

17a-F3-11

# 大気吸入型イオンエンジン開発のための平面波 ECR プラズマシミュレーション

Plane-wave ECR plasma simulation for air breathing ion engine development

神戸大院 ○川口伸一郎, 臼井英之, 三宅 洋平, 本山貴仁, 横田久美子, 田川雅人

Kobe Univ., °S. Kawaguchi, H. Usui, Y. Miyake, T. Motoyama, K. Yokota, M. Tagawa

Email: h-usui@port.kobe-u.ac.jp

## 1. はじめに

近年、地球観測の高分解能化が可能な超低地球軌道(sub-LEO)での衛星運用に関心が高まっている。sub-LEO においては希薄大気の抵抗を補償するための推進システムが不可欠である。ブロードイオンビームにより推力を発生させるイオンエンジンは低推力であるが比推力が大きく、sub-LEO 衛星における大気抵抗を補償する推進システムとして適した性能を有するため、これまで GOCE や SLATS の推進システムとして採用されている。しかしながら、イオンエンジンは推進剤として Xe を携行する必要があり、Xe 携行量が衛星の寿命に直結する。この制限はスケール効果により超小型衛星で顕著な問題となる(大気抵抗は衛星サイズに対して $-2$ 乗に比例するが、推進剤タンク容量は $-3$ 乗に比例する)。この問題を克服するために地球高層大気を推進剤とする大気吸入型イオンエンジン(air breathing ion engine: ABIE)が Nishiyama によって提案されている[1]。しかしながら、地球高層大気環境を地上で正確に再現することは困難であることから、ABIE の地上試験には多くの困難を伴う[2]。

そこで、本研究では宇宙プラズマ中における物理現象の解析を行う計算機コード Electromagnetic Spacecraft Environment Simulator (EMSES) [3]を用いて、放電室内での ECR 電子加速と電子・中性粒子衝突による電離現象のモデル化を行い、ABIE 最適設計指針を得ることを目標とした。

## 2. シミュレーション条件および結果

マイクロ波の放電室壁面での反射による干渉がプラズマ生成効率に与える影響について検証を行うため、電磁波の平面波シミュレーションを行った。z 方向に 0.027T の一様磁場が定義された 1 辺 108 グリッドの立方体シミュレーション空間において、 $x=54$  の yz 平面をマイクロ波発振平面として周波数 3 GHz、波長 20 グリッドのマイクロ波を放射した。この平面から間隔 L に金属反射境界を定義し、定常波の形成を観察した。なお、L は波長の整数倍である 60 グリッド( $3\lambda$ )に加え、干渉条件からずれた 58、56 グリッドの場合の計算も行った。なおイオン生成に関する電離条件については当日説明する。計算の結果、L=60 の場合には入射波と金属境界で反射されたマイクロ波が干渉して定常波が形成される時間の経過とともにマイクロ波強度が上昇することが確認されたが、L が干渉条件から外れた場合には入射波と反射波による定常波は生じないという予想通りの計算結果となった。生成イオンの空間分布は定常波が形成される場合にはマイクロ波の腹に、定常波が形成されない場合には電界強度の高いアンテナ近傍に集中することが分かった。

## 3. 結論

ABIE の設計指針を得るため、マイクロ波によるガス分子の電離に関する計算機シミュレーションを行った。その結果、イオン生成は定常波の腹に集中することが確認された。しかしながら ABIE に用いられる 4.2 GHz のマイクロ波の波長(7.1 cm)は小型イオンエンジンの放電室サイズより大きいため、通常の定常波形成は期待できない。放電室の形状の工夫により反射波を制御し、さらに最適磁場配置により電子の飛程距離を増加させることによりイオン生成効率の向上を実現することが重要となる。

**謝辞:** 本研究の一部は日本学術振興会科学研究費助成金挑戦的萌芽研究(No. 25630392)の援助を受けて実施されたものである。またシミュレーションは名古屋大学情報基盤センターのスーパーコンピュータを用いて行われたことを記し感謝を表する。

[1] K. Nishiyama, Proc. 54th Internal. Astronautical Congress, IAC-03-S4-02, Bremen, 2003.

[2] M. Tagawa, K. Nishiyama, K. Yokota, Y. Yoshizawa, D. Yamamoto, T. Tsuboi, H. Kuninaka, J. Propulsion and Power, Vol.29 (2013) 501.

[3] Miyake, Y, and Usui, H., Phys. Plasma, Vol.16 (2009) pp.062904:1–11.