

アノードレイヤ型ホールスラスタにおける マグネティックシールドイングの効果

学生証番号 47146061 氏名 平野 雄也
(指導教員 小紫 公也 教授)

Key Words : Electric Propulsion, Hall Thruster, Wall Erosion, Magnetic Shielding, Plasma Potential

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、大出力ホールスラスタの研究開発が近年活発になされている。大型の宇宙ミッションを目標にした場合、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)とアノードレイヤ型(TAL)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の方がより小さく、大出力化にはTALの方が適している。そのため大型宇宙輸送ミッションの実現を念頭に、TALの寿命性能を向上させる研究が行われてきている。

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。しかし近年、マグネティックシールドイングと呼ばれる技術により、壁面損耗率が大幅に低減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を工夫し磁力線を壁面と平行にすることで、イオンが壁から遠ざかるような電場を形成するというものである。この技術をSPTに搭載した研究はすでになされており、大型SPTでは無損耗も達成されているが、TALにマグネティックシールドイングを搭載した際の効果は不明瞭である。過去にマグネティックシールドイング搭載TALの研究がなされたことはあるが、その際はインナーアウターの起磁力比が一定での作動しかなされておらず、磁場の最適化は行われていない。

そこで本研究の目的は、まずマグネティックシールドイング搭載TALにおいてガードリング電流率とアノード効率の観点から磁場を最適化する。そして、最適点においてガードリング電流率とプラズマ電位分布の観点からマグネティックシールドイングの効果を解明することである。

2. 実験装置

2.1 アノードレイヤ型ホールスラスタUT-58

本研究では、東京大学で設計・開発された1 kW級アノードレイヤ型ホールスラスタUT-58を使用した。推進剤はキセノンを使用した。このスラスタにはマグネティックシールドイングが搭載されており、磁場形状および壁面形状は図1のようになっている。

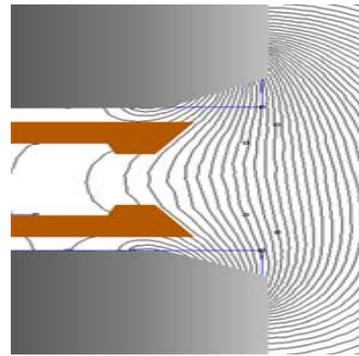


図1 UT-58の磁場・壁面形状

3. 実験結果と考察

3.1 磁場最適化

図2に放電電圧200 V、推進剤流量2.72 mg/sにおいて、インナー/アウター起磁力比を変化させた際のガードリング電流率とアノード効率の結果を示す。従来の起磁力比は2である。この結果から従来よりも起磁力比が低いときにガードリング電流率を低減させ、アノード効率も向上させていることが分かる。

次に、アウターコイル電流を最大値5 Aで固定し、インナーコイル電流を振って最適点を探した。その結果を図3に示す。この結果から起磁力比約0.8の点が最適であると言える。

図4にインナー/アウター起磁力比が従来の2のときの電位分布、図5に起磁力比を最適化した際の電位分布の計測結果を示す。この結果から、磁場を最適化することでビーム発散が抑えられるような電位分布が形成されており、それがガードリング電流

率の低減およびアノード効率の向上につながっていると考えられる。

3.2 マグネティックシールドリングの効果

3.2.1 ガードリング電流率

マグネティックシールドリングを搭載しておらず、UT-58とほぼ同サイズのアノードレイヤ型スラスタUT-55におけるガードリング電流率は7.4%であった¹⁾。これに対して、磁場最適化後のUT-58のガードリング電流率は2.0%であり、マグネティックシールドリング無しの時の約27%にまで低減された。

3.2.2 プラズマ電位分布

図6にマグネティックシールドリングを搭載しておらず、UT-58とほぼ同サイズのアノードレイヤ型スラスタD-55における電位分布の数値計算結果を示す²⁾。この場合等電位線が全体的に下流に凸になっている。それに対し図5を見ると、マグネティックシールドリングを搭載して磁場を最適化した場合は、チャンネル内のアノード幅程度の範囲内において等電位線が直線的になっており、イオンをチャンネル外へ真っすぐ加速するようになっていることが分かる。

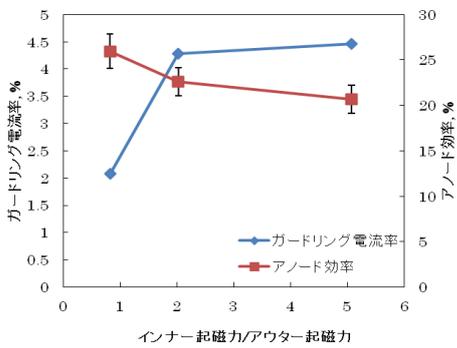


図2 インナー/アウター起磁力比に対するガードリング電流率とアノード効率

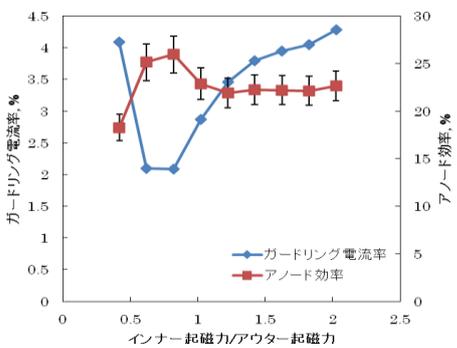


図3 アウターを最大値固定でインナーを変化させた際のガードリング電流率とアノード効率

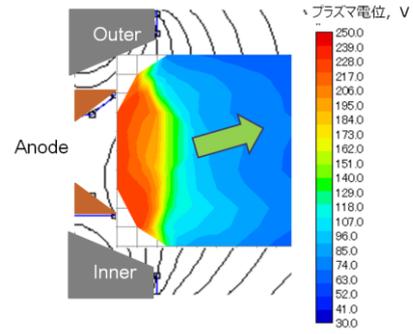


図4 インナーアウター比従来のUT-58の電位分布

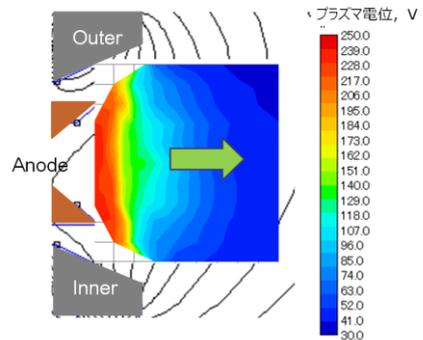


図5 インナーアウター比最適時のUT-58の電位分布

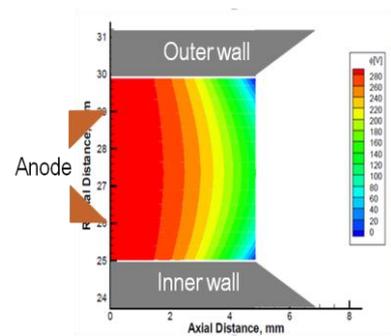


図6 D55の電位分布

4. 結論

- インナー/アウター起磁力比が従来より低い際ビームの発散を抑え、ガードリング電流率低減、アノード効率向上
- マグネティックシールドリングを搭載し磁場を最適化することで、ガードリング電流率はマグネティックシールドリング無しの約27%に低減
- イオンがチャンネル外へ真っすぐ加速される電位分布を形成

1) 福島靖博：周方向に非一様な推進剤供給によるホールスラスタの放電安定化，修士論文，東京大学，2009。

2) Yongjum C.,: MODELING AN ANODE LAYER HALL THRUSTER AND ITS PLUME, Doctoral thesis, University of Michigan, 2008.