

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02346

研究課題名（和文）高密度イオン推進機のデジタルツイン創成と電子異常輸送制御法の確立

研究課題名（英文）Digital Twin Creation of High-Density Ion Thruster with Electron Anomalous Transport Control

研究代表者

川嶋 嶺（Kawashima, Rei）

芝浦工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80794429

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高密度イオン推進機であるホールスラストの地上実験を包括的に再現する数値シミュレーションを目指し、重要な物理現象に関する解析モデルを開発した。ホールスラスト内の周方向プラズマ振動の数値シミュレーションを行い、イオン加速領域下流での渦状構造が電子輸送を促進することを明らかにした。また、プラズマと壁面干渉の解析では、イオン加速領域を制御することで壁面損失イオンを低減できることを示した。これらの点は、ホールスラスト実験機での人工的な非一様性を与える実験や、イオン加速領域の同定実験によって検証した。推進機に加え、真空試験設備のガス流れ解析も実施し、設備効果の低減へ向けた知見も得られている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的に重要な成果は、磁化プラズマを利用するイオン推進機において、磁場閉じ込めを阻害する電子異常輸送現象を解析し、現象の原因となるプラズマ不安定性の空間的なスケールを明らかにした点である。この空間的スケールに近い人工的な非一様性を付加することによって、プラズマ不安定性の発生を制御できる可能性を示すことができた。このことは磁化プラズマにおける人工的擾乱を用いた乱流制御という新しい研究領域へと発展するものであり、学術的意義が大きい。加えて、イオン推進機の地上実験を再現するための物理モデルや数値スキームを整備することができた。このシミュレーション技術は宇宙開発の分野に貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：This study aims to develop numerical simulations to comprehensively replicate ground-based experiments of Hall thrusters by creating analytical models for key physical phenomena. Firstly, to analyze anomalous electron transport within Hall thrusters, simulations of azimuthal plasma oscillations were conducted, revealing that vortex structures downstream of the ion acceleration region promote electron transport. Additionally, the analysis of plasma-wall interactions demonstrated that controlling the ion acceleration region could reduce wall ion losses. These findings were validated through experiments with artificial non-uniformities and control of the ion acceleration region in Hall thruster test devices. Moreover, a gas flow simulation model for vacuum test facilities was developed, providing insights to mitigate facility effects.

研究分野：宇宙推進工学

キーワード：ホールスラスト 電気推進 プラズマ 放電制御 数値流体力学 プラズマ乱流

## 1. 研究開始当初の背景

現在、有人火星探査や太陽発電衛星などの次世代宇宙ミッションを実現させるためのキーテクノロジーとして、宇宙プラズマ推進技術が注目されている。中でも応募者らがこれまで研究を行ってきたアノードレイヤ型ホールスラストは、日本独自で研究を進めてきたイオン推進機であり円環状の放電チャンネルでプラズマを生成し、イオンを電場により加速、排出することによって推進力を得る、というものである。このイオン推進機はコンパクトながら高密度なプラズマを生成し大きな推進力を生む、という特長を持つことから、特に大きい推進力を必要とする、大質量の宇宙輸送を伴うミッションにおいて活躍が期待されている。

高性能なイオン推進機を開発する上では、数値解析による設計最適化が重要となってくる。しかしながら、ホールスラストなどの磁場閉じ込めを用いるイオン源では、磁力線を横切る方向に、理論的に予想されるよりも多くの電子が実際には流れる、という電子異常輸送と呼ばれる長年の未解決問題があった。磁場による電子束縛がイオンの生成と加速に関わる重要な物理であるにも関わらず、磁化された電子の流れは理論的に記述できないため、これまでのホールスラストの数値解析では磁場束縛の強度と分布を経験的に頼っていた。今後開発するイオン推進機の設計最適化を精緻に行うには、この電子異常輸送を含め、物理モデルに忠実に基づくプラズマ解析を行う必要がある。最近の研究により、周方向に現れる自励的なプラズマ振動が、磁化された電子の輸送を促進させることが分かってきた。この周方向プラズマ振動による電子輸送促進効果の特性を把握し、異常輸送の発生領域を制御できるようになれば、イオン推進機設計の限界を克服し、その性能を飛躍的に向上させられる可能性が高い。

## 2. 研究の目的

本研究では、電子異常輸送を能動的に制御した高性能イオン推進機の実現に向けて、イオン推進機の地上実験を包括的に再現するプラズマシミュレーションの開発、およびイオン推進機内部プラズマ特性分布の計測実験を行う。本研究で明らかにしようとする点は以下の通りである。

### (1) マルチスケールプラズマフィジックスの数値解析

一般にプラズマ装置の実験では、大きく異なる時間的・空間的スケールを持つ現象が混在している。イオン推進機においても、前述の周方向プラズマ振動は MHz オーダーの現象であるのに対し、イオンの生成と加速に伴う振動現象は kHz オーダーの現象であり、ともに推進機の作動特性上重要である。イオン推進機の作動では、さらにホローカソード電子源や真空試験設備の実験環境も影響するが、これらのマルチスケールな物理を包括的に再現する数値シミュレーションは可能だろうか？

### (2) 電子異常輸送の発生領域を能動的に制御できるか

直交する電場と磁場を用いるイオン源において、電子異常輸送は周方向（電場と磁場の両方に直交する方向）に生じる自励的なプラズマ振動によって生じるという仮説が立てられている。電子異常輸送の物理解明に向けた研究は多く存在するが、本研究で対象としているアノードレイヤ型ホールスラストにおける電子異常輸送の知見は乏しい。電子異常輸送の物理について理解した上でさらに研究を進め、異常輸送が発生する領域を能動的に制御することは可能だろうか？

### (3) 無損耗なイオン推進機は設計可能か

ホールスラストなどのイオン源では、イオンの衝突による電極または放電室壁面の損耗が推進機寿命を制限している。電子異常輸送の発生領域を制御できれば、イオン生成領域の位置もある程度自在に制御可能になると予想される。イオン生成領域を壁面から引き離し、壁面へと損失するイオン流束を低減することで、無損耗長寿命となるイオン推進機を設計することはできるだろうか？

## 3. 研究の方法

本研究ではホールスラストの地上実験を包括的に再現する数値シミュレーションを実現するため、実験における各要素の数値シミュレーションを開発する。ホールスラスト地上実験の概要を図1に示す。ホールスラスト実験における重要な物理は以下の項目であると考えられ、この点が本研究の研究項目となっている。

### (A) ホールスラストのマルチフィジックスのシミュレーション

(A-1) ホールスラストの周方向プラズマ振動と電子異常輸送（周方向物理）

(A-2) ホールスラストのプラズマ壁面干渉（半径方向物理）

### (B) アノードレイヤ型ホールスラスト実験機によるプラズマ計測実験

(B-1) 周方向非一様性付加による電子異常輸送の制御実験（周方向物理）

(B-2) イオン加速領域の制御による壁面イオン流束の低減に関する実験（半径方向物理）

### (C) ホローカソード電子源のプラズマシミュレーション

### (D) 真空試験設備のガス流れシミュレーション

特にアノードレイヤ型ホールスラストの電子輸送やプラズマ特性については未解明な点が多いため、項目 (B) においてアノードレイヤ型推進機によるプラズマ計測実験も行った。

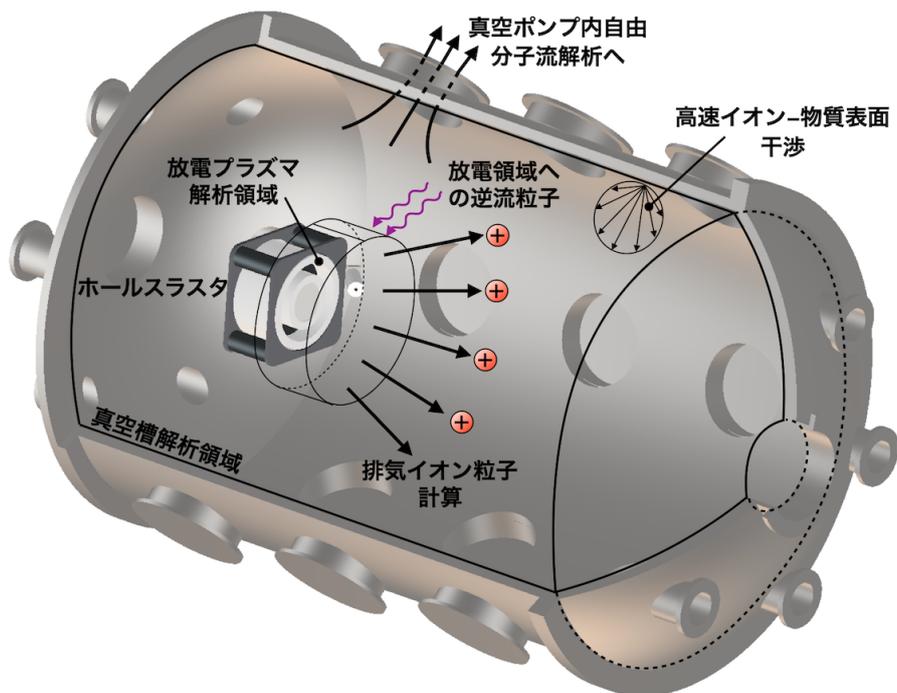


図 1 本研究で開発を目指すホールスラストシミュレーションの概要図。イオン推進機実験の包括的な再現へ向け、ホールスラスト連成シミュレーション、ホローカソード電子源の放電シミュレーション、真空槽内部ガス流れ解析を行った。

#### 4. 研究成果

「研究の方法」にて述べた実施項目に対応し、本研究課題における主要な研究成果を概説する。

##### (A-1) ホールスラストの周方向プラズマ振動と電子異常輸送の数値シミュレーション

ホールスラストにおける電子異常輸送を予測するため、周方向プラズマ振動を解析するシミュレーションコードを構築した。軸方向-周方向の2次元シミュレーションによって、イオン加速領域より下流において渦のような構造が発達し、この振動に起因して磁力線を横切る電子の輸送が大きく促進されることが明らかになった。図2に示す通り、この乱流の様な構造はイオンと電子の挙動に強く影響していた。このプラズマ振動現象は摂動モデルとの比較により、勾配ドリフト不安定性と呼ばれる不安定現象に由来することが明らかになった[1]。解析で得られる電子異常輸送の特性分布は実験結果に整合するものであり、アノードレイヤ型のほか、SPT型と呼ばれるホールスラストでも電子異常輸送の原因となりうるということが分かっている[2]。さらに、プラズマ不安定性の渦の空間的スケールは1 cm程度であり、このスケールと同等の人工的な非一様性を導入することによって、不安定現象の特性に干渉できることが分かっている[3]。

##### (A-2) ホールスラストのプラズマ-壁面干渉の数値シミュレーション

ホールスラストの半径方向物理として、プラズマと壁面干渉が重要となる。壁面ではプラズマシースと呼ばれる現象が発生しており、特にアノードレイヤ型におけるシース現象については未解明な点があった。特にイオン加速領域が下流に押し出された設計におけるシースについて、数値シミュレーションにより調査を行った[4]。解析の結果、イオン加速領域の制御によって壁面損失イオンは低減できるものの、イオン損失の減少に伴いシース領域が増長するため、壁面損失イオンを完全に無くすことは難しいことが分かった。

##### (B-1) 周方向非一様性付加による電子異常輸送の制御実験

ホールスラスト実験機に周方向に人工的な非一様性を付加して、放電チャネル内の電子輸送特性を変化させる実験を行った。この実験における成果から人工的な非一様性の最適付加手法に関する知見が得られている。

アノードレイヤ型ホールスラストにおいて、陽極から周方向非一様に推進剤供給を行う実験では、非一様性の付加によって、チャネル内部での電子輸送が促進される実験結果が得られている[5]。図3は推進剤非一様供給を行った場合の各種電流値の計測結果である。横軸の値が増加するにつれて推進剤供給における周方向非一様性が強くなることを表すが、この際、電子電流(図中  $I_{ec}$ )が大きく増加することが分かった。さらにプローブ計測実験の結果より、人工的非一

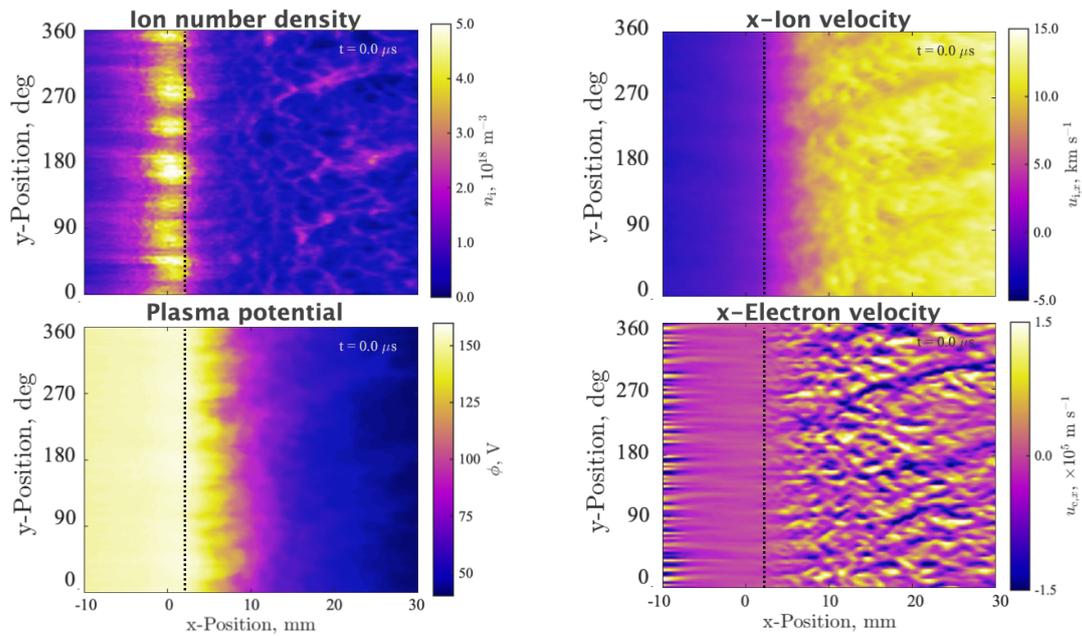


図2 ホールスラスタの軸方向一周方向の2次元シミュレーションにおいて現れた勾配ドリフト不安定性に基づく渦構造。この構造によって電子異常輸送に相当する電子輸送促進効果が現れることが確認された。

様性付加による電子輸送促進効果は、周方向のプラズマ電位とプラズマ密度との間で位相のずれが生じることで引き起こされることが分かっている[6]。

ホールスラスタは放電チャネル内部において半径方向に磁場を印加するが、この磁場強度に周方向非一様性を与えてホールスラスタを作動させる実験も行った[7]。推進剤非一様供給の場合と同様に、周方向非一様なプラズマ分布の生成は行うことができたが、放電の状態が不安定になることが多かった。周方向非一様な磁場印加は、推進剤の非一様供給と比較して安定作動を行うことが難しく、非一様磁場印加を実用的な技術へと昇華させるのは難易度が高い、と考えられる。

### (B-2) イオン加速領域の制御による壁面イオン流束の低減に関する実験

本研究課題では電子輸送とイオン加速領域の関係が重要な物理となっているが、アノードレイヤ型ホールスラスタではイオン加速領域の特性が明らかとなっていなかった。アノードレイヤ型ホールスラスタの実験機に対して、プローブ計測実験を行うことにより、イオン加速領域の同定実験を行った。

本研究で開発を進めているホールスラスタでは、イオン生成領域および加速領域をチャネル下流方向へと移動させる設計としていたが、この点が実験によっても確かめられた[8]。この設計では、壁面へと衝突するイオンが大幅に低減され、推進機が長寿命となることが示されている[9]。

### (C) ホローカソード電子源のプラズマシミュレーション

イオン推進機は電子源とともに作動するが、特にホールスラスタでは大電流の電子放出が得意であるホローカソードが用いられる。ホローカソードの解析は当初の研究計画には含まれていなかったが、ホローカソードも重要な開発項目となるため数値シミュレーションを開発した。

本研究では、ホールスラスタの解析にも用いているハイブリッド粒子モデルをベースとして、ホローカソード内部の熱電子放出面のシースモデルなどを組み込んだシミュレーションコードを開発した。さらに、ホローカソードの熱伝導・放射解析を商用ソフトによって開発した。これ

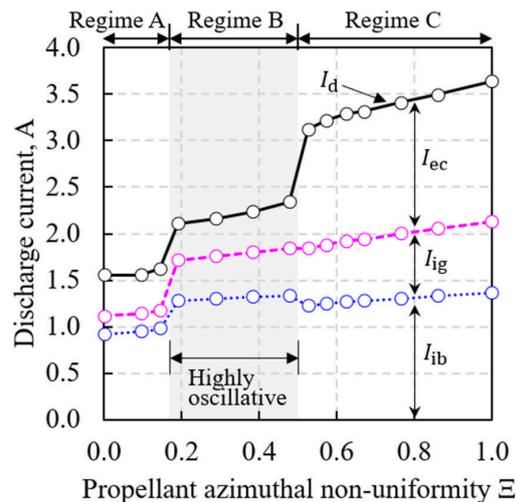


図3 ホールスラスタにおける推進剤供給を周方向非一様に行なった際のイオンビーム電流、イオンガードリング電流、および放電電流。横軸0が周方向一様供給（通常の作動）であり、値が増加するにつれて周方向非一様性が強くなる。

らの解析を連成して用いることで、ホローカソードの性能、すなわち電流-電圧特性を得られるようになっている。本シミュレーションコードはホローカソードの単体開発に用いられる他、将来的にはホールスラスタの放電シミュレーションと連成させることを計画している。

#### (D) 真空試験設備のガス流れシミュレーション

実験設備がホールスラスタの性能試験に与える影響として、背圧効果がある。これは真空槽内部で一度排出されたイオンが、壁面に衝突して中性粒子に転化した後、推進機に逆流してきてしまい、また推進剤として利用されてしまう、という現象である。イオン推進機の地上実験における背圧効果を正確に予測するためには、排出イオンと真空設備壁面との衝突および反射に関する正確なモデルが必要となる。本研究では固体内部での粒子の挙動に関する分子動力学シミュレーションを行い(図4)、反射粒子の挙動に関する予測モデルを得た[10]。さらにこの研究を進め、背圧効果を低減するための真空設備の装置構成に関する知見を得ている[11]。

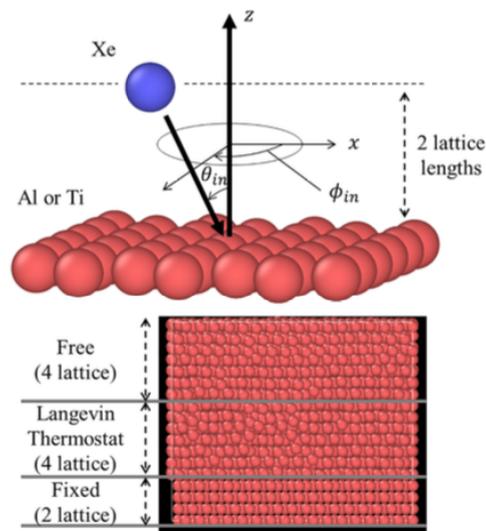


図4 AlまたはTi製のターゲットに衝突するXe粒子に関する分子動力学シミュレーションの概要図。

- [1] Kawashima R and Komurasaki K 2021 Two-dimensional hybrid model of gradient drift instability and enhanced electron transport in a Hall thruster *Phys. Plasmas* **28** 063502.
- [2] Kawashima R and Komurasaki K 2022 Hybrid-PIC Simulation of Gradient Drift Instabilities in Hall Thrusters for Electron Transport Analysis 37th International Electric Propulsion Conference (Cambridge, MA) p IEPC-2022-370.
- [3] Kawashima R, Bak J and Komurasaki K 2022 Anatomy of cross-field electron transport by steady and unsteady plasma structures in Hall thrusters Gaseous Electronics Conference (Sendai, Japan).
- [4] Kawashima R 2023 Sheath Analysis of Conducting Channel Walls in Anode-Layer Hall Thruster with Acceleration Zone Shifted Downstream *Front. Appl. Plasma Technol.* **16** 1–6.
- [5] Bak J, Van Loo B, Kawashima R and Komurasaki K 2020 Discharge characteristics and increased electron current during azimuthally nonuniform propellant supply in an anode layer Hall thruster *J. Appl. Phys.* **128** 023302.
- [6] Bak J, Kawashima R, Simmonds J and Komurasaki K 2021 Evolution of electron cross-field transport induced by an equilibrium azimuthal electric field in an  $E \times B$  Hall thruster discharge under an azimuthally inhomogeneous neutral supply *Phys. Plasmas* **28** 102510.
- [7] Bak J, Kawashima R, Romanelli G and Komurasaki K 2022 Plasma structure and electron cross-field transport induced by azimuthal manipulation of the radial magnetic field in a Hall thruster  $E \times B$  discharge *J. Appl. Phys.* **131** 053302.
- [8] Hamada Y, Kawashima R, Bak J, Komurasaki K and Koizumi H 2021 Characterization of acceleration zone shifting in an anode-layer-type Hall thruster RAIJIN66 *Vacuum* **186** 110040.
- [9] Kawashima R, Hamada Y, Kawabata S, Komurasaki K and Koizumi H 2022 Wall Ion Loss Reduction by Acceleration Zone Shifting in Anode-Layer Hall Thruster *J. Propuls. Power* **38** 489–93.
- [10] Ito G, Kawashima R, Komurasaki K and Koizumi H 2021 Incident angle dependence of reflected particles in low-energy xenon-ion impacts on metal surfaces *Comput. Mater. Sci.* **186** 109989.
- [11] Ito G, Kawashima R, Komurasaki K and Koizumi H 2022 Method of Suppressing Ingestion Particles Flowing Back to a Hall Thruster using a Beam Target during Ground Testing *Trans. Jpn. Soc. Aeronaut. SPACE Sci.* **65** 160–71.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 R. Kawashima	4. 巻 16
2. 論文標題 Sheath Analysis of Conducting Channel Walls in Anode-Layer Hall Thruster with Acceleration Zone Shifted Downstream	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontier of Applied Plasma Technology	6. 最初と最後の頁 1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Kawashima R., Hamada Y., Kawabata S., Komurasaki K., Koizumi H.	4. 巻 38
2. 論文標題 Wall Ion Loss Reduction by Acceleration Zone Shifting in Anode-Layer Hall Thruster	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Propulsion and Power	6. 最初と最後の頁 489~493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2514/1.B38460	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 Bak J., Kawashima R., Romanelli G., Komurasaki K.	4. 巻 131
2. 論文標題 Plasma structure and electron cross-field transport induced by azimuthal manipulation of the radial magnetic field in a Hall thruster $E \times B$ discharge	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 53302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0067310	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 該当する
1. 著者名 Ito G., Kawashima R., Komurasaki K., Koizumi H.	4. 巻 65
2. 論文標題 Method of Suppressing Ingestion Particles Flowing Back to a Hall Thruster using a Beam Target during Ground Testing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences	6. 最初と最後の頁 160~171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2322/tjsass.65.160	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kawashima R., Komurasaki K.	4. 巻 28
2. 論文標題 Two-dimensional hybrid model of gradient drift instability and enhanced electron transport in a Hall thruster	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 63502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0045984	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 Bak J., Kawashima R., Simmonds J., Komurasaki K.	4. 巻 28
2. 論文標題 Evolution of electron cross-field transport induced by an equilibrium azimuthal electric field in an $E \times B$ Hall thruster discharge under an azimuthally inhomogeneous neutral supply	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 102510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0060377	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 該当する

1. 著者名 Wang Z., Kawashima R., Komurasaki K.	4. 巻 24
2. 論文標題 A fast convergence fourth-order Vlasov model for Hall thruster ionization oscillation analyses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma Science and Technology	6. 最初と最後の頁 25502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2058-6272/ac3970	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 Bak J., Van Loo B., Kawashima R., Komurasaki K.	4. 巻 128
2. 論文標題 Discharge characteristics and increased electron current during azimuthally nonuniform propellant supply in an anode layer Hall thruster	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 23302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5144851	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 Ito G., Kawashima R., Komurasaki K., Koizumi H.	4. 巻 186
2. 論文標題 Incident angle dependence of reflected particles in low-energy xenon-ion impacts on metal surfaces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computational Materials Science	6. 最初と最後の頁 109989
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.commatsci.2020.109989	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 Y., Kawashima R., Bak J., Komurasaki K., Koizumi H.	4. 巻 186
2. 論文標題 Characterization of acceleration zone shifting in an anode-layer-type Hall thruster RAIJIN66	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 110040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.vacuum.2020.110040	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18件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 R. Kawashima
2. 発表標題 Numerical Analysis of the Gradient Drift Instability and its Control in Hall Thruster Plasmas
3. 学会等名 AAPPS-DPP2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R. Kawashima
2. 発表標題 Electron Transport Enhancement by Artificial Disturbance in Near-Anode Region of Hall Thruster
3. 学会等名 31st Annual Meeting of IAPS (国際学会)
4. 発表年 2024年

1 . 発表者名 R. Kawashima, K. Komurasaki
2 . 発表標題 Hybrid-PIC Simulation of Gradient Drift Instabilities in Hall Thrusters for Electron Transport Analysis
3 . 学会等名 37th International Electric Propulsion Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 D. Satpathy, S. Kawabata, H. Sekine, R. Kawashima, K. Komurasaki, H. Koizumi
2 . 発表標題 Performance Investigation of a Thruster with Anode Layer based on Anode Temperature Change
3 . 学会等名 37th International Electric Propulsion Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 J. Bak, R. Kawashima, K. Komurasaki
2 . 発表標題 Plasma formation and electron cross-field transport in the axial-azimuthal plane of a Hall thruster
3 . 学会等名 37th International Electric Propulsion Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Kawashima, K. Komurasaki
2 . 発表標題 Hybrid kinetic-fluid simulations of Hall thruster plasma dynamics
3 . 学会等名 32nd International Symposium on Rarefied Gas Dynamics ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Kawashima
2 . 発表標題 Control of Plasma Instabilities and Anomalous Electron Transport in a Hall Thruster
3 . 学会等名 Advances in Applied Plasma Science 13 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Kawashima, J. Bak, K. Komurasaki
2 . 発表標題 Anatomy of cross-field electron transport by steady and unsteady plasma structures in Hall thrusters
3 . 学会等名 75th Gaseous Electronics Conference (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Kawashima, Z. Wang, S. Kawabata, K. Komurasaki
2 . 発表標題 Sheath Analysis of Conducting Channel Walls in an Anode-Layer Hall Thruster
3 . 学会等名 Plasma Application and Hybrid Functionally Materials (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 R. Kawashima, Y. Hamada, J. Bak, K. Komurasaki, H. Koizumi
2 . 発表標題 Measured Ionization and Acceleration Zones in an Anode Layer Type Hall Thruster RAIJIN66
3 . 学会等名 10th Asian Joint Conference on Propulsion and Power (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Kawashima, Z. Wang, K. Komurasaki
2. 発表標題 Hybrid Vlasov-Fluid Model with High-Order Schemes for Partially Ionized Plasma Flows
3. 学会等名 2021 AIAA SciTech Forum (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川嶋嶺, 小紫公也
2. 発表標題 ホールスラスト性能予測へ向けた勾配ドリフト不安定性の数値シミュレーション
3. 学会等名 第61回航空原動機・宇宙推進講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川嶋嶺, 小紫公也
2. 発表標題 ホールスラストの勾配ドリフト不安定性と電子輸送促進に関する数値解析
3. 学会等名 2021年度宇宙輸送シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Kawashima, Z. Wang, S. Kawabata, K. Komurasaki
2. 発表標題 Numerical Analysis of Channel Wall Sheath Thickness in an Anode-Layer Hall Thruster
3. 学会等名 Plasma Application and Hybrid Functionally Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 J. Bak, R. Kawashima, K. Komurasaki
2. 発表標題 Spatiotemporal characteristics of plasma structure induced by manipulation of electron cross-field transport in a Hall thruster
3. 学会等名 73rd Gaseous Electronics Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 J. Bak, R. Kawashima, G. Romanelli, K. Komurasaki
2. 発表標題 Influence of manipulation of electron streamlines on plasma formation and electron cross-field transport in ExB plasma
3. 学会等名 4th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川嶋嶺, 王哲旭, 伊藤彦, 川畑就, 小紫公也, 小泉宏之
2. 発表標題 プラズマ振動による電子輸送促進効果を加味するホールスラストの連成シミュレーション
3. 学会等名 第64回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 船木一幸, 中野正勝, 小紫公也, 鷹尾祥典, 横田茂, 張科寅, 川嶋嶺
2. 発表標題 電気推進を用いた軌道間輸送機に関する議論
3. 学会等名 宇宙太陽発電
4. 発表年 2020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	小泉 宏之  (Koizumi Hiroyuki)  (40361505)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授   (12601)	直接経費残額：-186,722円。
研究 分担者	鷹尾 祥典  (Takao Yoshinori)  (80552661)	横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授   (12701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------