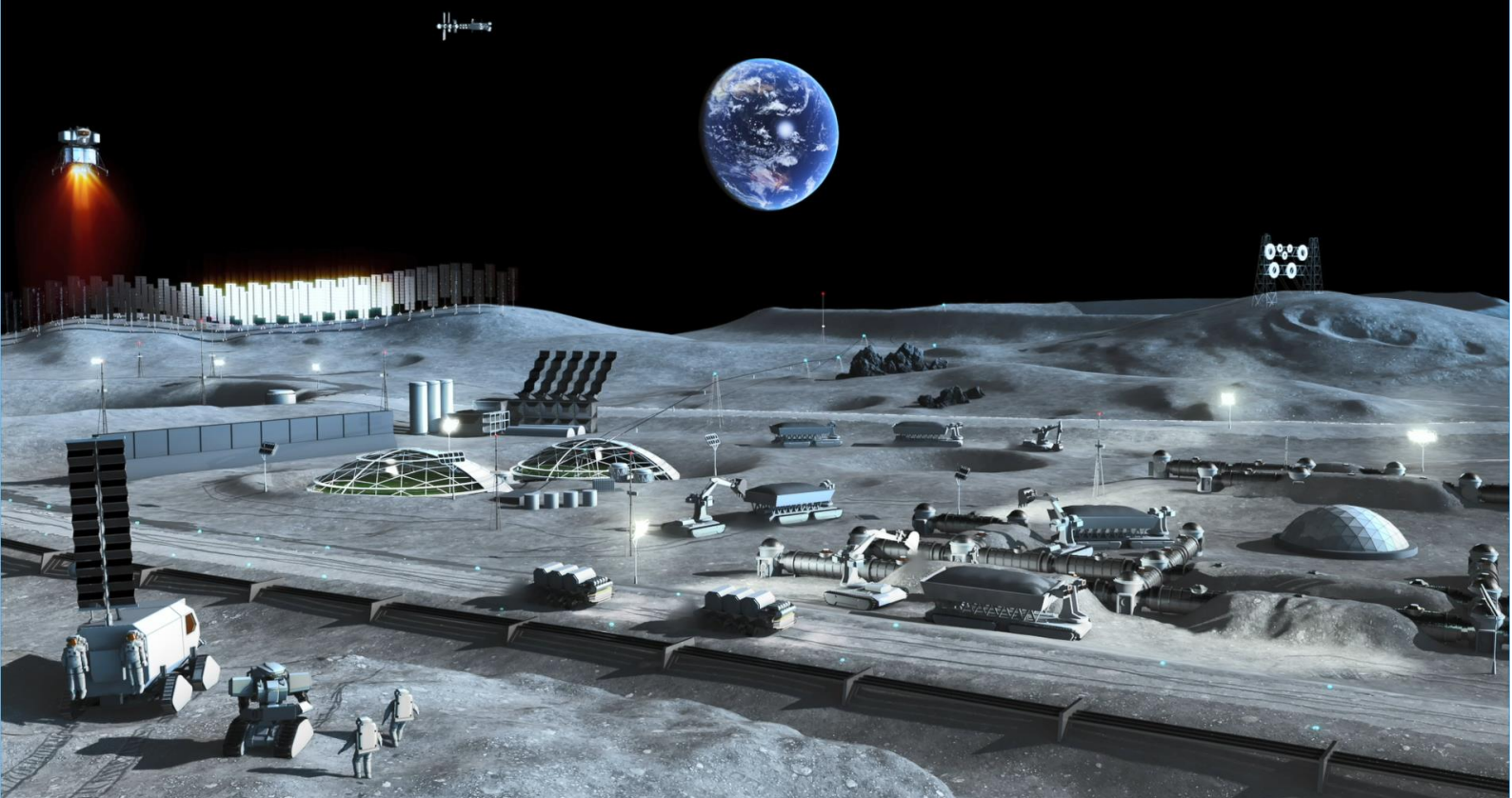


日本の国際宇宙探査シナリオ(案) 2019

Executive Summary



宇宙航空研究開発機構
国際宇宙探査センター
宇宙探査システム技術ユニット

Intentionally Blank

1. 経緯

2000年代初頭から、米国を中心として国際協力による有人宇宙探査計画の検討が開始された。国際宇宙探査フォーラム(ISEF)や国際宇宙探査協働グループ(ISECG)などで国際的に合意されている目標は「国際協力による有人火星探査の実現」である。一方、JAXA では有人火星探査の実現を視野に入れつつ、中間目標としての有人月面探査の実現に向けてその目標やシナリオ、ロードマップ等の検討を継続的に実施してきており、2016年度には最初の検討報告書をまとめた。本報告書は、その後の国際情勢変化や国内政策議論の進展等を踏まえて、2019年度版としてまとめなおしたものである。なお、本書は国際宇宙探査ロードマップ(GER3)をベースにしているが、2019年3月に米国が表明した2024年までに有人月着陸を行う計画には対応していない。

2. 検討の方針

検討の基本方針としては、システムズエンジニアリング的な手法に則り、宇宙探査の目標の具体化をまず行い、その目標を実現するためのアーキテクチャ検討やシステム要求検討を行った上でその検討結果を技術的ロードマップにブレークダウンするとともに、科学的目標を達成するための科学ロードマップ作成、環境・資源に関するデータ整理と今後の取得計画の整理を行い、それらを統合する形で、具体的なミッションとを結びつける統合的なロードマップを作成した。図 2-1 にそのフローを示す。

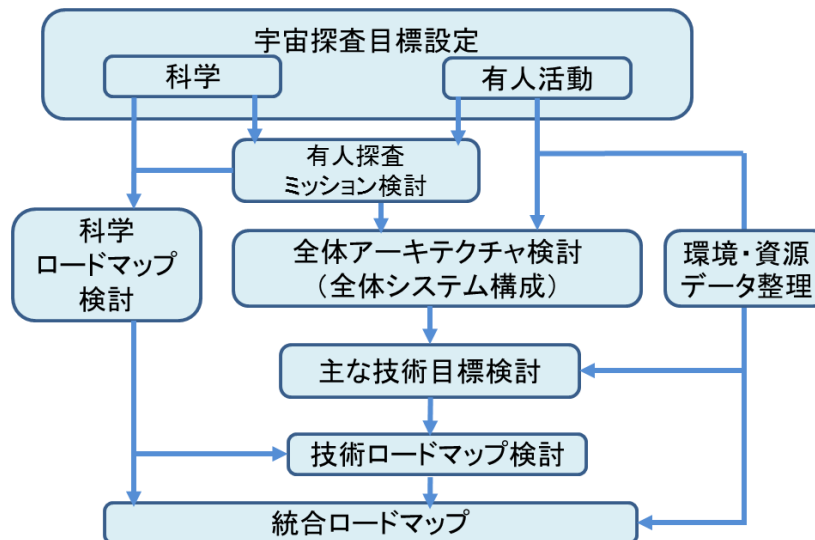


図 2-1 検討のフロー

なお、技術ロードマップの検討にあたっては、宇宙基本計画工程表に我が国として優位性や波及効果が見込まれる技術として識別されている下記 4 つの技術の焦点を当てて検討を行った。

- 深宇宙補給技術(ランデブ・ドッキング技術等)
- 有人宇宙滞在技術(環境制御技術等)
- 重力天体離着陸技術(高精度航法技術等)
- 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)

3. 国際宇宙探査の目標

国際的に合意されている宇宙探査の目標は「有人火星探査の実現」であるが、それだけでは抽象的すぎるため、地球上でのこれまでの人類による探査・探検とのアナロジーから、新しい科学的発見を求める「科学」と、人類の新しい活動の場所を求める「有人活動」に分けて具体的な目標を設定した。「有人活動」については、20年後頃に最初の有人火星探査を実現することを最終目標に、その技術・運用の実証を行うという観点から、中間的な目標として300日滞在の月近傍ミッションおよび500日滞在の有人月面探査ミッションと推薬の現地調達を目標として設定した。なお、有人月面活動については、その発展形態として民間による持続的な有人月面活動が開始されることを目標とし、宇宙機関では資源利用システムや再使用システムの開発などの技術開発を行うことを目標とする。図3-1に有人活動に関する具体的な目標を示す。

「科学」については、地球型惑星領域での下記3課題を目標として設定した。

- 地球型惑星領域への水や有機物の供給過程を把握する
- 地球型惑星形成過程の骨格をなす天体衝突過程を理解する
- 金星・火星と地球は、その表層環境の進化過程において、どのように道を違えたのかを把握する

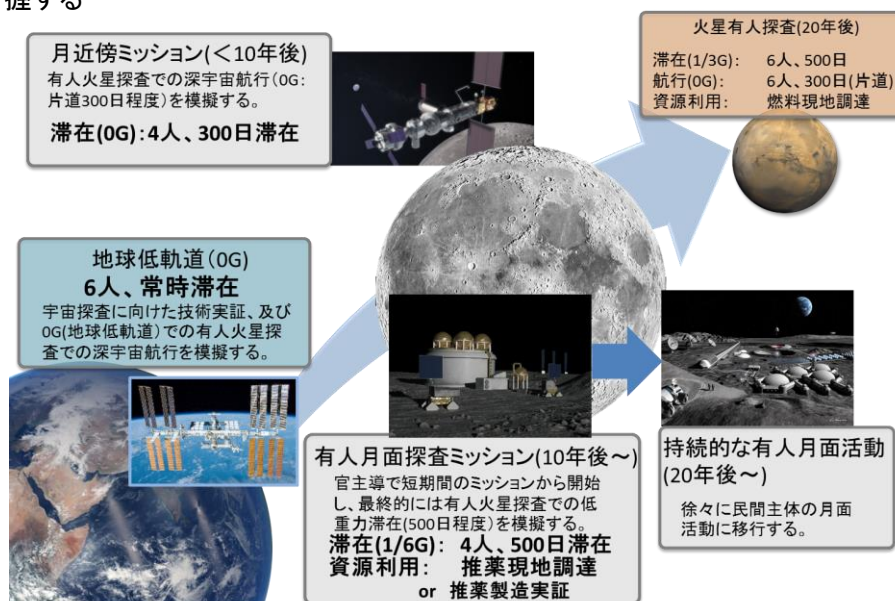


図 3-1 国際宇宙探査(有人活動)の目標

4. 有人宇宙探査実現に必要なデータの分析

有人宇宙探査を計画・実行するにあたっては、宇宙機や軌道計画のコンセプト検討だけでなく、環境や資源のデータを十分に揃えることが必要である。現在得られているデータについてそれぞれ整理した結果、有人宇宙探査のアーキテクチャに大きな影響を与える月の水の分布量の調査、宇宙飛行士の健康管理上の重要な課題であり放射線(特に太陽フレア発生時)のデータの取得が緊急かつ重要性の高い課題であることが分かった。表4-1に分析結果の抜粋を示す。

表 4-1 有人宇宙探査実現に必要なデータの分析(抜粋)

	現状	今後取得すべきデータ	優先度付け			
			安全性	アーキテクチャへの影響	緊急性	総合
水	これまでのリモートセンシング観測で、極域の地下(1m程度)に水素(水氷と考えるのが合理的)の存在を示す観測データが得られている。存在量は、0.08-20wt%と研究により開きがある。	着陸ミッションにてその場での直接的に存在分布を計測することが必要。	緑	赤	赤	赤
放射線	宇宙飛行士の被ばく線量を精度よく推定するには、エネルギースペクトラムデータが必要であるが、特に被ばく線量への影響の大きい太陽フレア時の地磁気圏外の実測データはないため、その被ばく量を適切に予測することが困難で、深宇宙ミッションでの放射線被ばく対策の目途が立たない状況。	月・火星探査無人ミッションの機会をとらえつつ、太陽活動による変動も考慮して太陽フレア時のエネルギースペクトラムデータを蓄積していくことが必要。	赤	黄	黄	黄
レゴリス安全性	化学組成による毒性は研究されNASAの毒性研究Gが2010年にまとめたデータ有。ただし実レゴリスによる実験データはほとんどない。	実レゴリスのサンプルリターンによる動物実験でのデータ取得。	黄	黄	黄	黄
レゴリス土壌特性(テラメカニクスデータ)	コーン貫入試験等による土壌特性の間接測定(測定データから経験則により特性を導出)が実施されている。	土壌測定の直接測定(経験則を介さずに導出)、および走行データを組み合わせて1/6G下でのテラメカニクスモデル(地盤と車両間の力相互作用)の構築	緑	黄	黄	黄
レゴリスによる汚染	着陸時スラスト噴射でのレゴリス巻き上がり、及び月面上活動時の帯電レゴリスの宇宙服への付着がアポロ計画で目撃・体験されている。月周回機LADEEにより昼夜境界でダストが多いことが観測されている。	月面活動、及び月面電位分布で浮遊するレゴリス量を定量的に測定する。	緑	黄	黄	黄

5. 全体アーキテクチャ検討

特に本検討においてリソースを割いたのが全体アーキテクチャ検討である。具体的には宇宙飛行士と貨物の輸送アーキテクチャ検討、および通信のアーキテクチャ検討である。なお、輸送アーキテクチャの検討にあたり、基本的な前提条件として、地球から中継地点までの有人輸送に関しては、開発中の米国 SLS/Orion や計画検討が進められているロシアの有人輸送システムを前提とし、トレードオフや日本の開発可能性の対象とはしていない。

輸送アーキテクチャの要検討項目は多岐にわたり、現時点で完全に網羅的な検討ができてはいないが、主要な検討項目として、①月近傍のステージングポイントの有無と軌道、②月近傍までの物資輸送の推進システムと軌道、③有人月面着陸機アーキテクチャ(形態と推進システム)、④月の資源利用の是非、についてトレードオフを行った。図 5-1 にその結果をまとめるが、①については月近傍のステージングポイントを Near Rectilinear Halo Orbit (NRHO)に置くことが最適との結論。②については Weak Stability Boundary (WSB) 軌道による化学推進が最適であり、HTV-X の SM を再使用しつつ 4 発の H3 打ち上げで Gateway に約 4t の補給能力があることが分かった。③についてはまだ今後の検討結果によるところがあるが、形態としては単段式完全再使用型もしくは 2 段式離陸機再使用型、メインエンジンとしては LOX/メタンエンジンもしくは LOX/LH2 エンジンでのトレードオフを継続すべきと結論となった。

④についての検討結果は図 5-2 に要約される。この図が示すところは、レゴリスの水含有率が 0.5%以上であれば、有人月面探査ミッションを4回以上行う場合に、そのための総打上げ質量は、推薬プラントを月面に構築したほうが構築しない場合より少ない、つまりコスト的に有利であるということである。そのためにも確認されていない月の水の含有率を実測することが重要である。

図 5-3 に検討の結果をまとめた輸送系アーキテクチャ図を示す。

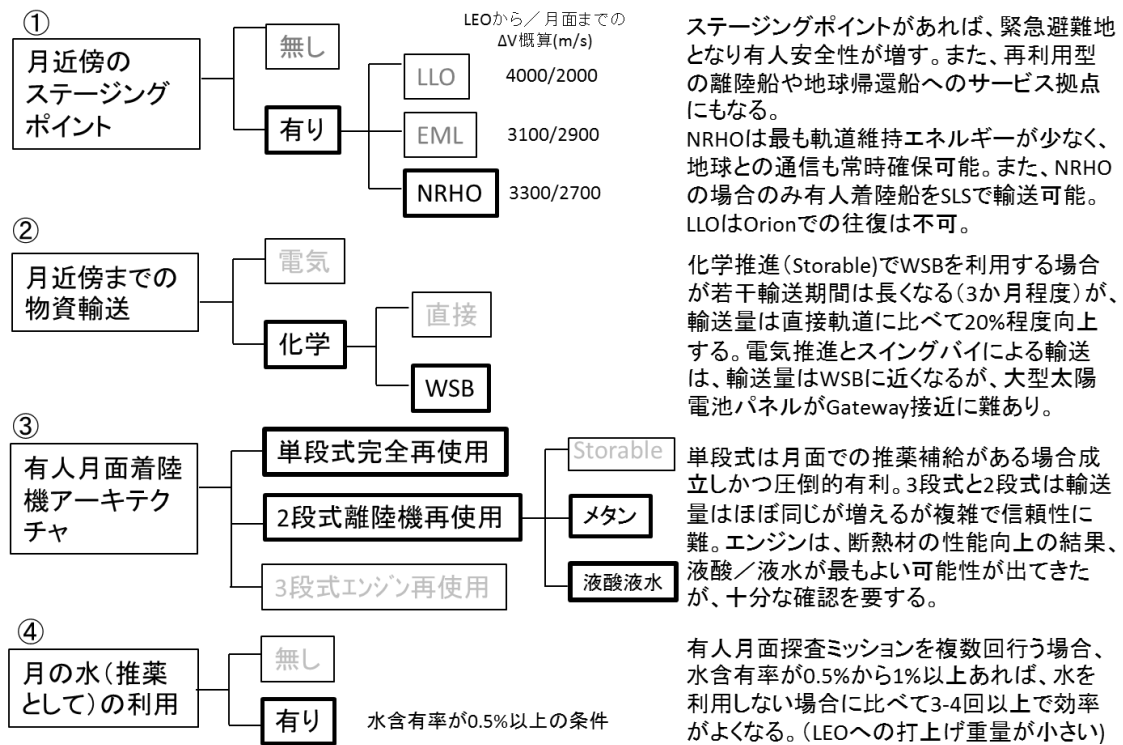


図 5-1 輸送アーキテクチャの主要ポイントに関するトレードオフ結果

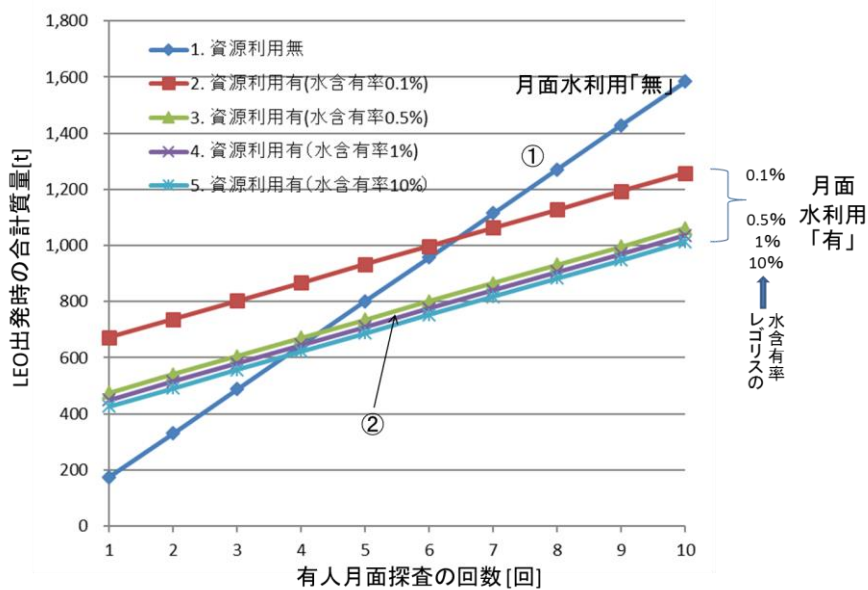


図 5-2 推薬プラントの有無に関するトレードオフ結果

有人火星探査に向けてのアーキテクチャ検討は、今後の検討によるところが大きいが、地球重力圏(月近傍ステージングポイント含む)からの火星圏への輸送としてエアロキャプチャが有効であることが検討結果として出ている。理工学委員会国際宇宙探査専門委員会の火星タスクフォースチーム報告書でも、その技術実証を進めること、及びその技術を応用した火星表面の総合的な探査が提案されており、本報告書にも技術ロードマップやミッションシナリオに取り入れている。

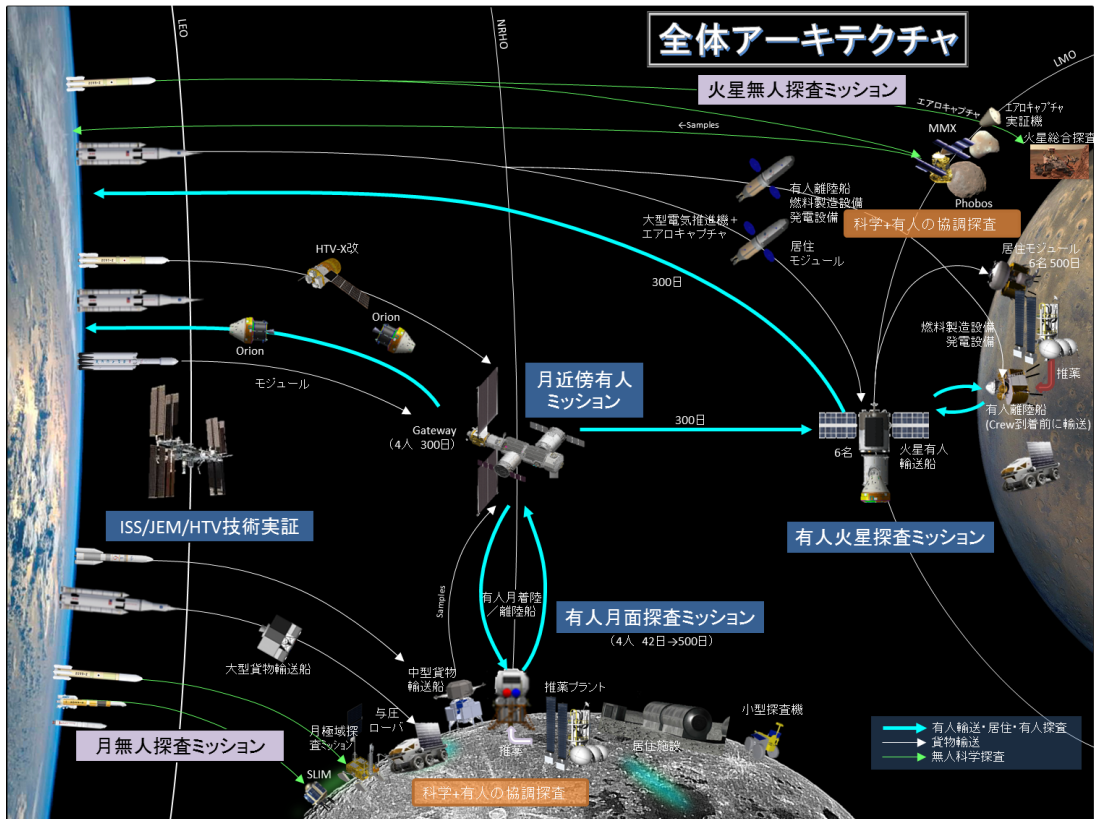


図 5-3 国際宇宙探査の輸送系アーキテクチャ

また、今回は通信のアーキテクチャについても検討を行った。有人探査であるためテレメトリ&コマンドに関してはリアルタイム伝送かつアウトエージを最小にすることを念頭においてトレードオフを行った。一方で、探査成果を広く一般にアピールするためにも超高精細(4k/8k)のビデオデータを複数ダウンリンクできるようにも検討した。その結果として、図 5-4 のとおり、RF 通信でのテレメトリ&コマンド通信を確保しつつ、地球周回衛星と月周回衛星を光通信で結ぶ月面/地上間の大容量通信を可能とするアーキテクチャを提案する。

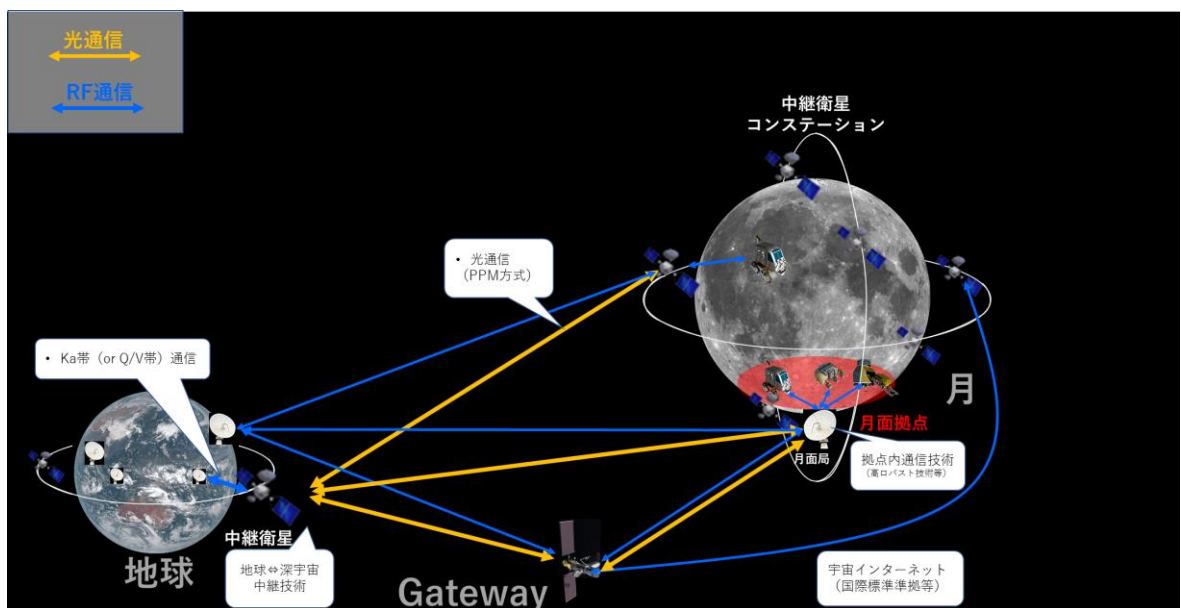


図 5-4 国際宇宙探査の通信アーキテクチャ

6. 国際宇宙探査ミッションシナリオ

目標とするアーキテクチャを達成するためのシナリオを日本として実施すべきミッションを中心に国際宇宙探査ミッションシナリオ(案)としてまとめたものを図 6-1 に示す。このシナリオのポイントは下記のとおり。なお、通信に関しては民間サービス調達を中心に今後の検討を要する。

- ① Gateway において、完全再生 ECLSS 等の有人滞在技術を獲得するとともに、HTV-X に深宇宙対応のランデブドッキング技術を追加した補給ミッションにより効率の良い貢献を目指す。一方、月面では SLIM、極域探査により、着陸・移動に必須の技術を獲得するとともに、水の可能性調査を進め、再使用システムに向けた準備を進める。【～5 年/2025 年頃】
- ② 大型有人ローバ／中型ローバや中型着陸機(HERACLES)により、効率的な有人月面探査に貢献しつつ、月面の活動圏の構築を進める。【～10 年/2030 年頃】
- ③ 資源利用を含むエコシステムの技術実証、月面拠点や完全再使用有人離着陸船等のインフラ構築を進めることで、月面活動の民間参画を推進する。【～20 年/2040 年頃】

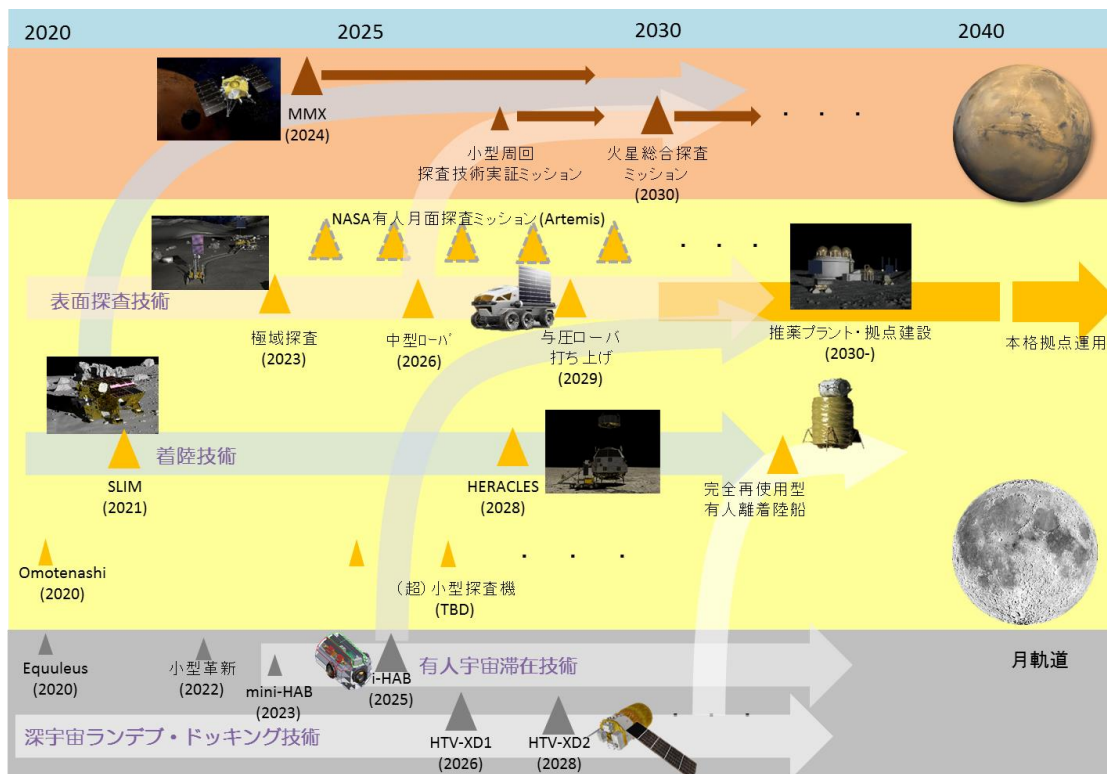


図 6-1 国際宇宙探査ミッションシナリオ(案)

7. 今後について

本検討結果は、2018 年度末までの国際情勢を踏まえたアーキテクチャ検討やシナリオ検討結果をまとめたものである。なお、既報の通り 2019 年 3 月末に米国は 2024 年までに有人月面探査を行う方針を発表した。宇宙探査は米国の能力に頼らざるを得ないことから米国の方針を注視していくことが必要であり、日本としての目的・方針を維持しつつも、米国等の状況に応じて柔軟に継続的に検討を深めていく。