

## 宇宙科学・探査プログラムの考え方について

平成 31 年 3 月 14 日  
宇宙政策委員会  
宇宙産業・科学技術基盤部会  
宇宙科学・探査小委員会

## 1. はじめに

宇宙科学・探査は、宇宙の始まりと銀河から惑星に至る構造形成の解明、太陽系と生命の由来の解明等の科学的意義を有するのはもちろん、民間セクターも含めた宇宙開発利用の拡大に関する技術的基盤という意義も有しており、宇宙政策の目標の一つである「産業・科学技術基盤の維持・強化」において大きな役割を占めるものである。

我が国の宇宙科学・探査については、各分野の科学コミュニティーによる検討を経て、ミッション案が国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（以下、「JAXA」という。）宇宙科学研究所（以下、「ISAS」という。）に設けられた宇宙理学委員会及び宇宙工学委員会に提案され、両委員会の検討・選考の結果、ミッションとするのにふさわしいものが ISAS に対して推薦されている。これを ISAS において検討し、最終的には JAXA としてプロジェクト化の判断をしているものの、これまでは、実質的には、宇宙理学委員会、宇宙工学委員会からの推薦を ISAS・JAXA が尊重してプロジェクトを実施してきた。

また、宇宙工学分野では、宇宙へのアクセスと宇宙での活動の自在性の拡大など、高度な新規性が求められる宇宙科学ミッションを可能とする技術の開発研究を、様々な宇宙科学の飛翔機会も活用して実施してきている（これまでの JAXA、科学コミュニティーの活動については添付資料参照）。

このような取り組みを通じ、我が国は、X線や紫外線による太陽・天文分野や磁気圏物理分野で世界を先導しているほか、より広い波長範囲での天文観測や小惑星・月・金星を探査する太陽系ミッションの実現を通じてこれまで宇宙科学・探査で多くの成果を挙げてきている。

個別のプロジェクト自体はそれぞれ優れた成果をあげているものの、これまでの宇宙科学・探査のミッションについては個別分野の科学コミュニティーによるボトムアップの検討が中心であり、プロジェクトの大規模化、新興国も含めた宇宙科学探査に関する競争の激化、予算状況の厳しさ等の諸状況の大きな変化に対応し、我が国全体としての宇宙科学・探査を更に強化していくためには、長期的、戦略的な視点に立った方向付けが必要とされている。

このため、宇宙政策委員会 宇宙産業・科学技術基盤部会 宇宙科学・探査小委員会（以下、「本委員会」という。）においては、政策的視点から、今後、政府や JAXA が宇宙科学・探査に関する個別のプログラムを検討、実施するにあたって参照すべき考え方を示すこととする。

## 2. 宇宙科学・探査プログラムの課題と方向性

### (1) 宇宙科学・探査を取り巻く課題

天文分野、太陽系科学分野ともに、より高精度・高機能の観測が求められた結果、観測衛星・探査機が大規模化し、米国等を除き、従来の戦略のままでは、一国での観測・探査活動が難しくなりつつある状況となっている。

その一方で、小型の観測衛星による独創的な宇宙科学、小型の探査機による宇宙探査も次第に進められるようになってきている。

また、宇宙探査のうち特に月・火星探査については、中国、インド、UAE等の新しいプレイヤーが積極的に参加し、国際的に競争が激化している状況となっている。

こうした急激な状況変化の中、JAXA、科学コミュニティー等宇宙科学・探査関係者の中で我が国の宇宙科学・探査の今後の方向性について長期的、挑戦的視点に立った明確な合意がなされておらず、このため、我が国の宇宙科学・探査全体の将来像を国民に示すことができていない。

さらに、プロジェクト間やプロジェクトと基礎技術開発との相互連携が弱く、開発資金や開発体制が分散化し、効果的・効率的なプロジェクトの推進を妨げてきた側面があるほか、国際協力によるミッションが主流となる中での国際協力への機動的な対応が不十分である。

加えて、将来の宇宙科学・探査を担う多様な人材の育成と確保が戦略的になされておらず、ミッションを担い支える人材が枯渇傾向にある。

### (2) 宇宙科学・探査に関する政策の視点

このように激変する宇宙科学・探査をめぐる課題が指摘される中、個別のプログラムの検討あたっては、科学コミュニティーによるボトムアップの検討を十分に尊重し、科学コミュニティーにおける検討を踏まえたうえで、以下のような宇宙科学・探査に関する政策的視点を考慮する必要がある。

- ① ミッション選定や宇宙工学の研究開発が我が国の宇宙科学・探査全体を俯瞰した形で戦略的、計画的に進められ、チャレンジングな宇宙科学・探査活動を我が国にとって最適なサイズでタイムリーに実施することが可能となること。
- ② 我が国として優位性“強み”を有する技術や今後我が国として獲得すべき技術を明確にすることで、優位性“強み”を有する宇宙・科学探査技術をより伸ばし、かつ新たな技術を創出できること。
- ③ 宇宙科学・探査で鍛えられた人材の活躍の場がアカデミアだけでなく、宇宙開発・宇宙産業へと拡大していくことができること。
- ④ 国際的な連携のみならず、民間企業との協働等を通じた新しい宇宙科学探査のチャレンジが可能となること。

## 3. 我が国の宇宙科学・探査の今後の進め方

我が国としては、今後の宇宙科学・探査においては、  
○我が国が得意とする中型の観測衛星・探査機、及び小型で特徴のあるミッションの創

出によって世界を主導するなど、低コストで簡素化されたプロジェクトの推進など限られた予算で最大限の成果を得る

○海外における大規模プロジェクトの参加にあたっては我が国が世界に対して優位性“強み”を有する技術（例：極低温冷却技術、サンプルリターン技術）によって海外が主導するプロジェクトに参画し、我が国が主体的な役割を担えるようにすることを重視して、以下の通り取り組んでいくこととする。

(1) ブラッシュアップとフロントローディングの導入

プロジェクト創出のための新規技術の発案からプロジェクト開始に必要な技術成熟（実証）までの全てを、基盤費で賄ってきたため、以下のような課題がある。

○新たに構想されたミッションに必須な新技術の萌芽研究、基礎研究資金が十分でなく、ミッション提案に必要なレベルまでの成熟に長期間を費やすことになっている。このため、近年、ミッションの提案・選定・プロジェクト化等のプロジェクト進行プロセスの長期化・遅延という現象が生じている。

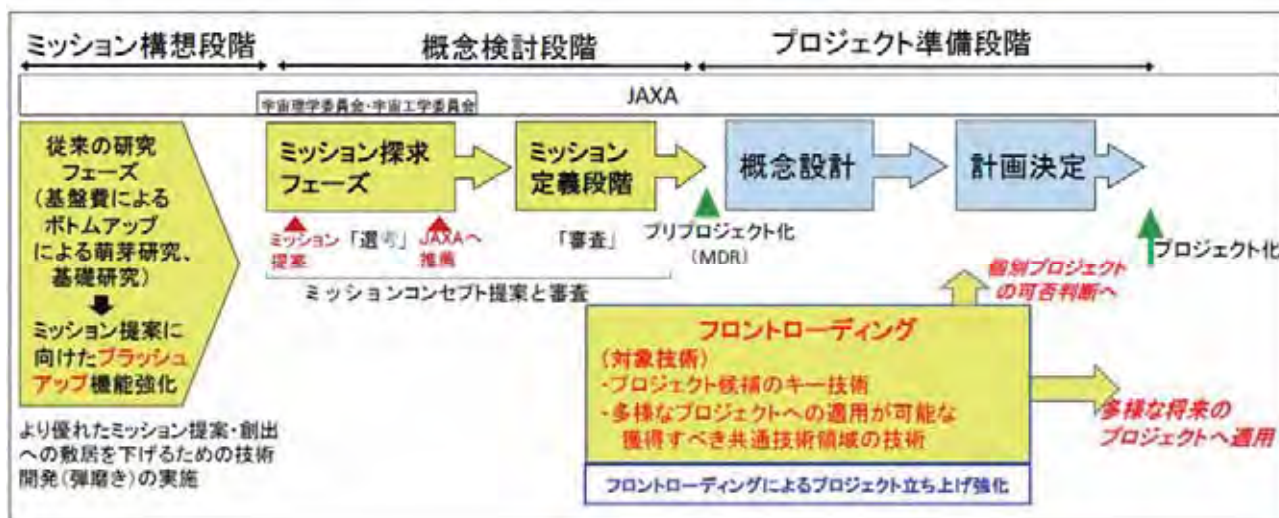
○プロジェクトに関連する一部の技術しか開発できていないため、プロジェクト開始までに行うべき技術実証が必ずしも十分ではない状況でプロジェクト化し、プロジェクト化後に、プロジェクトのキーとなる技術についてフィージビリティを再確認することが必要となるケースもある。このことがプロジェクトに要する開発コストの当初見込みからの大幅な増加やスケジュールの遅延につながる一因となっている。

これらの点を踏まえ、今後の宇宙科学・探査では、円滑なミッションの提案・プロジェクトへの移行や開発コストの削減のため、ミッション提案時に有望技術領域について基盤費によるブラッシュアップを実施する。

さらに、基盤費とは別の資金により、多様なプロジェクトへの適用が可能な、我が国が世界に先駆けて獲得すべき共通技術領域の研究開発（個別のプロジェクトに着目し、プロジェクト移行前にプロジェクト候補のキー技術の事前実証を行う場合を含む）を推進するためのフロントローディングを行う（参考参照）。

(参考) ブラッシュアップとフロントローディング

(出典) 第27回 宇宙科学・探査小委員会資料（当日の議論等を踏まえ一部修正）



注) この図はミッション構想段階からプロジェクト化までの流れの中における「ブラッシュアップ」と「フロントローディング」の位置づけを示したものである。フロントローディングなしにプロジェクト化される場合があることや、観測及び探査によって得られたデータに関する研究も実施されることに留意が必要。

なお、基盤費によるブラッシュアップもフロントローディングも対象とする技術が同じ場合があるが、資金規模・研究体制・研究成果の活用の点で以下のような違いがある。

#### ○ブラッシュアップ

ミッション構想段階において、ボトムアップによる萌芽的研究・基礎的研究として実施し、その成果はミッション提案に活用する。

#### ○フロントローディング

プロジェクト化（上記参考参照）前に、ミッションの実現に必要なとなるキー技術についてその技術を衛星や探査機の機器へ応用・適用する段階において実施し、その成果は具体的な個別プロジェクトや宇宙科学・探査プログラム全体に活用する。

### （2）フロントローディングの進め方

フロントローディング実施に関する基本的な考え方は以下の通りである。

#### ①フロントローディング対象技術の選定要件

（対象技術）

フロントローディングの対象となる技術は以下要件のいずれかに当てはまるものとする。

- i プロジェクト化後の円滑な開発の観点から事前実証が必要とされる個々のプロジェクト候補のキー技術
- ii 我が国として実績を有し、優位性“強み”が見込まれる技術
- iii 波及効果が大きいため我が国として獲得すべき技術
- iv 多くのプロジェクト候補のミッションに共通する技術

（考慮事項）

対象候補となる技術について実際にフロントローディングの対象とするかどうかの選定に際しては以下の点を考慮することとする。

ア：人類の知の創出最大化への貢献等の科学的視点

イ：我が国の科学技術力、産業力強化への貢献 等

#### ②フロントローディングの実施体制

##### ○JAXA 内

フロントローディングについては、ISAS の研究者のみで対応するのではなく、ISAS と研究開発部門等他部門の研究者・技術者が連携して実施することが重要である。

##### ○JAXA と外部機関との連携

JAXA は、フロントローディングにおける技術開発においても、プロジェクト推進の場合と同様、学生・若手研究者の JAXA への受入れや共同研究の推進を通じて、大学、大学共同利用機関法人及び国立研究開発法人その他の研究開発機関（以下、「大学・他の研究開発機関」という。）と連携することが期待される。また、民間企業とも連携することで、民間企業の技術力の積極的な導入及び民間企業の技術力強化に



努めることとする。

### ③フロントローディングの実施期間

フロントローディングの実施期間としては、フロントローディング導入の経緯を踏まえれば一定期間内に行うことが望ましいため、3年程度を想定することとする。

但し、実際の実施期間については、フロントローディングの対象技術の内容を踏まえて対応することとする。

### ④想定される当面のフロントローディング対象技術

JAXA は、宇宙理学委員会及び宇宙工学委員会の意見を聴取するほか、国内外の関係機関等との交流を通じた宇宙科学・探査の動向も勘案しつつ、ミッション創出の意義・価値を踏まえて、複数のミッションを戦略的に実施していく上で特に重要な技術のフロントローディングを重視することとし、下記のようなフロントローディング対象技術領域候補等の中から、FY2020 年以降にフロントローディングに取り組む対象技術領域を選定していくものとする。

#### 【フロントローディング対象技術領域候補例】

「超小型探査機技術領域」：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

「宇宙輸送システム技術領域」：再突入帰還飛行技術

「月惑星探査機技術領域」：深宇宙航行技術（ストラブルエンジン含む）

「天体表面活動技術領域」：サンプルリターンカプセル技術、ローバー技術

「宇宙用冷凍機技術領域」：100K-20K 冷凍機とその大型化、1K-20K 冷凍機とその高性能化

## (3) プロジェクト推進方策

### ①今後のプロジェクト化に向けた取組

現在、宇宙理学委員会及び宇宙工学委員会においては、添付資料に示した検討中のミッションがあるほか、別途、両委員会の下に設置されたワーキンググループ及びリサーチグループでミッション提案を目指した検討が行われているところである。

JAXA は、フロントローディングに選定される共通技術領域の検討結果も踏まえて、主として宇宙理学委員会、宇宙工学委員会からの推薦を尊重しつつ、必要に応じ宇宙科学・探査をめぐる国内外の動向を踏まえた自らの判断により、今後プロジェクトとして実施していくミッション候補を検討し、その検討結果を本委員会に報告するものとする。

### ②プロジェクト推進方策

プロジェクト化以降については、JAXA を中心に以下の通り取り組んでいくことが期待される。

#### (JAXA の取組)

- ISAS には各科学コミュニティーで培われた科学・技術を実際の宇宙科学・探査プロジェクトに結実させることという重要な役割が課されている。ISAS においては、人材育成も含め、大学共同利用システムとしての機能の一層の充実・活用について検討することが期待される。
- 並行して、大学からの若手研究者の ISAS を中心とする JAXA への受入れや人材育成も見据えた大学との共同研究を推進するほか、プロジェクト実施においても、国立天文台等の研究開発機関及び民間企業との共同研究等の連携を一層推進する。
- このほか、従来の戦略的中型、公募型小型等の資金規模については、フロントローディングの導入を踏まえ JAXA において見直し案を検討することが必要である。

#### (大学・他の研究開発機関との役割分担)

- 超小型化技術等技術の進展も踏まえ、従来は JAXA が主体として行っていた宇宙科学・探査を将来は大学・他の研究開発機関が主体的に行うことも想定される。このため、現段階から、宇宙科学・探査における JAXA と大学・他の研究開発機関の適切な役割分担について検討することも重要である。

#### (民間企業の探査活動との関係)

- 近年、民間企業が月の探査計画を発表するなど民間企業による探査活動が活発化してきている。JAXA 及び大学・他の研究開発機関は、宇宙科学・探査で培った知見を可能な範囲で民間企業の探査活動にも提供することを検討することが求められる。
- 同時に、JAXA 及び大学・他の研究開発機関は、民間企業の宇宙探査の成果を活用していくことにも留意すべきである。

#### (海外主導ミッションへの対応)

- 今後の宇宙科学・探査活動は、我が国主導ミッションと海外主導ミッションに相互に参画していくことが中心となることが想定される。JAXA はフロントローディングも活用して自らの強みを一層強化し、併せて、各国から期待される役割を誠実に果たすことで国際的な評価を一層高め、海外主導ミッションへの参画を戦略的に実施していくことが重要である。
- JAXA は国際公募や国際宇宙探査の枠組みのプロジェクトについても科学コミュニティーとも連携して対応し、主体的な科学研究の機会を確保・活用していくことが望まれる。

#### ③太陽系科学探査プログラムとの関係

本委員会は別途「太陽系科学探査プログラムについて」(平成 30 年 11 月 5 日 宇宙科学・探査委員会)を取りまとめたところである。このため、当面の月・火星探査については、同プログラムに基づき実施するものとするが、将来の月・火星を対象とし

たミッションについては、国際動向や具体的提案を踏まえ、JAXA において対応を検討していくこととする。

#### 4. 留意事項

##### (1) 政府および JAXA の役割

政府においては、我が国の宇宙科学・探査の主要なプレイヤーである JAXA をはじめとする関係機関や科学コミュニティと連携し、本考え方の下で今後のプロジェクトを推進されたい。

また、JAXA においては、JAXA が現在作業中の「宇宙科学・探査ロードマップ」改訂において本考え方を反映した検討がなされることを期待する。

さらに、JAXA においても、宇宙理学委員会及び宇宙工学委員会を通じた科学コミュニティから提案されたミッション候補（直接科学コミュニティから提案を受ける場合も含む）や外国機関から提案されたミッション候補を最終的に選定するにあたっては、宇宙基本計画工程表や自らの経営資源等を参照することはもちろん、宇宙科学・探査政策の実施機関として、本考え方に基づいて長期的、戦略的な視点で判断することを期待する。

##### (2) 研究者の育成

フロントローディング時やプロジェクト推進時の JAXA と大学・他の研究開発機関等との連携は、学生、若手研究者が宇宙科学・探査プロジェクトへ参加する機会を得ることにつながり、次代の人材の育成に貢献しているところである。引き続き JAXA はじめ関係機関は、研究者の育成に積極的に取り組んでいくことが望まれる。

(添付資料)

## 我が国の宇宙科学・探査の取組状況

出典：JAXA 資料

### 1. JAXA における取組状況

#### (1) これまでの主な実績

JAXA 宇宙科学科学研究所が、科学コミュニティの検討を踏まえて以下の取組を実施。

#### ○天文分野

科学衛星/探査機	目的（意義・価値）	査読付き論文数 (2019年1月現在)	主な成果
電波天文衛星「はるか」 (MUSES-B)	地上における電波望遠鏡と共同して軌道上で電波観測を行う（VSOP：VLBI Space Observatory Program）。また、大型アンテナの展開技術や衛星と地上局の原子時計の比較のための安定度の高いデータ送信技術、精密な姿勢制御など、各種の工学的実証も行う。 ※VLBI：Very Long Baseline Interferometer	累計：297 編	<b>【観測成果】</b> 世界各国の電波望遠鏡群と協同観測することにより、口径 3 万 km（地球直径の約 3 倍）もの仮想の電波望遠鏡の一部として天体の観測を行った。 これまでに、キューサーPKS0637-752 の電波と X 線のジェットを 1 万分の 2 秒の解像度で観測、M87 銀河のジェットを 1000 分の 1 秒角で観測することなどに成功した。 スペース VLBI を世界最初に実現し、観測をすすめた国際 VSOP チームは、IAA（国際宇宙航行アカデミー：International Academy of Astronautics）の 2005 年 Laurel 賞を受賞した。
X 線天文衛星「すざく」 (ASTRO-E II)	低バックグラウンドを生かした世界最高感度の広帯域 X 線分光により、銀河団高温ガス観測等により宇宙の構造進化と化学進化を明らかにし、また、ブラックホール近傍の物質状態を探ることを目的とする。	累計：1012 編	・「すざく」を用いて、おとめ座銀河団の長時間観測を実施した。このデータ解析により、鉄、マグネシウム、ケイ素、硫黄の元素量をおとめ座銀河団の外縁まで測定することに成功した。軽元素の分布が銀河団の外縁部まで一様であることがわかったのは今回が初めてである。（Astrophysical Journal



			<p>Letters 平成 27(2015)年 10 月/JAXA プレスリリース 平成 27(2015)年 10 月 20 日)</p> <p>・東京大学大学院と理化学研究所の研究グループが、ASTRO-E II を用いて最強な磁場を持つある中性子星 (マグネター) を観測したところ、磁力でわずかに変形している兆候を発見。これは中性子星の強い磁場のうち、内部に隠れた部分の強度を推定した初めての成果であり、中性子星で起きる極限物理現象を理解する上で大きな進展である。(Physical Review Letters 平成 26 年 4 月/東京大学プレスリリース 平成 26(2014)年 6 月 2 日) 約 10 年にわたって観測運用を実施。</p> <p>・平成 27(2015)年 6 月以降、衛星との通信が確立できなくなったことから、同年 8 月に科学観測を終了。科学観測の終了までに、国際公募観測を約 1800 件実施した。</p>
<p>赤外線天文衛星「あかり」 (ASTRO-F)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 銀河の進化を探るため、高感度の赤外線観測によって原始銀河を探索する</li> <li>・ 星の誕生の謎を調べるため、様々な星生成領域を赤外線で観測する</li> <li>・ 星の進化や宇宙の中での物質の循環を調べる</li> <li>・ 太陽系外の原始惑星系円盤からの放射を探索する</li> <li>・ 新彗星を発見する</li> </ul>	<p>累計 : 1789 編</p>	<p>2006 年 5 月には、これまでの赤外線画像よりはるかに高い解像度での観測に成功し、星が生まれている現場を正確にとらえた初観測画像など、最初の成果を発表した。2007 年 3 月には、「あかり」の観測から得られた初めての科学的成果が、日本天文学会春季年会で発表された。</p> <p>2007 年 10 月、日本天文学会欧文報告誌 (PASJ) の「あかり」初期成果特集号が発行された。</p>

太陽系科学分野

科学衛星/探査機	目的（意義・価値）	査読付き論文数 (2019年1月現在)	主な成果
磁気圏尾部観測衛星 (GEOTAIL)	磁気圏尾部ではオーロラの起源となる粒子加速がおきている。そのメカニズムを次の視点から明らかにする。磁場のエネルギーがどのように粒子のエネルギーに変換されるのか？多様な波動はそれにどう関わっているのか？プラズマはどこから輸送されてくるのか？	累計：1231 編	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地球磁気圏尾部における20年間の観測データを用いてリコネクション中心部での粒子ダイナミクスの解明と磁気中性線の長さの推定に成功した。これはGEOTAILの長期にわたる観測データを活かした貴重な成果である。（Journal of Geophysical Research 平成27(2015)年10月</li> <li>・THEMIS-GEOTAIL共同観測によって、磁気圏現象のエネルギー源となる磁気圏尾部における電磁エネルギーの転換領域を同定した。（Science 平成25(2013)年9月）</li> <li>・FY29にはMMS衛星との共同観測によって磁気圏尾部で磁気リコネクションに関わる同時観測データを取得した他、あらせ衛星との共同観測を開始した。</li> </ul>
小惑星探査機「はやぶさ」	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工学技術実証 将来の本格的なサンプルリターン探査に必須で鍵となる技術を実証)</li> <li>・サンプルリターン技術の確立</li> <li>・4つの重要技術の実証（イオンエンジンを主推進機関として用い、惑星間を航行すること／光学情報を用いた自律的な航法と誘導で、接近・着陸すること／微小重力下の天体表面の標本を採取すること）</li> </ul>	累計：68 編	2010年6月13日、小惑星「イトカワ」の表面物質搭載カプセルを地球に持ち帰ることに成功した。

<p>太陽観測衛星「ひので」 (SOLAR-B)</p>	<p>太陽表面や太陽コロナで起こるさまざまな爆発現象を観測する。太陽大気中で発生する磁気エネルギーの変動現象を捉え、太陽の外層大気であるコロナの成因、および光球での磁気構造の変動とコロナでのダイナミックな現象の関係などの宇宙プラズマ物理学の基本的諸問題を解明する。</p>	<p>累計：1250 編</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「ひので」と米国 IRIS 衛星の連携観測から、彩層プロミネンス構造の 3 次元的運動を初めて可視化。数値シミュレーションとの比較により、太陽コロナ構造で起きたエネルギー熱化の現場を初めてとらえた。(The Astrophysical Journal 平成 27(2015)年 8 月)</li> <li>・ IRIS 衛星との連携や太陽極大期のフレア観測研究など解析研究が活発に行われており、前年度並みの査読論文の発表を見込んでいる。なお、平成 28(2016)年度に理学委員会評価が実施され、4 か年(～平成 33(2021)年 3 月)の運用延長が認められた。</li> </ul>
<p>月周回衛星「かぐや」</p>	<p>月の起源と進化の解明および月の利用可能性調査のためのデータを取得するとともに、月周回軌道への投入、月周回中の姿勢軌道制御技術、熱制御技術等の開発を行う。</p>	<p>累計：130 編</p>	<p>月の起源と進化を解明するための科学データを取得し、月の利用可能性を調査するとともに、月周回軌道への投入や、月周回中の姿勢制御技術、熱制御技術などの開発を行った。</p>
<p>金星探査機「あかつき」 (PLANET-C)</p>	<p>金星の気候は地球と大きく異なる。金星の高速大気循環は地球気象学で用いられる数値計算では維持できない。これが起こる機構を観測から解明することにより新たな気象学を構築し、地球の気象をもより深く理解する事を目指す。</p>	<p>累計：53 編</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・平成 27(2015)年 12 月 7 日に姿勢制御用エンジン噴射により、金星周回軌道への投入に成功。</li> <li>・全搭載機器(5 台のカメラおよび電波観測用発振器)が正常に動作し、定常科学観測に移行しデータを取得。(なお、中間赤外カメラ 2 台について、平成 28(2016)年 12 月に不調が生じ、科学観測を休止した。)</li> <li>・日本初の惑星周回機として周回軌道における探査機運用の経験・ノウハウを蓄積し、将来ミッションへの重要な資産を形成した。</li> <li>・平成 27(2015)年 12 月、中間赤外カメラ(LIR)により金星表面にとどまる弓状の模様を発見(南北方向に約 10,000km)。研究</li> </ul>

			<p>により、成因を解明。(Nature Geoscience 平成 29(2017)年 1 月 17 日、JAXA プレスリリース 平成 29(2017)年 1 月 17 日)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平成 29(2017)年 8 月、2mm カメラ(IR2)により高度 45-60km の中・下層雲領域の流れが赤道付近で速いジェット状になる時期があることを発見。(Nature Geoscience 平成 29(2017)年 8 月 28 日、JAXA、北海道大学共同プレスリリース 平成 29(2017)年 8 月 29 日)</li> </ul>
<p>惑星分光観測衛星「ひさき」(SPRINT-A)</p>	<p>惑星周辺の宇宙環境を支配する惑星上層大気・磁気圏の動力学を太陽風との相互作用の観点から大局的に明らかにすることを目的とする。これらの科学目的に向けて金星・木星などの惑星の継続した極端紫外線分光観測を実施する。</p>	<p>累計：35 編</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・平成 25(2013)年 9 月に打上げを実施。</li> <li>・世界的にユニークな波長域の極端紫外線で木星、金星等の分光観測データを取得し、公開してきた。</li> <li>・海外衛星との木星協調観測を実施し、木星研究を進めた；X 線観測衛星 (Chandra、XMM-Newton、すざく)、米国木星探査機 (JUNO)、ハッブル宇宙望遠鏡 (HST)</li> <li>・高い波長分解能で木星周辺イオプラズマトーラスを分光観測し、木星内部磁気圏 (強力な木星磁場に取り囲まれた領域) において、高温の電子が木星に向かって流れているという証拠を世界で初めて捉えた。従来の学説を裏付ける重要な観測的証拠となった。(米国科学誌「Science」平成 26(2014)年 9 月 26 日 / JAXA プレスリリース)</li> <li>・JUNO、HST との協調観測によって、太陽風変動にともなう木星オーロラの発達過程において、太陽風からのエネルギー供給から木星オーロラ発光までのプロセスを観測的に明らかにした。(米国科学誌「Geophysical Research Letters」の JUNO 特集号” Early Results: Juno at Jupiter” に掲載)</li> </ul>



<p>ジオスペース探査衛星 「あらせ」 (ERG)</p>	<p>地球磁気圏にはヴァン・アレン帯と呼ばれる、高エネルギー粒子が充満する領域が存在する。ヴァン・アレン帯内で広エネルギー帯域の電子や高周波数帯域の電磁場変動等を観測することで、高エネルギー電子の生成過程や宇宙嵐等に伴うヴァン・アレン帯の変動の仕組みを明らかにする。</p>	<p>累計：131 編</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平成 28(2016)年 12 月にイプシロンロケットにより打上げを実施。</li> <li>・観測機器のチェックアウト等の初期運用を行い、定常運用フェーズに移行した。</li> <li>・定常観測運用を実施し、放射線帯を中心とした地球周辺の宇宙空間の電磁場・プラズマ変動を観測した。</li> <li>・地上観測網との重点共同観測および米国 Van Allen Probes 衛星との協調観測を実施した。</li> <li>・取得した観測データについて、各機器チームによる較正作業を行うとともに、宇宙科学連携拠点 ERG サイエンスセンターにて世界の研究者への公開準備を行った。</li> <li>・12 月 18 日にプロジェクト終了審査（経営審査）を受審し、プロジェクトの終了が妥当と判断された。プロジェクトチームは 1 月末で解散となり、2 月から後期運用チームへ移行する。</li> </ul>
-----------------------------------	---	--

## (2) 現在のミッションの取組状況

JAXA は科学コミュニティから提案されるミッションに関する宇宙理学委員会及び宇宙工学委員会の審議を踏まえ、ミッションのプロジェクト化を検討している。

### ①天文分野

#### 【プロジェクト化されたもの】

##### ○X線分光撮像衛星 (XRISM)

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。

#### 【現在検討中：戦略型中型】

##### ○LiteBIRD (宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星)

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。

##### ○SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology & Astrophysics)

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し、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。

#### 【現在検討中：公募型小型】

##### ○小型赤外線位置天文衛星 (JASMINE)

我々の銀河系の中心部領域を近赤外線で見守る位置天文学衛星。

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 (バルジ、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。

○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。

○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明らかにするとともに、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。

【現在検討中：小規模プロジェクト（戦略的海外共同計画へ参画）】

○OWFIRST (NASA)

口径 2.4m 望遠鏡を用いた広視野近赤外線観測で以下を進める。

- ・宇宙の暗黒エネルギーの解明
- ・重力マイクロレンズ法による太陽系外惑星観測
- ・広視野サーベイ天文学

技術実証として、太陽系外惑星直接観測のためのコロナグラフ装置も搭載。

(日本の貢献)

コロナグラフ観測装置への偏光観測機能供給（原始惑星系円盤観測の充実、将来の系外惑星観測に重要な偏光波面誤差制御による高コントラスト観測機能実証）などでの貢献

○OL-2 大型 X 線観測衛星計画 (ATHENA) (ESA)

ASTRO-H 衛星/ XARM 衛星の非分散型（カロリメータ）軟 X 線分光器の発展である高感度・高エネルギー分解能観測装置 X-IFU と広視野 X 線観測装置 WFI を搭載予定。

（日本の貢献）

X-IFU 冷却システムの供給で、現在 CNES と技術実証のための冷凍機システム試験を実施中。

## ②太陽系科学分野

【プロジェクト化されたもの（打ち上げられ、実際に探査中のものを含む）】

### ○はやぶさ 2

C型小惑星リュウグウの探査・サンプルリターンを実施し、原始太陽系における鉱物・水・有機物の相互作用を解明することで、地球・海・生命の起源と進化に迫るとともに、「はやぶさ」で実証した深宇宙往復探査技術を維持・発展させ、本分野で世界をけん引する。

### ○国際水星探査計画「ベピコロombo（BepiColombo）」

JAXA 担当の水星磁気圏探査機「みお」（MMO: Mercury Magnetospheric Orbiter）と ESA（欧州宇宙機関）担当の水星表面探査機（MPO: Mercury Planetary Orbiter）の 2 つの周回探査機で水星の総合的な観測を行う日欧協力の大型ミッション。

「みお」は水星周辺の磁場の高精度計測、水星磁場圏の構造・運動の観測等を行い、惑星磁場の成因、惑星磁場圏の普遍性・特異性の解明等を実施する。

### ○小型月着陸探査（SLIM）

小型探査機による月への高精度着陸技術の実証を目指すとともに、大幅に軽量の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。

### ○火星衛星サンプルリターン計画（MMX）

火星の二つの衛星（フォボス・ダイモス）の探査、フォボ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。

#### ○深宇宙探査技術実証ミッション（DESTINY<sup>+</sup>）

ふたご座流星群の母天体である小惑星 Phaethon のフライバイ観測を行うとともに、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。

また、小型深宇宙探査機技術（電気推進による宇宙航行技術の発展、フライバイ探査技術の獲得）により小天体探査の機会を広げる。

#### ○木星氷衛星探査計画（JUICE） 戦略的海外共同計画（ESA）

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。

（日本の貢献）

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ることで貢献。

#### 【現在検討中：戦略型中型】

##### ○ソーラー電力セイル探査機による外惑星領域探査の実証（OKEANOS）

ソーラー電力セイル探査機による外惑星領域探査を実証することを目的として、木星トロヤ群小惑星へ航行・滞在し、科学観測（リモート観測、その場分析）などを行う。はやぶさで実証した小天体サンプルリターン技術を発展させ外惑星領域に拡張するもので、木星圏・土星圏での直接探査を可能にする。

#### 【現在検討中：小規模プロジェクト（戦略的海外共同計画へ参画）】

○彗星サンプルリターン計画（CAESAR）（NASA）

チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星（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もので、国際共同チーム（NASA-GSFC、NASA-JSC、OrbitalATK、Honeybee、JAXAが協力）で進めている。

（日本の貢献）

主要サブシステムの一つであるサンプルリターンカプセルとその周辺システムの開発で貢献するとともに、「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いる。

【現在検討中：国際宇宙探査】

○月着陸探査（月極域の探査。インド等との国際協力）

月極域における水の存在量や資源としての利用可能性の確認を主目的とし、さらに、比較的穏やかな環境で、持続的な探査が可能かつ拠点構築にも有利な月極域地域の探査を実施。

この探査の機会を活用して、重力天体表面探査技術の確立を目指すとともに、機会を活用して、科学的成果創出にも貢献。

○Gateway（月近傍有人拠点）（米国等との国際協力）

現在我が国も参画を検討中の国際協力、民間協力により建設される Gateway（月の周回軌道に設置される有人近傍拠点）を活用して、月広域・回収探査（後）を実施するほか、Gatewayを場とした微小重力科学、生態工学科学等の科学研究や天文観測を実施（P）。

○月広域・回収探査（HERACLES）（ESA等との国際協力）

月面の複数の領域へ移動し、広範囲から大量のサンプルを詳細分析のために地球に持ち帰る技術を確立。

※上記3つの国際宇宙探査プロジェクトについては、科学コミュニティーとしても、同探査の機会を利用した科学的課題の探求について主体的に検討。

また、MMX以降の火星探査についても、国際宇宙探査における日本の火星科学探査や火星探査を先導する工学・確立すべき技

術を検討。

③国際公募（米国のスペース・ローンチ・システム（SLS）1号機に相乗りで打ち上げられる探査機）に採択された以下のプロジェクトも実施。

OOMOTENASHI（超小型探査機による月着陸、地球から月までの軌道上の放射線環境計測）

OEQUULEUS（超小型深宇宙探査機による太陽－地球－月圏における起草制御技術の実証）

### （3）ミッション実施に向けた宇宙工学分野の取組

JAXA 宇宙科学絵kn急所では、多面的かつ先進的な科学観測太陽系探査活動のための宇宙へのアクセスと宇宙でのモビリティの確保のため、様々な宇宙科学の飛翔機会を活用して、技術開発（宇宙工学研究）を実施  
現在、我が国で開発すべき技術候補としては以下のものが検討されている。

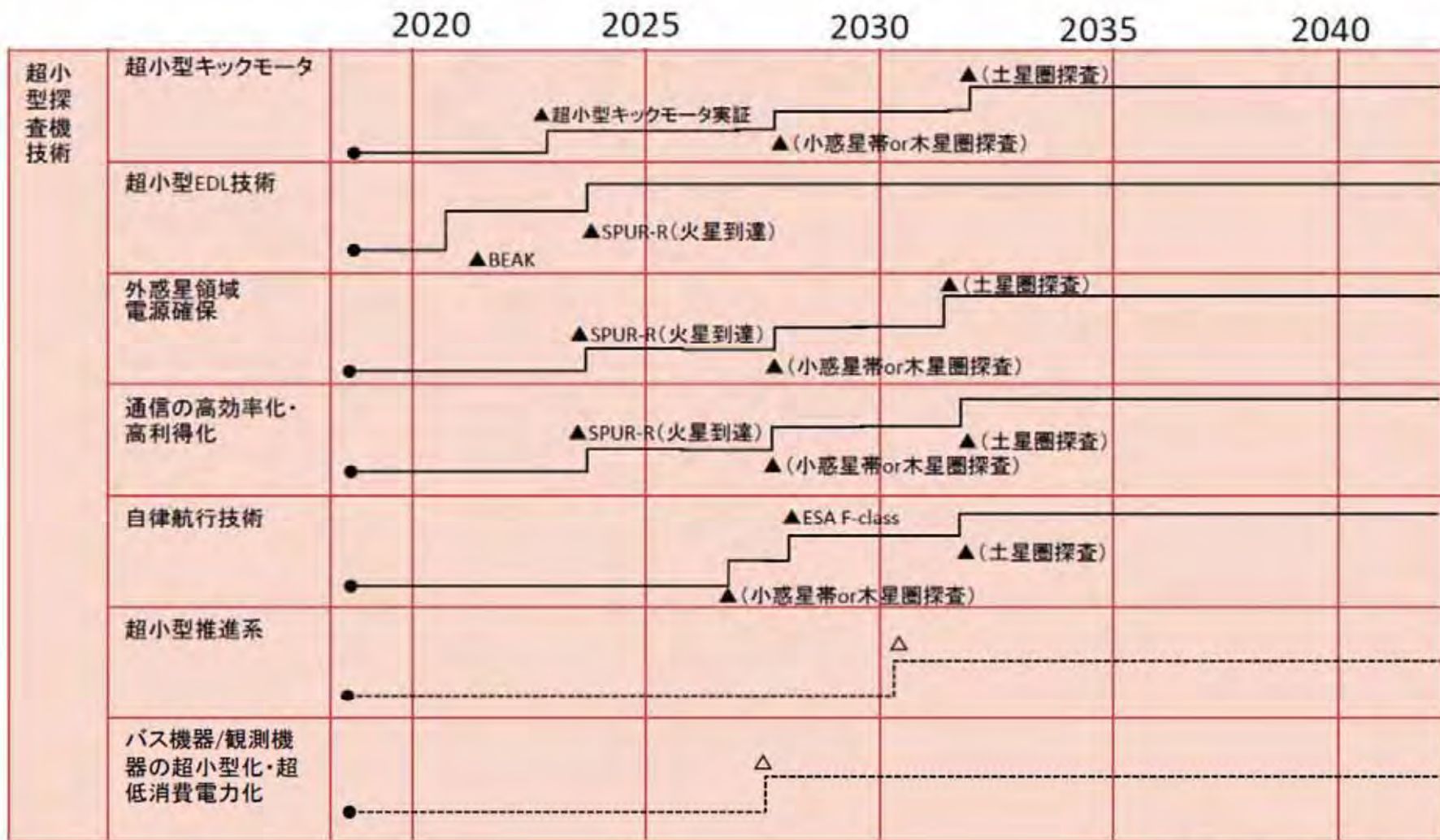
#### ①我が国として実績を有し、優位性“強み”が見込まれる技術

- ・小天体着陸技術/サンプルリターンカプセル技術
- ・展開型柔軟エアロシェル（バリユート）による大気圏突入技術
- ・検出器を極低温に冷却する冷凍機技術
- ・画像処理解析等による航法誘導技術
- ・高放射線環境下での観測技術

#### ②波及効果が大きいため我が国として獲得すべき技術

- ・探査機の小型化技術（極低温姿勢制御用推進系技術、安定性を確保した半永久的発電技術、極小待機電力システム技術、コンパクトアビオ）
- ・産業界等への技術移転へ貢献する技術（発展型観測ロケット）
- ・国際宇宙探査へ貢献する技術（重力天体着陸技術）

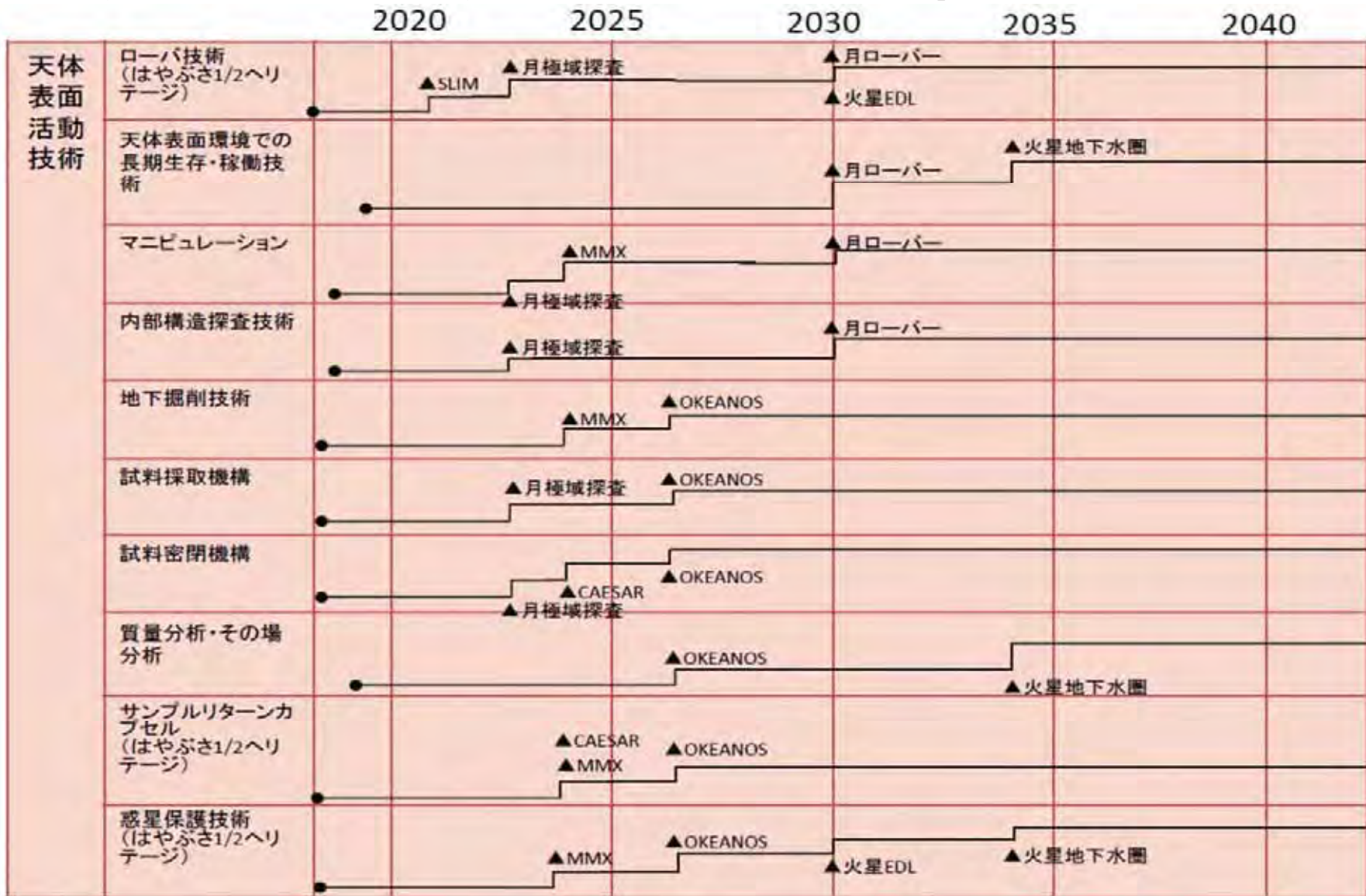
(参考) 有望技術 (超小型探査機技術) が適用される想定ミッション (イメージ)  
 出典: 第 28 回宇宙科学・探査小委員会資料「今後の宇宙科学・探査の進め方」



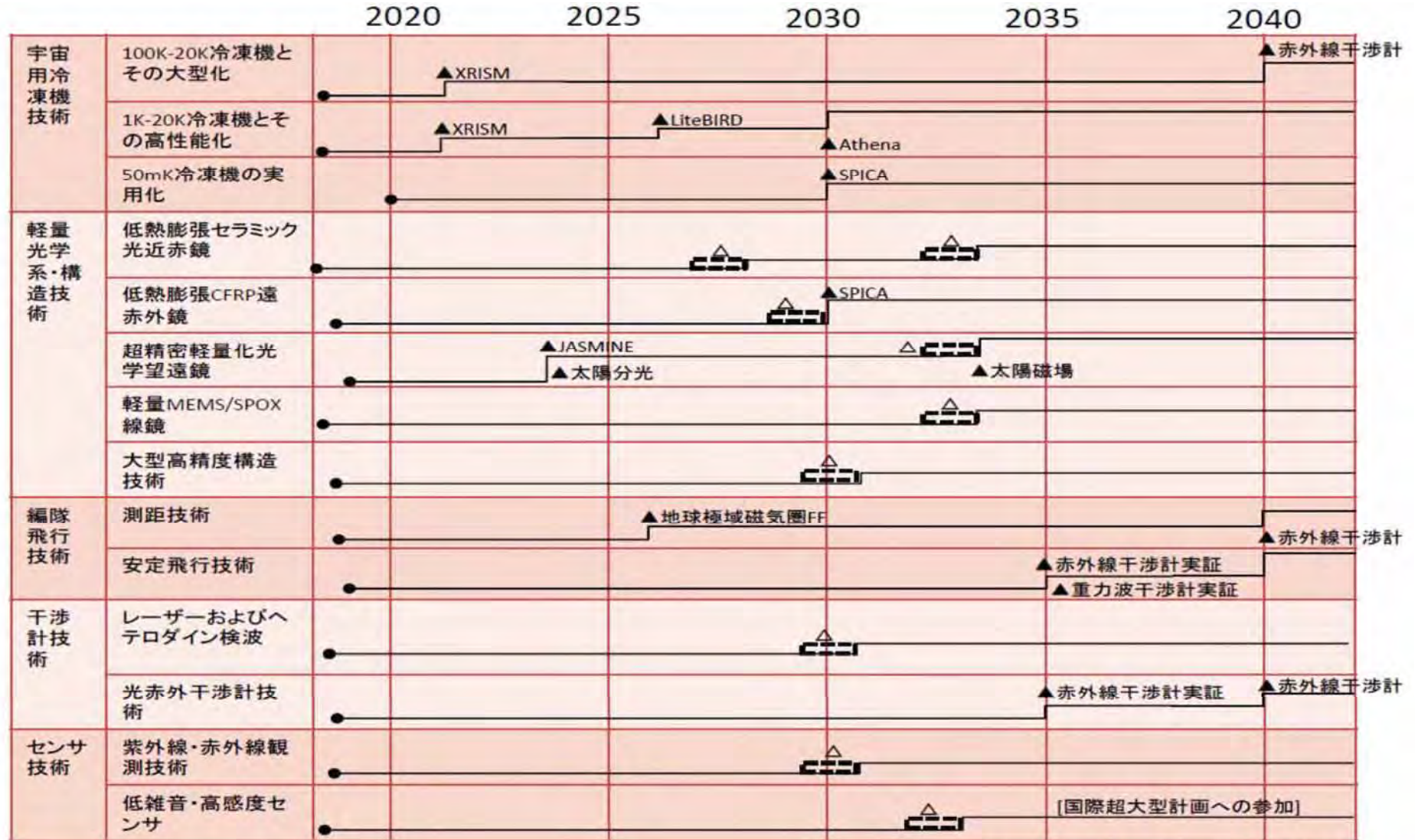
△超小型衛星/探査機による高頻度な実験



(参考) 有望技術 (天体表面活動技術) が適用される想定ミッション (イメージ)  
 出典: 第 28 回宇宙科学・探査小委員会資料「今後の宇宙科学・探査の進め方」



(参考) 有望技術 (宇宙用冷凍機技術、軽量光学系・構造技術、編隊飛行技術、干渉計技術、センサ技術) が適用される想定ミッション (イメージ)  
 出典: 第28回宇宙科学・探査小委員会資料「今後の宇宙科学・探査の進め方」



△超小型衛星/探査機による高頻度な実験



(参考) 有望技術 (月惑星探査技術) が適用される想定ミッション (イメージ)  
 出典: 第 28 回宇宙科学・探査小委員会資料「今後の宇宙科学・探査の進め方」



△超小型衛星/探査機による高頻度な実験

(参考) 有望技術 (宇宙輸送システム技術) が適用される想定ミッション (イメージ)  
 出典: 第 28 回宇宙科学・探査小委員会資料「今後の宇宙科学・探査の進め方」





(参考) 有望技術 (宇宙輸送システム技術) が適用される想定ミッション (イメージ)  
 出典: 第28回宇宙科学・探査小委員会資料「今後の宇宙科学・探査の進め方」



## 2. 科学コミュニティにおける検討状況

### (1) 天文学・宇宙科学コミュニティにおけるスペース科学ミッションの取り組みの状況

天文学・宇宙科学では各分野に研究者のコミュニティや組織があり、それぞれの分野で主にボトムアップ議論に基づきロードマップが作られている。

以下の資料は日本学術会議・「学術の大型研究計画-マスタープラン 2020-天文学・宇宙物理学の大型計画」意思表明書(LOI)より総経費 10 億円以上の計画を抜粋したもの。

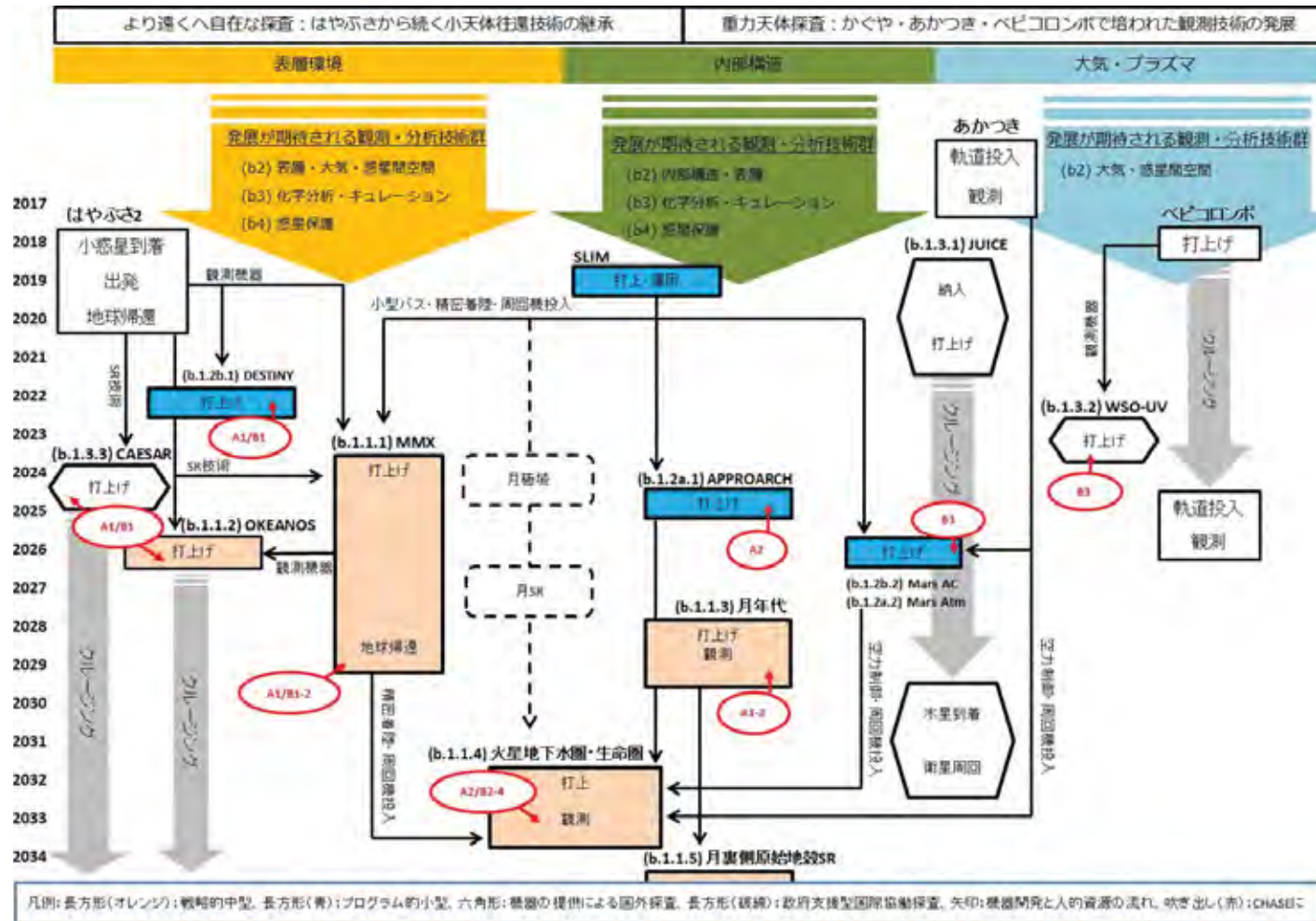
分野・コミュニティ	主なミッション	計画状況	総経費	打ち上げ時期	備考
光・赤外線	SPICA	提案中	300 億円(日本負担分)	2020 年代	
	小型 JASMINE	提案中	150 億円	2024 年度	
	WFIRST への参加	提案中	14.1 億円(日本負担分)	2025 年	
電波	LiteBIRD	提案中	300 億円	2027 年	
高エネルギー	XRISM	実施中	241 億円	2020 年度	
	FORCE	提案中	150 億円	2025 年度	
	Athena への参加	実施中	56 億円(日本負担分)	2030 年台初頭	
	HiZ-GUNDAM	提案中	140 億円	2024 年度	分野横断(光・赤外線分野と共同)
太陽	Solar-C_EUVST	実施中	152 億円	2024 年度	
	PhoENiX	提案中	150 億円	2025 年頃	分野横断(高エネルギー分野と共同)
重力波	B-DECIGO	実施中	610 億円	2028 年	

出典：第 26 回宇宙科学・探査小委員会資料「天文学・宇宙科学コミュニティにおける検討状況」



(2) 日本惑星科学会における取組状況

日本惑星科学会による、月・惑星・小惑星探査ロードマップ 2017



出典：第26回宇宙科学・探査小委員会資料「惑星科学分野コミュニティにおける将来構想検討状況」

日本惑星科学会は、2017年10月から翌1月にかけて、月・惑星・小惑星探査のロードマップの見直し(改訂)作業を行った。

作業は、2015年1月に惑星科学会長名で宇宙科学研究所に提出した「惑星科学/太陽系科学研究領域の目標・戦略・工程表」をベースとして、この文書を改訂・アップデートする形で、およそ40名の自薦・他薦の会員の参加によって行われた。その後会員からの意見公募を経て、日本惑星科学会のウェブサイトで公開されている。

[https://www.wakusei.jp/~RFI/kaitei2017/for\\_all/](https://www.wakusei.jp/~RFI/kaitei2017/for_all/)

この文書には惑星探査を取り巻く現状、現在または近い将来申請するミッション、開発中の装置、惑星科学会が考える惑星探査のロードマップが含まれている。左に、我々が提案する月・惑星・小惑星探査のロードマップを示す。

このロードマップは日本惑星科学会員の貢献、コミュニティからの支持を鑑み、以下を方針として定められた

- ・2030年代の火星地下水圏・生命圏探査  
火星着陸探査を今後20年のマイルストーンとする
- ・2020年代の戦略的中型ミッションとして以下を据える
  - ✓ 火星衛星探査 (MMX)
  - ✓ OKEANOS (ソーラー電力セルによる外惑星領域探査)
  - ✓ 月面その場観測による KREEP 物質・年代測定
- ・2020年代のプログラムの小型探査として以下を据える
  - ✓ SLIM (月ピンポイント着陸探査)
  - ✓ DESTINY+ (マルチフライバイによる地球接近小天体探査)
  - ✓ APPROACH (月ペネトレータ探査)
  - ✓ 火星エアロキャプチャオービタ

文書にはこの他の探査コンセプト、探査機に紐づけられない装置開発紹介している

(3) 宇宙惑星科学分野 太陽地球惑星圏研究領域の工程表 (©SGEPSS 分科会, ISAS RG)



出典：第26回宇宙科学・探査小委員会資料「太陽地球系家学（宇宙空間物理学）コミュニティの衛星ミッション検討状況」