

Erosion Assessment of Hall Thruster via Time-Resolved Cavity Ring-Down Spectroscopy

江川, 雄亮

<https://hdl.handle.net/2324/4475161>

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (工学), 課程博士

バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (2)

Erosion Assessment of Hall Thruster via Time-Resolved Cavity Ring-Down Spectroscopy

Yusuke Egawa

Summary

宇宙利用コストの大幅な低減が要求されている今日、国際的な宇宙開発の流れとして衛星の姿勢制御、軌道遷移のための推進系において高性能な電気推進が注目を集めている。小惑星探査機"はやぶさ"で実証されたように従来のエンジンに比べ約 10 倍程度燃費がよい（高比推力）。そのため大幅な燃料削減が望め、衛星の小型化が可能である。中でも、磁場に拘束された電子と中性粒子（推進剤）が衝突することでプラズマを生成し、イオンを電場によって加速させるホールスラスタは比推力 1,500-3,000 秒でエネルギー変換効率が 50%以上と高い。また推進原理上、高密度イオンを排出できるため、はやぶさで使用された同じ推力レベルのイオンエンジンと比較するとサイズは 1/3 とコンパクトな設計が可能である。

ホールスラスタの寿命の決定要因は高速イオンの衝突により加速チャンネルの壁面が損耗することである。磁場形状の変化はイオンのビーム発散角に影響を与え、壁面へ衝突するイオンの挙動を変化させる。従って耐久性の向上にはイオンの加速に影響を及ぼす磁場形状と寿命の関係を調査し最適化する必要がある。しかし寿命の評価は数億円の費用と数万時間の時間を要する耐久試験を行い、壁面の損耗度合いを測定するしかない。故に磁場と寿命の関係を調査するとなると、膨大な時間がかかる耐久試験を複数回行う必要があり、時間とコストの面から現実的ではない。そのため精度よく短期間に寿命を評価するシステムが必要である

そのためホールスラスタの損耗計測において定量的かつ高感度に *in-situ* 計測を可能とするキャビティリングダウン分光法（CRDS）による手法が提案されており、Lee らによって有用性が示された。しかしながら、SN 比が最適化をするために満足できるレベルとは言えない。この要因として、損耗量がホールスラスタの固有振動に同期して変動していることが示唆されている。そこで本論文では、ホールスラスタの固有振動に合わせて時間分解を可能にする Time-resolved CRDS システムを開発し、その妥当性の検証を行った。また実機において、損耗量を計測して Time-resolved CRDS システムを従来の CRDS（Time-averaged CRDS）と比較した。

本論文は以下の 5 章より構成されている。

第 1 章では近年の宇宙開発の動向及びホールスラスタの需要、そしてホールスラスタの寿命評価の必要性について述べた。

第 2 章では CRDS の概念及び本研究にて開発した Time-resolved CRDS について述べた。時間分解の定義や計測システムについて説明した。

第 3 章では、まず初めに開発した Time-resolved CRDS システムの妥当性を検証するために、ホールスラスタのプルーム下流にチタンの M6 ネジで作成したターゲットを設置し、ターゲットからたたき出されたスパッタ粒子の計測を行った。従来の CRDS(Time-averaged CRDS)では損耗粒子の数密度は $1 \times 10^{13} \text{ m}^{-2}$ であったが同じデータを用いて

Time-resolved CRDS で計測を行ったとき、スパッタ粒子の数密度が 8×10^{12} から 1×10^{13} まで放電電流と同期して振動していることが確認された。また計測誤差において、Time-averaged CRDS では $2 \times 10^{12} \text{ m}^{-2}$ であったのに対し、本研究にて開発した Time-resolved CRDS では $6 \times 10^{11} \text{ m}^{-2}$ と約 30%まで低減することができた。これにより開発した Time-resolved CRDS の妥当性が検証された。

第 4 章では、開発した Time-resolved CRDS システムを用いてホールスラストの壁面よりスパッタされたアルミニウム原子の計測を行った。アルミ原子の数密度は Time-averaged CRDS の計測では $9 \times 10^{12} \text{ m}^{-2}$ であったのに対し、Time-resolved CRDS による計測では 8×10^{12} から $9 \times 10^{12} \text{ m}^{-2}$ まで放電電流振動とともに変動していることが確認された。また計測誤差においても $3 \times 10^{12} \text{ m}^{-2}$ から $2 \times 10^{12} \text{ m}^{-2}$ へと低減することができた。また本計測においてスペクトルの広がり放電電流振動とともに変化していることが確認され、ホールスラストのプラズマ生成領域が周期的に変動していることが Time-resolved CRDS によって示唆された。

第 5 章では本論文の総括と結論を述べた。