

CubeSat 搭載を目指した 誘発型真空アーク推進機の動作回路の開発

九州工業大学工学部宇宙システム工学科電気宇宙システム工学コース 211A3125 松本悠志

指導教員: 豊田和弘 教授

CubeSat の開発が増加し、より高度な技術が搭載されることが増えつつある現在において、小型化が可能な電気推進系の開発は、CubeSat の行うことのできるミッションの高度化につながるという点で重要である。本研究において着目した真空アーク推進機は電気推進機の 1 つであり、他の推進機と比較して搭載スペースが小さいため、CubeSat へ搭載する推進機として適していると言える。

先行研究では、スラスタの性能向上に焦点をあてた研究が多くなされている一方で、真空アーク推進機を動作させるためのシステムに関しては、ほとんど研究が進んでいないという現状がある。したがって、本研究では真空アーク推進機を 3U CubeSat などの衛星に搭載するための動作回路を開発することを目標とした。そしてその回路の動作によって通信を行いコンデンサの充放電の制御すること、それによって誘発型真空アーク推進機を制御することを目的とした。

開発の段階としてまず CubeSat に真空アーク推進機を搭載する場合のシステムを考案した。そして、真空アーク推進機の動作に必要なコンデンサの充放電を行う回路を作成した。このときコンデンサの充電時間を調整することで、誘発型真空アーク推進機を正常に動作させることに成功した。また i2c 通信によって、HV DCDC による昇圧を制御したことで、誘発型真空アーク推進機を制御することに成功した。

回路の動作はチャンバを用いた実験によって実証され、真空アーク推進機の放電波形が観測された。

Development of control circuits for induced vacuum arc thrusters for installation on CubeSat

Kyushu Institute of Technology, Faculty of Engineering,

Department of Space Systems Engineering, Electrical and Space Systems Engineering Course

22112302 Yuji Matsumoto (Supervisor: Prof Kazuhiro Toyoda)

With the increasing development of CubeSats and the increasing number of more advanced technologies being installed on them, the development of electric propulsion systems that can be downsized is important in that it will lead to more advanced missions that can be performed by CubeSats. The vacuum arc thruster focused on in this study is one of the electric propulsion systems and is suitable as a propulsion system for CubeSat because it requires less space for installation compared to other propulsion systems.

While much of the previous research has focused on improving the performance of thrusters, little research has been done on systems for operating vacuum arc thrusters. Therefore, the aim of this study was to develop an operating circuit for a vacuum arc thruster to be mounted on a satellite such as the 3U CubeSat. The aim was to control the charging and discharging of the capacitors by communicating through the operation of the circuit, thereby controlling the triggered vacuum arc thruster.

The first stage of development was to devise a system for mounting a vacuum arc thruster on a CubeSat. A circuit was then created to charge and discharge the capacitors necessary for the operation of the vacuum arc thruster. By adjusting the charging time of the capacitor, the triggered vacuum arc thruster was successfully operated. The induced vacuum arc thruster was also successfully controlled by controlling the voltage boosting by the HV DCDC via i2c communication.

The operation of the circuit was demonstrated by chamber-based experiments, where discharge waveforms of the vacuum arc thruster were observed.

目次

第 1 章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.1.1 超小型人工衛星の開発の現状.....	1
1.1.2 九州工業大学における CubeSat 開発.....	2
1.1.3 CubeSat に搭載する推進系について.....	2
1.1.4 真空アーク推進機.....	2
1.1.5 真空アーク推進機の動作回路.....	2
1.2 研究状況.....	2
1.2.1 keteryna 氏の研究 2016.....	3
1.2.2 野村氏の研究 2024.....	3
1.2.3 他大学の研究 2013.....	3
1.3 目的.....	3
第 2 章 原理.....	3
2.1 基本原理.....	3
2.2 受動点火.....	4
2.3 シート状真空アーク推進機.....	5
2.4 誘発型真空アーク推進機.....	5
第 3 章 動作回路の開発.....	6
3.1 真空アーク推進機を用いた電気推進システム.....	6
3.1.1 EPS.....	6
3.1.2 ADCS との接続.....	8
3.2 素子や部品.....	8
3.2.1 Arduino nano.....	8
3.2.2 HV DCDC.....	9
3.2.3 Photo Coupler.....	11
3.2.4 Capacitor.....	12
3.2.4.1 14 μ F Capacitor.....	12
3.2.4.2 100pF Capacitor.....	13
3.3 実験回路.....	13
3.3.1 要求.....	14
3.3.2 基本動作原理.....	14
3.3.3 コンデンサの充放電.....	15
3.3.3.1 分圧.....	15
3.3.3.2 バランス抵抗.....	15
3.3.3.3 充電時間の調整.....	16
3.3.3.4 誘発型真空アーク推進機のスイッチング.....	16
3.3.4 昇圧の制御.....	18

3.4 通信について.....	18
3.4.1 i2c 通信.....	18
3.4.2 開発環境.....	19
3.4.3 概要.....	19
3.4.4 プログラムの詳細.....	19
3.4.4.1 Master 側のプログラム.....	20
3.4.4.2 Slave 側のプログラム.....	21
第 4 章 実験概要.....	22
4.1 概略.....	22
4.2 実験環境.....	22
4.2.1 想定される環境.....	23
4.2.2 地球低軌道環境模擬チャンバ.....	23
4.3 測定装置.....	24
4.3.1 高電圧差動プローブ.....	25
4.3.2 電流プローブ.....	26
4.3.3 ラングミュアプローブ.....	27
4.3.4 オシロスコープ PC.....	28
4.4 供試体.....	28
4.4.1 円筒型真空アーク推進機.....	28
4.4.2 銅シート状真空アーク推進機.....	29
4.5 その他実験装置.....	29
4.5.1 電源装置.....	30
4.5.2 Master 側の概要.....	30
第 5 章 実験方法.....	31
5.1 実験準備.....	31
5.1.1 セッティング.....	31
5.1.2 LEO チャンバ内の準備.....	33
5.1.3 LEO チャンバ外の準備.....	33
5.1.4 LEO チャンバの立ち上げ.....	35
5.2 動作実験.....	35
5.2.1 実験手順.....	35
5.2.2 実験条件.....	35
第 6 章 実験結果.....	36
第 7 章 考察.....	39
7.1 放電時の波形と真空アーク推進機の動作について.....	39
7.2 放電回数と周波数について.....	39
7.3 考察のまとめ.....	39

第 8 章 結論.....	40
第 9 章 今後の課題.....	40
参考文献.....	41
謝辞.....	42
付録.....	43

全文を希望の方は cho.mengu801@mail.kyutech.jp までご連絡下さい