

ISSを含む地球低軌道活動の在り方について（提言）

令和4年11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

はじめに

宇宙開発利用部会としては、次の理由により、我が国は2030年まで延長された運用期間において引き続き国際宇宙ステーション（ISS）に参画することが適当と考える。

- ・ 我が国にとって、国際宇宙探査（アルテミス計画）で必要となる技術の獲得・実証の場として不可欠であり、社会的課題解決、知の創造、人材育成等に繋がる継続的な成果創出の場として引き続き利用価値が高いこと
- ・ 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を提供し得ること
- ・ 国際宇宙基地協力協定（IGA）に基づくISS計画参加極間の調整の場において、ISSは、適切な保守を継続しながら地球低軌道における卓越した生産的なプラットフォームとして維持できることが確認されていること
- ・ 宇宙環境利用でも極めて密接に連携してきた米国がアルテミス計画で人類を月や火星に送る道を拓くこと等を理由に延長された期間における引き続きの参加を国際パートナーに呼び掛けていること

今後、アルテミス計画の進展に伴い政府の宇宙探査活動が月や火星など深宇宙へと進んで行き、2040年代の地球低軌道における宇宙活動は民間中心に行われていることも想定し得る。これに向けて、アルテミス計画で必要となる技術の獲得・実証をはじめとした宇宙環境利用の場の確保・維持・発展等の観点から2030年代の地球低軌道活動がいかにあるべきか、また、そのために2030年までのISS運用期間をいかに活用するかについても現時点から検討していく必要がある。

1. ISS利用の成果と見通し

(1) 国際宇宙探査で必要となる技術の実証

2019年、我が国は、これまでのISS計画や宇宙科学探査等を通じて得られた技術・人材を最大限活用し、優位性のある技術及び波及効果が見込まれる技術の蓄積・獲得のため、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、重力天体表面探査技術）を協力事項として、月面での持続的な探査を目指すアルテミス計画に参画した。このことにより、これらの技術を更に発展させつつ、更なる深宇宙探査や非宇宙分野も含む広範な産業の拡大などを目指すことが可能となった。これを踏まえ、ISSは、地球からのアクセスが良く、技術実証等において修理や改善が可能であるため、宇宙基本計画においてアルテミス計画で必要となる技術の実証の場として位置づけられた。

すでに延長が合意されている2024年までに水・空気再生や自動ドッキング等の深宇宙探査に必要な技術を獲得するが、その後も実験の遠隔化・自動化・自律化や高効率の環境制御・生命維持システム等の深宇宙探査に必要な技術の獲得が見込まれているなど、ISSは、今後の国際宇宙探査に必要な技術の実証の場として2025年以降も引き続き不可欠である。

(2) 知の創造・社会的課題解決及び新たなビジネス・サービスの創出

我が国は、ISS計画への参画を通じて、宇宙空間における観測や実験により地上では得られない研究結果を取得するため、優位性の高い独自の宇宙環境利用技術を獲得し、社会的課題解決や科学的知見の獲得に貢献してきた。

また、更なる利用・成果の拡大に向け、これらの技術を利用しやすいプラットフォームとして定型化し、民間移管・事業化を推進してきており、移管後は、民間による利用者開拓や運営効率化による利用コストの低減等により、更なる需要拡大が見込まれている。これにより、政府は、例えばiPS細胞の立体培養技術のような新たな利用技術開発に注力することで、今後、より挑戦的な科学研究による知の創造や、国際競争力の高い宇宙環境利用技術の獲得などが期待される。

日本実験棟「きぼう」の民間利用件数は、年々大幅に増加してきた。「きぼう」有償利用制度や非宇宙業界も含めた民間との事業共創を行うJ-SPARC制度を通じて多様な利用・事業化が進展しており、今後も高い利用価値と利用の増加が見込まれる。

一方で、これまでの民間利用の拡大は、「きぼう」が国費によって運用されていることが前提となっており、我が国においては必ずしも地球低軌道における民間単独での事業成立性が検討されてきたわけではないことを鑑みれば、我が国は、民間による地球低軌道活動が更に広がっていく未来を見据え、今後も民間移管・事業化の支援など更なる参加拡大等に取り組むことが必要である。

(3) 宇宙活動を担う人材の育成

我が国のISS計画への参画により、これまでISS船長2名を含む優れた日本人宇宙飛行士を輩出し、選抜・訓練ノウハウや宇宙飛行士に蓄積された経験は、新たな宇宙飛行士の効果的な育成にも寄与している。また、「きぼう」や「こうのとり」の開発・運用・利用等を通じ、大規模国際宇宙プロジェクトで活躍できる専門性の高い管制官や多くの宇宙開発技術者が育成された。さらに、大学等研究機関の宇宙実験を積極的に受け入れたことで、多数の若手研究者や大学生等が最先端研究で経験を蓄積するなど能力構築にも大きく貢献した。

「きぼう」を利用した国際協力枠組や教育プログラム、宇宙飛行士の講演やGIGAスクール等に関する様々な取組により、国内外の多くの青少年への科学技術等への興味や関心を喚起する等、科学技術等の教育にも大きく貢献している。

ISS計画や関連プログラムを通じて育成された宇宙飛行士や技術者、研究者らは、次の世代の人材育成に貢献している。そして、育成された若手人材は、産学も含む様々な分野で活躍し、我が国の将来の宇宙開発利用を担う更に次の世代の育成に貢献する等、好循環の形成が進んでいる。

今後も、多様な分野の人材の参加を促進しつつ、将来を担う宇宙飛行士、技術者等の育成・実践の場として、また、青少年育成にも貢献していくことが期待される。

(4) 国際宇宙協力の強化

我が国は、ISS計画を通じて、信頼される国際パートナーとしての地位を確立しており、現在進められているアルテミス計画への主要参加国としての参画にもつながっている。

「きぼう」の強みを生かした日米関係の強化・進展に加え、アジア唯一の参加国として、アジア諸国や他地域の新興国への地球低軌道活動への参加機会の提供等により、我が国の国際プレゼンス向上、各国との関係強化に貢献してきている。

地球低軌道においては、民間参入やISS計画参加国以外の国による活動も活発化しており、将来の地球低軌道活動の発展を見据え、今後もアジア太平洋地域をはじめとする多国間協力枠組の更なる拡大など、これまでの国際宇宙協力で築いた資産を維持・発展していくことが期待される。

(5) 費用対効果の向上のためのコスト削減方策

「きぼう」や「こうのとりの運用開始以降、我が国はこれらの運用や宇宙実験等の利用の効率化を進めており、成果の拡大・最大化に取り組みながら、コスト削減を図ってきたが、これら効率化努力によるコスト削減の余地は年々少なくなってきた。今後は限られた予算の中でこれら利用の成果を更に拡大し、質の向上、適切な公開、社会還元等に関する情報発信の強化が求められる。

現在開発中のHTV-Xは、「こうのとりの」と比較して1.45倍の質量の貨物を搭載可能であり、「こうのとりの」の経験を活かした開発・製造・運用コストの削減等により2倍のコスト効率を目標としている。このため、仮に延長されたISS運用期間に我が国も参加する場合、2025年度以降のISS関連の年間予算は、2022年度までの平均額に対して約4割の削減が期待でき、アルテミス計画の推進に必要な予算を考慮した場合でも、2022年度までのISS予算及びアルテミス予算の合計額の水準からの大幅な増加は抑制可能と考えられる。

2. ISS耐用年数に関する技術的評価

ISSの耐用年数に関しては、ISS参加各極において継続的に技術的評価を実施してきている。このような評価の結果、IGAに基づき、参加極間でISS運用・利用に関する活動調整を行う場として昨年7月に開催された多数者間調整委員会において、ISSは、2030年まで適切な保守を継続しながら地球低軌道における卓越した生産的なプラットフォームとして維持できることが確認されている。

3. 米国によるISS運用期間延長の発表

ISSについては、これまで2024年までの運用が参加各極間で合意されていたところ、本年1月1日（日本時間）、米航空宇宙局（NASA）より、米国政府としてISSの運用を2030年まで延長することについて発表された。また、本発表とともに、NASA長官からISS参加各極に対して、ISS延長への参加を促す書簡が送付されており、これを踏まえ、各極において、延長された期間における参加継続について検討が開始されている。

発表において、NASAは、延長の理由に関して、国際パートナー（欧・日・加・露）とともに軌道上での革新的研究の継続を可能とすること、アルテミス計画で人類を月や火星に送る道を拓くこと、2020年代後半には、地球低軌道での活動能力を商業的な所有・運用へとシームレスに移行させることが可能となることに言及している。

4. 2030年代の地球低軌道活動に向けた各国の動向

- (1) NASAは、2030年代の地球低軌道活動は民間主体の運営に移行し、自身は利用者の一つになる方向性を提示。2029年から30年の2年間で、民間宇宙ステーションへの移行期間と位置付けるとともに、2021年中に、このような民間宇宙ステーション構想を担う米国民間企業として4社を選定し、開発に向けた支援を開始した。
- (2) 欧州宇宙機関（ESA）も、NASAと同様、将来、欧州各国政府や宇宙機関等が利用者の一つとなることを想定し、2030年代に民間主体の低軌道活動に移行する方向性を提示し、欧州民間企業等に対する情報提供要請を行うなど、将来の地球低軌道活動への投資も見据えた検討を進めている。
- (3) 我が国においては、一部の民間企業がNASAの民間宇宙ステーション構想に選定された米国民間企業との連携を表明している。政府は、上記（1）、（2）の方向性も念頭におきつつ、今後、2030年代の地球低軌道活動の在り方を検討する際に、我が国の産学官の地球低軌道活動の場の確保・維持・発展等の観点から、その国際枠組、技術的成立性、事業成立性、官民の役割分担等について多角的な視座から検討を進める必要がある。

5. 国際情勢を踏まえた考え方

ISSは、これまで様々な国際情勢の中であっても、地球低軌道において不可欠な有人プラットフォームとして運用されてきた。この中で、我が国は国際協力を通じた自国の宇宙開発利用の発展等の国益に鑑みISS計画への参加を続けてきている。

今般のロシアによるウクライナ侵略など、国際情勢は予断を許さないが、我が国としては、国際情勢の動向を見極めながら、アルテミス計画の推進等をはじめとした国益の観点からISSの意義を考える必要がある。

6. ISS運用期間延長の意義（まとめ）

1. に詳述したとおり、ISSは我が国の宇宙活動を支える唯一の有人プラットフォームとして不可欠であり、高い価値を有していると考えられる。また、仮に2030年までISS計画に参加を継続する場合は、これらの価値が更に高まるだけでなく、以下のような効果も期待される。

- ・ アルテミス計画に必要な更なる技術の獲得・実証
- ・ 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

一方、仮に2024年を最終年として我が国がISS計画から脱退する場合、我が国は、2020年代後半の地球低軌道における活動の場とそこから得られる価値を失い、将来的にそれらを取り戻すことが極めて困難になる。特に、アルテミス計画を通じて我が国が深宇宙探査を行っていくにあたり、その技術の実証の場としてのISSを失うわけにはいかない。また、これまでISS計画を通じて我が国が築き上げてきた参加各極との協力関係が大きく損なわれるとともに、アジア太平洋地域をはじめとする各国との協力関係を構築・けん引してきた我が国のプレゼンスが大きく低下することが予期される。

このように、ISSについては、アルテミス計画をはじめとする今後の有人宇宙活動のために不可欠であり宇宙環境利用の場としての高い利用価値が引き続き見込まれること、2030年まで活用可能であることが技術的に確認されていること、将来の地球低軌道活動のための準備機会を提供し得ること、宇宙環境利用でも極めて密接に連携してきた米国がアルテミス計画で人類を月や火星に送る道を拓くこと等を理由に延長された期間における引き続きの参加をパートナー国に

呼び掛けていることを踏まえると、我が国としては、2030年まで延長された運用期間において引き続きISS計画に参画し、アルテミス計画への活用をはじめ宇宙環境利用の更なる拡大を図っていくべきであると考えられる。

なお、延長された期間においても、引き続き同計画に国費を投入することについて国民の十分な理解を得るため、遠隔化、自動化、自律化技術の開発・導入等を含めたコスト削減や、国民に分かりやすい形での事業内容や成果の適切な公開及び積極的な情報発信について不断の努力を行っていく必要がある。

7. 2040年代の地球低軌道における宇宙活動の姿に向けて

- (1) 2020年代から30年代にかけての地球低軌道は、国際宇宙探査活動に寄与する技術の開発・実証の場、社会的課題解決・知の創造・人材育成等に繋がる継続的な成果創出の場、そして民間による商業利用の場として持続的な形で整備されていくことが重要と考えられる。現時点では、2030年代の地球低軌道活動は、「政府主体／民間主体」、「有人／無人」、「常設拠点有り／無し」、「国際協力／我が国独自」など、複数のオプションが想定される中で、現段階ではビジネスモデルや国際協力の枠組を含め各国とも模索中である。
- (2) 国際的に、地球低軌道における民間活動が活発化していることや2030年以降を想定した具体的な民間宇宙ステーション構想が進展していることを踏まえると、2040年代の地球低軌道における宇宙活動は、国際的に民間中心に運営されており、現在の運営主体である政府は、低軌道利用サービスを民間から調達する多様な利用者の一つとなっていることも想定される。
- (3) 我が国は、2040年代には、地球低軌道活動において、我が国の産学官が自在かつ持続的に宇宙環境利用を行い、有人宇宙滞在の場としても多様な宇宙活動の進展が図られていることを目指すべきである。今後、アルテミス計画の進展に伴い政府の宇宙探査活動が月や火星など深宇宙へと進んで行き、2040年代の地球低軌道活動は国際的に民間中心に行われていることも想定し、2030年までのISS運用期間においては、民間利用の更なる拡大に取り組むとともに、アルテミス計画で必要となる技術の獲得・実証等の宇宙環境利用の場の確保・維持・発展等の観点から2030年代の地球低軌道活動のあり方について検討を行う必要がある。

I S S を含む地球低軌道活動の在り方について（検討の経緯）**【国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会（第36回）】**

1. 日時：2020年8月7日
2. 議題：I S S を含む地球低軌道の在り方に係る今後の検討の進め方及び産業界ヒアリング

【国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会（第37回）】

1. 日時：2020年9月11日
2. 議題：I S S を含む地球低軌道活動の在り方について（J A X Aからのヒアリング）

【国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会（第38回）】

1. 日時：2020年10月9日
2. 議題：I S S を含む地球低軌道活動の在り方について（J A X Aからのヒアリング）

【国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会（第39回）】

1. 日時：2020年11月11日
2. 議題：I S S を含む地球低軌道活動の在り方について（中間とりまとめ（素案））

【国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会（第40回）】

1. 日時：2020年12月7日～9日（書面開催）
2. 議題：I S S を含む地球低軌道活動の在り方について（中間とりまとめ（案））

【宇宙開発利用部会（第60回）】

1. 日時：2021年2月9日
2. 議題：I S S を含む地球低軌道活動の在り方について（中間とりまとめ（案））

【国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会（第43回）】

1. 日時：2021年9月15日
2. 議題：
 - (1) 地球低軌道に関する産業界の活動について（産業界からのヒアリング）
 - (2) 将来の地球低軌道活動において目指すべき姿（J A X Aからのヒアリング）

【国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会（第44回）】

1. 日時：2021年11月12日
2. 議題：国際宇宙ステーション（I S S）における成果創出活動の状況について

【国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会（第45回）】

1. 日時：2022年1月19日
2. 議題：
 - (1) ISSを含む地球低軌道活動の在り方に関する検討
「国際宇宙探査活動を見据えた地球低軌道活動のビジョン」
「民間が主体となった利用へのシームレスな移行」
(JAXA及び民間事業者からのヒアリング)

【国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会（第46回）】

1. 日時：2022年2月18日
 2. 議題：
 - (1) ISSを含む地球低軌道活動のビジョンについて
 - (2) ISSの有用性について
 - ・更なる国際宇宙探査に必要な技術の獲得
 - ・社会的課題の解決、科学的知見の獲得、国際協力等
 - ・宇宙活動を担う人材を長期的・継続的に育成する好循環
- ※民間が主体となった利用へのシームレスな移行も含む

【国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会（第47回）】

1. 日時：2022年3月9日
2. 議題：
 - (1) ISS費用対効果の向上のためのコスト削減の方策
 - (2) 提言案素案について（非公開）

【宇宙開発利用部会（第65回）】

1. 日時：2022年3月23日
2. 議題：ISSを含む地球低軌道活動の在り方に関する検討状況（非公開）

【国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会（第50回：書面審議）】

1. 日時：2022年10月27－28日
2. 議題：ISSを含む地球低軌道活動の在り方について（提言案）

【宇宙開発利用部会（第70回：書面審議）】

1. 日時：2022年10月31日—11月4日
2. 議題：ISSを含む地球低軌道活動の在り方について（提言案）

參考資料

米国によるISS運用期間の延長について

ISS運用期間延長に関するNASA発表のポイント (日本時間 2022年1月1日)

- アメリカ航空宇宙局 (NASA) のネルソン長官は、**ISSの運用を2030年まで延長**し、国際パートナー (欧・日・加・露) とともに軌道上での革新的研究を継続できるよう取り組むことに関する**バイデン=ハリス政権のコミットメント**を表明。
 - ネルソン長官より以下の談話
“米国のISS参加継続は、技術革新と競争力を高め、アルテミス計画で人類を月や火星に送る道を拓く。より多くの国が宇宙で活動する中、米国が宇宙の平和的かつ責任ある利用のために世界をリードし続けることがこれまで以上に重要である。”
 - このユニークな微小重力実験室は、世界中から4200名を超える研究者による3000件以上の研究を受け入れ、地上の人々に恩恵をもたらす膨大な成果を還元している。ステーションでの活動には約110の国と地域が参加しており、この中で毎年150万人以上の学生がSTEM活動に参加している。
 - ISSに搭載された観測装置は、様々な時間スケールでの炭素と気候の相互作用をより深く理解するのに役立っており、これらを2030年まで運用することで、気候サイクルに対する我々の理解は大きく深まる。
 - 2030年までの運用延長により、2020年代後半には、地球低軌道での活動能力を商業的な所有・運用へとシームレスに移行させることが可能となる。
- ◆ なお、本発表の同日付けで、NASA長官からISS参加各極 (我が国は文部科学大臣宛) にISS延長への参加を促す書簡が送付されている。

ISS運用期間に関する他極の検討状況と技術的評価について

○ 他極の検討状況（2022年1月19日時点）

ESA（欧）：

- ESA加盟国との最初の非公式協議では、肯定的な意見が示されているが、詳細についての議論は未実施。
- 今後のプロセスについては、これからESA加盟国との協議を開始する。
- ISSへの継続的参加の可否については、2022年11月末に開催される閣僚級会合にて決定される見通し。

CSA（加）：

- 米国の発表を受け、これから政策や予算上の検討を行っていくところ。
- 最終決定は内閣で行われる見込みであるが、現時点ではプロセスについて明らかになっていない。
- 決定時期については、2023年第1四半期までを目標としているが、状況に応じて変更される可能性もある。

ROSCOSMOS（露）：

- ISS延長の検討にあたってはNASAからのオフィシャルな連絡が必要であった。
- 米国のISS延長を支持しており、近いうちに本件についての内部手続きを始める。

○ ISS運用延長に関する技術的評価（昨年7月、ISS参加5極間で確認されたもの）

- 各極で継続的に行っているISSの寿命に関する技術評価の状況を踏まえ、**ISSは、適切な保守を継続しながら、2030年まで地球低軌道における卓越した生産的なプラットフォームとして維持できる**ことを認める。

ISS利用の成果と見通し (JAXA提出資料)

- (1) 国際宇宙探査で必要となる技術の実証**
- (2) 知の創造・社会的課題解決**
- (3) 新たなビジネス・サービスの創出**
- (4) 宇宙活動を担う人材の育成**
- (5) 国際宇宙協力の強化**

(1) 国際宇宙探査で必要となる技術の実証

- 我が国は、ISS計画への参加を通じ、地球低軌道における**有人宇宙滞在技術、物資補給技術等**を獲得。
 - ⇒ ISSで獲得したこれら強みを有する技術分野を協力事項として**アルテミス計画への参画を実現**。
 - ⇒ **ISSは国際宇宙探査に必要な技術の実証の場として不可欠**。
- 2024年までに水・空気再生や自動ドッキング等の深宇宙探査に必要な技術を獲得し、その後も実験等の遠隔化・自動化・自律化や高効率の環境制御・生命維持システム等の深宇宙探査に不可欠な技術の獲得が見込まれる。
 - ⇒ **今後の国際宇宙探査のより効率的で持続性の高い活動への貢献が可能**。

具体的な成果

【輸送技術】

(成果) H2B及び「こうのとり」の技術開発や9機連続成功を通じ、**有人施設への無人補給技術**を獲得。
 (今後の見込み) 深宇宙探査に不可欠な**自動ドッキング技術**の獲得や更なる輸送効率・信頼性向上。

【有人宇宙滞在技術】

(成果) 有人宇宙拠点に必要な温湿度・空気循環・電力制御等の**基幹システム技術**を獲得。
 (今後の見込み) 深宇宙探査の効率化に貢献しうる**水・空気再生や自動化・遠隔操作技術**の進展。

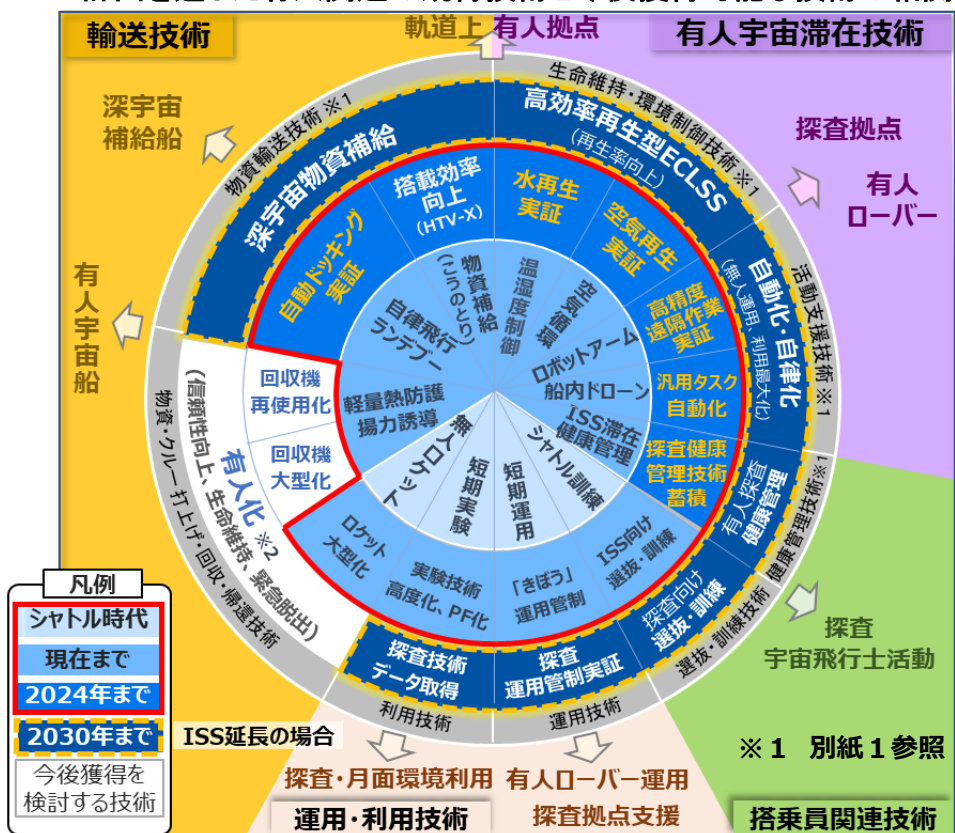
【運用・利用技術】

(成果) 常時、地上から**有人宇宙拠点を制御し、安全を維持する技術**や管制員の**育成技術**を獲得。また、ISS特有の環境を活用する**優位性の高い独自の宇宙環境利用技術**を獲得。
 (今後の見込み) 通信実証等を通じて深宇宙探査にも適用できる**遠隔技術等の進展**。

【搭乗員関連技術】

(成果) 搭乗員が安全に宇宙に滞在し活動するための**選抜・訓練・健康管理等の技術**を獲得。
 (今後の見込み) データの更なる蓄積等により、**月面探査にも必要となる健康管理等の技術**の進展。

ISS計画を通じた有人関連の既得技術と今後獲得可能な技術の相関図



(2) 知の創造・社会的課題解決

(3) 新たなビジネス・サービスの創出

- 我が国は、ISS計画への参加を通じて、**地上では得られないサンプルやデータを取得**するため、優位性の高い**独自の宇宙環境利用技術を獲得**し、**社会課題解決や科学的知見の獲得に貢献**してきた（これまでに276件の実験を実施）。
- 更なる利用・成果の拡大に向け、これらの技術を**利用しやすいプラットフォーム(PF)として定型化**し、**民間移管・事業化を推進**。
⇒ 移管後は、**民間による利用者開拓や効率化**等により、**需要拡大**が見込まれる。また、JAXAは、**より高度な利用技術開発に注力**。
- 民間利用件数は、「きぼう」運用開始時から大幅に増加。「きぼう」有償利用制度を通じた**自社事業に寄与する利用**や、J-SPARC制度による非宇宙業界も含めた民間企業との事業共創活動を通じた**企業のアイデアと自己資金による多様な利用・事業化が進展**し、**今後も高い利用価値と利用の増加**が見込まれる。

○ 創業プロセスの加速：

成果の例：社会的課題解決

地上では困難な**高品質なタンパク質の結晶化技術**を確立。有効性の高い**薬剤候補物質の効率的な発見が可能**になり、複数の**製薬会社等が研究開発において活用**。

○ 健康長寿社会実現に向けた研究の支援：

- 基礎的な実験から、iPS細胞やマウスを用いた実験、飛行士を被検者とした研究等、**より高度で実効的なものに進展**。
- **加齢性疾患の早期診断等に繋がる知見**を獲得。また、血管等**機能性を有する臓器組織の立体培養技術**を獲得見込み。

○ 革新的新素材の創出や物性データ取得・提供：

独自の静電浮遊炉技術で、未知であった**産業的価値の高い材料の熱物性データを多数取得**。産学官で共有し、**製造最適化・精度改善による性能・寿命向上**等に貢献。

※初期の頃に対し、**競争的資金獲得数は10倍、論文数は4倍**に
⇒**自動化自律化等、機能向上により、効率的に成果を創出する**。

成果の例：科学的知見の獲得

○ X線天文学における世界的発見：

「きぼう」船外観測にて、ブラックホールが星を飲み込む瞬間を観測。従来理論が立証される等、**科学的価値の高い成果を創出**。（**ISS科学研究（論文約2500本）で、被引用数歴代3位（293回）**）

成果の例：新たなビジネス・サービスの創出

各種取り組みにより民間の参画が増加・多様化

① 有償利用制度による民間参入

地上との双方向通信など、**有償の軌道上利用件数**は2014~2020年度で**約10倍に増加**（2020年度：21件）

② 「きぼう」利用プラットフォーム活用の民間サービス

○ 超小型衛星放出

2018年度の民間移管以降、**約3年間で国内外41機を受注**。契約件数は、**移管前の約3倍**（約4件/年 ⇒14件（2018年度））

○ 船外実験プラットフォーム

船外実験や宇宙用機器の実証機会を提供する中型曝露実験アダプター(i-SEEP)利用を民間移管(2019年度)。**2年で13件の受注を獲得**

○ タンパク質結晶生成

民間移管中。**移管開始半年で3件の受注を獲得**

③ J-SPARC制度によるISSを活用した事業開発

制度開始時(2018年)は、50件の提案応募。うち、**3件が自己資金による事業化**を実現（教材販売、宇宙放送局、防災宇宙食）、**他1件が軌道上実証**を実施（宇宙アバター）。他2件が事業化検討・軌道上実証準備等を実施中。

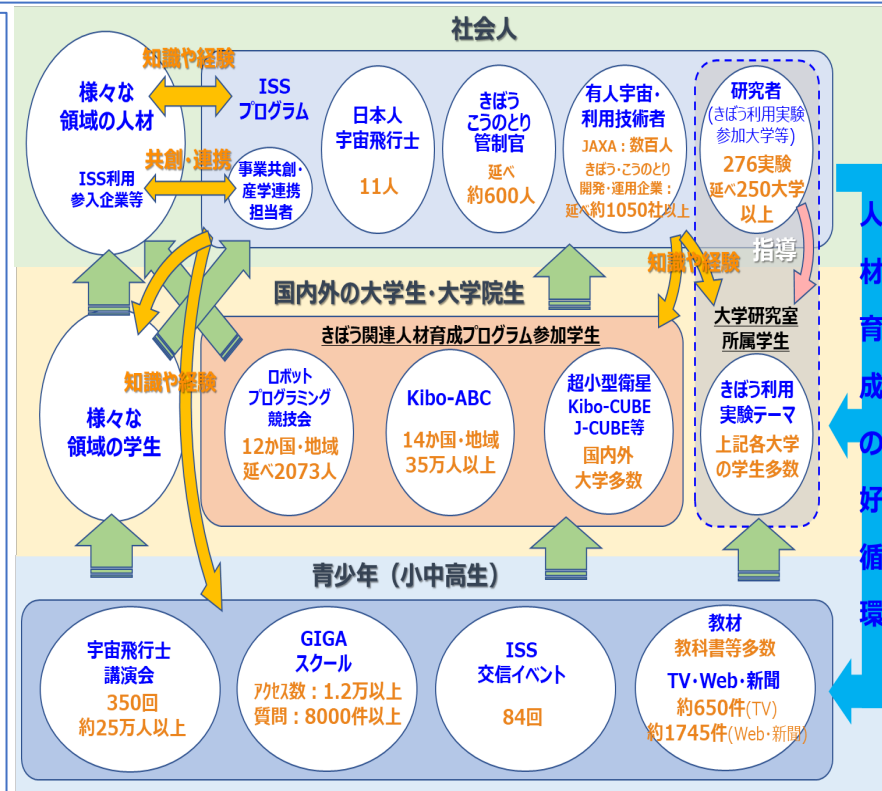
PFを
順次
民間
移管

(4) 宇宙活動を担う人材の育成

- ISS計画への参加により、**日本人宇宙飛行士**や**多くの宇宙開発技術者が育成**。また、大学等研究機関の宇宙実験を積極的に受け入れたことで、**若手研究者や大学生等の能力構築にも大きく貢献**した。
 - 「きぼう」を利用した国際協力枠組みや教育プログラム、宇宙飛行士の講演やGIGAスクール等に関する様々な取り組みにより、**国内外の多くの学生・青少年への科学技術等への興味や関心を喚起**する等、**科学技術等の教育にも大きく貢献**している。
 - **ISS計画を通じて育成された宇宙飛行士や技術者、研究者らは、次の世代の人材育成に貢献**。また、ISS関連プログラムを通じて**育成された若手人材は**、産学も含む様々な分野で活躍し、**更に次の世代の育成に貢献**する等、**好循環の形成**が進んでいる。
- ⇒ ISSは、今後も、**多様な分野の人材の参加を促進**しつつ、**将来を担う飛行士、技術者等の育成・実践の場**として、また、**青少年育成にも貢献**できる。

具体的な成果

- **日本人宇宙飛行士の育成**：
選抜・訓練・実飛行等を通じ、**ISS船長2名を含む優れた日本人宇宙飛行士を輩出**。選抜・訓練ノウハウや飛行士に蓄積された経験は、**新たな宇宙飛行士の効果的な育成**にも寄与。
- **宇宙開発技術者の育成**：
「きぼう」、「こうのとり」、実験機器の開発・運用、搭乗員の訓練・健康管理、安全評価、NASA交渉等を通じ、**大規模国際宇宙プロジェクトで活躍できる専門性の高い管制官や技術者**を多数育成。
- **若手研究者、大学生等の能力構築**
宇宙実験を行う多くの大学等において、研究主宰者や共同研究者の下、多数の**若手研究者・学生等が最先端研究で経験を蓄積**
- **国内外の学生・青少年への学ぶ機会の提供**
 - 国際協力枠組み（KIBO-ABC）による科学実験や軌道上ロボットコンテスト等の**参加型プログラム**、超小型衛星開発を通じた**教育プログラム**等で、**多くの大学生等に宇宙の研究開発機会を提供**。
 - ISSとの交信、飛行士講演会、GIGAスクールや教科書等へのコンテンツ提供等、**将来の科学技術系人材の関心喚起、育成に貢献**。



(5) 国際宇宙協力の強化

- **我が国は、ISS計画への参加と貢献を通じて、ISS計画に不可欠な信頼される国際パートナーとしての地位を確立。**
⇒ 現在進められているアルテミス計画への主要参加国としての参画に繋がった。
- **「きぼう」の強みを活かした日米関係の強化・進展**に加え、アジア唯一の参加国として、**アジア諸国や他地域の新興国への地球低軌道活動への参加機会の提供**等により、我が国の**国際プレゼンス向上、各国との関係強化に貢献**している。
- 地球低軌道は、民間参入やISS計画参加国以外の国による活動も活発化しており、**将来の民間主体での国際連携も見据え、ISS計画における国際宇宙協力で築いた資産を維持・発展させていくことが重要。**

具体的な成果

- **ISS計画に不可欠な国際パートナーとしての貢献**
 - **「こうのとりの」による確実な物資補給（成功率100%）**
独自の大型貨物輸送能力によりISSの安定運用に貢献。
 - **「きぼう」の安定的な運用及び日本人宇宙飛行士の活躍・貢献**
ISS船長2名の輩出、米国人以外で初の米国民間有人宇宙船搭乗、世界3位のISS滞在実績（**1602日、長期滞在10回**）
 - **各国との更なる関係強化**
 - **日米協力（JP-US OP3）によるISS成果の拡大**
マウス飼育ミッションや静電浮遊炉実験での軌道上リソースやデータの共有、人材育成等、**日米での相乗的成果創出や関係強化に寄与。**
 - **アジア地域の宇宙分野参入や能力構築に寄与**
 - ✓ ISS利用促進の枠組み（Kibo-ABC）に**14国地域19機関**が参加。各国が重視する人材育成支援プログラム等の支援を通じ、関係を強化
 - ✓ 一部の国は、タンパク質実験等、より高度な宇宙利用への参入を「きぼう」で実現。今後、**二国間協力へと進展する国の増加が期待**される。
 - **発展途上国・新興国の宇宙活動参入支援**
 - ✓ 国連や国内大学との連携を通じ、途上国・新興国の超小型衛星を多数放出。**15ヶ国が衛星保有国になる等、宇宙活動への参入を支援。**
- ⇒ **戦略的取り組みの継続により、各国との更なる関係強化が見込まれる。**

「こうのとりの」物資補給によるISSの安定運用への貢献

(2022/2/14時点)



補給船	成功率(%)
HTV(日)	100%
プログレス補給船(露)	96.3%
ドラゴン補給船(米)	95.8%
シグナス補給(米)	93.8%

100%の成功率と大型貨物輸送

宇宙飛行士の活躍によるISSへの貢献

(2022/2/14時点)



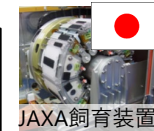
各国のISS滞在累積日数

国名	日数
1 米国	約15272日
2 ロシア	約14501日
3 日本	約1602日

米露に次ぐISS滞在実績

日米協力の枠組みJP-US OP3を通じた協力

月面相当重力環境の
マウス長期飼育
ミッション等（15件）



JAXA飼育装置

NASA飼育装置

アジア太平洋地域の多国間協力枠組み Kibo-ABCによるISS利用促進

6回で11ヶ国から参加

3回で35万人参加

2回で延べ19ヶ国
2000人が参加



公募型簡易宇宙実験

植物栽培
教育ミッション

学生ロボット
プログラミング競技会

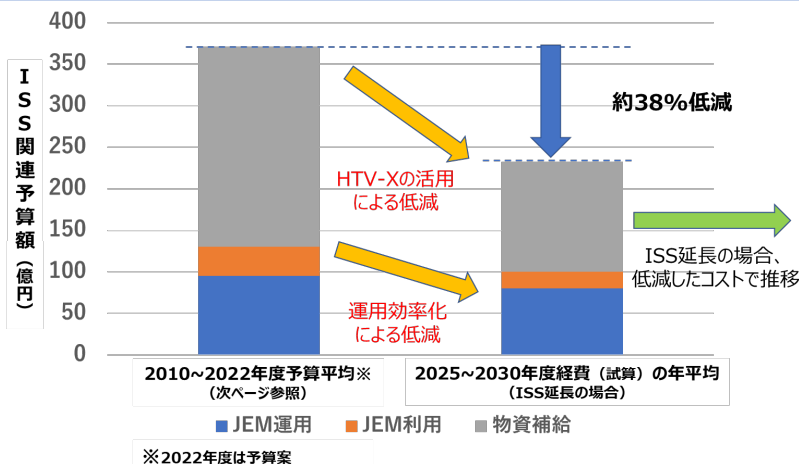
費用対効果の向上のためのコスト削減の方策について (JAXA提出資料)

(1) 費用対効果の向上のためのコスト削減

- 現在開発中のHTV-Xによりコスト効率の高い物資補給を実現することで、ISS計画への参加に係る費用を削減できる見込み。
⇒仮に、ISSの運用を延長する場合には、HTV-Xを活用することで、持続的に削減効果を得ることが可能。
- 仮に、2025年以降のCSOC負担をHTV-Xの追加で対応するとした場合、HTV-Xの費用低減効果と「きぼう」運用効率化の効果により、2025年度以降のISS関連の年間予算は、2022年度までの平均額に対して削減（約4割減）が期待でき、アルテミス計画の推進に必要な予算を考慮した場合でも、2022年度までのISS関連予算との合計額の水準からの大幅増加は抑制可能。

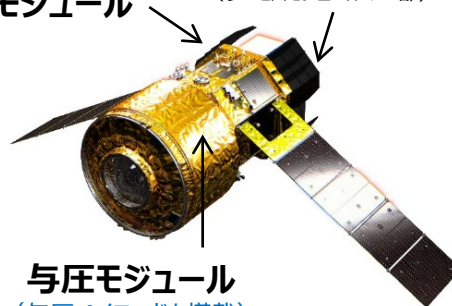
コスト削減について

- 我が国は、ISS全体の共通システム運用経費（CSOC）の12.8%を負担することとなっており、これを、「こうのとり」またはHTV-Xによる物資補給（補給能力の提供）で対応。
（同割合のリソース利用権、宇宙飛行士搭乗権を獲得）
- 日本が分担する量の物資補給を低コストで実施することで、効率的に権利を獲得可能
⇒費用対効果向上には、割安な輸送手段の確保が重要
- ISS関連予算の6~7割は、ロケットも含めた物資補給に係る費用。
⇒物資補給費削減は、全体コスト削減への寄与が大きい。
- そのため、新たな補給手段として、「こうのとり」の資産を活かした開発方式やシステム簡素化による開発・製造・運用コストの削減と輸送能力の向上により、コスト効率を高めたHTV-Xを開発中（「こうのとり」に対しコスト効率2倍を目標）。
- 搭載可能貨物質量(※)：HTVの1.45倍（4⇒5.85トン）
※ 棚構造質量を除いたNetの貨物量
⇒HTV4機相当の補給量を3機で実現可能
- ISS延長の場合、これまでの段階的な「きぼう」運用の効率化(※)とHTV-X運用により、2025年以降も継続的にコスト削減効果が得られる（2020年度以前の約4割減の試算）
※ 可能な限りの対応を実施済み（次頁）であり、今後の大きな削減は見込めない
- なお、HTV-Xは、ゲートウェイ補給機等への発展も見据えた効率的な設計・開発計画となっており、将来のコスト低減にも寄与。



サービス
モジュール

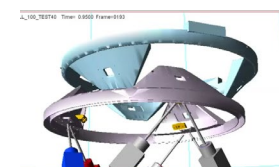
曝露ベイロード搭載部
(サービスモジュールの一部)



与圧モジュール

(与圧ベイロードを搭載)

HTV-X機体システム



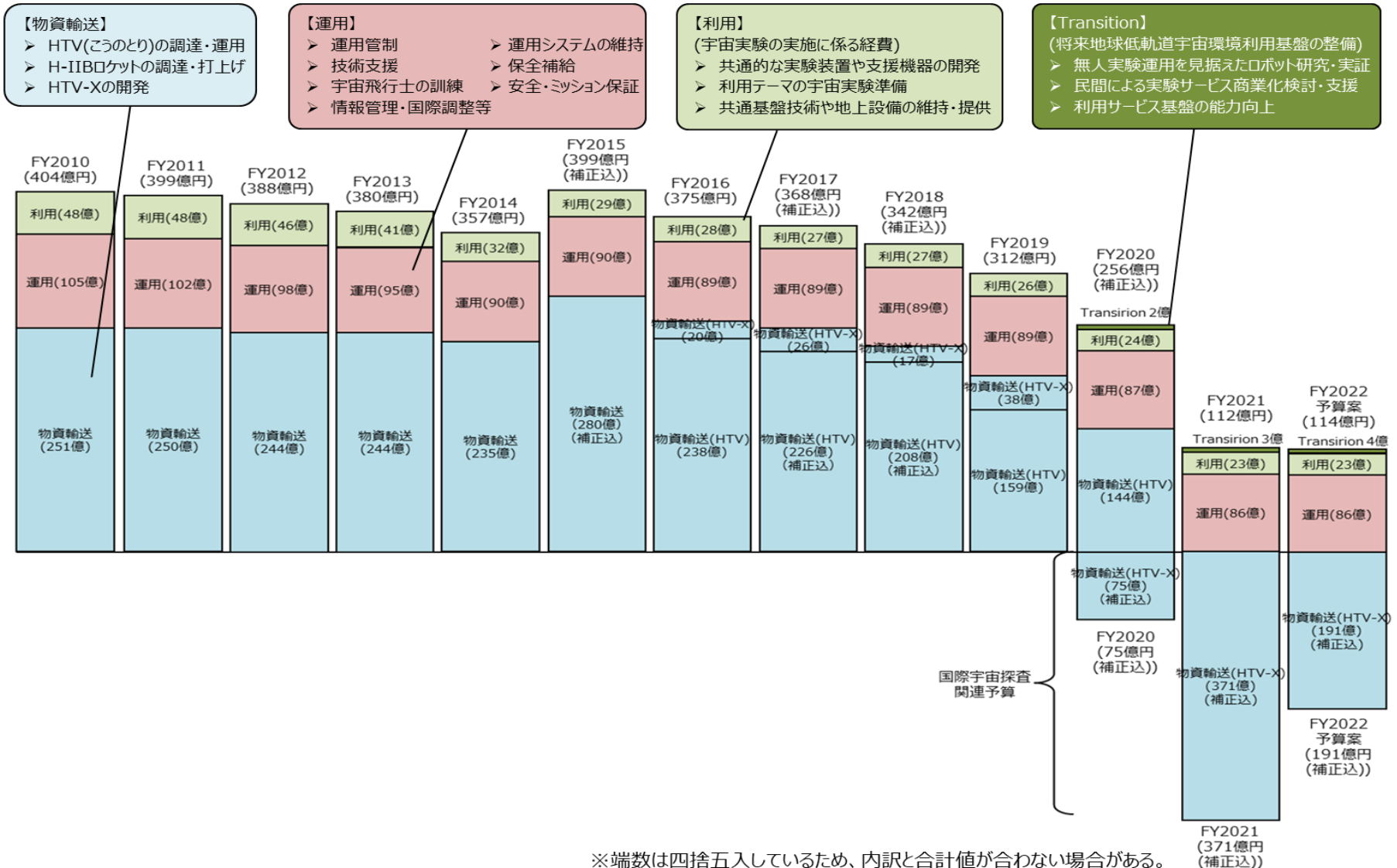
技術実証 (自動ドッキング)



将来の発展性
(ゲートウェイ補給等)

(1) 費用対効果の向上のためのコスト削減 (補足)

2010年以降のISS関連予算実績



(2) 費用対効果に関する他極との比較

- 「このとり」は、他極の補給機よりも成功率が高く、**無駄なく国際協力を実施**。また、輸送コスト効率を向上させたHTV-Xは、**他極の補給機より低コストでの輸送が期待**される。
- 宇宙環境利用においても、**効率よくISSの利用リソースを活用**するとともに、我が国独自の技術により他極が獲得できない実験データや知見の獲得による高度な成果の創出が進んでいる。⇒ **他極と比較しても、輸送及び成果創出の両面で、効率的に実施**。

他極との比較について

- このとりによる物資補給実績は、**全補給機の中で唯一、成功率100%を達成**（右上図）。確実に責任を果たし**無駄なくリソースや飛行士搭乗権を獲得**。今後は、コスト効率が高いHTV-Xによる物資補給を行うことで、**他極より低コストでの輸送が可能**。

- 日本は、**ISSパートナー中、最も効率よく利用を創出**（右下図）。

- **利用総数：5極中2位**

- **利用効率**（利用リソースあたりの総利用数）：**5極中1位**

- **日本独自の技術や手法**の開発等により、**他極が獲得できない優れた実験データや知見等の獲得**を通じて**高度な成果を創出し、将来の技術的・社会的波及効果の拡大に寄与**

【日本独自の技術や手法】 ヒトコホート研究と連携した小動物飼育ミッション、膜タンパク質実験技術、i P S細胞の立体培養技術、エアロックとロボットアームを組合せた船外利用等

【将来の波及効果】 創薬や予防医学的知見の獲得による健康長寿延伸、革新的材料創出等による科学技術力の向上・産業振興、科学的知見の獲得による知の創造・蓄積、学術振興、人材育成等

- **米国**は、ISS利用の推進のため、ISS National Lab等を通じ、**NASA利用予算とは別に多くの政府予算を拠出**するとともに、**利用リソース費等を免除**。日本は、民間利用では、**民間が利用リソース費の一部或いは全部を負担**しつつ、全体として高い利用効率を達成。

「このとり」の物資補給によるISSの安定運用への貢献

(2022/2/14時点)

補給船	成功率(%)
HTV(日)	100%
プログレス補給船(露)	96.3%
ドラゴン補給船(米)	95.8%
シグナス補給(米)	93.8%

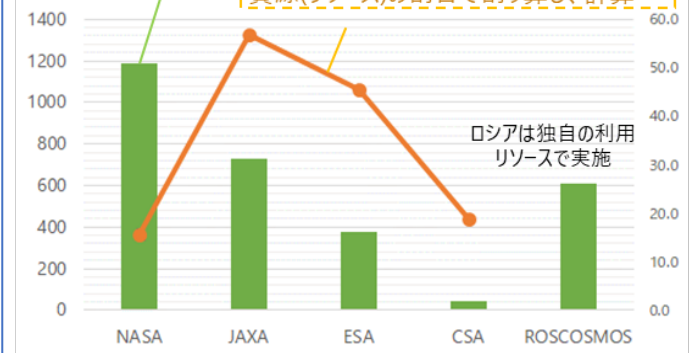


100%の成功率と大型貨物輸送

利用総数

利用効率 (利用総数/利用リソース割合)

利用効率は、各極の利用総数を利用リソース(リソース)の割合で割り算し、計算



利用用資源 (リソース)

	米	日	欧	加	露
米側リソース	76.6%	12.8%	8.3%	2.3%	0.0%
露側リソース	0%	0%	0%	0%	100%

民間の地球低軌道活動の活発化について (JAXA提出資料)

民間の低軌道活動の活発化（日米民間企業の将来低軌道活動の構想）

- 日本企業のPOST ISSに向けた米国企業との連携を目指す動きが活発化
- 米国では、NASAは、2030年代の地球低軌道活動は民間主体の運営に移行し、自身は利用者の一つになる方向性を提示、ISS後の低軌道活動を行う米国民間企業（4社）を選定。

日本企業の米国企業との連携の動き

三井物産（株） × AXIOM SPACE

『三井物産が国際宇宙ステーションの後継計画に名乗りへ』
(2021.3.10 日経ビジネス)

『三井物産、米民間宇宙ステーション開発と資本提携』
(2021.11.22 日本経済新聞)

連携

兼松（株） × SIERRA SPACE

『商用宇宙ステーション利用による事業開発に向けた業務提携について』
(2021.9.8 兼松プレスリリース)

連携

米国の民間企業の低軌道活動の状況

米国は、ISS運用延長を決定。2029~30年を民間ステーションへの移行期間と位置づけ。

ISS接続型

商業モジュール開発
(2020年1月選定)

“Axiom Station”



Axiom Space社

ISS非接続型

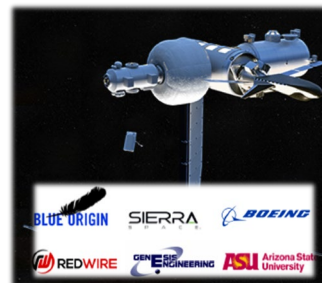
低軌道民間ステーションの開発
支援プログラム (CLD)
(2021年12月選定)

“Starlab”



Voyager Space社他

“Orbital Reef”



Blue Origin社、
Sierra Space社他

“名称不明”



Northrop Grumman社他

日米以外の各国の将来の低軌道活動に向けた動向

- **各国とも、将来の地球低軌道活動を重要視**。それぞれ、独自の低軌道ステーション構想を掲げ、**実現に向けた活動を推進**している。
- **欧州宇宙機関（ESA）**は、NASAと同様、将来、欧州各国政府・宇宙機関等が利用者の一つとなることを想定し、2030年代に**民間主体の低軌道活動に移行する方向性を提示**し、RFIを実施中。

欧州

民間主体運営への移行の方向

- 2021年12月、ESAはロケットや宇宙居住施設等のLEO周辺活動への商業サービス導入のためのRFIを発出。
- 商業サービスは、2030年代初頭に運用終了が見込まれるISSとオーバーラップする形を想定。
- 民間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。

ロシア

- 新たな有人宇宙施設である「ロシア軌道サービスステーション（ROSS）」構想を示している。
- 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。

中国

- 2021年4月にコアモジュール（天和）を打上げ、3名の宇宙飛行士が滞在中。
- 2022年に実験モジュール（問天、夢天）をそれぞれ打上げ、中国宇宙ステーションの建設完成予定（報道情報による）。

インド

- 2022年に有人宇宙ミッション「Gaganyaan」の乗員脱出システムの試験飛行及び初の無人試験打上げを計画。

⇒ 日本の民間企業、欧米の宇宙機関・民間企業の動きにより、

将来の民間主体低軌道活動の実現に向けた環境が急速に醸成されている。

民間主体へのシームレスな移行・民間活動の自立化に向けた課題

- 他方、**民間主体の活動へのシームレスな移行**を目指す場合、**以下のような状況を作ることが重要**。
 - 1) 民間の活動が自立した状態になるまで、**低軌道活動の場が連続的に維持されている**
 - 2) 民間主体の活動が本格化する前の段階で、**移行準備期間として、ISS運用期間とオーバーラップする期間がある**
- 民間主体への移行・自立化に向けては、**想定される様々な課題に対して、対応策**（下図の■）を**検討し実行していく必要がある**。

