

# ( 1 . 参考 2 ) 産業の振興(5/6)

## ■ 地上の他産業分野への展開例 ~ ソフトウェアの安全評価技術

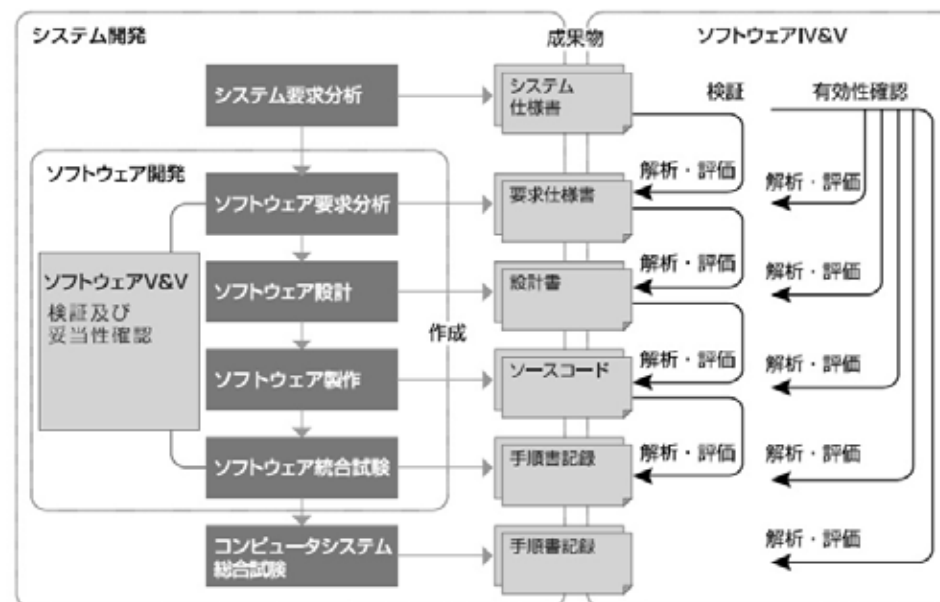
### ● ソフトウェアの安全評価技術が航空機や自動車開発に活用 ~ 安心・信頼性向上への貢献 ~

#### ➤ 宇宙産業:

JAXAは、独立検証評価技術(IV&V技術)をH-IIA/H-IIIB/イプシロンのロケット及び衛星のソフトウェアにも適用し、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。



IV&Vとは、ソフトウェアの開発組織とは独立した組織が、独立した技術及び開発組織に影響を受けずに、ソフトウェアの課題や問題を洗い出し、潜在するリスクを軽減する活動

ソフトウェア独立検証と有効性確認(IV&V)のイメージ

# ( 1 . 参考 2 ) 産業の振興(6/6) 有人宇宙技術のスピノフ事例



- 消臭機能を有する新素材「ムッシュオン」東レ(株)
- 「ムッシュオン」を使った高機能ビジネスシャツ「ハイブリットセンサー」フレックスジャパン(株)



ゴールドウィンHPより

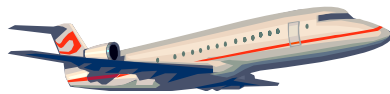
- 加齢臭と汗の匂いを大幅に減らす宇宙下着の技術が応用された消臭下着、枕カバー (株)ゴールドウィン



- 宇宙服の研究開発を基にした暑熱環境下での作業に役立つ冷却ベスト (公財)日本ユニフォームセンター/日本帝国繊維(株)



- 日本人宇宙飛行士用に関与された宇宙食カレーハウス食品(株)



- 宇宙分野で培った独立検証評価技術(IV&V技術)が、航空機業界や自動車業界に展開され活用



コンフォーカルサイエンスHPより

- タンパク質の立体構造解析向けの実験キット「C-Tube」 (株)コンフォーカルサイエンス

- 微小重力環境を模擬する理化学実験装置「3Dクリノスタット」 (株)エイ・イー・エス



千代田アドバンス・ソリューションズHPより

- 細胞医療の効率性と安全性を高める「自動細胞加工培養システム」 (株)メディネット、千代田アドバンス・ソリューションズ(株)、(株)アステック、(株)細胞科学研究所、ニプロ(株)



エイ・イー・エスHPより

- 水棲生物飼育用の水質浄化バイオフィルター (株)エイ・イー・エス



エイ・イー・エスHPより

- 宇宙飛行士模擬訓練・体験サークル (株)エイ・イー・エス



エイ・イー・エスHPより

# ( 1 . 参考3 ) 有人・無人の宇宙技術の習得と宇宙産業の振興(現状)

## ◆ 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 . 参考4 ) 将来の国際宇宙探査を視野に入れた戦略的な技術習得と 産業競争力強化(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 . 参考4 ) 将来の国際宇宙探査を視野に入れた戦略的な技術習得と産業競争力強化(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

(次ページへ続く)

# ( 1 . 参考4 ) 将来の国際宇宙探査を視野に入れた戦略的な技術習得と 産業競争力強化(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. 民間利用拡大の実績と今後の計画

### 【実績】

- 微小重力環境を活用した画期的な製品開発については道半ばであるが、宇宙医学や生命科学実験を通じた骨粗しょう症研究等の進展、創薬に繋がるタンパク質結晶生成、次世代半導体に関する材料創製、超小型衛星放出技術等といった地上では得られない研究開発成果が創出されており、今後も更なる成果の拡大とその地上への波及が期待される。

#### <主な具体例>

##### ➤ タンパク質結晶生成実験：

地上よりも高品質の結晶を生成する手法をほぼ確立。大手製薬企業(中外製薬(株))や創薬ベンチャー等の参入など民間利用拡大への道を拓いた。筋ジストロフィーや癌関連のタンパク質等の構造を解明し治療薬の研究開発に貢献。

##### ➤ 宇宙医学実験、生命科学実験：

無重力等の宇宙滞在で顕著となる免疫機能低下に着目し、免疫機能・腸内環境に関する共同研究に大手食品企業((株)ヤクルト本社)が参入。また、骨・筋肉の減少が加速されることに着目し、新たな骨粗しょう症治療薬候補の効果確認や筋萎縮を抑制する機能性食品の開発等、実用面での成果を獲得。

##### ➤ 簡易な船外実験利用：

新しいビジネスの創出、宇宙利用の拡大に向けた簡易な船外実験利用のツールを整備。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)では、大手素材・部品メーカ((株)潤工社)等が参入。超小型衛星放出では、国内企業((株)有人宇宙システム)が海外と連携して有償での衛星放出事業を展開。

### 【今後の計画】

#### 民間の「きぼう」利用を充実・本格化

- 社会ニーズにマッチし市場規模の大きなバイオ、健康関連など、これまで宇宙に関わってこなかった民間企業の参入を促進する取組として、利用メニューの充実(地上で広く使われるマウス実験や、ISSの利用機会の「テストベッド」としての活用等)、技術サポートの強化、知的財産取扱いの工夫など、よりきめ細かなユーザ支援を行い、民間利用を拡大。
- 大型放射光施設「SPring-8」やスーパーコンピューター「京」、その他の国の共用施設と同様に、「きぼう」を我が国の研究開発プラットフォームの一翼を担うものとして、民間企業の研究開発等に対し、広く実験環境を提供できるようにする。
- 民間企業による「きぼう」の有償利用にあたっては、実績を積み重ねていく中で、利用の障壁とならないよう、新規技術・機器・利用アイデアの実証が即応的に、かつ価格設定の見直し等により低コストで実現できる環境を整備する。

## 2. (1) 民間利用拡大の実績と今後の計画について

### 現状

#### 民間需要の発掘

- タンパク質結晶生成実験でパイロット的に民間利用を実施。
- 小型衛星放出の利用機会(無償)を提供。大学、民間、アジアの利用を発掘。
- 有償利用制度による利用を実施。CM素材撮影や記念品打上げを受託。

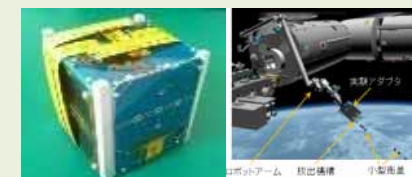
### 課題

- 民間の研究開発利用が広がっていない。
- 地上と比べ、リスクやコストが高いとの認識が顕在化。

- 利用メニュー拡大
- 民間需要にあったサービスを提供

## <今後> 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



## ( 2 . 参考1-1 ) . 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。

## ( 2 . 参考1-2 ) 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。

- 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はじめたところ。
- 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。

## ( 2 . 参考 2 ) 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。



筋ジストロフィーの進行に関わるタンパク質と薬候補化合物の結合状態が精密に判明



ビーグル犬による動物実験  
(左) 11カ月投薬後: 歩行可能  
(右) 投薬なし: 歩行困難

### 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

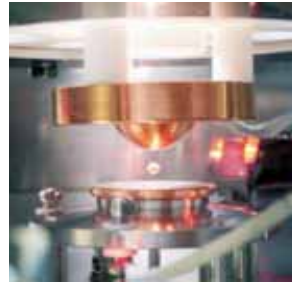
新制度導入により、大手製薬企業などが参加し始めている

## ( 2 . 参考3 ) 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

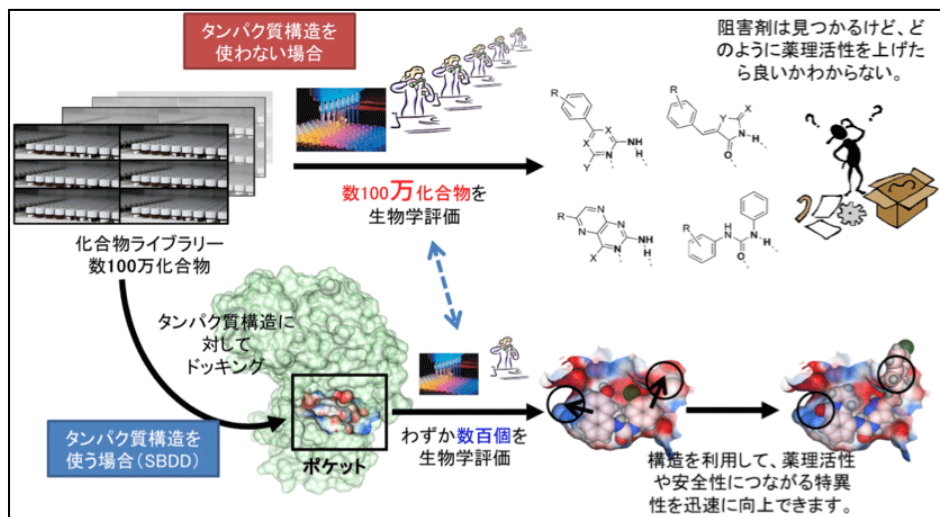
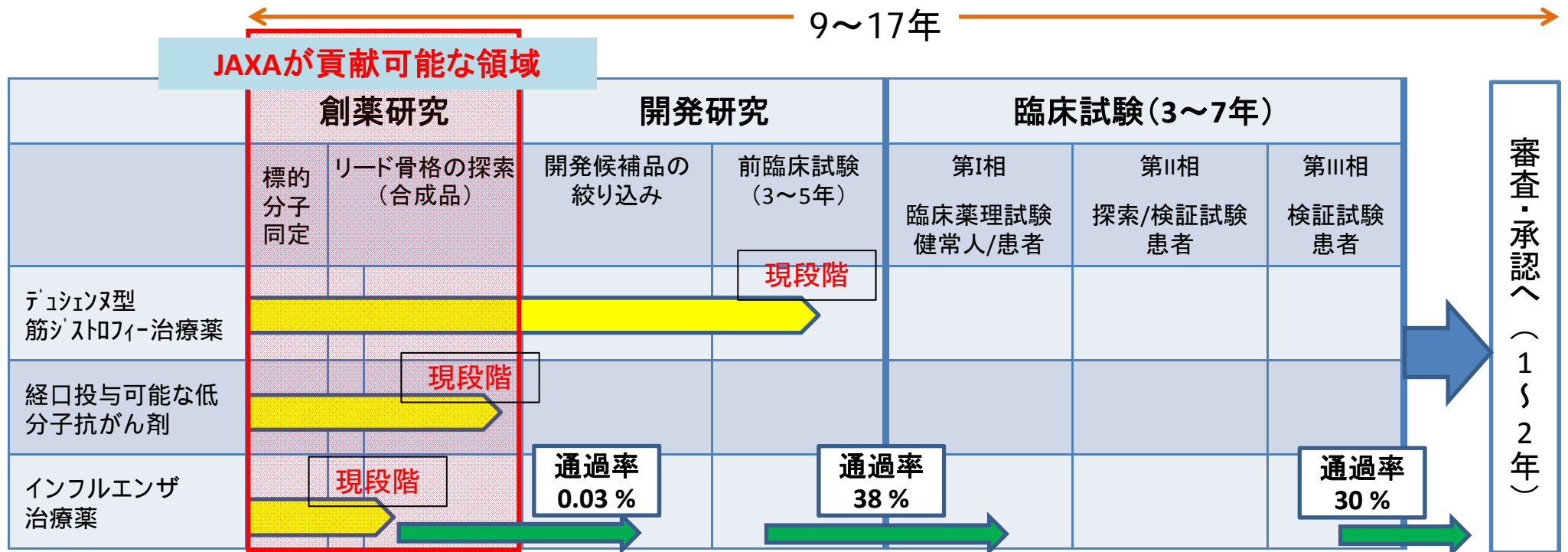
- 有償の利用機会を設けることにより、商業目的や複数回の利用を可能にする。(平成26年度から試行開始)
- 米国は、NASA支援のもと、ベンチャーが衛星放出ビジネスを展開中。



### 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。

# (2. 参考4) 新薬開発のプロセスと創薬系実験テーマ(代表例)の状況



©理化学研究所資料より

## 「きぼう」利用の目標

- 宇宙環境及びJAXAの結成生成技術を用いて、地上よりも品質のよい高品質タンパク質結晶の生成を行うこと。
- その結晶をもって、SPring-8等を利用し、開発候補化合物の選定に役立つ詳細構造データを獲得すること。

## 結果得られる効果

- 製薬企業における開発研究段階移行へ
- ベンチャー企業による構造データの販売

地上よりも高品質のタンパク質結晶が得られることで、左記プロセスにおける、リード骨格の探索をより高精度で行うことが可能となり、創薬研究プロセスの短縮化に繋がります。

### 3 . 外交・安全保障の側面からの実績及び今後の計画

#### 【実績】

- ISS計画は米国・ロシア等の宇宙先進国との国際協働プロジェクトであり、宇宙利用における国際協力関係を構築する安定的な基盤としての役割を果たしている。
- 「きぼう」、「こうのとり」の着実な開発・運用で我が国の自律的な宇宙活動能力を確保。共同運用を通じて国際パートナーからの信頼を固めてきている。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るなど、国際的な取り組みにおける日本の主導的地位を確立した。
- アジア唯一のISS参加国として、アジアのゲートウェイとしての協力関係を形成。これまでアジアのISS非参加国7カ国(マレーシア・ベトナム等)が、日本との協力関係を通じて「きぼう」利用を行うとともに、今後の協力関係の発展を強く希望しており、アジア地域における我が国の国際的プレゼンスの向上に寄与。
- ウクライナ情勢をきっかけに米露対立が鮮明化し、国際情勢がますます複雑な様相を呈している中で、ISS参加国間で密接な協力関係を築き、宇宙の平和的利用を維持していることは、地上における国際的な緊張が高まる中での国際関係におけるリスクマネジメントという意味で有意義。

#### 【今後の計画】

- 中国やインドがそれぞれ、有人宇宙開発や宇宙探査においても著しい伸長を見せており、この分野における我が国の優位性及びアジア地域におけるプレゼンスが相対的に低下することが懸念される。こういった状況下において、科学技術外交・宇宙外交における重要な手段の一つとして「きぼう」、「こうのとり」を着実に運用し、我が国の国際的プレゼンスの堅持・向上に貢献を図る。
- さらに、日本で唯一の宇宙実験プラットフォーム「きぼう」を活用することにより、有人技術を含む広範な宇宙技術の獲得を進める。
- ISS計画を通じて、国際的競争環境の中で日米協力を堅持しつつ、日本が優位性を確保できる技術を獲得し、将来の国際宇宙探査計画等での日本の主導的地位を確保する。

### ( 3 . 参考 ) 世界の宇宙技術力比較 ( 2013 ) 全分野

科学技術振興機構 (JST) の研究開発戦略センターがこれまでに実施した2回の調査 (G-TeC: Global Technology Comparison) の結果のまとめ (抜粋) を以下に示す。

表1 宇宙技術力比較(2011年調査結果)

評価項目	満点	米国	欧州	ロシア	日本	中国	インド	カナダ
宇宙輸送分野	30	28	23	26	18	21	11	0
宇宙利用分野	30	28	23	14	18	11	8	7
宇宙科学分野	20	19	10	8	7	2	2	2
有人活動分野	20	20	9	17	10	10	1	3
合計	100	95	65	65	53	44	22	12
順位		1	2	2	4	5	6	7

本調査では、各評価項目に含まれる関連技術を独自の評価基準にて採点し、それらを統合する形で評価を実施している。

表2 宇宙技術力比較(2013年調査結果)

評価項目	満点	米国	欧州	ロシア	日本	中国	インド	カナダ
宇宙輸送分野	30	27	25	25	18	22	11	0
宇宙利用分野	30	29	25	12	19	12	8	5
宇宙科学分野	20	19	11	8	7	4	3	2
有人活動分野	20	20	9	15	9	10	1	3
合計	100	95	70	60	53	48	23	10
順位		1	2	3	4	5	6	7

表は、科学技術振興機構のG-TeC報告書「世界の技術力比較(2013年)」(平成26年3月発行) (<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/CR/CRDS-FY2013-CR-02.pdf>) より引用。

有人宇宙活動部分を示す枠は、本小委員会事務局にて追記。

## ( 3 . 参考 ) 世界の宇宙技術力比較 ( 2013 ) 有人活動分野

- 日本と欧州の比較： 合計得点と同じであり、各評価項目とも**同等の技術力**との評価
- 日本と中国の比較： **総合評価では同等**との評価であるが、個別みると以下の差があるとの評価
  - 有人宇宙船と運用管理技術では、**中国が優位**
  - 宇宙環境利用技術では、**日本が優位**

表3 有人活動分野の宇宙技術力比較(2013年調査結果)

評価項目	米国	欧州	ロシア	日本	中国	インド	カナダ
有人宇宙船と運用管制技術	15	4	13	4	11	0	0
有人宇宙滞在技術	14	11	14	10	11	1	3
有人宇宙活動支援技術	5	2	3	3	3	0	3
宇宙環境利用技術	6	5	6	5	0	0	2
有人宇宙探査技術	12	1	3	1	1	1	1
合 計	52	23	39	23	26	2	9
評 価	20	9	15	9	10	1	3

表は、科学技術振興機構のG-TeC報告書「世界の技術力比較(2013年)」(平成26年3月発行)

(<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/CR/CRDS-FY2013-CR-02.pdf>)より引用。

表上の枠は、本小委員会事務局にて追記。

### <評価項目の詳細>

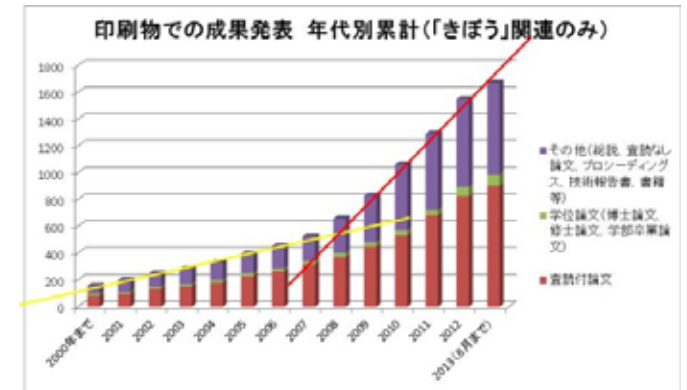
- ・有人宇宙船と運用管制技術： 有人宇宙船飛行回数、有人宇宙船技術、貨物輸送機飛行実績、貨物回収機飛行実績、新規開発計画
- ・有人宇宙滞在技術： 生命・環境維持技術、衛生・健康管理技術、有人モジュール技術、宇宙飛行士累積滞在日数
- ・有人宇宙活動支援技術： 宇宙服技術、支援ロボット技術
- ・宇宙環境利用実験技術： 宇宙医学実験技術、ライフサイエンス実験技術、微少重力科学実験技術
- ・有人宇宙探査技術： 表面移動技術、耐レゴリス宇宙服技術、有人宇宙探査活動実績



## 4 . 科学技術の側面からの実績及び今後の計画 ( 1 / 2 )

### 【実績】

- 「きぼう」利用のための技術基盤を整備・充実化(生物材料の培養・飼育、金属・半導体材料等の結晶成長、天体・地球観測等)。船外では、衛星のバス部にあたる部分を提供することでミッション側負担を軽減。
- 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、急増。

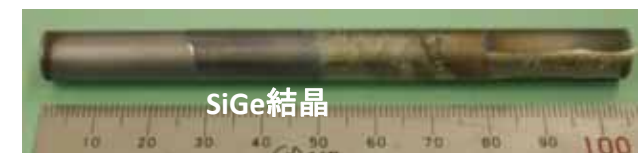


様々な分野において、多様な利用成果を挙げている。

- 船内利用技術基盤による実績
  - 日本独自のタンパク質結晶成長実験の技術を確立し、SPring-8との組み合わせで立体構造情報に基づく創薬設計への適用を見出し、大手製薬企業等が利用する段階に突入。
  - 老化の加速環境(骨量減少速度は地上の10倍、筋量減少速度は2倍)であることを利用し、
    - 骨代謝の解析と骨密度低下防止・骨粗しょう症治療薬の候補化合物の働きを検証。研究者と民間企業により実用化を目指した取り組みに発展。
    - 筋萎縮の原因酵素の一つを特定するとともに、同酵素の働きを抑える薬の効果を検証。研究者と民間企業により、筋関連疾病の予防・回復、老化抑制などの「機能的食品」の研究開発に発展。
  - 地上では対流による擾乱の影響で実現できなかった次世代の高性能半導体結晶であるシリコンゲルマニウム( $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ )の大型結晶の製造に世界で初めて成功。地上での応用に向け、実用化の基礎となるデータを取得。(NEDOの競争的資金を獲得し、実用化を図り社会に普及させていくための取り組みを実施)



インフルエンザ特効薬開発を目指したタンパク質結晶生成実験(どんな型のウィルスでも増殖を抑える治療薬の開発)



1回目の宇宙実験で育成したSiGe結晶の外観

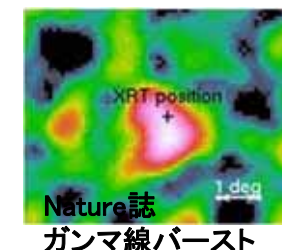
## 4 . 科学技術の側面からの実績及び今後の計画 ( 2 / 2 )

### 【実績】(つづき)

- 船外利用技術基盤による実績
  - X線天体観測では、Nature誌やScience誌等での発表の他、世界的な追観測の起点となる突発現象の速報発表約210件(2014年9月時点)。ブラックホール発見競争で首位。MAXI全天X線画像が教科書で採用(2件)。
  - 宇宙飛行士が、ISSから「観る」運用の柔軟性を活かして、大規模災害時等の状況把握などに貢献
  - 宇宙用材料・部品の劣化を簡易に長期的に検証できる曝露実験機構を開発。民間企業の材料宇宙実証に進展。

### 【今後の計画】

- 船内
  - 公募・提案型研究の積み上げというこれまでの取り組みを通じて絞り込んできた微小重力環境の特徴を効果的に活用できる分野(骨・筋肉・免疫等に関する生命科学研究やタンパク質結晶生成を通じた創薬研究等)に重点化するとともに、国の戦略的施策に合った課題解決型の研究を取り入れていくことで、「きぼう」利用成果の社会や経済への波及を拡大する。
  - 国の戦略的施策にあった課題解決型研究の取り込みにおいては、これまでの生命科学分野での成果を踏まえ、国の健康・医療施策に関連した研究開発のプラットフォームとして戦略的な利用を進める。具体的には、インフルエンザや癌、アルツハイマー等、革新的な薬剤開発に向けた社会へのインパクトの高いタンパク質を対象とした国の創薬事業等との連携や、加齢や老化に係るメカニズム解明やエピジェネティクス等の最先端の研究等があげられる。
  - これまで、「きぼう」利用に研究者の自由な発想を取り入れたからこそ生まれた成果もあり、基礎研究分野の実験枠(先導的な技術開発を含む)も一定程度確保する。
- 船外
  - 高エネルギー宇宙線の観測や暗黒物質の探索を開始(2015年度より)。
  - 船内貨物として運ぶことで、頻繁な打上・回収を提供できるプラットフォームを開発し、船外実験環境基盤の充実を図る。本プラットフォームを利用するミッションとして、光通信機器の実証(光データ中継衛星)等の先進ミッションを検討中。



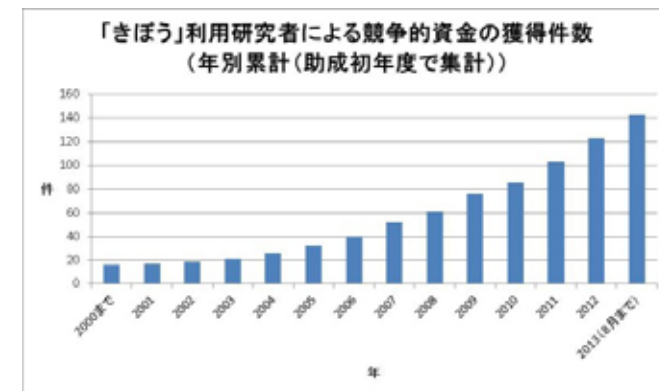
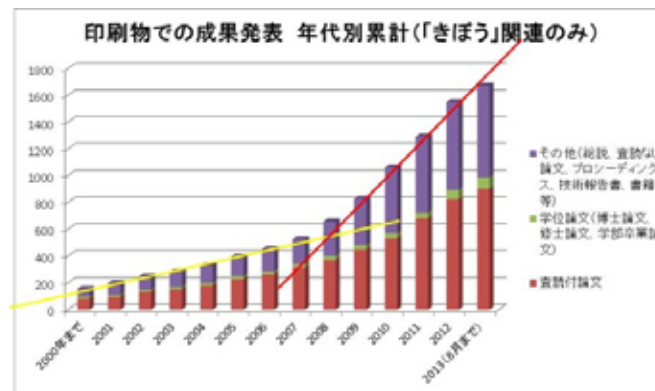
## ( 4 . 参考 ) 宇宙実験からの成果の蓄積(1 / 14)

### 【成果】

- 長時間の微小重力など、宇宙環境を利用することにより、各研究分野に新たな視点やアプローチ等を提供。我が国の科学や技術の発展に貢献。
  - 2008年より船内の実験装置や船外の観測装置を順次打ち上げ、実験環境を充実化。
 

〔細胞培養、植物培養、水棲生物飼育、金属・半導体結晶成長、タンパク質結晶成長、流体物理計測、X線天文観測、大気観測、地球観測 などが可能な他、無菌環境のクリーンベンチ、位相差顕微鏡、蛍光顕微鏡などの実験機器を搭載〕
  - これまでに「きぼう」船内を利用した生命科学実験や物質・物理科学実験、船外を利用した天文観測、地球観測など、2013年までの約5年間で約80件の「きぼう」利用ミッションを実施。
 

〔1件の実験機会に複数の実験試料の搭載を行うなどの場合もあり、実験目的毎の集計では、「きぼう」打上前も含め、ISSでこれまでに実施した日本の実験は約450件に上る。そのうち、高品質タンパク質結晶生成実験は331件〕
- 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、急増。また、関連する外部資金獲得件数も伸びている。



(次ページへ続く)

## ( 4 . 参考 ) 宇宙実験からの成果の蓄積(2/14)

### 【成果】(つづき)

- 様々な分野において、多様な利用成果を挙げている。
  - 対流のない微小重力下で、地上よりも高品質なタンパク質の結晶ができることを利用し、宇宙で作った結晶を地上に持ち帰って解析し、得られる結晶構造から薬剤や産業用酵素などの開発に貢献(タンパク実験にはロシアも参画)
  - 重力がかからないために骨や筋肉が地上よりも顕著に減少することを利用した生命科学実験で、新たな骨粗しょう症治療薬候補の効果確認や、筋萎縮原因酵素の一つの特定など、健康長寿社会の実現に向けた貢献
  - 対流のない環境で理想的な流体现象や結晶成長現象が実現できることを利用し、地上で観測できない物理現象の原理の解明や、地上で実用化を目指す次世代半導体の作製に関わる知見の蓄積によりナノテク・材料産業に貢献
  - 船外からのX線天文観測により、X線新星の発見等で最新X線天文学へ貢献
  - 船外からの地球観測により、オゾン層破壊などの地球環境問題への貢献や、大規模災害時の状況把握などに貢献
- 特に近年、学術的成果の積み重ねにより、民間企業の参入が始まりつつある。
  - タンパク質結晶生成実験に大手製薬企業が参入。
  - 免疫研究に関して大手食品メーカーとJAXAで共同研究を開始。

### 【今後の課題】

- 物理学や生命科学の分野で宇宙環境利用が有用な研究領域が見えてきた中で、今後は、体系的な成果創出や出口を見据えた成果創出が見込めるインパクトのある研究課題に重点化し、戦略的に進めていく必要がある。
- 地上の厳しい研究競争に対し、宇宙環境がブレイクスルーとなる付加価値を与えうるような研究を中心に据え、それに合致する国の科学技術政策や外部資金制度等と連携してイノベーション創出を目指していくことが必要。
- タンパク質実験では、これまでの実績の積み重ねにより、ようやく大手製薬企業等が本格的な利用に乗り出したところ。その他、材料実験や小型衛星放出等、民間利用が有望なサービスを増やしていくこととしており、民間企業の投資価値や需要にかなう十分な実験機会を継続的に提供していく必要がある。