

## 第1章 「きぼう」実験運用の概要 - 「きぼう」利用の舞台裏 -

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA)  
有人宇宙環境利用ミッション本部 宇宙環境利用センター  
若月 孝夫

### Chapter 1 ; The Overview of “KIBO” Payload Operations, Behind-the-Scenes Role for “KIBO” Utilization

Japan Aerospace Exploration Agency  
Space Environment Utilization Center, Takao Wakatsuki

**ABSTRACT** Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) has been starting the science experiment missions in Japanese Experiment Module called “KIBO” since 2008. In this chapter, an overview of JAXA payload operations for “KIBO” utilization missions are introduced.

#### 1. 実験棟「きぼう」の完成

2008年8月22日午前6時53分(日本時間)、国際宇宙ステーション(ISS, International Space Station)日本実験棟「きぼう」に向けて発行された「FPEF液柱形状調整コマンド」により、「きぼう」での本格的な科学実験が幕を開けた。最初の科学実験テーマは、「きぼう」船内実験室に搭載された流体物理実験装置を用いて実施された、マランゴニ対流実験(マランゴニ対流におけるカオス・乱流とその遷移過程: 諏訪東京理科大学 河村洋教授)であった。

それから約1年の運用期間を経て、2009年7月16日(日本時間)、「きぼう」の最後の構成要素である船外実験プラットフォームがスペースシャトルにより打上げられ、ISSのロボットアームにより船内実験室へ取付けられた。そして、同年7月19日に船外実験プラットフォームからの正常なデータを地上の管制室で確認し、ついに船内及び船外の実験環境を有する恒久的な実験施設「きぼう」が完成を迎えた。



Fig. 1 ISS に取り付けられた「きぼう」日本実験棟

## 2. 「きぼう」について

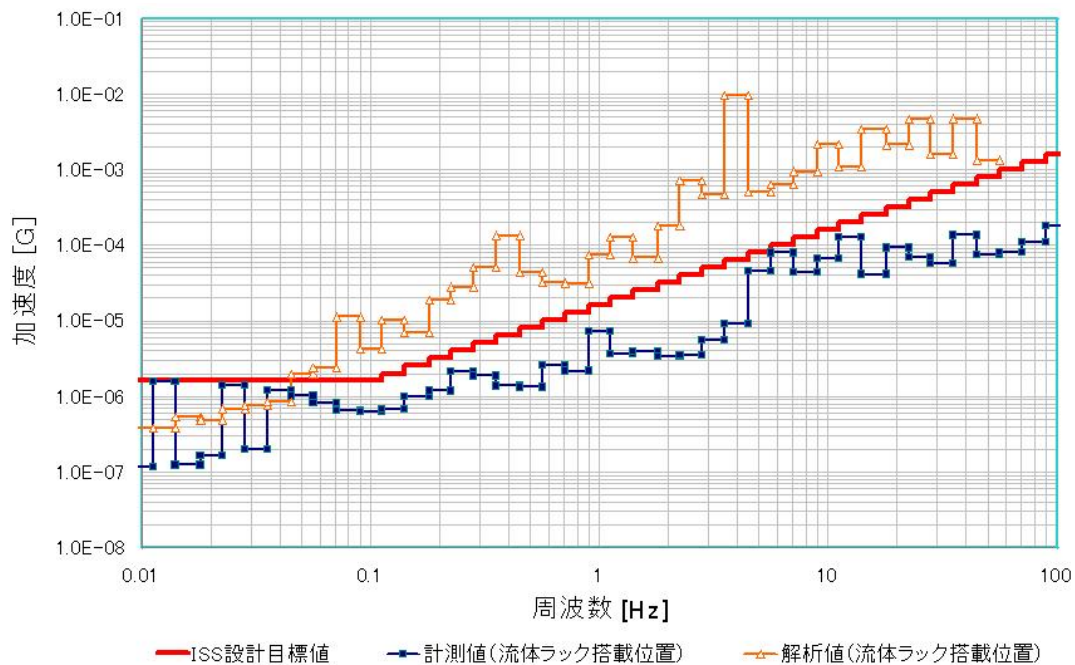
「きぼう」は日本が開発した実験モジュールで船内実験室、船内保管室、船外実験プラットフォーム、船外パレット、及びロボットアームの5つの要素から成る。このうち船内実験室は宇宙飛行士が地上と同じような軽装で活動できる空間で、生命科学、物質科学などの研究に適した様々な実験環境を提供している。一方、船外実験プラットフォームでは、宇宙空間に曝露された環境を利用して、高層大気の計測や天体観測などの分野の研究に適した実験環境を提供している。

### 2.1 「きぼう」の実験環境

「きぼう」が置かれている宇宙環境はおおよそ以下の通りである。

- ・ 微小重力 :  $10^{-6} \sim 10^{-4} \text{ G}$
- ・ 宇宙放射線 : 様々な放射線の複合環境
- ・ 高真空 :  $10^{-5} \text{ Pa}$
- ・ 大気組成 : 85 %が原子状酸素
- ・ 太陽エネルギー :  $1.4 \text{ kw/m}^2$

このうち宇宙実験においてとりわけ重要な微小重力環境については、初期の運用において船内実験室の加速度データを取得した(Fig. 2)。計測結果によると、0.01~0.1 Hzで約 $10^{-6} \text{ G}$ 、0.1~4 Hzで $10^{-5} \text{ G}$ 以下、4 Hz以上で $10^{-4} \text{ G}$ 以下となっていることが分かる。



**Fig. 2 「きぼう」船内実験室の微小重力環境**

## 2.2 「きぼう」の実験装置

### 船内実験装置

船内実験室に搭載されている実験装置は、日本が開発した装置の他に、米国航空宇宙局 (NASA, National Aeronautics and Space Administration) が開発した装置や、国際間で共同開発された冷蔵・冷凍庫などがある。日本が開発した装置としては、以下に示す7種類の装置があり、現在、実験に供している。

- ・ 温度勾配炉(GHF)
- ・ 細胞培養装置(CBEF)
- ・ クリーンベンチ(CB)
- ・ 流体物理実験装置(FPEF)
- ・ 溶液結晶化観察装置(SCOF)
- ・ タンパク質結晶生成装置(PCRF)
- ・ 画像取得処理装置(IPU)

なお、温度勾配炉は勾配炉ラック(KOBAIRO Rack)、細胞培養装置とクリーンベンチは細胞ラック(SAIBO Rack)、残りの実験装置は流体ラック(RYUTAI Rack)と呼ばれる実験ラックにそれぞれ搭載されている(Fig. 3)。細胞ラックと流体ラックは2008年3月に船内保管室に収納してスペースシャトルで打上げられ、勾配炉ラックは2011年1月に宇宙ステーション補給機「こうのとり」2号機(HTV2)で打上げられた。

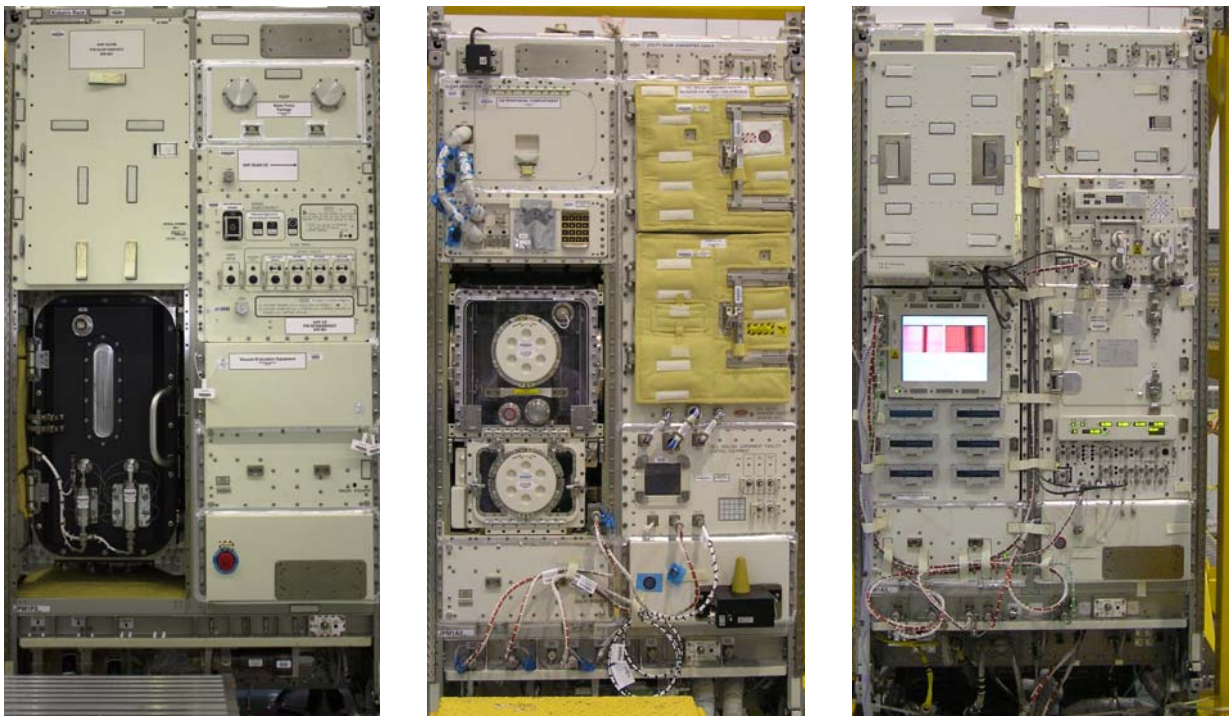
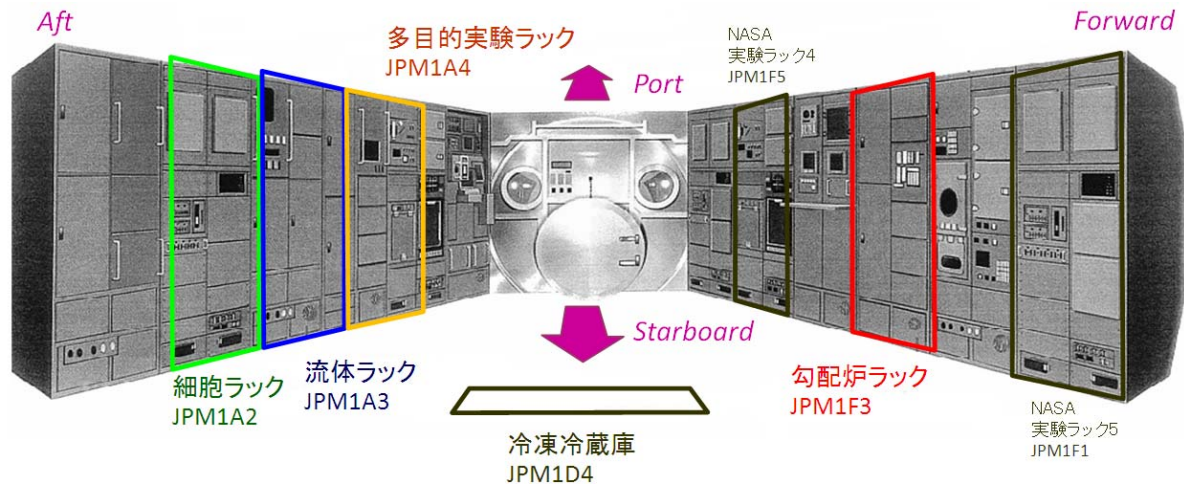


Fig. 3 (左から) 勾配炉ラック、細胞ラック、流体ラック



また、ユーザに実験用の電力、通信、ガス供給・排気といったリソースを提供する実験設備である、多目的実験ラック(MSPR)も2011年1月に「こうのとり」2号機で打上げられ、船内実験室に設置された。多目的実験ラックには、今後、水棲生物実験装置(AQH)、燃焼実験装置(CCE)、静電浮遊炉(ELF)などを搭載し、実験を行う予定である。

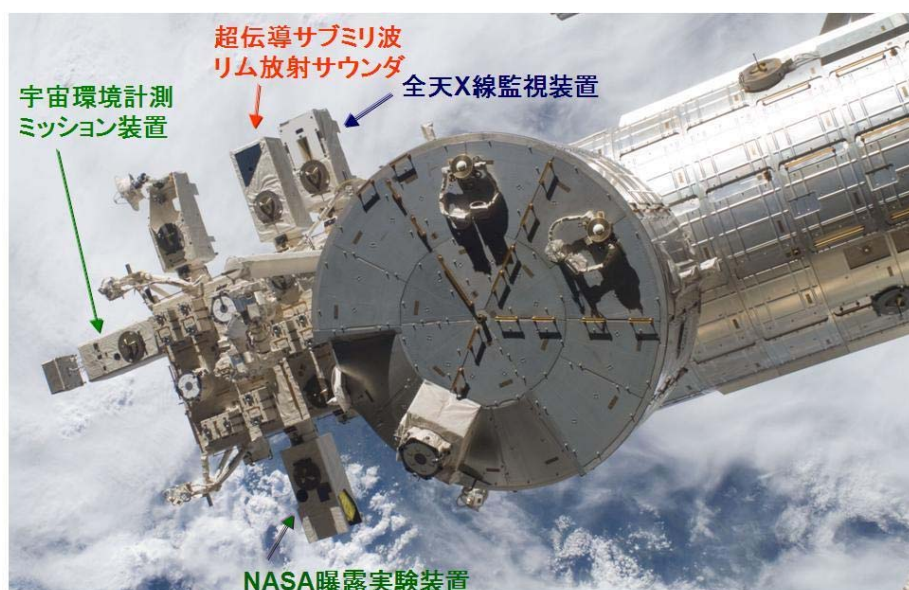


**Fig. 4** 船内実験室に並ぶ実験装置(模式図)  
(ISS 第 2 結合部「ハーモニー」から船内実験室を見た様子)

#### 船外実験装置

船外実験プラットフォームにも、日本及びNASAの観測機器が搭載されている。日本が開発した装置としては、以下に示す3種類の観測機器がある。

- ・ 宇宙環境計測ミッション装置(SEDA-AP)
- ・ 全天X線監視装置(MAXI)
- ・ 超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES)



**Fig. 5** 船外実験プラットフォームに設置された実験装置

## 実験支援装置

「きぼう」の船内には上記で述べた実験装置の他に、以下に示す実験支援装置が搭載されており、実験中の船内環境の計測を行ったり、科学データの収集や評価のために役立っている。

- ・ ペイロードラップトップターミナル(PLT)
- ・ 微小重力計測装置(MMA)
- ・ 生物実験用ドシメータパッケージ(PADLES)
- ・ マルチプロトコルコンバータ(MPC)

## 2.3. 「きぼう」で実施される利用テーマ

現在「きぼう」で実施中の日本の利用テーマは、その目的により5種類に分類される。以下に各々のテーマについて簡単に説明する。

### 【科学利用テーマ】

科学研究のためのテーマで、国際的に高い評価が得られるような研究課題が対象。

### 【応用利用テーマ】

産業化につながる実用的テーマで、大学を拠点としてJAXAとの共同研究により実施される。

### 【文化・人文社会科学テーマ】

「きぼう」の文化・人文社会科学的な利用拡大につながるテーマで、一般の人への普及効果が期待できるもの。

### 【有人宇宙技術開発テーマ】

「きぼう」の利用や将来の有人ミッションに役立つ宇宙技術をJAXA自ら、あるいは外部機関との共同研究により開発する。

### 【有償利用テーマ】

商業的な活動など利用者独自の目的で「きぼう」を有償にて利用し、利用者が当該利用成果を独占的に取得し、使用することができる利用形態。

個々の利用テーマと実施スケジュールについては、JAXA公開ホームページに詳細が記載されているので、そちらを参照していただきたい。(http://iss.jaxa.jp/index.html)

## 3. 実験運用の概要

「きぼう」を利用するためには、国際間での利用計画調整に端を発する運用準備が不可欠となる。運用準備には利用計画調整の他に、手順書などの運用文書の整備・宇宙飛行士の訓練・タイムラインの調整・保全補給などの各業務が含まれる。また、全ての利用テーマは地上の管制官により統括されることから分かるように、運用体制及び地上運用システムの構築、そして、実運用の的確な実施が重要となる。これらの業務を合わせて実験運用と呼ぶ。

「きぼう」を利用する研究者やユーザの提案を形にするのが実験運用の仕事であり、「きぼう」利用の舞台裏を支えている。ここでは実験運用の概要について運用準備と実施体制の観点で纏める。

### 3.1 運用準備

#### 3.1.1 利用計画の立案

ISSの運用は、宇宙飛行士の作業時間、各種輸送機による打上げ・帰還物資輸送量などの限られた資源(リソース)の中で実施する必要がある。ほぼ完成間近の宇宙ステーションではあるが、実際には、その建設作業やメンテナンスにかかるシステムリソースも大きく、全体量からシステムリソースを差し引いた残りが利用リソースとなる。この利用リソースは国際パートナー間で分け合うのだが、国際間の協定により、日本の場合はロシアに配分される分を除く利用リソース(米国側の利用リソース)の 12.8 % を利用する権利を持っている。(米国側の利用リソースは、NASA 76.6 %、日本 12.8 %、欧州宇宙機関(ESA, European Space Agency) 8.3 %、カナダ宇宙庁(CSA, Canadian Space Agency) 2.3 %に分割される。)

最初につくられる計画はCOUP(Consolidated Operation and Utilization Plan)と呼ばれる5年間の長期にわたる総合運用利用計画である。国際パートナーのそれぞれが長期の展望の中でどのように宇宙ステーションの資源を利用していくかを大きな枠で取り決める。

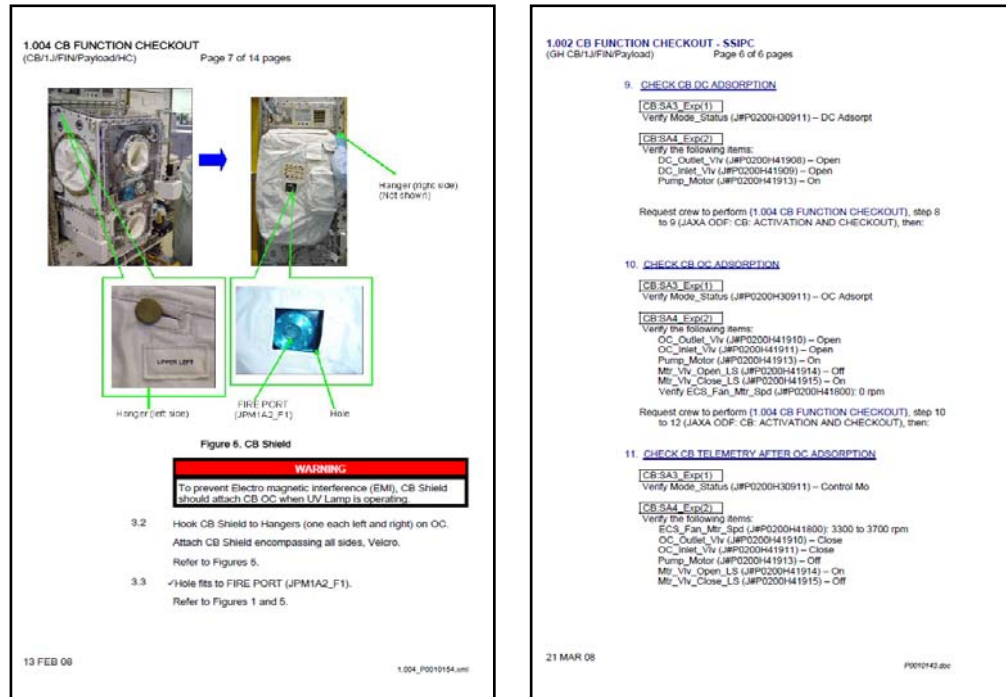
次につくられる計画はIDRD(Increment Definition and Requirement Document)と呼ばれ、半年単位の具体的な運用利用計画を立案する。この半年間をインクリメントと呼ぶ。IDRDの調整では利用テーマ個別の要望を持ち寄り、ISSで実施可能な計画に仕上げていく。

#### 3.1.2 運用文書の整備

利用テーマがIDRDに定義されると、実験運用では、運用文書の整備作業を開始する。運用文書には、手順書(ODF, Operations Data File)や運用制約集(Payload Regulation)などが含まれる。ODFは宇宙飛行士用と地上管制官用の2種類があり英語を使用する。ISS固有のフォーマットが国際定義文書で決められており、宇宙飛行士はどの国際パートナーが作成したODFを見ても容易に理解することができる。地上管制官用のODFには、「きぼう」の実験装置を遠隔操作するコマンドや実験装置から送出されるテレメトリの規格値を記載する。実験によっては、宇宙飛行士と地上管制官が協調して装置を動かすことがあり、両者の連携が円滑に行えるようなODFの作成が肝要である。

ODFはNASA及びJAXAを含めて複数の担当者のレビュー・検証を受け、すべて合格したもののみが実運用に供されることとなる。また、運用文書を整備する際に重要なことの一つとして、徹底した文書のコンフィグレーション管理がある。間違った版の運用文書が使用されないよう、運用ツールへの登録時には複数のチェック工程が設定されている。

「きぼう」実験運用開始当初は、ノミナル運用手順とマルファンクション運用手順(想定される不具合への対応手順)、及び保全手順を含めて合計150本程度のODFを整備した。その後、新しい利用テーマが開始される度に固有の運用手順を整備した結果、運用開始2年半を経過した現在までに、船内実験装置及び実験装置を使用しない船内利用向けに800本以上、船外実験装置向けに300本以上のODFが作成された。



**Fig. 6** 宇宙飛行士と地上管制官が協調して運用する作業手順書の一例  
(左図: 宇宙飛行士用、右図: 地上管制官用)

### 3.1.3 宇宙飛行士の訓練

「きぼう」で行われる利用テーマに関する宇宙飛行士の訓練は、所定のカリキュラムを経て認定された訓練インストラクターが担当する。訓練インストラクターは実験装置のグランドモデルの操作に習熟し、各テーマの訓練教材開発も行う。訓練インストラクターは、1つの訓練項目について3回の訓練リハーサルを行い、その最終リハーサルにはNASAのクルーオフィスの担当者やフライト経験豊富な宇宙飛行士が立ち会い、訓練教材や訓練自体に対する評価を行う。実際の宇宙飛行士の訓練では、訓練インストラクターが実験装置に関する講義と実技訓練を行い、また、研究者やユーザがサイエンスやテーマの概要・目的などに関する講義を行う。



**Fig. 7** 宇宙飛行士の訓練風景  
(グランドモデルを用いた訓練、左図: 細胞培養装置、右図: 温度勾配炉)

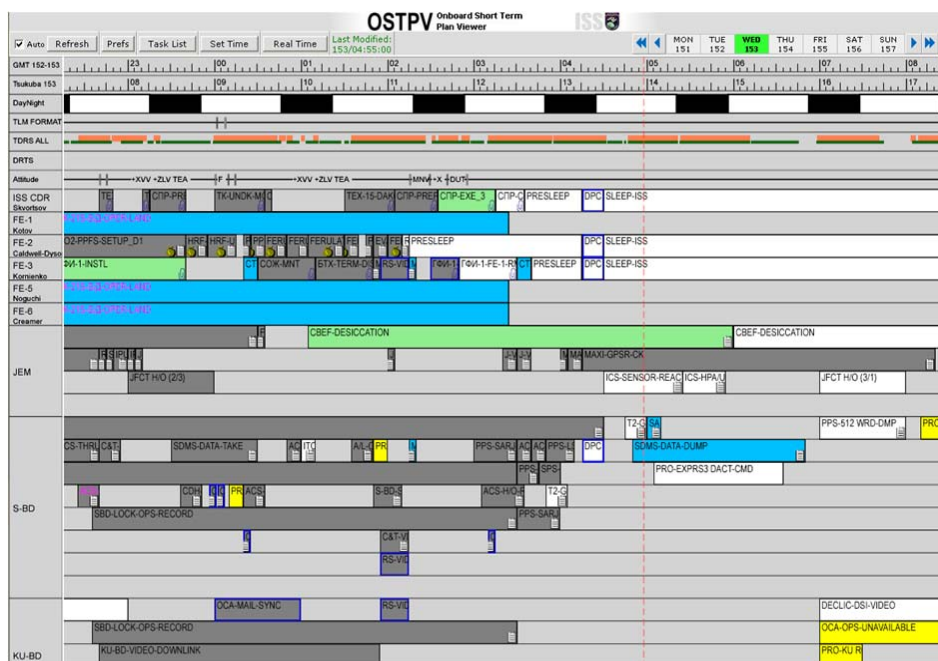


### 3.1.4 タイムラインの調整

IDRDが制定された後、インクリメント開始5か月前になると各国が詳細な運用計画を持ち寄り、インクリメントにおける宇宙飛行士の日割り作業計画であるOOS(On-orbit Operations Summary)を作成する。また、実験実施週の3週間前から1週間前にかけては、WLP(Weekly Look-ahead Plan)という1週間毎に区切った詳細計画の調整を行い、実験実施日の6日前から前日にかけては、1日毎に区切った詳細計画であるSTP(Short Term Plan)の調整を行う。実運用計画(タイムライン)は前日までに確定させ、軌道上の宇宙飛行士にもOSTP(Onboard Short Term Plan)として通知される。当日の作業進捗に伴い生じたリスケジュールは、実運用部隊(運用管制官)が国際パートナーや宇宙飛行士と調整しながら臨機応変に対応する。

タイムラインの調整では、宇宙飛行士の1日の作業時間や消費電力・データ通信量などのISS全体のリソースに起因する制約に加え、「きぼう」の冷却水による熱制御能力、装置から船内への排熱許容量や発生する騒音の許容量といった「きぼう」の能力による制約、通信衛星や地上設備のメンテナンスによる制約なども考慮される。また、特に高い微小重力レベルを要求する実験では、ISSの姿勢や軌道の修正、ロボットアーム動作などの加速度を生じる作業計画にも注意を払う必要がある。このような様々な制約がありながらも、サンプルの有効寿命、実験継続時間や実施時期などの研究者やユーザからの利用要求を満足し、確実に実験を実施できるように緻密なスケジュール調整を行う。

実運用時には、宇宙飛行士も各国の管制官も**Web Based**なタイムラインを用いて運用を行う。タイムラインには宇宙飛行士の作業、各モジュールへの地上コマンドニング作業、衛星回線の通信可能時間、ISSの姿勢や昼夜に関する情報などが表示される。また、各作業の詳細情報画面やODF閲覧Viewer、宇宙飛行士の作業で使用する物品やツール類を持ってくる場所、及び、作業後に物品を収納する場所などの**Stowage**に関する情報Viewerともリンクしている。そして、タスクの進捗状況はリアルタイムで更新され、その色によって運用者が認識できるように工夫されている。



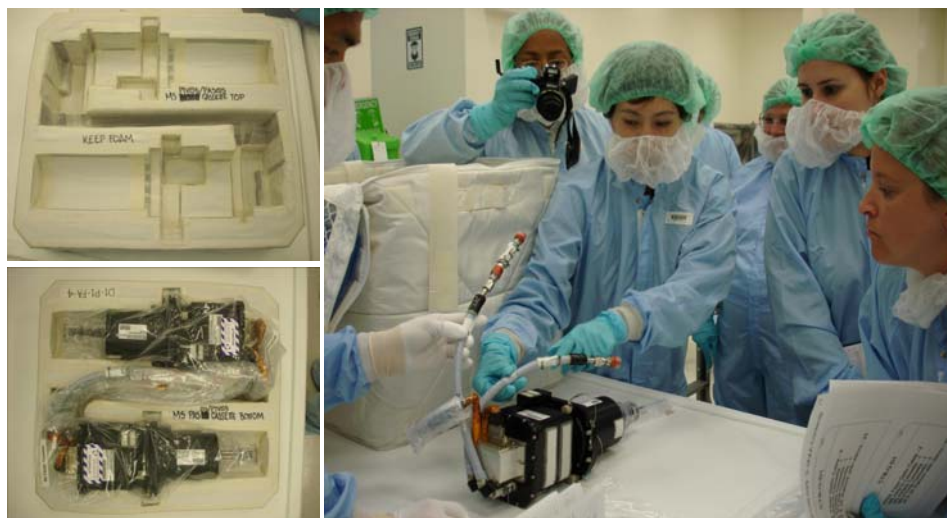
**Fig. 8** タイムライン(Onboard Short Term Plan)表示画面の一例



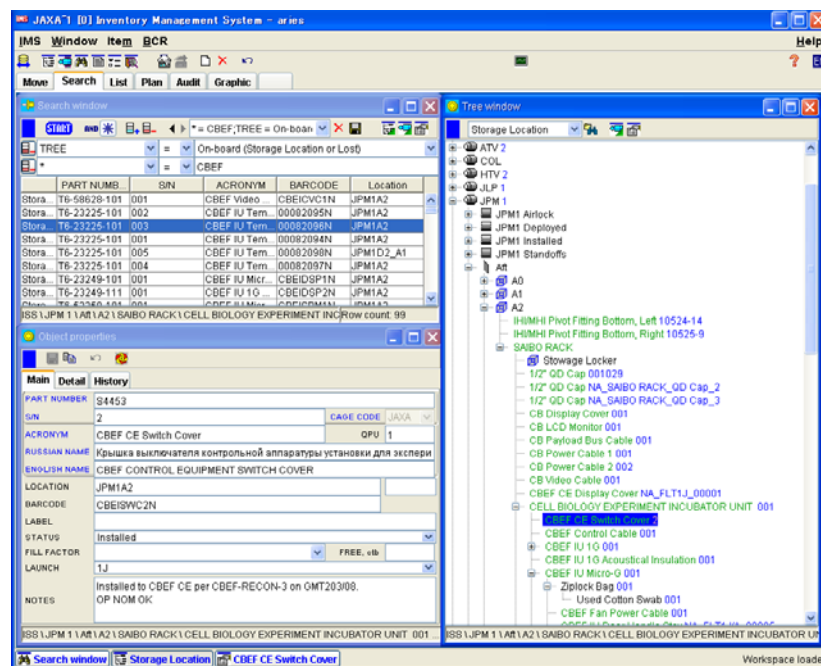
### 3.1.5 保全補給

「きぼう」に打上げられる全ての物品に対し、打上げ時の熱環境や振動に耐えるように梱包形態を検討する。梱包形態には、軌道上での宇宙飛行士の作業時間を節約するために宇宙飛行士が物品を取り出しやすいような工夫や、ISSの廃棄量を削減するために過剰梱包にならないような工夫が施されている。また、軌道上では物品の保管場所が限られるため、打上げ前の段階で、軌道上の保管場所や移送の段取りを予め検討する。

打上げ直前にはNASAによる最終物品審査(ベンチレビュー)を受審する。フライト経験豊富な宇宙飛行士が審査員となり、梱包形態の点検、「荷札」の役目をするラベルが正しく貼り付けられているかが審査される。なお、原則として全ての打上げ物品にはバーコード付きのラベルが貼付されており、軌道上のどこに保管されているかを地上のStowage担当者が管理している。(Fig.10)



**Fig. 9** 梱包材(左上図)と物品梱包状態(左下図)の一例とベンチレビューの様子(右図)  
ー写真のベンチレビュー時にはベテラン飛行士から JAXA 山崎飛行士への指導がなされていたー



**Fig. 10** 軌道上物品管理ツール (Inventory Management System) 表示画面の一例

ISSに物品を補給する輸送機には、NASAのスペースシャトル、ロシア連邦宇宙局(FSA, Federal Space Agency)のソユーズ／プログレス宇宙船、ESAのATV(Automated Transfer Vehicle)、そして我が国の「こうのとり」があり、保全補給の観点から見て、それぞれ以下のような特徴を有している。

- ・ スペースシャトル : 米国製の再使用型有人宇宙機で、最大7人の宇宙飛行士と物品を打上げ、帰還させることができる。年間3～4機の打上げ。物品の引渡し場所は、ヒューストン(米国)のNASA契約会社、もしくは、ケネディ宇宙センター(米国・フロリダ)。搭載／帰還可能量が大きく、冷蔵・冷凍品の打上げ／帰還も可能。JAXAは「きぼう」打上げ以降全てのスペースシャトルを利用している。
- ・ ソユーズ宇宙船 : ロシア製の有人宇宙機で、最大3人の宇宙飛行士と物品を打上げ、帰還させることができる。2009年以降は年間4機を打上げ、ISS滞在宇宙飛行士の交替に使用される。物品の引渡し場所は、モスクワ(ロシア)のFSA契約会社、もしくは、バイコヌール宇宙基地(カザフスタン共和国)。物品の搭載可能量は非常に小さいが、打上げ時期の変更が少なく確実な補給を行えることから、定期的な打上げ／帰還要求がある物品の利用や、日本人宇宙飛行士が打上げられるフライトでの飛行士の関連品などの利用がある。2011年半ば以降のスペースシャトルの退役に伴い、特に帰還に関して今後重要度を増すことになる。利用時には複数のロシア語文書作成やロシア関係者との調整が必要で作業量が大いなのが難点。
- ・ プログレス宇宙船 : ロシア製の無人補給機。打上げ能力のみ。帰還時には廃棄品を搭載して大気圏へ再突入し投棄される。年間4～5機の打上げ。物品の搭載可能量は小さいが、打上げ時期の変更が少なく確実な補給を行える強みがある。その他特徴はソユーズ宇宙船と同じ。JAXAは「きぼう」打上げ以降7機のプログレス宇宙船を利用してきた。
- ・ ATV : ヨーロッパ製の無人補給機。打上げ能力のみ。帰還時には廃棄品を搭載して大気圏へ再突入し投棄される。約17か月に1機程度の打上げを計画する。物品の引渡し場所は、トリノ(イタリア)のESA契約会社、もしくは、クールー宇宙基地(フランス領ギアナ(南米))。物品の搭載可能量は大きい、ISSとの結合ハッチの寸法制約から、実験ラックサイズの大型物品の輸送はできない。JAXAはATV2号機から利用を開始した。保全補給に係る作業量はスペースシャトルと同程度であり、ロシアの輸送機に比べるとその作業量は小さい。
- ・ こうのとり : 日本製の無人補給機。打上げ能力のみ。帰還時には廃棄品を搭載して大気圏へ再突入し投棄される。1年に1機の打上げを計画する。物品の引渡し場所は、種子島宇宙センター。物品の搭載可能量が大きく、かつ、実験ラックサイズの大型物品の輸送も可能。国内から打上げるため打上げ前の輸出入通関手続きが不要。引渡し前の射場作業を含めて保全補給に係る作業量が他輸送機と比較して小さい。

これらの特徴とISSへの補給時期を考慮し、各物品を搭載する輸送機を選択するが、引渡し前の調整・作業は数か月間に渡って実施するため、同時期に複数のフライトの準備を並行実施している。また、2011年半ばにはNASAのスペースシャトルが退役し、2011年後半からは、米国の民間宇宙機「ドラゴン(Space-X社)」、「シグナス(Orbital社)」が登場しISSへの補給及び回収を開始する予定であり、現在各種インタフェース調整を進めている。



**Fig. 11** 宇宙ステーション補給機「こうのとり」2号機  
(左図: ISS から撮影されたドッキング直前の様子  
右図: 与圧部に入室したスクリポチカ宇宙飛行士)

### 3.2 実運用の実施体制

#### 3.2.1 運用管制室と運用管制チーム

ISSの運用管制は、開発したモジュールの運用を各国際パートナーの責任において実施する“分散運用”のコンセプトに基づき実施される。このため、「きぼう」の運用管制は、茨城県つくば市に位置する筑波宇宙センター内の「きぼう」運用管制室(MCR, Mission Control Room)と「きぼう」実験運用管制室(UOA, User Operations Area)において、日本の運用管制チームにより3交代勤務で24時間、365日の運用体制で実施される。

「きぼう」の運用管制は「システム運用」と「実験運用」の2種に大別され、いずれも「きぼう」運用管制全体の責任を有するフライトディレクターの指揮下で行われる。システム運用とは、管制・通信・電力系や環境・熱制御・実験支援系などの「きぼう」の各サブシステムの運用を行うことであり、システム運用を担当する管制チームはMCRに管制卓を持つ。一方、実験運用とは、搭載実験装置の運用や実験自体の実施を行うことであり、実験運用を担当する管制チームは主にUOAに管制卓を持つ。

#### 3.2.2 実験運用管制チームの体制

実験運用を効率的かつ円滑に実施するため、システム運用と実験運用にまたがる指揮系統やそ

それぞれのポジションに応じた役割が明確に規定されている。ここでは実験運用管制チームの各ポジション(カッコ内はコールサイン)の主な役割を説明する。

(1) JEM Payloads (ジェムペイロース)

「きぼう」で行われる全ての実験運用の実施責任者。日本の実験のみならず、「きぼう」で行われる NASA の実験の調整窓口も担う。実験運用代表者として、唯一 MCR に管制卓を持ち、システム運用管制チームや NASA 実験運用管制チームと協力して「きぼう」での実験運用が円滑に実施されるように取り纏める。

(2) JPOC (ジェイポック)

JEM Payloads の指揮の下、「きぼう」で実施する日本の実験運用に関して、ユーザとの調整を含め実験計画の調整、進行管理を行う。

(3) FISICS (フィジクス)

流体ラックに搭載される実験装置の運用全般を統括する。ラックオフィサーとオペレータで構成される。ラックオフィサーは運用全般の指揮及び関係ポジションとの調整を担当し、ラックオフィサーの指示に基づいて、オペレータが実際のコマンド送信やテレメトリの監視を担当する。

(4) BIO (バイオ)

細胞ラックに搭載される実験装置の運用全般を統括する。構成及び役割分担は(3)と同様。

(5) GOLEM (ゴーレム)

勾配炉ラックに搭載される実験装置の運用全般を統括する。構成及び役割分担は(3)と同様。

(6) MEISTER (マイスター)

多目的実験ラックに搭載される実験装置の運用全般を統括する。構成及び役割分担は(3)と同様。

(7) ExPO (エキスポ)

船外実験プラットフォームに搭載される実験装置の運用全般を統括する。ラックオフィサーに相当する役割。ExPO の指揮の下、SEDA-AP、MAXI、SMILES の各オペレータが装置のコマンド送信やテレメトリの監視を行う。

また、管制官ではないが、以下のポジションがあり、実験運用を支援している。

- ・ HAWK-I (ホーク・アイ): 軌道上物品管理担当
- ・ GNOME (ノーム): 教育・文化/医学ミッション担当
- ・ IPU-G (アイピーユージー): IPU 地上デコード端末運用担当



- ・ MPC-G (エムピーシージー) :MPC地上デコード端末運用担当
- ・ MMA-G (エムエムエイジー) :MMA地上データ処理端末運用担当



Fig. 12 「きぼう」運用管制室(左図, MCR)と「きぼう」実験運用管制室(右図, UOA)

### 3.2.3 実験運用管制チームの訓練

管制官の養成は、以下に示す「OJT」と「訓練」の2通りの手法の組合せによって実施される。

#### (1) OJT

運用文書の作成や、各種開発試験への参加などの実務を通じて、ポジション毎に要求される知識・技能の習得に関わる経験を積ませる。

#### (2) 訓練

##### (a) 自習／レクチャ

管制官として必要な知識・技能を習得するため、訓練チームが作成した教材を用いて自習を行い、レクチャを受ける。知識・技能の習得状況は筆記試験により確認する。最も訓練項目の多いJEM Payloadsでは、各人のバックグラウンドにもよるが、最大40項目程度の自習／レクチャと筆記試験の合格が認定の必須要件となる。

##### (b) 端末など操作訓練

実運用に必要な運用ツール操作に関する基本的な実技訓練。ISSの運用では不具合対応や計画変更が発生すると、リアルタイムで国際パートナーとの調整が行われるため、さまざまな運用ツールがWeb Based Toolとして整備されている。これら実際に使用するToolを自在に使いこなせることも認定の必須要件となる。併せてシミュレータを用い、各実験装置へのコマンド送信やテレメトリ監視の基礎技術を習得する。

##### (c) シミュレーション

(a)、(b)により基本的な知識や端末など操作技術を習得した候補者に対して、個人及びチーム全体

の運用技術総合力の向上を目的として、実運用を模擬した種々のレベルのシミュレーションを実施し、運用実施に必要な総合的な技能の習得を行う。あらかじめ計画されたノミナル運用を円滑に遂行するだけでなく、不測の事態にも柔軟に対応できるよう、訓練チームが訓練目的に応じて意図的に複数の不具合を投入し、緊張を強いられる状況下でも、運用管制官が冷静かつ適切に対処できるような能力を身につけさせる。

シミュレーションは、最初は運用手順書の読み合わせレベルの**Paper Simulation**から始まり、実験運用のみの訓練、システム運用との合同訓練、さらにNASA運用管制官との合同訓練など、徐々に規模・難易度を拡大していき、本番の実運用に耐えうる管制官を養成することとしている。

### 3.2.4 地上運用システム

地上運用システムは、「きぼう」内の実験装置に対してコマンド送信、テレメトリや各種データ監視を行うシステムであり、実運用で使用するシステムと訓練用に使用するシステムに大別される。ここでは実運用で使用する地上運用システムのうち、実験運用で整備した主要システムについて説明する。

#### (1) 実験装置用運用管制データベース(OCSDB)

運用管制システム(OCS , Operations Control System)で扱う実験装置のコマンドやテレメトリに関するデータ抽出位置、表示形式、リミットチェックレンジ、工学値変換パラメータなどを定義したデータベース。OCSの監視制御サブシステム(JCCS)、実験支援サブシステム(SOSS)などに格納され、OCSはこれを参照して実験装置とのコマンドやテレメトリの整合性を確認する。

#### (2) OCS-Client利用者組み込みソフトウェア(U-BIS, User-Built In Software)

OCSの実験支援サブシステム端末(SOSCL)に搭載され、OCS標準サービス機能を補完する。実験運用管制官はこのソフトウェアにより実験装置へのコマンド発行やテレメトリモニタリングを行う。参照するデータベース(U-BIS DB)を載せかえることによって、様々な実験装置に対応することができる。

#### (3) OCS-Client利用者組み込みソフトウェア環境設定データベース(U-BISDB)

U-BISで扱う実験装置のコマンドやテレメトリに関する表示形式、工学値変換パラメータなどを定義したデータベース。

#### (4) 画像取得処理装置用地上データ処理装置(IPU-G)

船内実験室に搭載された画像取得処理装置(IPU)からダウンリンクされた各実験装置からの映像やデータを処理(デコード・表示・保管)する地上端末。

#### (5) ペイロードテレメトリモニタ用ソフトウェア(PARCS, Payload Remote Console Software)

各実験装置の実験データ(主に10Hz実験データ)をモニタするシステム。データベースとして既存のU-BISDBを使用する。

#### 4. 実運用 -Realtime Operations -

1. Be Proactive
2. Take Responsibility
3. Play Flat-out
4. Ask Questions
5. Test and Validate All Assumption
6. Write It Down
7. Don't Hide Mistakes
8. Know Your System Thoroughly
9. Think Ahead
10. Respect Your Teammates

これは「アポロ13 号」を指揮したフライトディレクター“ジーン克蘭ツ”が残した運用管制官の姿勢を示すMOD (Mission Operations Directorate)基本10箇条であり、現在もNASAの管制室に掲げられ、管制官の戒めとなっているという。JAXAの実運用でも同様の意識が求められている。

実運用は、3項で述べた各種の運用準備と構築された運用体制の上に成り立つものであり、運用管制官、及びその他の支援ポジションにより遂行される。既に開始から2年半を経過したJAXA実験運用では、連日の運用経験から、日ごとにより柔軟な運用が可能となってきた。運用管制チームの処理能力の向上は目覚ましい。現在は、日々の実運用をこなすだけでなく、実運用で得られた知見を次回以降の実験に生かし、実験運用・運用管制の効率化検討や新規管制官への技術継承に取り組んでいる。

実運用ではノミナル運用を的確にこなすことから得られる経験も重要であるが、発生した不具合事象から学ぶことも非常に多い。そのため、不具合事象に関する様々な角度からの要因分析や、ヒューマンエラー削減のための取り組みに力を入れている。次項では、軌道上で発生したハードウェアの不具合と軌道上復旧処置の一例を紹介する。

##### 4.1 軌道上で発生したハードウェアの不具合と軌道上復旧処置の一例

2009年11月10日、マランゴニ対流実験(マランゴニ対流における時空間構造:JAXA依田眞一教授)で用いる実験供試体の検証作業を実施していた際、供試体内部の隙間から実験試料であるシリコンオイルがリークする事象が発生した。装置開発エンジニアと実験運用管制チームによる不具合解析、復旧手順の検討により、今回のケースでは、軌道上での補修作業(接着剤によるリークパスの遮断)により復旧できる可能性が見出され、以下のような段取りで復旧処置ODFを作成した。

- ・ 作業性・操作性の高い接着剤の選定（復旧までの期間を最小限に抑えるため、軌道上に既に保管されている接着剤から選択した）
- ・ 接着剤とシリコンオイルとの適合性確認試験

- ・ 実験時の温度変化に対する長期耐久試験
- ・ 補修処置ODFの作成、確認
- ・ NASA宇宙飛行士による地上でのODF検証

リークパスを埋めるために接着剤を塗布する箇所と、カセットからシリコンオイルを送り出すオイル送出口が近接していることから、塗布してはいけない箇所をいかにしてマスキングするか、また、復旧処置後実験に供するためには、装置の仕様上、塗布した接着剤が200マイクロメートル以下の厚さでなければいけないため、その厚さをどのように抑えるかが手順作成のポイントであった。

復旧処置は、2010年1月13日～1月15日の期間において、JAXA野口宇宙飛行士により実施された。作業後のリークチェック試験により、リーク箇所の適切な補修が行われたことが確認でき、同年1月下旬よりマランゴニ対流実験を再開することができた。



Fig. 13 野口宇宙飛行士による軌道上補修作業の様子

復旧手順の検討・作成、及び宇宙飛行士による実際の補修作業以外にも苦労した点がある。

当然ながら、ISS及び「きぼう」ではマランゴニ対流実験が一時中断していた2か月間においても、様々な実験やメンテナンス作業が実施されており、また、スペースシャトルやソユーズの到着／離脱、宇宙飛行士の交替等も実施されている。これらの作業は3項で述べた通りの段取りを経てタイムライン上に計画されているため、追加で作業を計画するとなると、利用計画・リソースの再調整、詳細スケジュールの再調整を行う必要があった。

また、宇宙飛行士に対する訓練も地上ではできないため、ODF以外の補足資料を作成し、軌道上／地上合同のConferenceにて説明を行い、さらに、NASA宇宙飛行士による地上でのODF検証の際に取得した映像をアップリンクして、軌道上訓練も実施した。

不測の事態が発生した時に柔軟に対応するのが実験運用管制官の仕事であると述べたが、そういった事態に対して迅速かつ的確に処置を検討し運用準備を進めることができることも実験運用の重要な要素である。



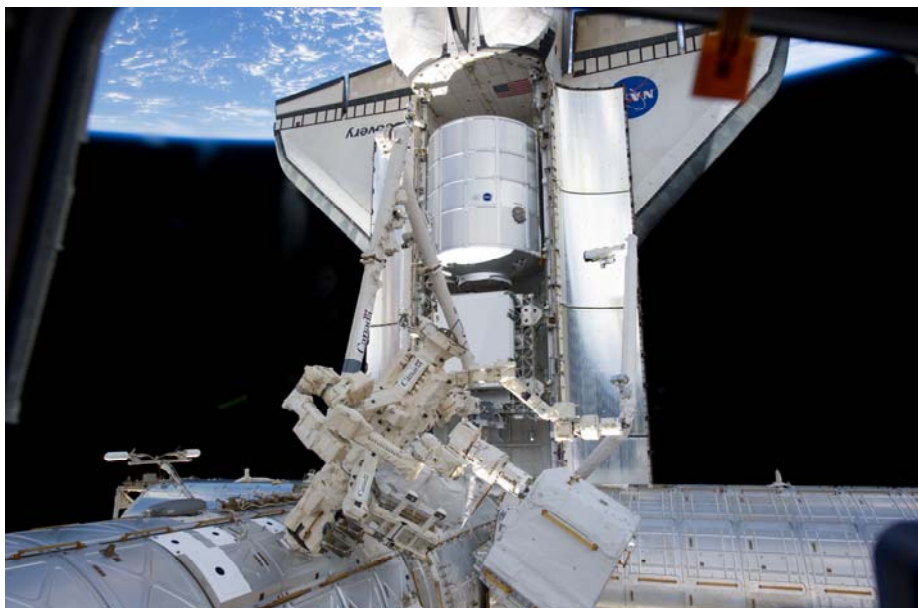
## 5. おわりに

筆者(私)は実験運用の担当者として、宇宙飛行士の訓練を除いて本章で述べた全ての運用準備を行い、運用管制官(JEM Payloads)として実運用を行ってきた。運用準備の中で特に保全補給については、日本で最も経験値が高いのは自身であると自負している。そういう訳か、冒頭で「きぼう」は完成したと述べたが、「きぼう」は保全補給の時代へ突入したという方が私のイメージによく合う。

2008年3月に「きぼう」の最初の構成要素である船内保管室がスペースシャトル「エンデバー号」で打上げられてから現在までに、ISSへは、11機のスペースシャトル、10機のソユーズ宇宙船、13機のプログレス宇宙船、2機のATV、そして2機の我が国が誇る「こうのとり」が打上げられ、それぞれのミッションを達成あるいは現在遂行している。(上記以外に、プログレスM-MRM2宇宙船によるロシアの小型研究モジュール2の取付ミッションも実施された)。運用計画・利用計画に基づき、次々と「きぼう」に物品を送り込み、それらを活用して最大限「きぼう」を使い切るために多くの関係者が日々尽力している。

「きぼう」実験運用では、日々の実験運用管制を実施しながら、これから次々と迫ってくる新規の利用テーマに対する運用準備を並行して実施している。常に新しい利用テーマをこなし続けることはチャレンジングなことであるが、そこから得られる知見は底知れぬものがあり、それだけに今後も発展し続ける「きぼう」実験運用の姿に期待していただきたい。なお、今まで実施してきた数々の実験の実施結果については本章では触れなかったが、JAXA公開ホームページにてタイムリーに報告しているため、是非そちらを参照していただきたい。

本章を推敲している本日(2011年2月27日)、スペースシャトル「ディスカバリー号」がISSに到着し、これにより、ISS計画に参加する各極の現在運用されている全ての有人宇宙機、無人補給機が初めてISSに同時期に結合した状態となった。ISS計画に参加し、国際的に展開される有人宇宙開発の一翼を担うことで、日本はかけがえのない技術と経験を手に入れた。この技術と経験を生かし、次なる有人宇宙開発への展開を見せるべき時が近づいてきているのではないだろうか。



2011年2月27日、ISSに到着したスペースシャトル「ディスカバリー号」