

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01353

研究課題名(和文) 大出力電気推進の革新に向けた中和器の不安定性制御と損耗低減

研究課題名(英文) Optimum Design and Control of Hollow Cathode for High Power Electric Propulsion

研究代表者

船木 一幸 (Funaki, Ikkoh)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授

研究者番号：50311171

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,500,000円

研究成果の概要(和文)：電気推進ロケットエンジンは、その燃費や効率の良さから小型のものは既に実用化し、深宇宙探査機の推進系や静止衛星の南北軌道制御に使われてきたが、大型衛星の主推進を担うための更なる大出力化が期待されている。大出力電気推進の課題は、中和器(電子放出装置)の損耗であり、本研究では、500mNクラスホールスラスタのための中和器に関する実験研究により、イオンエネルギーとイオンフラックスの損耗部への入射量低減に成功し、中和器の長寿命化を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電気推進システムの大出力化において、大きな枷となっている中和器損耗を制御・低減することにより、より高密度で高効率な推進機の実現が可能になり、これにより重量メリットのみならず、運用コストなどを含めたトータルの宇宙輸送コスト低減が予想される。さらに木星圏探査など、従来の数倍である5万時間級の寿命が要求されていたミッションも遂行可能になり、太陽系における人類の未知未踏領域への進出が進む。

研究成果の概要(英文)：The use of electric propulsion (EP) is spreading around the world. Recently, small EP systems for deep space probes and auxiliary propulsion for geostationary satellite are sifting toward higher power and higher thrust levels to cruise heavier spacecraft. The main issue of such high power EP systems is erosion and degradation of electron emitting device called as neutralizer or hollow cathode, and in this study, by suppressing both the ion energy and the ion flux onto the surface of a hollow cathode, long-life hollow cathode for 500 mN class Hall thruster was successfully designed and tested.

研究分野：宇宙機推進

キーワード：電気推進 ホールスラスタ 軌道間輸送 宇宙探査 ホローカソード

1. 研究開始当初の背景

- (1) 電気推進ロケットエンジンは従来の化学推進ロケットに比べ 1 桁程度比推力が高く、国際宇宙探査ロードマップでは次世代軌道間輸送機として主要な役割を期待されている。また静止商用衛星の分野でも、電気推進のみを用いた全電化衛星によって、従来の衛星の半分の重量で同等の機能を実現できることが Boeing 702SP 衛星等で実証されており、今後の静止衛星のトレンドと目されている。JAXA でも大推力ホールスラスタを用いた全電化衛星の実現を目指している。しかしながら電気推進は化学推進に比べ推力が低く、軌道遷移に数倍以上の期間を要するため、運用コストの増大や太陽電池の劣化などのデメリットを抱えている。そのため電気推進ロケットの大出力化・大推力化により軌道遷移期間を短縮することが望まれており、特にスラスタ単位面積あたり推力(推力密度)が高いホールスラスタの大出力化に各国競って取り組んでいる状況である。
- (2) ホールスラスタの大出力化における最大の課題は中和器損耗である。ホールスラスタでは、他の電気推進ロケットと同じく、荷電分離したキセノンイオンを高速排気する際の反力として推力を得るため、電子をイオンと同量排出して電気的中性を保つ中和器(通常ホローカソードが用いられる。そのためスラスタの大出力化に伴って中和器の大電流化が急務であり、具体的には従来技術の 5-10A 級から 50A-100A 級への飛躍が求められている。その際に既存の中和器設計ではうまくいかず、高エネルギーイオンによる損耗が指数関数的に激化する非線形現象が知られている。その原因は高密度電子ビームとイオンの速度差による不安定性が作り出す乱流、通称 Ion Acoustic Turbulence (IAT)による高エネルギーイオン生成と推測されているが、そのメカニズムは未解明であった。このため、使用電流を制限したり、あるいは中和器への推進剤供給を増やすなど、推進性能を犠牲にして課題をなんとか回避しているのが現状である。これらの制約により、ホールスラスタは理論上到達可能な推力密度(電流密度に比例)より 1 桁以上低い状態でしか現状実現できていない。

2. 研究の目的

大電流中和器(ホローカソード)の乱流現象と損耗メカニズムの解明と、低損耗大電流作動ホローカソードの実験検証の、2つの研究を進める。ホローカソードの実験室実験により大電流作動時の特性を明らかにし、乱流並びに損耗特性と高エネルギーイオン分布の特性を関連づけた上で、損耗を低減可能なホローカソードを設計する。確立されたプラズマ計測とシミュレーションを駆使して大電流カソード設計を最適化して長寿命ホローカソードを検証する。また、並行して、高出力ホールスラスタ搭載宇宙ミッションについて検討の上、具体的なミッション候補を提案する。

3. 研究の方法

- (1) 50A 級のホローカソードを製作して実験室実験を行う。プローブ計測により放電特性と高エネルギーイオン分布との相関を捉え、また、Nd:YAG レーザーと色素レーザーによる二光子レーザー誘起蛍光法のためのシステムを構築して、イオン生成分布計測のための準備を行う。
- (2) ホローカソードを低損耗化するための実験室実験ならびに最適化探索を行う。具体的には、中和器を一定時間連続運転する損耗評価実験を複数回実施し、低損耗性が得られる設計等条件を探索する。この連続試験結果とプラズマ特性ならびに放電特性を考察することで耐久性に優れた大電流中和器の設計則を構築する。
- (3) 中和器の放電現象をシミュレーション可能な数値解析ツールを構築し、プラズマ分布ならびにイオンエネルギー状態を予測する。この数値解析により実験では評価が難しいホローカソード内部プラズマ特性等を明らかにし、中和器設計最適化へ反映させる
- (4) 5~10kW 級ホールスラスタとホローカソードとの噛み合わせ動作を一定時間行い、放電特性と損耗特性の双方の観点から評価を行う。また、中和器単体実験と、ホールスラスタ動作時の比較から、ホールスラスタ動作時に特有の現象を抽出し、中和器の設計則に反映させる。
- (5) 高出力ホールスラスタシステムを含む宇宙輸送ならびに探査システムを設計し、より高密度で高効率な推進機の実現による重量メリットや、運用コストなどを含めたトータルの宇宙輸送コスト低減効果を予想する。その際は、高出力ホールスラスタを駆動する電源・制御装置の設計に重点を置き、高頻度な軌道間輸送や、火星往復輸送の実現、そして木星圏探査など太陽系における人類の未知未踏領域への進出を可能にすることを旨とする。

4. 研究成果

- (1) 六ホウ素化ランタン (LaB6) を電子放出剤とした 50A 級ホローカソードを製作して電子放出特性とプラズマ特性を評価した。ホローカソードはカーボンまたはタンタルのチューブに LaB6 を包含しており、チューブ周囲はカーボン製の電極 (キーパー電極) で覆われている。また、カソードチューブとキーパー間にグラファイト製の加熱ヒーターを有しており、ホローカソードの動作開始時は、キセノンガスを導入しつつヒーターで加熱することで LaB6 を昇温し、キーパー電極とカソードチューブ間、そしてカソードチューブとカソードから数 cm の距離に配置された陽極との間に順次電圧印加する。本研究では 5~50A の電流領域でホローカソードを動作させ、それぞれの放電電流における安定・不安定性を評価した。定常動作中には放電電流と電圧の振動が見られるが、振動が顕著で放電が不安定なブルームモードと、放電が安定なスポットモードの両方が観察され、大流量では安定なスポットモードへ移行した。スポットモードではカソードチューブ先端付近に発光が集中し、この領域で大部分の電位差が発生することが特徴である。並行して実施したプローブ計測では、カソードチューブ材質の損耗閾値以下のイオンが支配的なスポットモードと、広いエネルギー域で拡散したエネルギー分布を持つブルームモードの特徴がそれぞれ得られ、ブルームモードにおける高エネルギーイオンの存在がホローカソードの損耗を引き起こすことと予想された。また、レーザー計測では、色素レーザーを用いた発光分光システムを構築し、カソード下流域における中性粒子の発光を捉えることに成功した。
- (2) 放電電流を変更した 3 つのケース (5A, 20A, 30A) について 200 時間のホローカソード単体連続運転を実施し、カソードチューブ先端部の損耗率を評価したところ、いずれも 1,000 時間あたりで 10 μ m 以下と低損耗であった。これらのうち 5A 動作は不安定なブルームモードであったが、放電振動の程度を下げることでイオンエネルギーを低減することができることを示唆している。また、放電電流が上昇するに従いイオンのカソードチューブ先端部へのフラックスは増加することから、イオンエネルギーとイオンフラックスの損耗部への入射量を抑えることでホローカソードの長寿命化を図ることができる。なお、連続試験の際は熱電子放出を担う LaB6 の蒸発も合わせて最適化する必要があるが、今回の動作時ではいずれも 50 μ m/khr 程度であり、LaB6 厚みを 2mm 以上とすることで 1 万時間以上の耐久性を達成することが可能である。以上のように、カソードチューブ先端部と熱電子放出を担う LaB6 の双方を穏やかな損耗レベルとすることが可能であり、長寿命ホローカソードのための指針が得られた。
- (3) ホローカソードにおけるプラズマ生成と電子放出特性の理解のため、電子を流体としキセノンイオンを粒子としてモデル化したハイブリッドプラズマシミュレーションを実施した。実験における放電電流電圧特性を再現するためには、LaB6 から陽極までの電子の流れを適切にモデル化する必要がある。粒子間衝突のみを取り入れた古典抵抗モデルでは無く、放電の不安定性とその際に生じる電場陽動に基づく異常抵抗モデルを導入する必要がある。これは電場等の陽動に関するエネルギーが粒子エネルギーへと輸送される wave-particle 干渉が生じており、古典的には説明できない電子輸送が生じていることを示している。ホローカソード動作条件によってはこのような不安定性が増大することでイオンエネルギーが上昇する可能性があり、電場振動等を抑制することが損耗の低減と寿命の向上に必要であることが明らかになった。ただし、(2) で議論した高エネルギーイオン生成量を不安定陽動と結びつけて予測することは現在のハイブリッドモデルでは困難であり、自己無頓着な全粒子モデルの構築が課題として残った。
- (4) 6kW 級のホールスラストとホローカソードとの組み合わせにて、100 時間級の限定的な連続運転を実施した。試験は、直径 3m・全長 10m のホールスラスト開発試験用大型真空チャンバーにて JAXA の支援も受けて実施した。放電電流 20A の典型的な動作条件では、ホローカソード単体試験とホールスラストとしての動作とで各部損耗率に大きな違いは無かった。現在までに得られているカソードチューブ先端部や電子放出部の低損耗率が維持できれば、1 万時間級の長寿命ホールスラストが実現できると期待される。このように、長寿命ホールスラストのためのホローカソード実現の見通しを得た。
- (5) 6kW 級ホールスラストを適用可能なミッションとして、地球周回衛星のペイロードの向上に加え、月惑星探査ミッションを検討した。特に、火星への大型物資の輸送や、火星からのサンプルリターンミッションの成立可能性を示し、実施したミッション解析では地球周回軌道から火星低軌道へのホールスラストでの輸送と、化学推進による火星への離着陸、そして火星低軌道から地球までの帰還に再びホールスラストを利用することを検討し、こうしたミッションが国内の H-III 打ち上げロケット 1 機で実現可能であることを示した。このように、ホローカソードの長寿命化により切り開くことが可能な次世代ミッションとこれを実現するためのホールスラストサブシステムの姿が得られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9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 TOBA Akihito, FUNAKI Ikkoh, YAMAGIWA Yoshiki	4. 巻 17
2. 論文標題 Analysis of the Orbital Transfer between the Earth?Mars Orbit using Electric Propulsion based on the Direct Collocation Method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN	6. 最初と最後の頁 455 ~ 460
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2322/tastj.17.455	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 Kubota Kenichi, Oshio Yuya, Watanabe Hiroki, Cho Shinatora, Ohkawa Yasushi, Funaki Ikkoh	4. 巻 62
2. 論文標題 Hybrid-PIC Simulation of LaB ₆ Hollow Cathode Self-Heating Characteristics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES	6. 最初と最後の頁 11 ~ 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2322/tjsass.62.11	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 FUNAKI Ikkoh, CHO Shinatora, SANO Tadahiko, FUKATSU Tsutomu, TASHIRO Yosuke, SHIIKI Taizo, NAKAMURA Yoichiro, WATANABE Hiroki, KUBOTA Kenichi, MATSUNAGA Yoshiki, FUCHIGAMI Kenji	4. 巻 17
2. 論文標題 1,000-hours Demonstration of a 6-kW-class Hall Thruster for All-Electric Propulsion Satellite	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN	6. 最初と最後の頁 589 ~ 595
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2322/tastj.17.589	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 Funaki Ikkoh, Cho Shinatora, Sano Tadahiko, Fukatsu Tsutomu, Tashiro Yosuke, Shiiki Taizo, Nakamura Yoichiro, Watanabe Hiroki, Kubota Kenichi, Matsunaga Yoshiki, Fuchigami Kenji	4. 巻 170
2. 論文標題 Development of a 6-kW-class Hall thruster for geostationary missions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acta Astronautica	6. 最初と最後の頁 163 ~ 171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actaastro.2019.08.029	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 張科寅, 渡邊裕樹, 窪田健一, 船木一幸	4. 巻 66
2. 論文標題 ホールスラストの地上試験におけるチャンバ背圧影響に関する数値感度解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本航空宇宙学会論文集	6. 最初と最後の頁 61 ~ 68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2322/jjsass.66.61	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 Karadag Burak, Cho Shinatora, Funaki Ikkoh	4. 巻 123
2. 論文標題 Thrust performance, propellant ionization, and thruster erosion of an external discharge plasma thruster	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 153302-1 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1063/1.5023829	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 Karadag Burak, Cho Shinatora, Funaki Ikkoh, Hamada Yushi, Komurasaki Kimiya	4. 巻 34
2. 論文標題 External Discharge Plasma Thruster	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Propulsion and Power	6. 最初と最後の頁 1094 ~ 1096
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2514/1.B36900	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) https://doi.org/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 -

1. 著者名 KARADAG Burak, CHO Shinatora, FUNAKI Ikkoh	4. 巻 60
2. 論文標題 Sensitivity Analysis of a Fully Kinetic Code for Physical Parameters	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 67~76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2322/tjsass.60.67	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27件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Frank Jansen, Tim Brandt, Emmanouil Detsis, Athanasios Dafnis, Simona Ferraris, James AP Findlay, Ikkoh Funaki
2. 発表標題 INPPS Flagship: Cluster of Electric Thrusters
3. 学会等名 70th International Astronautical Congress (IAC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kubota, Y. Oshio, K. Torii, Y. Okuno, H. Watanabe, S. Cho and I. Funaki
2. 発表標題 Comparisons between Hybrid-PIC Simulation and Plume Plasma Measurements of LaB6 Hollow Cathode
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 Ikkoh Funaki, Shinatora Cho, Tadahiko Sano, Tsutomu Fukatsu, Yosuke Tashiro, Taizo Shiiki, Yoichiro Nakamura
2. 発表標題 Hall Thruster Breadboard Model Development for ETS-9
3. 学会等名 Joint Symposium: 32nd ISTS & 9th NSAT (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 船木一幸
2. 発表標題 大電力電気推進システムの研究
3. 学会等名 令和元年度航空宇宙空力シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 牧 麦, 船木 一幸, 山極 芳樹, 鳥羽 瑛仁
2. 発表標題 国産ホールスラスタを用いた火星サンプルリターンミッションの検討
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 船木 一幸, 張 科寅, 佐野 伊彦, 深津 敦, 田代 洋輔, 椎木 泰三, 中村 陽一郎
2. 発表標題 6kW級国産ホールスラスタの研究開発状況
3. 学会等名 第50期年会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiyoshi Kinofuchi, Shinatora Cho, Yoshiki Matsunaga, Daisuke Goto, Hiroki Watanabe, Takahiro Yabe, Tadahiko Sano, Tsutomu Fukatsu and Ikkoh Funaki
2. 発表標題 Facility Effect Characterization of 6-kW Class Hall Thruster in Newly Developed High-power EP Test Facility
3. 学会等名 2018 Joint Propulsion Conference, AIAA Propulsion and Energy Forum (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenichi Kubota, Yuya Oshio, Hiroki Watanabe, Shinatora Cho, and Ikkoh Funaki
2. 発表標題 Numerical Simulation of Hollow Cathode with Hybrid-PIC Coupled with Growth Model of Ion Acoustic Turbulence
3. 学会等名 2018 Joint Propulsion Conference, AIAA Propulsion and Energy Forum (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 船木一幸, 張科寅, 佐野伊彦, 深津敦, 田代洋輔, 椎木泰三, 中村陽一郎
2. 発表標題 技術試験衛星9号機搭載国産ホールスラスタの研究開発
3. 学会等名 第59回航空原動機・宇宙推進講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮坂武志, 山本直嗣, 竹ヶ原春貴, 渡邊裕樹, 船木一幸
2. 発表標題 ホールスラスタシステムの放電特性及び推進性能評価
3. 学会等名 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 牧麦, 船木一幸, 山極芳樹, 烏羽瑛仁
2. 発表標題 国産ホールスラスタによる地球-火星軌道間輸送システムの解析
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 船木一幸
2. 発表標題 ETS9搭載6kW級ホールスラスタの研究開発
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 船木一幸, 張科寅, 佐野伊彦, 深津敦, 田代洋輔, 椎木泰三, 中村陽一郎
2. 発表標題 技術試験衛星9号機搭載国産ホールスラスタの開発状況
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 牧麦, 船木一幸, 山極芳樹, 鳥羽瑛仁
2. 発表標題 国産ホールスラスタを用いた地球-火星軌道間輸送ミッションの検討
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 鳥井健笑, 大塩裕哉, 窪田健一, 船木一幸, 奥野喜裕
2. 発表標題 ホローカソードにおける放電モード及びプラズマ特性の実験的研究
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 Burak Karadag, Shinatora Cho, Ikkoh Funaki
2 . 発表標題 Ion Current Density Profile of an Erosion Free Low Power Hall Thruster
3 . 学会等名 35th International Electric Propulsion Conference, Atlanta, Georgia, Oct. 2017. (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Hiroki Watanabe, Shinatora Cho, Kenichi Kubota
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, Atlanta, Georgia, Oct. 2017. (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Kenichi Kubota, Shinatora Cho, Hiroki Watanabe, Ikkoh Funaki
2 . 発表標題 Hybrid-PIC Simulation of Hall Thruster with Internally-Mounted Cathode
3 . 学会等名 35th International Electric Propulsion Conference, Atlanta, Georgia, Oct. 2017. (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Shinatora Cho and Kenichi Kubota
2 . 発表標題 Particle Simulation of a Hall Thruster with Internally-Mounted Cathode
3 . 学会等名 35th International Electric Propulsion Conference, Atlanta, Georgia, Oct. 2017. (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenichi Kubota, Yuya Oshio, Hiroki Watanabe, Shinatora Cho, Yasushi Ohkawa, Ikkoh Funaki
2. 発表標題 Hybrid-PIC Simulation on Thermal Characteristics of Hollow Cathode
3. 学会等名 Joint Conference: 31st ISTS, 26th ISSFD & 8th NSAT, Matsuyama, June 2017. (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuya Oshio, Kenichi Kubota, Hiroki Watanabe, Shinatora Cho, Yasushi Ohkawa, Ikkoh Funaki
2. 発表標題 Experimental Investigation of LaB6 Hollow Cathode with Radiative Heater
3. 学会等名 Joint Conference: 31st ISTS, 26th ISSFD & 8th NSAT, Matsuyama, June 2017. (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 船木一幸, 張科寅
2. 発表標題 ホールスラスタの計算機シミュレーション
3. 学会等名 第367回生存圏シンポジウム, KDK生存圏ミッションシンポジウム, 2018年2月, 京都.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 張科寅, Burak Karadag, 大塩裕哉, 船木一幸
2. 発表標題 低電力永久磁石型外部放電式ホールスラスタの地上評価実験
3. 学会等名 平成29年度宇宙科学に関する室内実験シンポジウム, 2018年2月, 相模原.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 船木一幸,ETS9プロジェクトチーム・ホールスラスト研究開発チーム
2. 発表標題 ETS9搭載ホールスラストの研究開発
3. 学会等名 平成29年度宇宙輸送シンポジウム2018年1月,相模原.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 張科寅,渡邊裕樹,窪田健一,船木 一幸
2. 発表標題 6kW級ホールスラストの500時間耐久試験とシミュレーション
3. 学会等名 平成29年度宇宙輸送シンポジウム,2018年1月,相模原.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ikkoh Funaki
2. 発表標題 R&D of Hall thruster toward Japanese All-Electric Propulsion Satellite, Invited Plenary Lecture
3. 学会等名 35th International Electric Propulsion Conference, Atlanta, Georgia, Oct. 2017. (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 船木一幸
2. 発表標題 宇宙機推進技術-深宇宙航行から、オール電化衛星へ-
3. 学会等名 東海大学プラズマの基礎と応用研究会,2017年11月,平塚.(招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	窪田 健一 (Kubota Kenichi) (10723364)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・航空技術部門・研究開発員 (82645)	
研究分担者	渡邊 裕樹 (Watanabe Hiroki) (30648390)	首都大学東京・システムデザイン研究科・助教 (22604)	
研究分担者	張 科寅 (Cho Shinatora) (40710596)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・研究開発部門・研究開発員 (82645)	