

## 惑星間航行システム開発に向けたマルチスケール粒子シミュレーション

# 臼井 英之 [1]; 篠原 育 [2]; 山川 宏 [3]; 船木 一幸 [4]; 中村 雅夫 [5]; 梶村 好宏 [6]; 沼波 政倫 [7]; 秋田 大輔 [8]; 上田 裕子 [9]

[1] 京大・生存圏/JST-CREST; [2] 宇宙研/宇宙機構; [3] 京大・生存圏研; [4] JAXA・ISAS; [5] 大阪府大; [6] 京大・生存圏/JST-CREST; [7] 京大生存研/JST-CREST; [8] ISAS/JAXA; [9] 宇宙航空機構

### Multi-scale plasma particle simulation for the development of interplanetary flight system

# Hideyuki Usui[1]; Iku Shinohara[2]; Hiroshi Yamakawa[3]; Ikkoh Funaki[4]; Masao Nakamura[5]; Yoshihiro Kajimura[6]; Masanori Nunami[7]; Daisuke Akita[8]; Hiroko, O Ueda[9]

[1] RISH, Kyoto Univ./JST-CREST; [2] ISAS/JAXA; [3] RISH, Kyoto Univ.; [4] ISAS, JAXA; [5] Osaka Prefec. Univ. & JST-CREST; [6] RISH, Kyoto Univ./JST-CREST; [7] RISH, Kyoto Univ. / JST-CREST; [8] ISAS/JAXA; [9] JAXA

Magneto Plasma Sail (MPS) was proposed as one of the innovative interplanetary flight systems. The propulsion of MPS is obtained as a result of multi-scale kinetic interactions between the solar wind plasma and a small-scale artificial magnetosphere created around the spacecraft. Prior to the development of MPS, we need to understand the basic principle of MPS. In the investigation of the multi-scale plasma interactions in association with MPS, plasma particle simulation can be a powerful tool. However, it is difficult to handle the multi-scale phenomena with the conventional particle simulation which adopts uniform spatial grid system. To conquer this difficulty we will establish the foundation and the methodology for the multi-scale plasma particle simulations by combining Adaptive Mesh Refinement (AMR) and Particle-In-Cell (PIC) methods. This challenging attempt was selected as a research project of the JST (Japan Science and Technology Agency) CREST (Core Research for Evolutional Science and Technology) in the research area of 'high performance computing for multi-scale and multi-physics phenomena' in 2007 fiscal year. The research project which started at October in 2007 will continue for five years. In the current project, we will focus on two major issues. One is the quantitative evaluation of the MPS thrust by considering the plasma kinetic effect and the associated plasma transient process such as the inflation of artificial dipole magnetic field by plasma injection. We already started the analysis by performing hybrid particle simulations. The other issue we need to consider is the development of a multi-scale plasma particle simulation method. Our plan is to introduce non-uniform grid system such as AMR to the conventional PIC simulation. In the presentation, we will briefly explain our research project and focus on the two major issues stated above as well as the current status of the research progress.

本講演では、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) 開発におけるプラズマ粒子シミュレーションの役割とそれに向けたマルチスケール粒子シミュレーション手法の開発について述べる。

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、それをプラズマ噴射にて広範囲に展開させて太陽風を受け止めて推力を得る宇宙航行システムである。この MPS の推力評価には、数十キロオーダーの小規模磁気圏と太陽風の電磁学的相互作用や、宇宙機からの局所的プラズマ噴射による人工磁気圏のマクロ展開プロセスなど、マルチスケールな事象をプラズマ運動論効果を含めて再現する必要がある。これらの現象の定量解析にはプラズマ粒子シミュレーションが有効であるが、従来の一様空間格子システムを用いたモデルではマルチスケール現象を扱うことは困難である。そこでこの困難を打破するため、本研究では、数値流体で用いられる局所細分化適合格子法 (AMR) をオイラー場である電磁場に適用し、そこにラグランジュ的プラズマ粒子を従来の粒子法 (PIC) を導入することにより、マルチスケールに対応したプラズマ粒子シミュレーション手法の開発を行う。本手法は、シミュレーション内に生起する現象の空間的特性長を各格子点においてモニターし、最適な空間分解能をもつ格子システムを局所階層的に生成することでマルチスケールシミュレーションを可能にする。

本研究は、平成 19 年度の JST-CREST 「マルチスケール・マルチフィジックス現象の統合シミュレーション」領域の研究課題に採択され、委託研究として京都大学、JAXA、大阪府立大学と共同で平成 24 年度までの 5 年計画で行う。本研究プロジェクトでは、以下の 2 つのことに着目する。まずひとつは、上述の MPS 推進評価をプラズマ運動論を考慮して行うことである。既に従来法のハイブリッドモデルを用いて解析を進めており、JAXA において真空チャンバーを用いて行われている MPS 実験の数値的再現、推力評価、それに関連するプラズマ現象解析、衛星からのプラズマ噴射による小型磁気圏の展開プロセス、数十キロオーダーの人工磁気圏と太陽風の相互作用などについてシミュレーション解析に取り組んでいる。もう一つの着目点は、マルチスケール粒子シミュレーション手法の基盤構築である。AMR を用いたプラズマ粒子法はすでに個々の事例では開発・実用化されているが、本研究では、それらを参考にしつつ、将来のベタ級スパコンへの展開の可能性も考慮し、新たにマルチスケール粒子法として基盤構築を行う。

本講演では、プラズマシミュレーションの宇宙工学応用という背景の元に、上述した研究プロジェクトの概略を説明し、その進捗と展望について述べる。