

資料14-2

科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
ISS・国際宇宙探査小委員会
(第14回)H27.4.20



宇宙科学・探査ロードマップの 検討状況について

平成27(2015)年4月20日

宇宙航空研究開発機構

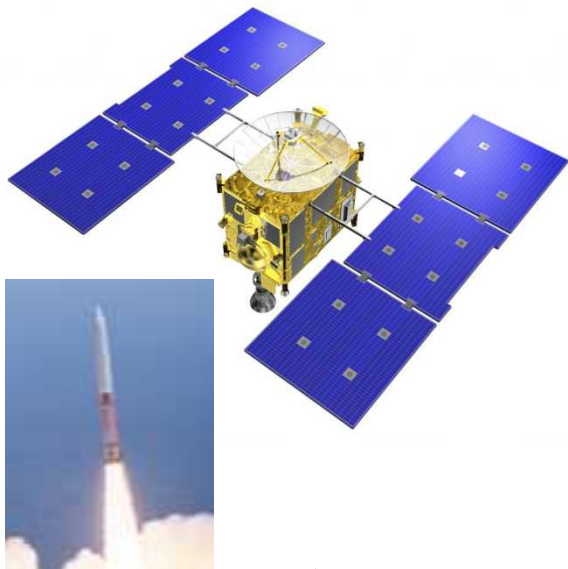
宇宙科学研究所

宇宙科学・探査ロードマップの検討状況について

- 「宇宙科学・探査ロードマップ」は、第7回宇宙科学・探査部会（平成25年9月19日）にて宇宙科学研究所から報告した。この中で、具体的な推進方策（戦略的中型計画、公募型小型計画、多様な小規模プロジェクト群の3カテゴリ）を提案した。
- 部会での議論の結果、新宇宙基本計画（平成27年1月9日宇宙開発戦略本部決定）にも、この考え方を反映いただいている。また、太陽系探査科学で新たに「プログラム化」というコンセプトを導入することとした。
- このフォローアップとして、
 - ① 開発中のプロジェクト状況
 - ② 研究中・選定中のプロジェクト状況
 - ③ 太陽系探査のプログラムの実行に向けた検討状況を報告する。

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。

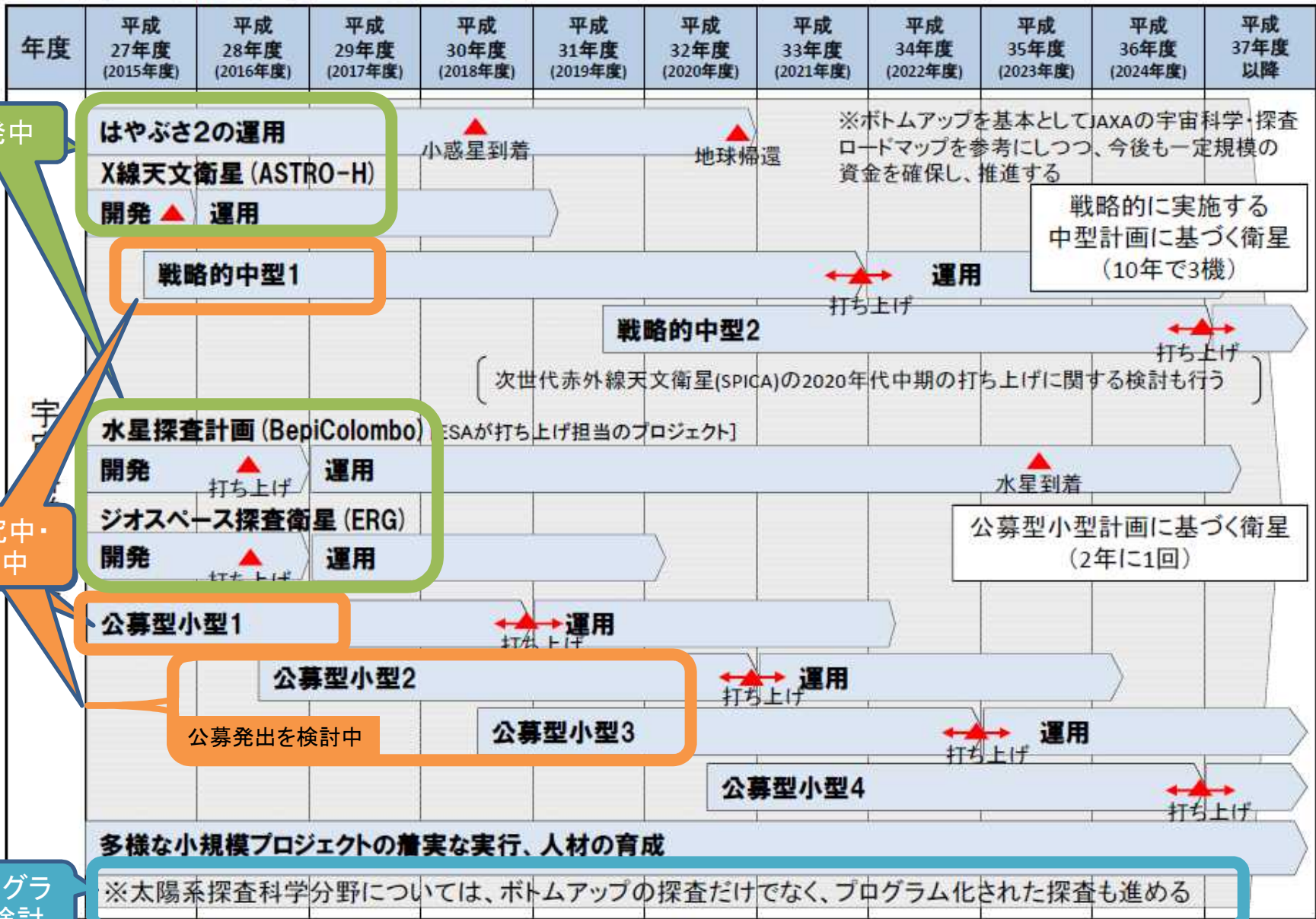
多様な小規模プロジェクト群(10億/年程度)
海外ミッションへのジュニアパートナーとしての参加、海外も含めた衛星・小型ロケット・気球など飛行機会への参加、小型飛行機会の創出、ISSを利用した科学研究など、多様な機会を最大に活用し成果創出を最大化する。

新「宇宙基本計画」本文 (平成27年1月9日宇宙開発戦略本部決定)

- 学術としての宇宙科学・探査は、今後とも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する観点から、ボトムアップを基本として JAXAの宇宙科学・探査ロードマップを参考にしつつ、今後も一定規模の資金を確保し、推進する。
- 今後10年間では、戦略的に実施する中型計画に基づき3機、公募型小型計画に基づき2年に1回のペースで5機打ち上げるとともに、多様な小規模プロジェクトを着実に実行する。具体的には、X線天文衛星 (ASTRO-H)、ジオスペース探査衛星(ERG)、水星探査計画(BepiColombo) 等のプロジェクトを進める。また、国際共同ミッションである次世代赤外線天文衛星(SPICA)の2020年代中期の打ち上げに関する検討も行う。さらに、現在 JAXA宇宙科学研究所(ISAS) において検討中のプロジェクトについては、検討結果を踏まえ、着実に進める。
- 太陽系探査科学分野については、効果的・効率的に活動を行える無人探査をボトムアップの議論に基づくだけでなく、プログラム化も行いつつ進める。プログラム化においては、月や火星等を含む重力天体への無人機の着陸及び探査活動を目標として、特に長期的な取組が必要であることから、必要な人材の育成に考慮しつつ、学術的大局的観点から計画的に取り組む。(文部科学省)

- 戦略的中型3機/10年，公募型小型5機/10年
- その中で重力天体への無人機の着陸と探査を目標とする太陽系探査科学を「プログラム」化して実施

4. (2)① ix) 宇宙科学・探査及び有人宇宙活動



※以上すべて文部科学省

①開発中プロジェクトの実施状況

(第15回:平成26年8月27日報告からのフォローアップ)

■ 打上げ(平成26年度実績)

- 小惑星探査機「はやぶさ2」:平成26年12月3日打上げ。初期機能確認の後、平成27年3月3日に小惑星1999 JU3に向けた航行段階(巡航フェーズ)へ移行



H-IIAロケット26号機による打上げ

■ 開発中のプロジェクト(平成27年度の作業計画)

- X線天文衛星(ASTRO-H)【平成27年度打上げ予定】
衛星フライトモデルの総合試験、射場運用、打上げ、初期機能確認等
- ジオスペース探査衛星(ERG)【平成28年度打上げ予定】
衛星フライトモデルの製作・総合試験、地上系整備等
- 水星探査計画(BepiColombo)【平成28年度打上げ予定】
衛星フライトモデルのESA側への引き渡し、ESAによる組立試験支援等

② 研究中・選定中プロジェクトの検討状況

■「公募型小型1」の選定状況

- 平成25年12月27日公募発出、平成26年2月28日締切。応募件数7件。
- ISAS支援による技術検討の結果を踏まえ、平成27年2月にISASとして「小型探査機による高精度月面着陸の技術実証(SLIM)」を選定した。
- 現在、JAXA経営レベルでの計画精査プロセスを進めている。

■「戦略的中型1」の選定状況

- 平成26年12月26日公募発出、平成27年2月16日締切。応募件数は5件。
- 現在は研究委員会(理工学委)による1次選定を進めている段階。
 - 理学委分(3件)は選定中、工学委分(2件)は「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」を選定したことをISAS所長に答申した。
- 今後、選ばれた候補ミッションについてISAS支援による重点検討を実施し、その結果を踏まえ、ISASとして最終候補を選定する。(本年度中を目標)

■「公募型小型2・3」の検討状況

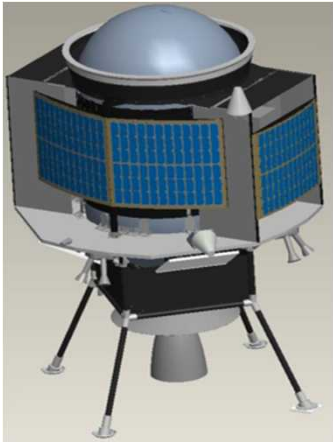
- 工程表に基づく確実な実現と早い段階での技術検討充実とを目的として、平成27年夏ごろの公募発出について検討中。その際、プログラム化も想定し、2機同時公募発出・選定についても検討中。

■その他の検討状況

- 次世代赤外線天文衛星(SPICA): 国際共同ミッションとして調整中。2020年代中期の打上げを目指す。
- 多様な小規模プロジェクト群: 主要海外ミッションへ我が国の優れた技術を活用した観測機器提供として、欧ESAが主導する木星氷衛星探査計画(JUICE)への参画などの複数計画を検討中。

小型探査機による高精度月面着陸の技術実証(SLIM)

- ・ 将来月惑星探査で必須の「降りたいところに降りる」ための高精度着陸技術の習得
- ・ 月惑星探査を実現するためのシステム技術の習得



ドライ重量約130kg

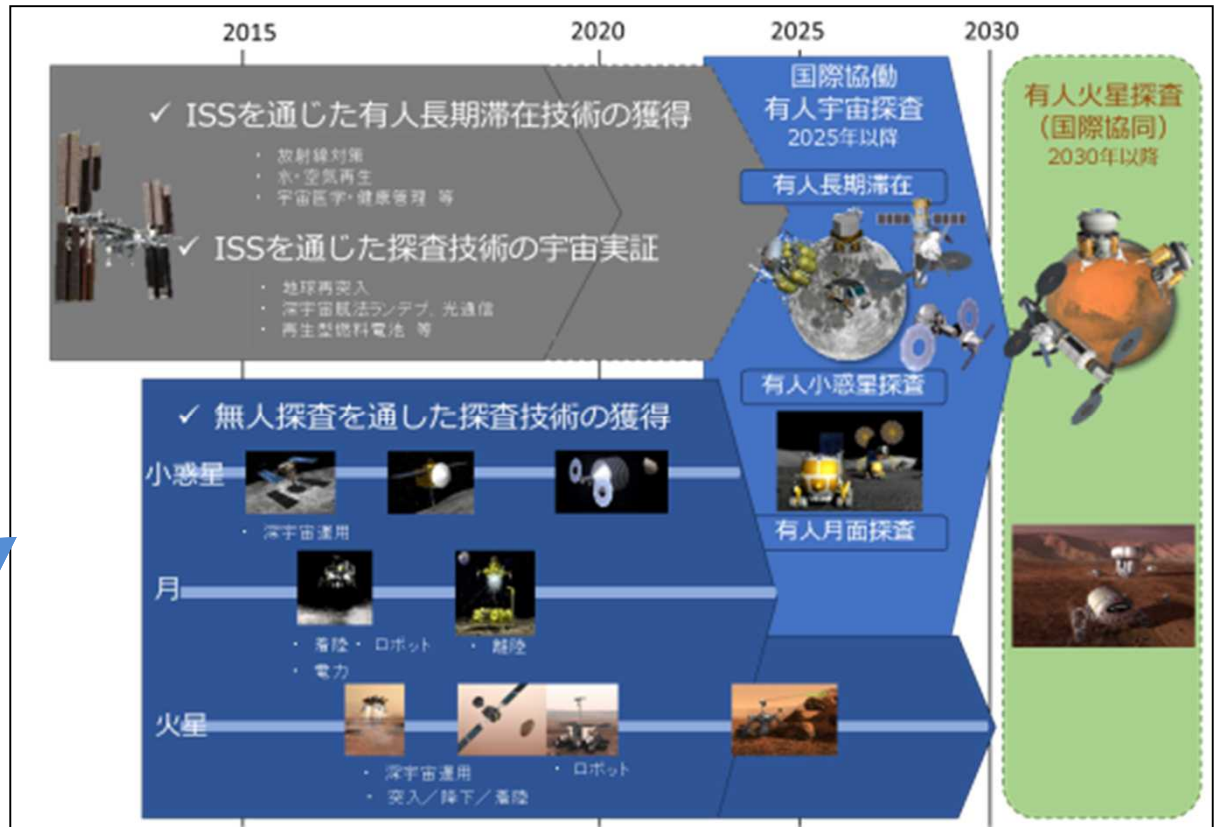
SLIMを実現する7つの先端技術

- ・ 着陸誘導制御系
- ・ 着陸衝撃吸収システム
- ・ 障害物検知手法
- ・ 画像照合航法
- ・ 先端電源系
- ・ 先進熱制御系
- ・ タンクを主構体とする構造

従来の衛星・探査機設計とは一線を画す工夫・アイデアによる小型軽量化

- ・ 推進薬タンクが主構体を兼ねる構造
- ・ 「宇宙機の省エネ化」「搭載機器の統合化」「電源のデジタル化・高性能化」
- ・ 民間ベースの技術応用(デジカメの顔認識技術による月面クレータ分布検出)

太陽系探査プログラム化・国際宇宙探査シナリオにおいて SLIMが果たす先駆的役割



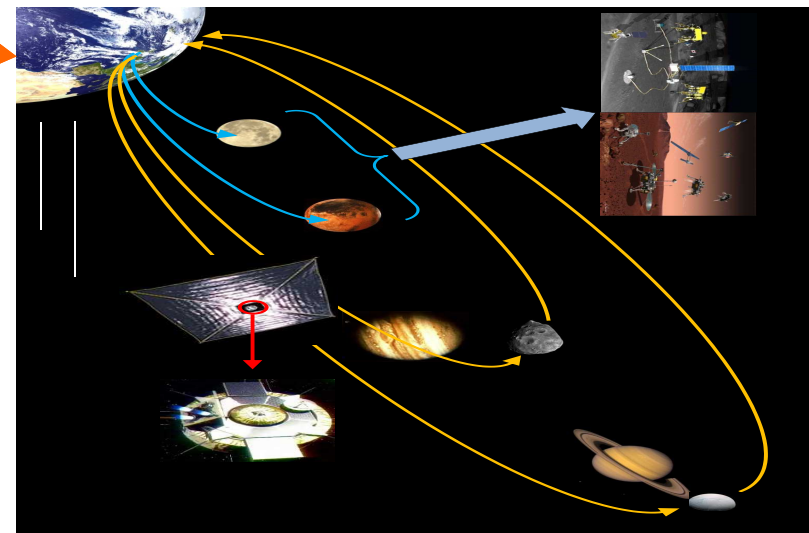
【上図】文部科学省 宇宙開発利用部会ISS・国際宇宙探査小委員会(第7回:H26/9/26)資料7-3より抜粋



国際宇宙探査

太陽系探査プログラム化

- 月面年代測定・内部探査
- 火星生命探査
- 火星衛星サンプルリターン
- トロヤ群小惑星探査
- メインベルト探査



SLIM(月着陸技術実証)の 次の太陽系探査計画(候補)

- ソーラーセイル計画
 - 外惑星領域の探査をソーラー電力セイルと電気推進の組み合わせで実現。目的は、(1)ソーラー電力セイルによる宇宙航行技術の実証、(2)外惑星領域の探査技術の実証とともに、(3)トロヤ群小惑星での科学観測。トロヤ群小惑星は、外惑星領域での太陽系形成史に関する情報を保持していることが期待される。
 - 2015年2月にWGが戦略的中型1号機として提案し、宇宙工学委員会での第一次選定を通過
- フォボス・ダイモス サンプルリターン
 - 火星の二つの衛星であるフォボス、あるいはダイモスからのサンプルリターン。これらの衛星の起源として、(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である。
 - 火星探査をプログラマ的に進めることを検討するチームメンバーと「はやぶさ2」コアメンバーらが、プログラム化候補として検討を進めている。
 - 将来の有人探査をも見据えつつ、この後の着陸探査へ続く道を着実なものとする、太陽系探査プログラムの重要なマイルストーンとなる。

サンプルリターンミッションの重要性

- 惑星科学のひとつの焦点は、「生命に至る物質と環境の進化」の解明であり、「はやぶさ」の成果に見られるように、サンプルリターン太陽系探査の学術的価値は計り知れない。
- 日本は、小惑星サンプルリターン計画「はやぶさ」を完了、「はやぶさ2」を打ち上げ、これらの計画に関連する宇宙物質キュレーション設備を整備している。
- はやぶさ2に続く計画は、日本における優位な技術的蓄積も考慮して、フォボス・ダイモス サンプルリターン計画について、ソーラーセイル計画の進展にも留意しつつ、詳細検討を加速すべきである。
- 火星衛星が捕獲された小惑星であった場合は、小惑星帯に留まり続ける始原的小惑星からサンプルを帰還させることと同程度の高価値がある。火星衛星が火星衝突イベントで形成した場合は、(小惑星ではなく)火星初期物質のサンプルを入手することになり、きわめて高い価値がある。さらに、いずれの場合であっても、衛星表面には太古の火星表層物質が付着しており、火星本体に着陸することなく火星サンプルが入手できることの価値もきわめて高いと思われる。

「戦略的中型1」の提案一覧

提案研究名	研究代表者	目的	想定打上時期
次期太陽観測衛星「SOLAR-C」	渡邊鉄哉 (国立天文台)	太陽表面から太陽コロナおよび惑星間空間に繋がるプラズマダイナミクスをひとつのシステムとして理解するとともに、宇宙プラズマに普遍的に現れるプラズマ素課程を解明する。このため、(I) 彩層・コロナと太陽風の形成機構の解明、(II) 太陽面爆発現象の発現機構の究明とその発生を予測するための知見の獲得、(III) 地球気候変動に影響を与える太陽放射スペクトルの変動機構の解明、の3課題を行う。	2023年度打上
超広視野初期宇宙探査衛星「WISH」	山田享 (東北大学)	宇宙年齢が僅か数億年の時代に発せられたと考えられる、赤方偏移 8-15 の銀河を多数検出し、宇宙再電離過程にある宇宙最初期における天体の形成過程を系統的に理解する。これは、スペースからの観測で達成可能な高感度・高解像度・広視野の近赤外線深宇宙探査により初めて可能なテーマである。	2022/3打上
LiteBIRD	羽澄昌史 (KEK)	宇宙ビッグバン以前に存在したと考えられるインフレーション宇宙仮説を徹底的に検証することを目的とする。このために、原始重力波の観測に最適な手段(宇宙マイクロ波背景放射の偏光全天精密観測)を行う。	FY2022-4Q打上
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	川口淳一郎(JAXA)	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、より自在な、より高度な」宇宙探査活動を実現する。	FY2021打上げ
火星着陸探査技術実証プロジェクト	藤田和央 (JAXA)	重力天体探査技術を火星において実証するとともに、世界初の科学成果の獲得を目指す。	2020/8打上、 2021/2火星着

理学委
選定中

ソーラ電力セイル
を一次
選定

③太陽系探査のプログラムの実行に向けた検討状況

- 「宇宙科学・探査ロードマップ」の具体化検討を行うため、今後20年を見据えた宇宙科学・探査の長期的戦略について理・工・宇宙環境利用の3研究委員会にISAS所長より諮問し、コミュニティの意見の聴取を行った。
- 太陽系探査科学においては、(1)長期にわたる継続的な工学技術の開発が必要であること、(2)我が国で実績のある小惑星探査に加えて、探査対象天体として月や火星の科学上の重要性が増していることから、重力天体の着陸技術の獲得について傾注する必要があることを、第16回宇宙科学・探査部会(平成26年9月30日)にてISAS所長から報告した。
- 新宇宙基本計画の工程表の具体化のため、研究領域ごとの将来ビジョン・戦略及び戦略に基づいた将来計画について、ISASより各分野に情報提供の依頼を行い(平成26年12月26日公募、平成27年2月2日締切)、天文学や工学分野も含む約40分野から研究計画が提出された。
- 各分野から提出された研究計画は、内容集約・分析中である。

太陽系探査科学のプログラム化に向けた戦略策定

■宇宙科学コミュニティ*1に研究領域・分野の目標・戦略提出を依頼(RFI *2)

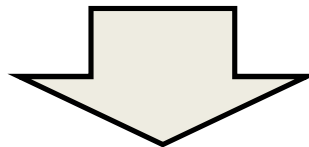
(*1: 宇宙理学, 宇宙工学, 宇宙環境利用科学)、(*2: RFI: Request for Information)

●RFIで各分野, コミュニティに依頼した内容

- 10-20年の世界のサイエンスの動向と日本の戦略
- 具体的なプロジェクト(あるいはプロジェクト群)の提案とその準備状況

●RFIへの回答から獲得すべき事

- 各コミュニティの戦略の理解
- 目的の先鋭化状況、準備状況と技術的見通し



■太陽系探査科学のプログラム化の戦略策定

- 太陽系探査科学におけるRFI提案から導出される戦略と目標設定の抽出
- 工程表との整合性/技術的難易度/国際協力の可能性の評価
- 国際宇宙探査の中でのJAXAの役割と位置付けへの留意

補足資料

研究領域の目標・戦略・工程表の状況

RFI	2014年11月28日(案)／12月26日(正式版)		
LOI	2015年1月 5日	42件	回答の意思表示
Comments	2015年1月20日		LOIへのコメントをISASから発出
RFI response	2015年2月 2日	32件	5領域他と統合／5領域未提出
	2015年4月		戦略策定のため提案者と議論中

太陽系科学	6	領域から提案
天文学・宇宙物理学	5	”
宇宙工学(インフラ・要素・システム技術)	8	”
宇宙工学プロジェクト	7	”
宇宙環境利用科学	6	”

「宇宙科学探査プログラム検討チーム」を設置し、分析と戦略への転換を進める一方、戦略的中型の評価委員会に関連する領域のRFI response を提供した。小規模プロジェクトについても同様に提供する予定。

【補足2(1/2)】

研究領域の目標・戦略・工程表の提出状況(1/2)

研究領域	団体名	代表者	所属	上位領域
太陽系科学【6領域】				
惑星科学/太陽系科学	日本惑星科学会	倉本 圭	北海道大学／日本惑星科学会会長	
太陽地球惑星系科学	地球惑星電磁気圏探査検討グループ	藤井 良一	名古屋大学	
海洋を含む地圏・大気圏・電離圏	旧小型科学衛星WG「ELMOS-WG」	小山 孝一郎	九州大学	地球大気電磁気
太陽・太陽圏研究領域	太陽研究者連絡会	草野 完也	名古屋大学	
アストロバイオロジー（宇宙と生命）	日本アストロバイオロジーネットワーク	山岸 明彦	東京薬科大学	生命科学
アストロケミストリー	環境委RT「宇宙ダストと核生成」	木村 勇氣	北海道大学	宇宙化学
天文学・宇宙物理学【5領域】				
光学赤外線天文学分野	光学赤外線天文連絡会（GOPIRA）	川端 弘治	広島大学	光赤外天文学
VLBIによるブラックホール研究	VLBI懇談会	面高 俊宏	鹿児島大学	電波天文学
インフレーション宇宙仮説の検証を目指す実験・観測研究分野	宇宙マイクロ波背景放射観測実験コミュニティ	羽澄 昌史	高エネ機構	
宇宙線物理学	宇宙線研究者会議（CRC）	神田 展行	大阪市立大学	宇宙線物理学
高エネルギー宇宙物理学	高エネルギー宇宙物理連絡会（HEAPA）	玉川 徹	理化学研究所	
宇宙工学（インフラ・要素・システム技術関係）【8領域】				
再使用観測ロケット	再使用観測ロケットチーム	小川 博之	JAXA宇宙研	宇宙推進技術
高機能ハイブリッドロケットの研究	工学委WG「ハイブリッドロケット研究WG」	嶋田 徹	JAXA宇宙研	宇宙推進技術
展開型柔軟構造物による宇宙飛翔体	工学委WG「柔軟構造体を利用した先進的大気圏飛翔体の研究開発WG」	鈴木 宏二郎	東京大学	要素技術・基盤技術
宇宙用電源	電気化学会電池技術委員会、電池工業会、JSUP等	本間 敬之	早稲田大学	宇宙機要素技術
革新的な衛星バス技術の研究	工学委RG「革新的な衛星バス技術の研究RG」	福田 盛介	JAXA宇宙研	宇宙機基盤技術
深宇宙航行・探査システム	工学委WG「DESTINY WG」	川勝 康弘	JAXA宇宙研	宇宙機基盤技術
超小型衛星を用いた先端技術の早期軌道上実証研究	工学委RG「超小型衛星RG」	松永 三郎	JAXA宇宙研	宇宙機基盤技術
FF（フォーメーションフライト）工学	FF（フォーメーションフライト）研究会	坂井 真一郎	JAXA宇宙研	宇宙機基盤技術

注：WG:ワーキンググループ、RG:リサーチグループ、RT:リサーチチーム

【補足2(2/2)】

研究領域の目標・戦略・工程表の提出状況(2/2)

研究領域	団体名	代表者	所属	上位領域
宇宙工学（プロジェクト）【7領域】				
低コストな小型合成開口レーダ衛星群による昼夜全天候型高頻度地球監視システム	工学委RG「多偏波衛星搭載合成開口レーダの革新的小型化研究RG」	齋藤 宏文	JAXA宇宙研	地球観測技術
太陽発電	宇宙環境におけるエネルギー利用の開拓	田中 孝治	JAXA宇宙研	宇宙機・衛星基盤技術
宇宙探査ミッションを支える宇宙技術実証プログラム	一般社団法人 日本航空宇宙学会	上野 誠也	横浜国立大学／日本航空宇宙学会会長	太陽系科学探査技術
外惑星領域の航行技術、探査技術、及び未踏の科学領域の開拓	工学委WG「ソーラーセイルWG」	川口 淳一郎	JAXA宇宙研	太陽系科学探査技術
海外ミッションを利用した太陽系サンプルリターン探査	工学委WG「国際共同サンプルリターンWG」	國中 均	JAXA宇宙研	太陽系科学探査技術
火星表面探査	工学委WG「火星着陸探査技術実証WG」	藤田 和央	JAXA 研究開発本部	重力天体表面探査技術
月・惑星の縦孔・地下空洞探査工学	工学委RG「月惑星の縦孔・地下空洞探査技術研究会」	河野 功	JAXA 研究開発本部	重力天体表面探査技術
宇宙環境利用科学【6領域】				
微小重力科学	日本マイクログラビティ応用学会	石川 正道	理化学研究所	マイクログラビティ
宇宙生命科学	一般社団法人日本宇宙生物科学会	高橋 秀幸	東北大学	
宇宙植物科学	宇宙植物科学研究者コミュニティ	保尊 隆享	大阪市立大学大学院理学研究科	植物学
宇宙における植物の生活環	環境委RT「宇宙における植物の生活環」チーム	唐原 一郎	富山大学大学院理工学研究部	植物学
宇宙におけるコケ植物の環境応答と宇宙利用	環境委RT「スペース・モス」	藤田 知道	北海道大学大学院理学研究院	植物学
宇宙医学研究：マウス生体諸機能の調節における重力の役割追求	宇宙航空環境医学会：宙医学研究グループ	後藤 勝正	豊橋創造大学大学院	宇宙医学
計32領域（統合後）				

注：WG:ワーキンググループ、RG:リサーチグループ、RT:リサーチチーム