

宇宙科学・探査プロジェクトの 状況について

令和2年(2020年)8月19日

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所

國中 均

目次

I. 新たな宇宙科学・探査プロジェクトの検討

1. 国際協力

2. ミッションカテゴリ設計

II. 現在の進捗状況

1. 具体的な戦略的海外共同計画の推進

Roman、Hera、WSO-UV

2. フロントローディング

I. 新たな宇宙科学・ 探査プロジェクトの検討

1. 国際協力

(1) JAXA主導ミッション

- 戦略的中型においては「世界を先導して第一線の成果を獲得する」観点、公募型小型においては「限られたリソースでタイムリーな成果を獲得する」観点から、海外からの貢献は重視されてきた。
- SPICA、LiteBIRD、小型JASMINEへのUSからの貢献が期待されていたが、**NASAの海外主導ミッションへの参加は、MoO公募は対象外とする方針**が出され、それに伴いNASA主催の公募（天文分野）において3件全て落選。
- この背景は、NASAにおける選定が**機関間の事前調整による方式へ変更**された（詳細調整中）。
- これは天文分野に限らず、惑星探査、太陽圏でも同様。
- **今後、NASAとは、どのタイミングで、どのような情報を交換し、どのような議論に基づいて、NASAとの意識決定に至るのか？**
- 日本国内におけるコミュニティとの事前調整のメカニズムも必須。

→ISASとして理工学委員会を含めてタスクフォースを設置して検討する。
年内に整理して報告する。

(2) 戦略的海外共同計画

- 主催海外機関（あるいは計画提案者）からの要請に基づき、日本が強みを有する技術を提供することで、国際的に有力な計画に参加し、日本のコミュニティに成果創出の機会をもたらす枠組み。
- 小規模投資で、海外との研究ネットワーク構築という側面も含めて、日本の幅広い研究者コミュニティへのリターンをもたらす。
- (1) で日本の強みを示して存在感を高め、それにより、効果的な参加機会を獲得するというサイクルを回す。「技術のフロントローディング」とともに、「世界の中で日本が果たすべき役割は何か」という戦略的考察において、重要な位置にある。
- 本枠組みを拡大し、「公募型小型計画規模の予算をこの枠組みに入れるべき」、「日本では主導できない大規模計画に本格参加する道筋を拓くべきである」、という議論も天文コミュニティから出されている。

→ISASとして理工学委員会を含めてタスクフォースを設置して検討する。
年内に整理して報告する。

JAXA主導ミッション、戦略的海外共同計画は、それぞれの分野において、中型・小型・海外参加枠の使い勝手は異なり、今後は、それを踏まえた事前調整をする必要性が出てくるであろう。

2. ミッションカテゴリ設計

- ISASのプロジェクトに共通的なコスト超過問題が継続
 - これまでに、**宇宙科学プログラムの運営に関する改善策を実施**してきた。
 - ・ ミッション公募からプロジェクト化に至るプロセスの充実化
 - ・ コストキャップの明確化
 - ・ 宇宙科学ミッションの資金超過分析
 - ・ 衛星コスト分析・コストモデル分析
 - さらに今後のミッション提案をよりスムーズにするための検討が必要であり、2020年2月より**理工学委員会で議論**を続けてきた。

複数のプロジェクトのコスト分析から、衛星バスの費用が増加し、ミッション部にかかる予算が十分に確保できなくなり、資金面での海外協力が必要となっていることがわかった。現在立ち上げ中の3ミッションは、NASA天文のMoO公募に同時に応募し、3つ全てが落選する憂き目になり、ミッション遂行が（コスト確保面で）不透明になっている状況にある。海外協力なしでもプロジェクトが実行できるような枠組みを検討する必要があると考えている。
- その結果、理工学委員会の下に、

当面の課題に対する宇宙科学ミッションカテゴリー設計タスクフォース

5～10年以降の将来の課題に対する議論を行う将来フレームワーク検討委員会を設立した。

タスクフォースでは、現状のミッション遂行における多大な困難へ対応するためミッションカテゴリーの再設計を行い、ロードマップに反映していく。

Ⅱ．現在の進捗状況

1. 具体的な戦略的海外共同計画の推進

- (1) 近年の宇宙研のミッションは、世界でも注目されるものが出て来ており、そこへ参加し成果を出すことを望む世界からの貢献を受け入れつつ、日本の強みを世界に見せる機会としている。
- (2) 実際、日本の得意分野が国際的に認知され、それを通じての海外ミッションへの参加が海外機関から要請されることが起きている。
- (3) その中から厳選し、有力な海外ミッションへの参加を可能とすることで、コストパフォーマンス高く日本の科学者に成果創出機会をもたらす。特に、日本では主導できない大規模計画への参加機会提供の意義は高いと考える。
- (4) さらに、日本の得意分野の国際的優位性を確定し、人材交流機会を通じ宇宙科学コミュニティの活性化や次世代人材育成にも寄与する。

この枠組みは、「科学技術外交」「人材育成」にきわめて効果的であり、新宇宙基本計画にも促進することが追記された。

- (5) 宇宙科学予算規模において、戦略的海外共同枠に10億/年程度を配分することで、上記意義価値を獲得することが可能。
- (6) 新規ミッションとして、以下の意義の高いものを厳選した上で検討を進めている。
- (i) 宇宙望遠鏡Roman/米国NASA：大口径宇宙望遠鏡、コロナグラ（系外惑星直接撮像技術）の実証を分担
 - (ii) 小惑星探査計画Hera/欧州ESA：欧米と共同しての、小惑星探査の新展開（Planetary Defense）
 - (iii) 紫外線望遠鏡WSO-UV/露ロスコスモス：系外惑星高層大気分光観測から、海惑星を探索することを日本が担当



2. フロントローディング

これまでの探査小委での議論の結果、優先実施すべき技術領域である、

①超小型探査機技術、②輸送システム技術、③月惑星探査機技術、

④天体表面活動技術、⑤宇宙用冷凍機技術

より、次の考え方に基づき詳細検討を行いFLを選定し（次ページ）、実施している。実施状況を12月に報告する予定である。

（1）ISASが掲げる宇宙大航海時代へ向けて、**超小型（100kgクラス）の探査機**での**深宇宙探査**に必要な基盤となる技術開発に注力する。

①日本の強みである**超小型探査機技術をさらに進化**

通信・電源系・コンピュータ・センサ類・推進系（電気、化学）など

②本格的な**超小型探査機を実現するために欠けている技術**を促進

超小型探査機を深宇宙に送り込むための自在な輸送システム/推進系、周回投入技術、超小型の惑星着陸技術

（2）**日本の強みである技術**の開発

宇宙用冷凍機技術

FY2020に実施するFL項目

技術領域	要素技術	項目
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 2. 小型軽量MEMS-IRUの開発 3. 軽量薄膜太陽電池パドルの開発
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)	4. 超小型の惑星EDL技術 5. 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
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)	
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	6. スターリング冷凍機の高信頼化・長寿命化の実現 7. 宇宙用冷凍機の駆動回路系による擾乱制御技術の開発

次年度以降のFL計画について

次年度以降については、理工学委員会の意見を踏まえつつ以下を進める。

(1) 現在の実施項目を促進

製作、環境試験による検証等を行う。

(2) 5つの優先実施すべき技術領域における未着手項目の開始

通信技術、推進系技術、サンプルリターンカプセル技術等

(3) 上記の技術領域以外

宇宙科学プログラムの当面／将来の課題から新たな領域を検討し、実施項目を決定する。

全体的には技術ロードマップへ反映し、フロントローディングによりプログラムとして技術をステップアップさせる。

付録

戦略的海外共同計画 (1)宇宙望遠鏡 Roman(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。

JWST(ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡)に続く宇宙物理のフラッグシップ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】

- 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

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 μ m)
- 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)
- 打上げロケット:
- ミッション期間:5.3年
- 国際協力:米国、日本、欧州

戦略的海外共同計画 (2)小惑星探査計画 Hera

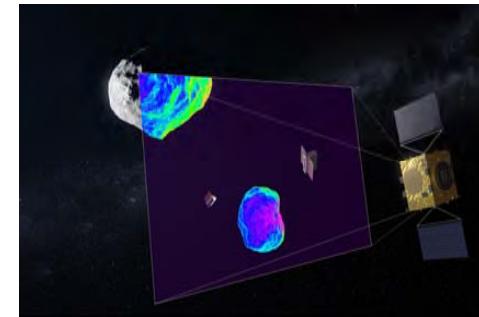
小惑星探査計画Hera

施策の概要・目的

- 欧州宇宙機関(ESA)が2019年11月に選定した小惑星探査計画「Hera」に我が国も参画し、惑星形成過程において普遍的な物理現象である「始原天体の微小重力下での衝突進化」の解明と、人類社会への潜在的脅威となる「地球近傍小惑星の衝突回避技術の実証」を実施する。
- 米国航空宇宙局(NASA)の小惑星衝突機「DART」がS型小惑星Didymos連星系の衛星に衝突後に、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・提供するとともに、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。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、科学成果創出に日本の研究者が深く関与でき、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。
 - ・史上初の国際共同Planetary Defenseミッションに日本も参画することができる。



Hera

微小重力下での
衝突現象

S型小惑星の
物理状態

小惑星地球衝突
回避の技術実証

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(欧州が打上げ)
- ・運用期間:3年間(2024~2027年)
2024年度上げ、2027年度到着、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(日本も1機器提供予定)

戦略的海外共同計画 (3) 紫外線望遠鏡 WSO-UV

施策の概要・目的

○ロシア宇宙機関が2025年度の打ち上げを目指し開発を進める口径1.7mの紫外線望遠鏡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、酸素大気を観測を行う。地球と同程度の大きさの系外惑星は多数見つかっているが、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。

高層酸素大気観測から地球類似惑星の発見を2020年代に実現できる可能性のある現状唯一の計画であるWSO-UV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】

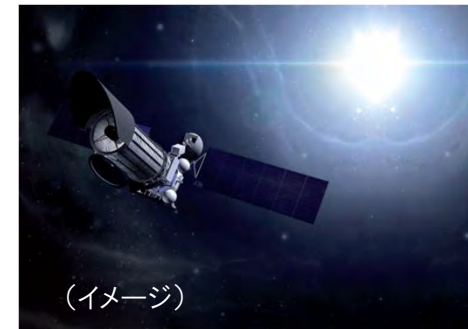
- ・ 太陽系外惑星の大気理解
- ・ 銀河系の形成進化の研究
- ・ 星系における物質の集積・流出の理解

【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。
- ・ 2020年代に太陽系近傍で発見が見込まれる、ハビタブルゾーン内の地球型惑星を全て観測する。
- ・ 低層大気を狙うNASA/JWST(ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡)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いため、日本主導で進められる。
- ・ 日本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。

(World Space Observatory-UV)

1.7m 紫外線宇宙望遠鏡



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(高感度低分散分光器): 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、サイエンスへの参加

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

打ち上げ年度: 2025年度(予定)

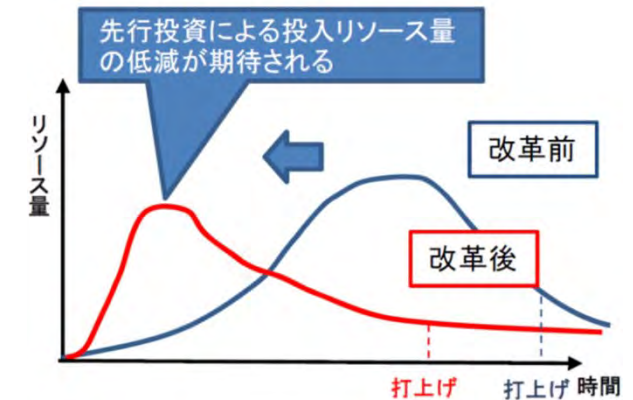
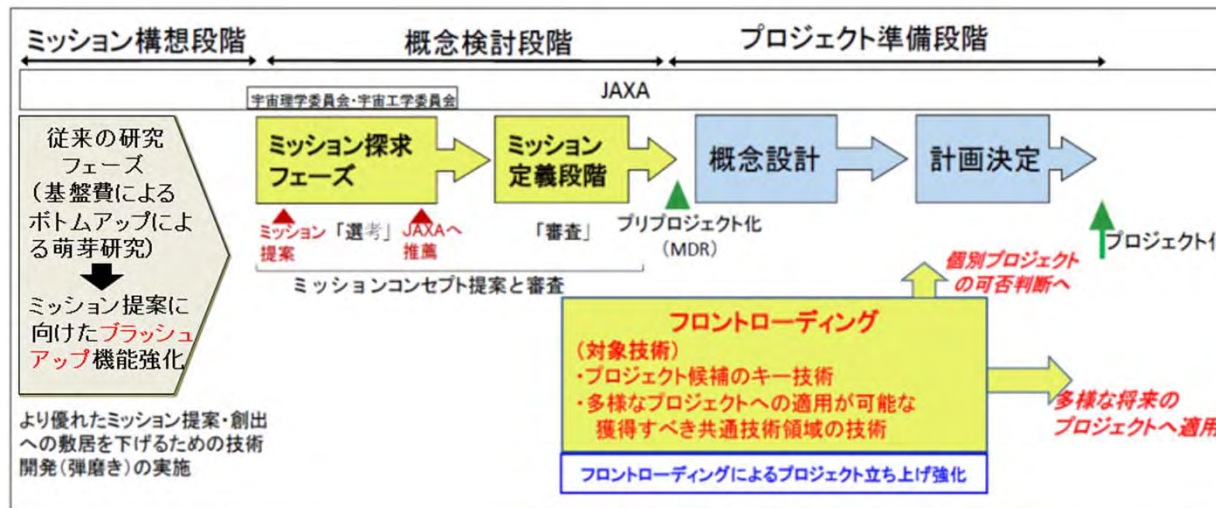
打ち上げロケット: プロトンロケット(ロシアが打ち上げ)

ミッション期間: 5年間

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

➤ 技術のフロントローディングの考え方



◆円滑なミッションの提案・プロジェクトへの移行の強化とリスク及びコストの削減。

<フロントローディングによるプロジェクト立ち上げ強化>

○プロジェクト候補のキー技術

○「有望技術領域」についてミッション立ち上げ強化を図るため「共通技術のフロントローディング」機能を新たに付加。

対象: 多様なプロジェクトへの適用可能な、共通技術領域の研究開発(個別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も含む)。

<効果>

○プログラム化した各プロジェクトの共通技術となり、多様なミッションへの継続適用が可能となることを通じ、今後のプロジェクト毎の効果的な研究開発費の低減と探査頻度の向上が期待できる。

○キー技術の事前実証によるプロジェクト化後のコストの抑制あるいはコストのオーバーラン解消が期待できる。

○共通技術領域のフロントローディングを実行することで、宇宙プログラム全体における将来のコストパフォーマンス向上を図り、ミッション機会の最大化につなげる。

技術のフロントローディング

(プロジェクト候補のキー技術、及びその先の多様なミッションの創出を念頭においた共通技術領域の技術)

フロントローディングを適用する技術領域

i) 選定の観点

- ・ 我が国として実績を有し優位性“強み”が見込まれる技術
- ・ 波及効果が大きいため我が国として獲得すべき技術

ii) 宇宙科学の将来の方向性



プログラム化

優先実施すべき技術領域

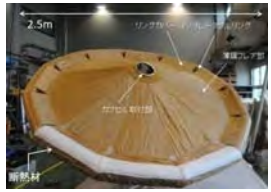
- ①超小型探査機技術
- ②輸送システム技術
- ③月惑星探査機技術
- ④天体表面活動技術
- ⑤宇宙用冷凍機技術

今後の公募小型ミッション（小型JASMINE等）、火星到達ミッション、木星圏到達ミッション、土星圏到達ミッション等

月/火星のローバ、サンプルリターンミッション、OKEANOS等

LiteBIRD、SPICA、Athena、赤外線干渉計ミッション等

技術のFL 実施項目の概要

No.	項目	概要
1	超小型統合AOCSユニットの開発	超小型衛星・探査機の姿勢制御系に必要なセンサ・アクチュエータと計算機を統合したCubeSatサイズのコンポーネントを開発する。現状、同種の統合型ユニットは海外製品に依存しており価格および継続的な入手性に難があるため、これを国産化する。
2	小型軽量MEMS-IRUの開発	探査機に必須な航法センサは現状米国製FOG(Fiber-Optic Gyroscope) に依存し、入手性等が問題となる中精度IRU(Inertial Reference Unit) を、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)技術・民生技術を使用して小型・軽量・低消費電力化する。 
3	軽量薄膜太陽電池パドルの開発	超小型探査機を対象として、探査機における発電系を軽量化する太陽電池膜（薄膜太陽電池による発電機能を有する膜展開構造物）を開発する。外惑星領域(特に木星以遠)での探査を実現可能とするだけでなく、基幹コンポーネントである太陽電池発電系の軽量化は、ミッションを問わず広く宇宙機バスの高性能化につながる。
4	超小型の惑星EDL技術	展開型の柔軟エアロシェルは、次世代の大気圏突入技術として超小型EDL技術における有力な技術で、惑星探査ミッション等で実用できるレベルまで成熟させる。 
5	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	惑星表面の過酷な環境で安全かつ高精度に目標地点へ少ないリソースで到達するための、小型衛星バスの技術をベースとした固有機器の開発、各機器の耐環境技術、小型機器向けの移動技術の開発を行う。
6	スターリング冷凍機の高信頼化・長寿命化の実現	様々なミッションで使用されるスターリング冷凍機は、保証寿命が3年、実際に軌道上でも性能劣化が観測されている（JT冷凍機は5年）。スターリング冷凍機がシステム寿命／ミッション全体の寿命を決めるボトルネックともなっており、高信頼性化、長寿命化（要求5年、目標10年）を行う。
7	宇宙用冷凍機の駆動回路系による擾乱制御技術の開発	宇宙用冷凍機のドライバ（駆動装置）は、駆動により生じる擾乱を押さえ、低雑音検出器との共存を可能とする擾乱低減機能は、将来に向けた技術開発として必須になっている。また、現状、非常に高価な装置になっていて、ミッション機器開発費の増大の一因となっており、部品点数の削減や回路方式の変更をすすめる、低価格のドライバの開発を進める。

技術のFL 超小型探査機による自在な深宇宙探査の実現にむけて必要な技術

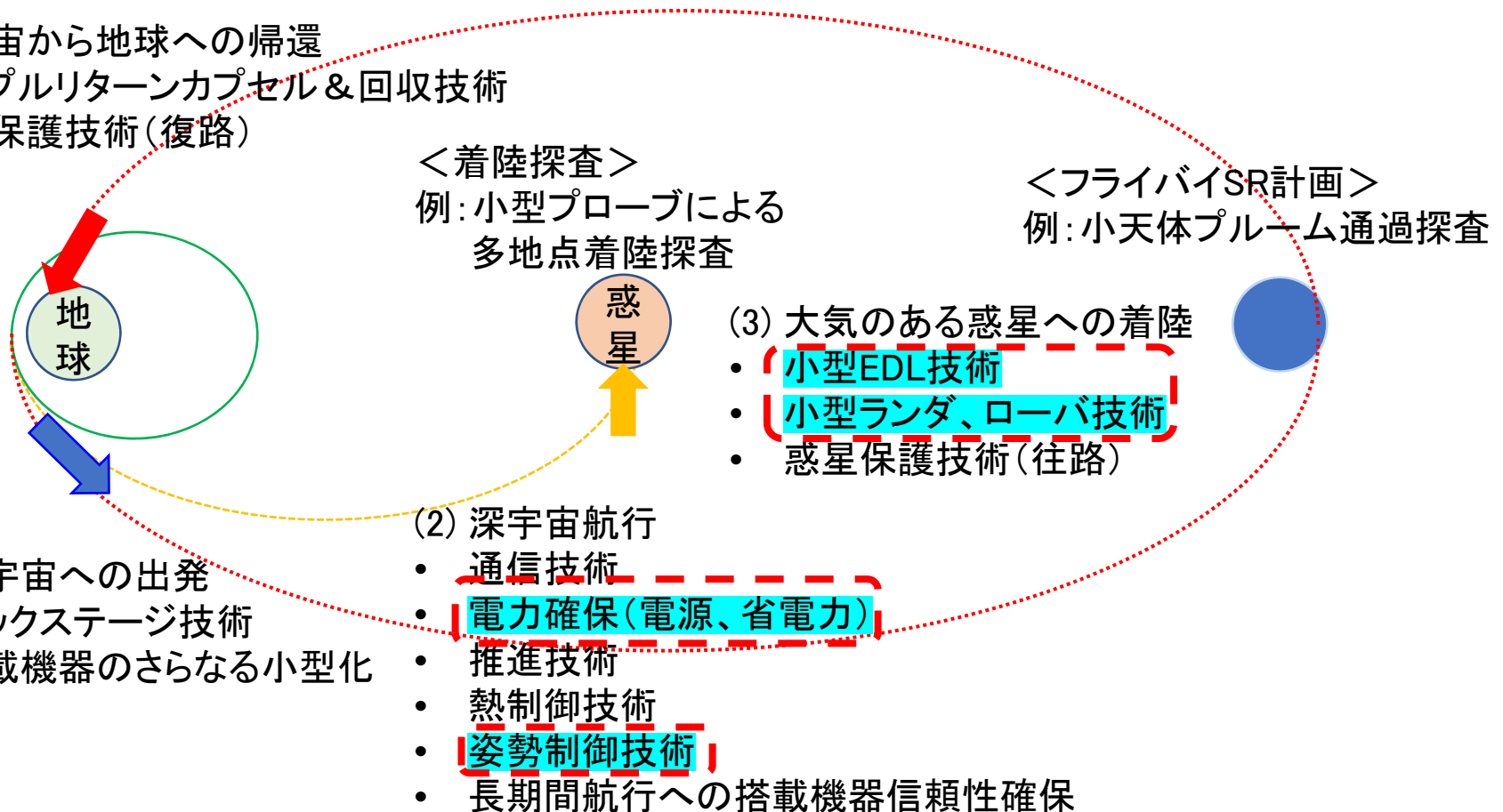
(0) 超小型探査機による惑星間航行(地球圏)

- 搭載機器の小型化
 - 超小型クラスによる深宇宙航行技術
- プロキオンによる実証済、エクレウスでも実証予定

 実施項目

(4) 深宇宙から地球への帰還

- サンプルリターンカプセル & 回収技術
- 惑星保護技術(復路)



技術のFL 日本 の強み: 宇宙用冷凍機技術

