

# JAXA 星出宇宙飛行士 ISS 長期滞在ミッション プレスキット



NC 版 2021 年 4 月 15 日

A 版 2021 年 4 月 19 日

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

【改訂履歴】

訂符	日付	改訂ページ	改訂理由
初版	2021.4.15	—	—
A 版	2021.4.19	P8 P9 付録 2 付録 1、2 付録 2-3 付録 2- 20,21,22	名前の訂正 公開予定を公開に修正、別紙を別冊に修正 ページ番号の訂正 spaceflight.nasa.gov サイト閉鎖に伴う URL 削除 URL の修正 体裁の整理

# 目次

1	星出宇宙飛行士のプロフィール .....	1
2	星出宇宙飛行士の ISS 長期滞在ミッション概要 .....	5
2.1	ロゴマーク等 .....	6
2.2	ISS 長期滞在ミッションの体制 .....	7
2.3	JAXA が実施予定の「きぼう」利用 .....	9
3	クルードラゴン宇宙船 (Crew-2) フライト.....	10
3.1	飛行計画概要 .....	10
3.3	クルードラゴン宇宙船(Crew-2) 搭乗中の星出宇宙飛行士の任務.....	12
3.4	参考資料・参考写真.....	12

---

【別冊】星出彰彦宇宙飛行士が ISS 滞在中のきぼう利用ミッションについて

---

【付録 1】世界 15 か国の国際協力の象徴 国際宇宙ステーションについて

1.	概要.....	付録 1-1
2.	各国の果たす役割.....	付録 1-3
3.	ISS の運用.....	付録 1-5
4.	ISS での衣食住 .....	付録 1-7
4.1.	ISS での生活 .....	付録 1-7
4.2.	ISS での食事 .....	付録 1-17
4.3.	ISS での健康維持.....	付録 1-21
4.4.	ISS での保全・修理作業 .....	付録 1-27
5.	ISS での水・空気のリサイクル .....	付録 1-31
5.1.	水の再生処理 .....	付録 1-31
5.2.	空気の供給 .....	付録 1-37

---

【付録 2】「きぼう」日本実験棟概要

- 1 「きぼう」日本実験棟の構成 ..... 付録 2-1
- 2 「きぼう」日本実験棟の主要諸元..... 付録 2-8
- 3 「きぼう」日本実験棟の運用モード.....付録 2-10
- 4 「きぼう」船内実験室のラック .....付録 2-12
  - 4.1. システムラック..... 付録 2-15
  - 4.2. JAXA の実験ラック..... 付録 2-18
- 5. 運用管制 .....付録 2-26
  - 5.1. 運用管制チーム..... 付録 2-28
  - 5.2. JEM システム運用技術支援担当 ..... 付録 2-30
  - 5.3. 実験運用管制チーム..... 付録 2-30

---

【付録 3】 参考データ

- 1 .歴代 ISS コマンダー一覧 ..... 付録 3-1

## 1 星出宇宙飛行士のプロフィール

### 星出 彰彦（ほしで あきひこ）

- 今回が3回目の飛行となる
- 過去2回の飛行では、スペースシャトル及びソユーズ宇宙船（ロシア）に搭乗した。今回、クルードラゴン宇宙船に搭乗することで、3種類の宇宙船に搭乗して、ISSへ向かうことになる。



図 1-1 星出宇宙飛行士

表 1.1 星出宇宙飛行士の経歴

1968 年	東京都に生まれる。
1992 年	慶應義塾大学理工学部機械工学科卒業。
1997 年 12 月	UNIVERSITY OF HOUSTON CULLEN COLLEGE OF ENGINEERING 航空宇宙工学修士課程修了。
1992 年～1994 年	NASDA (現 JAXA) 名古屋駐在員事務所において、H-II ロケットなどの開発・監督業務に従事。
1994 年～1999 年	筑波宇宙センターや NASA ジョンソン宇宙センターなどにおいて、宇宙飛行士訓練計画の開発支援や実験装置の人間機械系設計評価支援および、若田宇宙飛行士の搭乗した STS-72 ミッションなどの支援等、宇宙飛行士の技術支援業務に従事する。
1999 年 2 月 <b>宇宙飛行士候補者に選抜</b>	NASDA (現 JAXA) より ISS に搭乗する日本人宇宙飛行士の候補者として、古川聡、山崎直子とともに選抜される
1999 年 4 月～	NASDA (現 JAXA) が実施する日本人 ISS 搭乗宇宙飛行士の基礎訓練に参加。
2001 年 1 月 <b>宇宙飛行士に認定</b>	宇宙飛行士として認定される。
2001 年 4 月～	ISS 参加機関の国際協力のもとに実施される ISS 搭乗宇宙飛行士のアドバンスト訓練に参加。併せて、ISS に取り付けられる「きぼう」日本実験棟および宇宙ステーション補給機 (HTV) などの開発・運用に関わる技術支援業務などを実施。
2004 年 5 月	ソユーズ-TMA 宇宙船フライトエンジニア資格を取得。 同年 6 月より NASA ミッションスペシャリスト (搭乗運用技術者 : MS) 候補者訓練に参加。
2006 年 2 月	NASA より MS として認定される。
2007 年 3 月	「きぼう」日本実験棟の打上げ 3 便のうち、2 便目 (1J ミッション[STS-124 ミッション]…船内実験室、ロボットアーム打上げ) のスペースシャトル搭乗が決定。。
2008 年 6 月 <b>初回の宇宙飛行</b>	スペースシャトル「ディスカバリー号」による 1J ミッション (STS-124 ミッション) に参加。ISS のロボットアーム (Space Station Remote Manipulator System: SSRMS) を操作して、「きぼう」日本実験棟船内実験室の ISS への取付けや、3 月に ISS へ仮設置された船内保管室の船内実験室への移設を行った。また、船内実験室の起動、「きぼう」ロボットアームの初期起動など、「きぼう」に関わる作業全般を担当した。
2009 年 11 月	ISS 第 32 次/第 33 次長期滞在クルーのフライトエンジニアに任命される。
2012 年 7 月～11 月 <b>2 回目の宇宙飛行</b>	ISS 第 32 次/第 33 次長期滞在クルーのフライトエンジニアとして ISS に 124 日間滞在。滞在中は、「きぼう」での実験や ISS の維持管理を行ったほか、3 回の船外活動、宇宙ステーション補給機「こうのとりのり」3 号機 (HTV3) ミッションやドラゴン補給船運用 1 号機 (SpX-1) ミッション、小型衛星放出技術実証ミッションに関わる軌道上作業などを実施。 打上げ、帰還ともにソユーズ TMA-05M 宇宙船 (31S) に搭乗。
2014 年 7 月	米国フロリダ州沖にある米国海洋大気圏局 (NOAA) が所有する海底研究施設「アクエリアス」における第 18 回 NASA 極限環境ミッション運用 (NEEMO18) 訓練にコマンダーとして参加。
2016 年 4 月～10 月	JAXA 宇宙飛行士グループ長就任
2018 年 3 月	ISS 第 64 次/第 65 次長期滞在クルー (当時) のフライトエンジニアに任命される。また、ISS 第 65 次長期滞在クルー (当時) の ISS コマンダーに任命される。(*)
2021 年 4 月下旬以降～ (約半年間) (予定) <b>3 回目の宇宙飛行</b>	クルードラゴン宇宙船 (運用 2 号機) (Crew-2) に搭乗して、ISS 長期滞在クルーとして ISS に滞在。(予定)

\* : 2021 年 4 月現在、星出飛行士は半年程度 ISS コマンダー（船長）として指揮を採る予定。

#### 【コマンダー（船長）の任務とは？】

ISS 船長は、ISS 滞在クルーおよび ISS の安全に対する責任を有し、ISS の軌道上での運用全体について、滞在する宇宙飛行士を統括する役割。

定常の ISS 保守・実験等の作業は他のフライトエンジニアと同じだが、船長として常に ISS 全体の状況を正確に把握すると共に、自らの担当作業も含めその日ごとのクルー全体の作業予定と結果について確認する。また、地上側で ISS 運用の統括を行うヒューストン管制局のリードフライトディレクターらとの ISS 運用・利用計画と円滑な遂行に関する緊密な連絡とインクリメント全体としての調整、その他問題の把握と解決に関する指摘は、船長の重要な定常作業。

船長として特に他のクルーの作業予定や負荷の度合い、体調などにも気を配り、要すれば他のクルーや地上の各極管制官らと作業計画の見直しやその他の問題解決のための調整を図るなどし、クルー全体の健康とモチベーション、チームワークや良好なコミュニケーションの維持、クルー全員の目標に向かうベクトルを合わせることに努める。

更に、緊急事態（火災、急減圧、有毒物質漏洩等）の発生時においては、船長は緊急事態の状況を正確に把握し、クルー全員の安全及び ISS 機能維持のための迅速且つ的確な対応の指揮を執る。

#### 【星出飛行士で ISS コマンダーは何代目？】

63 代目（延べ人数。実人数の場合は 52 人目）

[補足] ISS コマンダーを連続するエクспедиション（Expedition : 長期滞在）で担当したクルーは併せて 1 カウントとしている。例えば、米国の Scott Kelly 宇宙飛行士は、Exp.45/Exp.46 で連続して ISS コマンダーを担当したが、2 カウントではなく、通して 1 カウントとしている。

星出宇宙飛行士に関する情報は以下サイトもご参照ください。

### 【星出宇宙飛行士 ISS 長期滞在ミッション特設サイト】

(<https://astro-mission.jaxa.jp/hoshide/>)

星出飛行士 ISS 長期滞在ミッションの概要、軌道上活動等を発信します。



### 【特設サイト「みんなで応援しよう！星出宇宙飛行士 ISS MISSION」】

([https://astro-mission.jaxa.jp/hoshide/pr\\_program/](https://astro-mission.jaxa.jp/hoshide/pr_program/))

打ち上げ・ISS 到着・帰還の瞬間を生中継するスペシャル番組の配信や、リアルタイム交信イベントに参加できる「#星出に願いを」Twitter キャンペーン等の企画を行います。



### 【星出宇宙飛行士 Twitter】

([https://twitter.com/Aki\\_Hoshide](https://twitter.com/Aki_Hoshide))

星出宇宙飛行士が自身の言葉で打上げに向けた日々の訓練や活動などを紹介しています。



### 【Humans in Space JAXA 有人宇宙技術部門】

(<https://humans-in-space.jaxa.jp/>)

JAXA 有人宇宙技術部門の Web サイトで日本人宇宙飛行士や長期滞在に関する全般的な情報を掲載しています。



## 2 星出宇宙飛行士のISS長期滞在ミッション概要

星出宇宙飛行士は、2021年4月22日にクルードラゴン宇宙船で国際宇宙ステーション（ISS）へ向かい、約半年間、ISSに長期滞在予定です。

今回のISS長期滞在は、星出宇宙飛行士としては2回目、日本人宇宙飛行士としては10回目のISS長期滞在となります。

星出宇宙飛行士の打上げ前後にISSに滞在する宇宙飛行士を図2-1に示します。

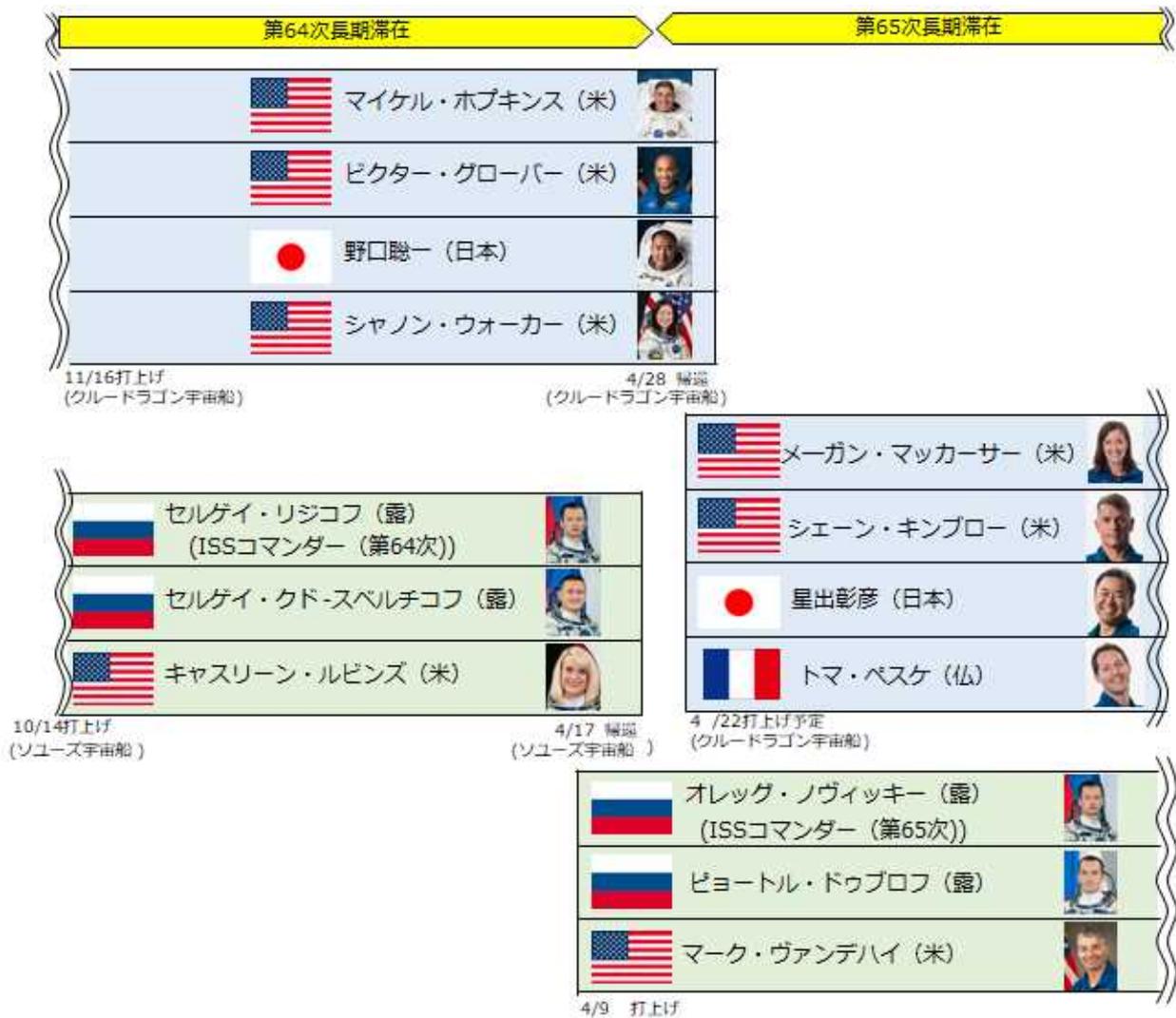


図 2-1 星出宇宙飛行士の打上げ前後のISS滞在クルー（2021/3/31時点）

## 2.1 ロゴマーク等

### (1) 星出宇宙飛行士 ISS 長期滞在ミッションの JAXA ロゴマーク



(解説)

ロゴマークの楕円形は、ISS 船長を務める星出宇宙飛行士のチームワークに対する考え方の根幹がラグビーにあることを象徴しています。

進み続ける ISS は、五色の線で表現した世界（地球）に ISS でのミッションが寄与することと同時に、その先の月や火星へのミッションのためであること、7つの星は、日本人宇宙飛行士たちと挑戦することを表しています。

また、「こうのとりの翼」は、100%のミッションを達成した世界に誇る日本の技術力の象徴として、これからも JAXA が「きぼう」や「こうのとりの翼」後継機の HTV-X を通じて ISS 計画に貢献していく意気込みを示しています。

図 2.1-1 JAXA ロゴマーク

### (2) 星出宇宙飛行士が長期滞在する期間の NASA のミッションパッチ

NASA は、ISS 長期滞在ミッション毎にミッションパッチを制作しています。星出飛行士が滞在予定期間（ISS 第 65 次長期滞在）のミッションパッチを図 2.1-2 に示します。

なお、ISS の長期滞在番号（第 XX 次長期滞在）はソユーズ宇宙船によるクルー交代のタイミングで決まってくるため、星出宇宙飛行士が搭乗するクルードラゴン宇宙船のスケジュールが変更になる場合には星出飛行士の ISS 長期滞在番号も変更となる可能性があります。

図 2.1-2 NASA の ISS 第 65 次長期滞在ミッションパッチ

(©JAXA/NASA)



## 2.2 ISS長期滞在ミッションの体制

ISS 長期滞在ミッションは、ISS に搭乗する宇宙飛行士と地上職員との連携により実施されます。本項では、ISS 長期滞在ミッションにおいて重要な役割を担うインクリメントマネージャ及びリードフライトディレクタをご紹介します。

### (1) インクリメントマネージャ（第 65 次長期滞在）

インクリメントマネージャは、「きぼう」利用成果の最大化を目指して、担当する第 65 次長期滞在期間中についての目標や重点ミッションを設定し、軌道上の各種リソース（宇宙飛行士の作業時間等）を適切に配分するポジションです。具体的には、以下のマネジメントを担います。

- ◇ 戦略的な目標設定及び運用・利用計画の立案
- ◇ 運用・利用計画の履行
- ◇ 上記に係るリスク管理及び ISS 参加機関との国際調整

(参考) インクリメントマネージャに必要とされるスキル

- ◇ マネジメントスキル（状況把握力、問題解決力、交渉力等）
- ◇ テクニカルスキル（運用・利用計画立案業務の知識・経験等）
- ◇ ヒューマンスキル（英語力等）



山本 紘史（やまもと ひろし）

図 2.2-1 インクリメントマネージャ（第 65 次長期滞在担当）

## (2) リードフライトディレクタ（第 65 次長期滞在）

リードフライトディレクタは、「きぼう」と日本の実験装置の運用管制をリアルタイムで行う管制チームのリーダーです。主な役割は以下の通りです。

- ◇ ISS 及び「きぼう」の安全かつ円滑な運用、並びに「きぼう」利用成果の最大化のために、ISS 及び「きぼう」の状況と宇宙飛行士の活動を掌握し、運用管制チームの指揮を執る。また、軌道上の宇宙飛行士との綿密な連携、コミュニケーションを取り、ミッションの着実な遂行に導く。
- ◇ 国際協力に基づき多拠点から分散運用する ISS において、日米欧加の運用管制を統括する NASA のフライトディレクタとの交渉責任を持ちます。
- ◇ 不具合や緊急事態が発生した場合は、運用管制チームを指揮して、適切な情報把握・分析のもと、「きぼう」内の機器の安全化処置や、クルーの緊急退避のサポートを行います。

なお、フライトディレクタは、ISS 及び「きぼう」のシステム及び実験装置に関する技術的知識、運用上のルールやプロセス等を習得し、緊急事態発生時の対応を含むシミュレーション訓練に合格、NASA との課題調整等の実務経験を経て、認定されます。



（前半担当）

高橋櫻子（たかはし さくらこ）



（後半担当）

関川知里（せきがわ ちさと）

図 2.2-2 リードフライトディレクタ（第 65 次長期滞在担当）

## 2.3 JAXAが実施予定の「きぼう」利用

星出宇宙飛行士が参加する ISS 長期滞在ミッションでは、ライフサイエンスや医学実験をはじめ、超小型衛星の放出、技術実証等、多くの「きぼう」利用が予定されています。

JAXA は、HP において、「きぼう」利用に関する最新状況と今後の予定を隔週更新しています。また、「きぼう」利用のパンフレットや最新の成果の紹介、「きぼう」を利用したい方に向けた制度説明等も掲載していますので、ご覧ください。

### 【「きぼう」利用のご案内】

<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/>

(以下は、上記サイト内のページです。)

### 【「きぼう」利用 インクリメント 65 について】

<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/information/increment/65.html>

(2021 年 4 月 15 日公開)

### 【「きぼう」利用状況と今後の予定一覧】

<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/information/program/>

### 【「きぼう」利用に関する資料集 (パンフレット等)】

<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/library/>



**別冊** (2021 年 4 月 15 日の記者説明会資料) にて、星出宇宙飛行士の ISS 長期滞

在中に計画されている主な「きぼう」の利用例を示していますので、参照下さい。

(その他「きぼう」利用については、上記ウェブサイトを参照下さい。)

### 3 クルードラゴン宇宙船（Crew-2）フライト

#### 3.1 飛行計画概要

クルードラゴン宇宙船（Crew-2）の飛行計画概要を表 3.1-1 に示します。打上げ日時等は変更となる可能性があります。

表 3.1-1 クルードラゴン宇宙船（Crew-2） 飛行計画概要  
(2021年4月14日時点)

宇宙船名称	クルードラゴン宇宙船
ミッション番号	Crew-2（クルードラゴン宇宙船の運用2号機）
打上げ日時	2021年4月22日（木）午後 7時11分（日本時間）
打上げ場所	米国フロリダ州ケネディ宇宙センター 39A 発射台
搭乗員	（3.2項参照）
ISS ドッキング日時	2021年4月23日（金）午後 18時30分頃（日本時間）
ISS 離脱・帰還時期	（調整中）（ISSに約半年間係留予定）
帰還場所	大西洋（フロリダ州沖）着水エリア もしくは メキシコ湾岸着水エリア



図 3.1-1 Crew-2 のミッションパッチ（©JAXA/NASA）

### 3.2 クルードラゴン宇宙船(Crew-2)搭乗クルー



図 3.1-2 クルードラゴン宇宙船 (Crew-2) 搭乗クルー

(図 3.1-2 左から)

#### メーガン・マッカーサー宇宙飛行士 (NASA)

- ◇ Crew-2 パイロット
- ◇ 飛行経験：1回 2009年 (スペースシャトル)
- ◇ 略 歴：<https://www.nasa.gov/astronauts/biographies/k-megan-mcarthur>

#### トマ・ペスケ宇宙飛行士 (ESA)

- ◇ Crew-2 ミッションスペシャリスト
- ◇ 飛行経験：1回 2016年 (ソユーズ宇宙船)
- ◇ 略 歴：[https://www.esa.int/Science Exploration/Human and Robotic Exploration/Astronauts/Thomas Pesquet](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Astronauts/Thomas_Pesquet)

#### 星出彰彦宇宙飛行士 (JAXA)

- ◇ Crew-2 ミッションスペシャリスト
- ◇ 飛行経験：2回 2008年 (スペースシャトル)、2012年 (ソユーズ宇宙船)
- ◇ 略 歴：<https://humans-in-space.jaxa.jp/space-job/astronaut/hoshide-akihiko/>

#### シェーン・キンブロー宇宙飛行士 (NASA)

- ◇ Crew-2 コマンダー
- ◇ 飛行経験：2回 2008年 (スペースシャトル)、2016年 (ソユーズ宇宙船)
- ◇ 略 歴：<https://www.nasa.gov/astronauts/biographies/robert-shane-kimbrough>

### 3.3 クルードラゴン宇宙船（Crew-2）搭乗中の星出宇宙飛行士の任務

星出宇宙飛行士は、Crew-2 ミッションスペシャリストとして、同乗するコマンダー及びパイロットと密接に連携し、宇宙船の飛行状況（飛行シーケンス、タイムライン、宇宙船テレメトリ及びリソース消費等）を監視する役割を担います。

### 3.4 参考資料・参考写真

クルードラゴン宇宙船に関する詳しい情報は、NASA が公開しているプレスキットもご参照ください。

#### 【NASA Commercial Crew Program プレスキット】（英語・PDF）

[https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/commercialcrew\\_press\\_kit.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/commercialcrew_press_kit.pdf)

#### 【NASA Commercial Crew Program プレスキット】（英語ページ）

<https://www.nasa.gov/specials/ccp-press-kit/main.html>

（以下は、上記サイト内のページです）

#### 【クルードラゴン宇宙船について】（英語ページ）

<https://www.nasa.gov/specials/ccp-press-kit/spacex.html>

クルードラゴン  
(複数回のミッションが可能な設計)

ノーズコーン  
与圧セクション  
サービスセクション  
クルードラゴン & ドラゴンアゼナリ  
ソーラーレイ  
トランク

キャビン内部  
スーパードラゴンエンジン (アボート用)

© NASA

スペースX社/クルードラゴン(別名:ドラゴン2)

打上ロケット	スペースX社ファルコン9 Block5
乗員	7名(最大)(ISS向けでは4名となる)
射場	ケネディ宇宙センター(フロリダ州)/射点:LC-39A
打上管制	ケープカナベラル(フロリダ州)
運用管制	ホーソン(カルフォルニア州)
アボート手段	宇宙機エンジンでロケットから離脱
帰還方法	パラシュート降下し、海面に着水
回収地点	大西洋(フロリダ州沖)着水エリア メキシコ湾岸着水エリア

ファルコン9 ロケット2段目  
• Merlin Vacuum Engine  
1基搭載  
(噴射時間 397秒)

ファルコン9 ロケット1段目  
• Block 5 Design  
(フライバック機能あり)  
• Merlin Engine  
9基搭載  
噴射時間 162秒  
7607 kN(1.7m lbf)推力

• 打上げ実績: 112回\*  
(内打上げ失敗2回)  
\*2021年3月15日現在  
2020年1月実施のインフライトアボートテスト含む)  
• 打上げ成功率: 98.21%

源泉: NASA CCP Press Kit 等

© NASA

図 3.4-1 クルードラゴン宇宙船及びファルコン9 ロケットの概要  
(NASA 公開情報をもとに JAXA 作成)



図 3.4-2 宇宙船内に着席した Crew-2 搭乗クルー (右端が星出宇宙飛行士)



図 3.4-3 (参考) Crew-1 搭乗クルーの出発風景 (2020 年 11 月)



図 3.4-4 (参考) クルードラゴン宇宙船 (Crew-1) の打上げ (2020 年 11 月)



図 3.4-5 (参考) ISS にアプローチ中のクルードラゴン宇宙船 (Crew-1)  
(2020 年 11 月)



# 星出彰彦宇宙飛行士がISS滞在中の きぼう利用ミッションについて

2021年4月15日

インクリメント65担当 JAXAインクリメントマネージャ  
山本紘史





## 1.1 ISS滞在期間中のポイント



### 星出宇宙飛行士ISS長期滞在ミッション

「夢は、実現できる。」

- 日本人2人目のISS船長としてクルーの指揮を執る。
- One for All, All For One
- 日本代表、国際宇宙ステーションの代表として。
- 地上のチームと、宇宙へ。



星出宇宙飛行士を中心とする宇宙飛行士と地上のチームワークで利用ミッションを安全・確実に遂行する。

### インクリメント65キーメッセージ 「探査／科学／民間利用のスクラムで 新しい時代を切り拓く」

～超長期有人滞在に向けた技術的・科学的成果創出とプラットフォーム拡大による「きぼう」利用多様化・商業化の促進～

- 取り組むべき活動領域として以下の3つを設定。  
(「きぼう」利用ポートフォリオの適用)
  - ◆ 超長期有人宇宙滞在技術・探査技術獲得の推進 (JAXA事業利用領域) →探査
  - ◆ 国の課題解決型研究・学術研究の推進 (公的利用領域) →科学
  - ◆ 民間利用オープンイノベーションの推進 (商業活動利用領域) →民間利用
- 加えて上記3領域の「きぼう」利用を支える基盤技術に取り組む。

- ✓ 夢を実現するような将来性のあるミッション・人材育成に資するミッションの実施。
- ✓ 探査/科学/民間利用の三本柱のミッションを実施。
- ✓ チームワークで成果の最大化を目指す。



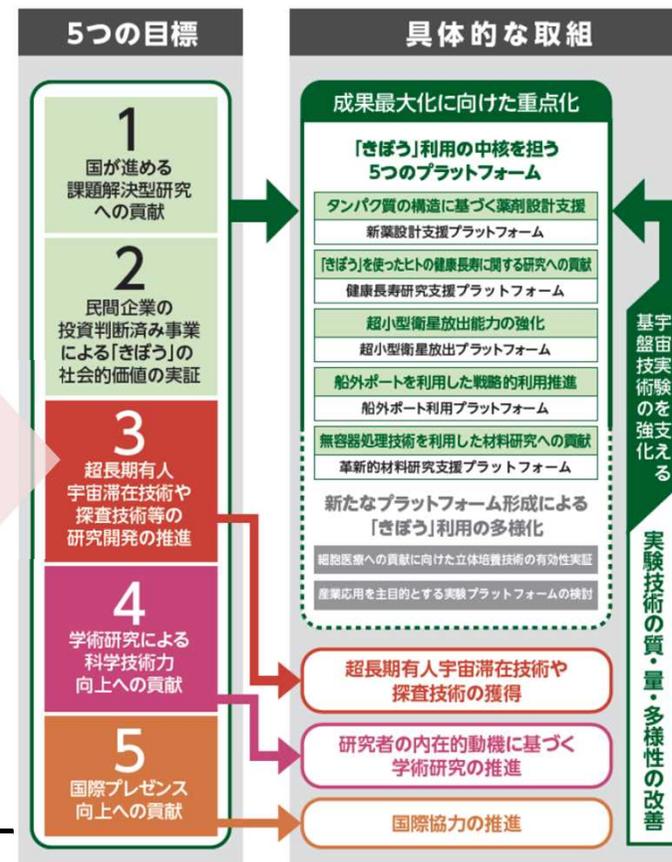
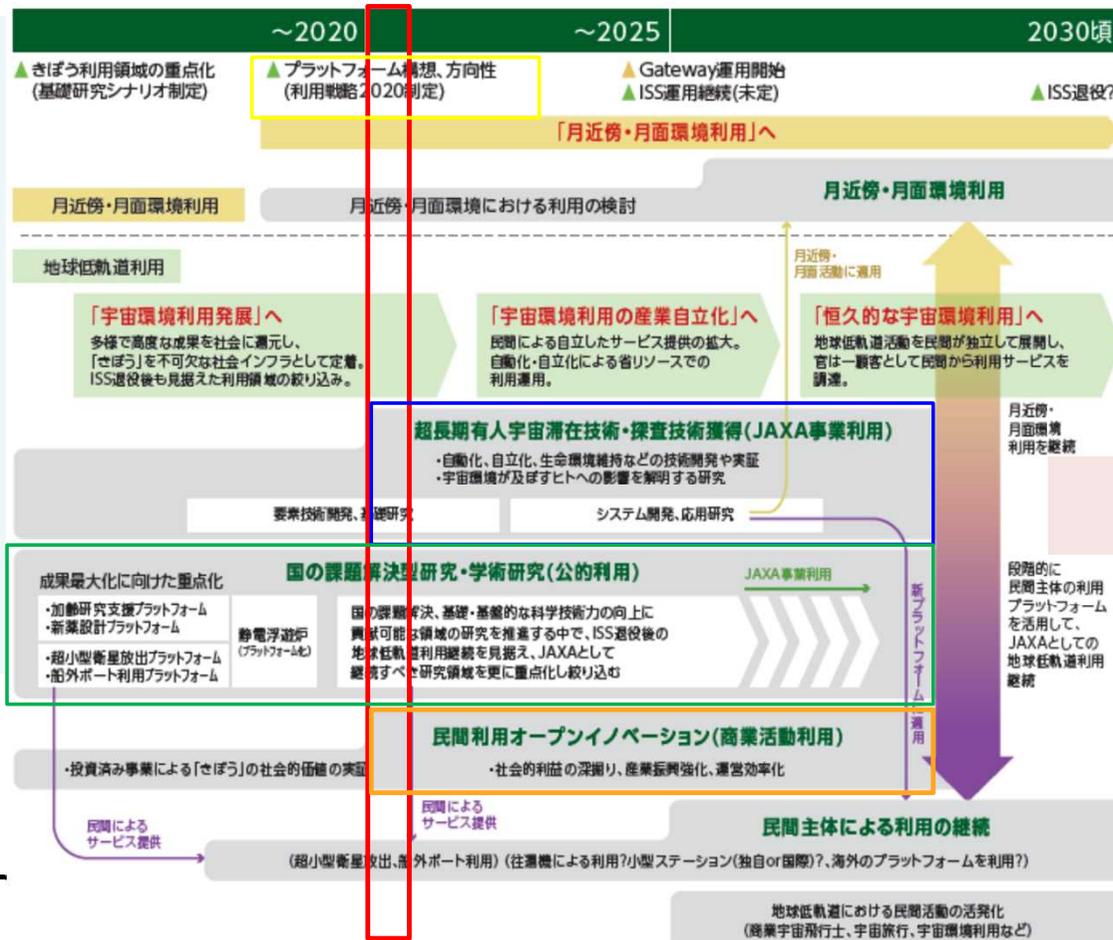
# 1.2 「きぼう」利用戦略におけるインクリメントの位置づけ (インクリメント65期間：2021年4月18日～2021年10月17日)



「きぼう」利用戦略のベースとなるJAXAとしての宇宙環境利用全体像

5つの目標と具体的な取組

- ▶ プラットフォーム構想、方向性定着。
- ▶ 新たなプラットフォームの形成。
- ▶ 「きぼう」利用ポートフォリオの適用開始。
- ▶ 月近傍・月面環境利用の検討本格化。



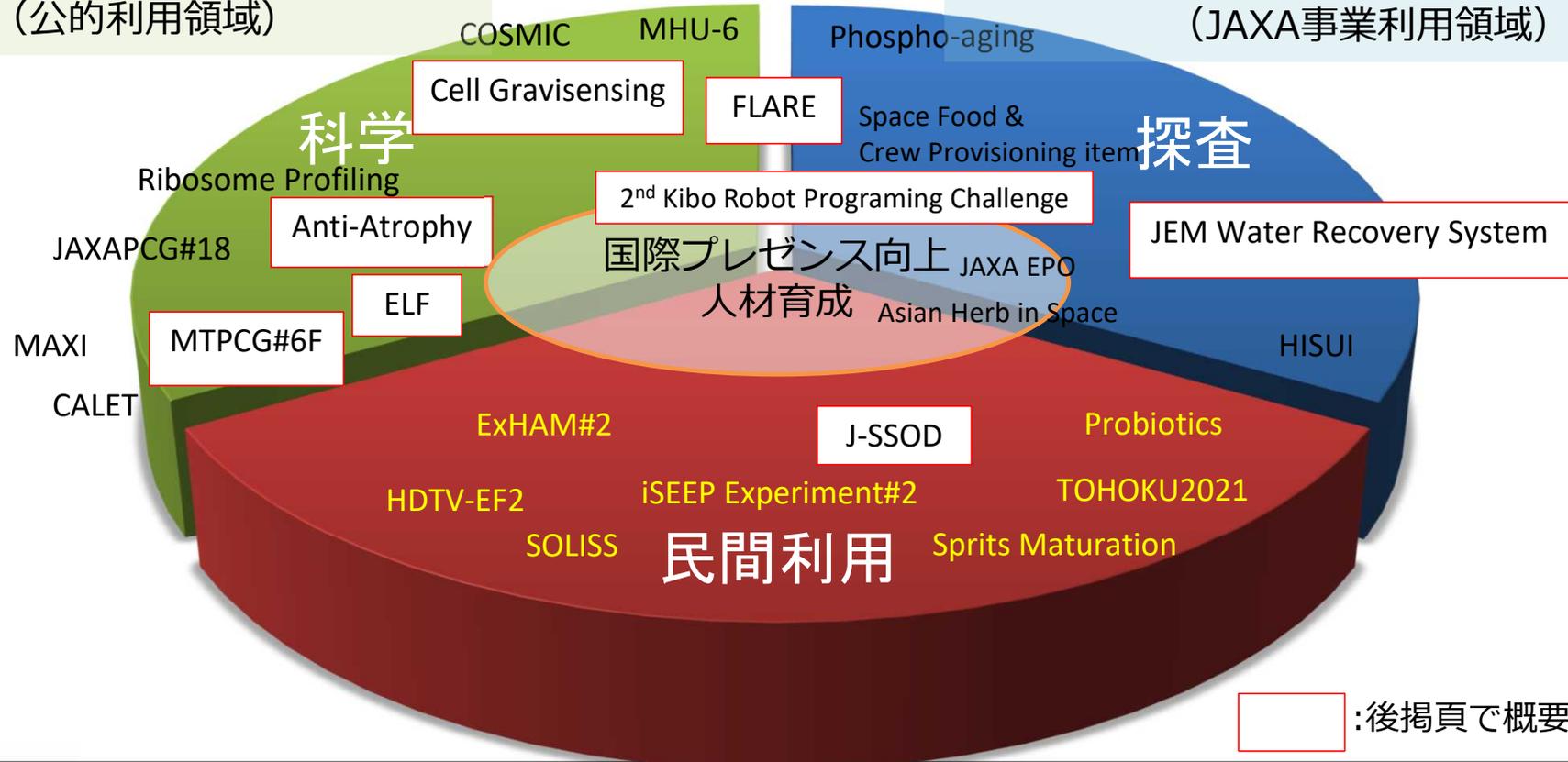
インクリメント65 (2021年4月18日～2021年10月17日)



# 1.3 インクリメント65で実施予定の利用テーマ

国の課題解決型研究・学術研究の推進  
(公的利用領域)

超長期有人宇宙滞在技術・探査技術獲得の推進  
(JAXA事業利用領域)



民間利用オープンイノベーションの推進  
(商業活動利用領域)



## 2. 星出宇宙飛行士ISS滞在中に予定されている 主なきぼう利用テーマ

---



1. JEM Water Recovery System～次世代水再生システム構築に向けた技術実証～
2. FLARE～火災安全性向上に向けた固体材料の燃焼現象に対する重力影響の評価～
3. Cell Gravisensing～細胞の重力センシング機構の解明～
4. Anti-Atrophy～無重力や寝たきりによる筋萎縮の予防に有効なバイオ素材の探索～
5. 高品質タンパク質結晶生成実験～凍結融解技術および温度維持輸送技術実証～
6. ELF～静電浮遊炉を使用した高精度熱物性測定～
7. J-SSOD～超小型衛星放出ミッション～
8. 2<sup>nd</sup> Kibo Robot Programing Challenge  
～第2回「きぼう」ロボットプログラミング競技会～



# 2.1 JEM Water Recovery System

～次世代水再生システム構築に向けた技術実証～



- JEM Water Recovery System (水再生システムの技術実証)とは
  - 革新的な次世代型水再生システムの構築に向け、日本独自の高圧電気分解方式に対する微小重力影響や水再生システムデザインの構築を目的に小型の技術実証装置（図1）を用いてデータを取得します。
  - 日本独自の水再生システムでは、尿を、①イオン交換、②高温高圧水電解、③電気透析の3段階の処理工程（図2）に通し、宇宙飛行士が飲用可能な水に再生します。また、電気透析で生成する酸/アルカリ水を利用してイオン交換樹脂を再生し、メンテナンスフリー化を目指しています。
- 本実験の意義
  - ISSにおける飲料水の一部は、宇宙飛行士の尿やエアコンからの凝縮水などを浄化処理してリサイクルしており、米国の水再生処理装置が使われています。日本の水再生システムは、ISSにある従来の水再生処理装置に比べ、「小型、省エネ、高再生率、メンテナンス性」を向上させたシステムです。
  - 低消費電力で小型・高効率の水再生システムは、日本の自立したポストISS有人ミッションの実現や国際有人宇宙探査ミッションにおける基幹部分として、日本の貢献につなげることが期待されます。
  - また地上では水資源が限られる干ばつ地帯や山岳地帯、被災地等へ応用することが考えられます。

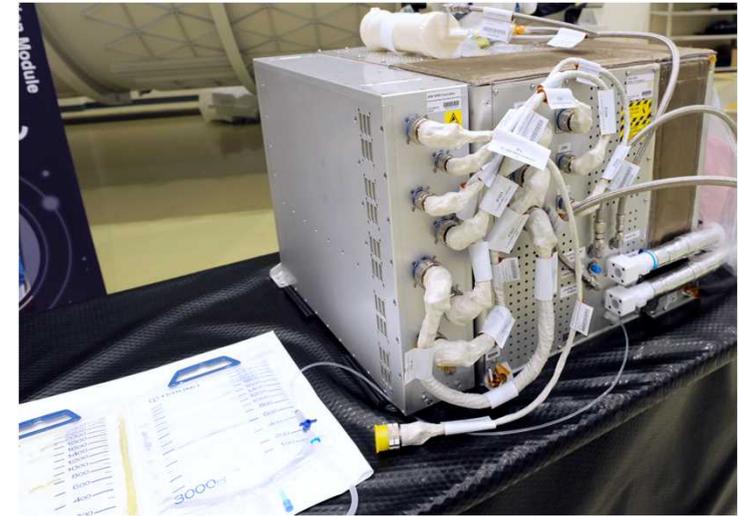


図1 JEM Water Recovery System 装置外観



# 2.1 JEM Water Recovery System

～水再生技術実証～



## ➤ 軌道上実験概要

- 処理工程で水の電気分解を行う際に水素・酸素気泡が発生します。地上では重力があるため液体と気体は分離しますが、微小重力では気泡に浮力が働かず、電極表面で発生した気泡はいつまでも表面に留まる場合があります（図3）。
- この微小重力で発生する微小気泡（マイクロバブル）の、処理性能に対する影響をスケールモデルを用いて評価します。電極に滞留する微小な気泡（マイクロバブル）が、水再生性能にどのような影響を与えるか調査し、将来の水再生システムの開発に活用します。
- インクリメント65では、水再生システムの初期機能確認として尿および模擬尿の軌道上での再生処理をします。また、後続のインクリメントで処理水の回収・成分分析や長期間の水再生システムの作動確認を行います。
- 最終的には、軌道上実証では、微小重力環境の影響を調べるとともに、要求される水質および再生率（85%以上）を達成できることを確認します。

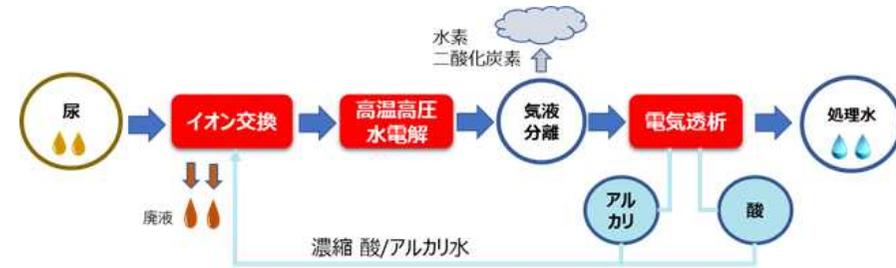


図2 次世代水再生システムの浄化処理の概念図

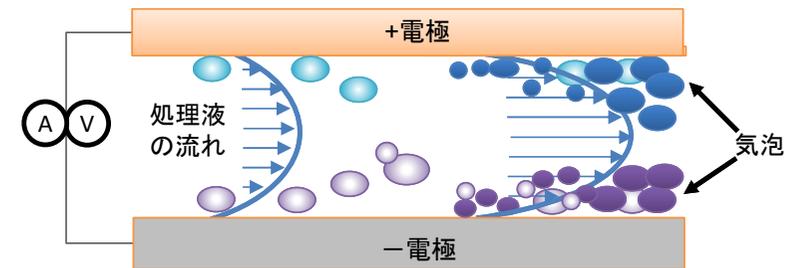
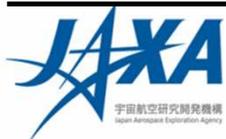


図3 電気分解セル内の気泡模式図



**日本独自の技術で、小型・省エネ・高再生率・メンテナンス性向上。  
将来有人探査で次世代水再生システムの活用を目指す。**

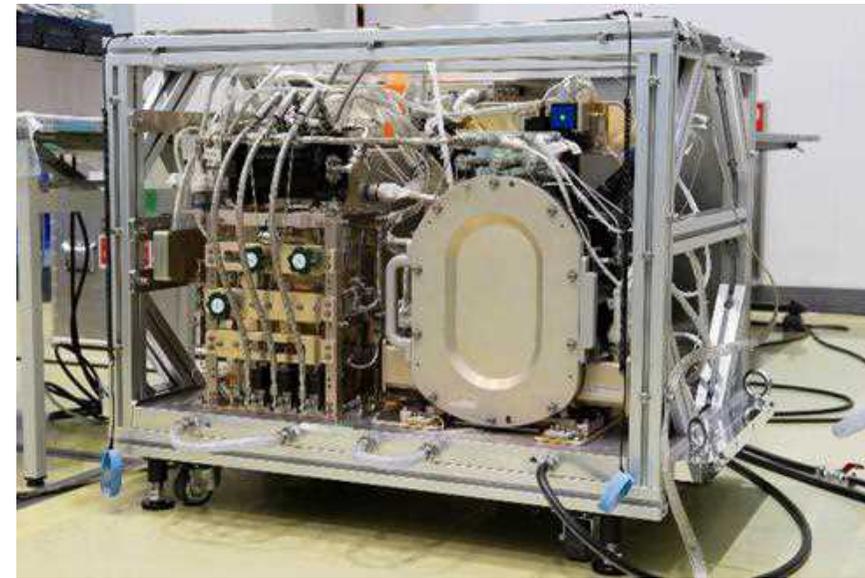


## 2.2 FLARE



～火災安全性向上に向けた固体材料の燃焼現象に対する重力影響の評価～

- FLAREとは（代表研究者：北海道大学 藤田修氏）
  - 微小重力環境下での固体材料の新たな燃焼性評価手法の開発を行い、宇宙火災安全のための国際基準を提示することを目的としています。
  - 長時間の微小重力環境において、様々な固体材料の高精度な燃焼特性データを系統的に取得し、固体材料の燃焼限界条件が、通常重力環境からどのように変化するかを明らかにします。
- 本実験の意義
  - 閉鎖空間である宇宙船では火災に対する高い安全性が求められており、宇宙火災安全技術の高度化は、多様化が進む地球低軌道利用に留まらず、今後想定される有人宇宙探査においても重要な課題です。
  - 国際基準の構築・制定を日本がリードすることで、人類の新たな活動領域における安全・安心の確保への貢献が期待されます。



固体燃焼実験装置（Solid Combustion Experiment Module: SCEM）外観  
（FLARE利用テーマで使用する実験装置）



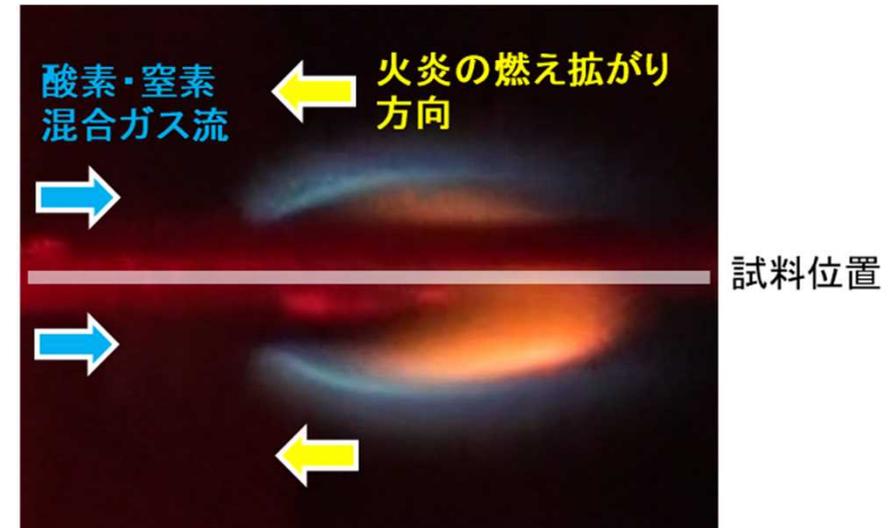
## 2.2 FLARE

～火災安全性向上に向けた固体材料の燃焼現象に対する重力影響の評価～



### ➤ 軌道上実験作業

- 「きぼう」の多目的実験ラックに搭載される固体燃焼実験装置（SCEM）を利用（P.23参照）し、様々な材質・形状の固体材料の燃焼実験を行います。
- 実験では、整流機能を持つ風洞部内に試料\*を設置し、宇宙船内環境と同等の非常に低流速のガス流（最大でも25 cm/s程度）を試料と並行に流したうえで、試料端に電熱線で着火させます。
- 試料上を燃え広がる火炎の観察を行うとともに、燃え広がりが起こらなくなる酸素濃度、流速条件を調べます。



(\* : 比較的燃焼しやすい紙やアクリル、ポリエチレンなどに加え、宇宙船内で実際に使用される難燃性材料も含む)

**微小重力環境の固体材料燃焼性を評価し、宇宙火災安全の国際基準の構築を日本がリードする。**



## 2.3 Cell Gravisensing

～細胞の重力センシング機構の解明～



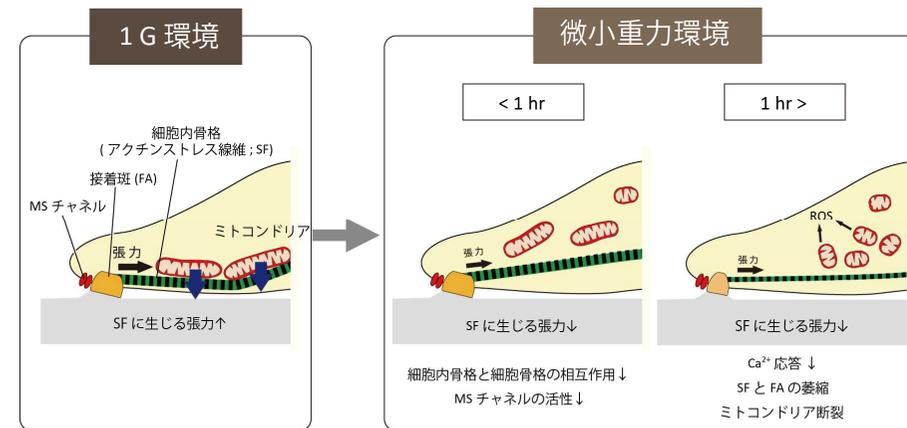
➤ Cell Gravisensing とは  
(代表研究者；名古屋大学 曾我部正博氏)

- 宇宙生物学において「細胞がどのように重力を感知するか？」は大きな課題です。宇宙実験により、動物細胞が単独で重力を感知することが明らかになってきていますが、重力感知メカニズムは殆ど分かっていません。
- 本研究では、「核・ミトコンドリアに対する重力作用の消失が、相互作用する細胞内骨格であるストレス繊維の張力に影響を与える。さらに細胞内の小器官自体の機能や形態にも作用し、下流のシグナル系を賦活させ、細胞が重力環境を感知する」という仮説を実証することを目的とします。

➤ 本実験の意義

- 微小重力環境下では、細胞が微小重力を感知することに端を発し、そこから、組織・個体レベルでの筋萎縮・骨量減少へと繋がると考えられています。
- 根本となる感知（感受）メカニズムの解明は、宇宙飛行士に起こる筋萎縮・骨量減少、は地上での寝たきり状態での病態の予防・治療法の開発に繋がり、高齢化社会の問題に貢献することが期待されます。

細胞が微小重力を感知するシステムとして、細胞内の核、ミトコンドリアとストレス繊維の相互作用に着目する！





## 2.3 Cell Gravisensing

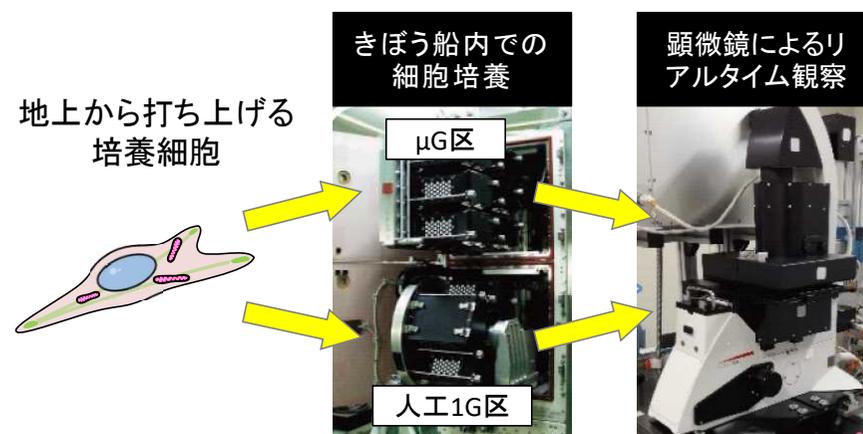
～細胞の重力センシング機構の解明～



### ➤ 軌道上実験作業

- 地上で準備した培養細胞を「きぼう」へ輸送したのち、そこに設置されているインキュベータ（細胞培養実験装置：CBEF）内で、培養します。インキュベータには人工1G区と微小重力の $\mu$ G区が備わっており、それぞれに培養細胞試料を設置し、所定の期間培養を行います。
- 培養の様子については、「きぼう」に設置されている顕微鏡により1Gと $\mu$ Gでの培養細胞の様子の違いをリアルタイムで観察します。実験終了後は、試料の保存処置を施した後、地上に回収し、さらに詳細な顕微鏡観察、また、遺伝子やタンパク質の発現変化について詳細に解析を行います。
- 本研究は3回に分けて実施し、初回の本インクリメントでは軌道上 $\mu$ G/1G下における培養と顕微鏡観察、および回収標品の分子生物学的解析と画像解析を通して微小重力効果の評価を実施する予定です。

Cell Gravisensing 軌道上観察実験の概略図



共焦点顕微鏡によるリアルタイムイメージングによって動物細胞の重力感知機構を明らかにする

**細胞の重力感受メカニズムを解明し、微小重力や寝たきりによる筋萎縮の予防に貢献する**

## 2.4 Anti-Atrophy

～無重力や寝たきりによる筋萎縮の予防に有効なバイオ素材の探索～

➤ Anti-Atrophyとは（代表研究者：徳島大学 二川健氏）

- 研究チームでは、天然の抗筋萎縮物質(バイオ素材)として筋萎縮関連酵素、筋のタンパク質分解抑制の効果があるCbl-bユビキチンリガーゼの阻害ペプチド『ミリストイル化Cblinペプチド』と、筋のタンパク質合成促進の効果がある熱ショック蛋白質誘導剤『Celastrol』の2種類を見出しています。
- これらのバイオ素材が、実際の微小重力による筋萎縮に有効であるかどうかを証明することが本研究の目的です。さらに、これら物質の抗筋萎縮作用メカニズムは異なるので、単独および同時投与による相加的な治療効果の有無も検討します。

**微小重力による筋萎縮に有効な天然の抗筋萎縮物質を証明し、将来の有人宇宙活動の幅を広げる。**

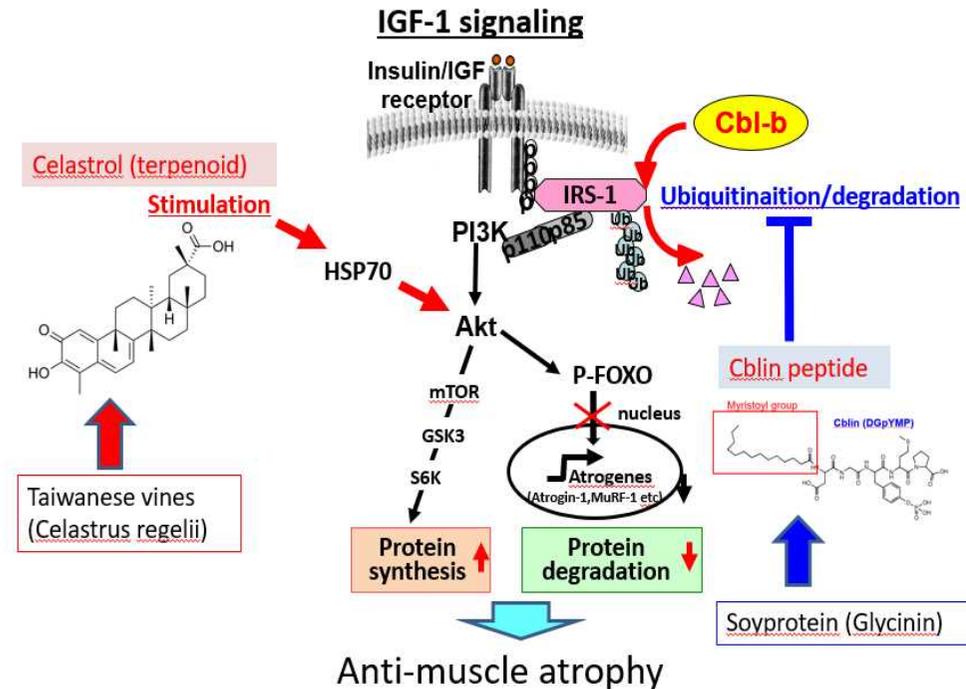


図. バイオ素材 (CblinとCelastrol)の筋萎縮に対する作用機序



## 2.4 Anti-Atrophy

～無重力や寝たきりによる筋萎縮の予防に有効なバイオ素材の探索～



### ➤ 本実験の意義

- 実際の微小重力による筋萎縮に対して、天然の抗筋萎縮作用(バイオ素材)を示す物質の有効性が示されれば、薬剤投与や経口摂取(食品)等のような簡便な方法によって微小重力起因の筋萎縮を予防する極めて有効な対処法となります。
- 今後の超長期間の宇宙滞在・探査等での有人活動の幅を広げることが期待されます。

### ➤ 軌道上実験作業

- 微小重力によって引き起こされる筋萎縮に対して、ラット由来の筋細胞L6を用いて、①蛋白質合成シグナルの活性化、②蛋白質分解シグナルの抑制を中心に解析を行うことにより、バイオ素材(CblinとCelastrol)の有用性を実証します。
- 軌道上では、JAXAが開発した軌道上での使用実績のある培地交換器具を用いて、宇宙飛行士がバイオ素材を筋細胞に添加する作業等を行い、細胞培養装置(CBEF)で培養します。
- 実験終了後の細胞サンプルを冷凍保存したうえで地上に帰還させ、研究チームのラボにおいて、蛋白質合成シグナルの活性化や蛋白質分解シグナルの抑制に関する変化を分子生物学的手法や生化学的手法を用いて解析します。



## 2.5 高品質タンパク質結晶生成実験

～凍結融解法および新たな温度維持輸送容器の技術実証～



### ➤ 凍結融解法とは

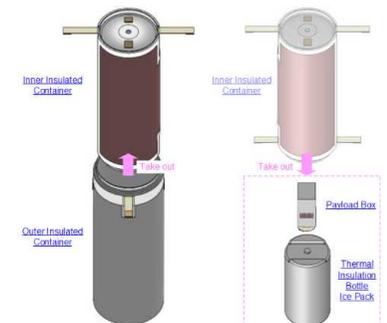
- 創薬研究において精密構造情報の必要性は高いのですが、創薬標的タンパク質の多くは安定性が低く、結晶化開始前に壊れてしまう可能性があります。そのため、ロケット等の打上げスケジュールの変更が実験にとって致命的になることがあります。
- JAXAが新たに開発した凍結融解法は結晶化開始直前までタンパク質試料を凍結状態で保管し、軌道上で解凍、結晶化開始操作を行うことで、不安定なタンパク質が壊れてしまう可能性を極限まで低減することが可能となります。
- 宇宙実験実施が困難であった不安定な創薬標的タンパク質の結晶化を可能とし、適用できる試料の幅が広がり、創薬需要に応えることが期待されます。



凍結融解法用  
結晶化容器

### ➤ 温度維持輸送容器の開発背景

- これまでNASAの冷蔵輸送サービスに頼っていた打上げ・帰還時のサンプル温度維持 ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) について、今回JAXAは新たな温度維持輸送容器を開発しました。本容器開発によって、JAXAが自前で温度維持した状態の可能となり、実験サンプルの往來の選択肢を大幅に拡大することができます。
- 2018年に実施した、このとり7号機搭載の小型回収カプセル技術をさらに高度化・小型化し、新たな温度維持輸送容器として開発、今回、その技術実証を行います



温度維持輸送容器



**凍結溶解法による安定した高品質タンパク質結晶の生成と独自の温度維持輸送技術の実証を行い、創薬研究や科学研究の可能性を広げる。**



# 2.5 高品質タンパク質結晶生成実験

## ～凍結融解法および新たな温度維持輸送容器の技術実証～



軌道上実験作業  
(凍結融解法技術実証)

**軌道上保管FROST1(-80°C)・FROST2への静置(+20°C制御)**



結晶化開始まで FROST1で-80°C保管

FROST2(+20°C)

※写真はFROST1

**クーラー操作による結晶化**

クーラー操作により、試料と結晶化溶液を遠心処理にて混合し、結晶化を開始。

市販品を改修した小型遠心装置



**FROST2への静置(+20°C制御)**

結晶化容器をZiplockにいれ、静置



FROST2

※写真はFROST1

**結晶生成**  
(21日以上40日未満)

**SpX帰還・回収@米国**

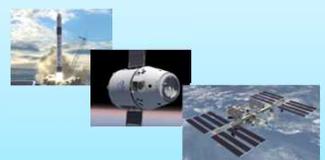


定温輸送(20°C)

**結晶取り出し、解析、評価@日本**



**SpX搭載・打上げ@米国**



**H/W及びサンプル準備@TKSC**

タンパク試料・結晶化溶液：  
所定の容器に充填し、凍結後-80°C輸送

結晶化装置及びその他射場作業に必要な物品の輸送



凍結融解法用結晶化容器

CSを使用せず、新規開発の温度維持容器を使用する。

FROST:  
「きぼう」搭載用ポータブル  
冷凍・冷蔵庫

H/W輸送  
サンプルの-80°C輸送



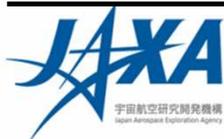
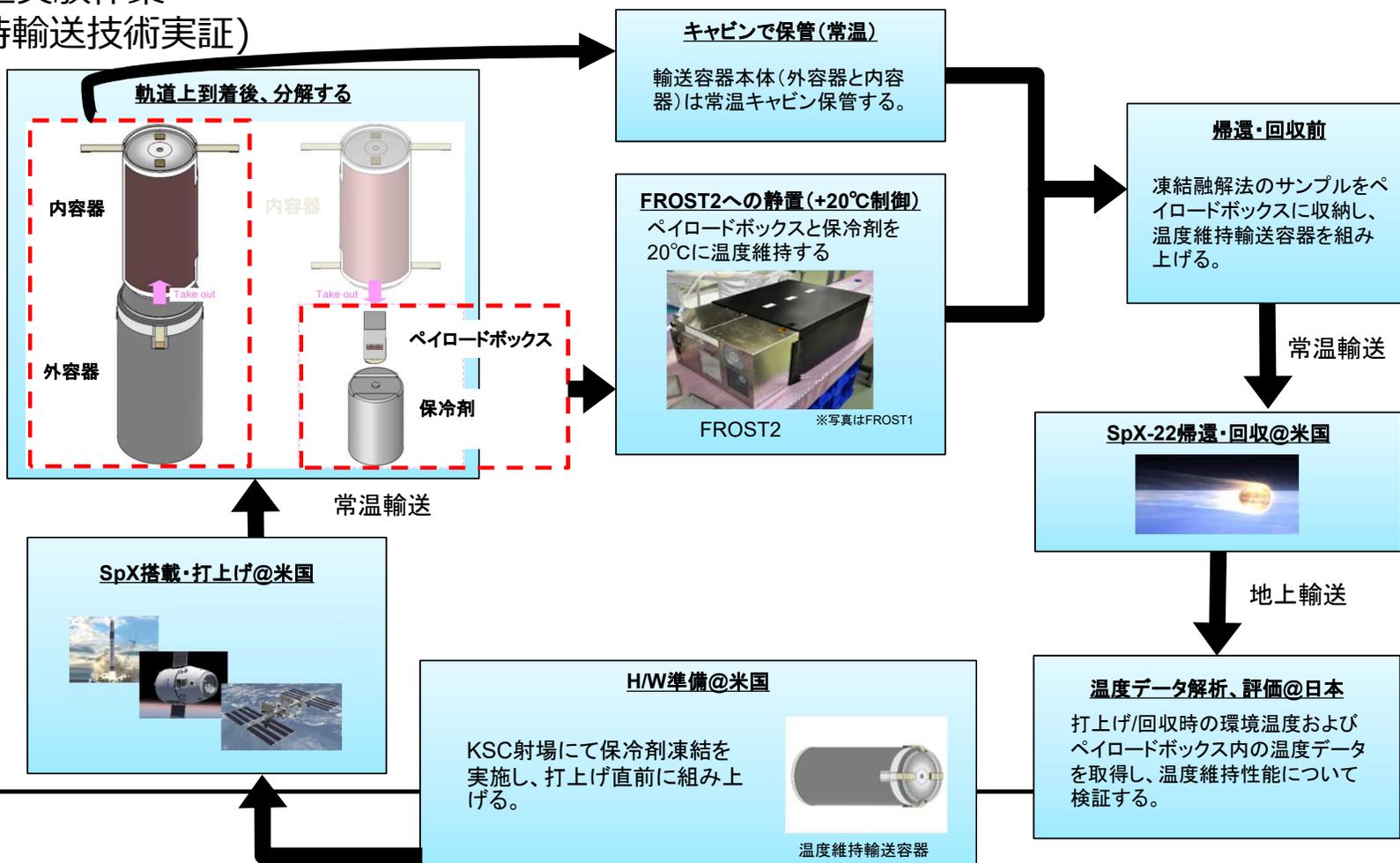


# 2.5 高品質タンパク質結晶生成実験

## ～凍結融解法および新たな温度維持輸送容器の技術実証～



軌道上実験作業  
(温度維持輸送技術実証)



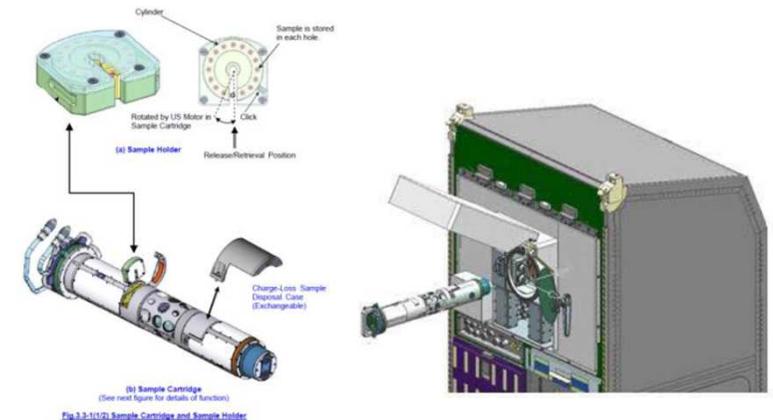
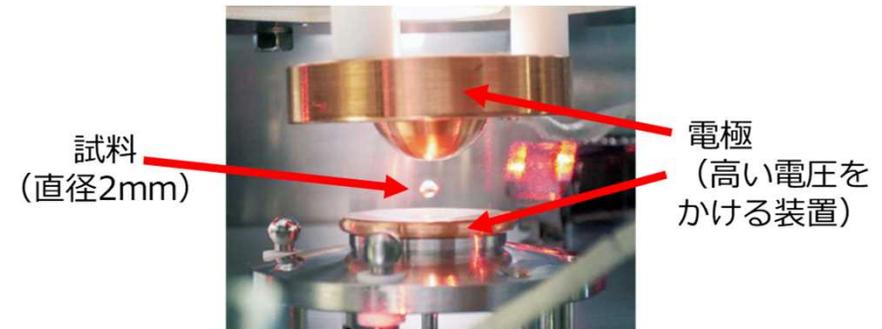


## 2.6 ELF

～静電浮遊炉を使用した高精度熱物性測定～



- 静電浮遊炉を用いた高精度熱物性測定の意義
  - 静電浮遊炉 (Electrostatic Levitation Furnace: ELF) は、帯電した試料と周囲の電極間に働くクーロン力を利用して試料位置を制御し、レーザー加熱により非接触で熔融・凝固することができる装置です。
  - ISSの微小重力環境を利用し、地上では浮遊のできない高融点物質の熱物性計測と過冷凝固による新規高機能物質を探索します。
- 軌道上実験作業
  - 直径約2mmの試料を浮遊させ、レーザー加熱により熔融し、外形観察による体積計測と液滴振動による粘度と表面張力の計測を行います。
  - また、熱物性計測後に試料を過冷凝固し、地上回収後に質量の計測と特性の分析を行います。
  - 宇宙飛行士は、試料を格納したサンプルフォルダの交換や実験カートリッジのELFへの取付け、メンテナンスを行います。



**材料を浮かせて融かす — 高融点材料の隠されている性質を解明する。**



## 2.6 ELF



### ～静電浮遊炉を使用した高精度熱物性測定～

A) 実験テーマ「静電浮遊法を用いた鉄鋼材料プロセスの基礎研究 – 高温融体の熱物性と界面現象 – (Interfacial Energy)」  
(研究代表者：学習院大学 渡邊匡人教授)

- スラグ（金属の製錬に際して、熔融した金属から分離して浮かぶ残渣）などの酸化物融体に内包された金属融体試料の界面張力、および酸化物融体の密度、粘性等の熱物性を取得する。
- 界面での振動現象を直接観察することで、鋼材の均質性劣化を招く振動流の原因を明らかにする。
- 以上2つの観点から、高温の酸化物・金属融体の界面張力を制御して、鉄鋼の生産・加工過程に起こる特質劣化を防ぎ、思い通りの溶接形状を作ることが可能とし、高い品質の鉄鋼製品の生産に貢献する。

B) 実験テーマ「新奇機能性非平衡酸化物創製に向けた高温酸化物融体のフラジリティーの起源の解明 (Fragility)」  
(研究代表者：物質・材料研究機構 小原真司主幹研究員)

- 高温酸化物液体の密度および粘性測定を行う。
- 地上ではSPring-8でX線散乱実験を行い、液体の原子構造データを取得し「構造」と「粘性」の対応をとる。
- 原子・電子構造と熱物性を再現するモデルを構築することで「構造」と「粘性」の相関を明らかにし、高温液体のガラスへのなりやすさの指標であるフラジリティーの概念を原子・電子レベルで解明する。

※研究成果事例(2020年6月)

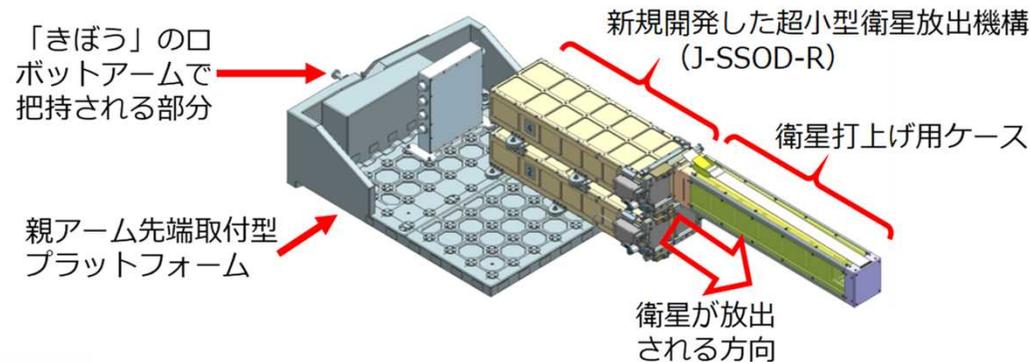
「ガラスにならない超高温酸化物液体が持つ特異構造宇宙・地上での実験と大規模理論計算・先端数学の連携による発見」

[https://www.jaxa.jp/press/2020/06/20200602-1\\_j.html](https://www.jaxa.jp/press/2020/06/20200602-1_j.html)



## 2.7 J-SSOD ～超小型衛星放出ミッション～

- 小型衛星放出機構（JEM Small Satellite Orbital Deployer: J-SSOD）とは
  - ISSのモジュールで唯一、エアロックとロボットアームの両方をあわせ持つ「きぼう」日本実験棟の機能を活用し、ISSから超小型衛星を放出します。民間事業者を通じた超小型衛星や、国際協力に資する超小型衛星等を放出します。
  - インクリメント65では、戦略的パートナーである国連宇宙部との連携プログラム「KiboCUBE」で選定された衛星や、国内大学、衛星放出事業者の衛星など、多彩な放出が計画されています。
  - また、インクリメント64より使用を開始したJ-SSOD-Rは従来のJ-SSODより放出能力が飛躍的（4倍）に向上・軌道上再使用も可能となり、打上げ重量とコストが低減されました。J-SSOD-Rを軸として小型衛星事業の更なる利用拡大を促進していきます。



インクリメント64で実用化された超小型衛星放出機構 (J-SSOD-R) 放出能力：6U→24U、軌道上再使用可能  
U：小型衛星放出単位。  
1Uが10cm×10cm×10cmのサイズを表す。



## 2.7 J-SSOD ～超小型衛星放出ミッション～



### ▶本ミッションの意義

- 近年、世界中で活発に開発・利用が進められている超小型衛星の打上げ機会確保のニーズに応えるものであり、国際的な協調関係の維持・強化や技術実証・教育機会、また事業者が主体的に実施する超小型衛星事業を通じたビジネス創出機会の拡大による社会・経済の発展に寄与する効果があります。



超小型衛星の放出（左）と放出成功を喜ぶ関係者（右）（2019年6月）

### ▶ 今後の放出予定

衛星名[サイズ]	開発機関	備考/ミッション概要
MIR-SAT1 [1U]	Mauritius Research and Innovation Council	国連宇宙部との連携 “KiboCUBE”選定衛星 ・人材育成 ・EEZを含むモーリシャス周辺の画像取得
BIRDS-2S[1U×2基]	九州工業大学	・宇宙空間に於ける磁場の測定
(その他事業者衛星)	-	-

「きぼう」だけが持つエアロックとロボットアームで超小型衛星放出ニーズに応える。





## 2.8 2nd Kibo Robot Programming Challenge

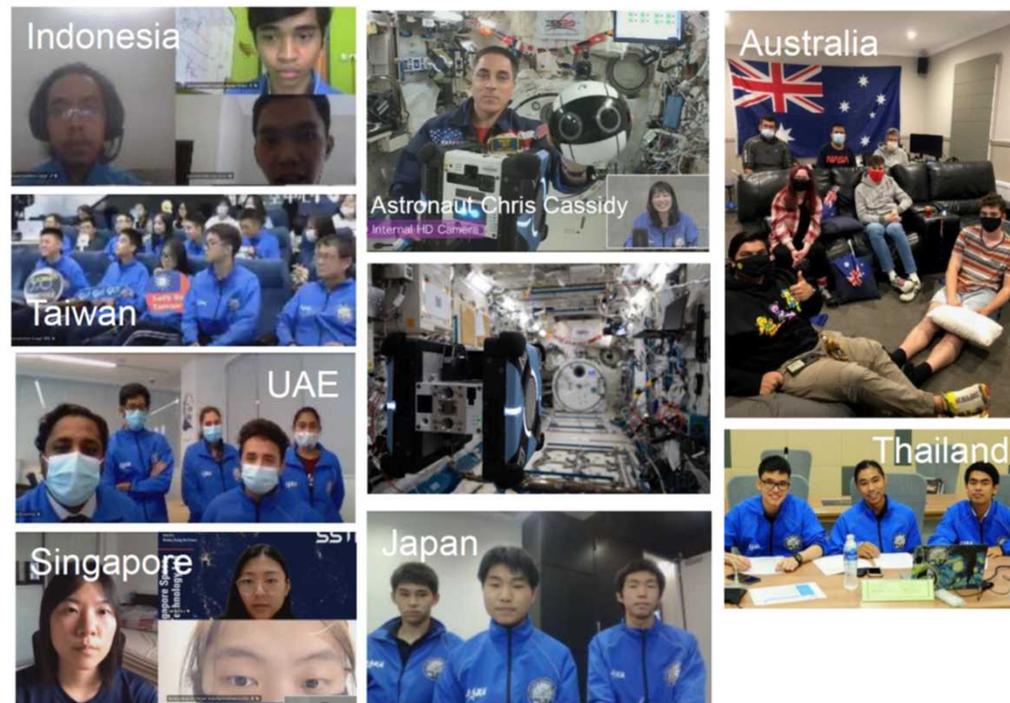
～第2回「きぼう」ロボットプログラミング競技会～



**ロボットプログラミング競技会を通じ、次世代人材育成と「きぼう」アジア利用拡大をめざす。**

### ➤ 本競技会の意義

- 本活動は、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）を通じた日米協力による「きぼう」アジア利用の拡大を目指すプログラムです。
- 具体的には、JAXAとNASAの宇宙ドローンロボットを使い、日本を含むアジア太平洋地域の学生に対して宇宙でのロボット操作やコンピュータプログラミングに関する教育機会を競技会形式で提供します。
- 更に、将来の地球低軌道や、月・月近傍による有人宇宙活動に必須となる人とロボットが協調することの重要性を学ぶ機会を提供し、実践的な取り組みを通じた次世代人材を育成します。



第1回「きぼう」ロボットプログラミング競技会の様子

7か国・地域から313チーム1168名の学生が参加し、各地域予選を勝ち抜いた7チームが決勝大会に参加しました。



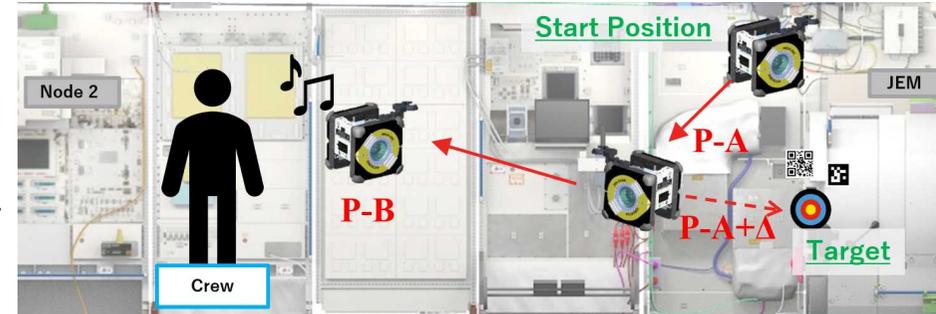


## 2.8 2nd Kibo Robot Programming Challenge

～第2回「きぼう」ロボットプログラミング競技会～



- 第2回「きぼう」ロボットプログラミング競技会とは
  - 本競技会は、「きぼう」船内をゲーム空間に見立てISS船内ドローン※1を動かすプログラムを作成して※2、与えられた課題をクリアしながら、ISSクルーにミッション完了を報告するまでの時間や課題対応力について競います。
  - 10を超える国・地域から学生が参加する予定です。
  - 競技会は2段階で実施されます。
    - 各地域の予選：JAXAが提供する地上のシミュレータを使用
    - 国際決勝大会：選抜チームが参集、「きぼう（軌道上）」内でISS船内ドローンを動かし、優勝者を決定
  - 2021年9月頃に決勝大会を計画中。



第2回  
「きぼう」ロボットプログラミング競技会  
日本国内参加チームを募集中

- 締切: 2021年5月16日23時59分 (JST)
- 対象: 日本の学校に所属する学生チーム (大学院生まで)

※1：ISS船内ドローンとは宇宙飛行士の作業代替・支援を目指す自律飛行型のロボット（写真撮影など）のことです。

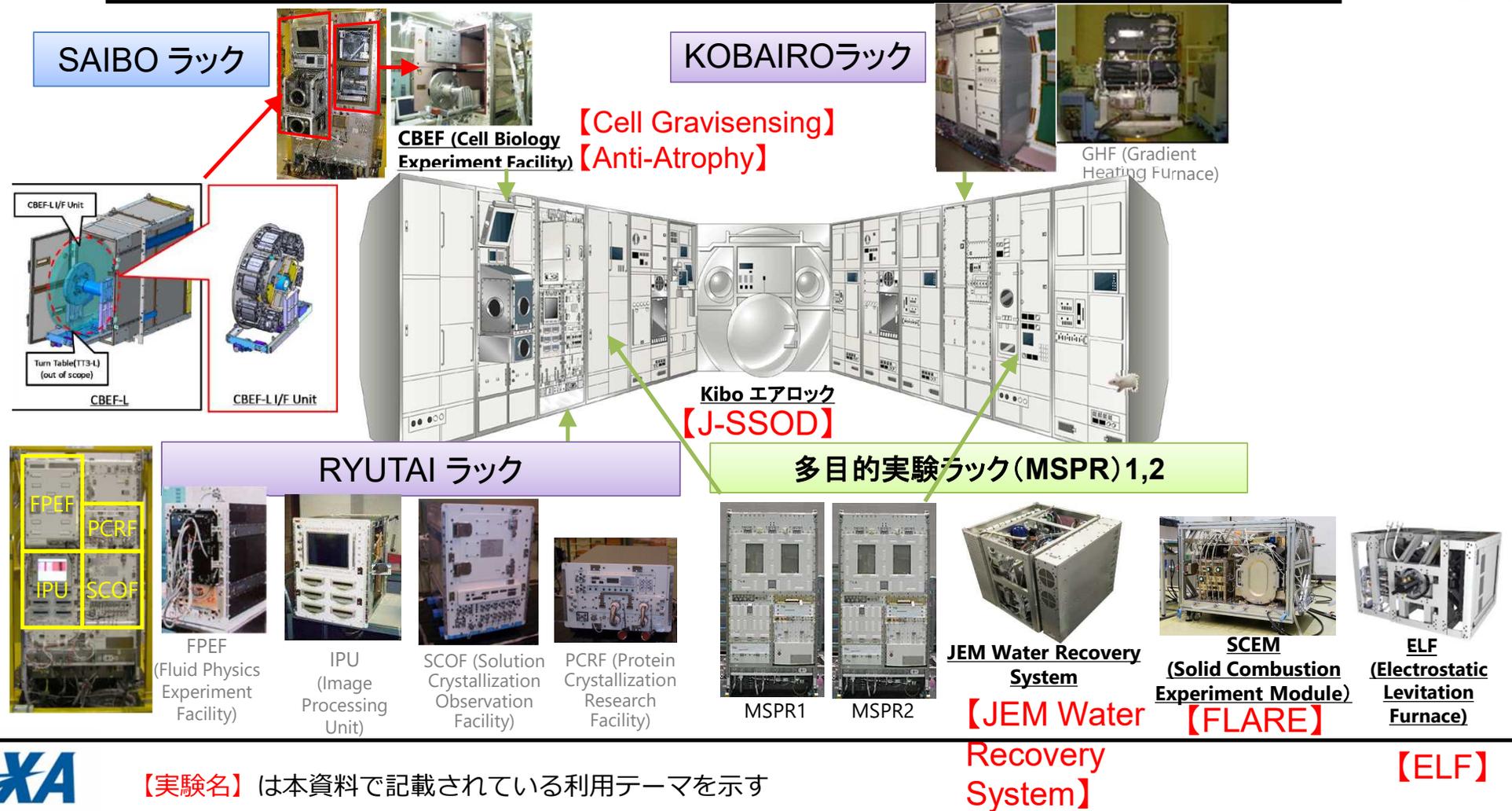
※2：参加者はJAXAとNASAが提供するプログラム開発環境を利用して、ISS船内ドローンが自律的に動作するプログラムを作成します。

※3：Kibo-ABCは、アジア・太平洋地域宇宙機関会議（APRSAF）の中で同地域における宇宙環境利用を推進する活動（イニシアチブ）です。日本以外の地域の方は、Kibo-ABCに加盟していることが前提となります。





# 参考1：きぼう内ラック／実験装置配置図



【実験名】は本資料で記載されている利用テーマを示す



## 参考 2 : 最近のトピックス

- JAXA有人宇宙技術部門の情報サイト「Humans in Space」が2021年4月1日リニューアルオープン
- UNISECとの連携による、超小型衛星放出を活用した人材育成パッケージの設置（2021年4月1日）
- 研究成果の公表
  - 微小重力での視力変化等に影響する頭蓋内圧の簡便な評価法の確立（IPVI）が科学誌Journal of Physiologyの注目論文（Editor's Choice）に取り上げられました
  - 宇宙滞在中は真菌の種類および数が大きく減少～微生物に関する研究の成果が公表されました～



<https://humans-in-space.jaxa.jp/>



## 参考3：主なミッションに関するWEBサイト情報

---



章	頁	タイトル	URL
1.2	P3	インクリメント 65	<a href="https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/information/increment/65.html">https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/information/increment/65.html</a>
2.1	P6	JEM Water Recovery System	<a href="https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/subject/manned/72632.html">https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/subject/manned/72632.html</a>
2.2	P8	FLARE	<a href="https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/subject/science/70491.html">https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/subject/science/70491.html</a>
2.3	P10	Cell Gravisensing	<a href="https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/subject/life/70651.html">https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/subject/life/70651.html</a>
2.4	P12	Anti-Atrophy	<a href="https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/subject/life/70654.html">https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/subject/life/70654.html</a>
2.5	P14	高品質タンパク質結晶生成実験	<a href="https://humans-in-space.jaxa.jp/protein/">https://humans-in-space.jaxa.jp/protein/</a>
2.6	P17	ELF	<a href="https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/provide/elf/">https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/provide/elf/</a>
2.7	P19	J-SSOD	<a href="https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/provide/j-ssod/">https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/provide/j-ssod/</a>
2.8	P21	2nd Kibo Robot Programming Challenge	<a href="https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/kuoa/kibo-rpc/">https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/kuoa/kibo-rpc/</a>



## 星出彰彦飛行士から宇宙飛行士への 応募をお考えの方々へのメッセージ

“自身は、3回目の挑戦で飛行士に選ばれました。

夢をやみくもに追いかけるのではなく、選ばれなかった時もどうすればよいのか自己反省しました。

大きなチームで活動する世界なので、飛行士、管制官、訓練担当などそれぞれのチームとチームワークが取れる必要があります。

宇宙飛行士にはより一層幅広い人材が必要になっており、色々なバックグラウンドを持ち寄ることで強いチームになるのではと思います。

失敗、チャレンジを恐れず、そこから学んで前進することが大事です。皆様のご応募をお待ちしています！”

## 【付録 1】 世界15か国の国際協力の象徴 国際宇宙ステーションについて

### 1. 概要

人類にとって初めての「国境の無い場所」。それが、国際宇宙ステーション（International Space Station : ISS）です。米国、日本、カナダ、欧州、ロシアの5極（計 15 か国）が協力して計画を進め、利用されています。一つのものを作り上げるため、これほど多くの国々が最新の技術を結集するというプロジェクトはこれまでになかったことであり、ISS は、世界の宇宙開発を大きく前進させるための重要な施設であると同時に、国際協力と平和のシンボルにもなっています。

1982 年の概念設計から始まり、各国が協力して様々な課題を乗り越え、1998 年に ISS 最初の構成要素「ザーリャ」（基本機能モジュール）が打ち上げられました。2003 年のスペースシャトル・コロンビア号事故により ISS の組立ては一時中断されましたが、2006 年から組立てが再開され、2011 年 5 月のスペースシャトルのフライト(STS-134) で完成しました。

ISS は地上から約 400km の上空に建設された巨大な有人実験施設です。地球の周りを約 90 分で 1 周のスピードで回りながら地球や天体の観測、宇宙環境を利用した実験や研究などを行っています。

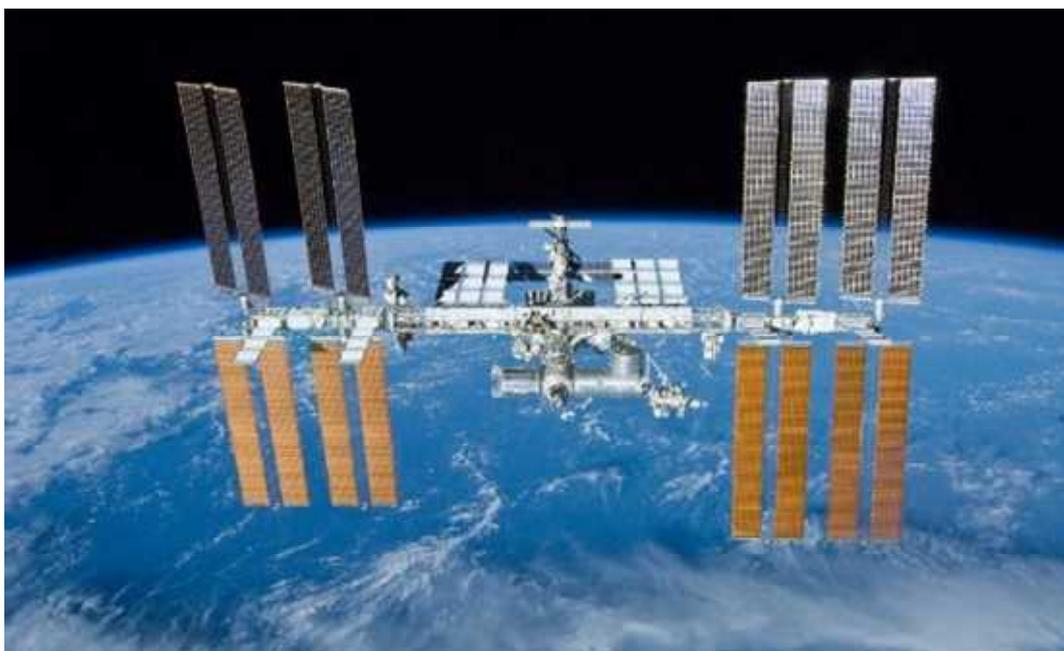


図 1-1 ISS (2010 年撮影) (©JAXA/NASA)

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=fe44cfa1cf71f8c4465e22907673ea38>

ISS の主な目的は、宇宙だけの特殊な環境を利用した様々な研究や開発を長期間行える場所を確保し、そこで得られた成果を活かして科学・技術をより一層進歩させること、そして、地上の生活や産業に役立てていくことにあります。

ISS での研究・開発成果については、2019 年 4 月に ISS 参加機関がまとめた「国際宇宙ステーション 人類への恩恵 第 3 版」を参照ください。

International Space Station Benefits for Humanity the 3rd Edition  
 (邦題「国際宇宙ステーション 人類への恩恵 第 3 版」)  
<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/information/result/71900.html>

表 1-1 ISS の主な仕様

項目	諸元等	
寸法	約 108.5m×約 72.8m (サッカーのフィールドと同じくらい)	
質量	約 420 トン	
電力	84~120kW	
全与圧部容積	935m <sup>3</sup>	
与圧モジュール	実験モジュール (4 棟)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「デスティニー」(米国実験棟)</li> <li>・「コロンバス」(欧州実験棟)</li> <li>・「きぼう」日本実験棟</li> <li>・ロシアの多目的実験モジュール (MLM) (今後打上げ予定)</li> </ul>
	結合モジュール (3 棟)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「ユニティ」</li> <li>・「ハーモニー」</li> <li>・「トランクウィリティー」</li> </ul>
	その他モジュール (保管庫など)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「クエスト」(エアロック)</li> <li>・恒久型多目的モジュール (PMM)</li> <li>・「ザーリヤ」(基本機能モジュール)</li> <li>・「ズヴェズダ」(ロシアのサービスモジュール)</li> <li>・「ピアース」(ロシアのドッキング室)</li> <li>・「ラスヴェット」(ロシアの小型研究モジュール 1)</li> <li>・「ポイスク」(ロシアの小型研究モジュール 2)</li> </ul>
曝露搭載物 取付場所	トラス上、「きぼう」船外実験プラットフォーム、「コロンバス」(欧州実験棟)	
軌道	円軌道 (高度 330~460km の間で運用可能) 運用高度約 400km 軌道傾斜角 51.6°	

## 2. 各国の果たす役割

ISS は各国がそれぞれに開発した構成要素で成り立っています。基本的には各構成要素の開発を担当した国が責任をもって管理し、全体のとりまとめを米国が行います。

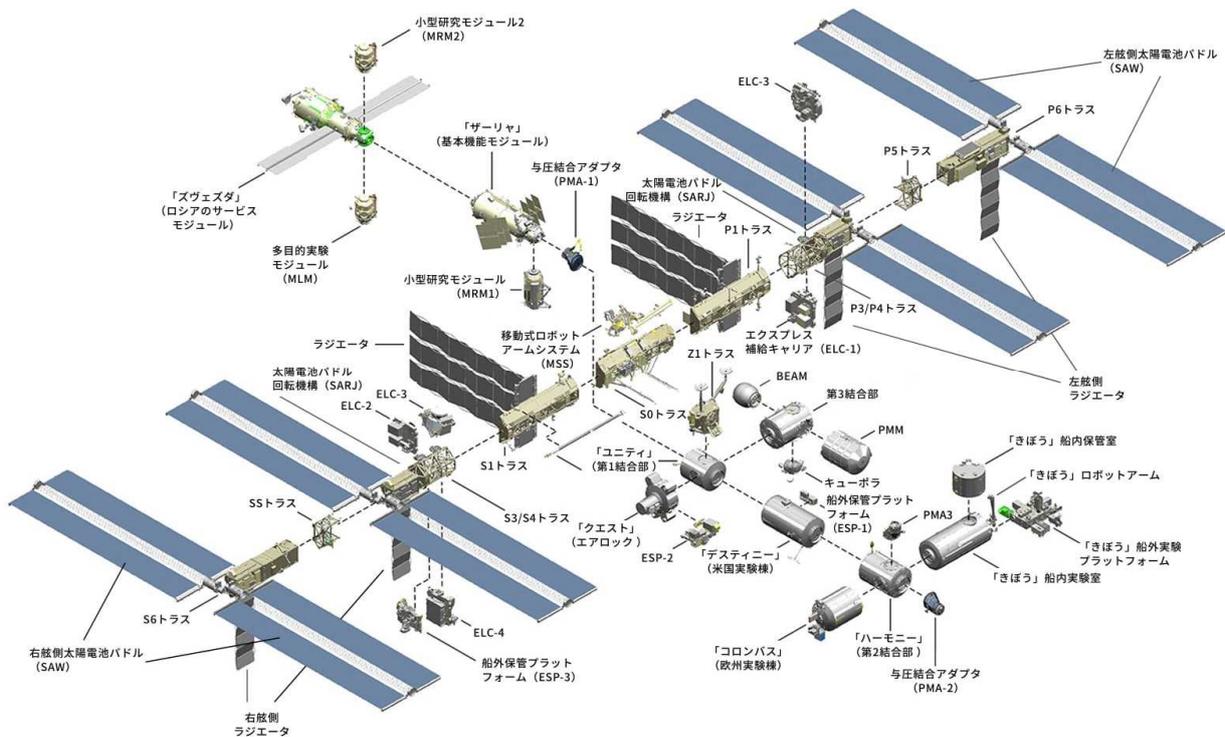


図 2-1 ISS の構成 (2020/7/17 時点) (©NASA)

<https://humans-in-space.jaxa.jp/iss/about/config/>

### (1) 米国【米国航空宇宙局 (NASA)】

各国と調整を取りながら、総合的なまとめ役を担当。提供する要素は、実験モジュール、ノード結合モジュール、エアロックの他、主構造物であるトラス、太陽電池パドルを含む電力供給系等。

### (2) ロシア【国営宇宙公社ロスコスモス(State Space Corporation ROSCOSMOS)】

最初に打ち上げられた「ザーリャ」(基本機能モジュール)、2つの実験モジュール、居住スペース「ズヴェズダ」(サービスモジュール)、搭乗員の輸送及び緊急帰還の際に使用する「ソユーズ宇宙船」等を担当。

### **(3) カナダ【カナダ宇宙庁 (CSA)】**

ISS の組立てや船外の装置交換、「こうのとり」や「シグナス」等の補給船を ISS に結合・離脱させる際に使用する ISS ロボットアーム (Space Station Remote Manipulator System : SSRMS) 等を提供。

### **(4) ヨーロッパ諸国【欧州宇宙機関 (ESA)】**

ESA の中から 11 ヶ国 (フランス、ドイツ、イタリア、スイス、スペイン、オランダ、ベルギー、デンマーク、ノルウェー、スウェーデン、イギリス) が参加し、「コロンバス」(欧州実験棟) を提供。併せて、ISS への物資補給の手段として、欧州補給機 (Automated Transfer Vehicle : ATV) を 2008 年から 2015 年までの間に 5 機提供した。

### **(5) 日本【宇宙航空研究開発機構 (JAXA)】**

「きぼう」日本実験棟を提供。(詳細については付録 2 参照) また、ISS の物資補給の手段として、宇宙ステーション補給機「こうのとり」(H-II Transfer Vehicle : HTV) を提供。「こうのとり」は 2020 年に打ち上げられた 9 号機で終了。今後の ISS への物資輸送のために、物資補給能力や運用性等を向上させた HTV-X を開発中です。)

### 3. ISSの運用

ISS は、1998 年に宇宙での建設が始まり、2011 年 7 月に完成しました。2000 年 11 月からは 3 名の宇宙飛行士が ISS に滞在を開始しました。

ISS の運用は、米国が ISS 全体の運用について調整を行い、米国、ロシア、日本、欧州（ESA の 11 ヶ国）、カナダの各国・機関がそれぞれ開発した ISS のシステムや装置を、責任をもって運用します。

地上と ISS 間の通信連絡は、米国のホワイトサンズ地上局と米国のデータ中継衛星（TDRS）を経由して行われます。

ISS は軌道・姿勢制御や電力、内部環境などをコントロールする「システム運用」と、搭載されている研究実験用の各種機器をコントロールする「実験運用」のふたつの面から運用されます。

#### (1) 米国【米国航空宇宙局（NASA）】

NASA のジョンソン宇宙センター（JSC）、マーシャル宇宙センター（MSFC）ケネディ宇宙センター（KSC）、ホワイトサンズ地上局の 4 カ所の施設で、分担して ISS の運用を実施します。

#### (2) ロシア【国営宇宙公社ロスココスモス（State Space Corporation ROSCOSMOS）】

モスクワ郊外のコロリョフ宇宙飛行管制センターで ISS の運用を実施します。

#### (3) カナダ【カナダ宇宙庁（CSA）】

カナダ宇宙庁（CSA）で、ISS のロボットアーム（SSRMS: Space Station Remote Manipulator System）などの ISS 運用を実施します。

#### (4) ヨーロッパ諸国【欧州宇宙機関（ESA）】

ESA 加盟国のうち 11 ヶ国が ISS 計画に参加しており、ISS の運用は、ドイツ

に設置されたコロンバス管制センター（Columbus Control Centre: Col-CC）で、「コロンバス」（欧州実験棟）の運用を実施します。

#### (5)日本【宇宙航空研究開発機構（JAXA）】

JAXA の筑波宇宙センター（TKSC）で、「きぼう」日本実験棟の運用管制を実施します。



図 3-1 「きぼう」日本実験棟の運用管制室（©JAXA）

<https://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=10b46d7843c2ba53d116ca2ed9abb56e>

## 4. ISSでの衣食住

### 4.1. ISSでの生活

ここでは ISS に滞在する宇宙飛行士が、どの時間帯でどのように生活をしているか紹介します。

#### (1)ISS での一日

地球を一周約 90 分で周回する ISS の一日は地上と同じ 24 時間を基準にスケジュールが設定されます。

ISS での 1 週間の活動スケジュールを、表 4.1-1 に示します。

ISS で使用する時刻は、グリニッジ標準時 (GMT) を用います。通常の起床時刻は、06 時 GMT (日本時間 15 時)、就寝は 21 時 30 分 GMT (日本時間 06 時 30 分) 頃です。

仕事を終えるのは、通常は 17 時 30 分または 18 時 30 分 GMT (日本時間 02 時 30 分または 03 時 30 分) で、夕食は 20 時 GMT (日本時間 05 時) 頃となります。

表 4.1-1 ISS での 1 週間の活動スケジュール (例)

日	月～金	土
休み	図 4.1-1 参照	午前: ボランティア サイエンス※ 午後:休み

※ボランティアサイエンスは、軌道上の科学実験や教育などを補完する活動で、その実施はすべてクルーの自由意志 (ボランティア) です。土曜の午後は休みですが、清掃作業とエクササイズ (エクササイズは日曜も含めて毎日実施) を行います。

※祝日は、各国の祝日の中からクルー毎に決定 (自国の祝日に限らない、半年間に4日)

また、ISSでの平日の活動スケジュールについて 図4.1-1に示します

睡眠
朝食 (60 分)
洗顔等 (30 分)
地上との作業確認 (15 分)
作業 (午後と併せて合計 6 時間半)
昼食 (60 分)
作業
体力維持エクササイズ (150 分)
地上との作業確認 (15 分)
夕食 (60 分)
自由時間 (60 分)
睡眠 (8 時間半)

※実際には、地上との作業確認は、朝夕に各 15 分程度行われています。また体力維持 (エクササイズ) は、交代で使うためクルーによって実施時間帯が異なります。

※Twitter 等への投稿は就寝前の自由時間を使います。油井宇宙飛行士によれば、「(写真撮影は) 空いた時間を使って撮ることが非常に大変でした。平日昼間は分刻みのスケジュールで、トイレに行く時間はスケジュールに無いのでトイレに行くためには計画的に仕事を進め時間を作らなければなりません。そういうなかで先行的に仕事を進め、追加の仕事も行い、余暇時間に写真を撮るようにしていました。」と答えています。

図 4.1-1 ISS での平日の活動スケジュール (例)

## (2)ISS での休日 (祝祭日含む)

ISS でも地上と同じように宇宙飛行士が休む日があります。通常の週末 (土曜と日曜) に加え、祝祭日には休息を取り、リフレッシュするようにしています。

休日の過ごし方は各宇宙飛行士に委ねられており、エクササイズ、宇宙からのカメラ・ビデオ撮影、地上の家族や友人との会話などを楽しんでいます。

## (3)睡眠場所・個室

2020 年現在、ISS には 6 つの個室が設置されています。個室には、寝袋、着替え、ラップトップコンピュータ、警告・警報装置、空調設備、照明などが装備されており、個人の荷物もここに保管します。

ズヴェズダの後部両側には、ロシア製のクルーの個室 (ロシアの個室のみ窓を装備) が 2 つあり、「ハーモニー」(第 2 結合部) には米国製の個室 4 つがあります。



図 4.1-2 スヴェズダ内の個室（ロシア人が使用）（©NASA）

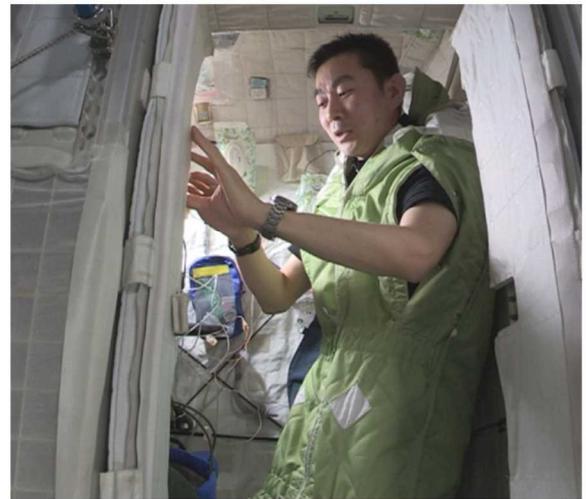


図 4.1-3 米国製の個室（「ハーモニー」（ノード2：第2結合部）内）（左）  
（©NASA）

図 4.1-4 寝袋に入って説明する油井宇宙飛行士（右）（©JAXA）  
<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=967abe5014ecc4a521af30bcba60323d>



図 4.1-5 ハーモニーに設置された4つの個室（©NASA）

#### (4)ISSのトイレ

ISS内にはロシア製のトイレと米国のトイレの2つがあります。ズヴェズダ内に設置されているロシア製のトイレは、組み立て初期からずっと使われていたものです。ISSの2台目のトイレである米国製のトイレ（Waste and Hygiene Compartment: WHC）は、STS-126（ULF2）で運ばれました。全体のシステムは米国製ですが、トイレ本体はロシアから購入しており、1台目のISSトイレと基本構造は同一です。WHCの特徴は、ここで収集された尿を米国の水再生処理システム（WRS）へ送って飲料水として再生できるようにしたことです。

これら2台のトイレとは別に、NASAが開発した新しいトイレ（Universal Waste Management System（UWMS））が、2020年10月にシグナス補給船で打ち上げられました。「トランクウィリティー」（ノード3）に設置された、公衆トイレのような2部屋から成るStallへ、各々既存のWHCとUWMSを併設して使用します。今後、ISSで3年かけて実際に使用しながらの技術実証を行う予定です。



図 4.1-6 「ズヴェズダ」後方に設置されているロシアのトイレ (©NASA)



※左の写真は Stall と呼ばれる  
トイレ区画の扉を開いた状  
態。軌道上では右の写真の  
ように折り畳み式の扉を閉め  
て使用します。

図 4.1-7 米国のトイレ (左側が UWMS、右側が WHC) (©NASA)

<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20190029026/downloads/20190029026.pdf> (左)

<https://www.nasa.gov/feature/boldly-go-nasa-s-new-space-toilet-offers-more-comfort-improved-efficiency-for-deep-space> (右)

ISS でトイレを使用する時に、パネルの「尿タンクが一杯」という赤いライトが点灯した場合は、使用した人がその尿タンクの交換作業をすることになります。

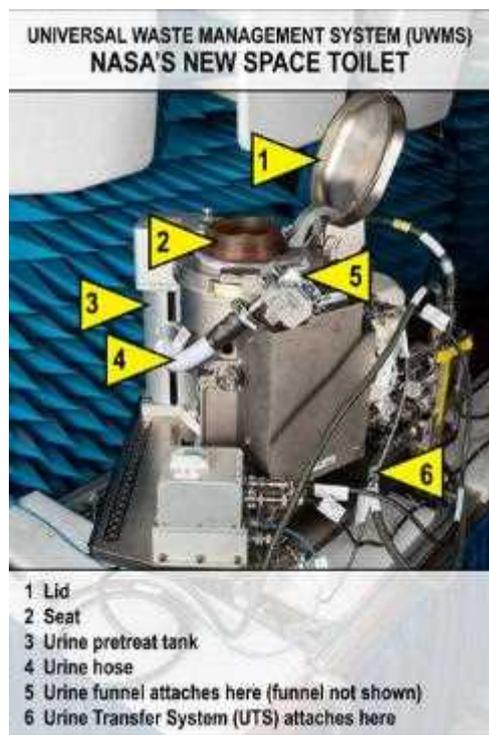


図 4.1-8 2020 年打ち上げられた米国の新しいトイレ (UWMS) (©NASA)

<https://www.nasa.gov/feature/boldly-go-nasa-s-new-space-toilet-offers-more-comfort-improved-efficiency-for-deep-space>

## (5) その他の衛生関係の情報

ISS 内には、タオル (Wet/Dry)、石鹸、ドライシャンプー、電気シェーバー、歯ブラシ、歯磨き粉、ウェットワイプ等の衛生用品が準備されており、シャワーがないことを除けば一通りの装備が揃っています。

### コラム付録 1-1 宇宙でのシャワー

シャワーは、入浴後の水滴の片づけに非常に時間がかかるため、実用的ではないとして ISS では用意されていません。

アメリカはスカイラブでシャワー設備を試していますが、ロシアもミールには装備していましたが、ミールでは、クルーが後片づけを嫌って使わなくなり、結局、物置と化していました。入浴時間に費やす時間以上に、水滴の吸い取りや拭き取りにその何倍もの時間を取られてしまうことを考えれば、濡れタオルの方が好まれるのも分かると思います。



図 4.1-9 「ハーモニー」内で散髪をする油井宇宙飛行士 (©JAXA)  
パリカンには吸引用の掃除機につながるホースが取り付けられています

<https://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=5e8cfa5a29b73cf47b9f7605b0245ee8>



図 4.1-10 宇宙で洗髪する油井宇宙飛行士 (©JAXA)

ドライシャンプーした後は、タオルで拭き取ります。

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=768b68554ece6e996bb1ae2afc638d1f#>

## (6)ISS 内での生活

ISS 内は閉鎖環境であり、文化や国籍も違う宇宙飛行士が約 6 ヶ月間も生活するため、ストレスを貯めないように注意が払われています。

映画を楽しんだり、音楽を聴いたり、IP 電話や電子メールなども使用できる他、補給船で雑誌や友人達からの手紙や小包なども運ばれます。その他、これまでに ISS に滞在したクルーたちが残して行った品物も使えます。

なお、星出宇宙飛行士が滞在していた 2010 年 1 月からはインターネットも利用できるようになったため、各クルーの軌道上からの Twitter でのつぶやきも定着しました。

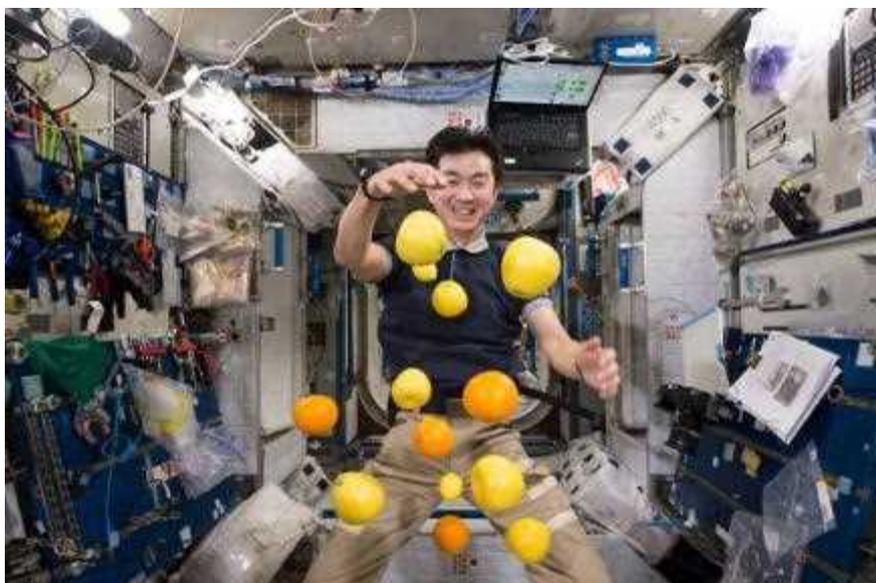


図 4.1-11 「こうのとり」5 号機で運ばれた果物（オレンジ、レモン）を浮かべる油井宇宙飛行士©JAXA/NASA

<https://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=187d9ca628dd4459e152eb9bc419fd87>



図 4.1-12 地上との TV 会議 (©NASA)

※日曜日には家族との会話もこのような感じで行えます。



図 4.1-13 クリスマスの飾り付け（「ズヴェズダ」内）（©NASA）

なお、ISS 内での祭日は、国際的な取り決めで決められています。これまでは米国とロシアの代表的な祭日だけでしたが、日本やヨーロッパの宇宙飛行士が長期滞在を行うようになったため、日本の重要な祭日も休みに組み込まれるようになりました。

#### コラム付録 1-2 宇宙で物を必ず固定する理由

ISS で、物を無くしてしまうと大変です！ふわふわと何処かに行ってしまいますからね。常にしっかりとゴム紐、面ファスナー等を使用して物を固定する必要があります。それでも、物が無くなってしまったら？空気の流れを知っておく事が重要！空気取入れ口のフィルター付近に物が集まるそうです。

【源泉】2015年3月22日 油井宇宙飛行士の Twitter より  
[https://twitter.com/Astro\\_Kimiya/status/579739319599906816](https://twitter.com/Astro_Kimiya/status/579739319599906816)



図 4.1-14 ISS から撮影された夜明け前の日本列島（2015 年 9 月撮影）  
[https://twitter.com/Astro\\_Kimiya/status/643551569787637761](https://twitter.com/Astro_Kimiya/status/643551569787637761)



図 4.1-15 ISS から撮影されたいて座、さそり座周辺の天の川（2015 年 9 月撮影）  
[https://twitter.com/Astro\\_Kimiya/status/640335724177440768](https://twitter.com/Astro_Kimiya/status/640335724177440768)

## 4.2. ISSでの食事

### (1) 食事場所

ISS の中ではロシアモジュール内と米国のモジュール内で食事を作って食べられる場所があります。



図 4.2-1 ISS のユニティモジュール (Node 1) 内の食事風景 (©NASA)

<https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/48820730268/sizes//>



図 4.2-2 ISS のサービスモジュール (Zvezda) 内の食事風景 (©NASA)

<https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/48475237126/sizes//>

## (2)宇宙食について

宇宙食は米国とロシアがそれぞれ準備している約 300 種類の宇宙食の中から選ぶ他、宇宙飛行士の出身国で準備する宇宙食もあります。

日本でも日本人宇宙飛行士用に“宇宙日本食”を提供しています。

ここでは宇宙飛行士の健康を維持し、バラエティ豊かな食事をとれるよう工夫され、宇宙に滞在している間の精神的ストレスを低減したり、気分をリフレッシュすることで宇宙飛行士のパフォーマンスを維持・向上させることを目的とした宇宙食について紹介します。

### ■ 宇宙食

宇宙食は、ISS に滞在する宇宙飛行士に提供される食品です。

ISS での長期滞在は約半年計画されているため、賞味期限が長く、おいしく、飽きず、さらには重力が殆ど無い宇宙空間で食品や水分が飛び散ったりしない、ゴミがたくさん出ないような工夫がされています。

「宇宙で食べる」

<https://humans-in-space.jaxa.jp/life/food-in-space/>

※宇宙食の役割、宇宙食の種類、宇宙食の条件についても記載されています。

### ■ 宇宙日本食

宇宙日本食は、食品メーカー等が提案する食品を JAXA が制定している宇宙日本食認証基準と照らし、宇宙食としての基準を満足している場合に宇宙日本食として認証するもので、日本の宇宙飛行士に日本食の味を楽しんでもらい、ISS 長期滞在中の精神的なストレスを和らげ、ひいては仕事の効率の維持・向上につながることを目的として開発したものです。宇宙日本食の詳細については以下サイトに最新情報が掲載されています。

宇宙日本食

<https://humans-in-space.jaxa.jp/life/food-in-space/japanese-food/>

認証された宇宙日本食

<https://humans-in-space.jaxa.jp/life/food-in-space/japanese-food/#authentication>

宇宙日本食の申請について

<https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/med-in-space/healthcare/food/procedure/>

## ■ 生鮮食品

フリーズドライ、レトルト、缶詰、常温で食べられる宇宙食とは別に「こうのとり」のような補給船が打ち上げられる際には新鮮な果物や野菜が ISS にいる宇宙飛行士に向けて送られます。

これまでに「こうのとり」でも国内で旬の生鮮食品を搭載し、日本人宇宙飛行士含め、多くの宇宙飛行士に喜ばれてきました。(以下 URL 参照)

日本の生鮮食品

<https://humans-in-space.jaxa.jp/life/food-in-space/freshfood/>

宇宙日本食と生鮮食品

<https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/med-in-space/healthcare/food/>

## (3) 調理設備

ISS ではフリーズドライ食品に水分を加えるための“水供給装置 (Potable Water Dispenser :PWD)”という設備と、レトルト食品や缶詰などを温めるための“フード・ウォーマー”という設備の2種類があります。

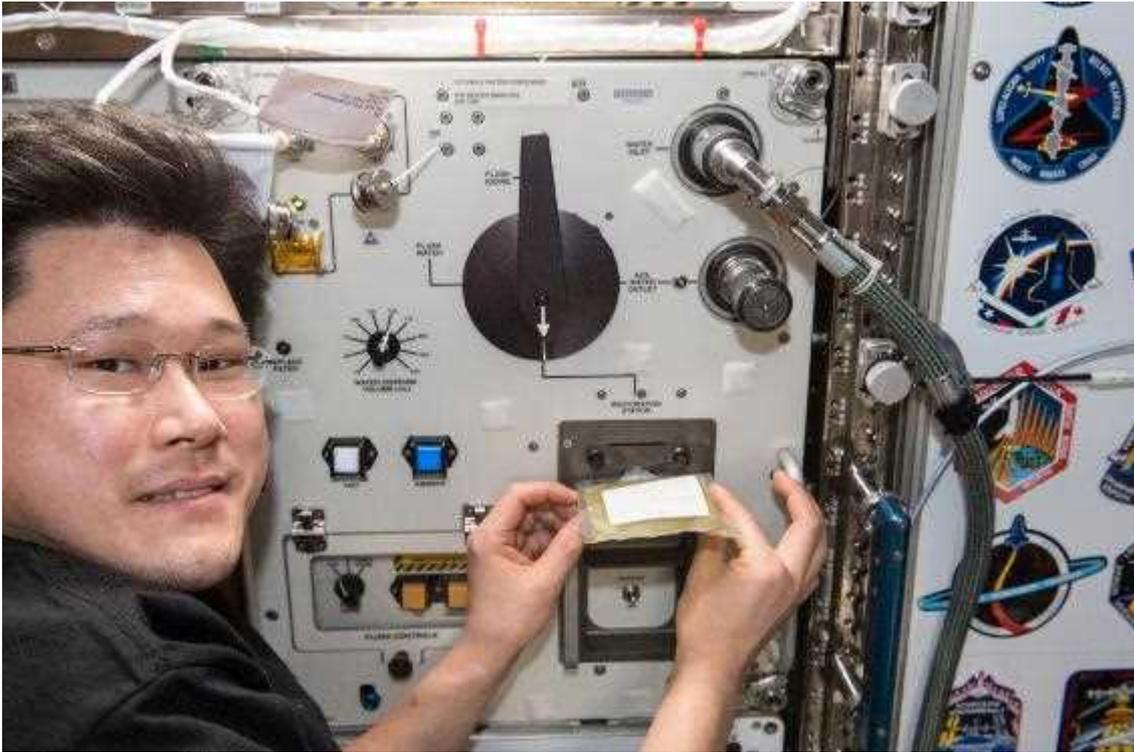


図 4.2-3 水供給装置 (PWD) から宇宙日本食 粉末緑茶にお湯を注入する金井宇宙飛行士  
(©JAXA/NASA)

<https://jda.jaxa.jp/result.php?id=a5940b1b23a3fe10fb037b64e41f6b51>



図 4.2-4 フード・ウォーマーにて食品を温める様子 (©JAXA/NASA)

<https://jda.jaxa.jp/result.php?id=53aba28fea97705a410ec72d5c13bc2b>

#### (4)宇宙食のメニュー設定

まだ米露以外の宇宙食が存在しなかった頃の初期の ISS の食事メニューは 10 日間のローテーションで組まれており、5 日間分はロシアの宇宙食メニュー、5 日間分はアメリカの宇宙食メニューから選ばれていました。

その後、ISS 長期滞在宇宙飛行士が「長期滞在のためには、宇宙食のバラエティを増すこと」を強く要望したことなどにより、2004 年 11 月に ISS 宇宙食供給の基準文書「ISS FOOD PLAN」が整備され、ISS 計画の国際パートナー各国が ISS に宇宙食を供給できるようになり、宇宙食のバラエティが増えました。食事メニューも 16 日間のローテーションとなり、欧州宇宙機関（ESA）や日本の宇宙食なども登場するようになりました。

### 4.3. ISSでの健康維持

重力が殆どない宇宙環境では何もしないと骨と筋肉が弱ります。日本人宇宙飛行士の長期滞在開始前の米口の報告によれば、6 か月の長期宇宙滞在後には宇宙飛行士の筋力は 10～20%くらい低下していましたが、ISS で運動器具と運動プログラムが改良された結果、筋力低下は 5～15%くらいに軽減してきました。

ISS に宇宙飛行士が滞在している間、この骨と筋肉ができるだけ弱らないようにするために、宇宙飛行士たちは毎日約 2 時間半（運動前後の片付け等を含む）、運動をすることで、健康を維持するようにしています。

（参考 URL：宇宙医学からみたりハビリ/宇宙飛行による骨・筋への影響と宇宙飛行士の運動プログラム（©JAXA））

<https://iss.jaxa.jp/med/healthcare/interview/rehab/physiatry/>

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjrm1963/43/3/43\\_3\\_186/pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjrm1963/43/3/43_3_186/pdf)

### (1) 制振装置付きトレッドミル (TVIS、BD-2、T2)

TVIS (Treadmill with Vibration Isolation System) 「ティービス」は、歩行やランニングを宇宙で行うための運動装置で、運動中の振動が実験装置等に伝わるのを防ぐため、回転式のベルトを持つトレッドミルに制振装置を付加したものです。TVIS は米国製で、ズヴェズダ後部の床面 (床下に制振部を収納) に設置されていました。2013 年 5 月にロシア製の新しい BD-2 と交換されました。STS-128 (17A) フライトでは 2 台目のトレッドミル (Combined Operational Load Bearing External Resistance Treadmill: COLBERT または T2 と呼ぶ) が運ばれ、ノード 3 「トランクウィリティー」に設置されています。



図 4.3-1 ロシアの BD-2 を使ったエクササイズ (©NASA)

<https://nasa.tumblr.com/post/136706596374/exercising-in-space>



図4.3-2 ノード3内に設置されたT2「COLBERT（コルベア）」を使ったエクササイズ（©JAXA）  
（※ゴム製のひもで体をトレッドミルに押しつけます）

[https://iss.jaxa.jp/iss/jaxa\\_exp/yui/news/150730.html](https://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/yui/news/150730.html)

## (2) 制振装置付きサイクル・エルゴメーター（CEVIS）

CEVIS(Cycle Ergometer with Vibration Isolation and Stabilization System)  
「シービス」は、米国製の制振装置付きの自転車こぎ機であり、スピードや運動負荷を変えることができます。この装置は、デスティニーの壁に設置されており、クルーの運動に使われる他に、医学実験にも使われます。

なお、ズヴェズダの床面にも制振装置無しですが、ロシアのサイクル・エルゴメーターVELO「ベロ」が設置されています。



図 4.3-3 CEVIS で運動する若田宇宙飛行士 (左) (©NASA/JAXA)  
図 4.3-4 ロシアの VELO (右) (©NASA)

### (3)筋カトレーニング装置 ARED (Advanced Resistive Exercise Devices)

ARED「エイレッド」は、米国製の脚やお尻、肩、腕、手首などの筋肉を鍛えるための改良型エクササイズ装置であり、ベンチプレス、スクワット、腹筋、デッドリフトなど 29 種類のエクササイズに使えます。ARED は、それまでの筋カトレーニング機器で使用していたゴムバネに替えて、真空シリンダを使用しているため、4 倍の負荷をかける事ができるようになりました。ARED は、「トランクウィリティー」(ノード 3) 内に設置されています。ARED 使用時はキューポラの窓が見えるため、地球を見ることもできます。



図 4.3-5 ARED で運動する古川／油井宇宙飛行士 (©NASA/JAXA)

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=df343f6b84a0ed60c40db9e2ced73c1> (古川)

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=1c028073c8c28d1eddfa8bf5367e7462#> (油井)

### (4)その他の健康維持装置・運用

ISS 内では、空気成分や有害ガス、水質、放射線の測定が行われており、軌道上の状況を定期的に地上でモニタすると共に、帰還する宇宙機でサンプルを回収して、

地上で詳しい分析も行われています。

薬や簡単な医療機器も用意されており、自動体外式除細動器（Automated External Defibrillator: AED）も設置されています。



図 4.3-6 微生物のサンプリングキャニスターを使用する若田宇宙飛行士（©JAXA/NASA）

<https://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=6810c24b9efbc4736a0fee55c5083984>



図 4.3-7 デスティニー内のクルー健康管理システムラック（CHeCS2 ラック）（©NASA）

#### 4.4. ISSでの保全・修理作業

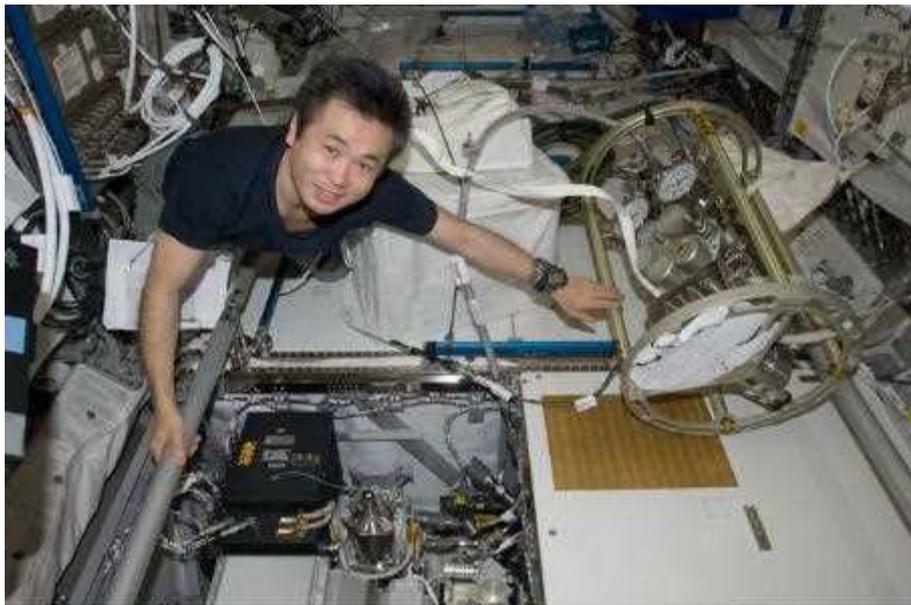
ISSでは、装置が故障した場合、簡単に地上へ回収して修理する事が出来ません。このため、定期的に保守点検を行い、消耗部品の交換やクリーニング、動作点検等を行う事で故障を防止します。

しかし、このような運用を行っていても機器の故障は起きるため、軌道上で可能な限り修理を行います。このため、ISS滞在クルーは一般的な保全・修理作業の訓練を受けています。

ここでは、軌道上での写真から、どのような修理作業を行うのかイメージを紹介します。なお、設置作業の様子も含めています。



図 4.4-1 TVIS の修理（床下の機器を取り出した状態:2007年2月）（©NASA）



ISS020E017933

図 4.4-2 コロンバス内での熱制御系冷却水の補充作業 (©NASA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/Crew-20/html/iss020e017933.html>



図 4.4-3 故障した装置（揮発性有機物分析器（VOA））の修理 (©NASA)



図 4.4-4 ハーモニーの電力・通信配線のトラブルシューティング（故障箇所の究明）（©NASA）



図 4.4-5 「きぼう」内でのラックの搬入・設置作業（©NASA/JAXA）

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=453d0ec4c636c883892f229336948bf8>



図 4.4-6 船外活動 (EVA) による修理作業 (©NASA)

[https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image\\_feature\\_1229.html](https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1229.html)

## 5. ISSでの水・空気のリサイクル

### 5.1. 水の再生処理

#### (1)ISS での水再生処理の概要

ISS の滞在クルーが 3 人から 6 人に増員されるのに備えて、STS-126 (ULF2) ミッションで米国の水再生処理装置である WRS (Water Recovery System) ラック 2 台が運ばれ、当初はデスティニー (米国実験棟) に設置されていましたが、その後、トランクウィリティー (ノード 3) に移設されました。この水再生処理装置は、尿処理装置 UPA (Urine Processor Assembly) と水処理装置 WPA (Water Process Assembly) から構成されています。

この米国の水処理装置は、ロシアの水再生装置では行われていない尿の再生処理が可能な点が特徴です。尿は尿処理装置 (UPA) へ送られて、ガスや固形物 (髪の毛やほこりなど) を除去した後、減圧して蒸留することで水分を回収し、これをエアコンからの凝縮水と一緒に水処理装置 (WPA) に送り、残っていた有機物や微生物などが除去されます。

WRS で処理した水の水質測定は、WRS ラックの前面に設置された有機炭素量分析器 (TOCA-2) で分析します。また大腸菌などの微生物の検出も軌道上で行います。

WRS で再生された水は、ギャレーの飲料水供給装置 (PWD) へ送られ、温水と常温の水として使用できます (飲用、歯磨き、宇宙食の調理などに利用)。

また、米国の酸素生成装置 (OGS) へ送られて酸素の生成に使われたり、宇宙服や実験に使われる水として使われたり、WHC でトイレの洗浄水としても使用されます。

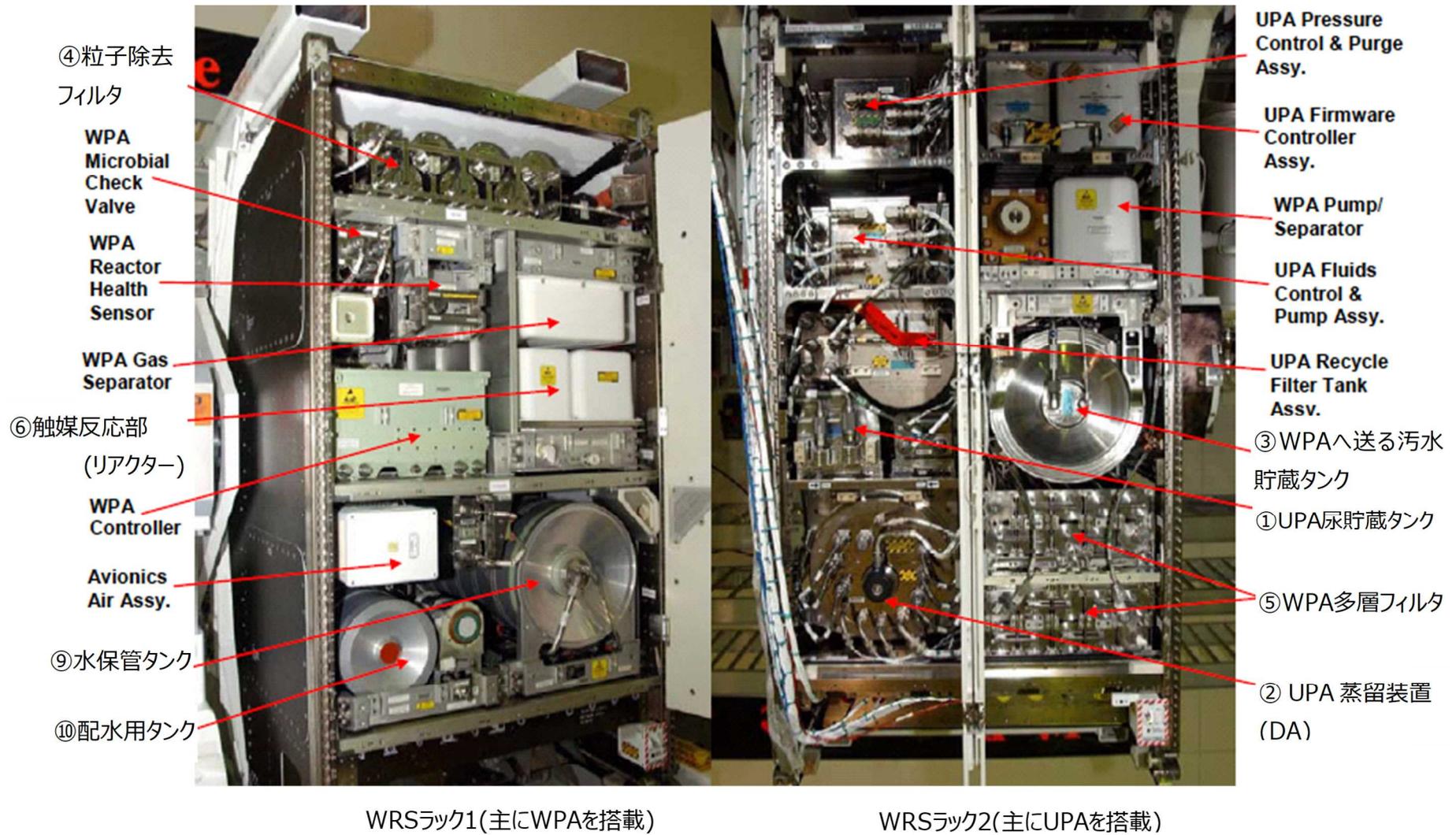


図 5.1-1 WRS1, 2 ラックの機器構成 (©NASA)

[https://www.nasa.gov/pdf/287211main\\_sts126\\_press\\_kit2.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/287211main_sts126_press_kit2.pdf) (P39)

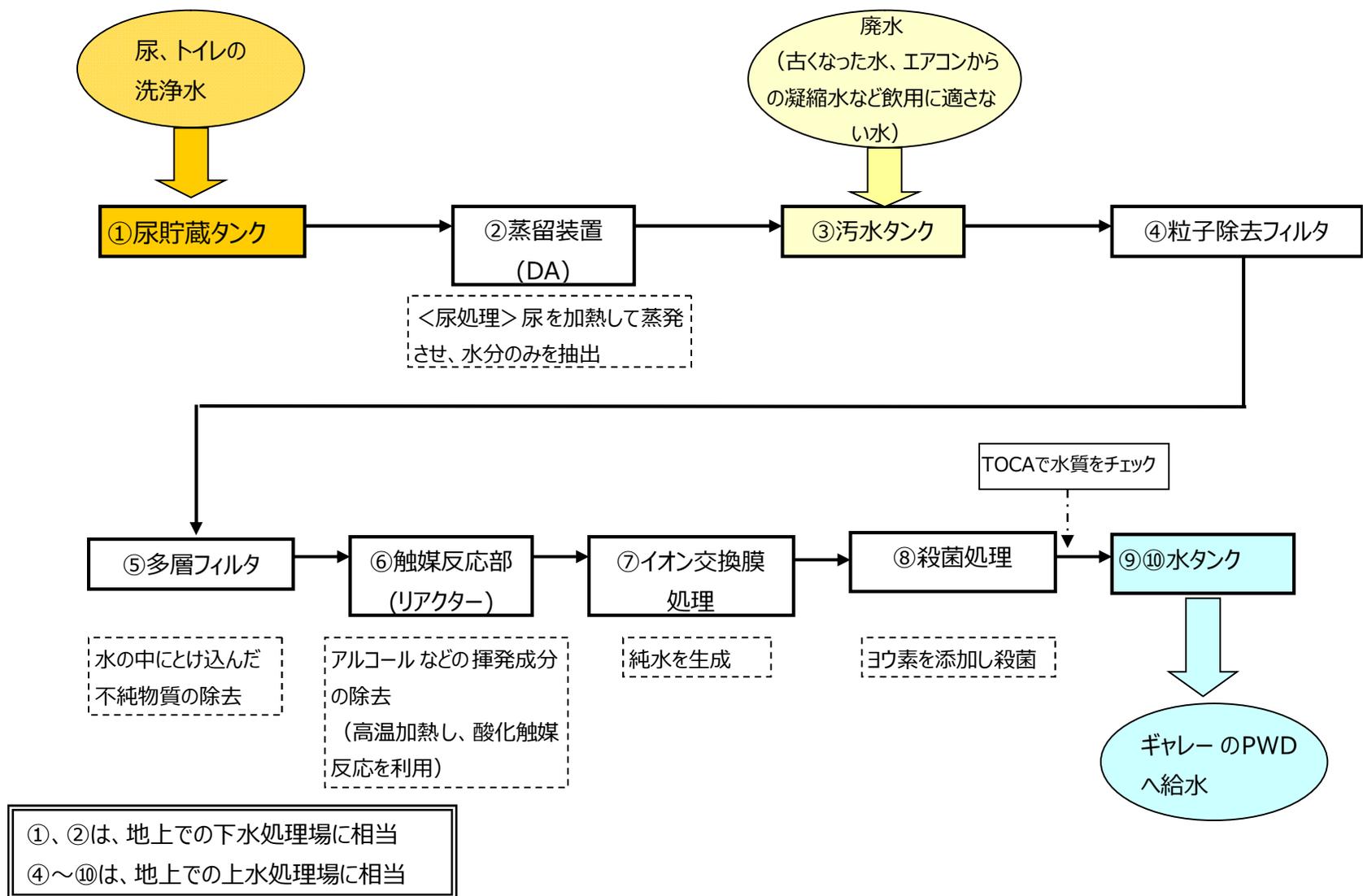


図 5.1-2 ISS での水再生処理の流れ (©JAXA)

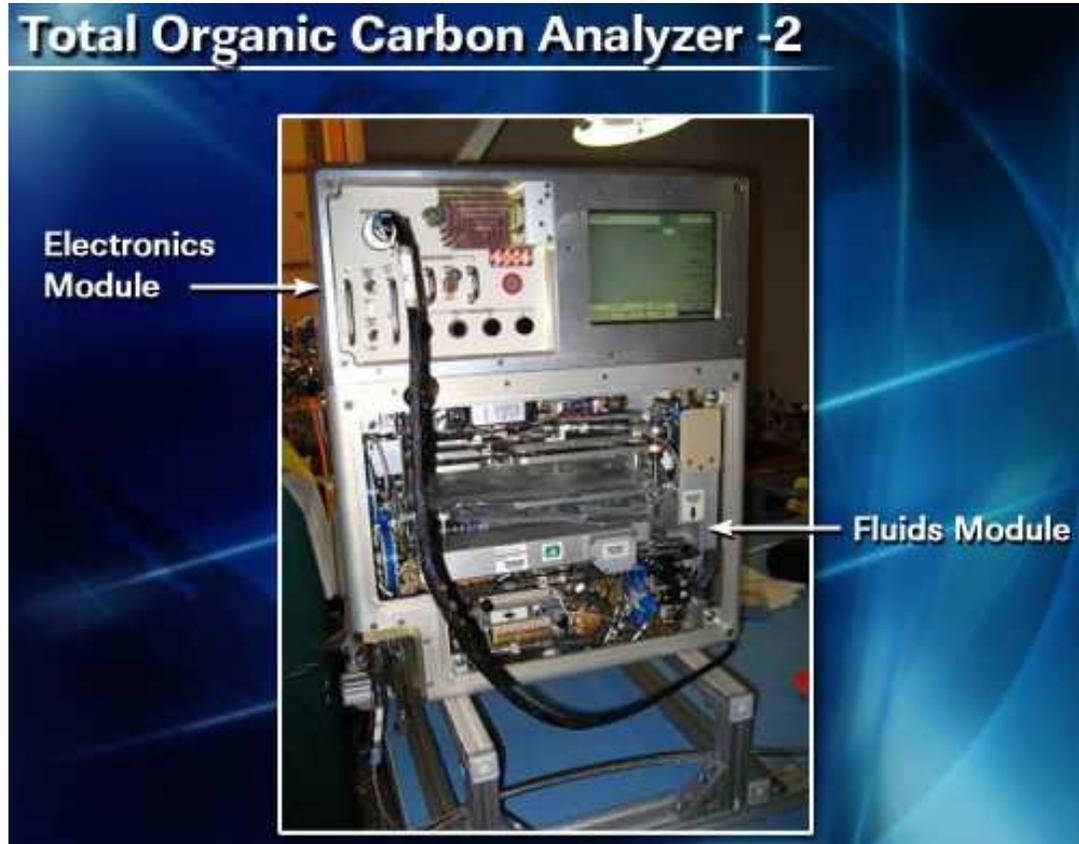


図 5.1-3 水質測定・分析用の TOCA-2 (©NASA)

[https://www.nasa.gov/images/content/286875main\\_engelbert\\_4\\_toca.jpg](https://www.nasa.gov/images/content/286875main_engelbert_4_toca.jpg) (右)

## (2)尿処理の概要

尿処理装置 UPA (Urine Processor Assembly) は、主に WRS ラック 2 に搭載されており、尿を水に再生します。

尿処理の原理は、地上での自然な水の循環と似ています。太陽エネルギーによって水が蒸発する代わりにヒータで尿を含んだ水を加熱して水蒸気を生成します。雲の中で冷やされて雨が生じるのと同様に、水蒸気を冷却して水に戻す事により、不純物の 97%を除去します。

この処理の心臓部は蒸留装置 DA (Distillation Assembly) です。内部は 0.7psia に減圧することで沸点を下げています。水蒸気は 220rpm で回転するドラムの中  
央部から集められて蒸留水として取り出されます。



図 5.1-4 STS-119 で運ばれた交換用の Distillation Assembly (DA) (©NASA KSC)

<https://mediaarchive.ksc.nasa.gov/#/Detail/39438>

### (3) ロシアモジュールでの水処理の概要

ロシアモジュールでは、エアコンから生じる凝縮水を飲料水に処理する凝縮水処理装置 SRV-K2M「エスエルベーカー」がズヴェズダ内に装備されています。処理方法は、活性炭とイオン交換樹脂膜を通す方法が使われています。

WRS が到着するまでの尿処理方法は、尿タンク（空になった水容器を転用）に尿を詰め、プログレス補給船を廃棄する際に一緒に焼却処分が行われていました。



図 5.1-5 ロシアの水容器（EDV タンク）（©NASA）  
（ビニールのような容器を金属容器で囲ったもの）



図 5.1-6 米国の水容器（CWC）（©NASA）（表面が布地のソフトタイプの容器）

<https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/9371374543/>

## 5.2. 空気の供給

### (1) 酸素の供給

ISS には米露の 2 台の酸素生成装置が設置されています。ロシアの装置は、ズヴェズダ内に設置されている「エレクトロン」で、米国の装置は、トランクウィリティー内に設置されている酸素生成装置 OGS (Oxygen Generation System) です。どちらも水を電気分解する事で酸素と水素を発生させて、酸素を供給します。副生成物となる水素は船外排気されます。(注：2010 年末からは OGS で発生した水素を二酸化炭素と反応させて水に再生するサバチ工装置を使うようになりました。)

ISS を訪問する宇宙機にも酸素と空気を搭載して補給を行っています。ロシアのプログレス補給船と、米国の商業補給船、日本の補給船によって酸素や空気が供給されます。

ISS の「クエスト」エアロックの外部に設置されている高圧酸素タンクと窒素タンクにガスが残っているため、酸素生成装置で酸素が十分生成できないトラブル発生時には、これらの酸素を使用する事が出来ます。2015 年 1 月からは米国の商業補給船などを使って、NORS (Nitrogen/Oxygen Recharge System) という小型の高圧タンクに酸素か、窒素を充填して運搬を行っています。

また、ロシアは固体燃料を使う使い捨ての酸素発生装置 (SF<sub>6</sub>O<sub>2</sub>) を有しており、非常時にはこれを使用する事が出来ます。

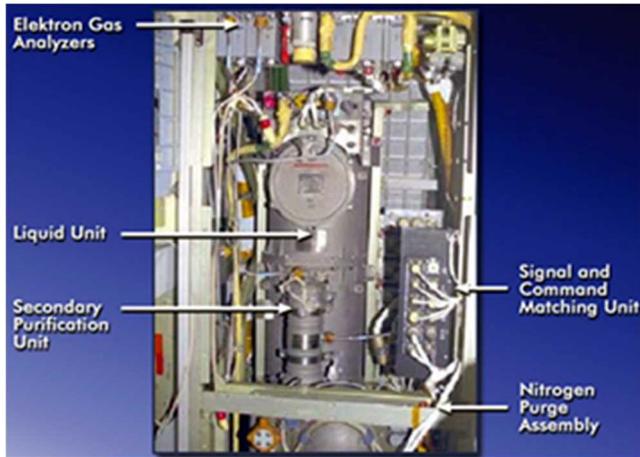


図 5.2-1 ロシアの酸素生成装置エレ  
(©NASA)



図 5.2-2 米国の酸素生成装置 (OGS) (©NASA)



図 5.2-3 スヴェズダ内に設置されている SFOG 容器 2 本 (矢印) (©NASA)

## (2)二酸化炭素の供給

ISS 内には米露の二酸化炭素除去装置が装備されています。ロシア側の装置は、Vozdukh「ヴォズドーク」と呼ばれており、米国側の装置は CDRA (Carbon Dioxide Removal Assembly) 「シードラ」と呼ばれています。どちらも化学反応で二酸化炭素を吸着し、吸着した二酸化炭素は宇宙空間に排出する方法で連続的な処理を行います。

(注：2010 年末からは CDRA で吸着した二酸化炭素を OGS から発生する水素と反応させて水に再生するサバチエ装置が使えるようになったため、CO<sub>2</sub> の一部は再利用可能です。)



図 5.2-4 米国の二酸化炭素除去装置 (CDRA) (修理時の写真) (©NASA)



図 5.2-5 ロシアの Vozdukh (©NASA)

(表面に見えているのはバルブパネルのみで、本体はパネルの背後に収納)

<https://www.spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/Crew-2/html/iss002e6111.html>

## 二酸化炭素除去装置（CDRA）のメンテナンス

（大西宇宙飛行士の Google+ （2016/4/1） より）

この CDRA、かなり頻繁に故障に見舞われていて都度宇宙飛行士がそれを修理しています。しかもその修理作業の難易度がかなり高いことで有名です。「モンスター」と呼ぶ飛行士もいます。通常はスペシャリスト資格保有者がこのメンテナンスを行うので、私はこれまで訓練を受けていませんでしたが、今回初めてその訓練を受けることが出来ました。CDRA の故障の一番の原因はバルブの故障ですが、その交換作業を実施しました。まず複雑なのは、CDRA 自体をラックから引き出すことです。後ろの配管を外したり、諸々の準備作業が必要で、2 人の飛行士が作業しても 2 時間以上が必要だそうです。いざ、引き出してみた CDRA はまさにモンスター。

大きさとしてはラック全体の 4 分の 1 くらいなのですが、よくもまあこれだけの機器をそのスペースに詰め込んだかと、感嘆してしまいました。ピッチリと隙間なくラックに収まるよう、複雑に入り組んだ配管。バルブを交換するために故障したバルブを取り外そうにも、ネジにアクセスすることすら容易ではありません。ネジごとにアクセス方法と使用する工具を切り替えて、何とか取り外しに成功。ところが、そこに新しいバルブを取り付けるのがまた大変です。ネジや配管を並行して接続していかなければなりません。1 つずつ接続していくのは不可能に近いです。噂には聞いていましたが、CDRA のメンテナンス作業はかなり手強そうです。

### (3)有害ガス成分の検知・除去

ISS 内には、米露の有害ガス検知装置と有害ガス除去装置が設置されています。ロシアの有害ガス除去装置は BMP と呼ばれており、米国側の装置は TCCS (Trace Contaminant Control System) と呼ばれています。



図 5.2-6 米国の有害ガス除去装置（TCCS）（修理時の写真）（©NASA）

### **【参考】Reference Guide to the ISS の紹介**

ISS のことをもっと知りたいという方には、英語版になりますが NASA が作成した Reference Guide to the ISS (2015 年 9 月版 : 116 ページ) をお勧めします。

<https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/np-2015-05-022-jsc-iss-guide-2015-update-111015-508c.pdf>

2010 年 11 月版もあり、少し古いですが、2015 年版では ISS システムの解説が減らされたのでこちらも参考になります。140 ページもの大作です。

[https://www.nasa.gov/pdf/508318main\\_ISS\\_ref\\_guide\\_nov2010.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/508318main_ISS_ref_guide_nov2010.pdf)

## 【付録2】「きぼう」日本実験棟概要

### 1 「きぼう」日本実験棟の構成

「きぼう」日本実験棟は主に「船内実験室」、「船外実験プラットフォーム」という2つの実験スペースと、「船内保管室」、船外の実験や作業に使用する「「きぼう」ロボットアーム」の4つから成り立っています。

「きぼう」日本実験棟の運用に必要な空気、電力、排熱、通信のリソースは国際宇宙ステーション（International Space Station: ISS）本体から供給され、「きぼう」内へ分配されます。

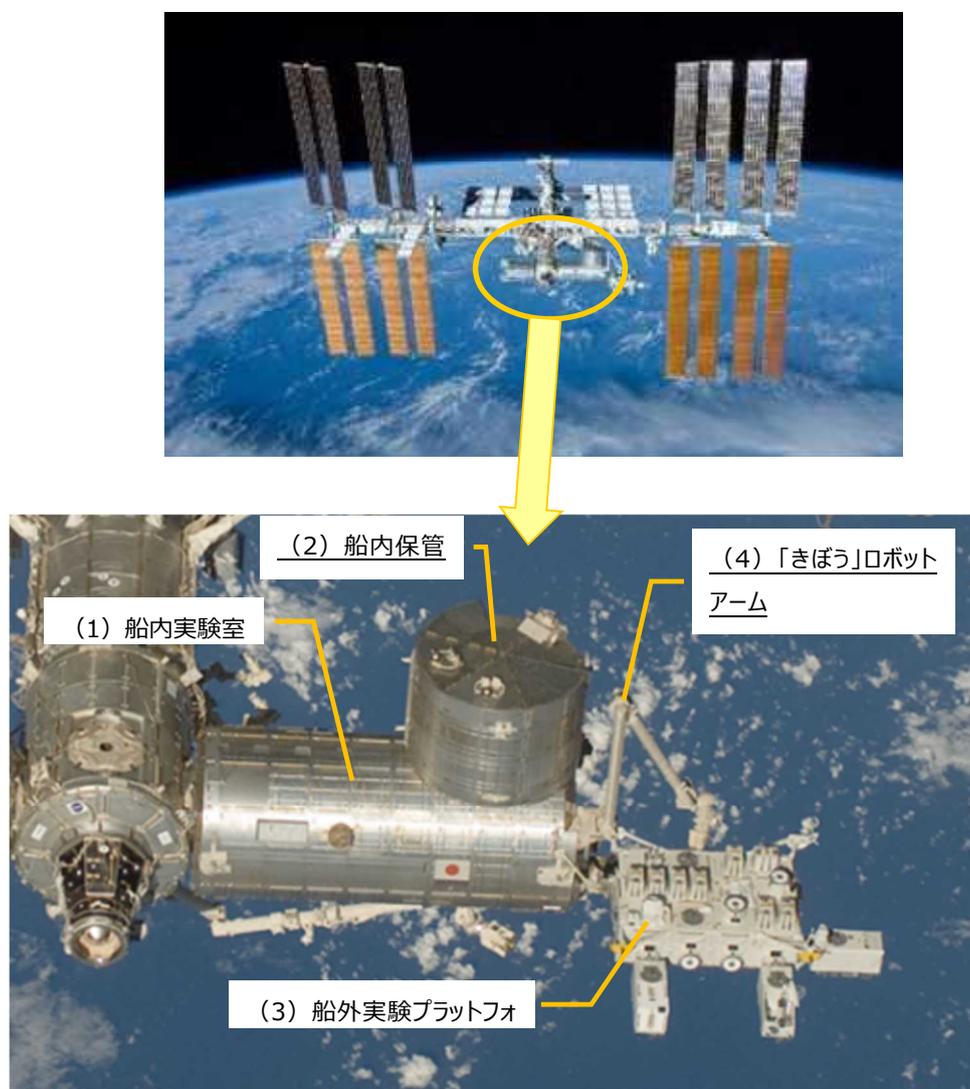


図 1-1 「きぼう」日本実験棟の構成 (©JAXA/NASA)

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=fe44cfa1cf71f8c4465e22907673ea38> (上)

## (1) 船内実験室

船内実験室は、「きぼう」日本実験棟の中心となる実験スペースで、我々が住む地上と同じ 1 気圧、常温の空気で満たされており、宇宙飛行士が宇宙環境（主に微小重力環境）を利用した様々な実験を行います。内部には、「きぼう」日本実験棟のシステムを管理・制御する装置や実験装置など、様々な装置を備えた 23 個のラックが設置されており、そのうち 10 個が実験ラックです。サイズは長さ 11.2m、輪切りにしたときの直径が 4.4m です。

また、船内実験室と船外実験プラットフォームとの間で、実験装置や実験試料、超小型衛星などを出し入れするときに使用する「きぼう」エアロックが設置されています。

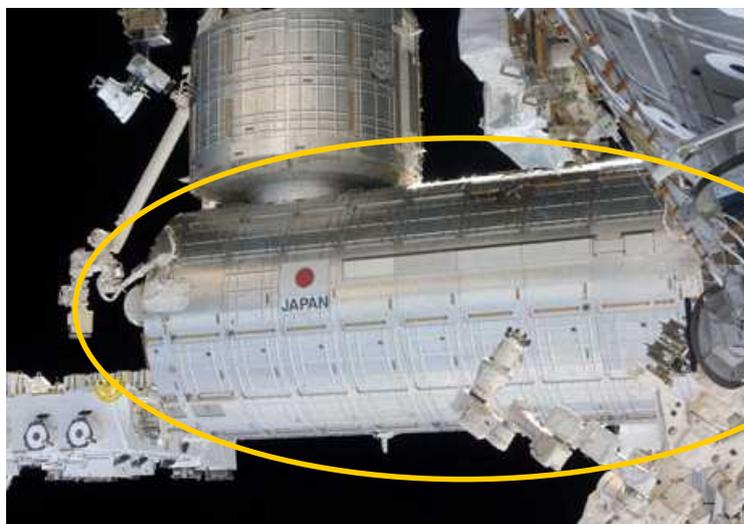


図 1-2 船内実験室（外観）（©NASA）



「きぼう」エアロック

図 1-3 船内実験室（©NASA）

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=6159ad59dfbcff7ab31837517ebf90d3>



## (2) 船内保管室

船内保管室は、実験装置や試料、消耗品などを保管する倉庫の役割を持つスペースです。船内実験室と同じ 1 気圧、常温の空気で満たされており、宇宙飛行士が船内実験室と行き来できます。ISS の実験モジュールのうち、専用の保管室を持っているのは「きぼう」日本実験棟だけです（注：スペースシャトルでの物資補給に使われていた MPLM「レオナルド」が PMM（Permanent Multipurpose Module）に改造されて、2011 年 2 月に ISS に設置されましたが、これは軌道上の保管場所が不足していることを受けて急きょ計画が見直されたもので、それ以前は船内保管室が唯一の専用保管モジュールでした）。



図 1-5 船内保管室（外観）（© NASA）

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=ca2bf85d5dcb5cdfef279f9078ec686>



図 1-6 船内保管室（船内）（© NASA）

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=f43499848c609b221e4aaa34d1146c64>

### (3) 船外実験プラットフォーム

船外実験プラットフォームは、ISSの外にあり、常に宇宙空間にさらされた環境で実験を行うスペースです。船外実験プラットフォーム上の船外実験装置などの交換は、船内実験室から宇宙飛行士が（あるいは地上からの操作で）「きぼう」ロボットアーム（JEM Remote Manipulator System：JEMRMS）を操作して行います。

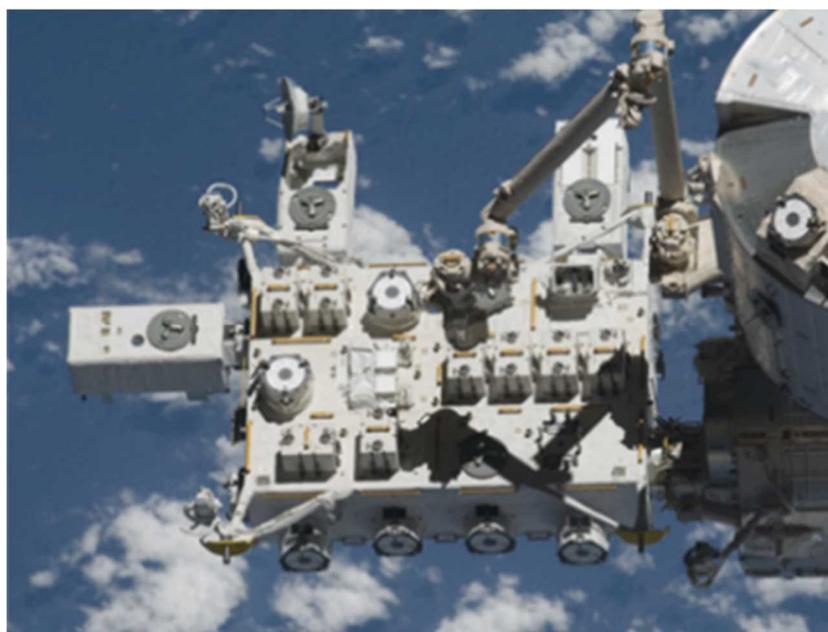


図 1-7 船外実験プラットフォーム (© JAXA/NASA)

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=92f2c86007260e130e78c68fb7d800a1>



図 1-8 船外実験プラットフォーム外観（「きぼう」船内実験室の窓から撮影） (© NASA)

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=119b7f86860401e3ba71c50b3428d2c9>

#### (4)「きぼう」ロボットアーム (JEMRMS)

「きぼう」ロボットアーム (JEMRMS) は、船外実験プラットフォームでの実験で、実験装置の交換など人間の代わりに作業を行う「腕」となる部分で、「親アーム」とその先端に取り付けられる「子アーム」(HTV 技術実証機で運搬)で構成されています。それぞれ 6 個の関節を持ち、宇宙飛行士が船内実験室のロボットアーム操作卓を使って(あるいは地上の管制官が)操作を行います。本体の「親アーム」は船外実験装置の交換など、先端の「子アーム」は細かい作業を行うときに使用します。親アームに取り付けられたテレビカメラにより、船内実験室内から船外での作業の様子を確認することができます。

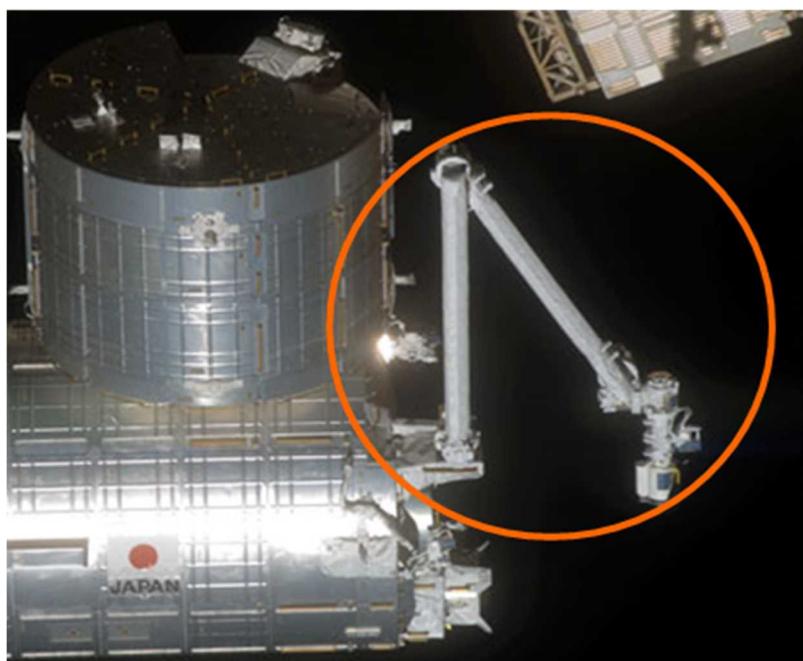


図 1-9 「きぼう」ロボットアーム (© NASA)

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=ee783203e4f8ba9bab4d391054ded4a7>



図 1-10 「きぼう」ロボットアーム制御ラック (© NASA)

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=f4ef1a166d7cd8dac711ce01e94d8531>

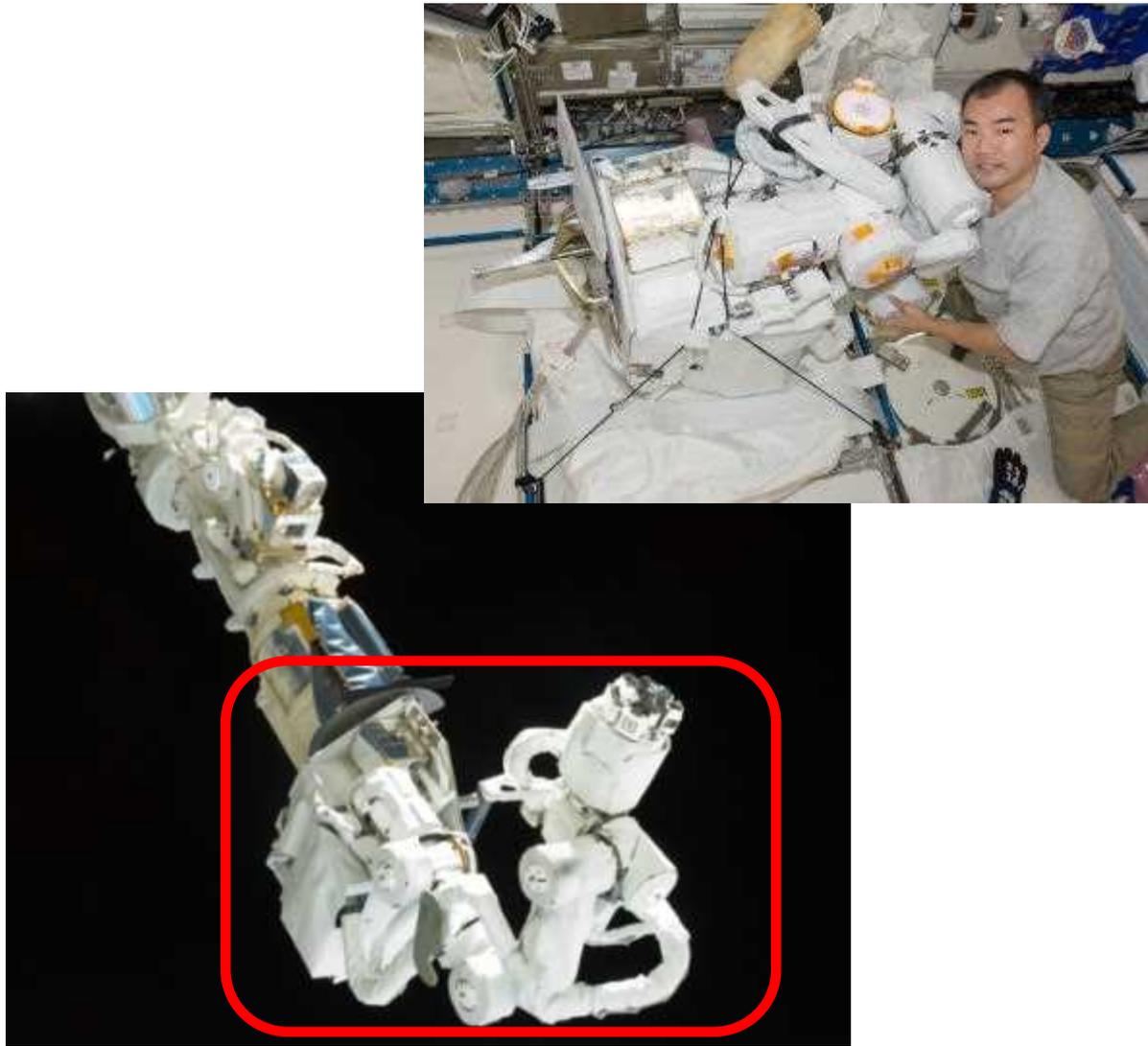


図 1-11 「きぼう」ロボットアームの先端で把持された子アーム（2010年3月）（© JAXA）

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=fca58993a12f4172466258d1d731c022>（上）

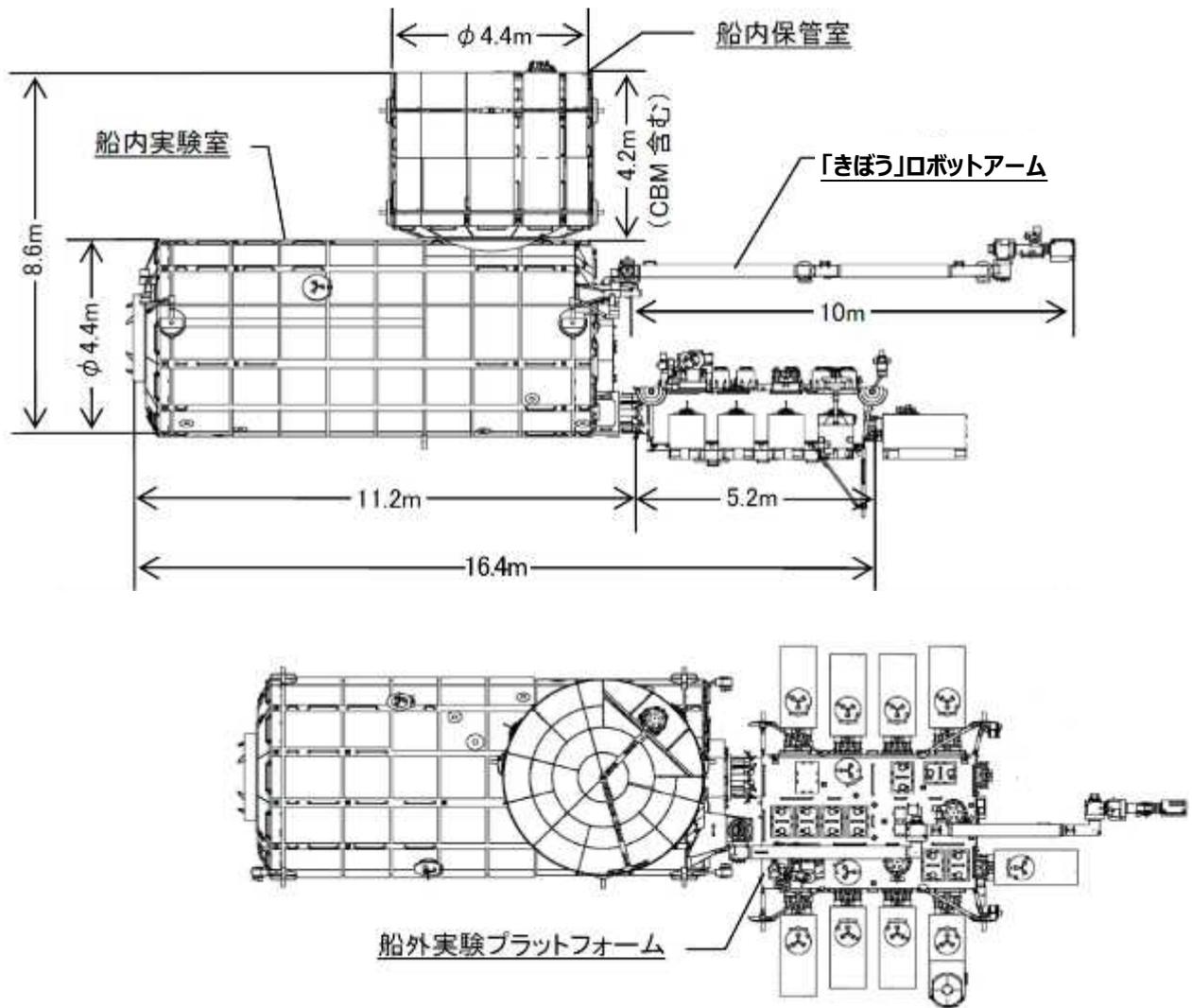
<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=6bb1460c58144572f8365e5a7459a4f7>（下）

## 2 「きぼう」日本実験棟の主要諸元

「きぼう」日本実験棟を構成する各要素の主要諸元を以下の表に示します。各要素のさらに詳細な諸元については、「きぼう」ハンドブック第4章（掲載 URL：[https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/library/item/kibo\\_handbook.pdf](https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/library/item/kibo_handbook.pdf)）を参照ください。

表 2-1 「きぼう」日本実験棟を構成する各要素の主要諸元

要素	寸法 (m)	質量 (t)	搭載ラック数 または実験装置数
船内実験室	外径：4.4 内径：4.2 長さ：11.2	14.8  (軌道上：約 19t STS- 124 終了時)	ラック総数 23 個 (システム機器用ラック：11 個、実験装置用ラック：12 個 (実験ラック 9 個、冷蔵庫ラッ ク 2 個、保管ラック 1 個))
船内保管室	外径：4.4 内径：4.2 長さ：4.2	4.2  (構造重量)	保管ラック 8 個
「きぼう」 ロボットア ーム	親アーム長さ： 10 子アーム長さ： 2.2	1.6  (「きぼう」ロ ボットアーム 制御ラックを 含む)	親アーム取扱い重量 最大 7 t
船外実験プ ラットフォ ーム	幅：5.0 高さ：3.8 長さ：5.2	4.1	実験装置取付け場所 12 箇所 (シ ステム機器用 2 箇所、実験装置仮 置き用 1 箇所を含む)



CBM: Common Berthing Mechanism、共通結合機構

図 2-1 「きぼう」日本実験棟の寸法図 (© JAXA)

[https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/library/item/kibo\\_handbook.pdf](https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/library/item/kibo_handbook.pdf) (P3-3)

### 3 「きぼう」日本実験棟の運用モード

「きぼう」日本実験棟には運用状態に応じて 4 つの運用モードがあります。運用モードは ISS のクルー、または地上からのコマンドで切り替えることができます。

ISS の運用モードは 7 種類あります。全てのモードは ISS のクルー、または地上からのコマンドで切り替えることができます。

ISS では、ISS 運用モードが優位です。「きぼう」日本実験棟の運用モードは、ISS の運用モードと整合をとって運用されます。

「きぼう」日本実験棟の運用モードが ISS の運用モードに適合しない場合もありますが、その場合は、「きぼう」日本実験棟の運用モードは切替えを許可されません。また、ISS の運用モードが何らかの異常で変更されたとき、もし「きぼう」日本実験棟がそれに適さない運用モードであったような場合は、「きぼう」日本実験棟の運用モードは自動的にスタンバイモードへ切り替わるようになっています。

表3-1 「きぼう」日本実験棟の運用モード

運用モード	概要
標準	「きぼう」日本実験棟の運用の中心となるモード。搭乗員が宇宙実験を行うことができます。「きぼう」ロボットアームの運用を行うことはできません。
ロボティクス運用	「きぼう」ロボットアームを運用することができるモード。その他の構成は標準モードと同じです。
スタンバイ	「きぼう」日本実験棟のシステムに何らかの異常が発生した場合などに、船内実験室での全ての実験支援を禁止して最小限のシステムで運用するモード。
隔離	実験室内の与圧環境が保証されないモード。このモードでは、ISSと「きぼう」日本実験棟間のハッチが閉じられ、搭乗員は船内実験室、船内保管室内に入ることができません。

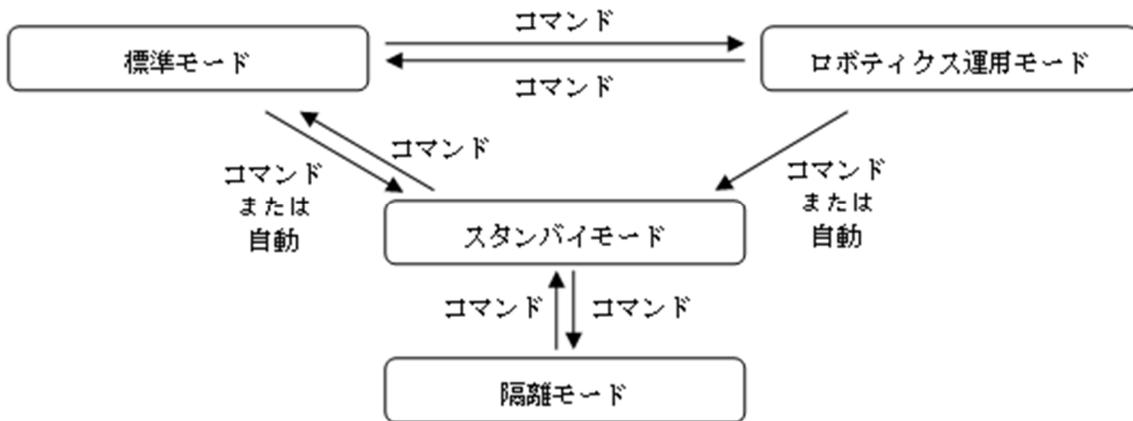


図 3-1 「きぼう」日本実験棟の運用モードの遷移

表3-2 ISS運用モード

運用モード	概要
標準	ISS運用の中心となるモード
リブースト	ISSの軌道の変更（リブースト等）を行うモード
微小重力	微小重力環境を要求する実験装置運用時のモード
サバイバル	差し迫った危険（ISSの姿勢や電力に異常が確認される等）の恐れがある場合などに、ISSを長期間にわたり運用させるためのモード
接近	スペースシャトル、ソユーズ宇宙船、プログレス補給船等の宇宙機の接近／離脱時のモード
安全確実なクルーの帰還	搭乗員の生命が危ぶまれる場合などに、搭乗員を安全に地上へ帰還させるために、ソユーズ宇宙船の分離、出発を支援するモード
外部運用	船外作業やロボットアームの運用等の船外での組立や保全活動を支援するモード

## 4 「きぼう」船内実験室のラック

「きぼう」船内実験室にはシステムラック、実験ラック、保管ラックと三種類のラックがあります。システムラック(4.1項)は、「きぼう」の運用を維持するために必要な、電力、通信、空調、熱制御(実験の支援機能を含む)を確保するための機器類です。例えば、「きぼう」のメインコンピュータを搭載する監視制御ラック、与圧部の温度や湿度、気圧を調整し空気清浄を制御する空調/熱制御ラック、ISSから供給された電力を「きぼう」の各構成要素に分配する電力ラックなどがあげられます。

一方、実験ラック(4.2項)は、実験を行うための装置を搭載するラックです。ISSの標準設計となっており、国際標準ペイロードラック(International Standard Payload Rack: ISPR)と呼ばれます。船内実験室には生物実験と材料実験を中心として合計9個の実験ラックを搭載することができます。

また、船内実験室には、「きぼう」の外(曝露施設)の作業を支援するロボットアームが装備されています。ロボットアームの操作は、船内実験室内のロボットアーム(JEMRMS)操作卓から行われます。船内実験室と船外実験プラットフォームの間には、曝露実験装置や実験試料などを宇宙空間に出し入れするためのエアロックが装備されています。

2020年10月現在、船内実験室に設置されているJAXA関連のラックは以下のとおりです。

- 電力(EPS)ラック-1(A系)(システムラック)
- 電力(EPS)ラック-2(B系)(システムラック)
- 情報管制(DMS)ラック-1(A系)(システムラック)
- 情報管制(DMS)ラック-2(B系)(システムラック)
- 空調/熱制御(ECLSS/TCS)ラック-1(A系)(システムラック)
- 空調/熱制御(ECLSS/TCS)ラック-2(B系)(システムラック)
- 「きぼう」のロボットアーム(JEMRMS)制御ラック(システムラック)
- ワークステーション(WS)ラック(システムラック)
- 衛星間通信システム(ICS)ラック(システムラック)

■ SAIBO ラック（実験ラック）

（「このとり」8号機で細胞培養装置追加実験エリア（CBEF-L）を運搬、設置）

■ RYUTAI ラック（実験ラック）

■ KOBAIRO ラック（実験ラック）（「このとり」2号機で運搬）

■ 多目的実験ラック（MSPR）（実験ラック）（「このとり」2号機で運搬）

■ 多目的実験ラック2（MSPR-2）（実験ラック）（「このとり」5号機で運搬）

■ 「きぼう」の保管ラック2台（保管ラック）

上記のほか、NASAのEXPRESS実験ラック3台とライフサイエンスグローブボックス1台、冷凍冷蔵庫（MELFI）2台が設置されています。

コラム付録 2-1

**ラックの役割**

ISS 内部は重力がほぼゼロで、宇宙飛行士は浮遊状態にあります。宇宙飛行士から見て、実験装置が引っ込んでいたり、出っ張ったりしては、操作しにくく、また宇宙飛行士が凹凸に引っかかり危険です。

そこで、実験ラックは、実験装置を宇宙飛行士にとって操作しやすい位置に配置・固定する役割を持っています。また、スペースシャトルや宇宙ステーション補給機「このとり」（H-II Transfer Vehicle: HTV）で実験ラックをISSに輸送する際には大きな振動や加速度がかかりますが、実験装置を振動や加速度から守り、装置が実験ラックから飛び出さないようにする役割も果たしています。

実験ラックは、日常生活で例えると「ロッカー」や「書棚」にあたります。また、電気を実験装置へ分配したり、実験装置を冷やしたりする「分電盤」や「エアコン」の機能もあります。つまり、実験ラックはいくつかの「実験装置」と、それらに電気などを供給する「実験支援機器」からできています。

実験ラックは、交換や軌道上での移動が可能であり、ISSの実験棟に直接搭載して打ち上げる以外にも、多目的補給モジュール（Multi-Purpose Logistics Module: MPLM）やHTVに搭載して後からISSに運ぶこともできます（注：スペースシャトルが退役したため、現在では「このとり」が唯一の運搬手段です）。

また、電力系や通信系、熱制御系などの部品が故障した場合でも、交換や修理が可能です。実験ラックをISSで運用する期間は非常に長いため、実験装置の交換や部品の修理といった軌道上での保全が重要なのです。

実験ラックは、ロシアを除いたISS全体で共通のサイズとインターフェース仕様を決めて製造されています。



図 4-1 1J フライト時のラックを入れる前と搬入途中の「きぼう」日本実験棟内部



図 4-2 ラックを移動する様子 (©NASA)



図 4-3 STS-124 ミッション終了後の船内実験室内部のイメージ (©JAXA)  
 (「きぼう」の入り口側から見たイメージ)

\* 空きラックの部分には、ダミーパネル（布製のカバー）を設置

<https://iss.jaxa.jp/kibo/about/kibo/jpm/>

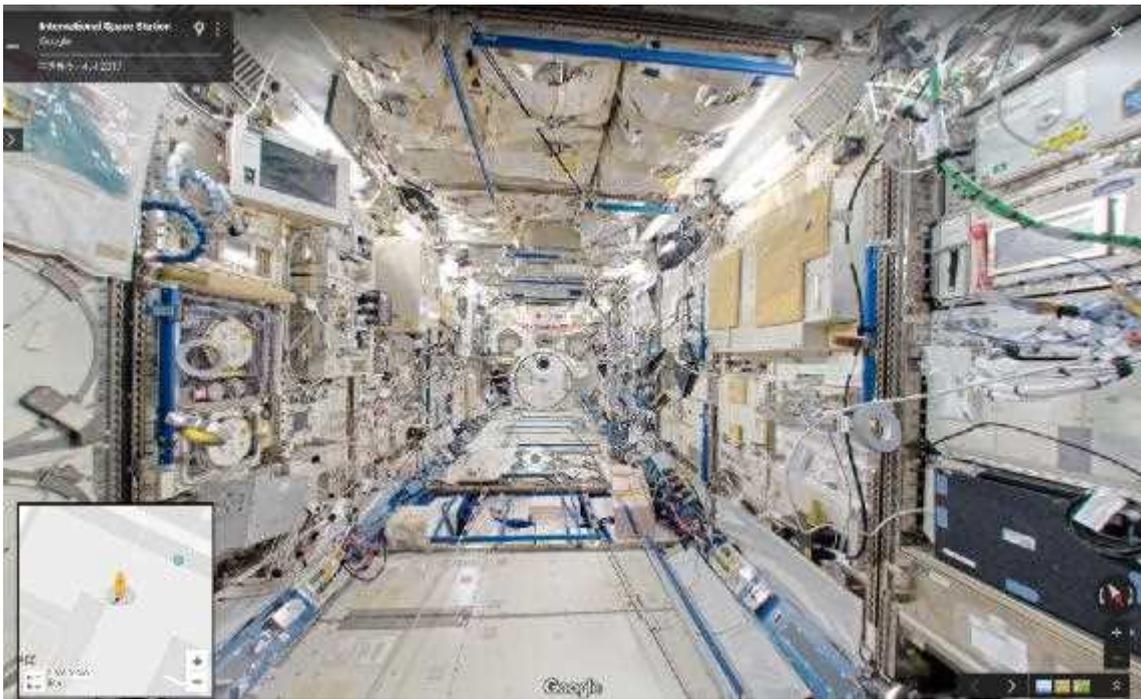


図 4-4 船内実験室の内部（2017年4月）（Google ストリートビュー）

<https://www.google.com/maps/@29.5604436,-95.0855409,2a,90y,210.66h,87.48t/data=!3m6!1e1!3m4!1sgaU6Xij5mvgAAAQvxgbyMA!2e0!7i10000!8i5000>

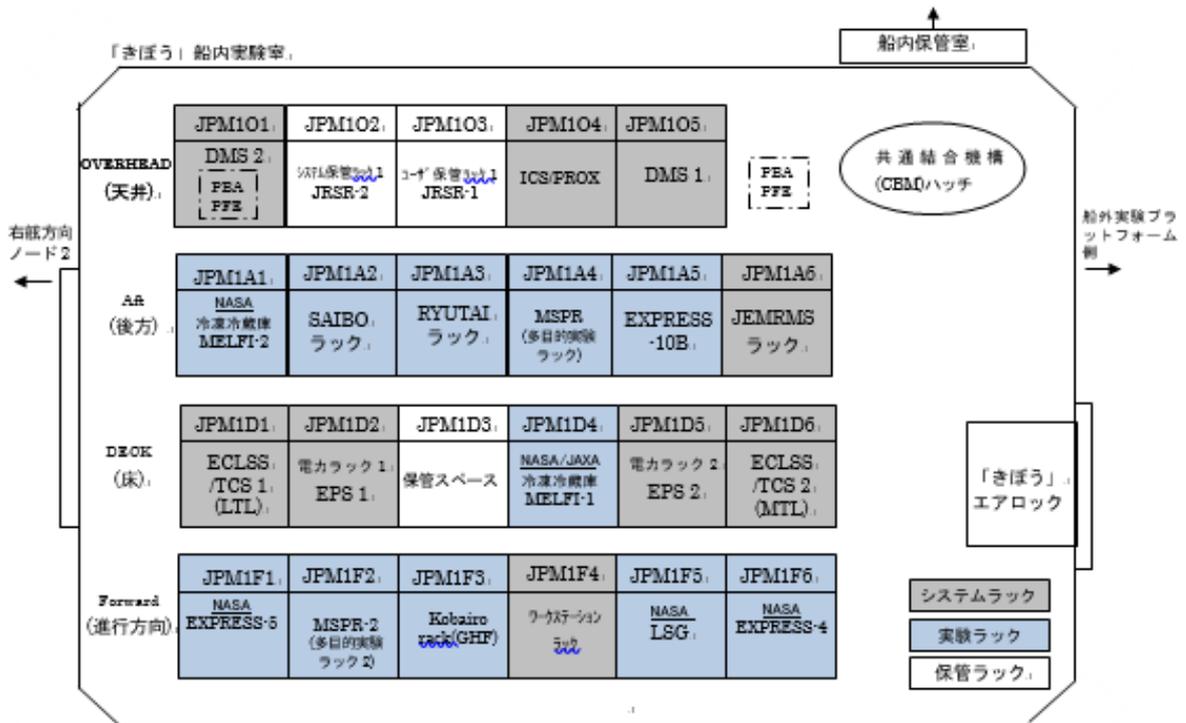


図 4-5 「きぼう」船内実験室内のラック配置図（©JAXA）

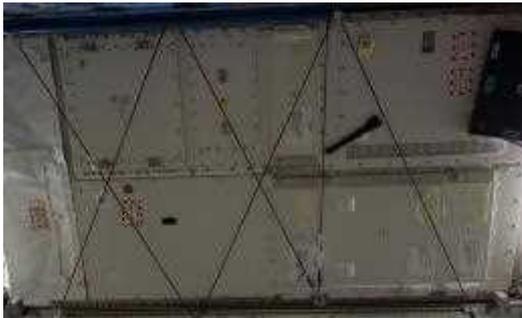
## 4.1. システムラック

「きぼう」の運用を担う主要システムは、A系とB系の二重冗長構成になっており、

ラックもそれぞれ A 系ラックと B 系ラックにわかれています。「きぼう」の通常モードの運用では、A 系と B 系のシステムがそれぞれ同時に稼動しています。

各システムラックの機能は以下の表に示すとおりです。

表 4.1-1 「きぼう」システムラックの機能

<p>◆ <b>電力ラック</b></p> <p>EPS (Electrical Power System) Rack</p> 	<p>ISS の太陽電池パドルで発電した電力は、ハーモニーを経由して「きぼう」へと供給されます。この供給された電力（直流 120V×2 系統）を「きぼう」の各システム機器や実験装置に分配するための分配盤や分電箱などが装備されています。</p> <p>このラックは床面に 2 台設置されています。</p>
<p>◆ <b>情報管制ラック</b></p> <p>DMS (Data Management System) Rack</p> 	<p>DMS ラックには、「きぼう」の管制制御装置 (JEM Control Processor : JCP) とペイロード用の中速データ伝送装置などが収められています。</p> <p>JCP は、「きぼう」のメインコンピュータであり、DMS1,2 に各 1 台装備されており、故障時には自動的に予備系に切り替わります。JCP は、プロセッサとハードディスクで構成されており、ディスプレイやキーボードはありません。これらはラップトップコンピュータ経由で操作、モニタされます。</p> <p>このラックは天井に 2 台設置されています。</p>
<p>◆ <b>空調/熱制御ラック</b></p> <p>ECLSS/TCS (Environment Control and Life Support System / Thermal Control System) Rack</p> 	<p>ISS 本体からの空気・冷却水の供給などを受けながら、「きぼう」内の温度、湿度、空気の循環、空気の浄化を行うと共に、各ラックへの冷却水の供給を行います。</p> <p>このラックは床面に 2 台設置されています。</p>

◆ ワークステーションラック

WS (Work Station) Rack



画像データ等を切り替える機器、音声通信端末、TV モニタ 2 台（1 台は未装着）、警告警報パネルなどを装備しています。

◆ 衛星間通信システムラック

ICS (Inter-Orbit  
Communication System) Rack



ICS ラックは、データ中継技術衛星「こだま (DRTS)」を使用して「きぼう」と筑波宇宙センター間の通信を行うための通信機器を搭載しています。（注：「こだま」は、2017 年 8 月 5 日に運用が終了しました。）

また、宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV)、およびシグナス補給船がランデブー時に使用する近傍通信システム (PROX) も搭載しています。

※「きぼう」ロボットアーム (JEMRMS) 制御ラックは、4.2.5 項を参照ください。

## 4.2. JAXAの実験ラック

国際宇宙ステーション（ISS）で使用する実験装置は、「実験ラック」に搭載され宇宙へ運ばれます。

実験ラックは、「国際標準ペイロードラック（International Standard Payload Rack: ISPR）」と呼ばれる ISS 共通仕様のラックです\*。ISPR は、ISS の各実験モジュールに設置され、ISS と実験装置をつなぐ実験支援機器（インタフェース）として、実際の実験運用に必要な電力、データ、ガス、排熱システムなどを提供します。

\*) ロシアのモジュールを除きます。



図 4.2-1 船内実験室のラックの配置（©JAXA）

<https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/experiment/pm>

#### 4.2.1 細胞（SAIBO）ラック

細胞（SAIBO）ラックは、動物の細胞や植物などを用いて生命科学に関わる実験を行う実験ラックです。

SAIBO ラックには、以下に示す実験装置が搭載されています。



軌道上の SAIBO ラック (©JAXA)  
向かって右側に CBEF、左側に CBEF-L を収容

#### ■ 細胞培養装置（CBEF）

細胞培養装置（Cell Biology Experiment Facility: CBEF）は、動物、植物、微生物の細胞組織などを用いて、宇宙環境での生命の基礎研究を行う装置です。装置内は、温度、湿度、二酸化炭素濃度の調整が可能で、また、回転テーブルにより人工的に重力環境を作り出すことで、微小重力／加重力環境の両条件下での対照実験を行うことができます。



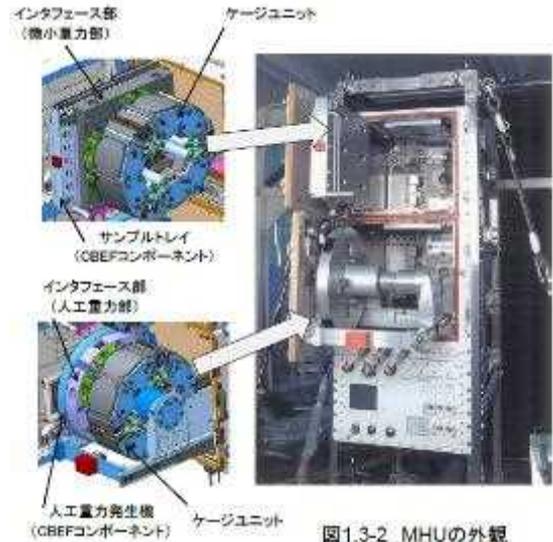
細胞培養装置（CBEF）（©JAXA）

参考 URL:

<https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/experiment/pm/cbef/>

## ■ 小動物飼育装置 (MHU)

小動物飼育装置 (Mouse Habitat Unit : MHU) は、マウスを1ケージに1匹ずつ入れて個別に長期間 (30日間 : 装置を交換すれば30日間以上も可能) 、飼育・観察できます。ケージに装備したビデオカメラにより地上でライブ観察ができる他、水と餌を与えられるようになっており、糞尿の除去も可能です。細胞培養装置 (CBEF) に各ケージを設置することで微小重力環境と人工重力による比較が可能です。



小動物飼育装置 (MHU) 細胞培養装置

参考 URL

<https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/experiment/pm/mh>

## ■ 細胞培養装置追加実験エリア (CBEF-L)

細胞培養装置追加実験エリア (Cell Biology Experiment Facility-Left : CBEF-L) は、細胞や植物等の培養または飼育を行う装置で、2019年まで「きぼう」内で使われていた、細胞培養装置 (Cell Biology Experiment Facility : CBEF) よりも半径を倍以上にした大型の遠心加速型人工重力発生機で重力差を緩和することができるようになったほか、マウスよりも大きな動物の飼育も可能になります。CBEFと並行利用することで、ライフ系実験の利用拡大がはかれます。

参考 URL

<https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/experiment/pm/cbef-l/>



細胞培養装置追加実験エリア (CBEF-L) (©JAXA)

#### 4.2.2 流体（RYUTAI）ラック

流体（RYUTAI）ラックは、溶液、タンパク質などの結晶成長に関する基礎研究、流体実験および取得した実験画像を符号化・圧縮する装置を搭載した実験ラックです。

RYUTAI ラックには以下に示す実験装置が搭載されています。



軌道上の RYUTAI ラック（右の写真）（©JAXA）

#### ■ 流体物理実験装置（FPEF）

流体物理実験装置（Fluid Physics Experiment Facility: FPEF）は、微小重力環境において、常温に近い温度環境下で流体物理実験を行うための実験装置です。流体においては、温度差や濃度差が原因で表面張力に不均質性が生じ、流体内部に対流が生じます。この対流は、マランゴニ対流と呼ばれますが、微小重力環境では、マランゴニ対流がよく観察できるようになります。

FPEF は、このマランゴニ対流を研究することを目的として設計されました。（上記写真左上の突出部が FPEF）

参考 URL:

<https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/experiment/pm/fpef/>

#### ■ 溶液・タンパク質結晶成長実験装置（SPCF）

溶液・タンパク質結晶成長実験装置（Solution/Protein Crystal Growth Facility: SPCF）は、タンパク質結晶生成装置（PCRF）と溶液結晶化観察装置（SCOF）の 2 つの装置で構成されており、溶液やタンパク質の結晶成長に関する基礎研究を行うための装置です。

参考 URL:

<https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/experiment/pm/scof/>

## ■ 画像取得処理装置 (IPU)

画像取得処理装置 (Image Processing Unit: IPU) は、「きぼう」に搭載される実験装置から送られてくる実験画像を圧縮し、伝送ラインを通して地上に送る装置です。これにより、ほぼリアルタイムで実験画像を地上で見ることができます。また、地上との電波回線が空いていない時などのために、軌道上で実験画像をハードディスクに録画しておく機能を有しています。[前項写真左下の部分が IPU]

参考 URL:

<https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/experiment/pm/ipu/>

## 4.2.3 勾配炉 (KOBAIRO) ラック

勾配炉 (KOBAIRO) ラックは、多目的実験ラック (MSPR) と共にこのとり 2 号機 (HTV2) で ISS に運ばれました。材料実験を行う温度勾配炉 (Gradient Heating Furnace : GHF) を内蔵したラックです。

参考 URL:

<https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/experiment/pm/ghf/>



軌道上の KOBAIRO  
ラック (©JAXA)

試料自動交換機構

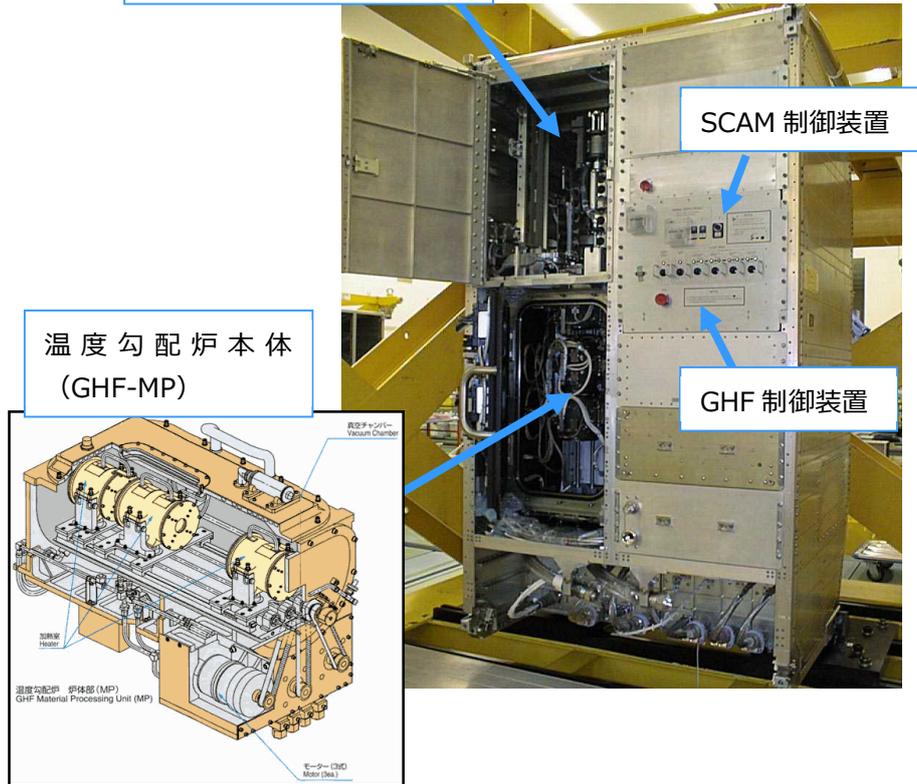


図 4.2.3-1 勾配炉ラックの構成 (©JAXA)

#### 4.2.4 多目的実験ラック (MSPR)

多目的実験ラック (Multi-purpose Small Payload Rack: MSPR) は、ユーザーが独自の装置を開発・搭載し、実験を行なうことを想定して、電源、通信機能などを備えた作業空間を提供するラックであり、KOBAIRO ラックと共に「このとり」2号機でISSに運ばれ、ワークボリューム (Work Volume: WV)、ワークベンチ (Work Bench: WB)、小規模実験エリア (Small Experiment Area: SEA) の3つの実験空間を提供します。

ワークボリューム内に設置できる実験装置として、固体燃焼実験装置 (Solid Combustion Experiment Module: SCEM) や次世代水再生実証システム (JEM Water Recovery System: JWRS) 等があります。

なお、静電浮遊炉 (Electrostatic Levitation Furnace: ELF) を設置する2台目の多目的実験ラック2 (MSPR-2) が「このとり」5号機で運ばれました。

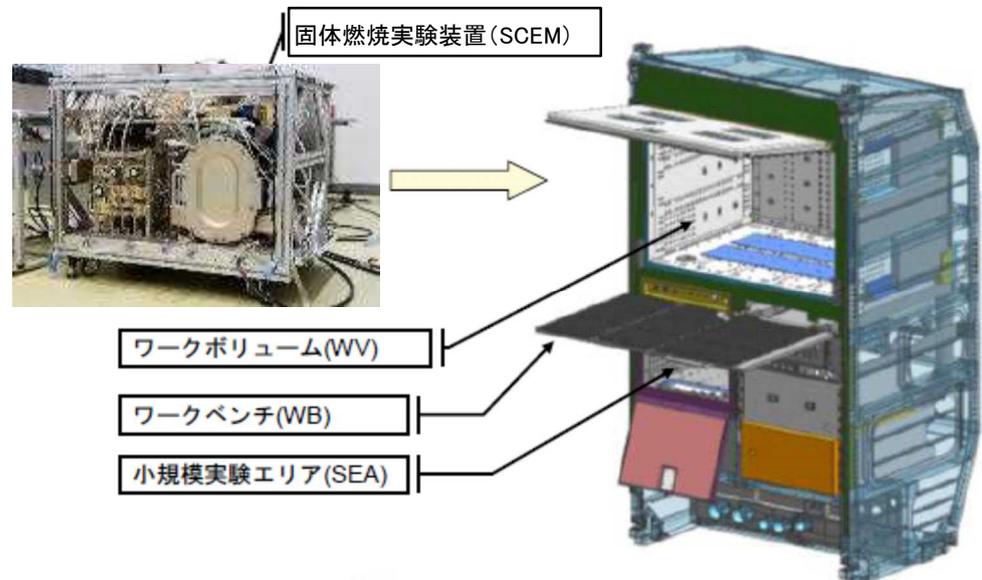


図 4.2.4-1 多目的実験ラック (MSPR) (イメージ図) (©JAXA)

参考 URL:

<https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/experiment/pm/mspr/>



図 4.2.4-2 多目的実験ラックの写真 (打上げ前) (©JAXA)

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=ecc922db2f77b03b1bbb03b275f48688>

#### 4.2.5 「きぼう」ロボットアーム（JEMRMS）制御ラック

「きぼう」のロボットアームである親アーム、子アームは、共に 6 つの関節があるため、動きにかなりの自由度が得られ、人間の腕に近い動作が可能です。ロボットアームは、クルー及び地上運用管制要員にて操作が行われています。クルー操作時は、ロボットアームに取り付けられているカメラの映像をロボットアーム操作卓（JEMRMS 制御ラック）のテレビモニタで確認しながら作業を進めていきます。

現在、ISS 全体として、ロボティクス運用に関わる軌道上クルーリソース（作業に要する時間）を節減するという観点から、ロボティクス運用を地上からの遠隔操作で実施する運用方式が主となっております。

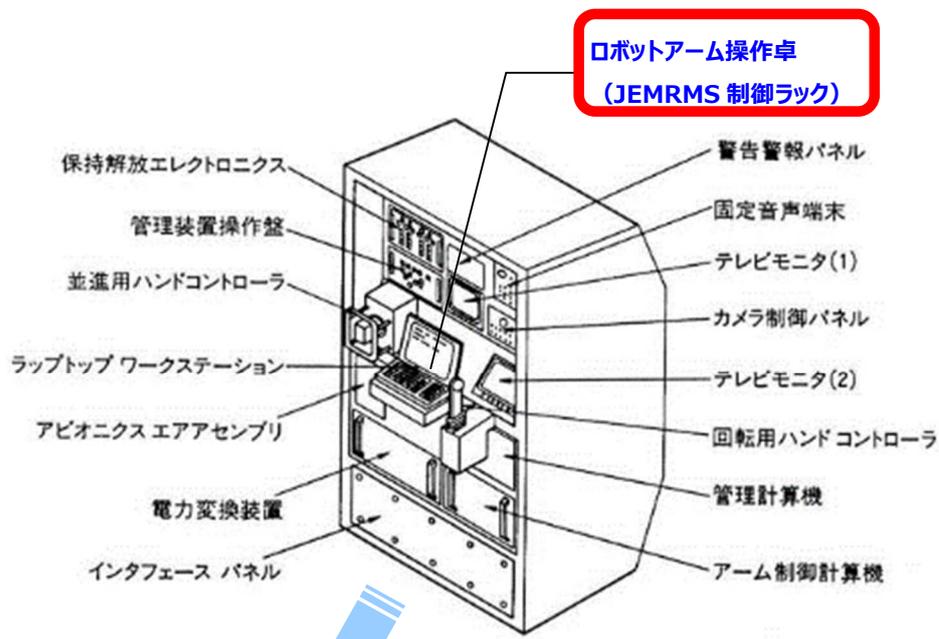


図 4.2.5-1 JEMRMS 制御ラックの構成 (©JAXA)

## 5. 運用管制

「きぼう」日本実験棟の「システム運用」と「実験運用」は、筑波宇宙センターから行います。筑波宇宙センターと「きぼう」との通信（音声、コマンド送信、テレメトリ受信、ビデオ受信）は、米国の追跡・データ中継衛星（TDRS）を経由して行います。



図 5-1 「きぼう」運用システム概要 (©JAXA)

<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibo/operation/>

### ■ システム運用

システム運用は、「きぼう」の熱制御システム、電力システム、通信システム、空調／熱制御・生命維持システム、ロボティクスシステムなどの各システムの状態を示すデータが正常であることを常に確認すると共に、火災、減圧、空気汚染の際に、ISS 滞在クルーが必要な行動をとることができるよう指示します。

また、「きぼう」の保全計画に基づき、「きぼう」に運ぶべき補給品の選定や、輸

送手段（原則として「こうのとりのこ」）、輸送時期などについての検討も行います。

「きぼう」の運用管制員が、「きぼう」運用管制チームの各ポジションに配置され、米国のフライトディレクターや飛行管制員と連携して、3交代24時間体制でISS運用に参加しています。

運用管制室のバックルームでは、JEM技術チームが「きぼう」の運用をモニタし、「きぼう」運用管制チームを技術面で支援します。

## ■ 実験運用

日本の実験運用の計画はシステム運用計画と共にとりまとめられ、これを米国のジョンソン宇宙センター（JSC）に送付します。そしてJSCでの調整を経てISS全体の運用計画に取り込まれ、これに従って実験が行われることになります。

「きぼう」の利用は、「きぼう」実験運用管制チームが運用管制チームのJ-Flightの指揮のもと、筑波宇宙センター内の運用管制室に隣接したユーザ運用エリアで行います。

実験ユーザは自分の実験の様態をユーザ運用エリアからモニタし、ISS側と連絡をとりながら実験を進めることができます。

### **【参考】「きぼう」の運用管制について**

JAXA公開ウェブサイトでは、画像等にてさらに詳しく紹介しています。

#### ■ 「きぼう」の運用

<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibo/operation/>

#### ■ 「きぼう」運用管制室

<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibo/operation/team/>

## 5.1. 運用管制チーム

運用管制チーム（JAXA Flight Control Team: JFCT）は、フライトディレクタと複数のポジションの運用管制員から成る 70 名以上のチームです。フライトディレクタが総指揮をとり、「きぼう」の各システムの専門知識を持つ運用管制員たちが支援します。以下に JFCT の各ポジションの役割について紹介します。

### ■ J-FLIGHT: JAXA Flight Director (J-フライト : フライトディレクタ)

「きぼう」の運用管制に関する全て（「きぼう」運用計画、システム運用、実験運用など）について責任があります。「きぼう」の運用では、あらかじめ用意した手順や計画にもとづき、各運用管制員や宇宙飛行士に作業指示を出すとともに、刻々と変化する状況に対して、各運用管制員からの報告を基に統合的に判断し、ISS 全体の作業指揮をとる NASA のフライトディレクタと連絡を密に行いながら、「きぼう」の運用の指揮をとります。

### ■ CANSEI: Control and Network Systems, Electrical Power, and ICS Communication Officer (カンセイ : 通信・電力・管制系機器担当)

「きぼう」のコンピュータや通信機器、電力系の機器の状態を、軌道上からリアルタイムで送られるデータによって監視するとともに、それらのシステムに対する制御を地上から実施します。

### ■ FLAT: Fluid and Thermal Officer (フラット : 熱・環境・実験支援系担当)

「きぼう」内の環境を整える機器や、装置から出る熱を制御する機器の状態を、軌道上からリアルタイムで送られるデータによって監視するとともに、それらのシステムに対する制御を地上から実施します。

### ■ KIBOTT: Kibo Robotics Team (キボット : ロボティクス・構造・機構系担当)

「きぼう」のロボットアーム、エアロック、機構系の運用を行います。

当初、ロボットアームの運用は、軌道上の宇宙飛行士が実施していましたが、技術の進歩により、現在は KIBOTT が地上から遠隔操作しています。エアロックとロボ

ットアームの連携によって、小型衛星放出などを実施しています。

## ■ TSUKUBA GC: Tsukuba Ground Controller

### (ツクバジーシー : 地上設備担当)

運用管制システム、運用ネットワークシステムなど、「きぼう」の運用に必要な地上設備の運用・管理を行います。

## ■ J-COM: JEM Communicator (J-コム : JEM交信担当)

「きぼう」内の宇宙飛行士と実際に交信するのが J-COM です。「きぼう」内で機器の操作などを行う宇宙飛行士との音声によるコミュニケーションにより、宇宙飛行士と運用管制員の間で情報の橋渡しを行います。J-COM と宇宙飛行士の交信は英語で行われる一方、「きぼう」運用管制室内での会話や指示はすべて日本語のため、J-COM が英語にして宇宙飛行士に伝えます。

## ■ ARIES: Astronaut Related IVA and Equipment Support

### (アリーズ : 船内活動支援担当)

軌道上の宇宙飛行士の船内活動 (Intra-Vehicular Activity: IVA) を地上から支援したり、船内の機器や物品などの管理を行います。



図 5.1-1 「きぼう」日本実験棟の運用管制室の配置図 (©JAXA)

<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibo/operation/team/>

## ■ J-PLAN: JAXA Planner (J-プラン : 実運用計画担当)

「きぼう」運用の計画立案を行います。

宇宙飛行士の作業スケジュールを調整するのも J-PLAN の役割です。不具合が起きた場合などは、運用計画の変更・調整を行います。

※J-PLAN は、運用管制室には入りません。

## ■ JAXA EVA: JAXA Extravehicular Activity

### (ジャクサイーブイエー : 船外活動支援担当)

宇宙飛行士の「きぼう」に関わる船外活動 (Extra Vehicular Activity: EVA) 時および日本人宇宙飛行士の EVA 実施時に、技術面で地上から支援します。

※JAXA EVA は、運用管制室には入りません。

## 5.2. JEMシステム運用技術支援担当

JEM システム運用技術支援担当 (JET: JEM Engineering Team (ジェット)) は、「きぼう」の開発に携わったメンバーを中心に構成される、「きぼう」の技術支援チームです。JET は、「きぼう」運用管制室のバックルームで「きぼう」の運用をモニタし、JFCT を技術面で支援します。

「きぼう」が設計通りの性能を発揮しているかのデータ評価を行うと共に、「きぼう」の利用拡大を目的とした機能拡張機器の開発検討も進めています。

## 5.3. 実験運用管制チーム

「きぼう」実験運用管制チーム (Payload Flight Control Team: PL FCT) は、「きぼう」に搭載、設置されている実験装置の状態を、軌道上からリアルタイムで送られるデータをもとに監視し、地上からそれらの機器をコントロールして実験を遂行しています。

実験運用管制チームに関する詳しい情報は以下を参照下さい。

<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibo/operation/team/>

## 【付録3】 参考データ

### 1 歴代のISSコマンドー一覧

No.	人目	INC	Name	CDR	NASA	RS	JAXA	ESA	CSA
1	1	1	Bill Shepherd	1	1				
2	2	2	Yury Usachev	2		1			
3	3	3	Frank Culbertson	3	1				
4	4	4	Yury Onufrienko	4		1			
5	5	5	Valery Korzun	5		1			
6	6	6	Ken Bowersox	6	1				
7	7	7	Yuri Malenchenko	7		1			
8	8	8	Michael Foale	8	1				
9	9	9	Gennady Padalka	9		1			
10	10	10	Leroy Chiao	10	1				
11	11	11	Sergei Krikalev	11		1			
12	12	12	Bill McArthur	12	1				
13	13	13	Pavel Vinogradov	13		1			
14	14	14	Mike Lopez-Alegria	14	1				
15	15	15	Fyodor Yurchikhin	15		1			
16	16	16	Peggy Whitson	16	1				
17	17	17	Sergei Volkov	17		1			
18	18	18	Mike Fincke	18	1				
19		19/20	Gennady Padalka	19/20		1			
20	19	20/21	Frank DeWinne	21				1	
21	20	21/22	Jeff Willaims	22	1				
22	21	22/23	Oleg Kotov	23		1			
23	22	23/24	Alexander Skvortsov	24		1			
24	23	24/25	Doug Wheelock	25	1				
25	24	25/26	Scott Kelly	26	1				
26	25	26/27	Dmitri Kondratyev	27		1			
27	26	27/28	Andre Borisenko	28		1			
28	27	28/29	Mike Fossum	29	1				
29	28	29/30	Dan Burbank	30	1				
30	29	30/31	Oleg Kononenko	31		1			
31		31/32	Gennady Padalka	32		1			
32	30	32/33	Suni Williams	33	1				
33	31	33/34	Kevin Ford	34	1				
34	32	34/35	Chris Hadfield	35					1
35		35/36	Pavel Vinogradov	36		1			
36		36/37	Fedor Yurchikhin	37		1			
37		37/38	Oleg Kotov	38		1			
38	33	38/39	Koichi Wakata	39			1		
39	34	39/40	Steven Swanson	40	1				
40	35	40/41	Maxim Suraev	41		1			
41	36	41/42	Barry Wilmore	42	1				
42	37	42/43	Terry Virts	43	1				
43		43/44	Gennady Padalka	44		1			
44		45/46	Scott Kelly	45/46	1				
45	38	46/47	Tim Kopra	47	1				
46		47/48	Jeff Willams	48	1				
47	39	48/49	Anatoly Ivanishin	49		1			
48	40	49/50	R. Shane Kimbrough	50	1				
49		50/51	Peggy Whitson	51	1				
50		51/52	Fedor Yurchikhin	52		1			
51	41	52/53	Randy Bresnik	53	1				
52	42	53/54	Alexander Misurkin	54		1			
53	43	54/55	Anton Shkaplerov	55		1			
54	44	55/56	Drew Feustel	56	1				
55	45	56/57	Alexander Gerst	57				1	
56		58/59	Oleg Kononenko	58/59		1			
57	46	59/60	Aleksy Ovchinin	60		1			
58	47	60/61	Luca Parmitano	61				1	
59	48	61/62	Oleg Skripochka	62		1			
60	49	63	Chris Cassidy	63	1				
61	50	64	Sergey Ryzhikov	64		1			
62	51	64/65	Shannon Walker	64/65	1				
63	52	65/66	Akihiko Hoshide	65			1		

28 29 2 3 1