



資料4



月極域探査機 (LUPEX) について ～開発近況～

2025年8月6日

宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

月極域探査機プロジェクトチーム

麻生 大

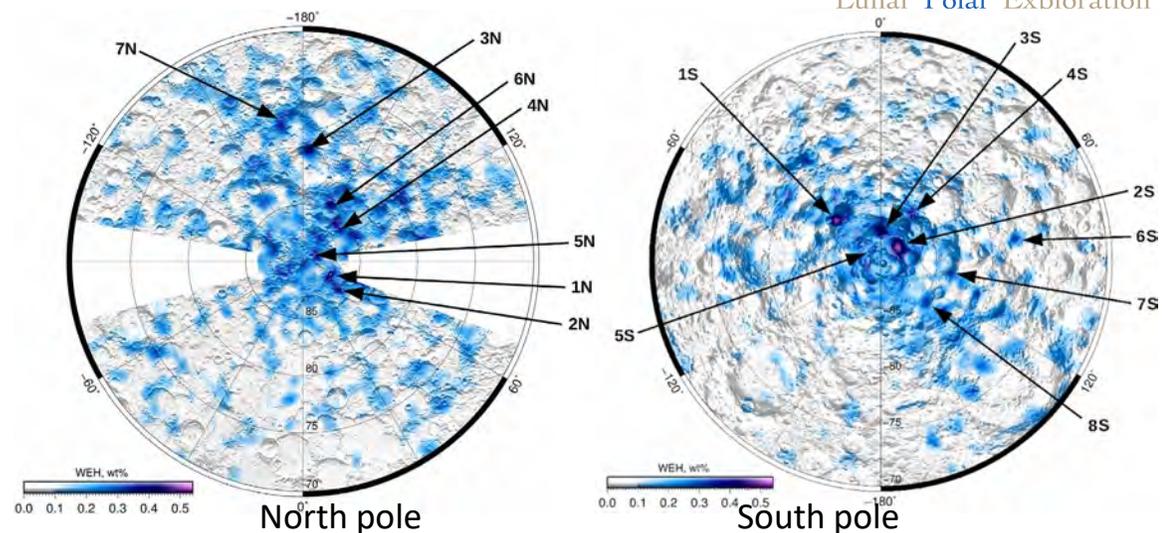
1. 水探査の重要性とアウトカム

● 月の水の最新理解

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。リモートセンシング観測でも、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（右図）。

● 未解決の課題

研究により推定含水率は0.08-20wt%と幅がある。また環境条件と含水率の関係、水の存在形態も不明。



North pole
South pole
Hydrogen Distribution in the Lunar Polar Regions

A. B. Sanin et al. 2016

水探査の重要性 = 水の現地資源としての「可用性」判断

水（分解すれば液体水素と液体酸素）が人類活動のエネルギー源として利用可能かを判断するためには、含水率、環境条件による水の分布、水の抽出し易さ（分子量、分子種）を定量的に調査する必要がある。

水探査のアウトカム = 持続的な月面活動

以下の検討・実現から、月と月以遠の持続的な探査活動へと繋がる。

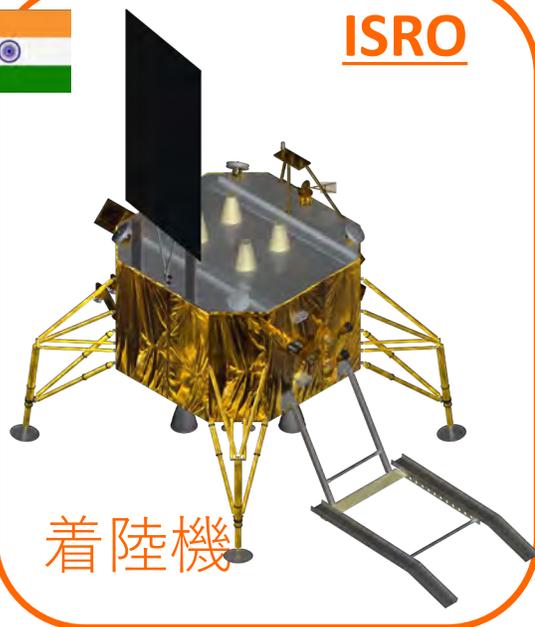
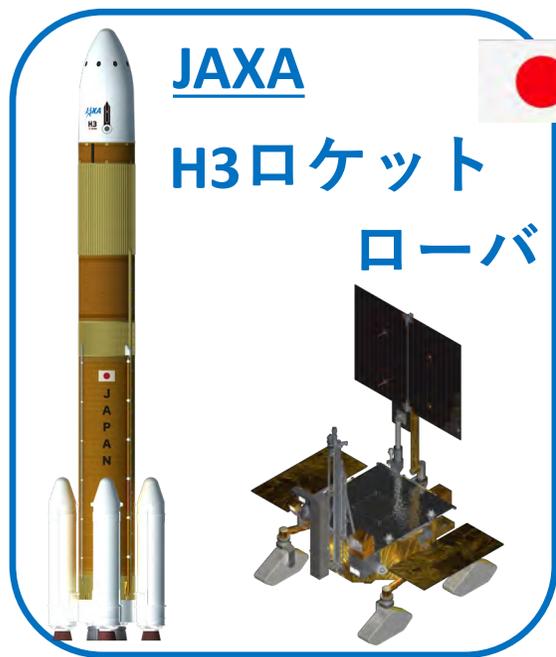
- エネルギー生成工場（例、推薬生成プラント：右図）建設
- 月面居住基地建設
- 月の科学（水の由来、水の濃集原理の解明など）



2. JAXA/ISRO調整経緯

Date	Activities
Nov. 2016	ISRO-JAXA宇宙分野の協力促進に関する了解覚書 MOU (*1) 締結
Pre-phase-A: Dec. 2017	ISRO-JAXA月極域探査ミッションの協働実施の可能性を検討する IA (*2) 締結
Dec. 2018	ISRO-JAXA合同ミッション定義審査 (Joint MDR)
Phase-A: Jan. 2020	LUPEXプリプロジェクトチーム発足. Phase-A (概念設計・計画決定) 開始
Mar. 2021 – July 2021	RFPによるローバ開発業者の選定. 予備設計開始
Jan. 2022	システム定義審査 (SDR). 同時に競争入札によるALIS開発業者の選定.
Phase-B: Mar. 2022	JAXA内プロジェクト発足. Phase-B (基本設計) 開始
July 2022	日本政府 (MEXT宇宙開発利用部会) によるプロジェクト認可
April 2023	ISRO-JAXA合同技術会合 (TIM) 1 (対面@Bengaluru)
May 2024	ISRO-JAXA合同TIM2 (対面@Bengaluru)
July 2024	JAXA総括PDR#1. ローバ熱制御系, 観測機器, 地上系 Phase-C (詳細設計) 開始
Mar. 2025	JAXA総括PDR#2 (ローバ要処置事項確認) 部門承認 印政府による「LUPEX/Chandrayaan-5」プロジェクト承認完了
May 2025	ISRO-JAXA合同TIM3 (対面@Bengaluru)
June-July 2025	次フェーズ (合同基本設計フェーズ) 以降向けIA、ISRO-JAXA間で全文合意. 日印間で署名に向けた最終確認中

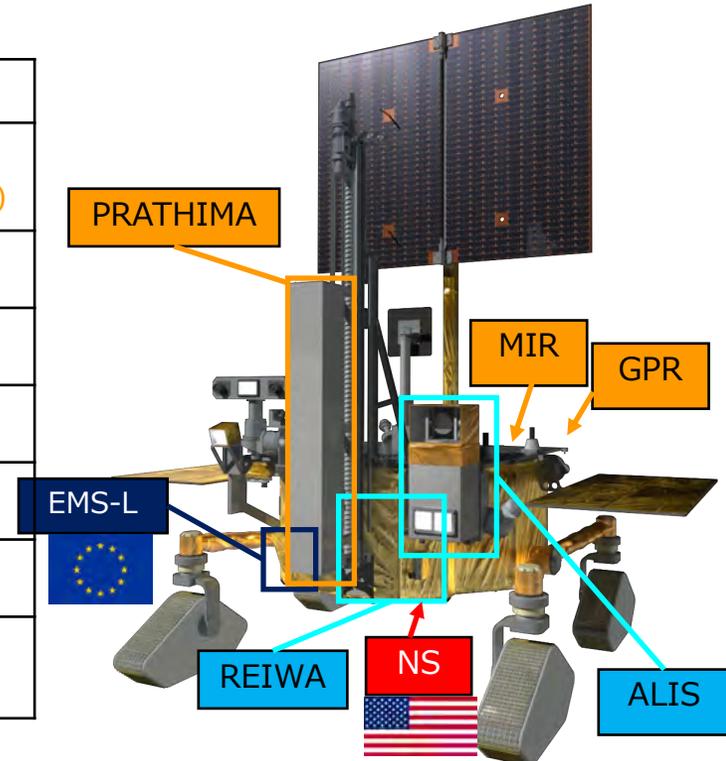
3. LUPEX探査機概要と国際分担



LUPEXの意義価値

- ✓ インド（ISRO）等との国際協力ミッション
- ✓ 月南極域における水資源の存在量・存在分布と資源としての利用可能性調査
- ✓ 重力天体表面探査技術の獲得（越夜・移動・掘削）

観測機器一覧
REIWA (水資源分析計) - ISAP (ISRO試料分析器含む)
ALIS (近赤外画像分光装置)
NS (中性子分光計)
GPR (地中レーダ)
EMS-L (表層分圧計)
MIR (中間赤外画像分光装置)
PRATHIMA (誘電率・熱物性計測装置)



打上ロケット	H3-24L
投入軌道	月遷移軌道 (遠地点高度 14万km) 調整中
ペイロード質量	約 6.5 ton
ローバ質量とサイズ	350kg (観測機器含む) L2.0m × W1.8m × H3.3m (SAP展開時)
ローバミッション期間	着陸後3.5か月間 (Nominal) 着陸後1年間 (Extra)
着陸地点	月南極域

打上げ約1か月後に月面着陸

ローバ搭載観測機器と開発機関
 青:JAXA 橙:ISRO 紺:ESA 赤:NASA

4. LUPEX目標実現のための「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

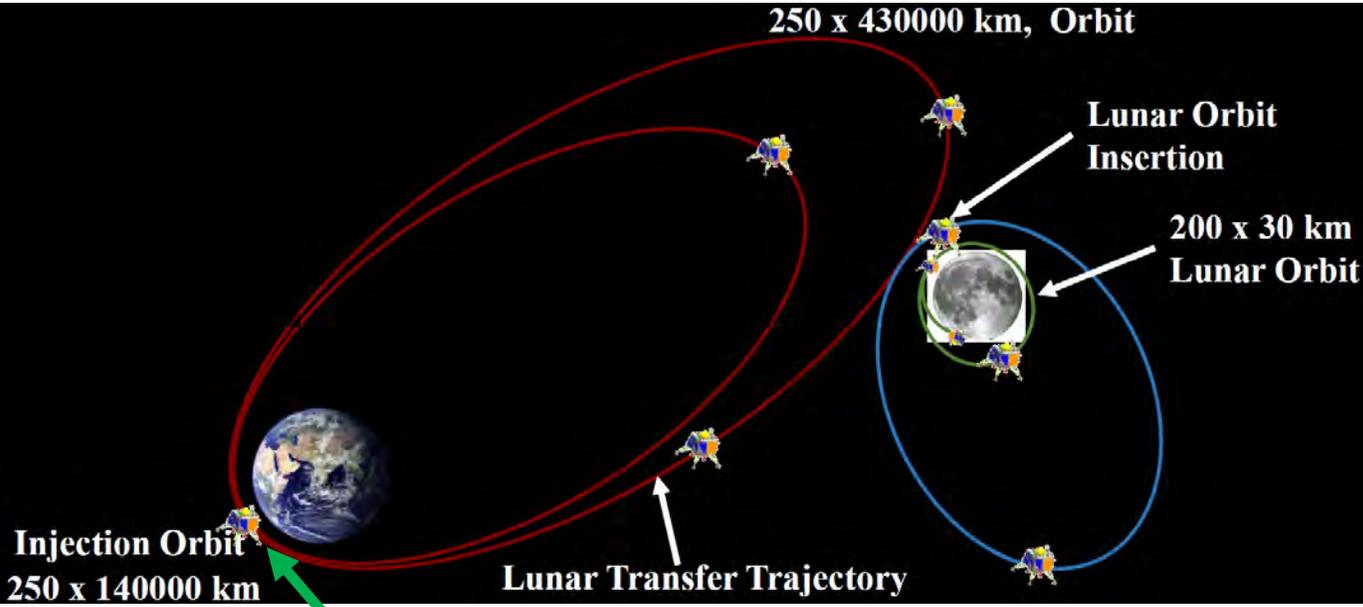
高効率軽量の薄膜太陽電池タワー
超高エネルギー密度Li-ion電池 **世界最高水準**
放熱と保温（高断熱）を兼ね備えた熱制御系 **越夜**

多様な環境の水平探査

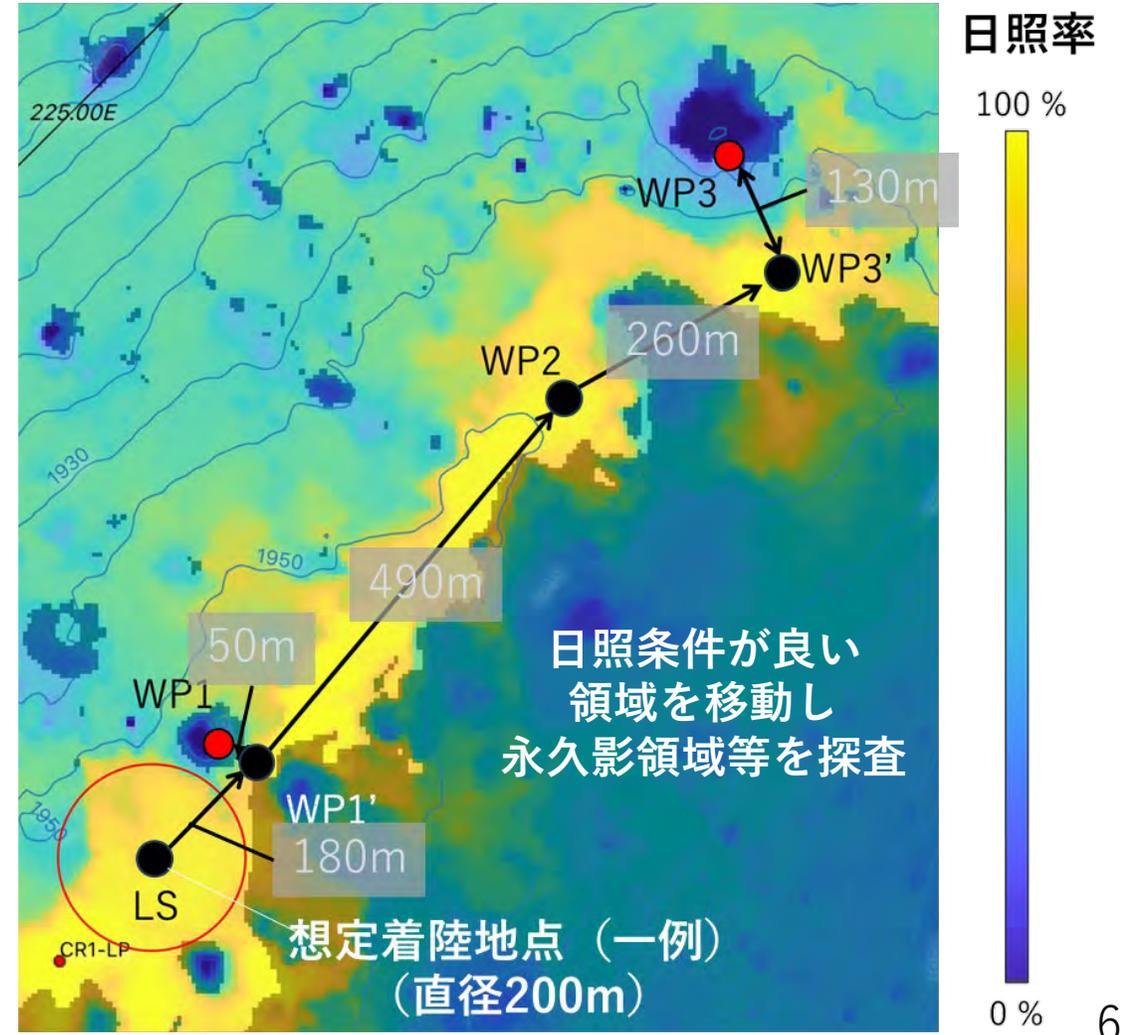
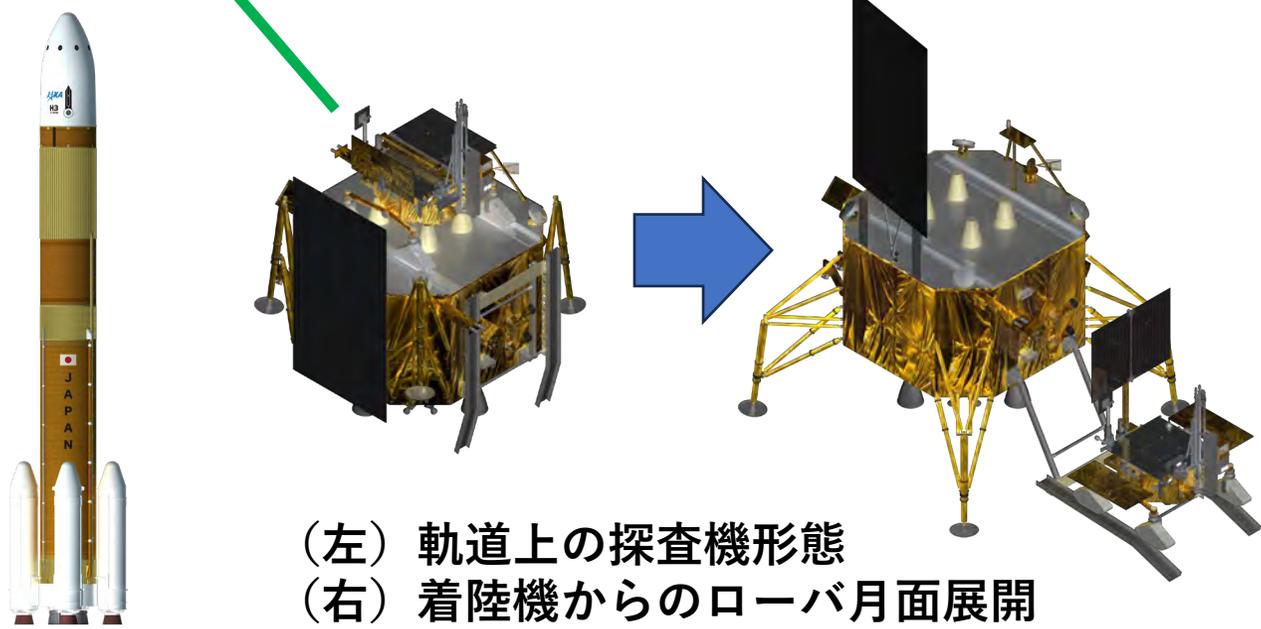
高斜度にも対応可能な走行系 **世界初**

大目標実現のための「キー技術」と「開発要素」

5. ミッションプロファイル



← (左) 月周回までの軌道遷移
 ↓ (下) 月面での経路計画 (例)



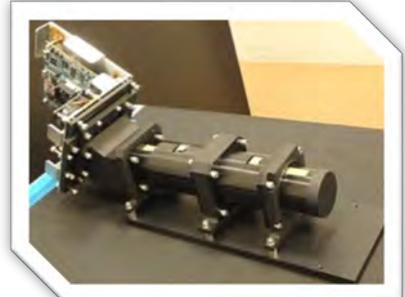
6. 各国の開発近況

(1) 国内の開発状況

BBM: Bread Board Model, EM: Engineering Model

- ローバ 基本設計（熱系など一部は先行で詳細設計）実施中
- 地上系 詳細設計中
- 観測機器 詳細設計・設計検証試験 実施中
- 科学界との連携（ローバ観測計画策定・運用タイムライン成立性の検討等）

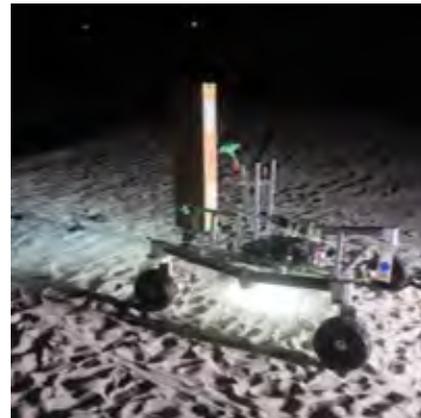
近赤外画像分光
装置 光学系BBM



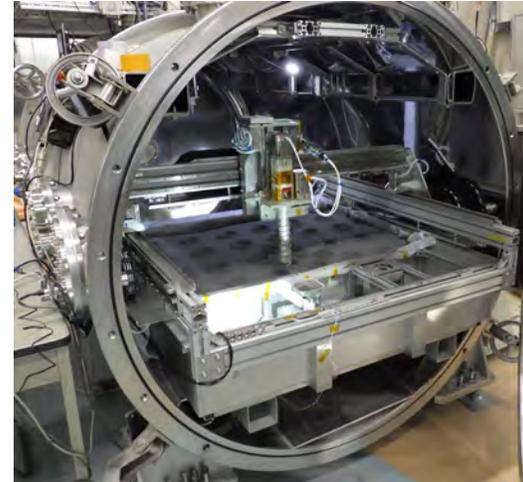
登坂試験



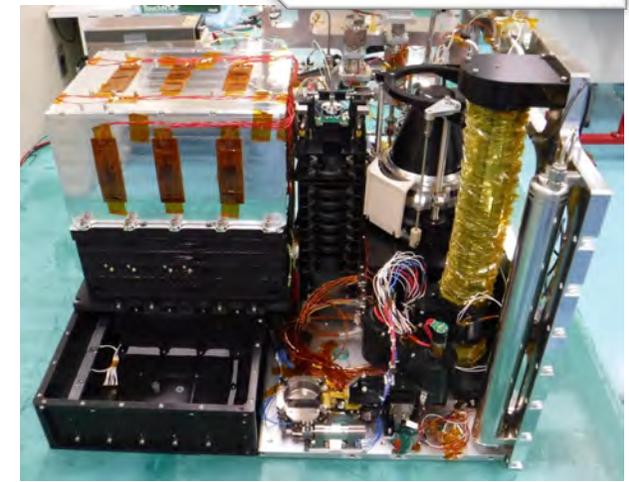
真空環境 走行試験



底面カメラ配置確認



真空環境 掘削採取試験



水資源分析計 EM

(2) パートナ国の開発状況

- ISRO : 25年3月 印政府によるプロジェクト認可 完了
着陸機・観測機器 基本設計中
- ESA : 観測機器 詳細設計中
- NASA : 観測機器 基本設計中



着陸機 ローバ月面展開デモ

- 補足 1. 月面探査領域と熱環境・日照の関係
- 補足 2. 想定探査領域と日照条件
- 補足 3. 越夜のための「キー技術」
- 補足 4. LUPEXと他国の水探査機との特徴比較

補足 1. 月面探査領域と熱環境・日照の関係

- 月の厳しい環境に対応し、長期間の活動を実現する越夜技術が重要。

【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 $-40^{\circ}\text{C}\sim-60^{\circ}\text{C}$ 、日陰時 -200°C 。
低緯度で日照時 $+100^{\circ}\text{C}$ 以上、日陰時 -200°C 近くまで温度変化。

【日照】

- 極域：影の領域が多い。季節により日照時間が大きく変化
- 低中緯度：夜が長い（約14.8日周期）。



■ 宇宙技術戦略(令和6年3月)より抜粋 ※赤字/下線は加工

約2週間ごとに日照と日陰が交互に訪れる月の低・中緯度では、日陰時のシステムの保温のための断熱技術や効率的な発電技術に加え、輸送コスト削減のために軽量化に向けた技術の開発が必要である。(中略)

太陽電池による発電が困難な日陰時でも電力を供給可能な大型の蓄電システムの開発が必要であることから、全固体電池、高エネルギー密度電池などを含む蓄電技術の開発が非常に重要である。宇宙探査では軽量化がより求められるため、全固体電池を含むリチウムイオン電池のエネルギー密度の向上を目指す。また、特に月面は地球周回軌道よりも温度範囲が広いいため、耐環境性向上に関する研究開発も行う。さらに、今後の有人月面探査活動においては、より大きな蓄電容量が必要となるため、リチウムイオン電池よりも高いエネルギー密度が達成できる高エネルギー密度電池として再生型燃料電池の開発を進める。

※本図での探査領域は低中緯度・高緯度等を示すイメージ

主な越夜技術

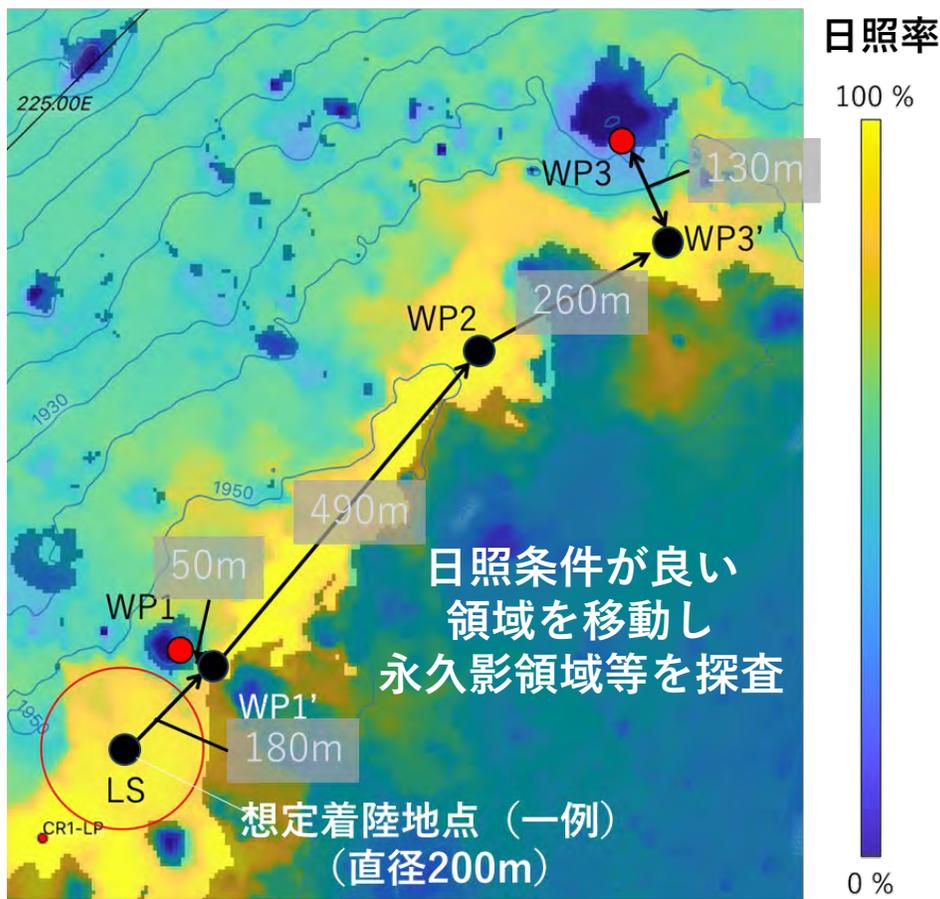
① 熱制御技術

② 電源技術

越夜期間における機器温度の維持（放熱量の制御）と必要なエネルギーの確保

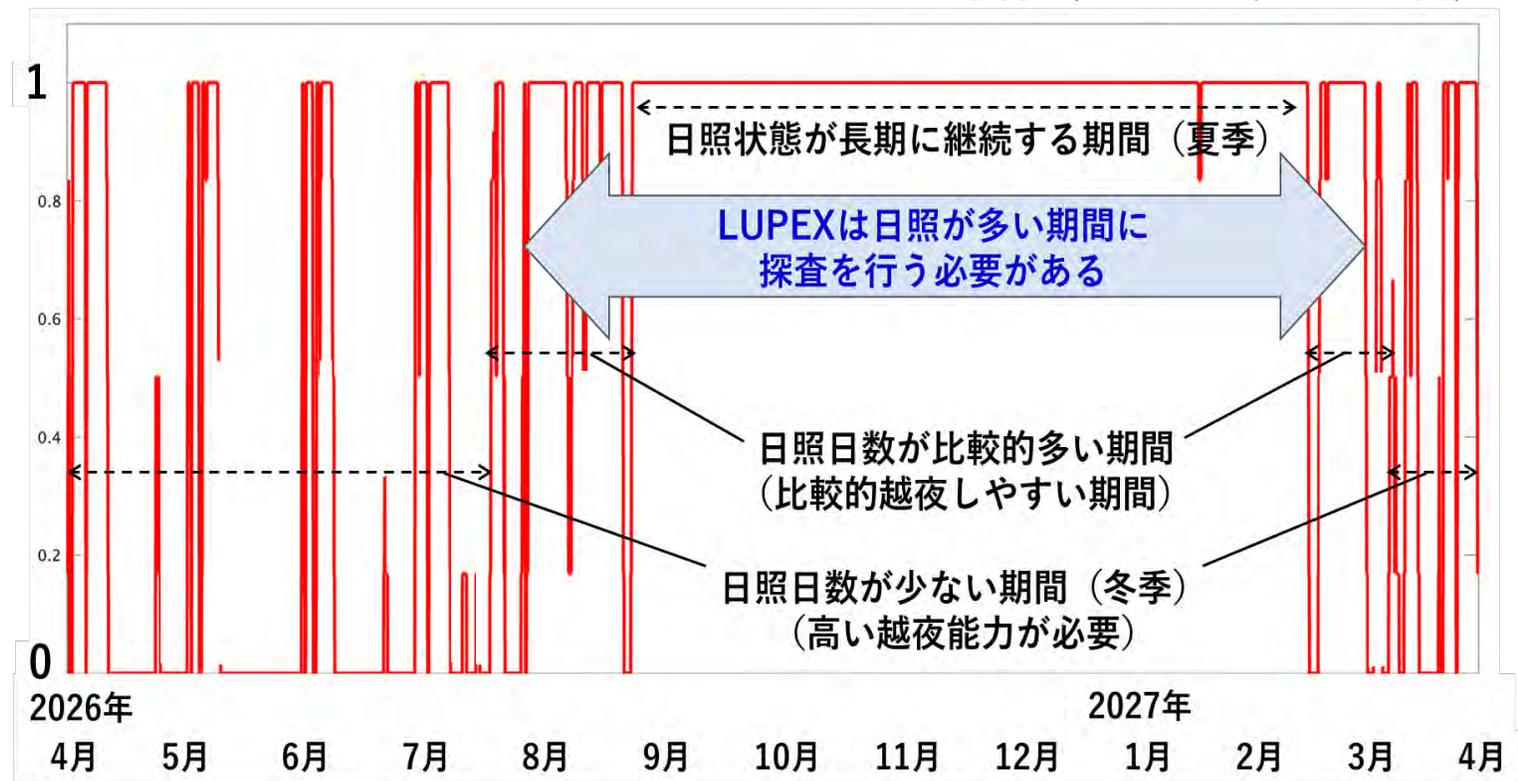
補足 2. 想定探査領域と日照条件

- LUPEXは、極域付近に存在する永久影領域等において水氷を探査する。
- 探査目標エリアにアプローチするために、日照条件の良い領域を選んで移動する計画。（下左図）
- 極域の日照条件は季節により大きく変動するため、LUPEXの越夜能力で活動が可能な日照条件が良い時期（夏季）を中心に探査を行う（条件の良い時期の着陸を目指し打ち上げを行うことが重要）。（右下図）



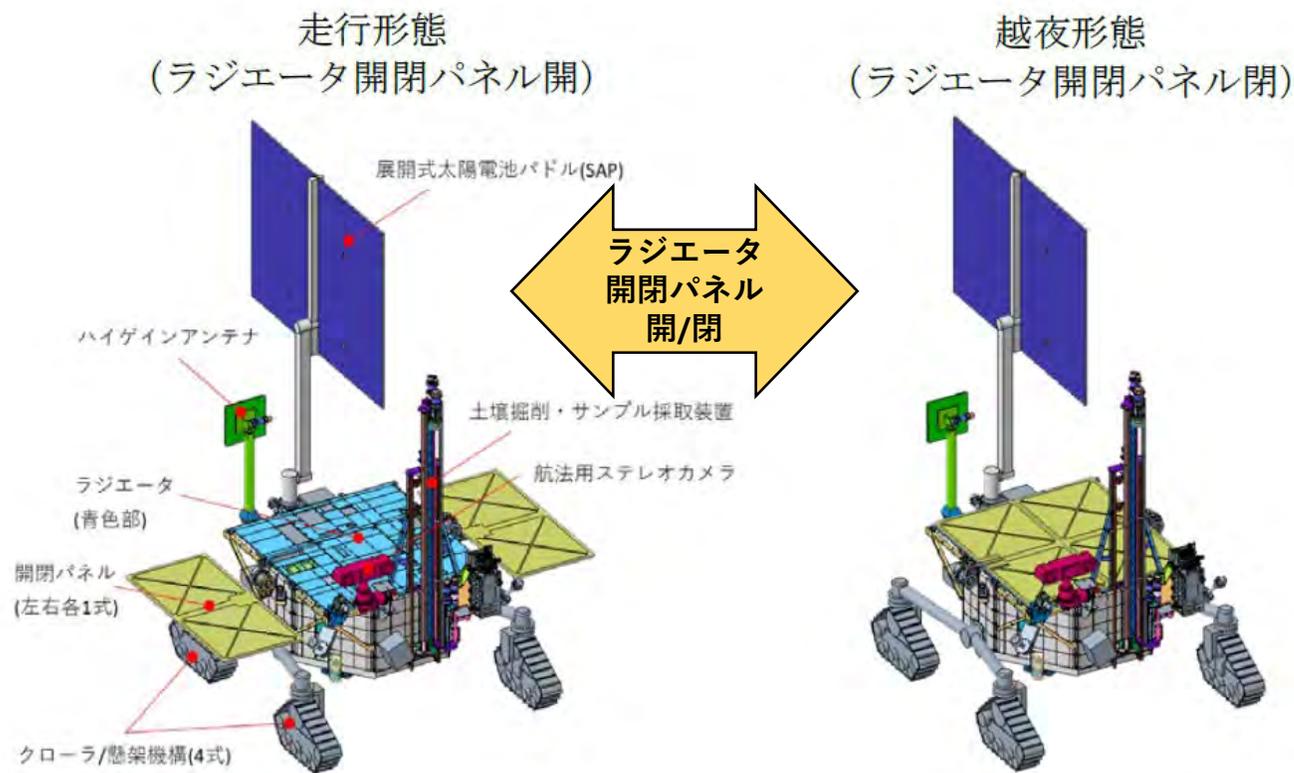
LUPEXの探査候補領域の日照率の例

— 日照条件（1：日照、0：日陰）



LUPEX想定着陸地点におけるSAP位置（月面から高さ2mの位置）での日照状況の例（2026年度）

補足 3. 越夜のための「キー技術」



■越夜のための課題と解決策：

- 日照域での活動時はローバ内部搭載機器による発生熱の積極的放熱が必要



- 越夜時の放熱は最小化する熱設計が必要

➔ ラジエータによる積極的放熱と高断熱の両方を兼ね備えた熱計装が必要

■工夫した点（アピールポイント）：

- ローバ天面からの排熱をコントロールするための **ラジエータ開閉パネル（左図）**
- 内部搭載機器からラジエータへの熱移送デバイス（積極的放熱）
- 走行機構や掘削機構等，外部露出機器から深宇宙・地面への放熱を抑制するための断熱取り付け構造（高断熱）
- 熱リークにつながるローバ構体の開口部を極力少なくする工夫（保温）

補足 4. LUPEXと他国の水探査機との特徴比較



他国と比べて優位性を有する項目



打上げ年(*1)	2026	FY2026(調整中)	2027	2028	TBD by CLPS
主要開発国(*2)	中国	日本/インド	欧州	UAE	米国
ミッション名称	Chang'E 7	LUPEX	PROSPECT(*3)	Rashid-3	VIPER(*4)
搭載箇所	ローバ、ホッピング機	ローバ	ランダ	ローバ	ローバ
重量濃度	間接的な推定のみ (質量分析計)	直接測定 (0.1wt%精度)	間接的な推定のみ (精密な重量測定なし)	推定無し (or 間接的な推定)	間接的な推定のみ
分析環境	開放系での表層測定	閉鎖系での定量分析 (高精度な収率計算が可能)	閉鎖系での分析 (精密な重量測定なし)	開放系での表層測定	開放系での表層測定
ガス抽出方法	表層の揮発ガス分析	封止した上での 500Kまでの能動的加熱	封止した上での 1273Kまでの能動的加熱	(ガス分析せず)	太陽光加熱による ガス蒸発(表層のみ)
永久影内	探査予定(ホッピング機)	探査予定	予定なし(着陸地点のみ)	予定なし	探査予定
垂直分解能	(採取なし)	垂直分解能 3cm未満	不明(採取量45mm ³)	(採取なし)	掘削時の排土が混ざる
同位体計測	質量分析のみ	3つの独立した手法で計測実施	質量分析のみ	(分析せず)	質量分析のみ
ローバ活動期間	不明	ノミナル: 着陸後3.5か月 エクストラ: 着陸後1年	越夜予定なし	不明	100日

(*1) 公開情報に基づく

(*2) この他、ロシアのLuna 27、カナダのLunar Utility Vehicle (LUV) による水探査などがある。

(*3) PROSPECT: Package for Resource Observation and in-Situ Prospecting for Exploration, Commercial exploration and Transportation

(*4) VIPER: Volatiles Investigating Polar Exploration Rover