

超小型衛星用真空アーク推進機の性能測定試験およびエンジニアリングモデルの開発

九州工業大学大学院 工学府 電気電子工学専攻 博士前期課程 2年 豊田研究室 中本 昌芳

1. 研究背景と目的

近年、超小型衛星が大型衛星や小型衛星に比べ、開発費が安く済むことや短い開発期間で済むことなどの理由から、大学、中小企業、発展途上国等で開発が行われており、新たな宇宙開発の利用が期待されている。本校でも 2012 年 5 月に高電圧実証衛星「鳳龍式号」を打ち上げた。

この人工衛星の小型化の流れを受けて搭載する推進機も小型化を行う必要がある。しかしながら、超小型衛星(30kg 級)には使用可能電力や大きさなど様々な制限が課されているため、従来の小型衛星(100kg 級)などで使用される推進機を載せることが難しく、現状として推進機が超小型衛星に搭載されて宇宙上で動作した実績は未だ無い。そこで本研究は超小型衛星にも搭載可能な推進機として真空アーク推進機の開発を行う。またこの推進機は超小型衛星の姿勢制御、軌道変更を予定している。

2. 研究原理

真空アーク推進機とその回路図を図1に示す。

推進剤には固形金属を用いており、周りを絶縁体で覆って一部だけ推進剤を露出させている。その推進剤に電源の負極を接続し、電荷を蓄えるためのコンデンサが接続されている。

本装置は、従来の方式とは異なり、スパークプラグを使わず、周辺プラズマ環境により始動する。また、固体の推進剤を使用するため、放出弁やバルブが不要となる。

推進原理としてまず、真空プラズマ環境下で金属を負に帯電させると絶縁体表面が正に帯電し、絶縁体表面と金属間の電位差により放電が発生する。次にその放電プラズマによりコンデンサに蓄えられた電荷がアノード、カソード間で放電する。このアーク放電からカソードの導体から金属蒸気が噴出され、その反作用により推進力を得ることができる。

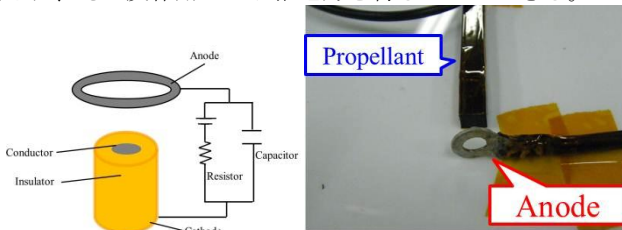


図 1 (左)真空アーク推進機回路図 (右)試験モデル

3. 実験手法

本研究では、真空アーク推進機の性能評価とエンジニアリングモデル開発を行った。性能評価として推力(インパルスビット)測定と噴出される金属蒸気の量と速度を測定した。インパルスビットは次式で与えられ、パルス動作型推進機の推進力の指標として用いられる。

$$I_{bit} = \Delta m \times v [Ns] \quad \dots 1$$

ここで

Δm : 放出された推進剤質量[kg]

v : 放出された推進剤速度[v/s]

金属蒸気測定に関して、測定値が材質、電圧、電流に依存するの検証を行った。

またエンジニアリングモデルの開発として推進機の推進剤噴出部の構体と駆動回路を作成し、動作試験を行った。

4. 推進力測定

本実験では、図2のようにスラスタの推進力を測定するためターゲットと呼ばれる目標物を使用した。そして、金属蒸気をターゲットに当て、その変位を見ることで推進力を測定した。試験結果を図3に示す。

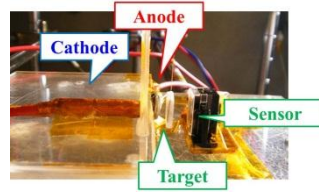


図 2 インパルスビット測定

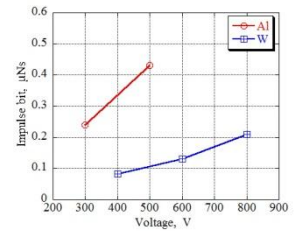


図 3 インパルスビット比較

5. 金属蒸気測定

本測定では複数の素材を推進剤として用いて、その変化を測定している。金属蒸気速度は Time of flight 手法により、四重極形質量分析機に金属蒸気が到達するまでの時間を求め、この時間より速度を算出し結果を図4に示す。また質量に関しては試験前後の推進剤の質量を測定することにより求め、その結果を表1に示す。

結果より、速度は材料、電圧ともに依存しないことが分かる。また金属蒸気質量は材質に依存する結果となった。これは材質が推進力に影響を与える要因なることを意味している。

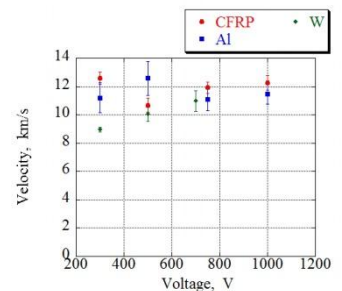


図 4 金属蒸気速度測定結果

表 1 金属蒸気質量測定

Material	mass, ng/shot
Al	13.8
CFRP	104

6. EM 構体

図5に示すEM構体を作成した。大きさはΦ6mm×14mmの円柱型であり、重量は5gである。また、EM構体を用いた試験を行い、人工衛星「鳳龍式号」の宇宙環境で動作した実績のある省スペース、高電圧の太陽電池から直接駆動することを確認した。この時の電圧は400Vであり、推進剤にはCFRPを用いた。



図 5 エンジニアリングモデル

7. まとめ

真空アーク推進機の性能試験と評価を行い、衛星に搭載できるような構体を作成した。また、現在の性能では超小型衛星の姿勢制御に用いられるものと考えられる。

研究業績 (発表論文7件)

国際学会(4件)

- 2nd Nano-satellite symposium
- The 28th International Symposium on Space Technology and Science
- 12th Spacecraft Charging Technology Conference
- 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition

国内学会(3件)

- 宇宙輸送シンポジウム(2011)
- 日本航空宇宙学会西部支部講演会(2011)
- 第56回宇宙科学技術連合講演会