



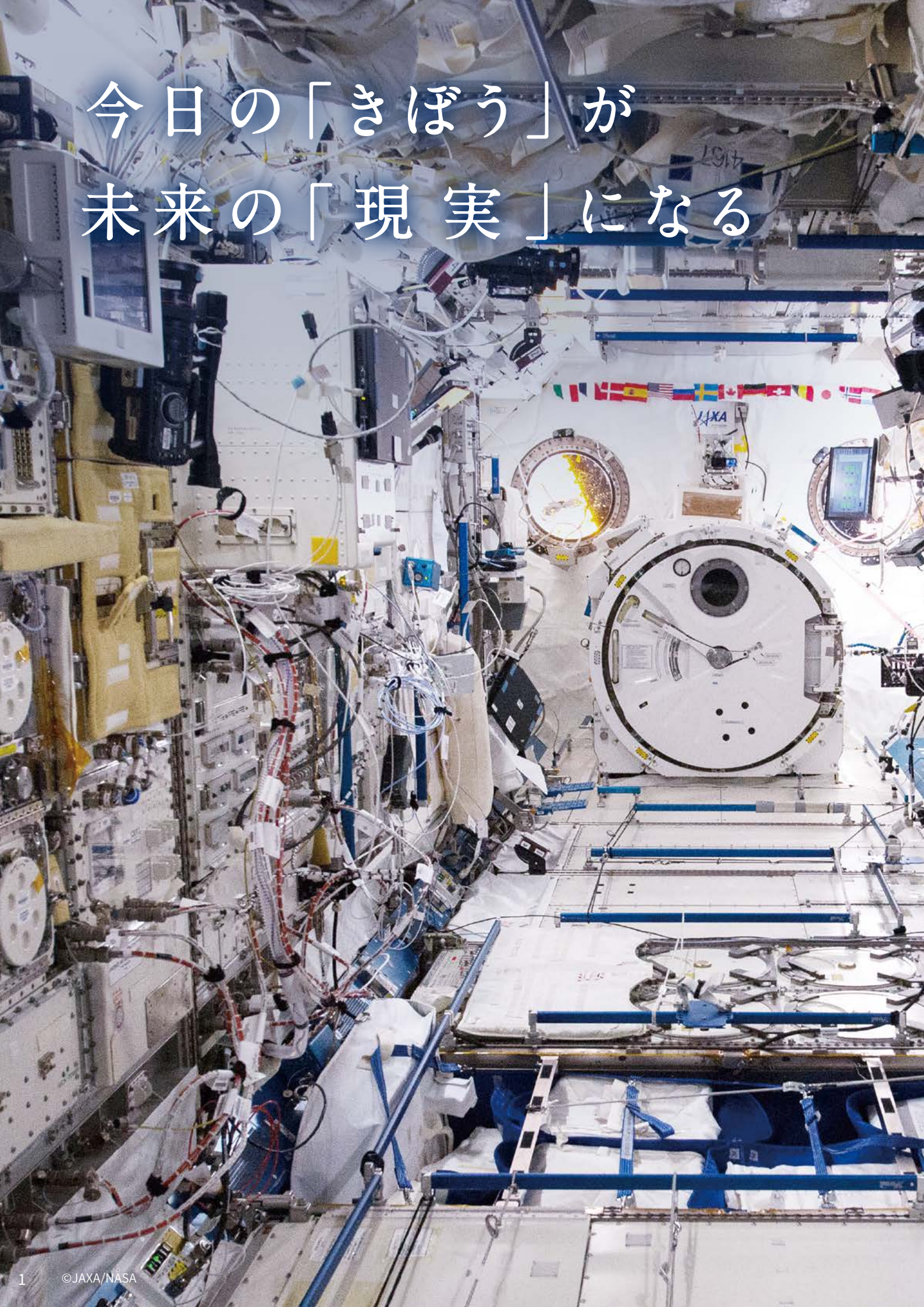
きぼう利用戦略 「きぼう」利用成果最大化に向けて

A G E N D A 2 0 3 0

2024年3月 第4版



今日の「きぼう」が
未来の「現実」になる





CONTENTS

はじめに	3
本文書の位置づけ	4
第4版改訂版制定にあたって	4
きぼう利用戦略 第4版の概要	5

1 きぼう利用を取り巻く環境認識	7
1.1 日本国内の状況	7
1.2 海外の状況	11
1.3 JAXAの取り組み状況	12

2 きぼう利用推進の基本的考え方	15
2.1 ポストISS（2035年頃）の地球低軌道利用の目指す姿	15
2.2 目指す姿を実現するための3つの領域とポートフォリオ	16
2.3 きぼう利用の5つの目標	20
2.4 目指す姿を実現するための中期ビジョンの明確化	22
2.5 中期ビジョンの実現に向けた取り組み	23
2.6 環境利用の継続性確保及び超長期宇宙滞在や 深宇宙探査に向けた技術開発	26
2.7 達成状況の確認と更新	27

3 きぼう利用の価値・成果の浸透	28
-------------------------------	----

付 録

具体的な取り組み	29
1. 成果最大化に向けた取り組み	30
1.1 公的利用の拡大に向けた取り組み	30
1.2 民間の利用拡大に向けた取り組み	30
1.3 きぼう利用を支える共通基盤技術	33
1.4 きぼう利用を支えるプラットフォーム	35
(1) 既存プラットフォーム	37
(2) 次期プラットフォーム候補	54
2. 超長期有人宇宙滞在技術や探査技術の獲得	59
3. 国際協力の推進	60

略語集	62
-----------	----

※特に断りのない限り、画像クレジットは©JAXA。

はじめに

2008年2月に国際宇宙ステーション(ISS)・「きぼう」日本実験棟が打ち上げられ、我が国の地球低軌道(以降、「LEO」という)における宇宙空間利用が本格的に開始されて以来、微小重力環境の利用が有望な分野の特定と利用方法(技術)を構築してきた。そのような中、政府の宇宙開発利用の司令塔機能強化や宇宙航空研究開発機構(JAXA)の国立研究開発法人化、我が国としての国際宇宙探査への参加表明等「きぼう」利用(以下、「きぼう利用」)を取り巻く環境は大きく変化しており、JAXA及び「きぼう」に求められる役割も時代と共に大きく変化してきている。

JAXAは、国立研究開発法人として、我が国の研究開発成果の最大化という使命に向けて、宇宙開発の中核的な実施機関として、社会貢献に直結する成果創出の拡大や得られた成果を我が国の研究開発や産業活動¹の進展につなげることをきぼう利用を通じて実践してきた。

また、産業活動の進展については、国として維持すべき「きぼう」での活動のベースとなる枠組は、従来通りJAXAがその役割を担い、その上で、きぼう利用の更なる民間開放、宇宙探査イノベーションハブ²における取り組み、宇宙イノベーションパートナーシップ(J-SPARC³)による事業共創等を通じて、ISSを含むLEOにおける民間活動の拡大に取り組んでいるところである。

2030年までのISS運用延長が正式に発表され、我が国もISS運用延長への参画を表明している⁴。2030年代のISSを含むLEO活動を見据えた我が国の取り組み⁵としては、日本独自の拠点について、ステーションまたはモジュールとして我が国が拠点を保有するかどうかや、海外民間商業宇宙ステーション⁶のサービスを利用する場合についてなど、民間移行時期の不確定要因に柔軟に対処するための検討や対話などが進められている。2020年代後半をISSから商業宇宙ステーションへの移行期と位置づけ各国にて検討や議論が進められている。

ISS退役以降も継続的に宇宙環境利用の取り組みを実施していく観点からも、LEOが民間主体の経済圏になるよう、民間による利用需要を増加させ民間投資を呼び込み、より一層民間による活動を拡大させていく必要がある。

以上の状況を踏まえ、これまで国費を投じて整備・発展させてきた「きぼう」の実験技術⁷の質・量・多様性をニーズに基づき大幅に向上させ、産学官の幅広い利用者に「きぼう」が活用されることにより、我が国としての科学技術の向上や国の統合イノベーション戦略に大きく貢献する。そのため、「きぼう」ならではの成果創出に重点化すると共に、民間企業の研究開発活動に必要な手段の一つとして投資価値が認められた宇宙実験(投資判断済み事業)を重点的に進めていき、宇宙を場として利用し、地上の国民生活に役立つ成果を継続的に生み出す研究開発基盤として「きぼう」を最大限活用することにより、社会の負託に応えていく。

1: 「民間活力を取り入れた地球低軌道利用の促進や新たな産業創出を目指すことが重要」(ISS・国際宇宙探査小委員会 国際宇宙探査の在り方(中間とりまとめ): 2017年7月)

2: 様々な異分野の人材・知識を集め、これまでにない新しい体制や取り組みで、「広域未踏峰探査技術」「自動・自律型探査技術」「地産・地消型探査技術」の3つの研究分野を中心に新技術に取り組み、日本発の宇宙探査におけるGame Changing(現状を打破し、根本的にものごとを変えること)が実現可能な技術を開発し、宇宙探査の在り方を変えたと同時に地上技術に革命を起こすことを目指す活動。

3: JAXA Space Innovation through Partnership and Co-creation: 宇宙ビジネスを目指す民間事業者等とJAXAとの対話から始まり、事業化に向けた双方のコミットメントを得て、共同で事業コンセプト検討や出口志向の技術開発・実証等を行い、新事業を創出するプログラム。

4: 2021年12月にNASAはISSの運用を2030年まで延長する方針を発表した。我が国は、2022年11月に、月周回有人拠点「ゲートウェイ」のための日米間の協力に関する実施取決めに署名するとともに、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なものとして、ISSの2030年までの運用延長への参加を日本政府として表明している。現時点(2024年3月時点)において、欧州およびカナダも2030年までの参加を正式に表明しており、ロシア政府は2028年までの参加を表明している。

5: 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 「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)」 https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/059/houkoku/1420708_00010.htm

6: NASAは2021年7月にISSの後継となりえる商業宇宙ステーションの開発にかかるCommercial Low earth orbit Destinations (CLD) プログラムに関する提案を募集し、2021年12月に本プログラムにおいて、米国企業3社と商業宇宙ステーションの設計に関する契約を締結している。2020年代後半の期間をCLDへの移行期間とし、各国にて商業宇宙ステーション移行に向けた議論が進められている。

7: きぼう利用を支える技術全体を指し、技術に裏付けられた利用サービス(宇宙実験の入口から実験終了までのEnd-to-Endに必要な作業)も含む。

8: JAXA事業計画(https://www.jaxa.jp/about/plan/index_j.html)

本文書の位置づけ

これまで、宇宙基本計画や科学技術基本計画等の政府文書を踏まえ、JAXAの有人宇宙技術部門事業計画に基づいて、個別目的ごとに「きぼう」を利用する戦略・方針をまとめ、実行計画に具体化し事業を進めてきた。2015年度に国立研究開発法人となつてからは、きぼう利用が他機関の研究開発事業と相乗効果を生み出し我が国全体として成果を最大化させるために、国の研究開発機関や民間との連携が不可欠となっている。有限である「きぼう」運用期間中に効果的・効率的に成果を創出していくためには、戦略的かつ組織的にきぼう利用を推進していくことが重要であることから、これまで様々な文書に分散していたきぼう利用の戦略・方針を体系化し、JAXAとしての目指す姿や目標等を加え、JAXA有人宇宙技術部門長の諮問委員会であるきぼう利用推進有識者委員会での討議・審議を経て「きぼう利用戦略」として策定するに至った。

本戦略は、総合事業計画のもと、JAXA経営・事業方針を踏まえて策定される有人宇宙技術部門事業計画⁸に基づき、また、宇宙環境利用が人類にもたらす恩恵を考慮して、きぼう利用が目指す2035年頃の姿や、その上でのポストISS移行に向けた段階的な目標設定と具体的な取り組み等をまとめ、成果最大化に向けた利用拡大・プロモーション、実験装置・機器の開発要求、募集方針等の指針を示すことを目的とする（なお、個々の技術開発や実験装置の具体的な開発方針は本書では定めない）。

第3版では2025年までをターゲットとしていたが、第4版では2030年までのISSの運用延長を踏まえ、2030年までのきぼう利用戦略について、2030年以降の商業宇宙ステーションへの移行や今後継続されるLEO環境利用活動を前提としたポストISS（2030年頃以降）につなげる方向性を明確化すべく改訂を行う。

今後の本戦略の改訂については、2030年までの間において、ポストISSにおける次期ステーション等の枠組みが明確化したのちに実施予定である。また、各利用テーマの個別評価プロセスは設定し運用されているが、並行して各利用テーマを実施する利用プラットフォームの中間事業評価等を検討し、ポストISSに向けたこれらプラットフォームの重点化などを進める。本利用戦略を国内外に広く周知し理解を得て、社会課題の解決に向けてきぼう利用を強力に推進していく。

第4版制定にあたって

本文書は、きぼう利用の目標やその達成に向けた基本方針等の利用戦略の骨格をとりまとめた初版を2016年10月に制定し、2017年8月にその具体化を図り第2版を制定した。2025年向けの第3版では、本利用戦略に基づくきぼう利用の進展、LEOの活動及び有人探査計画に関わる状況変化に対応し、更新を行った。第4版では、2030年までのISS運用延長に対し日本政府が参加を表明したことや、2023年6月に制定された新たな宇宙基本計画に、ポストISSを見据えた2030年以降のLEO活動のビジョンや取り組みが明確化されたことを受け、更新する。本改訂のポイントを以下に示す。なお、各プラットフォームを含む個別の取り組みについては付録とし、世の中の状況変化や個別施策の進捗状況を踏まえて見直しを行う。

①中期ビジョンの明確化

第3版ではポストISSにつなげるきぼう利用を含むLEO利用の目指す姿（＝長期ビジョン）の明確化を行った。第4版では、今後の宇宙環境利用活動の継続を前提として、現在のきぼう利用を取り巻く環境認識を踏まえ、長期ビジョンの実現に向けて、ポストISSへのシームレスな移行を見据えた準備期間（2028年～2030年）における中期ビジョンを明確化する。なお、中期ビジョンは“準備期間においてどのように「きぼう」を維持発展させ、ポストISSに移行させるか”を実現するためのビジョンとして設定し、その状態想定具体化および実現に向けた取り組みとして記載を追加する。

②利用拡大に向けた取り組みの更新（付録）

- ・新たな利用の拡大に向けた取り組みについて追加
- ・第3版までの既存プラットフォーム（5つ）についての情報の更新
- ・次期プラットフォーム候補（細胞医療研究支援プラットフォーム、先進的燃焼研究支援プラットフォーム）の記載を追加。

③きぼう利用を取り巻く環境認識（国の政策状況や世界動向の進捗等）についての情報の最新化

きぼう利用戦略 第4版の概要

政府方針・ 動向

2030年までのISS運用延長参加表明
(2022年11月)

有人宇宙探査計画(アルテミス計画/Gateway)
への参画具体化

地球低軌道活動

宇宙基本計画改訂
(2023年6月)

- ① 「きぼう」の利用拡大と成果の創出・最大化
- ② ポストISS時代の事業展開を目指す企業やエンドユーザーの拡大
- ③ 技術獲得、技術実証、要素技術・システムの研究開発

ポストISS動向

米国・欧州でのポストISSにおける商業宇宙ステーション計画の具体化

ISSを最大限に活用しつつ地球低軌道活動への取り組みにシームレスにつなげる



2035年頃の 目指す姿

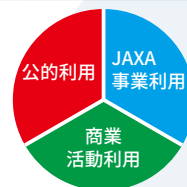
きぼう利用を通じて、地球低軌道における宇宙環境利用が
人類の社会・経済活動の一部として定着している

2035年頃の 状態想定具体化

- ・ 民間事業者(企業)自らが商業宇宙ステーションの一部の運用・利用を担い、事業者が生み出した船内・船外の独自軌道上サービスが展開されている
- ・ 「きぼう」運用・利用で培われた軌道上サービスがISS退役以降も継承され、日本の公的利用が継続している

3つの活動領域の推進と バランスのとれた ポートフォリオ形成

自動化等による効率化により、科学利用等の規模は維持しつつ、商業活動利用を拡大



きぼう利用の 5つの目標

1. 国の課題解決型研究への貢献
2. 民間利用拡大・「きぼう」の社会的価値の実証
3. 有人宇宙・探査技術等の研究開発
4. 学術研究による科学技術力向上
5. 国際プレゼンス向上・人材育成への貢献

きぼう利用戦略 第4版改訂

3つの活動領域の具体的取り組み

公的利用

国の課題解決型研究・学術研究の推進

～2030年のビジョン：極めてインパクトの高い歴史に残る成果が創出されている

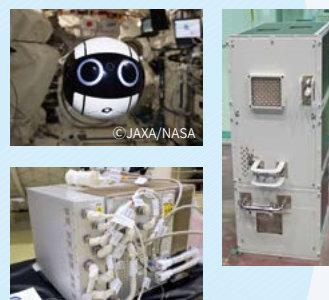
- ・ 資源集中投入、有望領域設定等を行ったフラグシップミッション等の着実な実施
- ・ 宇宙技術戦略に基づく大学等すそ野拡大、先端実験装置開発、国際競争力確保
- ・ きぼう利用プラットフォーム (PF) の高度化、拡充 (新規PF候補：細胞医療、燃焼研究)



JAXA事業利用

超長期有人宇宙滞在技術・探査技術の獲得

- ・ 宇宙技術戦略 (宇宙環境利用・宇宙実験技術、有人宇宙滞在・拠点システム技術等が重要) に基づき、実験技術の高度化、実験の遠隔化・自動化・自律化、高効率環境制御・生命維持技術等の獲得を目指す
- ・ 我が国独自の技術実証の場として「きぼう」を最大限活用し、国際競争力確保やポストISS、探査に向けた技術開発・実証を進める



共通基盤技術強化

遠隔化・自動化・自律化等の機能向上による効率・効果・持続性向上

国際協力・人材育成

アジア利用拡大、国連協力、日米協力推進
学生等参加継続・拡大

商業活動利用

民間利用オープンイノベーションの推進

～2030年のビジョン：ポストISSに向けて、民間事業者が低軌道利用をリードする

民間需要増大・事業育成・事業者自立への取り組み:

- ・ 非定型有償利用の拡大 (CM素材撮影等新たな利用分野開拓)、JAXA知見の提供
- ・ 利便性向上の環境整備 (マルチメディア機器、気軽に機器搭載可能なエリア整備)
- ・ 事業化を目指す非定型有償利用のリソース100%減免拡大
- ・ 事業化されたPFの利用支援 (衛星放出、船外小型機器搭載の大学等支援)
- ・ 宇宙技術戦略に基づく民間活動の支援強化

1

きぼう利用を取り巻く環境認識

1.1 日本国内の状況

1.1項では国の政策状況についてまとめる。

国立研究開発法人であるJAXAは、宇宙航空研究開発機構法において、宇宙分野の研究開発及び利用に関しては、宇宙基本法第24条に規定する宇宙基本計画に基づきJAXAの中長期目標（主務大臣が定めた達成すべき業務運営に関する目標）を定めている。表1に示す文書がきぼう利用戦略に関する公的文書であるため、第3版制定以降の更新状況について整理する。

表1: 関連公的文書の更新状況

文書	決定	制定日
第5次宇宙基本計画	閣議	2023年6月13日
宇宙基本計画工程表	宇宙開発戦略本部	2023年12月22日
宇宙技術戦略	宇宙政策委員会	2024年3月28日

第5次宇宙基本計画

ISS運用延長期間（2025～2030年）の活動として、2030年代の地球低軌道活動を見据え、我が国の地球低軌道活動に空白を生じさせないよう、日本独自の低軌道拠点保有や海外民間商業ステーションの利用の検討が必要とされた。

具体的アプローチ

- ①「きぼう」の利用拡大と成果の創出・最大化
- ②民間利用ニーズの掘り起こし、ポスト ISS 時代の事業展開を目指す
企業やエンドユーザの拡大
- ③技術獲得、技術実証、要素技術・システムの研究開発

宇宙基本計画とは、宇宙基本法に基づき設置された宇宙開発戦略本部（本部長：内閣総理大臣）が、我が国で初めて、宇宙政策全般に亘る計画として決定した国家戦略である。宇宙基本法の趣旨を踏まえ、今後20年を見据えた10年間の宇宙政策の基本方針を定めている。2023年6月に、2020年6月以来3年ぶりに改訂された。新宇宙基本計画では、2030年までのISS運用延長期間の利用にかかる部分が具体化されており、JAXAは、各分野において成果を創出すべく取り組みを推進していく。

新宇宙基本計画では、地球低軌道活動における宇宙環境をめぐる環境認識^{*1}を踏まえて、地球低軌道活動の将来像^{*2}およびISS延長期間（～2030年）における具体的な取り組み^{*3}とポストISS（2030年以降）を見据えた具体的な取り組み^{*4}について明記されている。宇宙基本計画にて掲げられた地球

NOTE（宇宙基本計画より）

※1: 宇宙政策をめぐる環境認識（地球低軌道）

国際宇宙ステーション（ISS）計画の2030年までの運用期間の延長を米国が表明し、我が国は延長期間への参加を決定した。更にその先の2030年以降を見据えた地球低軌道活動の方針を、各国の政府・宇宙機関は検討している。我が国においては、2030年までのISS運用延長期間においてISS・「きぼう」の成果を拡大・最大化していくとともに、2030年以降の地球低軌道活動の在り方について検討を進めている。

※2: 地球低軌道活動の将来像

- ・アクセスや物資補給・回収が比較的容易な地球低軌道は、我が国の宇宙活動の自立性を確保するとともに、宇宙環境利用のための貴重な場であり、アルテミス計画を始めとする、月周辺や、月面での活動等に必要な技術の獲得・実証（実験の遠隔化・自動化・自律化技術、高効率の環境制御・生命維持技術等）や、宇宙飛行士の訓練・養成など、国として行うべき技術の開発・実証や利用を行っていく。また、国として、我が国の地球低軌道活動を推進するために必要な技術を蓄積し、その成果をポストISSにおける国内の活動主体において活用していく。
- ・アカデミアや国の機関による、地上では行うことができない社会的課題解決・知の創造や研究者・技術者・学生等の人材育成のためにも地球低軌道を利用していく。
- ・非宇宙業界も含めた民間事業者の多様な利用や、商業的な技術開発が進展するとともに、宇宙旅行や宇宙空間でのエンターテインメント等のサービスの展開が期待される。

※3: ISS延長期間（～2030年）における具体的な取り組み

ISSの利用に関するJAXAの現行スキームを、米国との比較を含めて包括的に検証し、現在よりも民間事業者やアカデミア等が使いやすいスキームに見直すなどして、「きぼう」の利用拡大と成果の創出・最大化に取り組む。また、より使い勝手を良くするための方策を追求するため、実験機材の共同利用など国際連携による実験実施等について、ISS関係各極との協議を行う。また、民間の創意工夫を最大限活用してISS利用を促進する方策やフレームワークを検討し、民間の利用ニーズの掘り起こしを行うとともに、2030年代の地球低軌道活動を見据えた民間による利用実証の機会を提供することなどにより、ポストISS時代における事業展開を目指す企業やエンドユーザの拡大を図る。さらに、新型宇宙ステーション補給機（HTV-X）により、ISSへ安定的に物資の補給を行い、あわせて、その機会を活用してアルテミス計画や将来の探査、低軌道活動等に資する技術獲得等の取り組みを行う。また、我が国の宇宙活動の自立性の確保や、月周辺や月面での活動、地球低軌道における民間活動を支える技術23の研究開発及び実証の場として、ISSを最大限に活用するとともに、そのために必要な要素技術・システムの研究開発を進める。（文部科学省等）

※4: ポストISS（2030年以降）を見据えた取り組み

アルテミス計画等の月以遠への活動も見据え、戦略的に我が国の地球低軌道活動に必要な場と機会を確保するため、ポストISSの在り方を、国内外の状況を注視しながら日本の利用活動に空白を生じさせないよう、以下のいずれの選択肢も、実現可能なタイミングで検討し、結論を得る。

- ①宇宙ステーション、モジュール又は実験設備等を我が国又は我が国の民間事業者が所有した上で活動すること
- ②海外民間商業ステーションが提供する利用サービスを調達すること

これらの中から、ポストISSの在り方を決定するに当たっては、これまでに培ってきた技術の維持・継承の実現性を担保しつつ、国として必要な技術実証・学術研究の場の確保、宇宙飛行士の育成・訓練の場や体制の確保、国際的プレゼンスの維持・向上、産業界の参入可能性・事業発展性・競争力確保、費用対効果等の観点も踏まえ、総合的に検討を行う。また、ポストISSの在り方に応じ、我が国の地球低軌道活動を着実に推進するために必要な技術を検討し、着実に研究開発を進める。さらに、今後の民間による地球低軌道の利用の進展を睨み、宇宙ステーションの運営主体が民間となることに伴い必要となる国際的・国内的な法的枠組みや、求められる国際技術標準・規格等について、検討を進める。（外務省、文部科学省等）

低軌道活動の将来像は、きぼう利用戦略第3版にて示したきぼう利用推進の考え方と整合しており、2.1項にて示す低軌道利用の目指す姿(～2035年頃の姿)、および2.2項にて示す「JAXAが取り組むべき活動領域」を継続して掲げることとする。

改訂概要

人類の活動領域が本格的に宇宙空間に拡大するとともに、宇宙システムが地上システムと一体となって、地球上の様々な課題の解決に貢献し、より豊かな経済・社会活動を実現するようになってきていることに加えて、国際的な安全保障環境が複雑で厳しいものになる中、宇宙システムは、安全保障に関する取り組みの強化を支えている。こうした宇宙空間というフロンティアにおける活動を通じてもたらされる経済・社会の変革(スペース・トランスフォーメーション)が世界的なうねりとなっている中、我が国の宇宙活動の自立性を維持・強化し、世界をリードしていくことが必要であり、そのためには、目指すべき宇宙空間の開発・利用の将来像を描き、それを実現するため、時期を逸することなく、必要な対応を取っていくために宇宙基本計画を改訂しており、関係省庁間・官民の連携を図りつつ、予算を含む資源を十分に確保し、これを効果的かつ効率的に活用して、政府を挙げて宇宙政策を強化していくことを記載している。

■ 宇宙基本計画工程表

宇宙基本計画工程表は、宇宙基本計画に基づき、今後10年間に実施する具体的な施策・プロジェクト等を工程表として取りまとめたものである。毎年、政策項目毎の進捗状況を宇宙政策委員会にて検証し、宇宙開発戦略本部にて決定されている。毎年度6月頃に重点項目を整理し、年末に具体的な改訂を行っている。最新版である2023年度(2023年12月改訂版)では、以下の4つの項目が挙げられている。

- (1) 宇宙安全保障の確保
- (2) 国土強靱化・地球規模課題への対応とイノベーションの実現
- (3) 宇宙科学・探査による新たな知と産業の創造
- (4) 宇宙活動を支える総合的基盤の強化

地球低軌道活動に関しては、(3) 宇宙科学・探査による新たな知と産業の創造の項目に記載がなされており、2024年以降の主な取り組み^{*5}として、日本人宇宙飛行士によるISSでの活動や「きぼう」の運用・利用の着実な実施や、ISS関係各極との協議の促進およびJP-US OP3^{*6}(「日米オープン・プラットフォーム・パートナーシップ・プログラム(日米政府間合意)」の枠組みを通じたNASAとの協力の推進、2030年代の地球低軌道活動を見据えたポストISS時代における事業展開を目指す企業やエンドユーザの拡大、そして、ISS

を最大限に活用し、生命維持・環境制御技術等に関する技術実証を進めるとともに、必要な要素技術・システムの研究開発を進めること等、「きぼう」の運用、利用拡大と成果の創出・最大化に取り組むこととされている。

NOTE

※5: 2024年度以降の主な取り組み(宇宙基本計画工程表より)

【ISS延長期間(～2030年)】

日本実験棟「きぼう」の運用、利用拡大と成果の創出・最大化に取り組む。

- ・日本人宇宙飛行士によるISSでの活動や日本実験棟「きぼう」の運用・利用を着実に実施する。
- ・ISSの利用に関するJAXAの現行スキームを、米国との比較を含めて包括的に検証し、現在よりも民間事業者やアカデミア等が使いやすいスキームへの見直しを継続する。
- ・より使い勝手をよくするための方策を追求するため、実験機材の共同利用など国際連携による実験実施等について、ISS関係各極との協議を行うとともに、JP-US OP3 (日米政府間合意)の枠組みを通じたNASAとの協力を進める。
- ・民間の創意工夫を最大限活用してISS利用を促進する方策やフレームワークを検討し、民間の利用ニーズの掘り起こしを行うとともに、2030年代の地球低軌道活動を見据えた民間による利用実証の機会を提供することなどにより、ポストISS時代における事業展開を目指す企業やエンドユーザの拡大を図る。
- ・我が国の宇宙活動の自立性の確保や、月周回や月面での活動、地球低軌道における民間活動を支える技術の研究開発及び実証の場としてISSを最大限に活用し、生命維持・環境制御技術等に関する技術実証をすすめるとともに、必要な要素技術・システムの研究開発を進める。

※6: Japan-United States Open Platform Partnership Program (JP-US OP3)

ISSにおける成果最大化に向けた日米協力強化の枠組み(2015年12月に日米政府間で締結)

■ 宇宙技術戦略

宇宙基本計画においても記載されているように、我が国が開発を進めるべき技術を見極め、その開発のタイムラインを示した技術ロードマップを含んだ「宇宙技術戦略」が新たに策定された。宇宙技術戦略では、衛星、宇宙科学・探査、輸送等の技術分野について、安全保障や宇宙科学・探査ミッション、商業ミッション、またそれらミッションに実装する前段階の先端・基盤技術開発に加え、民間事業者を主体とした商業化に向けた開発支援について、開発の進め方や重要性を検討し、可能な範囲で示しており、最新の状況を踏まえたローリングを行うと示されている。

地球低軌道・国際宇宙探査における宇宙技術戦略の考え方として、地球低軌道及び深宇宙において有人による宇宙活動を行うためには、活動の場となる拠点、そこへのアクセスと活動を支える技術として、物資補給技術、有人宇宙滞在・拠点システム技術や宇宙環境利用・宇宙実験技術、回収・往還技術等が重要であるとされている。

さらに、欧米の宇宙開発機関が、シーズ研究を担う大学や民間事業者、また、商業化を図る民間事業者の技術開発に向けて、資金供給機能を有していることを踏まえ、JAXAの戦略的かつ弾力的な資金供給機能を強化し、宇宙技術戦略に従って、商業化支援、フロンティア開拓、先端・基盤技術開発などの強化に取り組むこととされている。

米国では、2021年12月、2030年までのISS運用延長が米国政府から発表された。ISSの利用方針については、米国企業及び民間宇宙飛行士によるISSでの商業活動・マーケティング活動を可能とする枠組みを継続し、米国が有する利用リソースの5%を割り当て、ISSでの商業活動・マーケティング活動を継続している。

また、“ISS National Lab”の位置づけは変わらず、引き続きNASA以外の米国内の国立機関(国立衛生研究所(NIH)、エネルギー省、農務省、国防総省等)や民間等にも利用機会を開放し、米国の有するISS利用リソースの50%を提供し、“Advanced Material Research”及び“Industrial Biomedicine Research”の両分野を中心とした利用を進めている。

さらに、米国の残り45%のリソースを使って、探査に向けた技術実証や人類の生存圏拡大に向けた独自の研究活動・知見の蓄積を行っている。一方で、ISS退役以降の宇宙環境利用活動の継続性の確保についても、民間主体による軌道上施設において、NASAはユーザとして活動(微小重力実験研究や他活動)を継続することを目標としている。それに向けた活動として、Commercial LEO Destinations (CLD) プログラムを立ち上げ、第1段階(研究開発フェーズ)として、Axiom Space社、Blue Origin社(Sierra Space社と連携)、Nanoracks社(Voyager Space社と連携)、Northrop Grumman社を選定し、各社の将来民間拠点研究開発に係る資金配分を行ってきた(その後、Northrop Grumman社は撤退)。今後、2025年から2026年にかけて、第2段階(製造フェーズ)の選定が行われる見込みである一方、新たにVAST Space社・Space X社が連携して参入する意向を示している。

欧州については、2022年11月のESA閣僚級理事会において、2030年までのISS運用継続が決定された。また、ISS退役以降を見据えた動きとして、Airbus社は、Nanoracks社/Voyager Space社等がCLDプログラムで検討する商業宇宙ステーション“Starlab”の開発及び運用に参画することを表明している。加えてAirbus社は、ESAに対するLEO利用サービスの提供も視野に、Voyager Space社と合併会社を立ち上げた。米国CLDプログラムを撤退したNorthrop Grumman社は、当該合併会社を通じて無人補給技術開発で協力する予定である。さらに、ESAはAirbus社及びVoyager Space社と覚書を締結し、ISS退役以降のStarlabの利用に関して提携することが明らかとなっている。

ロシアは、2023年4月、ISSへの参画を2028年まで延長する方針を決定した。2028年以降、ISS退役後もロシア独自のステーション建設を計画し、BRICSに対する共同参画提案も行われており、宇宙環境利用を継続する意向を示している。

中国は、2022年10月に独自の宇宙ステーションが完成、2023年5月には無人補給機及び有人宇宙船の打上げに成功した。国連宇宙部(United

Nations Office for Outer Space Affairs：UNOOSA)と連携して選定した、9件の実験実施等を進めている。

インドは、インド初の有人宇宙船“ガガニヤーン(Gaganyaan)計画”の準備を進めており、2025年の打上げを目指している。また、ガガニヤーンを発展させた、独自の宇宙ステーション計画も検討している。

1.3 JAXAの取り組み状況

ISS・「きぼう」は、主に、船内実験室、船外実験プラットフォーム、船内保管室、船外パレット、ロボットアーム、衛星間通信システムの6つから構成され、2008年2月より打上を開始し2009年7月に完成した。LEOにおける我が国の宇宙空間利用が本格的に開始された2008年を起点として、JAXAの取り組み状況についてフェーズ毎に示す。

利用の可能性探索

(探索・選択フェーズ：2008年～)

きぼう利用の初期段階は、我が国が初めて獲得した長期間の微小重力等の環境利用を主体的に計画・実行できる実験室として、それまでのスペースシャトルやきぼう利用に先立つ他国のISS設備の利用を踏まえ、「きぼう」初期利用に向け選定されたテーマを実施した。これにより、「きぼう」に搭載した実験装置の初期検証を行うとともに、例えば、細胞の放射線や微小重力影響の評価、植物の種子から次の種子を得るまでの1か月以上の長期栽培実験、物質の結晶生成過程や流体现象の観察、微小重力の応用利用としてタンパク質結晶生成における分解能向上の実証、あるいは船外では、X線天文学等の観測、大気環境観測センサによる地球観測等を実施し、科学面での成果創出を図るとともに、「きぼう」の有用性確認を通じ、有望な利用領域の探索を進めてきた。

さらに、研究者等の自由な発想に基づく提案を中心に幅広い分野で新たな利用テーマを選定し、宇宙環境下における現象の把握と解明を進め、微小重力が有望な分野や領域を開拓して科学研究利用の裾野を拡大してきた。また、これら多様な利用を支えるため、共通基盤的な実験装置として多目的実験ラック等を新たに開発し、宇宙実験技術やノウハウを蓄積してきた。2012年には、より地上の社会課題に成果を還元できる波及性の高い研究テーマの選定を目的に、JAXAが定めたISS・きぼう利用シナリオに基づく重点戦略目標を達成するための科学研究の募集・選定を行った。

利用の社会的・実用的価値の実証 (開発・実証フェーズ：2012年頃～)

その後、宇宙基本計画の改訂や国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会の取りまとめ等が出され、また、新生JAXA等のJAXA内の変革があり、きぼう利用については、国の戦略的な研究開発での利用や民間主体の研究開発利用の拡大等の出口戦略に基づく重点化が求められるようになった。

これを踏まえ、国が戦略的に推進している最先端研究に対して研究手段の一つとして宇宙実験機会を提供するとともに、宇宙実験技術の高度化によって最先端研究利用を技術の側面から支え、国の課題解決への貢献を鮮明に打ち出すこととし、国の戦略的な研究を対象としたテーマの募集制度を新たに整備した。

具体的には、宇宙実験の成果をより明確に地上の超高齢社会の課題等への還元を図るため、実験技術としてより高度な哺乳類(マウス)を用いた研究環境を新たに開発し、世界初となる重力の定量的影響評価等の成果を挙げた。また、「きぼう」での高品質なタンパク質結晶生成により、筋ジストロフィーや歯周病等の具体的な創薬につながる成果を挙げ、実験難易度や実験頻度等の実験環境の質的・量的向上を図った。船外では、超小型衛星放出機構の開発・実証、船外実験装置設置ポートの共用化・簡易化等により、民間等を含む多様な利用を推進することで、「きぼう」の社会的・実用的価値の実証を進めた。

これらにより、民間主体の研究開発利用として、定型サービス設定等利用メニューの見直しと充実を図り、民間企業のニーズに応えうる定型サービスを提供することで民間の研究開発活動への貢献を進めてきた。

利用の社会定着・持続継続性のある利用への発展 (実装・発展フェーズ：2017年頃～)

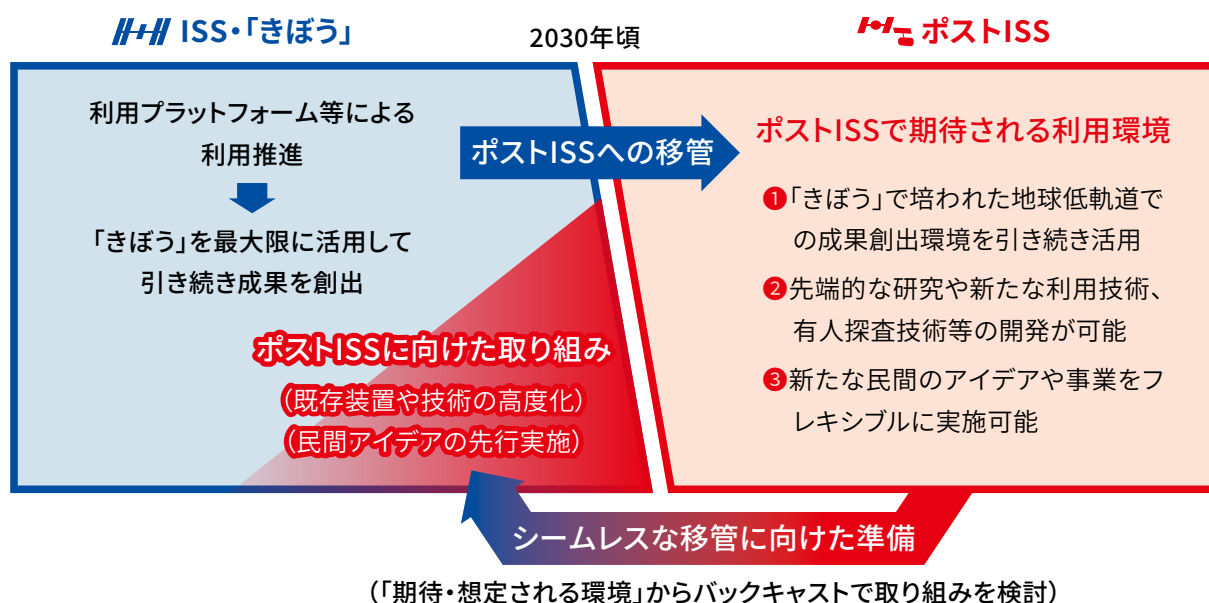
「きぼう」は、その完成から10年を経て、上記のマウスを利用した研究や高品質タンパク質結晶生成等の実験、超小型衛星放出や船外利用等の機会を長期間にわたり、長期継続的かつ安定して提供することにより、宇宙環境利用・技術実証の場として、また、身近な宇宙利用の場“プラットフォーム¹⁾”としての定着してきた。また、国が支える利用から、民間企業が自ら投資した利用やアカデミアによる主体的な利用が拡がりつつあり、船外については、すでに一部の枠を自ら利用サービス提供を行う民間事業者に移管・事業化している。今後も引き続き、成熟した技術領域(プラットフォーム)は民間に事業移管し、JAXAはより付加価値の高い技術開発に注力していく。

2024年現在、国内外(特に米国)におけるISSを含むLEOでの民間活動が活発化しており、また、我が国における宇宙政策の議論では、宇宙以外の分野との連携や投資の促進等、宇宙を活用した産業振興が強く求められているため、今後、更なる宇宙産業基盤の強化・民間利用の拡大が求められる。

1: 宇宙実験の実績・成果があるきぼう利用のうち、国の科学技術施策の実現や民間企業の研究開発等に貢献でき、JAXA内外から利用ニーズがある利用領域の内、きぼう利用の柱として位置づけられた研究開発基盤。

一方、民間利用の拡大や宇宙産業基盤を強化し、民間企業による自立したサービス提供を確立するには、利用できるリソース(クルータイムや打上げ・回収量等)や技術面・プロセス面等での課題解決が必要である。後述の戦略・取り組みに沿って、「きぼう」を社会インフラの一部として定着させ、ISS退役以降もLEOが人類の経済活動の場として持続的・継続的に発展していくよう、これらの課題解決に向けて民間と連携してシステム開発や技術開発等を進めていく。

2020年代後半は、「きぼう」を最大限活用し、更なる利用拡大・新領域開拓を進めると共に、より高度な成果創出が期待される科学的実験や宇宙・地球観測、技術実証、民間利用等、ポストISSに向けた取り組みに注力する。きぼう利用拡大と成果の創出・最大化に向けた取り組みとしては、「きぼう」での宇宙環境利用サービスの最大限の活用に加えて、船内フラグシップミッションテーマ募集や船外利用テーマ募集など、これまでの利用実績や研究動向等を踏まえ、より高いインパクトが期待される領域に利用を拡大する。また、更なる宇宙環境利用・実験技術の高度化とポストISSへの継承に向けた取り組みを実施する。



ISSからポストISSに向けた利用活動のシームレスな移行

2

きぼう利用推進の基本的考え方

2.1 ポストISS（2035年頃）の地球低軌道利用の目指す姿

目指す姿（長期ビジョン）

きぼう利用を通じて、LEOにおける宇宙環境利用が人類の社会・経済活動の一部として定着している。

▶ 具体的な状態想定

- ・日本の民間事業者自らが商業宇宙ステーションの一部の運用・利用を担い、さらに、民間事業者（企業）が生み出した船内・船外の独自軌道上サービスが展開されている
- ・「きぼう」運用・利用で培われた軌道上サービスがISS退役以降も継承されており、日本の公的利用が継続している

▶ 3つの「場」としての「きぼう」の有効利用

- ・技術実証・技術蓄積の場としての「きぼう」
- ・学術・サイエンス利用の場としての「きぼう」
- ・商業活動の場としての「きぼう」

2035年頃のきぼう利用の目指す姿として、「きぼう」の運用・利用で培われた軌道上サービスがISS退役以降も継承され、「きぼう利用を通じて、LEOにおける宇宙環境利用が人類の社会・経済活動の一部として定着している」ことを掲げる。

具体的な状態想定

1章で示した国内外の状況を踏まえ、JAXAは、長期間安定した実験環境であり、アクセス性の高いISSの強みを生かして「きぼう」を最大限に活用する。『技術実証・技術蓄積の場としての「きぼう」』『学術・サイエンス利用の場としての「きぼう」』『商業活動の場としての「きぼう」』という3つの「場」として「きぼう」を引き続き有効利用するとともに、日本の民間事業者自らが低軌

道ステーションの一部の運用・利用を担い、さらに、民間事業者(企業)が生み出した船内・船外の独自軌道上サービスが展開されている姿を目指す。その際JAXAは、宇宙環境利用を継続する一つの手段としてそのサービスを民間事業者から調達することで、民間独自の活動と併せて我が国における宇宙環境利用の活動規模が拡大している姿を目指す。

また、ISSを含むLEOにおける長期間の安定した微小重力環境を活用した研究開発・科学利用成果が人類に多大なる恩恵をもたらすこと、また、アルテミス計画を始めとする月周辺や、月面での活動等に必要な技術の獲得・実証としても宇宙環境利用の継続は必須であり、ISS運用期間中に商業宇宙ステーションへのシームレスな移行を進め、ISS退役以降も「きぼう」運用・利用で培われたLEO環境における軌道上サービスが継承されており、日本の公的利用が継続している姿を目指す。

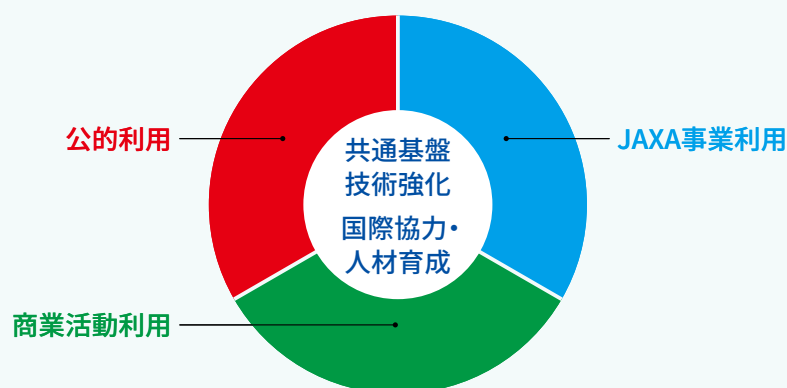
2.2 目指す姿を実現するための3つの領域とポートフォリオ

目指す姿を実現するためにJAXAが取り組むべき3つの活動領域

- ① JAXA事業利用
(技術実証・獲得／超長期有人宇宙滞在技術・探査技術獲得の推進)
- ② 公的利用(知の創造／国の課題解決型研究・学術研究の推進)
- ③ 商業活動利用(民間利用オープンイノベーションの推進)

▶ 3つの領域の利用配分ポートフォリオ

JAXA事業利用：公的利用：商業活動利用＝1：1：1を目指す。



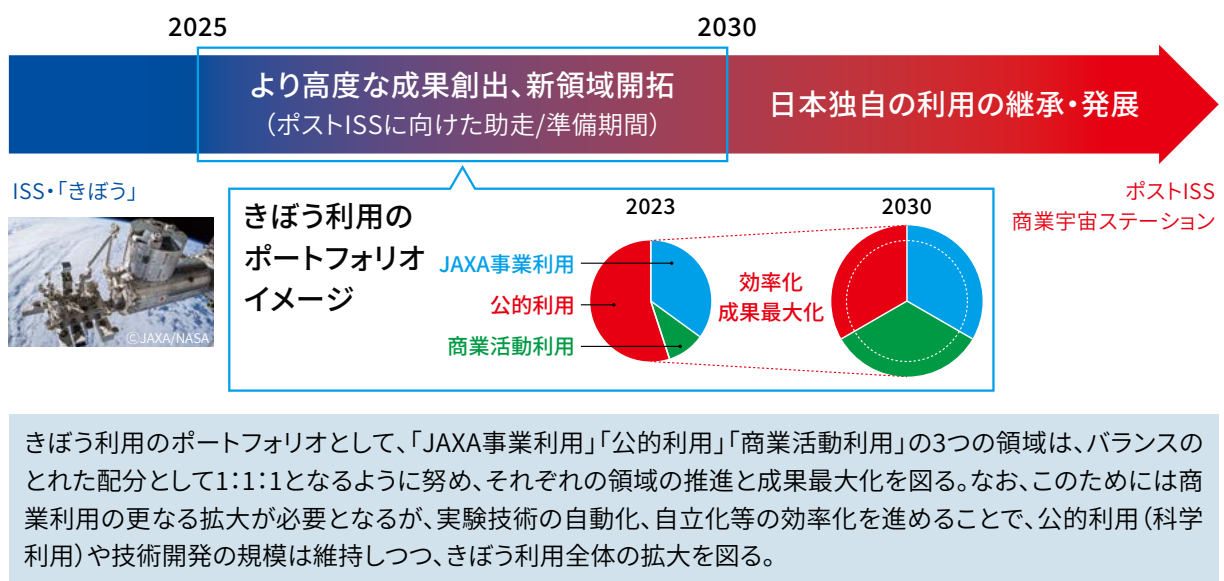
2: 月周回有人拠点(Gateway)構想
2018年2月、米国予算教書において、月の周回軌道(月の極付近を近月点とする超楕円軌道)に設置される有人拠点として「ゲートウェイ(Gateway)」を国際協力、民間との協力により構築していくことが発表された(ISS参加5極の宇宙機関による作業チームが実施してきたコンセプトスタディを踏まえたもの)。本構想について、米国をはじめ、カナダ・ヨーロッパ・日本が参加を表明している。日本は、2020年12月にNASAとの間でゲートウェイ了解覚書(MOU)を結んでおり、2022年11月には、ゲートウェイ了解覚書(MOU)における協力内容を具体化するゲートウェイ実施取り決(IA)が署名された。

日本政府による、米国が構想する月近傍有人拠点(Gateway)計画への参加表明²⁾に伴い、今後、JAXAとしてはLEO以遠に有人宇宙活動領域を拡大させていくことになる。そのため、月面へのアクセスを効率的に実施するための月軌道上の拠点を米国と共に構築し、将来的には月面を科学探査等の多様な活動の場へと発展させることを目指している。

このような状況の中、限られたリソース範囲で探査活動とISS/ポストISSを含むLEO活動を両輪で実施していくには、民間主体のLEO活動を拡大することが必要不可欠である。また、ISS退役以降の宇宙環境利用の継続性を考慮すると、限られた資源の下で国主導の新たな有人拠点を構築することは現実的ではなく、民間企業による自立した活動拠点の構築が必要であり、今からその準備についても取り組む必要がある。

そのため、ISSという史上最大級のLEO有人施設を最後まで最大限に活用し、将来の宇宙環境利用の継続や探査活動に向けた準備を行うとともに、JAXAとして継続すべき研究領域をさらに重点化・絞り込みを行い、民間に任せられるものは民間に任せ、2030年までは、民間事業者の技術的な自立ができるようにJAXAは支援を行う。ポストISSではJAXAは一顧客として必要なサービスを調達し、民間が自立的に活動を展開している世界を実現していく。なお、LEOにおける民間活動は、既に米国の民間企業が中心となって活発化してきており、今後、LEOが経済活動の場として飛躍的に発展していくことが予想される。NASAによるCLDプログラムも始動しており、将来、我が国の民間企業がLEOでの経済活動を展開するうえでの優位性を確保するためにも、世界のベンチマーキングやニーズ、民間企業の意見等も踏まえ、優位となる技術を持った利用システム・装置開発を行い、民間移管後も国際的な競争優位性を確保できるようにする。また、LEOにおける宇宙環境利用の継続と利用機会確保に向けた具体的方針を示すことで、民間企業の事業予見性を高め、民間が自立的に活動を展開できる状態を早期に実現したい。

そのためにも、2030年頃のLEO活動の状態を想定し、「きぼう利用の目指す姿」（2.1項）の実現に向け、「JAXA事業利用（超長期有人宇宙滞在技術・探査技術獲得の推進）」「公的利用（国の課題解決型研究・学術研究の推進）」「商業活動利用（民間利用オープンイノベーションの推進）」の3つの領域を引き続きJAXAが取り組むべき活動領域とし、限られたリソースの中で選択と集中を図り今後のきぼう利用を進めていく。



きぼう利用が目指す2030年に向けたポートフォリオイメージ

活動領域の在り方

①JAXA事業利用(超長期有人宇宙滞在技術・探査技術獲得の推進)

- 今後、より多くの人類が宇宙に滞在もしくは長期間宇宙空間で生活することを見据え、現在のISSにおける宇宙飛行士の滞在期間を超える超長期有人滞に必要な技術や知見(宇宙環境が及ぼすヒトへの影響の解明等)を獲得する。
- Gatewayを含むアルテミス計画³への日本政府としての参加表明を踏まえ、「きぼう」において、月近傍・月面探査活動・環境利用に向けた技術蓄積と実証を進めると共に、きぼう利用で進めてきた研究成果をGateway利用にシームレスにつなげる。

②公的利用(国の課題解決型研究・学術研究の推進)

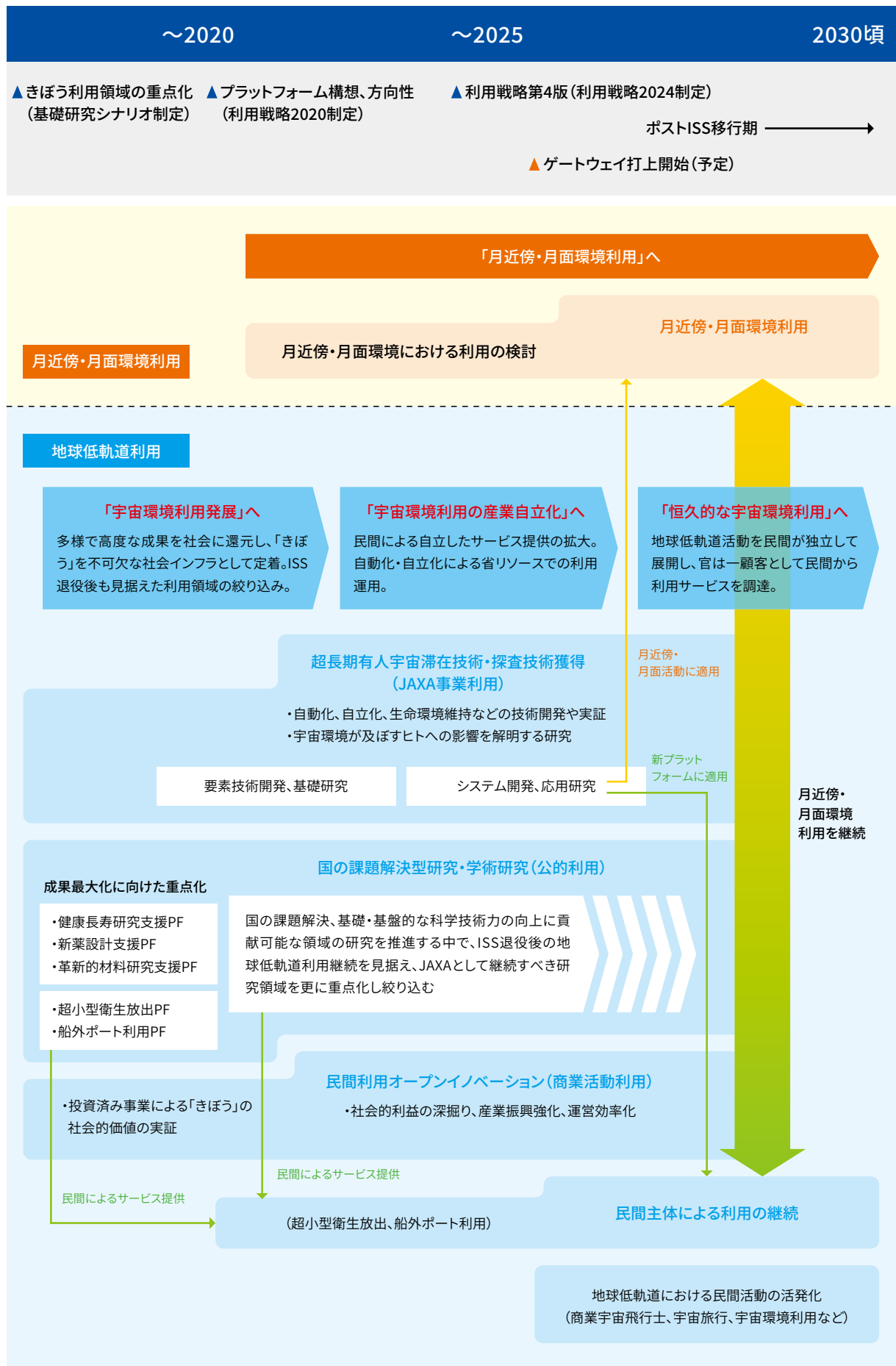
- 「きぼう」ならではの環境を活かし、我が国が抱える課題解決への貢献や我が国の基礎・基盤的な科学技術力の向上に貢献可能な利用を拡大し、その領域については重点化・絞り込みを行う。

③商業活動利用(民間利用オープンイノベーションの推進)

- これまで培ってきた有人技術・宇宙環境利用技術について、成熟したものから順次、民間事業者に移管・移譲していき、民間企業が自立してサービス事業を展開し、国・JAXA・アカデミアが顧客として必要なサービスを調達する状態を構築する。
- これまでの利用実績や研究動向を踏まえ、今後のLEO利用(ポストISS含む)に対してより高いインパクトが期待される領域(有望領域として識別される科学的実験・観測を含む中型・小型ミッション)に利用を拡大する。
- ポストISSに向けては、現在の「きぼう」での民間利用はまだユーザの掘り起こし等の初期段階の下支えが必要であることから、上記の事業者への移管・移譲に加えて、多様な利用領域にも対応できるよう民間等からの個別の利用要望にも対応していく。

上記①～③のきぼう利用を支える基盤技術の推進として、限られたリソースの中、効率的・効果的に宇宙環境利用を進めるため、人の手を介しなくても実施可能な作業については、宇宙飛行士が関与しなくても自律的に作業が進められるよう、宇宙環境利用・運用の自動化・自律化や遠隔操作技術の研究開発(通信遅延への対応、精度が求められるタスク実行時のセンシング機能向上、操作対象側の自動化の推進等)に取り組むとともに、蓄積された技術は将来の宇宙探査や地上に還元する。

3: アルテミス計画
国際宇宙探査ロードマップ
https://www.exploration.jaxa.jp/assets/img/news/GER_Supplement_Japanese.pdf



本戦略のベースとなるJAXAとしての宇宙環境利用全体像

2.2項で示した3つの活動領域について、限られたリソースの中で選択と集中を図り進めることとして、初版から引き続き以下に示す5つの目標を継続して掲げ組んでいく。なお、新しく制定された宇宙基本計画を踏まえ、目標5を明確化した。

5つの目標

- ▶ 目標1：国が進める課題解決型研究への貢献
- ▶ 目標2：民間企業の投資判断済み事業による「きぼう」の社会的価値の実証
- ▶ 目標3：超長期有人宇宙滞在技術や探査技術等の研究開発の推進
- ▶ 目標4：研究者の内在的動機に基づく学術研究による科学技術力向上への貢献
- ▶ 目標5：国際プレゼンス向上及び人材育成への貢献

目標1: 国が進める課題解決型研究への貢献

宇宙基本計画の下で、国が戦略的に推進している施策に「きぼう」の微小重力環境を活かし、研究成果の価値を高める。

目標2: 民間企業の投資判断済み事業による「きぼう」の社会的価値の実証

民間企業が自らの資金できぼう利用を行い、得られた成果を事業に用いることで、きぼう利用の社会的価値を示すと共にLEOにおける商業化を促進するため、利用者独自の目的で「きぼう」を利用し、その利用成果を独占的に取得・使用可能な有償利用制度を設けている。有償利用制度には、タンパク質結晶生成実験や材料の熱物性データ計測のように、既に確立した技術とプロセスを用いて比較的安価に利用できる定型化された実験利用から、新たに装置開発等を行い打ち上げて利用するまで、幅広い利用形態（ロボット・遠隔操作技術の実証実験、被服素材の実証等）が設けられている。

また、初めて「きぼう」を利用する研究者や技術者が「きぼう」の特性や強みを活かした質の高い研究を実施できるように、科学的専門性や技術相談等の支援を行うコーディネータ⁴を配置して、利用相談や宇宙実験計画の立案をより強力にサポートできるようにしている。

4: コーディネータの果たすべき役割は、単に相手の要望に応じてきぼう利用サービスを紹介するだけでなく、相手のニーズや課題を理解し解決方法を提案する。

■ 目標3: 超長期有人宇宙滞在技術や探査技術等の研究開発の推進

日本の民生分野の優位技術を最大限活用し、ロボット技術・遠隔操作技術等を用いた自動・自律運用による宇宙環境利用技術、有人宇宙滞在に必要な不可欠な技術である水再生や空気再生等の生命維持・環境制御技術、放射線計測・防護技術、重力環境に強く依存する材料燃焼性の予測を可能とする宇宙火災安全技術、宇宙医学研究を通じて取得する宇宙環境が人体に及ぼす影響・対策等、ISSを最大限活用した技術実証・知見の獲得を戦略的に進め、LEOにおける長期滞在やLEO以遠の有人滞在拠点における長期運用へと発展させ、将来の人類の活動領域の拡大へ寄与する。

■ 目標4:

研究者の内在的動機に基づく学術研究による科学技術力向上への貢献

研究者の内在的な動機に基づく研究が、人類の知識の領域を開拓し、その積み重ねが人類の繁栄を支えてきた。これまでの学術によるきぼう利用研究の積み重ねがあったからこそ、現在の戦略的な研究領域を設定することが可能となっている。今後も独創的かつ先導的で、国際的に高い水準のきぼう利用を推進し、我が国の基礎・基盤的な科学技術力の向上に貢献するとともに、将来のLEOにおける微小重力実験の利用拡大につなげる。

■ 目標5: 国際プレゼンス向上及び人材育成への貢献

ISS計画への日本の参画は、我が国の国際的なプレゼンスの確立及び宇宙分野での国際的な発言力の確保に大きく貢献してきた。

アジア・太平洋地域における唯一のISS計画参加国であることの外交的重要性を踏まえ、APRSF（アジア・太平洋地域宇宙機関会議）のKibo-ABCイニシアチブ（「きぼう」を利用したアジア・太平洋協力イニシアチブ）等の枠組みを活用し、引き続き、「きぼう」における有人宇宙活動を通じ、国際プレゼンスの向上、人材育成およびSDGs（持続可能な開発目標）への貢献に努める。

日米協力においては、2015年12月に日米両政府によって表明された新たな日米協力の枠組であるJP-US OP3の考え方のもと、JAXA-NASAの積極的な相互利用を推進し、戦略的・外交的な側面から日米協力の強化に貢献する。また、JP-US OP3以外の政府間宇宙協力等に対してもきぼう利用による貢献を進め、我が国の更なる国際プレゼンスの向上に寄与する。

超小型衛星放出や「きぼう」ロボットプログラミング競技会など、引き続き、人材を育成するための場の提供を行い、文科省・学校等との連携や、青少年を対象とした実践的プログラム等により、国が進める宇宙活動を支える次世代人材の育成に寄与する。

2028～2030年(ポストISS移行期)のビジョン**▶ 中期ビジョン1：**

極めてインパクトの高い歴史に残る成果が創出されている

▶ 中期ビジョン2：

ポストISSに向けて、民間事業者がLEO利用をリードする

第3版では、長期ビジョンとして掲げた目指す姿の実現に向けて2.2項で示した3つの活動領域について、限られたリソースの中で選択と集中を図り進めることを方針とした(2.3項)。第4版ではさらに、ポストISSに向けた取り組みを見据えて、第3版にて掲げたビジョンの実現に注力するとともに、2028年から2030年(ポストISS移行後期)の中期ビジョンについて明確にする。

2028年から2030年というポストISSへのシームレスな移行を見据えた準備期間において、きぼう利用を含むLEO利用の目指す姿に対して、「どのように維持発展させ、ポストISSに移行させるか」を実現するためのビジョンとして「極めてインパクトの高い歴史に残る成果が創出されている」および「ポストISSに向けて、民間事業者がLEO利用をリード」するビジョンの実現を目指す。

1つ目の「極めてインパクトの高い歴史に残る成果が創出されている」ビジョンは、2.2項で識別した活動領域の中で「公的利用」の領域に分類される。船内フラグシップミッション公募採択テーマが実施され、社会課題解決および知の創造に貢献する研究や有人探査技術の実証の場として「きぼう」が利用され、ポストISSへの継承の視野が広がっている状態の実現を目指す。

2つ目の「ポストISSに向けて、民間事業者がLEO利用をリードする」ビジョンは、2.2項で識別した活動領域の中で「公的利用」および「商業活動利用」に分類できる。日本の民間事業者の利用・運用能力向上のほか、民間事業者が生み出した船内・船外の独自軌道上サービスの検証が幅広く行われ、新たなサービスが定着しつつある状態の実現を目指す。

2.3項、2.4項を通して明確化した各フェーズにおけるビジョンに対して、将来その達成度を評価するための指標として、JAXAの役割を明確化した達成すべきゴールとアウトカム(達成基準)を実現に向けた取り組みとして定義する。

■ 中期ビジョン1

公的利用推進の結果として「極めてインパクトが高い歴史に残る成果が創出されている」という中期ビジョンに対して、実現に向けたJAXAの取り組みを具体化するためフェーズ毎の状態を想定した。

▶ 2028年頃(中間状態)

JAXAはフラグシップ等の公募研究テーマを推進するための基盤技術を確立し、採択した科学テーマの宇宙実験を実施している。

▶ 2030年(ISS運用終了時)

実験終了後に実施している科学的な観点での外部評価会において、宇宙実験の実験結果が評価され、インパクトの高い科学成果であることの評価を得ている。

▶ 2035年頃(2030年までの活動成果から実現を目指す状態＝アウトカム)

フラグシップミッション等の実施したテーマが、インパクトの高い研究環境として新たなプラットフォームに設定されており、社会環境として認められている。

これらを実現するための取り組みとして、2023年に「きぼう」の船内環境の特徴を最大限に活用して、歴史に残る成果の創出を目指し、『「きぼう」を使った社会課題解決あるいは知の創造に貢献する研究』および『人類の宇宙(特に、月や火星)への進出に貢献する研究』から13の募集対象領域を設定し、その領域に係る研究提案を採択した。2028年頃の宇宙実験実施に向け研究計画の詳細化や技術検討を進めている。

今後さらに、「宇宙技術戦略」において、「きぼう」で培ったライフサイエンス、創薬、材料分野等に関する独自性や国際競争力の高い宇宙環境利用・宇宙実験技術を継承・発展させ、最先端の実験装置群を開発することが重要とされており、大学や民間企業等に対する開発支援強化も期待される。これらの活動を「きぼう」での新たな実験環境構築や研究能力向上につなげることで、All Japanとして世界をリードするきぼう利用成果創出や、地上社会への還元を目指した取り組みを進める。

■ 中期ビジョン2

「ポストISSに向けて、民間事業者がLEO利用をリードするという」中期ビジョンの実現に向け、JAXAが達成すべきフェーズ毎の状態想定を行った。なお中期ビジョン2は、ポストISSに向けて民間事業者の業務を拡大し、有償利用に加えて公的利用についても業務を担っていくことが期待されるため、民間事業者がLEO商業利用をリードするというビジョンとLEO公的利用をリードするという2つのビジョンを想定する。商業利用を想定した場合については、実現に向けたJAXAの達成すべき取り組みとしてフェーズ毎の状態設定を行い、公的利用をリードする場合には、前提条件の整理が必要と考えられるため、今後も議論を継続する。なお、特にJAXAと民間の作業分担/責任分担についての検討、共同での実施・評価体制の構築についての検討が重要と考えられる。テーマ毎に状況が異なるため、きめ細かな対応を行う。



1 民間事業者が地球低軌道商業利用をリードする

▶ 2028年頃(中間状態)

民間事業者がポストISS事業に向けた準備を開始し、軌道上での2030年に向けた試行プロセスが開始されている。

JAXAは民間事業者に対して、民間が主体的に取り組みに参画し「使いたい」と感じる場の創出に取り組み、上記に係る適切な利用支援等(制度上の支援なども含む)を実施している。

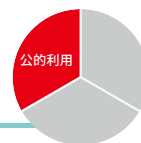
▶ 2030年(ISS運用終了時)

民間事業者は、技術的に自立した事業(JAXAからの技術移管を完了した状態、又は自らの技術やノウハウ等によりエンドユーザにサービス提供が行われている状態等)として成立している。JAXAは、LEO活用に対する事業運営・システム運用等に必要なノウハウの提供や軌道上実証機会の提供が完了している。

▶ 2035年頃(2030年までの活動成果から実現を目指す状態=アウトカム)

民間事業者は、自らLEOにおける商業利用を実施し、事業として定着している。

これらを実現するためのステップとして「民間需要を増やすための取り組み」、「事業を育成するための取り組み」、「事業者が自立するための取り組み」の3つを重点的に進める。具体的には、民間利用者のハードルとなっている作業の識別、利用促進に向けた軌道上インフラ整備に向けた検討、事業者向けJAXA知見の提供、減免措置の拡大などを実施するとともに、「宇宙技術戦略」に基づく民間企業等による技術開発や活動の支援強化を踏まえ、民間利用枠の拡大や利用の開拓を進める。さらに、これまでJAXAが主体として行っていたこれらの事業を、ポストISSに向けて段階的に民間事業者に引き継いでいく。



2. 民間事業者が地球低軌道公的利用をリードする

民間事業者が、LEOにおける公的利用をリードするというビジョンを想定した場合、「政策」、「実施能力」、「質の確保」の3点が必要であると識別したため、3点それぞれについて状態想定を行う。

▶ 2028年頃(中間状態)

政策：国として、ある一領域の学術研究を実施できる場(公的利用)をLEOにて維持・確保できている。(例えばタンパク質結晶、小動物、静電浮遊炉利用などのうち最低1つ)

実施能力：該当する宇宙実験を実施するための必要技術・ノウハウが民間事業者へ移管されている。

質の確保：該当する研究領域設定・公募テーマ選定・学術成果評価などを実施するある一領域のブレイン機能が存在し、成果を創出するための準備ができている。

▶ 2030年(ISS運用終了時)

政策：国として、「きぼう」と同等な学術研究を実施できる場(公的利用)をLEOにて維持・確保できている。JAXAは、この状態の維持や確保に向けてその資金規模の必要性をデータとして提示/支援ができている。(年間クルータイムもしくは科学テーマ数の規模を指標)

実施能力：宇宙実験を実施するための必要技術・ノウハウが民間事業者へ移管されている(移管され実施可能な科学プラットフォーム数を指標とする)。

質の確保：研究領域設定・公募テーマ選定・学術成果評価などを実施する複数のブレイン機能を担っており、現在と同程度の成果の創出が見込める。JAXAは、質の確保を行える機関や組織のような仕組みを構築する。

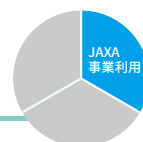
▶ 2035年頃(2030年までの活動成果から実現を目指す状態＝アウトカム)

公的な資金投入の責任所掌を負う機関もしくは民間事業者が、国民へ持続的な税金投入の価値説明を行うための「社会的課題解決・知の創造」につながる新規軌道上科学ミッションを生み出せ、新たなプレーヤーが活躍し、成果創出に寄与している。

ポストISSに向け民間事業者の活動を拡大し、商業利用に加えて公的利用についても業務を担っていくことが期待されるが、公的利用をリードする場合には、下記のような前提条件の整理が必要と考えられるため、今後議論を継続する。

- ・ 公的利用ユーザは大学等の研究機関であることが想定されるため、現在と同規模の宇宙実験・宇宙利用を継続的に実施するには、軌道上設備維持も含め毎年相当規模の公的資金確保が必要である。JAXAは、確保に向けてその資金規模の必要性をデータとして提示/支援を行うことが必要である(政策)。
- ・ エンタメ等の商業利用と異なり、科学的成果を追求するためには宇宙実験の緻密な準備作業が必要となるため、現在JAXAが指示・実施している作業に関し、民間事業者へ段階的な作業移管が必要である(実施能力)。
- ・ 公的資金投入の成果説明責任の視点から、研究領域設定・公募テーマ選定・学術成果評価などを実施するブレイン機能のほか、利益相反マネジメント等が求められる(質の確保)。

2.6 環境利用の継続性確保及び超長期宇宙滞在・深宇宙探査に向けた技術開発



自動・自律運用による利用の実現

ISS退役以降における宇宙環境利用継続の在り方として、我が国として継続すべき利用領域の分野については、確実に利用が継続できるよう、利用・運用技術確立する。その際は、地上にあるロボット・遠隔技術、人工知能(AI)等を最大限活用し、人が介在しなくても利用が継続できるよう自動・自律運用による利用の実現に取り組む。なお、利用継続性を確保する一つの考え方として、日本独自の利用技術(小動物飼育・解析技術、タンパク質結晶化・解析技術、静電浮遊技術等)の国際競争力を高めるとともに、国際協力等により各国へ展開し、浸透、定着させることでデファクトスタンダード化し、ISS退役以降も我が国として継続すべき宇宙環境利用のシームレスな継続を目指す。

超長期宇宙滞在や深宇宙探査に向けた技術開発については、月探査計画参加に伴う日本人宇宙飛行士の月面到達や、商業宇宙活動の活性化にともなう商業宇宙飛行士の需要拡大など、今後、ヒトがLEO及び以遠に滞在する時代に向けて、ヒトが長期間宇宙空間に滞在するにあたって必要な技術、探査に向けた技術等の研究開発・実証や宇宙滞在中に遭遇する健康リスクとして、宇宙環境が人体に及ぼす影響についての研究を中心に進める。

また「宇宙技術戦略」において、有人活動支援技術等(遠隔化・自動化・自律化技術など)の有人宇宙滞在・拠点システム技術の開発や、「きぼう」で培った独自性や国際競争力の高い宇宙環境利用・宇宙実験技術を継承・発展が重要とされており、「きぼう」を活用した最先端の実験技術等の開発や軌道上実証が期待される。

これらの取り組みの中から、「きぼう」で行うべきミッションを識別し、集中して実施することで「きぼう」のJAXA事業利用としての超長期有人宇宙滞在技術・探査技術獲得を推進する。

きぼう利用戦略を効果的かつ効率的に推進するため、国の研究開発評価に関する大綱的指針(2016年12月21日内閣総理大臣決定)に基づき、きぼう利用の目指す姿に関しては効果・効用として現れる価値を計測できるアウトカム指標、5つの目標に関しては活動の成果物又は活動水準・活動量を計測できるアウトプット指標を定めている。

具体的な評価指標の設定にあたっては、国内外の研究機関の評価指標を参考にしつつ、きぼう利用の特性を踏まえて定性的指標と定量的指標を併用して定めた。

評価指標を用いて利用戦略の進捗状況を定期的に確認し、その時々の中身の動向や利用ニーズも踏まえ、目指す姿、5つの目標、目標達成手段(必要となる実験技術や利用推進方策)の見直し等、具体的な取り組みへのフィードバックを行う。

3

きぼう利用の価値・成果の浸透

ISS計画の推進には、国民の理解と協力が必要であり、ISS・「きぼう」の利用を通じて得られた様々な成果や、その成果によって世の中にどのようなインパクト(波及効果)をもたらしたか等については、利用者コミュニティに発信するだけでなく、国民の理解が得られるよう幅広く一般に分かりやすい形で(映像の活用やメディアの活用なども含め)引き続き情報発信する。そうすることで、きぼう利用の価値を知ってもらい、今まで関わりの少なかった方々にも「きぼう」を利用したい、国民に是非きぼう利用を継続・発展して欲しいと思ってもらえるよう「きぼう」の認知度を向上させる。

また、国民の多くが関心を寄せる知的好奇心を満たす研究成果や生活・健康等への波及効果について、「きぼう」を利用した利用者(研究者等)に対しても、専門的・学術的な成果とりまとめに併せて平易でわかりやすい表現での実験結果の整理等について協力を依頼する。こうした情報が教育等の場で使用されることで、人材育成やきぼう利用の裾野拡大につなげていく。

具体的な取り組み

1 利用拡大に向けた具体的取り組み

▶ 1.1 公的利用の拡大に向けた取り組み

▶ 1.2 民間の利用拡大に向けた取り組み

(1) 商業利用の利便性向上のための利用環境整備(軌道上インフラ整備含む)

(2) 有償非定型サービス拡大に向けた取り組み

▶ 1.3 きぼう利用を支える共通基盤技術

▶ 1.4 きぼう利用を支えるプラットフォーム

(1) 既存プラットフォーム

i. 新薬設計支援プラットフォーム

ii. 健康長寿研究支援プラットフォーム

iii. 革新的材料研究支援プラットフォーム

iv. 超小型衛星放出プラットフォーム

v. 船外ポート利用プラットフォーム

(2) 次期プラットフォーム候補

i. 細胞医療研究支援プラットフォーム

ii. 先進的燃焼研究支援プラットフォーム

2 超長期有人宇宙滞在技術や探査技術の獲得

3 国際協力及び人材育成の推進

1 利用拡大に向けた具体的取り組み

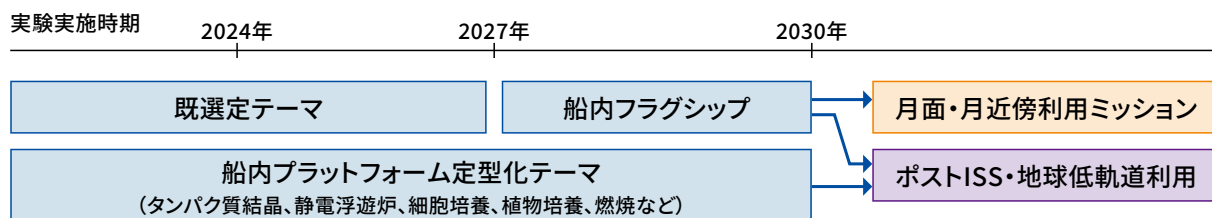
1.1 公的利用の拡大に向けた取り組み

公的利用公募方針

我が国では、「アカデミアや国の機関による、地上では行うことができない社会的課題解決・知の創造や研究者・技術者・学生 等の人材育成のためにもLEOを利用していく」ことが求められており、以下の2つの枠組みで公的利用公募を実施する。

- ・募集制約の緩和、リソースの集中投入、対象領域の設定などにより、日本の強みを活かした「前衛的・挑戦的な研究、極めてインパクトの高い成果(※)が期待できるミッション」募集を推進し、歴史に残る成果の創出を目指す。
(※)科学的成果だけでなく、社会課題解決への貢献、技術的重要性、収益性などの観点を含む。
- ・利用のプラットフォーム化を進め、ポストISS・LEO利用継続に向け、「定型的・標準的な利用サービスを提供する定型利用募集」を拡充していく。

なお、実験実施後には、複数の有力専門家などによる評価を行い、研究成果及び評価結果を順次公開していくプロセスとしており、PDCAを回すことで公的利用拡大を図っていく。



公的利用公募の2つの枠組み

1.2 民間の利用拡大に向けた取り組み

民間の利用拡大を実現するための取り組みとして「民間需要を増やすための取り組み」、「事業を育成するための取り組み」、「事業者が自立するための取り組み」を重点的に進める。具体的には、民間利用者のハードルとなっている作業の識別、利用促進に向けた軌道上インフラ整備に向けた検討、事業者向けJAXA知見の提供、減免措置の拡大などを実施する。以下、具体的な取り組み事例について記載する。

(1) 商業利用の利便性向上のための利用環境整備 (軌道上インフラ整備含む)

近年、「きぼう」船内の商業利用ニーズは、エンターテインメントも含めて多様化しており、最新の民生機器類やユーザ持ち込みの機器／物品の使用を希望するユーザが増加している。民間企業が地上と近い設備環境で気軽に宇宙利用を試したり、ポストISSに向けた事業化を模索したりできるように、商業利用ユーザをはじめとする「きぼう」船内利用者が打ち上げた機器類をキャビンエリアで使えるような電源・通信ポート類や商業利用ユーザのニーズが高い最新のマルチメディア機器や気軽に機器を搭載できるエリアの整備を進める。また、「きぼう」船内利用者が、実現可能なミッションや準備すべき機器類を把握して、利用計画を立案しやすくするために必要な情報を整理して一般に広く公開する取り組みを推進する。

①機器類

- ・ 電源ポート(USB電源、DC電源、AC電源)
- ・ 通信ポート(イーサネット通信用)
- ・ マルチメディア機器(4Kリモートカメラ、タブレットPC、小型カメラ等)

②エリア

- ・ CubeSat規格サイズ等で標準化したユーザ機器搭載場所
- ・ 実験ラック搭載サイズの大型ユーザ機器搭載場所

③利用者向け情報(JAXA知見／利便性向上のための情報提供)

- ・ 電源・通信ポート情報
- ・ 使用可能な機器やツール情報
- ・ ユーザ機器を宇宙搭載するための対策ガイドライン

(2) 有償非定型サービス拡大の取り組み

ポストISS時代にLEOが民間による経済活動の場として成立するためには、投入資金以上のリターンを見出す多数のビジネスプレーヤーがLEO利用に参入している必要がある。しかし現状の「きぼう」の商用利用は、掲げた利用ポートフォリオ目標の商用利用割合(1/3)に満たない状況であり、依然として利用案件や利用者の発掘、特に宇宙と関わりを持たない非宇宙産業の潜在的利用者の発掘を行うステージにある。

JAXAはこれまでに、利用者が独自の目的で「きぼう」を有償で利用し、利用成果を独占的に取得・使用することが可能な制度：有償利用制度を設け運営してきた。有償利用制度には、定型サービス(高品質タンパク質結晶生成、静電浮遊炉利用等の各プラットフォームの有償利用)と、提案された案件ごとに実施方法等を検討しながら実現させる非定型サービスがある。JAXAが想定しない民間ならではのミッションを実現させるためには非定型サービ

スは重要であり、この新しい領域のアイデア実証、事業実証、技術実証等の利用要望実現のために引き続き利用機会を提供する。

有償利用(非定型サービス)の参入課題としては、宇宙利点の認知、要する資金、宇宙特有の作業の3つがあると考えられ、それぞれ以下の対応にて利用者獲得を図る。

①宇宙にビジネスチャンスがあることの認知への対応

- ・きぼう利用ネットワーク活動(イベント等での出展・講演による地道な探索、有償利用事例紹介の拡充等)によるユーザ掘り起こし、気づきのきっかけづくり等の利用推進活動を実施する。
- ・利用分野の発掘のため、「きぼう」から生み出される新たな事業価値の創造と更なる利用拡大を目的として、CM素材の撮影サービスを試行的に実施し、案件を公募した。応募された案件は現在「きぼう」での撮影に向けて準備中であり、応募案件の実施効果と更なる撮影要望の有無を見極めつつ、今後の公募について検討を進める。

②きぼう利用に要する資金への対応

- ・きぼう有償利用(非定型サービス)においては、これまでに利用ニーズの多様化に対応する料金メニューや宇宙リソース(打上・回収、クルータイム、軌道上保管等のリソースにかかる経費)の減免制度(最大9割減免)を設けてきた。
- ・2023年5月からは、更なる民間利用拡大への取り組みとして、インクリメント71、72⁵を対象に民間企業向けの宇宙リソースの全額減免制度を限定的に実施した。それまでは通年公募であったが応募締め切りを設けたこと、制度の見直しの可能性からインクリメント73以降の募集が未定であったこと、及び9割減免から全額減免に拡充したことから、制度の申込者数が大きく増加した。この新たな取り組みは有償利用者の拡大に効果的であり、インクリメント73にも本制度を適用し有償利用案件の募集を行うに至っている⁶。インクリメント74以降も、必要に応じて制度を見直しつつ本減免制度を継続していくことを基本とする。

③宇宙特有の作業への対応

- ・きぼう利用には、アクセス性・微小重力・有人安全等に起因する宇宙特有の準備作業があり、宇宙利用に詳しくない利用者がミッションの準備を行うのは容易ではない。これまでの有償利用や関連する調査検討等の事業を通じて、きぼう利用のノウハウを蓄積する事業者が徐々に増えてきており、今後もこのような事業者の育成や新規事業者の参入促進を図り、エンドユーザに対して宇宙利用サービスを提供するサービス提供プレイヤーの拡充を図る。並行して、これまで利用者が実施してきた利用準備作業の一部をJAXAが引き取り、準備作業を効率化する検討を引き続き実施する。

5: インクリメントはISSの運用期間の単位である。

6: 民間企業による事業実証機会を拡大するため、従来のトライアルユース制度では、原則初回利用のみを減免の対象としていたが、2回目以降の利用の場合でも、事業実証のためであれば回数の制限なく減免制度を活用可能とした。

遠隔化・自動化・自律化等の機能向上の取り組みによる

効率的・効果的で持続性の高い宇宙環境利用の実現

(1) 方向性

「きぼう」での宇宙実験・利用の多くは宇宙飛行士によって実行され、多くの成果を創出してきた。一方、実験・ユーザにとっては、人(宇宙飛行士)に対する安全が最優先であるという原則のもと、有人安全要求による実験への制約(高濃度の薬品が使えない等)がある。また、宇宙実験等に必要な、実験品質の均一性確保や、実験サンプル数を多く得るための単純繰返しの作業の実現が難しいこと、必ずしも実験の専門家ではない宇宙飛行士の操作において、地上で実験ユーザが構築した実験プロトコルが再現しにくいなどの課題がある。宇宙飛行士の視点においても貴重な宇宙での時間を有効活用できていない可能性がある。このため、昨今、地上実験でも適用が進んでいる利用・実験技術の遠隔化・自動化・自律化等により、効率的且つ効果的な宇宙環境利用を推進する。

(2) 装置としての遠隔化・自動化

既に、きぼう利用においては宇宙実験の遠隔化・自動化が進んでいる。例えば、微小重力下における物質材料研究・実験のための静電浮遊炉(ELF)や、固体材料の燃焼特性を把握するための実験装置である固体燃焼実験装置(SCEM)等は既に実運用に供しており、宇宙飛行士の作業を最小限にしつつ、地上からの遠隔操作や、実験装置としての自動化により、多くの実験操作を実現している。個々の実験に固有の操作は、装置としての遠隔化・自動化を推進することが効率的であるケースが多く、引き続き進めていく。

(3) 更なる遠隔化・自動化

一方で、未だ人に頼っている宇宙実験操作においても、汎用型のロボットアームを宇宙飛行士の手に置き換え、更に宇宙実験・利用に用いる薬品等を、宇宙飛行士への安全確保をするために封入環境において実現できる「きぼう」自動実験システム(GEMPAK: μ G Experiments by Manipulators with Precise Actuation in Kibo)の検討と早期に宇宙での適用・実用を進める。当初は、小動物飼育実験に資する操作をミッションとし開発・実用化を進めるが、長期的には他の宇宙実験・利用にも適用できるようにシステム設計を行う。また、宇宙実験といったサイエンス利用に限らず、例えば地上では得られない長期間の品質のよい微小重力環境を利用した衛星等に資する宇宙機器実証の場としても活用していく可能性を探る。更には教育利用、エンターテインメント利用など幅広い利用の可能性も探ることで、幅広い成果の創出・貢献を目指すとともに、装置・システムの稼働率を上げることで、ポストISSの見据えた事業性確保を目指す。更には関連

ユーザや、技術提供者も含めたコミュニティ形成・発展を目指す。

GEMPAKの開発においては、既に地上にある技術・製品等を最大限活用することで、開発の効率化や、地上での実験技術・装置を既に持つ企業・研究者の参入を促進する。これにより競争性・共創性を持たせる。更には、同様の課題や要件を持つ地上での他分野との関連性を強化し、宇宙探査イノベーションハブで進めているような持続的なエコシステム構築を目指す。

加えて、宇宙実験・利用に必要な実験装置等の設置やサンプルの出し入れの作業をロボットによって行うための技術実証PORTRS、作業監視に必要な作業を担うInt-Ball2と言った船内作業代替ロボットとの連携も行い、宇宙実験・利用全体としての遠隔化・自動化・自律化を目指す。

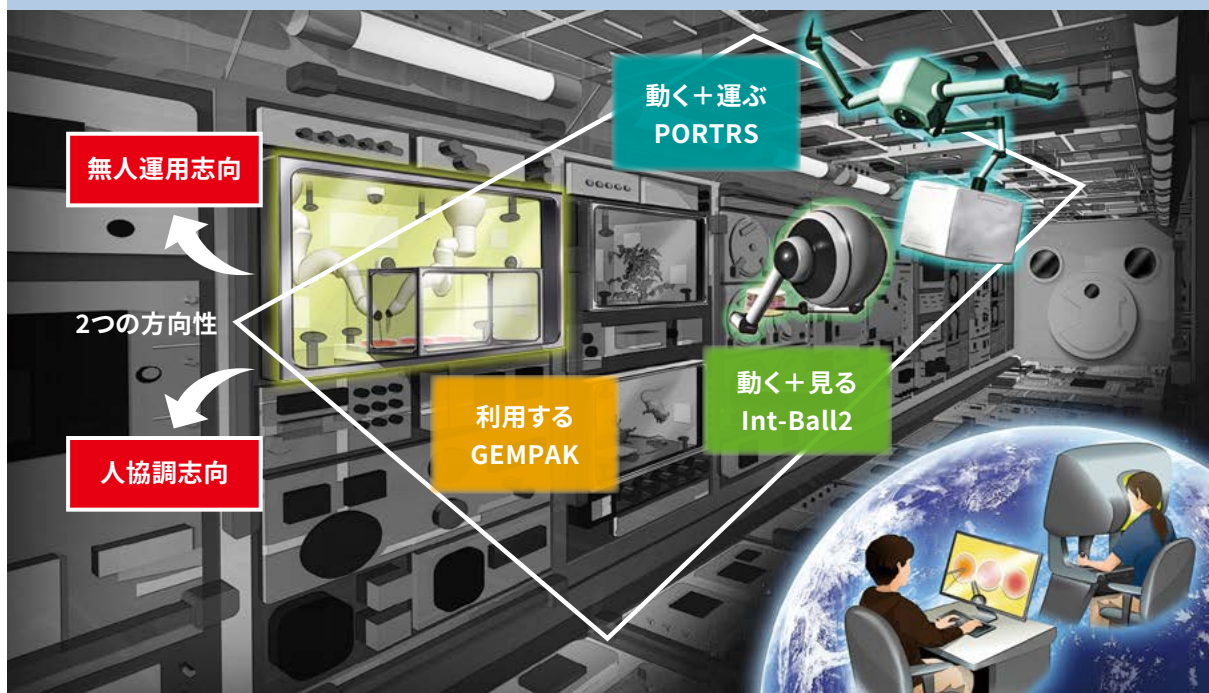
また、従来の宇宙実験・利用の効率化を目指すだけではなく、昨今発展の著しいAI技術等の適用による自律化が行えるようにデータ活用に向けた仕組み、システム構築を行うとともに、先進的な研究を行っている大学・他研究機関等の力を借りる。この際、現在、政府や他研究機関等で推進されている研究DX (<https://www8.cao.go.jp/cstp/kenkyudx.html>)等を参考にする。

宇宙実験・利用の遠隔化・自動化・自律化は、月近傍での国際宇宙探査活動等にも必要な技術であり、「きぼう」で得られた技術・知見・人材・コミュニティを活用していく。

「きぼう」で育む 人とロボットと宇宙利用・運用のアーキテクチャ

～「きぼう」を「遠隔化・自動化・自律化」によるロボット実証の場に～

● 実験・利用の効率化、革新 ● 運用の効率化、革新 ● システム化と、データ・情報連携・活用 (他分野を含む地上の類似研究・技術の連携・活用)



「遠隔化・自動化・自律化」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

7: 当初は「加齢研究支援プラットフォーム」と称していたが、より総合的に健康長寿に向けた研究を支援するために、前版の第3版より名称を変更した。

8: 宇宙実験の成果を引き出す実験準備技術や充実した利用者支援、宇宙実験の成功を導く実験運用準備技術、研究開発基盤としての「きぼう」とその運用技術、宇宙飛行士、打上げ・回収を担う輸送システム、実験後の解析基盤 (SPRING-8 利用技術等) 等。

宇宙実験の実績・成果があるきぼう利用のうち、国の科学技術施策の実現や民間企業の研究開発等に貢献でき、JAXA内外から利用ニーズがある取り組みをきぼう利用の柱と位置付け、その領域の研究を支える研究開発基盤を「プラットフォーム」と定義し、それぞれの業界・分野・コミュニティの中で定着及び利用の拡大を推進してきた。

また、「超小型衛星放出プラットフォーム」と「船外ポート利用プラットフォーム」の一部の機能については、民間企業をサービス提供事業者として選定し、民間ならではのサービス事業の展開を実現した。「新薬設計支援プラットフォーム」については、利用サービス提供事業の民間移管を目指し、JAXAと協力しながら実施する民間パートナーを選定している。先の3つのプラットフォームに「健康長寿研究支援プラットフォーム⁷⁾」「革新的材料研究支援プラットフォーム」を含めた既存の5つのプラットフォームについては、引き続き我が国にとって重要な研究開発基盤として機能性能の向上を行いながら活用すると共に、民間に任せることのできる部分は民間に任せ、最終的にJAXAは民間企業からサービスを調達し、利用を継続する。これら5つのプラットフォームに加え、「きぼう」だからこそその価値を創出できる新たな領域として、「細胞医療研究支援プラットフォーム」と「先進的燃焼研究支援プラットフォーム」を次期プラットフォーム候補として、必要な技術開発や実験環境の整備を進め、既存の5つのプラットフォームと共に重点的に取り組んでいく。

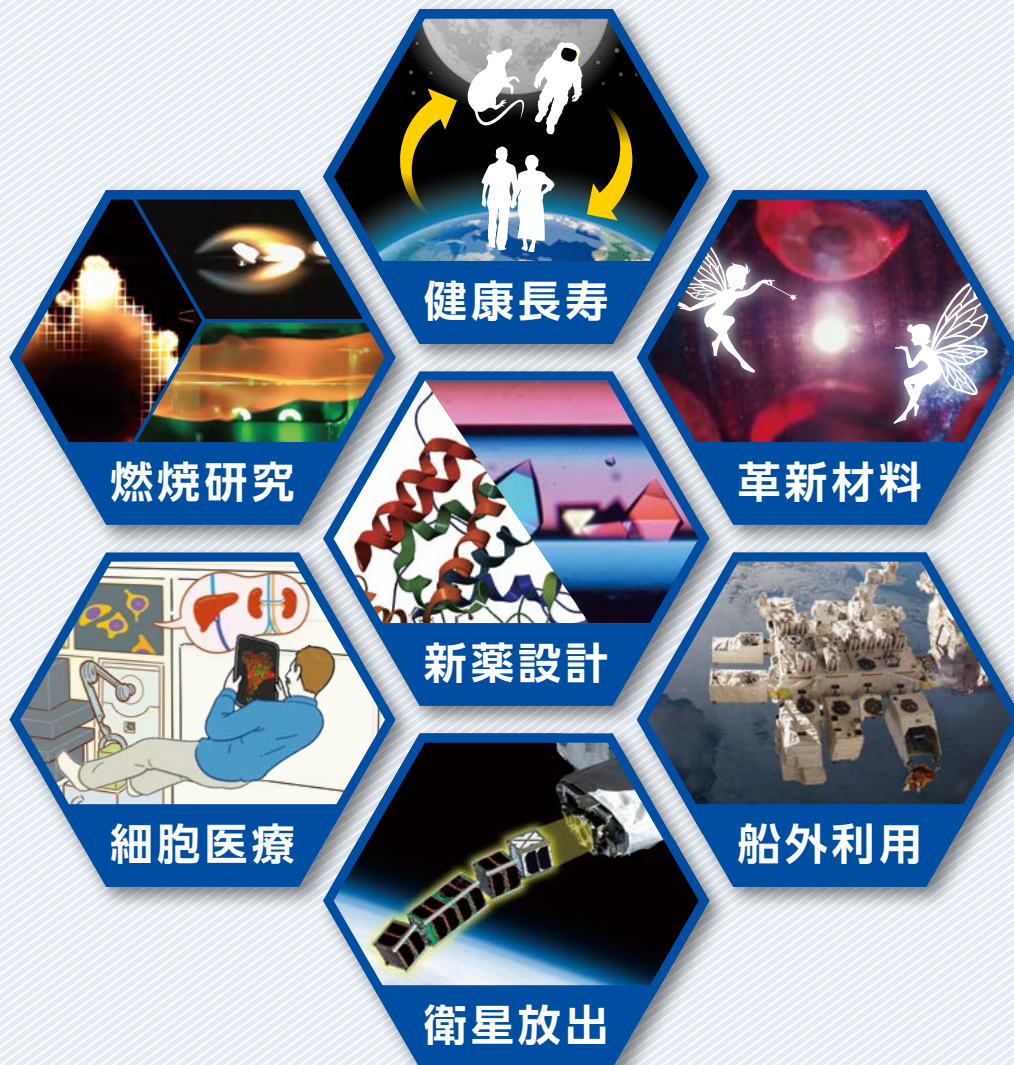
また、科学技術イノベーションを支える他の重要な施策・研究施設・設備の動向等を常に注目し、これらとの連携を図るとともにきぼう利用に対しても有効と考えられる取り組みを積極的に取り入れていく。利用者の参加を促進するために、宇宙実験の入り口から成果創出までを支える一連の実験技術⁸⁾の定型化・定時化・高頻度化・低価格化等を図り、実験ごとにサービスを定型化することにより、きぼう利用の需要を喚起する。

以下、既存プラットフォーム及び次期プラットフォーム候補について整理する。

プラットフォーム一覧

既存プラットフォーム	i	新薬設計支援プラットフォーム	タンパク質の構造に基づく薬剤設計支援
	ii	健康長寿研究支援プラットフォーム	「きぼう」を使ったヒトの健康長寿に関連する研究への貢献
	iii	革新的材料研究支援プラットフォーム	無容器処理技術を利用した材料研究への貢献
	iv	超小型衛星放出プラットフォーム	超小型衛星放出サービスの提供
	v	船外ポート利用プラットフォーム	船外ポートを利用した戦略的利用推進
次期プラットフォーム候補	i	細胞医療研究支援プラットフォーム	立体培養技術開発における微小重力環境の優位性を利用した細胞医療研究と、生体、特に細胞レベルで見られる宇宙環境の影響の理解を深めることによる人類の活動領域拡大への貢献
	ii	先進的燃焼研究支援プラットフォーム	重力影響を考慮した材料燃焼性評価技術の高度化による宇宙火災安全性向上への貢献

プラットフォームアイコン



■ (1) 既存プラットフォーム



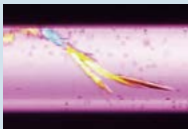
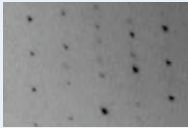
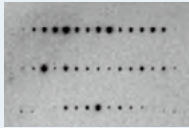
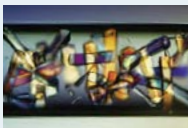
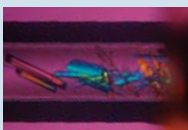
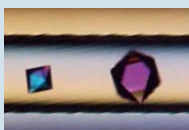
i. 新薬設計支援プラットフォーム

タンパク質の構造に基づく薬剤設計支援

現状と課題

「きぼう」の微小重力環境は、地上よりも高品質なタンパク質結晶を生成することができる特長を有する。JAXAは世界に誇る先鋭的な結晶生成技術を蓄積し、これまでにアカデミア研究者が主体となって歯周病治療薬開発、抗がん剤に関する標的タンパク質の結晶生成等、他国に先んじた成果を創出してきた。特に筋ジストロフィー治療薬に関しては宇宙実験の成果を一部活用したpizuglanstatが2023年11月に希少疾病用医薬品に指定されるなど我が国の健康医療への貢献を進めている。

また、打上げ前の支援の充実に加え、打上げ機会の増加や実験サイクルの短縮化、結晶化温度の多様化等により、民間による利用が促進し、バイオベンチャー企業や大学との戦略的なパートナーシップ契約の締結や大手製薬企

	地上結晶	宇宙結晶
クラスター化の抑制		
モザイシティの改善	 0.523	 0.209
分解能の改善	 1.20A	 0.9A
ツイン結晶の解消	 21.8%	 1%
異なる空間群の結晶生成		

「きぼう」では、小さな結晶が多数集まるクラスター化が抑制されるなど地上より品質の良い結晶を生成することができる

9: 初めて宇宙実験を実施する方(1法人につき1回だけ)を対象として、経費を全額免除して利用できる制度。本制度は、有償利用制度の一部であり、新薬設計支援プラットフォームにのみ適用される制度。

業等によるトライアルユース⁹が拡大したことから、宇宙空間での実験が創薬にかかる時間とコストの削減に大きく貢献可能であることが認知され、昨今では民間企業が宇宙環境を利用した独自の有償サービスを展開する等の動きが出てきている。

そのため、JAXAがスペースシャトル時代から培ってきたタンパク質結晶化実験技術・ノウハウを民間企業に移管し、民間による一般サービス事業の展開を促進していく。本プラットフォームでは2021年から2024年にかけて従来のJAXAが受託する有償利用と民間企業によるJAXAの運用支援を一本化して、民間事業者による市場拡大と、各種技術・ノウハウの移転を行う民間パートナー制度を構築し、JAXAが保有するタンパク質取り扱い技術(発現、精製、結晶化)の技術の段階的移管と、宇宙実験に関する準備を含めた各種運用技術・ノウハウの移転を行ってきた。このような民間企業との協業の仕組みを使って、JAXAは学術的・産業的なインパクトの大きなテーマを中心に、本領域における利用を促進させる。

なお、海外の宇宙実験の状況として、これまでJAXAとロシアは資金授受のないタンパク質結晶生成実験を共同実施してきた。ロシアは、自国発の創薬を目指してJAXAとの共同実験を引き続き重要視しており、プロジェクト延長を前向きに検討中である。また、米国は水溶性タンパク質の結晶化実験に加えて、従来法を改変した大型結晶生成技術の開発や、抗体医薬品の結晶多形実験技術の開発等を行っている。

タンパク質構造研究に関する周辺状況として、AlphaFold2などのAIを用いた構造予測技術や極低温電子顕微鏡による構造研究等、従来の結晶を用いた構造解析技術を置き換える、もしくは相補する新規技術の発展が目覚ましいため、結晶化の需要が相対的に減少している。

しかし2030年ごろまでの世界のタンパク質結晶化市場について、2022年時点で約1700億円の市場規模だったものが2032年までに年平均8.3%の成長が見込まれており、約3800億円にまで成長すると予測されている。特にアジア地域やラテンアメリカなどで製薬、バイオテクノロジー企業による新興市場での成長が期待されており、それらの地域の市場成長率は9%以上と予想されている。これらの成長市場ではインハウスでの結晶化に加えて、受託研究サービスの需要拡大が予想されている。これまで特殊な技術を必要としていた構造研究が結晶化ロボットの普及、データ測定の自動化、極低温電子顕微鏡などの新規技術の躍進によってコモディティ化が進んだ結果、タンパク質の構造研究全体の市場拡大に伴い結晶化市場も並行して拡大していくと考えられる。

そのような市場背景の中、新薬設計支援プラットフォームが構築したトータルパッケージサービスは高難易度のターゲットを取り扱うことが可能であるという特徴があるため、コモディティ化が進みプレーヤーが増加した市場においてこそ海外に売り込むチャンスがあると考えられる。

本プラットフォームは、主に国が進める課題解決型研究への貢献(本紙2.3項きぼう利用の5つの目標 目標1)や民間事業者による「きぼう」での経済活動への支援(本紙2.3項 目標2)が可能である。

目標

本プラットフォームは、既に民間企業や国の統合イノベーション戦略に沿った新薬設計に価値ある構造データを提供するプラットフォームとして定着してきており、2028年までにJAXAがこれまで培ってきた世界的優位性のある技術やノウハウを、サービス事業者に移管する。JAXAは国の課題解決・科学成果最大化に向け、学術的・産業的なインパクトが大きく、結晶化のハードルが高いテーマを対象とした利用を促進し、我が国の健康医療戦略が狙う創薬を構造解析の面から支え、健康長寿社会の形成に貢献する。

必要となる実験技術等

利用者ニーズの多様性に応えるため、4℃と20℃での結晶化実験機会を定常的に提供し、地上で一般的に利用されている蒸気拡散法を再現できる「浸透チューブ法」を用いた結晶化についても2018年度から定常運用を開始している。

世の中のニーズが高く獲得すべき実験技術の一つである膜タンパク質の結晶化技術については、大阪大学と共同でタンパク質の結晶化促進技術を開発した。本技術を基盤にAMEDが実施しているBINDS事業に参画し、2022年度から研究者に膜タンパク質の発現から結晶化までのパッケージを提供している。2025年度からは膜タンパク質結晶化の公募を開始する。中性子回折向けの大型結晶化技術の要素技術開発については、容器や結晶化条件、結晶化セルを改良することでの実現を目指し、2021年度に定常運用を開始した。また、凍結状態で打ち上げて軌道上で結晶化を開始する「凍結融解法」の確立や保温輸送容器の開発を進め、2022年度に定常運用を開始した。

またJAXAではタンパク質の結晶化技術を基盤に低分子・中分子の結晶化の検討を開始しており、今後、高品質な低分子・中分子の結晶化および結晶多形に関する技術開発を民間企業との協業によって強力に推し進め、2028年ごろの事業開始を目指す。

これらの「結晶」をキーワードとしたトータルパッケージの結晶生成実験技術によって、科学技術立国に相応しい質の高い科学技術成果を創出する。

利用推進方策

きぼう利用におけるタンパク質結晶生成実験は、「技術獲得フェーズ」を第一期とし、「ユーザ開拓、質・量の向上フェーズ」（第二期）、「戦略ユーザによる成果の創出フェーズ」（第三期）、「ISS/LEOでしか創出できない独創的な成果の創出フェーズ」（第四期）と進め、徐々にJAXAの技術蓄積、ユーザの拡大を図ってきた。引き続き、科学的成果創出を目的とするアカデミアのテーマや戦略パートナー等のテーマについては、JAXAとの共同研究（成果共有、無償機会提供）を継続し、特にトップサイエンスとなりうるアカデミアテーマを発掘して密に協力を推進する。また、民間利用の拡大については、請

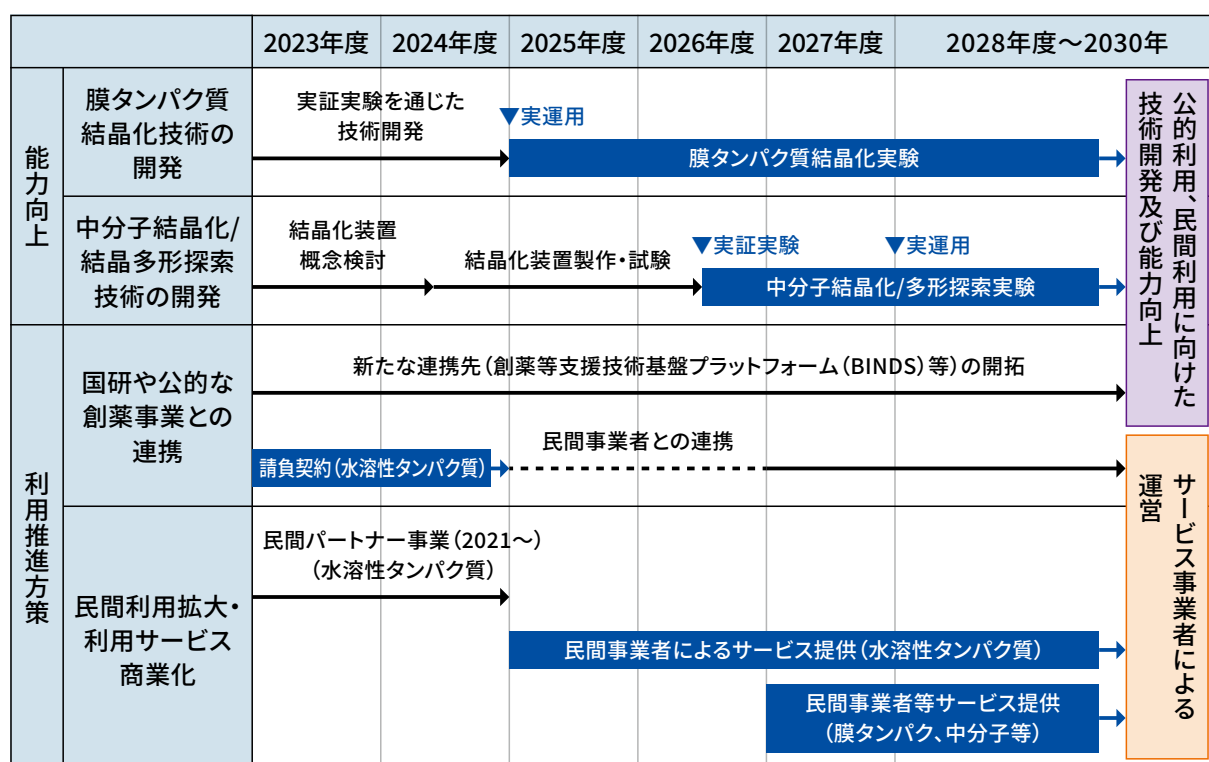
負契約と有償利用契約を組み合わせた民間パートナー制度を構築し、有償利用の拡大を図っている。第5期となる2025年以降は、JAXAによる有償利用受託を廃止し、民間企業による有償利用市場の開拓を加速していく。JAXAは学術的・産業的なインパクトの大きいテーマに絞って、宇宙環境利用の活用でしか創出できない独創的な成果創出を目指して推進する。

短期間での成果創出が見込める有望な分野を中心に、国の戦略的な研究を継続的に進めている大学や研究機関にプロモーションを行い、定期的に利用の公募を行うことで、新たな利用者を取り込んでいく。このような学術利用には搭載試料の45%を目安に割り当てる。

また、国の研究機関や公的な創薬事業に対して継続的にヒアリングやニーズ調査を行い、戦略パートナーとなりうる国の研究機関等の連携に搭載試料数の5%を目安に割り当てる。

さらに企業利用については、民間パートナーによるプロモーションへ協力し、利用開拓を進める。利用開拓方針については民間パートナーの意向を最大限尊重するが、現時点での想定方針として、短期的には北米、欧州、日本国内の製薬企業、バイオベンチャー、酵素メーカー等の化学系企業等を対象に個々の民間利用を目指してプロモーション活動を実施し、中期的にはアジア、オセアニア、ラテンアメリカのバイオベンチャーとの連携を推進方針の中核に位置づける。このような民間企業等による利用には、搭載試料数の30%を目安に割り当てる。

また、更なる利用ニーズ多様化への対応を図るための既存技術の高度化ならびに新規技術開発に必要なJAXA技術実証には、搭載試料数の20%を目安に割り当てる。



新薬設計支援プラットフォーム ロードマップ



ii. 健康長寿研究支援プラットフォーム

「きぼう」を使ったヒトの健康長寿に関連する研究への貢献

現状と課題

超高齢社会である我が国では、医療費や介護問題等様々な問題が起こることが予測されるため、健康長寿への取り組みは我が国にとって重要な施策の一つである。宇宙環境は、地上の高齢者や寝たきりの状態に類似した生物影響による変化を加速的に研究できる環境であり、ISS・「きぼう」の運用開始以来、JAXA健康長寿研究支援プラットフォームでは宇宙ミッションを通して「きぼう」を使った社会課題解決に貢献する研究等に取り組んできた。例えば、生物が重力を感知する仕組みは寝たきり等による筋萎縮化等のスイッチとも考えられるため、「きぼう」ではこれまでに、生物の重力感知機構、骨代謝制御、筋再生・筋萎縮機構、老化や環境適応に伴う遺伝子発現やエピジェネティックな変化に関する研究等を様々なモデル生物を用いて行い、新たな骨粗しょう症治療薬候補の効果実証や筋分化誘導因子の同定等の成果を創出してきた。また、国際的な有人宇宙探査活動を支える基盤データの蓄積のニーズの高まりにより、JAXAが有する世界唯一の小動物用可変人工重力環境研究プラットフォームは、月や火星の重力の生体影響評価系として利用されてきた。



小動物ミッションから得られた身体の機能維持・有人探査に向けた科学知見

「きぼう」の運用が開始されて以降、本プラットフォームを支えるマウス飼育ミッションでは、小動物飼育装置システムを使用してサイエンスデータを持続的に獲得してきた。2023年の「きぼう」船内利用フラグシップミッション募集では、『社会課題解決あるいは知の創造に貢献する研究』および『人類の宇宙(特に、月や火星)への進出に貢献する研究』から新たな研究テーマが選定され、今後きぼう利用を通じた歴史に残る成果の創出が期待される。また、2018年からは宇宙ミッションの代表研究者が活用しない未解析組織サンプルの国内公募研究を進めている。さらに、国際協力の枠組みに基づく米国やアジア太平洋地域を対象とした組織サンプルシェアの新たな枠組みとして広げ、解析サンプルの有効活用及び「きぼう」利用ユーザの裾野拡大に貢献している。

本プラットフォームを取り巻く国際協力・連携(日米オープン・プラットフォーム・パートナーシップ・プログラム等)の枠組みの中では、2023年にJAXA独自の宇宙マウス可変人工重力環境飼育システムを用いたJAXA-NASA共同低重力ミッション(第8回小動物飼育ミッション)が、JAXAが推進する国際協力の成功例として位置付けられる。今後の有人宇宙探査への取り組みの展開や協力の深化等の国際的な動向を背景として、「きぼう」のみが有する可変人工重力研究環境を活用し、さらなる国際連携が期待される。

これらのJAXAの取り組みや宇宙ミッションを実現するためには、豊富な経験を積んだ各分野の専門家たちのサポートが不可欠である。宇宙ミッションの実験計画を審査する動物実験委員会や遺伝子組換え実験管理委員会、外部有識者から構成されるきぼう小動物利用研究アドバイザー委員会等のほか、ISS国際パートナーや国内外のミッション支援企業等による協力体制を本プラットフォームの基盤として、その体制をより強化するだけでなく、将来、民間事業者がプラットフォーム利用をリードするためにJAXAが得た知見や構築した体制を段階的・計画的に引き継いで行くことが期待されている。さらに、大学等の研究機関の研究者だけでなく、エンドユーザとして想定される民間の製薬企業等が利用しやすい仕組みを整備することが求められている。

目標

本プラットフォームでは、『社会課題解決あるいは知の創造』および『人類の宇宙(特に、月や火星)への進出』の2つの方向性に資する宇宙ミッションを実施する。

1. LEOにおける地上への還元を目的とした研究について、従来の公募型研究を継続するとともに、研究者の裾野を広げるために、宇宙ミッションにかかる学術データ公開や未解析サンプルの活用を積極的に進める。
2. 人類の宇宙への進出に関しては、世界唯一の小動物用可変人工重力環境を活用した研究や、個別飼育システムの利点を活用した研究など、国際的な有人宇宙探査活動を支える基盤データの蓄積を行う。

3. 本プラットフォームを推進する民間事業者の参入を促進するために、宇宙ミッションのEnd-to-End運用を可能とする人材の育成やその支援体制を強化する。それと同時に、利用者側のニーズに応じてタイムリーな宇宙ミッションを実現するためのミッション形態(定型化したミッション等)や有償利用等の枠組みについて検討を進める。潜在的な民間ニーズや可能性を調査し、民間主体の利用コンソーシアム等の構築を目指す。また、クルータイムを大幅に削減可能な新型装置の開発にも優先的に取り組み、民間が本プラットフォーム利用を推進できる環境づくりを行う。

必要となる実験技術等

我が国は、軌道上の遠心機を利用することにより、地上の重力に相当する1Gと微小重力の影響を宇宙空間で同時に比較することができる装置を有している。小動物飼育装置を軌道上の遠心機に取り付けることにより、同じ宇宙放射線量等の下で微小重力のみの影響を比較できるようになり、世界で初めて哺乳類に対する重力の影響を評価できる実験環境を整備した。米国も小動物の軌道上人工重力環境の整備に取り組んでいる中、我が国の優位性を活かし、より多くの研究成果を創出するために実験能力をさらに向上させていく。

具体的には、2024年、我が国の最先端技術を導入した光マーカによる体内の遺伝子等の挙動を生きたままモニタできるシステムの軌道上実証完了させ、生存帰還後のタイムラグに起因する課題解決に対応する。また、ISS退役以降のマウス飼育ミッション継続や宇宙飛行士の介在を軽減したマウス飼育ミッション遂行やリアルタイムでの実験データの取得を目指し、マウス飼育・飼育装置メンテナンスの自動化等、2025年頃までに高度な実験技術の開発を進める。

マウス飼育ミッション以外に関しては、実際にヒトで生じる課題の検証やデータ蓄積を進めるため、ヒト(宇宙飛行士)を対象とした実験を含め、多様な実験に対応していく。

TELLASで光る細胞・組織を撮影

宇宙初、バイオイメーjing技術の活用！

- TELLASは、宇宙で使用するために軽量化された遺伝子機能発光イメージング解析装置
- 経時的に生体データの取得が可能
- ISS・「きぼう」で撮影された画像データは地上にダウンリンク
- 撮影後は、軌道上にて通常の飼育を継続



遺伝子機能発光イメージング解析装置TELLAS

利用推進方策

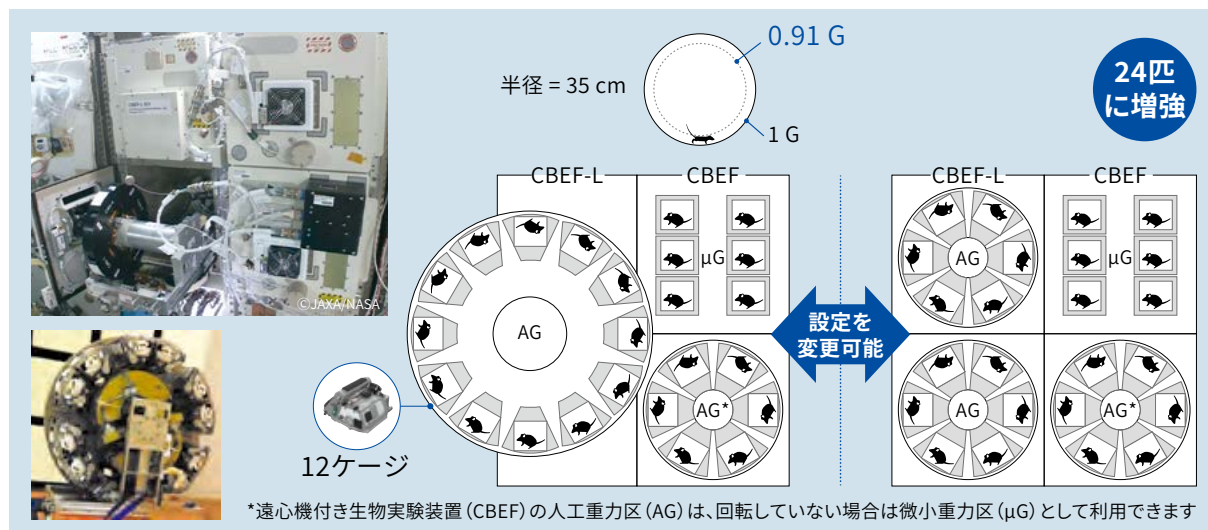
日本ならではの戦略的な研究推進方策として、まず「基本機能の開発・検証」を第一フェーズとし軌道上における小動物の個別飼育に関するシステム構築やベースラインとなる解析手法の構築等を行った。第二フェーズでは、「新たな進化領域探索・実証、キラーコンテツの提示」を目標に、遺伝子組換えマウスや中枢神経病態マウス等を使った軌道上実験を実施し、健康長寿の延伸にかかる様々な科学テーマに取り組んでいる。2020年以降は、第三フェーズとして、「深化・研究機関や民間利用による利用拡大・常態化」を目標に、マウス飼育ミッションで得られた遺伝子データを活用し、筋・骨維持にかかる重要因子を見出す等、健康長寿にかかる研究活動を加速する。

また、ISS退役以降も持続的に健康長寿に向けたミッションを継続していくための自動化・自律化にかかる技術実証等を推進し、研究機関や民間と連携して新たな民間主体のコミュニティの形成を推進する。

2020年から、民間の製薬企業等が利用しやすい仕組みとして、宇宙ミッションで得られた各臓器・組織の遺伝子発現変化や血液代謝物変化のデータを宇宙生命科学統合バイオバンク (integrated biobank for Space Life Science: ibSLS)¹⁰に蓄積・公開を開始している。ibSLSはマウス飼育ミッションのデータをヒトの健康長寿につなげるため、疾患発症リスク予測研究としてのコホート研究¹¹として、日本最大規模のヒト生体試料と網羅的な生体分子(オミックス解析)情報を併せ持つ東北大学東北メディカルメガバンク(ToMMo)との戦略パートナー協定を活用し、宇宙と地上をつないだ信頼性の高いデータセット・データシェアリングの仕組みとなっている。これにより、民間企業の研究者は、過去の宇宙ミッションデータに容易にアクセスすることができ、企業が興味を持つ因子の宇宙変化を、事前に評価できるようになった。民間企業が宇宙ミッションに参画するハードルを下げるのが期待される。さらに、民間企業による未解析サンプルの有償利用を推進する仕組みづくりを整理している。

10: <https://ibsls.megabank.tohoku.ac.jp/>

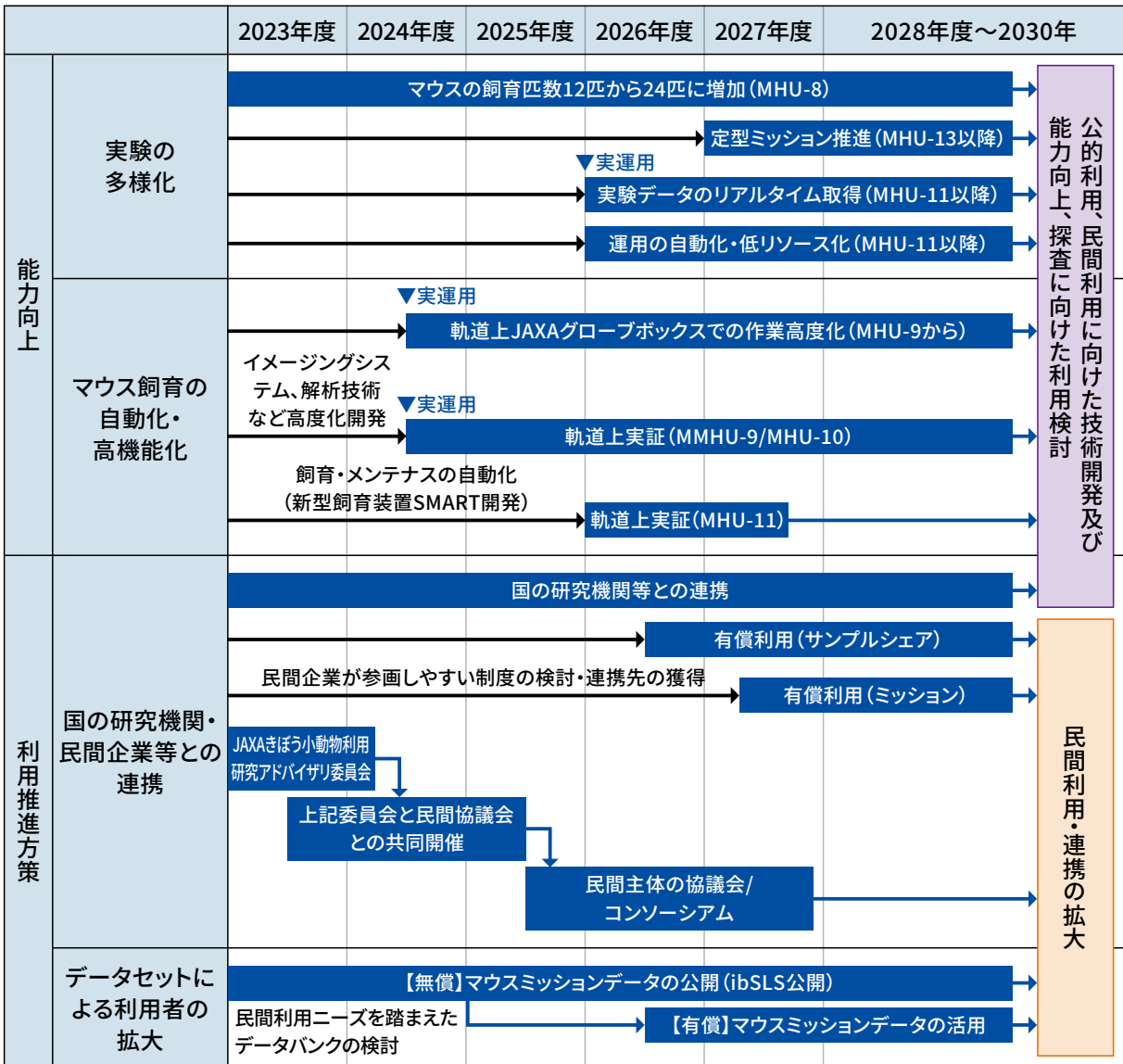
11: 特定の人々の集団を一定期間にわたって追跡し、生活習慣等の環境要因・遺伝的要因等と疾病発症の関係を解明する研究



マウス飼育ユニット(MHU)の進化



月、火星、深宇宙へのステップ。宇宙ステーションで月重力を模擬した環境で長期マウス飼育



健康長寿研究支援プラットフォーム ロードマップ



iii. 革新的材料研究支援プラットフォーム

無容器処理技術を利用した材料研究への貢献

現状と課題

地上では、液体を保つためには容器が必要であるが、微小重力環境では、容器を用いることなく非接触で液体を保持することができる。「きぼう」に搭載する静電浮遊炉は、金属から絶縁体まで幅広く融点が2000°Cを超える材料を無容器で浮遊させ、熱物性データを計測できる特徴を有しており、大過冷却により新たな物性の材料を生み出す可能性を秘めている。海外では、欧州宇宙機関(ESA)がISSの欧州実験棟「コロンバス」に電磁浮遊炉(EML)¹²を設置して実験を行っているが、導電性がある合金系材料を対象とするEMLに対して、静電力により導電・非導電性を問わずに多様な材料を浮遊できるのが静電浮遊炉の長所であり、容器からのコンタミネーションがない高純度で、高精度かつ広い温度領域で熱物性値(粘性、密度、表面張力)等を取得できる。

静電浮遊炉は、この機能・性能を活かして、従来は不可能であった超高融点非導電性材料(ガラスやセラミックス等)の熱物性データを取得できる唯一の設備として稼働しており、世界初の材料熱物性データ取得による科学技術分野での新たな発見だけでなく、材料製造プロセスの数値シミュレーションの高精度化による材料の高品質化や革新的材料の発見・創製プロセスの解明など、産業分野でも成果を挙げている。

現在は、定期的なテーマ公募による科学利用が中心であるが、それらに加えてガラス、セラミックス、金属メーカー等の民間企業による有償利用やJP-US OP3の協力に基づくNASAによる継続的な利用を含めた国内外のユーザによる利用件数は増加を続けており、今後も新規材料創出等への貢献が期待される。

一方、個々の試料特性により安定した浮遊・溶融が難しい試料がまだ存在していること、材料の浮遊や溶融を安定的に行うための高度な制御技術が運用者個人のノウハウに依存していることなど、さらなる利用拡大や成果創出に向けた課題が残されている。

本プラットフォームは、主に国が進める課題解決型研究への貢献(本紙2.3項目標1)や民間企業の投資判断済み事業による「きぼう」の社会的価値の実証(本紙2.3項目標2)が可能である。

目標

「きぼう」の静電浮遊炉では、従来、地上では不可能であった先端材料や産業界で利用されている多元系酸化物等を含む高機能材料の熱物性データが取得できることが認知され、国内外の研究者に広く開かれた共同利用施設として多くのユーザに利用されることを目標とする。また、データ取得可能な

12: Electromagnetic Levitator :
欧州がISSで運用している電磁波
を利用した浮遊実験装置

材料の種類を拡げることで、新たな科学技術の発見や産業界の材料の高品質化・革新的材料の創製に貢献することを目指す。

さらに、ポストISSに向けて民間事業者主体で継続的に静電浮遊技術を活用した材料の熱物性データ取得ができるように、民間事業者への技術移管を進め、2026年までに民間事業者が本プラットフォームを使ったサービスを提供できる仕組みを構築する。

必要となる実験技術や装置

データ取得可能な材料の種類を拡げて、更に多くのユーザが利用できるように、また、民間事業者主体で実験が実施できるように、機能追加や自動化を段階的に進める。民間事業者への技術移管とその後のサービス提供に向けて、これらにより、質の高い成果創出が可能なプラットフォームとして成熟させる。

- ・ 試料の酸化低減策の追加：酸素ポンプやターボ分子ポンプ等の追加により、金属試料の酸化による特性への影響を低減する
- ・ CO₂レーザーの追加：現在の半導体レーザーの波長の吸収率が悪い素材も扱えるようにする
- ・ 制御の自動化：運用者が蓄積したノウハウにより、リアルタイムで行っている手動制御をAI技術等を用いて自動化する

利用推進方策

これまでの技術蓄積により、当初と比べて実験成功率が大幅に向上できており（浮遊確率：約50%→100%程度）、安定した実験が実現できていることから、今後は前述の機能追加・自動化と民間事業者候補によるユーザ開拓に注力する。

自動化は、民間事業者主体での実験実現に向けた鍵の一つとなることから、民間事業者候補と連携して技術移管と並行して進める。また、静電浮遊炉で浮遊・熔融できる試料の種別・特性や取得可能なデータなど、静電浮遊炉でしかできない実験の価値をユーザ視点で分かり易くまとめ、民間事業者候補のネットワークを活用して、国内外の新たなユーザや新しいアイデアによる活用法を探索する（2025年まで）。これらの準備を経て2026年を目標に民間事業者主体で実験が実施できる体制に移行する。

また、公的利用での更なるユーザ拡大のため、引き続きテーマ公募での積極的なプロモーション活動を実施すると共に静電浮遊炉の利用価値・社会的価値を高めるため、国の材料研究を担う研究機関等と戦略パートナーとしての連携を構築（パートナーシップ協定を締結）し、研究機関や民間企業による利用の拡大を図り、産学官で幅広く利用される姿を実現する。さらに国際的な利用の拡大を目指し、米国、ロシア、欧州による静電浮遊炉利用の要望に応えるとともに、アジア地域にも利用を広げ、静電浮遊による日本の宇宙利用技術を世界に定着させる。

		2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度～2030年
能力向上	より幅広い ユーザーズ への対応	酸化しやすい金属や 高粘性融体の熱物性取得 のための機能向上					
				測定できる試料や熱物性の範囲拡大による利用者増加			
				向上した機能を活用した新たな分野での活用 (例:レゴリスの物性測定・材料抽出や材料合成)			
能力向上	宇宙飛行士に よる作業の削減	宇宙飛行士手順を削減・ 簡素化する改修					
				実験リソースの効率化とそれによる実験頻度の向上			
能力向上	運用の効率化	属人的な運用からの脱却 AIなどを活用した自動化					
		定期的な公募					
利用推進方策	定期的な募集・ 戦略パートナーの 構築	戦略パートナー開拓 (国の材料研究を担う 研究機関、海外等)					
				国研や公的な事業、海外機関との連携			
利用推進方策	民間利用の拡大・ 利用サービスの 商業化		民間事業者候補による ユーザ開拓・活用法探索				
				民間事業者等によるサービス提供			

革新的材料研究支援プラットフォーム ロードマップ

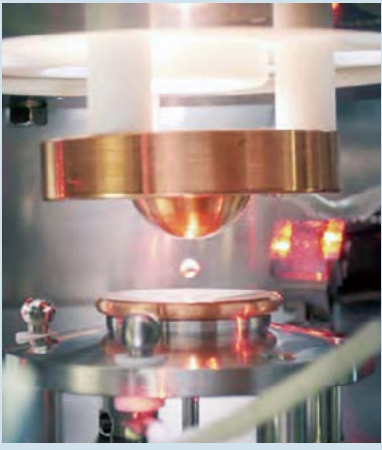
地上



宇宙



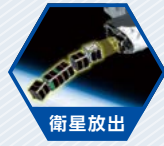
微小重力の影響による容
器無しでの浮遊



静電浮遊炉(地上実験)の様子。電極の
間に電圧をかけ発生した静電気力を用
い、帯電した試料を浮かべる。



6つの電極間で浮遊する溶融酸化アルミニウム(中
央)(2017年7月取得)



iv. 超小型衛星放出プラットフォーム

超小型衛星放出サービスの提供

現状と課題

ISSからの超小型衛星の放出は、エアロックとロボットアームを併せ持つ「きぼう」で初めて実施された。「きぼう」から放出される超小型衛星は、打上げ時の振動環境が緩和されるとともに、高頻度の輸送が可能であり、利用者にとって利便性も高く、技術実証や教育機会の場を提供するプラットフォームとして、国内のみならず海外からの期待も高い。また、ロケットからの衛星放出のように主衛星のスケジュールに依存しないため、準備でき次第打上げることが可能である。

「きぼう」では、2024年1月末時点で計335機の超小型衛星を放出している。JAXAの小型衛星放出機構(JEM Small Satellite Orbital Deployer: J-SSOD)を用いて放出した衛星としては31か国の国々が開発した76機であり、うち18機はその国初の衛星であった。超小型衛星の開発には比較的手軽にチャレンジできることから、当プラットフォームは人材育成や国際貢献、技術実証、ビジネス実証において役立つことが期待されている。主に民間企業の投資判断済み事業による「きぼう」の社会的価値の実証(本紙2.3項 目標2)や国際プレゼンスの向上及び人材育成への貢献(本紙2.3項 目標5)が可能である。

こうした背景のもと、JAXAでは2018年に「きぼう」からの超小型衛星放出サービスを提供する事業者を2社選定し、民間事業者ならではのアイデアにより、国内外に広く独自のサービスの提供を開始した。さらに、JAXAは、戦略パートナーと連携し、東南アジアやアフリカ等、当事国の人材育成、SDGs等への貢献を目的に超小型衛星を開発し、有償利用やKiboCUBE¹³の枠組みを活用して、当該国・地域初となる衛星の打上げ・放出に貢献している。現状、1~6Uはもちろん、50 kg級の超小型衛星の放出が可能である。

「きぼう」から放出される超小型衛星は、ISSの高度や傾斜角の制約から、衛星の寿命や実用的な利用ミッションへの適応性等の課題があり、より長期の技術実証や観測のために、放出技術の向上が望まれている。今後打ち上げられるHTV-X1号機に搭載する衛星放出システム(H-SSOD)ではISSよりも高い高度から衛星を放出することが可能である。

目標

2025年度以降、さらに使いやすい枠組みを整備し、人材育成の国際貢献・ビジネス実証・技術実証に生かせる場として本プラットフォームの価値を高める。

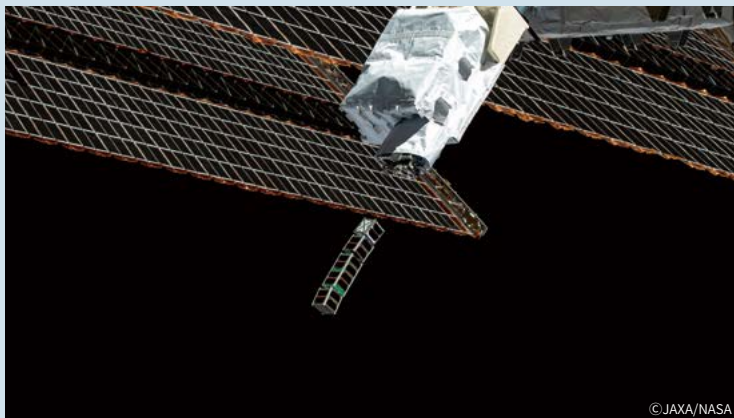
13: JAXAと国連宇宙部(UNOOSA)との協力による「きぼう」からの超小型衛星放出の機会提供に関する連携協力。

利用推進方策

JAXAは、事業者を含む戦略パートナーと連携し、SDGsへの貢献や宇宙新興国に対するキャパシティビルディング、商用利用を推進する。

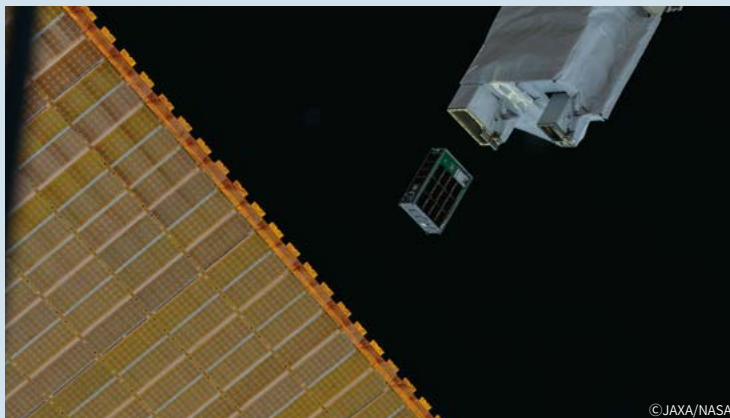
		2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度～2030年
能力向上	高機能化	(搭載能力の向上、軌道上衛星搭載・交換機能の追加等は実施済み)					
	高高度からの放出による運用期間の延伸 (HTV-X利用)	HTV-X放出機構の開発	▼実運用 ※開始時期はH3/HTV-Xの打上げ時期による 放出衛星運用期間の延伸				
利用推進方策	大学・国連等との連携 (SDGs、キャパビルへの貢献)		KiboCUBEミッションの実施				
			J-CUBEミッションの実施				
			他の利用機会 (ロケット相乗り、革新P等) への成果継承				
	民間利用拡大・利用サービス商業化	現行事業者によるサービス提供	事業者によるサービス提供、商用利用の活性化				

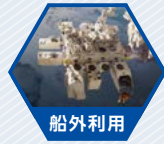
超小型衛星放出プラットフォーム ロードマップ



「きぼう」から放出される超小型衛星 (BIRDS-5; PearlAfricaSat-1 (ウガンダ) / TAKA (日本) / ZIMSAT-1 (ジンバブエ)、事業者衛星; SpaceTuna1 (近畿大学))

「きぼう」から放出されるW6Uサイズ超小型衛星 (事業者衛星; KITSUNE (HAKコンソーシアム))





v. 船外ポート利用プラットフォーム 船外ポートを利用した戦略的利用推進

現状と課題

14: 「きぼう」曝露部に設けられた実験装置等を設置するポート。ポートを介して実験装置等に電力や通信等のリソースを提供できる。実験利用としてJAXAが利用できるポート数は、5ポート。

「きぼう」の曝露部は、オゾン層破壊物質の観測(SMILES)や超高層大気及び雷放電の観測(IMAP/GLIMS)、宇宙環境計測ミッション(SEDAP)等において、一定の科学的成果を創出してきた。また、全天X線天体の観測(MAXI)及び高エネルギー電子・ガンマ線観測(CALET)の運用を継続し、Nature、Science、Physical Review Letters誌に掲載されるなどインパクトの高い科学的成果を創出している。また、経済産業省の開発した宇宙実証用ハイパースペクトルセンサ(HISUI)は、詳細に物質の識別が可能なセンサを搭載しており、得られた画像を衛星データプラットフォーム「Tellus (テルース)」で一般公開している。これらは、船外ポート¹⁴を専有利用した大型の装置(500kg級)であるが、観測機器を大型にできる一方で、開発には多額の資金や開発期間を要し、かつ、船外貨物として打ち上げる必要があるため、船外利用の活性化が進まないという課題があった。この課題を解決して成果創出の速度を上げるため、小型・中型(200kg以下)の実験装置を船内貨物として打ち上げ、「きぼう」のエアロックを介して船外で利用・実験を可能とした、中型曝露実験アダプタ(i-SEEP)を開発し、運用を始めた。2019年には、i-SEEPのユーザエリアの半分を活用したサービス提供を行う事業者1社を選定し、民間事業者ならではのアイデアにより、国内外に広く独自のサービス提供を開始した。また2022年には、更なる民間利用需要に応えるため、超小型衛星クラスの小型ペイロード(最大3Uサイズのペイロードを8式)の実験を低コストで実施可能な共通的なペイロード支援装置(SPySE)の運用を開始している。

一方、民間利用需要として多い映像コンテンツ等を活用したエンターテインメントサービス等については、ISS・「きぼう」における通信速度が制約となり、必ずしも需要に応えられていない状況がある。そのため、i-SEEPによる船外ポート利用を中心とした船外環境利用を活性化していくにあたり、通信速度の高速化や電力・排熱機能が提供できるよう機能向上を図る必要がある。

本プラットフォームは、主に国が進める課題解決型研究への貢献(本紙2.3項目標1)、民間企業の投資判断済み事業による「きぼう」の社会的価値の実証(本紙2.3項目標2)、国際プレゼンスの向上への貢献(本紙2.3項目標5)が可能である。

目標

きぼう利用では、年間複数回あるISSへの定期的な物資輸送便が利用でき、高頻度の打上機会を活用できる。また、ソフトバッグに梱包する船内貨物として装置を搭載することにより、ロケットで衛星等を打ち上げる場合に比べて打上時の振動環境を緩和できるため、民生品や開発初期段階¹⁵の装置を機能実証のために打ち上げることができる。さらに、i-SEEPを用いた曝露環境利用では、「きぼう」のみが有するロボットアームとエアロックを活用して、宇宙飛行士による船外活動を実施することなく、曝露実験を実施できる。特に、実験実施後に試料を地上に持ち帰ることができるという大きな利点がある。これらは、他の宇宙機はもちろん、ISSの他国のモジュールでは実現できない「きぼう」が世界で唯一成し得る最大の強みである。

このような船外環境の活用としては、地球観測や宇宙観測をはじめとした実利用から、衛星に搭載するセンサやデブリ捕獲、材料実験等の要素技術実証等の利用方法が考えられる。上述した「きぼう」ならではの強みを活かすと共に民間事業者ならではのアイデアによるサービス提供により、将来の地球観測センサ等の革新的な技術実証や斬新かつチャレンジングな宇宙技術実証等の研究開発利用から、エンターテインメント等を含めた民間利用までを幅広く推進し、「船外ポート利用プラットフォーム」としての価値を高めていく。

必要となる実験技術や装置

下記利用推進方策での利用ニーズの状況を踏まえ、i-SEEPから実験装置への冷媒供給機能、「きぼう」船外と船内の通信速度の向上(最大1Gbps)、エアロックのサイズに縛られない船外で装置を結合させるための装置結合機能を施した高機能仕様の開発を完了させており、2025年度開始予定の新規実験に供される予定である。

また、i-SEEPに搭載する光衛星間通信装置を民間企業と共同で開発し、地上へのダウンリンク通信速度を最大1.8Gbpsまで向上する技術を実証していく予定である。

利用推進方策

将来の革新的な技術等の技術実証や実利用、事業者によるサービス提供やエンターテインメント利用まで、日本が有する船外ポートの強みを最大限活用し、サービス提供事業者と連携して、大型装置でしか実施できないミッションにも配慮しつつ、i-SEEPの利用を中心とした利用の拡大を図る。

・大型曝露ペイロードによる利用

X線を使った宇宙観測を行う全天X線監視装置(MAXI)、精密に地表の物質を特定し、将来的に石油や金属・鉱物等の資源調査等への活用が期待される経済産業省が開発・運用を担当する宇宙実証用ハイパースペクトル

15: 試験試作用モデル(BBM)、エンジニアリングモデル(EM)相当

センサ(HISUI)、暗黒物質の存在を確かめるための高エネルギー電子・ガンマ線観測装置(CALET)のために利用する。

・技術実証/人材育成のためのi-SEEP利用

将来の先鋭的・最先端の宇宙機を高い信頼性で運用していくためには、研究開発段階での技術実証が欠かせない。また、有人宇宙技術実証をはじめ、有人宇宙技術以外の宇宙実証や観測ミッション等の利用を推進するため、JAXA全社的な利用の仕組みを構築し、研究段階やプロジェクトの初期段階に「きぼう」で技術実証を行う利用を推進する。

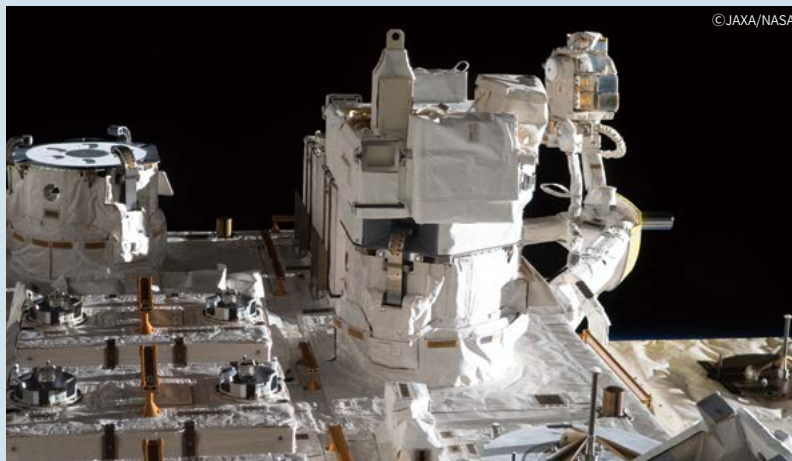
また、日本政府のミッションや日本政府等から外国政府や外国機関への協力案件としてJAXAに協力要請された案件で、JAXAが協力を決定したミッションを搭載する。

・船外ポート利用サービス提供事業者によるi-SEEP利用

センサ開発や画像提供・エンターテインメント等、民間事業者が提供する利用サービスに対し、徐々にポートの割当てを増加する。

		2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度～2030年
能力向上	i-SEEPの高機能化・ポート数増強	開発		高機能化 i-SEEPの運用#1			
		※それぞれに開始時期はH3/HTV-Xの打上げ時期による		高機能化 i-SEEPの運用#2			
	通信速度の向上(100Mbps→1Gbps以上)	通信速度向上の開発		通信速度向上実証			
利用推進方策	JAXA全社的な宇宙技術実証等の利用	全社的な利用の仕組み検討		技術実証機会の提供			
	民間等による船外利用	現行事業者によるサービス提供		事業者の力を借りた2030年までISSの成果最大化、商用利用の活性化			

船外ポート利用プラットフォーム ロードマップ



船外実験プラットフォーム(EF)に取り付けられた中型曝露実験アダプタ(i-SEEP2)

■ (2) 次期プラットフォーム候補



i. 細胞医療研究支援プラットフォーム

立体培養技術開発における微小重力環境の優位性を利用した細胞医療研究と、生体、特に細胞レベルで見られる宇宙環境の影響の理解を深めることによる人類の活動領域拡大への貢献

再生医療分野においては、組織や臓器原基が三次元的に形成・成長することが、その組織・臓器の機能を発揮するのに必須とされている。地上での組織形成に関する研究では、細胞に負荷される重力の方向を、回転により分散させ浮遊状態を維持することが、細胞塊の三次元的な成長や組織の内部構造形成に有利に働くことが示されているが、その一方で、回転による細胞成長環境の不安定さや、物理的なストレス等が想定されることから、完全な立体培養の確立には至っていない。

「きぼう」では、長期間の静的な微小重力環境が維持されていることから、組織・臓器の立体的な拡大に潜む諸課題を解決できる可能性がある。また、これまでのISSでの実験において、微小重力下では細胞成長・分化や老化に影響することが明らかになりつつあり、重力影響のメカニズムを知ることによって、細胞レベルで引き起こされる疾患の現象の理解し、その対処法を見出すことへの貢献が期待できる。そのようなことから、生体における重力感受メカニズム(重力入力機構と機能への変換)を体系的に理解するため、再生する臓器の高機能化に対する「きぼう」の微小重力環境の有効性について理論に裏打ちされた実証を行ってきた。

並行して、これまでの細胞培養等を対象とした宇宙での実験装置の開発実績を踏まえ、細胞培養実験のダウンサイジング、簡便化、定型化により実験機会を増やし、研究分野の裾野拡大と国内外の利用・市場の拡大を目指した定型化細胞培養装置を開発中である。再生医療の現場で求められている確実性の担保及び技術の標準化という点においても、この定型化技術が大いに貢献できる可能性がある。2026年頃に技術実証実験を行い、一連の宇宙実験における生体への環境影響評価の元となるベースラインデータを獲得する。なお、開発中の定型化細胞培養装置は、「きぼう」設置型で人工重力の発生も可能なインキュベータである共通実験装置「細胞培養装置」の利用を前提としているため、この人工重力発生機付きインキュベータを2030年以降の商業宇宙ステーション等にも移設可能な形態で開発することで、ポストISSでも本プラットフォーム等を継続して利用できるように進める。

また、細胞間の相互作用に係る微細な影響を評価するためには、軌道上の「その場」で細胞組織の内部構造等の立体的かつ詳細な観察が不可欠である。そのため、地上研究で広く使用されている共焦点レーザー顕微鏡を軌道上に搭載し、2波長同時観察やタイムラプス観察等を実現している。本共焦点レー

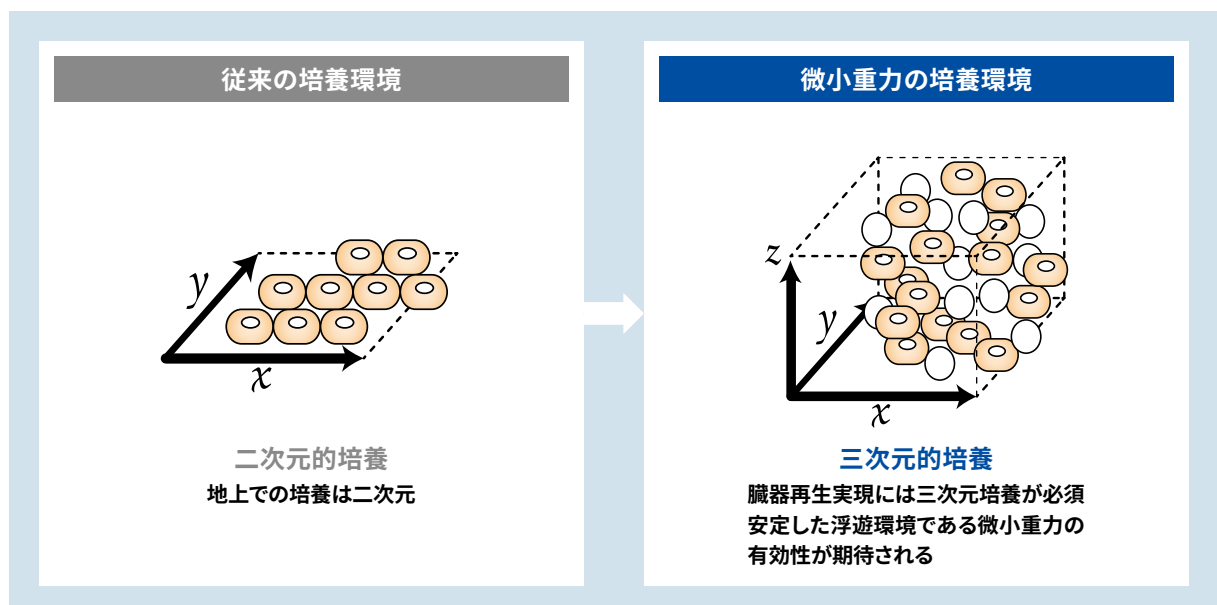
ザー顕微鏡は以下の特徴を有し、軌道上において高度な細胞・組織のライブイメージングを効率良く実施でき、微小重力下の様々な実験課題に対応可能である。

- ・ 広視野蛍光顕微鏡に比べ空間分解能の高い画像で、細胞・組織等の三次元構造を可視化、詳細な構造・機能解析が可能
- ・ 細胞内シグナルや分子動態の測定・解析を、高速かつ高精度に実施でき、生体内で起きる短時間の事象の理解が可能
- ・ 温度変化等による観察位置の変位を補正できることで、安定的な測定・運用時間の短縮化を可能にすると共に、実験試料の劣化を緩和
- ・ 量子効率が増した高感度sCMOSカメラを搭載することにより、高感度・高精細なライブイメージングが可能

「きぼう」での実験技術を確認し、微小重力の有効性を実証できた後は、多様な臓器立体培養研究へ適用を広げるため、宇宙実験テーマ募集において戦略の一つとして設定すると共に、有望な研究者の参画を図り、2027年までのプラットフォーム化を目指す。細胞医療を通じて国が進める課題解決型研究への貢献(本紙2.3項 目標1)を目指す。

また、重力・放射線等の宇宙環境に対する生物の応答・適応などの現象や生物個体の発生への影響を、細胞・分子レベルで捉えて、そのメカニズムの解明に寄与することで、超長期有人宇宙滞在技術や探査技術等の研究開発の推進(本紙2.3項 目標3)に貢献する。

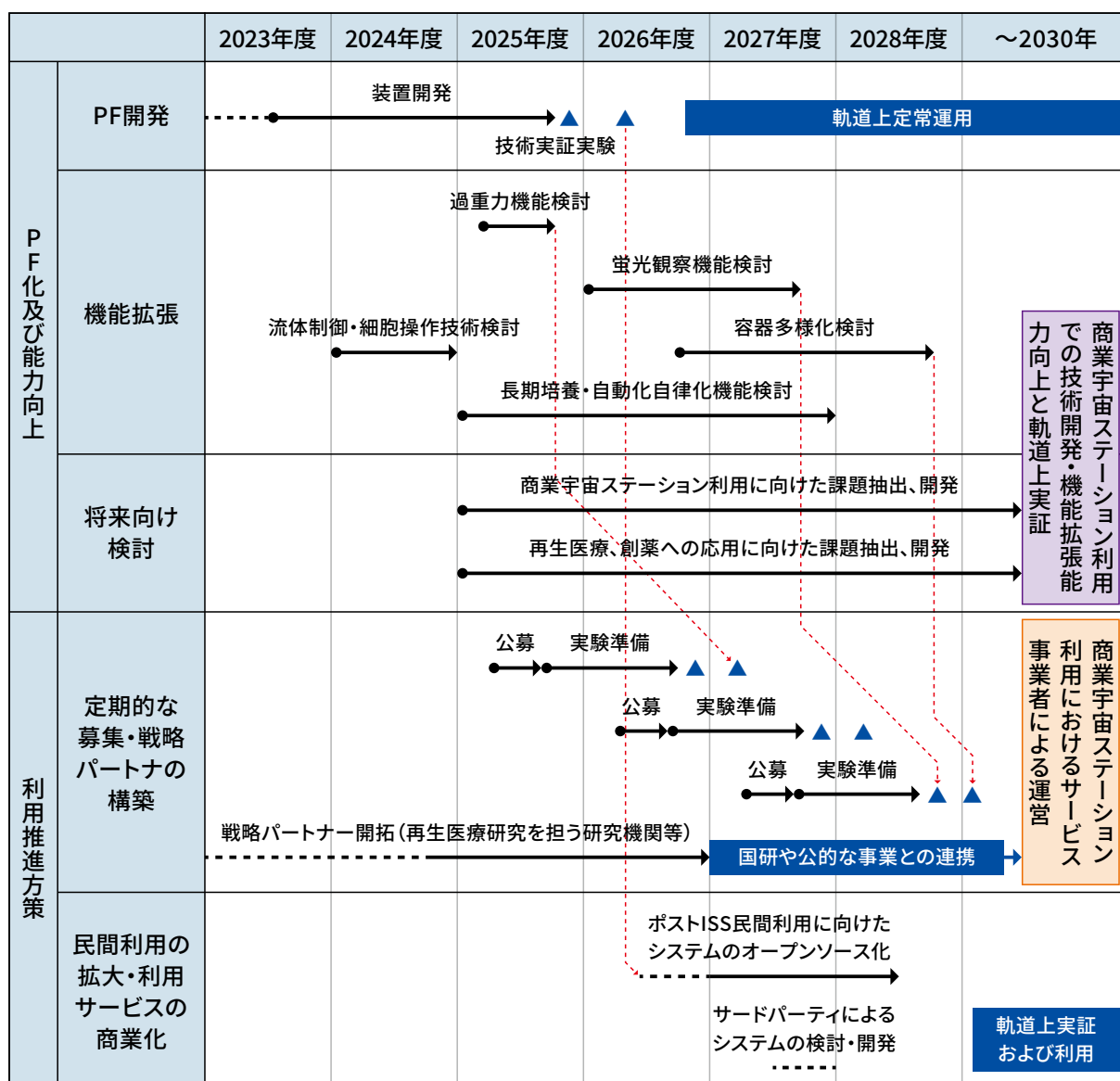
技術実証実験を始めとする各細胞培養実験において、宇宙環境での形態・遺伝子発現変化といったベースラインデータを蓄積することによって、宇宙環境の有用性を示し更なるユーザ拡大を目指すとともに、将来の民間企業への技術移転を目指して、技術実証実験を通じて準備プロセスの定型化・標準化を図る(2027年目標)。



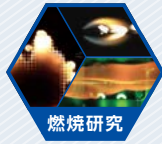
微小重力下での三次元培養への期待



細胞培養装置の進化



細胞医療研究支援プラットフォーム ロードマップ



ii. 先進的燃焼研究支援プラットフォーム

重力影響を考慮した材料燃焼性評価技術の高度化による宇宙火災安全性向上への貢献

燃焼現象は、複数の物理的・化学的な素過程が同時に相互作用を及ぼし合いながら進行する複雑な非線形現象である。微小重力環境においては、地上の重力環境では避けられない浮力対流の影響を抑制し、現象を単純化して燃焼のメカニズムを詳しく調べることが可能となる。また、宇宙船内環境として特徴的な非常に低速の周囲流下における燃焼特性の観察も初めて可能となる。

微小重力環境を利用した燃焼研究は我が国が世界に先鞭をつけたものであり、落下実験施設や航空機等の短時間微小重力実験手段を用い、多くの科学的成果を創出してきた。2017年には「きぼう」で初めての燃焼実験となる液滴燃焼実験が行われ、長時間の微小重力環境だから実現できた検証や発見を通じ、燃焼研究におけるきぼう利用の有効性を実証した。

これまでのきぼう利用テーマ募集においては、宇宙火災安全性の向上を目的とする固体材料の燃焼実験に関する応募が多く、2022年からは固体燃焼実験装置(SCEM)を用いた初の材料燃焼実験が行われているほか、複数のテーマの実験準備等を進めている。材料の燃焼性は、微小重力環境や月面のような低重力環境において、地上の通常重力環境よりも拡大する可能性があることが分かっており、アルテミス計画における月面への有人宇宙探査に向けても、宇宙火災安全性の向上が国際的な重要課題となっている。

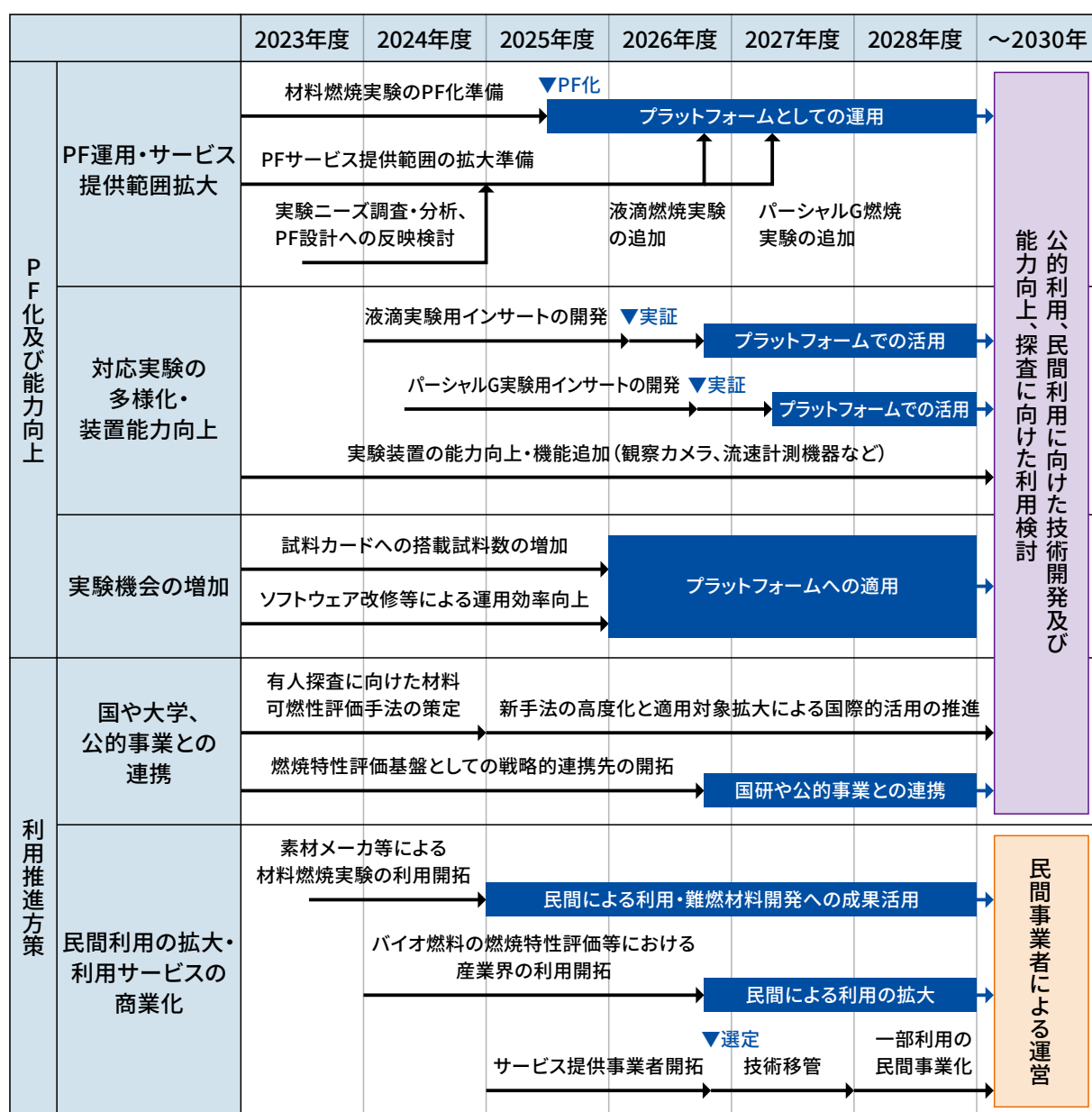
SCEMを用いて現在実施中の材料燃焼実験では、重力影響を考慮した世界初の材料燃焼性評価手法の妥当性検証が、JAXA、NASA、ESAを含む日米欧の国際研究チームにより進められており、アルテミス計画等における新手法の活用実現に向けた、試験や評価方法の標準化についての取り組みも進められている。

SCEMは、月面有人探査計画における与圧環境として想定されている低圧・高濃度酸素雰囲気における燃焼実験が可能である他、試料の自動交換機構により、宇宙飛行士による最小限の作業時間で多くの試料を用いた実験を行うことのできる優れた特徴を有する。試料を搭載した試料カードや試料リール等を交換することで、様々な材質・形状の材料についての燃焼実験に対応し得るため、実験の定型化も図りやすい。

新たに構築した材料燃焼性評価手法については、今後のSCEMを用いた実験結果に基づき、複雑な組成の材料や低圧条件等に適用対象を順次拡大することが計画されている。新手法は現在用いられているNASA基準に比べて民間でも使いやすく、短期かつ安価に材料の燃焼性評価を行うことが可能である。このため、様々な材料を用いた燃焼実験を今後継続的に行うことにより、民生分野の先進材料の宇宙での活用促進が期待できる。また、SCEMについては海外研究者からの利用希望も出されており、国際協力を通じて宇宙火災安全性研究における我が国の存在感の発揮にも繋げることができる。

このように、SCEMを用いた材料燃焼実験は、科学的成果の創出のみならず、有人宇宙探査に向けた国際的な課題解決への我が国のイニシアティブ発揮、宇宙市場での新材料の利用促進といった、高いプログラムの価値を有するものであることから、超長期有人宇宙滞在技術や探査技術等の研究開発の推進(本紙2.3項目標3)に主に貢献するものとして、2025年までのプラットフォーム化を目指す。

なお、燃焼容器内に設置する実験インサートを交換可能なSCEMの特徴を活かし、液滴燃焼実験等に対応する新規実験インサートの開発を検討中である。このため、今後の実験ニーズに関する調査結果も活用しつつ、国が進める課題解決型研究等にどのように貢献できるかを分析・整理したうえで、プラットフォームにおける提供サービスとしての段階的な追加についての検討を進める。



先進的燃焼研究支援プラットフォーム ロードマップ

2 超長期有人宇宙滞在技術や探査技術の獲得

「宇宙技術戦略」においては、アクセスや物資補給・回収が比較的容易なLEOは、我が国の宇宙活動の自立性を確保し、宇宙環境を利用するための貴重な場であり、アルテミス計画を始めとする、月周辺や、月面での活動等に必要な技術(実験の遠隔化・自動化・自律化技術、高効率の環境制御・生命維持技術等)の獲得・実証など、国として行うべき技術の開発・実証や利用を行っていく。国として、我が国のLEO活動を推進するために必要な技術を蓄積し、その成果をポスト ISS における国内の活動主体において活用していく。また、ISSで培った我が国が強みを有する技術等を最大限活用し、国際宇宙探査における有人宇宙活動へと展開していくこととされている。

現在「きぼう」では下図に示すような技術開発や実証を進めているが、今後も宇宙技術戦略に基づく検討や日本の民生分野の優位技術を踏まえ、「きぼう」で行うべきミッションの識別や優先順位の検討を行い、我が国独自の技術実証の場として「きぼう」を最大限活用する。

ISS計画への参加により、アルテミス計画や将来の地球低軌道活動において、日本が重要な役割を担い先導していくために不可欠な高度な技術やノウハウを獲得

- ・アルテミス計画に、不可欠なキープレーヤーとしての参画を実現
- ・「きぼう」をアルテミス計画や将来の地球低軌道活動に向けた先行的な技術実証の場として活用可能に

無人宇宙船の安全な飛行・運用、物資輸送の技術の獲得、新型補給機開発

こうのとり等の開発・運用を通じた深宇宙補給技術への発展



こうのとり HTV-X (開発中)

搭乗員の生命を維持するための技術の獲得

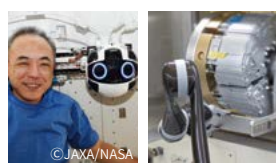
再生率を向上させた水・空気再生システムへの発展



高性能水再生技術の宇宙実証

搭乗員の活動を支援する遠隔制御技術の獲得

宇宙飛行士作業支援・代替ロボット等の自動技術への発展



自律移動型船内カメラ ロボット地上実証試験

健康管理技術、宇宙医学に関する知見の獲得

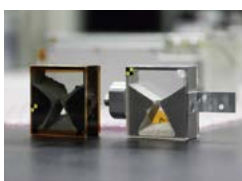
飛行士の超長期の健康管理技術への発展



放射線線量計測

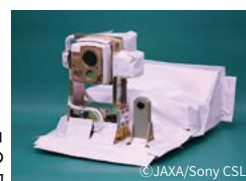
宇宙環境利用実験・技術実証技術の獲得

超長期宇宙滞在時の健康管理、重力天体探査に向けた基盤データ取得、探査における通信技術などへの発展



Hourglass (惑星表面の柔軟地盤の重力依存性調査) 人工重力発生装置 (CBEF) を用いた低重力環境下での模擬レゴリス等の粉粒体挙動調査

小型光通信実験装置「SOLISS」宇宙と地上間の双方向光通信に成功



©JAXA/Sony CSL

国際宇宙探査で必要となる技術実証

これまで米国、欧州、ロシア等の海外宇宙機関と国際的な協力関係を構築し研究協力を進めるとともに、実験装置の協同利用、宇宙実験の同時実施、実験データの共有、実験試料のサンプルシェア等、利用手段等の多様化を図り、国際協力のもと効果的に成果を創出してきた。また、ロシアとのタンパク質生成実験の共同実施、発展途上国向けの超小型衛星放出に関する国連宇宙部との協力や国際災害チャータの枠組みを通じて国際協力を推進してきた。

アジア・太平洋地域との協力に関しては、これまで相手国の宇宙機関における経験の蓄積、宇宙環境利用への理解促進、潜在的研究者・利用テーマの掘り起こし等を目的に、タイ、マレーシア、ベトナム、フィリピン等のアジア諸国ときぼう利用ワークショップ開催、タンパク質結晶生成実験、材料曝露実験、超小型衛星放出等において段階的な協力を実施してきた。また、複数の国に跨る協力としては、APRSF（アジア・太平洋地域宇宙機関会議）のKibo-ABCイニシアチブ（「きぼう」を利用したアジア・太平洋協カイニシアチブ）等の枠組みを活用し、アジア諸国に対する我が国の貢献が世界から見える形となるように取り組んできた。Kibo-ABCイニシアチブの加盟機関も拡大し、2023年には14か国・地域から19機関が加盟し、「アジアの種子」、「アジアントライゼロG」、「きぼう」ロボットプログラミング競技会等の人材育成プログラムへの参加を通して、諸外国から我が国への期待も高まってきている。

2015年12月に締結された新たな日米協力の枠組であるJP-US OP3では、これまで数多くの協力アイテムに合意しており、静電浮遊炉を利用した米国研究者による実験や、低重力環境を模擬できる小動物飼育技術を用いた共同ミッションの実施、アジア太平洋地域及び日米の学生等を対象としたISS船内ドローンを使用した「きぼう」ロボットプログラミング競技会の実施、短時間で起こる天体现象の解明が期待されるOHMANプログラム（日本のMAXI/米国のNICERを用いた天体観測の連携）による観測強化等、今まで想定されなかった相互連携による成果を挙げている。今後も引き続きJAXA-NASAの積極的な相互利用等を推進し、JP-US OP3の枠組を効果的に活用することで、ISS・きぼう利用成果の最大化を図り、戦略的・外交的な側面から日米協力の強化に貢献する。

また、アジア唯一のISS計画参加国としての外交的重要性を踏まえ、これまでの宇宙実験の経験を通じて利用ニーズが明確になってきた国を中心に、自ら価値を判断し成果創出のために主体的にミッションに参加する形態（有償利用を含む）でのきぼう利用を推進し、我が国の国際プレゼンスの向上に貢献する。

JP-US OP3のもとでの積極的なきぼう利用の推進に加え、他の政府間協力や国連との協力等においてもきぼう利用で貢献する。例えば、「きぼう」ロボットプログラミング競技会において、国連宇宙部との連携により参加国を拡大しており、今後も連携を進める。また、政府における海外展開タスクフォース

の活動も踏まえ、UAEをはじめとする中東諸国やアフリカ等、今後「きぼう」のポテンシャルユーズとなり得る国に対する働きかけを積極的に進める。

アジア・太平洋地域におけるきぼう利用推進の取り組みは、人材育成にも大きく貢献している。アジアントライゼロG、「きぼう」ロボットプログラミング競技会、アジアの種子の各プログラムには、幅広い年齢層の学生が参加しており、2023年までに数十万人の世界の学生が参加している。海外だけでなく、国内の学生も参加しており、筑波宇宙センターでのミッション実施時のモニタ参加における海外学生との交流など国際人材育成への貴重な機会になっている。また、ミッション実施後に成果報告会やワークショップを開催し、実験成果やプログラミングの振り返りを行い、専門家や他チームとの意見交換の場を設定しており、STEM教育的効果も大きいと考えられる。

引き続き、これらアジア・太平洋地域との協力による上記取り組みを含むAPRSAFの国際枠組みを通じたプログラム、国連宇宙部との協力によるKiboCUBE プログラム、人材育成等で海外と連携している大学等との連携による超小型衛星放出を通じた取り組み、JAXAの宇宙教育推進に係る部署や、教育利用等に関心のある事業者との連携などを推進し、「きぼう」を活用した人材育成への貢献を進展させる。



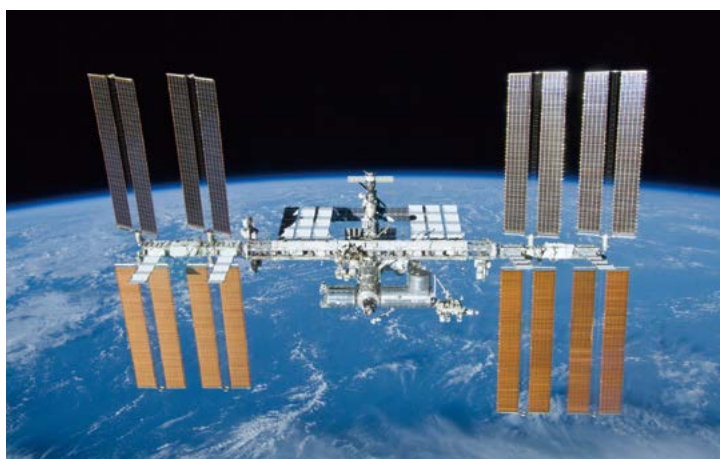
アジア・太平洋地域における宇宙環境利用の普及を図るため、各国の青少年から提案された簡易実験アイデアをISS長期滞在の宇宙飛行士が「きぼう」で行う「Asian try zero G」プログラム。



「きぼう」ロボットプログラミング競技会にはKibo-ABCイニシアチブメンバーの国・地域とアメリカ合衆国、国際連合宇宙部の国・地域・組織が参加している。

略語集

略語	英語	日本語
AI	Artificial Intelligence	人工知能
APRSAF	Asia-Pacific Regional Space Agency Forum	アジア・太平洋地域宇宙機関会議
AMED	Japan Agency for Medical Research and Development	国立研究開発法人 日本医療研究開発機構
BBM	Bread Board Model	試験試作用モデル
CALET	CALorimetric Electron Telescope	高エネルギー電子・ガンマ線観測装置
CBEF	Cell Biology Experiment Facility Centrifuge-equipped Biological Experiment Facility	細胞培養装置 遠心機付き生物実験装置
CLD	Commercial LEO Destinations	低軌道商業プラットフォーム
ELF	Electrostatic Levitation Furnace	静電浮遊炉
EM	Engineering Model	エンジニアリングモデル
EML	Electromagnetic Levitator	電磁浮遊炉
ESA	European Space Agency	欧州宇宙機関
GEMPAK	μ G Experiments by Manipulators with Precise Actuation in Kibo	「きぼう」自動実験システム
HISUI	Hyperspectral Imager SUlte	宇宙実証用ハイパースペクトルセンサ
HTV-X	H-II Transfer Vehicle-X	新型宇宙ステーション補給機
IMAP/GLIMS	Ionosphere, Mesosphere, upper Atmosphere, and Plasmasphere/Global Lightning and Sprite Measurement Mission	地球超高層大気撮像観測/スブライト及び雷放電の高速測光撮像センサ
Int-Ball2	Internal Ball Camera2	JEM船内可搬型ビデオカメラシステム実証2号機
i-SEEP	IVA-replaceable Small Exposed Experiment Platform	中型曝露実験アダプタ
ISS	International Space Station	国際宇宙ステーション
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
JP-US OP3	Japan-United States Open Platform Partnership Program	日米オープン・プラットフォーム・パートナーシップ・プログラム
J-SPARC	JAXA Space Innovation through Partnership and Co-creation	宇宙イノベーションパートナーシップ
Kibo-ABC	Asian Beneficial Collaboration through "Kibo" Utilization	「きぼう」を利用したアジア・太平洋協カ イニシアチブ
LEO	Low Earth Orbit	地球低軌道
MAXI	Monitor of All-sky X-ray Image	全天X線監視装置
NASA	National Aeronautics and Space Administration	アメリカ航空宇宙局
NICER	Neutron star Interior Composition Explorer	中性子星内部組成観測装置
PDCA	Plan-Do-Check-Act	計画-実行-評価-改善
PF	Platform	プラットフォーム/成熟した技術領域
R-ORU	Robotics-compatible Orbital Replacement Unit	ロボティクス対応軌道上交換ユニット
SCEM	Solid Combustion Experiment Module	固体燃料実験装置
SDGs	Sustainable Development Goals	持続可能な開発目標
SEDA-AP	Space Environment Data Acquisition equipment - Attached Payload	宇宙環境計測ミッション装置
SMILES	Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder	超伝導サブミリ波リム放射サウンダ
ToMMo	Tohoku Medical Megabank Organization	東北メディカル・メガバンク機構
UNOOSA	United Nations Office for Outer Space Affairs	国連宇宙部



国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門

本パンフレットに対するご質問や
「きぼう」に関するお問い合わせはこちらへ。

きぼう利用プロモーション室:

Z-KIBO-PROMOTION@ml.jaxa.jp

きぼう利用戦略:

<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/information/scheme/>

コミュニティ活動

きぼう利用ネットワーク:

<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/community/>

X公式アカウント:

@JAXA_Kiboriyo

2024年8月発行 パンフレット第4版発行
編集代表: 有人宇宙技術部門 きぼう利用センター

