

「きぼう」 船内実験室利用ハンドブック

2009 年 7 月

宇宙航空研究開発機構

目次

はじめに	1
I. 「きぼう」 船内実験室と実験装置の概要	3
1 「きぼう」 船内実験室	4
1.1 「きぼう」 船内実験室とは	4
1.2 「きぼう」 船内実験室の環境	6
1.3 ISS および「きぼう」の運用	9
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 生命科学用実験装置	15
2.1 生物実験ユニット (Biological Experiment Unit: BEU)	15
2.1.1 細胞培養ユニット (Cell Experiment Unit : CEU)	15
2.1.2 植物実験ユニット (Plant Experiment Unit: PEU)	19
2.1.3 計測ユニット (Measurement Unit: MEU)	22
2.2 細胞培養装置 (Cell Biology Experiment Facility: CBEF)	25
2.3 クリーンベンチ (Clean Bench : CB)	29
2.4 軌道上冷凍・冷蔵庫 (Minus Eighty degree Celsius Laboratory Freezer : MELFI)	34
2.5 水棲生物実験装置 (Aquatic Habitat: AQH)	36
3 物質科学用実験装置	41
3.1 流体物理実験装置 (Fluid Physics Experiment Facility: FPEF)	41
3.2 溶液結晶化観察装置 (Solution Crystal Observation Facility : SCOF)	44
3.3 蛋白質結晶生成装置 (Protein Crystallization Research Facility: PCRF)	52
3.4 温度勾配炉 (Gradient Heating Furnace: GHF)	56
4 分野共通装置等	59
4.1 多目的実験ラック (Multi Purpose Small payload Rack: MPSR)	59
4.2 その他(船内空間)	63
5 その他参考情報	64
II. 宇宙実験立案に際しての留意事項	65
1. 宇宙実験提案の特徴	66
2. 搭載実現性	66
3. 実験リソース	67
4. 安全要求について	68
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	70
略語集	76



現在の国際宇宙ステーション （2009 年 7 月撮影）



国際宇宙ステーションに取り付けられた「きぼう」日本実験棟（2009 年 7 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生まれます。これ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、提供することが出来る搭載実験装置・供試体、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、今後に変更される事項もあり得ますので、本書は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」日本実験棟の中で、宇宙飛行士が滞在し、実験および「きぼう」の施設全体のコントロールを行うのが船内実験室です。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システム機器と呼ばれる「きぼう」の設備維持そのものに必要な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類で先に述べたシステム機器と有機的に結びついてはじめてその役割を果たします。船内実験室には生物実験と材料実験を中心として合計 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た機器類です。また、船外実験プラットフォームの機器交換などを行うためのマニピレータの操作卓、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：4.4m、外径：4.2m	内径：4.4m、外径：4.2m
長さ	11.2m	4.2m
重量	15.9t	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%

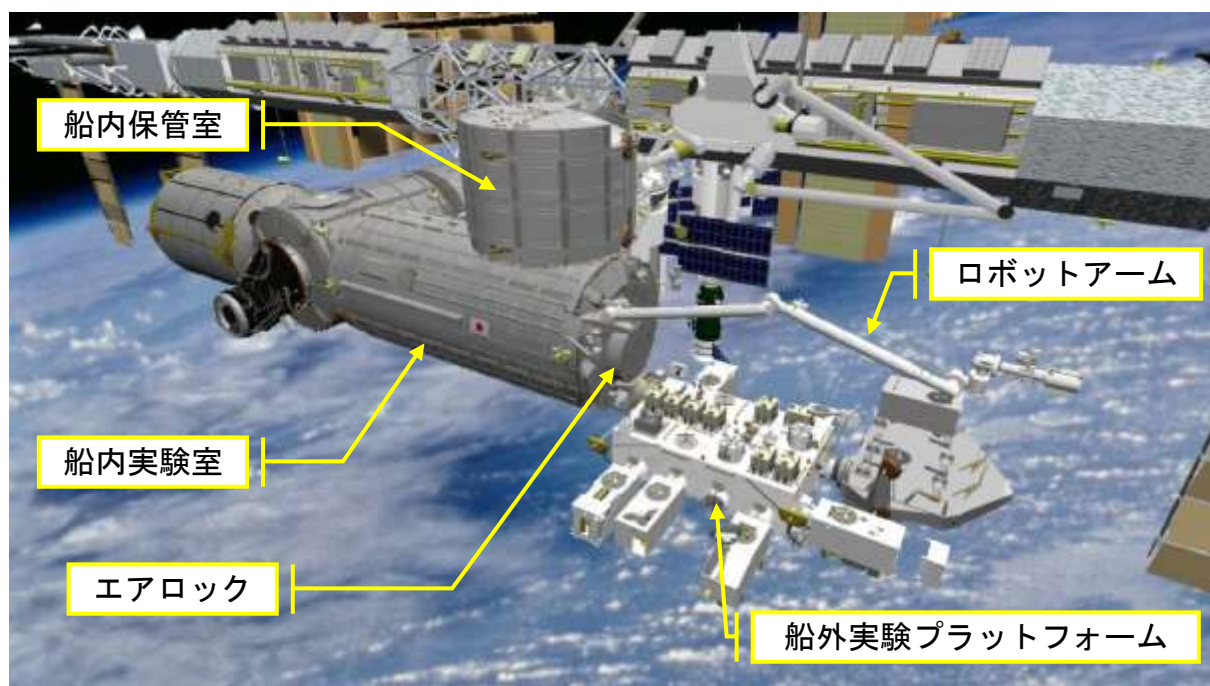


図 1.1-1 日本実験棟「きぼう」外観図

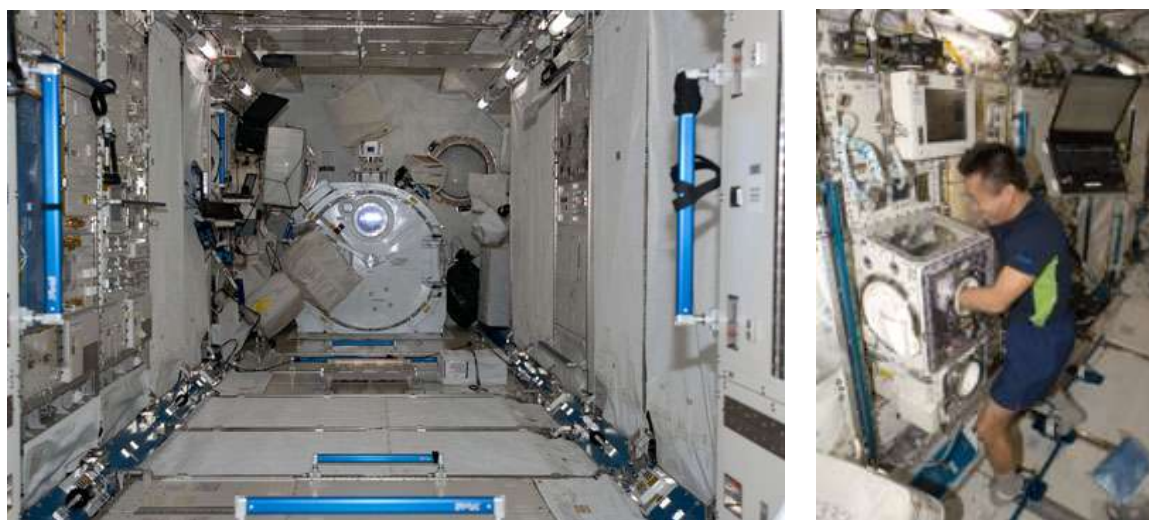


図 1.1-2 「きぼう」 船内実験室内部

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。

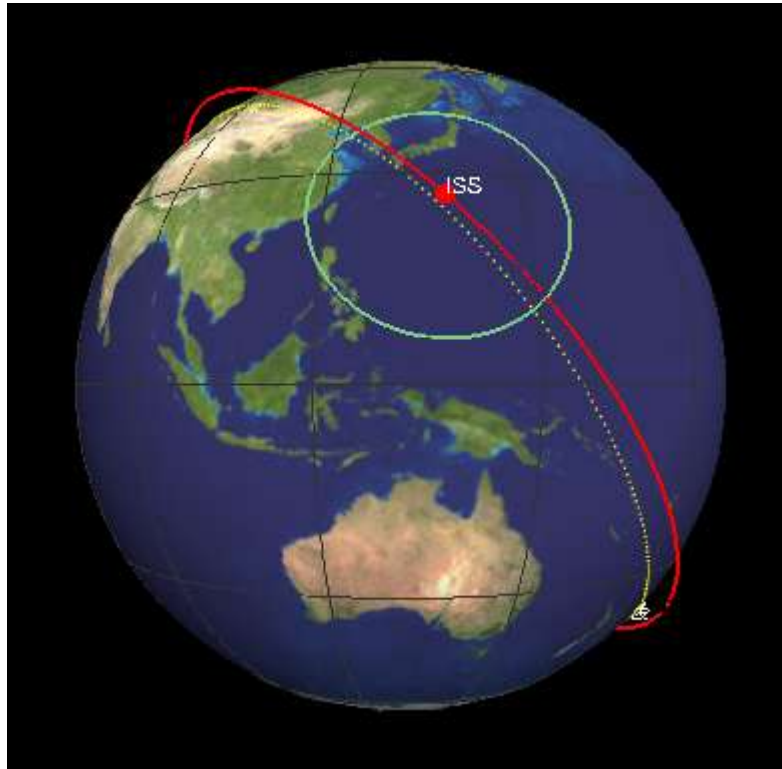


図 1.2-1 ISS の軌道

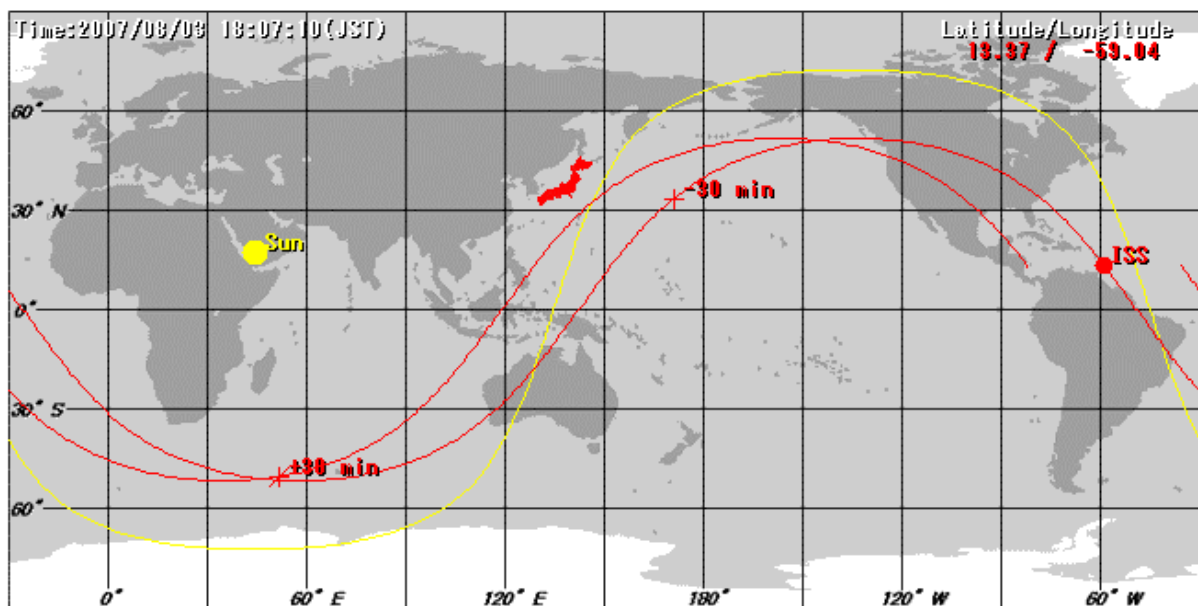
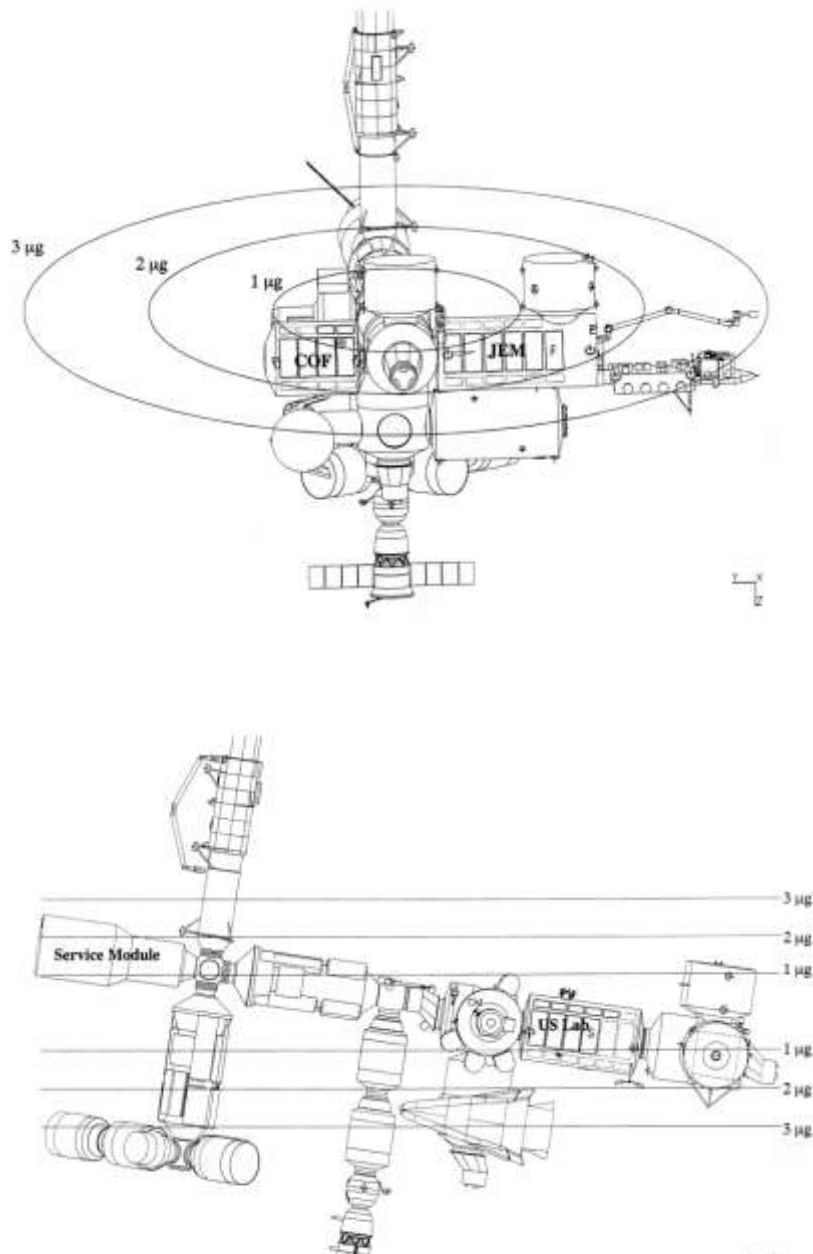


図 1.2-2 ISS 軌道の地上軌跡(赤い線)

(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 では、図 1.2-3 に示すように $10^{-6}g$ オーダーの準静的加速度が予測されています。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。現状では組立シーケンスや ISS 質量特性等も異なりますので、上図はあくまでも参考です。

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 次宇宙線を発生しさせるため、複合的な放射線環境となります。

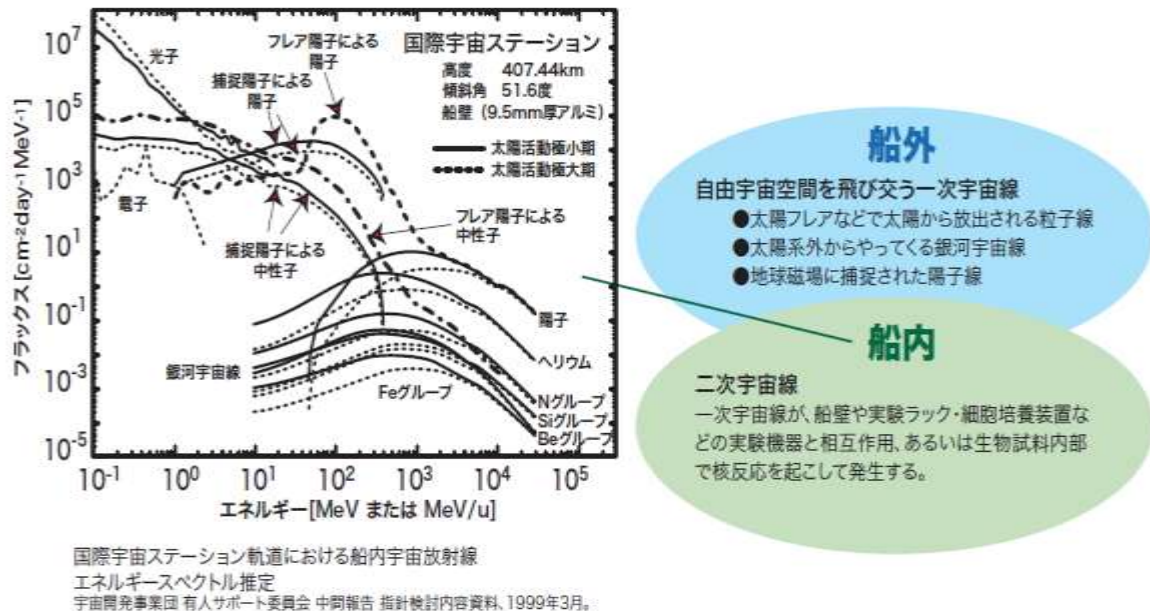


図 1.2-4 国際宇宙ステーション軌道における
船内宇宙放射線エネルギースペクトル推定

これまでの ISS の船内での宇宙放射線の計測によると、**150～300 μ Gy/day, 300～600 μ Sy/day** となっています。被ばく線量は、太陽活動によっても変動します。

ISS 宇宙放射線環境計測データベース:

PADLES 受動・積算型線量計による ISS 線量計測結果を公開しています。

http://idb.exst.jaxa.jp/db_data/padles/NI005.html

表 1.2-1 ISS 軌道近傍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 P38 参照。

1.3 ISS および「きぼう」の運用

(1)物資輸送

2010 年以降の 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、欧州の ATV、日本の HTV、その他商業輸送サービスによる輸送が計画されています。2010 年以降の具体的な打上げ・回収機会と能力については現在 NASA を中心に検討を進めており定まっていません。

現在運行が明確になっている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 有人機
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 50 Kg	ロシア側に結合 リブースト機能 燃料・水・ガス補給
ATV (ESA)	Arian-5 ロケット ギニア宇宙センター	最大 5,500 Kg	-	ロシア側に結合 リブースト機能 燃料・水・ガス補給
HTV (JAXA)	H-II B ロケット 種子島宇宙センター	約 6,000 Kg 与圧 4,500 Kg 曝露 1,500 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

海外輸送用宇宙船に関する情報出典：Reference guide to the International Space Station, August 2006



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 ATV (Photo: ESA)



図 1.3-4 HTV

(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。また、日本のデータ中継技術衛星「こだま」（DRTS）も使用して実験データを筑波宇宙センターに直接送信することも可能です。

【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：

日本の実験運用の計画は筑波宇宙センターでとりまとめ、これを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模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側と連絡を取りながら実験を進めることができます。



図 1.3-5 ユーザ運用エリア

【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 は、H-IIB 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。ここでは H-IIB ロケットの組立や打上げ準備、HTV の整備、HTV の H-IIB ロケットへの搭載などの作業も行われます。

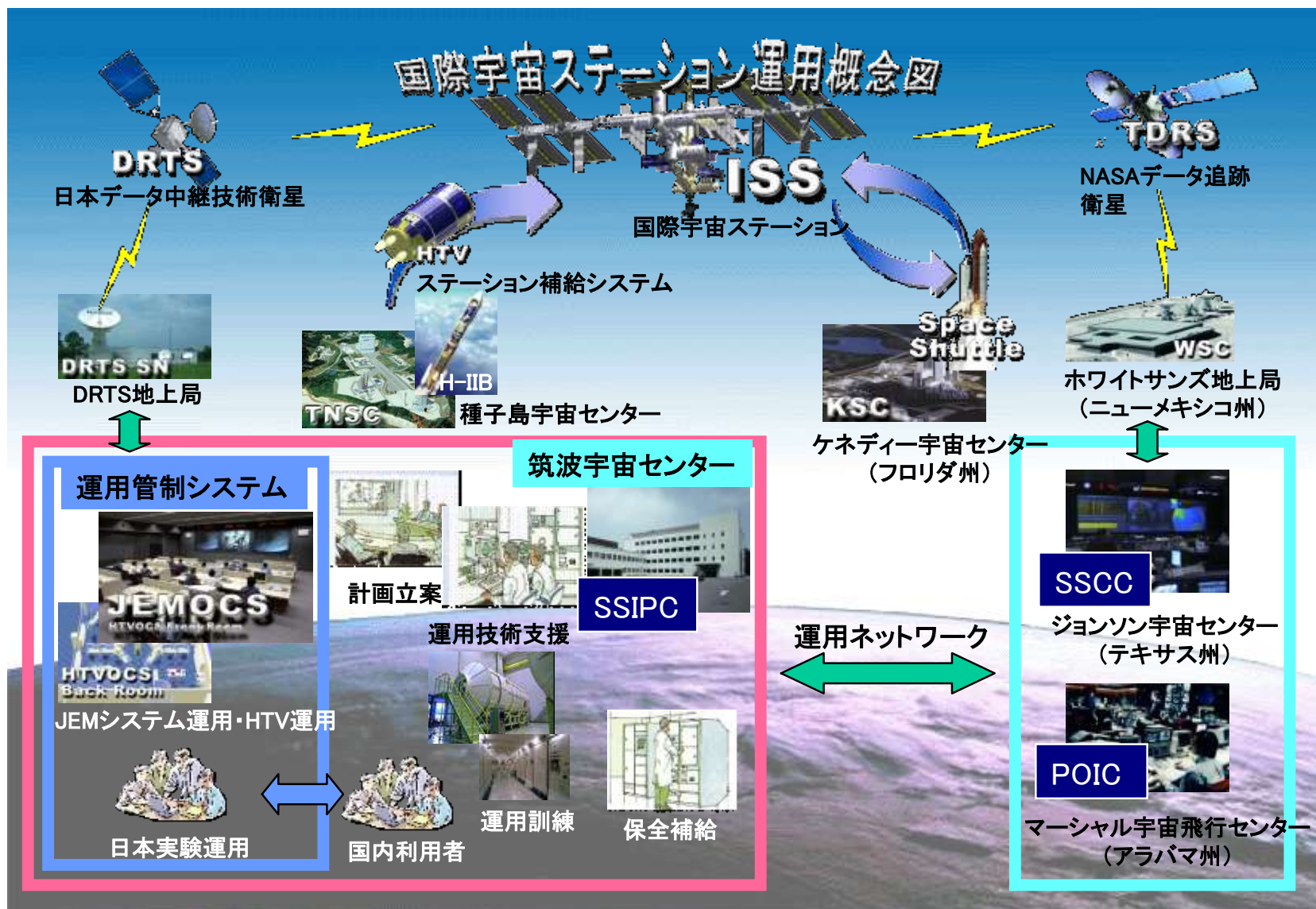
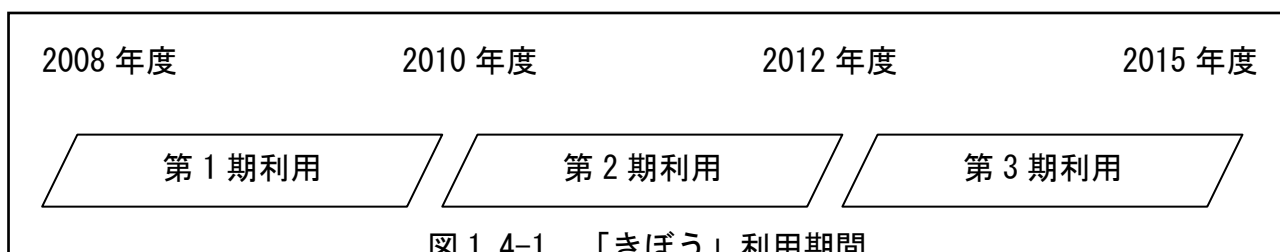


図 1.3-6 「きぼう」運用システムの概要

1.4 「きぼう」 船内実験室に搭載される日本の実験装置等

「きぼう」の運用・利用が開始される 2008 年度から 2010 年度前半までの 2 年半を第 1 期利用期間、2010 年度後半から 2012 年度頃までの 2 年半を第 2 期利用期間と設定しています。



第 1 期では、「きぼう」には生命科学および物質科学の研究を目的とした、SAIBO ラック、RYUTAI ラック、KOBALRO ラックの 3 種の実験ラックを搭載します。また、2010 年以降の第 2 期利用に向けて、多目的実験ラック及び水棲生物実験装置を候補装置として開発の準備を進めています。第 2 期の後半の期間では表 1.4 に示す第 1 期の装置と第 2 期の候補装置を利用した実験が可能となります。これらに加えて、船内空間が利用できます。

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な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実験装置等

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	SAIBO	細胞培養/クリーンベンチ 細胞実験ユニット 植物実験ユニット 計測ユニット	CBEF/CB CEU PEU MEU	2008	2.2/2.3 2.1.1 2.1.2 2.1.3
	多目的実験ラック	水棲生物実験装置	AQH	第2期	2.5
	軌道上冷凍冷蔵庫		MELFI	2008	2.4
	放射線線量計		PADLES	2008	2.6
物質科学	RYUTAI	流体物理実験装置	FPEF	2008	3.1
		溶液結晶化観察装置	SCOF	2008	3.2
		蛋白質結晶生成装置	PCRF	2008	3.3
	KOBIRO	温度勾配炉	GHF	第1期	3.4
共通	多目的実験ラック		MPSR	第2期	4.1
	船内空間		-	-	4.2

【注】表 1.4 では生命科学、物質科学に分類してありますが、たとえば蛋白質結晶成長装置の温度管理能力のみ利用する生命科学系実験など、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は可能です。



図 1.4-2 船内実験室での実験ラック配置
(多目的実験ラックの設置場所は未定)

2 生命科学用実験装置

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) 及び、クリーンベンチ (Clean Bench : CB) と組み合わせて生命科学実験を行うための自動化実験ユニットです。

これまでに「きぼう」船内実験室用として開発された生物実験ユニットには、細胞実験ユニット (Cell Experiment Unit : CEU)、植物実験ユニット (Plant Experiment Unit: PEU)、計測ユニット (Measurement Experiment Unit : MEU) の3種類があります。

- ・ CEU は、動物細胞などを実験試料として、培養実験を行うためのユニットで大小2種類の培養容器が用意されています。
- ・ 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 細胞培養ユニット (Cell Experiment Unit : CEU)

CEU は中型キャニスタサイズ (幅 210 mm x 高 80 mm x 奥行 130 mm) に、小型ポンプ、温度センサと制御部を持っており、大容器 (付着面積 30 cm²) と小容器 (付着面積 15 cm²) を各々1個ずつ培養できます。自動で培地交換、循環等と培養環境のモニターができます。各々の容器には独立した培地循環系があり、無菌クイックディスクコネクタで簡単に着脱できます。詳細な機能・性能等は表 2.1.1 に示します。

培養容器は組み立て式で、市販フラスコ同等の細胞付着面を持ち、他面はガス交換能の高い膜構造となっており、薬剤処理可能な材料で構成されています。

容器のみを CEU から取り出して、付属器具類として用意されている「固定前処理器具 (Pre Fixation Kit : PFK)」および「細胞固定器具 (Cell Fixation Kit : CFK)」を用いることで、培地排出、バッファによる洗浄、化学固定剤の注入という一連の試料処理が可能です。PFK、CFK とともに、大小のタイプがあり、大容器・小容器を2個ずつ処理できます。化学固定剤などでの処理後の培養容器は CFK に入れた状態で軌道上冷凍冷蔵庫などで保管可能です。

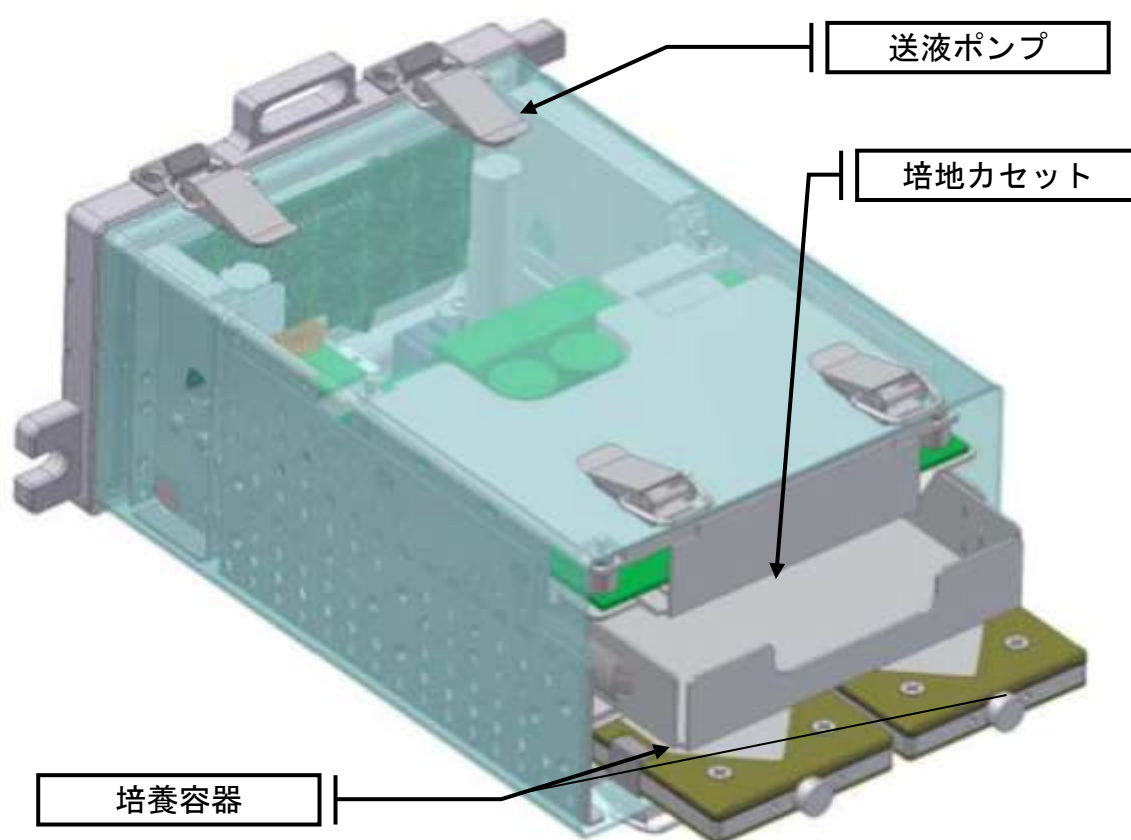


図.2.1.1-1 細胞実験ユニットの外観（CEU）



図 2.1.1-2 培養容器 大（右）、小（左）



図 2.1.1-3 固定前処理具（PFK）



図 2.1.1-4 細胞固定器具（CFK）

表 2.1.1 細胞実験ユニット (CEU) 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	培養容器、培地容器、通信制御部、送液ポンプ、ガス分離器		
培養容器	・ 培養容器は上面にガス交換膜を持つ一層構造。 ・ 付属器具と組み合わせることで化学固定可能。 ・ CB 内顕微鏡にて位相差・蛍光顕微鏡観察可能。		
	タイプ	大型	小型
	サイズ	55×116×10 (mm)	55×64×10 (mm)
	培養面積	約 30 cm ²	約 10 cm ²
	培地容量	約 9 ml	約 3 ml
	培養板	材質：ポリスチレンまたはポリカーボネート 表面処理：市販ディッシュ同等の表面処理が可能。 注) 培養板は着脱可能であり、実験毎に使い捨て。	
培地容器	容器サイズ：110×80×20 (mm) 新鮮培地バッグ、廃培地バッグ各 2 組(大型用、小型用の組み合わせ)を収納。 大型用バッグ：60×72 (mm) 50 ml 小型用バッグ：40×72 (mm) 20 ml		
自動化機能	培地交換：送液ポンプにて自動培地交換が可能（押し流し方式。置換率約 70%）。		
制御	内蔵 CPU およ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。 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	・ CB 内の位相差蛍光顕微鏡を使用 ・ 対物レンズ倍率：（蛍光用）40 倍（UV 励起以外は位相差用レンズも使用可能）位相差用）4, 10, 20, 40 倍 ・ 顕微鏡画像：顕微鏡画像データは CB を通じて画像取得処理装置 (IPU)へ送られ、録画あるいは MPEG2 圧縮にてダウンロード可能。		
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、供試体雰囲気とする。		

2.1.2 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 2.1.2 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 $\mu\text{mol/m}^2\text{sec}$ 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、固定器具 (KSC Fixation Tube : KFT) 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 2.1.2-1 植物実験ユニット外観 (PEU)

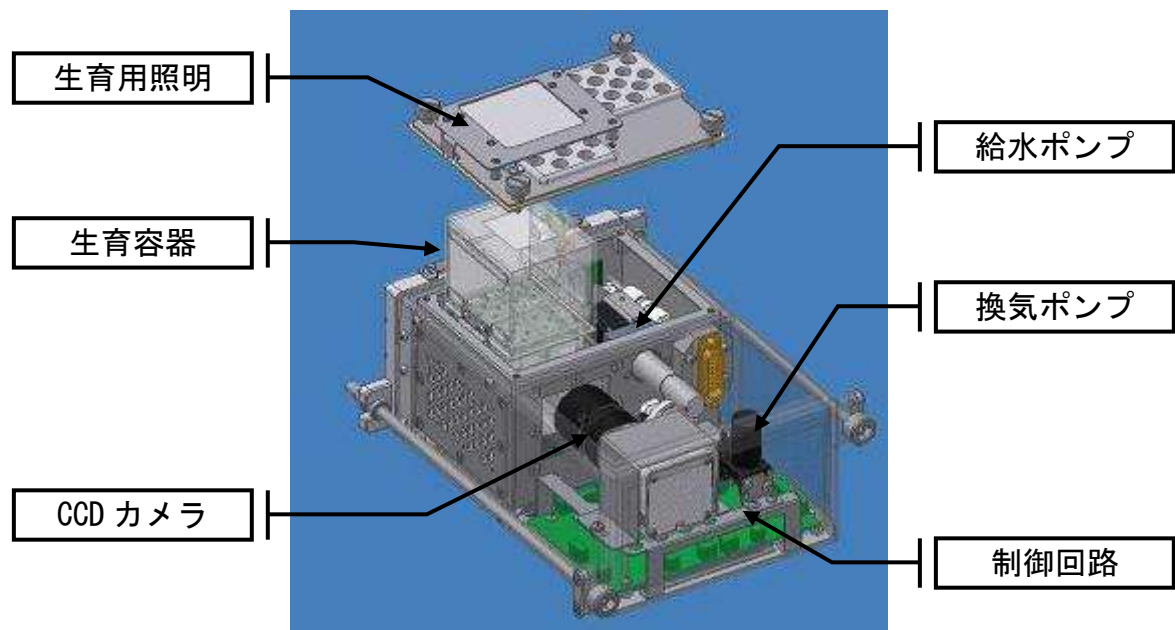


図 2.1.2-2 植物実験ユニット

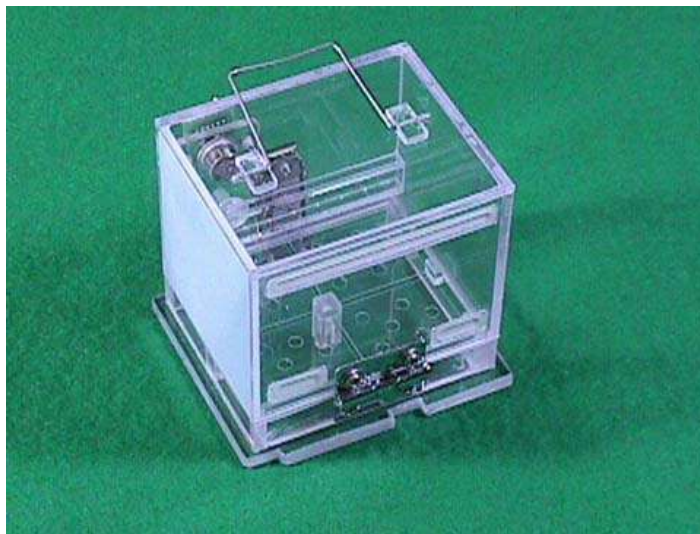


図 2.1.2-3 植物生育容器



図 2.1.2-4
シロイヌナズナ生育状況



図 2.1.2-5 固定器具 (KFT)

表 2.1.2 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：149ml 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 26 μmol/m ² ・s。 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。

2.1.3 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サンプルホルダーA あるいはサンプルホルダーB と組み合わせて、オリジナル細胞培養バッグ (浮遊細胞用) やディスポーザブル容器 (付着細胞用、Disposable Cultivation Chamber : DCC) を収納して CBEF に取り付けて静置培養することができます。DCC については培養細胞前処理器具 2 (Pre Fixation Kit 2 : PFK2) を用いて宇宙飛行士の操作で、4 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有りますが、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 2.1.3 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 mmx90 mmx95 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。

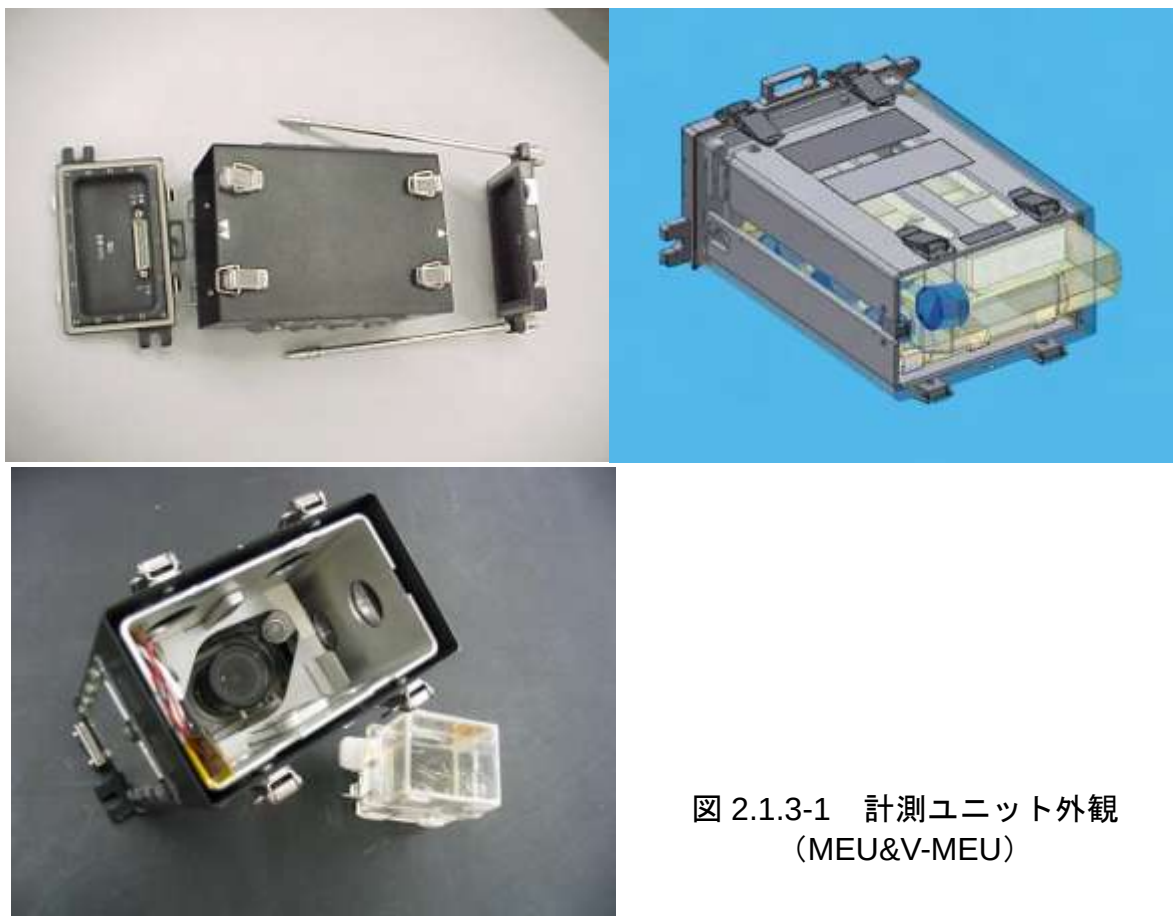


図 2.1.3-1 計測ユニット外観
(MEU&V-MEU)

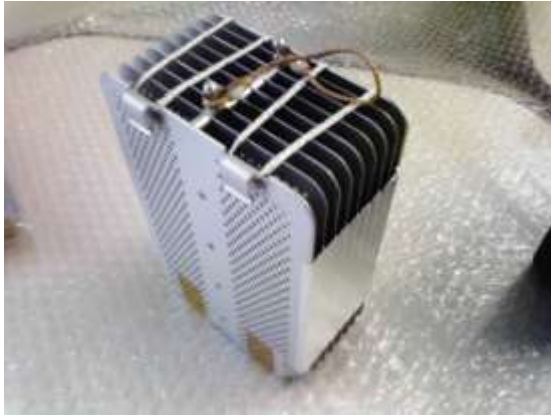


図 2.1.3-2 サンプルホルダーA



図 2.1.3-3 サンプルホルダーB



図 2.1.3-4 オリジナル培養バッグ



図 2.1.3-5 DCC ケース(左)、DCC(右)



図 2.1.3-6 固定前処理器具 2 (PFK2)

表 2.1.3 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 5 mm x 高さ 17 cm x 幅 50 mm のスリット を 15 個持っている。放射線ディテクター等の収 納スリット 1 個を持っている。 サンプルホルダーB：ディスポーザブル容器(DCC)を 6 個収納するケー ス 2 個を取り付けて MEU に収納
利用可能容 器	・市販 T-25 フラスコ：6 個を収納可能 ・オリジナル培養バッグ：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。 ・ディスポーザブル容器（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）

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、0.1～2.0G 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。

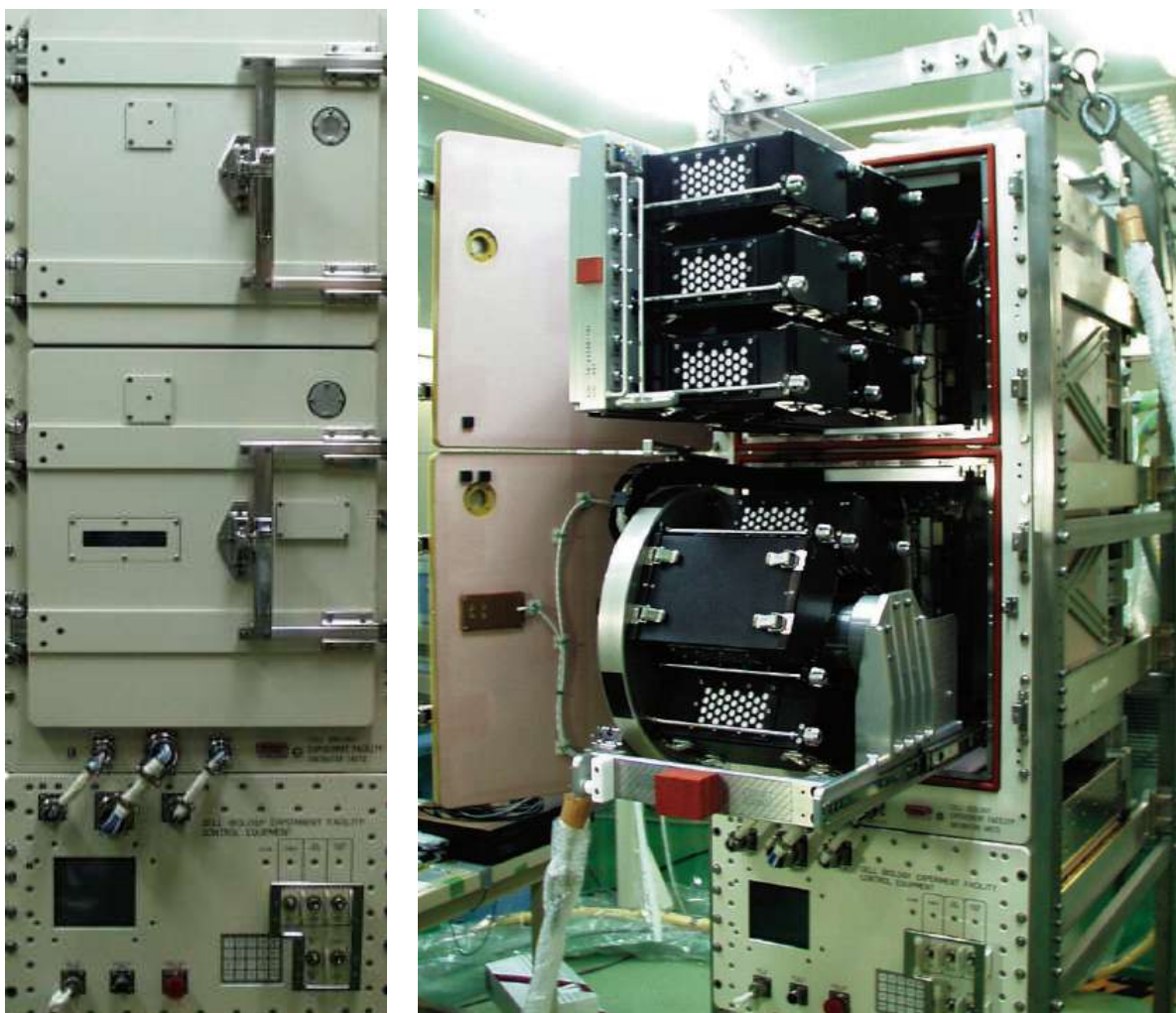


図 2.2-1 細胞培養装置外観

（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

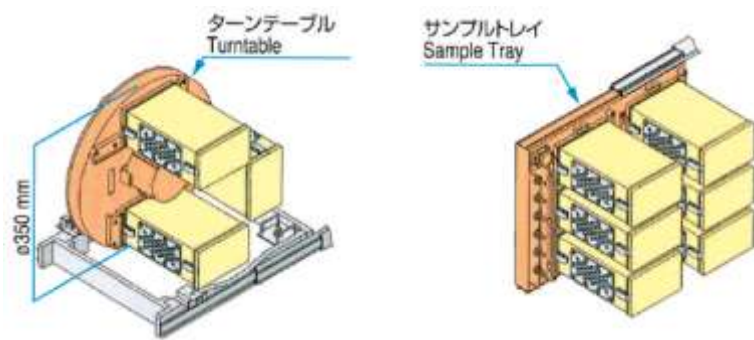


図 2.2-3 中型キャニスタ装着状況

表 2.2 細胞培養装置の仕様

項目		設計仕様					
構造系	容積	培養部： 130 リットル					
	培養部	・ 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、0.1～2.0G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	・ 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。					
培養系	キャニスタの種類	大きさ： 中型を標準仕様 形式： 密閉型、ガス透過型 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。 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。					
	中型 キャニスタサイズ	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）					
	キャニスタ 搭載個数	<table border="1"> <tr> <td></td><td>微小重力区</td><td>人工重力区</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	中型	6
	微小重力区	人工重力区					
中型	6	4					

表 2.2 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° C±1° C（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	0.1～2.0G（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	<table><tr><td></td><td>微小重力区</td><td>人工重力区</td></tr><tr><td>ユーティリティ （電力、コマンドセンサー出力等）</td><td>全6個</td><td>全4個</td></tr><tr><td>画像</td><td>全6個</td><td>全4個</td></tr><tr><td>RS-485接続</td><td>全6個</td><td>全4個</td></tr></table> * CBEF外への出力は1系統				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																									
		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																																						
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。 <table><tr><td colspan="3"></td><td>微小重力区</td><td>人工重力区</td></tr><tr><td rowspan="5">ユーティリティ</td><td rowspan="4">電力</td><td>+ 5V DC</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>+12V DC</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>－15V DC</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>+15V DC</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>コマンド(1bit)</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td rowspan="2">センサー</td><td>センサ出力(0-5V)</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>シールド(GND)</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>画像</td><td>ビデオ出力</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td colspan="3">RS-485接続</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>						微小重力区	人工重力区	ユーティリティ	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	センサー	センサ出力(0-5V)	2	2	シールド(GND)	1	1	画像	ビデオ出力	1	1	RS-485接続			1	1
			微小重力区	人工重力区																																					
ユーティリティ	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																																						
センサー	センサ出力(0-5V)	2	2																																						
	シールド(GND)	1	1																																						
画像	ビデオ出力	1	1																																						
RS-485接続			1	1																																					
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。 ・1プログラムあたり16K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	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。																																								

2.3 クリーンベンチ（Clean Bench：CB）

クリーンベンチは、「きぼう」船内実験室における生命科学系実験に用いられる種々の細胞、微生物器具などを操作するために、無菌的かつ閉鎖された作業空間を提供する装置です。本装置は、作業チャンバと資材導入用の前室、及びそれらを制御し、「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。

作業チャンバと前室は使用する時に、実験ラックから引き出すことにより作業容積を拡大できるようになっています。作業チャンバには、倒立型位相差・蛍光顕微鏡、監視用 CCD カメラが装備されています。また、クリーンベンチは、顕微鏡などからの画像を表示できるカラーディスプレイを備えています。

作業チャンバ内の環境の制御については、温度は 20～38° C で制御可能となっています。また、クリーン度の維持は HEPA フィルタ、紫外線殺菌灯及びエチルアルコール等の殺菌剤による拭き取りによります。作業チャンバの空気成分の調整のために、HEPA フィルタを通してキャビンエアーを導入します。殺菌処理後のアルコール等の殺菌剤は、特殊活性炭により吸着処理されます。センサにより作業チャンバ内の温度・湿度及びエチルアルコール濃度などがモニターされます。（なお、ISS でのアルコールの使用は制限があります。）

倒立型の位相差・蛍光顕微鏡はテレオペレーション化されており、位相差と蛍光の切り替え、顕微鏡ステージの XYZ 軸方向の移動及び対物レンズの選択が地上からの遠隔操作でも行えます。観察は対物レンズの画像を直接 CCD カメラで取得する方法であり、対物レンズは位相差用として 4 倍・10 倍・20 倍・40 倍、蛍光用として 40 倍を備えています。蛍光観察はキセノンランプを励起光源に用いた落射蛍光方式を採用しています。顕微鏡の観察画像は制御装置のディスプレイに表示されるとともに、「きぼう」船内実験室ビデオ系に送られて録画／ダウンリンクすることができます。詳細な機能・性能等は表 2.3 に示します。



図 2.3-1 クリーンベンチ外観（操作する古川宇宙飛行士）



図 2.3-2 内臓位相差・蛍光顕微鏡



図 2.3-3 作業チャンバ内での作業

表 2.3 クリーンベンチ仕様

No	系統	設計仕様
1	構造系	気密筐体 形 状：引出し、気密型筐体、操作用グローブ 3 個 殺 菌：紫外線殺菌灯 体 積：50 リットル 作業面積：0.04 m² OC ドア：180 mm×250 mm
2	前室系 (DC: Disinfecting Chamber)	実験器具等をワイプ等にて拭き取りする空間 形 状：気密型筐体、操作用グローブ 2 個 体 積：16 リットル 作業面積：0.07 m² DC ドア：180 mm×250 mm
3	作業チャンバ系 (OC: Operation Chamber)	以下の機器を作業チャンバ(OC)内に設置する (1) 倒立位相差・蛍光顕微鏡 (2) 内部監視カメラ(OC Observation Camera)
4	OC と DC 環境制御系	4.1 ガスモニタ機構 OC 内の以下のガスの濃度規定値以上を検出 [エタノール、グルタルアルデヒド、ホルムアルデヒド、メタノール、氷酢酸、クロロフォルム、アセトン、アンモニア] 4.2 環境制御機構 (1) 循環空気の出入口の平均温度：20℃～38±2℃制御 (2) 低温冷却水を利用し温度制御を行う 4.3 殺菌及び殺菌剤処理装置 (1) DC：滅菌剤（リバルス、エタノール）による拭き取り、紫外線殺菌灯（8 W×2, 28 V, 260 nm） (2) OC：滅菌剤（リバルス、エタノール）による拭き取り (3) OC, DC での拭き取り作業で発生するエタノールガスを活性炭により吸着処理する 4.4 微粒子除去システム OC の循環空気出入口に HEPA フィルタを 2 個設置 4.5 照明 OC 照明灯：20 W OC 作業床面：108 Lux 以上

表 2.3 クリーンベンチ設計仕様（続き）

No	系統	設計仕様
5	制御系	(1) 操作パネル：操作ディスプレイ(4.8 インチ,320×256 ドット)、スイッチをクリーンベンチ前面に設定し、各機器の動作を制御する (2) ジョイスティック、OC スイッチボックス(OC 内)からも一部制御可能
6	実験支援機器	6.1 倒立位相差・蛍光顕微鏡 内蔵の CCD カメラで画像取得し、LCD モニター等に表示 対物レンズ倍率：4, 10, 20, 40 倍 （位相差及び明視野用） 40 倍（蛍光用） 焦点範囲：ステージ上 0～10 mm （ステージ Z 軸移動範囲） ステージ移動範囲：X,Y 軸 各±12.5 mm 照明：ハロゲンランプ 12 V, 50 W （位相差及び明視野用） キセノンランプ 125 W（蛍光用） 6.2 内部監視カメラ OC 内の作業を観察可能。 6.3 ジョイスティック OC 外部前面に設置する。顕微鏡のステージ移動、フォーカス調整の変更が可能。 6.4 OC スイッチボックス グローブを外すことなく、カメラの切替、顕微鏡のステージ移動、フォーカス調整、倍率の変更が可能 6.5 LCD モニター 10.5 インチ、TFT ディスプレイ 顕微鏡画像、内部監視カメラ、ユーザカメラの画像を表示 6.6 その他 遮光カバー、収納バッグ、収納ケース

表 2.3 クリーンベンチ設計仕様（続き）

No	系統	設計仕様
7	利用者インタフェース	7.1 ユーザ持込カメラ用接続端子 NTSC 方式 : 1 系統 LCD モニターに表示される
		7.2 電源コンセント 5 VDC : 0.2 A, +12 VDC : 2 A, ± 15 VDC : 0.2 A
		7.3 与圧部と OC との貫通コネクタ 丸形 22 ピン $\times$ 1 系統
		7.4 顕微鏡 外付 CCD カメラ用マウント ユーザ持込カメラが接続可能なマウント (C マウント、F マウント)を装備
		7.5 ユーザセルインタフェース 実験固有なガス除去用の吸着セルを追加設置可能
8	その他	8.1 テレサイエンス 地上からの操作により、以下の操作が可能 (1) 位相差・蛍光顕微鏡操作の一部 (2) 顕微鏡内 CCD カメラ、内部監視カメラ、ユーザ持込カメラの画像切替 (3) OC 内温度設定値の変更
		8.2 クリーンベンチ周辺機器収納部 1/8DR 内に電源部及び収納ケースが収納される

2.4 軌道上冷凍・冷蔵庫（Minus Eighty degree Celsius Laboratory Freezer : MELFI）

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ました。現在はアメリカモジュールに搭載されていますが、「きぼう」船内実験室打ち上げ後に「きぼう」船内実験室に移動される予定です。

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 $+4^{\circ}\text{C}$ 、 -26°C 、 -80°C が想定されています。

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。

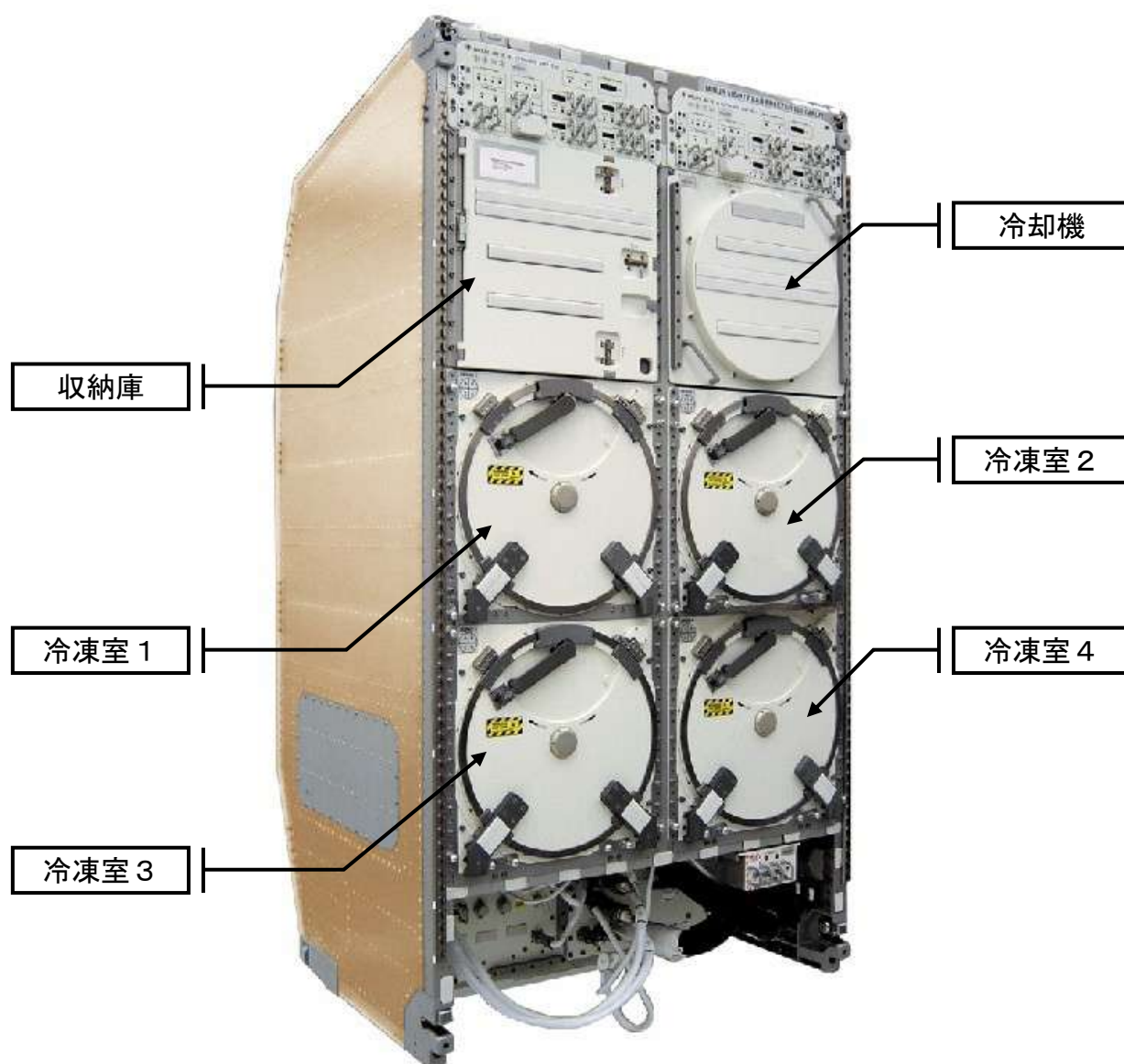


図 2.4-1 ISS 内の軌道上冷凍・冷蔵庫（MELFI）外観



図 2.4-2 ISS 内の軌道上冷凍・冷蔵庫（MELFI）トレイ

2.5 水棲生物実験装置 (Aquatic Habitat: AQH)

(1) 装置概要

水棲生物実験装置 Aquatic Habitat (AQH) は、多産、短い世代時間、観察性など実験動物として多くの利点をもつ小型魚類、メダカとゼブラフィッシュを対象とした実験装置である。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 (MPSR) に搭載され、微小重力や宇宙放射線などの宇宙環境がヒトを含めた脊椎動物に及ぼす長期的な影響等を解析するために用いられる。



メダカ (*Oryzias latipes*)



ゼブラフィッシュ (*Danio rerio*)

水棲生物実験装置は、2式の飼育水槽を有する1閉鎖循環系から構成されます。飼育水槽は、水槽内の生物試料に自動で給餌を行う給餌ユニット、昼夜サイクルのための LED 照明、観察のための CCD カメラを備え、水槽内飼育環境は飼育水流量制御、水温制御、ガス交換による溶存酸素維持、生物フィルタによるアンモニア処理等により維持されます。また長期飼育に対応するため、飼育水サンプリングによる水質チェック、飼育水の交換、ウエストフィルタの交換等、軌道上でのメンテナンスが可能です。

水棲生物実験装置の外観を図 2.5-1、飼育水循環系統図を図 2.5-2 に示します。

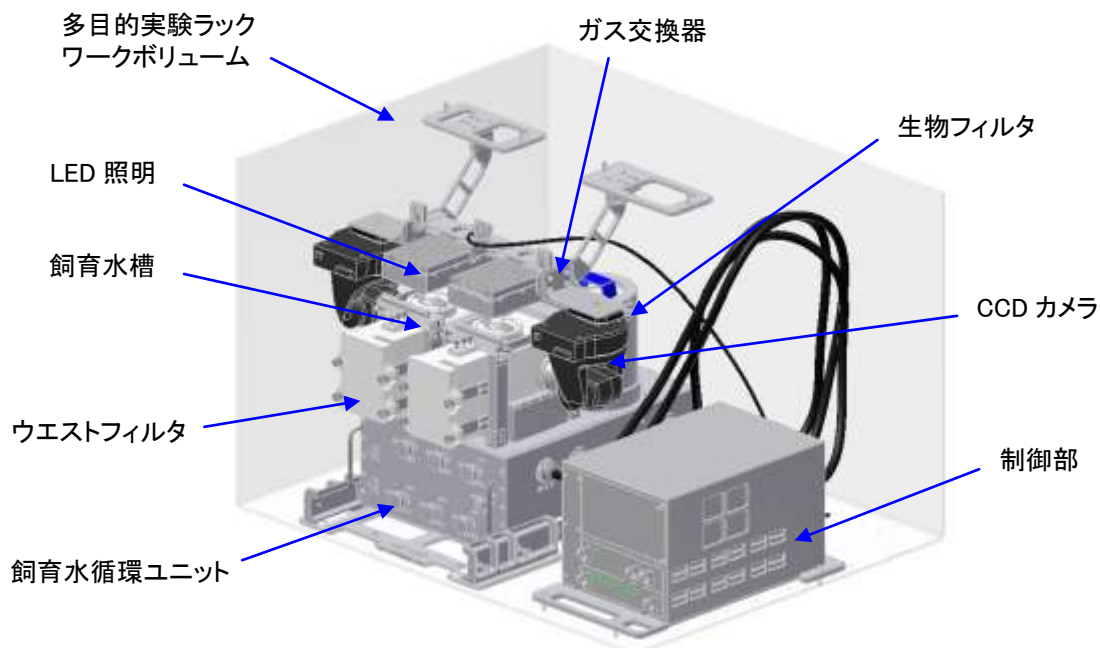


図 2.5-1 水棲生物実験装置の外観

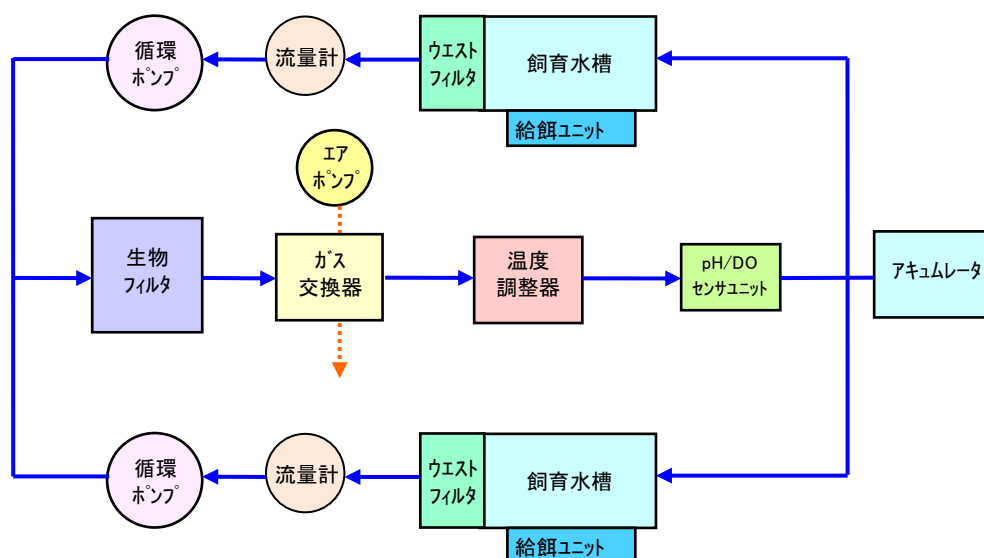


図 2.5-2 飼育水循環系統図

(2) 主な装置仕様

- 実験期間
最長90日間
- 飼育水循環系
飼育水槽2式を設置した1閉鎖循環系
総保水量：約3.2 L
- 飼育水槽
内寸：150 X 70 X 70 mm
内容量：約0.7 L/水槽
気液界面生成のための気相保持部、水槽内生物にアクセスするためのアクセスポートを有する
- 飼育水水温
水温範囲：25～30℃
水温制御：設定温度の±1℃
- 飼育水流量
各飼育水槽個別に制御可能
流量範囲：0～0.5 L/min
流量制御：設定値の±10%
- O₂ 供給/CO₂ 除去
人工肺（ガス交換膜）による空気とのガス交換

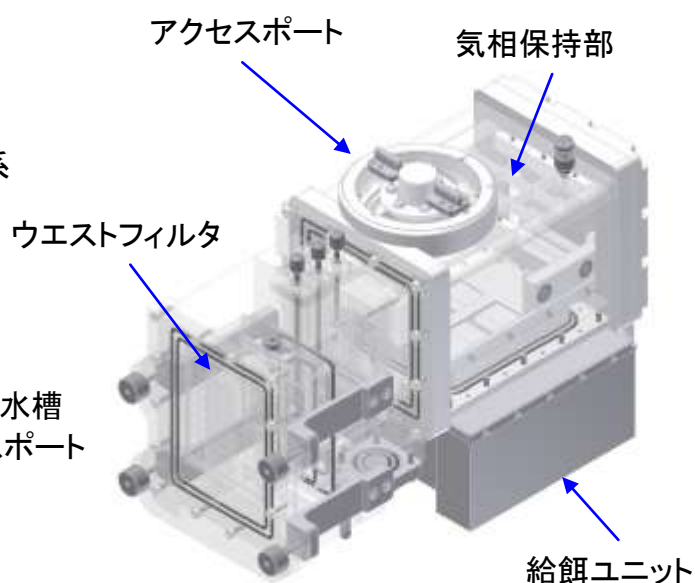


図 2.5-3 飼育水槽

- 水質維持
生物フィルタ(硝化バクテリア付着濾材)によるアンモニア／亜硝酸処理
飼育水交換による硝酸除去
ウエストフィルタ(濾布・活性炭)による固形物捕捉と有機物吸着
- 昼夜サイクル
各飼育水槽上部に設置された白色 LED 照明による
照度範囲:0～1000ルクス
昼夜サイクル:24時間内で任意に設定可能
- 自動給餌
各飼育水槽床面に設置された給餌ユニットによる
餌:人工飼料(粉餌)
給餌量:給餌テープ封入量により調整可能
給餌回数:最大3回／日
- 観察
各飼育水槽側面に設置された CCD カメラによる
赤外光による暗視観察可能
- データモニタ
飼育水水温、飼育水流量、飼育水水圧、飼育水溶存酸素濃度、飼育水 pH、昼夜照明ステータス、給餌ステータス
- 地上からのコマンド
飼育水温度設定、飼育水流量設定、昼夜サイクル制御、給餌制御、観察制御



給餌ユニット 給餌部

(3) 装置付属器具

水棲生物実験装置は、生物試料の「きぼう」への輸送、実験期間中の生物採取と化学固定等の処置、メダカ継代飼育実験のための世代分離と世代交代、また飼育環境維持のためのメンテナンスとして、装置と組み合わせて用いる様々な付属器具を有します。

- 試料輸送容器
生物試料を「きぼう」に輸送するための輸送用容器
- 試料採取キット
生物試料の処置、継代飼育時の世代交代等のため、飼育水槽内の生物試料をアクセスポートを介して採取する器具
- 化学固定キット
採取した生物試料を化学固定し、飛行後解析のために地上に回収するキット
- 卵採取キット
飼育水槽内で産卵されたメダカの卵を採取し、孵化するまでの維持を行うキット
- 水質測定キット
サンプリングした飼育水のアンモニア、亜硝酸、硝酸濃度を測定するキット

- 飼育水交換キット

硝酸蓄積時、あるいは水質悪化時に飼育水の置換を行うキット

(4) 装置の運用

飼育水槽を含めた水棲生物実験装置は、種子島宇宙センターより HTV (H II Transfer Vehicle) で「きぼう」に輸送されます。ただし、レイトアクセス要求のある生物試料は、装置とは別にロシアのバイコヌール宇宙基地より、ソユーズまたはプログレスによって「きぼう」に輸送され、軌道上実験は生物試料到着後に開始されます。また、飛行後解析が必要な生物試料の回収は、ソユーズ帰還モジュールにより行われる予定です。

運用イメージを図 2.5-4 に示します。

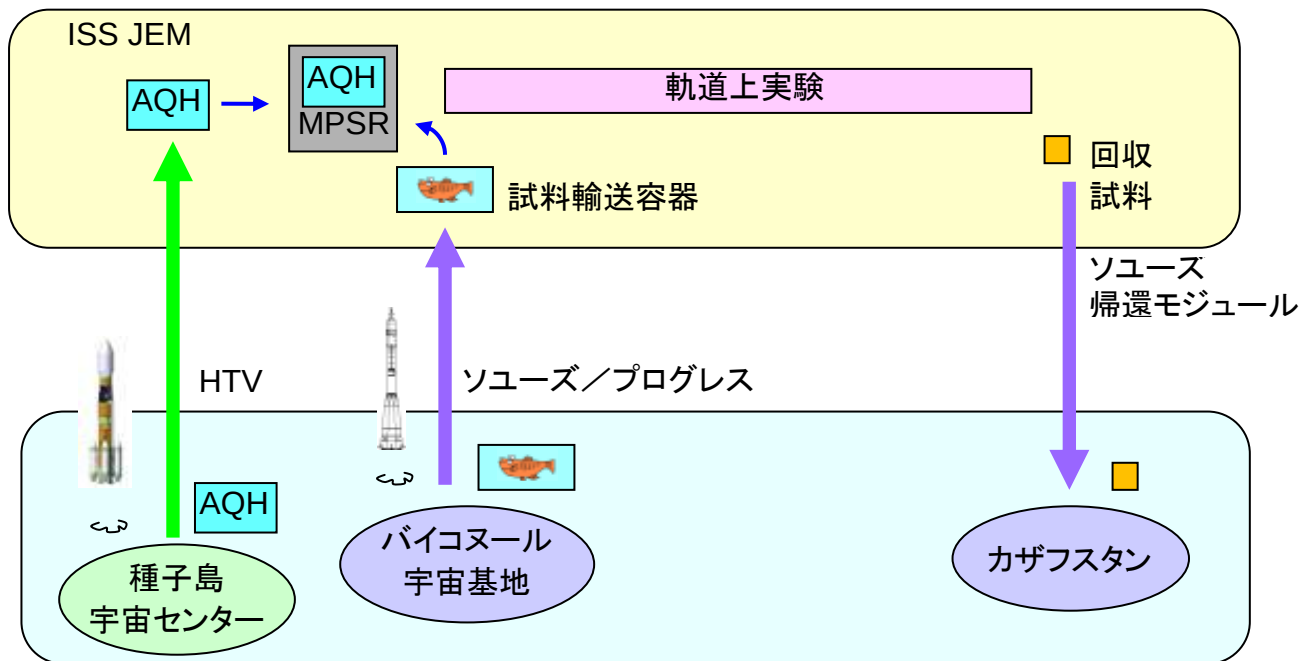


図 2.5-4 水棲生物実験装置 運用イメージ

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計測技術（PADLES：
Passive Dosimeter for Lifescience Experiments in Space）

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、熱蛍光線量計）を組み合わせたドシメーターパッケージ(図 2.6-2)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、提供します。

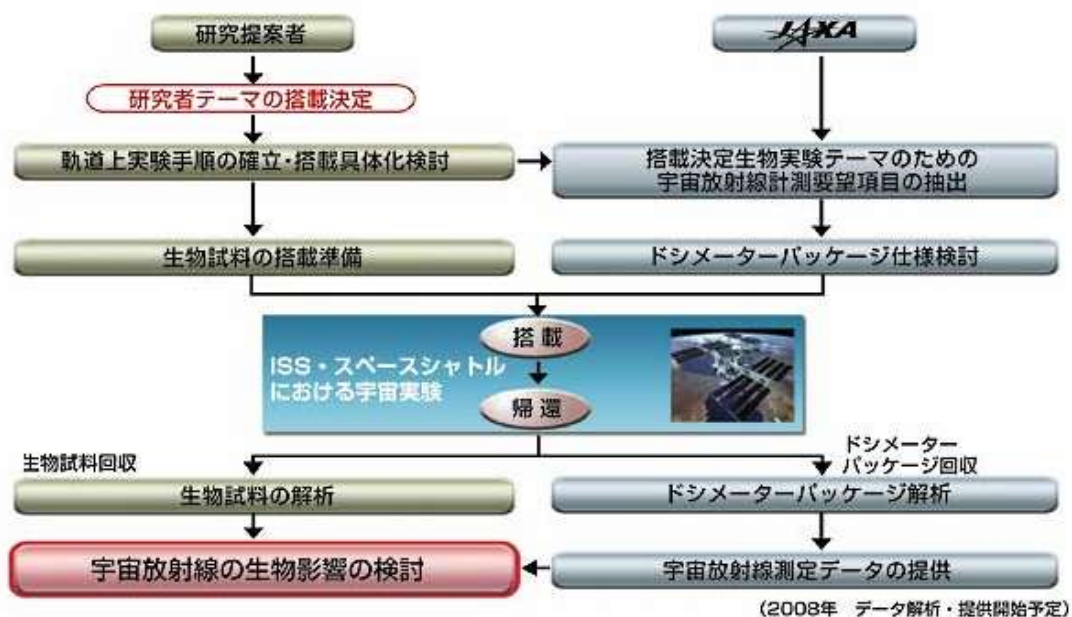


図 2.6-1 ライフサイエンス宇宙実験での放射線測定フロー



図 2.6-2 PADLES

左：PDLES ドシメーターパッケージを構成する素子（CR-39、TLD）、 右：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)

3 物質科学用実験装置

3.1 流体物理実験装置(Fluid Physics Experiment Facility: FPEF)

(1) 概要

主に常温付近での流体物理研究(マランゴニ対流実験など)に関する基礎的な実験を行うための実験装置で、3次元観察カメラ、赤外線放射温度計、ストロボライトや全体観察カメラなどを装備しています。

供試体との間で、電氣的インターフェースを有しており、供試体内に含まれる制御/計測/観察機器からの伝送機能や、画像信号のIPU(後述)への伝送機能を持っています。また、流体系インターフェース(ガス/水、QD)も有しています。

なお、FPEFの主要機能・性能は汎用的供試体との組合せたものとなるため、次項に述べます。

図 3.1-1 に FPEF 外観写真および図を示します。

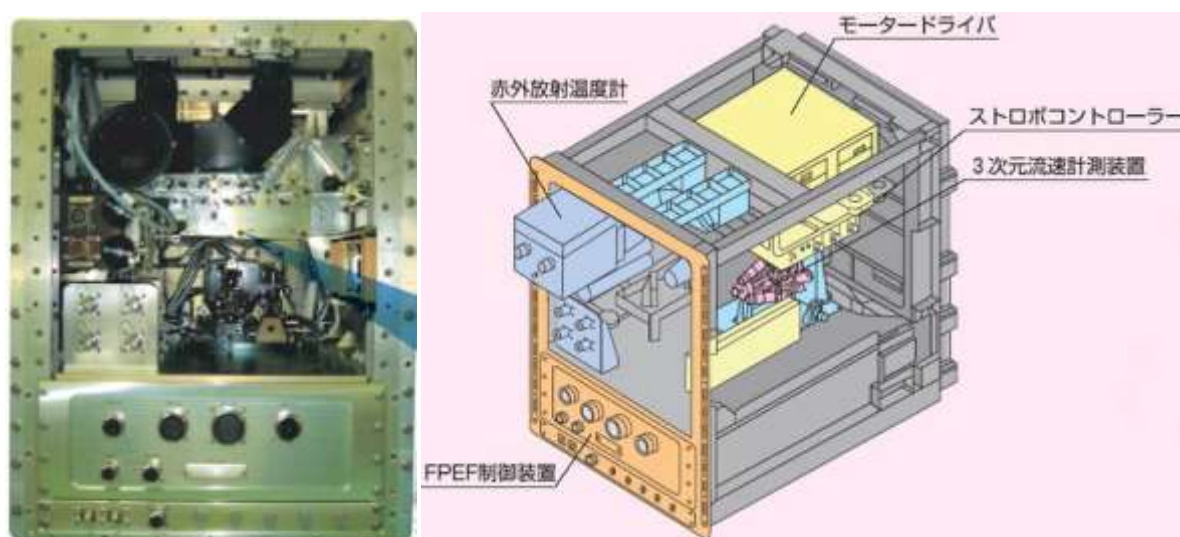


図 3.1-1 FPEF 外観写真/図

(2) 供試体

脱着式の供試体には試料や試料周りの機器を収納します。

FPEF 装置本体との間で、インターフェースや安全性に関して一定の条件を満たせば、カスタマイズすることにより、実験目的に適合した供試体の使用が可能です。

表 3.1-1 に供試体が利用できる装置機能およびリソース(装置が提供するユーザーインターフェース)を、図 3.1-2 に供試体として利用可能なエンベロップを示します。

例として、現在、「きぼう」での実験実施が確定しているマランゴニ対流実験用汎用的供試体を図 3.1-3 に、その仕様を表 3.1-2 に示します。

表 3.1-1 供試体が利用できる装置機能およびリソース

項目	機能およびリソース
電源	12 V $\pm$ 2 V, $\leq$ 4 A, 1 ch 24 V $\pm$ 2 V, $\leq$ 3.5 A, 1 ch $\pm$ 15 V $\pm$ 0.5 V, $\leq$ 0.8 A/ch, 3 ch
電力制御	4~65 V/ 5~180 W, 3 ch 1~30 V/ 5~180 W, 1 ch
電磁弁駆動	24 V $\pm$ 2 V, $\leq$ 1.3 A, 3 ch
モーター用電源	24 V, 3 A, 4 ch(モーター : PK543-A 用)
汎用アナログ入力	0~10 V, 8 ch
汎用デジタル入力	8 ch
汎用デジタル出力	8 ch
接点信号入力	15 ch
白金温度センサ入力	5 ch
熱電対温度センサ入力	6 ch, K 熱電対対応
CCD カメラ入力	IK-TU40D 対応, 1 ch
ビデオ入力	NTSC, 2 ch
許容される大きさ (図 4.2.1-2 参照)	230(W)X580(L)X363(H) mm (上記エンベロープ内でも使用できない部分がある)
Ar ガス	88.2 kPa~101.3 kPa, 20 NL/min
冷却水	8.5 kg/h, in : 16~23 °C, out : $\leq$ 43 °C
排気圧力	0.13 Pa~101 kPa
排熱量	$\leq$ 255 W(調整余地あり)
重量	38 Kg 以下

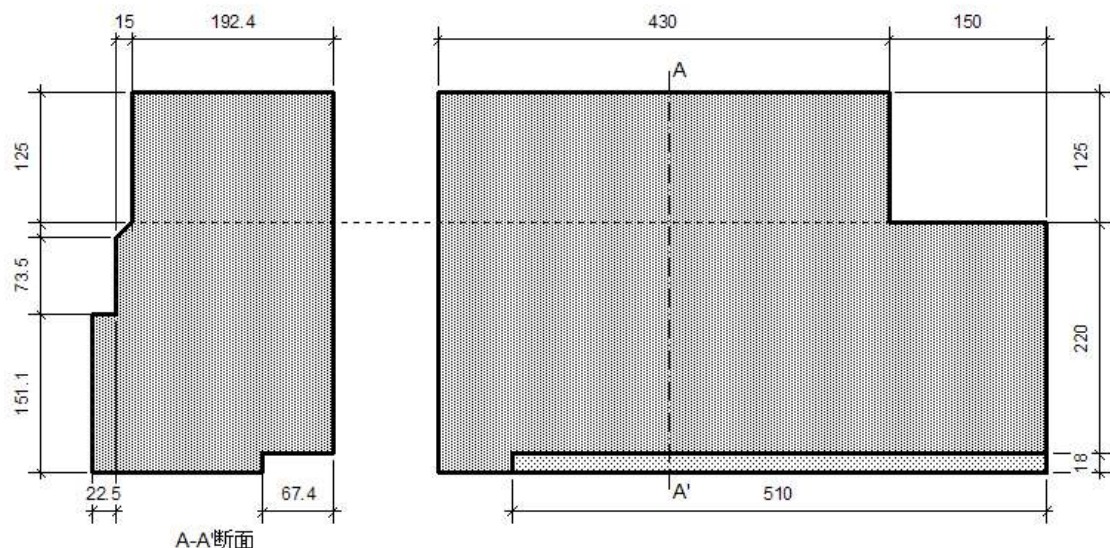


図 3.1-2 供試体として利用可能な大きさ
(マランゴニ対流実験用汎用的供試体外寸)

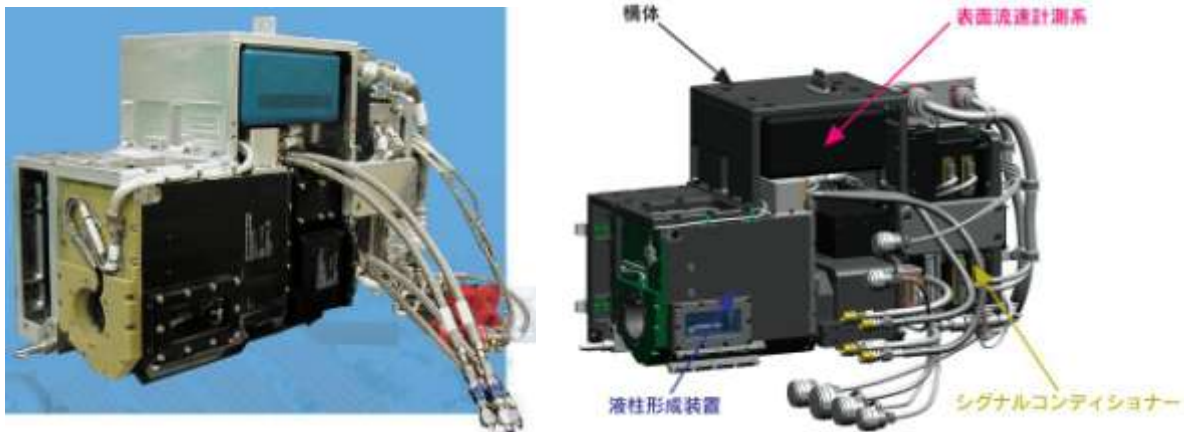


図 3.1-3 マランゴニ対流実験用汎用的供試体外観写真/図

表 3.1-2 マランゴニ対流実験用汎用的供試体仕様

項目	仕様
液柱形成	試料：シリコンオイル(5 cSt/10 cSt) 直径：Ø30/Ø50 (mm) 長さ：≤ 60 mm 液量の調整範囲：±9.6 ml
温度モニター	加熱ディスク温度：10~100 °C 冷却ディスク温度：室温~0 °C 観察窓温度：室温~60 °C 雰囲気温度：室温~100 °C 液柱内温度：0~100 °C
温度制御	加熱ディスク：≤ 90 °C 冷却ディスク：≥ 5 °C 観察窓：≤ 50 °C
3次元流速計測 ^{*1}	CCD カメラ画素数：768 (H)X494 (V) ストロボ照明発光周波数：60 Hz
全体観察	CCD カメラ画素数：768 (H)X494 (V)
表面温度分布計測	赤外放射温度計 検出波長域：8~14 μm 計測温度範囲：0~100 °C
表面流速計測 ^{*2}	レーザー照射 2点照射 発光周波数：4.57X10 ⁻⁴ ~10 Hz(±1%) 発光回数：1~4097 回

*1：3次元観察カメラを用いて、液柱内に混入したトレーサー粒子挙動を観察する機能

*2：レーザーを間欠的に照射することで液柱内に混入した色素を発色させ、液柱表面の流れを可視化する機能

*3：取得されたデータのうち、画像データは主に画像取得装置(IPU)を介して記録・地上伝送される。動画記録に関しては 17-42 Mbps/ch (MPEG/MotionJPEG 圧縮)、地上伝送に関しては 15 Mps max/ch (MPEG2 圧縮)とされるが、種々の運用制約により変更の可能性あり。

3.2 溶液結晶化観察装置(Solution Crystal Observation Facility : SCOF)

(1) 概要

主に、温度・圧力制御により作り出された過飽和溶液/過冷却融液からの結晶成長過程において、結晶形態および環境相温度/濃度場をその場観察する装置で、観察装置として、2波長マッハツェンダー干渉顕微鏡や振幅変調顕微鏡などを装備しています。

供試体との間で、電氣的インターフェースを有しており、供試体への電力供給、温度制御が可能です。また、温度などの計測データの伝送機能や、画像信号の IPU(後述)への伝送機能を持ちます。また、流体系インターフェース(窒素ガス、ガス排気)を有しています。

図 3.2-1 に SCOF 外観写真/図および内部構成概観写真/図を、図 3.2-2 に観察系全体の光路図を、表 3.2-1 に SCOF 主要機能/基本仕様を示します。

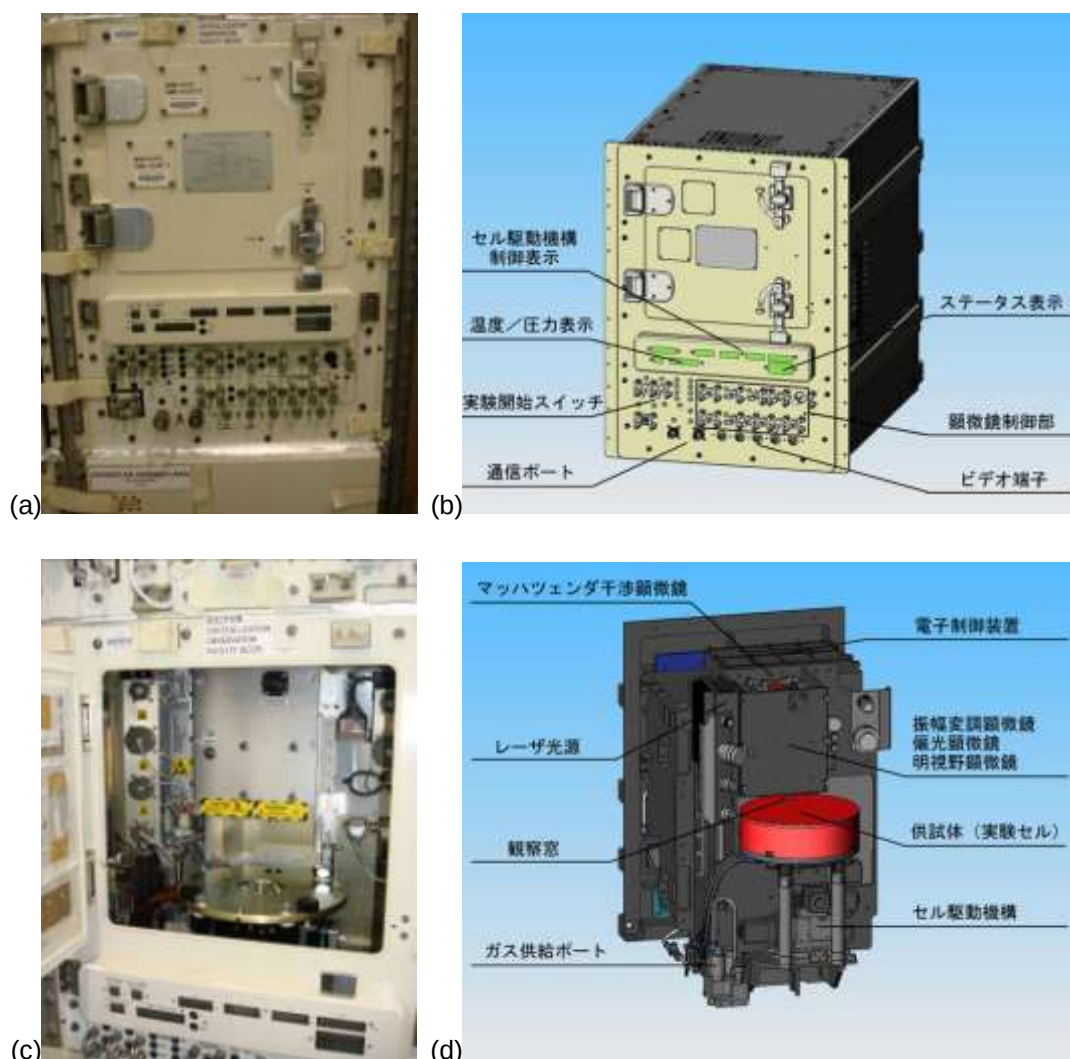


図 3.2-1 SCOF 写真/図

(a) 外観写真、(b) 外観図、(c) 内部構成概観写真、(d) 内部構成概観図

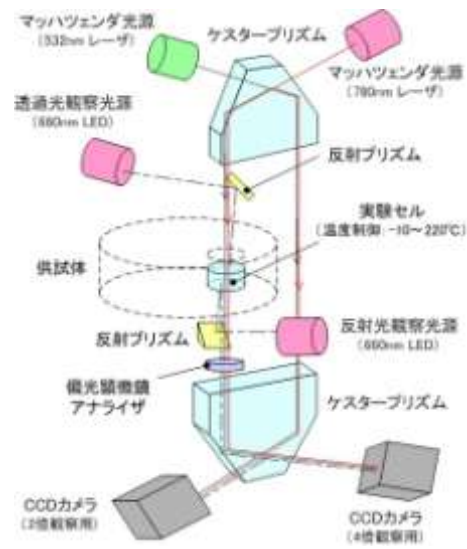


図 3.2-2 観察系全体の光路図

表 3.2-1 SCOF 主要機能(抜粋)

主要機能		基本仕様
実験制御		①実験実施はプログラムに基づく自動制御が基本 ②テレサイエンス操作が可能
観 察 系	結晶表面観察	方式：振幅変調顕微鏡(マッハツェンダー型 2 波長干渉顕微鏡に搭載) 倍率：2, 4 倍 光源：LED (波長 660 nm) 観察視野：2.4X3.2 mm/2 倍~1.2X1.6 mm/4 倍 位相分解能： ≥ 0.2 波長(132 nm) 試料照明：透過光観察/反射光観察切り換え 撮像デバイス：1/2 inch CCD カメラ ピント調整：供試体駆動による その他：明視野/偏光観察可能
	液相中の 温度/濃度分布計測	方式：マッハツェンダー型 2 波長干渉顕微鏡 倍率：2, 4 倍 光源：LD および LD 励起固体レーザー(波長 780/532 nm) 観察視野：2.4X3.2 mm/2 倍~1.2X1.6 mm/4 倍 位相分解能： ≥ 0.2 波長 撮像デバイス：1/2 inch CCD カメラ
	粒径分布測定	方式：動的散乱測定装置(遅延蛍光測定機能付) 光源：LD(波長 532 nm) 粒子検出能：100 nm 解析方法：マルチプルハードコリレータ方式 最小ゲートタイム：200 nsec その他：検出器は供試体側搭載
供試体駆動系		方式：ステージ方式 移動軸：X, Y, Z, θ X= 3.55~ -3.73 mm Y= 3.67~ -3.61 mm Z= 3.65~ -3.5 mm $\theta = \pm 5^\circ$ (X,Y,Z ストローク： $\geq \pm 3$ mm)
圧力制御機能		圧力制御範囲：1~147.10 Mpa(供試体側に圧力制御部との接続 I/F 必要) 増圧機能：なし(供試体側に設置)
ガス供給/排気		N ₂ ガス供給圧力：0~約 827.4 kPa ガス排気運用圧力：101kPa~0.13 Pa (供試体側に接続 I/F(QD)必要)
温度計測・制御系		供試体機能に依存するため表 3.2-2 に記載

* 取得されたデータのうち、画像データは主に画像取得装置(IPU)を介して記録・地上伝送される。動画記録に関しては 17-42 Mbps/ch (MPEG/MotionJPEG 圧縮)、地上伝送に関しては 15 Mps max/ch (MPEG2 圧縮)とされるが、種々の運用制約により変更の可能性あり。

(2) 供試体

脱着式の供試体には試料や試料周りを収納します。

SCOF 装置本体との間で、インタフェースや安全性に関して一定の条件を満たせば、カスタマイズすることにより実験目的に適合した供試体の使用が可能です。

表 3.2-2 に供試体可以利用できる機能およびリソースを、図 3.2-3 に供試体として利用可能なエンベロープを示します。

例として、現在、「きぼう」での実験実施が確定している 2 テーマに対する個別供試体を図 3.2-4 に示しました。概要は以下の通りです。

●Ice Crystal テーマ(図 3.2-4(a), (b))

- ・ 供試体エンベロープ：個別形状
- ・ セル：結晶成長セル/核形成セル各 1 セット
- ・ 温度制御/計測：ペルチェ素子 3 ch(制御/計測用サーミスタ 2 ch、計測用サーミスタ 1ch)
- ・ 観察機能：1 軸明視野顕微鏡/1 軸 1 波長 Mz 型干渉顕微鏡(同軸；光学調整機能・制御 Box 付)
- ・ その他：気泡除去機構(手動)、供試体内ガス置換ポート

●FACET テーマ(図 3.2-4(c), (d))

- ・ 供試体エンベロープ：標準形状(円筒型； $\varnothing 220$ mm X H65 mm；外寸)
- ・ セル：結晶成長セル 2 セット(図では 1 セット)
- ・ 温度制御/計測(1 セル当たり)：ペルチェ素子 2 ch(制御/計測用サーミスタ 2 ch、計測用サーミスタ 2 ch、計測用熱電対 2 ch、零接点用サーミスタ 1 ch)
- ・ その他：供試体内ガス置換ポート

表 3.2-2(1) 供試体が電気部品を用意することで利用できる装置機能(1)
(装置側で以下に対応した電子回路を持つ)

項目		装置仕様	ch 数
温度計測/制御	サーミスタ (標準計測用) [TS1~8]	- 計測範囲：-20~230 °C - 計測精度：±0.70 °C[-20~-10 °C] ±0.45 °C[-10~70 °C] ±2.19 °C[70~220 °C] ±2.60 °C[220~230 °C] - 電気抵抗：72.24~0.0808 kΩ - 計測周波数：10 Hz	8
	サーミスタ (高精度計測 1 用) [TS9~16]	- 計測範囲：10~80 °C - 計測精度：±0.130 °C[10~20 °C] ±0.097 °C[20~70 °C] ±0.120 °C[70~80 °C] - 電気抵抗：18.26~1.625 kΩ - 計測周波数：10 Hz	8
	サーミスタ (冷接点温度計測用) [TS17]	- 計測範囲：15~65 °C - 計測精度：±0.097 °C - 電気抵抗：14.86~2.527 kΩ - 計測周波数：10 Hz	1
	サーミスタ (高精度計測 2 用) [TS18~21]	- 計測範囲：-1.5~0.5 °C or 2.5~4.5 °C* - 計測精度：±0.044 °C - 分解能：0.001 °C(目標値) - 電気抵抗：30.11~27.52 kΩ (TBD) - 計測周波数：10 Hz	4
	熱電対(K 型) [TC1~12]	- 計測範囲：-10~220 °C - 計測精度：±0.8%FS - 電圧：-2.209~8.301 mV - 計測周波数：10 Hz	12
	熱電対(J 型) [TC13]	- 計測範囲：-10~70 °C - 計測精度：±1.6%FS - 電圧：-2.822~2.836 mV - 計測周波数：10 Hz	1
加熱/冷却	ペルチェ素子 [TM1~12]	- 駆動電流：≤ 4.2 A/ch(≤ 13A・12ch) - 駆動精度：±5%FS - 供給電力：≤ 30 W/ch	12
	ヒータ (標準制御用) [HT1,2]	- 駆動電圧：0~10 V - 駆動精度：±5%FS - 供給電力：≤ 30 W	2

表 3.2-2(2) 供試体が電気部品を用意することで利用できる装置機能(2)
(装置側で以下に対応した電子回路を持つ)

項目		装置仕様	ch 数
モーター 駆動	DC モーター [MT1,2]	・ 駆動電圧 : $\leq \pm 6 \text{ V}$ ・ 駆動精度 : $\pm 10\% \text{ FS}$ ・ 供給電力 : $\leq 1.1 \text{ W}$ ・ 回転方向 : CW/CCW	2
	ステッピングモータ [MT3,4]	・ 相数 : 2 相 ・ 駆動電流 : $\leq 0.75 \text{ A/相}$ ・ 移動量 : $-2^{31} \sim 2^{31}-1$ パルス ・ 回転方向 : CW/CCW	2
圧力計測	圧力センサ [PR2]	・ 電源電圧 : $24 \text{ V} \pm 1\%$ ・ 計測範囲 : $-3 \sim 33 \text{ mV}$, $0 \sim 69.03 \text{ MPa}$	1
	圧力センサ [PR3]	・ 電源電圧 : $24 \text{ V} \pm 10\%$ ・ 供給可能電流 : $\leq 50 \text{ mA}$ ・ 計測範囲 : $0 \sim 5 \text{ V}$, $0 \sim 147.10 \text{ MPa}$ ・ 計測精度 : $\pm 1\% \text{ FS}$	1
検出	リミットスイッチ [LM1~4]	・ 接点電流 : 2 mA ・ メカニカルタイプ	4
	フォトセンサ [PM15]	・ 電源電圧 : 1.2 V ・ 検出電流 : $\geq 0.5 \text{ mA}$(入光), $\leq 10 \mu \text{ A}$(遮光)	1
光源	LED 用ドライバ [LED1]	・ 供給電流 : $\leq 50 \text{ mA}$ ・ 駆動電圧 : 6 V	1

*計測範囲は実験パラメータで選択可能。

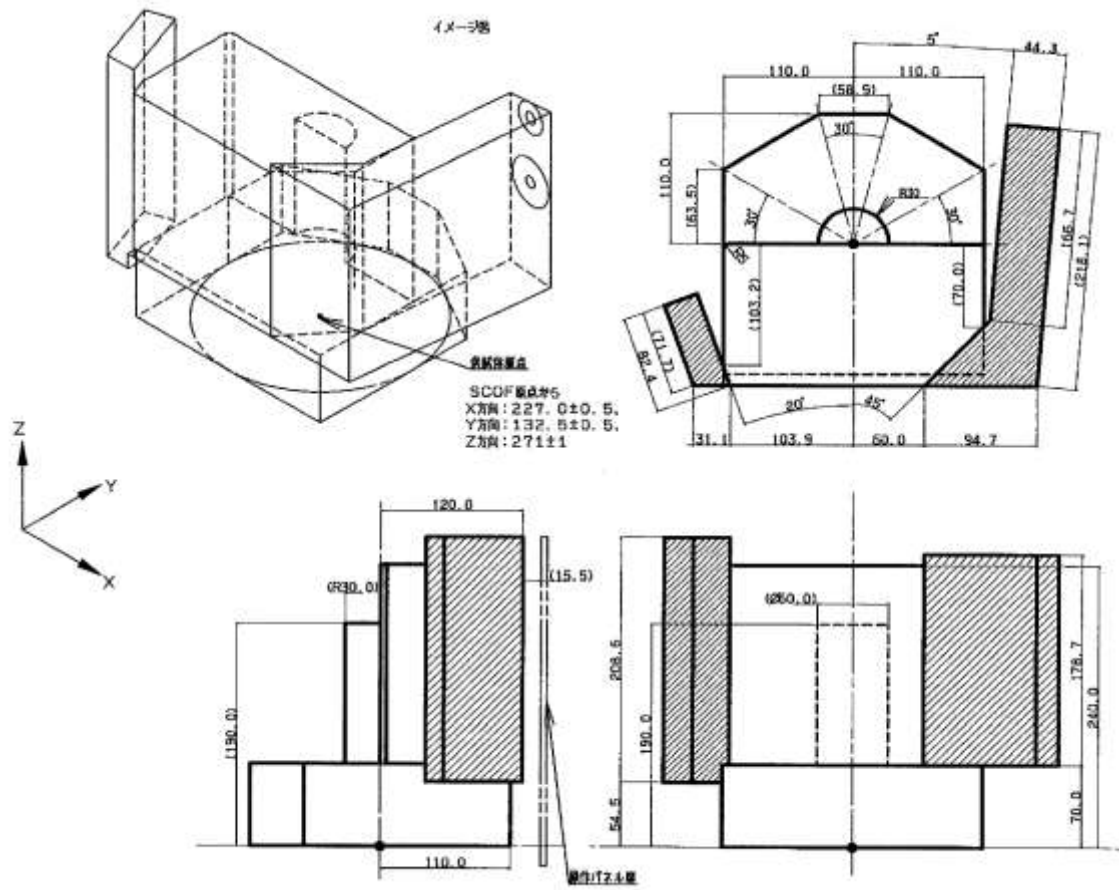
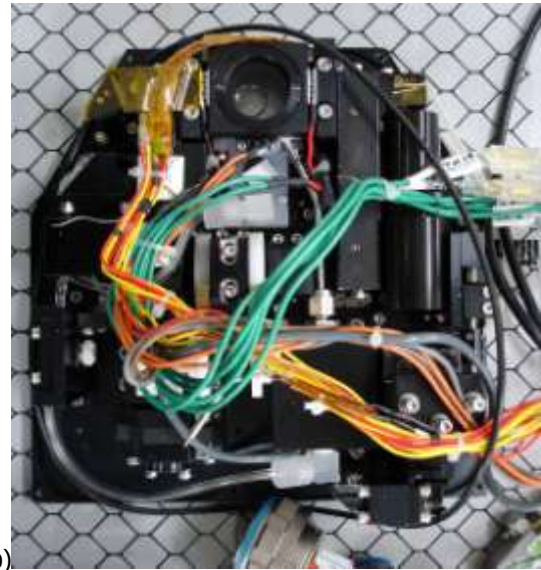


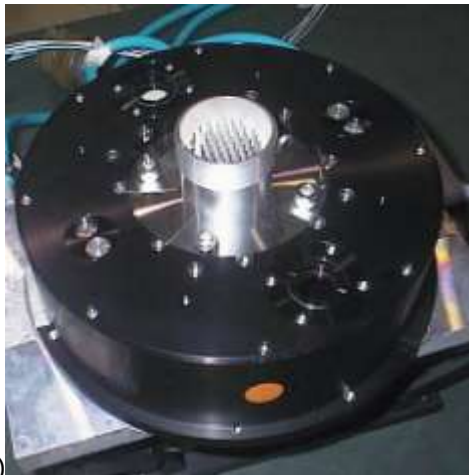
図 3.2-3 SCOF 供試体エンベロープ概略



(a)



(b)



(c)



(d)

図 3.2-4 供試体例(EM)

(a), (b) : Ice Crystal テーマ供試体

(c), (d) : FACET テーマ供試体

3.3 蛋白質結晶生成装置(Protein Crystallization Research Facility:PCRF)

(1) 概要

蛋白質結晶生成装置は宇宙環境を利用して高品質な蛋白質結晶を生成するための装置であり、セルトレイに電氣的 I/F、熱的 I/F を持つ供試体(セルカートリッジ)が最大 6 個搭載可能です。

セルトレイ内には、駆動可能な CCD カメラと照明用 LED が装備されており、供試体の実体観察も可能です。

表 3.3-1 に PCRF 主要機能/基本仕様を、図 3.3-1 に PCRF 外観写真/図およびセルトレイ内部写真を示します。

表 3.3-1 PCRF 主要機能(抜粋)

主要機能	基本仕様
実験制御	①実験実施はプログラムに基づく自動制御が基本 ②テレサイエンス操作が可能
観察系	光源：LED (660 μ m, 3000 mcdX2) 有効画素数：768X494 画素 観察視野： $\varnothing$ 6.7 mm $\pm$ 0.1 mm 分解能： $\geq$ 40 μ m 試料照明：透過光観察/反射光観察切り換え 撮像デバイス：1/2 inch CCD カメラ ピント調整：パンフォーカス 被写界深度：6 mm
セルトレイ (2.5.2 参照)	許容スペース：300 mmWX300 mmLX80 mmH 電氣的インタフェース：6 系統(=同時搭載可能セルカートリッジ数) 排熱：セル下面コールドプレートによる
温度計測・制御系	供試体機能に依存するため表 3.3-2 に記載

*取得されたデータのうち、画像データは主に画像取得装置(IPU)を介して記録・地上伝送される。動画記録に関しては 25Mbps max(MPEG/MotionJPEG 圧縮)、地上伝送に関しては 15Mbps max(MPEG2 圧縮)とされるが、種々の運用制約により変更の可能性あり。

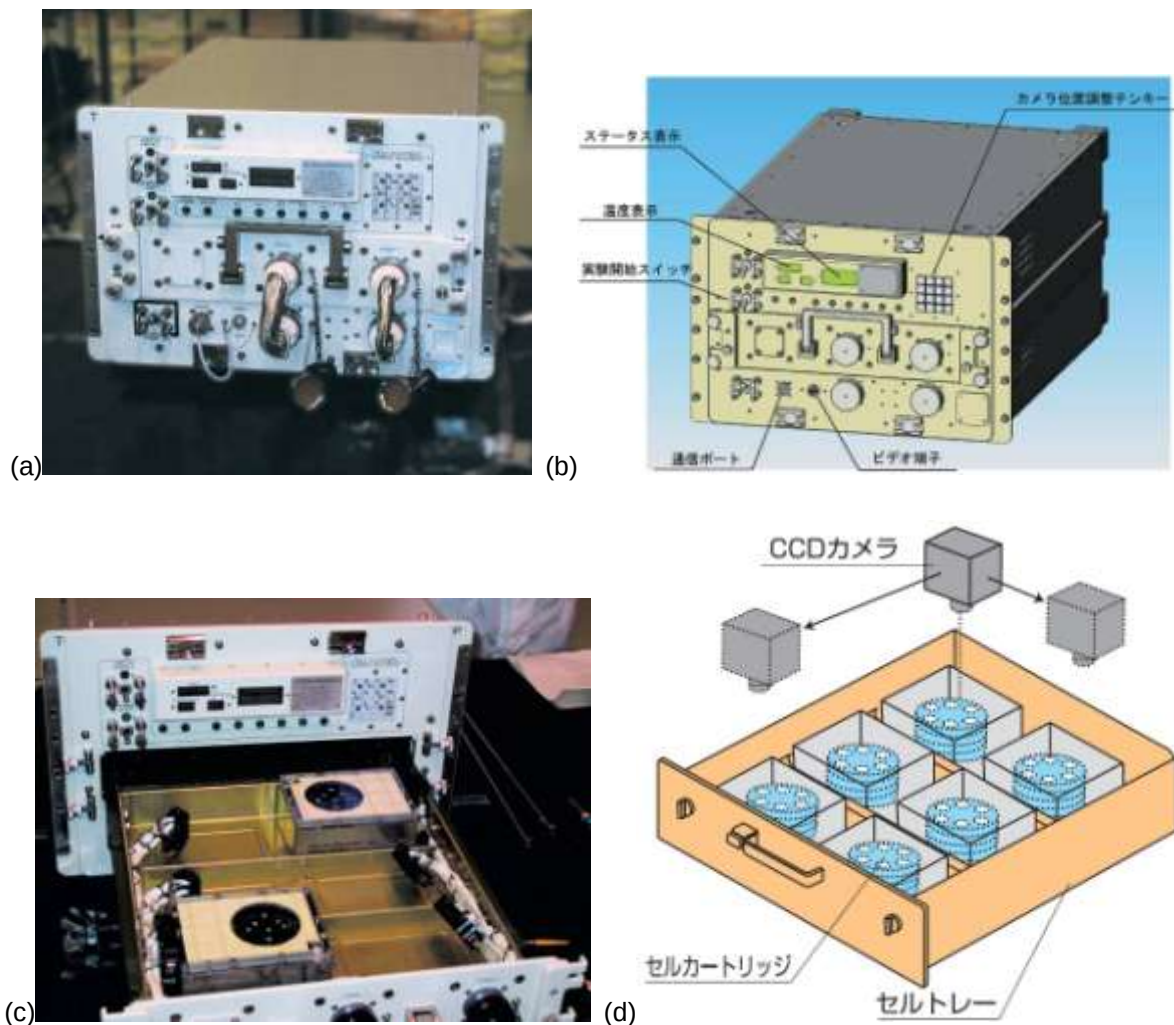


図 3.3-1 PCRF 外観写真/図

(a) 外観写真 (b) 外観図 (c) セルトレイ内部写真 (d) セルトレイ内部図

(2) 供試体

脱着式の供試体(セルカートリッジ)には試料や試料周りを収納します。

PCRF 装置本体との間で、インターフェースや安全性に関して一定の条件を満たせば、カスタマイズすることにより実験目的に適合した供試体の使用が可能です。

表 3.3-2 に供試体ができる機能およびリソースを、図 3.3-3 に供試体として利用可能なエンベロップ/取付位置/排熱面を示します。

表 3.3-2 供試体(セルカートリッジ 1 個)が電気部品を用意することで利用できる装置機能

(装置側で以下に対応した電子回路を持つ)

項目		装置仕様	ch 数
温度計測/制御	サーミスタ	- 計測範囲 : $-30\sim 60^{\circ}\text{C}$ - 計測精度 : $\pm 0.45^{\circ}\text{C}$ - 電気抵抗 : $113.6\sim 2.89\text{ k}\Omega$ - 計測周波数 : 10 Hz	2
加熱/冷却	ペルチェ素子	- 供給電流 : $\leq \pm 4.2\text{ A/ch}$ $\leq 20\text{ A/6 セルカートリッジ}$ - 制御精度 : $\pm 5\%\text{FS}$ - 供給電力 : $\leq 120\text{ W/6 セルカートリッジ}$	1
モーター駆動	ステッピングモーター	- 相数 : 5 相 - 供給電流 : 0.75 A/相(平均値) - 駆動電圧 : 15 VDC - 供給電力 : 2.5 W	1
位置検出	フォトセンサ	- 供給電流 : 10 mA - 供給電力 : 0.012 W - 検出制度 : $\pm 10\%$	1
オプション電源	-	- 駆動電流 : 12 V - 供給電流 : $\leq 2\text{ A}$	1

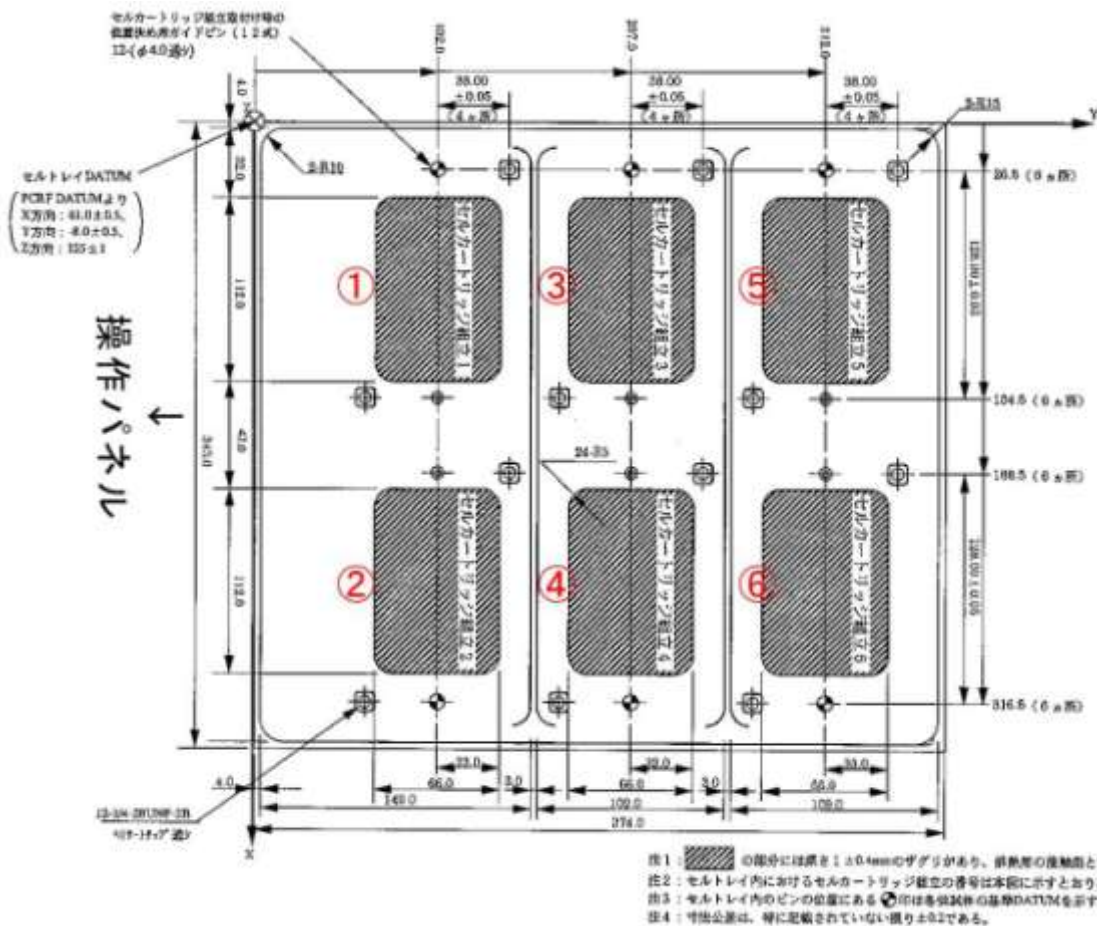


図 3.3-3 セルユニット 取り付け部インターフェース

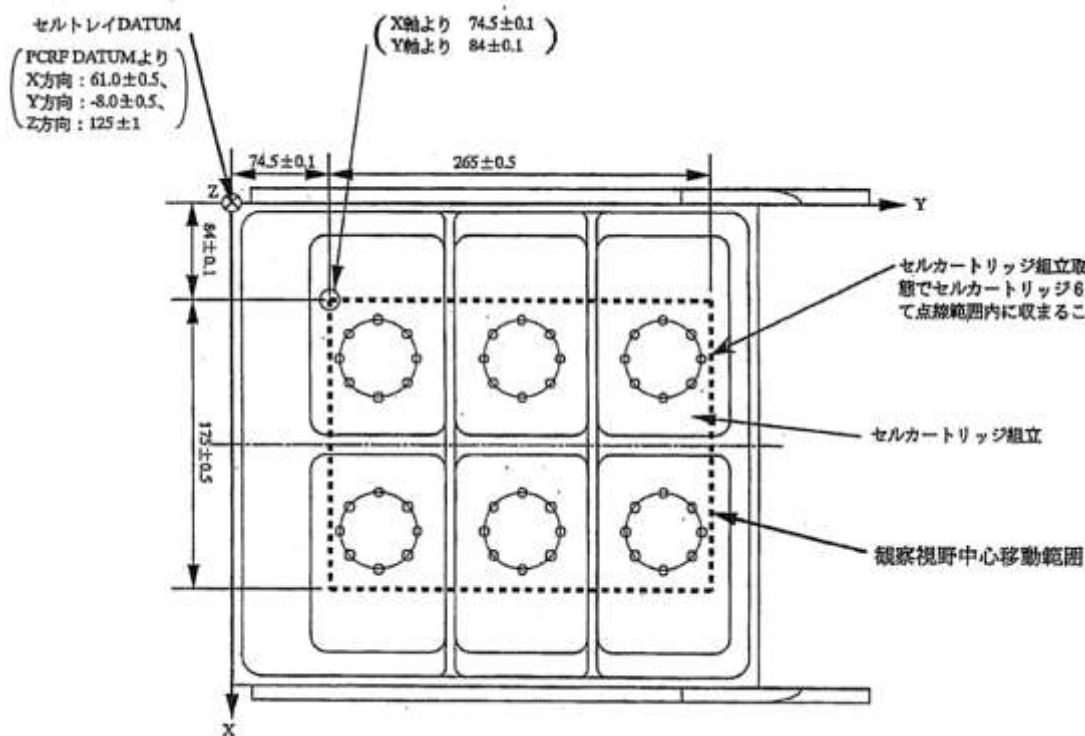


図 3.3-4 観察視野中心移動範囲

3.4 温度勾配炉(Gradient Heating Furnace: GHF)

(1) 概要

温度勾配炉は、真空チャンバ内に設置した独立温度制御可能な3つの加熱室(中央室、端部室、補助室)を高精度駆動することにより多様な温度プロファイルを実現し、試料の一方向凝固や結晶成長が可能な真空加熱炉です。

表 3.4-1 に装置仕様を、図 3.4-1 に外観写真と炉本体の図を、図 3.4-2 に試料カートリッジと3つの加熱室の配置例を示します。

表 3.4-1 温度勾配炉装置基本仕様

項目	仕様
方式	抵抗加熱, 加熱室移動式
加熱温度範囲	端部室 : 500~1600 °C (可動域 : ≤ 200 mm) 中央室 : 500~1600 °C (可動域 : ≤ 250 mm) 補助室 : 500~1150 °C (可動域 : ≤ 250 mm)
温度安定性	≤ ±0.2 °C
温度設定精度	≤ ±0.4%
温度勾配	≥ 150 °C/cm (@1450 °C)
移動速度	0.1~200 mm/hr および 600 mm/hr
移動速度安定性	移動速度設定値 ≤ ±1% (移動速度 10~200 mm/hr) 移動速度設定値 ≤ ±10%以下 (移動速度 0.1~10 mm/hr)
加熱室挿入口径	Ø40mm
測定機能	温度 : 10 点 X2 系統 (個別供試体 ; 高温/中低温用) 5 点 X2 系統 (汎用的供試体用 ; 高温/中低温用) 炉内圧力 : ダイヤフラム式圧力計・ピラニーゲージ・イオンゲージ
マーキング機構	試料カートリッジにパルス電流を供給出来るインタフェースを有する.
稼働可能累積時間	~300 hrs (@最高温度)
消費電力	≤ 5300 W

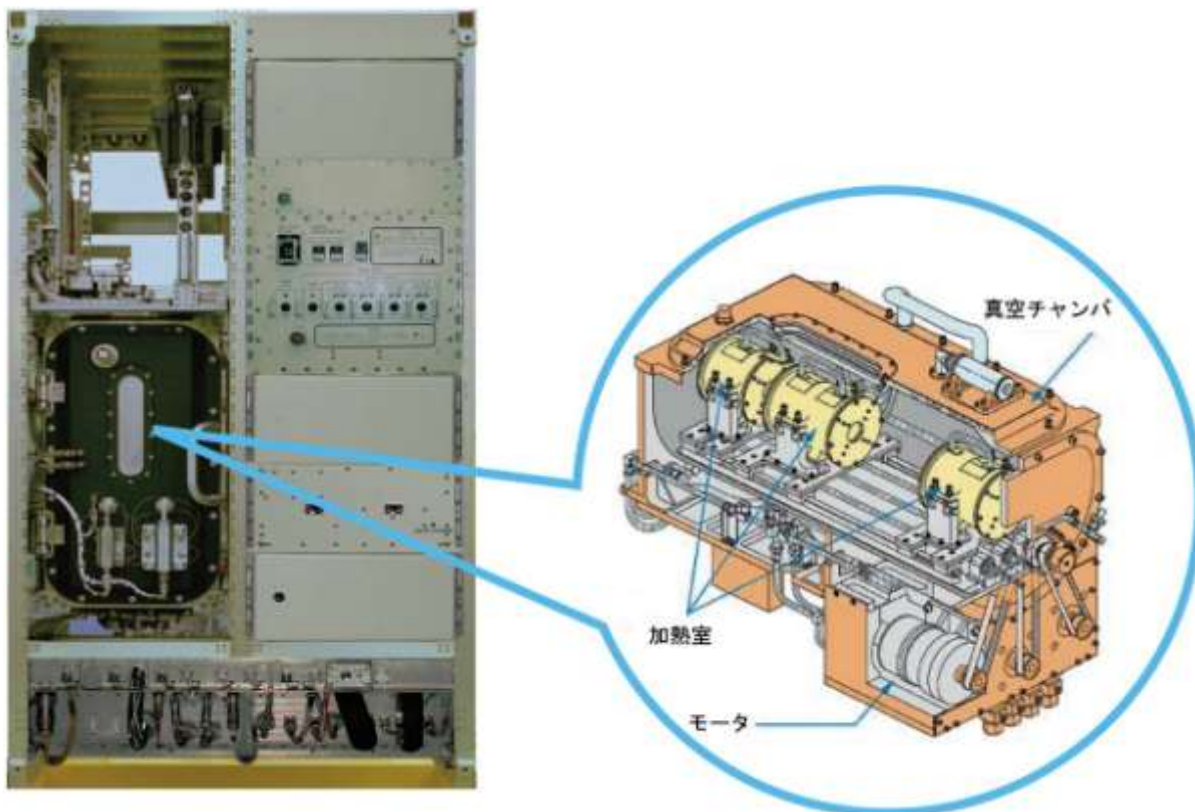


図 3.4-1 外観写真と炉本体

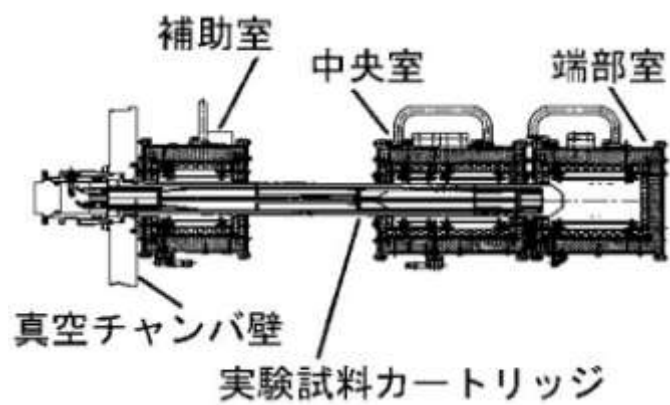


図 3.4-2 試料カートリッジと 3 つの加熱室の配置例

(2) 供試体

実験は、供試体(試料カートリッジ)単位で実施されます。

現在、汎用的供試体が1種類定義されています。この供試体を最大15本まで自動交換機構(SCAM; 装置本体機能)にあらかじめセットすることにより、全自動で実験をすることが出来ます。

表 3.4-2 に汎用的供試体仕様を、図 3.4-3 にその断面図を示します。

表 3.4-2 温度勾配炉装置基本仕様

項目	仕様
寸法	ボス部 : ~93 mm カートリッジ部 : ~505 mm(Ø34.4~36.1 mm)
質量特性	≤ 6 kg
最大試料寸法	Ø31 mmX370 mmL
温度測定機能	通常 5 点(≤ 10 点)

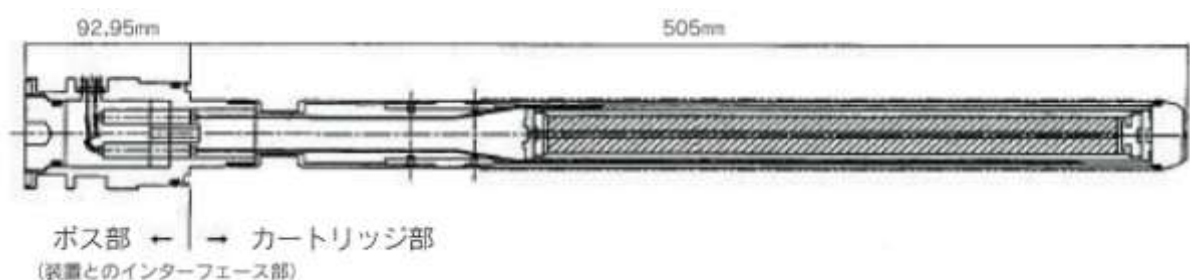


図 3.4-3 汎用的供試体断面図

4 分野共通装置等

4.1 多目的実験ラック (Multi Purpose Small payload Rack: MPSR)

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中です。

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 4.1-1 に、基本仕様案を表 4.1-1 に示します。

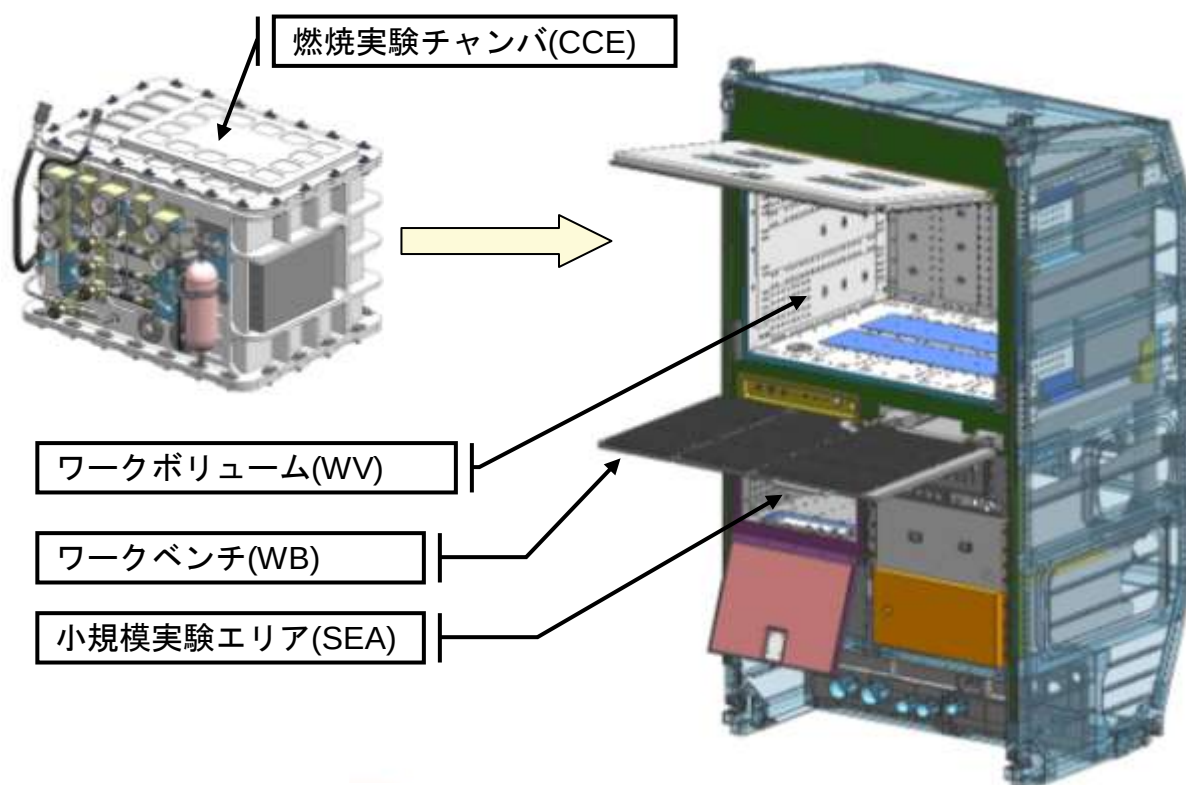


図 4.1-1 多目的実験ラック外観 (イメージ図)

表 4.1-1 (1/3) 多目的実験ラックの仕様

実験エリア	項目	仕様
ワーク ボリューム (WV)	容積	900 mm(幅)X700 mm(奥行)X600 mm(高)
	供給電力	28 VDC : 400W × 1, 16 VDC : 100W × 1, 12VDC : 100W × 1 で合計 600W (貫通孔を通して SEA より 12VDC : 100W × 1 を利用可、 合計最大 700W)
	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 ー流量 : 90kg/hr ー排熱量 : 約 370W ー供給温度 : 約 17~32.5℃ ・コールドプレート or 水冷却(切替え選択) ー排熱量 : 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 : ユーザはガス放出の使用・非使用 (ガス放出・遮断)をユーザ機器内の弁にて制御
	ガス供給	供給ガス : GN2 (JEM GN2 ラインより供給) 供給圧力 : 0.52~0.83MPa (異常時 1.38MPa) 供給量 : 72NL/min 以下 供給温度 : 15.6~45℃
	通信系	通信ポート : IEEE1394 × 1, Ethernet × 2, USB2.0(シリーズ A) × 3, USB2.0(シリーズ B) × 1, VIDEO(同軸 ; 不平衡) × 3, ANALOG(± 10V) × 3(WV と SEA で同時使用最大 3ch), TS(サーモスタット信号) × 1

表 4.1-1 (2/3) 多目的実験ラックの仕様

実験エリア	項目	仕様
ワーク ベンチ (WB)	大きさ	900 mm(幅) (TBD)X540 mm(奥行) (TBD)
	供給電力	16VDC : 100W×2(内、1 系統は WV の 16VDC と分岐供用、合わせて 100W) : ラップトップ用
	通信系	通信ポート : IEEE1394×1, Ethernet×3, USB2.0(シリーズ A)×1, USB2.0(シリーズ B)×2, VIDEO(同軸 ; 不平衡)×2, TS(サーモスタット信号)×1
小規模実験 エリア (SEA)	容積	412 mm(幅)X530 mm(奥行)X300 mm(高)
	供給電力	12VDC : 100W×1
	通信系	通信ポート : Ethernet×1, USB2.0(シリーズ A)×1, VIDEO(同軸 ; 不平衡)×2, ANALOG(±10V)×3(WV と SEA で同時使用最大 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 ー流量 : 35kg/hr ー排熱量 : 約 140W ー供給温度 : 約 17~30℃

表 4.1-1 (3/3) 多目的実験ラックの仕様

実験エリア	項目	仕様
燃焼実験 チャンバ (CCE)	容積	≥100リットル（ユーザー装置が使用できる容積）
	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 回通過とする(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 除去できる循環法式が選択できる。
	ガス供給	・ GN2 ガス供給(JEM GN2 ラインより) －供給圧力：0.2MPa (CCE フィルタにより制御) －供給量：72NL/min 以下 －供給温度：15.6～45℃ ・ ユーザーガスポンベ A (ユーザー側で準備※) - ユーザーが実験に使用するガス用ポンベ 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。 ・ ユーザーガスポンベ B (ユーザー側で準備※) - ユーザーが実験に使用するガス用ポンベ B を チャンバ内壁に装備できるエリアおよび結合ポ ートをする。 ※ポンベ A、ポンベ B のガス量は、それぞれ常 温定圧における容量が 72 リットル以下(TBD)と する。
	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 ーザは利用できない。

4.2 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 4.2-1 に示します。

表 4.2-1 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	・ 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)	・ 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)	・ 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 : 画像取得処理装置(IPU)^{*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)	・ 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	・ 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	・ 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 : IPU の場合、取得されたデータのうち、画像データは主に画像取得装置(IPU)を介して記録・地上伝送される。動画記録に関しては 17-42 Mbps/ch (MPEG/MotionJPEG 圧縮)、地上伝送に関しては 15 Mps max/ch (MPEG2 圧縮)とされるが、種々の運用制約により変更の可能性あり。

5 その他参考情報

下記のウェブサイトで実験装置等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://kibo.jaxa.jp/experiment/>

実験装置に関する情報

<http://kibo.jaxa.jp/experiment/pm/>

第1期実験テーマに関する情報

<http://kibo.jaxa.jp/experiment/theme/first/>

第2期実験テーマに関する情報

<http://kibo.jaxa.jp/experiment/theme/application/pm02pick.html>

これまでの宇宙実験とその成果、「きぼう」船内の放射線や微小重力環境
「国際宇宙環境利用研究データベース」

<http://idb.exst.jaxa.jp/>

宇宙実験を計画するために（財団法人 日本宇宙フォーラム作成）

<http://www4.jsforum.or.jp/public/koubo/tebiki.pdf>

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、下記に示すように地上の実験室と環境や運用の条件が異なるため、地上と同じ様な手法、規模で実験ができるとは限りません。これらの制約事項を確認、理解し、可能な限りこれに抵触しないように宇宙実験を企画・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
- 有人施設利用による制約：安全性
- 運用上の制約：輸送機会・能力、軌道上でのリソース

したがって、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少なくありません。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。いかに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」の極端に低い提案を採択することはできないからです。

2. 搭載実現性

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、生命科学分野と物質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、宇宙実験への宇宙飛行士の関与の程度など異なる点が多く、この相違点は宇宙実験を企画、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宇宙飛行士の作業時間（クルータイム）、実験装置を移動させるための電力、廃熱、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、宇宙飛行士の滞在人数、ISS 機器の能力によって制限があります。また、ISS 全体で確保したこれらリソースを、ISS や宇宙飛行士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を国際パートナーが定められた割合（日本の場合は12.8%）に基づいて、配分されます。

課題を実施する当たって必要となる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検討し明確にしていきます。

- 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、データの伝送など。
- 電力、廃熱、データ通信：実験機器の運転計画から算出

実験を企画する際には、表 1-3 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 1-3 実験リソース算出のための参考情報

装置		備考
細胞培養・植物実験	供試体重量：3 kg/個	供試体には、試料及び試料容器を含む。 実験条件により複数個の供試体が必要。 このほかに、化学固定用の機材、輸送用の梱包資材、保温(保冷)用品等が必要。
	作業時間：10 h/課題	供試体の取り付け、固定処理、冷蔵庫等への保管を想定。 顕微鏡観察などの作業時間を考慮する必要がある
流体物理実験	供試体重量：40 kg/個	このほかに輸送用の梱包資材等が必要
	20 h/課題	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 h/課題	供試体の取り付け、交換を想定。
半導体結晶実験	供試体重量：5 kg/個	このほかに輸送用の梱包資材等が必要 実験条件により複数個の供試体が必要。
	1 h/課題	供試体の取り付け、取り外しを想定。

4. 安全要求について

個別の実験ごとに、実験供試体等器具及び実験の安全（宇宙飛行士、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る、下記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。

安全要求に対してはハザードを識別し、存在する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設計したり、適切な部品、材料を用いたりすることでコントロールします。

(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宇宙飛行士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ガードが必要です。

(3) 接触温度について

宇宙飛行士接触温度については、接触する可能性のある箇所に対して、49℃以下にする必要があります。

(4) シャープエッジについて

宇宙飛行士に対して、搭載物の表面は、平滑でばり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規定(NSTS07700)に従った面取り等の処理を行います。

(5) 挟み込みについて

宇宙飛行士に対して、不用意に手等が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。

(7) 使用する材料について

搭載装置から発生するガスが、規定値以下である必要があります。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も、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、破損した際宇宙飛行士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宇宙飛行士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）については宇宙飛行士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) 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宇宙飛行士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

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。

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 と検討を行うことになります。

事項	制約事項	宇宙実験の企画・立案時の留意事項
打上げ日	打上げ日は ISS 全体運用調整で決まるので、それに合わせて準備する必要がある。 また運用計画や宇宙船の整備状況、天候などで、打上げ日の変更されることも少なくない。	【生命科学】 - 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。 【物質科学】 - 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。
搭載試料 ・ 物品	【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。	極力リソース最小化し、効率的な実験を計画する必要がある。 - 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。 - 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ければならない。 - 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。 【必要な試料量】 - 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備え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。

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	【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。 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。	1.4、表 1.4 にある実験装置等を使用する実験の場合 - 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、供試体の範囲で実現する必要がある。 1.4、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。 【宇宙実験用装置の特徴】 - 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。気泡は浮上しないし、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。

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	【試薬・物品等】 「きぼう」船内実験室は閉鎖された環境であり、ホルマリン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。	・ 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などであっても、刃が露出しかつ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。 【水もある意味では危険物】 ・ 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	【新鮮な試料の搭載が困難】 原則として、打上げ数日～14時間までに実験用資材を搭載する必要がある。 【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。	【生命科学】 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ります。 《ソユーズ宇宙船》 打上げ前 14hrs までに積み込みが可能。ISS までの到着には 55-60hrs。この間、試料は 15-30℃の環境に置かれる。 《プログレス、ATV、HTV》 積み込みが打上げの数日前であって、その後ステーションに達するためには、数日間。この間、試料は上記よりも幅の広い温度環境に置かれる。 ・ 上記の制限を超えて試料を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、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を推奨する。 ・ 打上げ後、少なくとも 3 日間は輸送用宇宙船に保管され、それ以降に ISS に移され実験を開始することになる。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。 【物質科学】 ・ 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。
--	--	--

事項	制約事項	宇宙実験の企画・立案時の留意事項
実験開始までの時間	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3日間程度と想定される。	・ 打上げから少なくとも3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3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。 ・ 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。 【軌道上実験実施までの手順】 ・ 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3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	【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。	・ 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。 ・ 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。
	【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。	・ 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。
	【宇宙飛行士に実行してもらう操作】 宇宙飛行士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。	【操作手順はできるだけ簡素化しておくことが望ましい】 ・ 宇宙飛行士は打上げ前に、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、6hrs／週ないしは全体で 16hrs 以上を要する操作は搭載実現性の低下につながる。 【1.5 倍が目安】 ・ 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 1.5 倍（45 分）の時間を要することが一般的である。

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	【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モニタできない場合もある。	・ 地上との接続は常時ではなく、ISS が地球を 1 周するうちの 30 分程度接続することが可能。 ・ 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。
	【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。	・ 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	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。	・ 実験試料や装置。器具類の地上への回収は少量に限られます。試料容器や梱包等を含めて 1 ～ 2 kg 程度です。また、冷凍・冷蔵状態の回収は極めて困難である。 ・ ISS への輸送用宇宙線の往還は 3 ヶ月程度の間隔になると想定されている。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、劣化などがいないか打上げ前に確認しておく必要がある。

略語集

略称	英名	和名
ATV	Arian Transfer Vehicle	欧州補給機
AQH	Aquatic Habitat	水棲生物実験装置
BEU	Biological Experiment Unit	生物実験ユニット
CB	Clean Bench	クリーンベンチ
CBEF	Cell Biology Experiment Facility	細胞培養装置
CEU	Cell Experiment Unit	細胞実験ユニット
CFK	Cell Fixation Kit	細胞固定器具
DC	Disinfecting Chamber	クリーンベンチ前室系
DCC	Disposable Cultivation Chamber	付着細胞ディスプレイ容器
DRTS	Data Relay Test Satellite	データ中継技術衛星
DV	Digital Vide	デジタルビデオ
ESA	European Space Agency	欧州宇宙機関
FPEF	Fluid Physics Experiment Facility	流体物理実験装置
GHF	Gradient Heating Furnace	温度勾配炉
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
IPU	Image Processing Unit	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
MPSR	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
OC	Operation Chamber	クリーンベンチ作業チャンバ系
PADLES	Passive Dosimeter for Life science Experiments in Space	受動積算型宇宙放射線計測技術
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	固定前処理工具
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
QD	Quick Disconnecter	簡易脱着機構
RRMDIII	Real-time Radiation Measurement	リアルタイム放射線モニタリ

略称	英名	和名
	Device III	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
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)
STS	Space Transportation System	スペースシャトル
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