

2. 宇宙科学プログラムの「現状とこれから」

		現状とこれから	
		学問の進化の流れを象徴するキーワード	具体的ミッション
戦略的中型	天文	検出器を冷却しての低ノイズ・高感度観測、サイエンスとしては、宇宙史を通じた構造形成の理解に貢献	XRISM(銀河団と暗黒物質) LiteBIRD(初期宇宙でのゆらぎ) SPICA(銀河における星・惑星形成)
	太陽系	スノーラインの外側で生まれた小天体を探査することで、地球を生命居住可能にした過程を理解することに貢献	MMX(火星衛星SR) OKEANOS(木星トロヤ群小惑星)
公募小型	天文	地球周回機という、技術が確立している機体によるサイエンス成果創出	JASMINE(小型赤外線位置天文衛星) SolC_EUVST(高感度EUV/UV分光望遠鏡) HiZ-G(ガンマ線バーストを用いた初期宇宙一極限探査計画)
	太陽系	小型機による太陽系探査システムの実証	SLIM(小型着陸) DESTINY+(小型小惑星フライバイ)
戦略的海外共同	天文	「人類を代表して実施」するクラスの海外大型計画への参加	ATHENA(X線) WFIRST(近赤外)
	太陽系	「人類を代表して実施」するクラスの海外大型計画への参加	JUICE(木星氷衛星) CAESAR(彗星SR)

火星衛星サンプルリターン計画(MMX) (1/2)

【概要】

目的

火星の二つの衛星(フォボス・ダイモス)の試料サンプルを地球に回収(サンプルリターン)して詳細な分析を実施する。これにより火星衛星起源を実証的に決定して、原始惑星形成過程の理解を進めるとともに、生命材料物質や生命発生の準備過程(前生命環境の進化)を解明する。

期待される成果と効果

- ・火星衛星の起源を解明し、火星形成過程を読み解く準備をする。
 - ・サンプル分析結果から火星形成過程へと制約を与える。
- 火星衛星の起源として、(A)火星形成後に小惑星が捕獲されたものとする説、(B)火星での衝突イベント後の飛散破片が集積したという2つの説がある。火星衛星からのサンプルの帰還は、(A)(B)の峻別を可能にし、かつ、(A)の場合は加熱ダメージが比較的少ない始原的小惑星物質を、(B)の場合は火星初期物質を入手することを意味する。また、衛星表面には太古の火星から飛び出した表層物質が付着しており、火星物質サンプルの入手も同時に可能となる。
- ・その他の火星圏環境史の解読や火星大気・地表を大域的に観測するなどの科学的成果を総合して、惑星科学研究分野における「太陽系生命環境の誕生と持続に至る条件としての前生命環境の進化の理解」という大目標に向かうことができる。

科学的・国際的な位置付け

- ・「はやぶさ」「はやぶさ2」で日本が培ってきた得意技術を更に伸ばす絶好の機会である。非重力天体と重力天体の中間として技術開発の適切な中間ステップであり、将来の火星周回・着陸探査に向けた布石ともなり得る。
- ・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)。現時点では具体的な火星衛星サンプルリターン計画ではなく、国際的に有利な立場を確保できる。



火星衛星の起源決定 前生命環境の進化の解明

主要諸元(検討中の一案)

打上質量 :	3400kg
三段構成	
帰還モジュール:	1350kg
探査モジュール:	150kg
往路モジュール:	1900kg
ミッション期間 :	5年

スケジュール(検討中)

MMXは、既存の技術レベルや他の計画での実績に基づき、以下の予定で検討を進めている。

- ・2018年度 : 概念設計
- ・2019-21年度: フロントローディング/基本/詳細設計
- ・2021-23年度: 機器製造、試験
- ・2024年度 : 打ち上げ

実施体制

JAXAプリプロジェクトチーム

火星衛星サンプルリターン計画（MMX）（2/2）

宇宙基本計画工程表「第16回宇宙開発戦略本部会議」より

- 戰略的中型計画1の候補である火星衛星サンプルリターン計画(MMX)の開発研究に着手した。戦略的中型計画2の候補について、平成31年度の選定へ向け、技術検討等を実施した。
- 戰略的中型計画1の候補である火星衛星サンプルリターン計画(MMX)について、平成31年度開発着手・同36年度打上げを目指し、開発研究を継続する。また、戦略的中型計画2の候補ミッションの技術検討等を行い、ミッション意義・成立性等を踏まえ平成31年度に選定する。

【進捗状況】

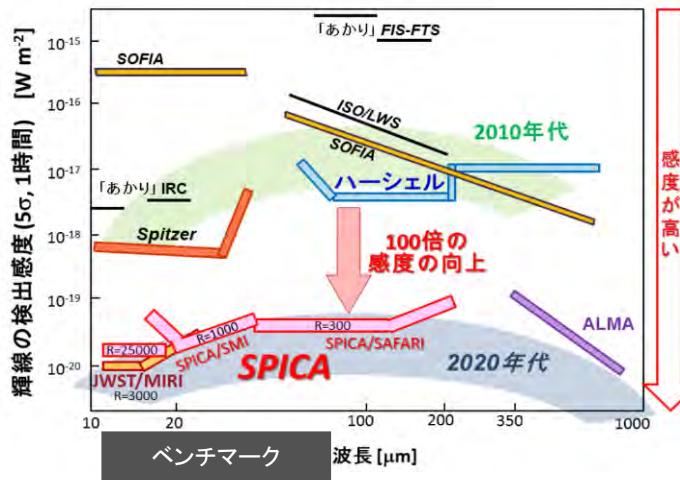
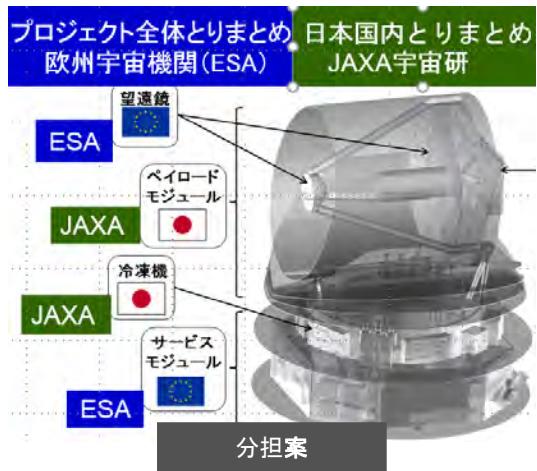
- クリティカル技術（試料サンプリング装置・地球帰還カプセル等）のリスク低減を目的とし、平成29年度より「開発研究」として、探査機システムやクリティカル技術に関して、一部要素試作を含む作業を実施している。平成31年度（2019年度）開発着手に向け、フロントヘビーなシステム検討等、プリプロジェクト活動を実施中。
- 海外機関との国際協力
 - CNES（フランス国立宇宙研究センター）とは、観測機器/近赤外線分光器、ライトダイナミクス、小型ランダの搭載可能性等について、概念検討を進めている。
 - NASAが中性子ガンマ線分光計の提供を前提として、開発の準備を進めている。



次世代赤外線天文衛星SPICAについて

【概要】

SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology & Astrophysics) は、重元素と星間塵の生成に伴い、宇宙がより多様で豊かな世界になり、生命居住可能な惑星世界が生まれた過程を解明することを目指すミッションである。そのために、**大型の宇宙冷却望遠鏡**を搭載し、**超高感度赤外線観測**を実施する。



SPICAの基本仕様

望遠鏡:	有効口径 2.5 m
	冷凍機で 8 K 以下に冷却
波長範囲:	12 - 350 μm
軌道:	太陽-地球系 L2 周り軌道
打上:	JAXA H3 口ケット
打上年:	2020年代 (ESAとの協議事項)
寿命:	3年以上、目標5年

【進捗状況】

- 2018年5月7日に、**ESA Cosmic Vision M5の一次選抜結果**が発表され、応募した25件のミッションからSPICAを含む3件が採択された。これらのミッションは今後3年間かけて検討を進め、2021年11月(予定)に最終選抜で1件に絞り込まれる。
- ESA M5 一次選抜採択を受けて、国内の活動を加速中。ミッション達成に必須な技術項目(冷凍機、中間赤外線観測装置等)を中心として概念検討、基礎開発を行っている。

X線分光撮像衛星(XRISM)



【概要】○ミッションの目的

- ASTRO-H(ひとみ)のミッションを引き継ぎ、「宇宙の構造形成と銀河団の進化」、「宇宙の物質循環の歴史」、「宇宙のエネルギー輸送と循環」を研究するとともに、「超高分解能X線分光による新しいサイエンス」を開拓する。
- これらの科学目的を達成するために、これまでにない特長と性能で「宇宙の高温プラズマにおける物質循環・エネルギー輸送過程と天体の進化の解明」を進めることが本ミッションの中心的な意義である。
- さらに、世界に開かれた汎用X線天文台としてXRISMを実現し、さまざまな分野にわたる宇宙物理をさらに推し進め、2020年代の物理学の広範な発展の一翼を担う。

○総開発費 267億円 2021年度打上げ予定

小型月着陸実証機(SLIM)



【概要】○目的

SLIMは、以下の2つの目的を達成することで、将来の月惑星探査に貢献することを目指す計画である。

【2つの目的】

«目的A» 小型の探査機にて、月への高精度着陸技術の実証を目指す

— 諸外国で行われてきている月着陸の精度はkmオーダー。これに対して、SLIMでは将来の科学探査・国際宇宙探査で必要とされる100mオーダーを目指す

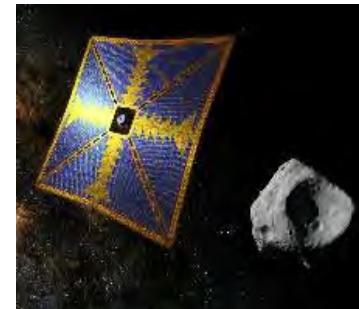
«目的B» 従来と比較して、大幅に軽量な月惑星探査機システムを実現し、着陸後の月面活動の実証実験を含めて実施することで、月惑星探査の高頻度化に貢献する

— 軽量化に伴うコスト低減を含めた低リソース化は、我が国における惑星探査の自立性確保の観点からも重要

— 諸外国の月着陸機と比較して大幅な軽量化を目指している

○総開発費 148億円 2021年度打上げ予定

【概要】宇宙科学 ミッション

No	提案名及び内容	
1	<p>ソーラー電力セイル探査機(OKEANOS) 外惑星領域での航行技術と探査技術を実証・獲得し、「より遠く、より自在に、より高度な」宇宙探査活動を実現する。また、本計画は実験機という位置づけであり、これを踏まえた本番機で第一級の科学成果を狙う太陽系探査ミッションを実現し、日本が太陽系探査を先導する。</p>	
2	<p>CMB偏光観測衛星(LiteBIRD) 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星LiteBIRDは、ビッグバン以前の初期宇宙が急激な加速膨張(インフレーション)したとするインフレーション宇宙理論の検証を目的とする。インフレーションの痕跡として原始重力波の生成が考えられるため、LiteBIRDは、原始重力波が宇宙マイクロ波背景放射につくる渦状の偏光度分布を、太陽-地球のラグランジュ点(L2)から精密観測することで、インフレーションの直接的証拠の取得を目指す。</p>	

深宇宙探査技術実証ミッション(Destiny+)

【概要】

＜ミッション目的＞

流星群母天体フライバイおよび惑星間ダストのその場分析

ふたご座流星群の母天体、活動小惑星、地球衝突可能性天体である小惑星Phaethonのフライバイ観測を行う。また、地球に飛来するダストを地球近傍の惑星間空間及びダスト供給天体であるPhaethon近傍でその場測定し、地球飛来ダストの物理化学特性を明らかにする。

小型深宇宙探査機技術の獲得

小型ミッションによる深宇宙探査を実現するため、

- ・電気推進による宇宙航行技術を発展させ、

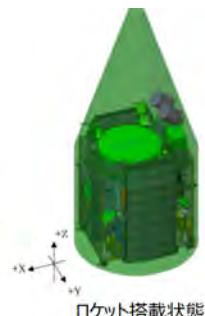
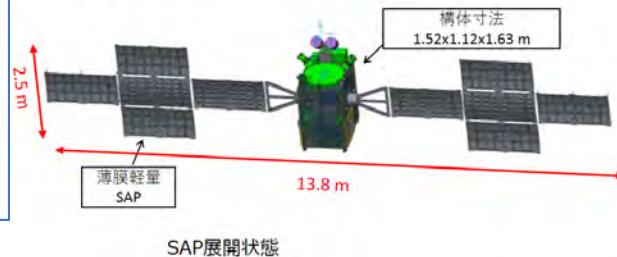
- 電気推進の活用範囲を拓く。

- ・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。



スケジュール
FY2018:概念設計
FY2019:基本/詳細設計
FY2020:機器の製造、
試験
FY2021:システム試験、
打ち上げ

探査機DESTINY+のシステム設計



【進捗状況】

- クリティカル技術である、電気推進系(最大4km/sec以上の増速能力)や薄膜軽量SAP(世界最高の出力密度)の検討、及び軌道計画を含む探査機のシステム設計を進めている。
- 主要ペイロード機器となるダストアナライザを、Cassiniミッションで実績があり世界的な優位性のあるドイツから提供を受ける可能性につき、DLRおよび機器開発を行うシュツットガルト大と、担当レベル、さらに理事レベルでの協議を実施し、2017年9月20日のJAXA奥村理事長(当時)-DLRエレンフロイント長官による共同声明において、DESTINY+へのダストアナライザ提供によるDLR協力可能性を明記した。
- 2017年11月に実施取決め(IA: Implementation Arrangement)を結び、主要ペイロード機器の1つとしてダスト・アナライザーの搭載検討を進めており、協力内容が確定次第、DLRと最終取決めを締結する予定。

【概要】公募型小型計画・宇宙科学 ミッション提案

- 2018年1月29日締切りで提案を募集し、6件を受理、理工学委員会にて以下の3件が推薦され、ISASとして選定評価予定。

No	種別	提案名及び内容	PI機関
1	理	小型赤外線位置天文衛星(JASMINE) 我々の銀河系のパルジ中心部領域を近赤外線で観測する位置天文衛星で、恒星の天球面上における微細な位置変動を高精度で測定し、年周視差や固有運動等の情報をカタログとして作成して世界の研究者へ公開するとともに、これを用いて銀河系の構造(パルジ、棒状構造、円盤構造)の起源や巨大ブラックホールの進化の解明に挑む。	国立天文台
2	理	高感度EUV/UV分光望遠鏡(Solar-C_EUVST) 広い温度範囲の現象に対応する紫外線分光撮像観測により太陽彩層から遷移層、コロナまでをシームレスに観測し、太陽大気と太陽風の形成に寄与する根本的な物理過程を明らかにするとともに、太陽大気がどのように不安定となり太陽フレアや太陽面爆発を引き起こすエネルギーが解放されるのかを明らかにする。	国立天文台
3	理	ガンマ線バーストを用いた初期宇宙一極限時空探査計画(HiZ-GUNDAM) 宇宙最大の爆発である「ガンマ線バースト」を広視野X線モニタで検出し、さらに同架する光学望遠鏡での迅速な観測を行うことで、ビッグバンから数億年の時代の宇宙最初期の星形成現象や銀河間物質の物理状態をあきらかにする。また、重力波対応天体とも考えられる中性子星合体で生じるマクロノヴァ現象にも迫る。	金沢大学

戦略的海外共同計画 木星氷衛星探査計画(JUICE)

【概要】

多様な小規模プロジェクト群「戦略的海外協同計画」の一つとして、歐州宇宙機関(ESA)の基幹ミッションである「木星氷衛星探査計画(JUICE)」に、観測機器の一部の開発・提供及びサイエンス共同研究により参画すべく準備を進めている。海外大型計画への国際協力により効果的・効率的に成果創出を目指す。

系外惑星の中でも普遍的な存在である「巨大ガス惑星系の起源・進化」と、その周囲に広がる「生命存在可能領域としての氷衛星地下海の形成条件」を明らかにする。

＜ミッション目的＞

木星周回軌道から木星系の観測(磁気圏、木星大気、エウロパ・カリストのフライバイ観測)を実施し、世界初の氷衛星周回機となって太陽系最大の氷衛星ガニメデの総合観測を実施することで、以下の理解・解明を目指す。

- 「惑星はいかにして作られたのか？」太陽系以外にも適用できる普遍的な惑星形成論を構築し、太陽系形成論を見直す。
- 「地球の外に水の海はあるか？」氷衛星の地下海、生命誕生につながる高分子が生成する環境が作られる条件を探る。
- 「太陽系で起きている環境の変動にはどのようなものがあるのか？」木星(JUICE)、水星(MMO)、地球(あらせ)のプラズマ過程を比較を行うことで、宇宙のプラズマ過程を理解する。

（イメージ）
木星氷衛星探査計画
ガニメデ周回衛星

JUICE

巨大ガス惑星系の起源と進化

氷衛星地下海の形成条件

太陽系最強の
加速器木星磁気圏



【進捗状況】

JAXAは、11の搭載観測機器のうち、我が国が実績と技術的な優位性を持つ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)についてハードウェアの一部を開発・提供するとともに、2つの機器(カメラシステム、磁力計)のサイエンス共同研究者として参加すべく検討を進めている。

- 重量：2,200kg（ドライ）、2,900kg（推進薬含む）
- 電力：約180W

打上げ年度（予定）：2022年度 打上げロケット：アリアンロケット（欧州が打上げ）
運用期間：11年間（2022～2033年）

2022年打上げ、2030年木星系到着、2032年ガニメデ周回軌道投入、2033年ミッション完了（予定）

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（日本も一部参画）

戦略的海外共同計画 �彗星サンプルリターン計画(CAESAR)

【概要】

CAESARは、彗星から固体物質と揮発性物質(氷など)の両方を回収し、地球に持ち帰る。

「20年後の最新の分析機器を用いて」、持ち帰った試料を分析する。

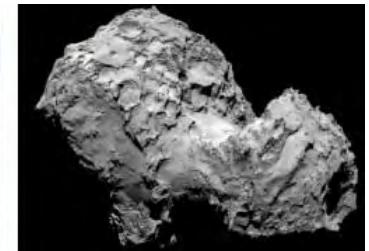
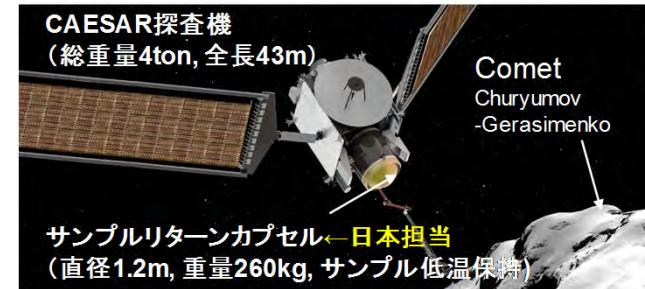
- ・日本のサイエンスチームも初期分析に参加する。
- ・日本にも、一部の試料が提供され、宇宙研が中心となって分配する。



太陽系物質誕生の記録と生命関連有機物の実体を読み解く。

1. 太陽系の水の起源
2. 円盤外縁部における星間物質から太陽系物質への変化
3. 円盤内部で形成された高温物質の輸送の規模と年代に対する制約
4. 低分子化合物の生成領域に制限
5. 初期地球への生命関連有機物の供給

ゲラシメンコ彗星の固体試料と揮発性物質の両方のサンプルリターンでしか得られない情報



2017年12月	NASA1次選考(通過)
2019年7月	NASA最終選考
2022年4月	SRC開発完了
2024年8月	CAESAR打ち上げ
2029年3月	彗星到達
2038年11月	地球帰還

【進捗状況】

- ・CAESAR(Comet Astrobiology Exploration Sample Return)は、Churyumov-Gerasimenko彗星(Rosettaが探査した彗星)の彗星核から彗星固体物質と彗星揮発性物質を地球に持ち帰る世界初の計画であり、国際共同チーム(NASA-GSFC, NASA-JSC, Orbital ATK, Honeybee, JAXAが協力)で進めている。
- ・JAXAは、「CAESARミッションの成功に必須であるサンプルリターンカプセル(SRC)の開発依頼」に応じて、2015年9月からこの活動に参加しており、「はやぶさ」のヘリテージを踏まえて、主要サブシステムの一つであるSRCとその周辺システムの開発を担当する。同時に、日本の科学者の「はやぶさ」サンプル分析での知見、経験を生かした地球外物質・有機物分析科学分野での貢献が期待されており、日本の科学者も、サンプルの初期分析から関わることになっている。
- ・2017年12月に、NASAの New frontiers program 4 の1次選考において、最終選考に臨む2つのミッションの一つとして選定された。最終選考にむけ、検討を進めている。

【概要】海外協力ミッション

No	名前及び概要
1	<p>X線天文衛星(ATHENA) X線天文分野での次期大型衛星計画。ASTRO-Hで得た知見を活用する最大の好機。数十億円規模での観測機器開発への参加。直径3mにも及ぶ大口径で高角度分解能のX線望遠鏡でX線を集光し、ASTRO-HのX線カロリメーターの発展版であるTESカロリメーターで、高解像度・高精度のX線分光を実現する。また、広視野半導体検出器も搭載し、遠くにある暗いX線天体を発掘する。</p>
3	<p>広視野赤外線掃天観測望遠鏡(WFIRST) NASAを中心としたミッションであり、大量の遠方銀河の形状、明るさを精密に計測することでダークエネルギーの正体に迫ります。また、冷たい惑星を大量に発見することで、系外惑星の統計調査を行う。我々太陽系のような惑星系が他にもあるかどうかを解明する。</p>

3. 「更なる先」の宇宙科学プログラム

世界の宇宙科学潮流を分析し、その中で日本が果たすべき役割を把握した上で、海外協力も積極的に呼び込んで実施する。

更なる先【JAXAが先導する側面】と【基礎研究開発へのフロントローディング】		
戦略的中型	天文	・太陽観測における2030年代大型国際共同を日本が主導
	太陽系	・火星探査(NASAが主導する火星サンプルリターン計画を意識) ・小惑星SR(岩石惑星の本体の起源は?といった新しい切り口)
公募小型	天文	・地球周回機では、ボトムアップを尊重し自由な発想からの科学成果の創出
	太陽系	・SLIM／DESTINY+で実証される小探査システムの活用 ・打ち上げ能力が限定される中で探査範囲を拡大するための(超)小型機の活用
戦略的海外共同	天文	・海外が主導する大宇宙望遠鏡計画への参加(系外惑星観測の深化に注視)
	太陽系	・はやぶさ2等のJAXA計画での実績(工学も含む)を掲げての、海外計画への参加

宇宙工学分野技術の今後の取り組み

今後の科学探査強化に必要な以下の工学技術研究の推進を図るため民間の技術を活用しつつ、メインミッションのオプション実験や海外ミッションへの参加要請などの様々な場を積極的に活用して研究開発や軌道実証を行いキー技術の成熟を図る。また、我が国の優位性が確保できる技術開発の促進を図る。

1. 我が国として実績を有し優位性(強み)がある技術

- (1)サンプルリターンカプセル(SRC)
- (2)展開型柔軟エアロシェル(バリュート)による大気圏突入技術
- (3)薄膜軽量太陽電池/電力セイル技術
- (4)検出器を極低温にする冷凍機技術
- (5)画像処理解析等による航法誘導技術

2. 将来的に我が国として優位性を確保するために新たに獲得すべき技術

- (1)探査機の小型化技術(耐低温姿勢制御用推進系技術含む)
- (2)安定性を確保した半永久的発電技術
- (3)極小待機電力システム技術等