

月面探査における 宇宙探査イノベーションハブの取組状況

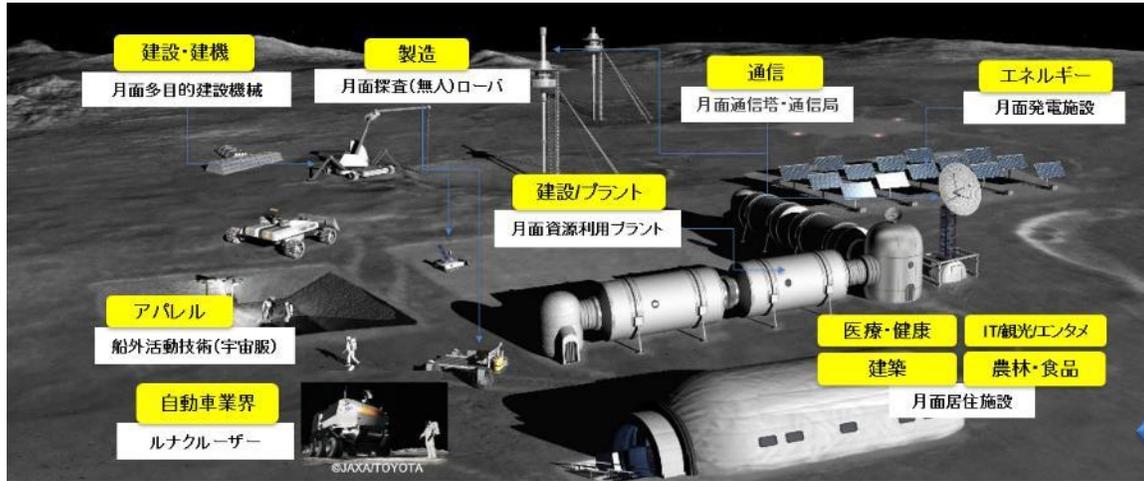
2025年6月26日

JAXA宇宙探査イノベーションハブ ハブ長 森 治

1. これまでの探査ハブの取組
2. 探査ハブの研究成果
3. 研究制度の進化「Moon to Mars Innovation」
4. 研究制度のしくみ
5. 次世代探査コンセプト検討活動の状況
6. オープンイノベーション型共同研究
7. まとめ

これまでの探査ハブの取組

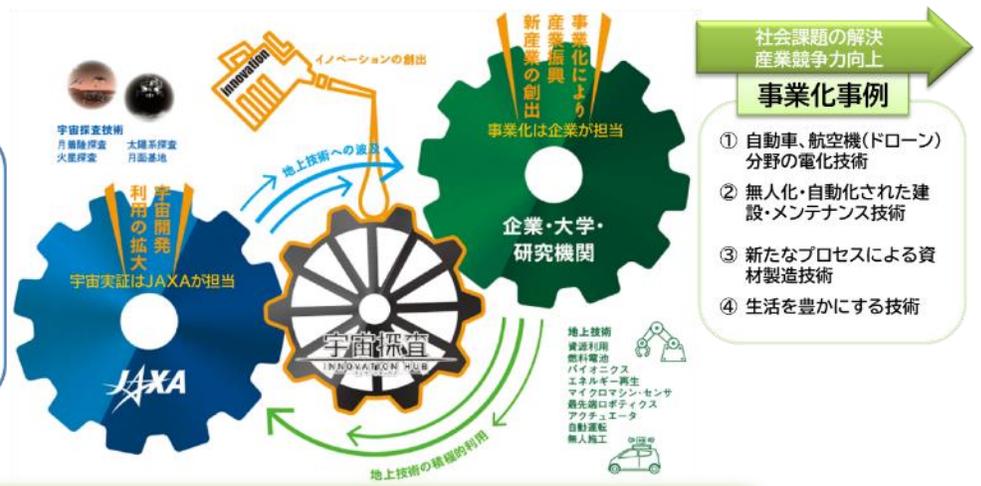
宇宙探査(特に重力天体探査)は、宇宙技術(ロケット・衛星等)の延長ではなく、地上技術を応用して実現することが重要



宇宙探査事例

- ① 移動型探査ロボットによる広域探査
- ② 月面・火星基地の遠隔施工
- ③ 月面・火星基地用資材を現地で製造するシステム
- ④ 安全かつ効率的な有人宇宙探査のロボット技術活用

宇宙探査シナリオ・ミッションの実現



- **非宇宙分野の企業の参入を促進し、地上技術を応用して世界をリードする宇宙探査技術の研究開発に取り組む。**
→ 宇宙探査シナリオ・ミッションの実現(JAXA)
- **宇宙探査の技術課題は、社会的課題の解決や地上産業に必要な技術課題との共通点が多い。**
→ 産業競争力の強化(企業)

宇宙探査と地上事業の“Dual Utilization”

オープンイノベーション型共同研究

により、異分野との連携・人材糾合を促進し、探査のプレイヤーのすそ野を拡大し、幅広い技術を獲得してきた。

2015年に科学技術振興機構(JST)のイノベーションハブ構築支援事業にて開始。当該事業終了後、2020年度からはJAXAの運営費交付金事業として上記を目標に掲げて継続。

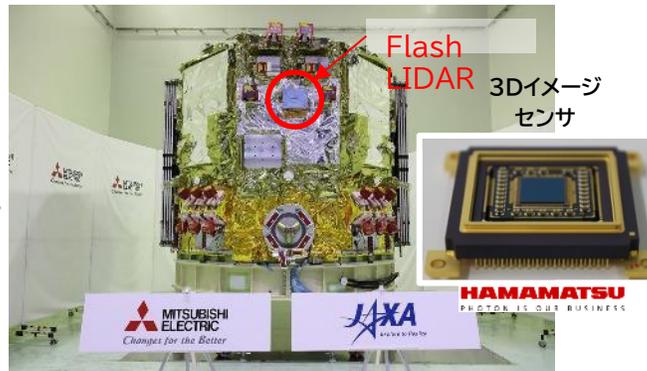
探査ハブの研究成果

探査ハブと民間の共同研究成果をきっかけとした宇宙実証、探査適用、地上事業化が進展



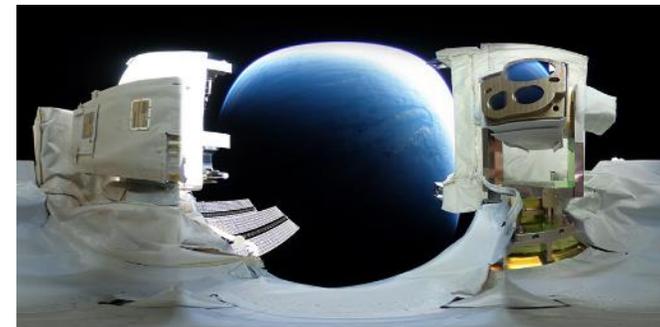
SLIM/LEV-2 (SORA-Q) 小型変形型ロボット

玩具メーカーであるタカラトミーのノウハウを活用し、同志社大学・ソニーグループ株式会社とともに、共同開発。世界最小・最軽量の月面探査ロボットとなり、親機であるSLIMの撮影に成功。フラッグシップモデルを販売し、玩具ビジネスとしても一定の成果。2025年2月5日には、第7回日本オープンイノベーション大賞において「産学官連携による日本初・世界最小の変形型月面ロボットの開発」として内閣総理大臣賞を受賞。探査ハブにおける研究開始2016年4月、2024年1月20日宇宙実証。



新型宇宙ステーション補給機(HTV-X) 1号機搭載 3Dイメージセンサ

浜松ホトニクスと研究した3Dイメージセンサを活用して、HTV-XプロジェクトにてHTV-X1号機用ランデブー・サブ・センサとしてFlash LIDARを開発(次号機以降のセンサも製造中)。探査ハブにおける研究期間2016年11月～2021年9月。

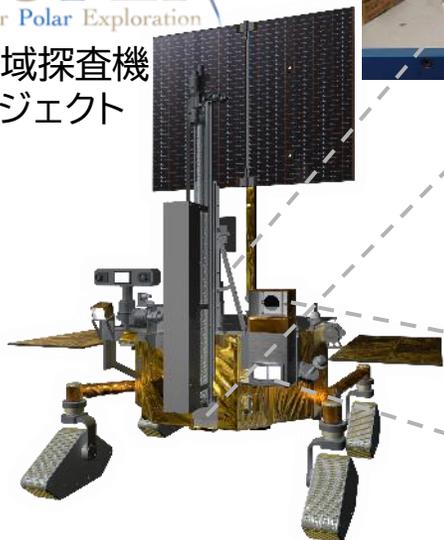


小型光通信実験装置SOLISS

小型衛星搭載用の光通信機器としてEthernetによる通信を実現した世界初の事例。SONY社の衛星事業に発展。探査ハブにおける研究期間2016年3月～2018年3月。2020年4月宇宙実証。



月極域探査機プロジェクト



小型微量水分計の研究

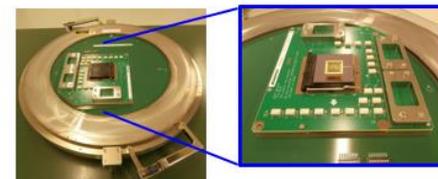
神栄テクノロジーによる高い湿度水分測定技術を活用し、半導体製造現場に適用される小型微量水分計を開発。ガス中の水分を高精度かつ高感度で高速に測定可能。量産化に成功し、地上では製品販売開始した。現在、LUPEXプロジェクト搭載の微量水分計の開発に協力。探査ハブにおける研究期間2016年12月～2019年3月。

小型2次元分光器 nSIS



LUPEX搭載小型イメージング分光器

近赤外域の単色(モノクロ)を撮影可能な小型近赤外イメージング分光装置。光学系の最適化、駆動方式の検討、検出器の調査、光学部品の最適設計、性能試験等を行い、2次元イメージング分光器の小型・軽量化を実現。製品として販売開始。探査ハブにおける研究期間2016年3月～2018年3月。



ISS実証向けMRAMチップと、そのメモリテスト評価ボード (東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センターにて設計・製造) 船外実験プラットフォーム(EF)に設置された小型パイロード搭載支援装置(SPySE)外観



待機電力不要システム

小型パイロード支援装置(SPySE)を含む中型曝露実験アダプタ(i-SEEP)搭載実験テーマとして実証予定。国産の既製品を活用し、放射線耐性がある衛星・探査機搭載用半導体の待機電力を不要とするシステムの実現を目指し、2026年度下半期以降打ち上げ予定。探査ハブにおける研究期間2019年12月～2021年3月。

宇宙を取り巻く状況の変化：国際宇宙探査の進展、民間企業による宇宙活動の活発化

2024年3月
Moon to Mars Innovation 開始

- 宇宙探査プロジェクトの接続を強化する。単独プロジェクトだけでなく宇宙探査プログラムに広く適用する。オープンイノベーション型共同研究のシステム型・ゲームチェンジ型において国際宇宙探査のニーズを取り込む。4つの重点領域を設定し、「次世代探査コンセプト検討活動」を行い、この結果を研究テーマに反映する。
- ニーズベースだけでなく、シーズベースの挑戦的な研究も行い、宇宙分野のすそ野を広げる。オープンイノベーション型共同研究のチャレンジ型では研究課題を自由提案とする。
- 地上事業化だけでなく、宇宙事業化につなげていく。

次世代エネルギー



次世代モビリティ



アセンブリ&
マニファク
チャリング



ハビテーション



Space Dual Utilization

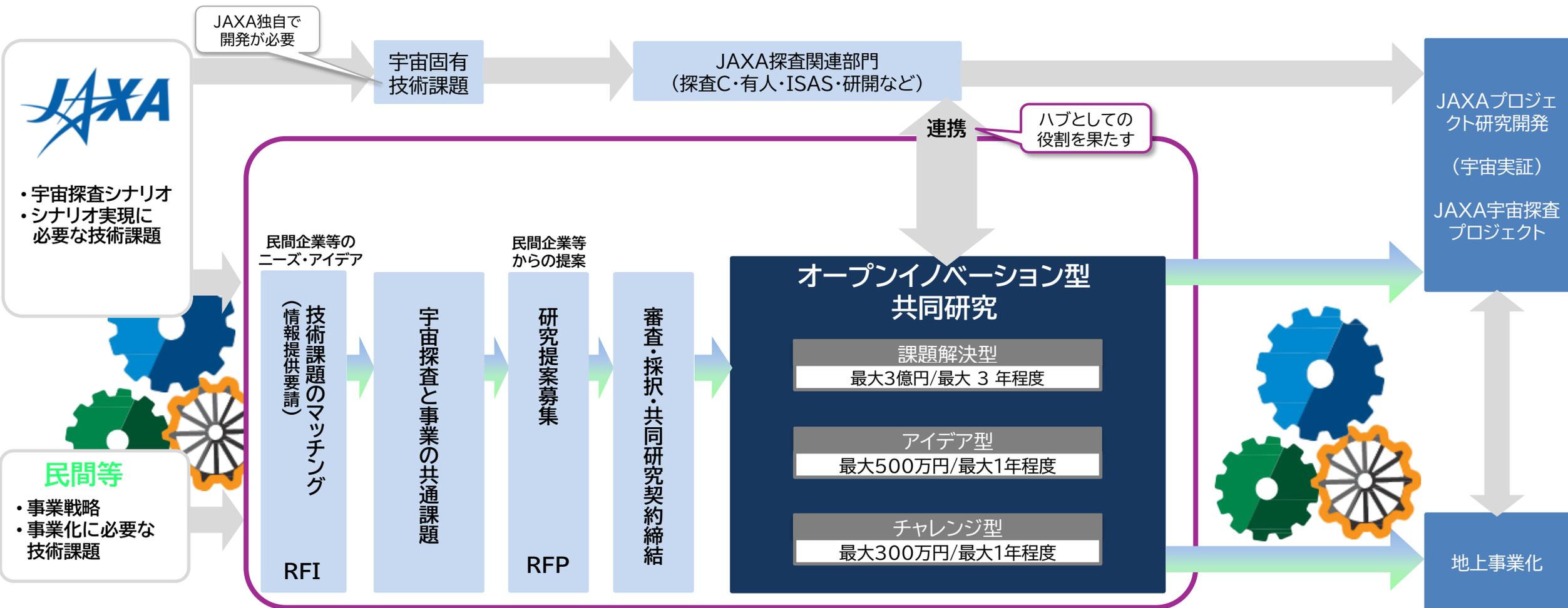
JAXA宇宙探査プログラム+宇宙・地上事業化
2024年3月以降

Dual Utilization

JAXA宇宙探査プロジェクト+地上事業化
(2015年度～2023年度)

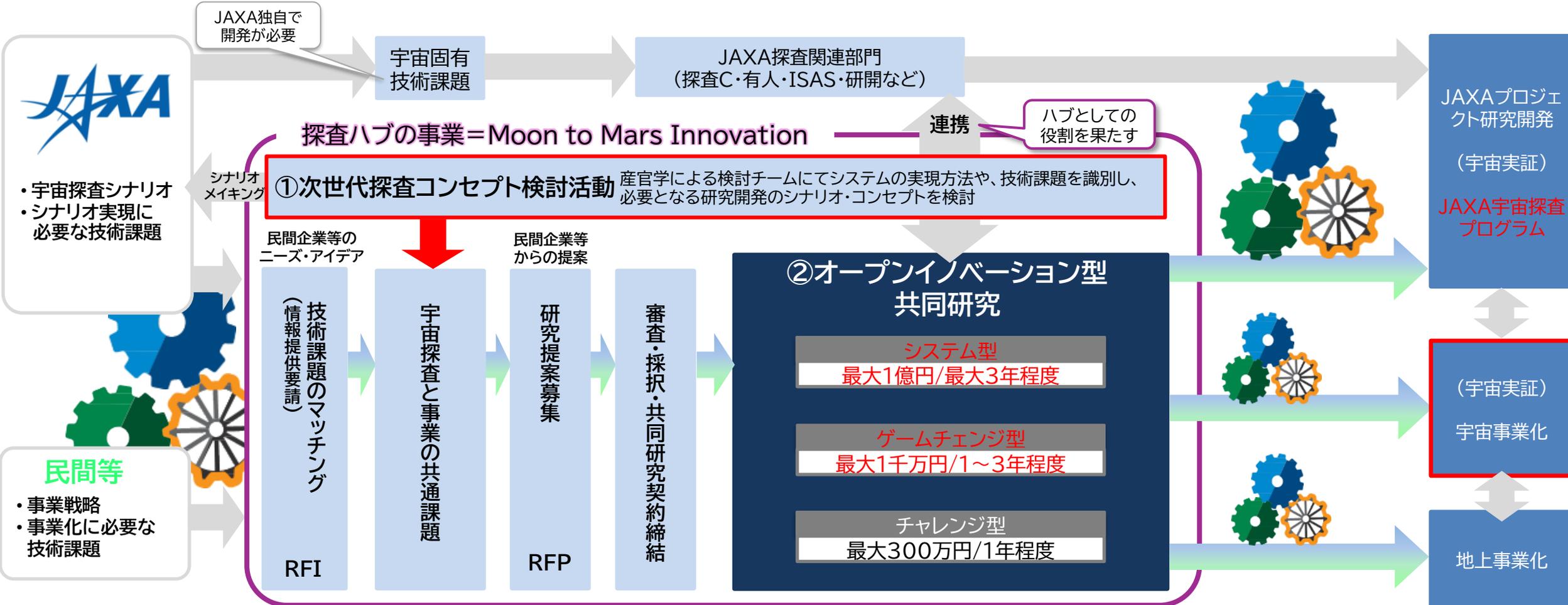
従来研究制度のしくみ(2015年度～2023年度)

- RFI(情報提供)をもとにRFP(研究提案募集)を実施してオープンイノベーション型共同研究を実施する。
 - JAXA宇宙探査プロジェクトや地上事業化につなげていく。
- Dual Utilization



研究制度「Moon to Mars Innovation」のしくみ (2024年3月以降)

- 次世代探査コンセプト検討活動の成果をオープンイノベーション型共同研究のテーマに反映することで、JAXAプロジェクト研究開発へつなげやすくし、JAXA宇宙探査プログラムに適用する。
- 共同研究としてJAXAも技術課題に取り組むことで宇宙探査のすそ野を広げて、民間企業等の宇宙・地上事業化につなげていく。→ Space Dual Utilization

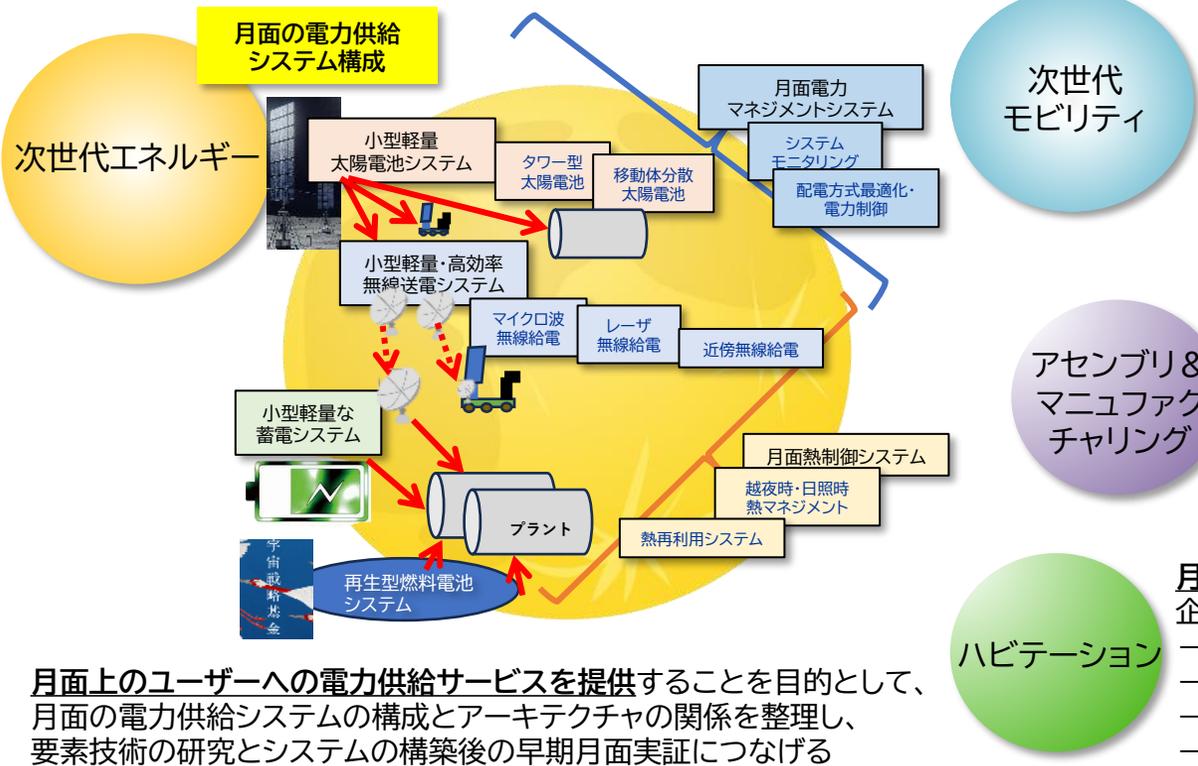


①次世代探査コンセプト検討活動の状況

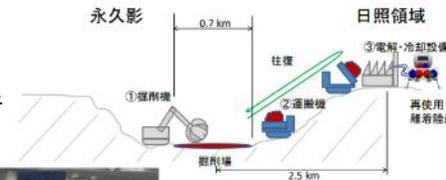
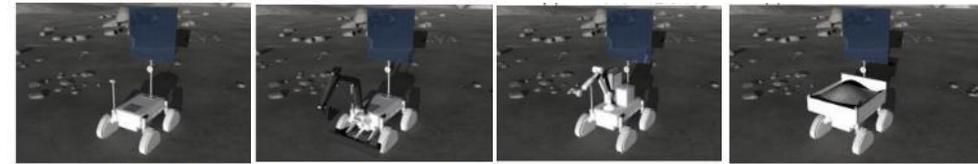
次世代探査コンセプト領域ごとにJAXAが産学官チームを編成し、将来の月・火星の探査像(システム、サービス)に対し

- ・システムの段階的実現方法
- ・その技術課題の識別
- ・必要となる研究開発のシナリオ を検討する

システムの段階的拡張性(Scalability)、他のシステムと協調して運用するための相互互換性(Interoperability)、共通性(Commonality)、火星への発展性(Evolvability)といった観点を特に重視する



月面上のモビリティシステムとして移動・運搬サービスを提供することを目的に、12程度の企業・大学とともに、月面拠点の複数のインフラ間の物資(水や推進薬や太陽電池タワーなど)を運搬できる月面物流モビリティの要求仕様・技術課題を具体化

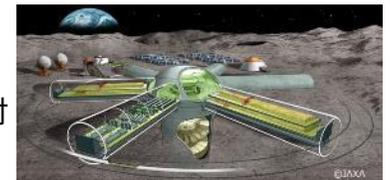


月周回、月面における製造、組立、生産サービスを提供することを目的に、8社・3大学、他領域と連携して以下技術の研究シナリオ・方向性を検討

1. 宇宙における積層造形技術
2. 月面における大規模掘削技術
3. 月面における資源抽出:加工原料素材抽出、水分抽出技術
4. 宇宙における大型構造物:展開構造物機構、自律的な構造物構築等
5. 月面における:金属材料の効率的リサイクル技術

月面上での有人滞在を可能とするサービス提供を目的に大学・企業等と連携して研究のターゲットやゴール、実証搭載先の検討

- ISS「きぼう」等の低軌道機会を利用した実証研究
- Gateway搭載(NASA/ESA中心)
- 与圧ローバー環境利用のための研究・技術開発
- 月面居住のための要素技術研究



月面フードシステムワーキンググループの実施

- ・月面のフードシステムに適した調理/加工/貯蔵方法の検討
- ・作物以外の食料生産のフィージビリティ整理

本活動で識別された技術課題や検討されたシステムを探査ハブのRFIやRFPに反映して、共同研究を実施するとともに政府の宇宙技術戦略のローリング等にも提案する

研究制度「Moon to Mars Innovation」にて実施した初回のRFPにおける採択案件を以下に示す(RFPとしては通算12回目)

	領域	採択テーマ名称	機関名	研究期間	
1	システム型	次世代エネルギー	(1)月面固定型スマート太陽電池タワーシステムの高機能化に関する研究	日本飛行機株式会社、次世代宇宙システム技術研究組合、金沢工業大学	2024/12～ 2027/12
2		次世代エネルギー	(2)24GHz高効率大電力伝送システム向けスイッチングコンバータ用PA及び高効率受信アンテナアレイと受電電力最大合成の研究	株式会社Space Power Technologies、三菱電機株式会社、学校法人金沢工業大学、国立大学法人信州大学、国立大学法人熊本大学、日本ガイシ株式会社、東海国立大学機構名古屋大学、住友電工デバイス・イノベーション株式会社、株式会社ダイモン	2024/12～ 2026/12
3	ゲームエンジン型	次世代モビリティ	(3)人とロボットのインタラクションを通じたミッション生成とタスク遂行の研究	株式会社デンソー	2024/12～ 2025/12
4		次世代モビリティ	(4)AI を用いた汎用的な自己位置推定技術の開発	株式会社NTT データ CCS	2024/12～ 2026/12
			(5)カメラ画像による自己位置推定の統一的手法とエッジデバイス搭載技術の研究開発	イントフォー株式会社	2024/12～ 2026/11
5		アセンブリ&マニピュレーション	(6)月面サーマルマイニングを指向した低温ガス吸着回収技術の開発	信州大学、高砂熱学工業株式会社	2024/12/～ 2026/12
6	ハビテーション	(7)説明可能なAI 技術を活用した月・火星探査に向けた太陽放射線事前予測技術の開発	富士通株式会社、東海国立大学機構名古屋大学	2025/2～ 2026/3	

従来の研究制度で採択して継続している研究は10件(RFPは通算で11回実施)。研究が終了した案件も含めて合計で215件の共同研究を実施。以下の探査ハブ公開Web「共同研究一覧」を参照。
https://www.ihub-tansa.jaxa.jp/introduction/joint_studies.html

次世代 エネルギー

太陽電池により発電した数kW級の電力を100m級範囲へ供給するため、月面固定型スマート太陽電池タワーシステム(1)と24GHz高効率大電力伝送システム(2)の技術開発に取り組む。特に太陽電池タワーの研究開発は米国を中心に盛んであるが、送電システム(無線・有線)も含めた小型軽量化技術で優位性を獲得することを目指す。

(1)月面固定型スマート太陽電池タワーシステムの高機能化に関する研究

システム型 (日本飛行機株式会社、次世代宇宙システム技術研究組合、金沢工業大学)

[研究期間: 2024/12~2027/12]

太陽電池を月面から10m上方に展開可能なタワーで1基あたり数kW級の発電を実現することを目指す。更に、タワー同士で電力融通可能な技術を獲得することで、電力規模の拡大(段階的拡張性)、他システムとの連携(相互互換性)も可能なスマート発電システムを構築する。

(2)24GHz高効率大電力伝送システム向けスイッチングコンバータ用PA及び高効率受信アンテナレイと受電電力最大合成の研究

システム型 (株式会社Space Power Technologies、三菱電機株式会社、学校法人金沢工業大学、国立大学法人信州大学、国立大学法人熊本大学、日本ガイシ株式会社、東海国立大学機構名古屋大学、住友電工デバイス・イノベーション株式会社、株式会社ダイモン)

[研究期間: 2024/12~2026/12]

本研究とRFP10課題解決型で研究開発中の「宇宙・地上両用途の高効率・長距離無線電力伝送用ミリ波デバイス及び全体システムの開発」の成果を統合することで、100m先に数10W級の電力をDC-DC伝送効率5%で実現する技術の獲得を目指す。

(1)(2)の技術開発をベースとして発電システム、送電システム(無線給電を含む)、ストレージシステムを結合した電力供給システムを構成し、推葉プラントやローバなど最終的なユーザーに対する給電サービスを実現する。

小規模な給電実証から始め、2035年頃以降に300kW程度(推葉プラントで持続的な月面活動ができるレベル)までスケラブルな拡大を目指す。



RFP12
太陽電池タワー



次世代 モビリティ

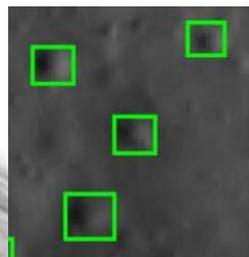
月・火星探査を見据えた無人/有人ローバや深宇宙探査機での表面移動・作業に貢献する**高精度・低消費電力・リアルタイムな自己位置推定技術(3)(4)**、また、**生成AIによる自然言語インタラクションを通じた複数台ロボットの協調行動生成(5)**に資する研究を推進する。

(3) AI を用いた汎用的な自己位置推定技術の開発

ゲームチェンジ型（株式会社NTTデータCCS）
[研究期間:2024/12~2026/12]

月面における低高度画像およびローバ撮影画像を用いた深層学習による**小クレーター・ポルダー(*)抽出と地形マッチング技術**を活用して、低高度で誤差5m以内、ローバ画像では誤差10m以内の自己位置推定の高精度化を目指す。

(*)月面に存在する岩塊

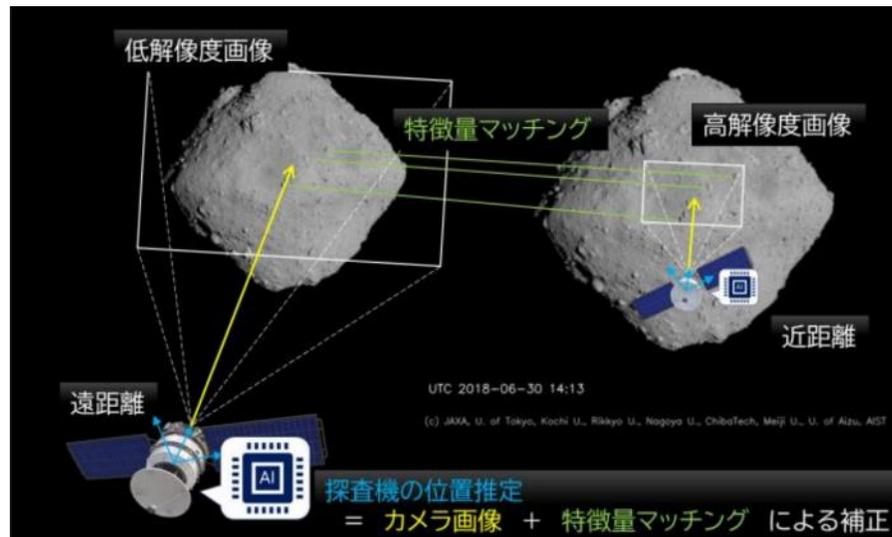


クレーター抽出例

(4) カメラ画像による自己位置推定の統一的手法とエッジデバイス搭載技術の研究開発

ゲームチェンジ型（イントフォー株式会社）
[研究期間:2024/12~2026/11]

目的地への経路計画や制御に不可欠な探査機の自己位置推定について、AIを活用して**クレーターのような特徴的な形状が無い地形に対する画像マッチング技術**を開発することで精度向上を目指す。探査機上で情報を処理することで、地球-探査機間の通信時間の削減も狙う。



着陸前の探査機の位置推定概念図

(5) 人とロボットのインタラクションを通じたミッション生成とタスク遂行の研究

ゲームチェンジ型（株式会社デンソー）
[研究期間:2024/12~2025/12]

生成AIの進展により自然言語理解と行動生成の統合が現実味を帯びてきている。月面拠点建設において建機や運搬機を地上から遠隔操作する際に、**人の素早い柔軟な状況判断による遠隔指示を理解しつつ、臨機応変で自律的な協調行動できるロボットの自動制御の実現を目指す**



AIロボットイメージ

アセンブリ&
マニユファク
チャリング

(6)月面サーマルマイニング(*)を指向した低温ガス吸着回収技術の開発

ゲームチェンジ型 (信州大学、高砂熱学工業株式会社)
[研究期間:2024/12~2026/12]

月面サーマルマイニングにおいて、He同位体、水素同位体、一酸化炭素といった有用ガスが水と共にレゴリスより放出されることが期待される。**各発生ガスを分離回収するシステムの開発**と月面サーマルマイニングシステムへ接続し、**エネルギーや推進剤の獲得を目指す**。

(*)レゴリスを加熱して水を採取する技術

ハビテーション

(7)説明可能なAI 技術を活用した月・火星探査に向けた太陽放射線事前予測技術の開発

ゲームチェンジ型 (富士通株式会社、東海国立大学機構名古屋大学)
[研究期間:2025/2~2026/12]

月・火星探査のより高度な運用判断や安全な滞在・居住に向け、太陽フレア発生により突発的に起こる太陽高エネルギー粒子事象の発生とその響予測ができる、宇宙探査のための天気予測システムは必要不可欠である。

富士通の説明可能なAIによる学習技術、名古屋大学宇宙地球環境研究所(ISEE)が保有するアルゴリズムや評価モデル、JAXAの影響評価技術や月面環境情報を用い、地磁気圏外の宇宙天気現象の予測を行う。

研究成果をJAXAが開発予定の宇宙放射線線量計の仕様やデータ解析手法にフィードバックすることで、国際月面有人探査プログラム(アルテミス計画など)での宇宙天気予測分野への貢献も目指す。

富士通と東海国立大学機構は 月面における太陽高エネルギー粒子事象の予測を目指す

- アルテミス計画では2025年以降、有人試験飛行などを予定
- JAXAが開発予定の宇宙放射線線量計に本研究のフィードバックを目指す
- 富士通のAIとISEE、JAXAの各種データを活用して予測



太陽フレア

太陽高エネルギー粒子

人体への被ばく、機器故障などの影響があるため、その予測が求められている

- 探査ハブは設立から10年が経過。これまで重力天体探査を主としたオープンイノベーション型共同研究を実施して、非宇宙分野のプレイヤーを宇宙探査へ呼び込み、宇宙と地上の“Dual Utilization”を実現した。
- 一方、宇宙を取り巻く状況は大きく変化した(国際宇宙探査の進展、民間企業による宇宙活動の活発化)。そこで国際宇宙探査のニーズに直接的に応え、地上事業化のみならず宇宙事業化を意識したオープンイノベーション型共同研究を行うとして、「Moon to Mars Innovation」の研究制度を開始した。
- 今後の探査ハブは、月・火星(重力天体)の段階的な発展を目指した共同研究を推進することで、これまで以上に宇宙探査プログラムへ貢献するとともに宇宙事業化も狙う。

これらの取り組みを進めることで、“Space Dual Utilization”(「宇宙探査プログラム」×「宇宙事業創出」の両輪)の実現を加速し、将来の月経済圏における経済効果の発揮を目指す。

(参考) 探査ハブ概要

主な事業

1. 宇宙探査と宇宙・地上での産業化を目指すオープンイノベーション型研究
2. オープンイノベーション型研究と宇宙探査研究を推進するために必要な設備の整備・維持

拠点



設備



月惑星表面を模擬した広大な屋内実験場を保有する約400㎡の『宇宙探査実験棟』



実スケールの探査ロボットや着陸機を用いた探査活動の一連の性能・機能確認や運用試験等を実施、外部からの利用(有償)も開始した。

体制



上記に加えて
 ・併任:18名
 ・任期付き:11名
 ・クオアポ:2名
 ・客員:8名
 ・派遣:5名 ※延べ人数:55名
 JAXA内でも人材糾合を実現

JAXA内の探査研究関連各部及び企業・大学・研究機関をつなぐ結節点として活動

(参考) 探査ハブの予算と企業の自己投資

- 立ち上げから5年間(2015～2019年度)はJSTイノベーションハブ構築支援事業の資金支援(総額20.6億円)を得ながら活動。
- 2020年度からJAXA運営費交付金のみで運営し、JAXA交付金総額はFY2024までの10年間で総額40.3億円^(*)。
- 設立初期より、探査ハブとの共同研究を機として企業等からの自己投資を引き出し、宇宙探査への投資の呼び込んだ。企業等からの自己投資はFY2024までで総額約68.7^(**)億円であり、増加傾向にある。

(*) 2015年度～2019年度のJAXA交付金10.5億円 + 2020年度～2024年度のJAXA交付金29.8億円

(**) 2015年度～2019年度の企業自己投資24.3億円 + 2020年度～2024年度の企業自己投資44.4億円

