

今後の我が国の地球低軌道活動及び国際宇宙探査の在り方（中間とりまとめ）

令和 5 年 2 月
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
国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会

1. 基本的な考え方^{※1}

- 国際宇宙探査^{※2}を通してフロンティアを開拓し、人類としての活動領域を広げるとともに、より大規模な科学的挑戦に取り組むことは、我が国のみならず人類全体にとっても有益である。また、国際宇宙探査への参画は、外交・安全保障、産業競争力強化、科学技術イノベーション及び人材育成の観点で重要である。さらに、国際宇宙ステーション（ISS）計画参加国以外が宇宙探査や地球低軌道活動において台頭する現状に鑑み、宇宙空間利用における主導権や発言力の確保及び我が国の国際的プレゼンスの維持・向上を図るために一層重要である。
- 国際宇宙探査は多額の予算を必要とするため我が国単独で実施することは困難であり、費用対効果の観点からも可能な限り欧米との国際協力の枠組みに参加して国際宇宙探査の先頭集団での位置づけを確保しつつ、また、特に、宇宙科学探査を通じて得られる知見や技術が国際宇宙探査において効果的・戦略的に活用され、国際宇宙探査が科学的な知見や成果創出の場として有効活用されるよう連携を図るとともに、月・火星へのステップ・バイ・ステップアプローチを基本として進める。
- この際、ISS・「きぼう」・「こうのとりのり」等の開発・運用及び「はやぶさ」をはじめとする科学探査で得られた技術・人材を最大限活用し、優位性のある技術及び波及効果が大きく今後伸ばしていくべき技術の蓄積・獲得のため、特定された4つの重点化技術（深宇宙補給技術、有人宇宙滞在技術、重力天体離着陸技術、重力天体探査技術）について、JAXAを中心に早期に開発・実証・高度化に取り組む。
- 他方、物資補給や回収などのアクセスが容易な地球低軌道は、宇宙環境利用のための貴重な資源であり、また、ISS計画参加国以外が台頭する現状にも鑑み、日本の産学官による低軌道活動の場を確保し、引き続き成果の獲得とプレゼンスの維持・向上を図ることが重要である。
- その際、これまで以上に多様な民間企業の参画拡大を図ることが重要であり、スタートアップや非宇宙産業を含む民間活力を取り入れ、新たな産業創出や社会基盤の充実につながるような好循環を模索する。
- ISS運用延長期間においては、国際宇宙探査で必要となる技術の実証、知の創造、社会的課題解決、新たなビジネス・サービスの創出、及び宇宙

活動を担う人材の育成の場としてISSを活用するとともに、ISSにおける科学研究及び技術開発の取組を、月探査活動や将来の地球低軌道活動に向けた取組へと、シームレスかつ効率的につなげていく。^{※3}

2. 地球低軌道における宇宙活動の姿^{※4}

(1) ISS運用延長期間(2025~2030年)

- ・ ISSは我が国の有人宇宙活動を支える唯一のプラットフォームとして不可欠であり、以下の事項に取り組む。^{※4}
 - アルテミス計画に必要な更なる技術の獲得・実証
例) 深宇宙補給技術、有人宇宙滞在技術、重力天体離着陸技術、重力天体探査技術
特に、水・空気再生、自動ドッキング、環境制御・生命維持システム等
 - 遠隔化・自動化・自律化等の機能向上の取組による、効率的・効果的で持続性の高い宇宙環境利用の実現
 - 将来の地球低軌道における民間活動の拡大のための準備機会の確保
- ・ 地上では得られない実験環境を活用し、挑戦的な科学研究による新たな科学的知見の獲得に取り組む。
- ・ 米国では民間商業ステーション計画が進展し、2030年代以降のポストISSに向けて、日本を含む民間企業の活動も広がりを見せている。そのため、これらの民間事業者や、NASA、ESA等との情報交換を継続し、2030年代の活動に向け、国際情勢の動向を把握するとともに、我が国として戦略的に対応する必要がある。

(2) ポストISS(2030年代以降)

- ・ 2040年代には、宇宙滞在や低軌道・月面活動など、地球と宇宙の間での民間人を含む人の往来が増加し、低軌道が月等の低軌道以遠の活動の準備や中継の場となるなど、多様な民間事業が展開されている可能性がある。2030年代は民間主体の地球低軌道活動への移行期間と位置づけ、スムーズな移行に向けて取り組む必要がある。
- ・ 我が国の公的部門のリソース(人員・予算)は、月・火星探査等フロンティアの拡大にかかる取組、国の活動の自立性・自在性確保や民間活動を支える先進的・基盤的技術(例えば高信頼性・低コスト化基盤技術や人の往還を可能とする技術等)の獲得等に重点を移していくことが想定される。
- ・ これまでにISSで培った技術、運用ノウハウを適切に継承・発展させ、地球低軌道における日本の利用活動やプレゼンスの空白を生じさせないことが重要である。
- ・ 以下に示すような我が国の地球低軌道活動を着実に推進するためには、2030年以降も利用機会を持続的(空白期間なし)・安定的(量・時期・コスト)に確保できる必要がある。

① 民間を主体とした利用

- 企業による研究開発(新材料の試験・データ取得、創薬研究開発等)、

- 宇宙技術開発（軌道上サービス関連技術等）及び実用利用
- 宇宙旅行、エンターテインメント 等
 - ② 国としての技術開発利用（宇宙探査等のための要素技術開発・技術実証^{※5}、探査に向けた宇宙飛行士訓練、有人宇宙滞在技術に関する研究開発等）
 - ③ アカデミアや国の機関等による科学研究利用（社会課題解決・知の創造、人材育成等）
 - 国の課題解決に資する戦略的研究利用（健康長寿、カーボンニュートラル、地球観測・科学観測等）
 - 自由な発想による学術研究利用

3. 月・火星探査に向けた宇宙活動の姿

（1）月・火星を目指す意義^{※6}

- ・ 月は地球に最も近い天体であり、月の地殻物質や内部構造の調査による月の起源の解明などを通して、太陽系や宇宙の起源、地球上の生命の由来を探るといった科学的意義がある。また、月の極域には一定量の水氷が存在すると考えられるなど資源利用の観点からも意義がある。さらに、輸送、通信の観点からも利点があり、重力天体への着陸・帰還技術、惑星表面探査ロボット技術など、今後の太陽系探査に向けた技術獲得・実証の重要な場である。
- ・ 火星においては、太陽系における地球型惑星の形成過程に対する理解を深めることや、生命の存在条件に支配的な影響を及ぼす惑星表層環境の解明、生命体の探索等について意義がある。さらに、資源利用やそれに基づく長期的有人滞在の潜在的可能性を有する。
- ・ 月近傍については、月・火星等に向けた中継拠点として国際協力により構築され、探査機の補給拠点、通信拠点、研究施設としての機能を果たす。

（2）月面活動に関する基本的な考え方^{※7}

- ・ 月周回有人拠点（ゲートウェイ）を利用しつつ、水資源探査を含めた持続的な月面探査や探査の進展に応じた基盤整備^{※8}が行われることが見込まれるため、これらの活動に対し、国として主体性を持って参画する必要がある。
- ・ 新たな知の創造に繋がる世界的な科学の成果を創出し続けるとともに、必要な技術や人材を戦略的に育成・確保し、月面活動を効果的に進めるため、民間企業をはじめとする多様な産学官のプレイヤーの積極的な参加を促進する必要がある。

4. 2030年代のISSを含む地球低軌道活動を見据えた取組

(1) 日本独自の拠点（ステーション又はモジュール）について

- ・ 2030年代に我が国が拠点を保有するかどうかについては、今後、ポストISS活動における事業運営に関心を示す民間企業と対話を行いつつ、実現性を見極め、必要に応じて、民間企業への支援策を含む政府の関与の在り方を検討する必要がある。
- ・ 海外民間商業ステーションのサービスを利用する場合であっても、日本の利用者（政府、企業、アカデミア等）が望む利用サービスを得られること、及び「きぼう」で培った運用技術、宇宙飛行士の訓練・養成のノウハウの継承が図られることが重要である。
- ・ このような民間移行時期の不確実要因に柔軟に対処するため、複数の海外民間商業ステーションとの交渉、「きぼう」の更なる利用延長、短期滞在型／人工衛星型の短期実験・回収システム等を含め、シームレスな移行のための手段を検討しておくことも必要である。

(2) 利用拡大

- ・ 2030年代に民間主体に移行するためには、地球低軌道活動が事業として成立することが重要であり、民間事業者がポテンシャルの向上や魅力あるサービスの検討・展開など、利用の拡大に向けた積極的な取組を行うことが重要である。
- ・ 民間移行に資するため、政府としても、国としての利用の見通しや方向性を示し民間企業による事業の予見性を高めるとともに、民間企業の事業が軌道に乗るまでの間、以下のような支援をしっかりと行うことが重要である。
 - JAXAからの技術移転
 - 民間の事業アイデア・構想の実現に向けた事業共創等による支援（J-SPARC、宇宙探査イノベーションハブ等）
 - 事業や技術の実証機会、低軌道における事業運営・システム運用等のノウハウの蓄積機会の提供
 - サービス調達や運営委託等民間事業者の利用主体としての裁量や役割を増大させる方策の検討
 - 民間主体で提供されるサービスの利用者として国が継続的に地球低軌道活動を行うこと 等
- ・ さらに、将来の地球低軌道における民間需要の掘り起こしを強力に推進するため、新たに民間の創意工夫を活用して地球低軌道の利用を促進する支援に取り組む。
- ・ 地球低軌道拠点への物資輸送に関しては、国として必要な物資輸送を自律的に実施できる能力を維持するだけでなく、民間による物資輸送サービス化も見据えて、地球低軌道の利用を促進することで、民間の物資輸送需要の大幅拡大に繋げていくとともに、引き続き、我が国の輸送システムの競争力強化に資する取組を進める。

(3) その他

- ・ 民間企業の活動を後押しするために、国・公的部門が国際的なルールの形成に参画する。また、法的枠組みの検討・整備、ISS計画での経験等を基にした民間活動におけるルール形成の支援などにおいても、国・公的部門の役割が重要になる。
 - 例) 利用料の支払い方法、損害賠償責任相互放棄、保険等
- ・ 我が国の強みを活かした形での国際協力による対応の可能性も含め、我が国の地球低軌道における経済活動等の継続的な実施と拡大を支えるシステムの具体的検討を行うとともに、輸送をはじめとする高信頼性・低コスト化基盤技術、低軌道プラットフォームや有人往還技術、効率的な拠点運営に資する遠隔化・自動化・自律化技術、高効率環境制御・生命維持技術など、国の活動の自立性・自在性確保や民間活動を支える先進的・基盤的技術について、要素技術・システムの研究開発を進める。

5. 2030年代のアルテミス計画を含む国際宇宙探査を見据えた取組

- ・ 国際宇宙探査に必要とされるシステムの研究開発、技術実証には中長期を要することから、国による研究開発プロジェクトの実施や技術支援に早期に着手し、それぞれの導入時期を見据えて着実に開発を進める必要がある。
 - 国際協力による月・火星探査（アルテミス計画を含む）に向けた研究開発
 - 例) 環境制御・生命維持システム、ゲートウェイ補給機、有人と圧ローバ、月周回衛星による測位・通信
 - 月面での持続的な活動に向けた調査及び研究開発
 - 例) 水資源探査、資源探掘・利用、国際的法的枠組み作成への貢献
 - 科学ミッションへの貢献
 - 例) サンプルリターン、着陸機航法誘導技術、月面技術実証機会確保
 - 月周回・月面滞在に向けた日本人宇宙飛行士活動の準備
 - 例) 宇宙飛行士募集、低軌道での訓練
 - 月面輸送能力（ロケットを含む）の整備と向上
 - 例) 基幹ロケットの能力増強、月面着陸機の研究開発（極域への高精度着陸等）
- ・ アルテミス計画への貢献に資する研究開発について、本格的な開発への着手を進めるとともに、それ以外の月・火星探査に向けた技術開発についても、国際協力を活用しつつ、国際的プレゼンスを効果的に発揮できるよう戦略的に進める。
- ・ 宇宙開発利用加速化戦略プログラム（スターダストプログラム）の推進を通して、将来の月面活動に向けた研究を民間と協力して進めるなど、月面産業の基盤形成に継続的に取り組む。
- ・ 通信・測位など、月面活動に不可欠なインフラに関する国際的なルール作りへ参画する。

- ※1 「国際宇宙探査に関する基本的な考え方（これまでの議論を踏まえた総括）」「国際宇宙探査の取組について」（第37回小委）
- ※2 天体を対象にして国際協力によって推進される有人宇宙探査活動及び当該有人探査のために先行して行われる無人探査活動。人類の活動領域の拡大を主目的として全体シナリオに沿って推進され、当面は月・火星を対象とする。
- ※3 宇宙基本計画（令和2年6月30日閣議決定）
- ※4 「ISSを含む地球低軌道活動の在り方について（提言案）」（第50回小委）
- ※5 民間版ロードマップでは、2040年に1000人が月面滞在とされており、人類の長期滞在を維持するために必要な月面活動に必要な研究開発が必要になると思われるが、2040年代以降の宇宙探査にどのような技術が必要となるかは現段階では見通せない状況。
- ※6 国際宇宙探査の在り方～新たな国際協調体制に向けて～（平成29年12月6日宇宙開発利用部会）
- ※7 月面活動に関する基本的な考え方（令和3年5月26日内閣府宇宙開発戦略推進事務局）
- ※8 無人建設システム、測位システム、通信システム、有人滞在施設、保管施設、電力供給システム、食料生産システム等

（参考1）ISS関連予算、アルテミス計画関連予算の推移（単位：億円）

	R元'	R2'	R3'	R4'	R5'
ISS 関連予算	274	256	112	114	114
アルテミス計画関係予算	74	146	540	402	405

※当該年度予算と前年度補正予算の合算値

（参考2）各国の動向

（1）米国

- 深宇宙探査については国が主導しつつ、将来の地球低軌道活動については、2030年頃を目標にISSから民間商業ステーションでの活動に移行し、月・火星探査のための実証の場として活用する方針。
- ISSから民間商業ステーションへの移行の後には、NASAはそれを利用する一顧客となるべく、地球低軌道商業化に向けた方策を推進している。
- ポストISSにおける米国の地球低軌道でのプレゼンス確保についても重視しており、地球低軌道活動を持続可能な商業活動として定着させるべく民間への支援を行っている。
- 米国民間4社がNASAの支援を受け、各企業グループによりポストISS/地球低軌道拠点や輸送手段の検討を開始。（Axiom Space, Blue Origin/Sierra Space, Northrop Grumman, NanoRacks/Voyager Space）
- 米国民間企業からは、日本がISSで培ってきた技術等（物資補給や宇宙実験等に関する機器・システム・サービス等）に対し関心が示されている。

○アルテミス計画関連

- ・2025年の有人月面着陸に向けて、大型ロケットであるスペースローンチシステム（SLS）及び有人宇宙船（Orion）の開発を進めている。
- ・有人月面着陸船（HLS：Human Landing System）について、SpaceXに続く企業との契約の締結に向けて2022年9月～12月にかけてNASAがRFPを実施。Blue OriginとDyneticsが応札。2023年6月頃、新契約締結予定。

(2) 欧州

- アルテミス計画に対しては、国際居住棟（I-HAB）、燃料補給システム及び展望機能（ESPRIT）の開発並びに有人宇宙船（Orion）向けサービスモジュール（ESM）の提供等により協力を行う。
- 2021年12月、ESAはロケットや宇宙居住施設等の地球低軌道周辺活動への商業サービス導入のためのRFIを发出。
- 商業サービスは、2030年代初頭に運用終了が見込まれるISSをオーバーラップする形を想定。
- 民間企業による低軌道での活動を維持し、他の宇宙開発国に対する競争力の強化を図る。
- 2022年11月にESA閣僚級会議を開催（主な結果は以下の通り）。
 - ・全体予算169億ユーロ（2023年～2025年）（2019年比17%増）（一部予算については2027年まで措置）
 - ・うち、有人・探査関連予算27.07億ユーロ（低軌道有人活動：9.2億ユーロ、低軌道以遠の有人活動：4.06億ユーロ、月面ロボティクス：3.52億ユーロ、火星ロボティクス：7.57億ユーロ）
 - ・2030年までのISS運用期間延長への参加を決定。
 - ・2030年代にペイロード・貨物を定期的に月面へ輸送する「Argonaut」（EL3）承認。
 - ・月探査のための通信・航法アーキテクチャ構想「Moonlight」の承認。
 - ・火星探査機「Rosalind Franklin」ローバを火星表面に輸送するための火星着陸船の製造を承認。
 - ・NASAとの協力ミッション「MSR」（火星サンプルリターン）のESA担当分（サンプル回収カプセル及び地球帰還カプセル）について製造を承認。
 - ・ESA宇宙飛行士5名（+予備宇宙飛行士11名、身体に障がいを持つ宇宙飛行士1名）を発表。
- 2023年1月、Airbus Defence and Space（ADS）社は、米Voyager Space社と商業宇宙ステーション「Starlab」の開発と運用に関して提携を発表。

(3) カナダ

- アルテミス計画に対しては、月面技術開発、宇宙空間での実証及び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。ゲートウェイには次世代人工知能対応ロボットアーム（Canadarm3）を開発すること

で協力。

- ISS運用期間延長については、2023年に参加を決定する見込み。
- 2022年12月、米Voyager Space社はカナダ宇宙庁(CSA)と商業宇宙ステーション「Starlab」及び軌道上実験の計画・開発に関する了解覚書(MOU)を締結したと発表。

(4) ロシア

- アルテミス計画への参画意思は表明されていない。
- 2028年頃に独自の宇宙ステーション「ロシア軌道サービスステーション(ROSS)」を構築し、2024年以降のいずれかのタイミングで、ISSから脱退する意向を示している。
- 2021年、ROSSでも利用が想定される実験モジュール及びノードモジュールがISSと接続完了。
- 2022年12月、中国との国際月面研究基地計画(ILRS:International Lunar Station)について、中国と合意文書に署名(詳細未発表)。
- 2023年にLUNA25(月南極域への着陸機)の打上げを予定。

(5) 中国

- 2019年に嫦娥4号が世界で初めて月の裏側に着陸し、2020年に嫦娥5号が月の土壌を採取するなど、月探査「嫦娥ミッション」を段階的に実行。2024年に嫦娥6号(月南極域からのサンプルリターン)、2027年に嫦娥7号(月南極域等でのローバを用いた資源調査)、2028年に嫦娥8号(ISSRU技術及び3Dプリント技術の試験)の打上げを予定。
- 地球低軌道活動及び深宇宙探査を見据え、新型有人宇宙船を開発中。
- 2030年代から2040年代を目途に、月南極域に国際月面研究基地(ILRS)の建設を構想している。2022年12月、本計画におけるロシアとの協力について合意文書に署名(詳細未発表)。
- 2022年11月、独自の宇宙ステーション「天宮」が完成(6名滞在可能)。国連とも連携し、「天宮」で行う実験について国際公募を行い、テーマを選定した。

(6) インド

- 有人宇宙ミッション「Gaganyaan」は、乗員脱出システムの試験飛行及び無人試験打上げを実施した後、2024年に少なくとも2名の飛行士を低軌道ステーションに搭乗させる計画。
- 2019年に月着陸ミッション「Chandrayaan-2」を打ち上げるも、着陸直前に通信が途絶し失敗(硬着陸)。2023年に、「Chandrayaan-3」で再び月着陸に挑む予定。