

# きぼう利用戦略

「きぼう」利用成果最大化に向けて

アジェンダ 2020

〔第2版〕

2017年10月

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



# CONTENTS

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| はじめに .....                                               | 2         |
| 本文書の位置づけ .....                                           | 3         |
| <b>1. きぼう利用を取り巻く環境認識 .....</b>                           | <b>4</b>  |
| (1) 国の政策の状況 .....                                        | 4         |
| (2) 海外の取組状況 .....                                        | 4         |
| (3) JAXAの取組状況 .....                                      | 5         |
| <b>2. 基本的考え方 .....</b>                                   | <b>6</b>  |
| (1) きぼう利用の目指す姿(2024年の姿) .....                            | 6         |
| (2) 目指す姿を踏まえた2020年までの5つの目標 .....                         | 7         |
| ① 国が進める課題解決型研究への貢献 .....                                 | 7         |
| 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 .....                   | 8         |
| 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 .....                        | 9         |
| 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 .....                  | 9         |
| ⑤ 国際プレゼンス向上への貢献 .....                                    | 10        |
| (3) 2020年までに達成すべき成果目標の設定 .....                           | 10        |
| <b>3. 具体的な取組 .....</b>                                   | <b>12</b> |
| (1) 成果最大化に向けた重点化 .....                                   | 12        |
| ① 「きぼう」利用の中核を担う当面の4つの柱“プラットフォーム” .....                   | 12        |
| i. タンパク質の構造に基づく薬剤設計支援 .....                              | 13        |
| ii. 加齢研究による健康長寿社会形成への貢献 .....                            | 17        |
| iii. 超小型衛星放出能力の強化 .....                                  | 20        |
| iv. 船外ポートを利用した戦略的利用推進 .....                              | 23        |
| ② 新たなプラットフォーム形成によるきぼう利用の多様化 .....                        | 26        |
| i. 無容器処理技術を利用した材料研究への貢献 .....                            | 26        |
| ii. 再生医療への貢献に向けた立体培養技術の有効性実証 .....                       | 28        |
| iii. 新素材の宇宙実証による信頼性向上への貢献 .....                          | 28        |
| iv. 産業応用を主目的とする実験プラットフォームの検討 .....                       | 29        |
| (2) 超長期有人宇宙滞在技術や探査技術の獲得 .....                            | 30        |
| ① 国の科学技術イノベーション戦略に応えるロボット利用・<br>応用技術及び宇宙実験自動化技術の推進 ..... | 30        |
| ② 補給量の削減により、ミッションコストを大きく低減する<br>完全再生型環境制御／生命維持技術 .....   | 32        |
| ③ 放射線計測及び防護技術 .....                                      | 34        |
| ④ 宇宙飛行士の健康管理技術 .....                                     | 35        |
| (3) 研究者の内在的動機に基づく学術研究の推進 .....                           | 37        |
| (4) 国際協力の推進 .....                                        | 37        |
| (5) 宇宙実験を支える基盤技術の強化 .....                                | 38        |
| きぼう利用戦略における用語について .....                                  | 40        |

今日の「きぼう」が未来の「現実」になる





Fig. 1 船外活動(EVA)時にウィリアムズ宇宙飛行士が撮影した「きぼう」日本実験棟

## はじめに

平成20年に国際宇宙ステーション・「きぼう」日本実験棟が打ち上げられ、我が国の低軌道宇宙空間利用が本格的に開始されて以来、微小重力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国立研究開発法人化、宇宙航空研究開発機構(JAXA)内の組織改革等の流れの中で、社会貢献に直結する成果創出が求められる等、「きぼう」利用を取り巻く環境は大きく変化している。

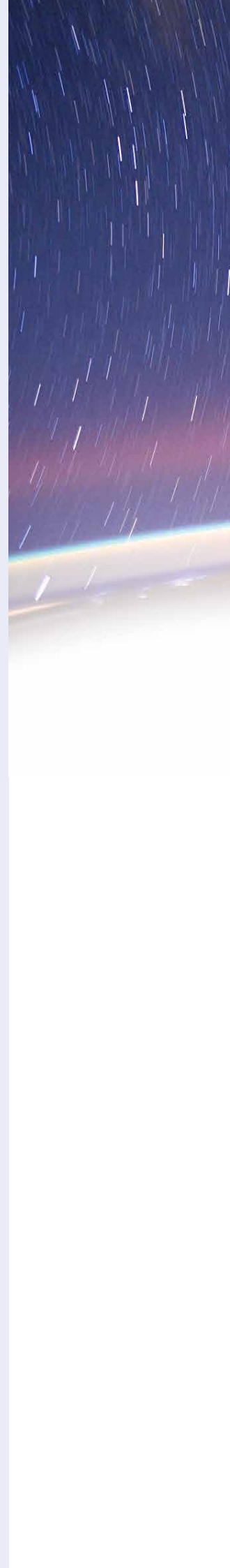
国立研究開発法人は、「国家的あるいは国際的な要請に基づき、民間では困難な基礎・基盤の研究及び応用・開発研究、実証実験、技術基準の策定等、社会的・公共的・国民経済的価値に資するための研究開発等に、最大限の成果の確保を目的として取り組む組織である」(科学技術イノベーション総合戦略2015:平成27年6月閣議決定)とされており、また、「優れた技術シーズを事業化に結びつける「橋渡し」機能」(同)を担うことが求められている。JAXAは平成27年度に国立研究開発法人となり、我が国の研究開発成果の最大化という使命に向けて、宇宙開発の中核的な実施機関として、その成果を我が国の研究開発や産業活動の進展につなげることを求められるようになった。

低軌道有人宇宙活動には、「民間活力を取り入れた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」(国際宇宙ステーション・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) :平成29年7月)とされており、これを実現するためには、例えば創薬研究や加齢研究等といった研究開発に「きぼう」を浸透させ、我が国のイノベーション創出基盤として重要な存在となるよう早急に取り組んでいかなければならない。

以上の状況を踏まえ、これからの「きぼう」利用の中核となる柱を設定して、国の科学技術イノベーション戦略へ貢献する宇宙実験や、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を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く。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<sup>1</sup>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、我が国としての研究開発成果の最大化への取組に大きく貢献していく。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 「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も含む







## 本文書の位置づけ

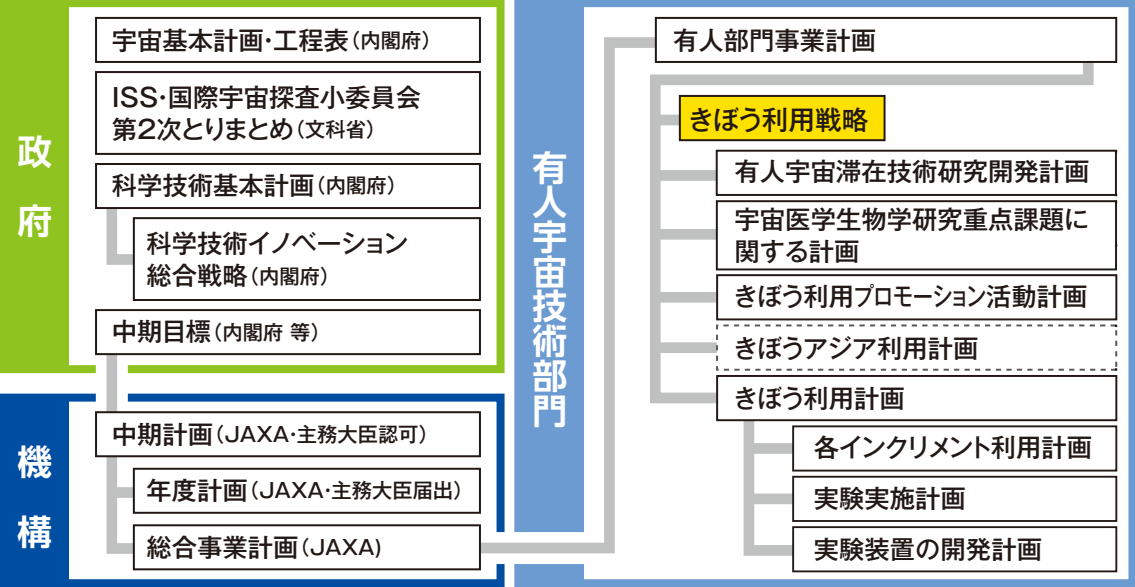
これまでは、宇宙基本計画や科学技術基本計画等の政府文書を踏まえ、JAXAの有人宇宙技術部門事業計画に基づいて、個別目的ごとにきぼう利用の戦略・方針をまとめ、実行計画に具体化し事業を進めてきた。平成27年度に国立研究開発法人となってからは、「きぼう」利用が他機関の研究開発事業と相乗効果を生み出し我が国全体として成果を最大化させるために、国の研究開発機関や民間との連携が不可欠となっている。有限である「きぼう」運用期間中に効果的・効率的に成果を創出していくためには、戦略的かつ組織的に「きぼう」利用を推進していくことが重要であることから、これまで様々な文書に分散していたきぼう利用の戦略・方針を体系化し、JAXA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に基づき、また、現時点の政府決定である2024年までのISS運用延長を踏まえ、「きぼう」利用が目指す2024年の姿、その上での2020年までの目標とその具体的な取組等をまとめ、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。従って、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。また、本利用戦略は「きぼう」利用を取り巻く状況の変化及び本戦略の進捗状況等を踏まえ随時見直しを行い、本利用戦略に示された取組のPDCAサイクルを確実に回していく。

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。

## 「きぼう」利用に関わる文書体系

※政府文書は、本件に関わるものを掲載している。



# きぼう利用を取り巻く環境認識

## (1) 国の政策の状況

### ● 宇宙基本計画

平成27年1月に決定された宇宙基本計画において、国際宇宙ステーション (ISS:International Space Station) 計画を含む有人宇宙活動については、費用対効果を向上させつつ、技術蓄積や民間利用拡大を行うことが必要とされている。

また、宇宙基本計画工程表(平成27年度改訂)において、新たな日米協力の枠組について米国政府との合意を得て、平成33年以降平成36年(2021年以降2024年)までのISS延長への参加を決定するとされた。

### ● 国際宇宙ステーション・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)

平成29年7月に報告された国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会<sup>2</sup> 国際宇宙探査の在り方(中間とりまとめ)では、低軌道利用の促進や新たな産業創出としては、これまでのISSへの参加を通じて、「きぼう」日本実験棟で見えた強み(4つのプラットフォーム:新薬設計支援、加齢研究支援、超小型衛星放出、船外ポート利用)を軸に発展させる。プラットフォームの一部については、民間事業者等を主体とした自立化を図り、2025年以降は民間事業者も経費の一部を負担した官民共同事業化を目指すとした。

<sup>2</sup> 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 宇宙開発利用部会の下に設置された小委員会

### ● 科学技術基本計画/科学技術イノベーション総合戦略

平成28年1月に閣議決定された第5期科学技術基本計画において、宇宙は、人類共通の知的資産に貢献し活動領域を広げ得るものであるとともに、近年世界的に安全保障、民生利用面での重要性が高まっていることから、我が国としてもその基盤としての科学技術を、宇宙の開発・利用と一体的に振興していく必要があるとされている。宇宙に関する技術の一つとして有人宇宙活動が挙げられている。

## (2) 海外の取組状況

米国は、米国航空宇宙局(NASA) 授権法に基づき、ISSを“National Lab”と位置付け、NASA以外の米国内の国立機関(国立衛生研究所(NIH)<sup>3</sup>、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

<sup>3</sup> National Institutes of Health

ISS利用リソースの50%を提供している。NPO法人(CASIS)<sup>4</sup>を2010年に設立し、CASISが利用者支援・テーマ公募・資金提供・実験準備等の役割を担っている。今後、National Labの利用拡大に向けた技術開発実験、骨・筋肉・免疫系の研究、創薬及びナノ材料等の分野への展開を検討している。

NASAは米国リソースの残り50%を使って独自の研究活動を行っており、有人活動や探査につながる研究、技術開発に重点を置いている。さらに、2020年以降を見据えて企業を含めたアイデアを募る活動を開始し、得られた知見を将来、民間が所有・運用するであろう軌道上施設での活動(微小重力実験研究や他活動)へ継続的に繋げることを目標としている。

欧州としては、2016年12月のESA閣僚級理事会でISS延長参加の合意を得た。ドイツは、居住区、フリーフライヤーモジュール、サービスモジュールから成る低軌道プラットフォーム“Orbital Hub”を提案しており、その技術検討を行っている。

ロシアは、2016年3月に承認した「2016-2025年連邦宇宙計画」において、2024年の運用終了後にロシアのモジュールを切り離し、これらを基にロシアの宇宙ステーションを建設する技術検討を行う方針を示している。

4 Center for the Advancement  
of Science in Space

### (3) JAXAの取組状況

#### ● 利用の可能性探索(探索・選択フェーズ)

きぼう利用が開始された平成20年から平成22年までは、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共通基盤的な実験装置を開発し、宇宙実験技術やノウハウを蓄積してきた。平成24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)

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。

民間主体の研究開発利用としては、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いる。



# 基本的考え方

## (1) きぼう利用の目指す姿(2024年の姿)

「低軌道における微小重力実験の官民共同事業化に向けて、2024年までにプラットフォームを用いた利用サービスの一部が産業自立化している姿を目指し、2020年までに「きぼう」を科学技術イノベーションを支える研究開発基盤として定着させる」

(JAXA経営・事業方針2017を受けて)

これまで獲得してきた「きぼう」ならではの実験技術や知見をより一層発展させ強みを活かした利用サービスが提供され、2020年までに「きぼう」が科学技術イノベーションを支える研究開発基盤<sup>5</sup>として定着している。すなわち、地上では実証できないことや地上で捉えられない現象を宇宙実験で解明することにより、新たな概念や価値を創出できる利用サービスを確立し、その利用サービスが産学官の幅広い利用者に使用されている。将来の低軌道利用に向けてJAXA自らが研究成果を創出することに加えて、産学官との連携によりJAXAのみでは生み出せない大きな研究成果を創出している。また、2024年までには、研究開発基盤として定着した「きぼう」を特定の領域への貢献を目的としたプラットフォーム<sup>6</sup>という強固な基盤に発展させ、これを用いた利用サービスの一部を産業自立化させることを目指して、2020年までに自立化させる利用サービスに関してJAXAとユーザサービス提供者との役割分担が明確になり、利用サービスのノウハウをユーザサービス提供者に継承できている。

2024年までに当該プラットフォーム利用能力の1/3-1/2程度の定常的需要が生まれている。外部の組織・団体が一定規模を利用して、自立的・継続的にエンドユーザへの利用サービス提供や自己利用を行っており、安定的な利用需要が創出され、市場形成が見込まれている。(きぼうの利用能力(利用機会)の自立化)

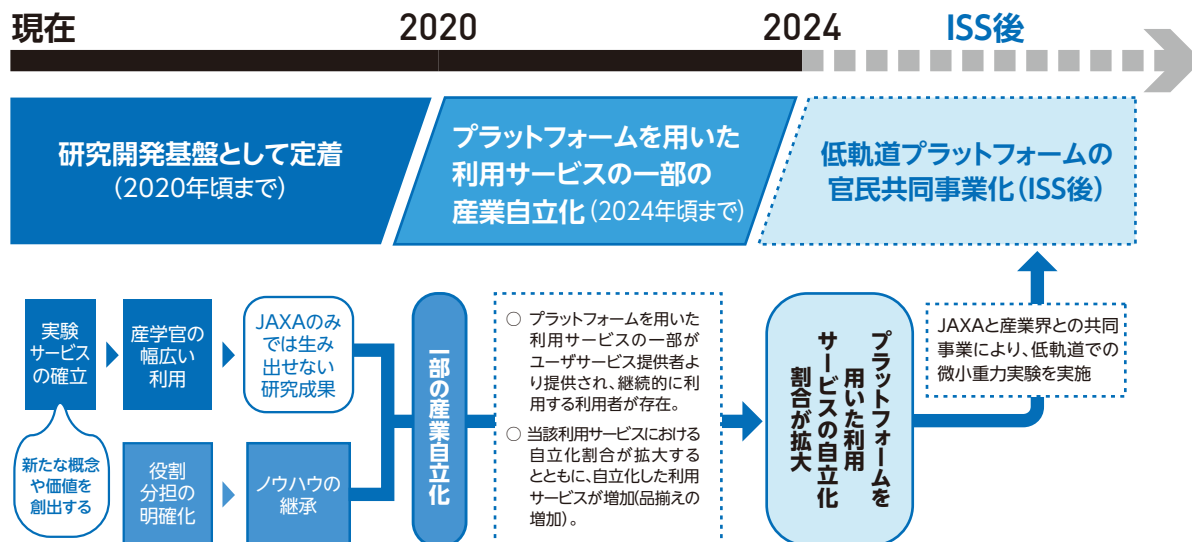
利用サービスを自立化させるため、その領域におけるエンドユーザを取りまとめる者のうち、JAXAに付加価値<sup>7</sup>をもたらしてくれる者とパートナーシップ協定を結び、エンドユーザに定型化されたサービスを提供する(戦略パートナー)。また、事業としてエンドユーザに定型化されたユーザサービスを提供するユーザサービス提供事業者や高頻度で利用するエンドユーザを開拓している(ユーザの拡大)。JAXAがこれまでに実施していない利用サービスに関しては、JAXA自らが新たな利用サービスを企画することに加えて、JAXA外部からの企画・提案を受け付ける等、利用サービスを拡大している(利用サービスの拡大)。

5 広範かつ多様な研究開発に活用される共通の・基盤的な施設及び設備を用いた、新たな価値を生み出すシステム。システムは、研究開発活動を支えるモノ(ハードウェア及びソフトウェア)及びヒト(人材)からなる。

6 ターゲットとする領域の研究を支える研究開発基盤。詳細は3項(1)①を参照。

7 JAXAの人的・資金的負担を増やすことなく、JAXAと共に付加価値を創出してくれる。例えば、定型化されたサービスの改善、将来の更なるユーザ獲得に向けたプロモーション効果、利用者のハブとしての機能など新たなサービスや価値をJAXAにもたらしてくれる。





なお、ISS運用終了後の低軌道(ISSと同程度の地球周回軌道)利用の一つの形として、今後、米国等で商業宇宙ステーションが登場することが見込まれている。例えば、米国ビゲロー・エアロスペース社は膨張式軌道モジュールBEAM<sup>8</sup>を利用した有人宇宙ミッションの可能性を検討しており、将来のこのような商業宇宙ステーションにおいて微小重力実験が実施されることも想定される。JAXAとしては、低軌道において、長期間の安定した微小重力環境等を使って地上に還元できる研究開発成果が得られること、また、低軌道以遠の宇宙探査等に向けた我が国宇宙技術等のテストベッドの場としても活用できることから、引き続き低軌道利用を続けることを想定する。きぼう利用の将来の姿として、自立化した利用サービスがこれらの低軌道利用に継承され、JAXAと産業界が共同で低軌道利用サービス事業を運営する共同事業化を目指す。

8 Bigelow Expandable Activity Module

## (2) 目指す姿を踏まえた2020年までの5つの目標

### ① 国が進める課題解決型研究への貢献

国が科学技術基本計画や科学技術イノベーション総合戦略等の下で戦略的に推進している研究計画の課題解決に「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。

具体的には、これまでの「きぼう」利用の実績・成果の積み重ねを踏まえると、第5期科学技術基本計画や科学技術イノベーション総合戦略2017に掲げられている施策のうち、「エネルギー」、「健康長寿」、「自然災害」、「地球環境情報」、「インフラ」の領域に「きぼう」利用が貢献できると考えられる。従って、以下の利用により国の科学技術施策の実現に貢献する。

#### ● エネルギー

微小重力環境の物理的な効果は、液体・気体状態における対流・浮力・沈降等の抑制や試料の無容器保持(浮遊性)など、その影響は、物質・材料科学分野は

勿論、基礎物理学・化学、流体科学、燃焼科学等広い分野に及んでいる。物質・物理科学分野における我が国の宇宙環境利用実験は、1992年のスペースシャトルによる第1次材料実験(FMPT)ミッション(「ふわっと'92」)以降、小型ロケット実験などの短時間微小重力実験を実施し、高品質半導体や新規機能材料研究において先駆的な成果を出してきた。

これらの成果から「エネルギー」の領域に貢献できると考えられ、特に「きぼう」利用の強みを活かせる静電浮遊炉を最大限に活用し、無容器処理技術を利用した材料のデータ取得や新素材創製等による国の政策課題に対応した成果創出を狙い、利用拡大を図る。さらに、革新的な材料や電子デバイスの創製でも貢献を目指す。

### ● 健康長寿

宇宙飛行士が活動する宇宙空間は、微小重力、宇宙放射線、閉鎖空間といった過酷な作業環境であり、ヒトの心身には様々な影響が生じる。長期宇宙滞在では、骨密度低下、カルシウム流出、筋萎縮、生体リズム変調、免疫機能低下、宇宙放射線被曝など、人体リスクはより顕著となる。これらのリスクに対する対策等の研究や生物応答メカニズムの研究から得られた知見は、地上での健康維持や高齢化社会への対応等といった「健康長寿」の領域へ貢献できると考えらえる。

利用が進んでいるタンパク質結晶生成により新薬設計(ドラッグデザイン)や疾患対策等に貢献するとともに、小動物を中心としたJAXAの生命科学・宇宙医学実験技術により、ヒトの加齢に伴う疾患対策や加齢に関する仕組みの解明等に貢献する。

### ● 自然災害、地球環境情報、インフラ

「きぼう」の船外実験環境は、ISSへの定期便を利用して実証機器の交換が可能であり、宇宙技術の実証機会を高頻度に提供できる他の宇宙機にはない特徴を有している。この特徴を活かし、「自然災害」や「地球環境情報」に対しては、先端的な衛星搭載センサ等の技術実証に貢献する。

「自然災害」、「インフラ」に対しては、「きぼう」船内・船外でのロボット技術により貢献する。

## 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

民間企業の社会実証・産業応用を目指した事業での「きぼう」利用を推進し、民間企業の投資判断済み事業に貢献することにより、「きぼう」利用の成果の最大化を図るとともに社会的価値を示す。

有償利用制度については、これまで培ってきた「きぼう」の実験技術の中で、タンパク質結晶生成実験のように「きぼう」でしか実現できない価値のある利用サービスに対し、民間分析委託企業の受託費や競合する海外宇宙関連企業が提供する利用サービス費と比較して利用の障壁とならないような適正価格を設定し、民間企業が利用しやすい有償利用制度の整備を加速する。

大型放射光施設SPring-8では、平成17年に産業利用を促進する担当室を設置するとともに産業利用を重点的に支援するコーディネータ・技術



スタッフを配置した。直後から産業利用数が倍増しており(大型放射光施設(SPring-8)中間評価報告書:平成25年8月26日)、これがSPring-8の産業利用における大きな転機になっている。民間の研究者や技術者は、宇宙利用に関する知識や経験を有せず宇宙を利用する視点に至らないことの方が多い。民間企業の研究開発事業における「きぼう」利用の敷居を下げるためには、利用者の掘り起しと利用する際の技術支援、秘密保持契約による情報の保護、迅速な手続きの実施等の様々な側面からサポートしていく必要がある。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、科学的専門性を有する職員を十分な数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するとともに、利用ニーズの分析、潜在的利用者の掘り起し(プロモーション活動)、技術相談等の産業利用に重点化した支援を行うコーディネータを配置する。コーディネータの果たすべき役割は、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はもはや不十分であり、相手のニーズや課題を理解し解決方法を提案できることが求められるため、これまで以上に高い専門性が必要である。コーディネータとしては、例えば民間企業出身者等の任期付採用やクロスアポイントメントの活用などを通じて、長期的な視点にたって体制の強化・充実を図っていく。

きぼう利用への理解増進を図り宇宙実験への参加を更に促進するため、情報交換の場として「きぼう利用ネットワーク」を設立する。また、本取組を通じて、きぼう利用への産学官の幅広い利用者による参加とその関心や需要の高さを国内外に示していく。

### 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

ロボット技術をはじめ、我が国独自技術による国際競争力を持った超長期有人宇宙滞在技術や探査技術等の研究開発を推進し、世界の宇宙開発を牽引する。

日本の民生分野の優位技術であるロボット及びロボット制御技術、放射線計測、火災安全技術や防護技術、有人宇宙の基本的技術である水再生や空気再生等の環境制御技術、宇宙医学研究を通じて取得する宇宙飛行士の健康管理技術等の実証を戦略的に進めて低軌道以遠の有人滞在拠点における長期実用へと発展させ、将来の人類の活動領域の拡大へ寄与する。

### 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

研究者の内在的動機に基づく学術研究は、「新たな学際的・分野融合的領域を創出するとともに、幅広い分野でのイノベーション創出の可能性を有しており、イノベーションの源泉となっている」(第5期科学技術基本計画:平成28年1月22日閣議決定)。また、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、今では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、将来の低軌道の微小重力実験の利用拡大につなげる。

## ⑤ 国際プレゼンス向上への貢献

国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会 第2次とりまとめ(平成27年7月)において、「ISS計画における日本の参加は、我が国の国際的なプレゼンスの確立に大きく貢献してきた」とISSの外交的価値が認められている。また、将来の人類の活動領域を拡大に向けて「科学的・技術的な知見や実績に基づく発言力を有することは、宇宙空間におけるルール形成という国際社会の重要な課題における議論の主導権を握る上で極めて重要」とされている。

また、平成29年5月に科学技術外交推進会議によってとりまとめられた「未来への提言(科学技術イノベーションの「橋を架ける力」でグローバル課題の解決を:SDGs実施に向けた科学技術外交の4つのアクション)」<sup>9</sup>において、「宇宙分野では、新興国・途上国の小型衛星開発への協力、これら衛星の国際宇宙ステーション(ISS)の日本実験棟「きぼう」からの放出といった取組や、「きぼう」を利用した民間企業との共同研究の取組も進んでいる。(中略)こうした取組を一層推進することにより、相手国・地域での課題解決を促進しSDGs達成を力強く後押しできよう」とされている。

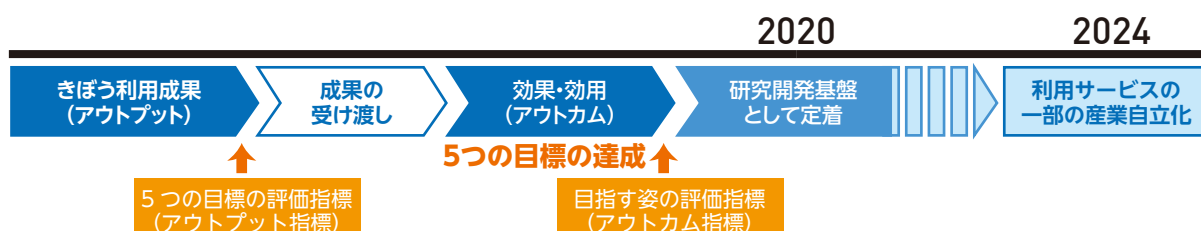
日米協力においては、平成27年12月に日米両政府によって表明された新たな日米協力の枠組「日米オープン・プラットフォーム・パートナーシップ・プログラム(JP-US OP3)」<sup>10</sup>の考え方のもと、JAXA-NASAの積極的な相互利用を推進し、戦略的・外交的な側面から日米協力の強化に貢献する。また、OP3以外の政府間宇宙協力等に対しても「きぼう」利用で貢献する。我が国として意義を認めた「きぼう」利用を重点的に進め、我が国の更なる国際プレゼンスの向上に寄与する。

9 SDGs:Sustainable Development Goals (持続可能な開発目標)

10 Japan-United States Open Platform Partnership Program

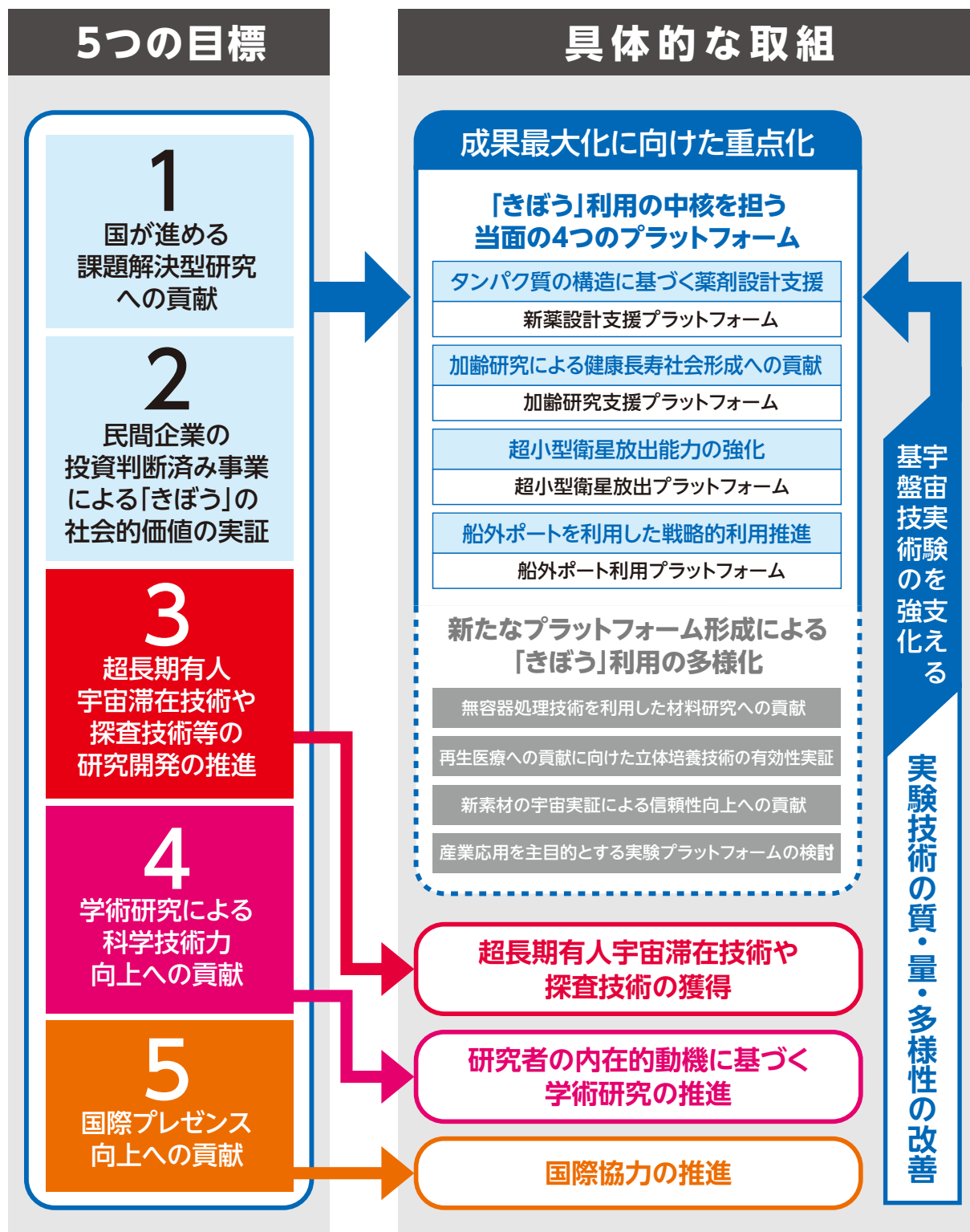
## (3) 2020年までに達成すべき成果目標の設定

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(平成28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る。2項(1)のきぼう利用の目指す姿に関しては、2020年までに研究開発基盤として定着していることを、新たな概念・価値を創出する実験サービスの確立、産学官の幅広い利用、JAXAのみでは生み出せない大きな研究開発成果の創出の観点から進捗状況確認(フォローアップ)を行う。また、2024年までにプラットフォームを用いた利用サービスの一部が産業自立化していることに関しては、2020年までに、JAXAとユーザーサービス提供者との役割分担の明確化、利用サービスのノウハウの継承の観点から評価する。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る。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、5つの目標、目標達成に向けた基本方針、具体的取組へのフィードバックを行う。





## 2020年までの5つの目標と具体的な取組



# 3 具体的な取組

## (1) 成果最大化に向けた重点化

### ① 「きぼう」利用の中核を担う当面の4つの柱 “プラットフォーム”

SPring-8等の4つの大型研究施設は、「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」に基づき、産学官の多様な分野の研究者へ広く共用されている。基礎研究から産業利用まで幅広い利用に対応するため、施設の利用者を支援する技術者及び研究支援者、高い研究力を有し産業界等の活動にも精通したコーディネータ、研究基盤を生み出す研究者等の人材を育成するとともに、トライアルユース制度の導入等を行って利用者を拡大してきた。このような取組を通じて、先端大型研究施設は革新的な成果を生み出し、研究開発活動を支える研究基盤として我が国の公共財となっている。日本政府のISS計画への参加期間が2024年までとされている「きぼう」が、特定先端大型研究施設に位置付けられることは難しい。しかし、これらの施設と同様に、「きぼう」が我が国にとって重要な研究開発基盤として定着できるよう、利用ニーズが高く、「きぼう」だからこそその価値を創出できる領域を中心に重点的に取り組んでいく。

まずは、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組を見える化の対象とし、これらを「きぼう」利用の柱として位置付ける。これらの柱について、それぞれの業界・分野・コミュニティの中での定着を図り、それぞれの利用を拡大していく。また、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」と定義する。

各プラットフォームの推進にあたっては、把握した利用ニーズ等を踏まえ、必要となる実験技術や利用推進方策、場合によっては目標を見直し、時代に即したプラットフォームとして常に進化させていく。また、科学技術イノベーションを支える他の研究開発プラットフォームや重要な研究施設・設備の動向等を常に注目し、これらの研究基盤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組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<sup>11</sup>の定型化・定時化・高頻度化・低価格化等を図り、実験ごとにパッケージ化することにより、利用サービスの整備・見える化を進める。

<sup>11</sup> 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日本実験棟とその運用技術、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)等の実験技術によって構成されている。



## 新薬設計支援プラットフォーム

## 1. 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筋ジストロフィー治療薬やインフルエンザ特効薬開発に関する標的タンパク質の結晶生成など、他国に先んじた成果を創出してきた。一方で時間のかかる宇宙実験サイクルと短期間での成果創出が求められる創薬研究サイクルがマッチしないなどの課題によってこれまでは民間企業利用は進んでいなかった。

この課題へ対応するため、蓄積してきた技術に基づき、地上で得られたデータを早期に利用者にフィードバックするなど、実験サイクルを短縮していくことで、バイオベンチャー企業が「きぼう」利用を投資の対象として認め、複数の宇宙実験機会を対象とする包括的な有償利用契約をJAXAと締結した。さらに、宇宙実験の効果が認められ成果が出たことから、契約を3年更新し、協力関係を発展させた戦略的なパートナーシップ契約を締結したところである。またこの他、大手製薬企業等によるトライアルユースが広がり、自社事業での「きぼう」利用の価値評価が行われている。

一方で近年大手製薬企業とバイオベンチャーの分業化が進んでおり、これまでの大手製薬企業中心の創薬研究がバイオベンチャー中心に移行することが予想されるため、製薬業界の動向を注視する必要がある。

また、国の成果最大化を目指すため、国の研究機関等を戦略パートナーとして連携を模索し、産業技術総合研究所(産総研)と包括的な共同研究契約を締結したところである。今後、更なる包括協力の拡大を狙う。

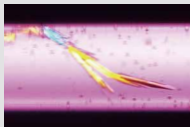
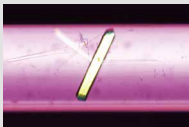
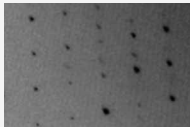
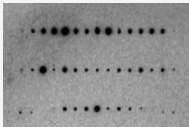
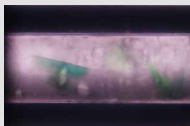
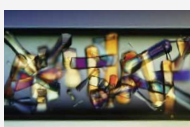
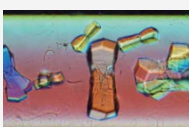
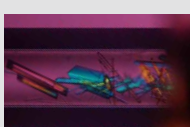
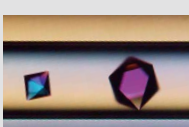
海外の状況として、これまでJAXAとロシアは資金授受のないタンパク質生成実験の共同実施をしてきた。ロシアは、自国発の創薬を目指してJAXAとの共同実験を引き続き重要視しており、2020年までのプロジェクト延長に合意した。また、米国は2000年代前半にタンパク質結晶化実験を中止したものの、近年我が国に追従するための取組を精力的に進めており、X線回折実験用の水溶性タンパク質の結晶化実験に加えて、従来法を改変した大型結晶生成技術の開発や、膜タンパク質の結晶化技術の開発、抗体医薬品の結晶多形実験技術の開発などを行っている。



JAXA PCG実験に関する作業を行う油井宇宙飛行士

これまでに実施されてきた公的事业(タンパク3000プロジェクト、ターゲットタンパク質プロジェクト等)で構築され日本国内の大学・研究所に分散している多くの技術基盤を集約し、それら技術基盤のカタログ化、窓口の一本化を行い、創薬プロセス等に活用することを目指した「創薬等支援技術基盤プラットフォーム事業」が2012年度より実施されており、課題を有する研究者の課題解決を統合的に支援する体制が整っている。今後、高品質タンパク質結晶生成実験の発展を図るためには上記事業及びその後継事業との連携や、相補性を意識したプロジェクト運営が必要である。さらに国内のタンパク質構造研究に関する周辺状況として、SPring-8に併設されたX線自由電子レーザー実験施設SACLAによる迅速構造解析技術や、極低温電子顕微鏡による構造研究など、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、それら周辺技術の進展についても注視していく必要がある。

本プラットフォームは、主に国が進める「健康長寿」に関する課題解決型研究への貢献(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(目標②)が可能である。

|             | 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   | <br>0.523 | → | <br>0.209 |
| 分解能の改善      | <br>1.20A | → | <br>0.9A  |
| ツイン結晶の解消    | <br>21.8% | → | <br>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

## ● 目標

JAXAがこれまで培ってきた技術的基盤の優位性を生かしつつ、それを更に発展させて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。

また、2020年までに、実験機会を年4～6回とし、実験サイクルも現状の10か月程度から6か月程度に短縮することで、民間企業や国の科学技術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させる。

加えて、新たな付加価値を提供するため、中性子回折向けの大型結晶(1mm角以上)の生成技術を新規に開発し、大強度陽子加速器施設「J-PARC」との連携による相乗効果を得る。

### ● 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、短期的に獲得すべき実験技術として4℃での結晶化実験の技術実証を行い、2016年後半より利用者に実験機会を提供した。また、実験サイクル短縮化のため、地上で一般的に利用されている結晶化手法の条件をそのまま適用可能な新たな結晶化容器の技術開発を進めている。

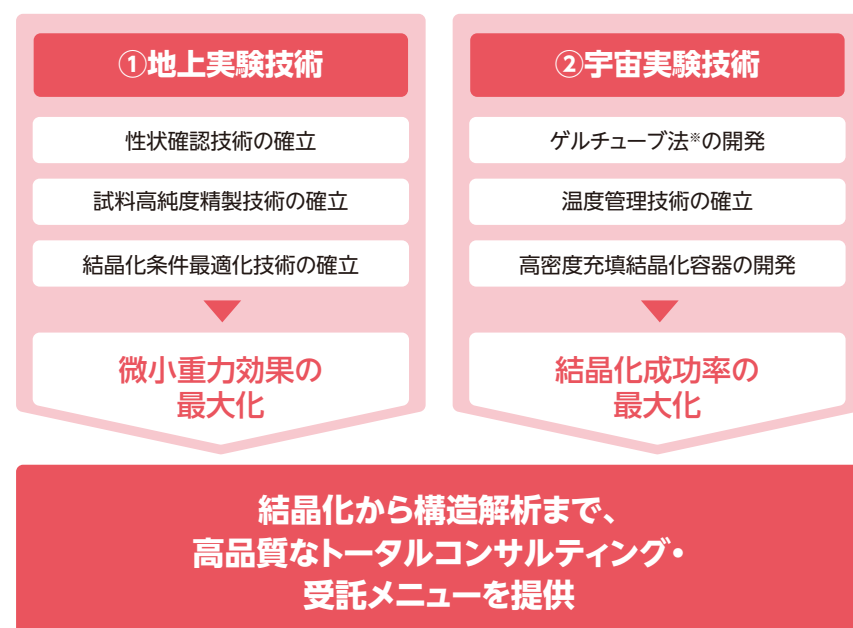
長期的に獲得すべき実験技術として、創薬ニーズの高い膜タンパク質の結晶化技術実証を行い、高品質な結晶化が可能かどうかの見極めを2018年を目途に行う。また、利用者ニーズの高い中性子回折向けの大型結晶化技術の要素技術開発を2018年までに実施し、フライト品の開発、軌道上実証を行う。

これらの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

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、定期的にサンプル公募を行うことで、新たな利用者を取り込んでいく。2020年までは学術利用には搭載試料の45%を目安に割り当てる。

また、戦略パートナーとして設定した産総研との取組みを強化していくとともに、その他の国研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、2017年度末を目途に連携が可能かどうかを判断する。2020年までは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



※ゲルチューブ(GT)法:結晶化容器のセットアップ等を効率的に行えるよう宇宙用に開発したJAXA特許技術



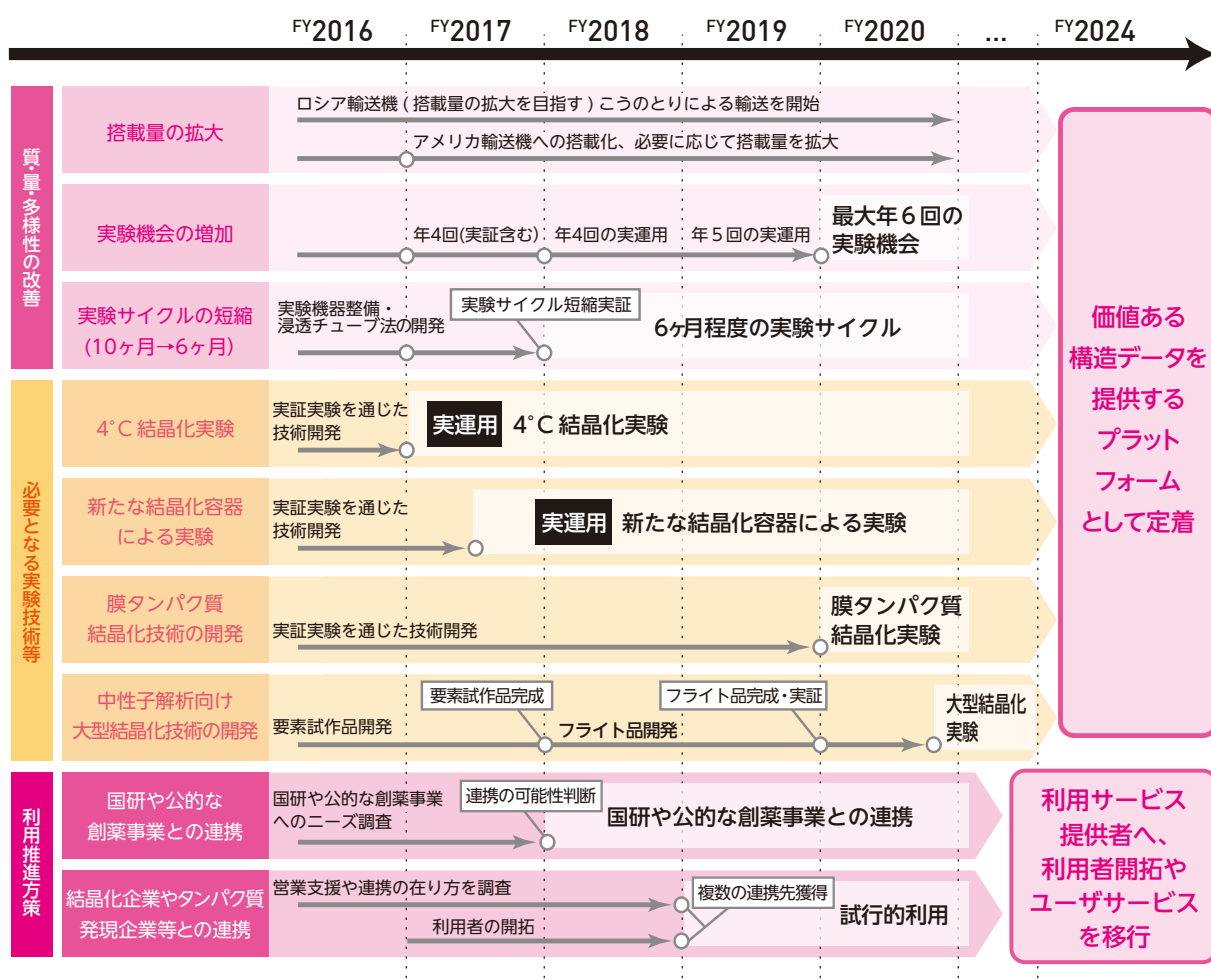
5%を目安に割り当てる。

さらに企業利用については、上記の通り大手製薬企業とバイオベンチャーの分業化が進んできている周辺状況と高品質タンパク質結晶生成実験が創薬研究の初期に貢献する技術であるという特性を鑑みて、短期的には大手製薬企業、バイオベンチャー、酵素メーカーなど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するが、中期的にはバイオベンチャーとの連携を推進方策の中核に位置づける。2020年までは民間企業等による利用に搭載試料数の30%を目安に割り当てる。

バイオベンチャーの利用障壁を除去するため、これまでに結晶化実験で得た多くの知見を基盤として、単に結晶化プロセスの受託に留まらず、結晶化に適したタンパク質生産から得られた高品質データを用いた構造解析までのすべてのプロセスに対して高品質なトータルコンサルティング・受託メニューを提供し、構造情報を求めている企業利用者からみて利用障壁の低い事業基盤を構築する。事業基盤の構築に必要なJAXA技術には、2020年までは搭載試料数の20%を目安に割り当てる。

バイオベンチャー企業との戦略的なパートナーシップ協定締結により、受入試料数なども増加させることとなったが、着実に成果を出し、きぼう利用の存在価値を示すことを第一の達成目標として取り組む。加えて、製薬企業、複数の大手製薬企業等を取引相手としているベンチャー企業に対してプロモーションを行い、有償利用を積極的に推進する。

## 新薬設計支援プラットフォーム ロードマップ



## 加齢研究支援プラットフォーム

## II. 加齢研究による健康長寿社会形成への貢献

## ● 現状と課題

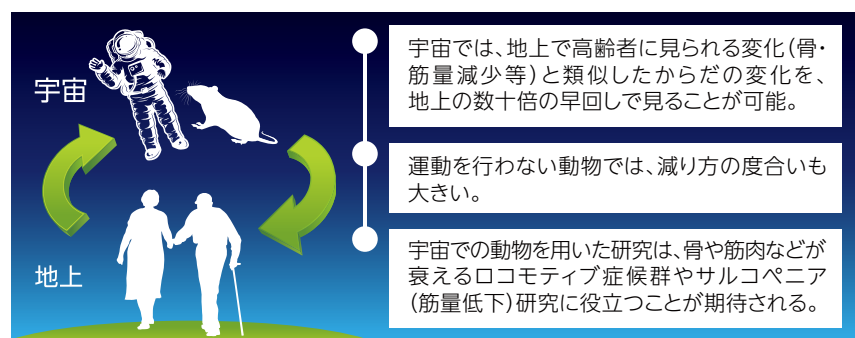
宇宙環境は、骨量減少、筋萎縮、免疫低下、バランス感覚低下など、地上の高齢者や寝たきりの状態に類似した生物影響の加速的な変化を提供できる環境である。生物が重力を感知する仕組みは寝たきり等による筋萎縮化等のスイッチとも考えられるため、「きぼう」ではこれまでに、生物の重力感知機構、骨代謝制御、筋維持・筋萎縮機構、老化や環境適応に伴うエピジェネティックな変化に関する研究等を様々なモデル生物を用いて行い、新たな骨粗しょう症治療薬候補の効果実証や筋萎縮原因酵素の特定などの成果を創出してきた。

平成27年度から開始した新たなテーマ募集制度では、健康医療に関わる国の戦略的な研究を推進している研究者からの応募があり、健康医療戦略における「きぼう」利用の可能性が広がってきている。これらの利用テーマでは特に小動物(マウス)飼育装置へのニーズが高く、加齢研究支援プラットフォームを支える中心的な技術基盤として同装置の活用が期待できる。

海外において、米国も国の研究機関や民間によるマウス利用実験を多くのリソースを割いて重点的に(年2回以上)実施しており、日本ならではの戦略的な研究推進や、国際協力による相補的な利用方策が必要である。

国内の加齢研究に関連する動向としては、平成28年7月に文部科学省の科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 ライフサイエンス委員会基礎・横断研究戦略作業部会において、今後の老化研究の在り方に関する報告書がまとめられた。本報告書では、今後、実施すべきプロジェクトの方向性が示されるとともに、共通基盤の上に組織の枠組みを超えたダイナミックな連携体制を構築し、多様な領域を融合したプロジェクトを推進することが求められており、本施策に基づく老化研究の動向にも注目していく必要がある。

本プラットフォームは、主に国が進める「健康長寿」に関する課題解決型研究への貢献(目標①)が可能である。

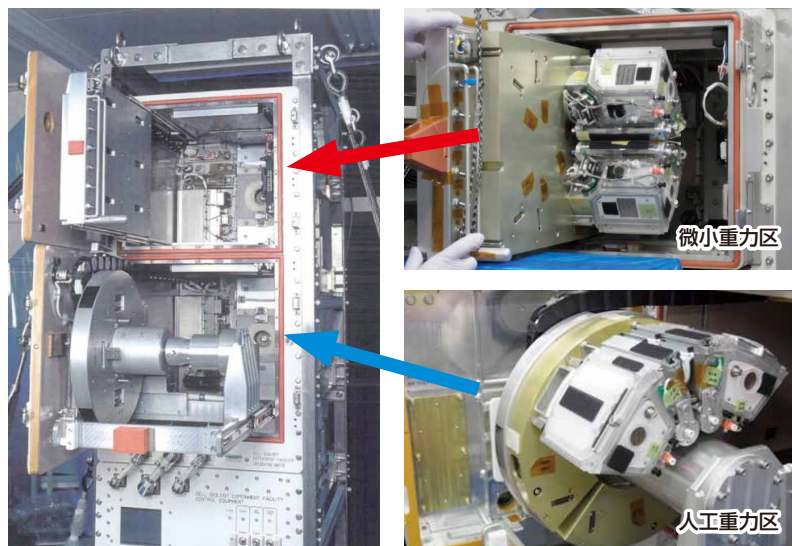


## ● 目標

現在、国が健康医療戦略として進めようとしているオーダーメイド医療・ゲノム医療の実現には、疾患と遺伝的要因や環境要因等の関連性を示すエビデンスが重要である。エピゲノム解析をはじめ、プロテオーム解析、メタボローム解析等のオミックス解析等により、微小重力が生体に与える影響を評価し、様々な臓器・器官において地上の高齢者に見られる加齢様現象や疾患との類似性を検証する。加齢様疾患等の対策法の検証や疾患関連因子の同定などの研究を促進し、ヒトの加齢に伴う生体変化の仕組みの解明や疾患対策等への貢献を目指して2020年までにプラットフォームとしての有効性を示す。

ヒトへの還元を第一の目標と掲げ、科学研究としての条件統一やサンプル数確保、遺伝子・組織レベルの詳細な解析が可能な哺乳類のモデル生物(小動物)を用いた実験を中心に行うこととし、2018年までにマウスの飼育匹数を倍増させ、ラット等を用いた実験に対応する。

#### 小動物実験装置をセットする遠心機付き生物実験装置(CBEF)



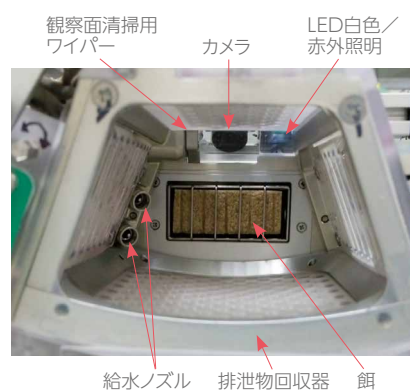
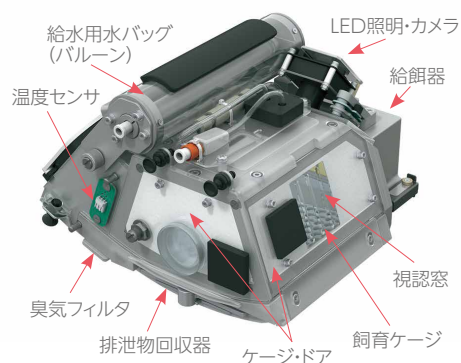
#### ● 必要となる実験技術等

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、より多くの実験成果を創出するために実験能力を更に向上させていく。

具体的には、2018年までに人工重力負荷装置を大型化し、マウス搭載匹数を倍増させ、成果創出のスピードアップを図る。サンプル数を増やすことは、実験データの信頼性を高めることにもつながる。人工重力負荷装置の大型化により、ラット等の搭載も可能となり、実験試料の多様化にも対応できる。

また、我が国の最先端技術を導入した、光マーカによる

#### 小動物飼育装置(マウス飼育ゲージ)





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や、我が国が優位な地上の最先端微量サンプル分析技術を利用することで可能となる、軌道上での継続的微量サンプルの取得・解析技術など、2020年までに高度な実験技術の開発を進める。

小動物実験以外に関しては、細胞培養実験装置、顕微鏡等の開発済みの実験装置の活用・更新を基本とし、多様な実験に対応していく。

### ● 利用推進方策

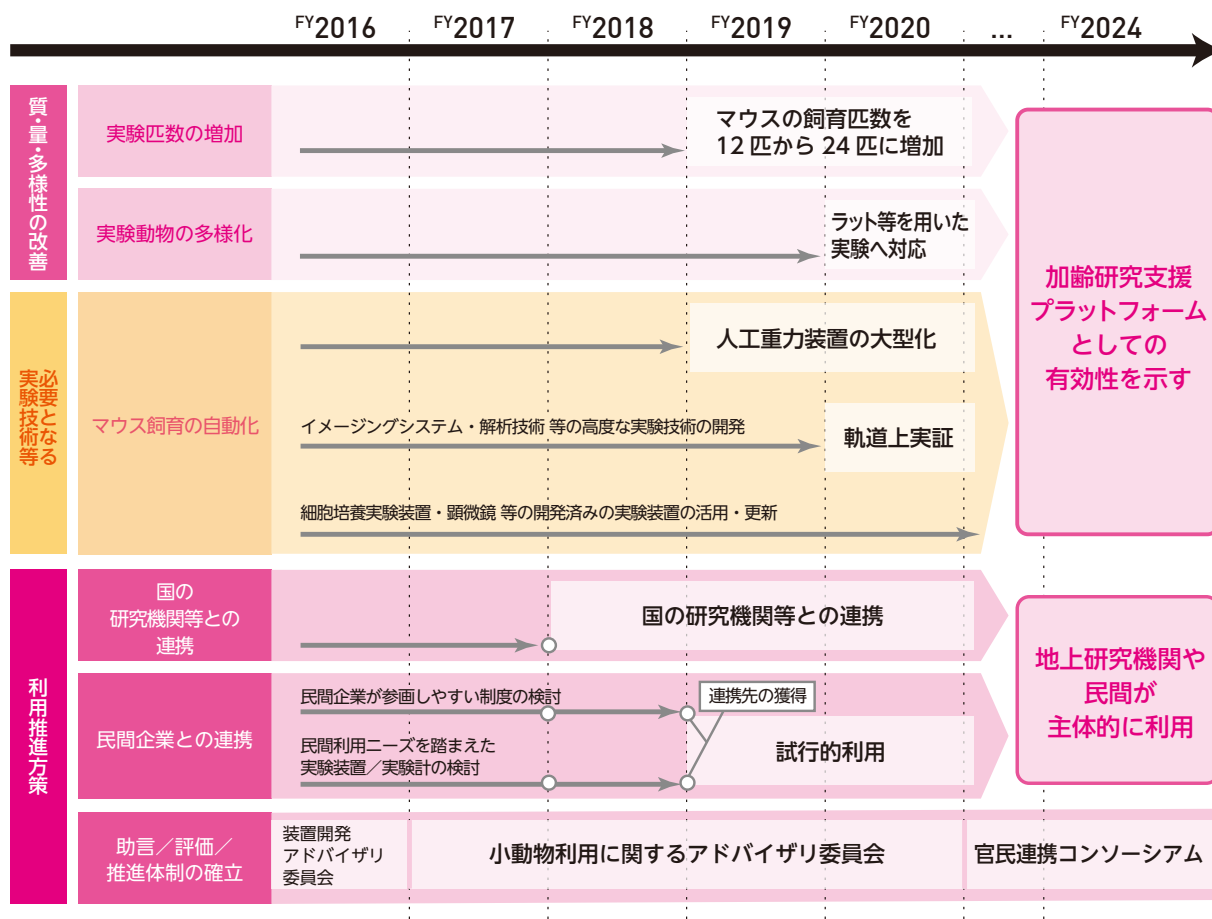
世界最先端の医療の実現や難病の克服に向けた研究開発に貢献する等、平成27年度行政事業レビューでの指摘を踏まえて設定した評価基準<sup>12</sup>による厳格な審査により、出口・ビジョンを見据えた重点研究課題公募テーマを選定するとともに、2017年を目途に戦略パートナーとなりうる国の研究機関等との連携を模索する。当面は、公募テーマと国の研究機関等との連携による利用に100%を割り当てるものとし、民間企業等からの利用要求が生じたときには民間利用ヘリソースを割り当てる。

また、利用者が成果を独占するなどの多様な利用を推進するため、2017年を目途に、民間企業等へのヒアリングをもとに民間企業が参画しやすい制度や利用ニーズを踏まえた実験装置/実験系を検討する。

更に加齢研究支援プラットフォームに対する助言/評価/推進体制を強化するため、2017年度より小動物実験装置開発アドバイザー委員会を小動物利用に関するアドバイザー委員会へと改編する。

12 「きぼう」利用の成果が国の戦略的な研究の成果最大化に貢献する見通し・ビジョンをより一層強く求めた評価基準

## 加齢研究支援プラットフォーム ロードマップ



## 超小型衛星放出プラットフォーム

## III. 超小型衛星放出能力の強化

## ● 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」からのみ実現可能な世界で唯一のシステムである。「きぼう」から放出される超小型衛星は、打ち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、海外からの期待も高い。数百万円程度の衛星キットと比較的安価なJAXAの有償利用制度に加え、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、発案から打上げまで短期間で実施可能である。

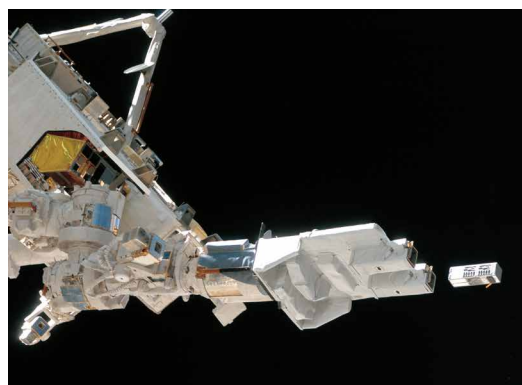
「きぼう」では、2017年8月末時点で198機を超える超小型衛星の放出実績があり、「きぼう」からの衛星放出事業が確立し始めている。また、フィリピンやベトナムといった国々の政府・機関と日本の大学が、当事国の人材育成等を目的に連携して超小型衛星を開発し、「きぼう」の有償利用機会を活用して衛星放出を行っている。2016年(平成28年)からは、50kg級の超小型衛星の放出も可能となり、CubeSat規模に収まらないミッションニーズを取り込み、国内外の大学や民間企業等、今後ますます多くの利用者需要が見込める。



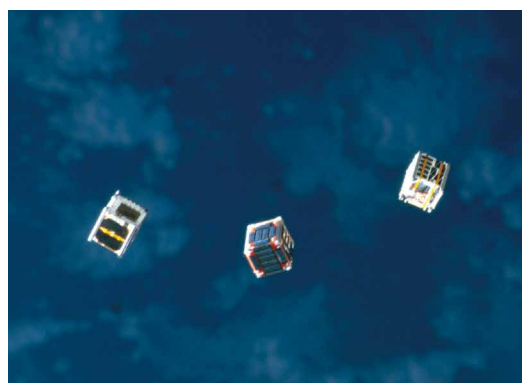
宇宙飛行士による衛星搭載ケースの設置準備



「きぼう」ロボットアームで衛星放出ポイントまで移動



宇宙飛行士または地上からのコマンド信号による衛星放出



衛星の運用開始(放出後30分後より)



フィリピン初の国産衛星(DIWATA-1)の放出成功を喜ぶ関係者

現状の課題として、ヨーロッパや発展途上国が開発する超小型衛星の需要が見込まれるものの、海外の利用者を受け入れるユーザサービス提供者を確保できていないことが挙げられる。

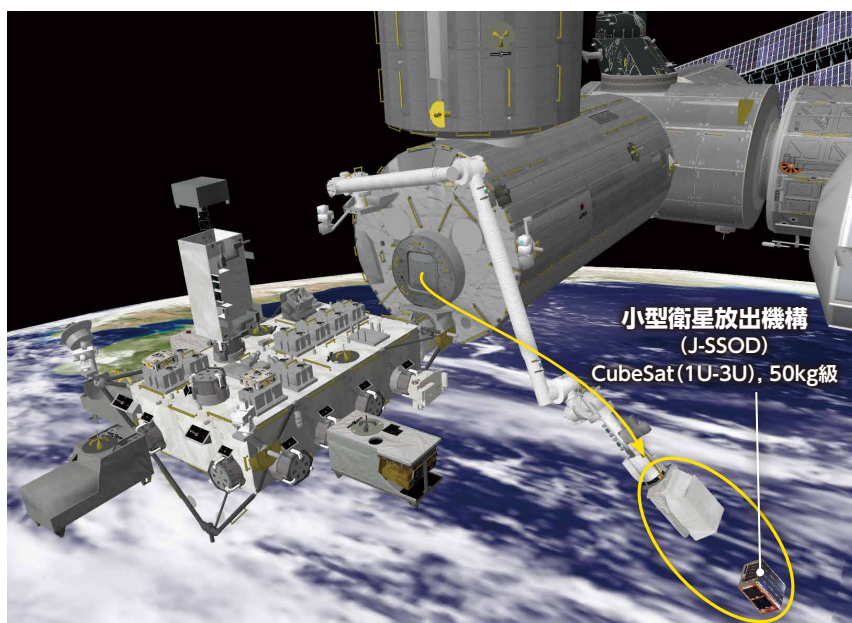
また、放出する衛星はISSの高度の制約があるため、衛星の寿命は短くならざるを得ない。より長期の技術実証や観測のために、放出技術の向上が望まれている。

本プラットフォームは、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(目標②)や国際プレゼンスの向上への貢献(目標⑤)が可能である。

### ● 目標

約1kgのCubeSatから50kg級までの超小型衛星を高頻度に低軌道に輸送できる「きぼう」の特徴を活かして他国が持ちえない打上げ機会提供のサービス(ビジネスモデル)を構築し、世界各国の需要に応え、超小型衛星利用の分野をリードする「超小型衛星放出プラットフォーム」として定着させる。

海外の利用者に一定以上の利用サービスの質を提供できるように2017年度中にユーザサービス提供者となる組織・団体を選定する。





13 CubeSat規格衛星:縦10cm  
×横10cm 1U:長さ10cm、  
2U:長さ20cm、3U:長さ  
30cm

## ● 必要となる実験技術等

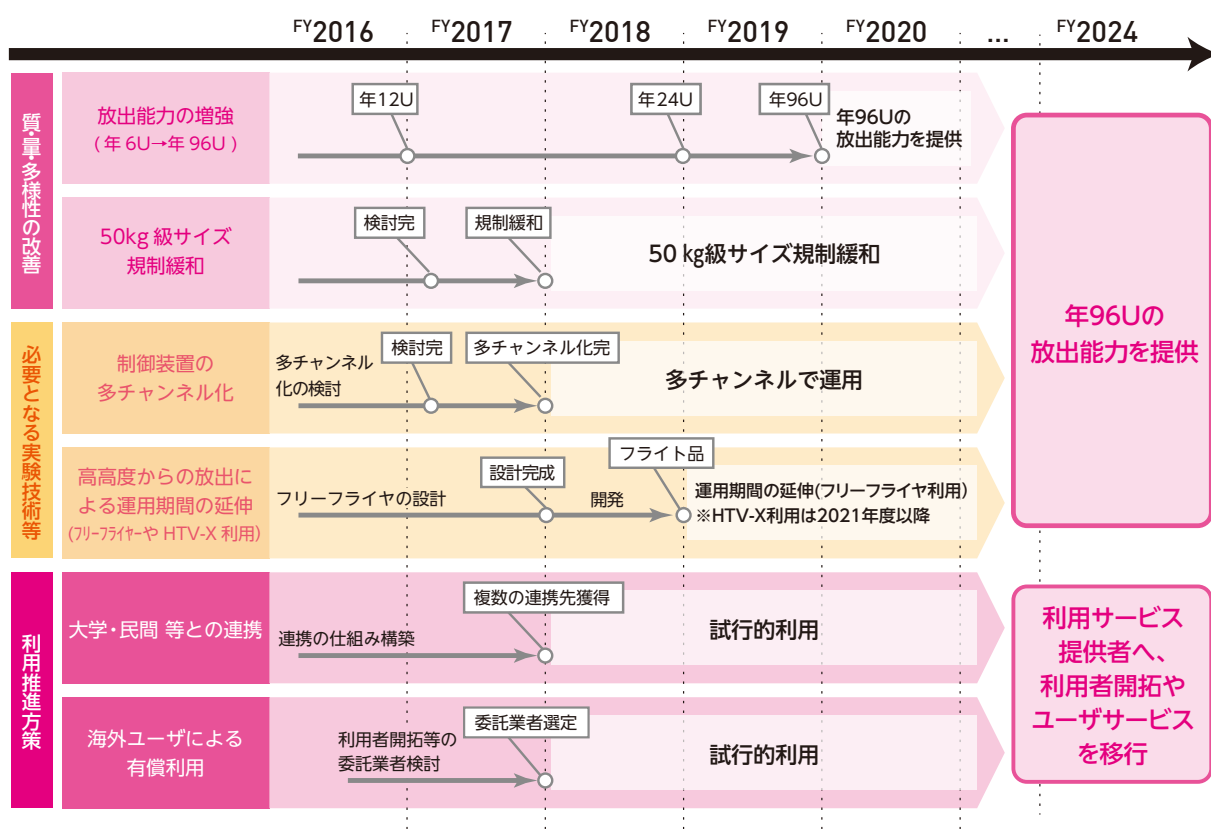
衛星放出利用の大幅拡大に対応するため、2018年度中に24U<sup>13</sup>を実現し、顧客獲得状況や衛星サイズ等に係る市場動向を見て、2020年度頃までに48Uでの衛星放出が可能となるように段階的に小型衛星放出機構の機能向上を図る。

さらに、放出衛星の長寿命化のために、例えば、「きぼう」の曝露部を発着起点とするフリーフライヤで高い軌道に衛星を輸送して放出する等の検討を進める。

## ● 利用推進方策

超小型衛星放出の利用拡大を担う衛星放出事業主体として、衛星インテグレーション技術を持つ大学やコンソーシアム、衛星キット販売事業者等を候補に連携を推進する。衛星放出事業主体との間で包括的な有償利用契約を結ぶ場合には、インセンティブを付与する等、利用拡大に向けて効果的な連携を図る仕組みを構築する。インセンティブの例としては、超小型衛星の製作に熟知し、継続して成果を創出する可能性が高い大学等に、JAXAに申込のあった国内の大学等に対する技術的な支援を要請する代わりに、年間一定の放出機会を優先的に提供することなどが挙げられる。有償利用の制度設計にあたっては、市場動向を勘案しつつサービス利用料を設定し、長期的・継続的な利用ニーズを生み出すことを目指す。2020年までは民間利用に40%、国際協力に30%、JAXA技術開発に30%の搭載機数を目安に割り当てる。

## 超小型衛星放出プラットフォーム ロードマップ



## 船外ポート利用プラットフォーム

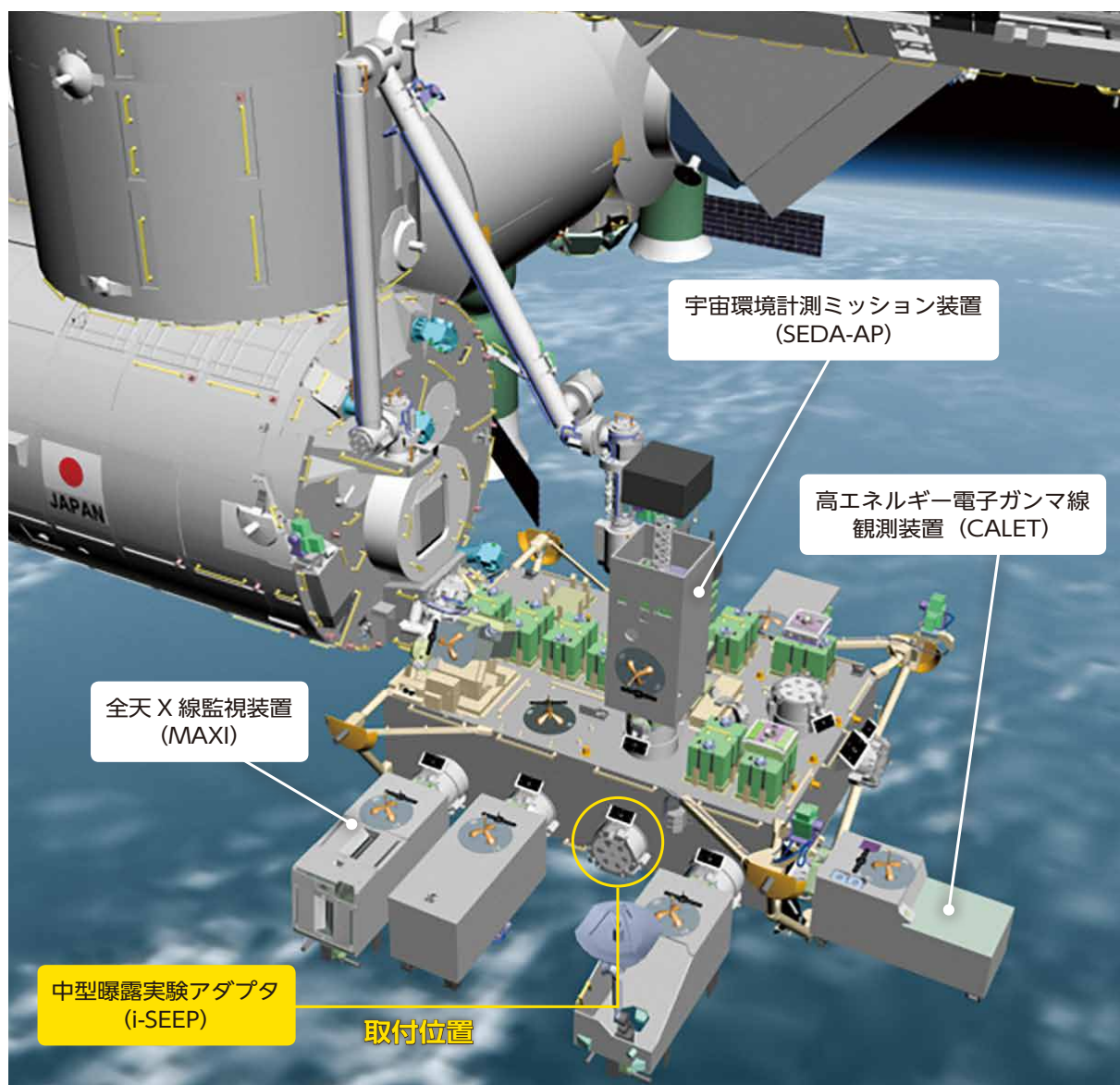
## IV. 船外ポートを利用した戦略的利用推進

## ● 現状と課題

「きぼう」の曝露部は、全天のX線天体の観測 (MAXI)、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) 等において、一定の科学的成果を創出してきた。これらは、船外ポート<sup>14</sup>を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、開発には多額の開発資金や開発期間も数年程度を要し、かつ、船外貨物として打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ー (i-SEEP) 開発し、運用を始めたところである。今後は、この中型曝露実験アダプターを使ったミッションを船外ポート利用の中心とし、船外利用を活性化していく必要がある。

本プラットフォームは、主に国が進める「自然災害」「地球環境情報」に関する課題解決型研究への貢献 (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 (目標②)、国際プレゼンスの向上への貢献 (目標⑤) が可能である。

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



15 試験試作用モデル(BBM)、エンジニアリングモデル(EM)相当

## ● 目標

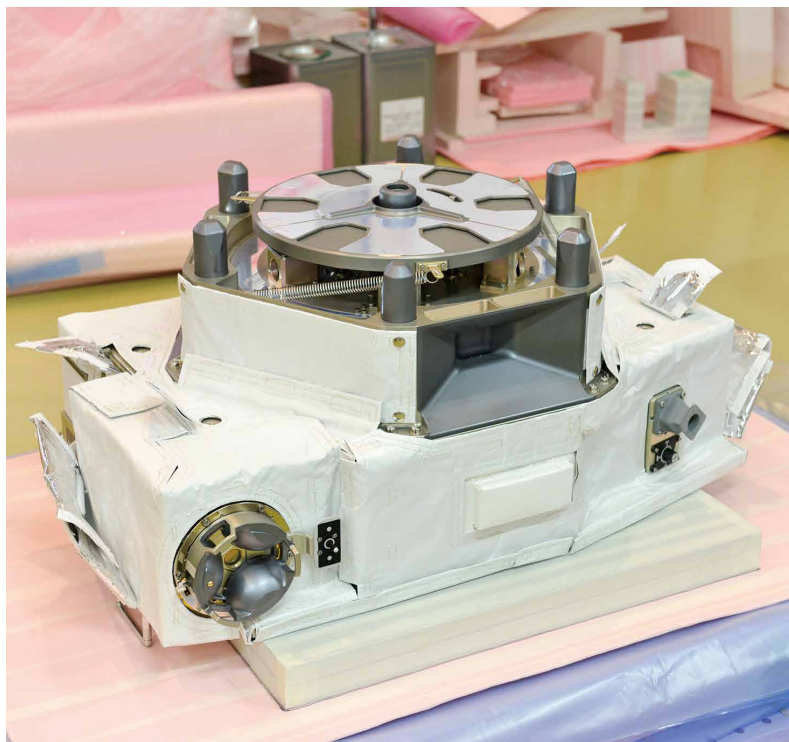
「きぼう」利用では、年間複数回あるISSへの定期的な物資輸送便が利用でき、高頻度の打上機会を利用することができる。また、ソフトバックに梱包する船内貨物として装置を搭載することにより、ロケットで衛星等を打上げる場合に比べて打上時の機械環境を緩和することができる。この緩和により、民生品や開発初期段階<sup>15</sup>の装置を機能実証のために打上げることができる。これらの特徴は、他の宇宙機には実現できない「きぼう」が世界で唯一成し得る最大の強みである。

従って、宇宙観測や地球観測、技術実証等の数ある船外利用方法のうち、上記の特徴を最大限活かせる宇宙技術の実証を中心に推進する。全てのポートが埋まって常に活用され、次のミッションが常に控えている状態を目指し、地球観測センサ等の将来の革新的な技術の実証や斬新かつチャレンジングな宇宙技術等を次々に実証していき、「船外ポート利用プラットフォーム」として、我が国の将来宇宙技術開発に貢献していく。

## ● 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、中型曝露実験アダプターへの冷媒供給機能の付加、i-SEEPからきぼう船内への通信速度を100Mbpsから1Gbps以上へ向上(ISSから地上への通信速度は常時1Mbps、最大30Mbps程度)、エアロックのサイズに縛られないため、船外で装置を結合させるための装置結合機能の付加を検討していく。

### 中型曝露実験アダプター(i-SEEP)



50×70×35(cm)、i-SEEP 1台あたり200kgまでの実験装置を搭載可能。船外実験や宇宙用機器の実証機会を提供。



## ● 利用推進方策

募集型でミッションを募り利用機会提供をしてきたこれまでのやり方を改め、JAXA事業の宇宙実証等を軸とし、日本が有する船外ポートをJAXAの総力を挙げて戦略的に使っていく。大型の装置でしか実施できないミッションにも配慮しつつ、中型曝露実験アダプターの利用を中心に推進する。

### ・ 有人宇宙技術実証利用

別途策定される有人宇宙技術の総合的研究計画等に基づき、日本の得意技術を活用した圧倒的な国際競争力を確保できる戦略的な研究開発のために利用する。(2ポート(40%)程度の利用を想定)

### ・ JAXA全社的な宇宙技術実証等の利用(有人宇宙技術実証を除く)

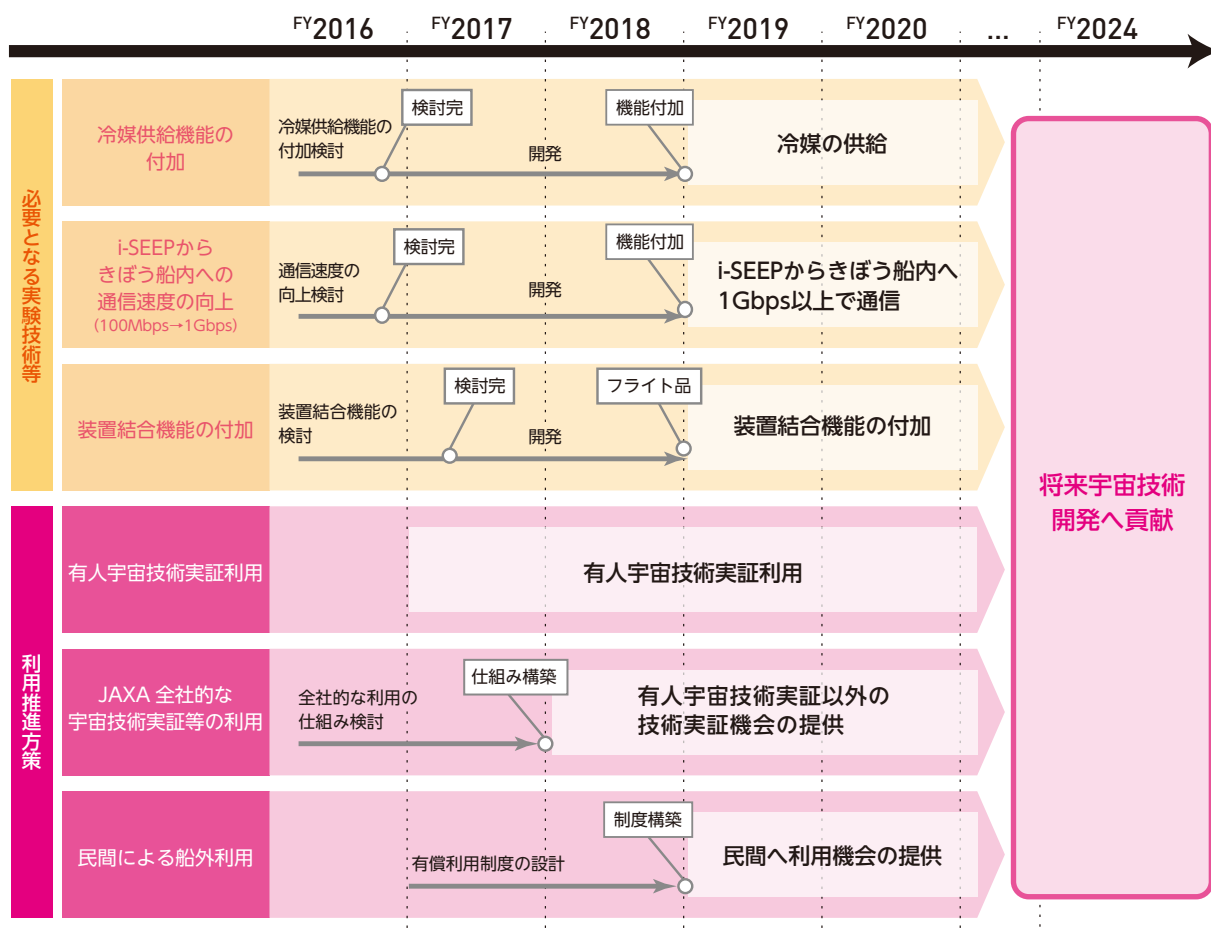
有人宇宙技術以外の宇宙技術実証や観測ミッション等の利用を推進するため、JAXA全社的な利用の仕組みを構築する。特に、研究段階やプロジェクトの初期段階に「きぼう」で技術実証を行う利用を推進する。

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が協力の機関決定をしたミッションを搭載する。(2ポート(40%)程度の利用を想定)

### ・ 民間等による船外利用(有償利用)

センサ開発や画像提供等、民間企業等が投資対象としてその事業価値を認めた利用を促進するため、有償利用の仕組みを作り、利用機会を提供する。(1ポート(20%)程度の利用を想定)

## 船外ポート利用プラットフォーム ロードマップ



## ② 新たなプラットフォーム形成による きぼう利用の多様化

今後の利用改革によりプラットフォーム形成を目指す取組(プラットフォーム化の次なるターゲット)を進める。プラットフォーム化するにあたっては、技術的な実現の目途が立ち利用サービスとして地上や他国の取組との差別化が図れること、宇宙実験の意義が認められ「きぼう」利用の価値を示せること、持続的な利用が見込めること等をクライテリアとする。これらを満足できた取組から順次プラットフォームに移行し、「きぼう」利用の中核となる柱として推進する。

以下のほか、学術研究での新たな「きぼう」利用領域の開拓状況や国の科学技術戦略・施策の動向等を踏まえ、プラットフォーム形成を目指して取り組むべきものがあれば、積極的に取り組んでいく。

### 1. 無容器処理技術を利用した材料研究への貢献

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。我が国は、これまでに小型ロケットを用いた短時間微小重力実験で世界で初めて微小重力下でのセラミックス試料の溶融・凝固実験に成功するとともに、地上研究では、測定が困難であった3000℃を超える融点を持つ純金属の熱物性データを世界に先駆けて取得し、静電浮遊法が有望であることを実証してきた。この成果を踏まえ、「きぼう」に搭載する静電浮遊炉を開発した。

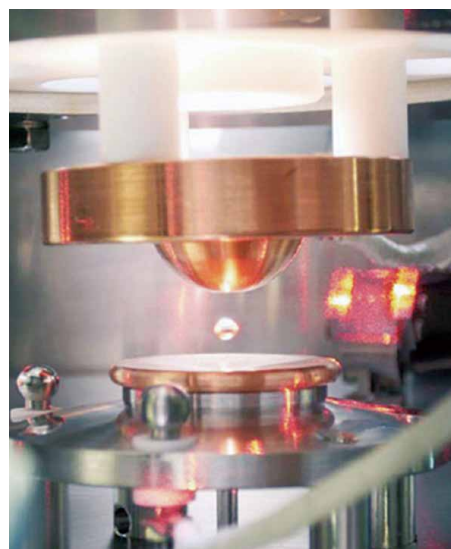
一方海外では、欧州宇宙機関(ESA)が、大手航空エンジンメーカ、原子炉メーカ、自動車メーカとの共同により、ISSの欧州実験棟「コロンバス」に設置された電磁浮遊炉(EML)<sup>16</sup>を使って合金系材料の実験を昨年度より開始した。また、NASAはEMLを使った実験に参加し、マテリアルインフォマティクスプロセス(情報統合型材料開発)に宇宙実験結果を取り込むことにより、製造シミュレーションの精度向上や新材料の発掘(微細組織合金の製造)を目指しており、無容器処理技術成果の製造プロセスへの取り込みが始まっている。

我が国が搭載する静電浮遊炉は、欧州が整備を進めている電磁波を利用した浮遊実験装置と比べて、金属から絶縁体まで幅広く融点が3000℃を超える材料の熱物性データを計測できる特徴を有している。また、大過冷却により新たな

16 Electromagnetic Levitator



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。

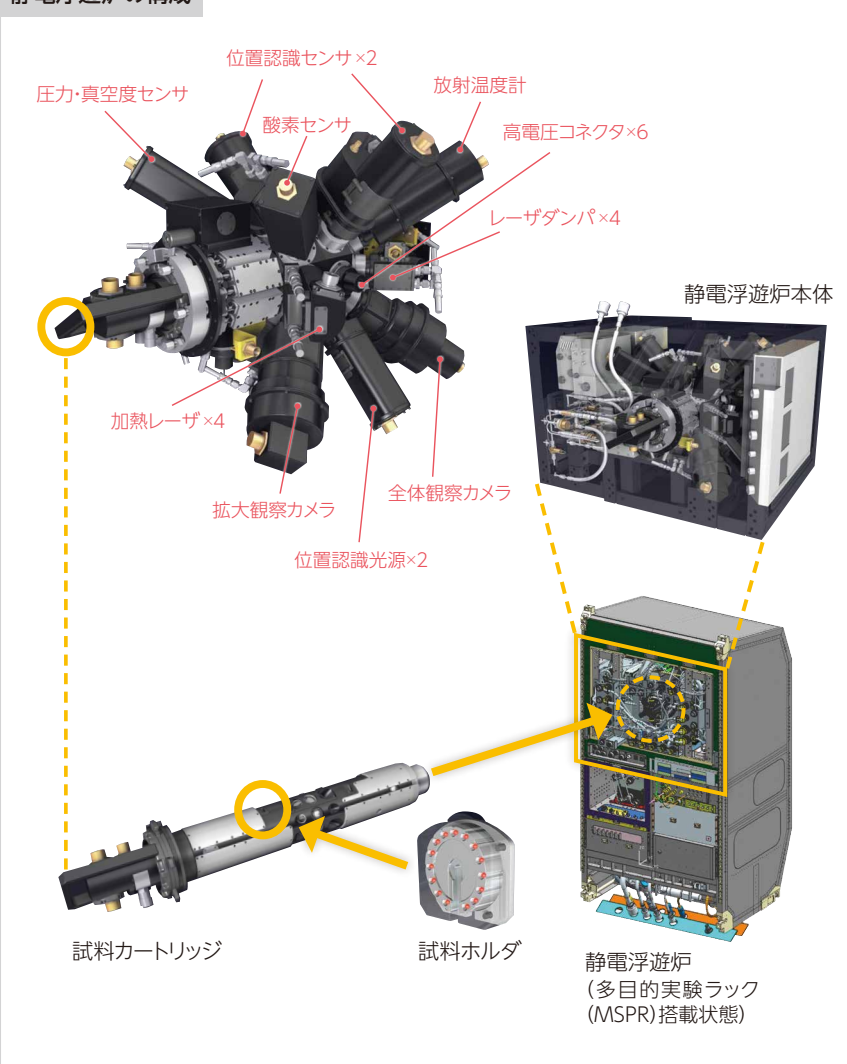
物性の材料を生み出す可能性を秘めている。この機能・性能を徹底的に活かして、民間ニーズが高い酸化物やセラミックスなどの絶縁体を中心に、地上では取得できない熱物性データや新材料を探索し、「きぼう」でしか実現できない材料研究を実施する。

軌道上実験装置の初期検証を早急に完了し、実験環境を整える。静電浮遊炉の利用は、タンパク質結晶生成実験と同様に実験手順を容易に定型化することができることから、有望なシーズ・研究者を探索するサンプル募集制度を整備し、募集を開始する。併せて民間企業の需要をもとにその利用拡大に適した追加機能を今後検討する。

持続的な成果創出を図るために、国の材料研究を担う研究機関等を戦略パートナーとして設定して連携を構築する。加えて、ガラス、セラミックス、金属メカ等による利用を推進するため、有償利用制度を整備した。プラットフォーム形成を目指して、材料開発/加工、溶接、溶射、半導体プロセス等に関連する学会や業界団体に対して、積極的なプロモーション活動を行う。

静電浮遊炉によって二元系酸化物の熱物性データを世界で初めて取得し、無容器処理技術の優位性、有効性を広く示すことにより、産業界で利用されている多元系酸化物等を含む幅広い材料研究のためのデータ取得ニーズを呼び込み、プラットフォーム化を目指す。主に国が進める「エネルギー」に関する課題解決型研究への貢献(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(目標②)を想定する。

#### 静電浮遊炉の構成



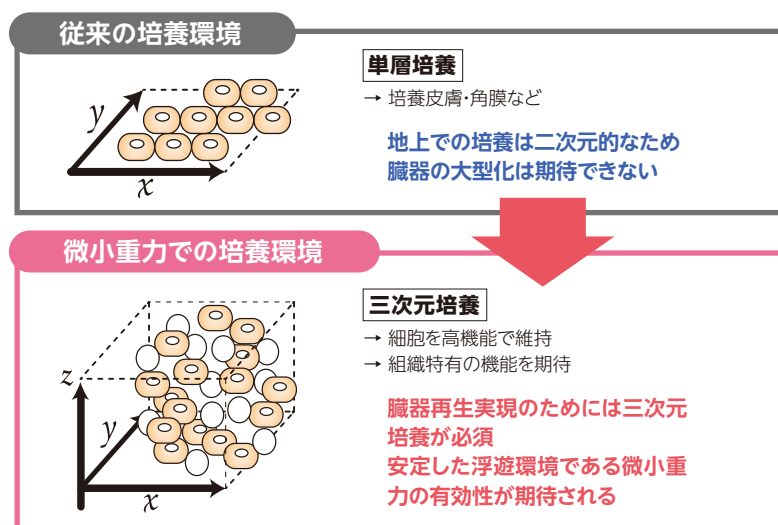


## II. 再生医療への貢献に向けた立体培養技術の有効性実証

細胞培養や組織形成等の分野において、二軸回転を利用した重力方向が時間的に分散する環境での細胞の浮遊状態が、臓器の内部構造形成に有効であることが示された。地上では完全な立体培養に至っておらず、「きぼう」の長期間の安定した浮遊状態でこの課題を解決できる可能性があることから、「臓器立体培養等の再生医療に関するきぼう利用研究」を2015年度(平成27年度)に募集し、テーマを選定した。

宇宙で壁面に固着した細胞を培養する技術は既に獲得しているが、細胞を浮遊状態で三次元的に培養する技術はこれまでにJAXAに実績がなく、新たな技術開発が必要である。従って、選定した研究を宇宙実験テーマとして具体化し実現性の目処を確認していく過程で、立体培養技術を開発し、臓器細胞等の立体培養における「きぼう」の微小重力環境の有効性を実証する。また、このような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な観察が不可欠であり、地上研究で広く使用されている共焦点顕微鏡のきぼう搭載化を進める。

「きぼう」での実験技術確立し、微小重力の有効性を実証できた場合には、他の臓器立体培養研究への適用を拡げるため、テーマ募集において戦略の一つとして設定するとともにきぼう利用推進有識者委員等を通じて研究者の掘り起こしを行い、プラットフォーム化を目指す。再生医療を通じて「健康長寿」に関する国が進める課題解決型研究への貢献(目標①)を想定する。



## III. 新素材の宇宙実証による信頼性向上への貢献

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。「きぼう」での材料等の曝露実験は、船外活動を実施することなく、打上げ機会が比較的多くタイムリーな実験計画を立案可能である。特に、実験後に地上に持ち帰った試料を使って評価試験をすることができるといふ他の宇宙機には実現できない大きな利点がある。

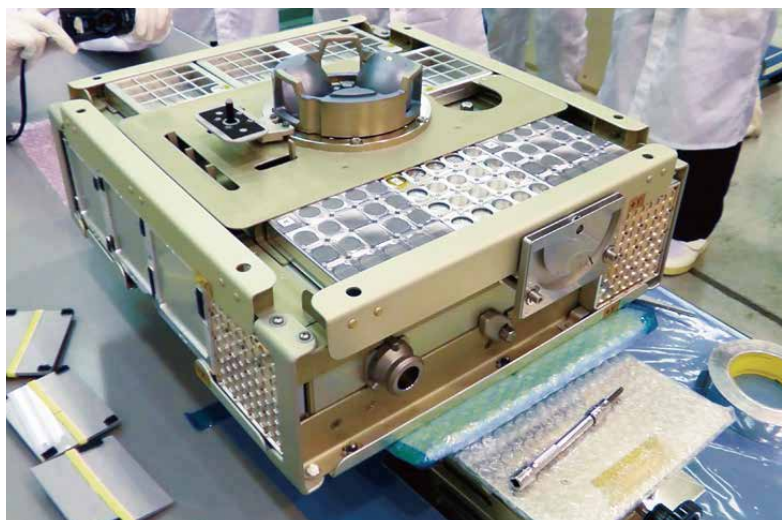
この特徴を活かし、民間企業、大学、JAXAにおける宇宙用新素材の品質・信頼性向上に、ひいては我が国宇宙開発利用の基盤の維持・向上と国際競争力強化に貢献するため、「きぼう」の簡易曝露実験装置(ExHAM)を利用した材料曝露実験を推進する。

これまでに行ったプロモーションでは、JAXA内の他、宇宙用材料メーカー等から宇宙実験ニーズがあり、宇宙実験を進めているところである。今後は、

JAXA内の利用推進はもとより、JAXA外には新たに整備した有償利用を中心とした利用制度にて募集を行う。宇宙用材料メーカ等の民間企業を中心としたプロモーションに加えて、アジア諸国等の国際的なプロモーションを通じて利用者を獲得していく。

今後の利用推進での利用ニーズを十分考慮の上、電源や通信リソースを使った曝露実験を可能とする装置の開発の検討や実験機会の倍増等の機能拡充を検討する。利用ニーズ(電源や通信モニタ機能等)を満足する実験環境を整備でき、持続的な利用の目途が立てられた場合には、新たなプラットフォームとして定義する。主に国が進める「エネルギー」に関する課題解決型研究への貢献(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(目標②)、国際プレゼンスの向上への貢献(目標⑤)を想定する。

簡易曝露実験装置 (ExHAM)



ExHAM実験試料の入ったアダプタ例

#### IV. 産業応用を主目的とする実験プラットフォームの検討

4つのプラットフォーム及び上記3つの新たなプラットフォームを目指した取組は、これまでの学術研究による「きぼう」利用の成果を発展させたものである。民間企業の有償利用が進まない分野がある中で、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②)を推し進めるためには、「きぼう」利用の有効性をJAXAと産学とが共同して実証し、実用的にも価値のある成果を創出していくことが重要である。そのために、科学技術振興機構(JST)<sup>17</sup>の研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)<sup>18</sup>等を参考に、民間企業が体制に入り事業化や産業化の視点を重視した実験を提案する募集制度を検討する。また、産学官連携の国の大型プロジェクトやコンソーシアム等とも協力して、過去の成果を踏まえた有望な分野を中心にテーマを探索し、民間利用の拡大につながる新しい実験テーマを創出する。これらのテーマにより、新たな利用サービスとしての有効性実証を目指す。

17 Japan Science and Technology Agency

18 実用化を目指した科学技術振興機構の技術移転支援プログラム

## (2) 超長期有人宇宙滞在技術や探査技術の獲得

超長期有人宇宙滞在技術や探査技術等の獲得に向けて、日本の民生分野の優位技術を基に我が国独自の技術実証の場として「きぼう」を利用し、以下の技術を獲得する。

- 国の科学技術イノベーション戦略に応えるロボット利用・応用技術及び宇宙実験自動化技術の推進
- 補給量の削減により、ミッションコストを大きく低減する完全再生型環境制御／生命維持技術
- 放射線計測及び防護技術
- 宇宙飛行士の健康管理技術 等

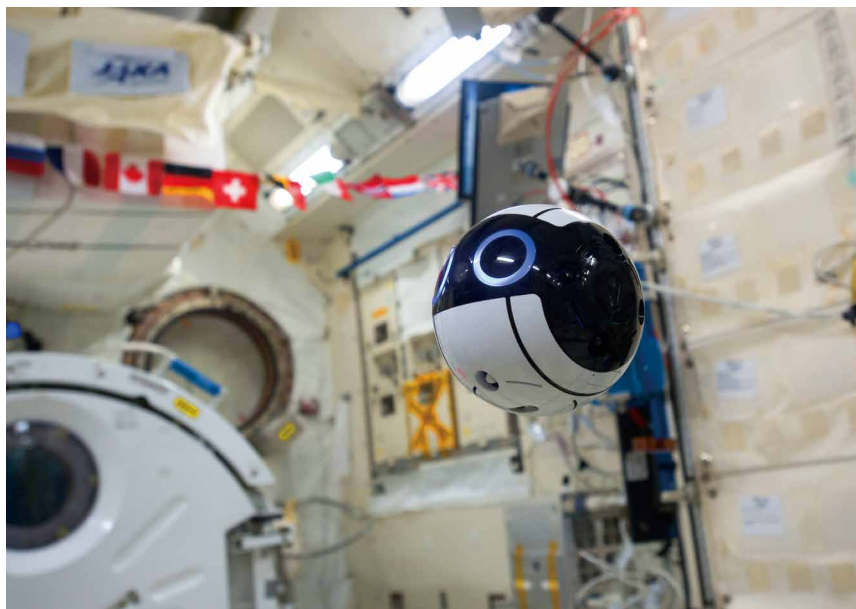
### ① 国の科学技術イノベーション戦略に応えるロボット利用・応用技術及び宇宙実験自動化技術の推進

#### ● 現状と課題

現在のISS運用はクルー作業を前提としているため、運用の計画的な実行や実験頻度の向上にはクルータイムの確保が必須となり、きぼう利用成果の拡大に向けての制約となっている。

また、「きぼう」でのロボット利用は、開発当初の目的であるペイロードや補用品(ORU)の着脱作業から、超小型衛星放出ミッションやロボットアームを用いた船外での技術実証など、その用途と利用頻度が年々拡大しており、既存のシステムでは今後想定される多様なミッションの要望に応えられない可能性がある。

ロボット・自動化で高い技術力を有する我が国のロボット利用戦略に応えるためにも、微小重力環境下での貴重な実験環境を有する「きぼう」の運用自動化、将来ロボット技術の実証を進め、「きぼう」の利用成果の最大化と産業界への新規技術のフィードバックを図ることが求められる。



位置・姿勢推定技術を実証中の船内浮遊移動型カメラロボット“Int-Ball”



## ● 目標

国の科学技術イノベーション戦略に応えるロボット応用技術(地上技術の宇宙応用、宇宙技術の地上応用を含む。)、宇宙実験の自動化技術(完全無人化を含む。)[「きぼう」などの微小重力下や月・惑星等の重力天体上で宇宙飛行士の活動を代替・支援できるロボット利用技術について、その研究開発を他機関や企業と協働して進める。

## ● 必要となる実験技術等

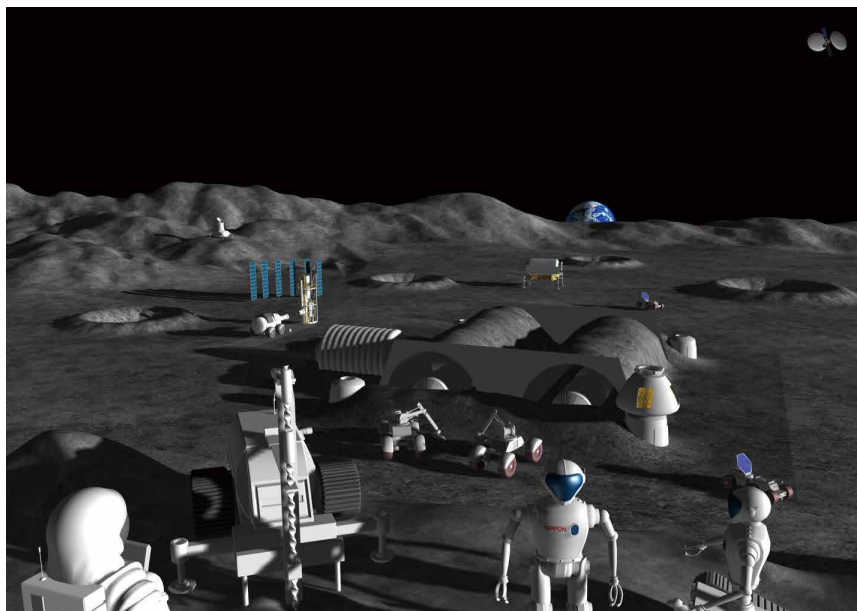
実験装置の自動化、有人活動を支援するロボットの実現には、i) 自己位置・姿勢を推定する技術、ii) 多腕・多指を制御する技術、iii) 通信遅れ環境下での遠隔制御技術、iv) 「きぼう」船内外を移動する技術、そして、v) 自律的に制御する技術(視覚情報やテレメトリデータに基づく状況判断、障害物を回避しての経路生成、音声認識等を介したクルー協調動作等)といった鍵となる技術が必要となる。研究機関やメーカーとの連携を通して、これら最新技術を利用・統合し、「きぼう」や月・惑星等の拠点で利用可能な自動システムを実現させる。

## ● 利用推進方策

上述の新たに獲得すべき技術については、段階を追って実証を進める。具体的な進め方は以下のとおり:

- i) 位置・姿勢推定技術の実証  
⇒船内の浮遊移動型カメラロボットで実証
- ii) 多腕／多指制御技術 及び iii) 遠隔制御技術の実証  
⇒次期ロボットアームや船内実験装置の自動化で実証
- iv) 移動技術  
⇒浮遊移動型カメラロボットや有人活動支援ロボットで段階的に実証
- v) 自律制御技術  
⇒有人活動支援ロボット、実験装置の自動化等で段階的に実証

実証が完了した技術については適宜、運用に供することで「きぼう」の運用効率化と将来探査に向けた技術データ取得につなげる。



月の本格的利用の想像図

## ② 補給量の削減により、ミッションコストを大きく低減する完全再生型環境制御／生命維持技術

### ● 現状と課題

現行の「きぼう」は、空気循環、温度調節といった基本的な環境制御機能を有するものの、二酸化炭素除去、酸素製造など、宇宙飛行士の生命維持に係る機能はなく、それらはISS本体に依存している。また、現行ISSの環境制御・生命維持機能の維持は、輸送機による物資補給を前提としており、水が補給物資の多くを占めている。

超長期有人滞在が必要となる有人宇宙探査は、ミッション期間が長く、ISSと比べて補給が極めて困難となるため、水・空気の完全再生利用による物資補給量の低減が不可欠である。

次世代水再生システム(実証モデル)



次世代水再生システムは、現行のISSで使用されているNASA装置の1/4に小型化する。図は実証モデル。

### ● 目標

物資輸送量を低減するためには、ミッション開始時に搭載した水・空気を宇宙飛行士が飲用・呼吸することで発生する尿や汗、二酸化炭素、微量代謝ガス(アンモニアなど)を浄化し、再び水・空気として供給することができる、つまり、補給を一切必要としない完全再生型システムが必要である。

また、いくら高性能で完全再生が可能であっても、運転のために多くの消耗品が必要なシステムや機器の寿命が短く交換部品が多数必要なシステムでは補給量の削減にはつながらない。さらに、有人宇宙探査の宇宙船や滞在拠点は小型化が必要であり、コンパクトで省電力なシステムが強く望まれる。

そこで、コンパクト・省電力で、水・酸素補給ゼロ、消耗品ゼロ、高信頼性を実現する完全再生型環境制御・生命維持技術を確立して、国際有人宇宙探査に提供することで、システム基幹部分での日本の貢献や物資補給量低減によるミッションコスト大幅削減により、日本のプレゼンス向上につなげる。

## ● 必要となる実験技術等

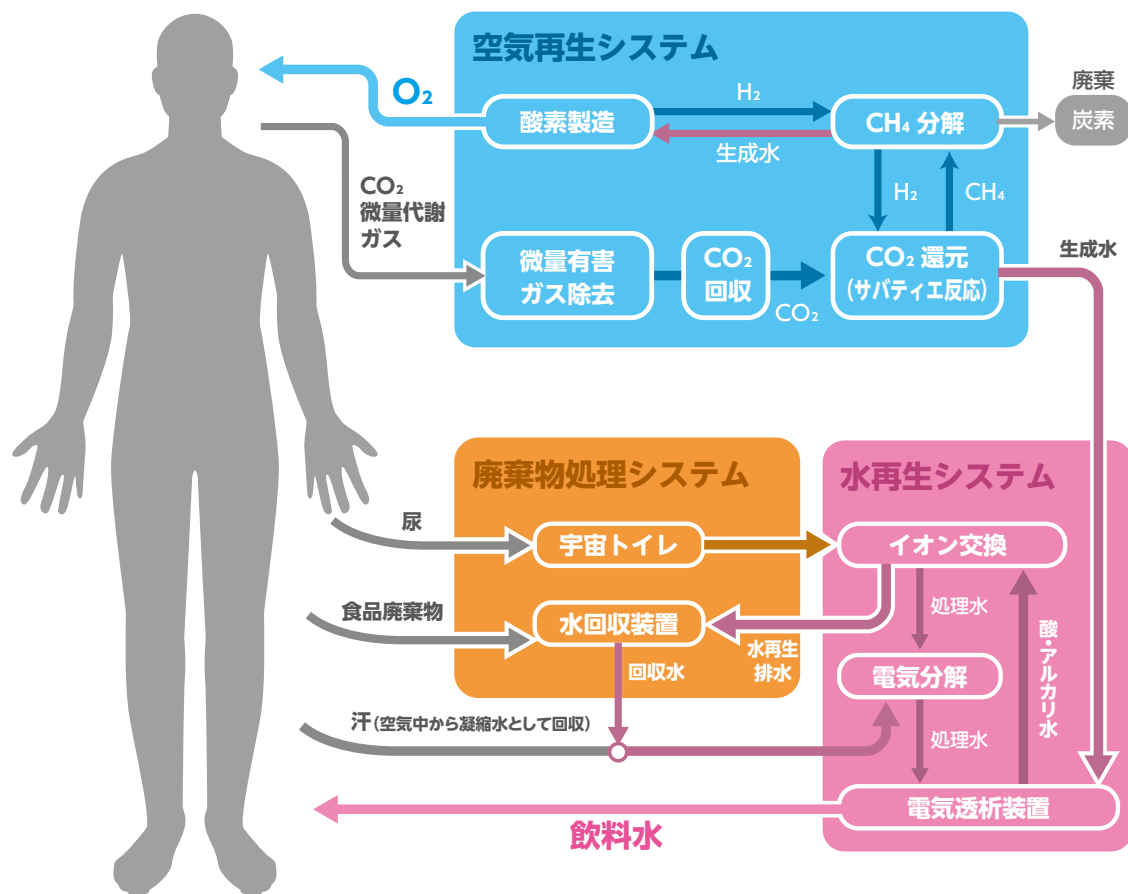
以下の技術を研究開発し、それらを統合して完全再生型環境制御・生命維持技術を確認する。

- 呼気CO<sub>2</sub>回収やO<sub>2</sub>製造だけでなく水を生成する空気再生技術(人が代謝する微量有害ガスを除去、呼気CO<sub>2</sub>を回収、CO<sub>2</sub>をH<sub>2</sub>で還元し水とCH<sub>4</sub>を生成(サバティエ反応)、水を電気分解しH<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>を製造、CH<sub>4</sub>を分解してH<sub>2</sub>を生成)
- 尿や空気中水分の凝縮水から飲料水を生成する水再生技術
- 食品廃棄物や水再生排水から水分を回収する廃棄物処理技術

## ● 利用推進方策

閉鎖空間・微小重力といった環境の下で、将来の有人宇宙探査を想定した実証ができるISSの利点を活用して各種軌道上実証を行う。まずは、技術確立を目的として、空気再生・水再生・廃棄物処理の各サブスケールモデルの実証を行い、その結果を設計に反映した上で、最終的には4人・3年間のミッションを想定したフルスケールモデルの実証を行う。

完全再生型環境制御・生命維持システムの仕組み





### ③ 放射線計測及び防護技術

#### ● 現状と課題

将来の有人宇宙探査では、ISSよりもはるかに長期間のミッションを地磁気圏外の過酷な宇宙放射線環境下で行うため、宇宙飛行士の放射線被ばくによる生体影響が大きなりリスクとなる。そのため、有人探査に参加する宇宙飛行士の被ばく線量を適切に管理するため、線量制限値を設定し、当該線量を精度よく算定する技術、並びに制限値を超えないよう宇宙放射線を防護する技術が必要となる。

#### ● 目標

被ばく線量が大きくなる長期ミッションにおいて、緊急退避や帰還の判断のため、ミッション中の被ばく線量評価をリアルタイムで正確にできるよう、宇宙飛行士の被ばく線量算定の精度を向上させる。

また、生涯被ばく線量制限値が小さい若手の宇宙飛行士、制限値まで残りが少ないISSフライト経験の豊富な宇宙飛行士でも有人宇宙探査に参加できるレベルまで放射線防護能力を向上させる。

#### ● 必要となる実験技術等

- ・ 被ばく線量を精度よく算定するために必要な各種データ(リアルタイム環境線量、宇宙飛行士滞在場所の時間分布)の計測技術(遮蔽材料の遮蔽効果や二次粒子を測定／評価できる被ばく線量計を含む)
- ・ 上記データ及び最新の環境モデル、詳細な遮蔽モデルを取り込んで高精度な被ばく線量算定を行うための計算解析ツール
- ・ 効果の高い遮蔽技術(材料、配置等)

#### ● 利用推進方策

リアルタイム線量計、宇宙飛行士滞在場所の時間分布を把握するICタグのISS実証を行い、ISS運用機会を通じて精度の高い宇宙飛行士の被ばく線量算定方策を実用化する。また、必要に応じて、ISS曝露部を用いた遮蔽材料実験等を行う。

#### ISS実証を行うリアルタイム線量計(PS-TEPC)

検出部1  
(0.2~600keV/ $\mu$ m)



検出部2  
(400~1000keV/ $\mu$ m)

PS-TEPC は、組織等価ガスを封入した 2 種類の検出部と、データ収集機能及び電源機能等を持つ制御部から構成される。幅広いエネルギーや線種から構成される宇宙放射線のうち、船外から飛来する一次宇宙線(太陽粒子線及び銀河宇宙線から構成される荷電粒子線)並びに、それが船壁や搭載物質との相互作用で発生させる二次宇宙線(中性子線)からの全ての被ばく量を高精度で測定することができるリアルタイム線量計である。

## ④ 宇宙飛行士の健康管理技術

### ● 現状と課題

現在、ISS滞在中の宇宙飛行士の健康管理は、フライトサージャンを中心として、生理的運動対策、精神心理支援、放射線被ばく管理、環境衛生といった分野ごとに地上の健康管理運用要員がモニタリングを実施し、ある判断基準をもとに必要な介入を判断するという方法で実施している。国際協力によるISS計画に参加することにより、米露がこれまで開発してきたこれらの技術を、我が国が自ら実践、経験する機会を得、その経験により現時点では他機関に依存しなくとも、日本人宇宙飛行士が健康に長期宇宙滞在を行うことが可能になりつつある。

今後の国際協力による有人宇宙計画においては、これら技術でも我が国が他機関を先導できるよう、ポストISSや将来探査を視野に、我が国が自ら第一線の研究・開発を行っていくことが喫緊の課題と認識している。

また、有人宇宙探査における宇宙飛行士の健康管理を想定した場合、宇宙滞在期間のみならず、地球からの距離(通信遅延、緊急帰還不可)、他の天体への着陸(自律的な再重力下適応の必要)の観点から、現在の健康管理とは別の概念で計画を立案することが必要となる。

### ● 目標

- ・ 超長期滞在中における骨・筋肉の減少、免疫機能や自律神経機能の低下を現在の6か月滞在程度以下にする手法を開発する。
- ・ 超長期滞在中の他天体への着陸後、直ちに作業を開始できるようにするための手法を確立する。
- ・ 超長期の宇宙滞在によるストレスや疲労度を客観的かつ自律的に測定する方法を確立する。また、ストレス緩和手法を確立する。
- ・ 地球から遠距離にいる宇宙飛行士の疾病や外傷に対処するための診療手法・装置を確立・開発する

### ● 必要となる実験技術等

- ・ ISSより狭い空間でも骨・筋肉の減少を効果的に予防するための、運動プロトコルを含む生理的対策や運動機材(装着型の運動機材やそれを利用した運動プロトコルなど。人工重力を用いたものを含む)。
- ・ 長期滞在中による免疫機能の低下や栄養不足を抑制・防止する手法。(機能性宇宙食など。効果を評価する技術を含む)
- ・ 自律神経機能を維持するための運動や環境制御技術。(高照度光照射など)
- ・ 前庭機能の機能を維持するための技術(前庭器官への刺激や短時間の人工重力負荷など)
- ・ 長期的に孤立した状態による精神心理的ストレスや疲労状態の客観評価手法、及び、ストレスを緩和する手法。
- ・ 簡便で軽量の診療手法及び診療装置(地上や低軌道拠点との連携も考慮する)。

具体的な方策は、次のとおり。

- ・ 骨・筋肉については、運動プロトコルや新規機材を開発し、ISSでの実証を行う。
- ・ 食については、超長期滞在ミッションにおける食品に対する要求を整理し、それを実現できる企業との互恵的な協力を構築することにより、ISSで検証する。
- ・ 前庭器官の機能維持技術についてISSで実証する。
- ・ ストレスの自律的評価手法を確立するとともに、ストレス緩和対策カテゴリ(ロボット等)を策定する。閉鎖環境実験(～2020年)、ISS実証(～2024年)を行い、効果を検証する。

The diagram illustrates a medical laptop system. At the top center is a laptop labeled "メディカル ラップトップ" (Medical Laptop). To its left is a headset labeled "ヘッドセット" (Headset) with a green arrow labeled "音声" (Voice) pointing to the laptop. Below the headset is a stethoscope labeled "電子聴診器" (Electronic Stethoscope) with a green arrow labeled "音声指示" (Voice Instruction) pointing to the laptop. To the right of the laptop is a software interface labeled "電子カルテ" (Electronic Medical Record) showing a waveform and patient information. Below the laptop are several sensors, each with a red arrow labeled "データ" (Data) pointing to the laptop: a pulse oximeter labeled "血中酸素飽和時計 (パルスオキシメーター)" (Blood Oxygen Saturation Meter (Pulse Oximeter)), a Holter monitor labeled "ホルター心電計" (Holter ECG), a wrist-worn accelerometer labeled "腕時計型加速度計" (Wristwatch-type Accelerometer), a head-mounted device labeled "簡易脳波計" (Simple EEG), a USB camera labeled "USBカメラ" (USB Camera), a blood pressure monitor labeled "血圧計" (Blood Pressure Monitor), and a muscle strength meter labeled "筋力測定器" (Muscle Strength Meter).

36



### (3) 研究者の内在的動機に基づく学術研究の推進

19 世界的に特に優れた科学的成果の創出等に「きぼう」利用の成果が活用される見通し・ビジョンをより一層強く求めた評価基準

新たな学際的・分野融合的領域の創出やイノベーションの源泉創出等に向け、今後も定期的にテーマ募集を続け、「きぼう」への成果創出への期待や平成27年度行政事業レビューでの指摘を踏まえて設定した評価基準<sup>19</sup>による厳格な審査により、科学テーマを選定する。

「きぼう」利用に係る予算事情を踏まえ、学術研究で利用する実験装置・機器や必要な技術開発については、個別の研究テーマを超えた共通性・応用性のある開発を行い、実験装置・機器・技術の有効利用を図っていく。

### (4) 国際協力の推進

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や発展途上国向けの小型衛星放出に関する国際連合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。

アジア協力に関しては、これまで相手国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、マレーシア、ベトナム、フィリピン等のアジア諸国とタンパク質結晶生成実験や材料曝露実験、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、アジア・太平洋地域宇宙機関会議(APRSAF)<sup>20</sup>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。

20 Asia-Pacific Regional Space Agency Forum



超小型衛星放出に関する国連宇宙部との連携協力

21 Japan-United States Open Platform Partnership Program

平成27年12月には、2024年までの我が国のISS運用延長への参加決定と共に、新たな日米協力の枠組として「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 (JP-US OP3)」<sup>21</sup>の構築が表明された。

今後は、日米協力においてはOP3の考え方のもと、JAXA-NASAの積極的な相互利用等を推進するべく、OP3の枠組を効果的に活用し早期の成果創出並びに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。なお、「きぼう」利用としては「ISS(きぼう) 船内・船外での実験設備・機器(実験データを含む)の相互活用、共同研究等の促進」及び「ISS資源を活用したアジア太平洋地域の宇宙途上国との協力」において貢献していく。相互活用の協力分野としては、生命科学研究、タンパク質結晶生成、材料研究、小型衛星放出、観測装置等を利用した「きぼう」船外利用等が挙げられる。まずは、JAXA小動物利用実験におけるNASAとの協力をOP3に貢献するパイロット的な協力として位置付け、今後は船内外の他の分野においても、更なる協力拡大に向け継続的に情報共有・調整を図る。

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、これまでに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。アジア利用に関しては、2017年度中に戦略等を策定する。

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。

## (5) 宇宙実験を支える基盤技術の強化

各々のプラットフォームや学術研究等の宇宙実験を支える基盤的な技術の向上に向けて、実験期間の短縮化等の「質的向上」、実験試料数・実験頻度・実験数の増大等の「量的向上」、実験装置・機器の高度化・自動化・最適化等の「多様性向上」の3つの視点から、実験技術に関わる主要能力を強化する。この際、利用の拡大や利用推進を第一に考えて技術開発を進める。

質的向上としては、これまで通常3年～5年<sup>22</sup>を要していた宇宙実験計画立案・準備期間を短縮するとともに、宇宙実験用の試料受取りから実験後の試料引渡しまでの期間を短縮し、地上の研究開発スピードに近づけ、成果創出のスピードアップを図る。また、実験の一部を先行検証するプリカーサ実験の実施や実験装置・機器の地上品等を用いた地上予備実験を十分に実施できる実験環境を整備し、質の高い成果の早期創出を図る。

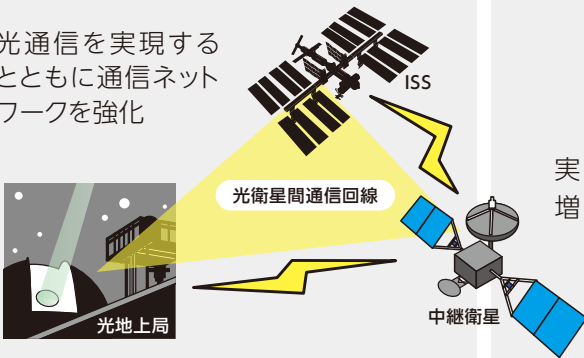
量的向上としては、一度に実験できる実験試料数を増やすために実験装置・機器の改良・機能拡張を推進する。また、実験試料を地上へ回収する「こうのとりの」搭載小型回収カプセルの開発等、実験試料の輸送・回収能力を向上させる。加えて、実験試料の相乗りやサンプルシェア実験等により、全体として実験数を増加させる。

多様性向上としては、特に「きぼう」のみが有する世界唯一の機能・性能を徹底的に拡大し活用する。従来、実験装置や技術の制約で実現できなかった実験や対象とする実験試料の多様化に対応すべく実験技術の向上を図る。

22 タンパク質生成実験では、通常10カ月を要する

具体的には、高度化する宇宙実験に対応するため、顕微鏡等の試料観察システム、実験試料・画像の自動解析システム、生体内構造を視覚化するイメージングシステム等の実験支援機器の開発を推進する。既存の実験装置について、タンパク質の大型結晶化に対応するためにタンパク質結晶生成装置を恒温槽化することや、小動物飼育装置の搭載匹数を増やすために人工重力負荷装置を大型化するなど、幅広い利用ニーズに対応するための装置の改良を進める。また、実験データの大量・高速伝送技術等、「きぼう」での実験を支える共通的な宇宙実験技術の性能向上を図る。

宇宙飛行士の作業時間を有効活用するため、要する開発費、開発期間と削減されるクルータイム等を考慮しつつ実験装置・機器の自動化を進める。今後、第5期科学技術基本計画で新たに掲げられた概念である「Society 5.0」（超スマート社会）の実現に向けて、人工知能（AI）等の利活用が様々な分野で進むことが見込まれるため、実験装置・機器の自動化にあたってはAI等を活用した新しい技術を取り込んだ検討を進める。

| 宇宙実験技術の例      | 必要となる技術開発                                                                                                       | 期待される効果                 |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 最先端の実験支援機器の搭載 | 顕微鏡などの試料観察システム、実験試料・画像の自動解析システム。生体内構造を視覚化するイメージングシステムなど                                                         | 鮮明な画像取得、軌道上での実験試料の高度な解析 |
| 実験装置の改良       | タンパク質の大型結晶化に対応するためにタンパク質結晶生成装置を恒温槽化<br>搭載匹数を2倍に増やすために小動物実験装置の搭載エリアを追加し、人工重力負荷装置を大型化                             | 幅広い利用ニーズに対応可能           |
| 実験データの大量・高速伝送 | 光通信を実現するとともに通信ネットワークを強化<br> | 実験データ量の増加               |
| 宇宙飛行士作業の自動化   | 保管場所から実験装置まで実験試料や実験容器等を自動で移動させるロボットを開発                                                                          | 宇宙飛行士の作業時間の削減           |



# きぼう利用戦略における用語について

## ● 研究開発基盤

広範かつ多様な研究開発に活用される共通的・基盤的な施設及び設備を用いた、新たな価値を生み出すシステム。システムは、研究開発活動を支えるモノ（ハードウェア及びソフトウェア）及びヒト（人材）からなる。

## ● プラットフォーム

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領域の研究を支える研究開発基盤。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日本実験棟とその運用技術、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）等の実験技術によって構成されている。

## ● 利用サービス

宇宙実験の入り口から成果創出までに必要な作業。

## ● ユーザサービス

利用者支援に関する作業。作業内容は利用サービスごとに異なる。

## ● ユーザサービス提供者

利用者開拓を行って定常的にエンドユーザを獲得し、ユーザサービスをエンドユーザに提供する者。

## ● 戦略パートナー

その領域におけるエンドユーザを取りまとめる者のうち、JAXAに付加価値をもたらしてくれる者とパートナーシップ協定を結び、エンドユーザに定型化されたサービスを提供する。JAXAの人的・資金的負担を増やすことなく、JAXAと共に付加価値を創出してくれる。例えば、定型化されたサービスの改善、将来の更なるユーザ獲得に向けたプロモ-

ーション効果、利用者のハブとしての機能など新たなサービスや価値をJAXAにもたらしてくれる。

付加価値の例としては、超小型衛星放出に関する人材教育、外交的価値を高める衛星放出（国連衛星）、自らの努力による超小型衛星放出能力の向上、JAXAと相手方の互いの強みを生かした協力（国の研究機関との機関間協力、ペプチドリームとの協力）等がある。

## ● ユーザサービス提供事業者

その領域におけるエンドユーザを取りまとめる者のうち、事業としてエンドユーザに定型化されたユーザサービスをそのまま提供する者。

## ● エンドユーザ

利用サービスを直接利用するユーザ。1回限りの利用であるユーザと定期的に利用するユーザ（常連）がいる。

## ● 研究開発基盤として定着

地上では実証できないことや地上で捉えられない現象を宇宙実験で解明することにより、新たな概念や価値を創出できる利用サービスを確立し、その利用サービスが産学官の幅広い利用者で使用され、将来の低軌道利用に向けてJAXA自らが創出する研究成果に加えて産学官との連携によりJAXAのみでは生み出せない大きな研究成果を創出している状態とする。

## ● プラットフォームを用いた利用サービスの一部の産業自立化

プラットフォームを用いた利用サービスの一部に関して、当該プラットフォーム利用能力の1/3-1/2程度の定常的需要が生まれること。外部の組織・団体が一定規模を利用して、自立的・継続的にエンドユーザへの利用サービス提供や自己利用が行われており、安定的な利用需要が創出され、市場形成が見込まれている状態とすること。





キューポラ(観測窓)から撮影された「きぼう」日本実験棟と地球の夜景



## 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](mailto:Z-KIBO-PROMOTION@ml.jaxa.jp)

### ▶ きぼう利用戦略

 <http://iss.jaxa.jp/kiboexp/strategy/>

 <http://iss.jaxa.jp/en/kiboexp/strategy/>

### — コミュニティ活動 —

きぼう利用ネットワーク <http://iss.jaxa.jp/kiboexp/participation/community/>

ツイッター公式アカウント @JAXA\_Kiboriyo

