

K-53

## 同軸型パルスプラズマスラストにおける放電領域が放電・推進特性に与える影響

### Effect of discharge region on discharge and thrust characteristics in coaxial pulsed plasma thruster

○栗原了頌<sup>1</sup>, 渡部政行<sup>2</sup>, 田辺光昭<sup>3</sup>Ryousyou Kurihara<sup>1</sup>, Watanabe Masayuki<sup>2</sup>, Watanabe Masayuki<sup>3</sup>

In recent years, many nano-satellites have been used in space missions. However, most nano-satellites are not equipped with a propulsion system due to strict weight and power consumption constraints, which leads to problems such as mission restrictions and debris. Therefore, a small, lightweight, and low-power-consumption propulsion system is required. In recent years, the Pulsed Plasma Thruster (PPT), a type of electric propulsion system, has been attracting attention as a propulsion system that satisfies these requirements. The purpose of this study is to investigate the effect of the discharge room shape of a coaxial pulsed plasma thruster on the discharge and propulsion characteristics.

#### 1. 実験背景と目的

近年、短期間かつ低コストで開発可能な 100kg 以下の超小型人工衛星の研究開発が盛んになっている。またそれを利用した宇宙空間のミッションにおける様々な運用も世界中で進んでいる。しかしながら、超小型人工衛星は搭載重量や搭載スペースなどの制限が厳しいため、推進機を搭載していない場合がほとんどである。そのためミッションの制限や使用後のデブリ化などにつながっている。以上の理由より、今後は超小型人工衛星にも搭載可能な推進機の開発が重要となる。そこで本研究室では、小型・低電力化・低価格が可能な電気推進機の一つである「パルスプラズマスラスト (Pulsed Plasma Thruster:PPT)」の研究開発を進めている[1]。PPTには電磁加速が支配的な平行平板型PPTと電磁加速に加え電熱加速も加わる同軸型PPTの2種類がある。本研究では高推力が望める同軸型PPTを研究対象とし、その放電特性、推進特性等を明らかにすることを目的とする。特に、同軸型PPTの放電室長さを変更させた場合の発生力積・比推力の関係性を明らかにすることを目的とする。

#### 2. パルスプラズマスラスト (PPT)

図1に本研究で用いる同軸型PPTの電極部概略図を示す。まずPPTの一般的な構造と動作原理を以下に示す。PPTは電磁加速型電気推進機の一つであり、主に固体推進剤、陽極(Anode)、陰極(Cathode)、主放電用電源、主放電用キャパシタ、イグナイタ、イグナイタ用電源等で構成される。一般的な電気推進機では推進剤として気体を用いるため、タンクやバルブ等を必要とし、そのため構造が複雑になり重量増加につながる。一方、PPTは推進剤に固体を用いるため、構造がシンプルかつ軽量となり、超小型衛星用の推進機として最適であると考えられる。また、パルス作動であるため、微小推

力を任意の時間間隔で発生させることができ、そのため精密な姿勢制御や位置制御が可能となる等の利点もある。

次に、本研究で用いる同軸型PPTの推力発生プロセスを図1を用いて説明する。まず、イグナイタを用いイグナイタ電極と陽極間で高電圧の放電を起こし固体推進剤の一部を昇華、電離させる。電離された少量のガスは、陰極-陽極間に高導電性の領域を形成し、その後、陰極-陽極間に接続されたキャパシタによって主放電が形成される。この主放電によって固体推進剤がさらに昇華され、一部が電離し、主放電電流  $j$  とその自己誘起磁場  $B$  が作るローレンツ力  $J \times B$  によりプラズマは電磁力学的加速を受ける。また同軸型PPTでは、高エンタルピー気体の膨張による気体力学的加速も同時に発生する。加速を受けたプラズマはその放電領域を広げながらスラスト外へ放出され推力となる[2]。PPTでは、以上のサイクルを1ショットとして任意の時間間隔でパルスの推力を発生することができる。

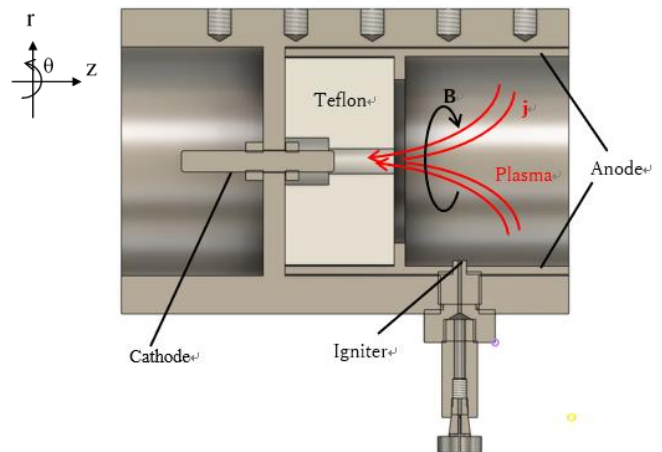


Figure 1. Thrust generation mechanism of coaxial PPT

### 3. 実験装置

本研究では固体推進剤にテフロン (PTFE) を用いる。また, 陰極および陽極部には SUS304 を使用している。イグナイタ電極にはタングステンを用いている。本実験で用いる同軸型 PPT は放電室長さ  $L$  を 0~10mm の範囲で任意に変化させることができる。

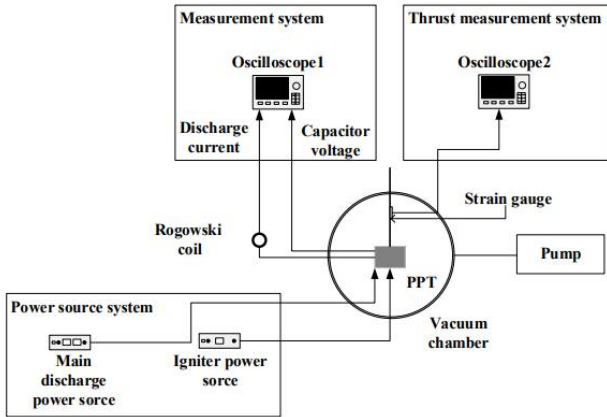


Figure 2. Schematic diagram of experimental device

本研究で使用する実験系の全体の概略図を図 2 に示す。実験では真空容器内に PPT を挿入し, イグナイタ用電源と主放電用電源のケーブルを接続する。油拡散ポンプを用いて真空容器内を真空状態にする。実験時の真空容器内の圧力は  $10^{-2}$ ~ $10^{-3}$ Pa 程度である。オシロスコープを用いて放電時の充電電圧と放電電流を計測する。充電電圧は高電圧プローブを用い, 1/1000 に分圧して充電電圧を計測する。放電電流は, 自己積分型ログウスキーコイルを用いて計測する。ログウスキーコイルは測定電流周りに生じる磁界により誘起される電圧を積分して電流を測定するため非接触で大電流が計測可能である。推力測定系では歪みゲージを用いた推力測定装置により推力を測定する。固体推進剤の消費量は, 放電前後の質量を電子天秤を用いて計測することでその差によって得ることができる。

### 4. 数値シミュレーション結果

陰極 - 陽極間に印可された高電圧により電場 (等電位線) が形成され, その電場に対し垂直な電気力線が形成される。放電はこの電気力線に沿った放電可能な放電路で発生する。放電室の長さ  $L$  の変化に対する放電特性および推進特性の変化予測するために電場の数値シミュレーションを行った。放電路は等電位線に垂直な電気力線に沿う。放電室長さ  $L$  を変更した場合のシミュレーション結果を図 3~5 に示す。シミュレーシ

ョン結果より放電室長さが短い方ほど, 放電形成が可能な放電路が短くなり, そのためパッシェンの法則より放電に必要な電圧が低くなることが予想される。講演では放電室長さ  $L$  が放電特性, 推進特性に与える影響を実験的に調べ, 報告する予定である。

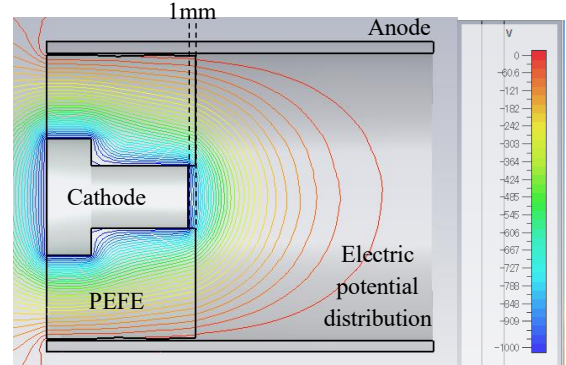


Figure 3. Simulation of potential of PPT ( $L=1$ mm)

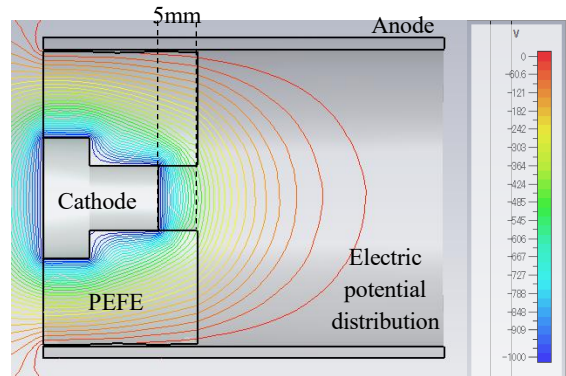
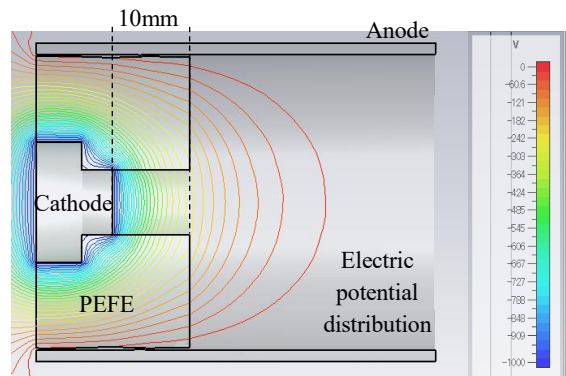


Figure 4. Simulation of potential in PPT ( $L=5$ mm)



### 参考文献

- [1] 西尾美咲他. 低軌道における大気抵抗補償向けパルスプラズマスラスタの開発および超小型衛星搭載に向けたラインナップ化. 2017.
- [2] 栗田恭一・荒川義博:「電気推進ロケット入門」, 2003