

付録5：  
今後の「きぼう」利用について

# はじめに

- これまでの「きぼう」利用成果については、本委員会第2回会合（平成26年5月16日）において報告した。
- また、各極が、以下のように積極的にISS利用に取り組んでいる状況についても報告した。
  - ✓ 米国は、日本に比べ年間10倍以上の資金をISS利用に投じている。ISSをNational Labと位置付け、NASA以外の米国内の国立機関や民間等に利用機会を解放して、積極的なISS利用を推進。一方、NASAは探査に繋がる研究開発に重点化。
  - ✓ 欧州は、日本に比べ約1.5倍の資金をISS利用に投じ、宇宙医学・生命科学、地球科学、物質材料科学を軸にISS利用を推進。
- 以上を踏まえ、中間とりまとめ（平成26年7月）及び新宇宙基本計画（平成27年1月）を受けた現在の取り組みの状況と、「きぼう」の能力を活かし成果を最大化する今後の「きぼう」利用の計画と展望について、本資料にまとめた。

# 1. 国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会中間とりまとめを受けた取り組み状況

## 国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会 中間とりまとめ(平成26年7月) ※JAXAで要約

## 取り組み状況

「きぼう」利用

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ことが必要である。

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、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**を進めることが重要である。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、加齢性疾患や生活習慣病等に係るメカニズム解明やエピジェネティクスの最先端の研究等があげられる。

**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ことが重要である。一方で、企業参入を促進する取り組みを行い、**民間利用を拡大**することが必要である。

大型放射光施設「SPring-8」やスーパーコンピュータ「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、国の戦略的な施策にあった課題解決型の研究や民間企業の研究開発等に対し、**広く実験環境を提供**できるようにする取り組みが必要である。

「きぼう」有償利用にあたっては、利用の障壁とならないよう「**適正価格**」に近づける努力が必要である。

「きぼう」のアジア利用にあたっては、超小型衛星の放出のような参入しやすい形の利用等を進め、**アジアのゲートウェイ**としての我が国のプレゼンスの向上に繋がる取り組みを維持・発展させていくことが重要である。

有人技術  
探査技術

将来の有人宇宙探査で必要となる技術のうち、**有人長期滞在技術**の開発・実証等については、現存する唯一の環境であるISSを最大限に活用する。

科学技術イノベーション総合戦略2014(平成26年6月24日閣議決定)に示されている健康・医療施策に貢献することとし、その中でも、これまでの研究成果を踏まえ、まずは、①ヒトの疾患に関連するエピゲノム研究(疾患モデルマウスと宇宙飛行士を活用した新薬の検証実験)、②創薬・疾患等に貢献するタンパク質結晶生成、③臓器立体培養等の再生医療に関する研究の**3つの領域に重点化**することとした。

国の戦略的施策にあった①・③の課題解決型の研究、及び基礎研究を対象にした「きぼう」利用**テーマの募集を開始**する。

②については、4℃での結晶生成技術の開発、結晶生成条件の最適化など、結晶生成技術を向上させるとともに、民間企業や国が示す重要な疾患に関連するタンパク質等を中心に試料の募集を継続する。また、創薬ニーズが高い膜タンパク質結晶生成技術などの研究を開始した。

試行的利用を含め、民間企業等による「きぼう」の有償利用の枠組みを構築した。(「きぼう」からの超小型衛星放出において、東北大学・北海道大学・フィリピン政府連携による衛星放出利用を受託した)

またAPRSAFを通じアジア諸国等への「きぼう」利用参加を呼び掛け、技術的に支援している。更にJICA等と連携し、科学技術外交の拡大に取り組む。(マレーシアやフィリピンなどと植物共同実験を行い、青少年の育成等に貢献)

我が国独自の技術により、国際的に競争力をもった超長期(2年以上)の有人滞在技術と探査技術の研究開発に取り組んでいる。

## 2. 「きぼう」利用の現状と今後の展望 (1/2)

### ■ 探索・選択フェーズ(2008年～現在)

「きぼう」利用開始以来、科学分野等の実験を通じ、宇宙環境下における現象の把握と解明を進め、それを用いて、「社会に貢献できる有望な利用分野」の特定とその「利用方法(技術)」を構築できたところ。

- ✓ 加齢疾患の加速モデル(骨減少10倍・筋肉減少2倍)としての有用性を活かし、関連する因子や機構を特定
- ✓ 「高品質タンパク質結晶生成技術、4℃の低温結晶化技術」を開発(「きぼう」実験開始当初に比べ、宇宙での生成率は2倍、サンプル搭載量は3倍)、SPring-8でのX線構造解析とのパッケージ化による創薬利用の有効性を確認
- ✓ X線天文学などの観測プラットフォーム、大気環境観測センサの先端技術の実証場としての有用性を確認 等

### ■ 開発・実証フェーズ(現在～2020年)

国の科学技術戦略テーマ<sup>(※)</sup>や民間企業との連携を一層進め、「きぼう」利用の社会的な実用価値を実証する。

- ✓ 「高品質タンパク質結晶生成技術」を活かした、国の健康・医療戦略がねらう創薬に繋がる成果の実証(型に拠らない万能インフルエンザ治療薬(大学)、副作用の少ない経口抗がん剤(企業)、希少疾患である筋ジストロフィー治療薬(大学・企業)など)
- ✓ 「きぼう」だけが有する船外実験環境を活用・強化し、国内外の宇宙利用需要に対応、民間利用の拡大(「きぼう」からの小型衛星放出では平成24年度から現在までに計72機を放出。2020年までに更に200機程度の放出が予想される。)[計画③]
- ✓ 「膜タンパク質等の軌道上結晶化(脂質の中で膜タンパク質を結晶化する「脂質メゾフェーズ法」の適用)」や、「静電浮遊炉」などの利用技術の開発と実証 等

(※) 関係する国の科学技術戦略・施策の例: 「科学技術イノベーション総合戦略」(2014)

- 国際社会の先駆けとなる健康長寿社会の実現
  - ✓ たんぱく質の構造・機能と発現メカニズム【CREST(戦略的創造研究推進事業)】
  - ✓ 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(CREST)
  - ✓ 再生医療実現拠点ネットワークプログラム(JST)
- 産業競争力を強化し政策課題を解決するための分野横断技術について
  - ✓ 革新的構造材料【SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)】

## 2. 「きぼう」利用の現状と今後の展望 (2/2)

### ■ 深化・拡大フェーズ(2021年～)

2021年以降においては、多様で高度な成果を社会に還元し、「きぼう」を不可欠な社会インフラとして定着させる。

- ✓ 加齢性疾患や生活習慣病等にかかる創薬への貢献 (軌道上における疾患モデルマウスを使った前臨床試験、宇宙飛行士による臨床試験) [計画①(b)]
- ✓ 膜タンパク質等の構造解析が進んでいない領域への適用拡大(対応できるタンパク質が3割から10割(創薬ニーズに対するカバー率)へ増加) [計画①(a)]
- ✓ 日本独自の静電浮遊炉による、セラミックなどの絶縁体も含む高温溶融技術で新機能材料創製の実現[計画②]
- ✓ 装置の自動化・自律化の徹底的な推進、独自の軌道からの試料回収機能の強化などによる利用能力の増強 等

### 3. 我が国の有人技術・探査技術の現状と今後の展望

#### ■ 有人技術の獲得(～現在)

ISS計画参画を通じた「きぼう」「こうのとり」の開発・運用により、我が国は、宇宙飛行士を安全に宇宙滞在・活動させる技術を効率的に獲得し、米露に並ぶまでに至った。

- ✓ 宇宙滞在累積時間世界3位、ISSコマンダー輩出

#### ■ 独自技術の研究(現在～2020年)

ISSパートナー各極を中心に月近傍以遠の有人探査に向けた技術検討が進められているなか、我が国は独自の技術により、国際的に競争力をもった超長期(2年以上)の有人滞在技術と探査技術を獲得すべく、段階的に研究開発を進めているところ。

- ✓ 3次元の放射線実時間計測技術の軌道上実証
- ✓ 独自の電気分解法による高効率水再生技術の軌道上実証
- ✓ 骨・筋・免疫低下の予防策(プロバイオティクスの活用、ハイブリッドトレーニング手法 など)の軌道上実証 等

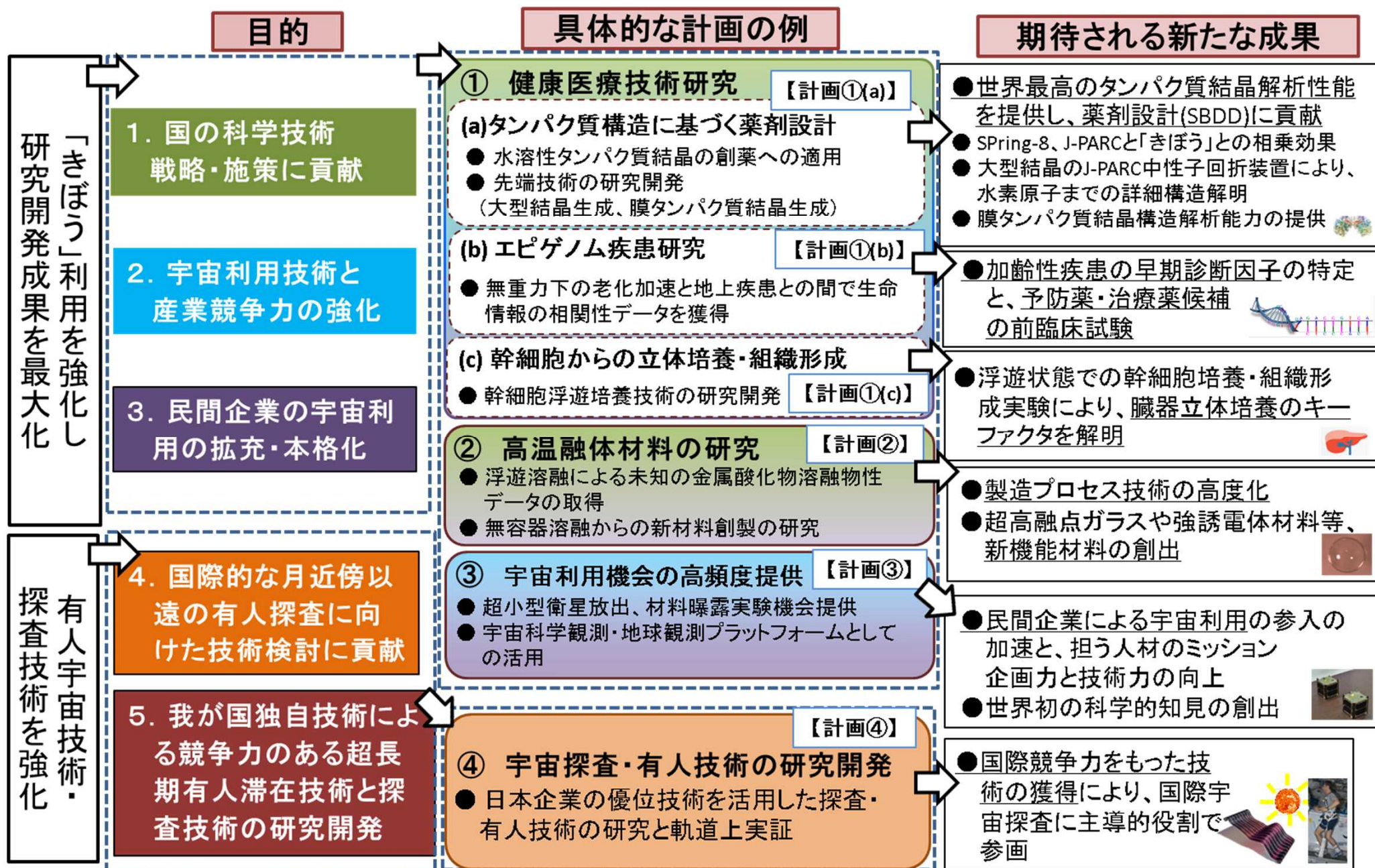
#### ■ 独自技術の軌道上実証(2021年～)

2021年以降においては、現在研究を進めている我が国独自の技術を、「きぼう」を有人閉鎖テストベッドとして軌道上で実証し、宇宙探査における不可欠なパートナーとしてのポジションを確実なものとする事ができる。[計画④]

- ✓ 高効率水再生(現状のISSシステムとの比較で補給量を半減)
- ✓ 月近傍以遠の長期宇宙滞在に対応する宇宙放射線防護
- ✓ 船外活動(EVA)を不要とする宇宙船修理技術 等

# 4. 今後の具体的な取り組み

「きぼう」利用及び有人技術・探査技術の今後の展望に基づき、新たな成果を創出するために以下の計画に取り組む。



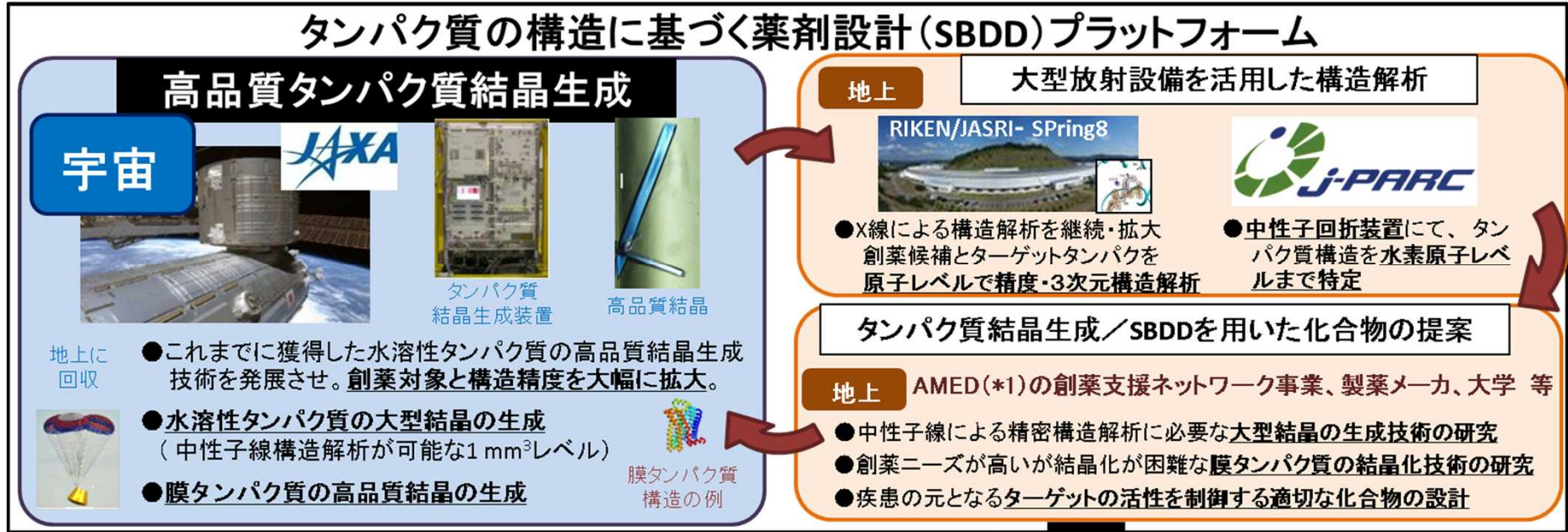
# 参考

「きぼう」利用と有人技術・探査技術の  
研究開発に関する今後の取り組み  
＜具体的な計画の例＞



# 【計画①(a)】 「きぼう」利用 健康医療技術研究 タンパク質構造に基づく薬剤設計

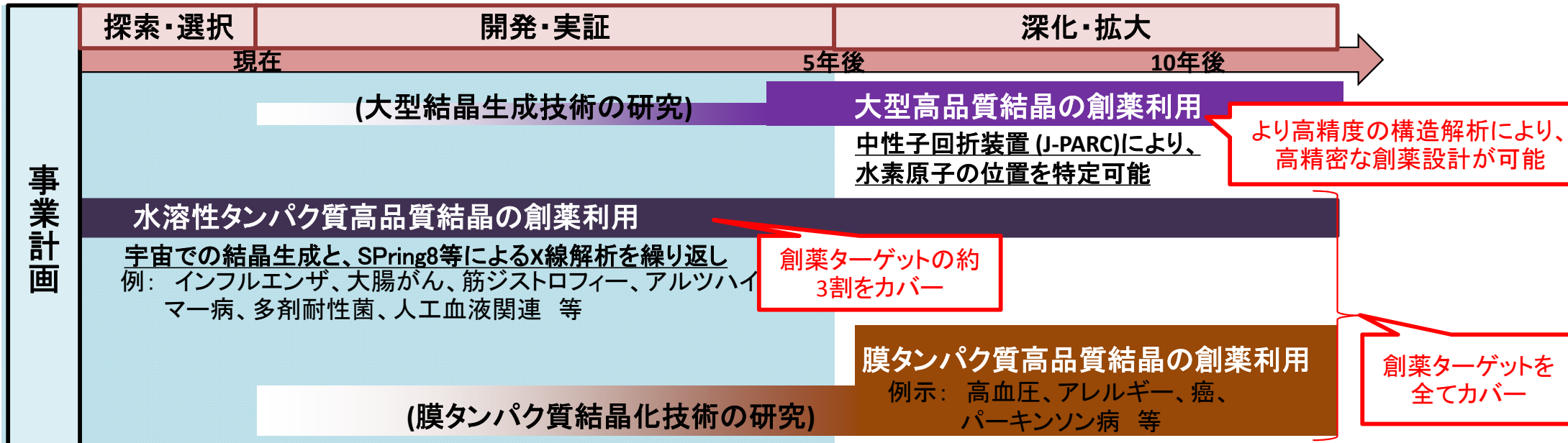
「きぼう」利用の位置づけ



\*2 ハイスループットスクリーニング。多くの化合物を生物学評価すること。

**従来のHTS(\*2)に比べ短時間で創薬候補を提案、高い効果等のドラッグデザインを実現**

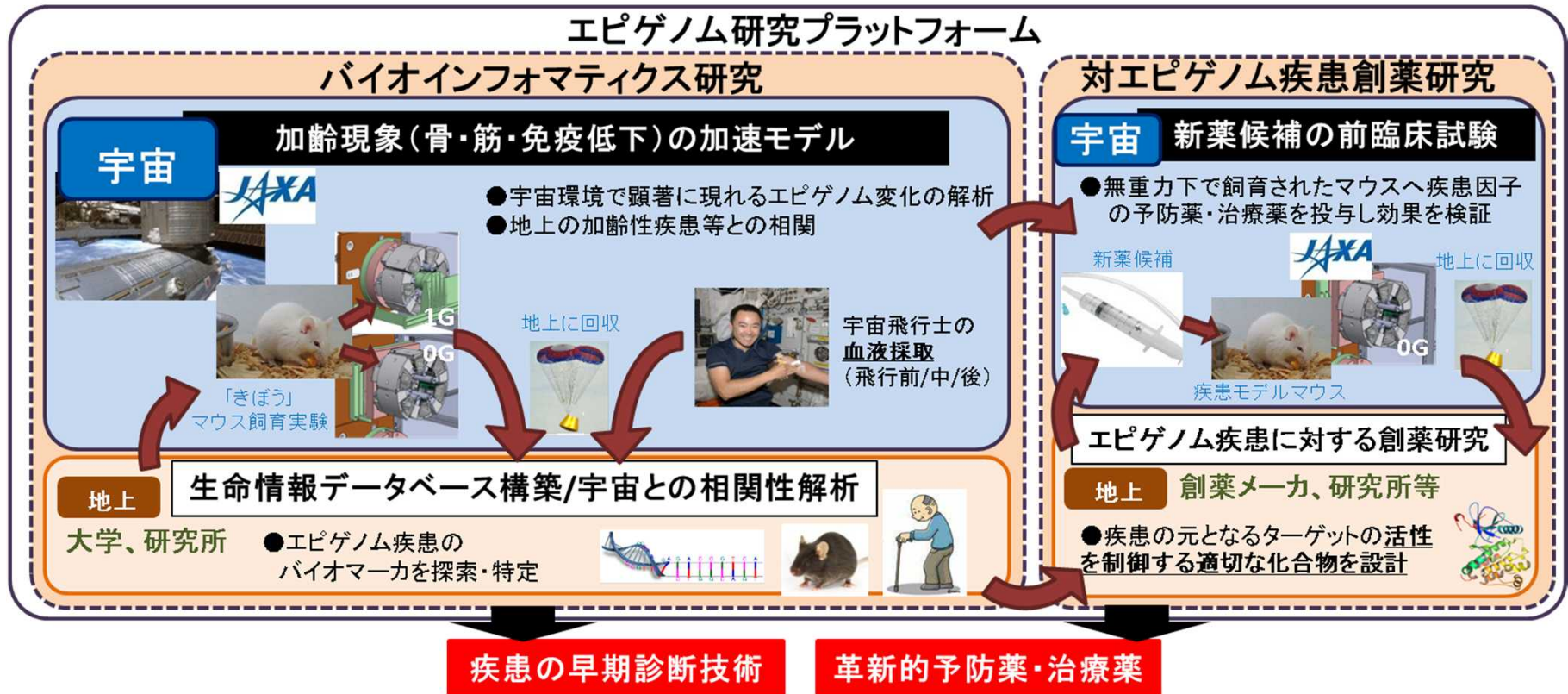
\*1: AMED: 日本医療研究開発機構



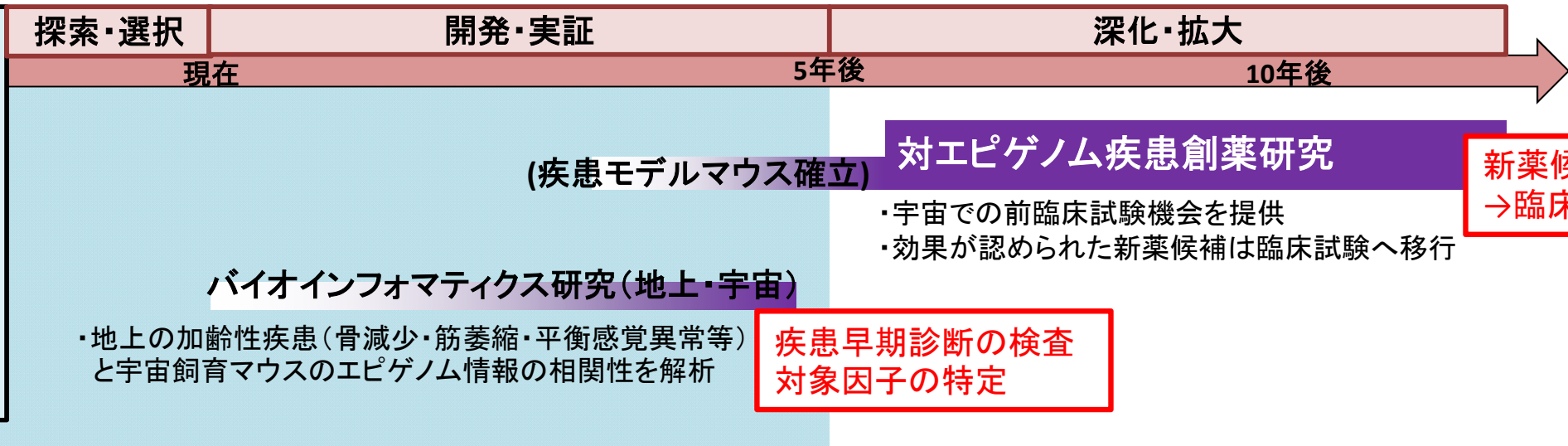
【計画①(b)】

「きぼう」利用 健康医療技術研究 エピゲノム疾患研究

「きぼう」利用の位置づけ

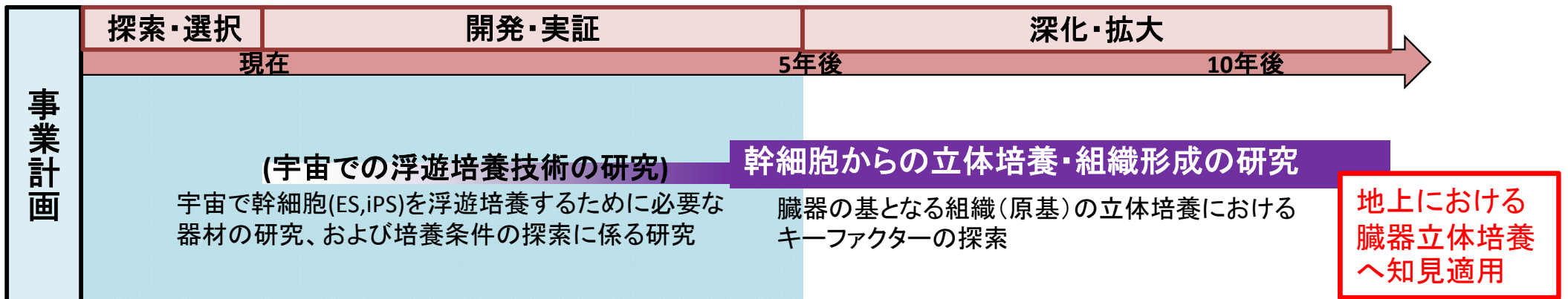
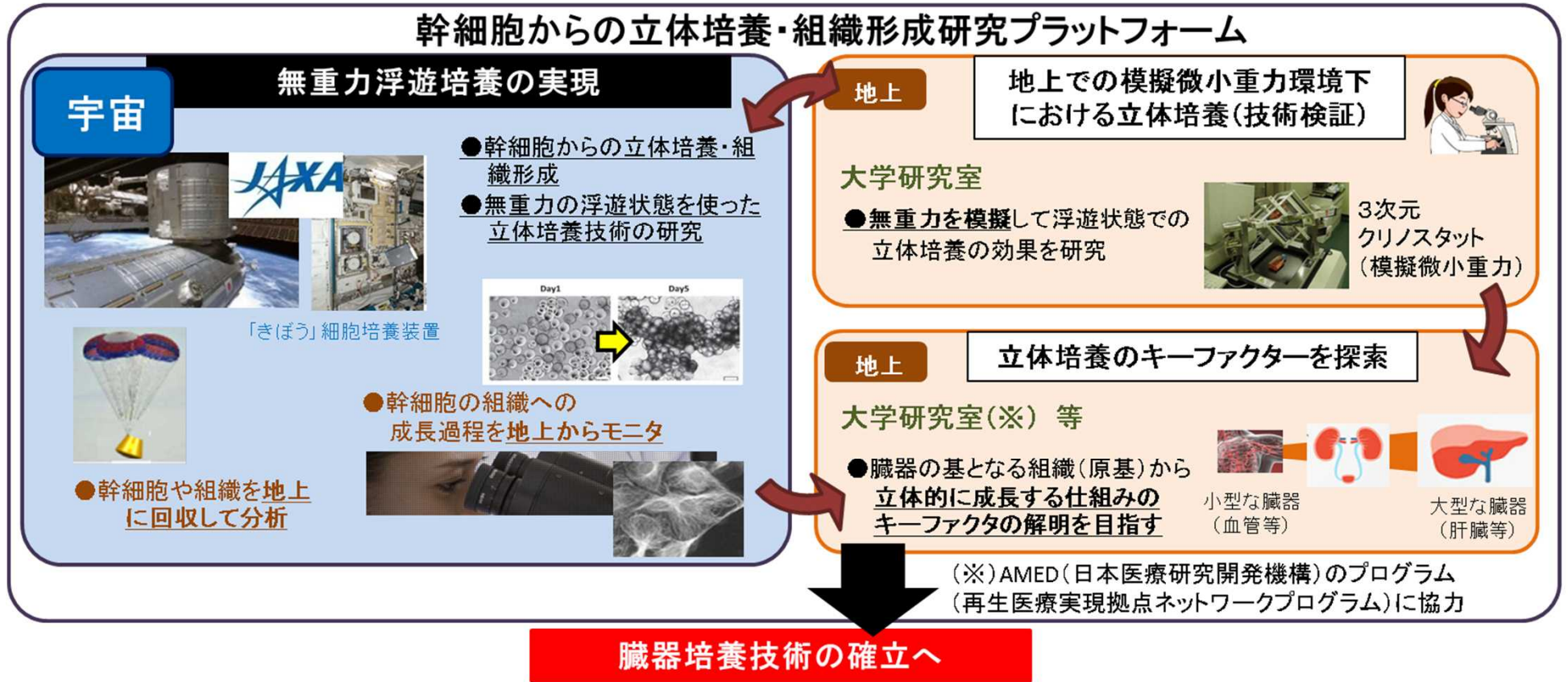


事業計画



# 【計画①(c)】「きぼう」利用 健康医療技術研究 幹細胞からの立体培養・組織形成

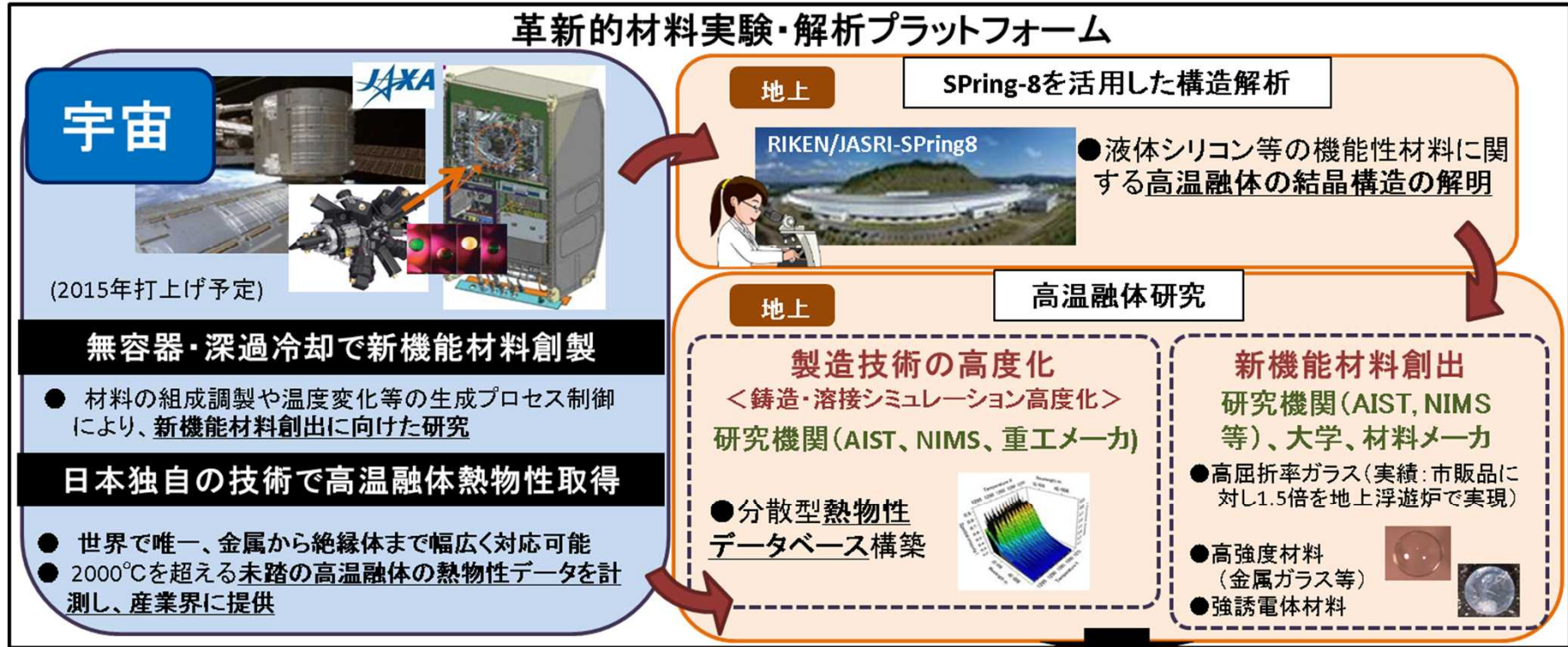
「きぼう」利用の位置づけ



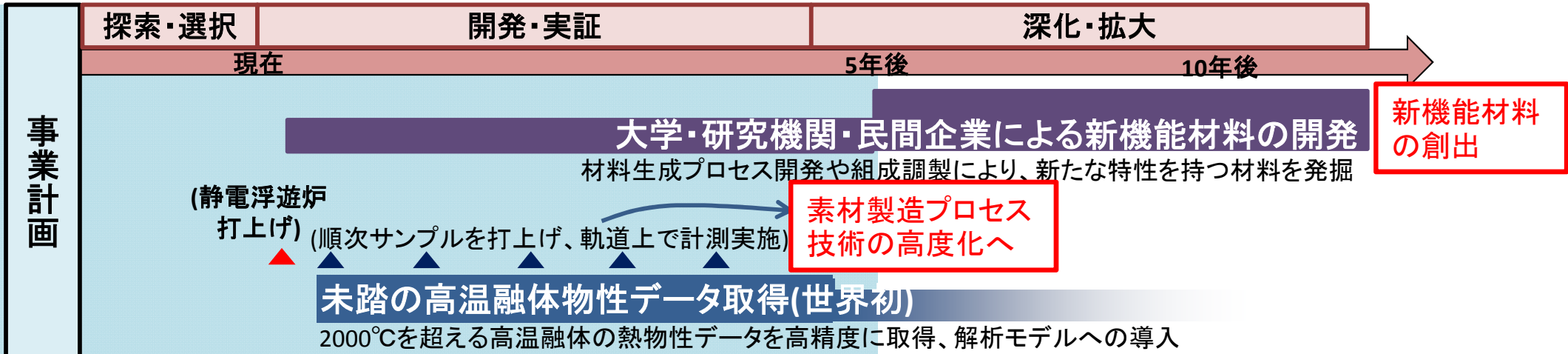
【計画②】

「きぼう」利用 高温融体材料の研究

「きぼう」利用の位置づけ



「製造技術の高度化」及び「新機能材料の創出」  
につながる成果を産業界に還元



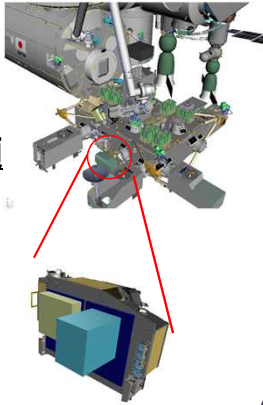
# 【計画③】 「きぼう」利用 宇宙利用機会の高頻度提供



## 宇宙利用のゲートウェイ

### 簡便な宇宙利用機会を提供 (Plug and Play)

- 実験プラットフォームとして、簡便かつ高頻度に、最先端のミッション等を実現可能
- エアロックとロボットアームを活用し、簡易且つ高頻度に船外ミッション機会を提供
- 次期データ中継衛星との光通信機能を「きぼう」に付加し、実験データ用通信レートを一桁アップ (100Mbps→1Gbps)



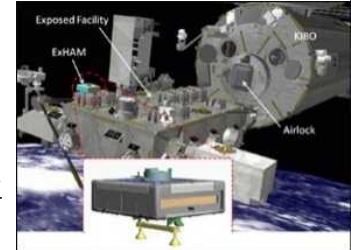
### 小型衛星放出 (教育から実証利用まで)

- CubeSat(1kg)から50kg級までの超小型衛星を放出
- 緩やかな機械環境で、高頻度に打上げ、「きぼう」エアロックを経由し宇宙へ放出
- 大学等と連携し、超小型衛星開発の加速を支援
- 国内のみならず、海外からの「きぼう」利用にも対応

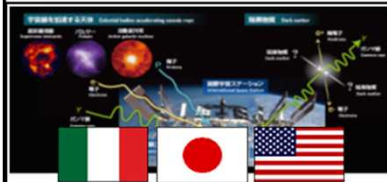


### 宇宙機器材料の品質保証 (Qualified by KIBO)

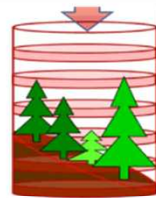
- ロボットアームを活用し、船外活動なしで、簡易且つ高頻度に材料曝露実験機会を提供
- 地上回収し利用者自らが分析可能
- 宇宙用新素材の品質・信頼性評価に活用 (例: アンテナ材、太陽帆 等)



#### 未知の科学的知見の創出



高エネルギー電子・ガンマ線観測 (CALET)



炭素蓄積量と放出量推定の精度向上  
植生ライダー

#### 超小型衛星のデータ利用

農業支援



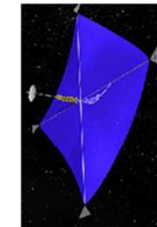
Planet Labs社  
Doves

森林・災害・気象



東北大・北大  
雷神

#### 高い耐久性材料を創出



Solar sail

宇宙利用のハードルを下げ、民間企業が多様なミッションを高頻度に企画・開発

民間による宇宙利用の企画・技術力向上

# 【計画③】 「きぼう」利用 宇宙利用機会の高頻度提供（続き）

参考

## Nano/Microsatellite Launch History (1 - 50 kg)

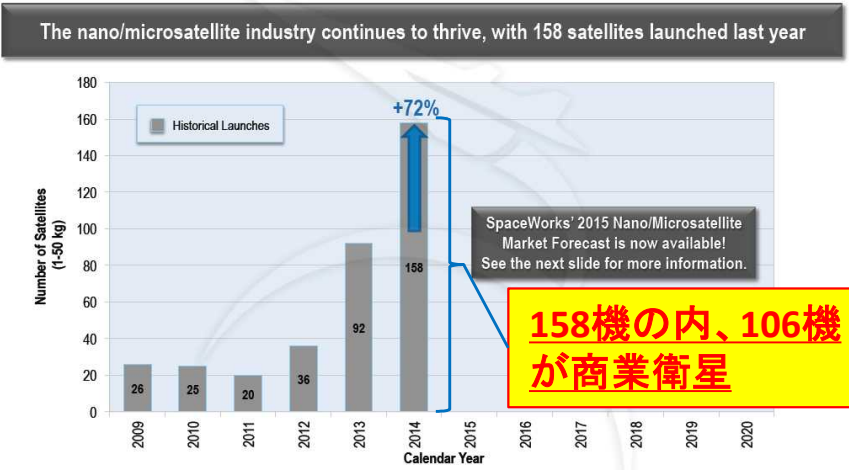


図-1 世界の小型衛星(1-50kg) 打上げ数推移

(出典) 2015 Small Satellite Market Observations, SpaceWorks Enterprises, Inc. (SEI)

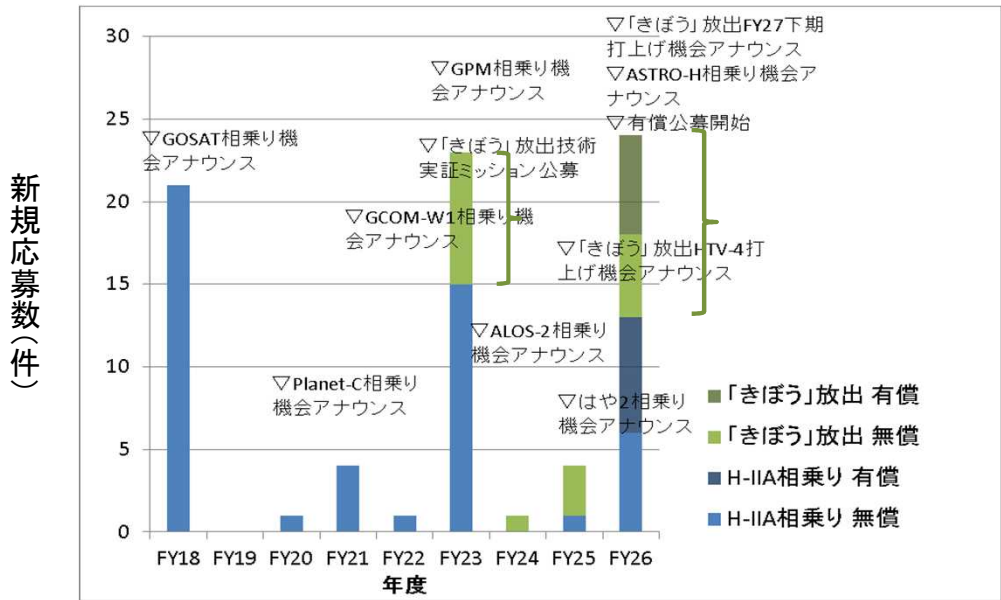



図-2 「JAXAの超小型衛星打上げ機会提供制度への新規応募数の推移」

【計画④】

# 宇宙探査・有人技術の研究開発

「きぼう」利用の位置づけ

### 革新的な宇宙探査・有人技術の研究開発プラットフォーム



「きぼう」

- 閉鎖系テストベッドとして活用し、長期有人滞在技術を実証
- 電力・通信・熱制御系等のバス機能を活用し、短期間で宇宙実証を実現

「こうのとりのり」(HTV)

### <革新的な「宇宙技術」の創出>

#### 超長期滞在の宇宙医学



- 放射線被ばく、骨量減少、筋萎縮、閉鎖環境精神心理、医療技術など

#### 超長期滞在の放射線防護



- 宇宙放射線防護材の軽量化、予測シミュレーション技術

#### 完全自動ランデブ・ドッキング



#### 空気・水補給量の半減




- 現ISS装置比で、電力1/2、容積・重量1/4の水再生システム

#### 絶対火災安全技術



- 無重力下での耐火材料の創出

#### 故障衛星の捕獲修理



#### 月近傍以遠の高速通信



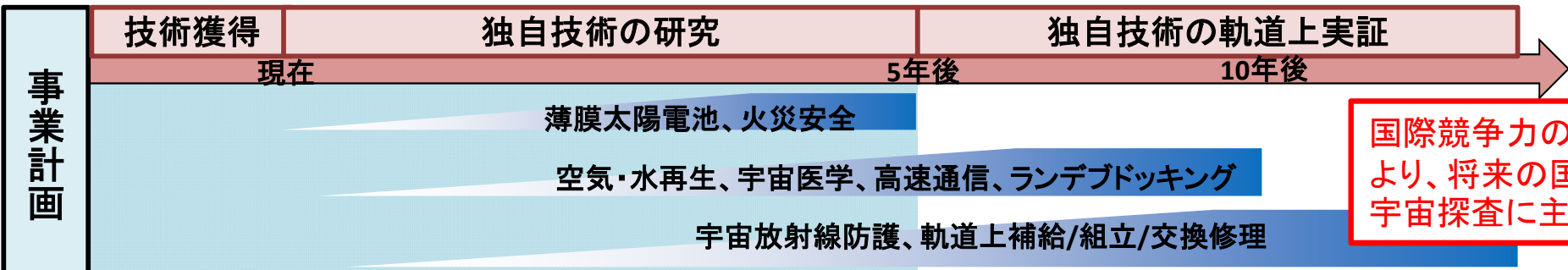
- 探査ミッションに必要な低リソース・高速光通信

#### 超長期滞在でのエネルギー確保



- 電力系の軽量化で効率的に大電力確保

「科学技術立国」日本の国際的プレゼンスの向上      国際競争力の強化



国際競争力のある宇宙技術により、将来の国際協働による宇宙探査に主導的役割で参画