

令和6年度地球観測技術等調査研究委託事業
“将来衛星システムにかかる技術調査分析”
中間成果報告 技術調査・分析資料【詳細版】
-ホールスラスト/イオンエンジン-

アルサーガパートナーズ株式会社
2024/10/11

目次

1. はじめに/調査方針

2. 調査報告

はじめに

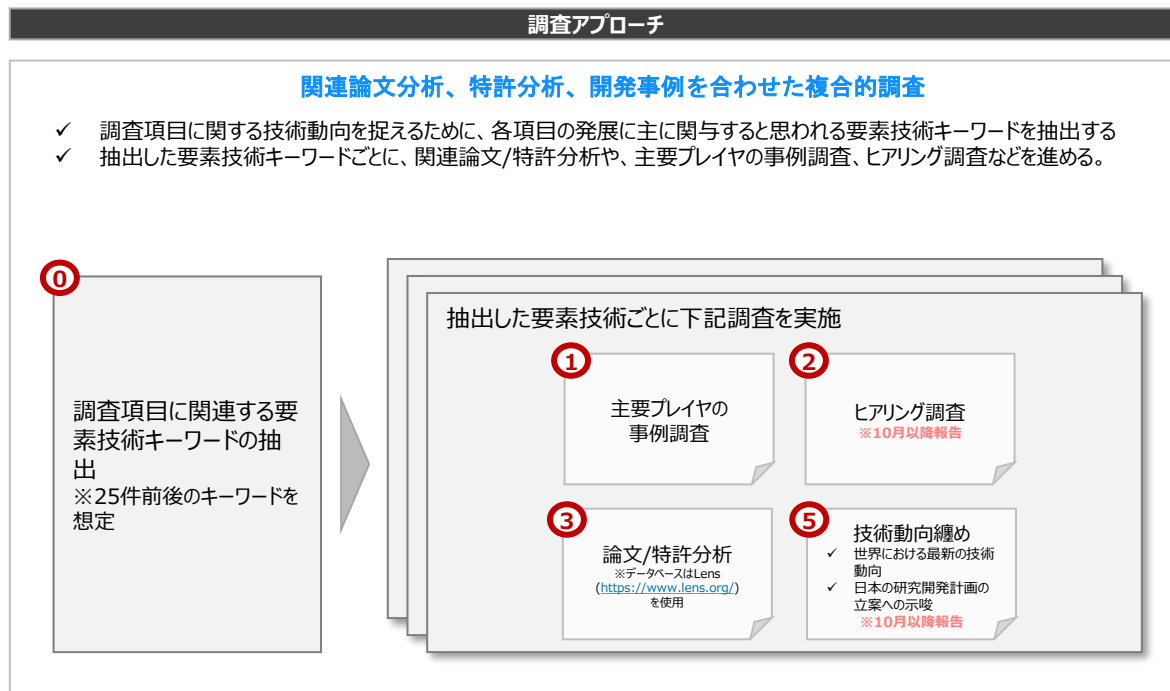
本資料は、文部科学省殿から委託された下記委託業務について、中間段階での成果を報告するものである

令和6年度 地球観測技術等調査研究委託業務
将来衛星システムにかかる技術調査

調査方針：関連論文分析,特許分析,開発事例を合わせた複合的調査

下記調査項目については、まず関連する要素技術のキーワード抽出を行い、各要素技術について、web調査だけでなく、論文/特許分析、ヒアリング調査も含めて複合的に技術動向をリサーチしている

調査項目	
3-1	宇宙用部品に関する技術的な基準
	民生部品の宇宙転用に関する国内外の技術動向
	電気系基盤技術に係る国内外の最新動向
	機械系基盤技術に係る国内外の最新動向
3-2	多様な衛星システムに対応できる先進的地上局技術（アンテナ、データ受信装置等）
	地上局の仮想化及びAI/MLを含めた自動運用
3-3	オンボード処理技術の適用に必要なアーキテクチャやインターフェースに関する技術
	編隊飛行等の複数衛星協調運用の技術・技術動向・要素技術



目次

1. はじめに/調査方針

2. 調査報告

ホールスラスタ/イオンエンジン技術調査の要素技術キーワードと進め方

宇宙での推進技術として注目されるホールスラスタやイオンエンジンを対象として開発動向を調査・整理した

要素技術キーワード

✓ ホールスラスタ/イオン
エンジン

主要プレイヤーの
事例調査

論文/特許分析

調査の進め方

- Web調査をベースに、要素技術キーワードにおいて宇宙開発に関する企業や研究機関の事例を収集・整理
- 個々の事例をスライドに整理（詳細資料に記載）、さらに、いくつかの事例で共通の観点をまとめた動向資料を作成
- 主に、2020年以降に大きな動きが見られた事例を対象としている
- 論文/特許データベース*を用いて、要素技術キーワードと宇宙開発の双方に関連する論文と特許を抽出
- 抽出した数百～数万件の文献について、自然言語処理AIを活用しながら、データ前処理、カテゴライズ、要約を行い、主要な開発動向の可視化を実施
- 要素技術キーワード分析は要素技術キーワードごとに実施

*データベースはLens(<https://www.lens.org/>)を使用

主要プレイヤーの 事例調査結果

様々な素材を活用したスラスト技術

様々な素材を活用したスラスト技術が開発されている。キセノンガスやヨウ素推進剤、モリブデンを燃料とするプラズマスラストなどが開発されており、それぞれ異なる素材や技術を用いることで、従来の化学推進に比べて効率的な推進を実現している。

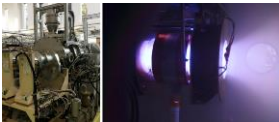
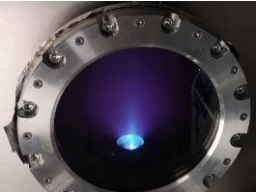
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	NASA	NASAは、Psyche宇宙船に搭載されるホールスラストを開発している。ホールスラストは、太陽電力を利用してキセノンガスをイオン化し、推進力を生み出す。これにより、従来の化学推進に比べて効率的な推進が可能となり、将来の深宇宙ミッションを支援する可能性がある。	2021	https://www.jpl.nasa.gov/images/pi-a24030-psyche-hall-thruster https://psyche.asu.edu/2018/01/19/electric-thrusters-psyche-spacecraft-work/
	Phase Four	Phase Fourは、RFプラズマ推進の最前線を追求し、プラズマ物理学、先進的推進剤、新しい宇宙での応用に関する研究開発を行っている。特に、ヨウ素推進剤を用いた電極レスのプラズマスラストの開発に注力している。	2021	https://phasefour.io/plasmaworks/
	Benchmark Space Systems	Benchmark Space Systemsは、純粋なモリブデンを燃料とするプラズマスラスト「Xantus」を開発した。この製品は、SpaceXのTransporter-10ライドシェアミッションで打ち上げられたOrion Space Solutionsの衛星に搭載されている。Xantusは、衛星の機動能力のギャップを埋める新しい設計を特徴としており、すでに50件の注文を受けている。	2024	https://payloadspace.com/benchmark-sends-metal-plasma-propulsion-to-orbit/

RFプラズマを活用したスラスト技術

RFプラズマを活用したスラスト技術は、電気推進の効率と性能を向上させるための革新的なアプローチである。無電極プラズマ推進機やVASIMR®エンジン、ヘリコンプラズマスラスト技術などが開発され、これらは高周波プラズマ源や磁気ノズルを用いて推進剤をプラズマ化し、強力な磁場で加速することで高い推力を実現する。

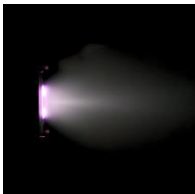
関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	東北大学	東北大学の高橋和貴准教授は、無電極プラズマ推進機の推進効率を約30%に向上させることに成功した。無電極プラズマ推進機は、高周波プラズマ源と磁気ノズルを組み合わせ、プラズマ流を噴射し、推力を発生させる方式である。プラズマ発生部にカスプ磁場を印加することで、壁面へのエネルギー損失を抑制し、推進効率を向上させた。	2022	https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2021/02/press20210204-03-plasma.html https://www.eng.tohoku.ac.jp/news/news7/detail-,id,2344.html
	Ad Astra	Ad Astraは、プラズマ物理学と電気推進の研究を基に、VASIMR®エンジンを開発した。この高出力電気ロケットエンジンは、地球低軌道から月までのロジスティクスや深宇宙への高速輸送を可能にする。RF波で加熱された推進剤ガスをプラズマ化し強力な磁場で加速して推力を生む。	2022	https://www.adastrarocket.com/our-engine/
	HIPATIAプロジェクト	HIPATIAプロジェクトは、ラジオ周波数場を利用してガスをイオン化する電気推進技術を開発し、非静止衛星コンステレーションや小型宇宙機に適用するための開発を進めている。	2024	https://cordis.europa.eu/article/id/451378-advanced-helicon-plasma-thruster-propulsion-moves-closer-to-market

水を用いたスラスタ技術

水を用いたスラスタ技術は、従来の高圧ガスや有毒な推進剤に代わる安全で環境に優しい選択肢として注目されている。具体的には、水を推進剤とすることで、宇宙開発の持続可能性を向上させることを目指している。水の電気分解を利用した技術や、ホール効果スラスタの最適化により、推力と比推力のバランスを理想的に保つことが可能となり、次世代の宇宙モビリティインフラの構築に貢献することが期待されている。

関連する開発事例

	組織名	概要	発表年	出典
	Pale Blue	Pale Blueは、東京大学発のベンチャー企業であり、「水」を推進剤として用いた小型衛星用エンジン技術を提供する。従来の高圧ガスや有毒な推進剤を使用するエンジンに代わり、安全で無毒、取扱いが容易な「水」を用いることで、環境に優しい持続可能な宇宙開発を目指している。	2024	https://pale-blue.co.jp/jpn/ https://pale-blue.co.jp/product/pbh/
	URA Thrusters Ltd	URA Thrusters Ltdは、Imperial College LondonおよびAliena Pte Ltdと協力し、水の電気分解の副産物を推進剤として使用するホール効果スラスタ（HET）の点火と安定した持続運転を実現した。これにより、宇宙空間での輸送、移動、物流の新たな道が開かれる可能性がある。	2023	https://www.aliensg/news https://www.urathrusters.com/het/

キセノンイオンを用いた太陽電気推進ホールスラストによる深宇宙探査システム

NASA

概要

NASAは、太陽電池で発電した電力を用いてキセノンガスをイオン化し、ホールスラストで推進力を得る太陽電気推進システムを開発している。このシステムは、小惑星帯へ向かう探査機「Psyche」に搭載され、月軌道を超えて深宇宙で使用される初のホールスラストとなる予定である。



開発内容

この太陽電気推進システムは、太陽電池で発電した電力を用いて、ホールスラストでキセノンガスをイオン化・加速し推進力を得る。ホールスラストは、磁場を用いて電子を環状に閉じ込め、プラズマを形成し、キセノンイオンを高電圧で加速することで推進力を生み出す。キセノンガスはイオン化されると高エネルギーイオンとなり、スラストから噴射されて推力を生じる。この方式により、従来の化学推進と比較して非常に高い比推力を実現し、燃料効率を向上させている。電力は太陽電池アレイによって供給され、深宇宙でも動作可能な設計となっている。

この太陽電気推進システムにより、従来の化学推進に比べて必要な推進剤の量を大幅に削減でき、打ち上げ費用の低減に寄与する。また、ホールスラストはイオンスラストに比べて小型のスラストでより高い出力と推力を得ることが可能であり、深宇宙探査に適している。キセノンイオンを用いた推進により、高い比推力と効率的な加速が実現し、宇宙空間での航行時間の短縮やミッションの柔軟性向上が期待されている。

目的/背景

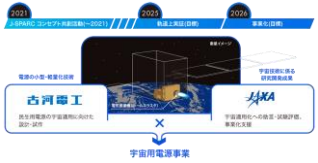
この太陽電気推進システムは、深宇宙探査機「Psyche」で初めて月軌道を超えて使用されることにより、将来の深宇宙ミッションにおける推進技術としての有用性を実証する目的がある。これにより、大型の化学推進ロケットに依存せずに効率的な深宇宙航行が可能となり、探査範囲の拡大やミッションコストの削減が期待される。また、キセノンガスをを用いた電気推進の実績を積むことで、さらなる技術改良や他のミッションへの適用が進む可能性がある。

民生技術を活用した小型衛星用ホールスラスト電源の軽量化・低コスト化

古河電工、JAXA

概要

古河電工とJAXAは、J-SPARCのもと、小型衛星向け次世代ホールスラスト用電源の開発を通じて共創活動を開始している。



開発内容

本技術は、古河電工の民生品開発で培った熱設計技術、巻線設計技術、GaN（窒化ガリウム）パワーデバイスの研究成果を活用し、ホールスラスト用電源の小型・軽量化を実現するものである。電源の小型化・高効率化により、ホールスラスト全体の軽量化・低コスト化に貢献する。また、JAXAの宇宙環境下での放電制御技術と組み合わせることで、宇宙空間での信頼性を高めている。両社の技術を融合し、新しい電源の設計手法を開発している。

本技術により、ホールスラスト用電源の軽量化・小型化に向けた要素技術の獲得が可能となった。電源の小型化により、衛星全体の重量削減と打ち上げコストの低減が期待されている。また、高効率なGaNパワーデバイスの採用により、電源の効率向上と放熱性能の改善が見込まれる。今後、技術開発を進め、実用化に向けた検証を行う予定である。

目的/背景

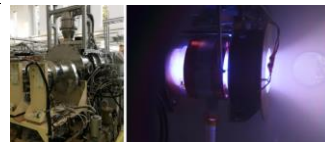
本技術は、地球観測や通信分野の衛星コンステレーションへの応用が期待されている。軽量・低コストなホールスラスト用電源により、小型衛星の打ち上げコスト削減や開発期間の短縮が可能となる。古河電工は2025年度の軌道上実証を目指し、2026年度以降の事業化を計画している。

高周波プラズマ源とカスプ磁場構造を組み合わせた無電極プラズマ推進機で推進効率30%を達成

東北大学

概要

東北大学は、高周波プラズマ源と磁気ノズルを用いる無電極プラズマ推進機で、プラズマ発生部にカスプ磁場構造を適用し、推進効率を従来の20%から約30%に向上させた。



開発内容

無電極プラズマ推進機は、高周波プラズマ源で電離した燃料ガスを磁気ノズル中で膨張・加速し、宇宙空間へ噴射することで推力を得る方式である。今回、プラズマ発生部にカスプ磁場構造を印加することで、プラズマを壁面から遠ざけ、エネルギーや粒子の損失を抑制した。これにより、プラズマ生成効率が向上し、より高効率な推進が可能となった。また、電極を使用しないため、電極損傷による劣化を防ぎ、大電力かつ長寿命の運転が期待できる。

無電極プラズマ推進機は、カスプ磁場構造の適用により、推力が60mNから約80mNに増加し、高周波電力から推進エネルギーへの変換効率が従来の約20%から約30%に向上した。実験では、プラズマがカスプ磁場構造によって閉じ込められ、壁面への粒子損失が減少したことを確認した。また、理論モデルにより実験結果を説明できることを示し、プラズマ発生部の物理現象の理解が進んだ。

目的/背景

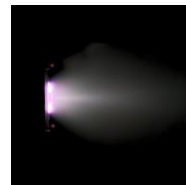
無電極プラズマ推進機は、宇宙機への大電力かつ長寿命の電気推進機として期待されている。今後、作動環境の影響（スペースチャンバーのサイズや残留ガス）の検証や、エンジニアモデル・プロトタイプの開発、関連する物理現象の解明を国際共同研究も含めて進める予定である。

水を推進剤に用いた小型衛星用ハイパフォーマンス次世代エンジン技術

Pale Blue

概要

Pale Blueは、水を推進剤とする小型衛星用エンジン技術を提供する東京大学発のベンチャー企業である。従来の有毒な推進剤に代わり、安全・無毒で取扱いが容易な水を用いて、環境に優しく持続可能な宇宙開発を目指している。



開発内容

水を推進剤として用いたエンジンは、従来の高圧ガスや有毒な化学推進剤を必要としない。Pale Blueが開発するエンジンは、水を電気分解や加熱などの方法で高エネルギーの推進力に変換する。エンジンは推進器ヘッド、流体系、電子装置、推進剤タンクが一体化されたシステムであり、クラスタ化することで多様なミッション要件に対応可能である。また、高圧貯蔵を必要とせず、推進剤は工場出荷前にタンクに充填されるため、複雑な燃料充填作業を行う必要がない。

エンジンは高圧貯蔵を必要としないことで、衛星の組み立てと運用にかかる時間とコストが削減される。また、水を推進剤とすることで環境への負荷が低減し、安全性が向上する。従来の有毒な推進剤を使用したエンジンと比較して、取扱いが容易で人への危険も少ない。これらの特性により、宇宙開発の持続可能性が高まることが期待されている。推進システムは2027年までに打ち上げが計画されており、実用化に向けた準備が進められている。

目的/背景

水推進エンジンは安全・無毒で取扱いが容易なため、小型衛星の多様なミッションに活用が見込まれる。衛星統合者は複雑な燃料充填作業が不要となり、開発期間の短縮やコスト削減が期待される。また、環境に優しい推進システムとして、持続可能な宇宙開発・利用を促進する。今後は2027年の打ち上げに向けて、さらなる技術開発と実用化に取り組む予定である。

小型衛星を低軌道から静止軌道へ移行させるBHT-600ホール効果推進システム

Busek

概要

ブセック社は、小型衛星を低軌道から静止軌道やそれ以上へ移行させることが可能なモジュール式推進装置「BHT-600ホール効果推進システム」の初のフライトモデルを出荷した。同システムは、太陽エネルギーと少量の推進剤を利用して推力を生み出すホール効果スラスターを採用しており、高速の軌道変更が可能である。



開発内容

「BHT-600ホール効果推進システム」は、400Wから1kWの出力範囲で動作可能なホール効果スラスターを搭載したモジュール式のフライトシステムである。太陽エネルギーを利用し、キセノン、クリプトン、ヨウ素などの推進剤を僅かに使用して推力を生み出す。システムは、放射線耐性の高いパワープロセッサ、可変出力機能、キセノン供給システム、長寿命のスラスターアセンブリを備えている。小型衛星の軌道上昇や高速な機動を可能にし、衛星の寿命延長や近地球天体へのランデブーなどに貢献する。

「BHT-600ホール効果推進システム」は、NASAのGame Changing Development OfficeとSpace Technology Mission Directorateの支援のもと、NASAグレン研究センターで7,000時間に及ぶ地上試験を行い、約70キログラムのキセノン推進剤を処理した。これは記録的な成果であり、推進システムの長期信頼性を実証した。また、本システムにより、180～225キログラムの小型衛星の高速の機動や軌道上昇や近地球天体へのランデブー、静止軌道、中軌道、低軌道衛星の寿命延長を可能とする。

目的 /背景

「BHT-600ホール効果推進システム」は、小型衛星の軌道上昇や近地球天体へのランデブー、衛星の寿命延長など、多様なミッションに応用可能である。また、小型ロケットの電気推進上段部への電力供給にも適している。モジュール式の設計により、様々なミッション要件に適応でき、システムの長寿命化はミッションの成功率を高める。

ヨウ素推進剤と大気摂取型電極レスRFプラズマスラスタースによる次世代推進システム

Phase Four

概要

Phase Fourは、電極レスのRFプラズマスラスタースを開発し、ヨウ素を推進剤とするプラズマ推進システムを研究している。また、大気摂取型のRFプラズマスラスタースを用いて、極低高度軌道での衛星運用を可能にする新たな推進技術を開発している。

PHASEFOUR

開発内容

ヨウ素を推進剤とする電極レスRFプラズマスラスタースは、カソードやアノードを持たない構造で、RFエネルギーにより誘導的にプラズマを生成する。ヨウ素は従来の推進剤と比べて高い性能を持つが、従来のプラズマスラスタースではカソードとの相性が悪かった。電極レスの構造により、ヨウ素の使用が可能となり、衛星の推進システムとしての応用が期待されている。また、ボリュームパワー密度が高く、非接触でプラズマを生成するため、耐久性が高い。さらに、自動化されたスラスタースマッピングシステムを構築し、性能向上のための最適化を行っている。

電極レスRFプラズマスラスタースは、ピーク比推力をBlock 1およびBlock 2の2倍となる900秒以上に向上させた。これにより、固定された推進剤タンクサイズで総推力を2倍にするか、推進システム全体の質量と体積を削減することが可能となった。また、ヨウ素を推進剤とすることで、高性能かつ信頼性の高い衛星推進システムの実現に成功した。さらに、プラズマ特性と推力をシステムの各パラメータに対してマッピングし、最適化を加速するための自動化システムを構築した。

目的 /背景

電極レスRFプラズマスラスタースは、衛星の機動性と運用性を向上させ、コストを抑えた推進システムとして期待されている。今後は、ASCENTのような次世代グリーン推進剤への適応や、化学推進と電気推進を両立するマルチモード推進システムの開発を進める予定である。また、大気摂取型エンジンの開発により、極低高度軌道での持続的な衛星運用を可能にすることを目指している。

純モリブデンを固体燃料とする衛星用プラグアンドプレイ式プラズマ推進装置「Xantus」

Benchmark Space Systems

概要

Benchmark Space Systemsは、純モリブデンを固体燃料とするプラズマ推進装置「Xantus」を開発している。同製品は衛星オペレーター向けのプラグアンドプレイ式推進バックとして提供され、衛星の機動能力におけるギャップを埋めるものである。既に50件の注文を受けており、Orion Space Solutionsの衛星に搭載されて軌道上にある。



開発内容

「Xantus」は、純粋なモリブデンの燃料バックを用いたプラズマ推進システムである。強力な電氣的放電によりモリブデンの金属燃料を蒸発させ、プラズマ化して推力を得る仕組みである。この技術は、地上で金属材料の薄膜コーティングを生成する際に使用される手法と類似している。モリブデンを固体燃料として用いることで、推進システムのコンパクト化とプラグアンドプレイ性を実現している。

「Xantus」は、2018年以降、1万時間以上の試験運転が行われ、NASAグレン研究センターの真空チャンバーを含む複数の環境でテストされている。軌道上では、Orion Space Solutionsが運用する衛星に搭載され、性能が実証されている。

目的/背景

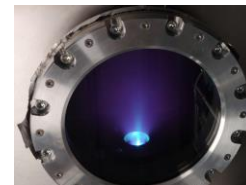
「Xantus」は、衛星の姿勢制御や軌道変更などの機動能力を向上させる手段として、衛星オペレーターに提供される。プラグアンドプレイ式の設計により、衛星への統合が容易であり、運用コストの削減とミッション柔軟性の向上が期待される。

ヘリコンプラズマ推進技術を用いた非静止衛星コンステレーション向け電気推進システム

HIPATIAプロジェクト

概要

HIPATIAプロジェクトは、アンテナと磁石による電磁ラジオ周波数場を利用してガスを電離するヘリコンプラズマ推進技術を進展させ、非静止衛星コンステレーションや小型宇宙機向けの電気推進システムを開発している。



開発内容

ヘリコンプラズマ推進技術は、アンテナと磁石で生成された電磁ラジオ周波数場を用いて推進剤を電離し、高温のプラズマを生成する。従来の電気推進システムで必要とされた電極や高電圧の複雑な電子機器を不要とし、システムの簡略化と寿命の延長、製造と統合の容易化を実現する。HIPATIAプロジェクトでは、推進剤の圧力と流量を制御する推進剤制御ユニットや、推進剤を電離しプラズマを加速するラジオ周波数発生・電源ユニットなどの重要なコンポーネントを開発・統合し、技術成熟度を向上させた。

ヘリコンプラズマ推進技術により、推進剤の使用量を大幅に削減しながら、推進システムの性能を向上させることが可能となった。HIPATIAプロジェクトは、完全なヘリコンプラズマ推進システムの2度の結合試験キャンペーンを成功させ、市場適用に大きく近づいた。これにより、システムの製造時間が短縮され、コストが削減されるとともに、衛星の運用寿命も延長されることが確認された。また、モデリングやシミュレーション、試験を通じてプラズマデバイスの物理的理解が深まり、効率向上のための新たなスラスター設計への道が開かれた。

目的 /背景

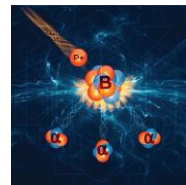
ヘリコンプラズマ推進技術は、非静止衛星コンステレーションや小型衛星において、コスト削減と寿命延長を実現する電気推進システムとして活用が期待されている。さらなる効率向上を目指し、新しいスラスター設計の特性評価が進められており、新たなミッションや用途への展開が見込まれる。

水燃料パルスプラズマスラスタを核融合で強化した電気推進装置「FireStar™ Fusion Drive」

RocketStar

概要

アメリカの宇宙企業であるRocketStarは、水燃料パルスプラズマスラスタに核融合技術を融合させた世界初の電気推進装置「FireStar™ Fusion Drive」を開発している。同装置は、ボロンを導入した核融合反応によって推進力を大幅に向上させ、宇宙航行の新たな可能性を切り開いている。



開発内容

「FireStar™ Fusion Drive」は、水燃料パルスプラズマスラスタにボロンを導入することで、核融合反応を引き起こし推進力を強化する電気推進装置である。イオン化した水蒸気から生成される高速の陽子がボロン原子核と衝突し、核融合反応が起こる。この反応により、ボロンは高エネルギーの炭素に変換され、さらに三つのアルファ粒子へと急速に崩壊する。この核融合プロセスはジェットエンジンのアフターバーナーのような役割を果たし、推進力を増大させる。また、この技術は安全でエネルギー効率の高い水を推進剤として利用し、RocketStarの基盤技術である「FireStar™ Foundation」スラスタをベースとしている。

「FireStar™ Fusion Drive」は、従来の「FireStar™ Foundation」スラスタと比較して推力が50%向上していることが実験により確認されている。この成果は、AFWERXのSBIRによる研究で発見され、独立した専門家によっても検証された。また、同装置は2025年2月にRogue Space Systemsの「Barry-2」宇宙船での宇宙空間テストが予定されており、実際の運用環境での性能実証が計画されている。さらに、2024年には「FireStar™ Foundation」スラスタがD-OrbitのOTV ION Satellite Carrierに搭載され、SpaceXのTransporterミッションにより打ち上げられる予定である。

目的/背景

「FireStar™ Fusion Drive」は、衛星や宇宙船の高効率な推進システムとしての活用が期待されている。推力の大幅な向上により、ミッション期間の短縮やより遠方への深宇宙探査が可能となる。また、安全で安価な水とボロンを推進剤とすることで、コスト効率の高い宇宙ミッションが実現可能である。今後は、宇宙空間での実証実験を経て、信頼性の確保やさらなる性能向上を図り、宇宙航行の新たな標準となることを目指している。

論文/特許分析結果

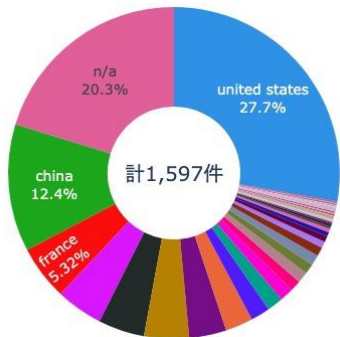
ホールスラスタ/イオンエンジン技術調査

論文・特許調査

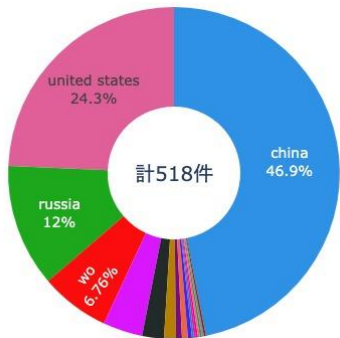
論文・特許数の推移

ホールスラスト/イオンエンジン技術に関する論文・特許の年次推移

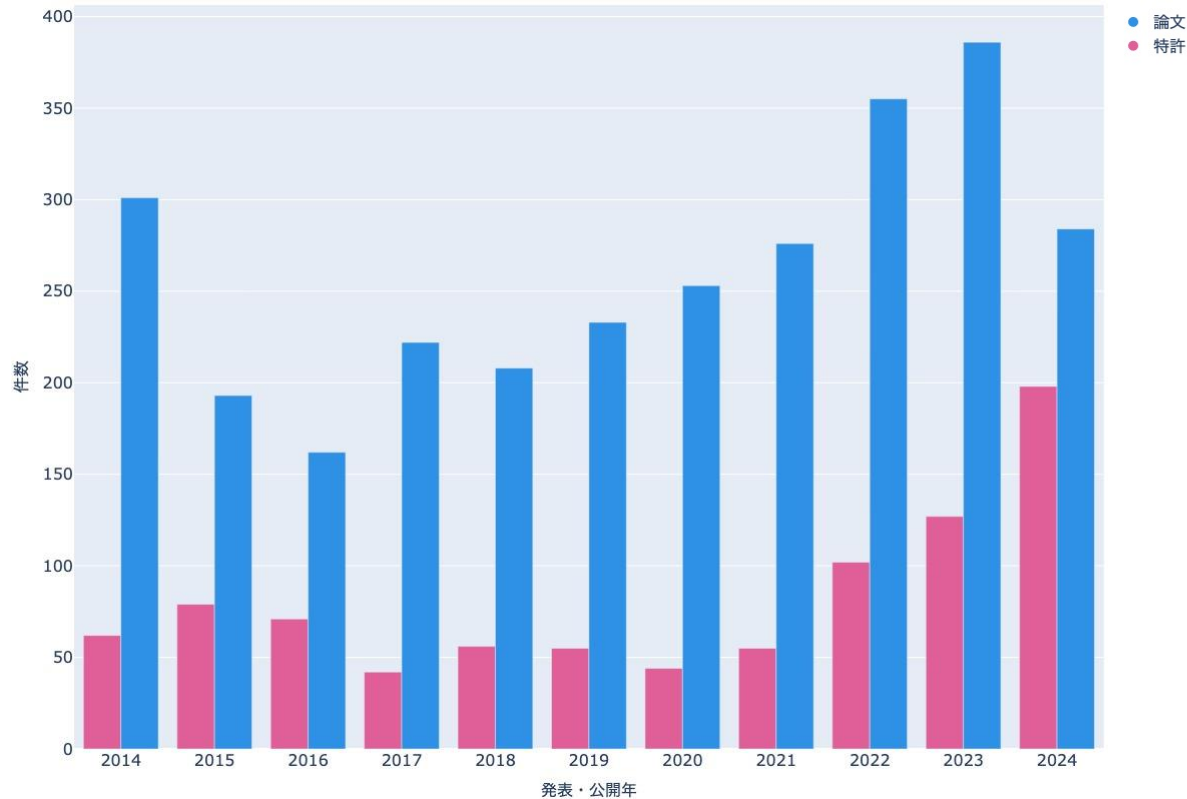
国別論文数



国別特許数

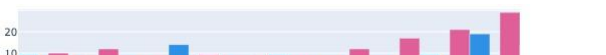


論文・特許数の推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で、特許の国は親特許の出願先の国で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

技術カテゴリー 一覧

カテゴリー	論文/特許数推移	論文数増加率*	特許数増加率*
プラズマ推進装置の流体モデルと粒子-in-セルによる挙動解析技術		69.7%	na
ホローカソードやイオンスラスタを用いた電気推進システムの技術		120.0%	110.0%
プラズマ特性測定のための診断技術と解析手法		27.6%	250.0%
宇宙探査における電気推進システムの効率的な推進技術		30.0%	120.0%
宇宙船の軌道制御と推進のための最適化技術		105.9%	300.0%
ホールスラスタによる磁場と電流を利用した推進技術		0.0%	20.0%
太陽エネルギーを利用した宇宙の電気推進システム		33.3%	-100.0%
大気呼吸型電気推進を含む宇宙船の電気推進技術		285.7%	120.0%
プラズマ放電強化とデブリ除去のための技術		0.0%	20.0%
新しい推進剤と電子放出技術に関する材料技術		75.0%	100.0%
電力処理ユニットを用いた推進剤供給と流量制御技術の最適化		111.1%	200.0%

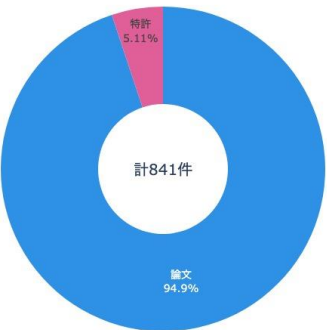
*2019年から2023年での増加率。
2019年,2023年何れかの文献数がゼロの場合はnaと表記している

プラズマ推進装置の流体モデルと粒子-in-セルによる挙動解析技術

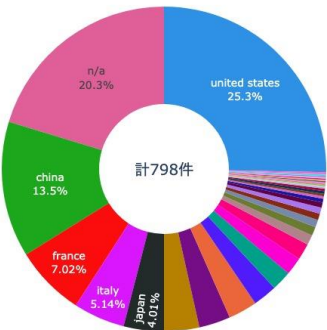
概要

このトピックは、プラズマ推進装置における流体モデルや粒子-in-セル（PIC）モデルを用いたプラズマの挙動解析、プラズマ不安定性、輸送現象の研究に関するものである。具体的には、ホールスラストのプラズマダイナミクスや放電変動のシミュレーション、低周波振動、衝撃波の挙動、推進剤の適合性評価、プラズマと壁の相互作用、スパッタリング率の定量化、数値シミュレーションの進展などが含まれる。これにより、スラストの性能向上や効率的な粒子輸送、熱的・イオン化非平衡状態の理解が進むことが期待される。

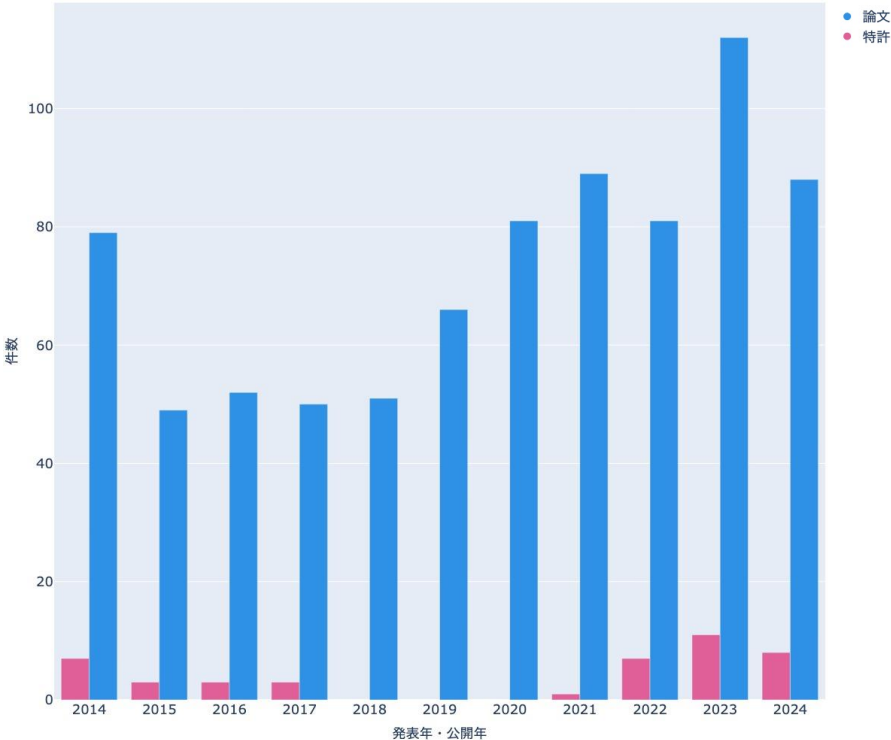
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

流体モデルとPIC法によるプラズマ推進の最適化

プラズマ推進技術における流体モデルと粒子-in-セル（PIC）法の組み合わせは、シミュレーションの精度と効率を向上させるために重要です。特に、ハイブリッドモデルを用いることで、プラズマの非平衡状態をより正確に再現し、数値ノイズを低減することが可能です。これにより、プラズマの動的特性を詳細に解析し、推進装置の性能向上に寄与しています。近年、これらの技術を用いた研究が増加しており、電気推進システムの設計と最適化において重要な役割を果たしています。

開発
状況

プラズマ推進装置の性能を向上させることを目的として、流体モデルとPIC法を組み合わせたハイブリッドモデルの開発が進められています。これにより、プラズマの動的特性を詳細に解析し、電気推進システムの設計と最適化を実現することが目指されています。

課題

プラズマ推進技術の最適化において、流体モデルとPIC法の組み合わせが求められていますが、これらの技術を適用する際に、プラズマの非平衡状態や数値ノイズの低減が課題となっています。これにより、シミュレーションの精度と効率を向上させるための技術開発が進められています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Global model of microwave plasma assisted N2O dissociation for monopropellant propulsion	マイクロ波電熱推進装置（MET）の性能を調査するために、N2Oを単推進剤として使用するグローバル数値モデルが開発されました。プラズマの非平衡活性化効果を組み込み、N2Oの燃焼を促進します。理論的効率が高く、推力対電力比が1 mN/W、比推力が200秒に達することが示されました。	mars space ltd.	2019	https://doi.org/10.1063/1.5066324
論文	Radial distribution of electrons rotation moment in hall effect and plasma-ion thrusters	ホール効果推進装置とプラズマイオン推進装置における電子の回転モーメントの分布を解析する数学モデルが提案されました。異常な電子伝導性の現象を考慮し、スラスタの動作における電子の動態と壁近傍の伝導性の影響を理解することを目的としています。	National Aerospace University	2021	https://doi.org/10.32620/akt.2021.4.04
論文	Conditions of appearance and dynamics of the modified two-stream instability in E × B discharges	ホールスラスタにおける修正二流体不安定性（MTSI）の出現条件と動態を調査しました。2D粒子-in-セルシミュレーションを用いて、MTSIの成長がプラズマ密度に依存せず、軸方向の電場に影響されることが示されました。	laboratoire de physique des plasmas	2021	https://doi.org/10.1063/5.0046843
論文	Non-classical electron transport in the cathode plume of a Hall effect thruster	ホール効果スラスタのカソードプルームにおける波動駆動電子輸送を調査しました。イオン音波と反ドリフト波が有効衝突周波数を大幅に増加させ、プラズマ勾配の理解に重要な知見を提供します。	university of michigan	2020	https://doi.org/10.1063/1.5130680

ハイブリッドモデルによるホールスラスタの性能向上

ハイブリッドモデルと流体シミュレーションを用いたホールスラスタの性能向上が進んでいます。これらのモデルは、プラズマの異常輸送現象をより正確に捉えることができ、推進装置の効率を高めるための重要な手段となっています。特に、異常電子輸送のモデル化においては、実験データとの整合性を高めるための新しい手法が開発されています。これにより、ホールスラスタの設計と運用における予測精度が向上し、電気推進技術の進化に寄与しています。

開発
状況

ホールスラスタの性能を向上させるため、異常電子輸送の特性を改善し、推進効率を高めることを目的とした開発が進められています。これにより、電気推進技術の信頼性と効率性を向上させることが目指されています。

課題

ホールスラスタにおける異常電子輸送の特性を適正化するために、より精密なモデルの開発が求められています。特に、プラズマの非平衡状態や異常輸送現象を正確に再現することが課題となっています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Two-dimensional hybrid-direct kinetic simulation of a Hall thruster discharge plasma	ホールスラスタの放電プラズマの非平衡状態をモデル化するための2次元ハイブリッド直接運動学シミュレーションを紹介しています。この方法は、粒子ベースのアプローチで一般的な数値ノイズを排除し、電気推進システムにおけるプラズマモデリングの精度を向上させます。	university of michigan	2019	https://doi.org/10.1063/1.5122290
論文	Evaluation of algebraic models of anomalous transport in a multi-fluid Hall thruster code	異常電子輸送の代数モデルを評価し、9kWクラスのホールスラスタでの性能を検証しています。モデルは推力と放電電流のスケーリングにおいて有望な結果を示し、電子エネルギーバランスの重要性を強調しています。	university of michigan	2023	https://doi.org/10.1063/5.0171824
論文	State estimation of the dynamic behavior of plasma properties in a Hall effect thruster discharge	ホール効果スラスタの放電チャネル内のプラズマ特性の動的挙動を推定するために、物理制約付き拡張カルマンフィルタを使用しています。この手法は、プラズマダイナミクスの理解を深め、電気推進システムの性能向上に貢献します。	stanford university	2023	https://doi.org/10.1088/1361-6463/ace7da
論文	PIC-DSMC Simulation of a Hall Thruster Plume with Charge Exchange Effects Using pdFOAM	ホールスラスタの排気ブルームにおける電荷交換効果を、PIC-DSMC法を用いてシミュレーションしています。結果は、実験測定と強い相関を示し、電気推進システムの安定した運用に貢献します。	konkuk university	2023	https://doi.org/10.3390/aerospace10010044

ホールスラストの低周波振動解析と性能向上

ホールスラストの低周波振動解析は、推進装置の安定性と性能向上に寄与する重要な技術です。特に呼吸モードと呼ばれる低周波振動のメカニズム解明が進み、振動抑制や設計改善に向けた新たな知見が得られています。これにより、電気推進システムの最適化が進み、宇宙探査や衛星運用における応用が期待されています。

開発状況

ホールスラストの低周波振動を抑制し、推進装置の性能と安定性を向上させることを目的としています。これにより、宇宙探査や衛星運用における電気推進システムの信頼性を高めることを目指しています。

課題

ホールスラストにおける低周波振動の抑制は、推進装置の安定性を確保するための重要な課題です。特に、振動が推進効率や装置の寿命に与える影響を最小限に抑えるための技術開発が求められています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	On the onset of breathing mode in Hall thrusters and the role of electron mobility fluctuations	ホールスラストの呼吸モードの起源を探るため、電子移動度の変動に着目した数値モデルを用いて研究を行った。中性密度と電子移動度の変動がフィードバックループを形成し、電子温度とイオン動力学に影響を与えることが示された。	cnh industrial (italy)	2022	https://doi.org/10.3389/fphy.2022.951960
論文	On the mechanism of ionization oscillations in Hall thrusters	ホールスラストにおける低周波イオン化振動を調査し、1次元の非線形偏微分方程式を用いてそのメカニズムを解析した。イオン速度とイオン逆流領域の幅が振動周波数に影響を与えることが明らかになった。	university of saskatchewan	2021	https://doi.org/10.1063/5.0049105
論文	Influence of a power supply model on simulated Hall thruster discharge voltage oscillations	ホールスラストの電源モデルが放電電圧振動に与える影響を調査した。電気ハーネスのインピーダンスが振動に影響を与え、特に長いハーネスでは非線形結合効果が重要であることが示された。	particle in cell consulting llc	2019	https://doi.org/10.1063/1.5063440
論文	Breathing oscillations excitation mechanism and influence factors in Hall thrusters	ホールスラストの呼吸振動の励起メカニズムを2ゾーン捕食者-被食者モデルを用いて研究した。電子壁相互作用が振動を抑制し、イオンの放射状拡散が振動を励起することが示された。	lanzhou institute of physics	2023	https://doi.org/10.7498/aps.72.20230009

電子輸送とプラズマ不安定性の制御

ホールスラストにおける電子輸送の異常性は、プラズマ不安定性と密接に関連しており、特に電子サイクロトロン漂流不安定性や回転スポークが注目されている。これらの不安定性を制御する新しい手法が模索され、推進システムの性能向上に寄与している。近年は、これらの技術に関する研究が増加しており、宇宙推進やプラズマ処理への応用が期待されている。

開発
状況

ホールスラストの性能を向上させるために、プラズマ不安定性を制御し、電子輸送の異常性を改善することを目的とした開発が進められている。これにより、推進効率の向上や装置の長寿命化を目指している。

課題

ホールスラストにおける電子輸送の異常性を制御する際に、プラズマ不安定性の特性を適正化するための技術開発が進められている。特に、電子サイクロトロン漂流不安定性や回転スポークの影響を抑制することが課題となっている。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Simulation of effective parameters on the anomalous electrons drifts in the Hall Effect thruster by PIC method	この研究は、ホールスラストにおける異常な電子ドリフトを制御するために、粒子セル法を用いてプラズマ挙動を解析し、電子移動度に影響を与えるパラメータの最適化を目指している。特に、電子壁衝突とプラズマ振動を制御するメカニズムを提案し、推進装置の効率向上を図っている。	Yazd University	2023	https://doi.org/10.47176/ijpr.2021.754479
論文	Performance Simulation of a 5 kW hall Thruster	5 kWホールスラストの性能をシミュレーションし、放電電圧と質量流量がスラスト性能に与える影響を調査した。結果、放電電圧600 Vで総効率がピークに達することが示され、実験データとの比較でモデルの精度が確認された。	Northwest University for Nationalities	2021	https://doi.org/10.1088/2058-6272/ac57fe
論文	Study on the characteristics of non-Maxwellian magnetized sheath in Hall thruster acceleration region	ホールスラストの加速領域における非マクスウェル磁化シースの特性を研究し、二次電子放出と傾斜磁場が壁侵食に与える影響を解析した。特に、磁場の傾斜がローレンツ力を増強し、壁侵食を低減することが示された。	Dalian Maritime University	2022	https://doi.org/10.1063/5.0119255
論文	Two-dimensional effects on electrostatic instabilities in Hall thrusters. II. Comparison of particle-in-cell simulation results with linear theory dispersion relations	ホールスラストにおける電氣的静電不安定性の二次元効果を研究し、呼吸モード振動の抑制に外部回路を利用した。研究は、電子サイクロトロン漂流不安定性とイオン音波が二次元特性を示すことを明らかにし、放電電流に大きな影響を与えることを示した。	cnrs, sorbonne université	2023	https://doi.org/10.47176/ijpr.2021.754479

磁場設計によるホールスラスタの性能向上

磁場設計をホールスラスタに適用することで、推進効率の向上が図られている。特に、磁場の曲率や強度がプラズマの挙動に与える影響が研究され、異なる推進剤に対する最適化が進められている。最近の研究では、磁場トポロジーがプラズマの不安定性や電子・イオンの温度分布に与える影響が明らかにされ、宇宙探査や衛星推進への応用が期待される。

開発
状況

ホールスラスタの性能向上を目的とし、磁場設計を通じてプラズマの安定性を改善し、推進効率を高めることを目指している。これにより、宇宙探査や衛星推進の効率化を図る。

課題

ホールスラスタにおける磁場設計の最適化には、プラズマの不安定性や電子・イオンの挙動を理解する必要がある。これにより、推進効率を最大化し、異なる推進剤に対応する設計が求められている。

関連論文/特許

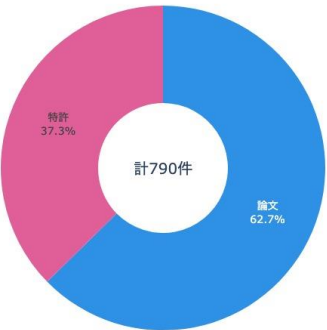
	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Growth of the lower hybrid drift instability in the plume of a magnetically shielded Hall thruster	磁場シールドされたホールスラスタのプルームにおける低ベータプラズマ領域での下部ハイブリッドドリフト不安定性を調査し、イオンの異常加熱が示唆される。これにより、スラスタ表面へのイオンのエネルギーが増加する可能性がある。	california institute of technology	2021	https://doi.org/10.1063/5.0048706
論文	Reduced-order particle-in-cell scheme: Redefining kinetic modeling for electric plasma propulsion	電気推進技術におけるプラズマ挙動のシミュレーション効率を向上させるため、低次元PICスキームが開発された。これにより、磁場強度や曲率がプラズマ特性に与える影響を広範に調査可能となった。	imperial college london	2024	https://doi.org/10.2514/6.2024-2709
論文	Spatial evolution characteristics of ion and electron flow for 300 W class low-power Hall thruster	300Wクラスの低出力ホールスラスタにおけるイオンと電子の流れの空間進化特性を調査し、プルームモデルの検証や性能向上に重要な知見を提供する。特に、イオンと電子の拡散特性が明らかにされた。	na	2021	https://doi.org/10.1063/5.0063803
論文	The influence of the inclination of strong magnetic field lines on the performance and plume divergence of a magnetically shielded Hall thruster	磁場シールドされたホールスラスタのプルーム発散を最適化するため、磁場線の傾斜方向を変えた設計が行われた。内向きに傾斜した磁場線で最大の推力と最小の発散が達成されることが示された。	harbin institute of technology	2020	https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab79db

ホローカソードやイオンスラストを用いた電気推進システムの技術

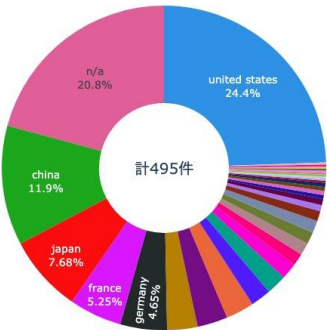
概要

このトピックは、電気推進システムにおけるさまざまな技術に関するものである。特に、ホローカソードスラストやマイクロ波電熱スラスト、イオンスラストやフィールドエミッション電気推進（FEEP）システムが取り上げられ、これらの技術は宇宙での精密な軌道操作や効率的な推進を実現するために重要である。さらに、イオン源の剛性構造やガス注入システム、プラズマモデリング技術、振動低減構造や電磁干渉対策が性能向上に寄与し、ロスレスカソードニュートライザーやタングステンホローカソードなどのカソード技術も注目されている。

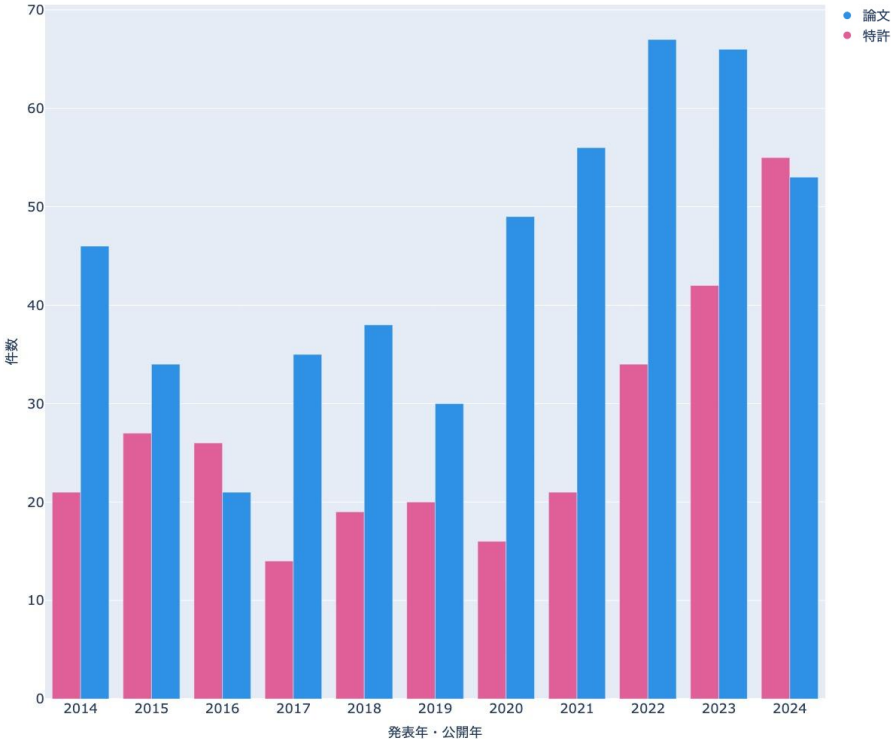
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

ヒーターレスホローカソードによる電気推進の効率化

ヒーターレスホローカソード技術の進化により、電気推進システムの効率と信頼性が向上しています。特に、外部ヒーターを不要とすることで、システムのコンパクト化と信頼性の向上が実現されています。この技術は、低電力から高電力のホールスラスタに適用され、放電電流の安定供給を可能にし、宇宙探査や衛星の長寿命化に寄与することが期待されています。

開発状況

電気推進システムにおける効率と信頼性の向上を目的とし、ヒーターレスホローカソード技術の開発が進められています。これにより、宇宙探査や衛星の長寿命化を実現し、より効果的な宇宙ミッションを目指しています。

課題

ヒーターレスホローカソードを電気推進システムに適用する際に、放電電流の安定性と長寿命化を実現するための技術開発が進められています。特に、材料の選定や設計の最適化が課題となっています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Heaterless 300 A lanthanum hexaboride hollow cathode.	ヒーターレス300 Aランタンヘキサボライドホローカソード技術は、外部ヒーターを不要とし、電気推進システムの効率を向上させることを目的としています。高電圧バッシュン放電を利用し、アークを防ぎつつ加熱効率を高める設計が特徴です。	california institute of technology	2023	https://doi.org/10.1063/5.0135272
論文	Development of a 50-A heaterless hollow cathode for electric thrusters.	ヒーターレスLaB6ホローカソードの開発は、電気推進システムの信頼性とコンパクトさを向上させることを目的としています。外部ヒーターを排除し、放電電流を5から50 Aまでサポートする設計が特徴です。	california institute of technology	2022	https://doi.org/10.1063/5.0124694
論文	10000-Ignition-Cycle Investigation of a LaB6 Hollow Cathode for 3-5-Kilowatt Hall Thruster	ヒーターレスLaB6ホローカソードの10,000点火サイクルにおける性能を調査し、電気推進システムの長期使用における安定性と効率を示しています。ヒーターを必要としない設計が特徴です。	harbin institute of technology	2019	https://doi.org/10.2514/1.b37192
論文	Low current heaterless hollow cathode neutralizer for plasma propulsion-Development overview.	ARC-1Aは、プラズマ推進システム用の低電流ヒーターレスホローカソードで、0.3から1.2 Aの放電電流を生成します。設計の簡素化と信頼性の向上を目指しています。	rafael advanced defense systems	2019	https://doi.org/10.1063/1.5097599

磁気シールド技術によるホールスラスタの耐久性向上

磁気シールド技術の進化により、ホールスラスタの耐久性と効率が向上しています。特に、放電チャネルのエロージョンを低減し、長寿命化を実現することで、深宇宙ミッションや長期間の宇宙探査において信頼性の高い推進システムが提供されています。さらに、磁気シールドの最適化により推進効率が向上し、宇宙機の運用コスト削減にも寄与しています。

開発
状況

ホールスラスタの耐久性と効率を改善することを目的とした開発が進められています。特に、放電チャネルのエロージョンを低減し、推進効率を向上させることを目指しています。

課題

ホールスラスタに磁気シールド技術を適用する際、磁場の特性を適正化するための技術開発が進められています。特に、磁場の傾斜や配置がイオン分布やブルームの発散に与える影響が課題となっています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	The influence of the inclination of strong magnetic field lines on the performance and plume divergence of a magnetically shielded Hall thruster	この研究は、磁気シールドされたホールスラスタのブルーム発散の最適化を目的とし、磁場線の傾斜方向を変えた3つの磁気シールド構成を設計しました。結果、磁場線の内向き傾斜が最大推力と最小発散を実現することが示されました。	harbin institute of technology	2020	https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab79db
論文	Testing the Effectiveness of Integrated Plume Shield for a Hall Thruster	統合ブルームシールド技術は、ホールスラスタの側面ブルームの侵食力を低減することを目的としています。試験結果、イオン電流密度が最大48%減少し、設計の柔軟性とコスト削減に寄与することが示されました。	nasa john h glenn research center	2024	https://doi.org/10.2514/6.2024-1138
特許	Device for realizing magnetic field symmetry of Hall thruster	この発明は、ホールスラスタの磁場対称性を実現するための装置を紹介します。磁気抵抗を調整することで、磁場の経路を変更し、性能と寿命を向上させることを目的としています。	harbin pulashi power tech research and development department limited partnership	2024	CN118188375
特許	HALL-EFFECT THRUSTER WITH AN ACCELERATING CHANNEL ACTING AS A MAGNETIC SHIELD	加速チャネルが磁気シールドとして機能するホール効果スラスタは、電気推進システムの効率と寿命を向上させることを目的としています。特に、イオンの通過を促進し、絶縁体の侵食を最小限に抑える設計が特徴です。	pipl ltd	2023	WO2023057934

作動流体選択によるイオンスラスタ性能向上

イオンスラスタの性能向上を目指す研究では、作動流体の選択が重要な要素とされています。特に、水素やキセノンなどの流体が最適な推進性能を提供することが示されており、アルゴンに少量のキセノンを加えることでイオン化効率を向上させる手法も提案されています。これにより、コストを抑えつつ高い推進効率を実現することが可能となり、将来の宇宙ミッションにおける応用が期待されています。

開発
状況

イオンスラスタの性能を向上させるために、作動流体の選択とその最適化を目的とした研究が進められています。これにより、宇宙ミッションにおける推進効率の向上とコスト削減を実現することを目指しています。

課題

イオンスラスタにおける作動流体の選択は、推進効率やコストに大きく影響を与えるため、最適な流体を選定することが課題となっています。特に、流体のイオン化効率や推進性能を最大化するための技術開発が求められています。

関連論文/特許

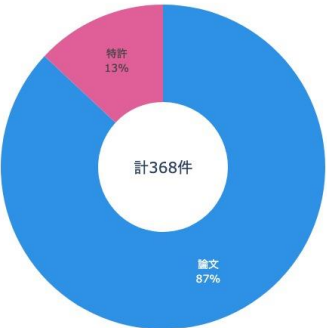
	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Characterization of xenon ion and neutral interactions in a well-characterized experiment	この研究は、高エネルギーキセノンイオンと中性キセノン原子の相互作用を調査し、電気推進装置の性能向上に寄与することを目的としています。特に、イオンと中性粒子の角度散乱分布の精密なモデル化が重要です。	university of california, los angeles	2018	https://doi.org/10.1063/1.5030464
論文	Computational design of a high-efficiency accelerator grid for a miniature ion thruster by full-aperture ion optics simulations	小型イオン推進システムのための高効率加速グリッドを設計し、推進剤利用効率を31%から50%に向上させました。これにより、イオンビームの滑らかな加速が可能となり、システムの効率が向上しました。	tokyo metropolitan college of industrial technology	2019	https://doi.org/10.1063/1.5090413
論文	The influence of the working fluid type on the parameters of the ion engine	異なる作動流体がイオンエンジンの性能に与える影響を研究し、最適な流体を特定することを目的としています。水素やキセノンなどが高い推進性能を示し、将来の宇宙探査における応用が期待されます。	national research university "mpei"	2019	https://doi.org/10.1088/1742-6596/1370/1/012060
論文	Argon ionization improvement in a plasma thruster induced by few percent of xenon	アルゴンに少量のキセノンを加えることで、アルゴンのイオン化効率を向上させる手法を提案しています。これにより、推進効率が向上し、コスト削減が可能となるため、将来の宇宙ミッションにおける応用が期待されます。	groupe de recherches sur l'énergie des milieux ionisés (gremi)	2019	https://doi.org/10.1063/1.5082904

プラズマ特性測定のための診断技術と解析手法

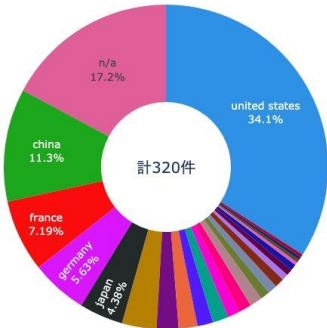
概要

このトピックは、電気推進装置やシステムにおけるプラズマの特性を測定・解析するための診断技術に関するものである。具体的には、レーザー誘起蛍光法、ファラデーカップ、ランジュバークプローブなどの手法を用いて、イオン速度分布、電子温度、プラズマポテンシャル、密度分布、イオンエネルギー分布などを測定する。これにより、推進装置の性能評価や効率分析が可能となり、宇宙環境下での動作特性の理解が深まる。さらに、真空環境下での測定やコリジョナルラジエティブモデルを用いた解析も行われ、プラズマの特性理解に寄与する。

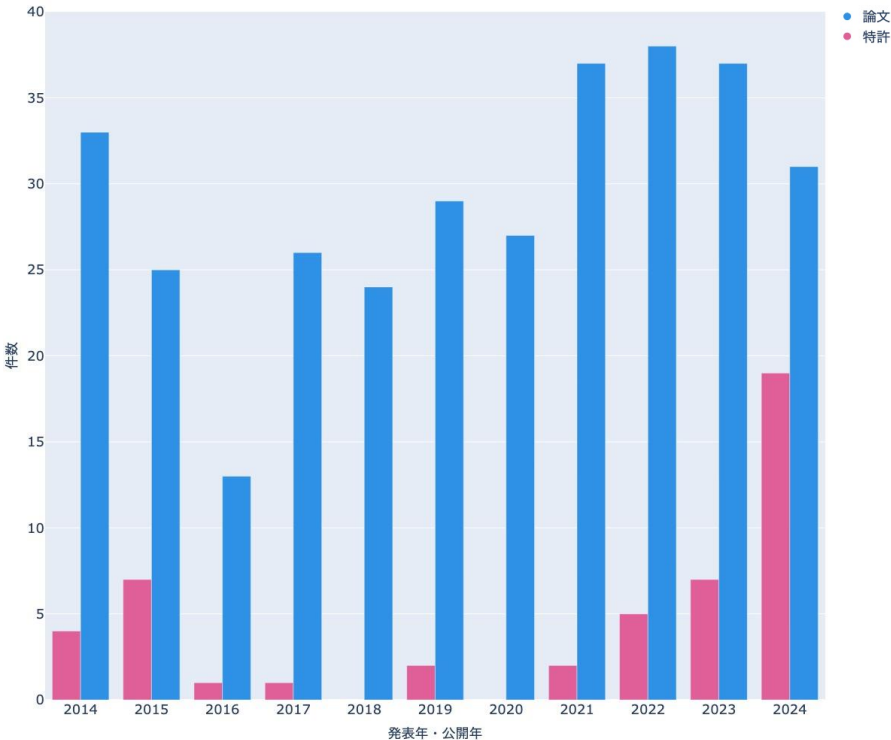
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

トリプルラングミュアプローブによるプラズマ診断技術

トリプルラングミュアプローブを用いたプラズマ診断技術は、プラズマの非均一性を考慮しつつ、電子温度やプラズマ密度、空間電位を高精度で測定することが可能である。この技術は、特にホールスラストのプラズマ流れを詳細に解析するために有効であり、電気推進システムの最適化に寄与する。近年、この技術に関する研究が増加しており、宇宙ミッションの信頼性向上が期待されている。

開発状況

プラズマ診断技術の開発は、ホールスラストにおけるプラズマ特性の詳細な解析を目的としており、電気推進システムの最適化と宇宙ミッションの信頼性向上を目指している。

課題

トリプルラングミュアプローブをプラズマ診断に適用する際に、プラズマの非均一性や高精度な測定を実現するための技術開発が進められている。特に、ホールスラストのプラズマ特性を高い空間分解能で取得することが課題である。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Measurement of the breathing mode oscillations in Hall thruster plasmas with a fast-diving triple Langmuir probe	この研究では、トリプルラングミュアプローブを用いてホールスラストのプラズマ特性を測定する新しい手法を開発した。高周波サンプリングとベイズ解析を組み合わせることで、プラズマ密度や電子温度を高精度に推定できることが示された。	university of pisa	2020	https://doi.org/10.1063/5.0022928
論文	Bayesian analysis of triple Langmuir probe measurements for the characterization of Hall thruster plasmas	トリプルラングミュアプローブとベイズ解析を組み合わせた新しい実験手法を開発し、ホールスラストのプラズマ特性を詳細に解析した。プラズマの非均一性を考慮した高空間分解能の測定が可能であることが確認された。	university of pisa	2019	https://doi.org/10.1063/1.5079532
論文	The far-field plasma characteristics of LHT40 low-power Hall thruster for commercial aerospace applications	300W低出力ホールスラストの遠方場プラズマ特性を調査し、トリプルラングミュアプローブを用いてイオンと電子の空間分布を解析した。結果は、プラズマ密度と電子温度の変化を示し、診断システムの有効性を確認した。	china academy of space technology	2021	https://doi.org/10.1088/2058-6272/ac15eb
論文	Triple Langmuir Probes Measurements of LaB6 Hollow Cathodes Plume	LaB6中空陰極のブルームをトリプルラングミュアプローブで調査し、プラズマパラメータを測定した。陰極の形状がブルームモードの発生に影響を与えることが示され、安定した動作範囲の拡大が期待される。	university of pisa	2019	https://doi.org/10.3389/fphy.2019.00027

レーザー誘起蛍光技術によるプラズマ動態解析

レーザー誘起蛍光技術をホールスラストのプラズマ動態解析に適用することで、イオン速度分布関数を高い空間分解能で測定する研究が進んでいる。特に、放電電流の時間依存的な特徴を捉えることに優れており、電気推進システムの最適化に貢献している。近年は、ヒルベルト変換を用いた瞬時位相の定義や異なる振動位相におけるイオン速度分布の変化をリアルタイムで測定する技術が注目されている。

開発
状況

ホールスラスト内のプラズマ動態を詳細に理解し、電気推進システムの性能を向上させることを目的として、レーザー誘起蛍光技術を用いたイオン速度分布の高精度測定が進められている。これにより、推進効率の最適化やシステムの信頼性向上を目指している。

課題

ホールスラストにおけるプラズマ動態の解析において、イオン速度分布の時間依存的な変化を高精度で捉えることが課題となっている。これにより、放電電流の変動やプラズマの不安定性を正確に理解するための技術開発が求められている。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Ion dynamic characterization using phase-resolved laser-induced fluorescence spectroscopy in a Hall effect thruster.	この研究は、ホール効果スラスト内のプラズマ動態を解析するために、位相分解レーザー誘起蛍光分光法を用いている。イオン速度分布の時間依存的な特徴を高い空間分解能で捉えることが可能で、電気推進システムの最適化に貢献している。	aerospazio tecnologie s.r.l.	2023	https://doi.org/10.1063/5.0146669
論文	Time-resolved laser-induced fluorescence diagnostics for electric propulsion and their application to breathing mode dynamics	時間分解レーザー誘起蛍光診断技術を開発し、ホールスラストの呼吸モード動態を解析している。この技術は、イオン速度分布関数を高解像度で測定し、プラズマ特性の詳細な理解を可能にする。	stanford university	2018	https://doi.org/10.1088/1361-6595/aade42
論文	Measurement of the breathing mode oscillations in Hall thruster plasmas with a fast-diving triple Langmuir probe	新しい測定装置とデータ処理技術を開発し、ホールスラストの呼吸モード振動がプラズマ特性に与える影響を定量的に再構築している。これにより、プラズマ密度や電子温度の詳細な解析が可能となった。	university of pisa	2020	https://doi.org/10.1063/5.0022928
論文	Temporally resolved relative krypton neutral density during breathing mode of a hall effect thruster recorded by TALIF	ホール効果スラストの呼吸モード振動中の中性密度をTALIF技術で直接測定し、プラズマ動態の理解を深めている。この研究は、電気推進システムの性能向上に寄与する。	Colorado State University	2024	https://doi.org/10.1007/s44205-024-00070-5

数値シミュレーションと実験データの統合によるプラズマ解析

数値シミュレーションと実験データの統合により、ホールスラスタのプラズマ特性解析が進化しています。特に、1D流体モデルを用いた呼吸モードの理解が深まり、実験データと校正モデルの組み合わせでプラズマ特性の時空間分布を正確に予測可能です。この手法は電気推進技術の最適化に寄与し、ホールスラスタの性能向上に貢献しています。

開発
状況

ホールスラスタにおけるプラズマ特性の正確な予測と理解を目的とし、数値シミュレーションと実験データの統合を通じて、電気推進技術の最適化と性能向上を目指しています。

課題

数値シミュレーションと実験データを統合する際、プラズマ特性の正確な予測が課題です。特に、呼吸モードの不安定性やプラズマの時空間分布の変動を考慮したモデルの開発が求められています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Measurement of the breathing mode oscillations in Hall thruster plasmas with a fast-diving triple Langmuir probe	ホールスラスタの呼吸モード振動の影響を定量的に再構築するための新しい測定装置とデータ処理技術が開発されました。高速ダイビングトリプルラングミュアプローブを用いて、プラズマ特性を信頼性高く推定することが可能です。	university of pisa	2020	https://doi.org/10.1063/5.0022928
論文	Application of State Estimation Methods to Low-Temperature Plasma Dynamics	状態推定技術を低温プラズマ動力学に適用し、ホール効果スラスタの放電電流振動を解析しました。この手法はプラズマ特性の理解を深め、電気推進システムの最適化に貢献します。	texas a&m university	2021	https://doi.org/10.1109/cdc45484.2021.9682995
論文	Numerical and Experimental Investigation of Longitudinal Oscillations in Hall Thrusters	ホールスラスタの呼吸モード振動を実験と数値的手法で調査しました。1D流体モデルを用いて、プラズマ特性の時空間分布を正確に予測し、電気推進技術の最適化に寄与しています。	university of pisa	2021	https://doi.org/10.3390/aerospace8060148
論文	Simultaneous measurements of axial motion and azimuthal rotation of non-uniformities ("spokes") in a Hall thruster	ホールスラスタ内の低周波不安定性を調査し、軸方向と方位角方向のプラズマ不均一性の同時測定を行いました。これにより、呼吸モード振動とスポーク回転の結合が明らかになりました。	université de toulouse	2022	https://doi.org/10.1063/5.0111975

電気推進システムの推力測定技術の進化

電気推進システムの推力測定技術は、特にトーションペンデュラムやカンチレバーを用いた推力スタンドの開発により進化しています。これにより、ミリニュートンレベルの精密な推力測定が可能となり、小型衛星や深宇宙探査での応用が期待されています。最近の研究では、これらの技術の精度と信頼性が向上し、より小型で軽量の設計が可能となっています。

開発
状況

電気推進システムの性能評価と最適化を目的とし、精密な推力測定技術の開発が進められています。これにより、宇宙探査や小型衛星の推進効率を向上させることを目指しています。

課題

電気推進システムの推力測定において、低推力レベルでの精度と信頼性を確保することが課題です。特に、外部干渉を最小限に抑えつつ、正確な測定を行うための技術開発が求められています。

関連論文/特許

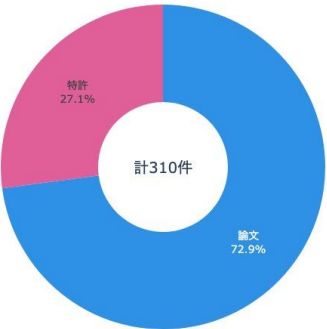
	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Optimized Design and Experimental Analysis of Mechanical Structure of Torsional Pendulum Thrust Frame	トーションペンデュラム推力フレームの設計と実験分析を行い、電気推進システムの性能評価における精度向上を目指しています。実験では、推力と変位の線形関係が確認され、信頼性の高い測定が可能であることが示されました。	beijing orient institute of measurement and test	2023	https://doi.org/10.1109/metroaerospace57412.2023.10190001
論文	Development and tests of a thrust stand with an in-situ null position adjustment and calibration method for low power plasma thrusters	低出力プラズマスラスタ用の推力スタンドを開発し、精密な推力測定を実現しました。特に、外部干渉を低減するための調整と校正方法が強調され、電気推進技術の評価に重要な役割を果たしています。	boğaziçi university	2023	https://doi.org/10.1016/j.rinen.2023.101219
論文	Thrust measurement and thrust balance development at DLR's electric propulsion test facility	DLRの電気推進試験施設での推力測定と推力バランスの開発により、低推力の電気推進スラスタのテスト能力が向上しました。小型で軽量の推力バランスの開発が進行中で、将来の応用が期待されています。	Institute of Aerodynamics and Flow Technology	2021	https://doi.org/10.1140/epjti/s40485-021-00074-7
論文	Development of a cantilever beam thrust stand for electric propulsion thrusters.	カンチレバーを用いた推力スタンドを開発し、電気推進スラスタの推力を正確に測定する技術を提供しています。調整可能な設計により、さまざまな推力範囲での測定が可能で、信頼性の高い結果が得られています。	lanzhou institute of physics	2020	https://doi.org/10.1063/5.0027911

宇宙探査における電気推進システムの効率的な推進技術

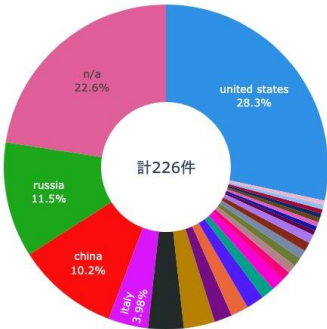
概要

このトピックは、宇宙探査や衛星運用における電気推進システムに関するものであり、特に小型衛星や宇宙探査ミッションにおける効率的な推進を実現する技術が含まれる。電気推進は、低推力での持続的な推進を可能にし、軌道維持や姿勢制御に利用される。化学推進に比べて推進剤の消費を抑えつつ高い効率を提供し、衛星の運用コストを削減し、ミッション設計の柔軟性を向上させる。ホールマイクロスラストや低推力エンジンの活用により、精密な軌道制御が実現され、持続可能な運用が可能となる。

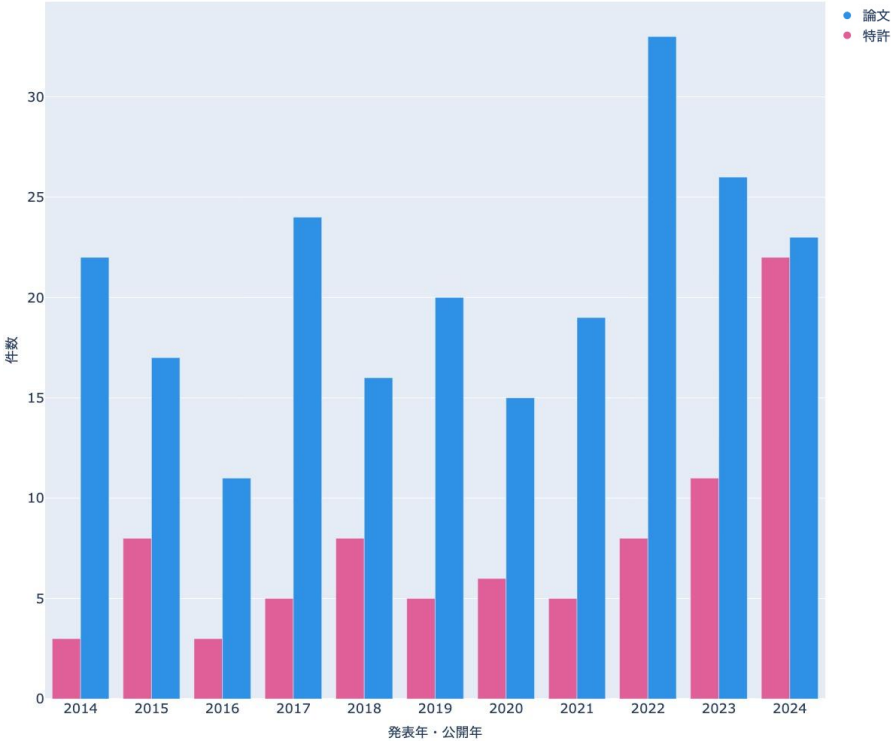
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a: 論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

低推力を活用した軌道制御技術の進展

低推力を活用した軌道制御技術は、宇宙探査における燃料効率と精密な軌道調整を実現するための重要な技術として注目されています。特に、電気推進システムを用いた連続的な低推力による軌道転送や多重重力アシスト技術が開発され、地球近傍小惑星や月への探査ミッションにおいて、ミッションの柔軟性を向上させることが期待されています。

開発
状況

低推力を活用した軌道制御技術の開発は、宇宙探査における燃料効率の向上と精密な軌道調整を目的としています。これにより、地球近傍小惑星や月への探査ミッションの実現可能性を高め、ミッションの柔軟性を向上させることを目指しています。

課題

低推力を宇宙探査に適用する際、推進システムの効率を最大化しつつ、精密な軌道制御を実現するための技術開発が求められています。特に、長期間にわたる推進力の維持と燃料消費の最小化が課題となっています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Minimum-Time Low-Thrust Geocentric Transfer with Longitude Estimation and Costate Prediction	低推力を用いた地球周回軌道転送の最適化により、移動時間を短縮し、精密な軌道調整を実現する研究です。これにより、将来の衛星ミッションや惑星間移動における効率的な軌道管理が可能となります。	tsinghua university	2024	https://doi.org/10.2514/1.g007333
論文	Novel concept of tailorable magnetic field and electron pressure distribution in a magnetic nozzle for effective space propulsion	磁気ノズルの新しい概念により、宇宙推進効率を向上させる研究です。電子圧力分布を調整することで、推力を最適化し、宇宙機の姿勢制御や精密な指向が可能となります。	netaji subhas university of technology	2023	https://doi.org/10.1016/j.jpvr.2023.02.002
論文	A multi-objective variable-specific impulse maneuvers optimization methodology	可変比推力電気推進の最適化手法を提案し、推進剤消費と操作時間を最小化する研究です。小型衛星の宇宙機動性を向上させることが示されています。	universidad carlos iii de madrid	2024	https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.10.019
特許	Orbit transfer method for a spacecraft using a continuous or quasi-continuous thrust and embedded driving system for implementing such a method	連続または準連続推力を用いた軌道転送法により、宇宙機の軌道調整を効率化する研究です。精密な軌道制御を実現し、宇宙ミッションの性能を向上させます。	thales sa	2020	US10532829

モジュール化電気推進システムによる衛星ミッション効率化

モジュール化された電気推進システムは、衛星ミッションの効率を向上させるために開発されている。これにより、燃料消費の削減や柔軟な軌道投入が可能となり、衛星の展開がより効率的に行える。特に、モジュール化設計は多様なミッション要求に応じた柔軟な対応を可能にし、将来の宇宙作戦において重要な役割を果たすと期待されている。

開発
状況

衛星ミッションにおける推進効率の向上と燃料消費の削減を目的とした開発が進められている。これにより、より柔軟で効率的な衛星展開を実現し、将来的な宇宙作戦の成功を目指している。

課題

電気推進システムを衛星に適用する際、推進効率や燃料消費の最適化が課題となっている。これに対処するため、モジュール化設計や新しい推進技術の開発が進められている。

関連論文/特許

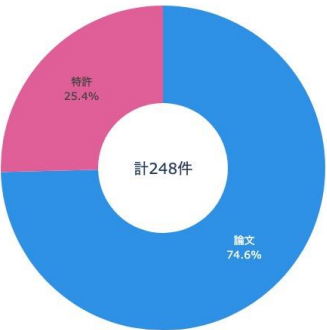
	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
特許	All-electric propulsion satellite platform configuration	全電気推進衛星プラットフォームは、衛星性能を向上させ、打ち上げコストを削減するために設計されている。電気推進モジュールとソーラーウィングモジュールを同一側面に配置し、効率的な熱制御システムを備えている。	china academy of space tech	2024	CN118220530
特許	Modularized electromagnetic power backpack applied to satellite auxiliary orbit injection and satellite orbit injection method	モジュール化された電磁力バックパックは、衛星の軌道投入を支援するために設計されており、高い比推力と燃料消費の削減を実現する。柔軟なミッション対応が可能で、将来の宇宙作戦に有望な解決策となる。	innovation academy for microsatellites of cas	2023	CN116461721
論文	Design and In-orbit Demonstration of REGULUS, an Iodine electric propulsion system	REGULUSは、ヨウ素を用いた電気推進システムで、CubeSatプラットフォーム向けに設計されている。現在、UniSat-7衛星での軌道上デモンストレーションが進行中で、推進性能の比較やブルーム分析が行われている。	Technology for Propulsion and Innovation SpA	2021	https://doi.org/10.1007/s12567-021-00374-4
論文	Plasma Space Propulsion for Nanosatellite Orbit Control and Complex Constellation Formation	プラズマ電気推進技術は、ナノ衛星の軌道制御とコンステレーション形成を効率化するために設計されている。高い比推力により、推進剤の質量を最小限に抑え、ミッションの計画と実行をより効果的にする。	nanyang technological university	2020	https://doi.org/10.1109/icops37625.2020.9717931

宇宙船の軌道制御と推進のための最適化技術

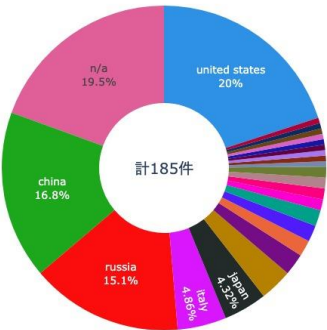
概要

このトピックは、宇宙船の軌道制御や推進に関する技術に焦点を当てている。具体的には、軌道設計手法やモデル予測制御（MPC）、電気推進を用いた自律的な軌道制御、低推力ミッションにおける軌道最適化、制御アルゴリズム、重力マヌーバを利用した飛行経路の最適化手法が含まれる。これにより、燃料消費の最適化や姿勢制御の精度向上が図られ、複雑な重力場におけるミッションの効率向上が実現される。さらに、深層ニューラルネットワークを用いた軌道設計の最適化やPID制御原理を用いた制御トルクの計算、シミュレーション技術を活用した推進ユニットの動作状態の可視化も重要な要素となる。

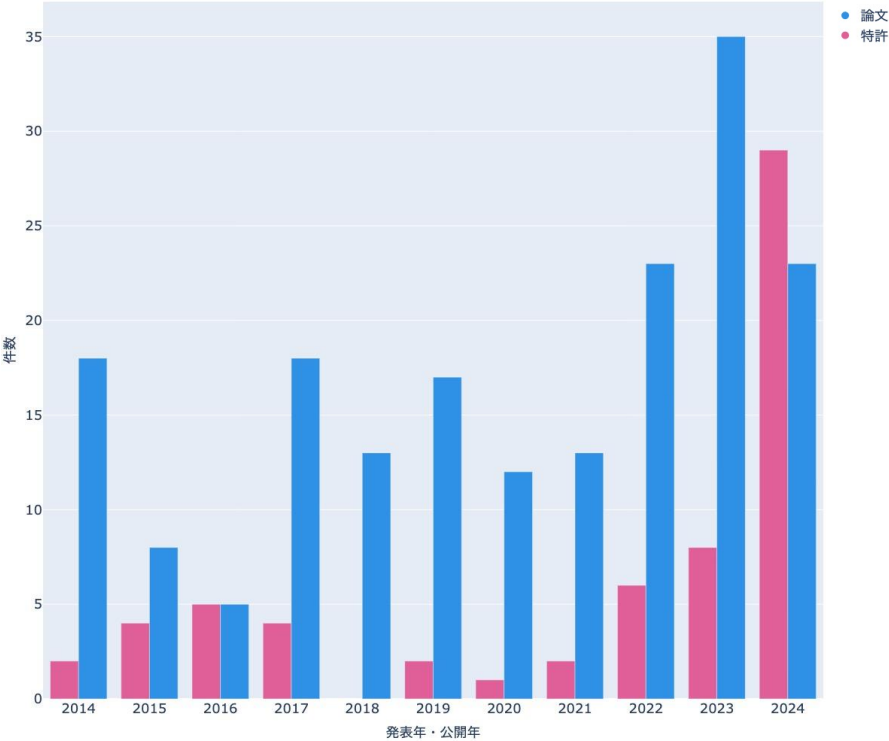
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

多モード推進システムによる効率的な軌道制御

多モード推進システムは、化学推進と電気推進を組み合わせることで、宇宙船の軌道制御を効率化する技術です。特に月探査や小型衛星ミッションにおいて、推進剤の消費を抑えつつ移動時間を短縮することが可能で、将来的な宇宙探査ミッションにおいて柔軟で持続可能な推進システムの実現に寄与します。近年、この技術に関する研究が増加しており、注目が高まっています。

開発
状況

多モード推進システムの開発目的は、宇宙船の軌道制御を効率化し、推進剤の消費を最小限に抑えることです。これにより、より持続可能で柔軟な宇宙探査ミッションの実現を目指しています。

課題

多モード推進システムを宇宙船に適用する際、推進剤の効率的な使用と軌道制御の最適化が課題です。特に、異なる推進モード間の切り替えや推進力の調整が技術的な挑戦となっています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Lunar SmallSat Missions with Chemical-Electrospray Multimode Propulsion	この研究は、化学推進と電気推進を組み合わせた多モード推進システムを用いた月面小型衛星ミッションを探求しています。結果として、推進剤消費を最大33%削減し、移動時間を11-55%短縮できることが示されました。	university of illinois urbana-champaign	2024	https://doi.org/10.2514/1.a35820
論文	Launching Earth radiation monitoring satellites using the combined thrust	化学ロケットと電気推進を組み合わせた推進システムを用いて、地球放射線監視衛星の打ち上げを行う方法を検討しています。この方法は、飛行時間を短縮し、効率的な軌道投入を可能にします。	azerbaijan national aviation academy	2023	https://doi.org/10.18698/2308-6033-2023-3-2262
論文	Geostationary Transfer Orbit to Moon Low Thrust Transfer Design for a Small Satellite	この研究は、低推力を用いた小型衛星の月への移行設計に焦点を当てています。電気推進を活用し、軌道上昇の初期軌道を開発し、深宇宙ミッションの能力を向上させることを目指しています。	turkish aerospace industries	2019	https://doi.org/10.1109/rast.2019.8767815
論文	ACC - Spacecraft Payload Maximization Using Realistic Multi-Mode Models of Electric Propulsion Systems	電気推進システムの実際の動作モードを統合した軌道設計を行い、ペイロード最大化を目指すフレームワークを提案しています。最適な動作モードを選択することで、効率的な軌道設計が可能です。	texas a&m university	2021	https://doi.org/10.23919/acc50511.2021.9483275

AIによる推進システムの最適化技術

AI技術を推進システムの最適化に適用することで、宇宙船の軌道制御や推進効率を改善する研究が多く見られる。具体的には、イオンスラスタの電極最適化や低推力宇宙船の軌道設計にAIを活用することで、推進効率の向上や運用期間の延長を実現しており、宇宙探査ミッションや長期間の宇宙運用への応用が期待される。特に近年はAI技術に関する研究が増加しており、注目が高まっていると考えられる。

開発状況

宇宙探査における推進システムの特性を改善することを目的とした開発や、持続可能な宇宙ミッションの実現を目指した開発が進められている。

課題

AIを推進システムの最適化に適用する際に、推進効率や運用条件の特性を適正化するためにAI技術の開発が進められている。

関連論文/特許

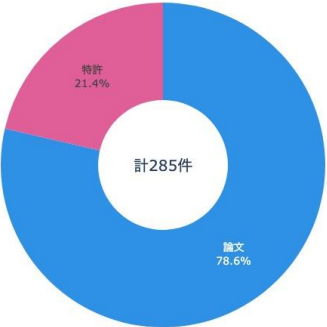
	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	AI-Based Electrode Optimisation for Small Satellite Ion Thrusters	AIを用いた小型衛星のイオンスラスタ電極の最適化を研究している。シミュレーションを活用し、推進効率を向上させる手法を提案。特に長期間の宇宙運用への実用化が期待される。	budapest university of technology and economics	2021	https://doi.org/10.36244/icj.2021.4.1
論文	Analytical Optimal Solution for the Reachable Domain of Low-Thrust Spacecraft	低推力宇宙船の到達可能領域の解析的最適解を研究。数値シミュレーションで提案手法の精度を検証し、宇宙ミッション計画に貢献。特に低推力推進の理解を深める。	tsinghua university	2024	https://doi.org/10.2514/1.a35788
論文	ACC - Receding Horizon Control for Spacecraft with Low-Thrust Propulsion	太陽電気推進を用いた宇宙船の軌道制御を研究。リセーディングホライゾン制御を導入し、非線形最適制御問題を効率的に解決。特に不確実性のある環境での実用化が期待される。	wichita state university	2018	https://doi.org/10.23919/acc.2018.8431788
論文	Multidisciplinary System Design Optimization for Lunar Transportation Missions via Surrogate-Assisted Evolutionary Algorithms	月面輸送ミッションのための多分野設計最適化技術を研究。電気推進システムを考慮し、ペイロード質量を最大化しつつ飛行時間を最小化する設計を提案。特に月探査への応用が期待される。	kyushu daigaku	2024	https://doi.org/10.2514/6.2024-0206

ホールスラストによる磁場と電流を利用した推進技術

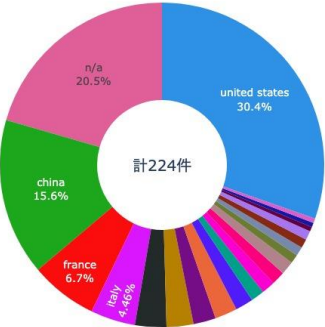
概要

ホールスラストは、磁場と電流を利用して推進剤をイオン化し、加速することで推力を生成する電気推進装置である。特に、円筒形や拡張チャネル型の設計があり、効率的な推進を実現するための工夫が施されている。ホール効果を活用したプラズマスラストは、宇宙探査や小型衛星への応用が期待され、低消費電力での推進剤のスループット向上が図られている。さらに、永久磁石を使用した設計や低温E×Bプラズマの利用により、高出力の電気推進を実現することが目指されている。

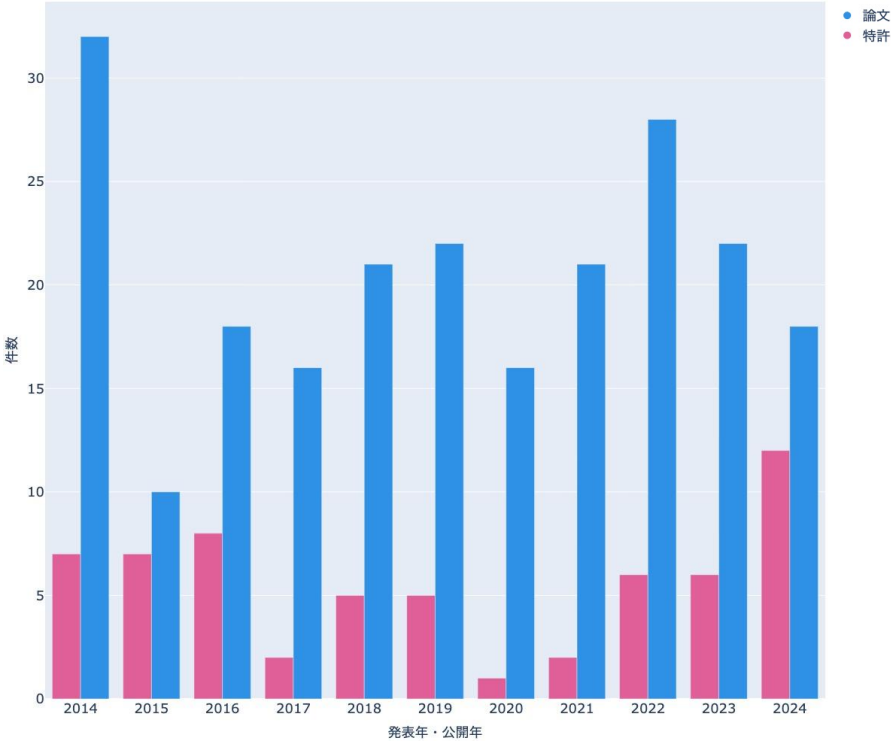
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

磁場最適化によるホールスラスタの効率向上

ホールスラスタの効率向上を目指し、磁場と電流の相互作用を最適化する研究が進んでいる。特に、磁束密度の調整によりプラズマと壁の相互作用を最小化し、推進性能を向上させる手法が注目されている。これにより、宇宙探査や衛星運用における電気推進システムの性能向上が期待される。近年では、低出力ホールスラスタの性能を数値シミュレーションと実験で検証する研究が増加している。

開発
状況

宇宙探査や衛星運用における電気推進システムの性能を向上させることを目的とし、ホールスラスタの設計と最適化を進めることで、より効率的な推進システムの実現を目指している。

課題

ホールスラスタの効率を向上させる際に、磁場の特性を適正化する必要がある。これにより、プラズマと壁の相互作用を抑え、推進性能を最大化することが求められている。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Influences of Magnetic Flux Density on Discharge Characteristics of Low-Power Hall Thruster	低出力ホールスラスタの放電特性に対する磁束密度の影響を研究し、最適な磁束密度が効率を向上させることを示した。プラズマと壁の相互作用を最小化することで、推進性能が向上することが確認された。	china academy of space technology	2021	https://doi.org/10.1590/jatm.v13.1240
論文	Experimental and numerical simulation study of the effect for the anode positions on the discharge characteristics of 300 W class low power Hall thrusters	低出力ホールスラスタの性能最適化を目的に、アノード位置が放電特性に与える影響を実験とシミュレーションで調査。最適なアノード位置で推力と効率が向上することが示された。	Lanzhou Institute of Physics	2022	https://doi.org/10.1088/2058-6272/ac7d42
論文	Operation of a low-power Hall thruster: comparison between magnetically unshielded and shielded configuration	低出力ホールスラスタの磁場構成を比較し、磁気シールド構成が電子温度を低下させ、壁の侵食を抑制することで効率を向上させることを示した。	university of toulouse	2019	https://doi.org/10.1088/1361-6595/ab080d
論文	Far-Field Plume Characterization of a 100-W Class Hall Thruster	100W級ホールスラスタの遠方ブルーム特性を分析し、イオン電流密度とエネルギー分布を測定。低電圧利用が効率に影響を与えることが示された。	institut de combustion, aérothermique, réactivité et environnement	2020	https://doi.org/10.3390/aerospace7050058

ホールスラスタのイオン電流におけるカオスの挙動

ホールスラスタのイオン電流におけるカオスの挙動の研究は、放電電流の変動やイオンフラックスの動態をカオス理論で解析することで、スラスタの効率向上に寄与する可能性がある。特に、呼吸モードや他の振動群の存在が確認され、放電電圧の変化に伴う振幅の大きな変化が観察されている。これらの知見は、今後の技術開発において重要な役割を果たすと考えられる。

開発状況

ホールスラスタの効率を向上させるために、イオン電流のカオスの挙動を解析し、その特性を改善することを目的とした研究が進められている。これにより、より高性能な電気推進技術の実現を目指している。

課題

ホールスラスタにおけるカオスの挙動の理解は、効率向上のために重要であるが、これを適正化するための技術開発が必要である。特に、放電電流やイオンフラックスの変動を制御することが課題となっている。

関連論文/特許

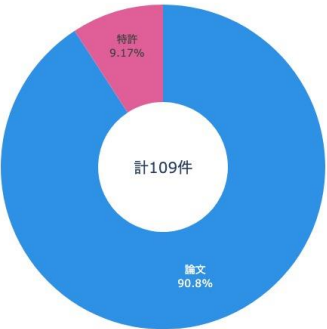
	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Searching for chaotic behavior in the experimental ion current and discharge current waveforms of a Hall effect thruster	ホールスラスタのプラズマ放出におけるカオスの挙動を調査し、放電電流とイオン電流の波形の変動を解析。カオス理論を用いて効率への影響を評価し、決定論的カオスの証拠を発見した。	institute of plasma physics and laser microfusion	2024	https://doi.org/10.1063/5.0197676
論文	Searching for Chaotic Behavior in the Ion Current Waveforms of a Hall Effect Thruster	ホールスラスタのイオンフラックス動態を調査し、カオスの挙動を特定。呼吸モードや他の振動群を確認し、放電電圧の変化に伴う振幅の大きな変化を観察した。	Institute of Plasma Physics and Laser Microfusion	2022	https://doi.org/10.1007/s10894-022-00331-x
論文	Overview of various mechanisms leading to oscillations and instabilities in hall plasmas: Applications to Hall thrusters	ホールプラズマの振動と不安定性のメカニズムを探り、異常な輸送現象に寄与する要因を特定。これにより、ホールスラスタの性能に影響を与える要因を理解する。	university of saskatchewan	2014	https://doi.org/10.1109/plasma.2014.7012516
論文	Mode Transitions in Hall-Effect Thrusters Induced by Variable Magnetic Field Strength	ホールスラスタのモード遷移を磁場強度の変化によって調査。グローバルモードとローカルモードの特性を明らかにし、性能最適化のための知見を提供した。	university of michigan	2016	https://doi.org/10.2514/1.b35709

太陽エネルギーを利用した宇宙の電気推進システム

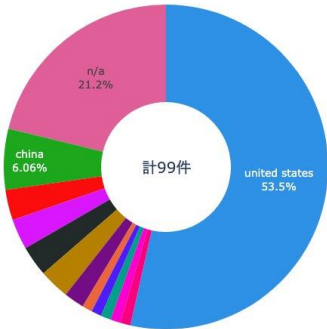
概要

このトピックは、宇宙における太陽電気推進システムに関するものである。太陽エネルギーを利用して推進力を生成し、宇宙船の運行を効率化する技術が含まれる。具体的には、太陽電池アレイやリチウムイオンバッテリーを用いたエネルギー管理、ハイブリッド推進システムの設計、長期間のミッションに対応するための放射性同位体電気推進技術などが挙げられる。これにより、宇宙探査や貨物輸送の効率が向上し、燃料の必要量が削減される。さらに、深宇宙ミッションにおけるオーバース maneuverや高出力技術の活用、軽量のMegaFlexソーラーアレイの開発が進められ、火星や小惑星への効率的な旅行が実現される。

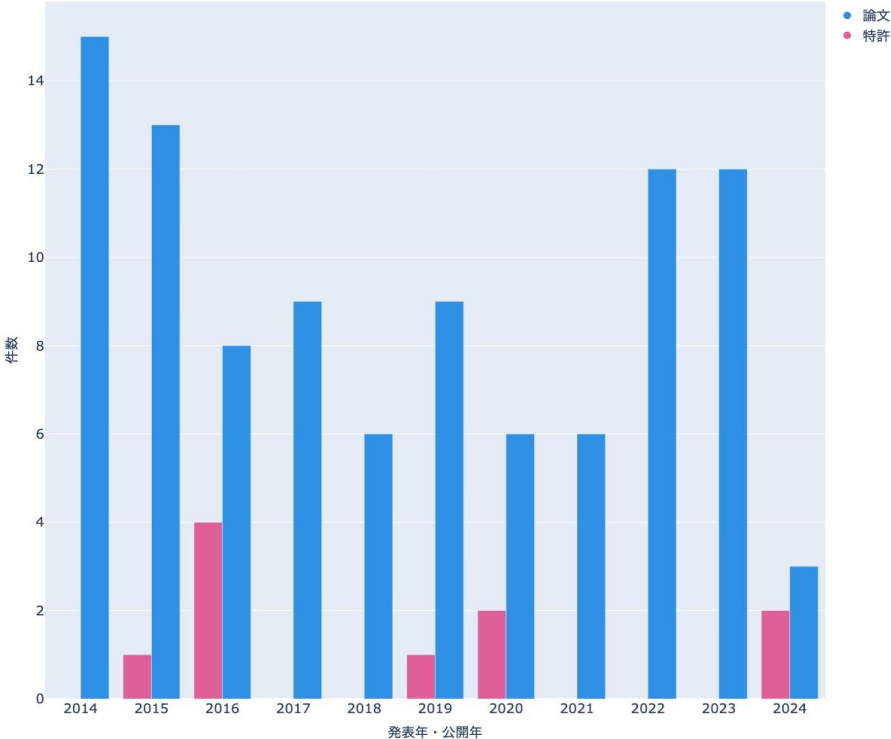
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

高電圧ソーラーアレイ技術による宇宙推進効率化

高電圧ソーラーアレイ技術の進展により、宇宙電気推進システムの効率が向上している。この技術は、電力処理ユニットを必要とせずにより高比推力での直接駆動を可能にし、宇宙推進システムの効率と効果を向上させる。特に、NASAの開発する高電圧ソーラーアレイは、ホールスラスタプルーム環境での動作を想定し、300Vから800Vの電圧範囲で設計されている。今後の宇宙ミッションにおける電力供給の信頼性向上が期待される。

開発
状況

宇宙ミッションにおける電気推進システムの効率を向上させることを目的とし、高電圧ソーラーアレイ技術を活用した直接駆動の実現を目指している。これにより、より大規模な宇宙探査や持続可能な宇宙活動が可能となる。

課題

高電圧ソーラーアレイ技術を宇宙推進に適用する際、プラズマ環境での動作や電力供給の安定性を確保するための技術開発が求められている。特に、アーク放電の防止や電流収集の最適化が課題となっている。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Satellite Electrical Power Subsystem for Direct-Drive Electrical Propulsion	EDDAプロジェクトは、ソーラーアレイをスラスタに直接接続することで電気推進システムの効率を向上させることを目指している。このアプローチにより、質量とサイズの削減が可能となり、次世代の宇宙機器設計に貢献する。	thales alenia space	2023	https://doi.org/10.1109/esp59009.2023.10298126
論文	Commercial Solar Electric Propulsion: A Roadmap for Exploration	商業用ソーラー電気推進システムは、コスト効率の高い宇宙輸送を実現するために開発されている。特に、ホール効果スラスタの進化により、より大規模なミッションが低コストで可能となる。	maxar space infrastructure	2020	https://doi.org/10.1109/aero47225.2020.9172330
論文	High Voltage Solar Array Development for Space and Thruster-Plume Plasma Environments	NASAは、ホールスラスタプルーム環境で動作する高電圧ソーラーアレイを開発中である。これにより、電力処理ユニットを必要とせずにより高比推力での直接駆動が可能となり、宇宙推進システムの効率が向上する。	california institute of technology	2022	https://doi.org/10.1109/tps.2022.3147424
論文	GoSolAr – A Gossamer Solar Array Concept for High Power Spacecraft Applications using flexible Photovoltaics	GoSolArプロジェクトは、柔軟な薄膜太陽電池を用いたゴッサマーソーラーアレイを開発し、宇宙機の電力需要を満たすことを目指している。この技術は、電気推進ミッションにおける高効率な電力供給を可能にする。	german aerospace center	2019	https://doi.org/10.1109/aero.2019.8741868

薄膜太陽電池によるゴッサマーソーラーアレイ技術

薄膜太陽電池を用いたゴッサマーソーラーアレイ技術は、宇宙ミッションの電力供給を強化するために開発されています。特に、CIGSセルを使用したこの技術は、展開可能な二次元アレイ設計を特徴とし、電気推進を伴うミッションや将来の宇宙インフラにおける高い電力需要を満たすことを目的としています。近年、この技術に関する研究が増加しており、注目が高まっています。

開発
状況

宇宙ミッションにおける電力供給の効率を向上させることを目的とした開発が進められています。特に、電気推進システムの性能を最大化し、ミッションの成功率を高めることを目指しています。

課題

薄膜太陽電池を宇宙ミッションに適用する際に、展開可能なアレイの設計と安定性を確保するための技術開発が進められています。特に、宇宙環境での耐久性や効率性を向上させることが課題です。

関連論文/特許

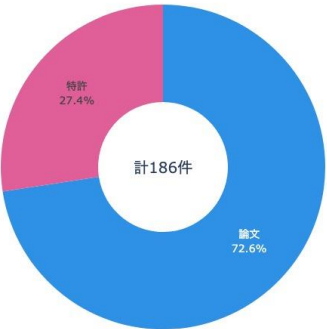
	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	GoSolAr – A Gossamer Solar Array Concept for High Power Spacecraft Applications using flexible Photovoltaics	GoSolArプロジェクトは、柔軟な薄膜太陽電池を用いたゴッサマーソーラーアレイを開発し、宇宙船の電力需要を満たすことを目的としています。CIGSセルを使用し、効率的な展開と高い発電能力を実現しています。	german aerospace center	2019	https://doi.org/10.1109/aero.2019.8741868
論文	Concept for a Gossamer solar power array using thin-film photovoltaics	DLRが開発したゴッサマーソーラーアレイ技術は、展開可能な薄膜太陽電池を用いて宇宙ミッションの電力供給を強化します。CIGSセルの高効率と放射線耐性が特徴です。	german aerospace center	2019	https://doi.org/10.1007/s12567-019-00276-6
論文	A 1 MW Solar Electric and Chemical Propulsion Vehicle for Piloted Mars Opposition Class Missions	1 MWの太陽電気推進と化学推進を組み合わせた宇宙船が、火星ミッションの期間を短縮することを目的としています。高出力のソーラーアレイの設計が課題です。	nasa john h glenn research center	2023	https://doi.org/10.2514/6.2023-4788
特許	Asteroid mining device and method driven by solar cell array	小惑星探掘装置は、太陽電池アレイを利用して小惑星を月軌道に移動させることを目的としています。電気推進モジュールが連続運転を可能にします。	shanghai satellite eng inst	2024	CN117922852

大気呼吸型電気推進を含む宇宙船の電気推進技術

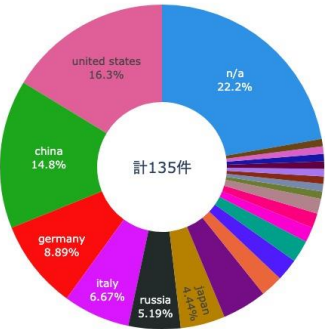
概要

このトピックは、宇宙船の推進システムにおける電気推進技術に関するものである。周囲の大気を利用した推進方法や、電気エネルギーを用いて推進剤を加速する技術が含まれる。特に、大気呼吸型電気推進（ABEP）は、宇宙ミッションの持続時間を延ばすために大気中の粒子を推進剤として使用する。ホールスラストやグリッドイオンエンジン、パルスプラズマスラストなど、さまざまな電気推進装置が開発されており、効率的な推進を実現している。これにより、燃料効率が向上し、長期間の宇宙ミッションにおける推進効率が高まる。

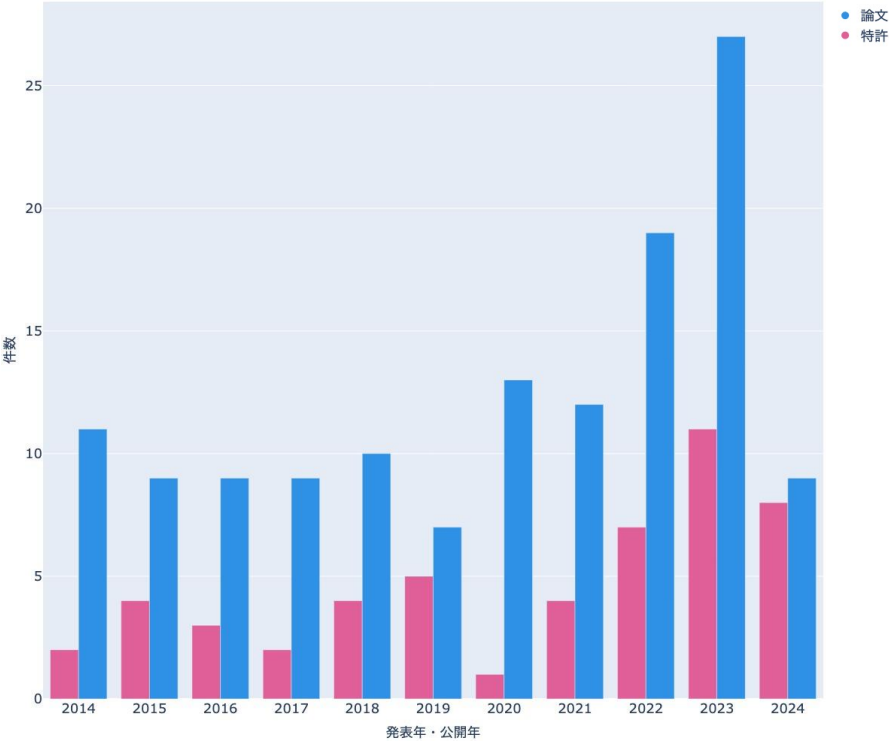
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

大気呼吸型電気推進技術の進化と応用

大気呼吸型電気推進技術は、宇宙船の推進効率を向上させるために、宇宙空間での推進剤補給を不要にし、長期間のミッションを可能にする技術です。特に低軌道での大気分子を利用した推進システムが注目され、地球周回軌道でのデブリ除去や資産移動に応用されています。近年では、軽量のソーラーパネル技術と組み合わせたシステムが開発され、さらなる効率向上が期待されています。

開発状況

大気呼吸型電気推進技術の開発目的は、宇宙船の運用コスト削減と持続可能な宇宙開発の実現です。特に、低軌道でのデブリ除去や資産移動を効率的に行うことを目指しています。

課題

大気呼吸型電気推進技術を宇宙船に適用する際、低軌道での大気分子の効率的な収集と推進力の最適化が課題となっています。これに対処するため、吸気設計や推進システムの改良が進められています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Intake design for an Atmosphere-Breathing Electric Propulsion System (ABEP)	ABEPシステムは、低高度での宇宙船ミッションの効率を高めるために大気粒子を推進剤として利用します。これにより、限られた推進剤への依存を最小限にし、ミッション期間を延長します。	university of stuttgart	2021	https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.06.033
論文	Optimization investigation of vacuum air-intake for atmosphere-breathing electric propulsion system:	大気呼吸型電気推進システムは、希薄な大気分子を推進剤として利用し、低密度環境での宇宙船の効率的な運用を可能にします。これにより、長期間のミッションが実現します。	national university of defense technology	2021	https://doi.org/10.1177/09544100211029829
論文	Refueling Orbital Navigator for Active Debris Removal, and Asset Relocation, Recovery and Repair	RONは、アクティブデブリ除去と宇宙での機動性を向上させるために設計されました。大気ガスを収集し、電気推進を利用して軌道を下げることで、デブリ除去を効率化します。	msnw llc.	2022	https://doi.org/10.1109/aero53065.2022.9843662
特許	VERSTELLBARER EINLASSKOLLEKTOR FÜR DIE OPTIMALE VORTRIEBSLEISTUNG EINES LUFTATMENDEN ELEKTRISCHEN TRIEBWERKS	可変吸気コレクターは、低軌道での大気呼吸型電気推進システムの性能を最適化するために設計されました。特殊な幾何学的配置により、変動する大気条件に適応します。	von karman inst for fluid dynamics	2021	EP3872341

ガス供給システムの最適化による電気推進技術の向上

ガス供給システムの最適化を通じて、宇宙船の電気推進技術が向上している。特に、ホールスラスタのアノードガス供給構造や分布型ガス供給システムの設計が進化し、ガス流動の均一性と効率性が向上している。これにより、スラスタの性能と信頼性が向上し、宇宙探査や衛星技術への応用が期待される。近年は、ガス供給の均一性を高めるための多段バッファ構造や流量調整方法の開発が進んでおり、注目が高まっている。

開発
状況

宇宙船における電気推進技術の性能と信頼性を改善することを目的とした開発や、宇宙探査や衛星技術の実現を目指した開発が進められている。

課題

電気推進技術を宇宙船に適用する際に、ガス供給の均一性と効率性を適正化するために、ガス供給システムの開発が進められている。

関連論文/特許

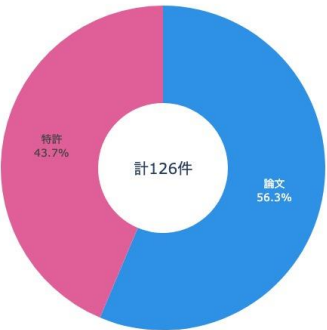
	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Air-breathing electric propulsion: mission characterization and design analysis	大気呼吸型電気推進（ABEP）は、非常に低い地球軌道（VLEO）での長期間の宇宙ミッションに有望な技術である。この推進システムは大気中の空気を利用して推力効率を高め、特に250 km以下の高度で従来の電気推進を上回る性能を発揮する。220 km以下のミッションでは、ABEPが唯一の実行可能な推進オプションであることが示されている。	university of california, los angeles	2022	https://doi.org/10.1007/s44205-022-00009-8
特許	Hall thruster with built-in electron source and operation method of Hall thruster	このホールスラスタは内蔵電子源を特徴とし、効率と性能を向上させる。ガスディストリビュータが中性ガスを均等に分散させ、放電チャネルを形成する。この革新的な設計により、電子供給が改善され、推力性能と運用効率が向上する可能性がある。	hangzhou advanced res institute ustr	2023	CN117231452
特許	Air inlet duct pressure stabilizing device, pressure stabilizing method and air suction type electric propulsion system	空気吸引型電気推進システムにおける空気吸入口圧力安定化装置と方法に関する発明である。この装置は柔軟なチャネルフィルムと圧力強度調整機構を備え、空気の圧力を効果的に安定化し、推進システムの信頼性を保証する。	nat univ defense technology pla	2024	CN117569989
論文	Plume simulation of atmosphere-breathing electric propulsion system	大気呼吸型電気推進（ABEP）システムは、VLEO衛星のミッション寿命を延ばすために設計されており、周囲の空気を代替推進剤として利用する。この研究は、ABEPシステムのプルーム効果を分析し、原子酸素によるイオン逆流現象が衛星の汚染リスクを増大させる可能性を示している。	korea advanced institute of science and technology	2024	https://doi.org/10.1063/5.0187403

プラズマ放電強化とデブリ除去のための技術

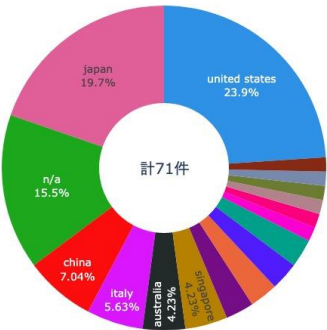
概要

このトピックは、プラズマ推進技術に関連する多様な技術を扱う。具体的には、ホールスラスタやヘリコンプラズマスラスタの点火方法、電圧制御システム、放電電流の安定化を目的とした時間共有制御法などが含まれる。これらの技術は、プラズマ特性の推定や抵抗加熱によるプラズマ放電の強化を通じて、宇宙での効率的な推進やデブリ除去、軌道上サービスの実現に寄与することを目指している。

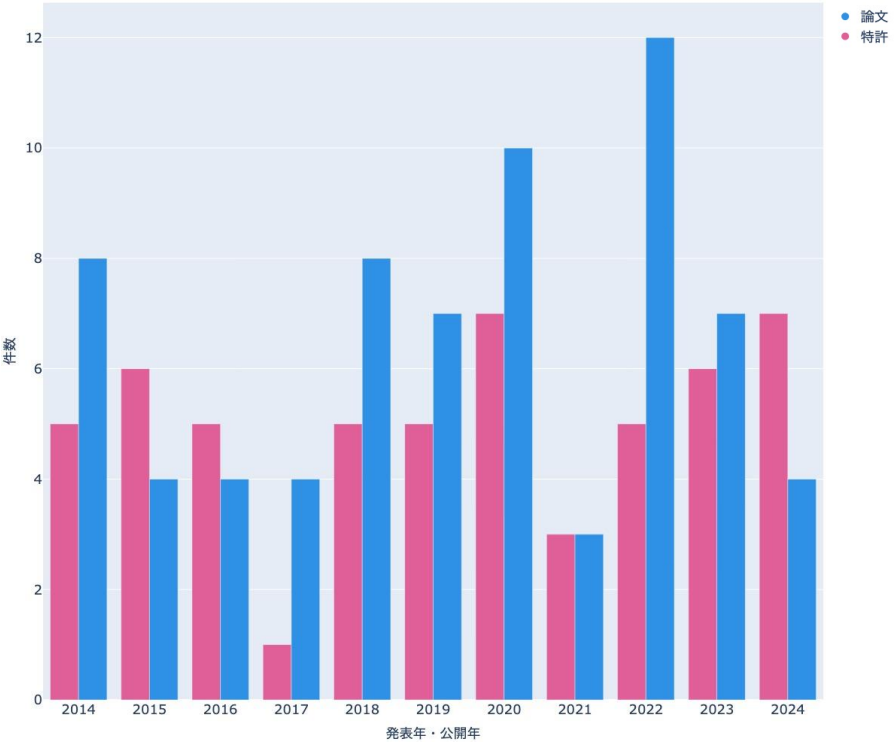
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

プラズマ放電技術による電気推進システムの効率化

プラズマ放電技術の進化により、電気推進システムの効率と信頼性が向上しています。特にホールスラストの点火プロセスの改善が進み、点火成功率が向上しました。これにより、電気推進システムの性能が向上し、小型衛星やマイクロサテライトでの応用が期待されています。

開発
状況

電気推進システムにおける点火プロセスの効率と信頼性を改善し、小型衛星やマイクロサテライトでの実用化を目指した開発が進められています。

課題

プラズマ放電技術を電気推進システムに適用する際、点火プロセスの信頼性と効率を向上させるための技術開発が求められています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
特許	Hall current plasma source having a center-mounted cathode or a surface-mounted cathode	ホール電流プラズマ源は、効率的なプラズマ生成を目的とし、磁気シールドを備えたコンパクトな装置です。小型宇宙機に適しており、推進と材料加工の両方に利用可能です。	univ colorado state res found	2019	US10269526
特許	Reliable ignition method for cathode of electric propulsion system	電気推進システムのカソード点火の信頼性を向上させる方法を研究しています。圧力と流量の調整を含むシーケンシャルプロセスを採用し、点火成功率を高めています。	beijing inst control eng	2024	CN117514676
特許	Ignition circuit of semiconductor sparking plug of miniature electric thruster	半導体スパークプラグを用いたミニチュア電気推進システムの点火回路を開発し、エネルギー効率を向上させています。小型化と軽量化が実現されています。	univ dalian tech	2022	CN114837908
特許	Scalable power processing units for hall-effect thruster propulsion systems and terrestrial systems	ホール効果スラスト用のスケーラブルな電力処理ユニットを開発し、効率と回路の簡素化を実現しています。高効率でコンパクトなシステム設計に適しています。	nasa	2023	US11815074

電気推進技術による宇宙デブリ除去の効率化

電気推進技術を宇宙デブリ除去に適用することで、燃料消費を抑えつつ効率的なデブリ除去を実現する研究が多く見られる。具体的には、低推力でのランデブー軌道生成技術や自律的な軌道制御システムを活用し、デブリの優先順位に基づいて除去順序を決定することで、宇宙環境の持続可能性を高めることが期待される。特に近年は小型衛星によるアクティブデブリ除去ミッションの設計最適化に関する研究が増加しており、注目が高まっていると考えられる。

開発
状況

宇宙デブリ除去における電気推進技術の効率性と持続可能性を改善することを目的とした開発や、ミッションのライフサイクルコストと時間の最小化を目指した開発が進められている。

課題

電気推進技術を宇宙デブリ除去に適用する際に、低推力での効率的な軌道制御と燃料消費の最小化を実現するための技術開発が進められている。

関連論文/特許

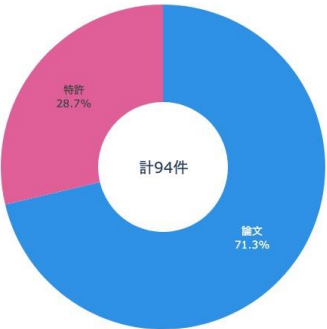
	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Multidisciplinary Design Optimization of an Active Debris Removal Mission Architecture via Electric Propulsion	この研究は、電気推進を用いたアクティブデブリ除去ミッションの設計最適化を行い、ライフサイクルコストとミッション時間の最小化を目指している。特に、低推力の電気推進技術を活用し、22個の高優先度デブリを除去することを目的としている。	cornell university	2024	https://doi.org/10.2514/6.2024-2014
論文	Orbit Control Techniques for Space Debris Removal Missions Using Electric Propulsion	電気推進技術を用いた宇宙デブリ除去ミッションのための自律的な軌道制御システムを提案している。このシステムは、デブリの軌道を自動的に調整し、効率的な除去を実現することを目的としている。	university of siena	2020	https://doi.org/10.2514/1.g004735
論文	Low-thrust rendezvous trajectory generation for multi-target active space debris removal using the RQ-Law	低推力の電気推進を用いたマルチターゲットの宇宙デブリ除去ミッションのためのランデブー軌道生成技術を開発している。この技術は、燃料消費を最小限に抑えつつ、複数のデブリを効率的に除去することを目指している。	university of toronto	2023	https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.12.049
論文	Viability of Electric Propulsion in Smallsats for Active Debris Removal (EPSADR)	小型衛星を用いた電気推進技術によるアクティブデブリ除去の可能性を探る研究で、低軌道におけるデブリ除去のための最適なターゲットを特定し、ミッションの実現可能性を評価している。	georgia institute of technology	2023	https://doi.org/10.2514/6.2023-1300

新しい推進剤と電子放出技術に関する材料技術

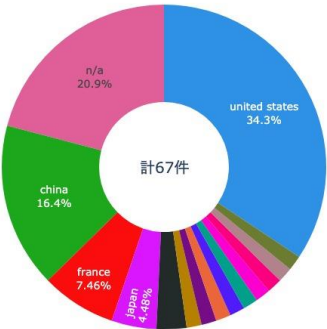
概要

このトピックは、推進システムにおける材料と技術、特に新しい推進剤や電子放出技術に関するものである。カーボンファイバーやポリイミドロッドは強度や熱安定性を向上させ、PTFEや金属推進剤は特定の性能を達成するために利用される。さらに、グリーンモノプロペラントやナノグラファイトカソードを用いた電子銃、エレクトロスプレー推進装置の効率向上に寄与する技術が含まれる。二次電子放出（SEE）に関する研究も進んでおり、カーボンナノチューブやタングステンコーティングがSEE特性において重要な役割を果たす。これらの技術は、宇宙探査や航空機の性能向上に寄与する。

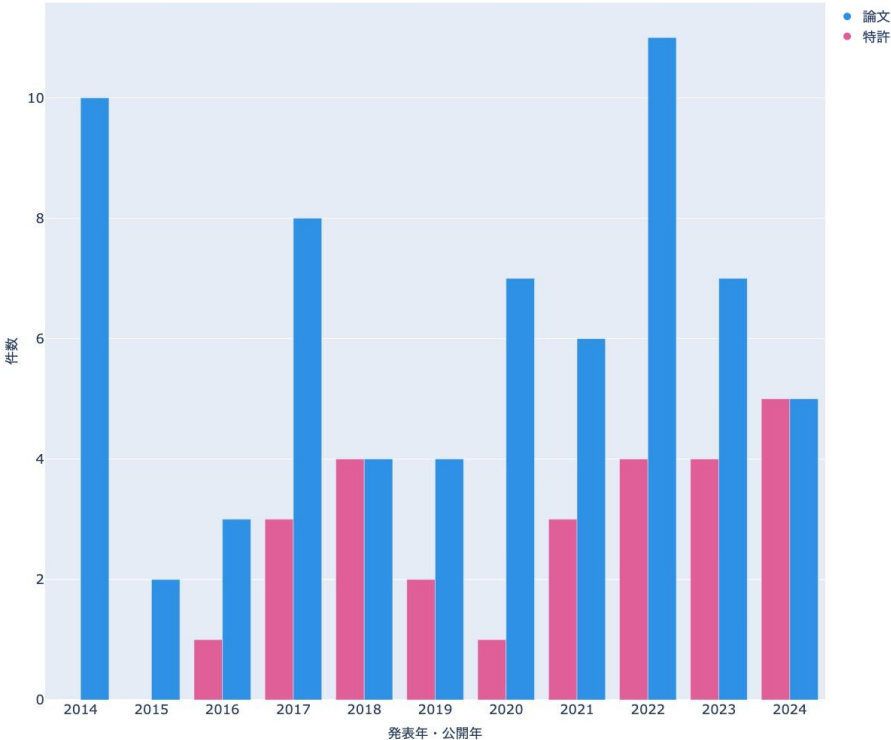
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

イオン液体を用いた新しい推進技術の開発

イオン液体を用いた新しい推進技術は、低電力で高効率な推進を実現し、小型宇宙機に特に適しています。イオン液体エレクトロスプレー推進器は、ポラスエミッタを使用してプロペラント供給を簡素化し、製造コストを削減します。この技術は、将来の宇宙ミッションにおける推進システムの設計と効率を向上させる可能性があり、特に小型衛星の運用において注目されています。

開発
状況

イオン液体を用いた推進技術の開発は、宇宙機の推進システムの効率を向上させることを目的としています。また、小型宇宙機の運用におけるコスト削減と性能向上を目指しています。

課題

イオン液体を推進技術に適用する際、エミッタの形状や表面電場がイオンビームの放出に与える影響を最適化する必要があります。これにより、推進器の効率と性能を向上させる技術開発が進められています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Performance measurement and evaluation of an ionic liquid electrospray thruster	小型衛星向けのイオン液体エレクトロスプレー推進器の性能評価を行い、特定の条件下で高い比推力と効率を実現しました。特に小型推進技術の進展が期待されます。	northwestern polytechnical university	2023	https://doi.org/10.1016/j.cja.2021.10.030
論文	Design and Modeling of a Vectored Electro spray Thruster	ベクトルエレクトロスプレー推進器は、ナノ衛星の姿勢制御を向上させるために設計されました。高精度な推力制御が可能で、将来の多軸制御に期待が寄せられています。	royal military college of canada	2022	https://doi.org/10.2514/6.2022-4271
論文	Pressure-Driven Operation of Microfabricated Multiplexed ElectroSprays of Ionic Liquid Solutions for Space Propulsion Applications	小型衛星向けのマルチプレックスエレクトロスプレーシステムを研究し、均一な運転と高い推進効率を実現しました。小型衛星の推進システムの改善に寄与します。	yale university	2014	https://doi.org/10.1109/jmems.2013.2283728
論文	Effects of Tip Curvature on Multiple Emitted Ion Beams in Porous Ionic Liquid Electrospray Thrusters	イオン液体エレクトロスプレー推進器のポラスエミッタの形状がイオンビームの放出に与える影響を調査し、効率的な設計に貢献しました。将来の宇宙ミッションにおける応用が期待されます。	yokohama kokuritsu daigaku	2024	https://doi.org/10.2514/6.2024-1346

ホール効果スラスタの材料技術による性能向上

ホール効果スラスタの性能向上を目指し、材料技術の進展が進んでいる。特に、ボロンナイトライドやシリコン酸化物を用いた複合材料の開発が注目されており、二次電子放出（SEE）の低減が重要視されている。SEEの低減はスラスタの耐久性と効率を向上させるため、人工的な表面微細構造や機能性コーティングを用いた研究が増加している。

開発
状況

ホール効果スラスタの耐久性と効率を向上させることを目的とした開発が進められている。特に、SEEの低減を通じて、スラスタの性能を最適化することが目指されている。

課題

ホール効果スラスタにおいて、二次電子放出（SEE）の特性を適正化するために、材料技術の開発が進められている。SEEの低減はスラスタのシース安定性を向上させるために重要である。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Monte Carlo modeling of low-energy electron-induced secondary electron emission yields in micro-architected boron nitride surfaces	この研究は、ホール効果スラスタの性能向上に重要なボロンナイトライド表面の二次電子放出（SEE）を低減することを目的としている。モンテカルロシミュレーションを用いて、微細構造がSEEを50%以上低減できることを示した。	university of california, los angeles	2019	https://doi.org/10.1016/j.nimb.2019.05.079
特許	GRAPHITE/HEXAGONAL BORON NITRIDE BIMATERIALS FOR ELECTRIC PROPULSION	グラファイトと六方晶ボロンナイトライドからなるバイマテリアルの開発により、電気推進システムの性能と効率を向上させることを目的としている。これにより、宇宙探査や衛星技術における耐久性が向上することが期待される。	california inst of techn	2024	US20240068453
論文	Secondary electron emission reduction from boron nitride composite ceramic surfaces by the artificial microstructures and functional coating	ボロンナイトライド-シリコン酸化物複合材料の二次電子放出（SEE）を低減するために、人工的な微細構造と機能性コーティングを用いた研究を行った。SEEの低減により、スラスタのシース安定性が向上することが示された。	Xi'an Jiaotong University	2024	https://doi.org/10.1088/1361-6463/ad471c
論文	Electron emission from micro-architected materials for plasma applications	プラズマ応用における低二次電子放出（SEE）特性を持つ微細構造材料の開発を目的としている。カーボンペルベットが従来の材料に比べてSEEを大幅に低減することが示され、電気推進システムの性能向上が期待される。	princeton plasma physics laboratory	2014	https://doi.org/10.1109/plasma.2014.7012224

ナノグラファイトを用いた新しいカソード技術の開発

ナノグラファイトを用いた新しいカソード技術は、電界放出電気推進システムの効率を向上させるために開発されています。この技術は、加熱を必要とせず高いエネルギー効率を提供し、スラスタの電力消費を大幅に削減します。特に、宇宙推進システムにおける応用が期待されており、信頼性の向上とエネルギー損失の最小化が実現されています。

開発状況

宇宙推進システムにおけるエネルギー効率と信頼性を向上させることを目的とし、ナノグラファイトを用いたカソード技術の開発が進められています。これにより、将来的な宇宙探査ミッションの実現を目指しています。

課題

ナノグラファイトを電界放出カソードに適用する際に、電子ガン設計への統合や高電流負荷下での特性最適化が課題となっています。これにより、推進システムの信頼性と効率を向上させる技術開発が進められています。

関連論文/特許

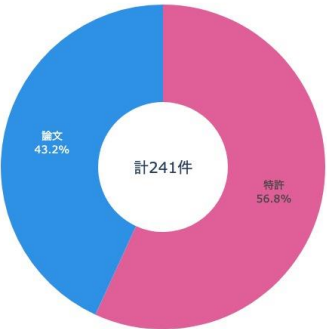
	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Nano-graphite field-emission cathode for space electric propulsion systems.	ナノグラファイトを用いたフィールドエミッションカソードの開発により、スラスタの電力消費を削減し、信頼性を向上させることが示されています。特に低軌道衛星での応用が期待されています。	lomonosov moscow state university	2022	https://doi.org/10.1088/1361-6528/ac7def
論文	Design and fabrication of field-emission tips with self-aligned gates	自己整合ゲートを持つフィールドエミッションチップの新しい設計と製造方法を提案し、電気推進マイクロスラスタへの応用を目指しています。MEMS技術を活用し、性能向上を図っています。	university of california	2016	https://doi.org/10.1049/mnl.2016.0174
論文	Operation of a Carbon Nanotube Field Emitter Array in a Hall Effect Thruster Plume Environment	カーボンナノチューブフィールドエミッターアレイを用いたホール効果スラスタの研究により、推進剤消費を削減し、効率的な電子ビーム中和が可能であることが示されています。	georgia institute of technology	2015	https://doi.org/10.1109/tps.2014.2357337
論文	Revolutionary propulsion for future spacecraft: Field emission thruster developments at TU Dresden towards their first flight application	TU Dresdenで開発されたNanoFEETシステムは、ナノサテライト用の小型電界放出推進技術で、キューブサットの姿勢制御や軌道操作を可能にします。今後のミッションで性能検証が予定されています。	dresden university of technology	2017	https://doi.org/10.1109/ivnc.2017.8051560

電力処理ユニットを用いた推進剤供給と流量制御技術の最適化

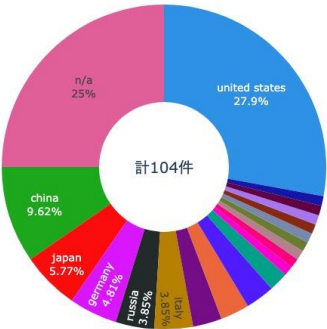
概要

このカテゴリーは、電気推進システムにおける電力管理と推進剤供給の最適化に関する技術に焦点を当てている。具体的には、電力処理ユニット（PPU）によるエネルギー管理、SiC MOSFETやダイオードの高温性能、ハイブリッドエンジンや電子推進装置のための燃料供給システムの設計が含まれる。また、電池からのエネルギーを利用した推進剤の流れの制御や、推進タスクに応じた動作モードや推力の最適化も重要な要素であり、これにより安定した推進力とエネルギー供給が実現され、様々な運用条件下での性能向上が図られている。

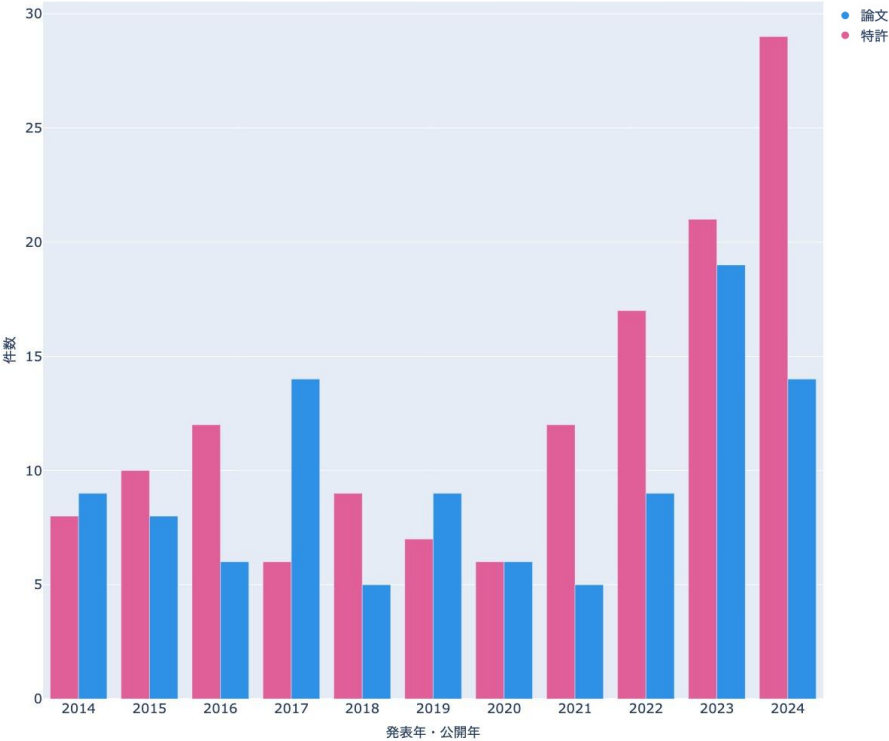
特許・論文比率



論文国別比率



論文・特許数推移



※ 論文の国は第一著者の所属組織で定義
※ n/a:論文DBの登録情報から国名が特定できなかったもの

電力処理ユニットの最適化による推進効率向上

電力処理ユニット（PPU）の最適化は、電気推進システムの効率と信頼性を向上させるための重要な研究分野です。特に、電圧変換効率の向上や熱放散の最適化が求められています。最近の研究では、Boost + LLCトポロジを用いたPPUが注目されており、安定した電圧出力を提供し、システム全体のサイズを縮小することが可能です。この技術は、宇宙船の電気推進システムにおける性能と信頼性を大幅に向上させることが期待されています。

開発
状況

電気推進システムにおける電力処理ユニットの特性を改善することを目的とした開発や、システム全体の効率と信頼性の向上を目指した開発が進められています。

課題

電力処理ユニットを電気推進システムに適用する際に、電圧変換効率や熱放散の特性を適正化するために新しい技術の開発が進められています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
特許	Hall electric thruster power supply control system based on Boost + LLC topological structure	Boost + LLCトポロジを用いたHall電気推進システムの電源制御システムは、宇宙船の推進効率を向上させるために設計されています。安定した電圧出力と効率的な熱放散を実現し、システムのサイズを縮小します。	shenyang aerospace xinguang group co ltd	2024	CN117650688
論文	Combined Dual modulation Scheme (CDMS) for high power converters in Spacecraft All Electric Propulsion Systems (AEPS)	宇宙船の全電気推進システムにおける高出力コンバータのために開発されたCDMSは、効率を向上させ、広範な動作範囲での性能を改善します。シミュレーションによりその有効性が確認されています。	liquid propulsion systems centre/isro	2022	https://doi.org/10.1109/pedes56012.2022.10080057
論文	Design and analysis of a novel coupled converter with high-voltage insulation protection in magnetic isolated way	新しい結合コンバータは、宇宙イオン電気推進スラスタの放電カソードに高電圧絶縁保護を提供します。試作機は88.6%の最大効率を達成し、信頼性と安全性を向上させます。	instituto nacional de técnica aeroespacial	2021	https://doi.org/10.1049/pel2.12165
論文	A Power Electronic Building Block - Based Converter for Electric Propulsion System in Spacecrafts	大規模宇宙船の電気推進システム向けに設計されたPEBBコンバータは、高電圧・高出力の電力変換を可能にし、効率的な電力管理を実現します。新しいトポロジが採用されています。	north dakota state university	2024	https://doi.org/10.1109/aero58975.2024.10521230

電力処理ユニットによる推進剤供給の最適化

電力処理ユニットを用いた推進剤供給の最適化は、電気推進システムの効率と信頼性を向上させるための重要な技術である。特に、キャピラリー流量制御やイオン液体の流量管理が注目されており、これらの技術は宇宙探査や衛星運用における電気推進技術の競争力を高めることが期待されている。近年、これらの技術に関する研究が増加しており、さらなる発展が期待される。

開発
状況

電気推進システムにおける推進剤供給の精度と効率を改善することを目的とした開発が進められている。これにより、宇宙探査や衛星運用における電気推進技術の競争力を高めることを目指している。

課題

電力処理ユニットを電気推進システムに適用する際に、推進剤の流量制御や圧力調整の精度を高める必要がある。これにより、システムの効率と信頼性を向上させるための技術開発が進められている。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
特許	On-orbit cold storage working method of xenon working medium Hall electric propulsion system	キセノンを用いたホール電気推進システムの軌道上冷却保存作業方法を提案。非作業期間中のエネルギー依存性の課題を解決し、軌道上での運用能力を向上させる。	chang guang satellite tech co ltd	2022	CN115535308
論文	PPU for a small, low power and low cost EPS	小型衛星用電気推進システムのための電力処理ユニット（PPU）の設計を紹介。高効率、コンパクト、低重量、高信頼性を目指し、電気推進技術の進展に貢献する。	SITAEI Hellas	2019	https://doi.org/10.1051/mateconf/201930407004
論文	High Power Demonstration of a 100 kW Nested Hall Thruster System	100 kWクラスのネスト型ホールスラスタシステムの高出力デモンストレーションを成功させ、既存の中出力ホールスラスタと同等の性能を確認。将来の宇宙ミッションに重要。	aerojet rocketdyne	2019	https://doi.org/10.2514/6.2019-3809
特許	High-precision pressure adjusting device and pressure adjusting method for electric propulsion system	電気推進システム用の高精度圧力調整装置と方法を提案。コンパクトで高精度、安定性、信頼性を特徴とし、宇宙機の電気推進システムの性能と信頼性を向上させる。	shanghai inst space propulsion	2023	CN116700378

複数推進モード統合による推進効率向上

複数の推進モードを統合することで、推進効率と柔軟性を向上させる技術が注目されています。特に、化学推進と電気推進を組み合わせたバイモーダル推進システムや、マルチモード推進システムが開発されており、これにより宇宙探査や衛星の機動性向上が期待されています。これらの技術は、推進剤供給と流量制御の最適化を通じて、より効率的で信頼性の高い推進システムを実現しています。

開発
状況

宇宙探査や衛星の機動性向上を目的として、推進効率と柔軟性を高めるための複数推進モード統合技術の開発が進められています。これにより、より効率的で信頼性の高い推進システムの実現を目指しています。

課題

複数の推進モードを統合する際に、各モードの特性を最適化する必要があります。特に、異なる推進モード間での推進剤の互換性や流量制御の精度向上が課題となっており、これを解決するための技術開発が進められています。

関連論文/特許

	タイトル	概要	組織名	発表年/公開年	URL/特許公開番号
論文	Design and Testing of a Propellant Management System for Bimodal Chemical-Electrospray Propulsion	バイモーダル推進システムは、化学モノプロベラントスラスタとエレクトロスプレイスラスタを統合し、宇宙機の機動性を向上させます。プロトタイプの実験により、小型宇宙機の限界を克服する設計の実現可能性が確認されました。	massachusetts institute of technology	2021	https://doi.org/10.1109/aero50100.2021.9438391
特許	MULTIMODE PROPULSION SYSTEM	マルチモード推進システムは、化学スラスタと電気スラスタを統合し、推進効率を向上させます。プロベラントの分解室を利用し、特定の種をイオン化することで性能を最適化します。	phase four inc	2024	US20240263599
特許	BI-MODAL CHEMICAL-ELECTRIC SPACE PROPULSION	バイモーダル推進システムは、化学および電気スラスタを単一のプロベラントで統合し、様々な宇宙用途での性能向上を目指します。電気スラスタの効率的な運用を可能にする設計が特徴です。	massachusetts inst technology	2024	US20240076062
特許	High-precision pressure adjusting device and pressure adjusting method for electric propulsion system	電気推進システム用の高精度圧力調整装置は、宇宙機の性能と信頼性を向上させるために設計されています。コンパクトで高精度な圧力制御を実現し、装置の寿命を延ばします。	shanghai inst space propulsion	2023	CN116700378