

国際宇宙探査 ロードマップ

追補版 2020年8月

最新月面探査シナリオ



国際宇宙探査協働グループ ISECG

この追補版について

国際探査ロードマップ（GER）は、有人および無人による宇宙探査に関する国際共通ビジョンであり、また国際宇宙探査協働グループ（ISECG）参加機関によって調整されたプログラム、計画、及び目的をまとめたものである。ISECG 参加機関は、宇宙探査における困難で長期的な課題を達成するには国際協力が最善の方法であると認識し、このビジョンを策定した。（なお、GER は国際約束ではない。）

GER は、国際宇宙ステーション（ISS）に始まり、月、小惑星、火星、およびその先へと続く戦略を反映している。この戦略は、共有された探査の目的及び目標に成り立つものであり、人類に大きな利益をもたらすミッションに結び付いている。

2018 年 1 月に GER を発行して以降、多くの ISECG に参加する宇宙機関*が国家戦略を新たにし、月探査計画を強化・加速してきた。これらの野心的な探査計画と ISECG 参加機関の増加を機に、ISECG は月面探査シナ

リオを拡張・更新し、それを 2018 版 GER の追補版として発行することとした。今回最新化したシナリオは、2018 版 GER を補足するもので、まず、新たに ISECG に参加した機関を紹介し（第 1 章）、各宇宙機関の月探査計画の最新情報をまとめている（第 2 章）。さらに、持続可能な月面探査活動のために新たに策定された共通目標（第 3 章）を示し、最新の月面探査シナリオ（第 4 章）では共通目標を段階的に達成し、有人火星探査や将来の月面活動への準備としての探査ミッションシナリオとアーキテクチャーについてまとめている。

本 GER 追補版は、強固なパートナーシップを確立してミッションを成功させる基盤を作り、宇宙機関間の調整作業を促進するために使用されることを想定している。政府機関、学界、官民組織、および民間組織間など、あらゆるパートナーシップによって、世界中から最高のアイデアとソリューションが提供されるであろう。宇宙探査は、本質的にグローバルな活動なのである。



Luca Parmitano 宇宙飛行士とドイツ航空宇宙センター（DLR）の球型ロボット「CIMON-2」。国際宇宙ステーション（ISS）船内にて 2020 年 2 月に撮影。Image Credit: ESA/DLR/NASA

* 「宇宙機関」とは、宇宙活動に責任を有する政府組織を指す。



目次

- P. 1 **概要**
- P. 4 **第 1 章**
世界的機運の高まり
- P. 9 **第 2 章**
各国の最新月探査計画
- P. 14 **第 3 章**
月面探査の目標
- P. 18 **第 4 章**
最新の月面探査シナリオ
- P. 25 **第 5 章**
民間企業とのパートナーシップ
- P. 26 **付録**

▶ 概要

2018年に発行した国際探査ロードマップ（GER）では、宇宙探査の目的、目標、及び人類への利益に関する共通認識に基づき、宇宙探査の国際協力に資するため、国際宇宙探査協働グループ（ISECG）に参加する宇宙機関*の共通ビジョンを示した。その後、多くの宇宙機関が科学探査、および有人火星探査ミッションへや将来月面活動へ準備としての技術実証のために月探査計画を更新したため、ISECGとしても月面探査シナリオを更新し、世界の最新の探査計画とともに本追補版に示すこととした。また、前回のGER発行以降、ISECGに9組織が新たに加わった。このことは、科学及び探査の目的を達成するために国際協力を活用しつつ、人類に経済的・社会的利益を提供するという、宇宙飛行が果たす役割の重要性が増していることを反映したものである。一方で、商業宇宙活動においては、経済的に事業継続を可能とする新たな宇宙飛行技術が実現しつつあり、新規参入企業に宇宙飛行のフロンティアを開放するとともに、国家による太陽系の科学探査及び有人探査に関する新戦略の立案につながった。

本GER追補版は、有人・無人の月面ミッションおよび有人火星探査ミッションへの準備に関する最新の探査ミッションシナリオ及び全体システム構成（以下、「アーキテクチャー」という。）をまとめたものである。また、ISECG参加国における新たな探査計画や民間企業の探査技術力の概要についてもまとめている。ミッションシナリオとアーキテクチャーを検討するにあたっては、ISECGの目的と原則（下記参照）に基づき、12の月面探査の共通目標をその根拠と達成目標とともに整理し、以下の3つのフェーズからなる1つのシナリオに取り込んだ。

- ・フェーズ1：人類の月面再着陸
- ・フェーズ2：探査領域拡大とインフラ構築
- ・フェーズ3：持続的な月面活動

ISECGの持続的国際宇宙探査の原則

◆現実的予算

革新的なアプローチにより、現実的な予算で高い費用対効果を達成する。

◆パートナーシップ

多様なパートナーに早期かつ継続的な参加・協力機会を提供する。

◆人間とロボティクスの協働

人間とロボティクスの特徴や能力の相乗効果を最大化する。

◆社会還元

探査の目的を達成するとともに、人類への恩恵を創出する。

◆段階的能力向上／技術標準

標準インターフェースを活用しつつ段階的に能力を向上する。

◆堅牢性

技術的及びプログラムの障壁に対する堅牢性を確保する。

*「宇宙機関」とは、宇宙活動に責任を有する政府組織を指す。

本追補版には、月面の現地資源利用 (ISRU)、通信システム、月面輸送、月面発電、粉じん軽減技術への関心の高まり、並びに関連するミッション計画についても記述した。これらの能力と民間による新たなペイロード輸送サービスと組合せ、月ミッションや最終的には火星ミッションの頻度を上げコストを下げることにより、科学界や学術界にも利益がもたらされるであろう。

新たな月探査・利用シナリオには、直近の一連の無人ミッションと、それに続いて行われる今後 10 年程度の人類の月再着陸シナリオを記述した。シナリオでは、個別ミッションにフォーカスするのではなく、月面輸送能力、月面探査能力、インフラ能力を段階的に増強することで、科学と協調した有人探査活動、将来的な月極域での持続的な人類の月面活動、および有人火星探査ミッションへの技術実証を実現できることを示した。このシナリオの

特徴は、最終的にミッション毎に 4 名のクルー活動を支え、科学的成果と極域のベースキャンプからの探査距離を劇的に増加させる移動システムと、ミッションに必要な月面への物資輸送が必要となっていることである。

月面における持続的探査と人類の存在の継続は、国際宇宙探査の唯一の目的ではなく、段階的な進歩の一部であり、ひとつひとつのミッションが、月に関する我々の総合的な知識を増やし、火星を初めとした太陽系全体の継続的な探査の準備を進めるものであり、またイノベーションと経済成長を推進するものでもある。健康や医療、公共安全、消費財、工業生産性、輸送その他多くの分野を含む、日常生活の様々な側面での技術の進歩は、宇宙探査の直接的成果である。ここ数年間、宇宙分野における民間投資により雇用の創出や経済成長が加速したことも、宇宙探査の大いなる成果である。

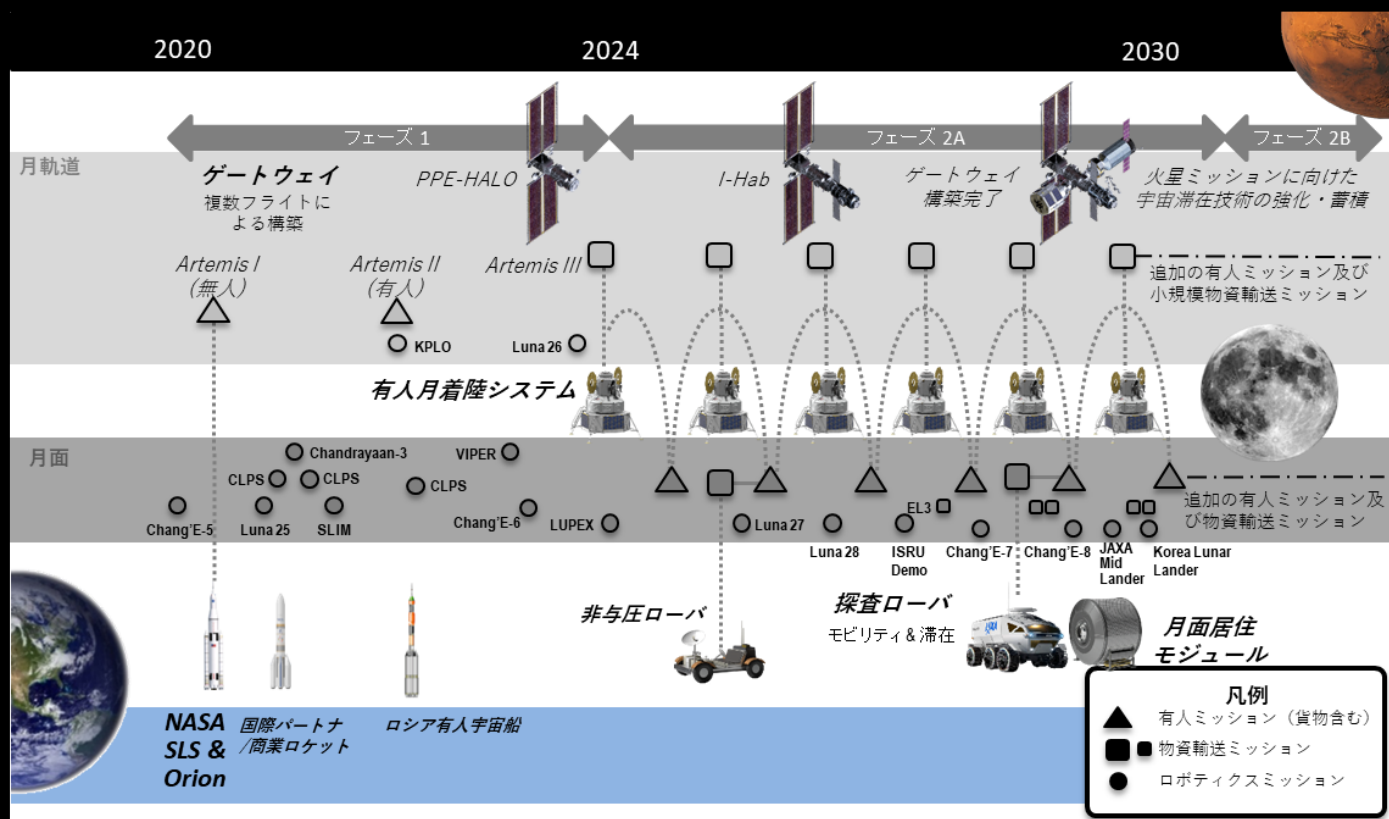


図1. 最新のISECG月面探査ミッションシナリオ

世界の ISECG 参加機関



第1章 世界的機運の高まり

ISECG 参加機関の数は着実に増加しており、月・火星に向かう世界的関心と機運の高まりを強く示している。2018 年版 GER の発行以降、ISECG 参加機関の数は 15 から 24 に増加した。新加入機関の概要と参加日を以下に示す。



ブラジル宇宙機関（2020 年 8 月）

ブラジル宇宙機関（AEB）は、国益のための宇宙活動を促進する目的で 1994 年 2 月に設立された政府機関であり、ブラジル国の宇宙開発方針を制定、調整、実施する責任を有している。AEB は、ブラジル社会のニーズに適した宇宙関連の製品やサービスの川下市場の創造に努めている。また、ブラジルの宇宙産業を統合し、競争力とイノベーション力を向上させることを目標としている。AEB は、ブラジルと国際パートナー双方に有益な成果をもたらす技術及び産業開発の協働プロジェクトに賛同し、宇宙での協力が、資源を有効利用しつつリスクを下げる重要なツールであると見なしている。

宇宙科学、並びに日常生活における宇宙技術の活用発展は、より良い公共政策の制定や継続的な繁栄をもたらす経済重視の宇宙外交の設計を進展させる。ブラジルの宇宙エコシステムの重要機関として、AEB は ISECG の参加機関となることで、宇宙分野のトップ機関から学び、幅広く受け入れられている協働とイノベーションの文化を強化し、国際舞台での宇宙活動により積極的に参加する機会を得ることであると理解している。AEB の詳細については、以下を参照のこと。

<https://www.aeb.gov.br>



オーストラリア宇宙機関（2019 年 2 月）

2018 年 7 月 1 日、オーストラリア政府は、世界的に評価の高い宇宙産業の変革と成長を意図し、オーストラリア宇宙機関（ASA）を設立した。オーストラリアは、ISECG 参加機関であるオーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）の活動を通じ、1960 年代からの長きにわたり宇宙開発を支えており、現在、宇宙の平和利用のための世界的取組みに参加する能力を高めつつある。オーストラリアは、ロボット工学と遠隔操作、人工知能、宇宙領域認識、高度な通信、健康管理と遠隔医療に強みを有している。また、以下を含む分野で能力と施設を拡大している。

- 無人探査ミッション管制センター
- 地上局ネットワーク
- 宇宙機器製造および宇宙データ分析
- 月に到達して火星へ向かう国際的計画を支援するための産業界プログラムの導入

オーストラリアは、アイデアを共有し、ISECG の目的達成のための課題解決を行う国際的取組みに貢献することに期待している。オーストラリアの民間宇宙戦略の詳細については、以下を参照のこと。

www.industry.gov.au/strategies-for-the-future/australian-space-agency



タイ地理情報・宇宙技術開発機構（2020年4月）

タイ地理情報・宇宙技術開発機構（GISTDA）は2000年に設立された。GISTDAは、地理情報と宇宙技術を開発し、これらを地上と宇宙の両方で発展させることを主目的としている。約20年前の設立以来、GISTDAは、地球観測衛星の技術と応用に注力しており、人材への投資と訓練によってタイ国及び東南アジア諸国で専門家の育成に取り組んでいある。また、GISTDAの大切なミッションのひとつとして、国内の宇宙産業の育成、活用に取り組んでいる。

近年、タイ国の宇宙開発は宇宙探査に視野を広げた。地球科学宇宙システムの下、高等教育科学研究イノベーション省は、タイでの宇宙探査に関する研究開発の促進を目指している。GISTDAは、タイの主たる宇宙機関として、以下の分野を重視する宇宙探査プログラムを正式に立ち上げた。

- 地球低軌道、月及び以遠での科学研究
- 探査、科学ペイロード及び機器、無人ローバー、宇宙飛行、宇宙港に関する宇宙関連技術力の向上
- 宇宙探査分野の認知度向上
- タイ国の新宇宙経済の支援

GISTDAは、タイが世界の宇宙探査コミュニティに貢献できる参加国となり、世界の宇宙経済の発展を援助することを目的としてISECGに参加した。GISTDAの詳細については、以下を参照のこと。

www.gistda.or.th

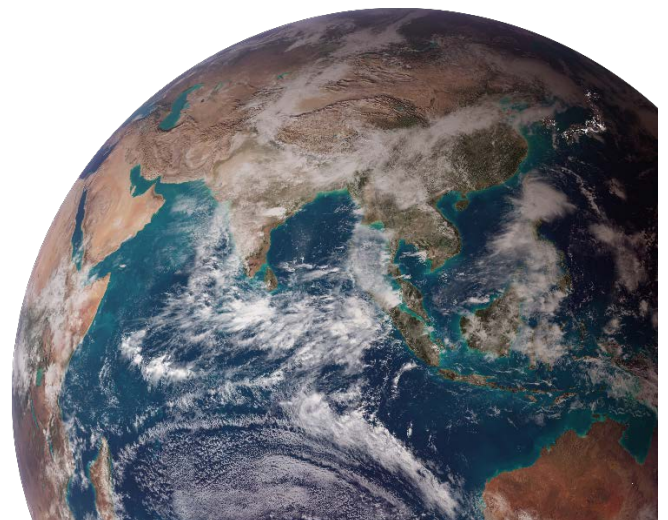


ルクセンブルグ宇宙機関（2019年9月）

ルクセンブルグ宇宙機関(LSA)は2018年に設立された。LSAは新たな企業を創設するとともに既存の企業を支援し、人材を育成し、資金調達へのアクセスを促進し、学術研究を支援することにより、ルクセンブルクの宇宙分野を発展させることに注力している。また、「国家宇宙経済開発戦略」を実行し、宇宙研究開発プログラムを管理し、宇宙資源イニシアチブ（SpaceResources.lu）を主導している。2005年から加盟している欧州宇宙機関(ESA)においてルクセンブルクを代表し、欧州連合(EU)と国際連合(UN)の宇宙関連プログラムにも参加している。

ルクセンブルグ宇宙機関にとって、ISECGに参加することは大きな喜びであり、宇宙探査における国際調整を進める取組みの支援に専心している。今後数年間のうちに、宇宙資源の探査と利用は魅力的な機会を生み出すようになる。LSAは、成長する民間宇宙産業を支援・育成し、月及び小惑星等の地球近傍天体を含む、天体資源の平和的な探査と持続可能な利用に貢献することを確約する。LSAの詳細については、以下を参照のこと。

<https://space-agency.public.lu/en.html>



ノルウェー宇宙機関 (2020年1月)

ノルウェー宇宙機関 (NOSA) は、貿易産業水産省傘下の政府機関である。ノルウェーが ESA に加盟した 1987 年に設立された。NOSA は、ESA と EU に関連する宇宙活動を中心に、ノルウェーの宇宙活動の組織化、並びに国内の宇宙活動を調整する責任を有する。宇宙活動は、広大な海域を持ち世界最北端地域の 1 つであるノルウェーにとって、大きな戦略的価値がある。

ノルウェー人は、未知の探索に関して常に先駆者であり、過酷な隔絶環境での活動について長い伝統を持っている。宇宙探査への国際的な関心が高まるにつれ、新たな課題が生まれ、科学のおよび技術的な知識の向上につながる。NOSA は、これを、ノルウェーの活動範囲を広げ、宇宙と地球の両方で役立つイノベーションの絶好の機会であると考えている。

ISECG への参加は、NOSA にとって、視野を広げ、探査の共通目的に向けて国際機関と協力する機会であると考えている。NOSA の詳細については、以下を参照のこと。

<https://www.romsenter.no/>



ポーランド宇宙機関 (2018年11月)

ポーランド宇宙機関 (POLSA) は 2014 年に設立され、2018 年に ISECG に参加した。POLSA は、国際協力をベースとする ISECG の宇宙探査の原則や主要目標に賛同し、熱心に取り組んでいる。ポーランドには、何世紀にもわたって人類に恩恵をもたらしてきた宇宙の発見と探査の豊かな歴史がある。POLSA の優先項目には以下を含む。

- 国内の宇宙部門の強化
- 日常生活における宇宙技術の利用促進
- ロボット、センサー、着陸機ミッション
- 宇宙専門家の育成

POLSA の詳細については、以下を参照のこと。

<https://polsa.gov.pl/>



ルーマニア宇宙機関 (2019年3月)

1995 年設立のルーマニア宇宙機関 (ROSA) は、1968 年に設立されたルーマニア宇宙活動委員会 (CRAS) を母体としている。ROSA は、自己資金で運営する公的機関で、教育研究省 - 科学研究及びイノベーション国家当局の管轄である。ROSA は、宇宙、航空及び安全保障に関する国家研究プログラムの資金提供機関であり、省庁間安全保障研究作業グループの議長を務めている。また、SSA (宇宙状況把握) 計画の国レベルの調整を担当し、ガリレオ PRS (欧州全地球測位衛星システム政府規制サービス) の認定当局となっている。さらに、ROSA は、すべての国際宇宙組織におけるルーマニア代表であり、ルーマニアの宇宙関連活動のすべてを調整している。ISECG への参加により、ROSA は新たな枠組みを得、世界の宇宙機関とより広く協力、協働する機会を得る。ROSA の詳細については、以下を参照のこと。

<http://www2.rosa.ro/index.php/en/>

ベトナム国家宇宙センター (2020年1月)

スイス宇宙室 (2019年3月)

スイス宇宙室 (SSO) は、スイス連邦経済・研究部門 (EAER) の教育研究イノベーション管轄局 (SERI) の重要な一組織である。スイスの宇宙政策を、主に ESA プログラムへの参加を通じて、準備・実施することが主たる責務である。

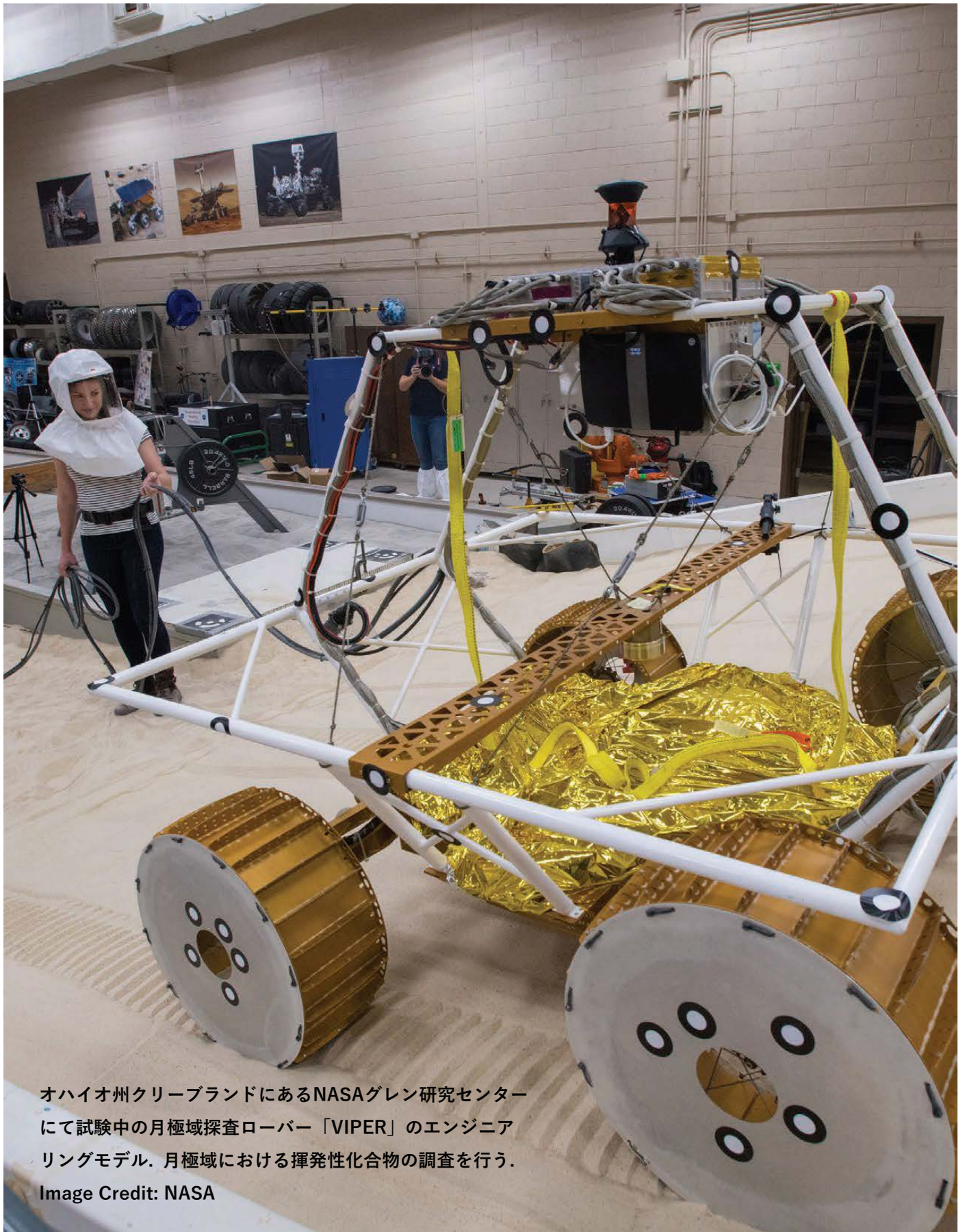
SSO は、探査に関しては、科学、宇宙技術の開発、国際協働に力を入れている。社会に利益をもたらす宇宙インフラの開発及び利用は、スイス宇宙政策の重要要素である。宇宙探査は、宇宙における人類の立ち位置に関する理解を恒常的に深めるものである。宇宙探査は同時に、地上に直接応用可能な科学や技術の具体的成果をもたらす。SSO の詳細については、以下を参照のこと。

<https://www.sbf.admin.ch/sbf/en/home/research-and-innovation/space.html>

2011年に設立されたベトナム国家宇宙センター (VNSC) は、ベトナム科学技術院 (VAST) の管轄下であり、研究開発と技術応用を管理、推進している。VAST は、VNSC と協力して、国家レベルでの訓練やインフラに追加投資し、ベトナムの宇宙科学及び技術力の拡大に努めている。VNSC は、ISECG の新参加機関の1つであることを誇りに思い、ISECG の共通の平和目的に貢献するため、必要な協力をを行い、協働し、貢献する態勢を整えている。

VNSC は、国際協力促進に注力しており、国際宇宙連盟 (IAF、2012年)、地球観測衛星委員会 (CEOS、2013年)、地球観測に関する政府間会合 (GEO、2014年) を含め、国際機関の活発なメンバーとなっている。VNSC はまた、ベトナム最大の科学技術投資の1つであるベトナム宇宙センタープロジェクトの管理と実施も監督している。VNSC の詳細については、以下を参照のこと。 <https://vns.org.vn/en/>





オハイオ州クリーブランドにあるNASAグレン研究センターにて試験中の月極域探査ローバー「VIPER」のエンジニアリングモデル。月極域における揮発性化合物の調査を行う。
Image Credit: NASA

第2章 各国の最新月探査計画

2018年以降、ISECG参加機関は、探査計画、特に月ミッションに関して重要な更新を行った。多くの参加機関は、月極域の探査と、国際協力と民間参加に基づく長期持続可能な探査ミッションの実施への関心を高め、取り組んでいる。これらの探査計画は、宇宙飛行で確立された手法に沿って、主に科学および技術実証を目的とした無人ミッションから始まる。その後、より複雑で高性能な無人探査システムが開発され、最終的には有人月探査システムに発展する。人間の能力と無人探査能力が融合し、包括的なミッション戦略に組み込まれることで、探査能力が大幅に強化される。

有人月面探査及び支援ミッション

米国は、新たな月探査プログラムであるアルテミス計画を発表した。アルテミス計画は、早期に人類を月に再着陸させるものとともに、持続的に有人探査を行いつつ、有人火星探査に向けたシステムや運用の実証を行うものである。NASAは2024年までに人類による月面再着陸を実現し、2028年までに持続可能な月探査を行うことを目標としている。2024年までの具体的な計画は、まず2021年にArtemis I（無人でのフルシステム試験）を打上げ、2022年にArtemis II（月軌道での有人ミッション）が続き、2024年のArtemis IIIでの月面への有人ミッションとなっている。

その後、2025年より月面へクルー2名を毎年送るミッションを開始し、2028年にはクルー数を4名に増加させる。ESAは既にArtemis Iミッションのオライオンカプセルに結合される欧州サービスモジュール（ESM）を提供した。ESM2号機は開発中であり、また2019年の欧州閣僚級理事会ではアルテミスミッションをサポートするためにESM3号機から6号機の調達を承認した。

ESAは、科学実験及び物資補給能力を提供するオプションも検討しており、2022年に実施の意思決定を行う計画である。検討には、月近傍輸送機（CLTV）や現地での科学実験や技術実証を行うペイロードや有人月面探査のための物資などの大型貨物（1.5～2トン）を輸送できる能力を有した欧州大型補給着陸機（EL3）が含まれている。

2018年版GER発行以降、月近傍ゲートウェイのコンセプトが成熟し、2023年に高出力の太陽光発電および推進を担う電気推進モジュール（PPE）とミニ居住棟（HALO）が打ち上げられる予定である。

さらに、NASAはゲートウェイへの補給サービス（GLS）の契約相手先としてSpace-Xを選定した。GLSはゲートウェイに物資、実験装置、補給品などを輸送するものであるが、これはISSへの商業補給輸送サービスプログラムの成功をベースにしたものであり、民間パートナーの補給能力を活用しつつ、有人火星探査に向けた技術開発や運用経験の蓄積を行うものでもある。

2019年初め、カナダ政府は、先進的な次世代の人工知能対応ロボットシステムをゲートウェイのために開発、提供する計画を発表した。この高性能のロボットシステムは、ゲートウェイで重要な運用を実施し、科学・技術実験の実施を支援する。

2020年6月、日本は宇宙基本計画を更新し、ゲートウェイに有人居住システム提供や補給ミッションで貢献すること、有人月面探査ミッションでは月面での移動手段等でアルテミス計画に貢献するよう国際調整することとし、結果として日本人宇宙飛行士が国際月探査計画で活躍する機会を確保することを目指すとした。JAXAの月面移動手段は、有人月面探査で活用することで、有人火星探査ミッションに向けた実証や計画の詳細化が可能となる。

2019 年末の ESA 閣僚級会合 (Space19+) での決定に従い、ESM によるゲートウェイへの貢献に加え、ESA は以下を実施する。

- ① 2024 年までに、ゲートウェイの PPE/HALO 通信システムにバックアップの通信システムを追加する。
- ② 2025 年に、居住能力を向上させドッキングポート数を増やす国際居住モジュール (I-HAB) で貢献する。
- ③ ゲートウェイの持続性に貢献するため燃料補給システム及び展望機能 (ESPRIT) を開発する。
- ④ PPE に設置する船外放射線センサーを提供する。

ゲートウェイは、ヴァンアレン帯の外側での様々な科学観測を可能にする、次世代の深宇宙プラットフォームである。国際科学コミュニティでは、すでに太陽物理、放射線、宇宙天気をゲートウェイで行うべき観測として識別している。ゲートウェイは、SLS、オライオン、有人離着陸船とならび国際宇宙探査計画における、重要なエレメントである。

ウクライナ宇宙機関 (SSAU) は先日、アルテミス計画と欧州ムーン・ビレッジ構想への貢献を含む、2021 年から 2025 年を対象としたウクライナ宇宙計画を発表した。SSAU は、3 つの月関連の活動に取り組んでいる。

- ① 月面基地の発電所建設 - 設置後は太陽エネルギーで発電する。発電所の技術は、革新的な電気分解技術に基づくもので、月面基地環境でのロケット燃料の生産に使用できる。
- ② 月軌道へ打上げる 6 U サイズ (縦 10cm x 横 20cm x 高さ 30cm) の小型衛星を開発し、地形画像や、月面分光データを計測する。
- ③ 再生可能なエネルギーを生産できる太陽光-熱電発電機を製造する。この発電機は、月面から熱を吸収することで太陽が射さない期間も機能を維持することができる。

無人月面探査ミッション

無人ミッションの多くは、月極域の科学的・探査的価値の理解を目的としている。これらのミッションは、局所的な調査 (氷、資源、局地的化学組成に関する様々な場所での調査など) から始まり、優先度が高いと識別された地域での現地探査や準備へと続く、事実上の「国際極域探査キャンペーン」を構成する。このキャンペーンが、最終的に、国際協力による持続的な月面活動を支えるだろう。2018 年版 GER 発行以降に打ち上げられた、或いは、2030 年までのミッションとして宇宙機関が正式に計画や検討を承認し予算付けを行っている無人月面ミッションを表 2 にまとめた。表 2 に含まれない民間計画もあるが、宇宙機関によるミッション数が増加したことは、月への科学的関心が依然として高いことを示しており、また世界的な協力の広がりや持続的な月面探査にとっての有人探査と無人探査の協働が必要であることを強調するものである。

中国国家航天局 (CNSA)

2019 年 1 月 3 日、嫦娥 4 号 (Chang'e 4) ミッションは世界で初めて月の裏側に軟着陸し、玉兔 2 号 (Yutu-2) ロバーを展開した。CNSA は、中国月面探査プログラムのフェーズ 3 実施も計画しており、月の表側でサンプル採取を行い、地球に持ち帰るミッションを 2020 年に嫦娥 5 号 (Chang'e 5) で遂行する。嫦娥 6 号 (Chang'e 6) は嫦娥 5 号 (Chang'e 5) のバックアップミッションであり、嫦娥 5 号 (Chang'e 5) ミッションの状況によって実施する。中国月面探査プログラムの 3 つのフェーズすべてを実施することともに、CNSA は、2023 年から 2030 年にかけて嫦娥 7 号 (Chang'e 7) と嫦娥 8 号 (Chang'e 8) のミッションを計画している。これらのミッションの目標は、月の南極における国際月面研究基地 (ILRS) の原型を構築することであり、大規模科学探査を支援するプラットフォームを構築・運営し、技術を実証し、月面資源の開発及び利用を行うことである。

カナダ宇宙庁 (CSA)

CSA は、月面技術開発、宇宙空間での実証、そして科学ミッションを支援する月面探査加速プログラム (LEAP) を実施中である。LEAP では、国際パートナーと連動して、2024 年までに月面にペイロードを送ることを計画している。ペイロードは移動、及びその他の科学或いは技術の実証を行うものを検討している。

欧州宇宙機関 (ESA)

ESA は、これまで投資してきた研究に基づき、ロスコスモスの Luna25 及び Luna27 ミッションや NASA の商業月ペイロードサービス (CLPS) など、国際パートナーが主導するミッションにおけるペイロードを開発している。

ESA は、産業界とパートナーシップを構築し、Lunar Pathfinder ミッションを手始めに、高速データの月面通信サービスの構築に取り組んでいる。Lunar Pathfinder は、2023 年までに月軌道に入る予定のリレー衛星である。これに続き、持続的な無人及び有人探査を支援するため、より能力の高い、高性能月面通信・ナビゲーションサービス (LCNS) コンステレーションを展開する計画であり、2025 年後半までに運用することを目指している。

ESA はまた、月近傍輸送機 (CLTV) 或いは欧州大型補給着陸機 (EL3) の技術的及びプログラムの実現可能性のシステム検討を最近承認した。EL3 は、月面のあらゆる場所に輸送するために重要な能力となる。EL3 のミッションには、貨物輸送、サンプルリターン、科学及び/または技術実証 (例：月のレゴリスからの酸素抽出) などを含む。EL3 実施計画は、2022 年後半に決定予定であり、現時点では打上は 2027/2028 年を予定している。

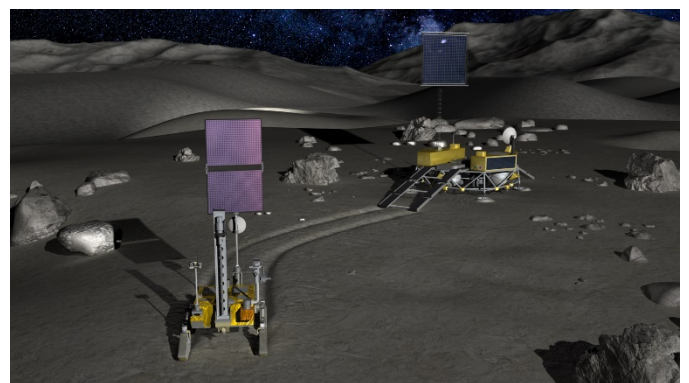
インド宇宙研究機関 (ISRO)

ISRO は、2019 年 7 月 22 日、月軌道への投入、月面への軟着陸とローバーでの移動を含めた月面ミッション能力全体を実証することを目的に Chandrayaan-2 を打上げた。8 つの最先端機器を搭載した月周回機は 100 km 軌道に成功裡に投入され、実験は現在順調に進んでおり、月

科学への貴重な貢献が期待されている。当初 1 年のミッションを計画していた Chandrayaan-2 のミッションは延長され、およそ 7 年間運用される。Chandrayaan-2 では着陸機とローバーが軟着陸できなかったため、インド政府は後続ミッションとして Chandrayaan-3 を承認した。Chandrayaan-3 は、2021 年打上予定で、Chandrayaan-2 と同じ機器を搭載した着陸機とローバーを有している。ISRO はまた、JAXA と協働して、月極域探査ミッションの実現性を検討している。

宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

JAXA は、月面探査能力の獲得を目指して小型月着陸実証機 (SLIM) の開発を継続中である。SLIM はピンポイント着陸技術を実証するミッションで、2021 年或いは 2022 年の打上が計画されている。JAXA はまた、ISRO との協力により、2023/2024 年の打上げを予定している月極域探査 (LUPEX) ミッションも計画している。このミッションでは、月の水資源に関する知識を獲得するとともに、月極域が月面基地設置に妥当であるかの調査も行う。また JAXA は、産業界の能力を向上させ、科学界の関心を維持するため、2020 年代前半に小型ミッションを月軌道に送ることを検討している。さらに JAXA は、有人月面ミッションに必要な補給品の輸送や科学ミッションを行うための中型着陸機を 2020 年代後半までに開発することも検討している。



月極域探査 (LUPEX) Image Credit: JAXA

韓国航空宇宙研究院 (KARI)

KARI は、2022 年に Korea Pathfinder Lunar Orbiter (KPLO)を打上げる計画である。KPLO ミッションの主要目標は、①月探査に重要な技術の開発、②将来の月着陸ミッションのための地形図作成を含む月環境の科学的調査の実施、③新しい宇宙技術の実現と検証である。第2弾の月ミッションは無人月着陸機ミッションで2030年までの打ち上げを計画している。

米国航空宇宙局 (NASA)

NASA は、民間から月面向けのペイロードを調達するため、商業月面輸送サービス (CLPS)プログラムを策定した。現在、14 の企業が CLPS 契約に参加しており、これら 14 社すべてが、NASA が作業発注を公開した際に、ペイロード組立及び運用、地球からの打上及び月面への着陸を含め、ペイロード輸送を提案、入札することができる。アルテミス計画の下、早期の民間輸送ミッションは、科学実験を行い、技術を試験し、能力の実証を行うことで、NASA の月面探査及び有人ミッションの準備に役立つだろう。CLPS による輸送では、NASA 以外、例えば大学、企業、他の米国政府機関、及び/または他国の宇宙機関のペイロードも搭載されることになる。

NASA は、2021 年に開始する、月極域及び極域以外への月面輸送 4 回分の契約を締結した (表 1 参照)。輸送頻度は、極域と極域以外を交互に目的地として、およそ 6 ヶ月に 1 回を見込んでいる。また、CLPS により月極域探査車 (VIPER) を月南極に輸送し、南極域で水氷の分布や量を調査しサンプルを採取することで、科学や月南極への有人ミッションに貢献する計画である。VIPER は、2023 年後半に月の南極域に着陸する予定である。



NASA ゲートウェイステーション. Image Credit: NASA

表 1. NASA による商業月面輸送サービス契約

年	商業月面輸送サービス提供企業	積荷	場所
2021	Astrobotic	科学 / 技術	死の湖 (Lacus Mortis)
2021	Intuitive Machines	科学 / 技術	嵐の大洋 (Oceanus Procellarum)
2022	Masten	科学 / 技術	極域
2023	Astrobotic	VIPERローバー	極域

ロスコスモス社

ロスコスモスは、月極域を探査する月ミッションシリーズの計画を変更した。以下が最新である。

- Luna-25 着陸機ミッション (Luna-Glob-Lander)、2021 年打上予定
- Luna-26 周回ミッション (Luna-Resurs-Orbiter)、2024 年打上予定。このミッションでは、低い極軌道 (約 50~100km) から月面を調査する。
- Luna-27 着陸ミッション (Luna-Resurs-Lander)、2025 年打上予定。このミッションは ESA と共同で実施する。ESA からは、通信、高精度着陸、ハザード回避、掘削、サンプル採取、サンプル解析、及び地上支援の提供を受ける。
- Luna-28 (Luna Resource 2 或いは Luna-Grunt Rover)、2027 年打上予定。本ミッションは、極低温の極域の揮発性物質のサンプルを持ち帰るミッションであり、(同じくロスコスモス提案である)Luna 27 の後続ミッションである。

ロシアの宇宙企業や研究機関は、月面探査のユーザー向けのナビゲーション及び通信サービスを提供するため、先端的な手法やシステム設計について研究開発を実施している。

表2. 2018年以降のISECG参加機関の無人月探査ミッション

ミッション名	機関/打上げ時期	概要/目的
Queqiao	CNSA 2018	データ中継衛星.
Chang'e-4	CNSA 2018	月の裏側への科学探査機及びローバー.
Chandrayaan 2	ISRO 2019	月極域周回衛星、着陸機及びローバー
Chang'e-5	CNSA 2020	月の表側からのサンプルリターン.
Luna 25	Roscosmos 2021	月の揮発性物質調査. 軟着陸の技術実証.
Chandrayaan 3	ISRO 2021	月極域着陸機及びローバー
Artemis I	NASA/ESA 2021	科学及び技術ペイロードを搭載した無人オライオン宇宙船 (ESA提供の欧州サービスモジュールを含む). 月遷移軌道でキューブサットを放出.
SLIM	JAXA 2021/22	ピンポイント着陸の技術実証
KPLO	KARI 2022	月極域の科学及び月周回技術衛星.
Chang'e-6	CNSA 2022-2024	月極域の揮発性物質のサンプルリターン.
VIPER	NASA 2023	月極域ローバー. 月極域科学及び揮発性物質の調査.
LUPEX	JAXA/ISRO 2023/24	月極域着陸機及びローバー. 月極域科学及び揮発性物質の分布調査及び特性分析.
Luna 26	Roscosmos 2024	月極域の科学周回衛星. 極域の揮発性物質の分布調査.
Luna 27	Roscosmos with ESA 2025	月極域科学、揮発性物質の調査及び取得. 掘削技術の技術実証.
EL3 (TBC)	ESA 2027/2028	科学とロジスティクスの両方、またはいずれか一方.
Luna 28	Roscosmos 2027	月極域の揮発性物質のサンプルリターン
ISRU demo	ESA 2027	月レゴリスからの酸素抽出
Chang'e-7	CNSA 2023-2030	ILRS (International Lunar Research Station) プロトタイプ.
Chang'e-8	CNSA 2023-2030	ILRS プロトタイプ.
Mid Lander	JAXA Late 2020's	輸送ロジスティクスと科学の両方、またはいずれか一方.
Korea lunar lander	KARI 2030	技術実証.

第3章 月面探査の目標

2018年版GERで発表されたISECGの目的と目標及び持続性の原則に則り、ISECGでは月面探査に特化した目標を策定した(表3参照)。これらの目標は、有人月面探査は、有人火星ミッションの準備及び現地資源利用(ISRU)を活用した月面での持続的活動の準備にフォーカスすべきという考え方に基づいている。

月面探査の目標は表3にまとめられ、これらの目標を達成できるように月面探査シナリオも最新化された。表3では、それぞれの目標に対して、ISECGレベルの目的との関係と具体的な達成度目標をまとめている。達成度目標は、1つのミッションだけで達成されることもあるが、ミッションシリーズにより達成されることもある。達成

度目標はあくまでも長期にわたるシナリオの目標であり、宇宙機関の優先度の変更に伴い変わり得るものである。表3の目標は、ISECGシナリオをどう実行されるかで優先づけされることになる。最後の5つの目標は、シナリオを全体を通して実施される。

目標によっては、例えば長期居住やISRUのように、達成のために、固定した場所が必要な目標もあるが、月面の様々な場所と長距離移動が必要な目標もある。このような相反する目標を達成するため、初期の能力を継続的に活用しつつ、新たな能力を追加していくというアプローチを採用した。



JAXA 有人与圧ローバー概念図. Image Credit: Toyota



ESA宇宙飛行士のMatthias Maurer氏とESA船外活動インストラクターのHervé Stevenin氏が採取ツールのプロトタイプを用いて岩石採取を行う様子。スペインカナリア諸島ランサローテ島にて撮影。Image Credit: ESA

表 3. 月面探査の目標

ISECG
の目的



太陽系への人類の
生存圏拡大



宇宙における人類
の存在意義の理解



一般市民の魅了



経済活動の発展



国際協力の促進

目標	設定根拠	目的	達成度目標*
月面への有人離着陸技術の実証	将来の有人火星探査、月面における政府機関による活動や商業活動のリスクを低減するため。輸送人数は、国際プログラムであることを考慮しつつ、各機関のミッションや商業ミッションでのクルー輸送能力の範囲での、最大人数を目標とする。	  	クルー4名
月面への物資輸送能力の実証	将来の有人火星探査、月面における政府機関による活動や商業活動のリスクを低減するため。少しでも高い輸送能力が望まれる。輸送能力の目安は以下のとおり。 1) 1回のミッションでクルーの消耗品である1-2t程度 2) 有人着陸機では9t (推定)	  	9t以上の大型貨物, 1t以上かつxm ³ 以上の補給物資の輸送
月面における船外活動能力の実証	将来の有人火星探査ミッションや持続可能な月探査、月面における商業活動に向けたリスクを低減するため。	  	メンテナンス作業を最小化した再使用型の船外活動システム（現地での粉塵対策や土壌採取技術を含む）
月面における長距離移動能力の実証	将来の有人火星探査、月面における政府機関による活動や商業活動のリスクを低減するため。2018年のGERに規定される5つの地域を探査する場合の総距離である。10,000kmを想定。	  	積算10,000km
月面における長期滞在能力及び運用手順の実証	将来の有人火星探査、月面における政府機関による活動や商業活動のリスクを低減するため。極限環境（温度、放射線、圧力等）に耐えるシステムが必要。長期の有人月探査や有人火星探査ミッションに向けて、一連の有人ミッション及び無人ミッションを通じて有人長期滞在技術を実証し、その信頼性を担保する。さまざまなシナリオでの宇宙飛行士の運用が実施され、確認される必要もある。	  	積算500日

月面における宇宙飛行士の健康管理技術及び作業能力維持の実証	将来の月面や火星表面での長期有人滞在ミッションに向けて、低重力や深宇宙環境が人体に与える影響を理解するため。中期間のミッションを繰り返すことで、深宇宙空間に長期滞在時の宇宙飛行士の健康や作業能力への影響を理解する。	 	連続TBD日 最低限必要となるミッションの期間や回数の決定には総合的な評価が必要。
月面とゲートウェイ間の宇宙飛行士輸送や月面活動に必要な資源生産や利用能力の実証	将来の有人月探査や有人火星探査の持続性を確保するため。また、将来的な月面における資源市場の価値を明確にすることも可能。	  	毎年50tの燃料生産
国際協力による人間とロボット協働によるサイエンスの実施	ISECG科学白書の「低軌道以遠の有人探査で実現される科学」に記載される科学目標やISECG参加機関が定める月関連の目標を達成するため。		包括的な科学的価値の評価が必要
持続可能な探査を達成するための電力及び通信システム等のインフラ構築	長期滞在や月資源の現地利用、多様な科学目標、一般市民の参加等の目標を達成するための電力及び通信システムを含むインフラが必要。経済発展を助長する商業活動の成否はインフラに依存する。		300kW電力発生& 1Gbpsの通信データレート
新たな手段により一般市民や青少年の参加を得て、魅了する	青少年を鼓舞し、人類と宇宙とのつながり、異なる価値観、さまざまな科学分野の重要性を認知してもらうため。また、長期的な持続性を確保する観点で、宇宙開発への一般市民の参加は必須。宇宙探査が一般市民に浸透すれば、政策立案への影響を与えうる。STEM分野に宇宙開発の成果を示し、若い世代が足跡をたどるよう鼓舞する。	 	世論調査や検索件数、ソーシャルメディアを通じた月面探査に関する一般市民の支持率（賛成意見30%以上など）
宇宙産業の経済的発展及び商業利用拡大	月面における持続的な商業活動（政府依存の体質から市場原理への転換）の確立のため。	 	重要な月関連サービスを提供する商業パートナーやステークホルダー数が年々増加する状態
月面探査シナリオへの貢献を通じた国際協力の促進	本月面探査シナリオへのより多くの国の参加（科学ミッションからハードウェア開発への貢献を含む）を促進するため。		本月面探査シナリオ参加国100か国以上

*達成度目標は、単一ミッションまたは複数ミッションを通じて達成される。

第4章 最新の月面探査シナリオ

月面探査シナリオの最新版には、2018年発行のGERの月面探査計画を最新化するだけでなく、第4章に記述した月面探査目標を統合した。具体的には、月面探査シナリオを三段階のフェーズ（人類の月面再着陸、探査領域拡大とインフラ構築、持続的な月面活動）に分けたうえで、有人火星探査や将来の月面活動に向けた月面探査目標をどう達成していくかを明確にした。

図1に最新版のISECG月面探査シナリオを示す。このシナリオではアルテミスミッションだけでなく、月軌道上でのゲートウェイの構築及び今後の無人月探査ミッションの時期について詳細が記載されている。有人月面探査ミッションは、有人月面着陸機や事前に輸送・設置されたローバー及び居住モジュールを活用して、年1回のペースで行う計画である。

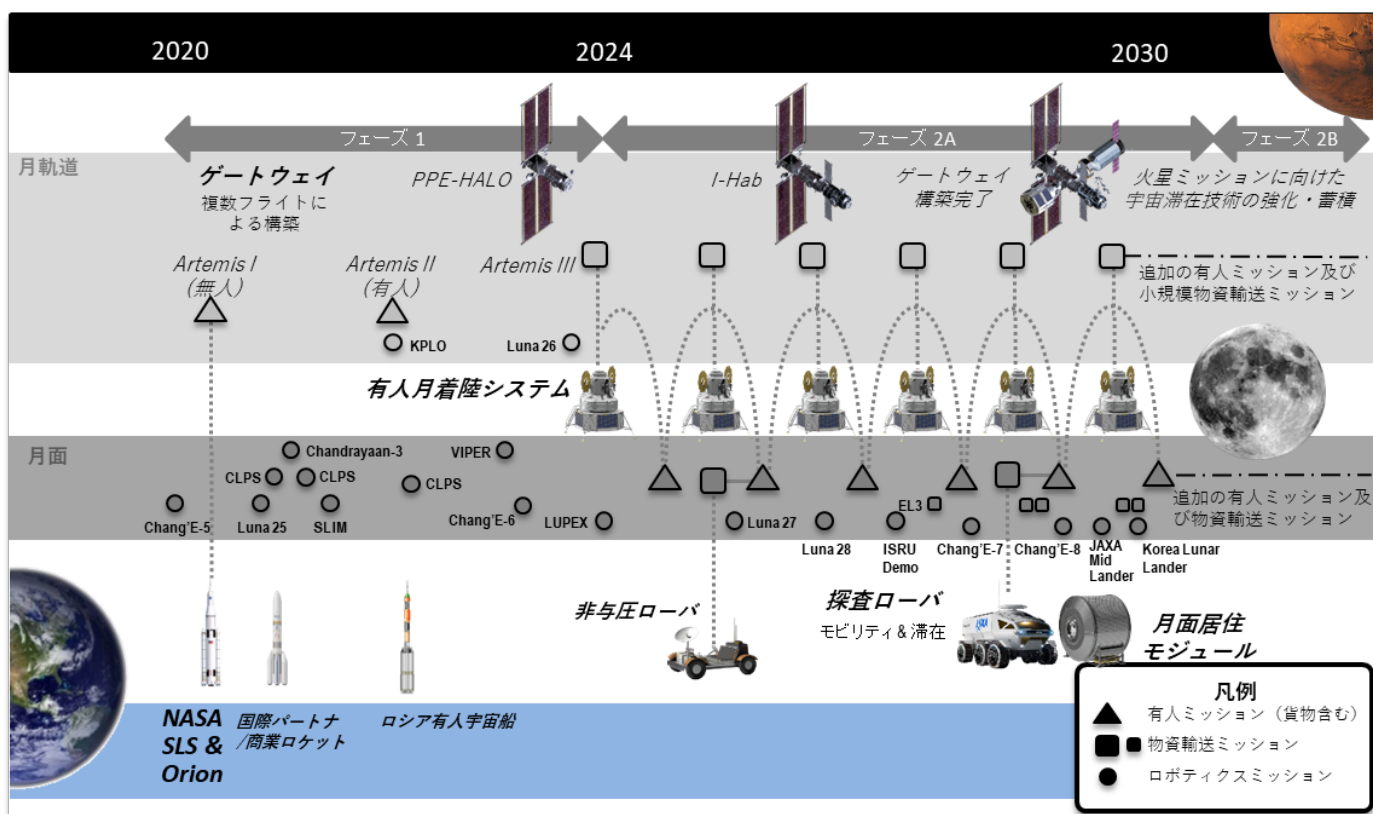
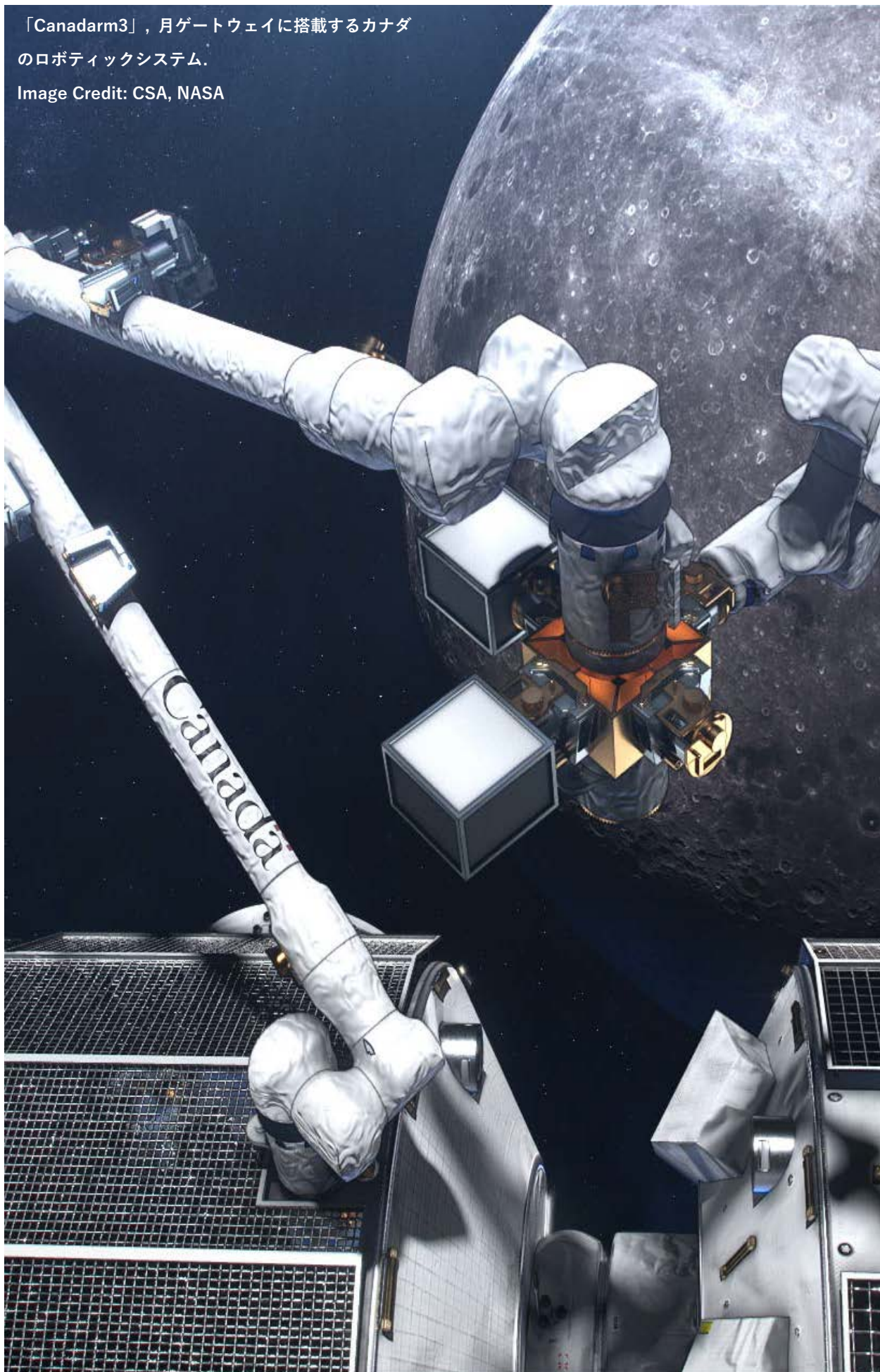


図1. ISECG 月面探査ミッションシナリオ最新版



「Canadarm3」、月ゲートウェイに搭載するカナダのロボティックシステム。

Image Credit: CSA, NASA



重要要素のコンセプト

月面探査シナリオを実現するために必要となる重要要素をフェーズごとに整理したものを表4に示す。

表4. 月面探査における重要要素

フェーズ	要素	機能
1	有人宇宙船	地球と月近傍間の4名のクルーの輸送手段（宇宙空間飛行中のクルーの生命維持と深宇宙からの安全なリエントリを含む）。 NASAのオリオン宇宙船には4名のクルーが21日間滞在可能。
	非与圧ローバー	船外活動服を着用した2名のクルーと実験ペイロードを月面で輸送する。2km以上の走行が可能な非与圧ローバーを想定。クルーが月面に滞在しない期間中は遠隔操作による運用を実施。
	有人着陸機	初期は月近傍と月面間で2名のクルーを輸送することを想定。最終的には、4名のクルーが8日間以上滞在可能な仕様を目標とする。
	宇宙服	深宇宙における微小重力環境または月面での8時間までの使用に耐える船外活動服。 船外活動服は従来型のエアロックシステムを介して使用され、将来的にはスーツポート用にも発展する。
2A	小型着陸機 / 無人探査機	小型着陸機は月面に物資(数10kgから数百kg)を輸送するもの。無人探査機は科学、利用、将来探査に向けた技術実証を目的とするもの。
	小型与圧ローバー	1 ミッションあたり600kmまで走行可能なモビリティを提供する。また、月面上で2名のクルーが最大42日間居住できる環境を提供する。複数の有人ミッションで再使用することや新たな着陸地点までローバーが自動走行することを想定する。
	物資補給船	月近傍まで物資を輸送する。宇宙機に応じて、ゲートウェイまで約2000～3400kgの物資を輸送することを目標とする。
	中型貨物着陸機	月面まで物資を輸送する。輸送量の目標は約1000～2000kgとする。物資には科学目的の実験ペイロード、補給物資、機材を含む。
	通信システム	月面とゲートウェイ間、または月面と地球間でデータアップリンクとダウンリンクを行う。通信手段はSバンドやXバンド、Kaバンド、光通信を検討中。ゲートウェイは上記の通信インタフェース要求を満足する。
	電力システム	月面の電力需要（月資源の現地利用に関する実証やローバーの充電、居住等）に対応した電力発生や蓄電を行う。Phase 2Aでは、最大17kWの発電を目標とする。
	作業ローバー	科学ミッションやISRUを支援する。ペイロード搭載能力は25～250kg程度。走行距離は最大2000km。
	ISRU試験工場	Phase 3に向けたISRU試験工場を建設し、Phase 3での製造目標の100分の1の酸素生成を実証する。実運用に必要な安全性と信頼性を立証する。

2B	長期滞在モジュール	月面で最大60日間、4名のクルーが居住可能な環境を提供する。
	再使用型有人着陸機	月近傍と月面間のクルー輸送手段を提供する。多段式の月着陸機に、4名のクルーを月面から離陸させる再使用型離陸機を搭載する。離陸機の燃料は月周回または月面より調達する。
	原子力発電システム	昼夜で最大10kWを発生する電力モジュール。複数のユニットを組み合わせることで、インフラ側の要求を満足する電力量を供給する。
	ISRU工場	最大50tの水を生成する実運用段階のISRU工場。電気分解により水素と酸素を生成することで、再使用型着陸機の燃料を確保する。
3	有人ホッパー	船外活動服を着用した4名のクルーを水平距離1,000km以内の着陸地点に輸送する。

ミッションシナリオの考え方

月面探査シナリオ最新版は段階的アプローチをとっており、2018年版 GER の持続的宇宙探査の原則に従ったものとなっている。まず人類を月に再着陸させ、その後、月面での探査能力を拡大し、持続的な月面活動を可能としていき、最終的には有人火星探査ミッションの能力を獲得する。また、シナリオを通して科学知識の発展、利用機会と商業機会の持続的な拡大を目指している。

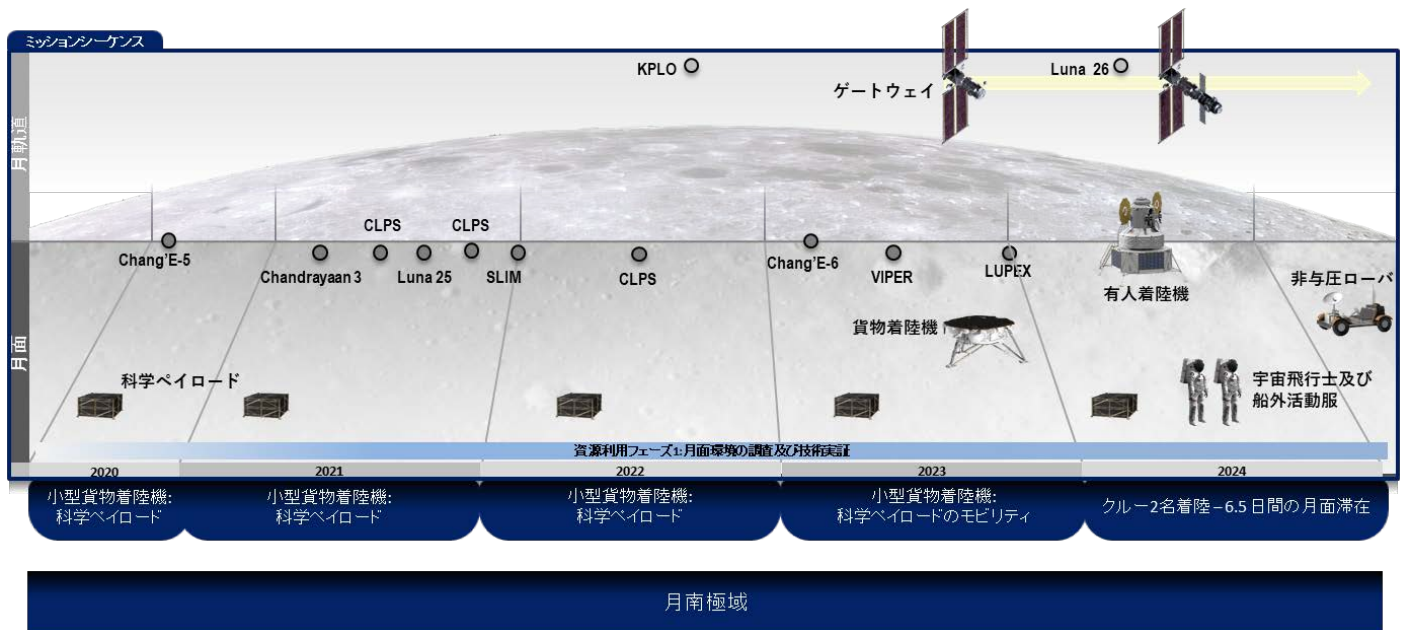


図 2. フェーズ 1: 人類の月面再着陸—南極

フェーズ1：人類の月面再着陸

月面探査シナリオ最新版は、人類が月面を再度探査することに焦点を当てている。NASA は、2024 年に人類を月に再着陸させるという大胆な計画を発表し、ロスココス、CSA、JAXA などの機関は、2024 年の有人月面探査を支援するための無人調査ミッション計画を検討している。ESA は、オライオン宇宙船に ESM を提供し、2024 年以降の月面ミッションを可能とする計画である。ESA-DLR の月面模擬施設は、技術試験、手順開発、クルー及び地上要員の訓練、並びに、EVA やロボットによる月面探査のエンド・ツー・エンドの統合シミュレーションのための月面に類似した環境を提供している。人類が再び月面に立つ時期には、月面に大型インフラがある可能性はまだ低く、当初の能力としては、科学や資源調査用の小型（貨物用）着陸機、ゲートウェイ、有人着陸機、EVA 用ハードウェア、非与圧ローバーのみと想定される。

フェーズ2：探査領域拡大とインフラ構築

人類が月面に再び立った後、月面探査のシナリオは持続的な月面活動のフェーズへと移行する。与圧ローバーや資源利用の実証を行いつつ、移動、探査、および科学に集中する。これらのミッションを支援するために、定期的な物資輸送が必要となる。移動探査と科学探査に習熟

した後、月面での持続的活動と火星に焦点を当てた実証に移り、改良型の与圧ローバー、より長期の居住、電力システム、及び ISRU などの実証を行う。初期は少なくとも 1 台の与圧ローバーによる、局地的探査から南極の地域的探査に移る。探査地域は、月の夜が 8 日以上継続しない場所に限定されるであろう。与圧ローバーは 1 台でも有人火星探査ミッションの実証にはなり得るが、2 台あれば、地域内の科学及び有人探査能力が大幅に向上する。

有人ミッションを数回繰り返した後、月面での探査能力の増強が行われるであろう（例えば、月夜 14 日間を通しての存在を可能とする改良型或いは新型の与圧ローバー投入など）。これにより、クルー（及び、遠隔操作による科学探査のための移動ミッション）は、南極を離れた新しい場所を訪れることが可能となり、有人ミッションの合間に与圧ローバーが地域間を移動することで 2018 年版 GER で示された多様な地域での有人探査が実施できるようになる。

インフラを構築しつつ探査能力拡大のためのミッションを複数回繰り返した（フェーズ 2A）のち南極に戻り、長期居住実証と ISRU 構築に注力する。

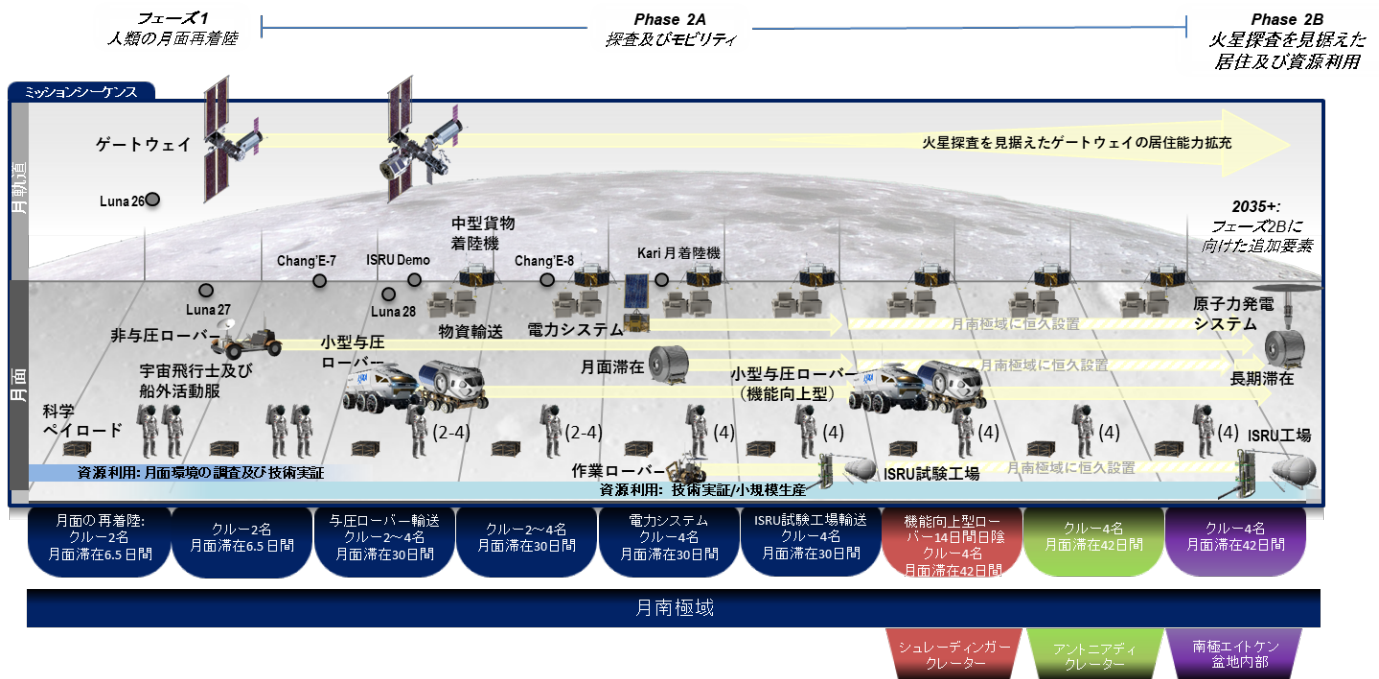


図 3. フェーズ 2A-2B: 探査領域拡大とインフラ構築—長期滞在及び利用拡大

このフェーズ2の後半では、より長期の月面滞在を実現するための居住能力（例：循環型の生命維持機能、飛行士の健康管理、現地での食物/植物生産など）が必要なる。ISRU 試験工場・実証工場、及びインフラや ISRU に使用する電力システムなども必要である。図4は、月面での長期滞在に関連する目標を達成することを目指したフェーズ2B完了時点の想定図である。月面アーキテクチャーでは、重要要素に異種冗長性を持たせることが重要であり、図4に黄色のハッチングでその候補となる要素を示している。これらのシステム開発や運用経験により我々は有人火星探査への準備が完了することになる。

持続可能な月面経済を支える潜在能力には、長期居住能力の運用、関連する民間開発、（全球へのアクセスを可能とする）移動システム、ISRU 生産及び運用が含まれる可能性がある。こうした能力は、今後20年の2つのフェーズにより構築される基本インフラ（電力、通信等）の上に成り立つ。

月面との往復がより一般的かつ低コストになることで、月面経済の持続性が高まり、月という地球から一番近い天体において継続的に人類が発見・開発を行えるようになる。そうなることで、政府機関は有人火星探査ミッションを含む、月以外のフロンティア探査の支援に投資を振り向けるであろう。本追補版の範囲には持続的月面活動フェーズの詳細検討は含まないが、ISECG 参加機関は、太陽系システム全体の探査の基礎を築きつつ、無人及び有人での活発な経済活動を行っている月面の未来を描いている。

フェーズ3：持続的な月面活動

月面探査シナリオ最新版では、今後数十年に渡り持続的かつ活発な月面活動が行われる基盤を築くことを構想した。この持続的ビジョンには、技術試験やインフラ投資による機会の活性化、並びに、政府、学界、産業界のパートナーシップによって可能となる機会の広がりを含む。

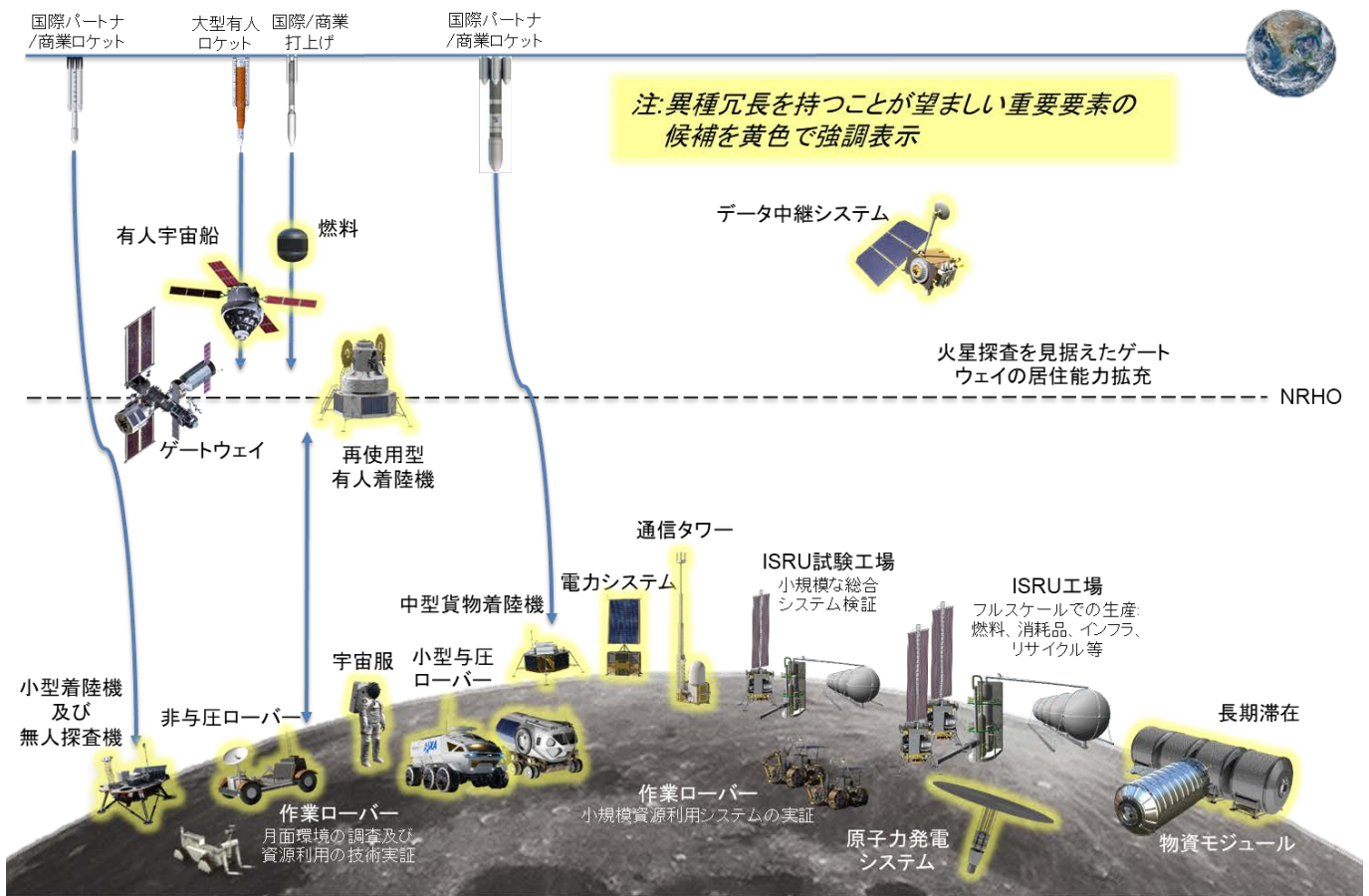
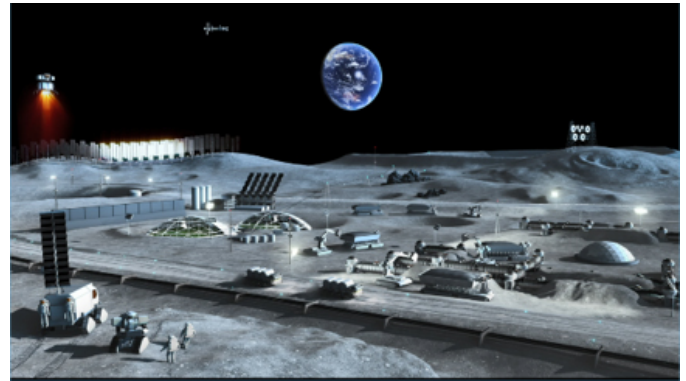


図4. 探査領域拡大とインフラ構築—長期滞在及び利用拡大（フェーズ2B完了時点）

段階的に達成される目標

図5は、最新の月面探査シナリオが実行された場合の月面探査目標の達成ステップを示す。科学成果、一般市民の参加、協力・協働、火星への準備、商業活動実現などの目標は、月面探査シナリオにおいて、常に最前線かつ中心をなす。一方で、フェーズ1「人類の月面再着陸」など初期のフェーズでは、具体的な技術実証目標の達成が中心となっており、最初のフェーズでは有人月面離着陸と月面への貨物輸送が実証される。



月経済圏の完成予想図 Image Credit:JAXA

目標	達成目標	フェーズ		
		フェーズ1: 人類の月面再着陸	フェーズ2: 探査領域拡大及び インフラ構築	フェーズ3: 持続的な月面活動
有人離着陸技術の実証	クルー4名	クルー2名	クルー4名	
貨物輸送能力の実証	9t貨物 / 1t貨物	小型着陸機	大型着陸機	
月面における船外活動能力の実証	再使用・メンテナンス最小化	船外活動クルー2名	再使用	メンテナンス最小化
月面における長距離移動能力の実証	積算10,000km*		1000 km	10,000+ km
長期滞在能力及び運用手順の実証	積算500日*		< 500 日	> 500 日
宇宙飛行士の健康管理技術及び作業能力維持の実証	連続TBD日		< x 日	> x 日
宇宙飛行士輸送や資源生産や利用能力の実証	燃料50t生産		< 50t 燃料生産	> 50t 燃料生産
国際協力による人間とロボット協働によるサイエンスの実施	評価			
持続可能な探査を達成するためのインフラ構築	インフラ構築			
一般市民や青少年の魅了	一般市民等の魅了			
宇宙産業の経済的発展及び商業利用拡大	パートナー拡充			
国際協力の促進	参加国100か国以上	> 10ヶ国	> 100ヶ国	

注: 各フェーズにおいて、前フェーズまでに得られた知見を最大限活用する。

* 複数ミッションの積算

図5. 月面探査目標の段階的な達成ステップ

第5章 民間企業とのパートナーシップ

この10年、宇宙探査や地球周回低軌道(LEO)及びLEO以遠への有人・貨物輸送に関して、民間企業の意欲と技術に顕著な進展が見られる。過去においては、こうした技術獲得は、政府の資源と支援を得てのみ達成可能であった。現在、世界において多くのミッションが、宇宙機関による大規模開発プログラムから、サービスベースのモデルやミッション全体を民間企業が実施するものに急速に変化している。今後も政府機関は、LEO及び以遠の探査に重要な宇宙技術、プロジェクト、ミッションへの投資を継続するが、ISECG参加機関は、将来の宇宙科学や探査活動の計画に、台頭しつつある民間企業の能力を活用することを期待している。こうした新しい民間企業

の能力を活用することは、全体コストを低減し、新たな経済及び技術の利用を可能とし、結果として各国に利益をもたらすであろう。

宇宙機関の中には、成功を収めつつある民間企業の能力を新しい手法で調達することで、宇宙機関の目的を達成しつつ、民間企業にリスクを低減する機会を与え、経済体系を改善し、新規顧客層を拡大する機会を与えている機関もすでにある。ISECG参加機関は、国内経済に与える利益並びに国際宇宙探査の目的達成への寄与の両方の観点から新しいパートナーシップを歓迎し、支援する。

カナダ宇宙庁の月探査ローバー
「Juno」による永久影における夜間土
壤採取のシミュレーション。
Image Credit: CSA



付録

略語集

AEB	Brazilian Space Agency	KPLO	Korea Pathfinder Lunar Orbiter
ASA	Australian Space Agency	LEAP	Lunar Exploration Accelerator Program
ASI	Italian Space Agency	LEO	Low-Earth Orbit
CLPS	Commercial Lunar Payload Services	LCNS	Lunar Communication and Navigation Services
CLTV	Cislunar Transfer Vehicle	LSA	Luxembourg Space Agency
CNES	National Centre for Space Studies	LUPEX	Lunar Polar Exploration
CNSA	China National Space Administration	NASA	National Aeronautics and Space Administration
CRAS	Commission for Space Activities	NOSA	Norwegian Space Agency
CSA	Canadian Space Agency	NRHO	Near Rectilinear Halo Orbit
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation	POLSA	Polish Space Agency
DLR	German Aerospace Center	PPE	Power and Propulsion Element
EAER	Federal Department of Economic Affairs, Education and Research	PRS	Public Regulated Service
EL3	European Large Logistics Lander	ROSA	Romanian Space Agency
ESA	European Space Agency	Roscosmos	Roscosmos State Corporation for Space Activities
ESM	European Service Module	SERI	State Secretariat for Education, Research and Innovation
EU	European Union	SLS	Space Launch System
EVA	Extra-Vehicular Activity	SSA	Space Situational Awareness
GER	Global Exploration Roadmap	SSAU	State Space Agency of Ukraine
GNSS	Global Navigation Satellite System	SSO	Swiss Space Office
HALO	Habitation and Logistics Outpost	UAESA	United Arab Emirates Space Agency
HTV-X	H-2 Transfer Vehicle	UK Space Agency	United Kingdom Space Agency
I-HAB	International Habitation Module	VAST	Vietnam Academy of Science and Technology
ILRS	International Lunar Research Station	VIPER	Volatiles Investigating Polar Exploration Rover
ISRO	Indian Space Research Organisation	VNSC	Vietnam National Space Center
ISRU	In-Situ Resource Utilization		
ISECG	International Space Exploration Coordination Group		
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency		
KARI	Korea Aerospace Research Institute		



ISECG は、24 の宇宙機関・組織からなる、任意で法的拘束力のない技術調整のためのフォーラムである。ISECG は、「国際宇宙探査戦略」に示された、公開かつ包括的、柔軟かつ革新的、効果的、相互利益のためのパートナーシップ構築という重要原則に従って運営される。

ISECG は、国際協調による宇宙探査の実現と人類への恩恵を促進するようなパートナーシップ構築に向けて、宇宙機関が具体的な手段を講じるために必要となる文書を非拘束な形での議論を通じて作成することに取り組んでいる。

ISECG の活動詳細や参加方法については、以下の ISECG の公開サイトを参照のこと。

<https://www.globalspaceexploration.org>

