



国際宇宙ステーション（ISS）の これまでの成果と今後の活用の在り方について

2023年12月5日
宇宙航空研究開発機構（JAXA）
有人宇宙技術部門

1. これまでの実績

2024年までのきぼう利用に関する政府の議論および宇宙基本計画における記載

前回のISS運用延長以降の活動（～2024）については、政府における議論を踏まえて決定された**宇宙基本計画に従い実施**している。2020年6月決定の宇宙基本計画では、**下記の5つの分野について記載**されており、JAXAは、**各分野において成果を創出すべく各取組を推進**している。（各分野での活動実績・成果を次ページ以降に示す）

過去の議論の経緯

- (1) **2015年6月** 文部科学省
国際宇宙ステーション国際宇宙探査小委員会「2次取りまとめ」
- (2) **2015年8月** 内閣府
宇宙政策委員会 国際宇宙ステーション（ISS）計画の検討についての見解
- (3) **2015年12月8日** 宇宙開発戦略本部
2024年までのISS計画延長を含む宇宙基本計画工程表改訂版が決定
- (4) **同12月22日** 日本政府（内閣府・外務省・文部科学省）および米国政府
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）の枠組みに合意
- (5) **2020年6月30日** **宇宙基本計画**が閣議決定



- ① 「きぼう」利用の成果最大化に向けた方策
（国際プレゼンスの維持・向上、宇宙開発利用の発展と産業競争力の強化、国の科学技術戦略・施策への貢献、より利用者の立場に立った「きぼう」利用の機会提供の推進）
- ② 費用対効果向上のためのコスト負担の方策（改良型HTV活用）

- ① 新たな日米協力の構築（⇒JP-US OP3 ※日米政府間で締結）
- ② アジア諸国との連携強化
- ③ 宇宙政策の推進（費用対効果を考慮したISS及びHTV-Xの利活用）
- ④ 国際競争力の強化（我が国の宇宙機器及び関連技術が米国等宇宙開発で採用）

宇宙基本計画（2020年6月30日決定）における、きぼう利用の5つの重点分野

- (1) 国際宇宙探査で必要となる技術実証
- (2) 宇宙環境利用を通じた知の創造
- (3) 新たなビジネス・サービスの創出
- (4) 宇宙活動を支える人材基盤の強化
- (5) 国際宇宙協力の強化

国の課題解決型研究・
学術研究の推進

超長期有人宇宙滞在技術・
探査技術獲得の推進



民間利用オープンイノベーションの推進

(1) 国際宇宙探査で必要となる技術実証

ISS計画への参加により、アルテミス計画や将来の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
- (参考1参照)

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

搭乗員の生命を維持するための技術の獲得

高性能水再生技術の宇宙実証



→再生率を向上させた水・空気再生システムへの発展

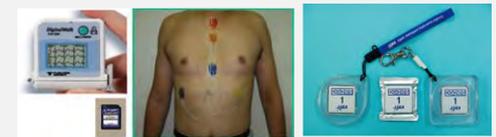
搭乗員の活動を支援する遠隔制御技術の獲得



自律移動型船内カメラ ロボット地上実証試験

→クルー作業支援・代替ロボット等の自動技術への発展

健康管理技術、宇宙医学に関する知見の獲得



心電モニタリング 放射線線量計測

→飛行士の超長期の健康管理技術への発展

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



月面重力環境等を模擬したパーシャルGでのライフサイエンスや粉体・液体挙動に関する実験



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



(2) 宇宙環境利用を通じた知の創造

「きぼう」利用により、「健康長寿の延伸」「革新的材料創出」等の国の課題解決に繋がる成果を創出、また、「知の創造」に繋がる様々な科学的知見を獲得

(参考2 参照)

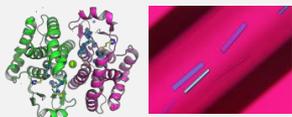
- ◆ 「きぼう」利用を通じ、日本は、独自の実験技術により世界をリードする成果を創出。「きぼう」は、恒常的に利用できる国の重要なアセットとして確立
- ◆ 国の研究開発拠点として、社会課題解決や科学的知見獲得への更なる活用が可能

船内

多数の創薬関連物質の構造を
解明、地上の創薬プロセスを加速

〈タンパク質結晶生成実験〉

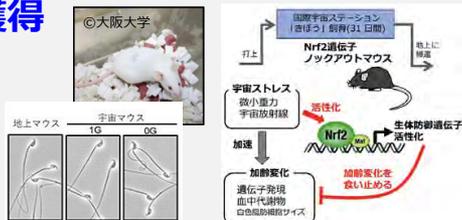
デュシェンヌ型筋ジストロフィー治療薬の
希少疾病用医薬品指定に貢献



骨、筋量、免疫の低下のメカニズム、ヒトへの健康
リスクに関する知見を獲得

〈小動物飼育実験〉

ToMMo-JAXA連携による宇
宙生命科学統合バイオバンク
「ibSLS」を全世界に公開



革新的新素材の創出・実用化に繋がる知見・
重要データを提供 〈静電浮遊炉実験〉



ガラスにならない超高音酸化
物液体 (酸化エルビウム) の
特異な原子配列と電子状態
と世界で初めて解明

船外

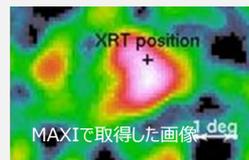
X線天文学における世界的発見、世界初の高エネルギー領域
での宇宙線観測等、科学的知見を獲得

全天X線監視装置(MAXI)



星を吸い込んだ後
MAXI画像
(2011/3/28-4/3)

2011年3月に巨
大ブラックホールが
星を吸い込む現場
を観測(世界初)
(Nature誌掲載)



2013年4月にガン
マ線バースト(宇宙
最大規模の爆発)
の観測に成功
(Science誌掲載)

- これまでに35個のX線新星を発見、うち14個はブラックホール
- 2022年、NASA のNICER と連携観測を開始し、10分で追観測を実現
- 2023年現在、MAXIデータを用いた論文は500報
- 今後、XRISMとの連携を計画

高エネルギー電子・ガンマ線観測装置(CALET)



2015年10月にテラ電子ボルト領域の電子の直接観測に成功
(世界初)。
2018年には4.8テラ電子ボルトまでの高精度直接観測に成功。
2023年、銀河宇宙線のヘリウム成分を250テラ電子ボルトまで
直接観測に成功。

ISS搭載型ハイパースペクトルセンサ(HISUI)

Tellus (テルース) 上でHISUIの
データを一般に公開 (2022年10月)



「きぼう」船外に搭載されたHISUI 5

(3) 新たなビジネス・サービスの創出

他極に先駆けた有償利用制度の導入、技術支援、事業移管、事業共創活動等により、「きぼう」という低軌道活動の場を提供、多くの民間企業の参入を実現。

- ◆ トライアル利用 ⇒ 有償利用、事業民間移管 ⇒ サービス化 と民間参画が着実に進展
- ◆ 民間利用の更なる拡大を図るための基盤が構築 (参考3参照)

きぼう利用プラットフォームの民間移管・事業化

新薬設計支援
(高品質タンパク質結晶生成実験)



Space BD (株)

2021~

船外ポート利用



Space BD (株)

2019~

超小型衛星放出



Space BD (株)

三井物産エアロスペース (株) 2018~

J-SPARC (民間との事業共創活動) 等を通じた民間アイデアに基づく利用創出

将来の探査等の宇宙利用に向けた技術実証利用 (例)

地上との間の
双方向光通信実証



(株) ソニーコンピュータサイエンス研究所

免疫機能の研究
(プロバイティクス)



(株) ヤクルト本社

袋培養野菜栽培
技術実証



(株) 竹中工務店
キリンホールディングス(株)他

地上に貢献する宇宙実験、インフラ・データ利用 (例)

創薬研究
(タンパク質実験)



ペプチドリーム (株)
他多数

遠隔操作・双方向通信
技術の実証・事業化



(株) バスキール
(株) スカパーJSATホールディングス
Twitter Japan (株) 日本コカ・コーラ (株)
(株) ポケモン (株) 集英社

(5) 国際宇宙協力の強化

日米・日露共同実験、アジア諸国・新興国に対する日本を通じた低軌道活動への参加機会の提供等により、各国との関係強化、日本の国際プレゼンス向上に貢献

◆ 我が国の強みを活かした戦略的な国際宇宙協力により、各国との関係強化に貢献しつつ、日本の国際プレゼンスの向上に貢献している (参考 5 参照)

ISS計画参加各極との国際協力



宇宙飛行士の活躍によるISSへの貢献

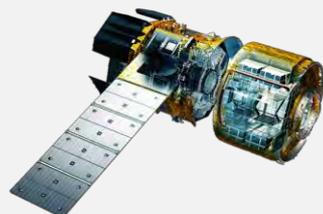
2名のISS船長輩出、米国人以外での米民間宇宙船初搭乗等



世界第3位の宇宙滞在実績

「こうのとりの物資補給によるISSの安定運用への貢献

100%の成功率と大型貨物輸送 (ISSバッテリー換装でも重要な役割)



開発中の新型補給機 (HTV-X)



ISSにおける日米協力の枠組み JP-US OP3を通じた協力



低重力環境のマウス 長期飼育



静電浮遊炉実験



学生ロボット プログラミング競技会

アジア各国との宇宙協力の強化



タイ
タンパク質結晶生成実験等



マレーシア
材料の宇宙放射線影響評価実験



トルコ
船外曝露実験



UAE
船内ロボット利用教育等



14か国/地域 19機関
※2023年11月時点

2. 2030年までの活動の在り方

2025年以降のISS運用延長の経緯

ISS運用延長に関する文部科学省における審議： 宇宙開発利用部会 「ISSを含む地球低軌道活動の在り方について（提言）」

<2030年までのISS運用延長期間に関する部分抜粋>

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

- 我が国にとって、**国際宇宙探査（アルテミス計画）**で必要となる**技術の獲得・実証の場として不可欠**であり、**社会的課題解決、知の創造、人材育成等に繋がる継続的な成果創出の場として引き続き利用価値が高いこと**
- 将来の地球低軌道における**民間活動の拡大のための準備機会を提供し得ること**（以下略）



2022年11月17日： 宇宙政策委員会 「国際宇宙ステーション（ISS）運用期間延長への日本の参加に関する意義と留意点」

<2030年までのISS運用延長期間に関する部分抜粋>

ISS延長期間における我が国の方針の検討ISS運用延長後、2030年までの期間について、以下をすみやかに検討開始すること。

- 各国の参加状況を踏まえた**我が国の貢献**
- **社会的課題の解決や科学的知見の獲得**などへの貢献を最大化するため、**民間による利用の拡大など、必要な方策**



2022年11月18日： ISS運用延長決定公表

2023年1月～4月

ISS運用延長期間および運用終了後の活動に関する審議：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）」

2030年代の低軌道活動を見据えた取組について審議され、**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からのサービス調達に関する事項**、**利用拡大**や**民間主体活動への移行に向けた取組の重要性**等について、取りまとめられた。



2023年6月 宇宙基本計画改定

<2030年までのISS運用延長期間の利用に関する部分>

宇宙科学・探査における新たな知と産業の創造に向けた具体的アプローチ

■ 日本実験棟「きぼう」の利用拡大と成果の創出・最大化 ……①

- 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
- 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

■ 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ーの拡大 ……②

- 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
- 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

■ 技術獲得、技術実証、要素技術・システムの研究開発 ……③

- HTV-XによるISS への物資補給機会を活用した、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
- 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の研究開発及び実証の場としてISSを最大限に活用。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。

2030年までのきぼう利用の基本的な考え方

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に向けた取組に注力**する。

2025

2030

**より高度な成果創出、新領域開拓
(ポストISSに向けた助走)**

日本独自の利用の継承・発展



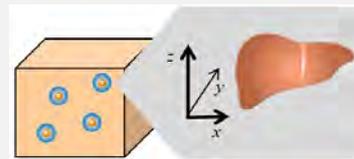
**国際宇宙ステーション
日本実験棟「きぼう」**



**ポストISS
民間ステーション**

①「きぼう」の利用拡大と成果の創出・最大化

- 民間やアカデミア等が使いやすいスキーム
- 国際連携による実験実施



臓器培養技術開発



宇宙観測の科学的知見

②民間利用ニーズの掘り起こし・ユーザー拡大

- 民間の創意工夫の活用、利用促進策やフレックワーク検討
- ポストISSをに向けた民間利用実証の機会提供



Gateway
ECLSS



自動ドッキング
技術実証



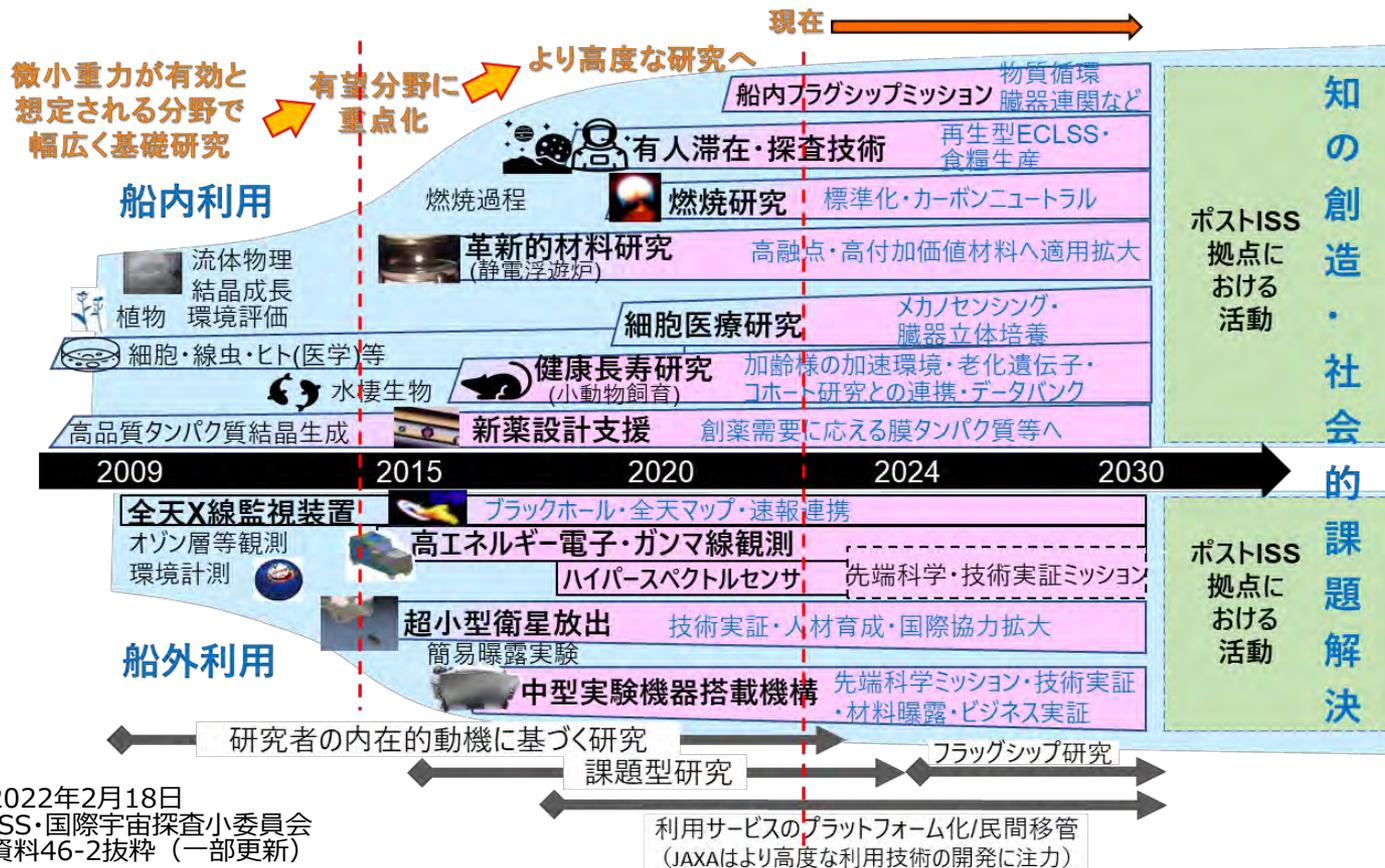
自動・遠隔
実験システム

③技術獲得・技術実証

- アルテミス計画や低軌道活動等に資する技術獲得

2030年までのきぼう利用① 「きぼう」利用拡大と成果の創出・最大化

- きぼうでの**宇宙環境利用サービスを最大限に活かし利用成果を創出**する（参考6参照）。
- 加えて、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**。
 - 船内フラグシップミッション（抽出した有望領域（参考7参照））についてテーマ募集を実施（12月選定予定）。
 - 船外利用は、**既存装置での観測等を継続**しつつ、船外ポートや予算状況を踏まえ、**効率的な成果創出が期待される中型・小型ミッション（科学的実験・観測も含む）を中心に実施**する方針。小型ミッションについて、テーマ募集を実施（12月選定予定）。
- **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**に向けた取組を実施する。



宇宙基本計画の記載※を踏まえ、以下に示す取組を推進している。

(※) 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ーの拡大を図る。

■ 利用促進・ユーザ開拓・事業実証のための制度の見直しと導入

多くの「きぼう」民間利用を実現してきた「きぼう有償利用制度」を刷新。

- リソース料減免措置拡大（条件により、リソース料100%減免も）

地球低軌道活動の持続的かつ経済的なエコシステムとしての発展に向け、更なる利用拡大を図るため、**民間企業によるユーザの開拓や事業実証向けのリソース料の減免措置を拡大。**

- CM(コマーシャルメッセージ)撮影案件の募集。

宇宙技術・製品の研究開発の認知度向上だけでなく、**幅広い分野の商業活動と宇宙利用を連携させ、「きぼう」利用の価値を高める（宇宙での商業目的の撮影の需要把握、事業化への発展可能性を検討）**

- その他にも新たな利用促進策やフレームワークを検討し、有効な取組を進める。

多様な民間が、インテグレーションや事業検証などの経験蓄積ができるよう船内環境の一部を開放するなど、新たな仕組みを検討。

■ 利用者の利便性向上のための機器・装置の整備

- 「きぼう」船外利用のリモート運用化（JAXA外（利用者側システム）からの運用）

- 船外環境で柔軟かつ迅速に中型・小型ミッションを実現可能な搭載アダプタの利用促進

- 柔軟なインターフェースを有する利用者の自由度の高い船内実験ラックの整備

2030年までのきぼう利用③ 技術獲得・技術実証

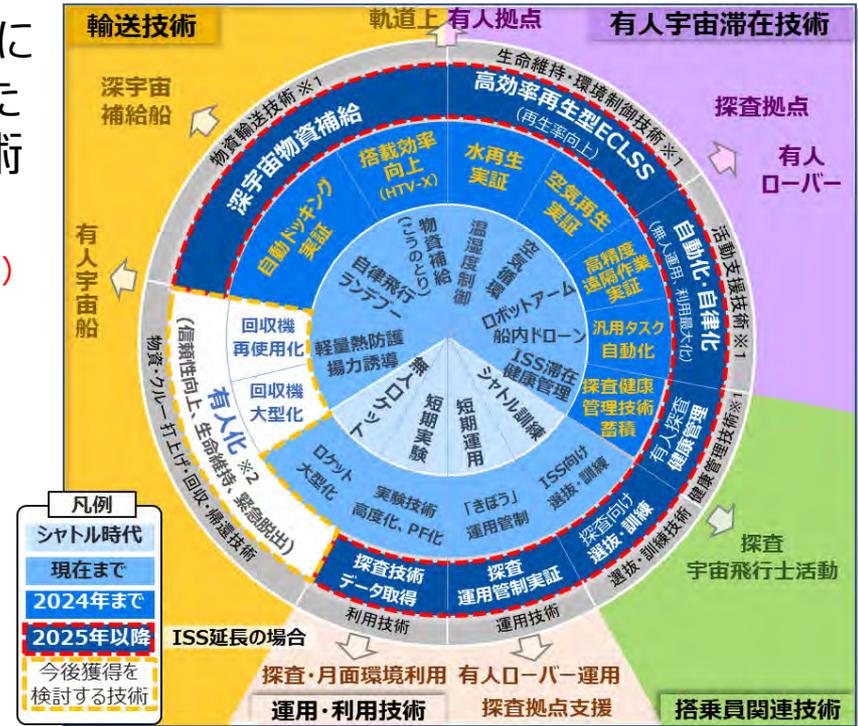
国際宇宙探査や民間低軌道活動に向け、これまでに獲得してきた技術をベースに、以下の観点で識別した重要技術に関し、ISSを活用し、技術発展や新技術獲得に資する研究開発や技術実証等を実施する。

- 我が国の優位性の維持・向上 (参考8、9参照)
- 自律性確保
- 新たな強みの確保



<重要技術分野（探査・低軌道共通）>

- 物資補給技術
- 回収・往還技術
- 有人宇宙滞在・拠点システム技術
- 宇宙実験技術



2022年10月21日 ISS・国際宇宙探査小委員会 資料48-1-3抜粋

2030年までに想定される技術実証例

- 自動ドッキング技術
- 環境制御・生命維持技術 (ECLSS)
- 遠隔化・自動化・自律化技術
- 光通信技術 (中型曝露実験アダプタ活用) など



自動ドッキング技術実証

二酸化炭素除去装置 (ECLSS)



「きぼう」自動・遠隔実験システム (イメージ図)



中型曝露実験アダプタ (技術実証プラットフォーム)

参考資料 <これまでの実績>

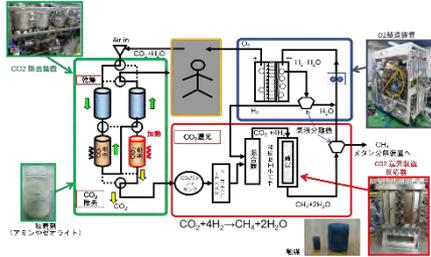
(文部科学省ISS・国際宇宙探査小委員会資料抜粋)

搭乗員の生命を維持するための技術の獲得

将来の有人宇宙滞在技術につながる完全再生型の 空気再生・水再生技術獲得に向けた研究・実証

将来型空気再生システム地上研究

将来型水再生システム実証実験



不要ガス除去技術、CO2除去・還元技術、O2製造技術について、地上実証装置の製作および地上実証試験を実施中



高性能水再生技術の宇宙実証を行い、小型、軽量、高再生率（85%以上）、メンテナンスフリーの技術革新を目指す

完全再生型 水・空気再生システムへの発展

人の長期宇宙滞在に不可欠な 健康管理技術、宇宙医学に関する知見の獲得

飛行士健康管理、宇宙医学実験

- 無重力や宇宙放射線、閉鎖環境が心身に与える影響、**宇宙滞在中に飛行士に現れる様々な症状への対策の研究**を実施
- 宇宙と地球との往還機の中や宇宙で快適に過ごすため、**飛行士の活動や宇宙環境を計測、制御するための技術開発**等を実施



心電モニタリング



放射線線量計測



超長期の健康管理技術への発展

宇宙空間での搭乗員の活動を 支援する遠隔制御技術の獲得

クルー作業支援・代替に向けた自動技術の導入

- ロボットアーム、エアロックで**地上からの遠隔操作技術**を獲得。運用効率化を実現
- 船内ドローンによる船内移動技術等を実証。**クルーによる撮影作業等を支援**
- 地上ロボット技術の宇宙適用し**クルー作業代替する地上実証試験**を推進中



JEM自律移動型船内カメラ



民間企業複7社のロボットによる地上実証試験



クルー作業支援・代替ロボット等への発展

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

このとり等の開発・運用を通じた輸送系キー技術の獲得

- このとりは9機全て成功し、国際約束を完遂
- 自立飛行、ランデブー、物資補給・回収等の**将来の深宇宙補給や有人宇宙船にも繋がる重要技術**を獲得
- **国際宇宙探査への貢献**も見据え、**補給能力向上・発展性確保・低コスト化**を考慮したHTV-X開発、**自動ドッキング実証**を推進中



このとり



小型回収カプセル



HTV-X (開発中)

深宇宙補給技術への発展

宇宙環境を利用した独自の宇宙実験・技術実証等を実行する技術の獲得

世界唯一のパーシャルG環境の構築と月面模擬実験



JAXAが開発した
人工重力発生装置
(0G~2G)

世界唯一の人工重力発生装置により
**月や火星の重力を模擬した
実験が可能に**

1/6Gでのマウス飼育実験で
**地球への月面重力の影響
に関する知見を獲得した**



世界で初めて月の重力環境
(1/6G)を模擬した実験

月や火星への長期滞在の
身体への影響に関する
研究開発に活用可能

1/6Gで月面の
**砂を模擬した粉粒体挙動
に関するデータ取得に成功**



サンプルを入れる砂時計型の
容器(Hourglassミッション)

月や火星の探査に使用される
ローバのタイヤや着陸機の脚などの
設計に活用可能

船外環境における柔軟かつスピーディな技術実証



JAXAが開発した中型曝露実験アダプター
(i-SEEP)

i-SEEP上に様々な実験機器
等を搭載しリソースを供給
船外での実証試験を柔軟に実施可能に



ペイロード
未搭載

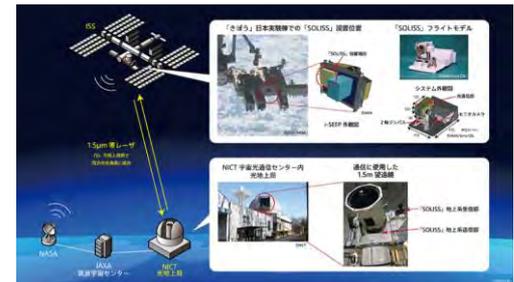


ペイロード
搭載状態



小型光通信実験装置「SOLISS」の光通信実験を実施
宇宙と地上間の双方向光通信に成功

実証した光通信技術は
今後の宇宙活動に活用される



i-SEEPは、今後も重要技術の
スピーディな技術実証に活用

①-1 骨、筋量、免疫の低下のメカニズムに関する知見を獲得

＜マウスや宇宙飛行士を被験者とした研究＞

JAXAのマウス飼育装置は、唯一、無重力と人工重力の比較、個飼い、生存回収を同時に実現可能

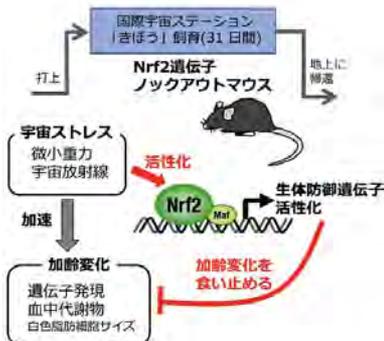
宇宙実験データと地上のビッグデータを活用した健康長寿社会実現への貢献



JAXAと東北メディカル・メガバンク機構で、健康長寿社会実現への貢献を目指し基本協定を締結(2019.2)

JAXAが有するマウス飼育ミッション等で得られたデータと、東北メディカル・メガバンク機構(ToMMo)が有する日本最大規模(15万人)の三世代・地域住民コホートの生体試料、健康情報を蓄積し複合バイオバンクのデータを活用

微小重力のマウス飼育実験が人の加齢の加速試験になることを科学的に検証



宇宙長期滞在によって加齢変化が加速すること、宇宙滞在によるマウス血液代謝物変化は、ヒトの加齢と有意な関連を示すこと等を明らかにした。

加齢研究や高齢者の健康を守る研究等への発展が期待される。

①-2 長期宇宙滞在によるヒトへの健康影響のリスクに関する知見を獲得

＜マウスや宇宙飛行士を被験者とした研究＞

長期宇宙滞在後の視覚異常を軽減できる可能性の発見

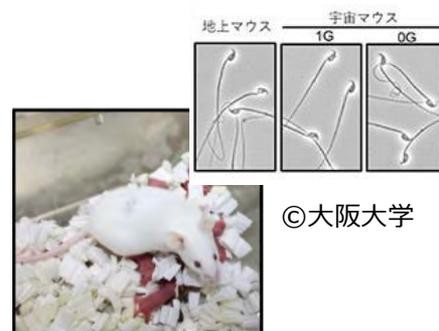
JAXAが取得したマウスの組織(眼球)サンプルの日米共同解析により、微小重力群マウスで見られた網膜組織障害が、人工重力負荷の環境では軽減されることが判明。

長期宇宙滞在における眼球組織障害の軽減に人工重力負荷が有効であることが初めて明らかとなった。



日米協力の枠組み(JP-US OP3)のもと進められた初の科学的成果

宇宙滞在が受精能力に及ぼす影響に関する知見の獲得(人類の活動領域の拡大に向けた基礎的知見の獲得)



©大阪大学

生存回収したマウスの生殖器官や精子受精能力等を評価

宇宙に滞在したマウスの精子が正常な受精能力を維持し、次の世代のマウスが、成育・繁殖能力においても親世代の宇宙滞在の影響は見られないことを世界で初めて発見

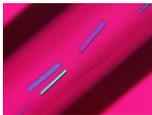
② 多数の創薬関連物質の構造を解明、 地上の創薬プロセスを加速

＜高品質タンパク質結晶生成実験＞

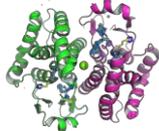
タンパク質結晶生成実験は、JAXAが
ノウハウを有し世界をリードする固有の技術

デュシェンヌ型 筋ジストロフィー治療 薬開発への貢献

宇宙実験成果から
より有効性の高い
阻害剤を創出

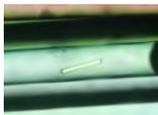


第3相を経て
希少疾病用
医薬品に指定



歯周病の治療薬 開発に向けた貢献

宇宙実験成果を基
にした特許を出願



アカデミア発創薬を
目指し大学にて動
物実験が進行中



イヌ・ネコ用人工血液の 製品化に向けた貢献

人工血液を構成
するアルブミンの
構造を解明



大学と企業が製
品化に向け開発
を推進中



乳がん治療薬の 開発への貢献

乳がんに関連する
タンパク質と阻害薬候補の
結合構造を解明

創薬ベンチャー
企業において研
究が進行中



成熟した技術領域は民間に事業移管
JAXAはより付加価値の高い技術開発に注力

③ 革新的新素材の創出・実用化 に繋がる知見・重要データを提供

＜静電力による無容器での材料実験＞

ガラス、セラミックス等高融点材料の
熱物性取得できるのはJAXAの静電浮遊炉のみ

高温液体から生成されるガラスやセラミックス材料の 開発に資する知見を獲得

ガラスにならない超高音酸化物液体（酸化エルビウム）の
特異な原子配列と電子状態と世界で初めて解明

NPG Asia Materials誌
(IF : 8.052) に
Featured Articleとして掲載



各種材料の熱物性値の データベースを構築・公開

学術・産業分野での活用を資する金
属・合金・セラミックスの密度・表面張
力・粘性係数のデータベースを公開

物質・材料研究機構
(NIMS)との共同研究

公開データ数

実験数	密度計測実験	68
	液滴振動実験	62
特性データ数	密度	68
	表面張力	55
	粘性係数	60
サンプル数	純金属	72
	合金	40
	セラミックス	7

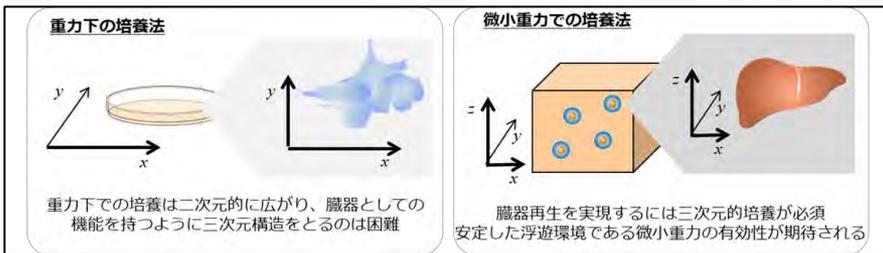
2019年3月

企業産業的価値の高い熱物性データ取得に関し
民間企業からの有償計測の引き合い多数

④ ヒト臓器原基創出・3次元培養にかかる 基礎的知見を獲得

＜立体臓器創出技術の検証実験＞

- 宇宙環境を利用した「機能性のある」立体培養の可能性の検討の実証実験を2020年12月から開始。
- 米国も、今後のISS利用の重点分野の一つとして、立体培養に積極的に取り組んでいる。



- 微小重力環境下での地上とは異なる粒子の集合状態の維持など、**将来の地上・宇宙での三次元培養技術開発につながる知見が得られた。**
- 機能な臓器原基創出への宇宙環境の有効性の世界に先駆けた実証実験、その先には細胞医療への貢献に向けた実験システム開発を推進中。



⑤ X線天文学における世界的発見、 世界初の高エネルギー領域での宇宙線観測等、 科学的知見を獲得

＜天体・宇宙環境観測、地球環境・災害観測等＞

**MAXIによる数々の観測結果が評価の高い科学誌へ掲載
(2018年にはこれまで最多の5個のブラックホールを発見)**

2011年3月に巨大ブラックホールが星を吸い込む現場を観測(世界初)(Nature誌掲載)

MAXI画像 (2009/9/1-2010/3/31)

星を吸い込んだ後

MAXI画像 (2011/3/28-4/3)

2013年4月にガンマ線バースト(宇宙最大規模の爆発)の観測に成功 (Science誌掲載)

NASA提供
ガンマ線バースト想像図

XRT position
MAXIで取得した画像 1 deg

2011年 8月25日

2014年 1月3日

2016年1月7日

日本実験棟「きぼう」とジオスペース探査衛星「あらせ」での同時観測により、「電子の豪雨」現象の原因を解明

ISS飛行士の船外活動や人工衛星保護のための宇宙天気予報の精度向上等につながることを期待される。

地球環境・災害観測等に資する観測技術実証の場を提供



- 資源探査・植生モニタリングを可能とするハイパースペクトルセンサ等

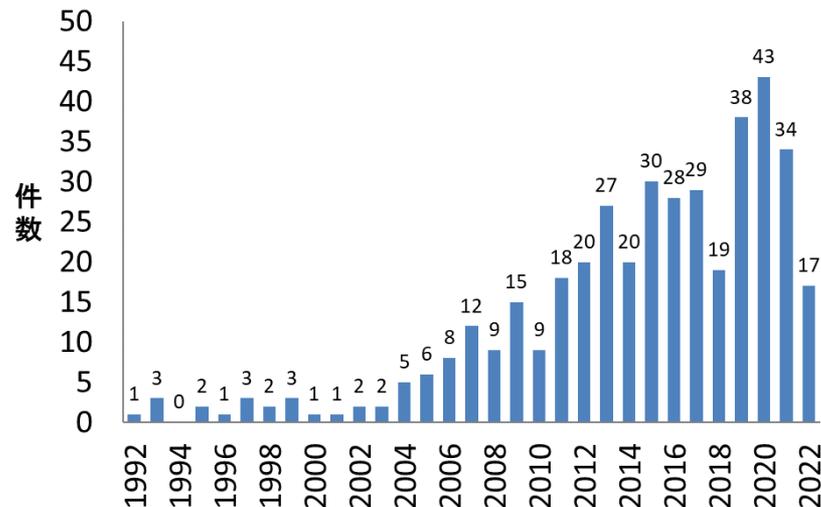
「きぼう」船外に搭載されたハイパースペクトルセンサ

きぼう利用の学術成果と、高インパクトの成果創出例

「きぼう」利用に関し、2022年末までに
2478報の査読付論文を発表



2022年までの「きぼう」利用に係る
競争的資金獲得件数:408



Nature, 476, 2011

MAXI(船外・観測)
(JAXA),2011



Science, 343, 2014

MAXI(船外・観測)
(JAXA),2014



Nature, 529, 2016

MAXI(船外・観測)
(JAXA),2016



Cell, 183(5), 2020

宇宙飛行の生物影響
Review(船内・ライフ)
(NASA,ロシア, JAXA, ESA等), 2020

「きぼう」利用プラットフォーム (PF) の構築

- JAXAが構築した宇宙実験手法を定型化し利用しやすい形態として整備 (PF化)
- 「きぼう」を研究開発基盤として重点的に利用促進するため利用技術・サービスを提供

新薬設計支援PF
(高品質タンパク質結晶生成実験)

【民間への事業移管済】



健康長寿研究支援PF
(マウス宇宙飼育ミッション)



革新的材料研究支援PF
(静電浮遊炉利用)



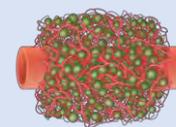
超小型衛星放出PF
【民間への事業移管済】



船外ポート利用PF
【民間への事業移管済】



新たなプラットフォーム構築



細胞医療、燃焼研究、民間利用/技術実証等

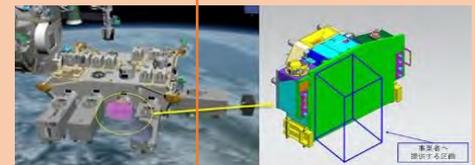
※民間移管・事業化の事例

タンパク質結晶生成事業

2021～ Space BD (株)

船外実験プラットフォーム利用事業

2019～ Space BD (株)



超小型衛星放出事業

2018～

三井物産エアロスペース (株)

Space BD (株)



各種取り組みを通じ、民間企業の低軌道活動への参入が拡大している

将来の宇宙利用に向けた技術実証利用

宇宙ロボットによる
自動化技術の実証



GITAL Japan (株)

アバター技術の実証



地上からのリアルタイム
遠隔カメラ操作

ANAホールディングス(株)
avatarin(株)

免疫機能の研究
(プロバイオティクス)



(株)ヤクルト本社

地上との間の
双方向光通信実証



(株)ソニーコンピュータ
サイエンス研究所

360° カメラの
軌道上技術実証



(株)リコー

360°
カメラ

対話ロボット
技術実証



トヨタ自動車(株)他

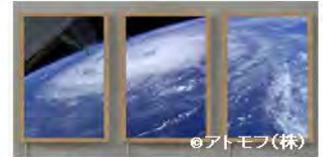
地上事業のための宇宙実験、 インフラ・データの利用

創薬研究(タンパク質実験)



高品質結晶生成/分子構造解析
ペプチドリーム(株)他多数

宇宙映像利用



デジタル窓コンテンツ
アトモフ(株)

遠隔操作・双方向通信
技術の実証・事業化



(株)バスキュール
各放送におけるートナー企業
(株)スカパーJSAT
ホールディングス
Twitter Japan (株)
日本コカ・コーラ(株)
(株)ポケモン
(株)集英社

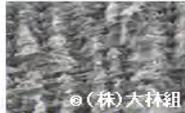
船外材料
曝露実験



新日本繊維(株)

耐放射線繊維の
耐性検証実験

カーボンナノチューブ
耐久性検証実験



(株)大林組

袋培養
野菜栽培
技術実証



(株)竹中工務店
キリンホールディングス(株)他

静電浮遊炉実験
(熔融状態の熱物性取得)

静電浮遊炉
実験装置



新日本繊維(株)
AGC(株)

宇宙日本食



民間企業他多数

宇宙活動の成果を地上で活用

宇宙食ノウハウの
防災食への利用

(株)ワンテーパー



(株)ワンテーパー

宇宙飛行士訓練
ノウハウの教育利用



Space BD(株)
(株)増進会ホールディングス

きぼう利用の公募研究テーマについて、各分野ともこれまでに多くの大学が参画

大学の利用テーマ選定件数(2010年~2019年)

科学利用	のべ45大学
タンパク質結晶生成実験	のべ193大学
材料曝露実験	のべ5大学
超小型衛星放出	のべ15大学



公募テーマに選定された大学・研究室では、
選定テーマに関する研究・開発が推進され

機器開発やデータ解析等の実践的取り組みを通じ
多くの学生・若手研究者が学ぶ機会を得た



我が国における宇宙開発利用や学術研究を
支える人材の育成に寄与

計258大学

※上記大学数は、各研究テーマの研究主宰者 (PI) の所属組織が大学である件数をカウントしたものであり、**研究分担者 (CI) の所属大学は含んでいない。**

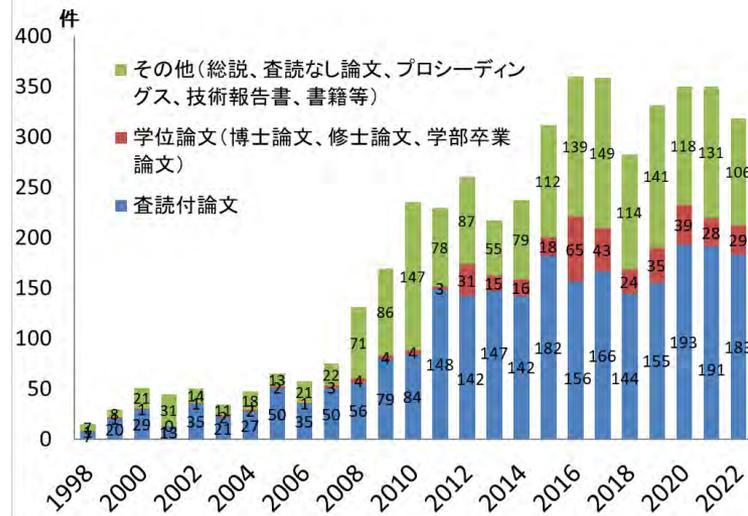
「きぼう」に関連する学術的成果

「きぼう」利用に関し、2022年末までに
2478報の査読付論文を発表



多くの学位論文が執筆されており、
査読付き論文においても、多くの場合、
学生が著者や共著者となっている

(宇宙実験関連研究が学生の育成機会となっている)



きぼう利用実験の実施が大学における学生・若手研究者の育成に貢献

超小型衛星放出

持続的な超小型衛星の放出機会の提供により、国内外の大学生らへの能力開発の機会を拡大

- 超小型衛星では開発から運用まで**宇宙機ミッションをコンパクトに経験**、大学生から若手技術者・研究者の人材育成に有効
- **高頻度かつ定期的な放出機会を提供**できる「きぼう」の強みが、学生の意欲向上や学内での知識伝承などにも寄与
- 国内大学等が開発した衛星の放出は18機(全体は74機)
各大学は、将来の宇宙開発利用を担う人材を育成。
(東京大、九州工業大、東北大、北海道大、静岡大、千葉工業大、早稲田大、筑波大、和歌山大、福岡工業大、大阪府立大、福井大、近畿大)
- JAXAは、衛星開発実績が豊富な4つの国内大学との戦略パートナーシップ協定を締結※し、**海外の人材育成や小型衛星開発の普及で連携**。現在は、UNISEC連携に拡大。



大学との戦略パートナーシップ協定の締結 (九工大)



「きぼう」からの衛星放出実績のある大学の指導者ら

※2023/11現在は終了

ロボットプログラミング競技会

「きぼう」船内でのロボットプログラミング競技会により日本・アジアの学生に挑戦・学ぶ機会を提供

日米の船内ドローンを用いて、日本を含むアジア太平洋地域の学生を対象にしたロボットプログラミング競技会を開催



- 第1回：日本を含む 7の国・地域 313チーム 1168人が参加
- 第2回：日本を含む11の国・地域 286チーム 905人が参加
- 第3回：日本を含む12の国・地域 351チーム 1431人が参加
- 第4回：日本を含む30の国・地域 421チーム 1685人が参加



植物栽培実験教育プログラム

参加型宇宙実験の教育プログラムで多数の日本・アジアの学生・青少年らが参加

第2回4万人、第3回30万人以上が参加
第3回では日本含む13の国・地域が参加

軌道上：宇宙飛行士が栽培等を実施



第1回 アジア各国の植物種子を保管



第2回 アズキを種子から栽培・観察



第3回 アジアのハーブを栽培・観察・回収



地上：中高生が栽培・分析等を実施



第1回 学生が回収した種子を栽培



第2回 地上比較実験結果の分析

公募型簡易宇宙実験

学生・青少年が提案した簡易宇宙実験をISSの日本人飛行士が実演・解説

2023年度は9か国・地域で募集、570名245件の応募があり、そのなかから実験テーマが選定された

軌道上実験



第1回実験



第2回実験



第3回実験



第4回実験



第5回実験



第6回実験



実験の様子をモニタ



実験結果を議論

飛行士講演・リアルタイム交信 教育コンテンツ提供

飛行士・管制官の講演等

軌道上との交信イベント



全国小学生（高学年）対象のISS交信を含むGIGAスクール特別講座（文科省連携）



宇宙飛行士・管制官らの講演会

全国で多数開催

教科書、図鑑、専門書、科学番組などへのコンテンツ提供





ISSにおける日米協力の枠組み JP-US OP3を通じた協力



低重力環境のマウス長期飼育ミッション

- NASAとの間でマウスのサンプルシェアやマウス飼育共同実験の実施、実験装置の相互利用等の合意
- 長期宇宙滞在での眼球組織障害軽減の知見を獲得
- JAXA-NASA共同で月面活動の影響評価に向けたJAXA装置による低重力飼育共同実験を実施



JAXAの飼育装置



NASAの飼育装置

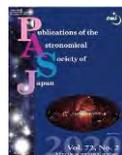
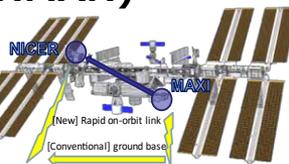
静電浮遊炉実験



- NASAの4つの実験テーマをJAXAの静電浮遊炉で実施することを合意。
- 1テーマ目の実験を実施し高機能材料の低コスト化に繋がるデータ取得に成功
- 2テーマ目の準備を実施中

国際宇宙ステーション上での X線天体の国際連携観測 (OHMAN)

地上を経由しない
データ共有により追観
測までの時間を大幅
に短縮



2020年、最高感度の21世紀のX線天体カタログを発行
PASJ誌掲載



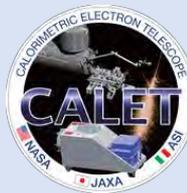
OP3に記載された強固な日米協力によるISS
成果拡大やアジア地域への貢献を着実に推進



日米同盟の
更なる強化

宇宙線観測における国際協力・データ利用

高エネルギー電子・ガンマ線観測装置(CALET/米国・イタリアとの共同プロジェクト)および全天X線監視装置(MAXI)による観測データは、海外でも多数の論文に引用されている



2国間の協力・連携 → アジア唯一のISS参加国としてプレゼンス発揮



タイ タンパク質結晶生成実験



マラリア治療薬に向けた実験

マウスサンプルシェア協力



マレーシア 材料の宇宙放射線影響評価実験



UAE 船内ロボット利用 教育ミッション



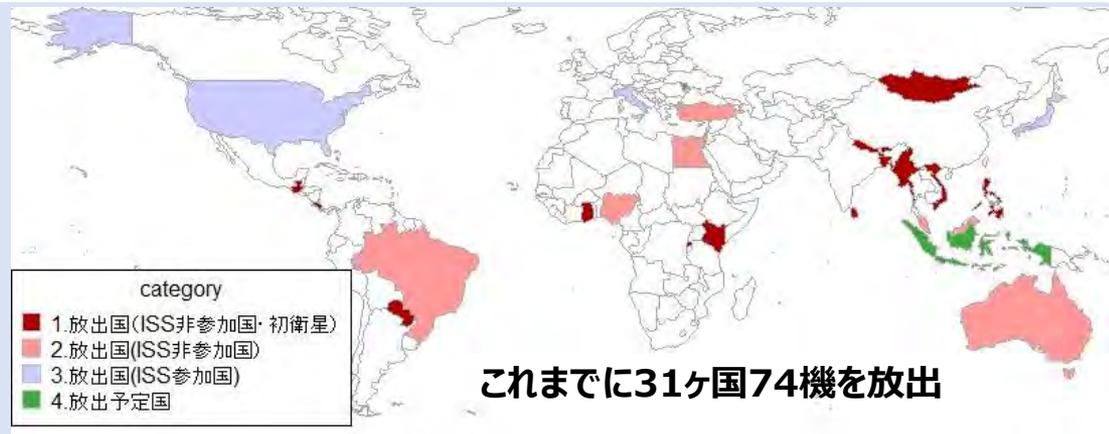
タンパク質結晶 生成実験



トルコ 船外曝露実験 (政府間協力)



発展途上国・新興国の 超小型衛星を多数放出



「きぼう」を通じアジア・アフリカ・ラテンアメリカ等の途上国・新興国が衛星保有国となり宇宙活動への参入を果たした

重要な一歩を日本が支援し各国とのパートナーシップを構築

- 国連宇宙部と連携によるKiboCUBEプログラム
- 衛星開発にかかる教育講座の実施

アジア太平洋地域の多国間協力枠組み Kibo-ABCによるISS利用促進

14の国地域
19機関が参加



中高生向け
公募型簡易宇宙実験

学生ロボット
プログラミング競技会

植物栽培
教育ミッション



各国が重視する人材育成を支援するプログラムを展開し、各国とのパートナーシップを強化

参考資料 <2030年までの活動の在り方>

(文部科学省ISS・国際宇宙探査小委員会資料抜粋)

「きぼう」利用プラットフォームによる成果創出



- 軌道上クルー操作を最小化する省力型マウス飼育システム、AIを導入した「きぼう」自動実験システム、既存の遺伝子機能発光イメージング解析装置等を開発・運用し、**先端的・多様な研究要求に対応**。
- データセット蓄積により、**創薬ターゲットの探索、個別化医療へ貢献**。



省力型マウス飼育システム



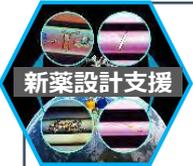
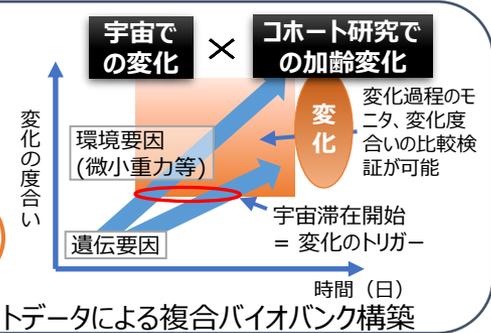
AI「きぼう」自動実験システム



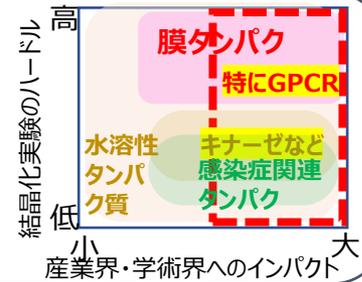
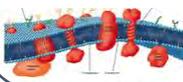
軌道上ライブイメージデータ取得
©住商ファーマ



宇宙マウスミッションとコホートデータによる複合バイオバンク構築



- クライオ電顕による構造解析の需要が増大していく中、一定の優位性を有するターゲットとして、製薬企業における膜タンパク質への投資増大傾向等を踏まえ、ハイインパクトとなる**膜タンパク質**を設定。
- JAXAは、膜タンパク質の技術開発に専念し、**ISS史上に残る成果の創出を目指す**一方、結晶化技術が成熟しつつある領域(水溶性タンパクなど)は**民間運営にシフト**し、Post-ISSに向けた継承を図る。

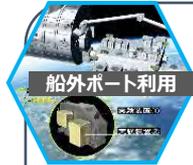


- **JAXAの静電浮遊炉(ELF)のみ**、工業的な価値の高い**高融点非導電性材料**(セラミックス等)を含め幅広く熱物性データ等を取得可能。機能向上し実験数拡大。
- 計測データを蓄積し、**マテリアルズ・インフォマティクス**を推進



有機物、低融点金属等 合金等 酸化物や超高温合金

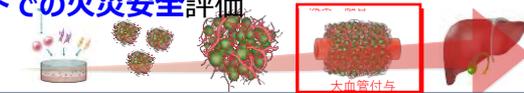
	低温(~500℃)	高温(500-2000℃)	超高温(>2000℃)
導電性材料 (金属・合金)		電磁浮遊炉(ESA)	地上静電浮遊炉(JAXA)
非導電性材料 (酸化物)	容器法(従来法)	ELF(JAXA)	



- 下記の観点で**先端科学・技術実証ミッション**を設定
 - 世界的に注目されている**先端的な科学研究**
 - 宇宙インフラストラクチャ構築を目指した先端・基盤技術実証、新たな宇宙利用創出に向けた**技術実証**
 - GatewayやArtemis計画につながる月・火星の**有人/無人探査のための新技術実証**



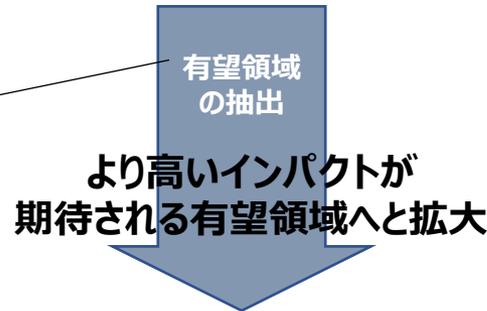
- 新プラットフォーム構築・Post-ISSへの継承
 - **細胞医療**: 培ってきた細胞実験技術を進化させた**自動培養機器、3次元培養技術**等
 - **燃焼**: **カーボンニュートラル**、探査に向け**低重力下での火災安全評価**



今後の低軌道利用（ポストISS含む）の有望領域への拡大

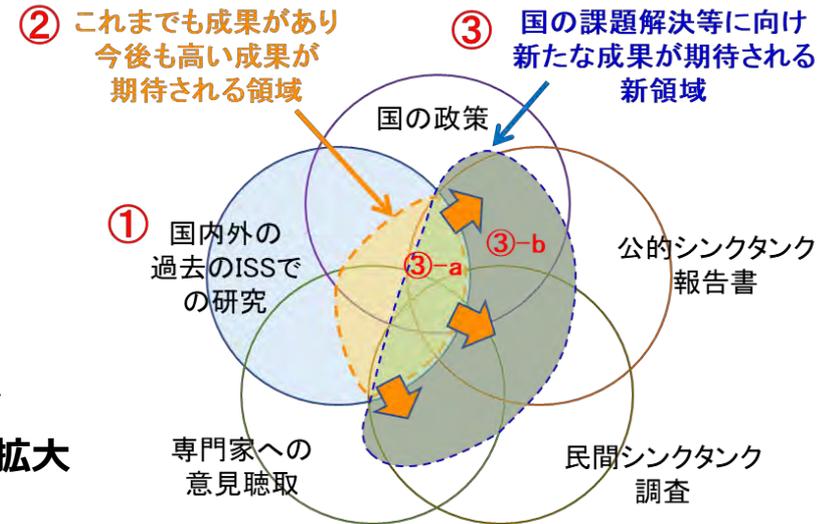
- 「きぼう」利用開始当初の時期（2008～2012頃）は、**微小重力が有効と考えられる各種領域において基礎的な研究を幅広く実施【右図①】**。その後、社会課題解決等で成果が期待される領域に重点化し研究を推進してきた【右図②】。
- 今般、下記の**5つの検討材料を元に分析を実施し、下図のリストに示すを研究領域を抽出した**。今後は、より高いインパクトが期待されるこれらの有望領域【右図③】へと研究を拡大する。

- ＜有望領域抽出時の検討材料＞
- 国の政策
 - 専門家への意見徴収
 - 国内外の過去のISSでの研究実績
 - 公的シンクタンク報告書
 - 民間シンクタンク調査



有望領域の拡大のイメージ（③-a、③-b ※）

※前頁参照



知の創造、国の課題解決に向けた有望領域の抽出例

【生命医科学系】

- ✓ 脳・神経
- ✓ 再生医療
- ✓ 老化（筋骨系）
- ✓ 臓器連関
- ✓ 免疫
- ✓ 睡眠
- ✓ 代謝（疾患予防・予測/糖尿病）
- ✓ 炎症
- ✓ 植物工場・食料生産・物質循環
- ✓ 創薬（感染症）
- ✓ 植物由来材料・物質循環

【物質物理学系】

- ✓ バイオ材料・物質循環
- ✓ CO2回収・物質循環
- ✓ メカノバイオロジー
- ✓ エネルギー貯蔵・物質循環
- ✓ パワー半導体デバイス・材料創成
- ✓ 元素戦略・結晶成長・材料創成
- ✓ ナノ工学制御（接着・摩擦・修復・成膜）
- ✓ 燃焼
- ✓ ソフトマター・分子技術
- ✓ ナノ医療システム
- ✓ トポロジカル材料、トライボロジー（摩擦・潤滑）

参考8 我が国の有人宇宙活動に関する技術獲得の状況



自立的な
月面有人活動
に必要な技術

自立的な
軌道上有人活動
（低軌道、GW等）
に必要な技術

民を支える官の新たな
取り組みとして官民連携
で実施していくべきもの

（参考9参照）

■ 図に示すように、**ポストISSで想定される民間主体の活動におけるニーズを踏まえ**、必要と想定されるアセットから、その**実現に必要な技術を整理し分類**。それに応じて、**官は、各技術の獲得において民を支援**する。

- 民を支える官の新たな取り組みとして官民連携で取り組むべきもの
- 官のノウハウ等の資産を最大限活用し民主体で取り組んでいくべきもの

