

有人与圧ローバの検討状況

2023年10月27日
JAXA国際宇宙探査センター

1. 「宇宙基本計画」上の位置づけ

宇宙基本計画(2023年6月改定)

4. 宇宙政策に関する具体的アプローチ (3)(b) 月面における持続的な有人活動

【国際パートナーや民間事業者と連携した持続的な月面活動】

(中略)

- 具体的には、アルテミス計画の下、国際協力による月・火星探査を実施するとともに、持続的な有人活動に必要なとなる、環境制御・生命維持システム、月周回有人拠点（ゲートウェイ）補給機及び**有人と圧ローバの研究開発**、月極域探査機（LUPEX）による水資源関連データの取得等に向けた取組を着実に実施していく・・・

宇宙基本計画工程表(2023年6月改定)

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 (2030年度)	令和13年度 (2031年度)	令和14年度 (2032年度)	令和15年度以降
【国際パートナーや民間事業者と連携した持続的な月面活動】										
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によるISSへの物資補給機会を活用した技術実証				ゲートウェイ補給機によるゲートウェイへの物資輸送						
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(有人と圧ローバ)に関する開発研究										



2. 「アルテミス計画」上の位置づけ

ARTEMIS: Extending Lunar Missions to Prepare for Mars

月周回有人拠点 Gateway

International habitat delivered to Gateway, in-situ resource utilization (ISRU) demonstrations on the surface and LTV to expand exploration range

Artemis IV: First lunar surface expedition through Gateway. External robotic system added to Gateway

有人月離着陸機 (Gateway⇄月面間、Gatewayに係留、再使用)

Airlock arrives at Gateway; surface habitat and pressurized rover delivered to expand exploration range and crew size

Exploration Command Module delivered to Gateway for Mars dress rehearsals

月面居住棟

Surface Habitat

電源プラント

Fission Power

燃料プラント

ISRU Pilot Plant

有人非与圧ローバ

LTV

船外活動システム(xEMU)

無人探査ローバ (月面資源の探索と利用実証)

有人与圧ローバ

Pressurized Rover

SUSTAINABLE LUNAR ORBIT STAGING CAPABILITY AND SURFACE EXPLORATION

MULTIPLE SCIENCE AND CARGO PAYLOADS | U.S. GOVERNMENT, INDUSTRY, AND INTERNATIONAL PARTNERSHIP OPPORTUNITIES | TECHNOLOGY AND OPERATIONS DEMONSTRATIONS FOR MARS

All contents represent notional planning and are for discussion purposes only

3. 有人と圧ローバの意義・価値

- ① 有人の月面探査範囲を飛躍的に拡大。無人時も常に遠隔操作で探査を実施。
 - 「持続的な月面探査」の中心的役割。【人類の活動領域の拡大】
 - 実施可能なサイエンスの幅が大きく拡大。【科学的成果の創出】

- ② 月面・火星面探査技術の実証【技術的能力の拡大】
 - 日本として初の独立型の有人宇宙システム。
 - モビリティ技術・居住技術の実証と、運用データの獲得。

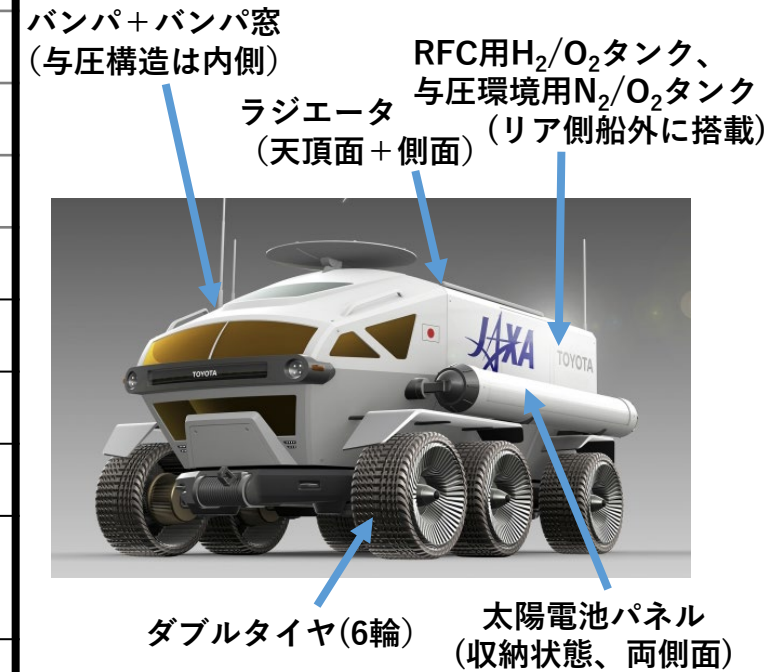
- ③ アルテミス計画における主要構成要素の提供による貢献【国際的なプレゼンス】
 - 世界初のシステム。日本だけが提供する方向。
 - 日本人宇宙飛行士の月面着陸の機会の確保。

4. 技術検討の状況

- キーとなる技術について、フロントローディング研究を実施中。
 - **全体システム概念検討／概念設計**
 - ・ 2022年度に企画競争で公募し、トヨタから提案があり契約開始。
 - ・ サブシステム／システムに関するトレードオフと概念検討、開発計画検討などを実施。
 - ・ 2023/10から次フェーズ「概念設計」の契約を開始すべく、準備中。
 - **再生型燃料電池概念検討・試作試験**
 - ・ 2022年度に企画競争で2社を公募し、トヨタ、ホンダの2社から提案があり契約開始。
 - ・ 2024/3までに試作機の製作と試験を完了予定。
 - **走行システム概念検討・試作試験**
 - ・ 2022年度に企画競争で1社を公募し、トヨタ1社から提案があり契約開始。
 - ・ 2023年度に試作機製作を完了し、2024年度前半に試作機による走行試験を予定。
- これまでの検討による仕様の概要は次頁のとおり。
 - 仕様案(p.6)、ミッション想定(p.7)
- 本年11月にかけて、JAXA内でミッション定義審査（MDR）を実施中。
 - NASAとのJoint Mission Concept Reviewを踏まえ、JAXAとしてのミッション要求を設定。
 - その後「概念設計」を開始し、システム系統構成や機器要求仕様の設定を進める計画。

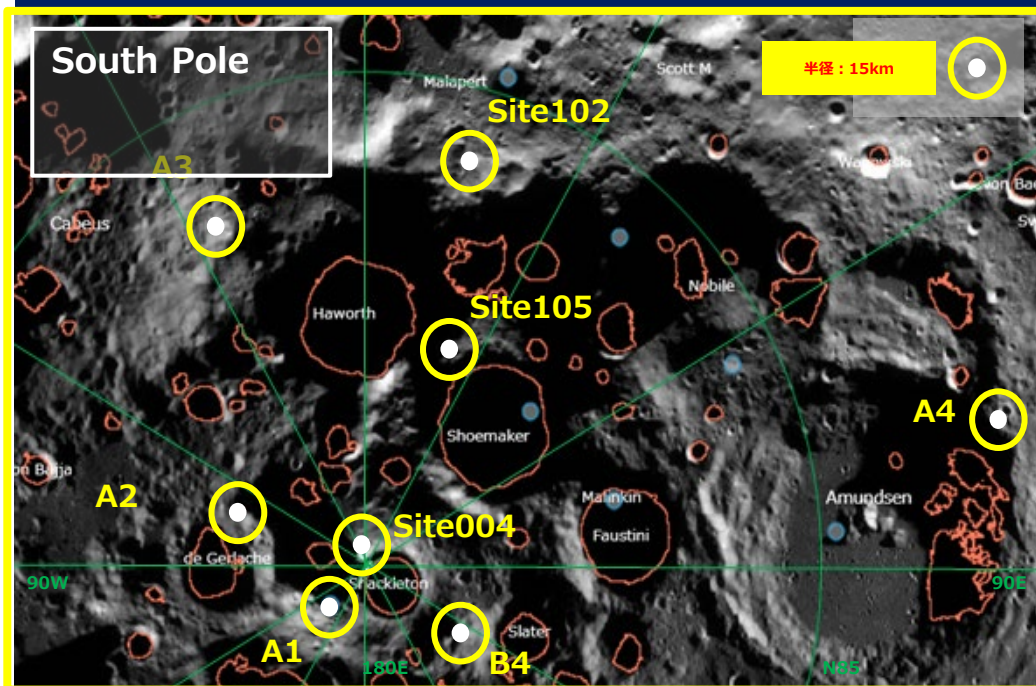
(参考) システム仕様案

		ミッションフェーズ#1	ミッションフェーズ#2
<u>ミッション</u> 要求	運用期間	10年間	
	クルー人数	2名	
	探査領域	南極域	SPA盆地 (5領域 6地点)
	ミッション頻度	1ミッション / 年	
<u>運用</u> コンセプト	ミッション期間	31日 (非常時3日含む)	42日
	有人時走行距離	20 km/日	
	総走行距離	10,000km	
<u>走行機能</u>	最大速度	15km/時	
	最大斜度	±20度	
	障害物乗り越え性能	30cm	
<u>システム</u> 機能	居住機能	空間容積、隕石防御、ECLSS、衛生、水・食料保管	
	船外活動機能	リソース供給、照明、ハッチ機能等	
	航法誘導・運転機能	測位、航路計画、自動/マニュアル/遠隔操縦、障害物検知等	
	通信・管制機能	X/Ka/S、自動異常検知・処置(FDIR)等	
	探査機能	観測機器搭載、窓 等	



<ミッションフェーズ#1>

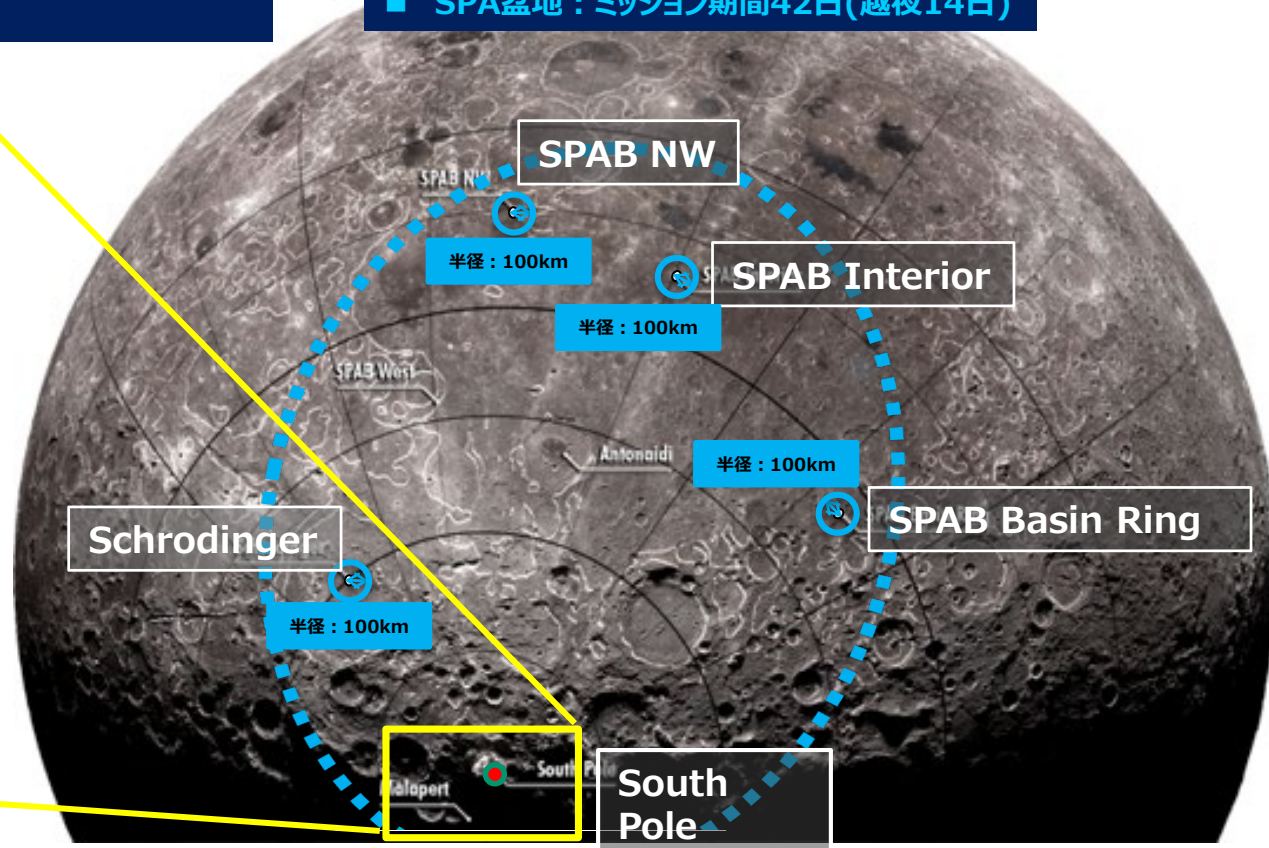
南極域： 有人ミッション期間 年31日(南極の夏季、越夜1.5日)
無人ミッション期間 年334日



(注)ミッションフェーズ2の実行については NASAと調整中

<ミッションフェーズ#2>

■ SPA盆地：ミッション期間42日(越夜14日)



※右図から上下を反転して表示

5. 関連する要素のNASA側での開発状況

■ 有人ランダと無人大型カーゴランダ

- NASAは、2021/4に1機目の有人ランダ調達候補としてSpace-X社を選定。その後、2023/5に、3機目以降の（再使用可能な）有人ランダ調達候補としてBlue Origin社を選定。
- NASAは、上記有人ランダを大型貨物輸送用に改変したものを、有人与圧ローバの輸送に使用する計画。
- 両社のカーゴランダに適合するよう今後インタフェース調整を進めていく。



■ 有人曝露ローバ（飛行士が船外宇宙服を着て搭乗）

- NASAは、有人曝露ローバ(LTV)の正式RFPを2023/5/26に発出、2023/7/10に提案締め切り。
- LTVは、有人与圧ローバ運用開始までの探査移動手段。
- 有人与圧ローバ運用時には常に帯同し、有人与圧ローバ故障時等の緊急時の有人ランダまでの帰還に使用する予定。



6. 重要技術要素

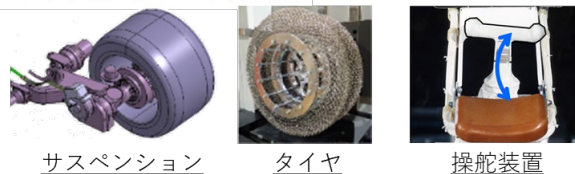
月面走行システムの確立

- 地上では1/6G環境を模擬した走行試験が実施できないことから、**走行機構の検証手法の確立**が不可欠
 - 台上試験機による**加振試験**と**モデルシミュレーション**を組み合わせた検証手法を適用
- **不整路走行の安定性確保、レゴリスへの沈み込み（スタック）防止対策**が必要
 - **低接地圧**となる**金属製弾性タイヤ**の開発、**走行制御技術**の開発
- GPSの無い環境下での**リアルタイム航法技術**が必要
 - 月面用GPS(**LunaNet**)に加え、**電波航法**と**Lidar画像**を用いた複合航法等を適用。



加振試験

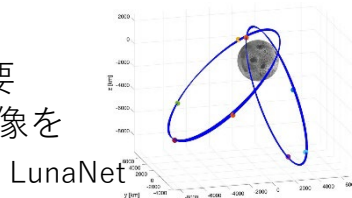
■ シャシ系・クルーシステム



サスペンション

タイヤ

操舵装置



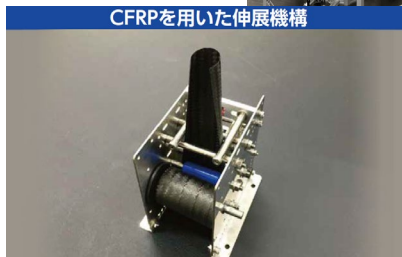
LunaNet

展開/収納型太陽電池パネル

- 必要エネルギー確保のために必要となる**大面積の太陽電池パネル**に、走行振動への耐性を持たせることは困難
 - 搭載性と防塵性を備える機構として**双安定ブーム**を用いた機構の採用を計画。1000回を超える**繰り返し展開/収納機構**の確立が必要。

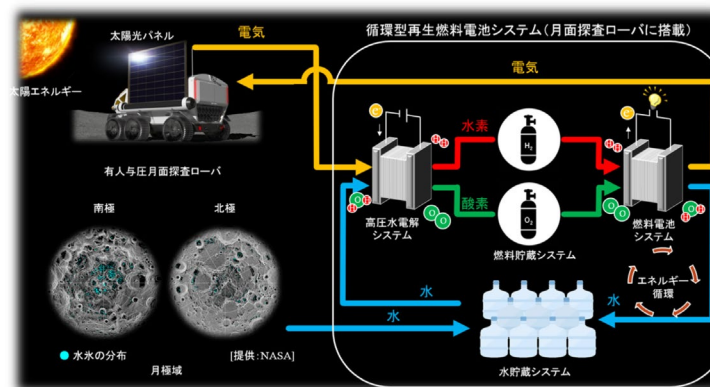


CFRPを用いた伸展機構



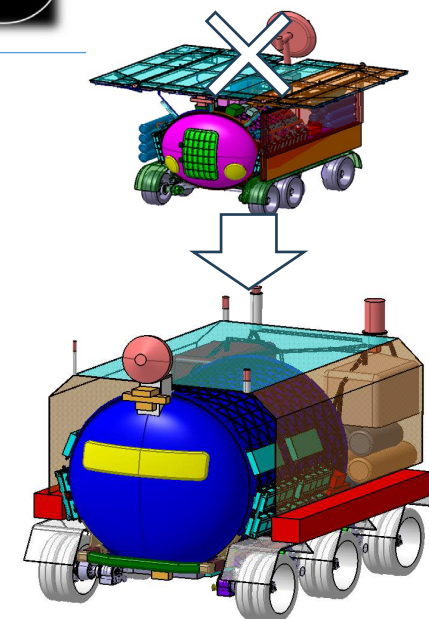
高密度蓄電システム

- **越夜**(最大15地球日)中の必要エネルギーを確保するため、**高エネルギー密度の蓄電システム**が不可欠
 - **再生型燃料電池システム(RFC)**の採用を計画。高圧酸素系等、地上用途向けには無い技術の確立が必要。



高容量排熱システム

- 走行時、停車時等様々な運用シーンに対応する**大容量の排熱システム**が不可欠
 - 展開・収納機構が不要な、**ボディマウント型ラジエータ**を用いた**単相流アクティブ排熱システム**の採用を計画。必要なラジエータ面積を削減するため、**船内空調機としてコンプレッサ式空調**を用いる予定。



7. 有人と圧ローバを活用した月面科学に向けて

- 有人と圧ローバの活用を前提とした月面科学への取組として、これまでフィージビリティスタディを当委員会で報告（第55回宇宙科学・探査委員会）。
- 今回、有人と圧ローバの科学支援機能についての検討状況を以下のとおり報告する。

1. ロボットアーム

地震計、天文台用アンテナの設置、(特に無人運用時の) サンプルリターンを含む、様々な月面ミッションに活用できるロボットアームを車体後部フレームに配置する。

【現在想定している仕様案】

- ✓ ペイロード可搬質量：300kg
- ✓ キャビン内部および地上システムからのコマンドによって操作可能。
- ✓ 先端のツールをロボット自身で交換可能。
- ✓ ロボットアーム稼働範囲はアーム基部中心から2m程度
- ✓ 先端位置決め精度：±1cm/1deg
- ✓ 先端動作速度：±5cm/s

2. ペイロード搭載インターフェース

有人と圧ローバキャビン内部及び外部(曝露環境)に搭載されるペイロードに提供する電源電圧など標準的なインターフェースを示す文書であるアルテミスユーザペイロード標準ICDを*をNASA/JAXA の間で調整中。

*ICD : Interface Control Document

【現在想定している仕様案】

- ✓ 船内・船外に合わせて450kgのペイロードを搭載可能（月面サンプルを含む質量）
 - 船内・船外で、取り付けインターフェース、電力、通信、冷却リソースを提供。
 - 船外4個(25kg/個)、船内4個(TBD)(64kg/個)の標準ペイロード搭載を想定。
 - 船内には極低温冷凍庫 (-85°C) (NASA提供)を搭載予定。(サイズ：29 × 18 × 13 インチ (未定))
- ✓ 無人時には、船外の後方荷台に数100kgのペイロードを追加搭載可能。

月面ミッションフィジビリティスタディ

1. 活動概要：

- ✓ アイデアレベルの提案を広く募り、技術的な観点及びリソース(搭載質量やサイズなど)からの実現性の検討を実施。
- ✓ 2021年5月に「月面活動に関する基本的な考え方」に取り纏められた通り、アルテミス計画における月面活動の機会を活用し、アポロ計画に匹敵するインパクトをもって科学を大きくアップデートさせることを目指し、第一級のテーマについて広範な科学分野からの参加を得て検討し、SLIMにおいて獲得する高精度着陸技術や有人と圧ローバ等を活用することも含め我が国が主体的に取り組むべき科学プロジェクトを具体化することを目的とした。
- ✓ 2課題に分けたテーマを募集し、2022年2月10日に4テーマの選定を発表。2022年度末まで約1年をかけFSを実施。

2. 選定テーマ

	課題名	代表研究者
課題A	月面利用の拡大に向けた超小型・高機能な宇宙放射線環境の計測技術とリアルタイム被ばく線量評価システムの構築	名古屋大学 三好由純氏
課題A	マルチスケール月面誘電率計測のフィジビリティスタディによる月浅部地下探査新手法の検討	東京大学 宮本英昭氏
課題B	水資源探査とも連携した宇宙の暗黒時代に迫るガンマ線・低周波電波の月面天文台	理化学研究所 榎戸輝揚 氏
課題B	第一級の月面科学を実現するためのシナリオと実現性の検討	JAXA/ISAS 佐伯孝尚氏ら

3. ステータス

- ✓ 4テーマ全てにおいて、予定していた検討を完了。
- ✓ ミッション実現に向け、月面搭載機会に向けたマイルストーン等の検討を開始。
- ✓ 各テーマの観測機器類について、国際宇宙ステーションやゲートウェイを活用した実証、LEADや有人と圧ローバ等への搭載の可能性検討を進めている。

- 【人類の活動領域の拡大】 【科学的成果の創出】 【技術的能力の拡大】 【国際的なプレゼンス】 の観点で高い意義を持つ「有人与圧ローバ」について、JAXAで概念検討を進めているところ。
 - キーとなる走行システム等、フロントローディング研究を実施中。
 - その他、展開/収納型太陽電池パネル等の重要な構成要素についても、フロントローディング研究として試作試験を行う計画。

- 一方、NASAも、「有人与圧ローバ」を月面に輸送するシステム、および「有人与圧ローバ」と連携して月面探査を行うためのシステム（有人曝露ローバや船外活動システム）の開発を着実に進めている。

- 本年5月にNASA/JAXA間で行った共同ミッションコンセプト審査（Joint Mission Concept Review）の結果を受け、JAXA内では、本年11月にかけてミッション定義審査（MDR）を実施中。
 - その後、概念設計を開始し、システム系統構成や機器要求仕様の設定を進める計画。

- 有人与圧ローバを活用した科学ミッションについては、NASAだけでなく、日本国内の科学コミュニティとも理工学合同委員会や内閣府宇宙科学・探査小委員会を通じて、議論を進める。
(※科学ミッションの実施機会についてはLEAD等も含め検討を進める)