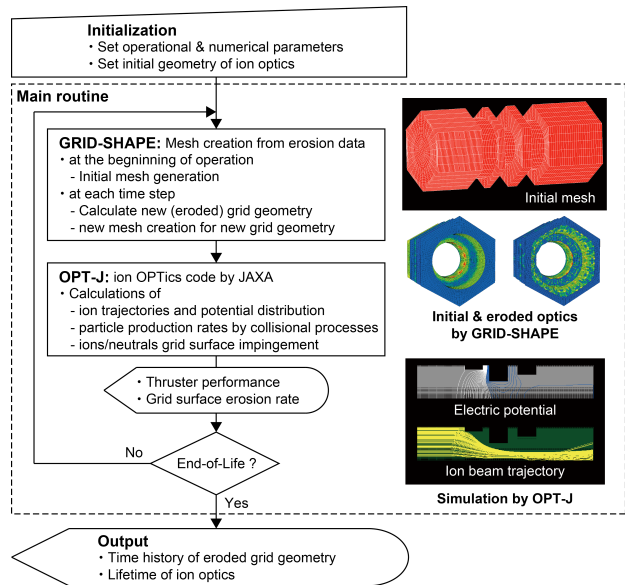


宇宙機用先端プラズマ推進の数値シミュレーション Numerical Simulation of Advanced Spacecraft Propulsion

船木一幸
Ikkoh Funaki

宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

小惑星探査機「はやぶさ」の主エンジンとして活躍したイオンスラスタは、人工衛星の姿勢制御や最終軌道投入に用いられると共に、各種惑星探査機のための高効率エンジンとしても注目されるなど、利用が拡大している。衛星通信、GPS、探査など、多様な用途に応じて様々な仕様のイオンスラスタが必要となるが、JAXAを中心とする国内コミュニティーでは、イオンスラスタの開発・評価期間の短縮と開発コストの低減を狙った数値解析ツールJIEDI (JAXA's Ion Engine Development Initiative tool)の研究開発を実施している。JIEDIは、イオン源と中和器の設計評価のための数値シミュレーションコードであるが、イオン源のシミュレーションツールのうち、イオンスラスタの性能評価と寿命評価に特に重要なイオンビーム抽出部分の数値設計ツールは完成しており、現在は、国内のイオンスラスタの設計評価に提供されるとともに、国内の関連研究コミュニティーに提供されている。イオンスラスタのイオンビームは、典型的なイオン源と同様に、複数のビーム抽出・加速グリッドから構成され、その特性を評価するためには、イオンの抽出・空間電荷制限化での加速と、下流域に配置された電子源（中和器）による中和過程を評価する必要がある。イオン源の寿命評価にあたって重要なのは、グリッドにて生じる粒子間衝突（電荷交換イオンや弾性衝突）、そしてイオンや中性粒子のグリッド材への衝突とこれによる損耗現象であり、JIEDIツールはこうした素過程の全てを考慮することでイオンビーム生成能力の評価や寿命評価の点で、高い予測精度を実現した。このように、イオン源の寿命決定主因となっているグリッドの評価ツールは完成しているが、イオンスラスタシステム全体で考えると、イオン源のプラズマ生成部や中和器の長寿命化が課題となっている。現在は、性能劣化が特に懸念される各種中和器の設計評価のための数値解析技術の確立へ向けた研究を実施している。



JIEDIツールの概要

今後の人工衛星ならびに宇宙探査機の動向を見ると、大推力かつ大電力のプラズマ推進が求められており、イオンスラスタよりもコンパクトな推進機で高推力を提供可能なホールスラスタや電磁プラズマ力学アークジェット(MPD)に期待が集まる。ホールスラスタは2~20kW程度の中電力領域にて、そしてMPDは100kWを超える大電力領域にて他のスラスタに対して有利である。イオンスラスタとホールスラスタでは粒子プラズマシミュレーションが、そして大電力高プラズマ密度動作が主流のMPDでは電磁流体シミュレーションがそれぞれ有効であることから、各推進機に特化した数値解析コードを研究開発しており、まだ限定的ではあるが、ホール・MPDの各スラスタの設計支援に供している。以上のようなプラズマ推進機の解析技術は、太陽風プラズマを利用した宇宙機推進や核エネルギーを利用した次世代推進など、様々な宇宙機推進概念の研究にも展開中であり、計算機資源の発展に伴い今後も飛躍的な発展の期待できる研究分野である。