資料37-3-2
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
ISS・国際宇宙探査小委員会
（第37回）2020.9.11

ISSを含む地球低軌道活動の在り方について（その１）

2020年9月11日

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構（JAXA）
有人宇宙技術部門

目次

１．現状認識

（１）前回延長以降の成果創出活動の状況

（２）前回延長以降のISSを取り巻く環境変化（留意事項）

２．2040年代の地球低軌道活動において目指すべき姿

（１）大目標と検討のアプローチ

（２）「きぼう」の各活動の将来展開イメージ

３．2025年以降の地球低軌道活動の在り方（JAXA案）

（１）「目指すべき姿」の実現に向けたJAXAの大きな方向性

（２）JAXAによるISS運用利用の方策

１．現状認識

（１）前回延長以降の成果創出活動の状況

前回の2024年までの延長の検討時に、ISS・国際宇宙探査小委員会(2次取りまとめ（2015年6月）：今後の国際宇宙ステーション計画における我が国の取組)及び宇宙政策委員会(2015年8月：延長に向けて検討・調整すべき見解)にて延長の意義や方針が取りまとめられた (別紙1参照)。

＜ISS国際宇宙探査小委員会２次取りまとめ＞

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の活用）

＜宇宙政策委員会見解＞

①新たな日米協力の構築（ ⇒JP-US OP3（※）が日米政府間で締結された）

②アジア諸国との連携強化

※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

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）

上記の観点を踏まえISS活動を進めることにより、継続的・持続的に多くの成果を創出している（具体的成果事例は別紙２、３参照）。また、今後の方針決定にあたっては宇宙基本計画（令和2年6月30日閣議決定)において示された地球低軌道活動に関する記述を踏まえて具体化を進める必要がある。

1．現状認識

（２）前回延長以降のISSを取り巻く環境変化（留意事項）

以下に示すような様々な環境変化を認識

① ISS参加各極が2025年以降の参加継続を表明する見通しが強い。特に米国は2030年以降も何らかの低軌道活動拠点を堅持し、活動継続・プレゼンス維持を図る方針。宇宙空間の重要性やガバナンスの必要性は近年益々高まっている。

留意点①：中国が独自の低軌道ステーションの建設を進め存在感を高めている中、日本がISS計画から離脱する選択肢は望ましくなく、日本も米国と同様に2030年以降も何らかの形で活動を継続しプレゼンスの維持・向上を図るべきではないか。

② 米国における民間企業の参入の活発化、米国政府は低軌道は民間、探査は国という方向性。日本においても徐々にではあるが宇宙分野での民間技術の活用の増加(探査ハブ等)や民間企業による低軌道商業活動を目指す動きが活発化している。

留意点②：日本においては民間参入はまだ始動した段階で未成熟であることに留意が必要。国としての基盤維持の取組を継続しつつ民間企業参入を促進、官民それぞれが適切な役割を担い、低軌道活動を持続可能なものとして発展させていくべきではないか。例えば、米国のような国の支援策(ビジネス実証機会の提供といったLEO需要を喚起する横断的な策など)や参入促進のための早期のビジネス予見性の提示が重要ではないか。

③ 国際宇宙探査への参加の決定（2019年10月）とその後の検討の進展（日米月探査協力に関する共同宣言への署名等）が見られた。

留意点③：ISSは探査に必要な技術検証（月に持ち込む前のリスク低減）の場としての価値が現実的なものとして高まっている。ISSと国際宇宙探査ではその性質や実施内容が異なるため、両者が相乗効果を生むように利用し、総合的に成果を最大化していくことが重要ではないか。

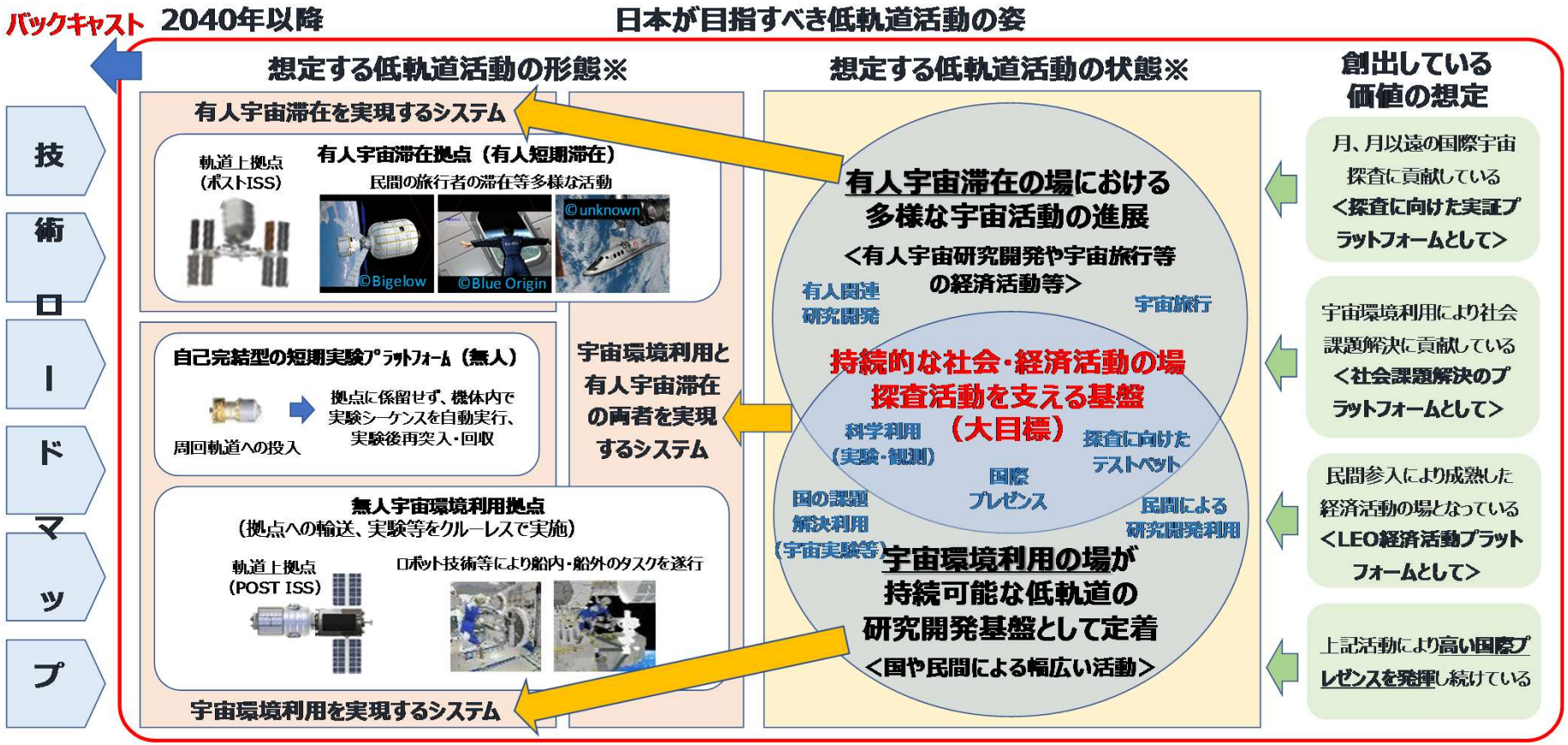
2．2040年代の地球低軌道活動おいて目指すべき姿

（１）大目標と検討のアプローチ

- 上述１項に示した環境の変化と留意事項を考慮し、将来、日本が地球低軌道活動において創出しているべき価値の想定から、2040年代の【大目標】（別紙4参照）を以下のように設定（下図参照）。

【大目標】 2040年代、低軌道が「持続的な社会・経済活動の場」・「探査活動を支える基盤」となること

- この大目標の実現に向けた「きぼう」における各活動の将来展開のイメージを次ページの図に整理。なお、【大目標】の達成に向けた技術ロードマップは現在策定中（検討のイメージ：別紙5参照）。

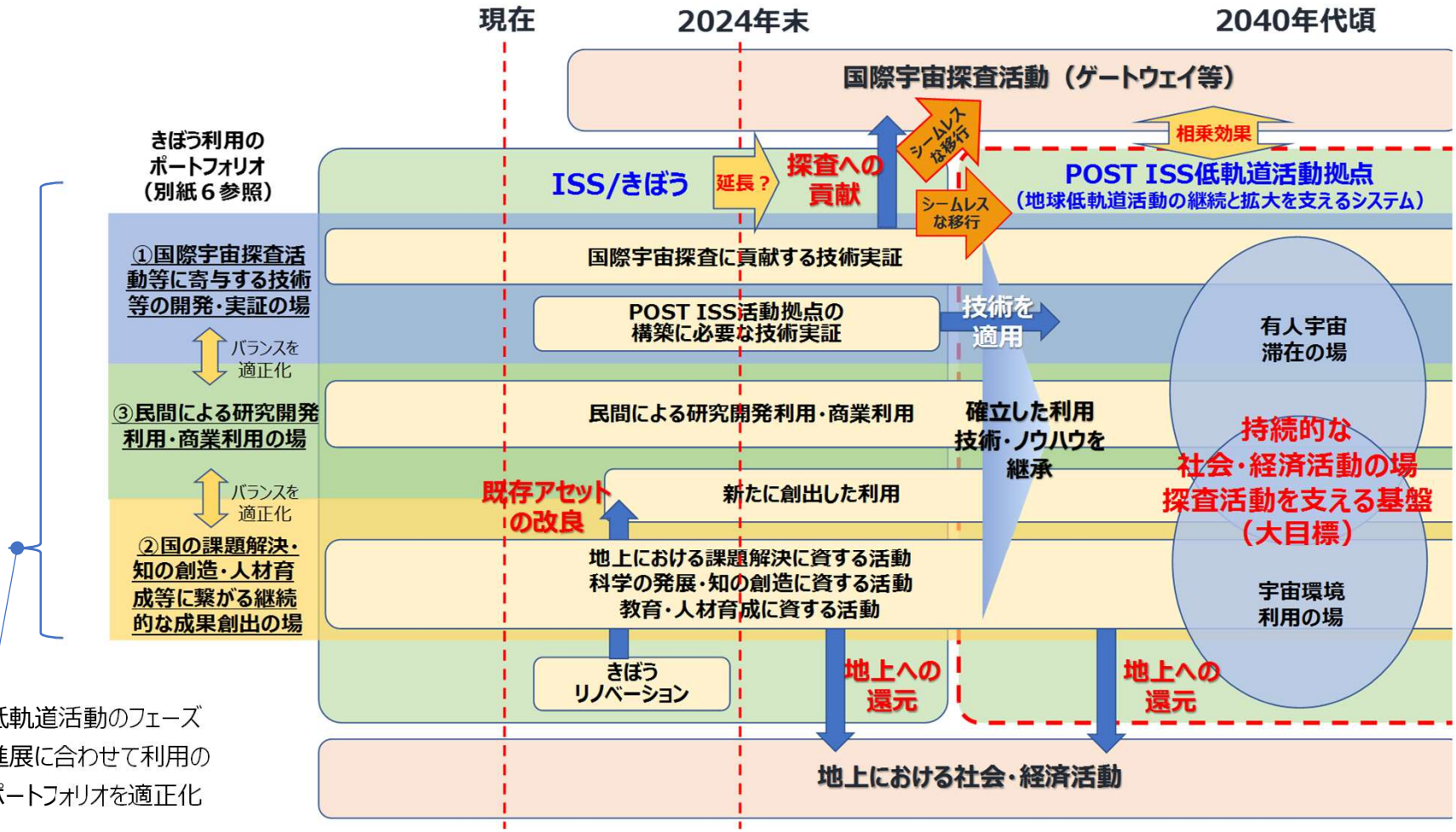


※拠点の有無、有人／無人等は、2者択一ではなく、各形態で進化・発展したものの複合的な形も想定され得る。イラストはイメージ。

2．2040年代の地球低軌道活動おいて目指すべき姿

（２）「きぼう」の各活動の将来展開イメージ

- 「きぼう」は、**国際宇宙探査と将来の低軌道活動をつなぐ現存する唯一の活動拠点、国際協力及び国際プレゼンス発揮の場**
- 2025年以降の「きぼう」における活動を通じ、**国際宇宙探査とPOST ISS活動にシームレスに移行**
- ISS運用延長により、2040年代の【大目標】達成に至る地球低軌道活動の道筋を構築していくとともに、**探査と 低軌道活動の相乗効果による日本の宇宙技術の優位性を確保**



３．2025年以降の低軌道活動の在り方（JAXA案）

【大目標】 2040年代、低軌道が「持続的な社会・経済活動の場」・「探査活動を支える基盤」となること。
（再掲）

【目指すべき姿】 2040年代に日本の官・民・学の多様なプレイヤーが、地球低軌道で、持続的かつ障害なく自在に活動する姿

✓ 科学研究利用（主として国・大学）・技術開発利用（主としてJAXA・大学・企業）・商業的利用（主として民間企業）の需要に応じた利用サービスが、民間企業により持続的に供給される状態

（１）「目指すべき姿」の実現に向けたJAXAの大きな方向性

①技術開発における立ち位置の変革

- 低軌道有人拠点に係る成熟した技術は民間に移管し、JAXAは、**宇宙探査活動等に寄与する技術開発や有人飛行といった新たな有人宇宙技術開発に注力**

②科学利用推進における立ち位置の変革

- **定着した実験の実施は民間運営に移行し、実験サービス調達に切り替え**（アンカーテナンシー考慮）、JAXAは、**「新たな利用手法の開発と定着」に集中**

③民間による研究開発利用・商業利用の活性化

- 新たな領域の価値を生み出す利用の場（**民間主体の経済活動の場**）とするための支援（民間事業者や利用者に寄り添った施策）に継続的に取り組む

④国際協力の強化、国際プレゼンスの向上

- ISSパートナーとの協調関係をベースに、国際協力を戦略的に進め、地球低軌道での**日本のプレゼンスを堅持**

３．2025年以降の低軌道活動の在り方（JAXA案）（つづき）

（２）JAXAによるISS運用利用の方策　３つの領域（探査･低軌道･地上）への貢献

①国際宇宙探査活動等に寄与する技術等の開発･実証の場としての活用

我が国の強みを活かした分野での戦略的な参加の実現のため、「米国提案による国際宇宙探査への日本の参画方針（令和元年10 月18 日、宇宙開発戦略本部）」に示された**４技術分野**（※１）、及び将来低軌道活動において**我が国の強みとなり得る技術**（生命維持･環境制御、推薬補給、軌道間輸送等）に関し、**低軌道拠点の利点を生かした技術実証を実施**(A5-2参照）。また、**日本人宇宙飛行士の実践訓練の場(有人飛行に向けた技術開発含む)**としても活用する。

※１　深宇宙補給技術（ランデブ･ドッキング技術等）、有人宇宙滞在技術（環境制御技術等）、重力天体離着陸技術（高精度航法技術等）、重力天体表面探査技術（表面移動技術、掘削技術、水氷分析技術等）

②国の課題解決･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の活用

健康長寿につながる認知症のメカニズム解明に迫る知見の獲得、きぼう発の創薬等、**社会要請に応える様々なアウトカムの実現に向け、行政･研究機関、大学等の期待やニーズ（次回紹介予定）に対応した取組みを実施**する。

③民間による研究開発利用･商業利用の場としての活用

将来を見据えた官民共創、「きぼう」リノベーション（機能向上）等により**民間アイデア等から創出された「新たな利用」**がPOST ISSの低軌道活動拠点における持続的な**経済活動として発展していくよう、民間利用の促進･拡大**を図る。

④国際協力の強化、国際プレゼンスの向上

ISSパートナーとの関係の強化、特に、強固な日米協力の象徴でもある**JP-US OP3の枠組みを堅持･発展**させる。また、**ISS計画に参加する世界でも限られた国、またアジア唯一の国として**、その意義･価値を途上国とも共有し、**SDGs目標に宇宙から貢献**する。

３．2025年以降の地球低軌道活動の在り方（JAXA案）（まとめ）

JAXAとしては、「現状認識」、「地球低軌道活動JAXA長期ビジョン」および「2025年以降の低軌道活動の在り方（JAXA案）」を踏まえ、今後、米国がISS運用延長を決定した場合、我が国も参加を継続(～2028年/2030年)すべきと考える。

別紙１　前回延長時の意義や方針について

１．現状認識　（前回延長時の意義や方針）

１）前回延長前の文科省のISS･国際宇宙探査小委員会（2015年6月）による2次取りまとめ（今後の国際宇宙ステーション計画における我が国の取組）（※1）

（A）「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・向上への貢献
- ◆ 宇宙開発利用の発展と産業競争力の強化への貢献
- ◆ 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

（B）費用対効果向上のためのコスト負担の方策（改良型HTVの活用）

- ◆ 運用経費の低減
- ◆ 将来のミッションへの貢献

２）前回延長前に内閣府の宇宙政策委員会（2015年8月）にて取りまとめられた、延長に向けて検討・調整すべき見解（※2）

①新たな日米協力の構築
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の採用）

※1 https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11293659/www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/071/attach/1358968.htm
※2 https://www8.cao.go.jp/space/comittee/kettei/27-iss-kenkai.pdf

１．現状認識（つづき）（宇宙基本計画における地球低軌道活動に関する記述）

（３）宇宙基本計画（令和2年6月30日閣議決定）における地球低軌道活動に関する記述概要：

①宇宙科学・探査による新たな知の創造（ISSを含む地球低軌道活動）

- ◆ 費用対効果の向上
- ◆ 宇宙環境利用を通じた知の創造
- ◆ 国際宇宙探査で必要となる技術の実証の場としてISSを活用
- ◆ ISSにおける科学研究及び技術開発の取組を、国際協力による月探査活動や将来の地球低軌道活動に向けた取組へと、シームレスかつ効率的につなげていく

②宇宙を推進力とする経済成長とイノベーションの実現（ISSを含む地球低軌道における経済活動等の促進）

- ◆ ISSを含む地球低軌道における新たなビジネス・サービスの創出を促進
- ◆ ISSにおける民間事業者の参画拡大に向け、民間事業者の利用主体としての裁量や役割を増大させる方策や、需要拡大に向けて必要となる支援制度等について具体的な検討を進める
- ◆ 我が国の地球低軌道における経済活動等の継続的な実施と拡大を支えるシステムの具体的検討及び必要な要素技術・システムの研究開発を進める

③ 有人宇宙活動の在り方の検討

- ◆ 国際的な発言力の維持・向上、外交力の強化及び将来の人類の活動領域の拡大への寄与、地上の技術開発への応用等の観点を含め検討

⇒2025年以降の地球低軌道活動は、宇宙基本計画を踏まえて具体化を進める必要がある。

別紙２　前回延長以降の成果概要

別紙２　前回延長以降の成果創出活動の状況

１）前回延長前の藤崎小委（2015年6月）による2次取りまとめ（今後の国際宇宙ステーション計画における我が国の取組：以下の項目）を踏まえ事業を実施し、対応した成果を創出（継続実施中）

（A）「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・向上への貢献

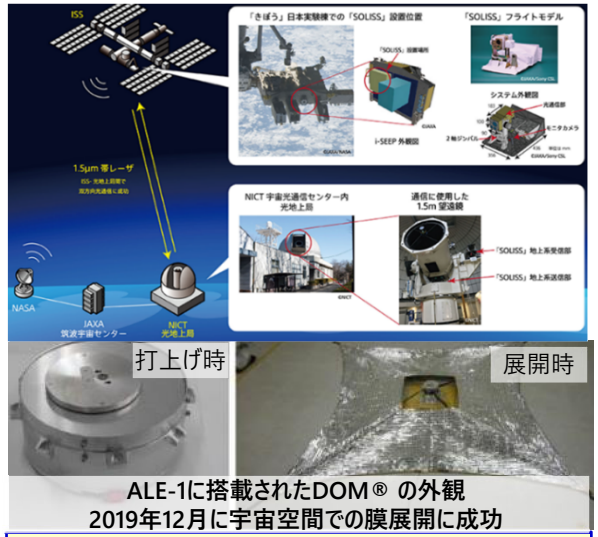
（「きぼう」の国際的な利用機会の拡充、国際宇宙探査における重点化技術の技術実証）

JP-US OP3による日米協力により関係強化。超小型衛星等の機会提供や大学との連携による人材育成を通して、発展途上国や宇宙新興国の宇宙アクセスに貢献（別紙-3　A3-2~A3-4参照）

◆ 宇宙開発利用の発展と産業競争力の強化への貢献

（超小型衛星放出機会の拡充、材料曝露実験装置による宇宙機器材料等の品質保証への貢献、宇宙科学観測・地球観測プラットフォームによる宇宙利用機会の提供）

高い打上げ頻度やインタフェースの簡易化により、早期に軌道上実証可能なPFを提供。例えば、小型衛星用の膜展開式軌道離脱装置は「きぼう」での実証後にALEの実証衛星に搭載され、実用化された（別紙-3　A3-14参照）。



ALE-1に搭載されたDOM® の外観
2019年12月に宇宙空間での膜展開に成功

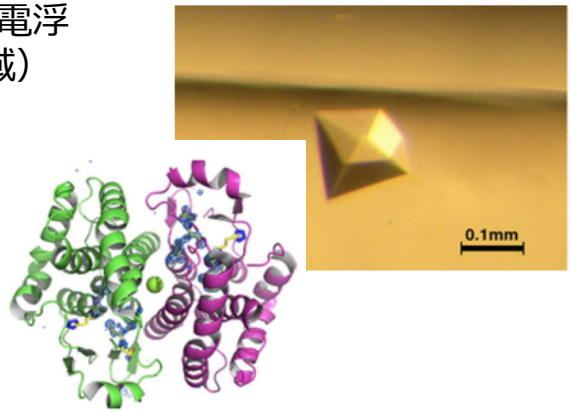
軌道上実証プラットフォームとして貢献
(上：JAXA・NICT・ソニーCSLによる長距離空間光通信軌道上実証、下：膜展開式軌道離脱装置の軌道上実証)

別紙２　前回延長以降の成果創出活動の状況（つづき）

◆ 国の科学技術戦略・施策への貢献

（革新的な新薬創製に貢献する高品質なタンパク質結晶技術の高度化、加齢疾患とエピゲノム情報等との相関性の解析、再生医療における立体培養・組織形成、静電浮遊炉による高温融体材料の研究、その他ブレークスルーが図れる可能性のある領域）

人類史上最大の感染症である歯周病の菌の増殖を抑制する化合物の有用性の検証や国の指定難病であるデュシェンヌ型筋ジストロフィー(DMD) に有効性の高い阻害剤候補の創出に貢献。また、創薬ニーズが高いターゲットである膜タンパク質の結晶化技術にも取り組んでいる（別紙-3　A3-10参照）　。



筋ジストロフィーの進行に関与するタンパク質の結晶
（出典：筑波大学/第一薬科大学/丸和栄養食品/JAXA）

◆ 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

新たに「きぼう利用戦略」を設定し、戦略的な利用機会の場として複数の利用プラットフォーム（利用の高頻度化やプロセスの標準化等）を構築した。そのうち、ある程度の市場が見込まれる一部の利用事業を民間移管し、民間企業のネットワークや営業力により、より多くの利用者への利用機会提供につなげた（別紙-3　A3-17参照）　。

きぼう利用戦略
（第2版）

別紙２　前回延長以降の成果創出活動の状況（つづき）

（B）費用対効果向上のためのコスト負担の方策（改良型HTVの活用）　別紙-3 A3-8参照

◆ 運用経費の低減

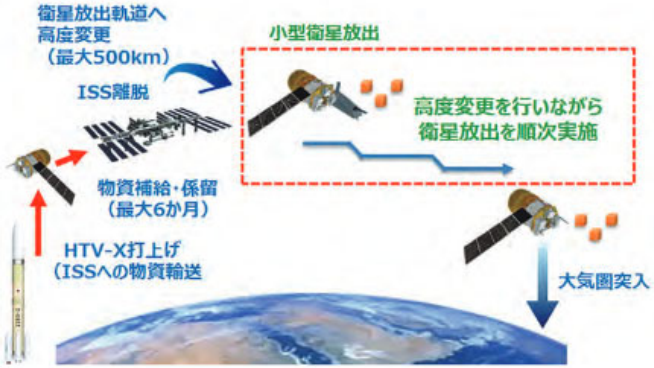
（システムの効率化、簡素化、軽量化、作業期間短縮等により、製造コストの大幅軽減することを目指す。HTVによる輸送継続に比べコスト負担の低減につながる。「費用」の削減により費用対効果向上に大きく寄与）

HTV-Xでは打上げロケットも含め輸送単価をHTVに比べて半減させることを目標に開発中。

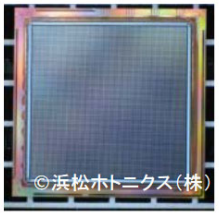
◆ 将来のミッションへの貢献

（HTVを将来の宇宙利用に必要な技術獲得に利用。HTV-Xにて重要な基盤技術を獲得。国際宇宙探査の取組への寄与、軌道上サービス機への応用、先進的技術実証の場としての活用等）

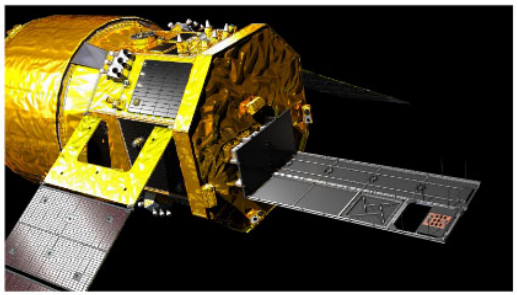
HTV-Xの開発にあたっては、ISSへの物資輸送完了後の軌道上技術実証プラットフォームとしての活用、宇宙施設へのドッキング技術の実証、国際宇宙探査への対応を可能とする発展型に繋がる考慮など、将来の宇宙技術・宇宙システムへの波及性・発展性を確保しながら進めている。軌道上技術実証プラットフォームでは超小型衛星の放出や宇宙太陽光発電向けのアンテナ展開実証などが予定されている。



軌道上技術実証プラットフォーム(例)
HTV-Xを用いた超小型衛星の放出



超高感度二次元同時距離計測センサ
(車両自動運転適用への期待や、月惑星への着陸、軌道上ランデブへの展開が可能)。



HTV-X1号機を用いた平面アンテナ展開実験のイメージ

別紙２　前回延長以降の成果創出活動の状況（つづき）

２）前回延長前に宇宙政策委員会（2015年8月）にて取りまとめられた、延長に向けて検討・調整すべき４つの見解（※）を踏まえ事業を実施し、対応した成果を創出（継続実施中）

※　https://www8.cao.go.jp/space/comittee/kettei/27-iss-kenkai.pdf)

①新たな日米協力の構築

JP-US OP3によるマウス飼育実験の成果創出により日米の関係強化に貢献。2020年度からは静電浮遊炉(ELF)の利用機会を米国の研究者に提供し(NASAはクルータイムを日本側に提供)、更なる協力を推進。（別紙-3　A3-2, A3-11参照）

また、USCV搭乗クルーとして米国以外で**日本人宇宙飛行士が他極に先駆けて選定**された。

野口宇宙飛行士(2020年秋頃の打上げを予定)と米国の新型商業宇宙船(実証機：(右上)ISSドッキング時の様子、(右下）大気圏再突入(イメージ図))

②アジア諸国との連携強化

KIBO-ABC等による連携強化(加盟国の大幅増)。人材育成や機会提供を通じて、アジア地域以外の発途上国にも国際協力は拡大。

（別紙-3　A3-3, A3-4参照）

衛星放出を喜ぶ関係者

ISSにおける日米協力深化を政府レベルで合意

UAE宇宙飛行士による「きぼう」での教育ミッション

日米協力と超小型衛星放出や教育ミッションを通じたアジア・アフリカ等の発展途上国・宇宙新興国への国際貢献

別紙２　前回延長以降の成果創出活動の状況（つづき）

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）

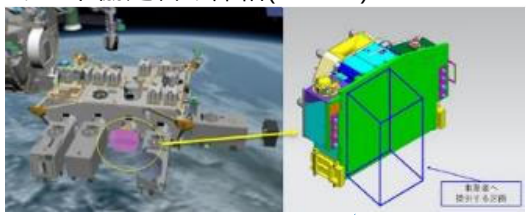
超小型衛星放出や高品質たんぱく質結晶生成実験等を**高頻度、定型化した新たな実験プラットフォーム（PF）として確立**。**一部のPFは民間企業に利用枠を開放**し、事業化を展開するとともに新たなPF構築や既存PFを更なる事業化につなげられるよう推進中（別紙-3　A3-9, A3-17参照）　。

また、HTV-X実証機ではISS補給後に技術実証プラットフォームとして利用すべく準備中。

超小型衛星放出事業の民間開放(2018.5)

Space BD　JAXA　MITSUI&CO.

「きぼう」軌道上利用サービス提供事業者との基本協定書の締結(2019.3)



Space BD　JAXA

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の採用）

ISS用日本製新型バッテリー採用・ISSでの運用実績の蓄積、HTV用に開発した500Nスラスタの静止衛星用としての輸出実績の増加がみられた（別紙-3　A3-16参照）　。

500Nスラスタ
（出典：株式会社IHIエアロスペース）

別紙3　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果

別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果

１．国際協力の成果（例）

宇宙最大規模の国際プログラムにおける必要不可欠なメンバーとしての立ち位置を確保

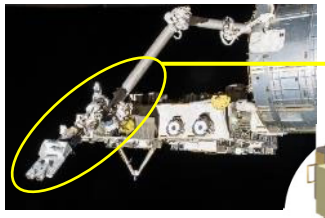
安定的運用への貢献(「きぼう」の安定的運用・維持)

2009年7月、船外実験プラットフォームの取付けを終え「きぼう」が完成。2019年、当初システム設計寿命の(10年)を超え安定運用を達成。

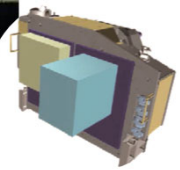
他の国際パートナーに無い技術、能力の提供及び成果の創出により、5極内での存在感を発揮

「きぼう」のユニークな機能（曝露部、エアロック、ロボットアーム）の活用

- ISSからの超小型衛星放出は、エアロックとロボットアームを併せ持つ「きぼう」でのみ実現可能なな世界で唯一のシステム。米国分と併せ放出総数は260機(2020.7時点)あり、アジア、アフリカの宇宙参加を促す等国際貢献にもつながっている。
- 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)を開発し、運用を開始。ロボットアームを活用して、宇宙飛行士による船外活動なく曝露実験を実施できる。ISSの他モジュールにはない能力。
- エアロック・ロボットアーム、NASA及び米国企業の実験装置を船外搬出する際も定常的に利用。ESA/エアバス社のバルトロメオ(曝露モジュール)に搭載される実験装置の船外搬出も予定。



「きぼう」ロボットアームに把持された小型衛星放出機構



「中型曝露実験アダプター(i-SEEP)」

「こうのとり」（HTV）での物資補給によるISSの安定的運用への貢献

補給船	成功数	打上げ数	成功率(%)
HTV(日)	9	9	100%
プログレス補給船(露)	73	76	96.1%
ドラゴン補給船(米)	19	20	95.0%
シグナス補給(米)	12	13	92.3%

(2020/7/24時点)

ISSに接近した「こうのとり」6号機

- 約6トンという世界最大の補給能力と、「こうのとり」のみが行える大型装置（例：ISS用バッテリー）の搭載能力を有し、物資補給を着実に行い、ISSの安定した運用に貢献。
- 2020年5月、9号機成功により、「こうのとり」はISS現役輸送船唯一の100%成功を達成。他極にはない大型貨物輸送機としてISSの安定運用を牽引した。

HTV6号機の曝露パレットからISS新型バッテリを取り外す宇宙飛行士

日本人宇宙飛行士の活躍：世界第3位の宇宙滞在実績

	国名	日数
1	米国	約13998日
2	ロシア	約13516日
3	日本	約1239日
4	イタリア	約907日
5	カナダ	約588日

各国のISS滞在累積日数(2020/8/3時点)

- ISS計画への参加により、宇宙飛行士の搭乗実績、船外活動実績等の国別順位は、米露に続く世界第3位まで上昇。我が国が有人宇宙活動における技術やノウハウの蓄積が進んでいることの表れ。
- こうした実績などが国内外で高く評価され、スペースX社の運用初号機に野口飛行士が初の国際パートナー搭乗員として決定。
- また、星出飛行士は2号機へ搭乗し、日本人として若田宇宙飛行士に次ぎ2人目となるISS船長を務める予定。

別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

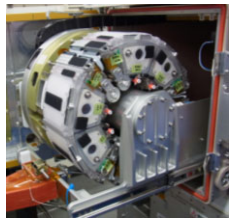
１．国際協力の成果（例）

新たな日米協力の構築

マウスミッションでの協力

JAXA－NASA共同のPartial−G(低重力)ミッションに向けた合意

月・火星等への有人宇宙探査を見据えた低重力下の長期生物影響評価等を目的に、JAXAの小動物飼育装置によるJAXA-NASA Partial-G（1G以下の低重力）共同ミッション実施の技術合意を締結(2020.2)。JAXAの低重力環境とNASAの実験装置との相互利用を推進していく。

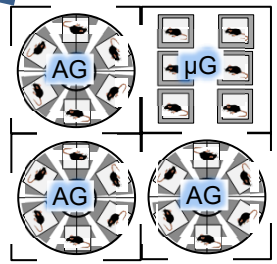


JAXA

NASA

【参考】
NASAは、JAXAよりも30年以上先行し宇宙でのマウス飼育を実施しているが、人工重力環境の利用は初。JAXAのみが持つ可変重力機能と世界初の1/6 G環境下での飼育実現や重力影響評価の成果に対しNASAから高い評価、期待が寄せられ本共同ミッションが実現。当分野での日本のプレゼンス発揮にも貢献。

JAXAは世界に先駆け人工1/6 G環境下でのマウス長期飼育に成功(2019.6)



4つの重力重力条件を同時設定可能

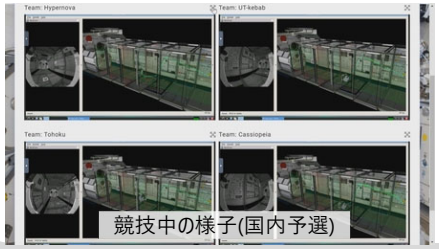
静電浮遊炉(ELF) ミッションでの協力

Round Robin (代表研究者 米国Tufts大学 Matson教授)

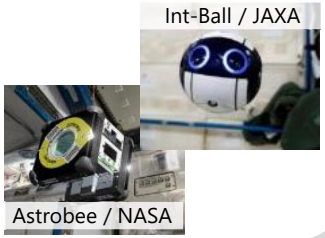
- JP-US OP3の枠組みの中で、NASAの実験テーマをNASAが自国リソース(宇宙飛行士の作業時間等)を提供する形でJAXAの静電浮遊炉(ELF)で実施することとなった（最初の実験として米国Tufts大のMatson教授による実験を予定）。
- 2020年度のNASA実験テーマ実施に向け、試料等をSpX-20でISSへ打ち上げ、様々な試料(金属、合金)の密度・表面張力・粘性測定を行う。

「きぼう」ロボットプログラミングチャレンジ(Kibo-RPC)での協力

- アジア・太平洋地域、米国の学生を対象にした、学生のプログラムをJAXAのInt-BallとNASAのAstrobeeに搭載するロボットコンテストを開催。
- 2020年6月に各国内予選を開催し、7ヵ国・地域、313チーム(1,168名)が参加。



競技中の様子(国内予選)



Int-Ball / JAXA

Astrobee / NASA

【参考】JP-US OP3の概要

１．日米協力を強化する以下のもの等によるISS運用の新たなイニシアティブの進展
　（ａ）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
　（ｂ）新しい宇宙技術の開発に焦点を当てた運用。これには、アメリカ合衆国政府が有用だと認める場合には、ISSの共通システム運用経費(CSOC)の相殺のための将来的な調整の一部として相互に有用な方法で小型回収カプセルを使用する可能性について議論することを含む。
２．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の増進
３．ISSの新たな活用の推進
　（ａ）日本の非機能物体捕捉技術実証の支援等のISSの技術実証プラットフォームとしての活用
　（ｂ）宇宙ステーション補給機(HTV)やHTV-Xの運用機会の活用
４．効果的・効率的な宇宙関連技術の活用の促進

日米合意文書に関する署名式 2015.12

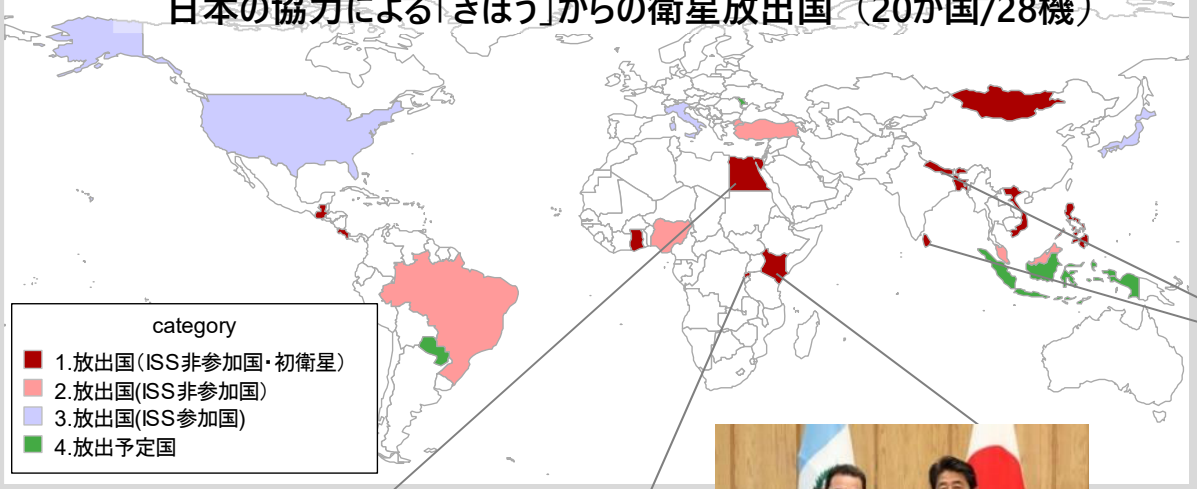
別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

１．国際協力の成果（例）

発展途上国や宇宙新興国の宇宙アクセスに貢献

- 「きぼう」ならではのユニークな放出機構と日本ならではのきめ細やかなサービスを活かし、発展途上国や宇宙新興国に超小型衛星を通じた宇宙参加を実現。各国のSDGs推進にも貢献。
- これまで19か国27機を打ち上げ、うち11か国では当該国の初衛星となった。打上げの様子はライブ中継等がなされ、多数の政府要人等が参加、報道がなされるなど「きぼう」のプレゼンス向上に大きく貢献。
- 国連宇宙部（UNOOSA）との超小型衛星放出の機会提供に関する連携協力（KiboCUBE）については、2023年度末まで協定を延長。

日本の協力による「きぼう」からの衛星放出国（20か国/28機）



1.放出国
（ISS非参加国・当該国初衛星）

国名(数)	放出年(FY)
バングラディシュ(1)	2017
ブータン(1)	2018
コスタリカ(1)	2018
ガーナ(1)	2017
ケニア(1)	2018
モンゴル(1)	2017
ネパール(1)	2019
フィリピン(2)	2016, 2018
ルワンダ(1)	2019
スリランカ(1)	2019
ベトナム(2)	2012, 2013
グアテマラ	2020

2.放出国（ISS非参加国）

国名(数)	放出年(FY)
ブラジル(2)	2014,2015
エジプト(1)	2019
マレーシア(1)	2018
ナイジェリア(1)	2017
シンガポール(3)	2016, 2018, 2019
トルコ(1)	2018

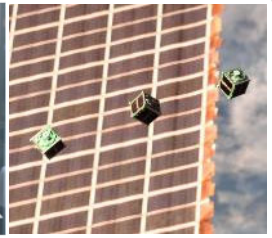
3.放出国（ISS参加国）

国名(数)	放出年(FY)
アメリカ(4)	2012, 2013
イタリア(1)	2016

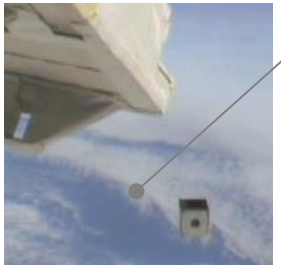
【参考】4.2020年度以降の放出予定国

国名(数)
インドネシア
モーリシャス
モルドバ
パラグアイ
フィリピン

ネパール教育科学技術大臣からの謝辞

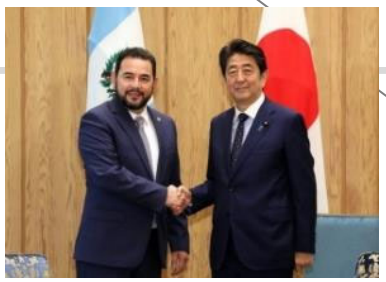


スリランカ、ネパールの超小型衛星の放出



エジプトの超小型衛星の放出

ルワンダの超小型衛星の放出



安倍総理とモラレス・グアテマラ大統領との会談
モラレス・グアテマラ大統領から同国初となる衛星放出プロジェクトについてJAXAの協力へ謝意が述べられ、総理からプロジェクトの成功を祈念している旨発言。

ケニアの超小型衛星の放出

別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

１．国際協力の成果（例）

ISS非参加国へも日本の存在感をアピール

UAE宇宙飛行士による教育ミッションの実施

- UAE宇宙飛行士の搭乗機会を捉え、Int-Ballを利用した教育ミッションを実施（2019年度）。UAE関係者が筑波宇宙センターで見守ったほか、本国ではパブリックビューイングが実施され、200～300人が参加。

UAE宇宙飛行士とのInt-Ballを利用した教育ミッション

UAEでのパブリックビューイングの様子

Kibo-ABC（Asian Beneficial Collaboration through “Kibo” Utilization）：APRSAFの宇宙環境利用分科会（SEUWG）から派生。アジア・太平洋地域における「きぼう」の利用推進を目指す。

第7回アフリカ開発会議（TICAD７）への参画

- TICAD7にて、サイドイベント「アフリカ宇宙フォーラム」が開催され、若田理事が登壇した他、事業者や戦略パートナーと連携しブースを出展。
- TICAD成果文書の中で初めて宇宙が盛り込まれるとともに、安倍首相による開会式の基調講演で東大とルワンダが共同開発した衛星について紹介された。

開会式で基調講演を行う安倍首相

TICAD成果文書「横浜宣言２０１９アフリカに躍進を！ひと、技術、イノベーションで。」（令和元年８月３０日）より抜粋

「世界中において、各国は、技術の進歩が職業社会を変化させていることを考慮し、若者と女性のための働きがいのある人間らしい仕事を創出する必要がある。我々は、人間中心のアプローチの重要性に留意しつつ、デジタル化が雇用に与える影響に備え、新しい情報技術への人々のアクセスの改善を促す環境を形成し、これらの変化を活用するための人的・制度的能力を強化する必要性を認識する。**我々は、アフリカの持続可能な開発のための科学技術イノベーション(STI)を促進することを意図するアフリカ宇宙機関を歓迎する。**」

タイによる創薬研究や地上への応用

- 初の本格的宇宙実験となる「きぼう」でのタインパク質の結晶生成実験について、タイ地理情報・宇宙技術開発機関(GISTDA)と協定を締結し、試料の打ち上げ、回収を実施。（2019年度）
- 本実験は、抗マラリア薬開発に重要な酵素の精細な構造解析を行うため、JAXAの高品質タンパク質結晶生成技術を用い酵素の高品質な結晶生成を目指すもの。

マレーシア初となるExHAM有償利用

- ExHAM初の海外有償利用案件としてマレーシア（プトラ大学）によるサンプル（光ファイバ）の船外曝露実験を開始。（2019年度）
- マレーシアでは設置時のライブ中継が行われた。

別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

２．有人・無人宇宙技術の成果（一覧）

宇宙滞在・活動技術

○システム維持機能技術
有人システム構築に必要な基盤的技術
・構造、電力、通信、熱制御など

○生命維持技術
搭乗員の生命を維持するための技術
・船内の温湿度制御、空気循環技術、気水分離技術（「きぼう」に設置済み）
・宇宙放射線計測技術（積算型）
・空気再生技術
・水再生技術
・宇宙放射線リアルタイム計測、予測、防護技術

○衛生技術
・トイレ、シャワー、廃棄物処理、汚物処理、臭気・菌・細菌除去技術、衛生管理など

○活動支援技術
宇宙空間で搭乗員の活動を支援する技術
・ロボット技術（「きぼう」ロボットアーム）
・宇宙服技術
・他天体での活動技術
（作業ロボット、移動車等）

有人運用関連技術

○実時間運用管制技術
有人システムを、長期間安全に運用・利用する技術
・地上と搭乗員の連携
・異常事態対応のノウハウ
・宇宙探査での通信遅れと狭通信帯域への対応

○運用支援技術
長期間にわたって有人宇宙施設の機能を維持する技術
・点検、交換、予防保全の技術
・予備品や実験機器等の補給・回収を行う技術
・機器性能・環境の長期トレンドデータ取得
・機器換装による最新地上技術の導入

○管制員の訓練・認定技術
運用管制員の運用技量を高めるための技術

搭乗員関連技術

○搭乗員の選抜・訓練技術
・搭乗員の選抜ノウハウ
・搭乗員の活動能力を高める技術

○搭乗員の宇宙活動技術
・宇宙船搭乗、船外活動、危機回避等のノウハウ
・搭乗員管理・指揮（船長）のノウハウ

○健康管理技術・宇宙医学
搭乗員の健康を維持する技術
・トレーニングで骨・筋肉を維持する技術
・宇宙放射線被ばく量管理技術
・フライト中の「遠隔」健康診断技術
（1年を超える長期滞在向け）
・「自律」健康診断
・骨・筋肉減少、免疫低下の効果的な抑制

輸送技術

○有人ロケット技術
有人宇宙船を宇宙に輸送する技術。
（無人より高い信頼性が必要）

○有人宇宙船技術
軌道上で搭乗員が活動、地上に帰還させる技術

○有人施設への無人補給技術
・自立飛行、ランデブー、制御された再突入等の技術
・有人施設に結合できる高い安全性と信頼性
・ランデブードッキング技術

○有人宇宙施設からの無人回収技術
・有人施設からの分離、自立飛行、再突入・回収技術

○他天体への 離着陸技術
月・惑星等の他天体への着陸及び離陸技術
（SLIM等でも獲得中）

：ISS計画への参加を通じ、習得・実証した技術
：引き続き、ISSで習得・実証していく技術
：将来習得していくべき技術

基盤技術

●開発管理技術
大規模・複雑なシステムを開発するためのマネージメント技術

●大型システム 統合技術
大規模・複雑なシステムを開発するための統合技術

●安全評価・管理技術
設計から運用まで、安全性をより厳密に管理・評価する技術

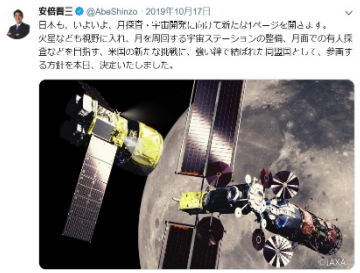
●信頼性管理技術
宇宙機の信頼性をより厳密に管理する技術（部品・工程管理、検証方法など）

別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

２．有人・無人宇宙技術の成果（例）

Gateway等次期月探査計画へアジア唯一の参画表明

有人宇宙技術の獲得や米国との統合運用の経験を蓄積。これらの成果は自律的に有人宇宙活動を行うための重要な技術やGatewayへの参画につながった。



Gateway計画参画を伝える総理ツイート

日米月探査協力に関する共同宣言に署名後のブライデンスタイン長官(左)、萩生田大臣(右)

宇宙滞在・活動技術

宇宙空間で搭乗員の活動を支援するロボット技術

- 宇宙飛行士の作業支援のための撮影ロボットとして、自律移動型船内カメラ(Int-Ball) を開発。
- 「きぼう」船内外実験の自動化・自律化を進めると共に、将来探査ミッション等に利用可能なロボティクス技術の獲得を目指す。

JEM自律移動型船内カメラ

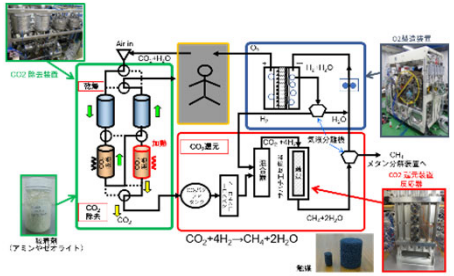
トヨタ等と有人与圧ローバ実現に向け共同研究に着手

JAXAとトヨタ自動車株式会社は、有人宇宙ローバ開発と国際協力による月面探査での活用を目指し、燃料電池車技術を用いた月面有人与圧ローバについて、試作車の製作、実験、評価を含む3年間の共同研究協定を締結。

共同研究内容(2019年6月20日～2021年度末)
- 2019年度：技術要素の識別、試作車の仕様定義
- 2020年度：各技術要素の部品試作、試作車製作
- 2021年度：試作、製作した部品や試作車を用いた実験・評価

宇宙滞在・活動技術

生命維持技術：日本独自の「将来型空気再生システム」の地上研究



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技術の獲得を目指し、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。今後、ISSでの軌道上実証を想定。

生命維持技術：日本独自の「将来型水再生システム」の実証実験

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もたらし、将来の有人宇宙滞在技術につながる環境制御技術の確立を図る。2019年度より軌道上実証を開始。

有人運用関連技術

将来の国際宇宙探査に生かせる有人運用技術

- ISSや「こうのとり」の運用に係る地上管制を各極と連携しながら我が国自らが実施した結果として、非常事態の対応も含めた有人宇宙システムの統合的な運用に関するノウハウの蓄積、将来の国際宇宙探査等で必要となる管制員や運用支援員等の育成につながっている。
- 「きぼう」の運用管制員を日本で育成・認定。英語が母国語ではない日本においても国際的な交渉スキルと技術を有する人材を多数輩出。
- ISSのような大規模施設を用するマネジメントの技術は、将来の国際宇宙探査にも活用可能。

別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

２．有人･無人宇宙技術の成果（例）

搭乗員関連技術

健康管理技術･宇宙医学

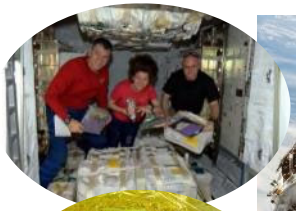
･宇宙医学の分野では、無重力や宇宙放射線、閉鎖環境が心身に与える影響を調べ、宇宙滞在中に飛行士に現れる様々な症状への対策を確立すべく研究を実施。
･技術開発の分野では、宇宙と地球との往還機の中や宇宙で快適に過ごすため、飛行士の活動や宇宙環境を計測、制御するための技術開発などを実施。

心電モニタリング

線量計：日本が開発した、２種類の線量計を組み合わせて高精度に宇宙放射線を検出する手法は、米露欧等ISS 参加国の宇宙放射線の線量計測や被ばく管理の手法に採用。

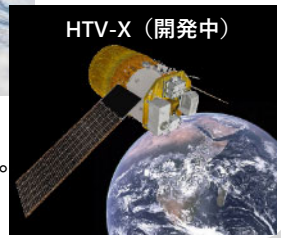
輸送技術

有人施設への無人補給技術（HTV（→HTV-Xへ））



「こうのとり」（HTV)でISSへランデブーし、物資補給をする技術を確立(2009年から9機全機成功）。

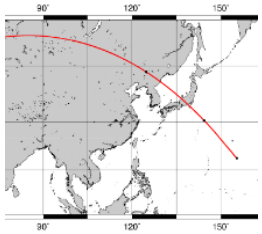
輸送効率(搭載効率等)を向上させたHTV-Xを開発中。



輸送技術

有人宇宙施設からの無人回収技術（HTV搭載小型回収カプセル）

揚力誘導制御技術、軽量熱防護技術、ISSからの実験サンプル回収技術を獲得を目指し、HTV7の再突入の機会を利用し、日本が今まで有していなかったISSからの物資回収技術の技術実証を行った。



HTV搭載小型回収カプセルによる技術実証

基盤技術

有人宇宙機の設計基準･安全基準の理解と実践、運用

- 「きぼう」、「こうのとり」の開発、運用などを通じて獲得した有人宇宙技術、有人安全技術に加え、スペースシャトル及びソユーズへの日本人宇宙飛行士搭乗に伴う安全評価活動を通じた蓄積した知見に基づき、各種審査会等における審査プロセス、結果、課題に対する処置に問題がないかを評価し、安全上の問題の有無を確認する能力を獲得。
- 搭載実験装置の安全審査権限をNASAから委譲され日本単独で「きぼう」の安全管理責任を担っており、米国や欧州と対等な立場まで高めた。

別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

２．有人・無人宇宙技術の成果（例）

新型宇宙ステーション補給機プロジェクト（HTV-X）

2024年までのISS運用延長に伴い、ISSの共通的なシステム運用に必要な経費を担うべく、新型宇宙ステーション補給機（HTV-X）の開発に着手し、2017年度よりプロジェクトチームを発足した。2021年度に実証機（１号機）打上げ予定。

HTV-Xの概要

○ISSへの輸送能力・運用性を向上し、運用コストを低減

■輸送能力の増強
- 質量：**4トン⇒5.85トン（45％増）**（棚構造質量を除いたNetの貨物量）
- 容積：49m³⇒78m³（60％増）

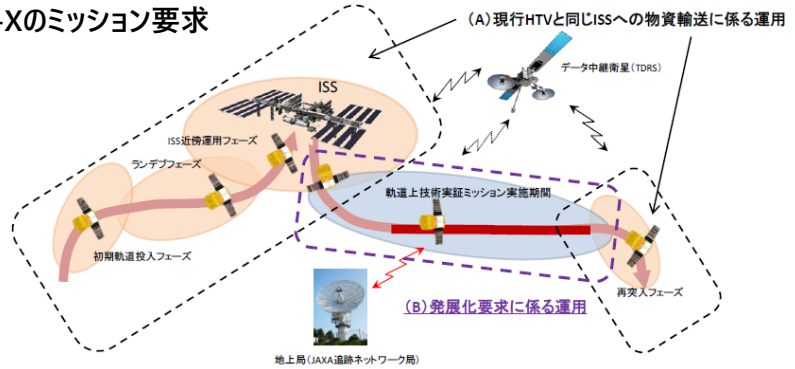
■サービスの向上・改善
- 「きぼう」利用ユーザへのサービス向上
  （カーゴへの電源供給、レイトアクセス（打上げ間近の荷物搭載）など）
- 現行HTVの運用経験に基づく改善
  （カーゴ搭載時期の柔軟性向上など）

○将来の宇宙技術・宇宙システムへの波及性・発展性を確保

■ISSへの物資輸送機会を活用した技術実証
例：宇宙機器・センサ搭載・実証、自動ドッキング技術実証、物資回収技術実証、デブリ除去技術実証

■将来の国際的な宇宙探査にHTV-X発展型で対応すべく、様々なミッションに活用できる技術を獲得
例：将来的にサービスモジュール単独使用に発展可能な設計仕様、居住モジュールに繋がる技術獲得、月補給機への発展性、再利用型補給機

HTV-Xのミッション要求



(A) ISSへの物資輸送要求
- HTVの物資輸送能力と運用性を向上するとともに、機体、運用コストの費用対効果を最大化すること。
- これにより、2024年までのISS計画参加のために我が国が義務として分担すべきISS共通システム運用経費(CSOC)の分担に効率よく対応すること。

(B) 発展化要求

a. 技術実証ミッション
ISSへの物資輸送の機会を活用して、HTV-Xを技術実証のためのプラットフォームとして用い、先進的技術の実証を行うこと。

b. 国際宇宙探査/ポストISSへの活用
HTV-X全体もしくは主要部の技術が国際宇宙探査やポストISSにおける有人宇宙活動等の将来ミッションに活用できること。

自動ドッキングの実証実験

- 「こうのとり」（HTV)で、有人施設であるISSへランデブーし、物資補給をする技術を確立(2009年~9機連続成功中）。
- この技術を引継ぎ、更に輸送効率（搭載効率等）を向上させたHTV-Xを開発中。HTV-Xでは宇宙飛行士やロボットアームによるバーシング・キャプチャ方式によるドッキング手法が利用できないため、自動ドッキング技術の獲得が必要。
- 宇宙ステーション等のターゲットに宇宙機をランデブ飛行させ、無人でドッキングする際に必要となるドッキングシステム（誘導制御技術、航法センサ、ドッキング機構等）について要素試作や解析モデルを整備し、地上研究を進めている。
- HTV-X2号機を活用し、ISSにて技術実証を予定。

主要新規技術のドッキング機構

サービスモジュール
航法・誘導制御、通信・電力・推進系等、衛星バス機能を集約したモジュール。将来はモジュール単体で使用可能。

与圧モジュール
与圧補給物資を搭載するモジュール。HTV与圧部を流用しつつ、搭載能力やサービス能力を向上。

曝露ペイロード搭載部
船外実験装置等を搭載するエリア。HTVよりも大きな装置を搭載できる。

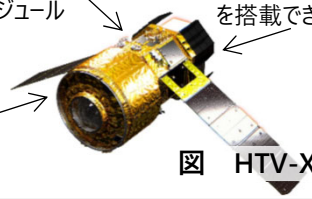
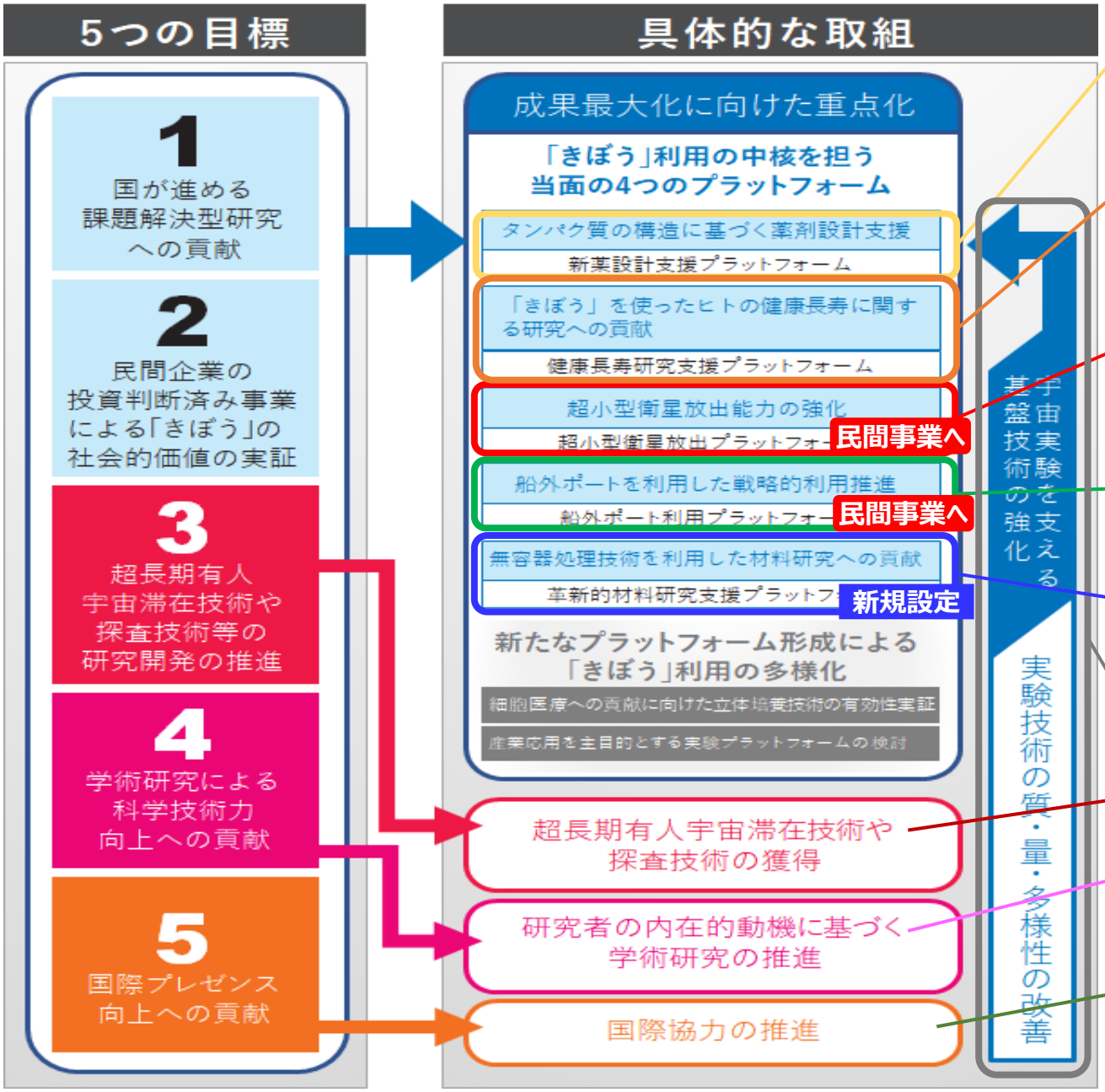


図　HTV-X外観イメージ図

別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

３．宇宙実験の成果:きぼう利用の取組み状況まとめ

2020年8月末日時点



- 創薬ニーズに応える利用技術開発に取り組み中（膜タンパク質、地上の結晶化技術の取り込み）

- ５回連続のマウス生存帰還を達成。
- 低重力環境飼育が可能。探査に向けた事前検証の場に活用（日本のみ）。
- コホート研究（東北メディカルメガバンク）との連携で地上研究にも貢献。

- 2018年度より民間（2社）が放出サービスを国内外に展開中（JAXA単独実施フェーズを上回る受注）。

- 2020年度より民間（1社）がサービスを展開中。ベンチャーが利用を実現。
- MAXIなどの科学利用も進行中（多くの学術論文を投稿）

- 民間利用（有償）、科学利用、NASA利用（OP3)など需要拡大中。

- 実験装置の自動化(省力化）、遠隔操作・解析自動化によりヒトに頼らない実験環境構築を検討中。

- 水再生システム等の軌道上実証中

- 引き続きチャレンジングな研究獲得に向け、年1回のテーマ公募を実施。

- SDGsへつながる貢献策を実施（国連との小型衛星放出協力）
- タイ、マレーシア、シンガポール等が利用（唯一のアジア参加国として貢献）

別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

３．宇宙実験の成果（例）

微小重力環境利用

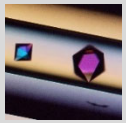
創薬プロセスの加速：高品質タンパク質結晶生成実験

- 地上よりも高品質な結晶が多数得られており、多くのタンパク質で地上より高品質の結晶生成に成功。
- 筋ジストロフィーに関係するタンパク質HPGDSの薬剤候補を多数回打ち上げ（筑波大学　裏出教授、第一薬科大学　有竹教授）。宇宙実験で得られた成果は、やがて新しい薬剤候補の設計につながり、より有効性の高い阻害剤(TAS-205)が創り出された。その後の試験で、TAS-205は筋ジストロフィーモデルマウスやイヌに発症する筋肉壊死の拡大を減少または遅延させることが判明。大鵬薬品工業は、2015年に、TAS-205のヒトでの安全性を確認し、2017年にはDMD患者33名を被験者としてTAS-205の24週間の第 II 相試験を完了。
- タンパク質結晶実験を通じ見出された歯周病菌の増殖を抑制する化合物の有用性を検証し、同じメカニズムで増殖する多剤耐性菌等の抗菌薬開発にもつながる成果として著名な論文に掲載された。(岩手医科大学、昭和大学、長岡技術科学大学、長岡工業高等専門学校)
- イヌ、ネコの人工血液を構成するアルブミンの構造を解明。現在、製品化に向けた検討が進行中。
- ペプチドリーム株式会社は、乳がんに関係するタンパク質と阻害剤候補を打ち上げ、新規な結合様式であることが判明、乳がんの薬づくりが進行中。
- 共同研究開始時には構造が解けていなかったもののうち、11種類について構造解明。
- タンパク質と化合物との結合状態が初めて分かったものは20種類以上。
- この10年で、計85本の査読付き科学論文を発表（ロシア分を含まず）。

宇宙実験による結晶品質向上事例	宇宙実験前（Å）	宇宙実験後（Å）
東京大学	0.90	0.68
筑波大学	1.80	1.00
東北大学	1.80	1.20
大阪府立大学	2.50	1.30
岩手医科大学	3.50	1.49
名城大学	2.30	1.48
兵庫医療大学	2.00	1.48
JIRCAS	3.50	2.06
熊本大学	1.80	0.97
香川大学	1.97	1.35
民間利用	8.00	2.10
民間利用	3.50	2.40
民間利用	3.20	2.60
民間利用	2.70	2.10
民間利用	3.00	2.60

今後の取り組み

- 産業界・学術界へのインパクトの大きなテーマに徐々にフォーカスしていく。
- 結晶化の難易度の高い膜タンパク質について、京都大学・大阪大学との共同研究を通して技術蓄積中。2021年度の実利用を目指す。

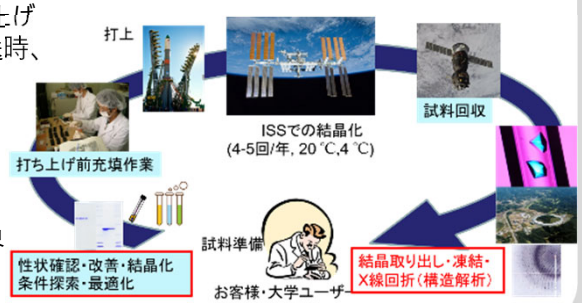


タンパク質結晶生成実験の10年での進化（地上サポート）

- 単に宇宙に持っていくだけでは十分な効果が出ないことが多い。このため、打ち上げ前に地上での試料性状確認・改善、結晶化溶液の最適化などを実施。
- さらに、専門家の配置、専用実験室の整備など、地上でのサポートを強化することにより、試料生産方法への助言から宇宙実験・解析までをトータルサービスパッケージとして提供できるプラットフォームとして進化。結晶を取り扱ったことのない研究者も参入可能となった。

タンパク質結晶生成実験の10年での進化（宇宙実験）

- 「きぼう」運用後、2019年度末までに27回宇宙実験を実施（うち16回はロシアとの協定による）。長年にわたる経験・技術検討をもとに、より難易度の高い試料へと取り扱い範囲を拡張。
- 年1回だった宇宙実験を現在では年4-5回に。研究者が必要とするタイミングで実験が可能。また、様々な試料に対応できるよう、実験温度帯は20℃と4℃を準備。（今後は凍結サンプルの打ち上げにも対応予定）。地上輸送時、宇宙への輸送時にも温度を維持可能。
- 試料に適した結晶化方法、結晶化容器を開発。
- 地上と宇宙での実験をフルに使い、産業界・学術界に貢献。

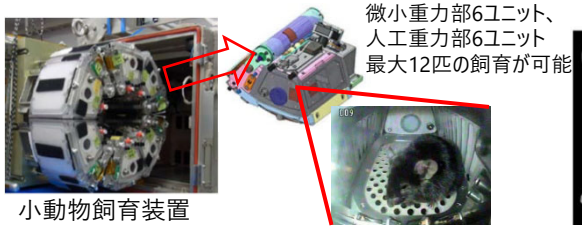


別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

３．宇宙実験の成果（例）

微小重力環境利用

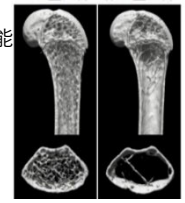
健康長寿研究に繋がる成果：マウス、宇宙飛行士の体等を使った実験



小動物飼育装置

微小重力部6ユニット、
人工重力部6ユニット
最大12匹の飼育が可能

35日間のマウス飼育骨組織の変化
（左：１G、右：０G）



宇宙では骨・筋量の減少が加速

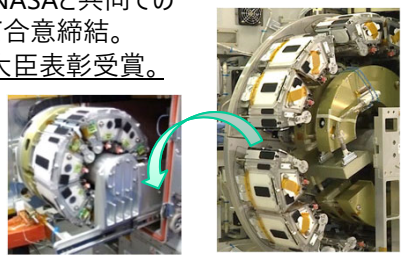
- 日本のマウス飼育装置は、無重力と人工重力の比較、個飼い、生存回収などを同時に実現できる世界で唯一のもの。
- JAXAは2016年に世界で初めてISSにマウスを搭載。遠心機を利用した人工重力環境や個別ケージ(1ケージ1匹)による飼育環境を実現。同時に100%生存帰還も実現。その後も100%生存帰還を5回連続で成功。
  - ✓ 無重力環境で地上の高齢者や寝たきりの状態に類似した生物影響（骨や筋量減少、免疫低下等）が加速される効果を利用。
  - ✓ 宇宙飛行士の健康管理技術の獲得を通じ、地上での筋力低下対策やリハビリ技術にも応用可能な技術や知見を蓄積。

有人探査に向け、JAXAのみが実施可能なマウス低重力環境の活用し、世界初の月の重力環境をISSで実現してマウスを長期飼育

- 世界で初めて月の重力環境(1/6G)を「きぼう」で模擬し、長期間飼育と全数生存帰還に成功。有人宇宙探査に向け哺乳類への長期低重力環境の影響を解析。深宇宙への人類の活動領域拡大に向けた第一歩となった。
- さらにISS最大の遠心機を搭載することで、研究能力が倍増。
- 日米協力枠組み(JP-US OP3)に基づきNASAと共同でPartial-G(低重力)ミッション実施について合意締結。
- 令和2年度科学技術分野の文部科学大臣表彰受賞。

微小重力環境：
ふわふわ浮いた状態

人工1/6G環境：
浮いた状態からケージ底面に"着地"



遠心機の回転速度を変えることで月や火星の低重力を実現可能(左:現行遠心機、右:直径を2.3倍に大型化した新型遠心機)

「きぼう」でのマウス飼育により宇宙滞在が受精能力に及ぼす影響を解析

- 大阪大学、筑波大学との共同研究により「きぼう」での長期飼育マウスの全数生存帰還を成功させた第1回小動物飼育ミッション(2016年)にて、帰還した雄性マウスの生殖器官や精子受精能力等を評価。
- 結果、マウスが正常な受精能力を持ち、次世代マウスの成育、繁殖能力においても親世代の影響は見られないことを世界で初めて明らかにし、著名な論文に掲載された。(Scientific Report 誌(IF:4.011))

人工重力が長期宇宙滞在時の視覚異常を軽減できる可能性

- 宇宙長期滞在において宇宙飛行士が帰還後に視覚障害に至る眼球組織の障害を受けることが報告されており、ISS長期滞在や将来の有人宇宙探査に向け解決すべき重要な課題とされている。
- JAXAが取得した組織(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。
- 本成果はISSにおける貴重な宇宙実験機会をより効率的、効果的に活用し、その成果を最大化することを目的とし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として公表。

Int. J. Mol. Sci. **2018**, *19*(9), 2546; https://doi.org/10.3390/ijms19092546 Open Access Article

Impact of Spaceflight and Artificial Gravity on the Mouse Retina: Biochemical and Proteomic Analysis

Xiao W. Mao [1,*], Stephanie Byrum [2,3], Nina C. Nishiyama [1], Michael J. Pecaut [1], Vijayalakshmi Sridharan [4], Marjan Boerma [4], Alan J. Tackett [2,3], Dai Shiba [5], Masaki Shirakawa [6], Satoru Takahashi [6] and Michael D. Delp [7]

[1] Department of Basic Sciences, Division of Biomedical Engineering Sciences (BMES), Loma Linda University School of Medicine and Medical Center, Loma Linda, CA 92350, USA
[2] Department of Biochemistry and Molecular Biology, University of Arkansas [illegible] AR 72205, USA.

宇宙の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が有するマウス飼育ミッション等で得られたデータと、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を構築している東北メディカル・メガバンク機構(ToMMo)との間で、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)。

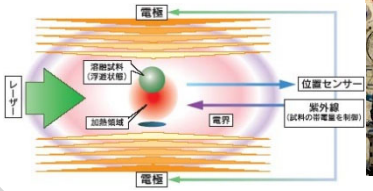
別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

３．宇宙実験の成果（例）

微小重力環境利用

物質・材料科学の学術的成果：
無容器処理技術を利用した材料研究への貢献

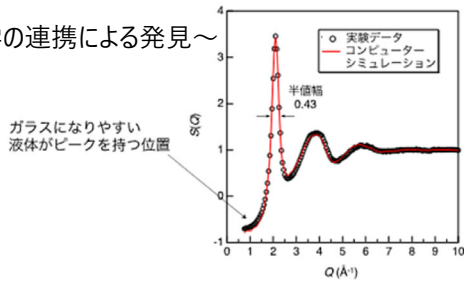
- 「きぼう」搭載の静電浮遊炉(ELF)は、3000℃の高温融点材料を静電気力で炉の中に浮かせ、擾乱が少なく高純度を保った状態で加熱、溶融、冷却し、熱物性を測定することを可能とする装置。
- 鋳造等の高温融体を扱うプロセスのシミュレーション精度の劇的向上やマテリアルズ・インフォマティクスへの貢献を目指している。



国内外の産学官連携によるELFとSpring-8を通じた世界初の発見

ガラスにならない超高温酸化物液体が持つ特異構造
～宇宙・地上での実験と大規模理論計算・先端数学の連携による発見～

- ELFと大型放射光施設SPring-8の高エネルギーX線を利用して、超高融点（2413℃）の酸化エルビウム(Er2O3)液体の原子配列と電子状態を測定することに世界で初めて成功。
- スーパーコンピュータを用いた大規模理論計算と先端数学から、ガラスにならないことが知られているEr2O3液体には、結晶に似た（高い周期性を持つ）構造が存在することが判明。これは、液体は長距離まで続く周期性を持たないという従来の定説を覆す発見。
- 本研究で利用された手法や知見は、新たな材料開発や高温液体から生成される物質の成り立ちへの理解につながることが期待されている。



放射光X線回折およびコンピュータシミュレーションから得られたEr2O3液体の回折パターン
ガラスになる液体に共通する特徴的なピークが現れず、液体としては極めて高い周期性があることを、世界に先駆けて発見。

出典：https://www.jaxa.jp/press/2020/06/20200602-1_j.html

ELFを利用して得られた各種材料の熱物性値（密度、表面張力、粘性）のデータベース

物質・材料研究機構(NIMS)との共同研究(*)を通じ、ELFの浮遊実験により取得した金属・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(2019.9-)。

*「宇宙及び地上実験による材料物性データの学術・産業分野における活用のためのデータベース化に関する研究」

出典：
https://thermophys.nims.go.jp/

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

大学・研究機関等による実験利用

（2018年度選定・実施）
静電浮遊法を用いた鉄鋼精錬プロセスの基礎研究（代表研究者：学習院大学 渡邉教授）

（2019年度実施、2020年度実施予定）
①静電浮遊法を用いた鉄鋼精錬プロセスの基礎研究（代表研究者：学習院大学 渡邉教授）
②新奇機能性非平衡酸化物創製に向けた高温酸化物融体のフラジリティーの起源の解明（代表研究者：物質・材料研究機構 小原主幹研究員）

（2019年度選定）
①過冷却液体合金の分相と多重合金球形成過程の解明(正木 匡彦、芝浦工業大学)
②高速炉シビアアクシデント解析のための制御棒材の共晶溶融物質の熱物性(山野 秀将、日本原子力研究開発機構)
③スペースデブリ・レーザーナッジのための推進力計測実験(森 浩一、名古屋大学)
④核形成速度およびその熱物性特性からのエネルギー貯蔵材料開発(小畠 秀和、弘前大学)
⑤炭化ホウ素融体の熱物性測定(岡田 純平、東北大学)

民間企業等による実験利用(民間利用促進コース*)

（2020年度実施案件）
①Nippon Fiber　（新日本繊維株式会社）
②Gallium oxide　（社名：AGC株式会社）

*「民間利用促進コース」では、日本国内の民間企業、もしくは企業と連携のある大学・公的研究機関等に所属している方に実験機会を有償で提供する制度。

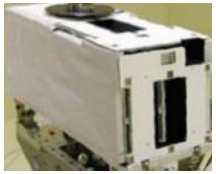
別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

３．宇宙実験の成果（例）

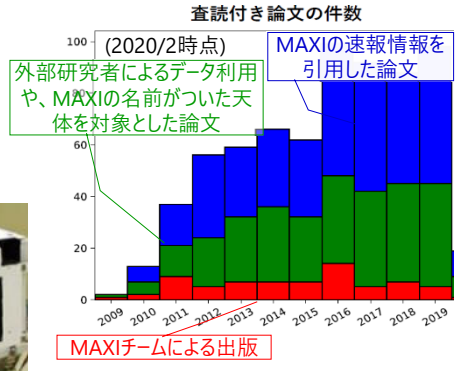
ISS軌道を活かした科学観測

全天X線監視装置(MAXI)　(2009年8月～)
X線天文学における世界的な新発見とサイエンスコミュニティーの広がり

- MAXIによる数々の観測結果が評価の高い科学誌へ掲載。
- 外部研究者によるデータ利用やMAXIの速報情報(突発的な天体現象などの観測情報)を引用した査読付き論文件数が増加。

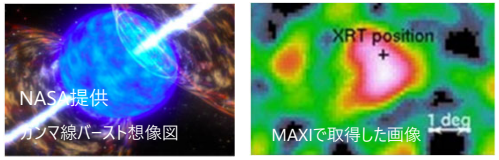


MAXI外観



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)

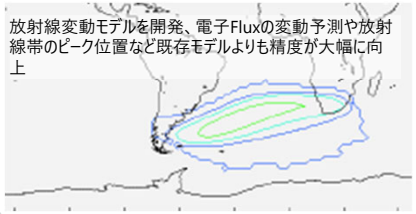
2013年4月にガンマ線バースト(宇宙最大規模の爆発)の観測に成功 (Science誌掲載)



宇宙環境計測ミッション装置(SEDA-AP)(2009.8～2018.12)

高度400kmの貴重な宇宙環境データを取得

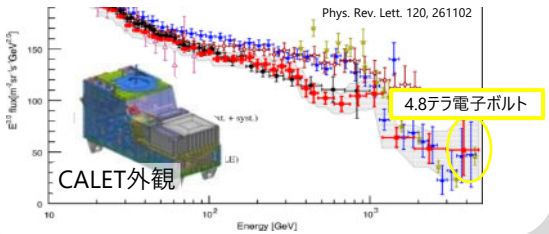
- 宇宙空間から降りそそぐ中性子や原子状酸素、重イオン等を長期間にわたって観測。
- 今後の宇宙機設計や低軌道活動における重要な知見を得た。



高エネルギー電子・ガンマ線観測装置(CALET)
(2015年10月～)

「未開拓な高エネルギー領域での宇宙線観測」

- 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。
- 今後、5年間以上の観測データを蓄積し、今回比約3倍の統計量達成、及、系統誤差の削減と合わせて20テラ電子ボルトまでの観測を行う予定。



【既存観測施設間の連携】

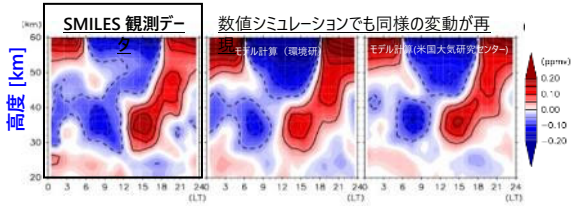
国立極地研究所、早稲田大学など国内外の機関とともに、「きぼう」船外実験プラットフォームに搭載された3つの観測装置(MAXI、CALET、SEDA-AP)による2年半の同時観測データを用い、電子の集中豪雨（*）による被爆線量の測定に成功し、将来の宇宙天気予報に向けた基礎データを取得。研究成果はアメリカ地球物理学連合のSpace Weather誌(IF:3.69)に掲載された。

MAXIとCALETは、それぞれX線天体、銀河宇宙線観測のために設計され、本研究のような地球低軌道における地磁気捕捉荷電粒子の測定は主目的としていないが、本研究を通じ、各装置の観測データを組み合わせることによる本来の研究分野を超えた新たなデータ活用の可能性が示された。

超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES)
(2009年10月～2010年4月)

「オゾン層の動きの観測」

- 成層圏でのオゾンの日周変動(一日の時間帯による変化)の観測（世界初）。
- これまでの衛星観測では検出が困難な大気成分の定量的な把握に成功するなど、大気化学研究の進展に貢献。



成層圏でのオゾンの日周変動

別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

３．宇宙実験の成果（例）

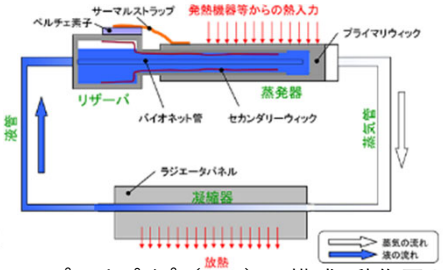
宇宙技術実証の場として利用例

次世代静止衛星通信の実現に必要な、高排熱技術の軌道上実証（ループヒートパイプ・ラジエター(LHPR)）

LHPは、衛星の機器から発生する熱を効率よく放熱部まで輸送するための装置で、JAXAはLHPを搭載した展開ラジエータ(LHPR)を技術試験衛星9号機に搭載する予定。

人工衛星の搭載機器が正常に動作しているか確認するためには、衛星が実際に運用される宇宙の無重量空間上で実証することが重要であり、今回の実験では、JAXA研究開発部門が開発したLHPRを「きぼう」のエアロックから船外に運び出し、ロボットアームで保持した状態で行った。

「きぼう」での衛星開発のための実験は今回が初。

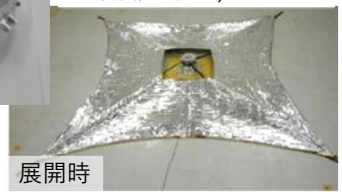


ループヒートパイプ（LHP）の構成・動作原理

「きぼう」から放出された超小型衛星による技術実証が次の実衛星に採用～民間による「きぼう」をハブとした利用、社会実装の拡大例～

- （株）中島田鉄工所と東北大学が共同で開発した「DOM」の宇宙空間での確実な駆動を実証するために開発された、膜展開に特化した超小型人工衛星（FREEDOM）を2017年1月に「きぼう」より放出。
- これにより技術実証された膜展開式軌道離脱装置が、(株)ALEの人工流れ星実証衛星に採用、搭載され膜展開に成功。

ALE-1に搭載されたDOM® の外観(2019年12月に宇宙空間での膜展開に成功)

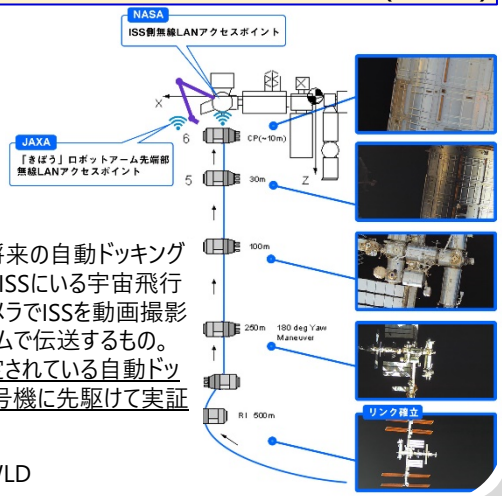


出典：
http://www.nakashimada.co.jp/news/press2020001.html

「FREEDOM」
2017年1月に「きぼう」より放出し、ミッション成功

将来探査につながる技術開発事例：ドッキングモニタ映像のWLAN伝送軌道上実証ミッション成功(世界初)

- 2020年5月、HTV9がキャプチャに向けてISS下方よりISSに接近するフェーズにおいて、HTV9に搭載したカメラの映像を、WLAN(無線LAN)を用いてISSに伝送することに成功。宇宙機間での無線LANでの伝送の成功は世界初。
- この実証実験ワイルド(WLD*)は、将来の自動ドッキング技術獲得に向け、宇宙機の状況をISSにいる宇宙飛行士が把握するため、宇宙機搭載カメラでISSを動画撮影し、無線LANを用いISSにリアルタイムで伝送するもの。
- 本システムは、HTV-X 2号機で予定されている自動ドッキング実験に必要な技術であり、2号機に先駆けて実証に成功。



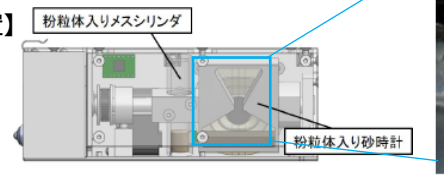
*Wireless LAN Demonstration:WLD

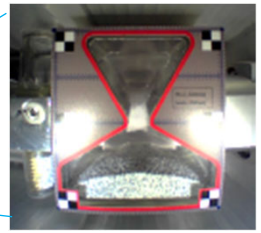
将来探査につながる技術開発事例：惑星表面の重力依存性調査(Hourglass)

- 「きぼう」の人工重力発生装置上に惑星の模擬砂等粉粒体が入った砂時計型、及び、メスシリンダ型の実験装置を搭載し、低重力が粉粒体の特性に及ぼす影響を調査(2019年度に軌道上実験を開始)。
- 天体成長過程に対する理解への貢献、月・惑星の土質力学やTerramechanics（*）構築に向けた基礎データの提供、将来の着陸機や探査ローバ、月面拠点の自動建設機械などの設計に必要なシミュレーションパラメータの取得等が期待される。

*：オフロード、不整地面における機械性能と地表との力学的な相互関係の研究。

【実験装置】





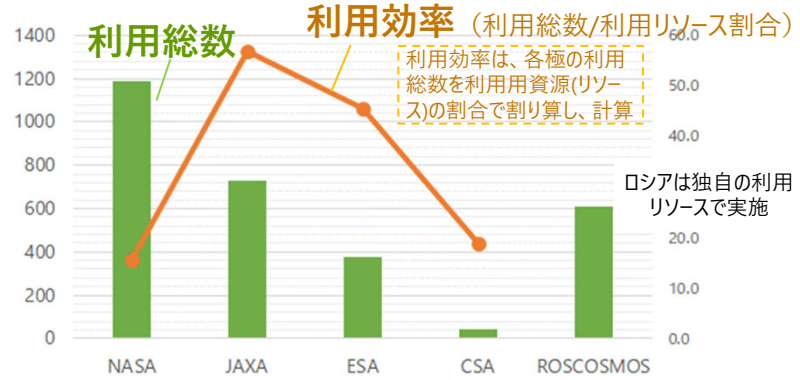
別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

３．宇宙実験の成果（例）

上記の利用成果をISS参加国で最も効率よく創出

ISS利用統計情報を分析した利用総数と利用効率の分析結果

日本はISSパートナー中最も効率よく利用を創出。利用総数はNASAに次ぐ2位であり、多くの利用を創出しているとともに、利用効率（利用リソースあたりの総利用数）は5極中1位。



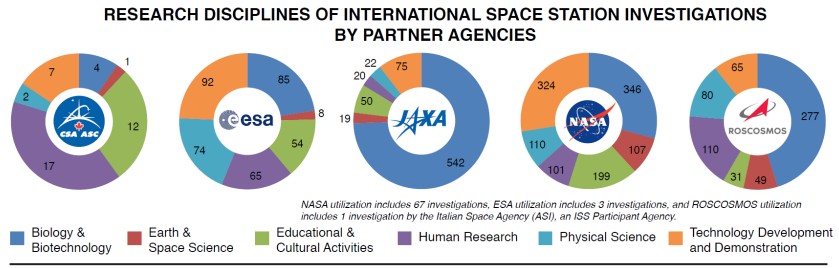
(※イタリア宇宙機関（ASI）による件数は、NASAに67件、ESAに3件、ROSCOSMOSに1件含まれる)。

(参考）利用用資源（リソース）

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

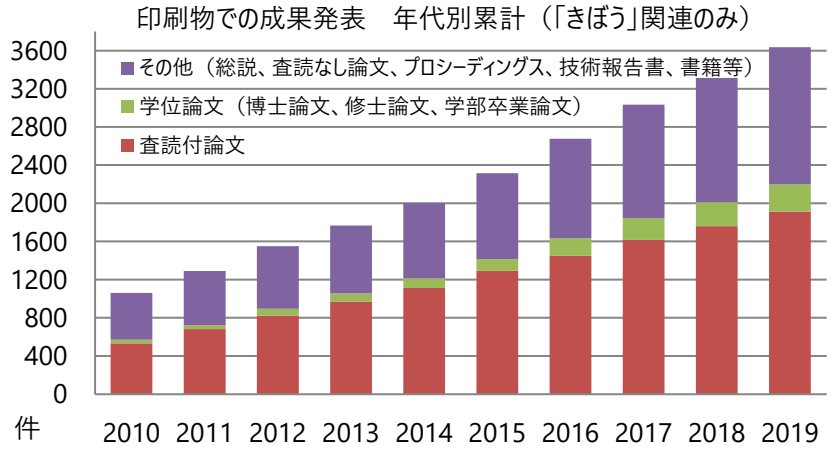
- 参加各極は、下図割合で利用用資源（電力、クルータイム）の配分を受ける(MOU第8条3.b、3.c)
- 同様に、下図割合で利用用の輸送能力・通信能力を取得する権利を有する(MOU第8条3.d)

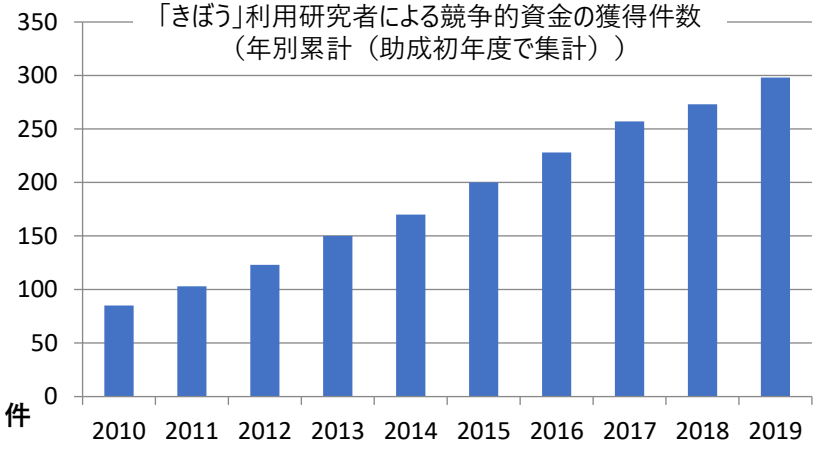
(参考）利用総数(各極比較）　出典：ISS Utilization Statistics Expeditions 0-60, Oct.,2019



「きぼう」に関連する学術的成果

2019年までの累計で、1,900件を超える査読付き論文が発表されている。また、関連する外部資金獲得件数も伸びている。





別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

4．産業振興の成果（例）

ISS計画で習得した技術が海外受注につながった例

- **ソフトウェアの安全評価技術（IV&V）が航空機や自動車開発に活用**
  ～安心・信頼性向上への貢献～

  - **宇宙産業：**
    JAXAは、IV&V技術をH-IIA/H-IIB/イプシロンのロケット及び衛星のソフトウエアにも適用し、開発手戻りの低減、運用段階での高い信頼性・安全性の確保を実現した。
  - **地上産業：**
    宇宙分野で培ったIV&V技術が、航空機業界や自動車業界に展開され活用されている。また、ＪＡＸＡのIV&V技術解説書は、ガイドブック及びハンドブックとして産業界に配付され、多くの業界で使用されている。更に、経済産業省の「製品・システムにおけるソフトウェアの信頼性・安全性等に関する品質説明力強化のための制度構築ガイドライン」に繋がり、産業界における高信頼ソフトウェアの検証・評価のルール作りに貢献。

- **国際宇宙ステーション用リチウムイオン電池**
  - 株式会社GSユアサの100%出資会社GSユアサリチウムパワー社は国際宇宙ステーション用のリチウムイオン電池を受注した。
  - 同電池は、H-IIBロケットや人工衛星、HTVで開発された宇宙用リチウムイオン電池の同等品で、現在ISSに使用されているニッケル水素電池と比べ質量・体積ともに約3倍の高エネルギー密度を実現している。
  - 高い信頼性とISSの厳しい安全要求を満たした大容量(200Ah)リチウムイオン電池の「こうのとり」での実証実績は、本電池を受注することにつながった。

宇宙用リチウムイオン電池

- **「こうのとり」の近傍接近システム（通信装置）**
  - 三菱電機が「こうのとり」用に開発した安全にISSにドッキングさせるための近傍通信システムが、米オービタルサイエンス社の宇宙貨物輸送機「シグナス」に採用。
  - 受注総額は約60億円（6,600万米国ドル）で、2010年から2017年にかけて9機分を順次納入した。

ISS下方に接近した
シグナス補給船運用1号機
(出典: JAXA/NASA)

- **米国民間輸送機（シグナス）のランデブー運用支援**
  - HTVで開発したランデブ・キャプチャー技術は、ISSに併進しながら徐々に接近し、距離10mの真下からゆっくりと上昇し、ISSのロボットアームによって捕獲する技術。従来の方式と比べてISSへの衝突の危険性が低く、安全性が高い。
  - 「こうのとり」1号機の成果を受け、米国の民間ISS補給機「シグナス」や「ドラゴン」のドッキング方式に採用され、JAXAはシグナス運用の訓練やオペレーション支援を受託。また、安全評価の支援作業を行った（2017年で完了）

- **「こうのとり」のスラスタ**
  - IHIエアロスペースは、HTV3号機以降に搭載する500Nスラスタ(HBT-5)と120N RCSスラスタ(HBT-1)を開発。国産初のモノメチルヒドラジンを燃料とするスラスタで、従来の輸入スラスタと比較し幅広い作動範囲で熱安定性を達成するなど、運用性を向上させた。
  - JAXAとのスラスタ開発をもとに開発した静止軌道投入用の500Nの推力を有するスラスタは、世界最高性能の燃費を誇り、80台の輸出実績と72台の打上げ実績を持つ。海外顧客からも高い評価を得ている。

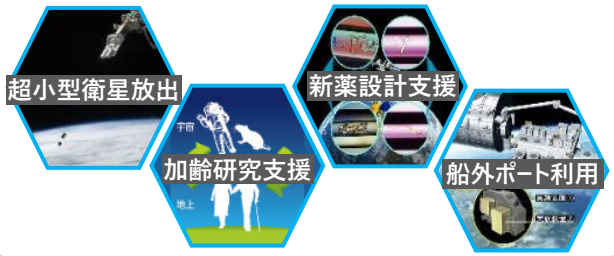
別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

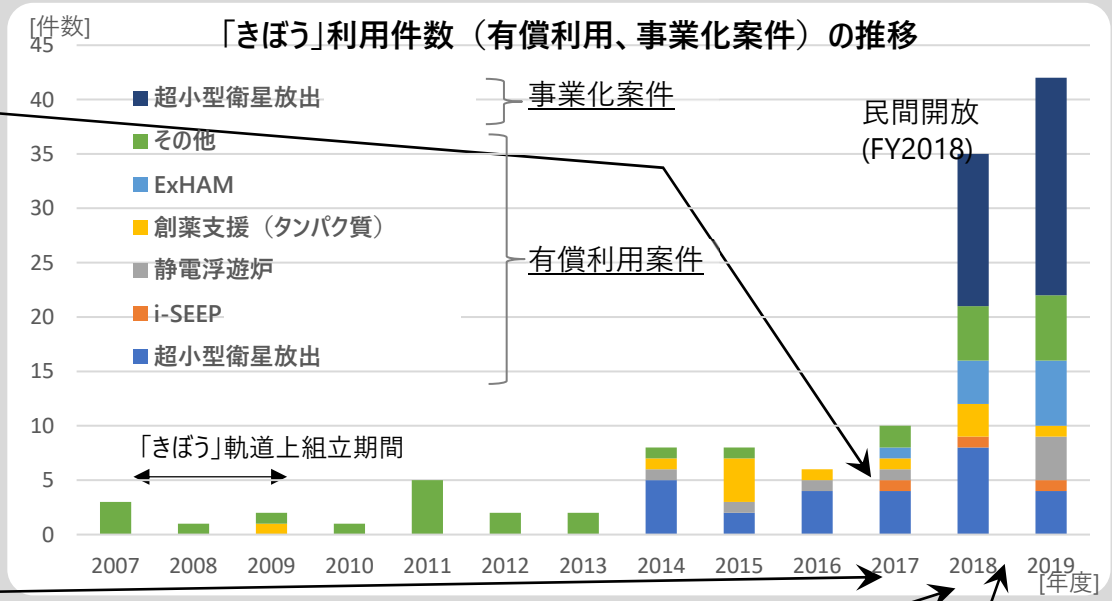
4. 産業振興の成果（例）

利用サービスの定型化を進め、民間が低価格で研究開発に参加できる仕組みを設定

「きぼう」利用成果最大化を目指した「きぼう」利用戦略策定(2017.1)

４つの分野に重点化するとともに、「きぼう」利用が目指す2024年までの姿、2020年までの目標とその具体的取組等をまとめ、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。





九工大との超小型衛星放出に係る連携協定(2017.4)

人材育成能力と、超小型衛星開発能力・経験を持つ大学と、JAXAの持つユニークな超小型衛星放出能力、安価・定期的な放出機会を組み合わせた連携協定を締結。海外ニーズを取り込む。

大学の人材育成も組み合わせた衛星開発

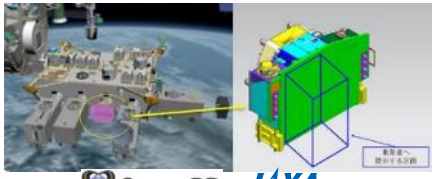
市場形成が見込める利用事業の民間移管を実施

- 「きぼう」からの超小型衛星放出サービス事業者として、Space BD株式会社、三井物産株式会社を選定。
- 「きぼう」の船外プラットフォームにおける軌道上利用サービスを提供する事業者について、Space BD株式会社を選定。

超小型衛星放出事業の民間開放(2018.5)

Space BD　JAXA　MITSUI&CO.

「きぼう」軌道上利用サービス提供事業者との基本協定書の締結(2019.3)



Space BD　JAXA

- 船外ポート利用事業（Space BD(株)）：スペインのベンチャー企業に契約後約1年で実証機会を提供、実現し、早期実証へのビジネス需要に貢献。
- 超小型衛星放出事業（Space BD(株)、三井物産エアロスペース(株)）：2018年度の事業化から2年で当初計画の3倍を超える34機の受注を獲得し、JAXAの支援と民間ならではのネットワーク、フットワークがシナジーを発揮し事業が定着化。

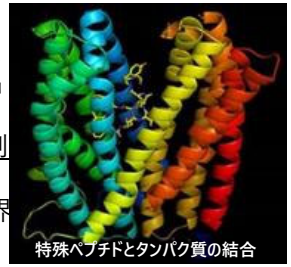
別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

4. 産業振興の成果（例）

有償利用の仕組みを構築し、民間による事業化を促進

創薬ベンチャー企業（ペプチドリーム社）との有償利用契約

創薬ベンチャーのペプチドリーム社(※)との間で、戦略的なパートナーシップ契約(複数年、複数回)を締結し、微小重力環境を利用して、地上では得られない高品質のタンパク質結成を生成。地上にてX線結晶構造解析した結果、がんに関わる標的タンパク質と阻害剤の化合物とが極めてユニークな結合様式であることが判明するなど創薬開発に役立てている。日本発・世界初の医薬品創成の早期実現が期待される。


特殊ペプチドとタンパク質の結合

※ペプチドリーム社：社会的インパクトのある新事業を創出したベンチャー経営者を表彰する第2回ベンチャー大賞（内閣総理大臣省：経産省主催）を受賞した有力創薬ベンチャー企業

PeptiDream

ヤクルト社との免疫機能及び腸内環境に及ぼす効果に係る共同研究

- 免疫機能維持のメカニズムを応用して、地上での乳酸菌商品の改良・効果改善し、人々の健康増進に貢献。
- 宇宙用の乳酸菌長期保存技術により、地上のストレス環境下（災害時、高山、深海等）向けの商品を開発。
- 宇宙飛行士の健康（腸内環境・免疫機能等）やパフォーマンスを維持・向上する機能性宇宙食の開発

Yakult

JAXA

船外実験プラットフォームでの有償利用契約

- 「きぼう」船外実験プラットフォームに搭載されるiSIM(*）のSpace BD社からJAXAへの引渡しを実施。iSIMはスペインの宇宙ベンチャー（Satlantis社）が開発した超小型衛星用地球観測カメラで、船外実験プラットフォームで技術実証を行う。*：Integrated Standard Imager for Microsatellites
- 契約後約1年の短期間でHTV9での打上げ準備を整え、早期実証へのビジネス需要に貢献している。
- カメラ実証実験開始にあたっては、スペイン国王からメッセージが寄せられた。

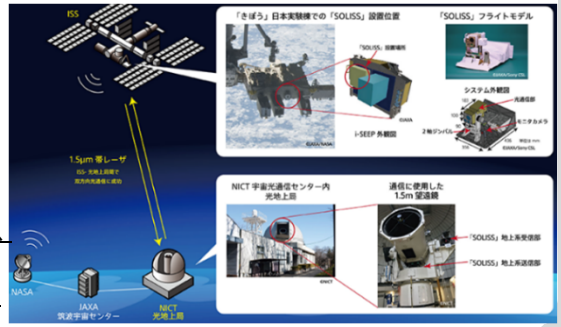
SATLANTIS社
小型衛星向け双眼カメラ

軌道上実証開始前のスペイン国王からISSへのVIPコールの様子

JAXA・NICT・ソニーCSLによる長距離空間光通信軌道上実証

NICTと(株)ソニーコンピュータサイエンス研究所(CSL)は、「きぼう」に設置した小型光通信実験装置「SOLISS」(Small Optical Link for International Space Station)は、情報通信研究機構（NICT）の宇宙光通信地上局との間で双方向光通信リンクを確立し、Ethernet経由での高精細度(HD)画像データ伝送に成功。小型衛星搭載用の光通信機器としてEthernetによる通信を実現した世界初の事例。

JAXAの有償利用制度を通じ、「こうのとり」8号機で打ち上げ、「きぼう」の中型曝露実験アダプター(i-SEEP)に設置。JAXAの迅速な対応に加え、「きぼう」利用の機会があったことで、より短期、低廉に実証が出来たことに高い評価が示され、令和元年度の宇宙開発利用大賞（総理大臣賞）を受賞。

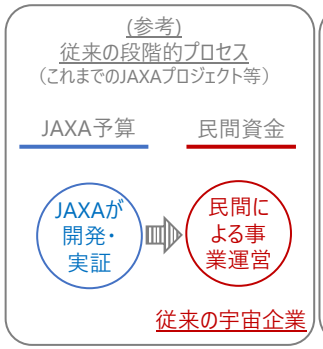


別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

4. 産業振興の成果（例）

宇宙イノベーションパートナーシップ（J-SPARC）における地球低軌道事業共創（J-SPARC/LEO）
ISS計画参画で培った技術や人材・ノウハウを活用し、新たな民間事業を共創する。

- 宇宙産業ビジョン2030や、パートナーシップ型による宇宙ベンチャー育成に対する政府の期待に対し、2018年5月に、J-SPARCを始動。
- LEO有人分野では、同年6月8日に事業共創機会のお知らせを発出。各事業アイデア提案に対し、対話を通じ事業性・共創性を評価し、一部次ステップへの移行を推進。
- 本活動では、JAXAの幅広い技術と人脈を活用し、新たなアイデア、技術を保有する人・企業をつなげ、「きぼう」を利用した今までにない新たな利用価値・事業価値の創出を目指している。
- JAXA新事業促進部が、JAXA外に対するワンストップ窓口・プロデューサーとなり、ISS計画で培った有人宇宙技術部門の知識・経験・技術・人材等を活用し、事業性の実現性を高める。



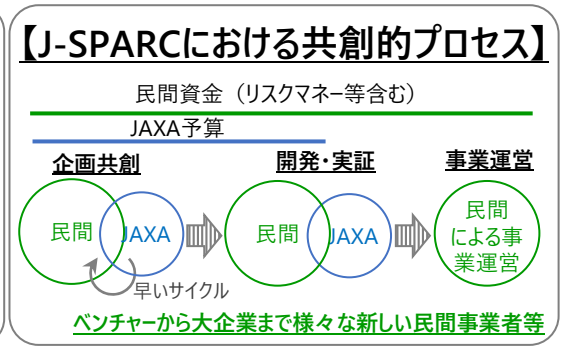
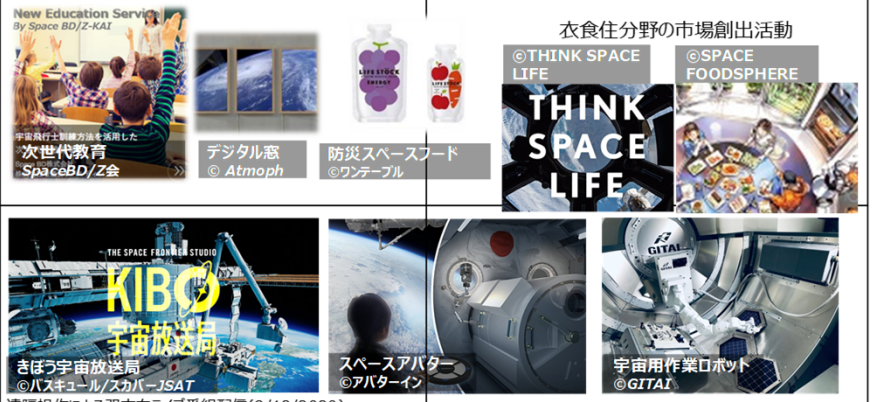


表　進行中の案件例
(本分野だけで、50件以上の事業提案あり。対話を通して、複数の事業アイデアを検討中)

サービス創出エリア	サービス提供・利用エリア：地上	サービス提供・利用エリア：宇宙
地上	Ⅰ：地上で創り、地上でサービス提供	Ⅱ：地上で創り、宇宙へサービス提供
宇宙	Ⅲ：宇宙で創り、地上へサービス提供	Ⅳ：宇宙で創り、宇宙でサービス提供



遠隔操作による双方向ライブ番組配信(8/12/2020)

「KIBO宇宙放送局」 バスキュール×スカパーJSAT×JAXA
(株)バスキュール、スカパーJSAT(株)と、「宇宙メディア事業」の創出に向けて活動開始。軌道上の「きぼう」にスタジオを開設し、東京の地上スタジオから軌道上機器を遠隔操作し、世界初の対面型リアルタイム双方向通信放送システムを構築し、2020年8月に第1回放送に成功。

「次世代型教育」 Space BD× Z 会グループ×JAXA
非認知スキルを一層重視する2021年度以降の文部科学省学習指導要領への改訂を見据え、Space BD(株) 、(株)増進会ホールディングス(Z 会グループ)と、本分野における学校・企業における育成市場確立を目指す。

「防災スペースフード」 ワンテーブル×JAXA
被災地と宇宙に共通する食の課題やニーズを抽出し、双方のノウハウを組み合わせ災害時でも宇宙でも活用できる食の新カテゴリー「BOSAI SPACE FOOD」(BSF)の開発、事業化を目指す。

「宇宙用作業ロボット」 GITAI Japan社×JAXA
民間ロボット技術による自律化・自動化事業向け、早期に技術実証を実施を目指す。そして、ISS及びその先の活動を見据え、宇宙用ロボットが提供する新たなサービスの検討を進める。

別紙３　国際宇宙ステーション計画への参画を通じて得られた成果（つづき）

5. 青少年育成、アウトリーチ（例）

将来の我が国を支える科学技術人材の育成に貢献

- 「大人になったらなりたいもの」に宇宙飛行士が9位にランクイン（2015第一生命保険調べ）
- 小中学校の理科・国語教科書への掲載
- 写真・映像の利用申請：1800件（FY30）
- TV放映：約420件、Web・新聞への掲載：約770件（H30）
- 地上と軌道上宇宙飛行士とを繋いだ交信イベント：77回（H21～30）
- 宇宙飛行士講演活動：289回、約18万人参加（H21～30）

日本人宇宙飛行士との交流

アジア諸国を対象とした公募型簡易実験（Asian Try Zero-G）の様子

「きぼう」完成、「こうのとり」初号機打ち上げ10周年 ～10年間の成果を振り返る～

「きぼう」完成と「こうのとり」初号機打ち上げ10周年の機会を活用し、これまでの成果と今後における地球低軌道利用の方向性についてシンポジウム（有楽町ヒューリックホール）を開催。675名のお客様に来場いただくとともに、YouTube、Twitterでの配信には100万件以上のアクセスを頂いた。
(【参考】HTV8打上げ中継のアクセス数は約15万件)。
ISS全極参加による式典（筑波宇宙センター）も実施。NHK等テレビ、新聞、Webにおいて、地球低軌道での利用継続の必要性を扱う話題が多数取り上げられた。

一般向けシンポジウムの様子

ISS各主要関係機関の代表者全員による記念撮影

第60次長期滞在クルーからのメッセージ

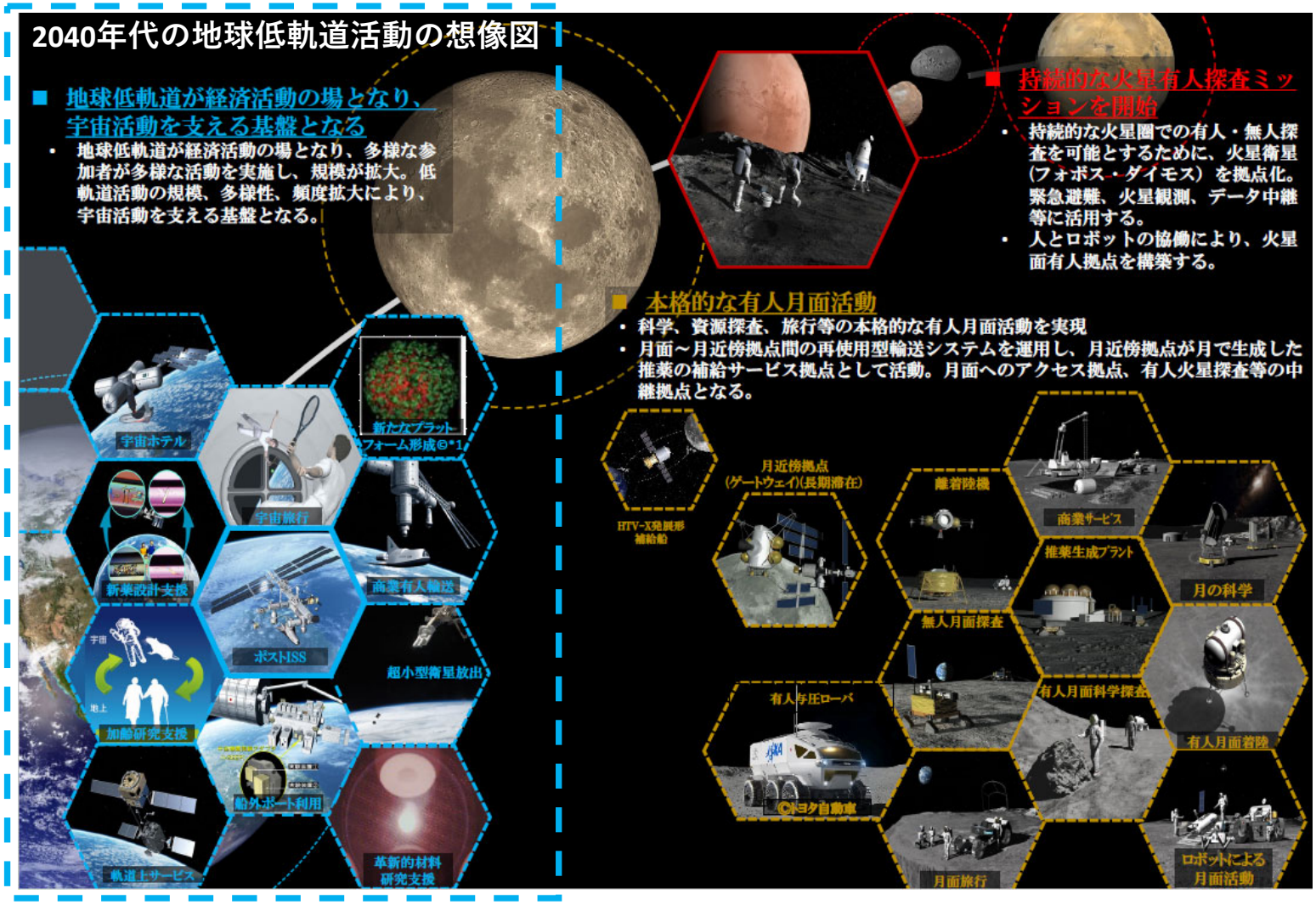
別紙4　JAXA有人宇宙技術部門長期ビジョン　抜粋

別紙４．JAXA有人宇宙技術部門長期ビジョン（2040年代の実現を目指す大目標）

【大目標】2040年代、低軌道が「持続的な社会・経済活動の場」・「探査活動を支える基盤」となること

【目指すべき姿】2040年代に日本の官・民・学の多様なプレイヤーが、地球低軌道で、持続的かつ障害なく自在に活動する姿

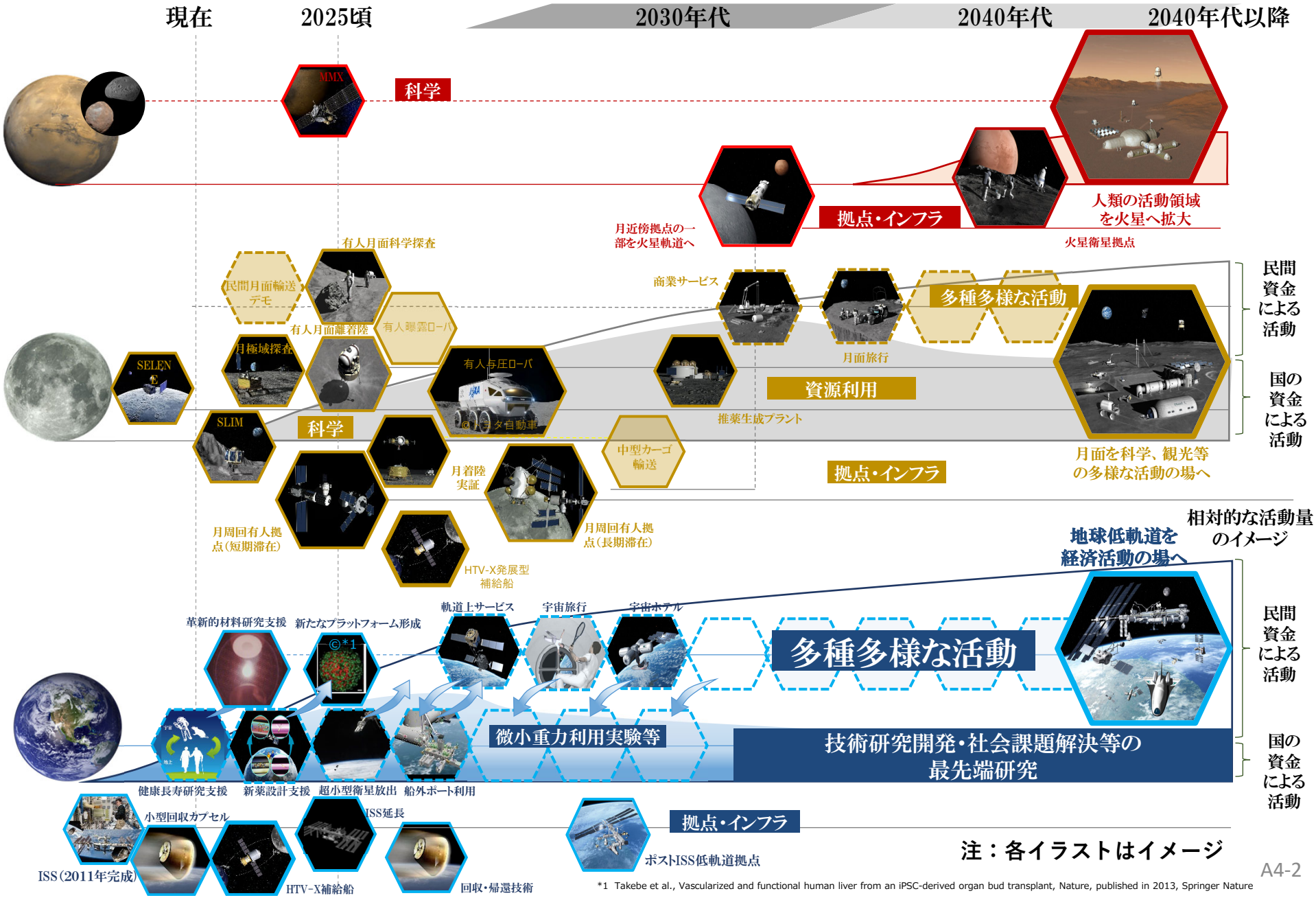
✓ 科学研究利用（主として国・大学）・技術開発利用（主としてJAXA・大学・企業）・商業的利用（主として民間企業）の需要に応じた利用サービスが、民間企業により持続的に供給される状態



注：低軌道活動以外の部分は参考。各イラストはイメージ。

*1 Takebe et al., Vascularized and functional human liver from an iPSC-derived organ bud transplant, Nature, published in 2013, Springer Nature

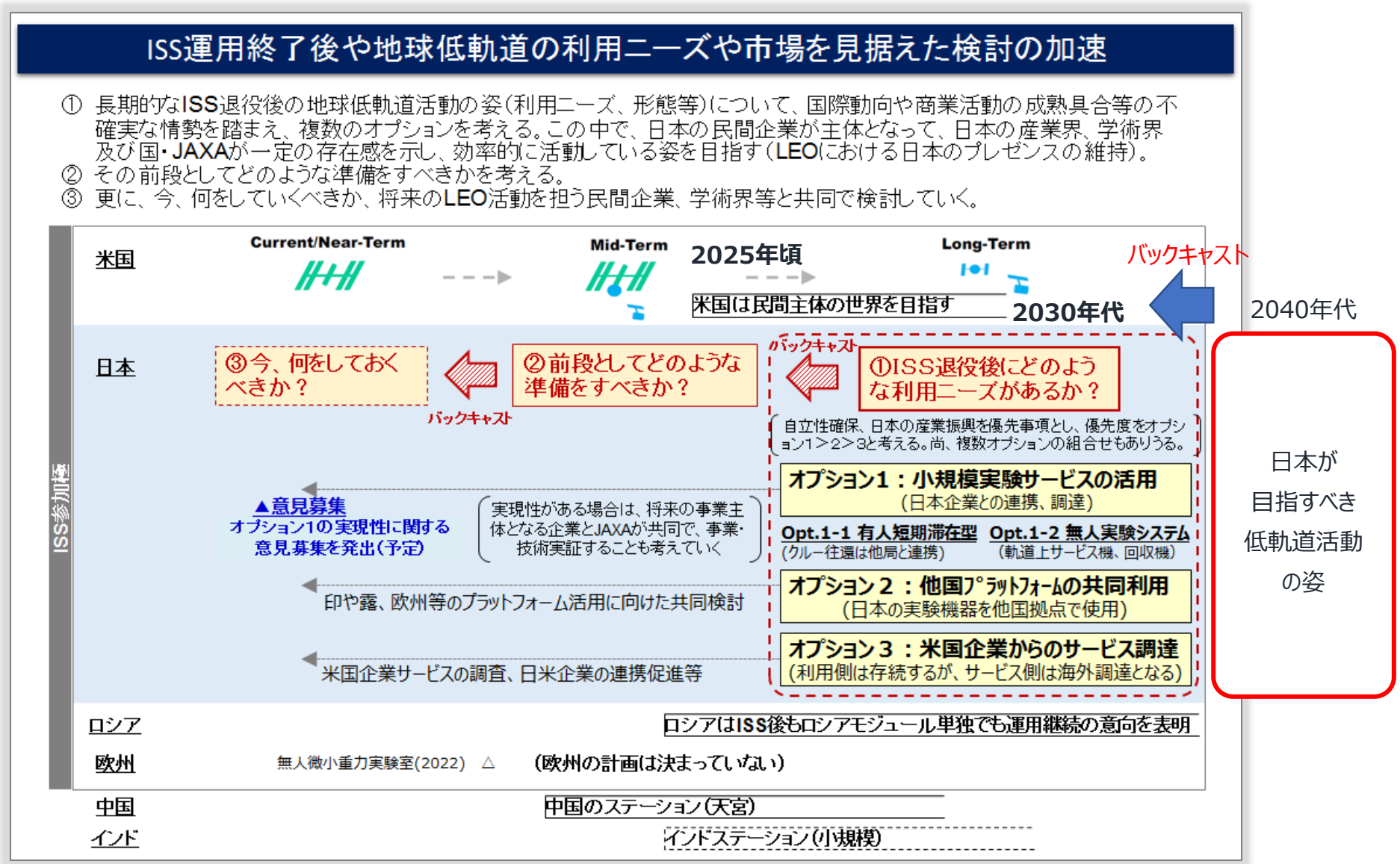
別紙４．JAXA有人宇宙技術部門長期ビジョン（年表）



*1 Takebe et al., Vascularized and functional human liver from an iPSC-derived organ bud transplant, Nature, published in 2013, Springer Nature

別紙５　2025年以降の活動の検討のアプローチ（補足）

延長後（2025年~2030年頃）のISSでの活動の在り方は、2040年以降の地球低軌道活動で目指すべき姿からのバックキャストにて検討する（この考え方は、第31回ISS・国際宇宙探査小委員会（2019/8/26）で、以下のスライドでも提示している）。



LEOを経済活動の場とするために必要な技術のバックキャストのイメージ

国際宇宙探査で必要とされる技術への適用

①**深宇宙補給技術**⇒ランデブ・ドッキング技術、推薬充填技術、拠点構築等
②**有人宇宙滞在技術**⇒生命維持・環境制御、宇宙飛行士の健康管理・訓練等
③**重力天体離着陸技術**⇒1/6G実験(レゴリス挙動)、距離計測センサの実証等
④**重力天体表面探査技術**⇒ 1/6G実験(レゴリス挙動)、事前実証(放射線耐性)

目標（2040年代）

宇宙旅行を可能とする滞在拠点　宇宙環境利用（自動化）

- 低軌道有人滞在拠点
- 低軌道無人実験拠点
- 低軌道実験プラットフォーム
- 有人宇宙船

バックキャスト

2030年代　2025～30年頃　2024年まで　実績

LEOから探査につながる技術の矢印

有人宇宙滞在技術

GW・月面探査での生命維持・環境制御へ
GW・月面滞飛行士へ

ECLSS（完全再生）
更なる長期滞在
Post ISS
きぼう
ECLSS（実証）
長期滞在
きぼう

拠点技術

月面探査での拠点構築・推薬充填へ

きぼう運用
技術実証（拠点構築・高速通信）
Post ISS
きぼう
きぼう運用
技術実証（拠点構築・高速通信）
きぼう

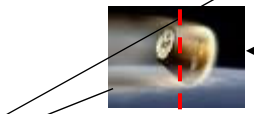
運用・利用技術

Post ISS（低軌道無人実験拠点）
月面探査向け1/6G事前検証
GW・月面探査無人フェーズの自動化へ
技術実証（無人環境利用）
きぼう
きぼう運用・利用
きぼうリノベ（Partial G環境利用）
技術導入
きぼう
技術実証（自動化）
はやぶさ/はやぶさ２
民生技術（例）©ファナック

Post ISS（無人実験環境ﾌﾟﾗｯﾄﾌｫｰﾑ）

輸送技術

GW補給へ



軌道間輸送・廃棄
回収
軌道間輸送
Post ISS（無人実験環境ﾌﾟﾗｯﾄﾌｫｰﾑ）
自動ドッキング実証
こうのとり
HTV-X
誘導制御技術、高頻度化などの発展
小型回収カプセル
超小型/小型回収カプセル等による技術確立
大型回収カプセル
帰還

航空機

技術継承
有人輸送
有人輸送実証
民間による有人輸送開発（サブオービタル）
©Lockheed Martin

※本手法により技術ロードマップを策定中

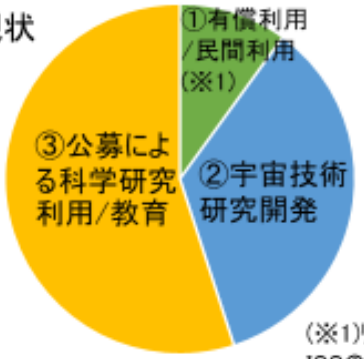
別紙６　地球低軌道利用のポートフォリオ（補足）

国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会（第32回）資料32-2の抜粋に一部追記

「きぼう」利用の2025年以降の進め方（運用継続の場合）

「きぼう」利用のポートフォリオ（クルータイムベース）

現状



2025以降（目標）

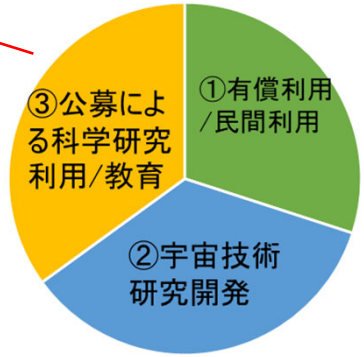
科学研究利用、宇宙技術研究開発主体から有償利用（民間利用）を拡大し、産学官のバランスが取れたポートフォリオへ

2030以降

（ポストISSで目指す姿）
新たな利用需要の創出

民間による自立的な運営がなされ、様々な利用領域でサービス調達が開始されている。

（※1）リソース料（打上げ・回収、宇宙飛行士作業）、実験準備に係る実費ベース。減免措置あり。
ISSの維持経費は含まない。



バランスの取れたポートフォリオにて活動を実施

注：図示した割合はバランスの取れた利用配分の一例であり、今後の配分割合を示したものではない。

変革の方向性（JAXA案）

【サービス供給側】

先行している超小型衛星放出事業、船外実験サービス提供事業に加え、2025年までに利用領域毎に利用を取りまとめる民間企業を育て、民間事業者から利用者がサービス調達を行うことができるようシフトしていく。また、非研究開発目的の利用（映像コンテンツ制作や配信、短期宇宙旅行の付加価値サービス等）についても促進していく。

【サービス需要側】

①民間投資を呼び込み、有償利用の拡大（身近な研究・実証の場へ）

②Gateway、月面、火星探査と徐々に人類の活動領域が拡大することに伴い、ISSは新たな使命を得て、その必要性が更に高まっていく。ISSを宇宙環境における事前検証の場として更に活用する。

③国際的な競争力を有する利用技術を伸ばし、先端科学や人材育成の実践の場として活用する。

23