

Scaling Law for Argon Anode-Layer Hall Thrusters

- アルゴンアノードレイヤ型ホールスラスタの設計則 -

学生証番号 47-126091 氏名 藤田 大樹

(指導教員 小紫 公也 教授)

Key Words : Electric propulsion, Argon, Xenon, Discharge oscillation map, Scaling law

1. はじめに

近年、宇宙開発が発展を遂げる中、ISECG（国際宇宙探査共同グループ）において、GER（国際宇宙探査ロードマップ）が策定されている。軌道間輸送、また将来の有人飛行を見据え、軌道間輸送機（OTV）の推進系に対する要求を満たすため、低コストかつ高性能な推進機の開発“**In-space propulsion**”の動きが盛んである。日本においてはRAIJINプロジェクトが立ち上がるなど、電気推進機であるホールスラスタが注目を集めている。JAXAにおけるロードマップ内のホールスラスタに対する要求を満たすため、低コストかつ高性能で安定なアノードレイヤ型ホールスラスタの開発が望まれている。

本研究では、上記の要求を満たすため、以下の3点を研究目的として掲げ、将来の大電力**In-space propulsion**におけるアルゴンスラスタの設計指針構築を達成する。

- ・アルゴン推進剤を用いて高い効率を達成し、将来の大型ミッションにおいてアルゴン推進剤の選択可能性を示す
- ・アルゴン推進剤作動において最適作動領域を探索する
- ・より高効率なアルゴンアノードレイヤ型スラスタの設計速を構築する

2. UT-58 アノードレイヤ型ホールスラスタ

本研究のため、今回新たに図1に示す**UT-58**アノードレイヤ型ホールスラスタを設計、製作した。**UT-58**には磁気シールドが搭載されており、ホローアノード内部に磁力線が分布しない。よりエロージョンの少ない磁力線形状を採用すると、ポールピース間距離を大きく取る必要があり磁束密度の最大値が低下してしまうことから、より小さな磁束密度で高効率を達成することが望ましい。

3. 実験結果と考察

アルゴン推進剤においてはアノード効率**23%**以上、比推力**1800**秒以上を達成した。**SPS**輸送などのミッションではアルゴン推進剤に優位性があることが分かった。特に推進剤流量増加、また放電電圧増加による効率の上昇が大きく、今後推進剤流量や放電電圧を上昇させることで更なる効率上昇が見込まれる。

キセノン推進剤とアルゴン推進剤の振動特性を比較するため、各プラズマの電子の平均自由行程に着目し、同じスケールでキセノンプラズマ、アルゴンプラズマ中の電子の拡散モードによる領域を分けることができる。各プラズマにおいて同じスケールで古典拡散領域、遷移領域、異常拡散領域を定義できた。

アルゴンでは古典拡散領域に最適作動点が位置している。今後更に高いアノード効率を実現するため、アルゴン推進剤の流量増加と放電電圧の増加が手法として考えられるが、古典拡散領域において投入電力の高い作動点に作動領域を拡大すればよいことが示唆される。

更なる高効率アルゴンスラスタ設計のため、実験値から求めた推進剤利用効率とチャンネルロス効率を用いたアノード効率とチャンネル幾何形状の関係を示した。チャンネル径を小さくすればするほど推進剤利用効率が大きくなり、アノード効率が改善される。さらに、各チャンネル径には最適なチャンネル長さやチャンネル幅のアスペクト比が存在する。より高効率な次世代アルゴンスラスタ設計に向け、図5を用いアノード効率**40%**弱を達成するチャンネル径**45 mm**、アスペクト比**0.27**を選択した。さらに詳細なチャンネル長さやチャンネル幅は、磁気回路設計、熱設計、チャンネルエロージョンの制限から決定する必要がある。

4. 結論

本研究では研究の目的である3点が達成された。以下のことが結論付けられる。

- ・大量物資輸送においてはキセノンよりアルゴンの方が推進剤として使用メリットがある。
- ・アルゴン推進剤では磁束密度の弱い領域において最適点が存在したことから、高磁束密度の実現が困難な理想的な磁場形状が選択できる可能性がある。
- ・より高効率なアルゴンスラスタチャンネル形状は、 $d=45\text{ mm}$ 、 $L/b=0.27$ となり、**37%**程度のアノード効率が期待される。

以上のことから、将来の“**In-space propulsion**”の要求を満たす高効率かつ安定でエロージョンの少ないアルゴンスラスタの実現に本研究は大きく寄与するものと考えられる。