

K-40

## 同軸型パルスプラズマスラスタの電極形状が放電特性・推進特性に与える影響 Effect of electrode geometry on discharge and propulsion characteristics of coaxial pulse plasma thrusters

○小早川咲也<sup>1</sup>, 松寄大吾<sup>2</sup>, 渡部政行<sup>3</sup>, 田辺光昭<sup>4</sup>

\*Sakuya Kobayakawa<sup>1</sup>, Daigo Matsuzaki<sup>2</sup>, Masayuki Watanabe<sup>3</sup>, Mitsuaki Tanabe<sup>4</sup>

In recent years, many nano-satellites have been used for missions in space. However, most nano-satellites are not equipped with a propulsion system, which limits the missions that can be realised. This means that in the future it will be necessary to develop propulsion systems that can be installed on small satellites. Here, pulsed plasma thrusters (PPTs) are a type of electric propulsion system suitable for nano-satellites. In PPTs, miniaturization is achieved by using solids such as Teflon as propellant. The aim of this study is to investigate the influence of the geometry of the electrodes of coaxial pulse plasma thrusters on the discharge and propulsion characteristics.

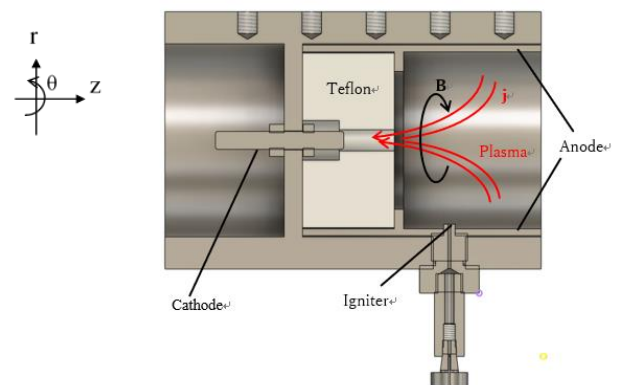
### 1. 研究背景と目的

近年、大学や国、また企業が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。国内においても、宇宙ゴミ等の捕獲目的として、超小型人工衛星を開発する計画がある。しかしながら、超小型人工衛星は搭載重量や消費電量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。そのため人工衛星としての寿命が短く、遂行できるミッションの制限などにもつながっている。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。そこで本研究では、電気推進機の一つである小型・低電力化・低価格が可能な「パルスプラズマスラスタ (Pulsed Plasma Thruster:PPT)」の研究開発を進めている [1]。本研究では特に、作成した同軸型 PPT の固体推進剤の陰極径を変更させた場合の放電特性と比推力への影響を明らかにすることを目的とした研究を行った。

### 2. パルスプラズマスラスタ (PPT)

まず PPT の一般的な構造と動作原理を以下に説明する。PPT は、陽極(Anode)、陰極(Cathode)、固体推進剤、固体推進剤の供給機構、イグナイタ、主放電用キャパシタ、イグナイタ用電源、主放電用電源等で構成された、電磁加速型に属す電気推進機の一つである。PPT の最も重要な利点は、固体の推進剤を用いることである。これにより、電極部の構造が単純かつ軽量となり、以上のことから超小型人工衛星にとって最適な推進機であると言える。また、パルスの推進作動であるため、任意の時間間隔で微小推力を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。

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放電を起こし固体推進剤の一部を昇華、プラズマ化させる。プラズマは陰極、陽極間で高導電性の領域を形成し、それによって陰極と陽極の間が短絡され、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、一部がプラズマ化し、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  $J \times B$  により電磁学的加速を受ける。また、高エンタルピー気体の膨張による気体力学的加速も受ける。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タ外へ放出され推力となる。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

同軸型 PPT では電磁学的加速により推力が発生することに加えて、気体力学的加速も推力に強く寄与することが知られている。また、ジュール加熱、輻射などにより固体推進剤をプラズマ化する際、熱流束が大きく平行平板型 PPT よりも固体推進剤の昇華量が多

1: 日大理工・学部・航宇 2: 日大理工・院(前)・量子 3: 日大理工・教員・量科研 4: 日大理工・教員・航宇

い。推進剤消費量が多いことから平行平板型 PPT と比べて発生する推力が大きいことや、その反面、比推力が小さいという特徴がある。

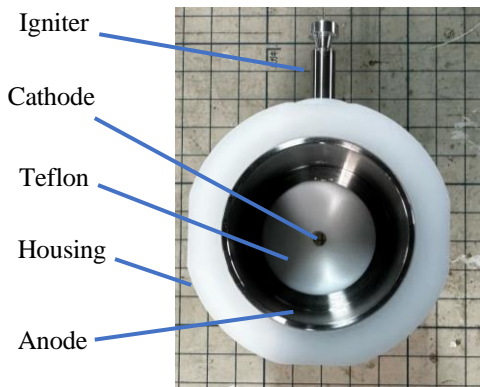


Figure 2. Schematic diagram of coaxial PPT

本研究で用いる同軸型 PPT を図 1 に示す Z 方向から撮影した写真を図 2 に示す。電極に使用した材料は SUS304 である。固体推進剤の電極径を変化させた場合の放電特性、推進特性を比較するために、電極径が 4, 6, 8mm と異なる形状の電極を用意した。本実験では固体推進剤にテフロン (PTFE) を用いた。

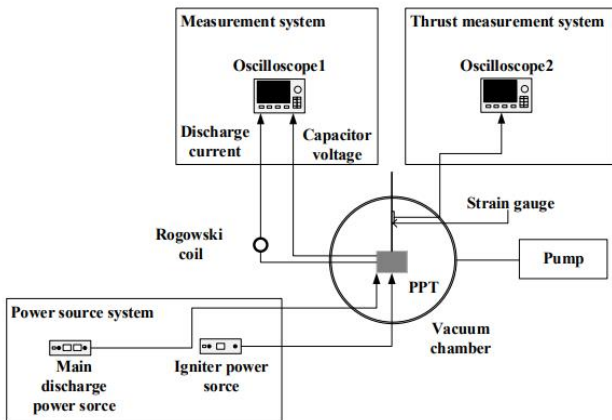


Figure 3. Schematic diagram of experimental device

本研究で実験を行う装置の概略図を図 3 に示す [2]。実験では真空容器内に同軸 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。実験時の真空容器内の到達真空度は  $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{Pa}$  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 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後、その質量を計測することで得ること

ができる。

#### 4. 実験結果とまとめ

同軸型 PPT の放電写真を図 4 に示す。この写真は、図 2 に示す電極部の Z 方向からの撮影であり、カソード部の強い発光とイグナイタ部の弱い発光を確認することができる。陰極への充電電圧は 800V である。

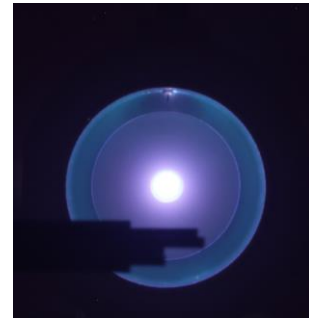


Figure 4. Discharge photographs of coaxial PPTs

次に、陰極への充電電圧を 800, 1000, 1200V とした場合の放電波形を図 5 に示す。横軸が時間で縦軸が放電電流である。放電電流は弱い減衰振動を示すことがわかる。充電電圧の増加に伴い放電電流の最大値がほぼ比例して増加することが確認できる。

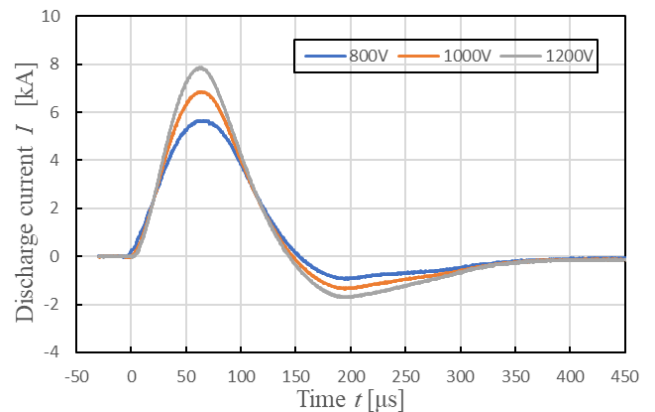


Figure 5. Discharge current dependence of on charging voltage

本研究では、同軸型 PPT の固体推進剤の陰極径を変更させた場合の放電特性と比推力への影響を明らかにすることを目的として、新たに電極部を設計・製作し、放電実験を開始した。本講演においては電極形状が放電特性・推進特性に与える影響に関して報告する。また、ファラデーカップを用いて同軸型 PPT における固体推進剤の比推力の影響も報告する予定である。

#### 参考文献

- [1] 栗田恭一・荒川義博:「電気推進ロケット入門」,2003
- [2] 松寄大吾 パルス型プラズマスラスタの放電特性の計測 推力特性の評価, 2021