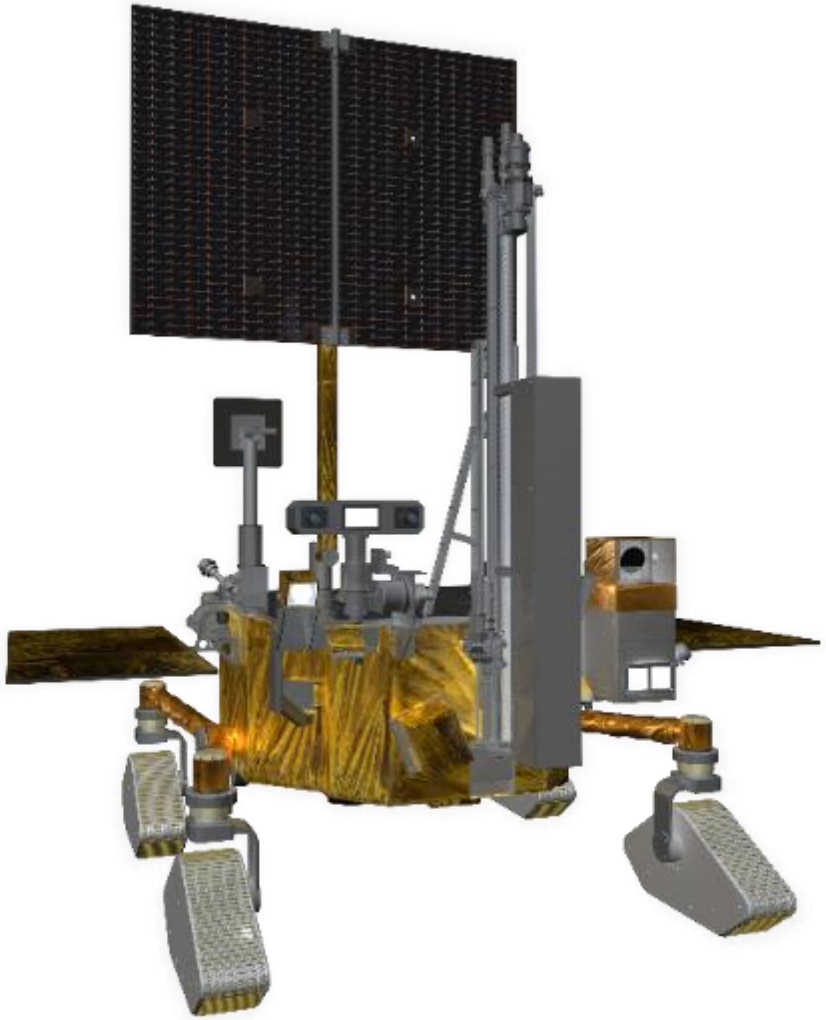


LUPEXミッション概要

2026年11月25日

JAXA月極域探査機（LUPEX）プロジェクト
プロジェクトマネージャ　星野　健

※別途記載のないものは©JAXA

本日の内容

- 月極域とは？
  - 環境条件
  - 水資源

- LUPEXプロジェクト
  - プロジェクトの成り立ち
  - 概要と開発状況
  - 成果の活用

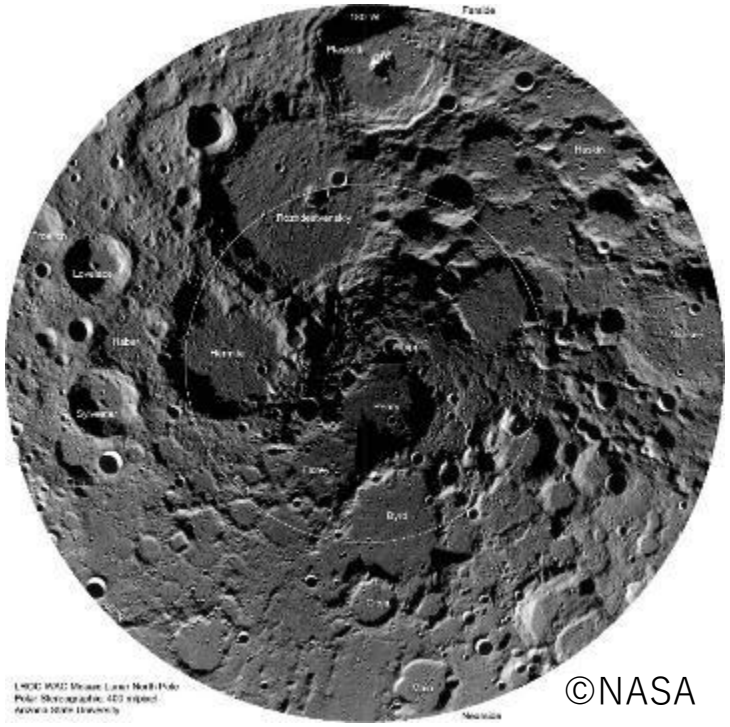
- おわりに

月極域とは？

月極域

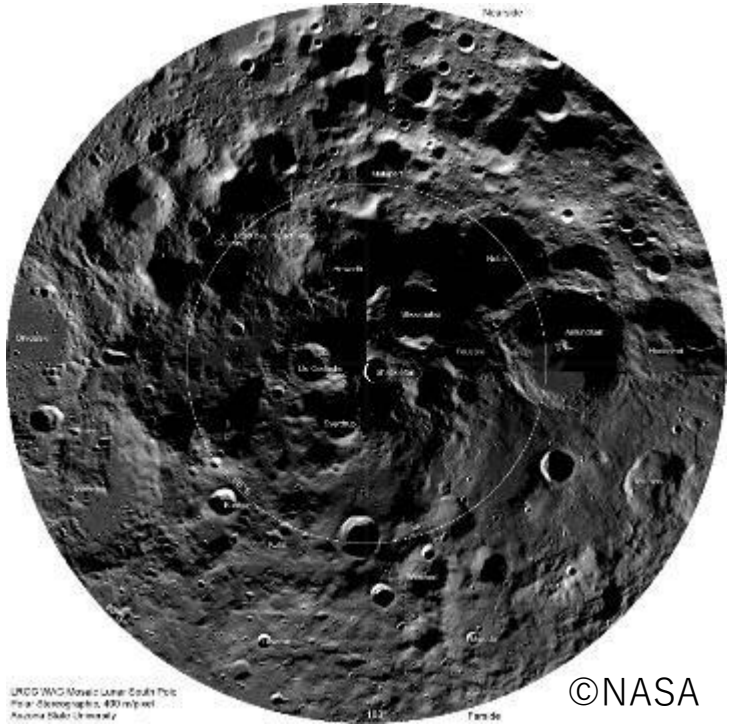
- 極域（地球の場合）
  - 極地（緯度66.56度以上）に、グリーンランドの南端や南極大陸の先端（緯度が66.56度未満）を含めた地域。[大辞林 第三版より]
- 月極域
  - 緯度80度以上について言う場合が多い。

月北極域



©NASA

月南極域

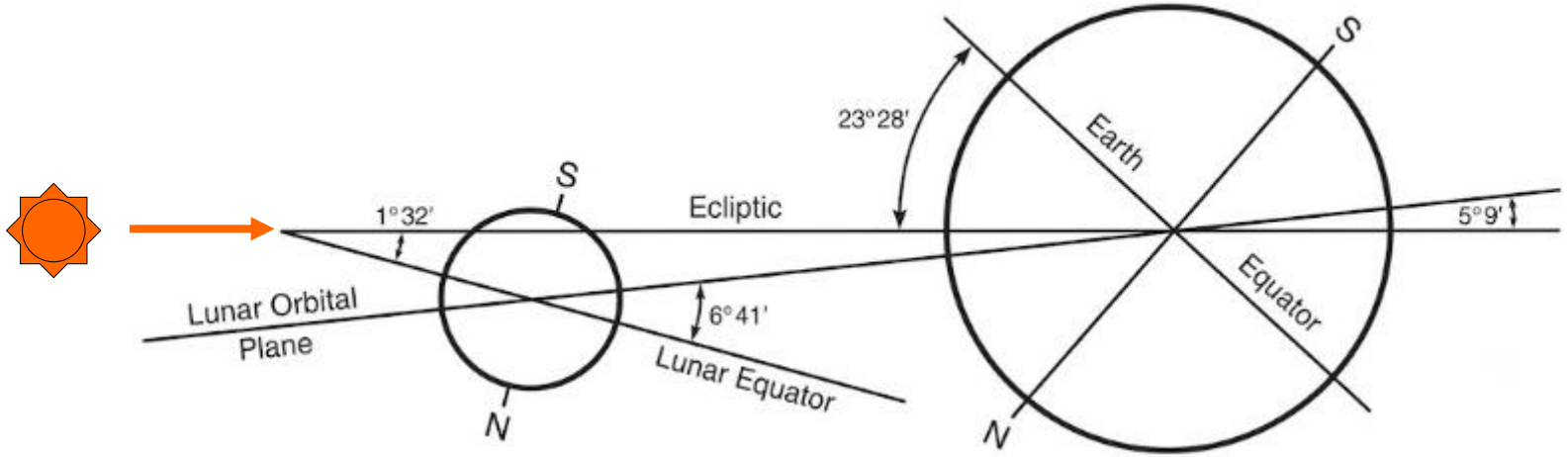


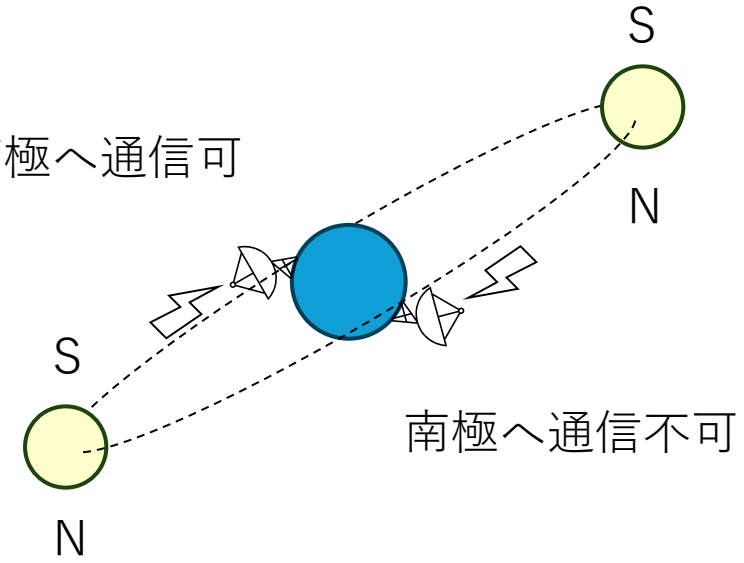
©NASA

月の自転軸、公転面

- **日照：**　黄道面の垂線に対して自転軸が1.5度傾いている。そのため、88.5度より高い緯度で白夜および極夜がある。周期は29.5地球日。

- **通信：**　月公転面（白道面）に対して月自転軸が6.7度傾いているため、地球から裏側もちょっとだけ見える。月の位置により南極が良く見えたり、北極が良く見えたりする。周期は27.3地球日。





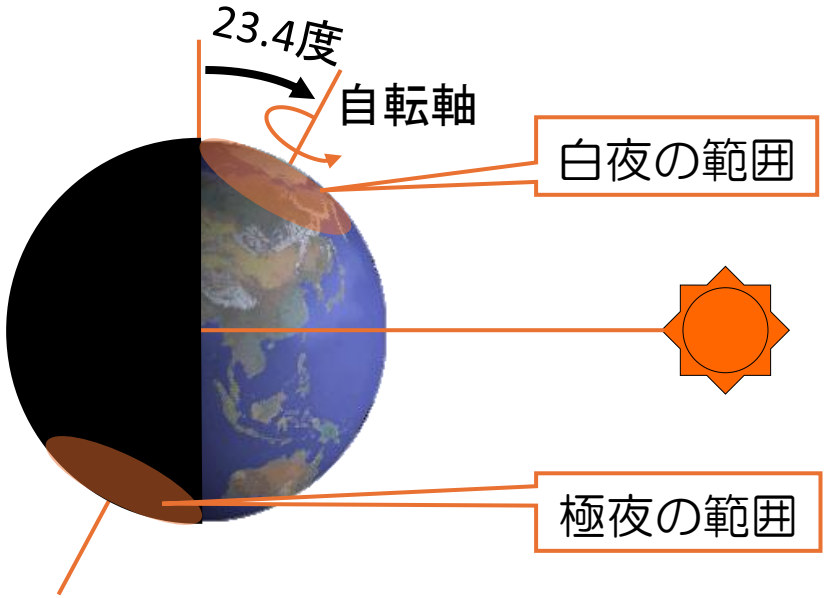
引用：　Lunar sourcebook Fig. A3.2.を改変

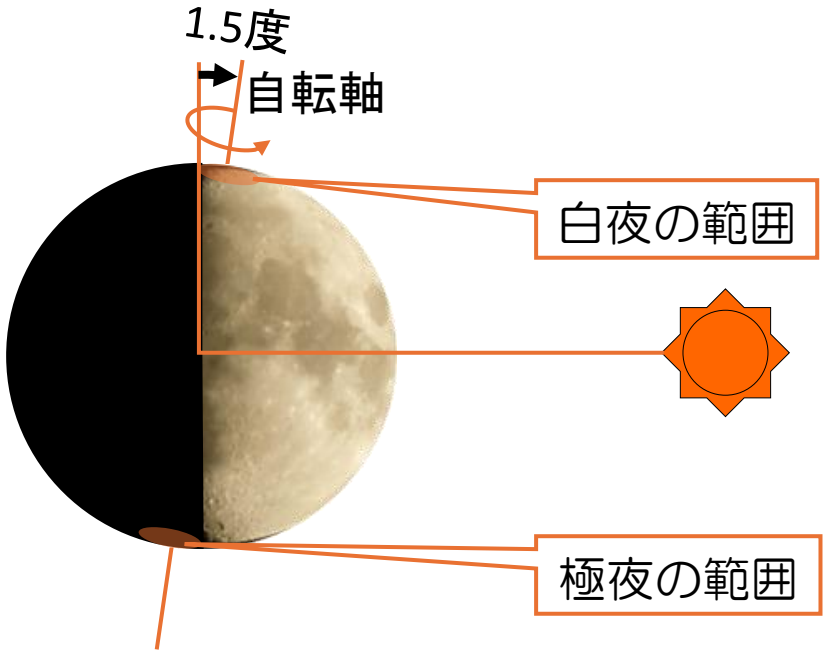
白夜・極夜

- 地球の場合：
  - 黄道面の垂線に対して自転軸が約23.4度傾いているため概ね緯度が66.6度（90度-23.4度）以上の地方で白夜・極夜がある。

- 月の場合
  - 黄道面の垂線に対して自転軸が約1.5度傾いているため概ね緯度が88.5度（90度-1.5度）以上の地方で白夜・極夜がある。

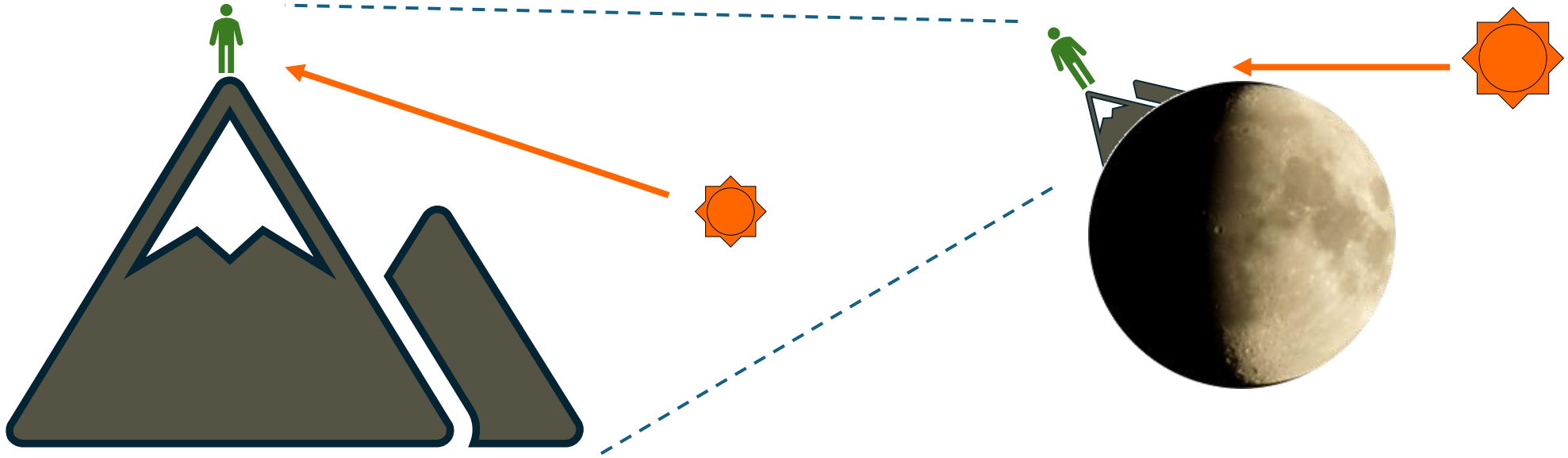
  - 白夜の範囲は地球より狭い





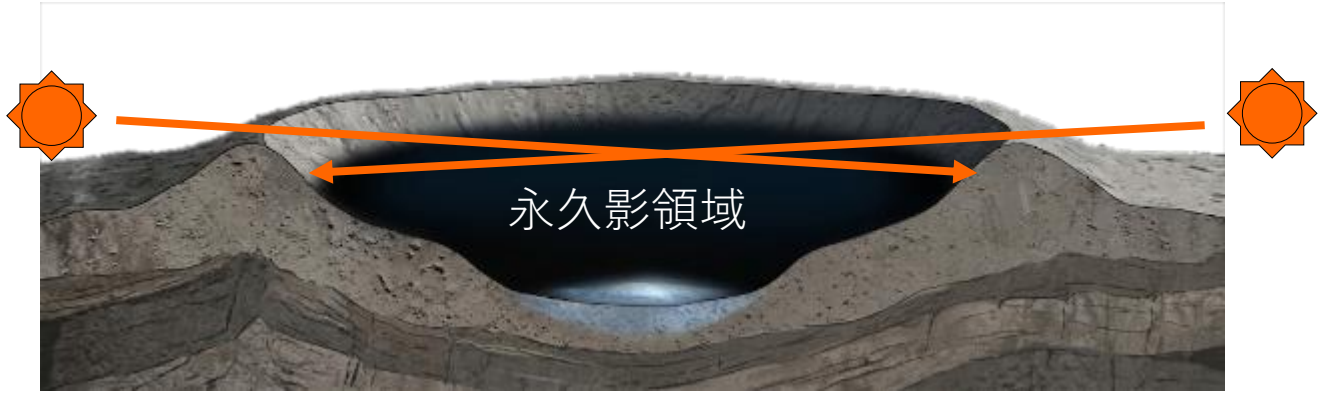
長期日照地帯

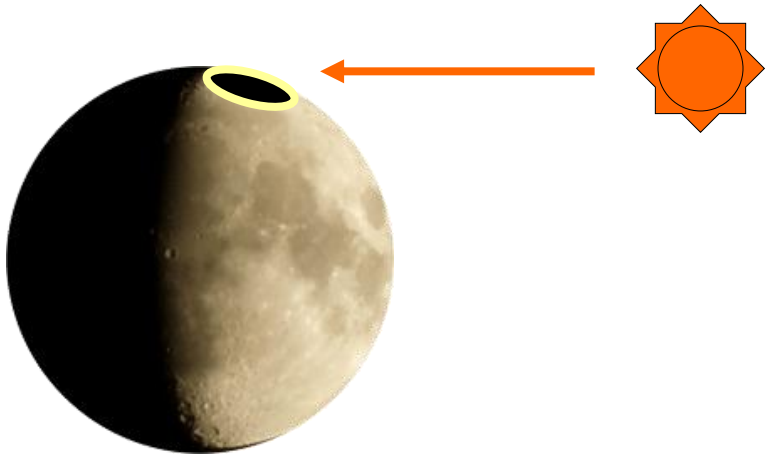
- 太陽光はほとんどいつも真横からくる。
- そのため、太陽高度がマイナスで極夜のはずの時期でも山の頂上など日が当たる部分がある。
- 残念ながら１年中ずっと日が当たるところは無いが、年間80%以上日照がある地点が存在する。



永久影

- 太陽光はほとんどいつも真横からくる。
- そのため、白夜のはずの時期でもクレータの底など日が当たらない部分がある。
- １年中どころか、何億年もずっと日が当たらない永久影領域が存在する。

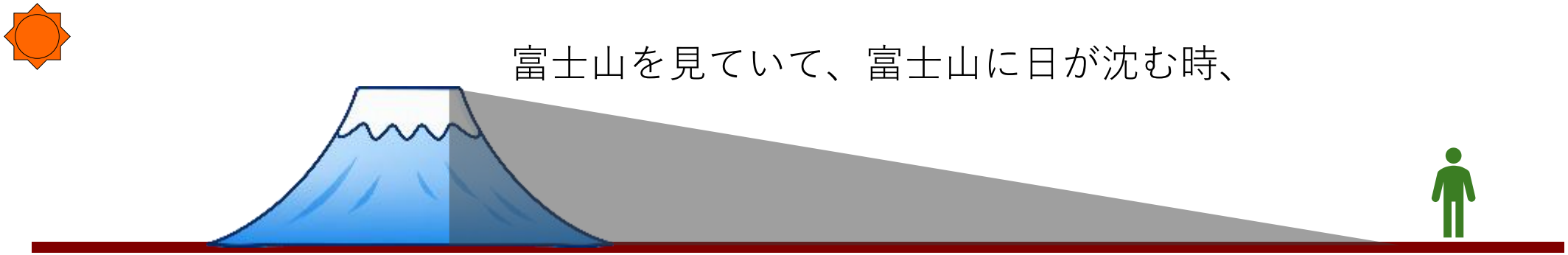




日照がないため温度は-240°C～-230°C

日照は地形の影響が大きい

富士山を見ていて、富士山に日が沈む時、



それは、富士山の陰に入るということ。

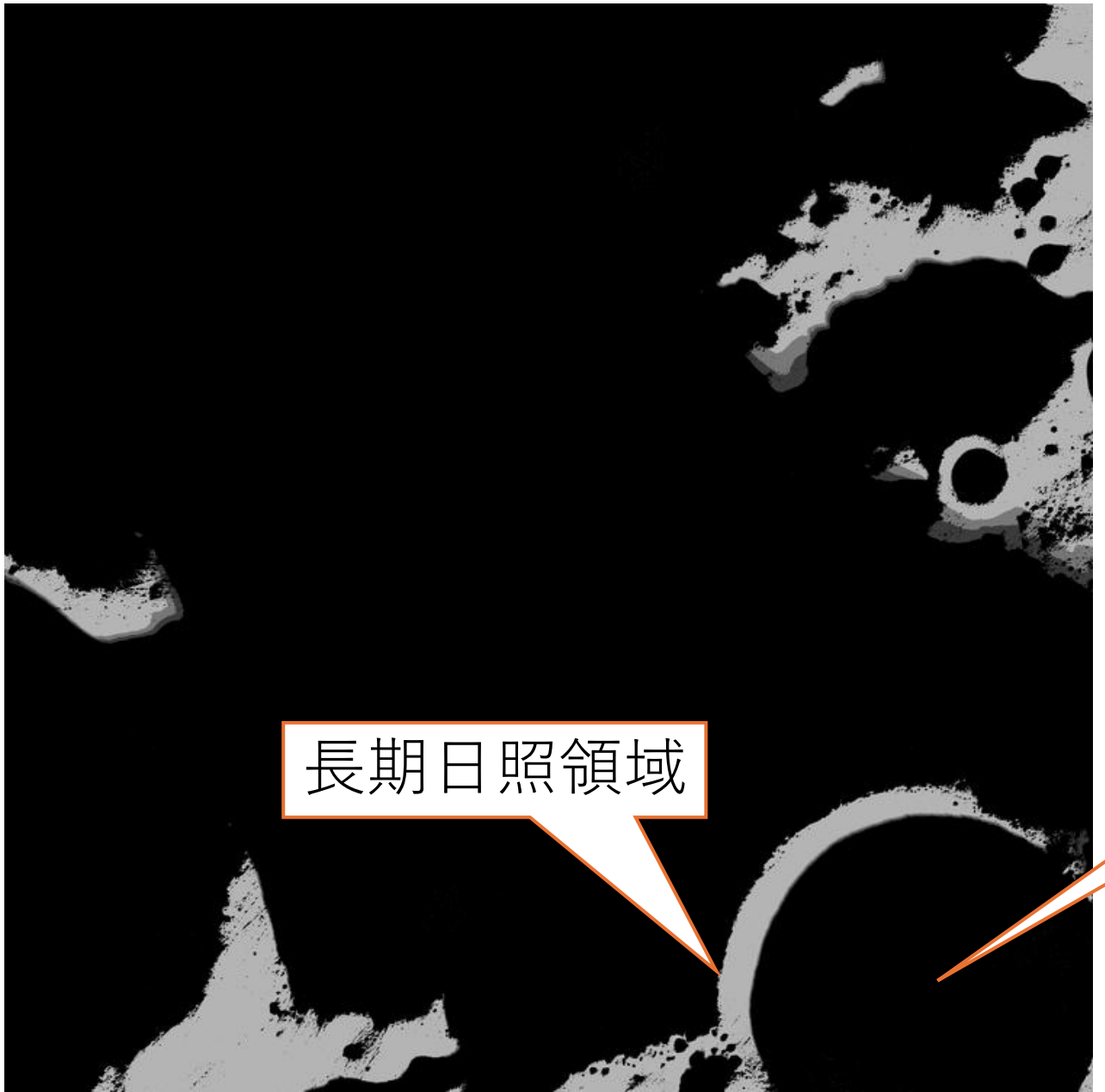


こちらも高い山の上なら、なかなか日は沈まない。



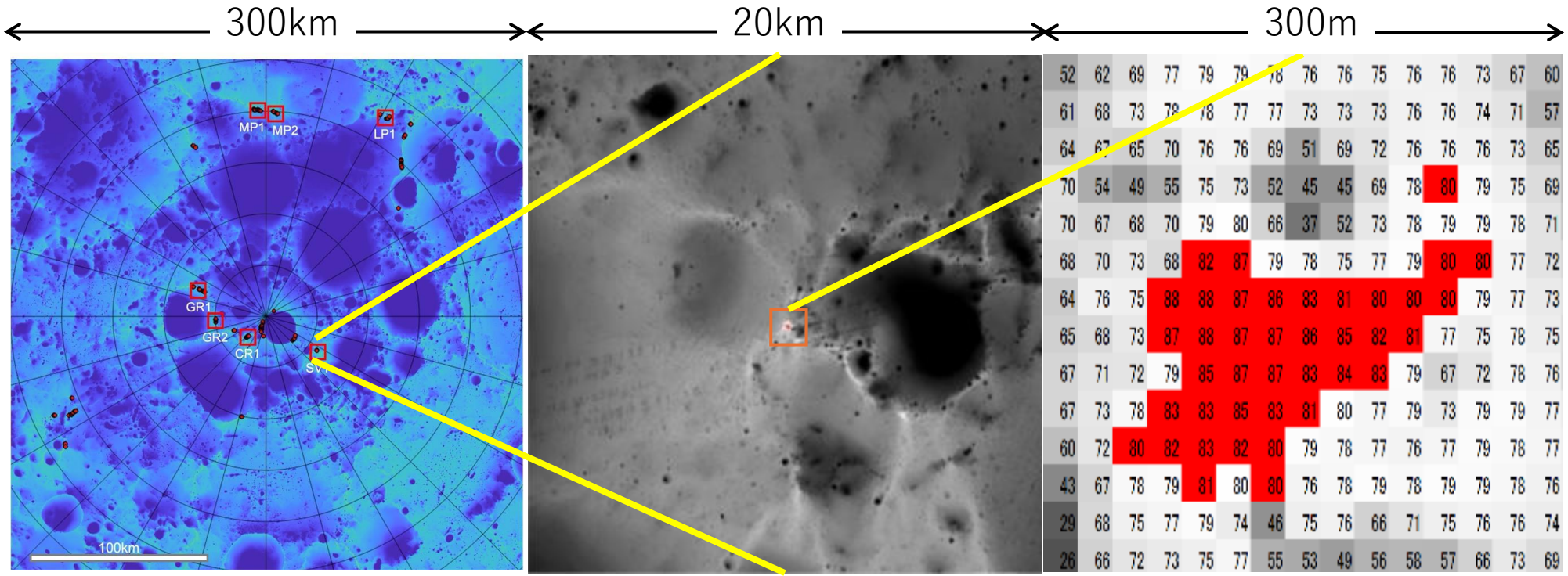
日照をシミュレーションするには、自分の周辺だけでなく、見える範囲の地形を考慮する必要がある（月極域の場合、周囲の150km以上を考慮している）。

日照のシミュレーション計算



限られた長期日照領域

- 半年以上の連続日照や、80%（年間300日）以上の日照が得られ、有人無人に関わらず電力の観点で長期の活動に有利な領域は非常に希少。
- ピンポイント着陸技術が必須となる。



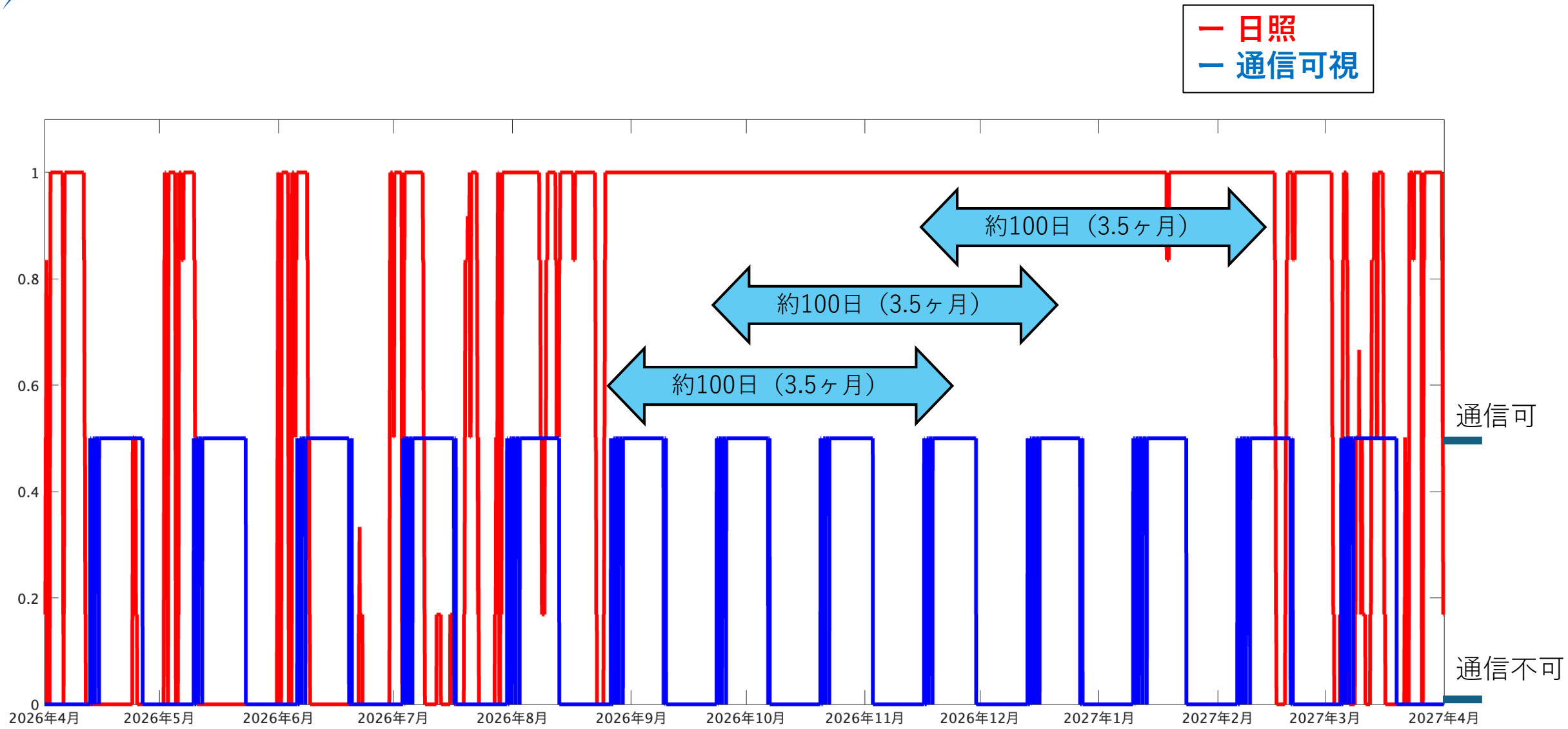
南極300km四方の地形

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

月南極付近での日照条件: かぐやの観測データをもとにシミュレーションにより推定された日照条件。

日照と通信可視が重要


日照
通信可視
約100日（3.5ヶ月）
約100日（3.5ヶ月）
約100日（3.5ヶ月）
通信可
通信不可
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
2026年4月
2026年5月
2026年6月
2026年7月
2026年8月
2026年9月
2026年10月
2026年11月
2026年12月
2027年1月
2027年2月
2027年3月
2027年4月

水資源

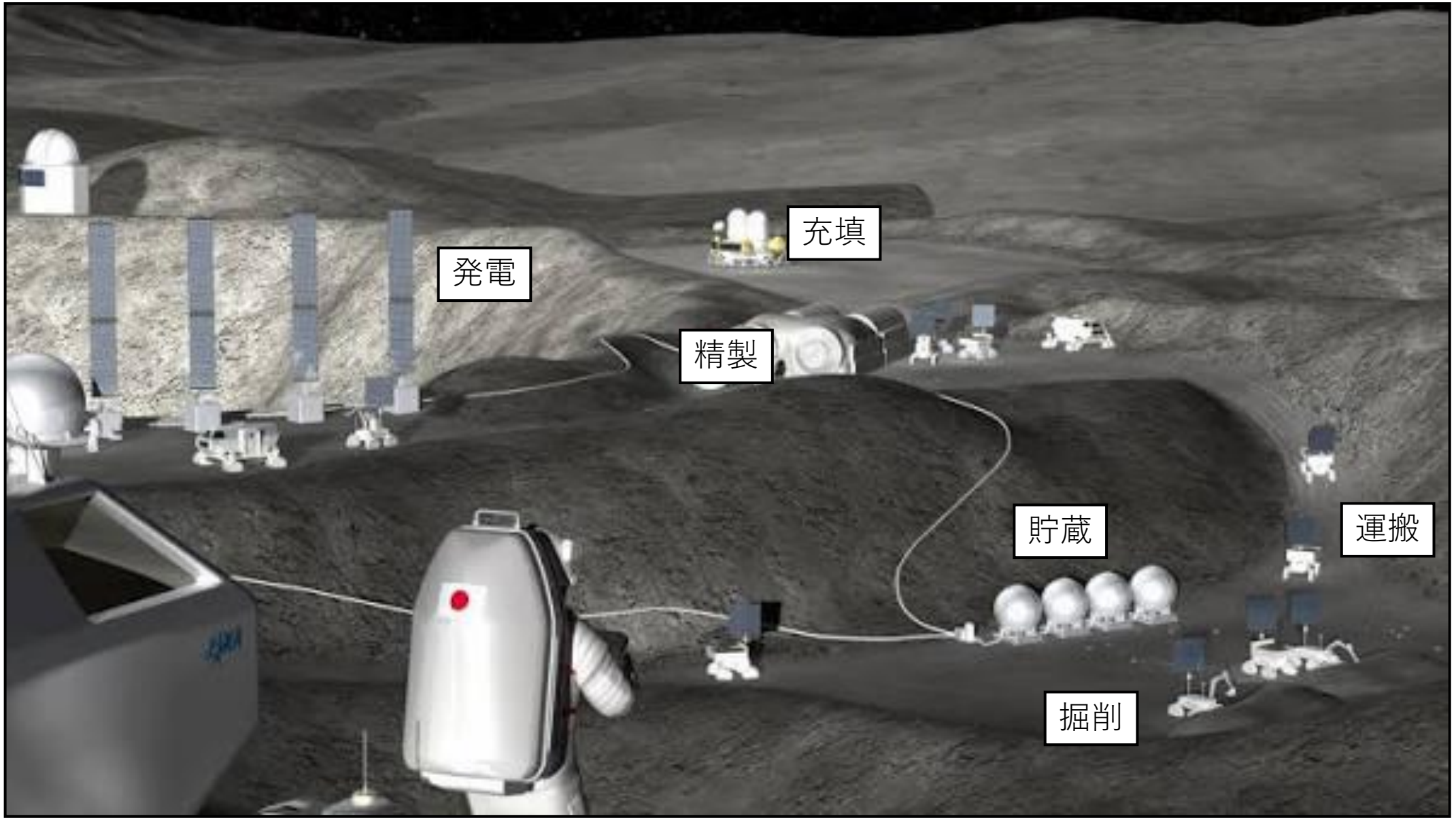
月の水資源

- 月から帰還するための燃料は、現在はすべて地球から輸送している。
- 月までの輸送コストは低軌道と比較してかなり大きく※、月面で調達できれば、大幅なコスト削減につながり持続可能な月面活動につながる。

  ※後述のようにLUPEXは打上重量：6,650kg、ローバー：420kgである。つまり打上質量の1/16程度しか月面に輸送できない。

- JAXAは「国際宇宙探査シナリオ案 2025」に示したように、将来的な水資源利用として、民間企業と協力して月面推薬生成プラントを検討している。
  - これには月面の水を含有したレゴリスを掘削して、水を抽出、電気分解して酸素と水素を製造し貯蔵する技術などが必要。
  - シナリオ
    - 2020年代：月面推薬生成プラント全体システムの概念検討や要素技術検討、地上実証
    - 2030年代：建設地の事前調査（地盤調査、測量）や月面実証プラント建設
    - 2040年代：推薬プラントの本格稼働を開始

推薬生成プラントのイメージ



プラントの掘削量の規模感

- 毎年125トンの水を10年間生産するプラントの採掘面積
- 稼働率は50%（年間180日）
- 表面から25cmまでに水が均等に分布を仮定

水の濃度 [重量%]	0.1	0.5	1	2
掘削半径 [m]	940	420	300	210
1年でサッカー場 [面]	38.9	7.8	3.9	1.9
1日 [㎡]	1542.0	308.4	154.2	77.1
1時間 [㎡]	64.2	12.8	6.4	3.2



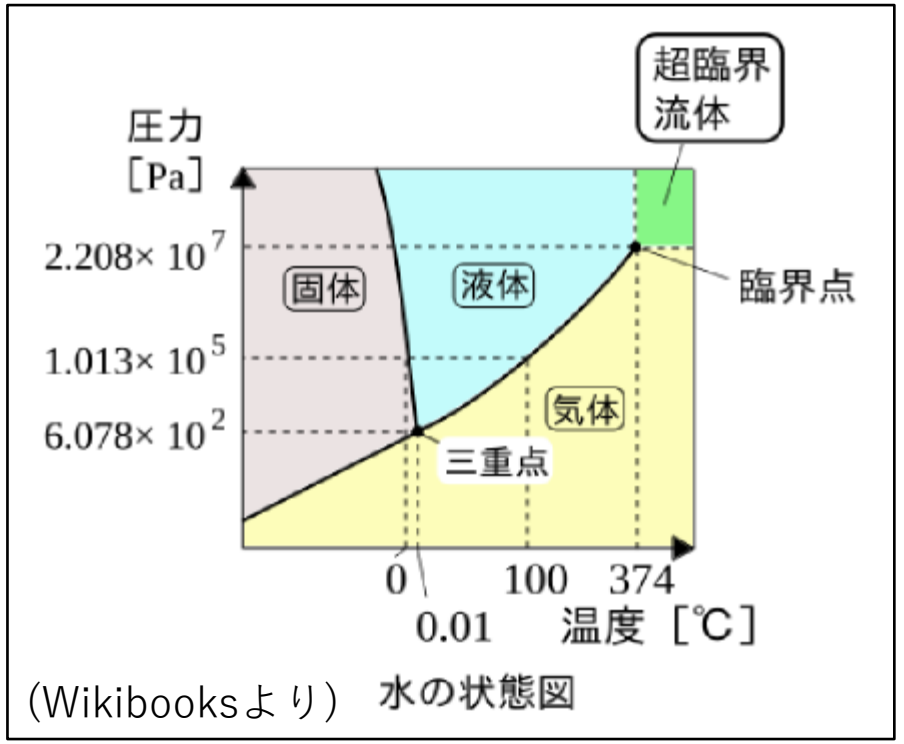
水の存在形態

極域の永久影周辺の低温領域（表面&地下）に気体の水がコールドトラップされると考えられている。

- コールドトラップ：気体が温度の低い物質に接触しエネルギーを奪われ液体 あるいは固体になって吸着すること。



冷蔵庫の冷凍庫の霜： 空気中の水蒸気が、コールドトラップされて、どんどん霜がついてしまう。これと同じ原理が月面でも起こっている。



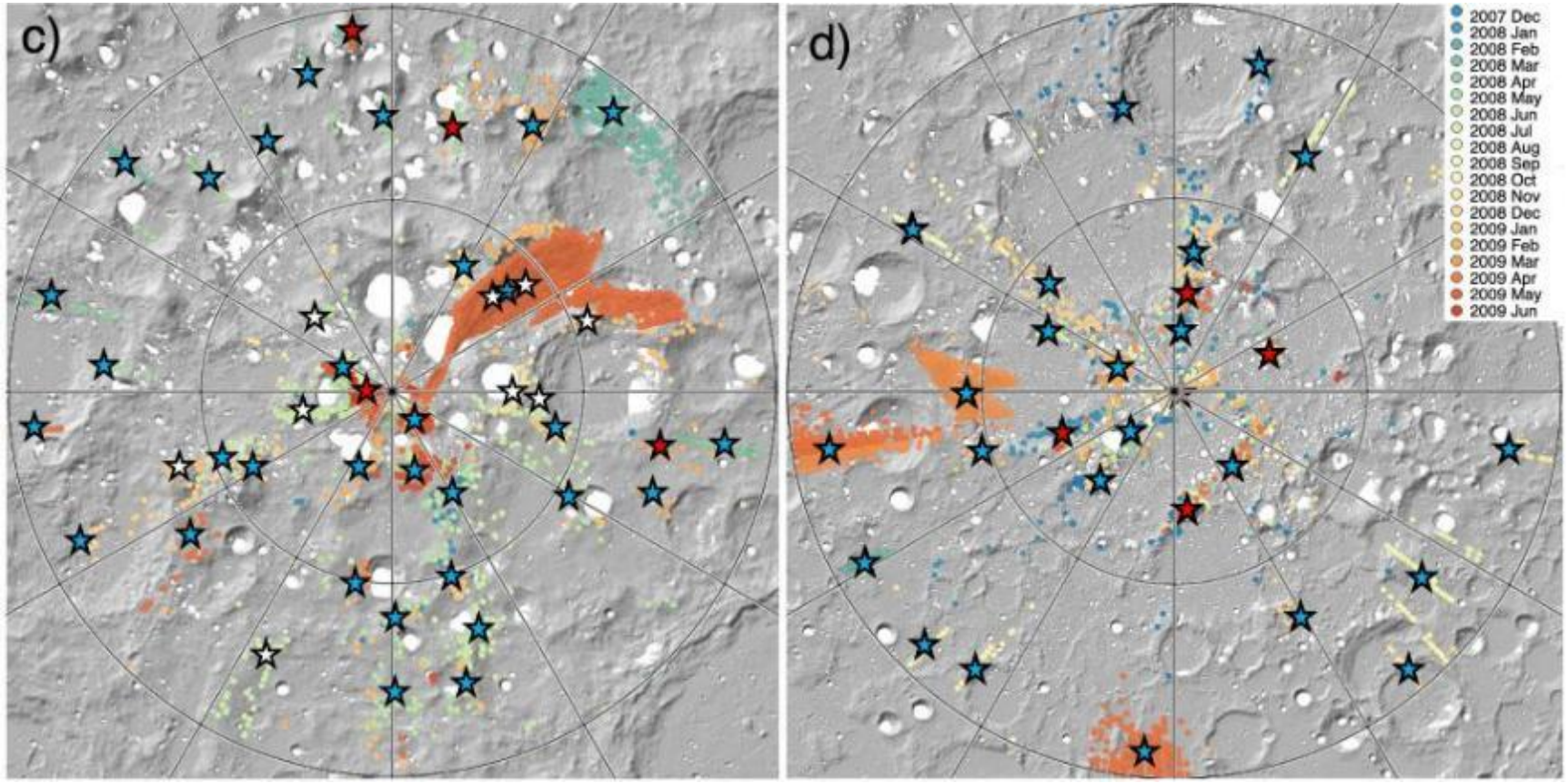
水の状態図：温度と圧力が低いと液体の水は存在せず、気体の水（水蒸気）と固体の水（氷）しか 存在しない。

リモートセンシングによる月極域の水氷1

リモートセンシングデータによる極域での水存在の示唆。

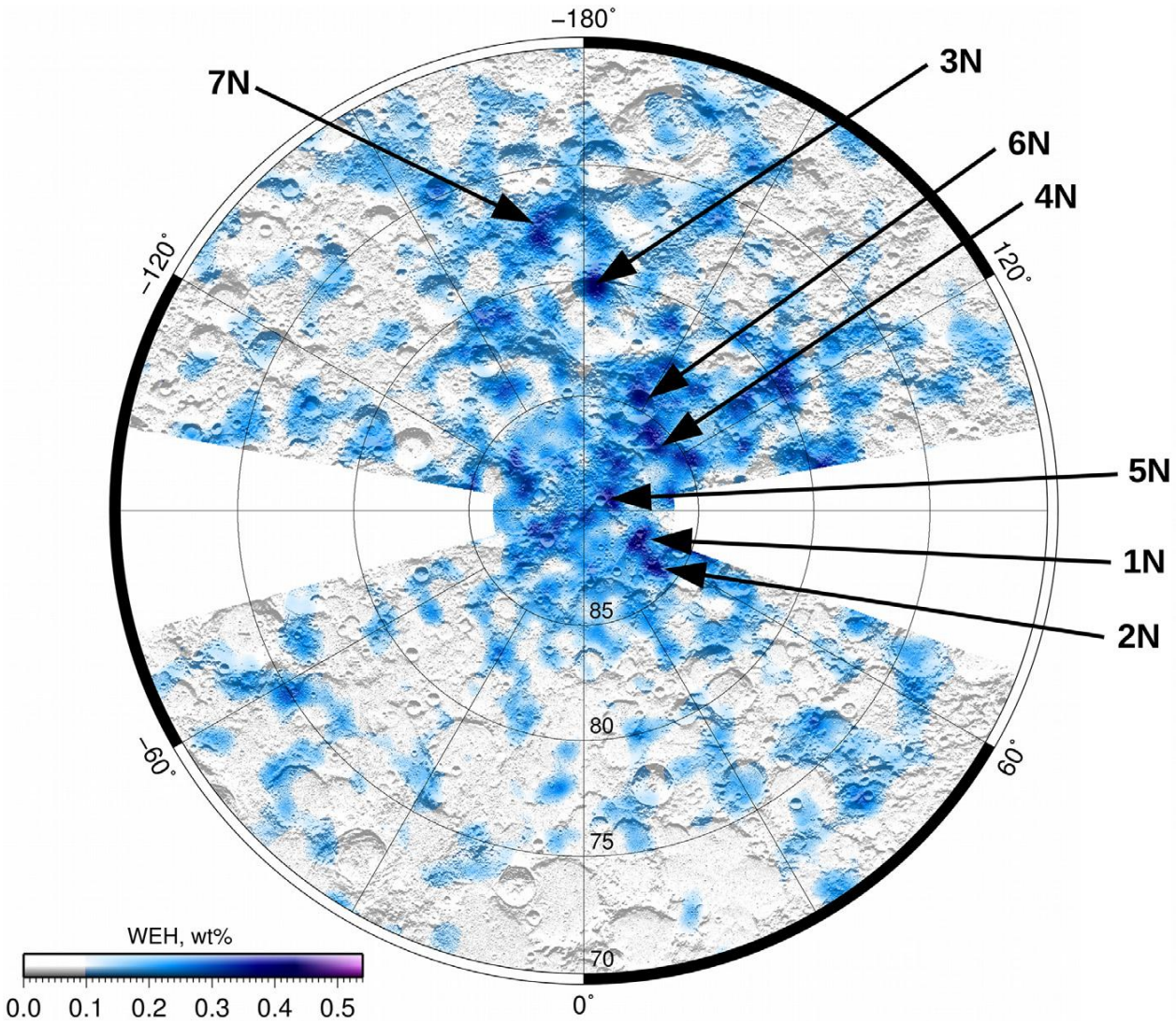
-資源として観点：　将来の宇宙探査への利用可能性。

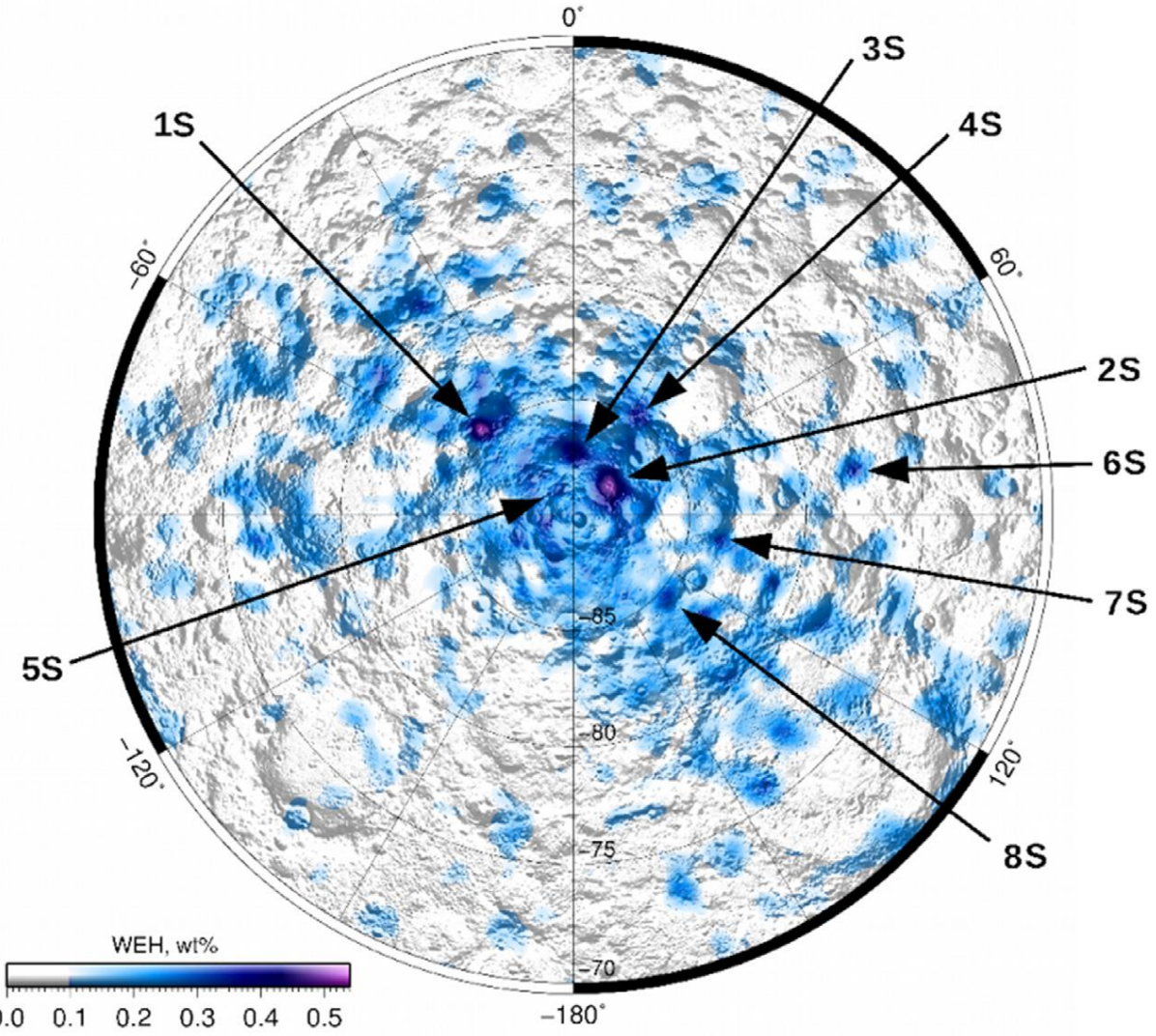
-科学的な観点：　水がどこから来たか（彗星、小惑星、太陽風由来の可能性）。



Plumes of Water Ice/Gas Mixtures Observed in the Lunar Polar Region,
Ohtake et. al, The Astrophysical Journal, 2024

リモートセンシングによる月極域の水氷2





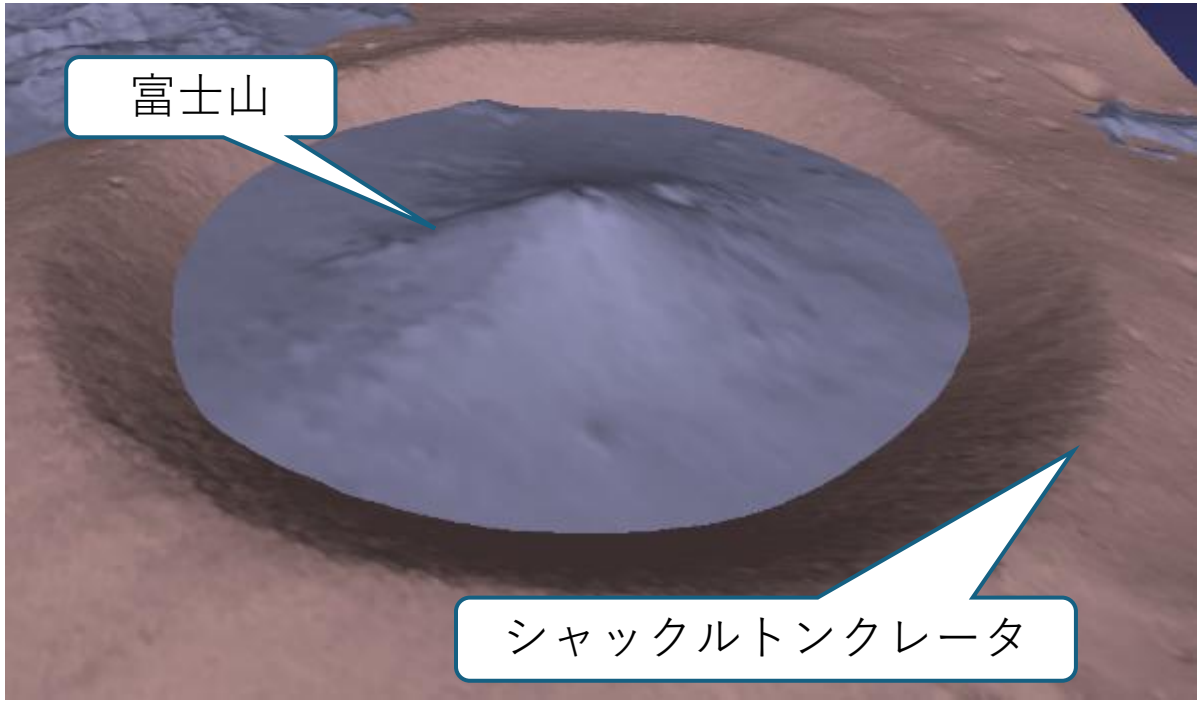
North pole

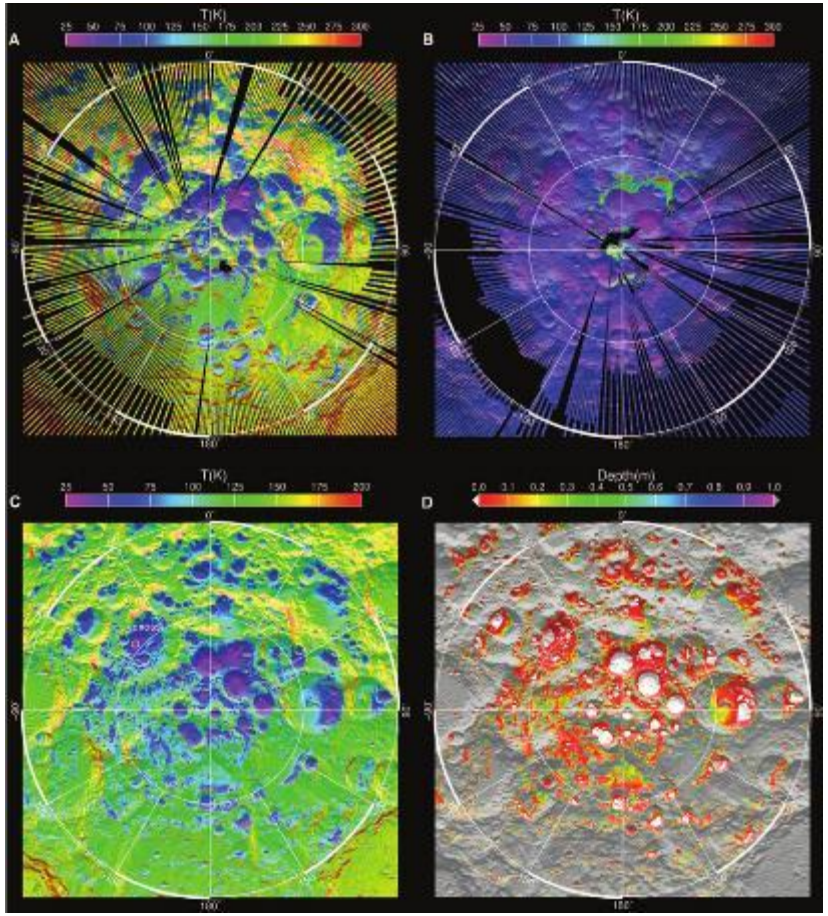
South pole

Hydrogen Distribution in the Lunar Polar Regions　A. B. Sanin et al.　2016

水のあるところ

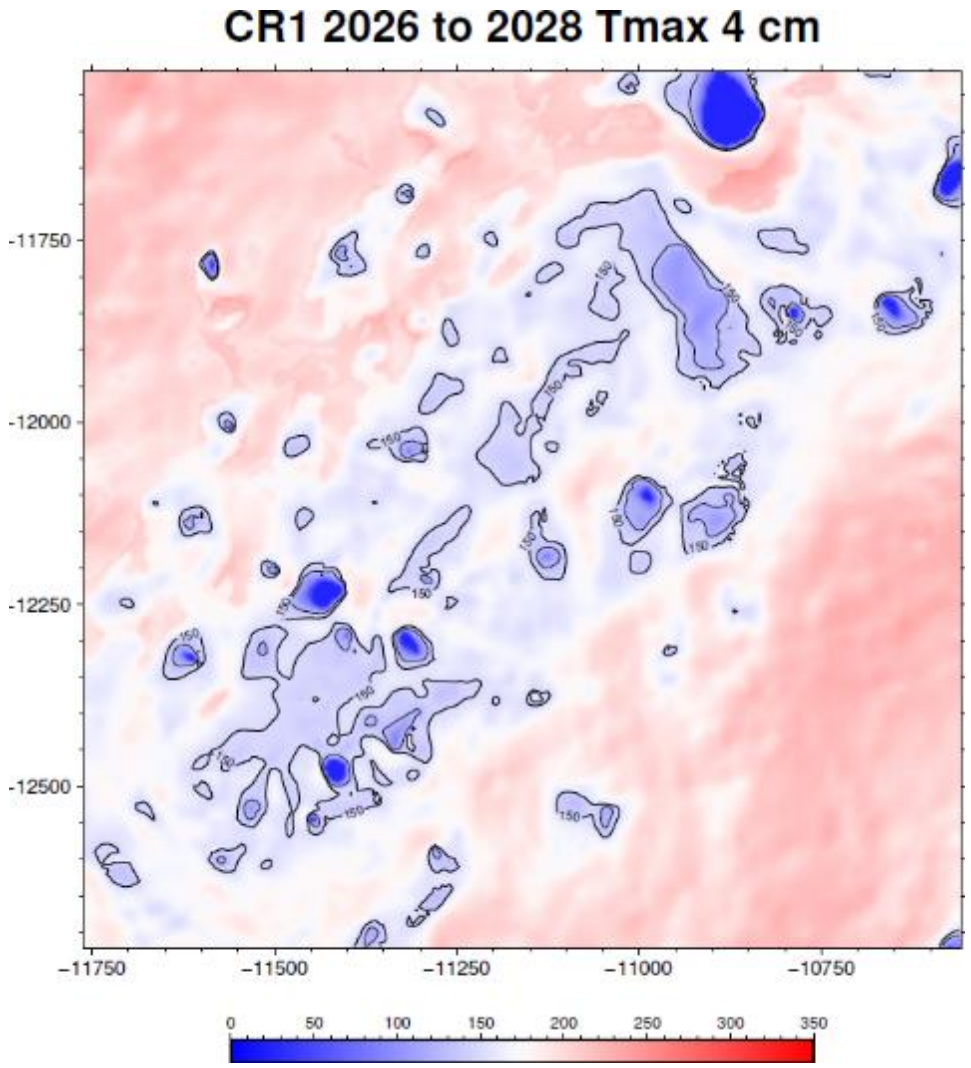
- シャックルトンクレータの底は永久影であるが、深さ4000ｍと深く、もし水氷が見つかったとしても、水汲みは困難？
- そのためもっと条件の良い場所（日照領域近傍の浅いクレータの底、地下温度が低い場所）を見つける必要がある。

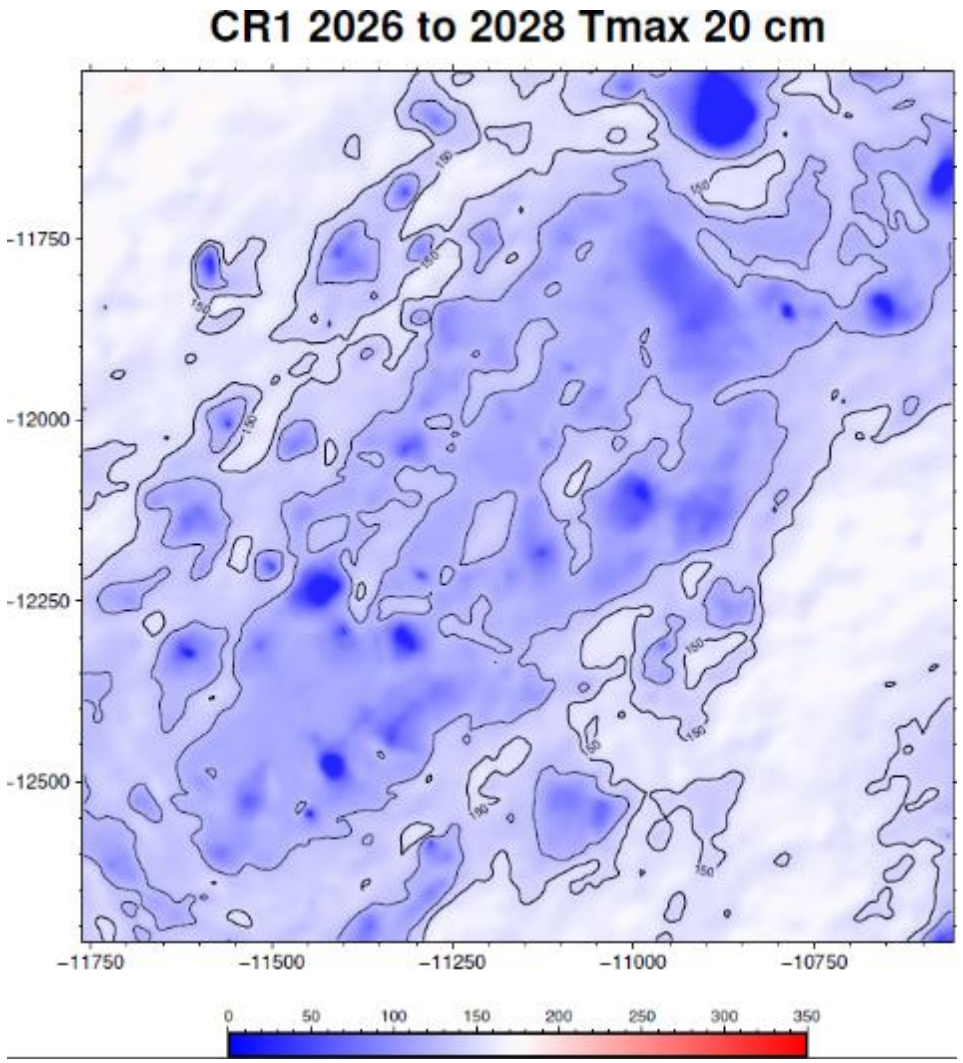




Paige, *et al.* **Traps in the Moon's South Polar Region**

地下の温度分布シミュレーション





出典：　月極域探査ワークショップその6　月極域の温度環境　JAXA石原

月極域探査の重要性

- 水資源の存在
  - 極域の永久影を含む低温領域には氷（水資源）が存在する可能性が高く、将来の宇宙活動におけるロケット推進剤の原料等としての利用が期待される。
- 長期日照地点の希少性
  - 月面において太陽光エネルギーを安定して得られる、年間を通じた日照率が極めて高い長期日照地域は、極域の一部にのみ希少な領域として存在。
- 水資源と日照領域の隣接
  - 水資源が眠る暗く冷たいクレーター底と、太陽光が当たる明るく暖かい日照領域が極めて近い距離に隣接しており、探査活動および拠点構築に理想的な環境である。
- 持続的な月探査への必須条件
  - 現地で水資源を調達（ISRU）することで地球からの輸送コストを大幅に削減できることは、将来の持続的な宇宙活動を実現するためのキーである。

LUPEXプロジェクトの成り立ち

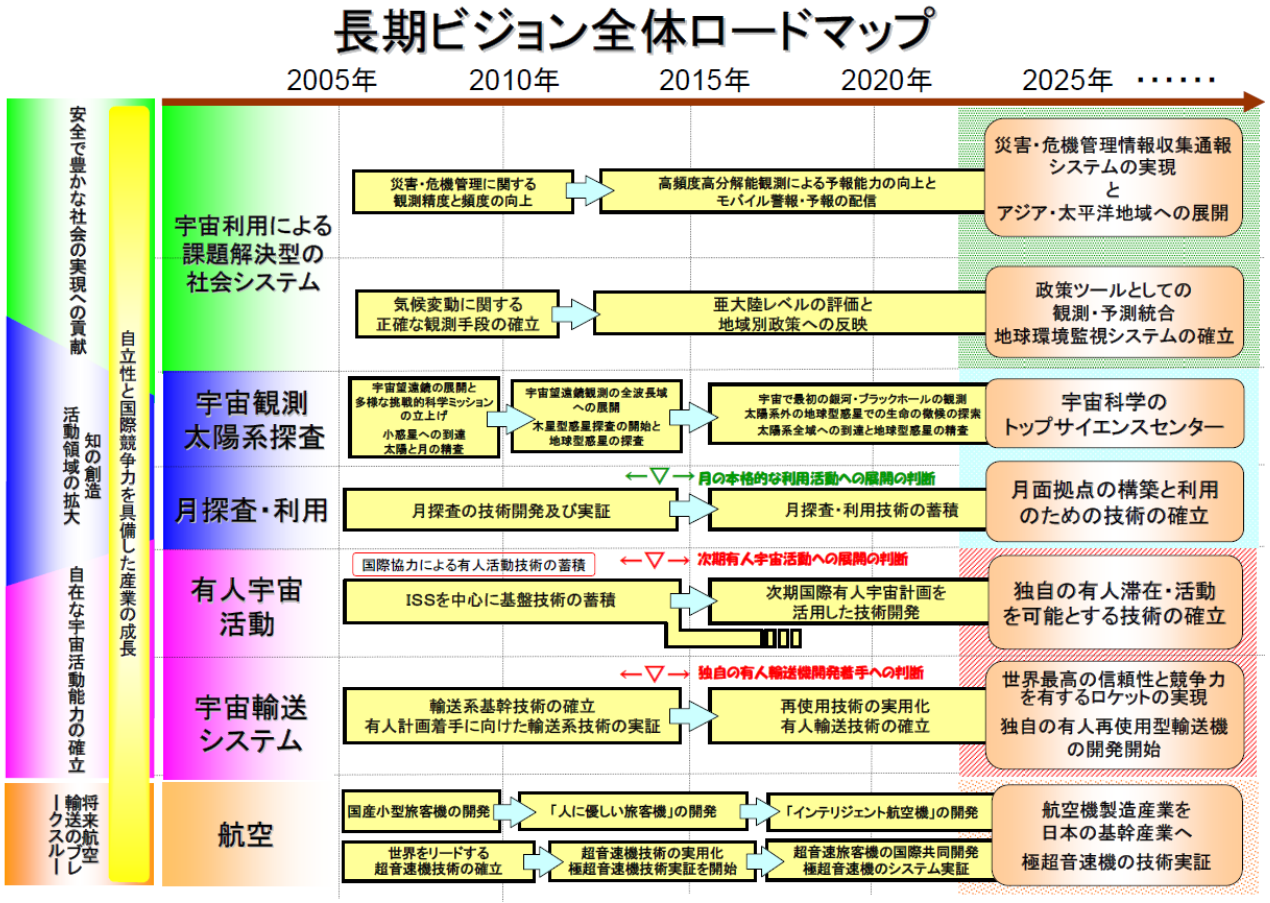
月極域探査の検討

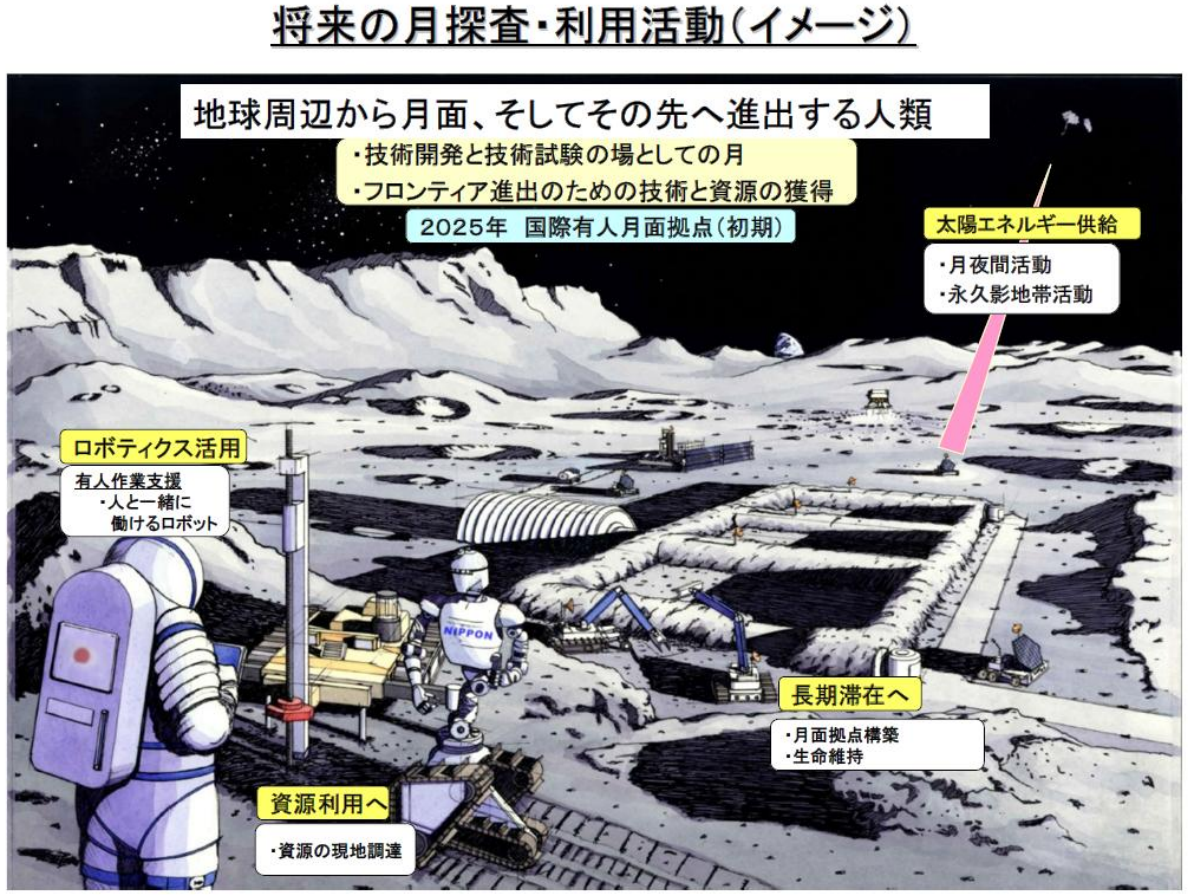
- 前述のとおり、月極域探査は重要であり、2000年代中頃から認識、初期的検討が進められてきた。

2003 年 12 月	宇宙科学研究所の 25 号科学衛星候補としてSELENE-B 計画(ISAS, NASDA, NAL提案)が提案されたが、工学委員会による評価で次点となり、引き続き検討を実施することとなった。
2004 年 1 月	米国新宇宙政策発表（いわゆるブッシュビション、コンステレーション計画）を受けて、我が国としてどのように対応すべきかが重要課題となりJAXAとして検討に着手。
2005 年 4 月	JAXA 長期ビジョンにおいて、「我が国の活動領域の拡大と競争力強化を図るため、月面拠点の構築と利用のための技術を確立」することが掲げられた。
2006 年 4 月	月惑星探査推進チームが発足し、SELENE 後継検討サブチーム概念検討を実施。
2007 年 4 月	月惑星探査推進グループ（2008 年 4 月に月・惑星探査プログラムグループに改組）が発足

JAXA長期ビジョン

- 2005年JAXA長期ビジョンを発表
- ブッシュビションを意識しつつJAXAの探査計画を検討





上図は月の極域の拠点がイメージされている

月・惑星探査プログラムグループ(JSPEC)

- SELENE（かぐや）打上げ前から月惑星探査推進グループにてかぐや後継機として月着陸探査機SELENE-2の検討に着手。

- 2007年プリプロジェクト発足
  - 2012～2014年に打上目標
  - 着陸地点は極域を想定

- 月惑星探査推進グループを改組して月・惑星探査プログラムグループ(JSPEC)が発足
  - JSPECは愛称で、**J**AXA **SP**ace **E**xploration **C**enterの意

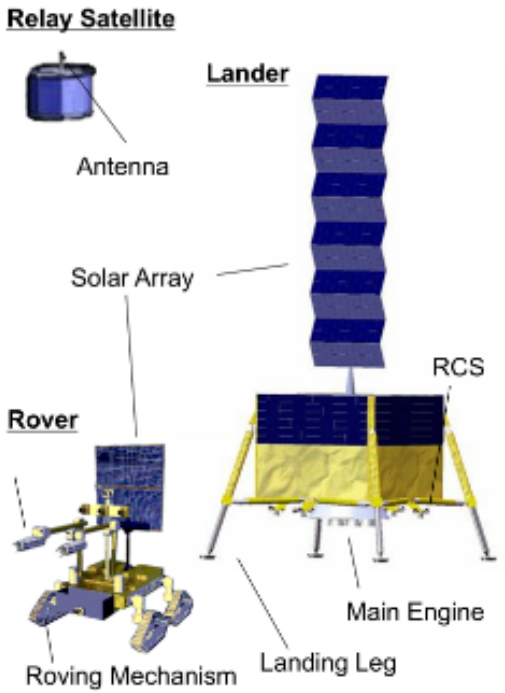


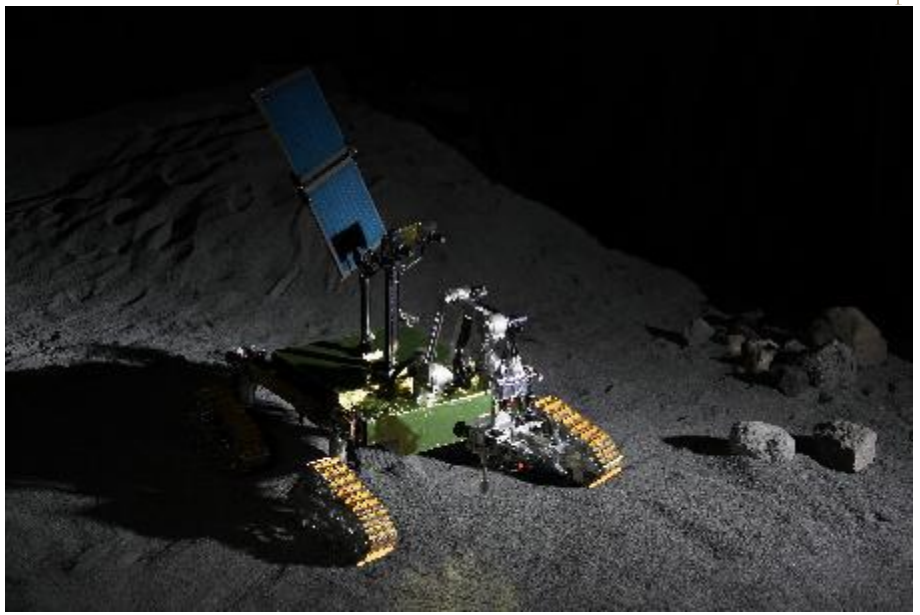
SELENE-2

- SELENE-2は発足当時、月極域探査を目指していた。
  ※下記は、2007年のJUSTSAP（Japan-US Science, Technology & Space Application Program）の会合で発表したSELENE-2計画の抜粋。
- その後、中低緯度に変更された。

Example of SELENE-2 configuration

Item	Specification (TBD)
Mission Instruments	Lander: spectroscope ... Rover:
Dimension	Lander:2.5m X 2.5m Rover:1m X 1m Relay Satellite: 1m in dia.
Mass	Lander: 1,000kg(Dry) Rover: 100kg Relay Satellite: 100kg
Mission Duration	More than one month
Power	500W(TBD)
Launcher	H-IIA Rocket (TBD)
Launch site	Tanegashima Space Center
Launch date	2010s

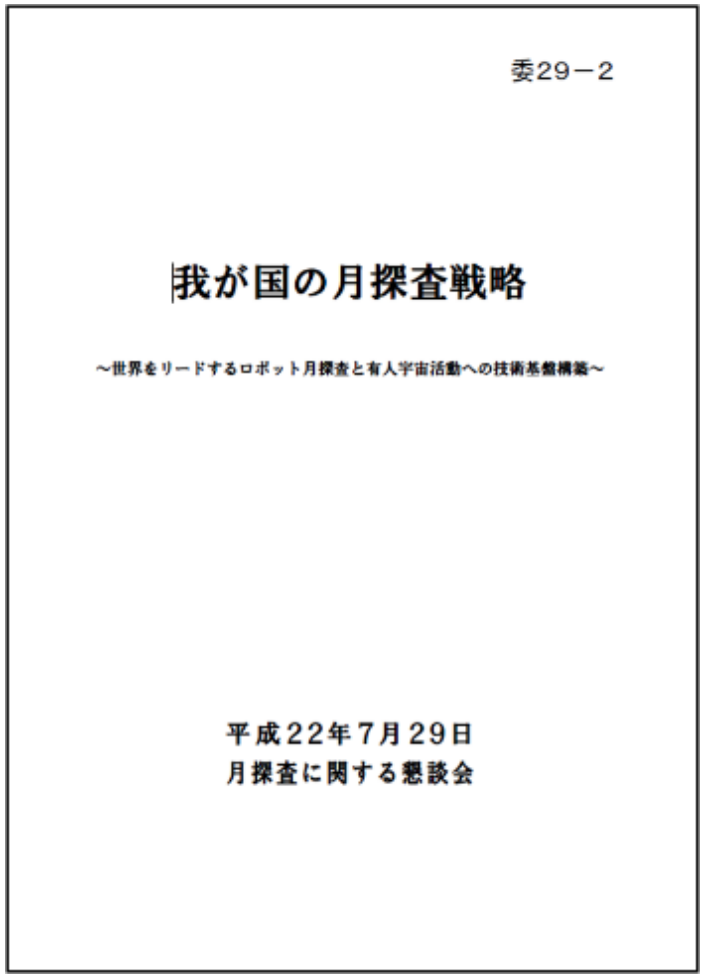






我が国の月探査戦略（2010年）

- **2015年頃　高精度な無人軟着陸と機器設置**
  - 世界初となる100m級の最高精度（ピンポイント）での月面無人自動軟着陸を目指す。
  - ロボットが自律的に適地を選び、地震計などの観測機器を設置する。
  - 月の極寒の夜（約2週間続く）を越えるため、従来使われてきた原子力電池を使用せず、世界で初めて太陽光発電と蓄電池（リチウムイオン電池）のみで観測機器を稼働・越夜させる。
- **2020年頃　無人での月面基地構築と長距離探査**
  - 日照条件の良い月の**南極域**に、電力供給、地球との通信、岩石分析などの機能を備えた基地をロボットによって組み立て・構築する。
  - 数ヶ月間にわたり、総走行距離100kmを超える広域ロボット探査を実施する。
  - 採取した岩石を基地の装置で自動選別し、価値の高い未知のサンプルを地球に持ち帰る（サンプルリターン）ことで、月の進化の謎に迫る。
  - 日本として初めて、岩石の組成分析等を通じて月面資源の利用可能性を探る。


委29－2

我が国の月探査戦略

～世界をリードするロボット月探査と有人宇宙活動への技術基盤構築～

平成22年7月29日
月探査に関する懇談会



出典：我が国の月探査戦略

新宇宙政策ビジョン

- 2010年頃「我が国の月探査戦略」の検討状況位に沿って技術検討に着手していた。

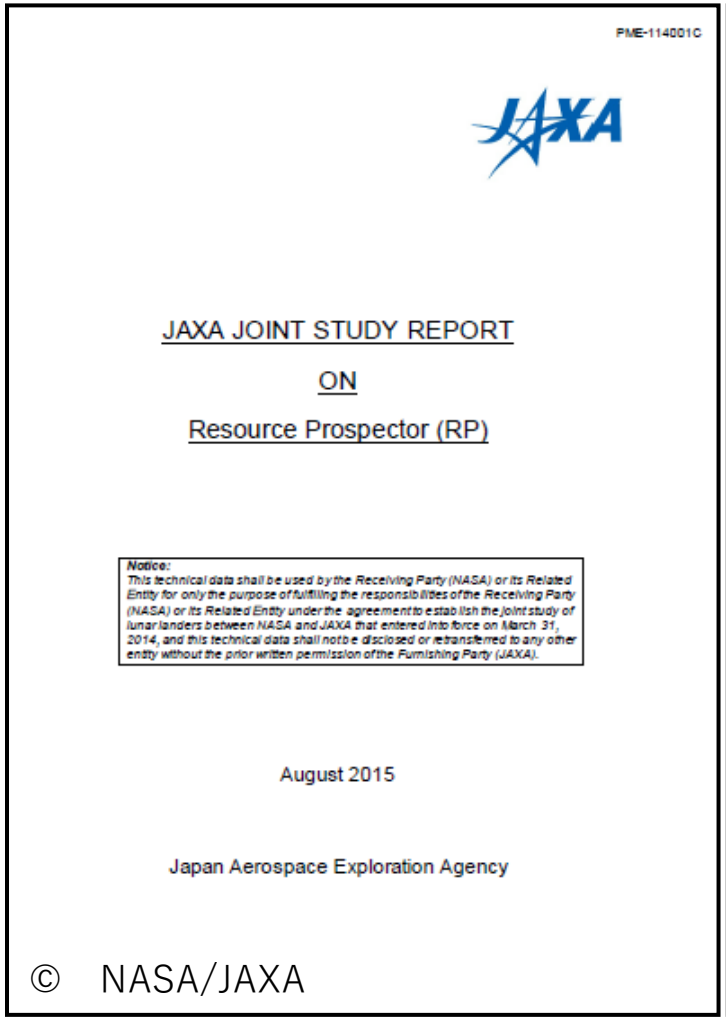
- しかし、「我が国の月探査戦略」が2010年7月に正式にまとめられる前に、米国の政策転換があった。

- 2010年4月、米国が新宇宙政策ビジョンを発表
  - NASAによる有人月面着陸計画（コンステレーション計画）を中止
  - 2020年代半ばの小惑星への有人飛行
  - 2030年代半ばまでの有人火星軌道周回・到達

- この後、大型の月探査計画ではなく、小型で低コストの月探査が検討され、SLIMやLUPEXにつながる。

RESOLVE(Resource Prospector)との連携

- SELENE-2プリプロジェクトは月極域探査の可能性を再度探るとともに、国際協力によってコスト削減や早期実施を探る方向に。
- NASAとCSAが実施していたRESOLVE（後のResource Prospector Mission、VIPERへとつながる）との連携を検討。
- 2014年3月から数年にわたり、NASAとJAXAは、月の南極における水氷の探査を実現することを目的とした共同研究を実施。
- この頃、SELENE/RPと呼ぶ
- 残念ながら2015年にSELENE-2プリプロジェクト終了



PME-114001C

JAXA JOINT STUDY REPORT

ON

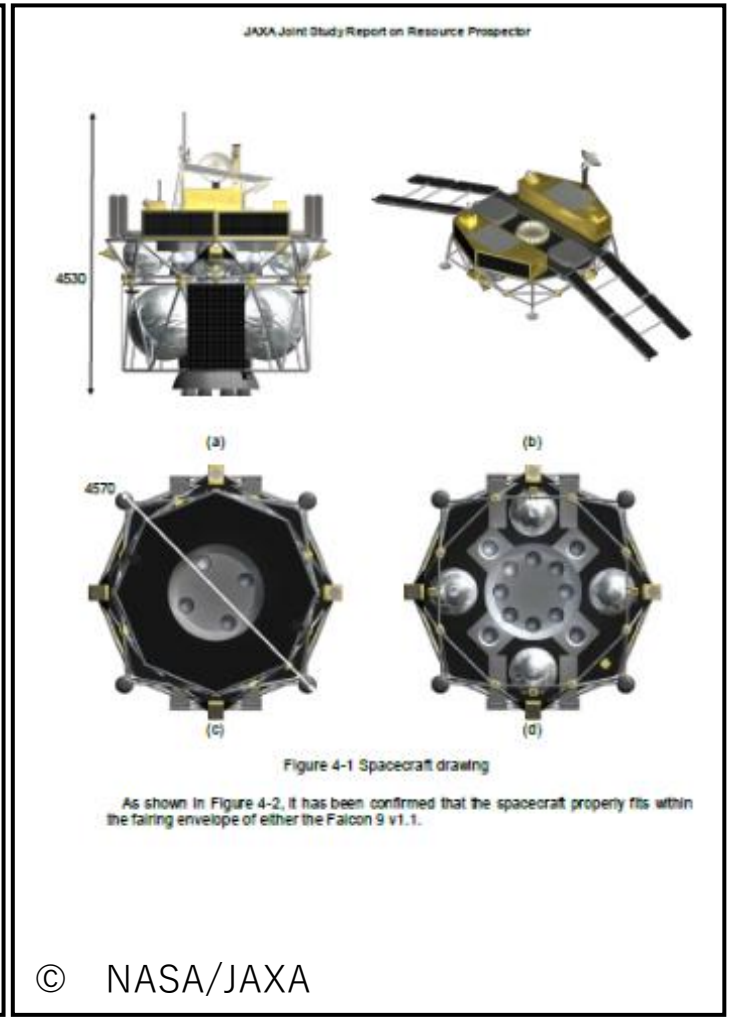
Resource Prospector (RP)

Notice:
This technical data shall be used by the Receiving Party (NASA) or its Related Entity for only the purpose of fulfilling the responsibilities of the Receiving Party (NASA) or its Related Entity under the agreement to establish the joint study of lunar landers between NASA and JAXA that entered into force on March 31, 2014, and this technical data shall not be disclosed or retransferred to any other entity without the prior written permission of the Furnishing Party (JAXA).

August 2015

Japan Aerospace Exploration Agency

© NASA/JAXA



JAXA Joint Study Report on Resource Prospector

4530

(a) (b)

4570

(c) (d)

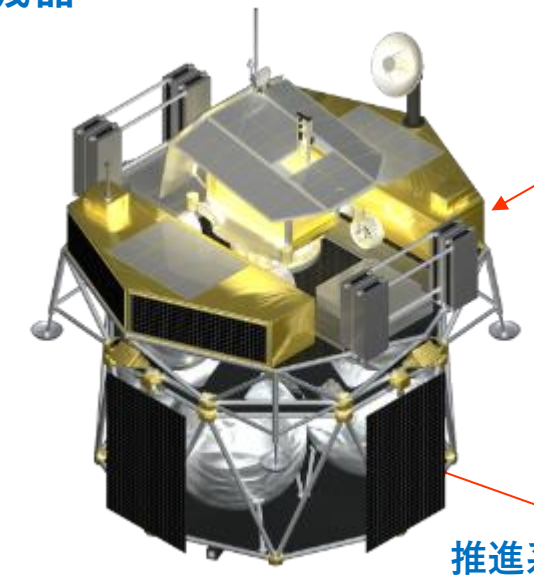
Figure 4-1 Spacecraft drawing

As shown in Figure 4-2, it has been confirmed that the spacecraft properly fits within the fairing envelope of either the Falcon 9 v1.1.

© NASA/JAXA

SELENE/RP

JAXA：
着陸機（含　推進系モジュール）
観測機器



打上時



小型ローバ

月面展開時

NASA：
ロケット／ローバ／観測機器



打上ロケット
Falcon9 v1.1

サンプル分析
Near Infrared Spectrometer
- 鉱物の組成等
- 氷／水検知

資源探知
Neutron Spectrometer
- 水素含有量をもとに探知

酸素／揮発性物質抽出
Oxygen & Volatile Extraction Node
- 採取サンプルから酸素や揮発性物質を抽出する

揮発性物質分析
Lunar Advanced Volatile Analysis (NASA)
- 水含有量の測定
- 揮発性物質の組成の測定

地表面下サンプル採取
Auger/Core Drill [TBD]



© NASA

表面移動システム(ローバ)

ISROとの連携

- 2015年8月　JAXA横断組織として「国際宇宙探査推進チーム」が設立され、月着陸探査の検討を引き継ぐこととなった。
- このころからはっきりと「月極域探査ミッション」と定義し、SELENE-Rと呼ぶようになる。
- 「宇宙分野における協力」に関するISRO-JAXA覚書のもと、2017年3月頃からISROと月極域探査ミッションの協働実施の可能性の調整を開始。
- 2017年12月にImplementation Arrangement締結。2018年2月までにPre Phase-A検討



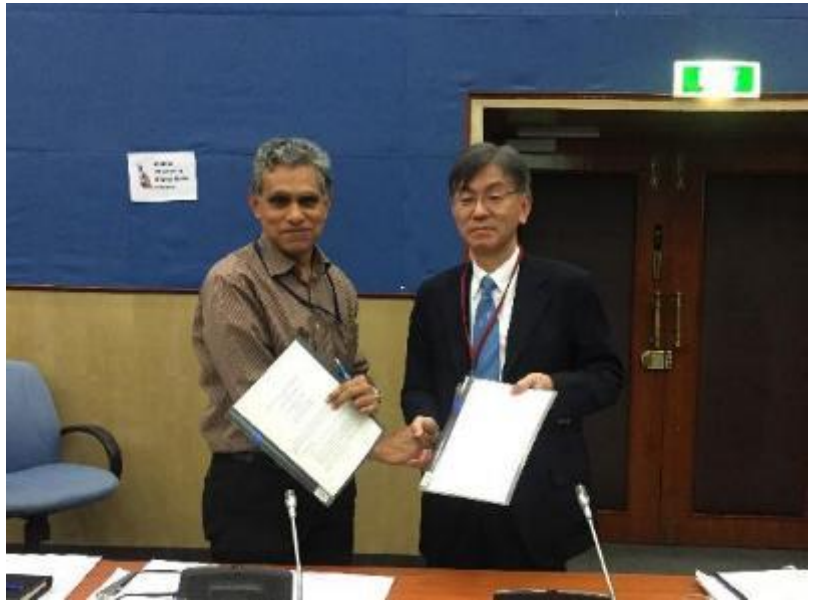
2回目の事前調整会議@ISRO HQ/2017年

LUPEXの概要と開発状況

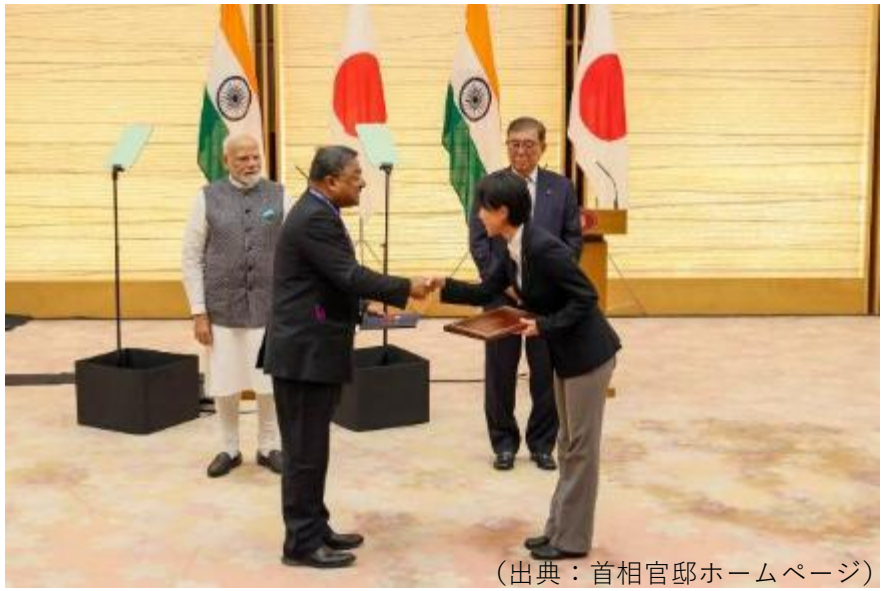
経緯

フェーズ	日付	活動内容
	2016年11月	「宇宙分野における協力」に関するISRO-JAXA覚書（MOU）の締結
フェーズA前	2017年12月	ISRO-JAXAによる、月極域共同探査ミッションの可能性を検討するための実施協定（IA）の締結
	2018年12月	ISRO-JAXA共同ミッション定義レビュー（MDR）の実施
フェーズA	2020年01月	国際宇宙探査センターにLUPEXプリプロジェクトチームを設置。 JAXA国内フェーズAを開始。
	2022年01月	JAXAシステム定義検討会（SDR）
フェーズB	2022年03月	LUPEXプロジェクトチームを設置。JAXA国内フェーズBを開始。
	2022年07月	日本政府によるLUPEXプロジェクトの承認
	2023年11月	JAXA有人宇宙技術部門に移管
	2025年03月	インド政府によるCh-5/LUPEXプロジェクトの承認
	2025年08月	LUPEXの共同開発に関するISRO-JAXA間協定（IA）の署名
フェーズC	2026年03月	TIM6およびISRO-JAXA合同予備設計審査
	2026年04月	種子島宇宙センターにてTIM7を実施
	2026年07月	バンガロールにてTIM8を実施
	2026年12月	東京周辺にてTIM9を実施予定

参考：日印間の重要プロジェクトに発展



合同ミッション定義審査@ISRO HQ (2018)



（出典：首相官邸ホームページ）

2025年8月29日首相官邸にて石破首相とモディ・インド首相の立ち会いのもと、LUPEX実施取決め(IA)に署名

日印首脳共同声明　2026年7月

They noted with satisfaction the ongoing progress in the Lunar Polar Exploration (LUPEX) Mission between the Indian Space Research Organization and the Japan Aerospace Exploration Agency.



（出典：首相官邸ホームページ）

両首脳は、インド宇宙研究機関（ＩＳＲＯ）と宇宙航空研究開発機構（ＪＡＸＡ）の間で進行中の月極域探査機（ＬＵＰＥＸ）プロジェクトの進捗を満足の意をもって確認した。

参考： TIM (Technical Interexchange Meeting)



TIM1@インド理論科学国際センター



TIM3@ISRO HQ



TIM5@御茶ノ水



TIM6@Bengalure



TIM7@種子島



TIM8@ISRO URSC

日本の宇宙探査計画

2020　2030　2040

火星


MMX

展開型エアロシェル



無人探査技術実証　有人探査

月


かぐや


SLIM


LUPEX

今後の一連の月探査の先駆けとなるミッション




燃料製造プラント（実証）


月面基地

無人探査　有人探査　月面インフラ　持続的な探査

地球低軌道


HTV-X


ISS・ポストISSへの物資補給


日本モジュールの概念検討

ISS運用　持続的な地球低軌道利用

宇宙活動の商業化

役割分担

- ISRO：着陸機、観測機器、地上システム
- JAXA：ローバー、観測機器、打ち上げサービス、地上システム
  - NASA：観測機器、追跡支援
  - ESA：観測機器、追跡支援

JAXA

H3

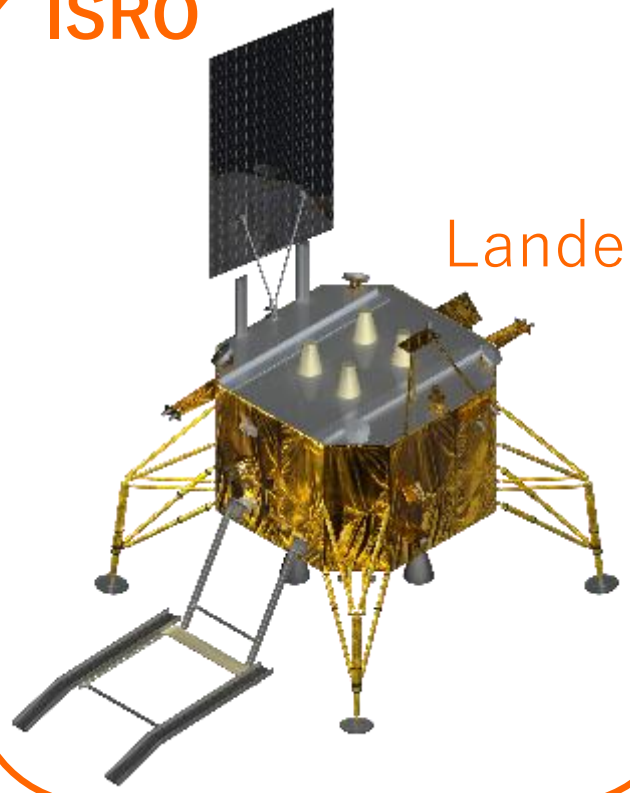


Rover



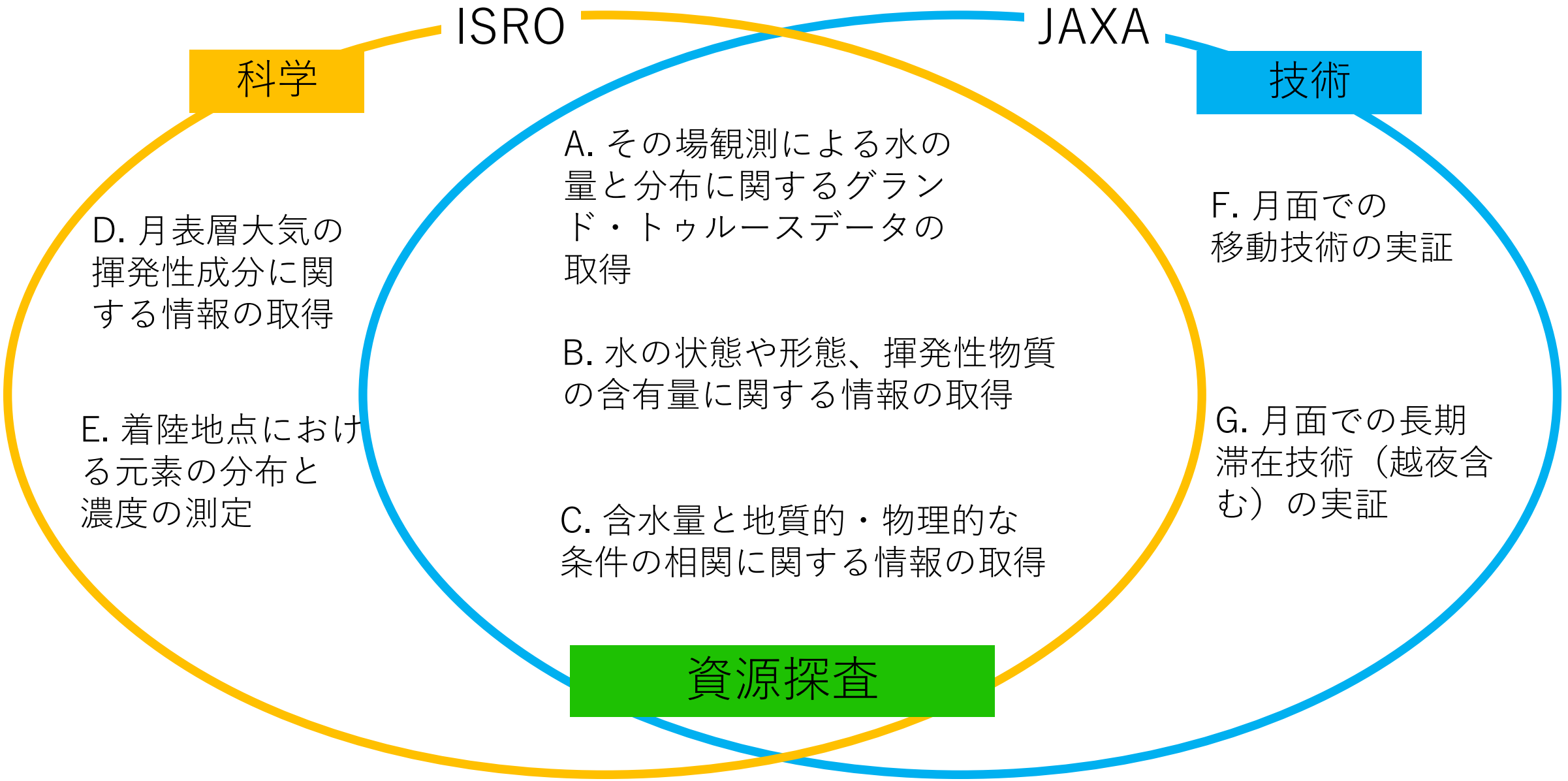
ISRO

Lander



打上げロケット	H3-24L
投入軌道	遠地点高度　180,000km
ペイロード質量	約6,650 kg
ローバ質量・ サイズ	420 kg 2.0m × 1.8m × 3.3m
ミッション期間	着陸後約100日（3.5ヶ月） （エクストラ1年）
着陸地点	月の南極域

プロジェクト全体の目的



アウトプット創出チーム

- **アウトプット創出チーム（Output Data Creation Team：ODCT）**
  - ODCTはJAXAとISROがそれぞれで組織（JAXA ODCT、ISRO ODCT）
    - JAXA ODCT：JAXAが開発を担当する観測機器とJAXAが提供を受けるNASA・ESAの観測機器を主に扱う。
    - ISRO ODCT：ISROが開発する観測機器を主に扱う。
  - 各観測機器データを統合的に解析するなど、全体として統一的に行う活動はJAXA/ISROのODCTが共同で行う。

- 具体的な活動は以下
  - ローバに搭載する個々の観測機器データや、複数の観測機器データを統合して作成するアウトプットプロダクト（資源データ等）の作成
  - アウトプットプロダクトの作成に必要な観測運用やデータ処理など理学的な検討作業
  - 着陸点やwaypointの検討支援

LUPEXローバの意義と特長

- 意義：
  - 月極域探査の先鋒
  - 月極域での水の「その場」観測
  - 水の量:　環境条件による水の量と分布に関するGround-truthデータの取得
  - 水の質:　水の資源可用性検討のための水の形態（分子量、分子種）調査
- 重力天体表面探査技術（走行、掘削・採取、越夜…）の実証
- 特徴：

掘削・採取系

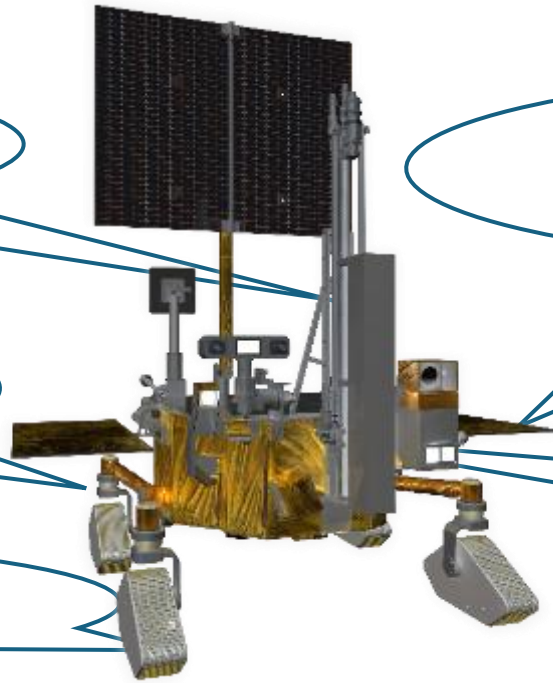
高精度の垂直試料採取

振動マイク

音（振動）を記録

走行系

多様な環境での踏破性能



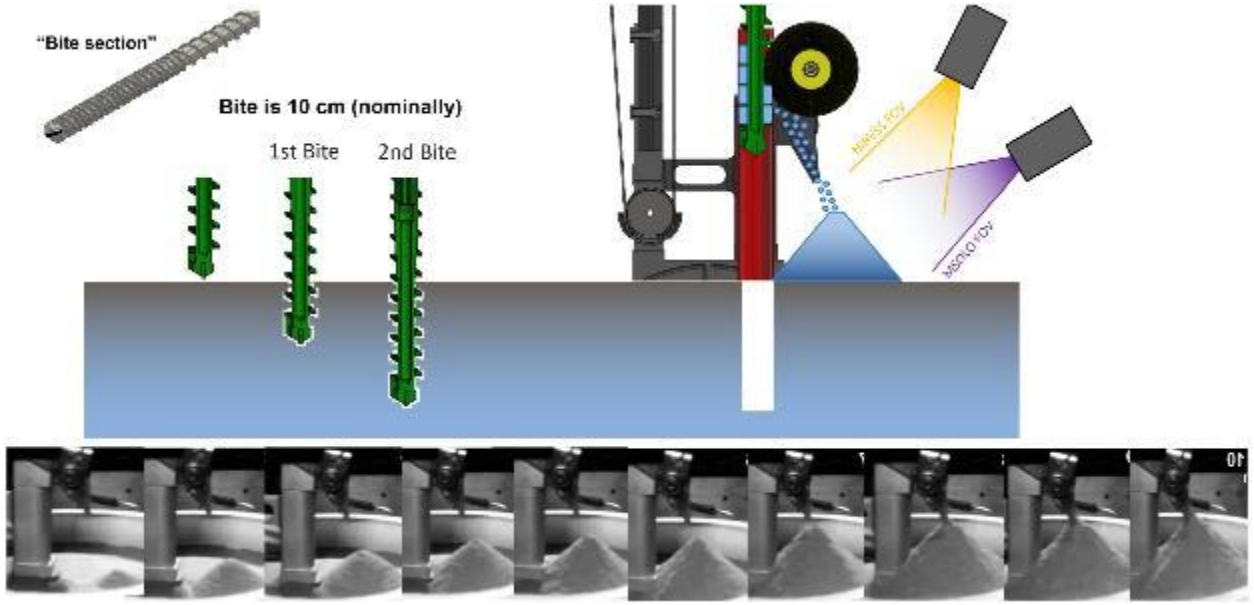
電源系・熱制御系

サバイバビリティ（電力確保・越夜）

観測機器

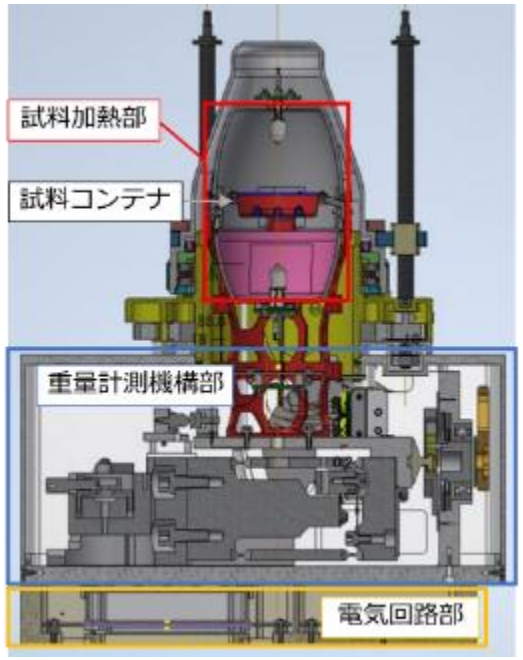
含水量の直接計測

参考：高精度の垂直試料採取と含水量の直接計測



TRIDENT Ice Mining Drill for Lunar Volatile Prospecting for PRIME-1 and VIPER Missions, Kris Zacny　et al。

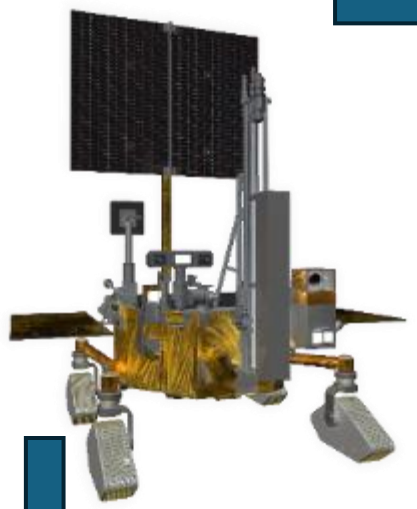




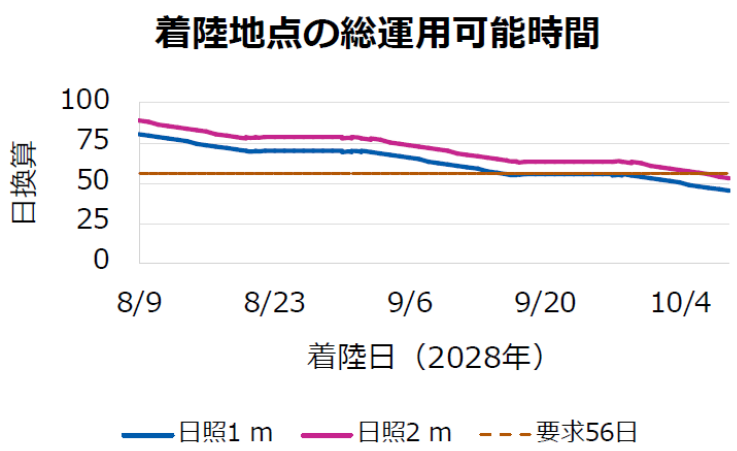
VIPERは排土を観測：
最小10cm刻みで排土を表面に取り出す。掘削時、観測時に混ざるため垂直誤差が大きい

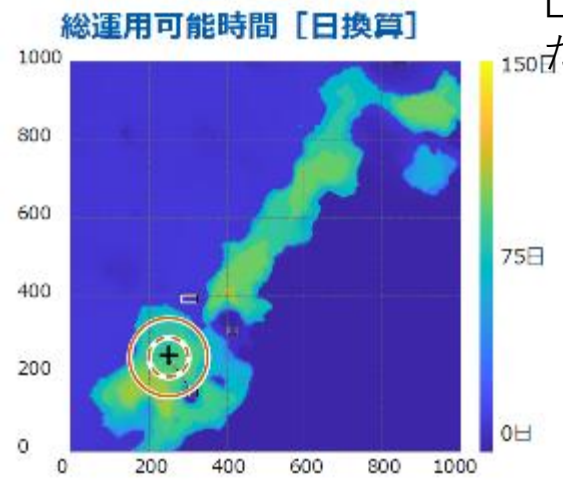
LUPEXはドリル先端採取、閉鎖環境で重量変化を計測：
任意深さでの局所採取が可能で、厳密に揮発性物質の重量％を計測できる

参考：多様な環境での踏破性能とサバイバビリティ



太陽電池パネル：
月極域は日照が水平方向のため、2mまでは局的な地形の影響を受け影が多い（運用可能日数：　高度1mで80.92日分、高度2mで89.04日）。重力環境下での展開パネルを開発。

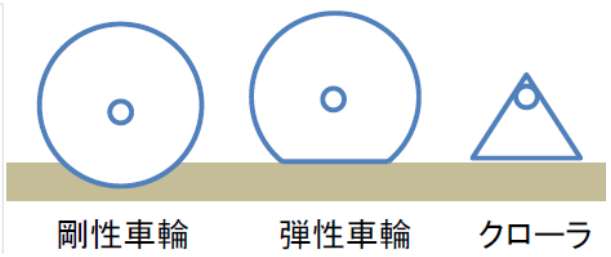




リチウムイオン電池：
材料工夫による高エネルギ密度化に加えて、越夜に必要なヒータ電力を最小とするため、LUPEXの要求寿命に合わせた運用中の動作温度範囲拡大。



月極域の不整地に対応：
履帯方式で接地圧を低減、独立操舵かつロッカー機構と揺動軸の組み合わせで、4脚で6輪走行系と同等の障害物乗越え性能





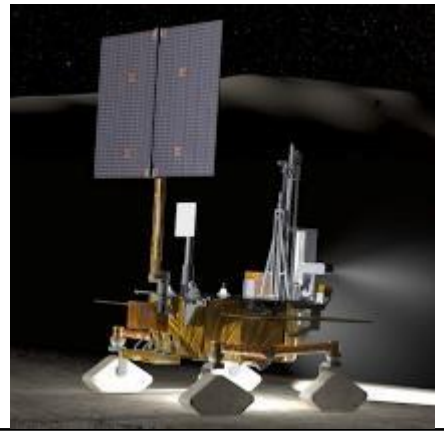
参考：LUPEXと他国の水探査機との特徴比較

■他国と比べて優位性を有する項目







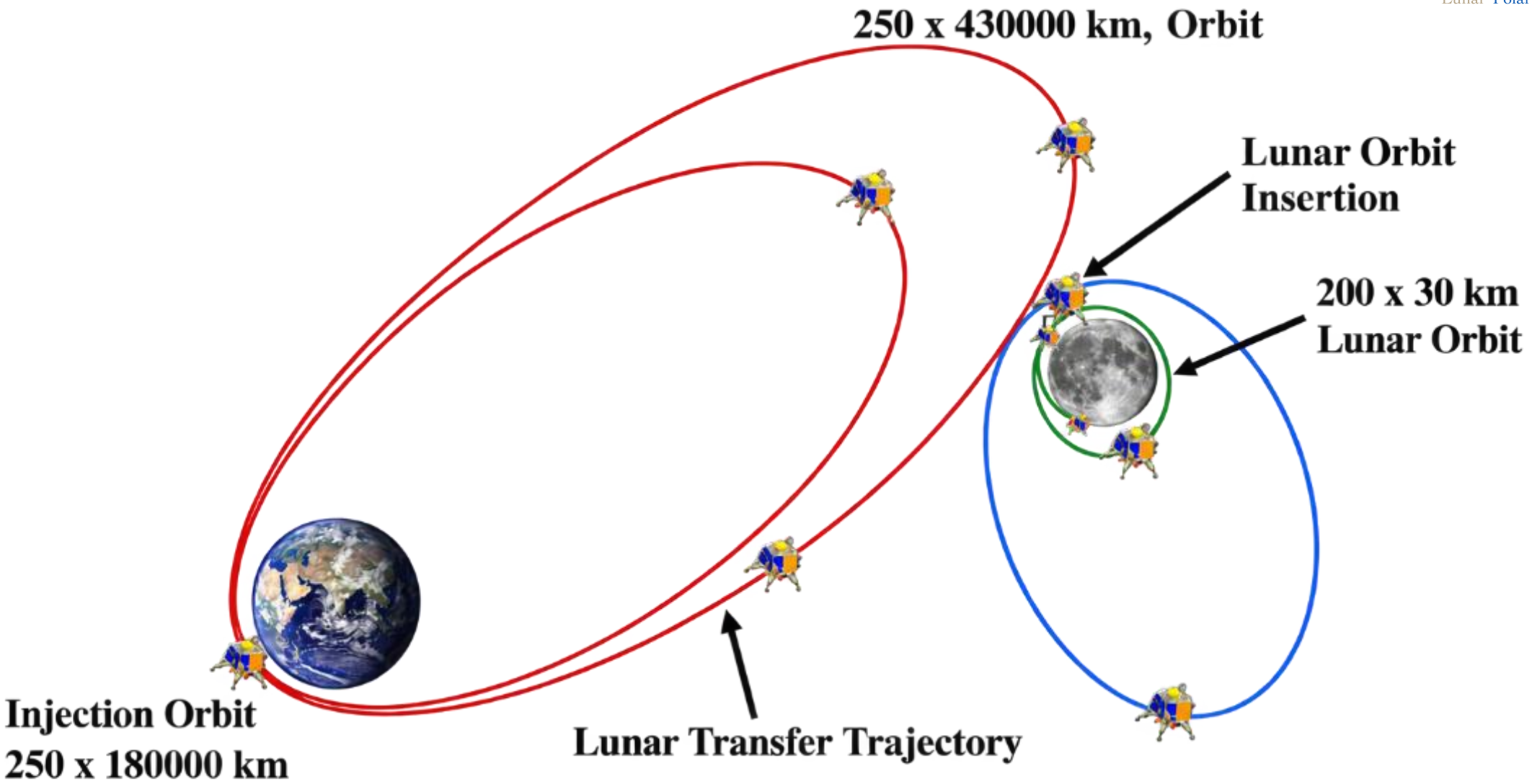




打上げ年 (*1)	2027	2027 （IM-4）	2027 (by Blue Origin)	FY2028	2029
主要開発国 (*2)	中国	欧州	米国	日本／インド	UAE
ミッション名称	Chang'E 7	PROSPECT	VIPER	LUPEX	Rashid-3
搭載箇所	ローバ、ホッピング機	ランダ	ローバ	ローバ	ローバ
重量濃度	間接的な推定のみ （質量分析計）	間接的な推定のみ （精密な重量測定なし）	間接的な推定のみ	直接測定 （0.1wt%精度）	推定無し （or 間接的な推定）
分析環境	開放系での表層測定	閉鎖系での分析 （精密な重量測定なし）	開放系での表層測定	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 1273Kまでの能動的加熱	太陽光加熱による 揮発ガス分析	封止した上での 500Kまでの能動的加熱	（ガス分析せず）
永久影内	探査予定(ホッピング機)	予定なし（着陸地点のみ）	探査予定	探査予定	予定なし
垂直分解能	（採取なし）	不明（採取量45mm^3）	掘削時の深浅排土が混ざる	垂直分解能 3cm未満	（採取なし）
同位体計測	質量分析のみ	質量分析のみ	質量分析のみ	3つの独立した手法で計測実施	（分析せず）
ローバ活動期間	不明	越夜予定なし	100日	着陸後約100日（3.5ヶ月） エクストラ： 着陸後1年	不明

(*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)、米国PROMICEによる水探査などがある。

運用：打上～着陸

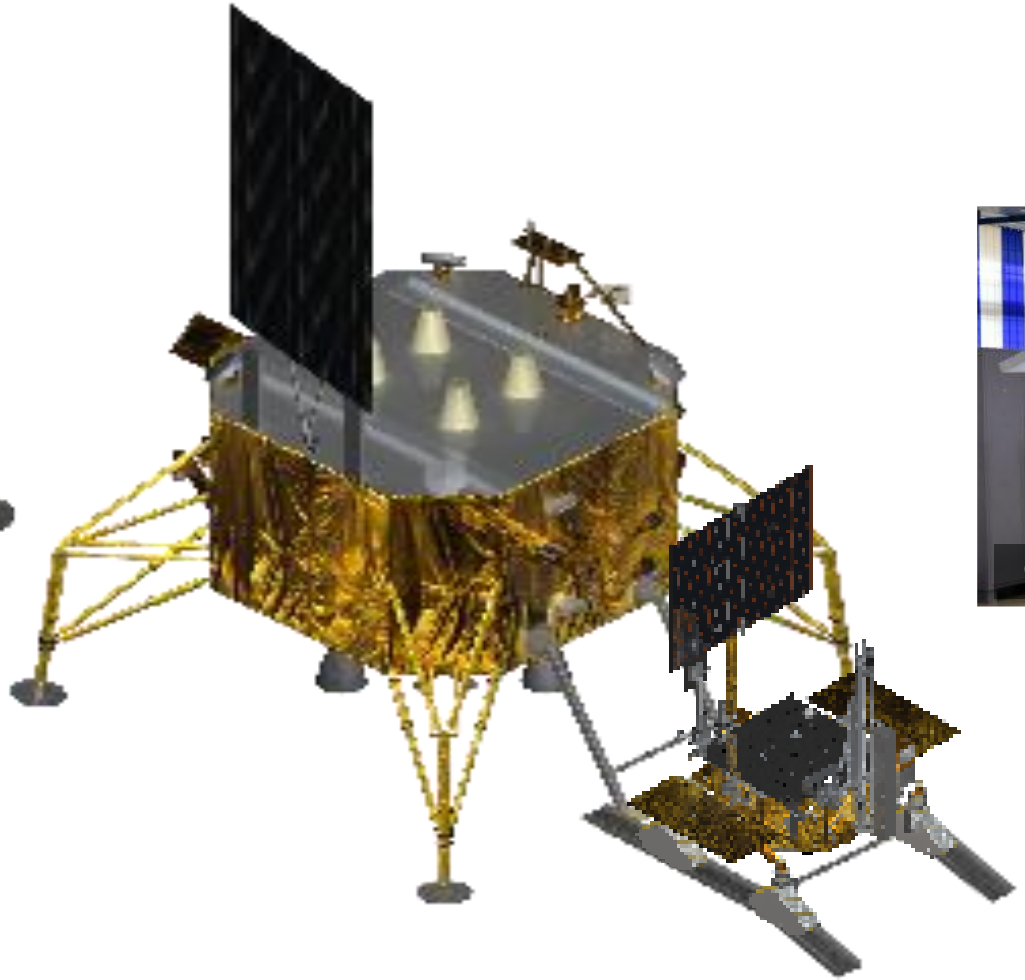

250 x 430000 km, Orbit
Lunar Orbit Insertion
200 x 30 km Lunar Orbit
Injection Orbit
250 x 180000 km
Lunar Transfer Trajectory

©ISRO

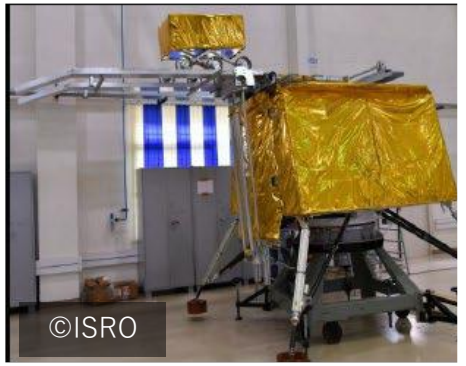
運用：月面でのローバ展開



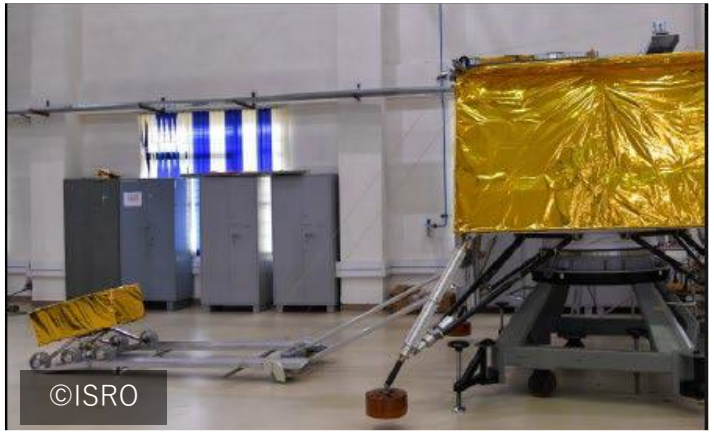
軌道上



ローバ展開

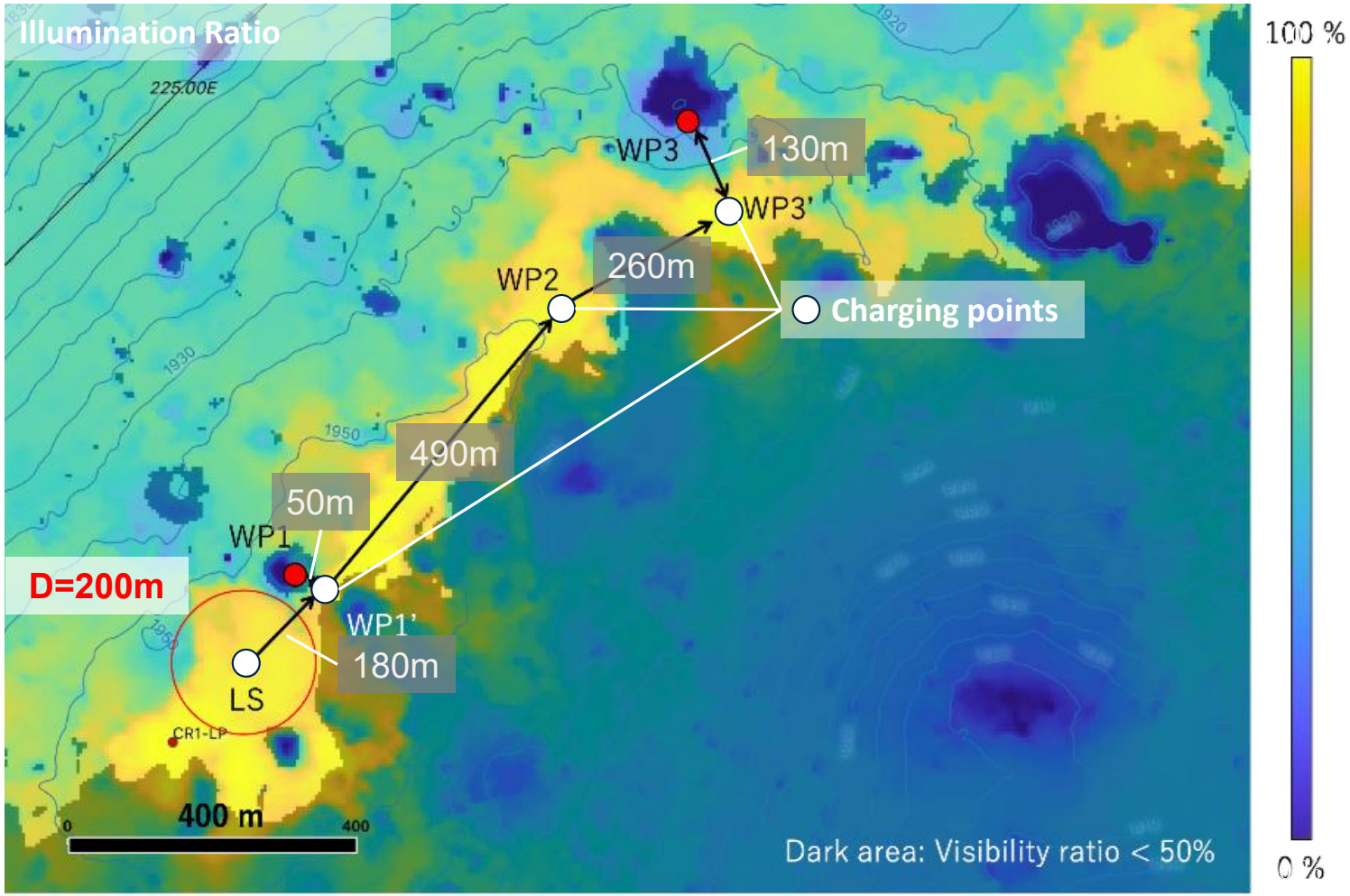




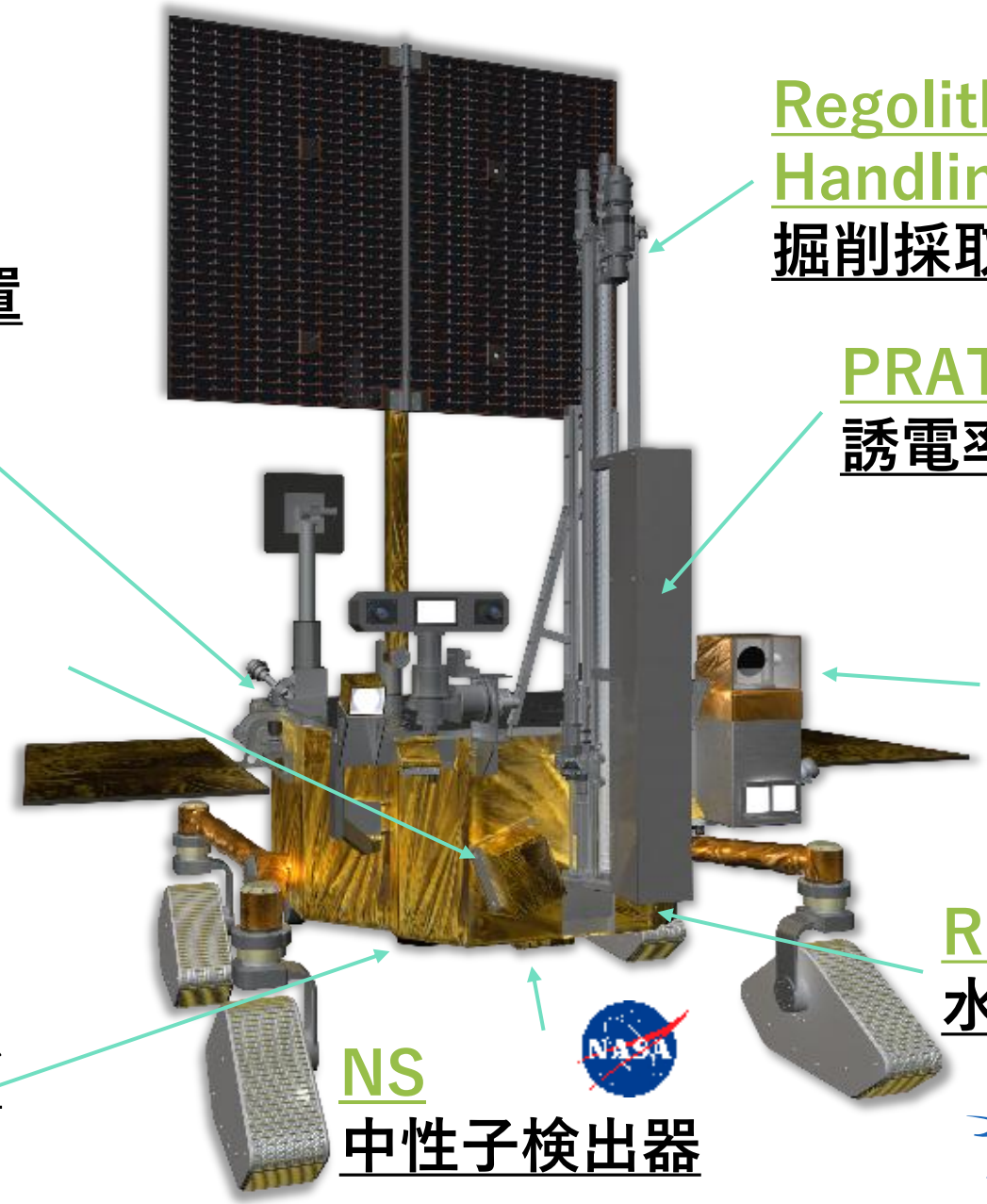


運用：月面での観測

- 着陸地点を水の存在、日照、通信等の観点から事前に選定。
- 着陸地点周辺で観測に適した点をウェイポイントとして設定。それぞれのウェイポイント周辺で疎観測・詳細観測を行う。



ミッション機器１



MIR
中間赤外
画像分光装置

Regolith Handling
掘削採取系

PRATHIMA
誘電率・熱物性計

EMS-L
表層分圧計

ALIS
近赤外画像

WaSSPeR
地中レーダ

REIWA
水資源分析計

NS
中性子検出器

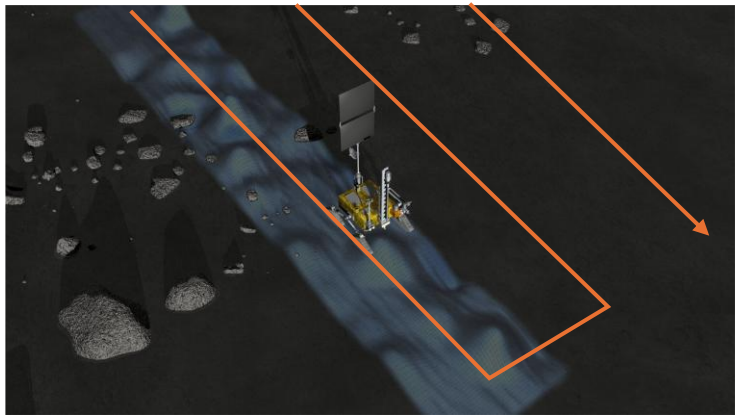
ミッション機器2

観測機器	目的・機能	担当
①水資源分析計(REIWA) **- 熱重量分析計(LTGA)** **- 質量分析計(TRITON)** **- 微量水分・同位体分析装置(ADORE)** - ISRO分析装置(ISAP)	以下観測機器の統合パッケージ機器 ・掘削採取試料の加熱・重量計測 ・揮発ガスの質量分析 ・揮発ガスの水分量計測および水素同位体計測 ・掘削採取試料のラマン分光観測	**JAXA** **JAXA** **JAXA** **JAXA** ISRO
②近赤外画像分光装置(ALIS)	月表層レゴリスのH_2O/OH量観測	**JAXA**
③中性子検出器(NS)	ローバ走行中の水素濃度計測	NASA
④地中レーダ(WaSSPeR)	ローバ走行中の地下構造測定	ISRO
⑤表層分圧計(EMS-L)	月表面付近外気圏のガス種測定	ESA
⑥中間赤外画像分光装置(MIR)	月表面の中間赤外スペクトル取得	ISRO
⑦誘電率・熱物性計(PRATHIMA)	月レゴリスの誘電率・熱物性計測	ISRO

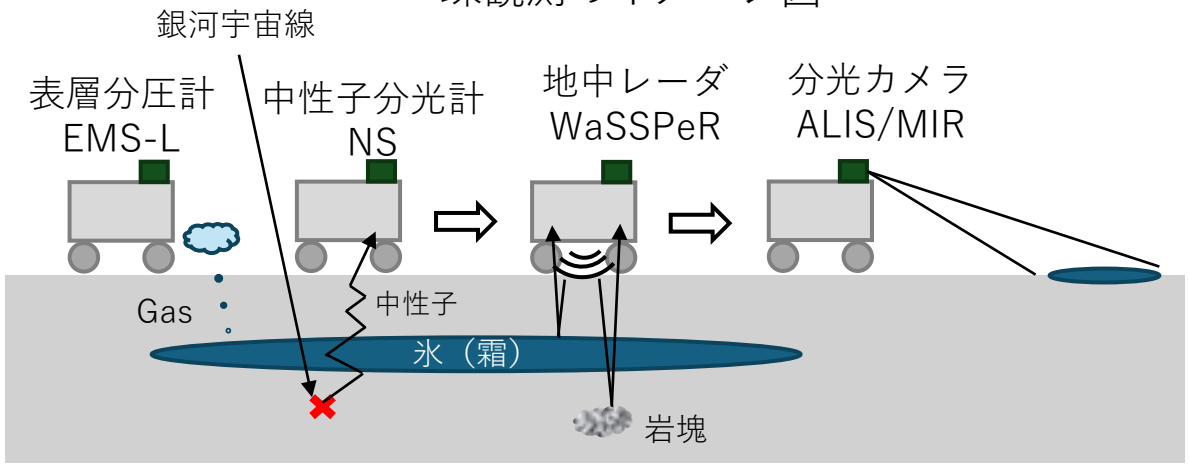
観測運用の詳細１

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



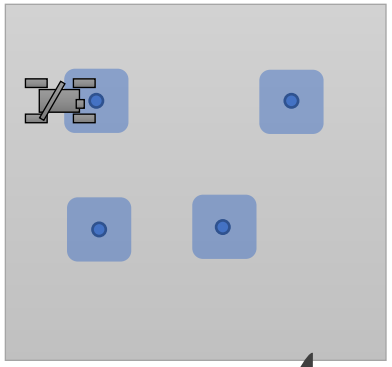
疎観測のイメージ図



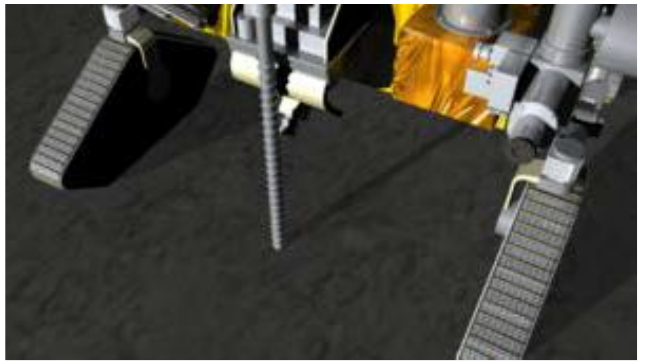
詳細観測

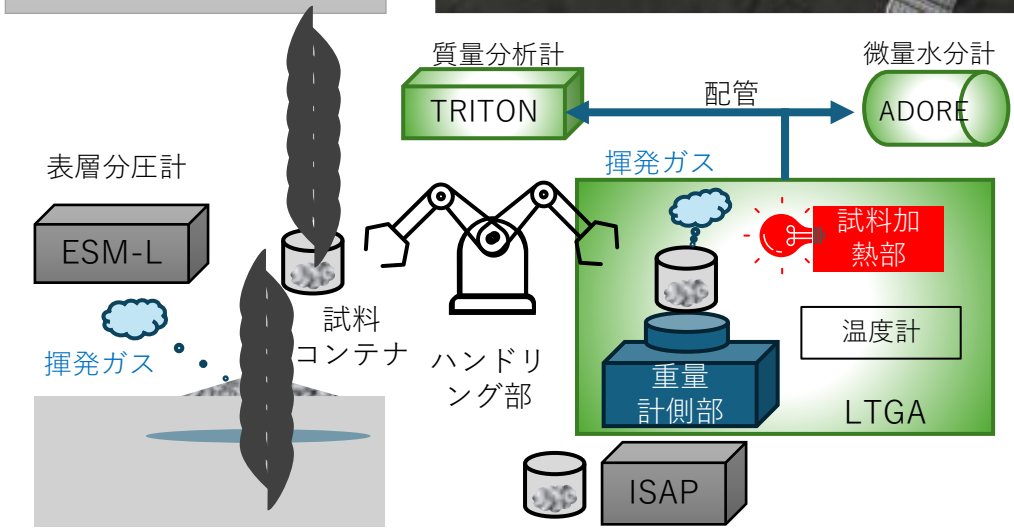
- 決定した掘削地点に移動し、月面を掘削
- 表層～深さ1m以上の土壌サンプルを採取
- 水資源分析計等で観測し、水の量・状態・形態等を解明

詳細観測地点



詳細観測のイメージ図



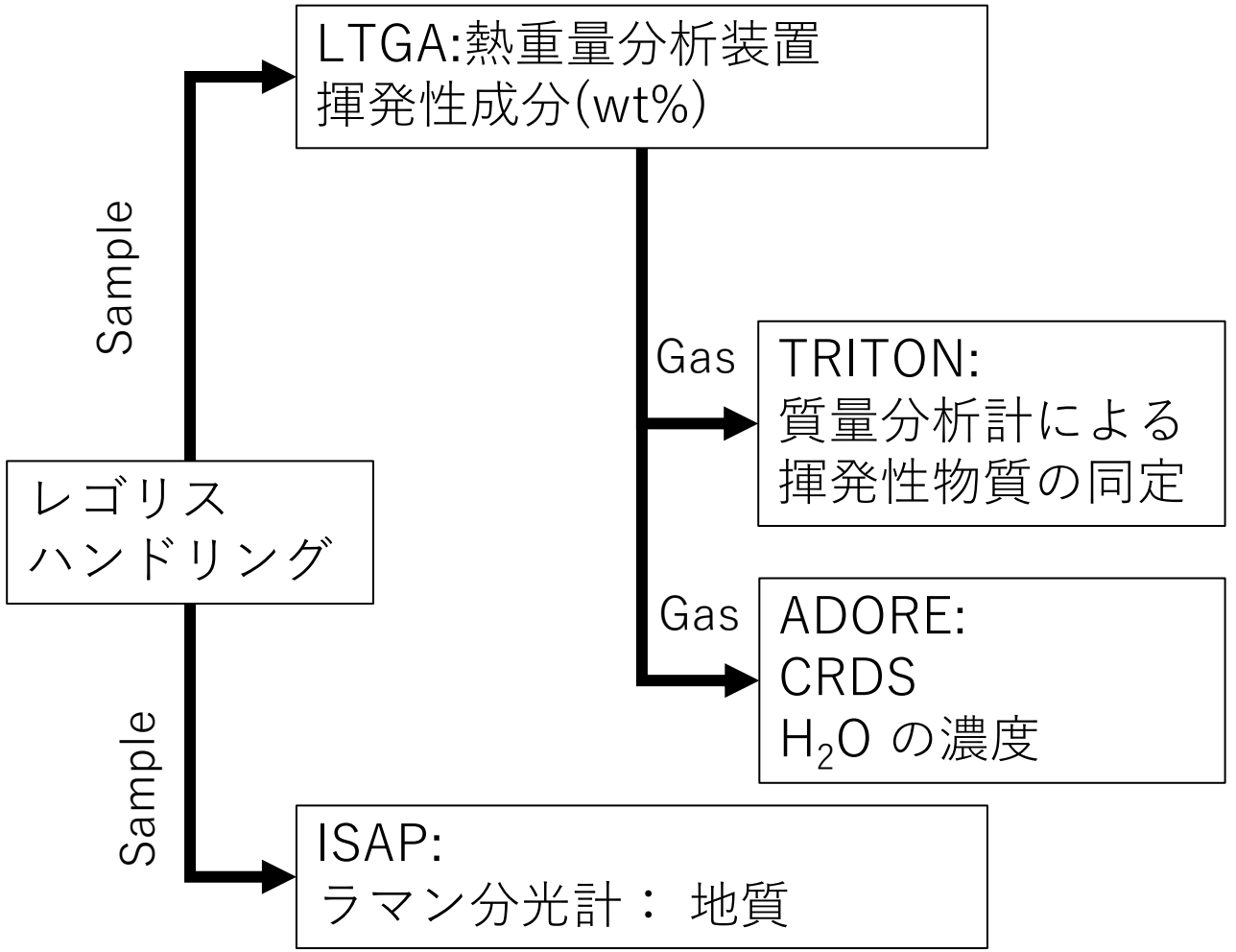


観測運用の詳細 2

疎観測：月面および月地下の探査

観測機器	観測場所	方式
ALIS	表面	近赤外分光計
MIR	表面	中間赤外分光計
NS	地下	中性子分光計
WaSSPeR	地下	地中レーダ
EMS-L	大気	質量分析計

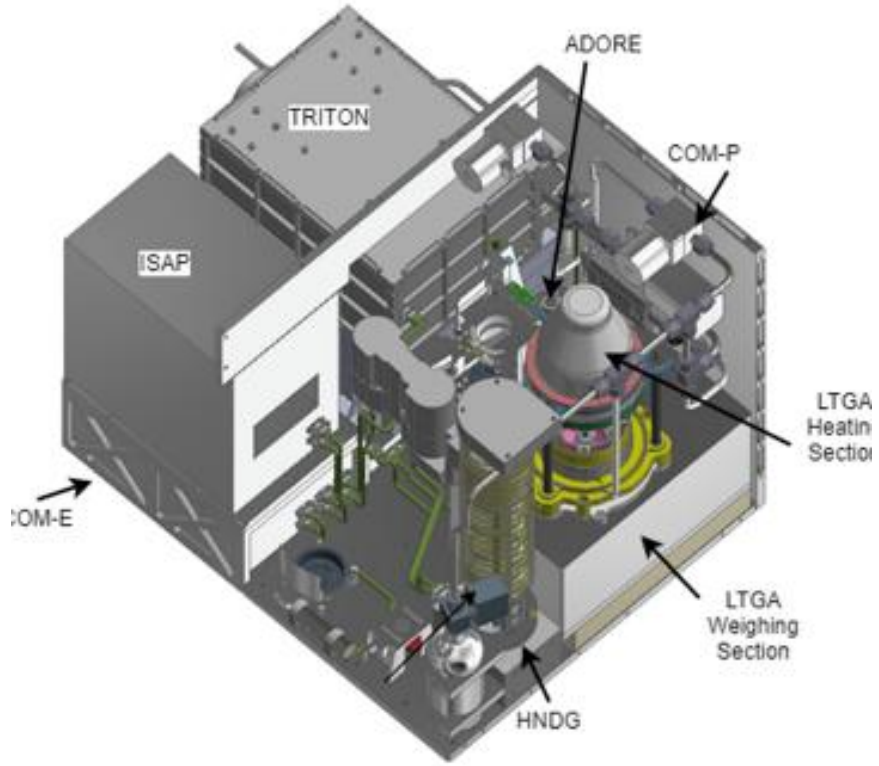
詳細観察：レゴリス試料の分析



REIWA : REsource Investigation Water Analyzer

- 下表に示す統合型観測装置。
- 密閉系において直接観測を行い、月の極域に存在する水に関する定量的・定性的データを収集するとともに、その濃縮および再分布のメカニズムを解明する。

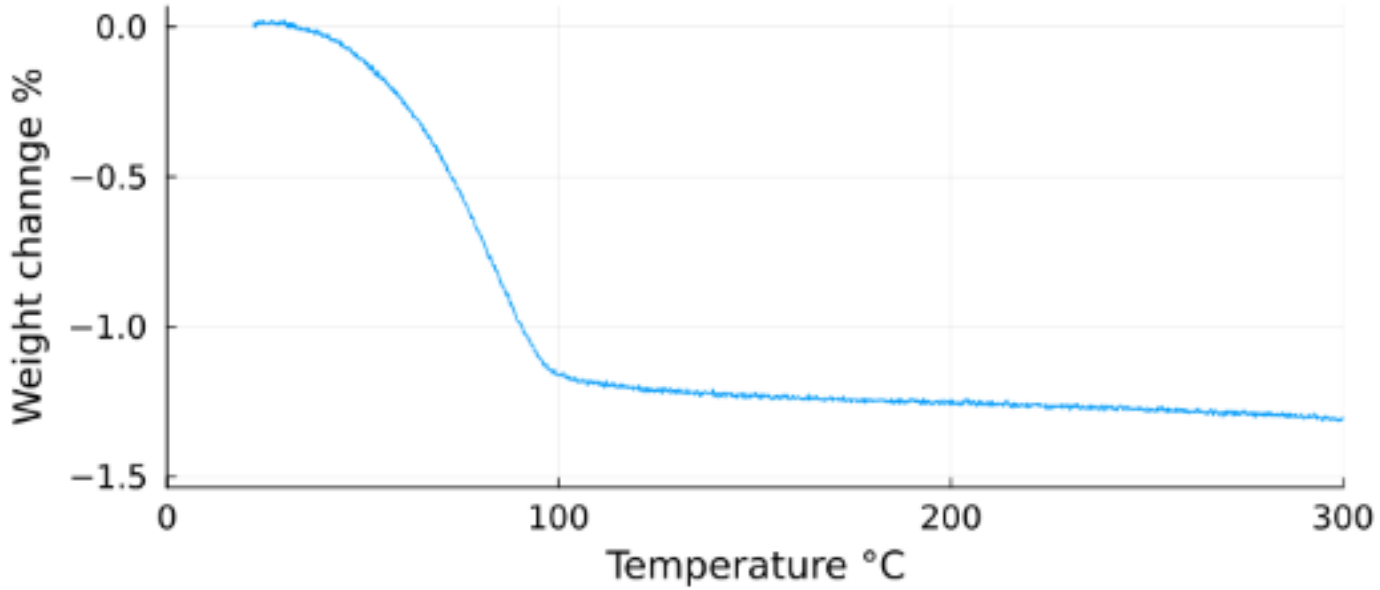
サブシステム	機能
(i) LTGA	**Lunar Thermogravimetric Analyzer:**質量6～10 gの試料を30分間で100 K～500 Kまで加熱し、月面環境下において、0.1%精度でその質量変化を測定。
(ii) TRITON	**Triple Reflection Reflectron:** 反射型TOF質量分析計であり、m/z 1～200の質量範囲にある分子や原子を測定
(iii) ADORE	**Aquatic Detector using Optical Resonance:**キャビティ・リングダウン分光計で、サブナノグラムレベルの水分および水素同位体の量を定量
(iv) ISAP	レゴリス試料のラマン分光
(v) HNDG	レゴリス試料容器の取り扱い
(vi) COM-P	揮発性ガスの配管
(vii) COM-E	ローババスとの電気・通信インタフェース



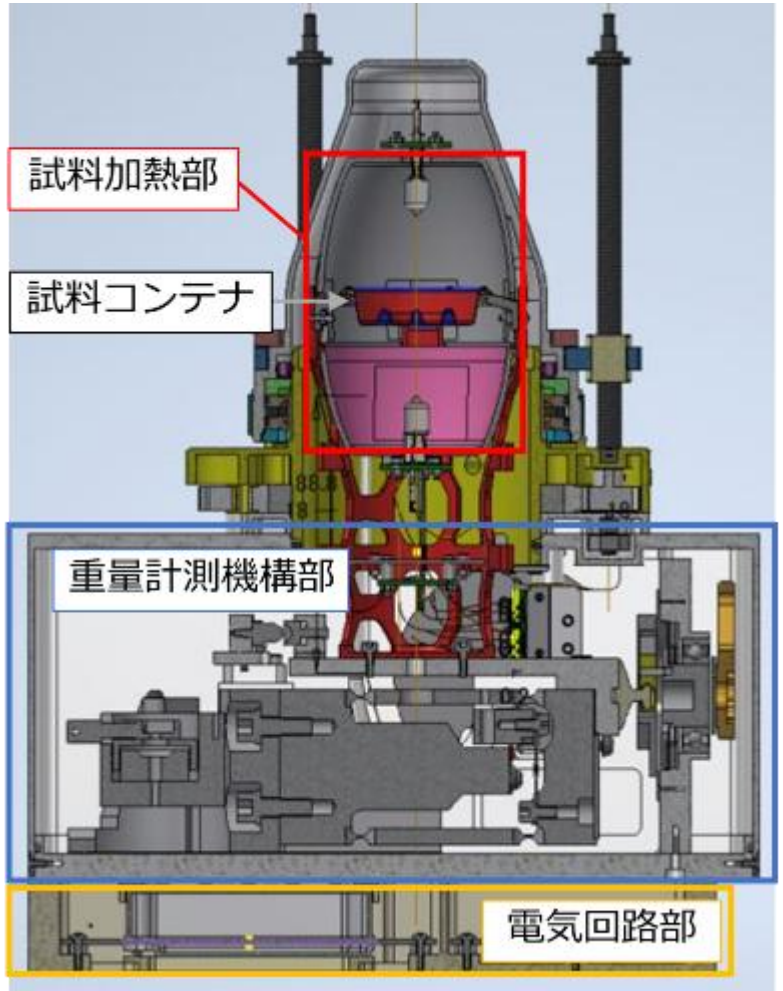
LTGA : Lunar ThermoGravimetric Analyzer

- **LUPEXの主要装置**：地球以外の重力環境で使用される初の熱重量分析装置

→熱重量分析：時間と温度の関数として試料の重量変化を測定すること

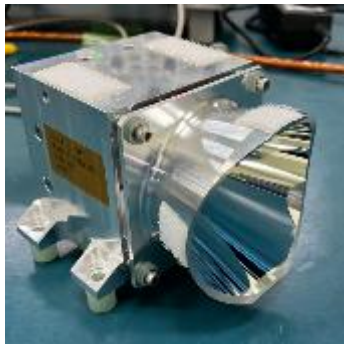


例：水分含有量1.5 wt%の土壌のTG曲線（大気中）

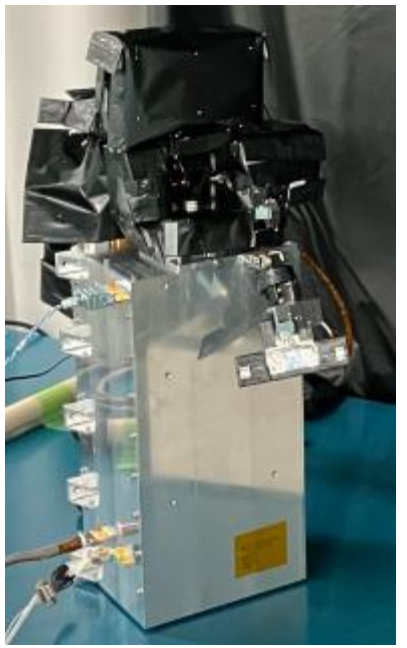


ALIS: Advanced Lunar Imaging Spectrometer

- 750～1650 nmの波長域を観測し、分解能は5 nm以上である。
  - 水平視野角は22°（5 mの距離で2 m × 1 cmの領域を撮影可能）。
  - 波長（1次元）データと空間（1次元）データを組み合わせた2次元画像を取得する。
- 2軸可動ミラー（ALIS-M）により視野（FOV）を変更可能。
  - 近赤外反射分光分析によるレゴリス中の鉱物種および水（氷）の検出・定量。
- REIWAの故障時に掘削された土壌の観測。



ALIS-L



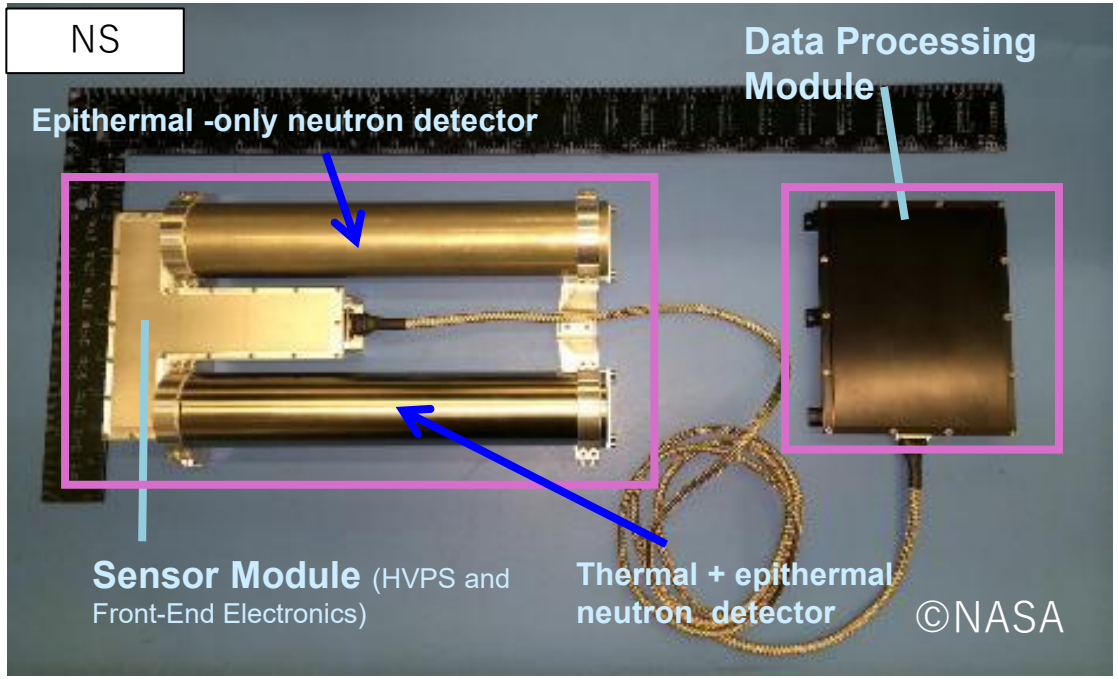
ALIS-C, M

サブコンポ	内容
ALIS-C	イメージセンサー、光学サブシステム、電子機器
ALIS-M	2軸ジンバル付き可動ミラー
ALIS-L	影の領域を観察するための光源
ALIS-D	較正ターゲット（標準拡散反射体、Infra-Gold®）

SLIMに搭載されたマルチバンドカメラ（MBC）の可動ミラー技術の知見を基に開発を進めている。

NS: Neutron Spectrometer

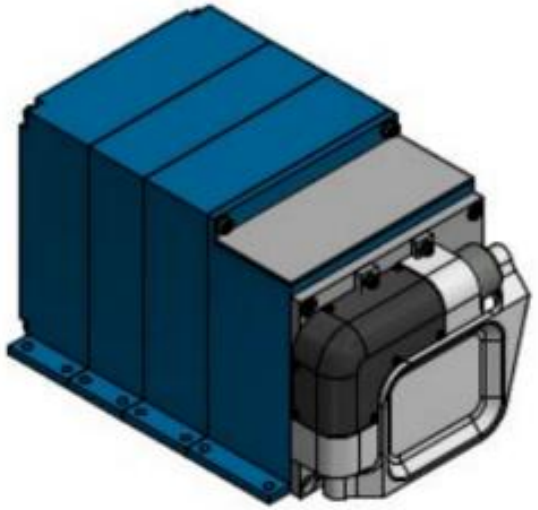
- NASA提供
- 銀河宇宙線と月面物質の相互作用によって生成される中性子を観測する。
- センサーモジュールおよびデータ処理モジュールは、NASAのVIPERミッションに搭載されるNSSと同一であるが、通信インターフェース変換ボックス（RS422をSpWに変換）を開発。



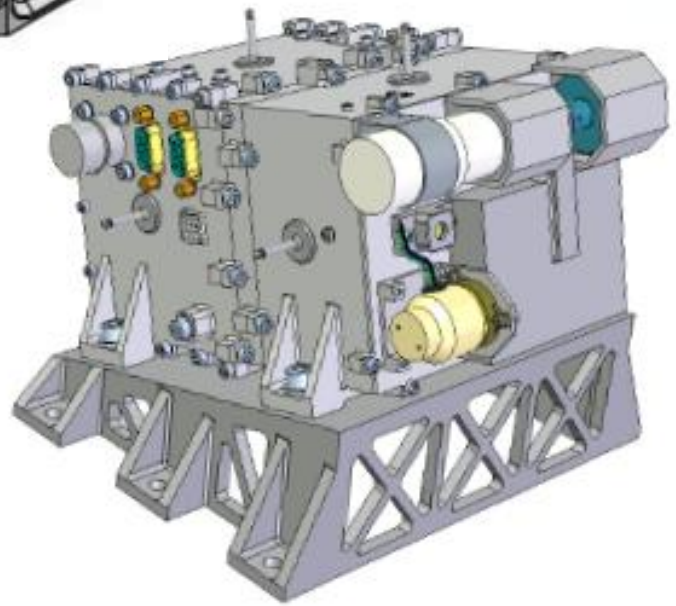
EMS-L: Exospheric Mass Spectrometer for LUPEX

- ESA提供。
- イオントラップ型質量分析計。さまざまな実績がある

  （例：Astrobotic-M1搭載のEMS）。
- ローバーの走行中、掘削中、および日陰・日向の条件下において、月外気圏における水やその他のガス種の部分圧の変化を観測する。



EMS-L (image)



EMS-L initially proposed design
(credits: OU/RAL/ESR)

ISROの観測機器

- ISRO's Sample Analysis Package: ISAP
  - REIWAのサブシステムの一つであるラマン分光計。掘削された月面レゴリス試料中の鉱物種の同定。
- Water Scouting Surface Penetrating Radar: WaSSPeR
  - 地中構造を把握するための地中レーダー（最大深度3m、精度約10cm）。
  - 地下に水（氷）が集中する可能性がある区域や、地中構造を特定するために使用される。
- Mid-Infrared Imaging Spectrometer: MIR
  - 0.8～5.0 μmの波長域を観測（光源を使用する場合は2.5～3.5 μm）。月面上の吸着水、水氷、OHなどの検出。
- Permittivity and Thermophysical Investigation for Moon's Aquatic Scout: PRATHIMA
  - 月面レゴリスの誘電率およびその垂直方向の構造の測定。
  - 作業系によるレゴリス試料採取後の穴にプローブを挿入し、測定を行う。

開発状況

開発状況：走行系1



4脚のドライブテストモデル
Driving Test Model (DTM)

- 月面上で安定して走行できる移動サブシステムを開発するため、同サブシステムの複数のモデルを用いて、さまざまな試験が実施されている。
- ローバーの4脚式ドライブテストモデル（DTM）は、4脚のトラックおよびサスペンション機構を模擬。
- 月レゴリスシミュラントを敷き詰めた屋内フィールドおよび屋外の自然地形において、各種試験を行い、移動サブシステムの機能検証を実施している。

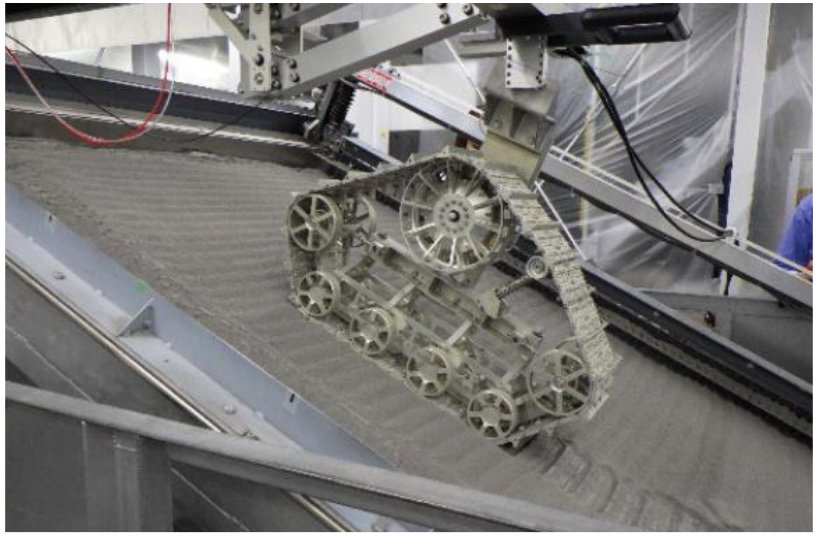
開発状況：走行系2



真空下での走行試験



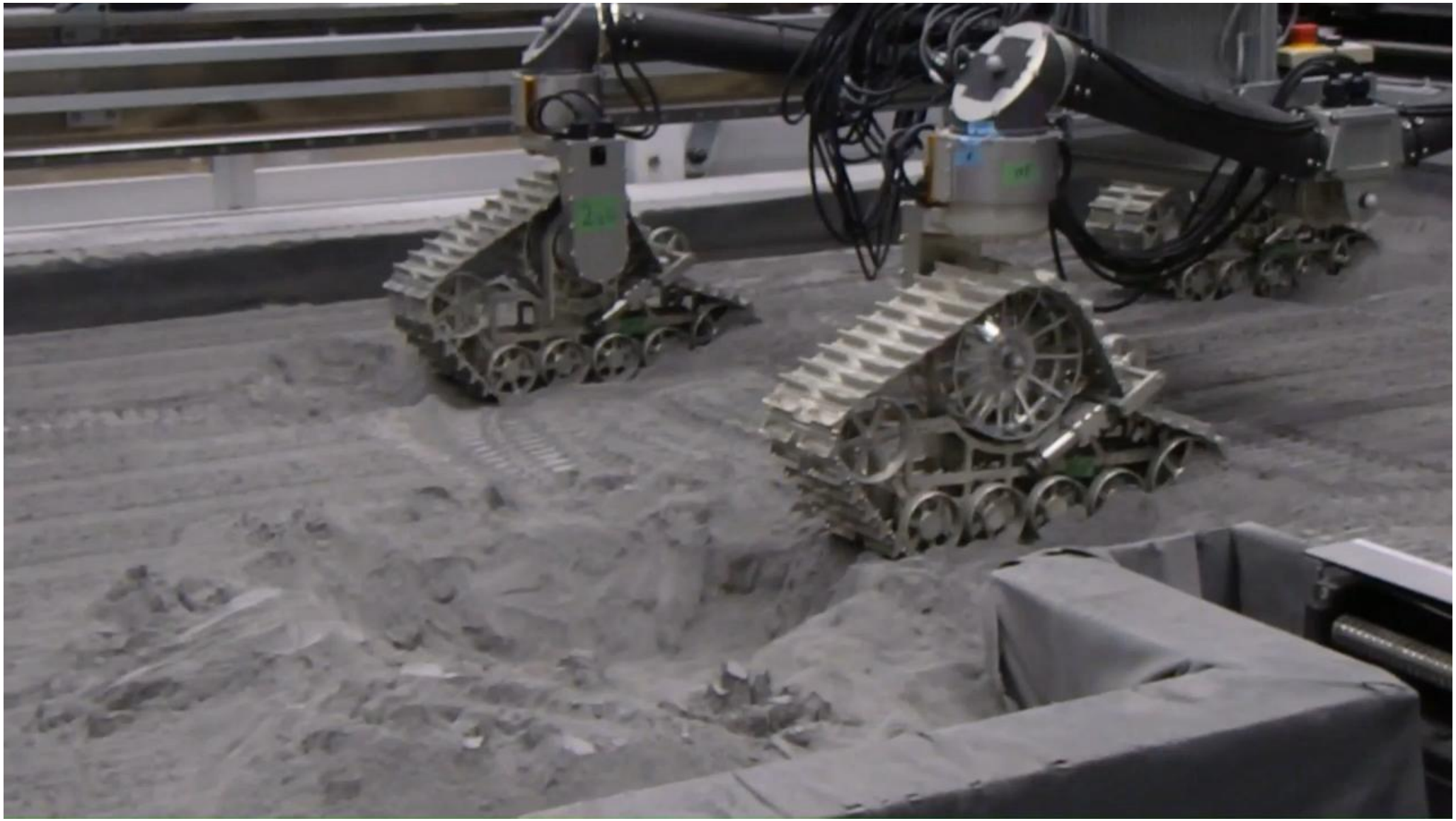
２脚を用いた連続走行試験



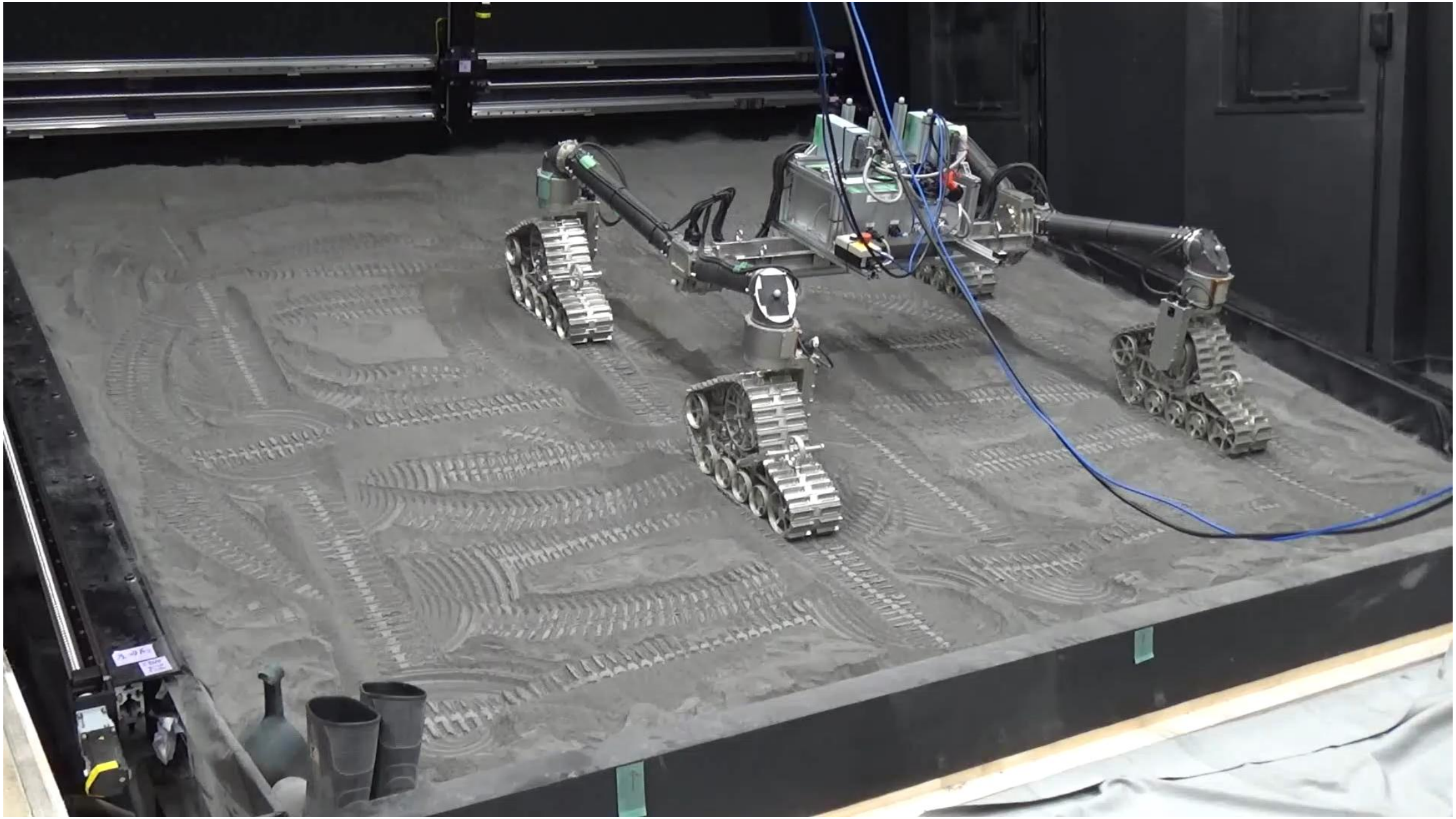
１脚のみを用いた登坂テスト

前述の４脚試験に加え、特性をより包括的に調査するため、１脚および２脚を用いた試験も実施している。

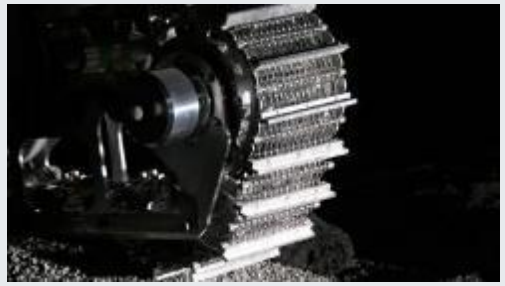
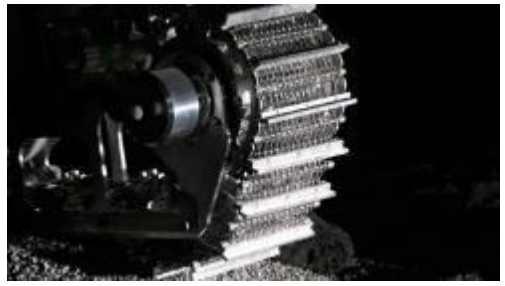
開発状況：走行系3



開発状況：走行系4

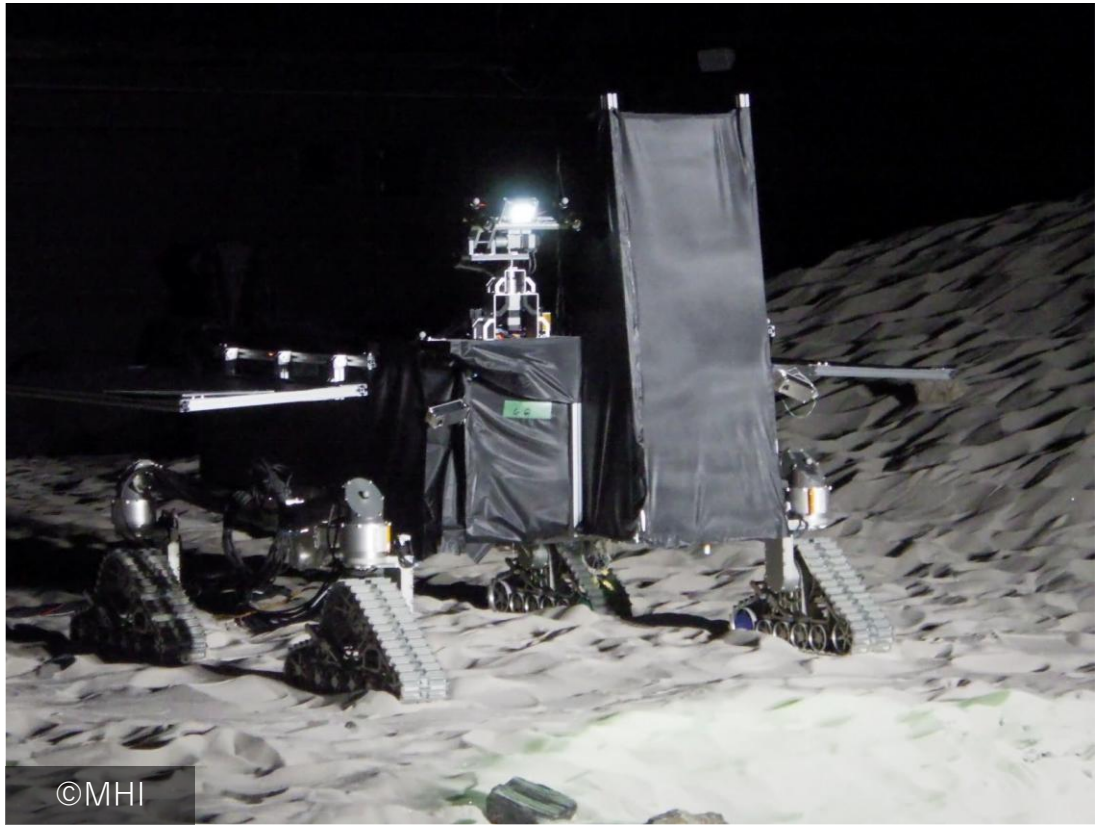


参考：移動技術に関する評価方法

形態			地盤	岩石	確認項目
1脚		x 1	標準砂	無	機構
			砕石	無	噛み込み
			月模擬砂	無	登坂・耐久性
2脚		x 2	標準砂	無／有	機構
			砕石	無／有	噛み込み・耐久性
			月模擬砂	無／有	乗越・耐久性
車体			標準砂	無	機構
			砕石	有	乗越
			月模擬砂	無	登坂・耐久性
			屋外 (多様な地形・不整地)		総合特性

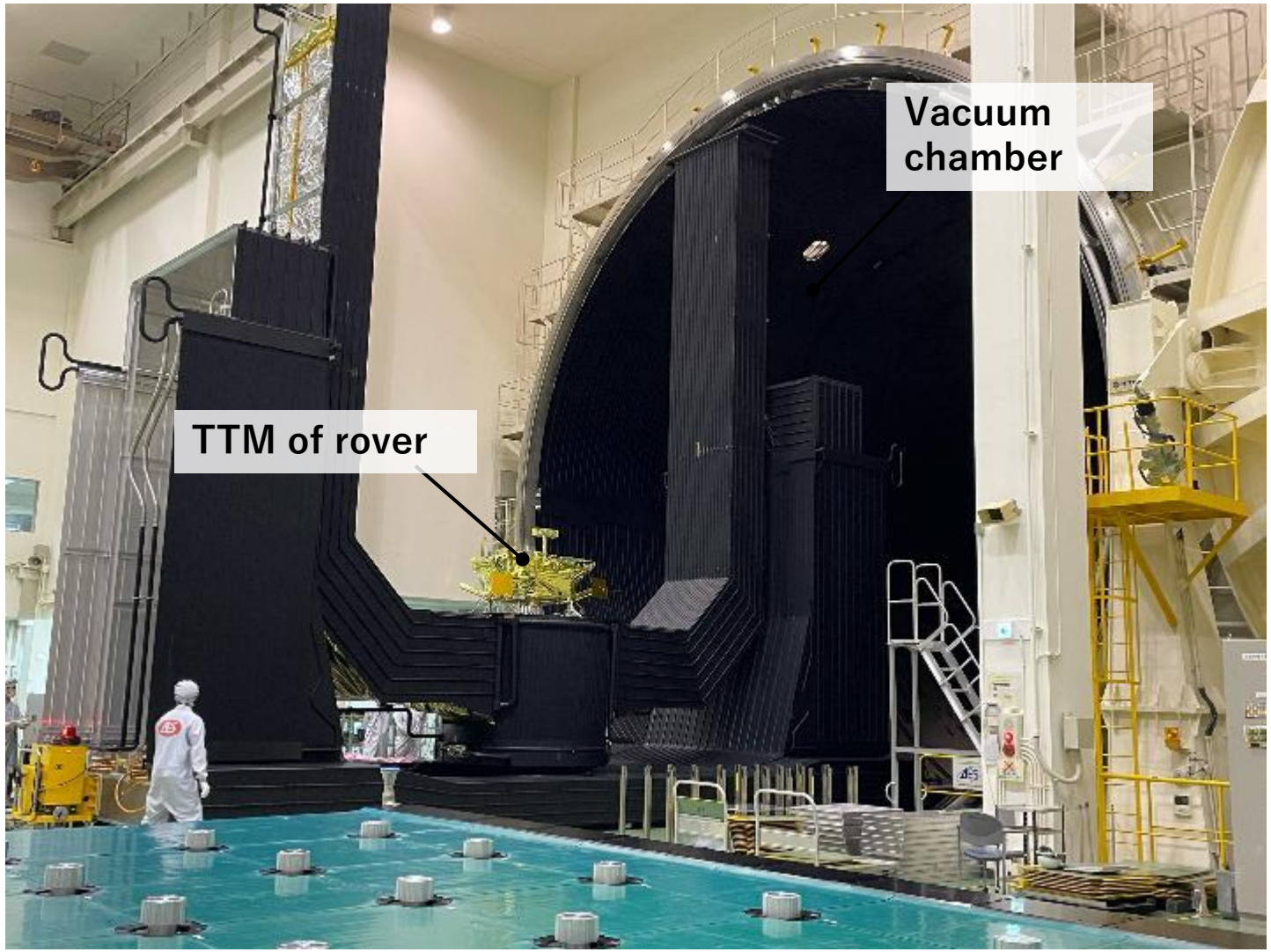
開発状況：航法誘導系

- 自己位置推定機能の一部であるビジュアルオドメトリ（VO）アルゴリズムの性能評価、地図生成アルゴリズムの性能評価試験等を実施中





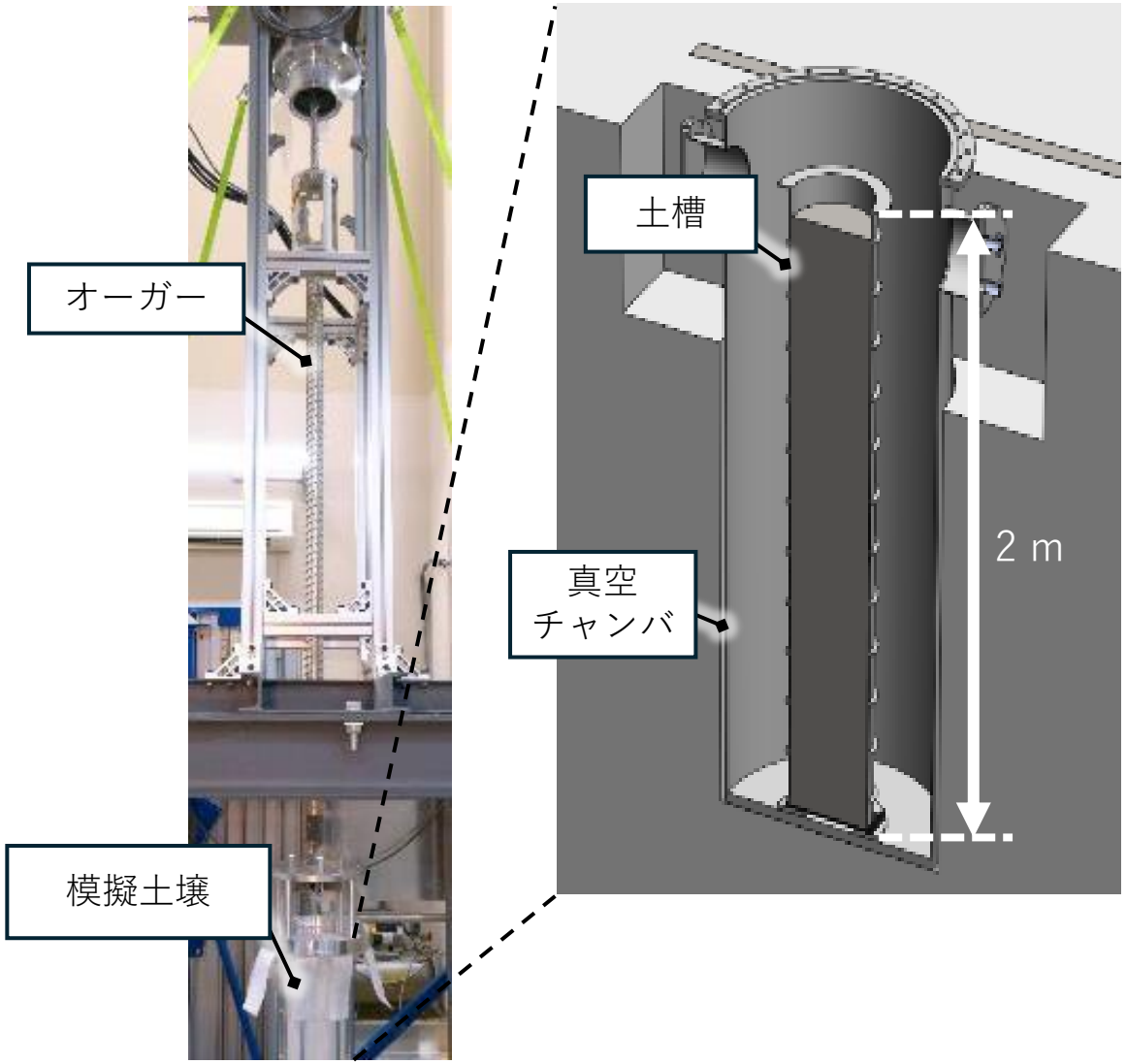
開発状況：熱真空試験



ローバーの熱試験モデル（TTM）を用いた熱真空試験

- ローバーのTTMを用いて、熱平衡試験その１（コールドケース）をJAXAの13mチャンバーを利用して実施済み。
- 測定データと熱解析データを照合し、その結果に基づいて数学モデルを更新。
- 今後、軌道上、月面の環境を模擬した熱真空試験を計画している。

開発状況：掘削採取系（作業系） 1



運用の流れ

(1) 掘削



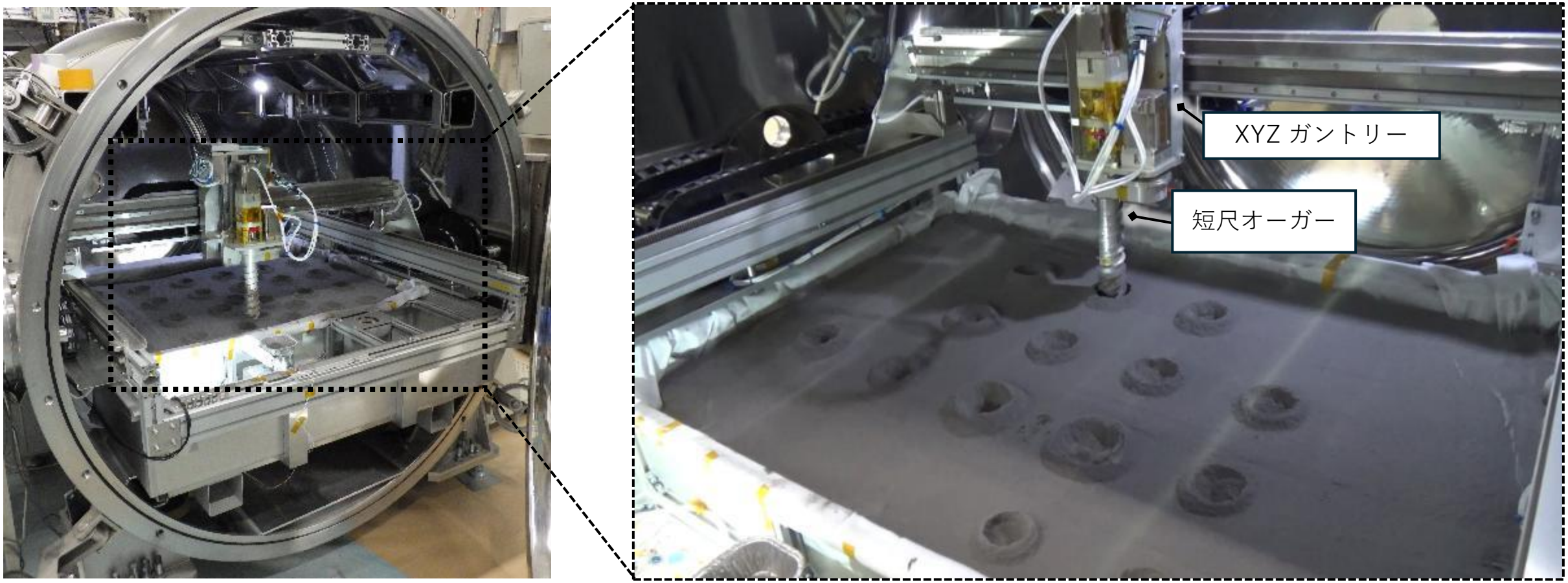
(2) ブラシ



(3) サンプル移送

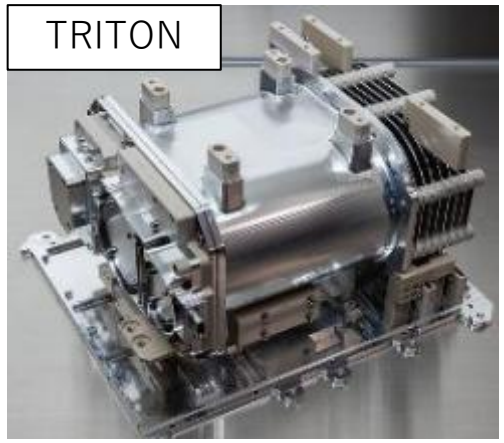


開発状況：掘削採取系（作業系）2

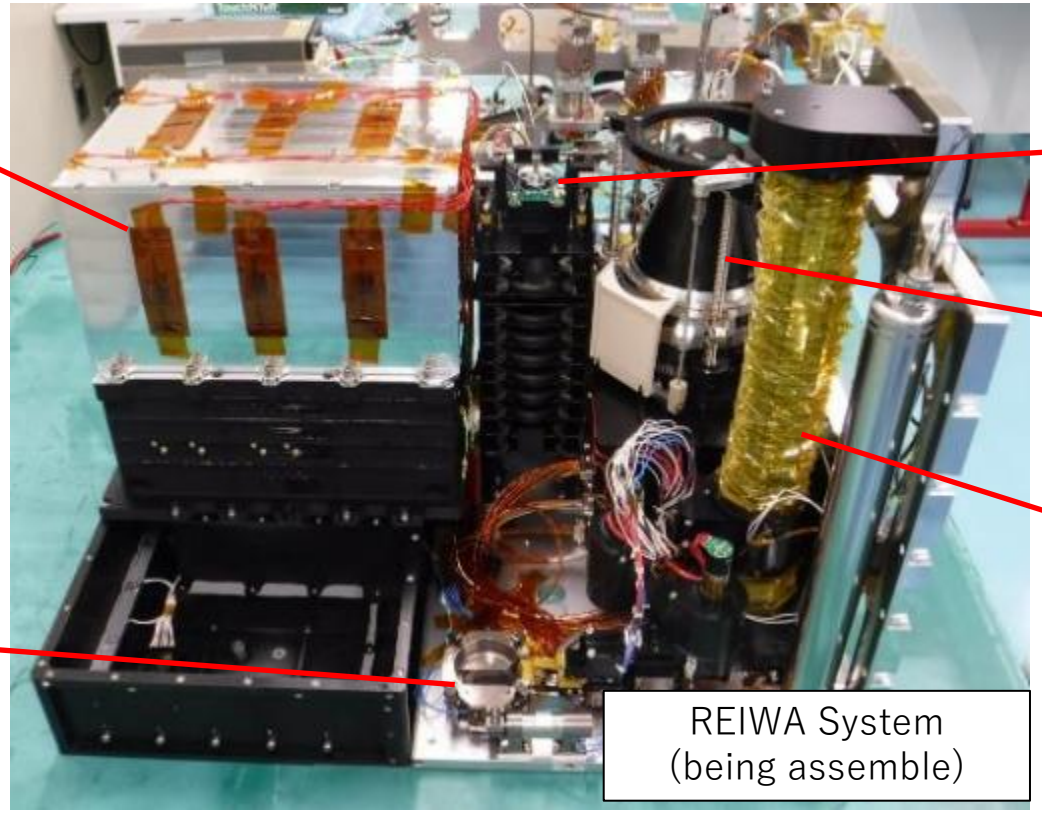


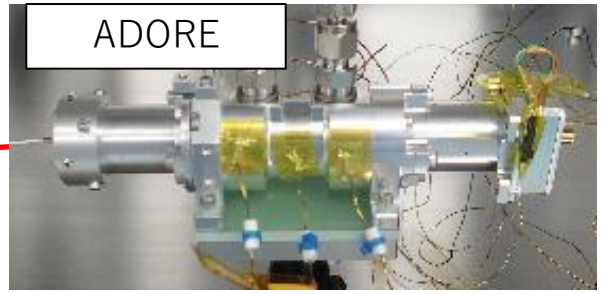
短尺オーガーを用いた耐久性試験

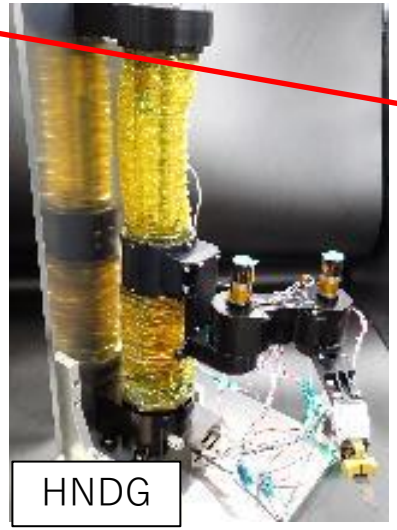
開発状況：REIWA











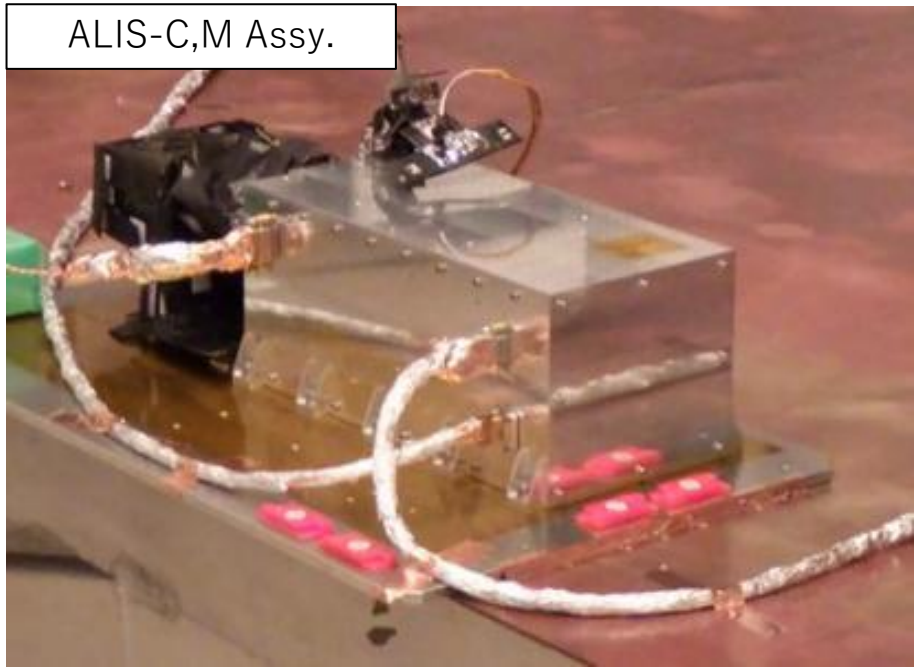


REIWAサブシステムのEMを用いたサブシステムレベルの試験（機能試験、環境試験など）を実施中

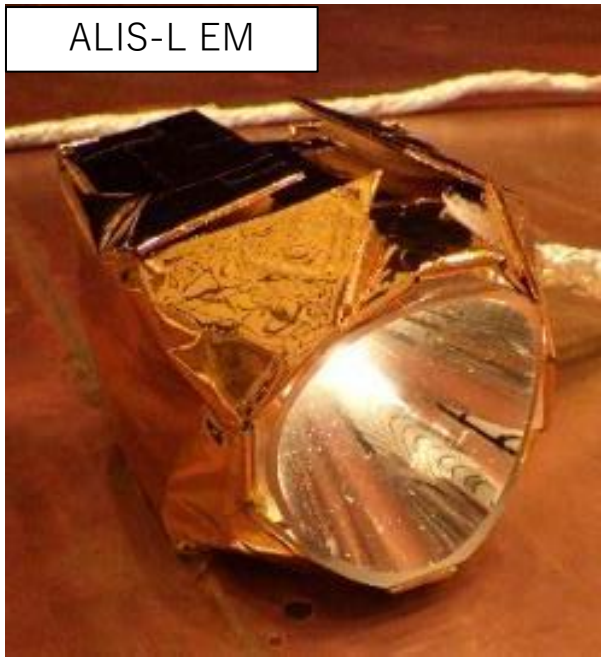
開発状況：ALIS

- ALISのエンジニアリングモデル（EM）および構造・熱モデル（STM）を製造。
- STMは用いたローバーシステムの熱試験モデル（TTM）を持ちた熱真空試験第1回（低温条件）に提供。
- EMは現在、機能試験、性能試験、ならびに熱真空試験や振動試験などの環境試験を含む一連の試験キャンペーンを実施中。

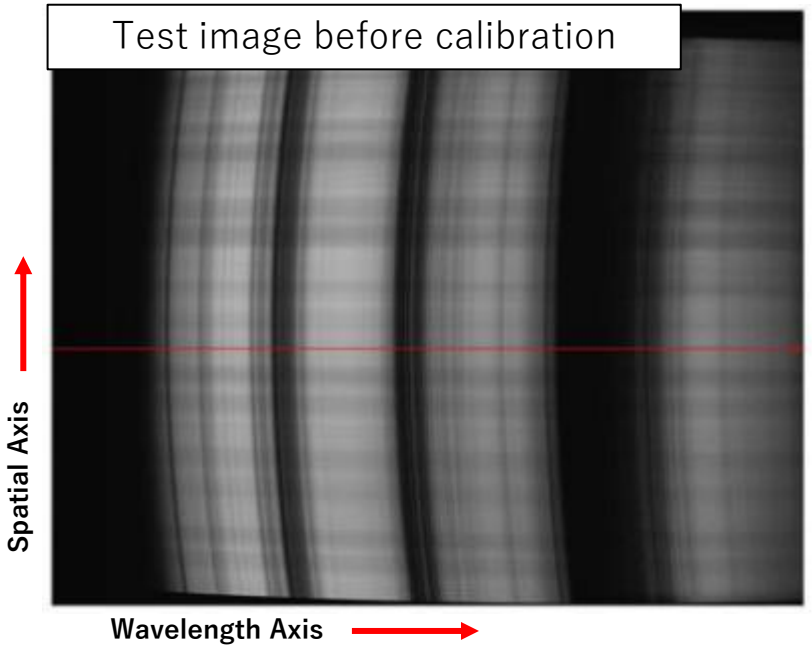
ALIS-C,M Assy.



ALIS-L EM



Test image before calibration

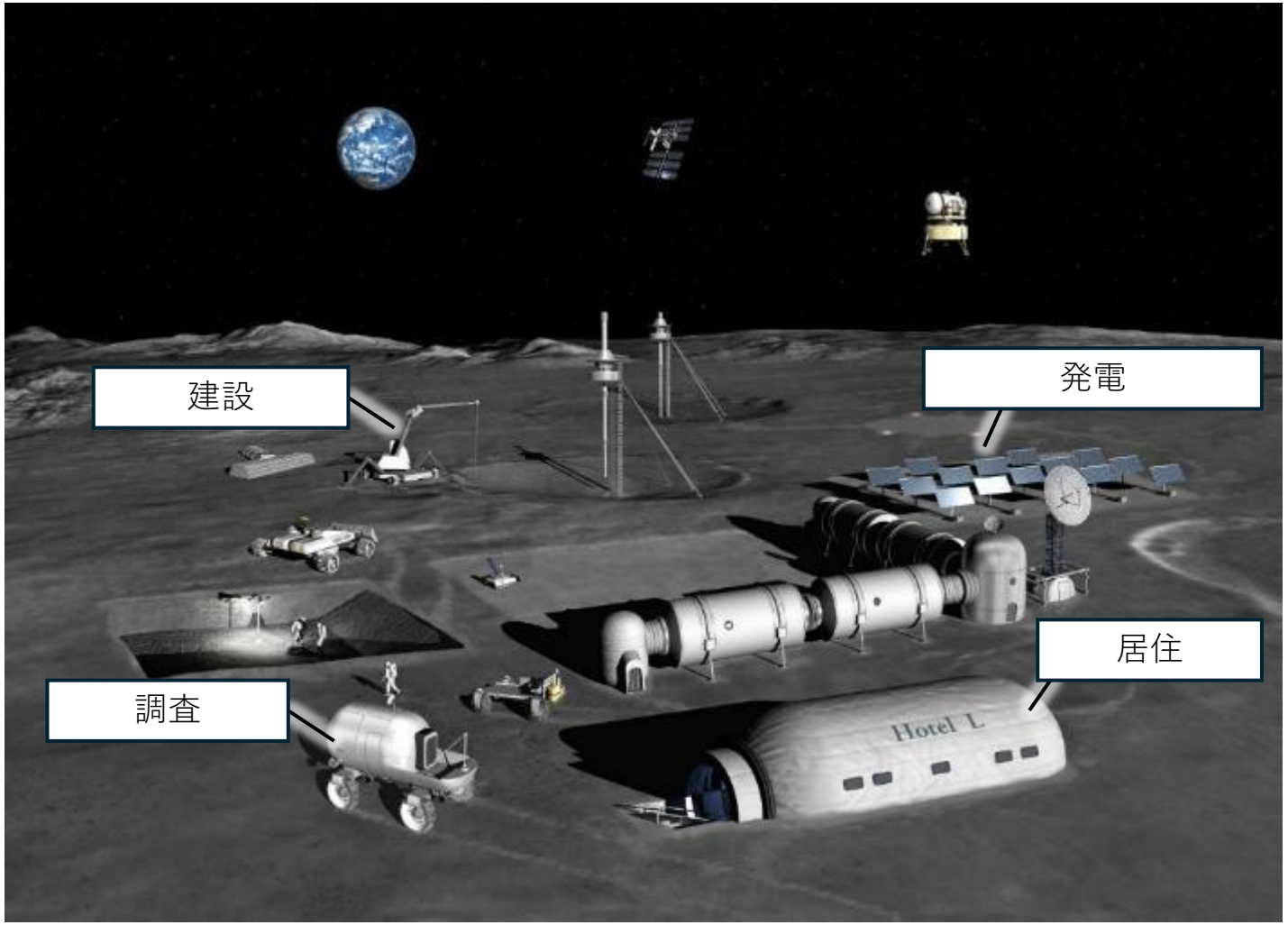


開発状況：海外機器

- NS、EMS-L：エンジニアリングモデルを用いたローバシステムとのインタフェース試験を完了。
- ISRO機器：　2027年1月末からインタフェース試験を実施予定。

LUPEXの成果の活用

アウトプットとアウトカム



月極域におけるその場観測による
水の量と質の調査

✕

重力天体における表面探査技術
開発と実証

▽

将来の持続可能な宇宙探査への貢献
（調査、居住、建設、発電　等）。

持続的な月探査へのLUPEXの貢献

技術開発



有人与圧ローバー



民間連携



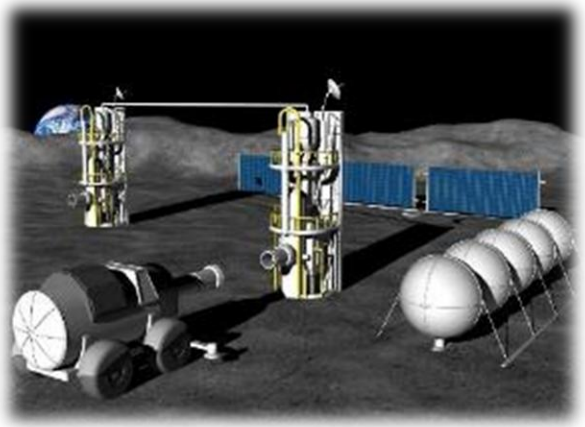
Moon Base　構築



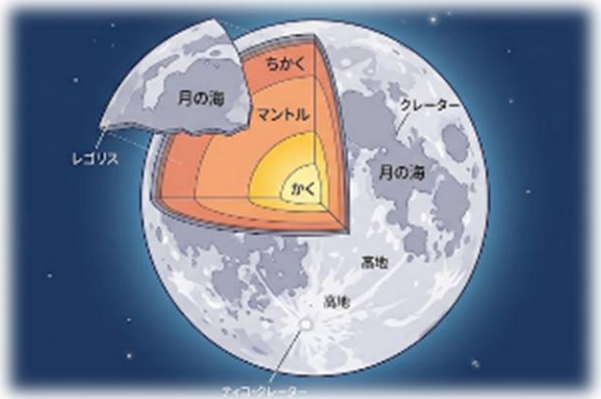


Artemis計画

事前調査



水資源プラント



科学

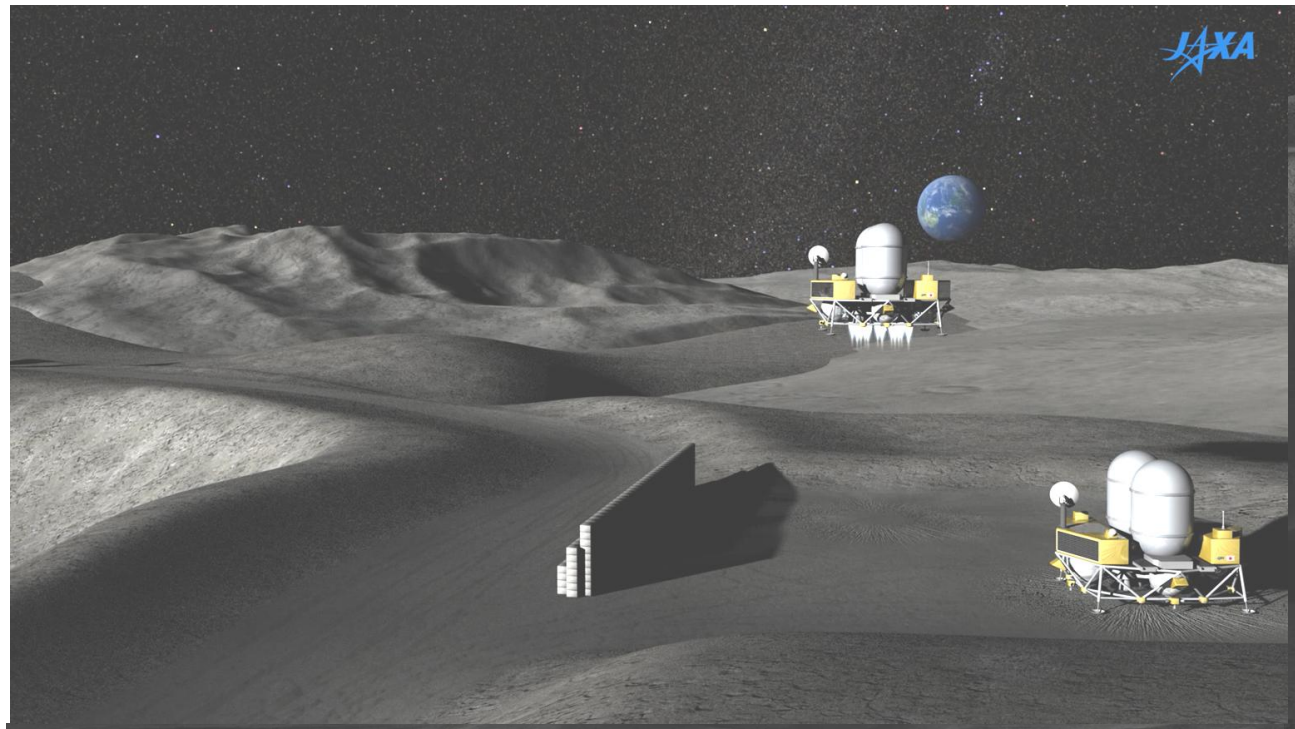
LUPEXの次も重要！

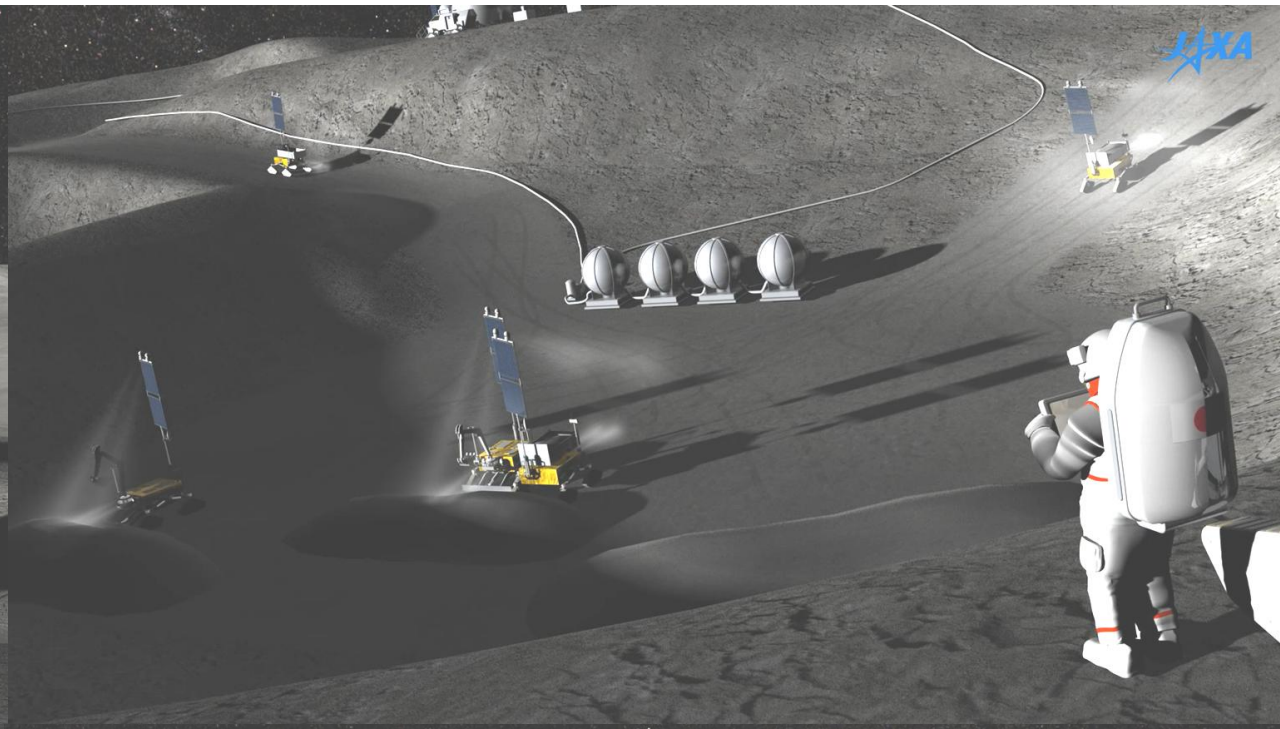


月面開発・利用実証ミッションのイメージ図
国際宇宙探査シナリオ案 2025より

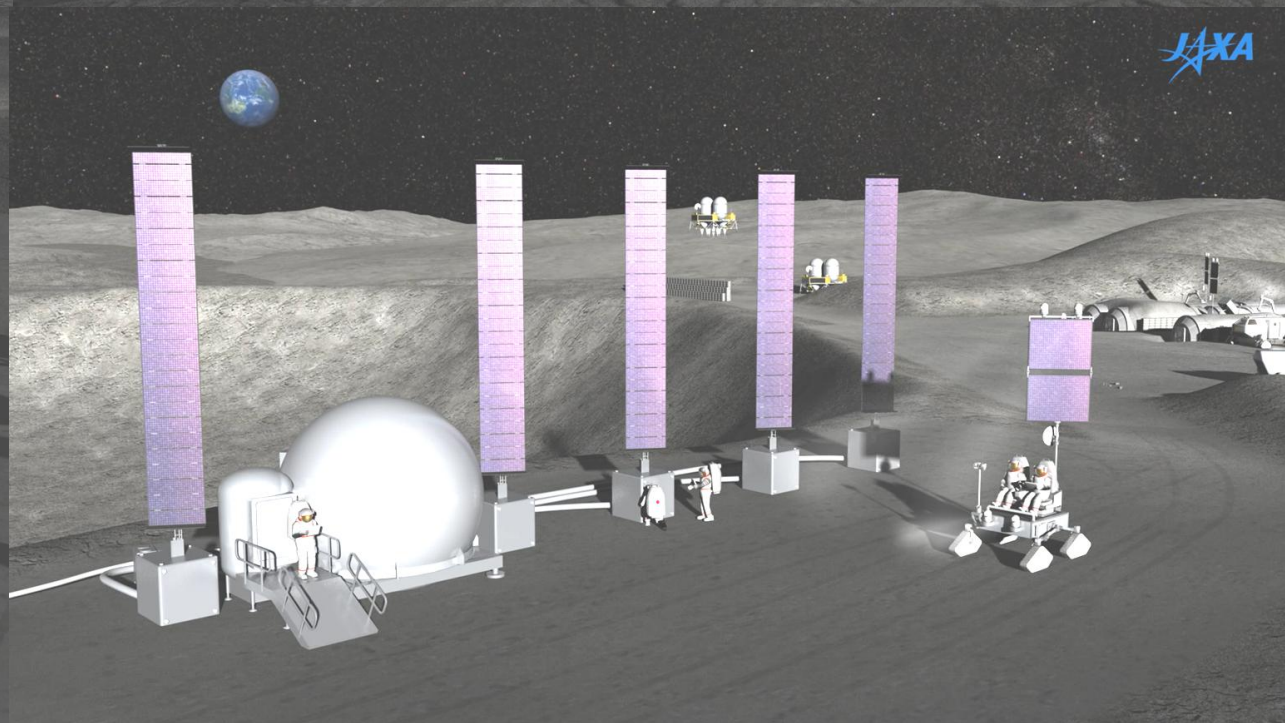
月面開発・利用実証ミッション

- LUPEX等で水資源の存在が確認された、月の南極の領域(例えば、永久影を有するクレータ等)付近の日照領域に着陸機が着陸する。
- 掘削ローバが、水資源の存在領域まで移動し、その領域内でバケットを用いて氷含有レゴリスの掘削・採取を行う。
- 運搬ローバの荷台に、掘削ローバが採取したレゴリスを載せる。
- 運搬ローバは、着陸機までそのレゴリスを運搬し、着陸機にレゴリスを受け渡す。
- 着陸機に搭載したパイロットプラントシステムを用いて、レゴリスから水を抽出し、水を電気分解することで、水素及び酸素を生成する。









おわりに

- インドと日本の国際協働ミッションであるLUPEXの背景、成り立ち、概要等をご説明しました。

- 水資源調査と探査技術の実証というLUPEXのミッションは、持続的な月面探査と人類の活動領域拡大の礎となるものです。

- 本ミッションは、決してJAXAだけで成し遂げられるものではありません。多くの民間企業、大学、研究機関等の垣根を越えた、幅広いコミュニティのとの共同により成り立っております。

- ミッション成功に向け皆様のご支援をよろしくお願いいたします。

LUPEX
Lunar Polar Exploration

LUPEX X

LUPEX Web