

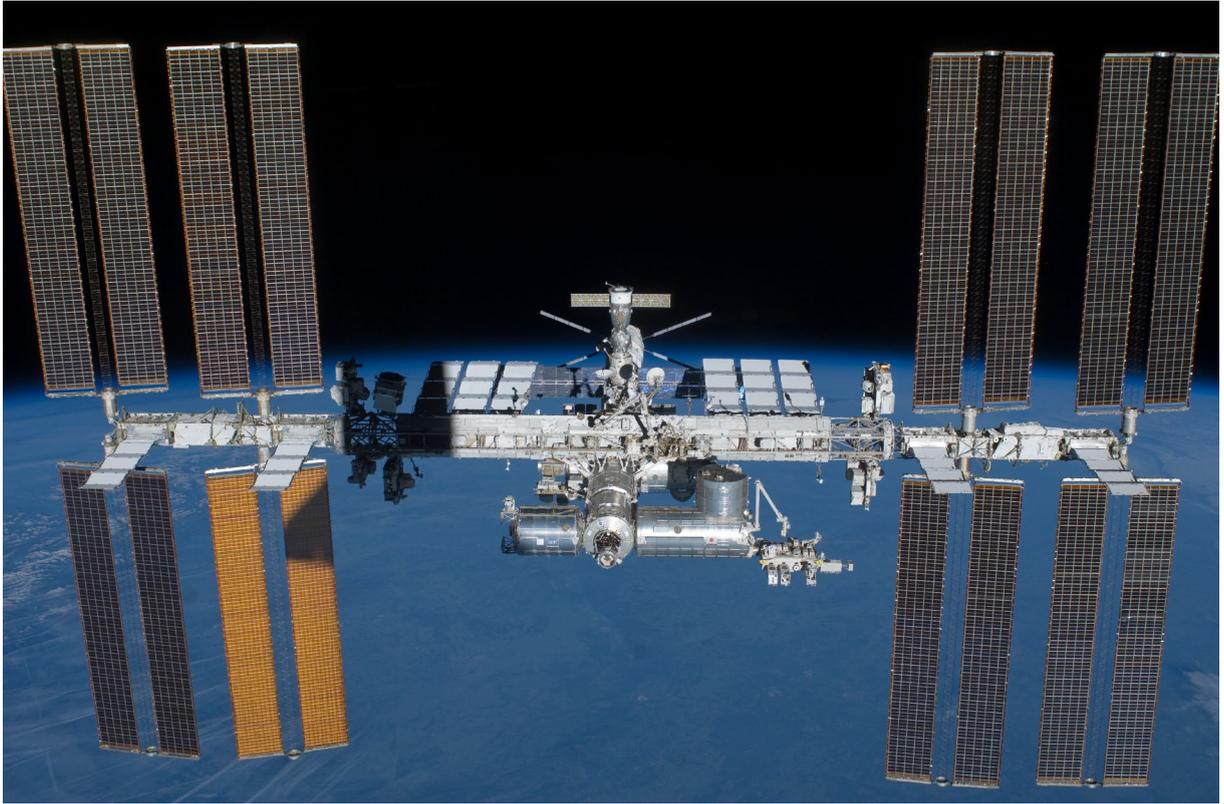
「きぼう」 船内実験室利用ハンドブック

2023 年 4 月 L 改訂版

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
有人宇宙技術部門 きぼう利用センター

目次

はじめに	1
I. 「きぼう」 船内実験室と実験装置の概要	2
1. 「きぼう」 船内実験室	3
1.1 「きぼう」 船内実験室とは	3
1.2 「きぼう」 船内実験室の環境	5
1.3 ISS および「きぼう」の運用	8
1.4 「きぼう」 船内実験室に搭載される日本の実験装置等	13
2. 生命科学実験装置	16
2.1 生物実験ユニット (Biological Experiment Unit: BEU)	16
2.2 細胞培養装置 (Cell Biology Experiment Facility: CBEF) /追加実験エリア (CBEF-L)	24
2.3 ライフサイエンス宇宙実験のための受動・積算型宇宙放射線被ばく線量計測	31
2.4 小動物飼育装置 (Mouse Habitat Unit: MHU)	34
3. 物質科学用実験装置	46
3.1 微小重力計測装置 (Microgravity Measurement Apparatus : MMA)	46
3.2 静電浮遊炉 (Electrostatic Levitation Furnace : ELF)	48
3.3 燃焼実験チャンバー (Chamber for Combustion Experiment: CCE)	51
3.4 固体燃焼実験装置 (Solid Combustion Experiment Module : SCEM) ...	53
4. ヒト対象実験機器あるいは生理学研究用機器等	57
4.1 JAXA 以外の宇宙医学研究用機器	57
5. 分野共通装置等	58
5.1 多目的実験ラック / 多目的実験ラック 2号機 (Multi purpose Small Payload Rack: MSPR/MSPR2)	58
5.2 顕微鏡観察システム (Microscope Observation System)	63
5.3 エアロック	73
5.4 軌道上冷凍・冷蔵庫	74
5.5 実験支援副資材 (LSE: Laboratory Support Equipment)	76
5.6 その他 (船内空間)	82
6. その他参考情報	83
II. 宇宙実験立案に際しての留意事項	84
1. 宇宙実験提案の特徴	85
2. 搭載実現性	85
3. 実験リソース	86
4. 安全要求について	87
5. 宇宙実験特有の制約事項と宇宙実験の企画・立案時の留意事項	89
5.1 生命科学実験	89
5.2 宇宙医学実験	94
5.3 物質・物理科学	98
略語集	102



国際宇宙ステーション (2011年5月撮影)



ISS023E051106

国際宇宙ステーションの「きぼう」日本実験棟 (2010年5月撮影)

はじめに

「きぼう」の船内は完全な無重力ではなく、様々な要因によって $10^{-4} g$ 以下のわずかな重力変化が避けられないため、「微小重力」という語が用いられます。地上では長時間の微小重力は実現不可能なため、安定した微小重力は宇宙環境の最も著しい特徴であるといえます。また、地磁気や大気層で遮蔽されている地表とは異なった宇宙放射線に曝される環境でもあります。

この差異を積極的に活用して、地上では解決ができない問題に取り組もうとの発想が宇宙環境利用であり、それを実行するのが宇宙実験ということになります。

本書は、「きぼう」船内実験室を利用する宇宙実験を企画・立案しようとする方に、船内実験室の実験環境や、提供することが出来る搭載実験装置・供試体（実験装置と組み合わせて実験を行うためのサンプルを入れる容器・機器）、実験運用を行う上での各種制約条件等の概略を記述した文書であり、宇宙実験を企画・立案するためのガイドラインとして活用していただくことを目的としています。

また、本書は、極力、作成時点における最新の情報に基づいて構成されていますが、今後、変更される事項もあり得ますので、あくまでも参考文書としてご活用いただきますようお願い致します。

I.「きぼう」船内実験室と実験装置の概要

1. 「きぼう」 船内実験室

1.1 「きぼう」 船内実験室とは

「きぼう」日本実験棟（図 1.1-1）の中で、宇宙飛行士が滞在し、実験を行うのが船内実験室（図 1.1-2）です。室内は地球上と同じ様な空気組成、1 気圧が保たれており、温度や湿度も宇宙飛行士が活動しやすい環境に常時コントロールされています。従って、宇宙飛行士は宇宙服ではなく、通常我々が地上で活動するのと同じ様な格好で作業をする事が出来ます。船内実験室に搭載される装置類を大きく分けると、実験を行うための実験装置と、「きぼう」の設備維持そのものに必要なシステム機器に分けられます。

【実験装置】

船内実験室で各種の実験を行うための専用の装置です。システム機器と結びついてその役割を果たします。船内実験室には生命科学実験や物質・物理科学実験を中心として合計 10 基（米国実験ラック 5 基、日本実験ラック 5 基）の実験ラックが搭載出来、いろいろな宇宙実験のために提供されます。

【システム機器】

これが無いと「きぼう」そのものの機能が失われたり、宇宙飛行士の活動に影響を及ぼすような機能を持った機器で、「きぼう」全体の電力供給、通信、空調、各種電子機器類を冷却するための冷却水のコントロールおよび宇宙実験の支援などの機能を有しています。また、船外実験プラットフォーム（船内実験室に結合し、宇宙に曝露された環境を利用して実験を行う実験スペース）の機器交換などを行うためのマニピュレータの操作卓、衛星間通信装置、船外実験プラットフォームとの機器のやりとりを行うためのエアロックなども重要なシステム機器で、これらの機能の一部が欠けただけでも、運用に重大な影響を及ぼします。表 1.1 に「きぼう」の概略を示します。

表 1.1 「きぼう」 船内実験室・船内保管室の概略

項目	船内実験室	船内保管室
外形	円筒形	円筒形
直径	内径：4.2m、外径：4.4m	内径：4.2m、外径：4.4m
長さ	11.2m	4.2m
重量	14.8t	4.2t
搭載ラック数	ラック総数 23 個 (実験ラック 10 個を含む)	船内実験ラック 8 個
電力	最大 24kw	120V(直流)
環境制御性能	温度：18.3～26.7 度	湿度：25～70%

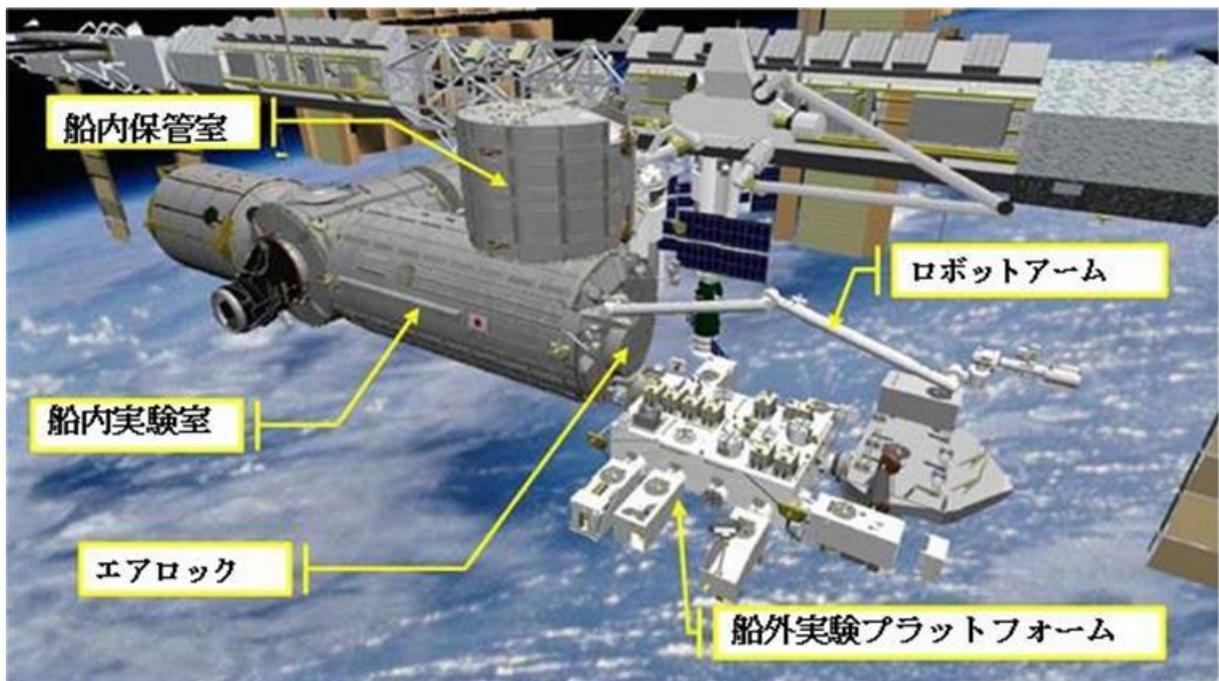


図 1.1-1 日本実験棟「きぼう」外観図



図 1.1-2 「きぼう」 船内実験室内部

1.2 「きぼう」 船内実験室の環境

(1) ISS 軌道

ISS は、ノミナル高度約 400km、軌道傾斜 51.6 度の円軌道を、通常、約 90 分で地球を一周します。ISS 軌道高度は大気抵抗により 1 日当たり平均 200m 程度低下しますが、これを補償するため、ISS 自身や輸送用宇宙船のスラスタにより高度上昇(リブースト)を定期的に行い、約 350km~460km の間を変動します。

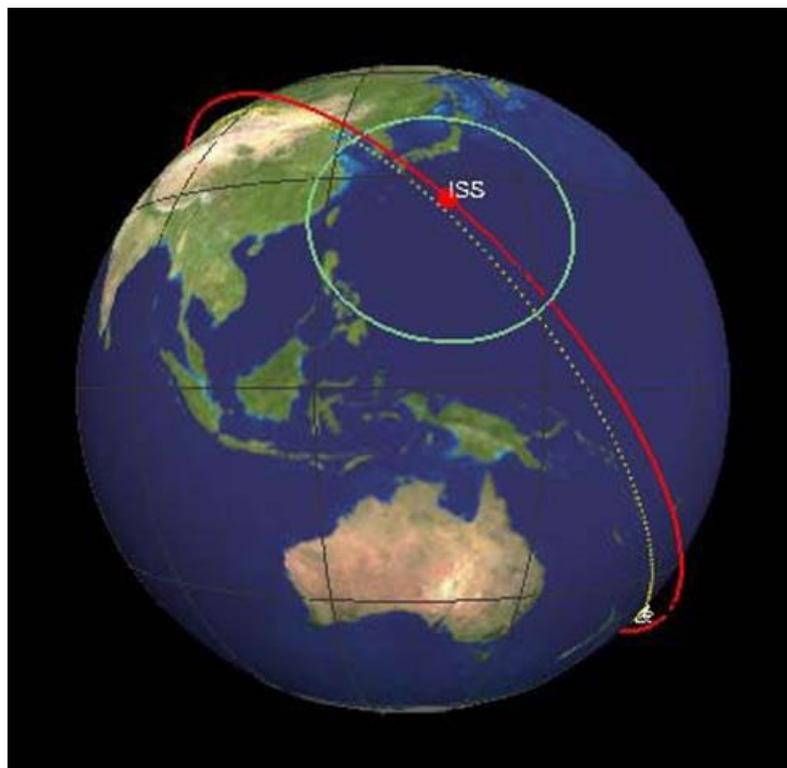


図 1.2-1 ISS の軌道

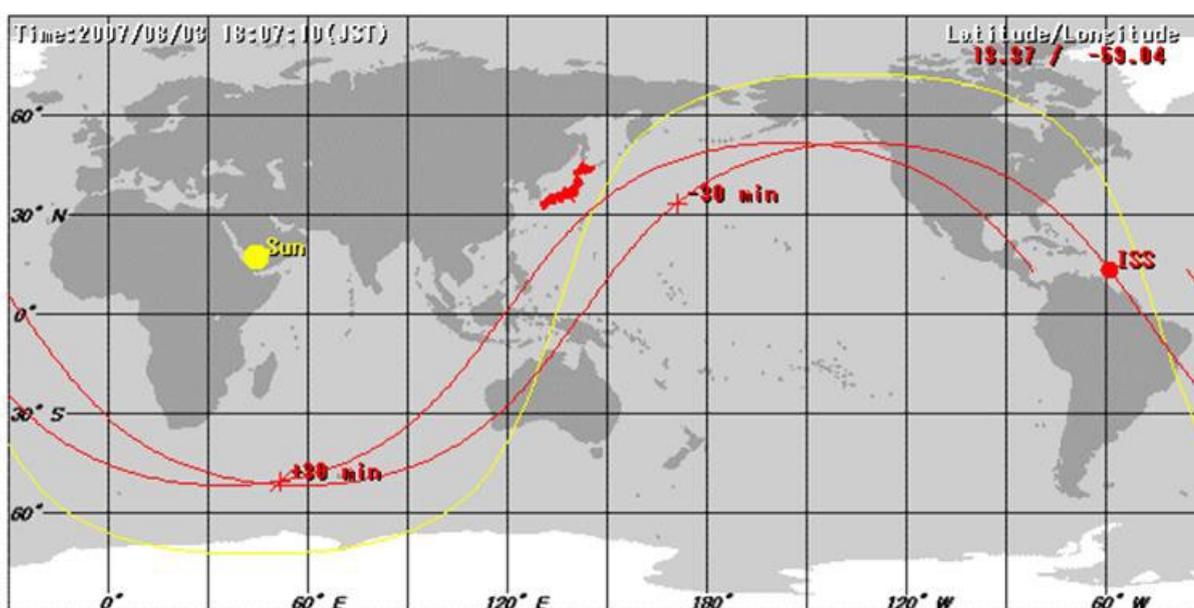
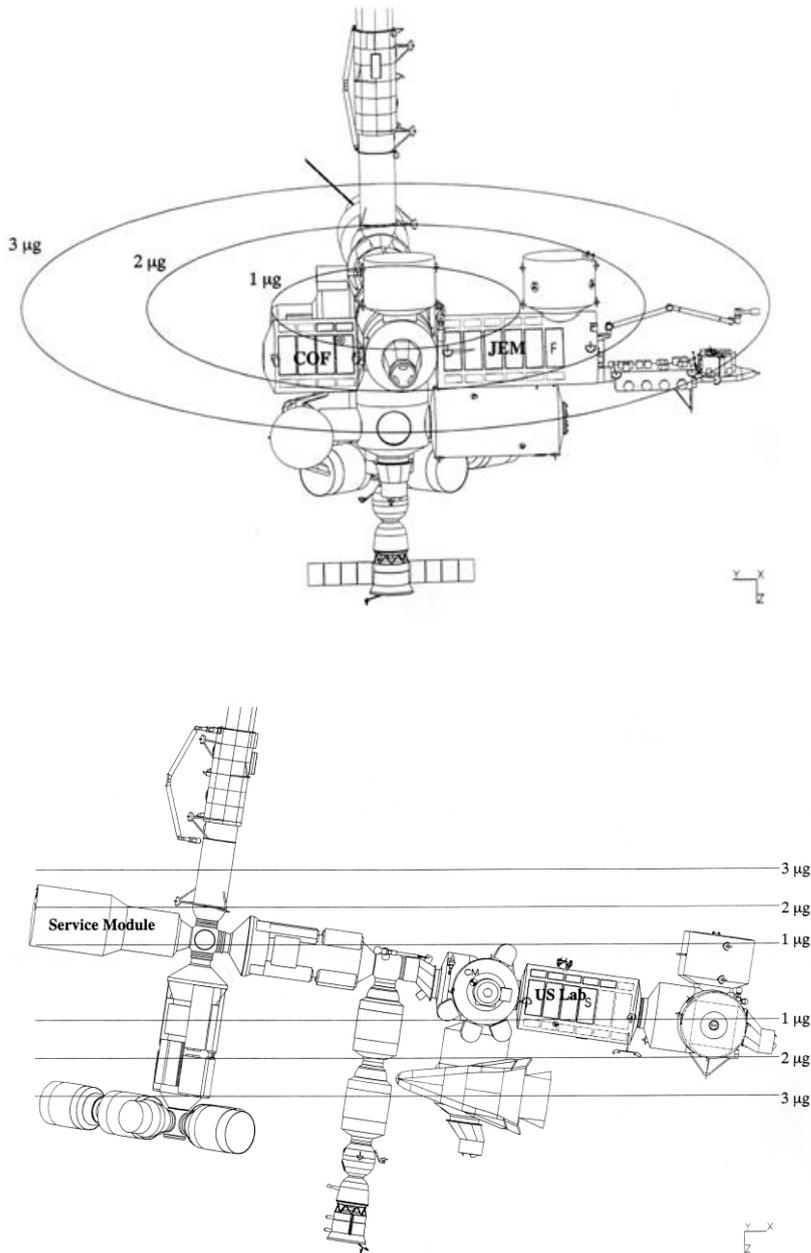


図 1.2-2 ISS 軌道の地上軌跡(赤い線)

(2) 微小重力環境

ISS には、大気抵抗、重力傾度等の外乱が常時作用し、準静的加速度が生じます。ISS の実験では、図 1.2-3 に示すように $10^{-6} g$ (μg) オーダーの準静的加速度が想定されます。また、準静的加速度の ISS 内部擾乱として、搭乗員の活動(運動等)や、太陽電池アレイの回転などもあります。



(注) 上図は、ISS 組立シーケンス Rev.D に基づき解析した結果です。現状では、「きぼう」船内実験室の微小重力計測装置(MMA)による実測データから、実験中の微小重力環境を想定することが可能です。

図 1.2-3 国際宇宙ステーションの準静的加速度環境 (NASA 解析結果例)

(出典) ISS Microgravity Environment, SSUAS, June 23, 1999

(3)放射線環境

ISS 軌道周辺は、太陽フレアなどの太陽活動により放出される粒子線、地球磁場に補足された陽子線、太陽系外から到来する銀河宇宙線が飛び交う環境です。

ISS の船内は、これらの宇宙線が ISS の構造物や大気成分と衝突して 2 次宇宙線を発生させるため、複合的な放射線環境となります。

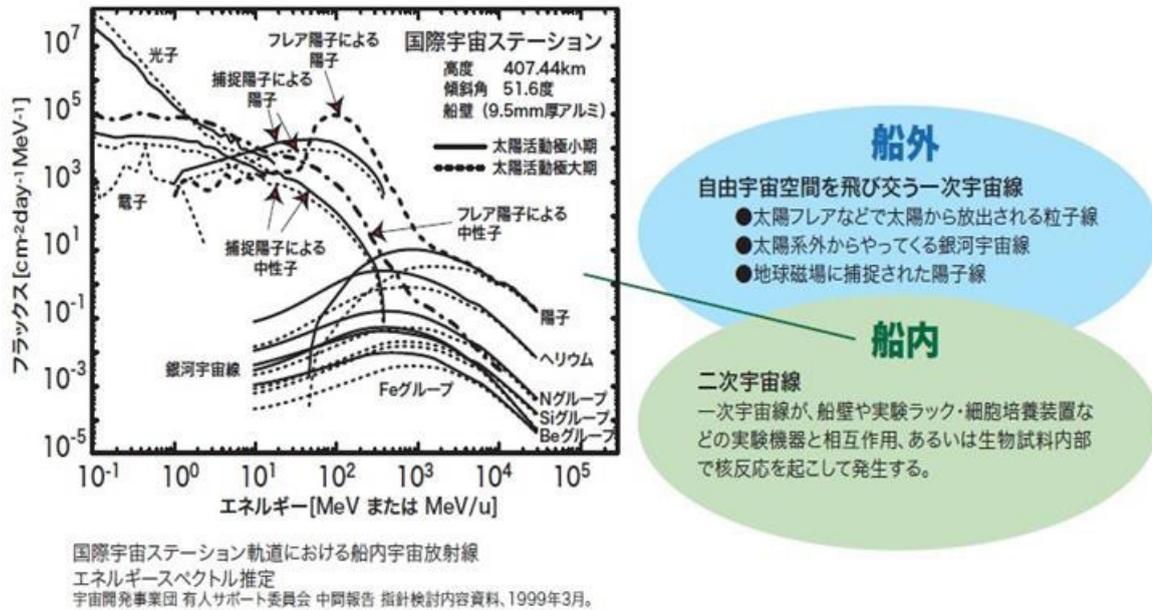


図 1.2-4 国際宇宙ステーション軌道における船内宇宙放射線エネルギースペクトル推定

これまでの「きぼう」船内実験室、ISS ロシアモジュール船内での受動・積算型宇宙放射線被ばく線量計 (PADLES: パドレス、2.3 項参照) の計測によると、太陽活動極大期に相当する時期では、150~300 μ Gy/day, 300~600 μ Sv/day となっています。被ばく線量は、遮蔽環境や太陽活動によっても変動します。

表 1.2-1 ISS 軌道での宇宙放射線計測実績

飛行	計測場所	計測期間	検出器	計測結果		
				吸収線量 mGy/day	線量当量 mSv/day	線質係数
ISS	ロシアサービ スモジュール	2001/8/21 ~ 2001/10/31 (71days)	PADLES	0.28	0.53	1.9
		2001/8/21 ~ 2002/5/5 (257days)	PADLES	0.23	0.41	1.8
		2001/8/21 ~ 2002/11/10 (446days)	PADLES	0.18	0.37	2.1
		2004/1/29 ~ 2005/10/11 (621days)	PADLES	0.16	0.32	2.0
		2005/12/23 ~ 2006/4/9 (107days)	PADLES	0.26	0.51	1.9

PADLES: Passive Dosimeter for Life science Experiments in Space 受動・積算型線量計、詳細は 2.3 項参照。ISS 宇宙放射線 環境計測データベース: <http://iss.jaxa.jp/spacerad/index.html> 参照。

1.3 ISS および「きぼう」の運用

(1) 物資輸送

2010 年から ISS への物資の打上げ、回収については、スペースシャトルに代わって、ロシアのソユーズ、プログレス、日本の 新型宇宙ステーション補給器 (HTV-X)、その他米国の商業輸送サービスなどによる輸送が行われています。現在運行しているあるいは運航を予定している主な輸送用宇宙船の能力について、表 1.3 に示します。

表 1.3 ISS への輸送用宇宙船概要

	打上げロケット/ 打上げ基地	搭載貨物重量	回収貨物 重量	備考
プログレス (ロシア)	ソユーズロケット/ バイコヌール射場	最大 1,800 Kg	-	ロシア側に結合 リブースト機能 燃料・水・ガス補給
ソユーズ (ロシア)	ソユーズロケット/ バイコヌール射場	最大 30 Kg	最大 50Kg	ロシア側に結合 有人機
HTV-X (JAXA)	H-III ロケット/ 種子島宇宙センター	約 6,000 Kg 与圧 4,070 Kg 曝露 1,750 Kg	-	米国側に結合 与圧はラック単位が 可能 曝露品輸送が可 能
ドラゴン宇宙船 /クルードラゴ ン宇宙船 (SpaceX 社)	ファルコン 9 ロケット /ケープカナベラル空 軍基地	6,000 Kg	3,000 Kg	ロボットアーム把持 によるドッキング
シグナス宇宙船 (NG 社)	アンタレスロケット アンタレス 230 ロケッ ト/NASA ワロップス飛 行施設 アトラス V ロケット/ ケープカナベラル空軍 基地	2,000Kg 3,350kg 3,500kg	1,200Kg (廃棄)	ロボットアーム把持 によるドッキング



図 1.3-1 プログレス (©S.P. Korolev RSC Energia) 図 1.3-2 ソユーズ (Photo: NASA)



図 1.3-3 HTV-X

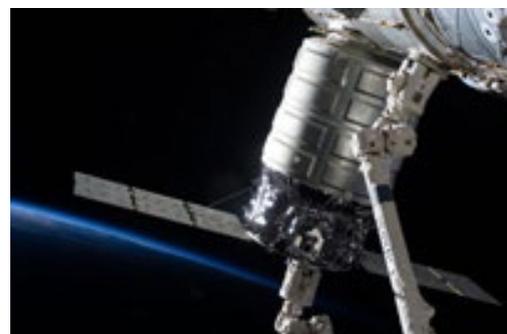


図 1.3-4 ドラゴン宇宙船 (Photo: NASA) 図 1.3-5 シグナス宇宙船 (Photo: NASA)

(2) 「きぼう」の運用

米国は 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、各国が責任をもって運用します。

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。

「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で行います。筑波宇宙センターと「きぼう」との通信は、原則として米国のデータ中継衛星 (TDRS) を経由して行います。

【筑波宇宙センター】

システム運用：

フライト・ダイレクタとフライト・コントローラから成る 50 名以上のチームが 3 交代 24 時間体制で「きぼう」の監視を行います。

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、環境制御・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、緊急減圧、空気汚染の際に、ISS 滞在宇宙飛行士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」に運ぶべき補給品を選定したり、輸送手段、輸送時期などについての検討も行います。

実験運用：

筑波宇宙センターでとりまとめた日本の実験運用の計画は、マーシャル宇宙センターでの調整を経て 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。実験ユーザは自分の実験の様様を筑波宇宙センターの「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。



図 1.3-6 ユーザー運用エリア

【種子島宇宙センター】

国際宇宙ステーション（ISS）に運ぶ物資を搭載した HTV-X は、H-III ロケットにより種子島宇宙センターから打ち上げられます。種子島では H-III ロケットの組立や打上げ準備、HTV-X の整備、HTV-X の H-III ロケットへの搭載などの作業も行われます。

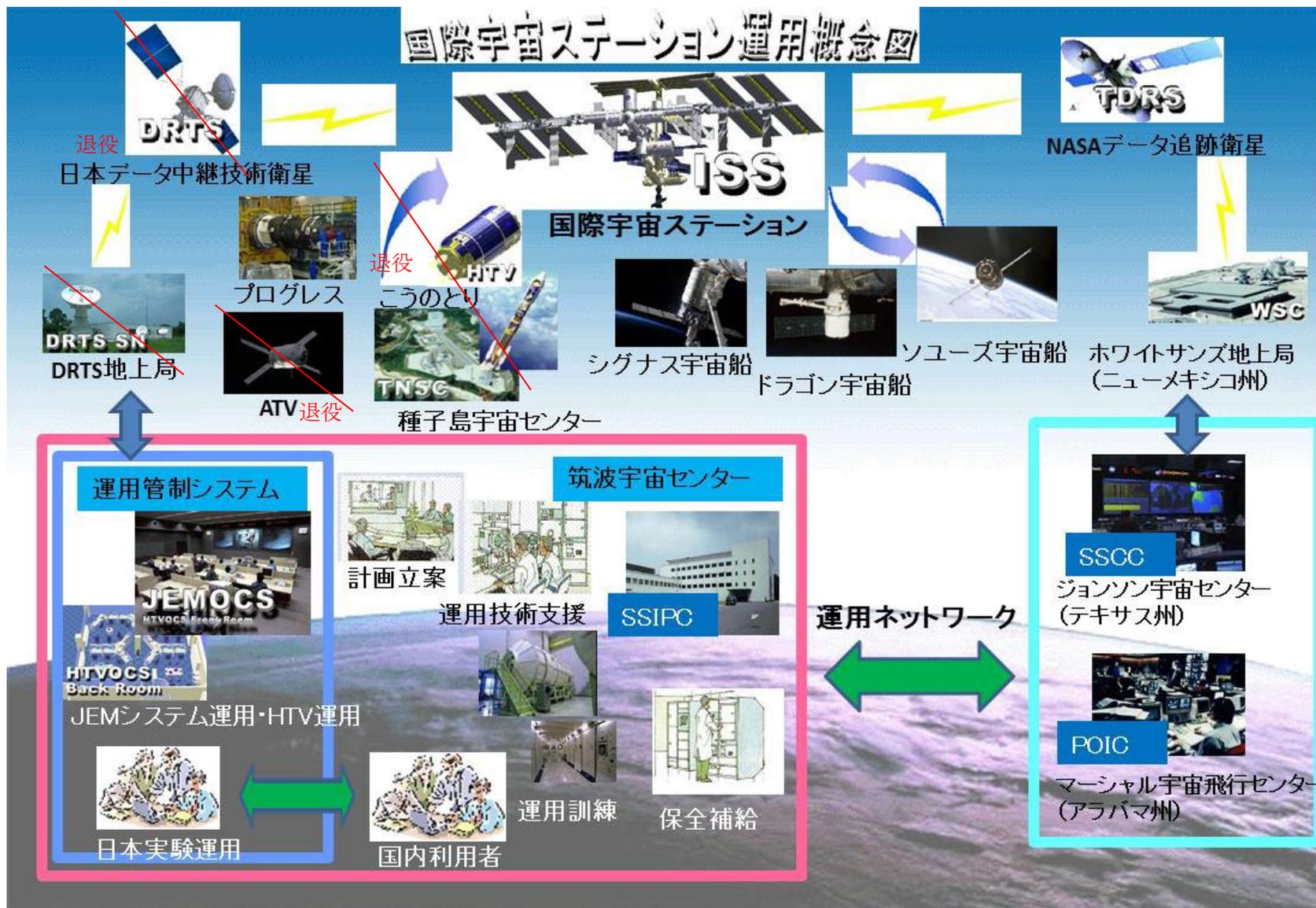


図 1.3-7 「きぼう」運用システムの概要

1.4 「きぼう」船内実験室に搭載される日本の実験装置等

これまで「きぼう」には、生命科学および物質・物理科学の研究を目的とした、細胞実験ラック (SAIBO ラック)、流体実験ラック (RYUTAI ラック)、勾配炉ラック (KOBAIRO ラック) の 3 種の実験ラックを搭載しました。また、様々な実験装置を入れる空間と実験に必要な電力などを提供する多目的実験ラックも搭載しました。

これらのラックに搭載された実験装置 (表 1.4) を利用した実験が可能です。

なお、故障等により使用不可あるいは廃棄済みの場合があります。

また、船内空間も利用できます。

上記の「きぼう」に搭載される実験装置は、実験分野に基本的に必要となる機能や共通的な計測機能を準備しており、また実験試料とその容器、及び実験固有に必要な機能を持たせた供試体を組み合わせて実験を行います。これらの装置/供試体等を利用する実験を企画・立案するにあたっては、それぞれの詳細な内容を確認し、各装置等の性能・機能の範囲内とする必要があります。

表 1.4 「きぼう」 船内実験室が提供する主な実験装置等*1

分野	搭載ラック	装置名称等	略号	搭載時期	詳細な説明 本書項目番号
生命科学	細胞実験ラック	細胞培養装置	CBEF /CBEF-L	2008 /2019	2.2
		植物実験ユニット	PEU	2008	2.1.1
		計測ユニット	MEU		2.1.2
		小動物飼育装置*3	MHU	2015	2.4
		受動・積算型宇宙放射線被ばく線量計	PADLES	2008	2.3
物質・物理科学	流体実験ラック	下記除き、換装予定			
		次期画像取得処理装置	IPU2	2021	-
	勾配炉ラック	換装予定			
	多目的実験ラック	静電浮遊炉	ELF	2015	3.2
		燃焼実験チャンバ	CCE	2012	3.3
	固体燃焼実験装置	SCEM	2020	3.4	
共通	多目的実験ラック		MSPR /MSPR2	2011 /2015	5.1
	顕微鏡観察システム		-	-	5.2
	エアロック*2		-	-	5.3
	軌道上冷凍冷蔵庫		MELFI /FROST /FROST2	2008 /2013 /2017	5.4
	船内空間		-	-	5.6

【*1】表 1.4 では生命科学、物質・物理科学に分類してありますが、各装置の機能、性能等を活用可能であれば分野を超えて利用することが可能です。

【*2】2023 年度テーマ募集では、エアロックの船内スペースのみ利用可能です。

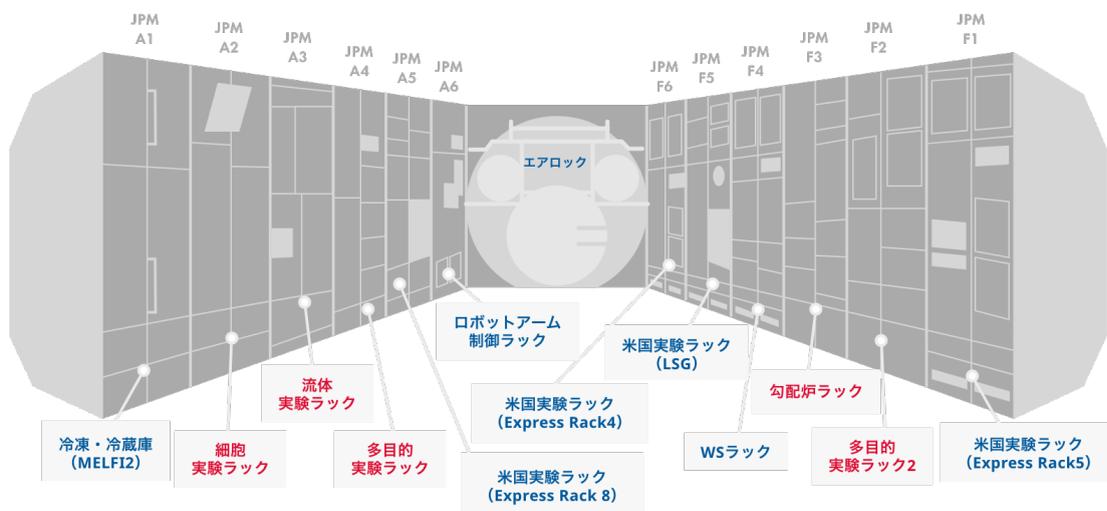
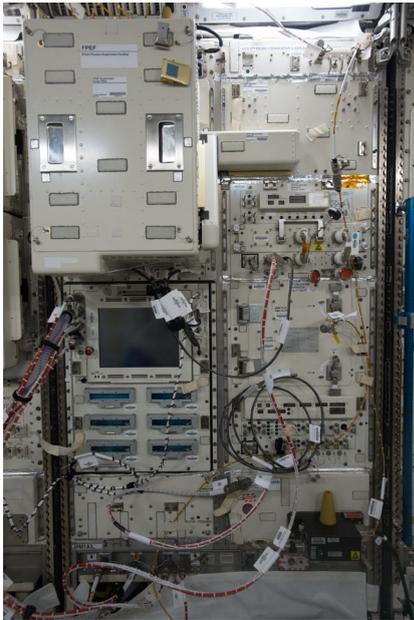
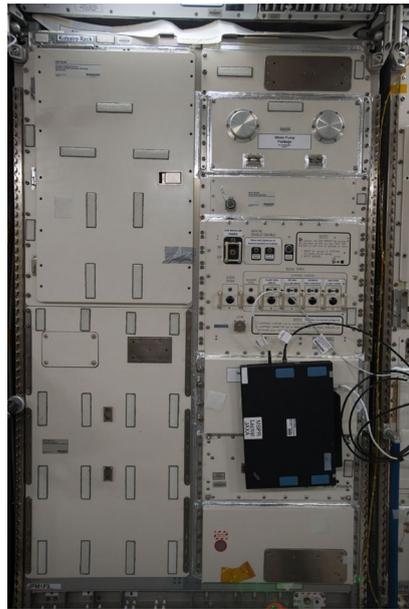


図 1.4-2 船内実験室での実験ラック配置



流体実験ラック



勾配炉ラック



多目的実験ラック



多目的実験ラック 2



細胞実験ラック

図 1.4-3 実験ラック

2. 生命科学実験装置

2.1 生物実験ユニット (Biological Experiment Unit: BEU)

生物実験ユニットは、後述の細胞培養装置 (Cell Biology Experiment Facility: CBEF/ CBEF-L) と組み合わせて生命科学実験を行うための実験ユニットです。

これまでに「きぼう」船内実験室用として開発され現在利用可能な生物実験ユニットには、植物実験ユニット (Plant Experiment Unit: PEU)、計測ユニット (Measurement Experiment Unit: MEU) の2種類があります。

- PEU は、植物種子を実験試料として、発芽から種子形成までの一連の生活環実験を行うために用意されています。
- MEU は内部に温度計測センサを持っており、多様な培養容器を収納して実験ができます。

2.1.1 植物実験ユニット (Plant Experiment Unit: PEU)

PEU は中型キャニスタサイズ (幅 210 mm x 高 80 mm x 奥行 130 mm) に、植物生育容器、生育用照明ユニット (LED)、湿度制御用換気ポンプ、給水ポンプ、温湿度センサ、水分センサと制御部を持っており、植物生育容器 (播種面積 20 cm²) で小型植物を生育できます。自動制御で給水管理、湿度管理、照明、ビデオ観察ができ、シロイヌナズナなどの小型植物では発芽から結実までの生活環を完結できます。詳細な機能・性能等は表 2.1.1 に示します。

植物生育容器は上下分離式で、下部にロックウールなどの支持体を入れて植物を生育させます。人工重力部のローター半径の制約から、地上部の高さは 50 mm と小さいですが、薄型生育用照明ユニット (赤 LED および青 LED) は培地表面で約 110 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ の光量を得ることができます。湿度制御はパッシブ方式でキャビンエアーを取り込んで換気することで有毒ガス類の排出と湿度低下させます。

ビデオ観察時は専用の白色 LED に切り替わってテレビ画像として録画および地上への伝送が可能となっています。

植物試料は宇宙飛行士によって収穫され、固定バッグや固定器具 (KFTCFB: Chemical Fixation Bag, CFA: Chemical Fixation Apparatus) を利用することで化学固定ができ、軌道上冷凍冷蔵庫などで保管できます。



図 2.1.1-1 植物実験ユニット外観 (PEU)

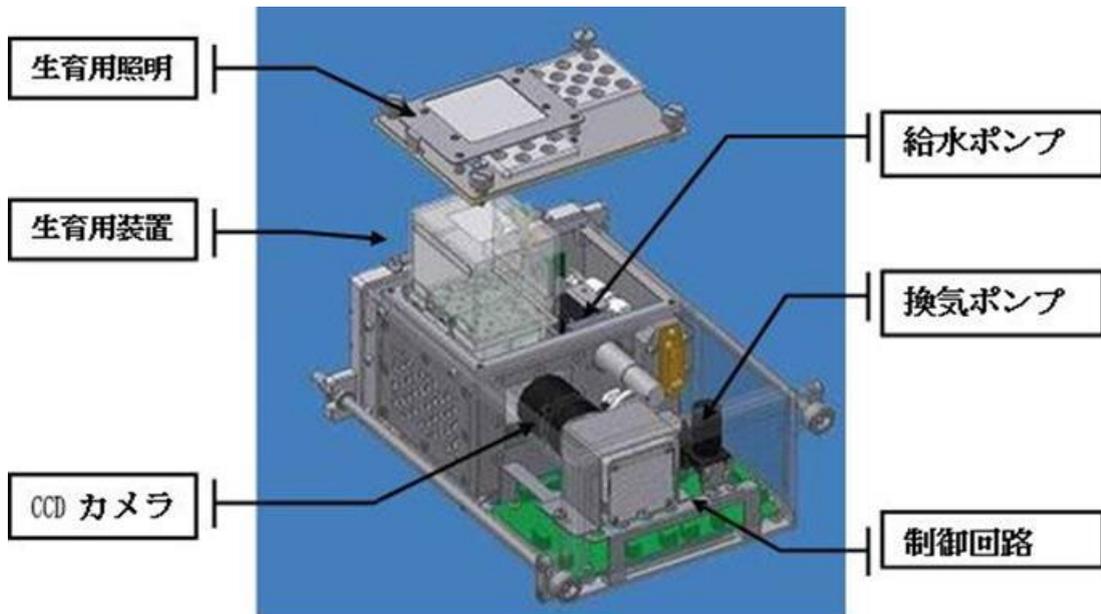


図 2.1.1-2 植物実験ユニット

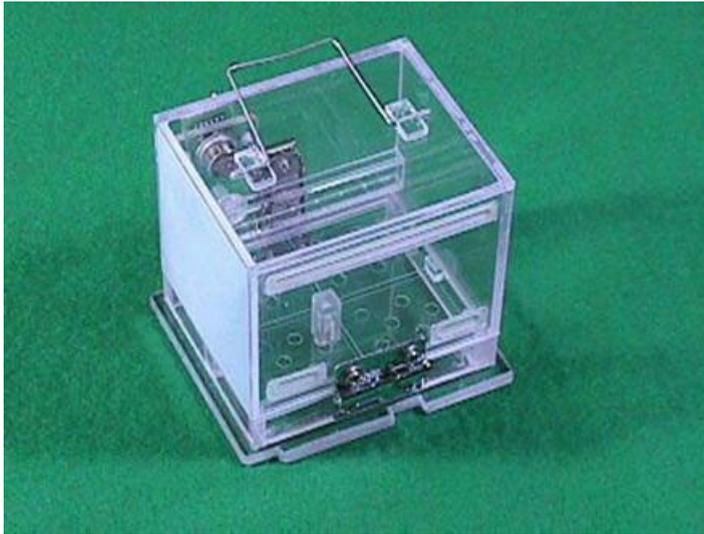


図 2.1.1-3 植物生育容器



図 2.1.1-4 シロイヌナズナ生育状況

表 2.1.1 植物実験ユニット (PEU) の仕様

項目	設計仕様
キャニスタ	タイプ：特注キャニスタ（中型キャニスタ相当の寸法） 搭載可能数：（微小重力区）6 個 （人工重力区）4 個
供試体構成	試料容器、通信制御部、送液ポンプ、換気ポンプ、生育用照明、 CCD カメラ、水分センサ、温湿度センサ
試料容器	構造：上下分割方式 （下部）ロックウール培地及び培地水分センサーポート （上部）温湿度センサ及び換気用ポート サイズ：（外寸）60×50×60（mm） （内寸）56×46×58（mm） 容積：149 ml 支持体播種面積：約 20 cm ² 支持体サイズ：42×52×10（mm）
LED 照明	生育用照明：・容器側方より LED 照明を行う。 ・赤色(660 nm)と青色(470 nm)の LED を組合せて使用。 ・明るさは培地表面の中央部にて 約110 μ mol \cdot m ⁻² \cdot sec ⁻¹ 。 画像観察用照明：白色 LED を使用する。（生育用照明から切り換え）
送液バッグ	サイズ：85×75×25（mm） 容量：約 100 ml 試料容器部に収納。実験温度で保持。
自動化機能	給水：近赤外線吸収により支持体含水率を測定し、送液ポンプによる アクティブ自動給水、または定期給水運転 湿度制御：センサで湿度を検出し、換気ポンプにてアクティブ制御 気相成分：換気ポンプ運転により容器内部を強制換気（CBEF 内空気を 制御取込） 照明：任意の明暗サイクル設定可能 画像観察：内蔵の CCD カメラ（パンフォーカス）による自動画像観察
制御	内蔵 CPU 及び実験用ラップトップコンピュータ (ULT: User Laptop Computer)により制御される。ULT を通じて地上からの制御も可能。
外部インタ フェース	ユーティリティコネクタ：CBEFから電力の供給を受け、コマンド入力、 センサ出力（供試体内回路基盤部温度）を行う。 画像：各供試体内の画像データは必要に応じてCBEFで切り替えられ、1 本のデータがIPU へ出力される。IPU による録画あるいは MPEG2 圧縮 にてダウンリンク可能。 RS-485：ULT と接続。ULT は「きぼう」の Ethernetを介して地上と通信 可能。
観察	1/3” カラーCCD カメラ内蔵。 レンズ：明るさ：f1.4、焦点距離：4.5 mm 光源：カラー画像観察時は白色 LED を使用。その間生育用照明は消灯 有効画素数：40 万画素 画像出力：NTSC
その他	培養容器近傍にて温湿度を計測。CBEF 側で温度、湿度、CO ₂ 濃度等を 制御した空気を取り込み、雰囲気とする。

2.1.2 計測ユニット (Measurement Unit: MEU)

MEU は中型キャニスタサイズ (幅 210 mm x 高 80 mm x 奥行 130 mm) に、多様な培養容器を収納するためのケーシングと温度センサ(2点)持っています。市販の T-25 フラスコであれば 6 個収納できます。細胞培養用に準備されている各種サンプルホルダーと組み合わせて、細胞培養バッグや細胞培養用チャンバ (付着細胞用、Disposable Cultivation Chamber : DCC) を収納して CBEF/CBEF-L に取り付けて静置培養することができます。DCC については自動送液器具を用いて宇宙飛行士の操作で、6 個同時に培地交換やバッファへの置換ができます (RNAlater などの試薬利用は可能性がありますが、固定剤などの使用には危険物封入のための新たな器具の開発が必要になります)。詳細な機能・性能等は表 2.1.2 に示します。

V-MEU(カメラ付計測ユニット、Video Measurement Unit) は、MEU のキャニスタの中に PEU の CCD カメラと試料容器保持部を装備した実験ユニットです。給水などの実験開始操作は宇宙飛行士の手で行い、観察のみをユニット内で行いたいという実験に適しています。

現仕様の V-MEU には観察用照明として白色 LED が 2 個、60 mm x 90 mm x 95 mm の試料容器 2 種 (植物タイプ、水槽タイプ) があります。容器は実験試料に応じて作成し、赤外線観察等を希望する場合にはユニットの改修が必要です。

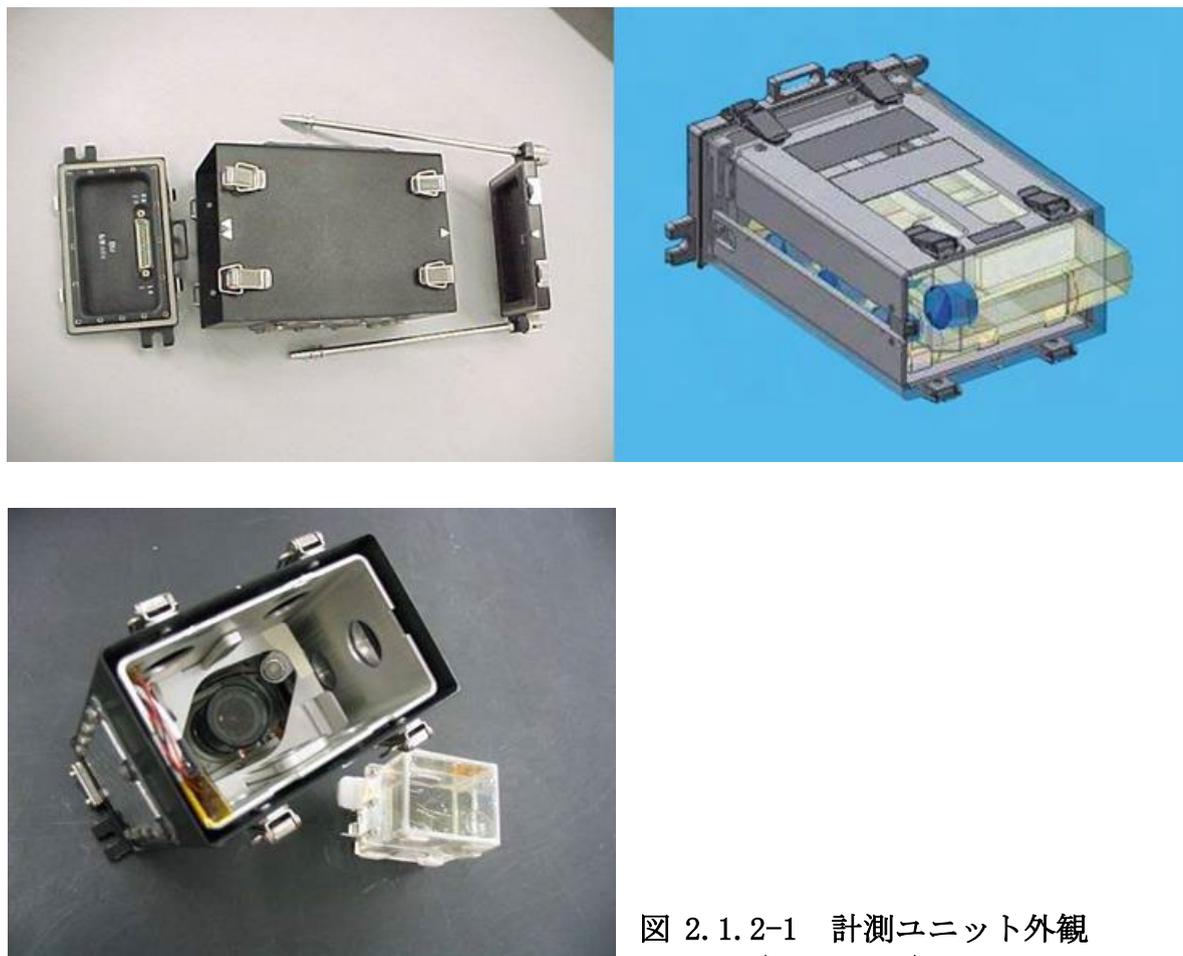


図 2.1.2-1 計測ユニット外観
(MEU&V-MEU)

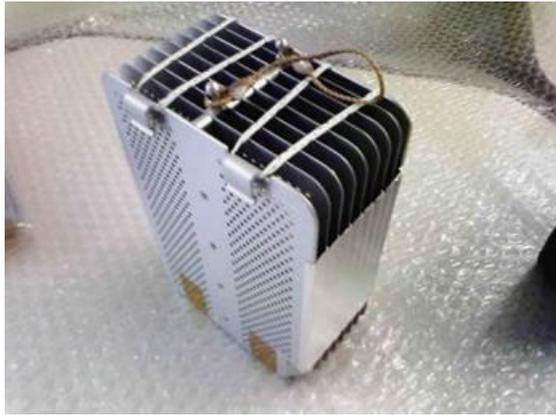


図 2.1.2-2 サンプルホルダーA

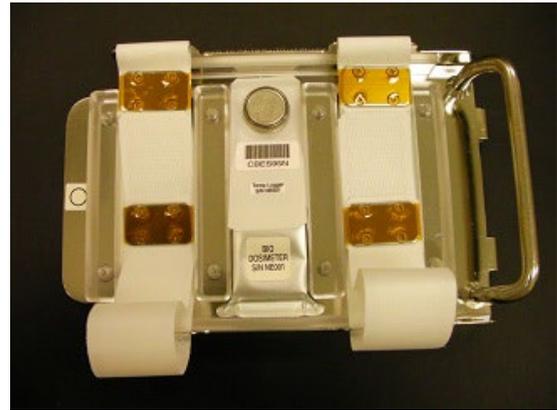


図 2.1.2-3 サンプルホルダーB



図 2.1.2-4 細胞培養バッグ (一例)



図 2.1.2-5 DCC ケース(左)、DCC(右)



図 2.1.2-6 自動送液器具 (1型)

表 2.1.2 計測ユニット (MEU, V-MEU) の仕様

項目	設計仕様
キャニスタ	タイプ：中型キャニスタ 搭載可能数：（微小重力区）6 個 （人工重力区）4 個
供試体構成	ケーシング、通信制御部、温度センサ（2 点） オプション：CCD カメラ、観察用照明（V-MEU）
自動化機能	温度測定：温度センサ 2 点で温度を検出して地上に伝送。 オプション（V-MEU） 画像観察：CCD カメラ（パンフォーカス）による自動画像観察
収納可能ユニット	サンプルホルダーA：厚さ 5mm x 高さ 17cm x 幅 50mm のスリットを 15 個持っている。 サンプルホルダーB：ディスポーザブル容器(DCC)を 4 個収納するケース 2 個を取り付けて MEU に収納。ケースは、保湿バッグ等の収納スリット 1 個を持っている。
利用可能容器	<ul style="list-style-type: none"> ・市販 T-25 フラスコ：6 個を収納可能 ・細胞培養バッグ：浮遊細胞などを培養するためのプラスチックバッグで約 20 ml の細胞懸濁液を入れてヒートシールして使用。 ・細胞培養用チャンバ (DCC)：培養面積 15 cm² の細胞接着板とガス透過膜、セプタムを持って液交換が可能。

2.2 細胞培養装置 (Cell Biology Experiment Facility: CBEF) /追加実験エリア (CBEF-L)

細胞培養装置は、「きぼう」船内実験室で生命科学系実験を行うために種々の細胞や微生物、小型植物などを培養する装置です。CBEF は、培養部及び培養部の制御と「きぼう」システムとの通信を行う制御部から構成されています。培養部は微小重力区と軌道上での対照実験のために、0.1~2.0 G を設定可能な人工重力区（遠心式）を持っています。培養容器や自動化機器類（生物実験ユニット）は、キャニスタと呼ばれる容器に収納して装置本体に装着します。

培養部の環境について、温度は 15~40℃、湿度は 30~80%(加湿制御のみ)、炭酸ガス濃度は 0~10%の範囲で制御できます。これらの環境はセンサで連続的にモニターされ地上に伝送されます。

キャニスタと装置本体はコネクタで接続され(微小重力区 6 個、人工重力区 4 個)、生物実験ユニットの制御と、画像データ、センサからのデータ取得などを行うことができます。詳細な機能・性能等は表 2.2 に示します。



図 2.2-1 細胞培養装置外観
(左：扉を閉じた状態。右：微小重力区に 6 個、人工重力区に 4 個、中型キャニスタ装着した状態)



図 2.2-2 人工重力区

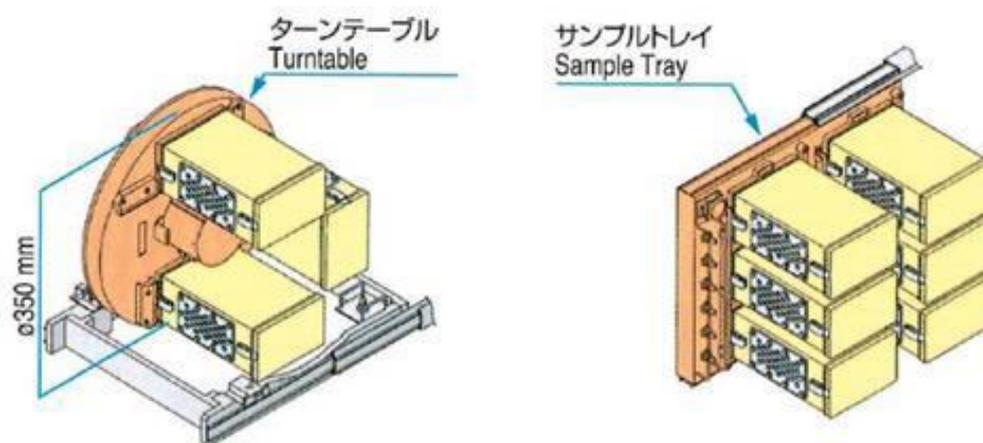


図 2.2-3 中型キャニスタ装着状況

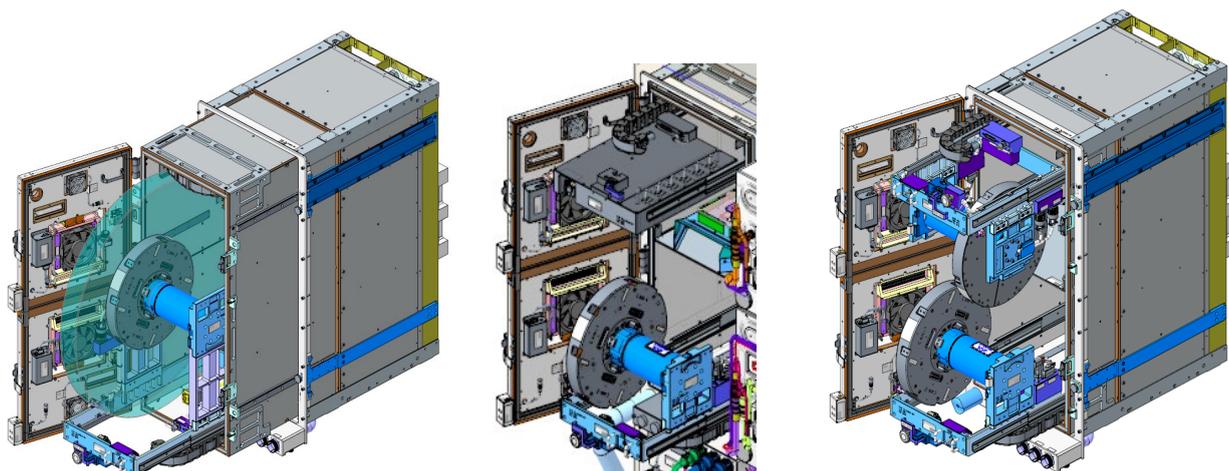
表 2.2-1 細胞培養装置の仕様

項目		設計仕様					
構成	容積	培養部： 130 リットル					
	培養部	<ul style="list-style-type: none"> ・微小重力区と人工重力区から構成され、それぞれ環境制御用装置と各種センサを持つ。 ・キャニスタを収納した状態で培養部内の温度、湿度、CO₂濃度の維持・制御が可能。 ・人工重力区は人工重力発生機により、0.1~2.0 Gの任意の人工重力を発生させ、重力以外は微小重力区とほぼ同じ環境を実現する。両者は並行して実験可能。 ・付属品としてキャニスタ及びキャニスタトレイを用意しキャニスタ内部に試料をセットして実験する。 ・キャニスタ内部の利用者準備機器に対して実験に必要な電力/信号/ビデオのインタフェースを持つ。 					
	制御部	<ul style="list-style-type: none"> ・地上または実験用ラップトップコンピュータ (ULT) からのアプリケーションソフトウェアを利用したコマンド入力やユーザプログラムの入力により各種制御が可能。 					
培養部	キャニスタの種類	<p>大きさ：中型を標準仕様 形式：密閉型、ガス透過型</p> <p>密閉型：「きぼう」船内実験室与圧部の与圧環境下において気体、液体に対するシール性を有する。</p> <p>ガス透過型：ガス透過性膜付の窓を持ち、通常的环境下でのガス透過機能を有する。「きぼう」船内実験室与圧部の与圧環境下において、液体に対するシール性を有する。</p>					
	中型キャニスタサイズ	<p>外寸：127.5×205×83 (mm) 内寸：120×195×71 (mm) (ただし各角にデッドスペースがあるため、最小内寸は106×175×57(mm)となる)</p>					
	キャニスタ搭載個数	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>微小重力区</th> <th>人工重力区</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>中型</th> <td>6</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>		微小重力区	人工重力区	中型	6
	微小重力区	人工重力区					
中型	6	4					

表 2.2-1 細胞培養装置仕様（続き）

項目		設計仕様																																												
環境制御系	温度制御	15～40℃±1℃（キャニスタからの発熱なしの場合）																																												
	湿度制御	30～80%RH±5%RH （達成しうる最低湿度は庫外の環境湿度、最高湿度は設定温度及び環境条件による）																																												
	CO ₂ 濃度制御	0～10%vol																																												
	重力発生方式	遠心力利用																																												
	重力値設定	0.1～2.0 G（回転中心から112.5 mmの点においての値） 重力値設定は回転数で制御（1 rpm）																																												
利用者インタフェース	ユーティリティコネクタ設置数		微小重力区	人工重力区																																										
		ユーティリティ（電力、コマンドセンサー出力等）	全6個	全4個																																										
		画像*	全6個	全4個																																										
		RS-485 接続	全6個	全4個																																										
*CBEF外への出力は1系統																																														
	ユーティリティ内訳	<p>中型キャニスタ使用時に、コネクタ毎にユーティリティとして使用可能なリソースは下記の通り。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th>微小重力区</th> <th>人工重力区</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">電力</td> <td>+ 5V DC</td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>+12V DC</td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>-15V DC</td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>+15V DC</td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>コマンド(1bit)</td> <td></td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>センサ出力(0-5V)</td> <td></td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>シールド(GND)</td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>ビデオ出力</td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>RS-485 接続</td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>						微小重力区	人工重力区	電力	+ 5V DC		1	1	+12V DC		1	1	-15V DC		1	1	+15V DC		1	1	コマンド(1bit)		2	2	センサ出力(0-5V)		2	2	シールド(GND)		1	1	ビデオ出力		1	1	RS-485 接続		1	1
			微小重力区	人工重力区																																										
電力	+ 5V DC		1	1																																										
	+12V DC		1	1																																										
	-15V DC		1	1																																										
	+15V DC		1	1																																										
	コマンド(1bit)		2	2																																										
センサ出力(0-5V)		2	2																																											
シールド(GND)		1	1																																											
ビデオ出力		1	1																																											
RS-485 接続		1	1																																											
	ユーザプログラム	<p>ユーザはCBEFの提供する専用言語を用いて、インキュベータの間欠運転・温湿度サイクル制御やキャニスタの運転制御等を行うことができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1プログラムあたり64Kバイト ・同時に3プログラムまで実行可能 																																												
	ビデオ画像の取得	<p>微小重力区6点、人工重力区2点（ターンテーブル上で各2分岐し合計は4点）のビデオ出力を制御部にて切り替え、うち1点のみを「きぼう」船内実験室へ出力する。ビデオ出力の切り替えはコマンドまたはプログラムにより制御される。</p>																																												

また、2019年9月に、追加区画の実験エリア「細胞培養装置追加実験エリア（CBEF-L）」を打上げ、2020年より「きぼう」にて使用可能となりました。CBEF-Lは、CBEFの機能に加え、ハイビジョン映像やイーサネットインタフェースを供試体に提供するとともに、実験目的にあわせて、インキュベータ部のコンフィギュレーションを変更することが可能です。なお、大型人工重力発生機の半径はCBEFの人工重力発生機の約2倍まで拡張可能です。



大型人工重力区
コンフィギュレーション

微小重力区&人工重力区
コンフィギュレーション

人工重力区×2
コンフィギュレーション

図 2.2-4 CBEF-L のコンフィギュレーションイメージ



図 2.2-5 CBEF-L 外観

表 2.2-2 細胞培養装置追加実験エリアの仕様

項目		設計仕様					
構成	容積	培養部(1区画)： 約200 リットル 培養部(2区画)： 約130 リットル					
	培養部	<ul style="list-style-type: none"> ・培養部それぞれに環境制御用装置と各種センサを持つ。 ・実験要求に合わせ、以下のコンフィギュレーションから選択可能 <ol style="list-style-type: none"> 1. 培養部を1区画とし、大型人工重力区のみで構成 2. CBEFと同じ微小重力区と人工重力区で構成 3. 人工重力区を2区画で構成 ・キャニスタを収納した状態で培養部内の温度、湿度、CO₂濃度の維持・制御が可能。 ・人工重力区は人工重力発生機により、0.1～2.0 Gの任意の人工重力を発生できる。 ・付属品としてキャニスタ及びキャニスタトレイを用意しキャニスタ内部に試料をセットして実験する。 ・キャニスタ内部の利用者準備機器に対して実験に必要な電力/信号/ビデオのインタフェースを持つ。 					
	制御部	細胞培養装置の仕様(表2.2-1)と同じ					
培養部	キャニスタの種類	細胞培養装置の仕様(表2.2-1)と同じ					
	中型キャニスタサイズ	細胞培養装置の仕様(表2.2-1)と同じ					
	キャニスタ搭載個数	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td>微小重力区</td> <td>人工重力区(大型含む)</td> </tr> <tr> <td>中型</td> <td>6</td> <td>4</td> </tr> </table>		微小重力区	人工重力区(大型含む)	中型	6
	微小重力区	人工重力区(大型含む)					
中型	6	4					
環境制御系	温度制御	細胞培養装置の仕様(表2.2-1)と同じ					
	湿度制御	30～65%RH±5%RH (達成しうる最低湿度は庫外の環境湿度、最高湿度は設定温度及び環境条件による)					
	CO ₂ 濃度制	細胞培養装置の仕様(表2.2-1)と同じ					
	重力発生方	細胞培養装置の仕様(表2.2-1)と同じ					
	重力値設定	細胞培養装置の仕様(表2.2-1)と同じ					

表 2.2-2 細胞培養装置追加実験エリアの仕様 (続き)

項目		設計仕様		
利用者インタフェース	ユーティリティコネクタ設置数		微小重力区	人工重力区
		ユーティリティ (電力、コマンド センサー出力等)	全 6 個	全 4 個
		NTSC 画像*	全 6 個	全 4 個
		RS-485 接続	全 6 個	全 4 個
HD-SDI 画像		全 6 個	全 6 個	
LAN 接続		1 個	1 個	
		*CBEF-L外への出力は1系統		
	ユーティリティ内訳	中型キャニスタ使用時に、コネクタ毎にユーティリティとして使用可能なリソースは下記の通り。		
			微小重力区	人工重力区
	電力	+ 5V DC	1	1
		+12V DC	1	1
		-15V DC	1	1
		+15V DC	1	1
		+24V DC	1	1
	コマンド(1bit)		2	2
	センサ出力(0-5V)		2	2
	シールド(GND)		1	1
	ビデオ出力	NTSC	1	1
		HD-SDI	1	1
	RS-485 接続		1	1
	LAN 接続		1*	1*
		*区画として1つのみ		
	ユーザプログラム	ユーザはCBEFの提供する専用言語を用いて、インキュベータの間欠運転・温湿度サイクル制御やキャニスタの運転制御等を行うことができる。 <ul style="list-style-type: none"> ・1プログラムあたり64Kバイト ・同時に3プログラムまで実行可能 		
	ビデオ画像の取得	NTSC画像： 微小重力区6点、人工重力区2点（ターンテーブル上で各2分岐し合計は4点）のビデオ出力を制御部にて切り替え、うち1点のみを「きぼう」船内実験室へ出力する。ビデオ出力の切り替えはコマンドまたはプログラムにより制御される。		
		HD-SDI画像： 微小重力区6点、人工重力区6点のビデオ出力を光多重化変換し、「きぼう」船内実験室へ出力および復元される。		

2.3 ライフサイエンス宇宙実験のための受動・積算型宇宙放射線被ばく線量計測 (PADLES : Passive Dosimeter for Lifescience Experiments in Space)

JAXA では、「きぼう」の ISS への取り付けと同時に、受動・積算型の宇宙放射線被ばく線量計 PADLES (Passive Dosimeter for Life Science Experiment in Space) を用いた「きぼう」船内の宇宙放射線環境モニタリング (Area PADLES)、ライフサイエンス実験に使用される生物試料の被ばく影響評価のための線量計測 (Bio PADLES)、長期滞在を行う日本人宇宙飛行士の個人被ばく線量計測 (Crew PADLES) を実施しています。

国際宇宙ステーション (ISS) やスペースシャトルでのライフサイエンス宇宙実験では、生物試料の宇宙放射線影響を物理的・化学的に解析するための指標として、宇宙放射線環境の測定が重要となります。ライフサイエンス宇宙実験において重要な、生物試料の被ばく線量等の計測、データの解析・提供を JAXA が行います (図 2.6-1)。

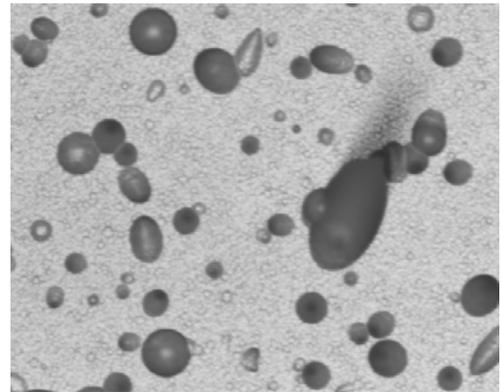
JAXA が開発した、宇宙放射線環境を測定するのに最も優れた 2 種類の線量計素子 (固体飛跡検出器 CR-39、熱蛍光線量計 TLD) を組み合わせたドシメーターパッケージ (図 2.3-1、図 2.3-2) と、その解析を自動で行うシステム (PADLES : Passive Dosimeter for Lifescience Experiments in Space) を用いて、生物試料とともに搭載したドシメーターパッケージを、帰還後約 2 週間でデータ解析し、線量計の詳細搭載環境・線量解析結果を英文レポートにまとめて提供します (図 2.3-3)。

PADLES 線量計が提供する解析項目は以下の通りです (表 2.3-1)。

- 吸収線量 (単位 mGy) : 単位質量あたりの吸収エネルギー
- LET (線エネルギー付与) 分布 : 荷重係数の算出必要となる LET (線エネルギー付与) 分布の計測
- 線量当量 (単位 mSv) : 放射線の線質に依存する吸収線量の荷重係数を吸収線量の値に積した値



図 2.3-1 PADLES ドシメーターパッケージを構成する素子 (CR-39、TLD)



宇宙飛行士用 生物試料用 環境計測用

図 2.3-2 (左)PADLES ドシメーターパッケージには用途に応じて、素子をアルミヒートシール(3cm×3cm×0.5mm)で封入したもの、ポリカケース入りのものがある(4.6cm×4.6cm×0.9mm)。(右)ISS「きぼう」船内に278日間搭載された固体飛跡検出器CR-39。軌道上で線量計を通過した重荷電粒子の飛跡(エッチピット)を可視化して見ることができる。このエッチピットの形状、個数を測定することでLET分布を算出できる。

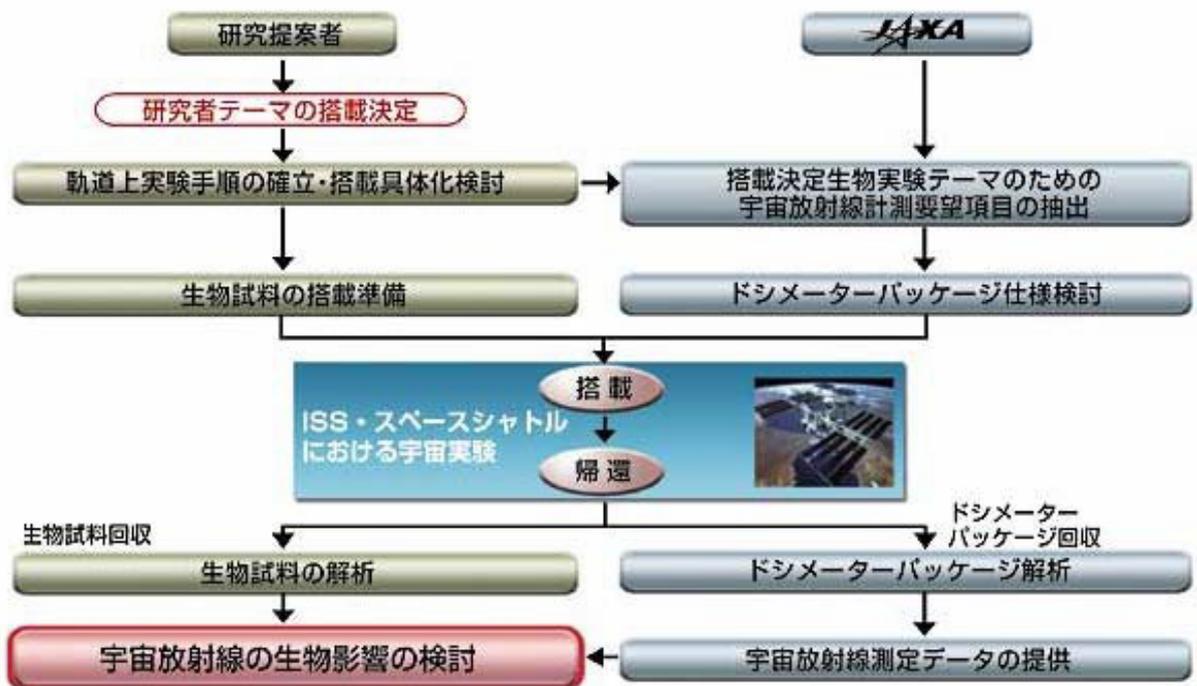


図 2.3-3 ライフサイエンス宇宙実験での放射線測定フロー

表 2.3-1 PADELS ドシメータ・パッケージ仕様

素子		測定機能	対象線種	LET 範囲 (keV/ μ m)
TLD	MSO-S	吸収線量*1	光子、荷電粒子	0.2~10
CR-39	HARZLAS (TD-1/TNF-1)	粒子フルエンスの LET 分布	荷電粒子	2~1000
	BARYOTRK/HARZLAS (TD1)	粒子トラッキング	高 Z 高 E 荷電粒子	40 以上*3
TLD	MSO-S	吸収線量*1	光子、荷電粒子	0.2~1000
CR-39	HARZLAS (TD-1/TNF-1)	線量当量*1	光子、荷電粒子	
		実効線質係数*2	光子、荷電粒子	
温度範囲		-80~40°C		
雰囲気		1 気圧、空气中		
外形		25mm ^W ×25mm ^L ×4mm ^t (CR-39 の最小面積、20mm ^W ×15mm ^L ×0.45mm ^t)		
搭載期間		標準 3 ヶ月 (最短 1 週間~最長 1 年)		

*1 生物試料搭載期間中の積分値。

*2 生物試料搭載期間中の平均値。

*3 相対論的エネルギー領域で Si 原子核以上の Z を持った荷電粒子に相当する。

2.4 小動物飼育装置 (Mouse Habitat Unit: MHU)

2020年までを見通した「きぼう」利用シナリオ（生命科学分野）において、基礎科学研究のみならずヒトへの応用を視野に入れたモデル生物として小動物（マウス等）を用いた実験環境が必須と提言されました。小動物飼育装置（MHU）は、この提言を受け、JAXAとして小動物（マウス）を用いた宇宙実験に主体的に取り組むことを目指し、新規に開発している装置です。MHUにより、マウスのISSへの打上げや「きぼう」船内で長期間の飼育、回収が可能になります。さらに2023年現在、後継となる新型の飼育システム「SMART」を開発を進めています。以下に現行の飼育システム・現在開発中の新型飼育システムについての概要を示します。

【現行の飼育システム (MHU)】

MHUは、軌道上（「きぼう」船内）で、細胞培養装置（CBEF）と組み合わせて、CBEFの微小重力区と人工重力区（遠心機）に設置でき、哺乳動物として初めて、ISSでの長期人工重力実験を実施できます（図2.4-1）。また、宇宙機でのマウスの打上げ、回収を行うための打上/回収支援装置、宇宙飛行士がマウスの移し替えやMHUのメンテナンスを行うためのMHU専用のグローブボックス等から構成されます。

ISSでのマウスを用いた実験は、イタリア宇宙機関が2009年に実施し、米国

(NASA)も2014年から実施し

ています。これらの装置に対し、JAXAの装置は、以下のような他国にない特徴を有しています。日本として、今後、マウスを用いた実験によりきぼう利用成果を高めると同時に、国際協力による実験環境の補完や連携により、ISS全体として成果の拡大につながる事が期待されます。

- (1) 軌道上の微小重力環境と遠心機による人工重力環境の両方で飼育でき、両群の比較により重力の影響を詳細に調べることが可能です（ISSでの哺乳類の人工重力実験は世界初）。なお、人工重力区画は回転を停止することにより微小重力区としても利用可能です。
- (2) きぼう船内でのマウスは個別ケージ内での飼育により、雌雄や系統に大きな制約がありません。またモニタによりマウスの状態や行動が詳細に観察できます。

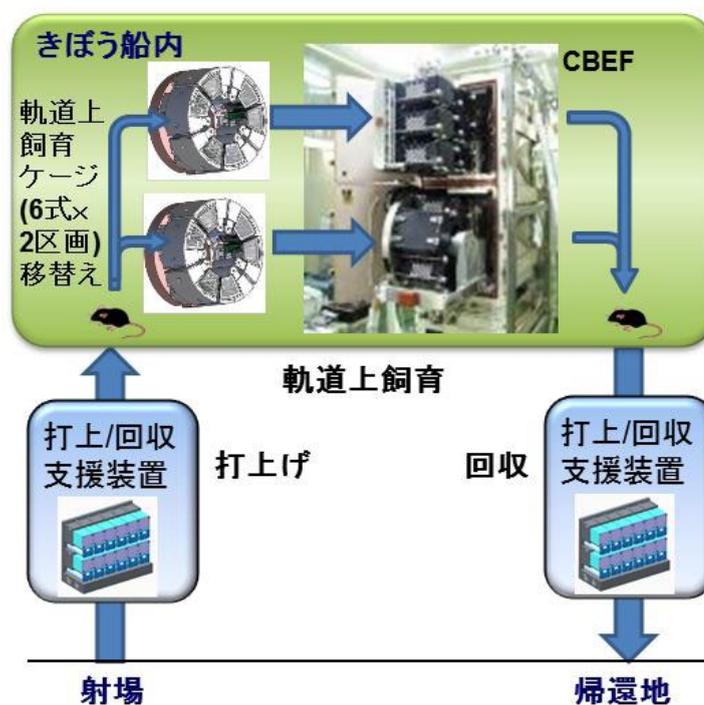


図 2.4-1 JAXA 小動物飼育実験の概念

図 2.4-2 に MHU 軌道上飼育ケージの CBEF への設置、図 2.4-3 に軌道上飼育ケージの外観、図 2.4-4 に軌道上飼育ケージ内部、表 2.4-1 に MHU の主な仕様を示します。

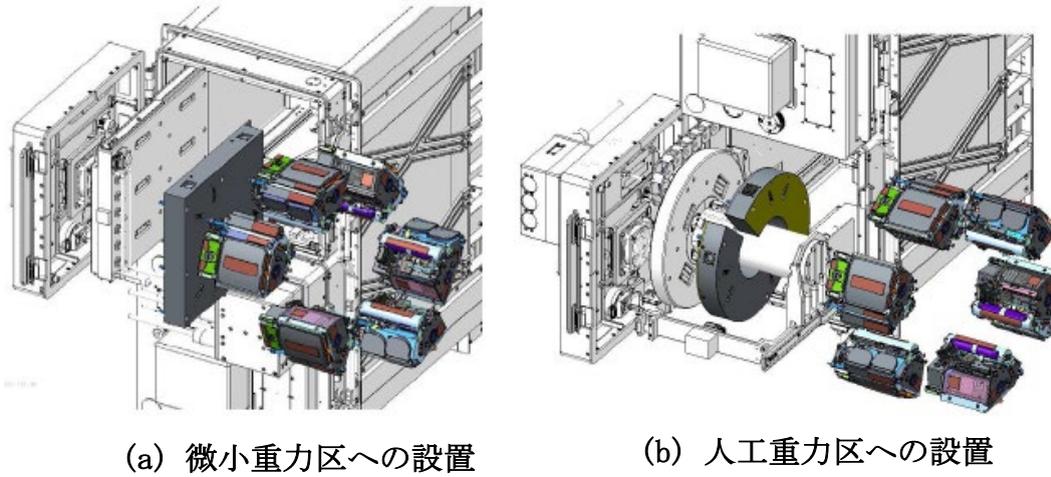


図 2.4-2 MHU 軌道上飼育ケージの CBEF への設置

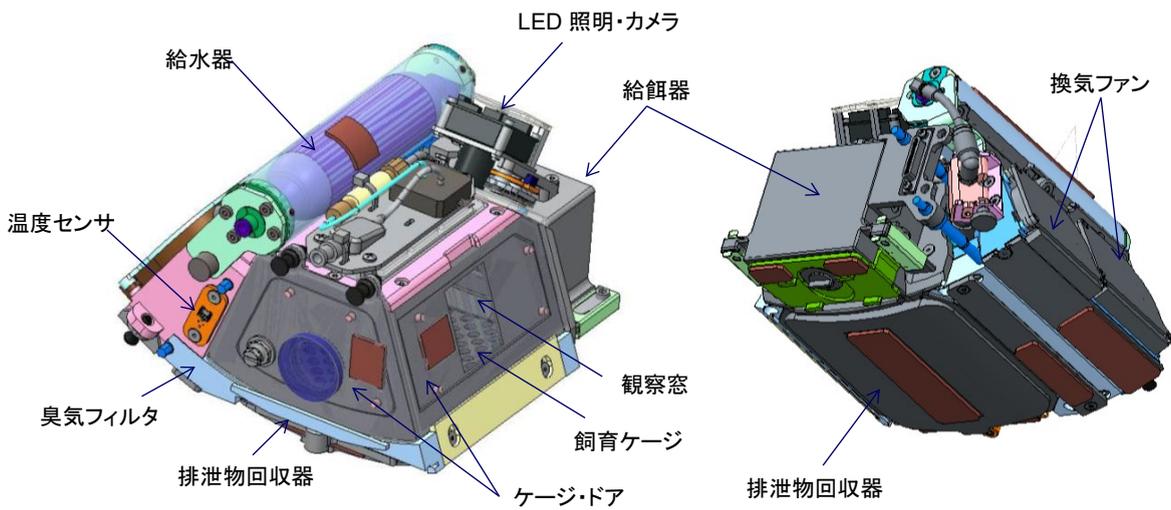


図 2.4-3 MHU 軌道上飼育ケージの外観

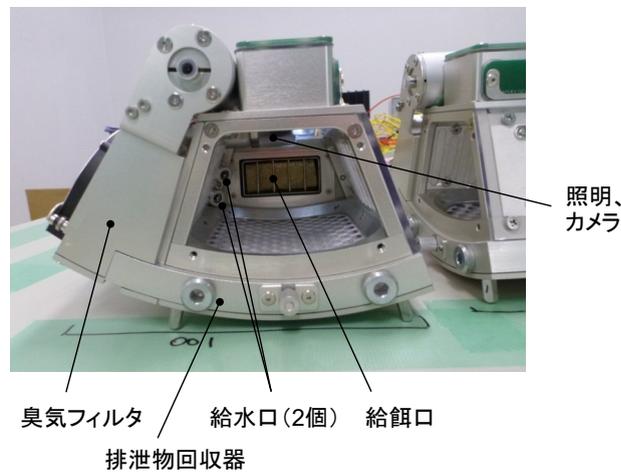


図 2.4-4 MHU 軌道上飼育ケージ内 (写真は試作試験モデル)

表 2.4-1 MHU の主な仕様

項目	仕様
軌道上飼育ケージ (Habitat Cage Unit)	
搭載種 (共通)	マウス (オス又はメス)。(これまでのすべての宇宙ミッションは C57BL/6 系統マウスを使用して実施)
飼育数	12 匹 (CBEF の微小重力区画 : 6 匹、人工重力区画 : 6 匹)
飼育方法	個別飼育 (1 匹/ケージ)
飼育期間	30 日 (それ以上はケージの交換が必要)
ケージ内形状	<ul style="list-style-type: none"> ケージ床面積 : 96.7cm² 以上、最長部 : 12.7cm 以上、ケージ床面位置 : 遠心機の中心から 15cm の面 ケージの観察窓の位置が左/右の 2 タイプ (面対称) を観察窓が隣り合うよう設置可能 微小重力区画、人工重力区画用のケージは共通化
給餌	固形餌 (国内一般市販品相当) の押出しによる自動給餌 (クルーが定期的に補充)
給水	給水バルーンからの自動給水 (クルーが定期的に補水)。給水ポートはケージ内に 2 個設置。故障時等にクルーがケージ内に給水ゲルを設置可能
排泄物処理	<ul style="list-style-type: none"> 固形物 : ケージ外部に排泄物回収器を設置し、ケージ内通気により集積 (クルーが定期的に交換) 液体 : ケージ内に貼付した吸収材による吸収 臭気除去フィルタを装備 (クルーが定期的に交換)
観察機能	<ul style="list-style-type: none"> 暗視機能付ビデオカメラ (1 台/ケージ) による撮影。NTSC 形式 観察面の汚れの自動除去機能付き (ワイパ) リアルタイムダウンリンク可
照明	<ul style="list-style-type: none"> 明サイクル : 白色 LED (40-60lux)、暗サイクル : 赤外 LED 明暗サイクル時間を任意に設定可能
ケージ内換気機能	<ul style="list-style-type: none"> ケージごとに換気ファン (2 個) による換気 風量 : 8.8L/min 以上、平均風速 : 20cm/sec 以下
飼育環境	温度 : 22~26°C、湿度 : 30~70 %RH。ただし CBEF による庫内環境制御による
環境計測	ケージ毎に温度センサ、微小重力区画、人工重力区画それぞれに CO ₂ 、NH ₃ センサを設置し、マウス飼育環境のモニタが可能。他に CBEF のセンサを利用可能
打上/回収支援装置 (Transportation Cage Unit)	
打上/回収匹数	12 匹
飼育方法	個別飼育 (1 匹/ケージ)
飼育期間	・ 打上げ時 : 地上での打上/回収支援装置のケージへの搭載から、軌道上飼育ケージへの移替えまで最長 10 日間

	<ul style="list-style-type: none"> 回収時：軌道上飼育ケージから打上/回収支援装置のケージへの移替えから、地上での受領まで：最長5日間（宇宙機による） なお、軌道上エンドポイントの宇宙ミッションを計画することを前提として研究計画を立案ください。
ケージ形状	円筒形、内径：55mm以上、最長部：127mm以上
給餌	固形餌（国内一般市販品相当）のケージ内設置
給水	給水バルーンからの自動給水。給水ポートは軌道上飼育ケージと共通化。故障時等にクルーがケージ内に給水ゲルを設置可能
排泄物処理	<ul style="list-style-type: none"> 固形物：ケージ外部に排泄物を蓄積できるエリアを設置し、ケージ内通気により集積 液体：排泄物回収エリアに貼付した吸収材による吸収 臭気除去フィルタを装備
照明	<ul style="list-style-type: none"> 明サイクル：白色LED（40-60lux）、暗サイクル：白色LEDオフ 明暗サイクル時間を任意に設定可能
ケージ内換気機能	<ul style="list-style-type: none"> 打上/回収支援装置全体として換気ファン（2個）による換気 ケージあたり、風量：8.8NL/min以上、ケージ内平均風速：20cm/sec以下
飼育環境	宇宙機の運用時の環境条件による
環境計測	温度、湿度センサによる計測、ロガーでの記録
付属器具等	
グローブボックス	きぼう船内で、クルーが打上/回収支援装置⇄軌道上飼育ケージ間のマウスの移替え、軌道上飼育ケージのメンテナンス、交換、軌道上処置等を行う際、マウスや排泄物等のキャビンへの飛散防止が可能なグローブ付きバッグ
軌道上処置装置	動物実験に関わる軌道上処置装置

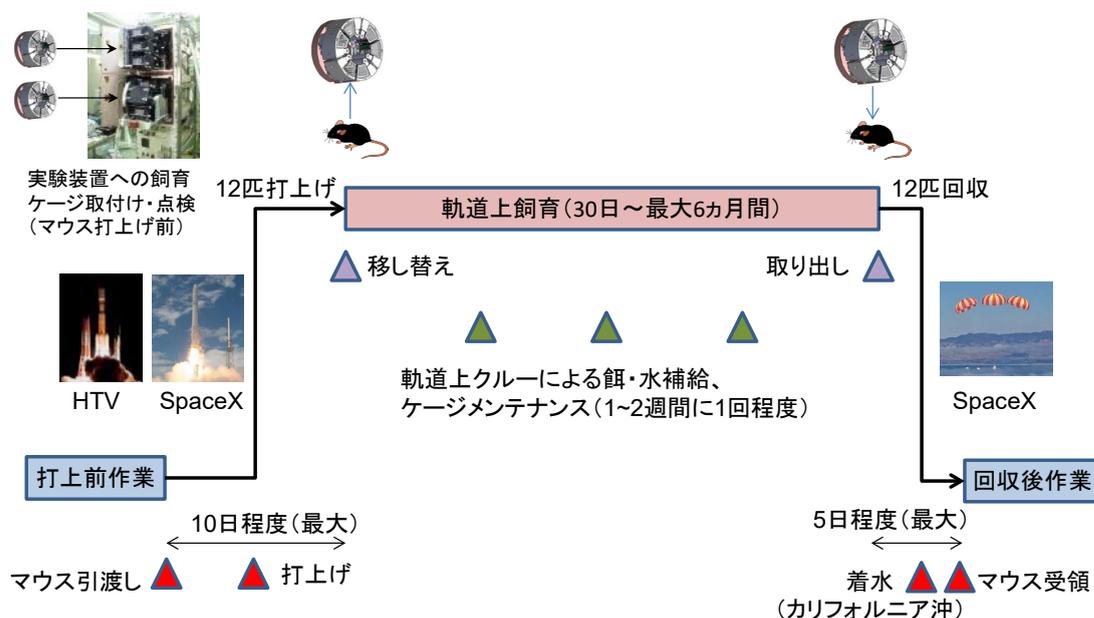


図 2.4-5 MHU を用いた実験の流れ

図 2.4-5 に MHU を用いた実験の流れを示します。マウスは、射場で打上前の準備作業（馴致等）の後、打上/回収支援装置のケージに搭載され、ロケット側に引き渡されます。宇宙機が ISS に係留し、打上/回収支援装置がきぼう船内に運び込まれた後、マウスはグローブボックス内で宇宙飛行士により軌道上飼育ケージに移し替えられます。軌道上飼育ケージは、宇宙飛行士により定期的に餌カートリッジ交換、給水バルーンへの水補給、フィルタ交換、排泄物回収等のメンテナンス作業が行われます。

飼育期間中、マウスの様子はケージ内のビデオカメラにより、地上からのコマンドでモニタリングが可能で、個体ごとの連続行動観察やリアルタイムダウンリンクも可能です（ただし、きぼう内の画像処理装置の可用性や通信状況、可視域等の影響を受けます）。ビデオカメラ面の汚れが想定されるので、ワイパによる汚れ除去機能（ワイパブレードへの液注機能付）も地上からのコマンドにより実施可能です。宇宙飛行士によるカメラ設置により、グローブボックス内でのマウスの観察も可能で、マウスに対する研究個別の固有操作等を行う場合も、グローブボックス内で実施することが可能です。

マウスは、帰還する宇宙機のタイミングに合わせて、宇宙飛行士が軌道上飼育ケージから取り出し、打上/回収支援装置に移し換えます。現在、SpaceX 社の Dragon 宇宙船による回収を計画していますが、Dragon 宇宙船は ISS 離脱後、米国フロリダ近海に着水し、船・ヘリコプターで回収され、その後、打上/回収支援装置を受領しています。この間、数日を要するため、マウスの地上での再適応等を考慮する必要があります。なお、以前の宇宙ミッションでは、生存帰還を前提に研究提案を受け付けておりましたが、今後の研究提案においては軌道上エンドポイントの宇宙ミッションを計画することを前提として研究計画を立案ください。また、宇宙実験として共通の各種制約にも考慮した実験計画検討が必要になります（天候等による打上げ遅延、軌道上での限られた宇宙飛行士作業時間、宇宙飛行士による操作性（特別な作業は困難）など）。

MHU は JAXA が初めて開発した小動物用飼育装置ですが、試験用モデルを整備して、実際にマウスを用いた各種試験を行い、特性・妥当性を確認しています。

2016 年 8 月には、世界初となる宇宙での長期（35 日間）の微小重力と人工重力環境での同時飼育や ISS からの全匹の生存帰還を含め、最初のマウス飼育ミッションを成功裏に完了し、その後も 7 回のミッション（MHU-1～MHU-7）を実施してきています。

【文献】

- Shimbo M. et al. *Exp Anim.* 2016 65 (2):175-187. (地上試験：飼育ケージ開発)
Morita H. et al. *PLoS One* 2015 10(7):e0133981. (地上試験：小型遠心機)
Shiba D et al. *Sci Rep.* 2017 Sep 7;7(1):10837. (MHU-1：骨・筋・前庭)
Mao XW et al. *Int J Mol Sci.* 2018 Aug 28;19(9):2546. (MHU-1：網膜)
Matsumura T et al. *Sci Rep.* 2019 Sep 24;9(1):13733. (MHU-1：生殖器)
Horie K et al. *Sci Rep.* 2019 May 21;9(1):7654. (MHU-1：脾臓)
Matsuda C et al. *NPJ Microgravity.* 2019 Jul 8;5:16. (MHU-2)
Horie K et al. *Sci Rep.* 2019 Dec 27;9(1):19866. (MHU-1：胸腺)
Suzuki T et al. *Commun Biol.* 2020 Sep 8;3(1):496. (MHU-3：血液・脂肪)
Afshinnekoo E et al. *Cell.* 2020 Nov 25;183(5):1162-1184. (MHU-3：ibSLS)
Okada R et al. *Sci Rep.* 2021 Apr 28;11(1):9168. (MHU-1：骨格筋)
Uruno A et al. *Commun Biol.* 2021 Dec 9;4(1):1381. (MHU-3：血液)
Suzuki N et al. *Kidney Int.* 2022 Jan;101(1):92-105. (MHU-3：腎臓・骨)
Sadaki S et al. *Cell Rep.* 2023 Mar 22;42(4):112289. (MHU-1：筋肉)
Hayashi T et al. *Commun Biol.* 2023 Apr 21;6(1):424 (MHU-4/MHU-5：筋肉)

【新型飼育システム (SMART: Single-CTB Mouse Automated Rearing Transporter)】

* 現行の飼育システム (MHU) と仕様が異なるため人工重力ミッションを実施できません。

SMART は、給餌、給水、排泄物回収等、基本飼育作業にクルータイムを要さない装置として JAXA が新規開発を進めている飼育装置です。基本飼育で必要となるクルータイムを 1/3 程度に削減できるため、軌道上での動物への投薬や発光イメージング解析装置 TELLAS (後述) での観察、軌道上エンドポイントでの処理など、削減分のクルータイムをサイエンス活動に使用することが可能です。ケージの大きさやマウスから見える (マウスが触れる) ケージ内装部分に関しては MHU の設計を踏襲しており、過去の MHU ミッションの実施結果・成果と SMART の実験結果・成果をそのまま比較することが可能。SMART では搭載する餌量・水量が多いほかは、基本飼育にかかる機能 (表 2.4-1 MHU の主な仕様) は MHU と同等です。なお、これら機能を高付加したため遠心機 (人工重力区画) には搭載できません。

SMART で変更がある部分は以下となります。

- ・飼育数 最大 8 匹 (1 式あたり 4 匹: 微小重力区画: 2 式×4 匹、人工重力区画: 0 匹)
- ・バイタルサインモニタ MHU は対応していませんが SMART は体温・心拍などのバイタルサインをテレメトリで取得可能です。(後述の Q11 を参照ください)
- ・観察機能 (ビデオ録画機能) MHU と比べ SMART ではより長時間の録画が可能です。(後述の Q15 を参照ください)
- ・摂餌量/摂水量のリアルタイムの算出が可能 (MHU では 1 週間単位)

【遺伝子機能発光イメージング解析装置 (Tele-Luminescence Analysis System: TELLAS)】

TELLAS は 2021 年 6 月に打ち上げた新解析装置で、初回ミッションを 2024 年に予定しています。マウスなどの生体内から発生される微弱な光を、生きたまま撮像することが出来る装置で、宇宙で起こっている生体内の遺伝子機能の変化などを検出することができます。地上で発光イメージングシステム (IVIS: in vivo Imaging System) として広く使用されている機器を宇宙向けに改修いたしました。

MHU と SMART のどちらのミッションでも使用可能です。

表 2.4-2 TELLAS の主な仕様

項目	仕様
イメージング方式	2D イメージングのみ (フィルターシステムを活用した検出波長の分離は不可)
撮影 (イメージングモード)	発光のみ (蛍光、X 線、CT は不可)
CCD カメラ/ イメージングソフトウェア	IVIS 機材と同一の仕様
撮像視野範囲 (FOV)	撮像視野は 100 x 100 mm (実測値 107 x 107 mm) で固定。 モデル例) マウスの場合、同時に 2 匹の撮影が可能。

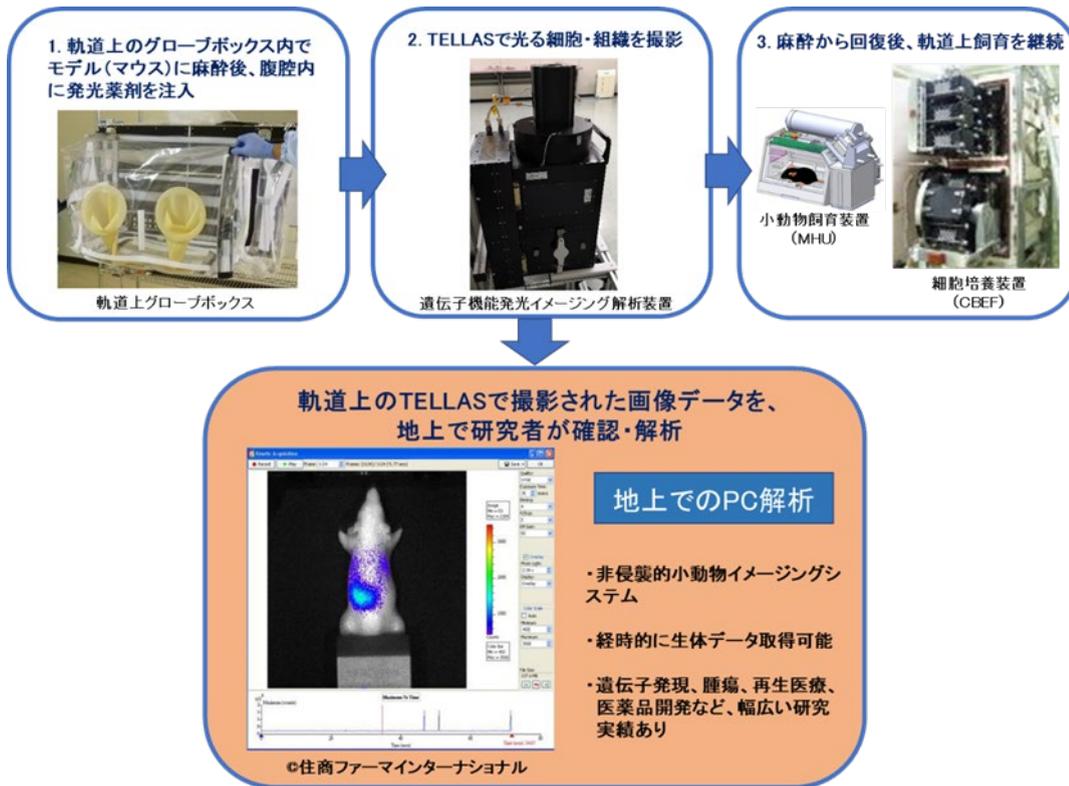


図 2.4-6 TELLAS の「きぼう」での運用例

以下、【現行の飼育システム (MHU)】、【新型の飼育システム (SMART)】 に関し Q&A 形式での補足的な説明を記載します。

【小動物飼育ミッション全般にかかる Q&A】

- Q1) ラットやマーモセットなどマウス以外の小動物は飼育可能でしょうか？
- A1) MHU/SMART はマウス（フライトミッション実績のある系統は C57BL/6J のみ）を利用した実験を前提としています。ラットなどマウスより大型の小動物に関しては、ケージのサイズの観点で飼育できません。
- Q2) 遺伝子組換えマウスや病態モデルマウスを利用した研究は可能でしょうか？
- A2) MHU では遺伝子組換えマウスは実績があり、MHU/SMART とともに実施可能です。ただし、日本から米国へ輸出する必要がある場合、手続き・繁殖に時間を要しますので、野生型マウス利用と比較し実験開始まで時間がかかることが予想されます。実現性については実験要求に基づき検討が必要となります。なお、第3回ミッションでは Nrf2 ノックアウトマウスの打上げ・全匹生存帰還に成功しております。このノックアウトマウスの遺伝背景は C57BL/6J となります。また、病態モデルマウス (C57BL/6J) の利用は第4回ミッションで実施しておりますが、病態の誘導の仕方により実現性に差があります。宇宙ミッションでは十分な n 数を確保することは困難なため、病態モデルの誘導確実性やその他リスクも含めて評価する必要があります。
- Q3) 打ち上げるマウスの週齢などに制約はあるのでしょうか？
- A3) 多少あります。MHU には自動給水タイプの給水ノズルと 1 週間分の固形餌 (35g 程度：通常餌は 2-3g 程度) が設置されるため、水ノズルや固形餌への馴らし飼育が事前に必要となります (C57BL/6 系統で 2 週間程度)。そのため若いマウスを打ち上げる必要がある場合には実験要求に基づいた工夫が必要となります。マウス成体であれば制約はありませんが、高週齢のマウスを対象とする実験はその実現性・必要性について実験要求に基づき検討が必要となります。SMART では搭載できる餌や水の量は異なりますが、同様の検討が必要となります。
- Q4) 人工重力区を微小重力区として利用可能でしょうか？
- A4) MHU での軌道上飼育ケージは両区画とも同一ですが、人工重力区の遠心機を止めて微小重力区として運用する場合については、どの程度厳密に両区画を同じ環境にできるか、実験計画に合わせて検討が必要となります。SMART は遠心機に搭載できないため、微小重力の実験計画のみが実施可能です。
- Q5) 人工重力区を 4 ケージ (4 ケージ×1 群)、微小重力区を 8 ケージ (4 ケージ×2 群) として利用可能でしょうか？
- A5) MHU としては可能です。人工重力区は 3 区画あり、各区画の遠心機には最大 6 ケージを搭載することになります。なお、人工重力区を止めて使用する場合は、微小重力区最大 6 ケージ×最大 4 群の設定は可能です。そのため、人工重力区を 4 ケージ (4 ケージ×1 群)、微小重力区を 8 ケージ (4 ケージ×2 群) として利用可能です。ただし、日本の持つ ISS を利用できる範囲制限のため、24 匹飼育の場合は相当な科学的価値が認められ、他国との共同ミッションとして実施されない限りは実現性は低いと思われます。

Q6) 人工重力として1Gの場合、どの程度の回転数になりますか。マウスの飼育に支障はありませんか？

A6) 軌道上飼育ケージの床面（回転半径15cmの面）での加速度を1G（約 9.8m/s^2 ）にする場合、約77rpmになります。体重や筋の変化については、地上での過重力の研究用に用いられる半径1.5mの遠心機の場合と同様であることを確認しています。

Q7) 人工重力として低G負荷は可能でしょうか？

A7) 可能です。ただし、回転半径が小さいため、遠心方向の重力勾配の差、例えば床面とマウスの頭の位置ではGの値が異なることに注意する必要があります。なお、遠心機の回転数の制御はCBEFの仕様に基づくため、最低負荷Gは0.1G程度となります。

Q8) 群飼育は可能でしょうか？

A8) MHU/SMARTともに不可能です。1ケージで2匹以上飼育する場合、軌道上飼育ケージ改良（連結、大型化）が必要となります。基本的な要素について発展性は考慮していますが、ケージの設計、生物適合性等について（追加予算を含め）今後検討・確認が必要です。

Q9) 軌道上でのクルーによるマウスに対する実験（採血、サンプル採取、データ取得、観察、細胞移入等）は可能でしょうか？

A9) MHU/SMARTともにグローブボックス内でクルーが実施できる作業の範囲で実施することは可能ですが、飼育のための基本的なクルー作業（餌・水補給、ケージメンテナンス、マウスの移し替え等）にクルータイムを必要とするため、多くの作業を追加して実施することはクルータイムの観点で困難な場合があります。クルータイムの制約とともに、実験要求の技術的実現性、採血・サンプル採取等によるマウスへの影響やN数確保など実験計画の成立性、優先順位の検討が必要となります。なお、第3回目ミッションでは軌道上採血（尾部からの微量採血： $40\mu\text{l}$ 程度）に成功しております。採取した血液サンプルは軌道上で遠心分離後、軌道上冷凍庫で凍結され地上に回収しております。また、細胞移入はJAXAミッションでこれまで実績がなく操作の簡素化やクルートレーニングを含め相当な準備が必要と思われます。地上で打ち上げ前に研究者（提案者）がマウスに細胞を注入し、打ち上げるなどの工夫が可能であれば実現性は高まると思われます。

Q10) 採取したサンプル等を冷凍保管するシステムなどはあるのでしょうか？

A10) 軌道上で冷凍保管し、輸送するシステムはありますが、現状は軌道上で急速に冷凍する機器は整備されていません。

Q11) バイタルサイン等をテレメトリで地上からモニタするようなテレメトリシステムは利用可能でしょうか？

A11) MHUとしては対応していません。SMARTは対応しており、体温・心拍などのバイタルサインをテレメトリで取得可能です。使用可能な機器はDSI社のものとなります。

Q12) これまでの軌道上飼育ミッションの飼育実績（飼育期間）はどのようなものでしょうか？

A12) 2023年3月現在、7回の軌道上飼育ミッションを実施しています。すべてのミッションにおいて6匹もしくは12匹のマウスを打ち上げ、軌道上で30日程度飼育しています。なお30日程度の飼育期間は輸送機（ロケット）のISS係留期間に依存するため、実験提案者側で設定することはできません。そのため、30日程度以外の飼育期間（例えば1週間や2か月など）を設定し生存帰還させる実験提案は、現状では実現が不可能です。軌道上エンドポイントを研究計画として設定すれば、30日より短い飼育期間を設定することは可能です。

Q13) ケージの交換により1か月以上の飼育が実現可能なのでしょうか？

A13) 一般的な飼育期間は1か月を想定して研究計画を立案いただければと思います。12匹以上を数か月飼育というのは、日本の持つISSを利用できる範囲から逸脱します（6匹を2か月などは実施可能な範囲であると想定できます）。そのため、相当な科学的価値が認められ、他国との共同ミッションとして実施されない限りは実現性は低いと思われます。

Q14) MHUによる実験の流れとして生存帰還が記載されていますが、軌道上でのエンドポイント等は実施可能でしょうか？

A14) 軌道上でのエンドポイントは実施可能です。なお、実現性については実験要求に基づき検討が必要となります。以前の宇宙ミッションでは、生存帰還を前提に研究提案を受け付けておりましたが、今後の研究提案においては軌道上エンドポイントの宇宙ミッションを計画することを前提として研究計画を立案ください。

Q15) 行動解析用として軌道上で記録される飼育動画データを利用したいのですが、どの程度記録可能でしょうか？

A15) MHU/SMARTともに各ケージにビデオカメラが搭載されており、動物倫理の観点でどのケージも1日1回以上（1回あたり20分程度）、健康状態を地上で観察しています。しかし、MHUでは機器仕様により同時観察ケージ数および記録できるデータ量に制限があります。行動解析用としては長時間録画が必要となりますが、1週間あたり4ケージ（12匹の場合）×それぞれ連続8時間程度が実績のある記録量となります。SMARTではその制約は緩和されており、より長時間の録画が可能となっています（ケージ全てにおいて、全期間録画対応可能）。また、SMARTでは打上げフェーズ、帰還フェーズ（ロケット対応が可能であった場合）の録画も可能となっています。

Q16) 打上げ前の射場（ケネディ宇宙センター）での飼育作業について、施設環境はどのようなものでしょうか？

A16) 飼育室数に制限があるため長期的に多数の部屋をJAXAだけが占有することは難しい状態です（他国も動物実験を実施しているため）。参考文献（Shiba D et al. Sci Rep. 2017）の実験手法の項に記載しているように、おおむね3-4週間程度の飼育は問題なく実施できます。

空調（温度・陽圧）制御可能であり、SPFは維持されています。

ただし、この施設での繁殖は行えないため、打上げマウスは別施設で繁殖させ輸送する対応が必要です。

また、一般的な実験施設としての要件（実験台、顕微鏡、ドラフト、クリーンベンチ、恒温槽など）は満たしていますが、フローサイトメーターやCT/MRI、in vivo 発光/蛍光システムのような解析機器は導入されていません。

ケネディ宇宙センター以外での動物打上げに対応できるよう調査を進めていますが、現状での射場はケネディ宇宙センターのみとなります。

Q17) 帰還後解析作業について、施設環境はどのようなものでしょうか？

A17) 一般的な実験施設としての要件（実験台、顕微鏡、ドラフト、クリーンベンチ、恒温槽など）は満たしていますが、フローサイトメーターやCT/MRI、in vivo 発光/蛍光システムのような解析機器は導入されていません。

Q18) 免疫系の研究を行いたいのですが、飼育環境など特殊要求は可能でしょうか？

A18) 過去ミッションではSPFテスト（文献 Shiba D et al. Sci Rep. 2017 Sep 7;7(1):10837. Supplemental Table 2などを参考）を実施しており、キャビン内の清浄度は（結果として）確保されています。しかしながら、ヌードマウス等の厳格な飼育が必要な実験は計画として難しい（実施不可能）と思われます。

Q19) 餌の成分を変更するなど可能でしょうか？

A19) 検討が必要ですが、可能です。現在 JAXA 宇宙実験で実績のある餌は CRF-1 と AIN をベースとした餌となっています。重力の無い環境でも摂餌ができるよう、機械的なバネで餌を押し出す機構となっているため、餌の選定は健全なマウス飼育にとって重要な要素となります。餌とバネとの相性のほか、乾燥割合や水漏れした際の壊れやすさなど、宇宙実験にかかる検討が必要です（検討した結果、適さない場合もあります）。

Q20) 軌道上において摂餌量、摂水量などのデータ取得は可能なのでしょうか？

A20) MHU では餌・水補給、メンテナンスのタイミングに合わせて残餌量や残水量からある一定期間のおおよその量を推定することは可能です。微小重力下で、大きな餌クズ等が発生した場合、それらはごみとして吸引されてしまいますので正確な測定は困難です。また、クルータイムや回収時の重量制約の観点から毎日の測定や、残餌、残水の回収による測定もハードルが高い状態です。それらを踏まえて実験計画に合わせた検討が必要となります。また、SMART では餌量センサーと水量センサーがあるため、摂餌量と摂水量を測定できる仕様となっています。SMART 機能の技術実証試験を 2025 年頃実施予定としており、SMART を使用する研究提案が採択された研究者には最新データを提供する予定です。

Q21) 宇宙ミッションを行うための倫理委員会などはどのようなものがありますか？

A21) 動物ミッションに関しましては、「JAXA および NASA の動物実験委員会」および「JAXA 遺伝子組換え実験管理委員会」に計画書を付議して、承認された研究計画のみを宇宙実験として実施することができます。「NASA 動物実験委員会」では、主技・観点としては NIH で推奨されているかなど確認を受けることが多いです。「JAXA 動物実験委員会」でも同様な視点ですが、宇宙実験の場合は地上での研究を宇宙に発展させる場合が多いため、「ご所属機関の動物実験委員会」での計画書審査結果の提出を求められる場合があります（実験条件などのうち、動物倫理にかからない秘匿事項などの提出は求めません）。

【発光を利用したマウス遺伝子機能解析装置にかかる Q&A】

Q1) 開発機器は 2D イメージングが基本スペックとのことですが、簡易的な鏡等を使用して疑似的な 3D イメージング等を実施可能でしょうか？

A1) 2D イメージングのみ実施可能です。

Q2) 軌道上データ取得において、非麻酔下での取得は可能でしょうか？

A2) 現時点では想定軌道上手順に組み込まれていませんので、実施不可能です。実現性については動物実験計画書にまとめるとともに、委員会での審査が必要となります。

【フラッグシップミッションにかかる Q&A】

Q1) フラッグシップミッションの研究提案では、MHU および SMART を使用機器として選べるようになっていますが、両方を選ぶことは出来るのでしょうか？

A1) MHU と SMART は同時利用ができないため、研究提案時にはどちらかの装置を選んで提案いただくことになります。なお、MHU では 12 匹程度、SMART では最大 8 匹（最大 2 式の SMART 使用）までが上限値となります。

Q2) フラッグシップミッションの研究提案では、SMART と発光を利用したマウス遺伝子機能解析装置の利用を同時にすることは可能でしょうか？

A2) 可能です。ただし、軌道上のクルータイムには制限があるため、測定回数など、提案研究の実現性について実験要求に基づき検討が必要となります。

Q3) 装置の改修（何らかの機能付加を提案すること）は可能でしょうか？

A3) SMART の改修はその程度や費用によりますが、可能です。一方、MHU は CBEF というラック（遠心機等があるラック）の中に設置するため、装置の改修は困難（実施不可能なレベル）です。

Q4) 宇宙で飼育ケージ外での行動解析は可能なのでしょうか？

A4) クルータイムや頻度によりますが、可能です。フライト前の実現性検討の段階で、グローブボックス（参考：図 2.4-6）内に実装すべき機器などを整理することになります。

3. 物質科学用実験装置

3.1 微小重力計測装置 (Microgravity Measurement Apparatus : MMA)

(1) 概要

微小重力計測装置は、「きぼう」船内実験室の微小重力環境を計測するための装置です。本装置は、NCU(Network Control Unit)、RSU(Remote Sensor Unit)、TAA(Tri-axial Accelerometer Assembly)、制御用ラップトップおよびケーブル類から構成され、ラップトップ搭載の制御ソフトウェアを用いて計測を行うことができます。TAAで計測された加速度データはRSUに一時的に蓄積され、無線通信によってNCUを介して制御用ラップトップまで伝送されHDDに保存されます。無線通信で計測制御をしているため1台のNCUで複数台のRSUおよびTAAを制御することが可能です。

ISSでは搭乗員の活動、ISSの姿勢変更、輸送用宇宙船のドッキング/アンドッキングなどの様々な要因によって準静的加速度が生じます。本装置を使用することで実験中の準静的加速度を計測することができます。

本装置の外観写真およびコンフィギュレーション図を図3.1-1に、仕様を表3.1-1に示します。

(2) 装置の構成

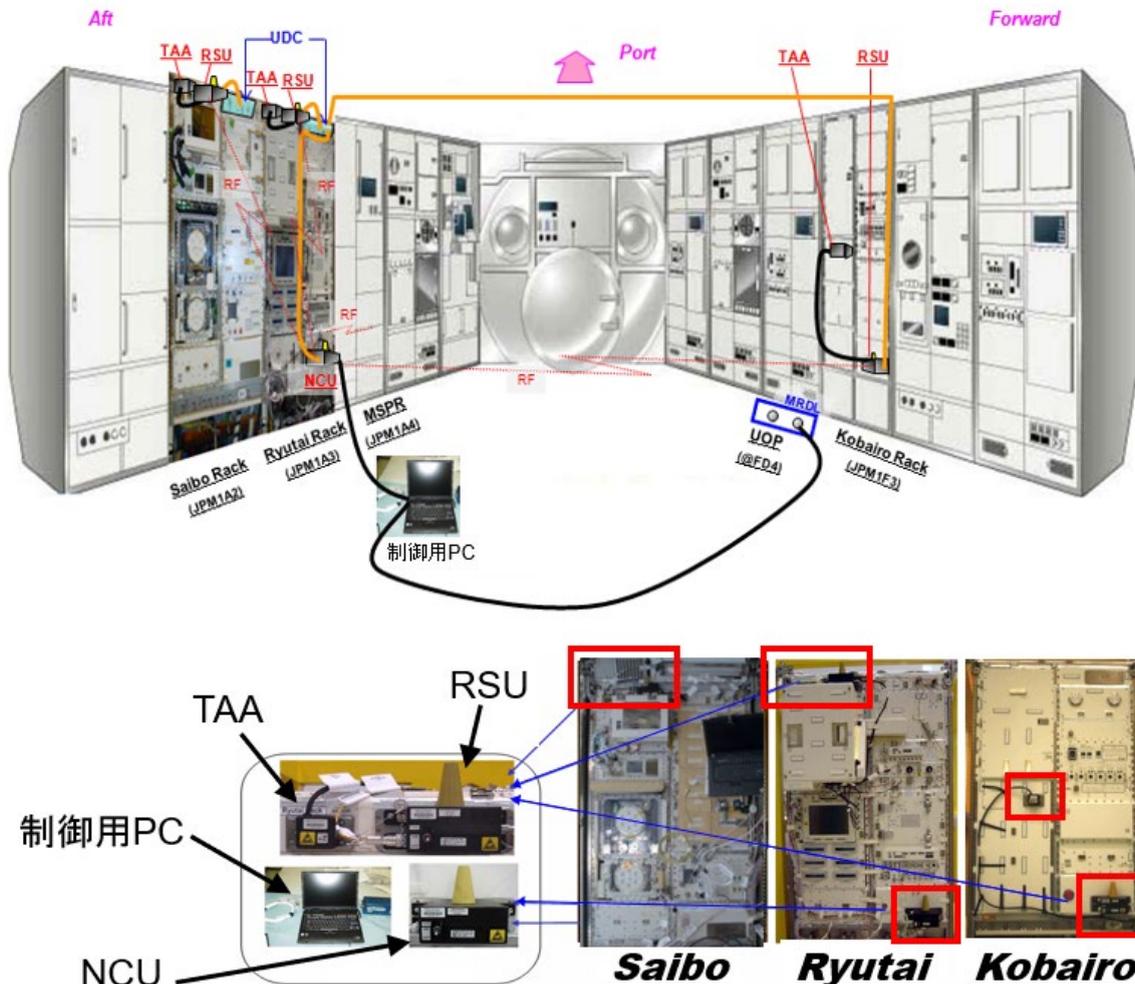


図 3.1-1 MMA 外観写真およびコンフィギュレーション図

(3) 主な仕様

表 3.1-1 微小重力計測装置の仕様

項目	仕様
計測レンジ	-2.40m/s^2 (-245mG) \sim $+2.40\text{m/s}^2$ (+245mG)
計測サンプルレート	9.541Hz \sim 1220.7Hz
カットオフ周波数	10Hz \sim 300Hz
連続データ記録可能時間	サンプル数上限:1,431,655,765 samples (1220.7Hz で計測した場合は 13.5 日分)
取付可能場所	各ラック (細胞実験ラック、流体実験ラック、多目的実験ラック) の表面
同時計測数	28V 電源が確保できる場合、最大 5 台

3.2 静電浮遊炉 (Electrostatic Levitation Furnace : ELF)

静電浮遊炉 (Electrostatic Levitation Furnace) は、帯電させた試料をクーロン力で浮遊させ、レーザーにより加熱することにより、無容器で加熱・冷却することができる材料実験装置です(図 3.2-1)。無容器処理により、高温融体の熱物性計測や過冷凝固による新物質の探索が可能になります。浮遊炉には、他に電磁浮遊炉、超音波浮遊炉、ガス浮遊炉がありますが、静電浮遊炉には、次のような特徴があります。

- ・実験対象試料は、帯電する物質であれば金属でも絶縁体でも実験可能です。
- ・雰囲気は、ガス雰囲気(Ar, 空気)で実験可能です。

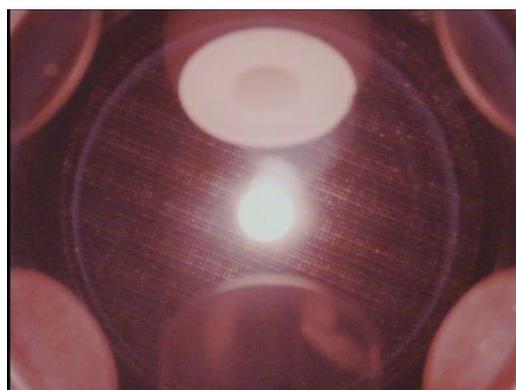


図 3.2-1 静電浮遊炉での浮遊と加熱

本装置は、国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」内で多目的実験ラック Multi purpose Small Payload Rack 2号機(MSPR2)に搭載します。微小重力環境下での静電浮遊炉による実験では、重力に拮抗する大きな電場が必要ないため、次のような利点があります。

- ・帯電量が少ない酸化物や地上での浮遊炉実験より重い試料の位置制御が可能となります。
- ・電極間の放電が発生しやすいガス雰囲気での位置制御が可能となりますので、真空での蒸発が問題となる合金系や酸化物の実験が可能となります。

静電浮遊炉は、MSPR2のワークボリューム(WV)に搭載する本体、小規模実験エリア(SEA)に搭載するガスボトル等で構成されます。20個の試料を詰めた試料ホルダを試料カートリッジに取付け、静電浮遊炉本体に挿入することにより、地上端末からのコマンド制御による実験が行えます。試料の熱物性として、密度、表面張力、粘性係数の計測が可能であり、過冷凝固では、凝固現象観察と凝固試料を地上回収し調査することが可能です。

静電浮遊炉本体とその他構成品の外観を図 3.2-2 に、試料セットの概要を図 3.2-3 に、基本仕様を表 3.2-1 に示します。

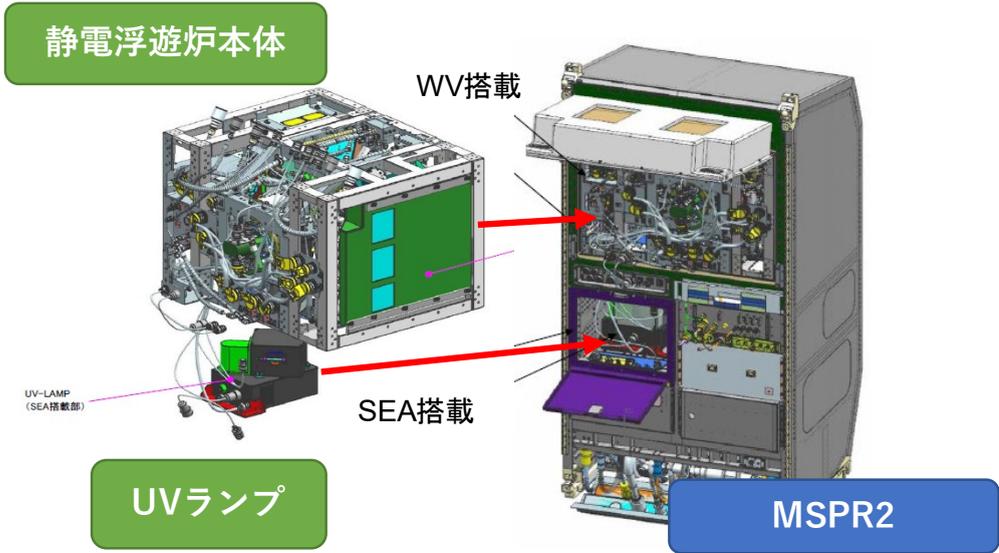


図 3.2-2 静電浮遊炉外観

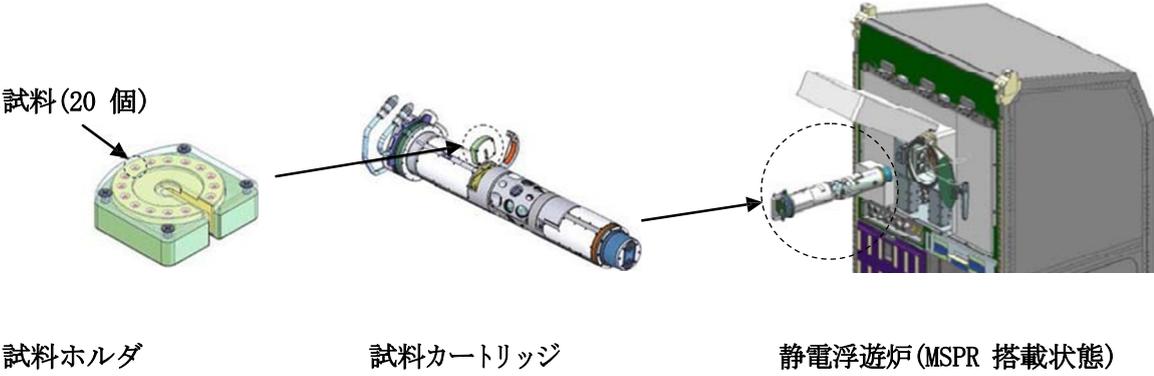


図 3.2-3 試料セット概要

表 3.2-1 静電浮遊炉仕様

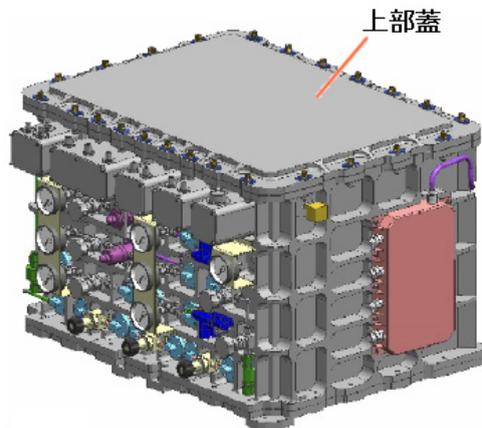
項目	仕様
対象試料	酸化物が主な対象。金属、合金、半導体、絶縁体も対応可。 ・形状：直径 1.5～2.1 mm の球状試料
位置制御	3 軸制御 ・制御周期：最大 1kHz ・制御精度：±300 μm 以内
雰囲気制御	・空気：2 気圧 ・アルゴン：2 気圧
加熱機能	加熱レーザー（半導体レーザー） ・波長：980nm ・最大光出力 40W×4
温度計測	・計測範囲：300℃～3000℃ ・計測頻度：100Hz
密度計測	UV 背景光を利用し、高温時に発光する試料外郭を、直径 2mm において 140 画素／半径以上で観察可能
表面張力・粘性計測	表面張力：融液の共振周波数による計測 粘性 ：振動の減衰率による計測 ・振動励起：1～600Hz
凝固状態観察	・解像度：2560×1440 ・フレームレート：最大 88,000fps ・メモリ：9GByte

3.3 燃焼実験チャンバー (Chamber for Combustion Experiment: CCE)

燃焼実験チャンバーは燃焼実験を行うユーザー用に開発した、多目的実験ラックの構成品です。燃焼実験チャンバーは多目的実験ラック (MSPR) のワークボリューム内で使用され、燃焼以外の実験をワークボリュームで行う際は、別途与圧部内に保管されます。

実験装置は上部蓋を開放してチャンバー内部に設置します。ワークボリュームの電力、通信、ガス供給・排気系は、チャンバー外壁の気密構造を持つインタフェース部を介してチャンバ内部の実験装置に供給されます。

燃焼実験は、燃焼による有毒ガスの発生、温度上昇、爆発等の危険が有ることから、有人宇宙施設に特有の安全要求を満たす必要があります。燃焼実験チャンバーは、実験装置の燃料漏れや異常燃焼等を封じ込める機能を持っているため、ユーザー装置の設計に対する安全要求が緩和され、ユーザーは容易に実験を行うことができます。



燃焼実験チャンバーの外部寸法:
855(幅)×675(奥行)×540(高さ)mm

図 3.3-1 CCE 外観

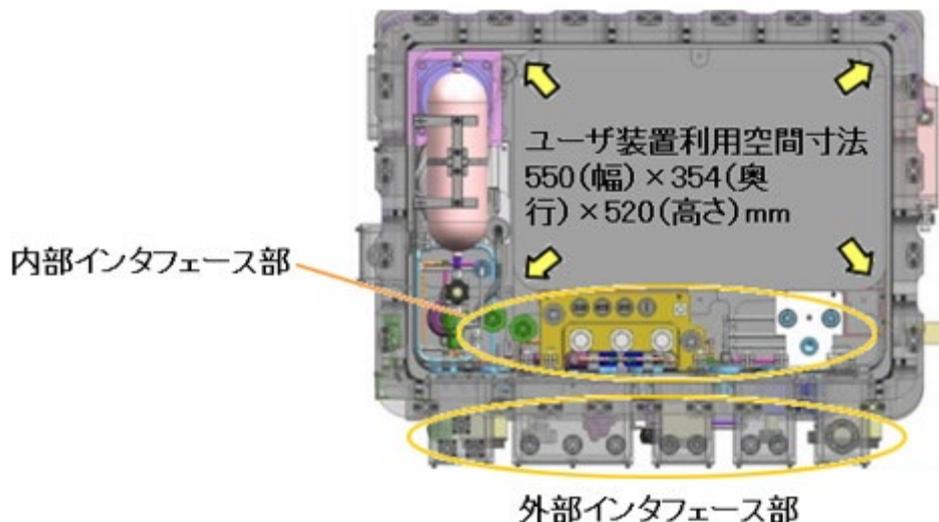


図 3.3-2 CCE 内部



図 3.3-3 多目的実験ラック (MSPR) のワークボリュームへ設置された
燃焼実験チャンバ (CCE)

3.4 固体燃焼実験装置 (Solid Combustion Experiment Module : SCEM)

(1) 概要

固体燃焼実験装置は、電線のショートによる発火の限界条件や、固体試料表面の燃え広がりに対する限界酸素濃度の取得を行い、対流のない無重力環境下で、固体材料の燃焼限界に対する重力影響を科学的に解明します。

使われる材料の種類や形状、試験時の熱環境などの違いなど、様々な条件に依る影響を評価し、次世代の宇宙活動における火災に対する安全対策に貢献します。

(2) 装置の構成

固体燃焼実験装置は燃焼容器、観察装置、給排気装置、電源通信制御装置、カメラ制御装置、HUBユニット、実験インサート1および2、ガスボトルから構成されています。

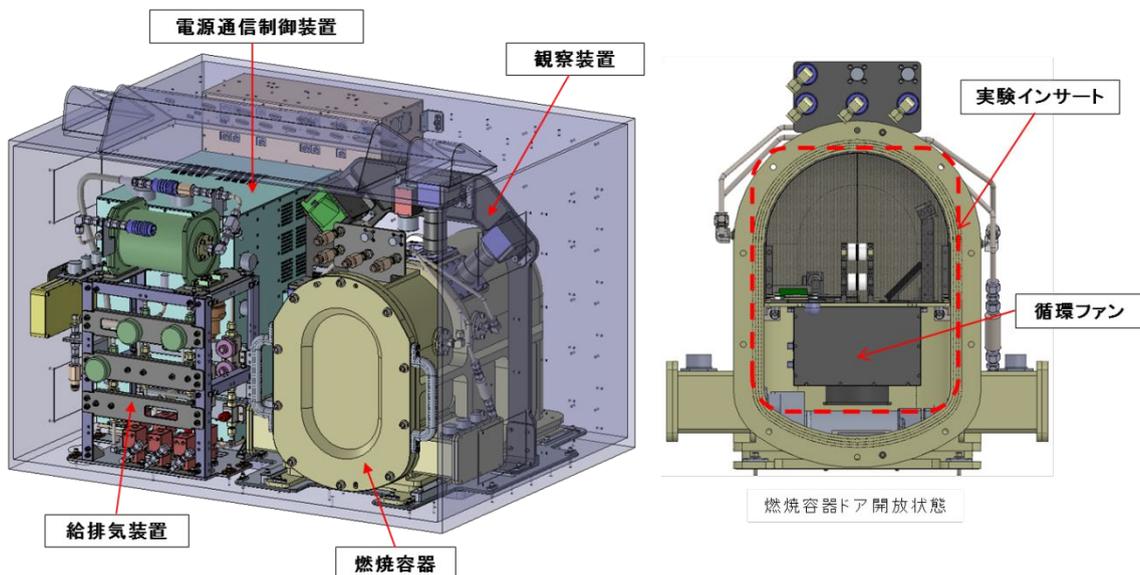


図 3.5-1 固体燃焼実験装置 (SCEM)

① 燃焼容器

燃焼実験は燃焼容器内で行います。燃焼容器内には②で示す実験インサートを搭載でき、ミッションに応じて実験インサートは交換可能となっています。

② 実験インサート

実験インサートは2種類あり、電線試料を使用するための実験インサート1と、平板状および円筒状試料を使用するための実験インサート2が存在します。どちらも試料の交換機能および着火機能を有し、試料の燃焼挙動および試料の状態を観察装置（可視カメラ、高速度カメラ、赤外カメラ）にて観察します。同時に酸素濃度、圧力、温度、風速を計測します。

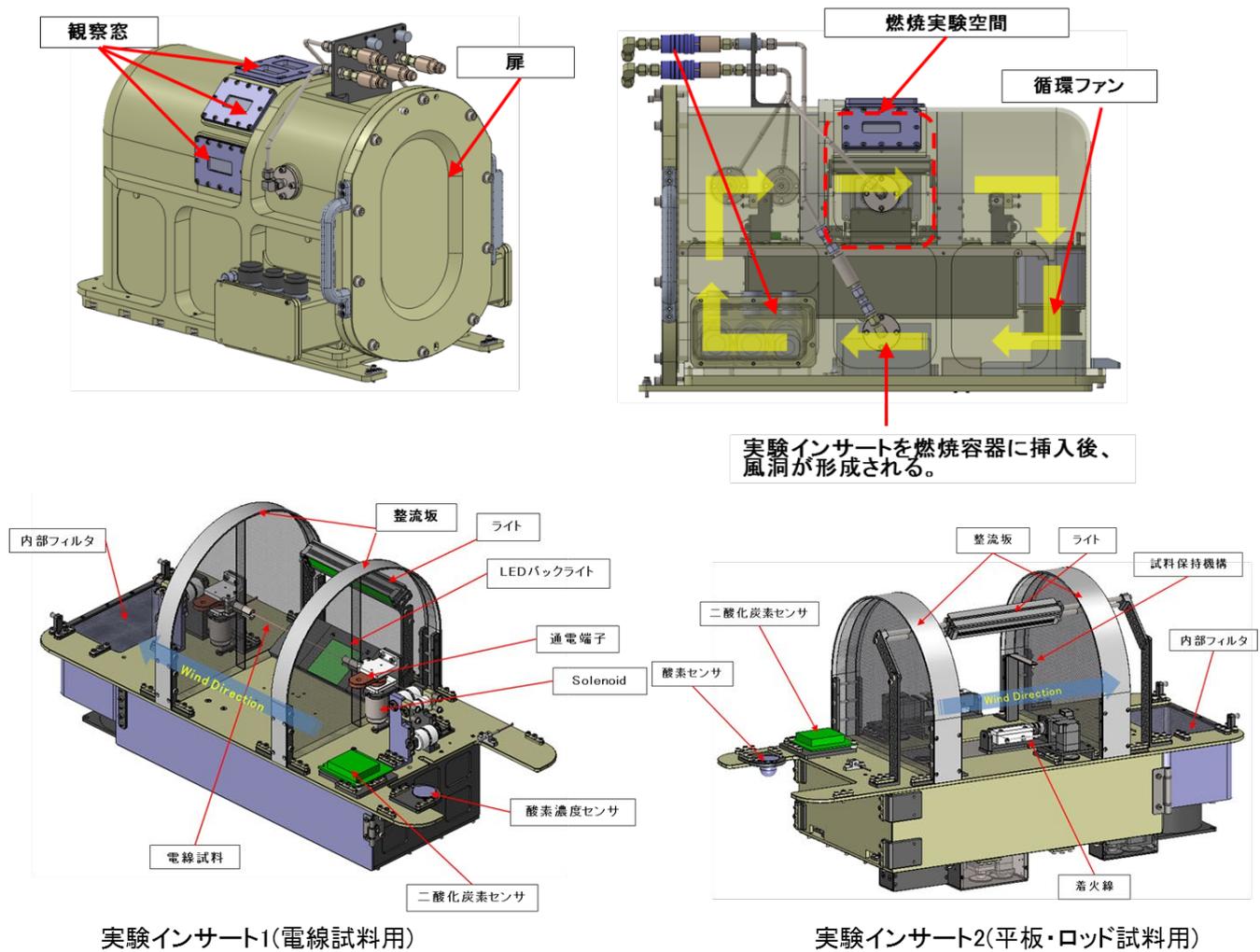


図 3.5-2 燃焼容器 および実験インサート

③ 観察装置

観察装置は、可視カメラが3台、高速度カメラが1台、赤外カメラが1台の計5台のカメラから構成されます。これらのカメラはソフトウェアにより独立に制御されます。

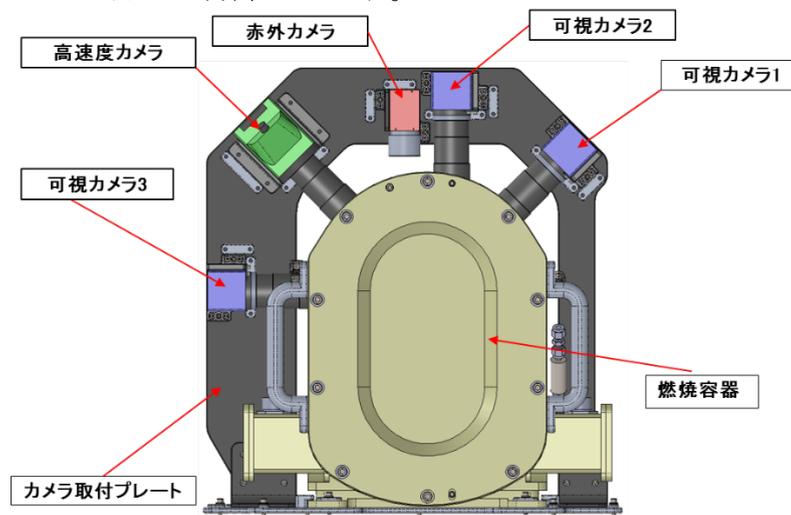


図 3.5-3 観察装置

④ 電源通信制御装置

多目的実験ラック (MSPR) からの受電、固体燃焼実験装置 (SCEM) 構成機器の制御、地上との通信を行います。

⑤ 給排気装置

給排気装置では、燃焼容器への給気および燃焼後の排気を制御します。燃焼容器へは「きぼう」からの窒素ガスおよびガスボトルからの酸素/窒素混合ガスを供給します。燃焼後の燃焼容器内のガスは、不純物をフィルタでろ過した上で、「きぼう」の排気ラインを介して宇宙空間に排出します。

⑥ ガスボトル

ガスボトルには厳密に成分調製された約 100 気圧のガス (酸素 45%、窒素 55%) が充填されており、ここから燃焼容器で使用するガスを供給します。数多くの実験を実施するためには多くのガスが必要ですので、ガスボトル内の空気残量が少なくなった場合は、宇宙飛行士により新しいガスボトルへの交換が行われます。



図 3.5-4 ガスボトル

(3) 実験方法の概略

固体燃焼実験装置は、「きぼう」船内実験室にある多目的実験ラック (MSPR) に搭載されて実験を行います。

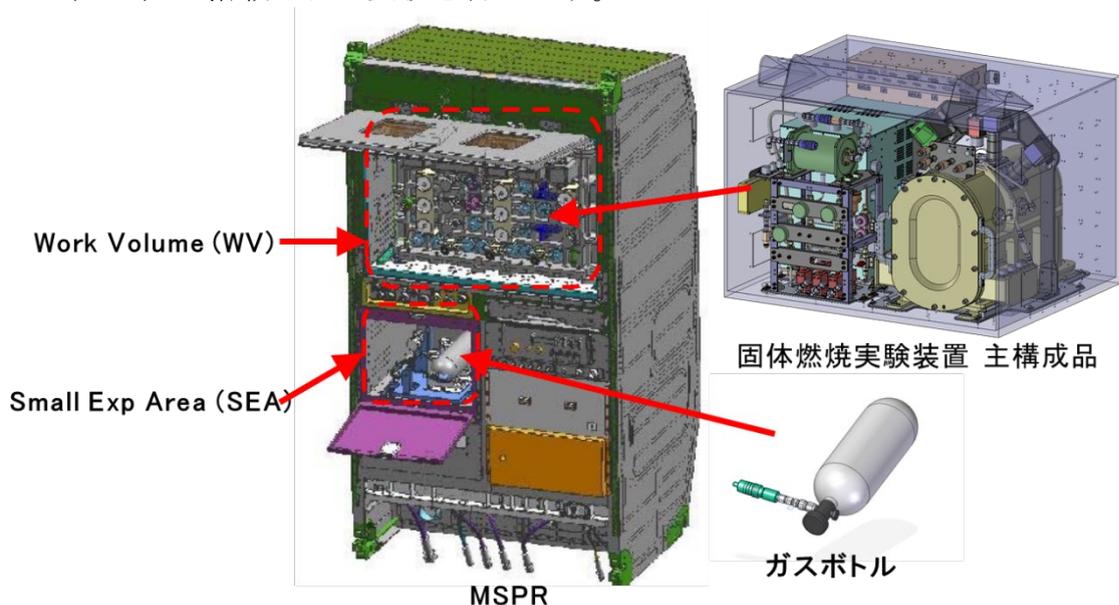


図3.5-5 多目的実験ラックへの搭載

(4) 主な仕様

表 3.5-1 固体燃焼実験装置の仕様

項目	仕様
装置寸法・質量	寸法： W900×H600×L700mm 以下 (MSPR WV に搭載) 質量： 約 180kg (打上げ質量)
搭載可能 実験インサート	実験インサート 1 (電線試料用) 実験インサート 2 (平板・円筒試料用)
試料搭載容量	実験インサート 1 電線： 約 100m 実験インサート 2 試料カード： 約 40 枚 (0.6mm 厚カードの場合、1 試料保管部あたり)
燃焼実験空間	寸法 (実験インサート 1)： W140×H140×L140mm 以上 寸法 (実験インサート 2)： W140×H140×L160mm 以上 流速範囲： 0~25cm/s 初期圧力： 燃焼実験中でも 0.2MPa abs を超えない圧力 初期酸素濃度： 最大 45%
試料着火方法	着火線 (実験インサート 1 および 2) 電線試料通電 (実験インサート 1、通電電流： 0.5~14.5A)
観察機能	可視カメラ (3 台： 試料上方、側方、斜上方) 高速度カメラ (撮影速度： 最高 2000fps、バックライト撮影可) 赤外カメラ (温度範囲： 20~500°C)
計測機能	【燃焼容器】 圧力 (2ch)、温度 (3ch)、流速 (1ch)、 O ₂ 濃度 (1ch、0~40%)、CO ₂ 濃度 (1ch、0~3%) 【給排気系】 圧力 (2ch： 空気供給ライン、GN ₂ 供給ライン)

4. ヒト対象実験機器あるいは生理学研究用機器等

4.1 JAXA 以外の宇宙医学研究用機器

宇宙医学研究に利用できる機器・装置としては、NASA が保有する遠心分離機があります。遠心分離機は、軌道上で採取した血液から血清や血漿を分離することができ、JAXA の宇宙医学実験で使用された実績があります。

その他に利用できる機器・装置の詳細は以下の NASA リンクに掲載されておりますので、ご参照ください。

なお、この機器・装置のリストは掲載時点で ISS で利用可能なものです。また国際協力において利用する装置ですので、宇宙実験の実施予定によっては利用できない場合がありますのでご承知おきください。

- [Blood Collection Hardware NASA](https://www.nasa.gov/hrp/elements/roi/facilities/portable/blood-collection-hardware)

(NASA web サイト)

<https://www.nasa.gov/hrp/elements/roi/facilities/portable/blood-collection-hardware>

なお、定型プロトコルによる医学系研究提案募集では、上記のサイトのうち、“Frozen” のみが今回使用可能な対象機器。

5. 分野共通装置等

5.1 多目的実験ラック／多目的実験ラック 2号機 (Multi purpose Small Payload Rack: MSPR/MSPR2)

多目的実験ラックは、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として開発されました。

多目的実験ラックは、ワークボリューム (WV : Work Volume)、ワークベンチ (WB : Work Bench)、小規模実験エリア (SEA : Small Experiment Area) の 3 種類の 実験空間を提供します。このうち、ワークベンチは試料調整やメンテナンス作業に使用する作業台であり、実験装置を設置できる部分はワークボリュームと小規模実験エリアとなります。

また、燃焼実験を行うユーザーに対しては、ワークボリューム内に設置できる燃焼実験チャンバ (CCE : Chamber for Combustion Experiment) を多目的実験ラックの構成部品として用意します。燃焼実験チャンバは、JEM に対する防爆構造及び JEM ガス供給／排気系との I/F を有し、またワークボリュームにある電力／通信 I/F を燃焼実験チャンバを介して内部で利用できるため、ユーザー側の燃焼実験装置開発 を容易にします。多目的実験ラックの外観を図 5.1-1 に、基本仕様案を表 5.1-1 に示します。

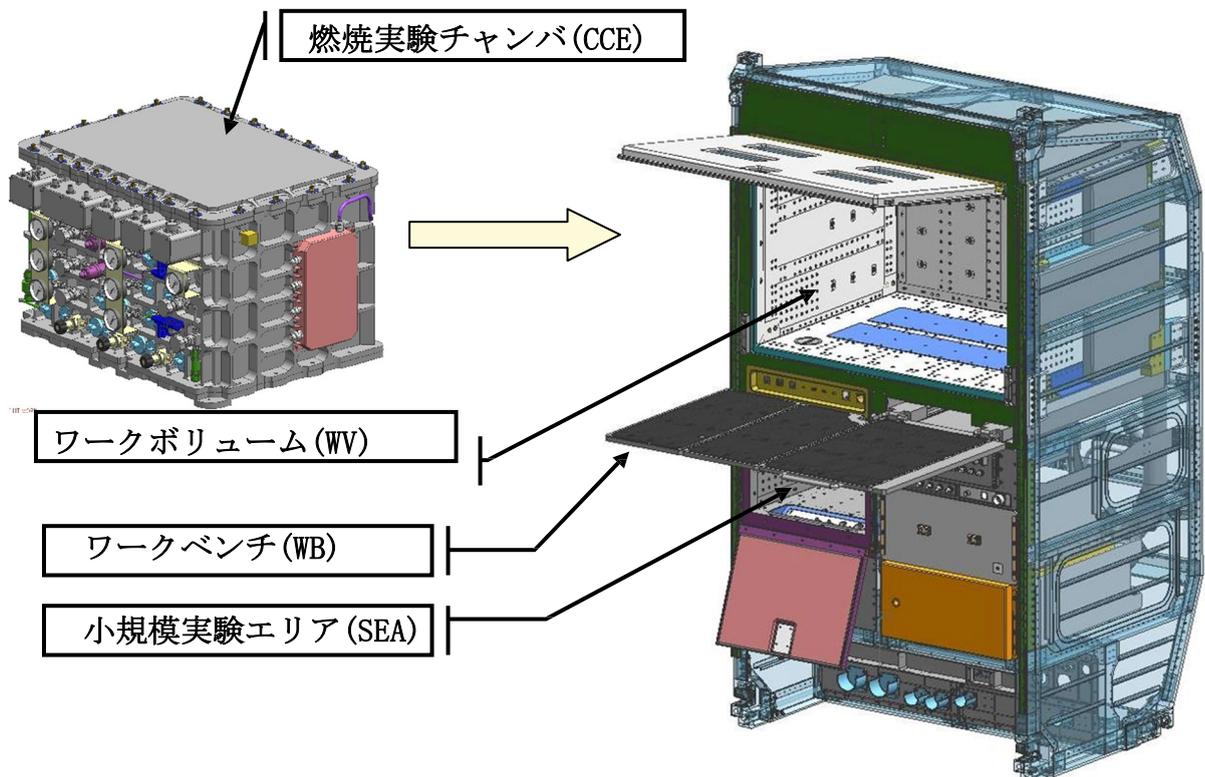


図 5.1-1 多目的実験ラック外観 (イメージ図)

表 5.1-1 (1/3) 多目的実験ラックの仕様

実験エリア	項目	MSPR仕様	MARP2仕様
ワーク ボリューム (WV)	容積	900 mm(幅)X700 mm※(奥行)X600 mm(高) ※MSPR2 WVフロントドア(前面突出)設置時は、ドア内側の奥行空間も利用可能	
	供給電力	29VDC : 470W×1, 16 VDC : 95W×1, 12VDC : 90W×1 で合計 655W	
	排熱機構	アビオニクスエア冷却およびコールドプレート冷却と水冷却の併用 ・アビオニクスエア －流量 : 90kg/hr －排熱量 : 250W(WV)、100W(SEA) －供給温度 : 約 17~32.5℃ ・コールドプレート or 水冷却(切替え選択) －排熱量 : 最大 450W	
	ガス排気	運用圧力 : 101 kPa~0.13 Pa 排気温度 : 13~45 °C 排気制御 : ユーザーはガス放出の使用・非使用 (ガス放出・遮断)をユーザー機器内の弁にて制御	
	ガス供給	供給ガス : N2ガス (JEM GN2 ラインより供給) 供給圧力 : 0.41~0.93MPa (異常時 1.38MPa) 供給量 : 72NL/min 以下 供給温度 : 15.6~45℃	供給ガス : N2ガス (JEM GN2 ラインより供給) 供給圧力 : 0.41~0.93MPa (異常時 1.38MPa) 供給量 : 72NL/min 以下 供給温度 : 15.6~45℃ MSPR2は、上記N2ガスに加えてArガス及びCO2ガス供給インタフェースを有する 供給ガス : Arガス 供給圧力 : 0.48~0.79MPa (異常時 1.38MPa) 供給量 : 20NL/min 以下 供給温度 : 15.6~45℃ 供給ガス : CO2ガス 供給圧力 : 0.51~0.93MPa (異常時 1.38MPa) 供給量 : 5NL/min 以下 供給温度 : 15.6~45℃

通信系	<p>通信ポート： IEEE1394a(400Mbps)×1, Ethernet(100Base-T)×2, USB2.0(シリーズA)×4, VIDEO NTSC(不平衡)× 3(WV, SEA, WBの合計で最大 4ch), ANALOG(±10V)×3(WV と SEAの合計で 3ch), TS(サーモスタット信号)× 3</p>	<p>通信ポート： IEEE1394b(800Mbps)×1, Ethernet(100Base-T)×2, USB2.0 シリーズ A×3 + シ リーズB×1, VIDEO ×4 (WV, SEA, WBの合 計で最大NTSC 4ch + HD-SDI 2ch) + HRDL×3(ラック前 面), ANALOG(±10V)×3 (WV, SEA の合計で最大3ch) , TS(サーモスタット信号)×3</p>
-----	---	---

表 5.1-1 (2/3) 多目的実験ラックの仕様

実験エリア	項目	MSPR仕様	MPSR2仕様
ワークベンチ (WB)	大きさ	900 mm(幅) × 540 mm※(奥行) ※MSPR2 WVフロントドア(前面突出)設置時は、奥行400 mmとする	
	供給電力	16VDC : 95W×2(内、1系統は WV の 16VDC と分岐供用、合わせて 95W) : ラップトップ用	16VDC : 95W
	通信系	通信ポート : IEEE1394a(400Mbps)×1, Ethernet(100Base-T)×3, USB2.0(シリーズ A)×1, USB2.0(シリーズ B)×2, VIDEO NTSC(不平衡)×2 (WV, SEA, WBの合計で最大4ch) , TS(サーモスタット信号)×1	通信ポート : IEEE1394b(800Mbps)×1, Ethernet(100Base-T)×3, USB2.0(シリーズ A)×1, USB2.0(シリーズ B)×2, VIDEO×2 (WV, SEA, WBの合計で最大NTSC 4ch + HD-SDI 2ch) , TS(サーモスタット信号)×1
小規模実験エリア (SEA)	容積	411 mm(幅) × 529 mm(奥行) × 300 mm(高)	
	供給電力	12VDC : 100W×1	
	通信系	通信ポート : Ethernet(100Base-T)×1, USB2.0(シリーズ A)×1, VIDEO NTSC(不平衡)×2 (WV, SEA, WBの合計で最大4ch) , ANALOG(±10V)×3 (WV , SEA の合計で最大3ch), TS(サーモスタット信号)×1	通信ポート : Ethernet(100Base-T)×1, USB2.0(シリーズ A)×1, VIDEO×2 (WV, SEA, WBの合計で最大NTSC 4ch + HD-SDI 2ch) , ANALOG(±10V)×3 (WV, SEA の合計で最大3ch), TS(サーモスタット信号)×1
	排熱機構	アビオニクスエア冷却 - 流量 : 35kg/hr - 排熱量 : 約 140W - 供給温度 : 約 17~30°C	

表 5.1-1 (3/3) 多目的実験ラックの仕様

実験エリア	項目	MSPR/MSPR2仕様
燃焼実験 チャンバ (CCE)	大きさ	ユーザー装置が使用できる大きさ： (CCE 内部底面～高さ20 mmまで) 550 mm (幅) × 351 mm (奥行) × 520 mm (高さ) (高さ20 mm～520 mmまで) 550 mm (幅) × 354 mm (奥行) × 520 mm (高さ)
	供給電力	前記 WV に準じる (チャンバ壁面のハーメチックシールコネクタを介して、WV 供給電力をチャンバ内部に導入する)。
	排熱機構	アビオニクスエア冷却 (CCE 外表面) およびコールドプレート冷却 (CCE 底面) 排熱能力は、前記 WV 参照。ただし、ユーザー装置は CCE 内部底面に接触熱伝導により排熱。
	ガス排気	排気性能は前記 WV に準じる。ただし、ユーザー装置を含む CCE 内部配管系の圧損に依存する。また、ユーザー側で準備する燃焼ガス排出時のコンタミ除去フィルタが装備できるエリアおよび結合ポートを有する。ガスの排出方式は実験の性状に応じ、フィルタを 1 回通過する(ワン・パス)方式と複数回フィルタを通過させて十分にコンタミ除去する循環法式が選択できる。
	ガス供給	<ul style="list-style-type: none"> • N2 ガス供給 (JEM GN2 ラインより) <ul style="list-style-type: none"> – 供給圧力：0.2MPa (CCEレギュレータにより制御) – 最大供給流量：4.47L/min @27°C、0.1MPa(TBD) – 供給温度：15.6～45°C • ユーザーガスボンベ A (ユーザー側で準備) ユーザーが実験に使用するガス用ボンベ A をSEA 内に設置し、WV-SEA 間の貫通ポートを利用してチャンバに供給する。可燃性ガスの搭載は不可。 <ul style="list-style-type: none"> – ボンベ容積：1Lと2.25Lの2種類から選択 – 最大充填圧力：10MPa以下 – 最大供給流量：4.8L/min @27°C、0.1MPa(TBD) • ユーザーガスボンベ B (ユーザー側で準備) ユーザーが実験に使用するガス用ボンベ B をチャンバ内壁に装備できるエリアおよび結合ポートを有する。 <ul style="list-style-type: none"> – ボンベ容積：1Lと300ccの2種類から選択 – 最大充填圧力：10MPa以下 – 最大供給流量：73.82L/min @27°C、0.1MPa(TBD)
通信系	通信ポートは前記 WV に準じる (供給電力の場合と同様)。ただし、ANALOG×3 は CCE内の圧力センサ×1、CO2 センサ×2 に用いられるため、ユーザーは利用できない。さらにCCE内で3回線とも使用されるため、CCE外のWV内やSEA内でのANALOG使用はできない。	

5.2 顕微鏡観察システム (Microscope Observation System)

(1) 蛍光顕微鏡システム

蛍光顕微鏡システムは、蛍光顕微鏡 (Microscope)、電源・制御ユニット (Microscope Controller)、VGA-NTSC 変換器 (VGA-NTSC Converter)、および実験用ラップトップコンピュータからなる透過光観察、位相差観察、および蛍光観察を行うシステムです。メダカやゼブラフィッシュなどの遺伝子組み換え体を利用したライブイメージングにも対応しています。

「きぼう」内では、多目的実験ラック (MSPR : Multi purpose Small Payload Rack) のワークボリューム内、あるいはメンテナンスワークエリア (MWA : Maintenance Work Area) 上に設置されます。実験時には、国際宇宙ステーションのクルーが生物試料を設置し、地上からのコマンドによる遠隔観察操作を実験用ラップトップコンピュータ経由で行います。また、取得した画像ファイルは地上に転送されます。

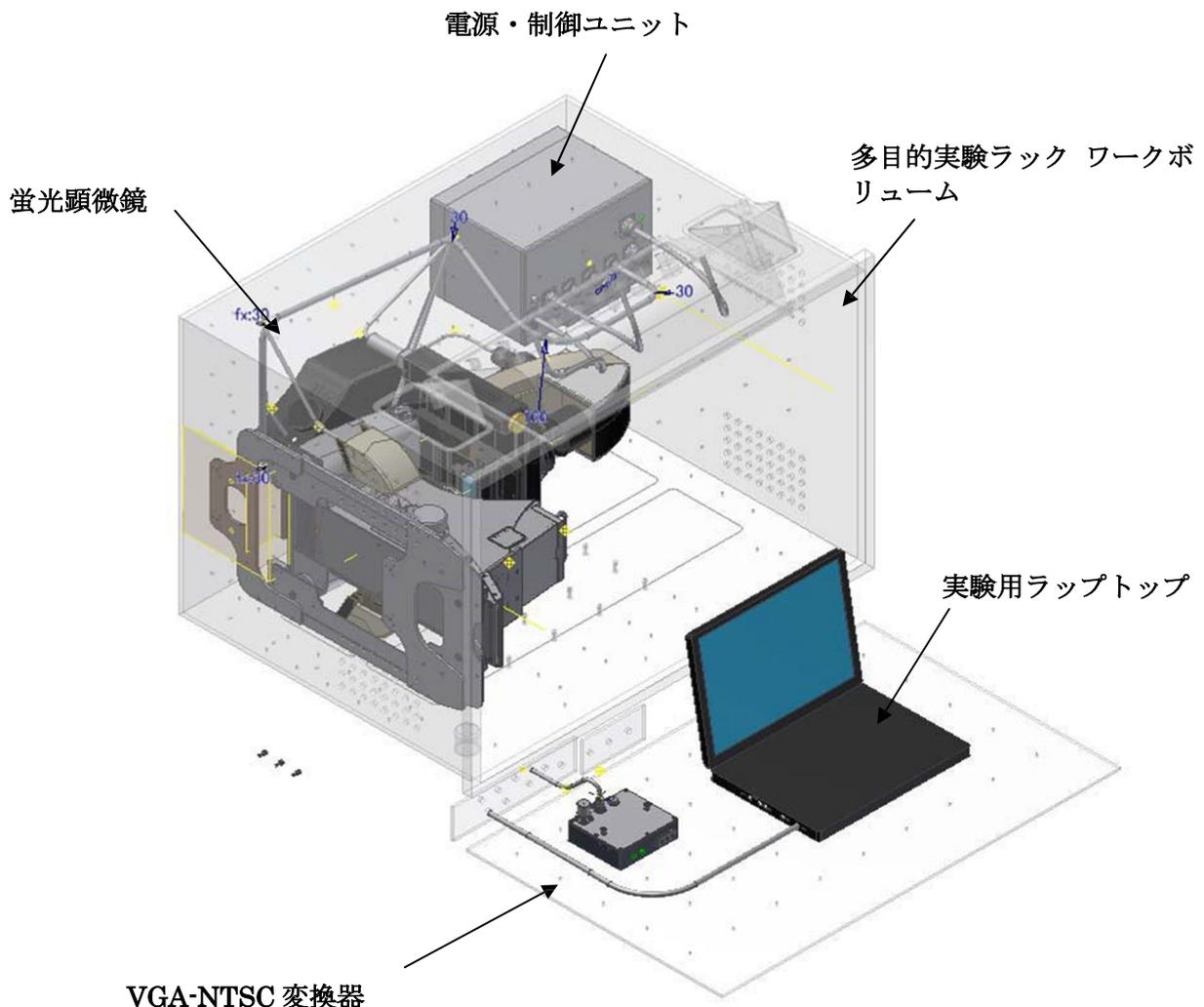


図 5.2-1 顕微鏡観察システム

(a) 蛍光顕微鏡 (Microscope)

2023 年現在、「2) ライフサイエンス実験用ライブイメージングシステム (COSMIC)」を使用しており、原則使用していない。

蛍光顕微鏡は、倒立型落射蛍光顕微鏡 (ライカマイクロシステムズ社製 DMI6000B) を一部改修し搭載化したものです。外観を図 5.2-2 に、主な仕様を表 5.2-1 に示します。民生品をベースにしているため、実験目的にあわせて互換性のある対物レンズや蛍光フィルタに交換することが可能です。ステージ、対物レンズレボルバ、蛍光フィルタターレットおよびコンデンサーなどの顕微鏡操作は全て電動です。

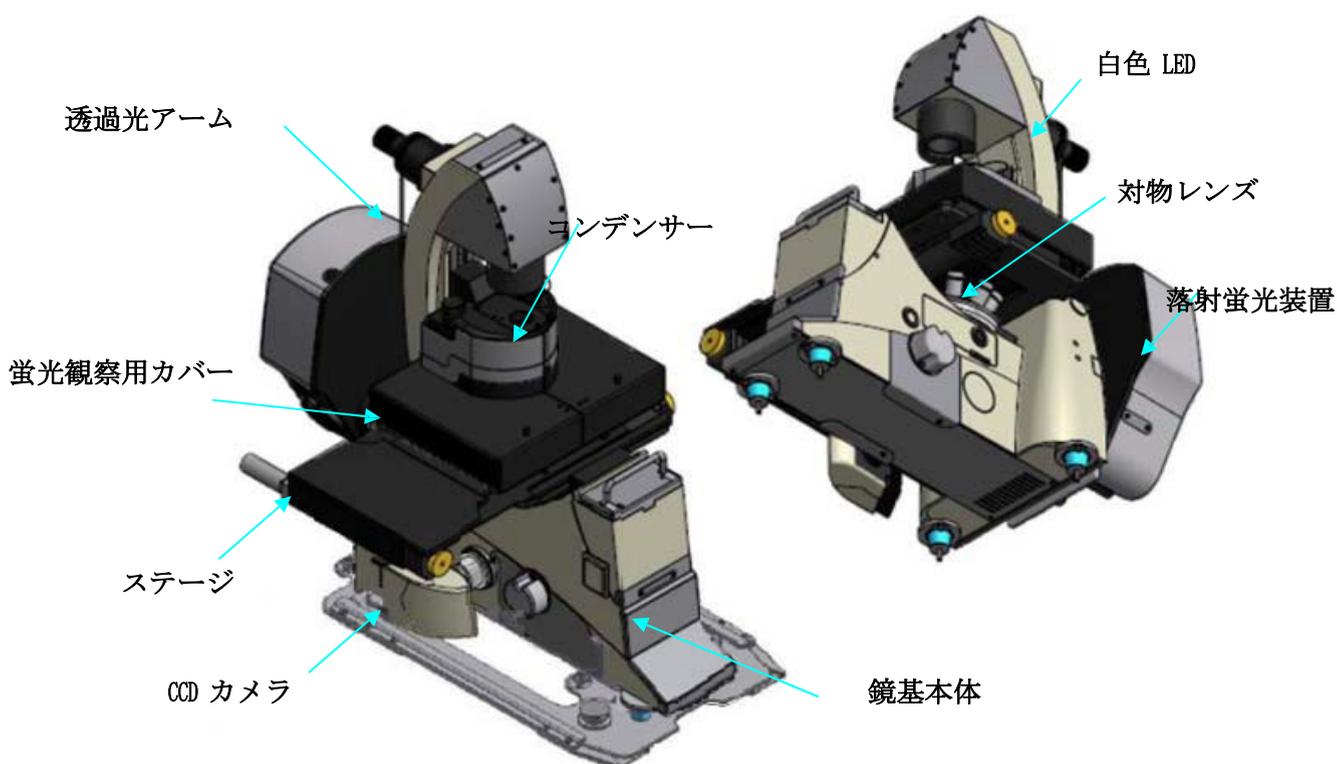


図 5.2-2 蛍光顕微鏡

(b) 電源・制御ユニット (Microscope Controller)

電源・制御ユニットは、蛍光顕微鏡への給電制御、および実験用ラップトップコンピュータと蛍光顕微鏡間の通信インタフェース制御を行います。

(c) VGA-NTSC 変換器 (VGA-NTSC Converter)

軌道上の実験用ラップトップコンピュータ画面は、VGA-NTSC 変換器を通して地上に転送され、リアルタイムで画面を確認できます。

(d) 実験用ラップトップコンピュータ (Experiment Laptop Terminal)

蛍光顕微鏡制御用のソフトウェアがインストールされており、電源・制御ユニットと通信を行い、蛍光顕微鏡の運転制御および監視を行います。また、取得した顕微鏡の画像ファイルを軌道上で保存し、この画像ファイルを地上からのコマンドに応じて地上へ転送します。

表 5. 2- 1 蛍光顕微鏡の仕様 (1/2)

項目	仕様	備考
鏡基本体	<p><u>基本仕様</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・電動対物レンズレボルバ (最大 6 本) ・電動 Z ドライブフォーカス (ストローク 9mm) ・カメラポート (左サイドポート) <p><u>透過光路制御</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・開口絞り・視野絞り (電動) ・フィルタマガジン (電動) <p><u>落射蛍光光路制御</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・明るさ・開口絞り・視野絞り (電動) ・フィルタターレット (電動・フィルタキューブ最大 6 セット) 	PC 経由の操作・観察のため双眼鏡筒は取り外し済み
対物レンズ	<ul style="list-style-type: none"> ・ N PLAN 5X/0.12 PH0 (作動距離 14mm) ・ N PLAN 10X/0.25 PH1 (作動距離 17.6mm) ・ N PLAN 20X/0.35 PH1 (作動距離 6.9mm) ・ HI PLAN I 40X/0.50 PH2 (作動距離 2.0mm) ・ PLAN APO 20X/0.70 PH2 HC (作動距離 0.59mm) ・ PL APO 40X/0.75 PH2 HCX (作動距離 0.28mm) 	蛍光、位相差、明視野観察用
コンデンサ	<p><u>コンデンサ (mot S70)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンデンサターレット (7 穴) ・1.25X~100X の対物レンズ倍率に対応 ・開口絞り内蔵 (電動) <p><u>ライトリング</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・PH0 (対物レンズ 5X、位相差観察) ・PH1 (対物レンズ 10X、20X、位相差観察) ・PH2 (対物レンズ 20X、位相差観察) 	
ステージ	<p><u>XY スキャニングステージ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ステッピングモータ駆動 ・可動域 83×127mm <p><u>マイクロタイター用ホルダー</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・マイクロタイタープレート (83×127mm) に対応 ・クレンメルを有し、試料容器ホルダーを保持 	試料容器ホルダーは、搭載試料容器にあわせて製作
透過光アーム	<p><u>TL アーム Mot.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・電動シャッター内蔵 ・グレーフィルターN2 内蔵 <p><u>コリメート光白色 LED</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・波長特性 435~675nm 	透過光光源は、コリメート光 白色 LED 使用

表 5.2-1 蛍光顕微鏡の仕様 (2/2)

項目	仕様	備考
落射蛍光装置	<u>LED 蛍光光源 SFL7000</u> ・LED モジュール最大 5 基搭載 <u>LED モジュール</u> ・365nm (励起光 365nm) ・470nm (励起光 470nm、EGFP 対応) ・530nm (励起光 530nm、DsRed2 対応) ・620nm (励起光 620nm)	
蛍光フィルタ キューブ	・A4 (励起フィルタ 340-380nm、吸収フィルタ 470/40nm) ・L5 (励起フィルタ 480/40nm、吸収フィルタ 527/30nm) ・N3 (励起フィルタ 546/12nm、吸収フィルタ 600/40nm) ・Y5 (励起フィルタ 620/60nm、吸収フィルタ 700/75nm)	UV 励起 EGFP 観察対応 DsRed2 観察対応
CCD カメラ	<u>DFC 360FX カメラ</u> ・画素数 1392×1040 ・スキャンエリア 9.0× 6.7mm ・ピクセルサイズ 6.45×6.45 μm ・露光時間 4 μ秒～600 秒、1 μ秒刻み ・ビニング可能	C マウントアダプタ 0.7 X HC を介して接続
蛍光観察用カバー	<u>蛍光観察用カバー</u> ・ステージの遮光用	

(e) 加温チャンバシステム

軌道上で試料を目標温度に維持した状態で、蛍光顕微鏡による明視野及び蛍光観察を実現するシステムです。加温チャンバ、電源ユニット、ハーネス、制御用ソフトウェア等から構成されます。加温チャンバは顕微鏡観察システムの蛍光顕微鏡ステージ上に2式の培養容器を収納し、上下に設置したヒータにより容器内試料温度を一定に維持できます。加温チャンバの電源ユニットはラックから電源供給を受けます。加温チャンバの仕様を表 5.2-2 に示します。

表 5.2-2 加温チャンバの仕様一覧

項目	仕様	備考
温度範囲	(環境温度+1℃) ~40℃	
制御温度	±0.5℃以内	
観察範囲の温度分布	±0.5℃以内	
温度設定	0.1℃単位	地上からコマンドで変更可能
容積	下記サイズの培養容器を 2 個収納可能 86.4(±0.8)x49.3(±0.8)x7.5(±0.5)mm	

2) ライフサイエンス実験用ライブイメージングシステム (COSMIC: Confocal Space Microscopy)

ライブイメージングシステム (COSMIC) は従来の蛍光顕微鏡システムの機能に加え、レーザー共焦点顕微鏡の機能を有し、微小重力環境での三次元ライブセル（生細胞）観察をはじめとする様々な顕微鏡観察に使用できます。COSMIC に搭載されたニポウディスク方式共焦点スキャナや高感度 CMOS カメラにより、蛍光試料の高精細な三次元イメージングが可能です。

COSMIC は共焦点観察用に 3 台のレーザを搭載し、複数の蛍光色素を使用した共焦点観察を行えます。また、共焦点スキャナに内蔵されたスプリットビュー光学系により、波長の異なる 2 つの蛍光を 1 台のカメラで同時に撮影でき、高速現象の二色同時観察や FRET (蛍光共鳴エネルギー移動) を利用した高度な実験にも対応できます。

また、オートフォーカス機能により長時間の観察でもフォーカスがずれることなく観察できます。さらに、加温チャンバシステムと組み合わせて使用することで、試料を培養に適した温度環境に保ちながら長時間の観察を安定して行えます。

COSMIC は JEM キャビンエリアの壁面にベルクロで設置されます。設置した様子を図 5.2-3 に示します。

COSMIC を使用する実験の代表的なフローを図 5.2-4 に示します。試料は打ち上げられた後、細胞培養装置で μG から 2G までの様々な重力環境下で培養され、その影響を顕微鏡で観察することができます。観察時にはクルーが試料を顕微鏡に設置し、地上からのコマンドによる遠隔操作で観察を行います。撮影された画像データは軌道上の制御用 PC に一旦保存され、地上からのコマンドにより地上に転送します。

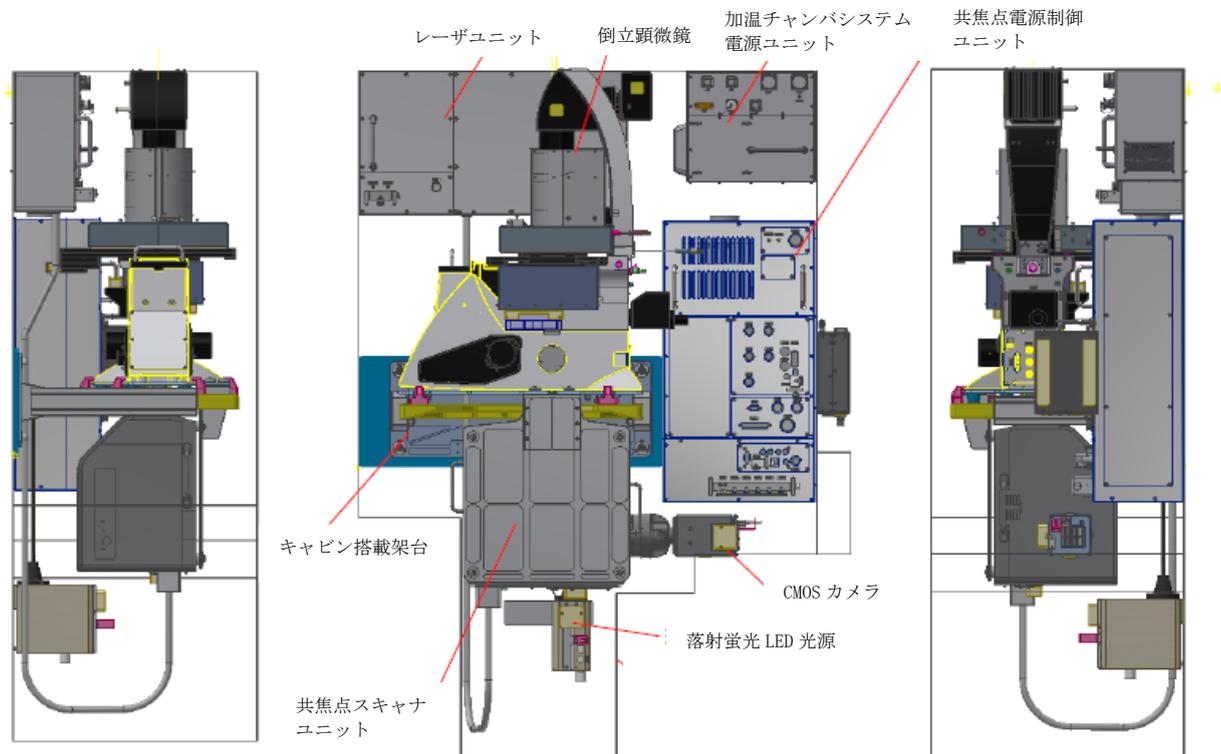


図 5.2-3 COSMIC 外観図

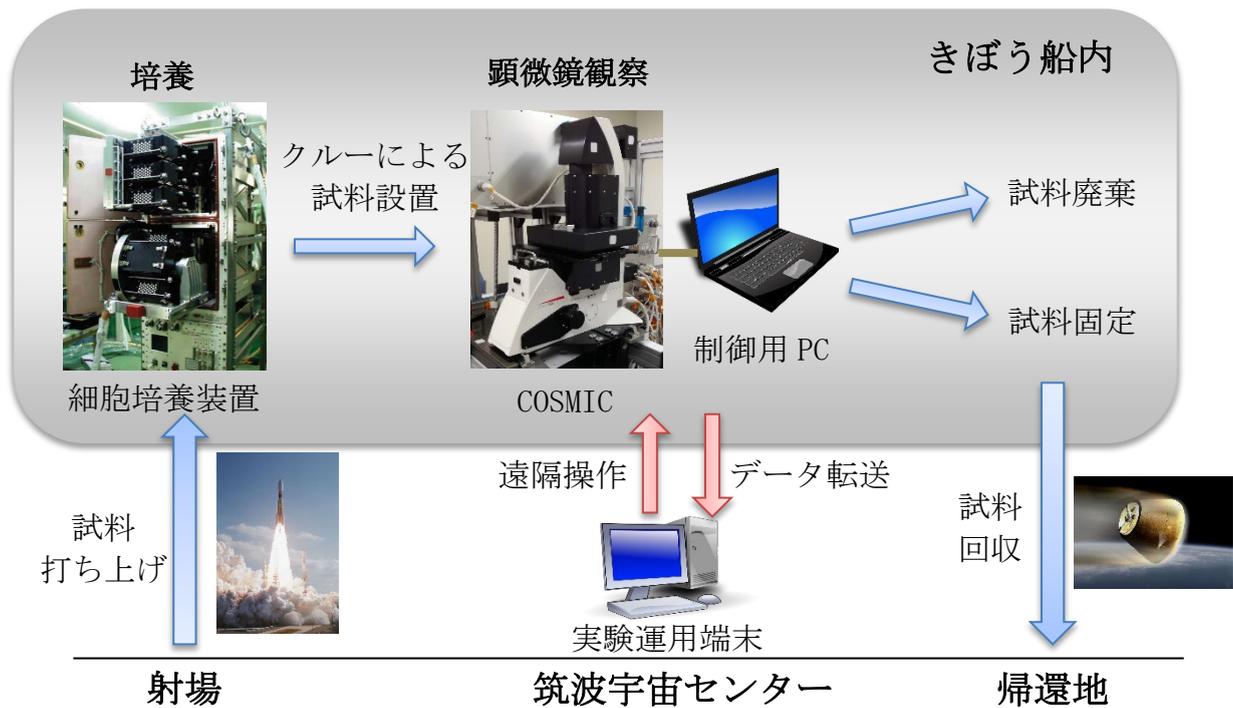


図 5.2-4 COSMIC を使用する実験フロー例

COSMIC は倒立顕微鏡、共焦点スキャナユニット、CMOS カメラ、レーザユニットなど、主に民生品を改修設計したコンポーネントにより構成されます。採用されている主な民生品を表 5.2-3 に示します。また、COSMIC 構成品の主な仕様を表 5.2-4 に示します。

表 5.2-3 COSMIC に採用されている主な民生品

品 目	メーカー・型名
倒立顕微鏡	ライカマイクロシステムズ DMi8
共焦点スキャナユニット	横河電機 CSU-W1 (T3)
CMOS カメラ	浜松ホトニクス ORCA-Flash4.0 V3
レーザユニット	コヒレント OBIS LX 445nm
	コヒレント OBIS LX 488nm
	コヒレント OBIS LS 561nm
	コヒレント OBIS Galaxy
落射蛍光 LED 光源	CoolLED pE-300 white

(a) 倒立顕微鏡

倒立顕微鏡はライカマイクロシステムズ製 倒立型落射蛍光顕微鏡 DMi8 を一部改修しフライト化したものです。外観を図 5.2-5 に示します。実験目的にあわせて対物レンズや蛍光フィルタを交換することが可能です。ステージ、対物レンズレボルバ、オートフォーカス、蛍光フィルタターレットおよびコンデンサーなどの顕微鏡操作は全て電動です。

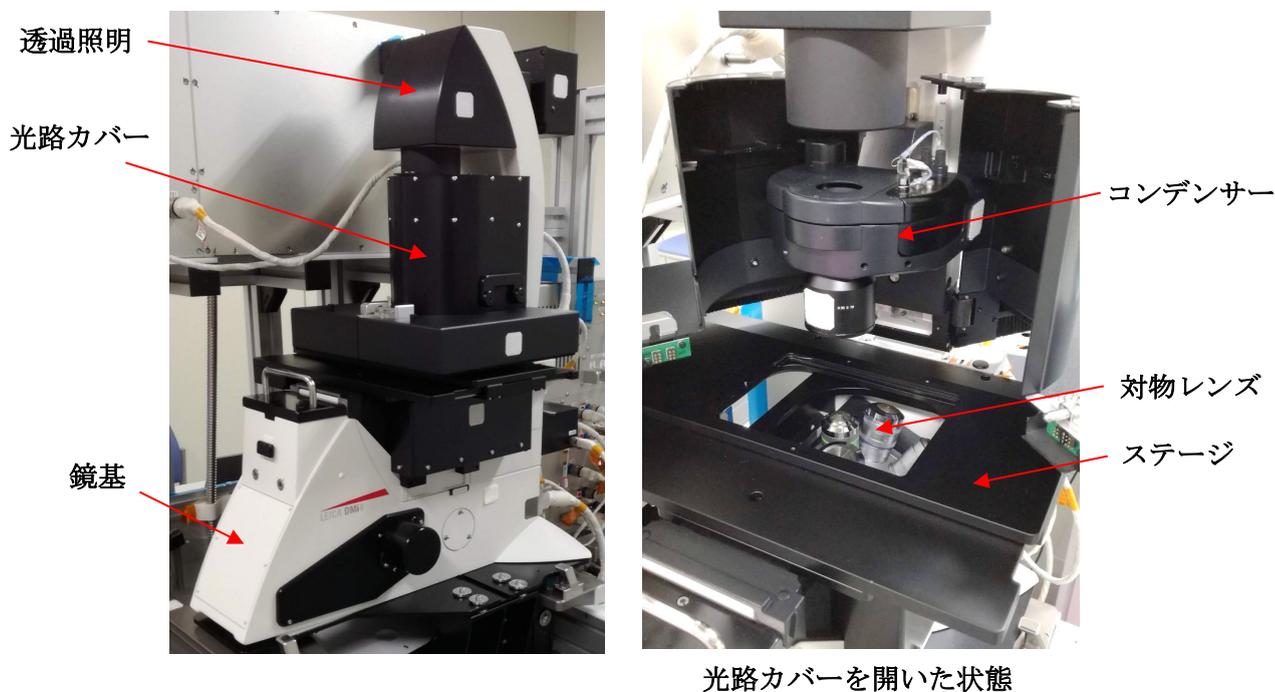


図 5.2-5 倒立顕微鏡

試料は実験に合わせて製作された試料容器ホルダーに装着して顕微鏡ステージに取り付けます。マイクロプレートや、付着細胞用の DCC (Disposable Cultivation Chamber) は、既存のホルダーが利用できます。加温チャンバは DCC を 2 個取り付けて、温度制御下で観察することができます。観察試料の設置例を図 5.2-6 に示します。



図 5.2-6 観察試料の設置例

(b) 共焦点スキャナユニット

共焦点スキャナユニットは横河電機製ニポウディスク方式共焦点スキャナユニット CSU-W1 を一部改修しフライト化したものです。外観と共焦点光学系の模式図を図 5.2-7 に示します。共焦点スキャナは、多数のマイクロレンズとピンホールがそれぞれ形成された2枚の回転ディスクを通して、多数のレーザビームを同時に試料に照射し、焦点面から発生した蛍光のみがピンホールを通してカメラで撮影できるように構成されています。共焦点スキャナユニット内のフィルタや光路は全て電動切り替え可能です。



図 5.2-7 共焦点スキャナユニット

共焦点スキャナユニットに内蔵されたスプリットビュー光学系は、波長の異なる2つの蛍光をビームスプリッタで分光し、1台のカメラの視野の上下に同時に投影します(図 5.2-8)。これにより時間ずれの無い二色同時観察ができ、FRET の精密な測定が可能です。

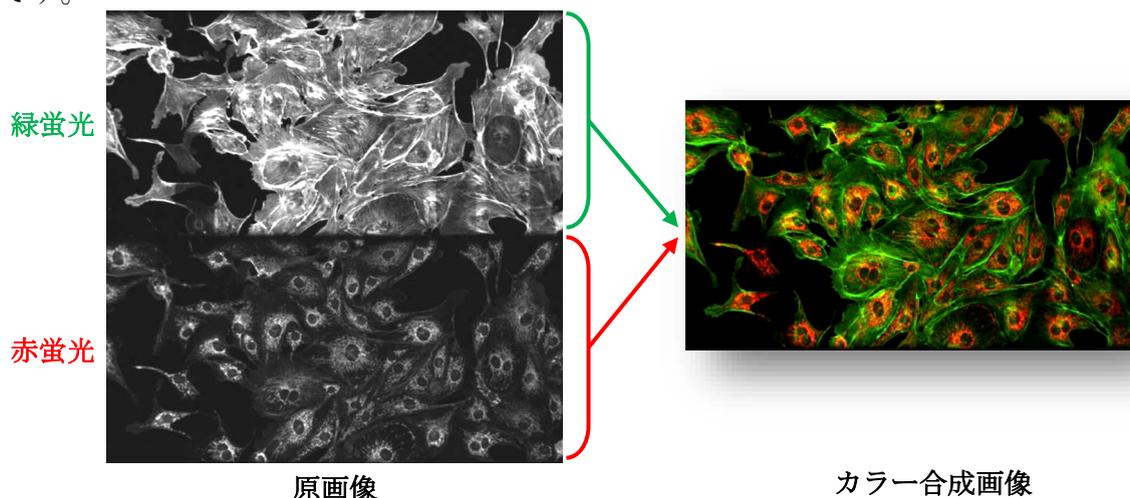


図 5.2-8 スプリットビューによる2色同時観察

表 5.2-4 COSMIC 構成品の仕様 (1/2)

項目	仕様	備考
倒立顕微鏡	<p><u>基本仕様</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・対物レンズレボルバ (電動・最大 6 個) ・Z ドライブ (電動・ストローク 12mm) ・オートフォーカスユニット内蔵 <p><u>透過光路制御</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・開口絞り・シャッタ (電動) <p><u>落射蛍光光路制御</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・視野絞り・シャッタ (電動) ・蛍光フィルターターレット (電動・最大 6 個) 	双眼鏡筒は無し
対物レンズ	<ul style="list-style-type: none"> ・HCX PL FLUOTAR 2.5x/0.07 ・N PLAN 5x/0.12 PH0 ・N PLAN 10x/0.25 PH1 ・HCX PL FLUOTAR 10x/0.32 PH1 ・N PLAN 20x/0.35 PH1 ・PLAN APO 20x/0.70 PH2 HC ・PLAN APO 20x/0.80 PH2 HC ・PLAN APO 40x/0.85 CORR HCX ・PLAN APO 40x/0.95 CORR HC ・HC PL FLUOTAR 63x/0.90 CORR 	<p>最大 6 個まで 取り付け可能</p> <p>左記以外のライカ用対物レンズは別途打ち上げにて取り付け可</p>
コンデンサ	<p><u>コンデンサ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンデンサターレット (電動・最大 7 個) ・開口絞り内蔵 (電動) <p><u>位相差観察用リングスリット</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・PH0 (5 倍用) ・PH1 (10・20 倍用) ・PH2 (20 倍用) 	
ステージ	<p><u>XY スキャニングステージ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・リニアモータ駆動 ・可動範囲 120×80mm <p><u>試料容器ホルダー</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・マイクロプレート用 ・DCC (Disposable Cultivation Chamber) 用 	試料容器ホルダーは、搭載試料容器にあわせて製作可能
透過光ランプ	<ul style="list-style-type: none"> ・白色 LED 光源 ・波長帯域 350~750nm 程度 	
落射蛍光ランプ	<ul style="list-style-type: none"> ・白色 LED 光源 ・波長帯域 350~750nm 程度 	

表 5. 2-4 COSMIC 構成品の仕様 (2/2)

項目	仕様	備考
蛍光フィルタ キューブ	<ul style="list-style-type: none"> ・CFP 用 (励起 436/20nm、吸収 480/40nm) ・GFP 用 (励起 470/40nm、吸収 525/50nm) ・YFP 用 (励起 500/20nm、吸収 535/30nm) ・DsRed 用 (励起 546/10nm、吸収 605/75nm) 	左記以外は別途打ち上げにて取り付け可
CMOS カメラ	<ul style="list-style-type: none"> ・有効画素数 2048×2048 ・有効視野サイズ 13.3×13.3mm ・ピクセルサイズ 6.5×6.5μm ・露光時間 1ms~10s (1ms 刻み) ・量子効率 80%以上 (ピーク値) ・ビニング 1, 2, 4 ・ノーマル/W-VIEW モード切替可 	
光路カバー	<ul style="list-style-type: none"> ・ステージの遮光用 ・手動開閉 	
共焦点 スキャナ ユニット	<ul style="list-style-type: none"> ・マイクロレンズ付きニポウディスク方式 ・ディスク回転数 1500~4000rpm ・ディスク搭載数 2台 ・ピンホール径 50um、25um ・ダイクロイックミラー <ul style="list-style-type: none"> ① 405/488/561/640nm 励起用 Quad DM ② 445/514/640nm 励起用 Triple DM ③ 明視野・落射蛍光用ミラー ・蛍光フィルタ <ul style="list-style-type: none"> ① 445nm 励起用 (中心波長 482nm, 帯域幅 35nm) ② 488nm 励起用 (中心波長 525nm, 帯域幅 30nm) ③ 514nm 励起用 (中心波長 578nm, 帯域幅 105nm) ④ 561nm 励起用 (中心波長 617nm, 帯域幅 73nm) ・スプリットビュー用ビームスプリッタ <ul style="list-style-type: none"> ① 488/561nm 励起同時観察用 ② 445/514nm 励起同時観察用 	
レーザー ユニット	<p><u>445nm レーザ発振器</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・レーザー出力 45mW ・発振波長 445±5nm <p><u>488nm レーザ発振器</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・レーザー出力 100mW ・発振波長 488±5nm <p><u>561nm レーザ発振器</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・レーザー出力 80mW ・発振波長 561±2nm 	

5.3 エアロック

エアロックは実験装置の船内外への移動を可能とする設備として、国際宇宙ステーションの中でもユニークな設備として注目され国内外のユーザから利用されている「きぼう」の基幹システムです。船外実験プラットフォームに取り付けられる実験装置の出し入れや、超小型衛星放出ミッション等、幅広く利用されています。

エアロックは、内側ハッチを閉じることで空気の流れを止めた実験環境を実現可能です。更に内部を真空にすることで船内空気を排した環境も実現可能なため、蛍光灯を有す内部の状況は実験の様子をハッチ窓を通して観察することで、微小重力・真空環境下での実施が望ましい実験に対して最適な実験環境を提供します。

エアロック内の温度環境は「きぼう」船内と同程度です。エアロック内での実験装置の固定は、①スライドテーブルへのボルト固定、若しくは②把持機構による固定、のいずれかを選択可能です。把持機構の操作は宇宙飛行士による操作に加え、地上からの遠隔操作も可能です。尚、現時点では内部の実験装置への給電機能は存在しないため、エアロック内での実験は一次電池等を装置側に備える必要があります。

スライドテーブルに取り付け可能な搭載物の最大許容寸法はおよそ 1.6m (長さ) × 0.9m (高さ) × 0.7m (幅)、最大許容質量は 300 kg と十分な実験環境を提供可能です。

エアロックの利用にあたっては別途 JAXA と相談の上、実験環境や搭載性等からの詳細な成立性の検討を実施いただく必要があります。

2023 年度船内科学利用テーマ募集では、エアロックの船内スペースのみが使用可能エリアです。

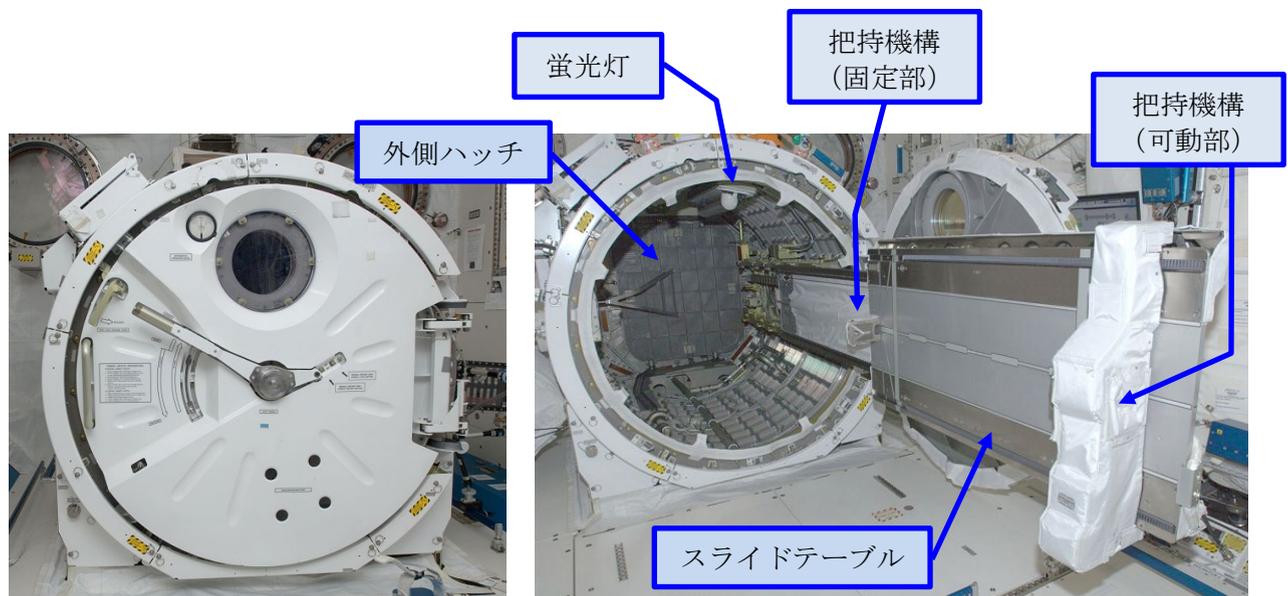


図 5.3-1 エアロック内側ハッチと観察窓（ガラス）

図 5.3-2 スライドテーブル進展状態とエアロック内部の様子

5.4 軌道上冷凍・冷蔵庫

5.4.1 MELFI (Minus Eighty degree Celsius Laboratory Freezer)

軌道上冷凍・冷蔵庫は、宇宙での実験、特に生命工学や生命科学系実験において、実験試料や薬剤などを軌道上において低温で保管するために準備され、「きぼう」船内実験室に搭載されています。

実験試料は培養状態、あるいは凍結・乾燥などの状態で「きぼう」船内実験室に打ち上げ、「きぼう」船内実験室内で培養実験を行います。実験終了後、地上に持ち帰るまで冷蔵あるいは冷凍で実験試料を保存できます。運転温度は+4℃、-26℃、-80℃の設定が可能です。現在は、-95℃、+2℃で運用されています。

庫内の総収容可能容積は 300 リットルで、75 リットルに 4 分割されており各区画は独立して上記温度に設定できます。

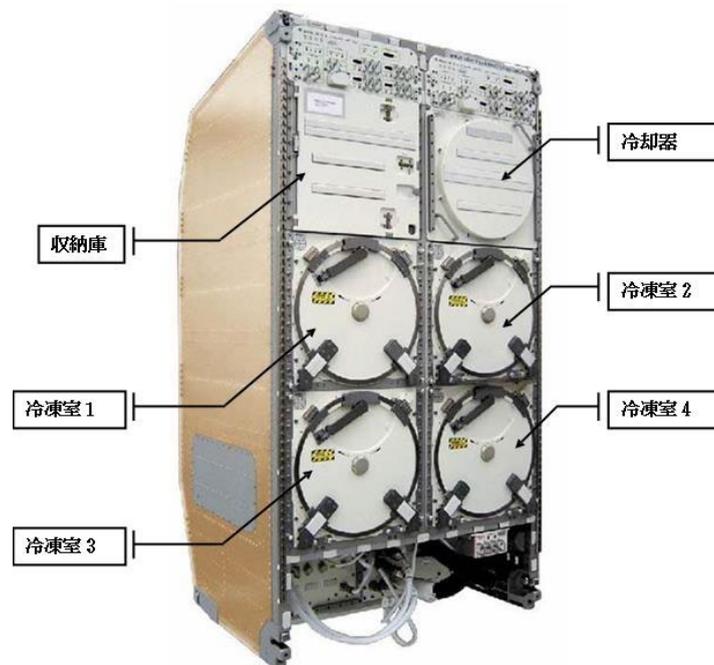


図 5.4-1 ISS 内の軌道上冷凍・冷蔵庫 (MELFI) 外観



図 5.4-2 ISS 内の軌道上冷凍・冷蔵庫 (MELFI) トレイ

5.4.2 FROST (「きぼう」搭載用ポータブル冷凍・冷蔵庫) / FROST2 (「きぼう」搭載用ポータブル極低温冷凍庫)

「きぼう」で使用する冷蔵・冷凍庫で、スターリング冷却器を使い-70° Cまで冷却可能です。



図 5.4-3 FROST 外観

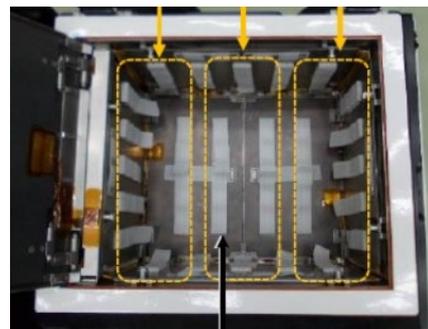


図 5.4-4 FROST2 外観

5.5 実験支援副資材 (LSE: Laboratory Support Equipment)

「きぼう」で使用できる実験用の支援資材 (LSE) リストを次ページ以降に示します。これらの資材は、搭載にあたっての各種の認定が終わっているため、すぐに搭載可能です。

なお、打上試料の梱包には、エアークッション (リスト No, 34-36) やフォームクッション (No. 44) などを使用できます。これらの重量についても考慮してください。

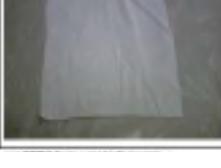
LSE (Laboratory Support Equipment) カタログ

No.	名称	製品番号	寸法	重量	備考	写真
1	ZIPLOC Sandwich bag	LSE-ZIP001	6 1/2in x 5 7/8in (16.5cm x 14.9cm)	298g/93枚 箱質量含む		
2	ZIPLOC Snack Bags	LSE-ZIP002	6 1/2in x 3 1/4in (16.5cm x 8.3cm)	246g/100枚 箱質量含む		
3	ZIPLOC Sandwich Bags	LSE-ZIP003	7in x 8in (中) (17.8cm x 20.3cm)	296g/40枚 箱質量含む	Sandwichにはプリント無し 日本調運品には「フリーザ」と プリントしてある。	
4	ZIPLOC FREEZER BAGS	LSE-ZIP004	One pint (17.7cm x 12.7cm)	130g/20枚 箱質量含む		
5	ZIPLOC FREEZER BAGS	LSE-ZIP005	One quart (20.3cm x 17.7cm/ 7in x 8in)			No Picture
6	ZIPLOC FREEZER BAGS	LSE-ZIP006	One Gallon (大) (26.8cm x 27.9cm/ 10 9/16in x 11in)	310g/30枚 箱質量含む	30枚/箱	
7	ZIPLOC FREEZER BAGS	LSE-ZIP007	Two Gallon (33.0cm x 39.7cm/ 13in x 15 5/8in)	244g/12枚 箱質量含む	12枚/箱	
8	ZIPLOC BIG BAGS	LSE-ZIP008	X-Large (60.96cm x 51.82cm/ 2ft x 1.7ft)	350g/4枚 箱質量含む	4枚/箱	
9	ZIPLOC BIG BAGS	LSE-ZIP009	XX-Large (60.96cm x 82.3cm/ 2ft x 2.7ft)	354g/3枚 箱質量含む	3枚/箱	No Picture

LSE (Laboratory Support Equipment) カタログ

No.	名称	製品番号	寸法	重量	備考	写真
10	静電防止ジップロック	LSE-ZIP010	4in × 6in (サイズ: 100 × 150)	212g/110枚	静電防止用製品 クリーンポリチャック袋	
11	静電防止ジップロック	LSE-ZIP011	8in × 12in (サイズ: 200 × 300)	86g/5枚	静電防止用製品 クリーンポリチャック袋	
12	静電防止ジップロック	LSE-ZIP012	10in × 14in (サイズ: 250 × 350)	950g/90枚	静電防止用製品 クリーンポリチャック袋	
13	静電防止ジップロック	LSE-ZIP013	12in × 16in (サイズ: 300 × 400)	558g/42枚	静電防止用製品 クリーンポリチャック袋	
14	Velcro Hook	LSE-VH001	幅1インチ		Rating A Hi-AIR Brand hook06 1" Natural 017 Sew-on 0399 re-order part#:190525/25yard/roll 100% Nomex-nylon	
15	Velcro Loop	LSE-VL001	幅1インチ	210g/14m	Rating A Hi-AIR Brand Loop003 1" Natural 017 Sew-on 0399 re-order part#:190995 25yard/roll 100% Nomex-nylon	
16	Grove (Medium size)	LSE-GV001	・15cm × 23cm 厚さ 0.5mm (広げた時) ・箱の大きさ	742g/100枚 箱質量含む	ニューニトリル極薄手	
17	Grove (Large size)	LSE-GV002	・13cm × 250cm × 80cm (箱の大きさ)	686g/100枚 箱質量含む	ニューニトリル極薄手	
18	Benzalkonium Chloride Antiseptic Towelette	BCCK003	5cm × 5.5cm 厚さ3mm	4g/1個	日本への輸入禁止品 Ref./Reorder No. D35100, NDC 10819-3737-1	

LSE (Laboratory Support Equipment) カタログ

No.	名称	製品番号	寸法	重量	備考	写真
19	Sterilized Water Bottle	BCKK002			30R	
20	Sanita-kun	BCKK001-1			真菌用迅速タイプ	
21	ブローアー	E-270A	φ5.5cm(Max)×13.5cm	50g/1個	ジェットブローアー (ブラック)	
22	Lint Free Wipe	LSE-DW001	30.4cm×30.4cm 厚さ1mm	1298g/100枚	キムテックピュアGL4クリティカルタスクワイパー クルー 100% Polypropylene	
23	Cable tie	PLT1M-C702Y	幅0.5cm(Max)×10cm 高さ5mm(Max)	30g/48本	Rating A Halar素材 L:102mm , W:2.5mm T: 1.1mm	
24	Cable tie	PLT2S-C702Y	幅0.8cm(Max)×19cm 高さ5mm(Max)	116g/50本	Rating A Halar素材 L:188mm Width: 2.5mm, T: 1.1mm	
25	ウエス(小)	SWC-30	28cm×30cm 厚さ2mm	28g/1枚	スーパーワイピング グレー	
26	ウエス(大)	SWC-60	29cm×60cm 厚さ2mm	56g/1枚	ワイピングクロス	
27	タオル	P-GJ-MU	32cm×35cm 厚さ0.5mm	1234g/54枚	メリヤスウエス(1kgタイプ)	

LSE (Laboratory Support Equipment) カタログ

No.	名称	製品番号	寸法	重量	備考	写真
28	Aluminum tape	P-100	15mm(0.59インチ)			
29	Kapton tape (ポリイミドテープ)	LSE-KAP001	No.5413(幅1インチ)	92g/1巻	-Rating A	
30	綿棒	P1506-30	φ10cm 幅2.5cm		綿球:片糖、綿径:8.0(±0.5)mm、軸質:紙軸、軸長:150.0(±3.0)mm、袋入数:30	
31	紙おむつ	LSE-WA001				
32	穴あきZiploc bag(ベルクロ)	LSE-ZIP014				
33	両面テープ (Double Sided Tape)	LSE-DST001	幅1インチ		Rating A	
34	Electrostatic Discharge (ESD) Bubble wrap (大)	528-43072-8	345 mm * 78 mm * 7 mm	200 g	静電気帯電防止機能付き エアークッション	
35	Electrostatic Discharge (ESD) Bubble wrap (中)	528-43072-2	320 mm * 320 mm * 7 mm	70 g	静電気帯電防止機能付き エアークッション	
36	Electrostatic Discharge (ESD) Bubble wrap (小)	528-43072-7	125 mm * 210 mm * 7 mm	20 g	静電気帯電防止機能付き エアークッション	

LSE (Laboratory Support Equipment) カタログ

No.	名称	商品番号	寸法	重量	備考	写真
37	HDV Tape	PHDVM-63DM	66 mm * 48 mm * 13 mm	19.6g	ハイビジョン対応 Mini-DV テープ	
38	Soft Bag, 1/2X Size	JMH-074127-HX001	248 mm * 502 mm * 235 mm	0.98 kg	打上げ/ISS内保管用バッグ	
39	Soft Bag, 1X Size	JMH-074127-1X001	248 mm * 502 mm * 425 mm	1.7 kg	打上げ/ISS内保管用バッグ	
40	Soft Bag, 2X Size	JMH-074127-2X001	502 mm * 502 mm * 425 mm	2.04 kg	打上げ/ISS内保管用バッグ	
41	Soft Bag, 3X Size	JMH-074127-3X001	748 mm * 502 mm * 425 mm	2.7 kg	打上げ/ISS内保管用バッグ	
42	Soft Bag, 6X Size	JMH-074127-6X001	748 mm * 502 mm * 913 mm	4.0 kg	打上げ/ISS内保管用バッグ	No Image
43	Jettison Stowage Bag	JMH-083713-001	400 mm * 400 mm * 25 mm	0.65 kg	廃棄用バッグ	
44	ニューベルカ	SX-300H	1000 mm * 2000 mm * 100 mm	-	打上げ用フォームクッション材 25%圧縮応力: 45kPa 密度: 30kg/m ³ 帯電防止	

5.6 その他(船内空間)

船内実験室空間の利用にあたっては個別の調整になると考えられますが、現状のおおまかな制約を表 5.6-1 に示します。

表 5.6-1 船内実験室空間利用にあたっての制約概要

項目	制約
重量	≤ 24 kg 推奨 (ソフトバック打上想定)
体積	<ul style="list-style-type: none"> ラック表面からの張り出し~43 cm 空気の流れを妨げないこと
機械的インタフェース	シートトラック (標準取付位置)
熱的インタフェース (排熱)	≤ 40 W (アビオニクスによる空冷)
電氣的インタフェース (供給電力)	<ul style="list-style-type: none"> 120 V(DC)若しくは 28 V(DC) PLT*(USB ポート/PCMI カードスロット) : 5 V(DC) *ペイロードラップトップターミナル(PC)
通信インタフェース (データ)	Ethernet 利用;地上との接続は常時ではなく、適当なタイミングにまとめて通信することを想定
通信インタフェース (ビデオ)	<ul style="list-style-type: none"> ビデオ撮影:ステーション共通機器利用(後述) 持込装置内カメラからのダウンリンク:次期画像取得処理装置(IPU2)^{*1}または多目的実験ラック経由
流体系インタフェース	なし
安全 (代表例)	<ul style="list-style-type: none"> オフガス(JAXAでの試験で確認可能) シャープエッジ 機器表面温度 (≤ 49°C) 電磁適合性
騒音/マイクロ G 擾乱	<ul style="list-style-type: none"> 騒音:NC-40 規定準拠(連続 8 時間以上稼働する場合) 振動:解析等で問題ないことを示す
その他使用可能な機器	<ul style="list-style-type: none"> ペイロードラップトップターミナル(PLT) DV カメラ HDV カメラ デジタルスチルカメラ等

*1: IPU2 の場合、H.264 形式の圧縮形式に対応 (Full HD 解像度までの画質対応)、また動画記録・地上伝送について 25Mbps max/ch を利用可能。種々の運用制約により変更の可能性あり。

6. その他参考情報

下記のウェブサイトに関連する情報を紹介していますので、参考としてください。

「きぼう」利用に関する情報全般

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

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

「きぼう」船内実験装置に関する情報

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

宇宙実験テーマに関する情報

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

宇宙実験テーマの募集に関する情報

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

II. 宇宙実験立案に際しての留意事項

1. 宇宙実験提案の特徴

「きぼう」の船内実験室では、以下に示すように地上の実験室と環境や運用の条件が大きく異なるため、地上の実験室と同じ様な手法、規模での実験実現は非常に困難です。これらの制約事項を確実に理解した上で、実現可能な宇宙実験を企画・立案することが重要です。

- 宇宙環境の特殊性：微小重力環境下での作業、処理（特に液体の挙動）
- 宇宙での有人施設利用による制約：厳格な安全性評価（試料、化学固定剤などの毒性物質を確実に封入することなど）
- 輸送機会・能力の制約：宇宙船での打上容積・重量の制約も大きいですが、回収できる宇宙船が限られているので、回収できる容積・重量は非常に大きな制約です。
- 軌道上での作業時間：搭乗員の作業時間は非常に限られており、1 実験に割り当てられる作業時間は平均すると 10 時間程度です。上記の微小重力環境や封入性の特殊性を考慮すると、地上の研究室での数時間程度の作業量しか確保できません。
- 冷蔵・冷凍能力：軌道上での冷蔵・冷凍庫の容積は限られており、かつ打上・回収時の冷蔵・冷凍は非常に少ないことが制約となります。

従って、宇宙実験の提案には通常の実験・研究の提案と異なる点が非常に多くあります。実際に宇宙実験提案の審査・選考においては、提案内容の「科学評価」のみでなく、「技術評価」が実施されます。科学的な水準が高くても、宇宙実験の実施に多大な技術的困難が予想される、すなわち「搭載実現性」の極端に低い提案は採択されない可能性が高くなります。

2. 搭載実現性

実験提案者が「どのような実験を、何を使って、どういった手順で実行したいのか、なぜそうしなくてはならないのか」という宇宙実験に関する要求事項、これを「実験要求」と言います。

実験要求のうち、本編 5 項に示す「宇宙実験特有の制約事項」に抵触しているものは搭載実現性を低下させる要因（リスクファクター）となります。たとえば、打上げ能力を超える試料量あるいは資材量の搭載という実験要求があると、これはリスクファクターとなります。

リスクファクターがいくつあるか、その克服の難易度はどの程度かによって搭載実現性の高低が判断されます。極端に搭載実現性の低い提案が採択されることはありません。

また、搭載実現性の評価結果、すなわち技術評価で指摘された問題点と、その克服のための改善策は提案者にフィードバックされます。提案が採択された研究者には、宇宙実験準備作業の段階で、指摘された課題の解決に取り組むことが採択の条件に加えられます。

いかにリスクファクターの少ない宇宙実験を企画・立案するかについては、第 5 項に説明します。なお、生命医科学分野と物質・物理科学分野のそれぞれの宇宙実験の現場では、実験試料、装置・器具類、宇宙実験への搭乗員の関与の程度など異なる点が多

く、宇宙実験を企画、立案するときの考え方や手順にも大きな影響を与えている相違点の部分については、それぞれの分野別に記載してあります。

3. 実験リソース

「きぼう」で実験を実施するためには、実験試料や資材の打上げ、地上への回収重量、軌道上で実験操作に必要な搭乗員の作業時間（クルータイム）、実験装置を稼働させるための電力、排熱、データ通信等のリソースが必要となります。

これらのリソースについては、輸送用宇宙船の打ち上げ機会や能力、搭乗員の滞在人数、ISS 機器の能力による大きな制約があります。また、ISS 全体で確保したこれらリソースは、ISS や搭乗員の生活を維持するために必要な活動に割り当てられ、その残りのリソースが定められた割合（日本の場合は 12.8%）に基づいて、国際パートナーに配分されます。

研究計画を実施するに当たって必要となる実験リソースについては、候補テーマとして選定された後、実験計画を具体化する中で JAXA と共同で検討して数値化します。

- 打上げ重量：試料(含む輸送容器・機器)、実験に必要な消耗品、機器
- 回収重量：試料(含む輸送容器・機器)、データ記憶媒体等
- 作業時間：試料の保管場所からの取り出し、装置への取り付け、試料の観察、消耗品の交換、試料の装置からの取り外し、保管に向けた処置、保管場所への格納、データの伝送処理や、搭乗員が作業手順書を読む時間などの全てが作業時間となります。搭乗員を被験者として用いる実験では、被験者・験者の実験時間の合計時間となります。
- 電力、廃熱、データ通信：実験機器の運転計画から算出
- 冷蔵、冷凍要求：ISS 共通の冷蔵冷凍の利用要求。温度帯、容積。

実験を企画する際には、表 1 をリソース規模算出のための参考としてください。限られたリソースの中で効果的に成果を出すためにも、効率良く最小限のリソースで実験を計画する必要があります。

表 1 実験リソース算出のための参考情報

装置	目安	備考
生命科学実験 (細胞培養、植物等)	植物生育用：2kg/個 細胞培養用：1kg/8容器 培地交換器具：2kg/個 化学固定器具：1kg/個	供試体には、試料及び試料容器を含む。 実験規模(n数)を掛ける必要がある。
	作業時間：10時間/実験テーマ	供試体の取り付け、固定処理、冷蔵庫等への保管を想定。微小重力環境を考慮すると、地上での作業時間の2倍以上を見込む必要がある。
宇宙医学実験	供試体重量：1～5kg/個	実験内容に応じる
	10時間/実験テーマ	被験者・験者の合計時間。繰り返し実験の場合は回数分を掛ける。
流体物理実験	供試体重量：40kg/個	このほかに輸送用の梱包資材等が必要
	20時間/実験テーマ	供試体の取り付け、交換を想定。
溶液結晶化観察実験	供試体重量：15 kg/個	このほかに輸送用の梱包資材等が必要
	3時間/実験テーマ	供試体の取り付け、交換を想定。
	供試体重量：5kg/個	このほかに輸送用の梱包資材等が必要

半導体結晶実験		実験条件により複数個の供試体が必要。
	1時間/実験テーマ	供試体の取り付け、取り外しを想定。

顕微鏡システムを使用する場合は、設置、後片付けに、計 10 時間程度を要します。

4. 安全要求について

個別の実験テーマごとに、実験供試体等器具・実験試料及び実験操作の安全性（搭乗員、宇宙ステーション、「きぼう」等に危害を及ぼさないこと）を確保する必要があります。以下に示す安全要求を踏まえて実験の計画、実験供試体等の設計・試験を行い、その結果については安全審査を受け、合格しなければなりません。この作業は実験テーマの採択後、JAXA が中心となって進めますが、実験試料や試薬の安全性が確保できない場合は代替案を提示して頂くことが必要となります。

安全要求に対してはハザードを識別し、ハザードの場合にはその原因に対して適切な制御とその検証方法を示す必要があります。

一般的には以下のようなハザードを考慮します。この他にミッション特有なハザードが識別される場合にも適切な制御、検証方法を示す必要があります。

(1) 構造の損傷について

実験機器の構造的損傷によって輸送用宇宙船やステーションに被害が及ぶことを防止します。構造について、打ち上げ、緊急着陸、軌道上荷重（クルー荷重も含む）に対して、規定された安全係数を用いての設計や、適切な部品、材料を用いたりすることで安全性を担保する必要があります。

(2) 可動部品について

モーター、軸等の回転体を有する場合には搭乗員の接触を防止する設計にする必要があります。回転体自身の損傷によりステーション等に被害が及ばないような仕組みが必要となります。

(3) 搭乗員が接触する部分の温度について

搭乗員が触る可能性の有る部分の温度は、最高でも 49℃以下で管理する必要があります。

(4) シャープエッジについて

搭乗員の怪我を防止するために、機材の表面は、平滑でバリが無いことが必要です。またコーナーやエッジについては NASA の規定 (SSP500050) に従った面取り等の処理を行うことが必要です。

(5) 挟み込みの防止

搭乗員が不用意に手などを挟み込まれないように、可動部の隙間については、保護をするか規定以上のスペースを確保する必要があります。

(6) 汚染について

輸送用宇宙船または宇宙ステーションに危険となる物質を放出しない設計にする必要があります。具体的には、実験試料・試薬類は毒性評価を NASA に依頼し、毒性（レベル 1/2/3）に従って、1 重、2 重、3 重と対応したレベルでの封入性を確保する必要があります。

(7) 使用する材料について

搭載装置から発生する揮発性ガスが、規定値以下である必要があります。規定値を超える場合については、材料の変更、許容可能な最高温度であらかじめガスを放出させるなどの手段により、規定値以下に抑える必要があります。

また材料の可燃性については、火災を起こさないために、規定された材料を用いるか、それ以外の材料を使用するときには火災を伝播させないことを示し使用の許可を得る必要があります。

(8) ガラス部品について

ガラスを使用している場合には、破損した際搭乗員に対してハザードとならないように保護しなければなりません。

(9) 圧力容器、シールド容器について

中に気体等が入っている密封容器で、約 2×10^4 J 以上の内部エネルギー（完全気体の断熱膨張に基づいて）が入る容器、または約 7×10^5 Pa 以上の最大設計荷重を受ける容器、または放出された場合ハザードを生じる約 1×10^5 Pa を超える流体が入る容器は、圧力容器として、これ以外のものはシールド容器として規定されます。この場合それぞれの分類に応じて規定された圧力に対するプルーフテストや疲労解析を行って安全性を示す必要があります。

(10) 電気ショックについて

電気ショックにより搭乗員に危害が加わらないように、接地・導通についてステーションの規定（SSP30240、SSP30245）に従った設計をし、高電圧部位（30V 以上）については搭乗員が触れないような設計をします。

(11) 電気回路について

過電流やショートにより、上流（ステーション等）に故障が伝搬しないように、カレントリミッタやヒューズ等の保護回路を設けたり、適切なサイズのワイヤリングを行う必要があります。また、コネクタについて、曲がったピンにより生じるコネクタ内のピン間の短絡で、ハザードの抑制機能が同時に 2 個以上無効にならないように設計します。

(12) 電磁干渉試験（EMC）について

機器の電磁干渉により、自身及び他のステーション機器の安全性を損なう誤動作が起こらないように、ステーションの規定（SSP30237）に従った EMC 設計をする必要があります。

(13) 光学機器について

レーザー等を使用する機器については作業中の搭乗員に不意に照射されないような設計にする必要があります。

5. 宇宙実験特有の制約事項と宇宙実験の企画・立案時の留意事項

宇宙機での打上げ日から全実験が終了するまでの段階順に、制約事項と宇宙実験の企画・立案時の留意事項を以下に示します。なお、最新の打上機、回収機、軌道上運用などの情報更新により、一部、現時点あるいは将来において記載と異なる場合があります。

実験提案に際しては、これらを十分考慮して可能な範囲で提案に含めるとともに、検討が不十分な点については、選定後の作業で JAXA と検討を行うこととなります。

5.1 生命科学実験

事項	制約事項	宇宙実験の企画・立案時の留意事項
宇宙船の 打上げ日	<p>打上げ日は ISS 全体運用調整で決定されるので、それに合わせて準備する必要がある(研究者の希望は反映されない)。</p> <p>また運用計画や宇宙船の整備状況、天候などで、打上げ日が変更されることが多い。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 生物試料は、打上げ予定日にあわせて調製、調達する必要がある。季節性のある生物種や、特定の発生段階の試料を用いる場合には、それらを随時調製して搭載する必要がある。 生物試料の寿命が短い場合は、打上地点で、打上遅延に備えたバックアップ試料を調製する必要がある。
搭載試料・ 物品	<p>【試料種・数量】 使用する装置ごとに搭載可能な試料種、数量に制限がある。</p>	<p>打上重量・容積をできるだけ最小化し、効率的な実験を計画する必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> 試料種名、使用株、重量、age などの生物の状態等を含め、使用する試料や機器すべてについて記述することが必要である。 軌道上対照実験、地上対照実験に必要な試料量に加えて、直前の打上げ日の変更に合わせて軌道上実験試料の数倍量の試料の調製・手配が必要になる。 装置の機能・性能を確認し、その範囲内で実行可能な試料にしなくてはならない。 搭載可能な試料数量には制限があるが、統計的に有意な差を得るのに必要な“N数”を確保できる実験系とすることが必要である。提案時には最適数量と解析可能な最小数量を提示するとよい。

事項	制約事項	宇宙実験の企画・立案時の留意事項
<p>搭載試料・物品</p>	<p>【実験装置、供試体】 原則として、実験は搭載されている実験装置で実行される。</p> <p>地上の実験器具や実験装置を使う場合は、ISSで利用するための改修、安全性確認のための試験などを実施する必要がある。</p>	<p>第 1.4 項の表 1.4 にある実験装置等を使用する実験の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> ・装置の機能・性能を確認し、その範囲内で実行可能な実験にしなければならない。 ・原則として、JAXA が提供する実験装置を改修することとは出来ない。 ・実験個別の要求については、実験装置と組み合わせて実験を実施する供試体の範囲で実現する必要がある。 <p>第 1.4 章の表 1.4 にない提案者固有の実験器具類を使用する実験の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> ・提案者固有の実験器具類を使用する場合には、それらの全てについて重量、寸法、構造、構成材料とともに、機能・性能を明記する必要がある。 ・実験実施の少なくとも 1 年程度前までには開発・製作、機能検証が終了している必要がある。 ・宇宙実験用の物品は、地上の実験室で定常的に使用している物品とは、安全性、操作性に対する要求水準が大きく異なる。または微小重力環境でそれが正常に動作するかどう事前に確認する必要がある。十分な検討の上で設計、製作、試験することが必要である。 <p>【宇宙実験用装置の特徴】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・搭載装置は地上のものとは違った特徴を持つ。たとえば、微小重力環境で液体を扱うには特別な注意が必要である。重力で気泡を分離することはできず、溶液は重力支配を逃れて容器壁との関係(濡れ性)で容器内に分布する。このため、液体は密閉系でしかも気泡のない満液状態で扱われることが一般的である。 ・液体は毒性が無くても(水でも)、必ず封入されている必要が有る。毒性の有る試料・試薬は毒性に応じた多重の封入性を、全てのフェーズで確保する必要がある。 ・熱対流が無い場合、温度の均一性を確保するには攪拌などの擾乱を起こす必要が有る。 ・細胞培養装置(CBEF)は、遠心力を利用した人工重力を発生できるが、回転中心からの距離で重力条件が異なる。

生命科学実験

事項	制約事項	宇宙実験の企画・立案時の留意事項
<p>搭載試料・物品</p>	<p>【試薬・物品等】 「きぼう」船内実験室は閉鎖された環境であり、化学固定剤などの試薬が漏れ出せば、安全上問題となる。</p> <p>地上の研究室では問題なく使用できる試薬、量であっても、軌道上で使用する場合には厳格な規制がある</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 全ての使用する試薬、器具類について提示し、安全性の評価に合格する必要がある。 • 危険物は特殊な容器に封入することで使用できるようになるが、使用が許可されない物品等もある。そのような場合には、代替案を検討することが求められる。 • 地上では気軽に使用するハサミやピンセットなどでも、先端が鋭利であるような器具類の使用は原則として使用できない。 • 宇宙ステーション内に水滴が漂い、機器類等に付着、侵入したりすることは避けなければならない。したがって、水であっても容器から漏れないようにする必要がある。
<p>輸送用宇宙船への積み込み</p>	<p>【新鮮な試料の搭載が困難】 遅くとも、打上げの数日～24 時間前までに実験用資材を搭載する必要があり、ISSでの実験開始までには数日程度の日数が必要となる。</p> <p>【打上げ時の試料保管条件】 試料を輸送する宇宙船の保温庫、冷凍庫、冷蔵庫の容量には制約がある。</p>	<p>実験資材の打上げ用輸送ロケットへの積み込みは、その機種によって異なる。</p> <p>《ドラゴン宇宙船》 打上げ前 24 時間 までの積み込みが可能。ISS までの到着には 3 日程度。この間、試料は室温（15-30℃程度）あるいは冷蔵（+4℃）、冷凍（-95℃）環境の利用が可能。</p> <p>《HTV》最終的な積み込みは、打上げの数日前であり、その後ステーションに達するためには、1 週間程度かかる。この間、試料は室温（15-30℃程度）環境に置かれる。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 上記の範囲内で試料を搭載して実験開始までの期間、試料を維持する必要がある。試料の特性等を考慮し、輸送宇宙船の搭載容積や環境の制限を超えずに 実験系を組み立てることが必要である。 • 打上げ後、実験開始までには 5 日以上は必要となる。この間の試料の温度保管条件については、その許容幅を含めた要求条件を明示する必要がある。

<p>実験開始までの時間</p>	<p>打上げから「きぼう」船内実験室内での実験開始までは、最短で4日間以上となる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・打上げから少なくとも4日間程度は、原則として実験操作ができない。このため、軌道上実験開始までの4日以内に目的とする現象が完了するような研究対象はISSでの宇宙実験は困難である。なお、小動物ミッションに関しては、打上げてISSに到着した当日もしくは翌日にケージに移し替えなどの最低限の作業は可能で す。 ・植物種子を打上げ軌道上で給水して実験を開始する、冷凍細胞を打上げ軌道上で解凍して培養を開始するなどの方法が選択できる場合がある。 <p>【軌道上実験実施までの手順】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地上での搭載試料の最終調製→打上げ担当者への引き渡し→輸送宇宙船などへの搭載→打上→ISSへの輸送→ISS内実験装置へのセット→実験装置のスイッチ・オン
<p>軌道上実験</p>	<p>【実験期間】 運用上の都合から、要求通りの実験期間が確保できない場合がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・最適な実験期間とともに、譲歩可能な許容幅を明記することが必要である。 ・宇宙環境（微小重力や宇宙放射線）の影響をどの程度の期間で検出できるか、地上実験等から確度の高い推定に基づいて決定する必要がある。
	<p>【実験操作手順】 要求通りの時期に実験操作が実行されない場合がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・実験開始から終了まで、ステップ毎に操作内容を記述することが必要である。 ・各ステップの実行に要する装置・器具類について具体的に示すことが必要である。 ・それぞれの実行時期と許容可能な時間幅を指定する必要がある。「きぼう」船内実験の進行状況を地上からモニタし、これをもとに地上から操作手順の変更を指示することもある程度は可能であるが、制約されることも多い。
	<p>【搭乗員が行う実験操作】 搭乗員は実験の専門家ではない場合がある。実験のために使える時間は多くない。</p>	<p>【操作手順はできるだけ簡素化しておくことが望ましい】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・搭乗員は打上げ前に、実験操作のトレーニングを受けるが、それぞれの分野の専門家ではない場合が多い。できるだけ操作を簡素化し、複雑で実行に要する時間が多くなならないような、実験系構築、実験操作を推奨する。 ・連続して30分以上継続的に実行しなくてはならない操作、6時間/週ないしは全体で10時間以上を要する操作は搭載実現性の低下につながる。 <p>【作業時間は2倍が目安】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地上では30分程度で実行可能な実験操作であっても、宇宙では2倍（60分）以上の時間を要することが一般的である。

生命科学実験

事項	制約事項	宇宙実験の企画・立案時の留意事項
軌道上実験	<p>【軌道上実験のモニタリング】 実験開始から終了まで、実験の進行状況、試料の各段階での状態を連続的に全過程をモニタすることはできない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 通信衛星の制約から宇宙ステーションと地上との通信状態は常には保たれていない。状況は毎日異なるが、全体の10～50%程度は通信が途絶える。 リアルタイムダウンリンクと、記録後データを可能な時間帯にダウンリンクするなどを識別し、柔軟性のある実験計画を立てることを推奨する。 重要な実験操作の開始、終了の確認、実験装置の運転状況（装置に設備されている温度センサ等からのデータ、画像など）は地上にダウンリンクすることは可能（リアルタイムではない可能性がある）。
	<p>【軌道上実験への介入】 試料の状況に応じて手順を変更することが難しい場合がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 上記のダウンリンクされた情報に基づいて、軌道上の実験装置の運転条件を変更したり、実験操作手順に変更を加えることが出来るが、そのためのアップリンク可能な情報量や時間帯などには上記と同様な制限がある。
軌道上試料保管と試料の回収	<p>実験終了から、試料の地上回収までに時間がかかる場合がある。 輸送用宇宙船が着陸してから試料取り出しに時間がかかること、試料処理のための施設が着陸地点にない場合もある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 実験試料や装置。器具類の地上への回収は少量に限らる。試料容器や梱包等を含めて1kg程度、1L程度。また、冷凍・冷蔵状態の回収は困難度が高い。 ISSへの輸送用宇宙船の往還は3ヶ月程度の間隔になっている。このため、実験終了時に凍結、化学処理等された試料に関しても、この保管期間内に変性、劣化などがないか打上げ前に確認しておく必要がある。 回収船の着水から米国ヒューストン・ジョンソン宇宙センターでのサンプルの引き渡しには、3日以上かかる。

5.2 宇宙医学実験

事項	制約事項	宇宙実験の企画・立案時の留意事項
被験者の同意	実施の可否	<ul style="list-style-type: none"> ・搭乗員を被験者とする実験は、各宇宙機関および多施設間の倫理審査委員会の承認を経て、被験者候補の搭乗員へ実験内容の説明を行い参加の同意を得ることが必要となる。被験者への説明は、通常宇宙滞在開始の1.5年前に行われる。同意取得後、宇宙滞在開始9か月前から地上でのデータ取得が可能となる。
宇宙船の打上げ日	<p>搭乗員はロシアのソユーズ宇宙船で打ち上げられる。</p> <p>打上げ日はISS全体運用調整で決定されるので、それに合わせて準備する必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・BDCは通常、米国ヒューストンのジョンソン宇宙センターで実施される（搭乗員の来日に合わせて日本で実施することも可能：帰還後の実験が必要な場合、実験装置が2セット必要となる） ・搭乗員は打上の数週間前にはロシアに移動するため、打上直前の地上実験（ベースライン・データコレクション：BDC）要求は実現性が低い（通常9か月前から2か月の間に設定される）
被験者数、搭載物品	<p>【数量】</p> <p>使用する装置ごとに必要な物品（消耗品等）を設定する。</p>	<p>被験者数・物品重量・容積をできるだけ最小化し、効率的な実験を計画する必要がある。</p>
実験機器	<p>【実験装置、供試体】</p> <p>原則として、実験は搭載されている実験装置で実行される。</p> <p>地上の実験器具や実験装置使う場合は、ISSで利用するための改修、安全性確認のための試験などを実施する必要がある。</p>	<p>第1.4章の表1.4にある実験装置等を使用する実験の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> ・装置の機能・性能を確認し、その範囲内で実行可能な実験にしなくてはならない。 ・原則として、JAXAが提供する実験装置を改修して利用することは出来ない。 <p>第1.4章の表1.4にない提案者固有の実験器具類を使用する実験の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> ・提案者固有の実験器具類を使用する場合には、それらの全てについて重量、寸法、構造、構成材料とともに、機能・性能を明記する必要がある。 ・実験実施の少なくとも1年前までには開発・製作、機能検証が終了している必要がある。 ・地上で医療機器としての認証を受けている装置・器具であっても、新たに宇宙用としての安全性評価を受ける必要がある。

宇宙医学実験

事項	制約事項	宇宙実験の企画・立案時の留意事項
<p>搭載試料・物品</p>	<p>【試薬・物品等】 「きぼう」船内実験室は閉鎖された環境であり、化学固定剤などの試薬が漏れ出せば、安全上問題となる。 地上の研究室では問題なく使用できる試薬、量であっても、軌道上で使用する場合には厳格な規制がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・全ての使用する試薬、器具類について提示し、安全性の評価に合格する必要がある。 ・危険物は特殊な容器に封入することで使用できるようになるが、使用が許可されない物品等もある。そのような場合には、代替案を検討することが求められる。 ・宇宙ステーション内に水滴が漂い、機器類等に付着、侵入したりすることは避けなければならない。したがって、水であっても容器から漏れないようにする必要がある。 ・地上では気軽に使用するハサミやピンセットなどでも、先端が鋭利であるような器具類の使用は原則として使用できない。 ・注射針などの先端が鋭利な器具の使用には特別な条件設定が必要となる。
<p>被験者への介入条件等</p>	<p>【被験者の要件、介入条件等】 ヒトを対象とする実験には被験者数の制限や介入条件等を考慮する必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・被験者数、被験者の要件、介入条件（投薬、運動負荷等）、軌道上実験の計測項目・使用機器・回数・時期、搭乗前後の実験の計測項目・回数・実施時期）、被験者以外の実験操作者の要否すべてについて記述が必要である。 ・他のヒト対象実験の計測項目に影響を与える可能性のある事項を記載する必要がある。 ・地上滞在時を含む搭乗員の活動（航空機の操縦や船外活動などの身体的・精神的負荷の大きい業務、運動、メンタルヘルスケア、医薬品の使用、アルコール・カフェインを含む食事、睡眠等）を実験目的で制限する事項を記載する必要がある。 ・ISSには1組で6名（半年滞在）の宇宙飛行士が滞在する計画であり、そのうち原則として日・米・欧・カナダの宇宙機関に所属する宇宙飛行士3名が被験者候補となる。この中から被験者として1実験に参加するのは半年で1～2名を想定している。6名であれば、3年程度必要である。統計的に有意な差を得るのに必要な“N数”を確保するには長期間かかることに留意する。
<p>実験開始までの時間</p>	<p>打上げから実験開始までは、最短でも1週間程度と想定される。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・打上げから少なくとも1週間程度は、原則として搭乗員を被験者とする実験操作はできない。さらに最初の数週間についても制約が大きい。このため、軌道上実験開始までに目的とする現象が完了するような研究対象はISSでの宇宙実験は困難である。

軌道上実験	<p>【実験期間】 運用上の都合から、要求通りの実験期間が確保できない場合がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・最適な実験期間とともに、譲歩可能な許容幅を明記することが必要である。 ・宇宙環境（微小重力、閉鎖系、宇宙放射線）の影響を検出するために適した実験時期を、地上実験等から確度の高い推定に基づいて決定する必要がある。 ・打上直後に加えて、帰還直前の実験についても制約が有る。
	<p>【実験操作手順】 要求通りの時期に実験操作が実行されない場合がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・実験開始から終了まで、ステップ毎に操作内容を記述することが必要である。 ・各ステップの実行に要する装置・器具類について具体的に示すことが必要である。 ・それぞれの実行時期と許容可能な時間幅を指定する必要がある。「きぼう」船内実験室内実験の進行状況を地上からモニタし、これをもとに地上から操作手順の変更を指示することもある程度は可能であるが、制約されることも多い。
軌道上実験	<p>【搭乗員が行う実験操作】 搭乗員は実験の専門家ではない場合がある。 実験のために使える時間は多くない。</p>	<p>【操作手順はできるだけ簡素化しておく必要がある】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・搭乗員は打上げ前に、実験操作のトレーニングを受けるが、それぞれの分野の専門家ではない場合が多い。できるだけ操作を簡素化し、複雑で実行に要する時間が多くならないような、実験系構築、実験操作を推奨する。 ・連続して30分以上継続的に実行しなくてはならない操作、6時間/週ないしは全体で10時間以上を要する操作は搭載実現性の低下につながる。 <p>【作業時間は2倍が目安】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地上では30分程度で実行可能な実験操作であっても、宇宙では2倍（60分）以上の時間を要することが一般的である。 <p>・微小重力環境では足場などの、身体固定を考慮する必要がある。</p>
軌道上実験	<p>【軌道上実験のモニタリング】 実験開始から終了まで、実験の進行状況、試料の各段階での状態を連続的に全過程をモニタすることはできない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・通信衛星の制約から宇宙ステーションと地上との通信状態は常には保たれていない。状況は毎日異なるが、全体の10～50%程度は通信が途絶える。 ・リアルタイムダウンリンクと、記録後データを可能な時間帯にダウンリンクするなど識別し、柔軟性のある実験計画を立てることを推奨する。 ・重要な実験操作の開始、終了の確認、実験装置の運転状況（装置に設備されている温度センサ等からのデータ、画像など）は地上にダウンリンクすることは可能（リアルタイムではない可能性がある）。
	<p>【軌道上実験への介入】 被験者の状況に応じて手順を変更することが難しい場合がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・上記のダウンリンクされた情報に基づいて、軌道上の実験装置の運転条件を変更したり、実験操作手順に変更を加えることが出来るが、そのためのアップリンク可能な情報量や時間帯などには上記と同様な制限がある。 ・搭乗員の画像のダウンリンクには個人情報保護のため制約が有る。

<p>帰還後実験</p>	<p>搭乗員はカザフスタンに帰還し、24 時間以内にヒューストンに戻る（ロシア、ヨーロッパ搭乗員を除く）</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 帰還後の実験は原則として米国ヒューストンのジョンソン宇宙センターで実施される。 • 帰還当日（ヒューストン到着日）の実験時間は非常に限られる。 • 帰還から 10 日以内は、制約が大きい。 • 帰還後、数週間、数か月などの BDC もヒューストンで実施される。 • 打上前実験に加えて、BDC 回数分のヒューストン出張が必要となる（例えば打上前に 1 回、帰還後に 3 回、被験者数 5 名 (N=5) とすると、最大 20 回のヒューストン出張が必要となる）。
--------------	--	---

5.3 物質・物理科学

事項	制約事項	宇宙実験の企画・立案時の留意事項
<p>打上げ日</p>	<p>打上げ日は ISS 全体運用調整で決定されるので、それに合わせて準備する必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 複数の試料を混合して実験する場合、打上げ前にそれらを混合したまま、打上げ輸送用宇宙船や ISS で数ヶ月保管されることも想定する必要がある。
<p>搭載試料・物品</p>	<p>【試料種・数量】 使用する装置ごとに搭載可能な試料種、数量に制限がある。</p>	<p>打上重量・容積をできるだけ最小化し、効率的な実験を計画する必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> 装置の機能・性能を確認し、その範囲内で実行可能な試料にしなくてはならない。 搭載可能な試料数量には制限があるが、統計的に有意な差を得るのに必要な“N数”を確保できる実験系とすることが必要である。提案時には最適数量と解析可能な最小数量を提示するとよい。
<p>実験装置</p>	<p>【実験装置、供試体】 原則として、実験は搭載されている実験装置で実行される。</p> <p>地上の実験器具や実験装置を使う場合は、ISS で利用するための改修、安全性確認のための試験などを実施する必要がある。</p>	<p>第 1.4 章の表 1.4 にある実験装置等を使用する実験の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> 装置の機能・性能を確認し、その範囲内で実行可能な実験にしなくてはならない。 原則として、JAXA が提供する実験装置を改修して利用することは出来ない。 実験個別の要求については、実験装置と組み合わせて実験を実施する供試体の範囲で実現する必要がある。第 1.4 章の表 1.4 にない提案者固有の実験器具類を使用する実験の場合 提案者固有の実験器具類を使用する場合には、それらの全てについて重量、寸法、構造、構成材料とともに、機能・性能を明記する必要がある。 宇宙実験用の物品は、地上の実験室で定常的に使用している物品とは、安全性、操作性に対する要求水準が大きく異なる。または微小重力環境でそれが正常に動作するかどうか事前に確認する必要がある。十分な検討の上で設計、製作、試験することが必要である。 実験実施の少なくとも 1 年程度前までには開発・製作、機能検証が終了している必要がある。 <p>【宇宙実験用装置の特徴】</p> <ul style="list-style-type: none"> 搭載装置は地上のものとは違った特徴を持つ。たとえば、微小重力環境で液体を扱うには特別な注意が必要である。重力で気泡を分離することはできず、溶液は重力支配を逃れて容器壁との関係(濡れ性)で容器内に分布する。このため、液体は密閉系でしかも気泡のない満液状態で扱われることが一般的である。 液体は毒性が無くても(水でも)、必ず封入されている必要が有る。毒性の有る試料・試薬は毒性に応じた多重の封入性を、全てのフェーズで確保する必要が有る。 熱対流が無い場合、温度の均一性を確保するには攪拌などの擾乱を起こす必要が有る。

物質・物理科学

事項	制約事項	宇宙実験の企画・立案時の留意事項
搭載試料・物品	<p>【試薬・物品等】 「きぼう」船内実験室は閉鎖された環境であり、化学固定剤などの試薬が漏れ出せば、安全上問題となる。</p> <p>地上の研究室では問題なく使用できる試薬、量であっても、軌道上で使用する場合には厳格な規制がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 全ての使用する試薬、器具類について提示し、安全性の評価に合格する必要がある。 • 危険物は特殊な容器に封入することで使用できるようになるが、使用が許可されない物品等もある。そのような場合には、代替案を検討することが求められる。 • 地上では気軽に使用するハサミやピンセットなどでも、先端が鋭利であるような器具類の使用は原則として使用できない。 • 宇宙ステーション内に水滴が漂い、機器類等に付着、侵入したりすることは避けなければならない。したがって、水であっても容器から漏れないようにする必要がある。
輸送用宇宙船への積み込み	<p>【新鮮な試料の搭載が困難】 遅くとも、打上げの数週間前までに実験用資材をヒューストンに送付する必要がある。</p> <p>【打上げ時の試料保管条件】 試料を輸送する宇宙船の保温庫、冷凍庫、冷蔵庫の容量には制約がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 打上の1ヶ月以内に搭載する必要がある場合には、その時期を明確にした上で、その根拠を示す必要がある。試料の特性等を考慮し、制限を超えずに実験系を組み立てることを推奨する。
実験開始までの時間	<p>打上げから「きぼう」船内実験室内での実験開始までは、最短で35日間程度と想定される。</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 打上げから少なくとも35日間程度(*)は、原則として実験操作ができない。(*) 打上機のISSからの離脱後の作業着手。 <p>【軌道上実験実施までの手順】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 地上での搭載試料の最終調製→打上げ担当者への引き渡し→輸送宇宙船などへの搭載→ISSへの輸送→ISS内実験装置へのセット→実験装置のスイッチ・オン。これに要するのが35日間である。

事項	制約事項	宇宙実験の企画・立案時の留意事項
軌道上実験	<p>【実験期間】 運用上の都合から、要求通りの実験期間が確保できない場合がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・最適な実験期間とともに、譲歩可能な許容幅を明記することが必要である。 ・繰り返し実験の場合は、実験間の期間についても記載が必要である（試料の交換など）。 ・実験開始から終了まで、ステップ毎に操作内容を記述することが必要である。 ・各ステップの実行に要する装置・器具類について具体的に示すことが必要である。 ・それぞれの実行時期と許容可能な時間幅を指定する必要がある。「きぼう」船内実験の進行状況を地上からモニタし、これをもとに地上から操作手順・パラメータの変更することもある程度は可能であるが、制約されることも多い。
	<p>【搭乗員に実行してもらおう操作】 搭乗員は実験の専門家ではない場合がある。実験のために使える時間は多くない。</p>	<p>【操作手順はできるだけ簡素化しておくことが望ましい】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・搭乗員は打上げ前に、実験操作のトレーニングを受けるが、それぞれの分野の専門家ではない場合が多い。できるだけ操作を簡素化し、複雑で実行に要する時間が多くならないような、実験系構築、実験操作を推奨する。 ・連続して30分以上継続的に実行しなくてはならない操作、6時間/週ないしは全体で10時間以上を要する操作は搭載実現性の低下につながる。 <p>【作業時間は2倍が目安】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地上では30分程度で実行可能な実験操作であっても、宇宙では2倍（60分）以上の時間を要することが一般的である。
軌道上実験	<p>【軌道上実験のモニタリング】 実験開始から終了まで、実験の進行状況、試料の各段階での状態を連続的に全過程をモニタすることはできない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・通信衛星の制約から宇宙ステーションと地上との通信状態は常には保たれていない。状況は毎日異なるが、全体の10～50%程度は通信が途絶える。 ・重要な実験操作の開始、終了の確認、実験装置の運転状況（装置に設備されている温度センサ等からのデータ、画像など）は地上にダウンリンクすることは可能（リアルタイムではない可能性がある）。 ・リアルタイムダウンリンクと、記録後データを可能な時間帯にダウンリンクするなどを識別し、柔軟性のある実験計画を立てることを推奨する。
	<p>【軌道上実験への介入】 試料の状況に応じて手順を変更することが難しい場合がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・上記のダウンリンクされた情報に基づいて、軌道上の実験装置のパラメータを変更したり、実験操作手順に変更を加えることが出来るが、そのためのアップリンク可能な情報量や時間帯などには上記と同様な制限がある。

物質・物理科学

事項	制約事項	宇宙実験の企画・立案時の留意事項
軌道上試料保管と試料の回収	<p>実験終了から、試料の地上回収までに時間がかかる。</p> <p>輸送用宇宙船が着陸してから試料取り出しに時間がかかる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 実験試料や装置、器具類の地上への回収は少量に限らる。試料容器や梱包等を含めて1kg程度、1L程度。また、冷凍・冷蔵状態の回収は制約が大きい。 • ISSへの輸送用宇宙船の往還は3ヶ月程度の間隔になっている。この保管期間内に変性、劣化などがないか打上げ前に確認しておく必要がある。 • 通常の実験試料は着陸後1か月程度で米国ヒューストンのジョンソン宇宙センターで引き渡され、その後日本への輸出手続き・輸送等の日数が必要となる。

略語集

略称	英名	和名
BEU	Biological Experiment Unit	生物実験ユニット
CBEF	Cell Biology Experiment Facility	細胞培養装置
CCE	Chamber for Combustion Experiment	燃焼実験チャンバー
CFK	Cell Fixation Kit	細胞固定器具
COSMIC	COncocal Space MICROscopy	ライフサイエンス実験用ライブイメージングシステム
DCC	Disposable Cultivation Chamber	付着細胞ディスプレイサブル容器
DV	Digital Vide	デジタルビデオ
ELF	Electrostatic Levitation Furnace	静電浮遊炉
ESA	European Space Agency	欧州宇宙機関
FPEF	Fluid Physics Experiment Facility	流体物理実験装置
FROST		「きぼう」搭載用ポータブル冷凍・冷蔵庫
GCEM	Group Combustion Experiment Module	液滴群燃焼実験供試体
HDV	High-Definition Video	高精細度ビデオ
HTV	H-II Transfer Vehicle	宇宙ステーション補給機「こうのとり」
IPU	Image Processing Unit	画像取得処理装置
IPU2	Image Processing Unit 2	次期画像取得処理装置
ISS	International Space Station	国際宇宙ステーション
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	宇宙航空研究開発機構
JEMOCS	JEM Operation Control System	JEM 運用管制システム
JSC	Johnson Space Center	NASA ジョンソン宇宙センター
KFT	KSC Fixation Tube	植物固定器具
KSC	Kennedy Space Center	NASA ケネディ宇宙センター
KOBAIRO		勾配炉ラック
MELFI	Minus Eighty degree Celsius Laboratory Freezer	軌道上冷凍冷蔵庫
MEU	Measurement Experiment Unit	計測ユニット
MHU	Mouse Habitat Unit	小動物飼育装置
MMA	Microgravity Measurement Apparatus	微小重力計測装置
MSPR	Multi-purpose Small Payload Rack	多目的実験ラック
NASA	National Aeronautics and Space Administration	米国航空宇宙局
PADLES	Passive Dosimeter for Life science Experiments in Space	受動・積算型宇宙放射線被ばく線量計
PCRF	Protein Crystallization Research Facility	蛋白質結晶生成装置
PEU	Plant Experiment Unit	植物実験ユニット
PFK	Pre Fixation Kit	固定前処理器具
POIC	Payload Operation Integration Center	ペイロード運用管制センター NASA マーシャル飛行センター

略称	英名	和名
QD	Quick Disconnecter	簡易脱着機構
RRMDIII	Real-time Radiation Measurement Device III	リアルタイム放射線モニタリング装置
RYUTAI		流体実験ラック
SAIBO		細胞実験ラック
SCAM	Sample Cartridge Automatic Exchange Mechanism	温度勾配炉試料自動交換機構
SCEM	Solid Combustion Experiment Module	固体燃焼実験装置
SCOF	Solution Crystal Observation Facility	溶液結晶化観察装置
SSCC	Space Station Control Center	宇宙ステーション管制センター (NASA JSC)
SSIPC	Space Station Integration and Promotion Center	宇宙ステーション総合推進センター (JAXA 筑波宇宙センター)
TELLAS	Tele-Luminescence Analysis System	遺伝子機能発光イメージング解析装置
TDRS	Tracking and Data Relay Satellite	NASA 追跡データ中継衛星
TNSC	Tanegashima Space Center	JAXA 種子島宇宙センター
ULT	User Laptop Computer	実験用ラップトップコンピュータ
V-MEU	Video Measurement Experiment Unit	カメラ付計測ユニット
WSC	White Sands Complex	NASA ホワイトサンズ地上局