界と外部磁場を印加することで電磁加速を行う“リサーチ加速型”に焦点を当て、加速コンセプト実証の為にスケールモデル実験を行っており、その結果について報告する。

キーワード: ヘリコンプラズマ, 無電極電気推進, 回転電界

Keywords: helicon plasma, electrodeless electric propulsion, rotating electric field

PEM026-P12

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

磁気セイル周りの太陽風プラズマ挙動に関する2次元Hybrid-PICシミュレーション Two-Dimensional Hybrid-PIC Simulation of Solar Wind Plasma Flow around Magnetic Sail

松本 正晴^{1*}, 梶村 好宏¹, 臼井 英之², 船木 一幸¹, 篠原 育¹
Masaharu Matsumoto^{1*}, Yoshihiro Kajimura¹, Hideyuki Usui², Ikkoh Funaki¹, Iku Shinohara¹

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ² 神戸大学大学院システム情報学研究科

¹JAXA/ISAS, ²Kobe university

太陽から噴出する高速の無衝突プラズマ流である太陽風を人工的な磁気圏を展開することによって受け止め、宇宙機の推進力を得る先進的宇宙推進システムである磁気セイル、ならびに磁気プラズマセイルが近年提案され研究が進められている。磁気セイルは宇宙機に搭載した超伝導コイルのみでダイポール磁気圏を展開するシステムであり、太陽風と磁気圏の相互作用の結果として推力を発生させる。太陽風エネルギーを推進力に利用するこれらの推進機は従来提案の電気推進機に比べ、高いエネルギー変換効率が達成できると期待されている。磁気セイルの推力は、磁気圏境界における太陽風のイオン Larmor 半径と磁気圏代表長の比によって特徴付けられることが過去の研究から明らかとなっているが、磁気圏代表長に比べイオン Larmor 半径が長い、いわゆるイオン慣性スケールでは、イオンの運動効果を考慮に入れた物理モデルを選択しなければ正確な推進性能を把握することはできない。そこで本研究では2次元 Hybrid-PIC シミュレーションにより、磁気セイル周りの太陽風プラズマ流の挙動や磁気セイルの推進性能に関する計算を行った。

計算結果として、磁気セイルが持つ磁気モーメントに対する惑星間磁場の向きの違いが、磁気セイルが形成する小型磁気圏の上流側で発生する衝撃波の構造に大きな影響を与えることがわかった。これは惑星間磁場の向きによって磁気圏周辺に発生する磁気リコネクションポイントの位置が変化することによって、太陽風の流れ場が変化することによる。特に太陽風の流れ方向に対して惑星間磁場が平行方向の場合では、垂直な場合に比べ、衝撃波による数密度の不連続面が不鮮明になるなど、イオン運動の効果が強調され、非定常で複雑な流れ場となることがわかった。また、惑星間磁場がないと仮定した場合に比べ、太陽風の流れ方向に対して惑星間磁場が垂直方向にある場合、磁気セイルの推力は増加する傾向にあること、また、惑星間磁場が平行方向にある場合は磁気セイルの推進方向に垂直方向に周期的な揚力が発生することがわかった。

キーワード: 磁気セイル, 磁気圏, ハイブリッド粒子シミュレーション

Keywords: Magnetic Sail, Magnetosphere, Hybrid-PIC Simulation

PEM026-P13

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

次世代無電極プラズマ推進機関の開発とモデリング Research and development of next generation electrodeless plasma thrusters

羽田 亨^{1*}, 大塚 史子¹, 山之口 和輝¹, 篠原俊二郎², 西田浩之², 谷川隆夫³, 船木一幸⁴, 松岡健之⁴
Tohru Hada^{1*}, Fumiko Otsuka¹, Kazuki Yamanokuchi¹, Shunjiro Shinohara², Hiroyuki Nishida², Takao Tanikawa³, Ikkoh Funaki⁴, Takeshi Matsuoka⁴

¹ 九大院総理工, ² 東京農工大, ³ 東海大, ⁴ JAXA

¹ Kyushu University, ² Tokyo Univ. of Agriculture & Technology, ³ Tokai University, ⁴ JAXA

宇宙空間での衛星推進および制御、特に外惑星探査等の長距離航行ミッションにおいて、比推力の大きな電気推進機関は有用であり、今後の宇宙開発での活躍が期待されている。一方、イオンエンジンや DC アークジェットなど、既に実用化されている電気推進機関は有電極であり、プラズマとの接触による電極摩耗が長時間オペレーションのネックとなっている。この問題を根本的に解決するために、我々は外部アンテナにより生成したヘリコンプラズマを外部電磁場で加速する、生成・加速の両段階ともに電極を使用しない「完全無電極」推進機関を提案し、HEAT (Helicon Electrodeless Advanced Thruster) project として研究をすすめてきた。

学会では、このプロジェクトの背景・目的について紹介した後、研究の現状と展望を述べる。プラズマの無電極生成については、ヘリコン波（宇宙でのホイッスラー波と同等）による方式がほぼ確立しており、定常かつ安定なプラズマ供給源として推進機関への応用が可能であると考えられる。一方、プラズマの無電極加速について、現在のところ「回転磁場方式」、「回転電場方式」、および「ポンドロモータイヴ方式」についての計算機実験および室内実験を行っている。加速原理、推力のスケールリング則などについて紹介する。

ヘリコンプラズマは、プラズマの生成・損失が比較的早い時間スケールで起き、また粒子間衝突が無視できない散逸的媒体であるが、その他の側面では宇宙プラズマとの共通点も多く、連携により、SGEPSS 分野から航空宇宙分野への具体的貢献が期待できる。また、無電極加速により定常推進力を得るためには「プラズマ非線形効果」が本質的に重要であり、純粋に科学的な側面からも興味深い研究課題である。これらの点についても強調する予定である。

キーワード: ヘリコンプラズマ, 電気推進機関, 無電極推進

Keywords: helicon plasma, electric thruster, electrodeless thruster