

## III. 3. 6 宇宙科学・探査

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>III. 3. 6</p> <p>宇宙科学に係る宇宙や生命の起源を探るなど新たな知の創造につなげるべく、人類共通の知的資産の創出及び革新的・萌芽的な技術の獲得を通じた新たな宇宙開発利用の可能性の開拓を目指し、国内外の研究機関等との連携を強化して宇宙科学研究を推進する。具体的には、「宇宙の始まりと銀河から惑星に至る構造形成の解明」、「太陽系と生命の起源の解明」、「宇宙機及び宇宙輸送システムに関する宇宙工学技術の革新」を目標として位置付け、世界的に優れた研究成果を創出し、地上技術への派生も進める。</p>	<p>I. 1. 6.</p> <p>「宇宙の始まりと銀河から惑星に至る構造形成の解明」、「太陽系と生命の起源の解明」、「宇宙機及び宇宙輸送システムに関する宇宙工学技術の革新」を目標として位置付け、世界的に優れた研究成果の創出及び地上技術への派生に取り組む。</p>	<p>－</p> <p>「宇宙の始まりと銀河から惑星に至る構造形成の解明」、「太陽系と生命の起源の解明」、「宇宙機及び宇宙輸送システムに関する宇宙工学技術の革新」を目標として、宇宙科学研究を推進した。プロジェクト等について主に以下のとおり事業を進めた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小惑星探査機「はやぶさ2」が回収した試料（サンプル）のキュレーション及び初期分析（破壊的分析）を実施するとともに、拡張ミッションを実施した。</li> <li>・国際水星探査計画（BepiColombo）の探査機について、欧州宇宙機関と協力し、2025年度の水星到着を目指して着実に運用した。</li> <li>・X線分光撮像衛星（XRISM）及び小型月着陸実証機（SLIM）は2023年度打上げを目指し開発を完了した。</li> <li>・火星衛星探査計画（MMX）及び深宇宙探査技術実証機（DESTINY<sup>+</sup>）は2024年度打上げを目指し開発を進めた。高感度太陽紫外線分光観測衛星（SOLAR-C）は2028年度打上げを目指し開発を進めた。</li> <li>・宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星（LiteBIRD）及び赤外線位置天文観測衛星（JASMINE）は、引き続き技術のフロントローディングを活用したキー技術の先行検討を着実に実施するとともに、開発移行へ向けた準備を進めた。</li> </ul>	<p>2022年1月にAIP Publishing（American Institute of Physics：米国物理学協会）が発刊するJournal of Applied Physics誌にて発表したイオンエンジン中和器内部のプラズマ生成部の観測に初めて成功した論文について、Journal of Applied Physics 誌において2022年に2番目に多く読まれた論文として、本研究成果が世界に広く発信されたことを示す「2nd Most-Read Article of 2022」に選出された。さらに、特に注目すべき研究成果として、Featured Articleにも選出された。また、本論文はAIPが発行する全論文誌を対象として、最も顕著な研究結果を特集するScilight（Science highlight）にも選出された。（Morishita et al., 2022, Journal of Applied Physics, doi:10.1063/5.0071294）</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>III. 3. 6</p> <p>(1) 学術研究の推進</p> <p>宇宙科学研究の推進に当たっては、大学の研究者等との有機的かつ多様な形での共同活動を行う大学共同利用システムの下でのミッション提案に加え、長期的な視点での取組が必要な宇宙探査等について、ミッション創出と技術開発を両輪とした効果的な推進（プログラム化）や、国際協力及び国際宇宙探査との連携の観点にも考慮しつつ、JAXAが宇宙科学の長期的・戦略的なシナリオを策定し、実施する。また、シナリオの実施に必要な技術目標（宇宙科学技術ロードマップ）を定め、長期的な視点での技術開発を進めるとともに、将来の多様なプロジェクトにおけるキー技術としての適用を見据え、我が国が世界に先駆けて獲得すべき共通技術及び革新的技術の研究開発等（技術のフロントローディング）を実施する。</p>	<p>I. 1. 6.</p> <p>(1) 学術研究の推進</p> <p>宇宙科学研究の推進に当たっては、大学の研究者等との有機的かつ多様な形での共同活動を行う大学共同利用システムの下でのミッション提案に加え、長期的な視点での取組が必要な宇宙探査等について、ミッション創出と技術開発を両輪とした効果的な推進（プログラム化）や、国際協力及び国際宇宙探査への貢献の観点にも考慮し JAXA が策定した宇宙科学の次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ（以下、「シナリオ」という。）及びシナリオに基づき策定した技術目標（宇宙科学技術ロードマップ）を踏まえて実施する。</p>	<p>—</p> <p>宇宙理学委員会・工学委員会等のコミュニティでの議論をベースとして、研究者からのボトムアップによる発想を踏まえつつ、宇宙科学分野のプログラム化を引き続き推進した。プログラムの観点から、より高価値なミッションの創出を目指し、戦略的かつ共通的なキー技術を重点的に開発する「技術のフロントローディング」（FL）を実施した。技術のFLについて、2022年度は主に以下の成果が得られた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・直近のミッションの立ち上げを推進する活動として、LiteBIRD、及び、将来の大規模観測ミッションへ適用すべく、機械式冷凍機の高性能化（長寿命化、低擾乱化）に取り組み、その試作品を完成させ、評価を開始した。そして、その成果を踏まえつつ、2Kジュールトムソン冷凍機システムの検討に着手した。また、JASMINEを含み、将来の天文ミッションのみならず、地球観測衛星への適用も見込まれる赤外線センサ（InGaAsセンサ）の高性能化、国産化に取り組んでおり、小型の試作品（128 x 128素子）の評価試験を終えて、良好な結果が得られた。その成果を踏まえ、実サイズ検出器（2k x 2k素子）の開発に着手した。</li> <li>・次期ミッションを創出する活動としては、次世代のサンプルリターン計画や超小型級での太陽系探査を実現するためのキー技術の研究開発に取り組んだ。具体的な成果の例として、9平方mの超軽量の展開型薄膜太陽電池のエンジニアリングモデル（EM）開発を完了し、世界最高レベルの電力/質量比を達成した。</li> </ul> <p>また、超小型級での火星着陸探査を実現する先進的な大気突入・減速・着陸（EDL）技術として、展開型柔軟エアロシエルの開発が進んでおり、直径2.5mのエアロシエルの試作に成功するなど、観測ロケット実験での飛行実証試験にむけた準備が進められている。</p> <p>JAXA宇宙科学研究所内で、宇宙科学・探査プログラムの議論を中心に、幹部と現場、他分野間での交流を促進することを目的に、タウンホールミーティングと称した所全体の会合を2022年度は3回実施し、所として共通の目標や認識を共有して、研究開発活動に活かした。</p>	<p>技術FL活動で取り組んだ成果は、超小型探査機計画(長周期彗星探査計画(Comet Interceptor)や超小型外惑星探査計画(OPENS)に限らず、月極域探査ミッション（LUPEX）、MMXに続く次世代サンプルリターン探査計画、火星着陸探査プログラム等の提案検討で活用されている。さらに、技術FLを軸にミッション創出と技術開発のプログラム化を進めた結果、現場の研究者や技術者のレベルで戦略的に研究開発計画を立案することが促進され、計画の質の向上に繋がった。また、ミッションを行う上での各技術分野（理学及び工学間）のコミュニケーションを更に深化させることに繋がりが、より高価値なミッション創出への下地作りにつながった。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>さらに、研究の更なる活性化の観点から、ミッションの立ち上げから終了までを見据えたミッション実現性の事前検討機能の充実及び大学共同利用連携拠点の更なる拡大・充実を行う。</p>	<p>また、プロジェクト候補のキー技術、及びその先の多様なミッションの創出を念頭においた共通技術領域の技術（技術のフロントローディング）として、テーマを選定し、研究開発を実施する。さらに、研究の更なる活性化の観点から、ボトムアップによるミッション提案、特に新規分野からの提案を促進するために、ミッションの立ち上げから終了までを見据えたミッション実現性の事前検討機能の充実及び大学共同利用連携拠点については、拠点活動を通じた事業化の促進も含め、更なる拡大・充実のための取組を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大学連携拠点事業として活動中の2拠点について次に示す成果を得た。（千葉工業大学：惑星探査基盤技術開発・人材育成拠点、東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構（IPMU）：硬X線・ガンマ線イメージング連携拠点）</li> <li>・東大IPMUとの拠点事業は2022年度が最終年度であった。本研究は宇宙観測から生まれたイメージング技術を核医学、特にがん研究への応用を図ることを目的に出発した。期間全体を通して実施計画に基づき着実に研究開発が行われ、拠点事業終了後も外部資金獲得、東大発ベンチャー企業（iMAGINE-X社）との連携等により、研究活動を継続することとなった。成果としては、延長期間も含む6か年度にわたる期間において、放射線医療（がん治療）の精度を高める可能性を実際に示し、iMAGINE-X社で小型撮像検出器を販売するまでに至った。</li> <li>・千葉工大との拠点事業は、Destiny+に搭載される観測機器の開発等について実施計画に基づき研究活動を着実に進めた。2023年度10月末の拠点事業終了を見据え、事業期間終了後の体制についても並行して検討を進めている。</li> </ul>	<p>左記のiMAGINE-X社においては、大気球実験用のコンパクトカメラの開発や太陽観測ロケットミッションFOXSI-4（2020年度宇宙研小規模計画に採択）における硬X線観測用の焦点面検出器の実装設計など宇宙科学、宇宙開発への貢献という観点においても、実績を挙げた。また、ASTRO-Hの観測機器HXIをベースに、本拠点で開発を行った小型撮像検出器がiMAGINE-X社で実際に製品化され、ビジネスとしての発展に貢献した。</p>
<p>以上の基本方針に基づき、宇宙基本計画にて定める「戦略的に実施する中型計画」、「公募型小型計画」、「戦略的海外共同計画」、「小規模計画」の各機会を活用して、衛星・探査機、小型飛翔体実験（観測ロケット、大気球）の開発・打上げ・運用を一貫して行う。</p>	<p>以上を踏まえ、具体的には、「戦略的に実施する中型計画」は、「技術のフロントローディング」の活用を含め、集中的・効率的にリソースを投下してミッションの立案・開発を行うとの実施方針に基づき、宇宙科学コミュニティと宇宙科学研究所の開かれた関係と協力のもとで戦略的に概念検討を進める。</p> <p>「公募型小型計画」は、宇宙科学コミュニティの多様な分野からのミッション提案を募る上での開かれた機会は維持しつつ、戦略的な技術獲得やイプシロンの成長戦略とも総合する「公募の多様化」によるミッション選定との実施方針に基づき、次の公募型小型計画の選定に向けて公募を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・戦略的中型計画、公募型小型計画については、世界の潮流を踏まえた上で日本の宇宙科学プログラムの構想をまとめつつ、その中で戦略的に次期ミッションを位置づけ、創出できるような検討チーム（戦略的中型創出グループ（GDI））を学術コミュニティと宇宙科学研究所で協力して新たに構築した。当該グループを中心に、2030年代前半の打上げを目指す新たな戦略的中型計画を検討し、候補をまとめた。また、米欧のミッションの複雑化・大規模化等を踏まえて、米欧の大規模ミッションへの参画が可能となる枠組み等、既存の枠組みの柔軟化を目的として、宇宙政策委員会宇宙科学・探査小委員会において、戦略的中型、公募型小型計画等のフレームワークの見直しの議論に対応し、新たな宇宙科学・探査の推進方策の検討を進めた。</li> <li>公募型小型計画については、次の公募型小型計画の選定に向けて、2022年5月に、2022年度公募型小型計画・宇宙科学ミッションコンセプト提案募集（公募）を行った。また、コストキャップを従来よりも低く抑えたECOミッションの公募について、情報提供要請（RFI）を2022年8月に実施し、公募の多様化に向けた情報収集を行った。</li> </ul>	<p>構築したGDIについて、次期戦略的中型計画の創出だけではなく、常設の戦略検討母体として、新たな戦略的海外共同計画の検討や宇宙政策委員会宇宙科学探査小委員会への情報提供等を実施し、宇宙科学プログラムの検討に貢献している。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>以上の基本方針に基づき、宇宙基本計画にて定める「戦略的に実施する中型計画」、「公募型小型計画」、「戦略的海外共同計画」、「小規模計画」の各機会を活用して、衛星・探査機、小型飛翔体実験（観測ロケット、大気球）の開発・打上げ・運用を一貫して行う。</p>	<p>「戦略的海外共同計画」の立案・選定にあたっては、コミュニティと宇宙科学研究所の協力の下に行うとの実施方針に基づき、新たなプロジェクトの選定に向けて概念検討を進める。</p> <p>「小規模計画」は、他の3つのカテゴリと相補的に他では実施できない飛翔機会を提供する仕組みとして、性格をより明確に定義しつつ柔軟で多様なミッション機会を提供するとの実施方針に基づき、幅広い提案を公募・選定し、実施する。衛星・探査機については、次項に定めるとおり開発等を進めるとともに、小型飛翔体（観測ロケット、大気球）による実験機会を提供する。本年度は、国立天文台、北海道大学及び奈良工業高専に実験機会を提供する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・戦略的海外共同計画について、土星衛星タイタン離着陸探査計画「Dragonfly」を新たに立ち上げた（宇宙科学研究所内プロジェクト化した（規模を考慮しプリプロジェクトフェーズを省略した））。また、長周期彗星探査計画「Comet Interceptor」を新たに立ち上げた（所内プリプロジェクト化した）。</li> <li>・小規模計画は11件の活動を継続している。</li> <li>・観測ロケットは、S-520-32号機の打上げ実験を計画通りに実施した。各計画については、飛翔前試験からフライトオペレーションを通じて作業品質に問題はなく、予定していたサイエンスデータの取得に成功した。後続の計画についても作業を着実に進め、S-520-33号機については計器合わせ試験まで完了した。以降のS-520-34号機およびS-310-46号機は共に予定通り計画会議を完了させた。また、研究開発部門が打上げたS-520-RD1の開発および打上げ作業等の支援を行った。</li> <li>・大気球実験は、大型気球2機とゴム気球1機の飛翔を計画し、そのうち大型気球1機とゴム気球1機の計2回のフライトを実施した。残る1機は、実験期間中に気球飛翔運用に適した高層風を得られなかったことから、2022年度の実施を見送った。また、新型コロナウイルス感染拡大に伴い2023年に延期したオーストラリア気球実験の実施に向けて準備を進めた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小規模計画「DUST (Determining Unknown yet Significant Traits)」プロジェクトの一環として、日欧協力による微小重力環境を得るための観測ロケット実験を2019年に実施し、その成果について、2023年1月にScience Advances誌に論文が掲載された。微小重力環境にてコア-マントル構造を持つ炭化チタンのナノ粒子（中心部と周辺部が異なる組成・特性を有する粒子）の形成過程を調べたところ、炭素質ダストの形成は微小な世界でだけ見られるナノ現象が鍵となることが判明した。 (Kimura et al., 2023, Science Advances, doi:10.1126/sciadv.add8295)</li> <li>・観測ロケット開発工程のデジタル化を推進しており、3Dデータの活用によりノーズコーンを透明樹脂で製作し、搭載状態の頭胴部の可視化を行った。また、ビデオシースルー型MR (Mixed Reality) を使った3D設計データの原寸可視化による、設計データの現場運用を試行的に進めた。これらの取り組みにより、より効率的かつロバストな設計の検討や人材育成に活用が見込まれる。</li> <li>・大気球実験について、飛翔した大型気球1機には計4つの実験を混載する取組を行い、異常気象等で気球の飛翔機会が限られるなかでも科学成果を最大化する実績を作ることができた。今後の実験搭載機会の拡充への貢献が期待される。</li> </ul>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>衛星・探査機の開発に当たっては、宇宙科学研究所のみならず、JAXA 全体で密に連携し、大型化・複雑化する衛星・探査機システムを確実に開発する。また、我が国の強みであるサンプルリターンについて、大学を含む外部機関等とサンプル分析等のフォローアップ体制の整備を図りつつ、学術界における成果創出に貢献する。さらに、これらのプロジェクトから創出される世界一級の観測データ（採取した地球外の物質試料を含む）は、国際的に広く活用されるようユーザーフレンドリーな形態で公開する。</p>	<p>衛星・探査機の開発に当たっては、宇宙科学研究所のみならず、JAXA 全体で密に連携することで、大型化・複雑化する衛星・探査機システムを確実に開発する。</p> <p>また、我が国の強みであるサンプルリターンに関して、小惑星リュウグウのサンプルのキュレーション活動に大学を含む外部機関等と連携しつつ取り組み、学術界における成果創出に貢献する。</p> <p>さらに、これらのプロジェクトから創出される世界一級の観測データ（採取した地球外の物質試料を含む）については、国際的に広く活用されるようユーザーフレンドリーな形態で公開する等の国際連携活動を行う。</p>	<p>衛星・探査機システムの開発について、以下のとおり審査会での確認を経て、開発を着実に推進した。</p> <p>（JAXAの経営層が審査する経営審査に限定して記載した。また個別衛星の項目においても記載。）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小惑星探査機「はやぶさ2」プロジェクトについて、プロジェクト終了審査を実施し、プロジェクトを終了した。</li> <li>・高感度太陽紫外線分光観測衛星（SOLAR-C）について、プロジェクト準備審査を実施し、プロジェクト化した。</li> <li>・長周期彗星探査計画「Comet Interceptor」について、宇宙科学研究所内プロジェクト準備審査を実施し、宇宙科学研究所内プロジェクト化した。</li> <li>・土星衛星タイタン離着陸探査計画「Dragonfly」について、宇宙科学研究所内プロジェクト移行審査を実施し、宇宙科学研究所内プロジェクト化した。</li> <li>・Roman宇宙望遠鏡について、宇宙科学研究所内プロジェクト移行審査を実施し、宇宙科学研究所内プロジェクト化した。</li> </ul> <p>・小惑星探査機「はやぶさ2」が帰還させた小惑星リュウグウのサンプルのキュレーション作業を通して、2022年度は、784粒子を個別容器に回収し、48の集合体試料として分取し、初期記載を実施した。初期記載の結果をサンプルカタログとして出版すると同時にサンプルデータベースとして、ユーザーの利便性を意識してアーカイブ化して公表した。</p> <p>・2022年度は、昨年度実施したサンプルの初期記載作業及び非破壊的分析に加え、本格的な初期分析（サンプルの破壊的分析を含む）を行い世界最高水準の成果を創出した。具体的には、初期記載およびキュレーションにかかわる研究成果がNature Communications誌・Nature Astronomy誌などに15編掲載された。初期分析研究における成果がScience誌・Nature Communications誌などに23編掲載された（内Science誌に5編掲載された）。</p> <p><b>【主要な論文成果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小惑星リュウグウのサンプルにおいて、液体の水及びアミノ酸が23種類発見された。その中には、生命活動に重要なたんぱく質を構成するアミノ酸や体内で作ることができない必須アミノ酸も複数含まれていた。</li> <li>・小惑星リュウグウのサンプルに、次のとおり水が2つの状態で発見された。水が鉱物中に固定された含水層状ケイ酸塩鉱物としての状態及び炭酸を含む液体の水の状態。</li> </ul> <p>・小惑星リュウグウのサンプルについて、地球帰還12か月後の2021年12月に、国際連携活動として、国際研究公募を発出し、2022年6月に40件の研究提案の採択結果を公表した。第2回の研究公募は2022年7月に発出し、2023年2月に38件の研究提案の採択結果を公表した。初期分析チームによる分析試料は2022年7月にすべて返却され、第2回の研究公募の対象試料としても再活用されており、実際に26件の研究提案で分析が進行中である。帰還試料の一部をアウトリーチ用として、2021年12月に一般公開を開始し、現在も巡回展示などで全国各地で公開すると同時に、宇宙科学研究所交流棟で常設展示している。2022年11月に第9回宇宙物質科学シンポジウムを行い、コロナ禍後初めて対面形式で実施した（参加者数230人（現地参加約100名、うち約4割が海外研究者））。</p>	<p>小惑星リュウグウのサンプル（試料）からは、炭酸を含む液体の水やアミノ酸などの有機物が発見されており、小惑星がスノーラインの外側の太陽系の外縁部の物質を取り込み、太陽系の内側へ運ばれ、水質変成や有機物の合成などの物質深化が進んだのちに、地球へ運ばれたことが分かってきた。つまり、以上の成果は、彗星や小惑星等が地球の水や有機物の材料物質を運んできた、という「太陽系の形成モデル」に対して、特に「小惑星」が地球の水や有機物の材料物質を運んだことを強く示唆する結果となり、「太陽系の形成モデル」に対して、一石を投じる成果となった。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>衛星・探査機の開発に当たっては、宇宙科学研究所のみならず、JAXA全体で密に連携し、大型化・複雑化する衛星・探査機システムを確実に開発する。また、我が国の強みであるサンプルリターンについて、大学を含む外部機関等とサンプル分析等のフォローアップ体制の整備を図りつつ、学術界における成果創出に貢献する。さらに、これらのプロジェクトから創出される世界一級の観測データ（採取した地球外の物質試料を含む）は、国際的に広く活用されるようユーザーフレンドリーな形態で公開する。</p>	<p>衛星・探査機の開発に当たっては、宇宙科学研究所のみならず、JAXA全体で密に連携することで、大型化・複雑化する衛星・探査機システムを確実に開発する。また、我が国の強みであるサンプルリターンに関して、小惑星リュウグウのサンプルのキュレーション活動に大学を含む外部機関等と連携しつつ取り組み、学術界における成果創出に貢献する。さらに、これらのプロジェクトから創出される世界一級の観測データ（採取した地球外の物質試料を含む）については、国際的に広く活用されるようユーザーフレンドリーな形態で公開する等の国際連携活動を行う。</p>	<p>（前頁からの続き）</p> <p>地上局による観測データの取得、地上システムによるアーカイブ、分析等について、以下の事業を実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・宇宙科学データアーカイブシステム (DARTS) について、引き続き、運用中の衛星・探査機のデータを随時公開するとともに、大学等と協力して過去の科学衛星データを利用できるように整備・公開する活動を実施した。DARTSを安定して運用し、継続的にユーザに向けたサービスを提供した。</li> <li>・クラウドが提供するSaaS (Software as a Service) サービスを利用することで、DARTSの提供するデータ公開サービスに関して、国内外のユーザー利便性の向上等に資するような、より効率的に高度なサービスを開発することができるかどうか検討するために、既存アプリケーションのクラウド移行や新規アプリケーションの試行開発を実施し、クラウド化に係る課題を評価した。（Apollo月震計アプリケーション（既存）、「かぐや」DEM抽出アプリケーション、PDS検索アプリケーション（新規））</li> <li>・開発中の衛星・探査機の地上系プロジェクトインタフェース窓口対応の対象を、検討ワーキンググループ（WG）段階の計画や打上後の衛星・探査機にも拡大し、科学ミッションの開始から終了までを通して一気通貫で地上系とのインタフェース窓口対応を実施した。</li> <li>・運用中の衛星・探査機の運用を支援すること、地上系インフラ設備の維持・保全活動等を通して、プロジェクトによる衛星・探査機運用に貢献した。</li> <li>・2023年度秋からの福井工業大学のアンテナに於けるEQUULEUSの運用の実現に向けて、ネットワーク整備を開始した。2022年度は整備内容・整備計画・スケジュールを策定し、WAN回線の接続までを予定通り完了した。</li> <li>・科学衛星・探査機の運用を行う統合化衛星管制ソフトウェア（GSTOS）について、科学衛星等通信設計基準テンプレート対応を実施し、来年度のMMXのシステム試験に投入できるように開発を進めている。また、JAXA標準に制定されている科学衛星等通信設計基準テンプレート (SCDHA)をGSTOSに適応した。</li> <li>・各種システムのコンフィギュレーション情報を一元的に管理できるシステム (COSMS) の開発を進め、第一期整備を予定通り完了した。COSMSは2023年度から運用開始しシステム維持管理の効率化、品質の向上、ステークホルダー間の情報共有を効率化させる。</li> <li>・美笹深宇宙探査局（美笹局）第二期工事に対応するために、所掌する地上データ伝送システム・GSTOS改修、単体試験、系内試験（一部系間試験も含む）まで、予定通り完了した。</li> <li>・管制室や衛星運用設備が設置されている研究センター棟の無停電電源装置の更新を完了した。</li> <li>・プロジェクトや国内の研究機関との協力によるシステムティックな科学データ整備により、データの保全・長寿命化や利用性を向上することで、科学成果の最大化に貢献している。</li> </ul>	<p>（前頁からの続き）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・SCDHAのGSTOS適応により、SCDHAに従っている限り、衛星・探査機製造メーカーによらず、GSTOSを利用した衛星管制を行うことができるようになることから、今後の多様な衛星プロジェクトを統合的に衛星管制できるとなり、運用性の向上に貢献した。</li> <li>・研究センター棟の無停電電源装置の更新が完了したことにより、電源需要に最適化し、総容量の低減や省スペース化・冗長化を実現し、今後の安定した電源供給や信頼性・安全性を確保した。</li> </ul>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>衛星・探査機の開発に当たっては、宇宙科学研究所のみならず、JAXA全体で密に連携し、大型化・複雑化する衛星・探査機システムを確実に開発する。また、我が国の強みであるサンプルリターンについて、大学を含む外部機関等とサンプル分析等のフォローアップ体制の整備を図りつつ、学術界における成果創出に貢献する。さらに、これらのプロジェクトから創出される世界一級の観測データ（採取した地球外の物質試料を含む）については、国際的に広く活用されるようユーザーフレンドリーな形態で公開する。</p>	<p>衛星・探査機の開発に当たっては、宇宙科学研究所のみならず、JAXA全体で密に連携することで、大型化・複雑化する衛星・探査機システムを確実に開発する。また、我が国の強みであるサンプルリターンに関して、小惑星リュウグウのサンプルのキュレーション活動に大学を含む外部機関等と連携しつつ取り組み、学術界における成果創出に貢献する。さらに、これらのプロジェクトから創出される世界一級の観測データ（採取した地球外の物質試料を含む）については、国際的に広く活用されるようユーザーフレンドリーな形態で公開する等の国際連携活動を行う。</p>	<p>（前頁からの続き）</p> <p>観測データの取扱いに関して、名古屋大学宇宙地球環境研究所とJAXA宇宙科学研究所および国立天文台との連携によって運営される太陽圏サイエンスセンターでは、太陽圏システム科学を推進するため、「ひので」、「あらせ」、「みお」、地上観測、シミュレーション研究との連携体制の整備、付加価値をつけた各種データの整備、国際的な活用を見据えたインターネット上でのフリー公開等による利用促進、統合解析ツールやデータベースの開発等を進めている。またセンター主催により国際共同ワークショップを開催し、上記の衛星の他、NASAやESAの探査機データ、地上観測、シミュレーションを組み合わせ、惑星間空間における磁場構造の研究や、太陽高エネルギー粒子観測の伝搬の共同研究を推進した。これらは、単独衛星では難しい課題であり、複数の衛星、他の研究手段を組み合わせた統合解析によって、より高い成果を上げている。</p> <p>宇宙科学・探査分野に係る国際連携活動として、各国との外交に貢献した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・米国主導の国際宇宙探査アルテミス計画への貢献として、アルテミス初号機へ2機の超小型探査機（OMOTENASHI/EQUULEUS）を搭載し、運用を行うとともに、SLIM、MMXといった月・火星圏の科学探査において海外協力を推進した。また「日・米宇宙協力に関する枠組協定」に対して宇宙科学探査の側面から締結を支援した。</li> <li>・豪州政府とはやぶさ・はやぶさ2でのカプセル回収協力成果とともに、MMXでのカプセル回収とサイエンス協力方針を確認し、2022年11月の日豪首脳会談にて原則的な支援が表明された。</li> <li>・米国、オランダ等の駐日大使や政府関係者・宇宙機関によるXRISM機体の視察を通じ、宇宙物理・天文分野での国際協力を促進した。</li> <li>・国際宇宙空間研究委員会(COSPAR)、国際宇宙科学研究所(ISSI)、米国航空宇宙学会(AIAA)といった世界的な宇宙関係の会合において講演・発表を行うことで、日本の宇宙科学プログラムと国際協力を広くアピール・促進した。</li> </ul>	<p>（前頁からの続き）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2022年5月、岸田総理大臣とバイデン大統領による日米宇宙協力関連展示の視察が実施され、日米宇宙協力の成果として、リュウグウサンプル（実物）が展示された。米国NASAのサンプルリターンミッションOSIRIS-RExが採取するサンプルとリュウグウサンプルの相互交換が予定されており、2つのサンプルの比較によって、世界初の発見が期待されており、日米協力の1つの形として、日米協力の深化に貢献した。</li> <li>・パリで開催された国際宇宙会議(IAC)などの国際会議にもリュウグウサンプルを展示し、宇宙科学探査の成果と今後の計画展望を紹介した。</li> </ul>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>世界最先端の成果創出を続けるには、人材育成と人材流動性、人材多様性の確保が必須であることから、そのための取組を行う。具体的には、学生や若手研究者を始めとする多様な人材が宇宙科学・探査プロジェクト等に参加する機会の提供、世界的業績を有する研究者の招聘、終身雇用（テニユア）教育職への外国人や女性の積極的採用、終身雇用を見据えた有期雇用（テニユアトラック）特任助教制度の整備、大学への転出促進のための制度整備、クロスアポイントメント制度の活用、他分野との連携・民間企業との交流促進等の施策を進める。</p>	<p>人材育成と人材流動性、人材多様性の確保に向けた取組として、学生や若手研究者を始めとする多様な人材が宇宙科学・探査プロジェクト等に参加する機会の提供、国際トップヤングフェローシップ（ITYF）制度による世界トップレベルの若手研究者の招聘、終身雇用（テニユア）教育職への外国人や女性の積極的採用、終身雇用を見据えた有期雇用（テニユアトラック）特任助教制度の運用、大学への転出促進のための制度整備、クロスアポイントメント制度の活用等、他分野との連携・民間企業との交流促進等の施策を進める。本年度は特に、見直しを実施した若手研究者育成のための制度運用の着実な定着を図る。</p> <p>また、国際宇宙探査に関して、JAXA 全体の役割分担の中で、国際宇宙探査の科学的な価値創出の観点から貢献する。</p>	<p>テニユアトラック（特任助教）制度に基づき、公募を行い、年度内に1名の特任助教が着任（2022年度末、9名在籍）。クロスアポイントメント制度の活用事例は17件。2022年度末現在、女性研究者（テニユア、特任助教、プロジェクト研究員）は5名、外国人研究者（テニユア、ITYF、プロジェクト研究員）は、4名、日本学術振興会研究員は5名在籍している。人材流動性に関して、2022年度中に退職したプロジェクト研究員2名の転出先内訳は大学1名、研究機関1名。同じく同年度中に受入終了した日本学術振興会研究員2名の転出先は大学1名、民間企業1名であった。</p> <p>若手研究者を対象とした諸制度については昨年度実施した制度見直しを踏まえた運用をすすめ、着実な定着をはかった。特にテニユアトラック助教を対象として育成をフォローする役割を担うために設置したアドバイザリー委員会の運用を始め、細部について修正をはかりながら制度定着に向けた取組を進めている。</p> <p>国際宇宙探査への貢献に関して、2021年7月に実施された「月面での科学研究・技術実証ミッションにかかるフィジビリティスタディ」の公募に応募し採択された「第一級の月面科学を実現するためのシナリオと実現性の検討」というテーマに関して、フィジビリティスタディを進め、2022年度末に報告書をまとめた。今後、この検討結果を元に、国際宇宙探査に対して科学的な価値創出の観点から、より具体化した計画をJAXA全体として立ち上げていく。</p>	<p>テニユアトラック制度による在籍者数が9名となり、プロジェクトを中心に若手研究者が増加したことで、その活動が活発化している。（研究活動のみならず、広報・アウトリーチ活動などでも若手研究者が活躍している。）</p> <p>また、宇宙科学研究所の研究者全体の年齢構成の観点からもテニユアトラック助教を含めることで平均年齢が下がる効果も生じている。</p>



中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(2) 研究開発・運用を行う衛星・探査機等</p>	<p>(2) 研究開発・運用を行う衛星・探査機等 宇宙科学の目標の達成に向け、科学衛星・探査機プロジェクトの立ち上げに向けた検討・研究、開発及び運用を行う（開発中の科学衛星・探査機は宇宙基本計画工程表に則ったスケジュールで打ち上げる）。</p>	<p>・宇宙理学・工学委員会のもとでワーキンググループ（WG）、リサーチグループ（RG）での開発研究を実施するとともに、2022年度公募型小型計画・宇宙科学ミッションコンセプト提案募集（公募）を実施した。 戦略的中型計画を立ち上げるためのGDI（戦略的中型創出グループ）による検討・評価作業を進め、戦略的に実施する中型計画の提案を目指す時限WGとして「広帯域X線撮像分光ミッション」「銀河進化・惑星系形成観測ミッション」「次世代小天体サンプルリターンミッション」の3つを新たに設置した。</p> <p>・米国新型ロケットSLS搭載の超小型探査機（OMOTENASHI/EQUULEUS）が2022年11月にSLSロケットにて打上げられた。両探査機ともに2016年9月に開発が開始され、2019年末までにNASAの安全要求に沿った開発を予定どおり完了し、2021年7月にNASAに引き渡した。その後、数回のSLSロケット打上げの延期を経て、2022年11月まで保管されていたが、打上げ後、動作し、2機とも通信を確立した。以下、打上げ後の各探査機の状態を記す。</p> <p>・OMOTENASHIに関しては通信を確立したもののその後の不具合により月面着陸を断念した。その後、不具合の原因究明活動を実施し、2022年12月に不具合原因究明結果及び超小型衛星開発にも資する教訓（Lessons Learned）をまとめ、文部科学省宇宙開発利用部会に報告し、公表した。OMOTENASHIの「地球磁気圏外での放射線強度を測定し、有人探査のための情報とする」というミッション目的については、打上げ後の通信確立時に超小型放射線モニタにより有用なデータ取得に成功した。</p> <p>・EQUULEUSについては、月遷移軌道へ投入され、初期チェックアウトを正常に完了させた後、超精密軌道決定・軌道制御により月フライバイを高精度で成功させ、目的地である月ラグランジュ点に向けて飛行中である。また、成果として2つの世界初を達成した。1つは、水を推進剤とする推進系による地球低軌道以遠での軌道制御に世界で初めて成功した。また、打上げ後3か月を経過した2023年2月に、予定にはない試みとして太陽系に飛来してきた長周期彗星（ZTF彗星）を探査機から撮影し、探査機の健全性及び高い姿勢安定度を確認した。長周期彗星を超小型探査機から撮影したのはEQUULEUSが世界初である。SLSに搭載され打上げられた超小型探査機は10機（米国7機、日本2機、イタリア1機）であるが、予定通りの能動的な軌道制御に成功しているのはEQUULEUSのみである。また、定常運用に向けて、観測機器（磁気圏プラズマ撮像装置、月面衝突閃光観測装置、ダスト検出器）のチェックアウトが順調に終了した（2023年4月）。</p>	<p>・OMOTENASHI/EQUULEUSは、新人4人を含む若手チーム（開発中にさらに入社7年以内の若手4人が追加で参加）で、インハウスにて開発が行われ、探査機システムの開発経験やSLSロケットに係る国際調整経験を獲得し、開発を通して人材育成面で大きな成果を得た。探査機運用においては、JAXAインハウスでの開発・運用の利点を活かす取り組みとして、人事部研修プログラムとして若手職員が実運用（コマンドの送信等）に参加し、他では得られない現場経験を積み、人材育成として活用した。さらに、OMOTENASHIの不具合の原因究明活動において、本体の若手チームとは別の原因究明若手チーム（シャドーチーム）を設置し、原因究明作業の経験をより多くの若手に積ませることで、人材育成に活用した。</p> <p>・EQUULEUSは月以遠での超精密軌道決定・軌道制御に成功し、世界的にも超小型探査機として大きな成果を上げている。この成果は、超小型探査機による科学成果創出のための標準的なバス技術や知見となるとともに、超小型衛星や探査機に携わる民間企業や大学に対しても参考となる成功事例や知見となっており、民間企業や大学も含めた今後の超小型衛星や探査機による宇宙科学・探査の活性化に大きな貢献を果たしている。また、EQUULEUSは東京大学との共同開発ミッションであり、開発に参加した学生がスタートアップ企業（ベンチャー企業）を複数起業するなど、人材育成成果を上げた。（アークエッジ・スペース社、パール・ブルー社）</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>①宇宙の始まりと銀河から惑星に至る構造形成の解明</p>	<p>①宇宙の始まりと銀河から惑星に至る構造形成の解明</p>	<p>－</p>	
<p>・X線による宇宙の高温プラズマの高波長分解能観測を実施するためのX線分光撮像衛星（XRISM）の開発及び運用を行う。</p>	<p>●X線分光撮像衛星（XRISM）の製作・試験を行い、打上げを実施し、初期機能確認を行う。 （平成29年度開発開始、令和4年度製作・試験完了予定、令和4年度打上げ目標）</p>	<p>&lt;プロジェクト&gt; 打上げサービス事業者によるロケット打上げ時期調整の結果により、打上げ目標を2023年度（令和5年度）に変更した。筑波宇宙センターでの衛星システムプロトフライト試験（PFT）を完了して衛星を種子島宇宙センターへ輸送、射場作業を開始した。地上システムのインテグレーション試験を完了した。初期運用を実施する臨時組織として追跡管制隊を設置、運用訓練を開始した。Performance Verification PhaseのGuest ScientistをJAXA、NASA、ESAにて公募、選定した。 打上げ後の科学成果創出に向けて、科学データ処理ソフトウェア開発と検証、軌道上較正準備、サイエンス会議開催などを行った。</p>	<p>毎月発行・公表している宇宙科学研究所誌「ISAS news」において、2022年5月からXRISMの開発の連載を開始、衛星の開発過程やX線天文学を平易に解説し、理解増進に貢献している。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>・これまでにない感度での赤外線による宇宙観測を実施するための次世代赤外線天文衛星 (SPICA) のプロジェクト化に向けた検討を行う。</p>	<p>－</p>	<p>－</p>	
	<p>●米国航空宇宙局 (NASA) が実施する Roman 宇宙望遠鏡に参画し、観測装置 (光学素子等) 及び地上局の開発に着手する。</p>	<p>Roman宇宙望遠鏡に搭載予定の日本から提供するコロナグラフ装置光学素子については、偏光光学素子およびマスク基板についてNASAに送付後に光学素子ユニットへの組み込み・フライト光学ベンチへのくみ上げが行われたことを確認した。Roman宇宙望遠鏡からの大規模な科学データの受信協力のために、美笹深宇宙探査局におけるKa26GHz帯 (「K帯」と呼称される) の受信機能の整備を推進している。これについて、2022年度初期までの概念検討・システム定義に基づき、基本設計を行った。基本設計の実施においてはNASA Romanプロジェクトとのインターフェース調整およびデータ受信運用計画の調整を行った。Roman宇宙望遠鏡についての科学協力・地上望遠鏡を用いた協調観測の調整をすすめた。</p>	<p>美笹深宇宙探査局 (美笹局) に新設中のKa26GHz帯 (「K帯」と呼称され、以下、この表記を用いる) の受信機能の整備に関して、温帯モンスーン気候である日本の降雨量・水蒸気量や強風など気象条件が受信にどのような影響を与えるかを評価して運用計画に反映する必要がある。</p> <p>そこで本計画において、回線設計のための受信性能評価に際して、美笹局における降雨損失・大気減衰損失について気象実測データとITUモデルとの比較を行うことを通じて、Romanプロジェクトに限らず同局におけるより一般的なK帯での受信性能の把握をすすめることができた。これらの結果は、今後のK帯による衛星信号の受信性能評価や回線設計を行う上での参照情報とすることができるなど今後の計画立案における基礎情報の面で貢献が期待される。</p> <p>さらに、世界的な深宇宙探査追跡ネットワークの一翼として、日本から世界貢献を行う下地を、Roman宇宙望遠鏡への協力と美笹局の機能強化を通じて、確立している。</p> <p>科学協力については、日本の天文コミュニティにおいてRoman宇宙望遠鏡を用いた研究への参加の意欲を刺激することができた。地上協調観測の調整推進において、系外惑星マイクロレンズ協調観測を行うPRIME望遠鏡(大阪大学) においてNASA検出器を搭載した撮像装置の試験稼働が開始されるなどRoman計画を通じて日本の天文学研究の活性化にも寄与した。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>②太陽系と生命の起源の解明</p>	<p>②太陽系と生命の起源の解明</p>	<p>－</p>	
<p>・水星の磁場・磁気圏・内部・表層の総合観測を実施するための水星探査計画／水星磁気圏探査機 （BepiColombo/MMO）の開発及び水星到着に向けた運用を行う。</p>	<p>●水星探査計画／水星磁気圏探査機 （BepiColombo/MMO）の運用支援を行う。（令和7年度水星到着予定）</p>	<p>&lt;プロジェクト&gt; 2022年6月に2回目の水星スイングバイを実施し計画通りの軌道修正に成功したほか、MMO「みお」およびMPOともに科学観測を実施した。特に科学観測では活発な水星磁気圏中のプラズマ現象を捉えることに成功した。また惑星間空間巡航中にも内部太陽圏観測を複数回実施し、太陽風プラズマの観測や太陽高エネルギー粒子、ガンマ線バーストの検出に成功した。2025年12月の水星到着に向け、「みお」クリティカル運用となる分離・伸展運用の手順確認・訓練を実施し着実に準備を進めた。</p>	<p>2022年度の Nature Communications誌に掲載された研究成果として、2021年8月の2回目の金星スイングバイでの金星観測結果は、これまでの予想よりも高高度で太陽風が堰き止められることを示しており、太陽風プラズマとの衝突による金星電離圏へのエネルギー注入が起きていないことが観測的に示唆された。太陽活動極小期における本領域の観測は今回が世界初であり、本観測結果に基づく理論モデルの更新が期待される。 (Persson et al., 2022, Nature Communications, doi:10.1038/s41467-022-35061-3)</p>
<p>・惑星間ダスト及び地球飛来ダストの母天体の観測を実施するための深宇宙探査技術実証機（DESTINY+）についてプロジェクト化に向けた研究を行う。</p>	<p>●深宇宙探査技術実証機（DESTINY+）の詳細設計及び製作に着手する。（平成31年度開発開始、令和5年度詳細設計完了予定、令和6年度打上げ目標）</p>	<p>&lt;プロジェクト&gt; 観測カメラの開発にあたる千葉工業大学、ダスト分析器を提供予定のドイツ・シュツットガルト大学と綿密に連携して、一部の設計変更を含めて開発を続けている。また、探査機の構成機器（ミッション機器含む）やキックステージの構成機器の全て、及び探査機システム・キックステージシステム・地上システム・運用に関する、基本設計審査（PDR）を終えた。これらを踏まえ、JAXA総括PDRを実施した。また、探査機の構成機器（ミッション機器含む）の一部については、サブシステム詳細設計審査（CDR）を実施した。令和6年度の打ち上げに向けて開発を進めている。</p>	<p>DESTINY+搭載カメラによる高速フライバイ撮像を成功させるため、地上望遠鏡観測により目標天体Phaethonの特性を精度よく理解することが必須であり、2021年、2022年にDESTINY+理学チームは測光・偏光・掩蔽観測（えんぺいかんそく：ある天体が他の天体の前を通過する際に後ろの天体を隠すことを観測すること）を実施し、Phaethonのアルベド・サイズ・形状の推定精度向上に成功し、その結果を論文とした。また、当該掩蔽観測を実施した「DESTINY+プロ・アマ共同掩蔽観測チーム」のリーダーである吉田二美氏（産業医科大学）が国際掩蔽観測者協会が選定する掩蔽科学分野等に対する多大な貢献を果たした人物に授与される賞「Homer F. DaBoll賞」を2022年10月に受賞した。 DESTINY+理学チームを中心として、国内外の天文学・惑星科学コミュニティの協力体制が確立できたこと、プロアマ共同の掩蔽観測チームの構築が実現でき、今後、これらの研究分野横断の協力体制やプロアマ共同の観測チームは、DESTINY+のみならず、探査目標天体の特性を事前にできる限り精度よく制約する上で重要な役割を担うことが期待される。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>②太陽系と生命の起源の解明</p> <p>・火星及び衛星の近傍観測と衛星からのサンプル回収を実施するための火星衛星探査計画（MMX）の開発及び運用を行う。</p>	<p>②太陽系と生命の起源の解明</p> <p>●火星衛星探査機（MMX）の詳細設計及び製作・試験を進める。（平成31年度開発開始、令和6年度製作・試験完了予定）</p>	<p>－</p> <p>&lt;プロジェクト&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2022年度は一連のメーカ審査結果を階層的に踏まえ、JAXA総括詳細設計審査（総括CDR）を実施、製造・試験を進めるためのシステム・運用設計を示し、総合システム要求への適合性を確認した。結果として、一次噛み合わせ試験および製造・試験フェーズへの移行は可能と判断した。</li> <li>・詳細設計と並行して各種試験モデル及び一部フライトモデルの製作を進め、それらを用いたシステムレベルの試験（一次噛み合わせ試験、他）を行った。</li> <li>・開発進捗に伴い国際協力相手方との協定締結・改訂を進めた（ドイツDLRとの協定改訂を2022年6月に実施した）。</li> <li>・豪州着陸に向けた国際調整を進めた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2022年10月の日豪首脳会談において、火星衛星探査計画（MMX）の再突入カプセルの豪州着陸への支援が確認され、日豪外交へ貢献した。</li> <li>・2022年12月に、政府によって、2025年国際博覧会（大阪・関西万博）に向けて各省庁が取り組む項目や実現目標のスケジュールを記した「アクションプラン」が改定され、その中で、万博において火星衛星探査機（MMX）の展示を検討することが盛り込まれた。MMXを題材にJAXAの宇宙科学・探査活動の国際的な広報となることが期待される。</li> </ul>
<p>・欧州宇宙機関（ESA）が実施する木星氷衛星探査計画（JUICE）に参画する。</p>	<p>●欧州宇宙機関（ESA）が実施する木星氷衛星探査計画（JUICE）について、ESAに引渡し済みの搭載観測機器（RPWI, GALA, PEP/JNA）の欧州における試験の支援、及び探査機運用準備を実施する。またESAによる打上げ後は運用を行う。</p>	<p>ハードウェアの一部を開発提供する、3つの機器（電波・プラズマ波動観測装置、高速中性粒子観測装置、ガリメデレーザ高度計）について2022年8月末までに全機器フライトモデル・フライトスペアモデルの欧州への出荷を完了した。これで日本が担当するハードウェア全ての欧州への納品が完了した。フライトモデルは欧州への納品後、欧州側が開発した機器と組み合わせてJUICEに搭載され、2023年4月に予定されている打ち上げに向けて準備が進められた。サイエンス参加の2機器（カメラシステム（JANUS）、磁力計（J-MAG））についても欧州の機器チームと協力して、それぞれ観測計画や、観測機器較正方法の検討などに貢献した。</p>	<p>実績記載の内容により、国際共同ミッションにおける、日本からの参加チームとしての責任を果たすことができ、欧州宇宙機関（ESA）との良好な関係の維持/発展に貢献することができた。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>・欧州宇宙機関（ESA）が実施する木星氷衛星探査計画（JUICE）に参画する。</p>	<p>● 欧州宇宙機関（ESA）が実施する二重小惑星探査計画（Hera）に搭載する観測機器（熱赤外カメラ）の開発を継続する。</p>	<p>Hera探査機に搭載し、二重小惑星ディデモスとその衛星ディモルフォスの表層を構成する物質の熱物性や組成を調査するための熱赤外カメラ（TIRI）の開発を進めた。基本設計審査（総括PDR）で設計の妥当性が承認され、詳細設計フェーズに移行した。TIRIのフライト品同等の機能および性能を有するEMを製作し、ESAに納品にむけて試験中である。並行して、開発企業による詳細設計審査（CDR）により設計の妥当性が確認され、TIRIのフライトモデルの製作・試験を進めている。Heraの日本チームのサイエンス会議、TIRIの国際サイエンス会議を月例で開催し、科学的議論の深化と観測運用計画の具体化を進めている。</p>	<p>はやぶさ2の小惑星探査の実績を踏まえた、欧州Heraミッションへの参画も契機となり、Heraミッションの主目的である小惑星の衝突から地球を守るプラネタリ・ディフェンスについて、議論を深め、国内外でのプレゼンスを高めている。具体的に以下の成果を創出している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・宇宙科学技術連合講演会2022においてプラネタリ・ディフェンスの特別セッションおよびパネルディスカッションを開催、国内のプラネタリ・ディフェンス関係者の会合を統合した「プラネタリ・ディフェンス シンポジウム」(第2回, 2023/2/20-21, 宇宙科学研究所)を開催、また2023年地球惑星科学連合講演会JpGUで「プラネタリ・ディフェンス」セッションを開催し、国内のプラネタリ・ディフェンスの機運を高めている。</li> <li>・第4回惑星科学用熱物理モデル国際会議(TherMoPS-IV, 2023/4/18-20, ESTEC)の開催を決定し、Hera TIRIチームから2名がSOCとして参画し、惑星熱物性科学をリードする機会を得たほか、SpaceOps2023（2023/3/6-10, Dubai）でプラネタリ・ディフェンスのパネルディスカッションにパネラとして参加するなど、世界のプラネタリ・ディフェンスにおいてプレゼンスを高めている。</li> <li>・Heraミッションと観測機器を用いた観測計画および期待される成果について整理した論文が発表された。 (Michel et al. 2022, The Planetary Science Journal, doi: 10.3847/PSJ/ac6f52.)</li> </ul>
	<p>● 高感度太陽紫外線分光観測衛星（Solar-C（EUVST））の概念設計を実施する。</p>	<p>2022年度は、ミッション定義審査（MDR）、プロジェクト準備審査を完了し、機構プリプロジェクトチームを結成した。さらに、ミッション要求審査（SRR）を完了し、計画決定フェーズに移行し、ミッション部及びバス部それぞれの開発メーカを選定した。JAXAが開発するEUVST望遠鏡の概念設計を進め、望遠鏡に搭載する主鏡機構部試作品の開発による技術的成立性や性能確認を進めた。国際協力に基づき提供される予定のハードウェアに関して、国際協力相手方の参画を確認し、米国、ドイツ、フランス、スイス、イタリア、ESAの5か国1機関の海外パートナーによる国際開発体制の構築を進めた。各相手方との協定締結を進めるとともに、望遠鏡とのインターフェース調整を進めた。</p>	<p>プロジェクト準備審査において、SOLAR-Bと同程度の角度分解能望遠鏡をイプシロンソケットで打上げ可能な衛星規模で実現することが将来の宇宙物理学に資する他、宇宙科学分野以外への波及も期待できることが確認され、今後の多様な衛星ミッションへの貢献が期待される。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>・以下の衛星・探査機の運用を行う。</p>	<p>・以下の衛星・探査機の運用を行う。</p>	<p>—</p>	
<p>磁気圏尾部観測衛星 (GEOTAIL)</p>	<p>磁気圏尾部観測衛星 (GEOTAIL) : 後期運用を継続し、磁気圏尾部を中心とした観測を行い、磁気圏プラズマ現象に関する科学成果獲得を目指す。</p>	<p>磁気圏尾部観測衛星 (GEOTAIL) について、搭載科学観測機器の状態は経年劣化により観測を終了した一部の機器を除き良好で、打上げ以降30年以上継続して地球近傍の磁気圏尾部のプラズマの直接観測データを取得した。しかしながら、2022年6月に搭載データレコーダーの故障が発生し、受信可能なデータ量が減少したことに加え、一部の搭載観測装置のデータが受信できなくなってしまったため、NASAと合意の上、2022年11月に停波運用を実施した。</p>	<p>搭載データレコーダーの故障が発生した2022年6月まで、計画に基づき着実に運用を実施した。  打上げ以降30年以上継続して地球近傍の磁気圏尾部のプラズマの直接観測データを取得してデータを公開することで、Geotailデータを使用した学術研究に貢献した。工学的には、設計寿命が3年半であったところ、30年間の運用を達成したこと、2重月スイングバイを計画し、成功させたことで、スイングバイ軌道設計・運用技術の獲得につながった。また、GEOTAILの運用終了に伴い成果が総括され、のべ約1800人の学生が運用に関わり、大きな人材育成効果を上げたことが確認された。また、米国のGeotailプロジェクトと協力して共同ミッションを円滑に遂行する事で、NASAとの良好な関係の維持に貢献し、本格的日米共同計画のさきがけとして、その後続くNASAとの協力の礎となった。  科学成果として、太陽風の密度の低下によって太陽風のマッハ数が低くなった条件下における地球磁気圏の構造が朝側と夕方側で大きく異なることを、GEOTAILとESAのCluster衛星による同時観測とグローバル電磁流体力学シミュレーションを組み合わせることによって実証した成果が得られた。本成果は、上流のプラズマ流のマッハ数が低くなりうる水星や系外惑星、外惑星の衛星の周辺環境を理解するためにも役立つ。  [M. N. Nishino et al. 2022, Earth, Planets and Space, doi: 10.1186/s40623-022-01744-w]</p>
<p>太陽観測衛星 (SOLAR-B)</p>	<p>太陽観測衛星 (SOLAR-B) : 後期運用を継続し、太陽の観測を行い、太陽プラズマ物理学に関する科学成果獲得を目指す。宇宙プラズマ物理学に関する科学成果獲得を目指す。</p>	<p>太陽観測衛星 (SOLAR-B) 「ひので」は、太陽圏システム研究を国際的に推進する上で高解像度太陽観測の一翼を担い、NASAのIRIS衛星と定常的に連携観測を継続するとともに、新たに飛翔したNASAのParker Solar Probe探査機やESA/NASAのSolar Orbiter探査機との連携観測、また地上天文台との共同観測などを実施した。国際研究コミュニティから観測提案を26件採択し、2006年の打上げから16年経過するものの、未だ第一線の国際軌道上太陽天文台として、研究成果を継続的に創出している。</p>	<p>「ひので」および他の衛星・地上観測データを用いて、太陽・恒星の活動度と様々な波長帯での放射強度の関係が調べられ、太陽を基軸とした恒星の磁氣的活動に関する研究が展開されている。  2019年12月に、太陽は第25活動周期に突入し、現在、太陽活動が盛んな時期となっており、強力な太陽フレアを原因とした携帯電話の不通・広域停電・GPSの精度低下などが起きる可能性もあることから、「ひので」による太陽観測の重要性が増している。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
金星探査機 (PLANET-C)	金星探査機 (PLANET-C)：後期運用を継続し、金星の観測を行う。特に、データ同化を含む数値解析を通じ、惑星気象学を発展させる科学成果獲得を目指す。	金星探査機 (PLANET-C) 「あかつき」について、金星観測運用を計画通りに滞りなく実施し、連続気象観測データを取得した。同時に、観測データの惑星科学データシステム(PDS4)への準拠を進め、ISASの宇宙科学データアーカイブシステム(DARTS)から公開し、国内外の研究者に対するデータ利用の利便性向上を図った。また、観測データと数値モデルを一体化する「データ同化」研究が進み成果を収めた。	2022年度の Scientific Reports 誌に掲載された研究成果として、「あかつき」が目指してきた金星気象の連続観測データを数値モデルと一体化する「データ同化」研究の先駆けであり、本格的に始動したことを示すものとなった。今後、過去 7年間にわたり蓄積されたあかつき観測データを用いたデータ同化研究が進み、金星気象の本質に迫るフェーズに移行することが期待される。 (Fujisawa et al., 2022, Scientific Reportsオンライン版, doi: 10.1038/s41598-022-18634-6. ISAS web リリース「研究成果」2022年9月12日)
惑星分光観測衛星 (SPRINT-A)	惑星分光観測衛星 (SPRINT-A)：後期運用を継続し、木星・金星の観測を行い、惑星の季節変動・太陽活動周期変動に関する科学成果獲得を目指す。	惑星分光観測衛星 (SPRINT-A) 「ひさき」について、2022年度は木星・火星を中心に連続モニタリング観測を実施し、世界的にユニークな極端紫外線スペクトルデータを取得した。木星探査機Junoの近木点通過時の観測は国際的な木星探査研究の中で重要な役割を果たした。また、火星高層大気に関して季節変化や低層大気に対する応答を観測した。このような長期間にわたる極端紫外線スペクトルデータは、太陽系科学研究において貴重な観測データの蓄積となっている。	2022年度の Nature Communications 誌に掲載された研究成果として、一ヶ月間にわたる火星高層大気観測から、大規模な砂嵐(ダストストーム)発生時に、高層大気中では水素ガスが増加し酸素ガスが一時的に減少することが分かった。すなわち、「ひさき」観測データは、火星の大気流出に関して砂嵐も影響を与える可能性を示した。高層大気の組成比は惑星から流出する大気の組成を決定づける初期条件であるため、大気組成の高度プロファイルも重要な意味を持つ。本研究成果は、砂嵐期間に火星から流出する大気成分は水素ガスが増加し酸素ガスは減少することを意味し、砂嵐は大気中に酸素を温存し火星大気を酸化する役目を担っていることが示唆される。言い換えると、過去の火星は現在に比べて還元的な大気を有し、生命の生まれやすい環境であった可能性が示唆される。 将来、火星衛星サンプルリターンミッション: Martian Moons Exploration (MMX)が持ち帰るであろう火星衛星フォボスのサンプルには、火星から流出した大気成分が含まれると考えられており、持ち帰ったサンプルの分析結果には本研究成果が重要な知見を与えることが期待される。 (Masunaga et al., 2022, Nature Communications, doi:10.1038/s41467-022-34224-6. ISAS web リリース「研究成果」2023年1月31日)



中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>小惑星探査機はやぶさ2 (拡張ミッションの検討及び実施)</p>	<p>小惑星探査機はやぶさ2 拡張ミッション：小惑星 2001 CC21 のフライバイ及び小惑星 1998 KY26 に向けた運用を行う。また、NASA が運用する小惑星探査機 OSIRIS-REx が採取した小惑星サンプルを我が国で受け入れ、当該サンプルと小惑星リュウグウのサンプルの2つから得られる科学成果を最大化することを目指し、OSIRIS-REx サンプルのキュレーション設備の整備等を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2022年4月にプロジェクト終了審査を実施し、同年7月からはやぶさ2 拡張ミッション（所内プロジェクトチーム）へ体制移行した。</li> <li>・探査機は2026年に到達予定の小惑星2001 CC21に向け、巡航運用を継続しており、2022年度中は、5月～11月にイオンエンジンによる軌道制御を軌道計画に従い、計画通り実施した。また、長期に渡る運用期間を活用し、搭載されているカメラで、黄道光観測、及び系外惑星のトランジット観測を計画通り実施し、良好な観測データを得た。その他、地上での活動として、今後起こり得るコンティンジェンシーケースに対応するため、AOCSソフトウェアの軌道上書き換えのための準備・開発をシステムメーカーと進行中。さらに、小惑星2001 CC21のフライバイ運用に向けたインハウスでの予備検討を進めている。</li> <li>・サンプル分析リハーサルに分析チームメンバーが参加した他、OSIRIS-RExサンプル分析会議ではリュウグウ分析からのLessons learnedの共有と議論を行った。物性分析チームが新たにBennu（OSIRIS-REx がサンプルを採取した小惑星）分析チームメンバーとして参加した。</li> <li>・OSIRIS-REx帰還試料専用のクリーンルーム(CR)を新設し、液体窒素コールドエバポレータ設置、CRへの窒素ガス供給を開始した。OSIRIS-REx帰還試料専用のクリーンチャンバ(CC)の製造に着手した。</li> <li>・搭載した光学航法カメラ（ONC）や中間赤外カメラ（TIR）データを用いた各種高次処理プロダクト（ONC最高解像度分布マップ、および高解像度画像を用いた全球モザイク、高精度化した衛星軌道・姿勢データ）の作成に着手し、一部完成した。はやぶさ2 データ配信システム開発のための技術検証として、近赤外分光計（NIRS3）データの検索・表示・配信機能の実装試験を行った。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計寿命を超えた探査機の各機器について、状態のモニタを続け、劣化等、性能変遷の評価を継続し、得られた知見を開発中の別プロジェクトとも共有し、将来ミッションにも貢献している。また、新人研修や学生・若手職員の運用当番、若手メンバーのチームへの参画など、若手・新メンバーの運用チーム活動への参加を積極的に受け入れ、JAXA内外の人材育成の場を提供している。</li> <li>・Bennuサンプル分析計画に対し、リュウグウ分析で得た知見や経験について、OSIRIS-RExサンプル分析会議やリュウグウ分析論文を通じて提供した。</li> <li>・Goldschmidt会議（ハワイ・2022/7/11-15）において、両ミッションのメンバーが共同でセッションを開催し、リターンサンプル分析に関する議論を分析コミュニティでおこなった。これらの科学者の連携を通して日米協力にも貢献している。</li> </ul>
<p>ジオスペース探査衛星（ERG）</p>	<p>ジオスペース探査衛星（ERG）：後期運用を継続し、放射線帯を中心とした太陽活動上昇期のジオスペース（宇宙空間）観測を行い、ジオスペース変動に関する科学成果獲得を目指す。</p>	<p>観測運用を順調に継続した。また、南極昭和基地や、国際的な地上観測ネットワーク網（地磁気、オーロラ、SuperDARN、EISCATやPANSY等のレーダー観測）との共同観測を実施し、ERGのみから得られるデータに加えてジオスペース変動に関する科学成果の最大化を行った。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・テレビ番組（NHK サイエンスZERO）や新聞に成果が取り上げられるなど注目される科学成果が得られている。</li> <li>・世界の衛星設計で最も使用されている地球磁気圏の放射線モデル(AE9/AP9)のモデルの精緻化に貢献し、ERGの世界唯一のデータと安定した運用実績が評価され、次期リリースバージョンにて、ERGのデータが取り込まれる予定。</li> </ul>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>③宇宙機及び宇宙輸送システムに関わる宇宙工学技術の革新</p>	<p>③宇宙機及び宇宙輸送システムに関わる宇宙工学技術の革新</p>		
<p>・小型探査機による重力天体への高精度着陸技術の実証を実施するための小型月着陸実証機（SLIM）の開発及び運用を行う。</p>	<p>●小型月着陸実証機（SLIM）の維持設計及び製作・試験を行い、打上げを実施し、初期運用を行う。 （平成28年度開発開始、令和4年度製作・試験完了予定、令和4年度打上げ目標）</p>	<p>&lt;プロジェクト&gt; 打上げサービス事業者によるロケット打上げ時期調整の結果により、打上げ目標を2023年度（令和5年度）に変更した。製作・試験フェーズの活動として、フライトモデルを順次組み立てて試験を行うシステムプロトタイプ試験（PFT）を前年度に引き続き実施した。探査機システムを組み立て後、機械環境試験や熱真空試験、各種の電気試験などを実施してその健全性を確認し、システムPFTを完了した。その後、一連の開発および検証結果について審査を受審し、射場作業への移行が可能と判断された。探査機は種子島宇宙センターに輸送され、打ち上げに向けた準備作業が開始されている。これらの作業等と並行して、打ち上げ後の運用へ向けた各種の準備を進め、訓練等を実施している。</p>	<p>SLIMの開発結果や米国アルテミス計画の進捗、世界の潮流等を踏まえて、「第一級の月面科学を実現するためのシナリオと実現性の検討」というテーマの中で、ポストSLIMの計画に関しても、フィジビリティスタディを進め、2022年度末に報告書をまとめた。その中で、ポストSLIMの計画として、月探査促進ミッション（LEAD）計画構想をまとめた。</p>
<p>・前述の「宇宙科学技術ロードマップ」に従い、深宇宙航行を革新するためのシステム技術・推進技術・大気圏突入技術、重力天体着陸技術や表面探査技術等、また、深宇宙探査機の電源系や推進システムを革新する基盤技術等、プロジェクトを主導する工学技術の世界最高水準を目指した研究開発を行う。さらに、宇宙輸送のための将来のシステム技術・推進技術等の検討を含め、萌芽的な工学技術の研究を行う。</p>	<p>●「宇宙科学技術ロードマップ」を踏まえ、プロジェクトを主導する工学技術の世界最高水準を目指した研究開発、及び萌芽的な工学技術の研究を行う。</p>	<p>宇宙科学ミッションを支える宇宙機・ロケットのシステム／サブシステム技術や地上試験・検証用のシミュレータ、あるいは軌道決定等の運用技術に関する研究開発を行った。また、将来のプロジェクトを牽引する工学技術の研究及び萌芽的な工学技術の研究を推進した。</p>	<p>・研究開発活動の中で、特に、宇宙での生命維持技術として培われた水の電気分解技術および炭酸ガスの水素還元によるメタンと水の合成技術に関する研究開発を推進し、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）や産業界との連携を進めることにより、エネルギー問題を解決する鍵技術としての産業振興や国際連携にも貢献した。 ・2023年3月にイプシロンロケット等の固体燃料ロケットの開発・運用で培ってきた固体燃料技術を活用した（株）宇宙応用工学研究所（仮称）が起業されJAXAベンチャーの認定を受けた。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>④その他</p> <p>・宇宙科学プロジェクトの候補ミッション（戦略的中型計画2（LiteBIRD）、公募型小型計画3（小型JASMINE）、4（Solar-C(EUVST)）等）について、初期の成立性検討や初期の研究開発（フロントローディング活動）を従前より充実させ、具体化に向けた検討を実施する。</p>	<p>④その他</p> <p>●戦略的中型計画2として選定された宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星（LiteBIRD）、公募型小型計画3として選定された赤外線位置天文観測衛星（小型JASMINE）、戦略的海外共同計画の国際紫外線天文衛星（WSO-UV）等、宇宙科学プロジェクトの候補ミッションについて、初期の成立性検討や初期の研究開発を充実させ、プロジェクト化について検討を実施する。</p>	<p>LiteBIRDについて、国内外との協力体制を強化し、ミッション定義審査およびプロジェクト準備審査にむけた準備を着実に進めた。2022年10月に岡山大学との協力覚書、2022年11日に東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）との協力覚書を締結した。また海外では、2023年2月にカナダ宇宙庁（CSA）と協定を締結した。技術のフロントローディング活動として、搭載する宇宙用冷凍機の研究開発を推進した。</p> <p>JASMINE（2022年度においてミッション名称の「小型」を削除することとした）について、実現性を検討し成立する見通しを得た。その上で望遠鏡口径の最適化を行い、低コスト化を図った。日本天文学会における企画セッション開催などを通してコミュニティにおける研究体制強化を推進した。技術のフロントローディング活動として、搭載する赤外線検出器の研究開発を推進した。</p> <p>戦略的海外共同計画の国際紫外線天文衛星（WSO-UV）について、ウクライナ情勢を受け、作業を停止している。</p> <p>その他の新たなミッション構想について、プリプロジェクト候補として2つのミッション、宇宙理学委員会で10件のWG、宇宙工学委員会で6件のWGにおいて新たなミッションに関する検討活動を進めた。</p>	<p>計画に基づき着実に実施した。</p>
<p>・我が国の宇宙科学・宇宙探査ミッションの自立的遂行のため、また、国際協力による海外機関ミッションの遂行支援により国際的プレゼンスを確保する観点から、現行深宇宙通信局の後継局として、新たにより高い周波数帯であるKa帯の受信も可能とする深宇宙探査用地上局の開発を進める。</p>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p>—</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>・小型飛翔体や実験・試験設備について、多様な実験ニーズへの対応に向けた高度化を図る。特に、大型の設備に関しては、JAXA全体での効率的な維持・整備を行う。</p>	<p>● 小型飛翔体や実験・試験設備について、多様な実験ニーズへの対応に向けた高度化の検討や大型設備のJAXA全体での効率的な維持・整備に向けた検討を行う。本年度は、宇宙機組立試験設備や風洞設備の効率化の検討を行う。</p>	<p>・観測ロケットS-520-32号機の打上げ実験を計画通りに実施した。飛翔前試験からフライトオペレーションを通じて作業品質に問題はなく、予定していたサイエンスデータの取得に成功した。後続の計画についても作業を着実に進め、S-520-33号機については計器合わせ試験まで完了した。以降のS-520-34号機およびS-310-46号機は共に予定通り計画会議を完了させた。研究開発部門が打上げたS-520-RD1の開発および打上げ作業等への支援を行った。</p> <p>・大学、高専との人事交流・技術交流・共同研究をおこない、宇宙航空に関わる実践的な“ものづくり”を通して技術連携を進めた。工作室においては、ATRエンジンやイオンエンジン、ホールスラストなどの性能向上を目指した基礎研究の開発支援を担った。また、超小型衛星への搭載を想定した小型レーザーリフレクター『mini-Mt.FUJI』を開発支援を行った。また、宇宙ナノエレクトロニクスクリーンルームにおいては、設備の維持管理をおこない、共同研究に利用されるとともに、高エネルギー加速器研究機構（KEK）量子場計測システム国際拠点（QUP）のJAXAサテライトとしても利用されている。</p> <p>・宇宙機組立試験設備においては、小型月着陸実証機SLIMや各種の飛翔体実験機体の開発・試験を遂行するとともに、多様なユーザーによる設備使用の考え方・エントリー方法の整理や、将来ミッション・専門技術と必要設備の調査準備など、使用と整備の両面で効率化の検討を行った。</p> <p>・風洞設備（高速気流総合実験設備）について、継続して定期的な更新計画の検討を過去数年間の実績と今後数年間の見通しの両方を鑑みて実施した。特に、今後発生しうるリスクを考慮して、更新計画をトレードオフ検討した。抜本的な効率化を目指す高度化計画については、専門委員会において、現実的な手段・方法を見据えた議論を継続している。風洞実験技術の高度化の観点では、ユーザーへのヒアリング結果をもとに、例えば、動的な実験手法の検討などの対応に着手した。</p>	<p>大学共同利用システムの中で、大学による設備利用を推進した。設備の利用を通して大学の人材育成にも貢献した。</p>

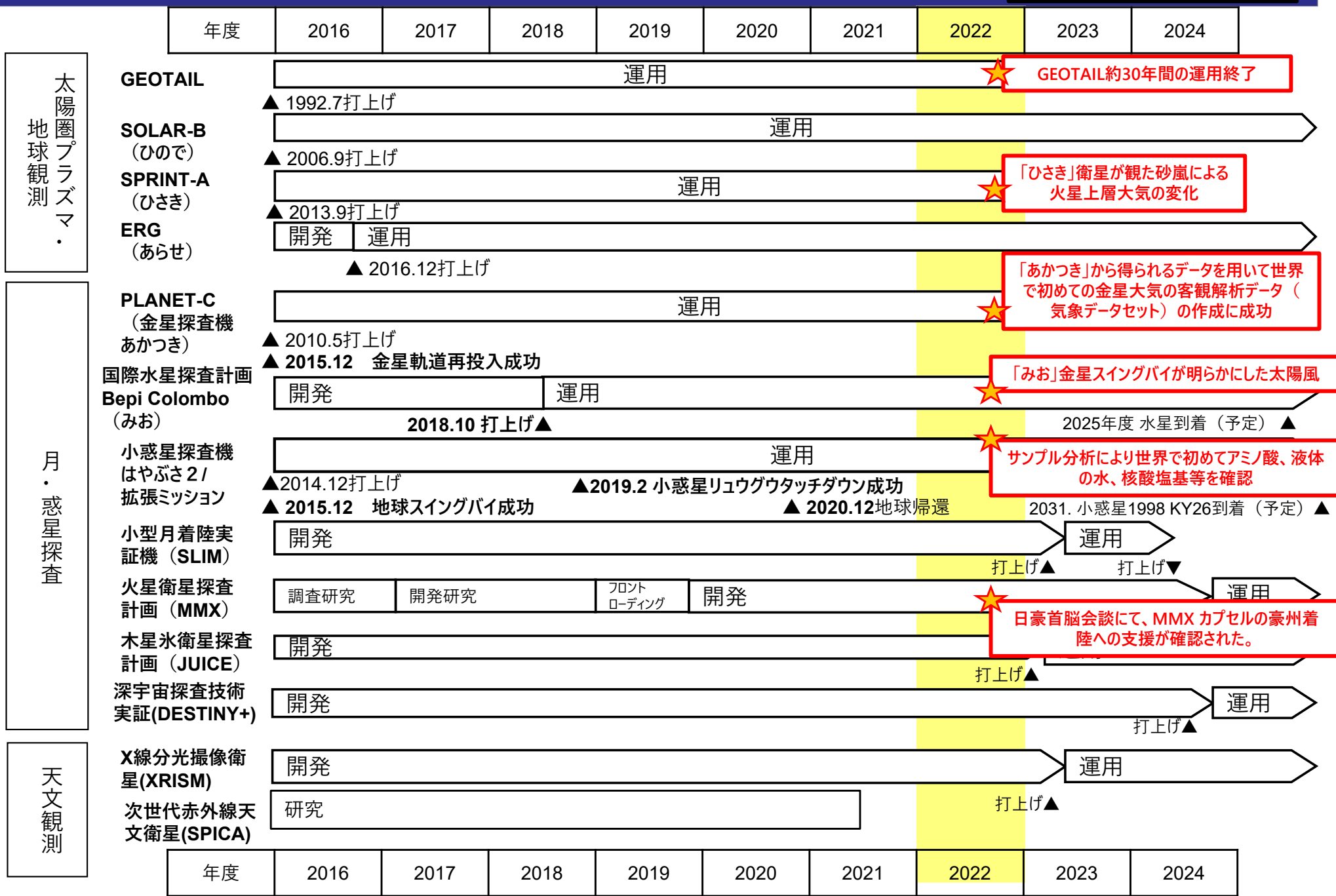
中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>・宇宙科学研究の取組の中で創出した成果について、産業振興への貢献をはじめとした社会還元に向けた取組を行う。</p>	<p>●宇宙科学研究の取組の中で創出した成果について、産業振興への貢献をはじめとした社会還元に向けた取組を行う。</p>	<p>・「はやぶさ・はやぶさ2」のイオンエンジン技術を活かし、スタートアップ企業であるPale Blue社の小型衛星用電気推進機に関する共創事業（宇宙イノベーションパートナーシップ（J-SPARC））を立ち上げた。Pale Blue社は「はやぶさ・はやぶさ2」の技術情報を基に300W級電気推進機の新規開発を実施し、JAXAは30W級電気推進機用低圧タンクを開発してPale Blue社の電気推進機への実装を図る予定。</p> <p>・産官学連携として、JAXA新事業促進部が主導して開始した「産学官による輸送/超小型衛星ミッション拡充プログラム(JAXA-SMASH)」において、九州工業大学、セーレン社と三位一体で超小型衛星による宇宙科学ミッションを新たに立ち上げた。打上げは国内民間小型ロケットを活用予定。</p> <p>・能代ロケット実験場の液体水素関連設備を活用し、民間企業等との9件の共同研究、2件のNEDO関連の受託研究、2件の民間からの受託研究を実施した。特に、能代ロケット実験場において長年培ってきた水素の取扱い技術を川崎重工業株式会社が製造した液化水素運搬船「すいそ ふろんていあ」関連の技術開発事業に適用。世界初の液化水素運搬船「すいそ ふろんていあ」事業は、豪州で製造した水素を神戸に輸送すること（実証試験）に成功し、実証試験中の各種運用データを検証し無事に完遂できたことを確認、2022年4月、実証試験の完遂式典が開催された。また、その成果により、日本産業技術大賞を獲得している。JAXAは、海上輸送用タンク、貯蔵容器について企業と共同研究を実施し協力。ボイルオフガス（BOG）圧縮機、昇圧ポンプ、ローディングシステム、大型バルブについて、開発試験に協力した。</p>	<p>・能代ロケット実験場の液体水素関連設備の民間からの注目に伴い、外部利用の活性化と適切な収入確保を目的にISAS設備戦略を立案。制度に則り、2件の民間からの受託研究成果を得た。今後受託収入による水素試験設備等の拡充が期待される。</p> <p>・JAXAが協力した世界初の液化水素運搬船「すいそ ふろんていあ」事業の成功は、日本の水素社会やSDGsに大きな貢献が期待される。</p> <p>・「JST 戦略的創造研究推進事業」（JST CREST）の研究成果の蓄積から、NEDOグリーンイノベーション（GI）基金に「低温プロセスによる革新的メタン製造技術開発」が採択された（幹事会社：東京ガス（株））。CO2から高濃度の合成メタンを生産する技術の確立によりカーボンニュートラルへの貢献が期待される。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(3) 大学院教育への協力</p> <p>宇宙航空分野に留まらず産業界を含む幅広い分野で活躍し、将来の我が国を担う人材の育成を目的として、総合研究大学院大学、東京大学大学院との連携、連携大学院制度等を活用し、教育環境の向上に努めつつ、研究開発の現場であるJAXAでの学生の受入れ指導等により、大学院教育への協力を行う。</p>	<p>(3) 大学院教育への協力</p> <p>宇宙航空分野に留まらず産業界を含む幅広い分野で活躍し、将来の我が国を担う人材の育成を目的として、総合研究大学院大学、東京大学大学院との連携、連携大学院制度等を活用し、教育環境の向上に努めつつ、研究開発の現場であるJAXAでの学生の受入れ指導等により、大学院教育への協力を行う。</p>	<p>2022年度、延べ276人の学生を受け入れた（東大国際理工学/工学講座：77人、総研大宇宙科学専攻：24人、連携大学院：50人、受託指導学生：16名、その他（技術習得方式学生）：109人）。また、受入れ学生のリサーチアシスタント業務として、通常のリサーチアシスタント業務のほか、「はやぶさ2」の運用管制業務による宇宙科学の最先端の現場体験を内容とする業務を実施した（延べ83人参加）。コロナ禍による水際対策含め、受入申請の了承後に受入に至らず辞退となったケースが1件確認されている。また、受入学生を対象とした人材育成プログラムとして観測ロケット打上げ機会を活用する宇宙科学現場体験プログラムでは、学生3名に現場実習機会を提供した。</p>	<p>観測ロケット実験及び大気球実験の中で人材育成を進めた。宇宙科学研究所を主体としてJAXA全体及びJAXA外部への人材育成にも貢献。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・観測ロケットS-520-32号機の打上げ実験に際して、受け入れを行っている学生及びロケット打上げの実務経験を積むため種子島宇宙センターの若手職員が参加し、人材育成を実施した。参加者は宇宙科学プロジェクトの現場に携わることで、プロジェクト実行の上あたって必要となる知識、技術、考え方について基礎的な理解向上を図るとともに、実際の打ち上げ運用を通じて、プロジェクトの円滑な遂行に求められるプロジェクトマネジメントの一端を学んだ。</li> <li>・大気球実験において、新人職員の研修受入も並行して実施し、観測機器の整備からフライトまで一連の作業の理解度を深めた。</li> </ul> <p>2022年度に卒業した受入学生の中で、17人が宇宙関係の企業や機関へ就職。日本の宇宙人材の育成に貢献した。</p>
<p>(4) 宇宙科学・探査ロードマップ</p> <p>宇宙科学プロジェクトの推進のため、「戦略的に実施する中型計画」、「公募型小型計画」、「戦略的海外共同計画」、「小規模計画」の各機会の長期計画を検討し、宇宙基本計画の工程表改訂に資するべく、宇宙科学・探査ロードマップを必要に応じて改訂する。</p>	<p>(4) 宇宙科学・探査ロードマップ</p> <p>宇宙科学プロジェクトの推進のため、「戦略的に実施する中型計画」、「公募型小型計画」、「戦略的海外共同計画」、「小規模計画」の各機会の長期計画を検討し、宇宙基本計画の工程表改訂に資するべく、宇宙科学・探査ロードマップを必要に応じて改訂する。</p>	<p>2022年4月に「宇宙科学・探査ロードマップ」を改訂し、国際宇宙探査との連携について追記するとともに、戦略的中型計画の戦略的ミッション立案のためのGDI設置の追記等を実施した。これらの改訂により、国際宇宙探査への貢献をより明確にしていくとともに、次期戦略的中型計画立案に向けた体制の強化を行った。</p> <p>宇宙理学・工学委員会及び宇宙政策委員会宇宙科学・探査小委員会において、戦略的中型、公募型小型計画等のフレームワークの見直しの議論に対応し、より良い宇宙科学・探査の推進方策の検討を進めた。</p>	<p>計画に基づき着実に実施した。</p>

主な評価軸（評価の視点）、指標等			
<p>【多様な国益への貢献；宇宙科学・探査による新たな知の創造】</p>	<p>&lt;評価指標&gt; (成果指標) ○宇宙科学・探査による新たな知の創造に係る取組の成果</p> <p>(マネジメント等指標) ○研究開発等の実施に係る事前検討の状況 ○研究開発等の実施に係るマネジメントの状況 (例：研究開発の進捗管理の実施状況、施設・設備の整備・維持・運用の状況、コスト・予算の管理状況等) ○大学・海外機関等の外部との連携・協力の状況</p>	<p>【多様な国益への貢献；産業・科学技術基盤を始めとする我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化】</p>	<p>&lt;評価指標&gt; (成果指標) ○産業・科学技術基盤を始めとする我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化に係る取組の成果</p> <p>(マネジメント等指標) ○研究開発等の実施に係る事前検討の状況 ○研究開発等の実施に係るマネジメントの状況 (例：研究開発の進捗管理の実施状況、施設・設備の整備・維持・運用の状況、コスト・予算の管理状況等) ○大学・海外機関等の外部との連携・協力の状況</p>
<p>○世界最高水準の科学成果の創出や我が国の国際的プレゼンス維持・向上等に貢献する宇宙科学研究、宇宙探査活動、有人宇宙活動等の立案・検討・マネジメントは適切に進められたか。それに伴う成果が生まれているか。</p>	<p>&lt;モニタリング指標&gt; (成果指標) ○国際的ベンチマークに照らした研究開発等の成果 (例：著名論文誌への掲載状況等) ○人材育成のための制度整備・運用の成果 (例：受入学生の進路等)</p> <p>(マネジメント等指標) ○大学・海外機関等の外部との連携・協力の状況 (例：協定・共同研究件数等) ○人材育成のための制度整備・運用の状況 (例：学生受入数、人材交流の状況等) ○論文数の状況 (例：査読付き論文数、高被引用論文数等) ○外部資金等の獲得・活用の状況 (例：科研費等の外部資金の獲得金額・件数等)</p>	<p>○産業・科学技術基盤を始めとする我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化に貢献する研究開発活動の立案・検討・マネジメントは適切に進められたか。それに伴う成果が生まれているか。</p>	<p>&lt;モニタリング指標&gt; (成果指標) ○国際的ベンチマークに照らした研究開発等の成果 (例：基幹ロケットの打上げ成功率・オンタイム成功率等) ○宇宙実証機会の提供の状況 (例：民間事業者・大学等への実証機会の提供数等) ○研究開発成果の社会還元・展開状況 (例：知的財産権の出願・権利化・ライセンス供与件数、受託件数、ISS利用件数、施設・設備の供用件数等) ○国際的ベンチマークに照らした研究開発等の成果 (例：著名論文誌への掲載状況等)</p> <p>(マネジメント等指標) ○大学・海外機関等の外部との連携・協力の状況 (例：協定・共同研究件数等) ○人材育成のための制度整備・運用の状況 (例：学生受入数、人材交流の状況等) ○論文数の状況 (例：査読付き論文数、高被引用論文数等) ○外部資金等の獲得・活用の状況 (例：外部資金の獲得金額・件数等)</p>

# スケジュール

## 2022年度の主要成果





【評定理由・根拠】

★【総括】

小惑星探査機「はやぶさ2」が回収した小惑星リュウグウの試料（サンプル）について、2022年度は、本格的な初期分析（サンプルの破壊的分析を含む）を行い世界最高水準の成果を創出した。サンプルからは、23種類のアミノ酸、液体の水、全ての地球生命のRNAに含まれる核酸塩基ウラシルの検出に成功した。また、人材育成、産業振興、アウトリーチ活動においてそれぞれ成果を創出。これらの成果により、宇宙科学・探査分野における世界最高水準の成果創出及び我が国の国際的プレゼンスの向上に貢献するものであり、特に顕著な成果の創出があったと評価する。主な業務実績・成果は、以下のとおり。

■小惑星探査機「はやぶさ2」と研究成果の創出

小惑星探査機「はやぶさ2」が回収した小惑星リュウグウの試料（サンプル）について、2022年度は、昨年度実施したサンプルの初期記載作業及び非破壊的分析に加え、分析技術に強みを持つ国内外の大学・機関において、本格的な初期分析（破壊的分析を含む）を実施した。6つの初期分析チームと2つのPhase-2キュレーション機関による体制を構築し、宇宙科学研究所をリーダーとして初期分析をけん引。試料の適切な分配・取扱い方法を当該チームに適宜共有し、成果創出に貢献した。

★ 初期分析の結果として、各チームからの初期成果論文として、世界の著名紙に論文が複数掲載（Science誌に5編等）され、Science誌においてリュウグウサンプル特集号が発刊された。具体的な科学成果として、世界で初めて地球汚染のない小惑星サンプルから、23種類のアミノ酸（生命活動に重要なたんぱく質を構成するアミノ酸を複数含む）及び液体の水を確認。さらに初期成果論文に続く論文として、全ての地球生命のRNAに含まれる核酸塩基ウラシルの検出に成功した。

★ 上述の「はやぶさ2」の成果に加えて、惑星分光観測衛星「ひさき」及び水星磁気圏探査機「みお」のデータに基づく論文がそれぞれNature Communications誌に掲載、金星探査機「あかつき」のデータに基づく論文がScientific Reports誌に掲載されるなど、JAXAの科学衛星及び探査機のデータに基づく世界初の成果が複数発表され、宇宙科学分野において世界一級の科学成果を創出した。

■人材育成、産業振興と社会還元

★ システム人材（プロジェクトの立上げ～遂行までを実施する人材）育成のために、観測ロケット・大気球・SLS搭載超小型探査機等を用いた経験機会を積極的に提供した。2022年11月に、磁気圏尾部観測衛星「GEOTAIL」の約30年間の運用を終了し、のべ約1800人の大学院生が運用に参加し、大きな人材育成効果を発揮したことが総括された。＜補足8＞

産業振興への取組みと成果の社会還元を積極的に推進した。「水素社会」への貢献に向け、ロケットエンジン分野で培ってきた液体水素の取扱い技術を川崎重工業が製造した世界初の液化水素運搬船「すいそ ふろんていあ」事業に適用し、水素運搬実証実験の成功に貢献した。さらに宇宙業界においてスタートアップ企業が数多く誕生しており、宇宙科学・探査分野の技術を還元。産学官連携として、超小型衛星による宇宙科学ミッションを九州工業大学・セーレン社とともに立ち上げた。

アウトリーチ活動について、より一層の科学的成果の発信、成果の理解増進を目指し積極的に実施した。「フレンドレイジング」と称したアウトリーチに係る新たな取組みを開始。第一弾としてクラウドファンディングによる試行活動を実施し、当初目標以上の支援を獲得。さらに、はやぶさ2が採取したリュウグウサンプルのレプリカを日本全国の展示施設に配布。宇宙分野を志す女性研究者を増やすためのイベントを開催した。また、バイデン大統領来日時はリュウグウサンプル（実物）を展示し、日米協力の深化に貢献した。

## 【評定理由・根拠】（続き）

### 【小惑星探査機「はやぶさ2」による成果創出】＜補足1＞

小惑星探査機「はやぶさ2」が回収した小惑星リュウグウの試料（サンプル）について、2022年度は、昨年度に作成したサンプルカタログ等や非破壊的手法による分析結果を踏まえて、それぞれの分析技術に強みを持つ国内外の大学・機関において、本格的な初期分析（破壊的分析を含む）を実施した。6つの初期分析チームと2つのPhase-2キュレーション機関による体制を構築し、宇宙科学研究所をリーダーとして初期分析をけん引した。試料の適切な取り扱い・分配の方法等の助言を当該チームに適宜実施し、成果創出に貢献。

初期分析の成果として、チームからの初期成果論文として、世界の著名紙に論文が複数掲載（Science誌に5編が掲載等）され、Science誌においてリュウグウサンプル特集号が発刊された。具体的な科学成果として、世界で初めて地球汚染のない小惑星サンプルから、23種類のアミノ酸（生命活動に重要なたんぱく質を構成するアミノ酸を複数含む）及び液体の水を確認。さらに初期成果論文に続く論文として、全ての地球生命のRNAに含まれる核酸塩基ウラシル及びビタミンB3（ナイアシン）の検出に成功した。生命が生まれるために必要な水や有機物は、リュウグウのような太陽系の外側からの小惑星が地球に衝突することによりもたらされたという学説が、実際にリュウグウが有機物や水を保持することでより支持されることとなった。

### 【世界的に優れた研究成果の創出】＜補足2～4＞

上述の「はやぶさ2」の成果に加えて、金星及び火星の大気に関する複数の成果論文が生まれ、太陽系の惑星の起源と形成の謎を解き明かす横断的な成果として、複数のミッションにまたがって成果が創出されている。具体的には、惑星分光観測衛星「ひさき」のデータに基づく論文として、過去の火星は現在の火星よりも還元的な大気を有しており、還元的な大気では生命を構成する有機物の合成が起こりやすいことを考慮すると、過去の火星環境は生命の生まれやすい環境であった可能性があることを示した論文が、Nature Communications誌に掲載された。水星磁気圏探査機「みお」のデータに基づく論文として、2021年8月の金星スイングバイでの金星観測結果により、これまでの予想よりも金星の高高度で太陽風が堰き止められることを示しており、太陽風プラズマとの衝突による金星電離圏へのエネルギー注入が起きていないことが観測的に示唆された論文が、Nature Communications誌に掲載された（太陽活動極小期における本領域の観測は今回が世界初）。金星探査機「あかつき」のデータに基づく論文として、金星探査機「あかつき」は2022年度現在金星を周回している世界唯一の探査機としてデータを蓄積しており、数値モデルと一体化する「データ同化」を進め、風速データを同化しスーパーローテーション構造の再現性を高めることに加え、世界で初めて金星大気客観解析データ（気象データセット）を作成することに成功し、熱潮汐波の構造やそれに伴う角運動量輸送の効果もより現実大気に近いものが得られるようになったことを示した論文が、Scientific Reports誌に掲載された。

これら成果をはじめとし、JAXAの科学衛星及び探査機のデータに基づく世界初の成果を複数発表し、宇宙科学分野において世界トップクラスの成果を創出した。

### 【JAXA内外の研究者の育成、システム人材の育成などに現場を活用して貢献】＜補足5＞

人材育成に関して、宇宙科学研究所ならではの現場を活かした人材育成を積極的に推進し、既存の研究者育成に加えて、システム人材（プロジェクトの立上げ～遂行までを実施する人材）育成のために、観測ロケット・大気球・SLS搭載超小型探査機等を用いた経験機会を積極的に提供した。また、はやぶさ2運用に若手研究者・技術者が多数参加し、深宇宙運用の知見・経験を獲得させるとともに、技術の伝承を実地で実施してきた。はやぶさ2の運用を通じた人材育成の成果として、2022年度のはやぶさ2プロジェクト終了に伴い、人材を火星衛星探査計画(MMX)及び深宇宙探査技術実証機(DESTINY+)に再配置し、MMXとDESTINY+の並行開発を実現している。さらに、2022年11月には、磁気圏尾部観測衛星「GEOTAIL」の約30年間の運用を終了し、のべ約1800人の大学院生が運用に参加し、大きな人材育成効果を発揮したことが総括された。

## 【評定理由・根拠】（続き）

### 【成果の社会還元と産業振興への取り組みを積極的に推進】＜補足6＞

成果の社会還元と産業振興への取り組みを積極的に推進し、グリーンイノベーションの一環として目指す「水素社会」についてロケットエンジン分野で培ってきた液体水素のハンドリング技術を多様な企業に還元。具体的な大きな成果として、2022年4月に実証試験の完遂式典が開催された、川崎重工業が製造した世界初の液化水素運搬船「すいそ ふろんていあ」事業に関して、海上輸送用タンク、貯蔵容器について企業と共同研究を実施し協力、ボイルオフガス（BOG）圧縮機、昇圧ポンプ、ローディングシステム、大型バルブについて、開発試験に協力し、実験の成功に貢献した。さらに宇宙業界においてベンチャー企業が数多く誕生しており、宇宙科学・探査分野の技術を積極的に還元。具体的には、東京大学発スタートアップ企業Pale Blue社と「はやぶさ」のイオンエンジン技術を用いて協力を開始した。また、長周期彗星探査計画（Comet Interceptor）について、JAXAが担当する超小型探査機の開発メーカーとして東京大学発スタートアップ企業のアークエッジ・スペース社を選定した。JAXAとしてEQUULEUS等の開発・運用の知見等を企業に還元・共有しつつ、スタートアップ企業の効率性等を活用し、短期間開発・コストパフォーマンスの高い超小型探査の世界を切り拓いていく。さらに、産学官連携として、超小型衛星による「高精度姿勢制御6U衛星による宇宙可視光背景放射観測で探る天体形成史」ミッションを九州工業大学・セーレン社とともに立ち上げた。大学、企業、JAXAそれぞれの強みを持ちより、超小型衛星ミッションを実現することで、機動的な科学成果の創出とともに、大学での人材育成や企業の競争力向上等に貢献する。

### 【より一層の科学的成果の発信、成果の理解増進を目指し、アウトリーチ活動を積極的に実施】＜補足7＞

より一層の科学的成果の発信、成果の理解増進を目指し、アウトリーチ活動を積極的に実施した。宇宙科学・探査分野への国民の応援団（フレンズ）を醸成・拡大することを目的に「フレンドレイジング」と称したアウトリーチに係る新たな取り組みを開始。第一弾としてクラウドファンディングによる試行活動を実施した。クラウドファンディングに対する寄附者からは「このような取り組みを待っていた」という声も多く聞くことができ、目標金額500万円の約1.5倍に相当する約730万円（約430名）と当初目標以上の支援をいただいた。さらに、ホットトピックスに関するアウトリーチ活動として、はやぶさ2が採取したリュウグウサンプルのレプリカを日本全国の展示施設に配布。さらに、宇宙分野を志す女性研究者を増やすためのイベント「女子中高生のための個別進路相談会」を開催し、参加者からの「進路選択に少しでも参考になったかどうか」のアンケートに「非常に参考になった」が75%、「参考になった」が25%という結果を得ることができた。また、米国バイデン大統領来日時に、リュウグウサンプル（実物）を展示し、岸田内閣府総理大臣およびバイデン大統領に鑑賞いただき、日米協力の深化に貢献した。

### 【国際協力：日豪首脳会談での協力】

★ 国際協力の取り組みとして、日豪首脳会談において、火星衛星探査計画（MMX）の再突入カプセルの豪州着陸への支援が確認され、「はやぶさ」の再突入カプセル回収から続く日豪外交への貢献を行った。

なお、年度計画で設定した業務は、計画通り実施した。

評定理由・根拠 (補足)

★補足 1-1 : 小惑星探査機「はやぶさ2」にて採取した小惑星リュウグウ試料の初期分析をリード、世界最高水準の成果を創出

JAXA宇宙科学研究所 (ISAS) をリーダーとして小惑星リュウグウ試料の初期分析を国内外の大学・機関において実施

2022年度は、前年度に作成した小惑星リュウグウの試料 (サンプル) カタログや非破壊的手法による分析等を踏まえて、それぞれの分析技術に強みを持つ国内外の大学・機関において、本格的な初期分析 (破壊的分析を含む) を実施。6つの初期分析チームと2つのPhase-2キュレーション機関による体制を構築し、ISASをリーダーとして初期分析をけん引。また、試料の適切な取り扱い・分配や試料ハンドリングの方法等のアドバイスを当該チームに適宜実施し、成果創出に貢献。

得られたアウトプット : 世界の著名紙に論文を複数掲載 (Science誌に5編掲載等)、Science誌においてリュウグウサンプル特集号が発刊

小惑星リュウグウのサンプルの分析について、その初期成果として、Phase2キュレーションチームから2編、初期分析チームから7編の初期成果論文がScience誌などに掲載。Science誌は大きな成果をとらえリュウグウ試料分析を特集。

[初期成果論文の特に顕著な成果]

世界で初めて地球汚染のない小惑星サンプルから、23種類のアミノ酸 (生命活動に重要なたんぱく質を構成するアミノ酸や体内で作ることができない必須アミノ酸を複数含む) 及び液体の水を確認

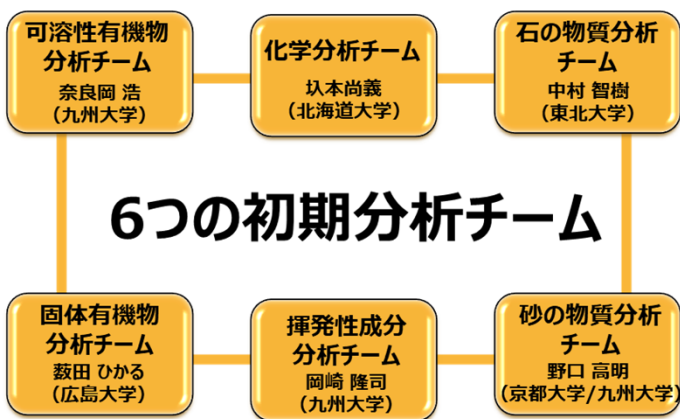
期待されるアウトカム

太陽系形成論と地球生命の成り立ちの解明に貢献

生命が生まれるために必要な水や有機物は、リュウグウのような太陽系の外側からの小惑星が地球に衝突することによりもたらされたという学説が、実際にリュウグウが有機物や水を保持することでより支持。

これらの成果により、宇宙科学が、宇宙化学 (AstroChemistry) や宇宙生物学 (AstroBiology) へ発展し、他分野を巻き込んだ大きな学問分野へ発展。

隕石衝突からの地球防衛のため (プラネタリディフェンス) には、小惑星の組成を知ることも重要であり、人類の生活へも貢献。

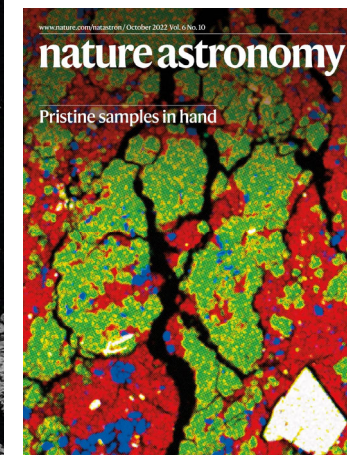


6つの初期分析チーム

2つのPhase-2キュレーション機関



Science誌がリュウグウ試料分析を特集 (はやぶさ2が表紙) 2023年2月24日発刊



Nature Astronomy誌の表紙でリュウグウ試料分析論文を紹介 2022年10月13日発刊

初期分析チーム・フェーズ2キュレーション機関とは

- 初期分析チームは「はやぶさ2」の科学目的達成のために専門サブチームが分担して、試料の多面的価値を明らかにするチーム。
- フェーズ2キュレーション機関は、より詳細なカタログ化及び粒子の特性に応じた測定・分析を実施。

評定理由・根拠（補足）

★補足 1-2：小惑星探査機「はやぶさ2」にて採取した小惑星リュウグウ試料の初期分析をリード、世界最高水準の成果を創出

6つの初期分析チームとフェーズ2キュレーション機関による初期成果論文の一覧

全ての論文にJAXA職員は共著者として参画、サンプルの取扱い方法や基本的情報等について知見を提供、研究活動に参画した。

初期成果論文とは各チームによる最初の論文であり、初期成果論文以降も各チームは活動を続け成果を創出し続ける。

	掲載誌	邦題	出版日	執筆チーム	参画機関
初期分析チーム	Science	リュウグウはイヴナ型炭素質隕石でできている	2022.6.10	化学分析チーム	北海道大学、東京工業大学、東北大学 等
	Science	炭素質小惑星リュウグウの形成と進化：リターンサンプルから得た証拠	2022.9.23	石の物質分析チーム	東北大学、高エネルギー加速器研究機構、高輝度光科学研究センター 等
	Science	小惑星リュウグウ試料中の黒い固体有機物	2023.2.24	固体有機物分析チーム	広島大学、横浜国立大学、高エネルギー加速器研究機構 等
	Science	小惑星リュウグウ試料の希ガスおよび窒素同位体組成—リュウグウ揮発性成分の起源と表層物質進化—	2022.10.21	揮発性成分分析チーム(帰還試料)	九州大学、茨城大学、北海道大学 等
	Science	炭素質小惑星(162173)リュウグウの試料中の可溶性有機分子	2023.2.24	可溶性有機物分析チーム	九州大学、海洋研究開発機構、名古屋大学 等
	Nature Astronomy	日焼けで隠された水に富む小惑星リュウグウの素顔	2022.12.20	砂の物質分析チーム	京都大学、九州大学、大阪公立大学 等
	Science Advances	「はやぶさ2」ミッションによる世界初の小惑星からのガスサンプル：リュウグウからのたまたま箱	2022.10.21	揮発性成分分析チーム(サンプルコンテナ内ガス)	九州大学、茨城大学、東京工業大学 等
フェーズ2キュレーション機関	Nature Astronomy	小惑星リュウグウ：太陽系外縁部からの来訪者—多機関連携分析が読み解いた小惑星の記録—	2022.8.16	海洋研究開発機構（JAMSTEC）高知コア研究所、極地研究所、SPring-8/高輝度光科学研究センター、分子研UVSOR、都立大 等	
	日本学士院紀要	小惑星リュウグウの起源と進化—地球化学総合解析による太陽系物質進化の描像—	2022.6.10	岡山大学惑星物質研究所	

評定理由・根拠 (補足)

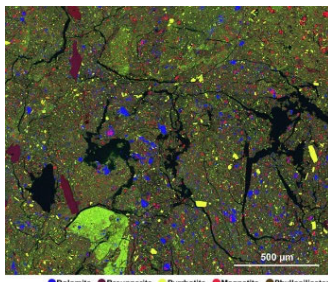
★補足 1-3 : 小惑星探査機「はやぶさ 2」にて採取した小惑星リュウグウ試料の初期分析をリード、世界最高水準の成果を創出

初期成果論文のハイライト (得られたアウトプット)

リュウグウはイヴナ型炭素質隕石でできている

リュウグウの全岩元素・同位体組成はCIコンドライト (太陽の元素存在度にもっとも近い組成の隕石) とよく似ており、**太陽系をつかった元素がそのまま石となったような物質であることが判明。**

(Yokoyama et al. 2022, Science)

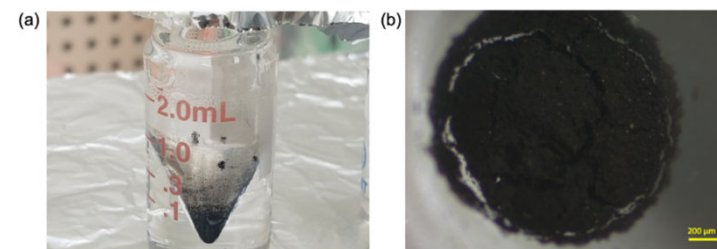


リュウグウ試料の構成鉱物

小惑星リュウグウ試料中の黒い固体有機物

微小球状有機物や含水鉱物中に薄く広がる有機物など多様な特徴をもつ固体有機物が存在。**太陽系誕生以前の星間雲起源の有機物も残存。**

(Yabuta et al. 2023, Science)



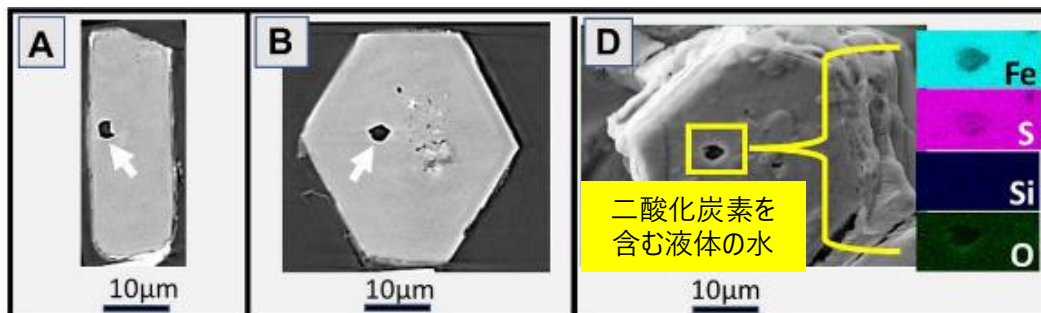
リュウグウ試料の酸処理によって分離精製した不溶性炭素質残渣 (固体有機物)。(a) ミニガラスバイアル中の残渣、(b) 他のミニバイアルに移された残渣の一部を上から撮影した画像

小惑星リュウグウ試料の希ガスおよび窒素同位体組成  
—リュウグウ揮発性成分の起源と表層物質進化—

小惑星探査機「はやぶさ 2」の小惑星リュウグウへの第2回タッチダウンで得た試料中に**地下物質を確認** (Okazaki et al. 2023, Science)

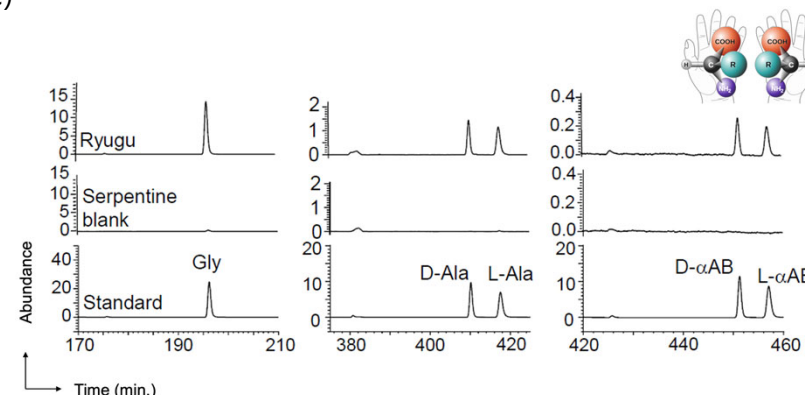
炭素質小惑星リュウグウの形成と進化：  
リターンサンプルから得た証拠

リュウグウの母天体では水氷の融解で生じた液体の水と鉱物・有機物が反応。**二酸化炭素を含む液体の水を硫化鉄内部に発見 (リュウグウに存在した水そのものを発見)。** (Nakamura et al. 2022 Science)



炭素質小惑星(162173)リュウグウの試料中の可溶性有機分子

地球生命が用いるタンパク性アミノ酸 (アラニンなど) のほか、非タンパク性アミノ酸 (イソバリンなど) が見つかった。**左手・右手構造を持つアミノ酸はほぼ1:1で存在し、非生物な合成プロセスが示された。** (Naraoka et al. 2023, Science)



リュウグウ試料の熱水抽出画分から検出したアミノ酸のD-体とL-体 (鏡像異性体) のクロマトグラフィーによる分離

評定理由・根拠 (補足)

★補足 1-4 : 小惑星探査機「はやぶさ2」にて採取した小惑星リュウグウ試料の初期分析をリード、世界最高水準の成果を創出

炭素質小惑星リュウグウ中ウラシルの検出 (初期成果論文後の論文成果)

初期分析サブチームの一つ、可溶性有機分子分析チームが、窒素を含む環状有機化合物 (窒素複素環化合物) にターゲットを絞り、それらのリュウグウ試料中での存在を詳細に検証。初期成果論文に続く成果として、以下を創出。



得られたアウトプット: Nature Communications誌に掲載

小惑星探査機「はやぶさ2」によって持ち帰られた10 ミリグラムほどの小惑星リュウグウ試料から、可溶性有機分子分析チームが独自に開発した超高感度分析手法により、すべての地球生命のRNAに含まれる核酸塩基の一つであるウラシルの検出に成功。さらに同一サンプルから、不可欠な補酵素の一つである、ビタミンB3 (ナイアシン) を検出。

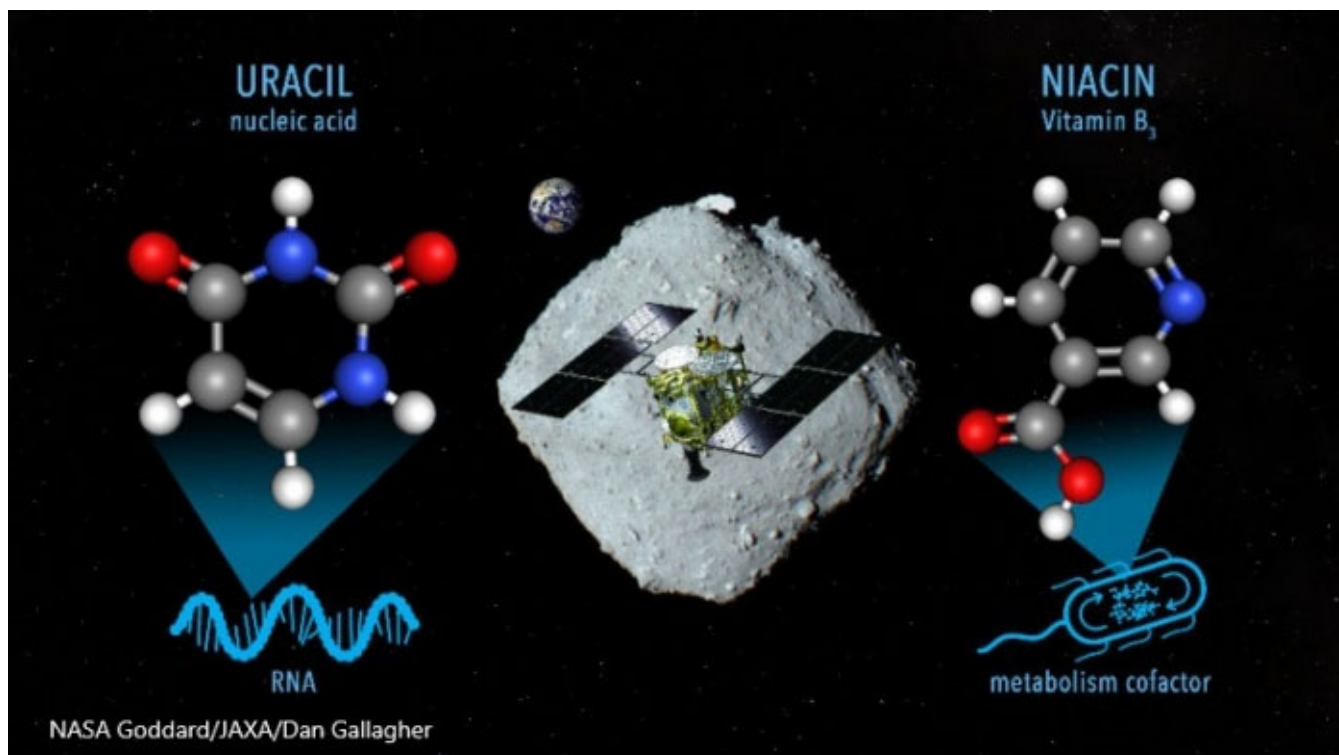


期待されるアウトカム

太陽系形成論と地球生命の成り立ちの解明に貢献

地球は形成初期、液体の水が安定に存在できない「乾いた惑星」。そこに対して、ウラシル及びビタミンB3の検出は、有機分子の化学進化の実像を示しており、生命誕生前の原始地球上でどのように最初の生命が誕生したのか、という科学における究極の謎について、炭素質隕石 (= 小惑星の破片) などの地球外物質によって供給された成分がその材料となったという説を強く支持するもの。すなわち、**生命が生まれるために必要な水や有機物は、リュウグウのような太陽系の外側からの小惑星が地球に衝突することによりもたらされた**という学説が、本研究においてより強く支持。

今後、さらに**小惑星や隕石と地球生命との関係性についてより深い議論が始まる**ことが期待される。



小惑星探査機はやぶさ2 がリュウグウでウラシルとビタミンを含むサンプルを採取するイメージ図 (NASA Goddard/JAXA/Dan Gallagher)

評定理由・根拠 (補足)

★ 補足 2 : 「ひさき」衛星が観た砂嵐による火星上層大気の変化 -火星生命環境への示唆-  
(惑星分光観測衛星「ひさき」)

「ひさき」衛星のモニタリング観測が明らかにした火星砂嵐前後の上層大気

「ひさき」は、2013年9月14日に打ち上げられ、地球周回軌道から極端紫外線分光技術による太陽系内惑星のモニタリング観測を継続している。木星磁気圏内のプラズマとエネルギーの分布と地球型惑星の上層大気の変化を観測的に明らかとなる。

得られたアウトプット : Nature Communications誌に掲載

一ヶ月間にわたる火星上層大気観測から、大規模な砂嵐(ダストストーム)発生時に、上層大気中では水素ガスが増加する一方で酸素ガスは一時的に減少することが分かった。つまり、「ひさき」観測データは、火星の大気流出に関して砂嵐も影響を与える可能性を示した。このことは砂嵐期間には水素ガスの流出が促進される一方で酸素ガスの流出は抑制されることを意味し、砂嵐は大気中に酸素ガスを温存し火星大気を酸化する役目を担っていることが示唆される。火星の砂嵐は季節的に繰り返し発生するため、何億年という火星史を考えると、もし毎回の砂嵐でこの状態が発生したとすると、火星の大気は砂嵐によって酸化され続けてきたことになる。言い換えると、過去の火星は現在の火星よりも還元的な大気を有しており、還元的な大気では生命を構成する有機物の合成が起こりやすいことを考慮すると、過去の火星環境は生命の生まれやすい環境であった可能性がある。

(Masunaga, K. et al, 2022, Alternate oscillations of Martian hydrogen and oxygen upper atmospheres during a major dust storm. Nat Commun 13, 6609, doi:10.1038/s41467-022-34224-6. ISAS web リリース「研究成果」2023年1月31日)

期待されるアウトカム

現在開発が進められている、火星衛星サンプルリターンミッション: Martian Moons Exploration (MMX)は、火星衛星の起源を解明するため、火星衛星フォボスのサンプルを持ち帰る計画である。火星から流出した大気に曝されたフォボス表面には、火星大気成分が面へ付着されていると考えられている。持ち帰ったサンプルの分析から、火星大気由来成分を導き出し、火星からの大気流出の仕組みや火星衛星環境の理解にも繋がると期待される。

また、補足 2 ~ 4 による金星及び火星の大気に関する成果論文は、多様性を持った惑星大気を複数のミッションによる多角的な観測により明らかにされた事実である。惑星大気の総合的理解を進め将来ミッションへの継承と深化をもたらすとともに、はやぶさ 2 が取得した小惑星リュウグウ試料の分析成果も加え、太陽系の惑星の起源と形成の謎を解き明かす惑星科学横断的な研究に繋がる。

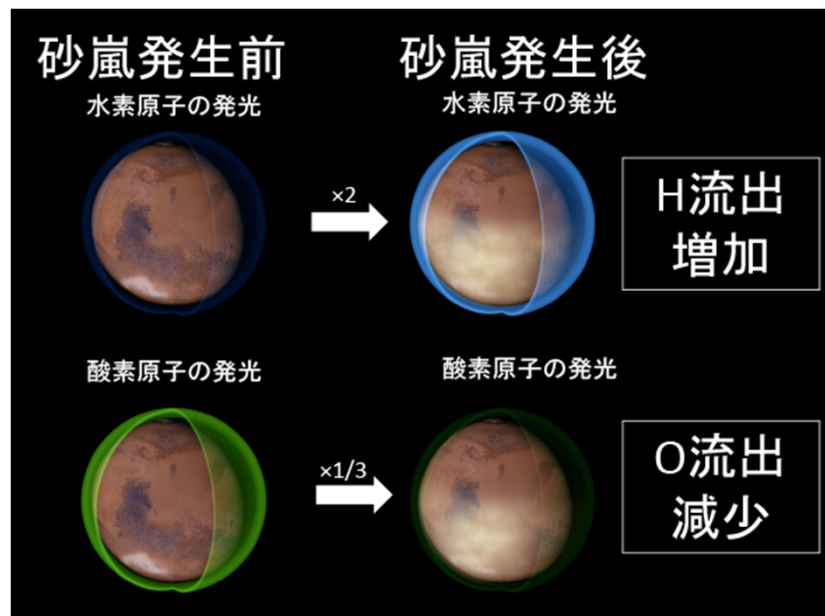


図. 砂嵐発生前後の水素ガス・酸素ガスの増減のイメージ (ISAS web リリース「研究成果」から抜粋)



評定理由・根拠 (補足)

★ 補足 3 : 太陽風は金星大気に入り込めない! 「みお」金星スイングバイが明らかにした太陽風 — 金星圏境界構造 — (水星磁気圏探査機「みお」)

BepiColombo「みお」は2021年8月に2回目の金星スイングバイを実施し、金星周辺のプラズマ観測に成功した。観測結果はこれまでの予想よりも高高度で太陽風が堰き止められることを示しており、太陽風プラズマとの衝突による金星電離圏へのエネルギー注入は起こらないことが観測的に示唆された。

得られたアウトプット: Nature Communications誌に掲載

2021年8月のBepiColomboの2回目の金星スイングバイでは、その前日に金星スイングバイを行ったESAの太陽探査機Solar Orbiterが太陽風を上流で観測している位置関係にあり、2つの探査機による金星周辺プラズマと太陽風の同時観測が実現した。BepiColomboは「みお」搭載の電子・イオン観測器を中心に金星最接近前後でプラズマ観測を実施し、太陽風と金星電離圏の境界領域の観測に成功した。太陽活動度極小期の金星では、通常より電離圏の導電性が低くなり太陽風が金星圏との境界を横切ってエネルギーを直接電離圏に注入しやすいと考えられてた。しかし、今回の観測結果はこれまでの予想よりも高高度で太陽風が堰き止められることを示しており、太陽風プラズマとの衝突による金星電離圏へのエネルギー注入が起きていないことが観測的に示唆された。太陽活動極小期における本領域の観測は今回が世界初であり、本観測結果に基づく理論モデルの更新が期待される。

(Persson et al., 2022, BepiColombo mission confirms stagnation region of Venus and reveals its large extent, Nature Communications, doi:10.1038/s41467-022-35061-3)

期待されるアウトカム

太陽風が理論予想よりも金星圏内に侵入しにくいという観測事実は、金星電離圏からの大気流出量がこれまでの推定よりも減る可能性を示唆しており、金星の長期的な大気進化の理解に影響を与えると考えられる。地球の双子星である金星は、地球型惑星の大気進化を理解する上で非常に重要な惑星といえる。本観測結果に基づく理論モデルの更新が期待される。また本研究は制約の多い惑星スイングバイにおいても貴重な金星プラズマ環境の観測を遂行し、重要な観測事実を提示できることを証明した。BepiColomboは2025年末の水星到着まで合計9回の惑星スイングバイが計画されており、他のスイングバイ観測からも重要な観測事実を示すことが期待される。

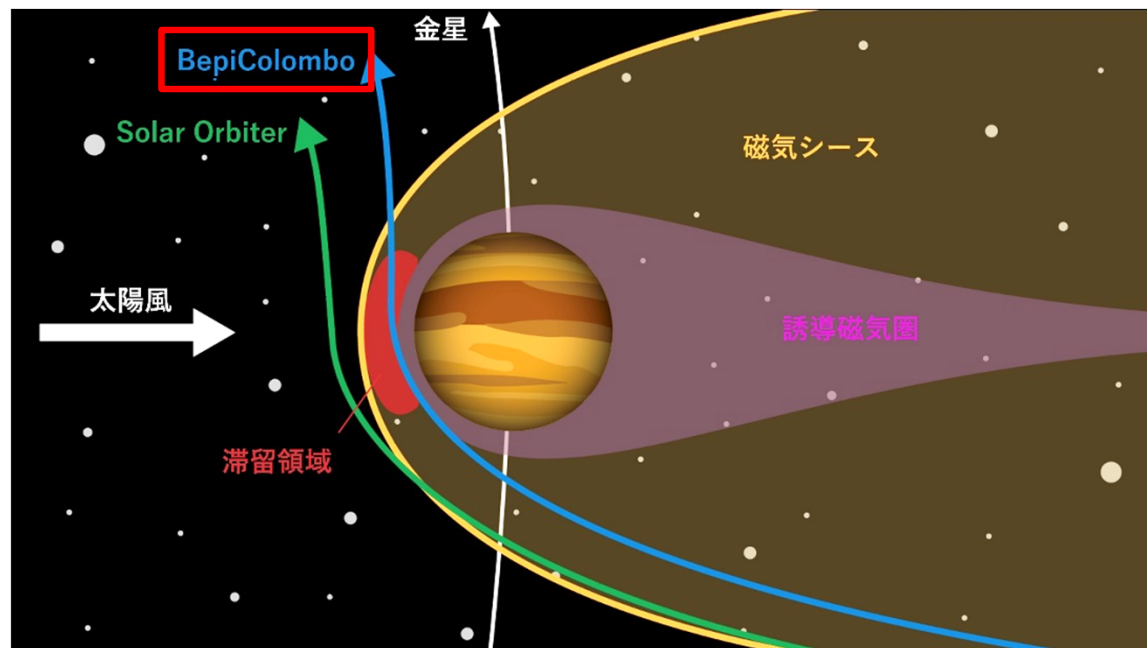


図: 金星周辺のプラズマ環境とBepiColomboのスイングバイ軌道を示す概略図 (Credit: Thibaut Roger/Europia net)

評定理由・根拠 (補足)

★ 補足 4 : 金星気象データセットを世界で初めて作成 – 金星探査機「あかつき」観測データの新しい活用 – (金星探査機「あかつき」)

金星気象学の本格化 ～あかつきデータ同化で迫る金星気象の本質～

金星探査機「あかつき」は2022年度も現在金星を周回している世界唯一の探査機として成果を創出した。世界初の惑星気象に特化した探査機でもある「あかつき」は金星気象の連続観測を行い、それを数値モデルと一体化する「データ同化」を目指してきた。良質なデータが蓄積され、本格的な「データ同化」が始動し、いよいよ金星気象の本質に迫るフェーズを迎えている。

得られたアウトプット : Scientific Reports誌に掲載

○「あかつき」の得た金星風速場データを用いた初の本格的「データ同化」  
2018年9月1日から12月31日にかけて得られた紫外イメージャUVIによる風速測定データを同化し、そのうち10月1日から11月30日分の結果を詳細に調べた。風速データを同化しているためスーパーローテーション構造の再現性が高まることに加え、**世界で初めて金星大気の客観解析データ (気象データセット) を作成することに成功し、熱潮汐波の構造やそれに伴う角運動量輸送の効果もより現実大気に近いものが得られるようになった。**データ同化により得られる大気の再現 (温度場、風速場) は「再解析データ」として参照できるよう、一般へ公開される。

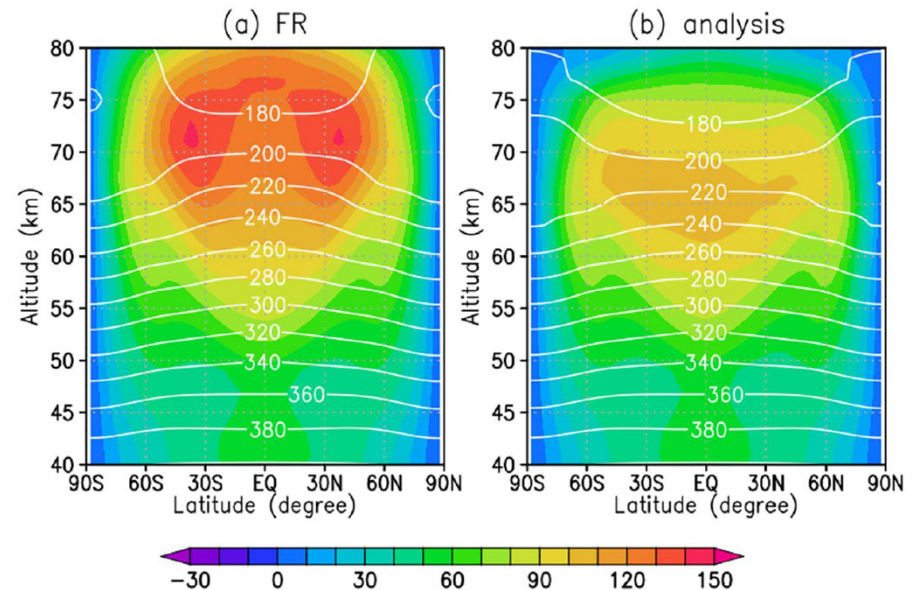
(Fujisawa, Y., et al. 2022, The first assimilation of Akatsuki single-layer winds and its validation with Venusian atmospheric waves excited by solar heating, Scientific Reports, 12, 14577 (26 Aug 2022), <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18634-6>)

期待されるアウトカム

地球気象では当たり前に行われるようになった「データ同化」手法を、金星気象に対して初めて本格的に行い、その有用性を示すことができた。これは大気をもつ天体への将来ミッションを計画する上で、何をどのように測定するべきかの重要な指針を与えるものである。

また手法の改善・データの蓄積は、金星気象の本質を解き明かすと同時に、地球気象との相違点をより深く理解することに資すると期待される。

(a) データ同化をしない場合 (フリーランFR) と(b)データ同化をした場合 (再解析analysis) の金星風速場シミュレーション結果。FRではスーパーローテーション速度が150 m/sと過剰であったものが、データ同化により風速100 m/sとより現実的に、さらに最大速度となる高度領域が雲頂付近に、適切な構造が再現されるようになった (Fujisawa et al., 2022)。



## 評定理由・根拠（補足）

### 補足 5：JAXA内外の研究者の育成、システム人材の育成などに現場を活用して貢献

2022年度は、宇宙科学研究所ならではの現場を活かした人材育成を積極的に推進。既存の研究者育成に加えて、システム人材（プロジェクトの立上げ～遂行までを実施する人材）育成のために、観測ロケット・大気球・SLS搭載超小型探査機等を用いた経験機会を積極的に提供した。

#### 得られたアウトプット：観測ロケット・大気球・SLS搭載超小型探査機による人材育成

##### 小規模な実験機会（観測ロケット・大気球）を用いた現場での人材育成

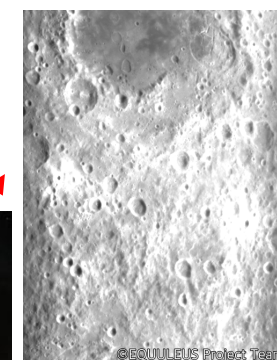
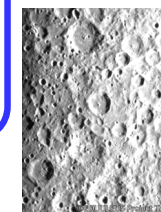
- ・観測ロケットS-520-32号機の打上げ実験を実施。予定していたサイエンスデータの取得に成功した。本実験に際して、受け入れを行っている学生及びロケット打上げの実務経験を積むため種子島宇宙センターの若手職員が参加し、人材育成を実施。参加者は宇宙科学プロジェクトの現場に携わることで、プロジェクト実行の上あたって必要となる知識、技術、考え方について基礎的な理解向上を図るとともに、実際の打ち上げ運用を通じて、システム人材として、プロジェクトの円滑な遂行に求められるプロジェクトマネジメントの一端を学んだ。
- ・大気球実験は、大型気球1機とゴム気球1機の計2回のフライトを実施。実験においては新人職員の研修受入も並行して実施し、観測機器の整備からフライトまで一連の作業の理解度を深めた。

##### SLS搭載超小型探査機（OMOTENASHI/EQUULEUS）の開発・運用

- SLS搭載超小型探査機（OMOTENASHI/EQUULEUS）が2022年11月に米国NASAの超大型ロケットSLSによって打上げられた。どちらの探査機も開発から若手中心であり、打上げ後の運用も若手中心のチームが行い、システム人材の育成に活用した。運用においては、研修受入も行いALL-JAXAの若手職員が実運用（コマンドの送信等）に参加し、他では得られない現場経験を積んだ。
- ・OMOTENASHIについては月面着陸に断念したが、その後の原因究明作業においても本体の若手チームとは別の原因究明若手チーム（シャドーチーム）を設置し、原因究明作業の経験をより多くの若手に積ませることで、人材育成に活用した。
  - ・EQUULEUSについては超精密軌道決定・軌道制御により月フライバイを高精度で成功させた後、航行しており、成果として2つの世界初を達成した。1つは、水を推進剤とする推進系による地球低軌道以遠での軌道制御に世界で初めて成功した。また、打上げ後3か月を経過した2023年2月に、予定にはない試みとして太陽系に飛来してきた長周期彗星（ZTF彗星）を探査機から撮影し、探査機の健全性及び高い姿勢安定度を確認した。長周期彗星を超小型探査機から撮影したことはEQUULEUSが世界初である。



観測ロケットS-520-32号機の打上げ



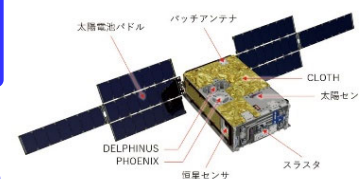
EQUULEUSが撮影した月面裏の画像

#### 深宇宙探査機プロフェッショナル人材の育成

はやぶさ2運用に若手研究者・技術者が多数参加、深宇宙運用の知見・経験を獲得させ、技術の伝承を実地で実施してきた。人材をMMX及びDESTINY+に再配置を行い、MMXとDESTINY+の並行開発を実現している。

#### 超小型探査機による若手人材育成と機動力の高い宇宙科学の実現

SLS搭載超小型探査機（OMOTENASHI/EQUULEUS）の開発・運用に若手人材が参加し、2022年度の打上げまでを通して経験を積み、長周期彗星探査計画（Comet Interceptor）等の新規計画に人材を再配置した。超小型探査機による人材育成と機動力の高い宇宙科学の実現を両立させる取り組みを実施した。



超小型月探査機 EQUULEUSの外観

評定理由・根拠 (補足)

補足 6 : 成果の社会還元と産業振興への取り組みを積極的に推進

グリーンイノベーションの一環として目指す「水素社会」についてロケットエンジン分野で培ってきた液体水素のハンドリング技術を多様な企業に還元。さらに宇宙業界においてベンチャー企業が数多く誕生しており、宇宙科学・探査分野の技術を積極的に還元。さらに、産学官連携として、超小型衛星による宇宙科学ミッションを九州工業大学・セーレン社とともに立ち上げた。

得られたアウトプット：能代ロケット実験場における水素ハンドリング技術により世界初の液化水素運搬船「すいそ ふろんていあ」関連事業に貢献

能代ロケット実験場において長年培ってきた水素の取扱い技術を川崎重工業株式会社が製造した液化水素運搬船「すいそ ふろんていあ」関連の技術開発事業に適用。**世界初の液化水素運搬船「すいそ ふろんていあ」事業は、豪州で製造した水素を神戸に輸送すること（実証試験）に成功し、実証試験中の各種運用データを検証し無事に完遂できたことを確認。2022年4月、実証試験の完遂式典が開催された。**また、その成果により、日本産業技術大賞を獲得している。

JAXAは、海上輸送用タンク、貯蔵容器について企業と共同研究を実施し協力。ボイルオフガス (BOG) 圧縮機、昇圧ポンプ、ローディングシステム、大型バルブについて、開発試験に協力。多様な個所での協力を実施した。

SDGsへの貢献



スタートアップ企業 (ベンチャー企業) との連携

Pale Blue社と「はやぶさ」イオンエンジン技術について協力を開始

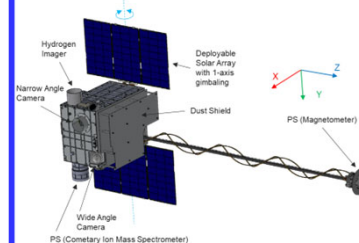
東京大学発スタートアップ企業Pale Blue社と「はやぶさ」のイオンエンジン技術を用いて、当該社が300W級電気推進機を、新たな製品として開発し、事業化を目指すことに際し、協力を開始。成果の社会還元を進めた。

長周期彗星探査計画 (Comet Interceptor) の開発メーカとしてアークエッジ・スペース社を選定

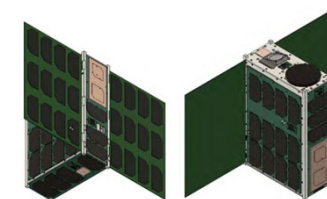
戦略的海外共同計画である長周期彗星探査計画 (Comet Interceptor) について、JAXAが担当する超小型探査機の開発メーカとして東京大学発スタートアップ企業のアークエッジ・スペース社を選定した。JAXAとしてEQUULEUS等の開発・運用の知見等を企業に還元・共有しつつ、スタートアップ企業の効率性等を活用し、短期間開発・コストパフォーマンスの高い超小型探査の世界を切り拓いていく。

「すいそ ふろんていあ」関連事業の全体像イメージ図

©HySTRA.



Comet Interceptorイメージ図



©九州工業大学

拡充プログラム第1回公募で選定された九工大・セーレン・JAXA (ISAS) 等による超小型衛星 (6U) ミッション衛星イメージ図

産学官連携：九州工業大学・セーレン社との連携による超小型衛星による宇宙科学ミッションの立上げ

JAXA新事業促進部が主導して開始した「産学官による輸送/超小型衛星ミッション拡充プログラム(JAXA-SMASH)」において、九州工業大学・セーレン社等と産学官連携体制を構築し、第1回公募に応募。ミッション価値や実現性等を考慮して「高精度姿勢制御6U衛星による宇宙可視光背景放射観測で探る天体形成史」ミッションが選定された (技術のフロントローディングで開発した統合型姿勢制御 (AOCS) ユニートを搭載予定)。大学、企業、JAXAそれぞれの強みを持ちより、超小型衛星ミッションを実現することで、機動的な科学成果の創出とともに、大学での人材育成や企業の競争力向上等に貢献するミッションを立ち上げた。

評定理由・根拠（補足）

**補足7：より一層の科学的成果の発信、成果の理解増進を目指し、アウトリーチ活動を積極的に実施**

宇宙科学・探査分野への国民の応援団（フレンズ）を醸成・拡大することを目的に「フレンドレイジング」と称した相模原キャンパス横断での新たなアウトリーチ活動を開始。第一弾としてクラウドファンディングによる試行活動を実施し、当初目標以上の支援を獲得。さらに、ホットピックスに関するアウトリーチ活動として、はやぶさ2が採取したリュウグウサンプルのレプリカを日本全国の展示施設に配布。さらに、宇宙分野を志す女性研究者を増やすためのイベントを開催した。また、バイデン大統領来日時はリュウグウサンプル（実物）を展示し、日米協力の深化に貢献した。

**得られたアウトプット：応援団醸成・拡大の取組み「フレンドレイジング」とクラウドファンディング成功**

応援団の醸成・拡大を目的とした参加型の「フレンドレイジング：仲間作り」という活動を開始。第一弾としてクラウドファンディング（「宇宙をもっと身近に。」宇宙体験・交流コンテンツの充実化へ）を通じ、興味・関心をひきつけ、参加感を高め、寄附額に応じたギフト（役職員との少人数での交流会・施設見学ツアー、仲間感を高める限定グッズ）により、より一歩踏み込んだアウトリーチ活動を展開。**寄附者からは「このような取り組みを待っていた」という声も多く聞くことができ、目標金額500万円の約1.5倍に相当する約730万円（約430名）と当初目標金額（500万円）以上の支援をいただいた。**アドバイザーとして協力いただいた立命館大学技術経営大学院（MOT）によるアンケート等を通じた社会科学的分析として本クラファン参加により寄附者のロイヤルティ（親密度、推奨意図、継続支援）の向上等の効果が見られ、ペルソナ像（支援者層）の見える化とともに、サポート的な世論の土壌形成、ファンによるファンの拡大といった応援団醸成等に繋がった。

クラウドファンディング寄付者からの応援の声（例）

日本の宇宙科学・探査を全力で応援しています。日本が切り拓く宇宙科学・探査の新たな景色を楽しみにしております！！  
宇宙という途方も無い事を身近に感じ、仕事とされている方々にとても敬意を抱きます。次の10年100年を見据えての活動、素晴らしい事です。  
今回このような機会を設けて頂き本当にありがとうございます。

この世界には面白いことが山ほどあります。  
知りたいことが際限なくあります。  
教科書や参考書に載っているのは今までの探査と研究の成果です。学ぶだけでなく私も一緒に切り開いていきたい。応援だけでなく参加したい。だから、このお金を寄附します。  
よろしくお願いします。

クラウドファンディング寄附者へのギフト（対価性の無いお返し）  
（左図：研究者との交流会、右図：國中所長との交流会）



**リュウグウサンプルのレプリカを全国47都道府県で公開**

「はやぶさ2」が小惑星リュウグウから持ち帰ったサンプルの中で、3番目に大きいものについて精密なレプリカを製作。全国の展示していただける施設に配布。**2022年の「はやぶさの日（6月13日）」の直前から順次全国47都道府県において公開を行った。**はやぶさ2プロジェクト終了後もアウトリーチを積極的に行うことで、日本全国の青少年教育等にコンテンツ面で大きく貢献した。

**女子中高生のための個別進路相談会を実施**

2022年10月、相模原キャンパス特別公開・前夕祭企画「JAXAの研究者等による女子中高生のための個別進路相談会」を開催。主として女子中学・高校・大学生を対象に、進路選択等の相談に対し、JAXAの研究者等16名がアドバイザー（相談員）として個別に相談を実施。オンラインで開催したこともあり、青森県から南は鹿児島県まで幅広く参加いただけた。「進路選択に少しでも参考になったかどうか」のアンケートに「非常に参考になった」が75%、「参考になった」が25%という結果を得ることができた。

**バイデン大統領来日時にリュウグウサンプル（実物）を展示**

2022年5月、岸田総理大臣とバイデン大統領による日米宇宙協力関連展示の視察が実施され、日米宇宙協力の成果として、リュウグウサンプル（実物）が展示された。米国NASAのサンプルリターンミッションOSIRIS-RExが採取するサンプルとリュウグウサンプルの相互交換が予定されており、2つのサンプルの比較によって、世界初の発見が期待されており、日米協力の1つの形として、日米協力の深化に貢献した。



サンプルレプリカの公開地とレプリカ写真  
（青い丸が展示施設を指す）



バイデン大統領来日時の様子：  
右下がリュウグウサンプル  
（写真提供：内閣広報室）

評定理由・根拠 (補足)

★ 補足 8 : 磁気圏尾部観測衛星「GEOTAIL」の運用終了 (運用30年間の成果)

磁気圏尾部観測衛星「GEOTAIL」が1992年に打上げられ、2022年11月に運用を終了した。

ISTP (太陽地球系物理学国際共同観測計画)の一員として、米国NASA、欧州ESA、ロシアの衛星群に、日本としても衛星を投入し、協力・貢献することを目的にGEOTAILが計画された。結果として、米国NASAと共同開発を行った磁気圏尾部観測衛星「GEOTAIL」は1992年に米国から打上げられ、その後、約30年間にわたって観測運用を行った。地球近傍の磁気圏尾部を通過する特殊な楕円軌道での運用を行い、磁気圏尾部のプラズマの直接観測データを取得した。2022年6月に搭載データレコーダーの故障が発生したため、NASAと合意の上、2022年11月に停波運用を実施した。

得られたアウトプット：二重月スイングバイに代表される工学的成果とNature誌への掲載論文等をはじめとした世界一級の科学成果を創出

<工学的成果>

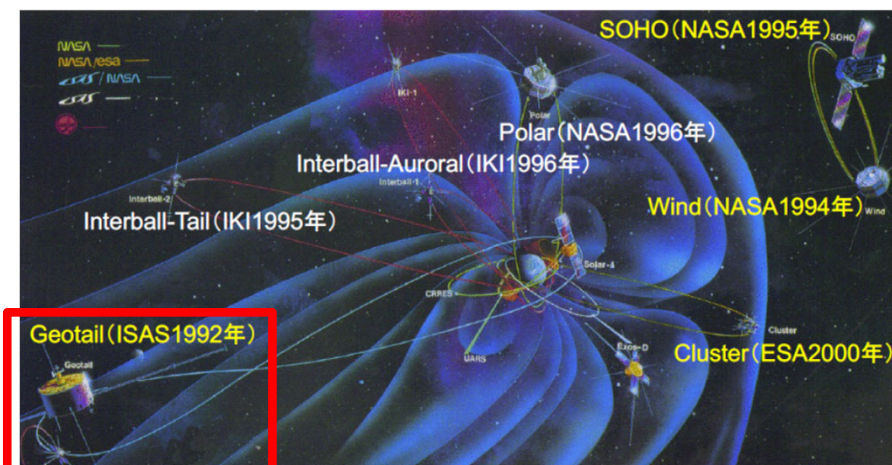
設計寿命が3年半であったところ、30年間の運用を達成した。また、NASAと協力し、二重月スイングバイを計画し、成功し、特殊な楕円軌道での観測運用を実施した。

<科学 (理学) 成果>

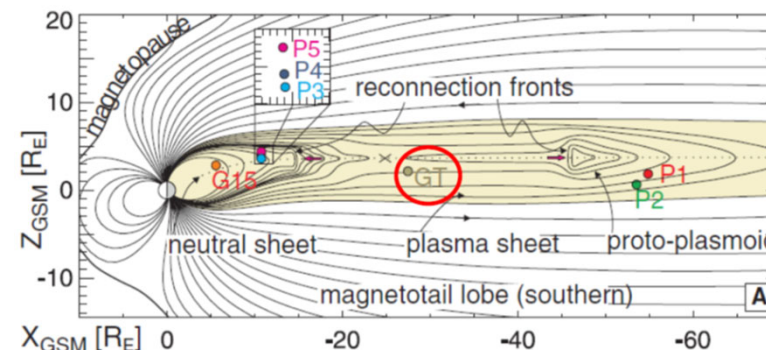
地球近傍の磁気圏尾部のプラズマの直接観測データを取得し、データを打上げ以降30年以上継続して公開することで、Geotailデータを使用した学術研究に貢献した。2022年12月時点で1307編の査読論文が出版されている。大きな成果として、磁気圏尾部の磁気リコネクション領域の粒子ダイナミクスや電磁場からイオンへのエネルギー変換過程を明らかにした。

期待されるアウトカム

- ・GEOTAILの工学的成果を受け、以降の日本の人工衛星・探査機のスイングバイ軌道設計・運用技術の獲得につながった。
- ・著名誌へ掲載された論文、他分野へ波及した論文も出版された。例として、「太陽活動静穏時の磁気圏遠尾部での地球起源酸素イオンの発見」に関してScience誌に掲載された論文があり、これは惑星大気科学への貢献がなされた (Seki et al., Science, 2001)。また、「天体ガンマ線フレアのエネルギー量の推定」に関してNature誌に掲載された論文があり、天体物理学へも貢献がなされた (Terasawa et al., Nature, 2005)。2010年代に入っても、THEMIS衛星及びGeotail衛星による共同観測により磁気圏尾部磁気リコネクションの発達過程を観測したことについてScience誌への掲載論文が出版された (Angelopoulos et al., Science, 2013)。
- ・波及的効果について、のべ約1800人の学生が運用に関わり、大きな人材育成効果を上げたことが確認された。また、米国のGeotailプロジェクトと協力して共同ミッションを円滑に遂行する事で、NASAとの良好な関係の維持に貢献し、本格的日米共同計画のさきがけとして、その後続くNASAとの協力の礎となった。



ISTP (太陽地球系物理学国際共同観測計画)を構成する衛星群



磁気圏尾部磁気リコネクションの発達過程を観測した図

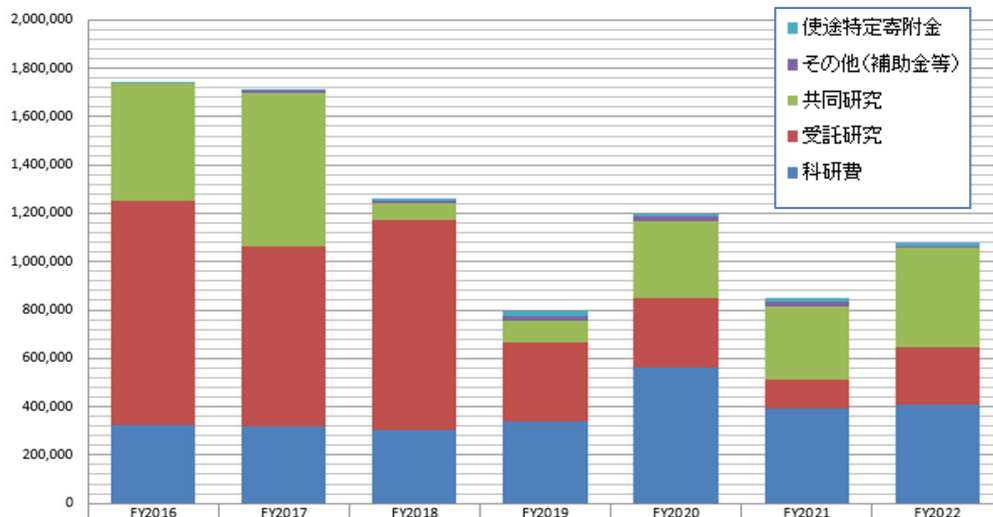
(Angelopoulos et al, Science, 2013) 3.6 宇宙科学・探査

## 参考情報

	実績	備考
1. 2022年度の研究成果		
(1) 査読付き学術誌掲載論文	340編 (2022年1月-12月)	Web of Science (WOS)調べ (図2)
(2) 著名な学術誌での掲載数	Nature 1編、Science 5編 (2022年4月-2023年3月)	
(3) 主な学術賞受賞	<ul style="list-style-type: none"> <li>○吉光徹雄 (教授) 他：令和4年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞受賞</li> <li>○村上 豪 (助教)：令和4年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞</li> <li>○久保田 孝 (教授)：2022年度日本ロボット学会フェローの称号受賞</li> <li>○船木一幸 (教授)、羽生 宏人 (教授) 他： 2022 AIAA Pressure Gain Combustion Best Paper受賞</li> <li>○森下貴都 (専門・基盤技術G) 他： Journal of Applied Physics 誌のMost-Read Article第2位に選出</li> </ul>	
2. 高被引用論文数	49編 (過去10年間における高被引用論文数)	2023年3月に更新されたEssential Science Indicators (ESI) データに基づく (図3)
3. 外部資金獲得額	約10.7億円	(図1)
4. 学位取得者数	67名 (修士54名、博士13名)	(参考4)

(図1) ■ 外部資金獲得状況 (FY2016~FY2022)

単位：千円 宇宙科学研究所における外部資金獲得状況



年度	FY2016	FY2017	FY2018	FY2019	FY2020	FY2021	FY2022
計	1,743,065	1,713,181	1,259,964	793,206	1,196,967	848,172	1,075,912
科研費	324,890	316,514	305,377	340,219	560,464	391,617	406,226
受託研究	927,347	744,326	868,792	326,421	289,668	121,178	238,120
共同研究	486,208	637,341	67,977	88,516	318,585	304,696	414,188
その他(補助金等)	0	9,000	10,000	19,000	20,000	15,762	3,628
用途特定寄附金	4,620	6,000	7,818	19,050	8,250	14,919	13,750

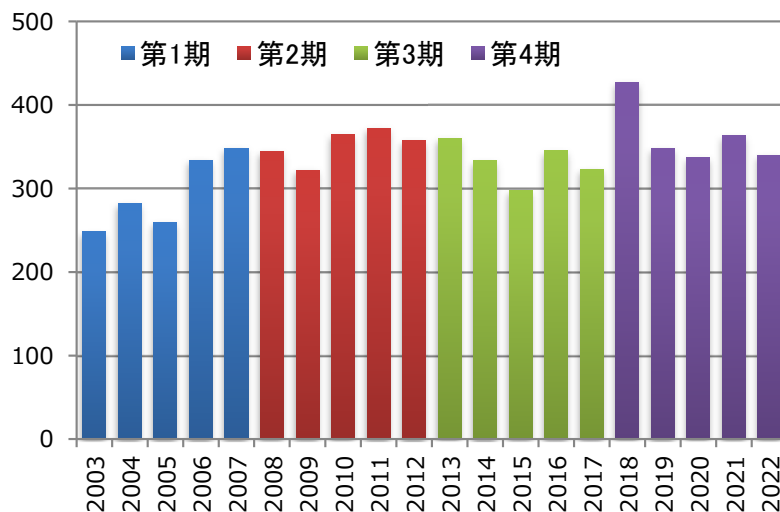
- 受託研究には、科学技術振興機構（JST）の競争的資金制度含む
  - 科研費は宇宙科学研究所所属の研究者が研究代表者として獲得した課題の交付額
- 単位：千円

(図2) ■ 論文数の推移 (注1)

Number of papers (Web of Science) (編)

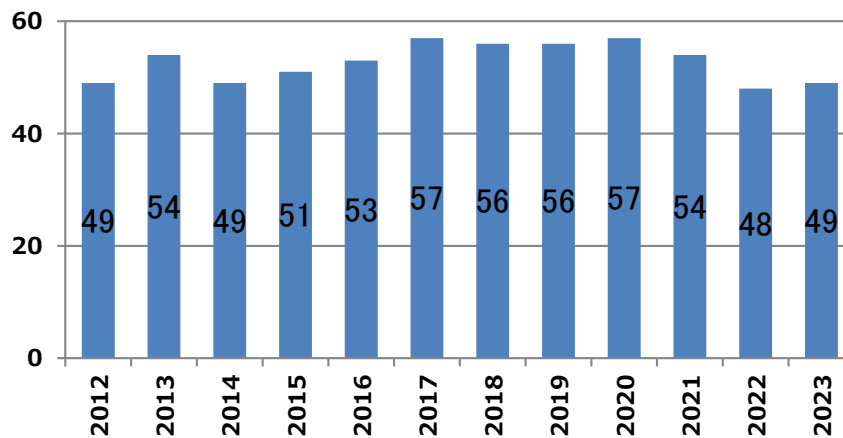
(注1) ISASの研究者を共著者に含む論文の中で、Web of Science (WOS) が調査の対象としている学術誌に掲載された論文のみの数。

従って、全査読付き論文数よりも少ない。また、集計は年度ではなく暦年。(各年1月~12月)



(図3) ■ 高被引用論文の推移 (2022年3月に更新されたESIデータに基づく)

(編) (注2)



(注2) 過去10年間における高被引用論文数。クラリベイト・アナリティクス・ジャパン株式会社のデータベースであるEssential Science Indicators (ESI) において、科学全体を大きく22の研究分野に分類しており、それぞれの分野において被引用数が上位1%の論文を高被引用論文(Highly Cited Papers)と定義している。



## 参考情報

### ■ (参考4) 学位取得状況 大学院生に実践的な研究現場を提供し、人材育成、技術者養成を実施。

学位取得年度	2018年度			2019年度			2020年度			2021年度			2022年度		
	修士	博士	小計	修士	博士	小計	修士	博士	小計	修士	博士	小計	修士	博士	小計
総合研究大学院大学	1	4	5	0	3	3	0	5	5	1	3	4	0	5	5
東京大学大学院	25	10	35	21	6	27	22	7	29	23	6	29	22	7	29
受託指導学生 (旧・特別共同利用研究員)	18	1	19	7	0	7	8	2	10	9	0	9	9	0	9
連携大学院	8	0	8	20	0	20	23	2	25	17	1	18	23	1	24
計	52	15	67	48	9	57	53	16	69	50	10	60	54	13	67

### ■ 学位取得者の進路

修士課程	総数： 54名	博士課程	総数： 13名
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○進学 12名</li> <li>○就職 38名 <ul style="list-style-type: none"> <li>うち、宇宙分野 12名 <ul style="list-style-type: none"> <li>・公共機関 1名 (内JAXA 1名)</li> <li>・民間企業 11名 (IHI、スカパーJSAT他)</li> </ul> </li> <li>うち、非宇宙分野 26名 <ul style="list-style-type: none"> <li>・公共機関 0名</li> <li>・民間企業 26名</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>○その他 4名</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>○就職 12名 <ul style="list-style-type: none"> <li>うち、宇宙分野 5名 <ul style="list-style-type: none"> <li>・公共機関 4名 (内JAXA 1名)</li> <li>・民間企業 1名</li> </ul> </li> <li>うち、非宇宙分野 7名 <ul style="list-style-type: none"> <li>・公共機関 2名</li> <li>・民間企業 5名</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>○その他 1名</li> </ul>

### ■ (参考5) 大学院在籍者

年度	2018年度				2019年度				2020年度				2021年度				2022年度			
	修士	博士	研究生	小計	修士	博士	研究生	小計	修士	博士	研究生	小計	修士	博士	研究生	小計	修士	博士	研究生	小計
総合研究大学院大学	4	21	4	29	5	22	1	28	6	23	1	30	6	20	1	27	6	18	0	24
東京大学大学院	50	36	1	87	47	32	0	79	49	28	0	77	50	29	0	79	47	30	0	77
受託指導学生 (旧・特別共同利用研究員)	34	4	0	38	19	3	0	22	11	3	1	15	10	5	1	16	11	5	0	16
連携大学院	23	7	0	30	45	4	0	49	42	5	0	47	40	5	0	45	46	4	0	50
計	111	68	5	184	116	61	1	178	108	59	2	169	106	59	2	167	110	57	0	167

財務及び人員に関する情報							
項目 \ 年度	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
予算額 (千円)	17,106,903	20,473,275	20,908,298	34,797,158	31,295,447		
決算額 (千円)	17,435,242	21,401,455	19,864,360	28,485,366	30,151,617		
経常費用 (千円)	—	—	—	—	—		
経常利益 (千円)	—	—	—	—	—		
行政コスト (千円) (※1)	—	—	—	—	—		
従事人員数 (人)	307	318	337	324	325		

(※1) 「独立行政法人会計基準」及び「独立行政法人会計基準注解」の改訂(平成30年9月改定)に伴い、2018年度は「行政サービス実施コスト」、2019年度以降は「行政コスト」の金額を記載。

## 主な参考指標情報

年度 項目	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
大学共同利用設備の利用件数	87件	93件	95件	99件	150件		
女性・外国人の教員採用数	1名	0名	1名	0名	0名		
日本学術振興会のフェロー数	8名	7名	9名	6名	5名		
大学などへの転出研究者数	1名	3名	0名	1名	3名		
大学共同利用連携拠点数	5	3	3	3	2		
学生受入数及び学位取得者数	受入学生数：278名、学位取得者数：67名	受入学生数：264名、学位取得者数：57名	受入学生数：226名、学位取得者数：69名	受入学生数：242名、学位取得者数：60名	受入学生数：276名、学位取得者数：67名		
査読付き論文数 ※1	427 編	348編	337編	363編	340編		
高被引用論分数 ※2	56編	57編	54編	48編	49編		
学術表彰の受賞件数	8件	19件	30件	38件	13件		
科研費等外部資金の申請数と取得額	125件 1,261,278千円	137件 793,206千円	144件 1,127,234千円	158件 848,172千円	135件 1,075,912千円		

※1 査読付き論文数：暦年で換算

※2 高被引用論文数：過去10年間における高被引用論文数  
Essential Science Indicators (ESI) データに基づく

### Ⅲ. 3. 7 国際宇宙探査

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>Ⅲ. 3. 7</p> <p>アルテミス計画において、日米協力関係をはじめとする国際協力関係の強化への貢献を見据えつつ、我が国の宇宙探査計画を提案・実施する。提案に当たっては、宇宙科学・探査との連携、ミッションの科学的意義、「きぼう」/「こうのとりのり」等の技術実績の継承、異分野の企業を含む民間事業者の発展等を踏まえ、計画立案する。</p> <p>アルテミス計画への戦略的な参画及び同計画の先を見据え、主体的に技術面を含めた我が国の計画の検討を進める。また、有人宇宙探査において重要となる技術のうち、我が国が優位性を発揮できる技術や他分野への波及効果が大きく今後伸ばしていくべき技術として、月周回有人拠点（ゲートウェイ）構築に向けては深宇宙補給技術（ランデブ・ドッキング技術等）と有人宇宙滞在技術（環境制御技術等）、有人月着陸探査活動に向けては重力天体離着陸技術（高精度航法技術等）と重力天体表面探査技術（表面移動技術、掘削技術、水氷分析技術等）の実証に、宇宙科学・探査における無人探査と連携して取り組む。その上で、アルテミス計画及びその一環であるゲートウェイ構築などに貢献し、日本人宇宙飛行士の活躍の機会を確保する等、我が国の宇宙先進国としてのプレゼンスを発揮する。</p>	<p>Ⅰ. 1. 7.</p> <p>火星を視野に入れつつ、月での持続的な活動を目指す、米国主導の国際宇宙探査（アルテミス計画）への戦略的な参画及び同計画の先を見据え、主体的に技術面を含めた我が国の計画の検討を進め、国際調整や技術検討及び開発を行う。国際宇宙探査において重要となる技術のうち、我が国が優位性を発揮できる技術や他分野への波及効果が大きく今後伸ばしていくべき技術として月周回有人拠点「ゲートウェイ」の整備に向けては深宇宙補給技術（ランデブ・ドッキング技術等）と有人宇宙滞在技術（環境制御技術等）の技術検討・技術実証に取り組む。また、月着陸探査活動に向けては小型月着陸実証機（SLIM）、火星衛星探査機（MMX）等の機会も活用しつつ、宇宙科学・探査における無人探査と連携し、重力天体離着陸技術（高精度航法技術等）と重力天体表面探査技術（表面移動技術、掘削技術、水氷分析技術等）の技術検討・技術実証に取り組む。さらに、アルテミス計画の目標とする火星探査を見据え、宇宙科学における重要性を踏まえ、国際協力により取り組む火星本星の探査計画について検討を進める。</p> <p>具体的な開発として以下を実施する。（開発中の探査機等は宇宙基本計画工程表に則ったスケジュールで打ち上げる。）</p>	<p>・国際宇宙ステーション(ISS)の政府間協定(IGA)の下で締結されたゲートウェイ MOUに基づき、日本の参画内容である国際居住棟（I-HAB）及びゲートウェイ補給機（HTV-XG）の技術的な実現性検討をもとに国際調整を主体的に進め、技術要求仕様を確定した。さらに法務面においても政府を支援したことにより、MEXT（文部科学省）-NASA間の実施取決め(ゲートウェイIA)の締結に至った。</p>	<p>・日本人宇宙飛行士として初となる地球低軌道以外での宇宙活動機会（ゲートウェイ搭乗）が確保された。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>①ゲートウェイ居住棟 ゲートウェイへの貢献として、NASA等が提供する居住棟に対し、中核的な生命維持等の機器を提供する。</p>	<p>●ゲートウェイ居住棟へ提供する環境制御・生命維持装置等の機器について、基本設計を進める。また、設計の固まったものから順次製作に着手する。（基本設計完了予定：令和4年度、製作完成予定：令和6年度）</p>	<p>&lt;プロジェクト&gt;ゲートウェイの初期要素となるミニ居住棟 (HALO)への機器(バッテリー)の提供を完了させ、国際約束を着実に履行した。ゲートウェイの中核的な機能となる国際居住棟(I-HAB)の環境制御・生命維持システムの開発を進めてNASA/ESAと連携して基本設計を概ね完了させ、開発を本格化させた。</p>	<p>有人宇宙滞在に係る基幹技術である生命維持機能のコア技術を確認する。また、今後の有人宇宙探査システム（有人と圧ローバ等）への適用が期待される。</p>
<p>②ゲートウェイへの物資補給 ゲートウェイへの物資・燃料補給を行うことを目指し、ISSへの物資輸送ミッションの機会を活用して新型宇宙ステーション補給機 (HTV-X) によるドッキング技術実証等を行う。</p>	<p>●ゲートウェイへの物資・燃料補給を行うことを目指し、HTV-Xを活用した実証に向けて自動ドッキングシステムの詳細設計及び製作を進める。（詳細設計完了予定：令和4年度、製作完成予定：令和5年度）</p> <p>●HTV-Xによるゲートウェイ物資補給ミッションのミッション要求について、概念検討や要素技術検討を進め、NASAとの調整を完了する。</p>	<p>・自動ドッキング技術実証ミッションについて、詳細設計を進めている。ドッキング機構の試験用モデルを用いて米国NASA-JSC試験設備での試験を実施し、国際標準に対応する多様なパラメータでのデータを取得した。また、相対航法センサ（フラッシュライダ）については、バーシング・ドッキングミッション向けのEM開発を完了し試験を実施した。バーシング向けの精度が達成できることを確認し、ドッキング向けの精度達成の目処を得た。</p> <p>・HTV-XGは、システム概念検討を実施し、要素技術検討(CFRP、中距離画像航法)を進めている。与圧構造にCFRPを採用するための実現性評価要素試験として、材料適合試験(可燃性・アウトガス特性・AO耐性・オフガス特性)、気密性確認試験、およびデブリ衝突試験を行った結果、与圧モジュール主構造の材料としてCFRPを使用できることを確認した。</p> <p>ゲートウェイミッション用新規技術となるGPSに代わる中距離域での画像航法の詳細アルゴリズム検討を実施し、モンテカルロ解析によるシミュレーションを実施した結果、従来の相対GPS航法と同等以上の精度が出せる見込みを得た。</p> <p>また、NASAとの要求文書の調整を行い合意に至ったことにより、補給ミッションの概念検討をより具体的に進めることが出来るようになった。</p>	<p>・世界最軽量、かつ高信頼性のドッキング機構の技術獲得に向けた進展を得た。また、民間ミッションへの採用に向けた具体的な調整が開始された。</p> <p>・我が国の補給能力の国際優位性と自律性の確立が期待される。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>③月極域探査による月面の各種データや技術の共有 重力天体表面探査技術の実証及び月極域における水資源の存在と利用可能性を確認し、獲得した月面の各種データを米国に共有するために、インド等との国際協力により、月極域探査機の開発を行う。</p>	<p>●インド等との協力による月極域探査機(LUPEX)について、インド宇宙機関(ISRO)との組み合わせ試験に向けて、基本設計及び詳細設計を進める。また、設計の固まったものから順次製作に着手する。(基本設計完了予定：令和4年度、製作完成予定：令和5年度)</p>	<p>&lt;プロジェクト&gt;・観測機器REIWA(水資源分析計)ならびにALIS(近赤外線分光装置)は基本設計を完了し、詳細設計と並行してエンジニアリングモデル製造着手へ向けた準備作業を行っている。 ・ローバ開発はBBM(ブレッド・ボード・モデル)試作試験を継続し基本設計を実施中であり、新規技術である走行系と作業系(掘削とサンプル採取)の各サブシステムはBBM試験を終了し、試験結果により各サブシステムの技術的な成立性を確認しエンジニアリングモデル設計に反映した。</p>	<p>持続的な月面活動に向けて、世界に先駆けて水氷の直接定量分析を行い、月極域における水の存在量や存在形態、垂直分布など、水の資源としての利用可能性の判断に資するデータの取得が期待される。</p>
<p>④月面探査を支える移動手段(与圧ローバ) 非宇宙分野の民間企業の車両走行技術等を活用しつつ、持続的な月面探査を支える移動手段として与圧ローバの開発研究を進める。また、キーとなる要素技術について先行的な研究と技術実証を進める。</p>	<p>●有人与圧ローバについて、要素技術検討を進め、NASAと調整の上、ミッション要求をまとめる。</p> <p>●月面活動の日米の法的枠組みの合意を支援する。</p>	<p>・有人与圧ローバシステム概念検討や、キーとなる要素技術として、走行系の試作機設計検討、再生型燃料電池の概念の検討を進めるとともに、NASAとミッション要求/運用シナリオの更新に合意し、有人月面探査ミッションの具体化に必要な要求・シナリオの整備を推進した。これらの成果をもとに、NASAと共同で有人与圧ローバのミッション定義審査(JMCR)を開始した。</p> <p>●月面探査の本格化を見据え、日本政府に対して日米宇宙協力を円滑かつ迅速に進めるために必要となる新たな法的枠組みの構築を提案し、2020年度以降、政府内及び政府間の調整・協議を技術的な観点から支援してきた結果、2022年度に他国に先駆けた「日・米宇宙協力に関する枠組協定」の合意に貢献した。</p>	<p>・「日米枠組協定」に基づくMEXT-NASA間の実施取決め(月面IA)の協議開始に繋がった。</p> <p>・ISS IGA下のゲートウェイMOUに基づく協力を超え、月面や火星の有人探査を含む日米間の協力を長期的に、円滑かつ迅速に実施できる仕組みを確立した。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>これらの活動を通じ、政府と協力して、ISSパートナーとの関係の一層の強化及び新しいパートナーとの関係の構築を図り、新たな国際協調体制やルール作りに貢献するとともに、獲得した技術の波及による産業の振興にも貢献する。</p> <p>これらの活動の推進に当たっては、広範な科学分野の参画を得るとともに、非宇宙分野を含む多様な民間企業や大学等の優れた技術の活用を進め、人材を含めた技術基盤の強化と裾野拡大を図る。また、そのため、技術実証機会の拡充や、民間企業等の参画意欲を喚起する取組を進める。</p>	<p>また、計画の具体化と推進にあたり、以下の取組を進める。</p>		
<p>①科学分野との連携の推進 測位・通信・リモートセンシングや多点探査等、ゲートウェイの活用も含めた取組を科学コミュニティと連携して検討し、広範な科学分野の参画も得て推進する。</p>	<p>(1) 科学コミュニティとも連携して、ゲートウェイの活用等を含めた取組を検討する。これらも踏まえて国際調整パネルにおいて国際パートナーとともにゲートウェイの全体利用計画を策定する。</p>	<p>・ゲートウェイ利用については、初期段階における利用機会を確保し、日本人研究者も参画する形で進める国際協力ミッションとしての放射線計測の開発や、日本の水星探査ミッション（Bepi Colombo）の技術を用いた月周回軌道のダスト環境計測のフライト品の製造を進めている。</p> <p>・ゲートウェイを用いた利用について、国際調整パネル（GUCP: Gateway Utilization Coordination Panel)にて、科学コミュニティと連携して、継続的に長期的な利用戦略（Gateway 15year Outlook)策定に向けた議論を行い策定の目途が付いた。</p>	<p>・ゲートウェイ利用の初期段階から、ISS/きぼうや深宇宙探査ミッションで培った日本の優位な技術を用いて参画することで、今後のゲートウェイ利用における日本発ミッションの多様性・発展性を示し、科学分野におけるイニシアチブ確保に貢献している。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>②民間企業等との連携の推進 非宇宙分野を含む民間企業や大学等の持つ優れた技術やリソースを活用した研究開発、宇宙探査プロジェクトへの新規参加促進を進める。その際、民間企業等のコミュニティとの連携を強化し、民間企業等による主体的な活動に向けて、民間企業等との情報・意見交換を通じて、積極的に意見を取り入れるとともに、宇宙探査と地上でのビジネス・社会課題解決の両方を目的として研究開発を行う宇宙探査イノベーションハブ等の仕組みを活用する。</p>	<p>(2) 広範な民間企業や大学等の新規参加を促進するため、産業界等との連携を強化して、ゲートウェイ、月周回軌道、月面等における利用機会構築に向けた取組を進める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・月周回軌道、ゲートウェイ船外・船内、月面の利用等に向けて、公募・選定した国内の利用テーマ候補の実現性検討を実施する。</li> <li>・宇宙開発利用加速化戦略プログラム（スターダストプログラム）の受託事業として、月周回・月面における具体的な実証ミッションである、月測位衛星システム及び高速光通信網の構築に向けた実証機の概念検討及び要素技術研究を実施する。</li> <li>・大学・民間企業等に対して定期的な月周回・月面実証機会の提供と民間企業と連携した事業自立化を目指すプログラムについて、概念検討及び概念設計を実施する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・月面での科学研究・環境情報取得に関して公募したFSテーマ4件（宇宙放射線計測技術、地盤・資源探査 地中レーダ、ガンマ線・低周波電波の月面天文台、月面科学のためのサンプルリターン等）の検討を進め、それぞれの長期目標やシナリオの検討とともに、装置の小型・軽量化の検討や試作試験、測定方法に係る実証実験、基本的な設計仕様の検討等を実施し、今後のミッション具体化に向けた開発のフロントローディング活動に着手する目途を得た。</li> <li>・スターダストプログラムの「月面活動に向けた測位・通信技術開発」において、ベンチャー企業や他研究開発期間(NICT)とも連携し、月測位システムの実証システム概念検討や月・地球間の高速度通信のための各キー要素技術の研究を行い、要素技術レベルの向上とシステムの具体化を行った。また、月面での測位・通信技術の獲得に向け、実証後の実用システム構築の連携についてNASA、ESAと調整を進めており、世界初となる国際協働による月測位通信ネットワーク構築に向けて、ESAとの共同技術実証ミッションの実現に関する協力協定の準備が完了した。</li> <li>・月面・月周回軌道での技術実証を行うとともに、科学コミュニティや産業界に対して利用機会を提供する「月探査促進ミッション」について、小型月着陸機の概念検討をベンチャー企業を含めて進めており、ペイロード輸送能力確保のための着陸機の軽量化、極域における高精度着陸技術の実現性の見通しが得られた。</li> <li>・国際宇宙探査ロゴについてコンテストを実施し、広く一般から案を募集し、ロゴの最優秀作品を選定した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国際宇宙探査シナリオと月面科学探査・科学利用シナリオとの連携による相乗効果により、月面の利用拡大と科学成果の創出の双方の促進が期待できる。</li> <li>・持続的な月面探査の実施、更にその先の民間活動に向けて、日米欧共同での通信測位インフラの構築が期待される。</li> <li>・月面への物資輸送や通信測位などのインフラ技術の確立、及び民間活動の促進が期待される。</li> <li>・ロゴの募集を行うことにより、長期にわたる国際宇宙探査の取り組みに対して、一般の方々に関心と親しみを持っていただいた。</li> </ul>



中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>③将来の探査に向けた技術基盤の強化</p> <p>月以遠への探査等、今後想定される国際的な探査プログラムの進展に向けて、環境制御・生命維持技術の高性能化や、重力天体着陸技術（高精度航法技術等）の高度化等、基盤技術の研究開発を進めるとともに、「きぼう」等の活用や地球周回軌道、月周回軌道及び月面等における実証機会の拡充に取り組む。</p>	<p>(3) 持続的な月探査活動の実現及び将来の火星探査に向けて、必要となる基盤技術の研究開発と探査計画の検討を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>火星本星の水・氷分布の把握を目指し、国際協力を進める水氷分布観測ミッションの概念検討と国際調整を実施し、国際役割分担を提案する。</li> <li>SLIMの重力天体着陸技術を発展させ、月面への物資補給を目指した着陸実証の概念検討と要素技術研究を進める。</li> <li>環境制御・生命維持技術の高性能化、月面環境計測等の研究開発を進め、技術成熟度の向上を図る。</li> </ul> <p>●MMXへの搭載に向け、惑星空間放射線環境モニタのPFM製作を進める。（製作完了予定：令和6年度）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国際協力を進める火星表層氷分布観測ミッションについて、JAXA内でミッション定義活動を立ち上げ、探査機・観測機器の技術成熟度(TRL)向上に向けた技術検討や国際役割分担を含む国際調整を進めた。</li> <li>月面への物資補給を目指した着陸機について、概念検討及び要素技術研究を進めた。要素技術検討として具体的には、機体質量の削減のためAIによる最適設計手法を用いた構造の軽量化を行い、その見通しを得た。また、消費推薬の節減について、極低温推進薬の蒸発推薬を用いて冷却する技術の適用を検討し効果を確認した。これらの検討により、ペイロード輸送能力を従来システムに比べて10%増大出来ることを確認した。</li> <li>環境制御・生命維持技術についてCO2の吸着性能向上のための新型吸着筒の試作など高性能化に向けた研究開発を進めた。また、月面環境計測について、月面FSの宇宙放射線計測技術や地盤・資源探査、地中レーダの研究開発を進めた。超小型ロボットの開発・試験および運用手順検証、打上げを完了し月面でのデータ取得に向けて運用準備の目途を得た。</li> <li>火星衛星探査計画(MMX)への搭載に向け、惑星空間放射線環境モニタ(IREM)の詳細設計を完了し、プロトフライトモデルの製作を進めている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>持続的な月探査活動の実現に向けて、必要となるインフラ構築における要素技術や月面環境計測に必要な技術の研究開発を進めることで、将来の有人宇宙探査ミッションを実現する有人システム（有人と圧ローバ等）への適用が期待される。</li> <li>太陽フレアという飛行士にとって非常に有害な放射線イベントについて、特に有害な100Mev以上の放射線スペクトラムを、世界で初めて深宇宙で計測する。このデータは、有人月・火星探査での宇宙飛行士の国際的な被ばく管理運用に貢献するとともに、日本の国際プレゼンス向上に寄与することが期待される。</li> </ul>

主な評価軸（評価の視点）、指標等

<p>【多様な国益への貢献；宇宙科学・探査による新たな知の創造】</p> <p>○世界最高水準の科学成果の創出や我が国の国際的プレゼンス維持・向上等に貢献する宇宙科学研究、宇宙探査活動、有人宇宙活動等の立案・検討・マネジメントは適切に進められたか。それに伴う成果が生まれているか。</p>	<p>&lt;評価指標&gt;</p> <p>（成果指標）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○宇宙科学・探査による新たな知の創造に係る取組の成果</li> </ul> <p>（マネジメント等指標）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○研究開発等の実施に係る事前検討の状況</li> <li>○研究開発等の実施に係るマネジメントの状況 （例：研究開発の進捗管理の実施状況、施設・設備の整備・維持・運用の状況、コスト・予算の管理状況等）</li> <li>○大学・海外機関等の外部との連携・協力の状況</li> </ul> <p>&lt;モニタリング指標&gt;</p> <p>（成果指標）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○国際的ベンチマークに照らした研究開発等の成果 （例：著名論文誌への掲載状況等）</li> <li>○人材育成のための制度整備・運用の成果（例：受入学生の進路等）</li> </ul> <p>（マネジメント等指標）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○大学・海外機関等の外部との連携・協力の状況 （例：協定・共同研究件数等）</li> <li>○人材育成のための制度整備・運用の状況 （例：学生受入数、人材交流の状況等）</li> <li>○論文数の状況（例：査読付き論文数、高被引用論文数等）</li> <li>○外部資金等の獲得・活用の状況 （例：科研費等の外部資金の獲得金額・件数等）</li> </ul>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 主な評価軸（評価の視点）、指標等

【多様な国益への貢献；宇宙を推進力とする経済成長とイノベーションの実現】

○新たな事業の創出等の宇宙利用の拡大及び産業振興、宇宙産業の国際競争力強化に貢献するための立案・検討・マネジメントは適切に進められたか。それに伴う成果が生まれているか。

### <評価指標>

#### （成果指標）

- 宇宙を推進力とする経済成長とイノベーションの実現に係る取組の成果（品質・コスト・スケジュール等を考慮した取組を含む）

#### （マネジメント等指標）

- 研究開発等の実施に係る事前検討の状況
- 研究開発等の実施に係るマネジメントの状況（例：研究開発の進捗管理の実施状況、施設・設備の整備・維持・運用の状況、コスト・予算の管理状況等）
- 民間事業者等の外部との連携・協力の状況

### <モニタリング指標>

#### （成果指標）

- 宇宙実証機会の提供の状況（例：民間事業者・大学等への実証機会の提供数等）
- 研究開発成果の社会還元・展開状況（例：知的財産権の出願・権利化・ライセンス供与件数、受託件数、ISS利用件数、施設・設備の供用件数等）
- 新たな事業の創出の状況（例：JAXAが関与した民間事業者等による事業等の創出数等）
- 外部へのデータ提供の状況（例：国内外の関係機関等への衛星データ提供数等）

#### （マネジメント等指標）

- 民間事業者等の外部との連携・協力の状況（例：協定・共同研究件数、技術支援件数、JAXAの施策・制度等への民間事業者・大学等の参入数又は参加者数等）
- 外部資金等の獲得・活用の状況（例：民間資金等を活用した事業数等）

## 主な評価軸（評価の視点）、指標等

【多様な国益への貢献；産業・科学技術基盤を始めとする我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化】

○産業・科学技術基盤を始めとする我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化に貢献する研究開発活動の立案・検討・マネジメントは適切に進められたか。それに伴う成果が生まれているか。

<評価指標>

（成果指標）

○産業・科学技術基盤を始めとする我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化に係る取組の成果

（マネジメント等指標）

○研究開発等の実施に係る事前検討の状況

○研究開発等の実施に係るマネジメントの状況

（例：研究開発の進捗管理の実施状況、施設・設備の整備・維持・運用の状況、コスト・予算の管理状況等）

○大学・海外機関等の外部との連携・協力の状況

<モニタリング指標>

（成果指標）

○国際的ベンチマークに照らした研究開発等の成果

（例：基幹ロケットの打上げ成功率・オンタイム成功率等）

○宇宙実証機会の提供の状況

（例：民間事業者・大学等への実証機会の提供数等）

○研究開発成果の社会還元・展開状況

（例：知的財産権の出願・権利化・ライセンス供与件数、受託件数、ISS利用件数、施設・設備の供用件数等）

○国際的ベンチマークに照らした研究開発等の成果

（例：著名論文誌への掲載状況等）

（マネジメント等指標）

○大学・海外機関等の外部との連携・協力の状況

（例：協定・共同研究件数等）

○人材育成のための制度整備・運用の状況

（例：学生受入数、人材交流の状況等）

○論文数の状況（例：査読付き論文数、高被引用論文数等）

○外部資金等の獲得・活用の状況

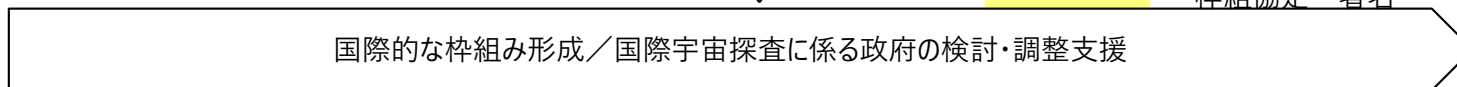
（例：外部資金の獲得金額・件数等）

## スケジュール

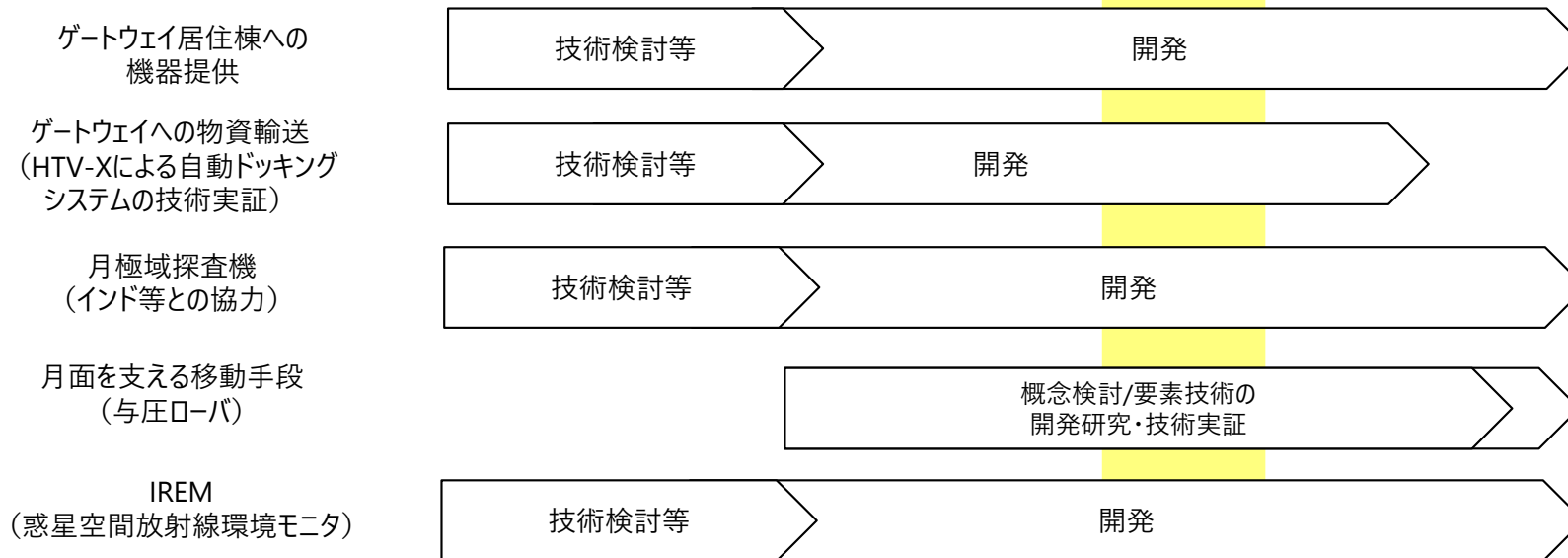
年度	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------

(1) 安定的な国際協力枠組みの構築と我が国の戦略的な参画

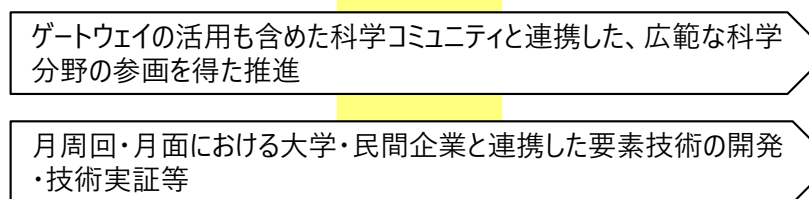
- ▽日米共同宣言(JEDI)
- ▽ゲートウェイMOU
- ▽アルテミス合意
- ▽ゲートウェイ実施取決め(IA)
- ▽日・米宇宙協力に関する枠組協定 署名



(2) 持続的な月面活動を可能にするインフラと技術の確立



(3) 産業界と科学コミュニティの参画の促進



年度	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------

#### 【評定理由・根拠】

国際的な月探査、特に米国の有人月探査計画（アルテミス計画）への参画を推進する立場として、我が国が世界に先駆けて推進する有人与圧ローバを実現するためシステム概念検討や要素試作・試験を進めNASAとのミッション定義審査を開始するとともに、国際約束であるゲートウェイへのフライト品提供を開始し、さらに国際居住棟への提供システムやゲートウェイ補給機についても各極との技術的な役割分担を確定させた。また、月の測位通信ネットワーク構築に向けたESAとの共同技術実証や利用を目指した協定締結の準備を完了させるなど、月面および月周回における日本の参画内容を具体化させた。これらは、技術的な成果による期待と信頼を獲得した結果であり、**我が国の国際プレゼンス向上に大きく貢献**した。さらに、世界的な有人月面探査の本格化を見据え、政府内及び政府間の調整・協議を法務面でも支援し、日米政府間の円滑な協議の一翼を担うことにより、**世界に先駆けて月面有人活動を想定した政府間協定の合意、及び国際宇宙ステーション(ISS)の政府間協定(IGA)のもと、MEXT（文部科学省）-NASA間のゲートウェイ実施取決め(ゲートウェイIA)の締結**に至り、その結果、**日本人宇宙飛行士として初となる地球低軌道以外での宇宙活動機会(ゲートウェイ搭乗)の確保や、その先の月面着陸に向けた取組みを前進させる**など、国際宇宙探査の推進において中核的な役割を果し、日米を中心とした国際的な宇宙協力を推進し、顕著な成果を創出した。

#### 1. 安定的な国際協力枠組みの構築と我が国の戦略的な参画

##### (1) ゲートウェイや日本人の月面着陸の実現に向けた日米協力の推進と、国際プレゼンス向上への貢献

- 世界的な有人月面探査の本格化を見据え、日米宇宙協力を円滑かつ迅速に進めるために必要となる新たな法的枠組みの構築を政府に提案し理解を得るとともに、ISS等の活動でJAXAが培った日米宇宙協力の経験を活かし、2020年度以降、政府内及び政府間の調整・協議を法務的な観点から支援し、日米政府間の円滑な協議の一翼を担うことで、**世界に先駆けて月面有人活動を想定した国際協定「日・米宇宙協力に関する枠組協定」の合意に貢献**した。具体的には、国際競争の状況等を踏まえて新規協定の必要性及び締結時期について政府の理解を得ると共に、過去に締結した条約、日米協力協定、米国と他国との枠組協定等の経緯を整理し、NASA-JAXAそれぞれが協定に求める方針をJAXAが主体となり分析・調整することによって、政府間協議を支援した。本協定は、ISSの新IGA以来25年ぶりとなる宇宙協力に係る新たな日米政府間の国会承認条約であり、世界各国が月・火星探査の取組みを加速するなかで、本協定の締結により、日米間の協力推進を長期的かつ迅速に、具体的活動の調整を進めることが可能となった。【補足 1 参照】
- 2020年12月にGOJ（日本政府）-NASA間で締結されたゲートウェイMOUに基づきMEXT-NASA間の実施取決め(ゲートウェイIA)締結に向けた協議を行い、技術的な観点だけでなく法務面でも支援し締結に貢献した。具体的には、国際約束となっているゲートウェイの初期要素となるミニ居住棟(HALO)への機器提供を完了するとともに、NASA/ESAとの有人滞在に必要な国際居住棟(I-HAB)の環境制御・生命維持システム開発やゲートウェイ補給機(HTV-XG)の技術要求仕様の協議について検討を進め、各極の技術的な役割分担を確定させた。その結果、**2022年11月にMEXT-NASA間でのゲートウェイIAが締結された。**【補足 1 参照】
- これらの**JAXAの貢献により、日本人宇宙飛行士として初となる地球低軌道以外での宇宙活動機会(ゲートウェイ搭乗)の確保や、その先の月面着陸に向けた取組みの前進につながった。**
- JAXAとして初めてとなるISRO(インド宇宙機関)との本格的な協力ミッションとして、月面での持続的な活動計画構築のキーとなる月南極域での水資源利用の可能性を探索する**月極域探査機(LUPEX)について、コロナ禍によりインドの社会機能が強く制限されオンラインによる国際調整が難航する中であつても探査機ローバの各サブシステムの要素試験を進め、基本設計を概ね完了させた。**

## 【評定理由・根拠】(続き)

### (2) 月探査活動の具体化に向けた運用シナリオ検討や、有人月面活動の運用コンセプトに係る国際間協議を推進

- 持続的な月面活動を見据え、世界的にも取組みが活発化する月の測位・通信インフラの確立に向けて、月測位システム(LNSS)の技術実証に向けたシステム概念検討や月・地球間の高速通信技術（遠距離捕捉追尾、光通信技術等）のキー要素技術に係る概念検討を進めた。これら検討結果を用いて、世界初となる月周囲の国際的な測位通信ネットワークを構築すべく、NASA(LunaNet計画)やESA(Moonlight計画)との技術的な連携を図るとともに、ESAとの共同技術実証や利用を目指した協定締結の準備が完了するなど成果につながった。
- 各国の宇宙機関が加盟する国際宇宙探査協働グループ(ISECG)や米国アルテミス計画において、持続的かつ広範囲での有人月面探査に必須な要素として識別されている有人と圧ローバを世界に先駆けて実現するため、これまでの机上研究成果をもとに、キー技術となる月面走行システムや持続的な活動に不可欠となる再生型燃料電池技術など、システム概念検討と要素試作・試験の取組みを反映して、NASAの技術プログラムレベルと密にミッション検討を進め、有人と圧ローバに係る共同ミッションコンセプト審査(JMCR)を開始した。【補足 2 参照】

## 2. 持続的な月探査活動を可能にするインフラと技術の確立

### (1) ゲートウェイの日本貢献案の実現に向けた技術の確立

- ゲートウェイの初期要素となるミニ居住棟 (HALO)への機器提供を完了させて国際約束を着実に履行するとともに、国際居住棟(I-HAB)-の中核的な機能となる環境制御・生命維持システムの開発を進めてNASA/ESAと連携して基本設計を概ね完了させ、開発を本格化させた。
- HTV-Xによるゲートウェイ補給に向けた自動ドッキングシステムの開発では、ドッキング機構の試験用モデルを用いて米国NASAジョンソン宇宙センター (JSC) 試験設備での試験を実施し、国際標準に対応する多様なパラメータでのデータを取得した。また、相対航法センサ (フラッシュ・ライダ) については、パーシング・ドッキングミッション向けのEM開発を完了し試験を実施した。パーシング向けの精度が達成できることを確認し、ドッキング向けの精度達成の目処を得た。【補足 3 参照】

### (2) 将来の月面探査活動を戦略的に推進するためのシステム検討、要素技術開発

- 有人と圧ローバを世界に先駆けて実現するため、これまでの机上研究成果をもとに、キー技術となる新規性が高い月面走行システムや持続的な活動に不可欠となる再生型燃料電池技術など、システム概念検討と要素試作・試験を開始した。本活動では、日本が強みを持つ自動車産業であるトヨタ自動車や本田技術研究所との開発協力に加え、宇宙開発を熟知した三菱重工業や三菱電機、川崎重工業などのチーミングを実現させることで、我が国の宇宙産業の裾野拡大への貢献やAll Japan開発体制の構築にも貢献した。更に、これらの取組みを米国へ積極的に示すことで、米国政府レベルやNASAマネージメントからの期待の高まりにつながり、2023年3月の日米宇宙包括対話における共同声明においても具体の協力案件として明記された。【補足 2 参照】
- 月極域探査機(LUPEX)プロジェクトにおいて、ローバの基本設計とBBM試作試験を継続実施中のところ、新規技術である走行系と作業系(掘削とサンプル採取)の各サブシステムはBBM試験結果により技術的な成立性を確認しEM設計に反映した。また、世界初の月面での水の検出と高精度定量を行う観測機器(ALIS)、水の重量濃度をALISより更に高精度に定量する観測機器(REIWA)について、基本設計審査を完了させ詳細設計と並行しEM製造着手へ向けた準備作業を行っている。【補足 4 参照】
- 持続的な月探査活動に必須となる月面輸送能力について、機体質量の削減のためAIによる最適設計手法を用いた構造の軽量化を行い、軽量化の見通しを得た。また、消費推薬の節減について、蒸発推薬自体を用いて推薬タンクを冷却する強制対流冷却技術の適用を検討し、輸送能力増大の可能性を確認した。この技術は、地上における液体水素輸送への応用も期待される。【補足 5 参照】

## 【評定理由・根拠】(続き)

### 3. 産業界・科学コミュニティを巻き込んだ宇宙探査の推進

- 本格化する月面探査活動において、国際優位性のある日本発の科学ミッション創出や、持続的探査を実現するアーキテクチャやシステム検討を推進するにあたり、産業界や科学コミュニティとも連携した検討を開始した。
  - 日本にとって意義のある搭載ミッションを早期に設定してNASA等と協議するため、宇宙理学委員会／宇宙工学委員会と連携し選定した、月面の環境計測及び月面の科学に関するフィジビリティスタディの研究を行い、月極域への高精度着陸技術の実証、月測位システムの実証、および科学コミュニティや産業界に対して月面・月周回軌道での実証・利用機会の提供を目指した「月探査促進ミッション」や、有人と圧ローバ等の搭載機会でのミッション実現に向けて、それぞれの長期目標やシナリオの検討とともに、装置の小型・軽量化の検討や試作試験、測定方法に係る実証実験、基本的な設計仕様の検討等を実施し、今後のミッション具体化に向けた開発のフロントローディング活動に着手する目途を得た。【補足 6 参照】
  - 世界的にも取組みが活発化している月面および月近傍の測位・通信インフラの確立に向けて、内閣府のスターダストプログラムの一つ「月面活動に向けた測位・通信技術開発」を受託し、ベンチャー企業や他研究開発機関(NICT)とも連携し、月測位システム(LNSS)の技術実証に向けたシステム概念検討や月・地球間の高速通信技術（遠距離捕捉追尾、光通信技術等）のキー要素技術に係る概念検討を進めた。【補足 7 参照】
  - 本格化する月面利用を見据え、「月探査促進ミッション」について、小型月着陸機の実証実験を進めており、ペイロード輸送能力確保のための着陸機の軽量化、極域における高精度着陸技術の実現性、調達スキームの検討などを実施している。【補足 7 参照】
- 民間事業者による月輸送サービスを活用し、超小型ロボットを月面上で走行させることで月面データを取得するミッションについて、タカトミー・ソニーなど幅広い分野の民間企業と連携して開発を進め、フライト品の開発・試験、運用手順検証、打上げを完了し、ミッション実施に向けて運用準備の目途を得た。
- ゲートウェイの最初のモジュール打上に向けて、放射線環境観測やゲートウェイ運用に資する建設初期の月周回軌道上のダスト環境の観測を行う国際協力ミッションについて、科学コミュニティとも連携し、水星探査機(Bepi Colombo)や火星衛星探査計画(MMX)に搭載する日本が世界に先行する宇宙塵計測センサ技術を活用することで日本の強みを持って国際貢献を果たし、ダストモニタのフライト品の製造及び維持設計、及び放射線環境観測器のEM開発を行い、国際的なプレゼンスの発揮に貢献している。【補足 6 参照】

なお、年度計画で設定した業務は、計画通り実施した。



評定理由・根拠（補足）

補足 1：安定的な国際協力枠組みの構築

背景

政府と協力して、ISSパートナーとの関係の一層の強化及び新しいパートナーとの関係の構築を図り、新たな国際協調体制やルール作りに貢献する。（中長期計画）

得られたアウトプット：ゲートウェイIAの締結、及び国際協定「日・米宇宙協力に関する枠組協定」の合意に貢献

- 2020年12月にGOJ-NASA間で締結されたゲートウェイMOUに基づきMEXT-NASA間の実施取決め(ゲートウェイIA)締結に向けた協議に参加し、ゲートウェイミニ居住棟への機器提供や環境制御・生命維持システム開発、ゲートウェイ補給機の技術要求仕様の検討等の**技術的な支援**とともに、**法務面でも支援を行い、ゲートウェイIA締結に貢献**した。本実施取決めの主な内容は次のとおり。
  - MEXT/JAXAから
    - ・ I-HAB/HALO向けのECLSS機器等の提供
    - ・ 物資輸送（4t）の提供
  - NASAから
    - ・ ゲートウェイへの日本人搭乗機会（1名）の提供
- 政府内及び政府間の調整・協議を、有人月面探査で期待されるミッション実現のための協定締結の必要性和スケジュールを示しつつ、を法務的な観点から支援し、日米政府間の調整を加速させ、円滑な協議の一翼を担うことで、世界に先駆けて月面有人活動を想定した国際協定「日・米宇宙協力に関する枠組協定」の合意に貢献した。
  - 有人月面活動を想定し、協定上、協力活動の例として挙げるとともに、月の遺産保護の規定を取り込み、損害賠償の相互免責等の規定なども修正した。
  - 本協定は、管轄権、損害賠償、免税規定、知的財産権、惑星保護、デブリ対策などの日米宇宙協用に共通する一般条項が「枠組協定」として規定されている。本協定締結後には、MEXT又はJAXAとNASAとの間での実施取決めの締結により、日米協力ミッションを進めることが可能となるなど、締結までのプロセスの迅速化が見込まれる。

得られたアウトカム

- ゲートウェイIAの締結により、**日本人宇宙飛行士として初となる地球低軌道以外での宇宙活動機会（ゲートウェイ搭乗）が確保された。**
- 「日・米宇宙協力に関する枠組協定」の合意によって、**ISS IGA下のゲートウェイMOUに基づく協力を超え、月面や火星の有人探査を含む日米間の協力を長期的に、円滑かつ迅速に実施できる仕組みを確立した。**

期待されるアウトカム

- 日本人宇宙飛行士の新たな活躍を通じた、宇宙探査への国民の関心の向上・取り組みへの理解増進につながる。
- 宇宙における国際協力においても国際競争があり、最大の宇宙活動国である米国との合意を迅速化する仕組み作りは、日米協力の関係強化及び日本の宇宙活動の国際競争力向上に資する。

## 補足2：有人と圧ローバに向けた研究開発

### 背景・課題

- 米国が主導するアルテミス計画において、持続可能な月面探査の構築に向けて必須のシステムである有人と圧ローバを開発して提供する。
- 日本が強みを持つ自動車分野を中心に宇宙産業の枠を超えた技術を糾合して開発を進める。

### 得られたアウトプット：NASA及び宇宙産業の枠を超えた共同研究

#### ① NASAとの共同検討

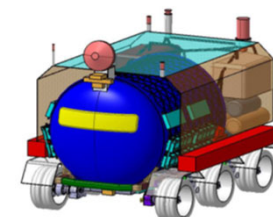
- **NASAと共同運用デモをアリゾナで実施し(2022年10月)、概念検討に反映すべき運用面からの知見を得た。**
- NASA側より打上げロケット小型化提案があり、対応可否について検討した。小型化案①(直径6.3m)では合意している要求がほぼ満たせることを確認した。一方小型化案②(直径4.5m)では一部要求の緩和が必要であることが明確となった。引き続きNASAと協議中。
- スーツポートを使用しないこととなったため、クルーの搭乗方式の変更検討を行い、ハッチを新たに設けキャビン全体を減圧して搭乗する案を検討し、NASAと安全上の課題などを調整中。
- NASAと技術要求の調整を進め、最小限の窓の設置、1日走行距離(20km)、ミッション中のEVA回数(24回)や補給回数(1回)など、ミッション要求やシステム要求へ反映した。**有人月面探査ミッションの具体化に必要な要求・シナリオの整備を推進したこと、及び技術的な検討を進めたことにより、NASAと共同で有人と圧ローバのミッション定義審査(JMCR)を開始した。**



NASAとの共同運用デモ

#### ② 企業との連携

- 宇宙企業の支援を受ける体制でトヨタと全体システム概念検討を行い、上記のNASA調整やサブシステム系統設計などを実施し、**主要課題である打上げ質量の削減に対して、大幅な質量・ラジエータサイズの削減の目処を得た。**特に、質量は13.7tから11t程度まで削減、ラジエータ面積はコンプレッサ方式採用等により49m<sup>2</sup>から29m<sup>2</sup>に削減できることを確認した。
- 再生型燃料電池について、トヨタとホンダの2社と概念検討/試作試験を開始し、概念検討を完了して、200W/kg程度と見込んでいた**電力密度を350W/kg程度まで高効率化出来ることを確認し、有人と圧ローバ搭載の目途が付いた。**
- 走行システムについて、トヨタと概念検討/試作試験を開始し、概念検討を完了して、システム要求(速度、回転半径、乗越え性能など)を満たすコンセプトを明確化した。



有人と圧ローバ技術コンセプト図

#### ③ 有人と圧ローバの研究開発に向けた月面でのデータ取得

- 有人と圧ローバの航法・誘導技術及び走行技術の実現性、設計精度の向上を目的として、民間事業者による月輸送サービスを活用し、データを取得する「民間企業の月着陸ミッションを活用した月面でのデータ取得」ミッションについて、搭載する超小型ロボットフライト品の開発・試験、運用手順検証、打上げを完了し、来年度の月面着陸後のミッション実施に向けて運用準備の目途を得た。



超小型ロボットイメージ

### 得られたアウトカム

有人と圧ローバを実現するためのシステム概念検討や要素試作・試験を進めNASAとのミッション定義審査を開始するなど、月面活動に向けた具体的な取り組みをNASAと連携して進めたことにより、「日米枠組協定」に基づく日米政府間の実施取決め(月面IA)の協議開始に繋がった。

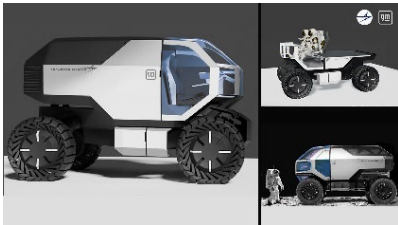
### 期待されるアウトカム

- ・有人と圧ローバの開発と提供を通じて**月面での日本人宇宙飛行士の活動機会の確保等**、我が国の宇宙先進国としての**プレゼンスを格段に向上**させる。
- ・有人と圧ローバの開発成果は、**すそ野が広い自動車産業を中心に地上の幅広い分野への展開と波及効果が期待**できる。

## 参考：米国有人曝露ローバの状況

- 米国
  - Lunar Terrain Vehicle (LTV) (有人曝露ローバ) <sup>(1)</sup>  
アルテミス V で打上げ予定。2023年5月以降にRFP実施予定。アポロ計画の曝露ローバ(Lunar Roving Vehicle : LRV) と比べ、月南極域の特殊な日照条件への対応や走行距離の延長、遠隔操作性の付与などが見込まれる。

LTV参画公表	主導	協力	備考
2021年5月 <sup>(2)</sup>	Lockheed Martin	General Motors、MDA、Goodyear	GM社はLRVでも実績あり。
2021年11月 <sup>(3)</sup>	Northrup Grumman	AVL、Intuitive Machines、Lunar Outpost、Michelin	有人・貨物用車両の開発を検討。
2022年4月 <sup>(4)</sup>	Teledyne Brown Engineering	Nissan North America、Sierra Space、Textron、Bridgestone	日産自動車の子会社が自動運転技術等で貢献。
2023年3月 <sup>(5)</sup>	Astrolab		2026年にFLEX(Flexible Logistics and Exploration)ローバをStarshipで月面に送る契約をSpaceXと締結。
2023年4月 <sup>(7)</sup>	Leidos (Dynetics)	NASCAR, Roush industries, Collins Aerospace, Motiv Space Systems, Moog, A-P-T Research, Sophic Synergistics, Center for Advanced Vehicular Systems.	スペースシンポ2023でプロトタイプ展示



Lockheed Martin社Twitterより



©Northrup Grumman



©Teledyne Brown Engineering



Astrolab



Dyneticsローバ

## 参考：各国の月面ローバ計画

国	ローバ	有人/無人	輸送機/ランダ	打上げ	備考
日本	LUPEX	無人	H3/ISROランダ	2025	
	有人与圧ローバ	有人・与圧	- / -	2029	「与圧」ローバは日本のみ
米国	VIPER	無人	Falcon Heavy / Griffin	2024	CLPS : Astrobotic
	LTV	有人・曝露	SLS/ -	2028	現状、アルテミスVでの打上げを予定
中国	玉兔	無人	長征3号B / 嫦娥3号	2013	
	玉兔2号	無人	長征3号B / 嫦娥4号	2019	
	名称不明 (嫦娥7号)	無人	長征5号 / 嫦娥7号	2026	
	名称不明 (嫦娥8号)	無人	長征5号 / 嫦娥8号	2028	
UAE	Rashid-1	無人	Falcon 9 / Series 1	2022	Ispaceのミッションに搭載。月着陸失敗。
	Rashid-2	無人	- / -	-	嫦娥7号に搭載検討も白紙。
印	Pragyan	無人	LVM3 / チャンドラヤーン2 (Vikram)	2019	月着陸失敗
	名称なし (C3)	無人	LVM3 / チャンドラヤーン3	2023	ミッション
加	名称なし	無人	- / -	2026	
民	YAOKI (日)	無人	Falcon 9 / Nova-C	2023	CLSP : Intuitive Machines、ダイモン社開発
	FLEX (米)	有人・曝露	- / Starship	2026	Astrolab開発
	Audi lunar quattro (独)	無人	- / -	-	Google Lunar XPRIZE向けに制作も打上げに至らず
	MAPP (米)	無人	Falcon 9 / Nova-C	2023	CLPS : Intuitive Machines、Lunar Outpost開発
	MoonRanger(米)	無人	- / -	-	CLPS : Mastenを予定も、Masten破産(2022) 開発はAstrobotics
	名称無し (日)	無人	- / Series 1	2024	Ispace開発のマイクロローバ。Mission 2で打上げ。

## 補足3：ゲートウェイ物資補給に向けた自動ドッキングシステムの開発

### 背景・課題

- HTV-Xを活用してゲートウェイ計画の中核機能である物資補給を提供することを、日本の貢献案としてゲートウェイMOUで合意している。
- 軌道上宇宙飛行士を介在することなく、自動で宇宙機をドッキングする技術（国際標準に準拠したドッキング機構を含む）は、ゲートウェイへ補給するために必須の技術である。
- HTV-Xの国際宇宙ステーション（ISS）への物資輸送の機会を利用してISSとの自動ドッキングの事前の軌道上技術実証を行う。

#### 【課題】

- ゲートウェイ輸送における質量価値を踏まえ、輸送における最も重要な国際競争力指標であるシステムの質量低減。
- 深宇宙ミッションにおいて、限られた質量制約の中で、高い自律性と信頼性の確保。
- 将来ミッションに向けたさらなる軽量化や要求へのきめ細かい対応。

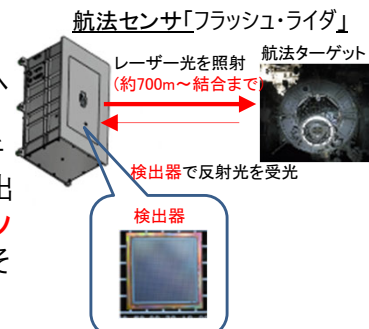
#### 【新規開発】

- ①航法センサ（ISS/ゲートウェイとの相対的な位置・姿勢を測定）
- ②ドッキング機構（国際標準に沿った機械的結合機構）

### 得られたアウトプット：軽量化・高信頼性を実現するコア技術の確立

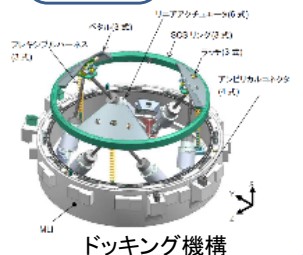
#### ①航法センサ

- 高性能・低リソース（質量、電力、サイズ）かつ将来ミッションへの対応に優れたFlash型のLidarを採用、開発を進めている。
- 「フォトンカウンティングレベルの高い感度」と「サブナノ秒(数センチメートル)のTime of Flight分解能」を併せ持った世界初の検出器を、ISS実証にて使用する航法センサEMに組み込み、**パーシング・ドッキングミッション向けのEM開発試験を実施・完了した。**その結果、**パーシング向けの精度が達成できることを確認し、ドッキング向けの精度達成の目処を得た。**



#### ②ドッキングシステム

- **世界最軽量となるドッキング機構の試験用モデルを用いて、NASAの試験設備によるドッキング試験を実施し、国際標準に対応するHTV-Xをゲートウェイへドッキングさせるケースも含む多様なドッキングパラメータでのデータを取得し、ゲートウェイ補給に向けた試験を進めている。**



### 得られたアウトカム

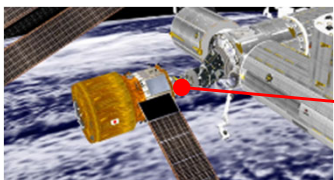
- 相対航法センサ（フラッシュ・ライダ）については、この高感度な検出器を使用することで、計測に必要なレーザー光の出力を抑えることが可能となり、**海外競合品と比較して消費電力を十分低く抑えた(約60～75%)世界最小消費電力の航法センサ開発が可能となる。**
- 国産技術（ドッキング機構）の**民間ミッションへの採用に向けた具体的な調整が開始された。**

### 他機関との連携

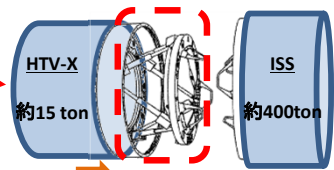
フラッシュ・ライダ検出器開発メーカーが、検出器の民生用途への展開を目指した仕様要求設定・カスタマイズを進行中。

### 期待されるアウトカム

- 補給システムのキー技術であるドッキングシステムの軽量化及び高機能・高信頼性の実現の目途が立ち、**ゲートウェイにおける日本の貢献案である物資補給技術の具体化を推進した。我が国の補給能力の国際優位性と自律性の確立が期待される。**
- 検出器の自動運転分野への展開。
- 他の深宇宙探査システムや軌道上の衛星に対する燃料補給、修理、改修等による衛星の寿命向上・デブリ除去等への展開。
- 民間ミッションへの採用による事業化が期待される。



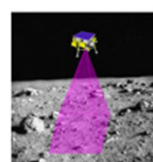
ISSへのドッキング実証



ドッキング機構



自動運転車載センサ



深宇宙探査

評定理由・根拠 (補足)

補足4：重力天体表面探査技術の開発と月極域探査ミッションの本格的開発への移行

背景・課題

- 月の水資源が将来の宇宙探査活動に利用可能か判断するため、インド等との国際協力にて月極域探査機を開発し、水の量と状態を解明するためのデータを取得する。この探査機の開発において、コア技術である水資源を分析するセンサと分析試料の正確なサンプリング技術がカギとなる。

【課題①】 高性能で信頼性の高い宇宙用水資源センサ技術の確立

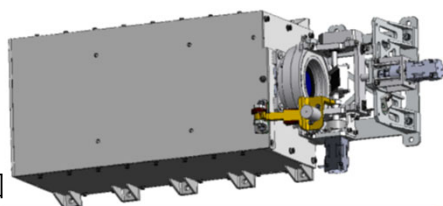
【課題②】 分析試料を高い深さ精度（誤差3cm未満）で採取可能な世界初のピンポイントサンプリング技術

得られたアウトプット：月極域探査機（LUPEX）の開発

月極域探査機ローバシステムについて基本設計およびサブシステムレベルのBBM試験を進め、新規技術である**走行系と作業系（掘削とサンプル採取）**の各サブシステムは2月に実施した**BBM試験結果により各サブシステムの技術的な成立性を確認**しEM設計に反映した。一方、ローバ搭載観測機器（水資源分析計および近赤外画像分光装置）についてはメーカ基本設計審査を完了し、**詳細設計と開発モデル(EM)の製造に着手**した。また、ローバシステムとISROが開発する着陸機あるいは観測機器とのインタフェース仕様についてISRO側と協議を行い、技術的な調整を進めた。

得られたアウトプット：近赤外画像分光技術の確立

宇宙探査イノベーションハブの共同研究の成果による、民間企業のイメージセンサおよび光学設計技術を用い、近赤外画像分光装置を設計し、一部BBMによる性能評価や、フライト品に向けた光学系の小型化設計においても**要求性能を満足することの確認により、月面において水を直接検出し、月探査においてこれまでにない高精度（0.5wt%）に定量できる目途を得た**。近赤外画像分光装置の開発として基本設計を完了し次年度の機能性能試験・耐環境試験に向け、EM製造中。

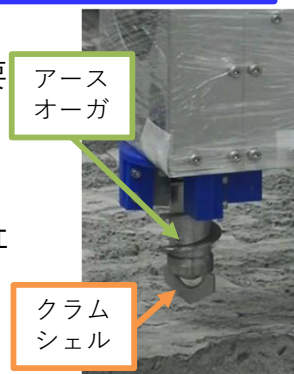


近赤外画像分光装置の外形図

得られたアウトプット：世界初のピンポイントサンプリングの実現

月極域の水資源の分布を知るには、水平方向分布だけでなく、垂直分布（深さ方向）についてもデータを取得する必要がある。そのためには、分析する試料を地下の任意の深さから高い位置精度で採取する技術が不可欠である。

そこで、建機技術の宇宙への応用として、任意深さに確実に到達可能なアースオーガ掘削と、地上で実績のあるクラムシェル方式を用いて、**採取の邪魔にならず、かつ確実に掘削・排土出来るアースオーガ先端のビット形状、およびアースオーガの限られた容積内でクラムシェルを開閉する機構を開発し、ピンポイントサンプリング実現の目途を得て、EM設計に反映した**。



アースオーガ

クラムシェル

ピンポイントサンプリング

期待されるアウトカム

他国の探査は、土壌の含水率測定に間接的な推定を用いているが、本センサにより、地上で幅広く用いられている信頼性の高い直接測定を行うことにより、**水の可用性に対して精度のよいコスト見積が可能となる**。

また、位置精度が正確な掘削排土の水資源垂直分布を正確に観測することで、**水資源利用のデータを我が国が世界に先駆けて取得することが可能**となる。取得されたデータは、水資源利用における採掘や利用しやすさの理解だけでなく、月面における水の濃集原理の理解にも貢献が期待される。

これらのことから、**我が国が月資源探査に優位性をもたらし、国際的に月資源利用をリードすることが出来る**。

## 補足5：重力天体離着陸技術の開発

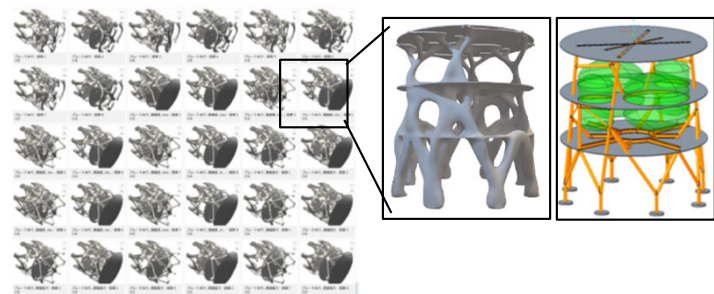
### 背景・課題

◆有人月探査活動に向けて、日本が必要な貢献を行いつつ自律的な活動を行うためには、十分な量の月面輸送能力を確保することが重要 (NASAの検討によると有人1ミッション当たり2ton前後の貨物輸送が必要)。輸送要求を確実に満たすこと、また更なる要求増大にも応えられる様にする必要がある。

### 得られたアウトプット：機体質量の削減・消費推薬の節減による輸送能力増強の実現性を確認

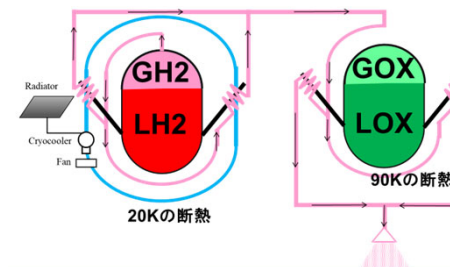
#### ①機体質量の削減

昨年度までに実施した2ton級輸送月面着陸機概念検討結果を踏まえ、開発において主要な技術課題である機体構造の軽量化に向けた概念検討を実施。複数の設計条件について網羅性を確保しつつ、かつ効率的に進めるためジェネレーティブデザイン手法(AIによる最適設計手法)を採用した検討を実施し、従来構造に比べて**100kg程度**の軽量化設計案の実現見通しを得た。



#### ②消費推薬の節減

概念検討を進めている2ton級輸送月面着陸機においては極低温推進薬(LH2, LOX)の採用を想定しているが、推進薬タンクから宇宙空間中への蒸発量が大きいことが課題となっている。今年度は、蒸発推薬(低温な沸点温度のもの)自体を用いて推進薬タンクを冷却する強制対流冷却技術や軌道最適化の検討を進め、蒸発量低減に対する有効性を確認した。結果として、より長時間の飛行が可能となり効率的な軌道を選択することができるようになることで、**250kg程度**の輸送能力増強につながる技術的実現性を確認した。



**①機体質量の削減と②消費推薬の節減について技術的な成立性を高めることで、従来検討結果から、パイロード輸送量を10%程度増加出来る見通しを得た。**

### 期待されるアウトカム

上記の技術をさらに発展、実装することで月面への物資輸送におけるコスト効率化を実現し、我が国の技術的優位性を高めることが可能となる。さらに、競争力のあるコストにより月面物資輸送能力を提供することは、民間を巻き込んだ持続的探査の実現における大きな推進力となることも期待される。

## 補足6：科学分野との連携

### 背景・課題

◆科学コミュニティとも連携して、ゲートウェイの活用等を含めた取組を検討する必要がある。ゲートウェイの特性（軌道や月面への中継拠点となること等）を生かしたミッション及びISSの特徴も踏まえた相補性・相乗効果も期待できる戦略的なミッションを優先して設定する。

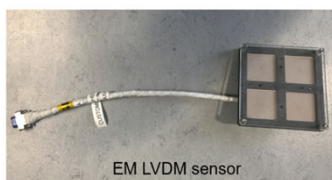
【課題①】 ゲートウェイの利用はISSと異なり予めの利用配分がないため、科学コミュニティと連携して、国際協力の中で日本の優位性をもってミッションの提案を推進する必要がある。

【課題②】 月面科学探査・科学利用の長期的目標を明確にし、段階的に実施していくシナリオが未定。（月面天文台、特定地点からのサンプル採集、月震計観測）月面の利用に向けたシナリオを科学コミュニティとともに策定することにより、戦略的な月面利用／サイエンスを促進する必要がある。

### 得られたアウトプット：

#### ゲートウェイ搭載の放射線環境やダスト環境観測ミッションの推進

- 初期のゲートウェイ利用ミッションとして、ISS/きぼう等で獲得してきた放射線観測技術やデータ活手法、および水星探査機(Bepi Colombo)や火星衛星探査計画(MMX)で実績があるセンサ等を活用した月周回軌道のダスト環境観測ミッションを提案し、開発を進めている。
- ダストモニタ(LVDM)については、今年度は詳細設計およびEM製作を進め、ゲートウェイへの搭載を担当するESA側への引き渡しを完了した。引き続きESAと連携してフライト品の製作を進めている。



### 期待されるアウトカム

- ゲートウェイ設置時にしか取得することができない、初期の環境計測データを提供することで、その後のゲートウェイ運用における国際貢献を果たす。
- 他極では実施できない「Bepi Colombo」搭載実績のある宇宙塵環境計測センサについて、日本の強みを持って参画することで、今後のゲートウェイ利用における日本発ミッションの多様性・発展性を示し、科学分野におけるイニシアチブ確保に貢献することが期待できる。

### 得られたアウトプット：月面利用に関するフェージビリティスタディの実施

- 科学コミュニティと連携し、公募で選定されたフェージビリティスタディ(FS)テーマについて、月面科学利用における長期目標やシナリオと連携した技術検討、および試作試験等を実施した。

【課題A】：月面探査・利用に係る月面環境情報の取得や環境予測モデルの構築

- 宇宙放射線環境計測と被ばく線量評価(名古屋大学他)については、ASICの採用により計測装置(PS-TEPC/Lunar-RICHeS/LEXUS)の小型・軽量化を図り、回路設計/試作、照射試験を実施し、概ね設計通りに動作することを確認した。
- 月浅部地下探査新手法(東京大学他)については、4種類の誘電率測定法(反射伝送法/インピーダンス計測/エコー強度測定/マルチスティックレーダー)について実証実験を実施し、実現性を確認した。

【課題B】：世界をリードする科学成果の月面活動からの創出

- 月面天文台(理化学研究所他)については、低周波電波とガンマ線の観測装置を組み合わせた装置の検討を実施し、水資源探査や中性子の寿命測定も含む科学シナリオや科学目標、成功基準を策定した。
- 第一級の月面科学のシナリオと実現性の検討(JAXA/ISAS他)については、月面3科学(月面天文台/サンプリング/月震計)の相互連携による成果最大化に向けた検討を行うとともに、各装置の試作試験等を通じて基本的な設計仕様を検討した。

### 期待されるアウトカム

- フェージビリティスタディの募集、選定、研究を通して、科学コミュニティとの連携を強化する。
- 国際宇宙探査シナリオと月面科学探査・科学利用シナリオとの連携による相乗効果により、アポロ計画のインパクトに匹敵する、科学の大きな発展が期待できる。



評定理由・根拠 (補足)

補足7：民間企業等との連携

背景・課題

- ◆非宇宙分野を含む民間企業や大学等の持つ優れた技術やリソースを活用した研究開発、宇宙探査プロジェクトへの新規参加促進を進めることが必要。持続的な月面活動を実現するため、必要となるインフラの整備に向けた技術実証や実証機会の確保を進める。
- 【課題①】 長期的かつ持続的な月面活動を支える輸送技術として、月面への物資輸送能力を民間企業とどう連携して整備していくかシナリオが未定。
- 【課題②】 通信・測位インフラを国際的に分担して整備していくかの全体構想が未定。その中で日本は民間企業と連携してどのように関与するかのシナリオが必要。

得られたアウトプット：月探査促進ミッション定義活動を実施

- 国産基幹ロケット(H3)をベースとして、月面・月周回にペイロード(200-300kg目標)を輸送可能な小型月面着陸機について、ベンチャー企業を含めた概念検討を実施。キー要素であるペイロード輸送能力確保のための着陸機の軽量化、および月極域における高精度着陸技術の実現性の見通しが得られた。
- 下記を主案としてミッション検討を進めている。
  - ①グローバルアクセスを可能とする着陸技術実証
  - ②月測位技術実証
  - ③月面科学探査・科学利用
- ③については、補足6に示すサイエンスコミュニティとのフュージビリティスタディと連携して進めている。



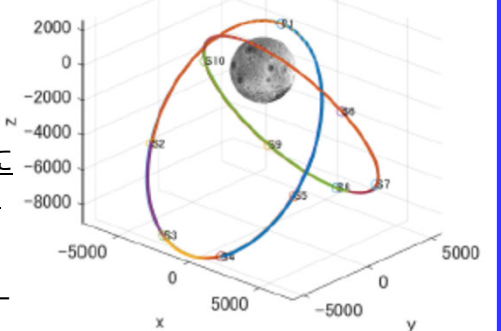
期待されるアウトカム

持続的な月面活動を進めるため、月面への物資輸送や通信測位などのインフラ技術の確立、及び民間活動の促進が期待される。また、技術実証機会の提供による民間活動の促進への貢献が期待される。

得られたアウトプット：

スターダストプログラム「月面活動に向けた測位・通信技術開発」を実施

- 昨年度から引き続き内閣府/MEXTのスターダストプログラム「月面活動に向けた測位・通信技術開発」を実施中。
- 昨年度の通信・測位アーキテクチャ検討成果をベースに、特に月測位衛星システム(LNSS)に係る実証ミッションの概念検討を重点的に実施した（左記の月探査促進ミッションに搭載予定）。また、月・地球間的高速通信技術（遠距離捕捉追尾、光通信技術等）のキーとなる要素技術に係る概念検討を進めた。
- 検討結果を用いて、**世界初となる月周囲の国際的な測位通信ネットワークを構築すべくNASA/Luna Net、ESA/Moonlightとの技術的な連携を推進している。**



- LNSS衛星投入軌道：ELFO (2軌道・8衛星)
- アベイラビリティ：98% 以上 (TBD)
- GNSS受信：GPS, QZSS, Galileoのマルチ受信
- HDOP：平均1.3~1.5 以下
- 測位精度：40m

期待されるアウトカム

月測位実証機の検討、搭載通信システム、地上局の検討を通じて、ベンチャーを含む民間企業や大学との情報・意見交換を密に行い連携を深めつつあり、月探査活動に関する多数のプレイヤーの創出が期待される。また、月圏の通信・測位システムの構築に係るNASA/ESAとの協働により、日本のプレゼンスを発揮し、持続的な月面探査の実施、更にその先の民間活動に向けて、日米欧共同での通信測位インフラの構築が期待される。

財務及び人員に関する情報								
項目 \ 年度	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
予算額 (千円)	385,280	2,619,428	3,811,508	13,161,856	15,501,334			
決算額 (千円)	329,458	909,304	2,161,303	7,734,668	6,748,671			
経常費用 (千円)	-	-	-	-	-			
経常利益 (千円)	-	-	-	-	-			
行政コスト (千円) (※1)	-	-	-	-	-			
従事人員数 (人)	10	26	28	39	45			

(※1) 「独立行政法人会計基準」及び「独立行政法人会計基準注解」の改訂(平成30年9月改定)に伴い、2018年度は「行政サービス実施コスト」、2019年度以降は「行政コスト」の金額を記載。

主な参考指標情報								
項目 \ 年度	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
JAXAと他極の実施機関との合意文書数(*1)	12	14	57	20	3			
JAXAが議長を務めた国際会議及び日本で開催した国際会議の数(*2)	4	7	1	0	2			
JAXA国際宇宙探査と関わりのある中小企業数 (*3)	-	-	-	-	60			

FY2022

(\*1) JAXAと他極の実施機関との合意文書

- ・ESA/JAXA LUPEX MOU (2022年4月4日署名)
- ・ドッキング実証実施にかかるTU(Technical Understanding)
- ・IDSS (国際ドッキング標準) の改訂

(\*2) JAXAが議長を務めた国際会議及び日本で開催した国際会議の数

- ・Lunar Polar Exploration Workshop #5 @Tokyo (2023年1月17日)
- ・ISECG IAWG (JAXAが議長を務めた)

(\*3) JAXA国際宇宙探査と関わりのある中小企業数

- ・JAXAと契約関係がある中小企業数を積算した数。2022年度から集計開始。
- ・国際宇宙探査に関わる裾野の広がりを示すため、中小企業数を指標とした。