

宇宙輸送シンポジウム 非化学推進部門 アブストラクト

【特別セッション】 1/12 (木)

STEP-2022-056	マイクロ波イオンエンジンμ10のDESTINY+における開発とはやぶさ2拡張ミッションにおける運用 ○西山 和孝・月崎 竜童(JAXA)
	2024年度打ち上げ予定の深宇宙探査技術実証機DESTINY+の開発状況をイオンエンジンを中心に報告する。また2020年末にサンプルリターンを果たした「はやぶさ2」は現在拡張ミッションにはいり、2026年夏に小惑星2001 CC21フライバイと2031年1998 KY26ランデブーを目指してイオンエンジンを運転しており、最新の運転状況についても報告する。
STEP-2022-057	技術試験衛星9号機における国産ホールスラスタの開発状況報告 ○神田 大樹(JAXA)
	技術試験衛星9号機(ETS-9)は、次世代静止通信衛星に必要となるバス技術とミッション技術を実証し、宇宙産業や科学技術基盤の維持・強化を図ることを目的としており、衛星バスに求められる技術として全電化衛星技術がある。JAXAでは大型衛星の静止軌道投入に使用できる6kW級の国産ホールスラスタを開発しており、ETS-9では海外製ホールスラスタ4台と共に国産ホールスラスタを1台搭載し、軌道上実証を行う計画である。ここでは国産ホールスラスタの開発状況を報告する。
STEP-2022-058	大型ホールスラスタの研究開発 —ETS9の次のステップ— ○船木 一幸(JAXA)
	ETS-9搭載ホールスラスタシステムに関する認定評価試験が進む中、電気推進コミュニティとしては、その次のステップを考え得る重要な時期に差し掛かっている。本報告では、現在進行中の中型ホールスラスタの研究開発状況に触れつつ、更に先を目指した研究開発構想について私見を交えて報告する。
STEP-2022-059	JAXAにおける1kW級小型ホールスラスタシステム(ν800)の研究活動 ○張 科寅(JAXA)
	JAXAでは、商業デブリ除去実証(CRD2)プロジェクトを主なターゲットとして、スラスタメーカーにおける製品化・事業化を支援すべく、スラスタ本体、流量制御ユニット、電源制御ユニットからなる1kW級小型ホールスラスタシステム(ν 800)の研究を進めている。本スラスタシステムの概要と研究開発状況、並びに事業者とのアライアンス状況について報告する。
【ホールスラスタ実験(1)】	
STEP-2022-001	静電・電磁複合推進機の放電・推力性能に対する陽極先端凸部の効果 ○中野 僚太(名大・院)市原 大輔(名大)De Celis Romero Alberto(名大・院)高原 虎太郎(名大・院)佐宗 章弘(名大)
	我々の研究グループでは発散磁場中での静電・電磁複合イオン加速を用いた推進機の研究に取り組んできた。これまでに、推進剤を陽極近傍のみから供給することで静電・電磁複合イオン加速が達成でき推力性能が向上するという結果が得られている。本研究では陽極近傍でのイオン化をより促進することを目的に、陽極先端に凸部を設けた。推力計測およびブルーム計測を行うことでその効果を調査したので、本講演ではその結果を報告する。
STEP-2022-003	ドライアイス推進剤供給システムの真空環境下における運用実証 ○野坂 俊介(名大・院)杵淵 紀世志(名大)張 科寅(JAXA)渡邊 裕樹(JAXA)
	著者らは電気推進の推進剤として現在多く用いられているキセノンに代わり、価格が圧倒的に安いドライアイスの利用を目指している。CO ₂ は火星大気や人間呼気に含まれている点にも着目している。更にCO ₂ を三重点で貯蔵することで、低圧で貯蔵でき、定流量で推進機に供給できる。実運用では供給に伴い液相の固化が進み三重点が終了する。そこでヒーター加熱による固相の液化を組み合わせ、三重点に戻し定流量供給を繰り返す実証実験を行った。その結果について報告する。
STEP-2022-004	ホールスラスタの推進剤としての昇華性物質の使用検討 ○植永 一汰(九大・院)山本 直嗣(九大)
	ホールスラスタでは推進剤にキセノンを使用することが一般的である。しかし、キセノンは高価であり、貯蔵に高圧のタンクが必要となる。さらなる深宇宙探査を想定し、安価であり、タンクコストを低減できる昇華性物質を推進剤としての使用を検討する。昇華性推進剤としてアダマンタンを採用した供給系において、中和器の作動に十分な流量を確保した。また作動実験においてプラズマの点火を確認した。

【ホールスラスト実験(1)】	
STEP-2022-005	<p>レーストラック形状アノードレイヤスラストのプルーム干渉評価</p> <p>○加藤 茜(岐大・院)宮坂 武志(岐大)石川 大地(岐大・院)中尾 隆貴(岐大・院)各務 太志(岐大・院)滝川 雄太(岐大・学)朝原 誠(岐大)</p> <p>同電力下において、円環状チャンネルより強干渉場が得られるレーストラック形状チャンネルを有するアノードレイヤホールスラストヘッドについて、プルーム干渉機構及び電子特性評価を行った。</p>
STEP-2022-006	<p>1kW級ダブルチャンネルTAL型ホールスラストの性能評価</p> <p>○中嶋 泰世(都立大・院)松尾 風我(都立大・学)各務 聡(都立大)</p> <p>1つのホールスラストで複数の放電チャンネルを有し、小型化と大推力化を期待したマルチチャンネルホールスラストの研究が行われ、SPT型での試作評価が行われている。そこで、SPT型より小型で高性能と長寿命が期待されているTAL型でダブルチャンネルのホールスラストを試作し性能評価を行い、インナーチャンネルの性能は従来のものと同程度の性能を達成したが、アウターチャンネルは従来のものより低い性能であった。本研究では磁束密度などを変化させアウターチャンネルの性能評価を行う。</p>
STEP-2022-007	<p>電気推進機試験環境の影響およびその評価方法</p> <p>○中山 宜典(防衛大)伊藤 翼(防衛大・院)</p> <p>電気推進機の研究開発に必要な地上試験装置(真空槽)内では推進剤の滞留・逆流が起こるため、宇宙空間作動時とは異なる環境になっており、推進性能や耐久性能評価の妥当性に影響を十分与える。本論では著者が開発してきた4種の希薄流計測装置による推進剤流れ計測、およびプローブによるプラズマ計測や電離真空計による真空圧計測等の妥当性(失敗を含む)について報告するとともに、数値真空槽への展望も併せて報告する。</p>
【PPT】	
STEP-2022-008	<p>1J/1W-PPTシステム搭載1Uキューブサット・大阪産業大学OSU-1号機の開発とOSU-2,3,4,5号機の構想</p> <p>○岡 廉一朗(OSU太陽系宇宙開発P)平田 稔(OSU太陽系宇宙開発P)郷 隼人(大阪産大・学)池内 圭輝(大阪産大・学)木村 友則(OSU太陽系宇宙開発P)九里 孝行(OSU太陽系宇宙開発P)田原 弘一(大阪産大)池田 知行(東海大)脇園 堯(ハイサーブ)</p> <p>大阪産業大学(Osaka Sangyo University: OSU)では、電気推進ロケットエンジンを搭載した小型人工衛星・探査機 OSUシリーズの開発を2020年4月より開始した。OSU-1号機(1U(1kg)キューブサット)、OSU-2号機(50cm立方体・50kg)のメインミッションは電気推進機の一つであるパルスプラズマスラストによる、軌道高度変更である。本発表では、OSU-1とOSU-2の開発状況について報告する。さらに、電気推進機を用いた動力飛行小型月探査機OSU-3、デブリ除去ロボット衛星OSU-4、大気吸い込み式電気推進機をもつ超小型衛星OSU-5の開発構想を紹介する。</p>
STEP-2022-009	<p>1U キューブサット 大阪産業大学 OSU-1 搭載用 1ジュールPPTシステムの開発状況</p> <p>○吉村 泰治(大阪産大・学)谷内 里加(大阪産大・学)丹圃 大翔(大阪産大・学)吉野 星海(大阪産大・学)宇根川 琢磨(大阪産大・院)岡 廉一朗(OSU太陽系宇宙開発P)木村 友則(OSU太陽系宇宙開発P)九里 孝行(OSU太陽系宇宙開発P)田原 弘一(大阪産大)池田 知行(東海大)鷹尾 良行(西日本工大)脇園 堯(ハイサーブ)</p> <p>大阪産業大学(Osaka Sangyo University: OSU)では、電気推進機を搭載した超小型人工衛星・探査機 OSUシリーズの開発を2020年4月より開始した。現在、OSU-1(1U(1kg)キューブサット)、OSU-2(0.5m立方体・50kg)などの製作中である。本稿では大阪産業大学・学生プロジェクト「太陽系宇宙開発プロジェクト」との共同開発による、OSU-1搭載用高総力積発生1ジュール電熱加速型PPTシステム開発の状況を報告する。放電室形状の最適化、長時間作動試験などについて述べる。</p>
STEP-2022-010	<p>1J級電磁・電熱加速型同軸パルスプラズマスラストの設計と作動確認</p> <p>○岩本 深青(梨大・学)小栗 侑真(梨大・院)青柳 潤一郎(梨大)</p> <p>円筒形状の固体推進剤と陰極、丸棒状の中心軸陽極を同軸上に配置したパルスプラズマスラスト(PPT)において、投入エネルギーが8Jと2Jの場合、$20 \mu\text{Ns}/\text{J}$で安定して10万回以上動作できることが確認されている。より小型の人工衛星に搭載し、低エネルギーで作動することを想定して、本研究では投入エネルギー1JのPPTを設計、製作した。微小インパルスビットを測定可能なスラストスタンドを作成し、PPTの作動検証を行った結果を報告する。</p>
STEP-2022-011	<p>分割電極による平行平板型PPTの最適化研究</p> <p>○吉川 正隆(岐大・院)山田 皓斗(岐大・院)宮坂 武志(岐大)堀 雅晴(岐大・学)朝原 誠(岐大)</p> <p>岐阜大学では平行平板型PPTの性能改善を目的として分割電極を導入した。本研究では分割電極の分割比を変化させ各電極部に流れる電流の放電特性の取得を行うとともに、マッシュアップおよびプルーム速度を測定した。これらの結果から得られた分割電極の最適形状指針に関する検討結果を報告する。</p>

【PPT】	
STEP-2022-012	<p>ノズルスロット径の変化による沿面アーク推進機の性能評価</p> <p>○真如 友洋(九工大・院)西岡 和毅(九工大・学)豊田 和弘(九工大)</p> <p>九州工業大学では超小型衛星に搭載する推進機として沿面アーク推進機の開発を行っている。PPTとは動作原理や構造が類似するが、5A程度の定電流を数十ms流す点で異なり、アークジェットスラスタに捉えられなくもない。先行研究では試験されたノズルスロット径が0.5mmのみであり、データ数が少ないため、ノズルスロット径0.5mmが最適か判断不可能であった。本研究ではノズルスロット径1.0～5.0mmのサイズを試験し、その性能評価の結果を報告する。</p>
STEP-2022-013	<p>2J級電磁・電熱加速型同軸PPTの陰極チャンネルと推進剤へのテーパ付与による連続作動性能向上</p> <p>○小栗 侑真(梨大・院)岩本 深青(梨大・学)青柳 潤一郎(梨大)</p> <p>円筒形状の固体推進剤と陰極と丸棒状の中心軸陽極を同軸上に配置した2J級電磁・電熱加速型パルスプラズマスラスタ(PPT)は、これまでに平坦な昇華面の推進剤と、直線的な円筒形状の陰極チャンネルにより、平均インパルスビット42.8 μNs、比推力392秒、ショット数99799回を得ていた。本研究では、チャンネルと推進剤へのテーパ付与等の施策によって、平均インパルスビット64.6 μNs、比推力686秒、ショット数112159回を達成した。</p>
STEP-2022-014	<p>超音速プラズマ流れにおけるMachプローブモデルの提案</p> <p>○市原 大輔(名大)</p> <p>電気推進機プラズマにおけるイオン速度(またはイオンMach数)は推力性能評価のみならず放電室内でのイオン加速過程を検討する上でも重要な指標である。本研究では二次元軸対称の静電PIC計算に基づいて超音速プラズマ流れにおけるMachプローブ周りの流れ場を評価し、測定条件に依らず主流Mach数を推定可能な新たなモデル式を提案する。</p>

宇宙輸送シンポジウム 非化学推進部門 アブストラクト

【レジストジェット&DCアーク&ヘリコン】 1/13(金)

STEP-2022-015	直流アークジェットスラスターの作動特性と高性能化ー太陽系惑星・衛星に存在する物質:二酸化炭素,メタン,アンモニア,水素,ヘリウム,空気,氷・水などの推進剤への利用ー ○古谷 楓真(大阪産大・学)笹井 優衣(大阪産大・学)飯干 壮馬(大阪産大・学)澤邊 陽(大阪産大・学)池本 凌(大阪産大・院)田原 弘一(大阪産大)桃沢 愛(東京都市大)中田 大将(室蘭工大)鷹尾 良行(西日本工大)池田 知行(東海大)野川 雄一郎(スプリージュ)脇園 堯(ハイサーブ)外山 雅也(パセット)
	直流アークジェットスラスターは、電気推進機の中で最も推力電力費が大きい推進機であり、すなわち推力が大きいので、化学推進の役割をもカバーしながら電気推進の利点(比推力もそこそこ大きい、作動のオンオフが簡単など)を活かす。さらに、推進剤には主にヒドラジン(N ₂ H ₄)が用いられ、化学推進と推進剤を共用できる利点も大きい。本稿では、太陽系惑星・衛星間航行用、およびその宇宙機姿勢制御用の電気推進機として、推進剤に太陽系惑星・衛星に存在している、二酸化炭素、メタン、アンモニア、水素、ヘリウム、空気、氷・水を使用した直流アークジェットスラスターの作動特性とその高性能化に関する研究について報告する。特に、CO ₂ 、CH ₄ においてもN ₂ H ₄ 、NH ₃ に匹敵する性能が得られたので報告する。
STEP-2022-016	3Dプリンタ造形レジストジェットの高温電気接点設計 ○中田 大将(室工大)杵淵 紀世志(名大)蘇垂拉函(NTTデータ)岡田 健太郎・Alexander Hillstrom(名大・院)酒井 仁史(NTTデータ)月崎 竜童(JAXA)
	3Dプリンタ造形レジストジェットにおける高温電気接点の設計経緯について述べる。3次元造形ならではの表面粗さや広範な温度変化を考慮しつつ、インコネル、タングステン、タンタル等の材質で、フラットコンタクト型、テーパコンタクト型、ネジ型などを試作・試験してきた。現状の技術課題と新たな設計指針について述べる。
STEP-2022-017	無電極推進機内部のエネルギー分布関数と温度構造に関する数値解析 ○江本 一磨(横国大)高橋 和貴(東北大)鷹尾 祥典(横国大)
	RF放電と磁気ノズルを組み合わせた無電極推進機の研究が盛んに行われている。完全無電極の構成であることから、RFで投入されたエネルギーを効率よく推進力へと変換することが求められる。本研究では、無電極推進機をPIC-MCC法で数値的に解析し、推進機内部のエネルギー分布関数と温度構造を得た。推進機内部のエネルギー構造について得られた分布とともに議論する。
STEP-2022-018	磁気ノズルRFプラズマスラスターの性能・物理に関する実験的研究の状況 ○高橋 和貴(東北大)Charles Christine(ANU)Boswell Rod(ANU)
	近年の室内実験において、高周波電力5kW級で推力80mN程度が得られ、推進効率が30%程度まで向上したので、その結果に関して報告する。また、磁気ノズルからのプラズマ離脱、特に最も大きな物理課題としてあげられるが、今回、自発的に励起される静電波動の非線形効果によって、磁力線を横切る電子の内向き輸送が観測されたので、その概要を報告する。
【先端推進(1)】	
STEP-2022-019	大気吸い込み式電気推進:PPT,MPD・ホールスラスターの開発研究 ○九里 孝行(大阪産大・学)木村 友則(大阪産大・学)田原 弘一(大阪産大)青柳 潤一郎(山梨大)池田 知行(東海大)鷹尾 良行(西日本工大)
	大気吸い込み式電気推進は、大気が存在する惑星・衛星、現状としては地球、火星上空の空気、二酸化炭素をジェットエンジンのように直接吸い込み推進剤に利用する宇宙推進システムである。スペースクラフトは推進剤を搭載する必要がなく、簡便に大気抵抗補償や高度変更、軌道遷移が可能である。特に、十分な大気抵抗補償を可能にする電気推進機としては、ホール・イオンスラスター、MPDスラスター、電磁加速型PPTが有望であると考えられる(DCアークジェットは噴射速度が小さすぎる!)。大阪産業大学では、大気吸い込み式電気推進機として、電磁加速型PPT、MPD・ホールスラスターの開発を目指し、基礎的な実験結果と設計指針が得られたので報告する。さらに、大気吸い込み式電気推進機を備えた超小型衛星OSU-5号機の開発構想についても報告する。
STEP-2022-020	大気吸い込み型電気推進の開発に向けた加速・放電部における部分磁化プラズマの解析 ○佐藤 星貴(東北大・院)高橋 聖幸(東北大)
	高度 200 km 前後の超低軌道は、安価なカメラで高解像度な撮影を行えることや希薄な大気を利用した焼却・デブリ除去ができるためメリットが大きい。超低軌道衛星の推進機として、希薄空気を吸引、圧縮し電圧を印加して放電・加速する大気吸い込み型電気推進機があり、中でも静電ラムジェット推進機のプラズマ挙動を Particle-in-Cell 法により再現し、特に外部磁場がプラズマ流に与える影響を調査した。
STEP-2022-021	大気吸込式イオンエンジン用イオン源の形状変更による大気圧縮性能変化の調査 ○宮 優海(総研大・院)山下 裕介(東大・院)月崎 竜童(JAXA)西山 和孝(JAXA)
	高層大気の観測は科学的関心が高い。観測に衛星を用いる場合、大気抵抗を補償するための推進機が必要となる。既存推進機では推進剤の積載量により観測期間は制限され、衛星寿命は高々2年程度にとどまる。この問題を解決する大気吸込式イオンエンジン(ABIE)が提案されている。ABIEは衛星周囲の大気を取込み推進剤とする推進機である。ABIE内の中性粒子のふるまいを数値計算により模擬し、イオン源形状変更による圧縮性能変化を調査した。

【MPD】	
	高温超伝導マグネットによる強磁場印加プラズマ推進
STEP-2022-022	○杵淵 紀世志(名大)市原 大輔(名大)中野 僚太(名大・院)前島 大輝(名大・院)高木 涼平(名大・学)Acheson Chris(VUW・院)Olatunji Jamal(VUW)Goddard-Winchester Max(VUW)Pollock Randy(VUW)
	強磁場印加は電気推進の性能向上の有力な選択肢である。そこで本研究では1T級の強磁場を生成可能な高温超伝導マグネットを用いたプラズマスラスタを開発した。超伝導コイルは極低温冷凍機で冷却され、強磁場下でのスラスタ運転に成功した。発表では、着火特性や性能測定結果について報告する。
	太陽系惑星・衛星に存在する物資を推進剤に用いた定常作動型MPDスラスタの作動特性と高性能化
STEP-2022-023	○森 大輝(大阪産大・学)南里 優太(大阪産大・学)芝池 勇基(大阪産大・学)新田 直之(大阪産大・学)吉田 彩乃(大阪産大・院)田原 弘一(大阪産大)桃沢 愛(東京都市大)中田 大将(室蘭工大)鷹尾 良行(西日本工大)池田 知行(東海大)脇園 堯(ハイサーブ)外山 雅也(パセト)
	大阪産業大学では、実用的な、永久磁石を用いた定常作動型MPDスラスタの開発研究を精力的に行ってきた。最終性能目標は、推力0.5-2N、比推力1,000-3,000 s、推進効率50%以上である。本稿では、太陽系惑星間航行用電気推進機として、推進剤に太陽系惑星・衛星に存在している、二酸化炭素、メタン、アンモニア、水素、ヘリウム、空気、氷・水を使用したMPDスラスタの作動特性とその高性能化に関する研究を報告する。特に、CO ₂ 、CH ₄ においてもNH ₃ 、H ₂ に匹敵する性能が得られる可能性を述べる。本研究を進めることにより、有人火星探査、惑星探査、惑星軌道間航行などにおいて惑星・衛星の現地その場での推進剤補給が可能になり、人類の太陽系宇宙への進出を大いに支援できると期待される。
	軌道間輸送機用JxBアークスラスタの基礎特性
STEP-2022-024	○三重野 哲(静岡大)久永 容嵩(静岡大・院)
	宇宙太陽光発電衛星の建設、月への資材運搬には、いかに安く重量物を静止軌道や月基地へ運ぶかが課題である。ここでは、軌道滞在型・軌道間輸送機において、太陽エネルギーと安価な推進剤を用いたJxBアークスラスタの基礎研究を行っている。これまで、平行平板型炭素電極+印加磁場を用い、10 kW入力で、0.2~0.42 Nの定常推力を得ることができた。また、Ar、CO ₂ 、N ₂ 、Camphorなどの推進剤で推力を得る事ができた。現在、高効率化を検討している。
	水を推進剤とする自己誘起磁場型MPDスラスタの電極形状に関する研究
STEP-2022-025	○小松 大介(都立大・院)各務 聡(都立大)
	従来のMPDスラスタの推進剤として使用される、水素やアンモニアは貯蔵に高圧タンクを必要とすることや、毒性が強いことが問題であった。そこで、貯蔵が簡単で無毒であり、地球上に大量に存在することから、入手性にも優れた水を推進剤とするMPDスラスタを提案する。試作機は、従来のMPDスラスタと比較して推力電力比が低いことが課題であり、この研究では、性能向上のためにスラスタの再設計を行なった。また、再設計したスラスタを用いて推力測定を行いその結果を報告する。
【PPT & マイクロスラスタ】	
	8J級同軸パルスプラズマスラスタの電極配置における性能比較
STEP-2022-026	○山田 昌主(梨大・院)深澤 優斗(梨大・院)元木 壮瑠(梨大・学)青柳 潤一郎(梨大)
	本研究室では、陽極を中心軸とした円筒状の同軸パルスプラズマスラスタ(PPT)の開発及び性能評価を行ってきた。本研究では極性を交換した際の推進性能を評価して開発時の指針とするために、中心部に陰極とイグナイタを配置した8J級PPTの作動実験を行った。中心軸に直径4mmの陰極を用いたPPTのインパルスビットは最大約100 μNs得たが、ショット終了時の12万ショット後には約50 μNsと減少した。発表ではさらに、中心軸に陽極を用いたPPTとの性能比較も報告する。
	シート状テフロン推進剤供給機構を適用した電熱加速型パルスプラズマスラスタの試作評価
STEP-2022-027	○溝井 翔太(都立大・院)各務 聡(都立大)
	電熱加速型パルスプラズマスラスタにおいて、作動に伴い低下するインパルスビットを維持するため、放電室の内径を維持するようにテフロン推進剤供給機構を試作した。側面に溝状の孔が開いた放電室をセラミックで製作し、作動に伴うアーク放電後もその内径の維持を可能にしている。そして、放電室に開いた孔を通して推進剤表面がプラズマに曝されるようにシート状の推進剤を供給する。本発表では、この推進剤供給機構を適用したスラスタの性能評価の結果を示す。

【PPT & マイクロスラスタ】

STEP-2022-028	溝付きエミッタ構造を持つエレクトロスプレースラスタのイオンビーム特性評価 ○松川 晃己(横国大・院)鷹尾 祥典(横国大)
	著者らは、精密推力制御に向けたエレクトロスプレースラスタの開発を行っている。精密な推力制御を行うためには、一様な形状を持つエミッタアレイからの安定したイオン電流の引き出しが求められる。そこで本研究では、エミッタ先端へのイオン液体の輸送改善を狙い、溝の付いた構造のエミッタの作製、そのエミッタ形状の最適化を行っている。本講演ではその作製結果とイオンビーム特性について報告する。
STEP-2022-029	高電圧作動可能な高実装密度エレクトロスプレースラスタ ○新宮 拓実(横国大・院/産総研)長尾 昌善(産総研)村上 勝久(産総研)村田 博雅(産総研)鷹尾 祥典(横国大)
	著者らは以前に、超小型宇宙機用の高推力な推進機として、高実装密度エレクトロスプレースラスタを作製した。しかし、電極間距離が小さくなるため、十分な推力を得るには別途の加速電極が必須であった。本研究では実装密度を緩和して数100Vを印加可能な電極間距離にすることで、加速電極を要さずに高推力密度化を目指す。そのため、電極間材料に厚膜レジストのSU-8を用いたエミッタアレイを作製し、電流特性を評価した。
STEP-2022-030	多孔質エレクトロスプレースラスタにおけるイオン引き出しのモデリング ○高木 公貴(東大・院)月崎 竜童(JAXA)山下 裕介(東大・院)西山 和孝(JAXA)鷹尾 祥典(横国大)
	小型宇宙機のミッションが増加し低電力で高効率な小型推進機の需要が高まっている。イオン液体を推進剤とするエレクトロスプレースラスタはプラズマ生成を行わないために高い推進効率が期待される。本研究では、多孔質材料をエミッタとする試作機を製作しイオン引き出しを行った。そして、多孔質エミッタからのイオン引き出しモデルを提案し、実験で得たIV特性と直接比較することで、モデルの妥当性を検証した。
【ホールスラスタ実験(2)】	
STEP-2022-031	XeおよびCO2を用いた100 W級ホールスラスタの性能評価 ○軍司 康太(静大・院)徳田 洲(静大・学)土川 勢矢(静大・学)松井 信(静大)渡邊 裕樹(JAXA)張 科寅(JAXA)大川 恭志(JAXA)
	近年、イオンスラスタと比較して高推力密度を持つホールスラスタが注目されている。また、宇宙開発の発展に向け宇宙機の低価格化と軽量化が要求される。そこで推進剤に一般的に用いられるXeよりも安価でシステムの軽量化が見込まれるCO2に注目した。本研究では100 W級ホールスラスタの実験環境を構築し、Xe作動とCO2作動を行った。また、スラストスタンドを製作し、測定結果からXe作動とCO2作動の比較を行った。
STEP-2022-032	SPT型ホールスラスタの高電圧作動限界調査 ○天野 耕希(静大・院)船木 一幸(JAXA)渡邊 裕樹(JAXA)山極 芳樹(静大)大塩 裕哉(龍谷大)松本 祐斗(東海大・院)
	本研究の目的は、比推力4000秒を超えるホールスラスタの実現であるが、そのためには高電圧での作動が要求される。ここではその第一段階として、従来型SPTホールスラスタの高電圧作動特性を取得した。チャンネル幅が10mm, 16mmそれぞれのスラスタで作動特性を評価する。チャンネル幅が大きい方が、壁面損失による作動不安定性が低減され、作動範囲が広がることが期待される。一方で、電子温度が上がりやすいため、多価イオンが多く生成され、放電電流値を抑制しにくくなることが予想される。
STEP-2022-033	100W級小型ホールスラスタの磁場形状の変更によるチャンネル損耗への影響 ○高木 公貴(東大・院)渡邊 裕樹(JAXA)月崎 竜童(JAXA)西山 和孝(JAXA)
	小型宇宙機のミッションが増加する中、小型推進機の需要が高まっており、小型ホールスラスタでは低損耗化による総力積の増加が求められている。本研究では、100W級チャンネル径20mmのホールスラスタにおいて3種類の磁場形状を用いて作動を行い、チャンネル内壁の損耗状態を調べた。結果、今回の約1mmスケールの磁場形状の変更ではチャンネル内の損耗変化は得られなかった。また、推力を電子天秤によって直接計測することで推進性能の評価を行った。
STEP-2022-034	水を推進剤とする小型ホールスラスタへの外部壁付加による推進性能の評価 ○松浦 将行(東大・院)白須 健人(東大・院)桑原 宙暉(東大・院)小泉 宏之(東大)中川 悠一(Pale Blue)渡邊 裕樹(Pale Blue)関根 北斗(東大)小紫 公也(東大)
	水を推進剤とするホールスラスタにおいて、推進剤利用効率の低さが指摘されている。推進剤利用効率を向上させるためには中性粒子密度を高めることが有効であり、金属壁をチャンネル外部に設けること等で性能向上を試みる。数値計算の手法を用いて、壁の有無による中性粒子密度の変化を定量的に推算し、ファラデープローブ測定により、壁の有無による推進剤利用効率の変化と比較することで評価する。また、そのほかの効率への影響も合わせて評価を行う。

【イオンエンジン実験(1)】	
STEP-2022-035	<p>レーザー誘起蛍光法によるマイクロ波放電式イオンエンジンのプルーム中逆流イオン測定</p> <p>○白澤 遼大(東大・院)Marco Riccard Inchingolo(UC3M)森下 貴都(JAXA)月崎 竜童(JAXA)西山 和孝(JAXA)</p> <p>はやぶさや、その後継機はやぶさ2に搭載されたイオンエンジン$\mu 10$では、中和器には負のバイアス電圧が印加されている。このバイアス電源は定電流制御で、中和を確実にするためにビーム電流より少し大きな電流が流れるように設定されている。しかし、軌道上では6000時間後にバイアス電圧が上昇したが、地上耐久試験では見られなかった。この原因は、導電性表面の損失と推測される。余剰電子電流はこの導電面で収集されるが、イオンのスパッタリングにより表面が摩耗すると、導電面積が減少するため、この表面で電子を収集することが困難となる。スパッタリングの主な原因と考えられるのがCEXイオンで、グリッドで加速された高エネルギーイオンが、中性粒子と衝突することで発生する。この仮説を実証するために、レーザー誘起蛍光法をマイクロ波放電イオンエンジンに適用した。これにより、Xeイオンのドップラーシフトを測定することにより、イオン速度分布関数(IVDF)を得ることができる。この研究で得られたデータは、導電性表面の損失に対するCEXイオンの寄与を議論するのに有用である。</p>
STEP-2022-036	<p>室内実験における10cm級マイクロ波放電イオンスラストのプルーム電位分布計測</p> <p>○中田 圭祐(中京大・学)濃野 歩(東大・院)永井 瑞樹(中京大・学)水谷 悠貴(中京大・学)釜田 昇(中京大・学)猪田 歩夢(中京大・学)大堀 武蔵(中京大・学)中嶋 康宏(中京大・学)岩頭 拓海(中京大・学)小磯 卓也(東大・院)辻 宗一郎(東大・院)魚住 正吾(東大・院)加藤 守(中京大・院)上野 一磨(中京大)中山 宜典(防衛大)西山 和孝(JAXA)村中 崇信(中京大)</p> <p>「はやぶさ2」の運用において、イオンスラスト近傍の宇宙機表面材料の損耗が確認されている。原因は逆流する電荷交換イオンの衝突によるスパッタリングだと予想されている。損耗の予測に必要なイオンエネルギー分布関数(IEDF)はスラストプルーム-宇宙機表面間の静電気力によって決まるため、スラストプルームの電位分布が重要となる。本研究では地上実験にてエミッシブプローブを用い、スラストプルームの電位分布を直接計測した結果について報告する。</p>
STEP-2022-037	<p>マイクロ波放電式イオンエンジンの経年劣化に関する実験的研究</p> <p>○魚住 承吾(東大・院)西山 和孝(JAXA)月崎 竜童(JAXA)田畑 邦佳(JAXA)宮 優海(総研大・院)小磯 拓哉(東大・院)</p> <p>$\mu 10$イオンエンジンは宇宙運用中、9000時間の運転で性能劣化が発生した。従来の研究により、この劣化の原因は炭素製のアクセルグリッドのイオンスパッタリングによる炭素汚染であり、その再現方法も確立された。本研究では、この方法を「DESTINY+」に搭載予定の推力増強型$\mu 10$に適用し、劣化の再現と劣化を緩和する有効な手段を明らかにする。具体的には、導波管の長さ、形状、マイクロ波周波数をパラメータとして変化させながら、最適な条件を見出すことを目指す。</p>
STEP-2022-038	<p>深宇宙探査技術実証機DESTINY+イオンスラストの開発状況</p> <p>○田畑 邦佳(JAXA)月崎 竜童(JAXA)今井 駿(JAXA)森下 貴都(JAXA)西山 和孝(JAXA)</p> <p>小惑星Phaethonのフライバイ探査を目標の一つに定め、JAXAでは深宇宙探査技術実証機DESTINY+の開発を進めている。DESTINY+に搭載される4台のイオンエンジンは、単体推力がはやぶさ2の10 mNから12 mNに増強された。本発表では、改良型イオンエンジンの開発状況について報告する。</p>
【ホールスラスト&カソード】	
STEP-2022-039	<p>太陽系宇宙航行用ホールスラストの作動特性と高性能化ー惑星・衛星に存在する物資:二酸化炭素, メタン, アンモニア, 水素, ヘリウム, 空気, 氷・水などの推進剤への利用ー</p> <p>○高桑 嘉浩(大阪産大・学)中島 卓哉(大阪産大・学)松井 海稀(大阪産大・学)小川 孝幸(大阪産大・学)木村 友則(大阪産大・学)伊月 貴大(大阪産大・院)田原 弘一(大阪産大)池田 知行(東海大)鷹尾 良行(西日本工大)</p> <p>ホールスラストは、高推力、高比推力を達成することができる電気推進機である。それゆえ、将来の有人火星探査や深宇宙探査などの高度ミッションに使用されることが大いに期待される。大阪産業大学では、特に、マグネティックレイヤ型とアノードレイヤ型のスラスト性能を向上させ、より大電力・高比推力スラストの実用化を目指した研究開発を行ってきた。さらに、太陽系惑星間航行用電気推進機として、推進剤に太陽系惑星・衛星に存在している、二酸化炭素、メタン、アンモニア、水素、ヘリウム、空気、氷・水を使用したホールスラストの作動特性とその高性能化に関する研究も進行中である。本稿では、二酸化炭素、メタン、アンモニアでの安定作動が得られたので、さらにその高性能化のための設計開発とそれらの性能測定結果を述べる。</p>
STEP-2022-040	<p>水を推進剤とする200 W級ホールスラストの放電特性および推進性能</p> <p>○白須 健人(東大・院)桑原 宙暉(東大・院)松浦 将行(東大・院)小泉 宏之(東大)中川 悠一(Pale Blue)渡邊 裕樹(Pale Blue)関根 北斗(東大)小紫 公也(東大)</p> <p>小型推進機に適した推進剤として、常温常圧で液体かつ無毒であり、さらに安価に入手可能な水が注目されている。本研究では、将来的な小型宇宙機の大電力化を見据え、水蒸気プラズマを用いた200 W級のホールスラストを提案・開発し、その地上実証を行った。本講演では、開発した水ホールスラストの代表的な放電特性や推進性能を紹介するとともに、従来推進剤であるキセノンを用いた結果との比較について論じる。</p>

【ホールスラスタ&カソード】	
STEP-2022-041	<p>超小型低電力ホールスラスタの性能向上に関する研究</p> <p>○設楽 暁(東海大・院)松本 祐斗(東海大・院)矢吹 理央(東海大・院)池田 知行(東海大・院)堀澤 秀之(東海大・院)</p>
	<p>近年、超小型人工衛星の需要が高まり打ち上げ数が爆発的に上昇しているが、推進機搭載をしているものの増加傾向はまだ少なく、搭載推進機に技術的課題があることが推測される。本研究では、小型の低電力ホールスラスタの試作を行い、推力試験や排気プラズマの測定などを行った。本講演では、スラスタの推進性能や排気プラズマの特性について紹介を行う。</p>
STEP-2022-042	<p>ホローカソード内部のプラズマ数値解析</p> <p>○富永 大樹(筑波大・院)有和 佑一郎・野中 正潤・大倉 拓海・小泉 勇貴・佐藤 銀河(筑波大・院)貝瀬 智洋・横田 茂(筑波大)</p>
	<p>大電流ホローカソードの内部のプラズマ構造は、定常無電場を仮定すると理論解析解が存在するが、作動条件次第ではその構造にならず、非定常作動を引き起こすことが実験的に分かっている。そこで本研究では、100A級の大電流ヒーターレスホローカソード内部のプラズマを数値的に解析し、プラズマ中の各物理量がどのように分布しているのかを調査した。</p>
STEP-2022-044	<p>近赤外線2色放射温度計によるLab6ホローカソードのオリフィス表面温度測定</p> <p>○平井 溪登(東海大・院)大塩 裕哉(龍谷大)渡邊 裕樹(JAXA)堀澤 秀之(東海大)船木 一幸(JAXA)</p>
	<p>ホローカソード(H/C: Hollow Cathode)は、ホールスラスタの作動維持と中和に必要であり、より電子生成効率の良いH/Cが利用されている。オリフィスは高エネルギーイオンの衝突により侵食と加熱される。オリフィスの侵食はカソードの寿命と関係あり、動作の状況の把握が必要である。また、オリフィス温度はインサート温度やプラズマ状態とも関わりがあり、動作パラメータに対して温度特性はカソード動作特性や寿命の評価に重要である。本研究では、損耗原因を明らかにするためにオリフィス表面を外部から非接触で温度測定をし、温度特性を評価した。</p>
【イオンエンジン実験(2)&数値計算】	
STEP-2022-045	<p>μ 10HIsp作動に向けた3Dプリンター製ガス絶縁器の耐電圧性能</p> <p>○田畑 邦佳(JAXA)月崎 竜童(JAXA)西山 和孝(JAXA)</p>
	<p>木星以遠の深宇宙探査を目標に、より大きなΔVを実現可能とする高比推力型マイクロ波放電式イオンエンジンμ 10HIspが研究されている。その比推力は従来μ 10イオンエンジンの2.5倍の7500秒がターゲットである。比推力向上にはビーム引き出し電圧を既存の5倍である7.5 kVとする必要があり、推進剤キセノンを放電させずに推進機に供給するガス絶縁器の開発が喫緊の課題である。本研究では、電子の加速を妨害する複雑な構造を有するガス絶縁器を3Dプリンターで試作し、その耐電圧を評価したので報告する。</p>
STEP-2022-046	<p>軌道上の宇宙機電位を模擬した10cm級イオンスラスタ運転における逆流イオンのエネルギー分布測定</p> <p>○村中 崇信(中京大)濃野 歩(東京大・院)加藤 守(中京大・院)上野 一磨(中京大)中山 宜典(防衛大)西山 和孝(JAXA)</p>
	<p>「はやぶさ2」の運用において、その主推進器である10cm級イオンスラスタの運転に伴うスラスタ近傍表面のつよい損耗現象が実測されている。この損耗原理の解明のため、本研究グループでは、地上実験による同型スラスタ運転時の逆流イオンエネルギー分布(IEDF)計測をおこなってきた。この結果、逆流イオンエネルギーは軌道上では地上実験と比較して有意に大であると予想されている。この要因検証のため、本研究では、軌道上の宇宙機帯電を模擬した実験系の構築と、このとき実施したIEDF計測結果を報告する</p>
STEP-2022-047	<p>小型直流放電式イオンスラスタの放電特性に対する磁場形状の影響</p> <p>○田中 芳実(横国大・院)鷹尾 祥典(横国大)</p>
	<p>著者らは、超小型宇宙機への搭載を目指して、電子源を放電室の下流側に配置し、アノードを上流側に配置した小型直流放電式イオンスラスタの開発を行っている。先行研究では、プラズマ放電維持のために必要な放電室への投入電力が大きいために課題であった。そこで本研究では、低電力でのプラズマ生成を目指して、磁場形状を変更した放電室を作製し、作動実験を行った。本講演では、この実験結果について報告する。</p>

【イオンエンジン実験(2)&数値計算】	
STEP-2022-048	<p>マイクロ波放電式イオンエンジンにおけるバックフローイオンに関する数値計算</p> <p>○濃野 歩(東大・院)山下 裕介(東大・院)月崎 竜童(JAXA)西山 和孝(JAXA)</p> <p>小惑星探査機「はやぶさ2」の運用履歴から、逆流イオンがスラスト周辺導電面をスパッタリングしていることが判明した。地上実験により、導電面の減少は中和器の動作に影響を及ぼすことが明らかになっているため、本研究では、数値シミュレーションを用いてイオンの逆流の物理過程を調査した。計算モデルでは、電子を準中性近似ドリフト拡散の流体モデルとして扱い、イオンを粒子として扱うHybrid-PICとした。また、導電面の電流密度が有限である境界条件を考慮することで、導電面条件の変化による周辺電位への影響を議論した。</p>
STEP-2022-049	<p>10cm級マイクロ波放電式イオンスラストの運転に伴う逆流イオンのイオンエネルギー分布関数の実験的評価</p> <p>○加藤 守(中京大・院)村中 崇信(中京大)濃野 歩(東京大・院)大堀 武蔵(中京大・学)中田 圭祐(中京大・学)永井 瑞樹(中京大・学)釜田 昇(中京大・学)猪田 歩夢(中京大・学)水谷 悠貴(中京大・学)中嶋 泰宏(中京大・学)岩頭 拓海(中京大・学)小磯 拓哉(東京大・院)辻 壮一郎(東京大・院)魚住 承吾(東京大・院)上野 一磨(中京大)中山 宜典(防衛大)西山 和孝(JAXA)</p> <p>「はやぶさ2」の運用において、イオンスラスト近傍でスラスト作動に伴う探査機表面材料のスパッタリング損耗が測定されている。この損耗現象解明のために、地上実験で実機と同型スラストを作動し、スラスト近傍に逆流するイオン諸量を取得、これを用いて損耗量評価を行ってきた。しかし評価値は軌道上の実測値よりも極小となった。この原因を探るべく、計測器の精度と計測条件の改善を試みた地上実験を行った。本発表ではこの地上実験で取得された逆流イオンエネルギー分布関数について報告する。</p>
【先端推進(2)】	
STEP-2022-050	<p>マイクロ波ロケットの地上集光型ミラー設計に向けたビーム焦点近傍における推力計測</p> <p>○鈴木 智也(筑波大・院)嶋村 耕平(都立大)横田 茂(筑波大)南 龍太郎(筑波大)假家 強(筑波大)</p> <p>マイクロ波ロケットは大出力のマイクロ波ビームをパラボラアンテナを用いた地上の集光型ミラー系で集光させ、プラズマを発生させて推進するロケットである。本ロケットでは地上のミラー系でビームを制御し、電波強度の高い集光点が常に機体の位置に来るようなミラー設計が必要である。本研究では28GHzジャイロトロンを用いてビームの集光点近傍の推力を測定することで、ビーム制御範囲を同定し、ミラー設計の指標を示した。</p>
STEP-2022-051	<p>マイクロ波ロケット推進におけるミリ波反射の数値解析</p> <p>○鈴木 颯一郎(東北大・院)高橋 聖幸(東北大・院)</p> <p>化学ロケットに代わる宇宙空間への低コスト輸送手段として、ミリ波放電プラズマを介し推進剤を加熱し推力を得るマイクロ波ロケットが提案されている。マイクロ波ロケットに向けて照射されるミリ波のエネルギーは、高密度プラズマによって吸収され一部は反射されるが、その割合は推力を見積もった先行研究では0と仮定されてきた。本研究では電磁波-プラズマ-中性流体-詳細化学反応-輻射輸送を結合した数値モデルを用いて、ミリ波のエネルギーの反射率を調査する。</p>
【マイクロ波カソード(2)】	
STEP-2022-053	<p>マイクロ波放電式中和器のノズル汚染による電子放出特性への影響</p> <p>○森下 貴都(JAXA)西山 和孝(JAXA)</p> <p>マイクロ波放電中和器の劣化メカニズムは未だ完全に理解されていない。本研究では電子放出特性の悪化要因の1つとしてノズル汚染に着目した。イオン源周辺のPTFEからスパッタによりCやFが放出し、中和器ノズルに堆積することでPTFEコーティングを形成し、電子放出特性を悪化させることが予想される。この仮説を検証するために汚染材料や汚染箇所を変更して電子放出特性を比較した結果を報告する。</p>
STEP-2022-054	<p>非協同レーザトムソン散乱法によるマイクロ波放電式カソードのプルーム計測</p> <p>○小磯 拓哉(東大・院)山下 裕介(東大・院)月崎 竜童(JAXA)西山 和孝(JAXA)</p> <p>本発表では非協同レーザトムソン散乱法を用いてマイクロ波カソードのプルーム部の電子を計測した結果を報告する。非協同レーザトムソン散乱法による電子計測を確立させるために、レーザ迷光対策・トリプル分光器の使用・光子計数法の適応を実施した。また、計測の妥当性を確認するためにホローカソードのプルーム部の電子計測を実施した。その結果、$\sim 10^{18} \text{m}^{-3}$の数密度で$\sim 3 \text{eV}$の電子の計測に成功し、確立した手法を用いてマイクロ波カソードのプルーム部電子の推進剤流量依存性を確認した。</p>
STEP-2022-055	<p>外部ガス供給によるマイクロ波放電式中和器の性能向上に関する研究</p> <p>○辻 壮一郎(東大・院)森下 貴都(JAXA)濃野 歩(東大・院)月崎 竜童(JAXA)西山 和孝(JAXA)</p> <p>本発表では、マイクロ波放電式中和器のプルーム近傍へのガス供給による中和性能への影響を発表する。今後の宇宙ミッションへの応用のため、マイクロ波放電式中和器の性能向上は必要不可欠な課題の1つである。中和性能向上の手法として、従来の放電室内部へのガス供給に加え、プルーム近傍へ中性ガスの供給を行った。内部ガス流量を減らしてプルームへガスを分配することで電子電流が増加し、中和性能の向上が確認された。</p>