

宇宙科学・探査ロードマップのこれまでの議論

平成 25 年 9 月 20 日

宇宙政策委員会

宇宙科学・探査部会

1. 経緯

- 宇宙基本計画（平成 25 年 1 月 25 日宇宙開発戦略本部決定）において、「学術としての宇宙科学・宇宙探査は、これまで我が国が世界的に優れた成果を創出し人類の知的資産の創出に寄与していること、ISAS を中心として大学を始めとする各研究機関と連携した効率的な科学研究マネジメントの体制を有していること等から、そのメカニズムを活用し、今後も一定規模の資金を確保し、世界最先端の成果を目指す。」こととされた。
- 「一定規模の資金」の具体的な予算額に関しては、10～20 年を見通した長期的なロードマップを作成した上で判断することが重要であること、また、ロードマップの作成に当たっては、宇宙科学研究所(ISAS)を中心とする理学・工学双方の学術コミュニティーの英知を集結し、本コミュニティーによるボトムアップの活力をそぐこと無く実施できるものであることが必要であるため、ISAS において検討し、宇宙科学・探査部会で審議を行ってきた。

2. 審議状況

- 第 4 回 平成 25 年 5 月 29 日（水）：宇宙航空研究開発機構からのヒアリング
- 第 5 回 平成 25 年 6 月 11 日（水）：ロードマップに対する各委員からの意見
- 第 6 回 平成 25 年 9 月 6 日（金）：宇宙科学・探査ロードマップに係る審議
- 第 7 回 平成 25 年 9 月 19 日（木）：宇宙科学・探査ロードマップの了承

3. 主な議論

- 打ち上げ頻度の重要性を踏まえて、宇宙科学・探査プロジェクトを、その規模別に、①戦略的中型計画（総額 300 億円程度）、②公募型小型計画（100-150 億円規模）、③多様な小型プロジェクト群（毎年 10 億円程度）の 3 つのカテゴリに分ける。これに基盤的活動費を含めたものを一定規模の資金とする。なお、一定規模の資金を超えるものについては、別途、政策的な評価を受け、承認を得られれば一定規模の資金の外枠で推進すべき。
- 一定規模の資金は、ロケットの打ち上げ費などにより、年によって変動があることから、一定規模の資金の確保にあたっては、科学の発展や衛星開発のスケジュールに柔軟な対応が必要である。
- M-V ロケット以後、個別のプロジェクトが大型化していった結果、打ち上げ頻度が落ちるなど課題が生じている。計画が実行されない危機感をコミュニティーが持っており、打ち上げ頻度は重要であるということが再認識された。次の方向性を打ち出していくにはよいタイミングである。

宇宙科学・探査ロードマップ について

平成25(2013)年9月19日
宇宙航空研究開発機構

目次

- I. 経緯
- II. 宇宙科学・探査ロードマップ作成の基本
となる考え方
- III. 今後の宇宙科学プロジェクトの推進方策
- IV. 各分野の将来構想検討

I. 経緯

- ① 新たな宇宙基本計画(平成25年1月戦略本部決定)において、「宇宙科学等のフロンティア」は3つの重点課題のひとつとして位置付けられた。また宇宙科学・探査の推進については、「一定規模の資金を確保し、世界最先端の成果を目指す」とされ、「一定の資金確保に当たっては、科学の発展や衛星開発のスケジュールに柔軟な対応が必要である」とされている。
- ② 日本の宇宙科学の実行は、大学共同利用によるコミュニティからの提案に基づいてプロジェクト実行を行う方法で機能してきた。この「一定規模」に係る適切な議論を行うために、従来蓄積された実績や生み出された成果に立脚し、かつ現状進められている研究・プロジェクト提案活動などに基づいて、中長期的な計画を戦略的に策定することが求められている。
- ③ 宇宙科学・探査の今後の計画を俯瞰し、戦略性を持って今後の計画を策定するため、宇宙科学研究所理工学委員会の元にタスクフォースを設置し、ロードマップを策定し提示した。これに基づいて宇宙研として、宇宙政策委員会 宇宙科学・探査部会に報告する。

2

II. 宇宙科学・探査ロードマップ作成の基本となる考え方(1/2)

宇宙科学は、宇宙空間でのその場観察や探査、及び、宇宙空間からの宇宙観測により、地球と太陽系の起源、宇宙の物質と空間の起源、宇宙における生命の可能性探求に、新しいパラダイムをもたらすような人類の知の資産創出を目指し、同時に探査機・輸送システム等の宇宙工学技術をパラダムシフト的な革新を目指して先導する。その成果は人類の活動領域の拡大を含む宇宙開発全体にも資するものである。

これまでの日本の宇宙科学の実績と特徴を生かし、強い意志を持った戦略的実行と、ボトムアップによる競争的環境の健全な維持発展の両立を図り、理工学コミュニティと一体で以下の課題に取り組む。

1. 宇宙・物質・空間は何故できたのかの解明
2. 太陽系と生命はどの様に生まれて来たかの解明
3. 探査機、輸送システム等の宇宙工学技術の先導および革新

限られた予算の中で、これらを実現するために、以下の戦略に基づいて実施する。

- 宇宙科学の目的とその獲得に必要なリソースを厳しく見極め、適正規模のミッションを実施する。
- 特に米欧日三極間での国際協調と相互補完により効率的なミッション計画を立案し実行する。
- 低コスト・高頻度な宇宙科学ミッションを実現する。その際、イプシロンの高度化を活用する等我が国の基幹ロケットと密接に連携して検討を進める。
- 世界を先導する事を期待される分野においてはフラッグシップ的ミッションを戦略的に進める。
- 海外プロジェクトへの参加、海外も含めた多様な飛翔機会の活用など、あらゆる機会を駆使して限られたリソースで成果創出の最大化を図る。

3

II. 宇宙科学・探査ロードマップ作成の基本となる考え方(2/2)

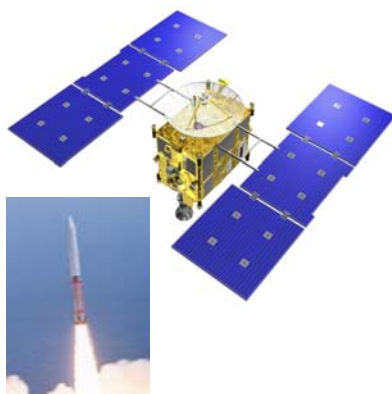
具体的な進め方としては以下を提案する。

- 1) イプシロンロケット高度化等を活用した低コスト・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。惑星探査、輸送系、深宇宙航行システムの研究成果をプロジェクト化する。
- 2) 太陽系探査科学分野は、最初の約10年を機動性の高い小型ミッションによる工学課題克服・技術獲得と先鋭化したミッション目的を立て、10年後以降の大型ミッションによる本格探査に備える。
- 3) 天文学・宇宙物理学分野は、フラッグシップ的の中型、機動的に実施する小型および海外大型ミッションへの参加など多様な機会を駆使して実行する。
- 4) 成果の創出、人材育成、コミュニティの求心力等の観点から、下記の頻度実現を目指す。
 - a) イプシロンで打上げる規模のミッションを2年に1度程度の頻度で実行する。
 - b) ASTRO-Hを含め、今後10年間に3機程度の戦略的フラッグシップミッションを実現する。
 - c) 多様な機会を活用した小規模ミッションを高頻度かつ継続的に推進する。
- 5) 関連コミュニティや関連大学等との連携を高め、効率的効果的な推進体制構築を更に進める。

4

III. 今後の宇宙科学・探査プロジェクトの推進方策

宇宙科学における宇宙理工学各分野の今後のプロジェクト実行の戦略に基づき、厳しいリソース制約の中、従来目指してきた大型化の実現よりも、中型以下の規模をメインストリームとし、中型(H2クラスで打ち上げを想定)、小型(イプシロンで打ち上げを想定)、および多様な小規模プロジェクトの3クラスのカテゴリーに分けて実施する。



2000年代前半までの
典型的な科学衛星ミッション
M-Vロケットによる打ち上げ

戦略的に実施する中型計画(300億程度)
世界第一級の成果創出を目指し、各分野のフラッグ
シップ的なミッションを日本がリーダーとして実施する。
多様な形態の国際協力を前提。

公募型小型計画(100-150億規模)
高頻度な成果創出を目指し、機動的かつ挑戦的に実施
する小型ミッション。地球周回/深宇宙ミッションを機動的
に実施。現行小型衛星計画から得られた経験等を活か
し、衛星・探査機の高度化による軽量高機能化に取り組
む。等価な規模の多様なプロジェクトも含む。

多様な小規模プロジェクト群(10億/年程度)
海外ミッションへのジュニアパートナーとしての参加、海外
も含めた衛星・小型ロケット・気球など飛行機会への参
加、小型飛行機会の創出、ISSを利用した科学研究など、
多様な機会を最大に活用し成果創出を最大化する。

5

宇宙科学・探査プログラムの中長期立上げ計画(案)

| 分類 | ミッション・事業名称 | 状況 | 第2期中期計画 | | | | 第3期中期計画 | | | | 第4期中期計画 | | | | 第5期中期計画 | | | | 備考 | |
|-------------------|---|-------------|--|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|---|----------------|----------------|----------------|----|----------------|
| | | | FY20 FY2008 | FY21 FY2009 | FY22 FY2010 | FY23 FY2011 | FY24 FY2012 | FY25 FY2013 | FY26 FY2014 | FY27 FY2015 | FY28 FY2016 | FY29 FY2017 | FY30 FY2018 | FY31 FY2019 | FY32 FY2020 | FY33 FY2021 | FY34 FY2022 | FY35 FY2023 | | FY36 FY2024 |
| 戦略的に実施する 中型計画 | はやぶさ2 | 開発中 | ▲ P.準備 ▲ PU移行 | | | | ▲ 打上 | | | | ▲ 小惑星到着 ▲ 地球帰還 | | | | | | | | | |
| | ASTRO-H | 開発中 | ▲ PU移行 ▲ PDR ▲ GDR1/2 | | | | ▲ 打上 | | | | ▲ 打上 | | | | | | | | | |
| 公募型 小型計画 | 将来計画 (仮称:M1-M4) 4年に1回AO発出 開発期間6年 (5~7年) | 計画中 | ★ 公募(AO) ▲ PU移行 | | | | ★ 公募(AO) ▲ PU移行 ▲ 打上 | | | | ★ 公募(AO) ▲ PU移行 ▲ 打上 | | | | FY2021(20-22)▲ FY2025(26-28)▲ FY2029(29-30)▲ FY2033(32-34)▲ | | | | | |
| | 将来計画 (仮称:S1-S7) 2年に1回AO発出 開発期間4年 | 計画中 | ★ 公募(AO) ▲ PU移行 | | | | ★ 公募(AO) ▲ PU移行 ▲ 打上 | | | | ★ 公募(AO) ▲ PU移行 ▲ 打上 | | | | FY2018▲ FY2020▲ FY2022▲ FY2024▲ FY2026▲ FY2028▲ FY2030▲ | | | | | |
| 多様な小規模 プロジェクト群 | 多様な小規模 プロジェクト群 | 計画中 | ★ 計画決定 | | | | 具体的な提案の状況に応じて、継続AO発出・計画決定・実行する。 | | | | | | | | | | | | | |
| 基盤的 活動費 | 学術研究・実験等 軌道上衛星の運用 宇宙科学施設維持 | 継続的に 実施中 | 科系のミッション創出につながる学術研究・実験等の推進や衛星運用、施設維持の実施に必要な活動費。 従前より効率化努力を行ってきたところ、要する効率的な執行に努める。 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

6

「一定規模の資金」の対象となる範囲について

- 学術研究を目的とした宇宙科学及び宇宙探査に関する活動を対象とする。
- 今回新たに定義した以下3つのカテゴリを実施する。
 - 戦略的に実施する中型計画(300億程度)を3回/10年
 - 公募型小型計画(100~150億)を1回/2年
 - 多様な小規模プロジェクト群(10億/年程度)
- 以下の基盤的な活動費を含む。(75億/年程度)
 - 学術研究・実験等(観測ロケット・大気球・ISS利用科学、大学共同利用・大学院教育運営を含む)
 - 軌道上衛星の運用
 - 宇宙科学施設維持
- 以下の活動は含まない。
 - 基幹ロケットの開発、深宇宙用含め追跡管制の施設設備整備などの経費
- これらを前提に試算すれば、一定規模の資金として、毎年230億円前後の予算が必要と推算されるが、衛星開発スケジュール等により各年度の予算は変動することに留意が必要。

7

ミッション選定と承認および実行のスキーム案

宇宙科学推進のための学術の論理で実施する科学探査プロジェクトとこれらを生み出すための研究活動。

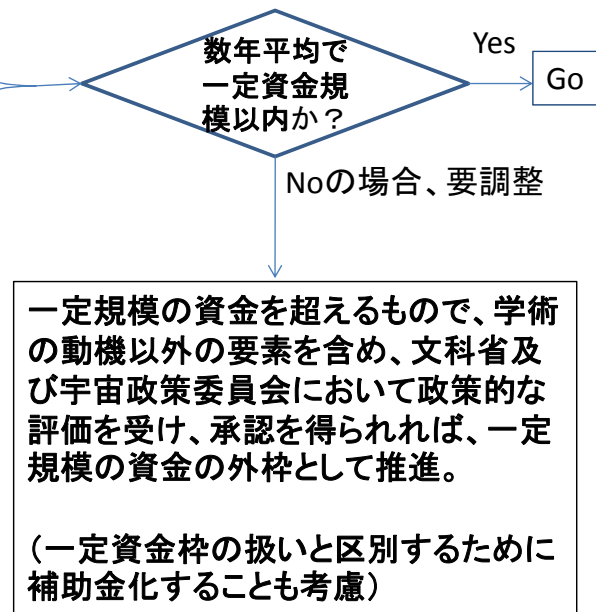


ISASを中心とした大学共同利用のメカニズムで理工学委員会において競争的環境で計画立案・採択および実行。

<ISAS経費の内訳>

- ① プロジェクト(中型、小型, 小規模他)
- ② プロジェクト化を目指した研究活動
- ③ 衛星運用、アーカイブ, 成果発信
- ④ 施設・設備整備・維持
- ⑤ 大学共同利用運営
- ⑥ その他

基幹ロケットの開発, 深宇宙用含め追跡管制の施設設備整備などの経費はJAXA他本部の所管を前提



8

IV. 各分野における将来構想検討

1. 天文学・宇宙物理学分野
2. 太陽系探査科学分野
3. 宇宙工学分野

9

1. 天文学・宇宙物理学分野の将来構想(1/2)

■ 分野全体を俯瞰する将来ビジョン

- 宇宙の本質的理解にかかわる課題：
宇宙の誕生とその進化の過程（インフレーション、宇宙膨張の加速）、バリオン宇宙の多様性（元素合成、行方不明バリオン）、宇宙における生命の探査（太陽系外惑星）など。
- 物理学の根幹にかかわる課題：
素粒子論と物質の根源（暗黒物質、反物質、中性子星）、一般相対論の検証（暗黒エネルギー、ブラックホール、重力波）、進化と構造形成の物理学（プラズマ過程、天体形成、粒子加速）など。

■ 今後20年程度を通して、日本が採るべき戦略

- 広範な国際協力の下、国際的優位性をもつ分野を柱としてさらに発展させる。同時に、インパクトのある新分野を育成し、有望な萌芽的課題を世界に先駆け開拓する。
- H2A/Bロケットによる中型ミッション、イプシロンロケット等を用いた小型ミッション、相乗り機会や海外計画への参加による小規模計画を、柔軟かつ適正に組み合わせる。
- 中型ミッションは、研究コミュニティ（学会、学術会議等）、宇宙理工学委員会、およびISASでの審議や検討を通じ、段階的かつ戦略的に選定する。
- 宇宙工学や国内先端産業と協力して独創的な技術を開発し、日本の宇宙活動に貢献する。関連大学や近隣分野と、研究上・技術上、人的な連携交流を一段と強化する。

10

1. 天文学・宇宙物理学分野の将来構想(2/2)

■ 今後5年程度の目標

- X線天文衛星（ASTRO-H）
銀河団の高温ガスや巨大ブラックホールの高分解能で広帯域なX線分光により、宇宙の大規模構造の進化や、銀河とブラックホールの共進化を理解する。
- 次世代赤外線天文衛星（SPICA）
遠赤外線観測により、初期宇宙からの現在までの銀河形成史を明らかにし、また星や惑星系の誕生過程を解明する。

■ 20年先を視野に入れた目標

- 原始重力波の痕跡である宇宙マイクロ波背景放射の偏光B-mode観測など、新たな手段により、インフレーション機構による宇宙創成シナリオを検証する。
- 宇宙空間を利用して原始重力波の検出を行い、ビッグバン以前の宇宙を直接に探る国際大型計画に参加する。もしくはその先駆となる日本独自のミッションにより、上記目的の基礎となる技術と原理を実証する。
- 近赤外線域での遠方超新星サーベイを通じて宇宙膨張の加速機構の理解を目指す国際計画に参加し、併せて地球型系外惑星の検出に挑戦する。
- X線・ガンマ線帯域では、初源巨大ブラックホールや銀河団の初期形成期を探査する、国際大型X線天文台計画に参加する。また広視野X線分光による「行方不明」バリオンの探査、X線の偏光観測への挑戦、MeV領域での世界初の高感度全天探査、地上重力波検出と呼応したガンマ線バースト監視など、複数の計画を競争的に選定し実施する。

11

2. 太陽系探査科学分野の将来構想(1/2)

■ 分野を俯瞰する将来ビジョン

- 太陽物理学
太陽活動(フレアやコロナ現象)の起源を理解するとともに、太陽のプラズマ現象を理解し、磁場の起源と変動に迫る。そこから、宇宙天気予報を実現し、人類の宇宙進出を支え、地球環境への長期影響を解明する。
- 宇宙空間物理学(磁気圏プラズマ物理, 惑星大気科学)
太陽活動により変動する太陽圏・惑星圏環境を理解し、惑星大気プラズマのダイナミクスと進化を解明する。
- 惑星科学(固体惑星, 始原天体)
太陽系形成過程を物証に基づいて明らかにするとともに、太陽系における生命起源物質の進化過程を探る。

■ 今後20年程度を見通して、日本が採るべき戦略

- イプシロンロケットの高度化等により、小型太陽系探査を高頻度で実施し、日本独自の技術や観測機器の実証を系統的に行える枠組みを構築する。
- 先進分野を国際共同の枠組みで実施しつつ、今後の発展が必要な分野を分野間連携・理工連携により強化する。
- 国際的な優位性を持つ太陽物理・磁気圏プラズマ分野は、世界の動向を踏まえた国際協力をさらに積極的に推進する。
- 始原天体探査は、はやぶさ・はやぶさ2の実績を発展させ国際的な優位性を確立する。
- 惑星周回探査や重力天体着陸探査については、小型探査により日本独自の技術を育成した上で、欧米とは差別化された本格的探査を立案・実施する。

12

2. 太陽系探査科学分野の将来構想(2/2)

■ 今後5年程度の目標

- 金星探査機「あかつき」
軌道投入を成功させ、金星大気・惑星気象学における科学的成果を創出する。
- 惑星分光観測衛星(SPRINT-A)
木星磁気圏プラズマ領域の理解、太陽風と惑星大気相互作用を明らかにする。
- 小惑星探査機「はやぶさ2」
より始原的な天体であるC型小惑星を探査し、水・有機物の存在の確認に挑み、生命の起源に迫る。また、日本独自の深宇宙探査技術を確立する。
- ジオスペース探査衛星(ERG)
磁気圏「その場」観測によって、ジオスペースにおける相対論的電子加速機構を解明し、宇宙天気予報研究に貢献する。
- 国際水星探査計画(BepiColombo)
欧ESAとの国際協力により、謎に満ちた水星の磁場・磁気圏・内部・表層にわたる総合観測により、水星の現在と過去を明らかにする。
- 小型惑星探査ミッションの計画立案と実行
科学的な成果に加えて、将来の惑星探査への技術的な蓄積を行い、高頻度な惑星探査機の実現のための枠組み(惑星探査機の小型化、イプシロンロケット活用)を構築する。

■ 20年先を視野に入れた目標

- 太陽の光球からコロナにつながる、磁気プラズマ活動の本質を探るための超高解像度撮像や紫外線分光を行い、太陽活動・プラズマ現象の総合的な理解を行う。
- 編隊宇宙機によるプラズマ・ダイナミクスのマルチ・スケール観測を国際協力により実施。
- 木星・氷衛星総合探査計画を国際協力により実施する。
- 惑星表面探査機(月、火星あるいは金星など)を実施する。
- 小天体往復探査機(地球接近小惑星、彗星、トロヤ群小惑星など)を実施する。

13

3. 宇宙工学分野の将来構想(1/3)

様々な宇宙科学の飛翔機会を活用して宇宙工学研究を創造的・実証的に遂行し、宇宙へのアクセス(より自在に)と宇宙でのモビリティ(より遠くへ)を確保すると共に、より多面的かつ高度な科学観測や探査活動を実現することにより、宇宙開発利用全体の将来に向けた貢献や人類的課題の解決に向けた先駆けとなる事を目指す。

■ 宇宙航行・輸送系の将来ビジョン

- イプシロン高度化につながる固体ロケットシステム技術、固体推進技術研究等の低コスト化、高信頼化、運用性向上や製造性向上を実現する。
- 深宇宙航行を革新するためのシステム技術・推進技術・大気圏内高速飛行／再突入研究を推進する。
- 再使用システム技術、新たな推進システムの研究などにより、将来型の輸送システムに求められる低コスト高頻度輸送を実現する。

■ 探査機・衛星系の将来ビジョン

- 月惑星表面探査技術として、自律運用(ロボティクス)、着陸、表面移動、越夜等の技術研究を推進し新たなミッションを創出する。
- 衛星探査機アーキテクチャの革新、超小型化・軽量化、深宇宙航行の通信・航法・誘導・制御技術、非化学推進、ソーラセイル、宇宙空間におけるエネルギー発生・伝送技術などの革新を図り、より高度かつ自在なミッション創出を図る。

14

3. 宇宙工学分野の将来構想(2/3)

宇宙航行・宇宙輸送分野の将来構想

■ 今後20年程度を見通して、日本が採るべき戦略

- 地上から地球周回軌道までのアクセス(将来宇宙輸送)と地球重力圏外へのモビリティ(太陽系探査)のための宇宙飛翔体における工学的課題に集中する。

■ 今後5年程度の計画

- 打上げ頻度の最大化のため、ミッションの小型化・高度化(自律化・知能化)と連動し、低コスト・機動的なミッション創出と、太陽系探査科学のミッション実行可能性を拡大する。地球観測をはじめとする科学以外の打上げ需要の拡大と連携し、日本の小型ロケット打上げ機会の低コスト化・高頻度化のために、宇宙科学のミッション創出およびロケット技術の立場から貢献する。
- イプシロン高度化を含む将来輸送システム構築への貢献、および繰り返し飛行運用への転換を図る場としての、小型飛翔体による観測実験機会の革新のため、再使用観測ロケット計画を推進する。

■ 20年先を視野に入れた目標

- ロケット推進、将来型の地上／低軌道間の輸送システム、軌道間の輸送、深宇宙航行のための多様な推進技術などの革新を図るための実証的研究を、宇宙科学の飛翔実験機会を活用して推進し、宇宙科学の目的のみならず日本の宇宙開発利用に貢献する。

15

3. 宇宙工学分野の将来構想(3/3)

衛星・探査機および深宇宙探査に関する将来構想

■ 今後20年程度を見通して、日本が採るべき戦略

- 衛星探査機の高度化
革新的深宇宙航行システムなどによる挑戦的ミッションの創出と実行のため、太陽光推進、非化学推進など革新的な宇宙航行システムの研究成果を反映させたミッション創出を図る。さらに自律化などの革新的な衛星探査機アーキテクチャ、エネルギー発生・伝送関連技術などで、宇宙開発利用全体を牽引する成果創出を目指す。
- 小型高頻度のミッション実行
将来の惑星探査に必須な技術の実証、その成果に基づくフラグシップ探査計画の策定と実行
- 宇宙状況監視(デブリ観測・低減)、地球衝突小惑星対応など、科学以外の動機によるミッションにも宇宙科学の立場で積極的に参画する。

■ 今後5年程度の目標

- あかつき、はやぶさ2、ASTRO-H、Bepi Colombo及び小型科学衛星計画の着実な実施。
- イプシロンの高度化等我が国の基幹ロケットの検討と連動し、衛星および惑星探査機システム・サブシステムの小型軽量化・高機能化研究に取り組む。

■ 20年先を視野に入れた目標

- 衛星探査機技術の高度化により、その成果を反映したミッションを立案し、小型かつ高頻度な太陽系探査ミッションを持続的に実施する。
- 国際協力による補完関係構築も視野に入れつつ、特に「重力天体(月・火星・金星)の表面探査」と「小天体(小惑星など)の往復探査」を実現するための工学研究の推進とミッションの実行を目指す。