

国際協力による月探査計画への参画に向けて 参考資料

令和元年8月

国際協力による月探査計画への参画に向けて とりまとめ（概要）

背景・理由

- 国際宇宙探査の大きな流れは月、火星、ついで深宇宙に集約。
- 米国は、2024年有人月面着陸、2030年代の有人火星着陸を目指す「アルテミス計画」を発表。また月周回有人拠点「ゲートウェイ」を構築する計画を発表し、世界各国に参画を呼びかけ。
- これに応じて、カナダは既に参画を表明、欧州も本年11月末の欧州宇宙機関閣僚会議で参画を決定する見通し。
- 新興国による宇宙開発の加速により宇宙空間を巡る地政学的バランスは変化しており、戦略的な国際協力関係の構築が不可欠。
- ゲートウェイ計画の中で、我が国が自らが強く、意義ある部分を確保できる可能性を高めるためにも、参画表明のタイミングが重要。

国際協力による月探査計画への日本の参画意義

【国際協力取組への参画意義】

- 外交・安全保障（協力国間の強固な関係構築、国際プレゼンス等）
- 産業競争力強化やイノベーション（最先端技術、新たな製品等）
- 科学技術（国際協力による大規模な挑戦等）
- 人材育成（国民の誇りや共感、次世代育成等）

【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）

国際協力による月探査計画への参画に向けた方針

- ◆ 国際協力による月探査計画への参画には様々な観点から意義が確認でき、時宜を逸せず、早期に参画を表明することが極めて重要。
- ◆ なお、ゲートウェイを含む月探査計画に参画する場合、上述の意義が総合的に均整の取れた形かつ、費用対効果の高い形で享受できるよう、戦略的に参画することが重要であり、考えられる具体的な協力取組としては現時点では以下の4点が考えられる。
 - 2024年の有人月面着陸に向けて建設される初期型ゲートウェイの組立要素（ミニ居住棟）に、我が国が強みや「きぼう」等で実績を有する生命環境を制御する熱制御系や空調系の技術・機器（例えば熱制御系ポンプやバッテリー等）を提供。
 - 有人月面着陸の前倒しに伴う物資・燃料補給ニーズの増大に対応するため、現在開発中の新型補給機(HTV-X)・H3ロケットを用いてゲートウェイへの物資・燃料補給を行う。
 - 2024年の有人月面着陸・探査の着陸地点選定等に資する月面の各種データを共有。小型月着陸実証機(SLIM)の開発や、月極域着陸探査を目指した取組を着実に進め、月面探査における我が国のプレゼンスを確保するとともに、ゲートウェイを活用した月面探査の国際協力枠組みの一環としても位置付け。
 - 月面での持続的な有人探査活動にも資する、米国からも期待の高い月面の移動手段を開発。

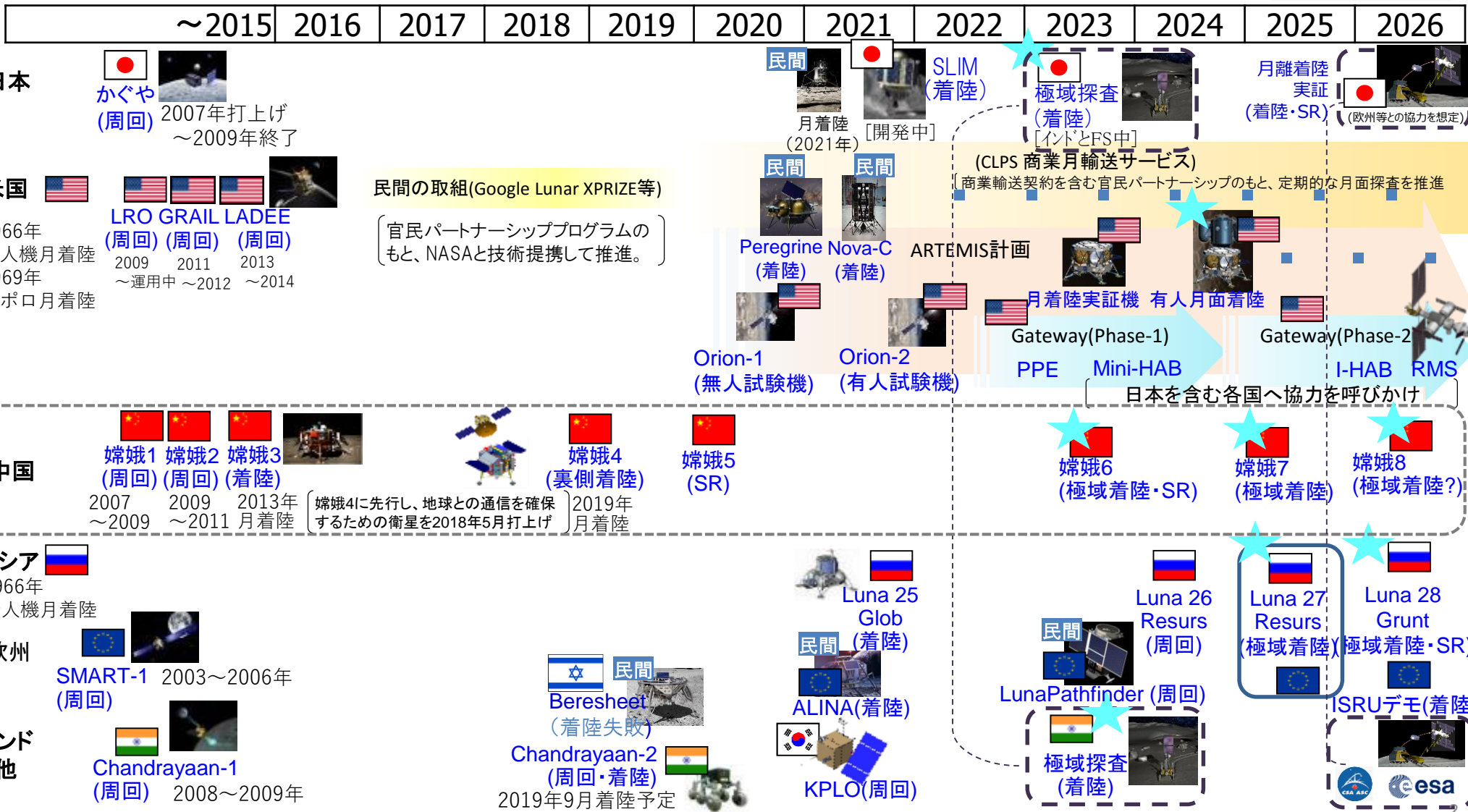
【留意事項】

- 宇宙基本計画では、「得られる効果と要する費用に関し、厳しい財政制約を踏まえつつ、厳格に評価を行」うとされており、これらの取組については今後更なる検討や精査が必要。
- 宇宙関連産業にとどまらず、幅広い産業界等の積極的な参画を呼び込むための取組を進めることも重要。
- 今後の国際交渉においては、日本人宇宙飛行士のゲートウェイ建設への参画や月面着陸の機会を確保し、宇宙先進国としてのプレゼンスの確保を図ることに留意。
- ISS計画への参画を通じて得られた技術や成果を最大限活かして費用対効果の高い形で進めるとともに、ISSでの取組から国際協力による月探査活動に係る取組をシームレスで効率的に進めることも留意。
- ISSを含む地球低軌道の在り方について、「きぼう」の運用・利用の更なる効率化や民間利用の拡大を図りつつ、長期的な対応オプションや移行期のISS運用・利用の合理化の検討を加速。

月探査をめぐる各国の動向

- 月面：2018年以降、主要国は多くの月面探査ミッションを計画。
 米国は官民パートナーシップも活用し、2024年に有人月面着陸を計画。
 2020年代前半には米露欧日中印等が月極域への着陸探査を計画(月の水氷や高日照率域に高い関心)。
- 月近傍：米国は月周回有人拠点(Gateway)を構築する計画を示し、各国に参画を呼びかけ。

★：極域着陸ミッション
 SR：サンプルリターン
 (※検討中のものを含む)



(CLPS 商業月輸送サービス)
 [商業輸送契約を含む官民パートナーシップのもと、定期的な月面探査を推進]

日本を含む各国へ協力を呼びかけ

米国の有人月面探査計画(アルテミス計画)の概要

2019年3月26日(米国時間)、第5回米国国家宇宙会議にて、**ペンス副大統領が、5年以内に米国ロケットで米国宇宙飛行士による月面着陸の実現を目指すことを表明。**

- NASAは5年以内に、米国宇宙飛行士を月面へ着陸させる。
- 着陸候補地としては、水氷資源等の存在が示唆されている月面南極域。
- 新型大型ロケット(SLS)開発遅延に強い不満。開発加速の必要性を強調



アルテミス(Artemis)計画

- 月周回有人拠点(Gateway)を経由した有人月探査を**2段階**で進める

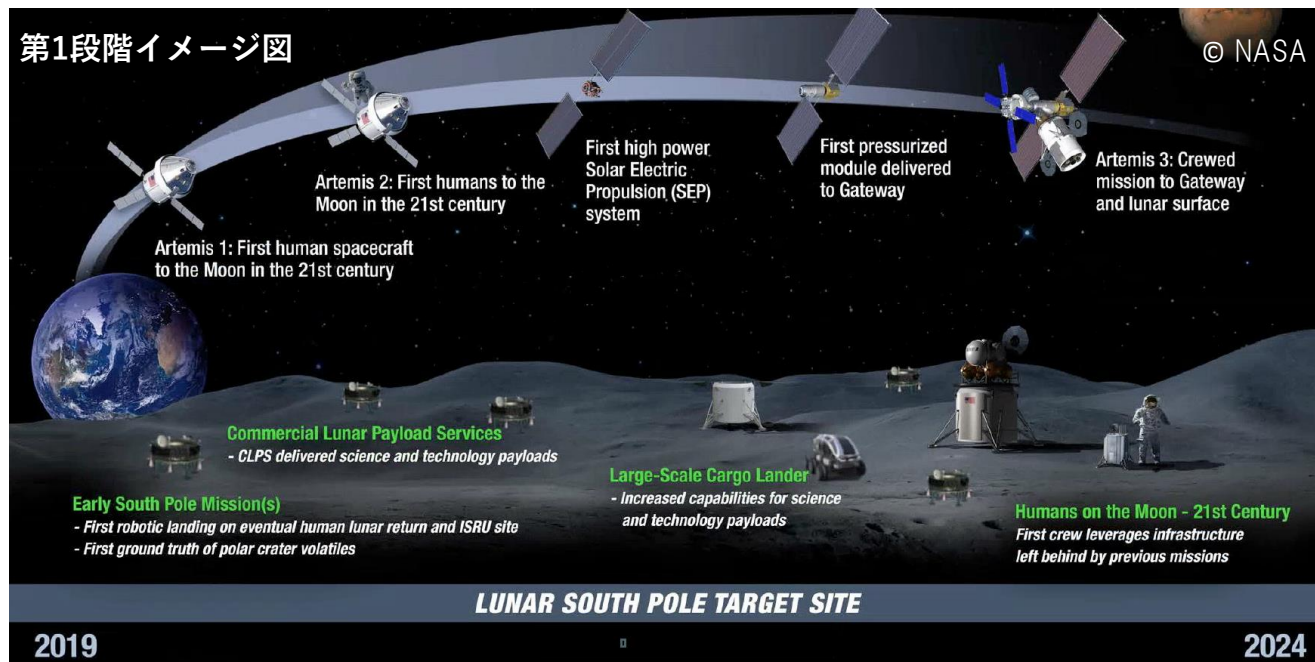
第1段階 2024年までの月南極への有人着陸を実現。Gatewayは**必要最低限のモジュールのみ**。電気推進エレメントを2022年に打上げ。

第2段階 2028年までに持続的な月面探査を実現。Gatewayの組み立てを継続し、完成形とする。

- SLSロケットの開発を加速し、無人・月周回のアルテミス1ミッションの2020年実現を目指す。
- 数ヶ月以上、月で持続的に活動できる能力を実証するとともに、2030年代の有人火星着陸を実現するための能力を培うことを目的とする。
- アポロ計画とは異なり、国際パートナーや産業界とも協力。
- 月面の科学研究や、その場資源利用の研究も推進。

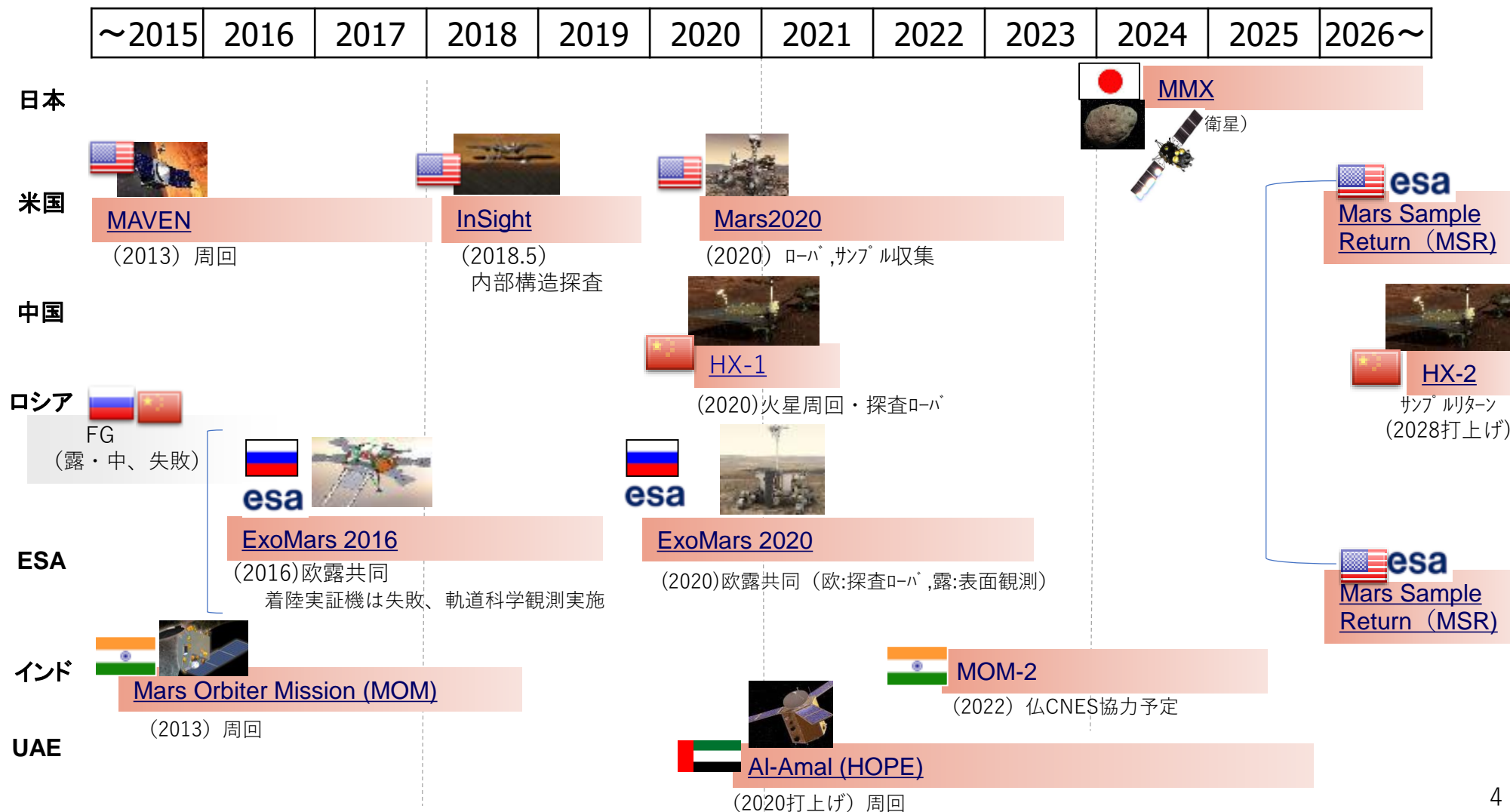
(参考1) 有人月着陸前倒しを実現するため、NASAは、5月13日、2020年度予算に**約16億ドルの追加要求**を発表。

(参考2) カナダは2019年2月末にGatewayへの参画を表明。欧州は2019年11月末の欧州宇宙機関閣僚会議で参画を決定する見通し。



火星探査をめぐる各国の動向

- 火星：2020年前後に各国の火星探査ミッションが集中している。引き続き、欧米、中国が2020年代中盤以降のミッションの準備を進めている。(MSRは、NASAが概念検討の予算を要求し、ESAが閣僚級理事会に提案予定。)
- 火星近傍：火星衛星への探査は日本が推進するユニークな計画(2011年にロシアがフォボスからのサンプルリターンを目指す探査機「フォボス・グルント」の打上げに失敗)。



月・火星探査ローバー (着陸年順)

	名称	天体	着陸	質量	活動期間	走行距離	エネルギー源	画像 (C)NASA、RSA、CNSA
運用 終了	ルノホート1号、2号 (2台) (ソ連)	月	1970、 1973	756kg、 840kg	10.5ヶ月、 5ヶ月	10.5km、 37km	太陽電池 +ラジ オアイト-ブ (保温用)	
運用 終了	アポロ月面車 (アポロ15~17号) (3台) ※有人用 (米国)	月	1971 ~ 1972	(1台あたり) 本体+クル-2名+ ツール=708kg	(1台あたり) 3~4時間	25~35km	1次電池	
運用 終了	マーズ・パスファインダー (米国)	火星	1997	10.5kg	83日	約0.1km	太陽電池 +ラジ オアイト-ブ (保温用)	
運用 終了	スピリッツ、 オポチュニティ (2台) (米国)	火星	2004	(1台あたり) 174kg	5年、15年	45.16km (2018年12月時点) (オポチュニティ)	太陽電池 +ラジ オアイト-ブ (保温用)	
運用中	キュリオシティ (米国)	火星	2012	899kg	7年~ (活動中)	20km (2018年12月時点)	ラジ オアイト-ブ (電源用)	
運用 終了	玉兔 (中国)	月	2013	約140kg	8ヶ月程度 ※推定	100m程度	太陽電池 +ラジ オアイト-ブ (保温用)	
運用中	玉兔2号 (中国)	月	2019	約140kg	8ヶ月~ (活動中)	不明 (活動中)	太陽電池 +ラジ オアイト-ブ (保温用)	
未着陸 (月へ飛行中)	チャンドラヤーン2号 (インド)	月	未着陸 (月へ飛行中)	25kg	— (予定: 2週間)	— (未着陸(月へ飛行中))	太陽電池+蓄電池	

月面の環境の特性と持続的な活動に必要な技術

◆越夜技術

昼間は太陽電池等を利用できるが、日陰や夜間の極低温環境での機器の越夜のための技術（発電技術、蓄電技術、節電技術）が必須。**原子力電池に頼らないクリーンエネルギー技術**（Li-Ion電池、再生燃料電池、完全固体電池等）の確立を目指す。

◆着陸技術

ミッション要求に最適な限定的な着陸地（極域等）にピンポイントで着陸する**高精度着陸技術**が必須。

◆移動・走行技術

不整地、登坂走行能力、スタック回避が必要。地形計測、マッピング、自動経路生成や障害物検知も必要。

◆掘削技術

掘削情報から地盤推定（地上技術の連携）。使用できる機材に限られるが、試料採取とともに地盤性状を把握。

【熱環境】

- ・大気がないため、昼夜の温度差が厳しい。
- ・極域では日照時-40°C~-60°C、日陰時-200°C。低緯度で日照時+100°C以上、日陰時-200°C近くまで温度変化。

【日照】

- ・極域では影の領域が多い（地形計測が必要）。
- ・中低緯度では夜が長い（約14.8日周期）。

【高真空】

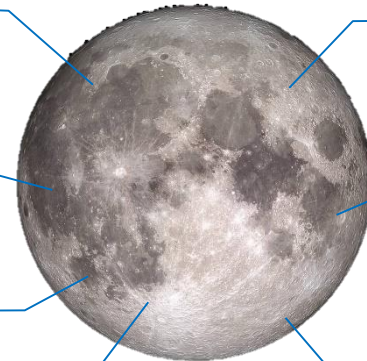
- ・大気がほとんどなく、高真空環境（昼間は10-7Pa、夜間は10-10Pa）。
- ・放熱対策や固体潤滑が必要。

【放射線】

- ・大気も磁場もないため、強い宇宙放射線環境。電子部品の故障対策や、人体への防護対策が必要。
- ・月面の宇宙放射線は推定100~500mSv/年（地球上では、2.4mSv/年）。

◆耐環境技術

月面固有の厳しい環境（熱、放射線、レゴリス防塵、低重力等）へ対応した電子部品や機構部品の開発、システムエンジニアリングが必要。有人活動に向けては、加えて**隕石デブリ、放射線防護技術**が必須。



【地形・表土】

- ・月面は細かい砂（レゴリス）で覆われた不整地（レゴリスが数m~数十m堆積）であり、砂で滑ったり埋もれたりしてスタックしやすい。
- ・レゴリスは数十マイクロン以下の微粒子が多く、機構部への侵入、摩耗も課題。
- ・極域は山岳地帯（平均斜度15度、最大斜度30度程度）。

【重力】

- ・1/6重力の環境下。軽量のプラットフォームは反力の確保が課題。

【通信環境】

- ・地球から往復3秒程度。ある程度の自動化・自律化が必要。
- ・地球上の1つの通信地上局から常時月と通信することはできず、経度をずらした最低3か所の常時通信用地上局が必要となる（例：NASAのDeep Space Network）。
- ・月の裏面は地球の電波放射の影響を受けず、天文観測等に向く。一方で常に地球と直接通信ができないため、地球との通信には中継基地（衛星）が必要。

◆オペレーション技術

ミッションを実現するために**End-to-End**で（地上から月面まで、事前準備・訓練・実運用を通して）**組織化された運用技術**が重要。国際調整や不測の事態対応など、きぼう運用やはやぶさ運用等で得られた技術を活用する。また深宇宙探査に向けて自動化・自律化との協調も促進する。

◆通信技術

基幹インフラとしての頑健な通信システム構築が重要（光宇宙通信技術等の活用）。常時通信を確保する場合、3局以上の深宇宙通信用地上局を用意するか、地球周回軌道、月周回軌道などにデータ中継用衛星を用意する必要がある。

我が国が優位性を発揮できる技術や波及効果の大きい技術

(「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 文部科学省宇宙開発利用部会 ISS・国際宇宙探査小委員会))

技術	意義・必要性	優位性	非宇宙分野との糾合・地上技術への波及効果	他国との比較
深宇宙補給技術 (ランデブ・ドッキング技術等)	ランデブ・ドッキング (RVD) 技術は、月近傍拠点での燃料補給や月面離着陸機の往還など、将来の探査アーキテクチャで必須の共通技術要素であり、国際標準に合致した安価なシステムの開発で、海外展開も期待できる。	HTVの開発・運用で獲得した技術を発展させ活用することが可能。	●RVD画像センサ技術←→(地上)自動運転車・自動建設機械、ドローンなど	ランデブ技術 日本は、HTVので実績有。米・露・欧・中と同等レベル。 ドッキング技術 日本は、有人ドッキング方式を現在研究中。米・露・欧・中は実績有。
有人宇宙滞在技術 (環境制御技術等)	宇宙空間において、人の生命を安全に維持するキーテクノロジーであり、有人宇宙活動における根幹的・共通的な技術。特に水・空気の高再生率は運用コスト削減の鍵。	「きぼう」の開発・運用を通じて獲得した技術や、地上における環境浄化技術等を発展させ活用することが可能。	●環境制御技術←→(地上)環境浄化技術 ●骨・筋減少、免疫低下等への対策技術、放射線防護、遠隔医療 → (地上)高齢者医療、国民の健康向上・福祉、介護問題解決など	<ul style="list-style-type: none"> 米・露・中はISS等で軌道上実績有。 欧は、空気再生技術を実証予定。 日本は、来年以降順次ISSで軌道上実証予定(独自方式で大幅なりソース削減を実現)
重力天体離着陸技術 (高精度航法技術等)	重力天体の探査に必須であり、特に特定の位置へのピンポイントでの着陸技術は、競争性の高い領域への着陸に必須の技術。	「はやぶさ」で獲得した地形照合航法技術や、SLIMで実証するピンポイント着陸技術を発展させ活用することが可能。	●高精度航法←→(地上)自動車の危険物検知・回避技術 ●着地技術←→(地上)自動車・航空機などの衝撃吸収技術	<ul style="list-style-type: none"> 米・露・中は実績有。 日本は、はやぶさでの実績有。SLIM(2021年度)で重力天体の着陸技術実証予定 欧は、露との共同で着陸ミッションを予定。
重力天体表面探査技術 (表面移動技術、掘削技術、水氷分析技術、等)	表面移動技術は、重力天体の継続的且つ広域な探査活動を行うために必須。掘削・水氷探査技術は、将来の宇宙探査の在り方を大きく左右する月資源(特に水氷)探査を行うために必須。	宇宙探査イノベーションハブで開発が進められているものも含め、我が国が世界をリードする非宇宙分野の技術(建設技術、資源抽出技術、センシング技術、ロボット技術、自動運転技術等)を発展させ活用することが可能。	●表面掘削←→(地上)建設機械の自動走行・自動操作技術、自律型ロボット・遠隔型ロボット ●その場分析←→(地上)質量分析計等 ●月面走行←→(地上)自動車の路面把握・障害物検知、自動運転、悪路・未舗装道路走行技術	<ul style="list-style-type: none"> 米、露、中は実績有。ただし、露は1980年以前の実績。 欧は実績はないが、露との共同ミッションでドリルや水分析装置を提供予定。 日本は軌道上実証に向け、研究中。

月・火星本格探査を支える技術のバックキャスト (イメージ)

目標



月・火星本格探査

2030年代

2020年代

現在

実績

有人周回拠点

有人拠点

有人ローバ

有人離着陸船

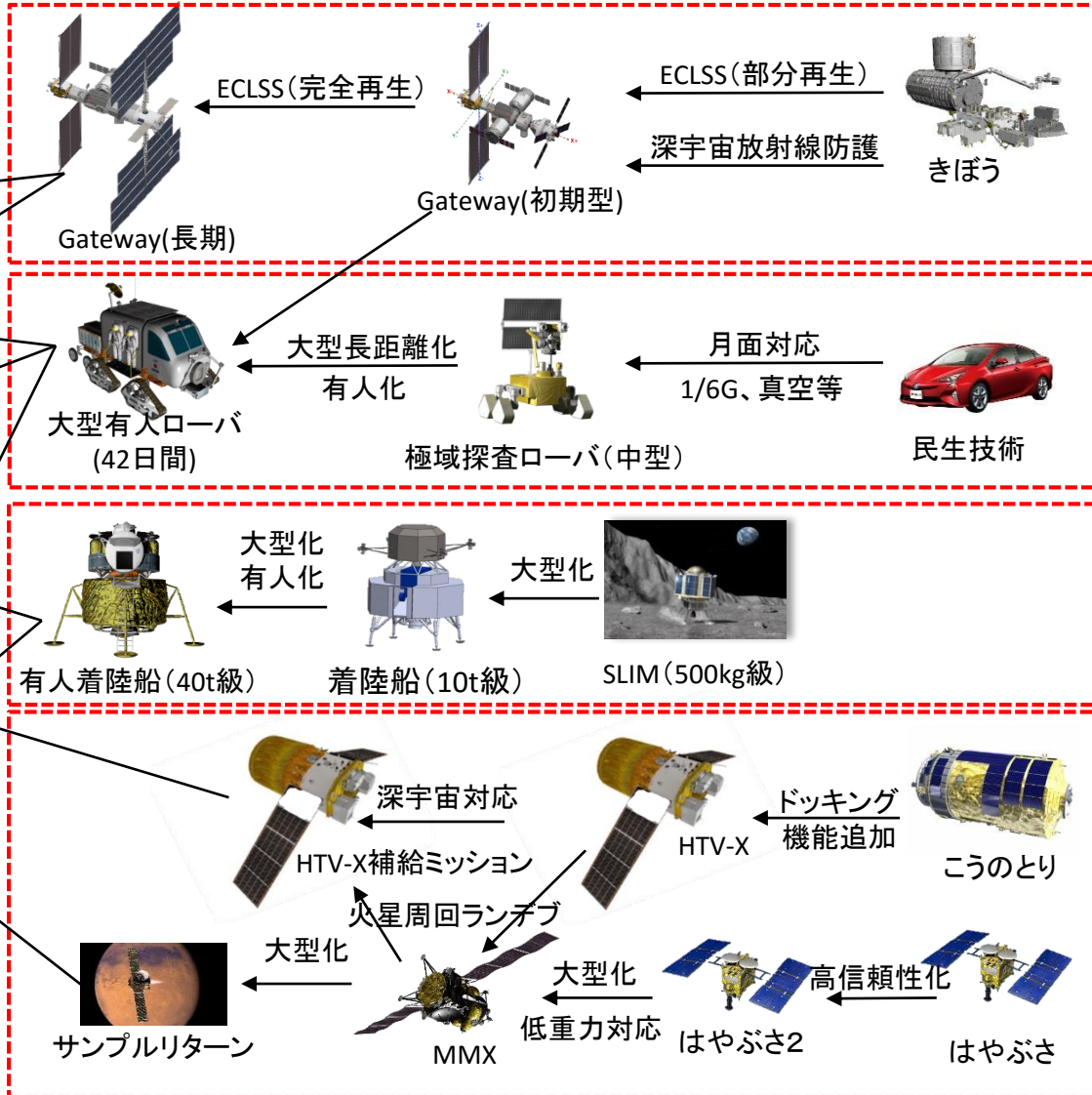
無人補給船

無人探査機(含SR)

有人ロケット

有人宇宙船

米・ロ
の能力
を利用



有人宇宙
滞在技術

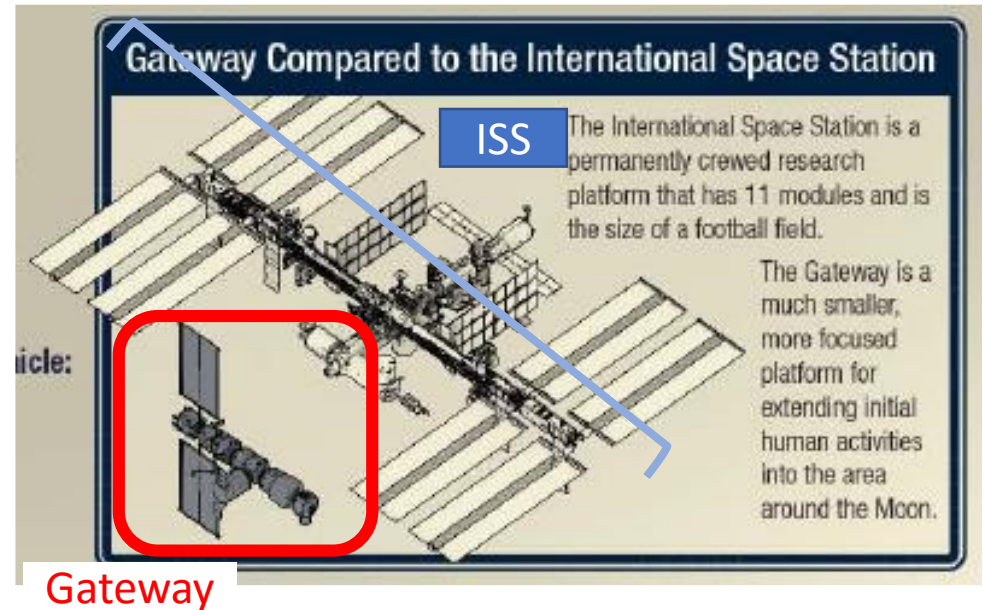
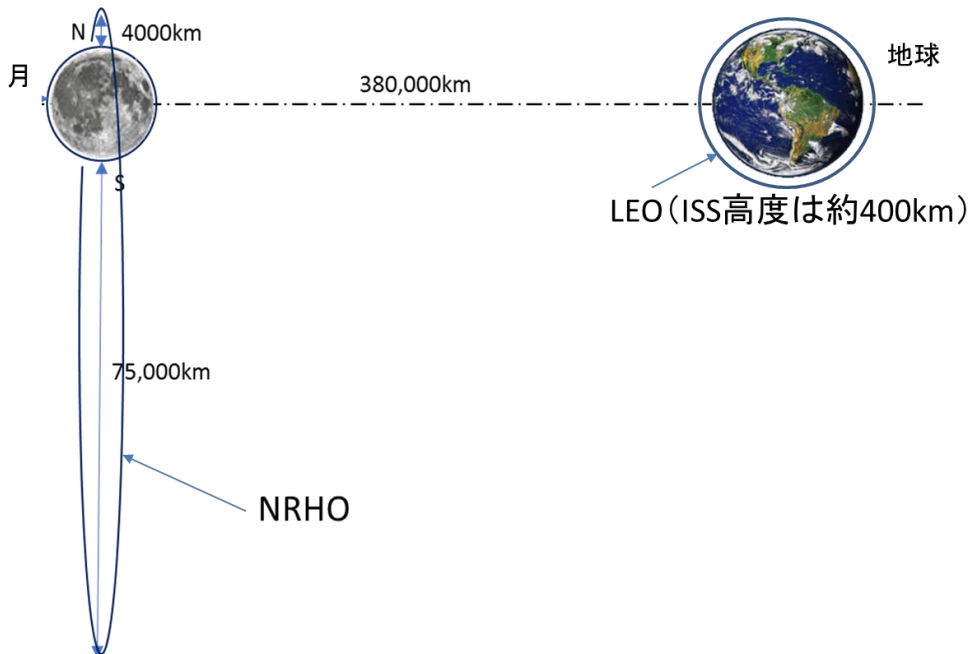
重力天体表面探査技術

重力天体
着陸技術



深宇宙
補給技術

ISSとGatewayの比較

	国際宇宙ステーション (ISS)	Gateway
大きさ	約108.5m × 72.8m (サッカー場)	下図参照
質量	約420トン	約70トン
組立フライト回数	43回	7回
宇宙飛行士滞在日数 (年間)	365日 (常時)	10~30日
滞在宇宙飛行士人数	6人	4人
食料、消耗品 (年間)	2,190人日分	40~120人日分



ISSとGatewayの比較(続き)

	ISS (地球低軌道)	Gateway (月長楕円極軌道(NRHO)) (*)
①利用目的	<ul style="list-style-type: none"> ● μG環境を使った利用 (宇宙医学、タンパク質結晶等) ● 地球周回軌道を使った利用 (地球観測) <p style="text-align: center;">成果の地上への還元</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● NRHO軌道の特性を使った利用 (月面観測、月面通信の中継点等) ● 月・月近傍探査の中継点としての利用 (補給、サンプル回収等) ● 地球圏外軌道を使った利用 (地球周辺観測、放射線環境評価等) <p style="text-align: center;">宇宙探査への拠点</p>
支える特性 の違い	<ul style="list-style-type: none"> ● 輸送コスト： 相対的に低 ● 通信量： 相対的に大 ● 放射線： 相対的に低 ● 軌道滞在： 宇宙飛行士の常時滞在 ● 月以遠への必要増速量： 相対的に大 	<ul style="list-style-type: none"> ● 輸送コスト： 相対的に高 ● 通信量： 相対的に小 ● 放射線： 相対的に高 ● 軌道滞在： 無人運転期間が長い ● 月以遠への必要増速量： 相対的に小
②国際協力	5極による国際協力	 パートナーシップの更なる拡大の可能性
③技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大型有人宇宙施設の開発・運用に必要な技術の獲得 ・ 探査技術の事前実証 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 宇宙施設技術の高度化、自動化 (低リソース化、通信遅延対応等) ・ 探査技術の実証・発展

Gatewayの基本機能と活用(イメージ)

月以遠に向けた技術実証の場

- 火星への輸送機の組立と点検
- 深宇宙輸送と居住能力(放射線防護対策を含む) 技術実証
- 自律的クルー運用手順やわずかな補給環境での運用実証
- 燃料補給技術実証

Gatewayで可能となる科学

- 外部に据え付けた機器による月、地球、太陽系の科学観測
- 月面・太陽系探査試料の一次選別
- 深宇宙環境での生理学実験
- アstroバイオロジー(深宇宙空間でのダスト捕集)

宇宙利用におけるロジスティクス拠点

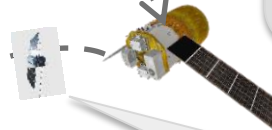
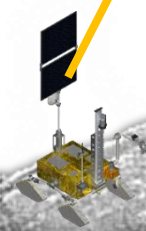
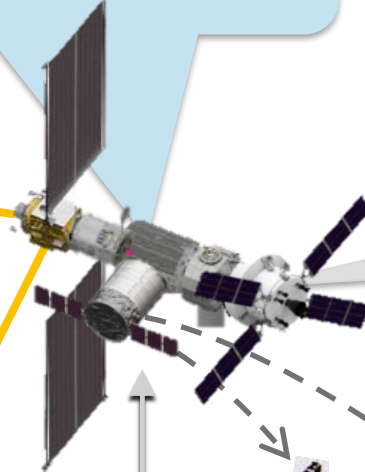
- 地球-月間通信中継
- 月面探査機の遠隔操作拠点
- 月離着陸機の発着拠点、リソース提供
- 月面サンプルの有人宇宙船への引渡し(個別再突入機は不要)
- 有人月面探査時の緊急退避場所
- 月以遠探査へ向けた中継拠点(燃料補給等)

小型衛星放出等による深宇宙利用促進

- 多様なアイデアによる科学探査機会の確保
- 民間参入の活性化
- 宇宙新興国との国際協力

補給機による月探査

- Gatewayを拠点にし、小型探査機、プローブ等の放出、月表面観測



月周回有人拠点(Gateway)を含む月探査へ参画する場合の考え得る協力取組(イメージ)

我が国の強みを活かして、重要な役割を担うなど、戦略的に参画

【宋国の計画】

【具体的な日米協力】

電気推進
エレメント

ミニ居住棟

初期型Gateway
(必要最小限の構成)

Gateway(完成形)

(例) バッテリー
熱制御系ポンプ
窒素・酸素分圧用タンク

① 我が国が強みを有する
技術・機器の提供

国際居住棟(I-Hab)
(NASA/ESA/JAXA)
への技術・機器の提供
についても今後調整

HTV-X1号機

HTV-X2号機

1,2号機によるISS補給後
を活用した技術実証

地球高軌道での
ドッキング

HTV-X3号機

② HTV-X/H3ロケットによる
Gatewayへの物資・燃料補給
(2025年以降)

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

ピンポイント着陸

月極域
移動探査

月の南極域
に着陸
(2024年以降毎年)

④ 月面探査を
支える移動手段
(月面非与圧
ローバー)の開発

月面与圧ローバーの開発

(イメージ図)

(イメージ図)

2020

2021

2022

2023

2024

2025

2026

2027

2028

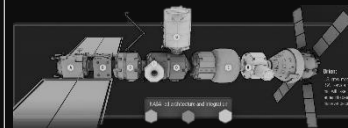
技術ロードマップ: 有人宇宙滞在技術 (P12の①、④のキー技術)

月面探査着手 (~2024)

持続的な探査確立 (~2028)

定常的な探査へ

Gateway計画



ISS実証

ISS実証

開発(日本が優位な技術)

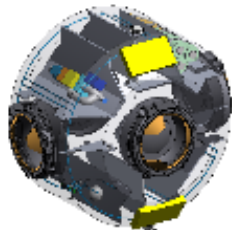
日本の技術を用いて新規開発する機器
(熱制御系ポンプ、超高压タンク等)



高効率ポンプ



超高压タンク(700気圧)



ミニ居住棟(機器提供)

(FY2022に米側引渡し、2024年に打上げ)

ミニ居住棟への提供機器

- ・ 将来の探査に向けて必要となる環境制御・生命維持技術(ECLSS)
有害ガス除去 等
- ・ 日本が優位性をもつ日本製技術・機器
高効率ポンプ、超高压タンクによる圧力制御・酸素供給等
- ・ きぼうの経験を活用できる技術・機器
空気循環・温湿度制御 等

製作・試験



きぼう搭載水分離機

きぼうの設計を活用する機器
(空気循環・温湿度制御機器)

構成機器(一部)
(有害ガス除去等)

有人宇宙滞在技術

開発研究(ECLSS)

開発(ECLSS)



国際居住棟International HAB
(2025年打上げ)

環境制御・生命維持システム(ECLSS)で貢献

地上技術

水処理技術/触媒技術/空気浄化技術/トイレ

生命維持技術確立
(非再生ECLSS)

非再生
ECLSS
ISS実証

地上実証による信頼性向上
(最低3年、目標6年)

水再生技術確立
(水・酸素補給量22%)

水再生
サブスケール
ISS実証

完全再生ECLSS
ISS実証

開発研究(完全再生ECLSS)

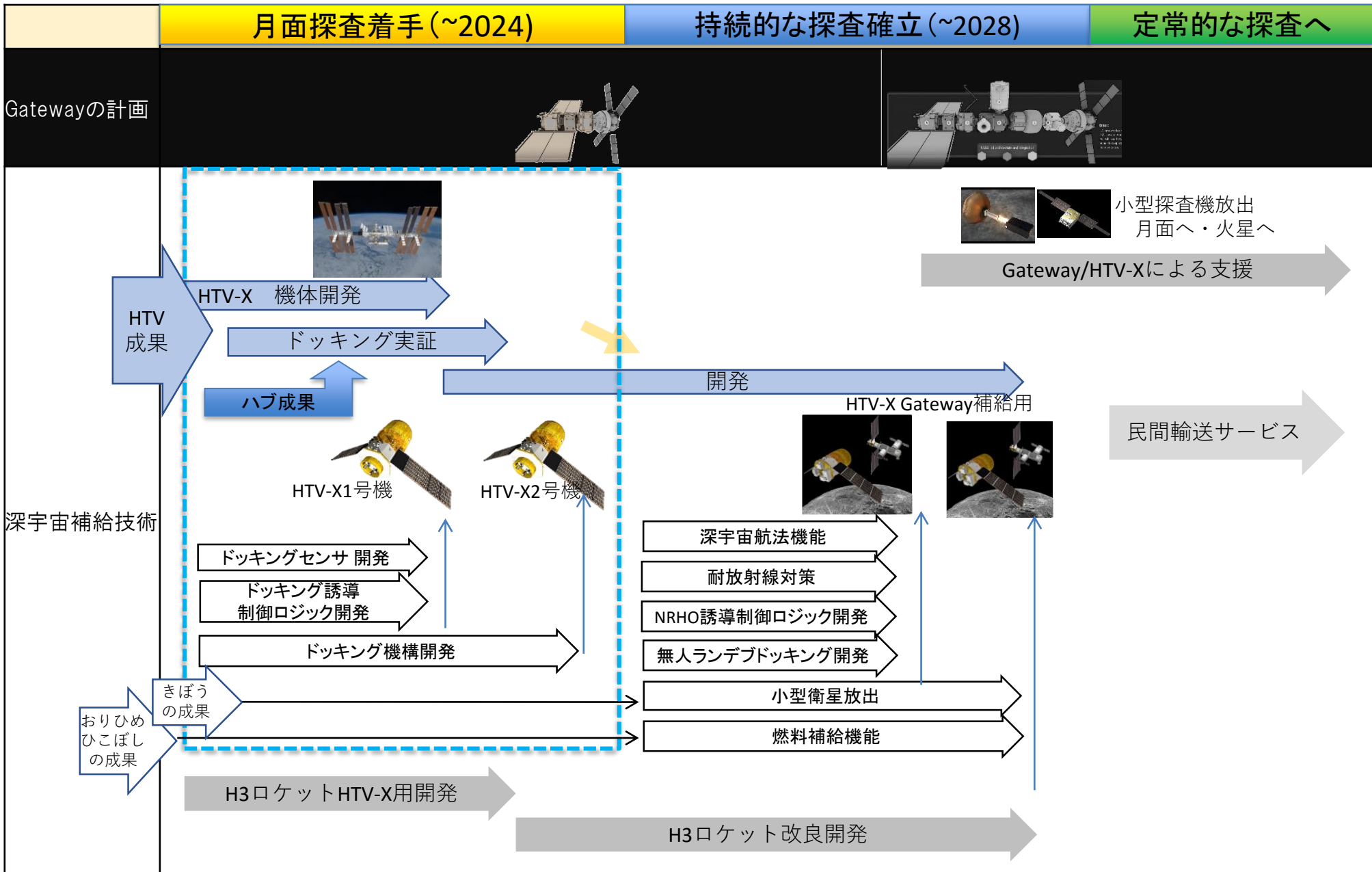
開発

再生ECLSS運用
(CO2吸脱着・不要ガス除去・CO2還元・O2製造)
(2025年~)

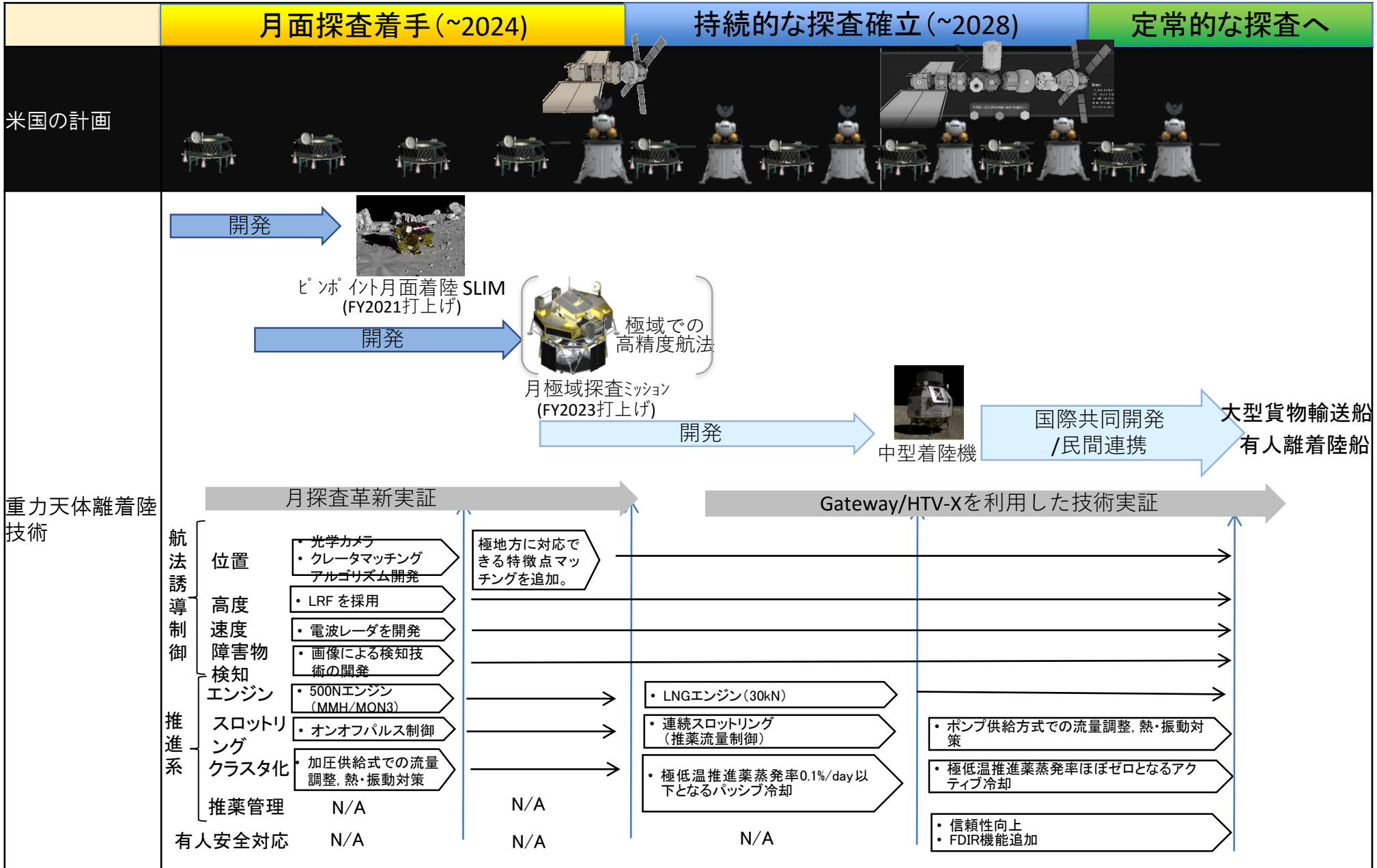


有人と圧ローバや月面拠点

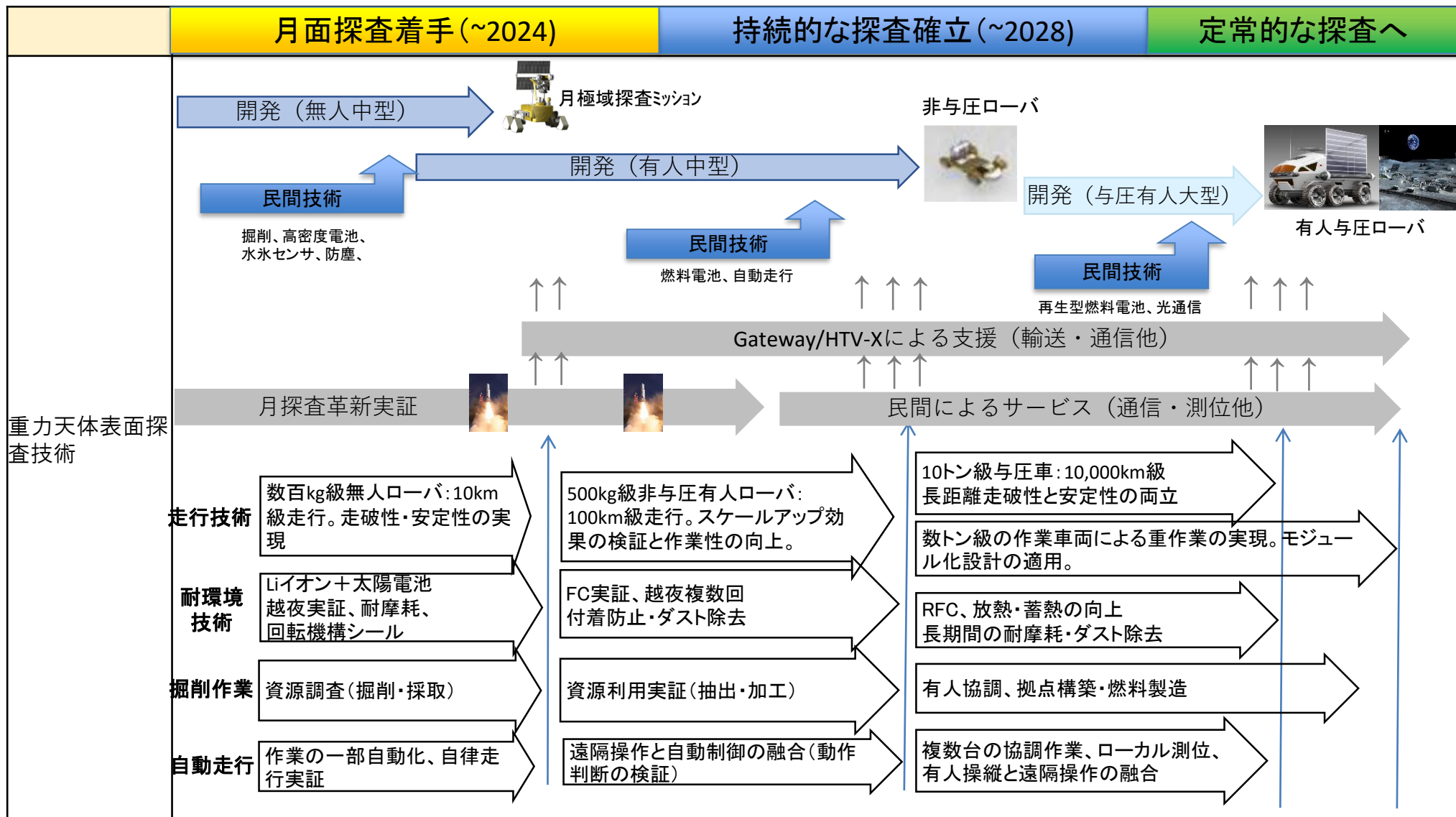
技術ロードマップ: 深宇宙補給技術 (P12の②のキー技術)



技術ロードマップ: 重力天体離着陸技術 (P12の③のキー技術)



技術ロードマップ: 重力天体表面探査技術 (P12の③、④のキー技術)



インドとの共同検討中の月極域探査機（ローバ・着陸機）の概要

構想

- 各国に遅れることなく、**月極域における水の存在量や資源としての利用可能性を確認**することを主目的としながら、重力天体表面探査技術の確立を目指した探査ミッションを国際協力を進める。
- 世界初の再生可能エネルギーによる月面での長期活動の実現や、SLIMで獲得するピンポイント着陸技術の極域への適用・発展を目指す。

獲得できる重力天体表面探査技術

重力天体表面を自在に探査する移動・作業手段として、世界の主流である数百kg級ローバによる探査技術を獲得。月面有人ローバ等に向けた技術ロードマップを推進。

熱制御技術
越夜技術

移動・走行技術

防塵技術

掘削技術

電源（エネルギー）技術
（電池、パネル展開）

資源探査技術

中長期的展開

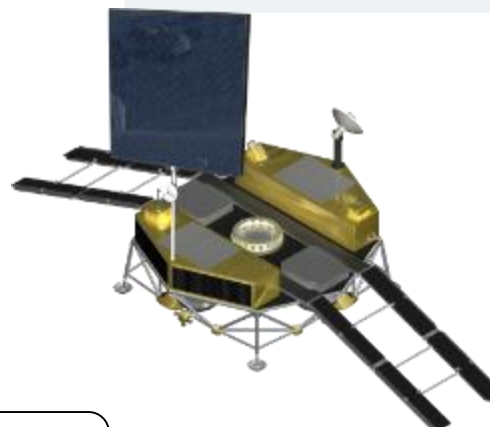


月面有人ローバ
（長距離移動全球探査）

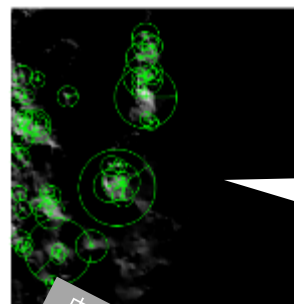


月面拠点構築
（無人での拠点建設、
推薬プラントの実現等）

獲得できる重力天体着陸技術



SLIMのピンポイント着陸技術をさらに発展させ、影の多い極域へのピンポイント着陸可能な影画像航法を実現し月面の全域に到達可能にする。



影画像を用いた高精度画像航法等で極域を含む月の全域に到達可能に。

中長期的展開



中型月着陸機

- ・エンジン技術(大型化等)
- ・高精度着陸（極域含む全球対応）
- ・障害物回避

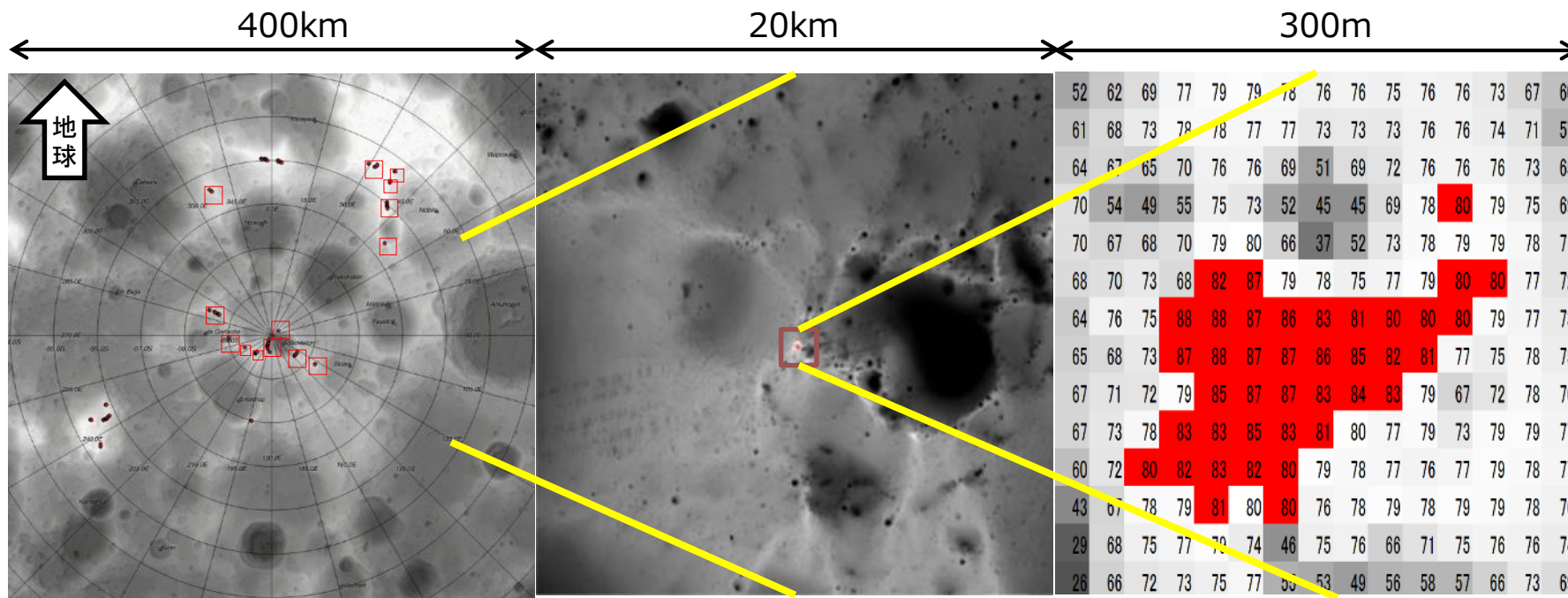
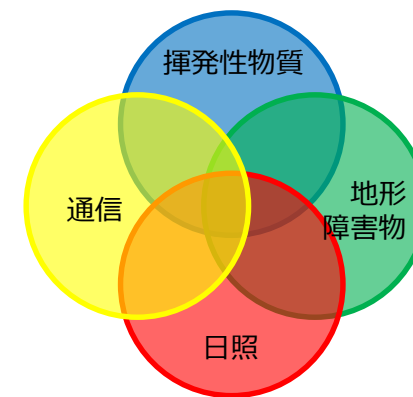
月極域探査における着陸地点について

着陸地点の条件

- 揮発性物質の存在可能性、長期運用が実現可能な日照条件・通信条件、着陸可能な地形(傾斜)、クレータやボルダ等の障害物が少ない 等

これらの条件を満たす着陸地点は非常に限られるとともに狭い領域である。

- 水資源に加え、半年以上の連続日照や、80%(年間300日)以上の日照率が得られ、有人無人に関わらず持続的な活動に有利な領域は非常に希少。
- このような希少領域に先に日本が着陸して、活動を開始することは、国際競争、権益の確保の面でも有益。
- ピンポイント着陸技術も必須となる。



南極400km四方の地形

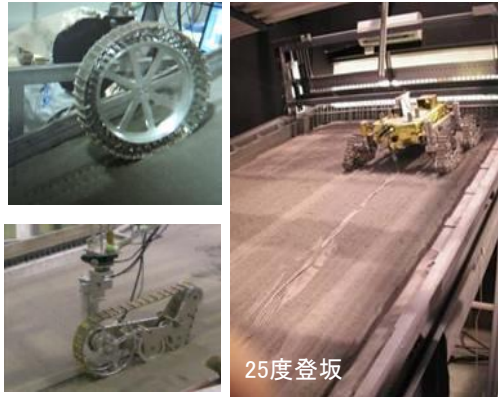
20km四方の中心の赤い点が80% (年間300日)以上の日照域

300m四方の赤い領域 (1辺20m) が80% (年間300日)以上の日照域

長期・広域探査のための耐久性(寿命)の確保を最優先とし効率化も検討。

・登坂性能評価

模擬砂上で斜度25度までの登坂試験を単輪及び車体で実施。



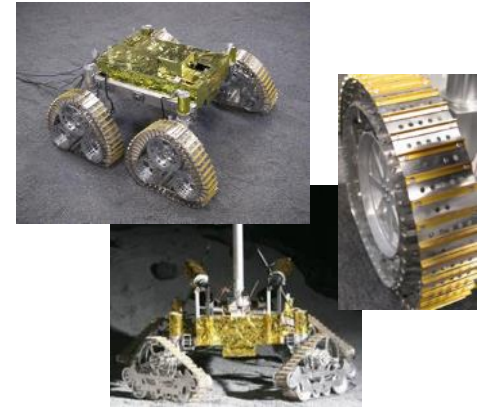
・乗り越え性能評価

段差・岩石の乗り越え、クレータリムの乗り越えなどを実施。



・操舵性能等評価

4輪操舵や定点回転機能等の各種走行モードの試験を実施。



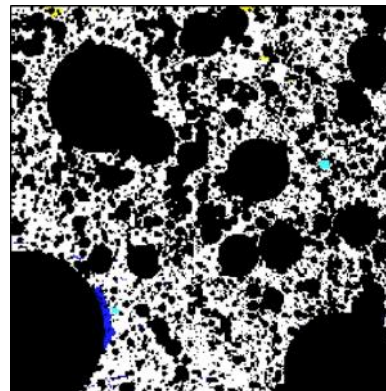
・長距離走行試験

模擬砂上の真空環境で走行機構の長距離連続走行(10km走行)を検証。



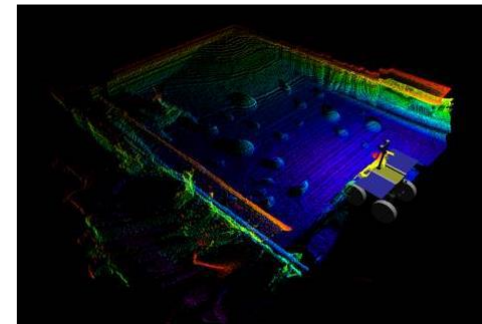
・広域経路計画

日照・通信の時間変化を考慮した広域経路計画を事前に実施。



・その場経路計画

ローバサイズのローカルな地形は事前に得られないため、その場で地図作成・経路計画を実施。



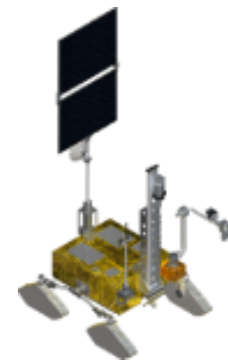
JAXAとISROとの協力・分担についての検討状況

分担の考え方	備考(JAXAとしての狙い)
JAXAがローバとロケット、ISROが着陸機を担当し、重力天体表面探査技術を実証・獲得する。なお、着陸機にも電源(太陽電池、バッテリー)を提供する。	SLIMで獲得できない本格的な重力天体表面探査技術(走行技術、掘削技術、越夜技術など)を早期に実証する。
JAXAが着陸機の航法誘導センサと誘導アルゴリズムを担当し、ピンポイント技術を発展させる。	SLIMのピンポイント着陸技術を極域に発展させ、月面の全域にピンポイントで到達可能にする。
データは双方のデータの共有と一定期間後に公開(双方が合意したもののみ、PDS4形式)する。	PDS4: Planetary Data System Version4 (惑星探査データアーカイブの標準)

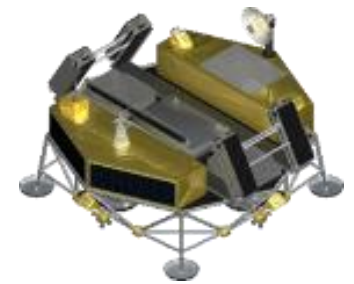
打上時期	2023 年頃を目標
打上ロケット	H3 ロケット
打上げ軌道	月遷移軌道
打上時質量	6トン以上
ペイロード質量	500kg以上 (ローバ含む)
運用期間	半年以上
着陸地点	月の南極域
主要ミッション機器	水氷探査機器、科学探査機器、環境計測機器 他



ロケット



ローバ



着陸機

JAXA主担当

ISRO主担当

(国際協力)

- 成果** ○最大規模の国際プログラムにおいて、必要不可欠なメンバーとしての立ち位置を確保。
- 成果** ○「日米オープン・プラットフォーム・パートナーシップ・プログラム」(2015年)において、ISSにおける日米協力は、政治的・戦略的・外交的重要性を踏まえた二国間協力の目に見える象徴であり、互恵的なパートナーシップを実証し続けていることを確認。
- 教訓** ○国際宇宙探査に参画するに当たり、日本が構築・運用等に欠かせない重要な役割を担うなど存在感を持って参画することが重要であり、必要な技術の実証の場として、「きぼう」や「こうのとり」の利用・運用機会も活用するなど、ISSでの取り組みから国際宇宙探査に係る取組をシームレスで効率的に進めていくことが重要。

(技術獲得、実験利用)

- 成果** ○有人輸送を除き、自律的に有人宇宙活動を行うための重要技術・基盤技術を獲得。
- 成果** ○創意工夫による新たな「きぼう」利用の拡がり(超小型衛星放出等)。また、民間参入や事業化が進みつつある。
- 成果** ○「きぼう」「こうのとり」の運用により国際的な信頼構築と同時に国内の技術力向上・産業振興等にも貢献。
- 教訓** ○民間企業が参画・活用しやすい枠組み・制度とするためには、計画の早期段階から民間企業とともに検討を行うことが重要。
- 教訓** ○国際宇宙探査に向けた技術実証の場としてISSを活用するなど、国際宇宙探査に係る取組みをシームレスで効率的に進めていくことが重要。

(マネジメント(運営))

- 成果** ○ISS計画初期に設定された資金計画に沿った資金管理がなされてきている。
- 教訓** ○費用対効果向上のためのコスト負担の更なる効率化(HTV-X開発、長期的計画を示すことによるコスト減、ISS全体の運用経費の削減等)
- 教訓** ○ISSでは、シャトル事故等によりISS組立・運用スケジュールに影響が生じた。国際協力プロジェクトでは、不測の事態が生じる可能性も念頭に全体計画を立案する必要。

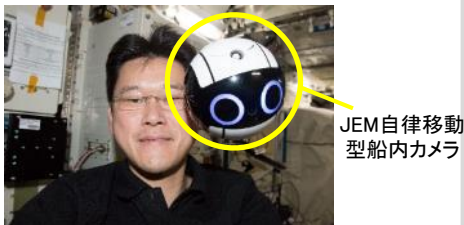
ISS/「きぼう」における国際宇宙探査に向けた技術実証(例)

宇宙滞在・活動技術

活動支援技術:宇宙空間で搭乗員の活動を支援するロボット技術

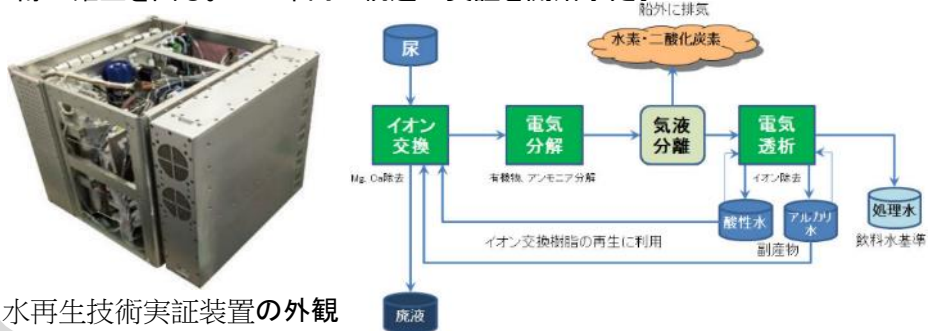
「JEM自律移動型船内カメラ(Int-Ball)」

- 宇宙飛行士の作業支援のための撮影ロボットとして、自律移動型船内カメラ(Int-Ball)を開発、軌道上実証を実施。
- 「きぼう」船内外実験の自動化・自律化を進めると共に、将来探査ミッション等に利用可能なロボティクス技術の獲得を目指す。

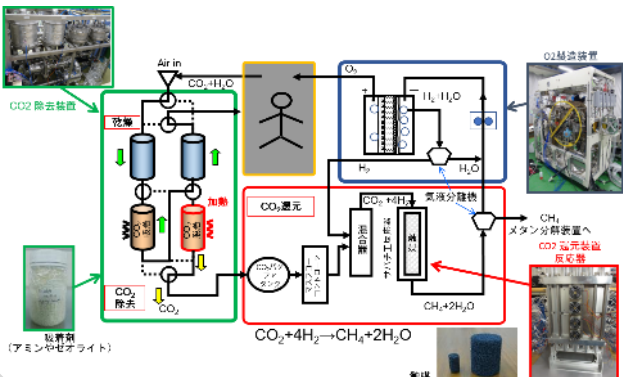


生命維持技術:日本独自の「将来型水再生システム」の実証実験

高性能水再生技術の宇宙での実証を行い、高再生率(85%以上)、メンテナンスフリーの技術革新をもたらし、将来の有人宇宙滞在技術につながる環境制御技術の確立を図る。2019年内に軌道上実証を開始予定。

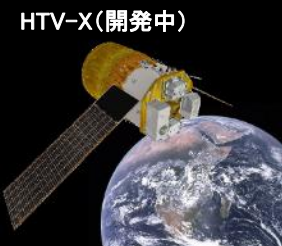


生命維持技術:日本独自の「将来型空気再生システム」の地上研究



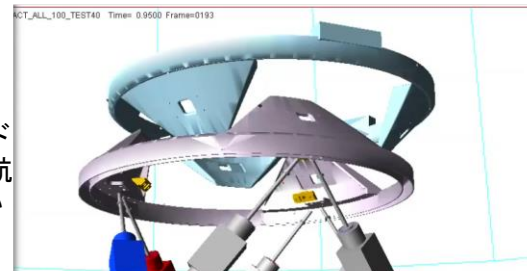
輸送技術

無人補給技術(HTV-Xの開発、無人ドッキングに向けた実証)



「こうのとりの」(HTV)で、有人施設であるISSへランデブーし、物資補給をする技術を確立(2009年~7機連続成功中)。この技術を引継ぎ、更に輸送効率(搭載効率等)を向上させたHTV-Xを開発中。

宇宙ステーション等のターゲットに、宇宙機をランデブー飛行させ、無人で直接ドッキングする際に必要となるドッキングシステム(誘導制御技術、航法センサ、ドッキング機構等)について要素試作や解析モデルを整備し、地上研究を進めている。HTV-X2号機で軌道上実証を予定。



主要新規技術のドッキング機構

深宇宙におけるヒトの健康リスク対策検

世界初!月の重力環境をISSで実現し、マウスを長期飼育 ~深宇宙への人類の活動領域拡大に向けた第一歩~

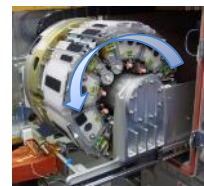
- 長期間、地球よりも低重力環境で哺乳類(マウス)を飼育できるのはJAXAのみ。
- 2019年5月、世界で初めて月の重力環境(1/6G)を「きぼう」で模擬し、長期間飼育と全数生存帰還に成功。有人宇宙探査に向け、哺乳類への長期低重力環境の影響を解析可能。
- 更にISS最大の遠心機を追加搭載。研究能力が格段に増強。



微小重力環境:ふわふわ浮いた状態



人工1/6G環境:浮いた状態からケージ底面に"着地"



遠心機の回転速度を変えることで、月や火星の低重力を模擬可能(左:現行遠心機、右:直径を2.3倍に大型化した新型遠心機)

ISS運用終了後や地球低軌道の利用ニーズや市場を見据えた検討の加速

- ① 長期的なISS退役後の地球低軌道活動の姿(利用ニーズ、形態等)について、国際動向や商業活動の成熟具合等の不確実な情勢を踏まえ、複数のオプションを考える。この中で、日本の民間企業が主体となって、日本の産業界、学术界及び国・JAXAが一定の存在感を示し、効率的に活動している姿を目指す(LEOにおける日本のプレゼンスの維持)。
- ② その前段としてどのような準備をすべきかを考える。
- ③ 更に、今、何をしておくべきか、将来のLEO活動を担う民間企業、学术界等と共同で検討していく。

