

内容梗概

題目：『真空アーク推進機の放電頻度向上を目的とした推進剤の開発』

指導教員：豊田和弘 准教授

提出者：17108020 岡元大河

1. 研究背景

近年、超小型人工衛星(1kg から 50kg までの人工衛星)の需要が大幅に増加している。しかし、超小型人工衛星には推進系を搭載することがほとんどできていない。超小型人工衛星が推進系を搭載するスペースを確保することができないのが理由となっている。本研究では、超小型人工衛星にも搭載することが可能な小型の推進機を開発するため、真空アーク推進機(以下 VAT: Vacuum Arc Thruster)に注目する。

2. 真空アーク推進機(VAT)

VAT(図1)とは、陰極-陽極間で起こすアーク放電により推力を得る推進機である。放電時に陰極輝点(Cathode spot)から噴出されるプラズマ蒸気(Plasma jet)や金属蒸気が推力となる。

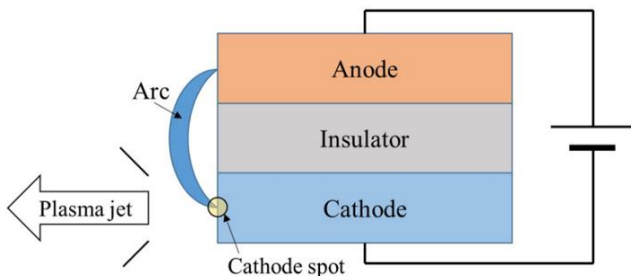


図1 真空アーク推進機(VAT)の概略図

3. 受動点火

衛星軌道である低地球軌道は、電子と正イオンが多く存在するプラズマ状態である。プラズマ状態と絶縁体と導体が交わる三重接合点では、電界が集中する。電界の集中により材料から電子が放出される。さらに、電子が材料に当たると材料から電子が放出される。これらの電子放出により電子の濃度が高くなり、放電が引き起こされる。

VAT はプラズマ環境下での受動点火が可能で、点火器が不要となり小型化に繋がる。しかし、受動点火が実用可能な領域に達していない。本研究ではこの受動点火を採用した VAT の推進剤を開発する。

4. 本研究の目的

新たな水分含有方法や陰極シートを使用した推進剤の開発により放電頻度を向上させることを目的とする。

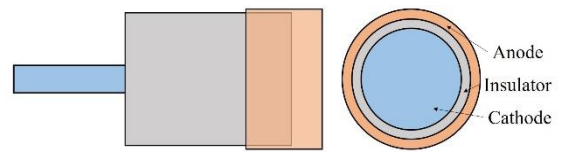


図2 実験サンプル

5. 実験と考察

- ①水分と接着剤を混ぜて陰極シートに塗る
- ②陰極に配線した銅棒を軸に陰極シートを巻く
- ③カプトンテープで絶縁する
- ④陽極に配線した銅板を巻いて固定する

上記のような手順でサンプル(図2)を作成した。水分含有方法をマイクロシリカや高吸水性ポリマーやポリアクリル酸ナトリウムに変更、陰極シートを CFRP シートや銅メッシュや銅板に変更して、1時間の放電頻度を測定した。

ポリアクリル酸ナトリウムのサンプルの放電回数が最も大きくなった(図3)。銅メッシュのサンプルに-900Vを印加した際、非常に大きな放電周波数を確認することができた。しかし、しばらくしてサンプルは短絡した。これは絶縁層が薄いことによって生じる放電が原因だと考えられる。銅メッシュや銅板は、CFRPシートよりも放電回数は小さくなった。CFRPシートに比べて放電時に割れにくいことが原因だと考えられる。

6. 結論

- ① ポリアクリル酸ナトリウムによる水分含有方法で放電頻度が向上した。
- ② 銅メッシュや銅板を陰極シートにしても放電頻度は向上しなかった。

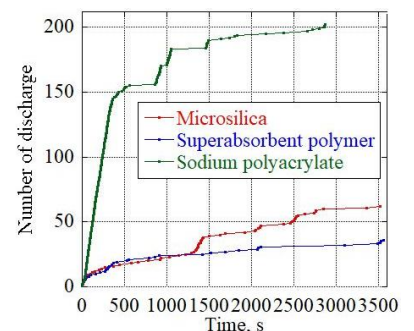


図3 時間と放電回数(-600V)

1. Background

In recent years, the demand for micro artificial satellites (artificial satellites from 1 kg to 50 kg) has increased significantly. However, it is almost impossible to mount a propulsion system on the micro artificial satellite. The reason is that the micro artificial satellite cannot secure the space for mounting the propulsion system. In this research, we focus on the Vacuum Arc Thruster in order to develop a small propulsion machine that can be mounted on the micro artificial satellite.

2. VAT: Vacuum Arc Thruster

VAT(Fig.1) is a propulsion machine that obtains thrust by arc discharge generated between the cathode and the anode. Plasma vapor ejected from the bright spot of the cathode during discharge becomes the thrust.

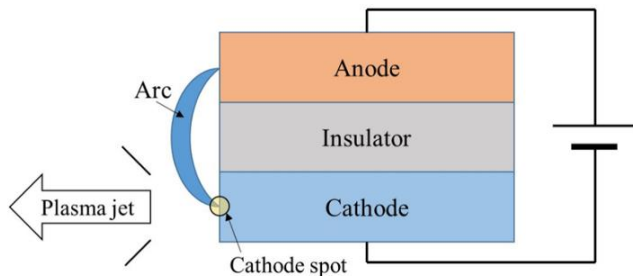


Fig.1 Vacuum Arc Thruster

3. Passive ignition

The electric field is concentrated at the triple junction where the plasma state intersects the insulator and the conductor. Electrons are emitted from the material by the concentration of the electric field. Furthermore, when an electron hits a material, the material emits an electron. These electron emissions increase the concentration of electrons and cause an electric discharge.

VAT can be passively ignited in a plasma environment, eliminating the need for an igniter. However, passive ignition is not practical. In this research, I'll develop a VAT propellant that uses this passive ignition.

4. Purpose

To improve the discharge frequency by developing a new water-containing method and a propellant using a cathode sheet.

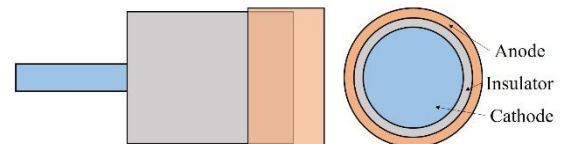


Fig.2 Thruster head sample

5. Experiments and Discussions

- ① Mix water and adhesive and apply to cathode sheet ② Wrap the cathode sheet around the copper rod
- ③ Insulate with Kapton tape ④ Wrap a copper plate and fix it

A sample (Fig.2) was created by the above procedure.

The number of discharges of the sodium polyacrylate sample was the largest (Fig. 3). When -900V was applied to the copper mesh sample, a very large discharge frequency could be confirmed. However, after a while, the sample was short-circuited. This is thought to be due to the discharge caused by the thin insulating layer. The number of discharges of copper mesh and copper plate was smaller than that of CFRP sheet. It is thought that the cause is that it is harder to scrape during discharge than the CFRP sheet.

6. Conclusion

- ① Sodium polyacrylate improved the frequency of discharge.
- ② The discharge frequency did not improve by changing the cathode sheet.

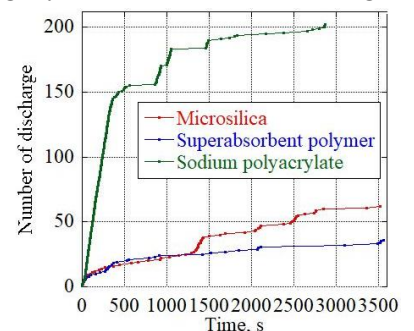


Fig.3 Time and discharge frequency

目次

第1章 序論

1.1 研究背景

1.1.1 歴史的背景

1.1.2 超小型人工衛星における推進系の現状

1.1.3 推進機の種類

1.1.4 真空アーク推進機: Vacuum Arc Thruster

1.1.5 鳳龍四号に搭載された VAT

1.2 先行研究

1.2.1 渕上氏の研究 2015

1.2.2 岩瀬氏の研究 2017

1.2.3 中山氏の研究 2018

1.2.4 山口氏の研究 2020

1.3 本研究の目的

1.3.1 新たな水分含有方法による放電頻度の向上

1.3.2 新たな陰極シートによる放電頻度の向上

第2章 研究原理

2.1 VAT の原理

2.2 受動点火

2.3 CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic

2.4 目標とする放電周波数

第3章 研究方法

3.1 実験環境

3.1.1 低地球軌道(LEO: Low Earth Orbit)環境模擬チャンバ

3.2 実験器具

3.2.1 電源装置

3.2.2 オシロスコープ

3.2.3 高電圧差動プローブ

3.2.4 デジタルハイテスター

3.2.5 カレントモニタ

3.2.6 ラングミュアプローブ

3.2.7 スラスタヘッドサンプル

3.3 放電実験手順

第4章 水分含有方法と放電頻度に関する実験

- 4.1 目的
- 4.2 実験方法
 - 4.2.1 サンプル作成
 - 4.2.2 放電実験
- 4.3 実験結果
 - 4.3.1 プラズマ環境
 - 4.3.2 放電頻度

第5章 銅メッシュを陰極シートとした時の放電頻度に関する実験

- 5.1 目的
- 5.2 実験方法
 - 5.2.1 サンプル作成
 - 5.2.2 放電実験
- 5.3 実験結果
 - 5.3.1 プラズマ環境
 - 5.3.2 放電頻度

第6章 スラスタヘッドサンプルの切断面改良に関する実験

- 6.1 目的
- 6.2 実験方法
 - 6.2.1 サンプル作成
 - 6.2.2 放電実験
- 6.3 実験結果
 - 6.3.1 プラズマ環境
 - 6.3.2 放電頻度

第7章 sampleC と sampleF の再現性に関する実験

- 7.1 目的
- 7.2 実験方法
 - 7.2.1 サンプル作成
 - 7.2.2 放電実験
- 7.3 実験結果
 - 7.3.1 プラズマ環境
 - 7.3.2 放電頻度

第8章 考察

- 8.1 水分含有方法と放電頻度に関する考察
- 8.2 陰極シートと電圧波形に関する考察
- 8.3 絶縁層の薄さによる放電と絶縁破壊に関する考察
- 8.4 電子密度と放電頻度に関する考察
- 8.5 一時的に大きい放電周波数に関する考察

第9章 結論

- 9.1 総括
- 9.2 今後の課題

参考文献

謝辞

付録

全文を希望の方は cho@ele.kyutech.ac.jp までご連絡ください

Table of Contents

Chapter1 Introduction

- 1.1 Research background
 - 1.1.1 Historical background
 - 1.1.2 Current status of propulsion system
 - 1.1.3 Type of propulsion machine
 - 1.1.4 VAT: Vacuum Arc Thruster
 - 1.1.5 VAT mounted on the HORYU-IV
- 1.2 Previous research
 - 1.2.1 Huchigami's research 2015
 - 1.2.2 Iwase's research 2017
 - 1.2.3 Nakayama's research 2018
 - 1.2.4 Yamaguchi's research 2020
- 1.3 Purpose
 - 1.3.1 New water content methods
 - 1.3.2 New cathode sheets

Chapter2 Principle

- 2.1 VAT
- 2.2 Passive ignition
- 2.3 CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic
- 2.4 Target discharge frequency

Chapter3 Methods

- 3.1 Experiment Environment
 - 3.1.1 LEO chamber: Low Earth Orbit chamber
- 3.2 Equipment
 - 3.2.1 Power supply
 - 3.2.2 Oscilloscope
 - 3.2.3 High voltage different prove
 - 3.2.4 Digital high tester
 - 3.2.5 Current monitor
 - 3.2.6 Langmuir prove
 - 3.2.7 Thruster head sample
- 3.3 Experimental procedure

Chapter4 Water content methodes and discharge frequency

4.1 Purpose

4.2 Methods

4.2.1 Sample creation

4.2.2 Experimental procedure

4.3 Result

4.3.1 Plasma environment

4.3.2 Discharge frequency

Chapter5 Copper mesh cathode sheet and discharge frequency

5.1 Purpose

5.2 Methods

5.2.1 Sample creation

5.2.2 Experimental procedure

5.3 Result

5.3.1 Plasma environment

5.3.2 Discharge frequency

Chapter6 Cut surface improvement and discharge frequency

6.1 Purpose

6.2 Methods

6.2.1 Sample creation

6.2.2 Experimental procedure

6.3 Result

6.3.1 Plasma environment

6.3.2 Discharge frequency

Chapter7 Reproducibility of sampleC and sampleF

7.1 Purpose

7.2 Methods

7.2.1 Sample creation

7.2.2 Experimental procedure

7.3 Result

7.3.1 Plasma environment

7.3.2 Discharge frequency

Chapter8 Discussion

- 8.1 Water content methode and discharge frequency
- 8.2 Cathode sheet and discharge frequency
- 8.3 Thinness of insulation layer and dielectric breakdown
- 8.4 Electron density and discharge frequency
- 8.5 Temporarily large discharge frequency

Chapter9 Conclusion

- 9.1 Summary
- 9.2 Next Task

Reference

Acknowledgments

Appendices

If you would like the full text, please contact me cho@ele.kyutech.ac.jp