

# イオンエンジン加速電極の損耗予測技術

渡邊裕樹(首都大学東京)

静電加速型の宇宙用プラズマ推進機であるイオンエンジンは、10,000 時間を超える連続加速により、従来のロケットエンジンに比べ、推進剤消費量を 1/10 に低減でき、「はやぶさ」をはじめとした探査機や商用静止衛星に用いられている。しかし、イオンエンジンの開発において、その開発期間の多くを寿命評価試験に費やさねばならず、改良を含めた新機種開発の推進を阻害している。この多大な時間と労力を費やす寿命試験を数値解析によって支援することができれば、新機種開発の敷居を下げ、適当な時期に適切なイオンエンジンをミッションに投入することが可能になる。以上の背景から、JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) では JIEDI-1 (JAXA's Ion Engine Development Initiative 1) ツールの研究開発を国内の大学と協力し、実施してきた[1]。イオンエンジンの寿命は 1)イオンを加速する電極の損耗、2)主陰極および中和器に用いられる電子源の劣化、に起因する故障により制限されることが判明しており、前者の加速電極の損耗を予測し、寿命を評価、認定することが JIEDI-1 ツールの目的である。

図 1 にイオンエンジンおよび加速電極の損耗メカニズムを示す。多孔が開いた加速電極により加速・排気された推進剤イオンが中性のまま流出する推進剤と弾性衝突や電荷交換衝突することにより、電極に向かうイオンや高速の中性粒子が発生し、これらの粒子のスパッタにより電極は損耗する。この損耗を予測する JIEDI-1 ツールのフローチャートを図 2 に示す。JIEDI-1 ツールはイオン軌道と損耗量を計算する過程と求めた損耗量から計算格子を再構築する過程に大きく分けられる。また、図 3 に電極のスパッタリングモデル (MD と CSU) と損耗電極材の再付着率 (Sticking factor) を変化させた解析結果と実験結果の比較を示す。なお、灰色プロットのエラーバーは解析の入力パラメータ (放電室内の電子温度や電子密度など) のばらつきを考慮して得られた解析結果の標準偏差を示す。図 3 の解析結果の比較より、実験値のエラーバーの範囲に解析結果が収まって

おり、実用レベルの損耗予測が可能であることが分かる。本研究会では、より詳細な JIEDI-1 ツールの構成および妥当性の検証結果、実開発への適用事例について発表する。

## 参考文献

- [1] 船木一幸他, 小特集 -イオンエンジン耐久性評価の為のイオンビームおよびスパッタリングのシミュレーション, プラズマ・核融合学会誌, 第 90 巻, 第 4 号, pp. 234-264, 2014.

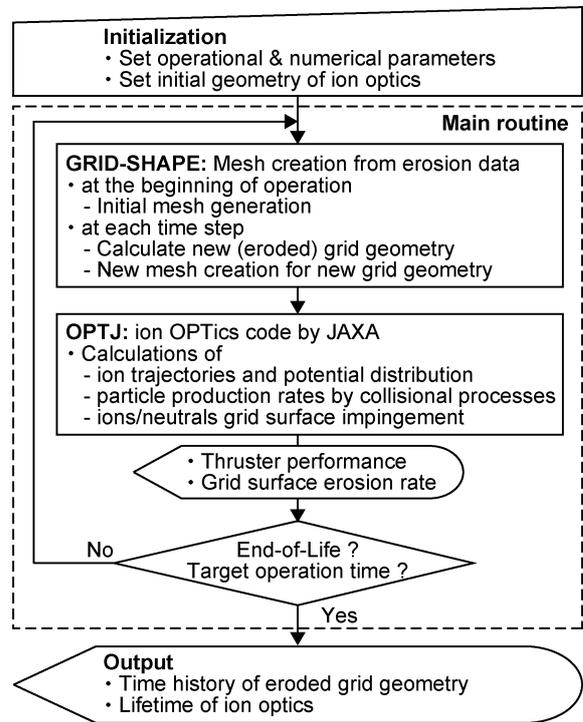


図 2 加速電極損耗解析フローチャート。

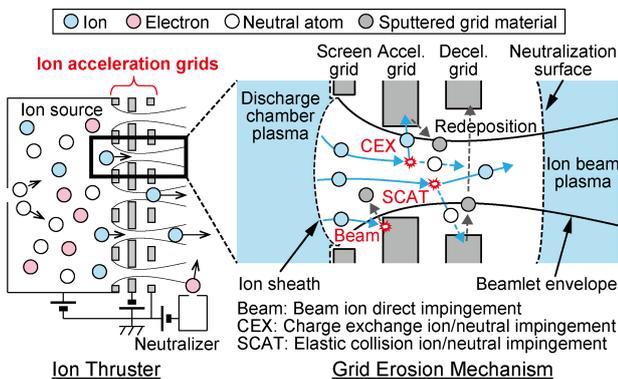


図 1 イオンエンジンと加速電極損耗メカニズム。

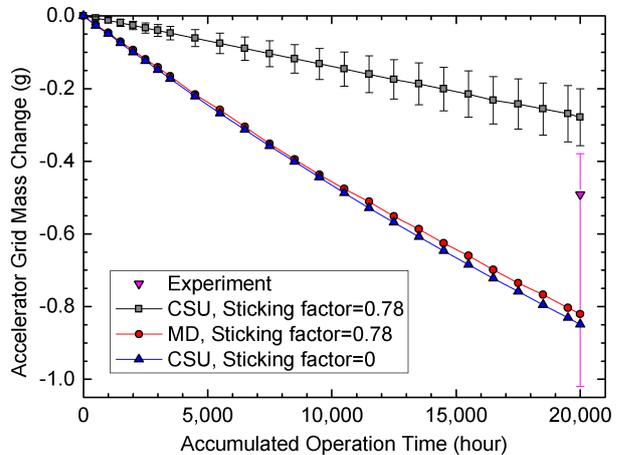


図 3 「はやぶさ」イオンエンジン (プロトタイプモデル) 加速電極の損耗予測と実験結果の比較。