解説

「きぼう」船内実験室と 船内保管室の打上げ準備作業の現状

Current Status of Launch Site Operations for Kibo Pressurized Module and
Experiment Logistics Module

執筆者プロフィール

山口 秀行
Hideyuki YAMAGUCHI

◎1966年12月生まれ
1989年テキサスA&M大学航空宇宙工学部卒業、
現在三菱重工業（株）にて宇宙ステーションの
開発に従事
◎研究・専門テーマは、有人宇宙システムの設
計
◎三菱重工業（株）名古屋航空宇宙システム製
作所 宇宙機器技術部 基礎設計課 主任
(〒455-8515 名古屋市港区大江町10/
E-mail: hideyuki.yamaguchi@mhi.co.jp)

1. はじめに

弊社では、宇宙航空研究開発機構（JAXA）のもと、国際宇宙ステーション（International Space Station；ISS）計画に提供する日本実験モジュール「きぼう」（Japanese Experiment Module；JEM）の主要構成要素である船内実験室（JEM与圧部）と船内保管室（JEM補給部与圧区）の開発支援を担当している。

JAXAの指導のもと、他社開発・製造担当のハードウェアと機能的に組み合わせて実施した全体システム試験を2002年4月に、また実際の軌道上運用のための地上管制設備と組み合わせて実施した統合システム試験を2003年2月に無事筑波で完了し、現在はNASAケネディー宇宙センタ（KSC）にて射場作業フェーズに移行している。

ここでは、国内試験終了後に実施した筑波からKSCまでの輸送準備作業、および平成15年度までにKSCで実施した射場作業の概要と打上げまでの取組方針について述べる。

（なお、開発段階においては、日本実験モジュール「きぼう」の主要構成要素JEM船内実験室は与圧部、JEM船内保管室は補給部与圧区と各々呼称されていたため、引用する図表には同名称が使用される場合がある。）

2. 開発経緯

2001年9月から2002年4月にかけて、「きぼう」開発メーカー各社が製造した主要構成要素を筑波に集結した後、機能結合したコンフィギュレーションで全体システム試験を実施し、全体システムとしての開発要求が満足していることを確認した。

その後船内実験室は、実験室全体の気密性評価のためJAXA筑波宇宙センタの15m真空チャンバにてモジュールリンク試験を実施した後、2002年10月から2003年2月にかけて統合システム試験のために再度船内保管室を含む他の主要構成要素と機能結合され、地上管制設備を含めた軌道上での実運用模擬試験を実施し、所定の運用性能が得られていることを確認した。

筑波宇宙センタでの国内試験からKSC射場作業までのスケジュール概要を表1に示す。

3. KSCへの輸送準備

NASA製造要素であるノード2と船内実験室を実際に地上で機能結合し、軌道上と同等の船内実験室起動手順や各種通信系の系統確認試験実施についてNASAから強い要請があり、これが日本からKSCの輸送時期の決定要素となった。当初ノード2は2003年11月に打上げが予定されており、製造工場からKSCへの到着が2003年4月であった。従って4月から11月の期間に船内実験室との組合せ試験を実現するために、船内実験室のKSC到着を2003年4月とすることをJAXAにて決定した。

前述2項の国内試験期間中、船内実験室はKSCへの輸送やKSC到着後の作業をもにらみながら試験終了後の機体のコンフィギュレーションを設定し、後工程の作業が効率よく進められるように連携を取った。

また、フライトハードウェアのみならず周辺の地上試験支援設備（Ground Support Equipment：以下GSE）は、必然的にフライトハードウェア発送まで必要となるものが多く、

表1 船内実験室（与圧部）／船内保管室（補給部与圧区）の射場作業計画

フライト品発送後、最後に筑波宇宙センタにて分解／こん包／出荷されるが、フライト品がKSCに到着する前にGSEの再組立／機能確認を実施する必要がある。このためGSEの出荷準備についても、現地での作業工程を確認しながらこん包単位や出荷順番などを確定した。

しかしながら船内実験室の出荷直前に、コロンビア号の事故が発生しさまざまな混乱が発生したが、ISS計画は予定通り進めるとのNASA側の判断がアナウンスされたことにより、GSEは当初の計画通り2003年3月にまた船内実験室を当初の計画の2003年3月末から1箇月遅れの4月末に筑波から出荷した。

4. 射場作業の目的

KSCで実施する射場作業の目的を大きく分けると次の5項目に分類される。

- ・NASAが製造したハードウェアとの組合せ試験の実施
- ・NASA所有の試験装置／計測装置を用いた試験の実施
- ・他プロジェクトで製造するハードウェアの取付け
- ・打上直前まで装着出来ないハードウェアの取付け
- ・打上前の最終機能確認試験の実施

個々の項目に関する状況は以下のとおりである。

4.1 NASAが製造したハードウェアとの組合せ試験の実施

打上げ前に地上で軌道上コンフィギュレーションを組み、可能な限り実運用状態に近い状態でNASA/JAXAのフライトハードウェア組合せ試験を実施するものである。

本項目に該当する代表的な試験は、Multi Element Integrated Test 3（以降MEIT3と称する）である。（MEITは、NASAがISSの組立フェーズごとに段階的に実施しているもので、今回は3回目のMEITであるため、MEIT3と称されている。）

(1) MEIT3の目的

船内実験室とISS本体側実機との適合性を確認する。

(2) 試験概要

船内保管室のMEITプログラムへの参画は今回が初めてで、MEIT3は2003年8月26日から9月10日までの平日に24時間運転で実施した。（NASA側の音声系機器にトラブルが発生したため、音声系のみ2004年3月に実施した。）

MEIT3では船内保管室とノード2を地上用試験ケーブルで直接機能接続し、打上げ直後の初期起動手順の確認、ISS本体から受ける電力供給確認とその特性値、および各通信系統の機能・性能確認などを実施した。MEIT3実施時の接続概要図を図1に示す。

(3) 結果

MEIT3に向けて系統ごとの事前確認を日本で実施したこと、ヒューストンにて地上訓練装置を用いてリハーサルを実施したこと、およびこれらの事前確認を踏まえてJAXAの指導のもと入念な手順書調整を実施してきたことから（音声系試験を除き）問題なく試験を完了した。船内実験室の不適合事項は、操作端末起動時のソフトウェア・エラーによる起動失敗が一件発生したが、再起動後に正常動作し問題ないことを確認した。

図1 MEIT3接続概要図 (宇宙航空研究開発機構提供)

音声系についてはNASA開発システムに設計上の不適合があることから、時期を改めて2004年3月に実施し、問題のないことを確認した。

このほかにも、NASAから提供される、Launch to Activation (LTA) 電力ケーブル (打上げ時にスペースシャトルから船内実験室保温用ヒーター電力を受けるための電力ケーブル) のフィットチェックと電力特性値確認試験を実施し、設計どおりの機能・性能が得られることを確認した。

また、機械的結合のみの確認になるが、電気的インタフェースを有さないハードウェアに対してNASA側のフライトハードウェアとのフィットチェックを、双方の都合の良い時期を調整し随時実施している。軌道上で緊急時に使用する可搬式呼吸器などがフィットチェック対象となっており、設計どおり装着が可能であることを確認している。

4.2 NASA試験装置/計測装置を用いた試験の実施

軌道上での組立作業の問題点をあらかじめ地上で洗い出すことを目的とし、ISSプログラム全体として統一して各フライトエレメントに実施している試験が船内実験室にも適用される。On-Orbit Constraints Test (OOCT) と Digital Pre-Assembly (DPA) がこの試験に該当し、NASAの主導でOOCTを2003年6月23日から27日に、またDPAを2003年10月2日から11月5日にかけて実施した。

OOCTの試験目的は、ISS本体から船内実験室に電力、通信、および流体リソースを供給するために用いるフライト品ジャンパ・ラインと船内実験室を物理的に結合し、その操作性および干渉の有無を事前に地上で確認することである。ISS本体側の結合部の形状模擬が可能なNASA所有の特殊治具 (図2参照) を用いて、軌道上での結合状態を機械的に模擬した。試験の結果、船内実験室側の設計に問題がないことが確認された。

OOCTがハードウェアの物理結合による確認に対して、DPAはNASAが確立した三次元モデルを用いた干渉解析である。スペースシャトルへの搭載作業および軌道上での口

図2 OOCT用のNASA治具

ポットアームを用いた組立作業が問題なくできることを、物理的結合を行わずに、三次元計測値から作成したモデルにてコンピュータ上で解析する検証手法である。ここで作成するモデルとは、製造図面に基に作成した三次元モデルをDPAで取得したデータで補完し、実際の機体コンフィギュレーションのモデルのことである。このモデルをNASA側のISS本体のモデル、またはスペースシャトルのモデルに端末上で組み合わせ、問題の有無を識別するものである。

DPAのデータ取得は、特殊な試験プローブを機体の計測ポイントにあて、プローブから発光させる赤外線等特殊カメラで捕捉し、PCでデータ処理を行うものである (図3参照)。計測時の試験風景を図4に示す。

DPAの結果は現在NASAにて解析中である。

これ以外にもOOCTおよびDPAに比べると規模は小さいものの、NASA/ボーイング所有の治具を使用して与圧実験室に搭載しているNASA/ボーイング開発の共通品、Active Common Berthing Mechanism (ACBM: 共通結合機構) の試験を実施している。

図3 DPAの取得データ（宇宙航空研究開発機構提供）

図4 DPA計測風景（宇宙航空研究開発機構提供）

ACBM試験については、結合機構の相手側を模擬する専用治具をNASAから借用し、ISS本体の実機模擬エミュレータから発行されるコマンドにて結合動作を地上で実施し、軌道上で船内保管室を船内実験室に結合する機能に問題がないことを確認した。

4.3 他プロジェクトで製造するハードウェアの取付け

ISS本体への補給手段としてJAXAが進めているH-II Transfer Vehicle（HTV）で使用する装置のうち、HTVがISS本体にランデブーするために使用するアンテナとリフレクタを船内実験室に装備する必要がある。これらの装置は、国内でも取付けを行うことは可能であるが、HTVプロジェクトの開発スケジュールの関係から、船内実験室のKSC輸送前までにアンテナとリフレクタの艤装を行う時期が設けられなかったため、これらの作業は射場作業フェーズに行うことで設定し、一部のハードウェアはすでに装着済みである。残りのものについては、打上げまでに都合の良い時期を見極めて装着する予定となっている。

4.4 打上げ直前まで装着できないハードウェアの取付け

地上作業では、フライトハードウェアの上を直接歩くことを可能な限り避ける必要があるため、床用GSEを取り付

けて機体の保護を行っている。ただし、これらのGSEとの干渉を避けるために、一部のフライトハードウェア（アクセス・パネルやラック取付金具）を取り外している箇所がある。床用GSEは、打上げの直前まで使用するため、打上げ直前に床用GSEを外してから該当フライト・ハードウェアを取り付けることとなる。

このほかにも、軌道上で使用する実験用ガスボトルにヘリウムガス、二酸化炭素およびアルゴンガスを充てんし、ガスボトルを搭載する作業や、消火器用二酸化炭素ガスを消火器に充てんし、消火器を機体に搭載する作業が計画されている。

4.5 打上げ前の最終機能確認試験の実施

スペースシャトル搭載のために船内実験室をNASAに引き渡す前に、船内実験室を打上げコンフィギュレーションに設定し、最終機能確認を含めた最終準備作業を行う。この作業は日本側で行う射場作業の締めくくりとして位置づけられており、主要な項目として以下を識別している。

- (a) 打上げコンフィギュレーションでの機体起動試験
- (b) 各バルブ設定値の最終確認
- (c) 内部空気の結露防止のための乾燥空気の充てん
- (d) 与圧実験室内エア漏えい点検

詳細は今後JAXA指導のもと要求書、手順書を作成することとなっているが、各確認項目の詳細はNASAが他の与圧もジュールに標準的に実施している作業と同等の最終確認を実施する予定である。

5. 射場作業の状況と今後の計画

船内実験室は平成15年度に計画されていた作業すべてを完了し、平成16年度から射場長期保管期間に入る。

現状スペースシャトル打上げ再開は2005年3月とされているが、その後のISS組立ミッションのスケジュールが確定されていないことから、船内保管室のKSC輸送時期や船内実験室／保管室の打上スケジュールは未定である。

ただし、打上げまでの機体ハードウェア維持を目的とし、船内実験室については長期保管期間中に定期点検（機体の起動／各コンポーネントの正常動作確認や冷却用冷媒の水質維持）を実施することを計画している。

船内保管室では、冷却水系が存在しないため定期点検は機体の起動と各コンポーネントの正常動作確認を実施する予定である。

弊社では、今回実施した船内実験室の射場作業から得られた経験を生かし、船内実験室／保管室の打上げの成功に向けて、スペースシャトルへ搭載前まで最終射場作業を効率的に進められるように計画を立案中である。さらには、現在国内で製造を進めているセントリフュージ・モジュールの射場作業をも視野に入れてJAXAの指導のもと細部の調整を進めている。

（原稿受付 2004年3月9日）