

月・ポストISSを見据えた 無人・有人宇宙探査の在り方について

2023年1月25日

宇宙航空研究開発機構
国際宇宙探査センター

0. JAXAの取組方針 総論

- 政府の方針に基づき、月面活動に主体を置き、月近傍有人拠点や月面上に日本人宇宙飛行士を送るなど人類の活動領域の拡大に貢献し、宇宙先進国としてプレゼンスの確保を図るとともに、学術研究、人材育成や将来の民間による月面活動にも貢献する探査を進める。その際、国際協力、民間技術の活用により効率化する。
- 国際約束されているもの、宇宙基本計画に位置付けられているプロジェクト／研究開発を着実に遂行する。
 - Gateway居住棟の生命維持・環境制御機能の開発
 - Gatewayへの物資補給（HTV-X）の提供
 - 小型月着陸実証機（SLIM）や月極域探査（LUPEX）の開発
 - 有人与圧ローバの研究開発
 - ※ 「月探査協力に関する文部科学省と米航空宇宙局の共同宣言」（JEDI）（2020年7月）
 - 「民生用月周回有人拠点のための協力に関する日本国政府とアメリカ合衆国航空宇宙局（NASA）との間の了解覚書」（Gateway MOU）（2021年12月）
 - 月周回有人拠点「ゲートウェイ」実施取決め（Gateway IA）（2022年11月）
- アルテミス計画のスケジュールや他国動向を睨み、国際的なプレゼンスの確保、学術研究・民間の月面活動への貢献を、効果的に発揮できるように技術の研究開発を進める。タイムリーに順次プロジェクト化の提案を行う。
 - 月面輸送能力の整備と向上（定期的な運航構築、基幹ロケットの能力増強を含む）
 - 通信・測位基盤の整備
- 将来の月面活動に向けた研究を民間と協力して進めるなど、基盤的な活動を継続的に取り組む。

1. 国際宇宙探査の意義、基本的考え方（これまでの議論）(1/2)

■ 国際宇宙探査の在り方～新たな国際協調体制に向けて～

（2017年12月6日 宇宙開発利用部会決定）

■ 国際協力による月探査計画への参画に向けて

（2019年8月 ISS・国際宇宙探査小委員会）

有人宇宙探査の意義

- 外交・安全保障、科学技術、産業競争力強化・イノベーション、地球規模課題の解決
- 有人宇宙探査の意義（新たなフロンティアにおける発言力の確保、質の高い探査活動、国民の誇り・共感、人材育成・科学技術向上・将来産業育成）
- 国際宇宙探査の目的地・中継地点

当面の目的地としての月の意義

- 火星・深宇宙も視野に入れた効率的・効果的な技術実証の場
- イノベーション（新たな産業の創出等）
- 資源探査（極域の水氷の燃料活用、高日照率域の確保等）
- 科学的知見の創出（月の起源、水氷の由来等）

具体的取組

- 我が国として優位性や波及効果が見込まれる技術（**深宇宙補給技術、有人宇宙滞在技術、重力天体離着陸技術、重力天体探査技術**）の**早期実証**にJAXA中心に取り組む。これらの技術で将来の国際宇宙探査の具体的なプロジェクトに戦略的に参加。
- 具体的な米国との協力取組として、①**GW居住棟への熱制御系や空調系の技術・機器提供**、②**新型補給機を用いたGWへの物資・燃料補給**、③**有人月面着陸・探査の着陸地点選定等に資する月面データの共有**、SLIM、**月極域探査**の着実な実施、④**月面移動手段の開発**。
- 小型月着陸実証機（SLIM）及び火星衛星探査計画（MMX）は、国際宇宙探査に必要な知見や技術の獲得という観点も考慮し、着実に実施。

1. 国際宇宙探査の意義、基本的考え方（これまでの議論）(2/2)

■ 日本としての「月面活動に関する基本的な考え方」（2021年5月）

宇宙政策委員会・基本政策部会第19回会合/ISS・国際宇宙探査小委員会（第42回）

【骨子】

2020年代後半から2030年代にかけて、Gatewayも利用しつつ、水資源探査を含めた持続的な月面活動や探査の進展に応じた基盤整備が行われるところ、日本として主体性をもって参画する。

- ① **（科学成果創出）** 月面活動機会拡大を念頭に、新たな知の創造に繋がる科学成果創出を目指す。
 - ▶ アポロ計画に匹敵するインパクトをもって科学を大きくアップデートさせることを目指す。具体的には、月面天文台、月サンプル取得、月震計ネットワーク等。
 - ▶ SLIM において獲得する高精度着陸技術や有人と圧ローバ等の活用を含め、日本が主体的に取り組むべき科学プロジェクトを具体化する。

- ② **（基盤整備）** 他天体での活動も念頭においた技術実証を行うとともに、国際的な協力の下で段階的に進められる基盤整備に、日本の強みを生かして参画する。
 - ▶ 月面探査を支える **移動手段の開発**（アルテミス初期から必要とされる重要な基盤であり着実に開発を進める）
 - ▶ **無人建設システム、測位・通信システム**（水資源探査を進めていく2030年前後までの段階でも探査の進展に応じ必要となる可能性が高い）
 - ▶ プラント、滞在や保管のための施設、電力共有、資源再利用システム等（2030年代以降、必要となる可能性）

- ③ **（人材育成・民間事業創出）** これらに必要な技術や人材を戦略的に育成・確保し、月面活動を効果的に進めるため、民間の積極的な参加を促進する。
 - ▶ 戦略的に研究開発や技術実証に取り組む。
 - ▶ 非宇宙産業を含む民間企業の参画を促し、他の宇宙分野で進められている技術開発と連動して共通化する。
 - ▶ 効率的な基盤整備や民間企業の一層積極的な参加を促進する。
 - ▶ 月面活動に関するマイルストーンをできる限り明確化、民間が主体的に行う取り組みと連携する。

2. 国内外の動向 (1/2)

■ 「宇宙開発利用加速化戦略プログラム(スターダスト)(内閣府)」(2021年～)

- 宇宙政策全体を俯瞰し、戦略的に取り組むべきプロジェクトを特定し、関係省庁の連携や産学の多様なプレイヤーの参画の下で技術開発に取り組む枠組。
- 月探査関係で、以下の研究開発が進行中；
 - ✓ 月面活動に向けた測位・通信技術開発（文科省/総務省）
JAXAが研究受託し、測位実証ミッションや要素技術の研究をスタートアップを含めた多様なプレイヤーで実施中。また、FY2021の月通信・測位アーキテクチャ検討をベースにESAやNASAとアーキテクチャ調整を実施中。

■ 産業化を視野に入れた民間活動の活発化

- 月産業ビジョン協議会が「月面産業ビジョン – Planet 6.0時代に向けて –」を発出(2021年7月)
<https://www.lunarindustryvision.org/>
- ispace社のHAKUTO-R(M1)打ち上げ(2022年12月)
 - ✓ 月に向けて飛行中。民間として、また日本の宇宙機としても初めての月面着陸となる見込み。
 - ✓ ランダーにはJAXAの変形型月面ロボット（※）を含む7個のペイロードを搭載。
※JAXA/タカラトミー/SONY/同志社大学による共同開発。月面の低重力環境下における超小型ロボットの探査技術を実証予定。

■ 月面活動に係る国際ルールの整備

➤ 「アルテミス合意(政治宣言)」(2020年10月)

- 米国提案の「アルテミス計画」等を推進することを契機とし、宇宙条約に基づく、宇宙活動を促進する安全で透明性の高い環境を作り出すための諸原則を確立することが目的。
- 2022年12月現在、23か国（※）が合意。

※米国、日本、オーストラリア、カナダ、イタリア、ルクセンブルグ、UAE、英国、バーレーン、フランス、ブラジル、コロンビア、イスラエル、メキシコ、ニュージーランド、ポーランド、韓国、ルーマニア、サウジアラビア、シンガポール、ウクライナ、ルワンダ、ナイジェリア

➤ 宇宙資源に関する法的議論

- 2021年第60会期COPUOS法律小委員会で宇宙資源に関するWGの設置が決定。2027年まで審議予定。

2. 国内外の動向 (2/2)

■ NASA

➤ アルテミスミッション

- 「アルテミスI」、2022年11月16日に打上げ。Orion宇宙船は月を周回し、同年12月11日地球に帰還・着水。
- 「アルテミスII」（有人月周回ミッション）は2024年打上げ予定。Orion搭乗クルー4名の内、1名はカナダ人を予定。
- 「アルテミスIII」（有人月面着陸の実施）は2025年打上げ予定。月周回で着陸船（HLS：Human Landing System、Space X社のStarship）に乗り換え月面に向かう。

➤ 商業月面輸送サービス調達（CLPS）

- 2022年7月までに8つのミッションが契約済み（Masten社の破産申請に伴い、現在は7つ※）。DraperのミッションにはiSpaceの米国法人(iSpace US)も参画。
※Astrobotics（2契約）、Intuitive Machines（3契約）、Firefly Aerospace、Draper
- 2023年は3つのミッションを予定（Astrobotics社、Intuitive Machines社（2契約分））。

■ ESA

➤ 欧州閣僚級会合（2022年11月）

- 全体予算は169億€（5ヵ年）。2019年の閣僚級会合と比較して17%増。
- 2030年代の月面物資輸送機「Argonaut」（月面輸送能力ト1.5トン）を新たなプロジェクトとして承認。
- 月探査のための通信・航法アーキテクチャ構想「Moonlight」プログラムが承認された。

3. JAXAの取組状況(1/2)

1. 政策的にコミットされているプロジェクト/ミッションの着実な実施

① 月周回有人拠点（Gateway居住棟の生命維持・環境制御機能）

- Gateway了解覚書及び実施取決めで国際約束し、宇宙基本計画工程表にも記載。
- 現在、2024年度のESAへの引き渡し（2027年打上げ）を目標に開発中。

② HTV-X（Gatewayへの物資補給）

- Gateway了解覚書及び実施取決めで国際約束し、宇宙基本計画工程表にも記載。
- ISSにおけるドッキング技術の実証を2024年度実施に向けて開発中。並行して2030年のGateway補給に向けたミッション定義活動を実施中。

③ 月極域探査機(LUPEX)の開発

- 文科省／NASA間のJoint Exploration Declaration of Intent（JEDI、2020年7月）でNASAと合意し、宇宙基本計画工程表に記載。
- 2024年度打上げを目標に開発中。

④ SLIM（小型月着陸探査機）の開発（参考：宇宙科学・探査において実施）

- JEDIでNASAと合意し、宇宙基本計画工程表に記載。
- 2023年度打上げを目標に開発中。

⑤ 有人与圧ローバのフロントローディング

- JEDIでNASAと合意し、宇宙基本計画工程表に記載。
- 2029年度打上げを目標にミッション定義活動を実施中。

【参考】宇宙基本計画工程表

宇宙基本計画工程表（令和4年12月23日 宇宙開発戦略本部決定）

※赤字番号は、P.7に連動

年度	令和 2年度 (2020年度)	令和 3年度 (2021年度)	令和 4年度 (2022年度)	令和 5年度 (2023年度)	令和 6年度 (2024年度)	令和 7年度 (2025年度)	令和 8年度 (2026年度)	令和 9年度 (2027年度)	令和 10年度 (2028年度)	令和 11年度 (2029年度)	令和 12年度以 降	
13 国際宇宙探査への参画とISSを含む地球低軌道活動	米国提案の国際宇宙探査計画(アルテミス計画)への参画 [内閣府、文部科学省等]											
	① ゲートウェイ居住棟への我が国が強みを有する技術・機器の提供						ゲートウェイの運用・利用					
	HTV-Xの開発			HTV-XによるISSへの物資輸送 機会を活用した技術実証			HTV-X、H3によるゲートウェイへの物資・燃料輸送					
	② 車輪や走行系等の要素技術の開発研究・技術実証											
	⑤ 月面探査を支える移動手段(有人と圧ローバ)に関する開発研究											
	③ 着陸地点の選定等に資する月面の各種データや 技術の共有											
	③ 月極域探査機の開発 [文部科学省]						打上げ▲ 運用					
	④ 【再掲】小型月着陸実証機(SLIM)の開発 ▲打上げ 運用											
	月面での持続的な探査活動を見据えた産学官による先行的な研究開発等[内閣府、文部科学省等]											
	・ 将来の月面活動のビジョンの共有											
	将来の月面活動に必須となる分野(建設、測位・通信、エネルギー、食糧など)における要素技術の開発研究											
	アルテミス計画の機会を最大限活用した 科学的成果の顕出に向けた検討											
	広範な科学分野の参加を得た推進[内閣府、文部科学省等]											
	アルテミス計画への 獲得技術の活用、技術実証の場の提供等											
	ISSを含む地球低軌道活動 [内閣府、文部科学省等]											
ISS・日本実験棟「きぼう」の運用・利用[文部科学省]												
宇宙環境利用を通じた知の創造・技術実証の場の提供												
【再掲】HTV-Xの開発 2025年以降のISSを含む 低軌道活動の検討			HTV-Xの運用▲打上げ(2号機) ▲ 打上げ(1号機) ▲ 打上げ(3号機)									
ISS運用延長期間および2031年 以降の地球低軌道活動の検討												
2025年以降の低軌道活動に向けた必要な措置												
(参考)ISSを含む地球低軌道における経済活動等の促進 [文部科学省]												
国際宇宙探査を支える基盤の強化及び裾野の拡大[文部科学省]												
・ 大学・民間企業等と連携した要素技術の開発・高度化及び実証												
【再掲】火星衛星探査計画(MMX)開発[文部科学省] ▲ 打上げ 運用											▲ 地球帰還	

3. JAXAの取組状況(2/2)

2. JAXAが提案する今後必要とされる探査ミッション

⑥月面探査輸送能力の整備（月探査促進ミッション（LEAD））

- 宇宙科学の成果創出、民間を含む探査技術の実証を目的として、月面活動において高精度着陸技術の活用先として期待されている。
- ⑦通信・測位システムの実証を行うべく2028年打上げを目途にミッション定義活動を実施中。

⑦通信・測位システム研究(スターダスト)

- スターダスト計画において位置付けられ、本格化する有人月面活動において基盤整備として期待されている。
- JAXAはMoonlightプログラムとの連携の下、測位技術を実証すべく、2028年の打上げを目途にミッション定義活動を実施中。
- ESAはMoonlightプログラムで、2027年に衛星を月周回軌道に配置開始（1機は通信・測位機能、1機は測位機能のみ）目標。

⑧月面貨物輸送能力の整備（中型カーゴランダ）

- 2030年代の継続的な日本人宇宙飛行士月面着陸機会の確保に向けたアルテミス計画への貢献、及び民間による月面活動活発化を支える物資輸送能力としてNASAに期待されている。
- ESAは先の閣僚級理事会で同様の開発をプロジェクトとして承認済み（2030年打上げ目標）。JAXAも2030年度以降の打上げを目標にミッション定義活動を実施中。

3. その他の活動

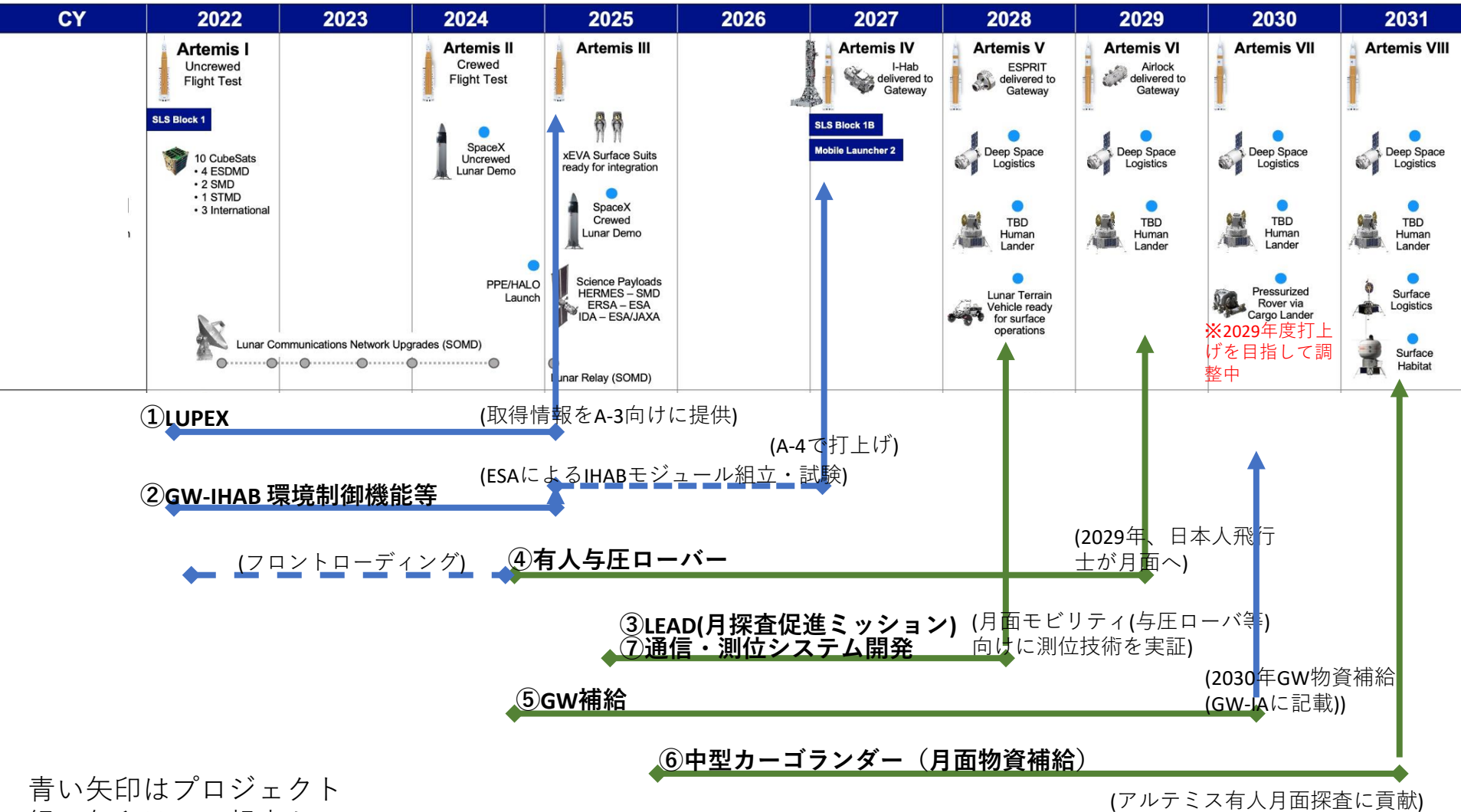
⑨月面科学利用、⑩国際的なルール形成、⑪将来に向けた研究開発

3. JAXAの取組状況（スケジュール）

アルテミス計画スケジュール（※）とJAXAの取組との関係

※出典：NASA FY23 Budget request

https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/fy23_nasa_budget_request_summary.pdf



青い矢印はプロジェクト
 緑の矢印はJAXA想定ミッション

4. 開発プロジェクトの状況： 月周回有人拠点①、月極域探査ミッション(LUPEX)③

月周回有人拠点

- 2022年2月にプロジェクト化、同年7月に宇宙開発利用部会にて承認された。
- 2022年10月にESA/NASAとともにプログラムレベルのPDRを実施。引き続きの課題に対して2023年春頃のクローズアウトを目指す。
- 令和5年度はGatewayへの提供機器のEM開発/詳細設計及びPFM製作・試験を進めるとともに、補用品の調達を開始する。

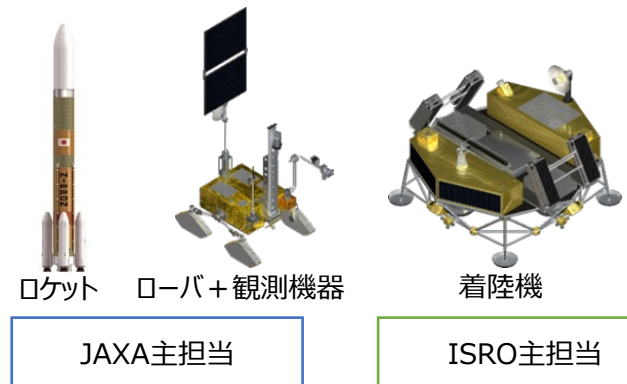
LUPEX

- 日印首脳会談（2022年3月）における共同声明においても、科学技術分野における二国間協力の進展を歓迎し、共同の月極域探査計画への期待を表明。
- 2022年3月にプロジェクト化、同年7月に宇宙開発利用部会にて承認された。
- 令和5年度は、ローバ及び観測機器等の詳細設計を行い、PFMの製作に着手する。また、地上設備開発および打上げサービスの調達を行う。

<提供候補技術・機器>



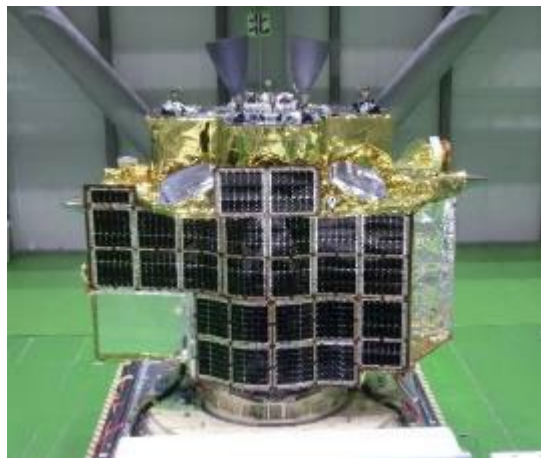
<国際分担>



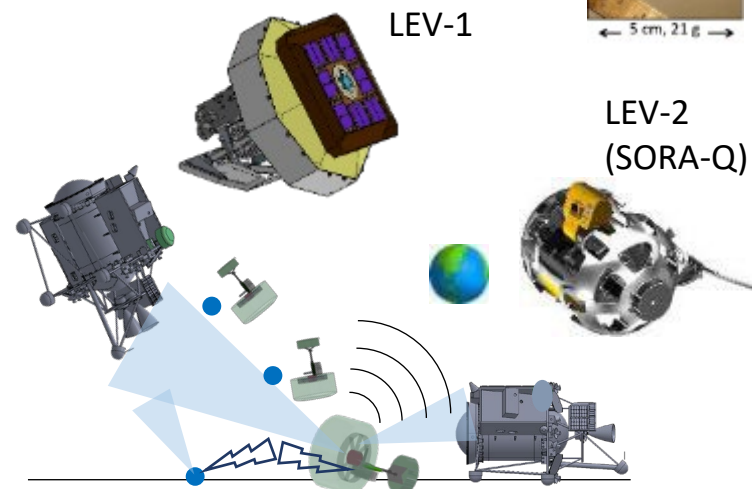
4. 開発プロジェクトの状況：小型月着陸実証機(SLIM)④

- 射場スケジュールの状況により打上が2023年度へ変更になった。変更後の計画について、JAXA内関連部署において問題が無いことを確認済み。
- 新しい打上時期を踏まえて、射場や各ステークホルダとの調整等を継続中。
- 探査機システム（フライトモデル）が組み上がり、今後、種子島射場へ輸送予定。
- 小型プローブ「LEV-1」、タカラトミー/ソニー/同志社大とJAXAで共同開発された超小型月面ロボット「LEV-2」(SORA-Q)、NASAから搭載を依頼された超小型リフレクタ（LRA）についても、フライトモデルを受領し搭載済み。

LRA(Laser Retro-reflector Array / NASA)
太陽電池パネルの脇に搭載予定



システム試験中のSLIM（左:振動試験前, 右:熱真空試験前）



着陸直前に分離される予定の「LEV-1」「LEV-2」

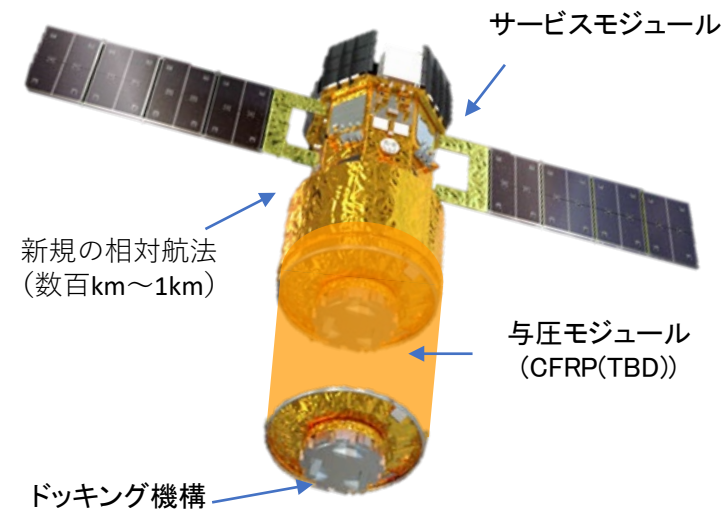
5. ミッション定義活動の概要と状況：Gateway補給機②

概要・意義

- 宇宙基本計画（令和2年6月閣議決定）に基づき、ISSで培った補給船技術(HTV,HTV-X)を発展させた深宇宙補給技術の早期確立を目指し、具体的な技術検討・技術実証を主体的に進める。
- Gateway IAにおいて、2030年を目標に日本によるGatewayへの物資補給（4t）に合意。日本人飛行士のGatewayへの搭乗権利獲得に寄与する。
- HTV/HTV-Xによる宇宙補給システム技術をさらに発展させ、月周回有人拠点(Gateway)へ物資輸送(4t以上)を行うことで、国際宇宙探査活動においても中核的な役割で貢献する。
- さらに、地球周回軌道および月周辺における幅広いミッションに波及性を有する国際競争力の高い軌道間輸送技術を確立する。

ステータス

- システム概念検討を企業と継続実施中。
- 打上げロケットについて、海外ロケット打ち上げの深堀検討契約を締結済。
- Gateway補給機開発に向けて、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を活用した主構造軽量化検討やGPS航法代替となる電波測距と光学カメラを組合わせた航法技術等のキー要素の概念検討、試作・試験等を行い、確実なミッション立上げ準備を行う。
- ドッキング機構を開発中（PDR完了）。HTV-X2号機でドッキング実証予定。
- 令和5年度は持続的な月探査活動に向けて、Gatewayへの補給機開発のフロントローディングを行う。



5. ミッション定義活動の概要と状況：有人与圧ローバ⑤

概要・意義

- 日本は月面での移動手段を含む月面活動に必須のシステム構築に取り組む方針を示しており、民間企業とも協働で要素技術の実証を世界に先駆け推進する計画としている。
- JEDIにおいて、「きぼう」で培った有人宇宙滞在技術と我が国が強みを持つ自動車技術を活用し、日本の協力項目として有人与圧ローバの開発・運用に向けて概念検討を継続することに合意。
- 有人の月面探査範囲を飛躍的に拡大し、また、無人時も探査可能（常に探査を実施）であり、実施可能なサイエンスの幅を大きく広げる。有人与圧ローバは、日本だけが提供する方向。
- アルテミス計画における必須システムを日本が強みを持つ技術により担うことで、有人宇宙開発国の先頭集団としての責務を果たすとともに、日本の産業界の国際プレゼンスの維持・向上に貢献。
- 居住機能と移動機能を併せ持ち、運用期間と走行距離の大幅な向上により探査領域を拡大し、月南極域を中心とした本格的且つ持続的な活動を可能にする。更に、2020年代後半の日本人月面着陸実現にも貢献。
- 持続的な月面探査活動に資するシステム提供により、有人宇宙探査の実績と技術的優位性を確立。更に獲得した技術的成果を地上にフィードバックすることで、日本の自動車技術等の更なる向上に貢献。

ステータス

- トヨタ自動車(株)と有人与圧ローバシステムについて実現性検討の共同研究を実施(FY2019-2021)。加えてNASAとの共同検討で月面インフラとの連携も含め有人与圧ローバを用いた月面探査活動の運用コンセプトを踏まえたミッション要求の整理を実施。
- システム概念検討および走行システム概念検討・試作試験はトヨタと、再生型燃料電池概念検討・試作試験はトヨタおよびホンダと契約済み。
- 2022年10月にNASAと共同でアリゾナ州で運用デモを実施。その成果をベースにNASAとミッション要求/システム要求の調整を実施中。
- 令和5年度は、有人与圧ローバの全体システム概念設計を進めるとともに、有人与圧ローバのキーとなる要素技術の試作・試験を継続して実施する。

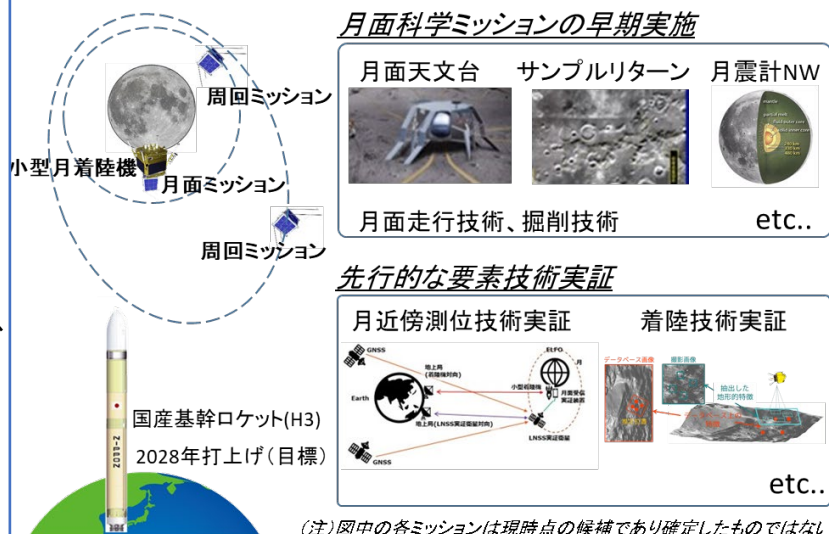
5. ミッション定義活動の概要と状況：月探査促進ミッション（LEAD）⑥

概要・意義

- 宇宙基本計画（令和2年6月閣議決定）に基づき、月周回・月面での技術実証機会の提供を目指し、具体的な技術検討・技術実証を主体的に進める。
- 新たな知の創造につながる世界的な科学成果の創出に向けた月面科学ミッションの早期実施への寄与。（搭載ミッション候補）月面天文台、サンプルリターン、月震計ネットワーク等
- 持続的な月探査活動に向けた先行的な研究開発や要素技術の開発・高度化及び技術実証の実施。（搭載ミッション候補）月近傍測位技術実証
- 世界的な科学成果の創出に向けた月面科学機会の早期確保等を目的とした「月探査促進ミッション」を実現させるため、月面や月周回で必要となるキー技術の要素技術の検討と小型月面輸送システムの概念検討を民間との協力を見据えつつ進める。

ステータス

- システム概念検討を企業と実施中。着陸機の軽量化によるPL輸送能力の最大化や、定期的な輸送を想定した調達スキーム等について検討中。
- 中型ランダで研究中の極域対応の画像航法技術とFlasshLidarの技術実証を実施できるよう検討中。
- サイエンス搭載ミッション候補のリソース（質量、形状、電力等）の検討を実施中。
- 搭載候補の一つである月測位技術実証ミッションの検討を実施中。
- 令和5年度は持続的な月探査活動に向けて月探査促進ミッションの検討



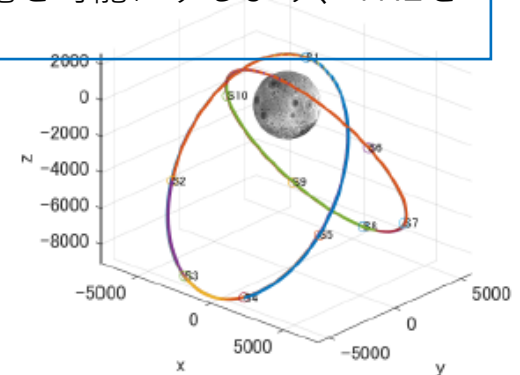
5. ミッション定義活動の概要と状況： 通信・測位（スターダストプログラム）⑦

概要・意義

- スターダストプログラムのうち、月面活動に向けた測位・通信技術開発（文科省/総務省）についてJAXAが研究受託し、測位実証ミッションや要素技術の研究をスタートアップを含めた多様なプレーヤで実施中。
- 研究終了後、別途予算を確保して早期に実証ミッションを行い、優位性を確保するとともに、その優位性ある技術で国際実用アーキテクチャを構成する形で貢献していく。
- 米国のアルテミス計画などにより、今後、月探査活動の拡大が見込まれ、測位や通信といった基盤整備が強く望まれている。
- 国際的な技術調整の場で提案できる月通信・測位アーキテクチャを検討し、国際間のアーキテクチャ議論をリードする。
- 国際競争力の高い要素技術の研究を行い、TRLを4まで上げる。
- 世界に先駆けて、月測位衛星システム（Lunar Navigation Satellite System, 以下「LNSS」）とともに大容量通信を可能とする月-地球間高速光通信アーキテクチャを提案する。
- アーキテクチャ構築に向け、システム要求およびキー要素技術の実証機要求を明確にし、全体整合が取れた網羅的要素技術研究を行うとともに、早期の技術実証ミッションの実施を可能にするよう、TRLを4までに引き合上げること为目标とする。

ステータス

- FY2021の月通信・測位アーキテクチャ検討をベースにESAやNASAとアーキテクチャ調整を実施中。
- 測位に関しては、重要要素技術であるGNSS受信機や測位PLについて研究しつつ、試作試験の検討中でFY2023中に完了予定。
- 通信に関しては、NICT殿とともに高感度受信技術、大口径光学技術、補償光学系技術などの重要要素技術を研究中。TRL4達成はFY2025予定。
- GNSS受信機の実証について、ESAは2025年のLunar Pathfinderで、NASAは2024年のCLPSミッションに搭載するLuGREを用いて行う予定。



- LNSS衛星の投入軌道：ELFO (2軌道・8衛星)
- アベイラビリティ：98% 以上 (TBD)
- GNSS受信：GPS, QZSS, Galileoのマルチ受信
- HDOP：平均1.3~1.5 以下
- 測位精度：40m

5. ミッション定義活動の概要と状況：中型カーゴランダ⑧

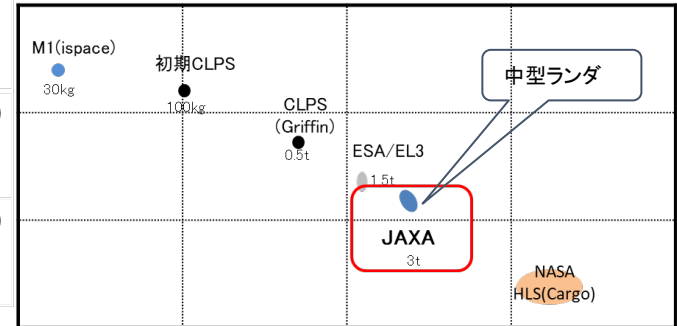
概要・意義

- 与圧ローバ提供の後、引き続き日本人宇宙飛行士月面到達等のプレゼンスを確保してアルテミス計画に参加していく貢献の第一オプション。
- 将来想定される月に関する国際間の協定等の議論をリード・参加する上でも相当の輸送能力を持つことが存在感・発言力を増し、広義の安全保障に貢献する。
- 重力天体着陸技術(月面輸送能力)は、宇宙探査の基本技術であり、探査の自律性を確保する観点からも月面輸送能力は維持すべき。目標ペイロード質量は3t。
- 月面へのアクセス能力があることは、将来想定される月に関する協定等の議論をリード・参加する上でも必須であり、広義の安全保障とも言える。
- SLIMで獲得するピンポイント着陸技術を維持・発展する意味もある。
- アルテミス計画の中では、月面補給も多数計画されており、月面輸送能力は重要な貢献要素になり得る。
- 火星表面探査に向けても同様な観点から必須能力であり、月面でその技術を維持・発展させることは重要。

億円/ton

1,000

100

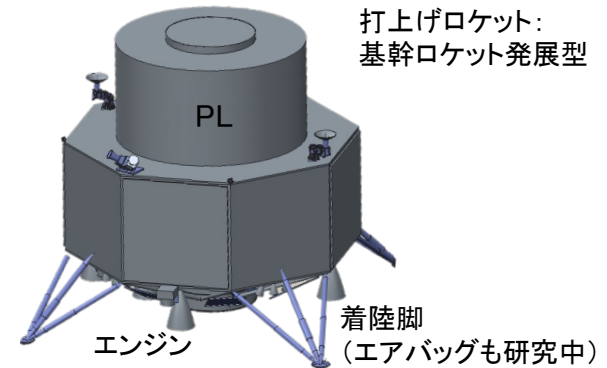


100

1,000

10,000

月面輸送能力 (kg)



ステータス

- システム概念検討を企業と実施中。
- 南極域でも対応可能な画像航法技術を研究中。
- 南極域でも障害物検知できる技術としてFlash Lidarの採用について企業とフィージビリティ検討中。
- 大型推進系に関する要素技術研究を進めている。
- ESAは、2022年閣僚級会合でアルゴノートと呼ぶ中型ランダの開発を決定。目標ペイロード質量は1.7t程度
- 中国は、嫦娥シリーズのランダCE-6,7,8を2025年、2026年、2030年に打ち上げ予定。

6. その他の取組：月面科学利用⑨

概要・意義

- 「月面活動に関する基本的な考え方」において、Artemis計画への参画により、新たな知の創造につながる世界的な科学の成果を創出することを目指すこと、及び他天体での活動も念頭に置いた技術実証を行うとともに、国際的な協力の下で、段階的に進められる基盤整備に我が国の強みを活かして参画することが記された。
- アイデアレベルの提案を広く募り、フィジビリティスタディ（FS）を通じて、技術的な観点及びリソース(搭載質量やサイズなど)からの実現性の検討を行い、日本として実現が見込めるミッションの早期設定を行う。
- FS期間後に科学評価およびプログラム評価を行い、実施の価値および実現性が十分と判断された場合には、TRLに応じ、先行的な技術の研究開発を行い、搭載機会の具現化に備える。

活動概要

- 以下の作業を1年程度、提案者チームを中心に実施
 - 提案されたアイデアの具体化（研究目標と期待される成果の再検証と最適化）
 - 実現性のあるリソースの検討
 - 技術的課題の洗い出しと解決策の検討
 - 研究体制の検討・構築
 - 全体研究計画(案)、マイルストーンの作成(想定資金計画の検討を含む)
 - 月面での科学に必要なキー技術の検討とそのフロントローディング活動計画
 - 科学からの有人と圧ローバー等への要求の検討

選定されたテーマ

課題名	代表研究者
月面利用の拡大に向けた超小型・高機能な宇宙放射線環境の計測技術とリアルタイム被ばく線量評価システムの構築	名古屋大学 三好由純氏
マルチスケール月面誘電率計測のフィジビリティスタディによる月浅部地下探査新手法の検討	東京大学 宮本英昭氏
水資源探査とも連携した宇宙の暗黒時代に迫るガンマ線・低周波電波の月面天文台	理化学研究所 榎戸輝揚氏
第一級の月面科学を実現するためのシナリオと実現性の検討	JAXA/ISAS 佐伯孝尚氏ら

6. その他の取組：国際的なルール形成⑩

- 国際宇宙探査の活発化に対応して高まる国際ルールの形成の動きに対し、現実から乖離しない実効性のあるルール作りを進め、我が国が国際ルール形成面でも世界をリードするよう、日本国政府をプラクティスの共有等、技術的・科学的知見の提供等通じて支援する。
- 具体的な活動は以下のとおり：
 - アルテミス合意署名国（23か国※）による、合意された諸原則の具体化検討への参加
 - 国連宇宙平和利用委員会 宇宙資源WGへの政府対応を積極的に支援



※2022年12月現在の署名国

米国、日本、オーストラリア、カナダ、イタリア、ルクセンブルグ、UAE、英国、バーレーン、フランス、ブラジル、コロンビア、イスラエル、メキシコ、ニュージーランド、ポーランド、韓国、ルーマニア、サウジアラビア、シンガポール、ウクライナ、ルワンダ、ナイジェリア

©NASA

6. その他：将来に向けた研究開発⑪ - 先導研究 -

概要・意義

- FY2017から、先導研究の1テーマとして「宇宙探査技術の研究」を開始。
- 宇宙基本計画にて重点技術とされた「重力天体着陸技術」、「表面探査技術」、「環境・生命維持技術」、「深宇宙補給技術」について、国際宇宙探査シナリオの技術ロードマップに沿った形で研究を開始。

- 先導研究の成果がプロジェクト/ミッション定義活動に適用されている主な例

(1)環境・生命維持技術

- CO2除去技術、有害ガス除去技術 ⇒ Gateway I-HAB

(2)重力天体着陸技術

- 高性能断熱材 (NICS-MLI) ⇒ HERACLES/中型ランダ

(3)深宇宙ランデブ技術

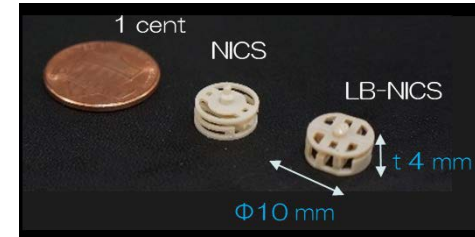
- Flash LIDAR(ランデブセンサ/ドッキングセンサ ⇒ HTV-X/HTV-XG

(4)放射線防護技術

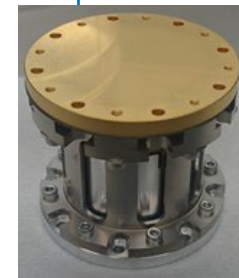
- 遮蔽シミュレーション技術 ⇒ 与圧ローバ

(5)表面探査技術

- 低温耐性LIB、ヒートスイッチ ⇒ LUPEX



NICS-MLIのスペーサ



ヒートスイッチ



水再生システム
(ISS実証)

(注)重力天体着陸技術は、FY2021より「大気突入・降下・着陸、及び、回収 (EDL&R) 技術研究」として独立。

FY2022先導研究の概要

(1)環境・生命維持技術

- 空気再生技術、水再生技術 ⇒ Gateway I-HAB機能向上

(2)深宇宙ランデブ技術

- Flash LIDAR(ランデブセンサ/ドッキングセンサ ⇒ HTV-X/HTV-XG

(3)放射線防護技術

- Omotenashiでの環境計測を反映したシミュレーション技術 ⇒ Gateway I-HAB、与圧ローバ

(4)表面探査技術

- 遠隔資源分析技術、ワイヤレスMLI ⇒ ISRU(実証、実用)

(5)光通信、測位研究を追加 ⇒ LNSS(月測位システム) 技術実証ミッション、光通信技術実証ミッション 19

6. その他の取組：将来に向けた研究開発⑪

- 宇宙探査イノベーションハブの取組 (1/2) -

究課題設定段階から民間企業等のニーズを取り込む参画型へ

■ 非宇宙産業のニーズの把握とテーマの掘り起こしのため、研究課題の設定段階から情報提供要請（RFI）、研究提案募集（RFP）の2段階方式を新たに設定

➤ RFI：1032件、共同研究：142件（2015-2022/9末）

■ 将来の宇宙探査と地上での社会実装、イノベーション創出の両方を目指す

➤ JAXAのプロジェクト推進力を活かし、宇宙と地上の共通の研究課題を解決する研究開発に取り組む（宇宙と地上のDual Utilization）

➤ 民間企業の参画を促すようなクロスアポイントメント制度、イノベーションハブ特有の知財制度の確立

➤ 参加企業・大学が216、そのうち、約9割が非宇宙企業・大学

■ 人材糾合、異分野融合によるオープンイノベーションの実現

➤ 異分野の人材・知を糾合するための制度として、クロスアポイントメント制度を創設し、宇宙関連企業でない民間の第一人者の参画を促進

➤ RFI段階やRFP時に複数のテーマの融合を図り、最適な研究開発体制を構築

➤ 国際宇宙探査，輸送系などJAXA内への仕組みの拡大

➤ 探査ハブ構想の実現状況

6. その他の取組：将来に向けた研究開発⑪

- 宇宙探査イノベーションハブの取組 (2/2) -

探る

- 着陸、移動する
- 自律(人工知能)で効率のよい探査をする
- 資源(水氷, 鉱物)を見つける、採取・分析する
- 多数の小型ロボットで協調探査する
- 惑星検疫技術を確立する

作る

- 水、燃料等を現地で生産する
- 現地から資源を抽出し、資材等を製造する (ISRU)
- 食料を省資源で生産する

共通技術

- 省電力、熱制御
- 通信、エネルギー

- 日本が得意とする技術を発展
- 将来の宇宙探査に応用しつつ
- 産業競争力も向上

建てる

- 無人／遠隔／自動でスマートに建設する
- 小型軽量システムで地盤調査・掘削・整地する

住む

- 生命維持・環境制御を実現 (ECLSS)
- 電力網を整備する
- 資源をリサイクルする

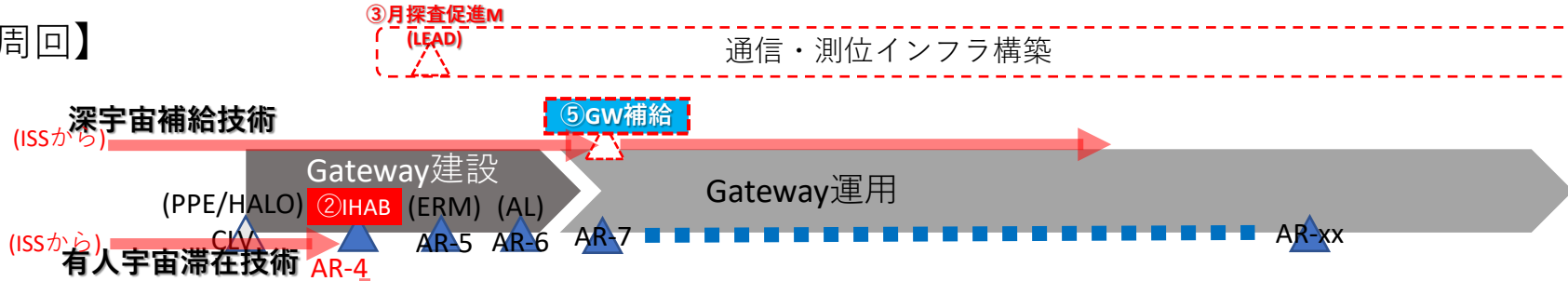
[参考] 技術的な展開

2024

2030

2040

【月周回】



【月面】

