

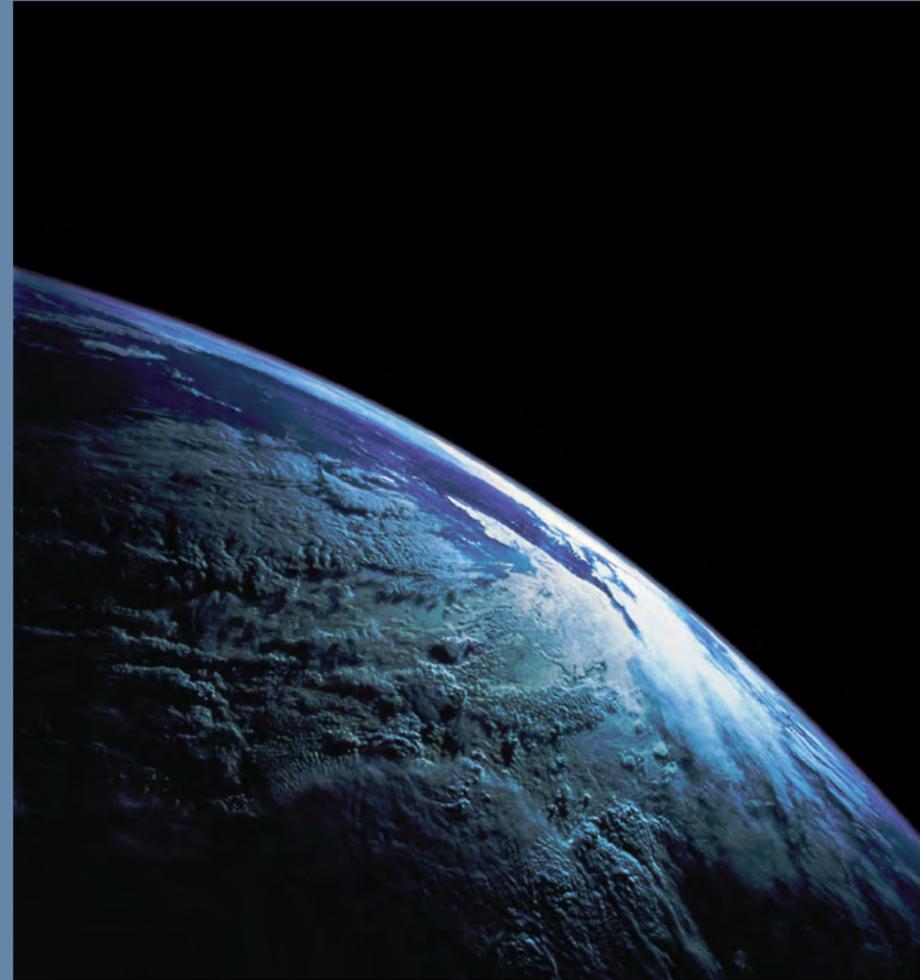
国際宇宙探査 ロードマップ

2011年9月



国際宇宙探査協働グループ

本文書は、JAXAを含む14の宇宙機関で構成している国際宇宙探査協働グループ(ISECG)が2011年9月にまとめた「Global Exploraiton Roadmap (原文は英語)」を日本語に翻訳したものである。



「地表は、宇宙という大海の岸辺である。
私たちはそこから知識のほとんどを学んでいる。
近年、私たちはようやく大洋に向けて足を踏み出したが、
つま先か、せいぜい足首を濡らした程度に過ぎない。
海の水が私たちを誘っている。海が私たちを呼んでいる」

—カール・セーガン博士

国際宇宙探査 ロードマップ

月、小惑星、火星の有人および無人探査は人類の未来を明るくし、豊かにするだろう。共通の目標を持つことによって世界中の国を団結させ、新たな知識をもたらし、人々に創造的刺激を与え、技術・経済革新を促進してくれる。ますます多くの国々が宇宙探査活動に参加してくるにつれ、各国の探査目的を達成するために協力することの重要性が高まっている。1961年4月12日のユーリ・ガガーリンによる歴史的な宇宙飛行から始まった50年間にわたる有人飛行の歴史の中で、強力な国際パートナーシップが確立され、全人類に新たな発見、革新、そして創造的刺激をもたらされた。これまでの協力から得られた知見により、今後も引き続き活動範囲を国際協力によって広げていくことの利点が明らかになった。

国際宇宙探査 ロードマップとは？

2007年5月発表の「国際探査戦略：国際協働のための共通の認識」でまとめられた太陽系の有人および無人探査に関するビジョンに基づき、国際宇宙探査協働グループ (ISECG) の参加宇宙機関によって国際宇宙探査ロードマップが作成されつつある。国際宇宙探査ロードマップとは、月、地球近傍小惑星、火星への実現可能で持続可能な探査の進め方を定めるための国際的な取り組みを示すものである。今回のロードマップ初版は、国際宇宙ステーション (ISS) から始まり、今後25年間にわたる宇宙探査の可能な進め方を検討し、提示したものである。

有人宇宙探査は国際的な取り組みとして進めることで最も大きな成功を収めるだろうということは、宇宙機関の共通認識である。なぜなら、これらのミッションの準備には多くの課題が存在するとともに、地球に住む私たちに大きな社会的、科学的、および経済的利益をもたらしてくれることが期待されるからである。今回の国際宇宙探査ロードマップ初版は、国際的な有人宇宙探査ロードマップ作成活動の第一歩を示すものであり、国際的な努力の一端を担う意志のある関係機関に対して、より有益な情報を提供することを目指した。このロードマップは今後、探査目的地と探査に必要な構成要素 (アーキテクチャ) に関する国際的な合意の変化に応じて更新されていく。

本作業の初期の結果をより広範なコミュニティと共有することは、今後の課題を解決するための革新的アイデアの創出につながると宇宙機関は考えている。



イタリア宇宙機関



カナダ宇宙庁



欧州宇宙機関



宇宙航空研究開発機構



米国航空宇宙局



ロシア連邦宇宙局



フランス国立
宇宙研究センター



ドイツ航空宇宙センター



インド宇宙研究機関



韓国航空宇宙研究所



ウクライナ国立宇宙機関



英国宇宙庁

目次

エグゼクティブサマリー	1
第1章：はじめに	7
第2章：宇宙探査の共通目標と目的	9
第3章：旅の道すじ：長期的な有人探査戦略	13
第4章：有人探査に向けた準備活動	23
第5章：結論	33

火星のゲール・クレーター上の夜明け (ゲール・クレーターは最近、米国のマーズ・サイエンス・ラボラトリーの着陸地として選定された)



エグゼクティブ サマリー

2007年5月に14の宇宙機関が発表した「国際探査戦略：国際協働のための枠組み」は、将来人間の生活と仕事の場となる可能性を秘めている太陽系の探査目標を目指した、国際協力による有人・無人宇宙探査ビジョンを示している。この探査戦略では、月、地球近傍小惑星、火星への有人探査で持続可能なものを戦略化している。現時点で私たちが想定できる有人ミッションの中で火星は明らかに最も興味深い目的地であり、有人火星ミッションは国際宇宙探査ロードマップ検討の主たる長期目標である。ただし、そのようなミッションに伴うリスクが許容できるレベルにまで軽減され、必要とする技術が成熟し、ミッションが持続可能になるまでには、多くの課題が解決されなければならない。

国際宇宙探査ロードマップは、宇宙機関間の協議の枠組みを設けることによって、さらにその探査戦略を具体化している。この枠組みは、(1) 共通の目標と目的、(2) 長期的な有人探査シナリオ、(3) 探査準備事前作業の調整、の3つの要素で構成されている。我々は、探査の目標と目的に共通する要素を理解し、持続可能な長期的探査シナリオを共同で検討することにより、各機関による探査に向けた事前作業の短期的計画設定を支援する情報を提供したいと考えている。

共通の目標と目的

国際宇宙探査ロードマップでは、各機関の目標と目的を尊重しつつ、それらに共通する目標とその目的に重点を置いてまとめられている。またその探査目標が、すべての国に利益をもたらす大きな可能性を示している。以下に記載した目標は繰り返しの行われた議論の中で定義されたものであり、各関係機関の優先事項に応じて継続的に更新される。



生命の探索

地球外生命が存在するか、または存在していたかを判断し、それらの生命を維持する、または維持していた環境を把握する。

人類の存在領域の拡大

地球周回低軌道より遠い様々な目的地の探査を行う。これらの探査では、探査目標に送り込める人数、探査目標での滞在期間、および自給自足レベル、などを段階的に増加・拡大していくことを重要視する。

探査技術／能力の開発

先進技術、信頼できるシステム、および地球環境外での効率的な運用方法の開発・試験を通じて、地球周回低軌道より遠い目的地で活動するために必要な知識、技術、およびインフラを開発する。

有人探査を支える科学の実践

宇宙環境が人の健康と探査システムに及ぼす影響を明らかにして、太陽系における将来の探査ミッションのリスクを軽減し、生産性を向上させる。

経済拡大の促進

企業からの技術、システム、ハードウェア、およびサービスの提供を支援または奨励し、宇宙活動に基づいた新規市場を創出し、全人類の経済、技術、および生活の質に関する利益を人々に還元する。

宇宙科学、地球科学、および応用科学

太陽系の様々な探査目標の科学調査を行い、その独自の環境での応用研究を実施する。

一般市民の探査への参加

一般市民が双方向的に宇宙探査に参加する機会を提供する。

地球の安全性の向上

地球への小惑星衝突防止と軌道上にある宇宙ゴミの管理システムを共同で模索することにより、地球の安全性を向上させる。



有人宇宙探査のシナリオ： 共通戦略として可能な道筋

共通の有人探査戦略は、火星および人類の宇宙進出に向けての最初の重要な一歩として、ISSから始まっている。同戦略では、将来の有人火星探査の準備に役立つ重要な目的地として、小惑星と月への有人ミッションを考えている。

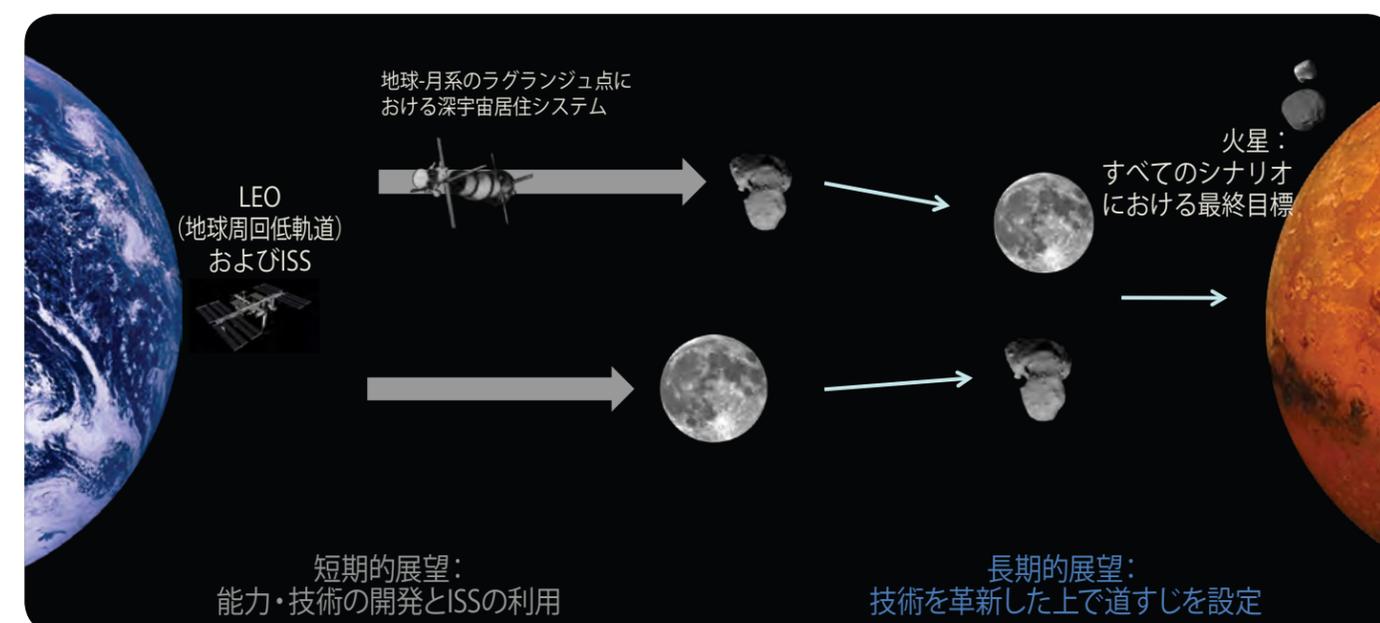
このロードマップ初版は、ISSの次に目指す有人ミッションとして実現可能な2つの道筋を定めた。それは、月を目指す道筋と小惑星を目指す道筋である。これら2つの道筋の主な違いは、人間を月と小惑星に送る順番のみであり、いずれの道筋でも火星有人探査に必要な技術を段階的に開発し、実証できるようになっている。各道筋は代表的なミッションシナリオ(25年以上を見通したミッションの論理的な順番)の開発が技術的にもプログラムのにも実現可能となるよう綿密に検討されている。

各ミッションシナリオでは、設計標準ミッションと主要技術要素を含めたアーキテクチャの構想が検討された。多くの設計標準ミッションは目的地毎に構築されているが、一方の目的地で使用される技術の活用や応用も考慮している。

ミッションシナリオ検討において、関係機関は共通する原則として以下の6方針に合意した。

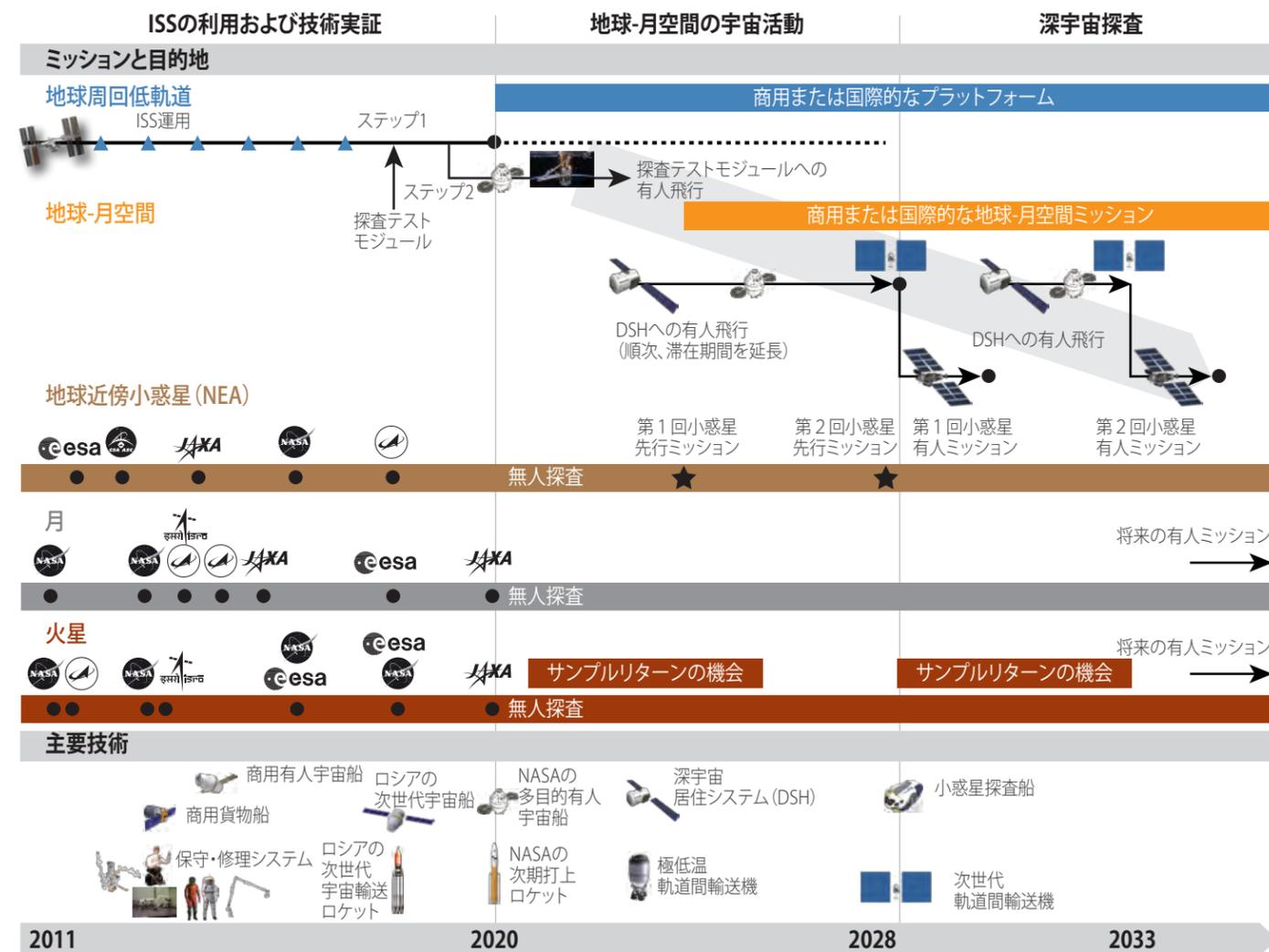
1. 技術主導型の枠組み: 複数の目的地に対する段階的な開発アプローチを順序立てて実施する。
2. 探査意義: 公共の利益を創出し、探査目的を達成する。
3. 国際パートナーシップ: 様々なパートナーシップに対して早期で持続可能な機会を提供する。
4. ロバスト性: 技術上およびプログラム上の課題に対応できる柔軟性を提供する。
5. 実現性: 予算の制約を考慮に入れる。
6. 人間とロボットの連携: 有人ミッションと無人ミッションの相乗効果を最大限に高める。

共通戦略として可能な道筋

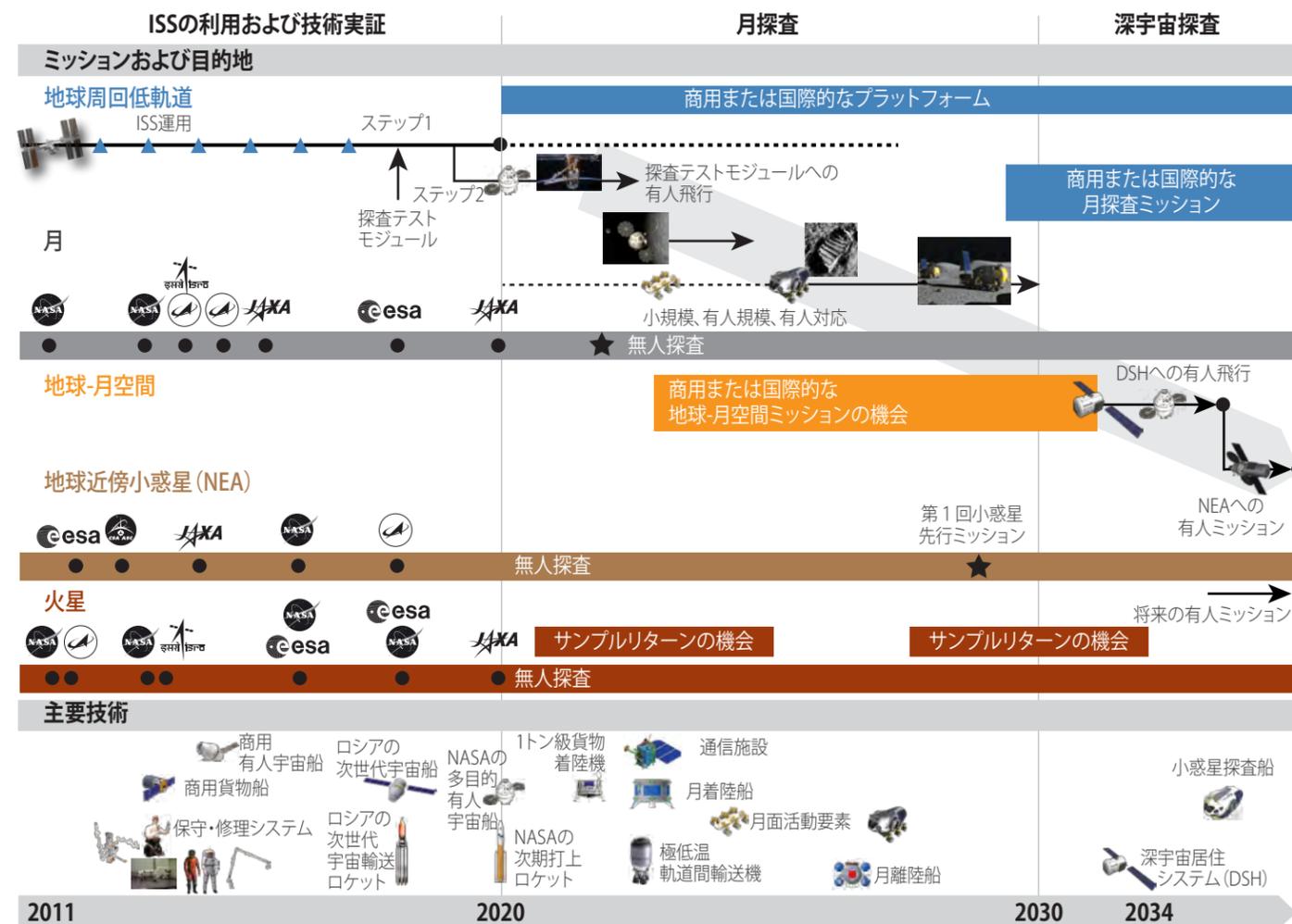


探査計画活動の指針として、2つのミッションシナリオが定義された。ミッションシナリオにより、各目的地の探査指針である目標と目的を実現するために必要なミッションと技術を定義する共同作業が可能になる。

ISSの次に小惑星を目指すミッションシナリオ



ISSの次に月を目指すミッションシナリオ



有人探査への準備活動

全世界の技術者と科学者は、人類の活動領域を宇宙へ広げ、火星を探査するため、必要不可欠な準備活動に取り組んでいる。共通のロードマップを策定することにより、各宇宙機関は投資成果を最大とし、目標と目的を実現可能とする方法で準備活動の調整を図ろうとしている。

現在、以下の分野において重要な活動が展開されつつあり、各々の活動には調整と協力の機会があり得る。

探査のためのISSの利用

ISS参加機関はISSの運用を少なくとも2020年まで延長することを最近決定した。このため、ISS参加機関および探査の役割を担う準備をしている諸国との新たな提携を通じて、ISSが探査の準備のために効果的に利用できるようになった。

無人ミッション

無人ミッションは常に、有人探査ミッションの先行役を果たしてきた。無人による先行ミッションは有人ミッションにおける人の健康、安全性、および成功を確保すると同時に、その後の有人探査に必要な投資に対する最大限の成果を確保するために不可欠である。

先進技術の開発

いかなる機関も単独で、地球周回低軌道を超えた有人ミッションを実施するために必要な挑戦的課題技術のすべての分野に十分な投資をすることは不可能である。技術開発・実証に対する国際的な投資を適切に活用することにより、有人探査ミッションに必要な不可欠な技術の利用可能性を促進すると期待されている。

新しい宇宙システムとインフラの開発

地球周回低軌道を超えた有人探査には、今後発明される技術を取り入れた次世代技術とシステムを必要とする。これらの開発は既存の技術と過去の教訓を踏まえて行われる。

地上模擬環境実験

宇宙の極限環境を模擬した類似環境における試験は、システム設計とミッションコンセプトの改良を可能にし、地球周回低軌道を超えた探査の準備に役立つ。また、地上での模擬環境実験は、学生、宇宙飛行士、科学者、および技術者が集まる環境に、一般市民が参加する重要な機会を提供する。

まとめ

この国際宇宙探査ロードマップ初版は、関係機関が長期的な探査ミッションシナリオの検討に共同で着手したことを示している。入念に検討された2つのシナリオ構想は、国際的な議論をさらに促進するであろう。本ロードマップは、関係機関が近い将来に調整および協力する機会を模索し、それによって太陽系全体にわたる将来の有人宇宙探査の実現を目指していることを示している。

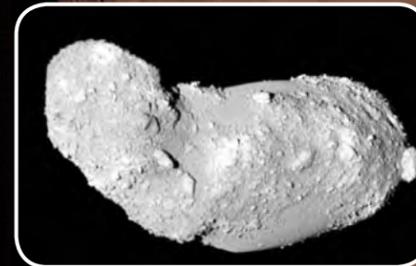
この取り組みを支えるものとして以下の主要所見がまとめられた。

1. 相互依存が不可欠であることを認識し、それを効果的に実施するための手段を講じる。
2. ISSを探査のために利用する追加的な機会を実現する。
3. 人間とロボットの科学的な連携関係を強化する機会を高める。
4. 重要な探査技術を推進するための投資を有効利用する機会を模索する。

現在の世界的な経済情勢は宇宙探査の計画にも大きな課題をもたらしている。しかしそれでも、現段階で計画に着手することは重要である。第一に、探査ミッションシナリオに関する共同作業を通じて、探査技術やISSの利用などの活動に関して現時点で決定を下すための情報を提供することができる。第二に、米国のスペースシャトルの引退とISSの組立て完了により、これらに関わった航空宇宙分野の優れた人材・技能を探査の為に確保することができる。この世界的な人材に焦点を当てることにより、地球周回低軌道を超えた次なる目的地への有人宇宙飛行に向けて円滑な移行ができるだろう。

第1章 はじめに

2007年5月に14の宇宙機関が発表した「国際探査戦略：国際協働のための枠組み」は、将来人間の生活と仕事の場となる可能性を秘めた太陽系の目的地に重点を置き、国際協力で行われる有人および無人による宇宙探査のビジョンを示すものである。このビジョンでは、月、地球近傍小惑星、火星への有人探査の前に無人探査を行い、多くの謎を明らかにし、それらの環境の特徴を示し、リスクと潜在的な資源を特定し、その後の有人探査を持続可能で各関係機関の目標と目的が達成可能な方法で実施する。



研究から探査、そして利用へ

有人火星ミッションを含めた持続可能な有人宇宙探査のビジョンを達成するには、長期にわたる政治的な支援と資源を要する。また、過去25年間にわたりISSのパートナーシップを維持してきた国際的なレベルのコミットメントも必要とする。今日までに、最も高い国際的技術業績を上げたプログラムの1つであるISSプログラムの成功は、宇宙開発諸国が協力して共通の戦略を追求したときにいかに大きな成果を上げることができるかを示している。

有人宇宙飛行のコストを低減する必要性から、探査システムの開発・運用方法も変化していくであろう。研究と技術の革新は不可欠である。安全で持続可能な有人宇宙飛行を実現するための課題を解決することにより、地上の生活を向上させることができるであろう。また、より遠くに、より速く人間を宇宙に派遣する課題に取り組むことにより、地上の生活に恩恵を与えることにつながるさらなる革新をもたらすであろう。

50年以上前に始まった宇宙活動は主に通信、測位、地球観測衛星の分野における地球軌道内の商業活動を成功に導いた。近年、企業は政府の要求に応え、また一般市民に新しいサービスを提供するための、商業宇宙探査サービスの構築に投資するようになってきた。

かつては国家の戦略的位置づけであった有人探査のための地球周回低軌道利用は、近い将来に多くの国際商業サービス提供者によって地上の多くの人々に提供されるようになるであろう。地球軌道を超えて人類の存在領域を広げられるかどうかは、地球周回低軌道における人類の商業的アクセスの成功にかかっているため、これは重要なことである。

国際宇宙探査ロードマップ戦略では、持続可能な探査は、政府の先導によって積極的に新しい市場と取引を創出していかなくてはならないと認識されている。我々が地球軌道を重要な経済圏域として確立したように、最終的には将来の探査目的地でも同様のことを達成する努力を続けていかねばならない。

火星表面有人探査は我々が推進している長期的な目標であり、克服すべき最も複雑な課題を提示している。火星へ至る道筋はISSから始まる。ISSは人類の宇宙進出に向けての重要な第一歩である。人類の宇宙進出によって、月と一部の地球近傍小惑星の探査、革新的技術の実証、機能の習熟、新しい知識の普及、経済成長の促進、および将来の技術者と科学者の育成が達成される。どのような順番で探査目的地を訪れるかについては、ISECGが決定を下すのではなく各国の政策決定と複数レベルでの国際的な協議に従うことになるであろう。ISECGはそのための情報を探査アーキテクチャとミッション設計を共同で進めることで提供していくものである。

多くの関係機関によるこれまでの検討は、月が次のステップとして最適であると結論付けている。地球からわずか3日で到着できる月は、人々が他の惑星で生活し、仕事をする方法を学び、そのための準備をするには理想的な場所と考えられる。また月は、40億年に及ぶ太陽系の歴史の宝庫として、科学界の関心の的である。一方、「ISSの次に小惑星を目指すミッションシナリオ」の道筋の追求は、先進的な推進システム、居住システムなどの深宇宙探査に関する技術や機能の発展を意欲的に推し進める。地球近傍小惑星は太陽系形成の遺産として、さらに研究を進める価値があり、火星ミッション準備に向けての大きな前進となる。

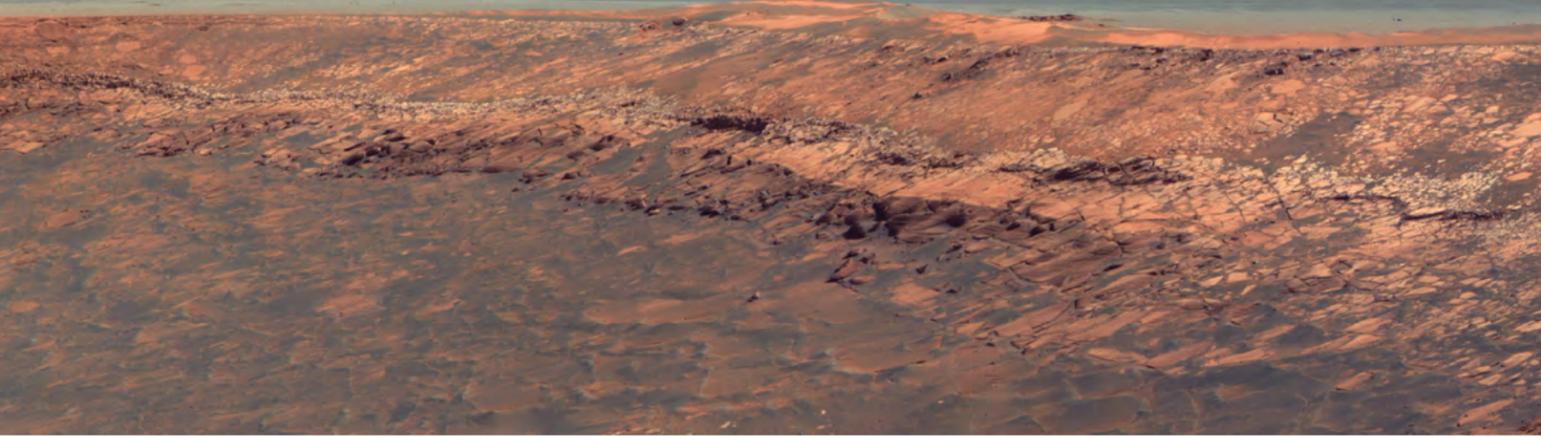
現在の世界的な経済情勢は宇宙探査の計画に大きな課題をもたらしている。しかしそれでも、現段階で計画に着手することは様々な理由から重要である。第一に、探査ミッションシナリオに関する共同作業を通じて、探査技術やISS利用などの活動に関して現時点で決定を下すための情報を提供することができる。第二に、米国のスペースシャトルの引退とISSの組立ての完了により、航空宇宙分野の優れた人材の貴重な技能を活用することができる。

技術的に可能でプログラム上も実現可能な長期シナリオに共同で取り組み、協力すべき短期的な機会を模索することにより、我々は太陽系全体に向かう将来の有人宇宙探査の実現に向けての具体的第1歩を進める。

第2章 宇宙探査の 共通の目標と目的

なぜ我々は宇宙を探査するのか？国際宇宙探査ロードマップは、参加機関が期待できる成果の明確な理解に基づいて作成されるべきである。宇宙探査活動の目標とその目的で明示される宇宙機関が達成しようとしている内容を、ミッションシナリオに反映させることは重要である。





火星のビクトリアクレータのダックベイ

国際宇宙探査ロードマップは、参加宇宙機関が共同で定義した一連の宇宙探査に関する共通目標とその目的によって支えられる。目標と目的の一部は国際宇宙探査ロードマップにおけるすべての目的地に一樣に当てはまるが、例外もある。例えば「生命の探索」は火星探査における中核的な目標だが、月探査の主要目標ではない。目標と目的は繰り返し設定され、関係機関の優先順位の変化に伴って継続的に変更する必要がある。

共通目標を以下に示す。目標を支える目的については後半の表にまとめる。

- 生命の探索**
 地球外生命が存在するか、または存在していたかを判断し、それらの生命を維持し、または維持していた環境を知る。生命の探索は宇宙探査の中心目標である。この目標の追求により、我々が宇宙で唯一の生物であるか否かを知ろうとする人間の文明論的探求を継続し、我々の起源と進化に関する極めて根源的な疑問に対する答えが得られる。地球外生命の存在の有無に関する課題は哲学的小および科学的に極めて重要な問題である。
- 人類の存在領域の拡大**
 地球周回低軌道より遠い様々な目的地の探査を行う。探査目的地で支援を受けられる人数の継続的な増加、目的地の滞在期間の継続的な延長、および自給自足レベルの継続的な向上が主要課題である。地球周回低軌道を超えた人類の存在領域の拡大と維持継続は宇宙探査のもう一つの中心目標である。この目標を達成することにより、人類は宇宙で生活と仕事を営み、太陽系資源を宇宙と地球のために活用し、最終的に他の惑星に定住することが可能になる。この目標の追求は、人類の活動範囲を拡大し、さらなる宇宙の活用への道を開き、宇宙における我々の存在と立場に関する考え方を新たにすることにつながる。

- 探査技術／機能の開発**
 先進技術、高信頼システム、および地球環境外での効率的運用コンセプトの開発・試験により、地球周回低軌道より遠い探査目的地で生活と仕事をするために必要な知識、機能、およびインフラを開発する。この目標は地球周回低軌道を超えて宇宙探査を拡大および維持するための基本技術を構築するものである。また、この目標の追求は、副次的製品、新たな素材や製造工程、および世界の主要課題に対応できる様々な技術を生み出すことにつながる。
- 有人探査を支える科学の実践**
 宇宙環境が人の健康と探査システムに及ぼす影響を明らかにして、太陽系における将来のミッションのリスクを軽減し、生産性を向上させる。これは有人探査に不可欠であり、太陽系全体への人類の進出を可能にする。また、この目標の追求は、地上の医療革新にもつながる。
- 経済拡大の促進**
 企業からの技術、システム、ハードウェア、およびサービスの提供を支援または奨励し、宇宙活動に基づいた新規市場を創出することにより、全人類に経済、技術、および生活の質に関する利益を還元する。この目標の追求は、新たな産業を生み出し、ロボット工学、エネルギーシステムなどの分野における革新を加速させ、ハイテク部門の雇用機会を創出することにつながる。宇宙活動が政府の研究活動から探査、そして利用に発展していくにつれ、新たな経済的可能性は地球周回低軌道を超えて、月や太陽系のその他の場所に拡大するであろう。

- 宇宙科学、地球科学、および応用科学の実践**
 太陽系の探査目的地自身の科学研究、その研究を進化させ、独自の環境での応用研究を実施する。この目標の追求は、社会に貴重な知見を提供し、母なる地球への理解を深めることにつながる。
- 一般市民の探査への参加**
 一般市民が双方向的に宇宙探査に参加する機会を提供する。宇宙機関は、同機関の活動を支援する一般市民に対し、知識を広め、発見の興奮を分かち合うことにより探査の価値を直接還元する責任がある。探査に対する参加型アプローチは、探査の価値の提供を可能に

し、探査ミッションで一般市民が貢献する機会を最大限に高めるものである。またこの目標の追求は、一般市民(特に若者)に啓発と刺激を与え、社会の文化的発展に資する機会を生み出すことにもつながる。

- 地球の安全性の向上**
 惑星防衛と軌道上宇宙ゴミの管理システムを共同で模索することにより、惑星地球の安全性を向上させる。この目標の追求は、地球軌道での現在の宇宙施設への損害リスクを軽減するとともに、将来の予測不能かつ破壊的な小惑星の衝突のリスクを軽減する。

主な探査目的

目標	目的
生命の探索	過去または現在における生命の存在の証拠を発見する。 過去または現在において太陽系の目的地が生命を維持する可能性を探る。
人類の存在領域の拡大	新たな目的地を探査する。 全パートナー諸国の宇宙飛行士が探査に参加できる機会を高める。 宇宙での人類の自給自足レベルを高める。
探査技術／機能の開発	クルーの健康と活動レベルを維持する対策／手法および放射線の軽減技術／方策の試験を行う。 発電／電力貯蔵システムの実証・試験を行う。 高効率の惑星面移動システム、船外活動、生命維持、および居住技術の開発と試験を行う。 ロボットによる自律探査および宇宙飛行士の探査活動支援の実証を行う。 探査ミッションを可能にする資源を採取、処理、利用する手法、技術、システムの開発・妥当性確認を行う。 打上および宇宙空間での先進的な推進技術の実証を行う。 極低温流体管理機能を含む温度管理システムを開発する。 基本作業タスクを最も効果的に遂行する方法を学び、運用ルールを開発する。 先進的な大気圏突入・降下・着陸技術の試験・実証を行う。 自動ランデブー／ドッキング、軌道上組立、および衛星サービス技術の試験を行う。 科学探査を支援する技術の開発・実証を行う。 宇宙通信／誘導技術を開発する。

(続く)

主な探査目的 (続き)

目標	目的
有人探査を支える科学の実践	宇宙環境における人体の健康を評価する。
	宇宙環境における放射線量を監視および予測する。
	探査目的地の地質、地形、および環境条件の特徴を明らかにする。
	探査目的地で入手可能な資源の特徴を明らかにする。
経済拡大の促進	地表環境、地表付近の環境、および大気環境が探査システムに及ぼす影響を評価する。
	探査アーキテクチャへの商業輸送システムの参入の機会を提供する。
	探査アーキテクチャへの惑星面及び軌道で用いる商業サブシステム参入の機会を提供する。
宇宙科学、地球科学、および応用科学の実践	探査目的地における商品および発見された資源の市場化を含むサービスの可能性を評価する。
	宇宙からの地球観測、太陽系物理学、および宇宙物理学を実施する。
	探査目的地の科学知識を収集する。
	太陽系進化に関する科学知識を収集する。
一般市民の探査への参加	応用研究を実施する。
	双方向の参加型コミュニケーションツールを使用して、実際の生の探査データに基づく仮想体験を提供する。
地球の安全性の向上	アマチュア/市民科学者に対して、探査関連の知識収集への協力を求める。
	地球近傍小惑星の潜在的な衝突の脅威の特徴を明らかにする。
	小惑星と地球の衝突のリスクを軽減する技術試験を行う。
	地球周辺の軌道上にある宇宙ゴミを管理する。

多くの関係機関は依然として探査目的の検討段階にあり、まとまるまでにさらに多少の時間がかかる。このため、最初の一連の共通探査目標と目的は、各国の探査目的検討の進展と、共通目標に関する今後の議論の進展によって発展・変化していく。各機関の有人飛行への意欲を維持および向上させることが可能な探査戦略を確立することが重要になるであろう。早期に対話を行い、参加宇宙機関の探査目標・目的を理解することによって、共通探査戦略の見直しが可能



ISSのキューポラでポーズを取るNASAのニコール・ストット飛行士(左)とチャディ・コールマン飛行士(右)。

能になり、各機関は国際的な取り組みに参加する理由を表明することができるであろう。

宇宙機関は各国の探査目標・目的を絞り込んでいく中で、それらを共有し、共通点を見出し、国際宇宙探査ロードマップにその共通点を反映させて行く。



ISSにドッキングされたスペースシャトル「アトランティス」の前部フライトデッキで写真に映るNASAのケン・ハム飛行士(左)とJAXAの野口聡一飛行士(右)。

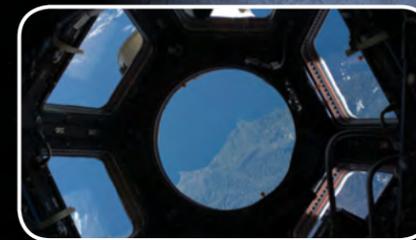
第3章 旅の道すじ： 長期的な 有人探査戦略

ISECGの参加宇宙機関が定義した長期有人探査戦略は、ISSに始まり、太陽系全体に人類の存在領域を広げ、火星表面での有人探査ミッションにつなげるものである。論ずるまでもなく、長期的に持続可能な方法で人間を火星に派遣することは、近い将来における有人宇宙探査の最も困難だがやりがいのある目的になるであろう。これらのミッションでは新しい技術と、我々が現在有している技術、システム、およびインフラの大幅な革新を必要とするであろう。

火星ミッションの主要課題：

- 放射線防護・計測技術
- サブシステムの信頼性および宇宙空間での修理技術
- 大型ペイロードの大気圏突入、降下、および着陸
- 酸素、水、メタンなどの現地資源の利用 (ISRU)
- 先進的宇宙空間推進システム
- 極低温流体 (H₂, O₂, CH₄, Xe) の長期保管・管理
- 定常的船外活動技術を含めた惑星面移動技術

有人探査戦略をロードマップへ発展させるには、実現可能な道筋を確認し、我々が現在有している技術を前提に、技術発展を促進し、科学的成果をもたらすようなミッションシナリオを決定する必要がある。



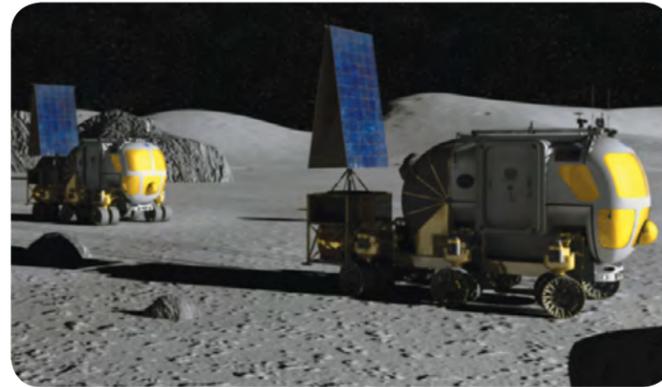
戦略からロードマップへ: 探査の道筋

宇宙への有人活動拡大に向けての重要なステップとして、ISSは関係機関による研究や技術実証、その他の軌道上活動を行う国際的な研究所としての役割を果たす。さらにISSは、新たな研究コミュニティに対する積極的な参加の呼びかけ、世界的課題への取り組み、運用コンセプトの簡素化、カーゴおよびクルー輸送サービスのコスト効率化と品質の向上を通じて、地球周回低軌道の有人探査の経済的な実現性を確保することにも重要な役割を果たしている。

このロードマップ初版は、ISSの次に目指す有人ミッションとして実現可能な2つの道筋を定めた。それは、月を目指す道筋と小惑星を目指す道筋である。これら2つの道筋の主な違いは、人間を月と小惑星に送る順番のみであり、いずれの道筋でも火星有人探査に必要な技術を段階的に開発し、実証できるようになっている。各道筋は代表的なミッションシナリオ(25年以上を見通したミッションの論理的な順番)の開発が技術的にもプログラムのにも実現可能となるよう綿密に検討されている。

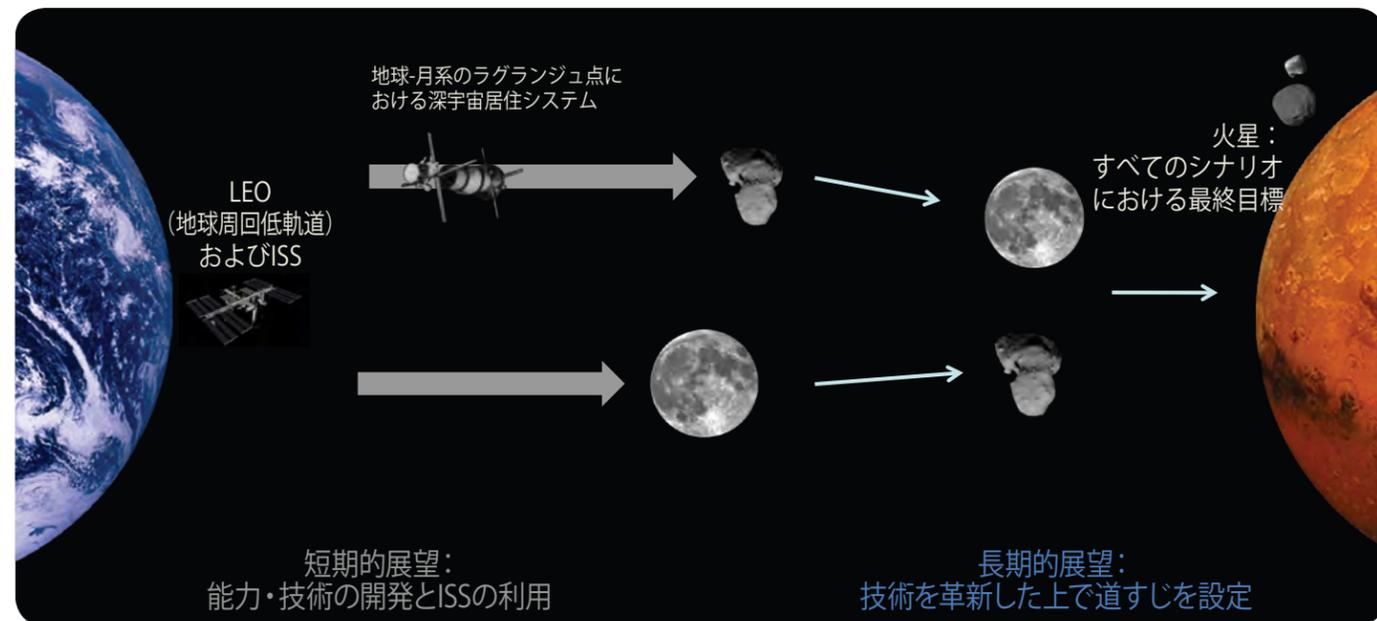


人類が地球近傍小惑星に接近し、これらの始原惑星の有望性とリスクを探る。



小型と圧月面探査車はクルーの移動性を向上させ、他の着陸地での再利用も可能である。

共通戦略における可能な道筋



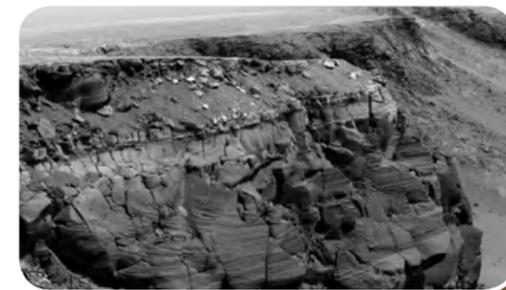
これらの実現可能な道筋では、探査の利益を考慮し、リスク、コスト、および全体的な技術の成熟状況のバランスが取られている。各関係機関とISECG内で実施された検討で、実

現可能な道筋の決定に影響を与えた主要目的と課題として以下が確認された。

各探査目標の主要目的と主な課題

	火星	月	地球近傍小惑星	ラグランジュポイント/ 地球-月間の宇宙
主要目的	生命探査。 惑星進化解明。 他天体上での生活技術実証。	水等の資源利用可能性調査。 有人宇宙探査の技術・機能試験。 太陽系進化解明。 月の独自の重要性を利用した広報活動。	革新的深宇宙探査技術/機能実証。 太陽系進化/生命起源における始原天体の理解促進。 地球とその近傍小惑星の衝突回避、衝突リスクから地球を防御する方法を試験する。	地球周回低軌道以遠への有人活動技術拡大。 革新的深宇宙探査技術/機能実証。
課題	安全で低コストのミッションには技術の大幅な向上が不可欠。 放射線のリスクと放射線軽減技術への更なる解明が必要。 高信頼宇宙システムおよびインフラ設備が必要。 現地資源利用技術実証が不可欠。	月面活動の拡大に伴う費用が必要。	小惑星分布の詳細化必要。 小惑星ミッション実施前に技術革新が必要。	有人探査と無人探査の利点の理解と整理が必要。

「次のステップ」として、火星表面に人類を送り込むなどの他の道筋は、ISECG内部および参加機関による検討作業結果を踏まえて評価された。一般的に、それらはリスク、コスト、および技術成熟度に関する懸念から、または利害関係者に価値を提供するために不可欠だと考えられる一連のミッションを維持できなかったため、実現可能であるとはみなされなかった。



火星のセント・ヴァインセント岬



火星のウップメイ・ロック

ミッションシナリオ概要

各ミッションシナリオに対して、設計標準ミッションと仮のサブシステム機能を含めたアーキテクチャ構想が検討された。設計標準ミッションは一般に探査目的地に重点を置いているが、他の探査目的地で使用された技術を再利用しまたは発展・改良した技術も含んでいる。このようにして、太陽系を継続的に探査する一連の堅牢な技術を開発するための段階的発展アプローチが定められた。次ページには、シナリオの初期に盛り込まれた設計標準ミッションとそれに必要な主要技術が図で示されている。

関係機関はミッションシナリオ開発の指針として、低コスト、利害関係者に対する価値などの原則に関する合意に達した(右欄参照)。これらの原則はISSで学んだ教訓に基づいているが、加盟機関にとって重要なその他の考慮事項も含まれている。選定されたミッションシナリオはこれらの合意された原則の範囲内で実施可能なものである。選定された道筋の範囲内でその他のミッションシナリオも可能である。このため、右の推進原則は我々の目標と目的を達成するためのシナリオのバリエーションを検討する際の基礎としての役割を果たすことになる。

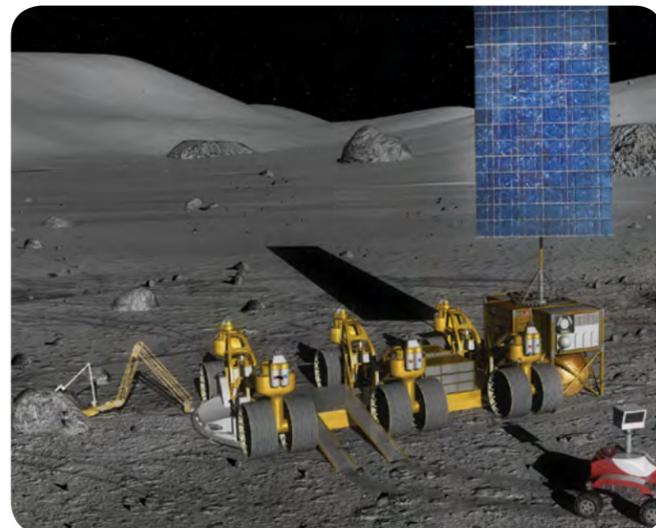
ミッションシナリオの推進原則:

- 技術主導型の枠組み:複数の目的地に対する段階的な開発アプローチを順序立てて実施する。
- 探査意義:公共の利益を創出し、探査目的を達成する。
- 国際パートナーシップ:様々なパートナーシップに対して早期で持続可能な機会を提供する。
- ロバスト性:技術上およびプログラム上の課題に対応できる柔軟性を提供する。
- 実現性:予算の制約を考慮に入れる。
- 人間とロボットの連携:有人ミッションと無人ミッションの相乗効果を最大限に高める。

ロードマップにまとめられた結果は概念的なものであり、プログラムの策定に必要な要素である詳細なコスト、スケジュール、またはリスク分析は含まれていない。具体的なミッション計画と完全に定義されたアーキテクチャは、参加機関が特定の探査イニシアティブを進めていく中で開発することになるであろう。



地球近傍小惑星探査は、地球の磁気圏を離れた深宇宙放射線環境であり、ミッション中断の機会がごく限られた本格的な深宇宙ミッションとなる。



火星表面の探査技術を実証する月面での初の有人対応のロボット。

設計標準ミッションと技術

共通の技術		
	NASAの次期打上ロケット	貨物または宇宙飛行士を地上から軌道に輸送する打上げ機。
	NASAの多目的有人宇宙船 (MPCV)	宇宙飛行士を探査目的地に運び、地球に帰還させる有人宇宙船。
	ロシアの次世代宇宙輸送ロケット (NGSLV)	貨物または宇宙飛行士を地上から軌道に輸送する打上げ機
	ロシアの次世代宇宙船	宇宙飛行士を探査目的地に運び、地球に帰還させる有人宇宙船。
	極低温推進システム (CPS)	従来の化学ロケットエンジン、極低温燃料、および燃料貯蔵室からなり、探査アーキテクチャ要素に所要のデルタVを与える宇宙推進ステージ。推進剤移送技術もあり得る。
	サポートシステム	宇宙飛行士とロボットによる宇宙システムの補修、大型探査機の組立を可能にするシステムとツール。船外活動宇宙服を含む。
	商用有人宇宙船	宇宙飛行士を地球周回低軌道に輸送できる商用システム。
	商用貨物船	貨物を地球周回低軌道に輸送できる商用システム。

「ISSの次に小惑星を目指すシナリオ」の設計標準ミッション	
深宇宙居住システムの展開	
無人先行ミッション	
地球-月のラグランジュ点における深宇宙居住システムでの宇宙飛行士滞在-短期滞在	
地球-月のラグランジュ点における深宇宙居住システムでの宇宙飛行士滞在-長期滞在	
次世代軌道間輸送機を使用した地球近傍小惑星への有人ミッション	

「ISSの次に月を目指すシナリオ」の設計標準ミッション	
無人先行ミッション	
宇宙飛行士による月周回低軌道ミッション	
宇宙飛行士による月面ミッション-7日間短期ミッション	
宇宙飛行士による月面ミッション-28日間滞在延長ミッション	
小型貨物輸送機による月面輸送	
無人先行ミッション	

特有技術		
	深宇宙居住システム	深宇宙環境へのアクセスに必要な技術とシステムを向上させるための関連システムを備えた宇宙空間の居住システム
	次世代軌道間輸送機	高出力電気推進、原子力推進などの、特殊な推進技術を使用した宇宙推進ステージ
	小惑星探査船	小惑星へ人を運び、有人作業によって小惑星における探査目的を効果的に達成できるようにするシステム

特有技術		
	月着陸船	有人月面着陸機の下降モジュール。月面に最大8トンの貨物を輸送出来る大型貨物輸送機としても使用可能
	月離陸船	月面離着陸のためにクルーを運ぶシステム。最大の下降段と連結して機能する
	月面活動サブシステム	月面における有人探査を効果的に達成させるためのシステム
	小型貨物着陸船	最大1トンの貨物を月面に降ろせる貨物着陸船

火星に向けた次のステップとしての 深宇宙小惑星ミッション

このシナリオは次の目的地として地球近傍小惑星の有人探査を追求するものである。このシナリオによって、宇宙飛行士を火星周回軌道に送り込み、無事に地球に帰還させるために必要な様々な技術を実証する機会が得られる。ミッションシナリオには、深宇宙に飛行し居住するために必要な技術を実証することを目的とした地球-月間の宇宙空間における深宇宙居住システムの展開が含まれている。ハードウェアの信頼性と運用の習熟が実証された時点で、必要なその他の機能も深宇宙居住システムに追加し、小惑星に向かう。

小惑星ミッションにより、これらの始原惑星に関する知識を深め、将来、地球防衛に役立つ技術とアプローチを検討できる。

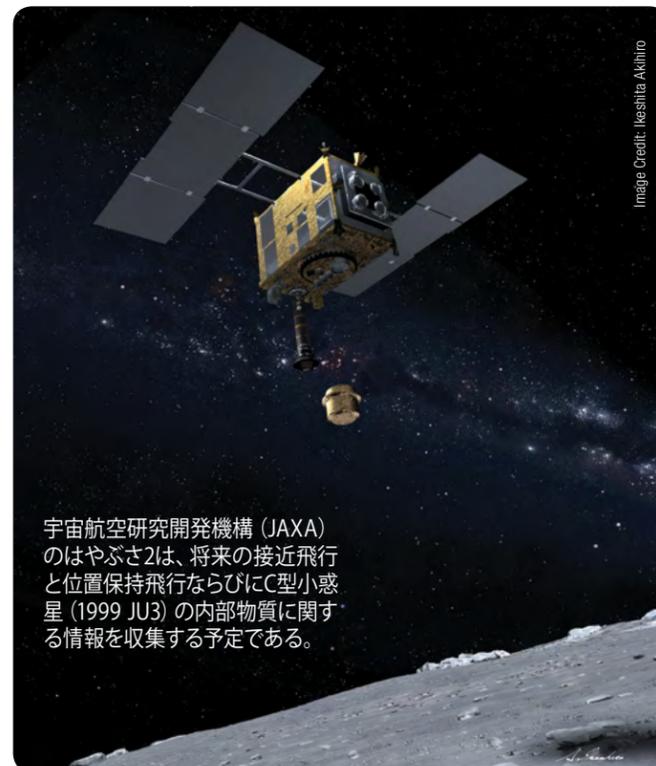
このシナリオの成功は、有人ミッションのターゲットとして適切な地球近傍小惑星が見つかるかどうかにかかっている。適切なターゲットの要素として、達成可能なミッションの軌道、宇宙飛行士の作業にとって許容できる物理的特質、科学的関心事などが挙げられる。地球近傍小惑星群全体のうち、これまで発見され、記録された小惑星はごくわずかであるため、多くの目的を達成出来るように有人ミッションの機会を選定する際に柔軟性を確保できるようなターゲット小惑星を見つけることは、最終的な火星有人ミッションへの道筋を示すこの戦略の実行可能性にとって不可欠であろう。

このシナリオは、地球からより離れた場所でのより長期的な有人宇宙ミッションを実証するために必要な技術を開発する。また、宇宙飛行士を火星軌道に送り込み、無事に地球に帰還させるために長期間宇宙飛行を支える放射線防護システム、信頼できる生命維持システムなどのために必要かつ重要な技術も実証される。地球近傍小惑星の有人探査を成功させるためには、次世代軌道間輸送技術を完成させる必要がある。これは、安全で低コストの火星探査にとって不可欠である。

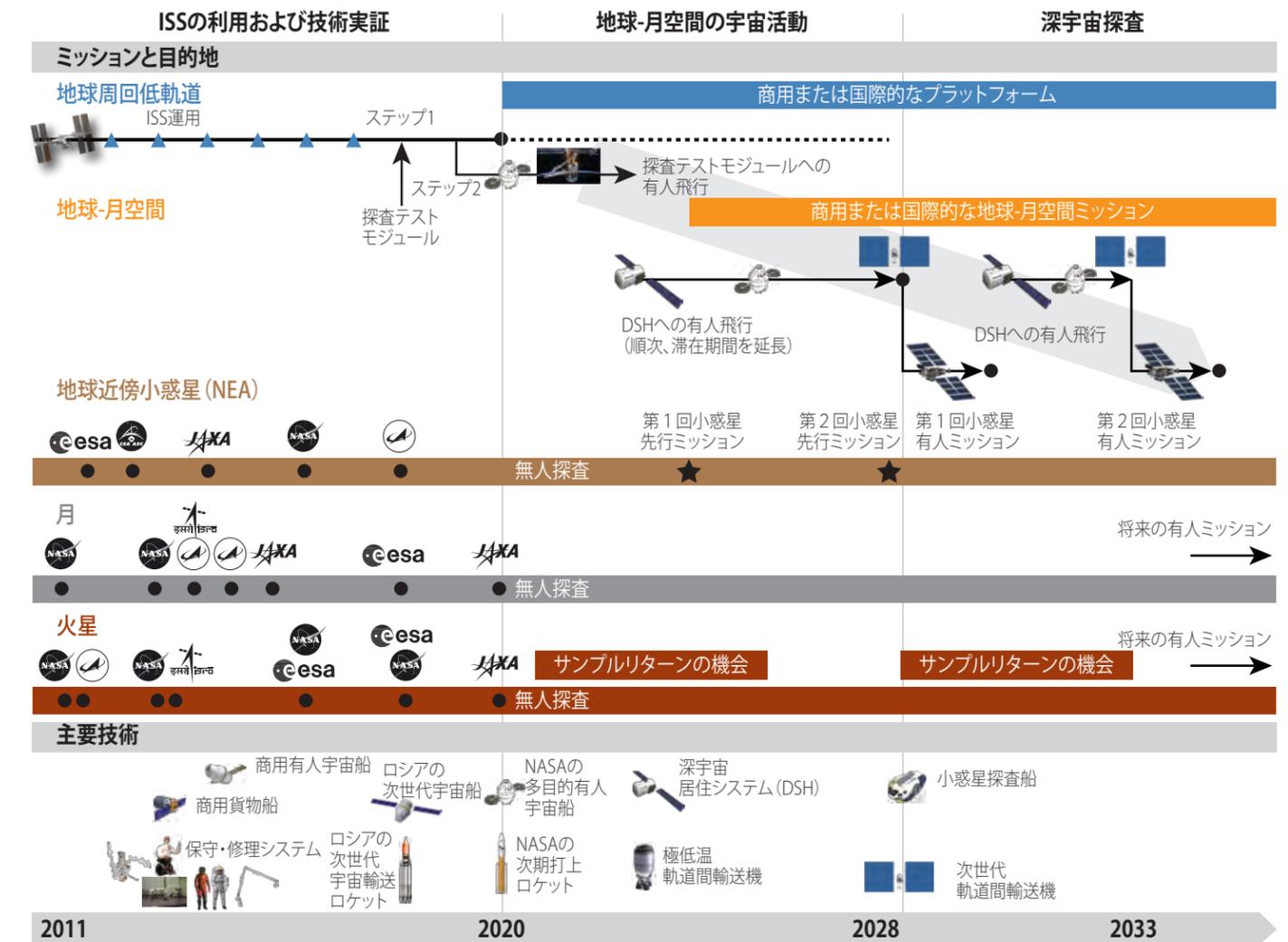
一部の機関では火星の月であるフォボスとダイモスへの有人ミッションについても検討している。この場合、火星衛星への有人ミッションによってもたらされる成果をまとめる必要がある。またこれらのミッションは、小惑星ミッションに必要な同様な技術を実証する機会ともなる。

このミッションシナリオの主な特徴は以下のとおりである:

- 探査技術を革新するための目的に絞ったISSの利用。
- 商業/国際サービスプロバイダによる地球周回低軌道輸送の継続的提供。
- 地球-月間の有人作業を実証し、衛星の補修/展開などの将来のミッションを可能にする。
- 深宇宙環境における居住システムやその他の重要なシステムの実証を可能にするため、地球-月間のラグランジュ点1 (EML 1) への深宇宙居住システムの早期の展開配備。
- 地球からの定期的な補給システムに頼らずに、より長期的に生活できる技術の実証。
- 火星の有人ミッションに必要なとされる次世代軌道間輸送技術、大規模な宇宙空間発電技術などに対する「テクノロジー先導」。
- それぞれ4人の宇宙飛行士による2回の小惑星ミッション。その前に、各小惑星候補のリスクと科学的優先事項の特徴を明らかにするための、小惑星候補に向けての複数の無人先行ミッション。



ISSの次に小惑星を目指すミッションシナリオ



火星ミッションに必要な技術実証の展開戦略 - ISSの次に小惑星を目指すミッションシナリオ		
ISS/LEO	地球-月間	地球近傍小惑星
<ul style="list-style-type: none"> • 長期宇宙空間居住技術の向上 • サブシステムの高度な信頼性と共通性、最下位レベル修理 • 高度な船外活動とロボットの機能 • 極低温流体の長期間保存・管理 • 火星ミッション運用コンセプトのシミュレーション 	<ul style="list-style-type: none"> • 適切な放射線環境における長期宇宙滞在 • 放射線防護・測定技術 • 地球周回低軌道を超えた大気圏再突入速度の実証 • サブシステムの自動搬送/配備システム • サブシステムの高度な信頼性と共通性、最下位レベル修理-補給システム無しの居住 • 極低温流体の長期間保存・管理 • 地球近傍小惑星ミッション運用コンセプトのシミュレーション 	<ul style="list-style-type: none"> • 長期宇宙空間居住技術の実証 • 次世代軌道間輸送システムの実証 • 極低温流体の長期間保存・管理 • システムの自動搬送/展開 • サブシステムの高度な信頼性と共通性、最下位レベル修理-補給システム無しの居住 • 火星ミッション輸送運用コンセプトの実証



宇宙の暗闇と地球の地平線を背景にしたISS

今後のミッションシナリオ更新への方針

国際宇宙探査ロードマップの次段階として、関連機関の方針や計画の更新、およびより広範な航空宇宙業界が提案する革新的なアイデアやソリューションに関する合意を踏まえて、これらのミッションシナリオの更新を進める予定である。最終的に、ロードマップは火星面への可能な道筋を示すことになる。

また、それら以外にミッションシナリオの展開に影響を与えると思われるものとして、近々の活動がある。例えば、ISSプログラムから学んだ教訓¹は、初期の探査計画活動の指針となった。相互運用性を高めるために異種冗長構成を検討し、規格と共通インターフェイスを定義することの重要性などを推奨し、将来のアーキテクチャとシステム開発への道を開いた。例えば、ISS参加機関が発表した国際ドッキングシステム標準は、将来の有人/貨物宇宙船が、ISSまたは標準インターフェイスを備えているその他の宇宙インフラとドッキングまたは結合し、それらを補修することを可能にする。

すでに宇宙機関は、ISS参加機関による国際ドッキングシステム規格を初めとする共通のインターフェイスと規格に関する議論に着手している。このような取り組みを継続することは極めて重要である。

また、ミッションの複雑性が増し、関連機関同士の関係が強化されるにつれて、各機関が連携し、ミッションの目的の達成に向けてのクリティカルパスに各国の技術を提供するケースが増えてきた。これは有人探査と無人探査の両イニシアティブに当てはまる。大規模な多国協同探査ミッションを実施するには、関係機関がアーキテクチャ、ミッション、イン



NASAのジョンソン宇宙センターで動的試験を実施中の、国際ドッキングシステム規格を満たすNASAドッキングシステムのプロトタイプ

フラ、システムなどの様々なレベルにおける相互依存を受け入れ、管理しなければならない。有人探査で必要とされる相互依存のレベルに達するには、現在の経験を超えて相互依存を進めなければならない。アーキテクチャ全体の相互運用性を高めなければならない。

所見

➔ 宇宙機関は探査活動を成功に導くために、アーキテクチャ、ミッション、インフラ、システムのレベルで相互依存に影響を与える要因を定義および管理する手段を講じるべきである。

¹ 「探査に適用されるISSで学んだ教訓」
2009年7月22日

第4章 有人探査に向けた 準備活動

全世界の技術者と科学者は、人類の活動領域を宇宙へ広げ、火星を探査するため、必要不可欠な準備活動に取り組んでいる。共通のロードマップを策定することにより、各宇宙機関は投資成果を最大とし、目標と目的を実現可能とする方法で準備活動の調整を図ろうとしている。

現在、短期計画での調整と協力の機会を各機関が提示し合い、以下の分野において特筆すべき活動を展開している。

火星ミッションの主要課題：

- 探査のためのISS利用
- 無人による探査ミッション
- 先進技術の開発
- 次世代宇宙インフラの構築
- 類似環境を用いた活動





ISSのSTA-133フライアラウンド

探査のためのISS利用

地球周回低軌道以遠の探査に必要な機能、技術、および研究を前進させる上でISSは重要な役割を担っている。13年前に最初の構成要素が打ち上げられて以来、ISSはクリティカルな分野において、数多くの実証や実験を通じて技術水準を高めるために利用されてきた。右欄に記載されているように、居住システムや健康管理の研究などのクリティカルな分野における研究と技術開発は長期間に亘る将来ミッションのリスク軽減を可能とするであろう。また、先進的なロボットや通信技術などの探査技術の実証は、探査システムとそのインフラの設定を特徴づけることになるであろう。

探査の準備活動のために、ISSを利用する追加的な機会がある。最近、ISSの参加機関がISSの運用を少なくとも2020年まで継続することを決定したため、これらの機会の実現が可能になった。追加活動に対するISSの参加機関間での予算化が確定されてはいないが、これらは探査の優先分野を視野に入れている。ISSの多極間調整会議はISECGと協力して、ISECGのミッションシナリオに基づいた技術協力イニシアティブの可能性を検討するチームを組織した。ISSでの技術実証は小惑星、月、および火星へのミッションの遂行をサポートするであろう。またISSの参加機関は、探査の役割を担う準備を自主的に進めているISS参加機関以外の国々にもISSへのアクセスを提供することに意欲を示していることは注目に値する。

ISSで初期に実証される多くの技術はISS周辺の自動化プラットフォームやフリーフライヤープラットフォームへ組み込まれることによって実証することができる。例えば、先進的な電気推進システム、膨張式居住モジュール、および高度な生命維持システムは、そのようなプラットフォームにより、自立動作機能、探査向けの機能、耐環境性を実証することができるだろう。



マイク・フィンク飛行士に筋骨格の超音波検査を行うジェンジャー・パダルカ飛行士。ISSでの超音波の使用は、怪我やその他の病状の瞬時の診断手順の開発を可能にし、多額のコストを介せずに臨床治療と遠隔治療の向上を実現した。

必須技術とISSにおける運用実証

高信頼性居住／生命維持システム

深宇宙探査の場合、地球からの予備部品や消耗品のサプライチェーンに対する依存度を低減する必要がある。水の回収と管理、空気の再生、廃棄物管理などの重要な技術は確実かつ閉ループ式にて運用しなければならない。

健康管理と人間工学

放射線の影響、リスク軽減技術の開発など健康管理と人間工学上のパフォーマンスに対するリスクを把握することは、クルーの健康と生産性を維持するためには不可欠である。また、長期ミッション中に生じる健康問題への取り組みとして、リアルタイムの臨床検査技術を向上させる必要がある。

探査技術の実証

ISSは膨張式居住施設、次世代汎用ドッキングシステム、ロボットシステムなどの技術に関する信頼性の実証と主要性能パラメータの取得を可能とする独自の宇宙／運用環境を提供する。

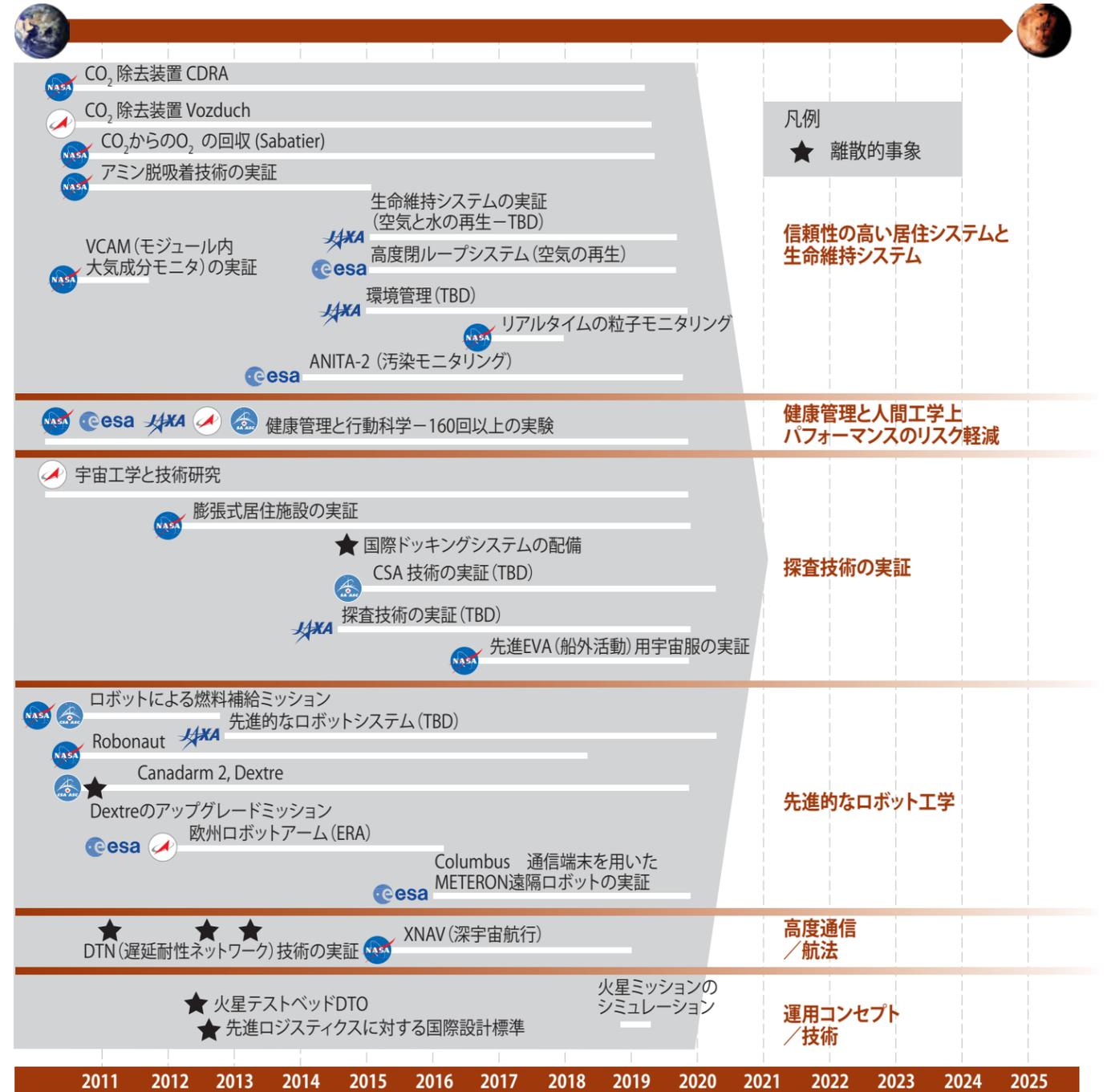
先進的な通信および宇宙インターネット技術

ISSは太陽系全体へのインターネットの拡大などの先進的な通信／ネットワーク技術のテストベッドとしての役割を果たすようになるだろう。鍵となるのは、深宇宙通信特有である長時間遅延と通信遮断に対処する方法を確定することである。ISS内にはいくつかの通信遮断耐性を有するネットワークノードが設けられるであろう。

運用のコンセプトと技術

ISSは火星ミッションの課題に対応したクルーのみによる自律的運用およびそれ以外の運用をシミュレーションする機会を提供する。また、システム故障管理、高度診断、および修理技法の代替概念を試験することができる忠実度の高い模擬環境も備えている。

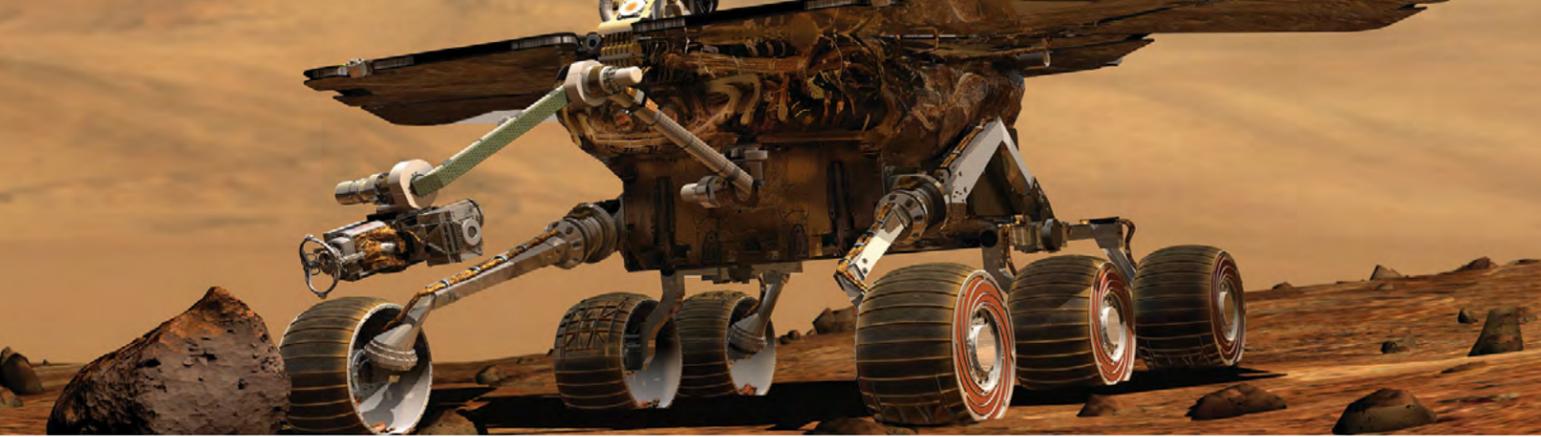
ロードマップ：探査のためのISS利用



所見

ISSは探査準備において重要な役割を果たしている。ISSの参加機関は、地球周回低軌道以遠のミッションの準備態勢が整えられる期間内で、技術を向上させ、実証し、運用ルール・技法を試験する追加的な機会を生み出す計画を策定および実施するべきである。

本ロードマップは向上が必要不可欠な分野で継続または計画されている作業を示しており、ISSはそれらを実証する最良の機会を提供している。



火星探査を開始するMER (Mars Exploration Rover)

無人ミッション： 有人探査への貴重な貢献

無人ミッションは常に、有人探査ミッションの先行役を果たしてきた。アポロ計画に始まり、ローバー、サーベイヤー、ルナ・オービターなどの先行無人ミッションは、将来の月面有人ミッションに必要な境界条件および環境を設定した。これらの無人ミッションはその後の有人探査と科学調査のために潜在的な危険を識別し、月面地域の特徴を明らかにした。同様に、近年は数回の火星無人ミッションが行われ、これらは軌道周回観測機、着陸機、および探査ローバで構成されている。月の無人ミッションと同様に、これらのミッションは火星の表面と大気環境に関する重要なデータを取得した。これは、探査システムの開発と運用コンセプトの指針となるであろう。

2010年から2020年までの10年間に予定されている無人ミッションは、月、小惑星、火星とその衛星に関する一連の知識蓄積に大きく貢献し、その後の有人ミッションに必要な投資に対する最大限の効果をもたらすであろう。さらに、将来の有人活動と併せて無人探査を継続することにより、地球周回低軌道以遠への人類の活動領域拡大と宇宙の科学的理解を補完するだろう。



DLR (ドイツ航空宇宙センター) の火星クローラ概念



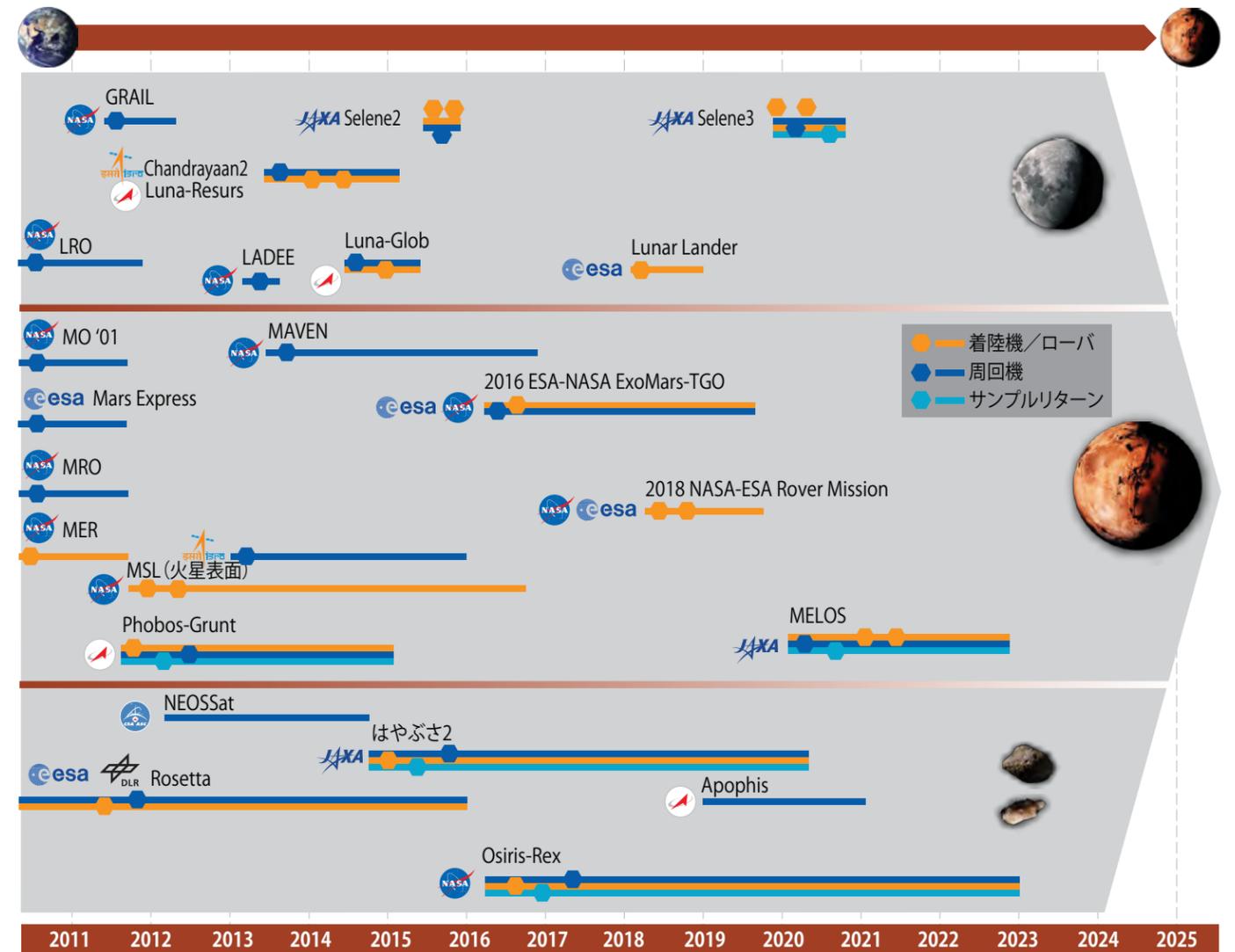
JAXAの「かぐや」ミッションで撮影されたこの画像は有人着陸候補地点の光学環境情報を提供する

無人ミッションの主目的が科学調査か有人探査かにかかわらず、両コミュニティへの成果還元への機会は非常に多い。新しい米国惑星科学に関する10カ年調査2011²はこの可能性を認知し、有人探査のコミュニティに対して、有意義な科学目的を考慮することを推奨し、特定の科学的無人ミッションが有人ミッションの知識ギャップを埋める大きな潜在力を有することを認識している。

さらなる協調に向けて適切な手段を講じることにより、世界中の利害関係者のコミュニティに対する宇宙探査の投資価値を高めることになるであろう。

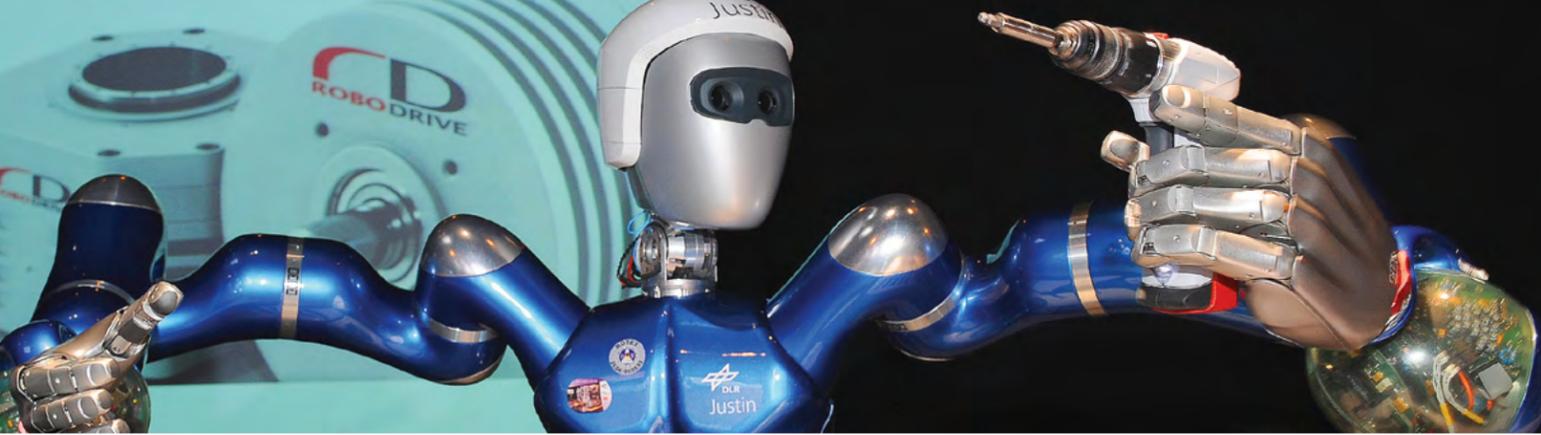
² 2013-2022年の10年間にわたる惑星科学のビジョンと道筋、全米研究評議会、2011年3月7日

計画中の無人ミッション



所見

- ➔ 宇宙機関は無人惑星科学プログラムの目的と有人-無人探査戦略の目的との自然な相乗効果を模索する手段を講じるべきである。双方に有益な将来のミッションの連携は、共通の関心事を利用し、両コミュニティにとっての新たな機会を創成するべきである。



ツールを器用に扱う手さばきを披露するDLRの人型ロボット、Justin

先進技術の開発

技術の開発と実証に対する国際的な投資の適切な活用は、有人探査ミッションに必要とされる重要な技術の利用を促進すると期待される。いかなる機関も単独で、地球周回低軌道以遠の有人ミッションを遂行するために必要な主要課題を伴う技術分野すべてに十分な投資をすることは不可能である。



ロボットのデモンストレーション—次世代の子供たちに挨拶するDLRのJustin

国際的なミッションへの参加は主に技術貢献を通じて実現するために、技術開発はすべての機関にとって戦略上、重要な位置を占めている。したがって、技術開発は競争分野であり、各機関は貢献の可能性を最大限に高めるために、投資重点分野を特定する必要がある。成功を収めるためには、国際宇宙探査プログラムは全参加機関にとって興味深く、達成可能な機会を提供すべきである。

このために、各機関は投資分野の情報を共有し始めた。宇宙探査に必要な多くの主要システム／技術を分類することにより、機関同士の情報共有が促進される。このプロセスを開始するにあたって、ISECGはNASAのチーフテクノロジスト・オフィス³が定義した技術分野の分類を使用した。

次の表は、ISECGのプロセスに対して宇宙機関が最初に提供した情報をまとめた初編である。これは課題の全般的な概要をわかりやすくまとめており、技術の議論が熟したときに、ISECGのミッションシナリオに対して必要な技術向上の詳細なマッピングの有効な出発点になりえる。



月の模擬土壌を使用したマリゴールドの栽培実験（ウクライナ）

提案されている技術開発の分類

技術分野	ASI	CNES	CSA	DLR	ESA	JAXA	KARI	NASA	NSAU	Roscosmos	UKSA
打上推進システム (TA01) 開発／運用コスト低減、性能向上、可用性、および技術の向上による既存の固体または流体推進技術の増強。					●	●	●	●	●	●	●
宇宙空間推進技術 (TA02) 従来および外来の推進システムの改良、推進性能レベルの向上、ペイロード質量の増加、信頼性の向上、および質量、容量、運用コスト、システムの複雑性の低減。	●	●			●	●		●		●	●
宇宙発電およびエネルギー貯蔵 (TA03) 現行の最先端の宇宙太陽発電システム、燃料電池、その他の電気エネルギー発電、配電、および貯蔵技術を上回る質量と容量の低減、効率性の向上、広範な運用温度範囲と強放射線環境での作動を可能とする技術改良。	●			●	●	●		●		●	●
ロボティクス、テレロボティクス、および自律システム (TA04) 移動性、検知と認知、操作、マンマシンインターフェイス、自律システムの技術向上が必要。また、複雑な宇宙空間での組立作業が容易にできるように、自律的なランデブー／ドッキング技術のためのインターフェイスの技術向上と標準化が必要。		●	●	●	●	●	●	●		●	●
通信および航法 (TA05) 送信／返信リンクのデータ通信速度の技術向上、航行精度の向上、遅延時間の最小化、質量、電力、容量およびライフサイクルのコストの低減。	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
健康管理、生命維持および居住システム (TA06) 信頼性の向上、持続可能性、質量と容量の低減、生物医学的対策、および物流のニーズを最小限に抑えた自給自足の向上は長期間の宇宙飛行ミッションには不可欠。さらに、先進的な検知／遮へい技術を含めた宇宙放射線研究の強化も必要。	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
目的地で使用する有人探査システム (TA07) 燃料生産、酸素、その他の資源のその場資源有効利用 (ISRU) の技術向上、表面と地下、および船外活動 (EVA) と船外ロボット (EVR) を含めた移動システムの向上、先進的な居住システム、および持続可能性／支援可能性技術の技術向上。			●	●	●	●		●		●	●
科学計器、観測所、およびセンサーシステム (TA08) 現行の最先端の科学計器用リモートセンシング装置／センサの技術向上、先進的な科学観測所、および惑星サンプルの現場用計器／センサを向上させる技術。	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

³ 詳細についてはhttp://www.nasa.gov/pdf/501317main_STR-Overview-Final_rev3.pdfを参照のこと。

技術分野	ASI	CNES	CSA	DLR	ESA	JAXA	KARI	NASA	NSAU	Roscosmos	UKSA
突入、降下、および着陸システム (TA09) 有人クラスと同等の火星への大気圏突入、降下、および着陸技術：低質量の熱防護システム (TPS)、大気抵抗装置、可変推力エンジン、着陸装置、高精度センシング、エアブレーキング、エアロキャプチャなどの先進技術。月面ミッションなどの場合、高精度軟着陸技術も必要とされる。	●	●	●	●	●	●		●		●	●
ナノテクノロジー (TA10) 宇宙船と構造質量を低減するための新しい先端材料、材料の機能と耐久力の強化、および発電と貯蔵の向上、ナノ推進剤、宇宙飛行士の健康管理を強化するためのナノろ過などの新しい独自の技術。					●			●			
モデリング、シミュレーション、情報処理技術 (TA11) 飛行中および地上での演算、ソフトウェアとハードウェアの統合モデリングシステム、シミュレーション、および情報処理に関連する技術の向上。		●		●	●	●		●		●	●
材料、構造、機械システム、および製造 (TA12) 放射線防護機能が備わった軽量構造物、多機能構造設計、および革新的な製造に関する技術向上、ならびに設計、製造、認証、およびライフサイクルのコスト削減に関する新技術。	●		●		●	●		●	●	●	
地上および打上システム処理 (TA13) ライフサイクルの運用コストの最適化、信頼性とミッションの有効性の向上、ミッションの安全性向上、ミッションのリスク軽減、環境上の影響の軽減 (グリーンテクノロジー) を実現する技術。								●	●	●	
熱制御技術 (TA14) 極低温システムの性能と効率性を向上させる技術、熱取得/輸送/遮断のための効果的な温度管理システム、および熱防護システムのロバスト性の向上とメンテナンスの低減。	●	●			●	●		●		●	

各機関は探査に必要とされる多くの技術の向上に取り組んでいる。優先事項と現状に関する情報を共有することによって、各機関は次のように、調整と将来の協力の機会を模索している。

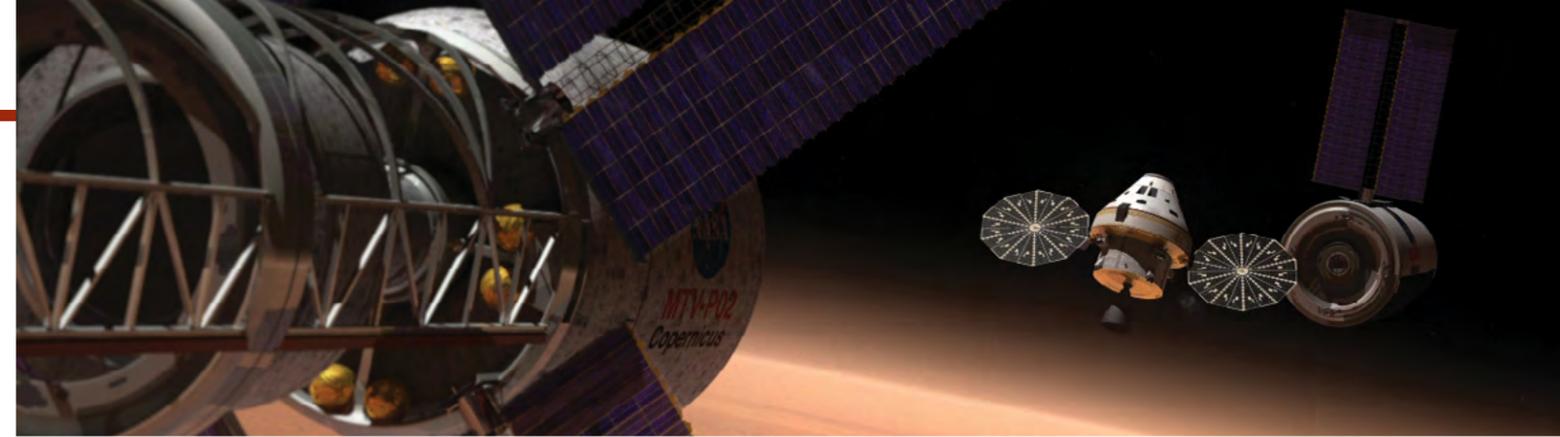
- 技術実証ミッションに関して協力する機会を識別する。
- ギャップ分野(投資を通じて、必要なときに必要とするパフォーマンスを提供できない可能性がある場合)を識別し、協力してこれらのギャップを埋める努力をする。
- 異なる技術オプションとアプローチが重要な技術を担う場合、技術革新を加速させるために競争を促し、よりロバストな全体的なアーキテクチャを提供する。

- 独自の地上施設または技術の利用に関するパートナーシップを構築する機会を創出する。

その目標は、協力の機会を創出すると同時に、各機関の投資決定における自主性を尊重することである。

所見

- ISECG参加機関は、共通の長期的戦略の達成に向けて各機関が行う投資の貢献度を最大限に高めるために、先進技術に関する潜在的な協力機会を探るべきである。



MPCVの軌道上運用のアーティストコンセプト

新世代の宇宙システムとインフラ

地球周回低軌道以遠の有人探査には新世代の技術が必要とする。これらの将来システムは今後抽出される技術と統合され、既存の技術に加え、現在運用中のシステムから学んだ教訓と得られた経験を踏まえたものになるであろう。地球からの惑星間の補給ミッションは、クルーからの急な要請に対して直ちに対応できないこと、また、短時間で地球に帰還するのが不可能であることから、新しいシステムは特に信頼性と安全性が高いものでなくてはならない。またこれらは、相互運用性の強化および共通のインターフェイスと標準化によって恩恵を受けるであろう。

長期的な有人探査ロードマップに共同で取り組み、そこに盛り込まれている実現可能なシナリオを検討することにより、我々は特定の基本要素が必要であるとの結論に達することができた。すべての探査シナリオにおける探査技術要素を構成する主なシステムとインフラの要素は以下のとおりである。

- 重量級打上げ機
- 惑星からの帰還速度に耐えうる有人輸送技術
- 主要システムとインフラを深宇宙に輸送できる大型の宇宙推進ステージ
- 船外活動とロボットシステムを含めたサービス/支援システム

現在、重量級打上げ機、有人輸送船、および先進的船外活動用宇宙服などに関する活動が進行中であり、NASAとRoscosmosでシステムを開発中である。一部の機関は先進ロボットシステムの分野に投資しているか、非常に優れた技術を有している。将来の探査アーキテクチャの技術主導型枠組みの実施に向けてのこれらの第一段階は、短期的および長期的な調整と協力の機会を提供する。



NASAの多目的有人宇宙船 (MPCV) の開発モデル

一部の宇宙機関は将来に向けて、探査アーキテクチャとシステムの研究に着手している。これらの研究は主に、探査ミッションシナリオと機関の役割に関する個々の意思決定への情報を提供することを目的としている。

ミッションシナリオとそこに盛り込まれる設計標準ミッションをISECG内で協力して設定することにより、各機関は個々の意思決定を下し、探査ミッションとアーキテクチャに関する新たな国際的な合意に沿って研究を調整することができる。



居住デモ (南極)

宇宙の極限環境を 模擬した地上実験

現在、地球周回低軌道以遠の探査の準備を促進するため、探査ミッションを模擬できる地上の類似環境が様々な範囲で利用されている。これらは、適切な類似環境を利用できるので、運用や探査概念の実験に加えて、探査技術、システム概念とその相互運用性に関する実験も可能である。また、これらの活動は、学生、宇宙飛行士、科学者、技術者を集め、ネットワークを構築して協力関係を強化する設定によって、一般市民が参加できる重要な機会を提供する。また、類似環境は健康管理とパフォーマンスの懸案に関する研究を支援するためにも利用される。

各機関は類似環境での地上実験に関する情報の共有を始めており、その実験への投資効果を高められる協力関係の機会を識別している。

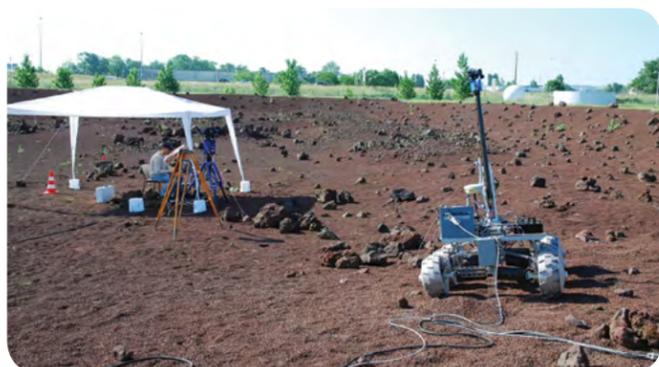
数カ国にて単独および共同にて類似環境を用いた地上実験が進行している。参加機関は探査に対する国際的な準備を促進し、協力機関を見出すために、その計画と学んだ教訓を積極的に共有しようとしている。



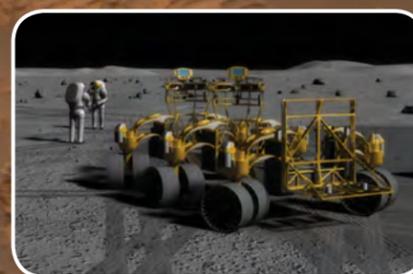
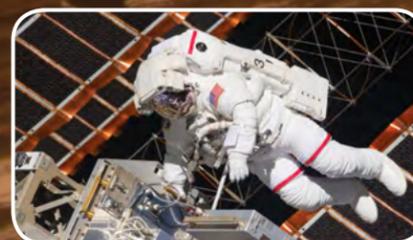
2010年にマウナケアに展開した地域でRESOLVE(レゴリス酸素抽出装置)パイロードとTridar航法装置を運搬するカナダのJuno Tandem Rover



Desert RATS (米国アリゾナ州)



フランス国立宇宙研究センターの火星ヤードにおける実験用探査ローバの試験



国際宇宙探査ロードマップは、最終目標である火星を視野に入れた太陽系有人探査の道筋を定めるための国際的な試みを示すものである。これらのチャレンジングなミッションは国際協力により可能になるだけでなく、その成功確率が高まるであろう。これまで2つの実現可能な道筋が確認されているが、今後も加盟宇宙機関が協力して探査ミッションシナリオを発展させ、そのための準備作業についての調整結果を反映することにより、本ロードマップの更新は引き続き行われるであろう。

国際宇宙探査ロードマップ



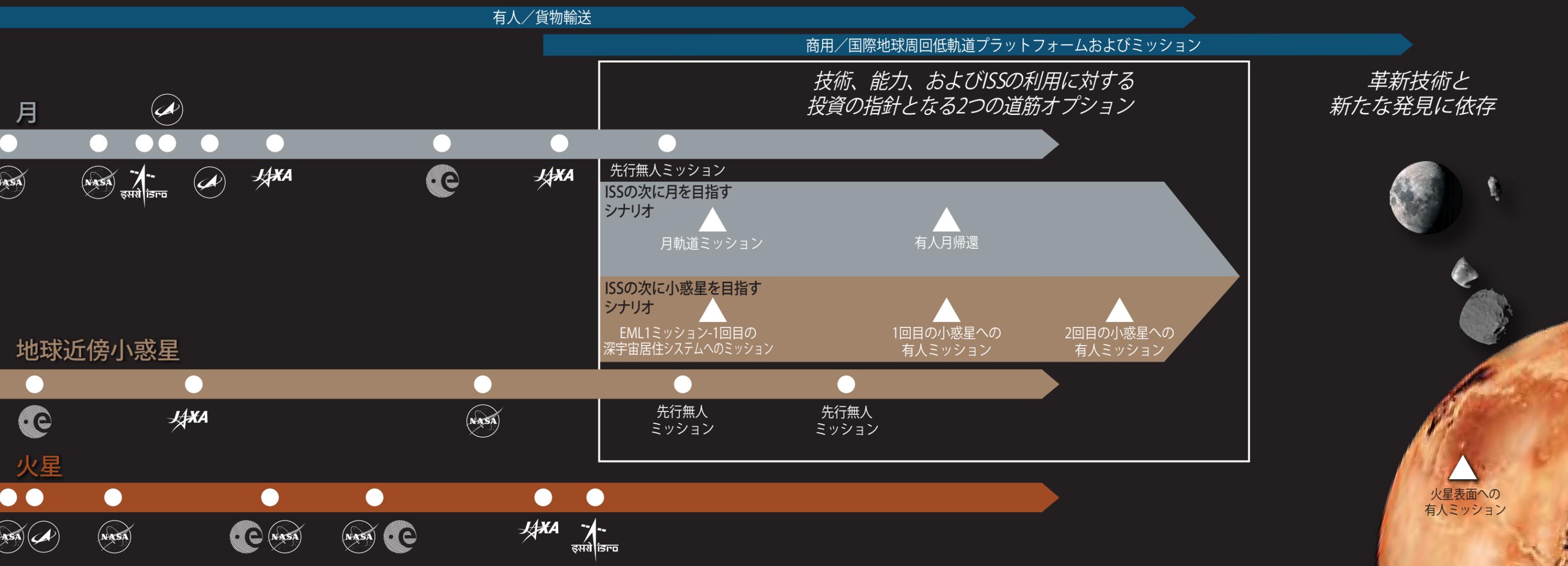
2011 2020 2030

ISSでの研究および技術の実証

- ・ 生命維持、宇宙飛行士の健康管理、居住
- ・ 通信およびロボット技術
- ・ 国際ドッキングシステム規格
- ・ 極低温推進の管理および移送

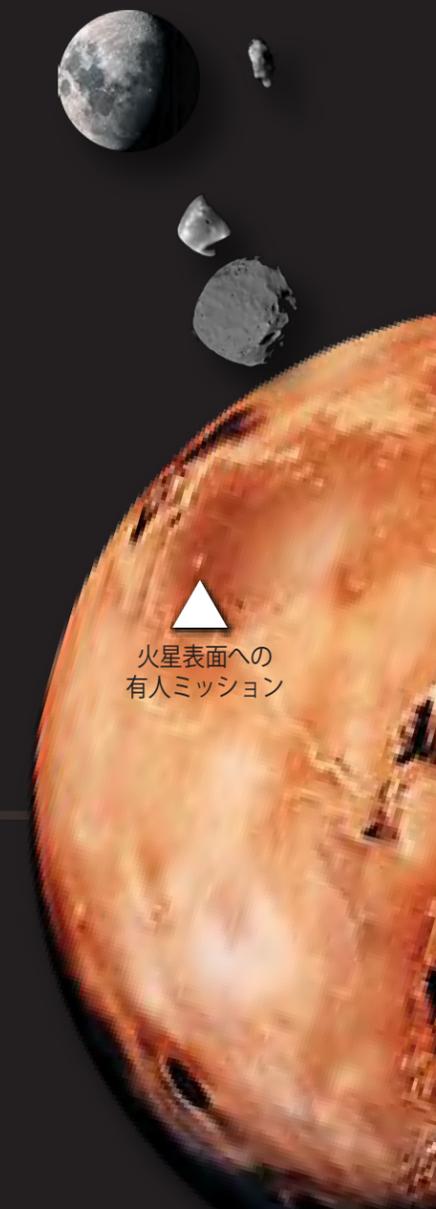
凡例

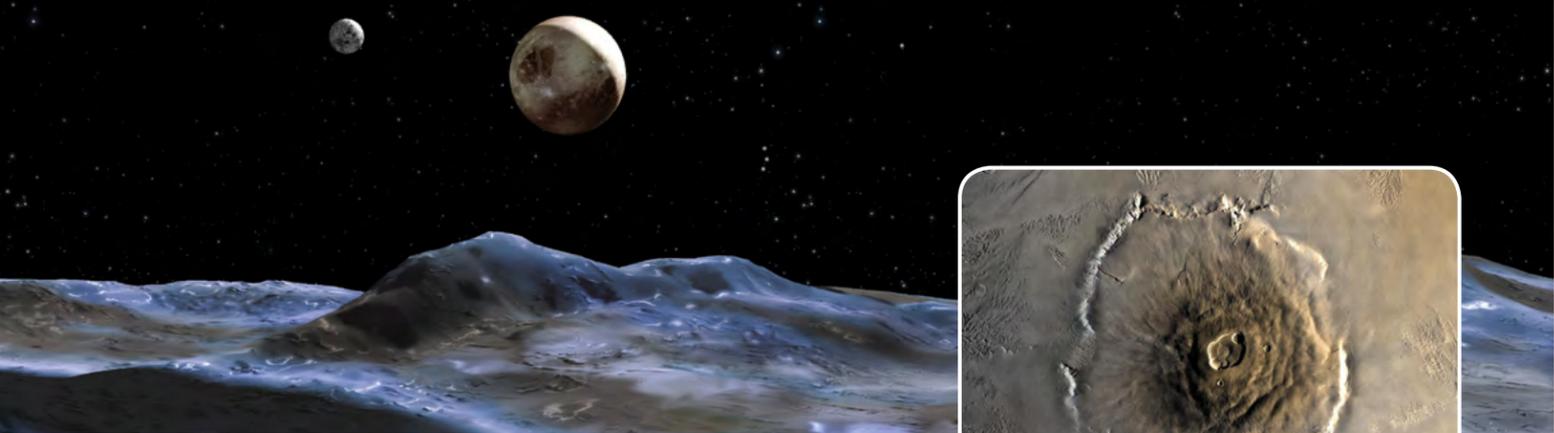
- 無人ミッション
- ▲ 有人ミッション



主な探査技術要素

- ロシアの次世代宇宙船
- NASAの多目的有人宇宙船
- 深宇宙居住システム
- ロシアの次世代宇宙輸送ロケット
- NASAの次期打上ロケット
- 極低温軌道間輸送機
- 月着陸船
- 次世代軌道間輸送機
- 小惑星探査船
- 月離陸船





火星のオリンポス山

結論

有人宇宙探査は、国際調整と国際協力により、1カ国が単独で達成できる範囲を拡大するだけでなく、有人／無人に関わらずその探査計画の成功確率が高まるものである。さらに重要なことに、これは、月、小惑星、火星への複雑かつ困難なミッションを可能にするであろう。ただし、火星への有人ミッションを含めた持続可能な有人宇宙探査のビジョンの達成のためには、長期間にわたる政治的な支援とリソースが必要である。

国際宇宙探査ロードマップの検討継続と国際協力の発展には、各国の政策と計画の調整方法だけでなく、計画を成功裏に実行するための政府間の取り決めに関しても十分に話し合う必要がある。探査目的地の順番に関しては、ISECGが決定するのではなく、ISECGが探査アーキテクチャとミッション設計について国際調整した結果に基づき、各国の政策とさまざまなレベルでの国際的な協議に従うことになるであろう。数年以内には、多くの国が最も効果的に持続可能な有人宇宙探査を実行するための国家政策と法的枠組みを作ることになるであろう。

さらに、国際探査戦略枠組み文書に記載されているように、民間企業が安心して投資できるための、宇宙探査への長期的なコミットメント、民間企業のアイデアを政府の検討に取り入れる機会、および法的整備を確保する必要がある。これは、所有権、技術移転などの難しい問題への共通の理解を深めるものである。

本文書はいかなる参加機関の、いかなる種類のコミットメントを与えるものではないが、宇宙探査の国際的、戦略的、組織的、および包括的なアプローチの達成に向けて進展中のプロセスへの重要な一歩である。

以下に、国際宇宙探査ロードマップの検討中に見出された主な課題の概要を、本文書に記載された順番に沿って示す。これらは、各宇宙機関が国際探査戦略をさらに推進するために取るべき行動を示唆するものである。

1. 相互依存が不可欠であることを認識し、それを成功裏に実施するための手段を講じる。
2. ISSを探査のために利用する機会を増やす。
3. 人間とロボットの科学的連携を強化する機会を増やす。
4. 重要な探査技術の開発への投資を有効活用するために国際協力を模索する。

この国際宇宙探査ロードマップの初版と続編は、各宇宙機関と各政府間の拘束力のある合意に対する技術的基盤を提供するであろう。国際宇宙探査ロードマップの改訂は2012年に予定されている。関係宇宙機関は本文書に紹介されている戦略をさらに推し進め、最終目標である火星を含め、地球周回低軌道を超えた目的地への探査の実現に貢献する短期的な国際協力の追加機会を見出すことを目指している。

宇宙は私たちが行うことに無関心である。私たちの宇宙への取り組みに対して一切の感情、計画、または興味も持っていない。だが私たちは宇宙に無関心ではいられない。なぜなら、宇宙は壮大でかつ長年にわたる知性の進歩を私たちの世代にもたらし、宇宙を探査、理解、利用することを可能にしてくれたためである。今引き返すことは、私たちの歴史と能力を否定することになるだろう。

～ジェームズ・A・ミッチェナー



ISECG

国際宇宙探査
協働グループ

国際宇宙探査ロードマップは国際宇宙探査協働グループ (ISECG) の活動の成果である(ただし、拘束力はない)。この初版は内容の発展と成熟に伴って定期的に更新される。ISECGは14の宇宙機関により設立され、興味のある機関が目的と計画を共有するとともに、相乗効果が期待できるコンセプトを検討するためのフォーラムの場を提供することにより、国際探査戦略を推進することを目的としている。ISECGは、加盟宇宙機関が国際協調による宇宙探査を実現するパートナーシップに向けて具体的な手段を講じるための取り組みを進めている。



出版サービス提供者:

米国航空宇宙局
本部
ワシントンDC 20546-0001

www.nasa.gov

NP-2011-09-766-HQ
8-504986

本文書の電子版および詳細情報については、
<http://www.globalspaceexploration.org> から入手できる。