

宇宙探査ミッションを支える宇宙技術実証プログラム

① 計画の概要

本計画は、今後の宇宙探査ミッションに必須の技術を宇宙実証によって獲得する。具体的には、太陽系の様々な天体に対して、着陸・長期滞在・往復し、多様な試料を採取・分析するために、1) 重力天体突入・降下・着陸&長期表面滞在技術、2) 外惑星領域航行・往復&地下試料採取・その場分析技術を実証する。1) に対応するのが月面長期滞在と火星探査、2) に対応するのが木星トロヤ群小惑星探査と土星衛星エンケラドス探査であり、計4つのミッションを宇宙技術実証プログラムとして実施することでリスクを軽減し、効率的な技術開発を行う。さらに、貴重な飛翔機会を活用して科学成果も追求する。これによって太陽系探査を先導することが可能となり、我が国のプレゼンスが発揮できる。

本計画の総経費は1520億円である。本提案では重点大型研究としての科学的価値を認めてもらうことを目標とし、予算獲得は別途、ミッション毎に行う。4回の打ち上げは2023~2036年度を想定している。いずれも国際協力により進める。

本計画では、宇宙航空研究開発機構が中心となって、探査機開発・打ち上げ・運用を行う。さらに、海洋研究開発機構の知見も加えることで、試料回収および惑星検疫・キュレーション・初期分析施設の基盤整備を行い共同利用設備とする。多数の大学・研究所の研究者も参加し、学術コミュニティが総意として本計画を進める（重点大型研究計画の継続を希望、了承している）。

未踏峰領域への探査に対する国民の期待と理解が、これまでに高く高まっている。惑星や太陽系小天体についての理解を深めることは学術的意義だけでなく、科学啓蒙や科学教育全般に非常に有益である。本計画は総合的なシステム工学で、幅広い技術から構成されるため、裾野の広い産業をけん引し、社会的価値の高い応用を生み出す可能性が高い。世界一級の技術実証、科学成果を追求しており、多くの人材育成が可能である。

技術分野	すでに実証した技術項目	本計画で実証する技術項目
接近	重力天体周囲(かぐや、あかつき) 小天体降下・着陸(はやぶさ)	重力天体突入・降下・着陸1)
滞在	短期表面滞在(はやぶさ)	長期表面滞在1)
航行	内惑星領域航行・往復(IKAROS, はやぶさ)	外惑星領域航行・往復2)
試料	表面試料採取・分析(はやぶさ)	地下試料採取・その場分析2)



図1 宇宙探査ミッションを支える技術項目

② 学術的な意義

1) 重力天体突入・降下・着陸&長期表面滞在技術：工学的成果としては、ロボット工学の幅広い発展が促され、総合的な技術を体系的に獲得できる。理学的成果としては、将来人が滞在するための環境調査や資源利用可能性調査（水氷などの利用可能資源、放射線、地盤、ダスト等）により、月や火星を「人類の活動の場」にするための基礎情報が得られる。また、内部構造科学により月・惑星の形成と進化に関する理解を飛躍的に高められる。火星で行う宇宙天気・気象・水環境探査を踏まえた「生命惑星の成立条件の探求」は惑星科学にとどまらない「科学の最大の課題」に波及する。さらに、月面天文台のような月表面での科学にも発展する。

2) 外惑星領域航行・往復&地下試料採取・その場分析技術：工学的成果としては、日本が切り拓いた小惑星サンプルリターンの広域化・高度化があげられる。これまで到達できなかった外惑星領域の科学価値の高い小天体に対し、表面だけでなく地下の試料を採取し、その場でも分析可能になる。電力セイルは大規模宇宙構造物分野のフロントローディング技術に位置付けられ、膜面アンテナなどに応用可能であり、知能化・自律化すればさらに発展できる。高比推力/大推力電気推進は電気推進分野の高性能化と位置付けられ、多様なミッションに貢献できる。理学的成果としては、宇宙科学研究所が提唱している深宇宙探査船団の一翼として、太陽系の形成と進化に関する理解を高め、太陽系における生命起源物質の進化過程を探る方針である（前者は木星トロヤ群小惑星探査、後者は土星衛星エンケラドス探査に対応する）。小惑星探査は地質学、隕石学、鉱物学にも波及する。さらに、ソーラー電力セイル探査機の輸送能力の高さを活かすことで、深宇宙空間観測プラットフォームを実現できる。クルージング環境を利用した新しい科学観測により、太陽系科学、天文学、宇宙物理学の大きな進展に寄与できる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

1) 米露は月・火星着陸を実現しており、欧中印などの諸国も、精力的に月や火星探査を実施または計画している。これに比べ、我が国の取り組みは遅れているが、低軌道や小惑星において特定の要素的技術を獲得している強みを生かして、単なるキャッチアップでなく、本格的探査に向けた安全確実な着陸、地形照合が難しい月極域への着陸技術、エアロキャプチャといった世界初の挑戦的課題に取り組む。さらに、ロボット技術や（原子力に頼らない）エネルギー技術を生かした我が国独自の表面探査/長期滞在・越夜技術を目指す。

2) 原子力電池や太陽電池では、外惑星領域で十分な電力が確保できず、燃費の悪い化学推進系を採用せざるを得ないため、大型ロケットを用いても外惑星領域の往復は困難である。一方、本計画ではIKAROSで実証した電力セイルによって大電力を確保し、燃費の良い高性能な電気推進系を駆動することで、大型ロケットを用いずに木星圏・土星圏の往復を可能とする。さらに、

はやぶさでは表面試料を採取し、持ち帰って分析したが、本計画では地下試料も採取し、その場分析もできるようにすることで、日本が切り拓いたサンプルリターンをさらに発展させる。

④ 実施機関と実施体制

宇宙航空研究開発機構が中心となり、種子島宇宙センター、臼田宇宙空間観測所、内之浦宇宙空間観測所、相模原キャンパスの施設・設備を利用して、探査機開発・打ち上げ・運用を行う。海洋研究開発機構の知見も加えることで、サンプル回収および惑星検疫・キュレーション・初期分析施設の基盤整備を行う。多数の大学（東京大、東京工業大、日本大、早稲田大、大阪府立大、青山学院大、九州大、九州工業大、東海大、横浜国立大、関西学院大、金沢大、山形大、名古屋大、大阪大、東北大、北海道大、神戸大、千葉工業大、福井大、会津大、立命館大、慶應義塾大、近畿大、中京大、愛知東邦大、東京理科大、首都大学東京、東京都市大、東京薬科大、室蘭工業大、東京農工大、防衛大学校等）・研究所（産業技術総合研究所、情報通信研究機構、国立天文台、理化学研究所等）の研究者も本計画に加わっている。

⑤ 所要経費

総経費：1520 億円

1)

月面長期探査技術実証ミッション：380 億円（打上：100、探査機システム：240、試験・運用経費：20、マージン：20）＜参考＞ESA Lunar Lander：500 億円

火星探査技術実証ミッション：360 億円（打上：105、探査機システム：205、試験・運用経費：30、マージン：20）＜参考＞Mars Science Laboratory：2200 億円

2)

木星トロヤ群小惑星探査技術実証ミッション：300 億円（打上：80、探査機システム・地上設備：165、試験・運用経費：40、マージン：15）＜参考＞JUNO：1100 億円

土星衛星エンケラドス探査技術実証ミッション：480 億円（打上：100、探査機システム：350、運用経費：20、惑星

検疫・キュレーション・初期分析施設整備：10）＜参考＞Cassini-Huygens：4300 億円

本提案では重点大型研究として科学的価値を認めてもらうことを目標とし、予算獲得は別途、ミッション毎に行う。計画通り予算獲得できない場合、そのミッションについて打上時期を調整するか、国際協力を進めて費用の一部を負担してもらう。

⑥ 年次計画

1)

月面長期探査技術実証ミッション：ミッション検討：～2018、基本設計：2020、プロトフライトモデル製作、熱・機械環境試験：2020～2021、詳細設計、フライトモデル製作：2021～2023、総合試験：2023、打ち上げ・着陸：2023、運用：2024

火星探査技術実証ミッション：ミッション検討：～2019、基本設計：2020～2021、プロトフライトモデル製作、熱・機械環境試験：2022～2023、詳細設計、フライトモデル製作：2024～2025、総合試験：2025～2026、打ち上げ・着陸：2026～2027、運用：2027～

2)

木星トロヤ群小惑星探査技術実証ミッション：ミッション検討：～2020、基本設計：2020～2021、プロトフライトモデル製作、熱・機械環境試験：2021～2022、詳細設計、フライトモデル製作：2021～2023、総合試験：2024～2025、打ち上げ：2025、地球スイングバイ：2027、木星スイングバイ：2030、木星トロヤ群小惑星到達：2039

土星衛星エンケラドス探査技術実証ミッション：ミッション検討：～2031、基本設計：2031～2032、プロトフライトモデル製作、熱・機械環境試験：2032～2034、詳細設計、フライトモデル製作：2033～2035、総合試験：2035～2036、打ち上げ：2036、土星衛星エンケラドス到達：2046、地球帰還：2056

⑦ 社会的価値

かぐや、はやぶさ、あかつき、IKAROS、はやぶさ2等の実績を受けて、未踏峰領域への探査に対する国民の期待と理解が、これまでになく高まっている。惑星や太陽系小天体についての理解を深めることは学術的意義だけでなく、科学啓蒙や科学教育全般に非常に有益である。さらに、人類の活動領域の拡大、スペースガード、資源利用、有人探査のターゲット等非常に多くの意義・価値がある。

本計画は総合的なシステム工学であり、幅広い技術から構成されるため、裾野の広い産業をけん引する。付加価値の高い産業応用のシーズが豊富にあり、SDGsにも貢献する。例えば、宇宙用ロボットの製造業や防災・減災への応用、薄膜太陽電池のグリーンイノベーションへの貢献、宇宙用ポリミドの複合材などの民生応用、遠隔操作技術の遠隔医療への応用、耐放射線機器開発のSOIなど新電子デバイス開発など、非常に多くの分野に貢献できると考えられる。

本計画は、世界一級の技術実証、科学成果を追求しており、これらの活動を通してSTEM（科学・技術・エンジニアリング・数学）分野で多くの人材育成が可能である。

⑧ 本計画に関する連絡先 森 治（宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所）

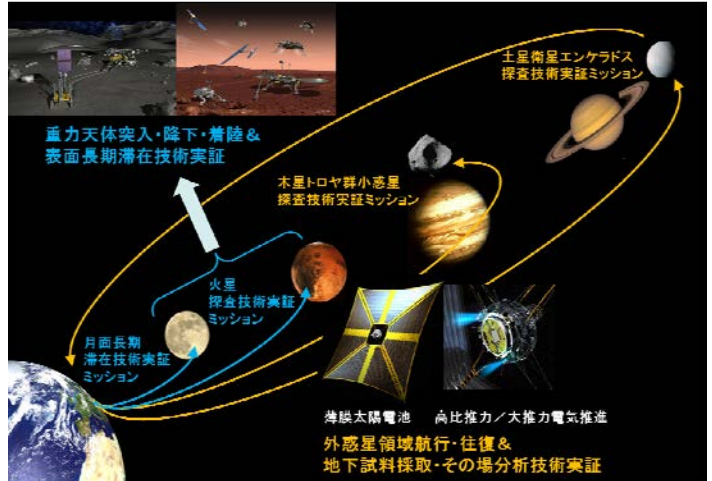


図2 宇宙探査実証プログラム