



# 国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟の 開発・運用・利用の10年間で得た成果、知見などについて (利用編)

2019年8月27日

宇宙航空研究開発機構  
有人宇宙技術部門  
きぼう利用センター 小川志保

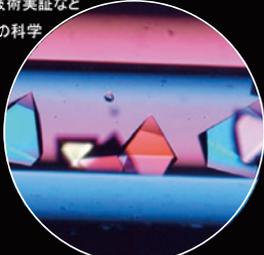
# 有人宇宙技術部門 の事業

JAXA有人宇宙技術部門はISSを支える事業を通じて、国の科学技術イノベーション戦略や企業の産業競争力強化に貢献する成果を挙げています。また、将来の国際的な宇宙探査や宇宙ビジネスでアドバンテージとなる技術力を獲得し、中核となる人材を育成しています。

## 「きぼう」日本実験棟での実験

「きぼう」は、船内・船外両方の実験環境を備える、ISSの中で最大の実験室で、エアロックやロボットアームなどの機能も独自に持っています。宇宙ならではの特殊な環境を長期間にわたって利用して、生命科学、宇宙医学、物質・物理科学、地球惑星科学、宇宙での技術実証など

さまざまな分野で、国の科学技術イノベーション戦略や民間企業の技術開発に貢献できるような成果の創出に取り組んでいます。



「きぼう」で生成された高品質なタンパク質の結晶



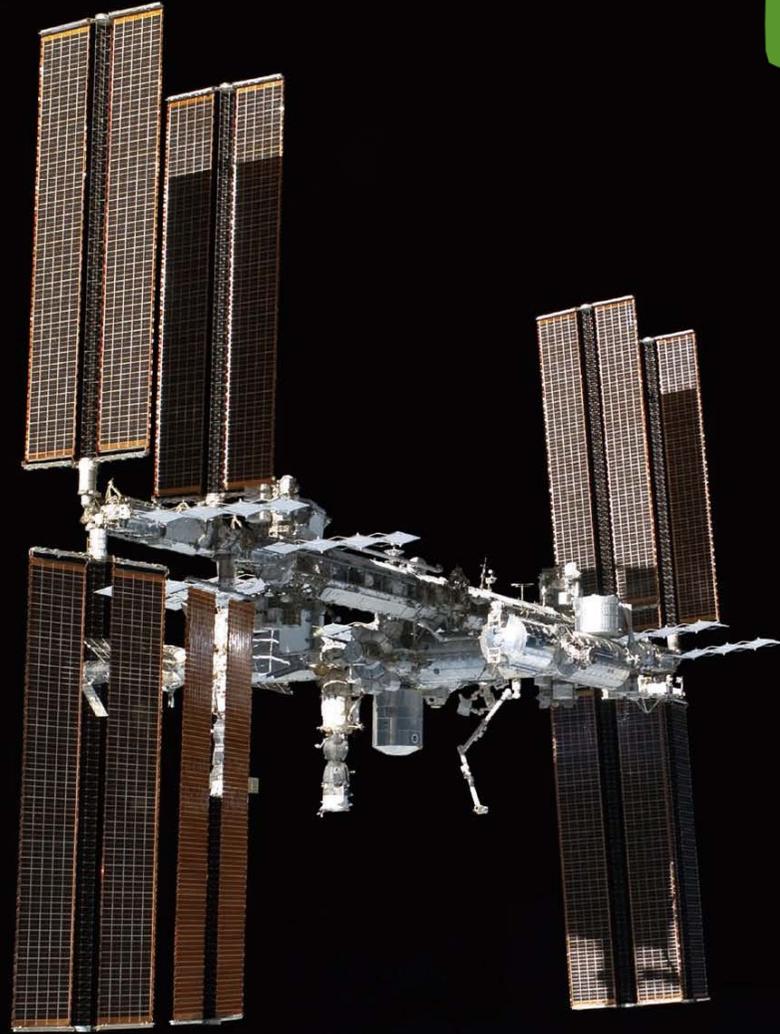
「きぼう」運用管制室

「きぼう」の運用は、筑波宇宙センターの運用管制室から行っています。厳しい訓練を経て認定されたフライトディレクターや運用管制員が、米国をはじめ各国と連携して、3交代24時間

体制でISS運用を支えています。

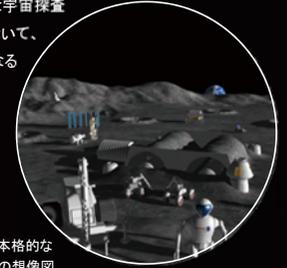
「きぼう」と「こうのとり」で着実な開発・運用実績を積み重ねたことで、国際パートナーからの信頼を獲得し、日本はいわば“宇宙常任理事国”としての地位を確立しています。今後も、データやノウハウをさらに蓄積し、将来の国際的な宇宙探査などで中核を担える技術力と人材を育成していきます。

## 「きぼう」日本実験棟の運用



## 将来の宇宙技術の開発

月、火星、そしてその先へと、地球近傍を離れて有人探査活動を拓げていくためには、長期間の宇宙飛行に必要となる新たな技術が求められています。「きぼう」と「こうのとり」を活用して宇宙医学や環境制御技術、センサー技術などの研究や実証を進め、将来の国際的な宇宙探査や宇宙ビジネスにおいて、日本の“強み”となる技術を獲得していきます。



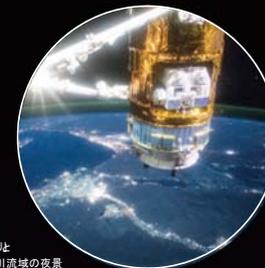
月の本格的な利用の想像図

## 日本人宇宙飛行士の選抜と養成

日本人飛行士の宇宙滞在累計日数は1000日を超え、米国、ロシアに続き世界第3位です。これまでに11人の宇宙飛行士を選抜・養成し、11人が計19回の宇宙飛行を行っています。日本人宇宙飛行士がアジア初のISS船長を務めるなど、宇宙先進国として世界有数の実績とノウハウを蓄積しています。



「こうのとり」で運ばれた新鮮な果物を浮かべるISS滞在中の油井亀美也宇宙飛行士



「こうのとり」の発射  
ナイル川流域の夜景

## 宇宙ステーション補給機「こうのとり」の運用

ISSでの活動に欠かせない物資補給。それを支える宇宙の宅配便が、日本の「こうのとり」です。実験装置や試料、食糧や水などの生活必需品を搭載して、種子島宇宙センターから打ち上げられます。ISSに物資を輸送する能力を持つのは日本・米国・ロシアの3ヶ国のみ。運ぶことができる荷物の重量・サイズともに「こうのとり」は世界最大で、2016年からはISSの維持に不可欠な大型バッテリーの輸送も担っています。

ISSの継続的な運用に貢献するだけでなく、今後は地上へ実験試料を持ち帰る回収カプセルなど新しい技術にもチャレンジしていきます。

# 目次(本日のトピック)

## ◆ 開発・運用・利用で得た成果・知見について

1. 宇宙環境利用全体像
2. 「きぼう」利用の成果
3. 今後の宇宙環境利用
4. 国際協力（利用の側面から）

※開発・運用・利用で得られた成果・知見のうち、今回はサイエンスの観点を中心に説明させていただきます。

# 1. 宇宙環境利用全体像（きぼう利用の戦略）

## □ 2020年まで：

**新たな概念や価値を創出できる利用を構築し、  
研究開発基盤として定着させる**

- 地上では実証できないことや地上で捉えられない現象を宇宙実験で解明し、新たな概念や価値を創出できる利用サービスを確立。
- 産学官との連携を通じて、より大きな研究成果の創出を目指す。

## □ 2024年まで：

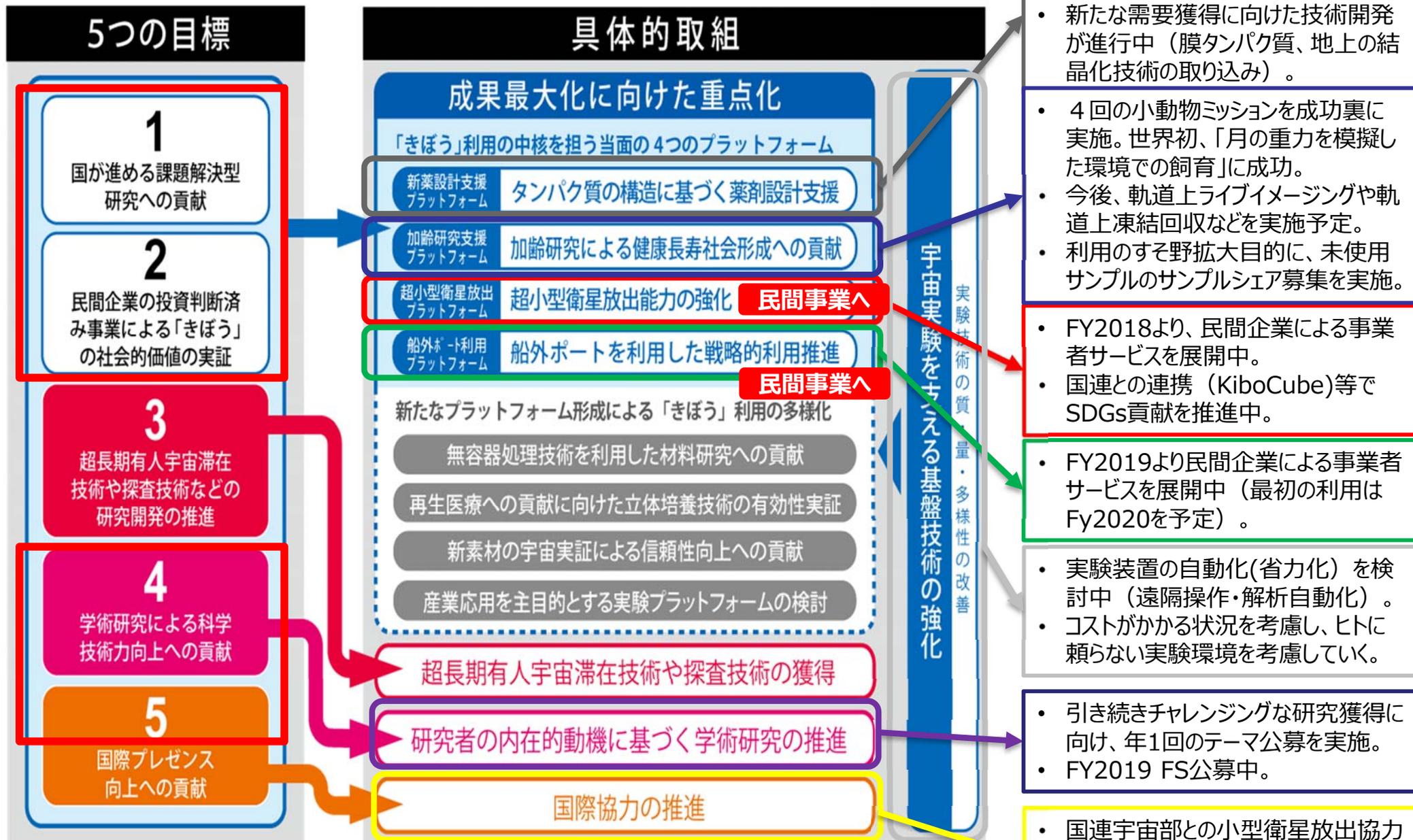
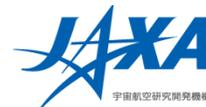
**利用サービスの一部を自立化などを通じて  
低軌道利用の経済活動拡大に貢献する**

- 外部機関が、自立的・継続的にエンドユーザへの利用サービス提供や自己利用を行い、安定的な需要を創出する。
- 将来の地球低軌道利用の経済活動拡大に向けた成果の橋渡し先として、「きぼう」が貢献する。



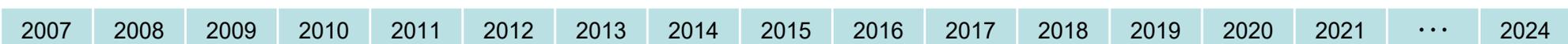
# 1. 宇宙環境利用全体像（きぼう利用戦略の実現）

主な進捗状況



1, 2, 3, 4, 5 本日の説明範囲

# 1. 宇宙環境利用全体像（「きぼう」利用推進の展開）



▲ 船内利用開始

▲ 船外利用開始

▲ きぼう利用領域の重点化  
(基礎研究シナリオ制定)

▲ プラットフォーム構想、方向性  
(利用戦略2020制定)

## 「探索・選択」の段階

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

## 「開発・実証、民間利用拡大」の段階

国の科学技術戦略テーマ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。技術成熟の分野からプラットフォーム化、更には民間移管を実現。

## 「地球低軌道利用発展」へ

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。LEO利用拡大につなげる。

船内科学  
研究(公募)

幅広い分野を募集・実施

重点領域を設定。国の課題への貢献を重視した募集、実施

立体培養利用の整備

新薬支援PF  
(タンパク)

結晶化技術の整備、利用開拓

国プロとの連携、民間拡大

利便性・多様性向上、利用の定着

▲年2回利用開始

▲有償/トライアルユース

▲戦略パートナー

▲利用機会倍増、利用条件の多様化

△結晶化率改善、膜タンパク適用

加齢研究PF  
(小動物)

地上への展開(国プロ連携)、探査での活用

▲生存帰還成功

▲戦略パートナー連携

▲サンプルシェア開始

▲月の重力環境での飼育

船外ポート  
利用

大型ミッション機器の搭載(公募)

小型・中型ミッションにシフト

▲初期ミッション(3つ) ▲混載

▲CALET

▲i-SEEP投入  
(中型ミッション)

△HISUI(経産省連携ミッション)

サービスの事業移管

衛星放出PF

衛星放出利用の定着

サービスの事業移管、SDGsへの貢献

▲戦略パートナー

▲事業者選定、サービス開始

(北大/東北大、九工大、東大) ▲国連宇宙部との協力

民間利用推進  
(有償利用)

さまざまな利用を展開

研究開発利用に特化

多様な利用、J-SPARCとの連携

アジア利用

教育利用などの参加型ミッション

各国主体のミッション(小型衛星、材料曝露、タンパク)

# 参考：「きぼう」利用の進捗状況

2019/8/20現在		宇宙実験終了	実験実施中	フライト実験 準備フェーズ	検討フェーズ (FS段階)	
船内	科学研究 テーマ(*)	生命科学／宇宙医学	40	5	10	7
		物質・物理科学	13	3	6	4
	タンパク質結晶生成 (右記は実験サイクル数。1回に複数ユーザの試料を搭載) (有償利用も含まれる)	24	1	2	0	
	応用利用 (右記は実験計画数。ナノスケルトンと3DPC)	2	0	0	0	
	アジア協力、文化人文社会科学、教育等	9	0	0	0	
	有償利用（上記以外の有償利用）	17	2	0	-	
船外	船外実験ポッド利用(大型・中型ミッション)	8	3	3	0	
	小型衛星放出(有償利用含む) (放出時点で終了にカウント)	26	-	13	-	
	材料曝露・微粒子捕獲(有償利用含む)	10	8	0	-	
合計		149	22	34	11	

上記には、テーマ募集によらず、JAXA主体で実施している宇宙医学実験、有人宇宙技術開発(技術実証)、「きぼう」を利用するNASAの実験、「きぼう」以前に他国のモジュール等で実施した実験は、含まない。

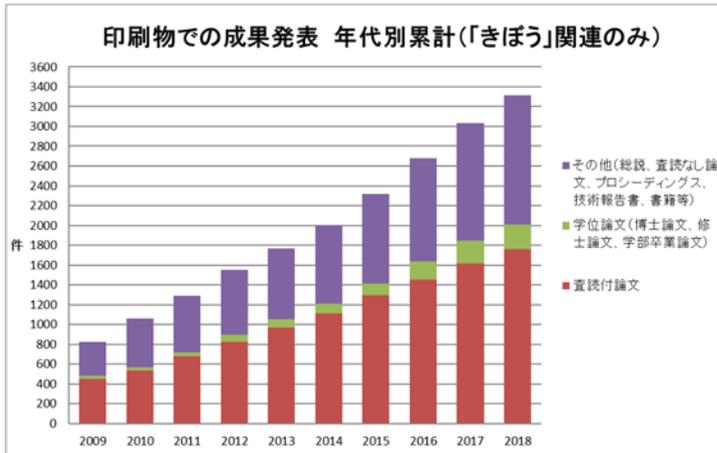
(\*)応募者からの実験要求に合わせて個別に実験計画を立てて行う船内環境利用の科学研究テーマ

## 2. 「きぼう」利用の成果（発表論文数等から見る実験利用）

### ISS・きぼう関連の学術成果

#### 学術論文の推移

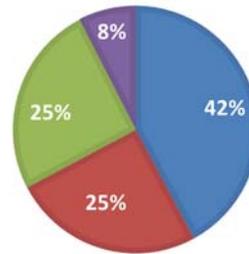
「きぼう」に関連する学術的成果は、船外のX線天文観測における科学誌NatureやScienceへの掲載をはじめ、約1,800件の査読付き論文として発表されている。



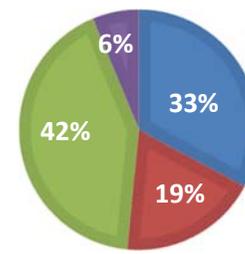
#### 査読付論文の分野別割合

- これまでに発表された「きぼう」関連の査読付論文における分野別割合は、生命医科学に次いで科学観測及び物質・物理科学、その他（タンパク実験を含む）の順。
- 被引用回数上位10%論文では、船内関連（生命医科学、物質・物理科学、その他）及び船外（科学観測）の成果が概ねそれぞれ半数を占める。船内・船外ともに各分野の論文数に見合う質の論文が発表されている。被引用回数上位1%論文では、科学観測の割合が多く、質の高い成果を創出している。

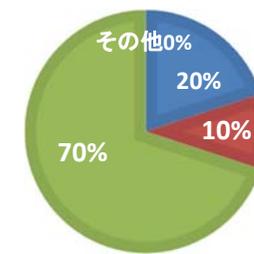
全論文数 分野別



Top10%論文 分野別



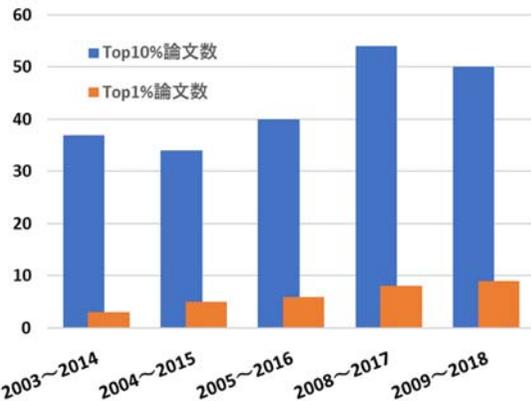
Top1%論文 分野別



出典 Clarivate Analytics

#### 高被引用論文数推移

発表論文数の高被引用論文数推移  
（「きぼう」関連のみ）

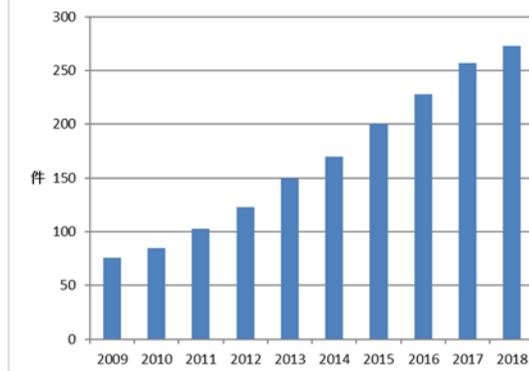


出典 TR, Clarivate Analytics

- 直近の過去10年において、被引用回数が同分野・同出版年における上位10%に入る被引用論文数は50件、うち上位1%は9件。着実に増加している。
- 上位1%には、MAXIやCALET（科学観測）、Atomaization（物質/微粒化実験）、HydroTropi（植物）、NeuroRad（細胞影響）の論文が入る。

#### 競争的資金獲得件数と知的財産

「きぼう」利用研究者による競争的資金の獲得件数（年別累計（助成初年度で集計））



- 質、量ともに高い学術的成果が創出され、関連する国の戦略的な研究等の競争的資金の獲得件数は増加傾向である。
- 「きぼう」利用に関連する学術的成果や技術開発成果からこれまでに5件の特許を取得済み（科学観測1件、物質・物理科学3件、生命医科学1件）。また、3件について特許出願中（タンパク質実験関連1件、物質・物理科学2件）。

## 2. 「きぼう」利用の成果（発表論文数等から見る実験利用）

### 国際的なISS利用統計情報に基づく利用成果（論文等）

ISS Utilization Statistics: 1998年12月 - 2018年10月

Clarivate Analytics® Ranks		Source (Number of Publications)
ISS Publications in Top 10 Sources	1	PLOS ONE (44)
	2	Nature (2)
	3	Science (3)
	4	PNAS (4)
	5	Nature Communications (1)
	7	Scientific Reports (28)
	8	New England Journal of Medicine (1)
	9	Physical Review Letters (36)
	ISS Publications in Top 100 Sources	15
16		The Astrophysical Journal (8)
18		Chemical Communications (1)
20		Journal of Biological Chemistry (2)
21		RSC Advances (1)
25		Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (1)
26		Applied Physics Letters (1)
29		Journal of Neuroscience (1)
42		Astronomy and Astrophysics (2)
46		Optics Express (2)
48		Chemistry - A European Journal (1)
51		Geophysical Research Letters (6)
63		NeuroImage (1)
67		The Journal of Chemical Physics (5)
77		Physical Review E (2)
89		Langmuir (3)
94		Biomaterials (1)
96	The Astrophysical Journal Letters (7)	

- 左表は、クラリベイトアナリティクス社による被引用数等 (EigenFactor※) に基づく論文誌ランキングに対し、ISSを利用した直接の結果が掲載された論文誌 (ISS運用開始1998年12月～2018年10月掲載分) と掲載数 (カッコ内) を示したものの。
- Top10の論文誌のうち、JAXA関連成果は以下。
  - ISS全体のNature掲載2報は、いずれもJAXA (MAXI)の成果であるなど、顕著な成果をあげている。

Source	JAXA成果数 / ISS全体	JAXA成果内容: 領域 (テーマ略称)
PLOS ONE	7 / 44	- 線虫 (CERISE) - 細胞 (MyoLab) - ヒト対象 (Hybrid Training, Hair) - 植物 (Ferulate) - メダカ (Medaka Osteoclast) - タンパク (JAXA PCG)
Nature	2 / 2	- 科学観測・全天X線監視装置 (MAXI)
Science	1 / 3	- 科学観測・全天X線監視装置 (MAXI)
PNAS	1 / 4	- 生殖系放射線長期影響 (Space Pup)
Scientific Reports	10 / 28	- 線虫 (ICE First) - 細胞 (Myolab) - メダカ (Medaka Osteoclast: 2報) - ヒト対象 (V-C Reflex, Hair, Biological Rhythms) - 物質 (Ice Crystal2) - マウス (Mouse Epigenetics) - タンパク (JAXA PCG)
Physical Review Letters	2 / 36	- 科学観測・高エネルギー電子・ガンマ線観測装置 (CALET)

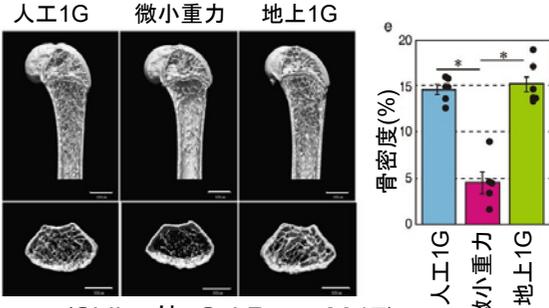
※一般の雑誌よりも影響力のある雑誌に引用されることを高く評価する、雑誌の評価指標。

## 2. 「きぼう」利用の成果（例）

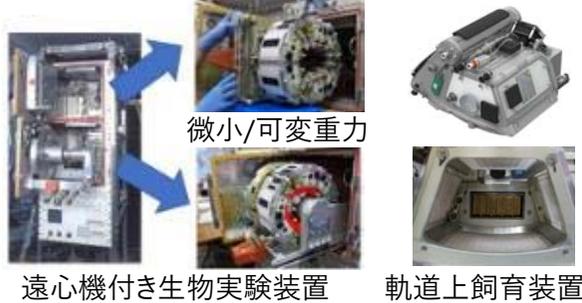
### 健康長寿社会実現に向けた加齢研究支援

宇宙は加齢で生じる筋萎縮や骨量減少の加速モデル。JAXA装置は唯一、重力影響を定量的に評価可能

- JAXAの第1回小動物ミッション（2016.7～8実施）において、世界で初めて1G以下の長期可変人工重力環境での小動物（マウス）の個別飼育に成功。
- 宇宙でのわずか35日間のマウス飼育により、重度の骨粗しょう症と同様の骨量減少が発生したが、人工1Gでは防げることを示した。
- ほ乳類への重力影響を「きぼう」で評価することが可能となった。
- 重力による骨量や筋量の減少に他対するカギ（遺伝子の働き方等）を明確にすることで、対策法確立が期待される。



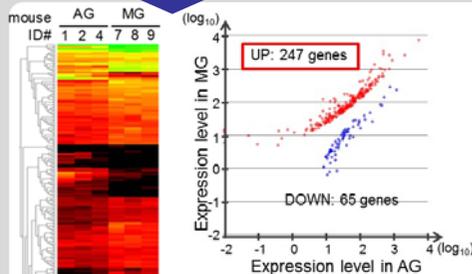
(Shiba 他, Sci Rep., 2017)



### 筋萎縮に關する候補遺伝子を同定

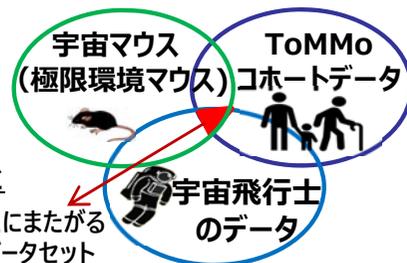
遺伝子発現解析の結果に基づき、筋萎縮に關する候補遺伝子をスクリーニングし、同定。ノックアウトマウスを作製し、生体内での機能解析中(筑波大)

候補遺伝子ノックアウトマウス



### マウスからヒトへ、戦略パートナーと連携し「きぼう」利用による健康長寿社会の実現

宇宙で得られたデータを地上の健康維持や先端的医療研究に役立てるため、東北メディカル・メガバンク機構(ToMMo)と連携協定を締結。 宇宙と地上にまたがるユニークなデータセット



### 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

世界初！月の重力環境をISSで実現してマウスを長期飼育～深宇宙への人類の活動領域拡大に向けた第一歩～

- 長期間、地球よりも低重力環境で哺乳類(マウス)を飼育できるのはJAXAのみ。
- 2019年5月、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可能。
- 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との共同でのPartial-G(低重力)ミッションを検討中。



微小重力環境：ふわふわ浮いた状態



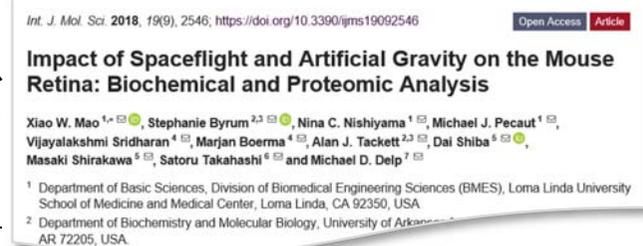
人工1/6G環境：浮いた状態からケージ底面に“着地”



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)

### 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済み。



# 参考：JAXAマウス飼育装置利用研究の発展



ミッション	2016年：MHU-1	2017年：MHU-2	2018年：MHU-3	2019年：MHU-4
PI	筑波大学・高橋智	理化学研究所・大野博司 横浜市立大学・平野久	東北大学・山本雅之	北海道大学・村上正晃 JAXA技術実証
科学・研究面での「世界初」	<b>世界初</b> 、マウス長期飼育(1か月以上)後の全匹生存帰還 <b>意義・価値</b> ：生存帰還により、研究者によるより高度な解析作業が可能に	<b>世界初</b> 、フラクトオリゴ糖含有餌による介入実験とプレバイオティクス効果の検証 <b>意義・価値</b> ：各個体レベルでの実験条件設定、多様な実験要求の実現	<b>世界初</b> 、遺伝子ノックアウトマウスの全匹生存帰還 <b>意義・価値</b> ：世界中の多くのヒト病態解明を目的とした遺伝子ノックアウトマウス資産を宇宙での機能実験に活用する道を切り開いた	<b>世界初</b> 、中枢神経系等の炎症疾患モデルマウスの全匹生存帰還 <b>意義・価値</b> ：様々な病気に関連する炎症をコントロールする方法(例えば神経刺激により炎症を制御する方法など)の開発が可能に
技術面での「世界初」	<b>世界初</b> 、軌道上での長期人工重力(1G)負荷飼育 <b>意義・価値</b> ： $\mu$ G~1Gのほ乳類への重力影響を「きぼう」で評価することが可能となった	<b>世界初</b> 、軌道上でのマウス個別の糞取得 <b>意義・価値</b> ：取得データの多様性を確保。さらに、MHU-1との比較で、実験系としての再現性を確認できた。加齢研究支援PFとしての確立	<b>世界初</b> 、軌道上の微量採血による経時的生体サンプル(血液)取得 <b>意義・価値</b> ：宇宙ストレス時の代謝物変化が解析可能となった。それと軌道上でのクルーの血液解析との比較により、マウスからヒト疾患等への関連解析が可能に	<b>世界初</b> 、月の低重力環境(1/6G)での哺乳類の長期間飼育 <b>意義・価値</b> ：有人宇宙探査における、月や火星など地球より低い重力環境での身体応答などが事前に確認可能に



例) 発光を利用した小動物遺伝子機能解析装置 (2020年度提供予定)



©住商ファーマインターナショナル

## 2. 「きぼう」利用の成果（例）

### 微小重力環境利用

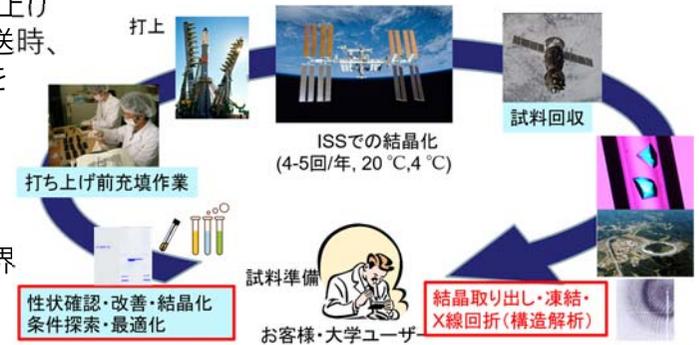
#### タンパク質結晶生成実験の10年での進化（地上サポート）

- 単に宇宙に持っていきた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年現在までに**25回宇宙実験を実施（うち15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°Cと4°C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・学术界に貢献。



#### タンパク質結晶生成実験の成果 [http://iss.jaxa.jp/kiboresults/utilization/protein\\_crystals/](http://iss.jaxa.jp/kiboresults/utilization/protein_crystals/)

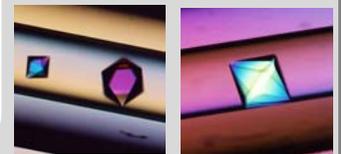
- 地上よりも高品質な結晶が多数得られており、**多くのタンパク質で地上より高品質の結晶生成に成功。**
- 筋ジストロフィーに関係するタンパク質HPGDSの薬剤候補を多数回打ち上げ（筑波大学 裏出教授、第一薬科大学 有竹教授）。**宇宙実験で得られた成果は、やがて新しい薬剤候補の設計につながり、より有効性の高い阻害剤(TAS-205)が創り出された。**その後の試験で、TAS-205は筋ジストロフィーモデルマウスやイヌに発症する筋肉壊死の拡大を減少または遅延させることが判明。2015年に、大鵬薬品工業は、TAS-205のヒトでの安全性を確認し、さらに、2017年にはDMD患者33名を被験者としてTAS-205の24週間の第II相試験を完了した。
- 歯周病治療薬につながる実験の成果により、特許申請（特願2017-156345）。現在動物実験の準備中（岩手医科大学 阪本泰光 准教授）。**
- 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その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・学术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。



# 参考：“きぼう”生まれのタンパク質結晶のその後



JAXAが貢献できる部分

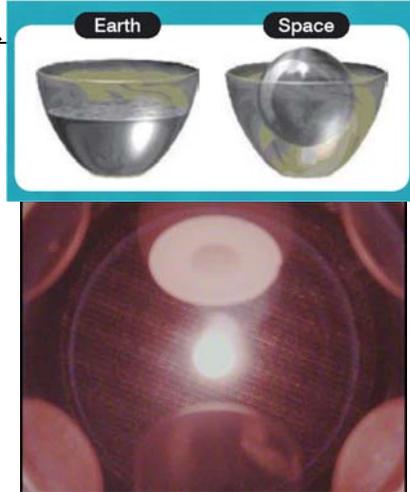
- ・老化検査薬: 結晶のない状態からスタートし、2.06 Å のデータ取得。機能向上のための変異体作成中
- ・人工血液: イヌ・ネコの人工血液については、基礎研究は終了し、製品化に向けた検討中。

## 2. 「きぼう」利用の成果（例）

### 「きぼう」静電浮遊炉：無容器処理技術を利用した材料研究への貢献

ガラス、セラミックス等高融点材料の熱物性取得できるのは静電浮遊炉のみ

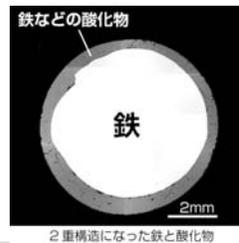
- 地上では液体を保つためには容器が必要であるが、微小重力環境では、容器を用いることなく非接触で液体を保持可能。
- 「きぼう」の静電浮遊炉(Electrostatic Levitation Furnace：ELF)は、地上では計測が困難な、3000°Cにもなるような高融点材料(標準直径2mm)を静電気力で炉の中に浮かせて、擾乱が少なく高純度を保った状態で過熱、溶融、冷却し、熱物性を測定することができる実験装置。
- ELFにより酸化アルミニウム（融点：2054°C）の浮遊・溶融に成功。溶けた酸化アルミニウムの画像から体積を算出し、地上に持ち帰った後に計測した質量から密度を求め、過去のデータと比較し、ELFで取得したデータが妥当であることを確認した。



浮遊する溶融酸化アルミニウム

### 鉄/酸化物界面現象を明らかにし高品質の鉄鋼を作る(実施中)

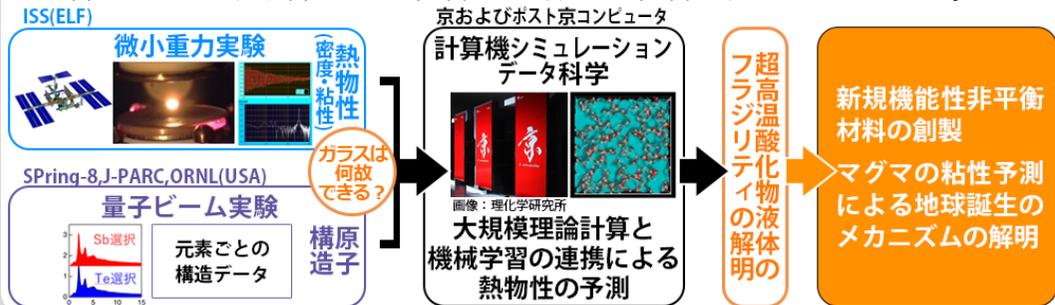
- 鉄鋼の生産・加工過程において、特性劣化を防ぎ、界面張力を制御し思い通りの溶接形状を作ることは、高い品質の鉄鋼製品を生産するために必要不可欠。
- ELFにより、界面張力の特性やメカニズムを明らかにする。



2重構造になった鉄と酸化物

### 窓ガラスやファイバーなど有用な酸化物ガラスの新奇創製(実施予定)

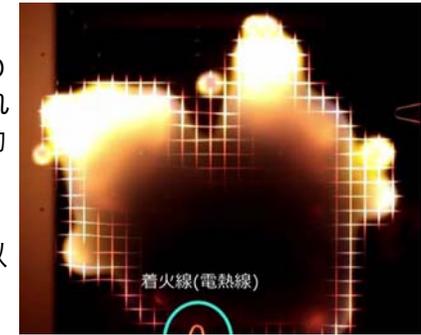
- 静電浮遊炉でしか測定できない酸化物の物性(特に粘性と密度)を精密測定。
- 測定結果と高輝度放射光等で測定する構造データを計算機シミュレーションで解析し、新しい学理創製、新奇ガラス材料などの非平衡材料創製へのフィードバック。



### 微小重力環境で見えてくる物理現象の本質：物質・物理科学研究

高効率で環境にやさしいエンジン開発等に向けて：噴霧燃焼実験

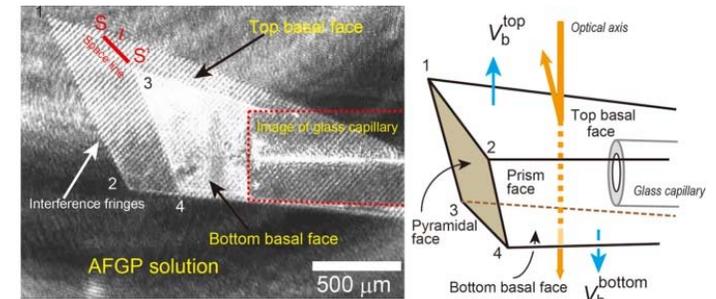
- 2017年、「きぼう」で初めての燃焼実験を実施。
- 液滴の燃焼実験は、これまでもNASAによって行われてきたが、各液滴の位置は支持棒等に固定されており、実際のエンジンにおける自由な液滴の移動ができないなど、条件が異なっていた。また、液滴数も数個程度の簡易的な条件であった。
- それに対し、「きぼう」での実験は、最大で150個以上の液滴を一度に作り、各液滴がファイバ上を制約を受けずに動くことができる環境で実施され、液滴の移動が火災の燃え広がりを与える影響を世界で初めて観察することに成功。より実際のエンジンなどにおける噴霧液滴燃焼現象に役立つ成果が得られると期待される。



「きぼう」の燃焼実験装置で初めて取得された液滴間の燃え広がり映像

### ISSで氷の結晶成長実験に成功。不凍糖タンパク質によって水が凍らないしくみが明らかに

- ISSでは、安定した微小重力環境が維持され、対流などの乱れを排除することが可能。氷の成長速度を精密に測定する宇宙実験装置を開発し、「きぼう」で氷結晶の成長実験を繰り返し実施。
- その結果、不凍糖タンパク質が水中にわずかに含まれると、氷結晶の底面の成長速度が純水中に比べて、3～5倍も早くなり、さらに周期的に変動(振動)することを初めて検証した。これは、結晶周囲で対流などの乱れが存在せず、氷の成長に対するタンパク質の効果が顕在化される微小重力環境での実験ならではの成果。
- 今後、不凍糖タンパク質が氷の結晶成長をどのようにして制御するのかという仕組みを明らかにし、氷点下でも魚が凍死しないのはなぜかという生命の不思議を説明するモデルに書き換えを迫ることが期待される。



宇宙実験による氷の結晶成長過程の画像(左)と、氷結晶の3次元的外形を示す図(右)。

## 2. 「きぼう」利用の成果 (例)

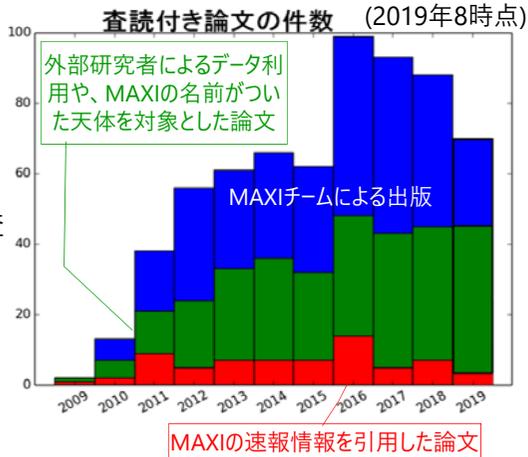
### ISS軌道を活かした科学観測

#### 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(2018年にはこれまで最多の5個のブラックホールを発見)。
- 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。



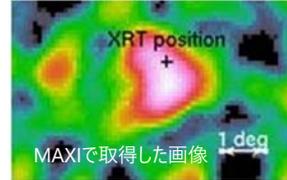
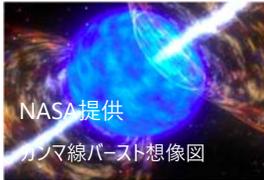
MAXI外観



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)



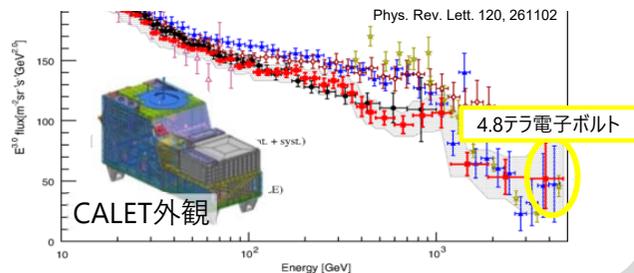
2013年4月にガンマ線バースト(宇宙最大規模の爆発)の観測に成功 (Science誌掲載)



#### 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」

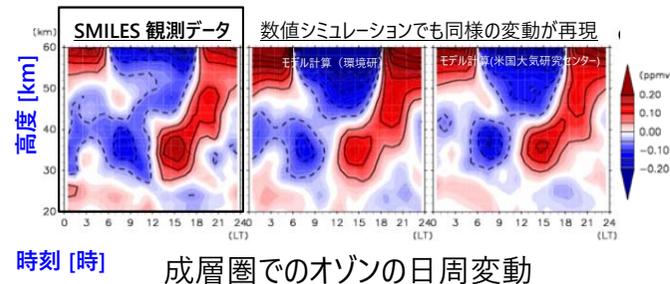
- 2015年10月にテラ電子ボルト領域の電子の直接観測に成功(世界初)。2018年には4.8テラ電子ボルトまでの高精度直接観測に成功。
- 今後5年間以上の観測データを蓄積し、今回の結果の約3倍の統計量を達成すること及び系統誤差の削減と合わせて20テラ電子ボルトまでの観測を行う予定。



#### 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

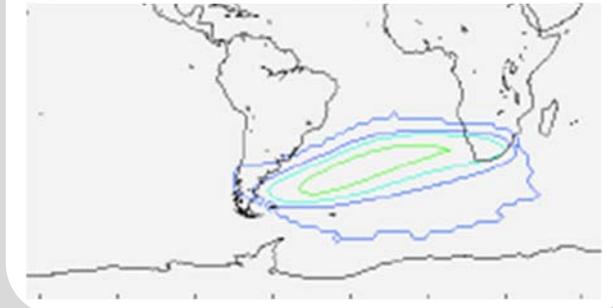


#### 宇宙環境計測ミッション装置(SEDA-AP) (2009.8～2018.12)

##### 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。

放射線変動モデルを開発、電子Fluxの変動予測や放射線帯のピーク位置など既存モデルよりも精度が大幅に向上



## 2. 「きぼう」利用の成果（多様な利用拡大の例）

有償利用の仕組みを構築し、民間による事業化を促進



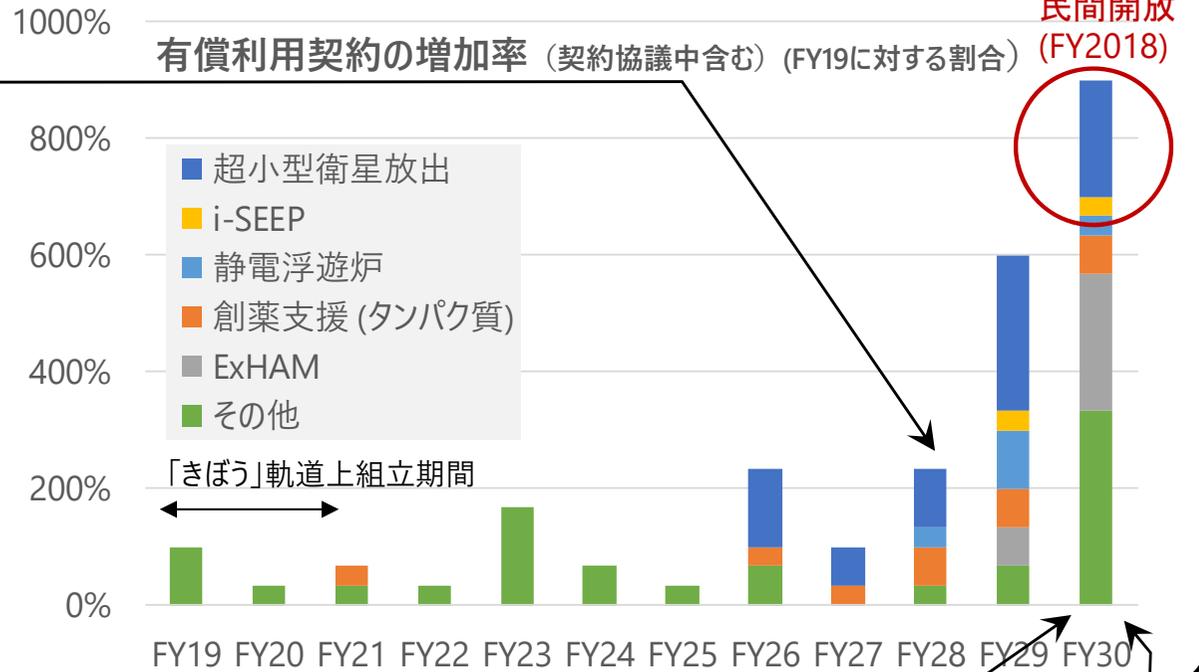
「きぼう」利用成果最大化を目指した「きぼう」利用戦略策定(2017.1)

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、その上での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。



### 「きぼう」有償利用制度

利用者独自の自由な発生に基づく「きぼう」利用により、商業利用等の拡大を目指す。



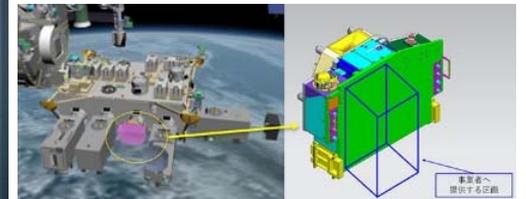
### 「きぼう」利用の民間開放の取組

利用ニーズが拡大している超小型衛星放出事業に関して、民間企業2社（SpaceBD、三井物産）を事業者として選定（2018.5）。更に、「きぼう」日本実験棟船外における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)。民間ならではの多様な利用ニーズと、スピード感をもった更なる利用拡大を目指す。

超小型衛星放出事業の民間開放(2018.5)



「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)



## 2. 「きぼう」利用の成果（多様な利用の拡大の例）

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晶を生成。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っている。日本発・世界初の医薬品創成の早期実現が期待される。



※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



### 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



### 船外実験プラットフォームでの有償利用契約

Space BD株式会社は、スペインの宇宙ベンチャー企業Satlantis社が開発する双眼鏡Integrated Standard Imager for Microsatellites (iSIM) の技術実証にあたり、「きぼう」の船外実験プラットフォームの一つである「中型曝露実験アダプター (i-SEEP)」を利用した一貫型軌道上実証サービスを受注(2019.2)。SpX-20での打上げ、実証を目指している。

Satlantisは本件による軌道上実証を行うことで、政府から大手宇宙企業まで多くの顧客が求める技術レベル (TRL-9) を達成し、iSIMの革新的な地球観測技術を用いた小型衛星による新たな星座の実現を目指す。

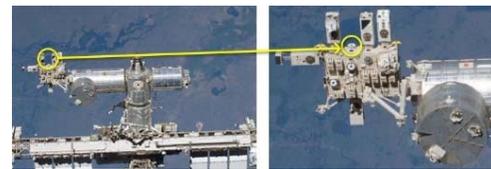


iSIM(©SATLANTIS)

### 「きぼう」船外から撮影した4K動画の民間利用・一般販売の開始

国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟が捉えた400km上空からの地球の4K動画の販売を、(株)アマナイメージ図から販売開始(2018.9~)。

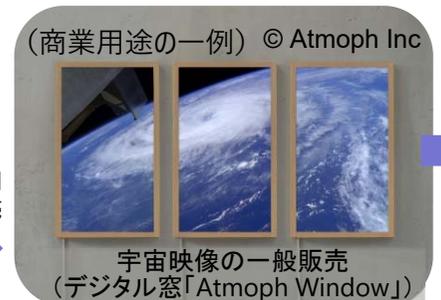
それを活用した商業用途の一例として、アトモフ(株)が一般販売するデジタル窓「Atomoph Window」の1コンテンツとして一般販売を開始(2018.11~)。宇宙からの高画質映像を活用した商業活動が開始された。



Sony a7S II © Sony

動画販売  
(アマナイメージズ)

商業用途販売



(商業用途の一例) © Atomoph Inc

宇宙映像の一般販売  
(デジタル窓「Atomoph Window」)

一般販売

## 2. 「きぼう」利用の成果（まとめ）

### ■ 既に150件程度の実験を実施済。20件程が軌道上実験中、40件程度の実験が準備・検討中であり、毎年新規のテーマを募集・選定している。

- Nature誌への掲載をはじめ、累計で1,800件に及ぶ査読付き論文を発表。うち被引用回数トップ10%に入る論文は64件。ISS利用成果としてのNature掲載2報は、いずれも日本(MAXI)の成果。
- 国際協力に発展させることで、科学研究成果の最大化を進めている → 燃焼研究、流体研究、小動物飼育ミッション

### ■ 微小重力環境ならではの利用に注力。領域開拓の段階を経て、獲得した成果や技術を背景に、出口を見据えた重点化やプラットフォーム化を推進。

- 「現象を加速する」：小動物飼育による加齢研究支援PF（骨粗しょう症や筋萎縮現象の加速モデル）
- 「品質が良くなる」：タンパク質結晶化実験による新薬設計支援PF
- 「微小重力ならではの変化を知って生かす」：細胞培養研究、燃焼・材料研究など

### ■ “唯一無二の宇宙環境利用技術”により、民間利用(有償利用)や国際協力でプレゼンスを発揮。

- NASAが中断したタンパク結晶化実験を日本は継続。「クオリティ」と「利用者マインドのサービス」を持続的に提供、米国がタンパク実験再開のきっかけとなった。ロシアとも円滑な協力実験を継続中。
- 合金から酸化物まで対応可能な静電浮遊炉や低重力環境を模擬できる小動物飼育技術は日本にしかなく、日米協力（OP3）に基づき、米国と共同実験を予定。
- 各極に先駆けて2008年より「きぼう」の有償利用を実施。近年では、アジア各国もタンパクや小型衛星放出、材料曝露実験に経費(実費)負担で参加。

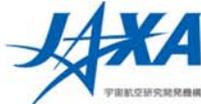
#### ■ 「きぼう」利用のさらなる価値創出・成果の最大化に向け、利用基盤の拡充。

- 0G～2Gの重力可変機能を持った大型インキュベータを新規設置（HTV8で打上げ）。日本だけがもつ、“月・火星重力の模擬環境”をさらに拡充させ、ライフサイエンス研究を拡大させる。
- ライブイメージングシステム（共焦点顕微鏡、発光を利用した遺伝子機能解析装置）をFy2020に新規設置。軌道上でのリアルタイム解析機能を拡充させ、多様かつ世界最先端の研究開発に対応。
- 民間事業サービスが始まった船外利用では、小型衛星放出能力の増強、実験機会増に向けた中型曝露実験アダプター（i-SEEP）をさらに追加投入し、事業者を提供。

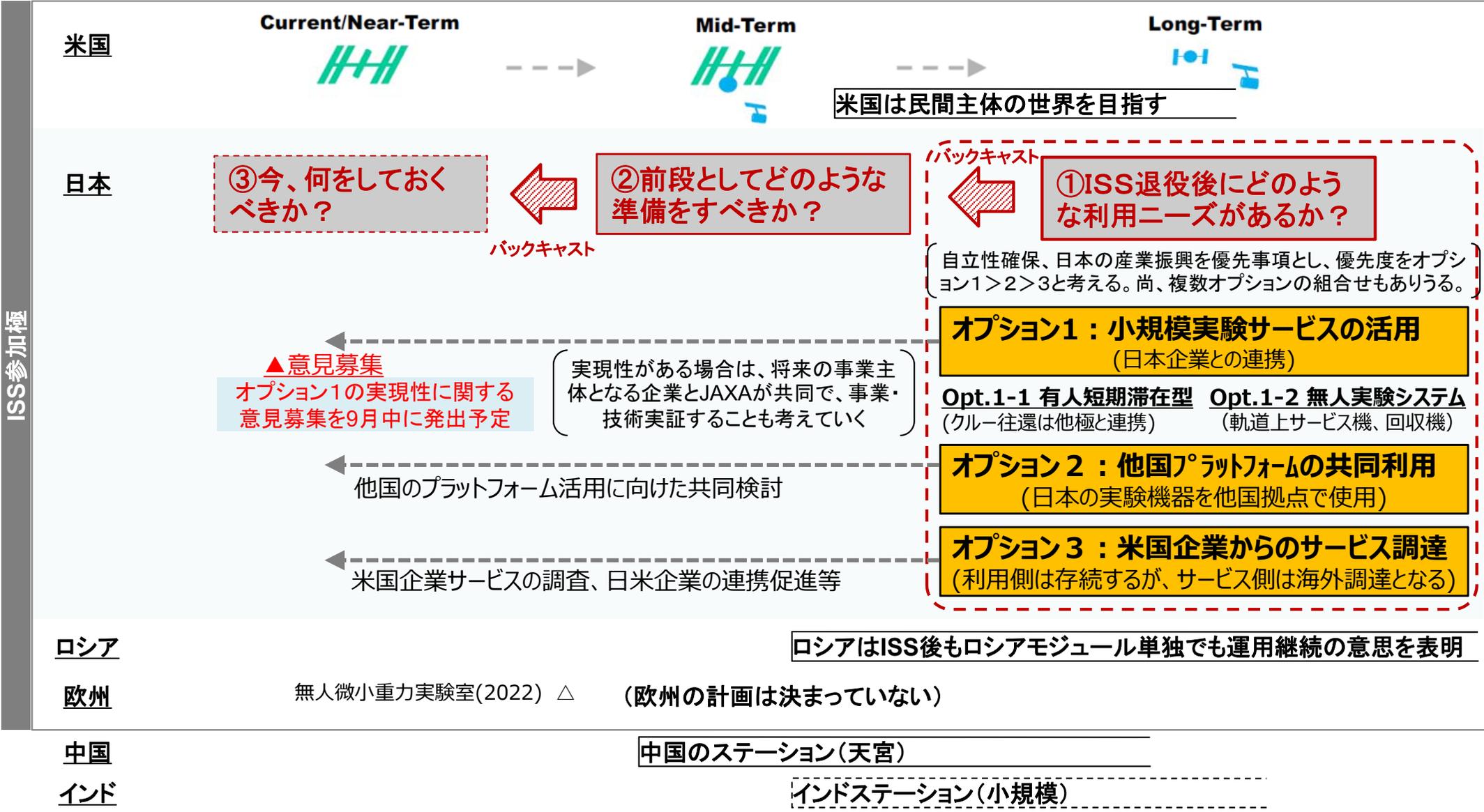
#### ■ プラットフォームがもたらす成果拡大を目指して、戦略的な利用を実現。

- 膜タンパク質などユーザニーズの高い結晶生成実験にトライし、技術の確立を目指すほか、小動物飼育では実験機会の自由度を上げる軌道上凍結回収やHTV-X打上げを検討。宇宙利用を身近にしていける。
- 再生・移植医療に向けた立体培養技術や工業的価値の高い材料研究（ELF）、月や火星を模擬可能な低重力を生かしての宇宙探査にかかる研究などを拡大。
- アジア利用を拡大。11月のAPRSAF-26（名古屋開催）では、「きぼう」利用の魅力をアピールし、アジア唯一の参加国である日本のプレゼンスを示していく。あわせて、Fy2020には新たな試み（Kibo Robot Program Challenge）を東大と協力して実施予定。
- J-SPARCや探査ハブとの連携による、民間利用の拡大（既に、SCLの光通信技術実証が今年度きぼうでの実験実施予定）

# 参考：地球低軌道（LEO）活動の今後の在り方に関する検討方針（イメージ）



- ① 長期的なISS退役後の地球低軌道活動の姿（利用ニーズ、形態等）について、国際動向や商業活動の成熟具合等の不確実な情勢を踏まえ、複数のオプションを考える。
- ② その前段としてどのような準備をすべきかを考える。
- ③ 更に、今、何をしておくべきか、将来のLEO活動を担う民間企業、学术界等と共同で検討していく。



# 3. 今後の宇宙環境利用（新たな利用領域（例））

## 臓器立体培養等の再生医療に関する実験の実施

### 社会課題

- 国内の臓器移植待機者約14,000人に対し、移植を受けられるのは年間約400人。  
【(公社)日本臓器移植ネットワークHPより】
- 全世界で、肝移植待機中の死亡者数は、年間25,000人以上。
- iPS細胞研究を基礎とした臓器再生技術の確立が切望され、国際的にも激しい競争。

### 地上研究の状況・課題

- 臓器を再生することは未だ困難。異種細胞からなる複雑な三次元構造を持つ臓器を人工的に作製するには、ブレークスルーが必要。
- 無重力を模擬した環境を作り出す装置を用いた地上実験の結果、微小重力環境の臓器再生への有効性を示す研究あり。

### 想定される「きぼう」実験の例

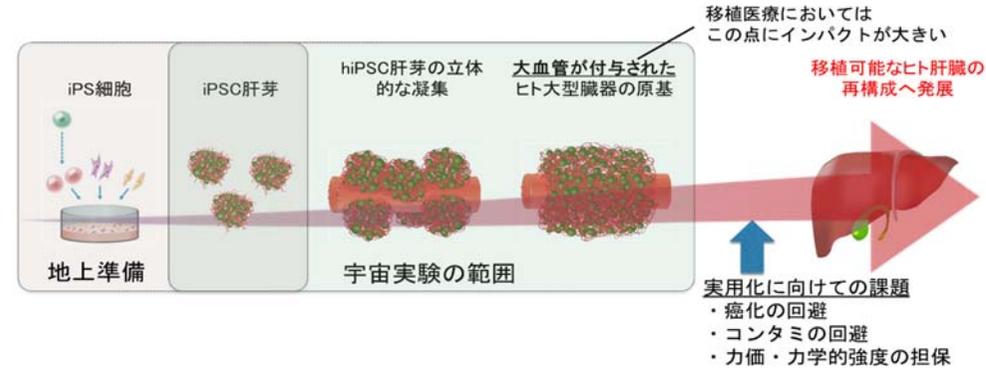
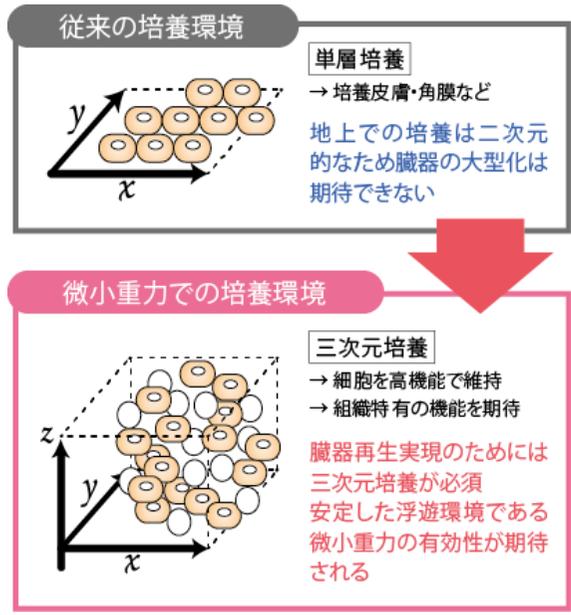
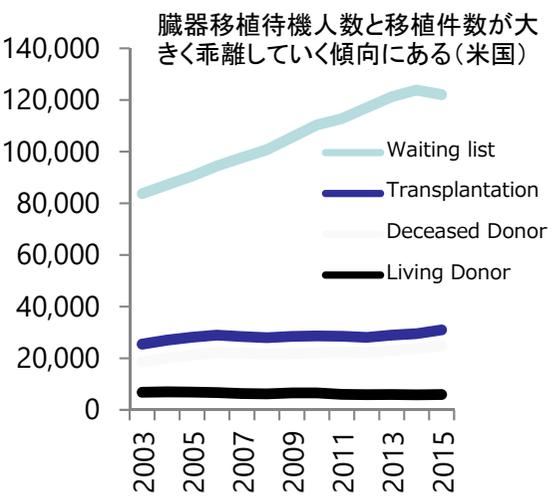
- 三次元培養に有効な長期間の安定した微小重力環境下で、iPS細胞による臓器の立体培養を実施し、臓器の再生技術発展に貢献する。
- ⇒ 宇宙実験で獲得した知見を基に、地上で大型臓器再生を実現するために重要な、鍵となる因子や環境条件等を把握し、地上で生産に繋がる技術を確認する。

### 再生医療への貢献に向けた立体培養技術の有効性実証

#### 微小重力環境ならではの立体培養技術の実証(実施予定)

- 細胞培養や組織形成等の分野において、重力方向が時間的に分散する環境での細胞の浮遊状態が、臓器の内部構造形成に有効と示された。
- 地上では完全な立体培養に至っておらず、「きぼう」の長期間の安定した浮遊状態でこの課題を解決できる可能性があることから、平成27、28年度に「きぼう」利用フィージビリティスタディ研究（国の戦略的研究募集区分）として以下2件を選定し、現在宇宙実験に向けて準備中。
  - 「立体臓器の構築と拡大に向けた微小重力下でのYAP-メカノホメオスタシス解析」(山口大学 清木誠教授)を選定。
  - 「微小重力環境を活用した立体臓器創出技術の開発」(東大医科研・横浜市大 谷口英樹教授\*)

- ※ 世界で初めてiPS細胞からの立体的な肝臓の原基の作製に成功(2013)し、サイエンス誌の2013年10大成果に選定された。
- ※ 京大山中教授のiPS細胞研究所が中核拠点となっている、AMEDのプログラム(再生医療実現拠点ネットワークプログラム)の拠点の一つの拠点長を務めている。



細胞の三次元展開において有利とされる“微小重力環境”を活用することで、iPS細胞を用いたヒト器官原基創出法を進展させ、大血管を付与した立体臓器の創出を目指した基盤技術開発を行うことを目的とする。

⇒臓器再生技術のブレークスルーにつながる。

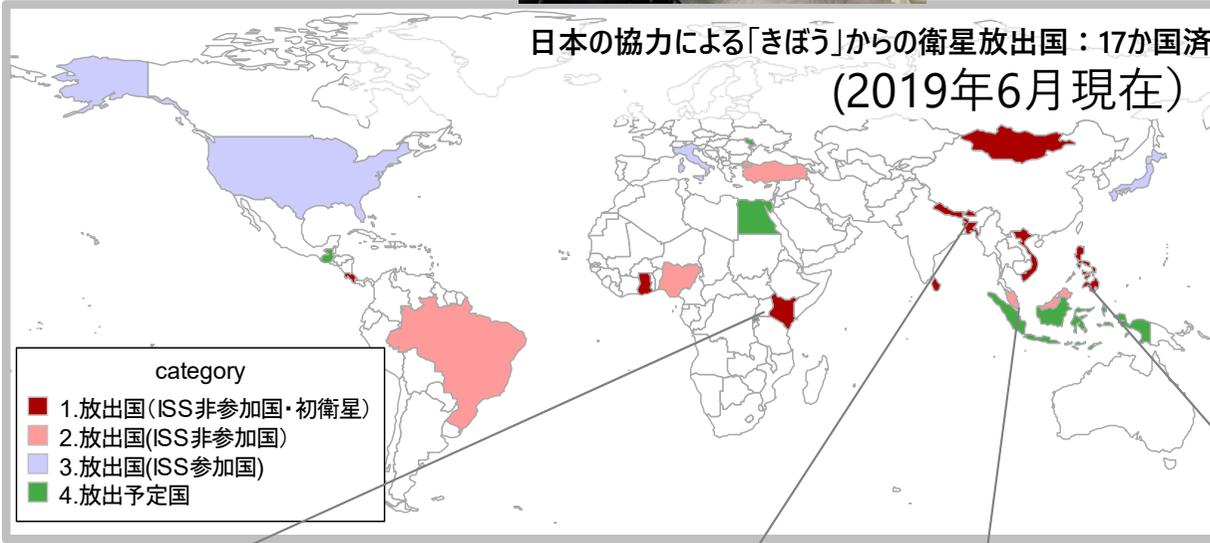
# 4. 国際協力（利用の側面から）

他の国際パートナーに無い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（エアロック、ロボットアーム）を活用した、「きぼう」からの超小型衛星放出



各国政府要人の中で放出



ケニア



ブータン



マレーシア



フィリピン

放出後の各国関係者



ケニア衛星の引渡しと「きぼう」からの放出



ブータン、フィリピン、マレーシアの超小型衛星の引渡しと放出



日本人宇宙飛行士の飛行機会を活用したアジア協力



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

1.放出国 (ISS非参加国・当該国初衛星)      2.放出国 (ISS非参加国)

国名(数)	放出年(FY)
フィリピン(2)	2016, 2018
ガーナ(1)	2017
ケニア(1)	2018
ブータン(1)	2018
コスタリカ(1)	2018
ベトナム(1)	2013
モンゴル(1)	2017
パングラディッシュ(1)	2017
スリランカ(1)	2019
ネパール(1)	2019

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

3.放出国 (ISS参加国)

国名(数)	放出年(FY)
アメリカ(6)	2012, 2013, 2016 (米も独自放出機構を持つ)
イタリア(1)	2016

4.放出予定国 (公表済)

国名(数)	放出予定年(FY)
グアテマラ	2019
インドネシア	2019
モーリシャス	2019
ルワンダ	2019
エジプト	2019
モルドバ	2020

# 参考：日米協力による利用成果の最大化 (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 (JP-US OP3) )

## 【日米合意文書に関する署名式の実施】

2015年12月22日、島尻宇宙政策担当大臣・岸田外務大臣及び馳文部科学大臣とケネディ駐日米  
国大使との間で我が国のISSの  
2021～2024年の運用延長に関し、新たな日米協力の枠組として、「日米オープン・プラットフォーム・パートナーシップ・プログラム (JP-US OP3)」を構築することを主たる内容とする文書に署名。



## 【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

JP-US OP3に基づく日米協力の強化及びISS利用の促進・成果最大化を目的とした共同ワークショップを2016年から日本・米国にて年2回開催

次回は、2020年2月13日 (木)・14日 (金)、日本橋ライフサイエンスハブ (COREDO室町3) にて開催



2019年2月12、13日に第5回を東京日本橋にて開催した時の様子



2019年7月29日に第6回を米国アトランタにて開催した時の様子

# 参考：日米協力による利用成果の最大化 (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 (JP-US OP3) )

## アジア・太平洋地域、日本、米国学生を対象とした、「きぼう」船内における JAXA-NASA共同によるロボット競技会の継続開催の合意

JAXAのInt-BallとNASAのAstrobeeを利用したプログラムコンテスト (KPRC) を継続的に実施する協力について、NASA-JAXA間で合意。2024年まで年1回を上限として複数回開催する。

アジア・太平洋地域、日本、米国の学生を対象とし、学生が作ったプログラムをAstrobeeやInt-Ballにアップロードし競技を実施。予選はシミュレーターなどを用いて地上で実施し、決勝戦をISSで実施。

KPRC全体の企画、ゲーム開発などについて東大中須賀研に協力を仰ぎ、内容を検討中（「きぼう」利用にかかるJAXA/東大連携）で、KPRCの詳細計画（役割分担、スケジュール等）については、NASA-JAXA間で調整中。

### 【開催概要】

- 参加対象国：Kibo ABC加盟国、他
- 参加対象者：大学院生以下の学生
- 参加登録開始：2019年10月（予定）
- 予選：2020年春ごろ
- 本戦（ISS）：2020年秋ごろ

### 【想定シナリオ】

デブリの衝突により「きぼう」船内に空気漏れが発生。「きぼう」船内に散乱した障害物を回避し、空気漏れが発生した場所の特定と修理をするためのロボットプログラムを参加者が作成。

参加者は、空気漏れが発生した場所を特定するスピードや精度を競う。

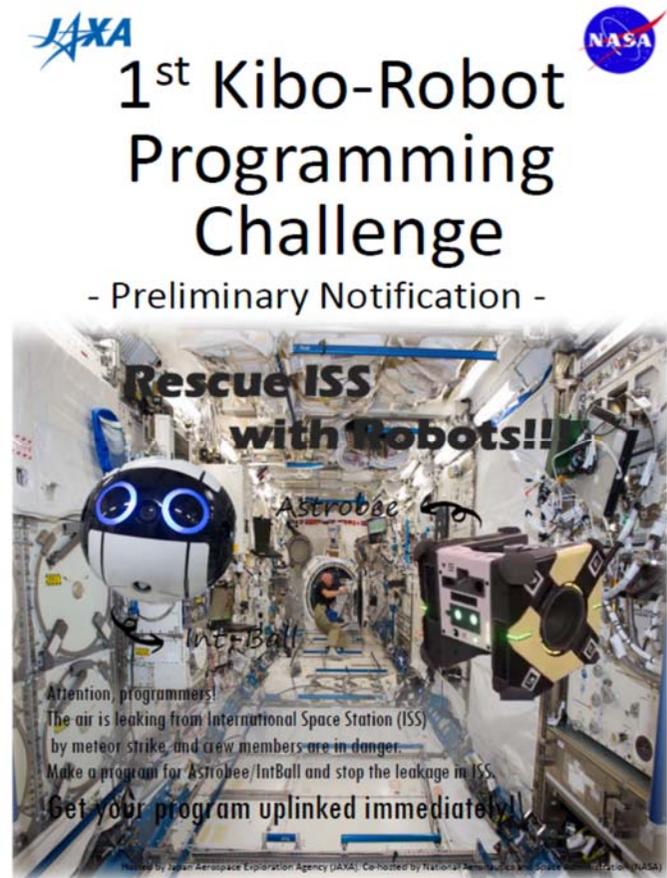
※ 本協議会を実施するにあたってのストーリーであり、実際に空気漏れが発生するわけではない。



きぼう船内ドローン「Int-Ball」



Astrobee



# 貴方の研究を宇宙で拡げてみませんか？

宇宙の特殊な環境が、貴方の研究課題・お悩みの解決にお役に立てるかもしれません。

## 活動内容

- きぼう利用や宇宙実験に関する最新情報をメルマガでお届けします。
- 宇宙実験の提案に向けてJAXAが助言などを行います。



お問い合わせ：きぼう利用プロモーション室  
z-kibo-promotion@ml.jaxa.jp



## Twitter

宇宙実験の舞台裏や  
実験にこめる思いを  
ゆるめにつぶやきます。



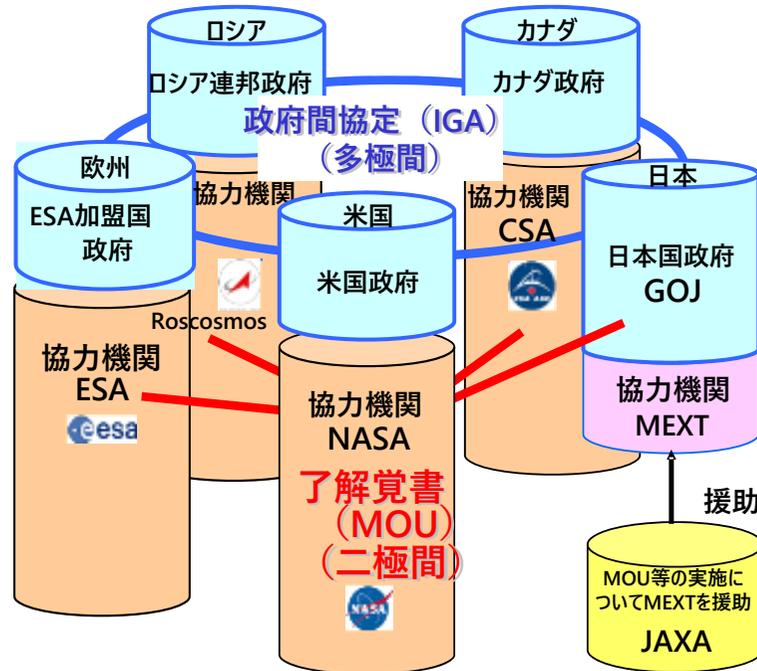
@JAXA\_Kiboriyo

# 参考資料

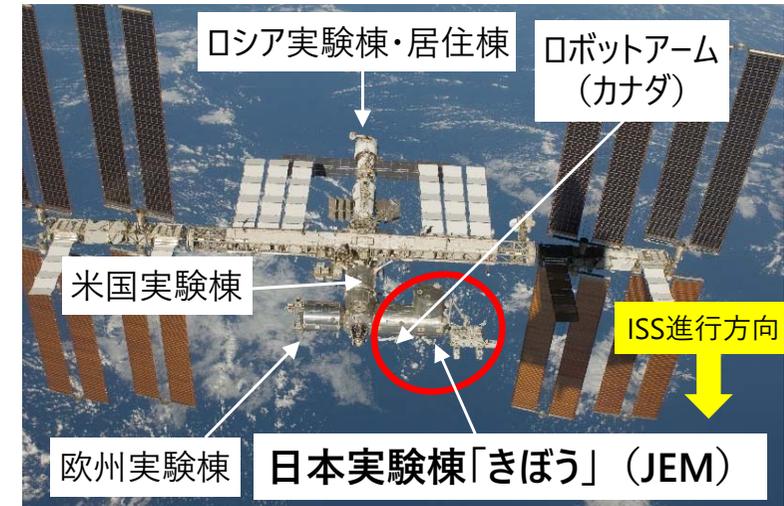
- **ISS計画の概要**
- **国際協力の成果（サマリ）**
- **有人宇宙開発基盤技術の獲得**
- **J-SPARC概要**

# ISS計画の概要

- 宇宙ステーション計画は、1984年（昭和59年）にレーガン米大統領が提唱し、1988年（昭和63年）に日、米、欧、加の4極間で宇宙基地協力協定(IGA)に署名して開始。1998年から軌道上での建設着手。
- 日本、米国、ロシア、欧州、カナダの世界15カ国が協力して、大規模な有人宇宙施設を建設し、運用。
- 2011年（平成23年）に完成。



## ISS形態



宇宙ステーション補給機「こうのとりのり」(HTV)



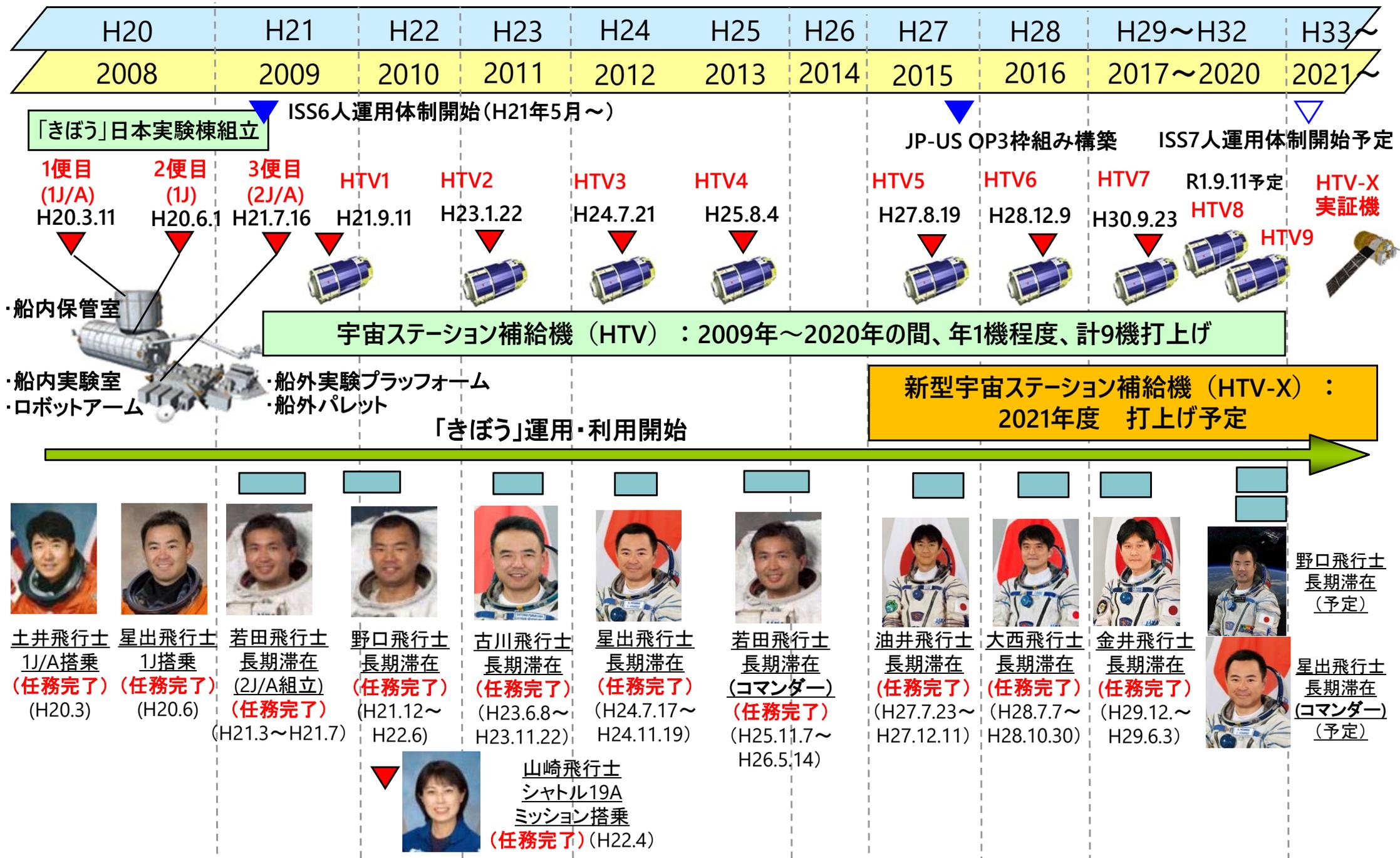
H-IIロケットによるHTV打上げ

- IGA(Intergovernmental Agreement) : [日本は国会で承認・批准]  
「民生用国際宇宙基地のための協力に関するカナダ政府、欧州宇宙機関の加盟国政府、日本国政府、ロシア連邦政府及びアメリカ合衆国政府の間の協定」(1998年)
- MOU(Memorandum of Understanding) :  
「民生用国際宇宙基地のための協力に関する日本国政府とアメリカ合衆国航空宇宙局との間の了解覚書」(1998年)

NASA : 米国航空宇宙局  
Roscosmos : 国営宇宙公社ロスコスモス  
ESA : 欧州宇宙機関  
CSA : カナダ宇宙庁  
MEXT : 文部科学省  
JAXA : 宇宙航空研究開発機構

欧州参加国 (11カ国) :  
ベルギー、デンマーク、スペイン、フランス、ドイツ、イタリア、オランダ、ノルウェー、スウェーデン、スイス、イギリス

# ISS計画概要：ISS計画における我が国の主要スケジュール



## ① 確固たる日米協力への貢献

- 「日米オープン・プラットフォーム・パートナーシップ・プログラム（JP-US OP3）」を締結(2015.12)。日米宇宙協力を推進。
- 技術的な貢献と安定的な「きぼう」運用と物資補給により**国際プログラムの必要不可欠なメンバーとしての立ち位置を確保**。
- 他国にない「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）やHTVのユニークな能力（搭載量、搭載サイズ）の提供により、ISS参加5極内での存在感を発揮。

## ② SDG's への貢献

- 国連宇宙部との連携(KIBOCubeプログラム)による宇宙新興国への貢献（SDG's）、アジア利用促進(KIBO-ABC等)等の取り組みにより、**外交ツールとして「きぼう」を活用し、ISS非参加国へも日本の存在感を大きくアピールした**。

## ③ 国際枠組みを使った、自立的かつ効率的なプログラム

- 「きぼう」や日本人宇宙飛行士の打上費を他極に支払いせず、業務提供（HTV物資輸送等）でバータとした。これにより、日本国内への効果的な資金投下による産業振興、また日本としての技術獲得の効果もあった。また、為替動向に左右されない資金計画を可能とした。
- 自らの努力でHTVの経費を効率化することで、自らの負担経費を軽減が可能(例：運用経験に基づく、HTVの効率化(太陽電池パネルや1次電池削減等)、HTV-X)。

ISSプログラムを通して、以下に示す有人宇宙開発に関する6つの基盤技術を蓄積ないし獲得した。

## ① 宇宙滞在・活動技術

- ・ 有人システム構築に必要な基盤的技術や、生命維持技術、活動支援技術（ロボット技術等）

## ② 有人運用関連技術

- ・ 有人システム運用、国際協働運用の実践、運用データの蓄積（「きぼう」・HTVの計画～実時間運用の経験、船内環境データの蓄積等）

## ③ 搭乗員関連技術

- ・ 宇宙飛行士募集・養成・訓練の技術（日本人宇宙飛行士の飛行機会確保）

## ④ 輸送技術（「きぼう」、HTV、HTV-X等による自立的な技術実証の場・輸送手段と発展性の確保）

- ・ 「きぼう」での有人宇宙技術及び宇宙機システム技術の技術実証の場・機会を獲得
- ・ 自立的な輸送機会を活用した将来の探査に繋がる技術獲得や、発展性を確保
- ・ 小型回収カプセルによる自立的な回収手段の確保。

## ⑤ 基盤技術（有人宇宙機の設計基準(有人運用性・保全性含む)・安全基準の理解と実践、運用等）

- ・ 「きぼう」・HTV・実験装置の開発、運用実績
- ・ 国際協働プロジェクトにおける標準インターフェース設計（標準ラック、結合メカニズム等）
- ・ 他極有人宇宙船(ソユーズ・米国商業有人宇宙船（USCV）)の安全設計評価（安性確認・評価）
- ・ 無人機には無い設計(ロジスティクス・メンテナンス等)
- ・ 大規模・複雑なシステムを開発するための統合技術（システムズエンジニアリング）と、マネジメント技術

## ⑥ 産業基盤維持

- ・ 「きぼう」に650社、「こうのとりに」400社の企業が参加（参加企業の技術力が国際的信用に）。

→個々の技術については別途、勉強会を開催し、順次紹介する予定。

# 有人宇宙開発基盤技術の獲得（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

## 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）

■ : 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

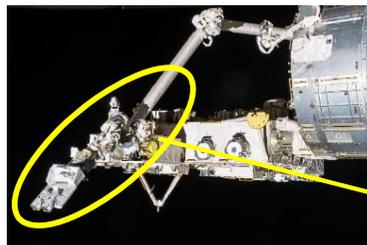
■ : 将来習得していくべき技術

## 宇宙滞在・活動技術

### 活動支援技術：宇宙空間で搭乗員の活動を支援するロボット技術

#### 「ロボットアーム」

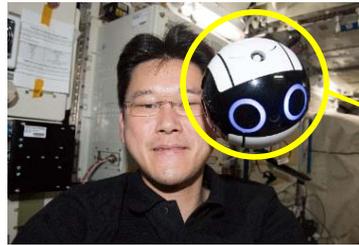
- 「きぼう」の構成要素や船外実験プラットフォーム／船外パレット上にある実験装置や搭載機器の交換作業、各種実験支援または保守・保全作業の支援を実施。
- ロボットアームの新たな利用機会が拡大。（「きぼう」からの超小型衛星放出等）



「きぼう」ロボットアームに把持された超小型衛星放出機構

#### 「JEM自律移動型船内カメラ(Int-Ball)」

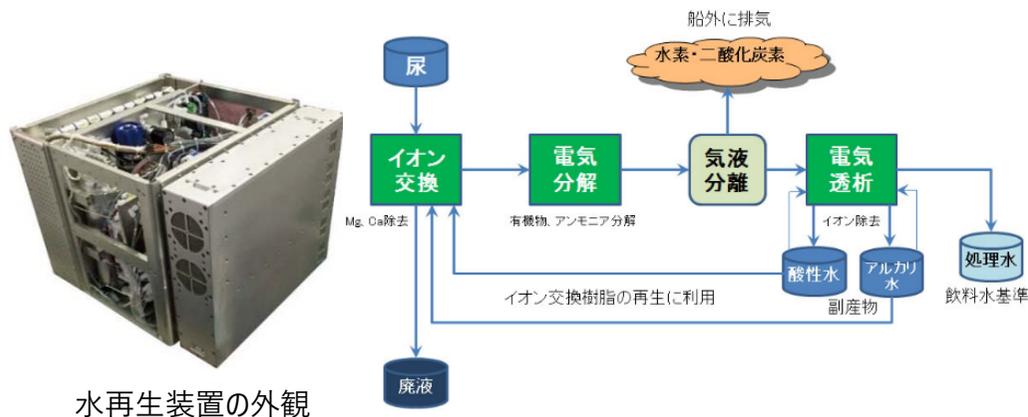
- 宇宙飛行士の作業支援のための撮影ロボットとして、自律移動型船内カメラ(Int-Ball)を開発。
- 「きぼう」船内外実験の自動化・自律化を進めると共に、将来探査ミッション等に利用可能なロボティクス技術の獲得を目指す。



JEM自律移動型船内カメラ

### 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での実証を行い、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年度に軌道上実証を開始予定。



## 輸送技術

### 有人施設への無人補給技術（HTV（→HTV-Xへ））

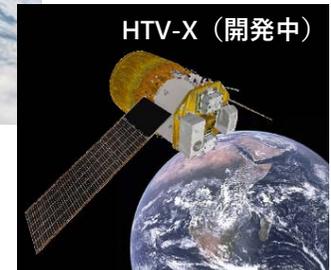


「こうのとり」(HTV)

「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~7機連続成功中)。



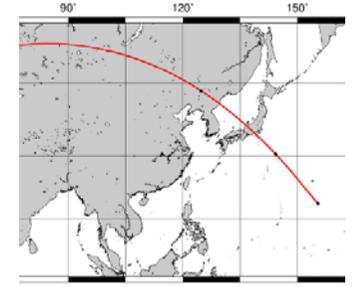
輸送効率（搭載効率等）を向上させたHTV-Xを開発中。



HTV-X（開発中）

### 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）

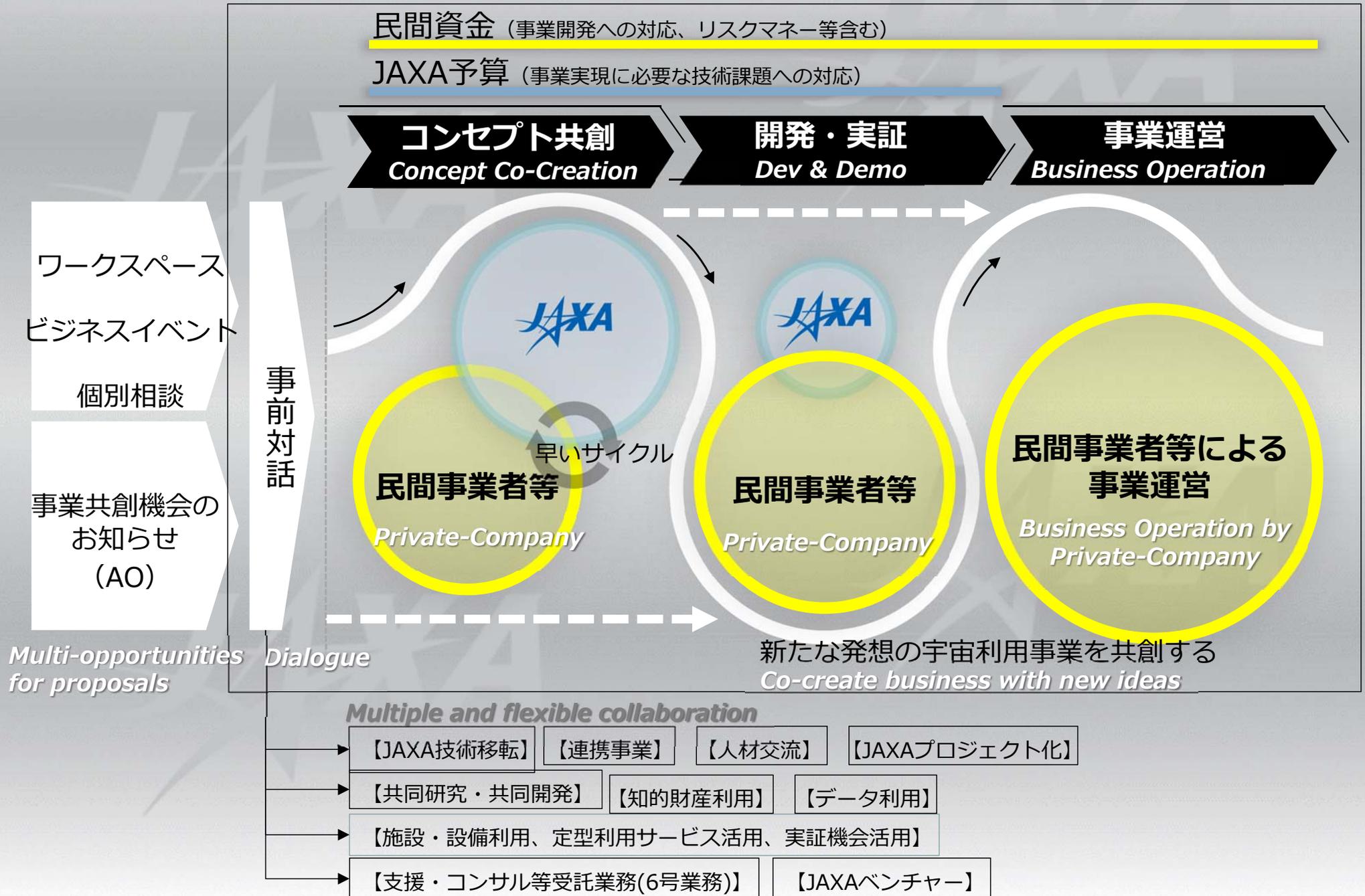
揚力誘導制御技術、軽量熱防護技術、ISSからの実験サンプル回収技術を獲得を目指し、HTV7の再突入の機会を利用し、日本が今まで有していなかったISSからの物資回収技術の技術実証を行った。



HTV搭載小型回収カプセルによる技術実証

# 宇宙イノベーションパートナーシップ (J-SPARC)

## 民間事業創出に向けたJAXAの役割



# J-SPARC 事例紹介



有翼サブオービタル事業  
PDエアロスペース株式会社



AIを活用した衛星データ関連事業  
株式会社メルカリ R4D



宇宙飛行士訓練方法を活用した  
次世代型教育事業

Space BD株式会社  
株式会社増進会ホールディングス



アバター（遠隔存在技術）を活用した  
事業

ANAホールディングス株式会社



防災分野における新たな食ビジネス  
株式会社ワンテーブル



有翼サブオービタル事業  
株式会社SPACE WALKER

