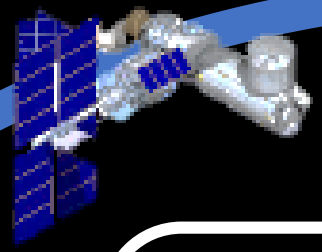
『民生ロボット技術で拓く将来の有人宇宙活動』
に関するワークショップ

持続的な有人宇宙活動に向けた課題と ロボット技術導入による解決

宇宙航空研究開発機（JAXA）
有人宇宙技術センター

1．将来の有人宇宙活動に向けた Approach

地球低軌道を持続的な人類の経済活動の場へ
（2020s～）



技術実証

国際宇宙ステーション（ISS）

ロボットの導入
自動化・自律化の推進

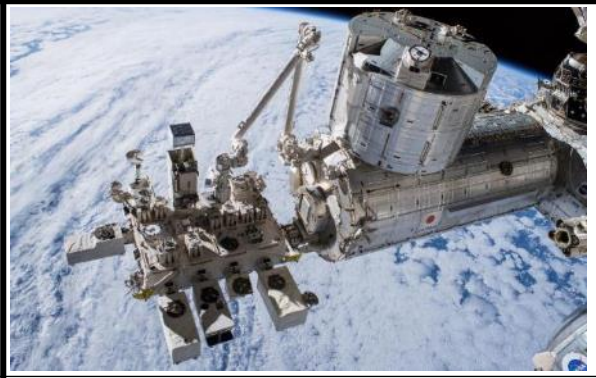
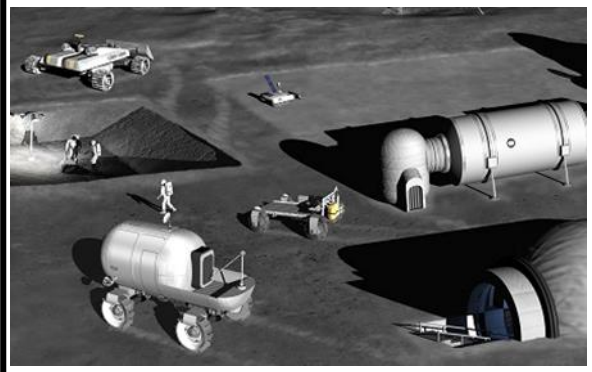
- 宇宙飛行士の作業を代替・支援
  ➡有人宇宙活動を効率的に
- 未踏空間を事前に探査
  ➡有人宇宙活動を安全に

月近傍・月面をターゲットとした
人類の活動領域の拡大
月近傍拠点（Gateway）（2020s～）
月面（2030s～）

地上ロボット技術

地上技術へのフィードバック

2．持続的な有人宇宙活動へのロボット技術導入の課題

	特徴	狙い	課題
ISS	 • 無重力 • 船内で人が作業することを前提とした環境設計	**ロボット技術でクルー作業を代替**することにより、クルーをより高度な作業に充て成果創出を効率化	① 複雑な作業インタフェースへの対応（ISS） ② 作業インタフェースの標準化（Gateway） ③ 通信遅れへの対応 ④ 不安定な足場・環境での移動（無重力、1/6G） ⑤ 非GPS下での自己位置姿勢推定 ⑥ 未知環境、動的環境下での人との協働作業
月近傍(Gateway)（計画検討中）	• 無重力 • 船内ロボットが活動することを前提とした環境設計が可能	**無人期間中の作業の実現**（拠点メンテナンス等）	
月面船外活動（計画検討中）	 • 1/6G重力 • 真空下 • 未知の環境	**安全かつ効率的な有人探査**を行うためにロボットを活用（事前探査、バディ）	

３．「きぼう」でのクルータスク分析によるロボット技術導入の検討（1/2）

◆ ロボット技術導入効果の高い作業を抽出するため、「きぼう」船内におけるクルー作業を分析
◆ ロボット技術代替可能タスクを３つに分類

撮影に係るクルー作業をロボットが代替することで効率化が進むタスク	マニピュレーション技術の高度化によりクルー作業代替が進むタスク	専用装置としての自動化により高度化が進むタスク
● 船内ｸﾙｰ作業ﾓﾆﾀのため、ﾀｽｸ毎にｶﾒﾗ設置作業を行っている。 ● 画角の制約により、都度ｸﾙｰによる画角の再設定を行っている。 ● ﾀｽｸ準備として、作業対象となる物品捜索を行っている。	● ｼｽﾃﾑﾒﾝﾃﾅﾝｽﾀｽｸや実験関連作業を「動作」に置き換えた場合、汎用作業を行うﾛﾎﾞｯﾄで作業代替が可能なﾀｽｸ。 - ｼｽﾃﾑ機器修理・交換 - 定期クリーニング - 検査・計測 - 冷媒補給 - 電池交換 - ｼｽﾃﾑｺﾝﾌｨｷﾞｭﾚｰｼｮﾝ変更（バルブ操作等） - 実験準備・撤去、実験中の物品収集 - ｻﾝﾌﾟﾙの冷凍庫への保存 - ﾊﾝﾄﾞﾙやﾗｯﾁ等の操作による扉やﾊｯﾁの開閉	● 作業の複雑さ、専用性から装置そのものをﾛﾎﾞｯﾄとして自動化することにより高度化・省力化が進む作業

3．「きぼう」でのクルータスク分析によるロボット技術導入の検討（2/2）

<#>はpg.3の課題番号に対応

撮影に係るクルー作業をロボットが代替することで効率化が進むタスク	マニピュレーション技術の高度化によりクルー作業代替が進むタスク	専用装置としての自動化により効率化が進むタスク
導入候補：「宇宙用ﾄﾞﾛｰﾝ」 （目的） • 作業ﾓﾆﾀの完全自動化 • 作業対象ｱｲﾃﾑの事前捜索 • 異常(ﾘｰｸ、火災など)発生箇所探索 （課題） • 船内ｺﾝﾌｨｷﾞｭﾚｰｼｮﾝ変更（動的変化）に対応した自己位置姿勢の推定＜⑤＞ • 閉鎖空間内でのｸﾙｰ作業干渉回避＜⑤＞ • 移動中のﾘｿｰｽ供給＜④＞ • 通信時間遅れや通信遮断に対応した遠隔操作技術と大容量データ通信技術＜⑥＞	**導入候補：「作業代替ﾛﾎﾞｯﾄ」** （目的） • 汎用・繰り返し作業などのｸﾙｰ作業代替 • ｸﾙｰ操作対象装置類の無人期間のﾁｪｯｸｱｳﾄ （課題） • 柔軟物の操作、摘まんで引っ張るなどの合わせ動作が可能な高機能・高出力ｴﾝﾄﾞｴﾌｪｸﾀ＜①＞ • 微細な作業や自己補正動作が可能なｾﾝｼﾝｸﾞﾌｨｰﾄﾞﾊﾞｯｸ＜①＞ • 操作者と動作乖離のない遠隔操作ｼｽﾃﾑ、または自律制御＜③＞ • 無重力、1/6G環境下での移動　＜④＞ • 移動中のﾘｿｰｽ供給＜④＞ **導入候補：「ｸﾙｰ支援ﾛﾎﾞｯﾄ」** （目的） • 月面作業ｸﾙｰとﾊﾞﾃﾞｨを組み作業を支援 （課題） • 作業中のﾛﾎﾞｯﾄへの動作指示＜⑥＞	**導入候補：　実験操作の高度化・省力化** （目的） • 実験装置のクルーによるメンテナンス等、繰り返し作業によって時間を要する作業の代替 • 実験装置の自動化・自律化（軌道上ﾃﾞｰﾀ取得・処理、ｻﾝﾌﾟﾙ処置、遠隔操作、など）により、ｸﾙｰに依存せず多様で高度な実験要求に対応 （課題） • AI活用による実験作業の自動化（ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ、予測）＜①、③＞ • 通信遅延に対し、小さく精微な作業が可能な遠隔操作ｼｽﾃﾑ、又は自律制御　＜①、③＞ • 軌道上自動解析（ﾗｲﾌﾞｲﾒｰｼﾞﾝｸﾞ）　＜①＞ • 通信時間遅れや通信遮断に対応した遠隔操作技術と大容量データ通信技術＜⑥＞
JAXAの取組み例 Ⓐ撮影にかかるクルータイムゼロを目指した技術開発	JAXAの取組み例 Ⓑ船内模擬フィールドによるクルー作業代替の実証	JAXAの取組み例 Ⓒ実験操作等の自動化・自律化検討

【JAXAの取組み例】

【JAXAの取組み例】

Ⓐ 撮影にかかるクルータイムゼロを目指した技術開発（1/2）

◆ ほぼ全てのクルー作業において、個別に決められた位置・画角にクルーがビデオカメラを設置した上で作業を実施する。この作業映像に基づき、地上から適宜クルーをサポート（指示）する。スチールカメラも併用。

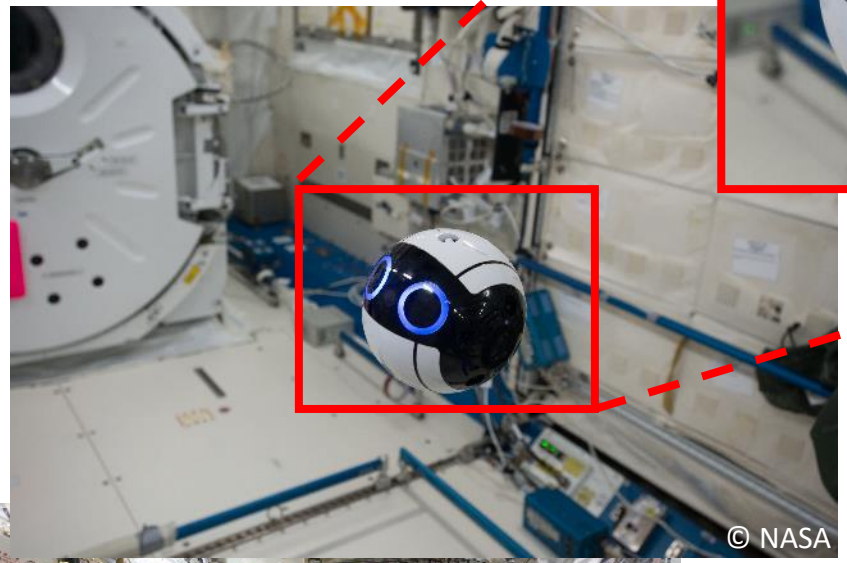
◆ カメラの設置・撤収に毎回10分以上、さらに作業状況に応じてカメラの位置・画角を変更することも多く、効率化のためにはロボットによる撮像が必要。

⇩

地上から遠隔できぼう船内の映像を撮影し、地上へ伝送可能なロボット（きぼう船内ドローン）を開発。

【JAXAの取組み例】

Ⓐ 撮影にかかるクルータイムゼロを目指した技術開発（2/2）



きぼう船内ドローン
“Int-Ball”

【キー技術】

- 閉鎖環境下、コンフィギュレーション変更（動的変化）に対応した自己位置姿勢推定
  - ➢ 画像処理、SLAM、慣性航法
- 同閉鎖環境下におけるドローンの誘導制御
  - ➢ 物体認識/衝突回避、空気循環に対する外乱対応、自律ドッキング/バーシング
- 有人宇宙拠点における移動
  - ➢ プロペラ、圧縮ガス、伝え歩き
    レールの伝い歩き
- 有人宇宙拠点における移動機体への電力供給
  - ➢ 接触給電、ワイヤレス電力伝送
- 地上および宇宙拠点間におけるデータ伝送技術
  - ➢ データ圧縮、通信途絶や伝送遅延への対策

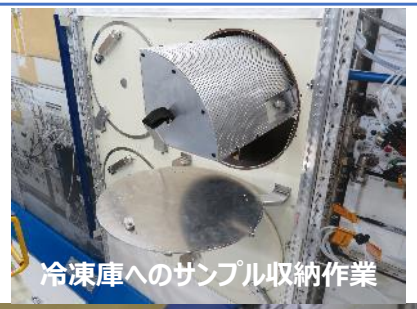
【JAXAの取組み例】

Ⓑ 船内模擬フィールドによるクルー作業代替の実証実験（1/2）

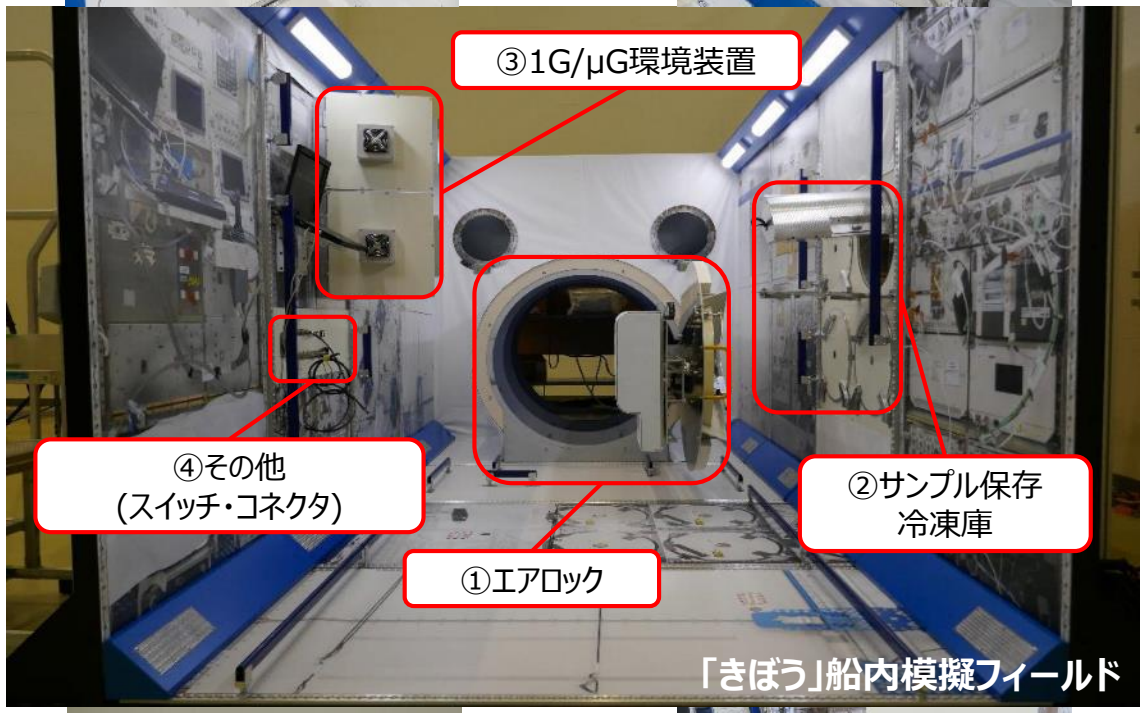
◆「きぼう」でのクルータスク分析からロボット導入効果の高い作業を選定し、「きぼう」船内模擬フィールドでクルー作業代替の実証実験を実施。
◆ 高度化が必要なマニピュレーション技術を識別

ロボットによるクルー作業イメージ

エアロック作業



冷凍庫へのサンプル収納作業



「きぼう」船内模擬フィールド

輸送用ソフトバッグからの取り出し

実験の準備作業

【JAXAの取組み例】

Ⓑ 船内模擬フィールドによるクルー作業代替の実証実験（2/2）

マニピュレーション技術の高度化に必要なキー技術

繊細な作業や自己補正を可能とする

センサフィードバック機能

柔軟物や併せ動作（摘まんで引っ張る等）を可能とする

高機能・高出力エンドエフェクタ

作業インタフェース標準化

適切な作業ポジションへ

移動する機能

通信遅延に対応し、操縦者と動作乖離のない

遠隔操作システム

【JAXAの取組み例】

Ⓒ 実験操作等の自動化・自律化検討

背景：

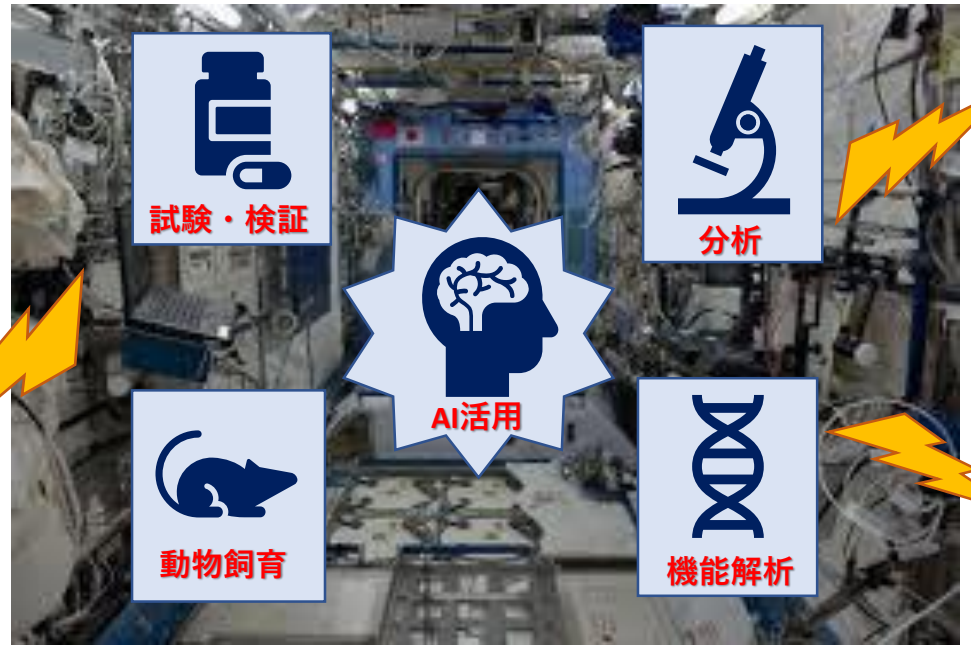
- ◆ 宇宙では、筋・骨維持にかかる重要因子の探索など、地上では実現できない重力に関わる研究が可能。JAXAは、「きぼう」を健康寿命の延伸（老化研究）にかかる研究活動を加速する「宇宙の研究基盤」として、小動物等を用いたライフサイエンス研究環境を提供している。
- ◆ タイムクリティカルなライフサイエンス研究を地上と同様に適切に実施し、科学的成果を上げるためには、クルーによる柔軟な判断や操作が不可欠であるが、その分クルータイムの利用率も高くなるため、きぼう利用成果最大化や研究の高度化を進めるうえでミッション全体の効率化が必要。

狙い：

- ◆ ISS・「きぼう」でのライフサイエンス研究を推進する上で、より高度・多様な実験要求に対応するとともに、クルータイムを効率化しつつ成果を最大化するための取組みとして、ライフサイエンス実験操作の自動化・自律化を狙う。
- ◆ 将来のクルー介在が最小化されたミッションや有人宇宙探査ミッションに向け、軌道上での科学成果創出・長期有人滞在に向けた科学基盤確立を図るため、AI等を活用した軌道上で自律処理が可能なレベルの高度な自動化・自律化システム構築を目指し、基本的な要素等のISS/「きぼう」における技術実証を行う。

【キー技術】

- AIの活用による、実験作業の自動化
- 通信遅延に対し、小さく微細な作業が可能な遠隔操作システム、又は自律制御
- 軌道上自動解析
- 通信時間遅れや通信遮断に対応した遠隔操作技術と大容量データ通信技術



高度な遠隔運用

将来の有人宇宙技術の高度化、長期有人宇宙滞在に向けた科学基盤確立

地上社会への成果還元

【参考】
「きぼう」船内でのクルー作業例

「きぼう」船内でのクルー作業例

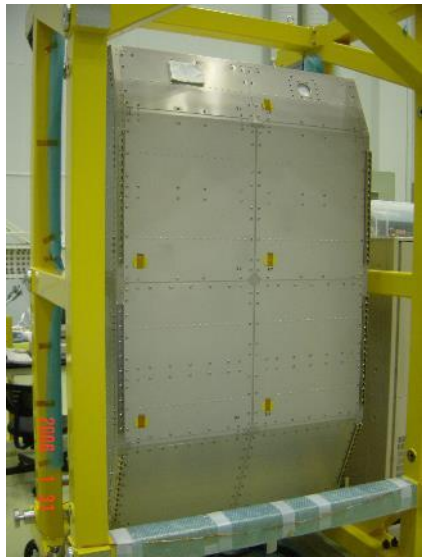
■ システムメンテナンス：機器交換

故障機器の交換作業。搭載位置により、ラックを倒し、背面からアクセスするもの、ラック前面パネルだけを取り外してアクセスするものがある。取付ファスナ取り外し／取り付け、機器交換（機器の引き出し／引き戻し）、コネクタ接続を行う。

ラック前面の取付ファスナ取り外し

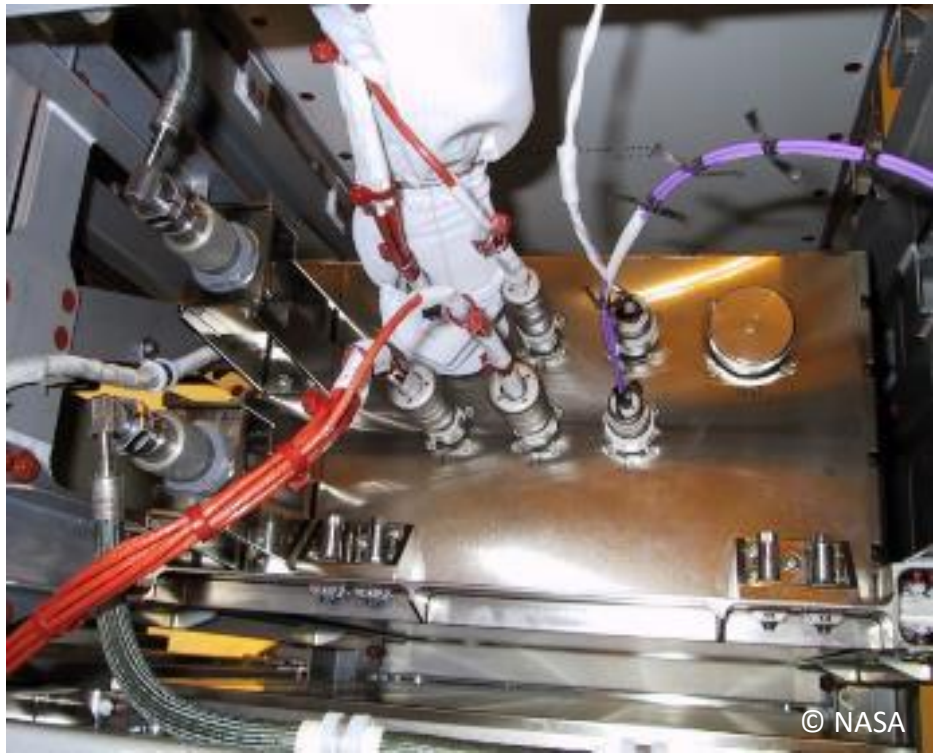
ラックから故障機器の引き出し

「きぼう」船内でのクルー作業例



ラック背面はパネルで覆われているため、取り外しが必要。

ラックを起こして背面のパネルを取り外してからラック内の機器を交換。

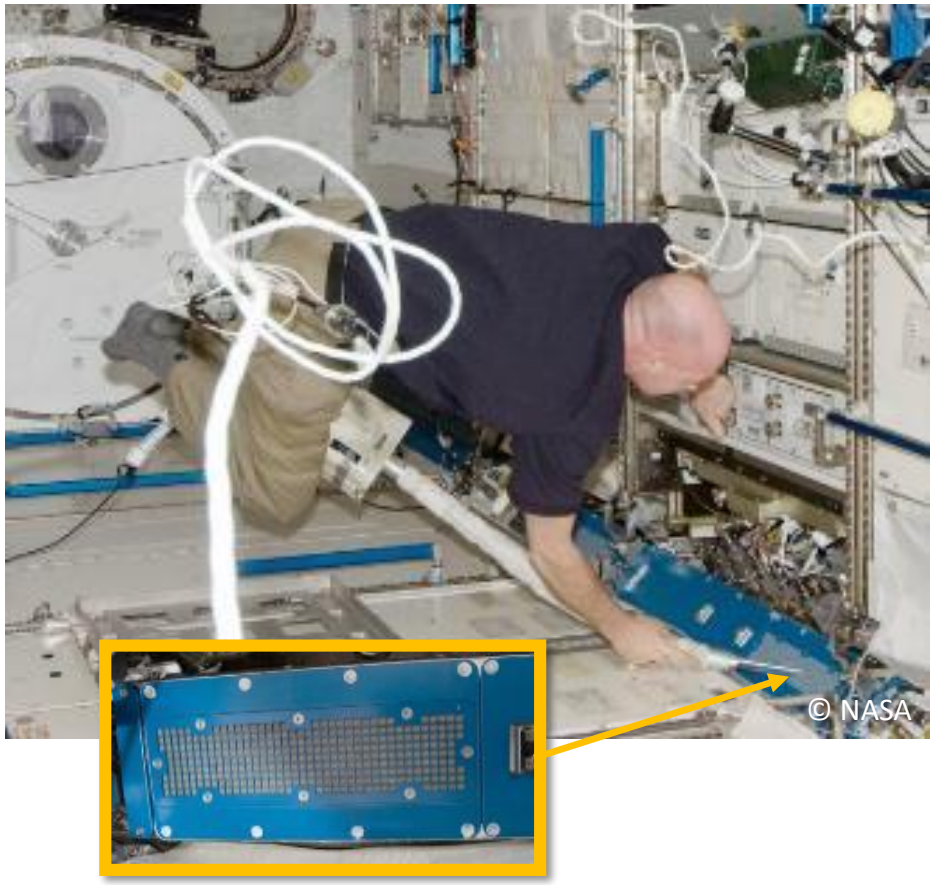


機器の電力ケーブルなどはラック前面、または背面からアクセスして勘合する。

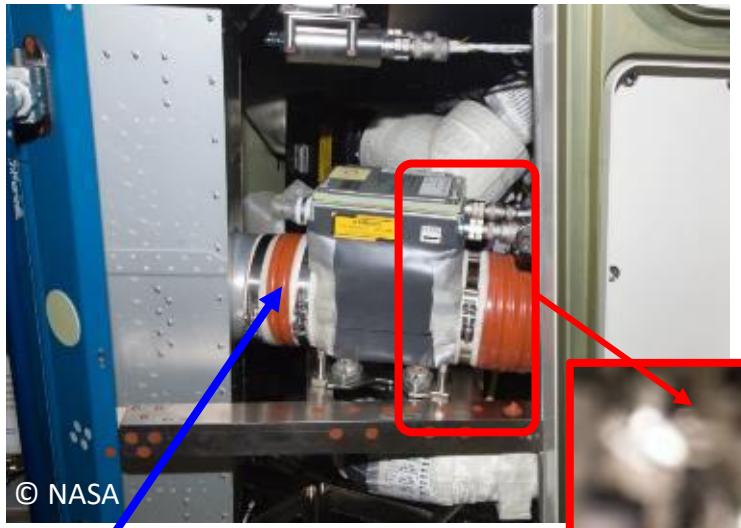
「きぼう」船内でのクルー作業例

■ 定期クリーニング

空調のフィルタ清掃。掃除機を用いるが、取付ファスナを外してフィルタを取り外すもの、普段はパネルで覆われた部分にあるため、パネル及び機器の取り外しが必要なものがある。



空気吸入口フィルタに溜まったゴミの清掃



換気ダクト
（アクセスには前面にあるパネルを取り外す必要がある）

換気ダクト内のフィルタに溜まったゴミの清掃。
ダクト中にある機器ごと取り外しが必要。

「きぼう」船内でのクルー作業例

■ 検査・計測

冷却水の水質検査、モジュール間通風換気（IMV）風速計測、空気成分・微小粒子計測、放射線計測などがある。クルーは専用の計測器設置、あるいは計測器具を用いて計測を行う。

換気ダクト出入口での風速計測

空気成分計測器や放射線計測などの
計測機器の設置
（テープやベルクロを用いる）

「きぼう」船内でのクルー作業例

■ 冷媒補給

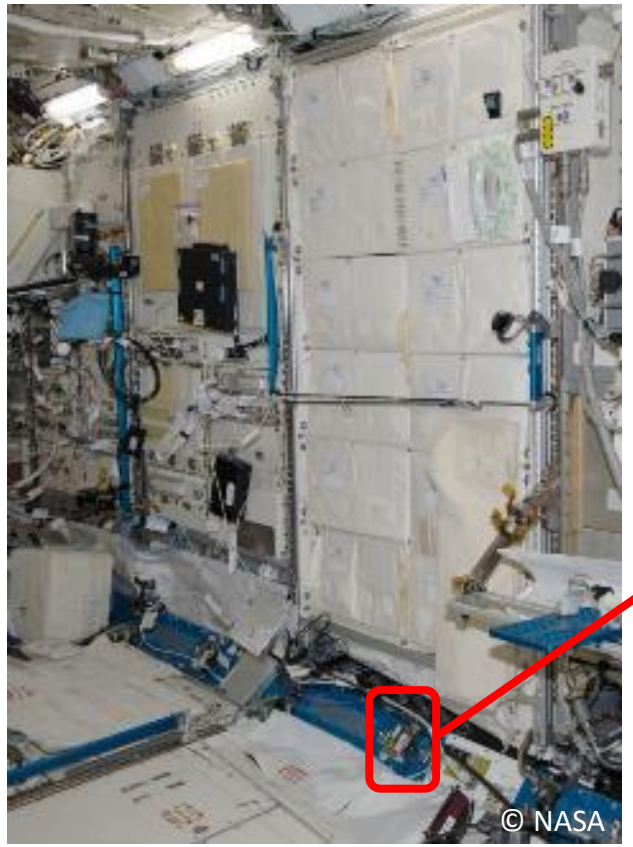
きぼうシステムの熱制御系冷却水の補充及び薬剤添加（作業中の水拭き取りやコネクタ結合）。

冷媒補給装置

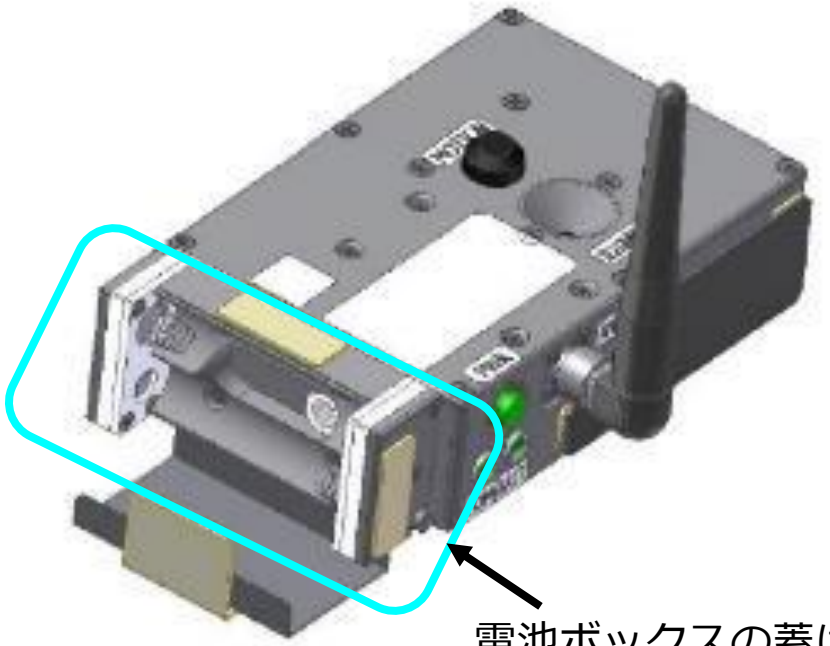
ラック下側の冷却水コネクタに冷却水補助装置のホースを接続する。

■ 電池交換

電池駆動の計測機器の定期電池交換。



計測器はベルクロで設置されている。



電池ボックスの蓋はベルクロで
固定されている。

「きぼう」船内でのクルー作業例

■ コンフィギュレーションの変更

新しいシステム機器や実験装置を搭載するため、通信系のデータ伝送経路の変更や、電力供給源の接続変更、ガス供給弁の開閉などのコンフィギュレーション変更を行う。

電力ケーブルのつなぎ換え

実験ラックへのガス供給弁の開閉

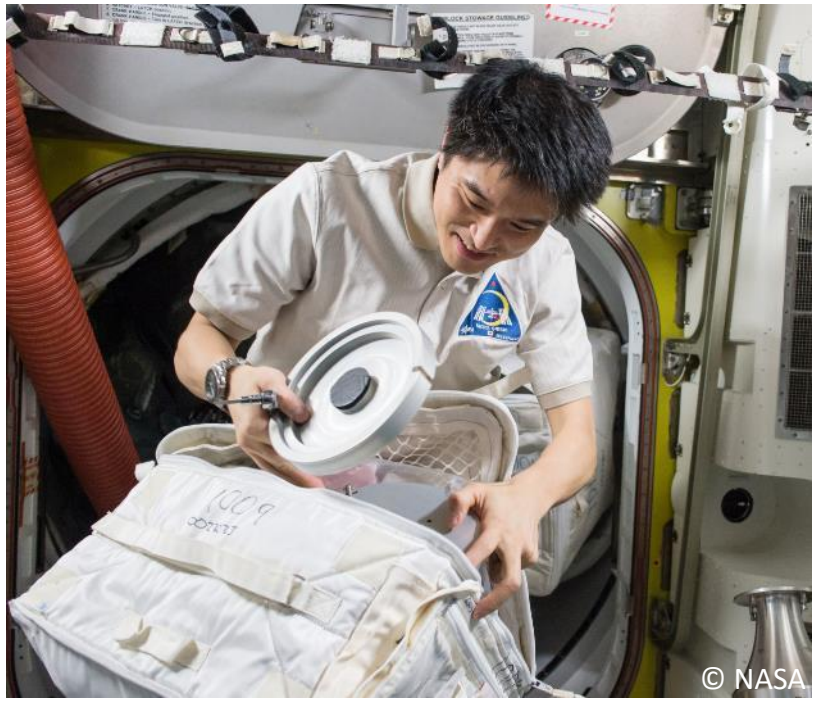
「きぼう」船内でのクルー作業例

■ 実験準備・撤去、物品収集

新しい実験装置の設置／撤去作業。関連物品の準備、使用済み物品の回収。実験ラックの所定の位置に設置する実験装置と、単体でキャビンエリアに設置するものがある。

細胞実験ラックの細胞培養装置（CBEF）にサンプルを取り付けるため扉を開け、引き出す。

実験サンプルの入ったカートリッジの取付



実験装置・物品はソフトバックに納められている。

「きぼう」船内でのクルー作業例

■ サンプルの冷蔵庫への保存

実験サンプルの冷凍保管、あるいは結晶形成のため冷蔵庫にサンプルを収納する。きぼう内には数種類の冷蔵庫がある。

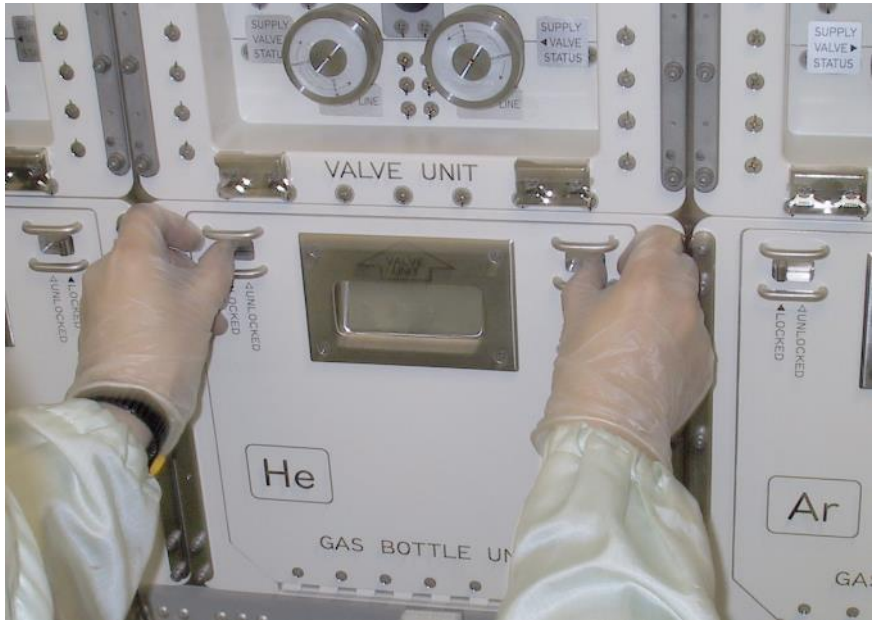
「きぼう」船内でのクルー作業例

■ ハンドルやラッチ等の操作による扉やハッチの開閉

© NASA

© NASA

モジュール間ハッチは表裏面で多少形状が異なる。



ガスボトル収納部の扉は左右のラッチを外す構造
（この他にレバータイプのラッチ機構など数種類のラッチ機構がある）