

アノードレイヤ型スラスタのマグネティックシールドイングによるイオン損失低減

学生証番号 47136063 氏名 鈴木淳
(指導教員 小紫 公也 教授)

Key Words : Hall thruster, Life time, Wall erosion, Magnetic shielding,

1. はじめに

ホールスラスタは電気推進機の一つであり、その推力レベルの高さから、将来の大型宇宙ミッションの実現に必要不可欠と考えられている。そのため、ホールスラスタの大出力化および長時間作動が求められるようになってきている。大型の宇宙ミッションの実現を目標にした場合、ホールスラスタに求められるものは推進効率と寿命性能である。ホールスラスタにはマグネティックレイヤ型(SPT型)とアノードレイヤ型(TAL型)の二種類があるが、同じ推力を達成するのに必要なスラスタの大きさはTAL型の方がより小さく、大出力化にはTAL方のほうが適している。そのため、本研究では、大型宇宙輸送ミッションの実現を念頭に、TALの寿命性能を制限するガードリング電流率の低減を目指す。

ホールスラスタの寿命を制限するのは、放電室壁面損耗であり、これは加速されたイオンの衝突によって引き起こされる。しかし、最近マグネティックシールドイングと呼ばれる技術により、壁面損耗率を大幅に減少させられることが報告された。この技術は、磁場形状および壁面形状の工夫により、磁力線を壁面と平行にし、イオンを壁から遠ざかるような電場を形成することで実現している。この技術をSPT型に搭載した際の研究はすでに行われており、大型のSPTでは無損耗を実現している。しかし、マグネティックシールドイングをTAL型に応用した際の研究はまだあまり行われてきておらず、その効果も不明である。

本研究では、マグネティックシールドイングをTALに応用した際の効果を検証する。

2. 実験装置

2.1 マグネティックシールドイング搭載アノードレイヤ型スラスタUT-58

本研究では、アノードレイヤ型スラスタUT-58を使用した。推進剤はキセノンを使用した。特長

として、ポールピース間の距離を変えることで、磁場形状が可変である。今回、ポールピース間の距離を14から19, 24に変更した。また磁力線と壁面がより平行となるように壁面形状の変更も行った。図1に本実験で使用した磁場形状および壁面形状を示す。また表1に各形状における、磁力線と壁面が平行の場合を0度とした場合の磁力線と壁面の平均角度を示す。

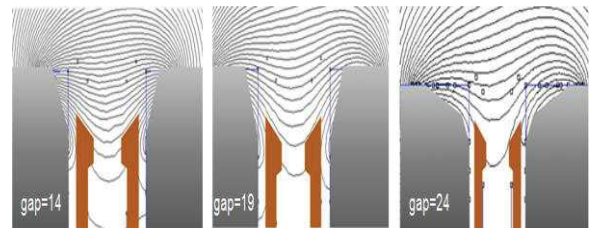


図1 磁場形状および壁面形状
(左: gap=14, 中央: gap=19, 右: gap=24)

表1 壁面と磁力線の平均角度

壁面と磁力線の平均角度	gap=14	gap=19	gap=24
両側平均	29.1 度	22.7 度	15.0 度

2.2 壁面損耗の大きさの評価および推進効率

壁面損耗率の大きさを評価するために、式(1)で表されるガードリング電流率を用いた。図2に示すように、TALにおける壁面は導体であり、スラスタの前面を絶縁体でカバーすることで、壁面に衝突するイオンのみをガードリング電流として計測した。壁面はSUSであり、SUSの主成分であるFe, Ni, Crのスパッタリング閾値はどれも約20 eV程度であり、この閾値はイオンがシースで加速するだけですぐに超える。そのため、ガードリング電流率は壁面損耗の指標とした。また推進効率は式(2)で定義される式を用いた。

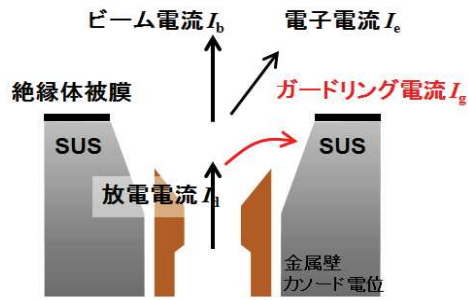


図2 壁面損耗の大きさの評価

$$\text{ガードリング電流率} \equiv \frac{I_g}{I_d} \quad (1)$$

$$\text{推進効率} \eta_t \equiv \frac{F^2}{2\dot{m}I_d V_d} \quad (2)$$

3. 実験結果と考察

3.1 ガードリング電流率

図3に推進剤流量3.40 mg/sでのgap=14, 19およびgap=24のガードリング電流率を示す。ガードリング電流率の大きさはgap=24で最も小さく、gap=19,24の順に大きくなっていることがわかる。これより磁力線を壁面と平行にすることでガードリング電流率の低減出来ることを確認した。

3.2 推進効率

図4に推進剤流量3.40 mg/sでのgap=14, 19およびgap=24の推進効率を示す。推進効率はgap=14において最も高く、gap=19, 24の順に低下していくことがわかる。この結果から、磁力線を壁面と平行にすることによるガードリング電流率の低減は、推進効率の低下と引き換えに達成出来たとと言える。

3.3 推進効率とガードリング電流率の関係

図5に推進剤流量2.72, 3.40 mg/s、放電電圧200V, 250, 300 Vにおける推進効率とガードリング電流率の関係を示す。推進効率とガードリング電流率はトレードオフの関係となっているが、同推進効率でよりガードリング電流率の小さい作動点を選択できるようになった。

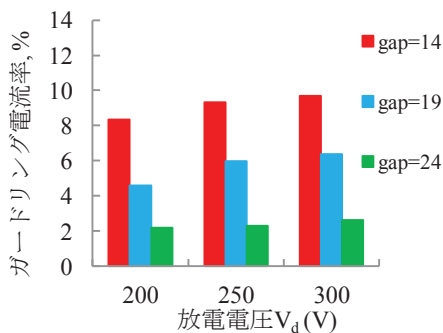


図3 ガードリング電流率

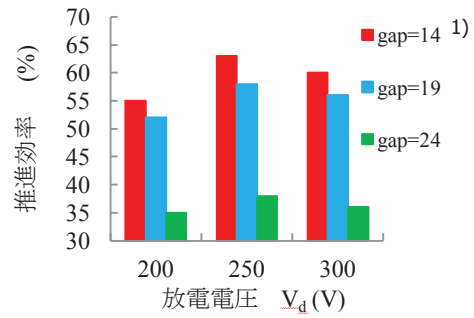


図4 推進効率

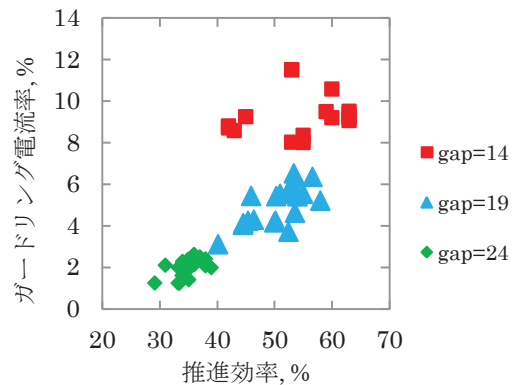


図5 推進効率とガードリング電流の関係

4. 結論

本研究では以下の結果が得られた。

1. マグネティックシールドリングを搭載する事でガードリング電流率が低減された
2. ガードリング電流率と推進効率はトレードオフの関係となった
3. マグネティックシールドリング搭載により同効率でよりガードリング電流率の小さい作動点を選択できるようになった

以上のことから、マグネティックシールドリングのアノードレイヤ型への応用は有効と言える。

- 1) 藤田大樹: Scaling Law for Argon Anode Layer Hall Thrusters, 東京大学, 2013, 修士論文.