

## ホール型推進機における放電振動の抑制と 高密度プラズマイオンの抽出

Suppression of Discharge Oscillation in a Hall Thruster  
and its High Density Plasma Extraction

荒川 義博 (Yoshihiro Arakawa)  
東京大学・大学院工学系研究科・教授



### 研究の概要

次世代宇宙機用エンジンとして有望なホール型推進機について、実機搭載上深刻な問題となりうる放電振動現象について、このメカニズムを解明したうえで、その抑制を試み、高密度のプラズマイオンを抽出するための研究を行う。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：電気推進、ホール型推進機、放電振動、プラズマシミュレーション、プラズマ診断

### 1. 研究開始当初の背景

ホール型推進機はプラズマを生成して電氣的に排出し推力を得る電気推進の一種であり、次世代の宇宙機用エンジンとして、非常に有望である。しかしながら、放電振動と呼ばれる現象により、作動停止や推進機の寿命の低下を招くと言われており、実機搭載のためには、この振動を抑制する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究の最終目的は、放電振動現象の抑制されたホール型推進機の開発である。このため、放電振動現象を表現する物理モデルを構築すること、さらに2次元非定常数値解析コードを構築し詳細な解析を行うこと、LIF法による推進機内部のプラズマ診断を行いコードの検証を行うこと、これらによって、振動のメカニズムを明らかにすることである。

### 3. 研究の方法

まず、放電振動の詳細なメカニズムを明らかにするため、高速度カメラによる推進機のプラズマ診断を行う。次に、並列計算機を用い、PIC-DSMC法による二次元非定常プラズマ数値解析コードを開発し、振動時の内部の物理現象の解明を行う。また、外部共振器つき半導体レーザーを用いることで、LIFによる推進機内部のプラズマ診断を行い、電離領域を明らかにし、数値解析の検証を行う。これらの結果から、振動の抑制された新型ホール型推進機を開発し、高密度イオンの抽出が可能であることを実証する。

### 4. 研究の主な成果

#### 高速度カメラによる振動現象の観測

高周波現象が撮影可能な超高速デジタルフレーミングカメラ（～100 MHz）、および高速度ビデオカメラ（～250 kHz）を用いて、放電電圧、放電電流、推進剤流量等の作動パラメータを変えて、放電の時間的変化を観察した。図1に高速度ビデオカメラによる撮影結果を示す。

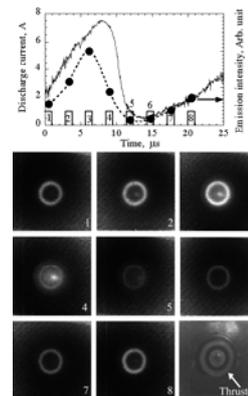
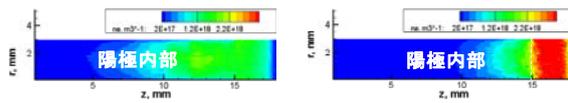


図1 振動の様子

#### 2次元数値解析モデルの構築

一次元モデルを拡張し、推進機内部の二次元数値解析コードの開発を行い、これによって中空形状の陽極内部のプラズマの状態を観測した。この結果は図2に示すとおりであり、安定作動時には中空陽極内部にてプラズマが生成され、陽極表面にイオンシースが観測された一方で、不安定作動時には陽極内部で電子が不足し、放電維持のための電子シースが観測された。このことから、放電振動は、電子の移動度が低いなどの理由により陽極が電子を吸収しにくい状態となることで、局所的に電子密度が増加し、推進剤が枯渇するまで電離が進むため放電振動が起きやすい、というメカニズムが明らかになった。

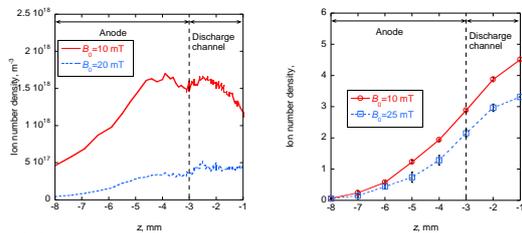
[ 4. 研究の主な成果 (続き) ]



(a)安定作動時 (b)不安定作動時  
図2 推進機内部のプラズマ密度分布

**LIF 法による 2 次元数値解析の検証**

LIF 法を用いて、推進機内部のプラズマ診断を行い、2次元の数値解析コードの検証を行った。図3に示すのは、イオン数密度分布である。赤線が安定作動時、青線が不安定作動時を示しており、傾向が一致していることが分かる。



(a) 数値解析結果 (b) LIF 法計測結果  
図3 キセノンイオン数密度分布

**振動低減による作動領域拡大の検証試験**

2次元数値解析結果より、得られた指針から、抑制の一例として、推進機に供給する推進剤を周方向に非一様にする事で(図4)振動を抑制でき、作動領域が拡大することを実証した(図5)。

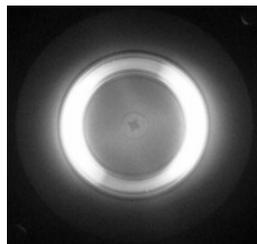


図4 推進機内部のプラズマ密度分布

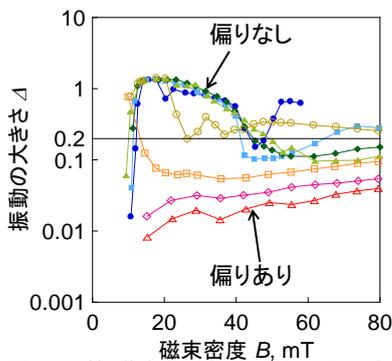


図5 推進剤供給法と振動の大きさ

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

これまで、ホール型推進機は高性能ながらも、その放電振動現象がその実機搭載を阻むものであった。

これに対し、本研究は世界で初めて放電振動現象の定量的なモデル化、ならびに、その抑制に成功したものである。

この研究は、ホール型推進機の性能向上を実現したものといえ、ひいては、宇宙機の低価格化に大きく貢献したものとと言える。

6. 主な発表論文

1) N., Yamamoto, S., Yokota, K., Watanabe, A., Sasoh, K., Komurasaki, Y., Arakawa, "A Suppression Method of Discharge Current Oscillations in a Hall Thruster," Trans. of Japanese Soc. for Aeronautical and Space Sci., The Japan Society For Aeronautical and Space Sciences, Vol.48, No.161, pp. 169- 174, 2005.

2) Yamamoto, N., Komurasaki K., and Arakawa, Y., "Discharge Current Oscillation in Hall Thrusters," *Journal of Propulsion and Power*, Vol.21, No.5, 2005, pp.870-876,.

3) 横田茂, 安井伸輔, 熊倉賢, 小紫公也, 荒川義博, "アノードレイヤ型ホールスラスタ内部のシー構造と放電電流の数値解析," 日本航空宇宙学会誌, Vol.54, No. 632, Sep., 2006.

4) 上田善太郎, 山本直嗣, 小泉宏之, 荒川義博, "ホールスラスタにおける放電振動の一次元数値解析," 日本航空宇宙学会誌和文論文論文集, 第 55 卷 638 号, 2007, pp.130-134.

5) M. Lempke, S. Yokota, M. Matsui, K. Hara, K. Komurasaki, Y. Arakawa, "LIF Spectroscopy of a Hall Thruster Plasma Plume," *Frontier of Applied Plasma Technology*, Vol. 1, pp.37-40, 2008.

ホームページ等

<http://www.al.t.u-tokyo.ac.jp/hall/>