

沿面アーク放電を利用した推進機の放電撮影による考察

九州工業大学 電気電子工学科 電気コース 学部4年 豊田研究室 村上 裕明

1. 研究背景と目的

近年、超小型衛星の打ち上げが増加しており、その要因として開発費用の安さやリスクの許容などがある。今後ミッションの多様化とともに姿勢制御や軌道変更になり、その際に超小型衛星に搭載可能な推進機の開発が必要になる。本研究の目的は超小型衛星に搭載可能な沿面アーク推進機の開発であり、今回、リング型磁石の使用によりテフロン均一な消費が可能かどうかを検証するためにハイスピードカメラを用いた沿面放電撮影と、スラスタのインパルスビット測定を行った。

2. 研究原理

沿面アーク推進機の原理について説明する。沿面アーク推進機は推進剤にテフロンを使用し、定電流素子を用いて放電電流を制御する。これは、より長時間電流を流すことでテフロンの昇華を効率よく行うことが狙いである。推進原理は、まずイグナイタの放電によって少量のテフロンが昇華し、それが両極間に広がることで短絡、沿面アーク放電が形成される。その後、アーク放電によって昇華したガスがノズルを通して排出されることで推力が得られる。

リング型磁石を使用する目的は、テフロンの均一な消費である。リング型磁石の中心にスラスタを設置することで、沿面アーク放電にローレンツ力が作用しスラスタ内を移動する。これによって、テフロン全体にエネルギーを与え、結果的にテフロンを均一に消費させることができると考えられる。

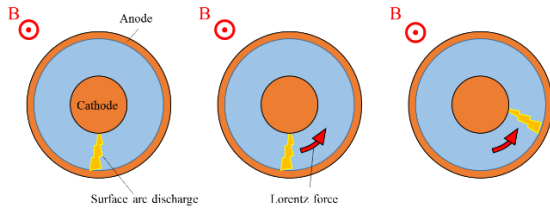


図 1. 磁石設置による放電の動き

3. 実験手法

沿面放電撮影では、図 2 と図 3 のスラスタ試供体を使用した。スラスタは陽極、陰極に銅を使用した同軸型の構造となっており、両極間に推進剤としてテフロンを挿入している。定電流制御には CRD を使い、図 3 ではスラスタをリング型磁石の中心に設置している。インパルスビット測定では、図 5 のスラスタを使用した。

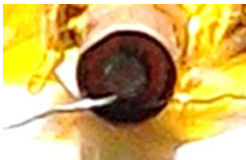


図 2. スラスタ(磁石なし)

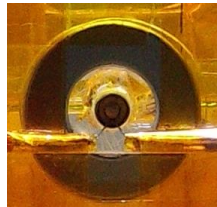


図 3. スラスタ(磁石あり)

また、図 4 の測定機構を用い、以下の式を用いてインパルスビット計算を行った。

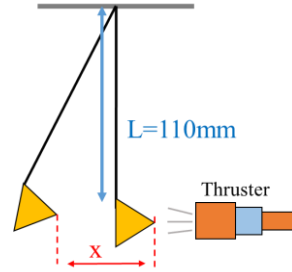


図 4. 測定機構

$$I_{bit} = M\sqrt{2g(L - \sqrt{L^2 - x^2})} \text{ [Ns]}$$

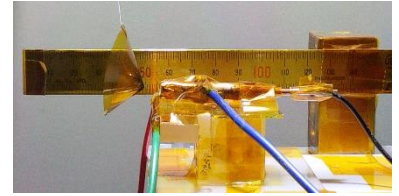


図 5. スラスタ(ノズルあり)

4. 実験結果

沿面放電撮影では、リング型磁石無しの場合では放電の移動は見られなかったが、有りの場合では放電の伝搬を確認できた。

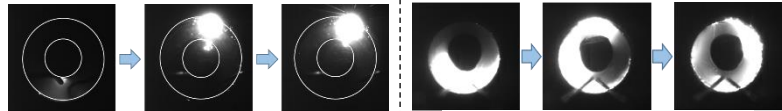
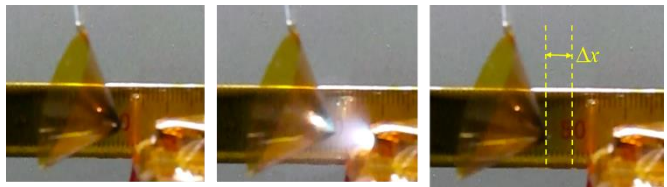


図 6. 放電(磁石無し)

図 7. 放電(磁石有り)

インパルスビット測定では、ターゲットは 5mm 移動した。このことから上記の式に $x = 5\text{mm}$ 、 $M = 3.4 \times 10^{-5}\text{kg}$ を代入すると、 $I_{bit} = 1.6\mu\text{Ns}$ と計算できる。



(a) 噴射前

(b) 噴射時

(c) 噴射後

図 8. スラスタ噴射

5. まとめ

沿面放電撮影より、リング型磁石の使用によって放電がテフロン表面全体を移動することを確認できたことから、テフロンの均一な消費が可能であると考えられる。また、ノズルをとりつけたスラスタの噴射によってターゲットが移動したことから、推進機としての動作を確認でき、現状のスラスタのインパルスビットを計算から求めることができた。

今後は、よりスラスタに適したノズルの設計と、高電圧に耐える定電流回路の作成が必要になる。また、長時間の連続噴射によるテフロン消費量とインパルスビット変化の測定についても行う必要がある。