

付録4

今後のISS利用の取り組み方

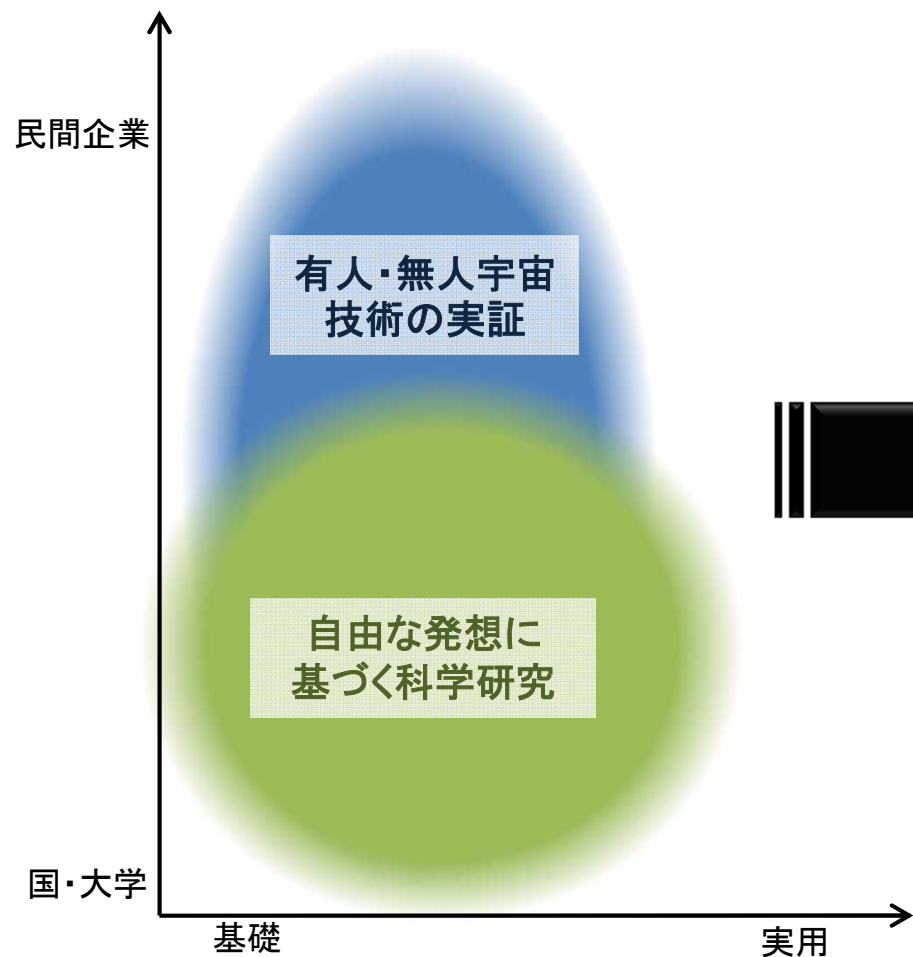
「きぼう」利用のポートフォリオの考え方

これまで

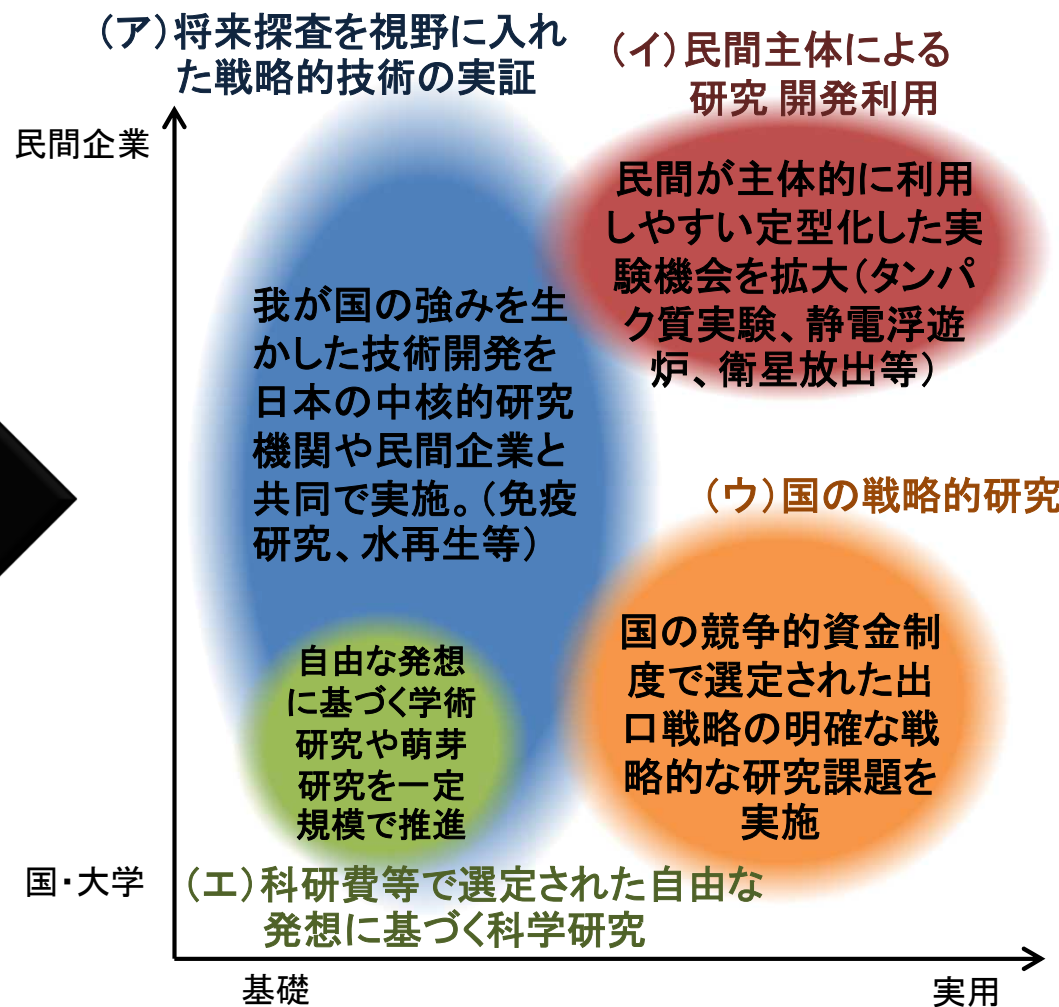
- 有人輸送を除き、地球低軌道において自律的に有人宇宙活動を行うための主要な技術を獲得・実証
- 幅広い分野で、研究者等の自由な発想に基づく提案(ボトムアップによる募集)を中心に利用テーマを選定し、実験を実施。

これから

- 「(ア) 将来探査を視野に入れた戦略的技術の実証」に一定程度の実験機会を確保した上で、
- 「(イ) 民間主体による研究開発利用」、「(ウ) 国の戦略的研究」、「(エ) 自由な発想に基づく科学研究」の優先順位で実験機会を確保する。



「きぼう」利用ポートフォリオ



「きぼう」利用ポートフォリオ

「きぼう」の利用制度イメージ（これまで）

① 自由な発想に基づく科学研究

（無償機会提供、成果共有・公開）

- ・生命科学（ヒト対象を含む）
- ・物質、材料、流体、燃焼科学研究
- ・宇宙観測、地球観測、先端技術実証（船外利用）
- ・タンパク質結晶生成

③ 有人・無人宇宙技術の習得

（JAXAを中心とした利用）

- ・ISSでの宇宙実験技術の開発
- ・きぼうシステムの高度化・運用効率化につながる技術
- ・宇宙医学研究 等

民間による有償利用

（有償、成果専有・非公開）

映像収録、記念品打上・回収等の実績あり

JAXAで技術的実現性を確認

軌道上リソースの範囲で受け付け・実施

教育等

（無償機会、成果共有・公開）

・教育実験

適宜JAXAで選定

適宜募集

幅広い分野のテーマから
JAXA（外部諮問委員会）が選定

（宇宙環境利用の効果や学術的意義の高い研究を実施）

基礎科学実験
テーマ募集

タンパク実験
サンプル募集

船外利用ミ
ッション募集

課題に応じて民間企業と
連携して実施

企画提案

登録有償利用
事業者

企画提案
（実験企画を
立案し応募）

実験提案
（研究資金を
自ら確保し
公募に応募）

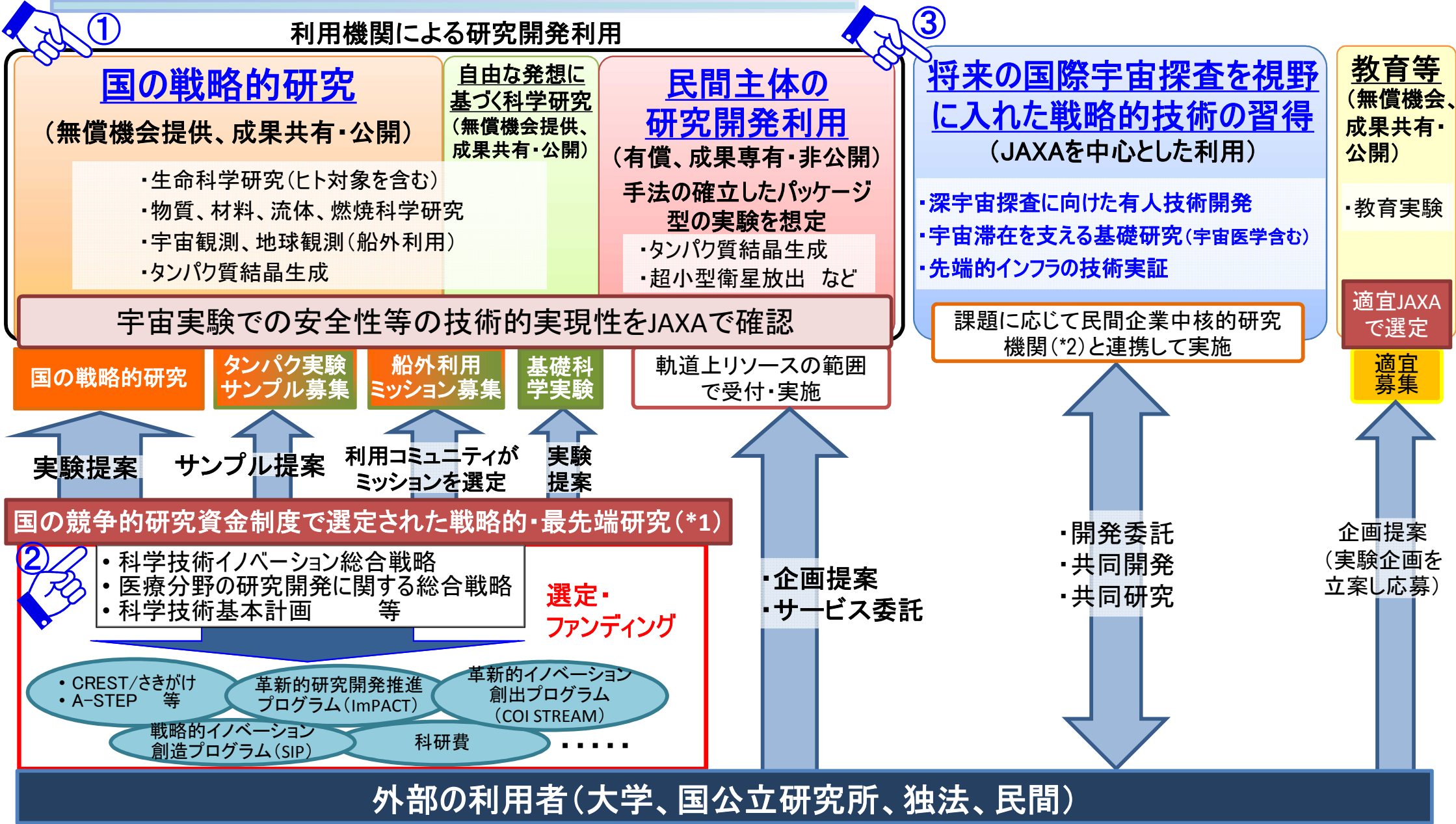
サンプル提案
（実験サンプル
を自ら用意し
公募に応募）

企画提案
（研究開発
企画を立案
し応募）

・開発委託
・共同開発
・共同研究

外部の利用者（大学、国公立研究所、独法、民間）

「きぼう」の利用制度イメージ（これから）



(*1)「きぼう」の強みを活かせる戦略的・最先端研究例 (調整中)

- ・インフルエンザの治療薬や抗がん剤等、国の政策に沿う革新的な創薬研究機関
- ・エピゲノム比較による疾患解析を行っている大学・研究機関
- ・構造生命科学関連の大学・研究機関 等

(*2) 中核的研究機関のねらいどころ (調整中)

- ・老年医学関連の研究機関
- ・高齢医療の研究部門や専門病院を持つ大学 等

今後の「きぼう」利用の方向性と取り組み方

これまでに築いてきたもの

① 有人・無人宇宙技術の習得と産業振興

- 「きぼう」「こうのとり」の開発・運用
 - 日本人宇宙飛行士の活動 (ISS船長輩出)
- ⇒ ・基本的な有人・無人宇宙技術を獲得
・参加企業による技術・製品の輸出やスピノフ

② 科学研究利用のすそ野拡大、実験技術獲得

- 広く公募・選定し、研究テーマを実施
 - 装置開発、宇宙実験技術やノウハウを蓄積
- ⇒ ・学術的成果の獲得、宇宙環境が有効な分野の識別
・タンパク質結晶生成等の独自の実験技術を獲得

③ 民間需要の発掘

- 民間が参加できる利用方法の実証・確立
(タンパク質実験、小型衛星放出、有償利用制度)
- ⇒ ・本格的民間参入に向けた基盤を構築

④ ISS計画参加による国際的プレゼンスの確立

- 着実な開発・運用を通じて、ISS計画に貢献
 - アジア唯一のISS参加国として利用を推進 (教育実験等)
- ⇒ ・信頼される国際パートナーとしての地位確立
・アジア各国との利用協力の基盤の形成

取り組み方の見直し

① 将来の国際宇宙探査を視野に入れた戦略的技術の習得と産業競争力の強化

- 深宇宙探査技術、先端インフラ技術を実証
 - 米国との統合運用・長期有人運用の知見を蓄積
- ⇒ ・我が国の「強み」となる宇宙技術を獲得
・最先端の技術による企業の競争力の向上

② 国の戦略的な研究開発への重点化

- 研究開発プラットフォームとして、国の戦略に沿う最先端研究に宇宙実験機会を提供
 - 最先端研究を支える実験技術を向上、高度化
- ⇒ ・国の課題解決に繋がる成果の創出に貢献

③ 民間の「きぼう」利用を充実・本格化

- 民間が参加しやすい有償利用制度の導入
(研究成果占有型の利用、トライアルユース等)
 - 民間のニーズを踏まえた利用メニューの充実
- ⇒ ・民間の研究開発活動への貢献

④ ISS計画で得た国際的プレゼンスの積極活用

- ISS参加国を中心に行われる宇宙探査等の国際的取り組みにおける枠組み・ルール・技術標準作りの検討を先導
 - アジア各国の状況に応じた有効な「きぼう」利用協力の推進
- ⇒ ・宇宙探査等の国際的取り組みにおける主導的地位の形成

総合的な成果の最大化

1-1. 有人・無人の宇宙技術の習得と宇宙産業の振興

◆ 現状認識

- ISS計画への参画および「きぼう」「こうのとり」の開発・運用を通じて、有人輸送を除き、地球低軌道において自律的に有人宇宙活動を行うための主要な技術を獲得・実証した。それにより、国際的な地位を確立するとともに、獲得した固有の技術をもって企業がビジネス展開するまでに至っている。
(「きぼう」の開発・運用には約650社、「こうのとり」の開発・運用には約400社の日本企業が参画)
- しかし、「きぼう」の運用は開始から6年を経過したところで、有人滞在インフラとして、長期間にわたって維持するための技術が確立できたとは言い難い。今後、構造の強度・寿命の評価や電力・通信・排熱等の機能の維持、汚物処理・細菌除去等の衛生環境維持など、運用・保守管理面の技術を確立していく必要がある。
(現在までに、「きぼう」の運用には約380社、利用には約350社、「こうのとり」の運用には約220社の日本企業が参画)
- また、今後国際協力で進められる地球周回以遠への有人探査活動を拓いていくためには、生命維持・医学・健康管理などの様々な面で、長期間の宇宙飛行に係る技術的なハードルを越えるための革新的ステップアップが必要である。
 - 地球磁気圏外の厳しい宇宙放射線環境からの防護
 - 地上からの支援が限られるなかで、より自立的な運用、医療・健康管理、生命維持機能(水・空気など)の維持
 - 長期閉鎖環境における飛行士の精神心理対策 など
- 一方、ISS計画の枠組みは、国際協力で進められる探査活動の枠組みの基礎となることが想定されており、探査計画に向けた技術的な検討の主要な部分が、ISS計画参加国間で調整されている。
 - 地球-月ラグランジュ点への拠点構築構想の技術検討、ドッキング機構の国際標準仕様の作成、国際間の技術ベンチマーキングと目標の設定 など

1-2. 将来の国際宇宙探査を視野に入れた戦略的な技術の習得と産業の競争力強化 (1/3)

(1) これからの進め方について

- ① 日本が国際協働の探査計画において、これまでに確立したプレゼンスを依然として発揮しつづけるためには、次の目標設定が重要である。
 - 「きぼう」の運用継続により、有人宇宙機の長期の統合運用に係るデータ・ノウハウを蓄積し、高信頼性の運用技術を確立すること
 - 「きぼう」「こうのとり」で実証した技術を土台に、次の構想につなげ、日本の強みを活かす革新的な技術を国際協働の舞台に提示していくこと
 - ISS計画における様々な機会を活用して、主要国間で行われる技術的検討・調整の場面で存在感を示し続けること
- ② これにより、本計画に参加する民間企業が、これらのデータを次世代の宇宙機や探査に関わる技術の開発に活用するとともに、獲得した新たな最先端技術をもって国際的なビジネスを展開することが期待される。

(2) 具体的な方策について

① 国際協働による有人システムにおける長期有人オペレーション技術の習得と継承

- 「きぼう」の継続的運用を通じて、米国運用管制と協調した有人システム統合運用における緊急時即応能力の向上や、有人宇宙機特有の長期技術データを蓄積し、世界でも数か国しか持ちえない、有人宇宙システムの維持管理・運用に係るノウハウの獲得を図る。
- また、開発・運用上の安全を評価・管理する能力を高め、安全評価の権限の範囲を拡大していく(NASAからの委譲範囲を拡大)。
- これらを担う技術者・運用者の能力を次世代に継承し、「国際協働による宇宙探査」を担う国際的な交渉・調整力を有する人材・運用能力を確保する。

(次ページへ続く)

1-2. 将来の国際宇宙探査を視野に入れた戦略的な技術の習得と産業の競争力強化 (2/3)

(2) 具体的な方策について(つづき)

② 「きぼう」「こうのとり」を活用した、高度な探査関連技術の実証

- ISS/「きぼう」を有人閉鎖居住系のテストベッドとして有効に活用し、将来の低軌道以遠の探査に向けた革新的な有人滞在技術要素の実証を進め、長期滞在の実現に一定の目処を得る。
 - 宇宙医学・健康管理 (遠隔診断技術、骨/筋減少への対策、免疫機能低下への対策、閉鎖/少人数/異文化のストレスへの対策など)
 - 放射線被曝管理 (リアルタイム放射線計測、被曝予測解析、効率的な遮蔽・防護)
 - 高効率・高信頼性の居住環境制御技術 (水再生。空気再生、ゴミ処理、菌繁殖防止)
 - 運用の自律化 (通信遅延・データ伝送帯域制約への対応) など
- 日本の中核的研究機関と連携し、有人宇宙滞在技術を支える基礎研究を実施
 - 身体変化(骨・筋肉・免疫系)に係る医学・生物学研究

【課題例】 宇宙環境を「加齢・老化加速モデル」として活用した、骨・筋、免疫低下に関与する遺伝子発現変動の機序の解明

【目的】 ・宇宙飛行と加齢現象の類似(「加速モデル」)を活用した抗加齢医学研究・老人医療研究の進展
・1年を越える長期宇宙滞在における宇宙飛行士の健康維持を目的とした、生物学的な視点からの基礎的知見の獲得

【2020年の目標】 骨・筋減少や免疫低下に関与して働きが変化する遺伝子やバイオマーカーを発見

【方策】 加齢・老年医学研究機関との連携、骨・筋肉・免疫に特化した研究拠点との戦略研究の実施

- 有人火災安全性の高い材料の研究

1-2. 将来の国際宇宙探査を視野に入れた戦略的な技術の習得と産業の競争力強化 (3/3)

(2) 具体的な方策について(つづき)

② 「きぼう」「こうのとり」を活用した、高度な探査関連技術の実証(つづき)

- 「きぼう」「こうのとり」を簡便な宇宙技術実証の場として活用し、将来の低軌道以遠の探査に向けた先端的インフラ技術の実証を進める。
 - 再生型燃料電池 (高エネルギー密度)
 - 深宇宙光通信 (通信帯域の向上) など

③ 参加企業の国内外への事業拡大を促進

- 「こうのとり」技術の海外輸出(ランデブー・ドッキング技術やリチウムイオン電池等)や有人宇宙技術のスピンオフ(30ページ参照)のように、前①から②において競争力の高い宇宙技術を実証・習得することにより、参加企業による製品や技術の海外輸出、国内に向けた利活用など、民間企業の事業拡大を促進する。

2-1. 科学研究利用のすそ野の拡大、実験技術の獲得 (1/5)

(1) これまでの取り組み

① 宇宙環境が有効な利用領域や分野を識別し、重点化

- 2010年6月の文部科学省宇宙開発委員会 ISS特別部会報告における、「利用の拡大や成果の最大化のため、利用者が主体となった仕組みへの移行が必要」と提言を受け、学会やコミュニティが連携・主体となった研究提案の立案を促すなどの活動を実施。
- 2012年4月には、生命科学、宇宙医学、物質・物理学の三分野について、これまでの実験成果や、学会や研究者などからの幅広い意見聴取をもとに、「きぼう」の利用領域の重点化検討を行い、「2020年までを見据えた基礎科学研究分野のきぼう利用シナリオ」を制定。
- 2012年11月には、上記シナリオにも基づく提案募集を実施し、学会やコミュニティが主体となった提案を選定。現在、2015年頃の実施に向けて実験準備中。
- 宇宙環境利用の可能性の開拓を目的に、多様な分野で、研究者等の自由な発想に基づく提案募集（ボトムアップによる募集）を中心に、利用テーマを選定し、2013年までに約80件の利用実験を実施。
 - 基礎科学研究
 - 有人技術開発や宇宙医学研究
 - 産業応用につなげることを目指した実験（タンパク質結晶生成実験など）
 - 宇宙科学や地球観測などの船外実験
 - 教育や人文科学(芸術表現)の実験



これまでに実施した利用テーマの内訳
基礎科学研究に重点を置きつつ、有人宇宙技術
や産業応用に繋がる実験等を実施

(次ページへつづく)

2-1. 科学研究利用のすそ野の拡大、実験技術の獲得 (2/5)

(1) これまでの取り組み(つづき)

① 宇宙環境が有効な利用領域や分野を識別し、重点化(つづき)

- 2008年の「きぼう」の運用・利用開始以降、2013年までに約80件の宇宙実験を実施。**利用開始5年目**となって、**研究成果(学術論文)の発表が増えつつある。**

⇒ きぼうでの実験結果を踏まえた査読付き論文は約130件、関連する論文も含めると査読付き論文で900件超 (Nature、Scienceは各1件)

⇒ 特許取得件数は、30件程度

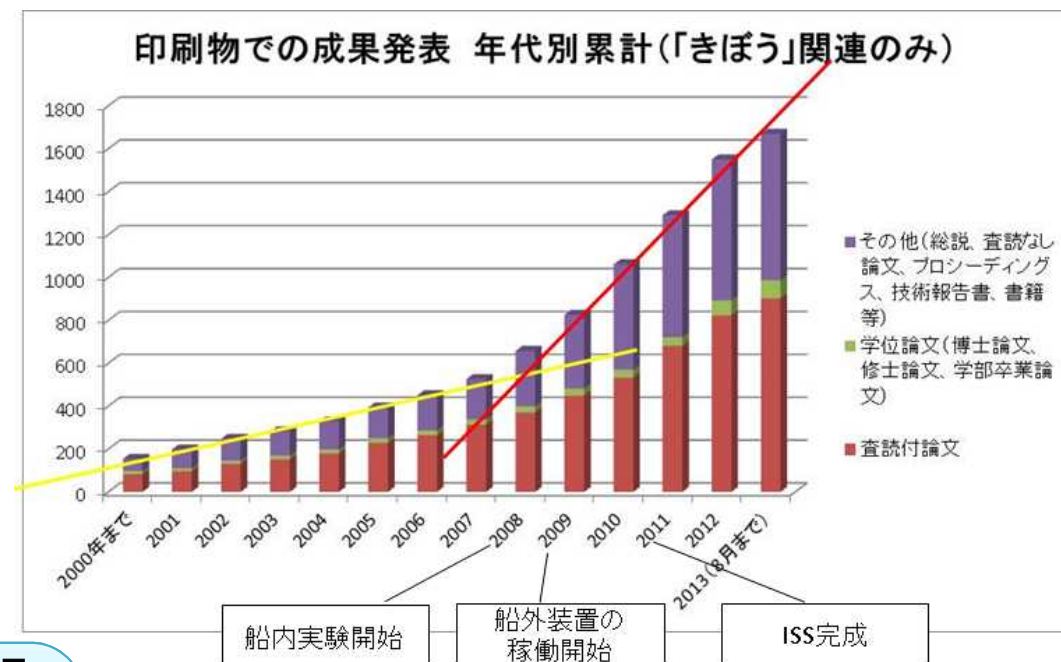
② 基礎研究の知見を活かして、タンパク質結晶生成実験機会を提供

- JAXAは、基礎科学研究を通じて、多種多様な宇宙実験に対応できる宇宙固有の技術やノウハウを蓄積した。
- 例えば、結晶生成の基礎実験に裏付けされた知見(結晶化の最適化設定など)と改良を重ねた結晶化機器を組み合わせ、タンパク質結晶生成利用実験機会を大学等に提供してきた。

右に示す発表状況は、「きぼう」利用成果が宇宙に特化していない幅広い学術誌(生命科学系や物質・物理科学系など)に掲載されていることを示しており、他の地上での研究を含めた学術全般の中で評価されている。

また、研究者は「きぼう」利用に関連して科研費やJST、NEDOなどの競争的資金を他の地上研究とも競いながら140件以上獲得している。

(次ページへつづく)



査読付論文等の発表状況

ISS計画の学術的成果は、船外のX線天文観測における科学誌NatureやScienceへの掲載をはじめ、約900件に上る査読付き論文として発表されている。特に「きぼう」の利用が開始された2008年以降、増加傾向にある。

2-1. 科学研究利用のすそ野の拡大、実験技術の獲得 (3/5)

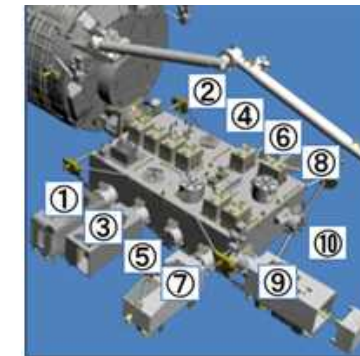
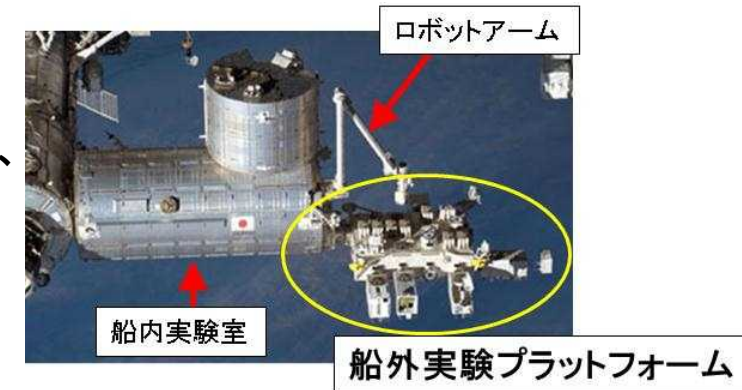
(1) これまでの取り組み(つづき)

③ 「きぼう」の船外利用

- 「きぼう」船外実験プラットフォームの最大5カ所の日本側ポート*のうち、日本は、これまで4つのポートに取り付ける船外実験装置を開発し、実験を実施。

*船外実験装置を取り付けられるポート10カ所のうち、日本と米国はそれぞれ最大5つを使用できる。

- これらの船外実験は、過去2回の国内公募で選定され、実験機器はJAXA(ISSプログラム)が主導して開発。
- このうち、1つは運用停止済み、1つは定常運用中、残る2つは後期運用中。
- 平成26年度にも、国内公募で選定した船外実験(高エネルギー宇宙線観測)の装置を打上げ予定。
- 米国は、船外実験ポートを1つを使用中であるが、今後4つの実験機器を打上げ予定で積極的に利用を進めようとしている。
- この他、ロボットアーム、エアロックを備える「きぼう」の特徴を活かしたミッションの一つとして、ISSから超小型衛星を放出するユニークな利用機会を世界に先駆けて提供。 大学や民間、アジア地域の利用需要が拡大している。



10個の船外実験ポート



ロボットアーム 放出機構 小型衛星



ベトナム宇宙機関と東大開発による超小型衛星
(10*10*10cm のサイズ)

(次ページへつづく)

2-1. 科学研究利用のすそ野の拡大、実験技術の獲得 (4/5)

(2) 見えてきた課題・方向性

① 2020年における目標を設定し、戦略的な利用を行う必要

- 宇宙環境を活かす視点だけでは、インパクトのある研究の選定に繋がりにくい。
- 時間的制約の中で見える成果を出すため、「きぼう利用シナリオ」で重点化した領域について、具体的な利用課題と目標を定義することが必要。
- また、課題と目標の設定にあたっては、宇宙利用の費用対効果を高めるため、地上研究環境と較べても宇宙環境が優位性を発揮できる波及効果の高い研究課題やインパクトのある研究課題に特化することが重要。
- そのためには、国の研究資金制度と連携し、国の政策に合致して出口戦略の明確な戦略的な研究に対し、「きぼう」実験環境を提供し、インパクトのある成果の創出に貢献するのが適当。→【国の戦略的科学・技術研究の場としての活用】
- そのなかで、JAXAは、宇宙実験技術や運用の提供による貢献に特化し、より確実・より先進的な実験ができるよう取り組むべき。
- 船外実験プラットフォームについては、地球観測や技術実証等の利用要望への対応が必要。

(次ページへつづく)

2-1. 科学研究利用のすそ野の拡大、実験技術の獲得 (5/5)

(3) 「きぼう」利用の強み・付加価値の現状認識

① 宇宙飛行と加齢現象の類似性から、「きぼう」の環境を加齢・老化加速モデルの研究プラットフォームとして活用可能。

- 宇宙実験では、細胞レベルでの遺伝子発現量が変わることを発見し、宇宙飛行士のガン化リスク、骨粗鬆症・結石、廃用性筋萎縮に類似したリスクがあることについてわかっている。
- 加齢・老化加速モデルとしての付加価値は以下(例示)
 - ・ 宇宙実験成果から「骨吸収抑制 & 骨形成促進」作用を持つ骨粗鬆症治療薬の基礎研究の場
 - ・ 機能性食品の開発など、作用・効能の実証の場としての価値
 - ・ 民間からの資金提供による共同研究といった新しい事業形態の導入による民間研究の場としての価値

② 対流・擾乱の少ない「きぼう」の微小重力環境と、日本独自の結晶生成技術を用いて、地上では得られない高品質なタンパク質結晶を生成可能。

- 地上では解明できなかった、癌関連タンパク質の構造や、筋ジストロフィー治療薬候補化合物と病原タンパク質との結合状態が、詳細に分かる精密構造データを取得。
- 宇宙実験とSPring-8などの地上施設利用を一体化したプロセスを構築。 培ったJAXA独自の宇宙実験技術を使い、結晶の立体構造を解析し、効率的な薬剤設計・触媒設計が可能。

筋肉: 下肢や背骨を支える筋肉の委縮、心肺機能の脆弱化(抗重力の血液送出が不要)

骨: 1カ月に1~2%の割合で骨量減少(骨粗鬆症の10倍)、Ca流出による結石化

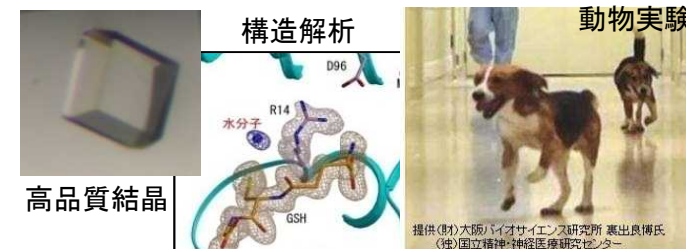
腸: 動きが悪くなり、小腸からのCa吸収効率が低下

睡眠、精神: 眠りが浅くなり、体内リズムが乱れる

体温調整: 皮膚の血流が低下し、温度変化に対する反応性が鈍化

↓
宇宙滞在は、骨や筋肉、免疫における老化加速モデル

筋ジストロフィー治療薬研究例



【動物実験による有効性と安全性の検証実験実施中】

2-2. 国の戦略的な研究開発への重点化、国家戦略に沿った成果創出に貢献（1/3）

- 日本版NIHに関する戦略（医療分野の研究開発に関する総合戦略）等に沿い、生命科学分野等で国の研究制度に選定された最先端研究の計画に宇宙実験機会を提供し、その発展に貢献。
- 国の政策に沿う革新的な創薬研究に対し、タンパク質結晶生成実験機会を安定的・定常的に提供することでその一端を担う。
- JAXAは、国の戦略的研究や最先端研究を実現させる宇宙実験用装置の準備や宇宙実験の実施に集中する。
 - 生命科学研究を支える小動物の飼育・輸送・分析技術
 - 高品質結晶生成の成功率の向上、膜タンパク質結晶の生成技術
 - 小型回収カプセルによるサンプル回収技術

(1) 取り組むべき具体的な利用課題（例）

- 「きぼう」の強みを生かして、健康長寿社会対策に取り組む国の最先端研究や産業活動にブレイクスルーを与えうる以下の利用研究課題を、2020年までの「きぼう」利用のコアの一つとして進める。

【課題例】革新的な薬剤開発に向けた、インパクトの高い「タンパク質立体構造情報」の解明

【目的】患者も多くニーズの高い疾病治療薬研究の加速への貢献

【2020年の目標】

- ✓ インフルエンザやガンなど主要疾病にかかるタンパク質の構造解明と革新的治療薬の治験候補の発掘（以下、例）
 - ・ すべてのインフルエンザウイルスに共通するタンパク質と医薬品候補が結合した状態の構造の解明（革新的治療薬開発へ）
 - ・ 大腸がん等関連タンパク質に医薬品候補が結合した状態の構造の解明（副作用の少ない抗がん剤開発へ）。

【方策】創薬支援ネットワーク等の国の創薬事業や組織への実験機会の提供、実力のあるアカデミアやベンチャーとの協力

（次ページへつづく）

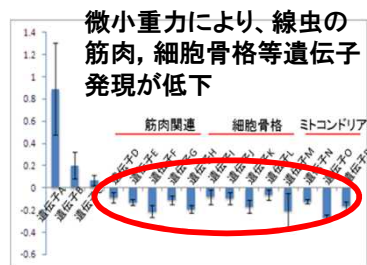
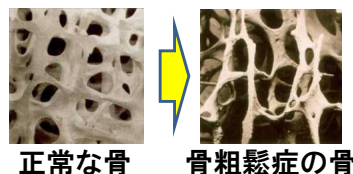
2-2. 国の戦略的な研究開発への重点化、国家戦略に沿った成果創出に貢献 (2/3)

(1) 取り組むべき具体的な利用課題(例)(つづき)

宇宙環境利用の利点(「きぼう」利用の強み)

これまで幅広い生物種について宇宙実験を行い、宇宙環境影響を解析してきた結果、**老化にかかると生物影響が加速することが判明。**

- ヒトでは・・・骨減少・筋萎縮・平衡感覚異常など、健康な宇宙飛行士においても寝たきり等でみられる病態が加速 (Lancet, 2000)
- 線虫では・・・老化制御遺伝子に影響 (Scientific Reports, 2012)
- 小型魚類(メダカ)では・・・骨リモデリング異常による骨量減少(投稿準備中, 2014)
- マウス/ラットでは・・・骨減少・筋萎縮などが顕著 (Faseb J. 2002, Faseb J. 2004)



ヒト・マウスにおいて、**組織レベル・遺伝子発現レベルで顕著な変化が捉えられており、老化に関わるエピゲノム変化が加速的に起きているものと推測(仮説)。**

国の戦略的な科学研究

「第4期科学技術基本計画」のライフイノベーション戦略目標の一つとして、「**疾患の予防・診断・治療や再生医療の実現等に向けたエピゲノム比較による疾患解析**や幹細胞の分化機構の解明等の基盤技術の創出」が設定され研究進行中。

戦略目標一覧(第4期科学技術基本計画) 平成24年度

グリーンイノベーション	重要課題、共通基盤	ライフイノベーション
再生可能エネルギーをはじめとした多様なエネルギーの供給の最適化を可能とする、分散型エネルギー管理システム構築のための理論、数値モデル及び基盤技術の創出	環境、エネルギー材料や電子材料、健康・医療用材料に革新をもたらす分子の自在設計[分子技術]の構築 環境、エネルギー、創薬等の課題に向けた触媒による先進的な物質変換技術の創出	先制医療や個人に合わせた最適な診断・治療法の実現に向けた生体に対する動的複雑性の維持・変調機構の統合的解明と複雑な生体反応を解析・制御するための技術の創出 多様な疾病の新治療・予防法開発、食品安全性向上、環境改善等の産業利用に資する次世代構造生命科学による生命反応・相互作用分子機構の解明と予測をする技術の創出
平成23年度		
エネルギー利用の飛躍的な効率化実現のための相界面現象の解明や高機能界面創成等の基盤技術の創出 二酸化炭素の効率的資源化の実現のための植物光合成機能やバイオマスの利活用技術等の基盤技術の創出	海洋資源等の持続可能な利用に必要な海洋生物多様性の保全・再生のための高効率な海洋生態系の把握やモデルを用いた海洋生物の繁殖制御等に向けた基盤技術の創出	疾患の予防・診断・治療や再生医療の実現等に向けたエピゲノム比較による疾患解析や幹細胞の分化機構の解明等の基盤技術の創出 生命現象の統合的理解や安全で有効性の高い治療の実現等に向けた in silico/in vitro での細胞動態の高次元化による細胞と細胞集団を自在に操る技術体系の創出

エピゲノム研究大型助成(参考)

JST	2009年～	さきがけ「エピジェネティクスの制御と生命機能」
	2011年～	CREST「エピゲノム研究に基づく診断・治療へ向けた新技術の創出」
JSPS	2013年～	新学術「生殖細胞のエピゲノムダイナミクスとその制御」
NEDO	2010年～	「後天的ゲノム修飾のメカニズムを活用した創薬 技術基盤開発」

【課題例】: 健全な生体において老化に関わるエピゲノム変化が加速的に生じると考えられる宇宙環境を利用して、国の重要な戦略目標の一つである「疾患の予防・診断・治療や再生医療の実現等に向けたエピゲノム比較による疾患解析」に貢献することを目指す。

2-2. 国の戦略的な研究開発への重点化、国家戦略に沿った成果創出に貢献 (3/3)

(2) 「きぼう」の船外利用

- 規模の小さい船外利用の需要を踏まえ、頻度の高い船内貨物便で打ち上げた実験装置と「きぼう」船内のバスを組み合わせ、エアロックを通じて船外のポートに設置する実験機会を提供。「きぼう」船内で実験装置のみを入れ替えることで、高頻度に実験機会を提供。
- これまでISSプログラムが確立してきた有人宇宙施設における船外利用の技術・ノウハウを活用し、宇宙科学や地球観測、宇宙技術開発、探査技術開発のコミュニティが主体的にミッションを選定し、実験機器開発と利用を行うプロセスに移行。
- 空いているポート(少なくとも2つ)を有効活用すべく、各コミュニティにおいて、2016年～2020年の期間に実施するミッションの検討を行っている。今後、ポートを使用しない簡易な船外利用を民間にも広げ、「きぼう」船外分野の利用拡大を図る。

3-1. 民間需要の発掘

◆ これまでの取り組み

① タンパク質結晶生成実験においてパイロット的な民間利用を開始

- これまでの基礎科学研究の実績から、「宇宙でのタンパク質結晶生成」が創薬設計に貢献する可能性が見い出され、SPring-8とパッケージにして日本独自のタンパク質結晶生成実験技術を蓄積。
- 地上で結晶構造が得られるタンパク質の約70%が、宇宙で品質を向上させる結果とそれを得るノウハウをJAXA独自の技術として獲得するとともに、微小重力環境が結晶成長に有効に働くタンパクの条件や特徴等を識別した。

② 有償利用制度を開始

- 「きぼう」利用の拡大・多様化を図り、「きぼう」の更なる利用促進を図ることを目的に、民間企業が自らの資金で「きぼう」を利用する制度「有償利用制度」を開始。CM素材撮影や記念品打上げを受託。

3-2. 民間の「きぼう」利用の充実・本格化

◆ 今後の取り組み

① 多様な民間利用を目指した取り組み

- タンパク質実験に加え、「きぼう」ならではの特徴を活かしたサービス(メニュー)を増やす。
 - ・ 静電浮遊炉利用、宇宙材料曝露実験、小型衛星放出等
 - ・ 簡易な船外利用を提供、民間技術の宇宙実証を促進
- 産業振興的な我が国の戦略的及び最先端研究の推進や民間利用の促進に鑑み、国がリスクを負い、産業振興・民間利用拡大のための戦略的な価格を提案するなどの方策が必要。
- 民間参加の増大に向け、JAXAは、ニーズに対応できる宇宙実験技術の開発を進める。

② 低リスクで簡便なタンパク質結晶生成実験サービスで民間企業の参入を推進。

- 平成25年10月には、地上の創薬研究と差別化できる領域を狙った戦略を打ち出し、低リスクで簡便な利用機会提供サービスとして、民間企業が参画しやすい“トライアルユース”の仕組みを導入し、製薬企業等への直接のプロモーションを行い、創薬企業や創薬ベンチャーが成果占有(有償利用)を念頭においたトライアルユースに参加し始めたところ。
- 平成26年度中に、成果占有(有償利用)の仕組みを開始する予定。

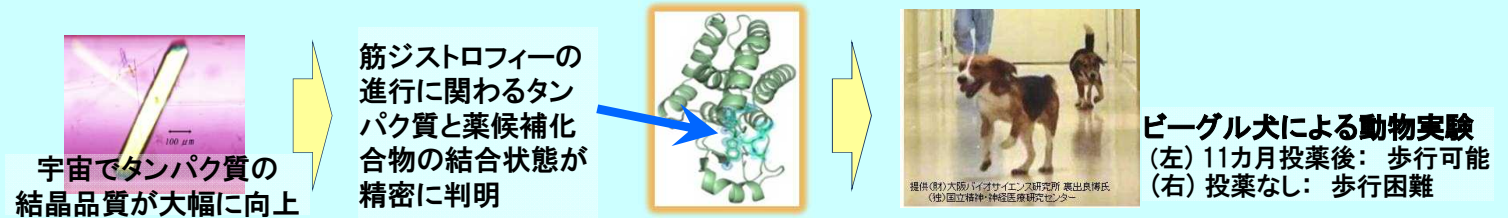
③ 超小型衛星放出など、多様な船外実験利用のツールを提供中。

- ロボットアーム、エアロックを備える「きぼう」の特徴を活かして、新しいビジネスの創出、宇宙利用の抜本的拡大に向けた様々な取組みの一環として、産業化を見据えて国内需要を顕在化させることを目的に、より簡易な船外実験利用のメニューを用意。民間需要の把握調査・参加の可能性を検討中。
- そのひとつとして、「きぼう」から超小型衛星を放出する民間等の商業目的の取組みに、有償で実施機会を提供する仕組みを26年4月より試行。

(参考) タンパク質結晶生成実験サービスでの民間企業参入推進

これまでの取り組み

- 広く一般公募により、主として大学研究者による様々なタンパク質の結晶化実験を実施、高品質結晶生成のための技術開発を実施してきた。
- その結果、条件が整えば(結晶化溶液の粘度とタンパク質試料の純度が高い組合せにできれば)、約7割以上の確率で地上(重力下)よりも高品質の結晶が生成でき、地上では解明できなかった癌関連タンパク質の構造やタンパク質・薬候補化合物の結合状態が詳細に分かる精密構造データの取得が可能となった。
- 例: 筋ジストロフィーの進行を遅らせる薬候補化合物の開発(動物実験による安全性等確認試験フェーズへの移行)等の成果も創出できている。



今後の企業参入方策

創薬等に繋がる成果の短期創出を目指し、企業の参入を促進する方策として以下を実施。

- 産業化が期待できる企業団体(日本製薬工業協会等)、個別企業との緊密・具体的な対話を通じ「企業ニーズ」の詳細を把握。
- 上記「企業ニーズ」に適合した「高品質結晶生成技術やプロセス」(JAXAの強み)を、JAXAから企業にトータルサービスパッケージとして提供。
- 企業が参入し易い新制度の導入
 - ・技術サポートの強化、知財取扱いでの工夫など、よりきめ細かなユーザ支援。
 - ・有償利用に向けた、試行利用(無償)の導入。

企業ニーズへの対応強化

新制度導入により、大手製薬企業などが参加し始めている

(参考) 日本の先端研究技術との連携 (案)

我が国の先端研究技術・施設を支える、高品質なタンパク質結晶の供給インフラとして、各々の長所を最大限活かした「研究開発プラットフォーム」の一翼を担うことにより、生命科学研究・創薬研究を加速する。

⇒タンパク質と化合物間の結合の強さを精密にそして高速に計算し、標的タンパク質だけに強く作用する新しい化合物を設計。
「きぼう」による高品位な構造情報提供により、データの正確性、信頼性を向上。

超高性能計算技術

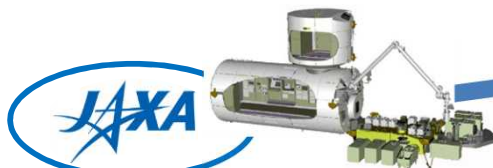


協力先の候補例

大規模シミュレーション、高度なデータ解析による生命現象の理解、高精度医薬品設計を可能とする先端技術

ユーザ

現在、超高分解能X線解析技術 (SPRING-8) を活用中。



タンパク質の超精密原子核情報の提供

「きぼう」は安定的に高品質タンパク質結晶・大型結晶を供給可能 (SPRING-8、J-PARC、京の強みを最大化可能) な唯一のインフラ

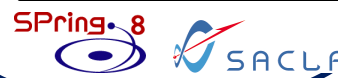
タンパク質の超精密電子密度情報の提供

超高分解能中性子解析技術



協力先の候補例

超高分解能X線解析技術



協力先の候補例

化学反応、性質発現に関わる外殻電子の挙動を直接観察可能な先端技術

相補利用解析

現状況:
1mm³を超える大型結晶が必要だが、汎用的な大型結晶作製法は地上に存在しない。
⇒「きぼう」が供給可能。

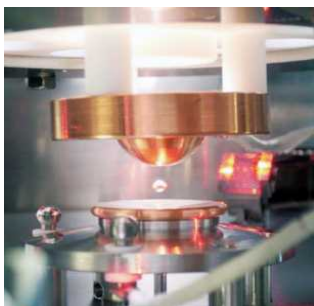
現状況:
1 Å 分解能を超える高品質結晶が必要だが、汎用的な高品質結晶作製法は地上に存在しない。
⇒「きぼう」が供給可能。

(参考) 多様な民間利用を目指した取り組み

超耐熱材料や高性能ガラスの研究開発に繋がる物性計測・提供（静電浮遊溶融）

■ 民間利用拡大への取り組み

- 地上の装置で目途をたて（判断ポイント）、宇宙でデータを取得する、リスク軽減ステップを設定。
- 宇宙での成果創出の確度を高めるとともに、地上のみでも成果が創出できるよう、民間スピードに配慮
- NIMSとの連携協力や民間への営業活動を実施。民間企業が、地上段階でのデータ取得を実施中。



静電浮遊法による無容器実験。
直径2mmの金属球を浮遊溶融。

新規宇宙材料や部品の耐宇宙環境評価データ取得（長期宇宙曝露）

■ 民間利用拡大への取り組み

- 成果公開型（無償）のサンプル募集及び、成果占有型（有償）のサンプル利用機会を提供
- JAXA内の宇宙用部品の研究開発部門や民間への営業を実施し、一部民間からの需要あり
- 民間の需要を受け、成果公開型のサンプル募集を実施。

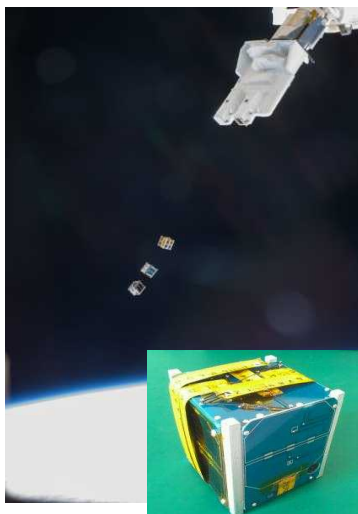


アルミニウム蒸着した単層ポリイミドフィルムが原子状酸素の影響を受けて破断（1年間の曝露後。ISSでの先行実験）

「きぼう」のエアロックとロボットアームによる小型衛星放出

■ 民間利用拡大への取り組み

- 有償の利用機会を設けることにより、商業目的や複数回の利用を可能にする。（平成26年度から試行開始）
- 米国は、NASA支援のもと、ベンチャーが衛星放出ビジネスを展開中。



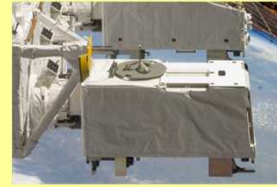
民間からの研究開発利用にきめ細やかに応える「きぼう」有償利用

- 「きぼう」の貴重な軌道上のリソース（クルータイムや打上げ機会等）を、民間の研究開発に提供。
- 民間の研究開発プロセスに対して、魅力あるツールとして、民間需要に沿ったきめ細やかなサポートを行い、「きぼう」の産業競争力強化に繋がる成果を創出。
 - ⇒ 定型化した利用サービス；タンパク、静電浮遊溶融、長期材料曝露、小型衛星放出
 - ⇒ 民間ユニークな利用；個々にきめ細やかな対応
- 個々に企業への働きかけを実施している。

(参考) 「きぼう」 船外実験プラットフォームの利用方法

①大型ミッション: 船外打上・船外ポート利用

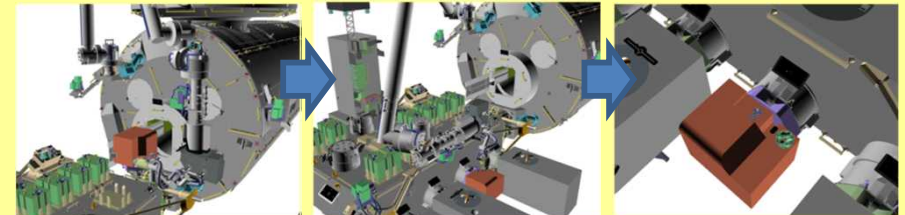
- これまでと同じ形態の船外実験ペイロード
- 質量約500kg、寸法80×100×185[cm]
- 比較的規模の大型の観測ミッションなど



(例)全天X線監視装置

②中型ミッション: 船内打上・船外ポート利用

- 船内カーゴとして打ち上げ、きぼうエアロックを通して船外に出し、ロボットアームで船外ポートに取り付けて利用するペイロード
- 重量約200kg、寸法37×80×48[cm]
- 宇宙技術・開発品の軌道上実証など



エアロックを介して
船外へ移動

きぼうロボットアーム
の子アームで取付

ポートに取り付け
て運用

③小型ミッション: 船内打上・簡易船外利用

- 船内カーゴとして打ち上げ、きぼうエアロックを通して船外に出し、エアロックに取り付けたまま、またはロボットアームで把持したまま、もしくは船外のハンドレール等に取り付けて利用するペイロード
- 材料の宇宙曝露実験、技術・開発品の実証など
- 小型衛星の放出も

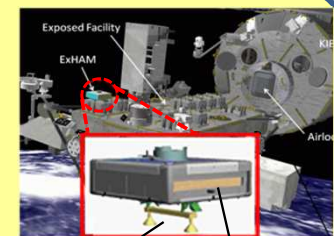


実験装置 エアロック

エアロック取付形態



ロボットアーム
把持形態



ハンドレール 実験サンプル

ハンドレール取付
型材料曝露実験

4. ISS計画への参加による国際的プレゼンスの確立と積極活用 (1/3)

信頼される国際パートナーとしての地位確立から
宇宙探査等の国際的取り組みにおける主導的地位の形成へ

(1) これまでの取り組み

- 「きぼう」、「こうのとり」の着実な開発・運用で存在感を発揮し、国際パートナーからの信頼を得てきており、宇宙先進国としての地位を確立。
 - 国際協働による宇宙探査計画の技術検討を進める国際宇宙探査協働グループ (ISECG) (14宇宙機関が参加)において議長国を務めた(2011年8月～2013年4月)。
 - 宇宙探査の政策的議論を行う国際宇宙探査フォーラム(ISEF)を、初回米国に続き、日本で開催することが決定。
 - NASAから米国民間輸送機「シグナス」の運用訓練や運用支援を受託。
 - ロシアとタンパク質実験、メダカ実験、放射線計測の協力を実施。
 - NASAは、「きぼう」の特徴を活かした衛星放出機構を積極的に活用。

(2) 今後の取り組み

- これまでに確立した国際プレゼンスを活用し、将来の国際宇宙探査の議論への積極参画
 - ISS計画参加国を中心に行われている、国際宇宙探査の計画立案・技術的実現性の検討に、国際的枠組み作りの段階から積極的に参画することで、日本の「強み」を活かしプレゼンスを発揮できる計画へと導く。

4. ISS計画への参加による国際的プレゼンスの確立と積極活用 (2/3)

アジア諸国による「きぼう」利用の推進(1/2)

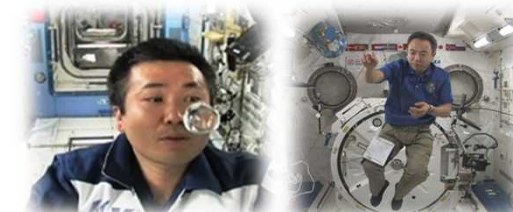
(1) これまでの取り組み

① APRSAFを通じたキャパシティビルディングを中心とした協力推進

- **アジア地域の人材育成・教育目的、参加宇宙機関の人材育成を支援。**
 - **ISSでの植物種子の成長観察実験**(SSAF2013)には、アジア7か国、延べ1,300人以上の学生と教員が参加。特にマレーシアでは、SSAFと連動した独自の種子成長観察コンテストを開催し、39,000人が参加、大きな波及につながった。
 - **航空機による微小重力教育実験**をこれまで7回実施。タイ、マレーシア、ベトナムの学生が参加。平成24年度には、タイのシリントン王女に実験結果を報告し国内テレビ等のメディアで大々的に報道された。
 - 日本人宇宙飛行士による**科学実験デモンストレーション**を、APRSAF宇宙教育WGを通じてこれまでに3回実施。マレーシアでは、ニュース報道もされている。

② 宇宙環境利用の実績および技術基盤を有する宇宙機関の2国間協力

- **実費負担によるマレーシアとのタンパク質結晶生成実験**
 - これまでに6回実施。マレーシアでは、**12本の論文掲載、博士2名、修士4名の学位取得につながるなど自国内の産業振興・人材育成への貢献を高く評価し、継続実験の承認手続き中。**
- **ベトナム宇宙機関/東大連携の超小型衛星の、「きぼう」からの超小型衛星放出**
 - ベトナムは、NASAを通じて1回目の衛星放出を実施した後、2回目は日本の機会利用に切り替え。
 - マレーシア、インドネシア、タイ、シンガポール、オーストラリアなどでも超小型衛星の開発への取組が始まっており、「きぼう」からの放出への期待が寄せられている。



4. ISS計画への参加による国際的プレゼンスの確立と積極活用 (3/3)

アジア諸国による「きぼう」利用の推進(2/2)

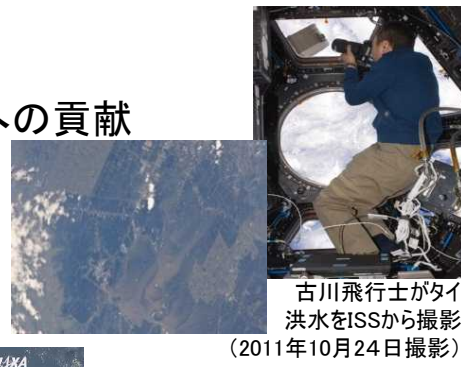
(1) これまでの取り組み(つづき)

③ 国際災害チャーター(IDC)やセンチネルアジアを通じた、アジア地域における自然災害観測への貢献

- 平成25年秋にIDCに正式登録。アジア地域を中心に台風や水害などの撮影画像を提供開始。

船外ハイビジョンカメラによる被災地撮影映像の提供実績

観測日	観測対象	観測要求元
2013年6月	インドネシア、スマトラ島 森林火災(①)	National Institute of Aeronautics and Space of Indonesia (LAPAN)/Sentinel Asia Initiative
2013年8月	台風12号による フィリピン洪水災害	マニラ観測所/Sentinel Asia Initiative
2013年8月	島根県地域の洪水災害	広島工業大学/Sentinel Asia Initiative
2013年11月	台風30号によるフィリピン洪水災害(②)	ASEAN防災人道支援調整センター(AHA Centre)及び関係機関(フィリピン気象庁他)/Sentinel Asia Initiative



←①インドネシア・スマトラ島森林火災。左端に観測要求地域リンガ諸島周辺を含む海域(日本時間 2013/6月)

②台風30号によるフィリピン洪水 →



(2) 課題

- 地球観測・衛星利用分野と比較すると、宇宙環境利用の分野におけるアジアの宇宙機関の成熟度は高くはなく、その成熟度合も国ごとに大きな開きがある。そのため、アジア利用の推進には各宇宙機関の経験蓄積と技術的支援が重要。
- 「宇宙基本計画」には、「アジア諸国との相互の利益にかなう「きぼう」利用の推進等の方策により経費圧縮を図る」とされているが、時間と相手側の状況に応じた手厚い支援が必要であり、経費圧縮には繋がりにくい。

(3) 今後の取り組み

- 基本的に、アジア宇宙機関の状況にあった協力を構築し、アジア宇宙機関との有効な関係維持を図る。
- これまでに人材育成を中心に構築してきた「きぼう」利用協力の基盤を基に、衛星利用分野と連携し、「きぼう」の利用実験機会や日本人宇宙飛行士長期滞在時のイベント等をパッケージ化して提供するなど、より効果的な方法を検討する。

5. 青少年育成への貢献 (1/2)

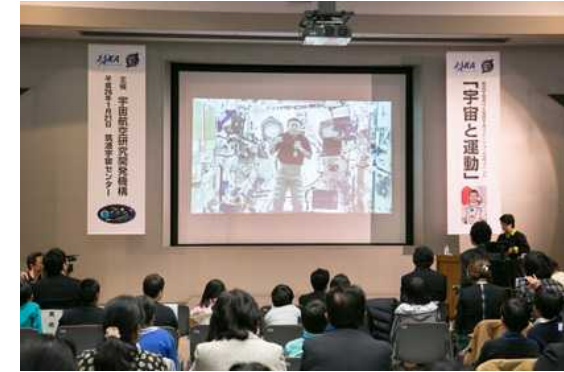
(1) これまでの取り組み

① ISSとの交信イベントや、宇宙飛行士による講演活動

- 日本の科学館や小中学校などとISSを結び、全国の青少年とISSに長期滞在中の日本人宇宙飛行士とのライブ交信イベントを通じた宇宙教育活動を実施。
 - 若田飛行士(2009年) 5回、延べ約2,400名が参加
 - 野口飛行士(2009年～2010年) 6回、延べ約2,050名が参加
 - 古川飛行士(2011年) 6回、延べ約1,600名が参加
 - 星出飛行士(2012年) 5回、延べ約1,400名が参加
 - 若田飛行士(2013年～2014年) 4回、延べ約3,800名が参加
(特に今回の若田交信イベント時のインターネット中継視聴者数は7万人以上)
- NASAの教育プログラムを活用し、ISS滞在中の日本人宇宙飛行士と、全国の小中学校等とのアマチュア無線交信を実施。これまでの5回のISS長期滞在において、計29回の交信を行い、約500名の生徒からの質問に答えている。
- 地球帰還後の帰国報告会、筑波宇宙センターの特別公開、東日本大震災の被災地訪問、海外の日本人学校での講演なども含め、宇宙飛行士による数多くの講演活動を実施し、青少年を含む多くの参加者を得ている。

<過去5年間の宇宙飛行士による講演活動実績>

- 2009年度 27回、延べ約10,400名が参加
- 2010年度 36回、延べ約23,200名が参加
- 2011年度 42回、延べ約20,800名が参加
- 2012年度 30回、延べ約14,500名が参加
- 2013年度 29回、延べ約29,600名が参加



若田飛行士との交信イベントの様子



無線交信を行う野口飛行士



講演会で質問に対応する大西飛行士

5. 青少年育成への貢献 (2/2)

(1) これまでの取り組み(つづき)

② ハイビジョン・アースビューへの映像提供

広報・教育を目的として、「きぼう」船外に取り付けた民生HDTVビデオカメラを用いて、地球観測映像(動画)を、インターネットを通じてリクエストした学校等へ無償配信する試行サービスを2014年1月から開始(配信実績11件)

③ 教科書、図鑑、テレビ番組、プラネタリウムなどへの画像・映像提供

- JAXAが保有する有人宇宙関連の写真・映像等は、教科書・図鑑・テレビ情報番組・プラネタリウム等、多方面で利用されている。
 - 写真・映像: 4,171件(JAXAへの全申請件数の約40%)
(そのうち、宇宙飛行士関連が1,862件) (平成25年度実績)
 - 教科書への掲載: 小中学校理科の教科書その他、平成23年度には小学6年生国語の教科書にも掲載



④ 教材向けの宇宙実験

- 小中高生等を対象とした植物種子実験(アサガオ/ミヤコグサ212団体、ヒマワリ30団体参加)。
- 宇宙飛行士がISS滞在中に、無重力を使った理科実験を実施し映像を公開。



(2) 今後の取り組み

- 「宇宙」活動は、青少年に夢やきぼうをイメージさせるものであり、宇宙飛行士活動などを通じて、引き続き教育利用を推進する。
- 特に、将来の国際的な科学技術人材の育成等への貢献をめざし、教材向けの宇宙実験、交信イベント、講演活動などを継続するとともに、高校生の理科教育プログラムなどとの連携を検討する。



「きぼう」の今後の利用方針・計画

① 将来の国際宇宙探査を視野に入れた戦略的技術の習得と産業の競争力強化

閉鎖居住系のテストベッド利用により、我が国の強みとなる深宇宙探査の技術を獲得

- ・宇宙医学・健康管理技術(遠隔診断技術、放射線遮蔽・被曝予測)
- ・高効率・高信頼性の居住環境制御技術(水・空気再生など)

日本の中核的研究機関と連携し、有人宇宙滞在技術を支える基礎研究を実施

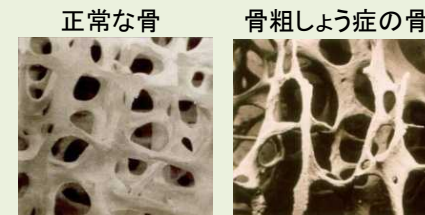
- ・身体変化(骨・筋肉・免疫系)に係る医学・生物学研究
- ・有人火災安全性の高い材料の研究

先端的インフラ技術の実証を促進(再生型燃料電池や深宇宙光通信技術等)

米国との継続的な統合運用を通じて、長期有人オペレーションの技術を習得するとともに、「宇宙探査」を担う人材と能力を確保。



放射線被曝予測



宇宙では骨・筋量減少が加速

② 国の戦略的・最先端な研究開発へ重点化、国家戦略に沿った成果創出に貢献

日本版NIHに関する戦略(医療分野の研究開発に関する総合戦略)等に沿い、生命科学分野等で国の研究制度にて選定された最先端研究に宇宙実験機会を提供し、その発展に貢献

国の政策に沿う革新的な創薬研究に対し、タンパク質結晶生成実験機会を安定的・定常的に提供することでその一端を担う。

(例: インフルエンザの治療薬や抗がん剤等)

最先端研究を支える利用機能を高度化。

- ・生命科学研究を支える小動物(マウス等)の飼育・輸送・分析技術
- ・高品質タンパク質結晶生成の成功率の向上、膜タンパク質結晶の生成技術
- ・サンプル回収技術

小規模の船外ミッション需要を踏まえ、小回りが利く船外実験のバスを提供し、高頻度に実験機会を提供する。



サンプル回収技術



エアロックを使った小規模船外ミッション

③ 民間の「きぼう」利用を充実・本格化

トライアルユース制度、適正な利用価格設定、知的財産の取り扱い等仕組み等、民間が参加しやすい制度を導入、参入を促進

「きぼう」の特徴を活かし、民間需要を踏まえた利用メニューの充実

- ・静電浮遊炉での材料実験、宇宙空間への材料曝露実験、超小型衛星放出等
- ・簡易な船外利用を提供、民間技術の宇宙実証を促進。

民間需要に対応した実験技術の開発、また継続的・安定的な実験機会の提供



超小型衛星放出



タンパク質結晶生成実験

④ ISS計画で得た国際的プレゼンスの積極活用、⑤ 青少年育成への貢献を継続

ISS計画参加国を中心に行われる宇宙探査等の国際的取り組みにおける枠組みやルール、技術標準作りの検討に積極的に参画し、我が国がプレゼンスを発揮できる計画へ導く。

アジア各国の状況に応じた有効な利用を推進。人材育成に関する利用を中心に、衛星利用とパッケージ化するなど、戦略的な方策をとる。

教育実験、交信イベント、講演活動などを継続。



アジア地域の人材育成への貢献



教材向けの宇宙実験