

資料12-1-2

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
ISS・国際宇宙探査小委員会
(第12回)H27.1.26



国際宇宙探査シナリオ — JAXA案 —

平成27 (2015)年1月26日
宇宙航空研究開発機構

1. 宇宙活動に対するJAXAの将来展望
2. 日本の宇宙探査への取組方針(JAXA提案)
3. 日本の「国際宇宙探査」への取組方策(JAXA提案)
4. 当面我が国が実施すべき事業(JAXA提案)
5. まとめ(JAXA提案)

1. 宇宙活動に対するJAXAの将来展望



■ 次の30年を見据えた長期展望

- ◆ 低軌道利用の次の段階として、人類の活動領域を更に拡大し、月以遠へと新たな宇宙活動が展開され、長期的には月の有人滞在が定着すると想定している。



図1-1. 将来の宇宙活動イメージ(30年後)

以下を考慮すると、月面拠点が最も可能性のある対象地となる。

- ◆ 惑星科学へ資する科学知見の獲得
- ◆ 「資源」の利用(鉱物、エネルギー等)
- ◆ 「場」としての利用(科学観測、天文観測)
- ◆ 宇宙観光等、民間企業の参加による月への経済圏の拡大

■ 短期的な視点(この10年)

- ◆ 新たな宇宙活動の段階に向け、無人探査機による月・火星の科学探査と月の利用可能性(資源、場)の調査、月周辺における有人探査技術の実証が活発化する。

■ 火星有人探査への展望

- ◆ 当面は、無人探査機による科学探査(科学、利用可能性調査)が中心となる。
- ◆ 有人活動を含めた宇宙利用活動の本格化は、月・火星探査などを通じた探査技術の確立ののち、2030年以降になると想定する。

2. 日本の宇宙探査への取組方針(JAXA提案)(1/2)



- 日本は、「宇宙探査」に対し、以下のような基本スタンスをもって臨むべき。
 1. 人類の活動領域の拡大
 - ・ 人類の活動領域を地球圏外から月・火星などへ拡大し、人間の高度な知識・判断能力を活かした活動を行い、他天体での資源開発・エネルギー利用、生命探索などを行う。
 2. 科学的価値の創出(知的資産の獲得)
 - ・ 生命の探求・惑星科学分野の科学的発見と技術のブレークスルーを生み出し、社会経済活動に大きな変革をもたらすとともに、我が国の科学技術を発展させる。
 - ・ 過酷な宇宙環境への挑戦により、環境・生命維持(ECLSS)、健康管理、究極の省エネルギー等に取り組み、我が国の課題解決に貢献する。
 3. 国際的発言権の確保
 - ・ 新しい宇宙開発技術を積極的に磨き、日本がこれまで築いてきた宇宙分野での国際的発言権を確実に維持し、宇宙空間におけるルール形成という国際社会の重要な課題に対し発言力を維持する。
- JAXAは、以下のような方向性で「宇宙探査」を進めたい。
 - ◆ 我が国の自立性確保のための月探査の実現
 - ・ 月の科学・月面の利用可能性の調査を実現することで我が国の自立性を確保する。
 - ・ これにより、国際的な競争環境において、我が国として月面利用活動の場の開拓と権益の確保を可能にする(経済価値の獲得、権益確保、秩序形成)。
 - ・ また、この活動を通じて、日本として優位性の高い技術を確立する(産業競争力確保)。
 - ◆ 国際協働の有効活用
 - ・ 長期的には有人月面基地の建設運用を目標とし、国際協働をツールとして、他国との協力により自在な宇宙活動を実現する。
 - ・ 優位性の高い技術により、国際協働下で不可欠な役割を日本が担う(自律性担保、産業競争力確保)。
 - ・ 有人活動では、日本人宇宙飛行士の活躍を見せる(国際的発言権の顕在化)。
 - ◆ 火星探査は、当面は科学的探査中心
 - ・ 火星に対しては、利用活動の本格化は2030年以降となることが想定され、当面は科学探査を通じた知見と技術の蓄積を進める。

2. 日本の宇宙探査への取組方針(JAXA提案)(2/2)



図2-1. 宇宙活動の展望と取組方針

3. 日本の「国際宇宙探査」への取組方策(JAXA提案)(1/3)



■ 国際宇宙探査の動向

- ◆ 宇宙先進国は、未来への投資として、宇宙開発を国の技術競争力強化と技術的な優位性獲得のためのツールとして活用しており、その中でも宇宙探査を重視。

■ 国際宇宙探査の考え方

- ◆ 我が国の取組方針を実現するための機会と捉え、我が国が主体的に取り組む計画と、国際協働による計画を効率的・効果的に組み合わせる
 - ・ 「国際宇宙探査」における国際協力の在り方は、各国の目指す宇宙計画の下、ISS計画のようなマルチの協力で実施される多国間プロジェクトや、各国が主体的に実施するプロジェクト成果での貢献等、様々な方法がある。

■ 国際宇宙探査への取り組みの検討

- ◆ 当面(～2025年頃)の国際宇宙探査は月(周辺)での活動が中心となる。(図3-1)
- ◆ この活動の中で、日本が取り組むべき事業(主たるエレメント)を以下の視点で検討した。(表3-1)
 - ・ 国際協働による効率的な推進: 他国との協力により自在な宇宙活動ができること
 - ・ 優位性: 日本の強みを活かした技術を活用・発展させられるものであること
 - ・ 産業競争力: 日本の宇宙産業の発展、及び他産業分野へ波及効果が期待できること
 - ・ 持続可能性: 今後の予算プロファイルの中で相対的に実現可能なものであること
- ◆ 火星に対しては、月面における「探査」技術の確立と併行で火星の調査を進める。

3. 日本の「国際宇宙探査」への取組方策(JAXA提案)(2/3)

- 当面(～2025年頃)を見据えた月(周辺)での活動では、「輸送技術」、「有人長期滞在技術」、「長期滞在を実現するための「補給技術」、「重力天体での活動技術」、「帰還技術」の獲得が必要であり、各国が協力・競争下で活動を本格化している。

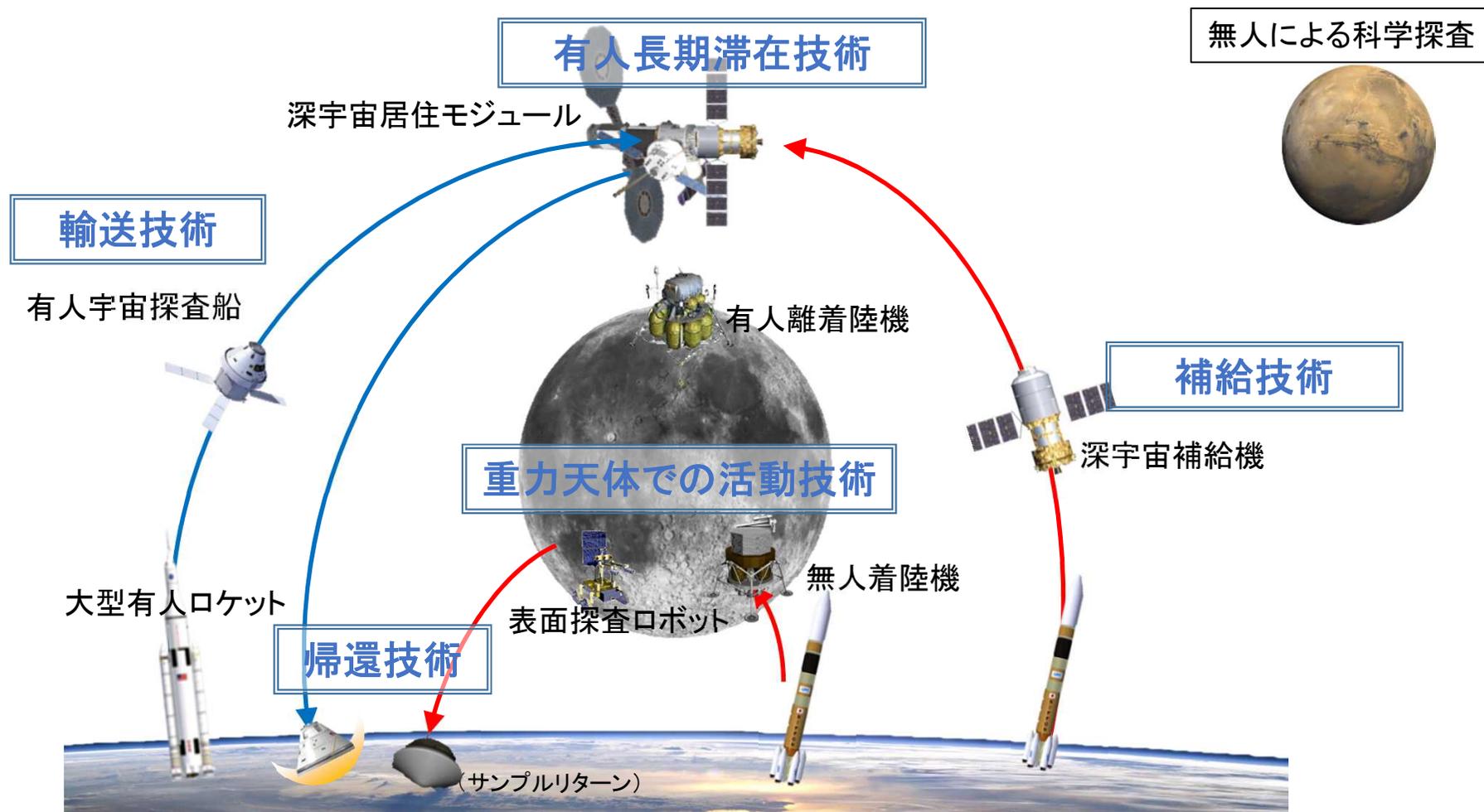


図3-1. 当面の月(周辺)での国際宇宙探査活動

3. 日本の「国際宇宙探査」への取組方策(JAXA提案)(3/3) -分析-



- 当面(～2025年頃)実施すべき事業として「深宇宙居住モジュール(要素)」「深宇宙補給機」「無人着陸機」「表面探査ロボット」を提案する。(次ページ以降の参考参照)

表3-1. 当面の我が国が実施すべき事業の検討(案)

事業 (主たるエレメント)	想定 時期	評価指標					総合 評価	評価と進め方
		国際協働	優位性	産業競争力	持続可能性			
大型有人ロケット 	2020 頃	可能	×	継続的需要 見込み	×	×	実現に係るコストが莫大である。当面は米国等との国際協力を活用し、将来の有人輸送系(再使用など)の研究を進める	
有人宇宙探査船 	2020 頃	可能	×	継続的需要 見込み	×	×	実現に係るコストが莫大である。当面は米国等との国際協力を活用し、将来の有人輸送系(再使用など)の研究を進める	
深宇宙居住モジュール 	2020 頃	可能	○ (ECLSS、放射線防護などの要素技術)	他産業への波及効果大	△ (ECLSS、放射線防護などの要素技術)	△	モジュール全体は実現に係るコストが莫大。国際協力を前提とし、ECLSS、放射線防護等要素技術を蓄積	
深宇宙補給機 	2025 頃	(当面計画なし)	○ 「こうのとりの輸送能力、ランデブー・ドッキング技術	継続的需要 見込み 標準化による競争力強化	○	○	日本の優位性を活かし、産業競争力等にも寄与。国際宇宙探査への貢献として優先的に取り組む。	
無人着陸機 (物資補給、サンプルリターン) 	2020 頃	可能	○ 「はやぶさ」の地形照合航法	将来の民間需要見込み	○	○	我が国の自立的な宇宙活動を行う上で重要であり、日本の新たな強みとする。	
表面探査ロボット 	2025 頃	可能	○ 自動運転・センサ技術などの民間技術	他産業への波及効果大	○	○	優れた日本の民間技術を発展させることが可能であり、独自性ある探査システムを実現する	
有人離着陸船 	2030 以降	(当面計画なし)	△ 無人着陸機で優位性獲得可	将来の民間需要見込み	△	△	月面有人活動のキーエレメントであるが、まずは無人着陸機に取り組む	

【参考】表3-1の補足説明(1/3)



- 大型有人ロケット・有人宇宙探査船
 - ◆ 自立性のためには必要であるが、米露が開発を進めており、国際協力により実施能力を確保することが可能。【国際協働】
 - ◆ 莫大な開発費が必要となり持続可能な開発計画を立てられない。【持続可能性】
- 深宇宙居住モジュール
 - ◆ 居住モジュールについては、米露が開発計画の検討を進めており、国際協力により実施能力を確保することが可能。【国際協働】
 - ◆ 居住モジュールに必要な要素のうち、日本が強みを有するもの(ECLSSや放射線防護技術)についてはISSにおける技術実証を経て、提供できる可能性がある。【国際協働、優位性、産業競争力、持続可能性】
 - ・ ECLSSや放射線防護技術は、人の生命を安全に維持するための技術であり、あらゆる有人宇宙活動の根幹であるため、自立性および産業競争力の観点で取組が必須。
- 深宇宙補給機
 - ◆ 「こうのとり」が持つ優位性のある輸送能力(大型船内ラック・大型曝露カーゴの輸送)を維持・発展させることにより、日本の強みとする(国際協力手段の確保)。【国際協働、産業競争力】
 - ◆ 地球低軌道への補給機開発・運用に続くものとして、現在の「こうのとり」の運用からの持続可能な開発計画を立案できる。
 - ◆ 国際宇宙探査の形に依らず確実に使われるシステムであり、安定した需要はアンカーテナンシーとして宇宙産業維持に貢献する。

【参考】表3-1の補足説明(2/3)



- 無人(月面)着陸機
 - ◆ 無人探査を自立的に実施するために獲得しなければならない技術のうち日本が未獲得の技術。【自立性】
 - ◆ はやぶさで獲得した地形照合航法技術などを応用し、目標地点にピンポイントで着陸する技術(世界最高性能の着陸技術)を獲得することで日本の強みとする。【優位性】
 - ◆ 月面での宇宙活動が活発化する将来において、「月面への輸送」という分野において日本の産業競争力を確保する。【産業競争力】
- 有人離着陸船
 - ◆ キーエレメントであるが、まずは無人着陸機に取り組み、有人仕様への発展に向けた技術開発に取り組む。
- 与圧ローバ
 - ◆ 当面使用計画がないため現時点では重点化しない。
- 表面探査ロボット
 - ◆ エネルギー技術、ロボット技術、自動走行・自動建設技術等は、天体表面で資源調査等の探査活動を実施するために必須の技術であり、探査活動の成果の質・量を直接的に左右する。我が国の民生分野にある優れた要素技術・システム技術を発展させ、他国では実現できないコンポーネントやシステムを開発し日本の強みとする。【産業競争力、優位性】
 - ◆ 地上技術との親和性が高いため、探査を通じて獲得した高度な技術を地上のシステムに活用する。【産業競争力】

【参考】表3-1の補足説明(3/3)



現在の各国取り組み状況

○:開発中、△:検討中

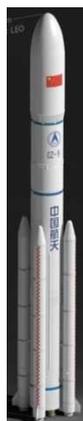
主要システム	米国	欧州	ロシア	カナダ	中国
大型有人ロケット	○(SLS)	×	○(アンガラ)	—	△
有人宇宙探査船	○(Orion)	×	○(NGS)	—	△
深宇宙居住モジュール	△	—	○	△ (ロボットアーム)	—
深宇宙補給機	—	○ (Orion SM)	—	—	—
無人着陸機 (物資補給、科学探査)	—	△(一部)	○	—	○
有人離着陸船	—	—	—	—	—
有人与圧ローバ	—	—	—	—	—
表面探査ロボット	—	—	—	—	—



【米国】NASA
SLS
LEO打上げ能力(70-130t)
2018年初フライト



【露】ROSCOSMOS
アンガラ Super Heavy
2018年初フライト



【中】CASC
長征9号(LM-9、CZ-9)
2030年頃初フライト目標



【米欧】NASA/ESA
多目的宇宙船 Orion
2018年試験フライト
2021年有人フライト



【露】ROSCOSMOS
次世代宇宙船(NGS)
2018年初フライト

©russianspaceweb



【米露】EML2ステーション
(4人滞在)
2020年代初頭の実現に向けて検討中

©russianspaceweb

©PLA news

4. 当面我が国が実施すべき事業（JAXA提案）



検討の結果を踏まえ、具体的な施策として、以下を提案する。

■ 月の科学・月面利用可能性の調査

- ◆ 「無人着陸機」「表面探査ロボット」により、月の科学・利用可能性の調査を早期に実現する。
 - ・ 利用可能性調査では、月の最適な探査ポイントを絞るために、地盤、環境（熱・放射線）、資源（水氷、等）の有無の調査を段階的（その場調査→回収分析）に行う。
 - ・ エネルギー（太陽光）の確保の観点や、放射線防護の観点（溶岩チューブ等）を考慮し、探査の候補地を検討する。
- ◆ これらの結果を踏まえて、月有人拠点（短期滞在）の可能性・方法・地点の検討へ繋げる。

■ 「地球低軌道以遠の有人長期滞在」の課題を、日本に強みのある技術により解決

- ◆ 「深宇宙居住モジュール」及び「深宇宙補給機」を通じ、有人長期滞中に必須の技術を確立し、国際協働下で不可欠な役割を日本が担い、我が国の自律性担保、産業競争力を確保する。
 - ・ 「深宇宙居住モジュール」では、ISSでの軌道上実証を経て、日本の民生分野の優位技術（環境制御、放射線計測等）や、ISS計画において他極をリードしている技術により、低軌道以遠の有人滞在拠点における長期実用へと発展させる。
 - ・ 「深宇宙補給機」では、「こうのとりのつばき」を発展させた深宇宙補給機で長期滞中に必要な物資の補給を担う。
- ◆ ISS及び深宇宙拠点における長期有人滞在実証にあたっては、日本人宇宙飛行士の滞在を実現する。

5. まとめ(JAXA提案) ※



- 日本の宇宙探査への取組方針
 - ◆ 我が国の自立性確保のための月探査の実現
 - ◆ 国際協働の有効活用
 - ◆ 火星探査は、当面は科学的探査中心
- 日本の「国際宇宙探査」への取組方策
 - ◆ 我が国の取組方針を実現するための機会と捉え、我が国が主体的に取り組む計画と、国際協働による計画を効率的・効果的に組み合わせて取り組む
 - ◆ 当面(～2025年頃)の国際宇宙探査は月(周辺)での活動の中で、日本が取り組むべきシステムとして、「深宇宙居住モジュール」「深宇宙補給機」「無人着陸機」「表面探査ロボット」を提案する。これらのシステムの技術開発を通じ、以下を行う。
 - ・ 月の科学・月面利用可能性の調査
 - ・ 「地球低軌道以遠の有人長期滞在」の課題を、日本に強みのある技術により解決
- 科学成果の最大化
 - ◆ 国際宇宙探査の取り組みにおける科学的成果の創出については、学術コミュニティとの十分な連携を図り、惑星科学分野での成果の最大化を目指す。

※タイトルにある「(JAXA提案)」は小委員会での向井委員からの指摘を受け追記した。

参考資料

【参考1】我が国として国際宇宙探査に参加する意義



ISS・国際宇宙探査小委員会 中間とりまとめ抜粋

(1) 人類の知的資産の拡大

人類の活動領域の拡大は、生命の探求・惑星科学分野の知見等をもたらし、人類全体の知的資産の増大・蓄積に貢献。

(2) 科学技術・イノベーションの発展

新たな技術のブレークスルーを生み出し、社会経済活動に大きな変革をもたらすとともに、我が国の宇宙技術を発展させる。

(3) 産業・社会へのインパクト

過酷な宇宙環境への挑戦は、生命維持、環境・健康管理、究極の省エネルギー等に取り組むことであり、少子高齢化、資源小国という課題を抱えるが国の課題解決に直結すると共に、技術力の国際的アピールや企業ブランドの向上に繋がる。

(4) 国際プレゼンスの発揮(国際的地位の向上)

国際的な宇宙探査の機運の高まりを的確にとらえ、これに積極的に参画していくことは、これまで粘り強い取り組みにより獲得した宇宙先進国の地位を引き続維持・向上させると共に、日米等とのパートナーシップを強化していくために必要不可欠。

(5) 青少年育成

若い世代の科学・技術・工学・数学に対する興味を刺激し、幅広く理系人材の創出をもたらすとともに、夢に挑戦する次世代を輩出。

【参考2】宇宙探査の国際的な動向（JAXA分析）



■ 政策的な視点からの各国の宇宙探査戦略

＜米国(NASA)＞

- ◆ ISSの枠組みを基に、有人探査の国際的なリーダーシップを積極的に発揮。
- ◆ 地球低軌道は商業化を進める一方、有人探査は国家事業として位置付け、有人小惑星、有人火星探査を目標。
- ◆ 基幹部分(大型ロケットや探査用有人宇宙船)を押さえることで宇宙探査でのリーダーシップを維持するとともに、宇宙産業の維持を図っている。

＜ロシア＞

- ◆ 他国に依存しない有人システム(大型ロケット、宇宙船、LEO居住環境)の維持・開発を進めている。
- ◆ 最新の宇宙戦略案では、2030年までに月基地建設を計画している。

＜中国＞

- ◆ 大きな政治的支援を背景に、有人・無人の探査プログラムを計画的に実施。
- ◆ 独立した宇宙探査計画を実施してきたが、ISEFにて国際協力の姿勢を表明。

＜欧州(ESA)＞

- ◆ 科学目的を主とした無人探査に力点を置く方針を継続する見込み。
- ◆ EUが注力する戦略的な政策分野で国際的にリーダーシップを発揮しつつ、宇宙分野の国際的な舞台におけるリーダーシップの源泉を築くアプローチ。

【参考3】月探査のステップ(案)



かぐや(月周回)

【済】

フェーズ①: 月表面の全球観測

- 月周回軌道からのリモートセンシング

資源調査

- 表面分布調査

環境調査

- 月面の数値標高モデルの作成
⇒ 月面の日照条件の推定等
- 放射線、ダスト等

科学探査

- 月のグローバルな物質・地形・重力・磁場探査

- ◆ かぐや等の成果から、エネルギー確保・水存在可能性から南極域に最有力の候補地点を識別

フェーズ②: 無人月面着陸探査による月利用の可能性調査・実証

フェーズ③に向け
戦略的に実施

- 揮発性物質(水・氷)等の、
- 形態、存在量、特性の調査
 - 抽出・利用の実証・評価

- 日照状況、エネルギー確保(太陽発電)実証
- 放射線環境、ダスト環境、地盤調査

月科学の課題例(*)

- 裏側地殻探査
- 地震計ネットワーク
- 極域探査



ロボティクス
月着陸探査

(*) 資料10-2「月探査の意義について」より

- ◆ 調査結果をもとに、月面長期有人滞在の可能性、方法、地点を検討

- ◆ 検討結果や国際情勢を反映して月の本格的利用について判断

フェーズ③: 月の本格的利用(国際宇宙探査における月での有人活動)

国際協力で実施

オプションA: 月面有人長期滞在 + 軌道上有人拠点

- 有人滞在・利用拠点を月面に構築
- 短期滞在から長期滞在へ発展

オプションB: 月面有人短期滞在 + 軌道上有人拠点

- テレロボティクスによる月面探査
- 短期の有人月面探査

【参考4(1/3)】月利用可能性及び必要な事前調査



○物質の利用:

月にある物質を宇宙探査に活用

→必要な物を現地調達する技術の獲得は、地球資源に頼らない宇宙開発利用への転換

・表土(レゴリス)

月の表土を遮蔽や構造物等にそのまま利用。

・水(水素)

極域の永久影の地中には彗星由来の彗星・小惑星・太陽風によりもたらされた水氷(あるいは水素)存在する可能性。

・酸素

月の表土(レゴリス)は金属 酸化物であり重量の4割は酸素。還元により抽出できる。

・金属

酸素抽出の副産物として、鉄、チタンを得ることが可能。また、シリコン、アルミニウムなども豊富。

○場の利用:

月を人類の新たな活動・滞在の場所として活用

→低軌道につぐ人類の活動領域の拡大

・火星探査技術の実験場として

国際宇宙探査における火星探査に向けたリスク低減のための調査・技術実証の場として利用。

・宇宙医学・生物学のデータ取得

宇宙放射線による影響や1/6Gの新たな環境での生物への影響の把握が可能。

・実験・観測場所として

超真空環境でかつ構造物を設置できる地面が存在する、月の裏側には地球の人工電波の影響が無い等、これまでにない実験・観測環境がある。

・人間の滞在場所として

現在の技術で、人類が長期滞在できる可能性の高い唯一の天体。

物質利用+場の利用: 人類の活動領域の重力天体へ拡大するための実験場として、現地の資源を利用し支える。



今後、上記のような利用の可能性を明らかにするためには、様々な視点からの調査が必要。例えば・・・

物質調査

地盤特性計測

日照・日陰環境

放射線計測

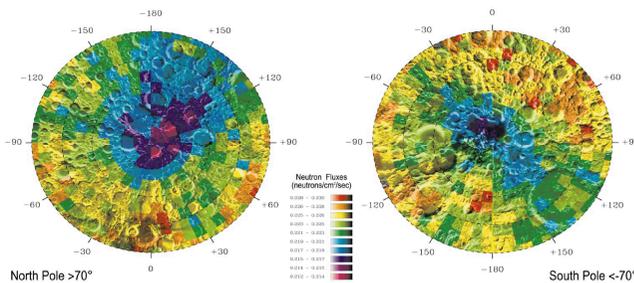
温度環境計測

ダスト環境計測

【参考4(2/3)】月利用可能性及び必要な事前調査(調査例)

■ 水氷：

1. 月面の極域の永久影には水氷が存在する可能性有
2. 同様に他の揮発性物質が存在する可能性

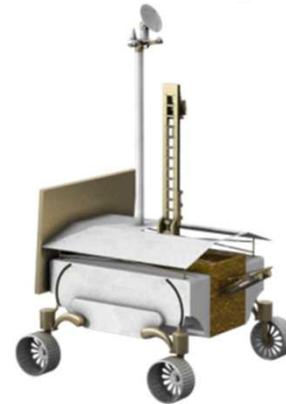


月面の北極(左)／南極(右)における水素の濃度
中性子分光計による計測(NASA)

その存在量、存在形態、利用可能性などを、現地で直接測定する必要がある。

NASA-JAXAでJoint Studyを実施しているResource Prospectorミッション等により確認できる。

中性子分光計と質量分析計により掘削した極域の土壤中の水氷の存在を調査する。



■ 放射線：

1. 月面に銀河宇宙線と太陽粒子線が直接降り注ぐ
2. 太陽活動や太陽フレアの影響を直接受ける。
3. 月レゴリスによる、二次放射（中性子やガンマ線）

滞在候補地点において周囲の物質に起因する二次放射も含めて正確に測定する必要がある



米国LROの放射線影響測定用宇宙望遠鏡 (CRaTER: Cosmic Ray Telescope for the Effects of Radiation) 銀河宇宙線の月周辺の空間マッピングを行っている。



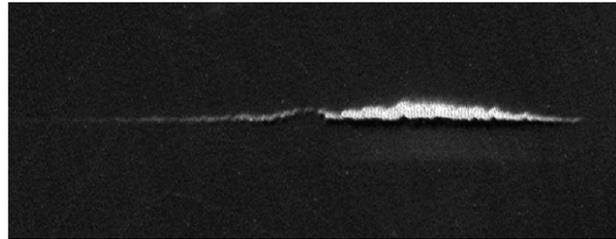
JAXAとKEKで開発したその場の線量を高精度でリアルタイム計測可能な測定器 (PS-TEPC) を月面に持っていけば、二次放射の中性子も計測可能になる。

【参考4(3/3)】月利用可能性及び必要な事前調査(調査例)

■ダスト：

1. 細かく尖鋭で、磨耗や付着による性能低下を誘引。
2. 明暗境界の電位差で浮遊すると言われている。
3. アポロでも吸入による影響や宇宙服シールの漏れあり。

活動地点においてローカルな環境や、機器への付着量を把握するとともに除去する技術の確立が必要。



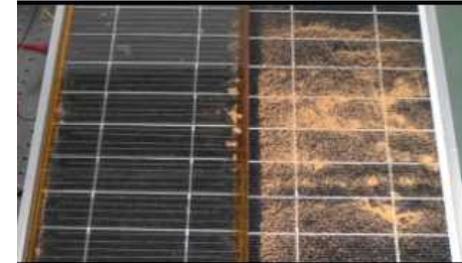
サーベイヤ7の地平線画像（1968年1月23日、日の入り）低速で動く数ミクロンの帯電電粒子->浮遊したルナダストと考えられる。



アポロの宇宙飛行士の宇宙服に付着したダスト



米国LADEE（大気とダストのグローバル観測）

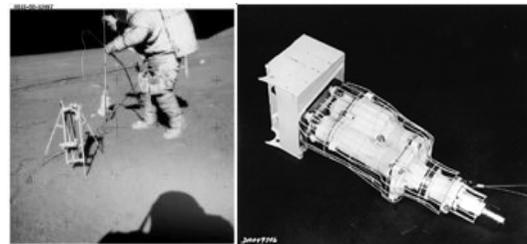


太陽電池上のダストを静電力によって除去(早大 川本)

■地盤：

観測拠点のような人工物を設置するには地盤の特性を計測する必要がある。

地球上での知見を活かすためには、できるだけ同等な方式で測定する必要がある。



Apolloの月面掘削装置。コアサンプルの取得が主目的であり、月面の地盤強度の直接的な測定は実施されていない。



小林（福井大学）らによる月面地盤調査装置。地上と同等な測定を無人で実現できる。そのため地上データと直接比較可能。

【参考5】段階的技術獲得のシナリオ

ISS技術実証

無人月探査技術実証

2020

2030

2040



有人月面探査



有人火星探査

出典: ISECGのGERを参考にJAXAで作成。

	2020	2030	2040
輸送	探査用宇宙船	開発中(米) LEO有人技術実証	LEO以遠有人宇宙船
	大型打上げ能力	開発中(米) 大型化・有人化	打上げ能力(105t)
	極低温燃料貯蔵	地上研究 技術実証	蒸発率(1%/day)
	地球再突入ヒートシールド	LEO帰還実証 月帰還速度対応(比重0.5)	月帰還速度対応(比重0.5)
	高効率大型推進エンジン	地上研究	LEO以遠有人宇宙船
深宇宙運用	深宇宙航法ランデブ	技術実証 月近傍技術実証	月近傍/有人対応
	大型電気推進	地上研究 月近技術実証	ホールスラスタ(数10kw)
	光通信	技術実証 月近傍技術実証	月近傍(800Mbps)
	燃料補給	地上研究 月近傍技術実証	月近傍・極低温
	深宇宙自律運用	技術実証 技術実証	月近傍/有人対応
離着陸	高精度着陸・障害物回避	地上研究 月着陸実証(100m)	有人化対応(100m)
	表面からの離陸・回収	地上研究 月離陸技術実証	大型化対応(10t)
	メタンエンジン	地上研究 月着陸技術実証	大型化対応(1/6G)
	突入/降下	地上研究 技術実証(地球、無人火星)	有人化対応(60t)
ロボット	表面移動・掘削	地上研究 移動/掘削技術実証	移動(500km)/掘削(10m)
	遠隔操作・有人支援	地上研究 月遠隔操作実証	自律/遠隔・有人対応
電力	再生型燃料電池	技術実証 1kW級(250wh/kg)	10kW級(500wh/kg)
	軽量太陽電池パネル	地上研究 技術実証	軽量パネル(10kw, 1kw/kg)
	原子力発電	地上研究	有人火星(100kw級)
有人滞在	放射線対策	LEO放射線計測・防護 深宇宙放射線計測	放射線防御(60日)
	水・空気再生	技術実証(要素) 技術実証(システム)	水再生率(90%)
	宇宙医学/健康管理	技術実証(180日) 技術実証(360日)	健康自律管理(60日)
	居住モジュール軽量化	地上研究 技術実証	軽量化
	宇宙服	地上研究	レゴリス対応・低重力
	現地資源利用	地上研究 要素技術実証	システム実証