

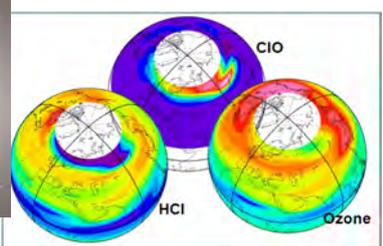
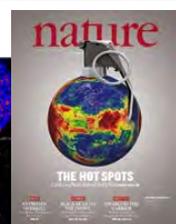
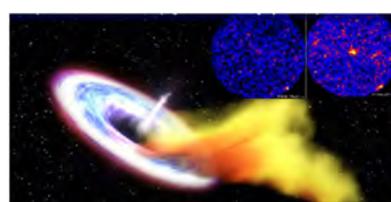
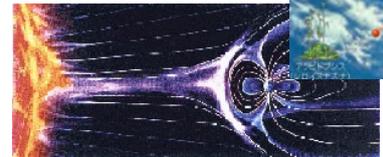


2019年9月6日  
**国際宇宙ステーション  
 「きぼう」日本実験棟の利用について**

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

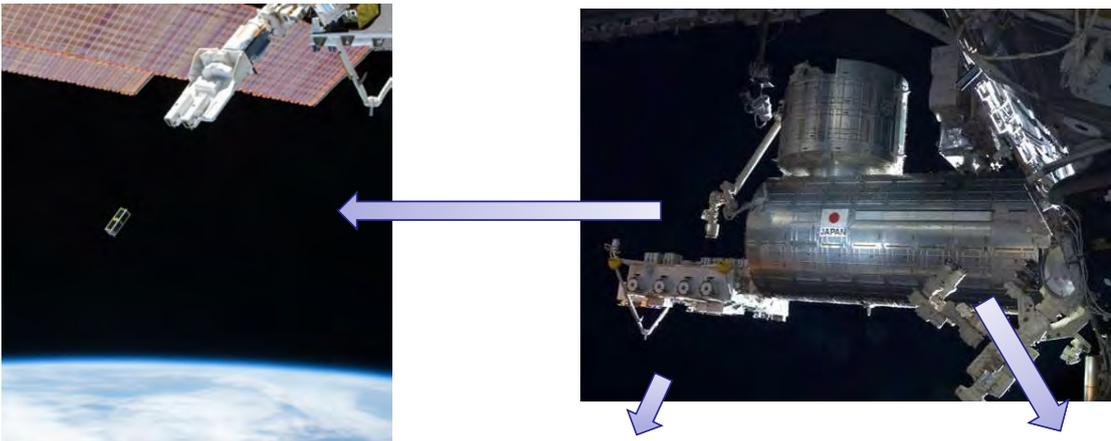
## 宇宙環境の特徴

1. 微小重力 ( $10^{-4} \sim 10^{-6}$  G)
  - 物が浮く
  - 地上とは異なる体の変化(骨、筋肉、前庭系)
2. 高真空 ( $10^{-5}$ パスカル) (地上の100億分の1)
3. 複合宇宙放射線(銀河宇宙線、太陽粒子線、バン・アレン帯)
4. 広い視野(地球観測や天体観測)
  - 地上や宇宙の観察などに有効
5. 閉鎖環境での居住
  - 心身の変化
  - 環境予防対策(微生物等)
  - 空気・水再生技術



「Nature」(Vol. 476, 421-424 (25August 2011))  
 巨大ブラックホールに星が吸い込まれる瞬間を世界で初めて観測

JEM船外装置(SMILES)によるオゾン濃度の計測(© JAXA/NICT)



(c) NASA/JAXA



ISS最大の船外実験プラットフォーム

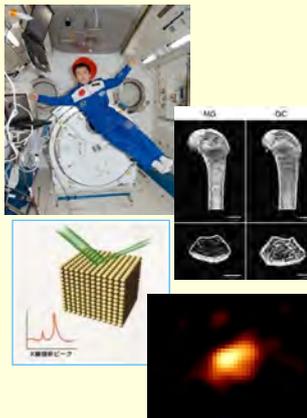


ISS最大の船内実験室

## なぜ宇宙？ なぜ「きぼう」？

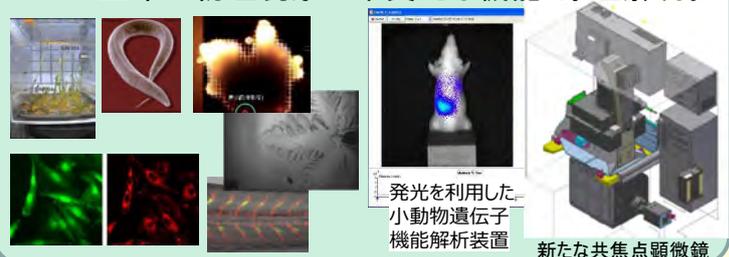
### 宇宙でしかできないことがある

- ◆ 骨量や筋肉の加速的な減少(地上の10倍以上)
- ◆ 微小重力など宇宙環境の影響評価
- ◆ 微小重力環境での物理現象の観察、均質な構造の結晶生成
- ◆ 宇宙からの観測(宇宙、地球)



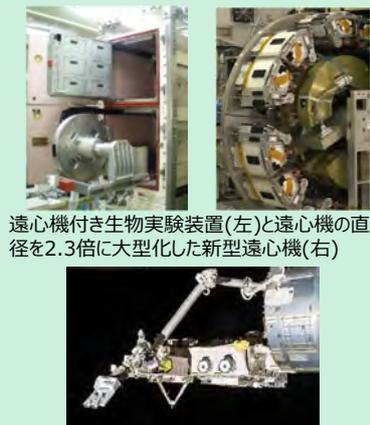
### 「きぼう」でしか見れないものがある

- ◆ 植物、細胞、線虫、水棲生物等のモデル生物や物理現象の軌道上での動態観察
  - 微小重力環境(その場)でのデータ取得
  - 生命や物理現象の本質的な機能・原理解明。



### 「きぼう」でしかできないことがある

- ◆ 哺乳類(マウス)に対する1G下の可変重力環境
- ◆ 船外環境の多様な利用(小型衛星放出、簡便な機器設置・ポート利用、材料曝露)

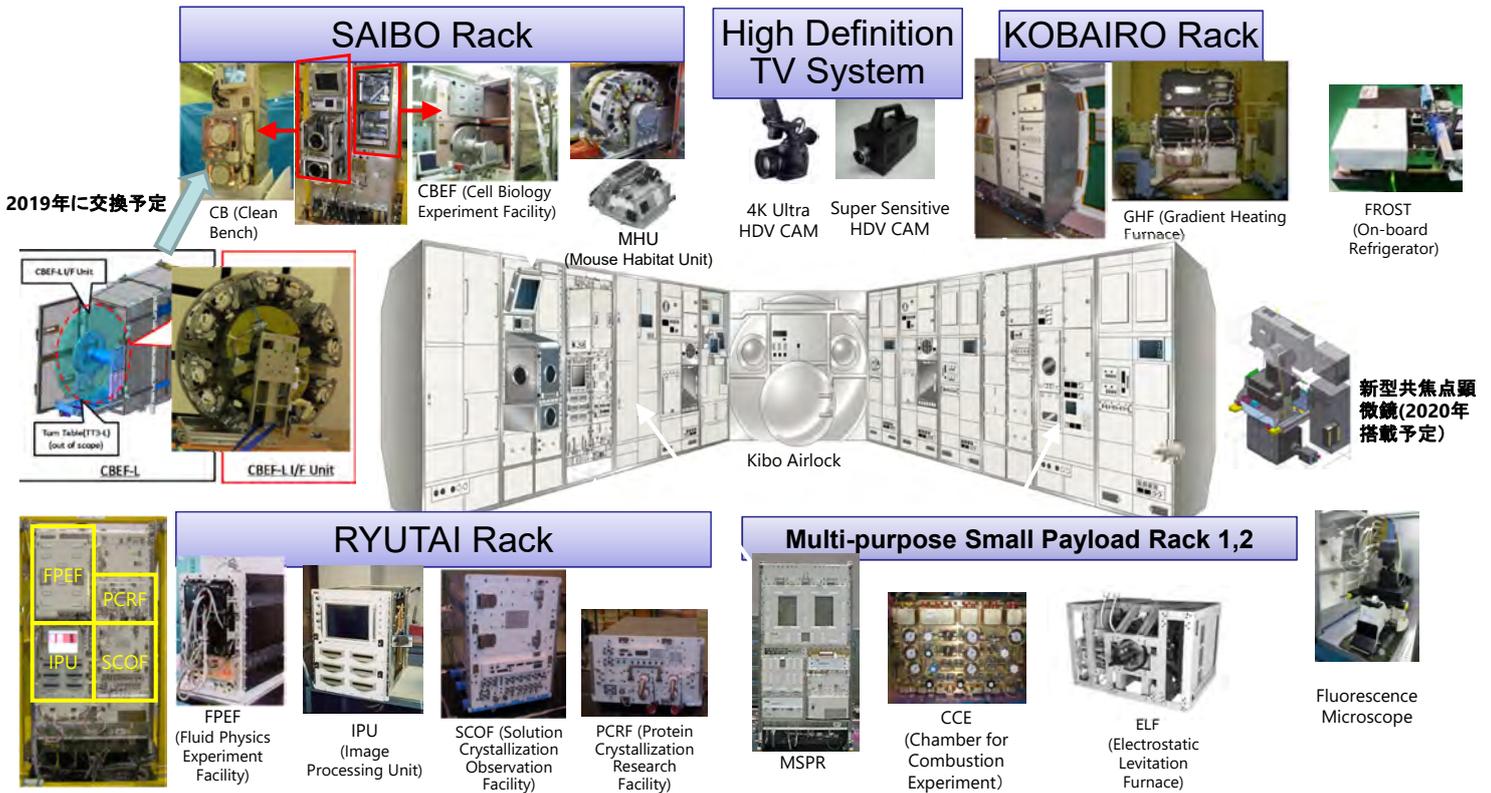


### 「きぼう」でしか測れないものがある

- ◆ 静電浮遊炉を利用した無容器処理技術による高精度熱物性等の測定



- ガラス、セラミックス等高融点材料の熱物性取得(融点2000~3000℃以上の試料)
- 高純度のまま融液を維持



## 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**

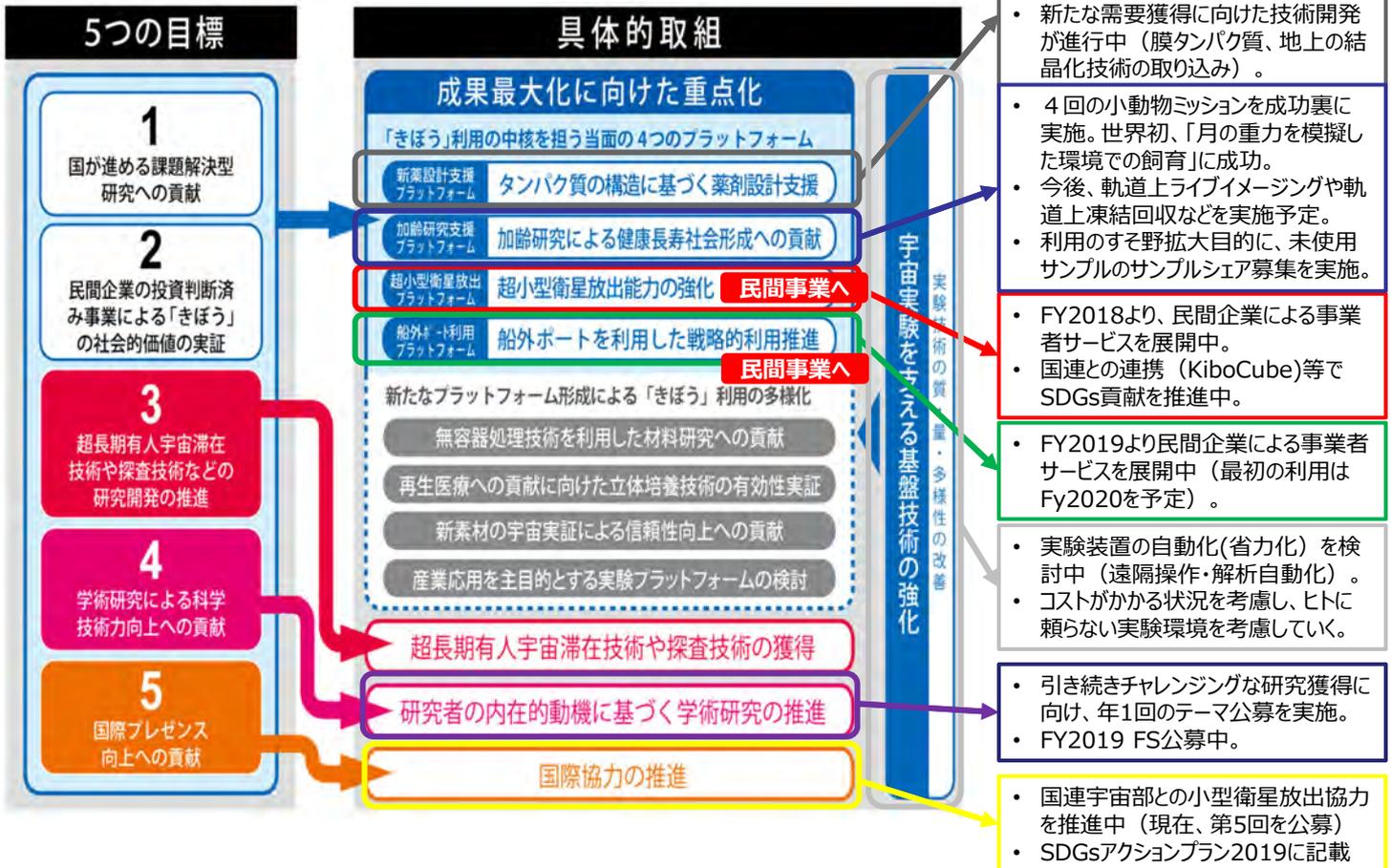
- 地上では実証できないことや地上で捉えられない現象を宇宙実験で解明し、新たな概念や価値を創出できる利用サービスを確立。
- 産学官との連携を通じて、より大きな研究成果の創出を目指す。

### □ 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。





## 参考：「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

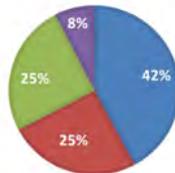
「きぼう」に関連する学術的成果は、船外のX線天文観測における科学誌NatureやScienceへの掲載をはじめ、約1,800件の査読付き論文として発表されている。



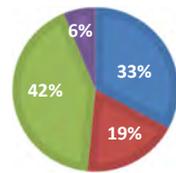
#### 査読付論文の分野別割合

- 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。

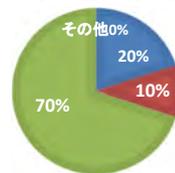
全論文数 分野別



Top10%論文 分野別



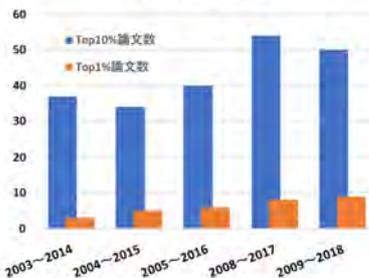
Top1%論文 分野別



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）

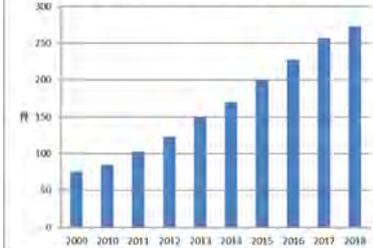


出典 TR, Clarivate Analytics

- 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GALET（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）。

# 参考：「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

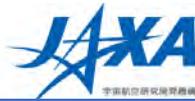
Clarivate Analytics® Ranks	Source (Number of Publications)	
ISS Publications in Top 10 Sources	1	PLOS ONE (44)
	2	Nature (2)
	3	Science (3)
	4	PNAS (4)
	5	Nature Communications (1)
	7	Scientific Reports (28)
	8	New England Journal of Medicine (1)
	9	Physical Review Letters (36)
	ISS Publications in Top 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 (かつこ内) 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。

## 「きぼう」利用をご検討される場合のフロー



宇宙環境や空間ならではの技術開発や  
学術研究をしたい (研究開発利用)

船内での利用

宇宙環境利用  
(船内・船外)

無償利用機会を使える  
テーマ募集に応募

(成果共有・公開)  
(公募時期の条件)  
(科学評価で選考)

有償利用機会を使  
っての利用

(成果占有・非公開)  
(原則通年申し込み)  
(科学評価は無し)

### ◆ 無償利用 (公募)

- ✓ 役割分担に応じて、それぞれの持ち分を資金分担。
- ✓ 成果は共有。論文等による公開が必要。

### ◆ 有償利用 (通年受付)

- ✓ 実費に係る経費を利用者が負担。
- ✓ 成果を利用者が占有。企業名の公表が必要だが、成果の公表は必須ではない。
- ✓ 民間企業の参入を促すために受託契約としてサービス提供するような形態に変更つつあります。

### 非定型サービス利用

⑩ 個々のご要望に合わせたご利用  
(内容毎に料金見積もり)

- ① フィジビリティスタディ (FS) テーマ募集
- ② 静電浮遊炉を利用した材料研究テーマ募集
- ③ マウスサンプルシエアテーマ募集
- ④ 高品質タンパク質結晶生成実験 搭載タンパク質募集

### 定型サービス利用 (定額価格)

- ⑤ 静電浮遊炉高精度熱物性測定
- ⑥ 高品質タンパク質結晶生成
- ⑦ 宇宙曝露環境での簡易実験

### JAXA 指定の事業者サービスを利用

- ⑧ 超小型衛星放出
- ⑨ 中型曝露実験アダプタによる船外利用

## 【定型サービス利用】

- 静電浮遊炉高精度熱物性測定 ⑤
- 高品質タンパク質結晶生成 ⑥
- 宇宙曝露環境での簡易実験 ⑦
- 超小型衛星放出 ⑧ ←SpaceBD・三井物産によるサービス事業
- 中型曝露実験アダプタによる船外利用 ⑨ ←SpaceBDによるサービス事業

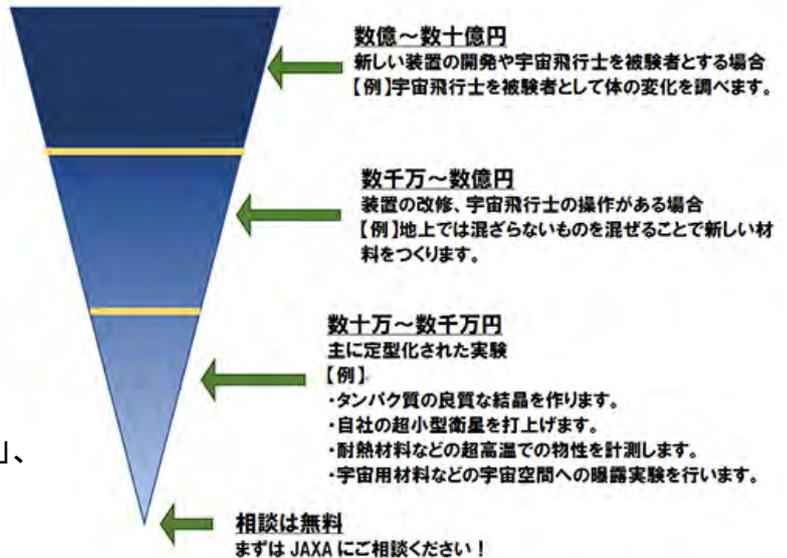
## 【非定型サービス利用】⑩

具体的なご利用計画に基づき、JAXAが行う作業※1・調達等に係る費用およびリソース使用料※2をご負担いただきます。

※1 JAXA作業(人工費):直接経費、一般管理費、技術費の和に消費税率(8%)を掛けた費用となります。

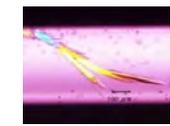
※2 リソース使用料:宇宙船による打上げ・回収費用やISSでの宇宙飛行士の作業料等を意味しています。

具体的には、宇宙船による標準的な打上げ費は「330万円/kg」、回収費は「550万円/kg」、宇宙飛行士の作業料は「550万円/時間」が基準となります。



# 有償利用(定型サービス)

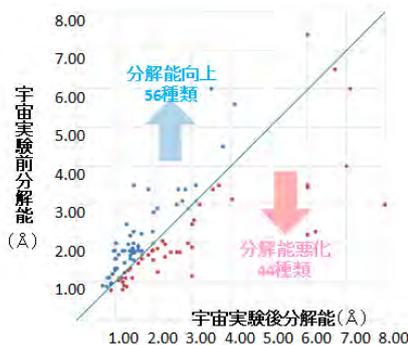
## 高品質タンパク質結晶生成



地上結晶  
~1.5 Å分解能



宇宙結晶  
~1.1 Å分解能



## 超小型衛星放出



以下までお問合せください。

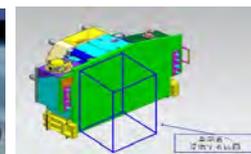


<https://space-bd.com/>



Space\_TKMPM@dg.mitsui.com

## 中型曝露実験アダプタによる船外利用



以下までお問合せください。



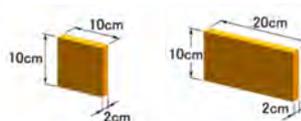
<https://space-bd.com/>

## 静電浮遊炉利用高精度熱物性測定



- 融点2000°C以上の試料
- 高純度のまま融液を維持

## 宇宙曝露環境での簡易実験



# 参考：「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



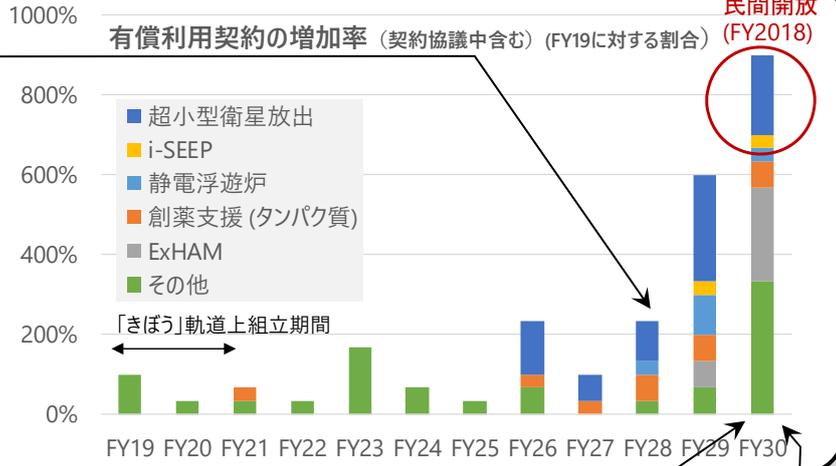
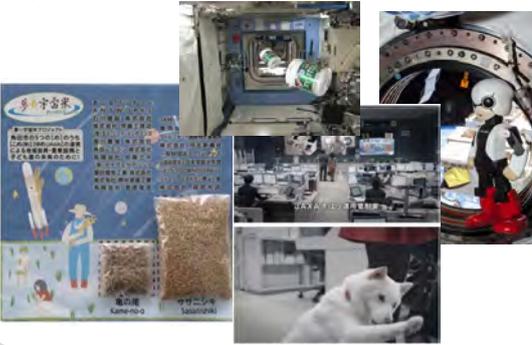
「きぼう」利用成果最大化を目指した「きぼう」利用戦略策定(2017.1)

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。



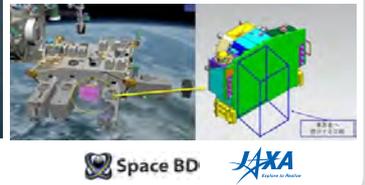
## 「きぼう」利用の民間開放の取組

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)

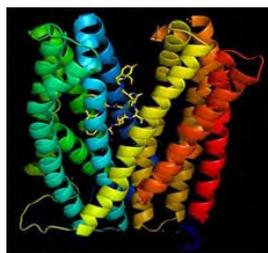


# 参考：「きぼう」利用の成果（多様な利用の拡大の例）

## 民間企業による多様な利用を促進

### 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) の技術実証に当たり、「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。

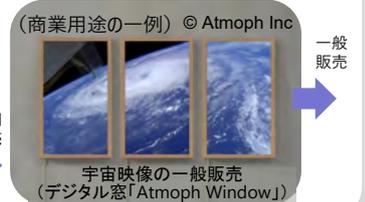
Satlantisは本件による軌道上実証を行うことで、政府から大手宇宙企業まで多くの顧客が求める技術レベル (TRL-9) を達成し、iSIMの革新的な地球観測技術を用いた小型衛星による新たなコンステレーションの実現を目指す。



iSIM@SATLANTIS

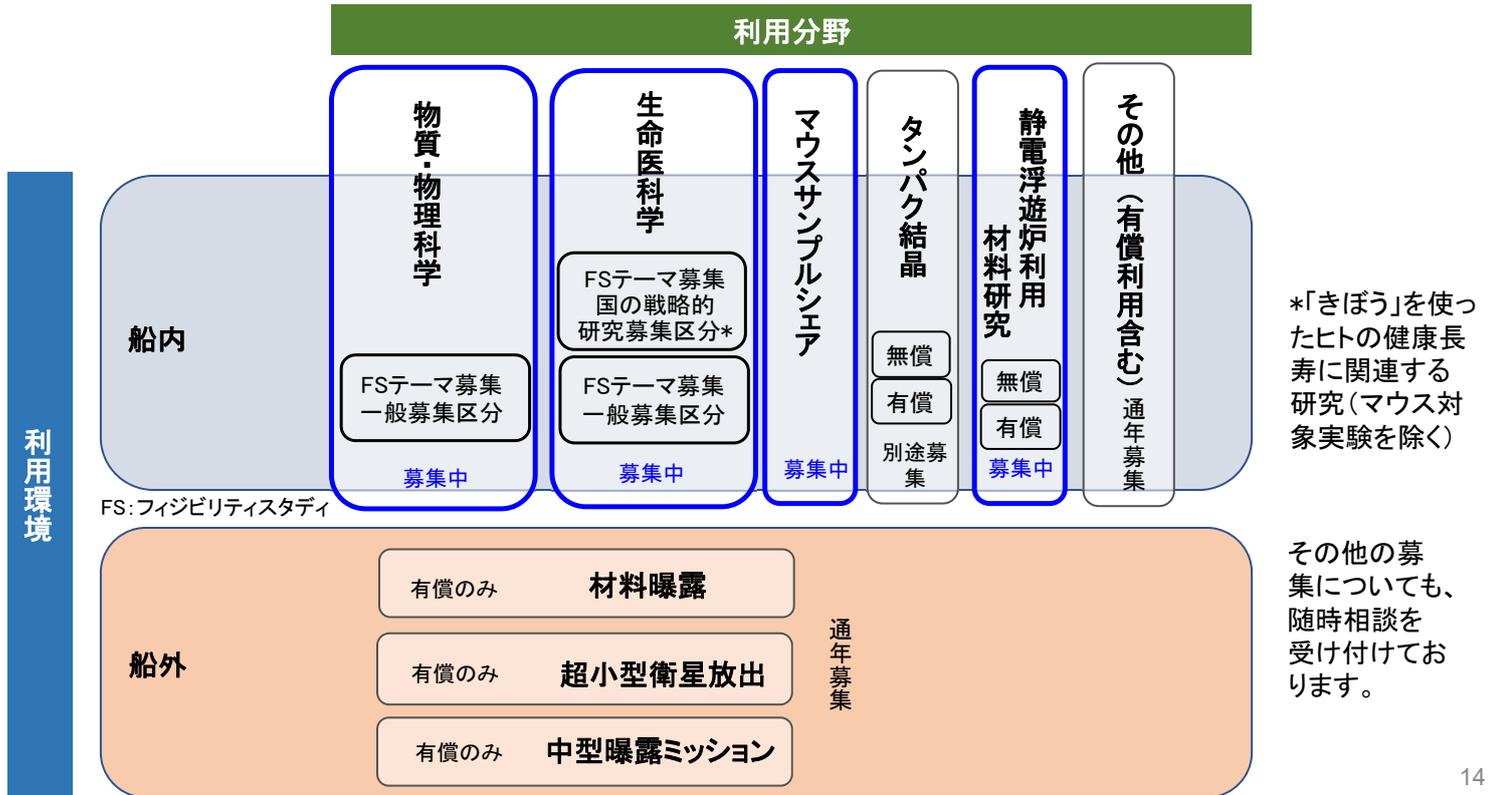
### 「きぼう」船外から撮影した4K動画の民間利用・一般販売の開始

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)アマナイメージャー図から販売開始(2018.9~)。それを活用した商業用途の一例として、アトムフ(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。



# 今年度の「きぼう」利用テーマ募集(科学・研究開発利用)

国際宇宙ステーション(ISS)「きぼう」日本実験棟の船内環境の特徴を最大限に活用して、国の科学技術イノベーション政策への貢献や自由な発想に基づく独創的かつ先導的で国際的に高い水準の研究を推進するため、テーマを募集いたします。



## 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)
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
船内	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	船外実験ポット利用(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

## 2018年度までに選定された「きぼう」船内科学利用テーマによる 軌道上実験スケジュール(概略)

	FY2019	FY2020	FY2021	FY2022	FY2023
FY2019 FSテーマ	▲募集	FSフェーズ(～24ヶ月)			
		▲選定	実験準備フェーズ(1～2年程度)		
生命医科学実験 (マウス実験)	■	■	■	■	■
生命医科学実験 (植物、細胞、線虫 実験等)	■	■	■	■	■
生命医科学実験 (ヒト対象実験)	■	■	■	■	■
物質・物理科学実験	■	■	■	■	■
静電浮遊炉 (ELF) 利用	■	■	■	■	■

今年度は、マウス飼育装置及びマウスを利用する研究は対象外です。

(注) 実施時期は暫定であり、きぼう運用状況や実験テーマ状況等により変更の可能性があります。

16

## 法令・倫理などの点で注意いただきたい事項

### ■ 宇宙飛行士を対象とした宇宙実験について

- ✓ 宇宙飛行士を対象とした宇宙実験を行う場合には、JAXAの「人間を対象とする研究開発倫理審査委員会」のほか、必要に応じて、米航空宇宙局(NASA)、欧州宇宙機関(ESA)の倫理委員会、多極間倫理委員会の審査が必要となります。
- ✓ また、被験者へのインフォームドコンセントが必要であり、被験者の同意が得られた場合にのみ、実験が実施できることとなります。
- ✓ 上記の対応にあたり、研究代表者/分担者に資料を作成していただくとともに、必要に応じて、委員会での説明を求めることがあります。

### ■ 動物実験等について

- ✓ 動物実験や遺伝子組換え実験を行う場合には、JAXAの「動物実験委員会」や「遺伝子組換え実験管理委員会」等における審査が必要となります。
- ✓ 上記の対応にあたり、研究代表者/分担者に資料を作成していただくとともに、必要に応じて、委員会での説明を求めることがあります。

17

# 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。

登録はこちら→



<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/participation/community/#registration>



**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



## ISS・「きぼう」利用シンポジウム ～拡がる「地球低軌道」利用の未来～

日程: 2020年2月13日(木)・14日(金)

会場: 日本橋ライフサイエンスハブ8階

詳しくはこちらへ↓



<https://iss-kibo.space/2019/>

お問合せ: きぼう利用プロモーション室  
z-kibo-promotion@ml.jaxa.jp