

資料67-1

科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
(第67回) R4.7.8

月極域探査機(LUPEX) プロジェクト移行審査の 結果について

LUPEX

LUnar Polar EXploration

令和4(2022)年7月8日

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

理事 佐々木 宏

月極域探査機プロジェクトチーム プロジェクトマネージャ 麻生 大

プロジェクト事前評価と本資料の位置付け

宇宙開発利用部会におけるプロジェクト事前評価について

JAXA自らが実施した研究開発プロジェクトの評価結果について、目的、目標、開発方針、開発計画、成果等についての調査審議を行う。

※JAXAは、プロジェクトの企画立案と実施に責任を有する立場から、JAXA自らが評価実施主体となって評価を行うことを基本とする。

「宇宙開発利用部会における研究開発課題等の評価の進め方について」
(平成31年4月18日 宇宙開発利用部会決定)

- 当報告は、宇宙開発利用部会が実施フェーズ移行に際して実施する「事前評価」に資するものである。
- JAXAが実施した、月極域探査機(以下、LUPEX)に係るプロジェクト移行審査(2022年2月8日)について、審査における主たる審査項目を以下に示す。
 - ① プロジェクト目標・成功基準の妥当性
 - ② 実施体制、資金計画、スケジュールの妥当性
 - ③ リスク識別とその対応策の妥当性
- 本資料では、これらの審査項目の内容について1～3章に、JAXAのプロジェクト移行審査の判定及び外部専門家による評価について4章に示す。

目次

1. プロジェクト目標の設定

1.1 LUPEXの位置付け

1.2 プロジェクト目標

1.3 ミッション要求

1.4 ミッション成功基準及びアウトカム目標

1.5 LUPEX獲得技術の応用先

2. LUPEXの概要

2.1 探査機システム概要

2.2 ローバシステムの特徴

2.3 搭載される観測機器

2.4 国際協力

3. LUPEXの開発計画

3.1 プロジェクト実施体制

3.2 資金計画及びスケジュール

3.3 リスクと対応策

4. プロジェクト移行審査のまとめ

4.1 審査の結論

4.2 外部評価結果

別紙

別紙1 月探査をめぐる各国の動向

別紙2 ミッション要求(詳細レベル)

別紙3 成功基準(詳細レベル)

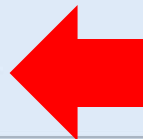
別紙4 LUPEXアピールポイント

1. プロジェクト目標の設定

1.1 LUPEXの位置づけ

- ▶ 水資源やエネルギー資源の確保の観点から月の極域が注目されており、2020年代前半の着陸を目指して、民間を含めた水資源の利用可能性調査ミッションの**国際的な競争と協力が活発化**している(別紙1参照)。
- ▶ そこで、各国に遅れることなく、月極域における**水資源の存在量と資源としての可用性を調査**し、貴重な領域の確保や**重力天体表面探査技術の確立**に資する月極域探査機(LUPEX)を国際協力で実施する。
※国際パートナー: インド、米国、欧州
- ▶ 特に共同ミッションを組むインドとは、日印首脳会談(2022年3月)においても「共同での月極域探査計画を含め、宇宙分野での協力が進展していることを歓迎する」とされるなど、わが国の外交上の重要国との良好な関係の強化にも貢献する。

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]											
	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					
	車輪や走行系等の要素技術の開発研究・技術実証											
	月面探査を支える移動手段(与圧ローバ)に関する開発研究											
	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											
	月極域探査機の開発 [文部科学省] 打上げ ▲ 運用											
	【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創出に向けた検討											
	広範な科学分野の参加を得た推進[内閣府、文部科学省等]											
	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			HTV-Xの運用 ▲ 打上げ(2号機)			▲ 打上げ(1号機)			▲ 打上げ(3号機)			
2025年以降のISSを含む低軌道活動の検討												
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												



宇宙基本計画工程表(令和3年度改訂)
(3) 宇宙科学・探査による新たな知の創造

着陸機から降りるローバ

1.2 プロジェクト目標 ～目的と意義～

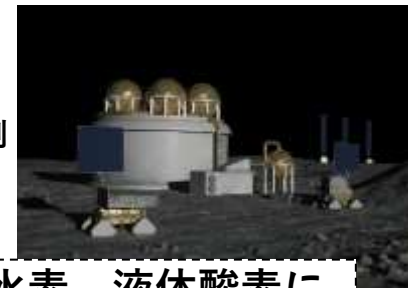
• 目的1 = 月の水資源「利用可能性」の調査

月極域には彗星・小惑星・太陽風によりもたらされた水氷（あるいは水素）が保存されていると考えられている。

水の一定程度の存在が分かれば

水を電気分解して、液体水素、液体酸素にすれば、着陸船の燃料になり、大幅に効率的な探査が可能となる。

月面推薬プラントの例



課題1 = 含水率観測結果の大きな「ばらつき」

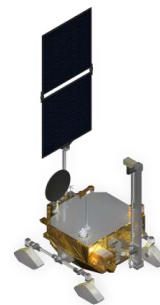
リモートセンシング観測で、極域の地下（1m程度）に水素（水氷と考えるのが合理的）の存在を示す観測データが得られている。存在量は0.08-20wt%と研究により開きがある（別紙4(2/6)参照）。

ばらつき議論を収束させるには

着陸ミッションにて現地で直接かつ定量的に存在量（含水率）を計測することが必要。

• 目的2 = 重力天体表面探査技術の獲得

（獲得技術の応用先：1.5項参照）



LUPEXの意義

- 月極域における水の存在量や存在形態の現地データを取得し、水の資源としての利用可能性の判断に資する。
- 重力天体表面探査技術に資する技術実証及び技術情報の取得を行い、有人と圧ローバ等の開発・運用に資すると共に、最終的に民間を含む我が国の活動領域の拡大と国の競争力の強化に資する。
- 米国アルテミス計画における有人着陸に向けて、取得データの提供により国際宇宙探査に貢献する。

1.3 ミッション要求

(ミッションの目的・目標の全体像は別紙2参照)

ミッション目標	月極域探査ミッションは、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とともに、重力天体表面探査技術を確認することを目標とする。						
ミッション要求	MR-1: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し、将来の国際宇宙探査計画に反映する。			MR-2:重力天体表面探査技術を確認する。			
プロジェクトの大目標	1.月の水を将来の探査活動に利用可能かどうかを評価するために、水の量と質に関するデータを取得する。	2.月の水の濃集メカニズムを理解し、月極域付近における水の量と質を推定し、水の濃集場所を特定するためのデータを取得する。	3.月極域の着陸地点の特性を理解するために、揮発性物質を含む表層の構成物の組成データを取得する。	4.重力天体表面探査技術の獲得に資する技術実証および技術情報の取得を行う。			
プロジェクトの目標	A.利用可能な観測データから水の存在が予想されている地点において、その場観測により水(H ₂ O)の量と分布に関するグラントゥルースデータを取得する。	B.水の状態や形態、その他揮発性物質種の含有量に関する情報を取得し、その場観測を通じて取り扱う準備をすること。	C.含水量と地質的および物理的な条件の相関に関する情報、および月の極域の水の起源に関する情報を取得する。	D.月表層大気揮発性成分(放射性壊変元素)に関する情報を取得する。	E.着陸地点における元素の分布と濃度を決定する。	F.月面での移動技術を実証するとともに、将来の多様な移動技術の獲得に資する情報を取得する。	G.月面での長期滞在(越夜含む)技術を実証するとともに、将来の多様な長期滞在技術の獲得に資する情報を取得する。
	ISRO/JAXA共通			ISRO単独		JAXA単独	

1.4 ミッション成功基準及びアウトカム目標(1/2) ～成功基準(サクセスクライテリア)～

(表中の[記号番号]は、別紙2(1/2)目標番号に対応)

水の存在量と水資源の利用可能性

(a) ミッション要求 MR-1

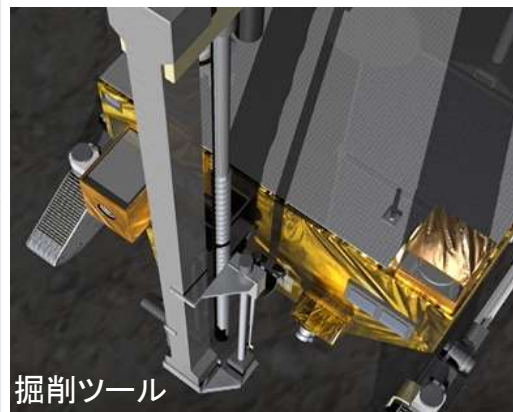
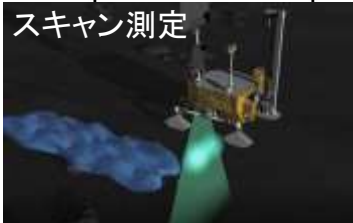
ミニマム	<ul style="list-style-type: none"> 月表層の水もしくは水素の存在量について、15m 以内の空間分解能で測定を行う。 【判定時期:着陸 1 か月後】
フル (全て達成)	<ul style="list-style-type: none"> 着陸地点を含む既存のリモートセンシングデータの空間分解能(約 250m)の範囲中のグラントゥールースに適した場所において、以下の測定を行うこと。 <ol style="list-style-type: none"> 水の存在量を 0.1wt%の精度で直接測定すること。[OR-A1] 水もしくは水素が存在すると推定される 25cm-表層付近～1.5m 程度の複数の深さにおいて観測を行うこと。 事前定義した水もしくは水素が存在すると推定される領域について 15m の空間分解能でスキャン測定すること。[OR-A3] 水素の化学種(H, OH, H₂O など)、水の存在形態(吸着水、含水鉱物、構造水などとして存在)、および他の化学種(CH₄など)を特定し、その量の測定を行う。[OR-B1] 探査領域の地盤強度と掘削に必要な動力の測定を行うこと。[OR-B2] 温度差が大きい場所(水の昇華温度よりも低い温度と高い温度、例えば永久影領域、温度変動の有る寒い領域、長期日照領域など)でレゴリスの温度と表層分圧、および水または他の化学種の濃度を計測すること。[OR-C1] 【判定時期:着陸 1 年後まで】
エクストラ (いずれか達成)	<ul style="list-style-type: none"> 既存のリモートセンシングデータの空間分解能(約 250m)を越えて離れた複数の場所で、以下の測定を行う。 <ol style="list-style-type: none"> 水の存在量を 0.1wt% の精度で直接測定すること。[OR-A1] いくつかの地域で深さ 1.5m まで 25cm 間隔で垂直分布の測定を行うこと。[OR-A2] 事前定義した水もしくは水素が存在すると推定される領域について 15m の空間分解能でスキャン測定すること。[OR-A3] 同じ場所で(異なる温度条件下で)日中と夜間におけるレゴリスの温度と表層分圧、および水または他の化学種の濃度を計測すること。[OR-C2] 地質学および地形学的に異なる地域におけるレゴリスの含水量、鉱物量比、化学組成、および宇宙風化度について測定すること。[OR-C3] 【判定時期:着陸 1 年後以降】

重力天体表面探査技術

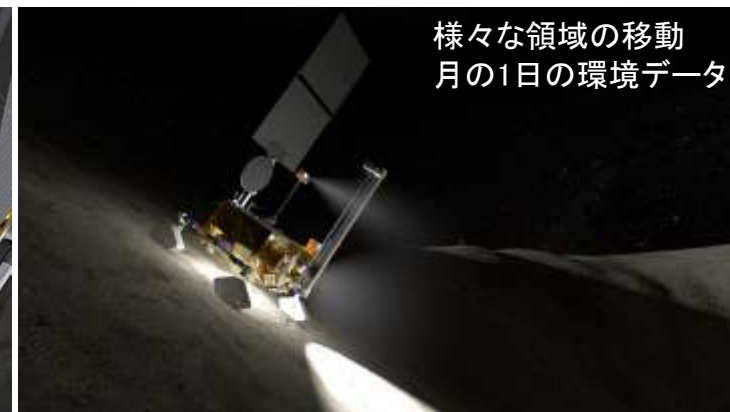
(b) ミッション要求 MR-2

ミニマム	<ul style="list-style-type: none"> 着陸機では直接アクセスできない領域に移動する。[OR-F1] 【判定時期:着陸 1 か月後】
フル (F と G 独立)	<ul style="list-style-type: none"> 岩石・クレータ分布、斜度、地盤の異なる複数の領域を移動するとともに、設計検証に必要な、<u>滑り率と走行抵抗を求めるためのデータを取得する</u>。[OR-F2] 月の 1 日間活動を継続し、<u>環境データ(温度、日照、ダスト)を取得する</u>。[OR-G2] 【判定時期:着陸 1 年後まで】
エクストラ (F と G 独立)	<ul style="list-style-type: none"> 将来の表面移動探査技術の向上に資するデータを取得する。[OR-F3] 1 年間活動を継続する。[OR-G3] 【判定時期:着陸 1 年後以降】

スキャン測定



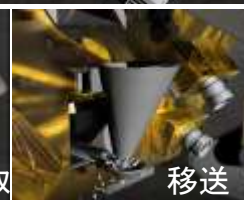
掘削ツール



様々な領域の移動
月の1日の環境データ



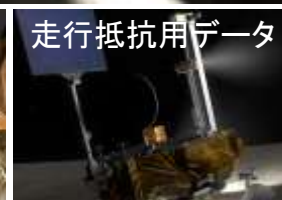
掘削、サンプル採取



移送



滑り・沈下



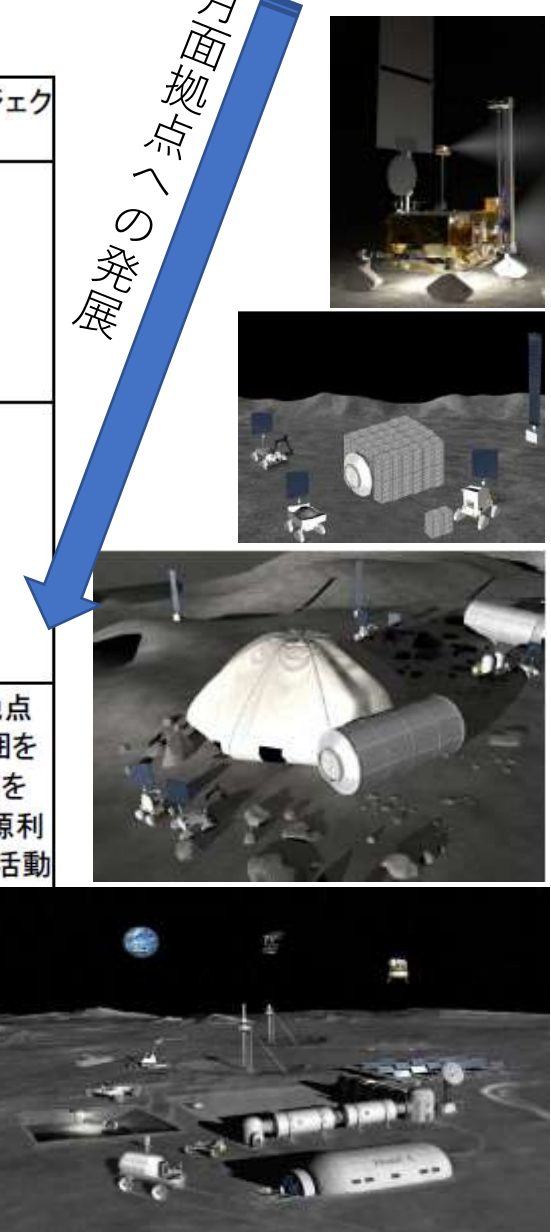
走行抵抗用データ

1.4 ミッション成功基準及びアウトカム目標(2/2)

～アウトカム目標～

ミッションが創出する価値	ニーズを満足することで期待されるアウトカム	アウトカム創出の担い手	短期指標 (プロジェクト終了後5年以内)	中長期指標 (プロジェクト終了後10年以内)
(1)月極域の水の利用可能性に関する情報	将来の探査シナリオや月を利用した活動計画の検討において、月極域の水に関するデータを用いて、月極域における水の存在量や資源利用可能性を確認し、月面での現地での水の推進燃料としての利用も含めたアーキテクチャのトレードオフを可能とすることで、競争力のある計画を立案できるようになる。	JAXA 国際宇宙探査センター	定常組織の活動及び海外の成果等により、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判断できる。	—
(2)月極域の水の存在量と具体的な存在形態に関する情報	将来の探査シナリオや月を利用した活動計画に向けた、水資源利用技術の開発において、月極域の水に関するデータを用いて、月極域における水の存在量や資源利用可能性を確認し、水の存在形態に対応して月面での水の本格利用のために必要な技術を識別することで、競争力のある技術開発やその効率化を実現する。		月面での水の本格利用のために必要な技術を識別できる。	—
(3) 重力天体表面探査技術に関する技術・工学情報	地上では得られない月面での実証・月面の環境の影響の評価を含む技術・工学情報を得ることで、重力天体表面探査技術を確認し、月極域での活動範囲の拡大を図ることができる。		重力天体表面探査技術を活用した国際宇宙探査計画が立案される。	月極域の長期日照地点を拠点として活動範囲を拡大し、国・民間企業を含めた月面利用・資源利用などの新たな経済活動が実現される。
(4) 月極域の水資源や地質等の情報	地上では得られない月面での水資源や地質等の情報に基づいて、資源利用や拠点建設を行うシステムの設計を可能とすることで、民間企業等の月面利用・資源利用の活動を活発化する。	資源利用・月面拠点利用を行う民間産業	—	
(5)月極域の位置的経済資源、活動拠点の確保	非常に限られた領域しかない、エネルギーの確保の観点から優位な月極域の長期日照地点に活動拠点を確保することで、民間企業を含め、月を利用した活動の場や権益を国全体として確保し、国際プレゼンスを発揮することができる。	国民・民間企業含めた国全体	—	

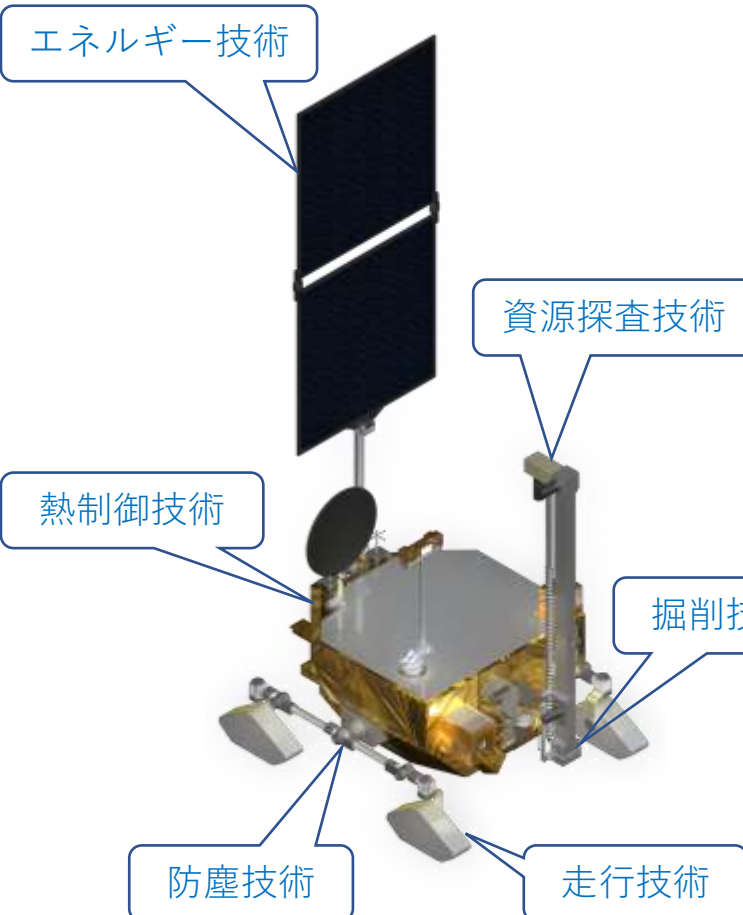
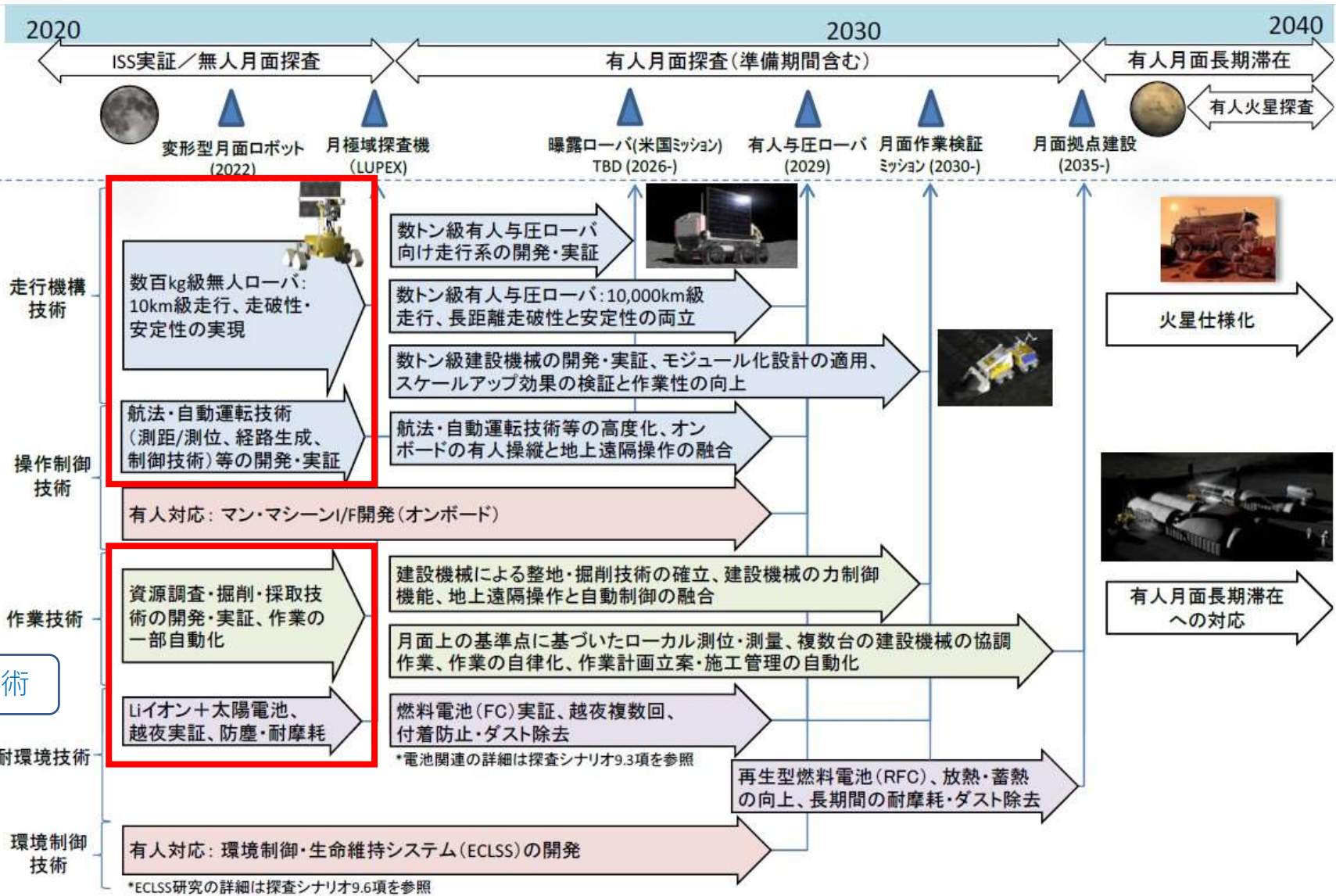
月面拠点への発展



1.5 LUPEX獲得技術の応用先

「日本の国際宇宙探査シナリオ(案)2021」図9.4-3を引用

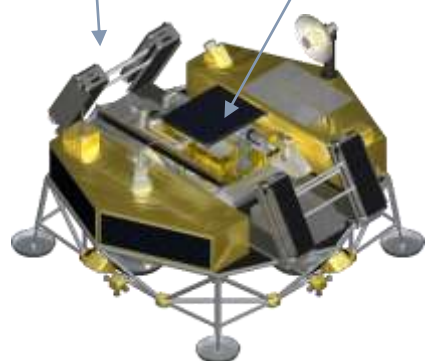
重力天体表面探査技術ロードマップ中のLUPEXで獲得できる探査技術(赤枠内)とその応用先



2. LUPEXの概要

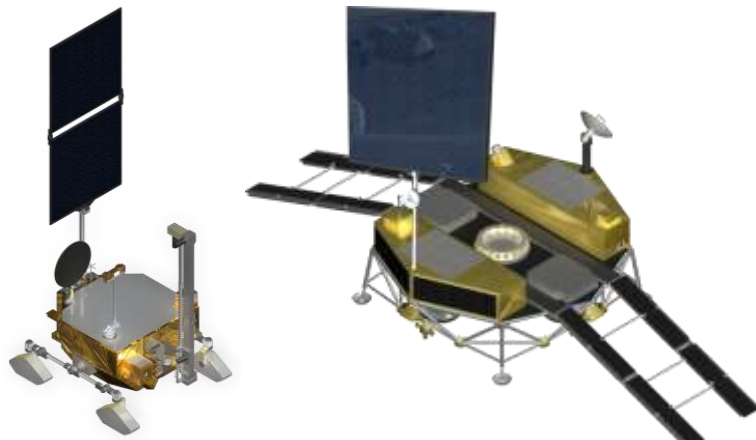
2.1 探査機システム概要(1/3)

ローバシステム (JAXA)
着陸機システム (ISRO)



全機システム(ISRO)

全機システム外観
(打上げ~着陸まで)



ローバシステム (JAXA)

着陸機システム (ISRO)

探査機システム外観
(月面展開後)

打上ロケット	H3 ロケット
軌道	かぐや打上軌道
打上時質量	約6トン
ローバ寸法・質量	350kg(観測機器含む) L1.75m × W1.46m × H1.50m
ミッション期間	打上げ~月着陸後3.5ヶ月まで (エクストラ目標1年)
着陸地点	月の南極域

打上げ後0.5~1か月で
月着陸

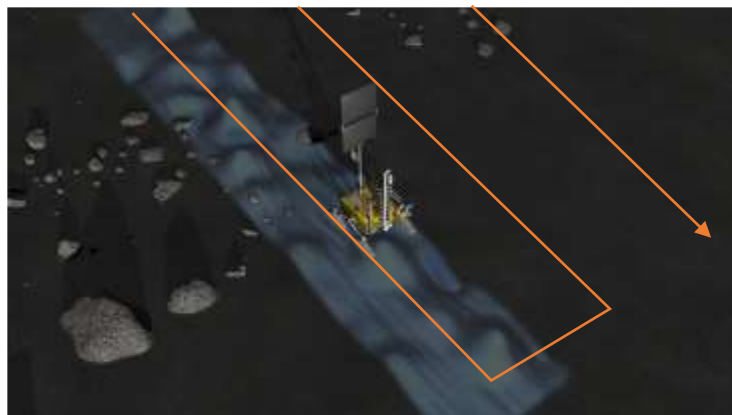
着陸後3.5か月間のタイム
ラインを右表に示す。
(疎観測/詳細観測:次頁参照)

フェーズ	サブフェーズ	日数	観測・作業内容	
リファレンス観測 1月×1回=1月	チェックアウト	14日	<ul style="list-style-type: none"> ローバ展開 ローバシステムチェックアウト 観測機器チェックアウト 	
	観測		<ul style="list-style-type: none"> リファレンス観測 	
	移動		<ul style="list-style-type: none"> 充電位置まで移動 	
	予備	<ul style="list-style-type: none"> 予備 		
	可視待	14日	<ul style="list-style-type: none"> 可視待 	
本観測	疎観測	10日	<ul style="list-style-type: none"> ウェイポイントまで移動 観測 充電位置に移動 予備時間 	
	データ分析1		<ul style="list-style-type: none"> 充電(100%充電) データ送信(1Mbps程度) データ分析・経路計画 	
	詳細観測1		<ul style="list-style-type: none"> ウェイポイントまで移動 観測 充電位置に移動 予備時間 	
	詳細データ分析1		<ul style="list-style-type: none"> 充電(100%充電) データ送信(1Mbps程度) データ分析・経路計画 	
	詳細観測2		<ul style="list-style-type: none"> ウェイポイントまで移動 観測 充電位置に移動 予備時間 	
	詳細データ分析2		<ul style="list-style-type: none"> 充電(100%充電) データ送信 データ分析・経路計画 	
	移動		<ul style="list-style-type: none"> 次の充電位置まで移動 充電(100%充電) 	
	予備日		4日	<ul style="list-style-type: none"> 予備
	可視待		14日	<ul style="list-style-type: none"> 可視待
	本観測2		1月	本観測(疎観測、詳細観測)を実施
本観測3	1月	本観測(疎観測、詳細観測)を実施		

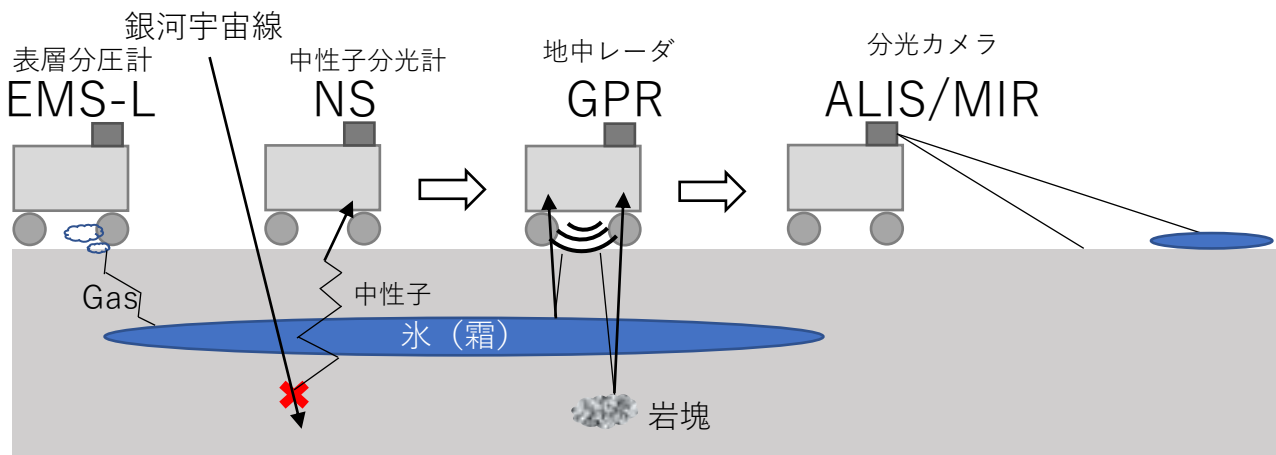
2.1 探査機システム概要(2/3) ～観測の一例:疎観測と詳細観測～

● 疎観測

- 水等の存在を確認選定されたウェイポイントまで移動
- 探査領域内を移動しながら、掘削地点を決定

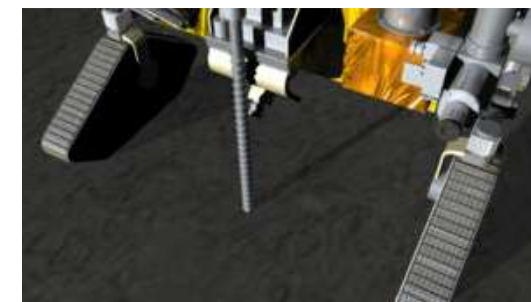
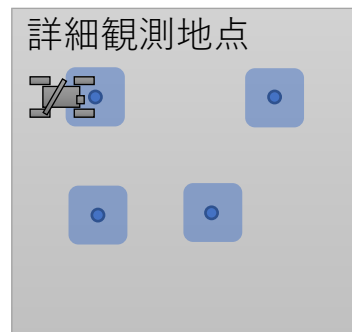


疎観測のイメージ図

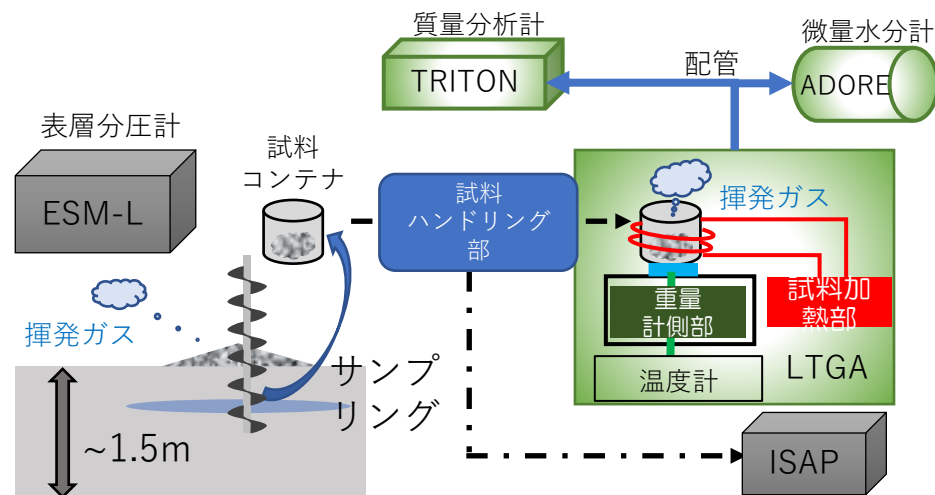


● 詳細観測

- 決定した掘削地点に移動し、月面を掘削
- 表層～深さ約1.5mの土壌サンプルを採取
- 水資源分析計等で詳細観測を行い、水の量・状態・形態等を解明



詳細観測のイメージ図



2.1 探査機システム概要(3/3) ～探査領域の選定～

● 着陸地点の選定

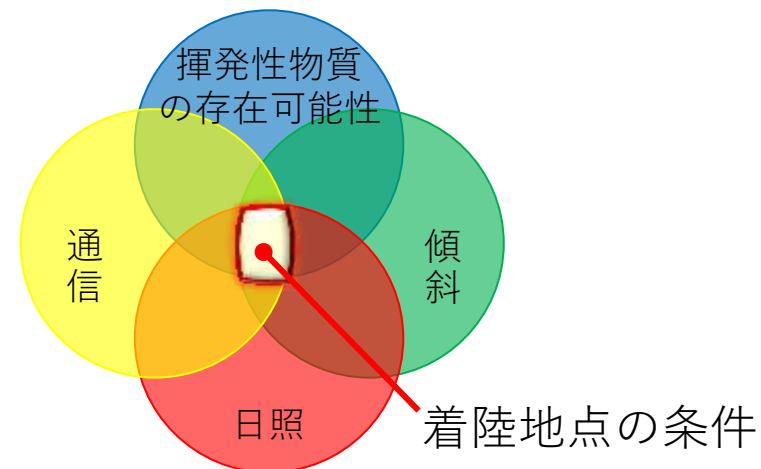
地点選定の条件:

- 水等の揮発性物質の存在可能性(永久影領域が存在する)
- 半年以上の運用可能性(長期日照、通信可視性)
- 着陸可能な傾斜

● ウェイポイントの選定と経路計画

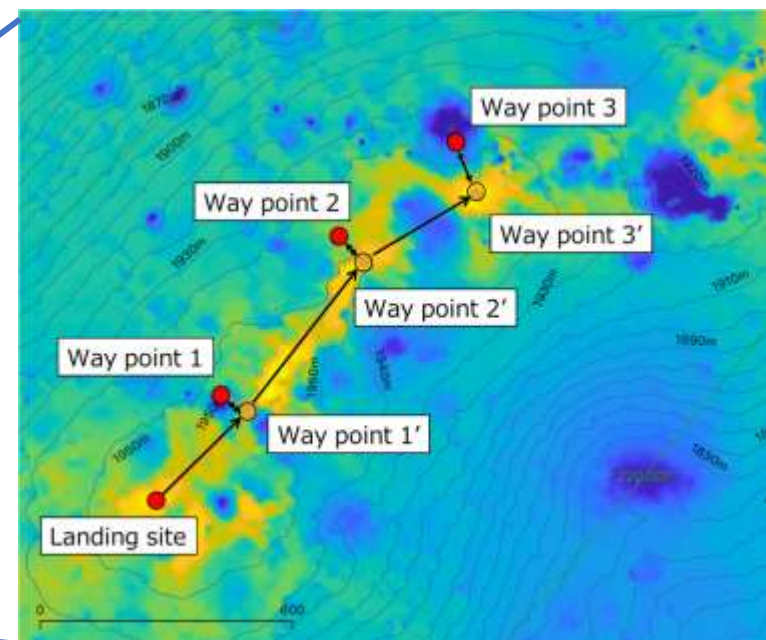
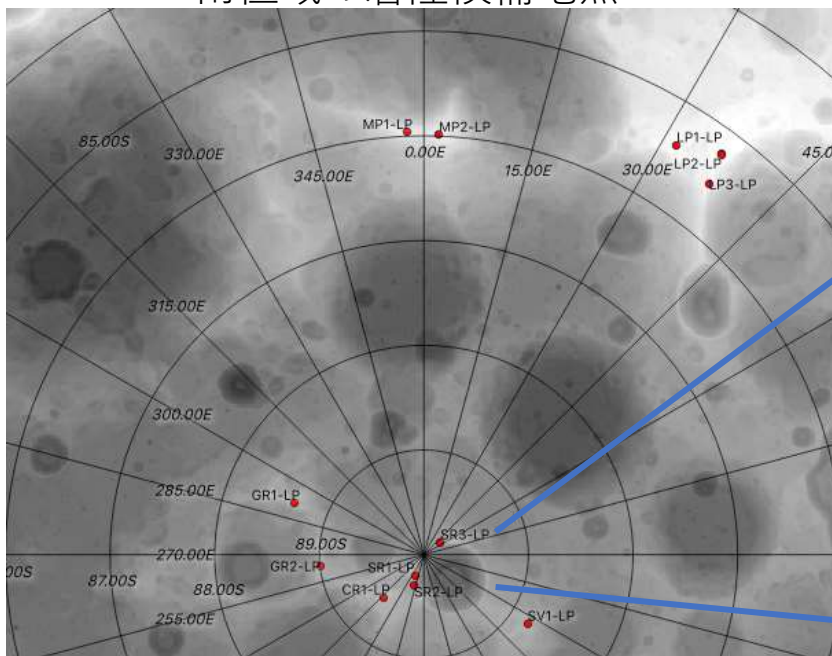
- 温度・日照・地質が特徴的なウェイポイントを選定
- 探査に必要なエネルギー等を考慮した経路計画を設定

< 着陸地点の選定指標 >



水探査に適した領域 (=将来の活動に適した領域) は非常に限られている

< 南極域の着陸候補地点 >



2.2 ローバシステムの特徴

～目標値実現のための「キー技術」～

●競争力のある目標値(含水率の水平垂直分布の直接計測(0.1wt%精度) **世界初**) 実現のための技術要素

- 含水率の直接計測 閉鎖系での熱重量分析を用いた含水率の直接計測と分子量・分子種の特定 **世界初**
- 高精度な垂直探査 掘削排土の光学観測方式では得られない試料の局所(誤差3cm未満)採取 **世界初**
- 多様な環境の水平探査 月極地の複雑な地形に対応した高い走破性・登坂性を有する4脚クローラ方式 **世界初**
- サバイバビリティ 薄膜太陽電池と高性能バッテリーセルによる長時間の非日照領域観測や越夜 **世界最高水準**

注)熱重量分析:試料を一定の速度で加熱・冷却したときの重量変化を測定する手法

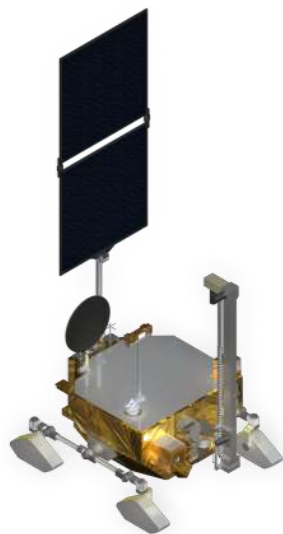
大目標: 含水率の直接計測による水の水平垂直分布マッピング
他天体での含水率の水平垂直分布の直接計測(0.1wt%精度) **世界初**

含水率の直接計測

含水率の直接計測から、揮発ガス中の分子量・分子種の特定を一連計測する統合計測装置 **世界初**

高精度な垂直探査

オーガ先端クラムシェルによる試料の局所(誤差3cm未満)採取機構 **世界初**



サバイバビリティ

高効率軽量な薄膜太陽電池タワー
 超高エネルギー密度Li-ion電池 **世界最高水準**

多様な環境の水平探査

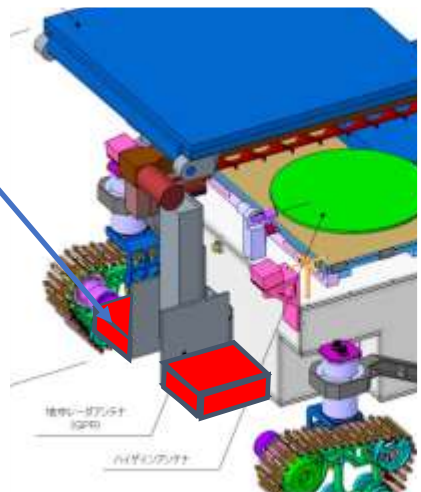
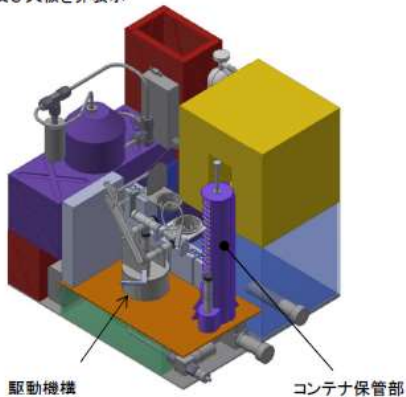
高斜度にも対応可能な走行系 **世界初**

図. 大目標実現のための「キー技術」と「開発要素」

2.3 搭載される観測機器

ミッション機器	開発主体	目的・機能
水資源分析計 (REsource Investigation Water Analyzer: REIWA) ・熱重量分析計 (LTGA) (*1) ・質量分析器 (TRITON) (*2) ・微量水分・同位体分析装置 (ADORE) (*3) ・ISRO試料分析機器 (ISAP) (*4)	JAXA開発 JAXA開発 JAXA開発 JAXA開発 ISRO提供	以下4つの観測機器の統合パッケージ ・掘削採取試料の熱重量分析(含水量定量) ・揮発ガスの分子種測定 ・揮発ガスの水分量測定 ・掘削採取試料の鉱物・元素組成分析
近赤外画像分光装置 (Advanced Lunar Imaging Spectrometer: ALIS)	JAXA開発	月表層レゴリスのH ₂ O/OH含有量測定
中性子検出器 (Neutron Spectrometer: NS)	NASA提供	深さ1mまでの平均水素濃度をローバで走行しながら測定
地中レーダ (Ground Penetrating Rader: GPR)	ISRO提供	深さ1.5mまでの地下構造をローバで走行しながら観測
表層分圧計 (Exospheric Mass Spectrometer for LUPEX: EMS-L)	ESA提供	月表面外気圏のガス種測定
中間赤外画像分光装置 (Mid-Infrared Imaging Spectrometer; MIR)	ISRO提供	月表層レゴリスの中間赤外域のスペクトル取得

HNDG 筐体及び天板を非表示



- 略語 (*1) Lunar ThermoGravimetric Analyzer : LTGA
 (*2) TRipLe reflection reflEcTrON : TRITON
 (*3) Aquatic Detector using Optical Resonance : ADORE
 (*4) ISRO Sample Analysis Package

2.4 国際協力

国際分担:

JAXA (右図青枠内)

- 打上げシステム
- ローバシステム
- ローバ搭載観測機器
- 地上システム

ISRO (右図橙枠内)

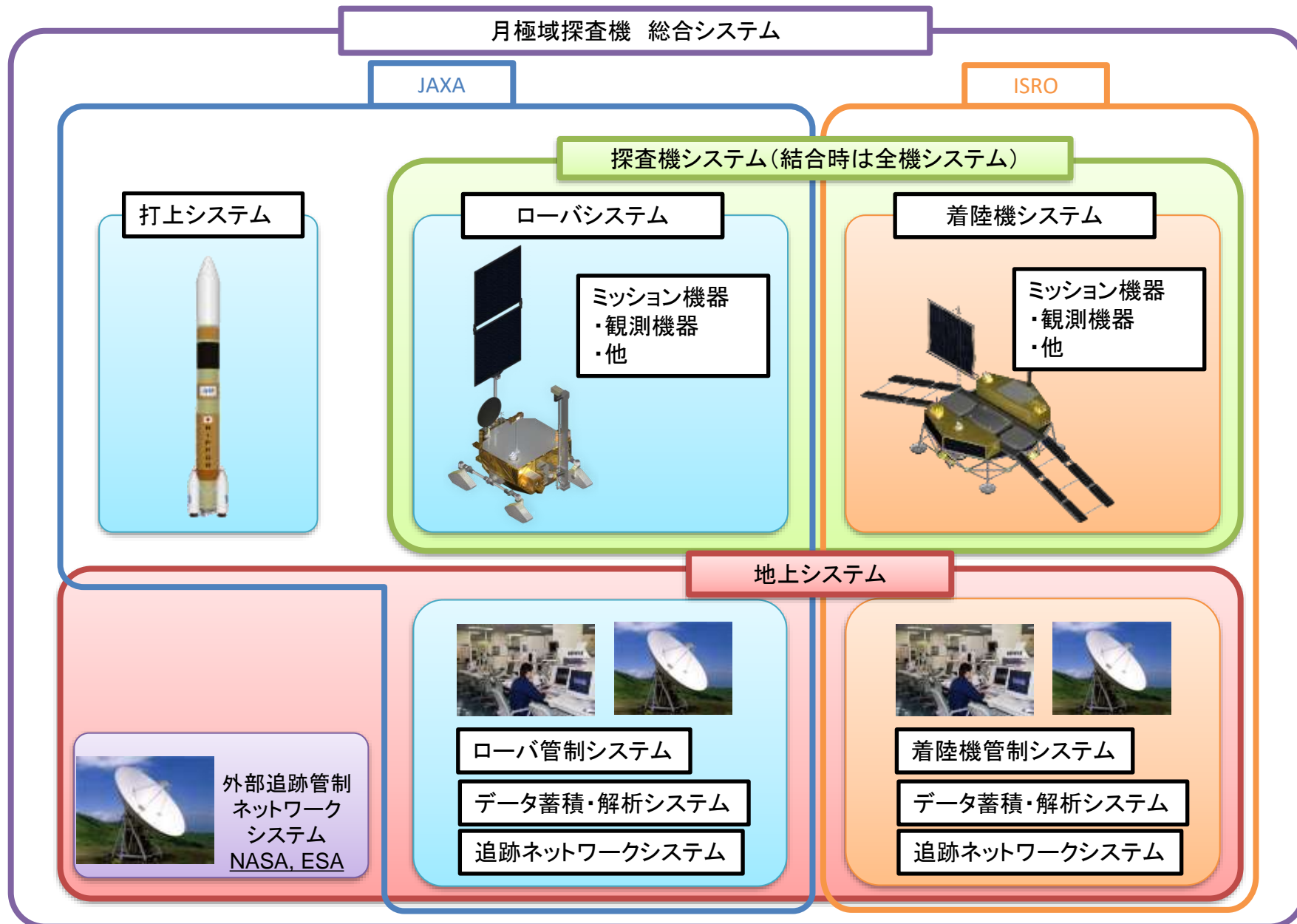
- 着陸機システム
- ローバ搭載観測機器
- 地上システム

NASA (米国)

- ローバ搭載観測機器
- 追跡ネットワーク

ESA (欧州)

- ローバ搭載観測機器
- 追跡ネットワーク

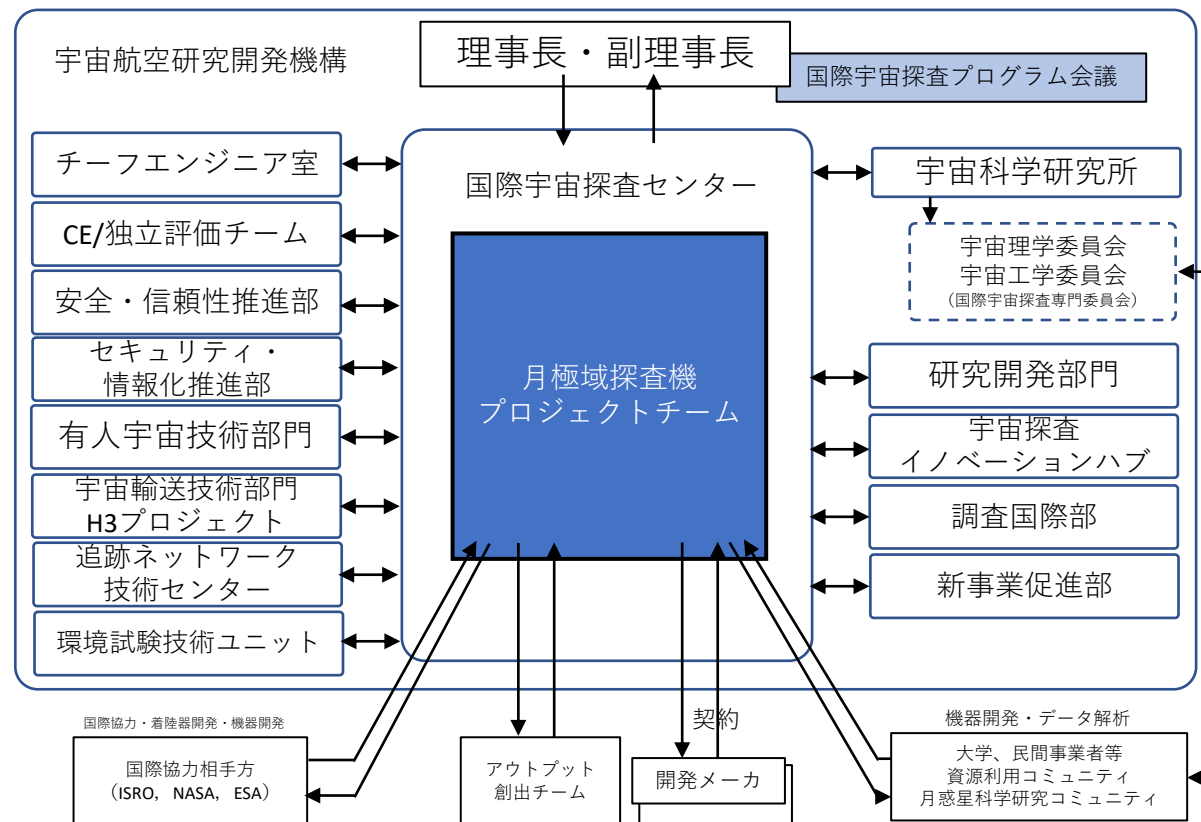


3. LUPEXの開発計画

3.1 プロジェクト実施体制(1/3) ～全体～

• LUPEX実施体制の特徴は以下のとおり。

- ① プロジェクトを以下の2組織で遂行する。
 - 1) JAXA内の実行組織としてのプロジェクト
 - 2) 資源データ作成を行う「アウトプット創出チーム」
JAXA内外の以下から構成される。
 - JAXA内他部門、大学、研究機関、海外機関
 - 民間事業者、資源利用コミュニティ、月惑星科学研究コミュニティ
- ② 着陸機とI/Fを持つローバ、海外品を含む多数の観測機器、複雑な運用などプロジェクトの特性を考慮し、プロジェクト遂行の主要メンバをプロジェクトチームに集約し、重心を置いた構成とする。
- ③ JAXA内他組織や、国際協力機関、大学・民間事業者研究機関、開発メーカー等の外部機関との協力体制を構築する。
- ④ グループC国であるインドとの輸出管理制約の中で開発を進めるため、セキュリティ・情報化推進部、調査国際部等と協力する。
 - マネジメント層・担当間での定期的な会合に加え、調査国際部や経営層レベル経由での働きかけも適宜行うなど重層的に対応する。
- ⑤ 信頼性・品質保証標準で求めている事項を主体的に実行、フォローするために、安全・信頼性推進部と協力する。



3.1 プロジェクト実施体制(2/3) ～企業～

- LUPEX開発には多くの非宇宙産業界の企業も参加しており(下表参照)、これら企業が月探査開発・運用を経験し知識を深めることで以降の月探査へも参加でき、宇宙産業界の裾野を広げる効果も期待できる。

凡例: 非宇宙産業界の企業

企業名	サブシステム名
ローバシステム	
三菱重工業	全体システム開発
	航法誘導系
	構造・機構系
	走行系
	熱制御系
	作業系
川崎重工業	航法誘導系
多摩川精機	航法誘導系
	通信系
	熱制御系
	作業系
	走行系
三菱プレジジョン	航法誘導系
日本電気	通信系
	データ処理系
	電源系
	熱制御系
NECスペーステクノロジー	電源系
新明和工業	熱制御系
	走行系
	作業系

企業名	サブシステム名
水資源分析計 (REIWA)	
千代田化工建設	インテグレーション設計
	熱重量分析計
	共通エレキ
	微量水分計
ウェルリサーチ	ハンドリング部
A & D	熱重量分析計
テクノソルバ	熱重量分析計
Ysdesign	質量分析計
明星電気	質量分析計
ホリゾン	質量分析計
トプコン	微量水分計
コスモ	微量水分計
日本航空電子工業	微量水分計
タナビキ	共通エレキ部
近赤外画像分光装置 (ALIS)	
明星電気	インテグレーション装置
センテンシア	光学設計・製造・試験
ナルックス	グリズム (回折格子)
ソニーグループ	カメラ素子
地上システム	
宇宙技術開発 (S E D)	地上システム
イー・イー・エス	試験設備運転支援
富士通	軌道決定・測位

3.1 プロジェクト実施体制(3/3) ～サイエンス・コミュニティ～

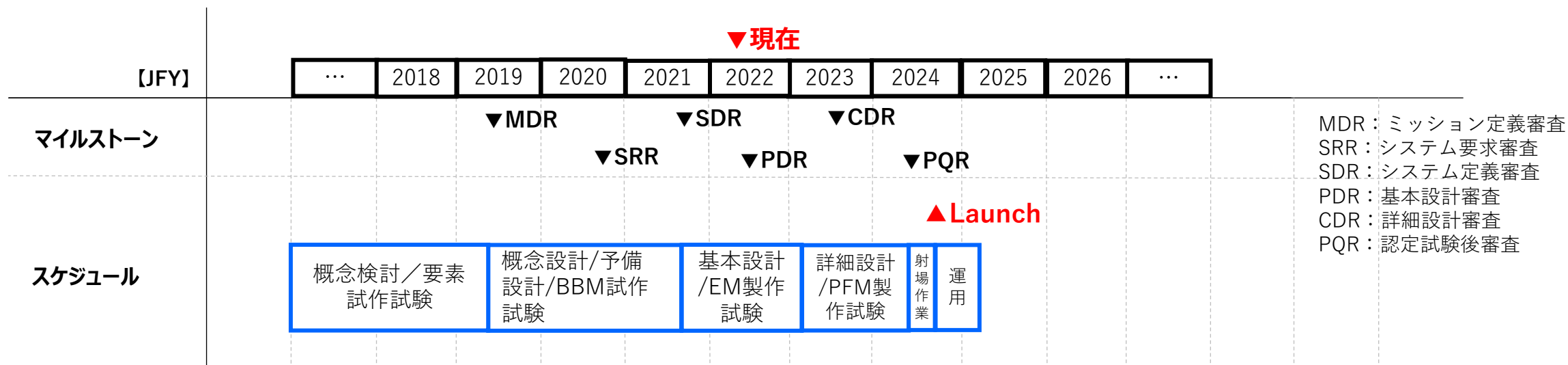
- アウトプット創出チーム(ODCT)には、多くの大学、研究機関等が参加している。
これら組織とはサブシステム毎に共同研究契約を締結し、ODCTでの役割と責任分担を明確にした上で活動している。

サイエンスコミュニティ	システム名	サブシステム名	責任所掌／担当作業
テラメカ研究会	ローバシステム	テラメカ	TBD
東京大学	水資源分析計	TRITON	TRITON提案チーム／イオン源
	地中レーダ	GPR	GPR解析・技術支援／ODCT
	ODCT		ODCT運営
産業総合研究所	水資源分析計	TRITON	TRITON提案チーム／アナライザ部
	水資源分析計	ADORE	ADORE提案者チーム、ODCT
大阪大学	水資源分析計	ADORE	ADORE提案者チーム／全体管理、ODCT
	近赤外画像分光装置	ALIS	ALIS提案者チーム／全体管理／ODCT
理化学研究所	水資源分析計	ADORE	ADORE提案者チーム、ODCT
	中性子検出器	NS	NS解析・技術支援／ODCT
茨城大学	水資源分析計	ADORE	ADORE提案者チーム、 ODCT/REIWA研究者リード
東北大学	地中レーダ	GPR	GPR解析・技術支援／ODCT
聖マリアンナ医科大学	中性子検出器	NS	NS解析・技術支援／ODCT
会津大学	ODCT		ODCT運営

3.2 資金計画及びスケジュール

JAXA内の審査会にて資金計画及びスケジュールの妥当性を確認した結果を受け、プロジェクトでは以下の通りに開発を進める。

- **資金計画:** LUPEXの総開発費(運用費含まず)は、248億円とする。
- **スケジュール:** 最速2025年1月打ち上げを目標に開発を進める(下図)。
但し、ISRO開発計画とも同期しつつ、適切なスケジュール確保を進める。
 - ・ 計画にあたって考慮すべき事項:
 - ① 政策要求(有人月面着陸への成果提供): 初回の有人着陸(ARTEMIS-3)に向けた成果提供のためには、2024年度末(2025年1月頃)までの打ち上げが必要。
 - ② ISRO開発計画の進捗状況: コロナによる開発遅延が発生し、2024年の種子島入着は厳しい状況。引き続き調整を進めている。



3.3 リスクと対応策(1/2)

リスク管理計画に基づき、リスクの識別、対処計画、縮減を進めた。開発開始前にクリティカル技術の実現性を見通すことで、開発開始後の課題顕在化、費用上昇を抑制する観点でリスク低減を図っている。

■リスク識別レベル定義

	発生の可能性 大	発生の可能性 中	発生の可能性 小
発生の影響度 大	大	大	中
発生の影響度 中	大	中	小
発生の影響度 小	中	小	小

■管理しているリスクのうち、経営レベルでも把握すべき事項の識別結果と対応策を以下に示す。

分類	リスク項目	リスクの内容	発生の可能性	発生の影響度	リスクレベル	処置方針、処置状況及び処置結果	
目的	ミッション目標の意義の低下	先行する他国の月着陸探査により、ミッション目標の意義が低下する。	中	大	大	監視	(処置方針) 継続的に他国の状況を把握・分析し、ミッション目標の意義を確認する。 (処置状況) SDR時点において、VIPER等、他国の月極域探査ミッションとのベンチマークを行い、本ミッションの特徴からミッションの意義・価値は低下している状態にはない点を分析・確認。
着陸機	着陸機の開発遅延	着陸機の開発遅延により、宇宙機としての統合・試験が遅れシステム全体の開発が遅延する。	小	大	中	緩和	(処置方針) ISROとの国際協定合意(IA)に基づき、開発段階から国際協力機関との情報共有を密に行う。 開発遅延時には、ISRO側および国内ステークホルダと協議を行い、一定期間ローバを保管する対策などを検討する。

3.3 リスクと対応策(2/2)

■ 経営レベルでも把握すべき事項の識別結果と対応策(続き)

分類	リスク項目	リスクの内容	発生の可能性	発生の影響度	リスクレベル	処置方針、処置状況及び処置結果	
先行ミッション	Chandrayaan-3の不具合・打上げ遅延	Chandrayaan-3の不具合・打上げ遅延により、そのヘリテージを活用する予定の着陸機の開発に影響がでる。	中	中	中	監視	<p>(処置方針) Chandrayaan-3(Ch-3)の開発状況についてISROとの情報共有を密に行い、不具合・打上げ遅延時の着陸機の開発への影響、ミッションスケジュールへの影響の有無を評価する。</p> <p>(処置状況) 本件をISRO要求の変更に係るリスクとして識別し、コンティンジェンシ予備費を設定した。現状、2022年第3四半期の打上が予定されており、2022年9月実施のISROとのJoint PDRでその結果を本ミッションに取り込む予定である。</p>
国際連携	新型コロナウイルスの影響	新型コロナウイルスの影響により、部品の輸出入の遅延などスケジュールに影響が生じる。また、ISROとのface to faceの会議が開催できないことによりコミュニケーションに支障が生じる。	中	中	中	緩和・監視	<p>(処置方針) 輸出入管理に対する手続き等についてガイドラインを作成し、調達リードタイムを維持できるようにプロセスの順守と適切な監視を行う。</p> <p>ISROとのコミュニケーションについては、現地にリエゾンを派遣して円滑にコミュニケーションを取る方法なども視野に入れ、新型コロナウイルスの終息状況を見つつ判断する。</p> <p>(処置状況) コロナ禍に即したコミュニケーション管理方法を検討し、オンライン会議を中心にISRO要望を確認、Joint Mission Implementation Plan (JMIP)に取り込んだ。以降、この管理方法でプロジェクトを推進し、必要に応じて見直しを行う。</p>

4. プロジェクト移行審査のまとめ

4.1 審査の結論

- 本プロジェクトは、世界に先駆けて月面における水の重量濃度と水平垂直分布の測定を直接行うことで、米国アルテミス計画における有人宇宙活動の活動領域を選定するためのデータを提供することができ、更にはその後の民間を含む月面活動の展開に重要な情報をもたらすことから、国際宇宙探査シナリオの実現における道程を決める大きな分岐点となるプロジェクトである。加えて、日印協力の下に実施することから、外交上の重要国との関係強化を進めるとともに、米国、欧州以外との宇宙協力という点で多様性を確保することにも意義を持つ。
- JAXAプロジェクトマネジメント規程・実施要領に従ってプロジェクト移行審査を実施し、プロジェクト実行フェーズへの移行可否について確認した。審査項目を以下に示す。
 1. プロジェクト計画の妥当性(目標、成功基準、体制、資金計画、開発スケジュール、調達管理計画など)
 2. リスク識別・対処方策の妥当性
 3. 技術リスクの低減
 4. 人材育成方針の妥当性
 5. レッスンズラーンドの取り込み状況の妥当性
 6. 教訓・知見の妥当性
- 審査結果を以下に示す。
上記の審査項目に沿って審査した結果、要処置事項を確実に処置することを条件に、**プロジェクト実行段階への移行は妥当と判断した。**

4.2 外部評価結果

外部評価委員(シー・エス・ピー・ジャパン株式会社/金山委員)

1. 概要

月極域探査機(LUPEX)のプロジェクト移行にあたって、以下の観点から外部評価を行った。

2. 評価の観点

「本プロジェクトに取り組む意義」を以下の視点から評価する。

- ・ 国際宇宙探査シナリオにおける本プロジェクトの位置づけ、重要性
- ・ 国際的産業競争力の観点、国際プレゼンスの観点

3. 評価結果

以下のとおり、**本プロジェクトは取り組む意義があると評価する。**

■ 国際宇宙探査シナリオにおける本プロジェクトの位置づけ、重要性

- ・ 日本のセンサ技術の強みを活かし、月面での水資源探査から直接定量分析までを行う世界に先駆けたミッションであること、将来の有人宇宙探査の本格化に向けて、重力天体表面探査技術の発展シナリオを有している点を評価する。
- ・ 国際協力の観点では、自国でコントロールできない側面があるため、スケジュールが遅延するリスクがある。チャンドラヤーン3号など、プロジェクト以外の協力相手国の関連動向などにも留意しながら、引き続き、本リスクを適切に管理していくことが肝要である。

■ 国際的産業競争力の観点

- ・ 国やJAXAが主導して水資源探査を行い、得られたデータを民間とも共有する取り組みは、月面活動への民間参入の呼び水となるもので重要。非宇宙サプライヤの参入などの拡がりを期待したい。そのためにも、アウトカム目標の達成に向け、この呼び水効果を最大化できるよう、前広に民間との連携を始める等の活動を進めて頂きたい。
- ・ 民間が出来る部分は民間に任せ、国やJAXAは民間が出来ない部分に注力するなどの役割分担で、効率的な循環が得られると良い。
- ・ 将来的には月面輸送は民間からのサービス調達とし、国・JAXAは重要案件に資金を活用するなど考えらえる。

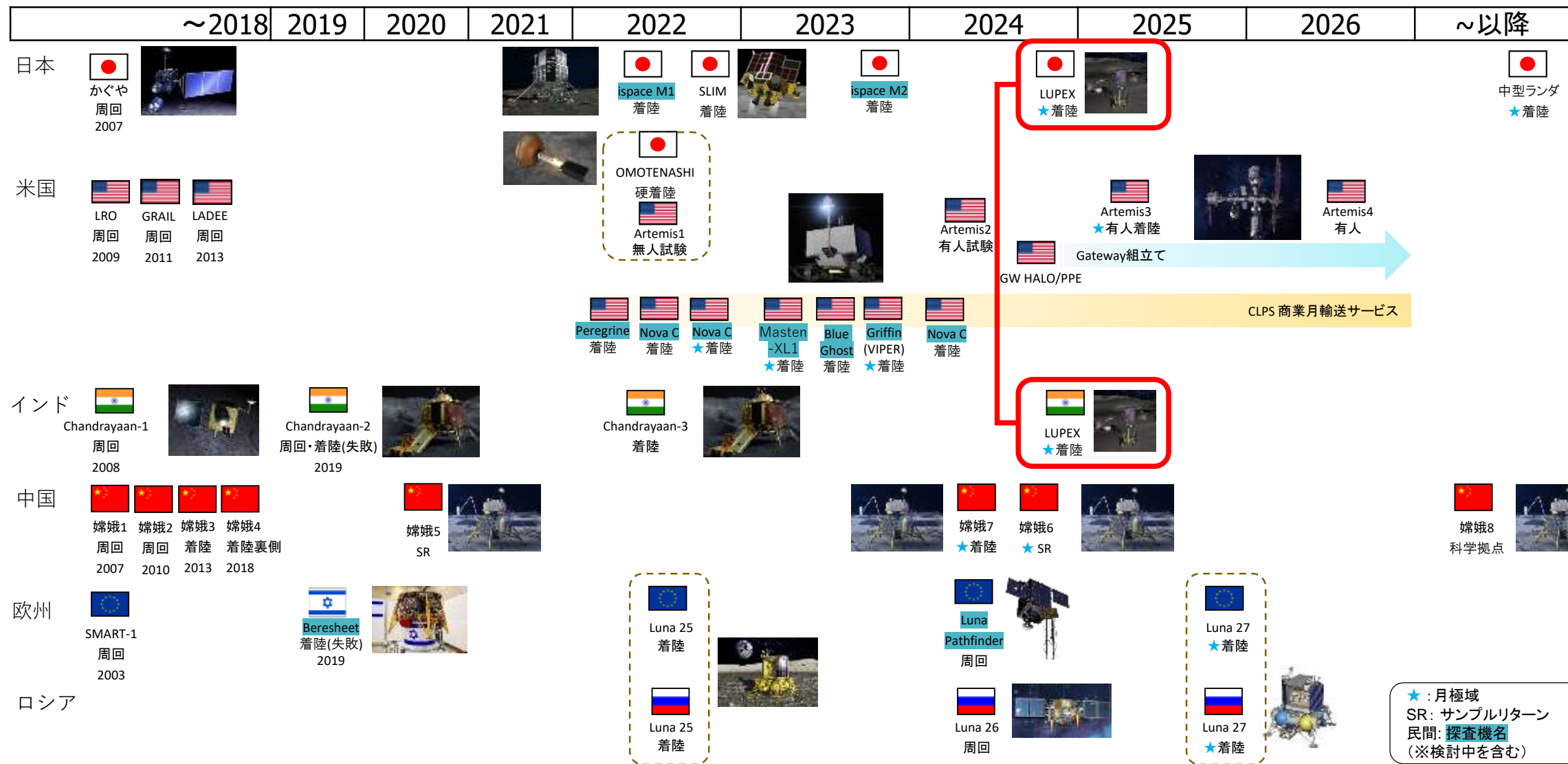
■ 国際プレゼンスの観点

- ・ 国際動向に照らし、2024～2025年に本ミッションを行うことは、月面における国際プレゼンスの確保に留まらず、月における活動拠点の確保(権益確保の観点)で意義が高い。
- ・ センサ技術や世界初の月面での直接定量分析など、本プロジェクトの強みを国際プレゼンス向上に生かしていくことは勿論のこと、日本全体が盛り上がるエポックメイキングなミッションとして、国民から大きな後押しが得られるよう、効果的なアウトリーチ活動を進めていくことを期待したい。

以降、別紙

月探査をめぐる各国の動向

- 2020年代に各国とも月極域の水氷資源の探査を目指している。
- 主要国から大きく遅れることなく月極域への着陸探査の実現が求められる。



ミッション要求(詳細レベル)(1/2) ~ミッションの目的・目標の全体像~

ミッション目標	月極域探査ミッションは、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とともに、重力天体表面探査技術を確認することを目標とする。						
アウトカム目標	<p>(1) 将来の探査シナリオや月を利用した活動計画の検討において、月極域の水に関するデータを用いて、月極域における水の存在量や資源利用可能性を確認し、月面での現地での水の推進燃料としての利用も含めたアーキテクチャのトレードオフを可能とすることで、競争力のある計画を立案できるようになる。【JAXA国際宇宙探査センター】</p> <p>(2) 将来の探査シナリオや月を利用した活動計画に向けた、水資源利用技術の開発において、月極域の水に関するデータを用いて、月極域における水の存在量や資源利用可能性を確認し、水の存在形態に対応して月面の水の本格利用のために必要な技術を識別することで、競争力のある技術開発やその効率化を実現する。【JAXA国際宇宙探査センター】</p> <p>(3) 地上では得られない月面での実証・月面の環境の影響の評価を含む技術・工学情報を得ることで、重力天体表面探査技術を確認し、月極域での活動範囲の拡大を図ることができる。【JAXA国際宇宙探査センター】</p> <p>(4) 地上では得られない月面での水資源や地質等の情報に基づいて、資源利用や拠点建設を行うシステムの設計を可能とすることで、民間企業等の月面利用・資源利用の活動を活発化する。【資源利用・月面拠点利用を行う民間産業】</p> <p>(5) 非常に限られた領域しかない、エネルギーの確保の観点から優位な月極域の長期日照地点に活動拠点を確保することで、民間企業を含め、月を利用した活動の場や権益を国全体として確保し、国際プレゼンスを発揮することができる。【国民・民間企業含めた国全体】</p>						
ミッション要求	MR-1: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し、将来の国際宇宙探査計画に反映する。			MR-2:重力天体表面探査技術を確認する。			
プロジェクトの大目標	1.月の水を将来の探査活動に利用可能かどうかを評価するために、水の量と質に関するデータを取得する。		2.月の水の濃集メカニズムを理解し、月極域付近における水の量と質を推定し、水の濃集場所を特定するためのデータを取得する。	3.月極域の着陸地点の特性を理解するために、揮発性物質を含む表層の構成物の組成データを取得する。		4.重力天体表面探査技術の獲得に資する技術実証および技術情報の取得を行う。	
プロジェクトの目標	A.利用可能な観測データから水の存在が予想されている地点において、その場観測により水(H ₂ O)の量と分布に関するグランドトゥールズデータを取得する。	B.水の状態や形態、その他揮発性物質種の含有量に関する情報を取得し、その場観測を通じて取り扱う準備をすること。	C.含水量と地質的および物理的な条件の相関に関する情報、および月の極域の水の起源に関する情報を取得する。	D.月表層大気揮発性成分(放射性壊変元素)に関する情報を取得する。	E.着陸地点における元素の分布と濃度を決定する。	F.月面での移動技術を実証するとともに、将来の多様な移動技術の獲得に資する情報を取得する。	G.月面での長期滞在(越夜含む)技術を実証するとともに、将来の多様な長期滞在技術の獲得に資する情報を取得する。
目標番号 アウトプット目標	OR-A1 水の存在量をいくつかの地域で0.1wt%精度で直接測定すること。 OR-A2 いくつかの地域で深さ1.5mまで25cm間隔で垂直分布の測定を行うこと。 OR-A3 事前定義した水もしくは水素が存在すると推定される領域について15mの空間分解能でスキャン測定すること。	OR-B1 水素の化学種(H, OH, H ₂ Oなど)、水の存在形態(吸着水、含水鉱物、構造水などとして存在)、および他の化学種(CH ₄ など)を特定し、その量を測定すること。 OR-B2 探査領域の地盤強度と掘削に必要な動力を測定すること。	OR-C1 温度差が大きい場所(永久影領域、温度変動のある寒い領域、長期日照領域、等)で温度と水濃度を計測すること。 OR-C2 同じ場所で(異なる温度条件下で)日中と夜間における月面上の水または他の化学種の表層分圧を測定すること。 OR-C3 地質学および地形学的に異なる地域におけるレゴリスの含水量、鉱物量比、化学組成および宇宙風化度について測定すること。 ※OR-C4はOR-B1に内包される。	OR-D 探査地点における表層大気揮発性成分(放射性壊変元素)の存在指標となる元素の分布を測定すること。	OR-E 探査地点における難揮発性元素や放射性元素の濃度を測定する。	OR-F1 着陸機では直接アクセスできない領域に移動する。 OR-F2 岩石・クレータ分布、斜度、地盤の異なる複数の領域を移動するとともに、設計検証に必要な、滑り率と走行抵抗を求めるためのデータを取得する OR-F3 将来の表面移動探査技術の向上に資するデータを取得する。	OR-G2 月の1日間活動を継続し、環境データ(温度、日照、ダスト)を取得する。 OR-G3 1年間活動を継続する。
	ISRO/JAXA共通			ISRO単独		JAXA単独	

ミッション要求(詳細レベル)(2/2) 観測機器とミッション要求の対応表

観測機器	観測項目
水資源分析計(REIWA) 熱重量分析計(LTGA) 質量分析器(TRITON) 微量水分・同位体分析装置(ADORE) ISRO試料分析機器(ISAP)	A-1) 水の存在量をいくつかの地域で0.1%精度で測定 A-2) いくつかの地域で深さ1.5mまでの垂直分布を測定 B-1) 水素の化学種、水の存在形態を特定 C-1) 温度差の大きい場所で温度と水濃度を計測 C-2) 同じ場所で日中と夜間における月面上の水濃度測定 C-3) 地質学的大きい地形学的に異なる地域におけるレゴリスの含水量、鉍物量比、化学組成および宇宙風化度について測定
近赤外画像分光装置(ALIS)	A-1) 水の存在量をいくつかの地域で0.1%精度で測定 A-2) いくつかの地域で深さ1.5mまでの垂直分布を測定 A-3) 水が存在すると推定される領域のスキャン測定 B-1) 水素の化学種、水の存在形態を特定 C-1) 温度差の大きい場所で温度と水濃度を計測 C-2) 同じ場所で日中と夜間における月面上の水濃度測定 C-3) 地質学的大きい地形学的に異なる地域におけるレゴリスの含水量、鉍物量比、化学組成および宇宙風化度について測定
中性子検出器(NS)	A-3) 水が存在すると推定される領域のスキャン測定 C-1) 温度差の大きい場所で温度と水濃度を計測 C-2) 同じ場所で日中と夜間における月面上の水濃度測定
地中レーダ(GPR)	A-2) いくつかの地域で深さ1.5mまでの垂直分布を測定 A-3) 水が存在すると推定される領域のスキャン測定 B-2) 探査領域の地盤強度測定
表層分圧計(EMS-L)	C-1) 温度差の大きい場所で温度と水濃度を計測 C-2) 同じ場所で日中と夜間における月面上の水または他の化学種の表層分圧測定

成功基準(詳細レベル) ～アウトプット目標と対応する観測機器・機能～

- 各目標はすべて複数の機器で観測可能で、かつ海外提供機器のみにならないよう配慮

サクセスレベル	アウトプット目標(簡略版)	達成の判定根拠とする項目	観測機器・機能 ※海外提供機器
ミニマム	水もしくは水素の測定	・15m以内の空間分解能	中性子検出器による水素測定※ 近赤外画像分光装置による水の表層測定(分布)
フル	水の直接測定	・0.1wt%の精度での測定	水資源分析計・熱重量測定部による温度と質量ロス情報 水資源分析計・微量水分計部による水濃度情報 近赤外画像分光装置による水の表層分布
フル	水の垂直分布測定	・表層付近～1.5m程度の複数の深さでの観測	水資源分析計・熱重量測定部による温度と質量ロス情報 水資源分析計・微量水分計部による水濃度情報 地中レーダによる地下の水分布※
フル	水の水平分布測定	・15mの空間分解能でスキャン測定	中性子検出器による水素分布※ 近赤外画像分光装置による水の表層分布 地中レーダによる地下の水分布※
フル	水素形態/化学種の特定	・OH/H ₂ Oの識別 ・CO ₂ までの質量数の気体の化学種同定と(水との相対)量の測定	水資源分析計・熱重量測定部による温度と質量ロス情報 水資源分析計・質量分析部による化学種情報 近赤外画像分光装置によるOH/H ₂ O情報
フル	地盤強度の計測	・1.5m深さまでの測定	掘削システム(バス機器:作業系の一部) 地中レーダによる地下密度※
フル	大きな温度差条件での計測	・0.1wt%の精度での水測定 ・質量数CO ₂ までの化学種同定と(水との相対)濃度測定 ・水の昇華温度(約110K)より低い温度と高い温度(±10K程度以上)での測定	表層分圧計※ 表層温度計(バス機器:熱制御系の一部) (上記に加えて中性子検出器※,分光カメラ,水資源分析計・熱重量分析部・微量水分計部・質量分析部,地中レーダ※)
エクストラ	水濃度の広域計測と詳細垂直分布測定	約250mを越えて離れた複数の場所での以下の測定 ・0.1wt%の精度での水測定 ・深さ1.5mまで25cm間隔で垂直分布の測定 ・15mの空間分解能でスキャン測定	水資源分析計・熱重量測定部による温度と質量ロス情報 水資源分析計・微量水分計部による水濃度情報 中性子検出器による水素分布※ 近赤外画像分光装置による水の表層分布 地中レーダによる地下の水分布※
エクストラ	異なる日照条件での計測	・同じ場所で(異なる温度条件下で)日中と夜間に上記の測定	同上
エクストラ	異なる地質地形での計測	・0.1wt%の精度での水測定 ・鉍物量比測定(10vol.%程度精度) ・化学組成(Fe/Mg/Ca比)測定(10%精度) ・宇宙風化度(相対)測定	水資源分析計・熱重量測定部による温度と質量ロス情報 水資源分析計・微量水分計部による水濃度情報 水資源分析計・質量分析部による化学種情報 近赤外画像分光装置による岩石・鉍物情報, OH/H ₂ O情報

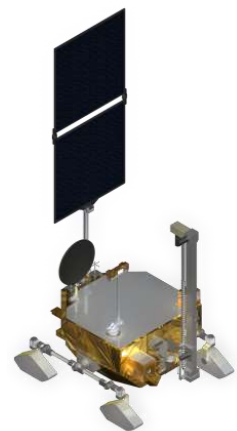
LUPEXアピールポイント(1/6)

(a) ミッション意義・価値の再確認(競争力を維持するための目標値)

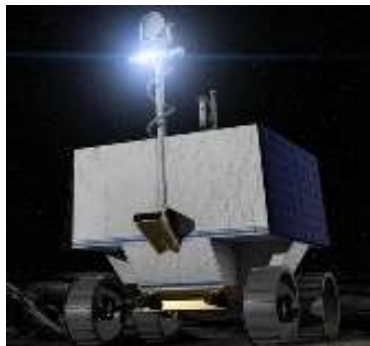
- 現時点で情報が公開されている2026年までに予定される各国の水資源探査機のうち、掘削系を持つローバとして、LUPEXと米国の月面探査ローバ(VIPER)の定性的、定量的比較を下表に示す。
LUPEXは水資源の含水率の水平垂直分布の直接計測においてVIPERに対して競争力(優位性)を有する。
- 各国の月極域探査計画の最新状況を踏まえても、他国に大きく遅れなければLUPEX意義・価値の維持が可能である。

ミッションの価値・特徴

観測: 水の重量濃度の水平垂直分布の直接計測、永久影内探査
 政策: 政府レベルでインドとの関係を重視、アルテミス計画との連携
 戦略: 将来の拠点としての長期日照領域の確保
 技術: 踏破性が高く、原子力を使わずに長期滞在可能なローバ
 科学: 水起源の同定に必要な、D/H比の計測に目途
 民間: 探査ハブの成果を活用、民間とのデータの共有



LUPEX ローバ



VIPER

表. LUPEX・VIPERの定性的、定量的性能比較

項目	日本/インド	米国
ミッション名称	LUPEX	VIPER (*1)
打上年度	2024年度	Late 2023 by CLPS
重量濃度	直接測定 (0.1wt%精度)	間接的な推定のみ
分析環境	閉鎖系での定量分析 (高精度な収率計算が可能)	開放系での簡易測定
ガス抽出方法	500Kまでの能動的加熱による ガス抽出	太陽光加熱による ガス蒸発(表層のみ)
永久影内	エクストラで探査予定	ノミナルで探査予定
垂直分解能	垂直分解能 3cm未満	掘削時の排土が混ざる
同位体計測	3つの独立した手法で計測実施	質量分析のみ
月面滞在期間	着陸後3.5ヶ月、 エクストラで1年	100日

(*1) Volatiles Investigating Polar Exploration Rover : VIPER

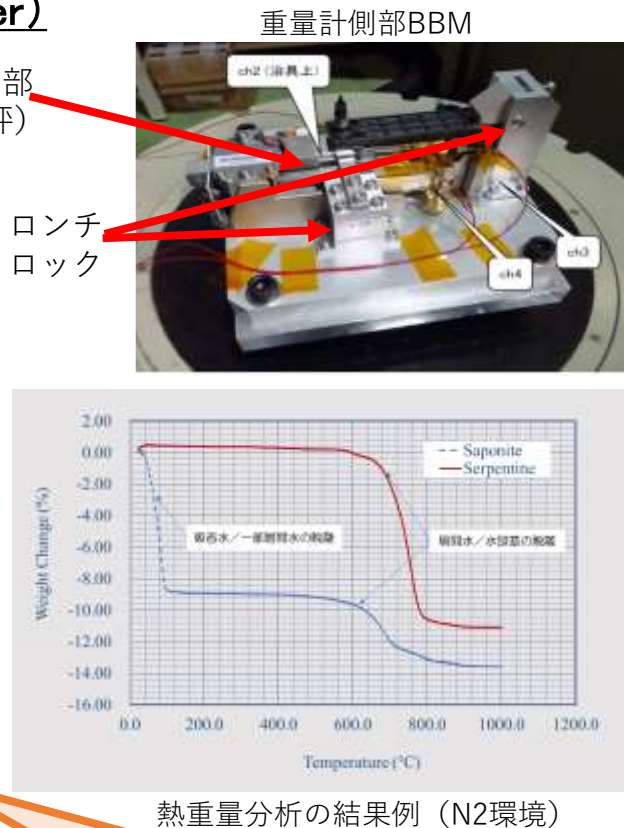
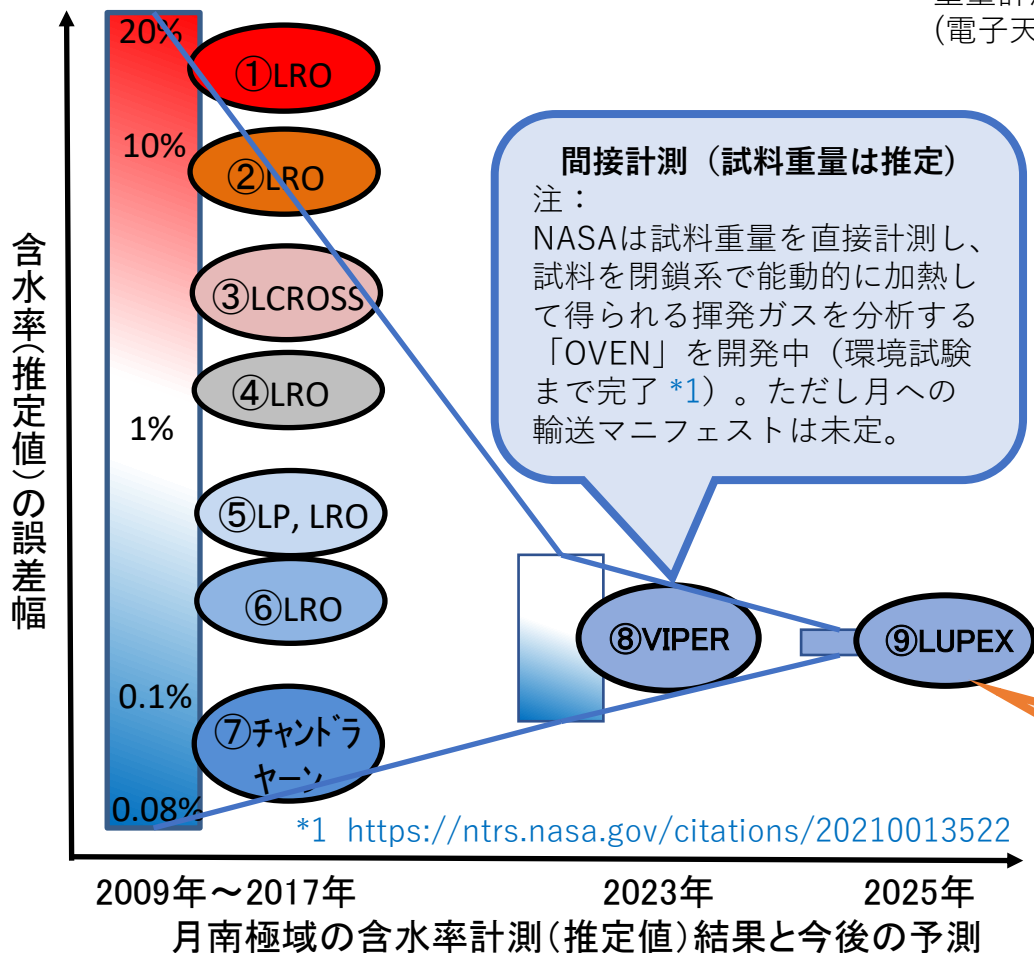
LUPEXアピールポイント(2/6)

(b)「キー技術」のベンチマークと課題解決策

➤ 含水率の直接計測

閉鎖系での熱重量分析を用いた含水率の直接計測と分子量・分子種の特定 **世界初**

熱重量分析計(LTGA: Lunar Thermogravimetric Analyzer)



- 目標達成のための課題
 - 1/6Gで6g質量の試料中の0.1wt%を測定できるよう、 $9.8 \times 10^{-6}N$ より高精度の重量計測能力を持たせる必要がある。
- 課題解決策
 - 含水率、分子量、分子種を一連計測する統合計測装置化
 - 国産電子天秤の宇宙化(左写真)
- 工夫した点(アピールポイント)
 - 揮発ガス総量、含水量、水の存在形態(氷、吸着水等)から「水の可用性」を判定。
 - JAXA探査ハブの「ガス中微量水分計の小型・軽量・ロバスト化技術の研究」の成果を応用した手法の採用による極微量水分量の計測。

直接計測 (試料重量も計測)
月有人探査5回のLEO打上げ質量を現地推薬製造有無で比較した場合、損益分岐点が含水率0.5wt%前後のため、0.1wt%精度で測定。

諸説紛々だった含水率を高精度に求め、月面推薬製造プラントの規模を決める！

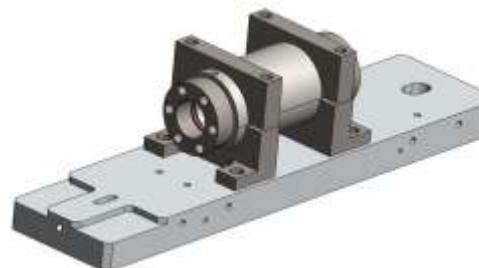
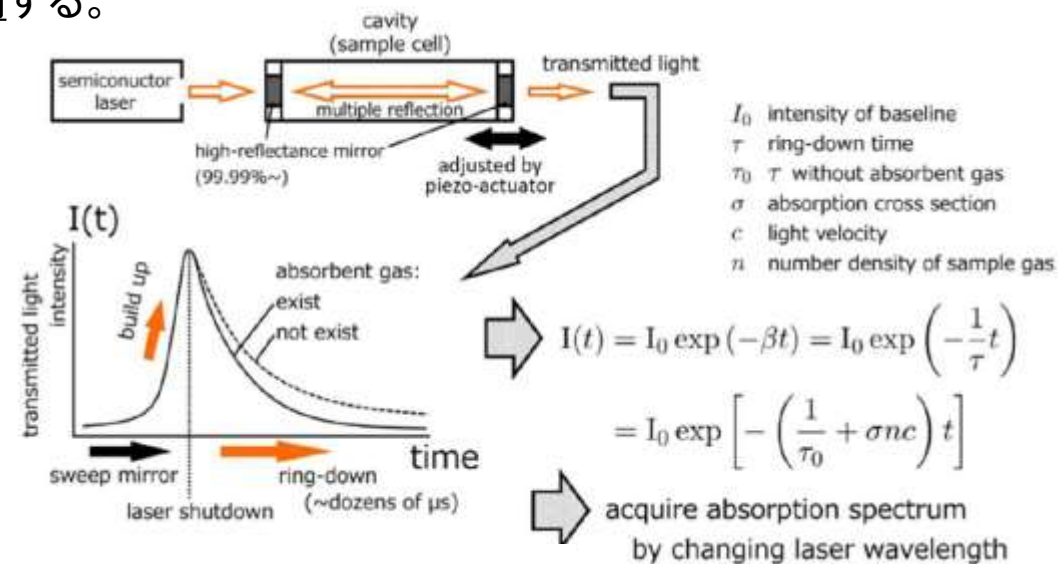
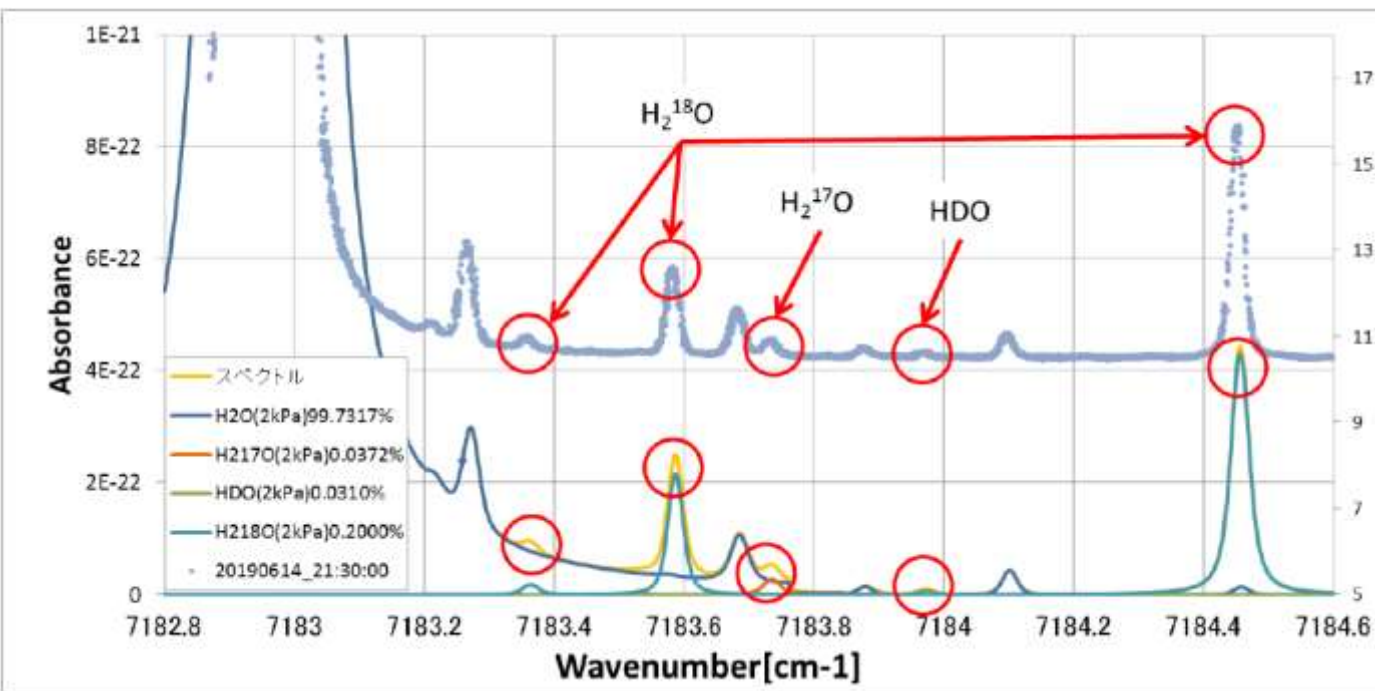
LUPEXアピールポイント(3/6)

(b)「キー技術」のベンチマークと課題解決策(続き)

➤ 含水率の直接計測 閉鎖系での熱重量分析を用いた含水率の直接計測と分子量・分子種の特定 **世界初**

微量水分計(ADORE: Aquatic Detector using Optical Resonance)

キャビティリングダウン(CRDS)方式により月面物質の加熱により生じた揮発ガス中の水分子の同定、定量および同位体分析を行う。2枚の高反射率鏡を両端に備えたセル内に水蒸気ガスを入れ、レーザー光を照射・共振させ、セルから漏れる光の強度減衰を測定することで、セル内の微量水分量(10ppb)と同位体比(H/D、¹⁶O/¹⁸O)を同時計測する。



CRDS方式の原理(上図)とCRDSセルモデル(左図)。米火星探査機(TDLAS方式)の約1/4のサイズで小型軽量。

波長1.39 μm 5cm光学セルCRDSによる水スペクトル評価。
試験水の同位体は質量分析計で較正。圧力2000Pa、測定温度28.3 ± 0.31°C。

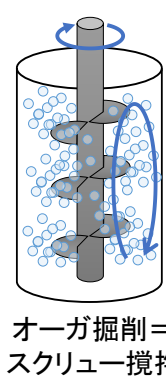
LUPEXアピールポイント(4/6)

(b)「キー技術」のベンチマークと課題解決策(続き)

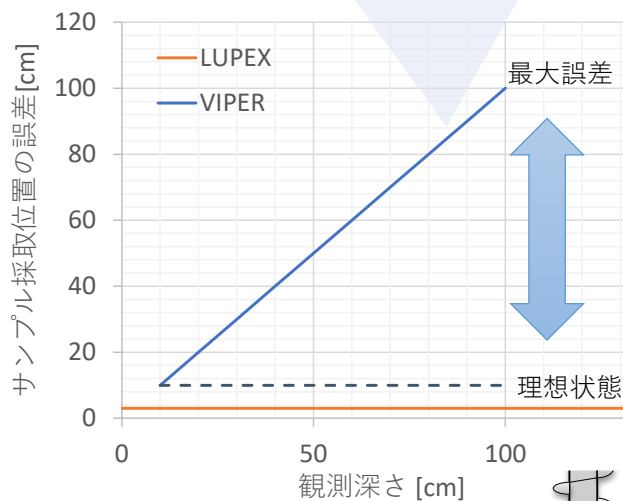
➤ 高精度な垂直探査

掘削排土の光学観測方式では得られない**試料の局所(誤差3cm未満)採取**世界初

最小10cm刻みで排土を表面に取り出す。掘削時、観測時に混ざるため誤差が大きい(下図、左図参照)。



オーガ掘削＝スクリュー攪拌



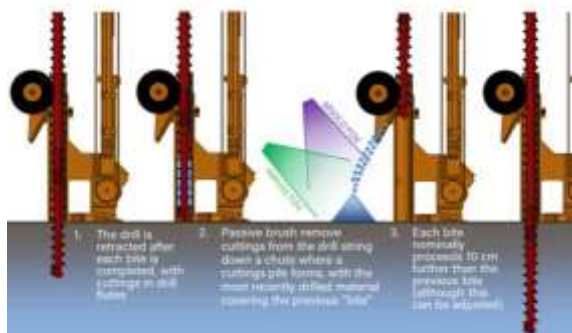
計画では25cm刻みで3cmのクラムにより採取。ただし、深さは任意に選定可能。



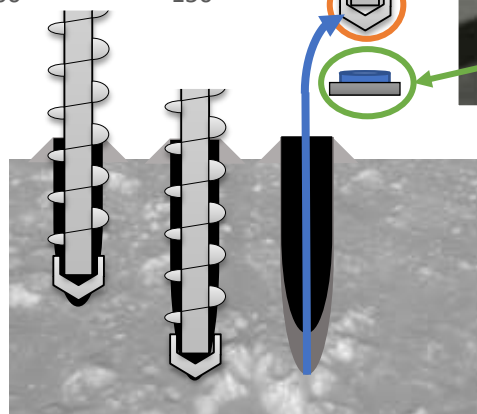
クラム



サンプルコンテナ



VIPER: Bite sampling approach



LUPEX: 任意深さでの局所採取

- 目標達成のための課題
 - ・ 任意深さでの局所採取が必要。
- 課題解決策
 - ・ 実績ある地上技術を生かして、月地盤に適した低リソースで信頼性の高い掘削・採取システムを構築する。
- 工夫した点(アピールポイント)
 - ・ 任意深さに確実に到達可能な排土性の良い掘削方式: 地上で主流のアースオーガ方式
 - ・ シンプルな採取方式: 地上で実績のあるクラムシェル(clamshell=貝殻)方式(探査ハブの枠組みで得られた建機技術の宇宙への応用)。

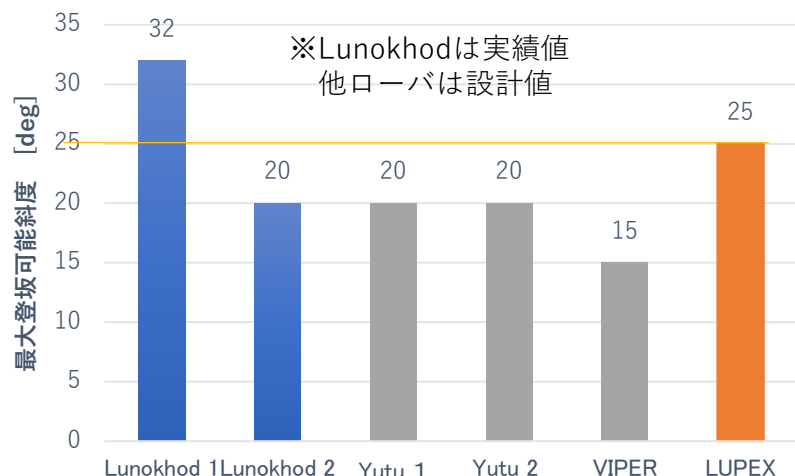


©株式会社タグチ工業

LUPEXアピールポイント(5/6)

(b)「キー技術」のベンチマークと課題解決策(続き)

➤ 多様な環境の水平探査 月極地の複雑な地形に対応した高い走破性・登坂性を有する4脚クローラ方式**世界初**



←「広域調査に必要な斜度は25度」
(詳細は次頁参照)



走行系BBMの
走行実験
模擬砂で軟弱
地盤を模擬

図1. 無人月面ローバの登坂性ベンチマーク

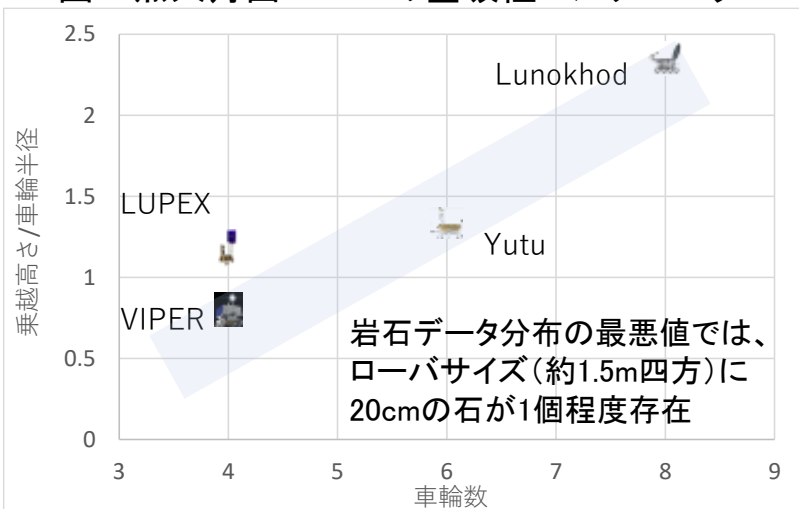
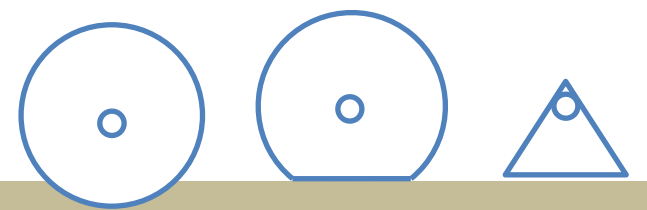


図2. 無人月面ローバの乗越性ベンチマーク



剛性車輪 弾性車輪 クローラ

- クローラ(履帯)は、産業用メッシュを使うなどの工夫で軽量化し、同一性能の車輪と比較して質量は同程度である(上図参照)。電力も含めたリソースはシステムの成立性上の課題とはなっていない。
- 機構上の課題である履帯外れと噛み込みは、地上技術(外れ止めと逃げを設けた設計)を参考に対策済みで、近年の試験では全く不具合は生じていない。防塵は研開・機構Gのシールを採用している。
- 模擬砂真空環境下で1脚の10km走行を達成している。

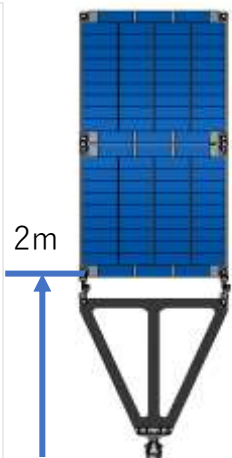
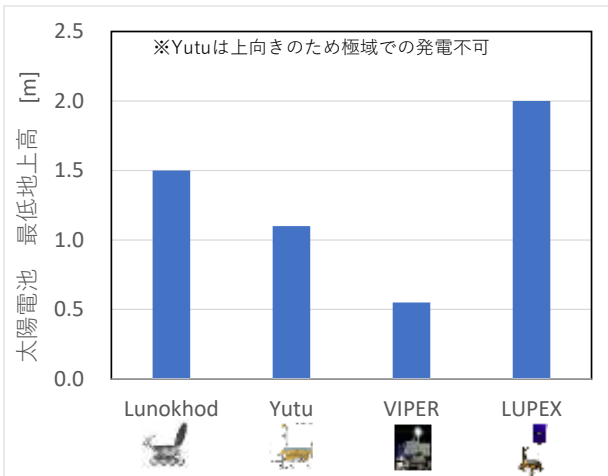
- 目標達成のための課題
 - 月極域の険しい地形を踏破するための表面移動技術の実現が必要。
- 課題解決策
 - 月極域の山岳地帯の高斜度に対応可能な走行方式やサスペンションを構築する。
- 工夫した点(アピールポイント)
 - 高斜度に対応可能な走行方式：
独立操舵機構を装備した4脚履帯方式
 - サスペンション：
ロッカー機構と揺動軸の組み合わせで、
4脚で6輪走行系と同等の重量と障害物乗越え性能

LUPEXアピールポイント(6/6)

(b)「キー技術」のベンチマークと課題解決策(続き)

➤ サバイバビリティ

薄膜太陽電池と高性能バッテリーセルによる長時間の非日照領域観測や越夜**世界最高水準**



月極域は日照が水平方向のため、2mまでは局地的な地形の影響を受け影が多い。SAPが高いほど連続日照も長い。
例)

2m: 216日/年(14%増)
1m: 189日/年 ↑

- 目標達成のための課題
 - 日照や温度条件の厳しい月極域探査において、長期の非日照領域観測や越夜を原子力に頼らずに実現することが必要。

- 課題解決策
 - 我が国の得意とするエネルギー技術を生かして、高性能・軽量なエネルギー供給システムを構築する。

- 工夫した点(アピールポイント)
 - 月探査史上最「高」のSAP
 - 軽量太陽電池パドル機構を応用し、確実な日照が得られかつ、低重心で走行可能なタワー型SAPを開発
 - 超広動作温度範囲・超高エネルギー密度電池
 - 信頼性の高いJAXAの宇宙用電池を基に、エネルギー密度を40%向上、使用温度範囲を2.5倍に



低軌道衛星のように90分に1回の充放電は不要なため、電極材料・構造を工夫し、エネルギー密度と使用温度範囲を向上する設計に。

