

宇宙科学プロジェクトの 進捗状況について

令和3年(2021年)3月30日

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所

國中 均

目次

1. 本日の報告概要
2. 宇宙科学プロジェクトの実施状況
 2. 1 開発中プロジェクト
 2. 2 新規ミッションの準備状況
 2. 3 その他、検討中のミッション
3. フロントローディングの取り組み
4. その他トピックス
 4. 1 小惑星探査機「はやぶさ2」
 4. 2 日本の衛星・探査機による3機同時観測キャンペーン

1. 本日の報告概要

- 開発中プロジェクトは、宇宙基本計画工程表に定める打上げに向けて、準備を実施。(2. 1項)
- 下記のミッションの立ち上げ準備を進めている。(2. 2項)
 - ・ 中型: 宇宙マイクロ波背景放射変更観測衛星(LiteBIRD)
 - ・ 小型: 高感度太陽紫外線分光観測衛星(Solar-C) * 1
 - ・ 戦略的海外共同: Roman宇宙望遠鏡 * 2、
国際紫外線天文衛星(WSO-UV) * 3
- * 1,2,3: 2022年度開発着手を視野に検討中
- 将来計画として、多様なミッション検討を進めている。(2. 3項)
- 今年度開始した技術のフロントローディングは、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。(3項)
- 運用中のプロジェクトでは、「はやぶさ2」による小惑星リュウグウのサンプル採取、及び科学衛星・探査機による同時観測に成功。(4項)

2. 宇宙科学・探査関連プロジェクトの実施状況

2021年3月現在

	第4期中期計画							第5期中期計画					
年度	2018 H30	2019 H31/R1	2020 R2	2021 R3	2022 R4	2023 R5	2024 R6	2025 R7	2026 R8	2027 R9	2028 R10	2029 R11	2030以降 R12以降
開発中プロジェクト	X線分光撮像衛星(XRISM) 2022年度打上げ							XRISM					
	火星衛星サンプルリターン計画(MMX) 2024年打上げ												
	宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星(LiteBIRD) 2028年打上げ												
	小型月着陸実証機(SLIM) 2022年度打上げ							SLIM					
	深宇宙探査技術実証機(DESTINY+) 2024年打上げ												
	DESTINY+												
	小型JASMINE 2027-28年打上げ												
	Solar-C(EUVST) 2026-27年打上げ												
	木星氷衛星探査計画(JUICE) 2022年打上げ												
	二重小惑星探査計画(Hera) 2024年打上げ												
運用中プロジェクト	はやぶさ2 2014年度打上げ												
	2020年12月 地球帰還												
	2021年度から拡張ミッションスタート												
	BepiColombo(みお) 2018年打上げ							みお					
	ERG(あらせ) 2016年度打上げ												
	SPRINT-A(ひさき) 2013年度打上げ												
	PLANET-C(あかつき) 2010年度打上げ												
	SOLAR-B(ひので) 2006年度打上げ												
	INDEX(れいめい) 2005年度打上げ												
	GEOTAIL 1992年度打上げ												

計画は、宇宙基本計画工程表に基づく想定。

2. 1 開発中プロジェクト

＜戦略的中型計画＞

- X線分光撮像衛星(XRISM):2022年度打上げ
 - ・ミッション機器に関する課題も解決させ、フライトモデルの製作・試験を実施している。
- 火星衛星探査計画(MMX):2024年度打上げ
 - ・基本設計を進めている。

＜公募型小型計画＞

- 小型月着陸実証機(SLIM):2022年度打上げ
 - ・フライト品の製作・試験を実施している。
- 深宇宙探査技術実証機(DESTINY+) :2024年度打上げ
 - ・基本設計を進めている。

＜戦略的海外共同計画＞

- 木星氷衛星探査計画(JUICE):2022年度打上げ
 - ・JAXA担当の観測機器の製作を進めており、完成した機器から欧州への輸出を開始している。

2. 2 新規ミッションの準備状況(1／2)

<戦略的中型計画>

- 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星(LiteBIRD) : 2028年度打上げ目標
 - ・コミュニティからの期待も高く、今年4月に取りまとめられる予定の、アメリカの大規模な調査研究であるDecadal SurveyにLiteBIRDが選定されるよう、NASAの協力を要請している。

<公募型小型計画>

- 高感度太陽紫外線分光観測衛星(Solar-C) : 2026-27年度打上げ目標
 - ・NASAは、太陽物理学ミッションとしてSolar-Cを採択。これによりアメリカの参加が確定した。
 - ・太陽活動が活発となる極大期(2023年から2026年の間)での観測に間に合わせるべく、2022年度のプロジェクト化と開発着手を視野に検討中。
- 赤外線位置天文観測衛星(小型JASMINE) : 2027-28年度打上げ目標
 - ・技術のフロントローディングにより、3年を目途に赤外線センサの技術開発を進め実現性を確認する。その後プロジェクト化の予定。

2. 2 新規ミッションの準備状況(2／2)

＜戦略的海外共同計画＞

□ 二重小惑星探査計画(Hera) : 2024年度打上げ

- ・ESAが開発中の二重小惑星探査計画で、NASAの小惑星衝突機「DART」と連携した、史上初の本格的な国際共同Planetary Defense(宇宙防災)ミッション。
日本は熱赤外カメラの提供、サイエンスにおける協力を行う。
- ・2021年度のプロジェクト化に向けて準備中。

□ Roman宇宙望遠鏡 : 2025年度打上げ

- ・NASA宇宙望遠鏡衛星(可視光～近赤外線)に、日本は光学素子の提供、協調観測、美笹局を使ったデータ受信における協力を行う。
- ・日本担当の機器をNASAへ早期に提供する必要がある、
2022年度のプロジェクト化と開発着手を視野に検討中。

□ 国際紫外線天文衛星(WSO-UV) : 2025年度打上げ

- ・ロシア紫外線望遠鏡衛星で、日本は観測機器(低分散分光器)の提供、サイエンスにおける協力を行う。
- ・日本担当の機器をロシアへ早期に提供する必要がある、
2022年度のプロジェクト化と開発着手を視野に検討中。

2.3 その他、検討中のミッション

日本が宇宙科学をリードし世界の期待に応えるものとして、日本主導の探査・天文ミッションとなる計画と、日本の科学と技術から参加要請されている海外大規模計画への協力検討を進めている。これらはフロントローディング活動と連携させ必要なキー技術開発を行い、円滑な実現を図る。

<公募型小型計画>

- ① ガンマ線バーストを用いた初期宇宙探査計画 (HiZ-GUNDAM)
- ② 超精密フォーメーションフライト技術実証機 (SILVIA)
- ③ 超小型宇宙機による外惑星探査実証 (OPENS)
- ④ 太陽X線集光撮像分光および軟ガンマ線偏光分光観測衛星 (PhoENiX)
- ⑤ 広帯域X線高感度撮像分光衛星 (FORCE)

<戦略的海外共同計画>

- ① 土星衛星タイタン離着陸探査 (Dragonfly) 【NASA】
- ② 彗星探査計画 (Comet Interceptor) 【ESA】
- ③ 大型国際X線天文台 (Athena) 【ESA】
- ④ NASA彗星サンプルリターン探査機CAESAR搭載大型サンプルリターンカプセル (CAESAR/SRC) 【NASA】
- ⑤ 国際火星探査計画 (Mars Ice Mapper) 【NASA、CSA、ASI】

3. フロントローディング(FL)の取り組み

2030年代に日本が行う多様なミッションを創出するため、リスク・コストを低減する以下のキー技術の開発を行い、本仕組みの有効性を確認できた。

(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

■ FY2020の成果

- ・土星、彗星など地球近傍以外を目指す探査機の小型化に必要な技術開発について、エンジニアリングモデル等の開発を進めた。
 - ①誘導制御系アビオの民生技術活用等による小型軽量・低消費電力化した(MEMS-IRU、統合AOCS)
 - ②外惑星領域で電力確保可能な高電力/質量比の超軽量薄膜太陽電池パドル
 - ③広い太陽距離範囲の熱環境変動下でヒーター電力を節減可能な熱制御技術(可逆展開ラジエータ)
- ・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
- ・太陽光圏外探査へ向けた半永久電源の熱源元素と熱電変換素子の最適な組み合わせを検討した。

■ 今後の進め方

アビオ小型化は良い成果が得られており、高密度・低消費電力を目指してデータ処理系等の他アビオへ展開し、超小型の探査機システムの実現に向け拡充を検討する。

(2) 日本の強みである技術の開発

■ 成果

- ・ 天文分野で日本が世界をリード

- ① 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、高信頼・長寿命・低擾乱化の設計を行った。

- ② InGaAs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。

■ 今後の進め方

更なる先端宇宙科学を実現していくための技術開発を検討。

- ・ はやぶさ/はやぶさ2で培ったサンプルリターン技術。

- 深宇宙探査戦略技術となる大型/高速/低温保持カプセル技術(CAESAR、OPENS等)。

- ・ 大口径の望遠鏡だけではなく、天文・物理分野で世界第一級の科学を実現する、フォーメーションフライト技術等(SILVIA等)。

(3) その他、国際宇宙探査の中で魅力的な科学成果の最大化に必要な技術開発の実施有無も検討をしていく。

4. その他トピックス

4. 1 小惑星探査機「はやぶさ2」

- 小惑星探査機「はやぶさ2」は、2020年12月6日に、小惑星リュウグウのサンプルが入ったカプセルをオーストラリアに着地させ回収に成功した。その後、カプセルをJAXA相模原のキュレーション室に搬入し、リュウグウ由来のガスとリュウグウサンプル(固体)の採取に成功した。
- 2021年6月からサンプルの初期分析を開始する計画で、初期分析開始後に有機物の有無が明らかになる見込み。

4. 2 日本の衛星・探査機による3機同時観測キャンペーン

- 金星
2020年10月15日に、水星磁気圏探査機「みお」の金星スイングバイ前後に、金星探査機「あかつき」、惑星分光観測衛星「ひさき」を加え、日本の宇宙科学では初の試みとなる3機同時観測を実施。
今後それぞれを組み合わせた比較研究を行い、新たな成果の創出を目指す。
(2回目の金星観測キャンペーンを2021年8月に実施予定)
- 太陽
2021年3月13-14日に、BepiColomboと「あかつき」による太陽コロナ・太陽風の同時電波掩蔽観測、さらに太陽観測衛星「ひので」による太陽観測を同時に実施。探査機2機による同時太陽掩蔽観測は世界で初の試み。

付録

参考【戦略的中型計画】X線分光撮像衛星(XRISM)

施策の概要・目的

- X線分光撮像衛星(XRISM)は、不具合によるASTRO-H「ひとみ」※の喪失を受け、国内外の宇宙科学コミュニティ、宇宙関係機関等の要望を踏まえて、再発防止対策を確実に実施した上で、ASTRO-Hが目指していたサイエンスの早期回復を目指す。
- 本衛星は、X線超精密分光による高感度観測を実現するミッションで、現代宇宙物理の基本的な課題である宇宙の構造と進化にかかる数々の謎の解明に挑む。また、宇宙の包括的理解には様々な波長での観測が必要であり、現在、大型地上天文台ALMA(ミリ波・サブミリ波)、Fermi衛星(ガンマ線)が稼働、JWST(可視・近赤外)などの次世代軌道上衛星が計画されており、本衛星はX線領域においてこれらと伍して研究を行う能力と規模を有している。
- さらに、現在、観測を行っているチャンドラ(NASA)、XMM-newton(ESA)等のX線天文衛星については、打上げから年月が経っており、2010年代はひとみの他にX線天文衛星の打上げ予定がないため、X線天文衛星の空白期間を避けるためには、早期の打上げが必要となる。

※. ASTRO-H「ひとみ」は、これまで世界のX線天文学を牽引してきた日本が主導する先進的な観測機器により、宇宙科学のフロンティアを拓く大型国際ミッション(米欧と協力)である。

期待される効果

○宇宙の構造と進化にかかる数々の謎の解明:

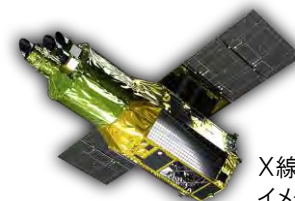
- ・ 宇宙最大の天体である銀河団は、衝突や合体を経て進化・発展しているものと考えられる。銀河団中の高温ガスの速度分散は、X線分光撮像衛星により初めて測定可能となる。これにより、数千万光年規模の宇宙史最大の現象である銀河団衝突によるエネルギー集中の様相が運動学的に解明できる。

○先端テクノロジーの開拓:

- ・ X線分光撮像衛星の最先端観測装置は、放射線検出器としても革新的なものであり、医療・生体計測での放射線利用の精密化・小線量化、半導体内の不純物微量分析など、幅広い範囲への応用が期待される。また、大型衛星の開発・国際協力に伴い、日本の宇宙産業技術の底上げがなされる。

2021年度の実施内容

- 2020年度に引き続き、衛星の製作及び打上げサービスの調達を実施する。



X線分光撮像衛星
イメージ図



基礎データ

打上げ年度: 2022年度(予定)
打上げロケット: H-IIAロケット
主要諸元:
質量: 約2.3t
軌道: 地球周回円軌道
(高度 約550km, 軌道傾斜角 31°)

主な観測機器: SXS, SXI
観測期間: 3年

スケジュール

2017-2021年度 衛星再設計・衛星製作、総合試験
打上げサービス調達
2022年度 総合試験、打上げ(予定)

参考【戦略的中型計画】火星衛星探査機計画(MMX)

目的

- 原始太陽系における「有機物・水の移動、天体への供給」過程の解明に貢献するため、火星衛星に含まれる含水鉱物・水・有機物などを解析することにより、水や有機物の存在を明らかにするとともに、火星衛星の由来を解明する。
- 人類共通の価値である国際宇宙探査、その主たる目標である火星圏に、日本独自・優位な小天体探査技術を武器として、大型国際共同ミッションを主導して取り組む。我が国が培ってきた探査技術を継承し、その発展に寄与する。火星衛星は、将来の火星本星における有人探査の拠点候補として重要な意義を持つ。



期待される成果と効果

- 火星の衛星が小惑星が捕獲されたものか、火星への巨大衝突で生じた破片が集合し形成されたものかを明らかにし、火星そして地球型惑星の形成過程に対する新たな理解像を得る。
- 火星衛星および火星表層の変遷をもたらすメカニズムを明らかにし、地球型惑星表層に液体の水が保持されるための条件を解明することで、惑星科学や宇宙での生命起源研究の発展につながるとともに、火星衛星を含めた“火星圏”の進化史に新たな知見を加える。
- 宇宙工学を先導する航行・探査技術を獲得し、将来の高度かつ自在なミッションの創出に貢献する。

主要諸元

- 探査機構成：往路M・探査M・復路Mの3つのモジュールで構成
- 打上げロケット：H3ロケット
- 質量：目標 4000kg以下
- ミッション期間：約5年
- ミッション機器：試料回収機構、リモセン機器、その場観測機器の組合せ

スケジュール

- 2016年度 調査研究
- 2017-18年度 開発研究
- 2019年度 フロントローディング
- 2020-21年度 基本／詳細設計
- 2021-23年度 機器製造、試験
- 2024年度 打上げ（予定）
- 2025年度 火星圏到着
- 2025-2028年度 火星衛星探査
- 2028年度 火星圏離脱
- 2029年度 地球帰還

科学的・国際的な位置付け

- 世界中の研究者は、どの小天体がいつどのように、水を原始地球に持ち込んだのかを明らかにしようとしている※1。中でも火星衛星はスノーライン※2に近く、太古の小天体を現在まで保持している唯一の存在である。
 - ※1：約46億年前に太陽系が誕生してから、彗星と小惑星は38億年前まで地球への衝突を繰り返していた。また地球では40億年前に海が誕生していたことが、グリーンランドで発見された太古の花崗岩から分かっている。したがって彗星又は小惑星（あるいは両方）が地球の水の起源と考えられている。
 - ※2：水が蒸発／氷になる境界線。太陽から2.7天文単位（小惑星帯の辺り）。
- 国際宇宙探査の観点からは、世界初の火星圏往還（有人探査の必須技術）を果たすと共に、有人探査の軌道上拠点と目される火星衛星の詳細情報（地形・環境）を取得する。放射線環境計測で有人滞在技術にも貢献する。
- 火星衛星の調査は草創期から繰り返行われているが、副次的なフライバイ観測にとどまる。過去にロシアがフォボス探査計画したが打上げ失敗した（2011年）。現在、国外で実現見込みのある計画は他にない。

実施体制

- JAXAプロジェクトチーム
- NASA, ESA, CNES, DLR他からの国際協力

参考【公募型小型計画】 小型月着陸実証機(SLIM)

【目的】

- 小型探査機による高精度月面着陸の技術実証を行い、将来の宇宙探査に必須となる共通技術を獲得する。
 1. 将来月惑星探査で必須の『降りたいところに降りる』ための高精度着陸技術の習得(他国の一桁上の精度を目指す)
 2. 月惑星探査を実現するためのシステム技術の習得(探査機バスシステムの軽量化)
- このため、従来の衛星・探査機設計とは一線を画す工夫・アイデアによる小型軽量化(推進薬タンクが主構体を兼ねる構造)や月面クレータ分布検出のために、民間技術(デジカメの顔認識技術)を応用したアルゴリズム開発を行う。

【必要性・喫緊性】

2020年代には、月面基地や資源探査などの「月の利用」が本格化することが見込まれ、そこの我が国の国際的な発言力を獲得・維持するためには、他国に先んじて高精度の月着陸を実証する必要がある。

- ✓ 米露をはじめとする複数国の宇宙機関(アジアの国として、日本、インド、韓国)により検討が進められている国際宇宙探査シナリオにおいて、無人ロボット探査と有人探査の組合せによる月・火星の国際協力探査が目標に掲げられている。いずれの宇宙探査を実施するためにも、重力天体への着陸技術がまず必要となるが、我が国は当該技術を未だ獲得できていない。一方、我が国が学術目的で実施する宇宙科学探査については、宇宙基本計画を踏まえ、「太陽系科学探査プログラム」として着実に実施し、価値ある科学成果を創出することを目指して実施を進める方針である。
- ✓ 今後の国際宇宙探査への参加をおおわせる中国は、2013年に嫦娥3号の月面着陸を成功しており(世界3番目の成功国)、これまでアジアの宇宙先進国であった我が国の国際的なプレゼンスが脅かされている状況である。特に、2年前に中国が当該技術を獲得していることに鑑みると、我が国は後塵を拝しているのが現状である。
- ✓ このため、我が国としても、重力天体への着陸技術を獲得することが強く求められており、宇宙基本計画(2015年(平成27年)1月9日宇宙開発戦略本部決定)でも明記されている。さらには、月の重要性や国際宇宙探査計画への参画、他国の動向等を踏まえると、我が国のプレゼンスを維持し向上するためにも主体的にまず月面探査に取り組むことが必要である。
- ✓ 米国NASAは、2020年代早期にResource Prospector探査機を打ち上げ、月面に高精度着陸させる計画を有していることから、我が国としても2022年度には月への高精度着陸技術を実証する必要がある。

このような周辺状況に鑑み、将来の宇宙科学探査・国際宇宙探査の双方に必須となる共通技術を早期・迅速に獲得するには、JAXA宇宙科学研究所が研究を進めてきた小型月着陸実証機(SLIM)によって、2022年度打上げ目途に、他国の着陸精度を一桁超える月面着陸を技術実証することが必要である。

【2021年度の実施内容】

2020年度に引き続き探査機の開発、打上げサービス(相乗り対応)調達、追跡管制運用準備を実施する。



着陸イメージ

小型月着陸実証機 SLIM



【計画概要】

打上げ:

2022年度(予定)

運用期間:

数ヶ月程度(予定)

探査機重量(予定):

約200kg(DRY質量)

約730kg(推進薬含む質量)

【スケジュール】

2016-2022年度

探査機の製作、プロトフライト試験、地上系整備

2022年度 打上げ(予定)

2022-2023年度

月に向けた探査機の運用

【実施体制】

宇宙科学研究所内にプロジェクトチームを置き、大学等の研究コミュニティの研究者と協力して実施する。また、各研究開発部門や、国際宇宙探査の検討チームと連携して実施する。

【期待される成果と意義】

- 将来の宇宙探査に必要な共通技術を獲得することにより、将来の国際宇宙探査・太陽系科学探査に貢献する。また、他国に比べ技術難易度の高い「ピンポイント着陸技術」を実証することで、我が国のプレゼンス向上につながる。
- 本計画は、宇宙基本計画(「月や火星等を含む重力天体への無人機の着陸及び探査活動为目标として計画的に進める」)及び宇宙科学・探査ロードマップ(「太陽系探査科学分野は、将来の本格探査に備え、機動性の高い小型ミッションによる工学課題克服・技術獲得を行う」)の実現のための第一歩である。

参考【公募型小型計画】 深宇宙探査技術実証機(DESTINY+)

施策の概要・目的

- 太陽系探査科学分野において、世界に先駆け宇宙工学を先導する小型ミッションによる航行・探査技術を獲得し、次代の深宇宙ミッションの発展に資するとともに大型ミッションによる本格探査に備える。
- 惑星間ダストの観測とふたご座流星群母天体「フェイトン」のフライバイ探査を行う。
- 地球への生命起源物質の供給源と考えられている地球飛来ダストの輸送経路を知るため、惑星間塵及び流星群ダストの分布と「フェイトン」周辺におけるダストの物理化学組成や「フェイトン」の実態を明らかにする。
- 低コスト・高頻度な宇宙科学ミッションを実現するべく、衛星探査機の小型化・高度化技術などの工学研究課題に取り組む。
 - ・ 電気推進による宇宙航行技術を発展させ、電気推進の活用範囲を拓く。
 - ・ 小型軽量化など宇宙機のポテンシャルを高め多様なミッションへの対応を可能とする。
 - ・ 先進的なフライバイ探査技術を獲得し、小天体探査の機会を広げる。

期待される成果

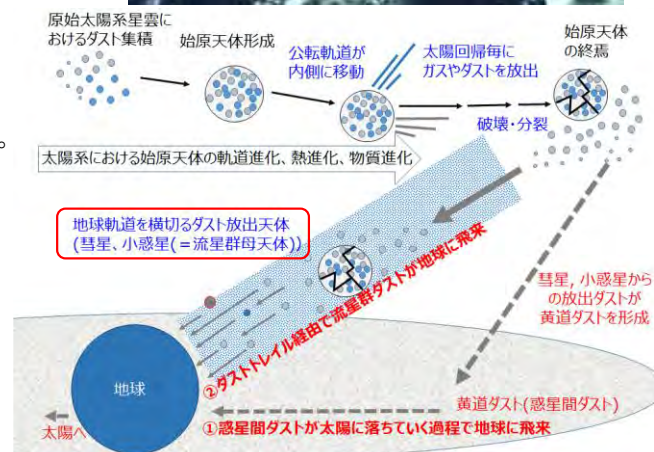
- 小型高性能電気推進システムの開発、小型軽量化など小型高性能深宇宙探査機プラットフォームを技術実証することで、我が国が近い将来に様々な深宇宙探査を低コスト・高頻度で持続的に実施することが可能となる。
- 過去には多量の塵を放出し、三大流星群の一つである「ふたご座流星群」を形成し、現在も近日点周辺でのダスト放出が継続している「フェイトン」は、世界でこれまで探査されたことのない「活動的小惑星」に分類される。本施策で得られるダストの物理化学データ、地表や成層圏、周回軌道での回収ダストの地上分析、地上および衛星搭載の望遠鏡や可視赤外分光観測装置のデータを統合することにより、太陽系における地球生命や生命前駆物質である有機物の普遍性、特殊性の知見が得られる。

必要性・喫緊性

- 本探査機は、宇宙工学を先導する航行・探査技術を獲得し、次代の宇宙探査ミッションの発展に資することを目的とし、小型深宇宙探査ミッションの分野で世界をリードしていくもの。しかしながら、NASAも小型衛星による惑星探査ミッションの研究テーマを2017年3月に複数選定するなど、惑星探査を小型・超小型衛星で実施する機運が高まっており、日本はこの小型深宇宙探査分野をリードし、我が国のプレゼンスを上げるためにも、世界に先んじて早期打上、実証することが必要。

2021年度の実施内容

- 2024年度の打上げに向けて、バス機器、ミッション機器の基本設計及びエンジニアリングモデルの製作着手、地上システム整備、イプシロンロケットの調達を行う。



基礎データ

開発機関：JAXA
打上げ年度：2024年度（予定）
打上げロケット：イプシロンロケット
+キックステージ

主要諸元
質 量：約480kg（推進薬含む）
（サイズ：約1m×1m×1.7m）
軌 道：地球周回楕円軌道→月スイングバイ→
太陽中心小惑星フェイトン遷移軌道
主な観測装置：望遠カメラ、多波長カメラ、
ダスト分析器
観測期間：約4年間（小惑星フライバイは2028年度）

参考【戦略的中型計画】宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星(LiteBIRD)

施策の概要・目的

宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星(LiteBIRD)は、宇宙ビッグバン初期に生じたと考えられるインフレーション宇宙の仮説を実証することを目的として、

- ・人類にとって根源的な知的探求
- ・宇宙誕生の瞬間とは？
- ・宇宙・時空を創る究極理論とは？

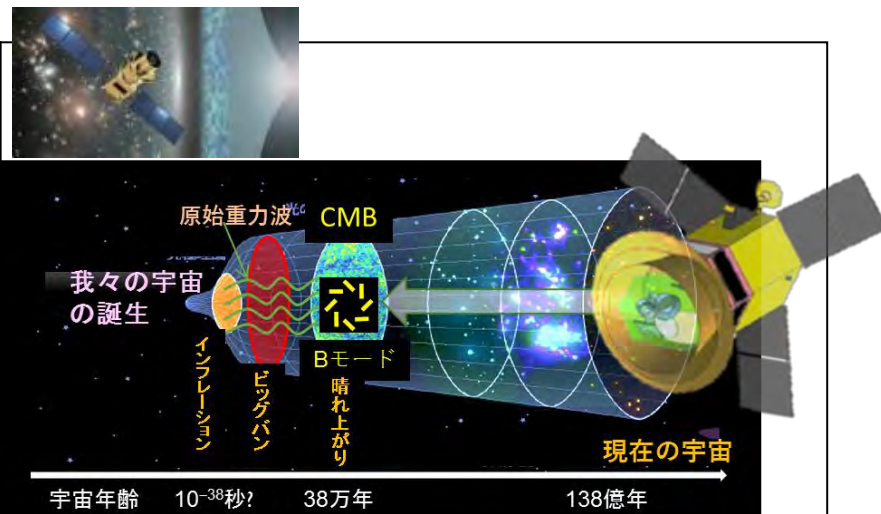
「宇宙のインフレーション仮説」

(佐藤勝彦らが提案) 熱いビッグバン以前の宇宙に関する最有力仮説。原始重力波の存在を予言。

- ◆ 原始重力波はCMBの偏光マップに「指紋」の様な痕跡(Bモードと呼ばれる渦巻き状の偏光パターン)を残す。
- ◆ LiteBIRDはスペースからの観測でのみ可能な「指紋」の全天精査を行い、インフレーション仮説を徹底検証する。

期待される成果と効果

- 時空の量子揺らぎによる原始重力波を検出
- (強度パラメータ r (テンソル・スカラー比)の決定)
 - インフレーション仮説の検証
 - 量子重力理論(超弦理論)の検証
- 銀河の磁場構造、星間ダスト等の物理の飛躍的發展



主要諸元 (検討中の一案)

開発機関: JAXA

打上げ年度: 2028年度(予定)

打上げロケット: H3

主要諸元

質量: 約2600kg(推進薬含む)

電力: 3 kW

軌道: 太陽-地球第2ラグランジ点、リサージュ軌道

主な観測装置: 極低温ミリ波偏光望遠鏡:
広視野~20度、温度5K(-268度)

観測期間: 約3年間

参考【公募型小型計画】 高感度太陽紫外線分光観測衛星 (Solar-C)

目的

高感度太陽紫外線分光観測衛星は、日本を中心に米国及び欧州諸国の協力のもと開発するミッションで、太陽大気の色層（2万度）からコロナ（100-2000万度）にわたる温度領域を隙間なく観測し、従来に比べ10倍-30倍の感度（空間・時間分解能）向上によりダイナミックなプラズマ現象に追従できる能力を世界で初めて実現する。

本ミッションで、太陽表面から太陽コロナ・惑星間空間へのエネルギーと質量の輸送やエネルギー解放の現場を捉え、何が起きているかを診断する極端紫外線分光観測を実施することで、宇宙プラズマ中で普遍的に起きている基礎的な物理過程を検証し、宇宙を満たす高温プラズマが如何に作られ、太陽が如何にして地球や惑星に影響を及ぼしているのかを解明する。

科学目標

- ・太陽大気（100万度超のコロナ）や太陽風の形成を導く基礎物理過程を解明する。
- ・太陽大気が不安定化し、フレア・プラズマ噴出を引き起こす物理過程を解明する。

期待される成果と効果

本ミッションで得られる知見や洞察は、天体プラズマの基礎物理過程の洞察や知見へと展開され、高温プラズマに満たされた宇宙や恒星大気についての理解につながる。

社会インフラに与える影響が大きい太陽面爆発（フレアとプラズマ噴出）の予測に必要なアルゴリズム構築や予測向上につながる。

太陽圏（惑星間空間）に広がる太陽大気の物理特性を理解することで、太陽系の生命や生命居住可能環境（月ゲートウェイ等）に関する条件を決めることに寄与する。

獲得する解像度の高い宇宙望遠鏡の技術や衛星の高精度指向安定技術は、我が国の高分解能地球観測衛星や実用衛星等の高度化に貢献する。

主要諸元（検討中の一案）

開発主体：JAXA

打上げ年度：2026-27年度（予定）

打上げロケット：イプシロンロケット

主要諸元：

質量：約550kg（推進薬含む）

(サイズ：約1m×1m×3.8m)

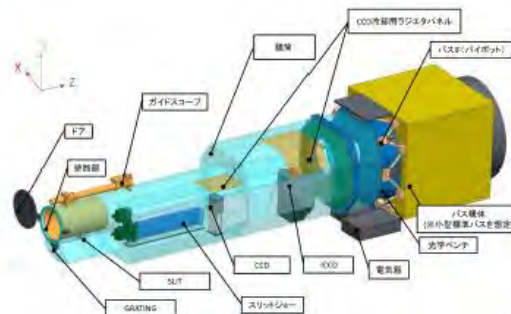
軌道：太陽同期極軌道

主な観測装置：

高感度太陽紫外線分光望遠鏡 (EUVST)

(米国・欧州諸国の協力のもとで開発)

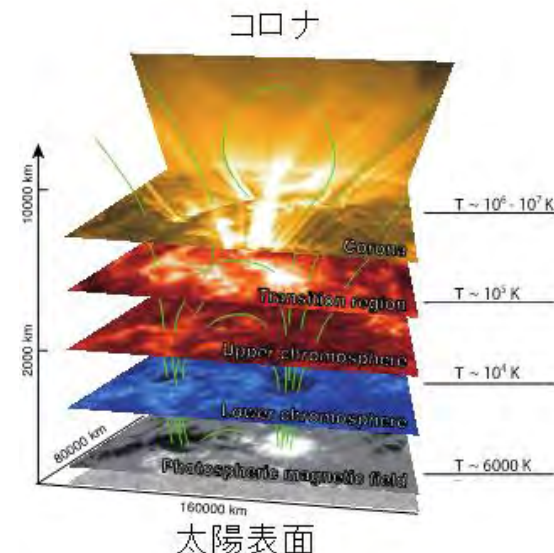
観測期間：約2年間



喫緊性

太陽活動は2023年から2026年の間が最も活発となる極大期と予測されており、科学的成果の最大化が図れる唯一の機会。

2025年頃に、米国、ESA、日本（BepiColombo/みお）で太陽表面の高解像度観測と内部太陽圏の探査観測が開始されるため、本衛星で分光診断を実施し、これまで実現し得なかった太陽からの太陽風やプラズマ噴出を包括的に理解（物理的に結び付ける）する初めての機会を獲得する。



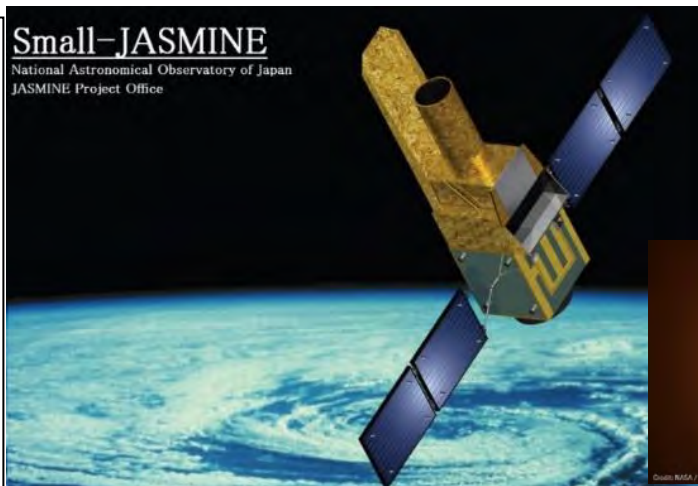
参考【公募型小型計画】 赤外線位置天文観測衛星(小型JASMINE)

科学目標・施策の概要

- 科学目標：惑星が形成され生命が誕生した天の川銀河は、その誕生時にできた古い星から最近できた若い星まで様々な星が中心部に集中して存在する。その中心部＝「中心核バルジ」内の今までは観測困難だった星の年齢に依存する運動の多様性を調べる。これにより、天の川銀河の最初にできた構造やその後太陽系の移動を引き起こす原因となる多様な構造が生まれ進化していく過程を明らかにし、太陽系の誕生した現場と天の川銀河内を移動してきた軌跡に関する研究の進展に貢献する。さらに、生命の痕跡となりうる大気分子を探索しやすい「太陽より小さく低温の恒星を周る地球型惑星」を恒星光の時間変動から見つけ出す。
- 施策概要：近赤外線帯域(Hwバンド：1.1～1.7 μm)で、天の川銀河（銀河系）の中心核バルジ領域の星の年周視差（地球公転に伴う天球面上での星のみかけの位置変化）や固有運動（星が独自に運動することに伴う天球面上での星の角速度）といった位置天文情報を世界で初めて高精度に求める。年周視差からは星までの距離が、固有運動からは星の視線方向に垂直な速度成分が求まり、天の川銀河の歴史を紐解くために必要な星の距離と運動の情報をカタログとして公開する。また、位置天文観測で達成される高精度な測光能力を活かし、太陽より小さく低温の恒星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星の探索を行う（惑星が恒星の前面を通過する際に恒星からの光が減光されるトランジット現象を観測する）。

期待される科学的目標

- 中心核バルジに今も存在する様々な年齢をもつ星の空間分布と運動分布により、中心核バルジの力学構造とその歴史を理解する（銀河中心考古学）。それをもとにバー構造等の銀河系主要構造の形成史の知見を得る。具体例としては、中心核バルジ内の中心核ディスクの形成時期を求め、バー構造の形成時期に強い制限を与える。また、銀河系が誕生した際の中心核バルジ領域の力学構造や、中心に存在する巨大ブラックホールの成長過程に関する知見を得る。
- 太陽系の移動を引き起こす原因となるバー構造の形成時期が明らかになると、太陽系が誕生した場所や銀河系内を移動してきた軌跡を明らかにする研究が飛躍的に進展する。
- 生命居住可能領域にある地球型惑星が見つかったと、実際に生命探査が開始できる。

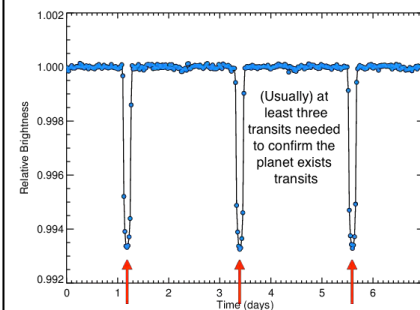


必要性・喫緊性

- 可視光では観測が困難な中心核バルジの星の高精度な距離や運動情報の獲得は世界初であり、人類の知的財産としての価値が高い。
- ESAが運用中の可視光位置天文観測衛星Gaiaが革命的な研究成果を上げてきている。そこでGaiaが観測困難な中心核バルジでの位置天文情報も早期取得が強く期待され、我が国の国際的プレゼンスの向上に寄与する。

主要諸元（検討中の一案）

開発主体：JAXA
打上げ年度：2027-28年度（予定）
打上げロケット：イプシロンロケット
主要諸元
質量：約400kg（推進薬含む）
（サイズ：約1.6m×1.4m×3.6m）
軌道：地球周回太陽同期軌道
高度>約550km
主な観測装置：赤外線撮像望遠鏡
（地上局はESA協力、赤外線検出器は米国協力）
観測期間：約4年間



参考【戦略的海外共同計画】二重小惑星探査計画(Hera)

施策の概要・目的

- 欧州宇宙機関(ESA)の二重小惑星探査計画「Hera」は、米国航空宇宙局(NASA)の小惑星衝突機「DART」と連携したAIDA(Asteroid Impact and Deflection Assessment)に組み込まれた、史上初の本格的な国際共同Planetary Defense(宇宙防災)ミッションである。
- 「DART」がS型小惑星Didymos連星系の衛星Dimorphosに衝突後、Heraがランデブして連星系の表層物理状態の全球調査、人工衝突痕の詳細観測、衝突後の精密軌道決定を実施する計画。
- JAXAは、4搭載観測機器・2子衛星のうち熱赤外カメラ(TIRI)を開発・提供すると共に、人工衝突痕の観測や、表面地形・地質構造、衛星軌道決定について科学検討チームに参画する。史上初の本格的な国際共同Planetary Defenseミッションにジュニアパートナーとして参画することで、日本単独では得られない科学成果を獲得できる。

期待される効果

【プロジェクト全体の成果・効果】

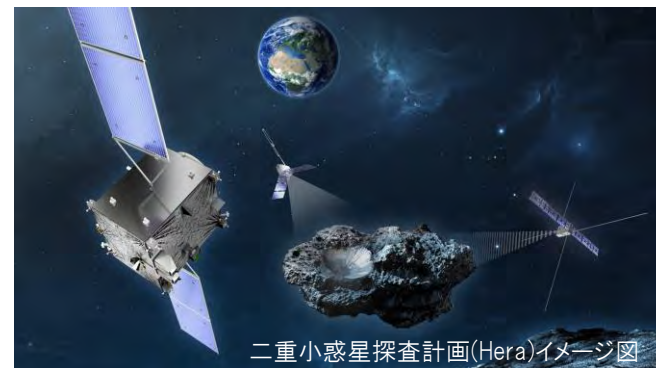
- ・惑星形成過程の理解につながる普遍的な微小重力下での天体衝突現象の解明
- ・地球近傍に多いS型小惑星の物理状態の理解(C型小惑星リュウグウとの比較)
- ・人類社会への潜在的脅威となる小惑星の地球衝突を回避させる技術の確立

【我が国が参加により得られる成果・効果】

- ・日本が得意とし、世界的評価のある熱赤外カメラを含めて国際協力計画に参加することにより、高い科学成果創出と同分野での主導的役割が維持できる。
- ・日本が世界を先導する衝突科学で、かつ「はやぶさ2」衝突装置による人工クレータ形成実験の実績と知見を活かすことで、科学成果の創出に日本の研究者が深く関与することができ、惑星科学の衝突現象の理解に主導的役割を果たすことができる。
- ・世界的潮流であるPlanetary Defenseに、日本が世界に対して貢献する第一歩を踏み出す。

必要性・喫緊性

- ・Hera計画はESAの計画であり、日本が開発する機器(TIRI)のフライトモデルを2022年度にESAに引き渡すことが我が国参加の必須条件である。
- ・そのため、2021年度にフライトモデル開発・製作に着手しなければ、ESA側への引き渡し期限に間に合わないため、2021年度からの事業着手が必要。



日本からの参加形態

- TIRI(熱赤外カメラ): 日本が世界に誇る熱赤外カメラの機器提供
- 世界を先導する日本の小惑星探査成果・技術・知見(以下)を活かしたサイエンス協力
 - TIRIによる史上初の小惑星熱撮像による物性測定
 - 衝突装置(SCI)による史上初の小惑星人工クレータ実験・多数の室内実験
 - Hayabusa1/2での小惑星地形・地質学の実績や軌道計算

基礎データ

探査機主要諸元

- ・重量: 870kg(推進薬含む)
- ・寸法: 2.2 x 2.0 x 1.8 m
- ・打上げ年度: 2024年度(予定)
- ・打上げロケット: アリアン6ロケット
- ・運用期間: 3年間(2024~2027年)、2027年度到着後、約6か月間観測
- ・探査機システム担当: ESA(欧州宇宙機関)
- ・観測機器担当: 各国機関(日本は熱赤外カメラ(TIRI)を担当)

2021年度の実施内容

観測機器(TIRI)のエンジニアリングモデル(EM)製作・試験、フライトモデル(FM)設計・製作を実施する。

参考【戦略的海外共同計画】Roman宇宙望遠鏡(旧称:WFIRST)

施策の概要・目的

- アメリカ航空宇宙局 (NASA)が2025年度の打ち上げを目指して進めるRoman宇宙望遠鏡計画に我が国も参加し、宇宙の加速膨張史と構造形成の高い精度での観測及び太陽系外惑星の全体像を捉える観測を中心とする天文学研究を行う。
- 口径2.4mの光学望遠鏡に「広視野観測装置」を搭載し、近赤外線波長域での広範な撮像・分光観測を実施することにより、(1)数億個以上の銀河の空間分布、光度、形、赤方偏移の測定や遠方のIa型超新星の高精度観測により加速膨張をもたらす「暗黒エネルギー」理論などを検証、(2)我々の銀河系の数億個の恒星の光度変化から重力マイクロレンズ手法により、軌道半径が大きな太陽系外惑星数千個を網羅的に検出しその全体像を理解、(3)広視野を活かした様々な天文学研究の推進、(4)コロナグラフ装置による太陽系外惑星直接観測の技術実証を行う。
- JAXAは、(1)コロナグラフ装置における偏光機能を実現する光学素子の設計・製作、コロナグラフ・マスク基板の製作、(2)広視野観測で得られる大量のデータの受信を可能とするKa26.5GHz帯における、JAXA地上局によるデータ受信協力、(3)すばる望遠鏡を用いた協調観測、(4)地上望遠鏡を用いたマイクロレンズ協調観測、を実施する国際協力パートナーとして参加する。国際大型計画に参加し、日本単独では得られない科学成果を獲得できる。

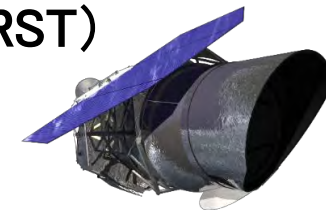
期待される効果

【プロジェクト全体の成果・効果】

- 近赤外線広視野観測による撮像・分光データの取得により、人類の新たな知見として、これまでにない宇宙像を得てその理解を進めることができる。
- 宇宙の加速膨張をもたらす暗黒エネルギーの存在及びその性質の理解の手がかりを得る。
- 太陽系外惑星の質量・軌道分布の全体的な描像について知ることができる。
- 宇宙空間での高コントラスト技術実証観測を行い、将来ハビタブルゾーンにある地球サイズの惑星の観測を実現させるために必要な技術を成熟させる。

【我が国の参加により得られる成果・効果】

- 日本の参加によって、Roman計画の科学的な価値を高めるとともに、プロジェクトの実現性を高め、より確実な実施に貢献する。また、データ受信協力により大量のデータ受信の信頼性を確保するとともに観測頻度を高めデータの精度を高める。
- 協調観測によりRomanの成果創出に日本の研究者がより深く関与し、科学成果の最大化に貢献することで、宇宙論・太陽系外惑星及び様々な天文学分野の研究成果創出に寄与する。
- 将来の高度なミッションのための技術的ノウハウの蓄積および基盤の整備を行う。



広視野装置の
視野模式図

日本からの参加形態

➤ コロナグラフ装置の機能強化

日本が経験を持つ偏光光学系を活かして**装置の一部となる光学素子をハードウェア提供**

➤ 地上局データ受信

JAXA施設を機能強化することによるデータ受信協力。
JAXA機能を提供。

➤ 日本の持つ世界的にもユニークで優れた観測手段を活用して協調観測によるサイエンス協力

➤ Romanの中心的研究分野での日本の研究者の高い実績と評価に基づくサイエンス協力

必要性・喫緊性

- NASA 打ち上げ予定が2025年に迫っており、コロナグラフ光学素子については装置試験のため早期にNASA に提供する必要がある。
- 地上局は2024年から試験開始のため、機能強化を2023年度までに進める必要があり、そのための概念設計・システム設計を早急に進めることを要する。

基礎データ

- 主鏡口径 2.4m の宇宙望遠鏡(可視光～近赤外線:0.6-2.0 μm)
- 広視野装置 WFI (宇宙論、マイクロレンズ系外惑星)
- 技術実証コロナグラフ装置 CGI
- 打上げ年度:2025年度(予定)
- ミッション期間:5.3年
- 国際協力:米国、日本、欧州

参考【戦略的海外共同計画】国際紫外線天文衛星(WSO-UV)

施策の概要・目的

○ロシアが2025年10月の打ち上げを目指し開発を進める口径1.7mも紫外線望遠鏡 World Space Observatory UV(WSO-UV)に参画し、現在宇宙科学で最も重要な研究対象である太陽系外の「地球類似惑星候補」を観測する。特に、生命存在の議論に重要となる表層環境(海洋の有無等)に迫るため、酸素大気の観測を行う。地球と同程度の大きさの系外惑星は多数見つかったが、表層環境については現状は全く不明である。本計画の遂行によって**世界初の地球類似惑星の発見**が期待される。

○WSO-UVには、高分散分光器WUVS、紫外線撮像器FCUに加えて、系外惑星観測に特化した高感度低分散分光器UVSPEXが搭載される予定であり、JAXAはUVSPEXの開発と系外惑星科学の研究推進を主に担当する。**宇宙科学・探査ロードマップにおける小規模プロジェクトとして**、海外の大型ミッションにジュニアパートナーとして参画することで、効果的・効率的に実施。

期待される効果

【プロジェクト全体の成果・効果】

- ・ 太陽系外惑星の大気理解 ・ 銀河系の形成進化の研究
- ・ 星系における物質の集積・流出の理解

【我が国の参加により得られる成果・効果】

- ・ 酸素・水素の高層大気観測により地球型惑星の表層環境に迫る。
- ・ 低層大気を狙うNASA/JWST等の数千億〜1兆円規模の計画でも地球型惑星の酸素大気観測は非現実的。高層酸素大気観測から地球類似惑星を見つけるアイデアは日本発で、2020年代に実現できる可能性のある現状唯一の観測手法。ロシア側では系外惑星研究は盛んではなく、〜3億円の分担で日本主導で進められる。
- ・ 国産の高感度紫外線検出器はNASA等海外研究機関からも注目されており、2030年代の超大型計画での使用も検討されている。

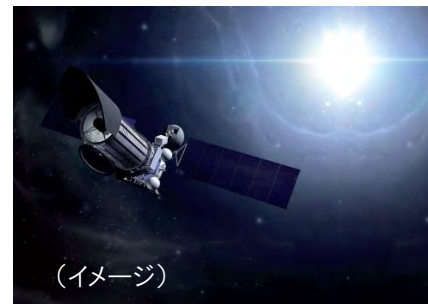
○日本発のアイデアと技術を利用し、約3億円の開発経費で1兆円規模の大型計画に比肩する成果を得る絶好の機会

必要性・喫緊性

- ・ 打ち上げが2025年に迫っており、UVSPEXをロシアに早期に提供する必要がある。

(World Space Observatory-UV)

1.7m 紫外線宇宙望遠鏡



(イメージ)

WSO-UV

「地球のような惑星は他にあるのか？」

水素・酸素高層大気観測から表層環境を推定

銀河系形成進化

日本からの参加形態

UVSPEX (UV SPectrometer for EXoplanet)

日本が世界をリードする高感度紫外線検出器を用いた低分散分光器を提供

太陽系外地球型惑星の高層大気観測手法、データ解析、大気モデルの構築等の理学研究チームの参加

基礎データ

宇宙望遠鏡主要諸元

- ・ 重量: 1,600 kg(ドライ)、2,900kg(推進薬含む)
- ・ 電力: 750 W
- ・ 地球同期軌道 ($i=51.6^\circ$)

打ち上げ年度(予定): 2025年度

打ち上げロケット: プロトンロケット(ロシアが打ち上げ)

運用期間: 5年間(2025~2030年)

探査機システム担当: INASAN(ロシア天文学研究所)

観測機器担当: ロシア、スペイン、日本

FL実施項目(FY2020)

宇宙科学・探査小委員会
(第40回)資料を更新し再掲

技術領域	要素技術	項目	技術成熟度 TRL*1		適用ミッション例
			現在	FL後	
①超小型探査機技術	超小型衛星システム技術、バス/観測機器の超小型/超低消費電力化	1. 超小型統合AOCSユニットの開発	4	5	OPENS、Comet Interceptor、CubeSat、小・中型衛星/探査機
		2. 小型軽量MEMS-IRUの開発	4	5	
		3. 軽量薄膜太陽電池パドルの開発	4	5	
		4. 半永久電源(外惑星探査電源)*2	3	4～5	深宇宙探査
②輸送システム技術	再突入帰還飛行技術、柔軟エアロシェル技術(EDL)	5. 超小型の惑星EDL技術	4	5	SPUR、米国NF-5
③月惑星探査機技術	深宇宙航行技術(推進系技術、軌道間輸送技術)	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	4	5	月、火星、小惑星
		7. 探査機放熱量自律制御のための軽量な可逆展開ラジエータ技術	4	5	深宇宙探査
④天体表面活動技術	サンプルリターンカプセル技術、ローバ技術				
⑤宇宙用冷凍機技術	宇宙観測技術の高感度化、冷凍機の高性能化	8. スターリング冷凍機の高信頼化・長寿命化の実現	4	5	LiteBIRD
		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	4	5	LiteBIRD、Athena
		10. センサ高性能化(赤外線等)*2	4	5	小型JASMINE、地球観測衛星

*1 TRL3: クリティカル機能や特性の分析的及び実験的なコンセプト証明
 TRL4: 対象のブレッドボードモデル(BBM)の実験室環境での妥当性(有効性)確認
 TRL5: 対象のエンジニアリングモデル(EM)の相当環境での妥当性(有効性)確認

*2 今年度に検討を進め、FY2021より新規項目。

フロントローディング(FL)実施状況と成果

1. 超小型統合AOCS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-IRU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への要求、方式、課題等をもとに、フイー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技術
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バ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。

