



JAXA SPACE EXPLORATION INNOVATION HUB CENTER

SPACE DUAL UTILIZATION

JAXA 宇宙探査イノベーションハブ
10年の軌跡と未来



宇宙探査イノベーションハブは、2015年の創立以来、宇宙探査のための技術と、地上における産業技術の共通点に着目し、JAXAと民間企業や大学などとの間の結節点となって、両者共同で進める研究、そして日本の宇宙産業界の裾野拡大を推進してきました。

一方、この10年でより多くの国や機関、さらに民間企業までもが月以遠を目指すなど、国際宇宙探査を取り巻く環境は大きく変化。私たちはこの変化を捉え、月から始まる国際宇宙探査のアーキテクチャ実現に貢献するため、2024年度から新研究制度「Moon to Mars Innovation」を立ち上げました。従前のシーズベースの研究に加え、より具体的なニーズに直接応える共同研究に取り組むことで、国際宇宙探査の段階的な発展と宇宙事業化の実現を目指します。

——松浦真弓（JAXA理事）

6 PART 1 THE MISSION

探査ハブを「知る」

8 About TansaX 宇宙探査イノベーションハブのビジョンと役割

14 Key Exploration Domains 探査ハブが担う4領域

16 TansaX in Numbers 数字で見る探査ハブ

18 Timeline 探査ハブ10年のあゆみ

20 Advanced Facility for Space Exploration 実証と共創の実験場「宇宙探査フィールド」

26 In-Space Demo Update 共同研究の「宇宙実証状況」

28 PART 2 THE MILESTONES

探査ハブの「現ステージ」

30 Four Research Areas 探査ハブが狙いを定めた4つの研究対象領域

32 Next-Gen Energy 「月の夜」を乗り越えるエネルギーを

36 Next-Gen Mobility 月面を走る「モビリティプラットフォーム」を作る

40 Assembly & Manufacturing 「地産地消」のものづくりを月面で

44 Habitation 月や火星は「生存」から「生活」の場へ

COLUMN

48 Food 月面で「おいしい」を諦めない

50 Co-creation 1兆円基金の先に見据える産業としての宇宙

54 Cross-Appt 「クロアポ」は宇宙と地上をつなぐメカニズム

56 Business 歴史的偉業を達成した「変形型月面ロボット」

58 RFP 12（2024年度）採択の共同研究サマリ

60 PART 3 THE NEXT HORIZON

探査ハブの「これから」

62 奇想天外な技術で深宇宙を駆ける 國中 均（JAXA 宇宙科学研究所 元所長・名誉教授）

64 「想像」が宇宙を拓くエネルギーになる 小山宙哉（マンガ家）

66 2040年、月は「経済圏」になる 伊達木香子（JAXA 国際宇宙探査センター事業推進室 室長）

70 「地上」と「宇宙」の技術が循環する未来

森 治（JAXA 宇宙探査イノベーションハブ ハブ長）、櫛木賢一（JAXA 宇宙探査イノベーションハブ 副ハブ長）

72 Staff Directory 技術と共創で地上と宇宙の境界を溶かす精鋭たち

74 Epilogue 川崎一義（JAXA 理事補佐）

CONTENTS

PART 1

THE

MISSION

地上の技術を宇宙へ、そして宇宙の技術を地上へと還流させる
「Space Dual Utilization」を掲げる宇宙探査イノベーションハブ。
異分野との共創で挑む、革新的な組織のビジョンと役割をひもとく。

——探査ハブを「知る」——

About TansaX

宇宙探査イノベーションハブのビジョンと役割

2015年の発足以来、探査ハブは異分野の知見を宇宙開発に融合させてきた。約9割が非宇宙企業というユニークな共創体制で、地上の課題解決と宇宙探査技術の獲得を同時に目指す、オープンイノベーションの最前線を紹介する。

——宇宙探査イノベーションハブはどんな組織？

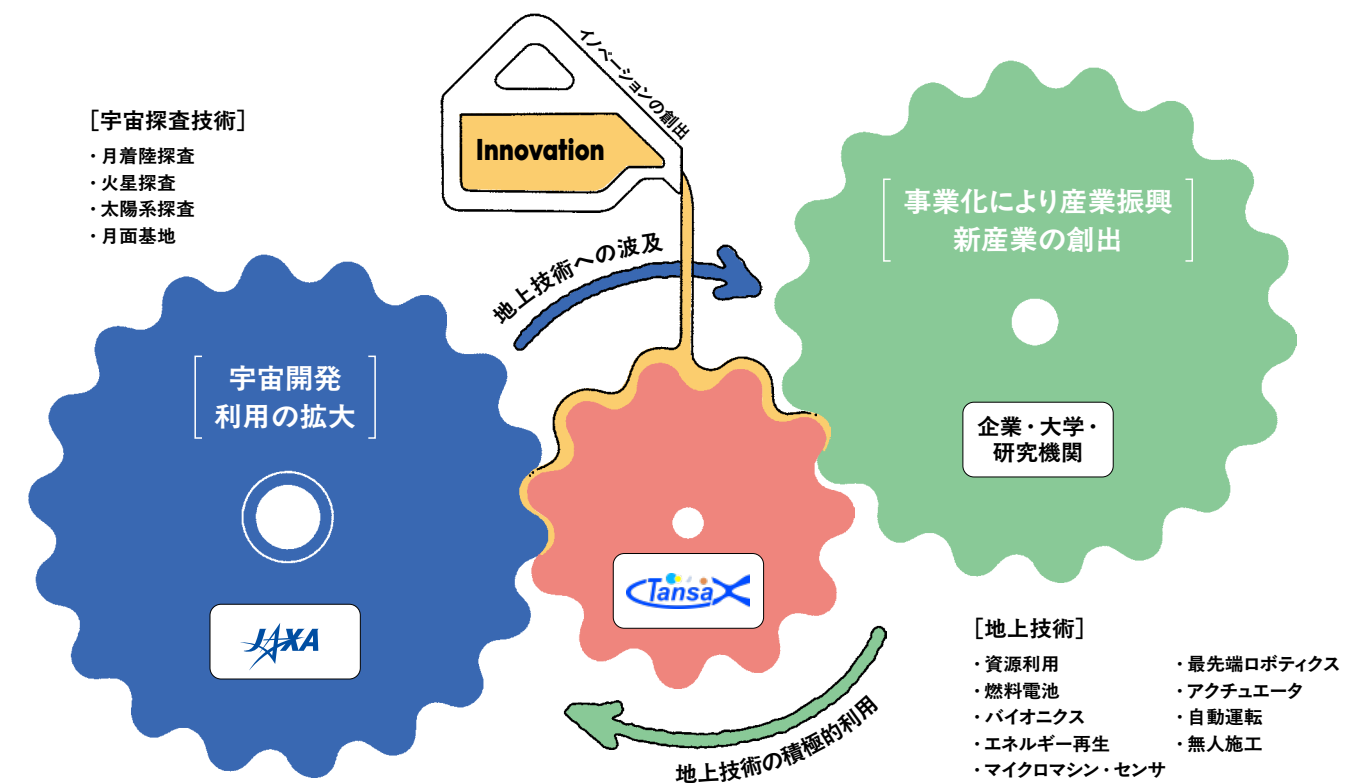
宇宙探査イノベーションハブ(探査ハブ、TansaX)は、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)が持つ技術や知見を基盤に、異分野の多様なプレイヤーと連携し、新たな価値を創出することを目的として2015年に立ち上がった組織です。宇宙航空分野の基礎研究から開発・利用まで一貫して取り組むJAXAにおいて、オープンイノベーションの取り組みを推進しています。

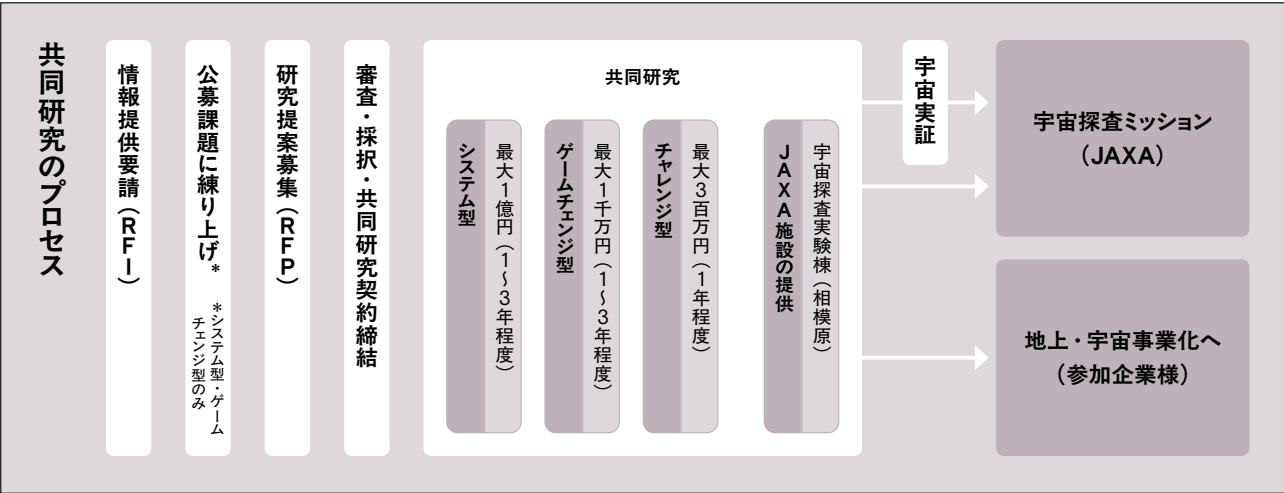
現在は、持続的な月・火星探査を目指す「Moon to Mars Innovation (MMI)」制度を主軸に、さまざまな企業やアカデミアなどと共同研究に取り組んでいます。共同研究を通じて宇宙探査技術の獲

得と地上／宇宙の事業化の双方を促進するとともに、月から火星への段階的發展を目指す次世代探査コンセプト検討活動を実施しています。

——JAXAにおける宇宙探査イノベーションハブの立ち位置は？

JAXA全体で見れば、職員数は1500人を超え、ロケット、人工衛星、航空技術、基礎科学と多岐にわたる部門が活動しています。そのなかで、探査ハブのコアメンバーはわずか10名ほど。組織図の上では非常に小さな部署です。しかし、その活動スタイルは極めてユニークです。設立当初はDual Utilization(宇宙と地上の双方での活用)、2024年からはSpace Dual





Utilization (「宇宙探査ミッション」と「宇宙事業創出」の両輪) を掲げ、JAXA 内部だけでなく、民間企業や大学と積極的に「共同研究」を行うオープンイノベーション型のアプローチをとっています。少数精鋭ですが、他部署のメンバーや外部のパートナーを含めると、実質的には50名規模のバーチャルチームとして機能しています。「どうやってそんな少人数でこれだけの成果を出しているのか」と、所内や他の研究機関から驚かれることも多いですね。

―― 拠点は？

JAXA 相模原キャンパスです。ちなみに月の地形や照明環境を模擬した、広さ約400㎡の屋内実験場＝宇宙探査フィールドも探査ハブの管轄です。

―― 10年間の活動で特に印象に残っている成果は？

まずは、タカラトミー等と共同開発した変形型月面ロボット (LEV-2) 愛称「SORA-Q」が挙げられます。玩具メーカーが宇宙開発のメインプレイヤーになり、その技術が実際に月面で実証され、さらには一般向けの玩具として商品化される。これは、宇宙技術が「遠い未来の話」から「消費者の手に届くもの」へと変わった象徴的な事例です。

もうひとつは、カナデビア株式会社 (旧日立造船株式会社) との「全固体リチウムイオン電池」です。液体の電解質を使わない全固体電池は、発火リスクが低く、過酷な環境にも耐えられるため、宇宙用として理想的です。しかし、その特性は地上の産業界

でも強く求められています。2025 年は「全固体電池元年」ともいわれていますが、宇宙という極限環境で実証された技術と知見が、地上のバッテリー市場における競争力強化にもつながっている。これこそが、探査ハブが目指す「Dual Utilization」の真髄です。

―― MMI 制度とは？

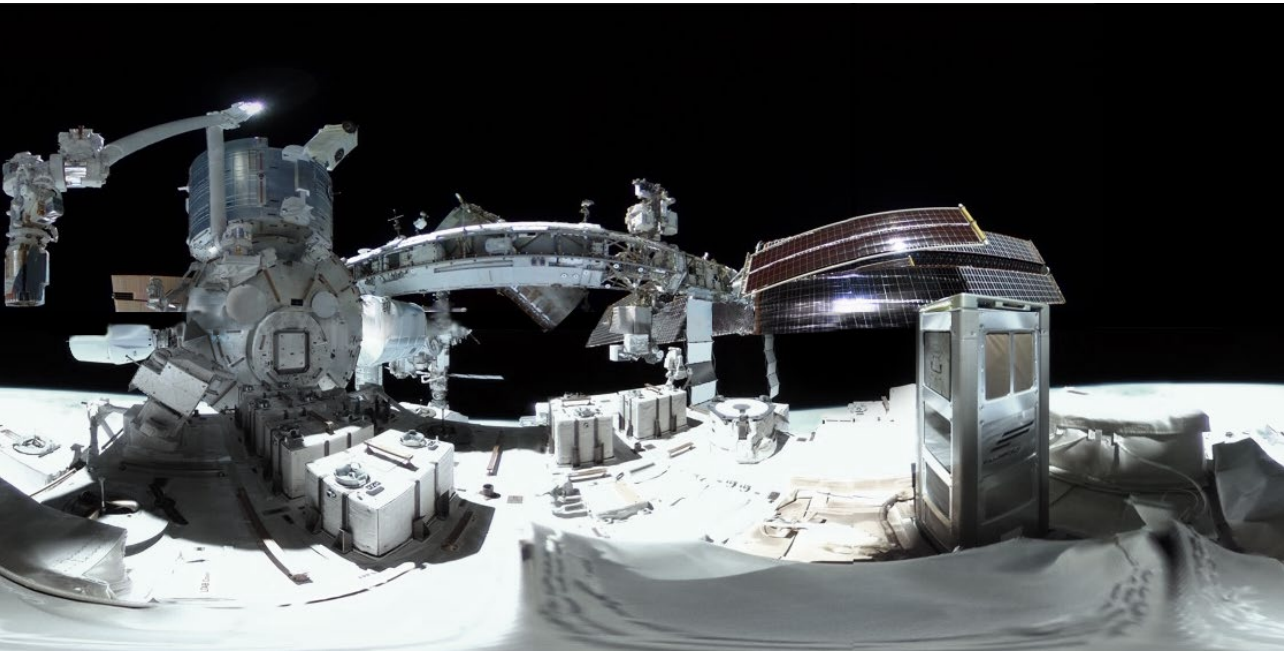
「Moon to Mars Innovation (MMI)」は、国際的な宇宙探査シナリオのニーズからバックキャストし、月・火星探査に不可欠な技術課題を重点的に解決するべく 2024 年度からスタートした新制度です。従来の「シーズ探索型」から、「システム構築」や「ゲームチェンジ技術の創出」へシフトすることで、将来の月・火星アーキテクチャを具現化するためのエンジンとなることを目指しています。JAXA と民間企業等の月探査へのニーズをふまえ、出口戦略を共創し、将来の JAXA の宇宙探査ミッションと企業等の宇宙／地上での事業化の双方の創出 (Space Dual Utilization) を目指した共同研究を実施します。具体的には、月・火星探査および長期滞在に向けて、4 領域からアプローチを進めています。

―― どのような企業が探査ハブに参加を？

特筆すべきは、参加機関の約9割が、これまで宇宙開発とは無縁だった「非宇宙企業」であることです。建設、食品、化学、日用品……あらゆる業界から、300社近い企業・団体が参画しています。JAXA が果たすべき役割は「目利き」です。提案された技術



変形型月面ロボット (Lunar Excursion Vehicle 2 (LEV-2)) 愛称「SORA-Q」が撮影した小型月着陸実証機 (SLIM) の画像。同画像は LEV-2 とともに SLIM 着陸直前に月面へ放出された超小型月面探査ローバ (Lunar Excursion Vehicle 1 (LEV-1)) の通信機で地上に転送された。それに伴い SORA-Q は日本初の月面探査ロボットとなり、世界初の完全自律ロボットによる月面探査、世界初の複数ロボットによる同時月面探査を達成。さらに LEV-2 は世界最小・最軽量の月面探査ロボットとなった。



全固体リチウムイオン電池軌道上実証装置 (Space As-Lib) を国際宇宙ステーション (ISS) の「きぼう」日本実験棟の船外実験プラットフォームに設置された「船外小型ペイロード支援装置 (SPySE)」に取り付け、世界で初めて充電が可能であることを確認。

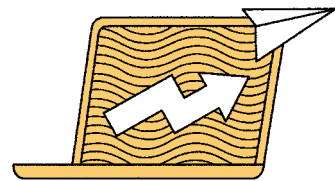
「Moon to Mars Innovation (MMI)」制度の流れ



Step 1

情報提供要請書類 (RFI: Request for Information) 提出

研究課題の設定にあたり、関連技術情報の提供を求めるものです。募集要項に従い、情報提供書（指定様式）を作成の上、ご提出ください。



Step 2

研究提案書類 (RFP: Request for Proposal) 提出

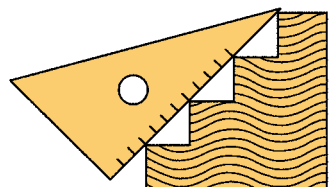
JAXAは、RFIでご提供いただいた情報をもとに、研究課題を設定し、RFPを発出します。提案者は、研究提案書（指定様式）を作成の上、募集期間内にご提出ください。なおRFPでは、RFIに情報提供いただいた方に限らず研究提案していただくことが可能です。※ご希望に応じて秘密保持契約を締結します。



Step 3

選考

ご提出いただいた研究提案書をもとにJAXA（外部有識者、技術専門家含む）で審査・選考を行います。



Step 4

研究実施計画の作成

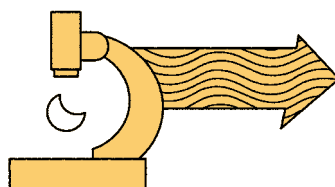
採択となった提案については、JAXAとともに研究実施計画を作成いただきます。研究実施計画に基づき、共同研究契約及び必要に応じてJAXAへの研究者出向契約等（クロスアポイントメント制度含む）を行います。※各契約はJAXAが提示する契約書条文にて締結することといたします。なお、共同研究に参加するすべての機関を当事者とする多者間契約とします。



Step 5

共同研究契約等の締結

契約締結後、共同研究を開始します。すべての研究は、年度毎に研究進捗を、研究終了後に研究成果を報告していただきます。また、必要に応じて面談等も実施します。



Step 6

研究実施、研究後

年度毎に研究進捗及び成果の評価を行い、翌年度の研究継続について可否を決定します。評価結果によっては、当初の研究実施計画・研究期間にかかわらず、JAXAが研究実施計画の見直しや中止、延長等を判断することがあります。研究終了後も事業化に向けて提案者が独自に研究を継続することも可能です。さらに研究を進めるシステム型の制度により協力関係を継続することがあります。



が将来の宇宙探査にどう貢献できるか、そして同時に、その企業にとって地上での事業化につながるか。単なる「研究ごっこ」で終わらせないために、私たちはあえてシビアな視点で評価します。宇宙と地上、両方で価値を生み出せるかどうか、持続可能なイノベーションの鍵だからです。

地域的にも広がりを見せています。関東だけでなく、九州や東北、北海道からの参加も増えています。必要があれば、探査ハブの広報や研究員が全国どこへでも飛んでいきますよ（笑）。

——なぜいま「月や火星」を目指す？

2026年からは、米国主導の「アルテミス計画」が本格化し、人類は半世紀ぶりに月へ戻ります。アポロ計画を知らない世代が、リアルタイムで人間が月を歩く姿を目撃する時代が来るのです。そしてその先には、火星が待っています。

実はSORA-Qが月面で活躍するまでには、約10年の歳月がかかりました。もし10年前に誰もその研究を始めていなければ、あの写真は撮れなかったでしょう。研究開発の世界は「千三つ（1000の

アイデアで成功するのは3つ）」といわれます。私たちがやっているのは、10年後、20年後のための「仕込み」なのです。

月や火星は、無重力の宇宙空間とは違い、「重力」がある天体です。だからこそ、地上の技術——建設機械、居住システム、食料生産など——が応用しやすい。地球に住むために企業が磨いてきた技術を、ぜひ宇宙でも活かしてほしい。「なぜこのハブに予算を使うのか」と問われれば、私たちは胸を張ってこう答えます。「地球の技術で、人が宇宙で暮らす未来を作るためです」と。

月や火星が現実的な活動の場となる時代は、もう目の前まで来ています。10年前にスマートフォンがない生活を想像できなかったように、技術の転換点は気づかないうちに訪れ、日常を変えています。その未来を迎えるためには、いまこの瞬間に種をまき、育てることが不可欠です。

JAXA相模原キャンパスの片隅で、約300社のパートナーとともに静かに、しかし熱く進行しているイノベーション。それがいつか、みなさんの当たり前の日常になる日を目指して、私たちはこれからも挑戦を続けます。

Key Exploration Domains

探査ハブが担う4領域

Next-Gen Energy

次世代エネルギー

月面を照らす電力網の構築



Next-Gen Mobility

次世代モビリティ

AI+ロボティクスで月面を走破する



Assembly & Manufacturing

アセンブリ&マニファクチャリング

宇宙で作り、宇宙で直す

Habitation

ハビテーション

月面での衣食住を支える技術群



数字で振り返る10年

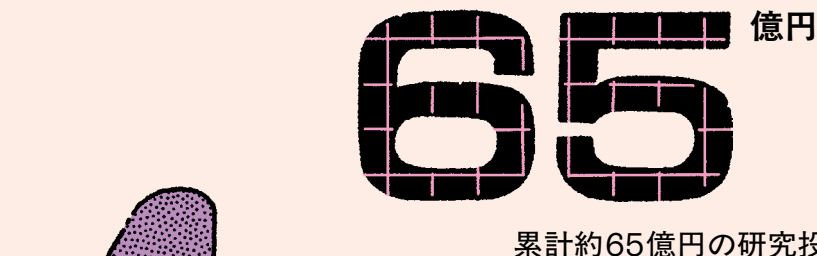
定量データで見る成果

この10年、宇宙探査イノベーションハブは「オープンイノベーション」を通じて宇宙技術と地上技術の橋渡しとなることで、数多くの成果を挙げてきた。参加企業・機関の数から生まれた技術の数まで、事業の広がりと深みを示す“数字”を手がかりに、その歩みを振り返る。



参画者の約9割が異業種

参加機関の約9割は従来宇宙に縁のなかった異分野の企業や大学。例えば建設、自動車、玩具メーカーなど、多彩なプレイヤーが参集している。宇宙探査技術の研究開発を通じて各業界の競争力強化や新事業創出へのつながりを促す、まさにオープンイノベーションの場となっている。



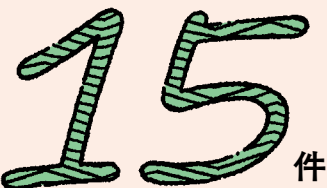
累計約65億円の研究投資

探査ハブ関連の研究開発へ投じられた公的資金は累計で約65億4,000万円にのぼる（FY2023まで）。科学技術振興機構（JST）イノベーションハブ事業による初期投資を経て2020年度以降はJAXA予算として継続拡充。さらには参画企業からの自己投資も呼び込むなど産官学連携の潤沢な研究基盤を構築するに至った。



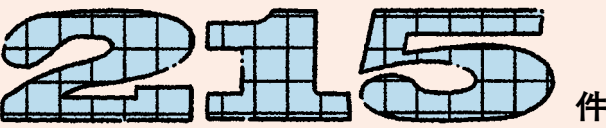
“世界初”を4つ達成

探査ハブから生まれた技術のなかで、世界初の快挙となったものが少なくとも4つある。例えば、変形型月面ロボット「SORA-Q」が実現した世界初の完全自動自律＆複数ロボットによる月面探査、ISSからのレーザー通信実験「SOLISS」で達成した100MbpsのEthernet映像伝送（レーザー通信）、世界で初めて全固体リチウムイオン電池の軌道上充電に成功した実証実験、国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟での袋型培養槽技術による栽培実験がそれに当たる。この10年、探査ハブは数々の「世界初」で日本の存在感を示したといえるだろう。



宇宙実証15件

探査ハブ発の技術で宇宙実証（または搭載予定）に至ったものは15件。ISS船外実験や小型月着陸実証機SLIMへの機器搭載など共同研究の成果を宇宙で試すことで、ミッション適用にも弾みをつけることに。月面ロボットや光通信装置など、研究室の成果が実際の宇宙ミッションで花開く結果となった。



実施した共同研究数は215件

探査ハブで育まれた技術の一部は、その後政府の大型研究開発プログラムに引き継がれている。例えば、宇宙開発技術の「スターダスト」プログラムに7件、AIロボット技術のムーンショット型研究に5件、合計12件のプロジェクトが橋渡しされ、さらなる開発が進展中だ。探査ハブ発の成果が次の舞台で発展する好循環が生まれている。



事業化された製品・サービス14例

探査ハブの研究成果からは実際の製品やサービスも誕生した。半導体製造現場向け微量水分計は、宇宙技術応用で性能が向上し量産化へ。変形型月面ロボット「SORA-Q」は玩具メーカーから市販モデルが発売され、ISS実証した全固体電池は商用セルが販売開始。さらにソニーグループは小型光通信機を自社の衛星事業へ発展。産学官連携から複数の新ビジネスが生まれ、社会に還元されている。



RFPへの応募総数は1214件

2015年に探査ハブが設立されて以来、研究提案募集（RFP）への応募総数は1214件。この数字は、宇宙探査という挑戦に対し、業種を超えた多くのプレイヤーが熱い期待を寄せていることの現れでもある。多様な領域から寄せられた膨大なアイデアは、地上と宇宙をつなぐオープンイノベーションの源泉となり、2030年代の月・火星探査へ向けた確かな原動力となっている。



直径8cm弱の超小型月面ロボット

わずか78mmの球体ロボット「SORA-Q」は、世界最小・最軽量の月面探査ロボット。玩具メーカーと共同開発された“変形機構”によって着地後にバカッと展開し、搭載カメラで着陸機SLIMを撮影することに成功。その愛らしい超小型ロボの月での活躍後、地上で1/1スケールの玩具が発売され、完売する大ヒットとなった。



産学官276の企業・団体が参画

探査ハブにはこの10年で276の民間企業や大学、公的機関が共同研究に参加。大手ゼネコンからスタートアップ、大学、公的研究機関まで、まさにオールジャパン体制による広範な技術シーズが結集している。宇宙探査という壮大な目標のもと、これだけ多様な顔ぶれが一堂に会して共同研究を行う体制は日本でも前例がなく、そのネットワーク自体が大きな財産となっている。



2030年代、月から火星へ

探査ハブのキーワードは「Moon to Mars Innovation」。月で培う技術とオープンイノベーションの力によって、将来の火星探査にも貢献することが私たちの目標。国際的にも有人火星探査が現実味を帯びてくる2030年代以降、探査ハブで生まれたロボット技術や省電力技術が大きな役割を果たすことになるかもしれない。この10年でまかれたイノベーションの種は、これから訪れる新たな宇宙時代に向けて、大きく花開こうとしている。

2015

出発の年——
仕組みを先に作る
この年 JAXA は、宇宙
と地上の共通技術課題
を異分野と連携して解
決するべく「宇宙探査イ
ノベーションハブ」を発
足。「宇宙×地上 (Dual
Utilization)」の発想
で新技術や新産業の創
出する回路を開通させ
た。宇宙“外”の知恵を
迎える視点を、さま
ざまな成果が生まれるこ
ととなった。同年、NASA
の探査機ニュー・ホライ
ズンズが冥王星へ最接
近。探査の地平が一気
に広がるなか、日本発
のオープンイノベーション
拠点が産声を上げた。

【6月】・「宇宙探査イノ
ベーションハブ」が発足 (科
学技術振興機構 (JST)
オープンイノベーションハ
ブ支援事業に採択)。初
代ハブ長に國中均(当時、
宇宙科学研究所 宇宙
飛行工学研究系 教授)
が就任。

【7月】・宇宙探査オー
プンイノベーションフォー
ラムを兵庫県 (神戸)、
東京 (お茶の水)、福岡
(博多) で初開催し、産
学官の交流を促進。
・ニューホライズンズが
冥王星に最接近し、詳
細画像の撮影に成功。

【8月】・こうのとり5号
機 (HTV5) 打ち上げ成
功。油井亀美也宇宙飛
行士がISSキャプチャを
担当し、物資補給を完遂。

【11月】・第1回研究提
案募集 (RFP) を実施。
課題解決型、アイデア型
の研究提案公募を実施
し、新規参画を呼び込む。
・日本ではH-IIAロケッ
ト29号機により商業通
信衛星の打ち上げに初成功
(Telstar 12VANTAGE)。
民間衛星打ち上げ市場
への参入を果たす。

【12月】・金星探査機「あ
かつき」の金星周回軌道
への投入に成功。5年
前の失敗を乗り越え、日
本の探査機として初めて
地球以外の惑星周回軌
道へ。
・スペースX社がファル
コン9ロケット1段目の
垂直着陸に世界で初め
て成功。

2016

【1月】・第1回公募の採
択結果を公表。課題解
決型14件・アイデア型
15件を選定し、選抜研
究が本格始動。

【2月】・X線天文衛星
「ひとみ」(ASTRO-H)
打ち上げ。
・米国の重力波観測所
LIGOチームが重力波の
初直接検出に成功と発表。

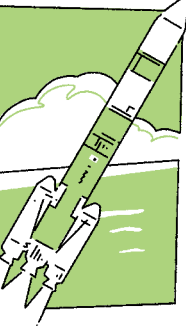
【3月】・JAXA宇宙探
査オープンイノベーション
フォーラムを東京 (汐
留) で開催。

【6月】・JAXA宇宙探
査オープンイノベーション
フォーラムを神奈川 (横
浜) で開催。
・第2回研究提案募集
(RFP) を実施。公募テ
ーマを拡充し、多様な技
術シーズを探索。

【7月】・NASAが探査
機ジュノーを木星周回
軌道に投入成功。

【9月】・中国が「天宮2
号」宇宙実験室を打ち
上げ。

【10月】・第2回RFP採
択結果を公表 (課題解
決型4件・アイデア型6
件)。産学官の連携研究
が着実に拡大。



【12月】・イブシロンロケ
ット2号機によりジ奥斯
ペース探査衛星「あらせ」
(ERG) の打ち上げに成
功。

2017

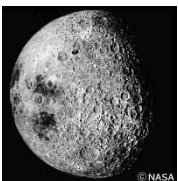
【1月】・SS-520 4号機
の打ち上げ実験を実施
(軌道投入断念)。民生
技術を活用した超小型
ロケットへの挑戦が注目
を集める。

【2月】・JAXA 相模原キ
ャンパスに建設した「宇
宙探査実験棟」宇宙探
査フィールド運用開始。

【3月】・第3回研究提案
募集 (RFP) を開始。
・スペースX社が使い捨
てだったロケット1段目の
再打ち上げ・着陸に世界
で初めて成功。

【5月】・JAXA宇宙探
査オープンイノベーション
フォーラム (広域未踏峰
探査) を福島で開催。

【6月】・「みちびき」2号
機打ち上げ成功。以降、
3号機・4号機と連続打
ち上げに成功し、日本版
GPSの4機体制構築へ
前進。



【9月】・第3回RFPの
採択結果を公表 (課題
解決型5件・アイデア型
11件採択)。
・土星探査機「カッシー
ニ」が土星大気圏に突
入しミッション完遂。

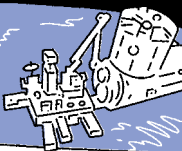
【10月】・太陽系外から
飛来した観測史上初の
天体「オウムアムア」を
発見。

【12月】・宇宙探査オー
プンイノベーションフォー
ラムを東京 (八重洲) と
大阪で開催。
・金井宣茂宇宙飛行士
がソユーズ宇宙船でISS
へ到着。長期滞在を開始。

2018

躍動の年——
活動が加速・深化する
2代目ハブ長に久保田
孝が就任したこの年、國
中初代ハブ長時代に採
択された案件がプレス
発表され始め、活動に
勢いが付き始める。

【2月】・ISSの日本実験
棟「きぼう」を利用した長
距離光通信実証実験の
開始を発表。



・JAXA 相模原キャン
パスに探査ハブの交流拠
点の機能をもつ「宇宙科
学探査交流棟」オープン。
・SS-520 5号機打ち上
げ成功。民生部品を多用
した超小型ロケットによる
衛星軌道投入に成功し、
ギネス世界記録に認定。

【4月】・第4回研究提案
募集 (RFP) を実施。久保
田孝(当時、宇宙科学研
究所 宇宙機応用工学研
究系教授)が2代目ハブ長
に就任し、新体制で推進。



【6月】・JAXAの探査機
「はやぶさ2」が小惑星
リュウグウに到着。



【9月】・「はやぶさ2」が
小型ローバ「ミネルバII
1」を投下、世界初の小惑
星表面での移動探査に
成功。

【11月】・探査ハブ共同
研究の成果として、小惑
星リュウグウの簡易形状
模型を公開。

2019

【1月】・JAXA宇宙探
査オープンイノベーション
フォーラムを東京 (八重洲)
で開催。
・中国の探査機「嫦娥4
号」が人類初の月の裏
側への軟着陸に成功。

【2月】・JAXA、新明和
工業株式会社、大分大
学、日本文理大学、茨
城大学、静岡大学によ
る共同研究成果として、
世界最高クラスの小型高
効率モータの開発に成功
と発表。
・JAXA宇宙探査オー
プンイノベーションフォー
ラムを大阪で開催。

【4月】・「はやぶさ2」が
衝突装置 (SCI) を使用
し、小惑星に人工クレ
ーターを生成することに
世界で初めて成功。
・国際研究チームが史上
初となるブラックホール
の影の撮影に成功。

【5月】・米国が有人月探
査計画「アルテミス計画」
を発表。

【7月】・ISSでの長距離
光通信実証実験に成功
(ソニーCSLと共同)。

【8月】・国立極地研
究所・ミサワホーム等と
の共同研究で開発した「南
極移動基地ユニット」の
南極実証実験実施を発表。



・宇宙空間で使用可能
な小型全天球カメラを
JAXAとリコが共同開
発。宇宙ステーション補
給機「こうのとり」8号機
で打ち上げ、全天球型
360°カメラにてISSの
「きぼう」船外で初めて撮
影予定。

【10月】・小惑星探査機
「はやぶさ2」のイオン
エンジン技術に応用した「マ
イクロ波プラズマ除電処
理システム」の開発 (春
日電機株式会社)。

2020

成熟の年——
宇宙と地上を結ぶ
小型光通信装置「SOLI
SS」がISSとの双方向
通信に成功し、宇宙開
発利用大賞・内閣総理
大臣賞を受賞。南極移
動基地ユニットとともに
グッドデザイン賞・ベ
スト100にも選出。さら
に「はやぶさ2」カプセル
回収には共同研究のマ
リンレーダーが採用され
た。技術の“社会化”が
加速し、宇宙と地上の往
還が太くなった年。

【2月】・宇宙探査オー
プンイノベーションフォー
ラムを東京 (丸の内) で開催。

【3月】・小型光通信装置
「SOLISS」が第4回宇
宙開発利用大賞・内閣
総理大臣賞を受賞。

【4月】・船木一幸(当時、
宇宙科学研究所 宇宙
飛行工学研究系 教授)
が3代目ハブ長に就任。
「SOLISS」がISSとの
双方向光通信試験に成
功。

【5月】・H-IIBロケット9
号機により「こうのとり」
9号機打ち上げ成功。H-
IIBおよびHTVシリーズ
の全機成功という有終
の美を飾る。

【6月】・第6回研究提案
募集 (RFP) を実施。

【7月】・株式会社光電
製作所との共同研究成
果が「はやぶさ2」のカ
プセル回収時の追跡手
段として採用。

【10月】・「SOLISS」お
よび「南極移動基地ユ
ニット」が2020年度グ
ッドデザイン賞・ベスト
100を受賞。
・米国など8か国 (日本
含む) がアルテミス合
意に署名。

【11月】・野口聡一宇宙
飛行士が搭乗する「クル
ードラゴン (Crew-1)」
打ち上げ成功。民間宇宙
船の運用初号機による
ISS長期滞在へ。

【12月】・「はやぶさ2」
が小惑星リュウグウ試
料を収めたカプセルを
地球に放出。

2021

【2月】・宇宙探査オー
プンイノベーションフォー
ラムを開催 (オンライン開
催)。
・宇宙での全固体リチウ
ムイオン電池の実用化に
向けた実証実験の実施
を決定。2021年秋以降
にISS「きぼう」日本実
験棟に向けて打ち上げ予
定 (日立造船 (現・カナ
デビア))。
・NASAの探査車「パー
サヴィアランス」が火星
に着陸し探査を開始。

【4月】・星出彰彦宇宙
飛行士が「クルードラ
ゴン (Crew-2)」でISSへ。
日本人として2人目と
なるISS船長に就任。
・民間宇宙飛行が活発化
(スペースX、ブルーオリ
ジン、ヴァージン・ギャ
ラクティック等)。

【5月】・鹿島建設との共
同研究で月面建設機械
の遠隔自動施工実験に
成功と発表。



【10月】・ISS「きぼう」
での植物栽培実験で世
界初の袋型培養槽によ
る栽培に成功。
・13年ぶりとなるJAXA
宇宙飛行士候補者の
募集を開始。「学歴不
問」など応募条件の大
幅緩和が話題に。

【11月】・第7回研究提案
募集 (RFP) を実施。

【12月】・NASAジェイ
ムズ・ウェッブ宇宙望遠
鏡 (JWST) を打ち上げ。
・宇宙探査オープンイ
ノベーションフォーラム
をオンラインで開催。

2022

【5月】・第8回研究提案
募集 (RFP) を実施。

【7月】・宇宙探査オー
プンイノベーションフォー
ラムをオンラインと現地
参加 (東京・日本橋) の
ハイブリッド開催。

【8月】・日立造船 (現・カ
ナデビア) との共同研究
で世界初の宇宙用全固
体リチウムイオン電池
の充放電実証に成功と
発表。

【10月】・第8回研究提
案募集の採択結果を公
表 (課題解決型4件・ア
イデア型13件・チャレ
ンジ型2件)。
・『宇宙大航海時代』「発
見の時代」に探る、宇
宙進出への羅針盤」(誠
文堂新光社) 出版。



・若田光一宇宙飛行士
が「クルードラゴン
(Crew-5)」で5回目の
宇宙飛行へ。日本人最
高齢でのISS長期滞
在記録を更新。

【11月】・宇宙探査オー
プンイノベーションフォー
ラムをハイブリッドで
開催。
・NASAがアルテミス
計画の初ミッション「
アルテミスI」を打ち
上げ。
・超小型探査機「OMO
TENASHI」をアルテ
ミスIに相乗させ打ち
上げ (月面着陸は断念
するも、世界最小級の
探査機として深宇宙
探査に挑戦)。

【12月】・日産自動車
と共同開発した月面
ローバ走行技術で地球
上の自然地形で実証
実験。



2023

【2月】・新たなJAXA
宇宙飛行士候補者に、
諺訪理氏・米田あゆ氏
の2名を決定。

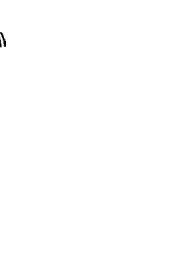
【3月】・第10回研究提
案募集 (RFP) を実施。
探査ハブ公募は10回
の節目を迎える。

【4月】・大阪でハイブリ
ッド開催した宇宙探
査オープンイノベー
ションフォーラムで
官民の新規事業創出
を議論。
・欧州が木星氷衛星探
査機「JUICE」を打ち
上げ。
・ispaceのミッション1
(月面着陸挑戦) も実
施。
【8月】・インドの月探
査機「チャンドラヤ
ーン3号」が月面着陸
に成功。

【9月】・第11回研究
提案募集 (RFP) を実
施。
・宇宙探査オープンイ
ノベーションフォー
ラムをハイブリッド
開催。現地開催会場
は東京 (日本橋)。
・H-IIAロケット47号
機打ち上げ成功。小
型月着陸実証機「SLIM」
とX線分光撮像衛星「
XRISM」を搭載し、
月と宇宙の起源解明
へ。
・NASAの探査機「
オシリス・レックス」
が小惑星ベンヌの試
料を収めたカプセル
を地球に投下。

【11月】・鹿島建設等
との国土交通省「宇
宙無人建設革新新技
術開発」事業の一環
で、月面環境を模擬
した遠隔施工実証に
成功と発表。有人拠
点建設に必要な技術
要素の有効性を確認
し、月面拠点建設の
現実味が増す。

【12月】・第12回研究
提案募集 (RFP) を実
施。
・森治教授が4代目ハ
ブ長に就任。
・SLIM着陸地点の画
像を国連郵便局 (UN
PA) が記念切手に採
用。



2024

跳躍の年——
Moon to Marsへ
「SLIM」が日本初の
月面着陸に成功。変
形型月面ロボット「
SORA-Q」の撮影・画
像送信が話題をさら
い、国連の記念切手
にも採用された。制
度面では新研究制度
「Moon to Mars Inno
vation」が始動し、
新ハブ長・森治体制
の下、第12回RFP
で再スタート。2月
で磨いた技術を火星
へ—— 次の10年の
起点を明確にした
転換点となった。

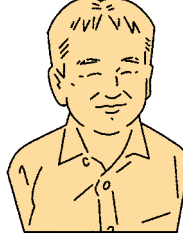
【1月】・JAXAの小型
月着陸実証機「SLIM」
が日本初の月面軟着
陸に成功。
・搭載の変形型月面
ロボット「LEV-2 (SORA-
Q)」によるSLIMの撮
像も成功。



【2月】・新型基幹ロ
ケット「H3」ロケッ
ト試験機2号機の打
ち上げに成功。軌道
投入およびペイロー
ド分離を確認し、日
本の宇宙輸送が新時
代へ。

【3月】・新研究制度
「Moon to Mars Inno
vation」を始動。探
査イノベーション
の第2ステージへ。

【4月】・日米首脳会
談において、日本人
宇宙飛行士2名が月
面に着陸することで
合意 (アルテミス計
画)。



【7月】・第12回研究
提案募集 (RFP) を実
施。
・森治教授が4代目ハ
ブ長に就任。
・SLIM着陸地点の画
像を国連郵便局 (UN
PA) が記念切手に採
用。

【8月】・第13回研究
提案募集 (RFP) を実
施。新制度下での公
募では月・火星探
査、宇宙利用、AI・
ロボティクスなど
広範な分野から提
案を募り、探査ハ
ブは次の10年に向
けた新たなイノベ
ーション創出を図
る。

今後の動きや展望
NASAはアルテミス計画
で2026年に初の有人
月周回ミッション「アル
テミスII」を打ち上げ
予定。4人の宇宙飛行
士 (初の女性やカナダ
人、黒人男性を含む)
が宇宙船「オリオン」
で月を周回し、アポ
ロ以来半世紀ぶりの
有人月飛行となる見
込み。また、「アルテ
ミスIII」で半世紀
ぶりの有人月面着
陸を目指し、NASA
は初の女性飛行士や
有人月面車両の準
備を進行中。

各国が2030年までの
有人月着陸計画を公
式表明し、民間企業
も火星探査や宇宙旅
行ビジネスに参入す
るなど、宇宙開発
競争はグローバルに
加速。日本も「宇宙
基本計画」に基づき
、火星衛星探査計画
(MMX) やはやぶ
さ2拡張ミッション
を予定しており、20
30年代の有人圧ロバ
ー等でのアルテミス
計画への貢献を目指す
。2025年時点では
まさに新たな黄金期
を迎えており、探査
ハブ発足からの10
年間のあゆみが次の
10年の飛躍の土台
となっている。

Advanced Facility for Space Exploration

宇宙探査フィールド

JAXA 相模原キャンパスに出現した世界有数の「屋内砂漠」

月・惑星の地形や照明環境を模擬した、広さ約400㎡、天井高10.5mの屋内実験場。天候に左右されず、かつ多様な試験・実験が可能。SLIMの着陸検証やSORA-Qの試験もここで行われた。近年は研究開発だけでなく、企業のプロモーション撮影や教育利用など、多様な「宇宙体験」の場としても活用されている。

地上の「月面」で未来を試す

JAXA 相模原に広がる
実証と共創の実験場「宇宙探査フィールド」

完全な暗闇も、鋭い光も自在に操る。JAXA 相模原
キャンパスにはスイッチひとつで出現する「月」がある。
探査機の試験からアートまでを飲み込むこの巨大な砂場は、
人類が月で暮らす未来をシミュレーションする「前哨基地」だ。

——この広大な「宇宙探査フィールド」の概要について教えてください。

ここは、月や惑星の表面地形を模擬した、世界でも有数規模の
屋内実験場です。広さは約400㎡、テニスコートなら2面分ほどで
しょうか。特筆すべきは天井の高さで、10.5mあります。この大空
間のおかげで、実物大の探査機モデルや複数台のローバ／ロボット
を持ち込んだり、天体着陸のための落下実験を行ったりすることが
可能です。

足元に敷き詰められているのは、「硅砂5号」という規格の砂（粒
径0.3～0.6mm 90%以上）です。これはレゴリスと呼ばれる月面など
の細かな砂とは性質が異なりますが、ロボット実験でよく用いられて
いる砂で、このフィールドで探査機・探査ロボットの機能・システ
ム試験、オペレーション試験、さまざまな地形の走行実験、各種セ
ンサの計測機能試験など、将来の探査に必要な様々な試験・実験が
可能です。

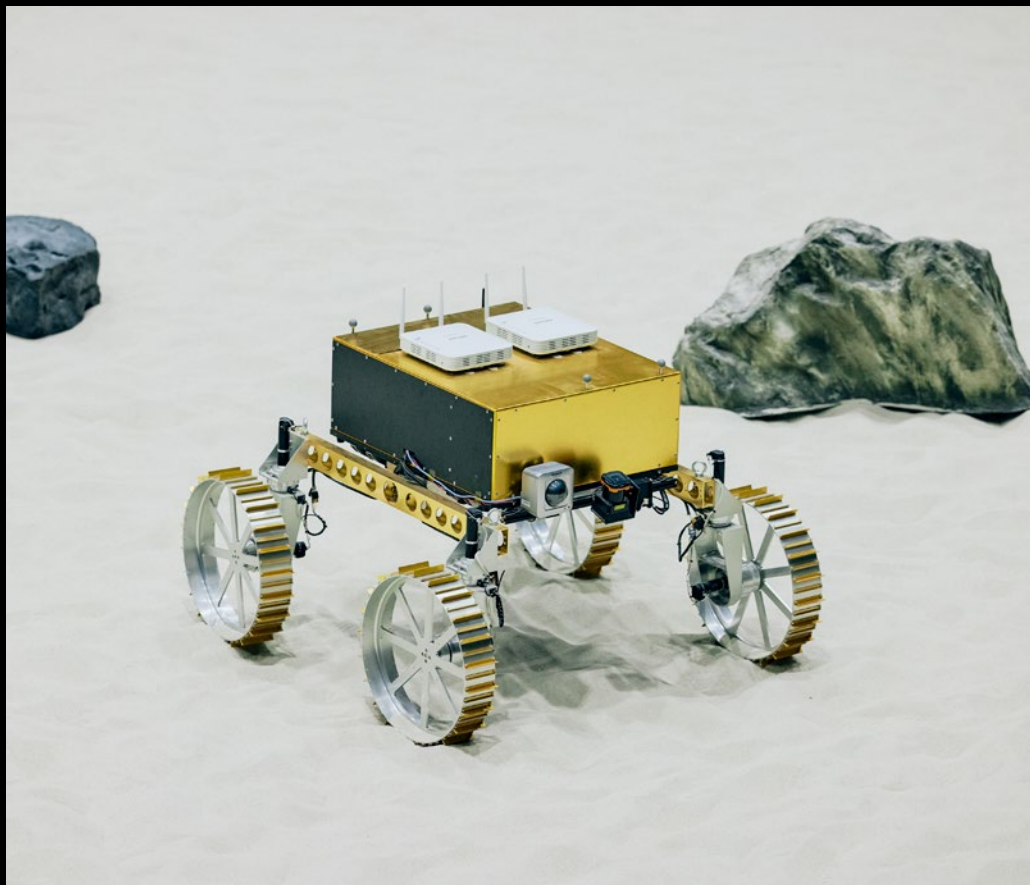
——あえて「屋内」にこれだけの砂場を作った理由は何でしょうか。

最大のメリットは「環境の管理」です。屋外だとどうしても天候
に左右されますが、ここなら雨風に関係なく、特性の判明している
管理された砂の上で継続性・再現性のある実験を進めることができ
ます。また、窓からの外光を遮断できるため、真っ暗闇を作ったり、
特定の角度から人工的な太陽光を当てたりして、月や惑星特有の
日照を模擬することも可能です。砂が湿度によって劣化することの
ないよう、また異物等の混入がないよう、品質保持にも常に配慮し
ており、安定した実験環境を提供できるよう努めています。

——このフィールドでは、具体的にどのような実験が行われてきた
のでしょうか。

たくさんの事例がありますが、最近の大きな成果をひとつ挙げるとす
れば、小型月着陸実証機「SLIM」関連の試験ですね。SLIMが月面





今回質問に答えてくれたのは、探査ハブで主任を務める大川拓也。「宇宙探査フィールドは、相模原キャンパスの代表的な実験施設のひとつ。JAXAの重要なステークホルダーをはじめ、国内外からの多くの視察・見学も受け入れています」



に着陸する際の着陸姿勢を実物大の構造モデルで再現し、実際に落下させて挙動を計測したり、機体の強度を確認する試験がここで行われました。また、SLIMから放出され月面を跳躍移動した超小型月面探査ローバLEV-1や、超小型の変形型月面ロボットLEV-2（愛称「SORA-Q」）も、宇宙に行く前の開発時にこのフィールドで試験を繰り返しました。特にLEV-2は、探査ハブ初の月面実証の成功事例となり、異業種（玩具業界）とのオープンイノベーションの取り組みが実際に月面で実証されるという成果につながりました。あの成功の裏には、この砂場での地道な検証作業があったことも、ぜひ多くの人に知っていただきたいです。

——設備面でも特徴的な機能があるそうですね。

フィールドの天井を見上げていただくと、作業用のクレーンが設置されていることがわかります。また、高さ約4mのところにある作業用の通路（キャットウォーク）にぐるっと一定間隔で並んでいるのは「光学式モーションキャプチャ」のカメラです。フィールド上のローバやロボットにマーカーを付けることで、その位置や動きを3次元的に高い精度で計測できます。さらに、コントロールルームが隣接していて、地球からの遠隔操作を模擬するなど設備もさまざまに活用されています。

——JAXAの研究開発以外でも利用できるのでしょうか。

はい、そこがこの施設のもうひとつの顔です。JAXAの研究開発だけでなく、大学や民間企業、あるいは他の研究開発事業など、申請をいただければ外部の方々にも広くご利用いただける「オープンな実験場」として運用しています。近年は稼働率も高くなり、また利用者の幅やリピーターも増え、多様な目的で使われています。

月面活動をはじめとする新たな宇宙探査が現実味を帯びてきたいま、この場所は単なる実験場ではなく、人類が月で暮らす未来をシミュレーションする「前哨基地」になりつつあるのかもしれない。

【特徴】

- ・実サイズの探査ロボット・着陸機等を用いた性能・機能確認、運用試験、複数台のロボットの協調試験が可能（世界有数の面積と空間高さ）
- ・天候の影響を受けず、高品質の砂の状態や日照等毎回同一条件のもと天体表面を模擬した環境を提供（温度・湿度管理、暗室、照明設備）
- ・表面走行試験、着陸落下試験、飛行試験、探査作業操作試験など、多様で一連の探査技術実証が可能
- ・天井クレーン、キャットウォーク等の補助設備による運用性・操作性の高い研究開発環境

【主な設備】

- ・屋内実験場（宇宙探査フィールド）400㎡（22.6m×17.7m）、天井高さ 10.5m
- ・湿度温度管理による410tの細かい珪砂（粒径 0.3～0.6mm）、15tの粗い珪砂（粒径 3～5mm）による平地、山部、砂礫部
- ・屋内実験場に隣接した探査ロボット等のコントロールルーム（2部屋）
- ・外光を遮断する暗室、人工太陽光照明灯（キセノンランプ）
- ・吹き抜け上部での作業・見学用通路、キャットウォーク、室内クレーン（2.8トン）

お問い合わせ先：SE-field@jaxa.jp

In-Space Demo Update

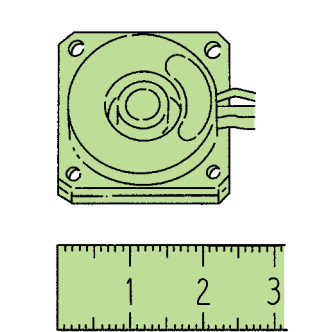
共同研究の「宇宙実証状況」

宇宙実証済みの7つの共同研究テーマ



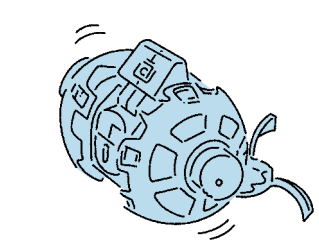
| | |
|-------|---------------------------------|
| 種 別 | RFP1課題解決型 |
| 研究名称 | パワー密度が世界最高の小型アクチュエータの開発 |
| 実施機関 | 新明和工業株式会社、大分大学、日本文理大学、茨城大学、静岡大学 |
| 適 用 先 | 宇宙機、ローバ等各種機器 |

低発熱、低消費電力、軽量であることを特長とする小型アクチュエータを開発しました。本研究で開発されたモータ軸受技術は、その性能が評価され、小型月着陸実証機SLIMに搭載された超小型月面探査ローバ（LEV-1）の部品として採用されました。



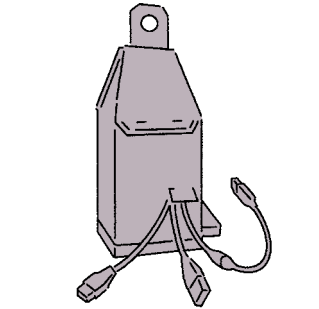
| | |
|-------|------------------------------------|
| 種 別 | RFP1課題解決型 |
| 研究名称 | 次世代アクチュエータ用超小型高精度絶対角度センサ変調波レゾルバの開発 |
| 実施機関 | エクストコム株式会社 |
| 適 用 先 | 宇宙機、ローバ等各種機器 |

超小型かつ高精度な絶対角度センサ（変調波レゾルバ）を開発しました。本技術は小型衛星光通信実験装置「SOLISS」プロジェクトに適用され、2019年9月に打ち上げられた後、軌道上での複数の実証試験を完了しました。
開発された高感度角度センサ技術は、月面探査においても活用されています。本センサは小型月着陸実証機（SLIM）に搭載された超小型月面探査ローバ（LEV-1）の部品として採用され月面でのミッションに貢献。



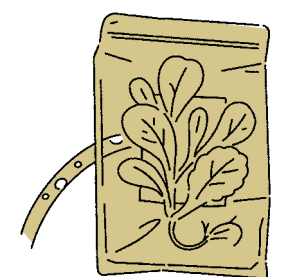
| | |
|-------|------------------------------|
| 種 別 | RFP1アイデア型 |
| 研究名称 | 小型ロボット技術 制御技術 |
| 実施機関 | 株式会社タカラトミー、ソニーグループ株式会社、同志社大学 |
| 適 用 先 | 月探査、惑星探査 |

2023年9月に打ち上げられ、2024年初めに月周回軌道へ投入・着陸した小型月着陸実証機SLIMのミッションにおいて、月面活動を行う小型ロボット（LEV-2/SORA-Q）を開発しました。本ロボットは月面上で自動起動し、走行可能な形態へと変形した後、月面の移動および撮影を行うことに成功しました。



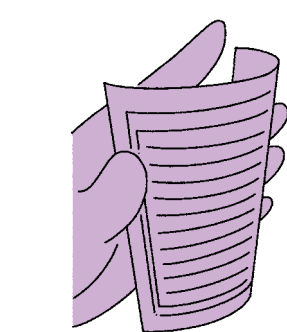
| | |
|-------|-----------------------|
| 種 別 | RFP1課題解決型 |
| 研究名称 | 全固体リチウムイオン二次電池の開発 |
| 実施機関 | カナデビア株式会社（旧：日立造船株式会社） |
| 適 用 先 | 月探査ミッション等 |

2021年度より国際宇宙ステーション（ISS）での実証を開始し、2022年度には世界初となる宇宙環境における全固体電池の充放電に成功しました。2023年度には目標を上回る寿命特性評価を達成し、地球帰還後の事後解析においても宇宙環境特有の劣化が見られないことを明らかにしました。



| | |
|-------|---|
| 種 別 | RFP3アイデア型 |
| 研究名称 | 袋培養技術を活用した病虫害フリーでかつ緊急時バックアップも可能な農場システムの研究 |
| 実施機関 | 株式会社竹中工務店、キリン株式会社、千葉大学、東京理科大学 |
| 適 用 先 | ISSのきぼう船内 |

病虫害のリスクを低減し、緊急時のバックアップも可能な袋培養技術を用いた農場システムを研究しています。ISS「きぼう」船内において9月から10月にかけて軌道上実験を実施し、持ち帰った試料の解析を通じて、宇宙適用に向けた課題の検証を行いました。



| | |
|-------|--|
| 種 別 | RFP8アイデア型 |
| 研究名称 | フレキシブルガラスを用いたRoll to Roll All-Inkjet 塗布型高耐久ペロブスカイト太陽電池シートの創出 |
| 実施機関 | 株式会社リコー、桐蔭横浜大学 |
| 適 用 先 | 宇宙機、月面インフラ等 |

高耐久ペロブスカイト太陽電池シートを、関西大学などが開発したキューブサット「DENDEN-01」に搭載しました。本衛星は2024年12月にISSから放出されており、宇宙環境での発電特性を取得する実証を行う予定。

今後宇宙実証予定の共同研究テーマ（2025年12月18日時点）

| | |
|-------|---------------------|
| 種 別 | RFP2課題解決型 |
| 研究名称 | 超高感度二次元同時距離計測センサの開発 |
| 実施機関 | 浜松ホトニクス株式会社 |
| 適 用 先 | HTV-X |

| | |
|-------|----------------------------------|
| 種 別 | RFP1課題解決型 |
| 研究名称 | 小型2次元イメージング分光器の開発による水氷センシング技術の研究 |
| 実施機関 | 大阪大学、株式会社センテンシア |
| 適 用 先 | 月探査、惑星探査 |

| | |
|-------|---------------------------|
| 種 別 | RFP2課題解決型 |
| 研究名称 | ガス中微量水分計の小型・軽量・ロバスト化技術の研究 |
| 実施機関 | 大阪大学、神栄テクノロジー株式会社ほか |
| 適 用 先 | 月極域探査ミッション |

| | |
|-------|-------------------------------------|
| 種 別 | RFP3課題解決型 |
| 研究名称 | 高効率・低コスト・軽量薄膜ペロブスカイト太陽電池デバイスの高耐久化開発 |
| 実施機関 | 株式会社リコーほか |
| 適 用 先 | 宇宙機、月面インフラ等 |

| | |
|-------|---|
| 種 別 | RFP4アイデア型 |
| 研究名称 | 食用藻類スピリナを用いた省資源かつコンパクトなタンパク質生産システムの開発 |
| 実施機関 | 株式会社ちとせ研究所、株式会社タベルモ、株式会社IHIエアロスペース、藤森工業株式会社 |
| 適 用 先 | ISSきぼう船内、月面 |

| | |
|-------|--|
| 種 別 | RFP5アイデア型 |
| 研究名称 | MTJ/CMOS Hybrid 技術による待機電力不要システム研究、及びその耐環境性試験（宇宙用途向け） |
| 実施機関 | 東北大学 |
| 適 用 先 | 中型曝露実験アダプタ（i-SEEP） |

| | |
|-------|--|
| 種 別 | RFP6課題解決型 |
| 研究名称 | 宇宙使用も視野に入れた土木建築での活用を目指す次世代型の中性子水モニタの開発 |
| 実施機関 | 理化学研究所、聖マリアンナ医科大学、立命館大学、ソイルアンドロックエンジニアリング株式会社、量子科学技術研究開発機構 |
| 適 用 先 | 中型曝露実験アダプタ（i-SEEP） |

| | |
|-------|-----------------------|
| 種 別 | RFP8アイデア型 |
| 研究名称 | 超軽量薄型ペロブスカイト太陽電池の研究開発 |
| 実施機関 | 株式会社エネコートテクノロジーズ、京都大学 |
| 適 用 先 | 宇宙機、月面インフラ等 |

◎宇宙実証（予定含む） | 15件 ◎プロジェクト／ミッション採用 | 11件 ◎RFI提供 | 1214件 ◎共同研究 | 215件 ◎参加機関 | 276機関 ※2025年11月時点

PART 2

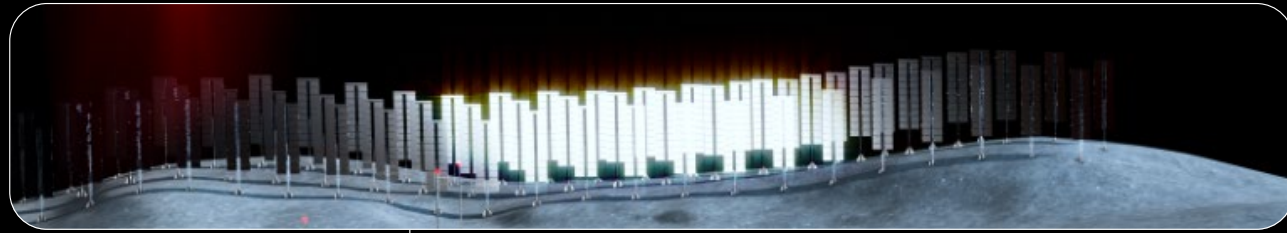
THE
MILESTONES

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。
探査ハブはいま、4つの重点領域で進む研究開発を進めている。
探査ハブが切り拓いた技術革新の現在の立ち位置を報告する。

——探査ハブの「現ステージ」

Four Research Areas

探査ハブが狙いを定めた4つの研究対象領域



Next-Gen Energy

次世代エネルギー

月面を照らす電力網の構築

月面での持続的な活動に不可欠な、発電・蓄電・送配電サービスの提供を目指す領域。「月面固定型スマート太陽電池タワーシステム」や「24GHz 高効率大電力伝送」などの研究が進められており、小規模な給電実証から将来的な月面インフラ構築への拡張（スケーラビリティ）を目指す。



Assembly & Manufacturing

アセンブリ&マニファクチャリング

宇宙で作り、宇宙で直す

「すべて運ぶ」から「現地で調達・製造する」へのパラダイム転換。月面資源（レゴリス等）を活用した建材製造や、3Dプリンティング技術による構造物建設、金属リサイクルなどを指す。地上の建設技術やプラント技術を宇宙へ転用し、月周回や月面での製造・組立サービスの実現を目指す領域。

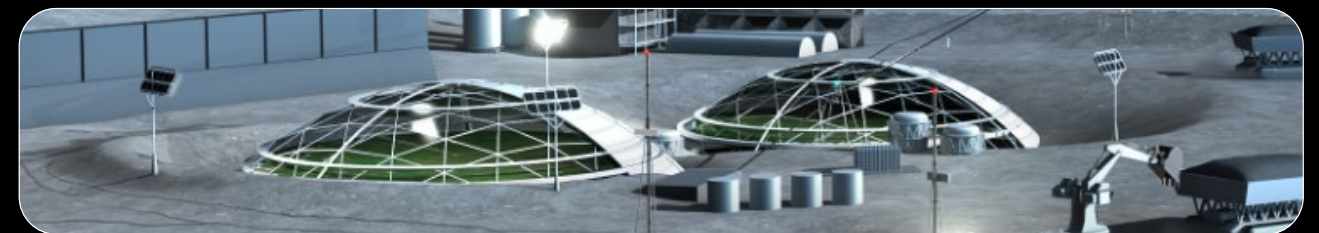


Next-Gen Mobility

次世代モビリティ

AI+ロボティクスで月面を走破する

月面上の移動・運搬サービスを提供するシステム。初期の小型・近距離探査ロボットから、将来的な物資・人員の輸送を担う大型ローバーへと拡張を目指す。AIを用いた自己位置推定や、人とロボットの協調、不整地走破技術など、日本の自動車・ロボット技術の粋が集められる領域。



Habitation

ハビテーション

月面での衣食住を支える技術群

月面上での有人滞在を可能にするためのサービス全般。放射線遮蔽や生命維持システムだけでなく、快適性から健康管理（ヘルスケア）、QOL 向上までを含む。ISS での実証や月面環境の把握を通じ、将来の長期滞在を支える総合的な生活基盤の構築を目指す。

「月の夜」を乗り越えるエネルギーを 月面インフラ構築という、究極の実証実験

約14日間続く極寒の「月の夜」は探査の死の谷だ。
この環境を乗り越えるため、展開式のスマート太陽電池タワーや
全固体電池など、持続可能な電力網の構築が急がれる。
月面を究極の実証場と捉え、インフラ確立に挑む
エネルギー技術の最前線。

宇宙探査における「エネルギー」の位置付け

——普段、どのような流れで民間企業と協業を進めているのでしょうか。

探査ハブとして実施すべきテーマを発掘することが一番重要で難しいところだと思っています。探査ハブの事業に魅力を感じてくれて、かつ必要な技術を持っている企業を発掘して一緒にやり始めるまでが大変です。

まずはJAXA内でその分野の専門家と一緒に「この技術は探査ハブの制度で企業と一緒にやったらすごくいいよね」という合意ができれば、企業にメールや問い合わせをして、探査ハブの紹介をしたり、「こういった技術を求めている」という話をさせていただきます。もちろん断られることもありますが、興味を持っていたら探査ハブの制度（＝情報提供要請（RFI）/研究提案募集（RFP））に提案していただくという流れですね。情報源として、企業ホームページや学会、論文などはチェックしています。

——月面や火星探査において、具体的にどのような技術が求められているのでしょうか。

エネルギーは、月面探査だけでなく、もちろん人工衛星や宇宙探査機でも必要ですので、他の領域に比べると探査ハブで培った技術を広範に使いやすく、宇宙分野の技術も活用しやすいと思います。衛星や探査機の電源というと、一般的には太陽電池パネル、電力制御器、二次電池で構成されて、発電した電気を蓄えて負荷で消費します。これらの要素技術は月面にも活用できるのですが、例えば太陽電池パネルにしても、「軌道上の無重力空間で展開する」のと、地上の太陽電池のように「重力天体上に固定設置して大電力発電をする」のでは、必要となる技術要素が異なります。使える太陽電池はほぼ共通ですが、重力下での展開機構も必要ですし、月面にものを運ぶのは輸送コストが非常に高いので、いかにコンパクトかつ軽量なものを開発できるかが課題です。その点をふまえ、探査ハブではMMI制度初年度にあたる2024年に「月面固定型スマート太陽電池タワーシステム」の研究を立ち上げ、進めているところです。

——月の極域と極域以外では、エネルギー確保の戦略が異なると聞きました。

そうですね。月の中緯度の“昼”“夜”はそれぞ

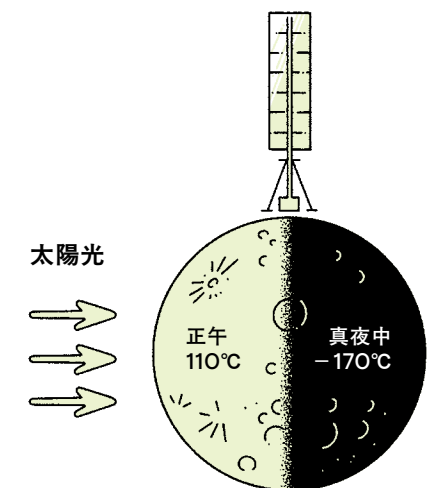
れ約14日間続き、昼間の月面は高温（約110℃～130℃）、夜間の月面は低温（約マイナス170℃）になるので、昼間の高温対策に加えて夜間の保温やエネルギー源の確保は重要な課題です。アルテミス計画では永久影内には水資源があると考えられていて、昼間の温度環境がマイルドな月の南極域に滞在拠点を建設し、有人・無人の長期活動を行う計画が示されています。極域は中緯度と異なり水平方向から太陽が入射しますので、太陽電池を鉛直方向に高く伸ばすことで発電可能な期間を長くできます。設置場所によっては、数日間の連続日陰を除いて半年程度の日照を確保できます。

月面でのエネルギーに関する最大の課題は、極域と中緯度に共通して、数日間～14日間の越夜のためのエネルギー源の確保でして、蓄電システムの小型軽量化や熱エネルギーの効率的な活用が重要になってくると考えています。

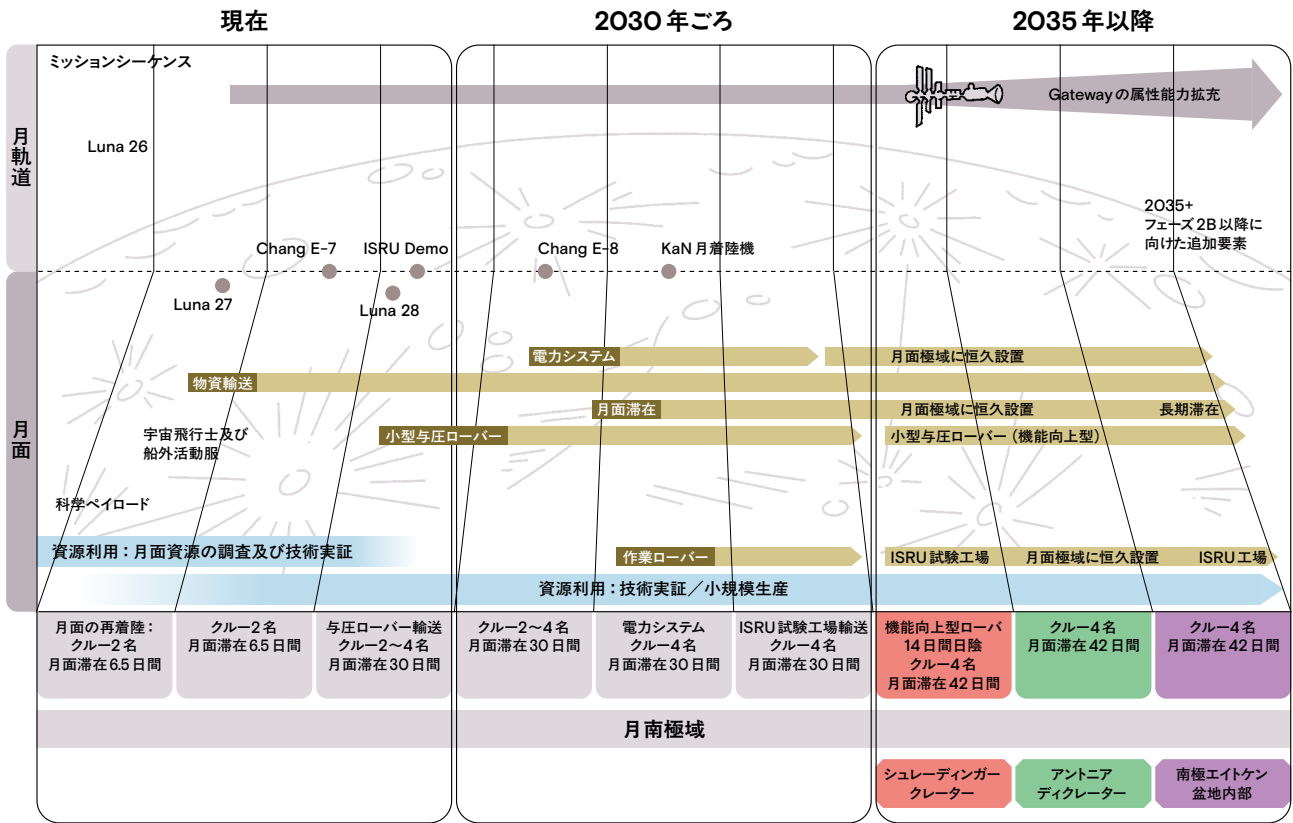
——探査ハブが見据えているエネルギーインフラの全体像を教えてください。

探査ハブの4つの領域は各領域で研究シナリオを設定しているものの、エネルギー領域は、モビリティ、アセンブリ＆マニュファクチャリング、ハビテーションの用意するシステムにエネルギーを供給する役割のため、どの領域にもかかわってきます。各領域のシステムのニーズを確認し、統合できるシステムを構築することが重要と考えています。

モビリティ領域の月面作業車、アセンブリ＆マニュファクチャリング領域の月面でのものづくりシステムの稼働、ハビテーション領域の居住施設の稼働のためには、電気が通っていないと何もできないわけです。太陽電池タワーのような大型の研究にいち早く取り組んでいるのも、「エネルギー領域が先行してシステム構築しないといけない」という認識が



月面開発ロードマップ



小規模な供給から始まり最終的には300kW程度までスケラブルな拡大が必要（ビジネスの目安）

2030 年ごろより随時太陽電池およびバッテリーからなる電源、30～42 日滞在の小規模地点、ISRU 試作プラントの設置が行われる

2035 年以降、原子力の利用や本格的な ISRU プラント、500 日以上長期滞在モジュールへとフェーズが進む

探査ハブのなかにあるからだと思います。

エネルギーシステムとしては、探査シナリオに描かれた探査の実現のために2030年代後半に300kW級のエネルギーインフラシステムを構築することを目指して、太陽電池タワーの他に、システム型研究としてスタートしているマイクロ波電力伝送システム等の無線送電システムや電力を蓄える蓄電システム、熱マネジメント技術等を開発して統合することが必要です。

——月面固定型スマート太陽電池タワーシステムについて詳しく教えてください。

輸送時はコンパクトに収納し、現地到着後に軽量・大面積の太陽電池を約10mの高さに展開可能です。この太陽電池タワーを並列に接続し電力規模を拡大すれば、需要に合わせた電力供給が可能になります。太陽電池タワーの負荷として無線給電システムを接続して、遠方のユーザーにも電力を

供給することも考えています。

また、移動分散型太陽電池タワーシステムの検討・開発も必要です。月面固定型太陽電池タワーシステムは日照条件がよいところに固定設置しますが、移動型は自身で走行機能を持ち、電力を必要とするユーザーのところまで自走して電力を供給することを想定しています。

——ちなみに、月の夜を越えるというのは、具体的にどれほど大変なのでしょう。

とても大変と感じています。数日間～14日間の夜の間に機器を許容温度以上で保温して越夜するためには、とても大きな蓄電システムが必要なんです。蓄電システムがリチウムイオン電池の場合、一般的に0℃以下の低温では放電性能が低くなりますので、夜間に効率よく電力を供給するためにはバッテリー自身の保温のためのヒーター電力も必要になります。

国際宇宙探査シナリオ案で各システムの重量見積もりが提示されていますが、夜間に必要な電力を昼間の1/10以下に抑えたとしても、太陽電池タワーの10倍以上の質量の蓄電池が必要になります。

次の10年に向けて

——今後、宇宙探査ミッションと宇宙事業創出の両輪を実現するうえで重要になってくることは何でしょうか。

「非宇宙」の仲間を増やしていくためには、月面実証を早期に実施し、「月は遠くない存在で、月探査は進むんだ」とアピールすることが重要と考えています。10年度・20年後の月面適用を目指して研究開発を実施しても、実際に月面に持っていく機会が遠すぎると、モチベーションも、開発した技術を維持することも難しくなるのでは、と考えています。小型のサイズでも月面に成果物を運んで、そのシステムが動いたと

いう実績を蓄積していくことで、数年間の研究だけで終わらずに研究成果物を統合・発展させながら滞在拠点を段階的に構築することができるんだと思います。

探査ハブで研究開発した技術を宇宙実証することは、企業にとっても世界へのアピールになりますし、探査以外での宇宙事業化を後押しすることになると思います。だからこそ、要素技術の研究開発だけではなく、どのようにシステムに組み込むのか、ミッションに適用するのかを意識して、本当に月面で使える技術を開発していくことを意識したいと思っています。

——そのためには何が必要でしょうか。

現時点では月面にもものを運べる機会はそんなに多くありませんし、規模も限られています。限られた機会を有効活用するために、国内の月面探査を行うミッション等に適用、または相乗りできるような研究開発が必要と考えています。民間宇宙機で運んでもらえる程度のサイズで、将来の月面インフラに貢献するものを作って実証し、段階的に拡張していく。そうした研究活動を企業がやりたいと思うってくれるように、私たちとしては「その技術は月探査の〇〇に使えるんじゃないか」とお声がけができるように、常に情報収集を続けたいと思います。

越夜 (Overnight Survival) 約マイナス170度の世界で生き延びる試練。月の「夜」は約14日間続き、気温は極低温まで低下する。太陽光発電ができないこの期間、機器を凍結から守り、再起動させるための熱制御と電力確保は、月面探査における最大の技術的障壁(デス・バレー)のひとつ。大型蓄電池や断熱技術、熱を逃がさないバクーゼン技術の確立が急務となっている。

アルテミス計画 (Artemis Program) アポロの双子の女神の名を冠した「人類再訪のシナリオ」。米国が主導し、日本も参画する国際有人月探査計画。半世紀ぶりに人間を月面に送り、さらにGateway(月周回拠点)や月面基地を建設して、持続的な有人活動を目指す。単なる「到達」ではなく「滞在」を、そしてその先の「火星」を見据えた、21世紀最大のフロンティア開拓プロジェクト。

全固体リチウムイオン電池 (All-Solid-State Battery) 「燃えない、凍らない」。月面の夜を越えるための心臓部。電解質を液体から固体に変えることで、発火リスクを排除し、真空・広範囲な温度環境(-40℃～+120℃)に耐えうる次世代電池。カナデビア(旧・日立造船)との共創により、ISSでの世界初となる宇宙空間充放電実証に成功。月面探査やEVなど、宇宙と地上の双方で実用化が急がれるキーテクノロジー。月の星は約14日間(高温)、夜は約14日間(低温)。極域であれば、太陽電池を鉛直方向に伸ばすことで発電できる期間を長くできる(数メートル伸ばせば、数日間の連続日陰を除いて半年程度の日照を確保できる)。



宮澤 優 | MIYAZAWA Yu
探査ハブ主任研究開発員。JAXAに入社後、研究開発部門にて衛星や探査機の電源技術の研究開発を担当。これまで「ひさき」や「あらせ」といった科学衛星、最近だと小型月着陸実証機SLIMの電源系やシステム開発に携わる。2021年より探査ハブにてエネルギー領域の企業との共同研究を推進する役割を担う。

Q. 月か火星に行けるとしたら、どちらに行きたいですか？
A. 月ですね。月から地球を見たいです。火星からだだと遠すぎて地球はおそらく見えないので寂しくなりそうです。また、SLIMを見に行きたいし、SORA-Qも見たい。SLIMは、レゴリスをかぶることはあるけれど、ずっとそこにあるはずなのでねがいに行きたいです。

月面を走る「モビリティプラットフォーム」を作る

自動運転と建機技術とAIロボティクスが挑む未踏のオフロード

道なき月面を走破し、資源を運ぶ。輸送コストの制約下で求められるのは、1台で多様な任務をこなす「共通プラットフォーム」だ。
自動運転や建機技術やAIロボティクスなど日本の産業基盤を活かし、月面移動の新たな「モビリティオープンプラットフォーム」を作る挑戦に迫る。

月面モビリティに求められる要件とは

——月周回や月面、さらには火星探査を見据えたなかで、モビリティ領域にはどのような要件が求められているのでしょうか。

将来月面で物資を輸送することや、もう少し先の未来になりますが、月面で基地を建設する作業のためにモビリティが必要になると考えています。その準備として、企業や大学と一緒にオープンイノベーションで研究開発を進めているところです。

具体的にお話すると、月の南極域には永久影と呼ばれるエリアがあります。そのレゴリスは、実はロケットなどの燃料になる水分を含んでいるのではないかとわれています。このレゴリスを掘削して運び、燃焼させて水分を抽出することが、今後、大きなテーマになってきます。そのためにはレゴリスを掘削するショベルカーのような建設機械や、レゴリスを推葉生成プラントまで運ぶトラックのようなモビリティが必要になります。

——そうしたモビリティの開発に向けて、探査ハブではどのような研究をしているのでしょうか。

重要な要素部分の共同研究をしています。具体的には、車両に搭載されるカメラやLiDARといった小型のセンサ、あるいは小さいけれども強力なパワーを持つアクチュエータを開発しています。AI制御ソフトウェアを計算する計算機AIチップなども含め、ハードウェアは非常に重要な研究対象です。

ソフトウェア面では、最近の自動運転技術と同様、AI技術を使って周囲の障害物をセンサで見つけたり、環境の3次元地図を作ったり、障害物を避ける経路を作ったりする自動運転用のソフトウェアを研究しています。

また、月と地球の通信遅延は数秒ですが、ある程度人間が判断するケースも想定されます。フルオートではなく、大事なところの判断を人間が担うという意味で、遠隔操作も非常に重要な技術になってきます。

1台で多目的に使える「プラットフォーム」構想

——いまお話しいただいたなかで、山崎さんが特に注力されている部分を挙げるとすると？

やるべきテーマはたくさんありますが、強いて挙げると、さまざまな作業や運搬をしなければいけないなかで、1台ずつ大きな専用モビリティを月に持っていくことが難しいという問題を解決する研究です。ロケットに乗せて地球から月へものを運ぶにあたって、通常、1kg当たり1～2億円ぐらいかかるといわれています。モビリティを100台ぐらい持っていけばいろいろな作業ができると思いますが、現実的には1台持っていけるかどうかという世界です。

なので、その「1台」はいろいろなことができる必要があると考えています。ベースとなるプラットフォームを作り、そこにアームを付けたりものを運ぶための機能を入れ替えたりできる……そんなプラットフォームを作ることが不可欠です。

——そのプラットフォームはイチから作らないといけないものなのでしょうか。日本には自動車や重機のメーカーも多く、エコシステムもあると思います。

その点は非常に重要だと考えています。宇宙の場合は10年かけて作っていくことになるので、1台ごとにイチから設計して作っていくと効率が悪い上に開発費用も膨らんでしまいます。できる限り再利用できるようなプラットフォームを作りたいと思



っています。

最近の自動車やロボットもそうですが、オープンプラットフォーム化し、作ったハードウェアの設計思想やソフトウェアを再利用できるシステムにしておく開発効率がよくなりますし、開発期間も一気に短くなります。基本的にはオープンな知見をみんなで合わせていくので、技術レベルもそのまま上がっていきます。ある程度作ってしまえば、2代目以降は少しだけ改良すればすぐできる。そんな「共通化」も狙えるプラットフォームの構築を進めているところです。

——この領域における日本の強みはどこにあるとお考えですか。

探査ハブの活動ではありませんが、JAXA有人宇宙技術部門ではトヨタ自動車株式会社と共同で有人と圧ローバーの開発に取り組んでいます。月面を移動する際、宇宙服を脱いで乗ることができるモビリティを作ることができたら世界的にも大きな実績になると思いますが、もちろんトヨタ1社だけではなくさまざまなサプライヤーが連携し、基幹産業としての強みを見せてくれています。

地上だと、各社がビジネスのパートナーになるこ

ともあればライバルになってしまうこともあります、宇宙というひとつの舞台に持っていく際には、最終的にはオールジャパンで協力していくことになるはずです。まずは宇宙におけるモビリティというテーマで、民間企業同士がタッグを組んでやってみる……。そんなことが起こると、将来的には「あのとき一緒に宇宙開発をやったから」ということで、地上でも共通化していく流れに持っていけるといいなと思っています。その意味でも、探査ハブが「民間とのオープンイノベーションを求めています」という声を上げていることは、日本の将来的な産業としても大きいと思います。

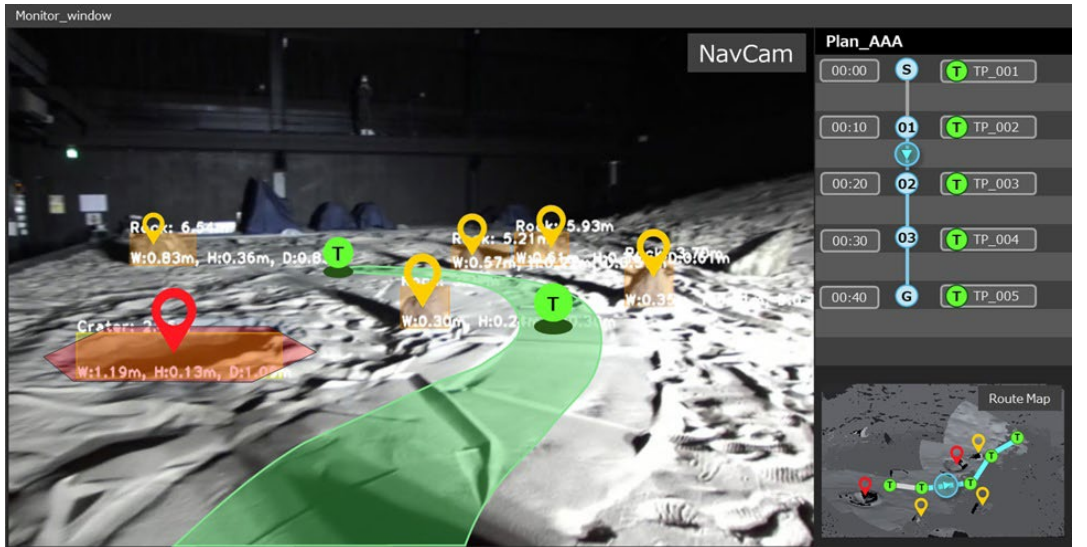
デュアルユースで広がる技術の可能性

——現在進行中の共同研究について教えていただけますか。

探査ハブは10年以上先の研究をスコープに入れているので、地産地消というか、現地のレゴリスから作る素材を用いて、現地で月面拠点を組み立てる自走型溶接ロボットの基礎研究に株式会社Space Quartersらと着手しています。また、オンチップ学習可能な超低消費電力AIチップを株式会社ソリト



探査ハブとパナソニック アドバンステクノロジー株式会社による「CG画像と少量データを用いた月面探査ローバー向け運転支援AIの試作」に関する共同研究の様子。ステレオカメラによって月面探査ローバーの安全な移動の妨げとなる岩石とクレーターを障害物として検知する機能を向上させ、月面を環境認識する月面探査ローバー向け安全運転支援システムLUNADAS (LunarADAS) を試作開発する。



同じくパナソニック アドバンステクノロジー株式会社との共同研究より。災害現場や月面のような学習物体検出モデル (AI) で十分な量の学習データを収集できない場所においてもAIが性能を発揮できるよう研究を推進。シミュレータで月面環境を模したCG画像を生成し学習することで、少量の実データでもローバー搭載ステレオカメラ画像から障害物となる岩石やクレーターを検知できる機能を搭載した月面探査ローバー向け安全運転支援システムLUNADAS (LunarADAS) を実現。

ンシステムズらと研究開発しています。もう少し手前の話でいうと、例えばパナソニックアドバンステクノロジー株式会社と共同で、ローバーや建設機械にカメラを載せ、目の前の岩や障害物を見つける研究を行っています。近年のモビリティやロボットにはすでに最新のAI技術が載っていますが、AIの性能を上げるためにはたくさんの学習データが不可欠です。

自動車であれば実際に走って何万、何十万km分の学習データを集められるので、すでに相当数の自動運転車が米国や中国では走っています。一方で月面の場合、そもそも月面にローバーがほとんど行ったことがないので、学習データは皆無に等しい状況です。また建機の場合、地上においても山から岩が崩れ落ちる災害現場のような学習データはほとんどありません。

そこで本研究では、CGのデータで月面の環境を

作り、目の前に岩やクレーターを人工的に置いて学習データをたくさん作ったり、林業の現場——崖崩れや倒木等——をCGで作り、人工的な学習データとして活用することでAIの性能を上げる研究を行っています。

これは、「月面のローバー」と「地上の建機」の双方に共通の課題があるので、双方の成果に向かってAI技術を作る研究となっており、デュアルユースの面からも非常によい例だと思います。

日本のモビリティ産業は本当に層が厚いので、サプライヤーも含めていろいろな可能性があるし、実際に進んでいる研究もあります。とりわけ自動運転やロボットにまつわるハードウェアやソフトウェアの開発は宇宙でのモビリティ開発と共通点が多いので、注目を集めるきっかけづくりという側面もふまえつつ、ぜひ、宇宙開発に興味を持ってくれたら嬉しいですね。



山崎雅起 | YAMAZAKI Masaki
JAXA宇宙探査イノベーションハブ 主任研究開発員。大学院修了後、電機メーカーにて画像認識プロセッサの研究開発に従事、その後自動車メーカーにてAI技術を使ったロボット知能化の研究開発に従事。2021年より探査ハブにて「モビリティ領域」を牽引し、AI技術を使った月面ローバーの自動自律化を推進。専門はAIロボティクス。

Q. 月か火星に行けるとしたら、どちらに行きたいですか？
A. 私は前職が自動車メーカー勤務で、JAXAに入っただけは4年前になります。それもある、実はそこまで月に行きたいとか火星に行きたいという熱量はないです。ただ、月面というフィールドは過酷な環境で、技術的にはチャレンジしがいがあるので、例えば月でF1レーシングするとかロボットコンテストをやるみたいな使い方に月面や火星がなっていけるといいなという思いが私個人は強いですね。

「地産地消」のものを月面で 建設・化学の知見が宇宙のサプライチェーンになる

地球からすべてを運ぶ時代は終わる。鍵となるのは、
現地の砂や資源で作リ、直し、再利用する「地産地消」だ。
日本の得意な建設や化学プラント技術を宇宙へ転用し、
月面での製造とリサイクルを実現する、
ものづくりのパラダイムシフトとは。

——アセンブリ＆マニファクチャリング領域とは、
そもそも何を開発されている部署なのでしょうか。

名前の通り「ものづくり」です、基本的に。出口
はいろいろあるのですが、長期的には月での活動が
中心になります。国際宇宙ステーション (ISS) はほ
とんどの物資や材料を地球から持っていきます。水
はリサイクルしますし、電気は太陽電池で調達しま
すが、それ以外は持って行って使い捨てというかた
ちです。でも月に行こうと思うと、同じロケットで
運べる量は100分の1ぐらいになってしまいます。
つまり、コストが100倍かかるわけです。なので、
使い捨ては正直厳しい。

だから、基本的にものは現地で作る。持ってい
たものはなるべく向こうでリサイクルする。この2
点が必要になります。予備部品も最小限にしたい
ので、「ある程度材料だけ持っていけば、あとは現
地で作れる」方が、効率的にもいいはずです。もっ
と言うと、将来的には現地の材料で作りたい。とに

かくその辺を目指しているのがアセンブリ＆マニ
ファクチャリング領域です。

——具体的にどのような技術が求められているの
でしょうか。

異なる重力環境下における積層造形 (AM) 技術、
月レゴリス等を活用した造形技術、低エネルギー・
限定的な排熱環境での製造技術が重要です。それ
から、月面での材料抽出技術、高機能宇宙用部品
の実現技術、そして効率的に展開可能な大型構造
物の技術などが含まれます。

アセンブリ＆マニファクチャリング領域は、次
世代エネルギー、次世代モビリティ、ハビテーショ
ンといった他の領域と比べて、出口がわかりにくい
かもしれません。けれど、他の3領域を支える非常
に重要な役割を担っています。もはや宇宙は総合
産業です。食料やその他もひっくるめて、地球での
営みを全部そのまま宇宙に持っていこうというお話

です。このため、ものづくりに強くて、化学産業に
も強いという日本の特性を、宇宙でも発揮してい
きたいと思っています。

日本の強みと10年間の実績

——実際、日本はこの領域においてどのようなノウ
ハウや強みがあるのでしょうか。

ひとつは資源抽出技術です。レゴリスみたいな材
料を溶かし、高温で電気分解することで、例えば欲
しい金属を取り出す技術は、割といいものを持って
いると思います。あるいは金属材料のコントロール技
術。月だと、地上のように高度な金属精製をやろう
とすると、大きなエネルギーが必要になってくる。だ
から、質の悪い金属でもきちんと使いものになる状
態にしてやることも、これから考えないといけないです。
この、金属材料をいろいろコントロールする技術もま
た、日本がノウハウを持っているので、なるべく宇宙

で活かせるようにしていきたいと考えています。

もうひとつはトンネル掘削技術ですね。この分野
は日本がダントツです。例えばJIMテクノロジー株
式会社は文字通り世界中で大規模トンネル工事を
行っていますので、土壌や岩石の質がケースバイケ
ースで違うといった環境に、毎回対応していくノウ
ハウを持っています。

——この10年間における具体的な実績を教えてい
ただけますか。

いくつか代表的な事例があります。まずミサワホ
ーム株式会社との共同研究です。ミサワホームは、
南極の昭和基地の建物をずっと作ってこられた企
業です。現地まで建設の専門家が行くことは通常
ないので、一般の人でも組み立てることができる設
計を追求しながら、建物を作られています。

月ではなおさら、容易に組み立てられることが重
要です。ただし地球と違って気密性が必要になりま

す。そこでミサワホーム株式会社と共同で、骨組み自体は気密性がないもので簡単に組み立てられ、中は気密性を保つための柔らかい構造体を組み合わせることで、両方のいい点をうまく活かせる方法を模索しています。

それから、株式会社の中北製作所と京都大学との羽ばたき飛行ロボット開発も画期的です。「投げ出した後にしばらく羽ばたくおもちゃ」はこれまでもありましたが、「止まった状態から自力で飛び立てるもの」はありませんでした。しかし共同研究の結果、羽の運動に対してねじりをコントロールし、二自由度までいくと、地面から自由に飛べることがわかりました。いまは実験室だと安定して飛ぶことができ、スマホで操縦もできるところまで来ました。これを改良して、探査機が着陸する前に多数の羽ばたき型のロボットを切り離し、データを収集して送ってくれるような応用を考えています。

Dual Utilizationの推進と成果

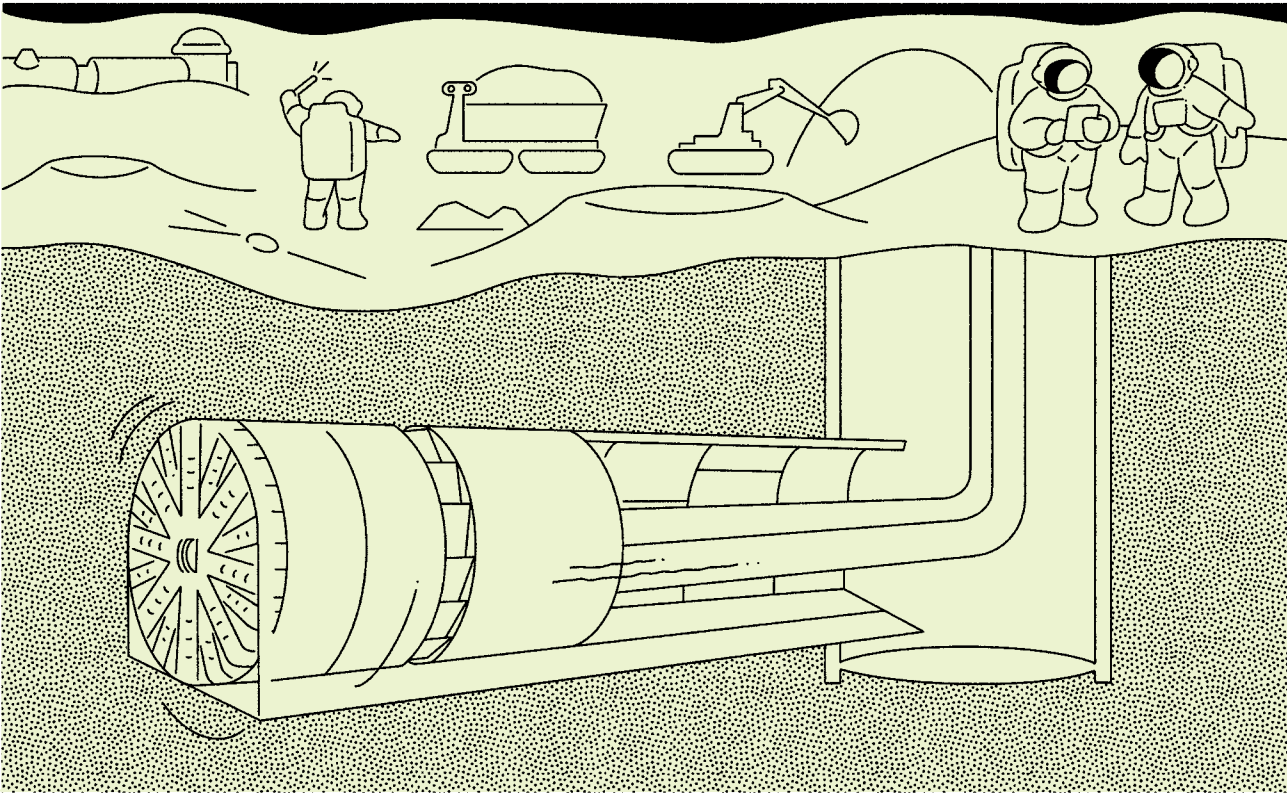
——この10年間におけるDual Utilization（宇宙探

査と地上ビジネス・社会課題解決の双方に有用な技術のオープンイノベーション）の推進や成果を、どのように捉えていらっしゃるんですか。

ミサワホーム株式会社と共同で推進した技術は、例えば災害が起きた際に、強固なシェルターを簡単に作れる技術につながるとしたら非常に重要です。月で簡単に展開できるものは、地上の災害対応にも活かせるだろうと話をしています。例えば現場で必要なキットをヘリコプターで下ろして、その場で簡単に展開できる、もしくは自律的に展開できるシェルターを開発できたら、被災地でできる対応も随分変わってくると思います。

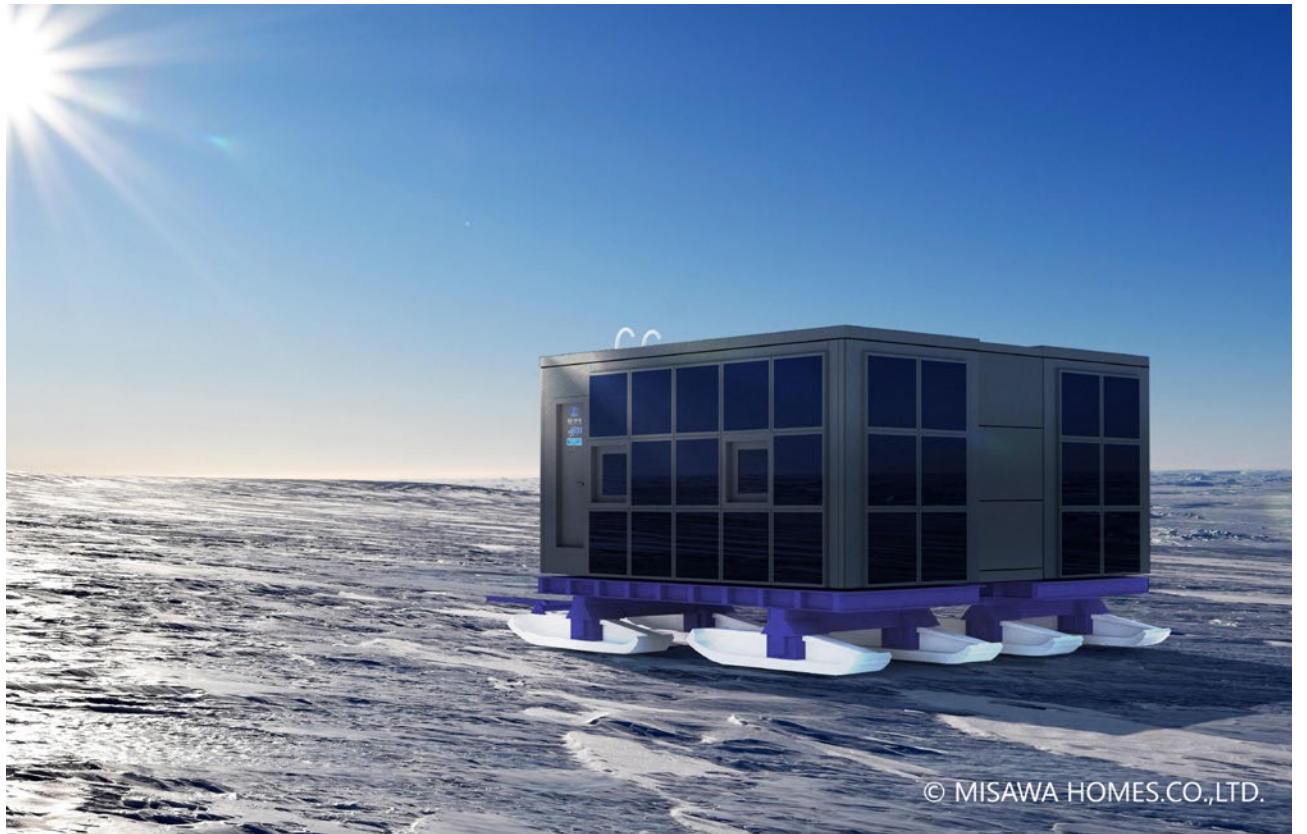
——今後、Space Dual Utilization（「宇宙探査ミッション」と「宇宙事業創出」の両輪）を実現する上で重要になってくることは何でしょうか。

技術レベルを上げるためには、マーケット自体を大きくしていかなければならないと思います。日本の宇宙マーケットを、日本の経済規模に見合う規



月面で暮らすには、水や建材を現地でまかなう「地産地消」が不可欠だ。放射線を遮蔽し激しい寒暖差に対応するため、日本の卓越したトンネル技術で地下に居住空間を作る構想もある。輸送コストの壁を超えるため、徹底した軽量化と資源活用技術が月と地球の未来を拓く。

ミサワホーム、ミサワ総合研究所とともに、宇宙空間における有人拠点に求められる「簡易施工性」「自然エネルギーシステム」「センサ技術を活用したモニタリング」等の共同研究を実施。その技術要素は南極の極限の環境下で要求される要素と共通点があることから、ミサワホームは南極移動基地ユニットによる「極地における居住ユニットの実証研究」を提案した。



模まで拡大できるようにもっていきたいと思いますね。そうすれば、全体の技術レベルも自然と上がると思います。世界のマーケット規模でいうと、宇宙産業は、2035～2040年までに自動車産業と比肩する規模になると予想されています。それはある意味、世界に誇る大企業をいま日本で育てなければいけない、ということだと思います。

——そのためには何が必要でしょうか。

日本は技術をたくさん持っている国です。しかしながら、それらがなかなか宇宙開発と結びついていません。先程も言いましたが、日本はものづくり（製造技術）も化学産業もまだまだ強い。その特性が宇宙でも発揮されるような道筋を作っていきたいと思っています。「自分たちが持つ技術が、実は宇宙開発においてすごい価値を持っている」といったケースを掘り起こし、宇宙とつなげていくことが、今後も宇宙探査イノベーションハブの役割として最重要なはずです。



上野宗孝 | UENO Munetaka
探査ハブ 研究領域主幹。「月面の拠点構築・維持、月周回Gatewayの維持・補修リソースの大幅削減を目指したその場製造技術、月面資源及び再利用性にかかわる技術、進展・拡張構造による大型構造物の実現に向けた技術、積層造形技術を活用した宇宙機・輸送系の低コスト化などの実現を目指した提案を求めています」

Q. 月か火星に行けるとしたら、どちらに行きたいですか？
A. 私はもともと科学者です。その立場でいうと、圧倒的に火星の方がおもしろそうですね。火星にはすごい渓谷もありますから、私よりも地質屋さんが行って、崖の地層を見たりすると、おもしろい発見があるのではないかと思います。個人的には、火星でもちゃんと飛べる飛行機を作って、グランドキャニオンの中を飛ぶようにしながら、火星の渓谷の画像を撮りたいと思います。

月や火星は「生存」から「生活」の場へ

衣食住とヘルスケアが支える人類の新たな日常

月は「生存」する場所から「生活」する場へ。低重力や放射線から心身を守り、食やメンタルヘルスを含めたQOLを高めることが不可欠だ。異業種の知見を結集し、人類が月面で長期滞在するための総合的な「暮らし」のシステム構築に挑む。

「生存」から「生活」へ

——ハビテーション領域とは、どのような活動を担っているのでしょうか。

次世代エネルギーや次世代モビリティといった他の領域が10年の積み重ねを持つのにに対し、ハビテーションは2024年度から本格的に始動した最も新しい領域です。これまでの宇宙開発は「いかにして行くか」「必要最低限の技術でいかにして生き延びるか」が主眼でしたが、私たちが目指すのはその先にある「月や火星で快適に暮らす」ための新しい技術です。

2024年はハビテーションにとってエポックメイキングな年でした。内閣府の宇宙技術戦略に探査における「有人長期滞在」「有人宇宙拠点」が明記され、アメリカ航空宇宙局（NASA）のMoon to Mars Architectureでもハビテーションという言葉が正式に組み込まれました。これに呼応するかたちで、私たちも活動を本格化させています。具体的には「環境モニタリング（放射線やレゴリスなどの環境監視）」「ヘルスケア（心身の健康管理のための情報処理技術）」「食料生産（閉鎖環境での農業・培養等の生産システム）」「資源・物質循環（水や空気、廃棄物のリサイクル）」、そして「居住空間構築（快適な空間作りのための制御・設計技術）」という5つの柱を設けています。これらを体系化し、単発の技術開発ではなく、「人が長期滞在するための総合システム」として産学官連携で取り組んでいくのが私たちのミッションです。

未知なる「低重力」と「通信遅延」の壁

——月面での暮らしにおいて、具体的にどのような技術課題があるのでしょうか。

地球との最大の違いは、重力環境と宇宙放射線、

レゴリス表層です。これまで人類は、地球の「1G」と、国際宇宙ステーション（ISS）のような「ほぼ0G（微小重力）」についてはデータを蓄積してきました。しかし、月の「6分の1G」や火星の「約0.38G」といったパーシャルG（低重力）環境が人体に与える影響は、実はほとんどわかっていません。ISSでは遠心機を使ってマウスに人工的な重力をかける実験なども行われていますが、人間が数か月～数年単位、さらには継世代で低重力下で暮らしたとき、骨や筋肉、循環器系に何が起きるのか。これはこれから解明しなければならない大きな研究テーマです。

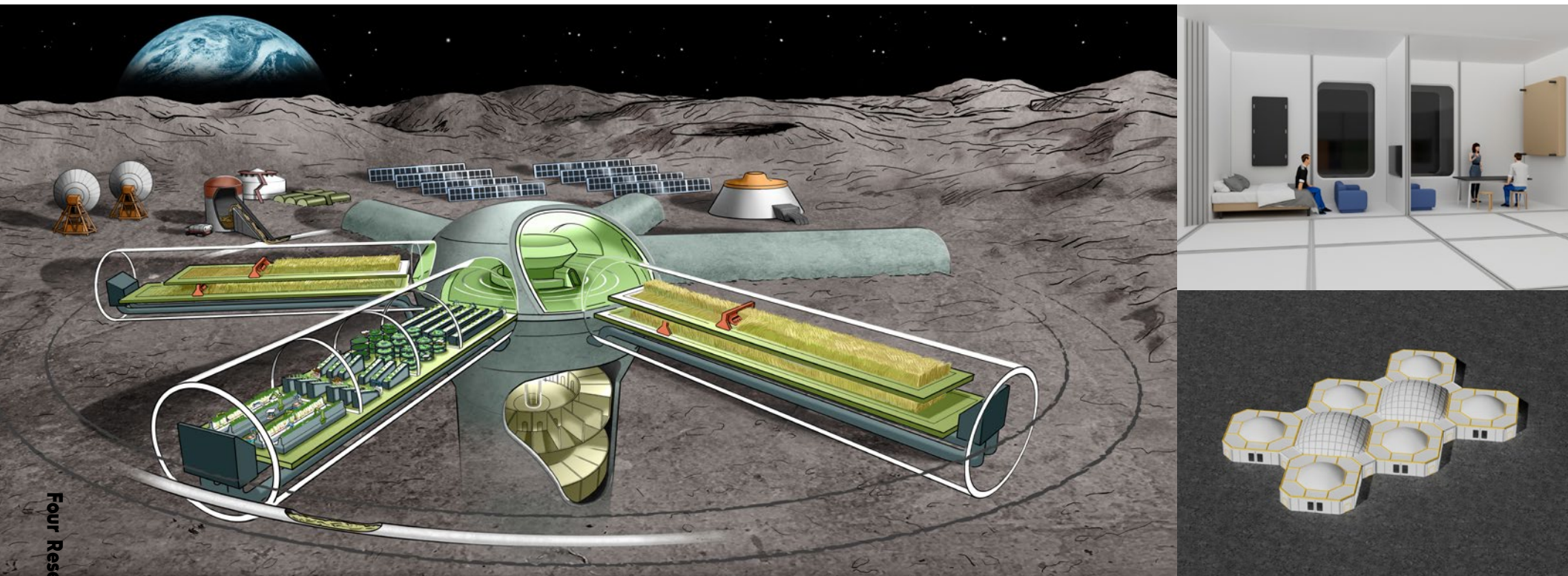
また、「通信遅延」も生活の質（QOL）に直結する切実な問題です。月なら数秒の遅延で済みますが、火星とは往復で最大40分ほどのタイムラグが発生します。「おーい」と呼んでから返事が来るまで40分かかる状況では、地球の指示を待って行動することはできません。トラブルが起きた際、現地のクルーやシステムが自律的に判断し、安全を守る仕組み作りが不可欠になります。

さらに、心理的な距離感も課題ですね。閉鎖環境での長期滞在ではメンタルヘルスやチームの協調性も重要です。例えば、多国籍のチームで食卓を囲む際、宗教的・文化的背景の異なるメンバーに対し、日本の技術でどうハラル対応などの「食の多様性」を提供できるか。こういった倫理観や文化的な配慮も含めた「快適な宇宙の暮らしの設計」が求められています。

日本の「きめ細かさ」が強みになる

——この領域において、日本にはどのような強みがあるとお考えですか。

日本はISSの「きぼう」日本実験棟での運用を通じ、小型で高性能な環境計測技術や、閉鎖環境での実験ノウハウを蓄積してきました。例えば私が担当してき



食はQOLの向上に欠かせない要素。ハビテーション領域でも食料生産には重点を置き、自動栽培、監視、センシングシステムや、資源・物質循環システムとの連携、生産システム（収量・貯蔵・加工技術向上）など、さまざまな観点から研究を進めている。図は、月面フードシステムワーキンググループとのディスカッションから生まれた月面での食料生産工場のイメージ図。

たライフサイエンス実験では、細胞培養装置やマウスの飼育設備など、「生き物を宇宙で飼う・育てる」技術を磨いてきました。また、Gatewayの居住・ロジスティクス拠点「Habitation and Logistics Outpost (HALO)」や与圧ローバーには、日本がISSで培った環境制御・生命維持技術（ECLSS）の一部、特に空気再生や水再生のノウハウが活かされる予定です。「食」や「衛生」に対する日本のこだわりも大きな武器になります。資源の限られたなかで水を極限まで再生利用する技術や、発酵食品などの高度な食文化は、月面でのQOL向上に直結します。一方で、日本にはアポロ計画のように「人間が地球磁気圏の外に出て活動した（特に月面を歩いた）」実績がありません。月面着陸や船外活動といった「動」の技術は米国が先行していますが、そのぶん、日本は居住空間の中での「静」の技術——いかに快適に、健康に、人間らしく過ごすかという分野で、独自のポジションを築けるはずです。

異業種との共創が生む「地上と宇宙」の好循環

——現在進めている非宇宙企業との共同研究には、

どのようなものがありますか。

「Dual Utilization（地上と宇宙の双方での活用）」の好例がいくつも生まれています。例えば資生堂さんとは、「肌の水分量」から体内の水分動態やストレス状態を測る技術を共同研究しました。細胞や組織の健康状態は水やたんぱく質の吸着や動態で変化するという原理から、近赤外光センサを肌に当てて非侵襲で健康状態を可視化しようという試みです。実験ではJAXAの「クリノスタット（微小重力模擬装置）」を用いて、重力の変化が含水状態が異なる物質の水分にどう影響するかといった基礎データの取得も行いました。これは宇宙飛行士の健康管理だけでなく、地上のヘルスケアデバイスへの応用も期待されています。

また、高エネルギー加速器研究機構（KEK）とは、人体を模したガス封入型の放射線検出器を開発しています。これは放射線が人体を通過した際の飛跡を詳細に捉えるものですが、宇宙では膨大なデータ量になるため、専用のASIC（集積回路）を用いてリアルタイムに解析・処理する技術も併せて研究しています。

さらに、富士通株式会社とはAIを活用した宇宙天気予報システムの構築を進めています。月面は地球のような磁場や厚い大気に守られていないため、太陽フレアによる放射線の直撃は命にかかります。過去のデータをAIに学習させ、フレアの発生を高精度に予測し、被ばく線量をシミュレーションする。この技術は、地上の電力網や通信インフラを太陽フレアから守るためだけでなく、月面探査や宇宙旅行を行うすべての人や探査拠点の安全な運用に必須な宇宙事業になります。



永松愛子 | NAGAMATSU Aiko
ハビテーション領域リーディング・リサーチャー。有人宇宙技術部門にて、国際宇宙ステーション（ISS）の日本実験棟「きぼう」でのライフサイエンス実験等の技術開発・搭載化を検討するユーザインテグレーションを担当。現在は探査ハブにて「ハビテーション領域」を牽引、月面等での有人滞在に向けた技術獲得や産業創出を目指す。



ハビテーション領域（衣食住・環境計測／制御・ヘルスケア）
5分野が相互に関連。また好循環サイクルとして回すことで高機能化していくことが可能。
*下線はNASA Short Term Detailで重点化された項目

——最後に、次の10年に向けてメッセージをお願いします。

ハビテーション領域は、まさに「衣食住」そのものです。だからこそ、これまで宇宙とは無縁だと思っていた企業の方々にこそ、参入のチャンスがあります。食品、繊維、建設、家電、そしてメンタルヘルスケアなど、地上の暮らしを支えている技術のすべてが、宇宙でも必要とされます。「私たちの技術が宇宙で役に立つなんて」という気づきを、ひとつでも多く生み出していきたいですね。

Q. 月か火星に行けるとしたら、どちらに行きたいですか？
A. 欲張っていいですか？ 月と火星両方です（笑）。理由は私の専門である「宇宙放射線」にあります。探査機がデータを送ってくれるとはいえ、科学者としてはやはり現地に行って、自分の目で放射線環境やデータを確認したいという思いが強いですね。それに、月面や火星の地表に立ったとき、肉眼で地球やレゴリス地表がどういう色に見えるのか、それを自分の目で確かめてみたいです。

「生きるための食」から
「楽しむための食」へ

——現在取り組まれている「月面フードシステムワーキンググループ」とは、どのような構想なのでしょう。

これまでの宇宙食、特に国際宇宙ステーション（ISS）での食事は、基本的に「サバイブ（生存）するため」のものでした。エネルギーと栄養を効率よく摂取し、任務を遂行することが最優先です。しかし、月面での長期滞在が視野に入ってきたいま、求められる価値は大きく変わります。生きるためだけでなく、精神的な癒やしや楽しみ、つまり「QOL（生活の質）の向上」が不可欠になります。

「月産月消（地産地消の月面版）」で輸送コストを下げることは大前提ですが、それ以上に、新鮮な食材を使い、バラエティ豊かなメニューを調理して食卓を囲む。そんな「当たり前の幸せ」を月面でどう実現するかを真剣に考えています。日本人は特に食へのこだわりが強い国民性ですから、NASAなどの効率重視のアプローチとは一味違う、おいしさや楽しさを追求したシステムを提案できると考えています。

月面食料生産を支える「3つの柱」

——ワーキンググループでは「調理・貯蔵」「養殖」「キノコ栽培」の3つを柱に掲げています。それぞれの狙いを教えてください。

まず「調理・貯蔵」ですが、ここでは単に食材を加熱するだけでなく、「メニューの多様性」を重視しています。以前選定した8種類の作物に加え、魚やキノコが加わることで、レシピは劇的に広がります。ただ、月面では「包丁」が使えない可能性が高い。安全性の観点から、刃物を使わずにどう調理するか、あるいはロボットでどう自動化するかという技術的な課題があります。また、「揚げる」調理は油の処理や飛散の問題で

難しいですが、「煮る・焼く・蒸す」は圧力や熱の制御で十分可能です。

次に「養殖」です。月面で魚？と驚かれますが、閉鎖環境での物質循環を考えると、植物と魚と一緒に育てる「アクアポニックス」は非常に合理的です。最大の課題は「水」。水は貴重な資源なので、1トン持ち込んだら1滴も無駄にせず循環させなければなりません。魚の排泄物を植物の肥料にし、植物が水を浄化する。このサイクルを極限まで高効率化する必要があります。

そして3つ目の「キノコ栽培」は、実は私が個人的にも推している分野なのですが、キノコは暗くてジメジメした環境を好むので、月面基地のデッドスペースを活用できると考えています。何より重要なのは、キノコが「分解者」である点です。人間が食べられない植物の茎や根などの廃棄物を、キノコが分解して食料に変えてくれる。さらに菌糸体を使ってバイオプラスチックのような素材を作ることも可能です。食料生産と廃棄物処理、そして資材生産を兼ねるキノコは、月面のサーキュラーエコノミーにおける隠れた主役なんです。



究極の「地上の課題解決」
としての宇宙農業

——どのような企業や技術の参入を期待していますか。

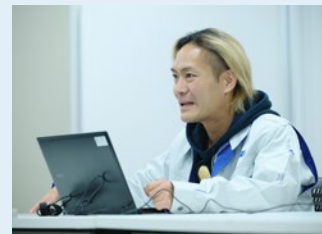
よく誤解されるのですが、「宇宙の知識」は全く必要ありません。私たちが求めている技術は、実は地上の農業や食品加工が抱えている課題に対する答えそのものなんです。例えば植物工場。採算性を上げるために徹底的に自動化し、人件費を削り、省電力化する。これは、限られたリソースと人員で運用しなければならない月面農場と全く同じアプローチです。また、閉鎖環境での水処理技術や、廃棄物を出さない加工技術は、

地上のサステナビリティ（持続可能性）の追求と完全にリンクします。

「宇宙開発なんてハードルが高い」と思われがちですが、食の分野に関しては、むしろ地上の食品メーカーや農業ベンチャーの方々が持っている「当たり前の技術」こそが、宇宙では革新的なソリューションになることが多々あります。

——長期滞在における「食の楽しみ」について、具体的なビジョンはありますか。

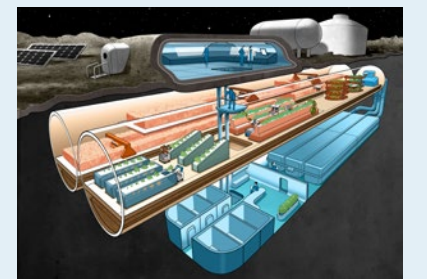
宇宙飛行士と話すと、よく話題になるのが「食感」です。これまでの宇宙食はどうしても単調になりがちなので、シャキシャキした野菜の歯ごたえや、変化のある食感が恋しくなるそうです。また、



大熊隼人 | OKUMA Hayato
JAXA 主任研究開発員。「月面や火星での長期滞在を計画する際、QOLの観点を欠いてはなりません。食に関しても、栄養補給ができればいいということではなく、見た目や食感、味のバリエーションなどが重要になってくるはずです。地上の食品メーカーや農業ベンチャーの方々の技術は、宇宙で必ず活かせるはずです」

見た目の美しさも重要です。日本人は「カニカマ」をあれだけ本物に似せようと努力する美的感覚を持った国民ですから（笑）、月面でも彩り豊かで、目で見て楽しめる食事を提供したい。そして、やはりみなさんから熱望されるのが「アルコール」です。「月でビールを飲みたい」という声は絶えません。技術的には、月面で酵母を発酵させてお酒を造ることは十分可能です。ISSではまだ解禁されていませんが、月面居住時代には、1日の終わりに仲間と乾杯する……そんなシーンもQOLの一部として真剣に検討していきたいですね。

月面で「農場」を作るという構想は2017年から始まりましたが、最初は「本当にできるの？」という空気もありました。しかし、アルテミス計画が進み、人が本当に月で暮らす未来が目前に迫ったいま、食は「あったらいいな」ではなく「なければならないインフラ」になりました。私たちが目指しているのは、ただカロリーを摂取するだけの場所ではありません。月という極限の地で、地球と同じように「おいしいね」と言い合える食卓を作ること。その挑戦は、食料危機や環境問題に直面する地球の未来をも、明るく照らすヒントになると信じています。



Q. 月か火星に行けるとしたら、どちらに行きたいですか？
A. 私は月ですね。理由はシンプルで、地球からいつも見えているからです。あそこに行きたい、という実感が湧きやすい。逆に、月面から地球を眺めてみたいという思いも強いです。火星はちょっと遠すぎてイメージが湧かないんですよね（笑）。自分たちが構築したシステムで生産された食事を、地球を眺めながら月で味わう。それが実現できたら最高だと思います。

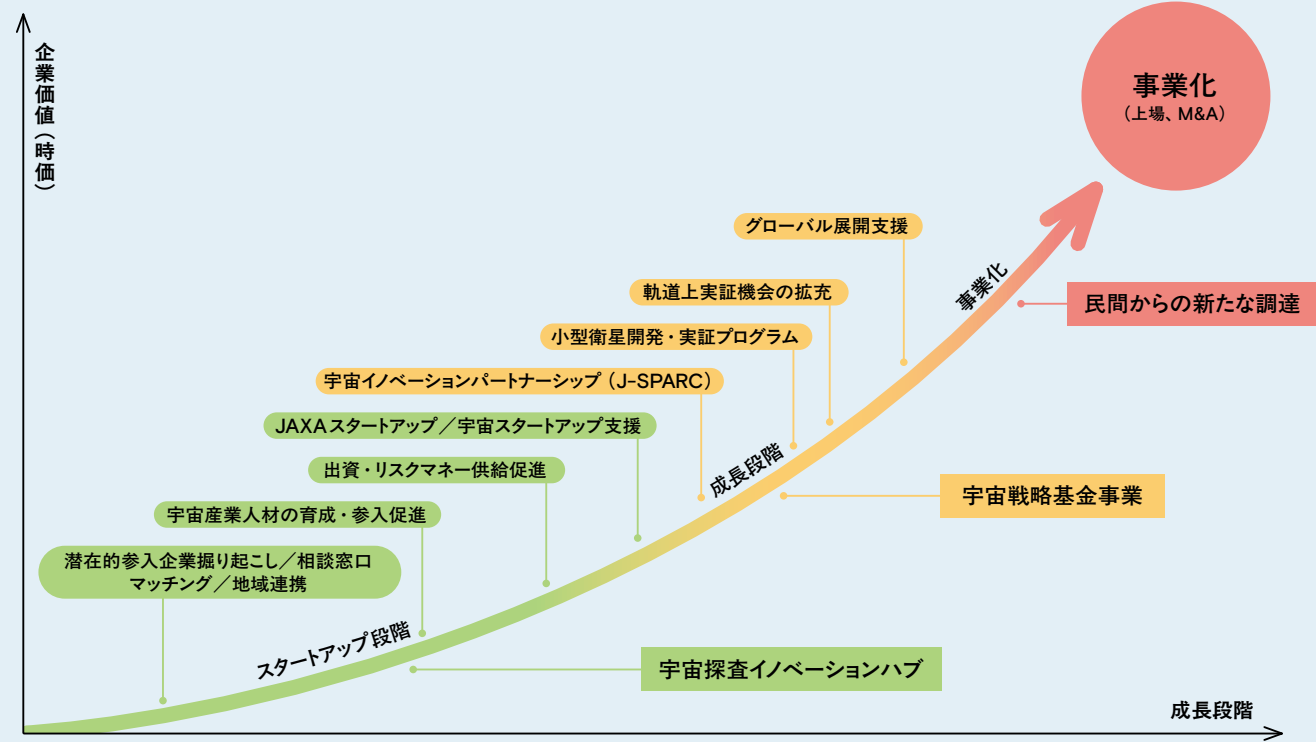
Co-creation

「JAXAが」から「JAXAと」へ

1兆円基金の先に見据える、産業としての宇宙



JAXAの主な取り組み



ヒューストンで受けた衝撃

——エンジニア出身の高田さんが、なぜ産業振興の旗振り役を担うことになったのでしょうか。

キャリアの転換点は、2010年代中盤の米国ヒューストン駐在でした。当時の米国は、SpaceXやBlue Originといった民間企業が急速に台頭し、NASAがその技術や事業を育て、サービスを調達するという新しいエコシステムへと劇的にシフトしつつある時期でした。米国の田舎の小さなスタートアップを訪ねても、そこには必ず元NASAのエンジニアや宇宙飛行士がいる。人と技術が流動し、失敗してもまた次の挑戦が生まれる。そんなダイナミズムを目の当たりにしました。

一方で、日本と米国の宇宙予算や技術基盤には圧倒的な差があります。予

算は当時で約20倍、いまでも大きな開きがある。潤沢な予算と、アポロ・シャトル時代から蓄積された山のような試験データを背景にした「横綱相撲」は、日本にはできません。「NASAのマネをしても勝てない」。その焦燥感と危機感が、帰国後の私の原動力になりました。予算もリソースも限られた日本が戦うためには、JAXAが一方的に技術支援するのではなく、民間企業のスピード感やアイデアと、JAXAの技術・設備を掛け合わせる「共創（Co-creation）」のアプローチが必要ではないか。そうして2018年に立ち上げたのが「J-SPARC」です。

—— J-SPARCは、単なる資金提供プログラムとは一線を画しているようですね。

はい。J-SPARCはJAXAの「研究開発プログラム」であり、JAXAと企業が対等なパートナーとして協働し、汗をか

く場です。これまでに数百件の問い合わせをいただき、約50件の共創プロジェクトが立ち上がりましたが、私たちは案件を「選定」するのではなく、対話を通じて一緒に「作り上げて」いきます。重要なのは、お互いを「本気にさせる」こと。民間企業、特にスタートアップは生き残りをかけて必死です。そのスピード感に対し、JAXA側も「この企業と組んで新しい技術知見を獲得する」「社会課題を解決する」と本気になれば、共創プロジェクトは動きません。例えば、民間小型ロケット打ち上げに挑んだスペースワン株式会社との共創では、JAXAが培ってきた「飛行安全」のノウハウに基づき、機体が異常を検知して自律的に飛行を中断するソフトウェアを共同開発しました。これにより、地上の管制設備を簡素化し、低コスト化を実現できます。JAXAとしても、この技術が実証されれば将来の自前のロ

ケットに還元できる可能性があり、まさにWin-Winの関係です。

また、ソニーグループ株式会社とは「宇宙感動体験事業」として、地上から遠隔操作可能なカメラを搭載した超小型衛星「EYE」を開発しました。ソニーの民生用カメラ技術とJAXAの衛星開発ノウハウを融合させ、一般の人が宇宙からの撮影を楽しめるようにする。これは「技術」だけでなく「文化」を作る挑戦でもありました。

「地上の知恵」が宇宙を変える

——宇宙業界以外の企業との連携も進んでいますか。

そこがJ-SPARCのおもしろいところ。実はパートナーの多くは非宇宙企業です。例えば、西日本旅客鉄道株式会社（JR西日本）とは、鉄道の自動改札機の故障予測に使われているAI技術を、人工衛星のメンテナンスに応用する研究をしています。地上で磨かれた「予知保全」の技術が、修理に行けない宇宙空間でこそ真価を発揮するのです。電通やJA婦恋村とは、衛星データを使ってキャベツの生育状況を把握し、収穫時期や価格変動を予測して広告出稿のタイミングを最適化する実証を行いました。「宇宙×農業×広告」という組み合わせは、JAXA単独では出てこない発想です。

さらに「THINK SPACE LIFE」というプラットフォームでは、花王株式会社や株式会社ワコールホールディングス、ライオン株式会社といった生活用品メーカーとともに、宇宙での「暮らし」を快適にする製品を開発しています。水

が使えない環境での洗髪シートや、数日間履き続けても臭わない下着などは、宇宙だけでなく、地上の災害時や介護現場等でも役立つ「Dual Utilization（地上と宇宙の双方での活用）」の最たる例です。

「JAXAがやる」から「JAXAとやる」へ

——J-SPARCの活動は、JAXAという組織自体にも変化をもたらしましたか。

もちろんです。ただ、この変革はJ-SPARCだけで成し遂げたものではありません。実はJ-SPARCが始動する3年前の2015年に、宇宙探査イノベーションハブが立ち上がっていました。探査ハブは、宇宙探査の分野で異業種の技術を取り入れようと始まった、いわばJ-SPARCの「兄貴分」です。彼らが先にオープンイノベーションの種をまき、外

部との連携を模索してくれていた。私たちはその背中を見て、外部の巻き込み方やマインドセットを学ばせてもらいました。

探査ハブが「探査」という特定の領域で技術を深掘りするのに対し、J-SPARCはそれを「全領域」に広げ、さらに「事業化（ビジネス）」という出口を強く意識したプログラムです。この両輪が回ることで、かつての「JAXAが発注し、民間が開発・製造する」という関係に加えて、「JAXAと民間が一緒に、技術を革新し、事業を創る」という対等なパートナーシップへと発展し、組織の文化が根本から変わり始めました。

いまでは、J-SPARCも探査ハブも、JAXAが保有する技術、施設、人材、ネットワークを社会に開放するためのプラットフォームとして機能しています。「JAXAがやる」時代から、「JAXAとやる」時代へ。その不可逆的な変化を、確かな手応えとして感じています。



- 1 小型輸送
- 2 有翼有人輸送
- 3 小型コンステ
- 4 軌道上サービス
- 5 低軌道拠点利用
- 6 新規データ利用
- 7 成層圏利用
- 8 衣食住事業



- 1 宇宙×AI
- 2 宇宙×ロボット
- 3 宇宙×アバター
- 4 宇宙×エンタメ
- 5 宇宙×教育
- 6 宇宙×食
- 7 宇宙×生活
- 8 宇宙×保険

——最後に、今後の展望をお聞かせください。

J-SPARCで共創活動とともに実施したスタートアップ企業（株式会社QPS研究所、株式会社アストロスケールホールディングス、株式会社Synspectiveなど）が次々と上場を果たし、その時価総額は合計で数千億円規模に達しています。J-SPARCや探査ハブが「0から1」を生み出す種

まきだとなれば、これからはその芽を大樹へと育てるフェーズです。そのために新たに始まったのが、10年間で1兆円規模の支援を行う「宇宙戦略基金」です。J-SPARCで培った「目利き力」や「伴走支援」のノウハウを、この大規模な国家プロジェクトにも注入していきます。

私たちはいま、宇宙産業の転換点にいます。月面開発、軌道上サービス、宇宙旅行、そして衣食住。あらゆる産業

が宇宙とつながり、ビジネスの対象となる時代です。「宇宙は遠い」「関係ない」と思っている企業の方々にこそ、ぜひJ-SPARCの扉を叩いてほしい。あなたの会社の技術やアイデアが、実は宇宙開発のボトルネックを解消する鍵になるかもしれません。誰もが宇宙に関われ、宇宙を身近に感じられる未来。そんな「共創」の生態系を、日本独自のアプローチで作り上げていきたいと思っています。



高田真一 | TAKATA Shinichi
JAXA 宇宙戦略基金事業部技術開発マネジメントグループ長/新事業促進部事業開発グループ長。「小型ロケット輸送など8つの新領域を進めつつ、【宇宙×X】の異業種連携として、AI・ロボット・アバター・エンタメ・教育・食・生活・保険の8領域を【X】の部分にあてはめ、宇宙ビジネスの幅を広げていきたいと思っています」

Q. 月か火星に行けるとしたら、どちらに行きたいですか？
A. 正直に言うと、実はどちらも行きたくないです（笑）。地球低軌道（LEO）からちょっと遠いところまで行って、青い地球を眺めてみたいという気持ちはありますが、昔は「行きたい」という熱量だけで動いていましたが、いまは自分がプレイヤーとして行くよりも、多くの人が宇宙に行けるような「仕組み」や「産業アーキテクチャ」を作ることにおもしろさを感じています。

Cross-Appt

「クロアポ」は宇宙と地上をつなぐメカニズム

経験者が語る「二重雇用」のメリット

宇宙開発をより円滑に

——クロスアポイントメント制度を知ったきっかけと、応募されるまでの経緯を教えてください。

オープンイノベーションによる共同研究が終了する所に、当時の探査ハブの担当者から本制度を紹介していただきました。我々としても共同研究で開発した技術を具体的な宇宙利用につなげる機会と考え応募しました。

——これまで自社では、どのような研究・開発に従事されていたのでしょうか？

独自のガスセンサを利用した微量水分計やガスクロマトグラフ（GC）と呼ばれる「分析装置」の開発、およびそれらを利用したアプリケーション開発を行っていました。

—— JAXA では、どのような共同研究をされたのでしょうか？

「クロスアポイントメント」制度とは？

21世紀の宇宙開発、とりわけ月面や火星を対象とした宇宙探査は、かつての冷戦期における国家主導型の「官需宇宙開発」とは一線を画するフェーズに突入し、民間企業の参入、非宇宙技術（民生技術）の応用、そして持続可能な経済活動としての宇宙利用が求められている。

そうした「New Space」の時代において、変革の象徴的拠点として設立されたのが「宇宙探査イノベーションハブ（探査ハブ）」であり、その活動を人的資源の側面から支える核心的なメカニズムが「クロスアポイントメント制度（以下クロアポ）」だ。

具体的には、研究者が「出向元（企業・大学等）」と「出向先（JAXA）」の双方と同時に雇用契約を結び、それぞれの機関の指揮命令下で、事前に定めた業務従事比率（エフォート）に基づき研究開発に従事する仕組みで、ポイントは以下の3点となる。

二重の雇用関係

従来の「在籍出向」では出向先との雇用関係が生じないケースが多いが、クロアポではJAXAとも直接の雇用契約（有期雇用職員等）を締結する。これにより、JAXA内部の職員という明確な身分が保証される。

エフォート管理

研究者は「週3日は企業、週2日はJAXA」といったかたちで、業務時間を明確に区分し、それぞれの組織のミッションに取り組む。

役割の分担

JAXAでは宇宙探査ミッションへの技術適用を、企業ではその技術の地上製品への応用や基礎開発を担当するなど、役割が明確に定義される。

本制度は、単なる人材不足の解消策ではなく、組織の壁を溶かし「知の循環」を加速させる戦略的エンジン。研究者、企業、JAXAが有機的に連携する同プラットフォームは、日本の宇宙産業を次なる「Moon to Mars」のステージへと押し上げる原動力となる。



国際宇宙ステーションなどの有人宇宙環境における空気中の微量な有害ガスをモニタリングするためのGCを開発しました。地上用のGCは一般的に50kg程度の大型な装置ですが、弊社独自の小型センサの利用などにより1kg程度の超小型GCの試作機を実現しました。

—— JAXA との共同研究のご経験を、今後、どのように活かしていこうとお考えですか？

探査ハブの共同研究では、将来の宇宙利用を目指した技術の開発とともに、その地上応用も推奨されています。我々も共同研究期間中に地上応用製品のプ

ロトタイプを開発しました。この経験を活かして、今後も宇宙のみならず地上応用も意識した研究開発をしていきたいです。

——振り返ってみて感じる「クロスアポイントメント制度のメリット」を教えてください。

クロスアポイントメント職員としてJAXAの関係者と直接コミュニケーションを取ることで、研究の方向性のブレを小さくできたり、JAXAの設備や制度を利用することで、宇宙開発をより円滑に進められたりすることがメリットだと思います。

—— JAXAへ足を運んだり、JAXAの職員と交流していくなかで印象に残っていることはありますか？

共同研究を始めたころ、GCの利用シーンを議論している際に、JAXAの方が国際宇宙ステーションを「近所」と表現していたことが印象に残っています。宇宙のなかでは確かに近所なのですが、それまで自分ではるか遠くに感じていた場所が、自分たちの研究の到達目標のひとつとして現実味を帯びて近づいて来る感覚を覚えました。



岩谷隆光 | IWAYA Takamitsu
ボールウェーブ株式会社所属。現在日本は有人と圧ローバーの開発を進めているが、人が滞在する空間の環境を維持するためには、有人宇宙環境の大気中の有毒ガスをモニタリングする装置が不可欠だ。「私たちが持つ技術によってガスクロマトグラフを超小型化できれば、宇宙空間での安全性をより高められると思います」

Q. 月か火星に行けるとしたら、どちらに行きたいですか？
A. 火星に行きたいです。火星は生命が存在していた（している）可能性が議論されていますが、我々が開発してきたガスクロマトグラフは生命の構成材料である有機物も分析できる装置です。もし火星に行けたら、自分たちの装置を使って生命の痕跡を探してみたいです。

Q1. どのような領域における研究開発で「宇宙実証」に挑戦なさったのでしょうか？

Q2. 「宇宙」を目指したことにより、新たに気づいたことがあれば教えてください。

Q3. 今回のご経験を、今後、どのように（非宇宙の分野で）活かしていこうとお考えですか？

Q4. JAXAへ足を運んだり、JAXAの職員と交流していくなかで印象に残っていることはありますか？

Q5. ご自身のなかで、「宇宙」に対する距離感や価値観が変わった点があれば教えてください。

Q6. もし月か火星に行けるとしたら、どちらに行きたいですか？



平野大地 (JAXA)

JAXA 研究開発部門（宇宙探査イノベーションハブ併任）主任研究開発員。SLIMミッションではLEV-2の開発主担当としてプロジェクト管理などを担当。

A1. LEV-2 (SORA-Q) は、これまで宇宙で使われていなかったタカラトミーの玩具技術とソニーグループの最先端IoTデバイス・画像処理技術を、JAXAが有する宇宙関連技術にうまく融合し、超小型・軽量でも月面を安定して走行し自律制御で動作できることを目指したロボットです。小型月着陸実証機SLIMのミッション機会を利用して、月面において移動・撮影・データ送信を行う完全自律制御の宇宙ロボットの技術実証を行いました。

LEV-2は、世界初の完全自律制御による月面探査を達成し、SLIMの着陸状態や周辺環境がわかる画像を送信することで、日本初の月面着陸ミッションに大きく貢献しました。さらに、今後の宇宙探査ミッションに必要な不可欠な超小型ロボットの技術実証にも成功しました。
A2. 従来の宇宙開発方針とは異なり、新しい設計や開発方針にチャレンジしました。ロボットには、走行性能を向上させるために玩具技術の展開機構や偏心回転車輪を取り入れましたが、玩具技術と宇宙機技術には小型軽量化・高信頼化が必要になるなど、意外と共通する点が多く相性がよいと感じました。また、試作・試験・設計変更を短期間

に繰り返すアジャイル的な開発に挑戦したのですが、非宇宙産業のものづくりのスピードが非常に早く、その恩恵を受けるとともに宇宙産業も見習うべきところだと痛感しました。

A3. 月面実証を通して獲得した超小型ロボット技術や地上試験技術を活用し、今後の月面開発に貢献したいと思います。今回実証に成功したロボットの自律制御技術は、月面に限らず宇宙開発全般に活用できるものなので、さまざまなロボットの高度化に応用できればと。

A4. LEV-2が撮影・送信した月面画像を見たとき、多くの関係者が喜んでいなかで、ソニーグループのあるメンバーが画像のなかに白飛びが発生したのを悔しがっていたことが印象に残っています。改めて彼らのエンジニア魂の高さを感じたと同時に、個人的には画像中心にあるデータ欠損に悔しさを感じてたところ、自分と同じように悔しがっている姿を見て、非常によいパートナーに恵まれていたと思いました。

A5. 月面着陸以前は、夜のランニング中に月を見上げても、走っても近づけないはるか遠い場所の印象があり、「本当にあそこにたどり着けるのだろうか？」と自問自答する気持ちが大きかった。でも月面実証に成功した後は、「自分の走った道は月までつながっていた」と振り返ることができ、これまでの努力が報われたように感じました。困難な挑戦をチームで達成したことを誇らしく思います。

A6. 火星は遠いので比較的近い月に行きたいです。可能であれば月面でLEV-2を回収して地球に持ち帰り、それを科学館・博物館に展示して、一日館長になって子供たちに挑戦することの大切さを教えたい（ドヤ顔で自慢したい）です。



渡辺公貴 (同志社大学)

同志社大学生命医科学部 医工学科 教授。

A1. SORA-Qの月面着陸および移動により小型月面着陸実証機SLIMの撮像を行いました。

A2. 月面探査を経験したことにより月面開発の難しさを実感しました。

A3. 学生とともに小型ローバーの開発を行い、さらなる月面探査・開発を行っていきたく考えています。

A4. みなさんにSORA-Qを応援していただいて大変感謝しています。

A5. 自分が携わったロボットが月面探査を成し遂げたことにより、宇宙が少し身近な存在になり、行けない場所から行ける場所になりました。

A6. 圧倒的に“月”です。SORA-Qの状態や轍を観察してみたい。



米田陽亮 (タカラトミー)

1980年にタカラトミー(旧:トミー工業株式会社)へ入社して以降、プラレール・トミカ・Zoids・i-SOBOTなどの開発に従事。

A1. SORA-Q (LEV-2) の機体の開発、実験・設計・試作を行いました。SLIMの着月姿勢の写真を撮り、LEV-1を紹介して地球に送信しました。

A2. 玩具試作の手法が、宇宙分野の開発にもうまく活用できました。ただしレギュレーションが玩具と大きく違うので、

その点は注意が必要。

A3. 宇宙テーマは昔から玩具では定番ですが、商品開発において、本物の宇宙機はこうなっているといった風味が感じられるようなものができるとういなと思います。

A4. サンプルを披露した際のリアクションが、いいのか悪いのか判断に困ることが多かったです(当社の場合、わりとリアクションが大きいので)。

A5. 月が出ていても漫然と見ていただけでしたが、着月後は「あそこにSORA-Qがいるのだな」と、月が満月に近づくたびに思い返すことが多くなって、親近感が湧きました。

A6. 月に行きたいです。SORA-Qのメモリーに残っているであろう写真を回収したい。もちろん本体も。



赤木謙介 (タカラトミー)

2003年に株式会社タカラトミーへ入社。今回、タカラトミー内のSORA-Qプロジェクトリーダーを務めた。

A1. 4者(探査ハブ、タカラトミー、ソニーグループ、同志社大学) 共同開発で誕生したLEV-2の特徴や狙い、開発に込めた思いを多くの方々に共感・応援していただけるよう、各社広報と連携しながら訴求を推進しました。

具体的には、LEV-2のミッション意図や探査機の仕様をわかりやすく伝えるとともに、覚えやすい愛称として「SORA-Q」という名を選定し、全国各地でイベントや講演を実施しました。さらに月面探査を地上で楽しめる1/1スケールモデル「SORA-Q Flagship Model」の事業化も推進しました。

A2. 星や惑星など図鑑で調べられるリアルな情報や、宇宙をテーマにしたアニ

メ、さらには宇宙人などのSF作品も含め、いまの子供たちは昔の子供(いまの大人たち)に比べて宇宙への興味が高くないことがわかりました。そこで、宇宙の出来事を「他人事」ではなく「自分事」として感じてもらうために、何をすべきかをマーケティング方針として定め、その方針に基づいてプロジェクトを推進しました。

A3. 産官学連携のなかで、各社の文化や優先順位が異なる状況下で共同事業を展開したため、共通目標をどのように定義し、理解と協力を得る体制を構築するか模索することは非常に刺激的な経験でした。

また、知識として知っていることを「自分事化」し、好きになってもらうために、作り手側がどのような発信を心がけるべきかを異分野で挑戦できたことで、本業である玩具の遊びや技術を子供たちにもわかりやすく伝える力の改善にもつながりました。

A4. 宇宙事業に対して大きな事象から細部まで理由を持って対応される姿勢に触れ、ものごとを深く正確に捉える重要性を実感しました。一方、玩具は子供の心の奥にある「おもしろい」を追求するため感覚的な要素を重視します。そのため、論理的に行動するJAXAのみなさまとの会話は新鮮で、異なるアプローチの価値を感じました。

A5. ひとことで言えば、月を見るのが楽しくなりました。SORA-QはSLIM、LEV-1とともに神酒の海近くのクレーター「SHIOLI」の側にあります。以前は満月をただ丸いものとして見ていましたが、いまではウサギの耳あたりにあるSHIOLIクレーターを意識して眺めています。40年以上見てきた月に対し、知識と経験によって違う捉え方ができるようになった——宇宙を身近に感じることで得られた新しい価値観だと思います。
A6. 月に行きたいですね。SORA-Qの轍をこの目で見たいからです。ロボットが月面で歩んだ足跡である通り道を確認することで、それを応援し続けた人間としての誇りと、挑戦することの大切さを改めて感じたいと思います。

RFP 12（2024年度）採択の共同研究サマリ

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。（RFPとしては通算12回）

| | |
|----------|---|
| システム型 | 領域.....次世代エネルギー |
| | 採択テーマ名称.....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 |
| | 機関名.....日本飛行機株式会社、次世代宇宙システム技術研究組合、学校法人金沢工業大学 |
| | 研究期間.....2024/12～2027/12 |
| | 領域.....次世代エネルギー |
| | 採択テーマ名称.....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 |
| | 機関名.....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 |
| ゲームチェンジ型 | 領域.....次世代モビリティ |
| | 採択テーマ名称.....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 |
| | 機関名.....株式会社デンソー |
| | 研究期間.....2024/12～2025/12 |
| | 領域.....次世代モビリティ |
| | 採択テーマ名称.....AIを用いた汎用的な自己位置推定技術の開発 |
| | 機関名.....株式会社 NTT データ CCS |
| | 研究期間.....2024/12～2026/12 |
| | 領域.....次世代モビリティ |
| | 採択テーマ名称.....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 |
| | 機関名.....イントフォー株式会社 |
| | 研究期間.....2024/12～2026/11 |
| | 領域.....アセンブリ&マニファクチャリング |
| | 採択テーマ名称.....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 |
| | 機関名.....国立大学法人信州大学、高砂熱学工業株式会社 |
| | 研究期間.....2024/12～2026/12 |
| | 領域.....ハビテーション |
| | 採択テーマ名称.....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 |
| | 機関名.....富士通株式会社、国立大学法人東海国立大学機構 |
| | 研究期間.....2025/2～2026/3 |

1～11回までの共同研究は、右の二次元コードを参照。
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。



PART 3

THE NEXT HORIZON

月面着陸はゴールではない。その先にある火星、そして深宇宙へ。
「Moon to Mars」を見据え、新たなフェーズへと突入した探査ハブ。
キーマンたちが語る2040年の経済圏と、技術が循環する未来の展望。

——探査ハブの「これから」

奇想天外な技術で深宇宙を駆ける

「日本にしかできない探査」とは？

小惑星サンプルリターンの達成により世界から熱い視線を浴びる日本の探査。初代ハブ長を務めた國中均名誉教授は、活動の舞台が無重力から月面という重力圏へと移り変わるいまこそ、既存の枠を超えた革新的な発想が必要だと語る。

国際プロジェクトで主導権を

——國中先生ご自身が思い描く「未来の宇宙探査像」についてお聞かせください。今後数十年のうちに、探査の世界においてどのような活動がなされると思われますか？そして、そのなかで日本が果たしてほしい役割があると思えば、それはどんなことでしょうか。

各種の宇宙活動があるなかでも「探査」に限っては、他組織が主体的に実施できる状況にはなく、国立研究開発法人JAXAこそが活躍できる。さらに人材・予算・技術・打ち上げ能力に制限の多い「探査」にこそ、新技術、さらに踏み込んでいえば奇想天外な技術を投入する余地がある。お金に物を言わせて、巨大なロケットと平凡な宇宙機の組み合わせで深宇宙に進出したところで、技術革新は起こらず、社会からの理解と支持は得られないだろう。これまでも、糸川英夫先生が当時の世界標準とは一線を画した固体ロケット、川口淳一郎先生のソーラーセイルによる深宇宙における光圧動力航行、小生が独自開発したマイクロ波イオンエンジンによる2度までの小惑星サンプルリターン、世界で最軽量の月着陸船SLIMが、好例である。世界に率先して日本こそが「突飛なビークル」を仕立て、深宇宙を駆け回ってほしい。

——現在JAXAは、NASAや欧州宇宙機関(ESA)等と協働した国際プロジェクトにおいて、どのような戦略と役割で臨んでいるのでしょうか？国際協調のなかで、日本が発揮できる強みや存在感についてお聞かせください。

宇宙科学研究所(宇宙研)が切り開いた「小惑星サンプルリターン」の達成、およびそれによりもたらされた科学成果に対する世界からの敬意・尊敬はすこぶる高く、協力要請がひっきりなしである。それは、誰もが尻込みする領域に果敢に挑戦した結果である。宇宙ステーション事業では、みずからのロケットやHTVにて定期的にアクセスできる日本の主体的参画には評価が高い。昨今、米国は国際貢献に後ろ向きな姿勢を示しているが、早晚復帰するであろう。逆にこれを好機と捉え、日本は国際宇宙開発を真摯な姿勢で肅々と推し進めて、技術蓄積と信頼感を醸成し、今後の国際プロジェクトの主要部を担う、もしくは主宰する立場を獲得してほしい。

——月面探査や基地建設を進めるには、宇宙分野以外の企業との連携も重要になっています。異業種を含む産業界との協働に対して、どのような役割や成果を期待されますか？

これまでは無重力環境で衛星・宇宙ステーション・探査機を運用してきた。

小型月着陸実証機「SLIM」が2024年1月に月面着陸を成功させ、JAXAとして月表面重力下での宇宙活動に先鞭をつけたばかりである。低重力環境での宇宙活動を活発化させるためには、JAXAはこれまでに持ち合わせていない多くの要件を吸収しなければならない。その際、産業界が有する建設・土木・プラントにて培われた技術は大いに参考になる。ぜひともご協力を賜りたい。

——10年前に設立されて以来、宇宙探査イノベーションハブは異分野の知見を結集し、従来にない革新的な取り組みを推進してきました。探査ハブがこれまでに果たしてきた役割を、具体的なエピソードとともにお聞かせください。

探査ハブ事業として多くの民間企業を刺激して、技術開発を実施してきた。そこそこの成果が出たと自己評価はできるものの、そこに至るまで多くの時間と労力を費やした。この事業モデルは2024年度より開始された「宇宙戦略基金」の雛形になったのではないかと個人的には思うところである。探査ハブでは多めに数えても10年で100億円規模であったが、宇宙戦略基金は10年間で総額1兆円規模の投資、実に100倍と聞く。これらを成功に導くには探査ハブより100倍の労力が必要であることを指摘しておく。



國中 均 | KUNINAKA Hitoshi
JAXA宇宙科学研究所 元所長・名誉教授。専門は電気推進、プラズマ工学。小惑星探査機「はやぶさ」および「はやぶさ2」の鍵となったイオンエンジンの開発を主導。日本の宇宙探査を技術と組織の両面で牽引してきた電気推進研究の第一人者。探査ハブの初代ハブ長を2015年4月から2018年3月まで務めた。

写真上：宇宙探査フィールドにてさまざまなローバーとともにたずむ國中均名誉教授。写真下右：國中名誉教授は、小惑星探査機「はやぶさ」のマイクロ波放電式イオンエンジンの開発に携わり、その後「はやぶさ2」ではプロジェクトマネージャを務めた。写真は筑波宇宙センター展示館「スペースドーム」に展示されている「はやぶさ2」の模型。写真下左：「はやぶさ2」のカプセルは2020年12月6日、オーストラリアのウーメラ管理区域に着地した。

「想像」が宇宙を拓くエネルギーになる

『宇宙兄弟』小山宙哉が見つめる人間と宇宙

「人間が想像できることは、人間が必ず実現できる」とSFの父ジュール・ヴェルヌは言った。マンガ『宇宙兄弟』もまた、そうした影響力を持ちうる作品だ。物語世界について、作者・小山宙哉氏に訊いた。

直感を覆す宇宙のリアルを描く

——『宇宙兄弟』は、JAXAやNASAの専門家も舌を巻くほどの綿密なリサーチとリアリティが特徴です。連載開始から長きにわたり取材を続けられるなかで、特に驚かされたことや、作品作りにおける発見などを教えてください。

これまで多くの取材を重ねてきましたが、宇宙という場所は私たちの「地上の常識」や「直感」が通用しない場所だと痛感させられることの連続です。最近の展開でいえば、ヒビトが乗る宇宙船がムッタを救出するべく月の周回軌道を回っている際、「スピードを上げると高度が上がり、結果として周回速度が遅くなる（対象物＝ムッタから遠ざかる）」という軌道力学のパラドックスです。直感的には「アクセルを踏めば追いつける」と思いがちですが、宇宙空間ではそれが逆になる。この現象を知ったときは非常に感心しましたし、同時に「これをどう読者にわかりやすく、かつ誤魔化さずに伝えるか」という点に腐心しました。

また、月面の過酷な環境についても、驚くような事実がありました。かつて月面に降り立った宇宙飛行士たちが、船内に持ち込まれたレゴリス（月の砂）によって、くしゃみや鼻水といった花粉症のようなアレルギー症状に悩まされていたという話です。こうした、教科書や華やかなニュース映像には出てこない「宇宙飛行士の格好悪い部分」や「人間臭

いトラブル」こそが、物語にリアリティと深みを与えてくれると考えています。レゴリスへの対策ひとつとっても、そこには技術的な裏付けと、それを乗り越えようとする人間の知恵があります。そうしたディテールを積み重ねることで、フィクションと現実の境界線を溶かしていく作業が続けている感覚ですね。

——現在、アルテミス計画など有人月面探査が現実味を帯びていますが、小山先生が月面の世界を描く上で「将来、こんなふうになっていたらいいな」と想像すること、あるいは期待することは何でしょうか？

月面を描く際、特に意識しているのは「距離感」や「光と影」のコントラストです。月には空気がないため、地球のように遠くの景色が霞む現象が起きません。遠くの山も近くの岩もくっきりと見えてしまうため、距離感が掴めなくなる。そうした視覚的な非日常性は、月面ならではの描写として大切にしています。

その上で、将来の月面社会に期待しているのは「道ができること」です。いまの月面は、まだ足跡があるだけの荒野です。しかし、そこに舗装された「道」が一本できるだけで、風景は劇的に変わります。道ができれば物資が運ばれ、やがて「街」が形成されていきますし、その過程でロードサイドも発生します。私たちは地球に生まれたときから「すで

に道がある世界」で暮らしていますが、人類が新しい星に最初の道を作り、そこから街や文化が立ち上がっていくプロセスを目撃できるというのは、非常にエキサイティングなことだと思います。

宇宙探査イノベーションハブのみなさまが進めている技術開発も、まさにその「道」を作るための礎石だと思います。単なる探査ではなく、人間がそこで生活し、社会を営むための「場」を作っている。『宇宙兄弟』のなかでも、月面基地に彩りを添えるための工夫や、殺風景な景色のなかでメンタルを保つためのエンターテインメントなど、人間が人間らしく生きるための要素を想像して描くことがありますが、現実の技術開発もそうしたQOL（生活の質）の向上に向かっていくことを期待しています。

多様性こそが極限環境を生き抜く「強さ」に

——作中には、「ライトスタッフ（正しい資質）」を持ついわゆるエリートだけではなく、例えば紫三世のようなユニークな人物や、さまざまなバックボーンを持つキャラクターが登場します。月面という閉鎖環境で社会を形成する上で、こうした「人の多様性」についてはどうお考えでしょうか。

連載を始める前、宇宙飛行士の向井千秋さんのご夫君である向井万起男さんに取材をした際、「宇宙飛行士といっても本当にいろいろな人がいるから、自由に描いていいんだよ」とおっしゃっていただいたことが強く印象に残っています。それまでは、宇宙飛行士といえば「完全無欠な超人」というイメージを持っていましたが、向井さんの言葉に背中を押され、あえて「いなさそうな人」も含めて多様なキャラクターを描くことにしました。

結果として、それが物語のなかでの「強さ」につながっていると感じます。

月面基地という逃げ場のない閉鎖環境で、数十人、数百人が共同生活を送るになれば、きっと、人間関係の歪みやトラブルが生じるはずです。そのとき、全員が同じタイプの真面目な人間であるよりも、ユーモアで場を和ませる人がいたり、突飛な発想で突破口を開く人がいたりする方が、社会としての柔軟性が高まるのではないかと思います。

——作中では、事故による漂流など、死と隣り合わせのシビアな状況も描かれています。そうした極限状態を通して、小山先生ご自身の死生観や、宇宙に対する意識に変容はありましたか。

ムッタが月周回軌道上で漂流し、酸素残量と戦いながら救助を待つエピソードを描いていたときは、私自身もムッタと同じ心境になりきって、死が刻一刻と近づいてくる恐怖をイメージし続けました。それは精神的にも非常にタフな経験でしたが、その恐怖の極致において、ふと訪れる静寂や、目の前に広がる圧倒的な星空の美しさに救われる瞬間もまた、リアルな感覚として描けたように思います。

計算上、数時間後に死が訪れることが確定しているような絶望的な状況下で、人間は何を考え、どう行動するのか。パニックになりかける自分を理性で抑え込み、仲間のために何ができるかを思考し続ける。そうした極限状態における人間の尊厳や、恐怖を超えた先に

ある希望を描くことで、単なる技術論ではない「人間が宇宙に行く意味」を問い直せた気がします。

——その漂流中、死を覚悟したムッタが「酸欠で苦しむくらいなら……」とヘルメットを脱ぐことを考えるけれど、「アゴが吹っ飛んだり首も折れるかも」と自問自答して踏みとどまるシーンが非常に印象的でした。

あれは、連載当初からずっと監修をしていただいているJAXAの山方健士さんに教えていただいたことなんです。パニックになると、人間は「苦しいから脱ぎたい」という衝動に駆られますが、実際に真空中でヘルメットを脱ごうとすれば、気圧差で顎が外れるどころか砕けてしまう。そうした医学的・物理的な「リアル」を教えていただき、描写に落とし込んだシーンは数多くあります。

——最後に、これからの10～20年先の宇宙開発を担う人々へメッセージをお願いします。

マンガ家の私にできることは、魅力的なキャラクターたちが織りなす人間ドラマを通じて、読者のみなさんに「宇宙っておもしろそうだな」「自分も行ってみたいな」という興味の種を蒔くこと

©Hayato Oishi



だと思っています。ありがたいことに、JAXAの方々から『『宇宙兄弟』を読んで宇宙を目指しました』『あのトラブルのシーンを読んで、技術者として気が引き締められました』といった声をいただくことがあります。フィクションの世界で描かれた「想像」が、現実の世界で実際に宇宙開発を推進する「エネルギー」に変換されている。その循環を感じる時、この作品を描き続けてよかったと心から思います。



©Hayato Oishi

小山宙哉 | KOYAMA Chuya

1978年京都府生まれ。大阪市立デザイン教育研究所卒業。デザイン会社勤務を経て、『劇団JET'S』でMANGA OPEN大賞を受賞。『ハルジャン』で連載デビュー。2007年より『宇宙兄弟』の連載を開始。同作で小学館漫画賞、講談社漫画賞を受賞。アニメ・実写映画化もされ、現在も『モーニング』にて連載中。

Q. 月か火星に行けるとしたら、どちらに行きたいですか？

A. 長期滞在なら火星でしょうか。月は空が真っ暗ですが、火星には大気があるので夕焼けも見られますし、長く過ごしても気が滅入らずに済みそうなイメージがあります。ただ、月も住環境として非常に魅力的になるはず。重力が6分の1という環境を活かした、地球にはない新しいスポーツや遊びが生まれるかもしれませんし、そうした「文化」の誕生をこの目で見てみたいです。

2040年、月は人類の「活動域」になる

アルテミス計画の中核を担う日本の技術と調整力

2040年、月は千人が暮らす「経済圏」へ変貌する。

アルテミス計画の先に見据える持続可能な社会基盤とは。

日本が技術と信頼で担うべき国際的な「調整役」としての使命を、伊達木香子室長が語る。

「点」の探査から「面」の活動へ

——2030年代から40年代にかけて、日本はどのような宇宙探査ビジョンを描いているのでしょうか。

これまでの日本の宇宙活動は、地球周回軌道、特に国際宇宙ステーション（ISS）が中心でした。そこで培った技術と信頼は、世界に比肩する確固たる基盤です。これからの10～20年は、その基盤を足がかりに、活動領域を「月」、そして「火星」へと広げていくフェーズに入ります。

しかし、月や火星はISSとは環境がまるで違います。重力があり、放射線が降り注ぎ、月には過酷な「夜」がある。これら乗り越え、単に「行って帰ってくる」だけでなく、そこを持続的な活動の場——つまり科学探査と経済活動が共存する「生活圏」にしていくことが目標です。

JAXAでは最近、2040年ごろを見据えた新しい「日本の国際宇宙探査シナリオ案2025」を策定しました。数人の宇宙飛行士が滞在する段階から、それが40人くらいになって、やがて100人、そして将来的には1000人が月面で活動する未来へ。その過程で必要となるインフラ（電力、通信、居住）をどう構築するか。例えば、もし月の極域で水資源が見つければ、現地で燃料を生成す

るプラントが必要になりますし、見つからなければ地球からの輸送システムを強化しなければならない。そういった「変曲点（シナリオの分岐）」を具体的に描き、産業界とともに準備を進めています。

日本の「調整力」が国際協調の鍵になる

——月の資源開発など、国際的な競争も激化しています。日本はどのような立ち位置を目指すべきでしょうか。

「早い者勝ち」の世界にはいけない、というのは国際的な共通認識になりつつあります。特定の国が資源を独占するような世界になるのではなく、いかに協調し、平和的かつ持続可能なかたちで探査を進めるか。いまはまだ議論の途中ですが、ルール作りの重要性は高まっています。

そのなかで、日本は非常にユニークな立ち位置にあります。欧米諸国との強固なパートナーシップを持ちながら、アジア諸国とも対話ができる。そして何より、確かな技術力に裏打ちされた「信頼」があります。技術力だけでゴリ押しするのではなく、国際的な調整役としてリーダーシップを発揮する。例えば、月面での通信測位インフラ「LunaNet」

構想など、NASAやESAと連携しつつ、日本が不可欠なピースとして機能する。そういった「日本がいなければ回らない」ポジションを確立していくことが、国益にもつながると考えています。

——2015年に発足した宇宙探査イノベーションハブのこの10年の歩みは、伊達木さんの目には、どのように映って見えていましたか。

探査ハブの最大の功績は、宇宙探査を「一部の専門家のもの」から「みんなの挑戦」へと開放したことでしょう。正直なところ、10年前は「宇宙探査」といっても、民間企業の方々には「自分たちには関係ない」「何ができるかわからない」という距離感があったと思います。しかし、探査ハブが「産学官の結節点」となり、「みなさんのその技術、実は宇宙で使えますよ」と翻訳して伝え続けたことで、状況は一変しました。

建設、食品、日用品、素材メーカー……これまで宇宙とは無縁だと思われていた企業が、探査ハブを通じて次々と参入しています。よく「宇宙産業」といいますが、突き詰めればそれは「地球の産業の宇宙版」なんです。人間が月で暮らすなら、家も食事も医療も必要になる。つまり、地上の技術やノウハウの多くは、





宇宙環境に合わせてカスタマイズすればそのまま持ち込める可能性がある。

むしろゼロから宇宙専用品を作るよりも、地上で磨かれた「実績ある技術」を転用する方が、コストは低く信頼性は高い場合が多い。探査ハブは、そうした「地上の当たり前」を「宇宙のイノベーション」に変える触媒の役割を果たしてくれました。

ゲームチェンジャーを生む「外からの視点」

——今後の探査ハブに期待することは何でしょうか。

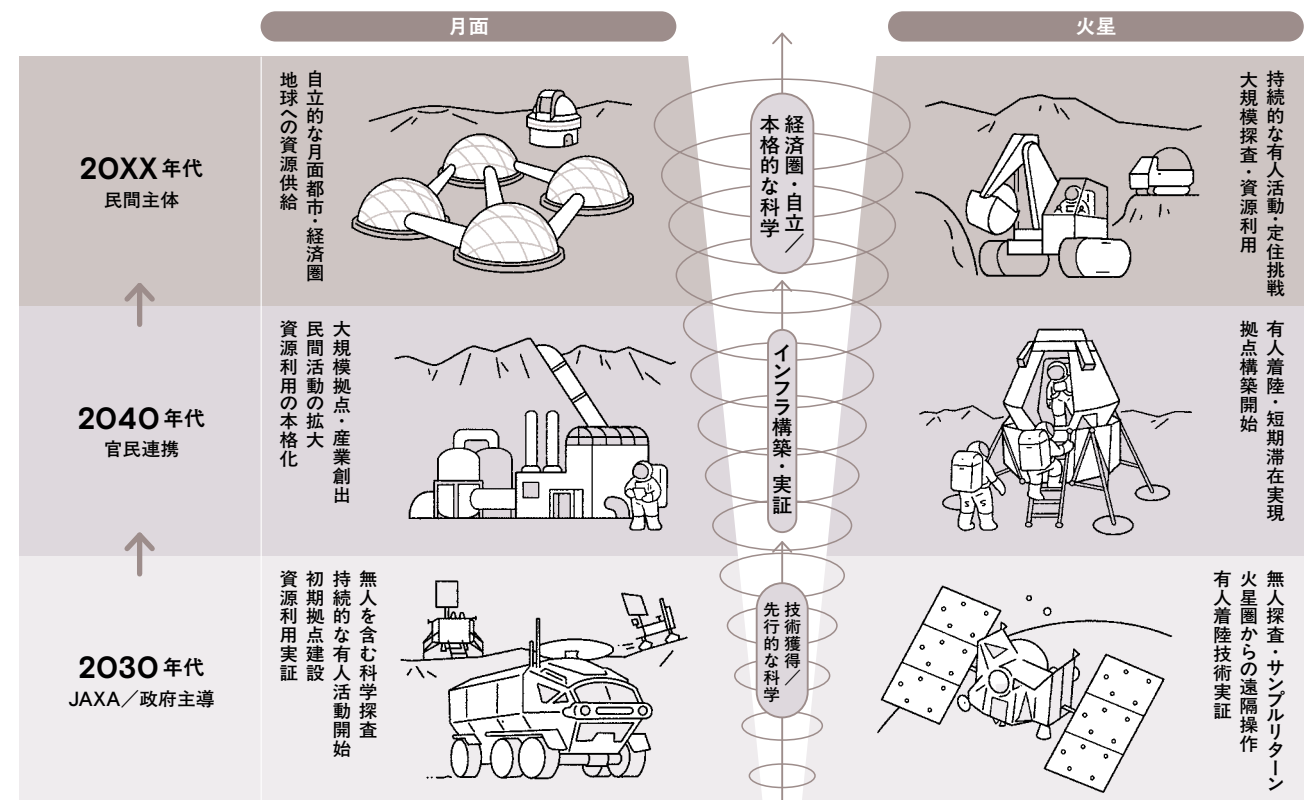
これまでの実績を具体的な JAXA のミッションに実装していくこと、そして

引き続き「外からの視点」を取り込み続けることです。JAXA の内部だけで開発していると、どうしても「安全性」や「過去の実績」を優先し、積み上げ型の開発になりがちです。もちろんそれは重要ですが、時にイノベーションを阻害することもある。「そんなの危ないよ」と言われるようなアイデアでも、外の技術と組み合わせればブレイクスルーになるかもしれない。

SLIM で月面着陸に成功した変形型月面ロボット (LEV-2)「愛称 SORA-Q」を例にださずにはられません。玩具メーカーのタカラトミーが持つ小型化・変形技術がなければ、あの 228g のロボットがあのような鮮烈な画像を届けることはなかったでしょう。あの 1 枚の写真は、世界中に「日本の技術のおもしろさ」をアピールする最高のショーケースになりました。技術的なスペックだけでなく、人々の知的好奇心やワクワクする感情に訴えかける力。それこそが、次の 10 年の宇宙探査を推進するエンジンになると信じています。

——具体的なプロジェクトとして、日本にはどのような強みがありますか。

まず挙げられるのは、NASA との合意で日本による提供・運用維持が決まった「有人圧ローバー」です。これは月面を自由に移動できる「キャンピングカー」のようなもので、宇宙飛行士が宇宙服を脱いでシャツ 1 枚で過ごせる空間を提供します。月面探査の「足」であり「家」でもあるこのローバーを、



JAXA が提言した「日本の国際宇宙探査シナリオ案 2025」より。2020 年代の「無人を含む科学探査」の時代を経て、2030 年頃の「初期段階」から 2040 年代以降の「自立段階」に至るまで、月面活動が持続的に拡大・高度化する道筋を 3 つのフェーズで定義。月面インフラ構築・エネルギー・通信・輸送・利用・有人活動・科学探査・産業振興といった分野において、具体的な達成目標と活動内容を示している。また、月面での長期滞在や資源利用技術の成熟が、より困難な火星探査の基盤として還元され、活動規模が「実験レベル」→「産業レベル」→「自立社会」へと段階的に拡大・高度化することも目指す。

自動車大国である日本が担当する。これは米国からの絶大な信頼の証と言えと思っていますし、トヨタ自動車をはじめとする日本の産業界とこれまで JAXA と宇宙開発に携わってきた企業の技術力を結集したプロジェクトです。

また、インド宇宙研究機関 (ISRO) と共同で進めている月極域探査機 (LUPEX: ルベックス) プロジェクトも極めて重要で

す。月の南極域にあるとされる「水」をその場観測により直接探しに行くこのミッションは、将来の月面拠点の場所や、エネルギー戦略を左右する重要なデータを握っています。水が見つければ、月面滞在時の飲料水や生活水に利用したり、そこから水素や酸素を作ってエネルギーにしたりできる。LUPEX の成功は、日本の存在感を国際的に高める大きなカードになります。

2040 年、月面では多くの国や企業が活動し、そこから火星を目指す船が飛び立っているかもしれません。その風景のなかに、日本の技術や日本人が当たり前のように存在している。そんな未来を作るために、いまは法的な枠組み作りから技術実証まで、あらゆる側面から準備を進めていきたいと思っています。



伊達木香子 | DATEKI Kyoko
JAXA 国際宇宙探査センター事業推進室 室長。宇宙開発事業団 (NASDA) 入社後、海外契約や契約基準等の調達ははじめとする法務を中心に、衛星開発や国際宇宙ステーション計画に係る国内外調整やプロジェクトマネジメントにも携わる。2005 年 MBA 取得。プロジェクト調達室長、新事業促進部長を経て 2024 年から現職。

Q. 月か火星に行けるとしたら、どちらに行きたいですか？
A. どっちも行きたいですね、欲張りでしょうか (笑)。私は自分が主役として何かを成し遂げたいというより、多くの仲間と準備してきた計画が、現地で「ああ、本当にこういうかたちになったんだ」と結実する瞬間を見届けたいんです。それが月でも火星でも感動は変わらないと思います。それに単純に「景色」が見たい。その「場」に立つことでしか得られない視点を自分の目で確かめてみたいですね。

「地上」と「宇宙」の技術が循環する未来

——探査ハブが描く、次なる10年のイノベーション戦略

地上の技術を宇宙へ、宇宙の成果を地上へ。探査ハブが掲げる「Space Dual Utilization」は、技術開発を超え事業創出をも見据える。森治ハブ長と櫛木賢一副ハブ長が語る、共創が拓く次なる10年の戦略。

「営業活動」から始まった10年前

——探査ハブ設立から10年。おふたりは当初、探査ハブをどう見ていましたか。

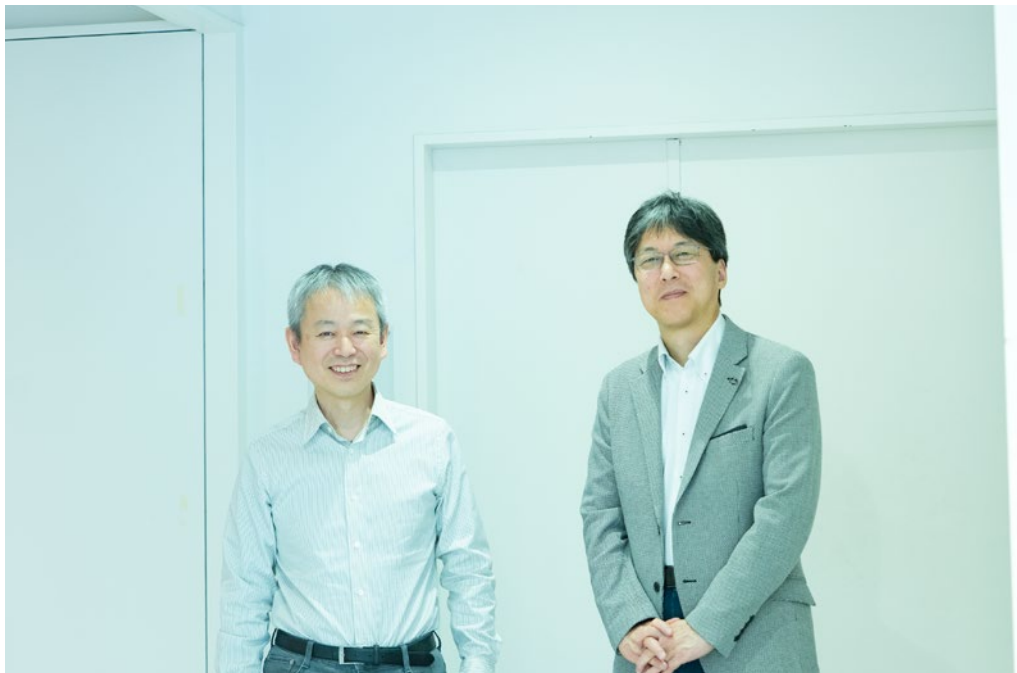
森 2015年の発足当時、私は宇宙科学研究所 (ISAS) にいましたが、探査ハブとはとにかく「営業活動」をしている集団というイメージでした (笑)。初代ハブ長の國中 (均) 先生を筆頭に、まるでノルマがあるかのような勢いで企業を行脚し、「一緒に宇宙をやりませんか」と頭を下げて回っていた。当時はまだ「宇宙ビジネス」なんて言葉も一般的ではなく、企業側からすれば「JAXAが何か言っているけれど、我々に何のメリットがあるの？」という反応が多かったと思います。でも、その泥臭い種まきと、1200件を超えるRFI (情報提供要請) への地道なアプローチがあったからこそ、いまの探査ハブがある。いまでは企業の方からアクセスしていただくことが増え、隔世の感がありますね。

櫛木 私は当時、探査機を作るプロジェクト側にいたのですが、探査ハブからは「この月面ロボットをなんとかSLIMに載せてくれ」と猛烈なブッシュを受けていました (笑)。探査機製作側からすれば、厳しい軽量化要求のなか、追加の荷物を搭載することにはかなり抵抗がありましたが、探査ハブメンバーのそこをねじ込む熱意と執念があったからこそ、あの「SORA-Q」が月に行けた

のだと、いまになって痛感します。あのときの「圧」がなければ、世界初、世界最小最軽量の月面探査ロボットは生まれていませんでしたし、月面に佇むSLIM画像も得られていませんでした。

あの1枚の写真は、何百枚の技術資料よりも雄弁でした。ゴツゴツした岩肌、漆黒の宇宙、そして色のない月面に佇む金色の小型月着陸実証機SLIM。国民のみなさんが「本当にSLIMは月に行ったんだ」と実感できたのは、あの写真があったからこそだと思います。SLIMプロジェクトマネージャーの坂井 (真一郎) さんが「腰を抜かした」と言っていました。私も言葉を失うほどの衝撃を受けました。同時に自分たちが長い間目指していた月面の着陸目標地点はこんな感じなんだ、と妙にリアルに感じたことを覚えています。

森 SORA-Qの凄さは、玩具メーカー (株式会社タカラトミー) の「変形技術」「小型化技術」とJAXAの「宇宙環境適応技術」を融合しただけでなく、「遊び心」も探査ミッションにもたらした点です。228gという驚異的な軽さで、変形して月面を走りまわり、撮影までする。この撮影対象が何よりSLIMであったことが重要でした。宇宙でただ動いただけでなく、従来にない方法でミッションの成功を証明してみせたことで、SORA-Q自体の価値も、SLIMの価値も高まりました。地上技術と宇宙技術を組み合わせ、宇宙探査に新しい風を吹き込ん



だ。これこそが、オープンイノベーションの理想的な成功例であり、探査ハブが目指してきたひとつの到達点です。

——民間企業と組むことで、研究開発のスタイルはどう変わりましたか。

櫛木 これまでのJAXAは、仕様書を作って企業に「これを作ってください」と頼む「発注型」でした。しかし探査ハブは、企業や大学と対等な立場で研究し、イノベーション、新しい価値と一緒に生み出す「共創型」です。また、月や火星などの重力環境下における探査技術は、地上技術との相性がよくて、その知見やアイデアの活用が容易だろう、という発想が探査ハブの研究開発の根底にあります。そのため、これまで宇宙にかかわりのなかった建設・土木、食品、化粧品・化学といった多様な異分野の企業から多くの提案を引き出すことができました。プレイヤーの裾野は劇的に広がっています。

森 企業の方々と接して感じるのは、彼らには技術の「核」があるということ

きっちりと予算内で仕上げてくる。このスピード感と堅実性は、我々も学ぶべき点ですね。

——次の10年に向けて、どのような戦略を描いていますか。

森 これまでは、地上の技術を宇宙に転用し、その成果をまた地上に戻す「Dual Utilization」を掲げてきました。これからは、それをさらに拡張した「Space Dual Utilization」へと進化させます。これは、単に宇宙で使われるだけでなく、「宇宙での事業化 (ビジネス)」までを視野に入れた概念です。もちろん、すぐに月面で商売ができるわけではありません。まずはアルテミス計画などの国際プロジェクトや、JAXAのミッションで継続的に採用されることを目指す。そこでフライト実績を積み、宇宙での技術が役立つことを広く認知された先に、民間が主体となってサービスを提供する「宇宙ビジネス」が成立する——そのような段階的なシナリオを描いています。

櫛木 第二、第三のSORA-Q、次なる探査ハブを代表する優れた研究成果を生み出すことが急務です。2024年度か

ら始動した新たな研究制度「Moon to Mars Innovation」を梃子に、これからも広く産学官の力を糾合することで、宇宙探査にゲームチェンジ (現状を打破する、革新的な、考え方を根本から変える) を巻き起こしていきたい、そして国際宇宙探査への貢献に尽力していきたい、と考えています。

森 2010年ごろから「太陽系大航海時代」と言われてきましたが、これからは「太陽系開拓時代」です。大航海時代、最初は国家が船を出していましたが、やがて民間が参入し、多くの人々が海を渡って新天地を開拓していきました。宇宙も同じです。いまはまだ国家プロジェクトの色が濃いですが、徐々に民間にバトンを渡し、誰もが宇宙を目指せるようにしていく。

探査ハブの役割は、その「移行期」を支えるエンジンのようなものです。国だけでは支えきれない壮大な探査活動に、民間の活力とアイデアを注ぎ込み、持続可能な「開拓」へとつなげていく。地上の技術が月で当たり前に使われ、月で生まれた技術がまた地球を豊かにする。そんな循環が生まれる未来を、みなさんと一緒に作っていききたいですね。



森 治 | MORI Osamu

JAXA 宇宙探査イノベーションハブ ハブ長／宇宙科学研究所 教授。世界初のソーラー電力セイル実証機「IKAROS」のプロジェクトマネージャを務めるなど、数々の探査ミッションを牽引。2024年7月より現職。研究者としての深い知見と、探査ハブを外側から見てきた客観的な視点を併せ持ち、「持続可能な宇宙開拓」を掲げて組織を牽引する。

Q. 月か火星に行けるとしたら、どちらに行きたいですか？

A. 私は火星ですね。「太陽系大航海時代」の次に来る「太陽系開拓時代」、その最前線に立ちたい。火星には薄いながらも大気があり、地球の3分の1程度の重力もある。ある意味、月よりも地球に近い環境なんです。もしかしたら生物がいるかもしれない……そんな場所で人類の居住区を作る第一歩にかかわれたらおもしろいですね。



櫛木 賢一 | KUSHIKI Kenichi

JAXA 宇宙探査イノベーションハブ 副ハブ長。2025年1月より現職。それまでは小型月着陸実証機SLIMプロジェクトチームで、サブマネージャとして開発マネジメント業務に従事、「SORA-Q」を月面に送り届ける側にいた。探査ハブでのスローガンは「No Innovation, No Future. 月と火星への挑戦がここから始まる」。

Q. 月か火星に行けるとしたら、どちらに行きたいですか？

A. 私は……正直言うとハワイかモルディブがいいです (笑)。月も火星も過酷すぎて、おいしい食べものもなさそうですし。私は「行く」よりも、多くの人を巻き込んで「行かせる」ための仕組みや空気感を作る方に情熱があります。みんなが熱狂して宇宙を目指す、その雰囲気作り、お膳立てをするのが私の役割だと思っています。

Staff Directory

技術と共創で地上と宇宙の境界を溶かす精鋭たち



松浦真弓
川崎一義

荒井五十四

新井 梢
和泉守樹
石上玄也
石原美保
稲富裕光
岩崎亜矢子
岩谷隆光
上松チサ
上野宗孝
大川拓也
大熊隼人
大嶽 剛
大槻真嗣

小倉未知子

小川瑞穂
金森洋史
河野まりこ
川崎 治
木村真一
木村駿太
木村 華

清田育世
櫛木賢一
河野貴文
小林大輔
坂井 篤
佐藤芙美
佐藤陽子
澤田弘崇

柴垣 斉

杉原アフマッド清志

杉山絵里香

須藤真琢

瀧本慶一郎

竹井陽子

田所久美

月崎竜童

永松愛子

永富哲也

成田伸一郎

野村敏弘

橋本樹明

日高貴志夫

平野大地

布施哲人

二見郷子

朴澤佐智子

松井臣央

松元留美子

三田 信

水野貴秀

宮澤 優

森 治

山川真以子

山崎 丘

山崎雅起

山田大輝

山中浩二

山本夏美

横山章子

吉岡伸人

分島彰男

2025年7月1日現在



いまから10年前といえば、アルテミス計画の前身であるコンステレーション計画が中止され、月探査への未来が描けない状況でした。そんなときにJSTによるイノベーションハブ構築支援事業として「宇宙探査イノベーションハブ」が採択されました。その支援の下、探査ハブは10年、20年先の月探査に必要となる技術を、JAXAと外部の企業大学と共同で研究開発し未来に備えていくことを目指しました。事業を進めるなかで気づかされたのは、「非宇宙産業」といわれる日本の企業のみなさまの持つポテンシャルの高さです。また、月面探査は地球上の産業との親和性が高く、宇宙のみならず地上にも貢献できることを確信しました。SORA-Qをはじめ異業種の企業様が宇宙事業に参加している現在の状況は10年前には想像できなかったことです。が、まだやるべき研究課題は増える一方です。宇宙探査イノベーションハブと一緒に10年、20年先の未来を創っていきませんか？

—— 川崎一義（JAXA理事補佐）



SPACE DUAL UTILIZATION



国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
宇宙探査イノベーションハブ

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1 相模原キャンパス内
<https://www.ihub-tansa.jaxa.jp/>
2026年1月発行