

K-35

## アークジェットスラスタのノズル形状が放電特性および推力特性に与える影響

The effect of the nozzle shape of the Arc jet thruster on discharge characteristics and thrust characteristics.

○林美里<sup>1</sup>, 渡部政行<sup>2</sup>, 田辺光昭<sup>3</sup>

\*Miri Hayashi<sup>1</sup>, Masayuki Watanabe<sup>2</sup>, Mitsuaki Tanabe<sup>3</sup>

In recent years, electric propulsion has seen increasing application in spacecraft, starting with artificial satellites. In the future, expanding its scope of application involves increasing the thrust of thrusters and enhancing operational stability. Here, an arc jet thruster is a type of electric propulsion system that uses electrical heating. In this type of thrust system, the propulsion characteristics and the stability of the plasma discharge depend on the geometric structure of the nozzle. This study investigates thrust characteristics and discharge characteristics based on variations in nozzle constrictor diameter and angle, presenting optimal design guidelines of the arc jet thruster.

### 1. 背景

近年の宇宙開発において、人工衛星や宇宙機における推進系の役割はさらに重要になっている。従来の化学推進は大きな推力を瞬時に得られる利点がある一方で、比推力が低く、推進剤消費量が大きいという課題を抱えている。そのため長期間のミッションや大量の軌道制御を必要とするミッションには不向きな推進機であると言える。これに対して電気推進は化学推進よりも高い比推力を持ち、推進剤の使用効率に優れていることから、衛星の寿命延長や探査ミッションの実現に向けて有望視されている。

### 2. 研究目的

電気推進とは、電気エネルギーを用いて推進剤を加速し、噴射することで推力を得る推進機である。加速方法は、静電加速型、電磁加速型、電熱加速型に分類することができる。本研究では、電気推進の中でも高い推力を有する電熱加速型推進機の一つである、アークジェットスラスタを研究対象としている。アークジェットスラスタの推進機構において、その推進特性やプラズマ放電の安定性はノズルの幾何学的形状に依存する。本研究では、アークジェットスラスタの推力向上と放電の安定化を目的とし、具体的には、コンストリクタ径とノズル角度の違う陽極ノズルを用いて放電実験を行い、最適なノズルの設計指針を導出することを目的とした。

### 3. アークジェットスラスタ

アークジェットスラスタは、電極間でアーク放電を形成することで推進剤をプラズマ化し、熱流体力学的にプラズマを加速させ、外部に噴射することで推力を得ている。図1に化学推進を含む各種電気推進機における、比推力と推力密度の関係を示す。ここで比推力とは、推進機の推進効率を示す指標であり、推進剤の質量流量に対する推力の大きさを示す量である。アークジェットスラスタは他の電気推進機に比べ推力密度が高いこと、また比推力が低いことがわかる。

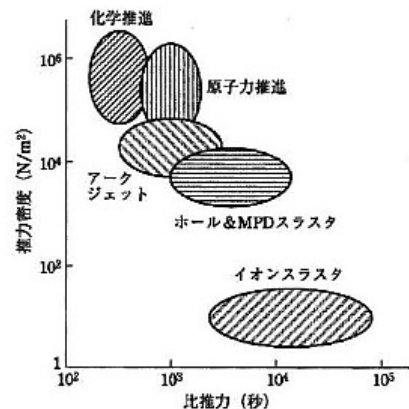


Figure.1 Relationship between Specific Impulse and Thrust Density of a Propulsion System<sup>[1]</sup>

アークジェットスラスタは、アーク放電を用いるため陰極先端に熱が集中しやすい。そのため、電極の損耗や熱損失が大きく、放電が安定しないといった課題がある。

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大・教員・量科研 3 : 日大理工・教員・航宇

アークジェットスラスタには、アーク柱がノズル上流に付着する低電圧モードと、下流に付着する高電圧モードがある。高電圧モードで長時間作動することで陰極先端の熱集中を防ぎ、推力を上げることができる。しかし、実際にはモードの遷移が多く、安定した放電をすることが困難である。そこで、アークの集中性に影響する<sup>[2]</sup>コンストリクタ径とアークのリタッチメント現象<sup>[3]</sup>に影響するノズル角度に着目して研究を行う。

#### 4. 実験方法

本研究の実験装置の概要図を図2に示す。まず、真空容器を $10^{-2}$ Pa程度まで減圧した状態で、所定の流量のガスを流し、電極間に高電圧を印加する。放電特性を確認するために、電極間電圧、放電電流を計測する。その後、印加電圧や放電電流を調整することで、アークジェットスラスタを計測する。

真空容器内のスタンドに取り付けたアークジェットスラスタにはいくつかの計測機器を取り付けることが可能である。スタンドに設置したひずみセンサーを用いて推力を計測する。

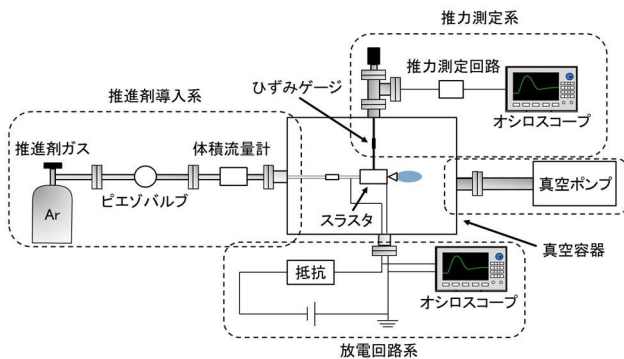


Figure.2 Experimental Setup Overview

本研究で使用するアークジェットスラスタの電極部概要図を図3に示す。ノズルをセラミック部分と金属部分に分けることで高電圧モードへ遷移しやすくなるような工夫をしている。また、ノズル部分のコンストリクタ径を0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, ノズル角度を $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ に設計したものを用意し、それぞれのノズルによって放電特性と推力特性がどのように変化するかを確認する。

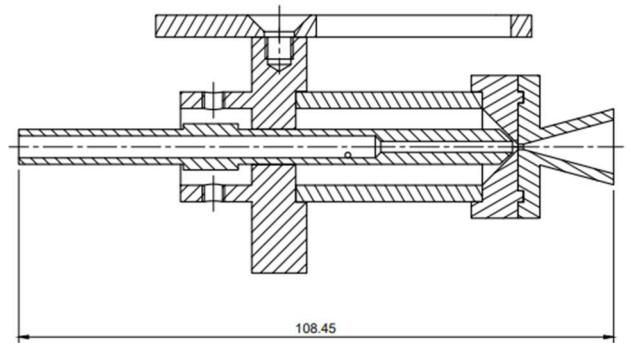


Figure.3 Schematic diagram of the electrode part of an arc jet thruster

#### 5. シミュレーション結果

数値計算ソフト CST Studio を用いてコンストリクタ径1 mm, ノズル角度 $15^{\circ}$ のときの電極部付近の電場分布を計算した。その結果を図4に示す。コンストリクタ径およびノズル角度を変えることで電場分布にどのような影響を与えるか計算し、実験時との比較をし、発表する予定である。

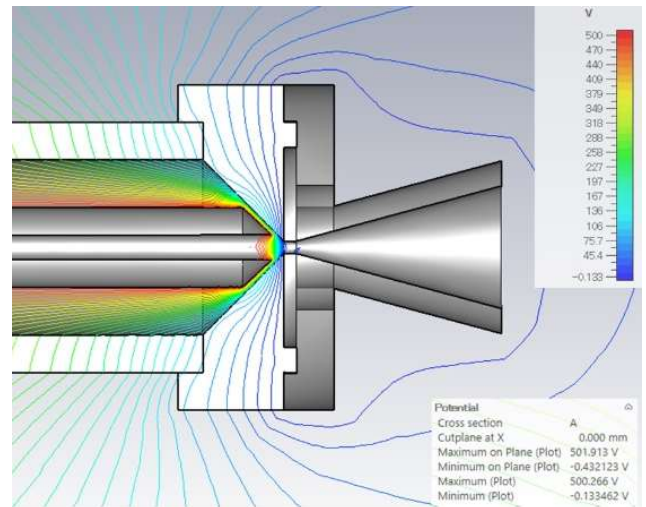


Figure.4 Electric field lines of force inside the thruster

#### 6. 参考文献

- [1] 栗木恭一, 荒川義博, 「電気推進ロケット入門」, pp.21, 2003年
- [2] Choi et al., Effects of Constrictor Geometry, Arc Current, and Gas Flow Rate on Thermal Plasma Characteristics in a Segmented Arc Heater, Journal of Thermal Science and Technology, vol 6,2011
- [3] J.P. Trelles et al., Arc Plasma Torch Modeling, Journal of Thermal Spray Technology, 2009.12