

# 国際宇宙探査の動向②

## ～月面3科学と国際宇宙探査の融合～

---

2022/7/8

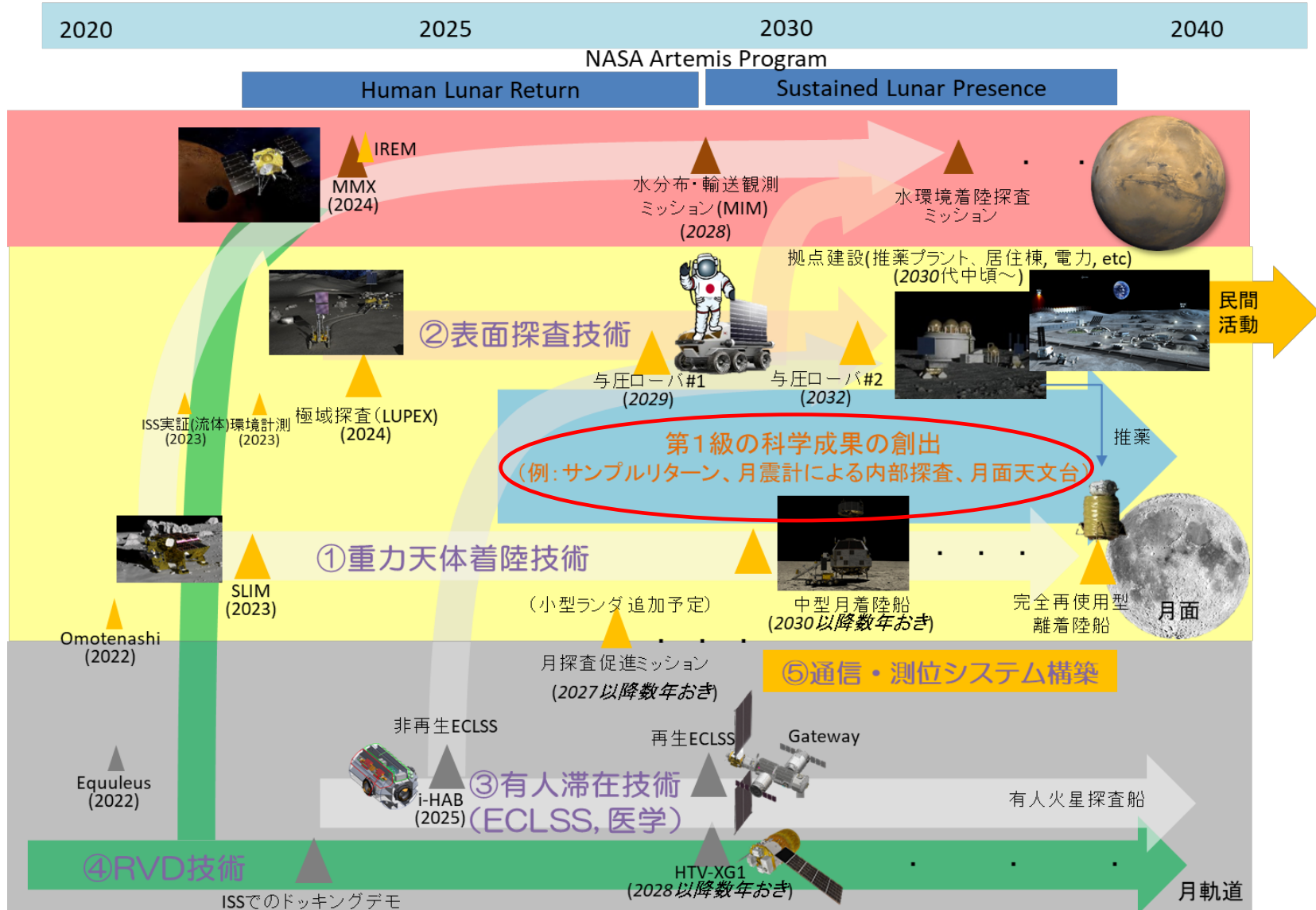
森・佐伯・吉光 (JAXA)

# 月面3科学とは？ トップダウンの方針

- 宇宙政策委員会において、日本が主導的に月面活動を展開していく上で、次の10年間の技術開発を支えるものは何か、2030年代で実現すべきことは何か、という議論が展開され、結論として「**新たな知の創造につながる世界的な科学の成果を創出すること**」が示された。
  
  - 第一級の成果をもたらす月面での科学として以下の3つが設定された。
    - ◆ 月面からの天体観測(**月面天文台**)
    - ◆ 重要な科学的知見をもたらす月サンプルの選別・採取・地球帰還(**月面SR**)
    - ◆ 月震計ネットワークによる月内部構造の把握(**月震計NW**)
- ⇒「**月面3科学**」

# 日本の国際宇宙探査シナリオ(案)2021

「斜字の打上げ年」は調整中であり、最速を示す。



# 月面3科学と国際宇宙探査の融合

- 「日本の国際宇宙探査シナリオ(案)2021」にも月面3科学が含まれている。

- 月面3科学が国際宇宙探査に入っていく意義

## 国際宇宙探査としてのメリット

- ◆ 一級の月面科学を目指すことでミッションの魅力を向上できる。
- ◆ 科学観測要求等を明確にすることでミッションおよび探査システムを具体化できる。  
「将来誰かが使うためのインフラ整備」の構想を具体的なミッションとして定義できる。

## 月面3科学としてのメリット

- ◆ 従来の宇宙科学とは異なる予算枠で科学成果を追究できる。

## 共通のメリット

- ◆ 月面への確実な到着や月面での長期滞在など  
月面科学および本格的な月面活動に必須となる「キー技術」の開発が進められる。

# 月面科学のフィジビリティスタディ

- 月面3科学をまとめて実現するプログラムのフィジビリティスタディを開始した。
  - ◆ 月面は非常に良い科学の場であり、複数の科学が実現できる。  
いつでも・すぐに行ける気軽さで短いサイクルでのミッションが可能  
(火星探査は2年に1回のチャンス)  
かぐやなどの探査機によって、月には面白い地形がたくさん見つかっていて、  
これらを徹底的に調査するという探査が可能(未知天体探査とは違った面白さ)
  - ◆ 特に月面3科学は2030年代に世界一級の成果が期待できる。  
いずれも排他的ではなく、他の科学と並行して実施できる。
  - ◆ 月面3科学をまとめてプログラムの行的に行うことで、  
各科学に相乗効果をもたらし、効率的にキー技術を獲得する。

# 月面天文台

## 科学目標

月面裏側で波長1-40MHz帯の電波干渉計を実施する(低周波電波天文学).  
 Dark Age(天文形成前の宇宙最初期)における中性水素線の情報をとらる.  
 初期の密度ゆらぎを直接検出する(インフレーション研究).

## 他の観測に対する優位性

月面では大気に妨害されずに観測ができ, また, 月裏側の電波環境は良好である.  
 (軌道上と比べて)安定した接地面があり, 長寿命を実現しやすい.

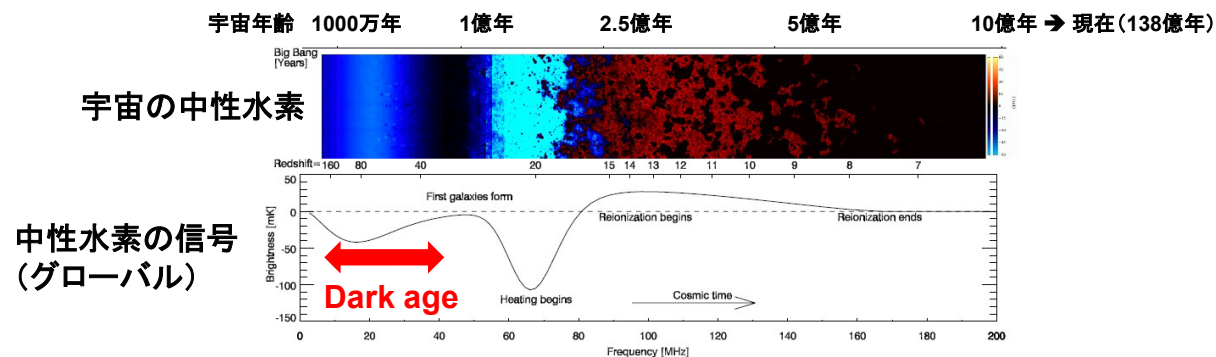


## 2020年代の観測シナリオ案

月面裏側に3つのアンテナユニットを100km離して配置し, 夜間に干渉観測する.

## 2030年代の観測シナリオ案

月面裏側にアンテナユニットを多数配置し, 長期間の計測を行う.



## 科学目標

月面の衝突盆地の衝突溶融岩帯の露頭から試料採取し、その形成年代を決定する。  
45億年前から38億年前までの衝突頻度の時間履歴を復元することで、巨大惑星の軌道移動の有無、その時期や規模を制約する。

## 他の観測の課題

アポロ試料や月隕石のなかに衝突溶融岩が見つかるが、それらは「転石」であるため、月面の地形・地質との対応関係が不明である。



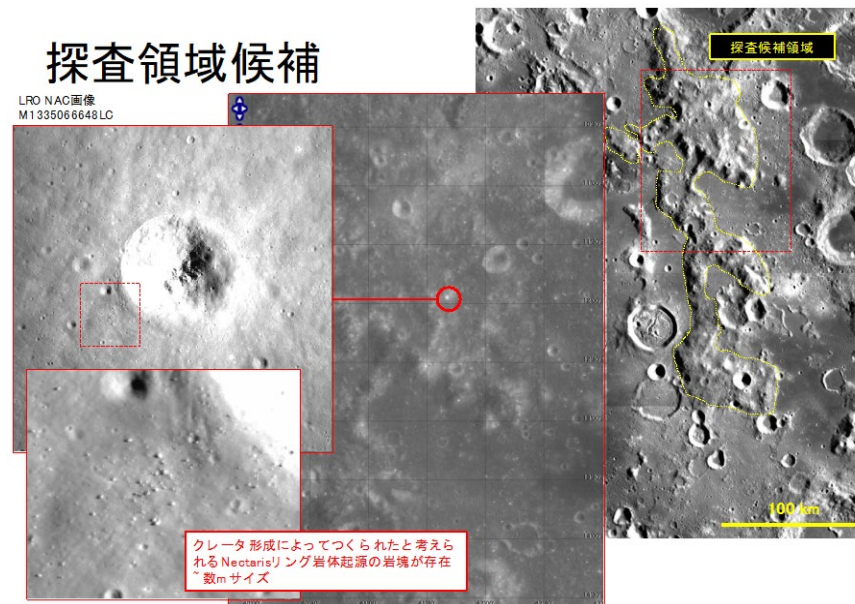
## 2020年代の観測シナリオ案

ネクタリス盆地の露頭サンプルを採取・識別し、その場で分析する。

ネクタリス盆地の一部領域では衝突溶融岩の「露頭」がつかわれている。

## 2030年代の観測シナリオ案

月の起源を解明する決定的な証拠となるサンプルを地球に持ち帰る。





# 月震計NW

## 科学目標

月の正確な一次元内部構造に加え、地質構造による内部構造の違いも明らかにし、月の起源や進化・分化を理解する(月面建設予定地の地下構造や振動環境の把握)。

## 他の観測の課題

アポロの月震計では月裏側未観測, 感度・帯域が不十分。

レゴリス層拡散波により走時読み取り誤差大(地殻厚・コア半径推定に大きな誤差)。



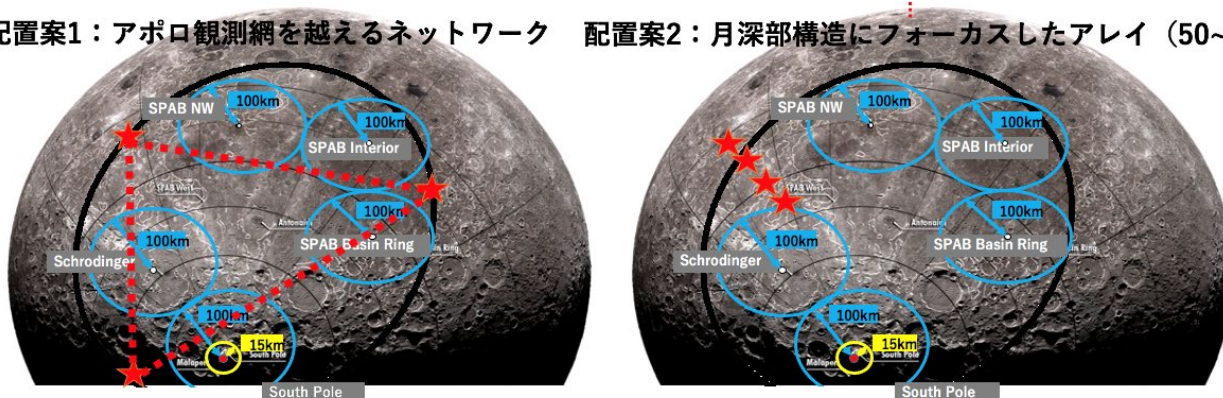
## 2020年代の観測シナリオ案

新たな月震計(広帯域・高感度・小型)を埋設し, 年単位の運用を行う。

## 2030年代の観測シナリオ案

月面の全球(裏側含む)へ多数の月震計を配置し, 長期間の計測を行う。

配置案1: アポロ観測網を越えるネットワーク 配置案2: 月深部構造にフォーカスしたアレイ (50~100km間隔)





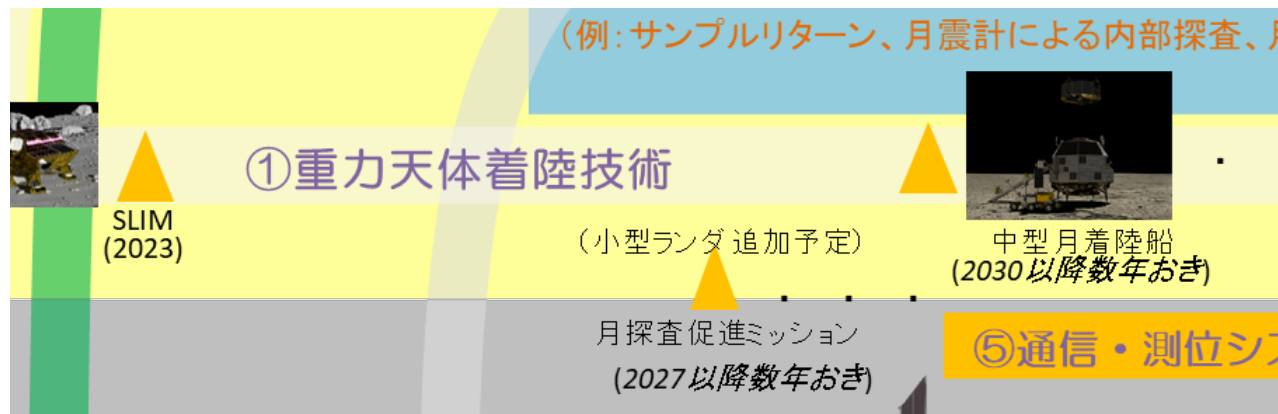
# 日本独自の着陸計画

- 月面への輸送機会は、国際探査の枠組みでいくつか存在する
  - ◆ 有人ミッションの一環として打ち上げる海外の着陸船(HLS, 与圧ローバなど)
  - ◆ アルテミス計画の一環として打ち上げる日本の着陸船(中型月着陸船)
  - ◆ 海外の商用月面輸送サービス(CLPS)

日本のみがペイロードを独占できるわけではない。単独の観測機器を搭載する場合に活用。

- 日本独自の計画として**月探査促進プログラム(LEAD)**の検討が進んでいる
  - ◆ 小型ランダは中型月着陸船に向けた大事なステップ
  - ◆ 月面へのまとまった量(>100kg)の輸送を行える貴重な機会
  - ◆ 継続的な輸送機会として期待(数年ごと)

LEADを前提として月面科学プログラムを検討することにした。

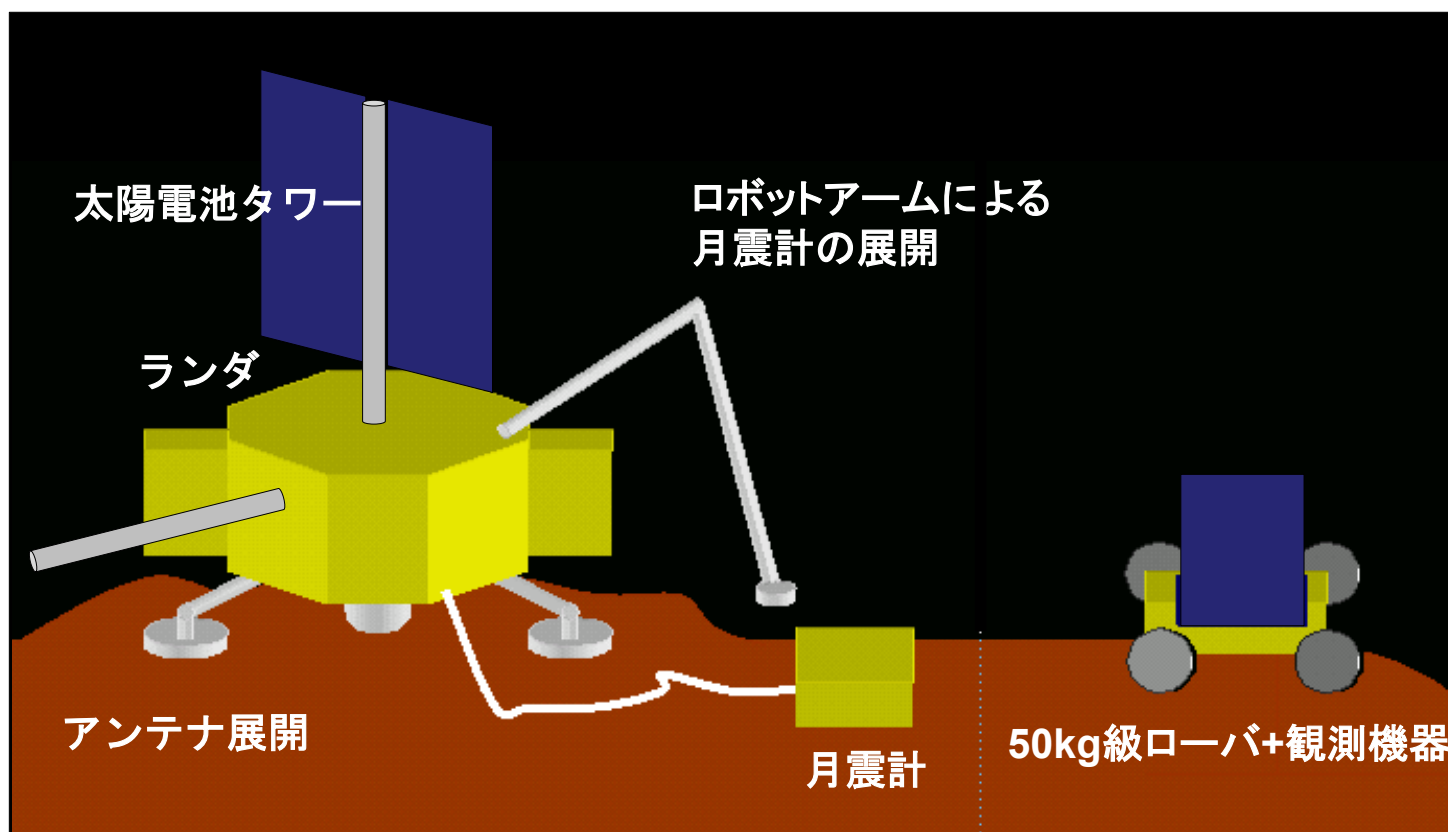


# 月面3科学ミッションシナリオ

- ◆ LEADを前提に早期に月面3科学の技術実証  
複数のプリカーサミッションを実施し、技術レベルを世界最先端にすることを旨す
- ◆ 日本が未成熟な表面探査技術を確実に伸ばす
- ◆ 有人探査へつなげる
  - 有人探査に直接つながる技術(極域着陸, インフラ技術)
  - 有人探査のために無人でできることを増やす
  - 有人探査プログラムの積極利用を考える(インフラ開発・サービス等のビジネス)
- ◆ 月面活動以外の太陽系探査の拡大に貢献する共通技術も発展させる  
(観測技術, 火星探査技術)

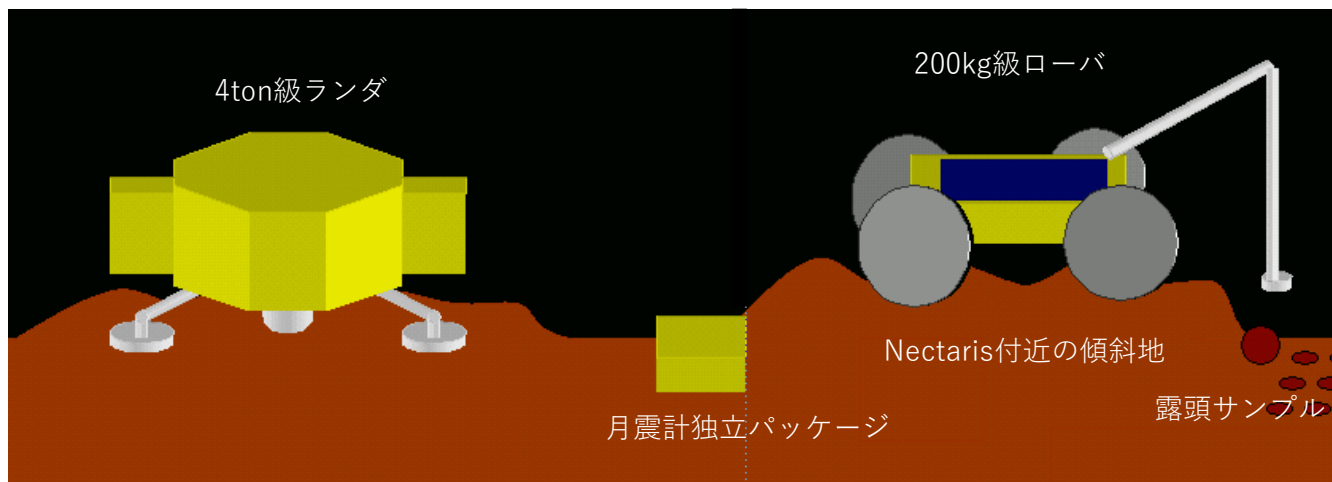
# プリカーサミッション(1回目)

- LEAD 1号機は有人活動の拠点となる南極域に着陸するとして、ミッション形態を検討中
  - ◆ ロボットアームによる月震計の適切な設置
  - ◆ 50kg級ローバ+観測機器によるサンプルその場分析の練習. 走行試験(自動走行等)
  - ◆ 月面天文台プロトタイプアンテナの展開
  - ◆ 極域における越夜技術の獲得(太陽電池タワー, バッテリ, RHU)



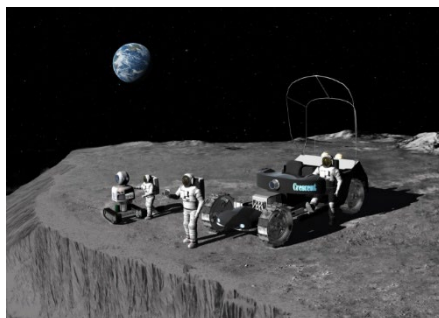
# プリカーサミッション(2回目以降)

- LEAD 2号機は月面の低緯度(ネクタリス付近)に着陸する
  - ◆ 200kg級ローバによる露頭サンプルの採取・その場分析
  - ◆ 月震計, 天文台アンテナ(独立パッケージ)の設置



## ■ 有人と圧ローバへの展開

- ◆ 月震計や天文台アンテナ(独立パッケージ)を有人と圧ローバ等で展開することも検討



# キー技術(輸送技術, 重力天体着陸技術)

中テーマ	小テーマ	関連キーワード
(1) 輸送技術、重力天体着陸推進系技術	(1-1) 冷却技術	再生冷却、高効率熱交換、内部流路加工
	(1-2) 噴射器技術	流量可変噴射器、小型軽量アクチュエータ、高精度変位制御
	(1-3) 電動ポンプ	キャンドポンプ、電動ポンプ、高効率モータ制御、流体圧損低減
	(1-4) 流量調整技術	流調調整バルブ、キャビテーションベンチュリー、小型軽量アクチュエータ
	(1-5) 各種国産バルブ	推進薬適合性、小型軽量バルブ
	(1-6) 推薬適合性技術	耐薬品シール材料、耐酸化コーティング、耐摺動、摩耗コーティング
	(1-7) 推進系高性能化技術	軽量貯蔵、非透過性容器

RFIの募集テーマ「月面の科学」に対応⇒ 川崎さん, 香河さんの発表



	数100kg ペイロード探査機	1-2tonペイロード 探査機
wet質量[t]	1.8	5.7
推薬質量[t]	1.1	3.4
Dry質量[t]	0.7	2.3
エンジン構成	1.7kN×4	6kN×4
Dry加速度 [m/s <sup>2</sup> ]	8.5	8.5

# キー技術(表面探査技術)

中テーマ	小テーマ	関連キーワード
(2) 越夜・越昼技術 電源技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ RHU (熱制御) ・ RTG (発電)</li> <li>・ 全固体電池 (蓄電)</li> <li>・ 薄膜太陽電池パドル</li> <li>・ 無線送電システム</li> <li>・ マイクロ波送電システム</li> </ul>	ダスト除去
(3) 走行技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 斜面・不整地移動用のインフレータブルタイヤ/多脚ロボット</li> <li>・ 各種センサ (可視光・赤外線カメラ、レーザー測距等)</li> <li>・ 急斜面移動システム</li> <li>・ 自動走行システム</li> </ul>	AI、SAILAM、 低消費電力
(4) ロボティクスを 活用した表面探査 技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 埋設・掘削・岩石研磨・試料ハンドリング・投擲などを実現するロボットアーム/各種エンドエフェクタ</li> <li>・ 低消費電力ロボットアーム (超音波モータなど)</li> <li>・ 洞窟探査システム</li> <li>・ 群ロボットシステム, 崖下など難易度の高い地形を 探査するため, 単一ロボットではなく, バディロボットシステム</li> <li>・ 粉塵に強い着脱式機構</li> <li>・ 着陸機サービスモジュール</li> </ul>	AI、SLAM、 低消費電力

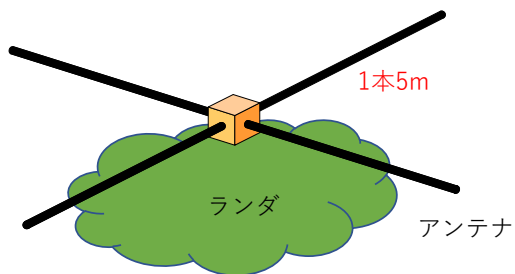


RFIの募集テーマ「月面の科学」に対応⇒ 川崎さんの発表

# キー技術(インフラ技術, 観測技術)

中テーマ	小テーマ	関連キーワード
(5) 建設技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 太陽電池タワー</li> <li>・ アンテナ展開機構</li> </ul>	ダスト除去、水平出し
(6) 中継局技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 光通信 (月面-中継局)</li> <li>・ ネットワーク設計・最適化</li> <li>・ 時刻同期</li> <li>・ UWB</li> <li>・ デジタルトラポン (ソフトウェア無線機)</li> <li>・ 共通モジュール</li> <li>・ 省エネ軌道保持・燃料補給・補修による長期運用</li> </ul>	放射線耐性SOI
(7) 観測技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 月震計パッケージ</li> <li>・ 干渉計パッケージ</li> <li>・ その場分析パッケージ</li> <li>・ RIセンサ (元素分析)</li> </ul>	
(8) 月面の科学を支える電気電子技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 探査ロボット向けの低消費電力で自律性を実現できる処理系</li> </ul>	

RFIの募集テーマ「月面の科学」に対応⇒ 川崎さんの発表





# 国際協力と独自計画の両立(私見)

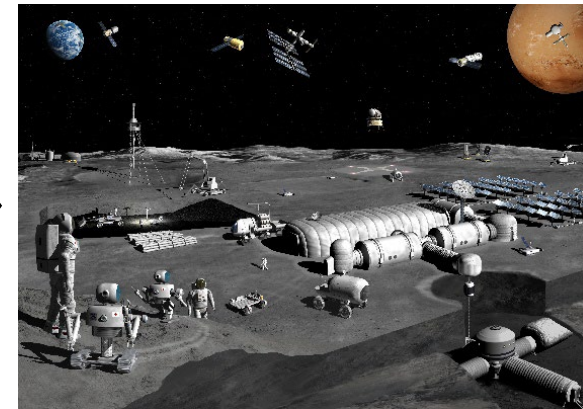
- ◆ 国際宇宙探査の主要参加国の一員として国際貢献する。
    - Gatewayなどの大型計画に対し、国際協力の一翼を担いプレゼンスを発揮する。  
特定の技術分野に特化してしまうと、自在性を確保できなくなる可能性あり。
  - ◆ LEADなど日本独自の計画を継続することで、自在性を確保しプレゼンスを発揮する。
    - 2030年代: 月面3科学で世界一級の成果をあげる, と同時に, キー技術を獲得する。
    - 2040年代以降: 月面のインフラ開発・サービスで日本が中心的な役割を担う。
- ※宇宙探査イノベーションハブ研究も踏まえ民間企業に積極的に加わっていただきたい。

2030年代  
月面科学プログラム  
キー技術の獲得



2040年代以降  
企業主体の活動  
本格的な月面活動

月面科学に対する宇宙探査イノベーションハブ研究



RFIに対し情報提供をお願いします！