

JAXA 野口宇宙飛行士
ISS 長期滞在ミッション プレスキット

JAXA

挑戦を
やめない
生き物を、
人類と呼ぶ。

ISS EXPEDITION
SOICHI NOGUCHI

日本人初、次世代の民間宇宙船に搭乗。数々の人類初の挑戦とともに、光を求めてさらに遠くの宇宙へ。

@Astro_Soichi @JAXA_jp @JAXA_Kiboriya

国際宇宙ステーション長期滞在ミッション astro-mission.jaxa.jp/noguchi/

B版 2021年7月12日

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

目次

1	野口宇宙飛行士のプロフィール	1
2	野口宇宙飛行士の ISS 長期滞在ミッション概要	4
2.1	ロゴマーク等	5
2.2	ISS 長期滞在ミッションの体制	6
2.3	JAXA が実施予定の「きぼう」利用	8
3	クルードラゴン宇宙船（Crew-1）フライト.....	28
3.1	飛行計画概要	28
3.2	クルードラゴン宇宙船（Crew-1）搭乗クルー	29
3.3	クルードラゴン宇宙船（Crew-1）搭乗中の野口宇宙飛行士の任務	30
3.4	参考資料・参考写真.....	30

【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 2-16
 - 4.2. JAXA の実験ラック 付録 2-18
5. 運用管制付録 2-25
 - 5.1. 運用管制チーム 付録 2-27
 - 5.2. JEM システム運用技術支援担当..... 付録 2-29
 - 5.3. 実験運用管制チーム..... 付録 2-29

1 野口宇宙飛行士のプロフィール

野口 聡一（のぐち そういち）

- 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（米国）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 野口宇宙飛行士

表 1.1 野口宇宙飛行士の経歴

1965 年	神奈川県横浜市に生まれる。
1991 年	東京大学大学院工学系研究科航空学専攻修士課程修了。
1991 年	石川島播磨重工業（株）に入社。航空宇宙事業本部に所属し、ジェットエンジンの設計及び性能試験業務を担当。
1996 年 5 月 宇宙飛行士候補者に選抜	宇宙開発事業団（NASDA）（現 JAXA）が募集していた宇宙飛行士候補者に選定される。同年 6 月、NASDA 入社。同年 8 月から NASA が実施する第 16 期宇宙飛行士養成コースに参加。
1998 年 4 月 宇宙飛行士に認定	NASA ミッションスペシャリスト（搭乗運用技術者）として認定される。同年 7 月から 8 月、ロシアのガガーリン宇宙飛行士訓練センター（GCTC）における基礎訓練コースに参加。その後 NASA において MS の技量維持向上訓練を継続すると同時に、宇宙飛行士の立場から「きぼう」日本実験棟の開発支援業務に従事する。
2001 年 4 月	国際宇宙ステーション（ISS）組み立てミッションであるスペースシャトル（STS-114）の搭乗員に任命される。
2005 年 7 月 初回の宇宙飛行	スペースシャトル「ディスカバリー号」による STS-114 ミッションに参加。3 回の船外活動のリーダーとして、軌道上でのシャトル耐熱タイルの補修検証試験、ISS の姿勢制御装置などの交換や機器の取付けと回収を行う。3 回の船外活動の延べ時間は 20 時間 5 分。
2007 年 2 月	ISS 第 18 次長期滞在クルーのバックアップクルーに任命される。
2008 年 5 月	ISS 第 20 次長期滞在クルーのフライトエンジニアに任命される。 （後日、ISS 滞在番号が新たに設定され、ISS 第 22 次／第 23 次長期滞在クルーとなる。）
2009 年 12 月 ～2010 年 6 月 2 回目の宇宙飛行	日本人初のソユーズ宇宙船フライトエンジニアとして、ソユーズ TMA-17 宇宙船（21S）に搭乗。ISS 第 22 次／第 23 次長期滞在クルーのフライトエンジニアとして ISS に約 5 ヶ月半滞在し、「きぼう」日本実験棟ロボットアームの子アーム取付けや実験運用などを実施。 また、滞在期間中の 2010 年 4 月には、STS-131（19A）ミッションで山崎直子宇宙飛行士が到着。日本人宇宙飛行士が初めて軌道上に 2 人同時滞在し、様々な共同作業を実施。
2012 年 8 月 ～2016 年 3 月	JAXA 宇宙飛行士グループ長。
2014 年 9 月 ～2016 年 9 月	宇宙探検家協会（Association of Space Explorers: ASE）会長。（以降、アジア地区常任理事を継続。）
2019 年 7 月	米国が開発を進める有人宇宙船に搭乗して ISS へ向かうための訓練を開始。
2020 年 3 月	東京大学大学院工学系研究科先端学際工学専攻博士課程修了。博士（学術）。
2020 年 11 月 15 日～ （約半年間）（予定） 3 回目の宇宙飛行	クルードラゴン宇宙船（運用初号機）（Crew-1）に搭乗して、ISS 長期滞在クルーとして ISS に滞在。（予定）

野口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。

【野口宇宙飛行士 ISS 長期滞在ミッション特設サイト】

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

野口飛行士 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！野口宇宙飛行士 ISS MISSION」】

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

打上げの瞬間を生中継するスペシャル番組の配信や、野口宇宙飛行士と一緒に“挑戦”をすることで“応援”するキャンペーン「6 months mission challenge キャンペーン」等の企画を行います。



【野口宇宙飛行士 Twitter】 (https://twitter.com/Astro_Soichi)

野口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。



【JAXA 宇宙ステーション・きぼう広報・情報センター】 (<http://iss.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 野口宇宙飛行士のISS長期滞在ミッション概要

野口宇宙飛行士は、2020年11月15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、野口宇宙飛行士としては2回目、日本人宇宙飛行士としては9回目のISS長期滞在となります。

野口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。

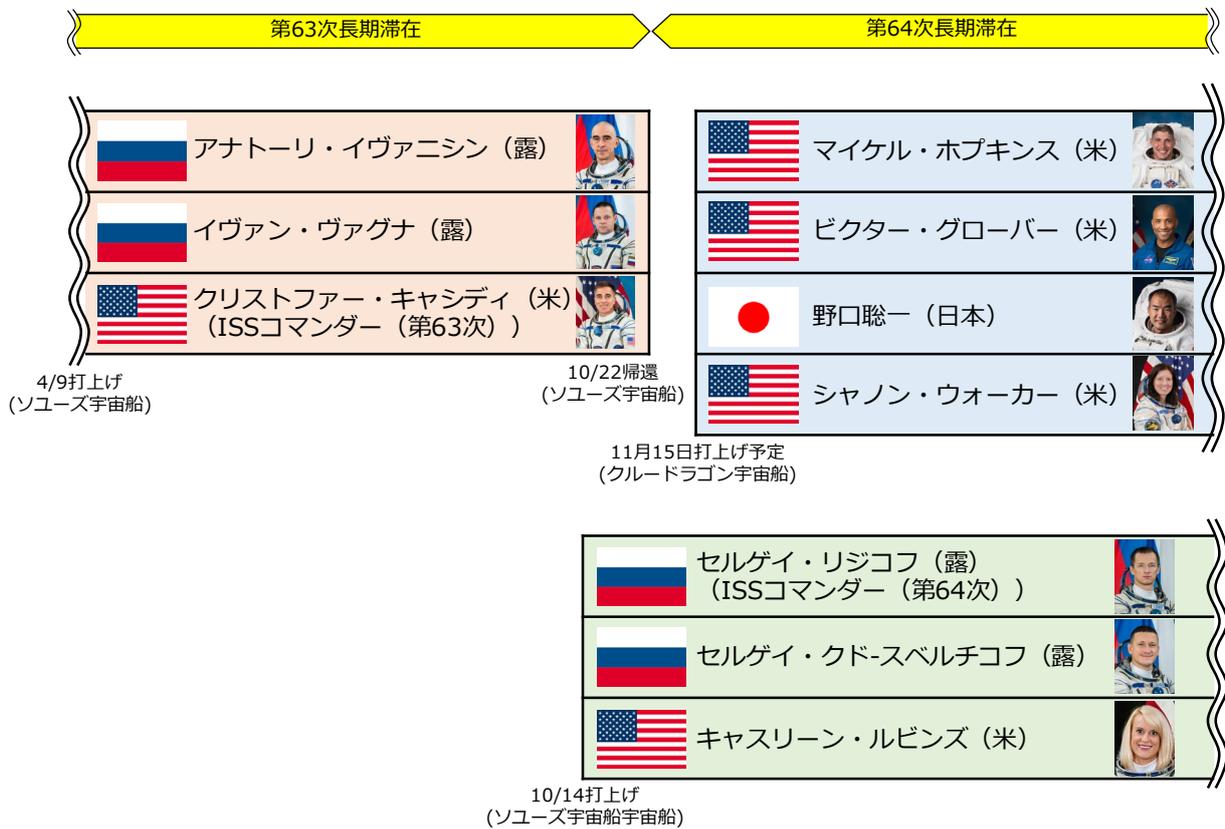


図 2-1 野口宇宙飛行士の打上げ前後のISS滞在クルー（2020/11/13時点）

2.1 ロゴマーク等

(1) 野口宇宙飛行士 ISS 長期滞在ミッションの JAXA ロゴマーク



(解説)

地球を包む3つのリングは、新たな宇宙開発・探査時代の幕開けとなる「転換点」、次世代宇宙船への日本人初の搭乗（「挑戦」）、そして日本人宇宙飛行士のISS長期滞在や、はやぶさ2帰還など、日本の宇宙開発にとって重要な年となる「2020」を表しています。

さらに、七角形と7つの星は7人の日本人宇宙飛行士を表しており、チームジャパンで野口宇宙飛行士を支えていくという決意を込めました。なお、一層強く頂点に輝く星が野口宇宙飛行士を表しています。

図 2.1-1 JAXA ロゴマーク

(2) 野口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。野口宇宙飛行士が滞在予定の期間（ISS 第 64 次長期滞在）の NASA ミッションパッチを図 2.3 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、野口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、野口飛行士の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 64 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 64 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 64 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）



井上 夏彦（いのうえ なつひこ）

図 2.2-1 インクリメントマネージャ（第 64 次長期滞在担当）

(2) リードフライトディレクタ (第 64 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)

島村 宏之 (しまむら ひろゆき)



(後半担当)

佐孝 大地 (さこう だいち)

図 2.2-2 リードフライトディレクタ (第 64 次長期滞在担当)

2.3 JAXAが実施予定の「きぼう」利用

野口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 ホームページ】

<https://iss.jaxa.jp/kibouser/>



(以下は、上記ホームページ内の一部です)

【「きぼう」利用 インクリメント 64 について】

<https://iss.jaxa.jp/kibouser/information/increment/64.html>

【「きぼう」利用状況と今後の予定一覧】

<https://iss.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://iss.jaxa.jp/kibouser/library/>

表 2.1 及び次ページ以降に、野口宇宙飛行士の ISS 長期滞在中に計画されている主な「きぼう」利用を示します。(その他の「きぼう」利用については、上記ホームページをご参照ください。)

表 2.3-1 野口宇宙飛行士の ISS 長期滞在中に計画されている主な「きぼう」利用
 (野口宇宙飛行士が担当するテーマは、今後の ISS 運用調整の中で決定されます。)

テーマ名	備考
宇宙探査に向けた、「きぼう」を用いた技術実証	
(1) 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 (宇宙火災安全テーマ) (FLARE)	
社会課題への貢献や、新たな「きぼう」利用需要の創出	
(2) 微小重力環境を活用した立体培養技術の開発 (Space Organogenesis)	
(3) 新たな創薬需要創出に向けた膜タンパク質結晶化技術実証 (JAXA MT PCG#5) 及び高品質タンパク質結晶生成実験 (JAXA LT PCG#6)	
(4) 静電浮遊炉 (ELF) を使用した高精度熱物性測定	
地球低軌道利用の経済活動発展に向けた取り組み	
(5) 超小型衛星放出ミッション (J-SSOD)	
(6) 宇宙放送局 (Space Studio KIBO)	きぼう有償利用
(7) アバター体験技術の実証実験 (Kibo Avatar-X)	きぼう有償利用
人材育成、社会貢献、国際貢献	
(8) アジア・太平洋地域のハーブ種子を利用した植物実験プロジェクト (Asian Herb in Space)	
(9) 東北復興宇宙ミッション 2021 (TOHOKU2021)	きぼう有償利用

(1) 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（宇宙火災安全テーマ）（FLARE）（研究代表者：北海道大学 藤田修教授）

＜宇宙探査に向けた、「きぼう」を用いた技術実証＞

① 研究目的

固体材料の燃焼性、特に燃焼限界条件が微小重力環境において通常重力環境と比べどのように変化するかを明らかにし、微小重力環境における材料燃焼性評価の国際基準を日本が主導して作成することを目的としています。

② 宇宙実験の内容

「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（図 2.3-1）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。実験試料には、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まれています。

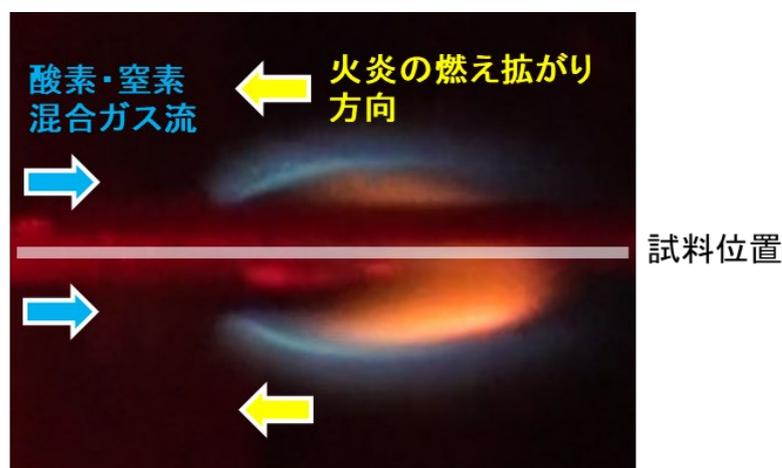


図 2.3-1 微小重力環境において、酸素・窒素混合ガス流の中で固体試料（厚さ約 0.1 mm のアクリルシート）上を燃え広がる火炎の写真（航空機実験による取得画像）

③ 期待される利用／研究成果

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することにより、固体材料の燃焼限界に与える重力の影響を解明できます。これに基づき、微小重力環境における材料燃焼性評価について、科学的な合理性を有する新手法の構築と検証が期待できます。

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あり、国際的な評価基準の構築・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。

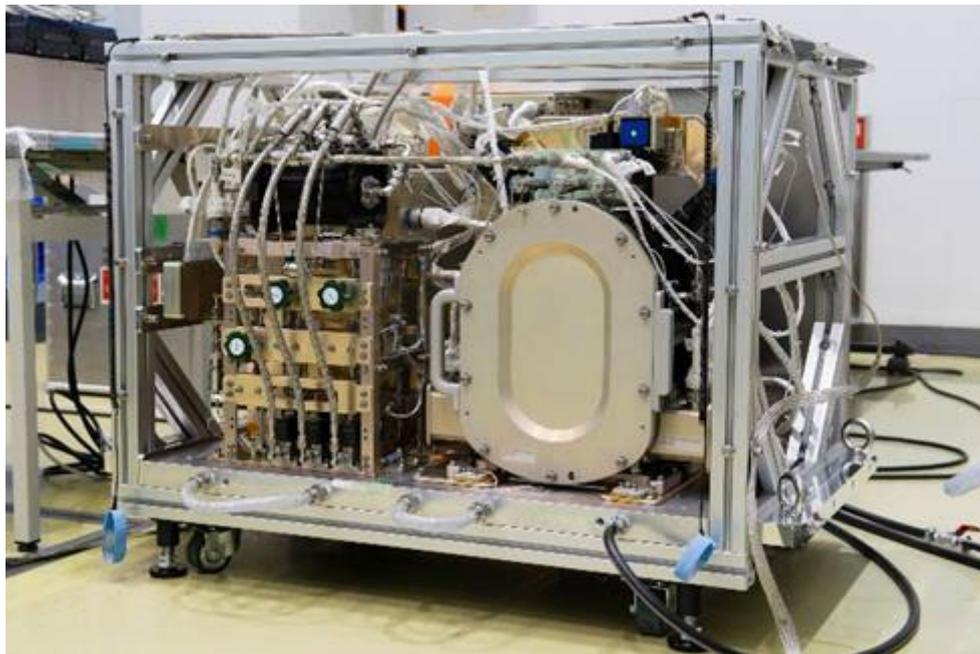


図 2.3-2 固体燃焼実験装置 (SCEM)

(2) 微小重力環境を活用した立体培養技術の開発（Space Organogenesis）（研究代表者：横浜市立大学／東京大学 谷口英樹教授）

<社会課題への貢献や、新たな「きぼう」利用需要の創出>

① 研究目的

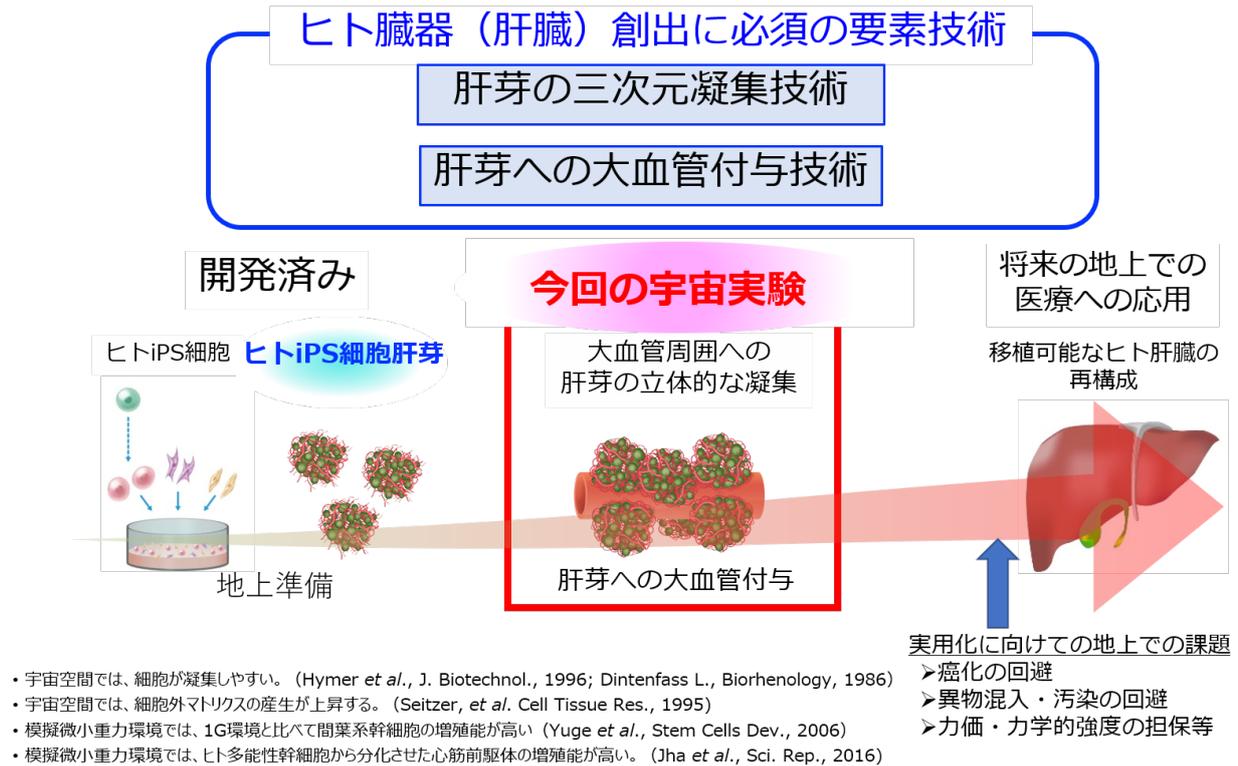
宇宙空間における微小重力では沈降や対流などが無く静かな環境のため、細胞をより生体内の状態に近い三次元的に展開させることにおいて有利だと考えられます。その環境を活用することで、iPS細胞を用いたヒト器官原基創出法を発展させ、大血管を付与した立体臓器の創出を目指した基盤技術開発を行うことを目的とします。

② 宇宙利用/実験内容

地上において、ヒト由来のiPS細胞から分化させた肝前駆細胞、血管内皮細胞、間葉系細胞から作製した肝臓の基（原基）となる肝芽を作製し、血管様構造体と共に封じ込めた培養容器を「きぼう」に打ち上げます。

「きぼう」内に設置されたインキュベータ内で肝芽を所定の期間培養したのち、地上に回収し、その成長の違いなどを地上で培養した対照群と比較し、臓器原基成長における重力の影響について解析を行います。

今回の宇宙実験では、大血管周囲への肝芽の立体的な凝集を確認することを目的としています。



宇宙の環境を利用した立体培養の可能性の検討

図 2.3-3 宇宙実験の意義と微小重力の優位性

③ 期待される利用/研究成果

宇宙実験で得られた研究結果を通じて、(1)再生医療等製品の実用化に必須であるヒト立体組織の保存技術・輸送への応用、(2)大血管が付与された新規ヒト臓器の作製のための技術基盤の構築、それによる移植医療・再生医療への応用開発が可能であることの提示、(3)地上での臓器形成の必要条件の抽出、(4)地上における模擬微小重力環境を活用した新規三次元培養装置の開発等のヒト臓器製造の技術革新の加速、等が期待されます。

(3) 新たな創薬需要創出に向けた膜タンパク質結晶化技術実証（JAXA MT PCG#5）及び高品質タンパク質結晶生成実験（JAXA LT PCG#6）

<社会課題への貢献や、新たな「きぼう」利用需要の創出>

① 概要

対流や沈降のない微小重力環境で、疾病関連タンパク質や機能性タンパク質等、構造解析ニーズが高いタンパク質の高品質な結晶の生成を行います。結晶は地上に持ち帰り、SPring-8などの大型放射光施設を利用して、精密な構造解析を行い、創薬や工業的利用への応用を図ります。

② 実験内容（2種類の実験を行います。）

JAXA MT PCG#5 実験では、20℃において、JAXA の技術開発として実施中の膜タンパク質の結晶化を行います。創薬標的の約半分が膜タンパク質であることから、今回の実験が成功すれば今後に向けての大きなステップとなることが期待されます。初めて、「きぼう」船内で宇宙飛行士がタンパク質と脂質を混合した上で結晶化容器にタンパク質を分注し、結晶化を行います。



図 2.3-4 膜タンパク質結晶化用器具

JAXA LT PCG#6 実験では、4℃で結晶化を行います。通常は20℃で結晶化が行われますが、4℃でないといふ結晶にならない試料もあり、そうしたニーズに応えます。生体イメージング技術への応用が期待できる蛍光タンパク質、自己免疫疾患治療薬や抗がん剤の開発につながるタンパク質などを搭載し、様々な社会課題の解決に貢献します。なお、結晶化開始作業は宇宙飛行士が実施します。

(4) 静電浮遊炉（ELF）を使用した高精度熱物性測定

<社会課題への貢献や、新たな「きぼう」利用需要の創出>

① 概要・宇宙実験の意義

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、レーザ加熱により非接触で溶融・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。

② 実験内容

直径約2mmの試料を浮遊させ、レーザ加熱により溶融し、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。

③ 野口宇宙飛行士の長期滞在中に測定予定の実験サンプル

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、溶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できることを可能とし、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。
- ◇ 相関の解明のためには第一原理計算、分子動力学シミュレーションを行い、機械学習といったデータ科学の援用を受け、マグマの構造物性研究など地球科学への波及効果を見据えた高温液体の新しい学理を創製し、新奇非平衡材料創製へのフィードバックを試みる。

C) 実験テーマ「酸化ガリウムの融液物性測定」(研究代表者：AGC 株式会社事業開拓部)

- ◇ 次世代パワー半導体デバイス材料として研究が進められている酸化ガリウムの密度・表面張力・粘性を測定する。
- ◇ これまで知見が少なかった酸化ガリウムの融液物性値を測定することで、結晶育成における物理現象をより高精度に数値シミュレーションすることが可能になると期待される。

◇ 今回の実験は、酸化ガリウムの基礎物性の理解を深めるという学術的意義があるとともに、実用面では酸化ガリウム結晶技術開発の加速に貢献する。

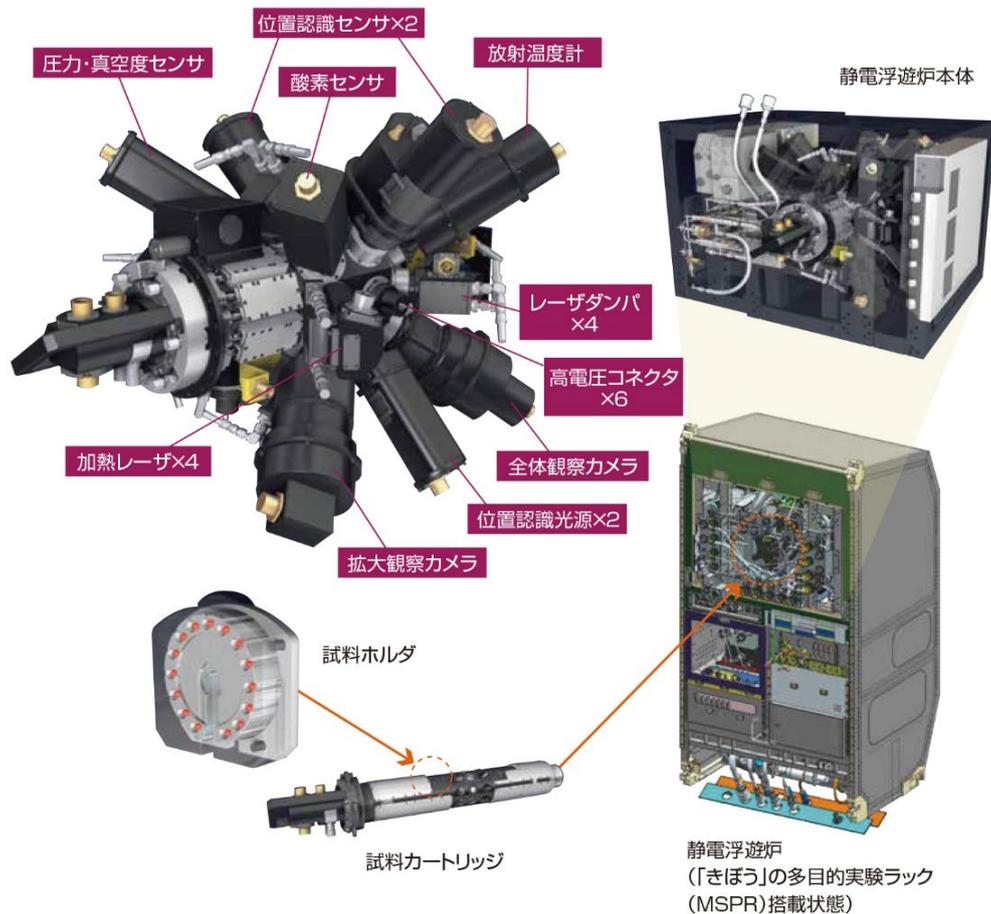


図 2.3-5 静電浮遊炉の構成

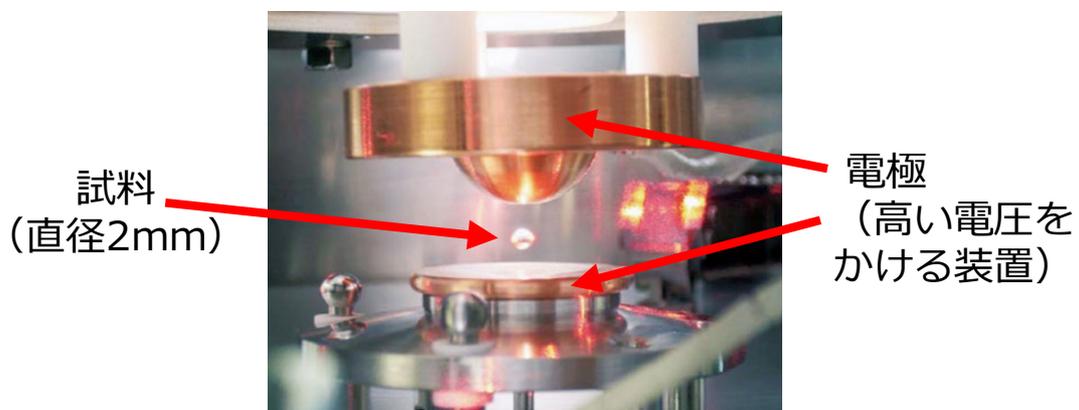


図 2.3-6 試料を浮遊させた様子

(5) 超小型衛星放出ミッション (J-SSOD)

<地球低軌道利用の経済活動発展に向けた取り組み>

① 概要

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。

新規開発した放出機構 (J-SSOD-R) によって、放出可能な衛星数が従来の 6 U から 24U に増強し、かつ軌道上で宇宙飛行士が衛星を装填できるようになります。2021 年前半には、J-SSOD-R の下段 2 スロットを軌道上に配備予定で、J-SSOD-R を初めて使用して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する予定です。

また、50kg 級の超小型衛星に対応した放出機構によって、民間事業者を通じた初の 50kg 級衛星の放出も予定されています。

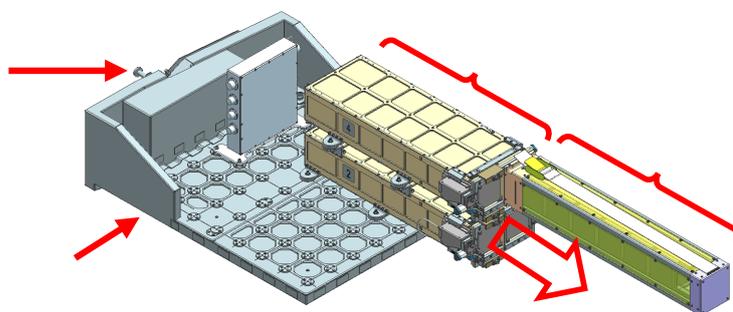


図 2.3-7 新規開発した超小型衛星放出機構 (J-SSOD-R)



図 2.3-8 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)

② JAXA が開発した超小型衛星放出機構（J-SSOD）について

（参考ホームページ）

【JAXA 小型衛星放出機構（J-SSOD）によって放出された超小型衛星】

<https://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/ef/jssod/history/>

表 2.3-2 JAXA が開発した超小型衛星放出機構の変遷

2012年10月	CubeSat 規格（1U, 2U または 3U ^(※1) ）に対応した放出機構（J-SSOD）を開発し、5機の放出に成功。
2016年4月	50kg 級の超小型衛星に対応した放出機構（J-SSOD M）を開発し、フィリピン国産衛星第1号となる「DIWATA-1」の放出に成功。
2017年1月	CubeSat 規格に対応した放出機構（J-SSOD）について、最大12UまでのCubeSatが放出できるように容量を倍増。
2021年前半 （予定）	最大24Uまで放出できる装置（J-SSOD-R）を新たに開発し、今回24U分の装置を使用し超小型衛星を放出予定。

（※1）CubeSat 規格衛星：縦 10cm x 横 10cm x { 1U：高さ 10cm
2U：高さ 20cm
3U：高さ 30cm

③ 国際協力、国際貢献

「きぼう」からは、ISS 計画に参画していない国の超小型衛星も数多く放出してきました。以下に、主な海外衛星の放出実績を示します。

表 2.3-3 主な海外衛星の放出実績

2015 年 2 月	<u>ブラジル</u> 初の超小型衛星 (AESP-14) を放出。
2016 年 4 月	<u>フィリピン</u> 国産衛星第 1 号となる「DIWATA-1」を放出。
2017 年 6 月	九州工業大学が取りまとめを担う衛星開発・運用プロジェクト (BIRDS) として、各国の学生 (<u>ガーナ、モンゴル、バングラデシュ、ナイジェリア</u> 、日本) が開発した超小型衛星 (5 機) を放出。
2018 年 4 月	JAXA と国連宇宙部との連携協力 (KiboCUBE) に基づき、 <u>ケニア</u> 初の超小型衛星 (1KUNS-PF) を放出。
2018 年 8 月	BIRDS プロジェクト (2 回目) として、 <u>ブータン、フィリピン、マレーシア</u> の留学生が開発した超小型衛星 (3 機) を放出。
2019 年 6 月	BIRDS プロジェクト (3 回目) として、 <u>ネパール、スリランカ</u> 、日本の留学生が開発した超小型衛星 (3 機) を放出。
2019 年 11 月	<u>ルワンダ</u> の人材育成・技術力向上等を目的として東京大学と開発した超小型衛星 (RWASAT-1) を放出。
2020 年 3 月	JAXA と国連宇宙部との連携協力 (KiboCUBE) に基づく第 2 回目として、 <u>グアテマラ</u> 初の超小型衛星 (Quetzal-1) を放出。
2021 年前半 (予定)	BIRDS プロジェクト (4 回目) として、 <u>フィリピン、パラグアイ</u> の留学生と日本の学生が開発した超小型衛星 (3 機) を放出予定。

④ 民間事業者による超小型衛星放出事業

2018年5月、JAXAは、「きぼう」の利用事業について、民間等による事業自立化を目指し、超小型衛星放出事業の民間事業者を選定しました。

超小型衛星の市場は今後も世界的な拡大が見込まれており、民間事業者ならではのアイデアにより、国内外に広く独自のサービスを提供することで、更なる超小型衛星放出の利用需要を拡大し、「きぼう」を含む地球低軌道利用の発展につなげていく計画です。

(超小型衛星放出事業者)

◇ 三井物産エアロスペース株式会社 (<http://aerospace.mitsui.co.jp/>)

◇ Space BD 株式会社 (<https://space-bd.com/>)



図 2.3-9 民間事業者選定に関する記者会見（2018年5月29日）

(6) 宇宙放送局 (Space Studio KIBO)

<地球低軌道利用の経済活動発展に向けた取り組み>

ミッション実施者：(株)バスキュール (「きぼう」有償利用)

JAXA 宇宙イノベーションパートナーシップ (J-SPARC) の宇宙メディア事業として、「きぼう」内に番組スタジオ「KIBO 宇宙放送局」を開設し、宇宙に設置したディスプレイを介して、宇宙と地上でリアルタイムコミュニケーションが楽しめる、双方向ライブ番組配信です。

独自のプロトコルやアプリによる双方向ライブ番組配信システムや、JAXA 外の民間スタジオから「きぼう」の機器 (アプリ) を遠隔操作するシステム等を開発し、2020年8月12日、「きぼう」と地上間の双方向ライブ番組配信に、世界で初めて成功しました。また、一般の視聴者からの映像やメッセージを宇宙空間でライブ紹介する等、数多くの技術実証にも成功しました。

今回は、上記システムをさらに技術的に発展させ、KIBO 宇宙放送局の第2回目の放送 (技術実証) を行います。



図 2.3-10 KIBO 宇宙放送局 (第1回放送) (8月12日) の配信映像

(7) アバター体験技術の実証実験 (Kibo Avatar-X)

＜地球低軌道利用の経済活動発展に向けた取り組み＞

ミッション実施者：有人宇宙システム(株)/avatarin(株)（「きぼう」有償利用）

avatarin 株式会社が開発した「新型エンコーダの軌道上実証」を行う。

また、開発されたエンコーダを用いて、一般の人々が世界で初めて国際宇宙ステーション(ISS)を利用した「アバター体験」を行う。

ISS 日本実験モジュール「きぼう」の窓から宇宙を撮影した動画を特設会場に配信する。また、特設会場から、一般の人々が「きぼう」船内のカメラシステムを操作することにより、アバター体験を行う。



図 2.3-11 宇宙アバター「space avatar」体験イメージ

(8) アジア・太平洋地域のハーブ種子を利用した植物実験プロジェクト (Asian Herb in Space)

<人材育成、社会貢献、国際貢献>

(参考ホームページ)

【Asian Herb in Space プロジェクト】(英語ページ)

<https://iss.jaxa.jp/en/kuoa/ssaf/2020.html>

① 概要

ハーブ（バジル）の種子が埋め込まれた植物栽培容器を「きぼう」船内に取り付け、宇宙飛行士が給水・補水することでハーブを約1か月間栽培します。成長したハーブは、地上に凍結回収し、日本とマレーシアの研究者が、香り成分、茎の細胞壁物性、代謝産物等に関する解析・評価を行います。

また、アジア・太平洋地域から提供された種子を打ち上げ、ISSで保管後に地上回収し、各国に返還した後、種子は科学教育等に活用される予定です。

当該プロジェクトには、現在のところ11か国・地域が参加しています。

② 意義・目的

アジア・太平洋地域における研究者の育成・発掘および宇宙機関における専門家の育成を図ることを目的として、比較的取り組みやすい植物を用いて、植物の宇宙環境応答に関する簡易な宇宙生物学実験を行います。

また、アジア・太平洋地域の宇宙機関が、これら研究成果の紹介と青少年への宇宙飛行種子を使った科学実験を行うことを通して、各国の宇宙環境利用への興味と関心を高め、「きぼう」利用の促進を図ります。



図 2.3-12 栽培容器で育つバジル（地上試験の様子）



図 2.3-13 オーストラリアの種子の引き渡し（2020年8月27日）
（左：リチャード・コート駐日オーストラリア大使、右：JAXA 佐々木宏理事）



図 2.3-14 「きぼう」に打ち上げるアジア・太平洋地域の種子

(9) 東北復興宇宙ミッション 2021 (TOHOKU2021)

<人材育成、社会貢献、国際貢献>

ミッション実施者：一般財団法人ワンアース（「きぼう」有償利用）

① 概要

東日本大震災から 10 年を迎えるにあたり、日本から全世界に向けて、復興支援への感謝の気持ちと、震災の記憶と教訓を伝承するためのメッセージを発信する映像を撮影する予定です。

具体的には、「きぼう」の船内でハイビジョンビデオカメラ（XF-305）を使用して、JAXA 宇宙飛行士がメッセージを読み上げる様子や、「きぼう」に持ち込んだ横断幕等を撮影する予定です。

② 詳細

福島・宮城・岩手三県を中心とし、震災の記憶と復興のイメージを語る画像、物品、言葉を打ち上げる予定です。

- 「きぼう」内に、震災の記憶と復興のイメージをプリントした横断幕を広げ、一眼レフで全体像を撮影後、ハイビジョンビデオカメラで拡大像を撮影する予定です。また、被災者から集めた世界への感謝のメッセージを宇宙飛行士に読み上げてもらい、その模様をハイビジョンビデオカメラで撮影する予定です。これらの映像は、2021 年 3 月 11 日に公開する予定です。
- 被災地から集めた花や農作物の種などの記念品を ISS に打ち上げる予定です。種は、後日地上に回収し、地域活性化や震災の記憶と教訓の伝承に活用していく予定です。



図 2.3-15 東北復興宇宙ミッション 2021 のイメージ図 ((一財) ワンアース作成)

3 クルードラゴン宇宙船（Crew-1）フライト

3.1 飛行計画概要

クルードラゴン宇宙船（Crew-1）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-1） 飛行計画概要
(2020年11月13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-1（クルードラゴン宇宙船の運用初号機）
打上げ日時	2020年11月15日（日） 午前9時49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	2020年11月15日（日） 午後6時20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-1 のミッションパッチ（©JAXA/NASA）

3.2 クルードラゴン宇宙船（Crew-1）搭乗クルー



図 3.1-2 クルードラゴン宇宙船（Crew-1）搭乗クルー

(図 3.1-2 左から)

シャノン・ウォーカー宇宙飛行士 (NASA)

- ◇ Crew-1 ミッションスペシャリスト
- ◇ 飛行経験：1回（2010年（ソユーズ宇宙船））
- ◇ 略 歴：<https://www.nasa.gov/astronauts/biographies/shannon-walker/biography>

ビクター・グローバー宇宙飛行士 (NASA)

- ◇ Crew-1 パイロット
- ◇ 飛行経験：なし
- ◇ 略 歴：<https://www.nasa.gov/astronauts/biographies/victor-j-glover/biography>

マイケル・ホプキンス宇宙飛行士 (NASA)

- ◇ Crew-1 コマンダー
- ◇ 飛行経験：1回（2014年（ソユーズ宇宙船））
- ◇ 略 歴：<https://www.nasa.gov/astronauts/biographies/michael-s-hopkins/biography>

野口聡一宇宙飛行士 (JAXA)

- ◇ Crew-1 ミッションスペシャリスト
- ◇ 飛行経験：2回（2005年（スペースシャトル）、2009年（ソユーズ宇宙船））
- ◇ 略 歴：表 1.1 及び JAXA HP (<https://iss.jaxa.jp/astro/noguchi/>) 参照

3.3 クルードラゴン宇宙船（Crew-1）搭乗中の野口宇宙飛行士の任務

野口宇宙飛行士は、Crew-1 ミッションスペシャリストとして、同乗するコマンド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

【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>

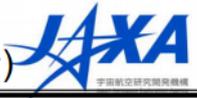
（以下は、上記ホームページ内の一部です）

【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>

1. 米国商業有人宇宙船(USCV)開発の経緯・概要

1.2 USCV機体と打上げロケット概要(スペースX社/クルードラゴン)



クルードラゴン & トランクアセンブリ

ノーズコーン

与圧セクション

サービスセクション

トランク

ソーラーアレイ

クルードラゴン

キャビン内部

スーパードラゴエンジン (アポード用)

© 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: LC39A
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)
アポード手段	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 (フライバック機能があるが、有人ミッションには再使用しない)
- Merlin Engine
- 9基搭載
- 噴射時間 162秒
- 7607 kN(1.7m lbf) 推力

- 打上げ実績: 83回* (内打上げ失敗2回)
- *2020年4月7日現在
- 打上げ成功率: 97.59%

© NASA

源泉: NASA CCP Press Kit 等

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
(第56回宇宙開発利用部会(2020/5/27)資料56-5-2より)



図 3.4-2 宇宙船内に着席した Crew-1 搭乗クルー (右端が野口宇宙飛行士)



図 3.4-3 (参考) 搭乗クルーの出発風景 (2020 年 5 月の有人飛行試験)



図 3.4-4 (参考) クルードラゴン宇宙船の打上げ (2020 年 5 月の有人飛行試験)



図 3.4-5 (参考) ISS にドッキング中のクルードラゴン宇宙船 (2020 年 6 月)

【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。

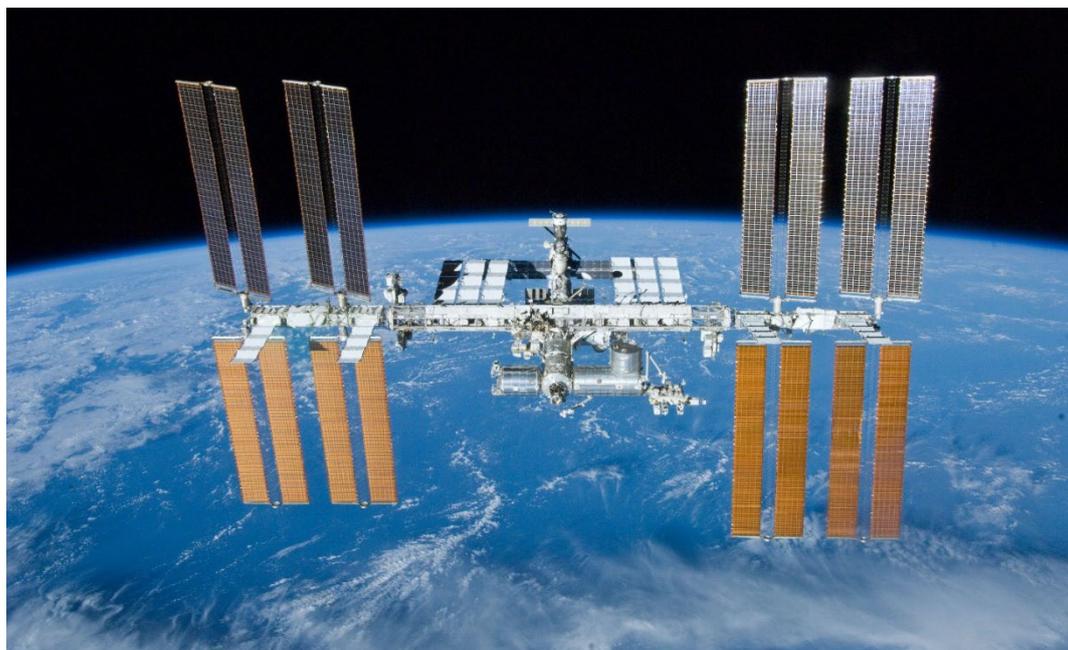


図 1-1 ISS (2010 年撮影) (©JAXA/NASA)

<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://iss.jaxa.jp/kiboresults/benefits/>

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 ³	
与圧モジュール	実験モジュール (4 棟)	<ul style="list-style-type: none"> ・「デスティニー」(米国実験棟) ・「コロンバス」(欧州実験棟) ・「きぼう」日本実験棟 ・ロシアの多目的実験モジュール (MLM) (今後打上げ予定)
	結合モジュール (3 棟)	<ul style="list-style-type: none"> ・「ユニティ」 ・「ハーモニー」 ・「トランクウィリティー」
	その他モジュール (保管庫など)	<ul style="list-style-type: none"> ・「クエスト」(エアロック) ・恒久型多目的モジュール (PMM) ・「ザーリャ」(基本機能モジュール) ・「ズヴェズダ」(ロシアのサービスモジュール) ・「ピアース」(ロシアのドッキング室) ・「ラスヴェット」(ロシアの小型研究モジュール 1) ・「ポイスク」(ロシアの小型研究モジュール 2)
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。

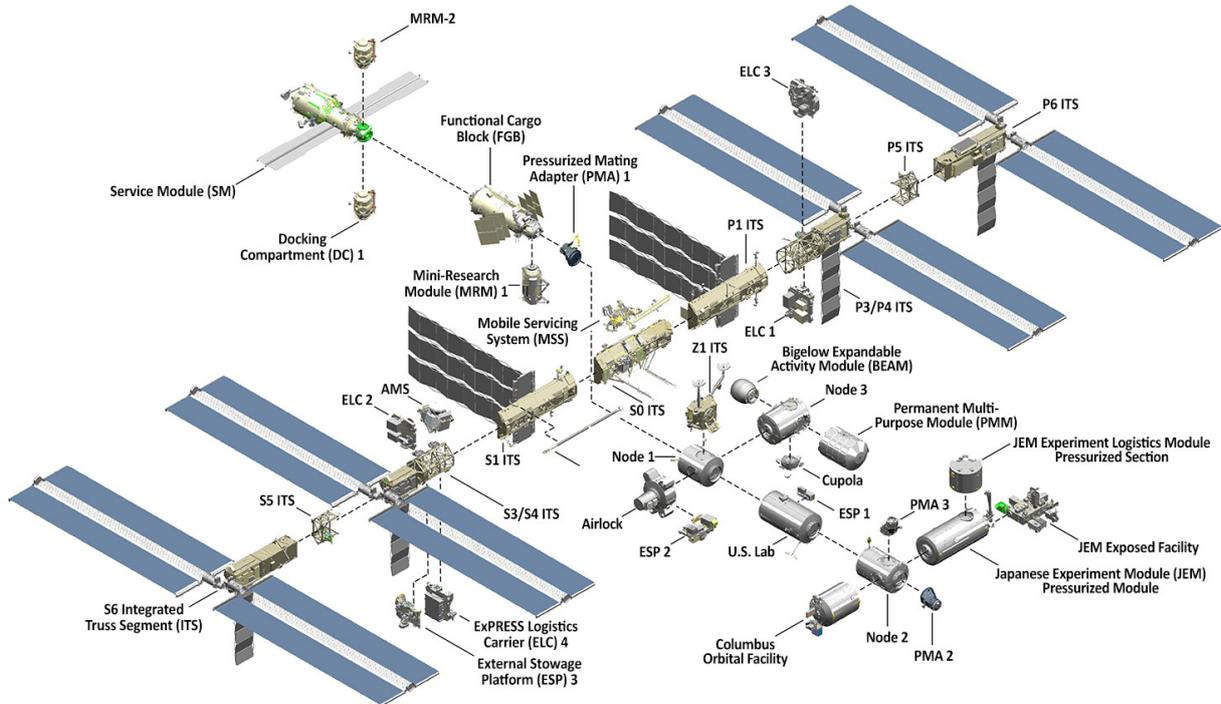


図 2-1 ISS の構成 (2020/7/17 時点) (©NASA)

<https://www.nasa.gov/feature/facts-and-figures>

(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 3.1-1 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)

睡眠
朝食（1 時間）
洗顔等（30 分）
作業確認(2 時間) ※地上との交信含む
作業（午後と併せて合計 6 時間半）
昼食（1 時間）
作業
体力維持エクササイズ（2 時間半）
夕食（1 時間）
自由時間（1 時間）
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。個室内は、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）

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-2/html/iss002e5730.html>



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）

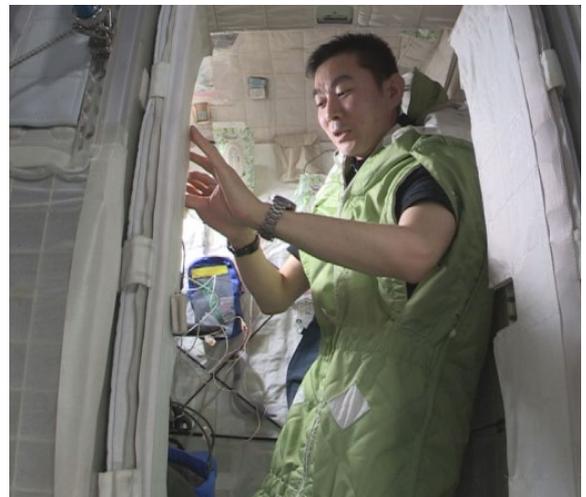


図 4.1-4 寝袋に入って説明する油井宇宙飛行士（右）（©JAXA）

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=967abe5014ecc4a521af30bcba60323d>

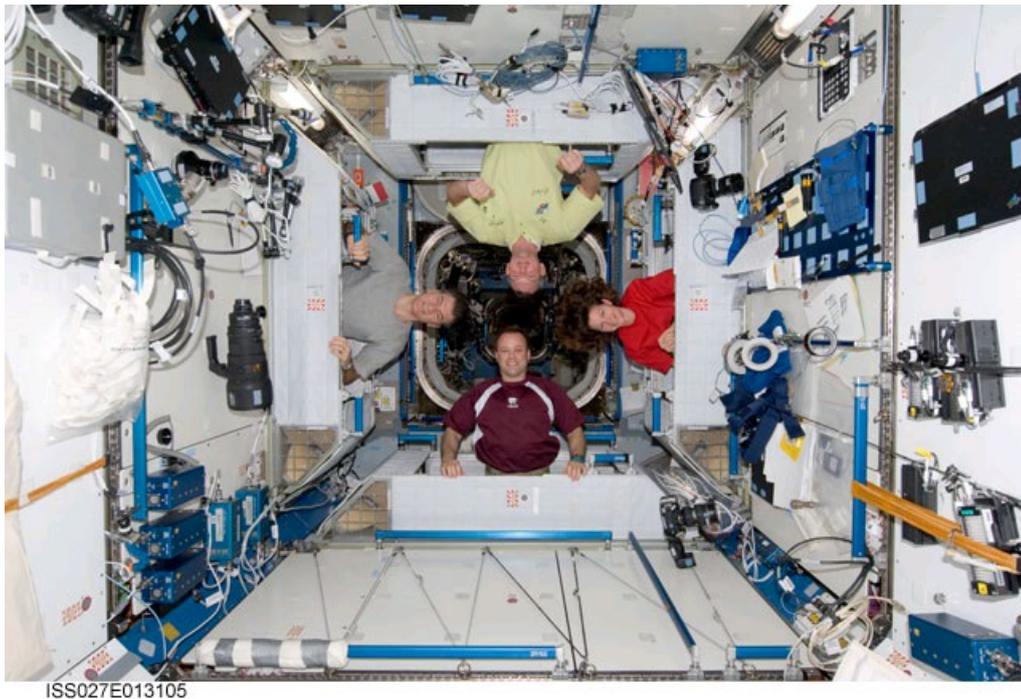


図 4.1-5 ハーモニーに設置された4つの個室 (©NASA)

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-27/html/iss027e013105.html>

(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)

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-6/html/iss006e20909.html>



※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> (左の写真)

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

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。

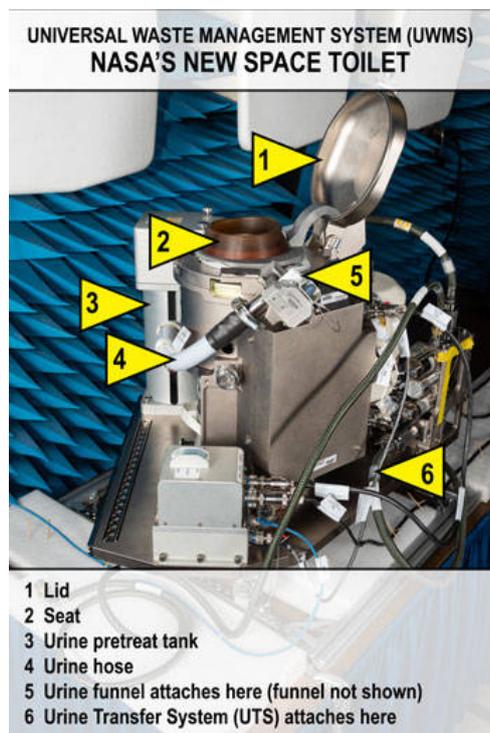


図 4.1-8 2020 年打ち上げられた米国の新しいトイレ (UWMS) (©NASA)

<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、ウエ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し、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がって使わなくなり、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>

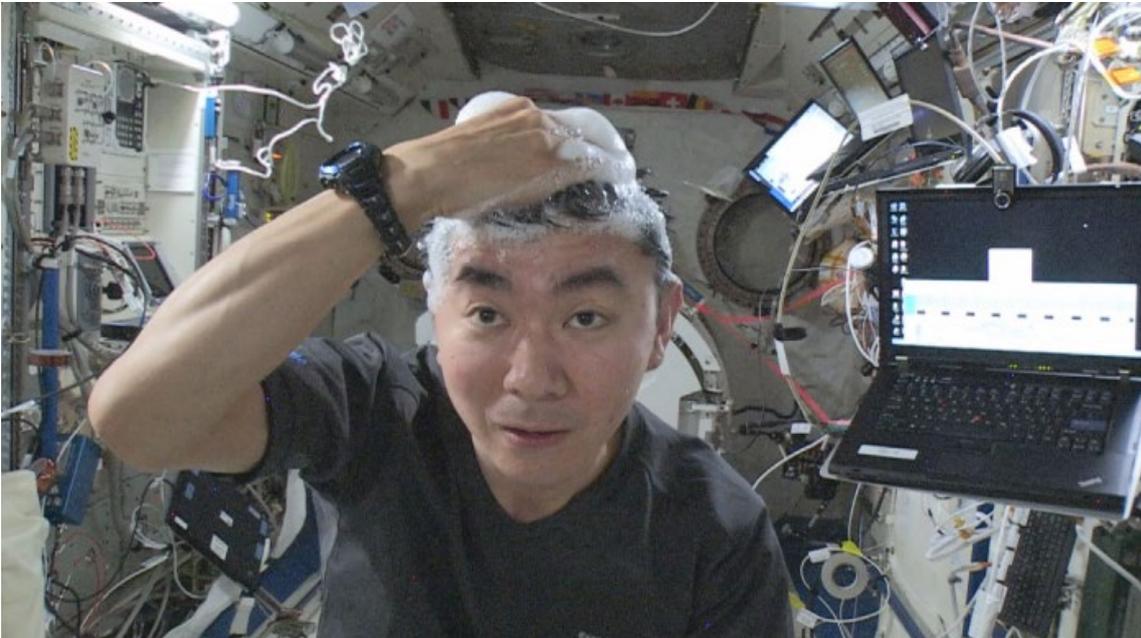


図 4.1-10 宇宙で洗髪する油井宇宙飛行士 (©JAXA)

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、野口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。

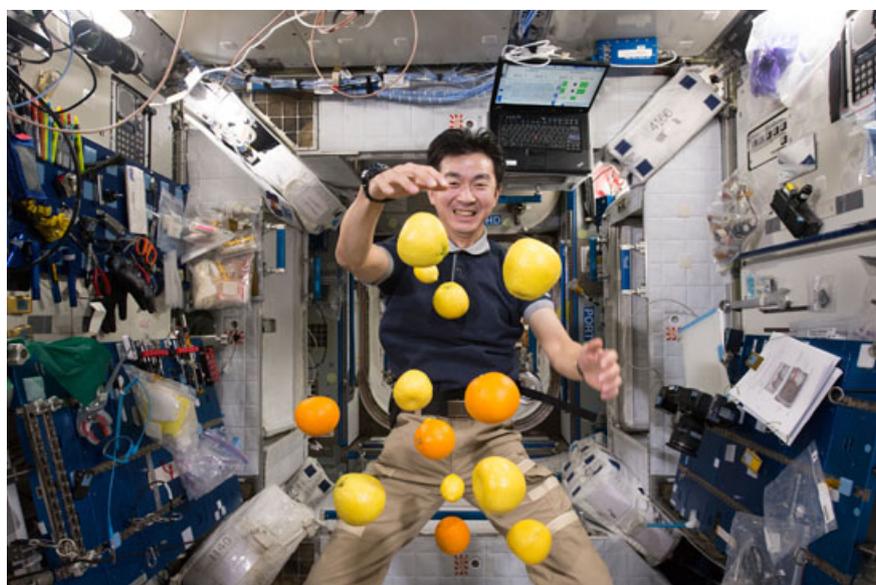


図 4.1-11 「こうのとりのこころ」5 号機で運ばれた果物（オレンジ、レモン）を浮かべる油井宇宙飛行士 ©JAXA/NASA

<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。

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-15/html/jsc2007e25382.html>



図 4.1-13 クリスマスの飾り付け(「ズヴェズダ」内) (©NASA)

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-14/html/iss014e10250.html>

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、ベルクロテープ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。

2015年3月22日 油井宇宙飛行士の Twitter より

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



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

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/l/>



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/l/>

(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に工夫がされています。

宇宙食とは

<https://iss.jaxa.jp/spacefood/overview/>

宇宙食の役割

<https://iss.jaxa.jp/spacefood/overview/function/>

宇宙食の種類

<https://iss.jaxa.jp/spacefood/overview/category/>

■ 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://iss.jaxa.jp/spacefood/>

宇宙日本食とは

<https://iss.jaxa.jp/spacefood/about/>

認証された宇宙日本食

<https://iss.jaxa.jp/spacefood/about/japanese/>

<https://astro-mission.jaxa.jp/noguchi/#collaboration>

■ 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)

JAXA が搭載する生鮮食品

<https://iss.jaxa.jp/spacefood/freshfood/>

(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 (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。

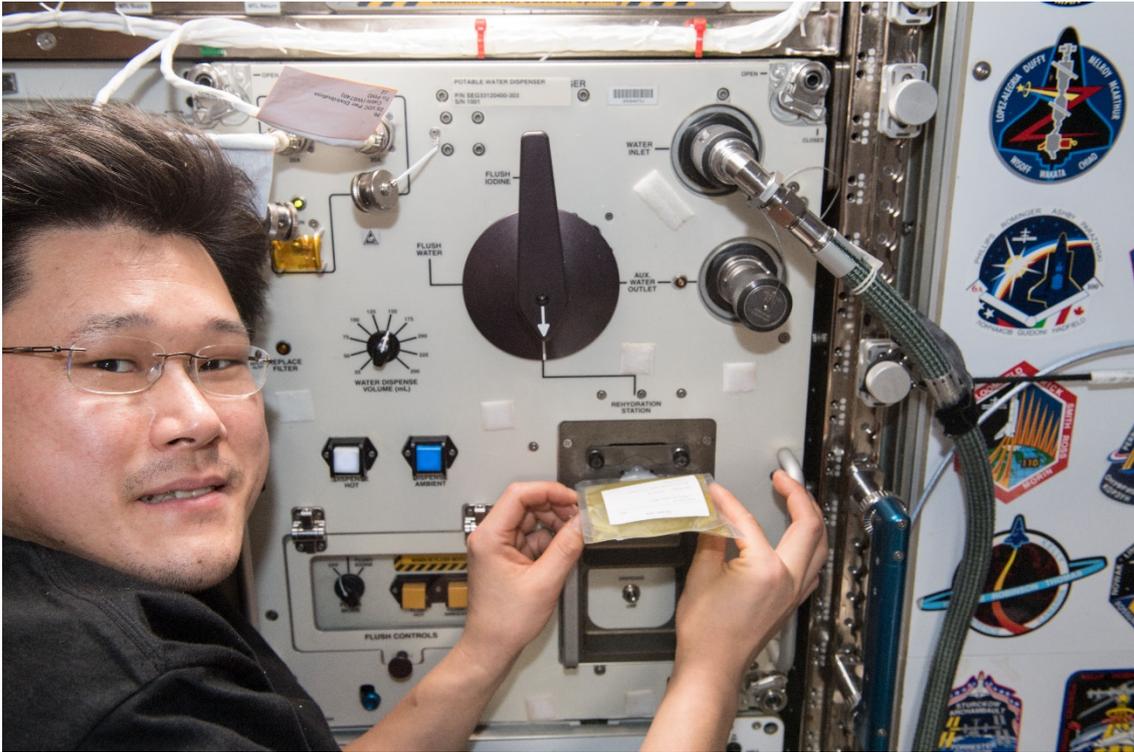


図 4.2-3 水供給装置 (PWD) から宇宙日本食 粉末緑茶にお湯を注入する金井宇宙飛行士
(©JAXA/NASA)

<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

(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が、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

(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)

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-20/html/iss020e005790.html>



図 4.3-4 ロシアの VELO (右) (©NASA)

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-2/html/iss002e6136.html>

(3)筋力トレーニング装置 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、それまでの筋力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。

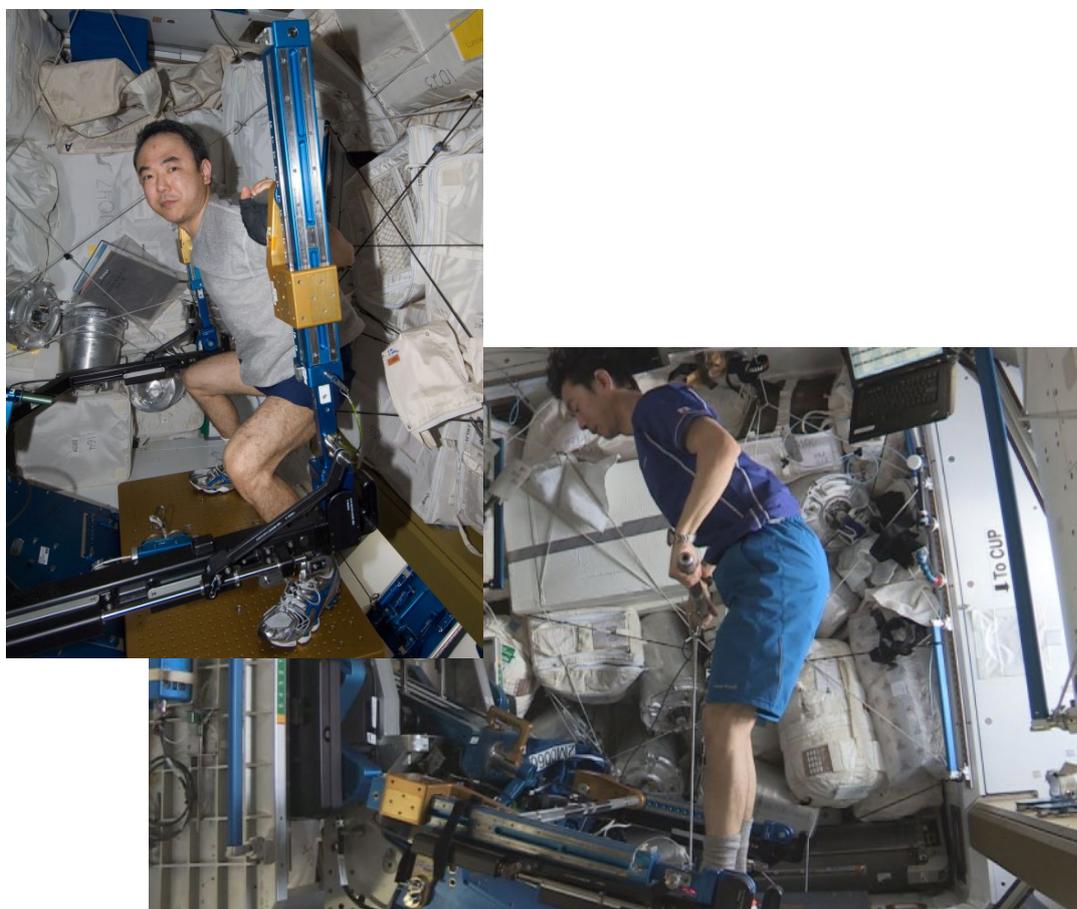


図 4.3-5 ARED で運動する古川／油井宇宙飛行士(©NASA/JAXA)

<https://iss.jaxa.jp/library/photo/iss029e039869.php> (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。

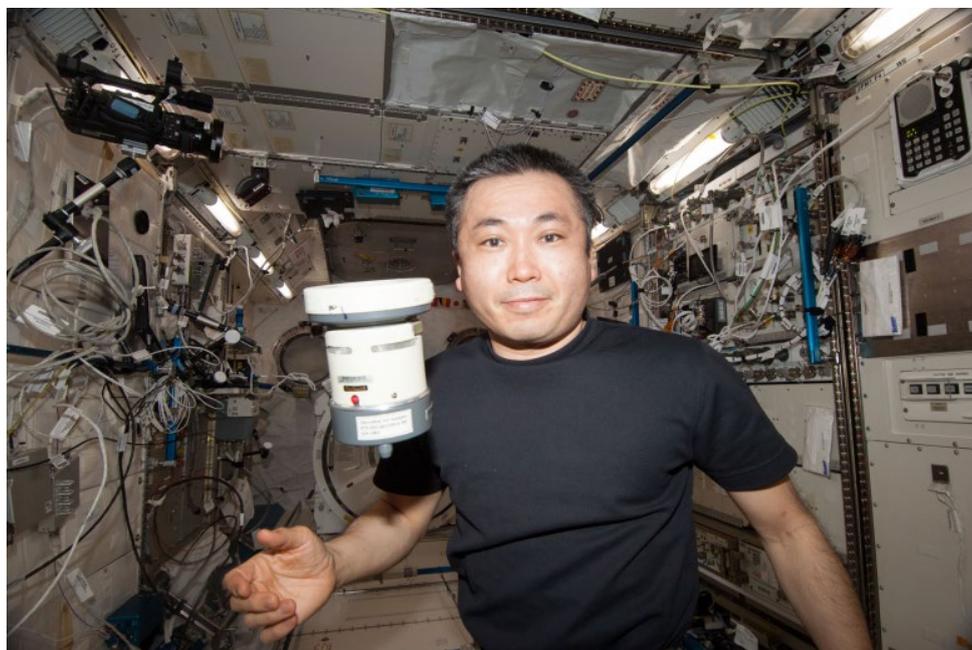


図 4.3-6 微生物のサンプリングキャニスターを使用する若田宇宙飛行士(©JAXA/NASA)
<https://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=6810c24b9efbc4736a0fee55c5083984>



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。

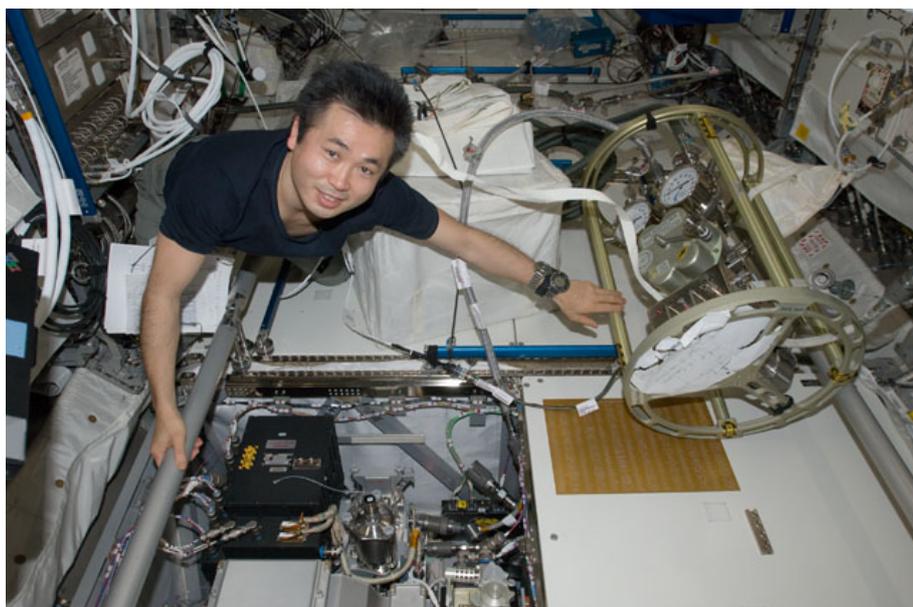
しかし、このような運用を行っていても機器の故障は起きるため、軌道上で可能な限り修理を行います。このため、ISS滞在クルーは一般的な保全・修理作業の訓練を受けています。

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。



ISS014E15350

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）
<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-14/html/iss014e15350.html>



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)

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-12/html/iss012e10207.html>



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）

<https://iss.jaxa.jp/library/photo/s124e006279.php>



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

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。



④粒子除去
フィルタ

WPA
Microbial
Check
Valve

WPA
Reactor
Health
Sensor

WPA Gas
Separator

⑥触媒反応部
(リアクター)

WPA
Controller

Avionics
Air Assy.

⑨水保管タンク

⑩配水用タンク

UPA Pressure
Control & Purge
Assy.

UPA Firmware
Controller
Assy.

WPA Pump/
Separator

UPA Fluids
Control &
Pump Assy.

UPA Recycle
Filter Tank
Assv.

③ WPAへ送る汚水
貯蔵タンク

①UPA尿貯蔵タンク

⑤WPA多層フィルタ

② UPA 蒸留装置
(DA)

WRSラック1(主にWPAを搭載)

WRSラック2(主にUPAを搭載)

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 (P39)

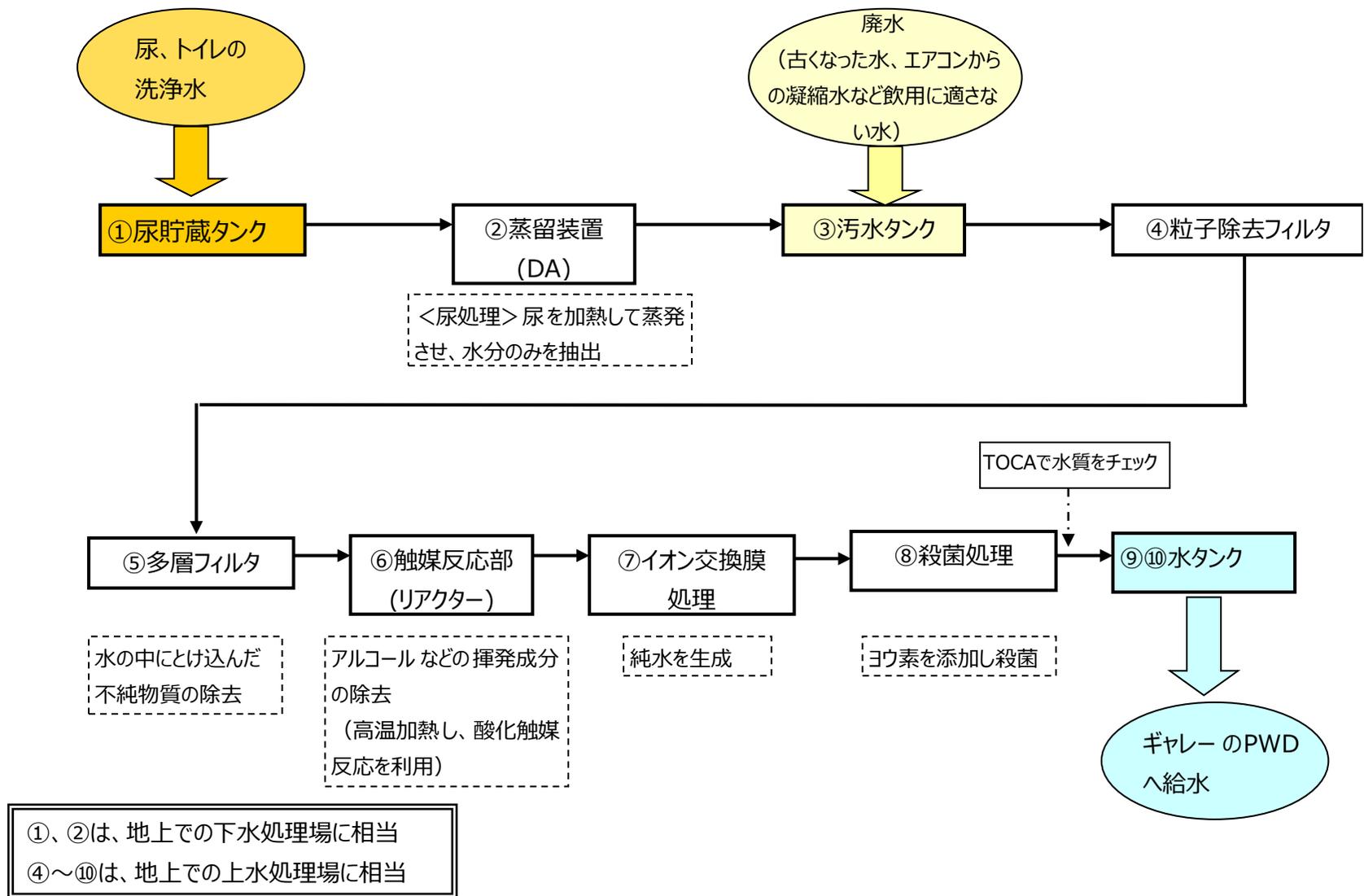


図 5.1-2 ISS での水再生処理の流れ (©JAXA)



Total Organic Carbon Analyzer -2

Electronics
Module



Fluids Module

図 5.1-3 水質測定・分析用の TOCA-2 (©NASA)

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/shuttle/sts-126/html/s126e010342.html> (左)

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)

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-10/html/iss010e12721.html> (左)



S105E5152 2001/08/12 21:19:22

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(SFOG)を有しており、非常時にはこれを使用する事が出来ます。

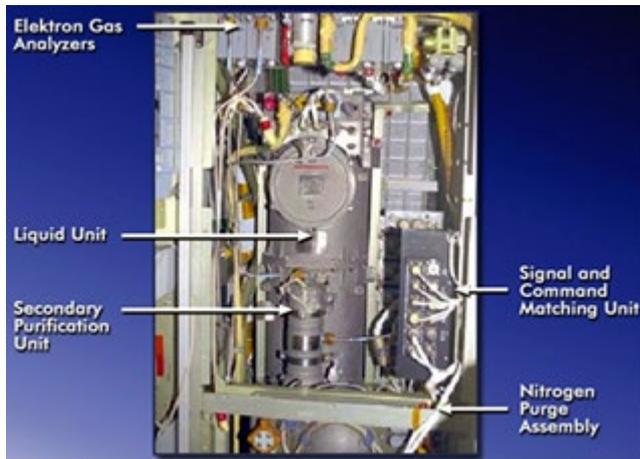


図 5.2-1 ロシアの酸素生成装置エレクトロン (©NASA)



図 5.2-2 米国の酸素生成装置 (OGS) (©NASA)

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-17/html/iss017e021288.html>



ISS020E031128

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

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-20/html/iss020e031128.html>

(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、CO₂ 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)

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-16/html/iss016e020614.html>



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などと、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)

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-12/html/iss012e06038.html>

【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

【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。

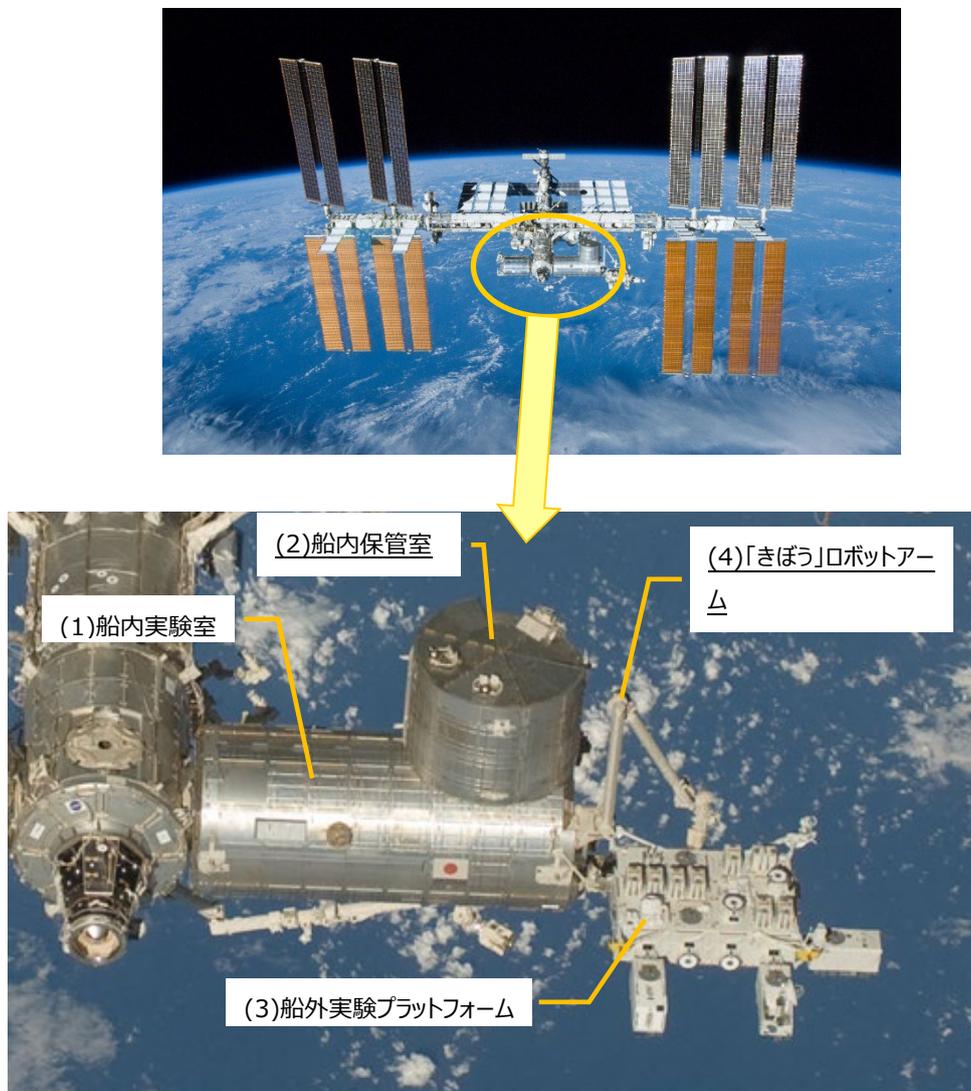


図 1-1 「きぼう」日本実験棟の構成（©JAXA/NASA）

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

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/shuttle/sts-127/html/s127e011186.html>（下）

(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。

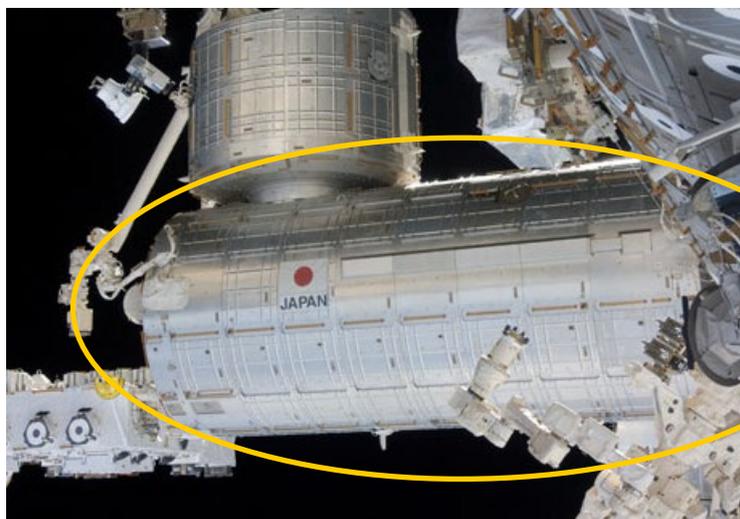


図 1-2 船内実験室（外観）（©NASA）

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-20/html/iss020e025622.html>

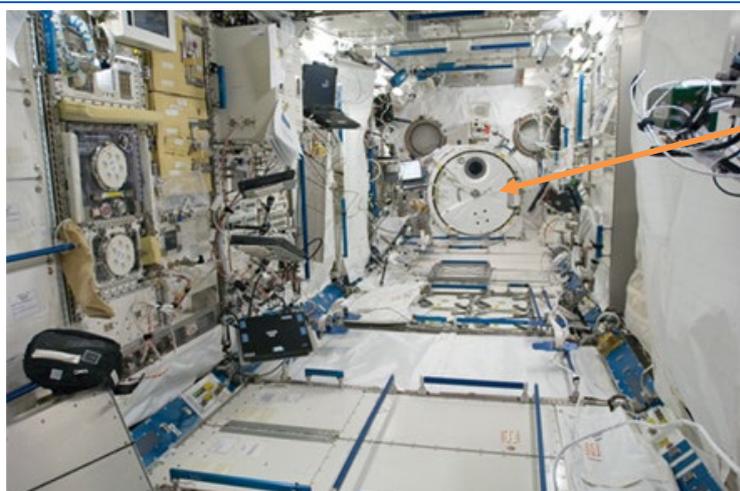


図 1-3 船内実験室（©NASA）

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

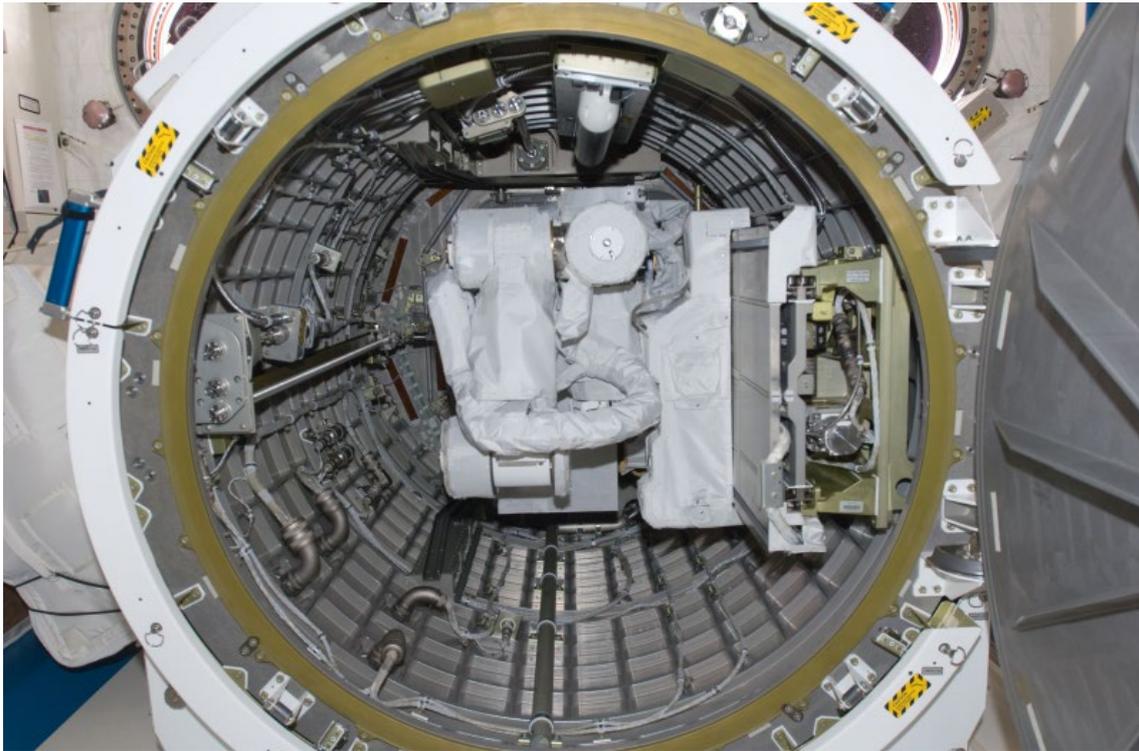


図 1-4 「きぼう」エアロック内部を開けた状態 (©JAXA/NASA)

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=e2e4c71dfa5ee1ac1dc6801a6122239b>

【参考】

2015 年秋に、欧州宇宙機関(ESA)が「きぼう」船内（およびその他の ISS 船内）を 360 度自由に眺められるツールを以下で公開しています。

http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/International_Space_Station/Highlights/International_Space_Station_panoramic_tour

2017 年 7 月には ISS 内が **Google ストリートビュー**でも見られるようになりました。

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

(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。

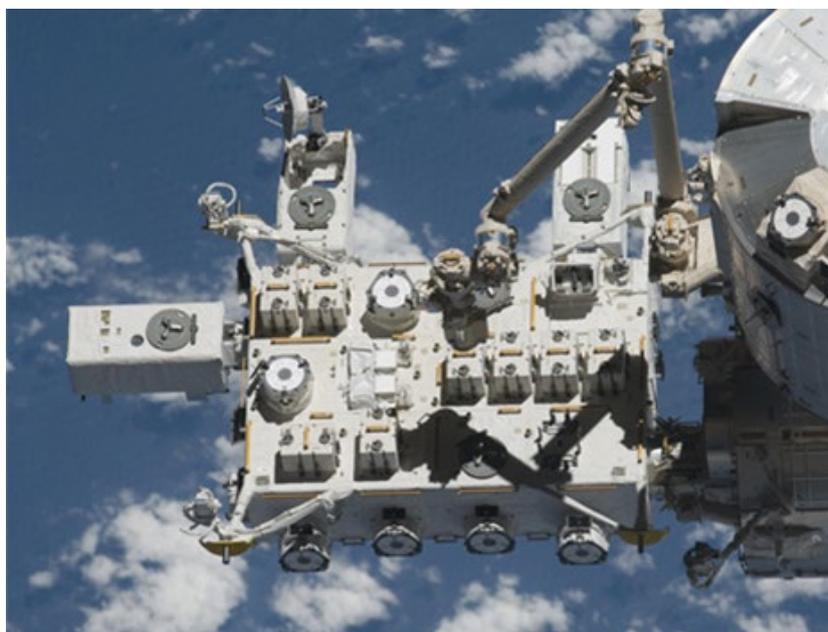


図 1-7 船外実験プラットフォーム (© JAXA/NASA)

<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。

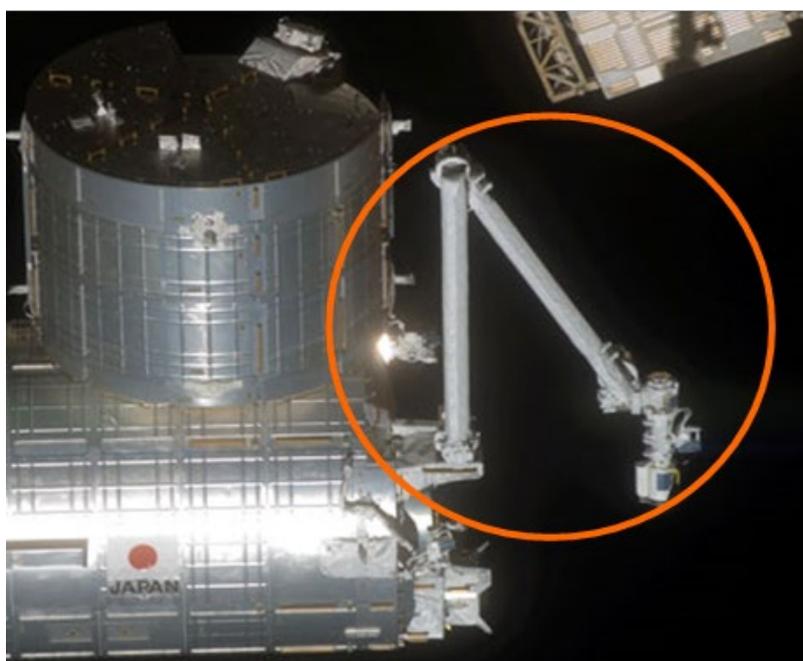


図 1-9 「きぼう」ロボットアーム (© NASA)

<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>

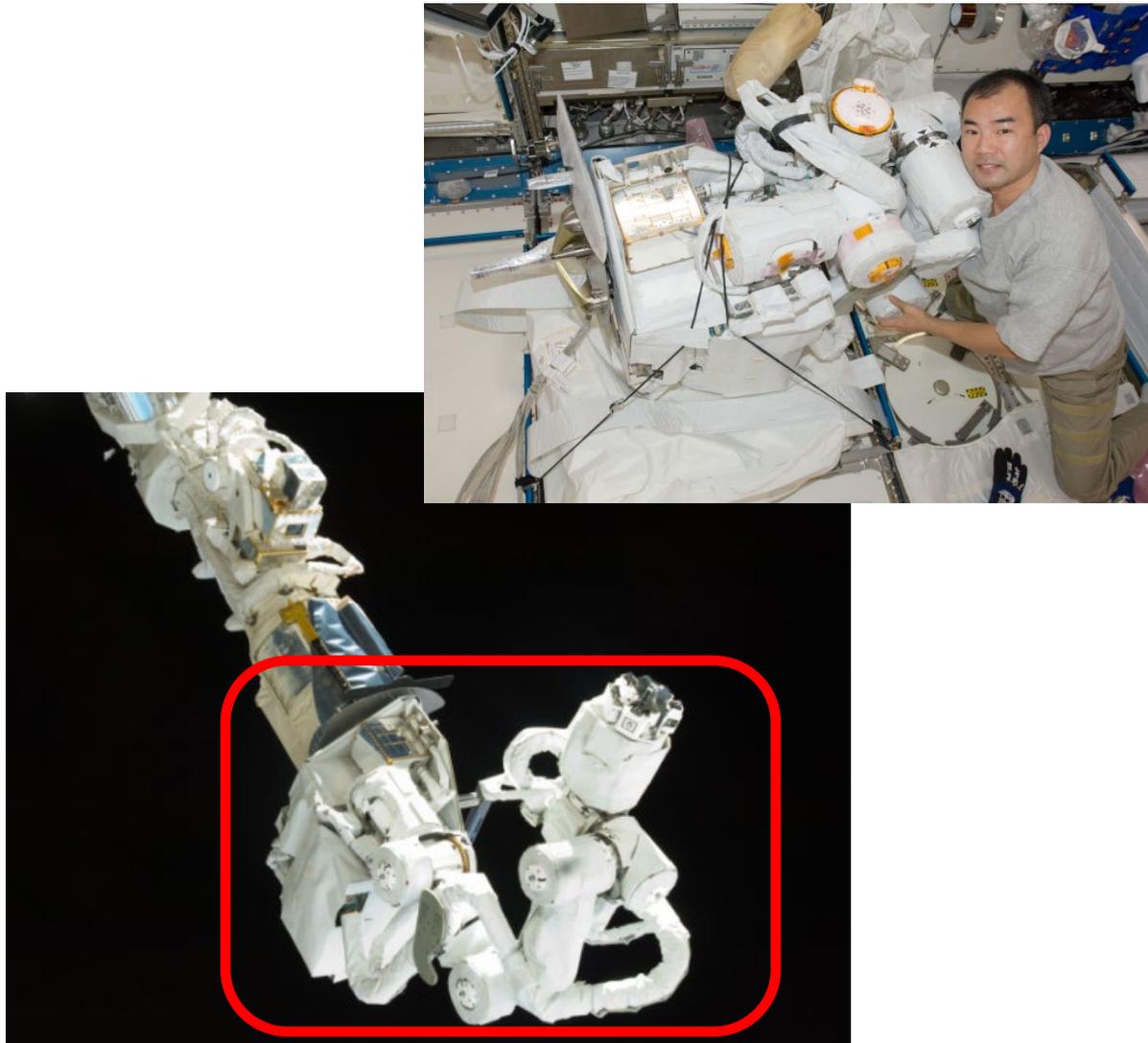


図 1-11 「きぼう」ロボットアームの先端で把持された子アーム(2010年3月) (© JAXA)

<https://iss.jaxa.jp/library/photo/iss022e019988.php> (上)

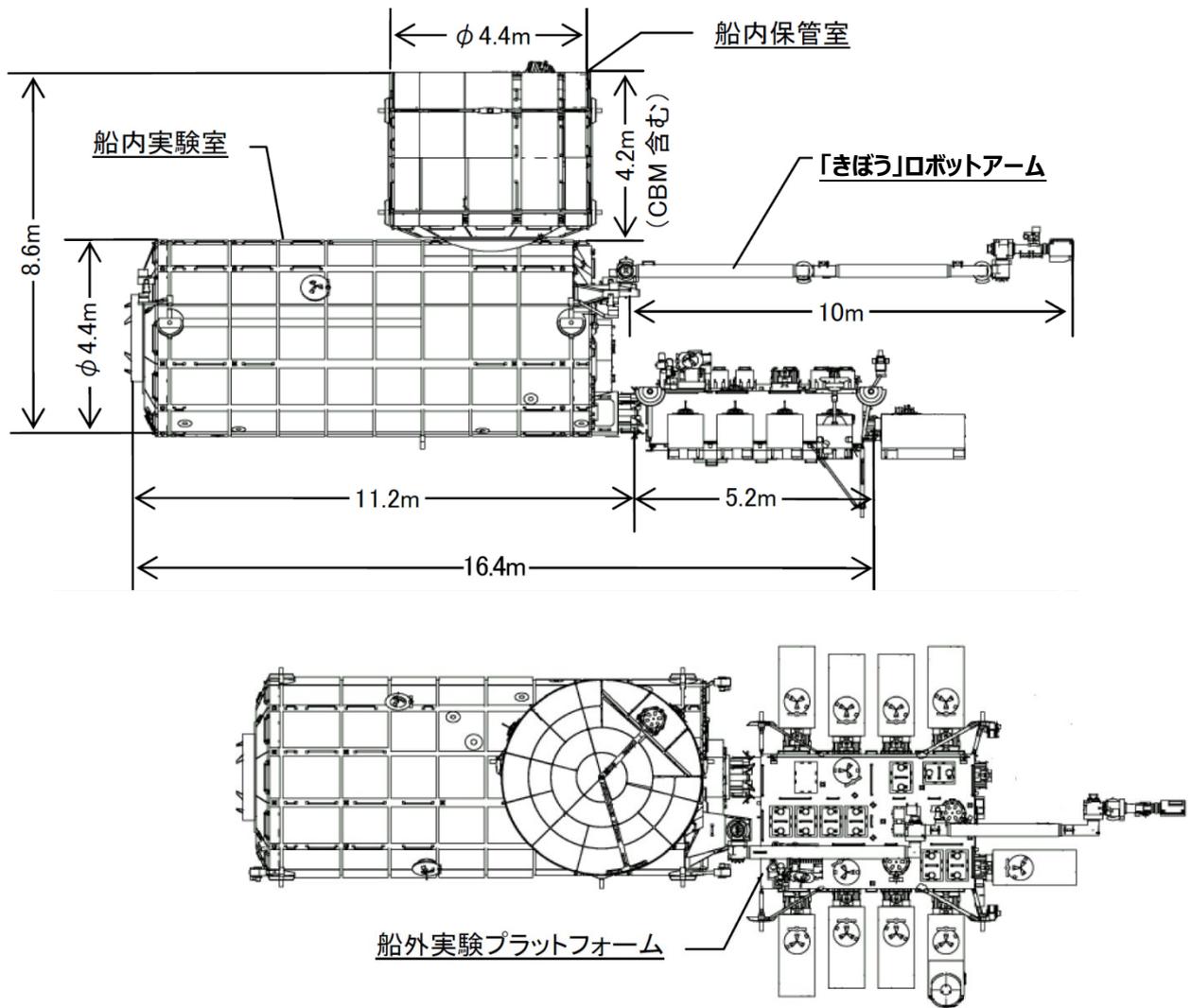
<https://iss.jaxa.jp/library/photo/iss022e090362.php> (下)

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(こちらに掲載 https://iss.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://iss.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。

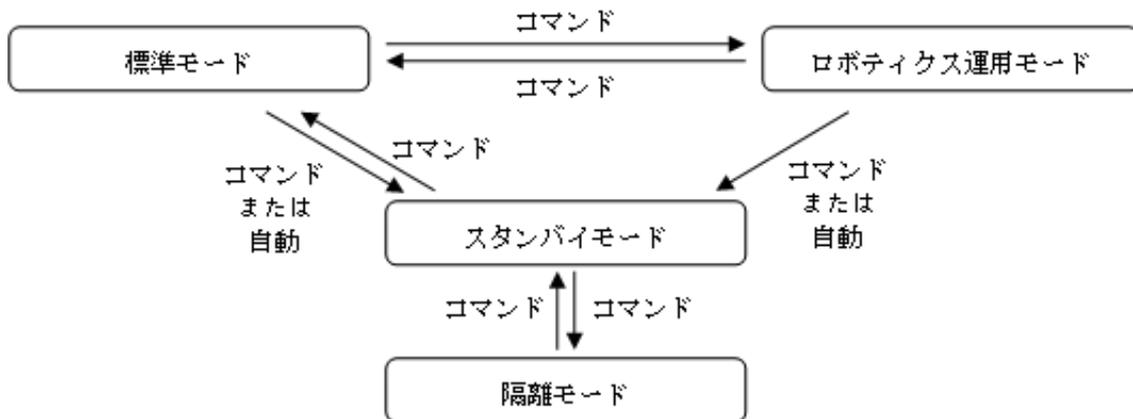


図 3-1 「きぼう」日本実験棟の運用モードの遷移

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。

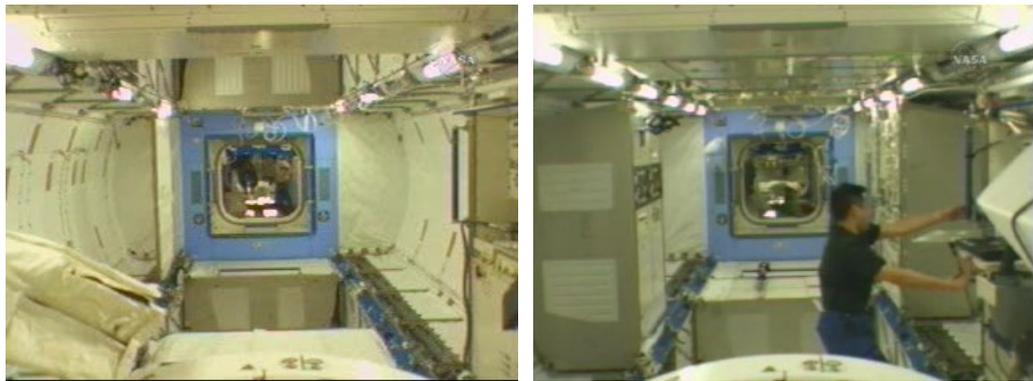


図 4-1 1J フライト時のラックを入れる前と搬入途中の「きぼう」日本実験棟内部



図 4-2 ラックを移動する様子 (©NASA)

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-17/html/iss017e014094.html>

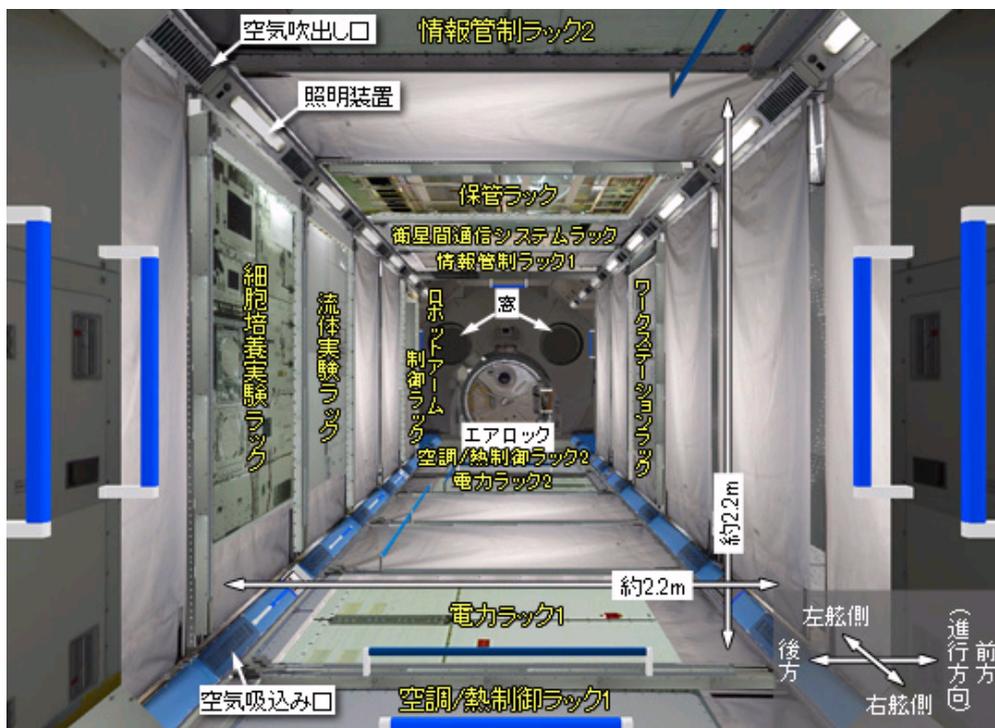


図 4-3 STS-124 ミッション終了後の船内実験室内部のイメージ (©JAXA)
(「きぼう」の入り口側から見たイメージ)

* 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>

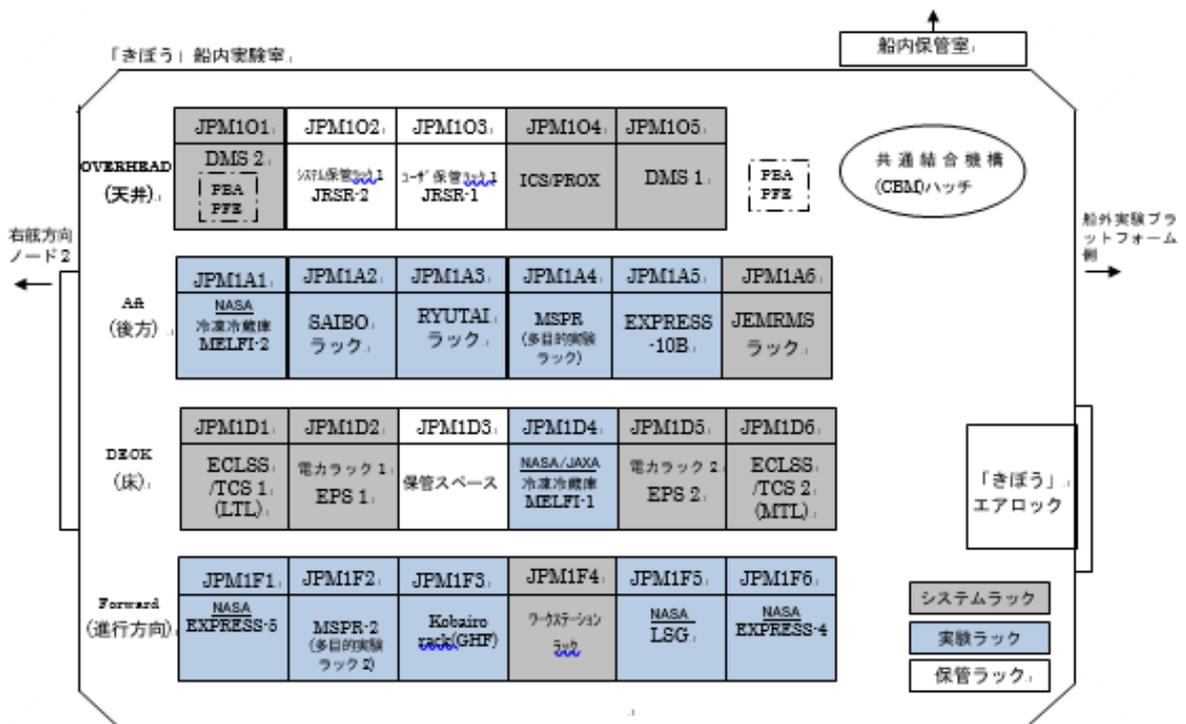


図 4-5 「きぼう」船内実験室内のラック配置図 (©JAXA)

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>◆ 電力ラック</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>◆ 情報管制ラック</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>◆ 空調/熱制御ラック</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。

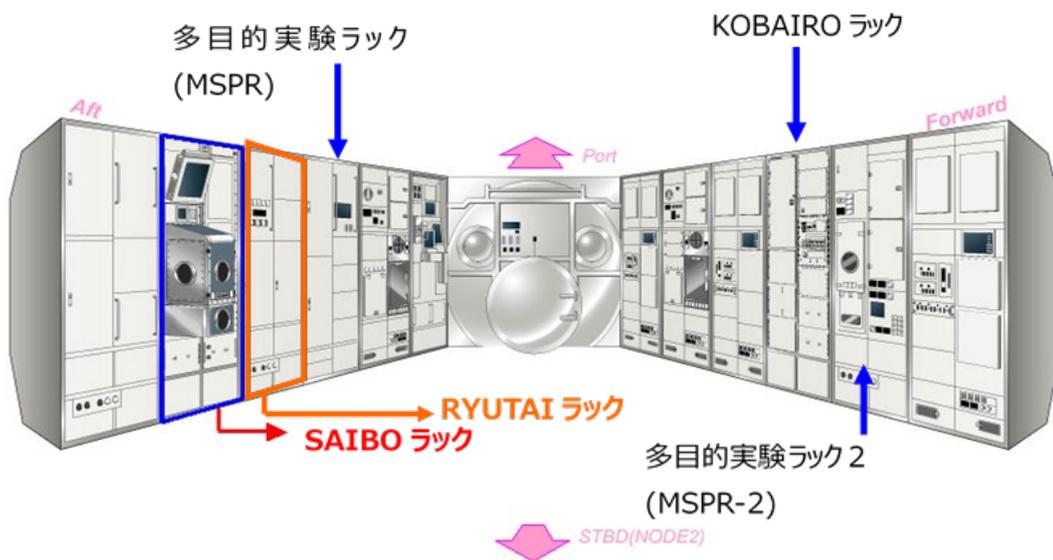


図 4.2-1 船内実験室のラックの配置（©JAXA）

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

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=489bc101409533f803abd7e242c51a5b>

■ 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）

<https://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/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。

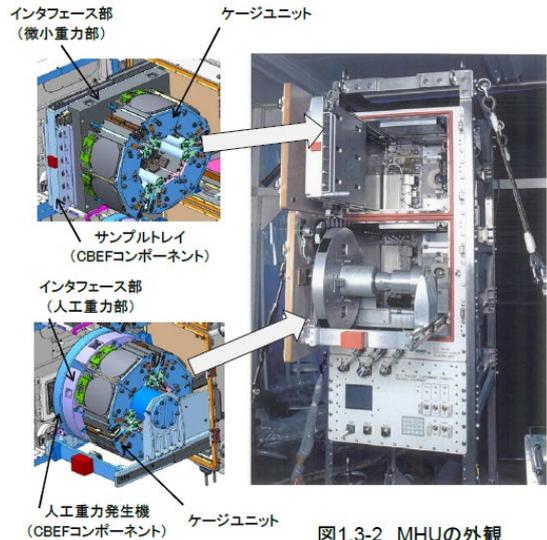


図1.3-2 MHUの外観
小動物飼育装置 (MHU) 細胞培養装置(CBEF)

<https://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/pm/mhu/> (右)

■ 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。



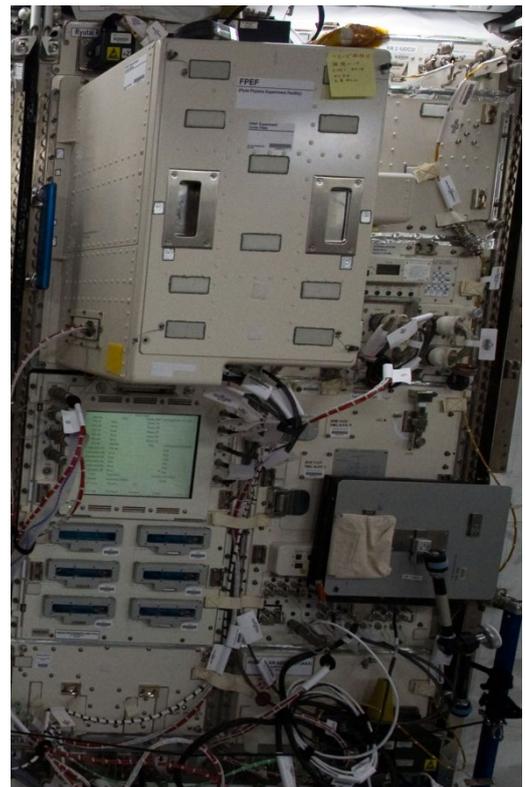
細胞培養装置追加実験エリア (CBEF-L) (©JAXA)

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=5c3b51cb7e29ce1aa76e39bec3853422>

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。[上の写真で見える左上の突出部が FPEU]

■ 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。

■ 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。[上の写真で左下の部分が 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、このとおり 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。



軌道上の KOBAIRO ラック (©JAXA)

<https://iss.jaxa.jp/library/photo/iss026e022417.php>

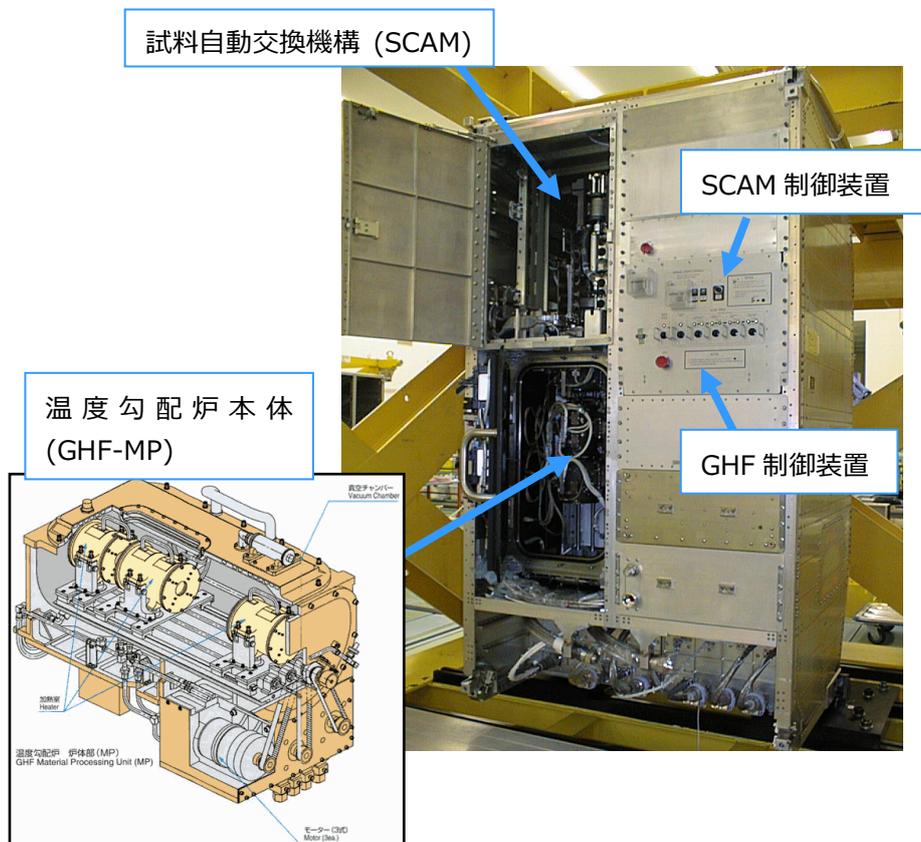


図 4.2.3-1 勾配炉ラックの構成 (©JAXA)

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「こうのとりの」2号機でISSに運ばれました。

多目的実験ラックは、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種類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「こうのとりの」5号機で運ばれました。

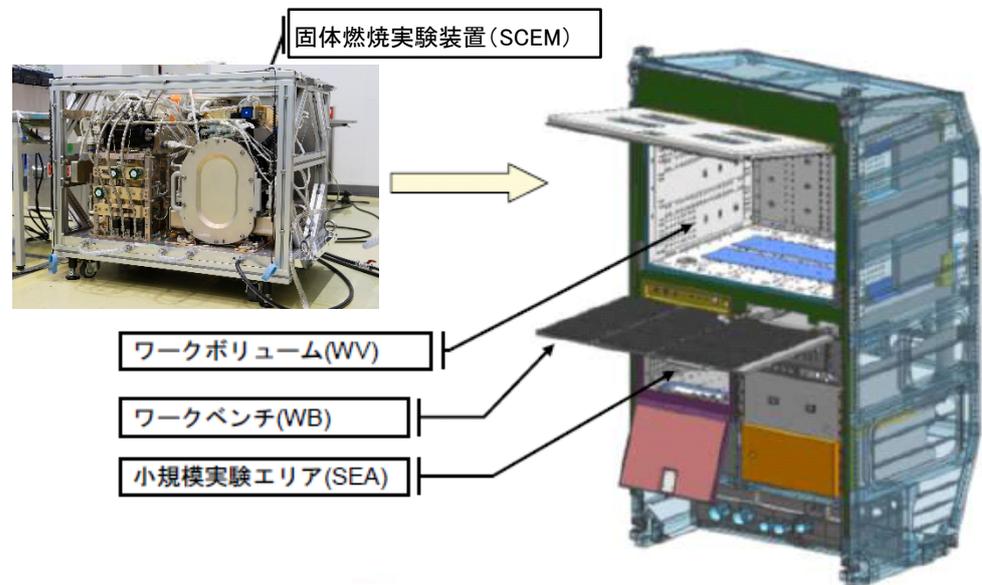


図 4.2.4-1 多目的実験ラック(MSPR) (イメージ図) (©JAXA)



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、人間の腕と同様の動作が可能です。船内実験室内では、クルーが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。

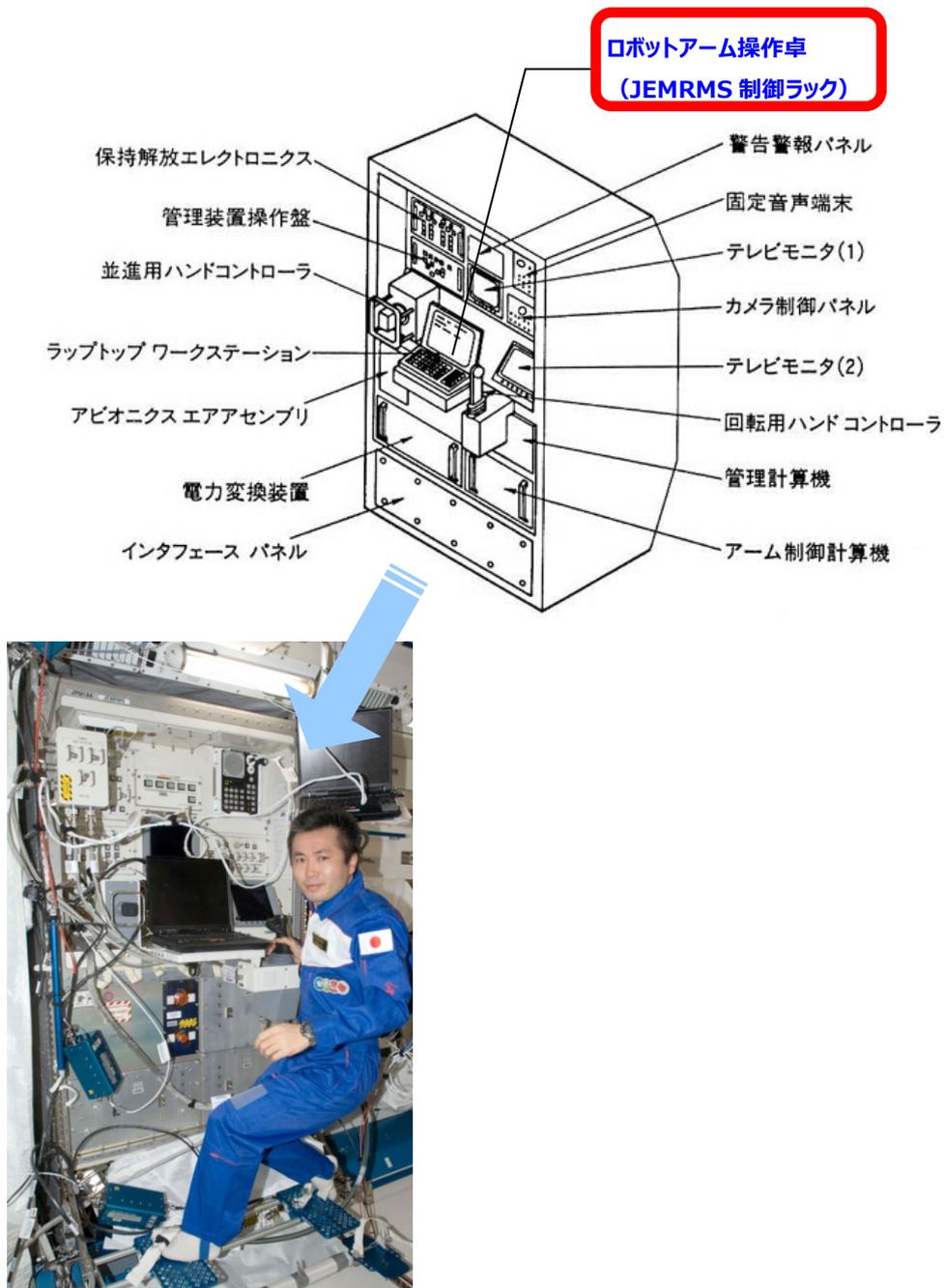


図 4.2.5-1 JEMRMS 制御ラックの構成 (©JAXA)

<https://iss.jaxa.jp/library/photo/iss020e015807.php>

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。

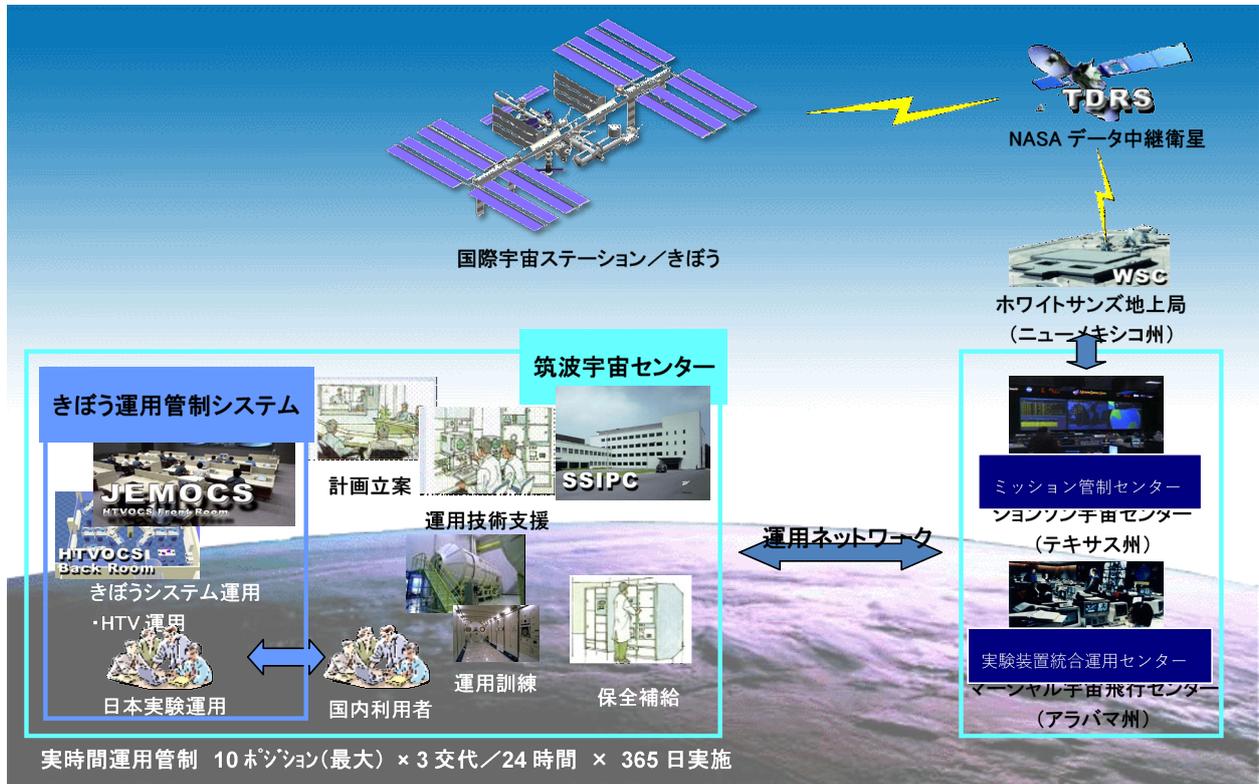


図 5-1 「きぼう」運用システム概要 (©JAXA)

<https://iss.jaxa.jp/kibo/system/operation/ocs/>

■ 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「こうのとりのり」）、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となります。

「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様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 公開ホームページでは、画像や動画にてさらに詳しく紹介しています。

■ 「きぼう」運用管制システム

<https://iss.jaxa.jp/kibo/system/operation/ocs/>

■ 「きぼう」運用管制チーム

<https://iss.jaxa.jp/kibo/system/operation/team/>

■ 「きぼう」実験運用管制チーム

<https://iss.jaxa.jp/kibo/system/operation/plfct/>

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。

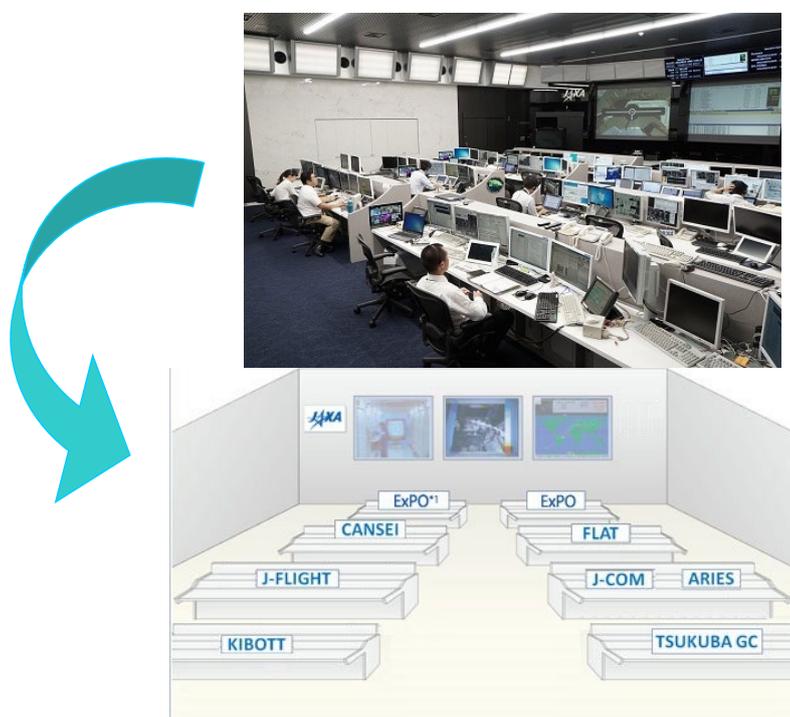


図 5.1-1 「きぼう」日本実験棟の運用管制室の配置図 (©JAXA)

<https://iss.jaxa.jp/kibo/system/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、大きく分けて、「きぼう」船内実験室に搭載されている実験装置の取りまとめを行う与圧実験運用管制チームと、船外実験プラットフォームに設置されている実験装置の取りまとめを行う曝露実験運用管制チームの二つがあります。

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://iss.jaxa.jp/kibo/system/operation/plfct/>