

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04972

研究課題名(和文) プラズマ計測と数値解析の協同によるホール推進機の電子輸送現象の解明

研究課題名(英文) Experimental and Numerical Investigation of Cross-Field Electron Transport in Hall Thruster

研究代表者

渡邊 裕樹 (WATANABE, HIROKI)

首都大学東京・システムデザイン研究科・助教

研究者番号：30648390

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 17,100,000円

研究成果の概要(和文)：独自性を持ったホール推進機の実現と数値解析技術による推進機の開発コスト・期間の大幅な低減を最終目標に、ホール推進機における電子輸送現象の解明と数値解析における物理モデルの改良・解析精度の向上を進めた。特に、100 W級の小型ホール推進機を用いた実験により、推進機を小型化するほど、増加する陽極への電子輸送を抑制するために、強い磁場を放電室に印加する必要があることが判明した。また、近年注目されているMagnetic Shielding (MS)技術を適用した2 kW級ホール推進機を用いた実験より、MS技術が損耗低減に寄与することに加え、磁極表面の材質が電子輸送に影響を及ぼすことが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果を活用し、数値解析技術の精度向上を進めることによって、実験と数値解析を併用した効率的なホール推進機の開発手法の確立とこれによる各出力レベルの高効率ホール推進機の実現する。これにより、宇宙空間における輸送コストの半減による宇宙利用の低価格化が促進され、地球観測衛星による地球環境の把握、通信衛星による遠距離通信環境の堅持、宇宙探査機による人類起源の探求、太陽光発電衛星によるエネルギー問題の解決、などへの貢献が期待できる。

研究成果の概要(英文)：Cross-field electron transport in Hall thruster was investigated using experimental and numerical methods to improve the performance of Hall thruster and the accuracy of plasma simulation. As typical results obtained in this study, the experimental evaluation of 100-W class Hall thruster demonstrated that the discharge channel narrowing required an increase in the magnetic field strength in order to restrict the increase in the cross-field electron transport. The experimental evaluation of 2-kW class Hall thruster demonstrated that low discharge channel erosion rate was achieved using the magnetically shielding configuration. In addition, the pole-piece interactions with the discharge plasma affected cross-field electron transport in Hall thruster.

研究分野：宇宙推進工学

キーワード：電気推進 プラズマ ホール推進機 宇宙推進工学

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在、宇宙大量輸送システムとして大出力の電気推進システムが注目されている。電気推進は化学燃焼を用いた従来のロケットエンジンと比較して5~10倍燃費が良く、輸送コストの大幅な低減が期待できる。電気推進の中でも、ホール電流を利用したホール推進機（ホールスラスタ）は電気エネルギーの運動エネルギーへの変換効率が50%以上と高く、その作動原理上、高密度イオンを高速排気できるため、比較的小型・簡素な推進機である。そのため、今後の宇宙空間における推進装置の主力として注目され、静止衛星の軌道遷移/維持、探査機の主推進や有人惑星探査時の物資輸送を目的とした宇宙輸送システムとして研究開発が進められている。

ホールスラスタの基礎研究は1960年代から開始され、これまでに支配方程式や推進機設計に必要なスケリング則の構築が行われてきたが、古典拡散理論では説明できない「陰極から放出された電子がどのようにして強い磁場領域を横切り、陽極まで到達するか」の電子の輸送現象については完全に解明されていない。電子は磁場と電場の相互作用により周方向に捕捉されるが、陽極だけでなく、放電室壁面にも到達し、推進機を加熱する。この熱的制約のために現状のホールスラスタの推力密度は理論的な推力密度上限に対して1桁低い。研究代表者は4社共同で大出力ホール推進機の研究開発を現在までに進めてきたが、この電子の拡散による加熱、損失により、製作した推進機の推力密度、エネルギー変換効率は他の研究機関・企業と同程度となっており、後発の日本として、他国との差別化、競争力の確保が達成できていない。

また、研究代表者は上記の研究開発において、開発コスト・期間の低減を目指し、推進機内の電子を流体、イオンを粒子として扱ったHybrid-PIC法、電子・イオンとも粒子として扱ったFull-PIC法を用いた2つの数値解析技術を構築し、設計に適用してきた。しかし、どちらの手法を用いても新規設計のホールスラスタの性能を定量的に予測可能な解析精度には到達しておらず、現状ではこれらの数値解析結果を参考に、試作機を複数台製作し、評価、最適設計を進めるといった高コストな開発手法をとらざるを得ない状況となっている。

### 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では、独自性を持ったホールスラスタの実現と数値解析技術によるホールスラスタの開発コスト・期間の大幅な低減を最終目標に、ホールスラスタにおける電子輸送現象の解明と数値解析における物理モデルの改良・解析精度の向上を目指す。

### 3. 研究の方法

ホールスラスタの電子輸送現象を解明するためには、実験による計測が難しい電子の軌道やエネルギーを予測可能な数値解析を実験とともに併用する必要がある。しかし、高精度な解析が可能なFull-PIC法は計算コストが大きいため、電子質量を調整するなど、精度とコストのトレードオフを行いながら、これまで解析を進めてきた。計算コストは計算格子の数に依存する。また、格子サイズはホールスラスタ内部のプラズマ密度や温度に依存するため、スラスタが小型になるほど、必要な計算格子は少なくなり、計算コストは低減される。

このため、本研究では、数値解析の妥当性検証に必要な特徴的な実験データを取得するために、図1に示す放電室中心直径20mmの100W級の小型ホールスラスタを製作し、真空槽を用いた実験的評価を実施した。特に、電子の運動を束縛する磁場強度および電子の軸方向速度に強く影響を及ぼす放電電圧について評価し、数値解析の検証用データとして、放電特性や推進性能だけでなく、排気されたプラズマ流の計測を実施した。また、その結果を踏まえ、電子質量の調整を行わないFull-PIC法による数値解析により、電子の輸送現象について調査を行った。

加えて、ホールスラスタの長寿命化が可能なMagnetic Shielding (MS)と呼ばれる磁場と放電室壁面の配置が近年注目されており、その効果検証と電子輸送に与える影響を評価するために、MS構成を適用した2kW級ホールスラスタの放電特性および推進性能を取得した。また、電子の運動を束縛する磁力線が終端される磁極表面の材質や電位について、図2に示すようなパラメトリックな実験を行い、MS構成や磁極表面の電子輸送に対する影響について調査を行った。

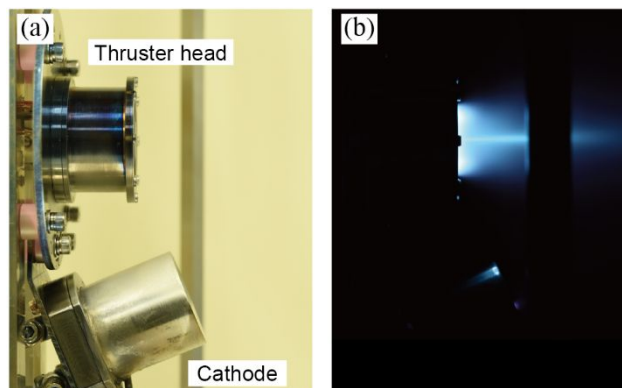


図1 100 W 級の小型ホールスラスタの(a)外観と(b)作動の様子。(文献 の Fig.3 からの転載)

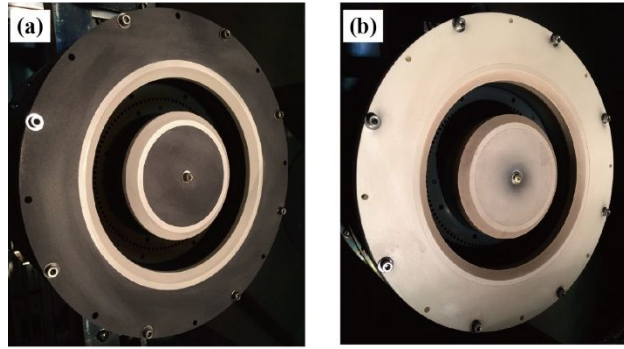


図2 2 kW 級 MS ホールスラスタの磁極表面の様子。(a)グラファイトカバー、(b)窒化ボロンカバー。(文献 の Fig.1 からの転載)

#### 4. 研究成果

##### (1) 100 W 級ホールスラスタの実験成果

$10^{-3}$  Pa オーダーと  $10^{-4}$  Pa オーダーの 2 つの真空環境下で 100 W 級ホールスラスタの放電特性と推進性能の取得を行った結果、図 3 に示すように磁場強度に対する推力や放電電流の平均値、放電電流の振幅の変化は真空槽内の圧力による影響は受けない一方で、一定の磁場強度下における絶対値に関しては真空槽内圧力の影響を強く受けることを確認した。このような真空環境の影響は主に ingestion と呼ばれるスラスタから排出された推進剤の逆流による再利用が挙げられ、中型および大型のホールスラスタで活発に研究がなされている。本実験結果から、真空槽の直径に対して放電室直径が相対的に小さくなる小型のホールスラスタにおいても、真空環境により放電特性に影響を受け、真空槽内圧力が ingestion の効果を検討する上で重要な指標であることが判明した。また、中型および大型と同様の物理的な作用を小型ホールスラスタについても受けることが分かり、小型ホールスラスタを用いた数値解析の検証や改良といった本研究活動の方向性の有効性を確認した。

上記の結果を踏まえ、より宇宙環境に近い  $10^{-4}$  Pa オーダーの真空環境下で、100W 級ホールスラスタの放電特性および推進性能の取得を行い、中型・大型のホールスラスタとの比較を行った結果、一定の放電電圧条件下において、エネルギーの変換効率が最大となる磁場強度は、スラスタサイズが小型化するほど高くなることを確認した。これは、電子の陽極への輸送を担うと考え

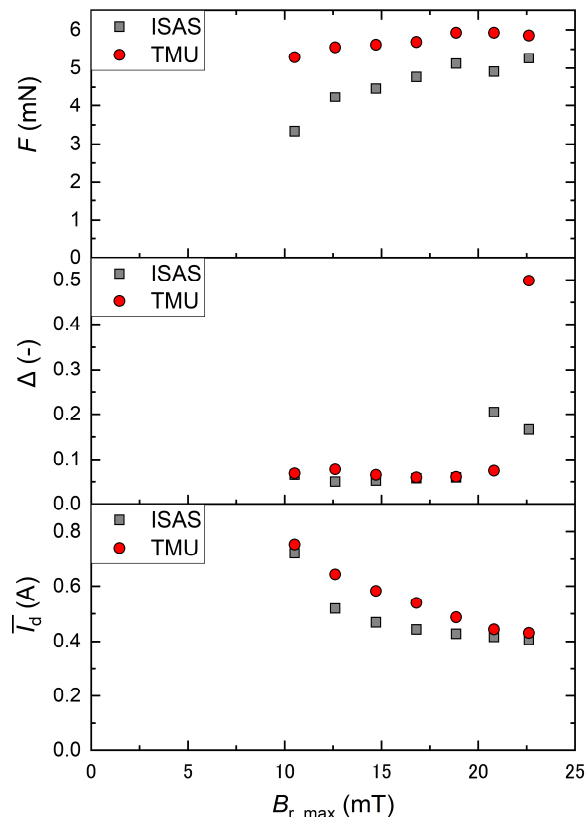


図3 放電特性への真空環境の影響：横軸はチャンネル中心軸上の最大磁束密度  $B_{r,max}$ 、縦軸は上から推力  $F$ 、放電電流振幅値の指標  $\Delta$ 、放電電流  $I_d$ 。なお、作動条件は放電電圧 225 V、推進剤流量 0.513 mg/s。「ISAS」が  $10^{-4}$  Pa オーダーの大型真空槽を、「TMU」が  $10^{-3}$  Pa オーダーの中型真空槽を用いて取得した実験データ。(文献 の図 4 からの転載)



表1 100 W 級ホールスラスタ（表中の 85-W Hall Thruster）と大型ホールスラスタ（表中の H6 Hall Thruster）の損失割合の比較。（文献 の Table 2 からの転載）

	85-W Hall thruster		H6 Hall thruster	
Discharge voltage, V	200	225	150	300
Discharge power, W	86.6	88.9	3230	6170
Anode efficiency (thrust), -	0.28	0.31	0.53	0.68
Voltage utilization efficiency	0.88	0.88	0.82	0.89
Current utilization efficiency	0.69	0.71	0.72	0.80
Energy efficiency	0.61	0.63	0.59	0.71
Mass utilization efficiency	0.70	0.69	0.97	0.98
Charge utilization efficiency	0.99	0.99	0.99	0.98
Neutral-gain utilization efficiency	1.02	1.02	1.00	1.00
Beam efficiency	0.69	0.72	0.86	0.93
Effective plume divergence half-angle, deg	34	32	22	16

られている electron-wall interaction と呼ばれる壁からの低エネルギーの 2 次電子の供給がスラスタの小型化に伴い増大し、陽極への電子の輸送が増大するため、これを抑制するために電子の束縛を強化する必要があるためである。この結果から、数値解析精度の向上には、electron-wall interaction の効果を正確に表現する必要があることが本研究結果から示唆された。

また、スラスタから排気されたプラズマ流をファラデープローブなどの各種プローブで計測し、スラスタの損失割合を表 1 のように求めた。その結果、大型ホールスラスタに比べて、小型ホールスラスタは低い推進剤利用効率かつ大きいイオンビーム発散角であるため、大型ホールスラスタがエネルギー変換効率で 50~70% を達成しているのに対して、小型ホールスラスタは 35% 以下に留まっていることが判明した。電離衝突に関する平均自由行程の見積から、スラスタサイズによらず平均自由行程は一定であるのに対して、電離に使われる空間の長さは小型スラスタになるほど短くなるため、小型化するほど推進剤利用効率が低下することが分かった。また、発散角の増大については、数値解析による結果を踏まえ、放電室壁面に形成されるシースによる径方向電場の影響に起因するものと考えられるが、引き続き、原因究明を進める必要がある。以上に示した小型ホールスラスタの損失割合は、今後の小型衛星・探査機向けのホールスラスタの性能向上にも寄与する研究成果である。

なお、100 W 級ホールスラスタの詳細な実験結果や考察については、文献 や などを確認いただきたい。また、本実験は国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）宇宙科学研究所スペースチャンバー共同利用設備を利用して実施した。ここに記して謝意を表する。

## (2) 2 kW 級 MS ホールスラスタの実験成果

2 kW 級 MS ホールスラスタに関しても、真空環境による放電特性や推進性能に対する影響評価を実施し、磁場強度に対する推力や放電電流の平均値、放電電流の振幅の変化は真空槽内の圧力による影響は受けない一方で、一定の磁場強度下における絶対値に関しては真空層内圧力の影響を強く受けることを確認した。これは(1)で示した真空環境の影響と傾向が合致しており、引き続き、地上試験時と軌道上作動時のスラスタの動作についての考察を進めていく必要がある。また、作動後の 2 kW 級 MS ホールスラスタの損耗状況を確認した結果、従来のホールスラスタに比べて、MS 磁場により損耗が低減されていることを確認し、国内ホールスラスタ技術の向上に有益な実験成果を得ることができた。

真空環境の影響評価を踏まえ、2 kW 級 MS ホールスラスタの放電特性および推進性能を  $10^{-4}$  Pa オーダーを達成可能な JAXA の超大型真空槽を用いて取得するとともに、中性粒子が枯渇した際の電子の異常輸送に起因する放電電流振動のパワースペクトル（図 4）を取得した。放電電力を約 2 kW 程度に固定し、放電電圧を上昇させた場合、放電電流振動が抑制に必要な磁場強度は増大するのに対して、振動の主な周波数（図 4 で 20~30 kHz 付近）は減少していくことが判明した。一般的に供給される推進剤の流量が一定の場合には、放電電圧が上昇するほど、排気されるイオンの速度が増加するため周波数は高くなるが、今回は放電電力を一定にするために推進剤流量を放電電圧の上昇とともに減少させたため、反対に周波数が低くなった。この結果は、電子と中性粒子の衝突頻度が電子の陽極への輸送に強く影響を及ぼしていることを示唆している。

加えて、磁極表面の材質の違いにより、放電電流や推力といった放電特性や推進性能の絶対値に影響を及ぼすことを確認した。一方で、磁場強度に対する放電電流や推力の変化の傾向は材料に依存しない。この結果から、電子を捕捉する磁力線の終端である磁極表面が電流を流す導体か、流さない絶縁体かの違いが陰極から放電室内への電子の輸送および推進剤イオンの加速に影響を及ぼすことが分かり、数値解析を進める際には、磁極表面の取り扱いについても注意する必要があることが判明した。

これまでのホールスラスタの数値解析に関する研究は、既存のスラスタの推力や放電電流をどこまで再現できるかに重きが置かれてきたが、数値解析を新規のスラスタに適用する場合には、放電室の幅や長さといった各寸法がどのように推進性能に影響を及ぼすか、放電電源にとって好ましくない放電電流振動がどの磁場強度で発生するかといったことを事前に予測しなければならない。以上にまとめた(1)および(2)の実験データは、寸法や磁場に対して広範囲に取得した実験データベースであり、今後の数値解析の妥当性検証や精度向上に有益な情報である。この

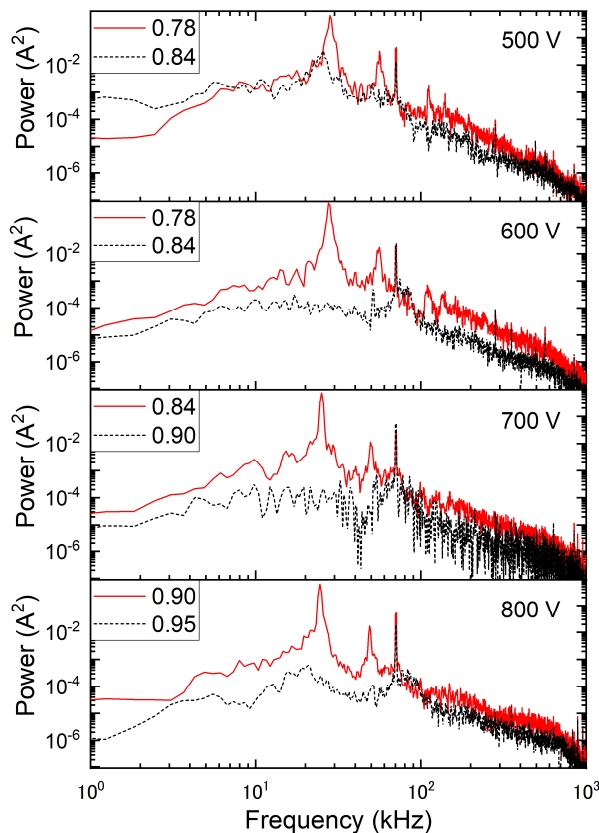


図4 放電電力を約 2 kW に固定した際の放電電流振動発生時および抑制時の各放電電圧（各図の右上の数値）でのパワースペクトル。なお、凡例はスラスト印加可能な最大磁場強度を 1 とした際の相対的な磁場強度を示す。（文献 の Fig. 16 からの転載）

ため、本研究費での成果を有効に活用するため、今後の国内外での数値解析研究フレームワークへの提供を積極的に進めていく。なお、2 kW 級 MS ホールスラストの詳細な実験結果や考察については、文献 や などを確認いただきたい。

### (3) 100 W 級ホールスラストの数値解析成果

電子質量の調整を行わない Full-PIC 法による 2 次元の数値解析を 100 W 級ホールスラストを対象に実施した。この結果、放電室下流の電子の輸送では、従来の流体近似における物理モデルで無視されてきた電子の慣性項が強い感度を持っていることが示唆され、物理モデルの改良につながる数値解析結果が得られた。一方で、数値解析結果と(1)で得られた実験結果との比較では、電子の輸送によって決まる放電電流を数値解析では過少に評価していることが判明した。この結果は、電子の輸送には 3 次元的な物理現象が寄与していることを示唆しており、Full-PIC 法による数値解析においては、今後、高速化を行いながら、2 次元から 3 次元への解析領域の拡張を進める必要がある。また、Hybrid-PIC などの流体近似を併用した数値解析においては、慣性項を踏まえた物理モデルの改良を進める必要があり、引き続き、本研究で得られた実験成果を踏まえながら、数値解析技術の向上を進める。なお、詳細な数値解析結果や考察については、文献などを確認いただきたい。

#### < 引用文献 >

- H. Watanabe, S. Cho, K. Kubota, "Performance and Plume Characteristics of an 85 W Class Hall Thruster," *Acta Astronautica*, Vol. 166, pp. 227-237, 2020.
- H. Watanabe, S. Cho, K. Kubota, G. Ito, K. Fuchigami, Y. Tashiro, S. Iihara, I. Funaki, "Pole-piece Interactions with the Plasma in a Magnetic-layer-type Hall Thruster," 35th International Electric Propulsion Conference, IEPC-2017-426, 2017.
- 渡邊裕樹, "100W 級ホールスラストの放電特性評価," 第 62 回宇宙科学技術連合講演会, JSASS-2018-4112, 2018.
- H. Watanabe, S. Cho, K. Kubota, G. Ito, K. Fuchigami, K. Uematsu, Y. Tashiro, S. Iihara, I. Funaki, "Performance Evaluation of a Two-Kilowatt Magnetically Shielded Hall Thruster," *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 36, No. 1, pp. 14-24, 2020.
- S. Cho, K. Hara, H. Watanabe, K. Kubota, Y. Yamashita, "Investigation of Cross-Field Electron Transport in a 100-W Class Hall Thruster Using a Full Particle-in-cell Simulation," 36th International Electric Propulsion Conference, IEPC-2019-718, 2019.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Watanabe Hiroki, Cho Shinatora, Kubota Kenichi, Ito Gen, Fuchigami Kenji, Uematsu Kazuo, Tashiro Yosuke, Iihara Shigeyasu, Funaki Ikkoh	4. 巻 36
2. 論文標題 Performance Evaluation of a Two-Kilowatt Magnetically Shielded Hall Thruster	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Propulsion and Power	6. 最初と最後の頁 14 ~ 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2514/1.B37550">https://doi.org/10.2514/1.B37550</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Watanabe Hiroki, Cho Shinatora, Kubota Kenichi	4. 巻 166
2. 論文標題 Performance and plume characteristics of an 85 W class Hall thruster	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acta Astronautica	6. 最初と最後の頁 227 ~ 237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.07.042">https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.07.042</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Watanabe Hiroki	4. 巻 167
2. 論文標題 Effect of vessel diameter on ignition and electron emission characteristics in radio frequency plasma cathodes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 514 ~ 519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.06.030">https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.06.030</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 HAMADA Yushi, BAK Junhwi, KAWASHIMA Rei, KOIZUMI Hiroyuki, KOMURASAKI Kimiya, YAMAMOTO Naoji, EGAWA Yusuke, FUNAKI Ikkoh, IIHARA Shigeyasu, CHO Shinatora, KUBOTA Kenichi, WATANABE Hiroki, FUCHIGAMI Kenji, TASHIRO Yosuke, TAKAHATA Yuya, KAKUMA Tetsuo, FURUKUBO Yusuke, TAHARA Hirokazu	4. 巻 60
2. 論文標題 Hall Thruster Development for Japanese Space Propulsion Programs	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES	6. 最初と最後の頁 320 ~ 326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2322/tjsass.60.320	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Hiroki Watanabe, Shinatora Cho, Kenichi Kubota
2. 発表標題 Performance Evaluation of a 100-W Class Hall Thruster
3. 学会等名 36th International Electric Propulsion Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinatora Cho, Kentaro Hara, Hiroki Watanabe, Kenichi Kubota, Yusuke Yamashita
2. 発表標題 Investigation of Cross-Field Electron Transport in a 100-W Class Hall Thruster Using a Full Particle-in-Cell Simulation
3. 学会等名 36th International Electric Propulsion Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Watanabe, Kenichi Kubota, Kiyoshi Kinefuchi
2. 発表標題 Ignition and Electron Emission Characteristics of Low-Current LaB6 Hollow Cathode
3. 学会等名 12th International Symposium on Applied Plasma Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Watanabe
2. 発表標題 Plume Characteristics of a Miniature Hall Thruster
3. 学会等名 32nd International Symposium of Space Technology and Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Watanabe
2. 発表標題 ExB Measurement in a 100-W Class Hall Thruster
3. 学会等名 12th International Workshop on Plasma Application and Hybrid Functionally Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊裕樹, 窪田健一, 杵淵紀世志
2. 発表標題 低電流LaB6ホローカソードの点火および電子放出特性
3. 学会等名 2019年度宇宙輸送シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 張科寅, 渡邊裕樹
2. 発表標題 ホールスラスト放電における負イオンの影響とC60フラレーンについて
3. 学会等名 2019年度宇宙輸送シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊裕樹
2. 発表標題 100W級ホールスラストの排気ブルーム評価
3. 学会等名 第63回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 渡邊裕樹
2. 発表標題 100W級ホールスラストの推進性能評価
3. 学会等名 平成30年度宇宙科学に関する室内実験シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 張科寅, 渡邊裕樹
2. 発表標題 100W級小型ホールスラストの2D全粒子シミュレーション
3. 学会等名 平成30年度宇宙輸送シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊裕樹
2. 発表標題 100W級ホールスラストの推進性能に対する磁場依存性
3. 学会等名 平成30年度宇宙輸送シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊裕樹
2. 発表標題 100W級ホールスラストの放電特性評価
3. 学会等名 第62回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Watanabe, Shinatora Cho, Kenichi Kubota, Gen Ito, Kenji Fuchigami, Yosuke Tashiro, Shigeyasu Iihara, Ikko Funaki
2. 発表標題 Pole-piece Interactions with the Plasma in a Magnetic-layer-type Hall Thruster
3. 学会等名 35th International Electric Propulsion Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ホールスラスト	発明者 淵上健児, 伊藤彦, 渡邊裕樹, 他5名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-188119	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

人工衛星・探査機を支える省燃費の宇宙機推進装置に挑む, Miyacology 1号 <a href="https://tmu-rao.jp/miyacology/3573/">https://tmu-rao.jp/miyacology/3573/</a>
--

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----