

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
Ⅲ. 3. 6	Ⅰ. 1. 6.	-	
<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わ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>「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わ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>(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>(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。また、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>2020年度に開始した技術のフロントローディングにおいては、以下の成果が得られた。</p> <p>①超小型探査機での深宇宙探査に必要な基盤となる技術開発として、誘導制御系アビオ小型化で良い成果が得られた。</p> <p>②効率・質量で日本が世界でトップに立つ20K機械式冷凍機については、高信頼・長寿命・低擾乱化の設計を行った。</p> <p>③InGaAs検出器を使った低ノイズ赤外線センサの、国産で高性能化（画素数拡大・耐放射線性向上等）開発へ向けて、国立天文台等と検討した。</p>	<p>技術のフロントローディングにおいてはリスク・コストを低減するキー技術の開発を行い、本仕組みの有効性を確認できた。</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>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の更なる拡大・充実のための方策を検討する。</p>	<p>科学の発展に必須な要素の一部を、宇宙研外の拠点が担うことを狙い、大学連携拠点事業を実施している。今年度は、FY2017に採択した3拠点（北大：超小型深宇宙探査機用キックモータ研究開発拠点、千葉工大：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）の活動（4年間）が3年目に入り、拠点としての継続・発展に向けた取り組みが各拠点で進められた。東大拠点では、拠点の成果を事業化し、宇宙科学及び医学コミュニティに資する実験機器の設計等を担うベンチャー企業が立ち上げられた。</p>	<p>ベンチャー企業の立ち上げにより、大学共同利用連携拠点の新たな展開として産業振興にも資する成果が生まれつつある。また、北海道大学については、FY2020から予算措置含め拠点事業の後継組織を大学内に明確化し、拠点事業終了後も活動を継続することとなった。</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」、「公募型小型計画」、「戦略的海外共同計画」、「小規模計画」の候補ミッションの選定を行う。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。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・戦略的海外共同計画は3件（Hera、WSO-UV、Roman）をブリアプロジェクト化し、その他の候補ミッション（Dragonfly）はミッション定義段階の活動を実施した。 ・小規模計画は7件の活動を継続し、FY2020は新規2件を採択した。 ・戦略的中型計画、公募型小型計画は、次の公募、選定に向けた活動を継続。 ・観測ロケットについて、S-520-31号機搭載PI（デトネーションエンジンシステム）の単体開発を計画通りに進め、地上燃焼試験を通じて設計妥当性の確認を行った。SS-520-3号機は、搭載機器の単体機能確認および一部のシステム試験を2020年度中に完了した。2022年度に予定されているS-520-32号機の計画立案および安全評価を実施し、2021年度に予定されている機器開発を予定通り実施する準備が整った。 ・大気球実験は、大型気球による4実験とゴム気球による1実験を計画し、そのうち大型気球2実験を実施した。残る3実験は、いずれも新型コロナウイルス感染拡大による開始時期の遅れの影響もあり、2020年度の実施を見送った。また、2021年春に実施予定だったオーストラリア気球実験は新型コロナウイルス感染拡大に伴い計画を2022年春に変更した。 	<p>計画に基づき着実に実施した。なお、観測ロケット計画については、いずれの計画においても、作業定型化の一環で手順書をとりまとめつつある。</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について検討する。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>	<ul style="list-style-type: none"> ・赤外線天文衛星「あかり」（ASTRO-F）の観測データについて、引き続き公開準備を進めた。 ・DARTS（宇宙科学データアーカイブシステム）への謝辞またはURLを含めている論文は確認できただけで、2015年以降毎年20件を超えており2020年内に出版された論文は21件だった。当該システムを用いて運用中の衛星のデータを随時追加するとともに、大学等と協力し過去の有用な科学衛星データを整備し公開する活動を実施することで、新たにデータを一般公開した（宇宙環境計測ミッション装置/高エネルギー軽粒子モニタ(SEDA-AP/SDOM)、観測ロケット(電子密度等)）。 ・新規に公開された観測データは、分野別（天文学、太陽物理学、月惑星科学等）及び標準フォーマットによりシステムティックに管理し、広く一般公開することで、データ寿命や利用範囲の拡大に伴う成果最大化や、観測結果の第三者検証（研究不正防止）に貢献している。 ・科学衛星・探査機の異常の早期発見・通知を行うツールとして「衛星自動監視ソフトウェア(ATMOS)」を開発した。本ソフトウェアの導入により、可視帯のみでなく非可視帯をも含むデータを自動監視することで、より確実な衛星の健全性確保に寄与している。既存のSPRINT-A、ERG、「はやぶさ2」の運用に適用し、いくつかの監視ルールが科学衛星・探査機の異常早期発見に繋がり、その有効性を確認している。プロジェクトの監視ルール入力環境を改善のため、監視ルール入力支援GUIツールを機能強化した。また、プロジェクト固有の監視ルールを組み込んでATMOSの機能を拡張することを目的にカスタム監視エンジンAPIとデータ加工の一部機能を実装し、監視ルールの適用範囲を拡大した。 ・管制ソフトウェアのクライアントサーバー化に向けた基本設計を実施し、基本的な設計を確定した。 	<p>新たにデータを一般公開するなどDARTS利用拡大の取り組みの結果、本来の研究分野を超えて組み合わせたデータを用いた新たな研究成果が発表され、多分野データアーカイブセンターとしての利用が広がりがつつある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ATOMSの運用の結果、いくつかの監視ルールが科学衛星・探査機の異常早期発見に繋がった。 ・管制ソフトウェアの開発に際し、アジャイル開発の一手法のスクラム開発を適用し、宇宙分野でも適用可能な有効な手法である感触を得た。

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について検討する。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>・サンプル分析については、人材育成プランとして、テニユアトラック制度をはやぶさ2 拡張ミッションへ組み込みこととし、テニユアトラック助教を確保し、サンプル分析に係る将来の全体戦略を描ける人材を育成する施策を進めることとした。</p> <p>・「はやぶさ」が帰還させたサンプルの分析に関して、FY2020に実施した第8回国際研究公募において、2件の研究提案を採択し、9個のはやぶさ帰還試料を研究者に分配した。これまでの帰還試料分析研究成果として2020年度に4本の査読付き論文が発行されている。サンプルカタログを発行し、記載されているイトカワ粒子の総数が1,296個となった。</p>	<p>・リュウグウのサンプルが想定より多く採取できた結果、大学など外部機関と、分析計画の詳細化をスムーズに進めることができた。</p>
<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、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。また、若手研究者の育成のためのポストドク（プロジェクト研究員）やITYF（国際トップヤングフェローシップ）の制度の再構築等を進める。</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3名の特任助教が着任した（2020年度末、7名在籍）。また、新たにクロスアポイントメント制度を活用した事例が3件あった。2020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9名、外国人研究者（テニユア、ITYF、プロジェクト研究員）は、6名在籍している。また、宇宙科学・探査分野を支える研究者人材の育成・採用・活用に関する方針・計画を戦略的・計画的に議論する「宇宙研人材委員会」にて策定された宇宙科学研究所人材育成基本方針に基づき、若手研究者制度再構築に向けたWGを設置し検討を実施中である。特定の課題や短期目標を設定せず、多様性と融合によって破壊的イノベーションにつながるシーズの創出を目指す「創発的研究」を推進するための事業である。なお、JSTの「創発的研究支援事業」に、宇宙研のテニユアトラック助教が選定された。</p>	<p>計画に基づき着実に実施。</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。</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) での開発研究を進め、宇宙工学委員会下のWGから提案された「超精密フォーメーションフライト技術実証機(SILVIA)」が公募型小型計画として次のフェーズへ移行した。</p>	<p>計画に基づき着実に実施。</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>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>—</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・試験を行う。</p>	<p><プロジェクト> NASA、ESA、大学等と協力して開発を進めた。なお、組立試験では、NASA技術者による作業が必要となるため、新型コロナウイルス対策を施した上で来日し、作業を実施した。衛星バスコンポーネント製作試験及び構体パネルへのインテグレーションを実地中。地上システムのソフトウェア及びツールの整備を進め、インテグレーション試験を開始した。科学運用準備としてPerformance Verification Phaseに観測する対象を決定しターゲットリストを公開した。衛星のロバスト性向上施策としてスラスタ噴射異常対策機能の追加を決定し、打上げスケジュールを見直した。</p>	<p>計画を見直し着実に実施。</p>
<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>● 次世代赤外線天文衛星 (SPICA) について、欧州宇宙機関でのミッション公募の選抜状況を踏まえて、プロジェクト化に向けた検討を行う。</p>	<p>ESA及び日欧観測装置チームと協働して、概念検討を進めた。2020年3月末から7月頭にかけて ESA ミッション選抜の中間審査となる Mission Consolidation Review (MCR) が行われ、技術的には成立解を得て最終審査へ向け検討を進めることとなった。しかし、7月下旬にESAのコスト超過が発覚し、口径縮小などのデスクトップ案も検討したが、ESA Cosmic Vision M5の候補として、厳しい技術及びコスト面から実現可能性は無いとの判断に至り、ESAと宇宙研、オランダ宇宙科学研究所 (SRON) と共同で、M5ミッション選定の候補からの取り下げを決定した。国際的な活動成果は、White Papersと呼ばれる査読論文として、現在までに9編が出版、数編が準備中である。</p>	<p>今回の取り下げを教訓として、今後の戦略的中型計画の戦略的な選定につなげる。</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>・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>②太陽系と生命の起源の解明</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。</p>	<p><プロジェクト> 2020年4月に地球スイングバイ、2020年10月に金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、「みお」およびMPOともに科学観測を実施した。特に金星スイングバイ時には「あかつき」「ひさき」との3ミッションによる金星共同観測キャンペーンを行うことに成功した。また惑星間空間巡航中にも内部太陽圏観測を実施した。各機器の地上試験結果及び打上げ後初期運用結果をまとめた投稿論文が国際学術誌Space Science Review特集号として出版された。</p>	<p>計画に基づき着実に実施。 Space Science Review特集は、各搭載機器の開発成果がまとめられた論文として、惑星科学分野に注目された。</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+）の開発を進める。</p>	<p><プロジェクト> 公募型小型計画2として選定したDESTINY+の概念検討を経て、探査機システムメカを選定し予備設計を終えた。キー技術であるイオンエンジンサブシステムについては基本設計を進め、長納期部品の調達等を開始した。また、ミッション機器開発メカも選定し基本設計を開始した。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、開発研究を継続している。またダスト分析器機器についてはDLRにてPDRを終了した。</p>	<p>計画に基づき着実に実施。（参考：2021年5月プロジェクト化）</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）の基本設計を進める。</p>	<p><プロジェクト> 世界初の火星衛星往還機の実現に向け、着実な業務運営が行われたと評価する。</p> <p>・2024年度の打上げに向けて、2019年度実施のフロントローディング成果を基に、2020年度は探査機システム・ミッション機器・地上システム及び運用設計について基本設計を進め、順次PDR実施し（開催件数43件）、一連のPDR結果を踏まえてJAXA総括審査を完了し、詳細設計フェーズに移行した。</p> <p>・基本設計に加えて、エンジニアリングモデル（EM）製造・試験を開始した。また設計条件導出・同定のための実験・試験、設計結果検証のためのシミュレーション解析、EMによる検証試験、等を進めた。</p> <p>・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。（NASAとのLOA改訂：10月、CNESとのIA改訂：11月、ESAとのMOU締結：2月）。また探査機への8Kカメラ搭載・スーパーハイビジョン火星撮影についてNHKと共同プレスリリースした（9月）。</p>	<p>計画に基づき着実に実施。</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）に搭載する観測機器の開発・製作を行う。</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、ガニメデレーザ高度計）については2020年末までに全機器フライトモデルの欧州への出荷を完了した。電波・プラズマ波動観測装置(RPWI)については2021年1月迄にフライトスペアモデルの出荷も完了し、高速中性粒子観測装置(PEP/JNA)については、2021年3月にフライトスペアモデルの欧州への出荷を完了する。ガニメデレーザ高度計（GALA）については、2021年度中のフライトスペアモデルの製造・試験・出荷に向けて設計を進めている。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>計画に基づき着実に実施。</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>磁気圏尾部観測衛星 (GEOTAIL)</p>	<p>磁気圏尾部観測衛星 (GEOTAIL)</p>	<p>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28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、データを公開することでGeotailデータを使用した学術研究、論文が執筆され、Geotailによる長期観測データを用いて磁気圏尾部のイオン、電子それぞれの平均空間分布を明らかにすることで、磁気圏尾部の平均電場構造や磁力線の曲率半径を推定した「長期観測によって明らかになった磁気圏尾部プラズマシートのイオンと電子それぞれの空間分布」[Y. Miyashita et.al., JGR 2020] などの成果が得られた。</p>	<p>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、NASA側では2020年に実施されたsenior reviewで2023年までの運用延長が認められた。</p>
<p>太陽観測衛星 (SOLAR-B)</p>	<p>太陽観測衛星 (SOLAR-B)</p>	<p>ひので(SOLAR-B)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などを実施した。国際研究コミュニティから観測提案を17件採択した。コロナ禍の中で、感染拡大防止に注意しリモート立案などの工夫を行い、大きな支障なく観測を継続させた。科学的成果として、空間分解された太陽データに基づき複数の波長でのライトカーブ測定により空間分解が困難な恒星であっても表面の構造や磁場の情報を得られる可能性 [S. Toriumi et al. ApJ 2020]や、ひので-観測ロケット実験CLASP2連携により太陽表面からコロナ直下までの太陽大気磁場を世界で初めて導出に成功 [R. Ishikawa et al. Science Advances 2021]などが得られた。本年度に運用延長審査を受け、2021年度から3か年の運用が承認された。</p>	<p>。今まで発表された論文成果は、2014年以降4,000回/年以上と、極めて高い頻度で広く引用され続けている (NASA ADS調べ)。ひので-観測ロケット実験CLASP2連携により太陽表面からコロナ直下までの太陽大気磁場を世界で初めて導出した。また、研究結果により空間分解が困難な恒星であっても、複数の波長でライトカーブを測定することで、黒点の構造や磁場についての情報を得られる可能性が示された。</p> <p>我が国および世界において、累計100人を超える博士号にひのでデータが貢献している。</p> <p>「ひので」の取得した観測画像は、高等学校や中学校をはじめとした教科書、参考書、オンライン学習素材、科学館での展示やプラネタリウムでの投影に多数利用されている (検定教科書 中学理科3年 4社, 高等学校地学基礎 4社 地学 2社等)。また、各地の科学館での展示やプラネタリウムでの投影にも活用されている。宇宙天気現況を行うウェブサイト「SolarMonitor.org」などにおいて、太陽面活動状況を示すキーパラメータとして軟X線画像が即時使用されている。このように「ひので」の成果は、教育・アウトリーチ面等でも貢献も大きい。</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)	<p>スーパーローテーションを維持しているメカニズムをあかつきUVI,LIRから得られた雲頂高度での風速ベクトル測定から考察し、熱潮汐波が主要な貢献をしていることを世界で始めて明らかにした。また2020/10に起きた水星探査機「みお」の金星スイングバイにあわせて「ひさき」の金星紫外線観測と併せて、3機の宇宙研衛星による共同観測を行った。</p>	<p>スーパーローテーションの維持メカニズムに熱潮汐波が主要な貢献をしていることを突き止め、サイエンス誌に掲載された。地球とは大きく異なる金星大気について新たに得られた知見が広く共有されることにより、地球型惑星における大気の循環に関する研究・理解の進展が期待される。</p>
惑星分光観測衛星 (SPRINT-A)	惑星分光観測衛星 (SPRINT-A)	<p>木星探査機Junoの近木点通過に合わせて木星観測を実施し、国際的な木星探査研究において引き続き重要な役割を果たしている。また、2020年10月に地球最接近を迎えた火星を定期的に観測した。また、10月のBepiColombo金星スイングバイ時にあわせた、「みお」-「あかつき」-「ひさき」3機による金星観測キャンペーンを実施した。</p>	<p>2019年度までの火星観測データの解析結果が学術論文誌に掲載された。水素原子と酸素原子の発光輝線を「ひさき」で継続的に観測した結果、水素原子の発光は火星大気のカストームにより増加すると考えられる火星大気中の水素原子量との相関が高いこと、酸素原子の発光は太陽光強度に相関が高いことを明らかにした。2020年度の地球最接近時の火星観測データ解析の初期値としても適用される。</p>

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 (拡張ミッションの準備を含む)</p>	<p><プロジェクト> 2019年11月に小惑星リュウグウを出発した探査機「はやぶさ2」は、2020年12月に地球帰還を果たした。地球までの航行にはイオンエンジンが用いられ、地球帰還までトラブルなく計画された運転を完了した。2020年12月5日(UT)に探査機から切り離された再突入カプセルは、オーストラリア／ウーメラ立入制限区域の計画されたエリアに6日に無事着地した。カプセルはその日のうちに発見、回収され、地球帰還の57時間後には相模原のキュレーション設備に搬入された。目標を大きく上回る5.4gのリュウグウのサンプルが確認された。FY2021に実施予定の試料分析以外、エクストラサクセスを含む全てのサクセスクライテリアを達成した。カプセルの地球帰還の成功は多数のメディアに取り上げられた。</p>	<p>地球帰還・カプセル回収を行い、世界で初めてC型小惑星からのサンプル持ち帰りに成功した。小惑星からのサンプル持ち帰り成功は、世界で「はやぶさ」「はやぶさ2」の2例のみであり、小惑星探査における日本の技術力をアピールすることができた。また、「はやぶさ」のリングシールからメタルシールに換装され、回収サンプルは地球大気に汚染されず、さらにガス取得が達成できたことは、非気密コンテナを用いる米国NASAサンプルリターン (アポロ、STARDUST、ジェネシス、OSIRIS-REX) を大きく凌駕した。また、地球帰還・カプセル回収の成功は社会的に注目を浴び、テレビ・新聞・WEBなどのメディアで多数取り上げられた。コロナ禍における明るいニュースとして注目を浴びた。はやぶさ2のこれまでの成果に対して「内閣総理大臣顕彰」をはじめ、学会などより多数の表彰を受けた。</p>
<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)</p>	<p>観測運用を順調に継続し、国際的な地上観測ネットワーク網 (地磁気、オーロラ、SuperDARN やEISCATの電離圏レーダー観測網) との共同観測を実施した。 2019年6月に打ち上げられた米国DSX衛星とのバーストモード協調観測を累積50回実施した。 VERSIM 2020 (2020年11月) や PWING-ERG conference and school on the inner magnetosphere (2021年3月) の日本主催の国際会議の開催 (オンライン会議) に協力し、ERGの科学成果を発表した。</p>	<p>電磁イオンサイクロトロン波の発生領域の空間的な広がりを推定することにはじめて成功 (Hendry et al., 2020) し、放射線帯の高エネルギー電子の超高層大気への消失過程の理解に関してインパクトある成果として、GRL誌Editor's Highlights に選ばれた。 オーロラ粒子の加速機構について、これまで提唱されてきたどの加速領域形成理論でも説明することはできない、超高高度領域において、オーロラ粒子が加速されていることを発見し、Nature Scientific Report誌に掲載された。 以上のような、当初の観測計画から予想もできなかった発見を含む、世界的に注目される科学成果を創出し、ジオスペース変動現象の理解に向けた貢献が進んでいる。</p>

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・試験を行う。</p>	<p><プロジェクト> 詳細設計を進め、併せて構造モデル・熱モデル試験(MTM/TTM)等の重要な試験を実施した。それらの結果も踏まえて、詳細設計審査を完了した。</p>	<p>計画に基づき着実に実施。</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系統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探査機・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支援し、宇宙機の開発・運用現場に即時的に投入可能な技術や知見の開拓・蓄積を行い、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>これまで中型～大型の探査機で無いと実現できないと考えられていた月着陸やラグランジュ点からの観測などを可能とする超小型探査機（6UサイズのOMOTENASHI）をインハウスで低コストで実現したことから、ミッションが成功した暁には、超小型探査機でも月面着陸が可能であることが実証され、大学や中小企業の宇宙探査への敷居を大幅に下げることができる。 液体ロケットの研究開発で培われた「水素技術」が、2050年カーボンニュートラルを目指す国の施策に沿ってNEDOや様々な民間企業との共同研究に活用され、広範囲に社会インフラ・産業振興に貢献することができる。</p>

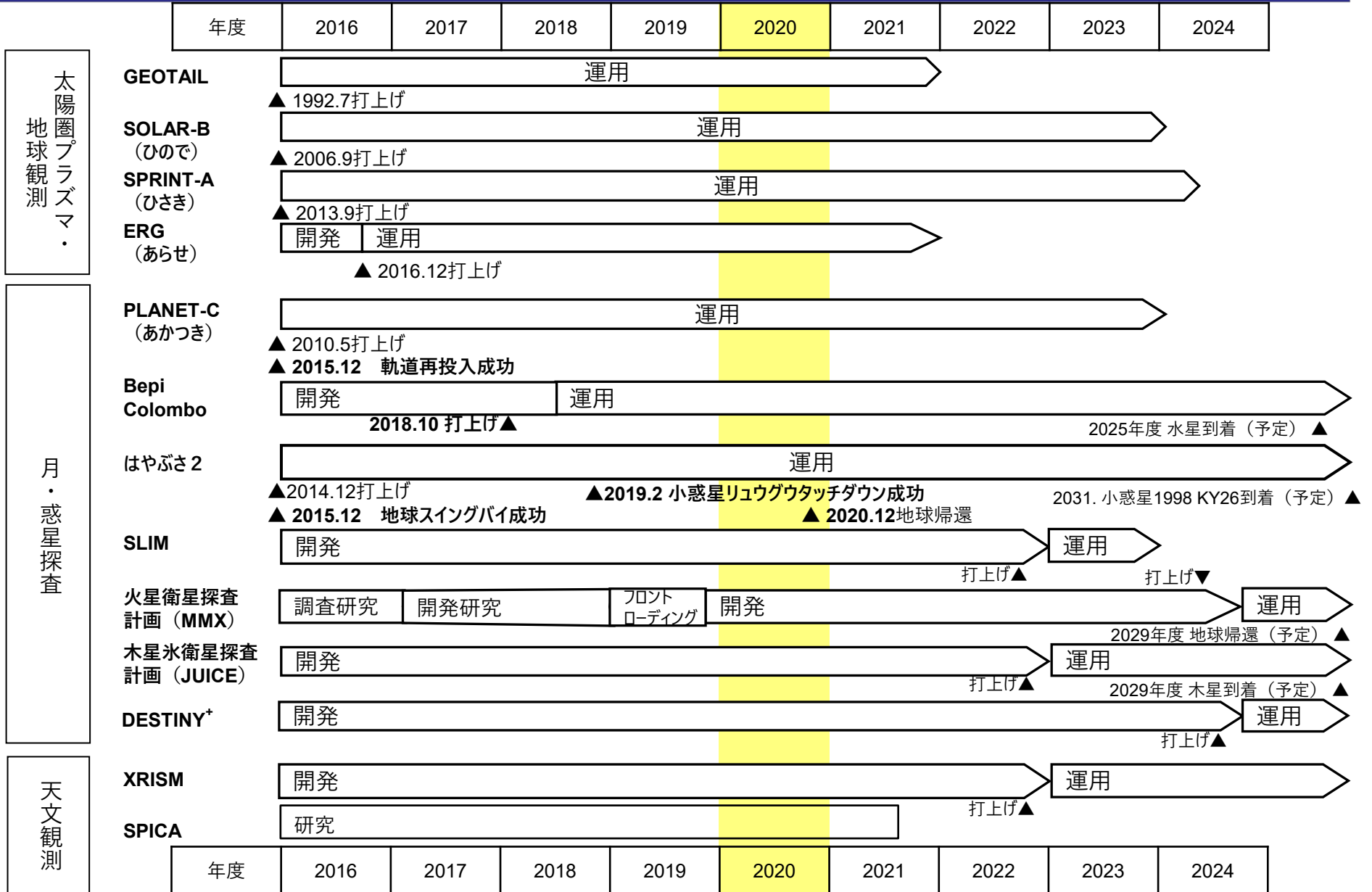
中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>④その他</p> <p>・宇宙科学プロジェクトの候補ミッション（戦略的中型計画2（LiteBIRD）、公募型小型計画3（小型JASMINE）、4（Solar-C(EUVST)）等）について、初期の成立性検討や初期の研究開発（フロントローディング活動）を従前より充実させ、具体化に向けた検討を実施する。</p>	<p>④その他</p> <p>●戦略的中型計画2として選定された宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星（LiteBIRD）、公募型小型計画3として選定された赤外線位置天文観測衛星（小型JASMINE）、4として選定された高感度太陽紫外線分光観測衛星（Solar-C(EUVST)）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>それぞれ、プロジェクト化に向けた活動を継続として、ミッション定義活動を進めた。</p>	<p>計画に基づき着実に実施。</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><プロジェクト> 現行深宇宙通信局の後継局として、深宇宙探査用地上局の総合システム試験を完了し、定常運用へ移行する。</p>	<p>2019度のX帯電波の試験的受信成功に続き、2020年4月にはKa（32GHz帯）の電波の受信にも成功するとともに、10月にはX帯電波の送信にも成功した。開発を完了し、次年度から定常運用へ移行することが認められた。</p>	<p>X帯送信機能については、我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化の観点から、従来の真空管型送信機を世界で初めて半導体素子を用いた固体電力増幅器（SSPA）として実現した。</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。</p>	<p>・計画立案から打上げに至る全工程の作業定型化を進めている。また、各工程の作業品質確認の工程についてもさらなる強化を実施中。事業の全体としては、SS-520-3号機、S-520-31～35号機の計6機の計画を整備し、管理を行っている。直近の打上げ予定はS-520-31号機（2021年夏）、SS-520-3（2021年冬）の2機となっており、コロナ禍においても搭載機器の開発、機器の機能確認等、現状は計画通り準備が進んでいる。</p> <p>・先端工作技術GではBCPを遵守しつつ新工作室を中心に「インハウスでのものづくり」を継続している。今期は①はやぶさ2・リュウグウサンプルピックアップマニピュレーター製作および関連機器開発（地球外物質グループ）、②「エアターボ・ロケットエンジン」主要部品の製作（再使用型宇宙輸送システムにおける大気アシスト飛行の実証研究）で大きな貢献を果たした。</p>	<p>・作業定型化の推進により、スケジュール遅延要素を低減させている。現に、6機の実験計画はパラレルに進められており、いずれも打上げ年度に合わせ計画通り進行中。また、試験作業内容等の実務可視化により、各職員の担当業務予見性が高まり、併任業務との調整が的確になるとともに、残業時間の大幅削減につながった。副次的効果として、職員等の身体的な負担軽減につながり、試験等オペレーション時に発生しがちな作業ミスが大幅に減じた。</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>●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>・経済産業省委託事業の「宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業（民生部品等を活用した宇宙機器の軌道上等実証）」について、超小型ロケットによる宇宙輸送サービスの開発を行っているスタートアップ企業とも連携し、ビジネス上のニーズを踏まえ、2018年度から3年間、JAXA研究開発部門・前述の企業と共同で自律飛行安全システムの研究開発を実施し、処理能力の低いロケット搭載計算機でも対応可能な飛行安全管理アルゴリズムの開発を通じて、自律飛行安全ソフトウェア及びハードウェアの開発を完了した。また、自律飛行安全の高度化に向けた先行研究として、機体健全性モニタ機能の高度化を実施した。（自立飛行安全ソフトウェアの開発については、III.4.2項参照）</p> <p>・民間企業による小型衛星打上げロケット開発のための固体ロケットモータの地上燃焼試験に係る能代ロケット実験場の利用について、共同研究契約を締結。2021年度前半での試験実施を目指している。</p> <p>・スタートアップ企業と共同ではやぶさイオンエンジンの低コスト化・高性能化研究に着手した。超小型衛星の軌道制御性能向上を目指す。</p> <p>・民間企業と共同で、民生電池を活用した小型衛星、超小型衛星向け次世代リチウムイオン電池の開発を実施した。今後、汎用リチウムイオン電池として民間企業による市場展開を図る。</p>	<p>・開発した自律飛行安全システムは前述のスタートアップ企業の打上げに使用される予定。同社では、自律飛行安全を適用することを前提に早期のサービスインへ向けた開発が行われている。基幹ロケットや民間企業の小型ロケットでも自律飛行安全の適用に向け、検討が進められている。また、本研究開発の成果を活かし民間企業の開発する位置速度計測機器に自律飛行安全ソフトウェアを搭載し、自律飛行安全管理も実施可能な機器開発や飛行実証を目指している。</p> <p>・将来的には、革新将来輸送に向け、自律飛行安全による特徴（データ通信に求められる冗長性/信頼性がなくなること）を活用した衛星コンステレーションとの併用による射場系費用の大幅なコスト低減や、将来的に求められる高度な技術等に期待されている。また、基幹ロケットの高度化戦略において、リエントリへの活用、打上げ能力向上、運用性改善、打上げ維持費低減等が期待される。</p> <p>・革新的研究開発推進プログラム「ImPACT」で得られた成果を応用し、Synspective社等と共同で開発した小型合成開口レーダー（SAR）には、宇宙科学研究で創出された成果も活用されている。</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 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 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>2020年度、延べ226人の学生を受け入れた（東大大学院：77人、総研大：30人、連携大学院：47人、その他：72人）。また、宇宙研での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52人参加）。コロナ禍により海外からの受入において少なくとも、大学側判断での受入中止が4件、受入手続き延期が1件、入構制限等による受入中の学生指導が十分でないとの判断による受入期間延長（1年）が1件生じた。</p>	<p>計画に基づき着実に実施。</p>
<p>(4) 宇宙科学・探査ロードマップ 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 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>宇宙理学・工学委員会及び宇宙科学・探査小委員会にて検討と議論を進めて、その結果をもとに宇宙科学研究所にて宇宙科学・探査ロードマップを改訂した。</p>	<p>計画に基づき着実に実施。</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>○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><評価指標> (成果指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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>(マネジメント等指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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><モニタリング指標> (成果指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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>(マネジメント等指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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>【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>○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</p> <p><評価指標> (成果指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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>(マネジメント等指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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><モニタリング指標> (成果指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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>(マネジメント等指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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



【評定理由・根拠】

小惑星探査機「はやぶさ2」において、2020年12月に再突入カプセルの地球帰還、回収に成功した。小惑星リュウグウ起源のガスの採取に成功し、世界初の地球圏外からのガスのサンプルリターンを実現した。また、世界で初めてC型小惑星からのサンプルの回収にも成功し、数々の世界初の偉業を成し遂げた「はやぶさ2プロジェクトチーム」は、菅内閣総理大臣より内閣総理大臣顕彰の授与を得た。また、金星探査機「あかつき」による金星雲層上部による高速西風スーパーローテーションの維持メカニズムを解明、深宇宙用追跡アンテナを使った「かにパルサー」で発生する「巨大電波パルス（GRP）」に同期し増光するX線の検出に関する論文が、アメリカの科学雑誌Science（サイエンス）に掲載されるなど、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。以上、宇宙科学・探査分野で世界最高水準の成果をあげ、我が国の国際的プレゼンスの向上に貢献する、特に顕著な成果を創出したと評価する。

【小惑星探査機「はやぶさ2」】

- 2011年にプロジェクトを開始した「はやぶさ2」は、2014年12月3日にH-IIAロケット26号機により打ち上げられ、2018年に小惑星リュウグウに到着した。リュウグウでは2回の高精度タッチダウン等を成功させ、リュウグウでの観測を着実に実行し、観測された成果の論文はScience誌、Nature誌に掲載されるなど、世界トップクラスの科学的成果を創出した。また、**工学的には9つの世界初を達成**し、当初の想定を大きく超える成果を得ることができた。リュウグウのサンプルが入ったカプセルの回収にも成功し、サンプルが確認された。はやぶさ2プロジェクトのサクセスクライテリアにおいては、**サンプル分析以外の目標をエクストラサクセスを含めて全て達成した。**
 <補足1-1、参照>
- 2019年11月に小惑星リュウグウを出発した「はやぶさ2」は2020年12月に地球帰還を果たした。地球までの航行にはイオンエンジンが用いられ、地球帰還までトラブルなく計画された運転を完了した。2020年9月17日に、イオンエンジン動力航行時間約9500時間を計画通り達成し、その後の地球帰還成功により地球～小惑星～地球の惑星間往復航行を完遂した。月より遠い天体との間の惑星間往復航行を実現したのは「はやぶさ初号機」に続き、「はやぶさ2」が世界で2例目である。
 <補足1-2、参照>
- 「はやぶさ2」は、計4回の軌道修正運用を行った上で、地球から約22万kmの地点で再突入カプセルを分離した。分離後、探査機は地球圏から離脱する運用を行い、地球スイングバイをして通過した。分離されたカプセルは計画通り、オーストラリア／ウーメラの立入制限区域に着地した。ビーコンを用いた方向探査、マリンレーダ、光学観測、ドローン等のデータを用いてカプセル一式を発見・回収し、**再突入後約57時間という短時間で、宇宙科学研究所のキュレーション設備に運び込むことで、地球帰還運用およびカプセル回収作業を完遂した。**今回、新型コロナウイルス対策のため、通常より制約の大きい中での回収作業となったが、入念な対策と準備を講じるとともに、オーストラリア政府、アメリカ航空宇宙局（NASA）、文部科学省、在オーストラリア日本大使館、税関、相模原市等に多大なるご支援をいただき、回収作業を成功することができた。 <補足1-2、参考1、参照>
- カプセル回収後、ウーメラにて直ちにサンプルコンテナ室内のガスが採取・分析された。後の分析結果と合わせて、採取されたガスは小惑星リュウグウ起源のガスであることが確認された。地球圏外からのガスのサンプルリターンは世界初の成果である。また、サンプルコンテナを開封し、**世界で初めてC型小惑星からのサンプル物資の回収に成功したことを確認した。サンプル物質は計5.4gあり、第一回タッチダウン時に採取された粒子（A室）にくらべ、第二回タッチダウン時に採取された粒子の方が大きいサイズであった。**<補足1-2、A-96、A-97頁参照>

【評定理由・根拠】（続き）

【小惑星探査機「はやぶさ2」】つづき

5. 数々の世界初の偉業を成し遂げた「はやぶさ2プロジェクトチーム」に対して、菅内閣総理大臣より内閣総理大臣顕彰が授与されるなど、プロジェクト活動を通じて多くの賞を受賞し、第三者から高い評価を得た。<補足1-3、参照>
6. 2018年6月から2019年11月まで小惑星リュウグウの近傍で様々な装置を用いた観測運用を実施し、現在、多くの観測データからリュウグウの形成・進化過程の解明進めており、惑星形成や地球に水や有機物をもたらす過程での力学進化につながる重要な成果等を創出している。<補足1-4、1-5、参照>

【世界的に優れた研究成果の創出】

7. 本年度も多くの査読付き論文が学術誌に掲載され、宇宙科学分野において世界トップクラスの科学的成果を創出した。「はやぶさ2」による成果では、リュウグウ着陸時に観測されたデータから、小惑星の軌道進化と表面地質進化が密接に関係していることを明らかにし、今後、リュウグウ試料の物質科学的分析と合わせて、炭素質小惑星の宇宙風化・熱変成過程の解明が期待される。また、金星探査機「あかつき」が、金星雲層上部による高速西風スーパーローテーションの維持メカニズムを解明した。両研究成果ともアメリカの科学雑誌Science（サイエンス）に掲載された。その他、ロケット飛翔実験CLASP2と太陽観測衛星「ひので」（SOLAR-B）による観測を組み合わせ、太陽表面からコロナ直下に至る磁場構造を世界で初めて明らかにし、太陽物理への新しい知見をもたらすとともに、太陽観測研究に彩層磁場の測定という新しい窓を切り拓いた。さらに、ジオスペース探査衛星「あらせ」（ERG）、Van Allen Probe B 衛星および地上の VLF（※1）波観測ネットワークを組み合わせることで、EMIC（※2）波の発生領域の経度方向の広がりを見極めることにはじめて成功した成果は、米国地球物理連合速報誌GRL誌の2020年 Editor's Highlightsに選ばれた。<補足2-1、2-2、2-4、2-5、参照> ※1：very low frequency（長波長） ※2：electromagnetic ion-cyclotron（電磁イオンサイクロトロン）

【その他】

8. 水星磁気圏探査機「みお」（BepiColombo）、金星探査機「あかつき」（PLANET-C）、惑星分光観測衛星「ひさき」（SPRINT-A）の3機を同時に利用して金星観測を行った。地球以外では日本の宇宙科学史上初の試みとなる、3機の日本の衛星・探査機による惑星同時観測に成功し、これまで得られたことのない初の観測データもあり、現在各チームで詳細解析を進めている。<参考2、参照>

なお、年度計画で設定した業務は、計画通り実施した。

補足 1 - 1 : 小惑星探査機「はやぶさ2」

小惑星探査機「はやぶさ2」プロジェクト (総括)

2011年にプロジェクトを開始した「はやぶさ2」は、2014年12月3日にH-II Aロケット26号機により打ち上げられ、2018年に小惑星リュウグウに到着し、MINERVA-II 1、MASCOTの分離、着地の成功、2回の高精度タッチダウンを成功させた。リュウグウでの観測を着実に実行し、観測された成果の論文はScience誌、Nature誌に掲載されるなど、世界トップクラスの科学的成果を創出した。また、工学的には9つの世界初を達成し、当初の想定を大きく超える成果を得ることができた。リュウグウのサンプルが入ったカプセルは、2020年12月6日に地球に帰還し、オーストラリア/ウーメラ立入制限区域の計画されたエリアに無事着地した。カプセルはその日のうちに発見、回収され、リュウグウのサンプルが確認された。はやぶさ2 プロジェクトのサクセスクリテリアにおいては、サンプル分析以外の目標をエクストラサクセスを含めて全て達成した(次ページ参照)。

顕著な成果

○科学的成果の創出

2020年度末までに154編の論文が掲載され、「小型衝突装置SCIと分離カメラDCAM3による小惑星リュウグウにおける宇宙衝突実験のその場観測」に関する論文は、Science誌に掲載され、また、米国のCNN、ニューヨークタイムズでも紹介され、日本の技術力を世界にアピールすることができた。

○工学上の「世界初」

- 1) 小型探査ロボットによる小天体表面の移動探査
- 2) 複数の探査ロボットの小天体上への投下・展開
- 3) 小惑星での人工クレーターの作成とその過程・前後の詳細観測
- 4) 天体着陸精度60cmの実現
- 5) 同一天体 2 地点への着陸
- 6) 地球圏外の天体の地下物質へのアクセス
- 7) 最小・複数の小天体周回人工衛星の実現
- 8) 地球圏外からの気体状態の物質のサンプルリターン
- 9) C型小惑星の物質のサンプルリターン

○カプセル回収

2019年11月にリュウグウを出発した「はやぶさ2」は、2020年12月に地球帰還を果たした。分離されたカプセルは計画通り、オーストラリア/ウーメラの立入制限区域に着地。ビーコンを用いた方向探査、マリンレーダ等のデータを用いてカプセル一式を発見・回収し、宇宙科学研究所のキュレーション設備に運び、地球帰還運用およびカプセル回収作業を完了した。

○リュウグウサンプル

サンプルコンテナを開封し、世界で初めてC型小惑星からのサンプルの回収に成功したことを確認。サンプルは計5.4gあった。



アウトカム

- ・宇宙をテーマにしたTVシリーズ (NHKスペシャル) では「はやぶさ2」で2回の特集番組が放送され、国民から大きな関心を得るとともに、当該番組は第61回科学技術映像祭で文部科学大臣賞 (教育・教養部門) を受賞した。
- ・内閣総理大臣顕彰の受賞、Aviation Week Networkからの表彰など、これまで国内外の団体から47件の表彰を受けており、第三者から高い評価が得られた。
- ・帰還カプセルの世界初展示となった相模原市立博物館では、定員4,800名のところ18,310名の応募があり、注目度の高い展示となった。
- ・2010年「はやぶさ」によるイトカワサンプル取得に続き、2020年リュウグウサンプル獲得を成功させ、2029年MMXによるフォボスサンプル確保へと、「定期的サンプルリターン計画」の実現に弾みを付けた。

サクセスクライテリア (はやぶさ2) < 第60回 宇宙開発利用部会報告資料 >

ミッション目標	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
<p>【理学目標 1】 C型小惑星の物質科学的特性を調べる。特に鉱物・水・有機物の相互作用を明らかにする。</p>	<p>小惑星近傍からの観測により、C型小惑星の表面物質に関する、新たな知見を得る。 ※3 【達成判断時期】 探査機の対象天体到達1年後</p>	<p>採取試料の初期分析において、鉱物・水・有機物相互作用に関する新たな知見を得る。 【達成判断時期】 試料回収カプセルの地球帰還1年後</p>	<p>天体スケールおよびミクロスケールの情報を統合し、地球・海・生命の材料物質に関する新たな科学的成果を上げる。 【達成判断時期】 試料回収カプセルの地球帰還1年後</p>
<p>【理学目標 2】 小惑星の再集積過程・内部構造・地下物質の直接探査により、小惑星の形成過程を調べる。</p>	<p>小惑星近傍からの観測により、小惑星の内部構造に関する知見を得る。 ※3 【達成判断時期】 探査機の対象天体到達1年後</p>	<p>衝突体の衝突により起こる現象の観測から、小惑星の内部構造・地下物質に関する新たな知見を得る。 ※3, 5 【達成判断時期】 探査機の対象天体離脱まで</p>	<p>・衝突破壊・再集積過程に関する新たな知見をもとに小惑星形成過程について科学的成果を挙げる。※3, 5 ・探査ロボットにより、小惑星の表層環境に関する新たな科学的成果を挙げる。※4 【達成判断時期】 探査機の対象天体到達1年後</p>
<p>【工学目標 1】 「はやぶさ」で試みた新しい技術について、ロバスト性、確実性、運用性を向上させ、技術として成熟させる。</p>	<p>イオンエンジンを用いた深宇宙推進にて、対象天体にランデブーする。 【達成判断時期】 探査機の対象天体到達時</p>	<p>・探査ロボットを小惑星表面に降ろす。※1 ・小惑星表面サンプルを採取する。 再突入カプセルを地球上で回収する。 【達成判断時期】 試料回収カプセルの地球帰還時</p>	<p>N/A サンプル分析以外の目的は全て達成</p>
<p>【工学目標 2】 衝突体を天体に衝突させる実証を行う。</p>	<p>衝突体を対象天体に衝突させるシステムを構築し、小惑星に衝突させる。 【達成判断時期】 生成クレータ確認時</p>	<p>特定した領域に衝突体を衝突させる。 【達成判断時期】 生成クレータ確認時</p>	<p>衝突により、表面に露出した小惑星の地下物質のサンプルを採取する。 【達成判断時期】 試料回収カプセルの地球帰還時 ※2</p>

※1 MINERVA II-1a/1b/2 or MASCOTの4ロボットの少なくとも1つが小惑星表面に降りれば達成。
→ MINERVA II-1a/1b, MASCOTの着陸およびMINERVA II-2の集会後の着陸により達成済み。

※2 地下物質の堆積する地点へのタッチダウンは成功したが、地下物質サンプル収量の確認はカプセル地球帰還後となる。

※3 搭載機器による初期成果論文6編が国際学術誌 (Science, Natureなど) に掲載された。

※4 MASCOTの初期成果論文2編が国際学術誌 (Science, Nature Astronomy) に掲載された。

※5 SCI/DCAM3の初期成果論文が国際学術誌 (Science) に投稿され、掲載された。

達成済み

FY2020に達成

補足 1 - 2 : 小惑星探査機「はやぶさ2」

再突入カプセルの回収

2019年11月に小惑星リュウグウを出発した小惑星探査機「はやぶさ2」は、2020年12月に地球帰還を果たした。地球までの航行にはイオンエンジンが用いられ、地球帰還までトラブルなく計画された運転を完了した。2020年12月5日(UT)に探査機から切り離された再突入カプセルは、オーストラリア／ウーメラ立入制限区域の計画されたエリアに無事着地した。カプセルはその日のうちに発見、回収され、地球帰還の57時間後には相模原のキュレーション設備に搬入され、リュウグウのサンプルが確認された。

得られた成果

○惑星間往復航行の完遂：

2020年9月17日に、はやぶさ2はイオンエンジン動力航行時間約9500時間を計画通り完了し、その後の地球帰還成功により地球～小惑星～地球の惑星間往復航行を完遂した。2021年現在、月より遠い天体との間の惑星間往復航行を実現したのははやぶさ初号機に続き、はやぶさ2が世界で2例目である。はやぶさに比して格段に安定した太陽系航行実績は、DDOR (Delta Differential One-way Ranging) 技術を含む高精度軌道決定技術と、イオンエンジンのような連続推力航行を伴う軌道設計・軌道制御技術の成熟の証左となる成果である。

○地球帰還運用／カプセル回収：

2019年11月に小惑星リュウグウを出発した探査機「はやぶさ2」は、2020年12月に地球帰還を果たした。計4回の軌道修正運用を行った上で、地球から約22万kmの地点で再突入カプセルを分離した。分離後、探査機は地球圏から離脱する運用を行い、地球スイングバイをして通過した。

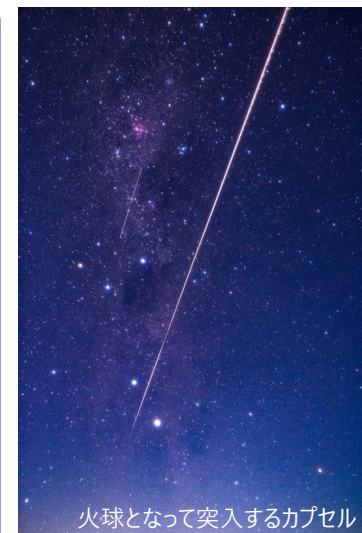
分離されたカプセルは計画通り、オーストラリア／ウーメラの立入制限区域に着地した。ビーコンを用いた方向探査、マリンレーダ、光学観測、ドローン等のデータを用いてカプセルの位置を発見・回収し、再突入後約57時間という短時間で、宇宙科学研究所のキュレーション設備に運び込むことで、地球帰還運用およびカプセル回収作業を完遂した。なお、マリンレーダは、地上と宇宙のDual Utilizationを果たすべく、宇宙探査イノベーションハブと株式会社光電製作所との共同研究で開発されたもので、カプセル回収成功の一助となった。

○地球圏外からのガスサンプルリターン (世界初)：

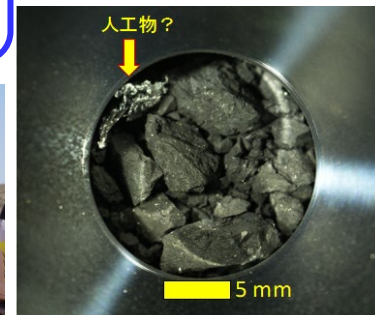
カプセル回収後、ウーメラにて直ちにサンプルコンテナ室内のガスが採取・分析された。後の分析結果と合わせて、採取されたガスは小惑星リュウグウ起源のガスであることが確認された。**地球圏外からのガスのサンプルリターンは世界初の成果であった。**

○C型小惑星の物質のサンプルリターン (世界初)：

キュレーション設備において、慎重にサンプルコンテナを開封し、**世界で初めてC型小惑星からのサンプルの回収に成功したことを確認した。サンプルは計5.4gあり、第一回タッチダウン時に採取された粒子 (A室) にくらべ、第二回タッチダウン時に採取された粒子の方が大きいサイズであった。**



火球となって突入するカプセル



(上) 採取されたサンプル C室 (回収容器内) の光学顕微鏡像



カプセル回収



ヘリによる回収 (ヘリ帰還)



マリンレーダ設置

補足 1 - 2 : 小惑星探査機「はやぶさ2」

再突入カプセルの回収 (つづき)

アウトカム

- ・「はやぶさ」のリングシールからメタルシールに換装され、回収サンプルは地球大気に汚染されず、さらにガス取得が達成できたことは、非気密コンテナを用いる米国NASAサンプルリターン (アポロ、STARDUST、ジェネシス、OSIRIS-REX) を大きく凌駕した。
- ・カプセル帰還広報イベントとして、カプセル分離・再突入の様子をYouTube (日本語・英語) ・ニコニコ生放送で同時配信し、多くのアクセスがあった (YouTube・ニコ生アクセス数：12/5-6合計で約70万)。さらに、帰還を盛り上げるべく、主に中高生向けのオンラインイベント (はやぶさ2 帰還・前夜祭) を11/29-12/4にかけて6日連続で開催し、こちらの再生数は合計約5万回であった。
- ・相模原市をはじめとした銀河連邦や、宇宙研近隣の商店会等、地元からもたくさんの応援をいただき、カプセル回収班壮行会の開催や、カプセル突入時にはパブリックビューイングを実施していただいた。また、銀河連邦7市町 (※) のマスコットキャラクターをカプセル回収班特別隊員に任命し、分身 (ぬいぐるみ) が回収班に同行する企画も実施するなど、地元と一体となり、カプセル帰還の機運を高めることができた。※JAXAの研究施設がある5市2町で構成された交流組織。北海道大樹町、秋田県能代市、岩手県大船渡市、宮城県角田市、長野県佐久市、神奈川県相模原市、鹿児島県肝付町。
- ・3月中旬から「はやぶさ2」帰還カプセルの公開を開始、世界初展示となった相模原市立博物館では、定員4,800名のところ18,310名の応募があり、注目度の高い展示であった。



12/5相模原市パブリックビューイング (相模原市立博物館)



(左) はやぶさ2 帰還・前夜祭

(右) カプセル回収班壮行会・特別隊員就任式の様子



12/5ライブイベントの様子
駐日CNES, DLR, NASA代表の参加



(左) 相模原市のマスコット「さがみん」も現地地で応援



(上) 12/8 カプセル宇宙研到着

評定理由・根拠（補足）



補足 1 - 3 : 小惑星探査機「はやぶさ2」

はやぶさ2の取り組み（表彰）

プロジェクト活動を通じて、多くの賞を受賞し「はやぶさ2」の成果が注目を浴びた。

（左）菅内閣総理大臣から顕彰状を受け取る津田ヒロカズ

出典：首相官邸ホームページ https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/actions/202012/17kenshoshiki.html

	表彰年月	表彰された人、グループ名、所属	表彰した団体名	表彰のタイトル	表彰された内容
1	2020/7	佐伯孝尚, 澤田弘崇, 松崎伸一	公益財団法人 市村清新技術財団	第52回 市村学術賞(貢献賞)	人工衝突体による遠方天体地下掘削技術の実現
2	2020/10	吉光徹雄, 久保田孝	日本ロボット学会	第1回優秀研究・技術賞	小惑星探査ローバMINERVA-IIの運用
3	2020/12	久保田孝	計測自動制御学会, システムインテグレーション部門	SI部門技術業績賞	超小型探査ロボットシステム「ミネルバ2」の開発と小惑星移動探査の実現
4	2020/12	大木 優介	日本航空宇宙学会	第64回宇宙科学技術連合講演会 若手奨励賞最優秀賞	はやぶさ2による小惑星周回人工衛星の実現とその軌道解析
5	2020/12	はやぶさ2プロジェクトチーム	内閣府	内閣総理大臣顕彰	
6	2021/3	JAXAと主要関連会社：NEC、MHI	日刊工業新聞社	第50回日本産業技術大賞 審査委員会特別賞	
7	2021/3	武井悠人, 佐伯孝尚, 澤田弘崇, 三樹裕也, 津田雄一	日本機械学会	日本機械学会賞（技術）	小惑星探査機はやぶさ2における未踏天体地下探査技術の開発と運用
8	2021/3	はやぶさ2	デジタル・コンテンツ・オブ・ジ・イヤー'20/第26回AMDアワード	年間コンテンツ賞「優秀賞」	陸精度60センチの実現などの世界初を達成した技術力とチーム力
9	2021/3	小惑星探査機はやぶさ2/小惑星探査ロボットMINERVA-II	ロボット大賞	第9回ロボット大賞 文部科学大臣賞	探査機の自律移動を実現したロボティクス技術、MINERVA-IIの小惑星表面での観測の実現
10	2021/3	はやぶさ2プロジェクトチーム	相模原市	特別表彰	数々の世界初となる偉業を達成
11	2021/3	小惑星探査機「はやぶさ2」	銀河連邦	銀河連邦表彰	世界中の人々に大きな感動を与え銀河連邦の誇り
12	2021/3	照井冬人・尾川順子・吉川健人	公益財団法人 市村清新技術財団	第53回 市村学術賞(功績賞)	はやぶさ2による小惑星へのタッチダウンのための高精度画像航法誘導制御技術の確立
13	2021/3	はやぶさ2 衝突装置・分離カメラ開発チーム	日本機械学会	2020年度 宇宙工学部門 部門賞	小惑星探査機「はやぶさ2」の衝突装置・分離カメラの開発と成果
14	2021/3	はやぶさ2 サンプリング装置開発チーム	日本機械学会	2020年度 宇宙工学部門 部門賞	小惑星探査機「はやぶさ2」のサンプリング装置の開発と成果
15	2021/3	巽 瑛理	宇宙科学振興会	第13回宇宙科学奨励賞	小惑星探査機の観測と室内実験によるC型小惑星の進化史の解明
16	2021/4	森治、榎木賢一、成尾芳博、澤井秀次郎、志田真樹、丸祐介、道上啓亮、中塚潤一	日本航空宇宙学会	第30回（2020年度）日本航空宇宙学会賞 論文賞	はやぶさ2の化学推進系の開発と往路運用
17	2021/4	吉光徹雄、久保田孝、冨木淳史	日本航空宇宙学会	第30回（2020年度）日本航空宇宙学会賞 技術賞【プロジェクト部門】	はやぶさ2搭載MINERVA-IIローバ
18	2021/4	はやぶさ2JAXAプロジェクトチーム	SOCIÉTÉ ASTRONOMIQUE DE FRANCE (SAF)	le Prix international d'astronautique 2020	はやぶさ2による小惑星リュウグウのサンプル収集ミッション

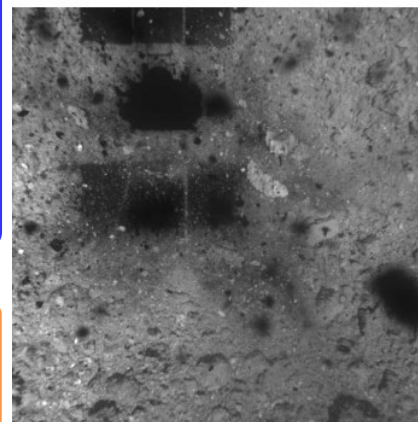
補足 1 - 4 : 小惑星探査機「はやぶさ2」

小惑星リュウグウの観測で得られた成果

「はやぶさ2」は、2018年6月から2019年11月まで小惑星リュウグウの近傍で様々な装置を用いた観測運用を実施し、現在、多くの観測データからリュウグウの形成・進化過程の解明を進めている。

得られた成果 Science誌に掲載

○サンプル採取時の高解像度撮像から推定される小惑星リュウグウの表面進化 (右図)
 「はやぶさ2」搭載カメラ (ONC-T) によるタッチダウン時やリュウグウ全球の多色画像から層序学的特徴を調べた結果、表層の大部分は太陽加熱や宇宙風化の影響で赤化しているが、緯度方向への表層物質の流動やクレータ形成によって最近露出した地域は青い特徴がみられた。この事実は表面の赤化が比較的短期間に起きたことを示唆し、リュウグウが現在よりも太陽に接近する公転軌道を周回していたと考えられる。(T. Morota, et al. "Sample collection from asteroid (162173) Ryugu by Hayabusa2: Implications for surface evolution", Science 368, 654-659 (2020). doi:10.1126/science.aaz6306.)

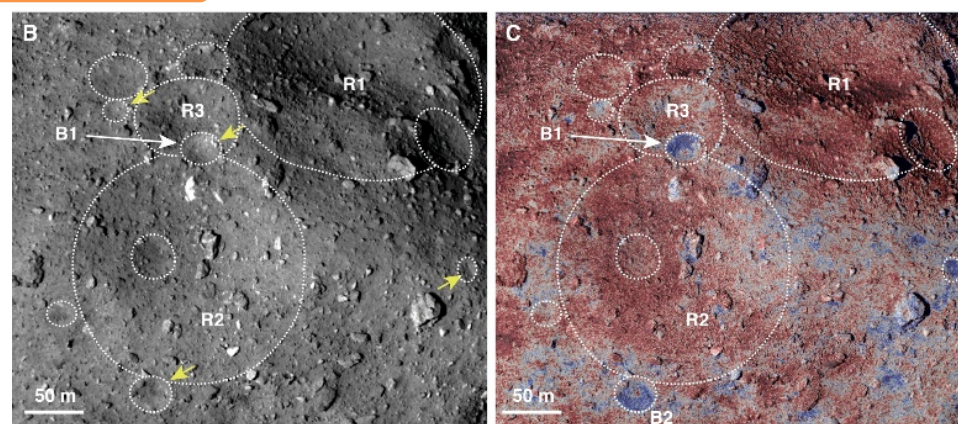
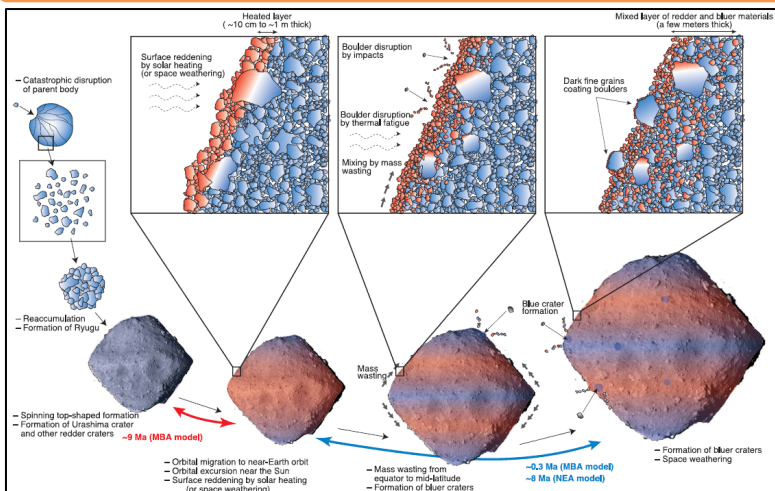


(左図) 第一回タッチダウン直後に観測されたリュウグウ表面の擾乱の様子。タッチダウンと同時に試料採取のための弾丸発射と探査機上昇のためのガス噴射によって、大量の赤黒い微粒子が舞い上がった。

期待されるアウトカム

リュウグウが緩く堆積した流動し易いラブルパイル構造であること、リュウグウの公転軌道の太陽距離が短期間に変動し得ることを示す証拠であり、惑星形成や地球に水や有機物をもたらす過程での力学進化の理解につながる重要な成果である。

(下図) 反射スペクトルの傾きマップ。赤黒物質はリュウグウの表層に全球的に存在しており、クレータとの層序関係から、地球近傍軌道に変化してから変質したものであることが推定された。



(左図) リュウグウ表層の進化シナリオ。現在みられる表面の緯度方向の色分布と、赤道域の物質が赤い物質と青い物質が混合している状態を説明することができる。

補足 1 - 5 : 小惑星探査機「はやぶさ2」

小惑星リュウグウの観測で得られた成果

(リュウグウとS型小惑星の衝突)

期待されるアウトカム

得られた成果① Nature Astronomy誌に掲載

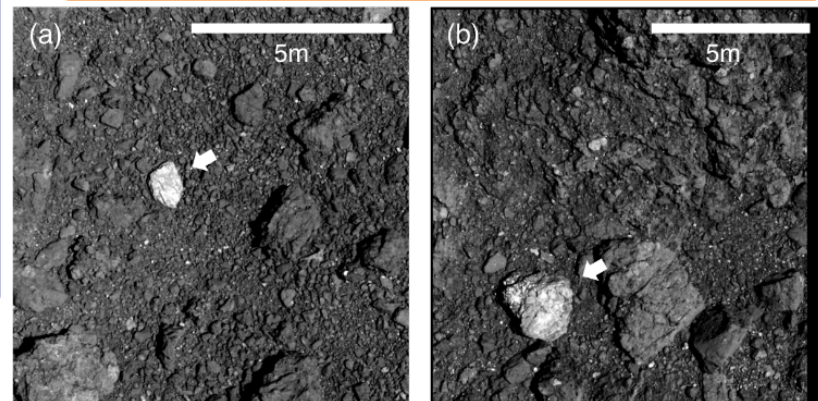
○はやぶさ2 から得られた多波長画像から外来物質を発見

C型であるリュウグウは炭素質な物質でできていると考えられているが、リュウグウ表面に普通コンドライトに似た明るい物質を発見した。普通コンドライトはS型小惑星由来の隕石である。このことから、リュウグウの母天体がS型小惑星と衝突したという歴史を明らかにした。このことは、小惑星帯内で衝突を繰り返して小さくなっていく過程で、C型とS型の小惑星の物質的な混合が起きていることを実証的に示した初めての例である。

○母天体由来と思われる異なる熱変性度の物質を発見

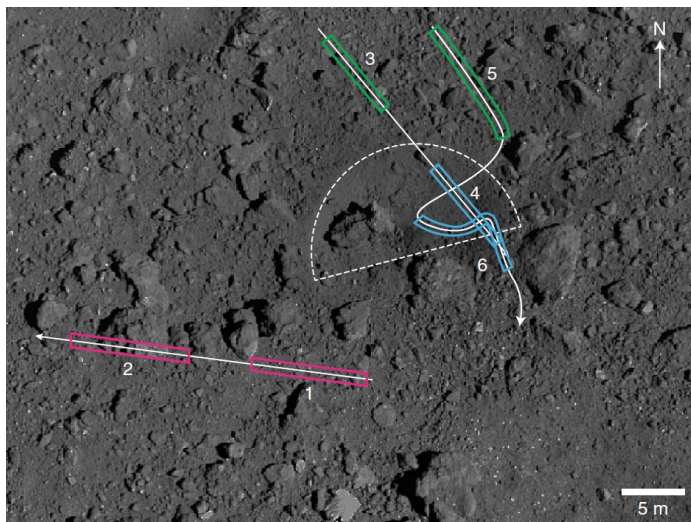
リュウグウの母天体内部で異なる加熱を受けたと思われる明るい物質を発見した。理論的に予想される母天体内部での層構造を示唆する。(E. Tatsumi et al. "Collisional history of Ryugu's parent body from bright surface boulders", Nature Astronomy, doi : 10.1038/s41550-020-1179-z, 2020)

本研究により初期太陽系での物質輸送の過程が明らかになった。今後の探査でも同様の物質混合が見られると期待できる。ダイナミックな初期太陽系進化描像を解明することに繋がる。



(上図)はやぶさ2 光学航法カメラ (ONC) により小惑星リュウグウ上に発見された明るい岩。外来由来のものとリュウグウ母天体由来のものがある。

小惑星探査機「はやぶさ2」による研究成果 (リュウグウの地下物質)



(上図) リュウグウ表面の近赤外分光計NIRS3による観測の軌跡

得られた成果② Nature Astronomy誌に掲載

○小惑星リュウグウの熱変成した地下物質 (左図)

「はやぶさ2」衝突装置SCIによって地下物質が掘り起こされたと考えられる領域について、タッチダウン及び降下観測の機会に近赤外分光計NIRS3による観測を行い、表面物質と比較した。その結果、地下物質では吸収強度がやや大きいこと、地下物質が300°Cを超える加熱を受けたことが明らかになった。これは、リュウグウの母天体の段階で、既に熱変成による脱水が起きていた可能性を示している。(T. Kitazato, et al. "Thermally altered subsurface material of asteroid (162173) Ryugu", Nature Astronomy 5, 246–250(2021). doi: 10.1038/s41550-020-01271-2.)

期待されるアウトカム

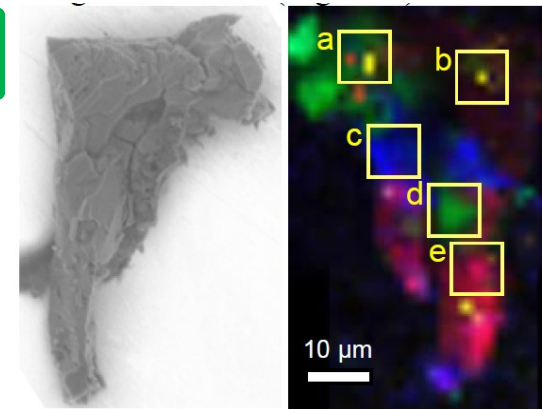
この成果は、リュウグウが誕生して地球に接近する軌道に移動するまでの歴史の解明につながる。同時に、小惑星帯の外側にある水が、どのように地球付近まで運ばれるのかを知るうえで、重要な手掛かりになる。

補足 2 - 1 : 世界的に優れた研究成果の創出 (その 1)

小天体探査により、いつ、どの天体が、どのように水を原始地球に持ち込んだのか？地球の水の起源の解明
試料分析方法の開発による火星のハビタビリティについての重要な一歩

得られた成果①

○「はやぶさ」ミッションによるイトカワ粒子の水と有機物の検出と見解
小惑星探査機「はやぶさ」が小惑星イトカワから持ち帰った微粒子の国際公募研究で配分された試料の分析で有機物と水の検出を行った。S型小惑星イトカワの表面物質は普通コンドライトの中のLLコンドライトに相当するとされているが、その中に表面に、C型小惑星の表面物質とされる炭素質隕石に相当する物質が混入している可能性を示唆している。また検出された水の含有量は普通コンドライトで一般的に検出されている水分量と同等または少し低いものであった。今回の発見は小惑星イトカワがS型小惑星とC型小惑星間の物質混合を介して太陽系小天体の動的な歴史を記録したという見解(DeMeo and Carry 2014)を支持するものとなった。(Q. H. S. Chan, et al. "First Identification of Indigenous Organic Matter Alongside Water in Itokawa Particle Returned by the Hayabusa Mission", 51st Lunar and Planetary Science Conference, <https://ui.adsabs.harvard.edu/#abs/2020LPI....51.2230C/abstract>. 2020.)



(上図) イトカワ試料のSEM画像 (左) とラマンマップ (右)
有機物(a,b黄)、かんらん石(c緑)、斜長石(d青)、輝石(e赤)

期待されるアウトカム

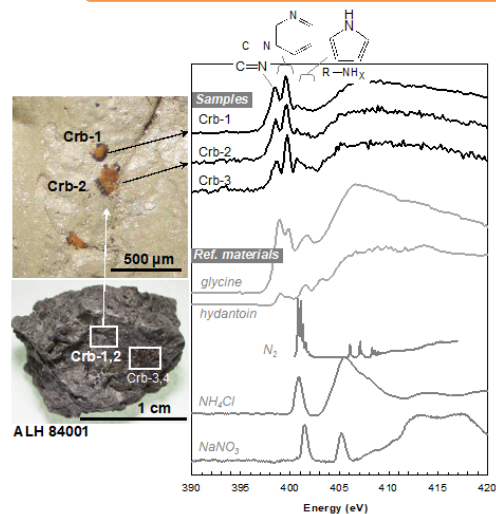
本研究により、形成初期に地球型惑星へもたらされた水の総量の解明が期待され、今後、生命の発生・進化と密接にかかわる惑星大気量・海水量の初期条件に制約を与える可能性がある。

得られた成果②
Nature Communications誌に掲載

○非破壊・局所分析による窒素化学種推定法の開発により40億年前の火星隕石の有機窒素化合物含有を明らかにした
太古の火星は海や河川などの液体表層水を保持し、温暖湿潤だったと予想されるが、その環境変遷や生命居住可能性 (ハビタビリティ) については未解明である。従来の破壊分析研究では地球物質 (水や有機物) による隕石試料の汚染が深刻な問題であったが、本研究では、放射光を利用した非破壊 & 局所分析による窒素化学種推定法を開発し、40億年前の火星隕石Allan Hills (ALH) 84001中の炭酸塩鉱物に用いることで、従来の試料汚染問題を克服した上でこの炭酸塩鉱物が火星由来の有機窒素化合物を保存していることを明らかにした。40億年前の火星には、炭素質隕石などの外部由来、または、その場生成された有機物が安定に存在していたと思われる。それらの一部は表層水や地下水に溶け込み、炭酸塩を始めとする二次鉱物に捕獲されたことで、現在まで火星表層で保存されてきたと期待できる。さらに、同じ炭酸塩から無機的な酸化窒素 (硝酸など) の塩は検出されず、当時の火星表層が現在より還元的な環境であった可能性が示された。(Koike, M. et al., "In-situ preservation of nitrogen-bearing organics in Noachian Martian carbonates," Nature Communications, 11, 1988. (DOI:10.1038/s41467-020-15931-4) 2020)

期待されるアウトカム

本研究により、火星由来の有機窒素化合物の検出方法が示され、火星生命痕跡の検出を大目標とする火星サンプルリターン計画における試料採取・分析プロトコルの作成に反映されることになる。



(上図) 火星隕石ALH84001
40億年前の火星の流体から晶出した炭酸塩鉱物の微小粒

補足 2 - 2 : 世界的に優れた研究成果の創出 (その 2)

惑星探査

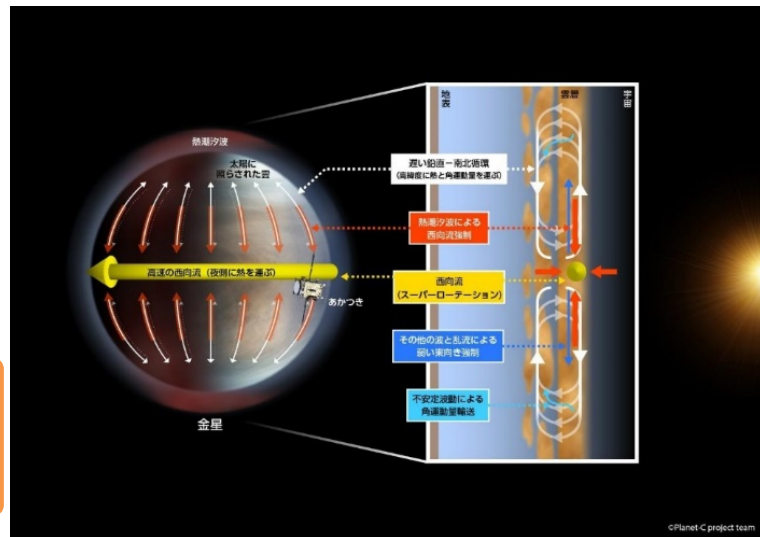
得られた成果① Science誌に掲載

成果①〇「あかつき」、金星スーパーローテーションの維持メカニズムを解明

金星探査機「あかつき」(PLANET-C) 搭載の紫外線カメラUVIを主に長波赤外カメラLIRも補助的に用い、金星雲層上部における高速西風スーパーローテーション (SR) の維持メカニズムを研究した。角運動量がどこからどこへ、何によってどのように運ばれるかを定量的に見積り、赤道および低緯度帯では熱潮汐波がSR維持の主要なメカニズムであることを初めて明らかにした。(T. Horinouchi et al., "How waves and turbulence maintain the super-rotation of Venus' atmosphere," *Science*, DOI:10.1126/science.aaz4439. 2020,)

期待されるアウトカム

最近の研究では系外惑星の多くは金星と同じようにある面だけが長時間中心星の方向を向くロックオンという現象が起きており、それらの惑星で昼夜間の極端な温度差を解消するメカニズムの有力候補としてスーパーローテーションが取り上げられている。今回の成果は系外惑星の大気ダイナミクスに大きな示唆を与える。また、唯一の金星探査機として成果を出し続け、世界(米欧印、および民間)における金星探査への興味が再興することに貢献している。



(右上図) 子午面循環、熱潮汐波、その他の波がスーパーローテーション維持にどのような働きをもつかを表した模式図 (2020年4月24日公開のISASウェブリリースより)。

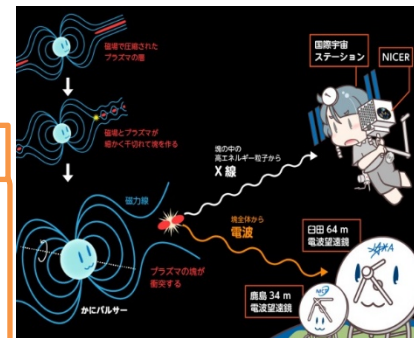
深宇宙用追跡アンテナを使った電波観測と、ISS搭載X線望遠鏡の共同観測による研究成果

得られた成果② Science誌に掲載

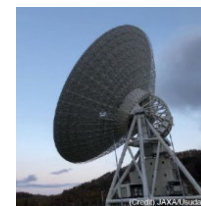
成果②〇巨大電波パルスの瞬間のX線増幅をついに検出(宇宙の灯台「かにパルサー」に隠れていたX線の煌き) かにパルサーは1968年の発見以来、電磁波のほぼ全波長で観測が行われ、電波から可視光、X線、ガンマ線に至る様々な波長で周期的なパルス信号を出すことが知られている。電波のパルスは、突発的に10~1000倍に明るくなる「巨大電波パルス」を起こすがその増光のメカニズムはわかっていなかった。X線でも同様の巨大パルスが受かるはずと、さまざまなX線望遠鏡がその検出を試みたが、いまだ検出できていなかった。国際研究チームは、国際宇宙ステーションに搭載されたNASAのX線望遠鏡ナイサー(NICER)と日本の二つのアンテナ(JAXA 64m鏡およびNICT34m鏡)を連携させ、巨大電波パルスが発生する瞬間のX線パルスの検出に成功し、X線でも4%ほど増光することを突き止めた。従来電波とX線は全く異なった方法で放射されると考えられていたため、この電波と同期したX線の増光は驚くべき結果と言え、謎につつまれているパルサーのパルス放射機構を理論的に解明する上で重要なヒントとなる。X線での増光の割合はわずかであるが、電波と比較するとエネルギーの高い波長域であるため大きく、巨大電波パルスは、これまで考えられてきたよりもはるかに大きなエネルギーを解放する現象であることがわかった。(T. Enoto et al. "Enhanced X-ray Emission Coinciding with Giant Radio Pulses from the Crab Pulsar", DOI: 10.1126/science.abd4659, *Science* 2021:Vol. 372, Issue 6538, pp. 187-190)

期待されるアウトカム

本研究は本研究成果は、宇宙遠方で発生する謎の高速電波バースト現象 (FRB)の起源や発生メカニズムの解明にも重要な示唆を与える。また、感度の高い深宇宙用追跡アンテナは、電波天文分野の研究成果をあげることに有用であることが示された。



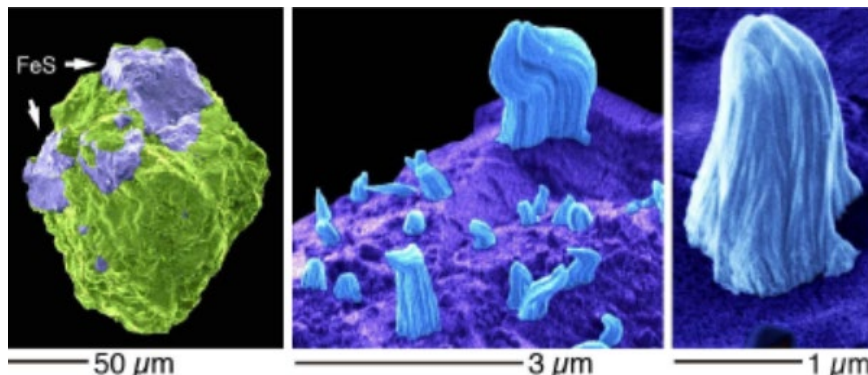
(上図) リリース時の漫画より



(上図) 白田64mアンテナ

補足 2 - 3 : 世界的に優れた研究成果の創出 (その 3)

新たな発見 :
 ・太陽風による硫化鉄分解により“鉄のひげ”の成長
 ・月の表面からの炭素イオン放出による新たな月誕生モデルの転換の期待



(上図) イトカワ微粒子の走査型電子顕微鏡写真。わかりやすさのため画像を着色している。(左)分析したイトカワ粒子のひとつ。硫化鉄(紫色)とケイ酸塩(緑色)で構成される。(中央)硫化鉄(紫色)表面の金属鉄のひげ状結晶(青色)。(右)ひげ状結晶の拡大図

得られた成果① Nature Communications誌に掲載

成果① ○小惑星イトカワの鉄のひげは太陽風による硫化鉄分解の可能性を示す。
 探査機はやぶさが小惑星イトカワから持ち帰った微粒子の表面に、地球外物質では全く知られていない、ひげ状に伸びた金属鉄の結晶を発見した。金属鉄のひげ状結晶は、太陽から吹き出した荷電粒子である太陽風の打ち込みが硫化鉄(FeS)を分解させることで成長したと考えらる。本研究により、荷電粒子の照射が宇宙での硫黄と鉄の化学進化に大きな役割を果たした可能性が示された。(T. Matsumoto, et al. “Iron whiskers on asteroid Itokawa indicate sulfide destruction by space weathering”, Nature communications, doi.org/10.1038/s41467-020-14758-3. 2020.)

期待されるアウトカム

本研究で用いられた手法は、将来のサンプルリターン試料の分析に適用され、宇宙風化の定量的な議論が進むと期待される。

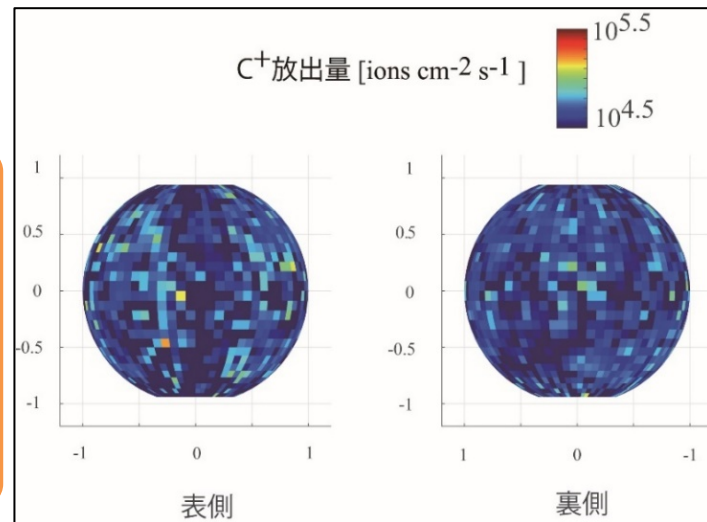
得られた成果② Science Advances誌に掲載

成果② ○「かぐや」プラズマ観測装置による月の表面から炭素イオン放出の観測

月周回衛星「かぐや」(SELENE)のプラズマ観測装置によって月の表面全体から流出する炭素を世界で初めて観測した。巨大衝突によって形成された月には、炭素などの揮発性物質は存在しないとこれまで考えられていたが、この観測結果は月には誕生時から炭素が存在することを強く示唆している。これまでの巨大衝突による月誕生進化モデルでは、月には誕生時から水や炭素など揮発性物質が存在しない(ドライ説)とされたが、揮発性物質はある程度存在し続ける新たな考え方(ウェット説)が、計算機環境の発展と共に提唱されている。本成果は、月の誕生と進化をウェット説の観点で再考する大きな契機となることが期待される。(Yokota et al, KAGUYA observation of global emissions of indigenous carbon ions from the Moon, Science Advances, eaba1050, 2020.)

期待されるアウトカム

JAXAの水星磁気圏探査機「みお」(MMO)、火星衛星探査機(MMX)でも、「かぐや」と同じような質量分析装置による観測が予定されている。水星や火星の月フォボスから流出するイオンを観測することで、各天体の起源や進化に迫る研究など太陽系科学への大きな貢献が期待できる。



(上図) 月から流出する炭素イオンの流量マップ

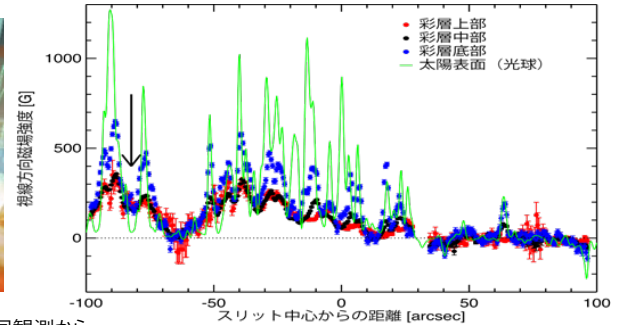
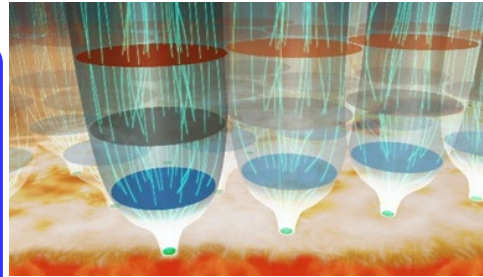
補足 2 - 4 : 世界的に優れた研究成果の創出 (その 4)

太陽観測衛星「ひので」(SOLAR-B)による研究成果

得られた成果① Science Advances誌に掲載

○日米欧協力CLASP2と「ひので」同時観測により磁束管を捉えたロケット飛翔実験CLASP2と「ひので」による観測を組み合わせ、太陽表面からコロナ直下に至る磁場構造を世界で初めて明らかにした。「小規模太陽プロジェクト」のCLASP2は、日米仏が共同開発した観測装置で、NASAの観測ロケットにより2019年4月に打ち上げられ、約6分半の間、太陽表面上空に広がる彩層からの紫外線の偏光観測に成功した。同時に、「ひので」は太陽表面の磁場を精密に観測。これらの観測により、太陽表面に点在して見られる磁束管が、彩層で急激に膨張し互いにひしめき合っていくという、今まで想像のみであった太陽磁場の彩層での姿が明らかになった。

(R. Ishikawa, et al. "Mapping Solar Magnetic Fields from the Photosphere to the Base of the Corona", Science Advances, doi:10.1126/sciadv.abe8406. 2021.)



(上図) 観測ロケット実験CLASP2と「ひので」衛星の共同観測から明らかになった、太陽表面から彩層最上部に至る磁束管の様子。4つの高さ(太陽表面、彩層低・中・最上部)で磁場を観測した。

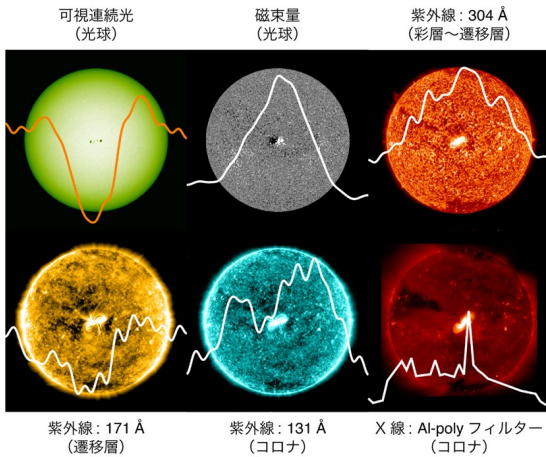
期待されるアウトカム

本研究成果は、太陽物理への新しい知見をもたらすとともに、太陽観測研究に彩層磁場の測定という新しい窓を切り拓いた。

得られた成果② The Astrophysical Journal誌に掲載

○「ひので」などの観測データをもとに複数の波長でライトカーブを測定。

「太陽フレア」は黒点の周辺に発生し、地球の磁気嵐やオーロラの要因となる。また、恒星では太陽を遥かに上回る「スーパーフレア」が発見されている。スーパーフレアは、周囲の系外惑星のハビタビリティ(生命の存在可能性)を左右すると考えられるが、現在の技術では、恒星を空間分解して黒点を観測することは困難である。本研究では「ひので」衛星などの観測データをもとに、太陽面上を黒点が通過する際のライトカーブ(光度曲線)を様々な波長帯で測定した。本研究の結果から、空間分解が困難な恒星であっても、複数の波長でライトカーブを測定することで、黒点の構造や磁場についての情報を得られる可能性が示された。また、検討中の高感度太陽紫外線分光観測衛星「Solar-C」は、その圧倒的な性能を活かし、太陽が紫外線放射を生じる詳細なメカニズムに迫る。(S. Toriumi et al.: 2020, Sun-as-a-star Spectral Irradiance Observations of Transiting Active Regions, The Astrophysical Journal, 902, 36, doi: 10.3847/1538-4357/abdf9)



(左図) 太陽の自転とともに黒点群(活動領域12699)が通過した際の、さまざまな波長帯におけるライトカーブ(実線)。背景は、黒点が太陽面中心付近に到達した時刻の画像。黒点の通過に伴って、可視光ではライトカーブが減光するほか、彩層やコロナに感度を持つ紫外線・X線では増光が生じる。また、唯一、遷移層に対応する紫外線では、ライトカーブが減光を示す場合があるという予想外の結果も新たに明らかになった。

期待されるアウトカム

本研究を発展させることで、「Solar-C」等による太陽観測から、恒星黒点・恒星フレアの解明につなげることが期待され、系外惑星の研究分野にも貢献すると考えられる。

補足 2 - 5 : 世界的に優れた研究成果の創出 (その 5)

ジオスペース探査衛星「あらせ」(ERG) による研究成果
 (米国地球物理連合速報誌GRL誌の2020年Editor's Highlightsに選ばれた。)

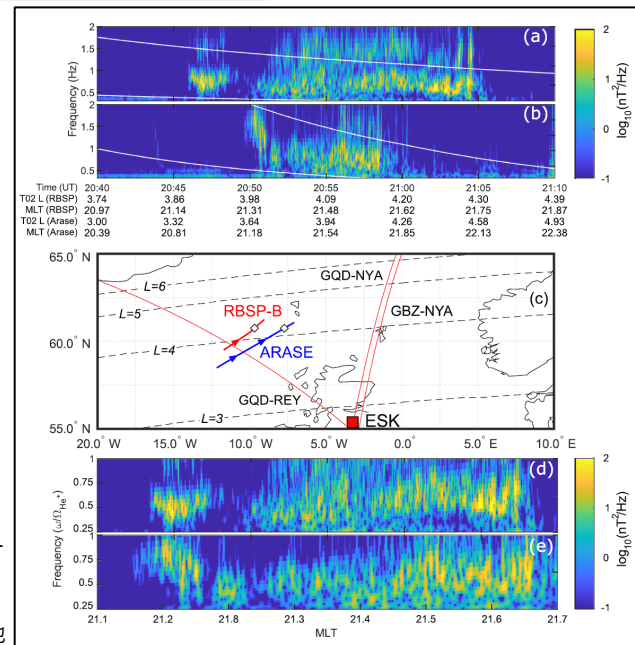
得られた成果①

○電磁イオンサイクロトロン波の活動領域の広がりや衛星・地上観測から捉える
 近年、電磁イオンサイクロトロン波 (EMIC) は、波動粒子相互作用を介して放射線帯の高エネルギー電子の運動を散乱し、高エネルギー電子を地球の超高層大気へ消失させるドライバーとして注目を浴びている。しかし、EMIC波の活動領域の空間的な広がりが明らかになっていないことから、放射線帯電子の消失過程に対する寄与の大きさについて議論が続いている。本研究では、「あらせ」、Van Allen Probe B 衛星および地上の VLF 波観測ネットワークを組み合わせることで、EMIC波の発生領域の経度方向の広がりを決定することにはじめて成功した。なお、本成果は米国地球物理連合速報誌GRL誌の2020年Editor's Highlightsに選ばれた。(A. T. Hendry, O. Santolik, Y. Miyoshi, A. Matsuoka, C. J. Rodger, M. A. Clilverd, C. A. Kletzing, M. Shoji, and I. Shinohara, "A Multi - Instrument Approach to Determining the Source - Region Extent of EEP - Driving EMIC Waves," Geophys. Res. Lett. 47, e2019GL086599. <https://doi.org/10.1029/2019GL086599> (2020))

期待されるアウトカム

今回用いた手法を用いることで、今後、EMIC波の空間的な広がりを解析できるようになる。これは、EMIC波が放射線帯に与える影響を定量的に理解する上で大きな一歩であり、放射線帯変動予測の基礎となる知見である。

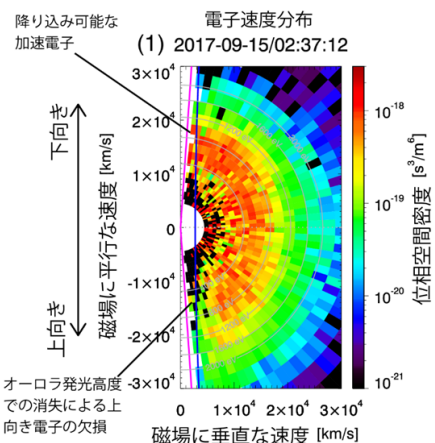
(右図) (a)「あらせ」(b) Van Allen Probe B 衛星 (d, e) 地上に設置された VLF波観測点 における EMIC 波の観測例。4 枚の図は同じフォーマットで、横軸は時間、縦軸は周波数、波動強度がカラーで示されている。(c) には、磁力線に沿って地上に投影された 2 衛星のフットポイントと地上観測点の位置がしめされている。



期待されるアウトカム

定説を覆す今回の発見は、オーロラ生成メカニズムの理解に新たな問題を提起している。これは、惑星の磁気圏と電離圏・超高層大気がどのように結合し、相互に影響を及ぼし合っ、宇宙環境を成り立たせているのか、を理解するための重要な問題である。

(左図) あらせ衛星が観測した、超高高度に於いて加速されたオーロラ電子の速度分布。下向きに加速された電子は超高層大気まで降り込むことができる。また、オーロラ発光高度で地球大気に失われることが原因と思われる、低高度から戻ってくる上向き電子の欠損が見られる。



得られた成果② Scientific Reportsに掲載

○超高高度におけるオーロラ電子加速の発見
 高角度分解能低エネルギー電子分析器を中心とするあらせ衛星の観測と米国 THEMISチームの展開する地上全天カメラを用いたオーロラ協調観測によって、オーロラアーク上空の高度約3万km以上もの超高高度に於いてもオーロラ電子が加速されている証拠を発見した。過去50年に亘って信じられてきた、オーロラの電子は高度数千kmで加速されるという定説に対し、本研究は、その十倍もの高度に於いても、加速電場が形成されてオーロラ電子の生成に大きな寄与をしていることをはじめて示した。(S. Imajo, Y. Miyoshi, Y. Kazama, K. Asamura, I. Shinohara, K. Shiokawa, Y. Kasahara, Y. Kasaba, A. Matsuoka, S. -Y Wang, S.W.Y. Tam, T. F. Chang, B.J. Wang, V.A. Angelopoulos, C.W. Jun, M. Shoji, S. Nakamura, M. Kitahara, M. Teramoto, S. Kurita, and T. Hori, Active auroral arc powered by accelerated electrons from very high altitudes, Scientific Report 11, 1610. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79665-5> (2021))

補足 2 - 6 : 世界的に優れた研究成果の創出 (その 6)

国際宇宙ステーション (ISS) での実験成果

得られた成果①

○惑星表面の柔軟地盤の重力依存性調査 (Hourglass)

有人宇宙技術部門との連携ミッションとして、Hourglassを国際宇宙ステーションの人工重力発生装置で実施した。将来の惑星探査機設計のための粉粒体の低重力における特性の取得とDEM等の数値計算の答え合わせとなる基本データを取得。この結果から得られた知見を将来の小惑星探査機の着陸装置の反力解析のためのシミュレーション条件に反映し、従来法では難しかったレゴリスに対する着陸応答がより高精度に得られることを確認した。得られた実験結果は、科学的に惑星形成過程の解明へ貢献し、他国との相補関係を築く上で強力な工学的知見となる。また、ミッション立ち上げから打上げまで1年未満という短い期間で外部の大学研究者と連携して設計製造を行い、多くの学生参加によりコミュニティの拡大と人材育成を同時に行ったことも大きな貢献となる。(M. Otsuki, et al., 2020, Investigation into the characteristics of granular materials in low gravitational environment (Introduction of Hourglass mission), JpGU-AGU Joint Meeting 2020(Invited talk); 大概ほか)

期待されるアウトカム

さらに、Hourglass Boxの設計、試験治具、製造手順を流用して試料を変えた新たな実験を行うことが有人Gで計画され、そのミッション推進に継続的にISASが関与しており、地球低軌道を利用した月惑星探査機開発への貢献が今後も期待できる。

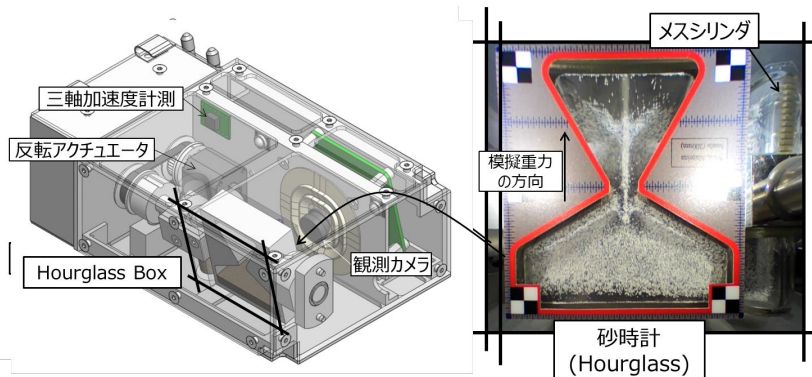
得られた成果② Frontiers in Microbiology誌に掲載

○宇宙空間で3年間曝露したデインコッカス細胞塊生存の検証 (たんぼぼ計画)

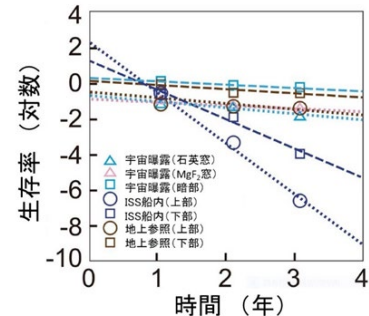
宇宙空間を生命が移動する「パンスペルミア」仮説を検証するため、国際宇宙ステーション (ISS) 曝露部で放射線耐性微生物デインコッカス・ラディオデュランスを宇宙空間に3年間曝露する実験を「たんぼぼ計画」として実施した。3年間曝露した微生物の生存の時間経過を測定することから、紫外線が当たった条件で数年、紫外線が当たっていない環境では数十年、微生物が生存可能であることを初めて検証した。自然現象での火星と地球の行き来には平均すると数百万年かかるが、移動する軌道によっては数ヶ月から数年で火星と地球の間を移動する場合がある。したがって、惑星間移動の他の過程 (惑星からの脱出、移動の確率、他の惑星への着陸、他の惑星での増殖) の可能性を含めて考える必要があるものの、最短の移動時間を考えるなら、今回の微生物宇宙曝露実験で得られた結果は、火星と地球の間の移動の間、微生物が生存可能であることを示した。さらに、この事実は惑星防護の重要性にも一石を投じることになった。(Y. Kawaguchi, et al. "DNA Damage and Survival Time Course of Deinococcal Cell Pellets During 3 Years of Exposure to Outer Space", Frontiers in Microbiology, doi:10.3389/fmicb.2020.02050. 2020.)

期待されるアウトカム

生命の起原に関しては未知の部分が多い。地球で生命が誕生したのかどうかも分かっていない。生命が惑星間を移動可能であるならば、地球上の生命は火星で誕生した可能性もある。今後、火星探査により化石あるいは現存する生命が発見されるなら、多くの情報が得られることになる。



(上図) 左側：砂時計とメスシリンダを搭載するHourglass Boxのイメージ
右側：低重力でのアルミニビーズの挙動



(上図) デインコッカス・ラディオデュランス (放射線耐性微生物) の生存率を調べた解析結果

参考1：コロナ禍における事業の実施

新型コロナウイルス蔓延による影響の中、関係機関などのご支援により、「はやぶさ2」カプセル回収などクリティカルな作業を伴う事業を着実に実施した。

①はやぶさ2

新型コロナウイルス対策のため、通常より制約の大きい中での回収作業となったが、入念な対策と準備を講じるとともに、オーストラリア政府、アメリカ航空宇宙局（NASA）、文部科学省、在オーストラリア日本大使館、税関、相模原市等に多大なご支援をいただき、回収作業を成功することができた。

回収隊は、日本出国前に1週間の自主隔離を行い、隔離期間中に複数回のPCR検査を実施し、陰性を確認した上で出国した。日本からはチャーター機で南オーストラリア州のアデレードまで移動し、アデレードでの2週間の隔離期間を経てウーメラに入り、回収作業に着手した。



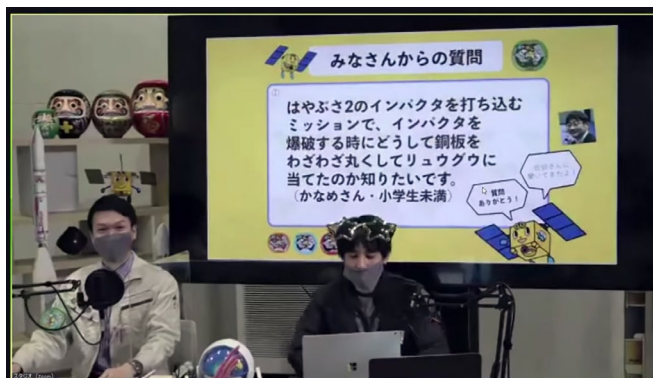
（上図）12月6日回収後記者会見
中央左：Jan Adams 駐日豪大使



（上図）12月6日ウーメラでのASA記念式典
左：Megan Clark 豪州宇宙庁（ASA）長官

②オンライン特別公開

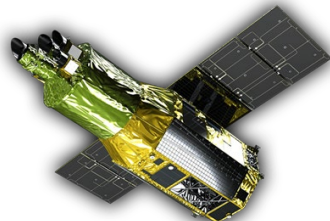
例年夏に実施している相模原キャンパス特別公開を、2020年度は新型コロナウイルスの影響もあり、初めてオンラインで開催し、開催後にはYouTubeにも公開した。開催当日は、視聴者参加型のライブセッションなど、各プロジェクトや研究グループが趣向を凝らして番組を製作し、これまでに多くの方に視聴していただいた（約14,000回再生）。



（上図）オンライン特別公開の様子

③X線天文衛星「XRISM」

2022年度の打上げに向けて準備を進めているが、衛星に搭載される軟X線分光装置（Resolve）の開発において、組み立て試験を行うために、NASA技術者が来日しての作業が必要となり、文部科学省にご支援いただき、内閣府、外務省、厚生労働省、出入国在留管理庁等との調整を進め、予定どおりにNASA技術者の来日、組み立て作業を実施した。なお、日本入国にあたっては、厚生労働省の指針に基づく新型コロナウイルス対策を徹底し、入国後は、厚生労働省及び保健所の指示に従った。



（上図）X線天文衛星「XRISM」イメージ



（上図）大気球実験の様子

④大気球実験

大気球実験は、北海道大樹町にある「大樹航空宇宙実験場」にて毎年5-9月に実施しているが、2020年度は、政府による緊急事態宣言が5月下旬まで継続された影響で、宣言解除後に作業を再開した。北海道への出張にあたっては、出張前・出張中の検温、健康チェック、出張中の外出自粛等、新型コロナウイルス対策を徹底し、実験を実施した。

参考2：日本の衛星・探査機による3機同時観測キャンペーンの実施

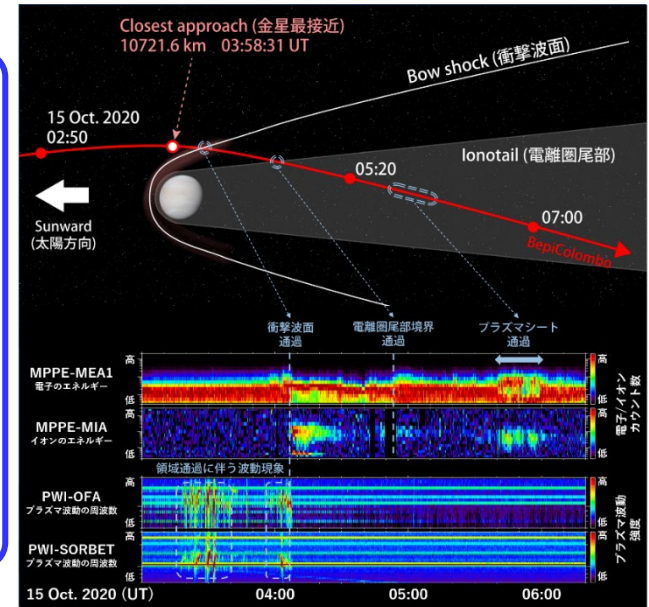
水星磁気圏探査機「みお」、金星探査機「あかつき」、惑星分光観測衛星「ひさき」による金星同時観測

得られた成果①

○2020年10月15日に日本の水星磁気圏探査機「みお」が金星スイングバイを行った。最接近高度は約11,000kmで、その前後24時間にわたり金星の科学観測も実施した。これに金星探査機「あかつき」、惑星分光観測衛星「ひさき」も加え3機を同時に利用して金星観測を行った。地球以外では日本の宇宙科学史上初の試みとなる、3機の日本の衛星・探査機による惑星同時観測に成功した。「みお」搭載プラズマ粒子観測装置は金星周辺の各領域を通過する際のプラズマ環境の変化の様子をはっきり捉えることに成功したほか、プラズマ波動観測器にも衝撃波面通過に伴う波動現象を捉えた。「あかつき」搭載紫外線・中間赤外線カメラによる雲表面の構造・温度分布の観測、および「ひさき」搭載極端紫外線分光器による高層大気・電離圏のモニタ観測にも成功した。これらは金星の低層大気から高層大気、さらに周辺のプラズマ環境までをリモートセンシングおよびその場観測で同時に捉えた、これまで得られたことのない初の観測データであり、現在各チームで詳細解析を進めている。今後それぞれを組み合わせた比較研究を実施し、新たな成果の創出を目指す。また、BepiColomboチームに「あかつき」から金星研究者が加わるなど、すでに分野間融合を推進する人材交流の観点で成果があげられてる。

2回目の「みお」金星スイングバイが2021年8月10日に予定されており、再び日本の3機による金星観測キャンペーンを実施予定。高度約550 kmまで接近するほか、前日の8月9日に金星スイングバイを予定しているESAの太陽観測衛星Solar Orbiterとの共同観測も合わせて計画調整中である。

(下図)「みお」による観測成果



期待されるアウトカム

これらの観測成果は地球サイズの太陽系外惑星における大気や磁場の有無が惑星環境に与える影響を理解するのに役立てられる。

BepiColombo探査機、金星探査機「あかつき」、太陽観測衛星「ひので」による太陽同時観測

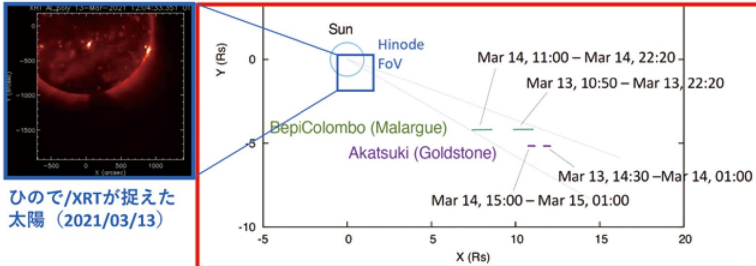
期待されるアウトカム

これらの観測成果は太陽風の加速機構解明に貢献でき、普遍的な宇宙空間プラズマ物理の理解が進むだけでなく人類の活動圏拡大に向けた宇宙天気予報の実現にも役立てられる。

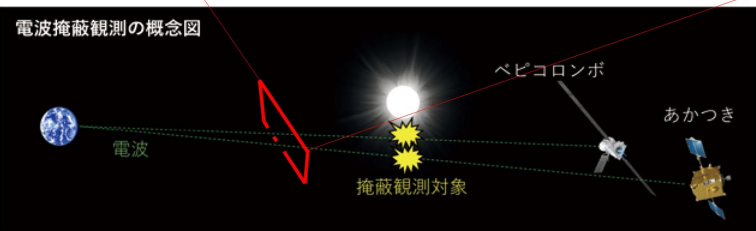
得られた成果②

○2021年3月13-14日頃に地球からみて太陽、BepiColombo、および「あかつき」が直線状に並ぶ。離れた2点の電波掩蔽観測を同時に行うことで太陽コロナ・太陽風の空間構造とその時間変化を捉えることができる。さらに「ひので」による太陽表面磁場の観測を加えることで、2つの観測点を通る太陽からの磁力線をシミュレーションから導くことができる。太陽近傍における太陽風の加速はこれまで観測データが乏しく未解明の領域であり、本キャンペーン観測から新たな成果の創出を目指す。探査機2機による同時太陽掩蔽観測は世界でも初の試み。

地球から見た太陽、ベピコロombo、あかつきの位置関係



ひので/XRTが捉えた太陽 (2021/03/13)



参考3：技術のフロントローディングの実施状況と成果

< 誘導制御系アビオ小型化等の成果を得て、極めて有効であった。将来ミッション創出へ向けて、他アビオへの展開やサンプルリターン技術等への拡大充実化を検討中。>

1. 超小型統合AOCS (attitude & orbit control system：姿勢・軌道制御系) ユニットの開発
目標のCubeSatサイズ設計を確認し、EM完成 (次年度に試験)。

2. 小型軽量MEMS-IRUinertial reference unit 慣性基準装置の開発
 民生技術を活用し、従来に比べて大幅に小型軽量化を確認し、EM完成 (次年度に試験)。

3. 軽量薄膜太陽電池パドルの開発
外惑星小型探査機の要求 (電力、質量) を満足する目途を得た (次年度に製作、試験)。

4. 半永久電源 (外惑星探査電源)
 深宇宙探査に用いるRTG (Radioisotope thermoelectric generator) への要求、
 方式、課題等をもとに、フィジビリティスタディを含めた研究開発計画を策定した。

5. 超小型の惑星EDL (entry, descent, landing) 技術
 世界で最初に超小型の着陸探査を可能にする展開型エアロシエルの試作・評価。
 FY2021夏の観測ロケット実証へ向け準備中。

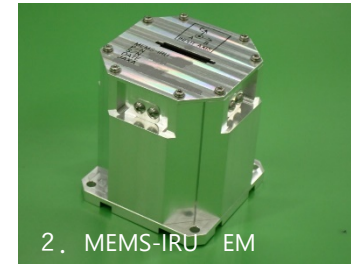
6. 超小型惑星着陸技術と惑星表面での活動のための基盤技術
 要素機構 (今年度は移動) を設計製作し、機能を確認。

7. 可逆展開ラジエータ技術
 探査機要求を満足するための全体軽量化設計と熱構造解析を実施し、これをもとにEM開発が可能となった (次年度より製作、試験)。

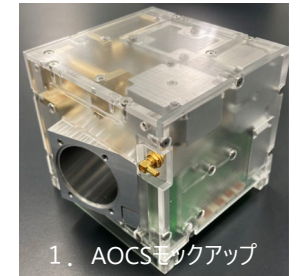
8. スターリング冷凍機の高信頼化・長寿命化の実現
摩擦等低減を目的に、圧縮機摺動部をベアリングからパネ保持へ変更する設計を実施 (次年度より製作、試験)。

9. 宇宙用冷凍機の駆動回路系による擾乱制御技術の開発
 擾乱抑制のフィードバック制御系を構築し、要求性能を満足することを確認 (FY2022にかけて製作試験評価)。

10. センサ高性能化 (赤外線等)
 要求性能を定め具体的な開発計画を検討した。



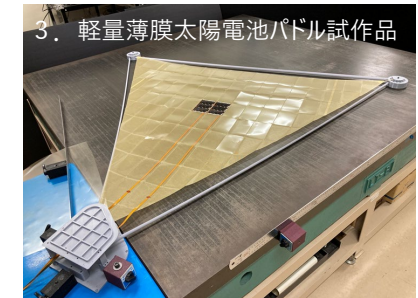
2. MEMS-IRU EM



1. AOCS Stack-Up



5. 展開型エアロシエル試作品



3. 軽量薄膜太陽電池パドル試作品

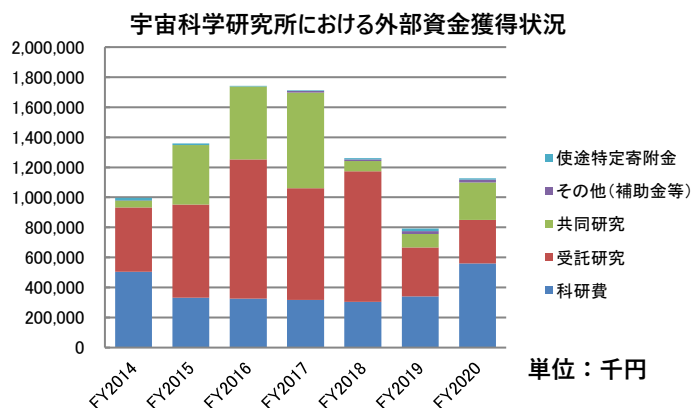


6. 移動機構部の試験の様子

参考情報

	実績	備考
1. 今年度の研究成果		
(1) 査読付き学術誌掲載論文	337 編 (2020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	Science 3編 (2020年4月-2021年3月)	
(3) 学術賞受賞	<ul style="list-style-type: none"> ○はやぶさ2：内閣総理大臣顕彰受賞 ○はやぶさ2： デジタル・コンテンツ・オブ・ジ・イヤ-’20 年間コンテンツ賞「優秀賞」受賞 ○はやぶさ2：市村清新技術財団 市村学術賞 貢献賞受賞 ○和泉究 (ITYF)：2020年度岩垂奨学会賞受賞 ○國中均： 公益財団法人双葉電子記念財団 2020年度衛藤細矢記念賞受賞 ○山口 弘悦：文部科学大臣表彰 若手科学者賞受賞 	
2. 高被引用論文数	54編 (調査月：2021年3月、 調査対象：2010年1月1日～2020年12月31日)	Essential Science Indicators (ESI) データに基づく (図3)
3. 外部資金獲得額	約 11.9億円 (2021年2月現在)	(図1)
4. 学位取得者数	69名 (修士53名、博士16名)	(参考4)

(図1) ■外部資金獲得状況 (FY2014～FY2020)

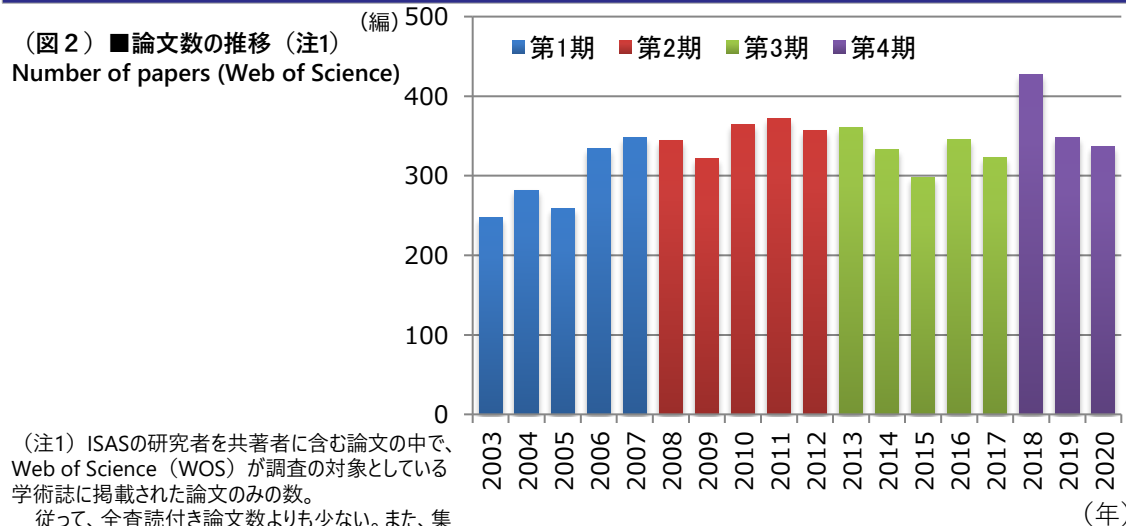


年度	FY2014	FY2015	FY2016	FY2017	FY2018	FY2019	FY2020
計	995,831	1,359,098	1,743,065	1,713,181	1,259,964	793,206	1,196,967
科研費	505,675	333,147	324,890	316,514	305,377	340,219	560,464
受託研究	426,449	619,484	927,347	744,326	868,792	326,421	289,668
共同研究	47,138	395,185	486,208	637,341	67,977	88,516	318,585
その他(補助金等)	800	0	0	9,000	10,000	19,000	20,000
使途特定寄附金	15,769	11,282	4,620	6,000	7,818	19,050	8,250

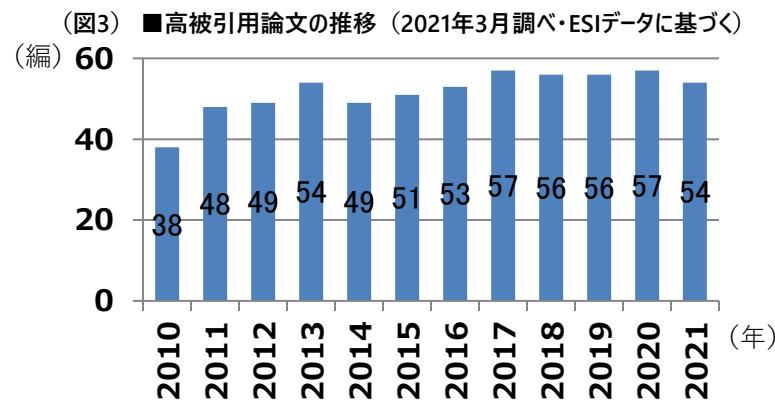
●受託研究には、科学技術振興機構 (JST) の競争的資金制度含む

単位：千円

参考情報



(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)



○調査対象は、2021年3月1日に更新されたESIデータに基づく、2010年1月1日～2020年12月31日 (対象は過去10年) に出版された論文。集計は年度ではなく暦年。
○「高被引用論文」とは、文系を含む全学術領域を22分野に分け、分野及び出版年毎に分けたサブグループ毎に引用数を順位化し、上位1%に入る論文。

■ 学位取得状況

(参考4) ISAS 学位取得者状況等
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	2016年度			2017年度			2018年度			2019年度			2020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	0	5	5	1	3	4	1	4	5	0	3	3	0	5	5
東京大学大学院	24	11	35	28	7	35	25	10	35	21	6	27	22	7	29
受託指導学生 (旧・特別共同利用研究員)	10	0	10	12	0	12	18	1	19	7	0	7	8	2	10
連携大学院	6	2	8	10	3	13	8	0	8	20	0	20	23	2	25
計	40	18	58	51	13	64	52	15	67	48	9	57	53	16	69

■ 学位取得者の進路

修士課程	総数： 53名	博士課程	総数： 16名
○進学 13名 ○就職 38名 うち、宇宙分野 11名 ・公共機関 1名 (JAXA1名) ・民間企業 10名 うち、非宇宙分野 27名 ・公共機関 1名 ・民間企業 26名 ○その他 2名		○就職 12名 うち、宇宙分野 4名 ・公共機関 2名 (JAXA 2名) ・民間企業 2名 うち、非宇宙分野 8名 ・公共機関 1名 ・民間企業 7名 ○その他4名	

(参考5) ISAS 大学院在籍者

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。

■ 大学院在籍者

学位取得年度	2016年度				2017年度				2018年度				2019年度				2020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	6	22	3	31	6	20	2	28	4	21	4	29	5	22	1	28	6	23	1	30
東京大学大学院	62	46	1	109	61	45	1	107	50	36	1	87	47	32	0	79	49	28	0	77
受託指導学生 (旧・特別共同利用研究員)	14	2	0	16	25	1	0	26	34	4	0	38	19	3	0	22	11	3	1	15
連携大学院	18	4	0	22	23	8	0	31	23	7	0	30	45	4	0	49	42	5	0	47
計	100	74	4	178	115	74	3	192	111	68	5	184	116	61	1	178	108	59	2	169

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					
決算額 (千円)	17,435,242	21,401,455	19,864,360					
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					

(※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
大学共同利用設備の利用件数	87	93	95件				
女性・外国人の教員採用数	1名	0名	1名 ※1				
日本学術振興会のフェロー数	8名	7名	9名				
大学などへの転出研究者数	1名	3名	0名				
大学共同利用連携拠点数	5	3	3				
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				
査読付き論文数	427編 ※1	348編 ※1	337編 ※2				
高被引用論分数	56編 ※2	57編 ※2	54編 ※3				
学術表彰の受賞件数	8件	19件	30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				

※1 2020年11月付（女性）

※2査読付き論文数：暦年で換算（2020年1月-12月）

※3高被引用論文数：調査月：2021年2月、
調査対象：2010年1月1日～2020年12月31日

2020年度 自己評価において抽出した抱負・課題	対応方針
2020年度は、新型コロナウイルスの影響（出張減）もあって、ハイライトとなる研究成果の減少、また、実験を伴う受け入れ学生の指導(実習)に支障をきたした。	オンラインによる研究者同士のコミュニケーション活性化促進、及びオンラインによるアウトリーチの強化、インフラ整備など、宇宙研として支援を検討したい。

2019年度 業務実績評価において指摘された課題	改善内容
<p>○当該項目のうち、特に産業振興の側面での成果が求められる衛星測位、衛星リモートセンシング、衛星通信、宇宙輸送システム等の項目においては、創出が予定されている事業規模や海外と比較したコスト競争力など、より金額面でのアウトカムKPIを重視した評価が必要である。また、金銭換算が困難な社会貢献の側面においても、年度計画に対する達成度、前年度（これまで）からの進捗度合い、世界と比較した成果レベルなどといった観点での客観的評価に努める必要がある。</p>	<p>今年度からは特に成果が出た項目に対しては「アウトカム」として記載している。</p>
<p>○宇宙科学・探査、国際宇宙ステーション、有人宇宙探査等の基礎的な科学に関わる項目において、科学的成果及びその啓蒙普及（広報＝JAXAの視点）以外の側面で、我が国の社会・国民（納税者の視点）に対してどのようなベネフィット/アウトカムを創出できているのかということについて、KPIを設定するとともに、ISSと並行して月Gateway構想が始まる現行の第4期中長期目標期間においては、資金計画も含めた中長期ロードマップと年度目標及びKPIの明確化、並びにそれらに基づく客観的な進捗評価が必要である。</p>	<p>宇宙科学・探査に関する基礎的な科学に関わる項目について、社会・国民に対してのベネフィット/アウトカム創出を目標にすることは大変難しい問題ではあるが、KPIの設定を含め検討する。</p>
<p>○複数年度にまたがる蓄積した成果を評価する場合にはその観点を明示するとともに、単年度での成果と混在する場合は、当該時期以前はどうであったかを説明することが必要である。</p>	<p>複数年度にまたがるミッションが多いため、前年度の成果についても触れている項目はあるが、その場合は、今年度分と前年度分を明確に分けて記載している。</p>
<p>○全般的に、個別の研究成果に関する記載は充実しており、定量的な指標を用いて説明しようという工夫が見て取れる。他方、成果が如何に社会実装・事業化され、どれだけ社会課題の解決に貢献したかという観点が不足している。SDGsやSociety5.0への貢献の観点を押し出していきたい。</p>	<p>2021年度から全社的にSDGsへの貢献について議論している。今後どの目標に貢献できるか検討し、評価時にも明確化できるようにしていきたい。</p>
<p>○ウイズコロナ時代の航空宇宙開発や国際連携のあり方について、実施機関のJAXAとしても周辺環境を的確に掌握し、世界や社会の動きを先取りする形で検討し対策を講じていく必要がある。</p>	<p>ウイズコロナ時代においても、着実にミッションを遂行してきた。たとえば豪州政府と連携したはや2カプセル回収作業。国内では、北海道大樹町での気球実験。いずれもコロナ対策を徹底して実施した。</p>
<p>○科学的成果の啓蒙普及（広報＝JAXAの視点）以外の面で、我が国の社会・国民（納税者の視点）に対してどのようなベネフィット/アウトカムを創出できているのかについて、成果を提示できるよう不断の検討が必要である。</p>	<p>これまでも、プレスリリースや記者説明会の実施、関係する品物の宇宙探査交流棟で紹介するなどしてきているが、さらに効果的な方策を関係部署と検討する。</p>

2019年度 業務実績評価において指摘された課題	改善内容
<p>○「宇宙科学の次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ」の提示等も含めて、「はやぶさ2」に依存し過ぎない宇宙科学・探査全体としての成果向上や外部に向けた情報発信に取り組んでいただきたい。また、科学論文数と外部資金の伸長も、翌年度以降の着実な達成を期待する。さらに、深宇宙探査用地上局などの基盤的な設備の整備も引き続き着実に進めていただきたい。</p>	<p>みお、あかつき、ひさきの同時金星観測キャンペーンについてYou tubeでリレートーク（全6回）、3月にオンラインでの特別公開を開催。外部資金は共同研究と科研費とも獲得額が伸びた。 深宇宙探査用地上局は整備が完了した。</p>
<p>○「はやぶさ2」は、採取したサンプルを地球に持ち帰ることが重要であり、令和2年12月の地球帰還に向けて、組織の力を結集して取り組むとともに、その分析結果による新たな知見を期待する。</p>	<p>計画通りリュウグウのサンプルを持ち帰った。2021年6月より初期分析を開始する。</p>
<p>○外部獲得資金が平成28年度の16億円に比較し、約半減している。資金が必要以上に潤沢であるとは思われず、今後外部資金獲得に向けた成果の発表など工夫を凝らしていただきたい。</p>	<p>研究者への申請書の書き方指南等の説明会を開催するなど、外部資金獲得増に向けた取り組みを組織として実施しており、特に科研費の獲得額は着実に増加している。</p>
<p>○はやぶさ・はやぶさ2を含め宇宙科学・探査の著しい成果による経済効果を感じるものがあれば定性的なものであってもよいので提示していただきたい。</p>	<p>民間企業と共同で、民生電池を活用した小型衛星、超小型衛星向け次世代リチウムイオン電池の開発を実施した。今後、汎用リチウムイオン電池として民間企業による市場展開を図る。</p>
<p>○「はやぶさ2」だけが広告塔のように評価されても産業活性化にはつながらない。そこで利用される技術を誰が作ったのかという情報を発信し、若者のキャリアパス形成に資する情報発信を期待する。また、研究の成果が、今後の共創事業や宇宙産業の発展の中で活かされることを期待する。</p>	<p>「はやぶさ2」に関係した企業への感謝状の贈呈などを検討している。</p>

Ⅲ. 3. 7 国際宇宙探査

2020年度 自己評価

A

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」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、米国提案による国際宇宙探査（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。</p>	<p>－</p> <p>●国際宇宙探査計画（アルテミス計画）を主導する米国との間で、NASA長官-JAXA理事長の会談を含め、国際的な月探査活動の計画（米国アルテミス計画）において日本がより高い存在感を発揮できるよう役割を明確にし、実施に向けて政府レベルでの基盤的な合意（「ゲートウェイに関する政府間合意」「アルテミス合意」「政府間意向表明」）を形成するまでに至った。</p> <p>また、ゲートウェイ協力に関する法的枠組みとなる日米政府間の「ゲートウェイMOU」（12月）を技術的な面から支援し、締結に結び付けた。 （米側の動向に関する情報収集等を通じた政府への支援については、Ⅲ.6.1項参照。）</p> <p>●アルテミス計画への戦略的な参画のため、多極宇宙機関間の調整メカニズムであるISECGを議長機関として主導し、JAXA独自の探査目標やシナリオを反映する形で国際月面探査ロードマップを取りまとめ、米国を始めとする各国の宇宙探査計画策定の参考とされた。また、ISECG議長機関として参加機関を大幅に増やし、ISECGの機能と影響力を強化した。（15機関→24機関：世界のGDPの80.6%、人口の54.9%に相当）</p>	<p>政府全体の宇宙開発利用を技術で支える中核の実施機関として、日本の貢献候補となる各要素のシステム検討、研究開発を主体的に推進し、システムの実現性と技術の優位性を示すことで諸外国から高い評価を獲得し、最終的に日本として有意義な政府間合意の実現に貢献した。</p> <p>月探査シナリオを先導するゲートウェイの構築に関しては、政府間合意への技術的な貢献とともに、法務面においてもMOUの上位文書となるIGAの経緯やISSでの運用の実態に照らして適切な内容となるよう政府を支援することで、国家間取り決めGOJ代表としてJAXAの位置付けが明記されるなど、JAXAの参画プレゼンス向上に貢献した。また、ISS計画と比較して計画段階から多くの国の参画を得つつ、ロードマップにより探査に係る共通の原則・ビジョンを参加国で共有することで、各国宇宙探査政策の策定に一定の透明性が確保されるとともに、日本の存在感を高めた。</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の開発を進める。</p>	<p>ゲートウェイの中核機能であるミニ居住棟（HALO）及び国際居住棟（I-HAB）への生命維持機能（ECLSS）の提供に向けて、NASA、ESAと協力して提供機器の具体的な仕様を設定し、ミッション定義審査・プロジェクト準備審査を経て、プロジェクト準備段階への移行を完了した。</p>	<p>高再生率の水浄化技術を開発し「きぼう」での軌道上実証を開始。また、ISSより狭い空間でCO2濃度を低減する空気再生技術の確立により、水・空気など生命維持物資を完全再生できるECLSSの実現に向け進展を得た。補給物資の削減など貢献が期待される。</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開発に着手する。</p>	<p>HTV-XによるISSへの物資輸送機会を活用した軌道上での自動ドッキング技術実証ミッションについて、システム要求を取りまとめたうえ、システム要求審査SRRを開催、予備設計フェーズへ移行した。また、先行している相対航法センサについてはその開発に着手した。</p>	<p>世界最軽量、かつ高信頼性ドッキング機構の技術実現性を確立。また、海外競合品と比べて省電力の航法センサ（フラッシュ・ライダ）についても、性能達成の目途を立てるだけでなく民生用途の展開も始まるなど、ゲートウェイ計画の中核機能である物資補給に関する貢献技術の国際優位性を高めた。</p>
<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の開発に着手する。</p>	<p>インド宇宙機関（ISRO）と締結した取決めに基づき、月極域探査機（LUPEX）の概念設計を進めた。JAXAとしてのシステム要求設定を進め、2020年12月にシステム要求審査（SRR）を実施し、計画決定フェーズへと移行した。また、米国宇宙機関（NASA）、欧州宇宙機関（ESA）から提供される観測機器に関する国際調整を進め、協定合意への準備を整えた。これにより米国アルテミス計画および国際宇宙探査計画への貢献を、より確実なものとする事ができた。</p>	<p>世界初の直接測定水資源センサについて技術的な成立目途を得るとともに、宇宙用で世界最高密度となるリチウムイオン電池について、長期間月探査（1年間）への実用化目途を立てたことで、長期間の持続的探査に必要な技術の確立に貢献した。同電池は有人と圧ローバへの採用検討も始まり、ISROより着陸機搭載の引き合いも受けている。</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>③持続的な月探査活動の実現に必要な、月面探査を支える移動手段や環境制御・生命維持技術の高性能化等の研究開発を進める。</p>	<p>月面における有人探査の活動範囲を大幅に拡大する「有人と圧ローバ」のシステム検討を日本の中核的な民間企業（トヨタ、ブリヂストン、ホンダ等）及びNASAとの協力で進めており、そのシステムを米国アルテミス計画における中核的なインフラとして位置付けることができた。</p>	<p>アポロミッションと比較して飛躍的に拡大した探査領域での月面ミッション実現に向け、トヨタ自動車との共同研究を進め、再生型燃料電池の活用について本田技術研究所とも共同研究を開始するなど、日本が得意とするモビリティ技術の貢献により月面での存在感向上が期待される。</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に関する検討を進める。</p>	<p>科学コミュニティと連携し、ゲートウェイ計画およびアルテミス計画において国際優位性のある日本発の科学ミッションを創出するべく、フィージビリティスタディ公募の発出を準備した。</p>	<p>計画に基づき着実に実施。</p>
<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。具体的には、ゲートウェイ利用のための国際調整や、民間サービスを活用する月周回や月着陸の実証機会について検討する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●大学・民間企業による技術実証等の潜在ニーズの掘り起こしと、事業自立化による持続的な月周回打ち上げサービスの実現を目指して、「月周回利用促進プログラム」を企画立案し、民間企業と連携して検討を開始した。 ●民間事業者の月面輸送サービスを活用し、別の民間企業と共同開発する超小型ロボットを月面に走行させることで月面データを取得するミッションを立上げ、それぞれ企業との間で契約を締結した。 ●月面での推薬生成プラント構築に向けた研究活動への非宇宙系業の新規参入を促すため、宇宙探査イノベーションハブの仕組みを活用して、研究提案を募集し、民間企業等と4つのテーマで4件の共同研究を開始した。 	<p>月周回および月面における国内民間企業の主体的な活動促進に向け、複数のミッションで共同研究や調達契約を推進。民間企業による事業の自立化、および民間リソースを活用した継続的な月周回・月面への輸送サービス構築に向けて具体的な取り組みを開始した。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
(続き)	(続き)	<ul style="list-style-type: none"> ● 有人と圧ローバシステム検討の一環として、新たに本田技術研究所との間で共同研究契約を締結し、再生型燃料電池システムの研究を開始した。 ● 2019年度に発足した「有人と圧ローバが拓く“月面社会”勉強会」は非宇宙分野を中心に参加企業は120社に上り、2020年度は月面社会のビジョンを共創するセッション等を開催し、2040年頃の持続的な月面活動の実現に向けてロードマップを検討した。 	計画に基づき着実に実施。

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に必要な、月面探査を支える移動手段や環境制御・生命維持技術の高性能化等の研究開発を進める。</p>	<p>●月周回・月面における生命維持に必要な物資補給（空気・水等）を完全に再生できる「完全再生ECLSS」の実現に向けた空気再生、水再生、廃棄物処理等の基盤技術の確立に向けて、「きぼう」を活用した軌道上実証を開始し、地上における試作試験等を通じて宇宙化に向けた進展を得た。</p> <p>●宇宙用としては世界最高密度（従来比40%増）を誇る超高エネルギー密度リチウムイオンについて、長期間（1年間）の月探査への実用化の目途をつけた。</p> <p>●液体水素の蒸発を防ぐ高性能多層断熱材に改良を加え、世界最高水準の断熱性能を更新し（前年度比30%増）、持続可能な月面活動を支える現地資源利（ISRU）の実現性を向上した。</p>	<p>持続的な月探査活動の実現に向けて大きな課題である熱・温度・エネルギーについて、我が国が優位性を発揮できる技術により研究開発を進め、世界最高密度の超高エネルギー密度リチウムイオン電池の実用化、世界最高水準の断熱性能を更新した。また、生命維持に必要な物資の補給を最小限とする完全再生ECLSSの確立に向け進展を得た。これらにより、持続的な月探査活動の実現性を向上した。</p>
	<p>●MMXへの搭載に向け、惑星空間放射線環境モニタの開発に着手する。</p>	<p>2024年打上げ予定の火星衛星探査計画（MMX）への搭載に向け、惑星空間放射線環境モニタ(IREM)の基本設計を実施した。</p>	<p>計画に基づき着実に実施。</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>○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><評価指標> (成果指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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>(マネジメント等指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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><モニタリング指標> (成果指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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>(マネジメント等指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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)
---	--

主な評価軸（評価の視点）、指標等

<p>【多様な国益への貢献；宇宙を推進力とする経済成長とイノベーションの実現】</p> <p>○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。</p>	<p><評価指標> (成果指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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) <p>(マネジメント等指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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 <p><モニタリング指標> (成果指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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) <p>(マネジメント等指標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○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

